

ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΑΡΧΕΣ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ ΣΕ ΚΙΝΗΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

Η
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Υποβάλλεται στην

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

από την

Ειρήνη Μαχαίρα

ως μέρος των Υποχρεώσεων

για τη λήψη

του

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ
ΜΕ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΣΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ιούλιος 2010

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου τον κ.Ευάγγελο Παπαπέτρου για την πολύτιμη συμπαράστασή του και την υπομονή του σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διατριβής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Απόστολο Ζάρρα που με φιλοξένησε στο εργαστήριο του τους τελευταίους μήνες.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους γονείς μου για την πολύπλευρη συμπαράστασή τους και τη υπομονή που επιδείκνυαν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ
ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΑΡΧΕΣ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ ΣΕ ΚΙΝΗΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ	i
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	ii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	v
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	vi
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	viii
EXTENDED ABSTRACT IN ENGLISH	x
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Ασύρματη Δικτύωση και Ανεκτικά σε Καθυστέρηση Δίκτυα	1
1.2. Αντικείμενο της Διατριβής	7
1.3. Διάρθρωση της Διατριβής	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	11
2.1. Περιγραφή Μοντέλου ενός DTN	11
2.2. Κατηγοριοποίηση Αλγόριθμων Δρομολόγησης σε DTNs	12
2.2.1. Ντετερμινιστικοί Αλγόριθμοι	13
2.2.2. Στοχαστικοί Αλγόριθμοι	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΩΣΗ ΣΤΑ DTNs	20
3.1. Εισαγωγή	20
3.2. Βασικές Έννοιες Κοινωνικής Δικτύωσης	21
3.2.1. Ego Networks	27
3.3. Κοινωνική Δικτύωση και DTNs	29
3.3.1. Ο Αλγόριθμος Δρομολόγησης Bubble Rap	30
3.3.2. Ο Αλγόριθμος Δρομολόγησης SimBet	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ	34
4.1. Ζητήματα στον Αλγόριθμο Δρομολόγησης SimBet	34
4.1.1. Τρόπος Δρομολόγησης Δεδομένων	35
4.1.2. Τρόπος Υπολογισμού της Μετρικής Similarity	35
4.1.3. Εισαγωγή Νέας Μετρικής Κοινωνικής Δικτύωσης	37
4.1.4. Εισαγωγή Παράθυρου Ιστορίας	38
4.2. Ο Αλγόριθμος Δρομολόγησης LBet-SIM	39
4.2.1. Τύποι Πακέτων	39
4.2.2. Αποθήκευση Πακέτων Δεδομένων	40
4.2.3. Γνώση των Γειτονικών Κόμβων	42
4.2.4. Γνώση των Επαφών	44
4.2.5. Διαδικασία Δρομολόγησης Πακέτων	44
4.3. Ο Αλγόριθμος Δρομολόγησης LB-SIM	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	55

5.1. Περιβάλλον Προσομοίωσης	55
5.2. Μετρικές Αξιολόγησης των Αλγόριθμων	57
5.3. Αποτελέσματα και Σχολιασμός	58
5.3.1. 1 ^ο Πείραμα: Απόδοση Αλγόριθμων με την ύπαρξη ή όχι History Window	59
5.3.2. 2 ^ο Πείραμα: Απόδοση Αλγόριθμων με Διαφορετικούς Τρόπους Υπολογισμού της μετρικής Similarity.	63
5.3.3. 3 ^ο Πείραμα: Απόδοση Αλγόριθμων με χρήση History Window σε Διαφορετικές Μέγιστες Ταχύτητες	65
5.3.4. 4 ^ο Πείραμα: Απόδοση Αλγόριθμων με χρήση History Window σε Μεγάλη Περιοχή Κίνησης	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	73
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	75

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας	Σελ
Πίνακας 3.1 Αποτελέσματα μετρήσεων για το betweenness centrality και το ego betweenness centrality.	30
Πίνακας 4.1 Αλγόριθμος Διαχείρισης Πακέτων Δεδομένων στο Πρώτο Άλμα.	47
Πίνακας 4.2 Αλγόριθμος Προώθησης Πακέτου Δεδομένων στο Νέο Γείτονα.	48
Πίνακας 4.3 Αλγόριθμος Δρομολόγησης LBet-SIM.	54
Πίνακας 5.1 Πίνακας Τιμών των Παραμέτρων Προσομοίωσης.	57

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα	Σελ
Σχήμα 1.1 Στιγμιότυπα Μετάδοσης Πληροφορίας σε ένα DTN.	3
Σχήμα 1.2 Συνολική Διαδρομή ως Άθροισμα των Επιμέρους Μονοπατιών που Εμφανίστηκαν σε Διαφορετικά Στιγμιότυπα μέσα στο DTN.	4
Σχήμα 2.1 Κάθε Ακμή e_i Χαρακτηρίζεται από την Πηγή (u), τον Προορισμό (v), τη Χωρητικότητα $c(t)$ και την Καθυστέρηση $d(t)$.	12
Σχήμα 3.1 Κόμβος με Μεγάλη Κεντρότητα.	22
Σχήμα 3.2 Τα Συντομότερα Μονοπάτια που Ξεκινούν από τον Κόμβο v .	24
Σχήμα 3.3 Οι κόμβοι με Μεγαλύτερο betweenness centrality είναι αυτοί με Μεγαλύτερο Μέγεθος και Ανήκουν σε Περισσότερα Συντομότερα Μονοπάτια.	25
Σχήμα 3.4 Ομοιότητα του Κόμβου u με τον Κόμβο Προορισμό v .	26
Σχήμα 3.5 Κοινωνικό Δίκτυο.	28
Σχήμα 4.1 Κοινωνικός Γράφος με $\text{similarity}(a,d)=2$ και $\text{similarity}(c,d)=1$.	36
Σχήμα 4.2 Εισαγωγή Νέου Πακέτου Δεδομένων στη Δομή Αποθήκευσης ενός Κόμβου.	41
Σχήμα 4.3 Διαχείριση πακέτων σε περίπτωση πληρότητας της λίστας.	42
Σχήμα 4.4 Διαδικασία Ανταλλαγής Μηνυμάτων Σηματοδοσίας.	48
Σχήμα 4.5 Δομή Μηνύματος Summary Vector.	50
Σχήμα 4.6 Διαδικασία Ανταλλαγής Μηνυμάτων Σηματοδοσίας.	51
Σχήμα 5.1 Ποσοστό Επιτυχούς Παράδοσης Δεδομένων με και χωρίς Παράθυρο Ιστορίας.	60
Σχήμα 5.2 Ποσοστό Πακέτων Δεδομένων στις ουρές με και χωρίς Παράθυρο Ιστορίας.	61
Σχήμα 5.3 Ποσοστό Χαμένων Πακέτων με και χωρίς Παράθυρο Ιστορίας.	62
Σχήμα 5.4 Μέση Καθυστέρηση με και χωρίς Παράθυρο Ιστορίας.	63
Σχήμα 5.5 Μέσο Πλήθος Αλμάτων με Παράθυρο Ιστορίας και χωρίς.	64
Σχήμα 5.6 Ποσοστά Επιτυχούς Παράδοσης Δεδομένων για Διαφορετικούς Τρόπους Υπολογισμού του similarity.	65

Σχήμα 5.7 Ποσοστά Πακέτων που Παραμένουν στις Ουρές με Διαφορετικούς Τρόπους της μετρικής similarity.	66
Σχήμα 5.8 Ποσοστά Επιτυχούς Παράδοσης Δεδομένων με Παράθυρο Ιστορίας σε Διαφορετικές Μέγιστες Ταχύτητες.	67
Σχήμα 5.9 Μέση Καθυστέρηση με Παράθυρο Ιστορίας σε Διαφορετικές Μέγιστες Ταχύτητες.	68
Σχήμα 5.10 Ποσοστά Πακέτων στις Ουρές των κόμβων με Παράθυρο Ιστορίας σε Διαφορετικές Μέγιστες Ταχύτητες.	69
Σχήμα 5.11 Ποσοστά Πακέτων που Χάθηκαν με Παράθυρο Ιστορίας σε Διαφορετικές Μέγιστες Ταχύτητες.	69
Σχήμα 5.12 Πλήθος Προωθήσεων με Παράθυρο Ιστορίας σε Διαφορετικές Μέγιστες Ταχύτητες.	70
Σχήμα 5.13 Ποσοστά Επιτυχούς Παράδοσης Δεδομένων με Παράθυρο Ιστορίας σε Περιοχή Κίνησης 5000m x 5000m.	71
Σχήμα 5.14 Ποσοστά Πακέτων στις Ουρές των κόμβων με Παράθυρο Ιστορίας σε Περιοχή Κίνησης 5000m x 5000m.	71

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ειρήνη Μαχαίρα του Κωνσταντίνου και της Αντωνίας. MSc, Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιούλιος 2010. Δρομολόγηση με Αρχές Κοινωνικής Δικτύωσης σε Ασύρματα Κινητά Δίκτυα.

Επιβλέπων: Ευάγγελος Παπαπέτρου

Τα Delay Tolerant Networks (DTNs) έχουν λάβει σημαντικές διαστάσεις στην καθημερινή ζωή. Οι συνδέσεις σε ένα DTN παρέχονται προσωρινά και δεν έχουν μόνιμο χαρακτήρα. Οι διαμερίσεις του δικτύου λοιπόν είναι συχνό φαινόμενο διαταράσσοντας με αυτόν τον τρόπο το μονοπάτι από την πηγή προς τον προορισμό. Συνεχόμενη διαδρομή από άκρο σε άκρο του δικτύου δεν παρέχεται. Οι συνδέσεις όταν διέπονται μάλιστα και από πλήρη στοχαστικότητα τότε γίνεται λόγος για μια «ειδική» κατηγορία των DTNs που ονομάζονται Opportunistic Networks. Στα Opportunistic Networks παρομοίως με τα DTNs δεν παρέχεται μόνιμη συνδεσιμότητα αλλά επιπλέον χαρακτηρίζονται από τυχαιότητα όσο αφορά την εμφάνιση ή απουσία των συνδέσεων.

Το βασικό πρόβλημα που επισημαίνεται πέρα από τις υψηλές καθυστερήσεις είναι η απουσία αξιόπιστης διακίνησης καθώς και παράδοσης των δεδομένων στους προορισμούς τους. Μεγάλο μέρος της επιστημονικής μελέτης έχει ασχοληθεί με την εύρεση αλγόριθμων δρομολόγησης που ανταπεξέρχονται στις αντιξοότητες των DTNs και ειδικευμένα των Opportunistic Δικτύων. Μια κατεύθυνση σε αυτή τη μελέτη επικεντρώνεται στη σχεδίαση αποδοτικών αλγόριθμων από τη σκοπιά της Κοινωνικής Δικτύωσης. Ο όρος της Κοινωνικής Δικτύωσης αναφέρεται στην προσπάθεια συσχέτισης των ανθρώπινων κοινωνικών επαφών με τις επαφές (συνδέσεις) των κόμβων ενός δικτύου. Η επίδραση της Κοινωνικής Δικτύωσης στη δρομολόγηση δεδομένων σε DTNs μελετάται στην παρούσα διατριβή. Η μία πρόταση

της διατριβής, ο αλγόριθμος LBet-SIM, επικεντρώνεται στο σχεδιασμό αποδοτικού μηχανισμού δρομολόγησης κάνοντας χρήση δύο διαφορετικών μετρικών Κοινωνικής Δικτύωσης. Οι μετρικές Κοινωνικής Δικτύωσης αποτελούν κριτήρια αξιολόγησης της σημαντικότητας της θέσης ενός κόμβου μέσα σε ένα δίκτυο και προκύπτουν από τις επαφές που αναπτύσσουν οι κόμβοι μεταξύ τους. Επίσης χρησιμοποιείται η ιδέα του παράθυρου ιστορίας για την ανανέωση των επαφών. Ο επαναπροσδιορισμός και η εισαγωγή νέων μετρικών Κοινωνικής Δικτύωσης είναι ο δεύτερος στόχος της διατριβής. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος LB-SIM εφαρμόζει την παραπάνω λογική, με σκοπό να αξιολογηθεί και η συμπεριφορά διαφορετικών μετρικών από τις ήδη υπάρχουσες. Οι αλγόριθμοι που παρουσιάζονται, επιτυγχάνουν σημαντικά βελτιωμένη απόδοση σε σύγκριση με τους μέχρι τώρα αλγόριθμους που έχουν προταθεί. Παρέχουν αξιοπιστία στη διακίνηση και τελική παράδοση των δεδομένων σε συνθήκες που η επικοινωνία από άκρο σε άκρο απουσιάζει.

EXTENDED ABSTRACT IN ENGLISH

Maxaira Eirini K. MSc, Computer Science Department of Ioannina, Greece. July 2010. Routing with Social Metrics in Wireless Networks.

Thesis Supervisor: Euaggelos Papapetrou.

Delay Tolerant Networks (DTNs) have received an increasing popularity over the last years due to their realistic communication paradigm. In a DTN, each mobile node may experience temporary communication links with other mobile nodes. However, the overall network is usually partitioned and the connectivity between a source and a destination is not guaranteed. The inconsistencies of end-to-end communication usually cause serious delay in delivering data. This type of networks is appealing because it fits well in the scenario of a mobile user roaming in a city and experiencing “islands” of connectivity, either by coming into range of networking infrastructure or by encountering other mobile users. In this dissertation, we focus on a special case of DTNs, known as Opportunistic Networks. In opportunistic networks the communication links become available in a totally *stochastic* manner. From the network point of view, opportunistic networks can be seen as a generalization of MANETs. However, in the case of opportunistic networks, network partitions are frequent and there is no guarantee of end-to-end connectivity.

The routing problem in opportunistic networks involves not only the long delays experienced but also the reliability of end-to-end communication and the efficiency of resource management. Each mobile node should identify the communication link that is suitable for delivering the data to the destination without having knowledge about the path to the destination. Various approaches have been proposed in the literature so far. We focus on a newly proposed approach, known as *social-based routing*. In this approach, the routing mechanism builds a social network (a network that maps human

social contacts) based on the encounters of each mobile node and exploits social network theory in order to route data to the destination. BubbleRap [3] and SimBet [8] are the most representative algorithms of this category.

In this dissertation, we propose a novel social-based routing algorithm for opportunistic networks, called LBet-SIM. LBet-SIM adopts the basic mechanisms of SimBet, however it introduces a different approach regarding routing. More specifically, in LBet-SIM, the ability of a mobile node to deliver data to the destination is evaluated in two steps on the basis of similarity and ego betweenness. In LBet-SIM, the definition of similarity is changed in order to avoid certain inefficiencies identified in SimBet. Finally, LBet-SIM incorporates the concept of *history window* in order to evaluate the freshness of the encounters of a mobile node. Then, we introduce a variation of LBet-SIM, called LB-SIM. The later inherits the mechanisms of LBet-SIM, however, it exploits localized bridging centrality (LBC) for identifying bridging nodes. Both algorithms are evaluated through an extensive simulation study and are found to outperform SimBet.

The introduction and redefinition of Social Networking metrics is the second goal of this thesis. The suggested LB-SIM algorithm applies the above logic, with the intention to evaluate current metric behavior and compare with revised ones. Presented algorithms achieve improved performance versus current algorithms by providing reliable transport and data delivery, in conditions where end-to-end communications is absent.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ασύρματη Δικτύωση και Ανεκτικά σε Καθυστέρηση Δίκτυα

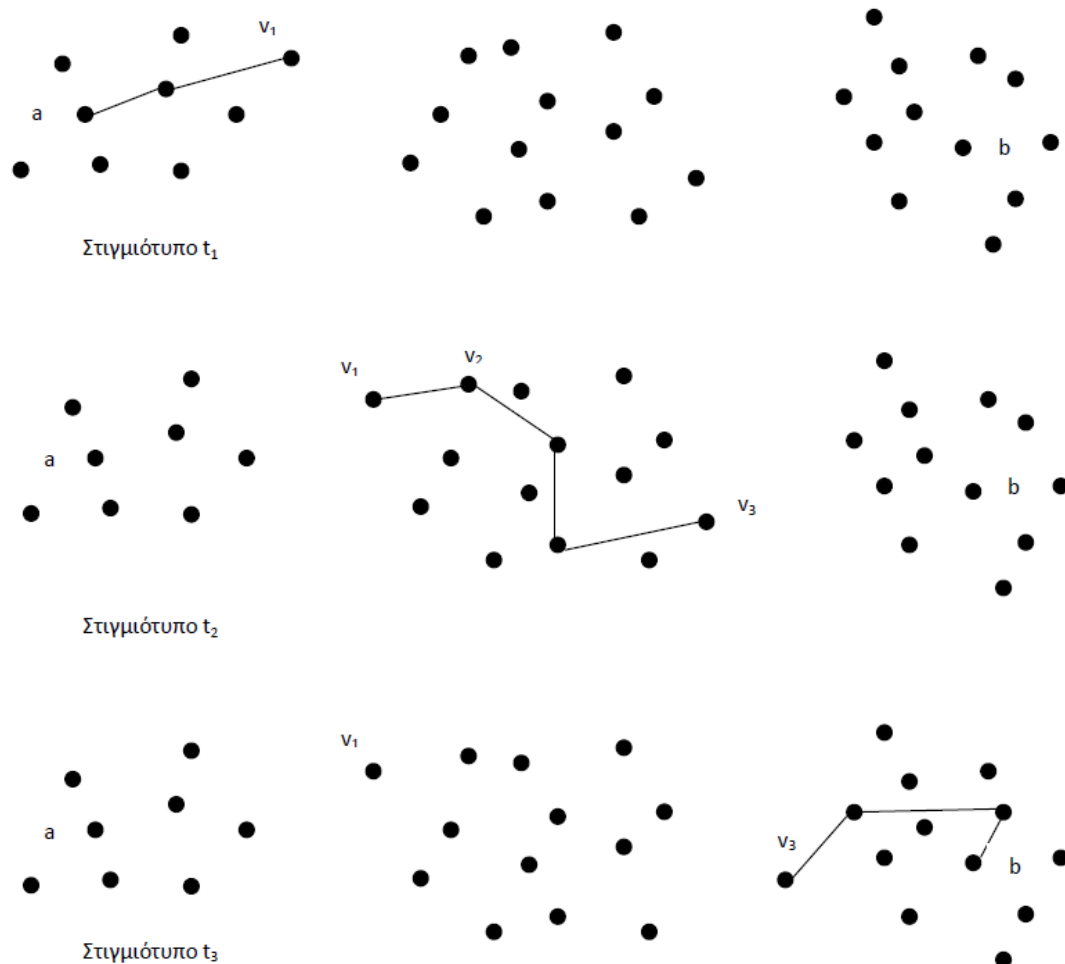
1.2 Αντικείμενο της Διατριβής

1.3 Διάρθρωση της Διατριβής

1.1. Ασύρματη Δικτύωση και Ανεκτικά σε Καθυστέρηση Δίκτυα

Ο τομέας των ασύρματων δικτύων είναι ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους κλάδους των τηλεπικοινωνιών και αποτελεί έναν τομέα πρόσφορο για έρευνα. Οι εφαρμογές των ασύρματων δικτύων έχουν μεγάλο εύρος σε πολλούς τομείς της καθημερινότητας μας, από την ασύρματη σύνδεση του χρήστη με το διαδίκτυο μέχρι το ασύρματο δίκτυο μιας ολόκληρης πόλης. Επιπλέον, η χρήση όλο και περισσότερων ασύρματων συσκευών όπως, φορητοί υπολογιστές, υπολογιστές παλάμης, κινητά τηλέφωνα κ.α., κάνουν ακόμη πιο επιτακτική τη χρήση ασύρματων δικτύων. Στη στοίβα πρωτοκόλλων 802.11 ανήκουν οι διαφορετικοί τύποι ασύρματων δικτύων. Το υποεπίπεδο Ελέγχου Προσπέλασης Μέσων (MAC), είναι κοινό για όλες τις διαφορετικές μορφές ασύρματης δικτύωσης ενώ αυτό που διαφοροποιείται είναι το ίδιο το φυσικό μέσο. Τα ασύρματα δίκτυα αποκτούν πρόβλημα στην εσωτερική τους επικοινωνία αν η περιοχή κίνησης των κόμβων που τα απαρτίζουν διευρύνεται σε μεγάλο βαθμό. Οι κόμβοι είναι πιθανό να μη βρίσκονται τόσο συχνά μέσα στην εμβέλεια άλλων κόμβων, ακριβώς επειδή όλοι εκπέμπουν σε περιορισμένη ακτίνα. Έτσι λοιπόν τα ασύρματα δίκτυα μεταπίπτουν σε μια γενικότερη μορφή δικτύων που μπορούν και ανταπεξέρχονται καλύτερα σε αυτά τα κενά επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων. Τα δίκτυα για τα οποία γίνεται λόγος ονομάζονται Ανεκτικά σε Καθυστέρηση Δίκτυα (Delay Tolerant Networks - DTNs) [24, 4], τα οποία θεωρούνται προέκταση των ασύρματης δικτύωσης. Τα DTNs

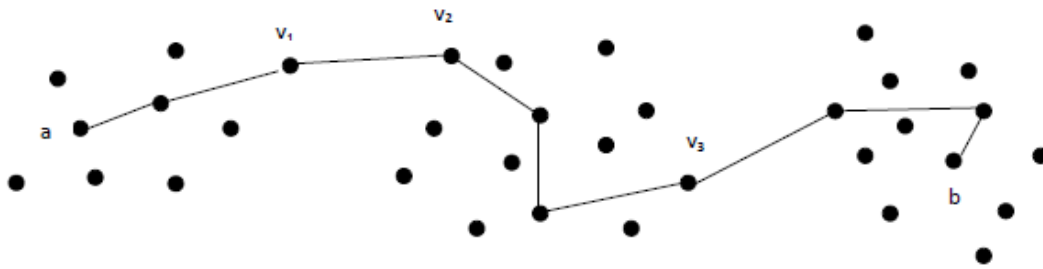
συνιστούν ένα σύστημα κινούμενων κόμβων, οι οποίοι δρουν σε ευρεία περιοχή ξεφεύγοντας από στενούς γεωγραφικούς περιορισμούς. Επίσης, αυτοί οι κόμβοι χαρακτηρίζονται από συχνή απουσία της μεταξύ τους συνδεσιμότητας. Όσο αφορά το πρώτο γνώρισμα των DTNs, κάποιος κινούμενος κόμβος δεν περιορίζεται σε ένα μόνο τοπικό ασύρματο δίκτυο, αλλά μπορεί να είναι μέλος και άλλων διαφορετικών δικτύων, που συναντά στη διαδρομή του καθώς κινείται. Επομένως τα DTNs είναι ένα υπερσύνολο των ασύρματων δικτύων, τα οποία μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την τοπολογία, το μέγεθος, την έκταση στην οποία αναπτύσσονται, τη συχνότητα στην οποία εκπέμπουν καθώς και σε άλλα χαρακτηριστικά. Ετερογενή λοιπόν δίκτυα συνδυάζονται, ώστε να αποτελέσουν ένα μεγαλύτερο που φέρει την ονομασία DTN. Το δεύτερο κύριο ζήτημα που προκύπτει με τα DTNs είναι η έλλειψη συνεχόμενης επικοινωνίας από το ένα άκρο του δικτύου στο άλλο, γεγονός που δικαιολογείται από τη μεγάλη κινητικότητα που παρουσιάζουν οι κόμβοι. Μπορεί λοιπόν σε κάποιο στιγμιότυπο του δικτύου να μην υφίσταται μονοπάτι από έναν κόμβο προς κάποιον άλλο, αλλά τμήματα αυτού του μονοπατιού μπορεί να εμφανίζονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Σε αυτήν την ιδιότητα στηρίζεται και η διακίνηση των πληροφοριών μέσα σε ένα DTN. Αν δεν υπάρχει διαδρομή προς τον προορισμό τη στιγμή που ο κόμβος πηγή θέλει να στείλει τα δεδομένα, η διαδικασία τότε γίνεται σταδιακά. Ο προορισμός προσεγγίζεται κάθε φορά με ενδιάμεσους κόμβους οι οποίοι μεταφέρουν την πληροφορία και έτσι σταδιακά τα δεδομένα κινούνται προς την επιθυμητή κατεύθυνση μέσω των συνδέσεων που είναι διαθέσιμες κάθε στιγμή. Αν λοιπόν παρατεθούν σε σειρά τα τμήματα του δικτύου που ήταν ενεργά (είχαν συνδεσιμότητα) σε διαφορετικά στιγμιότυπα, το αποτέλεσμα θα είναι η ανάκτηση ολόκληρου του μονοπατιού από την πηγή μέχρι τον προορισμό. Με το Σχήμα 1.1 γίνεται κατανοητή η παραπάνω διαδικασία. Η πηγή είναι ο κόμβος a και ο προορισμός ο κόμβος b. Δεν υπάρχει εμφανές μονοπάτι που να τους συνδέει οπότε τα δεδομένα προωθούνται σταδιακά από ενδιάμεσους κόμβους. Στο πρώτο στιγμιότυπο (t_1) ο κόμβος v_1 ως ο καταλληλότερος από όλους, λαμβάνει την πληροφορία που ξεκίνησε από την πηγή. Στη συνέχεια όμως δεν έχει στην εμβέλειά του κάποιο άλλο κόμβο καλύτερο από αυτόν για να τη στείλει, οπότε και τη διατηρεί. Σε επόμενο στιγμιότυπο t_2 , ο κόμβος v_1 καθώς κινείται έρχεται σε επικοινωνία με νέους κόμβους και βρίσκει κάποιον καλύτερο από αυτόν ο οποίος έχει περισσότερες πιθανότητες να συναντήσει τον προορισμό.



Σχήμα 1. 1 Στιγμιότυπα Μετάδοσης Πληροφορίας σε ένα DTN.

Αυτομάτως προωθεί τα δεδομένα στον v_2 και για άλλη μια φορά αυτά ακολουθούν διαδρομή προς τον καταλληλότερο κόμβο. Πράγματι, ο κόμβος v_3 είναι ο τελικός παραλήπτης σε αυτή τη φάση. Τέλος στο στιγμιότυπο t_3 ο v_3 με τη σειρά του προωθεί την πληροφορία και ύστερα από κάποια άλματα τα δεδομένα βρίσκουν εν τέλει τον προορισμό τους. Με την ανάλυση του παραπάνω σχήματος γίνεται αντιληπτό ότι ένα DTN δεν εγγυάται πλήρη συνδεσιμότητα από άκρο σε άκρο μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Παρόλα αυτά, η πλήρης επικοινωνία μπορεί να επιτευχθεί τμηματικά. Σε διαφορετικές χρονικές στιγμές εμφανίζεται συνδεσιμότητα σε διαφορετικά μέρη του δικτύου, και έτσι συνολικά εξασφαλίζεται η επικοινωνία από άκρο σε άκρο μέσα στο δίκτυο (Σχήμα 1.2). Το παράδειγμα ενός χρήστη που κινείται

μέσα σε μια πόλη και συναντά κάθε φορά διαφορετικά ασύρματα δίκτυα είναι αντιπροσωπευτικό της λειτουργίας ενός DTN.



Σχήμα 1. 2 Συνολική Διαδρομή ως Άθροισμα των Επιμέρους Μονοπατιών που Εμφανίστηκαν σε Διαφορετικά Στιγμιότυπα μέσα στο DTN.

Ειδικότερα, ο χρήστης μπορεί αρχικά να χρησιμοποιήσει το GPS του αυτοκινήτου του για να εντοπίσει τον δρόμο από τον οποίο θα εισέλθει στο κέντρο της πόλης. Στη συνέχεια, προσπαθεί να στείλει κάποια μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου για τη δουλειά του, μέσω του φορητού υπολογιστή του, ο οποίος έχει συνδεθεί με το ασύρματο δίκτυο του κέντρου της πόλης στο οποίο βρίσκεται. Καθώς όμως συνεχίζει να κινείται, εξέρχεται από το τοπικό ασύρματο δίκτυο και συνδέεται με αυτό της καφετέριας στην οποία συνάντησε τους φίλους του. Εκεί εκμεταλλεύεται την ασύρματη δικτύωση που παρέχει ο χώρος και με τα κινητά τηλέφωνα μοιράζεται υλικό μαζί τους. Με αυτό το παράδειγμα που πηγάζει από την καθημερινότητα, παρουσιάζεται σε γενικές γραμμές η μορφή ενός DTN και τα βασικά χαρακτηριστικά του. Συνοψίζοντας, πρόκειται για ένα συνδυασμό ποικίλων ασύρματων συστημάτων που μπορούν να παρέχουν επικοινωνία, ακόμη και όταν παρουσιάζονται συχνά κενά συνδεσιμότητας, μεταξύ των επιμέρους ασύρματων δικτύων και κόμβων. Τα DTNs παρουσιάζονται τόσο σε καθημερινά περιβάλλοντα, όπως στο προηγούμενο παράδειγμα μέσα σε μια πόλη, όσο και σε ακραίους χώρους όπως: διαστημόπλοια, στρατιωτικές περιοχές, περιοχές καταστροφών, υποθαλάσσιους χώρους κ.α.

Μελετώντας τη λειτουργία των DTNs διεξοδικά, προκύπτει η ακόλουθη σκέψη. Παρά τις απεριόριστες δυνατότητες που προσφέρουν στην κίνηση των χρηστών τους, καθώς και στο εύρος των δικτύων στα οποία οι ίδιοι μπορούν να συμμετέχουν, ωστόσο έχουν κάποια χαρακτηριστικά που τους προσδίδουν προβλέψιμο χαρακτήρα.

Για παράδειγμα η χρονική στιγμή σύνδεσης με ένα δορυφόρο μπορεί να υπολογιστεί και να γίνει γνωστή. Ακόμη τα DTNs μπορούν να υποστηρίξουν και τη λειτουργία ασύρματων δικτύων που διαθέτουν εν μέρει σταθερή υποδομή (infrastructure). Για παράδειγμα η ασύρματη δικτύωση ενός κτιρίου μπορεί να στηρίζεται στην ύπαρξη κάποιου υπολογιστή που δρα ως gateway και συνδέεται ενσύρματα με το Διαδίκτυο. Η παρουσία και κάποιων infrastructure δικτύων ως μέρος των DTNs, προσδίδει εγγύηση για την ύπαρξη συνδεσιμότητας. Ακόμη εξασφαλίζεται με αυτόν τον τρόπο και η γνώση της τοπολογικής διαμόρφωσης του δικτύου. Αντίθετα τώρα, όταν δεν παρέχεται καμία τέτοια πληροφορία και όταν οι συνδέσεις διέπονται από πλήρη τυχαιότητα, τότε γίνεται λόγος για τα Opportunistic Networks [17]. Τα Opportunistic Networks κατά μια έννοια αποτελούν «ειδική κατηγορία» των DTNs. Από τη σκοπιά ότι οι συνδέσεις στα DTNs χαρακτηρίζονται και από πλήρη γνώση αλλά και από τυχαιότητα, ο ισχυρισμός που προκύπτει είναι ότι τα Opportunistic Networks ανήκουν στα DTNs ακριβώς επειδή οι συνδέσεις σε αυτά είναι μόνο στοχαστικές και δεν μπορούν να προβλεφθούν. Στο υπόλοιπο της διατριβής η αναφορά στα Opportunistic Networks μπορεί να γίνεται και με τον όρο DTNs. Στα Opportunistic Networks οι δίαυλοι επικοινωνίας προκύπτουν αυθόρμητα και τελείως στοχαστικά, με αποτέλεσμα όταν δοθεί η ευκαιρία σε κάποιο χρήστη αυτός να μεταδώσει αμέσως τα δεδομένα που μεταφέρει [2, 1]. Το μονοπάτι προς τον κόμβο προορισμό δεν είναι διαθέσιμο κάθε στιγμή, αλλά τμήματά του εμφανίζονται ασύγχρονα μέσα στο δίκτυο και σε διαφορετικά στιγμιότυπα. Οπότε κάθε κόμβος πρέπει να εκμεταλλευτεί με τον καλύτερο τρόπο την ευκαιρία που του δίνεται κάθε φορά για να προωθήσει τα δεδομένα. Οι χρήστες που συμμετέχουν σε ένα Opportunistic Network είναι ασύρματα συνδεδεμένοι μεταξύ τους και κινούνται διαρκώς σε τυχαία κατεύθυνση χωρίς να υπόκεινται σε κάποιου είδους σταθερή υποδομή. Καθένας από τους κόμβους όσον αφορά τη διαχείριση των πακέτων του δικτύου, μπορεί να διαδραματίσει κάθε χρονική στιγμή είτε το ρόλο της πηγής (source), είτε του προορισμού (destination), είτε τέλος το ρόλο του δρομολογητή (router). Η έλλειψη κάποιου κεντρικού διαχειριστή δικαιολογείται ακριβώς από το γεγονός ότι κάθε κόμβος μπορεί να προωθήσει όποιο πακέτο θα φτάσει σε αυτόν, και αυτό με τη σειρά του ακολουθώντας πολλά βήματα, να φτάσει στον προορισμό του. Η τεχνική που υιοθετούν οι κόμβοι-δρομολογητές ενός DTN είναι η store-carry and forward (SCF). Οι τρεις επιμέρους λειτουργίες της αναλύονται ως εξής:

- store: κάθε κόμβος πρέπει να αποθηκεύει τα δεδομένα του τοπικά και συγκεκριμένα στον αποθηκευτικό χώρο της ασύρματης συσκευής που μεταφέρει.
- carry: την πληροφορία που διαθέτει οφείλει να τη μεταφέρει μαζί του καθώς κινείται.
- forward: όταν δοθεί η ευκαιρία προωθεί τα δεδομένα σε γειτονική συσκευή με βάση το αντίστοιχο πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται.

Προτιμάται όλοι οι κόμβοι ενός DTN να συμπεριφέρονται όπως ορίζει αυτή η τεχνική, διότι καθένας τους λειτουργεί ως δρομολογητής οποιαδήποτε στιγμή μέσα στο δίκτυο. Ο ίδιος αποφασίζει αν θα προωθήσει ή θα κρατήσει τα πακέτα που έχει λάβει, εκμεταλλευόμενος μόνο την τοπική πληροφορία που διαθέτει. Δεν έχει καμία γενική γνώση του δικτύου και έτσι δεν είναι σε θέση να επιλέξει τον καταλληλότερο κόμβο προς προώθηση, από όλο το σύνολο των κόμβων που συμμετέχουν στο DTN, αλλά μόνο από το σύνολο που αποτελεί τη γειτονιά του. Βασιζόμενος σε αυτή και μόνο την πληροφορία, ο κόμβος κατ' εντολή (on demand), αποφασίζει αν πρέπει να λειτουργήσει ως δρομολογητής ή όχι. Υπάρχουν συγκεκριμένα κριτήρια υπεύθυνα για αυτή την απόφαση και θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο. Οι κόμβοι χρησιμοποιούν την τεχνική store-carry-forward, διότι η ίδια η φύση του DTN επιβάλλει κάτι τέτοιο. Η τοπολογική μορφή ενός DTN είναι συνεχώς μεταβαλλόμενη στο χρόνο και μπορεί να παρουσιάσει σημαντικές αλλαγές, όπως είναι οι διαμερίσεις που επηρεάζουν αρνητικά τη συνολική επικοινωνία του δικτύου. Υπό αυτές τις συνθήκες, τα δεδομένα όταν ξεκινούν από τον κόμβο πηγή, η διαδρομή που θα ακολουθήσουν μέσα στο δίκτυο δεν καθορίζεται εξ' αρχής. Το πρόβλημα όμως που προκύπτει είναι ότι τα δεδομένα μετά από μερικά άλματα ίσως χαθούν χωρίς να φτάσουν ποτέ στον προορισμό τους. Αυτή η περίπτωση είναι αρκετά συχνή σε ένα DTN επειδή το τμήμα του δικτύου στο οποίο ανήκει ο προορισμός απομονώθηκε τελείως από το υπόλοιπο δίκτυο. Με την παραπάνω τεχνική το ζήτημα αντιμετωπίζεται επιτυχώς, διότι κάθε κόμβος μεταφέρει μαζί του τα δεδομένα καθώς κινείται μέσα στο δίκτυο και όταν του δοθεί η κατάλληλη ευκαιρία τα προωθεί. Αυτός άλλωστε είναι και ο πρωταρχικός σκοπός της δρομολόγησης σε DTN, η αύξηση της πιθανότητας να βρεθεί μια διαδρομή προς τον προορισμό χρησιμοποιώντας περιορισμένες πληροφορίες. Κάποιος θα μπορούσε να προτείνει ως

ενδεχόμενη λύση τη δημιουργία διπλότυπων πακέτων, ώστε να υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες να παραδοθούν τα δεδομένα στον προορισμό σε περίπτωση μερικής απώλειας. Η παρουσία των διπλότυπων πακέτων όμως θα προκαλούσε συμφόρηση στο δίκτυο. Για αυτό το λόγο, δεν υιοθετείται μια τέτοια τακτική στη συγκεκριμένη διατριβή και τα πακέτα δεδομένων που κυκλοφορούν μέσα στο δίκτυο είναι μοναδικά. Ένας επιπρόσθετος παράγοντας που συντελεί στη γενικότερη αποσυμφόρηση και εξοικονόμηση αποθηκευτικού χώρου, είναι η έλλειψη της τεχνικής ευρείας εκπομπής. Οι ανταλλαγές μηνυμάτων μεταξύ των κόμβων είναι όλες unicast, δηλαδή έχουν ένα μοναδικό αποστολέα και παραλήπτη. Το δίκτυο δεν πλημμυρίζει από μηνύματα και οι κόμβοι δεν κινδυνεύουν από υπερχειλίση των αποθηκευτικών χώρων. Η αποθηκευτική ικανότητα των κόμβων είναι πεπερασμένη και καταναλώνεται για τα δεδομένα που κυκλοφορούν μέσα στο δίκτυο. Συνοψίζοντας, σε ένα DTN απουσιάζει η συνεχόμενη διαδρομή από την πηγή προς τον προορισμό και αυτή ανακτάται μόνο από το άθροισμα των επιμέρους τμημάτων της που εμφανίζονται ασύγχρονα μέσα στο δίκτυο. Υπό αυτές τις συνθήκες οι κόμβοι ενός DTN δρουν ως δρομολογητές. Μεταφέρουν συνέχεια μαζί τους τα δεδομένα που λαμβάνουν από άλλους κόμβους και τα προωθούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο όταν τους προσφέρεται ευκαριακά η συνδεσιμότητα.

1.2. Αντικείμενο της Διατριβής

Το πρόβλημα όπως αναφέρθηκε με τα DTNs είναι η ύπαρξη διακοπτόμενης επικοινωνίας που είναι ικανή να καταστήσει ανέφικτη τη σύνδεση του δικτύου από άκρο σε άκρο. Όταν μάλιστα δεν υφίσταται και κανένας γεωγραφικός περιορισμός στην κινητικότητα των κόμβων είναι αναμενόμενες και οι διαμερίσεις του δικτύου. Με τον όρο διαμέριση, περιγράφεται η κατάσταση του δικτύου όταν κάποιο τμήμα του απομονώνεται από το υπόλοιπο δίκτυο και παύει κάθε είδος επικοινωνίας με αυτό. Σε ένα τέτοιο δίκτυο η δρομολόγηση των δεδομένων συναντά μεγάλο πρόβλημα. Αυτό συμβαίνει διότι, δεν εξασφαλίζεται η συνεκτικότητα του δικτύου. Κάθε ζεύγος κόμβων ανά πάσα στιγμή μπορεί να μη συνδέεται με κάποιο μονοπάτι και έτσι η δρομολόγηση των δεδομένων να καθίσταται αδύνατη. Επομένως το πρόβλημα της δρομολόγησης ορίζεται ως η εύρεση κατάλληλων παροδικών συνδέσεων, με σκοπό τη μεγιστοποίηση της πιθανότητας επιτυχούς παράδοσης των

δεδομένων στους προορισμούς τους. Γίνεται αντιληπτή λοιπόν η ανάγκη για εύρεση αλγόριθμων δρομολόγησης που να προσαρμόζονται στις συνθήκες ενός DTN. Οι σχεδιαστικές προσεγγίσεις που αφορούν τη δρομολόγηση και έχουν προταθεί έως τώρα, ποικίλουν και κατανέμονται σε μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται στους ντετερμινιστικούς αλγόριθμους [25, 14, 7, 10]. Αυτή η προσέγγιση προϋποθέτει γνώση της μελλοντικής κίνησης των κόμβων, καθώς και της τοπολογίας του δικτύου έτσι όπως διαμορφώνεται με την πάροδο του χρόνου. Μια προσέγγιση όχι τόσο αποδοτική σε DTNs. Το πρόβλημα αυτό έρχεται να αντιμετωπίσει μια δεύτερη κατηγορία αλγόριθμων που βασίζεται στη στοχαστική προσέγγιση. Σε αυτόν τον τομέα της στοχαστικής ή δυναμικής προσέγγισης εμπίπτουν και άλλες υποκατηγορίες. Το σύνολο των αλγόριθμων που αντιστοιχίζονται σε αυτές τις ομάδες διαμορφώνεται σύμφωνα με την τυχαιότητα του δικτύου. Έχουν προταθεί αλγόριθμοι που προωθούν τα δεδομένα χωρίς κανένα κριτήριο με απλή ευρεία εκπομπή [23, 21]. Κάποιοι άλλοι που κάνουν χρήση της ιστορίας των επαφών που διατηρεί κάθε κόμβος και προτείνουν τεχνικές μετάδοσης που στηρίζονται στον υπολογισμό είτε κάποιας πιθανότητας [12], είτε κάποιας προτεραιότητας [18]. Επιπροσθέτως, μια άλλη κατηγορία αλγόριθμων στηρίζεται σε σενάρια κίνησης των κόμβων προκειμένου να κατευθύνει τα δεδομένα στον κατάλληλο κόμβο και εν τέλει στον προορισμό. Η κατηγορία στην οποία ανήκει ο προτεινόμενος αλγόριθμος στηρίζεται σε διαφοροποιημένο υπόβαθρο πληροφοριών και ακολουθεί άλλη τακτική ως προς τη δρομολόγηση. Ειδικότερα, προσεγγίζει το θέμα από τη σκοπιά της Κοινωνικής Δικτύωσης και χρησιμοποιεί στοιχεία που πηγάζουν από αυτόν τον τομέα. Η Κοινωνική Δικτύωση χαρακτηρίζει πολλές πτυχές της ανθρώπινης καθημερινότητας. Η χρήση ασύρματων φορητών συσκευών (laptops, smartphones, PDAs) φέρνει σε επαφή ανθρώπους που συνδέονται με διαφόρων τύπων κοινωνικές σχέσεις, όπως μπορεί να είναι φίλοι, συνάδελφοι, να έχουν κοινά ενδιαφέροντα, δραστηριότητες κ.α. Οι πιο αντιπροσωπευτικοί αλγόριθμοι Κοινωνικής Δικτύωσης που έχουν προταθεί είναι ο SimBet [3] και ο Bubble Rap [8]. Οι αλγόριθμοι που προτείνονται στην παρούσα διατριβή ανήκουν σε αυτή την κατηγορία αλγόριθμων δρομολόγησης. Οι προτάσεις ονομάζονται LBet-SIM και LB-SIM. Γενικός στόχος της διατριβής είναι να αντιμετωπιστεί το σημαντικό πρόβλημα που δημιουργεί στην παράδοση των πακέτων, η διακοπτόμενη συνδεσιμότητα ενός DTN. Για αυτό το σκοπό επιστρατεύονται μετρικές από το χώρο της Κοινωνικής Δικτύωσης, προκειμένου να

χρησιμοποιηθούν ως κριτήριο επιλογής αξιόπιστων κόμβων για την παράδοση των δεδομένων στους προορισμούς τους. Έτσι λοιπόν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής οι επιμέρους στόχοι που επιτεύχθηκαν ήταν:

- Επιλογή του καλύτερου κόμβου (προς προώθηση δεδομένων), με τη «διακριτή» χρήση δύο μετρικών Κοινωνικής Δικτύωσης.
- Ο επαναπροσδιορισμός και η εισαγωγή νέων μετρικών Κοινωνικής Δικτύωσης.
- Η εισαγωγή ενός χρονικού παραθύρου (history window) για τη διαχείριση των επαφών.

Στα πλαίσια υλοποίησής τους προτείνεται νέα τεχνική μετάδοσης των πακέτων, εισάγονται κάποια νέα κριτήρια προώθησης δεδομένων και το σύνολο των επαφών των κόμβων αξιοποιείται καλύτερα. Οι συνεισφορές της διατριβής είναι αρκετά σημαντικές και η συμβολή τους αναλύεται άμεσα. Εν πρώτοις, τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία κάποιος κόμβος αξιολογεί το ρόλο του ως δρομολογητή, προέρχονται από τη θεωρία της Κοινωνικής Δικτύωσης και είναι κάποιες μετρικές. Αυτές οι μετρικές είναι αναπόσπαστο κομμάτι και του SimBet αλλά και των παρόντων αλγόριθμων. Η διαφοροποίησή τους, έγκειται τόσο στο είδος των μετρικών που λαμβάνουν μέρος, όσο και στον τρόπο που εφαρμόζονται. Μια νέα μετρική Κοινωνικής Δικτύωσης εισάγεται και συνεισφέρει στην εύστοχη επιλογή του επόμενου ενδιάμεσου κόμβου που θα λειτουργήσει ως δρομολογητής των δεδομένων. Επικεντρώνοντας στον τρόπο με τον οποίο συνδυάζονται οι μετρικές, κρίνοντας από τα αποτελέσματα, πιο παραγωγικός φαίνεται να είναι αυτός που αναπτύχθηκε και υλοποιήθηκε στους παρόντες αλγόριθμους. Οι μετρικές, υπολογίζονται και δρουν ανεξάρτητα και ξεχωριστά. Αντίθετα στον αλγόριθμο SimBet, κανονικοποιούνται και συνδυάζονται γραμμικά με τη βοήθεια κάποιων παραγόντων, δίνοντας έτσι μια νέα μετρική. Οι πρωταρχικές μετρικές είναι μη συμβατές μεταξύ τους και προσδίδουν διαφορετικά χαρακτηριστικά στον κάθε κόμβο, οπότε ένας γραμμικός συνδυασμός, αλλοιώνει την πρακτική τους αξία ως μετρικές. Για αυτό το λόγο, στους LBet-SIM και LB-SIM, κάθε κόμβος διαχειρίζεται ξεχωριστά την κάθε μετρική με συγκεκριμένο τρόπο, ο οποίος γίνεται πλήρως κατανοητός σε επόμενο κεφάλαιο. Μια νέα ιδέα ως προς τον τρόπο τώρα αξιοποίησης των μετρικών επίσης προτείνεται. Το σύνολο των επαφών για κάθε κόμβο διατηρείται σε μια δομή, η οποία προσπελάζεται

όταν χρειαστεί. Με τους αλγόριθμους εισάγεται χρονικός περιορισμός ως προς την αποθήκευση τους. Δηλαδή κάθε κόμβος διατηρεί στη δομή του όσες επαφές έχει δει το τελευταίο χρονικό διάστημα. Μια τέτοια διαδικασία κρατάει τις επαφές σύγχρονες και συνεκτικές μεταξύ τους πάντα ως προς το χρόνο. Η συνολική προσφορά των αλγόριθμων μέχρι εδώ περιγράφηκε με συνοπτική διαδικασία, αλλά η συμβολή τους θα αναλυθεί περαιτέρω σε επόμενο κεφάλαιο. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζεται τη συνολική βιβλιογραφία που έχει προταθεί πάνω στον τομέα της δρομολόγησης δεδομένων σε DTNs. Παράλληλα, γίνεται μια αξιολογή προσπάθεια κατηγοριοποίησης των αλγόριθμων που έχουν προταθεί έως τώρα.

1.3. Διάρθρωση της Διατριβής

Η διατριβή διαρθρώνεται με τον ακόλουθο τρόπο. Στο 2^ο Κεφάλαιο γίνεται μια γενική κατηγοριοποίηση των αλγόριθμων δρομολόγησης που έχουν προταθεί από την επιστημονική κοινότητα και αφορούν την αντιμετώπιση του προβλήματος της δρομολόγησης σε DTNs. Στα πλαίσια του 3^{ου} Κεφαλαίου αρχικά, γίνεται μια εισαγωγή στην περιγραφή των κοινωνικών σχέσεων και πως αυτές μπορούν να αποδοθούν με τη μορφή ενός κοινωνικού γράφου. Ακολουθώντας, παρουσιάζονται βασικές έννοιες της Κοινωνικής Δικτύωσης και περιγράφεται αναλυτικά η μορφή και η σημασία τους. Στη συνέχεια υπάρχει συσχέτιση των μετρικών Κοινωνικής Δικτύωσης με το μηχανισμό της δρομολόγησης και παραθέτονται οι πιο αντιπροσωπευτικοί αλγόριθμοι. Στο 4^ο Κεφάλαιο η παρουσίαση εμβαθύνει και αναλύονται λεπτομερώς οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι καθώς και οι σχεδιαστικές προσεγγίσεις που ακολουθήθηκαν. Τέλος, στο 5^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα της συνολικής εργασίας που έχει επιτελεσθεί στα πλαίσια αυτής της διατριβής. Τα αποτελέσματα συνοδεύονται από κριτική ανάλυση και αξιολόγηση. Στο τελευταίο Κεφάλαιο ολοκληρώνεται η διατριβή με συμπεράσματα που προκύπτουν.

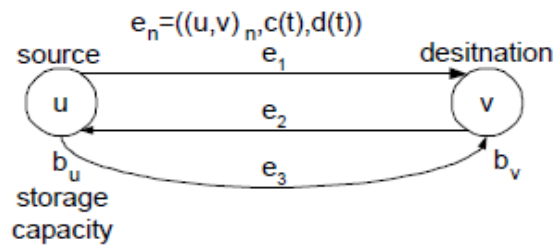
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 2.1 Περιγραφή Μοντέλου ενός DTN
 - 2.2 Κατηγοριοποίηση Αλγόριθμων Δρομολόγησης σε DTNs
-

2.1. Περιγραφή Μοντέλου ενός DTN

Ένα DTN μπορεί να απεικονισθεί με τη χρήση ενός κατευθυνόμενου multi-graph. Το σύνολο των κορυφών συνιστούν το σύνολο των κόμβων στο δίκτυο και το σύνολο των ακμών δηλώνουν την ύπαρξη σύνδεσης (link) μεταξύ δύο κόμβων. Χαρακτηριστικό ενός multi-graph είναι η αντιστοίχιση περισσότερων της μιας ακμής, στη σύνδεση ενός ζεύγους κόμβων. Και ο λόγος που προτιμάται αυτού του είδους ο γράφος είναι απλός. Στα DTNs διαφορετικά είδη ασύρματων δικτύων εμπλέκονται, οπότε υπάρχει το ενδεχόμενο να διακινηθεί πληροφορία ανάμεσα σε δύο κόμβους μέσω διαφορετικών τύπων καναλιών σύνδεσης. Η απόδοση ενός DTN με τη μορφή ενός multi-graph γίνεται για να τονιστεί η ιδιότητα του δικτύου, που είναι ο συνδυασμός πολλών διαφορετικών φυσικών μέσων και κατ' επέκταση πρωτοκόλλων. Οπότε, κάθε ακμή εξυπηρετεί την απεικόνιση της φυσικής σύνδεσης μεταξύ των ασύρματων δικτύων. Κάποια βασικά χαρακτηριστικά συνοδεύουν το γράφο και κυρίως τις ακμές του. Κάθε ακμή λοιπόν, φέρει βάρος το οποίο προσδίδει διακριτικά χαρακτηριστικά σε αυτήν. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο Σχήμα 2.1, το βάρος είναι παραμετροποιημένο ως προς κάποιους παράγοντες. Τα άκρα της ακμής, η πηγή δηλαδή και ο προορισμός, η χωρητικότητα της σύνδεσης, τα bits δηλαδή πληροφορίας που είναι ικανή να μεταφέρει, καθώς και η καθυστέρηση διάδοσης, όλα μαζί χαρακτηρίζουν την κάθε ακμή του γράφου. Επίσης κάθε κόμβος επειδή ακολουθεί την τακτική store-carry and forward, διαθέτει περιορισμένο

αποθηκευτικό χώρο για τα δεδομένα που λαμβάνει κάθε φορά και καλείται να προωθήσει.



Σχήμα 2.1 Κάθε Ακμή e_i Χαρακτηρίζεται από την Πηγή (u), τον Προορισμό (v), τη Χωρητικότητα $c(t)$ και την Καθυστέρηση $d(t)$.

Το μέγεθος αυτό είναι το Σχήμα 2.1 το $b(u)$. Ένα πακέτο μπορεί να χρειαστεί να παραμείνει σε κάποιον ενδιάμεσο κόμβο για μεγάλο χρονικό διάστημα, επειδή η σύνδεση με τον προορισμό ή έστω με κάποιον άλλο ενδιάμεσο δεν είναι εφικτή. Οι δυνατότητες αποθήκευσης των κόμβων πρέπει να είναι ικανές να ανταπεξέλθουν της μεγάλης ποσότητας δεδομένων που θα πρέπει να παραμείνουν στάσιμα χωρίς να μεταδίδονται για κάποιο χρονικό διάστημα.

2.2. Κατηγοριοποίηση Αλγόριθμων Δρομολόγησης σε DTNs

Τα κύρια γνωρίσματα των DTNs είναι οι συχνές διακοπές της συνδεσιμότητας, οι μεγάλες καθυστερήσεις στην μετάδοση των δεδομένων, καθώς και οι ευκαιριακές συνδέσεις μεταξύ των κόμβων. Γνωρίσματα που καθιστούν δύσκολη τη δρομολόγηση των πακέτων μέσα στο δίκτυο. Οι αλγόριθμοι που καλούνται να αντιμετωπίσουν αυτές τις σύνθετες και προβληματικές συνθήκες, οφείλουν να έχουν αρκετά αποδοτικό κριτήριο, για την επιλογή του κατάλληλου κόμβου, ο οποίος θα έχει και τις περισσότερες πιθανότητες να βρει τον κόμβο προορισμό. Οι σχεδιαστικές κατευθύνσεις που ακολουθήθηκαν για τους αλγόριθμους δρομολόγησης διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο που εμφανίζονται οι συνδέσεις. Δηλαδή αν αυτές εμφανίζονται σε τυχαία χρονική στιγμή ή αν μπορούν να προβλεφθούν επηρεάζει σημαντικά τον τρόπο με τον οποίο θα αναπτυχθεί ο εκάστοτε αλγόριθμος. Σαφώς και αν μπορεί να προβλεφθεί κατά μια έννοια η κίνηση των κόμβων και επομένως και οι συνδέσεις μεταξύ τους, είναι προτιμότερο από το να μην υπάρχει καμία τέτοια γνώση. Δηλαδή

είναι πιο εύκολο να προβλεφθεί η σύνδεση με ένα δορυφόρο, ο οποίος περιστρέφεται σε σταθερή τροχιά, από το να προβλεφθεί η κίνηση ενός στρατιώτη ή ενός αυτοκινήτου. Στο πρώτο παράδειγμα η κίνηση του δορυφόρου χαρακτηρίζεται από ντετερμινισμό, ενώ του αυτοκινήτου από μερική ή ολική τυχαιότητα. Οι αλγόριθμοι που υλοποιούνται έχοντας ως εφόδιο κάποια γνώση της τοπολογίας του δικτύου, ονομάζονται ντετερμινιστικοί, ενώ αυτοί που διαχειρίζονται τελείως ευκαιριακές συνδέσεις μέσα στο δίκτυο ονομάζονται στοχαστικοί. Οι αλγόριθμοι με τους οποίους πραγματεύεται η διατριβή παίρνουν ως δεδομένα την τελείως στοχαστική κίνηση των κόμβων και την τυχαιότητα στη δημιουργία των επαφών.

2.2.1. Ντετερμινιστικοί Αλγόριθμοι

Η κύρια προϋπόθεση για την εφαρμογή και ανάπτυξη των ντετερμινιστικών αλγόριθμων είναι η τοπολογία του δικτύου να θεωρείται γνωστή ή τουλάχιστον να μπορεί να προβλεφθεί κατά την πάροδο του χρόνου. Οι προορισμοί εντοπίζονται εύκολα, και έτσι οι προωθήσεις των πακέτων μπορούν να είναι πιο επιτυχημένες. Οι ντετερμινιστικοί αλγόριθμοι διατηρούν πίνακες δρομολόγησης και το μονοπάτι ενός πακέτου προς τον τελικό παραλήπτη είναι προκαθορισμένο και γνωστό. Με την εισαγωγή της ντετερμινιστικής διαδικασίας στη μετάδοση των πακέτων, χρησιμοποιούνται κριτήρια αξιολόγησης που αφορούν όλο το εύρος του δικτύου και παρέχουν γενική πληροφορία και όχι τοπική. Μια πρώτη χαρακτηριστική περίπτωση αλγόριθμου που χρησιμοποιείται και λαμβάνει υπ' όψην του τις αλλαγές στην κίνηση και τη θέση των κόμβων στην εξέλιξη του χρόνου, βασίζεται στην κατασκευή ενός δέντρου [7]. Σε αυτόν τον αλγόριθμο υπάρχει η δυνατότητα να διατηρείται μια τέτοια δομή, ακριβώς γιατί είναι γνωστή η μελλοντική διαμόρφωση του δικτύου. Η κατασκευή ενός δέντρου απαιτεί πληροφορία που δε θα είναι ευμετάβλητη και δε θα χαρακτηρίζεται από τυχαιότητα. Ιδανική περίπτωση για έναν αλγόριθμο καθαρά ντετερμινιστικό. Η δενδρική δομή κατασκευάζεται ως εξής: κάθε κόμβος πηγή προσθέτει σταδιακά ως παιδιά του στο δέντρο τους κόμβους με τους οποίους έρχεται σε επαφή. Μαζί με την εισαγωγή τους στη δομή εισάγει παράλληλα και την τιμή του χρόνου στον οποίο τους συνάντησε. Ο κόμβος πηγή στη συνέχεια, γνωρίζοντας όλες τις πιθανές διαδρομές που οδηγούν στον προορισμό, μπορεί να επιλέξει την πιο συμφέρουσα. Με τον όρο συμφέρουσα συνήθως εννοείται εκείνη η διαδρομή με τα

λιγότερα άλματα. Μια άλλη τακτική που έχει προταθεί είναι παρόμοια με την προηγούμενη, με τη διαφορά ότι η πληροφορία για το πώς συνδέονται οι κόμβοι δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων. Οι κόμβοι στην αρχή δε γνωρίζουν την τοπολογία του δικτύου, αλλά με μηνύματα που ανταλλάσσουν μεταξύ τους, τη μαθαίνουν προοδευτικά. Αυτή η τοπική γνώση της γειτονιάς, δίνει τη δυνατότητα στους κόμβους να προωθήσουν τα πακέτα προς την επιθυμητή κατεύθυνση που είναι και αυτή που οδηγεί στον προορισμό.

2.2.2. Στοχαστικοί Αλγόριθμοι

Στη στοχαστική προσέγγιση της δρομολόγησης, σε αντίθεση με τη ντετερμινιστική, δεν παρέχεται καμία γνώση της τοπολογίας. Κανένας κόμβος δε γνωρίζει τη θέση των υπόλοιπων κόμβων μέσα στο δίκτυο παρά μόνο εκείνων που βρίσκονται εντός της εμβέλειάς του. Κάνοντας χρήση λοιπόν μόνο της τοπικής πληροφορίας για τη γειτονιά, οι κόμβοι μπορούν να εντοπίσουν τον προορισμό μόνο αν αυτός βρίσκεται σε απόσταση ενός άλματος. Τίποτα μέσα στο δίκτυο δεν είναι προκαθορισμένο οι θέσεις των κόμβων και οι κατευθύνσεις τους μεταβάλλονται δυναμικά. Η πιο απλή στοχαστική μέθοδος είναι το πρωτόκολλο Epidemic [23]. Ο στόχος του αλγόριθμου Epidemic, είναι μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, όλοι οι κόμβοι του δικτύου να διαθέτουν το συνολικό πλήθος των δεδομένων που κυκλοφορούν μέσα στο δίκτυο. Η επίτευξη αυτή προϋποθέτει τη συνεργασία των κόμβων προκειμένου τα πακέτα να διοχετευθούν σε όλο το εύρος του δικτύου και έτσι να παραδοθούν πιο εύκολα στους προορισμούς τους. Το αποτέλεσμα της δρομολόγησης του πρωτοκόλλου Epidemic μοιάζει με αυτό της πλημμύρας. Από τη στιγμή που σκοπός είναι όλοι οι κόμβοι να έχουν στη διάθεσή τους όσα περισσότερα πακέτα είναι δυνατόν προκειμένου να τα προωθήσουν σε περίπτωση που συναντήσουν τον αντίστοιχο προορισμό, ο κατακλυσμός του δικτύου από μηνύματα είναι βέβαιος. Παρόμοιες συνέπειες φέρει και η τεχνική της πλημμύρας που προκαλεί συμφόρηση στο δίκτυο. Προχωρώντας σε λεπτομέρειες της λειτουργίας του αλγόριθμου Epidemic, μεγάλη σημασία έχει η διαδικασία ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ των κόμβων. Έτσι λοιπόν, όταν δύο κόμβοι a και b συναντιούνται, ξεκινούν την παραπάνω διαδικασία που ονομάζεται anti-entropy. Ένας από τους δύο κόμβους για παράδειγμα ο a , στέλνει ένα μήνυμα (summary vector) στον κόμβο b που περιέχει πληροφορία για το ποιά πακέτα

δεδομένων διαθέτει. Στη συνέχεια ο b που έλαβε το summary vector μήνυμα, συγκρίνει τα δικά του πακέτα με την πληροφορία που έλαβε από τον κόμβο a . Όσα πακέτα του λείπουν τα ζητάει από τον κόμβο a με νέο μήνυμα. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας που μόλις περιγράφηκε είναι και οι δύο κόμβοι να αποκτήσουν πληρότητα ως προς τα δεδομένα που είναι σε θέση να μάθουν. Το κάθε πακέτο έχει ένα περιορισμένο πλήθος διαδικασιών anti-entropy στις οποίες μπορεί να συμμετέχει και είναι τόσες όσες αναγράφονται στο πεδίο του με όνομα hop count. Για παράδειγμα, μηνύματα με hop count ένα, θα μπορούν να μεταδοθούν μόνο στον προορισμό τους απευθείας. Ο χρόνος “ζωής” των μηνυμάτων δεν είναι άπειρος από τη στιγμή που κάθε κόμβος φέρει συγκεκριμένο μέγεθος αποθηκευτικού χώρου. Έτσι λοιπόν η διαδικασία που εφαρμόζεται για την ανανέωση των μηνυμάτων στο χώρο αποθήκευσης είναι η γνωστή First In First Out (FIFO) τακτική. Τα πιο παλιά πακέτα είναι αυτά που απορρίπτονται πρώτα από όλα τα υπόλοιπα πακέτα. Το πρωτόκολλο εξασφαλίζει σίγουρη παράδοση των πακέτων έχοντας ως σημαντικό μειονέκτημα βέβαια την κατανάλωση μνήμης και πόρων των κόμβων του δικτύου. Επιπλέον, η αύξηση του πλήθους των συγκρούσεων των κινούμενων πακέτων είναι ένας ακόμη ανασταλτικός παράγοντας.

Ένα άλλο πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί την τεχνική του Epidemic με κάποιες βέβαια διαφοροποιήσεις, ονομάζεται Prioritized Epidemic (PREP) [18]. Το PREP χρησιμοποιεί την απλότητα του Epidemic και διορθώνει την αδυναμία του σε δίκτυο με μεγάλο φόρτο. Τα δύο βασικά συστατικά του αλγόριθμου είναι η γνώση της τοπολογίας του δικτύου και η σειρά προτεραιότητας των πακέτων (priority scheme) που αφορά τη διαγραφή και τη μετάδοσή τους. Πιο συγκεκριμένα, κάθε σύνδεση χαρακτηρίζεται από την μετρική average availability, η οποία εκφράζει το μέσο χρόνο για τον οποίο η σύνδεση θα παραμείνει ενεργή. Αν δεν έχει χρησιμοποιηθεί για κάποιο μεγάλο χρονικό διάστημα θεωρείται “ξεχασμένη”. Όταν λοιπόν ένας κόμβος παρατηρεί κάποια αλλαγή αυτής της μετρικής σε κάποια σύνδεση με κάποιον κόμβο, ενημερώνει με την τεχνική της πλημμύρας όλους τους υπόλοιπους κόμβους με τις νέες αλλαγές. Με αυτόν τον τρόπο ανά τακτές χρονικές περιόδους ο κάθε κόμβος έχει γνώση της διαθεσιμότητας των συνδέσεων του υποδικτύου (αν όχι ολόκληρου του δικτύου) στο οποίο ανήκει. Όσο αφορά τη σειρά προτεραιότητας για τη διαγραφή των πακέτων, ισχύουν τα παρακάτω: κάθε κόμβος έχει κάποιο συγκεκριμένο μέγεθος

αποθηκευτικού χώρου, το οποίο όταν ξεπεραστεί τα μηνύματα αρχίζουν να διαγράφονται με βάση ένα χαρακτηριστικό τους. Το χαρακτηριστικό αυτό ονομάζεται σειρά προτεραιότητας διαγραφής ενός πακέτου b που προορίζεται για έναν κόμβο d ($p_d(b)$). Η τιμή αυτή εκφράζει το κόστος του συντομότερου μονοπατιού από τον προσωρινό κόμβο κάθε φορά μέχρι τον προορισμό d . Το κόστος αυτό ανανεώνεται καθώς αυξάνεται το πεδίο hop του μηνύματος για κάθε μετάδοσή του. Η διαγραφή τώρα γίνεται κατά μειωμένη προτεραιότητα $p_d(b)$. Χαμηλή προτεραιότητα έχουν τα μηνύματα με μεγάλο συντομότερο μονοπάτι. Το δεύτερο μέρος της σειράς προτεραιότητας των πακέτων αφορά τη μετάδοσή τους. Σύμφωνα με αυτή, αν κάποιοι κόμβοι δεν έχουν έρθει σε επαφή για παραπάνω από κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ανταλλάσσουν ειδικά summary vectors, ώστε να στείλουν και να λάβουν τα μηνύματα που τους λείπουν αντίστοιχα. Σε αυτή την ανταλλαγή μεταδίδονται πρώτα τα μηνύματα με μεγαλύτερη σειρά προτεραιότητας μετάδοσης.

Τη μεθοδολογία του αλγόριθμου Epidemic ενσωματώνει εν μέρει και ο αλγόριθμος Spray and Wait [20]. Αυτό το πρωτόκολλο επιτυγχάνει λιγότερες μεταδόσεις από το Epidemic και μικρότερη καθυστέρηση μετάδοσης. Ωστόσο, παραμένει αποδοτικό ακόμη και σε περιπτώσεις μεγάλης επικοινωνιακής κίνησης και φόρτου του δικτύου. Ο τρόπος με τον οποίο προωθούνται τα πακέτα χωρίζεται σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση, ο κόμβος που παράγει κάποιο πακέτο δεδομένων προωθεί L αντίγραφα αυτού στους γειτονικούς του κόμβους. Αυτοί με τη σειρά τους όταν τα λάβουν, εισέρχονται στη δεύτερη φάση που είναι η κατάσταση αναμονής. Αυτό που έχει σημασία σε αυτό το σημείο, είναι ότι οι ενδιάμεσοι κόμβοι που έλαβαν τα πακέτα δεν μπαίνουν και αυτοί στη διαδικασία προώθησης, με αποτέλεσμα να μη δημιουργείται συμφόρηση στο δίκτυο. Όταν ο προορισμός βρεθεί στη γειτονιά κάποιου από τους ενδιάμεσους, τότε το αντίστοιχο πακέτο προωθείται αυτομάτως σε αυτόν. Το Spray and Wait πρωτόκολλο εξασφαλίζει σε ένα σημαντικό υποσύνολο των κόμβων του δικτύου να αποκτήσει τα δεδομένα σε πρώτη φάση. Στη συνέχεια, την κατάλληλη στιγμή που ο προορισμός βρεθεί στην εμβέλεια κάποιου κόμβου που ανήκει στο παραπάνω υποσύνολο, παραλαμβάνει τα δεδομένα που του αναλογούν, χωρίς να απαιτούνται περισσότερες μεταδόσεις απλά και μόνο σε ένα βήμα.

Ένας τελευταίος αντιπροσωπευτικός στοχαστικός αλγόριθμος είναι ο Mobile Relay Protocol (MRP) [15]. Η βασική ιδέα της δρομολόγησης είναι κάποιοι κόμβοι να λειτουργήσουν ως δρομολογητές και όχι όλοι. Έτσι όταν ένας κόμβος λάβει κάποιο μήνυμα και δεν υπάρχει διαδρομή προς τον προορισμό, μόνο τότε με την τεχνική ευρείας εκπομπής το στέλνει σε όλους τους γείτονές του. Περιορίζεται εν μέρει έτσι το πλήθος των μεταδόσεων. Στη συνέχεια όλοι οι κόμβοι που λαμβάνουν το πακέτο εισέρχονται σε κατάσταση προώθησης (relaying). Δηλαδή βρίσκονται σε ετοιμότητα για να προωθήσουν το πακέτο, αμέσως μόλις βρεθεί μονοπάτι προς τον προορισμό. Πράγματι όταν παρουσιαστεί διαδρομή με λιγότερα από d άλματα, ο αντίστοιχος ενδιάμεσος κόμβος λειτουργεί ως προωθητής και μεταδίδει το πακέτο. Σε διαφορετική περίπτωση το αποθηκεύει τοπικά και αναμένει. Το πρωτόκολλο αντιμετωπίζει πρόβλημα όταν σε δίκτυο μεγάλης κινητικότητας, γεμίζουν οι αποθηκευτικοί χώροι και αναγκάζεται τυχαία κάποιος από τους υποψήφιους προωθητές να μεταδώσει το πακέτο. Η τυχαία επιλογή αυτού του κόμβου δεν παρέχει αξιοπιστία, όπως επίσης και η επιλογή ενός αριθμού d που συμβολίζει το πλήθος των επιτρεπτών αλμάτων μέχρι τον προορισμό.

Μια άλλη κατηγορία αλγόριθμων που εξακολουθούν να είναι στοχαστικοί, διαφοροποιείται από την προηγούμενη και δεν υιοθετεί την ευρεία εκπομπή πακέτων. Αντίθετα, χρησιμοποιεί κριτήρια για την επιλογή των καταλληλότερων κόμβων που θα δράσουν ως δρομολογητές. Τα κριτήρια αυτά δεν είναι τίποτα παραπάνω από μετρικές που βασίζονται σε κάποια χαρακτηριστικά των κόμβων και του δικτύου. Τέτοια χαρακτηριστικά μπορεί να είναι η ιστορία του δικτύου, αν δηλαδή κάποιοι κόμβοι συναντήθηκαν στο πρόσφατο ή μακρινό παρελθόν και η πρόγνωση της κίνησης, η οποία αποδίδεται με εκφράσεις πιθανοτήτων. Κύριος εκπρόσωπος της κατηγορίας αλγόριθμων που δρομολογούν στηριζόμενοι στην ιστορία του δικτύου, είναι ο αλγόριθμος Probabilistic Routing using History of Encounters and Transitivity (Prophet) [12]. Για παράδειγμα μια περιοχή που την επισκέπτονται συχνά οι χρήστες ενός DTN, είναι πολύ πιθανόν να συνεχίζουν να την επισκέπτονται συχνά και στο μέλλον. Σε αυτή την ιδιότητα που αποδίδεται στην ιστορία του δικτύου, στηρίζεται και ο αλγόριθμος Prophet που εφαρμόζει δρομολόγηση με βάση κάποια μετρική πιθανότητας. Η μετρική αυτή που στηρίζεται σε κάποια πιθανότητα και ονομάζεται delivery predictability $P_{(a,b)}$. Αυτή η μετρική

εκφράζει το πόσο πιθανόν είναι ο κόμβος a να μεταφέρει ένα μήνυμα στον κόμβο b , για αυτό και πάντα αναφέρεται σε ζεύγος κόμβων. Έτσι λοιπόν, αν ο κόμβος a συναντά συχνά τον κόμβο b , τότε έχει υψηλό *delivery predictability* για τον κόμβο b . Αντίθετα αν ο χρόνος περνάει και ο a δεν έχει συναντήσει τον b για μεγάλο χρονικό διάστημα, το *delivery predictability* που έχει για αυτόν μειώνεται σταδιακά. Και μια τελευταία ιδιότητα αυτής της μετρικής, είναι η γνωστή μεταβατική. Σύμφωνα με την μεταβατική ιδιότητα, αν ο κόμβος a συναντά συχνά τον κόμβο b και αυτός με τη σειρά του τον c , τότε ο c θεωρείται καλός κόμβος για να προωθήσει ένα μήνυμα στον a . Ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε δύο περιοχές που η μία είχε *random mobility scenario* και η άλλη *realistic scenario*. Και στα δύο πειράματα ο αλγόριθμος κατάφερε να έχει καλά αποτελέσματα στο *delivery ratio* με σχετικά μικρή καθυστέρηση από άκρο σε άκρο.

Μια διαφορετική προσέγγιση που ονομάζεται *Model-Based*, στηρίζεται στο γεγονός ότι οι ασύρματες συσκευές που υπάρχουν σε ένα DTN δεν κινούνται τυχαία, αλλά με βάση τις κινήσεις των χρηστών που τις κουβαλούν μαζί τους. Από τη στιγμή που στον πραγματικό κόσμο οι κόμβοι είναι άνθρωποι που ακολουθούν γνωστές διαδρομές, πχ. κίνηση σε έναν αυτοκινητόδρομο, οι μεταβάσεις τους μπορούν να καθοριστούν από κάποιο μοντέλο κίνησης. Συμπερασματικά, οι ενδιαμέσοι κόμβοι βασιζόμενοι σε γνωστά μοντέλα κίνησης, προωθούν σε συγκεκριμένους γείτονες τα πακέτα, χωρίς να κατακλύζουν το δίκτυο, εξασφαλίζοντας παράλληλα και μεγαλύτερη πιθανότητα αυτά να φτάσουν στον προορισμό τους.

Η τελευταία προσέγγιση των στοχαστικών αλγόριθμων ονομάζεται *Node Movement Control-Based* [11] και επεμβαίνει στο σενάριο κίνησης των κόμβων. Οι μεγάλες διακοπές της συνδεσιμότητας έχει ως αποτέλεσμα πακέτα να παραμένουν για πολλή ώρα σε κάποιους κόμβους μέχρι να βρουν τον προορισμό τους. Για αυτό το λόγο υπάρχουν αλγόριθμοι δρομολόγησης που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία, μεταβάλλουν την τροχιά κίνηση κάποιων ενδιάμεσων κόμβων, ώστε τα πακέτα να βρίσκουν τον προορισμό, χωρίς η καθυστέρηση να είναι πολύ μεγάλη.

Οι αλγόριθμοι που αντιμετωπίζουν το ζήτημα της δρομολόγησης σε DTNs με βάση Αρχές Κοινωνικής Δικτύωσης ονομάζονται *social-based*. Οι αλγόριθμοι αυτής της

κατηγορίας αξιολογούν τη σημαντικότητα των κόμβων από τη σκοπιά της Κοινωνικής Δικτύωσης. Δηλαδή χρησιμοποιούν μετρικές που προκύπτουν από το χώρο της Κοινωνικής Ανάλυσης των δικτύων προκειμένου να επιλέξουν τους πιο κατάλληλους κόμβους που θα δράσουν ως δρομολογητές. Οι πιο αντιπροσωπευτικοί αλγόριθμοι που έχουν προταθεί έως τώρα είναι ο SimBet και ο Bubble Rap. Στην κατηγορία των social-based αλγόριθμων εστιάζει και η διατριβή, προτείνοντας δύο αλγόριθμους που δρομολογούν τα δεδομένα σε DTNs χρησιμοποιώντας κάποιες μετρικές Κοινωνικής Δικτύωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΔΙΚΤΥΩΣΗ ΣΤΑ DTNs

3.1 Εισαγωγή

3.2 Βασικές Έννοιες Κοινωνικής Δικτύωσης

3.3 Κοινωνική Δικτύωση και DTNs

3.1. Εισαγωγή

Σε ένα DTN το σύνολο των δεδομένων που διακινείται οφείλεται στη χρήση και λειτουργία ασύρματων συσκευών. Μεγάλος όγκος πληροφορίας μέσω του ασύρματου φυσικού μέσου μεταφέρεται από το ένα άκρο του δικτύου στο άλλο, προς εξυπηρέτηση των διαφόρων αναγκών. Τις ασύρματες συσκευές φέρουν μαζί τους χρήστες οι οποίοι καθώς κινούνται μέσα στο δίκτυο τις χρησιμοποιούν ανά πάσα στιγμή. Όπως είναι αναμενόμενο μεταξύ των χρηστών αναπτύσσονται κοινωνικές σχέσεις. Για παράδειγμα οι υπάλληλοι μιας εταιρίας που εργάζονται όλοι μαζί είναι και συνάδελφοι και δημιουργούν σχέσεις συνεργασίας μεταξύ τους. Οι φοιτητές ενός πανεπιστημίου, οι παίκτες μιας ομάδας, καθώς και άλλα πολλά παραδείγματα ανθρώπων που έρχονται σε επαφή δηλώνουν την ανάπτυξη δεσμών. Οι κοινωνικές σχέσεις μπορούν να αποδοθούν με τη μορφή ενός κοινωνικού δικτύου που αναπαρίσταται από ένα γράφο (social graph). Το κοινωνικό δίκτυο αποτελείται από τα φυσικά πρόσωπα και τις σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους. Η απόδοση του κοινωνικού δικτύου σε έναν κοινωνικό γράφο γίνεται με την εξής αντιστοιχία: ο κόμβος του γράφου αναπαριστά το φυσικό πρόσωπο και η ακμή του γράφου την κοινωνική σχέση μεταξύ των φυσικών προσώπων. Έτσι λοιπόν εύκολα η συμπεριφορά των ατόμων μέσα σε ένα κοινωνικό σύνολο μπορεί να απεικονιστεί με τη μορφή ενός κοινωνικού γράφου. Οι ανθρώπινες αλληλεπιδράσεις επηρεάζουν τη

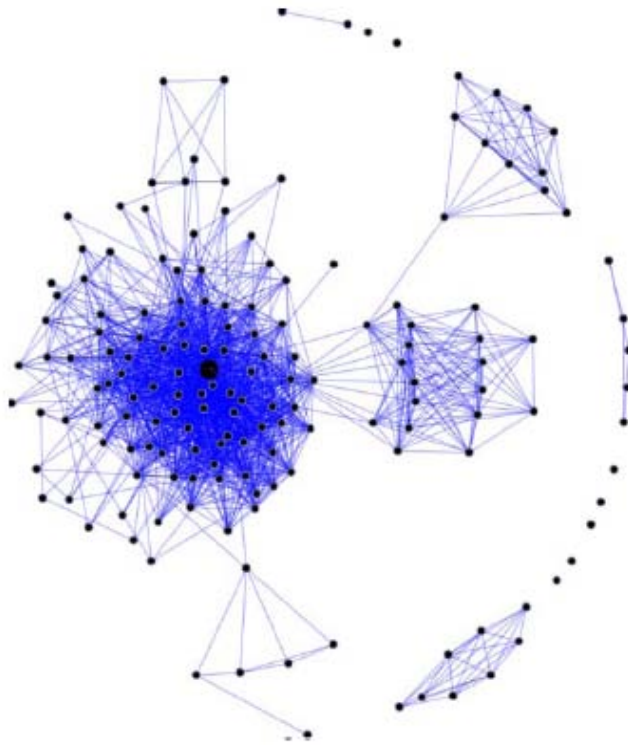
συμπεριφορά των ατόμων και επομένως τον τρόπο με τον οποίο θα κινηθούν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι δεσμοί που θα αναπτυχθούν μεταξύ των ανθρώπων να επηρεάζουν και τη διαμόρφωση των ακμών στον κοινωνικό γράφο. Για παράδειγμα, οι άνθρωποι που δουλεύουν στον ίδιο χώρο ή έχουν κοινά ενδιαφέροντα ή ακόμη έρχονται σε κάποια οικονομική ανταλλαγή τείνουν να βρίσκονται ο ένας κοντά στον άλλο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι κάθε είδους σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ τους να καθορίζουν και την τοπολογική διάταξή τους μέσα στον κοινωνικό γράφο. Έτσι λοιπόν τα φυσικά πρόσωπα που σχετίζονται κοινωνικά θα βρίσκονται και κοντά το ένα στο άλλο και θα συνδέονται με ακμές στον κοινωνικό γράφο.

3.2. Βασικές Έννοιες Κοινωνικής Δικτύωσης

Για την ανάλυση των κοινωνικών δικτύων χρησιμοποιούνται κάποιες μετρικές Κοινωνικής Δικτύωσης. Οι μετρικές αυτές αποτελούν κριτήρια αξιολόγησης της σημαντικότητας της θέσης ενός κόμβου μέσα στο κοινωνικό δίκτυο. Ο υπολογισμός τους γίνεται με βάση τον κοινωνικό γράφο και τις κοινωνικές σχέσεις που αυτός αναπαριστά. Στοιχεία της ανθρώπινης συμπεριφοράς μπορούν να αξιοποιηθούν κατάλληλα προκειμένου να προκύψουν αυτές οι μετρικές. Τέτοια γνωρίσματα μπορεί να είναι η συχνότητα με την οποία κάποιος χρήστης έρχεται σε επαφή με κάποιον άλλο, το πόσο δημοφιλής είναι, το πόσο ισχυρούς ή χαλαρούς δεσμούς αναπτύσσει με τους άλλους χρήστες κ.α. Η απόδοση τέτοιων στοιχείων της ανθρώπινης λειτουργίας σε ένα κοινωνικό δίκτυο, γίνεται με τη βοήθεια των Αρχών Κοινωνικής Δικτύωσης. Η συστηματική έρευνα στο πεδίο της Κοινωνικής Δικτύωσης έχει ξεκινήσει από τη δεκαετία του '70 από διάφορες επιστημονικές ομάδες σε όλο τον κόσμο. Αξιοσημείωτη είναι η συμβολή του L.Freeman και της ομάδας του, ο οποίος καθιέρωσε την έννοια του centrality και προσέφερε επεκτάσεις της και τρόπους υπολογισμού αυτών [5]. Παρακάτω αναλύονται βασικές έννοιες Κοινωνικής Δικτύωσης απαραίτητες για τη μελέτη της συμπεριφοράς ενός κόμβου που αποτελεί μέρος ενός κοινωνικού δικτύου.

Centrality (Κεντρότητα): Η σημαντικότητα της θέσης ενός κόμβου σε σχέση με τη διάταξη των υπόλοιπων κόμβων, αποδίδεται με τον όρο της κεντρότητας. Αυτή η έννοια της κοινωνικής δικτύωσης αξιολογεί τη διαρθρωτική σημασία του κόμβου μέσα

στο δίκτυο. Ένας κόμβος με μεγάλη κεντρότητα παρουσιάζει και μεγάλη συνδεσιμότητα με άλλα μέλη του δικτύου. Ενώ ένας κόμβος με χαμηλή κεντρότητα είναι κάπως πιο απομονωμένος από τους υπόλοιπους κόμβους και δεν είναι τόσο δημοφιλής. Για παράδειγμα στο Σχήμα 3.1 φαίνεται ένας από τους πιο δημοφιλείς κόμβους του δικτύου και είναι αυτός με το μεγαλύτερο μέγεθος. Αυτός ο κόμβος συνδέεται με πολλούς άλλους, εξαιτίας της θέσης του. Η κεντρότητα του είναι μεγάλη, διότι προφανώς έρχεται σε επαφή με την πλειοψηφία των κόμβων του δικτύου.



Σχήμα 3. 1 Κόμβος με Μεγάλη Κεντρότητα.

Η έννοια της κεντρότητας προσεγγίζεται με τρεις διαφορετικούς τρόπους και παραθέτονται αμέσως [3, 5]:

1. Degree centrality: Η μετρική αυτή ορίζεται ως το σύνολο των άμεσων συνδέσεων που έχει ένας κόμβος με άλλους κόμβους. Για παράδειγμα για έναν κόμβο p_i , το degree centrality συνιστά το άθροισμα όλων των κόμβων p_k που γειτνιάζουν με αυτόν. Ο υπολογισμός πραγματοποιείται με τη βοήθεια του τύπου

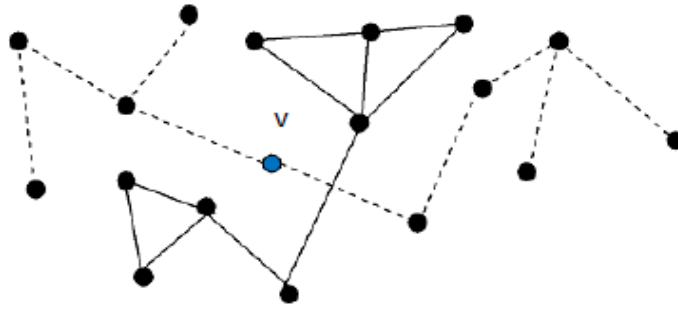
$$C_D(p_i) = \sum_{k=1}^N a(p_i, p_k), \text{ με } i \neq k. \quad \text{Εξ. 3.1}$$

Με $a(p_i, p_k)$ συμβολίζεται η άμεση σύνδεση μεταξύ των κόμβων p_i και p_k . Όπου $a(p_i, p_k)=1$ (όταν τα p_i και p_k συνδέονται άμεσα), αλλιώς $a(p_i, p_k)=0$. Το degree centrality είναι χαρακτηριστικό του κάθε κόμβου ξεχωριστά και η τιμή του εξαρτάται από το άμεσο περιβάλλον του κόμβου, δηλαδή από τη γειτονιά του.

2. Closeness centrality: Με τον όρο closeness centrality εκφράζεται ποιοτικά το μέσο μήκος των συντομότερων μονοπατιών που ξεκινούν από έναν κόμβο p_i και καταλήγουν σε όλους τους κόμβους με τους οποίους είναι δυνατόν να συνδέεται ο κόμβος p_i . Μια συντομότερη διαδρομή από έναν κόμβο p_i προς κάποιον κόμβο p_k μέσα σε ένα δίκτυο, αποδίδεται ως το άθροισμα των ακμών (συνδέσεων) που απαρτίζουν τη διαδρομή και είναι ο όρος $d(p_i, p_k)$. Ένας κόμβος τώρα στην ιδανική περίπτωση μπορεί να συνδέεται άμεσα με όλους τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου $N-1$. Ο αντίστροφος όρος της μέσης απόστασης του κόμβου p_i από τους $N-1$ κόμβους, εκφράζει την μετρική closeness centrality και δίνεται από τη σχέση:

$$C_c(p_i) = \frac{N-1}{\sum_{k=1}^N d(p_i, p_k)} \quad \text{Εξ. 3.2}$$

Η closeness centrality δεν περιορίζεται στα όρια της γειτονιάς, όπως το degree centrality, αλλά εξαρτάται από όλο το δίκτυο. Το σύνολο των συντομότερων μονοπατιών που ξεκινούν από έναν κόμβο και καταλήγουν σε οποιοδήποτε άλλο κόμβο του δικτύου δικαιολογεί ακριβώς αυτή τη θεώρηση. Στο Σχήμα 3.2 διαφαίνονται τα συντομότερα μονοπάτια (διακεκομμένες γραμμές) από τον κόμβο v προς τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου.

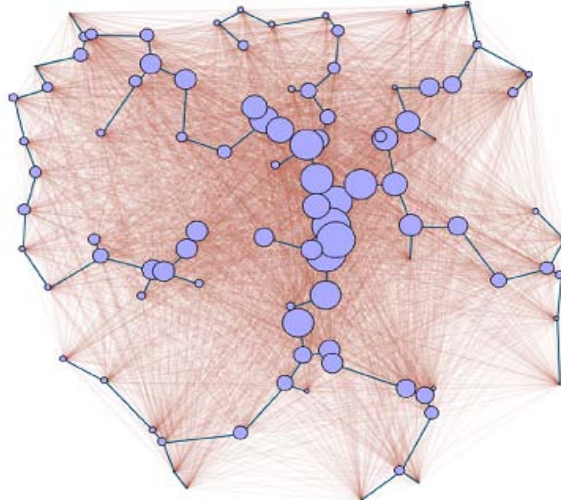


Σχήμα 3. 2 Τα Συντομότερα Μονοπάτια που Ξεκινούν από τον Κόμβο v.

3. **Betweenness Centrality:** Η διαφορετικότητα της μετρικής betweenness centrality με τις δύο προηγούμενες μετρικές έγκειται στο γεγονός ότι ο υπολογισμός του centrality μέχρι τώρα είχε ως σημείο αναφοράς τον ίδιο τον κόμβο και το άμεσο γειτονικό του περιβάλλον. Αντίθετα με την προσέγγιση του betweenness centrality προσδιορίζεται η σημασία της θέσης του κόμβου σε σχέση με το υπόλοιπο δίκτυο. Με τον υπολογισμό του closeness centrality εξετάζεται μέχρι σε ποιο βάθος του δικτύου μπορεί να διαδοθεί η πληροφορία, όταν ξεκινήσει από τον ενδιαφερόμενο κόμβο. Στην περίπτωση όμως του betweenness centrality, κρίνεται το κατά πόσο μπορεί να μεταδοθεί η ίδια πληροφορία διαμέσου του κόμβου χωρίς να ξεκινάει από αυτόν. Συνοπτικά δηλαδή σε πόσα συντομότερα μονοπάτια από ένα σημείο του δικτύου προς ένα άλλο, συμμετέχει ως ενδιάμεσος ο συγκεκριμένος κόμβος. Συμβολίζοντας με g_{jk} το πλήθος των συντομότερων μονοπατιών που ενώνουν δύο οποιουδήποτε κόμβους του δικτύου j και k , και με $g_{jk}(p_i)$ το πλήθος των συντομότερων μονοπατιών στα οποία συμπεριλαμβάνεται και ο κόμβος p_i , το betweenness centrality ορίζεται με την παρακάτω σχέση.

$$C_{B(p_i)} = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{j-1} \frac{g_{jk}(p_i)}{g_{jk}} \quad \text{Εξ. 3.3}$$

Στο Σχήμα 3.3 γίνεται κατανοητή η σημασία του betweenness centrality. Οι κόμβοι με το μεγαλύτερο μέγεθος είναι ενδιάμεσοι σε περισσότερες συντομότερες διαδρομές μέσα στο δίκτυο.



Σχήμα 3. 3 Οι κόμβοι με Μεγαλύτερο betweenness centrality είναι αυτοί με Μεγαλύτερο Μέγεθος και Ανήκουν σε Περισσότερα Συντομότερα Μονοπάτια.

4. Bridging Centrality: Η μετρική bridging centrality [16, 9], προσδίδει στον κόμβο την ιδιότητα του συνδετικού κρίκου ανάμεσα σε τμήματα του δικτύου. Όταν λοιπόν ο συγκεκριμένος κόμβος λειτουργεί ως γέφυρα ανάμεσα σε απομακρυσμένα μέρη του δικτύου, τα οποία είναι συνεκτικά συνδεδεμένα στο εσωτερικό τους, τότε χαρακτηρίζεται από υψηλό bridging centrality. Με τη χρήση αυτής της μετρικής, δίνεται περισσότερο βάρος στη θέση του κόμβου από τη σκοπιά της τοπολογικής διάταξης του μέσα στο δίκτυο, και όχι τόσο από την πλευρά της ικανότητας διακίνησης πληροφορίας. Όσα περισσότερα διαμερισμένα τμήματα του δικτύου μέσω του κόμβου συνενώνονται τόσο μεγαλύτερο και το bridging centrality αυτού. Η ποσότητα του bridging centrality $BC(u)$ ενός κόμβου u ορίζεται ως το γινόμενο της betweenness centrality $C_B(u)$ με έναν παράγοντα γεφύρωσης $\beta(u)$.

$$BC(u) = C_B(u) \times \beta(u) \quad \text{Εξ. 3.4}$$

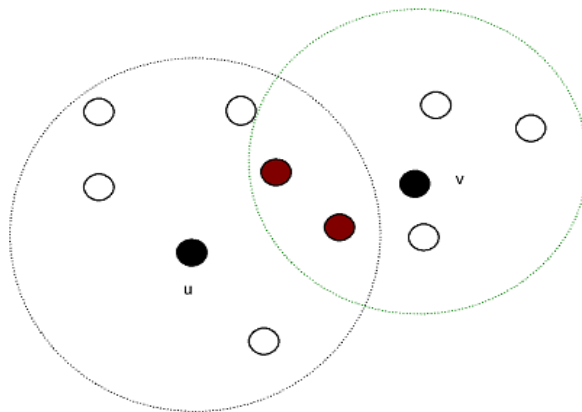
Όπου $d(u)$ ο βαθμός του κόμβου u και $N(u)$ η γειτονιά του. Ο υπολογισμός του πρώτου όρου αναφέρθηκε προηγουμένως, ενώ του δεύτερου όρου γίνεται με τη βοήθεια του παρακάτω τύπου:

Εξ. 3.5

$$\beta(u) = \frac{1}{d(u)} \sum_{i \in N(u)} \frac{1}{d(i)}$$

Ένα γενικό συμπέρασμα είναι ότι η μείωση του degree centrality του κόμβου και η αύξηση του degree centrality η αύξηση των επιμέρους γειτόνων του, συνεπάγεται αύξηση του $\beta(u)$ και συνεπώς αύξηση του bridging centrality. Δηλαδή όσους λιγότερους γείτονες έχει κάποιος κόμβος τόσες περισσότερες πιθανότητες έχει να είναι bridging κόμβος. Ενώ όσους περισσότερους γείτονες διαθέτει ο ενδιαφερόμενος κόμβος, τόσο πιο κεντρικοποιημένος θεωρείται και απομακρύνεται από κάποιο bridging σημείο του δικτύου.

5. Similarity: Η μετρική similarity [3] εκφράζει το πλήθος των κοινών επαφών που έχει κάποιος κόμβος με τον κόμβο-προορισμό. Εμπειρικά, κατά πόσο όμοιος είναι δηλαδή ένας κόμβος u με έναν κόμβο v , ως προς τον προορισμό w . Το similarity χαρακτηρίζει πάντα ζεύγος κόμβων και όχι έναν μόνο κόμβο. Η τιμή της μετρικής δεν αφορά κάθε κόμβο ξεχωριστά, αλλά τη συσχέτισή του (πλήθος κοινών επαφών) ως προς κάποιο προορισμό. Στο Σχήμα 3.4 γίνεται κατανοητή η λειτουργία του similarity.



Σχήμα 3. 4 Ομοιότητα του Κόμβου u με τον Κόμβο Προορισμό v .

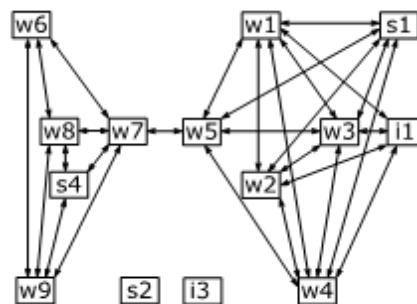
Οι κύκλοι είναι οι ακτίνες εμβέλειας των κόμβων u και v . Το similarity του κόμβου u με τον προορισμό v έχει τιμή δύο. Δηλαδή δύο κοινές επαφές έχει ο u με τον κόμβο v .

Ουσιαστικά το similarity μεταξύ δύο κόμβων u και v , εκφράζει το σύνολο των επαφών που βρίσκονται στην κοινή εμβέλεια εκπομπής τους. Όσο μεγαλύτερο το similarity ενός κόμβου με τον κόμβο προορισμό, τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα να τον συναντήσει και να παραδώσει αν έχει κάποια πακέτα για αυτόν. Η τιμή της μετρικής similarity είναι ακέραιος αριθμός και σε ένα δίκτυο με N κόμβους κυμαίνεται στο διάστημα $[0, N-2]$. Η ελάχιστη τιμή μπορεί να είναι 0, κανέναν κοινό γείτονα με τον κόμβο προορισμό και η μέγιστη μπορεί να είναι $N-2$, όλοι οι κόμβοι του δικτύου εκτός από τους δύο εμπλεκόμενους.

3.2.1. Ego Networks

Όλες οι παραπάνω μετρικές βρίσκουν εφαρμογή σε κοινωνικά δίκτυα και για τον υπολογισμό των τιμών τους υπεύθυνος είναι ο κοινωνικός γράφος. Το μέγεθος ενός κοινωνικού δικτύου αυξάνει σημαντικά εξαιτίας της μεγάλης συνδεσιμότητας των χρηστών του. Φυσικό επακόλουθο είναι και ο κοινωνικός γράφος να γίνεται πιο πολύπλοκος καθιστώντας έτσι τον υπολογισμό των μετρικών επώδυνο και χρονοβόρο. Γι' αυτό το λόγο, χρησιμοποιείται η έννοια του ego network. Το ego network [13] είναι ένα στιγμιότυπο ενός κανονικού κοινωνικού δικτύου που αποτελείται από έναν κόμβο ως κέντρο του δικτύου και ένα σύνολο κόμβων με τους οποίους συνδέεται και έρχεται σε άμεση επαφή. Η ανάγκη να χρησιμοποιηθούν εύκολα και αποδοτικά μετρικές κοινωνικής δικτύωσης σε μεγάλου εύρους δίκτυα, οδήγησε τον Marsden να μελετήσει αυτές τις μετρικές σε ego networks [13]. Πράγματι λοιπόν η αντίστοιχη μετρική του betweenness centrality, όταν αυτή μελετηθεί σε ego network είναι η ego betweenness centrality. Η διαδικασία υπολογισμού της ego betweenness centrality είναι ίδια με αυτή για τον υπολογισμό της betweenness centrality, με τη διαφορά δεν είναι διαθέσιμο όλο το δίκτυο αλλά μόνο ο ενδιαφερόμενος κόμβος και οι άμεσα συνδεδεμένοι με αυτόν. Χρειάζεται δηλαδή μόνο τοπική πληροφορία και τοπική γνώση του δικτύου. Αντίστοιχα για τη μετρική bridging centrality (BC), σε ένα ego network αναλογεί η localized bridging centrality (LBC). Το συμπέρασμα είναι ότι η μετάβαση σε ένα θεωρητικό δίκτυο όπως το ego network, εξυπηρετεί πολύ τον υπολογισμό των μετρικών κοινωνικής δικτύωσης και κατ' επέκταση και τη χρήση τους. Ο Marsden μελέτησε τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζουν οι μετρικές κοινωνικής δικτύωσης το ρόλο των κόμβων, όταν

αυτές υπολογίζονται σε ένα ego network και όταν υπολογίζονται σε ένα κανονικό κοινωνικό δίκτυο. Αυτό που αποδείχθηκε είναι ότι οι μετρικές αξιολογούν κάθε κόμβο στον ίδιο βαθμό είτε είναι υπολογισμένες σε ego network, είτε όχι. Δηλαδή αν κάποιος κόμβος σε ένα κοινωνικό δίκτυο βρίσκεται σε υψηλή θέση στην ιεραρχία όλων των κόμβων ως προς την τιμή του betweenness centrality, θα καταλαμβάνει επίσης υψηλή θέση και στην ιεραρχία των κόμβων ως προς το ego betweenness centrality σε ένα ego network. Μια τέτοια απόδειξη άνοιξε το δρόμο για την ευρεία χρήση των μετρικών κοινωνικής δικτύωσης σε πραγματικά δίκτυα με πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Στο Σχήμα 3.5 παρουσιάζεται ένα δίκτυο στο οποίο υπολογίστηκαν οι τιμές του betweenness centrality και του ego betweenness centrality, το οποίο υπολογίστηκε με τη θεώρηση του προτύπου του ego network.



Σχήμα 3. 5 Κοινωνικό Δίκτυο.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1, δείχνουν ότι η κατάταξη των κόμβων όσο αφορά τη συγκεκριμένη μετρική είναι ίδια. Οι κόμβοι που έχουν υψηλές τιμές για τη μετρική σε ένα κοινωνικό δίκτυο, έχουν το ίδιο υψηλές τιμές για αυτήν και σε ένα ego network. Ο Marsden μελέτησε τη συμπεριφορά της μετρικής και σε άλλα 15 δίκτυα και κατέληξε στο ίδιο συμπέρασμα. Οι κόμβοι ιεραρχούνται με τον ίδιο τρόπο και στις δύο περιπτώσεις και σε κανονικό δίκτυο και σε ego network. Αφού λοιπόν οι τιμές της ego betweenness centrality ανταποκρίνονται πολύ καλά στις αντίστοιχες τιμές της betweenness centrality, δόθηκε η δυνατότητα πλέον, η ego betweenness centrality να εφαρμοστεί στη δρομολόγηση πακέτων και να αποτελέσει κύριο κριτήριο προώθησης σε αλγόριθμους δρομολόγησης.

Πίνακας 3.1 Αποτελέσματα μετρήσεων για το betweenness centrality και το ego betweenness centrality.

Node	Sociocentric Betweenness	Egocentric Betweenness
W1	3.75	0.83
W2	0.25	0.25
W3	3.75	0.83
W4	30	0.83
W5	0	4
W6	28.33	0
W7	0.33	4.33
W8	0.33	0.33
W9	1.5	0.33
S1	0	0.25
S2	0	0
S4	0	0
I1	0	0
I3	0	0

3.3. Κοινωνική Δικτύωση και DTNs

Ο κοινωνικός γράφος που αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα και αναπαριστά τις κοινωνικές σχέσεις μπορεί να μοντελοποιηθεί σε ένα DTN. Ο κοινωνικός γράφος ενός DTN αναπαρίσταται ως ένας μη κατευθυνόμενος γράφος $G(V, E)$. Όπου V το σύνολο των κόμβων του δικτύου και E το σύνολο των επαφών μεταξύ των κόμβων. Ως επαφή (contact) ορίζεται η συσχέτιση δύο κόμβων. Επαφή μεταξύ δύο κόμβων υφίσταται αν οι κόμβοι έχουν υπάρξει γείτονες. Ο κοινωνικός γράφος εκφράζει την ιστορία του δικτύου και αποτελεί τη συνάθροιση των στιγμιοτύπων του. Δηλαδή παρουσιάζει όλο το πλήθος των επαφών που έχουν προκύψει σε διαφορετικές χρονικές στιγμές μέσα το δίκτυο. Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν δύο αντιπροσωπευτικά δείγματα αλγόριθμων δρομολόγησης σε DTNs με Αρχές Κοινωνικής Δικτύωσης. Κοινό στοιχείο και των δύο αλγόριθμων είναι η χρήση αυτών των μετρικών για τη σωστή δρομολόγηση των πακέτων δεδομένων μέσα στο δίκτυο. Περιγράφονται αναλυτικά οι αλγόριθμοι Bubble Rap [8] και SimBet [3].

3.3.1. Ο Αλγόριθμος Δρομολόγησης Bubble Rap

Ο αλγόριθμος Bubble Rap [8] βασίζεται στην ιδέα της Κοινωνικής Δικτύωσης και επιτυγχάνει αποδοτική προώθηση και παράδοση των πακέτων. Η έννοια του centrality που αναφέρθηκε προηγουμένως παίζει σημαντικό ρόλο στη σχεδίαση του αλγόριθμου. Μια ακόμη έννοια εξίσου σημαντική είναι η έννοια του community. Ακολουθεί μια απαραίτητη εισαγωγή για αυτήν την έννοια και στη συνέχεια αναλύονται τα βήματα του αλγόριθμου.

Community (Κοινότητα): Ο όρος community [8] φέρει παρόμοια σημασία με αυτή που κατέχει μέσα στην κοινωνία. Σύνολο κόμβων οι οποίοι συμπεριφέρονται και λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο και διαφέρουν σημαντικά από κάποια άλλη ομάδα κόμβων, μέσα στο ίδιο δίκτυο. Μέσα στο κάθε community συναντώνται κοινά χαρακτηριστικά ανάμεσα στους κόμβους, όπως για παράδειγμα μπορεί να είναι όλοι υπάλληλοι σε μια εταιρία ή να έχουν όλοι τα ίδια ενδιαφέροντα. Παρά την ομοιογένεια που μπορεί να επικρατεί στο εσωτερικό ενός community, οι μετρικές κοινωνικής δικτύωσης είναι ανεξάρτητες από την κοινότητα. Δηλαδή ίδιες τιμές για μια μετρική μπορεί να έχουν κόμβοι που ανήκουν σε διαφορετικές κοινότητες. Το ότι κάποιος κόμβος ανήκει σε μια κοινότητα, δε συνεπάγεται ότι θα φέρει παρόμοιες τιμές για τις μετρικές και με τους υπόλοιπους κόμβους που ανήκουν σε αυτή. Αυτό δικαιολογείται από την ίδια τη σημασία των μετρικών. Προσδιορίζουν τη σχέση ενός κόμβου με το υπόλοιπο δίκτυο και όχι απαραίτητα με τους υπόλοιπους κόμβους του community του.

Η γενική γραμμή υλοποίησης του αλγόριθμου Bubble Rap στηρίζεται στην παρακάτω ιδέα. Το πακέτο μεταδίδεται συνεχώς με βάση μια κοινωνική μετρική που αφορά όλο το δίκτυο και σκοπός είναι να εντοπιστεί μια περιοχή κοντά στον προορισμό. Αφού συμβεί αυτό, το πακέτο προωθείται στους κόμβους με τις περισσότερες επαφές, οι οποίοι και έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να έχουν συναντήσει τον τελικό παραλήπτη του πακέτου. Η διαδικασία της προώθησης εκφράζεται ποιοτικά ως εξής: το πρώτο βήμα είναι να εντοπιστεί μέσα στο community, ποιος κόμβος έχει τις περισσότερες επαφές, δηλαδή ποιος κόμβος είναι πιο δημοφιλής από τον κόμβο που φέρει το πακέτο προς μετάδοση. Το δεύτερο βήμα, είναι να βρεθούν οι κόμβοι που ανήκουν στο ίδιο community με τον προορισμό, ώστε να προωθηθούν σε αυτούς τα πακέτα. Σε

αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι κάθε κόμβος φέρει δύο τιμές για το centrality, μία για μέσα στο community στο οποίο ανήκει (local ranking) και μία για όλο το δίκτυο (global ranking). Το global και local ranking εκφράζουν το πόσο δημοφιλής είναι ο κόμβος μέσα στο δίκτυο και μέσα στο community αντίστοιχα. Ο κόμβος με το μεγαλύτερο local ranking, είναι ο πιο κεντρικοποιημένος κόμβος του community και έχει τις περισσότερες επαφές. Αν ο κόμβος ανήκει σε περισσότερα από ένα communities, θα έχει και περισσότερα local ranking. Τα βήματα τώρα της δρομολόγησης ενός πακέτου περιγράφονται συνοπτικά:

- Ο αποστολέας προωθεί το πακέτο προς κόμβο με μεγαλύτερο global ranking από αυτόν λαμβάνοντας υπ' όψη όλους τους κόμβους του δικτύου.
- Όταν βρεθεί κάποιος κόμβος που ανήκει στο ίδιο community με τον προορισμό λαμβάνει αμέσως το πακέτο.
- Τέλος το πακέτο προωθείται σε κόμβους με συνεχώς αυξανόμενο local ranking μέσα στο συγκεκριμένο community, μέχρι να βρεθεί ο προορισμός και έτσι να τερματιστεί η διαδικασία της δρομολόγησης.

3.3.2. Ο Αλγόριθμος Δρομολόγησης SimBet

Ο αλγόριθμος SimBet [3] κινείται και αυτός στα πλαίσια χρήσης μετρικών κοινωνικής δικτύωσης καθώς και στη λήψη αποφάσεων προώθησης σε τοπικό επίπεδο. Μια λεπτομέρεια είναι ότι αυτή ακριβώς η απόφαση δε λαμβάνεται από τον ενδιαμέσο κόμβο που μόλις έλαβε το πακέτο. Αντίθετα, το πακέτο ζητείται από κάποιο γείτονα του, με την προϋπόθεση ότι ο τελευταίος έχει μεγαλύτερες πιθανότητες να παραδώσει το πακέτο στον προορισμό. Οι μεταδόσεις είναι unicast, αποτρέποντας έτσι τη συμφόρηση του δικτύου.

Λόγος πρέπει να γίνει τώρα για τις δύο μετρικές που χρησιμοποιούνται στον αλγόριθμο SimBet. Η μια ονομάζεται similarity, και εκφράζει το πλήθος των κοινών γειτόνων που έχει ένας κόμβος με τον κόμβο προορισμό. Το betweenness centrality αποτελεί τη δεύτερη μετρική και εκφράζει το πλήθος των συντομότερων μονοπατιών από την πηγή μέχρι τον προορισμό στα οποία ανήκει ο κόμβος. Οι δύο αυτές μετρικές συνδυάζονται σε έναν γραμμικό συνδυασμό και δίνουν μια νέα (SimBetUtil) [3], η οποία και χαρακτηρίζει την ικανότητα ενός κόμβου να παραδώσει το πακέτο στον

προορισμό. Έστω n και m δύο κόμβοι που είναι υποψήφιοι για να λάβουν ένα πακέτο με προορισμό d . Τοπικά στον καθένα από τους παραπάνω κόμβους υπολογίζονται τα εν μέρει στοιχεία της μετρικής $SimBetUtil$. Για παράδειγμα για τον κόμβο n το $similarity$ με τον d υπολογίζεται με την εξίσωση (3.6) και το $betweenness$ του κόμβου n με την εξίσωση (3.7).

$$SimUtil_n(d) = \frac{Sim_n(d)}{Sim_n(d) + Sim_m(d)}. \quad \text{Εξ. 3.6}$$

$$BetUtil_n = \frac{Bet_n}{Bet_n + Bet_m}. \quad \text{Εξ. 3.7}$$

Συνδυάζοντας τώρα τις επιμέρους μετρικές μαζί με τις παραμέτρους $a, b \in [0,1]$, προκύπτει η νέα μετρική.

$$SimBetUtil_n(d) = aSimUtil_n(d) + bBetUtil_n \quad \text{Εξ. 3.8}$$

Συνεχίζοντας το παράδειγμα, οι κόμβοι n και m είναι υποψήφιοι για να προωθήσουν το πακέτο μέχρι αυτό να φτάσει στον προορισμό του. Ένας όμως από τους δύο θα το προωθήσει τελικά. Επίσης, ο ένας από τους δύο κάθε φορά είναι σε θέση να γνωρίζει το δικό του φυσικά $SimBetUtil$, αλλά και αυτό του άλλου κόμβου. Υπενθυμίζεται ότι ο υπολογισμός στον $SimBetUtil$ μπορεί να γίνει μόνο τοπικά και για να μάθει ο n το $SimBetUtil$ του m , πρέπει ο ίδιος ο m να του το γνωστοποιήσει. Έστω λοιπόν ότι ο κόμβος n έχει υπολογίσει το δικό του $SimBetUtil$ και έχει μάθει και από τον m το $SimBetUtil$ του. Ο n έρχεται στη φάση που πρέπει να αποφασίσει αν θα ζητήσει το πακέτο από τον m ή όχι. Αυτή η απόφαση εξαρτάται από την τιμή του $SimBetUtil$. Αν λοιπόν ο n έχει μεγαλύτερη τιμή για το $SimBetUtil$ από τον m , τότε του ζητάει το πακέτο, γιατί έχει μεγαλύτερες πιθανότητες να συναντήσει τον προορισμό. Αν συμβαίνει το αντίθετο, το πακέτο πρέπει να παραμείνει στον πιο κατάλληλο κόμβο που είναι ο m και ο n να μην του ζητήσει το πακέτο. Ο στόχος της δρομολόγησης του $SimBet$ είναι να εντοπιστεί ο πιο κεντρικοποιημένος κόμβος που έχει κατά το δυνατόν τους περισσότερους κοινούς γείτονες με τον ζητούμενο προορισμό. Σε κάθε επαφή μεταξύ δύο κόμβων αποφασίζεται ο καλύτερος και έτσι προοδευτικά μετά από πολλές επαφές το πακέτο ταξιδεύει προς τον ιδανικό κόμβο. Αυτός είναι ο κόμβος

που έχει τις περισσότερες πιθανότητες από όλους τους άλλους κόμβους του δικτύου, να συναντήσει τον προορισμό. Αυτό είναι και το σημείο στο οποίο ολοκληρώνεται και η διαδικασία της δρομολόγηση για τον αλγόριθμο SimBet.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

4.1 Ζητήματα στον Αλγόριθμο Δρομολόγησης SimBet

4.2 Ο Αλγόριθμος Δρομολόγησης LBet-SIM

4.3 Ο Αλγόριθμος Δρομολόγησης LB-SIM

4.1. Ζητήματα στον Αλγόριθμο Δρομολόγησης SimBet

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται οι βασικές κατευθύνσεις των προτάσεων της παρούσας διατριβής. Οι προτάσεις της διατριβής είναι οι αλγόριθμοι δρομολόγησης LBet-SIM και LB-SIM. Με την ανάλυση και επεξήγηση των πιο σημαντικών σημείων των προτεινόμενων αλγόριθμων, γίνεται μια καλή εισαγωγή για την περαιτέρω κατανόηση τους στην επόμενη ενότητα. Η δρομολόγηση δεδομένων που παρουσιάζεται στους αλγόριθμους στηρίζεται στις Αρχές Κοινωνικής Δικτύωσης. Ένας από τους πιο δημοφιλείς αλγόριθμους που ανήκει στην κατηγορία της Κοινωνικής Δικτύωσης είναι και ο αλγόριθμος SimBet που προτάθηκε από τους E.Daly και M.Hear [3]. Η συμβολή του SimBet στα πλαίσια αυτής της διατριβής περιορίζεται στην ιδέα της ανταλλαγής κάποιων πακέτων δεδομένων μεταξύ δύο κόμβων, όταν πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις. Ωστόσο, οι αλγόριθμοι LBet-SIM και LB-SIM φέρουν καίριες διαφοροποιήσεις ως προς τον SimBet. Οι αλλαγές αυτές είναι υπεύθυνες για την καλύτερη απόδοση που σημειώνουν οι αλγόριθμοι LBet-SIM και LB-SIM από τον SimBet. Σκοπός είναι να προταθεί διαφορετική μεθοδολογία δρομολόγησης. Με τη νέα αυτή μεθοδολογία η εργασία στοχεύει στο να επιτύχει καλύτερα αποτελέσματα, αξιοποιώντας διαφορετικές μετρικές Κοινωνικής Δικτύωσης και εισάγοντας μια ευκολότερη προσέγγιση στη δρομολόγηση των πακέτων. Η ανάλυση των συνεισφορών της εργασίας θα γίνεται παραθέτοντας

παράλληλα και τις βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν ως προς τις τεχνικές του αλγόριθμου SimBet καθώς και τα ζητήματα που παρουσίαζε.

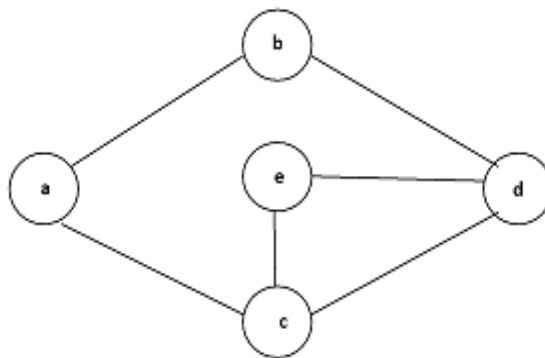
4.1.1. Τρόπος Δρομολόγησης Δεδομένων

Η περιγραφή θα ξεκινήσει από τον τρόπο που δρομολογούνται κάθε φορά τα πακέτα δεδομένων μέσα στο δίκτυο. Οι αλγόριθμοι LBet-Sim και LB-SIM ακολουθούν διαφορετική τακτική στη δρομολόγηση από αυτή που ακολουθεί ο αλγόριθμος SimBet. Συγκεκριμένα ενώ στον αλγόριθμο SimBet προτείνεται ο συνδυασμός δύο μετρικών που καταλήγει στην ουσία σε ένα κριτήριο προώθησης, στους προτεινόμενους αλγόριθμους συμβαίνει το αντίθετο. Υπάρχουν δύο διαφορετικές μετρικές Κοινωνικής Δικτύωσης, καθεμία από τις οποίες λειτουργεί ανεξάρτητα και ξεχωριστά στη δρομολόγηση των πακέτων. Γίνεται δηλαδή «διακριτή» χρήση των μετρικών και ο κάθε κόμβος αξιολογείται ως προωθητής (relay) από μία μετρική κάθε φορά και όχι από το συνδυασμό τους ταυτόχρονα. Σε αντίθετη περίπτωση, στον αλγόριθμο SimBet υπάρχει γραμμικός συνδυασμός των μετρικών Κοινωνικής Δικτύωσης. Επιπλέον τα μεγέθη των δύο μετρικών κανονικοποιούνται με κάποια βάρη και έτσι αλλοιώνεται η φυσική σημασία τους. Οπότε, προτιμάται η ανεξάρτητη εφαρμογή κάθε φορά των περιορισμών, αρκεί βέβαια αυτή να γίνεται με το βέλτιστο τρόπο προς εξυπηρέτηση της παράδοσης των πακέτων. Όπως δικαιολογούν και τα αποτελέσματα των διαφορετικών πειραμάτων, η τακτική της «διακριτής» χρήσης των μετρικών είναι καλύτερη από το γραμμικό συνδυασμό τους που πραγματοποιείται στον αλγόριθμο SimBet.

4.1.2. Τρόπος Υπολογισμού της Μετρικής Similarity

Αφού έγινε λόγος για τον τρόπο χρήσης των μετρικών Κοινωνικής Δικτύωσης, πρέπει να γίνει και ανάλυση του τρόπου υπολογισμού των μετρικών αυτών καθ' αυτών. Στον αλγόριθμο LBet-SIM χρησιμοποιούνται οι μετρικές Κοινωνικής Δικτύωσης similarity και ego betweenness centrality και στον αλγόριθμο LB-SIM αντίστοιχα, οι μετρικές similarity και localized bridging centrality (LBC). Η μετρική similarity και στους δύο αλγόριθμους υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο. Η διαφορά έγκειται ως προς τη σύγκριση με τον αλγόριθμο SimBet. Σε αυτόν η μετρική similarity υπολογίζεται με

διαφορετικό τρόπο από αυτόν που χρησιμοποιείται στους προτεινόμενους αλγόριθμους. Κρίθηκε αναγκαία η τροποποίηση της διαδικασίας υπολογισμού της μετρικής similarity, διότι κατά τη μελέτη παρατηρήθηκε ένα πρόβλημα το οποίο θα παρουσιαστεί αμέσως και δε συνάδει με το σκοπό χρήσης της μετρικής. Έστω λοιπόν στον ακόλουθο κοινωνικό γράφο (Σχήμα 4.1) οι κόμβοι a,b,c,d και έστω ότι ο προορισμός είναι ο κόμβος d. Εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο SimBet για τον υπολογισμό του similarity των κόμβων a και c με τον προορισμό d αντίστοιχα, προκύπτουν τα εξής: Ο κόμβος c γνωρίζει τον κόμβο d ως επαφή του, οπότε το πλήθος των κοινών επαφών του κόμβου d με τον κόμβο c είναι μία επαφή. Ο κόμβος e είναι η μόνη κοινή επαφή μεταξύ των κόμβων c και d. Επομένως $\text{similarity}(c,d) = 1$. Τονίζεται για άλλη μία φορά ότι ο προορισμός d αποτελεί για τον κόμβο c άμεση επαφή. Στη συνέχεια, το similarity για το ζεύγος κόμβων (a,d) έχει τιμή 2. Το πλήθος των κοινών επαφών του προορισμού d που είναι και άμεσες επαφές του κόμβου a, είναι δύο και είναι οι κόμβοι b και c. Άρα $\text{similarity}(a,d) = 2$. Σε αυτό το σημείο τονίζεται ότι ο κόμβος d δεν είναι άμεση επαφή για τον κόμβο a, όπως ήταν πριν για τον κόμβο c και παρ' όλα αυτά ο a έχει μεγαλύτερο similarity από ότι έχει ο c. Συμπερασματικά, ο κόμβος a κρίνεται ως καλύτερος προωθητής των δεδομένων από ότι ο κόμβος c. Δηλαδή ο κόμβος a έχει περισσότερες πιθανότητες να συναντήσει τον προορισμό d από ότι ο κόμβος c.



Σχήμα 4. 1 Κοινωνικός Γράφος με $\text{similarity}(a,d) = 2$ και $\text{similarity}(c,d) = 1$.

Το παράδοξο σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι ο κόμβος c έχει άμεση επαφή τον προορισμό και η λογική θα έλεγε ότι αυτός έχει περισσότερες πιθανότητες να συναντήσει τον d. Σε αντίθετη περίπτωση, ο κόμβος a ενώ έχει similarity 2 για τον d,

ωστόσο δεν τον έχει άμεση επαφή και θα έλεγε κανείς ότι έχει και λιγότερες πιθανότητες να τον συναντήσει άμεσα. Επιπλέον αυτό που συμβαίνει εδώ και είναι σημαντικό είναι το εξής: αφού ο κόμβος a παραλάβει τα δεδομένα από τον κόμβο c , όταν έρθει η σειρά του να υπολογίσει το *similarity* ως προς τον προορισμό d , τότε στη διαδικασία υπολογισμού θα συμπεριλάβει και τον κόμβο c (ως κοινή επαφή με τον d) από τον οποίο ζήτησε πριν λίγο τα δεδομένα. Δηλαδή θα μετρήσει ως κοινή επαφή με τον κόμβο d έναν κόμβο που είχε ήδη τα δεδομένα και του τα έστειλε απομακρύνοντάς αυτά από τον προορισμό τους. Σε αυτό το πρόβλημα εστιάστηκε η μελέτη και διαφοροποιήθηκε ο τρόπος υπολογισμού του *similarity*. Έτσι λοιπόν στους αλγόριθμους LBet-SIM και LB-SIM ο υπολογισμός για το *similarity* πραγματοποιείται μόνο όταν ο προορισμός είναι επαφή του ενδιαφερόμενου κόμβου τότε μόνο έχει τιμή η μετρική. Αν δεν ισχύει αυτή η συνθήκη, ανεξάρτητα αν ο προορισμός είναι 2 hop επαφή του κόμβου ή όχι, το *similarity* έχει τιμή μηδέν. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι ο κόμβος που έχει τις περισσότερες κοινές επαφές με τον προορισμό, έχει και στην ουσία τις περισσότερες πιθανότητες να τον συναντήσει πάλι στο μέλλον, από τη στιγμή που τον έχει ήδη άμεση επαφή. Στο παραπάνω παράδειγμα η διαφορά των προτεινόμενων αλγόριθμων από τον SimBet εντοπίζεται στη εξής λεπτομέρεια. Στον SimBet, τα δεδομένα θα απομακρύνονταν από τον προορισμό επειδή κάποιος κόμβος που δεν είχε ως άμεση επαφή τον προορισμό είχε μεγαλύτερο *similarity* από κάποιον άλλο. Αντίθετα, με την τροποποίηση που προτείνεται στους LBet-SIM και LB-SIM τα δεδομένα παραμένουν σε κοντινή απόσταση από τον προορισμό και δεν προωθούνται σε κόμβο που δεν έχει δει έστω και μια φορά τον προορισμό ως γείτονά του.

4.1.3. Εισαγωγή Νέας Μετρικής Κοινωνικής Δικτύωσης

Η μία από τις δύο μετρικές που χρησιμοποιούνται από κοινού στους προτεινόμενους αλγόριθμους είναι το *similarity* και υπολογίζεται με τον τρόπο που αναφέρθηκε. Η δεύτερη τώρα μετρική Κοινωνικής Δικτύωσης που χρησιμοποιείται είναι διαφορετική για τους δύο αλγόριθμους. Ο LBet-SIM υιοθετεί τη μετρική *ego betweenness centrality* και ο LB-SIM χρησιμοποιεί την LBC. Όπως έχει προαναφερθεί, η δεύτερη μετρική χαρακτηρίζει το κατά πόσο ένας κόμβος μπορεί και λειτουργεί ως γέφυρα. Ενώνοντας με αυτόν τον τρόπο διαμερισμένα τμήματα του δικτύου και

διευκολύνοντας κατ' επέκταση την μετάδοση των πακέτων δεδομένων. Το LBC συνιστά συνδυασμό της betweenness centrality και ενός παράγοντα γεφύρωσης. Οπότε θα μπορούσε να ειπωθεί ότι χαρακτηρίζει αν ο κόμβος βρίσκεται σε σημεία γεφύρωσης του δικτύου, αλλά και παράλληλα αν ανήκει και στα συντομότερα μονοπάτια που ενώνουν διαφορετικά ζεύγη κόμβων. Ο λόγος που προτιμήθηκε η μετρική κοινωνικής δικτύωσης LBC στη θέση της μετρικής ego betweenness centrality που χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος SimBet ήταν για να προσεγγιστούν καλύτερα οι bridging κόμβοι του δικτύου. Έτσι λοιπόν, η ιδέα είναι να εντοπιστούν κόμβοι που δεν είναι μόνο μέρος των συντομότερων διαδρομών, αλλά φέρουν και ένα επιπλέον χαρακτηριστικό, λειτουργούν και ως διάυλοι επικοινωνίας απομονωμένων τμημάτων του δικτύου. «Θεωρητικά» η μετρική LBC προσδιορίζει καλύτερα τους bridging κόμβους του δικτύου από την μετρική ego betweenness centrality, ακριβώς επειδή κάνει χρήση του βαθμού του κόμβου και των γειτόνων του, που αυτό αποτελεί τοπική πληροφορία. Σκοπός ήταν να δοκιμαστεί η δρομολόγηση και από τη σκοπιά του LBC.

4.1.4. Εισαγωγή Παράθυρου Ιστορίας

Μια επιπλέον σημαντική συνεισφορά των νέων αλγόριθμων LBet-SIM και LB-SIM και κατ' επέκταση καίρια διαφοροποίηση ως προς τον SimBet, είναι η εισαγωγή παράθυρου ιστορίας (history window) στη διαχείριση των επαφών των κόμβων. Το παράθυρο ιστορίας αποτελεί ένα χρονικό διάστημα βάσει του οποίου ανανεώνονται οι επαφές. Συγκεκριμένα αν κάποιος κόμβος έχει να δει ως επαφή του κάποιον άλλο κόμβο για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του παράθυρου ιστορίας, τότε τον διαγράφει από επαφή του. Η έννοια των επαφών ορίστηκε νωρίτερα και αφορά το σύνολο των κόμβων που συνάντησε ένας κινητός κόμβος v σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας του. Αν ο κινητός κόμβος v είναι για παράδειγμα ένα κινητό τηλέφωνο και αυτό ήταν ενεργό για χρονικό διάστημα τριών ωρών, όλες οι άλλες ασύρματες συσκευές με τις οποίες ήρθε σε επικοινωνία, αποτελούν τις επαφές του. Συνιστούν κατά κάποιο τρόπο την ιστορία των συνδέσεων που απέκτησε. Οι επαφές δε σχετίζονται με την κατάσταση του κόμβου μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, αλλά με τη συνολική του κατάσταση μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα. Στον αλγόριθμο SimBet, το σύνολο όλων των επαφών που αποκτά κάποιος κόμβος αποθηκεύεται τοπικά σε αυτόν. Οι

επαφές που διατηρεί κάποιος κόμβος είναι συνεχώς αυξανόμενες σε πλήθος, καθώς για κάθε νέο γείτονα που συναντά κάποιος κόμβος τον εισάγει και ως επαφή. Επιπροσθέτως, η πληροφορία στον κόμβο v δεν είναι έγκαιρα ενημερωμένη (up to date), δηλαδή οι επαφές που υπάρχουν καταχωρημένες σε αυτόν δεν αντικατοπτρίζουν την πραγματικότητα την παρούσα στιγμή. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η χρονική μη εγκυρότητα των επαφών, στους αλγόριθμους της διατριβής προτάθηκε μια μέθοδος περιοδικής διαγραφής τους ή αλλιώς μια μέθοδος εισαγωγής history window. Η ουσία αυτής της λογικής είναι να διαγράφονται οι επαφές-κόμβοι από τη δομή αποθήκευσής τους στον v , αν δεν έχουν έρθει σε επικοινωνία με αυτόν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση της διατριβής το χρονικό διάστημα αυτό ορίζεται στα 5.000 δευτερολέπτα, σε συνολικό χρόνο προσομοίωσης 30000 δευτερολέπτων. Με αυτή τη διαδικασία οι μετρικές κοινωνικές Κοινωνικής Δικτύωσης φέρουν πιο έγκυρες τιμές, ακριβώς επειδή οι επαφές του κόμβου ή είναι συχνές ή τουλάχιστον έλαβαν χώρα στο πρόσφατο παρελθόν. Η διαδικασία αυτή στηρίζεται στην ιστορία του δικτύου και προσπαθεί να βελτιώσει τη χρονική συνέπεια των επαφών, διατηρώντας παράλληλα και τη μνήμη του κάθε κόμβου ως προς τις επαφές που συνάντησε στο παρελθόν, δηλαδή την ιστορία των επαφών του. Η ανανέωση των επαφών, έστω και με σχετικά αργό ρυθμό, αποδεικνύεται ότι είναι καλύτερη τακτική από την περίπτωση του να μην ανανεώνονταν ποτέ, όπως γινόταν στον αλγόριθμο SimBet.

4.2. Ο Αλγόριθμος Δρομολόγησης LBet-SIM

Η συγκεκριμένη ενότητα αφιερώνεται στην παρουσίαση του πρώτου αλγόριθμου που προτείνεται στη διατριβή, του LBet-SIM. Κάποια γενικά στοιχεία του αλγόριθμου είναι αναγκαίο να περιγραφούν, ώστε να γίνει μια εισαγωγή στο κύριο μέρος που είναι ο μηχανισμός της δρομολόγησης. Οι βασικές αυτές πληροφορίες που περιγράφονται αποτελούν μέρος και του δεύτερου αλγόριθμου LB-SIM.

4.2.1. Τύποι Πακέτων

Τόσο στον αλγόριθμο SimBet όσο και στον προτεινόμενο αλγόριθμο LBet-SIM, τα πακέτα κατηγοριοποιούνται σε δύο είδη. Τα πακέτα δεδομένων και τα πακέτα

σηματοδοσίας. Η πρώτη κατηγορία είναι γνωστή και αφορά την πληροφορία που διακινείται μέσα σε ένα DTN. Κάθε πακέτο που φέρει δεδομένα έχει μια γενική δομή που αποτελείται από την επικεφαλίδα (header) και το ωφέλιμο φορτίο (payload). Στην περίπτωση που μελετάται, η κεφαλίδα ενός πακέτου που κινείται μέσα σε ένα DTN, φέρει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που χαρακτηρίζουν το πακέτο. Χαρακτηριστικά αναφέρονται κάποια από τα πιο σημαντικά πεδία:

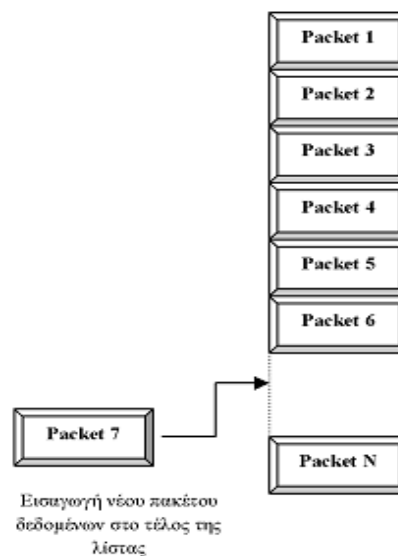
1. τύπος - type_ (με τον τύπο διακρίνονται τα πακέτα σε αυτά που ακολουθούν το κοινό μέσο και είναι προς μετάδοση και σε εκείνα που παραδίδονται στο επίπεδο εφαρμογών).
2. μέγεθος - size_ (εκφράζεται το μέγεθος του πακέτου σε bytes).
3. αναγνωριστικό - uid_ (κάθε πακέτο φέρει έναν αύξων αριθμό που το κάνει μοναδικό και λειτουργεί ως αναγνωριστικό του πακέτου).
4. χρόνος καθυστέρησης διάδοσης - ts_ (εκφράζει το χρόνο που χρειάστηκε για να φτάσει ένα πακέτο στον προορισμό του).
5. προηγούμενο βήμα - prep_hop_ (είναι η IP διεύθυνση του κόμβου που βρισκόταν το πακέτο στο προηγούμενο άλμα, κατά μήκος της διαδρομής του).
6. επόμενο βήμα - next_hop_ (είναι η IP διεύθυνση του κόμβου που θα λάβει το πακέτο στο επόμενο άλμα του).
7. πλήθος αλμάτων - num_forwards (εκφράζει το πλήθος των προωθήσεων του πακέτου που έγιναν σε όλο το μήκος της διαδρομής του από την πηγή μέχρι τον προορισμό).

Το ωφέλιμο τώρα φορτίο που είναι ουσιαστικά τα δεδομένα που μεταφέρει το πακέτο έχει σύνηθες μέγεθος 1000 με 1500 bytes.

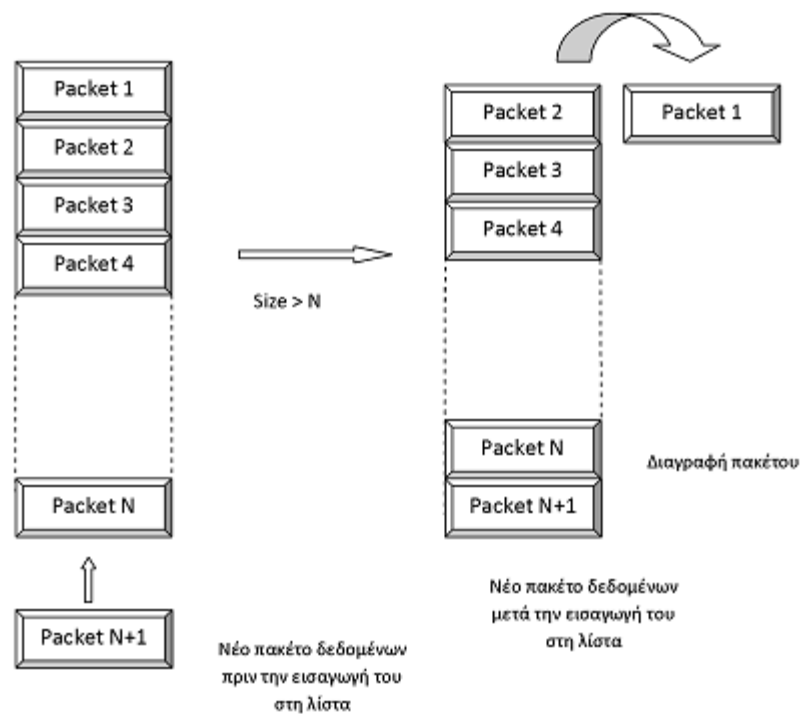
4.2.2. Αποθήκευση Πακέτων Δεδομένων

Τα πακέτα δεδομένων εισάγονται στο σύστημα με συνεχόμενο και σταθερό ρυθμό, αυτό σημαίνει πως το δίκτυο εύκολα κατακλύζεται από αυτά. Προκειμένου να είναι αποδοτική η δρομολόγηση, ώστε να μη δημιουργηθεί συμφόρηση στο δίκτυο, απαιτείται η ύπαρξη κατάλληλων δομών αποθήκευσης των πακέτων δεδομένων. Στον αλγόριθμο LBet-SIM κάθε κόμβος διατηρεί μια δομή αποθήκευσης πακέτων. Κάθε νέο πακέτο εισάγεται στο τέλος της δομής, όπως στο Σχήμα 4.2. Το μέγεθος της δομής είναι προκαθορισμένο και πεπερασμένο. Όταν λοιπόν κατά την εισαγωγή ενός

νέου πακέτου στη δομή, το προκαθορισμένο όριο ξεπεραστεί, τότε διαγράφεται εκείνο το πακέτο που έχει παραμείνει για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μέσα σε αυτήν. Η διαδικασία απεικονίζεται στο Σχήμα 4.3. Ο ρυθμός παραγωγής πακέτων είναι καθοριστικός παράγοντας για το εύρος αποθήκευσης της δομής. Όσο γρηγορότερα διοχετεύονται πακέτα στο δίκτυο, τόσο και μεγαλύτερο πλήθος πρέπει να δέχεται και η δομή. Η λειτουργικότητα ενός τέτοιου αποθηκευτικού χώρου είναι μεγάλη επειδή αποτρέπει τη συμφόρηση, προσφέροντας προσωρινό χώρο παραμονής των πακέτων μέχρι να προωθηθούν. Επιπλέον είναι σημαντική η ικανότητα κάθε κόμβου να δρομολογεί τα πακέτα, ώστε εκείνα να μη μένουν στη ουρά. Επιπλέον δίνει τη δυνατότητα σε κάθε κόμβο ανά πάσα στιγμή, να έχει στη διάθεσή του όλα τα πακέτα που έχει λάβει, ώστε να επιλέξει ποια από αυτά μπορεί να προωθήσει. Τα πακέτα που επιλέγονται για μετάδοση διαγράφονται από τον αποθηκευτικό χώρο και αποστέλλονται στον κατάλληλο κόμβο. Δεν υπάρχουν αντίγραφα πακέτων πουθενά μέσα στο δίκτυο και καθένα φέρει το δικό του μοναδικό αναγνωριστικό. Σκοπός είναι να μην κατακλυστεί το δίκτυο από πακέτα αλλά να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα οι ευκαιριακές συνδέσεις που προσφέρονται ασύγχρονα προκειμένου να προωθηθούν τα πακέτα σε κόμβο με μεγαλύτερη πιθανότητα να συναντήσει τον προορισμό.



Σχήμα 4. 2 Εισαγωγή Νέου Πακέτου Δεδομένων στη Δομή Αποθήκευσης ενός Κόμβου.



Σχήμα 4.3 Διαχείριση Πακέτων σε Περίπτωση Πληρότητας της Λίστας.

4.2.3. Γνώση των Γειτονικών Κόμβων

Η δρομολόγηση σε ένα δίκτυο για να είναι επιτυχημένη απαιτεί πέρα από αποδοτικά κριτήρια προώθησης, και γνώση των γειτονικών κόμβων. Σε κάθε κόμβο ενός DTN αντιστοιχούν οι κόμβοι γείτονες και οι κόμβοι επαφές. Ένας ενδιάμεσος κόμβος οφείλει να γνωρίζει καλά τη γειτονιά του, προκειμένου να επιλέξει ορθά τον κατάλληλο επόμενο κόμβο για να μεταδώσει το πακέτο. Οι επαφές τώρα με τη σειρά τους παίζουν σημαντικό ρόλο, αφού οι μετρικές Κοινωνικής Δικτύωσης υπολογίζονται με βάση αυτές. Η ενημέρωση της γειτονιάς ενός κόμβου είναι περιοδική.

Η πληροφορία για τη γειτονιά κάθε κόμβου διατηρείται σε μια δομή. Η δομή αυτή ανανεώνεται με τη λήψη Hello μηνυμάτων που ανταλλάσσουν οι κόμβοι περιοδικά. Κάθε κόμβος αποστέλλει ένα τέτοιο μήνυμα στους γείτονές του ανά κάποιο σταθερό χρονικό διάστημα (Hello interval). Η αποστολή Hello μηνυμάτων σε τακτά χρονικά

διαστήματα είναι απαραίτητα για τη σωστή ενημέρωση της γειτονιάς. Οι κόμβοι του δικτύου κινούνται διαρκώς, με αποτέλεσμα εύκολα να εισέρχονται ή να εξέρχονται από την εμβέλεια επικοινωνίας άλλων κόμβων. Οι γειτονική τοπολογία μεταβάλλεται οπότε η ανανέωση πρέπει να είναι συχνή και έγκυρη. Τα Hello μηνύματα μεταδίδονται με την τεχνική ευρείας εκπομπής (broadcast).

Η δομή του Hello μηνύματος είναι απλή. Περιέχει μόνο ένα αναγνωριστικό (hello identifier), προκειμένου να ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα μηνύματα σηματοδοσίας. Έστω λοιπόν κόμβος u ο οποίος λαμβάνει Hello μήνυμα από το γείτονα του v . Η ενημέρωση της δομής της γειτονιάς του κόμβου u μετά τη λήψη του Hello μηνύματος από τον κόμβο v εκτελείται με τα ακόλουθα βήματα.

1. Αν ο u βλέπει για πρώτη φορά τον v , τον εισάγει ως νέο γείτονα στο τέλος της δομής.
2. Αν ο u τον έχει ήδη γείτονα τον v , δεν κάνει καμία ενέργεια, αφού τον έχει ήδη αποθηκευμένο στη δομή της γειτονιάς του από την πρώτη φορά που τον συνάντησε.

Κάθε κόμβος κάθε φορά που λαμβάνει ένα Hello μήνυμα από κάποιο γειτονά του, ενημερώνει τη δομή της γειτονιάς με τον τρόπο που μόλις αναφέρθηκε. Παράλληλα, αποθηκεύει και το χρόνο που έλαβε το Hello μήνυμα από τον γείτονα του. Στην περίπτωση όμως που δύο κόμβοι έχουν να ανταλλάξουν Hello μηνύματα για μεγάλο χρονικό διάστημα, παύουν να είναι ουσιαστικά γείτονες. Για αυτό το λόγο, κρίνεται απαραίτητο να ενημερώσουν τη γειτονιά τους, ώστε να υπάρχει συνέπεια ανάμεσα στην πραγματική τοπολογία του δικτύου και την πληροφορία που διατηρεί ο καθένας τους για αυτήν. Η περιοδική ενημέρωση της γειτονιάς έχει μεγάλη σημασία για την εγκυρότητα της πληροφορίας που υπάρχει σε κάθε κόμβο. Το ιδανικό θα ήταν ανά πάσα στιγμή ο κόμβος να διατηρεί στη δομή του, πραγματικούς γείτονες. Εννοώντας κόμβους που βρίσκονται εκείνη τη στιγμή μέσα στην εμβέλεια εκπομπής του και μπορούν να επικοινωνήσουν μαζί του. Επειδή όμως στο DTN όλοι οι κόμβοι κινούνται, είναι αναμενόμενο να αλλάζουν συχνά γειτονιές και να εισέρχονται σε εμβέλειες εκπομπής νέων κόμβων. Επομένως είναι αδύνατη η πραγματική γνώση της γειτονιάς κάθε στιγμή. Η περιοδική ανανέωσή της είναι απαραίτητη γιατί η δρομολόγηση των δεδομένων στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην πληροφορία που παρέχει αυτή. Στα DTNs οι συνδέσεις δεν είναι πάντα διαθέσιμες με αποτέλεσμα να

μη δίνονται πολλές ευκαιρίες στους κόμβους να μεταδίδουν. Για αυτό το λόγο όποτε το κάνουν θα πρέπει να έχουν πλήρη και ενημερωμένη γνώση των γειτόνων τους, ώστε η προώθηση να είναι επιτυχημένη και να μη χάνονται πακέτα επειδή δε βρήκαν τον παραλήπτη τους.

4.2.4. Γνώση των Επαφών

Οι επαφές σχετίζονται άμεσα με την ιστορία του δικτύου, αφού στόχος τους είναι να καταδείξουν το σύνολο των κόμβων με τους οποίους έχει έρθει σε επαφή ένας κόμβος όχι μόνο την παρούσα στιγμή αλλά και κατά το παρελθόν. Οι επαφές αποθηκεύονται σε κάθε κόμβο ξεχωριστά σε νέα δομή. Αυτή η δομή διατηρεί τις επαφές του κόμβου, καθώς και τις επαφές της κάθε επαφής του κόμβου, δηλαδή τις 2 hop επαφές του. Όπως στη γειτονιά έτσι και στις επαφές υπάρχει έλεγχος συνέπειας (πρόταση διατριβής). Οι επαφές προσπελάζονται και ελέγχεται αν κάποια από αυτές έχει ξεπεράσει ένα χρονικό όριο. Αν ο ενδιαφερόμενος κόμβος δεν έχει δε μια επαφή για περισσότερο από πέντε χιλιάδες δευτερόλεπτα, τότε τη διαγράφει από τη δομή του, μαζί φυσικά με τις δύο 2 hop επαφές του. Με τη διαδικασία αυτή που υιοθετείται στους αλγόριθμους εξασφαλίζεται τόσο η διατήρηση της ιστορίας του δικτύου, απαραίτητη κυρίως για τον υπολογισμό των μετρικών, όσο και η χρονική συνέπεια των επαφών.

4.2.5. Διαδικασία Δρομολόγησης Πακέτων

Ο αλγόριθμος LBet-SIM ακολουθεί δύο βασικές κατευθύνσεις στη δρομολόγηση. Η πρώτη αφορά τη διαχείριση των πακέτων δεδομένων που προέρχονται από τους κόμβους πηγές. Και η δεύτερη κατεύθυνση αφορά, τη λειτουργία του αλγόριθμου LBet-SIM όταν λαμβάνεται ένα Hello μήνυμα. Σε γενικές γραμμές αυτά είναι τα κύρια μέρη της υλοποίησης του προτεινόμενου αλγόριθμου και θα αναλυθούν περαιτέρω.

Τα πακέτα δεδομένων ακριβώς τη στιγμή που εισέρχονται στο σύστημα βρίσκονται στον κόμβο πηγή που τα δημιούργησε και ακόμη δεν έχουν κάνει κάποιο άλμα προς οποιοδήποτε άλλο κόμβο. Στη συνέχεια βέβαια τα ίδια πακέτα μπορεί να

προωθηθούν, κάνοντας με αυτόν τον τρόπο περισσότερα άλματα. Είτε για πακέτα που μόλις εισήχθησαν στο σύστημα, είτε για πακέτα που βρίσκονται σε κάποιον ενδιάμεσο κόμβο, ο αλγόριθμος εφαρμόζει σχεδόν την ίδια λογική. Η διαδικασία που εκτελείται πάντα και είναι κοινή είτε για τον κόμβο πηγή είτε για τον ενδιάμεσο κόμβο περιγράφεται ως εξής: ο κάθε κόμβος ελέγχει αν το πακέτο που παρήγαγε η έλαβε αντίστοιχα, προορίζεται για κάποιον γείτονά του. Διατρέχει τη δομή που είναι αποθηκευμένοι οι γείτονες του και αν κάποιος από αυτούς είναι ο προορισμός του πακέτου, τότε αυτομάτως του προωθεί το πακέτο (Πίνακας 4.1). Η διαδικασία εντοπισμού του προορισμού στο άμεσο γειτονικό περιβάλλον είναι αρκετά αποδοτική, διότι το πακέτο θα παραδίδεται σχεδόν πάντα στον προορισμό του, αφού ο κόμβος αποστολέας και παραλήπτης βρίσκονται ο ένας στην εμβέλεια επικοινωνίας του άλλου. Αυτή η αμεσότητα στη μετάδοση των πακέτων όταν ο προορισμός είναι γείτονας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εγκυρότητα της γνώσης της γειτονιάς. Δηλαδή κάθε κόμβος είναι απαραίτητο να διατηρεί όσο γίνεται πιο ενημερωμένη την πληροφορία για τους γείτονές του, ώστε η μετάδοσή του να είναι επιτυχημένη. Η επιτυχία της μετάδοσης κρίνεται απαραίτητη από τη στιγμή που οι συνδέσεις δεν παρέχονται διαρκώς αλλά στοχαστικά. Μια μικρή διαφοροποίηση παρατηρείται στη διαχείριση του πακέτου από κάποιον ενδιάμεσο κόμβο. Ένας κόμβος λοιπόν πριν μπει στη διαδικασία να ελέγξει αν έχει στη γειτονιά του τον προορισμό του πακέτου, τσεκάρει πρώτα αν είναι ο ίδιος ο προορισμός του πακέτου. Αυτή είναι σαφώς μια λογική αντιμετώπιση από κάποιον ενδιάμεσο κόμβο, γιατί υπάρχει η πιθανότητα να είναι ο ίδιος ο τελικός παραλήπτης του πακέτου. Εν τέλει, όταν το πακέτο φτάσει στον προορισμό του, είτε με ένα είτε με πολλά άλματα, προωθείται στο επίπεδο εφαρμογών. Η δεύτερη κύρια λειτουργία του αλγόριθμου LBet-SIM επικεντρώνεται στην περιοδική διαχείριση των Hello μηνυμάτων. Η λήψη ενός τέτοιου μηνύματος υποδηλώνει ότι δύο κόμβοι συνδέονται άμεσα είτε για πρώτη φορά, είτε για πολλοστή. Στη συνέχεια γίνονται οι απαραίτητες ενημέρωσεις της δομής της γειτονιάς, σύμφωνα με την πληροφορία που υπήρχε μέσα στο Hello μήνυμα. Αφού ολοκληρωθεί και αυτή η διαδικασία, αν ο αποστολέας του Hello μηνύματος συνιστά νέο γείτονα για τον παραλήπτη του μηνύματος, τότε ξεκινάει μια μικρή αλληλουχία ανταλλαγής μηνυμάτων σηματοδότησης.

Πίνακας 4.1 Αλγόριθμος Διαχείρισης Πακέτων Δεδομένων στο Πρώτο Άλμα.

```

1: found=0;
2: for i=0; i< N; i++; do
3:   if pkt.dst == N(i) AND found == 0
4:     forward (pkt, N(i));
5:     found=1 ;
6:     break;
7:   end if
8: end for
9: if found == 0
10: Insert_PacketQueue(pkt);

```

Η ανταλλαγή αυτών των μηνυμάτων μεταξύ των άμεσα ενδιαφερόμενων κόμβων, μπορεί να οδηγήσει και στην ανταλλαγή πακέτων δεδομένων, βοηθώντας αυτά τα πακέτα να φτάσουν πιο εύκολα στον προορισμό τους. Η απόδοση του αλγόριθμου ευνοείται, διότι η προώθηση των πακέτων είναι πιο στοχευμένη και επομένως και επιτυχημένη. Παρατηρώντας καλύτερα τη λειτουργία του αλγόριθμου LBet-SIM με κάθε λήψη Hello μηνύματος, προκύπτουν τα παρακάτω βήματα που περιγράφονται αναλυτικά. Αρχικά λοιπόν, ο κόμβος πρώτα από όλα ελέγχει αν διαθέτει πακέτα δεδομένων για τον κόμβο από τον οποίο μόλις έλαβε Hello μήνυμα. Στην πράξη, προσπελάζει διαδοχικά τα αποθηκευμένα στην ουρά του πακέτα, και για καθένα από αυτά ελέγχει αν ο προορισμός του, είναι ο νέος γείτονας του κόμβου. Όταν βρεθεί ένα τέτοιο πακέτο, αφαιρείται από την ουρά του κόμβου αυτομάτως και προωθείται στο νέο γείτονα. Ο έλεγχος επαναλαμβάνεται για κάθε πακέτο της ουράς. Ο αλγόριθμος της διαδικασίας που μόλις περιγράφηκε παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.2. Σε επόμενη φάση μετά τη λήψη του Hello μηνύματος και αφού στάλθηκαν όσα πακέτα προορίζονταν για το νέο γείτονα ο κόμβος, έστω u ενημερώνει τη γειτονιά με τον τρόπο που αναφέρθηκε στην ενότητα 4.2.3. Ακολούθως, ξεκινάει μια διαδικασία ανταλλαγής μηνυμάτων σηματοσοδίας με τον κόμβο v που μόλις συνάντησε. Η ιδέα αυτή αποδεικνύεται αποδοτική, διότι δε χρειάζεται κάθε φορά που λαμβάνεται Hello να πραγματοποιείται η διαδικασία ανταλλαγής μηνυμάτων, η οποία θα περιγραφεί στη συνέχεια.

Πίνακας 4.2 Αλγόριθμος Προώθησης Πακέτου Δεδομένων στο Νέο Γείτονα.

```

1:  while PktQ.size() > 0
2:      i=0;
3:      if Q(i).dst == new_neighbour
4:          temp_pkt= Q(i);
5:          delete_Packet_Queue(Q(i));
6:          forward (temp_pkt, new_neighbour);
7:          break;
8:      else
9:          i++;
10:     end if
11: end while

```

Μόνο όταν συντελείται κάποια αλλαγή στη δομή τις γειτονιάς και κατά επέκταση στη δομή των επαφών του κόμβου u , συντρέχει λόγος οι κόμβοι να ανταλλάξουν τα συγκεκριμένα μηνύματα. Οι λόγοι αυτής της σχεδιαστικής προσέγγισης θα γίνουν πιο κατανοητοί στη συνέχεια. Πρέπει να αναφερθεί ότι στόχος αυτής της διαδικασίας ανταλλαγής μηνυμάτων σηματοδοσίας μεταξύ των κόμβων u και v , είναι να κριθεί ποιός έχει τις καλύτερες μετρικές κοινωνικής δικτύωσης. Αυτός ο κόμβος που θα αποφασιστεί ότι είναι ο κατάλληλος είτε θα κρατήσει τα πακέτα αν τα έχει ήδη στην ουρά του, είτε θα τα ζητήσει από τον άλλο κόμβο που έχει τις χειρότερες τιμές για τις μετρικές.

Οπότε, το επόμενο βήμα του κόμβου u , υπό τις προϋποθέσεις ότι έχει δει ως νέο γείτονα τον κόμβο v και έχει φυσικά, πακέτα δεδομένων προς προώθηση, είναι να στείλει στον v ένα μήνυμα σηματοδοσίας που ονομάζεται Contact Request. Με αυτό το μήνυμα ζητάει από τον v το σύνολο των επαφών του. Μετά την ενημέρωση της γειτονιάς του, σειρά έχει η ενημέρωση και των επαφών του κόμβου u . Για αυτό το λόγο με αυτό το μήνυμα, το οποίο είναι απλό σε δομή (περιλαμβάνει το αναγνωριστικό contact request identifier), γνωστοποιεί στον κόμβο v ότι χρειάζεται τις επαφές του. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι ένα κοινό χαρακτηριστικό της δομής των μηνυμάτων σηματοδοσίας είναι το αναγνωριστικό. Όλα τα μηνύματα φέρουν ένα μοναδικό αναγνωριστικό ανάλογα σε ποια κατηγορία ανήκουν. Έτσι λοιπόν, ως απάντηση στη λήψη του μηνύματος Contact Request, ο κόμβος v στέλνει στον κόμβο u το μήνυμα σηματοδοσίας Contact Replay. Αυτό το μήνυμα περιέχει όλες του τις επαφές. Συγκεκριμένα περιλαμβάνει το αναγνωριστικό (contact reply

identifier), που είναι ίδιο για όλα τα μηνύματα που ανήκουν στην κατηγορία Contact Replay, και το σύνολο των επαφών του. Μέχρι τώρα η διαδικασία ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ των κόμβων u και v , απεικονίζεται στο Σχήμα 4.4.

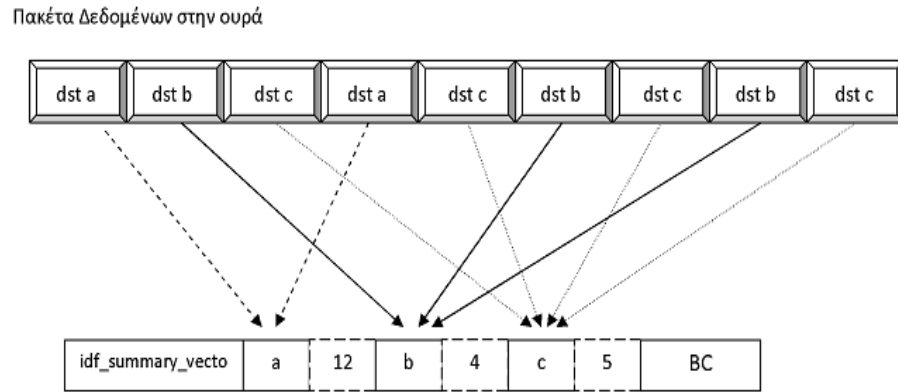


Σχήμα 4.4 Διαδικασία Ανταλλαγής Μηνυμάτων Σηματοδοσίας.

Αφού ο u λάβει το μήνυμα Contact Reply από τον v , ανανεώνει τις δικές του επαφές. Η ανανέωση της δομής αφορά τόσο τις νέες επαφές που εισάγονται, αλλά και τις ήδη υπάρχουσες. Η διαδικασία της ανανέωσης των επαφών πραγματοποιείται κάθε φορά που ο κόμβος συναντά νέο γείτονα. Αυτό συμβαίνει διότι τότε έχει περισσότερο νόημα να ενημερωθούν οι επαφές από το να ενημερώνονταν σε κάθε λήψη Hello μηνύματος. Έστω και μια φορά ο κόμβος να έχει δει ως γείτονα κάποιον άλλο κόμβο, θα τον έχει εισάγει και ως επαφή. Οπότε αν συνεχίζει να τον βλέπει ως γείτονα δεν έχει νόημα να ενημερώνει διαρκώς την εγγραφή της επαφής του για αυτόν. Στην περίπτωση όμως του νέου γείτονα έχει νόημα ο κόμβος να προχωρήσει στη διαδικασία ενημέρωσης των επαφών του. Ο κόμβος u λοιπόν θα ενημερώσει τις επαφές όταν δει τον κόμβο v για πρώτη φορά με τον ακόλουθο τρόπο. Ο κόμβος v εισάγεται στο τέλος της δομής αποθήκευσης των επαφών, μετά από όλες τις ήδη υπάρχουσες επαφές. Επίσης αν ο κόμβος v έχει δικές του επαφές, εκείνες θα αποθηκευτούν μαζί με αυτόν, σε μια επιπλέον δομή που θα σθνδέεται με τη δομή των επαφών. Θεωρητικά αν ο κόμβος v θα μπορούσε να ονομαστεί ως επαφή ενός άλματος για τον κόμβο u , παρόμοια και οι επαφές του v θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως επαφές δύο αλμάτων για τον κόμβο u . Έτσι για κάθε 1 hop επαφή του κόμβου u θα αντιστοιχίζονται και οι 2 hop επαφές του (αν υπάρχουν). Δηλαδή, εντοπίζει τον κόμβο v στις επαφές του, διαγράφει όλες τις παλιές επαφές που αντιστοιχούν σε

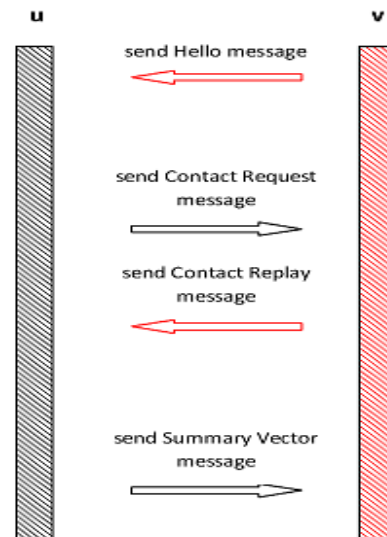
αυτόν και εισάγει εκ νέου τις καινούριες που διάβασε μέσα στο μήνυμα Contact Reply που έλαβε. Η ενημέρωση των επαφών επηρεάζει και την τιμή των μετρικών κοινωνικής δικτύωσης, αφού ο υπολογισμός τους βασίζεται σε αυτές. Επομένως κρίνεται αναγκαίο να ενημερωθούν και οι τιμές των μετρικών με τη λήψη του Contact Reply μηνύματος. Πράγματι υπολογίζεται εκ νέου το ego betweenness centrality. Οι μετρικές Κοινωνικής Δικτύωσης συμβαδίζουν με την κατάσταση των επαφών, αφού ενημερώνονται όποτε πραγματοποιείται κάποια αλλαγή στη δομή των επαφών. Κάτι τέτοιο είναι επιθυμητό, γιατί είναι απαραίτητο οι μετρικές κοινωνικής δικτύωσης να αντικατοπτρίζουν την κατάσταση του κόμβου κάθε στιγμή, ώστε να αποφασίζεται ορθά αν αυτός είναι κατάλληλος για προώθηση πακέτων ή όχι. Η διαδικασία συνεχίζει την πορεία της μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω ενημερώσεων. Τώρα ο κόμβος u , εφόσον διαθέτει πακέτα στην ουρά του, στέλνει ένα νέο μήνυμα σηματοδότησης στον κόμβο v , που ονομάζεται Summary Vector. Το Summary Vector φέρει τα παρακάτω πεδία:

1. Αναγνωριστικό μηνύματος σηματοδότησης (summary vector identifier), ώστε να διακρίνεται από τα άλλα μηνύματα σηματοδότησης που θα λαμβάνει ο κόμβος u .
2. Στη συνέχεια αποθηκεύονται στο μήνυμα οι διαφορετικοί τύποι προορισμών που έχουν τα πακέτα στην ουρά. Για παράδειγμα ο κόμβος u μπορεί να έχει στην ουρά του 2 πακέτα δεδομένων με προορισμό a , 3 πακέτα δεδομένων με προορισμό b και 4 πακέτα δεδομένων με προορισμό c . Το Summary Vector θα φέρει τους διαφορετικούς προορισμούς a, b και c . Μαζί με καθένα προορισμό θα αποθηκεύει και την τιμή του similarity που έχει ο κόμβος u για τον κάθε προορισμό. Αν για τον προορισμό a έχει similarity 12, για τον b έχει similarity 4 και για τον c έχει similarity 5, τότε η μορφή του Summary Vector εμφανίζεται στο Σχήμα 4.5.
3. Τελευταίο πεδίο αποτελεί η τιμή της μετρικής ego betweenness centrality, η οποία αντιστοιχίζεται στον κόμβο u και αποθηκεύεται και αυτή μέσα στο Summary Vector μήνυμα.



Σχήμα 4. 5 Δομή Μηνύματος Summary Vector.

Ο κόμβος v είναι ο αποδέκτης του μηνύματος Summary Vector, το οποίο εστάλη από τον κόμβο u . Η κατάσταση μεταξύ των κόμβων, μέχρι αυτό το σημείο, δηλαδή μέχρι και τη λήψη του Summary Vector από τον v , παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.6. Με το μήνυμα Summary Vector ο κόμβος u γνωστοποιεί στον v τους διαφορετικούς τύπους των προορισμών που φέρουν τα πακέτα στην ουρά του. Αυτό γίνεται προκειμένου να εξοικονομηθεί χώρος στο πακέτο, από το να εισάγονταν σε αυτό όλα τα πακέτα δεδομένων που διαθέτει ο κόμβος u . Κάθε κόμβος σχετίζεται με τον προορισμό μέσω του similarity, το πλήθος των κοινών γειτόνων. Οπότε κάθε κόμβος θα έχει ένα similarity για κάθε διαφορετικό προορισμό. Για αυτόν ακριβώς το λόγο, ο κόμβος u εισάγει μαζί με τον κάθε διαφορετικό προορισμό και το similarity που διαθέτει για εκείνον. Τέλος, εισάγεται στο μήνυμα και η τιμή για τη μετρική ego betweenness centrality, με σκοπό αργότερα να συγκριθεί με εκείνη του κόμβου v . Η αμέσως επόμενη φάση, είναι να λάβει ο κόμβος v το Summary Vector και να αξιολογήσει την πληροφορία. Για την ακρίβεια θα συγκρίνει τις δικές του τιμές των μετρικών κοινωνικής δικτύωσης με εκείνες του κόμβου u .



Σχήμα 4.6 Διαδικασία Ανταλλαγής Μηνυμάτων Σηματοδοσίας.

Οι περιπτώσεις που προκύπτουν από τις συγκρίσεις είναι δύο και γίνονται κάθε φορά για έναν προορισμό.

1. Η περίπτωση που οι δύο κόμβοι έχουν διαφορετικά similarities για τον ίδιο προορισμό. Αν ο κόμβος v έχει μεγαλύτερη τιμή για την μετρική από ότι ο κόμβος u , τότε οφείλει να ζητήσει από τον δεύτερο πακέτα δεδομένων που έχουν το συγκεκριμένο προορισμό. Αντίθετα, αν ο κόμβος v έχει μικρότερη τιμή για το similarity δεν εκτελεί καμία ενέργεια, δε ζητάει κανένα πακέτο και συνεχίζει τις συγκρίσεις για τον επόμενο προορισμό που διαβάζει στο μήνυμα Summary Vector.
2. Η δεύτερη περίπτωση είναι οι δύο κόμβοι να έχουν ακριβώς ίδιες τιμές similarity για το συγκεκριμένο προορισμό. Τότε έρχεται η δεύτερη μετρική κοινωνικής δικτύωσης η ego betweenness centrality να παίζει το δικό της ρόλο. Αν η ego betweenness centrality για τον κόμβο v είναι μεγαλύτερη από αυτή που έχει ο κόμβος u , τότε σαφώς και ο v ζητάει όσα πακέτα διαθέτει ο u για το συγκεκριμένο προορισμό. Αν πάλι ισχύει η ανισότητα προς την αντίθετη κατεύθυνση, συνεχίζεται ο έλεγχος για τον επόμενο προορισμό του πακέτου Summary Vector.

Το αποτέλεσμα των παραπάνω συγκρίσεων είναι η εκτίμηση του ιδανικότερου κόμβου προς εύρεση των κόμβων προορισμών. Η λογική που ακολουθείται είναι να

βρεθεί ο κόμβος με το καλύτερο similarity για συγκεκριμένο κάθε φορά προορισμό, από το σύνολο των δύο κόμβων που ανταλλάσσουν τα μηνύματα σηματοδοσίας. Το να επιλεγεί κόμβος με περισσότερες κοινές επαφές με τον προορισμό από το να επιλεγεί κάποιος με καλύτερη τοποθεσία μέσα στο δίκτυο, είναι πιο αποτελεσματικό για τη δρομολόγηση. Για αυτό το λόγο και πρώτα ελέγχεται το similarity των δύο κόμβων και στη συνέχεια το ego betweenness centrality, υπό την πρϋπόθεση βέβαια ότι το similarity είναι ίδιο για τους κόμβους. Η σειρά που ακολουθείται στους ελέγχους έχει συγκεκριμένο νόημα. Σκοπός είναι πρώτα να γίνει έλεγχος αν ο προορισμός ανήκει στο άμεσο γειτονικό περιβάλλον του κόμβου, οπότε και ελέγχεται πρώτα το similarity. Δηλαδή αν υπάρχει κάποιος κόμβος που έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να συναντήσει τον προορισμό επειδή έχει περισσότερες κοινές επαφές με αυτόν, σαφώς και προτιμάται για να προωθήσει τα δεδομένα. Αν δε συμβαίνει κάτι τέτοι τότε ξεφεύγοντας από τα όρια της γειτονιάς αναζητάται ο πιο κεντρικοποιημένος κόμβος, αυτός που ανήκει στα περισσότερα συντομότερα μονοπάτια του δικτύου. Έτσι λοιπόν, αν ο κόμβος v υπερτερεί του u έστω και σε έναν από τους ελέγχους, δημιουργεί ένα νέο πακέτο σηματοδοσίας προκειμένου να ζητήσει από αυτόν τα αντίστοιχα πακέτα δεδομένων. Τα νέο πακέτο ονομάζεται Packet Request και αποτελείται από ένα αναγνωριστικό του τύπου identifier packet request message και το πλήθος των προορισμών. Μέχρι τώρα έχουν ανταλλαχθεί τέσσερις διαφορετικοί τύποι μηνυμάτων σηματοδοσίας. Η διαδικασία φτάνει στο τέλος όταν προωθεί ο κόμβος u στον v , όσα πακέτα δεδομένων έχουν ως προορισμό τον κόμβο που του τα ζήτησε. Έτσι επιτυγχάνεται και ο σκοπός αυτής της σχεδιαστικής προσέγγισης που είναι η ροή πακέτων να κατευθύνεται προς κόμβο με καλύτερες μετρικές κοινωνικής δικτύωσης και επομένως μεγαλύτερες πιθανότητες να παραδώσει τα πακέτα στον προορισμό τους. Η παραπάνω αλληλουχία ανταλλαγής μηνυμάτων σηματοδοσίας που στοχεύει στην τελική ανταλλαγή πακέτων δεδομένων παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3 Αλγόριθμος Δρομολόγησης LBet-SIM.

```

1: upon reception of Hello message from node b do
2:   if new_neighbour(b)== true
3:     for i=0; i< PktQ.size(); i++;
4:       if PktQ(i).dst == b
5:         forward(PktQ(i), b);
6:       end if
7:     end for
8:     update_Neighbours(m);
9:     send_Contact_Request_message(b);
10:  end if
11:
12:  upon reception of Contact_Request_message from node b do
10:    update_Contacts(b, Contact_Request_message);
11:    update_Betweenness();
12:    for i=0; i< PktQ.size(); i++;
13:      compute_similarity(PktQ(i).dst);
14:    end for
15:    send_Summary_Vector_msg(b);
16:
17:  upon reception of Summary_Vector_message from
    node b do
18:    for destination d  $\in$  Summary_Vector_message do
19:      if m.similarity(d) > similarity(d)
20:        request_message.add(d);
21:        send_Packet_Request_message(b, request_message);
22:      else if m.similarity(d) == similarity(d)
23:        if m.BC > BC
24:          request_message.add(d);
24:          send_Packet_Request_message (b, request_message);
26:        end if
27:      end for
28:
29:  upon reception of Packet_Request_message from node b do
30:    Vector data_packets
31:    for i=0; i< PktQ.size(); i++;
32:      if PktQ(i).dst == d
33:        data_packets.add(PktQ(i))
34:      end if
35:    end for
36:    send_packet_data(b, data_packets);

```


4.3. Ο Αλγόριθμος Δρομολόγησης LB-SIM

Μια άλλη πτυχή της διατριβής είναι να δοκιμαστούν και διαφορετικές μετρικές Κοινωνικής Δικτύωσης, πέρα από εκείνες που προτείνει ο αλγόριθμος SimBet. Σκοπός ήταν να εξεταστεί ο μηχανισμός της δρομολόγησης με διαφορετικό είδος μετρικών, ώστε να μπορεί να αξιολογηθεί και από διαφορετική σκοπιά η συμβολή του στη δρομολόγηση των αλγόριθμων. Ο νέος αλγόριθμος LB-SIM που προτείνεται στηρίζεται σε αυτή ακριβώς την παραδοχή και όντως η νέα μετρική που υιοθετεί στη δρομολόγησή του είναι το LBC. Διατηρεί τη μετρική similarity και αντικαθιστά το betweenness centrality του αλγόριθμου LBet-SIM με τη μετρική LBC [8, 20]. Με αυτή την τροποποίηση θα βρίσκονται σε πλεονεκτική θέση οι κόμβοι που είτε έχουν περισσότερες κοινές επαφές με τον προορισμό και άρα είναι πιο πιθανό να τον συναντήσουν (similarity), είτε κόμβοι που λειτουργούν περισσότερο ως γέφυρες μεταξύ τμημάτων του δικτύου (LBC). Οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι LBet-SIM και LB-SIM διαφέρουν μόνο ως προς αυτό το σημείο της μετρικής. Ο LBet-SIM χησιμοποιεί το similarity και το betweenness centrality και ο LB-SIM το similarity και το LBC. Σε όλα τα υπόλοιπα σημεία οι αλγόριθμοι είναι ίδιοι. Έτσι φαίνεται καθαρά η επίδραση της νέας μετρικής LBC και ο τρόπος που επηρεάζει τη δρομολόγηση των δεδομένων. Ο αλγόριθμος LB-SIM εξακολουθεί να διατηρεί τη μεθοδολογία στη δρομολόγηση και να υπολογίζει τη μετρική similarity με τον ίδιο τρόπο που υπολογίζεται και στον LBet-SIM. Επίσης ο αλγόριθμος ανανεώνει της δομές των γειτόνων και των επαφών του με τον ίδιο τρόπο όπως γίνεται στον LBet-SIM. Όσο αφορά το history window έχει νόημα να εξακολουθήσει να υπάρχει και στον LB-SIM για αυτό και συνεχίζει να εφαρμόζεται η τακτική της ανανέωσης των επαφών κάθε κόμβου. Ο αλγόριθμος LB-SIM παρουσιάζει μεγαλύτερη απόδοση σε σχέση με αυτή του SimBet. Περαιτέρω κριτική ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων θα γίνει στο πέμπτο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Περιβάλλον Προσομοίωσης

5.2 Μετρικές Αξιολόγησης των Αλγόριθμων

5.3 Αποτελέσματα και Σχολιασμός

5.1. Περιβάλλον Προσομοίωσης

Ο προσομοιωτής ns2 (Network Simulator), είναι ένα ευρέως διαδεδομένο εργαλείο, το οποίο χρησιμοποιείται για την προσομοίωση ενσύρματων και ασύρματων δικτύων. Ο ns2 μπορεί και ανταποκρίνεται σε όλα τα επίπεδα του μοντέλου OSI. Επίσης, παρέχει σε μεγάλο βαθμό ρεαλιστικές συνθήκες εξέλιξης των προσομοιώσεων, όπως αυτές θα συνέβαιναν σε ένα πραγματικό δίκτυο με πραγματικές παραμέτρους. Ο προσομοιωτής είναι παραμετροποιημένος παρέχοντας τη δυνατότητα στο χρήστη μεταβάλλοντας τις επιμέρους παραμέτρους να αξιολογεί με διαφορετικά κριτήρια τον τρέχων αλγόριθμο κάθε φορά. Ο ns2 δεν αποτελεί ένα τελειωτικό εργαλείο αλλά βελτιώνεται και τροποποιείται προσφέροντας συνεχώς νέες επεκτάσεις.

Το δίκτυο στο οποίο αξιολογήθηκαν οι αλγόριθμοι της διατριβής είναι ένα DTN, το οποίο αποτελούν N στον αριθμό κόμβοι, οι οποίοι κινούνται σε μια επίπεδη περιοχή διαστάσεων X επί Y . Οι τιμές των διαστάσεων οφείλουν να μην είναι πολύ μικρές, ώστε οι κόμβοι να είναι διασκορπισμένοι και όχι συνωστισμένοι και έτσι να εξυπηρετείται και η ιδιότητα του DTN. Η μη συνεχής επικοινωνία από άκρο σε άκρο είναι το βασικό γνώρισμα του DTN. Κάθε κόμβος εκπέμπει σε εμβέλεια ακτίνας R και κινείται με μέγιστη ταχύτητα u . Το μοντέλο κίνηση των κόμβων που χρησιμοποιείται είναι το RWP (Random Way Point). Σύμφωνα με αυτό κάθε κόμβος επιλέγει τυχαία τη θέση στην οποία θα κινηθεί και την ταχύτητα με την οποία θα

κινηθεί προς αυτή. Όταν φτάσει στο σημείο προορισμού, σταματά για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα και συνεχίζει την ίδια διαδικασία. Για τη μοντελοποίηση της κίνησης των δεδομένων μέσα στο δίκτυο χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο CBR (Constant Bit Rate), σύμφωνα με το οποίο παράγονται πακέτα δεδομένων με σταθερό ρυθμό και εισάγονται μέσα στο δίκτυο. Υπάρχει ένα σύνολο κόμβων S το οποίο παράγει και διοχετεύει τα πακέτα δεδομένων μέσα στο δίκτυο με ρυθμό $\lambda = 1 \text{ pkt}/500 \text{ sec}$. Δηλαδή ένα πακέτο δεδομένων παράγεται κάθε 500 δευτερόλεπτα.

Ο συνολικός χρόνος προσομοίωσης είναι 30000 sec και κάθε προσομοίωση επαναλαμβάνεται δέκα φορές. Οι τιμές που προκύπτουν είναι αποτέλεσμα του μέσου όρου των δέκα προσομοιώσεων. Στη συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας 5.1 με τις τιμές των παραμέτρων της προσομοίωσης.

Πίνακας 5.1 Πίνακας Τιμών των Παραμέτρων Προσομοίωσης.

Χρόνος Προσομοίωσης (Simulation Time T)	30000 secs
Αριθμός Επαναλήψεων (Number of Trials)	10
Ακτίνα εμβέλειας (Transmission Range R)	250 m
Μέγιστη Ταχύτητα Κόμβων στο RWP (Max Speed u)	1 m/sec
Κόμβοι που εκπέμπουν πακέτα δεδομένων (Number of Sources S)	30
Ρυθμός Εκπομπής νέων πακέτων δεδομένων (λ)	1pkt/500sec
Χρονικό διάστημα μεταξύ πακέτων ενημέρωσης (Hello interval)	10 sec

Από τις παραμέτρους προσομοίωσης που παρουσιάστηκαν το μέγεθος της περιοχής κίνησης των κόμβων και η ακτίνα εμβέλειας εκπομπής επηρεάζει το εύρος της γειτονιάς κάθε κόμβου καθώς και τη συνδεσιμότητα του δικτύου. Ο ρυθμός εισαγωγής πακέτων δεδομένων στο δίκτυο είναι καθοριστικός παράγοντας για τη διαμόρφωση του delivery ratio.

5.2. Μετρικές Αξιολόγησης των Αλγόριθμων

Οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι της διατριβής κινούνται σε δύο κατευθύνσεις. Ο ένας στόχος είναι να αξιολογηθεί επί της ουσίας ο μηχανισμός της δρομολόγησης, έτσι όπως υλοποιήθηκε βάσει γνωστών μετρικών Κοινωνικής Δικτύωσης. Η μεθοδολογία του multi constraint routing προσφέρει βελτιωμένη απόδοση και αξιόπιστη προώθηση των δεδομένων σε κατάλληλους κόμβους. Η δεύτερη κατεύθυνση που ακολουθείται είναι ο επαναπροσδιορισμός μετρικών και η τροποποίηση τους, με τρόπο που συνεισφέρει θετικά στη λειτουργία και την πρακτική σημασία τους. Αντίστοιχα με τις παραπάνω κατευθυντήριες γραμμές κινήθηκαν και οι πειραματικές μετρήσεις προκειμένου να αξιολογηθεί η πρακτική αξία των υλοποιήσεων και κατ' επέκταση να αναδειχτεί και η συνολική προσφορά της διατριβής. Στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν οι αλγόριθμοι αξιολογήθηκαν ως προς ένα σύνολο μετρικών. Οι μετρικές αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια και παίζουν σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Μέση Καθυστέρηση (mean delay): Η μέση καθυστέρηση ορίζεται ως ο μέσος χρόνος που απαιτείται για να φτάσει ένα πακέτο δεδομένων από την πηγή στον προορισμό. Η μετρική αυτή είναι καθοριστικής σημασίας για την αξιολόγηση της κυκλοφορίας των δεδομένων μέσα στο δίκτυο. Βέβαια στα δίκτυα που μελετώνται η μέση καθυστέρηση είναι αναμενόμενο να κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα. Στα DTNs τα πακέτα παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στους ενδιάμεσους κόμβους μέχρι να φτάσουν εν τέλει στον προορισμό τους, εξαιτίας της μη συνεχόμενης επικοινωνίας. Όσο πιο πολύ παραμένει ένα πακέτο στον buffer κάποιου κόμβου ή όσα περισσότερα άλματα κάνει κατά τη διαδικασία των προωθήσεων του, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η μέση καθυστέρησή του όταν φτάσει στον προορισμό. Στα πειραματικά αποτελέσματα η τιμή της μέσης καθυστέρησης αναφέρεται στο σύνολο των πακέτων δεδομένων που παραδόθηκαν στους προορισμούς τους κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Μέσο Πλήθος Αλμάτων (mean hop): Το μέσο πλήθος αλμάτων είναι η μέση τιμή του συνολικού πλήθους αλμάτων που πραγματοποιεί ένα πακέτο κατά την κίνησή του μέσα στο δίκτυο. Το μέσο πλήθος αλμάτων ορίζεται μόνο για τα πακέτα που

παραδόθηκαν στον τελικό τους προορισμό. Μόνο για τα παραδοτέα πακέτα έχει νόημα να μετριέται το μέσο πλήθος αλμάτων.

Ποσοστό Επιτυχούς Παράδοσης Πακέτων Δεδομένων (delivery ratio): Από το συνολικό πλήθος των πακέτων που παράγονται από τους κόμβους πηγές και διοχετεύονται στο σύστημα, το ποσοστό εκείνο που παραδίδεται στους τελικούς παραλήπτες ορίζει και το ποσοστό επιτυχούς παράδοσης των πακέτων του δικτύου. Το delivery ratio που επιτυγχάνουν οι παρόντες αλγόριθμοι δεν αποτελεί καθαρά ενδεικτικό κριτήριο της απόδοσης του μηχανισμού της δρομολόγησης. Ακριβώς επειδή πρόκειται για ασύρματο δίκτυο, συντρέχουν και άλλοι λόγοι που ευθύνονται για τη μερική απώλεια δεδομένων. Όπως για παράδειγμα οι συγκρούσεις πακέτων κατά το συγχρονισμό μεταδόσεων ή η απόρριψη πακέτων από τους πεπερασμένους αποθηκευτικούς χώρους των κόμβων. Παρ' όλα αυτά, το ποσοστό επιτυχούς παράδοσης των πακέτων δεδομένων αποτελεί κύριο κριτήριο αξιολόγησης της συμπεριφοράς του αλγόριθμου.

Αριθμός Προωθήσεων Πακέτων Δεδομένων (Number of Forwards): Η μετρική αυτή αναφέρεται στο πλήθος των προωθήσεων που πραγματοποιεί ένας κόμβος στη διάρκεια μιας προσομοίωσης. Το άθροισμα των προωθήσεων όλων των κόμβων του δικτύου αποτελεί τον αριθμό των προωθήσεων που εκτελέστηκαν σε όλο το δίκτυο.

Πλήθος Χαμένων Πακέτων (Dropped Packets): Το σύνολο των χαμένων πακέτων δεδομένων ορίζεται από τον εξής τύπο: $\text{generated packets} - (\text{packets in queue} + \text{delivered packets})$. Τα generated packets είναι το σύνολο των πακέτων που παρήχθησαν και εισάχθηκαν στο δίκτυο. Τα packets in queue είναι τα πακέτα που παρέμειναν στις ουρές των κόμβων και δε βρήκαν τους τελικούς παραλήπτες. Τέλος τα delivered packets είναι τα πακέτα που παραδόθηκαν επιτυχώς στους προορισμούς τους.

5.3. Αποτελέσματα και Σχολιασμός

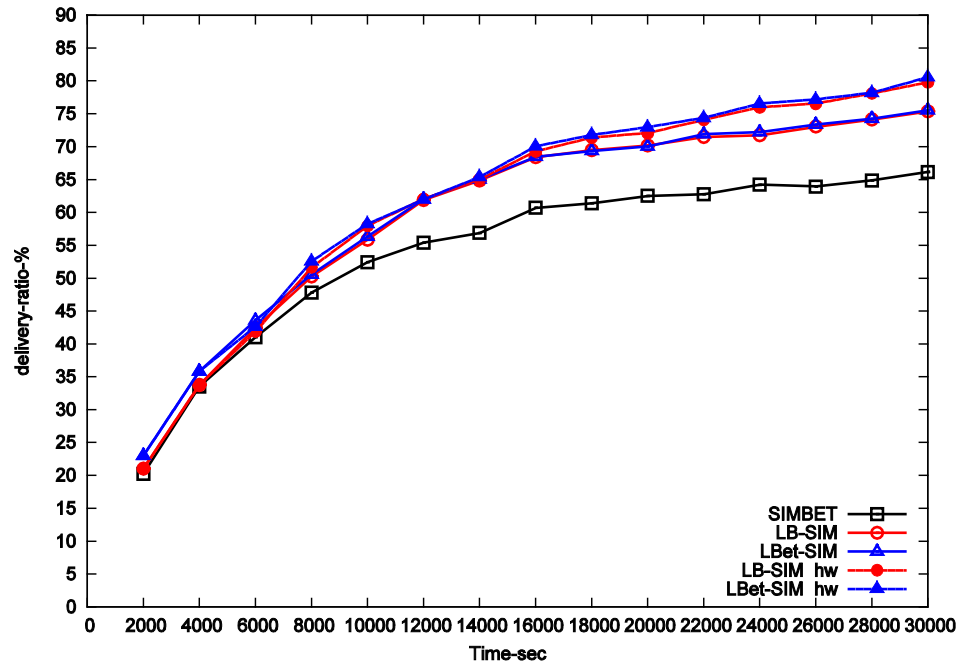
Στο Κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η πειραματική μελέτη και θα αναλυθούν λεπτομερώς τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Η συνολική διαδικασία της

αξιολόγησης των αλγόριθμων κατανέμονται σε τρία πειράματα. Κάθε πείραμα έχει ως σκοπό να αξιολογήσει τη λειτουργία των αλγόριθμων σε διαφορετικές συνθήκες του δικτύου δηλαδή με διαφορετικές παραμέτρους. Οι αλγόριθμοι κρίνονται με βάση τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

5.3.1. 1^ο Πείραμα: Απόδοση Αλγόριθμων με την ύπαρξη ή όχι History Window

Μια επιπλέον συνεισφορά της διατριβής εντοπίζεται στον τρόπο διαχείρισης των επαφών ενός κόμβου. Η ιστορία του δικτύου εκφράζεται με το άθροισμα των επαφών που έχει αποκτήσει ένας κόμβος σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας του. Σε αυτή την πειραματική ενότητα, θα αξιολογηθεί η επίδραση της χρήσης history window στη διαχείριση των επαφών. Το history window έχει ως σκοπό να θέσει ένα χρονικό όριο της παραμονής των επαφών στην αποθηκευτική δομή ενός κόμβου. Ο λόγος που επιλέγεται μια τέτοια τακτική έχει διπλή σημασία. Από τη μία είναι επιθυμητό να διατηρηθεί η ιστορία του δικτύου, ανανεώνοντας τις επαφές κατά μεγάλα χρονικά διαστήματα (5000 sec) και όχι σύντομα, διατηρώντας όμως παράλληλα και τη σύγχρονη μορφή τους. Στα πειράματα εκτελέστηκαν οι αλγόριθμοι στην περιοχή διαστάσεων 3000m x 2000m αρχικά χωρίς history window και στη συνέχεια με την εισαγωγή του. Σκοπός των προσομοιώσεων ήταν να παρουσιαστεί η επίδραση της νέας μεθοδολογίας διαχείρισης των επαφών στην απόδοση των αλγόριθμων.

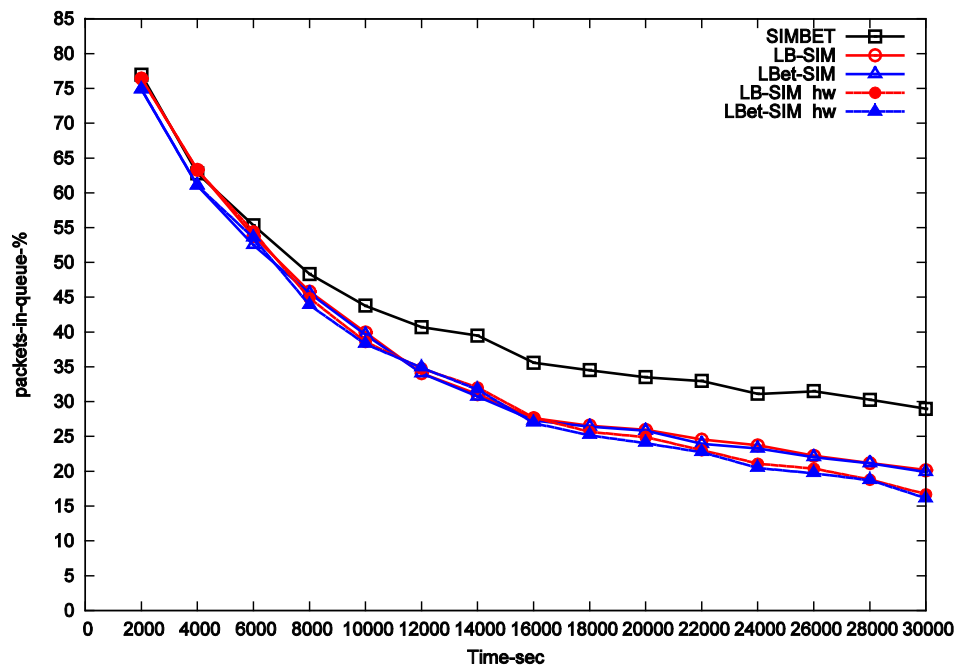
Αρχικά λοιπόν αξιολογούνται οι αλγόριθμοι ως προς την μετρική του ποσοστού επιτυχούς παράδοσης των δεδομένων (delivery ratio). Το Σχήμα 5.1 είναι αντιπροσωπευτικό των πειραματικών αποτελεσμάτων. Στην περιοχή 3000m x 2000m οι αλγόριθμοι LBet-SIM και LB-SIM συμπεριφέρονται πολύ καλύτερα από ότι ο αλγόριθμος SIMBET. Αυτό οφείλεται στο ότι βελτιώνουν την απόδοση του μηχανισμού δρομολόγησης καθώς και αξιοποιούν καλύτερα τις μετρικές Κοινωνικής Δικτύωσης. Μεγάλη σημασία έχει η αναφορά της επίδρασης του history window. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι χωρίς τη χρήση του history window οι αλγόριθμοι επιτυγχάνουν αυξημένη απόδοση κατά 10% σε σχέση με τον αλγόριθμο SimBet. Ενώ με την περιοδική κατά μεγάλα χρονικά διαστήματα ανανέωση των επαφών, το ποσοστό επιτυχούς παράδοσης των δεδομένων αυξάνεται κατά 15%, πάντα σε σχέση με τον SimBet.



Σχήμα 5. 1 Ποσοστό Επιτυχούς Παράδοσης Δεδομένων με και χωρίς Παράθυρο Ιστορίας.

Επομένως με τη χρήση του history window στη συγκεκριμένη περιοχή κίνησης παραδίδονται περισσότερα πακέτα δεδομένων σε ποσοστό 5%, από ότι χωρίς τη χρήση του history window. Αυτή η πρόοδος οφείλεται στη σωστότερη διαχείριση των επαφών του δικτύου. Με το history window οι επαφές αποκτούν συνέπεια ως προς το χρόνο και ανταποκρίνονται περισσότερο στη μορφή του δικτύου ως προς κάποιο στιγμιότυπο, συμβάλλοντας ωστόσο στη διατήρηση της ιστορίας του. Φαίνεται λοιπόν, ότι η ιδέα της χρονικής ανανέωσης των επαφών ενός κόμβου, τον βοηθά στο να αποκτήσει μια πιο ενημερωμένη άποψη για τους υπόλοιπους κόμβους που έχει συναντήσει και έτσι να αξιολογήσει καλύτερα τον επόμενο παραλήπτη των δεδομένων που θα προωθήσει. Κρίνοντας την απόδοση των αλγόριθμων LBet-SIM και LB-SIM και από μια διαφορετική σκοπιά, επιβεβαιώνεται η θετική επίδραση του history window. Το ποσοστό πακέτων που παραμένουν στους αποθηκευτικούς χώρους των κόμβων είναι ένας ενδεικτικός παράγοντας της βελτιωμένης λειτουργίας των νέων αλγόριθμων ως προς αυτή του SimBet. Με το Σχήμα 5.2 αποδुकνείται εύκολα η παραπάνω θέση. Τα αυξημένα ποσοστά των επιτυχημένων παραδόσεων που σημειώνουν οι αλγόριθμοι LBet-SIM και LB-SIM κυρίως για την περιοχή (3000m x 2000m) επιβεβαιώνονται και από το μειωμένο ποσοστό εναπομεινάντων πακέτων

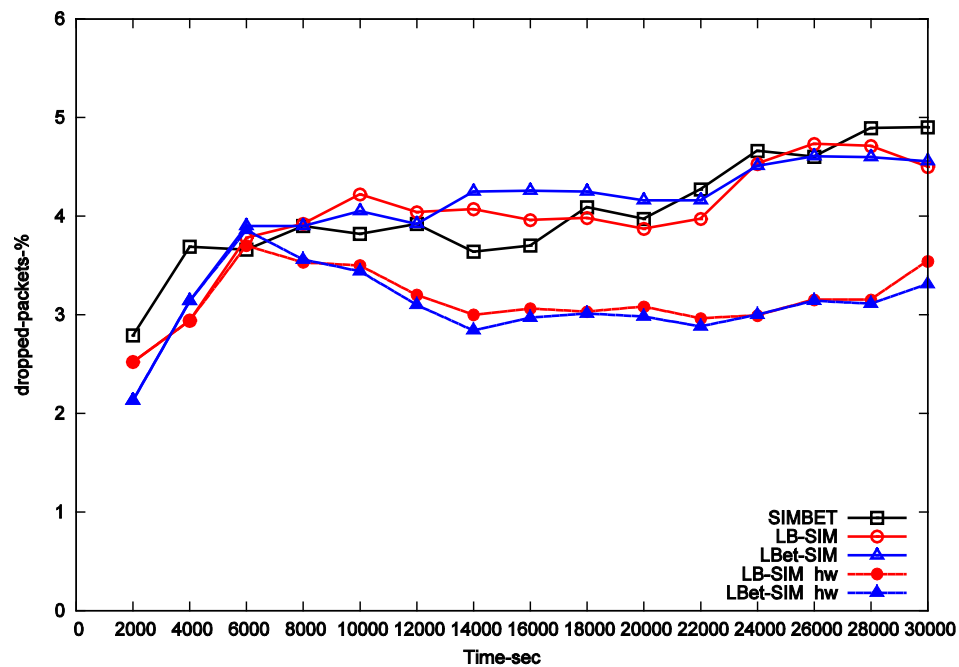
στους αποθηκευτικούς χώρους των κόμβων. Σύμφωνα με τους προτεινόμενους αλγόριθμους, κάθε κόμβος καταφέρνει να προωθήσει το μεγαλύτερο μέρος των πακέτων που λαμβάνει, με αποτέλεσμα το συνολικό πλήθος των εναπομείναντων πακέτων στις ουρές όλων των κόμβων να μην ξεπερνά το ποσοστό του 21%. Ειδικότερα συγκρίνοντας το πλήθος των πακέτων δεδομένων που παραμένουν στους αποθηκευτικούς χώρους στις δύο περιπτώσεις χρήσης και μη, του history window προκύπτει το ακόλουθο συμπέρασμα. Οι αλγόριθμοι LBet-SIM και LB-SIM όταν χρησιμοποιούν το history window στη διαχείριση των επαφών τους, σημειώνουν χαμηλότερα ποσοστά πλήθους πακέτων τα οποία δεν προωθούνται και παραμένουν στις ουρές. Αναμενόμενο το παραπάνω αποτέλεσμα, από τη στιγμή που παραδίδονται περισσότερα πακέτα στους τελικούς παραλήπτες.



Σχήμα 5. 2 Ποσοστό Πακέτων Δεδομένων στις ουρές με και χωρίς Παράθυρο Ιστορίας.

Μια άλλη μετρική που αποδεικνύει τη θετική εισφορά του history window στη διαχείριση των επαφών είναι το πλήθος των dropped πακέτων. Τα dropped packets ορίστηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Οι παράγοντες για τους οποίους ένα πακέτο μπορεί να χαθεί είναι είτε επειδή δε χωράει στην ουρά, είτε επειδή συγκρούστηκε με κάποιο άλλο πακέτο εξαιτίας συγχρονισμένης μετάδοσης, είτε επειδή απλά δεν

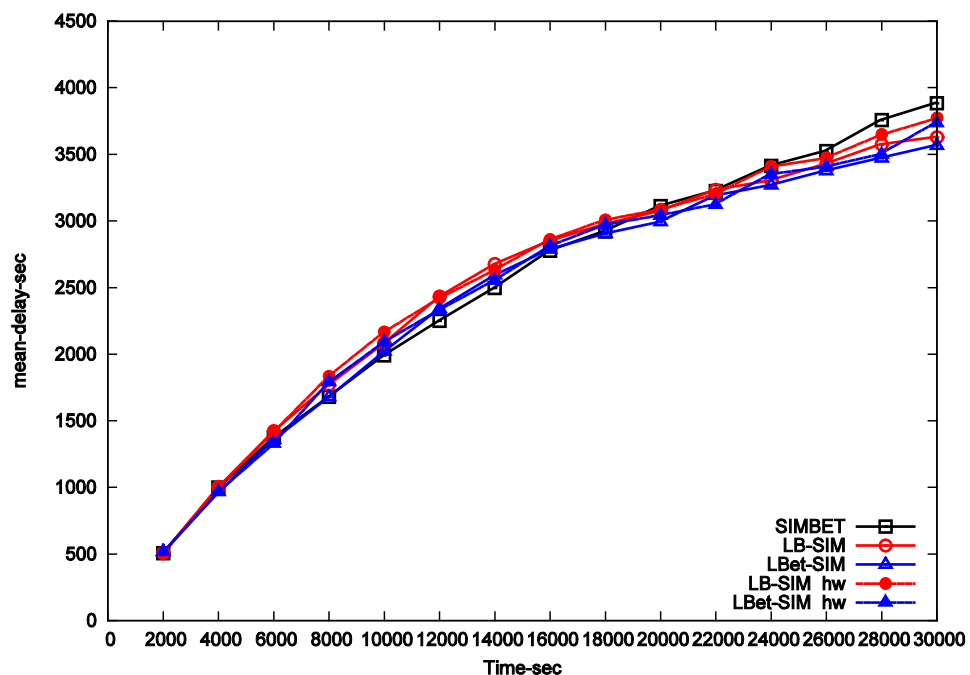
κατάφερε να βρει τον προορισμό του. Επομένως, αν το πλήθος των dropped packets κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, το πλήθος των επιτυχημένων παραδόσεων είναι το πιο πιθανό να αντιστοιχίζεται σε υψηλά επίπεδα. Στο Σχήμα 5.3 δικαιολογείται η καλύτερη απόδοση των αλγόριθμων LBet-SIM και LB-SIM που χρησιμοποιούν history window από το χαμηλό ποσοστό πακέτων που χάθηκαν. Για παράδειγμα για τον αλγόριθμο LBet-SIM χωρίς history window τα dropped packets στο τέλος της προσομοίωσης είναι 4,56%, ενώ με χρήση history window για τον ίδιο πάντα αλγόριθμο είναι μόλις 3,31%.



Σχήμα 5. 3 Ποσοστό Χαμένων Πακέτων με και χωρίς Παράθυρο Ιστορίας.

Συνεχίζοντας την αξιολόγηση της νέας μεθοδολογίας του history window ελέγχονται οι τιμές για τη μέση καθυστέρηση (mean delay) που σημειώνουν τα πακέτα δεδομένων ανάλογα τον αλγόριθμο δρομολόγησης που εξετάζεται κάθε φορά. Η γενική παρατήρηση που προκύπτει από το Σχήμα 5.4 είναι ότι το mean delay των πακέτων για τις παρούσες υλοποιήσεις και στις δύο περιοχές κίνησης κυμαίνεται σε παρόμοιες και ελάχιστα μικρότερες τιμές από ότι κυμαίνεται ο SimBet. Μπορεί οι διαφορές να μην είναι μεγάλες, ωστόσο με παρόμοιες τιμές για mean delay οι LBet-SIM και LB-SIM επιτυγχάνουν καλύτερη παράδοση πακέτων. Το ποσοστό επιτυχούς παράδοσης πακέτων δεδομένων είναι στενά συνδεδεμένο με το μέσο πλήθος αλμάτων

(mean hop) που κάνουν αυτά τα πακέτα όταν παραδίδονται στον προορισμό. Όσο λιγότερα τα άλματα ενός πακέτου για να φτάσει στον προορισμό τόσο το καλύτερο για την απόδοση του αλγόριθμου. Βέβαια είναι φυσική συνέπεια να αυξάνεται το mean hop αν παραδίδεται και μεγαλύτερο πλήθος πακέτων. Στο Σχήμα 5.5 παρουσιάζονται οι τιμές του μέσου πλήθους αλμάτων των πακέτων για τους προτεινόμενους αλγόριθμους με και χωρίς την ιδιότητα του history window αντίστοιχα. Η παρατήρηση που προκύπτει είναι ότι για το ζεύγος των προτεινόμενων αλγόριθμων που χρησιμοποιούν history window, το mean hop των πακέτων που παραδίδονται είναι ελαφρώς αυξημένο, ακριβώς επειδή παραδίδονται περισσότερα πακέτα.

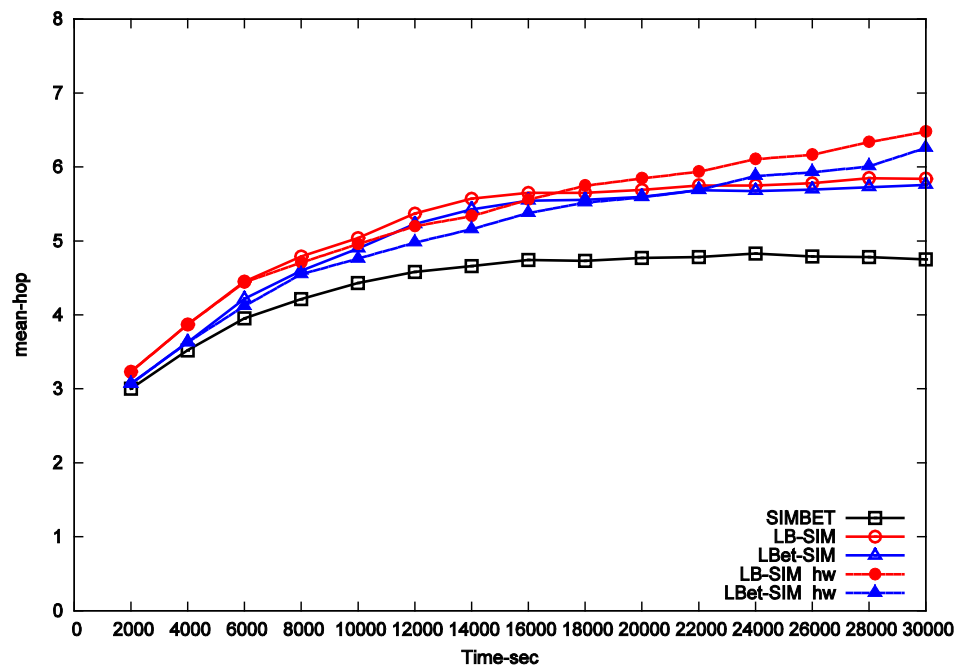


Σχήμα 5. 4 Μέση Καθυστέρηση με και χωρίς Παράθυρο Ιστορίας.

5.3.2. 2^ο Πείραμα: Απόδοση Αλγόριθμων με Διαφορετικούς Τρόπους Υπολογισμού της μετρικής Similarity.

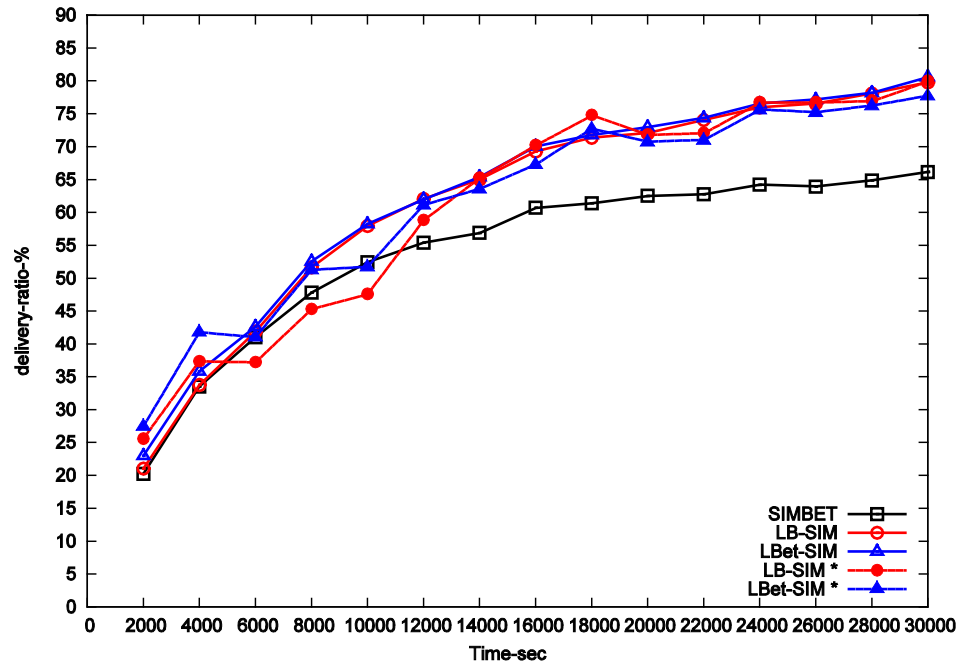
Στη συγκεκριμένη κατηγορία πειραμάτων δοκιμάστηκαν οι αλγόριθμοι LBet-SIM και LB-SIM, πάντα ως προς σύγκριση με τον αλγόριθμο SimBet. Η περιοχή κίνησης είναι 3000m x 2000m και οι κόμβοι κινούνται με ταχύτητα 5m/sec. Οι υπόλοιπες παράμετροι των προσομοιώσεων παραμένουν σταθερές με τιμές που ορίστηκαν στον Πίνακα 5.1. Επιπλέον οι αλγόριθμοι σε αυτό το πείραμα φέρουν παράθυρο ιστορίας

για τη χρονική διαχείριση των επαφών τους. Στόχος είναι να μελετηθεί η συμπεριφορά των υλοποιήσεων ως προς διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού του similarity. Στον αλγόριθμο SimBet εντοπίστηκαν κάποια ζητήματα στη διαδικασία υπολογισμού του similarity και για αυτό το λόγο ορίστηκε εκ νέου η μεθοδολογία.



Σχήμα 5. 5 Μέσο Πλήθος Αλμάτων με Παράθυρο Ιστορίας και χωρίς.

Σε αυτό το πείραμα είσης, προσομοιώθηκαν οι αλγόριθμοι LBet-SIM και LB-SIM ως προς δύο κατευθύνσεις. Στην πρώτη περίπτωση ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται το similarity είναι ακριβώς όπως στο SimBet. Με αυτό τον τρόπο θα τονιστεί η επίδραση του νέου μηχανισμού δρομολόγησης που προτείνεται στους αλγόριθμους. Οι αλγόριθμοι στους οποίους το similarity υπολογίζεται ακριβώς όπως στον SimBet ονομάζονται LBet-SIM* και LB-SIM* αντίστοιχα. Στο Σχήμα 5.6 παρουσιάζονται τα ποσοστά επιτυχούς παράδοσης για διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού του similarity (LBet-SIM, LBet-SIM*), αντίστοιχα και για τον LB-SIM. Η απόδοση των αλγόριθμων όταν το similarity υπολογίζεται λαμβάνοντας υπ' όψη μόνο την άμεση επαφή είναι λίγο βελτιωμένη. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τα μειωμένα ποσοστά των πακέτων που παραμένουν στις ουρές των κόμβων στο τέλος της προσομοίωσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.7.

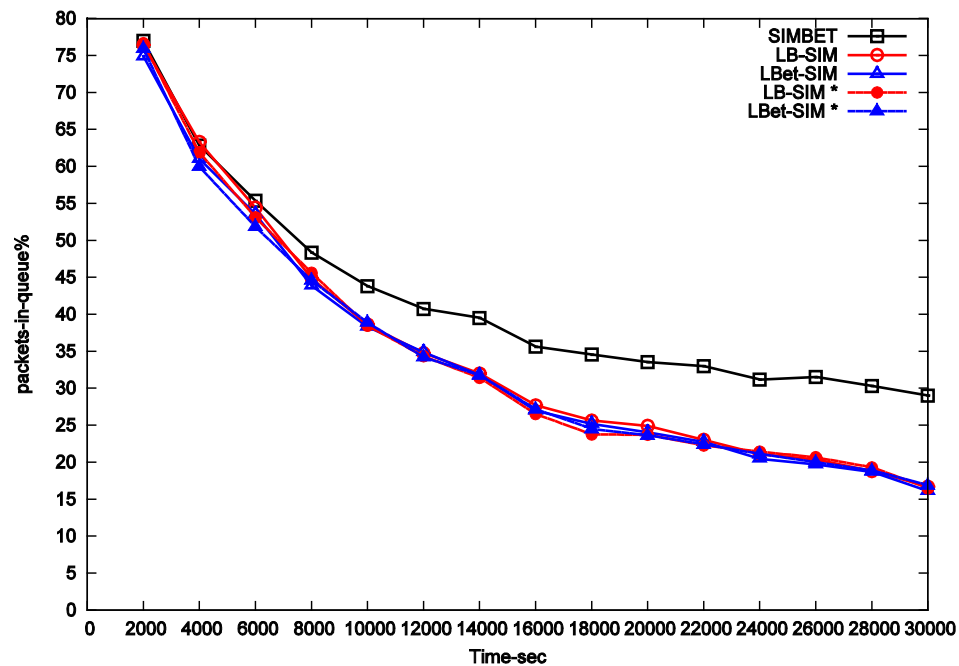


Σχήμα 5. 6 Ποσοστά Επιτυχούς Παράδοσης Δεδομένων για Διαφορετικούς Τρόπους Υπολογισμού του similarity.

5.3.3. 3^ο Πείραμα: Απόδοση Αλγορίθμων με χρήση History Window σε Διαφορετικές Μέγιστες Ταχύτητες

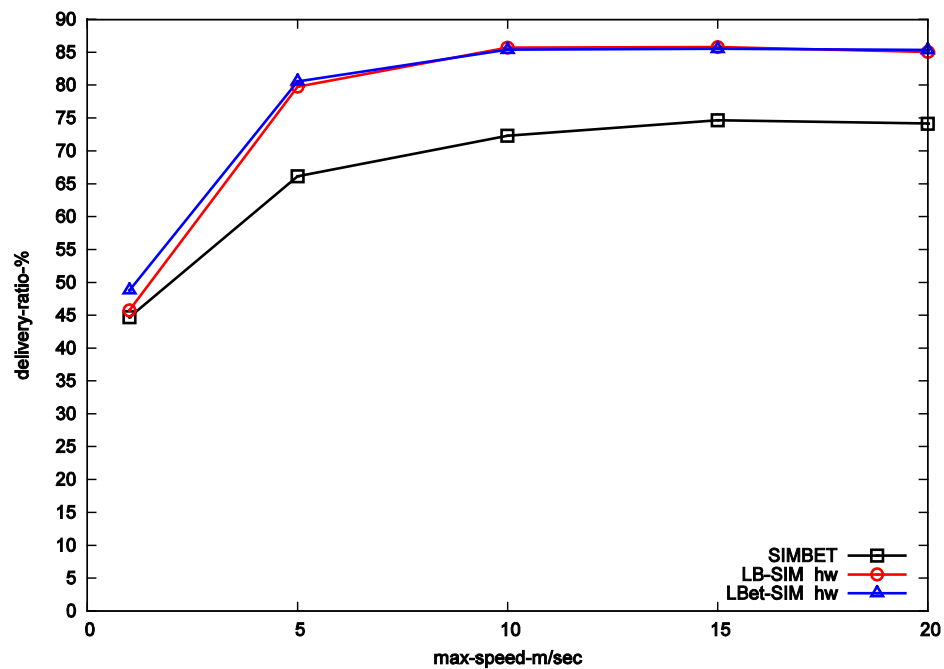
Διατηρώντας την περιοδική ενημέρωση των επαφών, που όπως αποδुकνείται επιδρά θετικά στη γενικότερη συμπεριφορά των αλγορίθμων LBet-SIM και LB-SIM, εξακολουθεί η αξιολόγηση μεταβάλλοντας άλλα χαρακτηριστικά του δικτύου. Οι νέοι αλγόριθμοι δοκιμάζονται σε συνθήκες συνεχώς αυξανόμενης κινητικότητας, στην περιοχή κίνησης a (3000m x 2000m), προκειμένου να διαπιστωθεί αν όντως οι νέες τεχνικές που προτείνουν ανταποκρίνονται ικανοποιητικά. Η ταχύτητα κίνησης ενός κόμβου επηρεάζει σημαντικά τη συχνότητα με την οποία εισέρχεται και εξέρχεται από εμβέλειες άλλων κόμβων. Αυτό το γεγονός με τη σειρά του διαμορφώνει το σύνολο των επαφών που αποκτά αυτός ο κόμβος και κατ' επέκταση και τις τιμές των μετρικών Κοινωνικής Δικτύωσης που τον χαρακτηρίζουν. Αρχικά λοιπόν δίνεται βαρύτητα στο ποσοστό πακέτων που παραδίδονται στους ζητούμενους προορισμούς καθώς η μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορούν να κινηθούν οι κόμβοι αυξάνεται (Σχήμα 5.8). Στα πειράματα που εκτελέστηκαν το σύνολο τιμών για τις μέγιστες ταχύτητες των κόμβων είναι το εξής $u=\{1 \text{ m/sec}, 5 \text{ m/sec}, 10\text{m/sec}, 15 \text{ msec}, 20$

m/sec}. Αξιολογήθηκαν για άλλη μια φορά οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι ως προς τον ήδη υπάρχοντα αλγόριθμο SimBet.



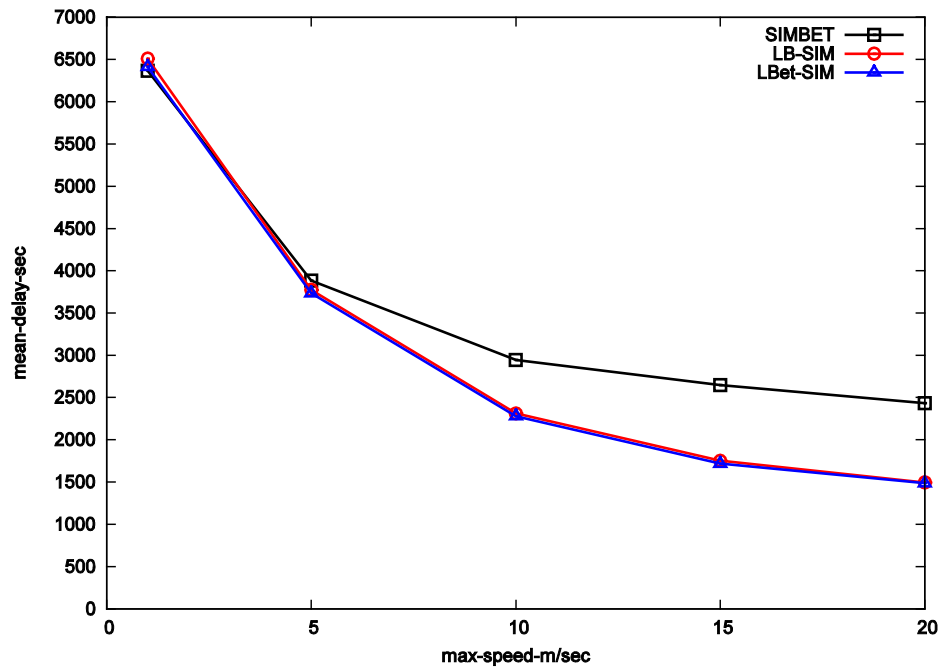
Σχήμα 5. 7 Ποσοστά Πακέτων που Παραμένουν στις Ουρές με Διαφορετικούς Τρόπους της μετρικής similarity.

Τα αποτελέσματα μπορούν να ερμηνευθούν έχοντας υπ' όψη ότι η συνεχώς αυξανόμενη κινητικότητα των χρηστών αυξάνει και των πλήθος των επαφών που αποκτά κάποιος κόμβος κατά τη διάρκεια της κίνησής του μέσα στο δίκτυο. Σε όλο το εύρος ταχυτήτων οι αλγόριθμοι LBet-SIM και LB-SIM υπερβαίνουν την απόδοση του αλγόριθμου SimBet. Αυτή η υπεροχή οφείλεται στο διαφορετικό μηχανισμό δρομολόγησης που προτείνουν οι αλγόριθμοι καθώς και στη χρήση του history window. Αυτό βέβαια όσο αφορά τη συσχέτισή τους με το SimBet. Συγκρίνοντας την ισχύ παράδοσης δεδομένων των δύο αλγόριθμων LBet-SIM και LB-SIM παρατηρείται παρεμφερής συμπεριφορά. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι με την αύξηση της ταχύτητας οι κόμβοι αποκτούν σιγά σιγά μεγάλο πλήθος επαφών. Η συνδεσιμότητά τους αυξάνεται με αποτέλεσμα να περιορίζεται ο ρόλος των μετρικών Κοινωνικής Δικτύωσης και έτσι οι αλγόριθμοι να συμπεριφέρονται σχεδόν το ίδιο, παρά το ότι διαθέτουν εν μέρει διαφορετικές μετρικές.



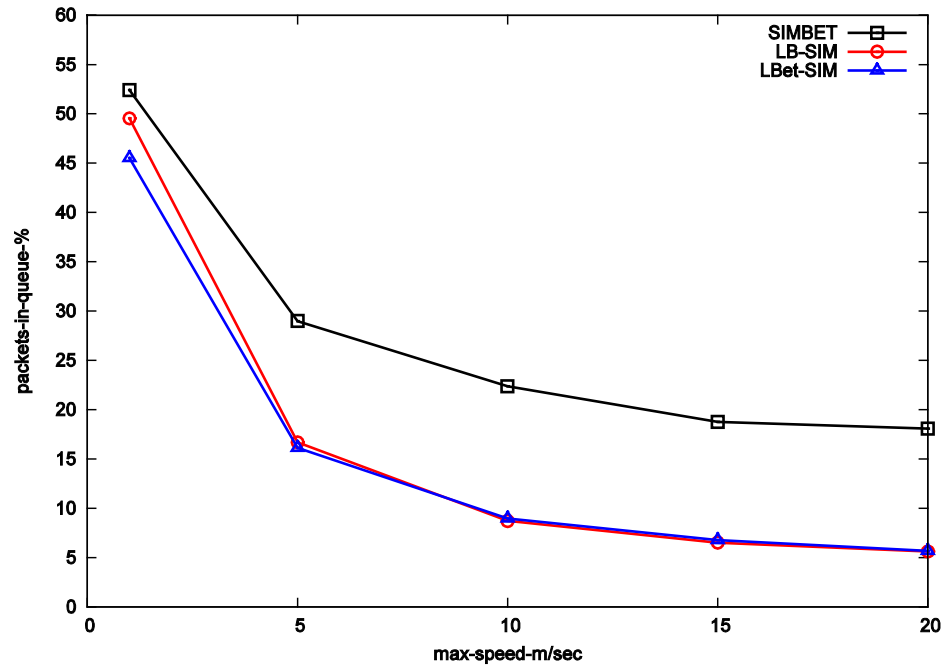
Σχήμα 5. 8 Ποσοστά Επιτυχούς Παράδοσης Δεδομένων με Παράθυρο Ιστορίας σε Διαφορετικές Μέγιστες Ταχύτητες.

Όσο αφορά τη μέση καθυστέρηση των πακέτων αυτή παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον, διότι μειώνεται σημαντικά όσο αυξάνεται η ταχύτητα κίνησης των κόμβων. Έτσι λοιπόν για τους αλγόριθμους LBet-SIM και LB-SIM με τη χρήση history window, η μέση καθυστέρηση μετάδοσης των δεδομένων μειώνεται σχεδόν στο μισό από τη μέση καθυστέρηση που παρουσιάζει ο αλγόριθμος SimBet (Σχήμα 5.9). Η αύξηση του ποσοστού επιτυχούς παράδοσης πακέτων που επιτυγχάνουν οι προτεινόμενες υλοποιήσεις επιβεβαιώνεται και από το πλήθος των πακέτων δεδομένων που απομένουν στους αποθηκευτικούς χώρους των κόμβων. Πράγματι τα ποσοστά εναπομείναντων πακέτων στις ουρές είναι υποδιπλασιασμένα σε σχέση με τα ποσοστά που παρατηρούνται στον αλγόριθμο SimBet, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.10). Για ταχύτητα 1 m/sec τα πακέτα στις ουρές βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα από εκείνα για μεγαλύτερες ταχύτητες. Αυτό συμβαίνει διότι η κινητικότητα των κόμβων στην αρχή είναι πολύ μικρή με αποτέλεσμα να αντιστοιχούν ελάχιστοι έως και καθόλου γείτονες σε κάθε κόμβο προκειμένου να προωθήσουν τα πακέτα, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται στις ουρές.

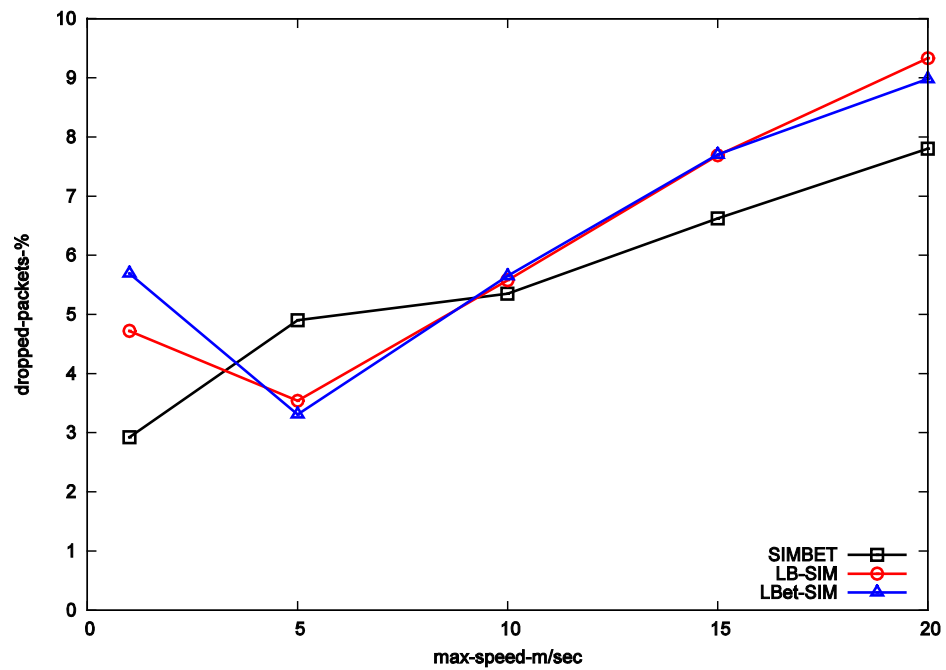


Σχήμα 5. 9 Μέση Καθυστέρηση με Παράθυρο Ιστορίας σε Διαφορετικές Μέγιστες Ταχύτητες.

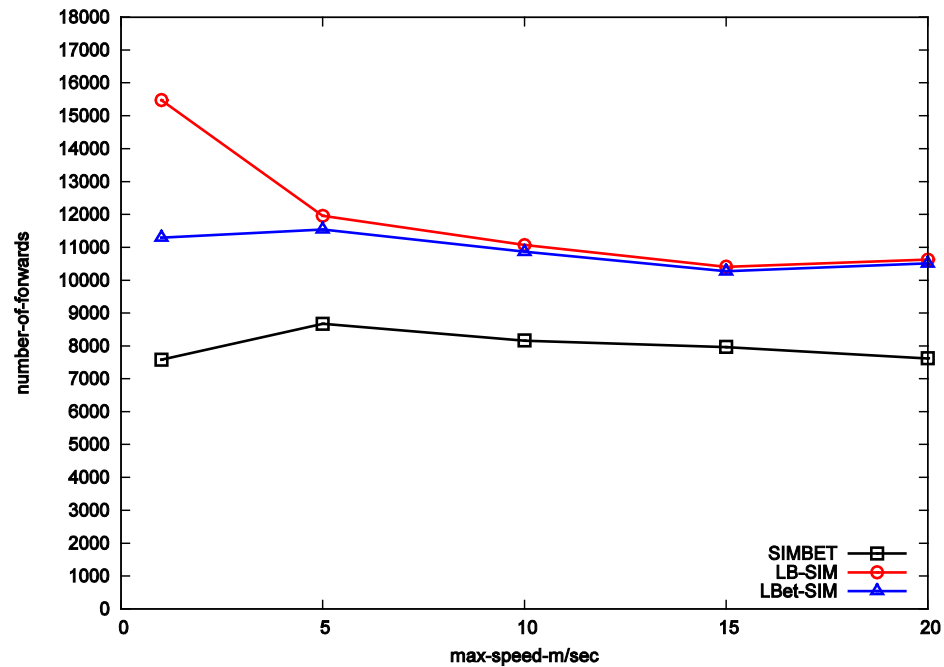
Καθώς η ταχύτητα κίνησης των κόμβων αυξάνεται, αυξάνονται και οι υποψήφιοι παραλήπτες των πακέτων σε ενδιάμεσα βήματα της διαδρομής τους. Παρατηρώντας το Σχήμα 5.11 και το ποσοστό των πακέτων που χάθηκαν δημιουργεί προβληματισμό η αυξητική τάση που παρατηρείται. Μετά την ταχύτητα των 5m/sec χάνονται πολλά πακέτα και με ανοδική τάση στα ποσοστά. Η εξήγηση που δικαιολογεί το μεγάλο ποσοστό πακέτων που χάνονται παρά το ικανοποιητικό delivery ratio και τα λίγα πακέτα στις ουρές είναι η εξής. Τα πακέτα που προωθούνται δεν προλαβαίνουν να φτάσουν στον ενδιάμεσο προορισμό τους επειδή αυτός κινείται με μεγάλη ταχύτητα και βγαίνει συχνά εκτός εμβέλειας εκπομπής του κόμβου αποστολέα. Η παραπάνω συμπεριφορά των κόμβων γίνεται αντιληπτή και από το πλήθος των προωθήσεων που συντελούνται στο δίκτυο. Οι πολλές προωθήσεις που φαίνονται στο Σχήμα 5.12 δικαιολογούν τη μεγάλη κυκλοφορία των πακέτων μέσα στο δίκτυο. Οι κόμβοι εισέρχονται και εξέρχονται πολύ συχνά από τις εμβέλειες εκπομπής άλλων κόμβων, με αποτέλεσμα πιο εύκολα να μην παραδίδονται πακέτα που προορίζονται για αυτούς σε ενδιάμεσα στάδια της διαδικασίας της δρομολόγησης.



Σχήμα 5. 10 Ποσοστά Πακέτων στις Ουρές των κόμβων με Παράθυρο Ιστορίας σε Διαφορετικές Μέγιστες Ταχύτητες.



Σχήμα 5. 11 Ποσοστά Πακέτων που Χάθηκαν με Παράθυρο Ιστορίας σε Διαφορετικές Μέγιστες Ταχύτητες.

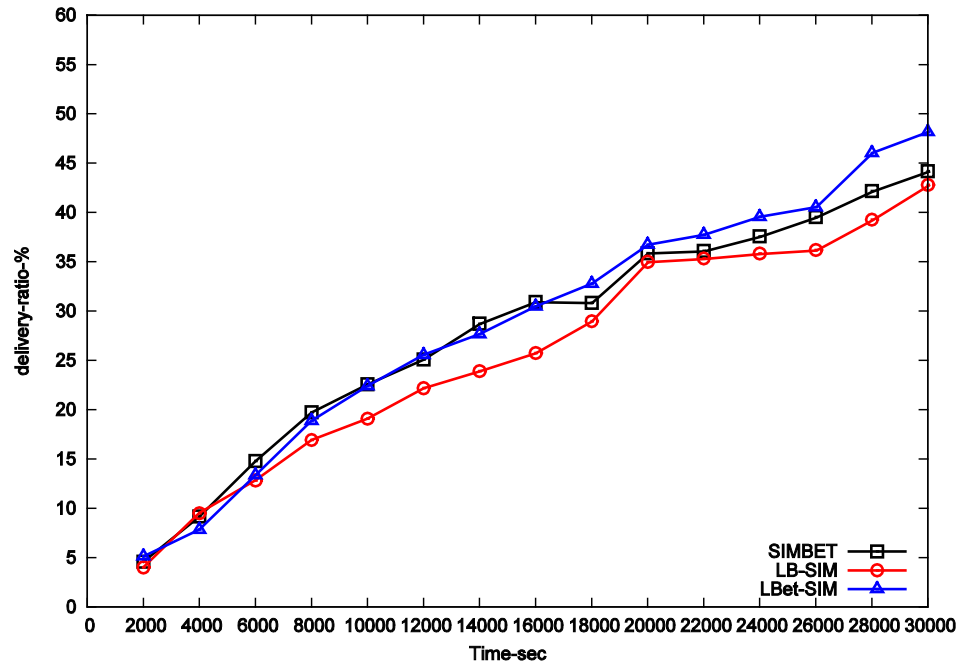


Πίνακας 5. 12 Πλήθος Προωθήσεων με Παράθυρο Ιστορίας σε Διαφορετικές Μέγιστες Ταχύτητες.

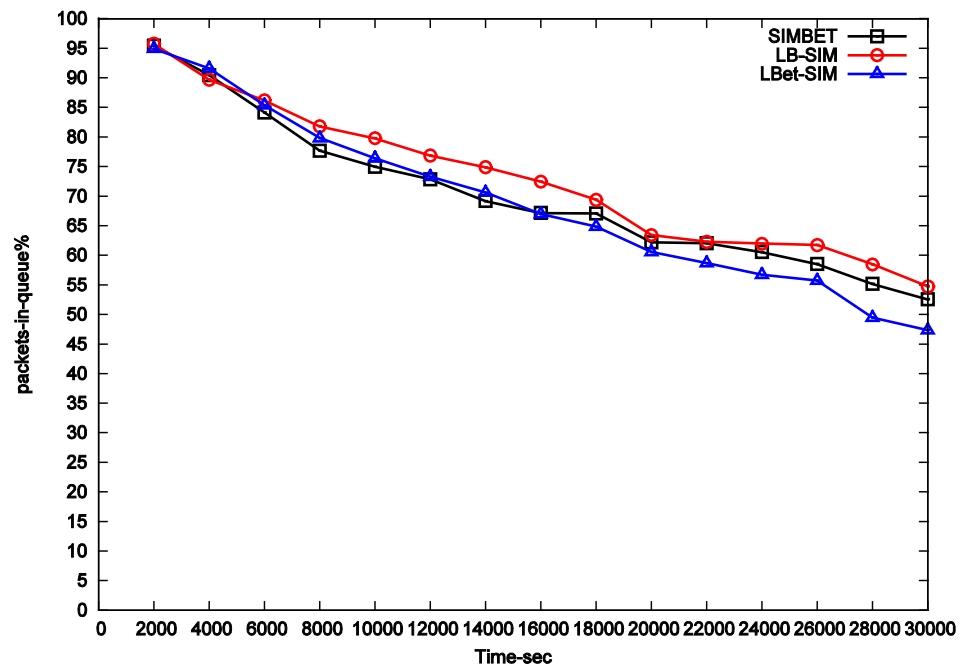
Στο παρακάτω γράφημα οι νέοι αλγόριθμοι φαίνεται να έχουν περισσότερες προωθήσεις από ότι ο SimBet, γεγονός που δικαιολογεί και το καλύτερο ποσοστό παράδοσης πακέτων.

5.3.4. 4^ο Πείραμα: Απόδοση Αλγόριθμων με χρήση History Window σε Μεγάλη Περιοχή Κίνησης

Σε αυτή την κατηγορία πειραμάτων μελετήθηκε η συμπεριφορά των αλγόριθμων σε μεγάλη περιοχή κίνησης 5000m x 5000m με την ύπαρξη παράθυρου ιστορίας. Σκοπός ήταν να προσομοιωθούν οι αλγόριθμοι σε περιοχή όπου οι κόμβοι θα είναι διασκορπισμένοι και οι επαφές περιορισμένες. Στο Σχήμα 5.13 παρουσιάζονται τα ποσοστά επιτυχούς παράδοσης των πακέτων δεδομένων. Όπως φαίνεται από το γράφημα τα ποσοστά κινούνται σε χαμηλά επίπεδα και αυτό οφείλεται τόσο στον περιορισμένο αριθμό γειτόνων που αντιστοιχούν σε κάθε κόμβο, αλλά και κατ' επέκταση και στο μειωμένο πλήθος επαφών που αναλογούν σε καθέναν.



Σχήμα 5. 13 Ποσοστά Επιτυχούς Παράδοσης Δεδομένων με Παράθυρο Ιστορίας σε Περιοχή Κίνησης 5000m x 5000m.



Σχήμα 5. 14 Ποσοστά Πακέτων στις Ουρές των κόμβων με Παράθυρο Ιστορίας σε Περιοχή Κίνησης 5000m x 5000m.

Τα κενά συνδεσιμότητας μεταξύ των κόμβων εξαιτίας της διευρυμένης περιοχής κίνησής τους δημιουργούν πρόβλημα στην αποδοτική προώθηση των δεδομένων. Αυτό το συμπέρασμα προκύπτει και από το πλήθος των πακέτων που παραμένουν στους αποθηκευτικούς χώρους των κόμβων. Στο Σχήμα 5.14 γίνεται αντιληπτό ότι παρά το γεγονός ότι το πλήθος των πακέτων στις ουρές διαγράφει πτωτική τάση, ωστόσο το 50% σχεδόν των πακέτων δεν προωθείται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η βασική προσέγγιση που ακολουθήθηκε στα πλαίσια αυτής της διατριβής είναι η δρομολόγηση με βάση Αρχές Κοινωνικής Δικτύωσης, σε δίκτυα στα οποία μια διαδρομή από άκρο σε άκρο εμφανίζεται μόνο σε στιγμιότυπα. Η ιδέα της απόδοσης ενός DTN στη μορφή ενός κοινωνικού γράφου δίνει νέα προοπτική στη σχεδίαση και υλοποίηση αλγόριθμων. Σε αυτή την κατεύθυνση προσανατολίζεται η παρούσα διατριβή προτείνοντας δύο αλγόριθμους τον LBet-SIM και LB-SIM. Οι συγκεκριμένες προτάσεις συνέβαλαν σημαντικά στη βελτίωση πρόσφατων προσεγγίσεων συνεισφέροντας τόσο στη βελτίωση του μηχανισμού δρομολόγησης, όσο και στον καλύτερο επαναπροσδιορισμό των μετρικών Κοινωνικής Δικτύωσης.

Οι αλγόριθμοι LBet-SIM και LB-SIM διαφοροποιούνται σημαντικά από τον ήδη προτεινόμενο αλγόριθμο SimBet. Ο πρώτος τομέας διαφοροποίησης αφορά τη δρομολόγηση. Η υλοποίηση που παρουσιάζεται στη διατριβή υιοθετεί την τεχνική multi constraint routing χρησιμοποιώντας ως κριτήρια αξιολόγησης προώθησης δύο μετρικές Κοινωνικής Δικτύωσης. Η δεύτερη συμβολή εντοπίζεται στην επαναπροσαρμογή της μετρικής similarity, βελτιώνοντας με αυτόν τον τρόπο την απόδοση των αλγόριθμων. Παρατηρώντας τις μετρικές ως προς τις οποίες αξιολογήθηκαν οι νέες προτάσεις της διατριβής αυτό που παρατηρείται είναι ότι τα ποσοστά επιτυχούς παράδοσης των δεδομένων είναι σαφώς βελτιωμένα από αυτά που αντιστοιχούν στον αλγόριθμο SimBet. Ειδικά στην περίπτωση μεγάλης κινητικότητας των κόμβων τα δεδομένα παραδίδονται στους προορισμούς τους επιτυχώς σε ποσοστό 85% και παράλληλα η μέση καθυστέρηση μετάδοσής τους μειώνεται στα 1500sec περίπου. Για σταθερή ταχύτητα 5m/sec οι LBet-SIM και LB-SIM συμπεριφέρονται πολύ καλύτερα από τον αλγόριθμο SimBet, διότι καταφέρνουν με σχεδόν ίδια μέση καθυστέρηση μετάδοσης να παραδώσουν περισσότερα δεδομένα. Όσο αφορά τη χρήση του history window αυτή όπως δείχνουν τα πειράματα φαίνεται

να επιδρά θετικά όταν υπάρχει ικανοποιητικό πλήθος επαφών. Δηλαδή όταν σε σενάρια χαμηλής κινητικότητας των κόμβων το πλήθος των επαφών είναι περιορισμένο η περιοδική ανανέωση των επαφών των κόμβων δεν είναι και τόσο αποτελεσματική. Αντίθετα, όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των επαφών τόσο περισσότερο βοηθάει η διαχείρισή τους με τη χρήση παραθύρου ιστορίας. Ένα άλλο θέμα που πρέπει να αναφερθεί είναι το μεγάλο πλήθος των πακέτων που χάνονται όταν οι κόμβοι κινούνται με μεγάλες ταχύτητες. Όπως αναφέρθηκε οι κόμβοι κινούνται τόσο γρήγορα με αποτέλεσμα η δομή τη γειτονιάς για κάθε κόμβο να αλλάζει πολύ συχνά. Έτσι λοιπόν η γνώση της γειτονιάς δεν ανταποκρίνεται τόσο πολύ στην τρέχουσα κάθε φορά στιγμή, με συνέπεια τα πακέτα που βρίσκονται σε ενδιάμεσα άλματα να προορίζονται για κόμβους που δεν είναι εκείνη τη στιγμή γείτονες του αποστολέα. Νόημα εδώ θα είχε η επιλογή κατάλληλη του Hello interval. Όταν η κινητικότητα των κόμβων αυξάνεται σημαντικά μια περίοδος ενημέρωσης των γειτονιών μικρότερη των 10 sec θα βοηθούσε στην καλύτερη ανανέωσή τους και στον πιο updated χαρακτήρα τους.

Δευτερευόντως αναφέρεται και η άλλη συμβολή της διατριβής που είναι ο αλγόριθμος LB-SIM. Η συγκεκριμένη πρόταση διαφοροποιείται ως προς τον LBet-SIM ως προς το είδος των μετρικών Κοινωνικής Δικτύωσης που χρησιμοποιεί. Σκοπός ήταν να αξιολογηθεί η επίδραση μιας νέας μετρικής, του LBC. Ο LB-SIM, όπως φαίνεται από τα πειραματικά αποτελέσματα προσφέρει ανάλογες βελτιώσεις σε θέματα απόδοσης και εξοικονόμησης αποθηκευτικών χώρων.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] A. Chaintreau, P. Hui, J. Crowcroft, J. Diot, R. Gass, and J. Scott. “Impact of Human Mobility on the Design of Opportunistic Forwarding Algorithms”, IEEE Educational Activities Department, Vol. 6, pp 606-620, June 2007.
- [2] A. Chaintreau, P. Hui, , J. Scott, R. Gass, J. Crowcroft and C. Diot. “Pocket Switched Networks and Human Mobility in Conference Environments”, INFOCOM, August 2005.
- [3] E. Daly and M. Haahr. “Social network analysis for routing in disconnected delay-tolerant MANETs”, In Proceedings of ACM MobiHoc, pp 32 - 40, 2007.
- [4] K. Fall. “A Delay Tolerant Network Architecture foa Challenged Internets”, In Proceedings of ACM SIGCOMM, pp 27-34, March 2003.
- [5] L. C. Freeman. “Centrality in social networks centrality clarification”, Social Networks, Vol. 1(3), pp 215-239, 1979.
- [6] M. Grossglauser and D. Tse, “Mobility Increases the Capacity of Ad Hoc Wireless Networks,” INFOCOM, 2001.
- [7] R. Handorean. “Accommodating Transient Connectivity in Ad Hoc and Mobile Settings”, Pervasive, pp 21-23, April 2004.
- [8] P. Hui, J. Crowcroft and E. Yoneki. “Bubble rap: social-based forwarding in delay tolerant networks”, International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking &

Computing: Proceedings of the 9th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing, pp 241-250, 2008.

[9] W. Hwang, Y. Cho, A. Zhang and M. Ramanathan. “Localized Bridging centrality for Distributed Network Analysis”, Technical Report, Department of Computer Science and Engineering, University of Buffalo, March 2006.

[10] S. Jain. “Routing in Delay Tolerant Network”, ACM SIGCOM, pp 145-158, 2004.

[11] Q. Li and D. Rus, “Communication in Disconnected Ad Hoc Networks Using Message Relay,” J. Parallel Distributed Computing, Vol. 63(1), pp 75–86, January, 2003.

[12] A. Lindgren. “Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks”, Mobile Comp. and Commun. Rev., Vol. 7(3), pp 19 - 20, October 2001.

[13] P. V. Marsden, “Egocentric and sociocentric measures of network centrality”, Social networks (Soc. networks) 24, pp 407-402, October 2002.

[14] S. Merugu. “Routing in Space and Time in Networks with Predictable Mobility”, Georgia Institute of Technology, Technical Report, GIT-CC, July 2004.

[15] D. Nain et al., “Integrated Routing and Storage for Messaging Applications in Mobile Ad Hoc Networks,” Proc. WiOpt, Autiplus, France, March, 2003.

[16] S. Nanda and D. Kotz. “Localized Bridging Centrality for Distributed Network Analysis”, Dartmouth Computer Science Technical Report TR2008-612, January 2008.

[17] L. Pelusi, A. Passarella and M. Conti. “Opportunistic Networking: Data Forwarding in Disconnected Mobile Ad Hoc Networks”, IEEE Communications Magazine, November 2006.

- [18] R. Ramanathan, R. Hansen, P. Basu, R. R. Hain and R. Krishan. "Prioritized epidemic routing for opportunistic networks", International Conference On Mobile Systems, Applications And Services: Proceedings of the 1st international MobiSys workshop on Mobile opportunistic networking, pp 62 - 66, 2007.
- [19] T. Small and Z. J. Haas, "The Shared Wireless Infostation Model — A New Ad Hoc Networking Paradigm (or Where there is a Whale, there is a Way)," Mobihoc 2003, June, 2003.
- [20] T. Spyropoulos, K. Psounis and C. S. Raghavendra. "Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks", ACM SIGCOMM, pp 252 - 259, 2005.
- [21] J. Su, "User Mobility for Opportunistic Ad-Hoc Networking", 6th IEEE Wksp. Mobile Comp. Sys. and Applications (WMCSA), UK, December, 2004.
- [22] F. Tchakountio and R. Ramanathan, "Tracking Highly Mobile Endpoints," ACM Workshop. Wireless Mobile Multimedia (WoWMoM), July, 2001.
- [23] A. Vahdat and D. Becker, "Epidemic Routing for Partially Connected Ad Hoc Networks," Tech. Rep. CS-200006, Department of Computer Science, Duke University, Durham, NC, 2000.
- [24] F. Wartham. "Delay-Tolerant Network Architecture", DTN Research Group Internet Draft Version 1.1, March 2003.
- [25] Z. Zhang. "Routing in Intermittently Connected Mobile Ad Hoc Networks and Delay Tolerant Networks: Overview and Challenges", IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol. 8(1), January 2006.

ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ

Η Μαχαίρα Ειρήνη γεννήθηκε το 1985 στην Κόρινθο. Αποφοίτησε από το 3^ο Γενικό Λύκειο Κορίνθου το 2003 και εισήχθη την ίδια χρονιά στο Τμήμα Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Το Σεπτέμβριο του 2007 ολοκλήρωσε τις προπτυχιακές σπουδές και στη συνέχεια παρακολούθησε το μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Τα ερευνητικά της ενδιαφέροντά εστιάζονται στον τομέα των Δικτύων Υπολογιστών και συγκεκριμένα στη σχεδίαση πρωτοκόλλων Ασύρματης Δικτύωσης.

