



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΚΤΥΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Οπτοϋνιστικά Δίκτυα: Προετοιμασία Εργαστηριακών
Ασκήσεων**

Κωνσταντίνος Ν. Ζτούπης Αναστάσιος Ν. Συκάς

Επιβλέποντες: **Ιωάννης Σταυρακάκης, Καθηγητής**
Μερκούριος Καραλιόπουλος, Ερευνητής – Marie Curie Fellow

ΑΘΗΝΑ

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2012

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Οπορτουμιστικά Δίκτυα: Προετοιμασία Εργαστηριακών Ασκήσεων

Κωνσταντίνος Ζτούπης
Α. Μ.: M1152

Αναστάσιος Συκάς
Α. Μ.: M1148

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: Ιωάννης Σταυρακάκης, Καθηγητής
Μερκούριος Καραλιόπουλος, Ερευνητής – Marie Curie Fellow

Απρίλιος 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα Δίκτυα με ανοχή σε σφάλματα και καθυστερήσεις (Delay/Disruption Tolerant Networks) ή, γενικότερα, οπορτουνιστικά δίκτυα αποτελούν μια σχετικά πρόσφατη εκδοχή δικτύωσης με αρκετά ιδιαίτερα χαρακτηριστικά σε σχέση με τα ασύρματα τοπικά δίκτυα ή τα μακροκυβελωτά δίκτυα. Δεν προσφέρουν συνεχή διατελεσματική (end-to-end) συνδεσιμότητα, παρά πραγματοποιούνται μέσω της κινητικότητας των κόμβων και των συναντήσεων (επαφών) τους. Τα μηνύματα ταξιδεύουν από το ένα σημείο του δικτύου στο άλλο με δύο τρόπους, είτε αποθηκευμένα στη μνήμη των κινούμενων κόμβων, είτε με μεταφορά τους από τον έναν στον άλλο, όταν υπάρξει συνάντησή τους.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η προετοιμασία εργαστηριακών ασκήσεων πάνω στα οπορτουνιστικά δίκτυα, οι οποίες θα ενσωματωθούν στο διδακτικό υλικό του μεταπτυχιακού μαθήματος του εαρινού εξαμήνου «Προηγμένες Δικτυακές Τεχνολογίες». Ο σκοπός των εργαστηριακών ασκήσεων είναι διπλός. Αφενός, οι φοιτητές του μαθήματος θα έχουν την ευκαιρία να αφομοιώσουν καλύτερα και με πιο δημιουργικό τρόπο ένα σημαντικό μέρος της ύλης του μαθήματος, που αφορά στα οπορτουνιστικά δίκτυα. Οι ασκήσεις έχουν επιλεγεί στοχευμένα να εστιάζουν σε λιγότερο διαισθητικά αναμενόμενα αποτελέσματα/φαινόμενα, στα οποία αξίζει οι φοιτητές να επιμείνουν. Αφετέρου, στόχος των ασκήσεων είναι να εκθέσουν και εκπαιδεύσουν τους φοιτητές του μεταπτυχιακού μαθήματος σε ερευνητικά εργαλεία που θα τους είναι απόλυτα χρήσιμα αν επιθυμήσουν να ασχοληθούν περαιτέρω με την έρευνα. Οι ασκήσεις κινούνται γύρω από τη λειτουργία τριών βασικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης μηνυμάτων σε οπορτουνιστικά δίκτυα. Τα πρωτόκολλα έχουν επιλεγεί εσκεμμένα καθώς αντιπροσωπεύουν διακριτές στρατηγικές δρομολόγησης πληροφορίας στο απαιτητικό περιβάλλον των οπορτουνιστικών δικτύων. Κατά την Επιδημική (Epidemic) διάδοση, οι κόμβοι συνεχώς αναπαράγουν και αναμεταδίδουν τα μηνύματα σε άλλους κόμβους που συναντούν και δεν διαθέτουν ήδη ένα αντίγραφο του μηνύματος. Το πρωτόκολλο της Spray and Wait διάδοσης θέτει ένα αυστηρό άνω όριο στον αριθμό των αντιγράφων του μηνύματος και στον αριθμό των αναπηδήσεων του στο δίκτυο, μέχρι να παραδοθεί στον προορισμό του, βελτιώνοντας τη χρήση των πόρων του δικτύου (αποθήκευση, ενέργεια). Τέλος, η Prophet δρομολόγηση εκπροσωπεί μια άλλη κατηγορία πρωτοκόλλων που δεν υιοθετεί την ευρεία εκπομπή πακέτων, αλλά επιλέγει κατάλληλους ενδιάμεσους αναμεταδότες (relays) του μηνύματος στηριζόμενη στην πρότερη ιστορία των συναντήσεων των κόμβων του δικτύου. Τρεις ασκήσεις έχουν ετοιμαστεί με αντικείμενο τη συμπεριφορά των πρωτοκόλλων σε διάφορα σενάρια. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η έμφαση είναι στη σύγκριση των πρωτοκόλλων και στα παραδείγματα διάδοσης μηνυμάτων που εκπροσωπούν. Η πρώτη άσκηση περιλαμβάνει τη σύγκριση των πρωτοκόλλων διάδοσης Epidemic και Spray and Wait για διαφορετικές τιμές του Buffer Size και του TTL. Η δεύτερη άσκηση επικεντρώνει στη χρήση του πρωτοκόλλου δρομολόγησης Prophet, με την κίνηση των δικτυακών κόμβων να προσομοιώνεται μέσω της χρήσης πραγματικών δεδομένων μετρήσεων (traces). Η τρίτη άσκηση καταπιάνεται με την μελέτη της ανθεκτικότητας και της ευαισθησίας των πρωτοκόλλων διάδοσης Epidemic και Spray and Wait σε συνθήκες ελλιπούς συνεργασίας. Όλες οι συγκρίσεις μεταξύ των πρωτοκόλλων γίνονται με βάση τις τρεις βασικές μετρικές επίδοσης (ποσοστό των παραδοθέντων μηνυμάτων, καθυστέρηση παράδοσης και πλήθος των μεταδόσεων που απαιτούνται για την παράδοση). Η υποστηρικτική δουλειά (υπόβαθρο) για τις ασκήσεις παρουσιάζεται στα κεφάλαια 3-5 της διπλωματικής, αντίστοιχα, ενώ οι ασκήσεις καθ' αυτές παρατίθενται στο παράρτημα II της διπλωματικής εργασίας. Και οι τρεις ασκήσεις έχουν υλοποιηθεί με τη βοήθεια του προσομοιωτή οπορτουνιστικών δικτύων ONE (Opportunistic Networking Environment), τον οποίο ανακαλύψαμε και μάθαμε να χρησιμοποιούμε κατά τη διάρκεια της

διπλωματικής εργασίας. Ο ONE είναι προσομοιωτής διακριτών γεγονότων και επιλέχθηκε διότι εστιάζει ξεκάθαρα στην προσομοίωση των οπορτουνοιστικών δικτύων, συνδυάζοντας μοντέλα κινητικότητας, πρωτόκολλα δρομολόγησης και δυνατότητες οπτικοποίησης του δικτύου. Οι βασικές λειτουργίες που προσομοιώνονται στον ONE είναι η κίνηση των κόμβων και οι επαφές τους, και η δρομολόγηση και διεκπεραίωση μηνυμάτων. Παραθέτουμε μια σύντομη περιγραφή του προσομοιωτή στο 2^ο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας, ενώ στο Παράρτημα Ι δίνονται οδηγίες για την εγκατάστασή του.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Δίκτυα με Ανοχή στις Καθυστερήσεις

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: οπορτουνοιστικά δίκτυα, πρωτόκολλα δρομολόγησης, κεντρικότητα, traces, προσομοιωτής Οπορτουνοιστικού Περιβάλλοντος Δικτύωσης (ONE)

ABSTRACT

Delay/Disruption Tolerant Networks (DTNs) or, generally opportunistic networks are a relatively recent version of networking with several special features in relation to wireless LANs or mobile cellular networks. Although they do not provide simultaneous end-to-end connectivity, (space-time) paths between network nodes are implemented through the mobility of the nodes and their contacts. The messages travel from one network point to another in two ways. They are either stored in the memory of the mobile nodes or transferred from one to another node, when they encounter each other.

The ultimate goal of this thesis is the preparation of laboratory exercises on the opportunistic networks, which will be incorporated in the teaching material of the spring semester postgraduate course "Advanced Network Technologies". The purpose of laboratory exercises is twofold. Firstly, the students will have the opportunity to digest, better and in a more creative way, an important part of the course material, relating to opportunistic networks. The exercises are chosen to focus on less intuitively expected results, on which students deserve to persist. Secondly, the aim of the exercises is to expose and educate students in research tools that are totally useful if they wish to engage in further research. The exercises evolve around three basic routing protocols in opportunistic networks. The protocols have been deliberately chosen as they represent distinct strategies for routing information in the demanding environment of opportunistic networks. During the Epidemic dissemination, nodes continuously reproduce and transmit messages to other nodes they encounter and do not already have a copy of the message. The Spray and Wait protocol sets a strict upper limit to the number of copies of the message and to the number of hops they traverse in the network, thus improving the use of network resources (storage, energy). Finally, the Prophet routing protocol represents another class of protocols that do not adopt the broad emission and route packets based on the history of the network. Three exercises have been prepared on the behavior of protocols in different scenarios. In most cases, the emphasis is on comparing the protocols and the paradigms they represent. The first exercise involves comparing the Epidemic and Spray and Wait spread, using different values of Buffer Size and TTL. The second exercise includes the use of routing protocol Prophet, stressing the integration of this movement of network nodes via the traces. The third exercise consists of studying the resilience and vulnerability of the Epidemic and Spray and Wait protocols under conditions of poor cooperation. All applications involve comparisons between the protocols in terms of key performance measures (delivery probability, latency and overhead). Supportive work for the exercises is presented in Chapters 3-5 of the thesis, respectively, while the exercises themselves are listed in Annex II of the thesis. All three exercises are implemented using the opportunistic network simulator ONE (Opportunistic Networking Environment); we learnt to use ONE during the thesis. ONE is a discrete event simulator and was chosen because it clearly focuses on the simulation of opportunistic networks, combining mobility models, routing schemes and network visualization capabilities. The basic emulated functions are the movement of nodes and their contacts, and the routing and forwarding messages. There is a brief description of the simulator in the second chapter of the thesis, and in Appendix I are provided instructions for installation.

SUBJECT AREA: Delay/Disruption Tolerant Networks

KEYWORDS: opportunistic networks, routing protocols, centrality, traces,
Opportunistic Networking Environment (ONE) simulator

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον Επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθηγητή κ. Ιωάννη Σταυρακάκη, για την ευκαιρία που μας έδωσε να εργαστούμε σε ένα τόσο σύγχρονο και συνάμα ενδιαφέρον αντικείμενο. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Ερευνητή – Marie Curie Fellow κ. Μερκούριο Καραλιόπουλο για τις γνώσεις που μας μετέδωσε, τη συνεχή και σημαντική στήριξη και βοήθειά του και τον πολύτιμο χρόνο που μας αφιέρωσε για την επίβλεψη της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Κλείνοντας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας για την υποστήριξη που μας έδειξαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΟΠΟΡΤΟΥΝΙΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	19
1.1 Εισαγωγή Θέματος	19
1.2 Εισαγωγή στα Δίκτυα Ανθεκτικά σε Καθυστέρηση	19
1.2.1 Χαρακτηριστικά των DTN Δικτύων	20
1.2.2 Κατηγορίες DTN Δικτύων	21
1.2.3 Μεταγωγή Μηνυμάτων με Αποθήκευση και Προώθηση (Store-Carry and Forward Message Switching).....	22
1.2.4 DTN Αρχιτεκτονική.....	23
1.3 Κατηγοριοποίηση Αλγόριθμων Δρομολόγησης σε DTNs	24
1.3.1 Ντετερμινιστικοί Αλγόριθμοι	24
1.3.2 Στοχαστικοί Αλγόριθμοι	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΠΡΟΣΟΜΙΩΤΗΣ ONE (THE ONE SIMULATOR)	27
2.1 Περιγραφή Προσομοιωτή ONE	27
2.2 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης του Προσομοιωτή ONE	30
2.2.1 Μετρικές Επίδοσης των Πρωτοκόλλων Δρομολόγησης	31
2.3 Μοντέλα Κινητικότητας του Προσομοιωτή ONE	32
2.4 Αρχιτεκτονική Λειτουργίας του Προσομοιωτή ONE	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΙΚΤΥΑΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ	37
3.1 Εισαγωγή της Spray and Wait και της Epidemic Διάδοσης	37
3.2 Παράμετροι και Διαδικασία Προσομοίωσης	38
3.3 Γραφικές Απεικονίσεις των Βασικών Μετρικών Επίδοσης ως προς Buffer Size για Διαφορετικά TTL	39
3.3.1 Περιγραφή και Ανάλυση Γραφικών Απεικονίσεων των Βασικών Μετρικών Επίδοσης ως προς Buffer Size για Διαφορετικά TTL	41
3.4 Γραφικές Απεικονίσεις των Βασικών Μετρικών Επίδοσης ως προς TTL για Διαφορετικά Buffer Size	43
3.4.1 Περιγραφή και Ανάλυση Γραφικών Απεικονίσεων των Βασικών Μετρικών Επίδοσης ως προς TTL για Διαφορετικά Buffer Size	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ PROPHET ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ TRACES ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΧΡΗΣΤΩΝ	47
4.1 Εισαγωγή στο Probabilistic Routing using History of Encounters and	

Transitivity (Prophet).....	47
4.2 Περιγραφή των Traces.....	48
4.3 Παράμετροι και Διαδικασία Προσομοίωσης	48
4.4 Διαδικασία Επιλογής των Βέλτιστων Τιμών για τις Παραμέτρους ρ_{init} , β , γ για τα Αρχεία Cambridge και Infocom05	50
4.4.1 Διαδικασία Επιλογής των Βέλτιστων Τιμών για τις Παραμέτρους ρ_{init} , β , γ για το Αρχείο Cambridge.....	50
4.4.2 Διαδικασία Επιλογής των Βέλτιστων Τιμών για τις Παραμέτρους ρ_{init} , β , γ για το Αρχείο Infocom05	54
4.5 Γραφικές Απεικονίσεις των Βασικών Μετρικών Επίδοσης των Βέλτιστων Παραμέτρων κάτω από Traces	58
4.6 Περιγραφή Γραφικών Απεικονίσεων των Βασικών Μετρικών Επίδοσης των Βέλτιστων Παραμέτρων κάτω από Traces.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΤΩΝ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΕ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΕΛΛΙΠΟΥΣ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑΣ	61
5.1 Εισαγωγή στην Έννοια της Κεντρικότητας (Centrality)	61
5.2 Παράδειγμα Υπολογισμού Betweenness Centrality	63
5.3 Παράμετροι και Διαδικασίας Προσομοίωσης	65
5.4 Γραφικές Απεικονίσεις και Σύγκριση Τιμών των Βασικών Μετρικών Επίδοσης Όλων των Μελετώμενων Πρωτοκόλλων Δρομολόγησης μέσω Traces	67
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	71
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	81
ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ.....	87
ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ.....	89
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	91

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Χαρακτηριστικά των DTN Δικτύων	21
Εικόνα 2: Παραδείγματα DTN Δικτύων	22
Εικόνα 3: Το Στρώμα Bundle	23
Εικόνα 4: Σύγκριση με το TCP/IP.....	24
Εικόνα 5: Επισκόπηση του Περιβάλλοντος Προσομοίωσης ONE.....	28
Εικόνα 6: Στιγμιότυπο του Δικτύου μέσω του Προσομοιωτή ONE	29
Εικόνα 7: Παράδειγμα Διαδρομών ενός Μηνύματος από τον Κόμβο p1 στον Κόμβο p2	30
Εικόνα 8: Παράδειγμα Γράφου Γεινίασης Κόμβων	30
Εικόνα 9: Πακέτο Μοντέλων Κινητικότητας.....	34
Εικόνα 10: Πακέτα Λογισμικού.....	35
Εικόνα 11: Καμπύλη Delivery Probability vs. Buffer Size για Διαφορετικές Τιμές του TTL: Επιδημική (κόκκινη καμπύλη) και Spray and Wait Μετάδοση (μπλε καμπύλη)	39
Εικόνα 12: Καμπύλη Overhead vs. Buffer Size για Διαφορετικές Τιμές του TTL: Επιδημική (κόκκινη καμπύλη) και Spray and Wait Μετάδοση (μπλε καμπύλη)	40
Εικόνα 13: Καμπύλη Latency vs. Buffer Size για Διαφορετικές Τιμές του TTL: Επιδημική (κόκκινη καμπύλη) και Spray and Wait Μετάδοση (μπλε καμπύλη)	40
Εικόνα 14: Καμπύλη Delivery Probability vs. TTL για Διαφορετικές Τιμές του Buffer Size: Επιδημική (κόκκινη καμπύλη) και Spray and Wait Μετάδοση (μπλε καμπύλη)	43
Εικόνα 15: Καμπύλη Overhead vs. TTL για διαφορετικές τιμές του Buffer Size: Επιδημική (κόκκινη καμπύλη) και Spray and Wait Μετάδοση (μπλε καμπύλη)	43
Εικόνα 16: Καμπύλη Latency vs. TTL για Διαφορετικές Τιμές του Buffer Size: Επιδημική (κόκκινη καμπύλη) και Spray and Wait Μετάδοση (μπλε καμπύλη)	44
Εικόνα 17: Καμπύλη β – Delivery Probability	50
Εικόνα 18: Καμπύλη β – Overhead	51
Εικόνα 19: Καμπύλη β – Latency.....	51
Εικόνα 20: Καμπύλη p_{init} – Delivery Probability (με Δεδομένο β)	51
Εικόνα 21: Καμπύλη p_{init} – Overhead (με Δεδομένο β)	52
Εικόνα 22: Καμπύλη p_{init} – Latency (με Δεδομένο β)	52
Εικόνα 23: Καμπύλη γ – Delivery Probability (με Δεδομένο β & p_{init})	52
Εικόνα 24: Καμπύλη γ – Overhead (με Δεδομένο β & p_{init})	53
Εικόνα 25: Καμπύλη γ – Latency (με Δεδομένο β & p_{init})	53

Εικόνα 26: Καμπύλη β – Delivery Probability	54
Εικόνα 27: Καμπύλη β – Overhead	54
Εικόνα 28: Καμπύλη β – Latency.....	54
Εικόνα 29: Καμπύλη ρ_{init} – Delivery Probability (με Δεδομένο β)	55
Εικόνα 30: Καμπύλη ρ_{init} – Overhead (με Δεδομένο β)	55
Εικόνα 31: Καμπύλη ρ_{init} – Latency (με Δεδομένο β)	55
Εικόνα 32: Καμπύλη γ – Delivery Probability (με Δεδομένο β & ρ_{init})	56
Εικόνα 33: Καμπύλη γ – Overhead (με Δεδομένο β & ρ_{init})	56
Εικόνα 34: Καμπύλη γ – Latency (με Δεδομένο β & ρ_{init}).....	57
Εικόνα 35: Καμπύλη Delivery Probability Prophet	58
Εικόνα 36: Καμπύλη Overhead Prophet.....	58
Εικόνα 37: Καμπύλη Latency Prophet	58
Εικόνα 38: Μπλε Κόμβος \rightarrow Μεγάλη Κεντρικότητα.....	62
Εικόνα 39: Καμπύλη Delivery Probability Όλων των Μελετώμενων Μεθόδων	67
Εικόνα 40: Καμπύλη Overhead Όλων των Μελετώμενων Μεθόδων	67
Εικόνα 41: Καμπύλη Latency Όλων των Μελετώμενων Μεθόδων	68

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Παράμετροι Προσομοίωσης.....	38
Πίνακας 2: Παράμετροι Προσομοίωσης Prophet	49
Πίνακας 3: Βασικές Μετρικές Επίδοσης Infocom05 vs Βασικές Μετρικές Επίδοσης Cambridge (Prophet)	59
Πίνακας 4: Βασικές Μετρικές Επίδοσης Infocom05 vs Βασικές Μετρικές Επίδοσης Cambridge με Ανεστραμμένες Τιμές Παραμέτρων (Prophet)	59
Πίνακας 5: Παράμετροι Προσομοίωσης.....	66
Πίνακας 6: Βασικές Μετρικές Επίδοσης Infocom05 vs Βασικές Μετρικές Επίδοσης Cambridge (Epidemic, Spray & Wait και Prophet)	68

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στο κεφάλαιο 1 περιγράφονται τα χαρακτηριστικά και οι βασικές αρχές λειτουργίας των Δικτύων με ανοχή στις καθυστερήσεις.

Στο κεφάλαιο 2 δίνεται η αρχιτεκτονική και ο τρόπος λειτουργίας του προσομοιωτή ONE (τα βήματα που ακολουθεί εσωτερικά για να φτάσει στο αποτέλεσμα). Επίσης, περιγράφονται τα πρωτόκολλα δρομολόγησης, οι βασικές μετρικές επίδοσής τους καθώς και τα μοντέλα κινητικότητας που υποστηρίζει ο προσομοιωτής.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη δρομολόγηση σε τυχαίο περιβάλλον συγκρίνοντας τη χρήση της Epidemic και της Spray and Wait διάδοσης σε συνθήκες ανταγωνισμού για τους πόρους του δικτύου (πολλαπλά μηνύματα και περιορισμένος χώρος αποθήκευσης στα τερματικά του δικτύου).

Στο κεφάλαιο 4 υλοποιούνται προσομοιώσεις σε συγκεκριμένο περιβάλλον με τη χρήση των δεδομένων μετρήσεων (traces). Η έμφαση είναι στο πρωτόκολλο δρομολόγησης Prophet, και την ανάγκη για διαφορετική παραμετροποίησή του σε διαφορετικά σενάρια.

Στο κεφάλαιο 5 υλοποιούνται προσομοιώσεις με την χρήση των traces για την μελέτη της ανθεκτικότητας των σχημάτων διάδοσης Epidemic και Spray and Wait σε φαινόμενα ατελούς συνεργατικότητας. Για αυτό το σκοπό οι προσομοιώσεις με τα traces επαναλαμβάνονται με απενεργοποίηση συγκεκριμένων κόμβων, που επιλέγονται με κριτήριο την τιμή της μετρικής κεντρικότητα διαμεσότητας. Επίσης, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της συνολικής σύγκρισης των τριών πρωτοκόλλων δρομολόγησης κάτω από traces.

Στο παράρτημα I περιλαμβάνεται ένας οδηγός εγκατάστασης του προσομοιωτή ONE για άτομα που δεν είναι εξοικειωμένα με αυτόν, καθώς και το εγχειρίδιο χρήσης του.

Τέλος, στο παράρτημα II υπάρχουν εργαστηριακές ασκήσεις πάνω στην ενότητα των Οπορτουλιστικών Δικτύων που είναι επικεντρωμένες στη σύγκριση των πρωτοκόλλων Epidemic, Spray and Wait και Prophet δρομολόγησης, με γνώμονα τα βασικά μέτρα επίδοσης και με τη χρήση ή χωρίς των αρχείων traces ενός δικτυακού περιβάλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΟΠΟΡΤΟΥΝΙΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

1.1 Εισαγωγή Θέματος

Τα Δίκτυα με ανοχή σε σφάλματα και καθυστερήσεις (Delay Tolerant Networks – DTN) είναι δίκτυα επικοινωνιών στα οποία ο χρόνος μετάδοσης ενός μηνύματος δεν είναι ο πρωτεύων παράγοντας επίδοσής τους. Συνεπώς, ο χρόνος μετάδοσης μπορεί να θυσιάσει προς όφελος κάποιου περιορισμένου πόρου του δικτύου, όπως η ενέργεια των τερματικών του, ή ένα περισσότερο σημαντικό μέτρο επίδοσης όπως η πιθανότητα παράδοσης του μηνύματος. Τα συνήθη χαρακτηριστικά των κόμβων των DTN δικτύων είναι η κινητικότητα και οι περιορισμένοι πόροι. Καθώς η εμβέλεια της ασύρματης μετάδοσης είναι συνήθως μικρή (π.χ., Bluetooth ή 802.11x τεχνολογία), τον περισσότερο χρόνο το προκύπτων δίκτυο δεν είναι συνδεδεμένο, δηλαδή δεν υπάρχει εφικτή διατεματική (end-to-end) διαδρομή μεταξύ πηγής και προορισμού του μηνύματος. Αντίθετα, η προώθηση του μηνύματος προς τον προορισμό του γίνεται μέσω διαδοχικών ανταλλαγών του κατά τη διάρκεια συναντήσεων μεταξύ κόμβων και τη μεταφορά του από τους κινούμενους κόμβους στα μεσοδιαστήματα μεταξύ των συναντήσεων. Ουσιαστικά, κάθε πρωτόκολλο δρομολόγησης σε αυτά τα δίκτυα συμβιβάζει, με το δικό του τρόπο, τη διαχείριση της ενέργειας και το χώρο αποθήκευσης και υπολογιστικής ικανότητας των συσκευών με τις επιδόσεις του δικτύου, όπως αυτές συνήθως μετρώνται μέσω της πιθανότητας μετάδοσης και καθυστέρησης μετάδοσης των παραγόμενων μηνυμάτων.

1.2 Εισαγωγή στα Δίκτυα Ανθεκτικά σε Καθυστέρηση

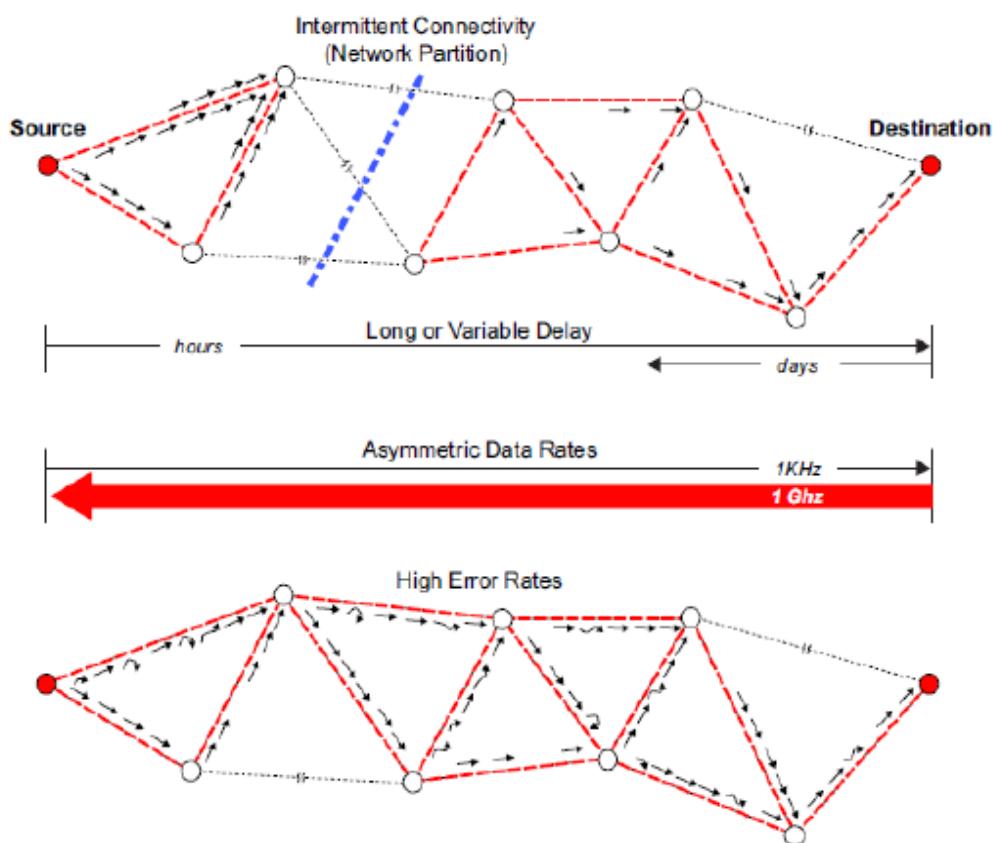
Τα DTNs συνιστούν ένα σύστημα κινούμενων κόμβων, οι οποίοι δρουν σε ευρεία περιοχή ξεφεύγοντας από στενούς γεωγραφικούς περιορισμούς. Οι κόμβοι αυτοί χαρακτηρίζονται από συχνή απουσία της μεταξύ τους, συνδεσιμότητας. Όσο αφορά το πρώτο γνώρισμα των DTNs, κάποιος κινούμενος κόμβος δεν περιορίζεται σε 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, έτσι, 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 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.

Τα οπορτουμιστικά δίκτυα (Opportunistic Networks) κατά μια έννοια αποτελούν «ειδική κατηγορία» των DTNs. Αυτό διότι οι συνδέσεις στα DTNs χαρακτηρίζονται από πλήρη γνώση αλλά και από τυχαιότητα, ο ισχυρισμός που προκύπτει είναι ότι τα οπορτουμιστικά δίκτυα ανήκουν στα DTNs ακριβώς επειδή οι συνδέσεις σε αυτά είναι μόνο στοχαστικές και δεν μπορούν να προβλεφθούν. Στα οπορτουμιστικά δίκτυα, 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. 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 οπορτουμιστικό δίκτυο 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).

1.2.1 Χαρακτηριστικά των DTN Δικτύων

Τα δίκτυα DTN χαρακτηρίζονται ως «περιοδικά συνδεδεμένα», «αραιά», «αποσυνδεδεμένα» και «χωρίς συμβατότητα». Βασικά χαρακτηριστικά των DTN δικτύων είναι τα εξής:

- ✓ Μεγάλη ή μεταβλητή καθυστέρηση και χαμηλός ρυθμός μετάδοσης που εμποδίζουν τη λειτουργία των παραδοσιακών πρωτοκόλλων του Internet που στηρίζονται στις άμεσες επιβεβαιώσεις (ACK) και τις ανταλλαγές μηνυμάτων μεταξύ των κόμβων. Η μεγάλη ή μεταβλητή καθυστέρηση οφείλεται στις μεγάλες καθυστερήσεις διάδοσης και τις μεταβλητές καθυστερήσεις αναμονής στους κόμβους.
- ✓ Διακοπτόμενη συνδεσιμότητα, καθώς δεν υπάρχει πάντα εφικτή διαδρομή μεταξύ πηγής και προορισμού. Δεν είναι δυνατή η επικοινωνία από άκρο σε άκρο χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα TCP/IP. Επομένως, απαιτείται η υιοθέτηση άλλων πρωτοκόλλων.
- ✓ Ασύμμετροι ρυθμοί μετάδοσης στις διάφορες ζεύξεις, οι οποίοι εμφανίζουν μεγάλες διαφορές, δεν είναι συμβατοί με τα παραδοσιακά πρωτόκολλα του Internet, τα οποία έχουν σχεδιαστεί για μικρές διαφορές μεταξύ των ρυθμών μετάδοσης.
- ✓ Υψηλά ποσοστά λαθών που απαιτούν επανεκπομπή των δεδομένων ή τη διόρθωση λαθών.
- ✓ Συνήθως είναι ασύρματα δίκτυα με περιορισμένους ενεργειακούς πόρους, μικρή εμβέλεια των κόμβων, εγκατάσταση κόμβων σε μεγάλης έκτασης επιφάνειες, εξασθένηση κατά την διάδοση του σήματος.



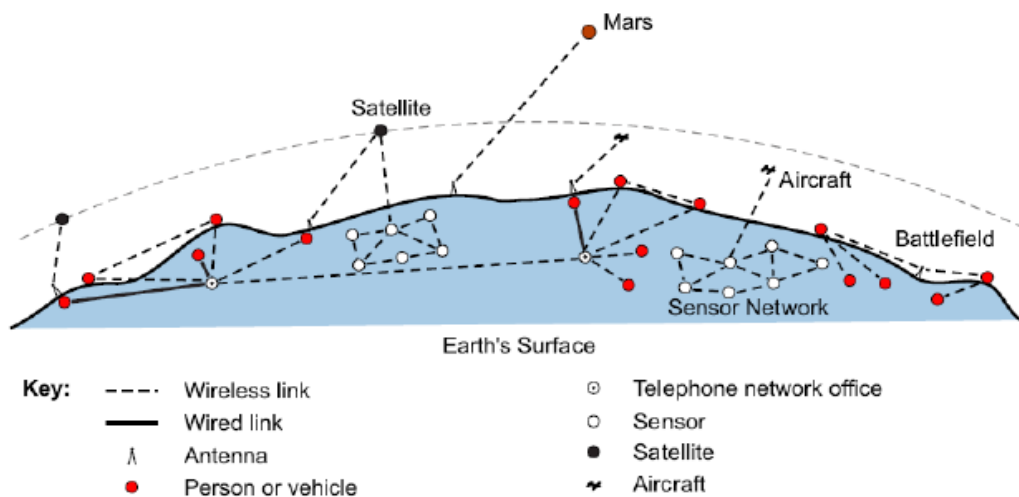
Εικόνα 1: Χαρακτηριστικά των DTN Δικτύων

1.2.2 Κατηγορίες DTN Δικτύων

Τα παραδοσιακά πρωτόκολλα TCP/IP αποτυγχάνουν στα DTN δίκτυα λόγω της απουσίας από άκρο σε άκρο σύνδεσης μεταξύ πηγής και προορισμού. Η επικοινωνία επιτυγχάνεται συνήθως από ανεξάρτητα δίκτυα, καθένα από τα οποία υποστηρίζει ειδικευμένες απαιτήσεις επικοινωνίας. Τα δίκτυα αυτά δεν χρησιμοποιούν τα παραδοσιακά πρωτόκολλα του Internet, και μπορεί να μην είναι συμβατά μεταξύ τους. Κατηγορίες τέτοιων δικτύων αποτελούν:

- Τα επίγεια κινητά δίκτυα, τα οποία συνδέουν κινητές ασύρματες συσκευές και απομακρυσμένα από τη γη σημεία
- Τα δίκτυα αισθητήρων και αισθητήρων/ενεργοποιητών
- Τα MANETs (Mobile Ad-hoc Networks)
- Τα στρατιωτικά δίκτυα ad-hoc, τα οποία συνδέουν στρατεύματα, αεροσκάφη, δορυφόρους και αισθητήρες
- Τα VANETs (Vehicular Ad-hoc Networks)
- Τα δίκτυα ασυνήθιστων μέσων διάδοσης όπως

- δορυφορικές επικοινωνίες κοντά στην γη
- ραδιοζεύξεις μεγάλης απόστασης
- επικοινωνία με χρήση ακουστικής διαμόρφωσης μέσω νερού ή αέρα
- διαπλανητικό Internet (InterPlaNetary Internet (IPN))



Εικόνα 2: Παραδείγματα DTN Δικτύων

1.2.3 Μεταγωγή Μηνυμάτων με Αποθήκευση και Προώθηση (Store-Carry and Forward Message Switching)

Όπως αναφερθήκαμε προηγουμένως, τα δίκτυα DTN αντιμετωπίζουν συχνά προβλήματα που σχετίζονται με μεγάλη ή μεταβλητή καθυστέρηση, διακοπτόμενη συνδεσιμότητα, ασύμμετρους ρυθμούς μετάδοσης και υψηλό ποσοστό λαθών. Με τη μέθοδο της μεταγωγής μηνυμάτων με αποθήκευση και προώθηση, τα μηνύματα προωθούνται από ένα αποθηκευτικό χώρο ενός κόμβου σε ένα αποθηκευτικό χώρο άλλου κόμβου ακολουθώντας διαδρομή η οποία οδηγεί τελικά στον προορισμό. Οι δρομολογητές DTN πρέπει να έχουν μνήμη για τους εξής λόγους:

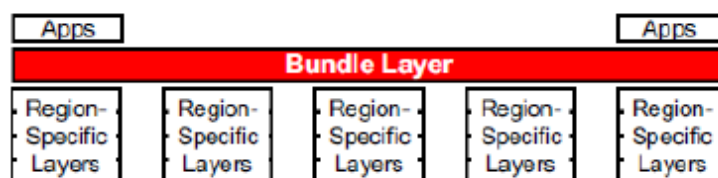
- Η ζεύξη επικοινωνίας για το επόμενο βήμα (hop) μπορεί να μην είναι διαθέσιμη για αρκετό χρονικό διάστημα.
- Σε ένα ζεύγος κόμβων που επικοινωνούν ο ένας κόμβος μπορεί να αποστέλλει ή να λαμβάνει δεδομένα ταχύτερα από τον άλλο κόμβο.
- Ένα μήνυμα, αφού μεταδοθεί, μπορεί να χρειάζεται αναμετάδοση αν συμβεί λάθος κατά την μετάδοση ή αν κάποιος κόμβος αδυνατεί να το λάβει.

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης στα DTN δίκτυα στηρίζονται στην μέθοδο μεταγωγής μηνυμάτων με αποθήκευση και προώθηση και αναλύονται παρακάτω.

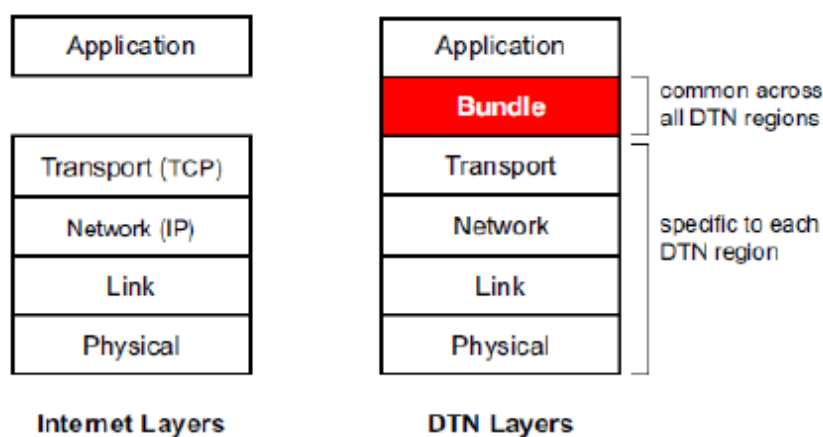
1.2.4 DTN Αρχιτεκτονική

Η αρχιτεκτονική που έχει προταθεί για να εξασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα μεταξύ ανόμοιων περιφερειακών δικτύων για τα DTN δίκτυα είναι η DTN αρχιτεκτονική [9]. Η DTN αρχιτεκτονική βασίζεται σε μια αφηρημένη ιδέα της μεταγωγής μηνυμάτων. Η καινοτομία της αρχιτεκτονικής αυτής της στη στοίβα πρωτοκόλλων OSI είναι η εισαγωγή ενός νέου στρώματος, του στρώματος Bundle, μεταξύ του στρώματος εφαρμογής και του στρώματος μεταφοράς. Οι βασικές αρχές της DTN αρχιτεκτονικής είναι:

- Η χρήση μηνυμάτων μεταβλητού μήκους και όχι ραβδίων πληροφορίας ή μηνυμάτων περιορισμένου μεγέθους, ώστε να επιτρέπεται στο δίκτυο να αποφασίζει ορθά για τον προγραμματισμό και την επιλογή των διαδρομών όταν αυτό είναι δυνατό.
- Η χρήση σύνταξης με ονόματα για την διευθυνσιοδότηση, η οποία υποστηρίζει ένα μεγάλο εύρος ονομασιών και συμβάσεων για διευθύνσεις, βελτιώνοντας την διαλειτουργικότητα.
- Η χρήση αποθηκευτικού χώρου στο δίκτυο ώστε να υποστηριχτεί η λειτουργία της αποθήκευσης και της προώθησης σε πολλαπλές διαδρομές και σε μεγάλες κλίμακες χρόνου.
- Η παροχή μηχανισμών ασφαλείας που προστατεύουν όσο το δυνατό ταχύτερα την δομή από μη εξουσιοδοτημένη χρήση.
- Η παροχής μιας κλάσης υπηρεσίας υψηλού επιπέδου, με επιλογές όσον αναφορά την παράδοση και με έκφραση της ωφέλιμης ζωής και δεδομένων ώστε να επιτρέπει στο δίκτυο να ικανοποιεί καλύτερα τις ανάγκες των εφαρμογών.



Εικόνα 3: Το Στρώμα Bundle



Εικόνα 4: Σύγκριση με το TCP/IP

1.3 Κατηγοριοποίηση Αλγόριθμων Δρομολόγησης σε DTNs

Τα κύρια χαρακτηριστικά των DTNs, όπως αναφέραμε, είναι οι συχνές διακοπές της συνδεσιμότητας, οι μεγάλες καθυστερήσεις στην μετάδοση των δεδομένων, καθώς και οι ευκαιριακές συνδέσεις μεταξύ των κόμβων, χαρακτηριστικά 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. Σαφώς, αν μπορεί να προβλεφθεί κατά μια έννοια η κίνηση των κόμβων και συνάμα οι συνδέσεις μεταξύ τους, είναι προτιμότερο από το να μην υπάρχει καμία τέτοια γνώση. Οι αλγόριθμοι που υλοποιούνται έχοντας ως εφόδιο γνώση της χωροχρονικής μεταβολής της τοπολογίας του δικτύου, ονομάζονται ντετερμινιστικοί, ενώ αυτοί που διαχειρίζονται τελείως ευκαιριακές συνδέσεις μέσα στο δίκτυο ονομάζονται στοχαστικοί [17].

1.3.1 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. Χαρακτηριστική περίπτωση αλγόριθμου που μπορεί να τροποποιηθεί για να λαμβάνει υπ' όψιν του τις αλλαγές στην κίνηση και τη θέση των κόμβων στην εξέλιξη του χρόνου, είναι ο αλγόριθμος Dijkstra. Σε αυτόν τον αλγόριθμο υπάρχει η δυνατότητα να διατηρείται μια τέτοια δομή, ακριβώς γιατί είναι γνωστή η μελλοντική διαμόρφωση του δικτύου. Η κατασκευή ενός γράφου απαιτεί πληροφορία που δε θα είναι ευμετάβλητη και δε θα χαρακτηρίζεται από τυχαιότητα. Ο αλγόριθμος Dijkstra

δημιουργεί γράφο ελαχίστων αποστάσεων από τον κόμβο 1 επαναλαμβάνοντας τα παρακάτω βήματα $n-1$ φορές:

- Σε κάθε επανάληψη επιλέγεται ο κόμβος w με την ελάχιστη απόσταση από τον κόμβο 1 (θεωρώντας μόνο διαδρομές που περνούν από κόμβους του ήδη σχηματισμένου γράφου) και προστίθεται στο γράφο.
- Ενημερώνονται οι αποστάσεις που επηρεάζονται λόγω της προσθήκης του w .

Ο κόμβος πηγή στη συνέχεια, γνωρίζοντας όλες τις πιθανές διαδρομές που οδηγούν στον προορισμό, μπορεί να επιλέξει την πιο συμφέρουσα δηλ. την 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.

1.3.2 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 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. 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 (randomized forwarding). Κάποιοι άλλοι που κάνουν χρήση της ιστορίας των επαφών που διατηρεί κάθε κόμβος και προτείνουν τεχνικές μετάδοσης που στηρίζονται στον υπολογισμό είτε κάποιας πιθανότητας, είτε κάποιας προτεραιότητας (node utility-based forwarding).

Η πιο απλή στοχαστική μέθοδος που ανήκει στην πρώτη κατηγορία είναι το πρωτόκολλο διάδοσης Epidemic. 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. Ένα άλλο πρωτόκολλο διάδοσης που χρησιμοποιεί την τεχνική του Epidemic με κάποιες βέβαια διαφοροποιήσεις, ονομάζεται Prioritized Epidemic (PREP). Το PREP χρησιμοποιεί την απλότητα του Epidemic και διορθώνει την αδυναμία του σε δίκτυο με μεγάλο φόρτο. Τη μεθοδολογία του αλγόριθμου Epidemic ενσωματώνει εν μέρει και ο αλγόριθμος Spray and Wait. 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. Ένας τελευταίος αντιπροσωπευτικός στοχαστικός αλγόριθμος είναι ο Mobile Relay Protocol (MRP). Η

Βασική ιδέα της δρομολόγησης είναι κάποιοι κόμβοι να λειτουργήσουν ως δρομολογητές και όχι όλοι.

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). Ο παραπάνω αλγόριθμος στηρίζεται στην ιδέα ότι μια περιοχή που την επισκέπτονται συχνά οι χρήστες ενός DTN, είναι πολύ πιθανόν να συνεχίζουν να την επισκέπτονται συχνά και στο μέλλον. 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.

Οι αλγόριθμοι με τους οποίους πραγματεύεται η διπλωματική παίρνουν ως δεδομένα την τελείως στοχαστική κίνηση των κόμβων και την τυχαιότητα στη δημιουργία των επαφών.

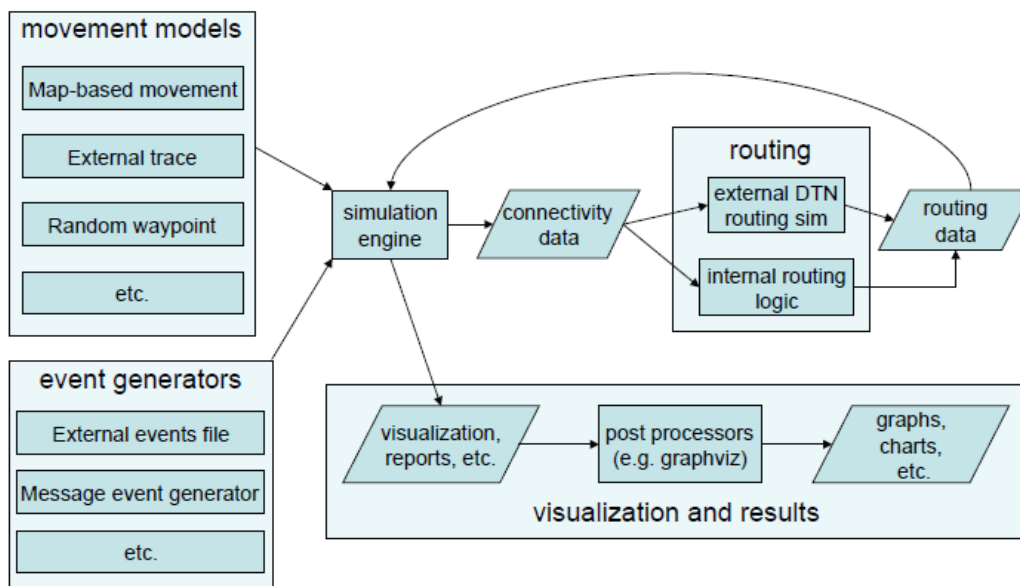
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗΣ ONE (THE ONE SIMULATOR)

2.1 Περιγραφή Προσομοιωτή ONE

Ο προσομοιωτής ONE (Opportunistic Networking Environment) [1, 8] δημιουργήθηκε στο τεχνολογικό πανεπιστήμιο του Ελσίνκι με στόχο την ρεαλιστική προσομοίωση ευκαιριακού (οπορτουμιστικού) δικτυακού περιβάλλοντος. Σε σύγκριση με άλλα, ευρύτερης στόχευσης, περιβάλλοντα δικτυακής προσομοίωσης, ο προσομοιωτής ONE εστιάζει ξεκάθαρα στην προσομοίωση των οπορτουμιστικών δικτύων, συνδυάζοντας μοντέλα κινητικότητας, πρωτόκολλα δρομολόγησης και δυνατότητες οπτικοποίησης του δικτύου. Στην υλοποίησή του έχει υπάρξει ιδιαίτερη μέριμνα για να είναι εύκολα επεκτάσιμος.

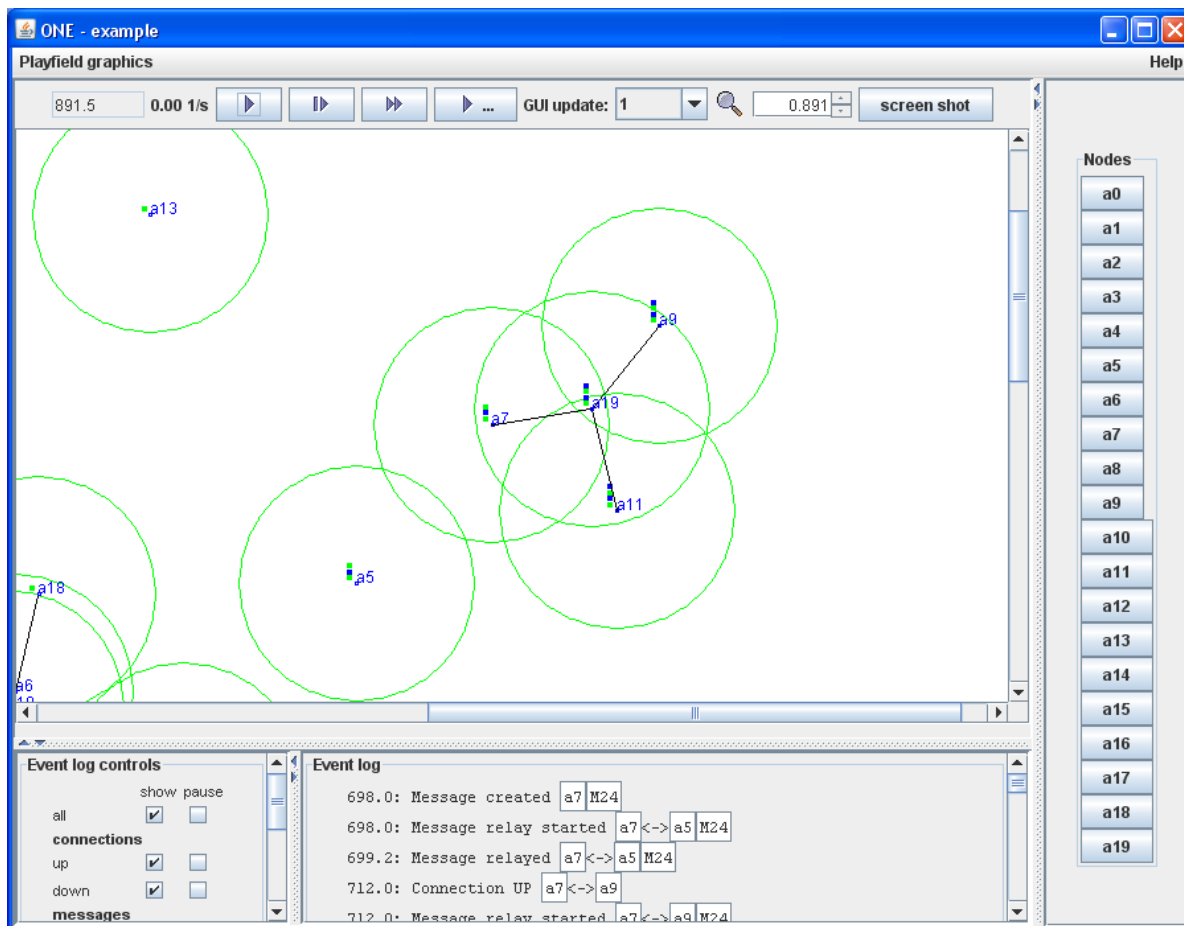
Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι λειτουργίες του προσομοιωτή ONE. Εκτός από την υλοποίηση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης και των μοντέλων κινητικότητας, οι λειτουργίες αυτές περιλαμβάνουν την εξαγωγή αναφορών για τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και την δημιουργία γεγονότων, όπως για παράδειγμα τη δημιουργία μηνυμάτων. Πιο αναλυτικά, ο ONE είναι ένα «μέσο» (agent) βασισμένο σε διακριτά γεγονότα προσομοίωσης μηχανής. Σε κάθε βήμα προσομοίωσης η μηχανή ενημερώνει μια σειρά από ενότητες (modules) που υλοποιούν τις κύριες λειτουργίες προσομοίωσης. Οι βασικές λειτουργίες του προσομοιωτή ONE είναι η μοντελοποίηση της κίνησης των κόμβων, οι επαφές μεταξύ των κόμβων, η δρομολόγηση και η διεκπεραίωση μηνυμάτων. Η συλλογή αποτελεσμάτων και η ανάλυση γίνονται μέσω της απεικόνισης, τις αναφορές και μετά την επεξεργασία των δεδομένων μέσω διάφορων εργαλείων (αριθμός κόμβων, χρόνος προσομοίωσης, ταχύτητα κόμβων κτλ.).

Συγκεκριμένα, η κίνηση κόμβων υλοποιείται από τα μοντέλα κίνησης. Αυτά είναι είτε συνθετικά μοντέλα ή υπάρχοντα traces κίνησης. Η σύνδεση μεταξύ των κόμβων γίνεται με βάση την τοποθεσία τους, την ακτίνα επικοινωνίας και τον ρυθμό δυφίου (bit). Η συνάρτηση δρομολόγησης υλοποιείται από ενότητες δρομολόγησης που αποφασίζουν ποια μηνύματα να διαβιβάσουν πάνω από τις υπάρχουσες επαφές. Τέλος, τα μηνύματα αυτά δημιουργούνται μέσα από γεγονότα παραγωγής. Τα μηνύματα είναι πάντα μονής εκπομπής, έχοντας μία πηγή και έναν προορισμό στον εσωτερικό κόσμο της προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συλλέγονται κατά κύριο λόγο μέσω των αναφορών που παράγονται από μονάδες αναφορών κατά τη διεξαγωγή της προσομοίωσης. Ενότητες αναφορών λαμβάνουν γεγονότα (π.χ., το μήνυμα ή γεγονότα σύνδεσης) από τη μηχανή προσομοίωσης και παράγουν αποτελέσματα που βασίζονται σε αυτά. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν μπορεί να καταγράφουν γεγονότα που στη συνέχεια επεξεργάστηκαν περαιτέρω μετά την επεξεργασία εξωτερικών εργαλείων, ή μπορεί να είναι συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία υπολογισμένα από τον προσομοιωτή. Δευτερευόντως, η γραφική διεπαφή χρήστη (GUI) εμφανίζει μια απεικόνιση της κατάστασης της προσομοίωσης που δείχνει τις τοποθεσίες, τις ενεργές επαφές και τα μηνύματα που μεταφέρονται από τους κόμβους.



Εικόνα 5: Επισκόπηση του Περιβάλλοντος Προσομοίωσης ONE

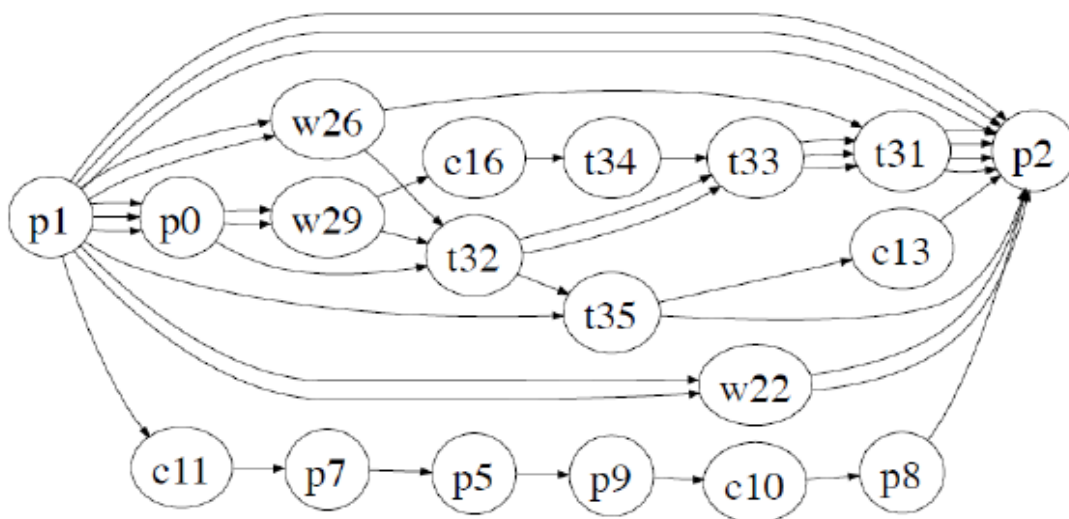
Παρακάτω παρουσιάζουμε ένα στιγμιότυπο από τον προσομοιωτή ONE. Κάθε κόμβος βρίσκεται στο κέντρο του κύκλου τον οποίο ορίζει η ακτίνα κάλυψης του. Με μαύρες γραμμές παρουσιάζονται οι εγκατεστημένες συνδέσεις μεταξύ των κόμβων. Ο κόμβος a19 έχει εγκατεστημένες συνδέσεις με τους κόμβους a9, a11 και a7. Με πράσινο χρώμα διαγράφονται οι περιοχές κάλυψης των κόμβων. Όταν κάποιος κόμβος βρίσκεται εντός της περιοχής κάλυψης κάποιου άλλου κόμβου, μπορεί να εγκαταστήσει σύνδεση με τον κόμβο αυτόν. Οι κόμβοι έχουν περιορισμένοι μνήμη, όπου διακρίνεται από την ουρά των μηνυμάτων σε κάθε κόμβο. Η περιοχή της προσομοίωσης, η ακτίνα κάλυψης των κόμβων και το μοντέλο κινητικότητας τους ορίζονται πριν την πραγματοποίηση της προσομοίωσης. Κατά την προσομοίωση δημιουργούνται ειδοποιήσεις για την εγκατάσταση ή την απώλεια των συνδέσεων, την μετάδοση, την διαγραφή, την αποτυχία μετάδοσης και την παράδοση των μηνυμάτων.



Εικόνα 6: Στιγμιότυπο του Δικτύου μέσω του Προσομοιωτή ONE

Είναι δυνατόν οι κόμβοι να ακολουθούν μοντέλα κινητικότητας βασισμένα σε χάρτη. Οι κόμβοι μπορούν να κινούνται μόνο σε συγκεκριμένες διαδρομές που ορίζονται από τον χάρτη.

Εκτός από την οπτικοποίηση της προσομοίωσης ο προσομοιωτής ONE, κατόπιν επεξεργασίας των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, μπορεί να εξάγει γράφους των διαδρομών των παραδομένων μηνυμάτων και γράφους γειτνίασης των κόμβων, όπως φαίνεται στις Εικόνες 7 και 8. Στο γράφο γειτνίασης οι κόμβοι που συναντήθηκαν περισσότερες από μία φορές, συνδέονται με μια γραμμή και οι κόμβοι που συναντήθηκαν συχνότερα, σχεδιάζονται κοντύτερα μεταξύ τους.



Εικόνα 7: Παράδειγμα Διαδρομών ενός Μηνύματος από τον Κόμβο p1 στον Κόμβο p2



Εικόνα 8: Παράδειγμα Γράφου Γειτνίασης Κόμβων

2.2 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης του Προσομοιωτή ONE

Ο ONE υποστηρίζει τα παρακάτω πρωτόκολλα δρομολόγησης μηνυμάτων:

- ✓ Δρομολόγηση άμεσης επαφής: Το μήνυμα μεταφέρεται απευθείας από την πηγή στον προορισμό (εφόσον υπάρξει μεταξύ τους συνάντηση), χωρίς τη μεσολάβηση ενδιάμεσων αναμεταδοτών και την αντίγραφή του εντός του δικτύου.
- ✓ Epidemic (επιδημική): Οι κόμβοι συνεχώς αναπαράγουν και αναμεταδίδουν τα μηνύματα που ανακαλύφθηκαν σε επαφές που συναντήθηκαν πρόσφατα και δεν διαθέτουν ήδη ένα αντίγραφο του μηνύματος αυτού. Στην πιο απλή περίπτωση, η επιδημική διάδοση αντιστοιχεί στις γνωστές πλημμύρες. Ωστόσο, πιο εξελιγμένες

τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιοριστεί ο αριθμός των μεταβιβάσεων των μηνυμάτων

- ✓ Prophet: Η στρατηγική που ακολουθεί επιδημική διάδοση είναι αποτελεσματική εάν οι συναντήσεις μεταξύ των κόμβων είναι καθαρά τυχαίες, αλλά σε πραγματικές συνθήκες, σπάνια τέτοιες συναντήσεις είναι εντελώς τυχαίες. Το πρωτόκολλο διάδοσης αυτό χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο που προσπαθεί να εκμεταλλευτεί την μη-τυχειότητα του πραγματικού κόσμου, διατηρώντας ένα σύνολο από πιθανότητες για την επιτυχή παράδοση σε γνωστούς προορισμούς του DTN και αναπαραγάγει τα μηνύματα κατά τη διάρκεια των συναντήσεων, μόνο αν ο κόμβος που δεν έχει το μήνυμα, εμφανίζεται να έχει πιο πολλές πιθανότητες παράδοσης.
- ✓ Maxprop: Κάθε επαφή που βρίσκεται ελέγχεται και όσα μηνύματα δεν περιέχονται από αυτήν, θα επιχειρηθεί να αντιγραφούν και να μεταφερθούν. Με τη MaxProp δρομολόγηση «αποφασίζεται» ποια μηνύματα πρέπει να μεταδοθούν και ποια να απορριφθούν πρώτα. Στην ουσία, διατηρείται μια διάταξη-ουρά με βάση τον προορισμό του κάθε μηνύματος, κατευθυνόμενη από την κατ' εκτίμηση πιθανότητα μιας μελλοντικής μετάβασης προς τον προορισμό αυτόν.
- ✓ Spray and Wait: Προσπαθεί να επωφεληθεί από το ρυθμό παράδοσης της διάδοσης που βασίζεται στην αντιγραφή καθώς και από τη χαμηλή χρησιμοποίηση των πόρων διάδοσης που βασίζεται στην προώθηση. Το Spray and Wait επιτυγχάνει αποδοτική χρήση των πόρων με τον καθορισμό ενός αυστηρού άνω ορίου στον αριθμό αντιγράφων κάθε μηνύματος που επιτρέπεται στο δίκτυο. Αποτελείται από δύο φάσεις: τη φάση Spray και τη φάση Wait. Όταν ένα νέο μήνυμα δημιουργείται, ένας αριθμός L επισυνάπτεται στο μήνυμα που δηλώνει τον αριθμό των μέγιστων επιτρεπόμενων αντιγράφων του μηνύματος αυτού στο δίκτυο. Κατά τη Spray φάση, η πηγή του μηνύματος είναι υπεύθυνη για το «Spraying», δηλαδή τη μετάδοση του κάθε αντιγράφου σε L διακριτούς αναμεταδότες (Relays) . Όταν ένα «Relay» παραλαμβάνει το αντίγραφο, εισέρχεται στη Wait φάση, όπου το «Relay» μεταφέρει απλώς το συγκεκριμένο μήνυμα χωρίς να το αντιγράψει, έως ότου βρεθεί ο άμεσος προορισμός του. Υπάρχουν δύο βασικές εκδόσεις του Spray and Wait: η Vanilla and η Binary.
- ✓ Binary Spray and Wait: Κάθε κόμβος A που έχει L αντίγραφα συναντά έναν κόμβο B με που δεν έχει αντίγραφο του μηνύματος αυτού. Εκτός από το αντίγραφο του μηνύματος, παραδίδει $L/2$ των αντιγράφων του στον κόμβο B που συναντά και κρατά τα υπόλοιπα $L/2$. Όταν ένας κόμβος έχει μόνο ένα αντίγραφο στην κατοχή του, το πρωτόκολλο διάδοσης μετατρέπεται σε αυτό της άμεσης επαφής ή σε ένα από τα πρωτόκολλα της Spray διάδοσης.

2.2.1 Μετρικές Επίδοσης των Πρωτοκόλλων Δρομολόγησης

Οι βασικές μετρικές επίδοσης με βάση τις οποίες συγκρίνονται τα πρωτόκολλα δρομολόγησης είναι το ποσοστό των επιτυχώς παραδοτέων μηνυμάτων, η καθυστέρηση παράδοσης και το πλήθος των μεταδόσεων που απαιτούνται για την παράδοση.

- ✓ Ποσοστό παράδοσης μηνυμάτων (delivery probability): Το ποσοστό παράδοσης των μηνυμάτων στα DTN δίκτυα αναφέρεται στα μηνύματα που παραδόθηκαν σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ο λόγος παράδοσης (delivery ratio - P_{del}) είναι ο λόγος του πλήθους των μηνυμάτων που παραδόθηκαν (number_of_messages_delivered) προς το πλήθος των μηνυμάτων που δημιουργήθηκαν (number_of_messages_created), εντός της χρονικής διάρκειας της προσομοίωσης:

$$P_{del} = \frac{\text{number_of_messages_delivered}}{\text{number_of_messages_created}}$$

- ✓ Πλήθος μεταδόσεων (overhead): Το πλήθος των μεταδόσεων είναι μέτρο της κατάληψης της χωρητικότητας των επαφών από ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης. Σχετίζεται με τους υπολογιστικούς πόρους, την ισχύ που απαιτείται ανά μήνυμα και τέλος με την κατανάλωση ενέργειας. Ο πλεονασμός των αντιγράφων ανά μήνυμα (delivery cost - R) είναι ο λόγος της διαφοράς των μηνυμάτων που παραδόθηκαν (number_of_messages_delivered) από τα μηνύματα που διακινήθηκαν (number_of_messages_relayed) προς τα μηνύματα που παραδόθηκαν:

$$R = \frac{\text{number_of_messages_relayed} - \text{number_of_messages_delivered}}{\text{number of messages delivered}}$$

- ✓ Καθυστέρηση παράδοσης (latency): Η καθυστέρηση παράδοσης μπορεί να μην είναι το σημαντικότερο μέτρο επίδοσης για τα DTN δίκτυα, όμως ορισμένες εφαρμογές απαιτούν να γίνει η παράδοση των μηνυμάτων σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, καθώς τα μηνύματα αυτά είναι χρήσιμα για συγκεκριμένο διάστημα που ορίζεται από την εφαρμογή. Ως μέση καθυστέρηση παράδοσης ($D_{average}$) ορίζεται ο μέσος όρος των διαφορών μεταξύ των χρονικών στιγμών δημιουργίας και των χρονικών στιγμών παράδοσης των μηνυμάτων:

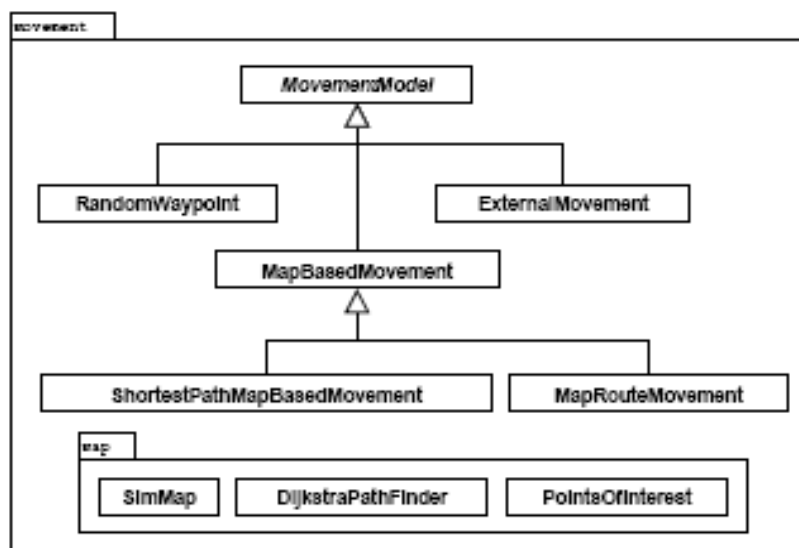
$$D_{average} = E\{t_{delivery(1)} - t_{creation(1)}, t_{delivery(2)} - t_{creation(2)}, \dots, t_{delivery(n)} - t_{creation(n)}\}$$

2.3 Μοντέλα Κινητικότητας του Προσομοιωτή ONE

Το λογισμικό πακέτο κινητικότητας του προσομοιωτή ONE περιέχει κλάσεις για μοντέλα κινητικότητας τυχαίου περιπάτου (Random Walk Mobility Model) και τυχαίων στάσεων (Random Waypoint Mobility Model). Εκτός από αυτά, ο προσομοιωτής ONE υποστηρίζει μοντέλα κινητικότητας βασισμένα σε χάρτη όπου οι διαδρομές των κόμβων είναι συγκεκριμένες. Κάθε ομάδα κόμβων μπορεί να ακολουθεί διαδρομή με διαφορετικά χαρακτηριστικά ταχύτητας και κάθε κόμβος μπορεί να ακολουθεί διαφορετική διαδρομή.

Η επίδοση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης στα DTN δίκτυα εξαρτάται από το μοντέλο κινητικότητας των κόμβων. Έχουν ερευνηθεί μοντέλα κινητικότητας τα οποία στηρίζονται στη ρεαλιστική κίνηση ανθρώπων ή αντικειμένων. Γενικά, κάποια από τα τυχαία μοντέλα κινητικότητας που χρησιμοποιούνται στα συστήματα κινητών επικοινωνιών είναι:

- ✓ Μοντέλο κινητικότητας τυχαίων στάσεων (Random Waypoint Mobility Model): Έχει σχεδιαστεί για να περιγράψει το μοτίβο κίνησης των χρηστών κινητής τηλεφωνίας και το πώς η θέση τους, η ταχύτητά τους και η επιτάχυνσή τους αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Οι κινητοί κόμβοι κινούνται τυχαία και ελεύθερα, χωρίς περιορισμούς. Πιο συγκεκριμένα, ο προορισμός και η ταχύτητα επιλέγονται τυχαία και ανεξάρτητα από άλλους κόμβους. Όταν ο κόμβος φθάσει στον προορισμό, παραμένει στη θέση αυτή για ένα χρονικό διάστημα και επιλέγει ένα νέο προορισμό. Οι προορισμοί βρίσκονται εντός μιας περιοχής προσομοίωσης και οι τιμές της ταχύτητας και του χρόνου παύσης επιλέγονται με τυχαίο τρόπο από διάστημα τιμών, όντας συνήθως ομοιόμορφα κατανεμημένες στα αντίστοιχα διαστήματα.
- ✓ Μοντέλο κινητικότητας τυχαίου περιπάτου (Random Walk Mobility Model): Είναι παραλλαγή του μοντέλου κινητικότητας τυχαίων στάσεων. Οι κινητοί κόμβοι επιλέγουν μια τυχαία κατεύθυνση και μια ταχύτητα. Νέες τιμές της ταχύτητας και της κατεύθυνσης επιλέγονται όταν ο κόμβος διανύσει μια συγκεκριμένη απόσταση ή παρέλθει ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα από την προηγούμενη επιλογή. Οι τιμές της ταχύτητας και της κατεύθυνσης επιλέγονται ομοιόμορφα από τα αντίστοιχα σύνολα τιμών που ορίζονται στην προσομοίωση.
- ✓ Μοντέλο κινητικότητας τυχαίας κατεύθυνσης (Random Direction Mobility Model): Είναι επίσης παραλλαγή του μοντέλου κινητικότητας τυχαίων στάσεων. Κινείται με όμοιο τρόπο, όπως στο μοντέλο κινητικότητας τυχαίου περιπάτου. Όταν ο κόμβος φθάσει στα σύνορα της περιοχής προσομοίωσης, σταματά για ένα χρονικό διάστημα, επιλέγεται μια ταχύτητα και μια κατεύθυνση, και ακολουθείται η ίδια διαδικασία.
- ✓ Μοντέλο κοινότητας: Αποτελείται από μια περιοχή που χωρίζεται σε $k-1$ κοινότητες και μια περιοχή συνάντησης, δηλαδή k υποπεριοχές. Κάθε κόμβος ανήκει σε μια κοινότητα την οποία είναι πιθανότερο να επισκεφθεί και σε κάθε κοινότητα ανήκει ένα συγκεκριμένο πλήθος κόμβων. Σε κάθε κοινότητα, επιπλέον, στο σημείο συνάντησης, υπάρχει ένας σταθερός κόμβος που μπορεί να λειτουργεί ως πύλη για την κοινότητα αυτή. Η κίνηση είναι όμοια με το μοντέλο κινητικότητας τυχαίων στάσεων με τη διαφορά ότι οι προορισμοί επιλέγονται έτσι ώστε αν ο κόμβος βρίσκεται μακριά από την κοινότητά του, να υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να επιστρέψει σε αυτή.
- ✓ Μοντέλα κινητικότητας οχημάτων: Τα δίκτυα MANET και VANET τοποθετούνται συχνά σε οχήματα. Η κίνηση των κόμβων σε αυτά τα δίκτυα βασίζεται σε χάρτες. Ακολουθείται συγκεκριμένη διαδρομή και είναι σχεδόν ακριβές το χρονοδιάγραμμα των επαφών μεταξύ των κόμβων. Συνήθως προσαρμόζονται ανάλογα με την κίνηση, υπάρχουν δηλαδή διαφορετικά μοντέλα για κάθε χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια της μέρας.
- ✓ Μοντέλα κινητικότητας βασισμένα στις δραστηριότητες των ανθρώπων: Η κινητικότητα μπορεί να εξαρτάται από τη μέρα και την ώρα κατά τις οποίες πραγματοποιείται η προσομοίωση, αλλά και από το λόγο κίνησης των ανθρώπων.



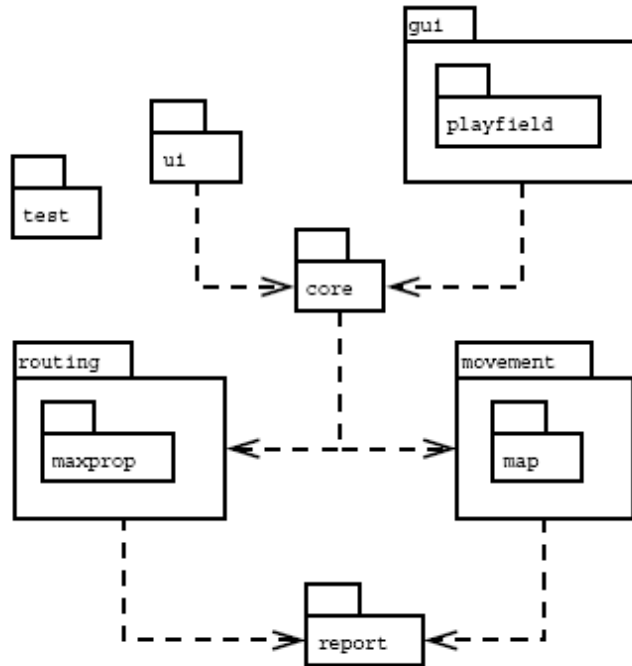
Εικόνα 9: Πακέτο Μοντέλων Κινητικότητας

2.4 Αρχιτεκτονική Λειτουργίας του Προσομοιωτή ONE

Ο προσομοιωτής ONE είναι γραμμένος σε γλώσσα προγραμματισμού Java. Τα πακέτα λογισμικού του ONE είναι τα εξής:

- ✓ Πακέτο οπτικοποίησης (gui package): Οι κλάσεις που σχετίζονται με το GUI είναι στο GUI πακέτο, που περιέχει επίσης το playfield υποπακέτο, που περιέχει κλάσεις που παρουσιάζουν τα γραφικά αντικείμενα. Η κλάση της διεπαφής του γενικού χρήστη και η κλάση της κονσόλας που βασίζεται στο κείμενο είναι αποθηκευμένα στο ui πακέτο.
- ✓ Πακέτο δρομολόγησης (routing package): Οι κλάσεις (G)UI αντιπροσωπεύουν τις κλάσεις SimScenario και World του πακέτου εισόδου-πυρήνα, που με τη σειρά τους δημιουργούν τις περιπτώσεις των ενοτήτων δρομολόγησης από το πακέτο δρομολόγησης.
- ✓ Πακέτο κινητικότητας (movement package): Οι κλάσεις (G)UI αντιπροσωπεύουν τις κλάσεις SimScenario και World του πακέτου εισόδου-πυρήνα, που με τη σειρά τους δημιουργούν τα μοντέλα κίνησης από το πακέτο κινητικότητας.
- ✓ Πακέτο αναφορών (report package): Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, οι ενότητες δρομολόγησης και κινητικότητας παρέχουν την έξοδο για τις ενότητες της αναφοράς μέσω του πακέτο αναφορών.
- ✓ Πακέτο εισόδου-πυρήνα (core package): Τα βασικά στοιχεία του προσομοιωτή, όπως οι κλάσεις που παρουσιάζουν έναν πάροχο DTN ή μια σύνδεση, περιλαμβάνονται στο πακέτο αυτό.
- ✓ Πακέτο δοκιμών σωστής λειτουργίας (test package): Το πακέτο δοκιμών σωστής λειτουργίας δεν σχετίζεται άμεσα με τον προσομοιωτή, αλλά περιέχει ένα σύνολο

δοκιμών μονάδων και συστημάτων που μπορούν να εκτελεστούν για να ελεγχθεί αν το σύστημα αντιδρά όπως αναμενόταν.



Εικόνα 10: Πακέτα Λογισμικού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΙΚΤΥΑΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ

3.1 Εισαγωγή της Spray and Wait και της Epidemic Διάδοσης

Η πρώτη προτεινόμενη άσκηση διαπραγματεύεται δύο από τα βασικότερα πρωτόκολλα δρομολόγησης, το Epidemic και το Spray and Wait. Στην επιδημική διάδοση κάθε κόμβος παράγει αντίγραφα των προς αποστολή μηνυμάτων και τα προωθεί σε όσους κόμβους συναντά στο δίκτυο. Αν κάποιος έχει ήδη αντίγραφο του μηνύματος, τότε δεν γίνεται προώθηση. Ο αλγόριθμος Epidemic επιβαρύνει το δίκτυο με πολλά αντίγραφα των αρχικών μηνυμάτων, επιβαρύνοντας τόσο την μνήμη των κόμβων, όσο και το εύρος ζώνης του δικτύου. Σε αντάλλαγμα, και εφόσον δεν υπάρχουν περιορισμοί στο χώρο αποθήκευσης και στην αυτονομία των κόμβων, επιτυγχάνει την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση του μηνύματος. Η Spray and Wait διάδοση, από την άλλη, επιτυγχάνει λιγότερες μεταδόσεις από το Epidemic, θέτοντας όρια στον αριθμό των αντιγράφων ενός μηνύματος. Ωστόσο, οδηγεί σε μεγαλύτερη καθυστέρηση μετάδοσης. Συνολικά, παραμένει αρκετά αποδοτική ακόμη και σε περιπτώσεις μεγάλης επικοινωνιακής κίνησης και φόρτου του δικτύου.

Κατά την επιδημική διάδοση [4, 15], τα πακέτα προωθούνται με την μέθοδο της πλημμύρας (flooding). Τα μηνύματα αντιγράφονται και μεταδίδονται σε πολλούς κόμβους. Όταν ένα πακέτο αποστέλλεται, αποθηκεύεται στη μνήμη του κόμβου και παίρνει μια χαρακτηριστική ταυτότητα. Κάθε φορά που δύο κόμβοι έρχονται σε επαφή αποστέλλουν ο ένας στον άλλον τον κατάλογο με τις χαρακτηριστικές ταυτότητες των πακέτων που περιέχονται στις μνήμες τους. Οι κόμβοι ανταλλάσσουν τα πακέτα που δεν έχουν αποθηκεύσει ήδη στην μνήμη τους, έως ότου να έχουν τα ίδια πακέτα.

Για τη Spray and Wait διάδοση [6], 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. Η Spray and Wait διάδοση εξασφαλίζει σε ένα σημαντικό υποσύνολο των κόμβων του δικτύου την πρόσβαση στα δεδομένα σε πρώτη φάση. Στη συνέχεια, την κατάλληλη στιγμή που ο προορισμός βρεθεί στην εμβέλειά κάποιου κόμβου που ανήκει στο παραπάνω υποσύνολο, παραλαμβάνει τα δεδομένα που του αναλογούν, χωρίς να απαιτούνται περισσότερες μεταδόσεις, απλά και μόνο με ένα βήμα.

Συνολικά, η σχέση μεταξύ των πρωτοκόλλων σε ιδανικές συνθήκες απουσίας συναγωνισμού για τους πόρους του δικτύου (π.χ., χώροι αποθήκευσης στις συσκευές) παραπέμπει σε Pareto-optimality: η επιδημική διάδοση είναι τουλάχιστον όσο καλή, όσο και το Spray-and-Wait (και κάθε άλλο πρωτόκολλο) ως προς την πιθανότητα και την ταχύτητα παράδοσης ενός μηνύματος, ενώ δίνει τα χειρότερα δυνατά σκορ όσον αφορά τα παραγόμενα αντίγραφα (overhead)¹.

Αντίθετα, η εικόνα είναι λιγότερο ξεκάθαρη σε συνθήκες έντονης κίνησης, όπου υπάρχει ανταγωνισμός για το χώρο αποθήκευσης των συσκευών, με αποτέλεσμα κάποια

¹Η υπόθεση είναι ότι δεν υπάρχει κάποιος μηχανισμός για να τερματίζει τη διάδοση του μηνύματος. εφόσον κάποιο αντίγραφο φτάσει στον προορισμό.

μηνύματα να χάνονται. Υπάρχουν, δηλαδή, συνθήκες στις οποίες το πλεονέκτημα της επιδημικής διάδοσης ανατρέπεται. Σε αυτό το στοιχείο επικεντρώνει και η προτεινόμενη άσκηση, που ζητά από τους φοιτητές να αναπαράγουν τέτοιες συνθήκες σύγκρισης για τα πρωτόκολλα και να αναλύσουν τα αποτελέσματα που παίρνουν.

Παρακάτω δίνουμε αποτελέσματα σχετικά με το πώς συγκρίνονται τα δύο πρωτόκολλα σε διάφορα σενάρια. Η εκφώνηση της σχετικής άσκησης δίνεται στο Παράρτημα II.

3.2 Παράμετροι και Διαδικασία Προσομοίωσης

Τα δύο πρωτόκολλα συγκρίνονται σε συνθήκες συναγωνισμού δικτυακών πόρων με τη χρήση του προσομοιωτή ONE και η απόδοσή τους κρίνεται με βάση τις μετρικές επίδοσης που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο μεταξύ των δύο πρωτοκόλλων. Στον πίνακα 1 δίνονται οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις, των οποίων τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.

Πίνακας 1: Παράμετροι Προσομοίωσης

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΤΙΜΗ
Χρόνος προσομοίωσης	18000 s (5hrs)
Έκταση περιοχής προσομοίωσης	1500 x 1500 m ²
Σύνολο κόμβων	100
Ταχύτητα κόμβων	0,5 - 1,5 m/sec
Ακτίνα κάλυψης κόμβου	30 m
Ταχύτητα μετάδοσης	500 kBps
Χρόνος αναμονής κάθε κόμβου	0 s - 120 s
Μέγεθος Buffer	Ποικίλες τιμές (0-άπειρο)
Time-To-Live (TTL)	Ποικίλες τιμές (0-άπειρο)
Μοντέλο κινητικότητας κόμβων	Μοντέλο τυχαίων στάσεων
Διάστημα δημιουργίας πακέτου	15 s - 25 s
Μέγεθος πακέτου	500 kB - 1 MB

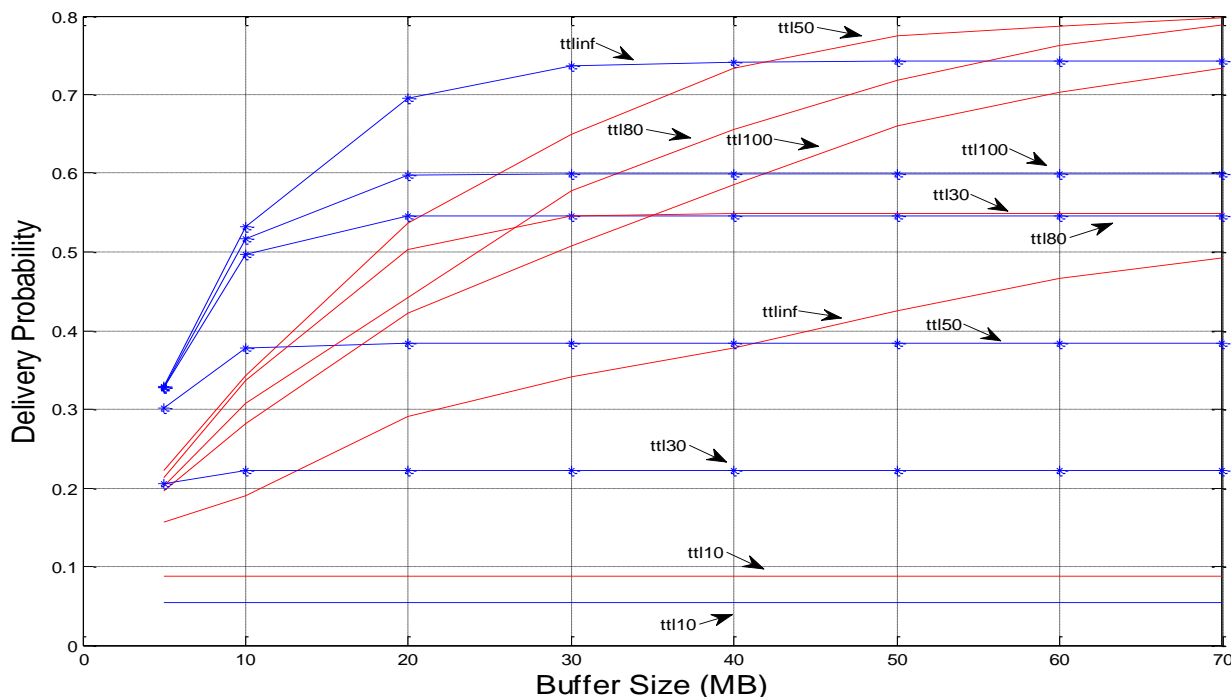
Οι κρίσιμες παράμετροι που επηρεάζουν την ένταση του συναγωνισμού είναι τρεις: ο ρυθμός παραγωγής μηνυμάτων, το μέγεθος του αποθηκευτικού χώρου, και οι τιμές TTL. Αρχικά, ο ρυθμός παραγωγής των μηνυμάτων αναμένουμε να έχει θετική επιρροή στην περίπτωση που το μέγεθος του αποθηκευτικού χώρου είναι αρκετό, ενώ αντίθετα θα είναι τα αποτελέσματα όταν το μέγεθος του αποθηκευτικού χώρου είναι περιορισμένο. Όσον αφορά το μέγεθος του αποθηκευτικού χώρου, όταν είναι αρκετό, η λειτουργία του δικτυακού περιβάλλοντος είναι πιο αποτελεσματική, σε αντίθεση με την περίπτωση όπου αυτό περιορίζεται. Για το TTL προσδοκούμε να επέρχεται μεγαλύτερη επιτυχής παράδοση μηνυμάτων, όταν είναι μεγάλο και αντίστροφα, μικρή, όταν είναι μικρό. Τα παραπάνω είναι τα αναμενόμενα αποτελέσματα και εν συνεχεία θα διαπιστωθεί αν τελικά αυτά επιβεβαιώνονται και στην πράξη, μέσω των πειραμάτων.

Οι προσομοιώσεις υλοποιήθηκαν για δίκτυο με 100 κόμβους για διαφορετικές τιμές για το μέγεθος Buffer Size και TTL. Πιο συγκεκριμένα το εύρος τιμών για το μέγεθος Buffer Size κυμαίνεται από 5 MB έως 70 MB. Για κάθε μία τιμή του Buffer Size έγιναν πέντε διαφορετικές προσομοιώσεις λόγω διαφορετικών τιμών που επιλέχθηκαν για το TTL. Οι τιμές που πάρθηκαν για το TTL είναι 10 min, 30 min, 50 min, 80 min 100 min και άπειρο. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 96 προσομοιώσεις. Οι κόμβοι ακολουθούν το μοντέλο

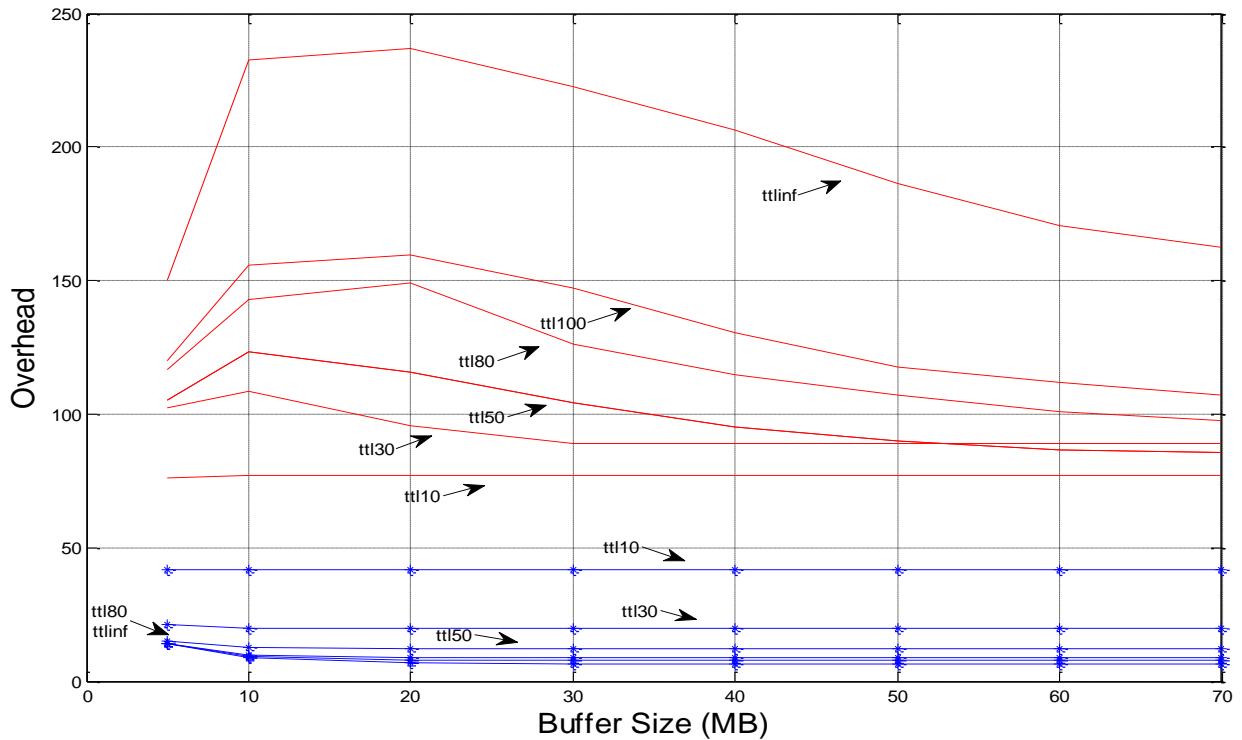
κινητικότητας τυχαίων στάσεων (random waypoint model). Επιλέγουν τυχαία μια ταχύτητα από 0,5 - 1,5 m/sec και ένα προορισμό, και μετακινούνται προς τον προορισμό αυτό. Φθάνοντας στον προορισμό, σταματούν για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα μεταξύ 0 και 120 δευτερόλεπτων. Στο δίκτυο δημιουργούνται πακέτα από τυχαίες πηγές προς τυχαίους προορισμούς κάθε 15 με 25 δευτερόλεπτα. Κατά την διάρκεια της κάθε προσομοίωσης παρήχθησαν 917 πακέτα.

3.3 Γραφικές Απεικονίσεις των Βασικών Μετρικών Επίδοσης ως προς Buffer Size για Διαφορετικά TTL

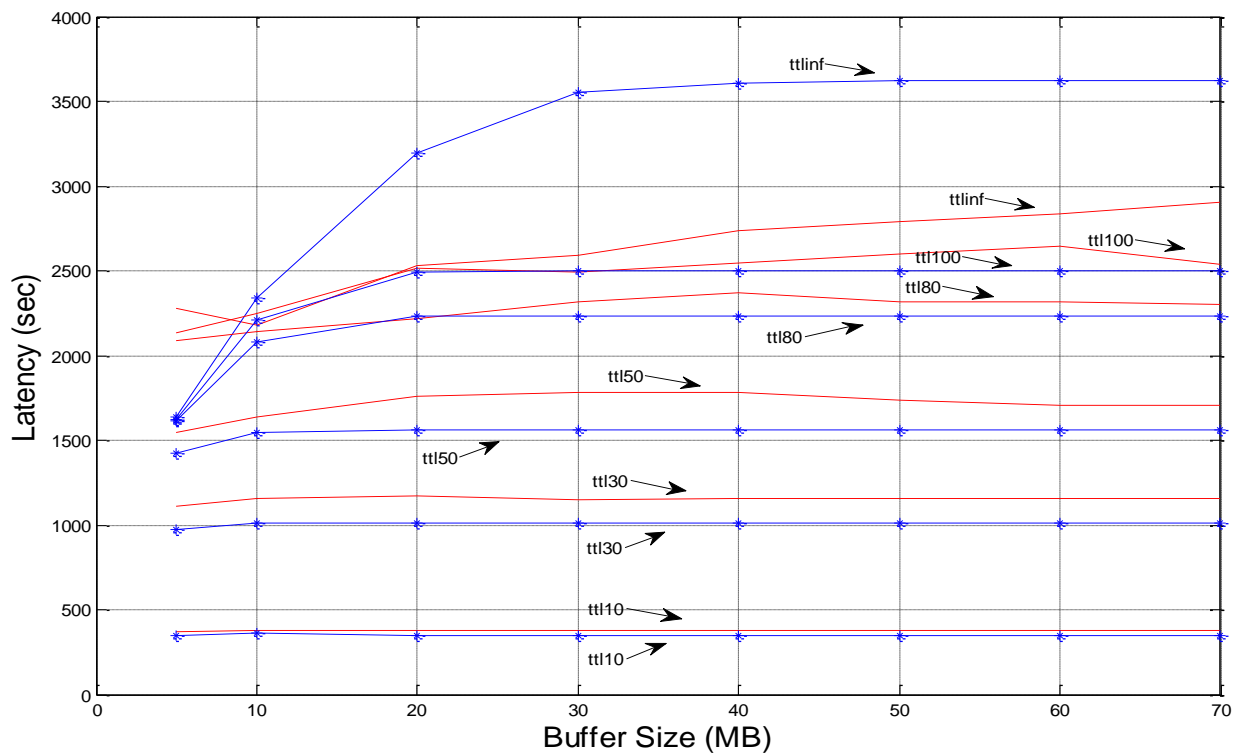
Στις παρακάτω γραφικές οι κόκκινες καμπύλες απεικονίζουν αποτελέσματα για την επιδημική διάδοση ενώ οι μπλε καμπύλες για τη Spray and Wait μετάδοση.



Εικόνα 11: Καμπύλη Delivery Probability vs. Buffer Size για Διαφορετικές Τιμές του TTL: Επιδημική (κόκκινη καμπύλη) και Spray and Wait Μετάδοση (μπλε καμπύλη)



Εικόνα 12: Καμπύλη Overhead vs. Buffer Size για Διαφορετικές Τιμές του TTL: Επιδημική (κόκκινη καμπύλη) και Spray and Wait Μετάδοση (μπλε καμπύλη)



Εικόνα 13: Καμπύλη Latency vs. Buffer Size για Διαφορετικές Τιμές του TTL: Επιδημική (κόκκινη καμπύλη) και Spray and Wait Μετάδοση (μπλε καμπύλη)

3.3.1 Περιγραφή και Ανάλυση Γραφικών Απεικονίσεων των Βασικών Μετρικών Επίδοσης ως προς Buffer Size για Διαφορετικά TTL

Στην καμπύλη Buffer Size – Delivery Probability παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται το TTL για το πρωτόκολλο διάδοσης Spray and Wait, η Delivery Probability αυξάνεται αναλογικά. Να σημειώσουμε όμως ότι για TTL 10 min, η Delivery Probability είναι σταθερή, ενώ όσο μεγαλώνει η τιμή του, για μικρά Buffer Sizes, παρατηρείται και μια αντίστοιχη αύξηση της Delivery Probability, έως την σταθεροποίησή της. Όσον αφορά το πρωτόκολλο διάδοσης Epidemic, παρουσιάζεται μεγάλη διαφοροποίηση στις τιμές της Delivery Probability. Συγκεκριμένα, για TTL 10 min, η Delivery Probability παραμένει σταθερή και λίγο μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του Spray and Wait. Είναι αξιοσημείωτο ότι για TTL 50 min, στο Delivery Probability παρουσιάζονται οι μέγιστες τιμές, έπειτα αυξάνοντας το TTL μειώνεται το Delivery Probability. Με TTL άπειρο το Delivery Probability ξεπερνά μόνο το αντίστοιχο του TTL 10 min.

Σύμφωνα με τη θεωρία, για μικρά TTL, και για τα δύο πρωτόκολλα διάδοσης, η Delivery Probability είναι σταθερή και πολύ μικρή, καθώς η μέση ελάχιστη διαδρομή είναι πολύ μεγαλύτερη από το συγκεκριμένο TTL, με αποτέλεσμα τα πακέτα να απορρίπτονται σε πολύ μεγάλο βαθμό πριν βρουν κάποια χωροχρονική διαδρομή (space-time path) για τον προορισμό. Για μεσαία TTL, αρχικά η Delivery Probability θα αυξάνεται αναλογικά μιας και όσο είναι μικρό το Buffer Size, «γεμίζει» γρηγορότερα με αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού απόρριψης των πακέτων. Όμως, αν αυξήσουμε το Buffer Size, από κάποιο σημείο και μετά, το οποίο αυξάνεται μονότονα με το TTL, η Delivery Probability ανεξαρτητοποιείται από το Buffer Size που θα είναι αρκετό να χωρέσει όσα πακέτα κι αν απαιτούνται. Για πολύ μεγάλα TTL, η Delivery Probability παύει να εξαρτάται όχι μόνο από το Buffer Size, αλλά και από το TTL. Δηλαδή έχουμε προσεγγίσει τη μέγιστη δυνατή τιμή της Delivery Probability. Να τονίσουμε ότι για το πρωτόκολλο διάδοσης Epidemic, ως αυτό το σημείο αυτό, για μεγαλύτερο TTL, στο δίκτυο αυξάνεται η συμφόρηση, γεμίζοντας γρηγορότερα το Buffer Size και συνεπώς καθυστερεί το ποσοστό επιτυχίας να φτάσει τη μέγιστη δυνατή τιμή του κι επιπλέον φαίνεται ότι από κάποιο TTL και μετά έχουμε αρνητική επίδραση στο Delivery Probability. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι φτάσαμε σε ένα βέλτιστο σημείο όπου το TTL είναι ιδανικό και από εκεί και πέρα γεμίζοντας οι buffers από ίδια αντίγραφα πακέτων, αδυνατούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες του δικτύου με λογικό αποτέλεσμα την μείωση της αποτελεσματικότητάς του για μεγαλύτερα TTL.

Στην καμπύλη Buffer Size – Overhead παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται το TTL, το Overhead για το πρωτόκολλο διάδοσης Spray and Wait μειώνεται έως και την τιμή 50 min για το TTL, σημείο από το οποίο το Overhead παίρνει σταθερή τιμή για κάθε μεγαλύτερο TTL. Από την άλλη πλευρά, για το πρωτόκολλο διάδοσης Epidemic, για μεγαλύτερες τιμές του TTL, μεγαλώνουν και οι τιμές του Overhead. Πιο συγκεκριμένα, για TTL 10 min, το Overhead παραμένει σταθερό. Όμως, για μεγαλύτερα TTL, διακρίνουμε ένα peak ακολουθούμενο από μια πτώση έως την σταθεροποίησή του σε μία τιμή. Βέβαια, η πτώση αυτή είναι ανάλογη της αύξησης του TTL. Τέλος, παρατηρείται ότι το εύρος τιμών του Overhead για το Spray and Wait είναι πολύ μικρότερο σε σύγκριση με το αντίστοιχο του Epidemic.

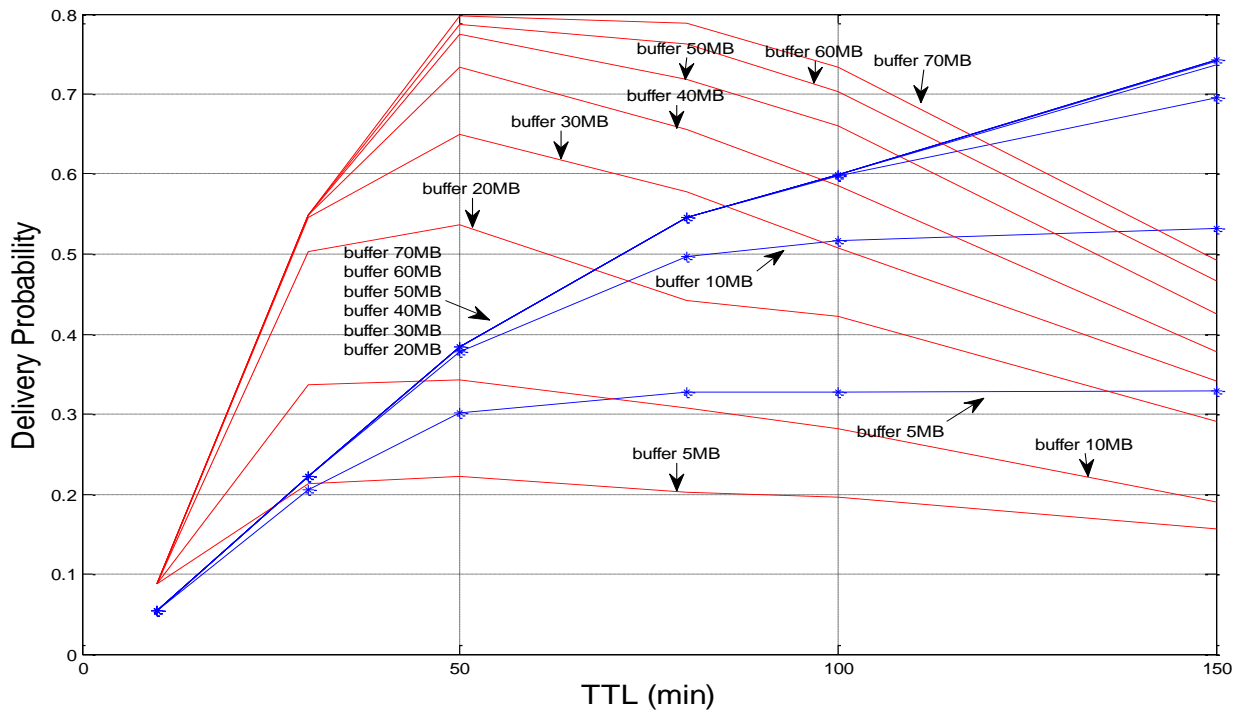
Για το πρωτόκολλο διάδοσης Spray and Wait γνωρίζουμε ότι με την αύξηση του TTL προκύπτει ότι τα πακέτα που θα φθάσουν επιτυχώς στον προορισμό τους θα είναι περισσότερα. Συνεπώς, από τον ορισμό του Overhead, αυξάνεται ο παρονομαστής του, που προκαλεί την μείωση του Overhead του δικτύου (με υψηλό Buffer Size προκύπτει αύξηση των relayed πακέτων που επιφέρει την αύξηση του Overhead). Για το πρωτόκολλο διάδοσης Epidemic, για σταθερό TTL, είναι σταθερός ή περίπου σταθερός

ο αριθμός των διακινούμενων πακέτων. Όταν υπάρχει πάντα διαθέσιμος χώρος είναι λογικό να έχουμε και περισσότερες επιτυχείς διακινήσεις. Έτσι εξηγείται γιατί για μικρό TTL, όπου τα πακέτα «πεθαίνουν» πολύ γρήγορα, πάντα θα υπάρχει διαθέσιμος χώρος στους buffers. Αντίθετα όμως, η καμπύλη που εμφανίζεται στο διάγραμμα δικαιολογείται από το γεγονός ότι σε κάποιο σημείο θα παρουσιαστεί κορεσμός των buffers (αφού για μεγαλύτερα TTL, τα πακέτα αντέχοντας περισσότερο, γεμίζουν ταχύτερα τους buffers) οπότε και θα είναι μικρότερος ο αριθμός των επιτυχών αποστολών των πακέτων προκαλώντας αύξηση του Overhead. Βέβαια από κάποιο σημείο και μετά όσο μεγάλο κι αν είναι το TTL, το Buffer Size είναι τόσο μεγάλο που αρκεί να ικανοποιήσει όλες τις εκπομπές πακέτων (ανεξαρτητοποίηση δηλαδή ξανά από το Buffer Size). Έως αυτό το σημείο όμως, η μείωση του Overhead προκύπτει από την μεγαλύτερη πιθανότητα επιτυχής παράδοσης των πακέτων λόγω του αυξημένου Buffer Size (ως τότε βέβαια το TTL ακόμα εξαρτάται από το Buffer Size). Από τα διαγράμματα είναι προφανές ότι σε κάθε περίπτωση το Overhead για την Epidemic διάδοση είναι πάντα μεγαλύτερο σε σχέση με το Overhead για το πρωτόκολλο διάδοσης Spray and Wait.

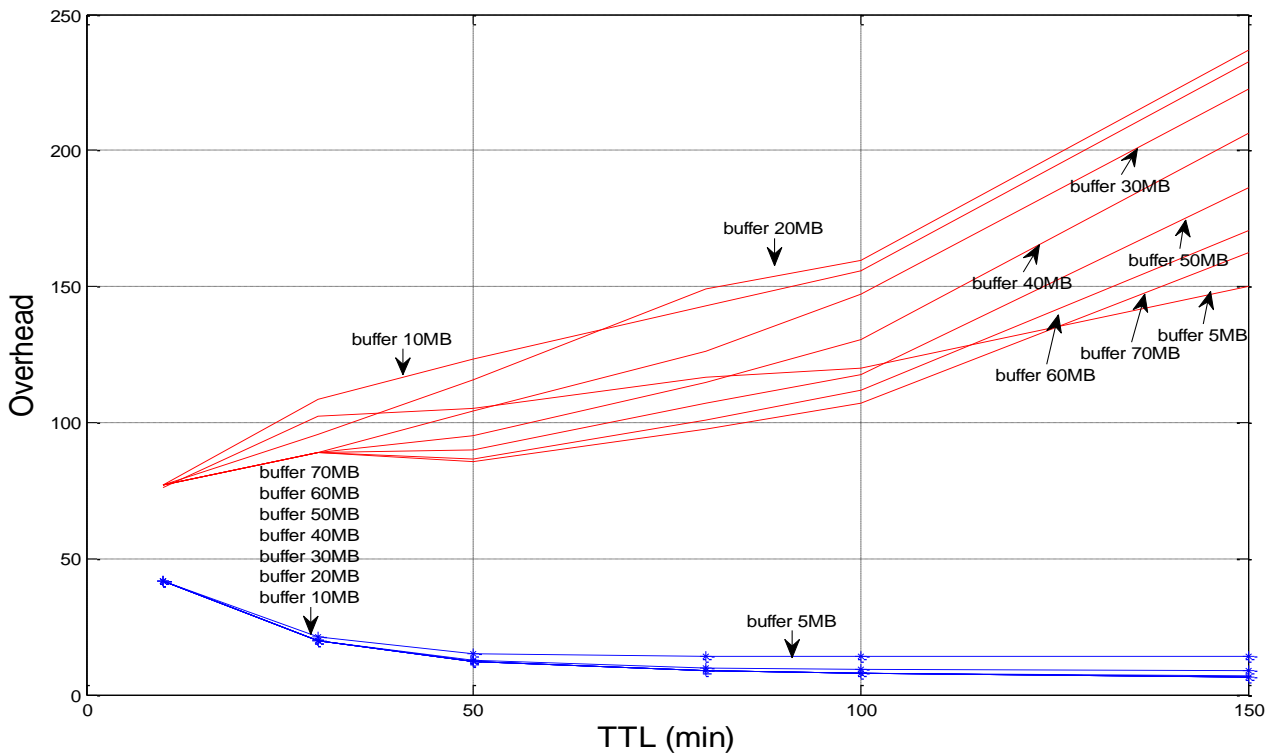
Στην καμπύλη Buffer Size – Latency βλέπουμε ότι καθώς αυξάνεται το Buffer Size, η Latency παραμένει σχεδόν σταθερή και για τα δύο πρωτόκολλα διάδοσης, με TTL 10 min και 30 min. Να σημειωθεί ότι με την αύξηση του TTL, αυξάνεται και το Latency, όπως άλλωστε αναμενόταν και διαισθητικά, διότι με μεγαλύτερα TTL, περισσότερα πακέτα παραδίδονται επιτυχώς με αποτέλεσμα να έχουμε μεγαλύτερη Latency. Τέλος, όταν το TTL απειρίζεται, το Latency του πρωτοκόλλου διάδοσης Spray and Wait είναι ξεκάθαρα πολύ μεγαλύτερο συγκριτικά με του Epidemic σε αντίθεση με όλα τα μικρότερα TTL.

Γενικά, για μικρά TTL, όπου τα πακέτα «πεθαίνουν» σχετικά γρήγορα, όσα φθάνουν στον προορισμό τους,, θα το κάνουν με μικρή μέση. Αντίθετα, όσο το TTL αυξάνεται, θα αυξάνεται και η ανοχή που σημαίνει και μεγαλύτερη καθυστέρηση. Συμπερασματικά, για μικρά TTL, το πρωτόκολλο διάδοσης Spray and Wait παρουσιάζει μικρότερη Latency, συγκριτικά με το πρωτόκολλο διάδοσης Epidemic διάδοσης, συμπέρασμα που όμως αντιστρέφεται για πολύ μεγάλες τιμές του TTL.

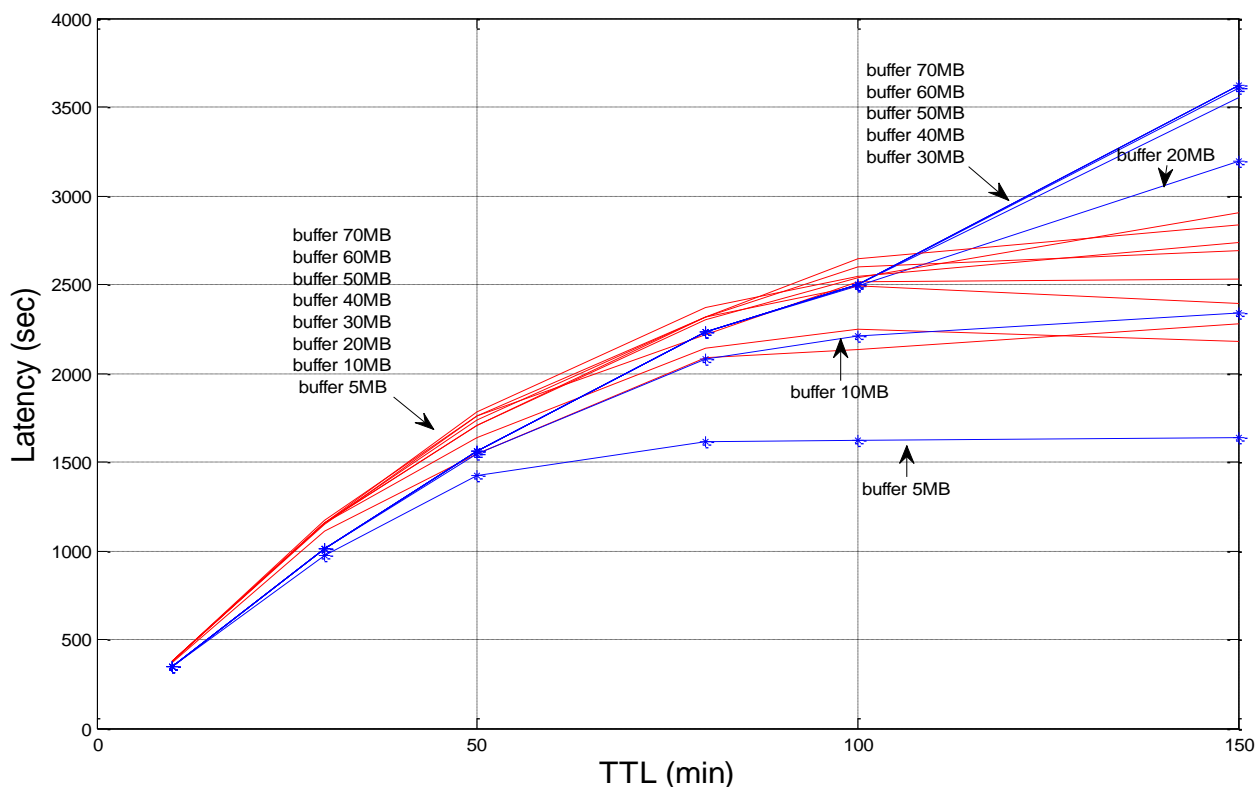
3.4 Γραφικές Απεικονίσεις των Βασικών Μετρικών Επίδοσης ως προς TTL για Διαφορετικά Buffer Size



Εικόνα 14: Καμπύλη Delivery Probability vs. TTL για Διαφορετικές Τιμές του Buffer Size: Επιδημική (κόκκινη καμπύλη) και Spray and Wait Μετάδοση (μπλε καμπύλη)



Εικόνα 15: Καμπύλη Overhead vs. TTL για Διαφορετικές Τιμές του Buffer Size: Επιδημική (κόκκινη καμπύλη) και Spray and Wait Μετάδοση (μπλε καμπύλη)



Εικόνα 16: Καμπύλη Latency vs. TTL για Διαφορετικές Τιμές του Buffer Size: Επιδημική (κόκκινη καμπύλη) και Spray and Wait Μετάδοση (μπλε καμπύλη)

3.4.1 Περιγραφή και Ανάλυση Γραφικών Απεικονίσεων των Βασικών Μετρικών Επίδοσης ως προς TTL για Διαφορετικά Buffer Size

Στην καμπύλη TTL – Delivery Probability παρατηρούμε ότι για το πρωτόκολλο διάδοσης Spray and Wait, με την αύξηση του Buffer Size, αυξάνεται η Delivery Probability, με την παράλληλη αύξηση του TTL. Για Buffer Size 20 MB και άνω, για κάθε TTL, η Delivery Probability παίρνει τη μέγιστη δυνατή τιμή της. Για το πρωτόκολλο διάδοσης Epidemic, για μεγαλύτερες τιμές του Buffer Size, μεγαλώνουν και οι τιμές της Delivery Probability. Διακρίνεται ένα peak ακολουθούμενο από μια πτώση έως την σταθεροποίησή του σε μία τιμή της Delivery Probability.

Για το πρωτόκολλο διάδοσης Epidemic, βλέπουμε ότι για πολύ μικρά TTL, η ανοχή των πακέτων είναι υπερβολικά μικρή, σε τέτοιο σημείο που τα πακέτα απορρίπτονται πολύ γρήγορα οπότε έχουμε και μικρό ποσοστό πακέτων που φθάνουν στον προορισμό τους. Όσο, όμως, αυξάνουμε το TTL, πλησιάζουμε ολοένα και το βέλτιστο σημείο λειτουργίας του δικτύου. Έτσι βλέπουμε ότι φτάνουμε σε ένα peak λειτουργίας για κάθε Buffer Size και εν συνεχεία, ακολουθεί μία πτώση της καμπύλης και συνεπώς, την πιθανότητας παράδοσης μιας και τότε το TTL έχει αυξηθεί σε τέτοιο βαθμό που πια είναι αρκετά μεγάλο για να προκαλεί συμφόρηση στο δίκτυο, έχοντας ως συνέπεια τη μείωση των επιτυχών παραδόσεων των πακέτων. Για το πρωτόκολλο διάδοσης Spray and Wait, το Delivery Probability αυξάνεται αναλογικά μιας και είναι μικρό το TTL που σημαίνει ότι «καταστρέφονται» από μόνα τους τα πακέτα και δεν φτάνουν στον προορισμό τους. Μετά την τιμή TTL 50 min το Delivery Probability αυξάνεται με μικρότερους ρυθμούς από ότι προηγουμένως. Αυτό συμβαίνει διότι με μεγαλύτερο TTL και Buffer Size τα πακέτα μένουν για περισσότερο χρόνο στο δίκτυο, που σημαίνει ότι υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να φτάσουν στον προορισμό τους, κάτι που συμβαίνει. Επίσης, όσο μεγάλο

είναι το Buffer Size, περισσότερα πακέτα αποθηκεύονται και παραδίδονται επιτυχώς για αυτό και έχοντας μεγάλο Buffer Size, έχουμε μεγαλύτερο Delivery Probability.

Στην καμπύλη TTL – Overhead παρατηρούμε ότι ανεξάρτητα του Buffer Size, καθώς αυξάνεται το TTL, το Overhead για το πρωτόκολλο διάδοσης Spray and Wait μειώνεται ελάχιστα έως και την σταθεροποίησή του για πολύ μεγάλες τιμές του TTL. Επίσης, με την αύξηση του Buffer Size, το Overhead αυξάνεται αναλογικά και σε πολύ μικρό βαθμό. Αντίθετα, για την Epidemic διάδοση, για κάθε Buffer Size, η πορεία της καμπύλης είναι σχεδόν αντίστοιχη. Βέβαια, όπως αναμενόταν και από την ανάλυση της καμπύλης Buffer Size – Overhead, το μεγαλύτερο Overhead παρατηρείται για Buffer Size 20 MB και το μικρότερο για Buffer Size 70 MB.

Για το πρωτόκολλο διάδοσης Spray and Wait, με μικρό TTL τα πακέτα χάνονται γρηγορότερα και φτάνουν πολύ λίγα στο προορισμό τους. Αντιθέτως, μετέπειτα η καμπύλη σταθεροποιείται και εξαρτάται μόνο από το Buffer Size και όχι από το TTL. Έχοντας μεγάλο TTL τα πακέτα έχουν επαρκή χρόνο για να φτάσουν στον προορισμό τους και παραδίδονται περισσότερα, για αυτό και το Overhead μειώνεται. Για το πρωτόκολλο διάδοσης Epidemic, παρατηρούμε ότι για μικρά Buffer Size (έως 20 MB) το Overhead βρίσκεται στο χειρίστο σημείο, και έπειτα γίνεται ολοένα και μικρότερο με την αύξηση του Buffer Size διότι όσο μεγαλώνει το Buffer Size, είναι ικανό να ικανοποιήσει ολοένα και μεγαλύτερο αριθμό πακέτων που συνεπάγεται την αύξηση των επιτυχών μεταδόσεων και συνεπώς την μείωση του Overhead. Από τα διαγράμματα είναι προφανές ότι σε κάθε περίπτωση το Overhead για το πρωτόκολλο διάδοσης Epidemic είναι πάντα μεγαλύτερο σε σχέση με το Overhead για το πρωτόκολλο διάδοσης Spray and Wait, όπως αναμενόταν και από τη θεωρία άλλωστε, μιας και ο αριθμός των αντιγράφων που δημιουργείται για το πρωτόκολλο διάδοσης Epidemic είναι πολύ μεγαλύτερος συγκριτικά με του Spray and Wait.

Στην καμπύλη TTL – Latency παρατηρούμε ότι για TTL έως 50 min, η αύξηση στο Latency είναι πιο ραγδαία και για τα δύο πρωτόκολλα διάδοσης, ενώ για μεγαλύτερες τιμές του TTL, παρατηρείται μια ομαλοποίηση της αύξησης αυτής έως την σταθεροποίησή της. Για μικρά TTL το πρωτόκολλο διάδοσης Spray and Wait παρουσιάζει μικρότερη Latency συγκριτικά με το πρωτόκολλο διάδοσης Epidemic. Παράλληλα, είναι εμφανές ότι έως το σημείο όπου το TTL είναι μικρότερο του 50 min, η Epidemic διάδοση παρουσιάζει λίγο μεγαλύτερο Latency, σημείωση η οποία αντιστρέφεται σταδιακά για μεγαλύτερες τιμές του TTL.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ PROPHET ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ TRACES ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΧΡΗΣΤΩΝ

4.1 Εισαγωγή στο Probabilistic Routing using History of Encounters and Transitivity (Prophet)

Μια άλλη κατηγορία πρωτοκόλλων, που εξακολουθούν να είναι στοχαστικοί, διαφοροποιείται από τις προηγούμενες ως προς το ότι 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 και η πρόγνωση της κίνησης, η οποία αποδίδεται με εκφράσεις πιθανοτήτων. Κύριος εκπρόσωπος της κατηγορίας αυτής είναι ο αλγόριθμος Prophet [3, 5]. 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 στηρίζεται η Prophet δρομολόγηση που λειτουργεί με βάση κάποια μετρική πιθανότητα. Η μετρική αυτή στηρίζεται σε κάποια πιθανότητα και ονομάζεται προβλεψιμότητα παράδοσης $P(a,b)$. Η προβλεψιμότητα παράδοσης αποθηκεύεται στην μνήμη του κόμβου και υπολογίζεται για όλους τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου. Η λειτουργία του πρωτοκόλλου [16] είναι όμοια με την Epidemic διάδοση με την διαφορά ότι οι κόμβοι ανταλλάσσουν πλέον ένα μήνυμα μόνο αν η προβλεψιμότητα παράδοσης είναι μεγαλύτερη στον κόμβο ο οποίος έχει την δυνατότητα να το λάβει. Όταν οι κόμβοι έλθουν σε επαφή, εκτός από το διάβασμα σύνοψης της Epidemic διάδοσης, ανταλλάσσουν και την αποθηκευμένη πληροφορία σχετικά με την προβλεψιμότητα παράδοσης. Με τη βοήθεια αυτής της μετρικής, το Prophet είναι ικανό να παραδώσει περισσότερα μηνύματα από την Epidemic διάδοση, με πολύ μικρότερο πλεονασμό αντιγράφων.

Η προβλεψιμότητα παράδοσης έχει αρχικά μηδενική τιμή και η τιμή της στο χρόνο χαρακτηρίζεται από το πλήθος των συναντήσεων των κόμβων, το χρόνο που παρήλθε από την τελευταία συνάντηση των κόμβων και τη μεταβατικότητα. Η μεταβατικότητα στηρίζεται στην παρατήρηση ότι αν ο κόμβος A συναντά συχνά τον κόμβο B, και ο κόμβος B συναντά συχνά τον κόμβο Γ, τότε ο κόμβος είναι ικανός να μεταδώσει μηνύματα στον κόμβο A. Η τιμή της προβλεψιμότητας παράδοσης υπολογίζεται ως εξής:

- ✓ Καταρχήν ενημερώνει τη μετρική όποτε ένας κόμβος συναντάται, έτσι ώστε οι κόμβοι που συναντώνται συχνά έχουν υψηλή προβλεψιμότητα παράδοσης. Ο υπολογισμός αυτός δίνεται παρακάτω: $P_{(a,b)} = P_{(a,b)old} + (1 + P_{(a,b)old}) \times P_{init}$
- ✓ Με βάση τη σταθερά γήρανσης γ και το πλήθος k των χρονικών μονάδων που παρήλθαν από την τελευταία φορά που η τιμή της προβλεψιμότητας παράδοσης αυξήθηκε από την σχέση $P_{(a,b)} = P_{(a,b)old} \times \gamma^k$
- ✓ Η μεταβατικότητα επηρεάζει την τιμή της προβλεψιμότητας παράδοσης, όπου το β παίρνει τιμές από 0 έως 1, με βάση τη σχέση: $P_{(a,c)} = P_{(a,c)old} + (1 - P_{(a,c)old}) \times P_{(a,b)} \times P_{(b,c)} \times \beta$

Έτσι λοιπόν η μετρική εκφράζει το πόσο πιθανόν είναι ο κόμβος a να μεταφέρει ένα μήνυμα στον κόμβο b , ή πιο σωστά, πόσο πιθανόν είναι ένα μήνυμα να φτάσει στον b αν βρεθεί στον a , για αυτό και πάντα αναφέρεται σε ζεύγος κόμβων. Αν ο κόμβος a συναντά συχνά τον κόμβο b , τότε έχει υψηλή προβλεψιμότητα παράδοσης για τον

κόμβο b . Αντίθετα, αν ο a δεν έχει συναντήσει τον b για μεγάλο χρονικό διάστημα, η προβλεψιμότητα παράδοσης που έχει για αυτόν μειώνεται σταδιακά.

Γενικά, ο συνδυασμός των παραμέτρων β , γ , ρ_{init} παίζει σημαντικό ρόλο για τη διαμόρφωση της βέλτιστης τιμής της προβλεψιμότητας παράδοσης και συνάμα στην καλύτερη επίδοση του πρωτοκόλλου δρομολόγησης Prophet. Για την επίτευξη του αποδοτικότερου συνδυασμού, εφαρμόζεται η έκθεση στα traces.

Παρακάτω δίνουμε αποτελέσματα σχετικά με τη διαδικασία επιλογής των παραμέτρων για την προβλεψιμότητα παράδοσης. Η εκφώνηση της σχετικής άσκησης για την εξοικείωση των φοιτητών με τα traces και, γενικότερα, με το πρωτόκολλο Prophet δίνεται στο Παράρτημα II.

4.2 Περιγραφή των Traces

Ένα από τα βασικά εργαλεία έρευνας στην περιοχή των Δικτύων Υπολογιστών είναι η προσομοίωση. Ωστόσο, η προσομοίωση περιγράφει με περιορισμένη ακρίβεια τις πραγματικές συνθήκες σε ένα δίκτυο. Μια σημαντική παράμετρος της συμπεριφοράς των ασύρματων κινητών κόμβων είναι η κίνησή τους. Για να αυξηθεί, λοιπόν, η ακρίβεια των προσομοιωτών, η επιστημονική κοινότητα, με ολοένα αυξανόμενο ρυθμό, τείνει να χρησιμοποιεί για την προσομοίωση της κίνησης των κόμβων εμπειρικά δεδομένα που έχουν προέλθει από μετρήσεις σε πραγματικά πειράματα.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του δικτύου, προέρχονται από δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας ενός ασύρματου δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα διατηρούν πληροφορίες κίνησης χρηστών, γνωστοποιώντας σημεία προσάρτησης και χρονικές στιγμές σύνδεσης σε αυτά. Τα δεδομένα αυτά αφορούν εγγραφές και αποκαλούνται Εγγραφές Ιχνών (Trace Files). Το πλεονέκτημα της χρήσης των Trace Files είναι ότι το μοντέλο προσομοίωσης παρουσιάζει ένα ρεαλιστικό σενάριο κίνησης σε μία συγκεκριμένη τοπολογία λαμβάνοντας υπόψη την λειτουργία του δικτύου υπό κανονικές συνθήκες, τις οποίες στατικά μοντέλα προσομοίωσης αδυνατούν να αναπαραστήσουν. Με τον τρόπο αυτό, αποφεύγονται οι δυσκολίες της πιθανοτικής ανάλυσης, που χρειάζεται για τη χρήση κατανομών στην περιγραφή των εισόδων του μοντέλου και επίσης τα μοντέλα αυτά είναι εύκολο να επιβεβαιωθούν. Τα δεδομένα της προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή και τη λειτουργία του δικτύου προέρχονται από τον ιστότοπο CrawDad [10], ένα online αρχείο traces, το οποίο περιέχει πολλά διαφορετικά traces που φιλοξενείται στο κολέγιο του Dartmouth. Το Crawdad (Community Resource for Archiving Wireless Data At Dartmouth) δημοσιεύει Trace Files τα οποία είναι αρχεία κειμένου που περιέχουν πληροφορίες για τις συντεταγμένες και την κινητικότητα των χρηστών. Τα Trace Files είναι αρχεία κειμένου τα οποία προσδιορίζουν το όνομα του ασύρματου σημείου με τις συντεταγμένες τους στο συγκρότημα.

4.3 Παράμετροι και Διαδικασία Προσομοίωσης

- ✓ Μεθοδολογία Πειραματισμού: Η αξιολόγησή μας χρησιμοποιεί πραγματικά traces που αναφέρουν συναντήσεις ζευγών κόμβων. Λαμβάνουν χώρα πειράματα με πέντε γνωστά πειραματικά traces, τα οποία έχουν συγκεντρωθεί τα τελευταία πέντε χρόνια στο πλαίσιο του Προγράμματος Εξερεύνησης Δικτύωσης για Κινητούς Χρήστες Hagggle (το Hagggle Project μελετά τη δικτύωση των κινητών χρηστών που χρησιμοποιούν τοπικές peer-to-peer ασύρματες συνδέσεις, καθώς και την υποδομή της πρόσβασης στο Ίντερνετ, όταν αυτή είναι διαθέσιμη),

περιλαμβάνοντας θεάσεις Bluetooth από ομάδες χρηστών που μεταφέρουν την Πλατφόρμα Υλικού της Επόμενης Γενιάς iMote που βασίζεται στο Microsoft .NET Micro Framework κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Κάθε θέαση Bluetooth θεωρείται ότι είναι μια επαφή με την οποία οι κόμβοι μπορούν να ανταλλάσσουν πληροφορίες. Ο Χρόνος Σάρωσης (Scan Time) είναι ο χρόνος που απαιτείται από τα iMotes, για να εκτελέσουν μια πλήρη σάρωση για συσκευές Bluetooth και διαρκεί περίπου 5 έως 10 δευτερόλεπτα. Η Διακριτότητα Χρόνου (Time Granularity) αντικατοπτρίζει την αδράνεια μεταξύ δύο διαδοχικών σαρώσεων και αποδεικνύεται ότι είναι ζωτικής σημασίας για την ακρίβεια των μετρήσεων. Καταγράφονται οι δύο επαφές μεταξύ iMotes («εσωτερικές» επαφές) και άλλες συσκευές με δυνατότητα Bluetooth («εξωτερικές» επαφές) στην περιοχή των iMote μεταφορέων. Πιο αναλυτικά, οι «εσωτερικές» επαφές περιλαμβάνουν ευκαιρίες μεταφοράς δεδομένων μεταξύ των συμμετεχόντων στο πείραμα, αν υποθέσουμε ότι είναι όλοι εξοπλισμένοι με μονίμως ενεργοποιημένες τις συσκευές. Το αρχείο αποτελείται από μηνύματα τριπλέτας msg (s, d, t), όπου s το μήνυμα πηγή, d το μήνυμα προορισμός και t ο χρόνος δημιουργίας είναι τυχαία επιλογή.

- ✓ Διαδικασία Πειραματισμού: Οι παράμετροι που έχουμε πάρει για την προκείμενη προσομοίωση δίνονται παρακάτω:

Πίνακας 2: Παράμετροι Προσομοίωσης Prophet

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΤΙΜΗ
Χρόνος προσομοίωσης	277200 s (77 h) για Infocom05, 460000 s (127.7 h) για Cambridge
Έκταση περιοχής προσομοίωσης	4000 x 4000 m ²
Σύνολο κόμβων	12 κόμβοι (Cambridge), 40 κόμβοι (Infocom05)
Ταχύτητα κόμβων	0,5 - 1,5 m/sec
Ακτίνα κάλυψης κόμβου	30 m
Ταχύτητα μετάδοσης	500 kBps
Χρόνος αναμονής κάθε κόμβου	0 s - 120 s
Μέγεθος Buffer	300 MB
Time-To-Live (TTL)	Άπειρο
Μοντέλο κινητικότητας κόμβων	Μοντέλο τυχαίων στάσεων
Διάστημα δημιουργίας πακέτου	600 s - 900 s
Μέγεθος πακέτου	500 kB - 1 MB

Να σημειώσουμε ότι έχουμε αλλάξει τον κώδικα java που τρέχει ο προσομοιωτής ONE έτσι ώστε οι μεταβλητές p_{init} , β , γ να επιλέγονται από τον σχεδιαστή του συστήματος. Από αυτές εξαρτάται η επίπτωση που θα έχει το πλήθος των συναντήσεων των κόμβων, ο χρόνος που παρήλθε από την τελευταία συνάντηση των κόμβων και η μεταβατικότητα, αντίστοιχα, στον υπολογισμό της προβλεψιμότητας παράδοσης.

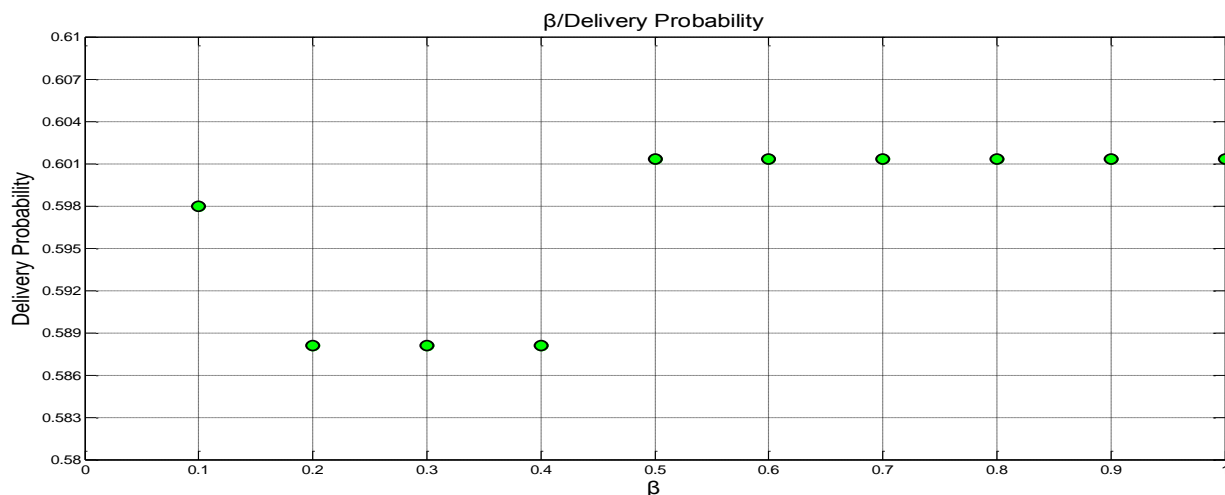
Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για δίκτυο με το Prophet πρωτόκολλο δρομολόγησης με 12 κόμβους για το αρχείο Cambridge και 40 κόμβους για το αρχείο Infocom05. Προσπαθούμε να βρούμε ποιος είναι ο βέλτιστος συνδυασμός των τιμών, για κάθε αρχείο, για τις μεταβλητές p_{init} , β και γ που θα φέρουν το καλύτερο αποτέλεσμα ως προς τη Delivery Probability, το Overhead και τη Latency Avg. Αρχικά, παίρνουμε

δύο τυχαίες τιμές για το ρ_{init} και γ και υπολογίζουμε ποια είναι η καλύτερη τιμή του β μεταξύ 0 έως 1 με βήμα 0,1 ως προς τις μετρικές επίδοσης με σειρά προτεραιότητας Delivery Probability, Overhead και Latency avg. Στην συνέχεια κρατάμε την καλύτερη τιμή του β και την ίδια τιμή του γ και βρίσκουμε την καλύτερη τιμή για το ρ_{init} , όπως πραγματοποιήσαμε για το β . Βρίσκοντας το, έχοντας τις κατάλληλες τιμές των τιμών ρ_{init} και β , ακολουθούμε την ίδια διαδικασία και βρίσκουμε την καλύτερη τιμή για το γ . Έτσι, λοιπόν, έχουμε βρει τον κατάλληλο συνδυασμό των τιμών ρ_{init} , β και γ . Τα διαγράμματα που προέκυψαν απεικονίζονται στην επόμενη ενότητα.

4.4 Διαδικασία Επιλογής των Βέλτιστων Τιμών για τις Παραμέτρους ρ_{init} , β , γ για τα Αρχεία Cambridge και Infocom05

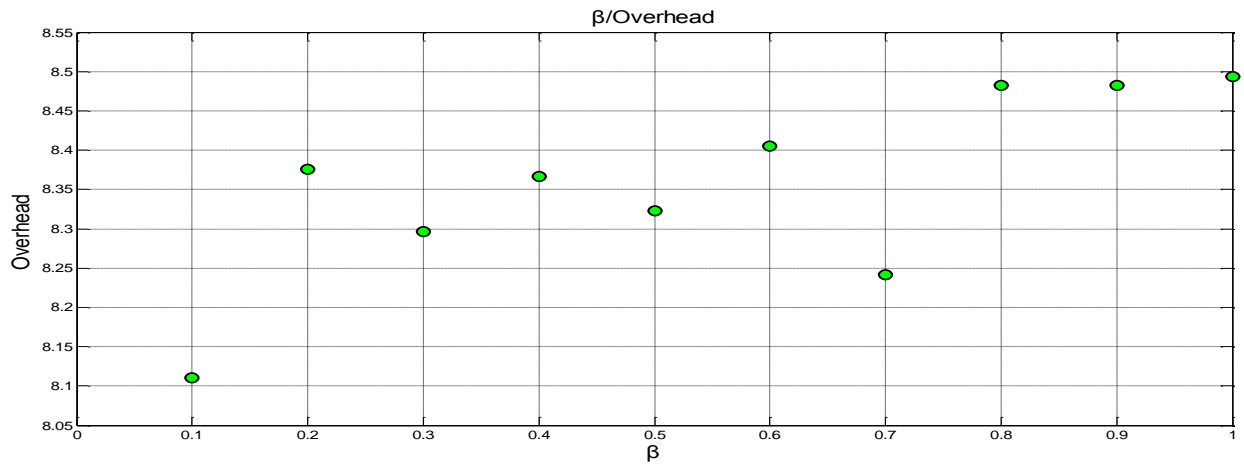
4.4.1 Διαδικασία Επιλογής των Βέλτιστων Τιμών για τις Παραμέτρους ρ_{init} , β , γ για το Αρχείο Cambridge

Επιλογή του β :



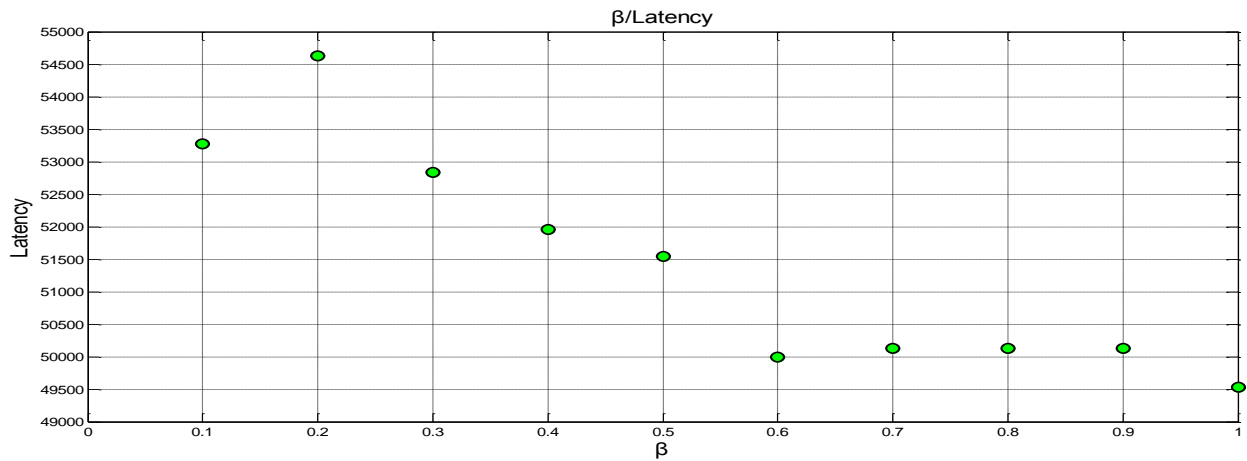
Εικόνα 17: Καμπύλη β – Delivery Probability

Παρατηρώντας ότι για το $\beta > 0.4$, η Delivery Probability είναι ίδια, θα προβούμε στην μελέτη του Overhead αυτών των τιμών για την επιλογή του βέλτιστου β .



Εικόνα 18: Καμπύλη β – Overhead

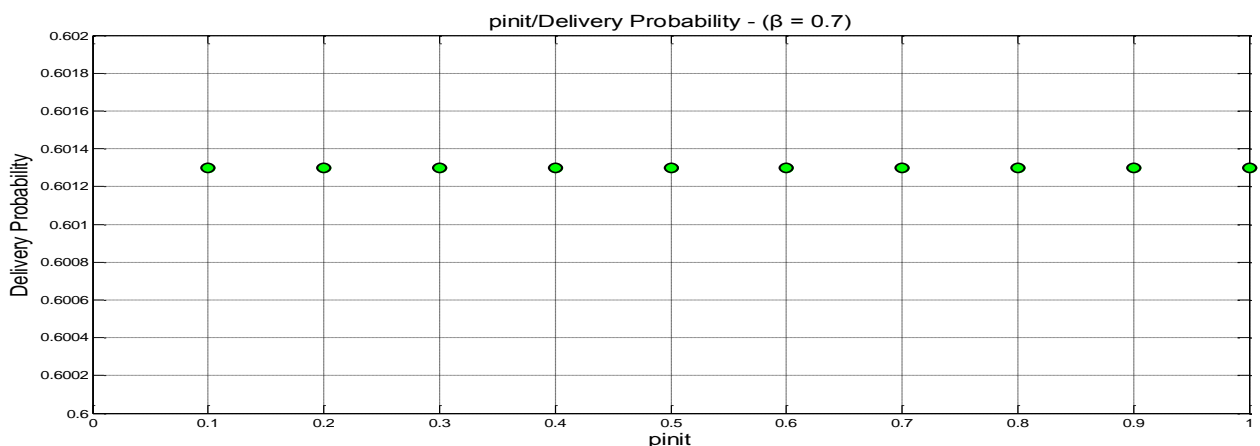
Στο Overhead, βλέπουμε ότι για $\beta = 0.7$ η τιμή του είναι πολύ μικρότερη, οπότε και θα την επιλέξουμε για βέλτιστη τιμή.



Εικόνα 19: Καμπύλη β – Latency

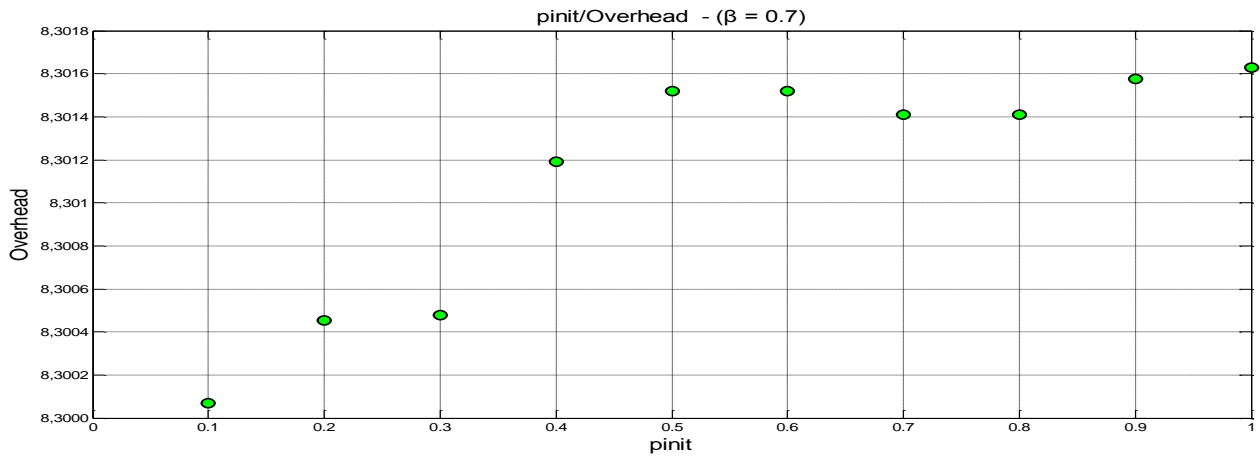
Συνεπώς, η βέλτιστη τιμή για το β , θεωρούμε ότι είναι το 0.7.

Επιλογή του ρ_{init} με Δεδομένο το β :



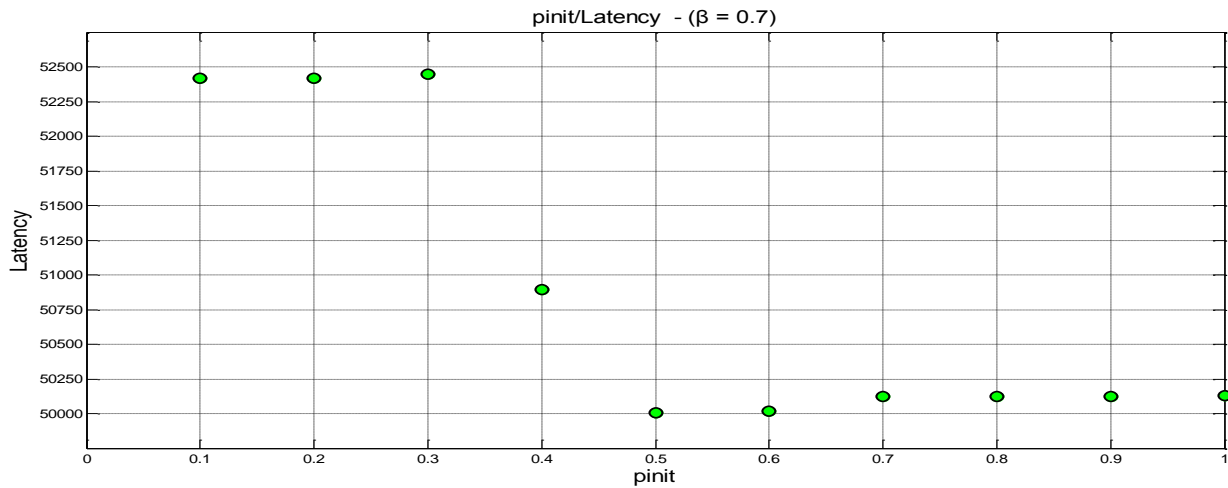
Εικόνα 20: Καμπύλη ρ_{init} – Delivery Probability (με Δεδομένο β)

Παρατηρώντας ότι για κάθε ρ_{init} , η Delivery Probability είναι ίδια, θα προβούμε στην μελέτη του Overhead για την επιλογή του βέλτιστου ρ_{init} .



Εικόνα 21: Καμπύλη p_{init} – Overhead (με Δεδομένο β)

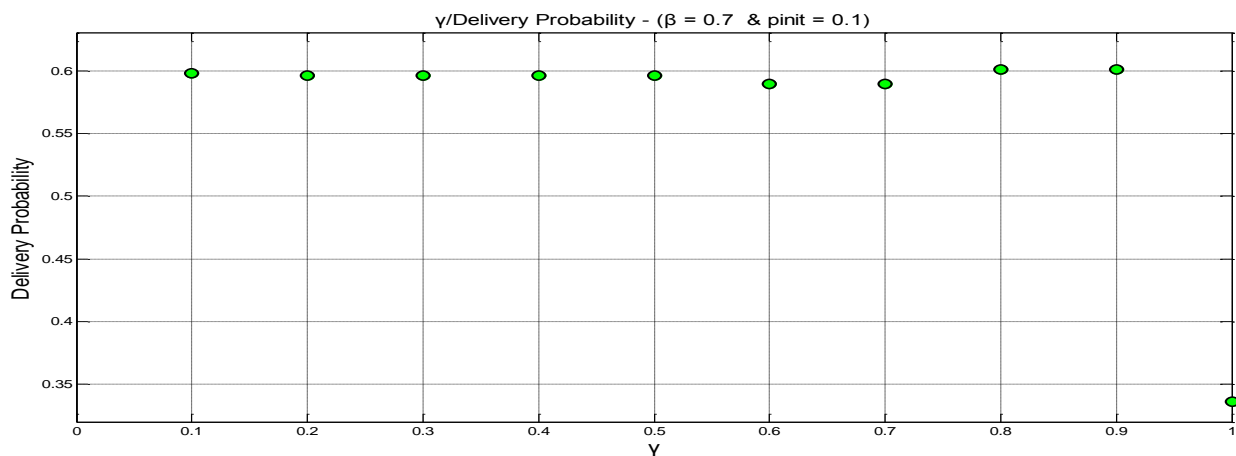
Στο Overhead, βλέπουμε ότι για $p_{init} = 0.1$ η τιμή του είναι πολύ μικρότερη, οπότε και θα την επιλέξουμε για βέλτιστη τιμή.



Εικόνα 22: Καμπύλη p_{init} – Latency (με Δεδομένο β)

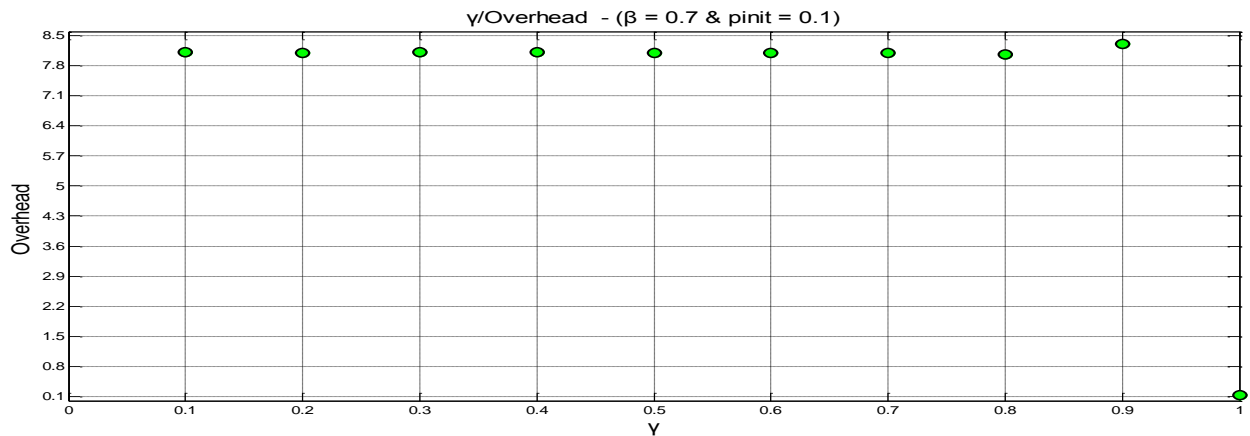
Συνεπώς, για το αρχείο Cambridge, η βέλτιστη τιμή για το p_{init} , θεωρούμε ότι είναι το 0.1 δεδομένου ότι το β είναι 0.7.

Επιλογή του γ , με Δεδομένο το β και το p_{init} :



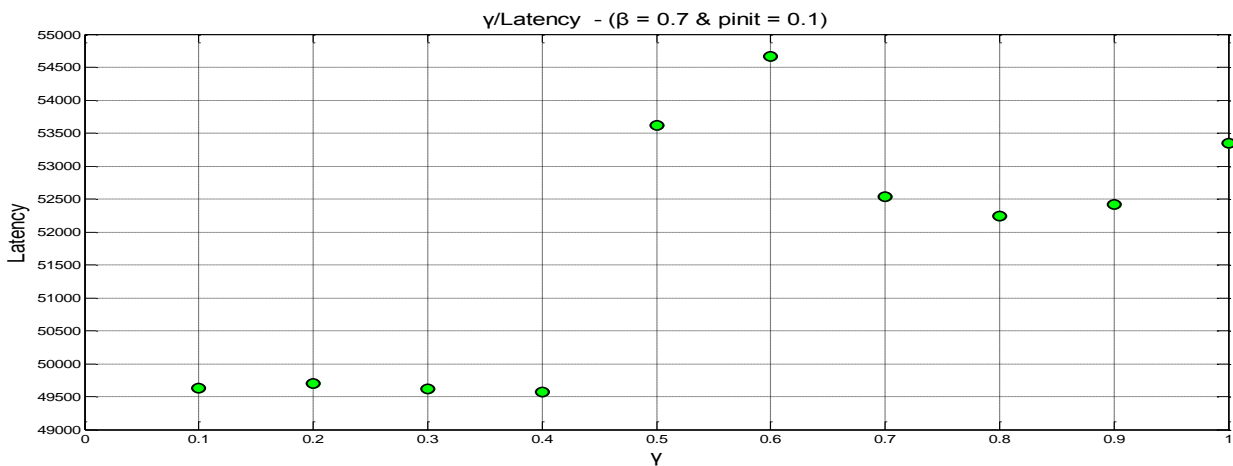
Εικόνα 23: Καμπύλη γ – Delivery Probability (με Δεδομένο β & p_{init})

Παρατηρώντας ότι για $\gamma = 0.8$ και $\gamma = 0.9$, η Delivery Probability είναι ίδια, θα προβούμε στην μελέτη του Overhead για την επιλογή του βέλτιστου γ .



Εικόνα 24: Καμπύλη γ – Overhead (με Δεδομένο β & p_{init})

Στο Overhead, βλέπουμε ότι για $\gamma = 0.8$ η τιμή του είναι μικρότερη έναντι της τιμής για $\gamma = 0.9$, οπότε και θα την επιλέξουμε για βέλτιστη τιμή.

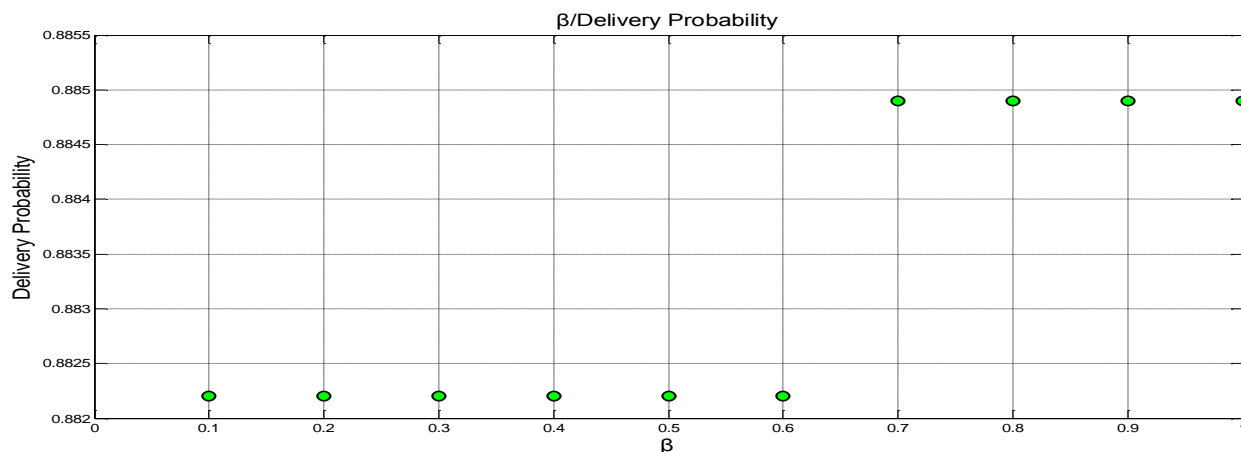


Εικόνα 25: Καμπύλη γ – Latency (με Δεδομένο β & p_{init})

Συνεπώς, οι βέλτιστες τιμές καταλήξαμε ότι θα θεωρούμε ότι είναι $\gamma = 0.8$, $p_{init} = 0.1$ και $\beta = 0.7$.

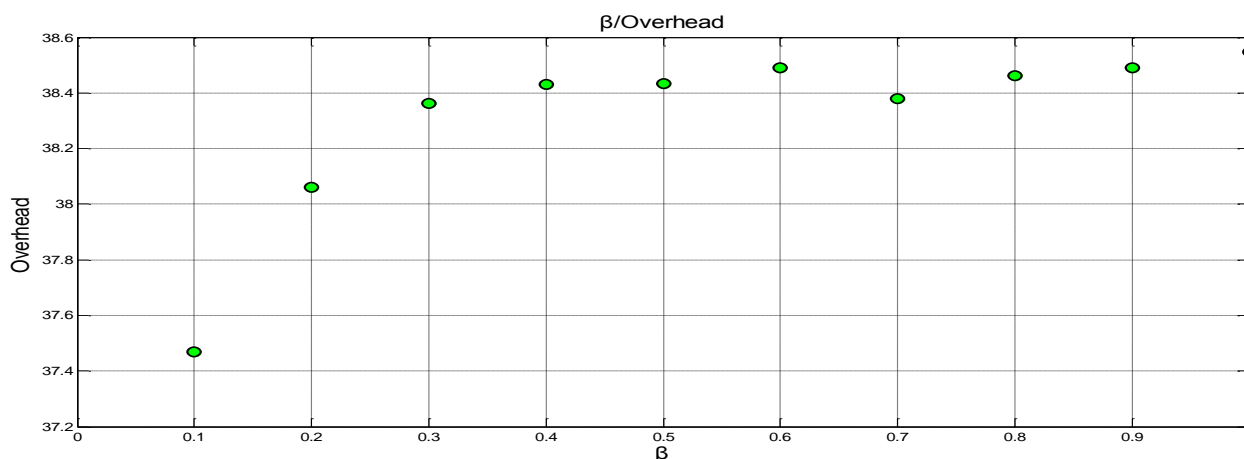
4.4.2 Διαδικασία Επιλογής των Βέλτιστων Τιμών για τις Παραμέτρους ρ_{init} , β , γ για το Αρχείο Infocom05

Επιλογή του β :



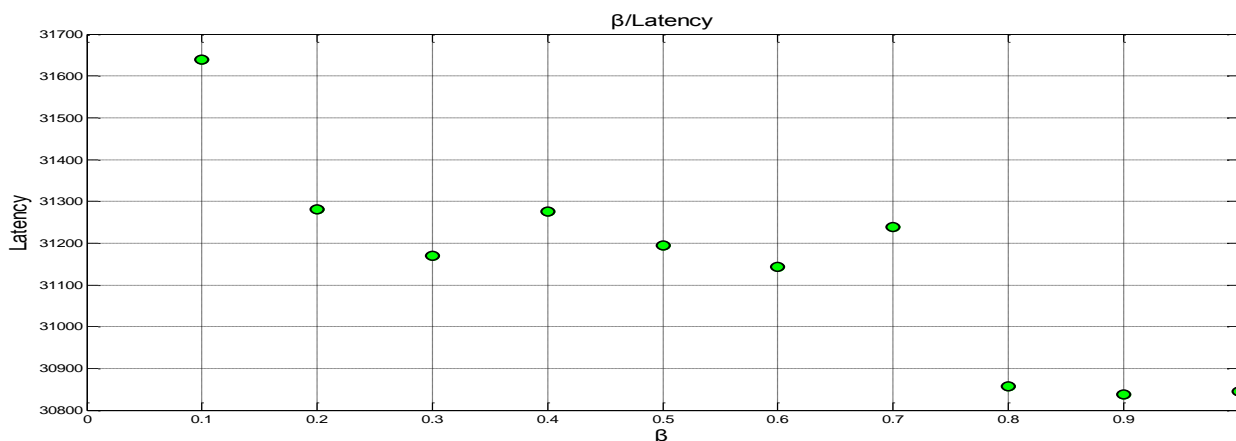
Εικόνα 26: Καμπύλη β – Delivery Probability

Παρατηρώντας ότι για το $\beta > 0.6$, η Delivery Probability είναι ίδια, θα προβούμε στην μελέτη του Overhead αυτών των τιμών για την επιλογή του βέλτιστου β .



Εικόνα 27: Καμπύλη β – Overhead

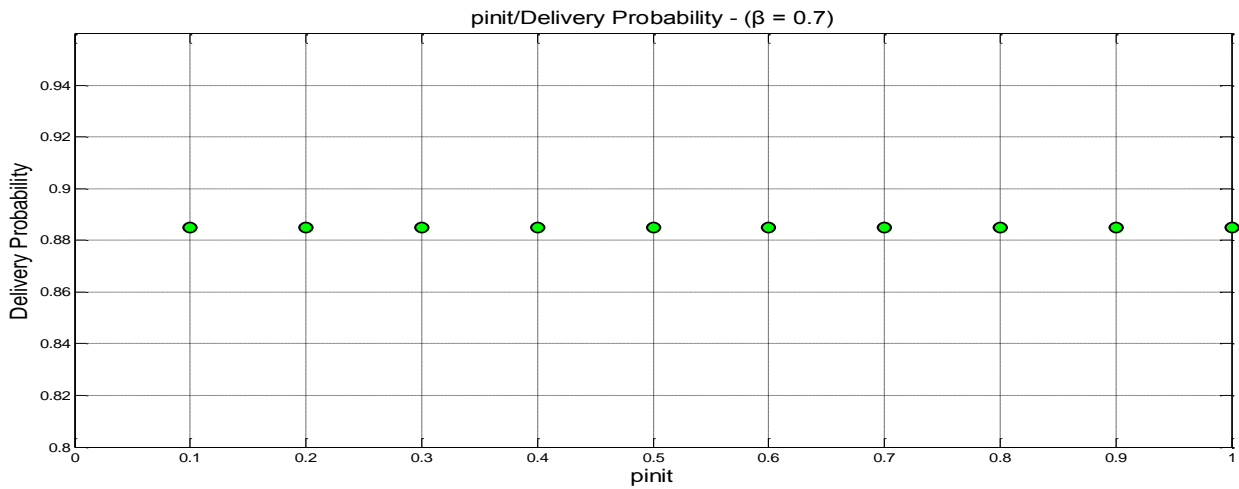
Στο Overhead, βλέπουμε ότι για $\beta = 0.7$ η τιμή του είναι μικρότερη έναντι της τιμής για κάθε άλλο $\beta > 0.6$, οπότε και θα την επιλέξουμε για βέλτιστη τιμή.



Εικόνα 28: Καμπύλη β – Latency

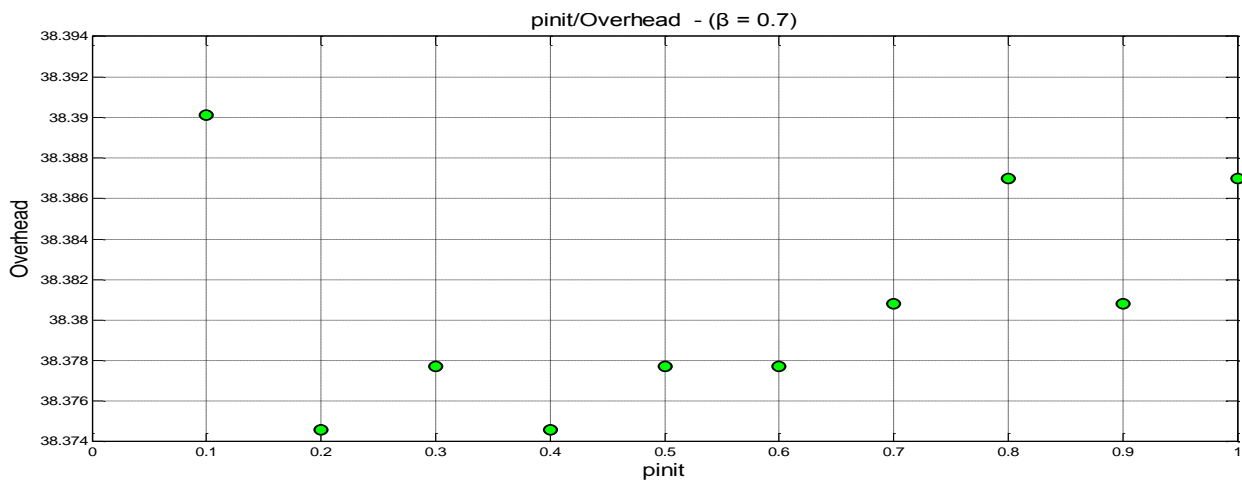
Συνεπώς, η βέλτιστη τιμή για το β , θεωρούμε ότι είναι το 0.7.

Επιλογή του ρ_{init} με Δεδομένο το β :



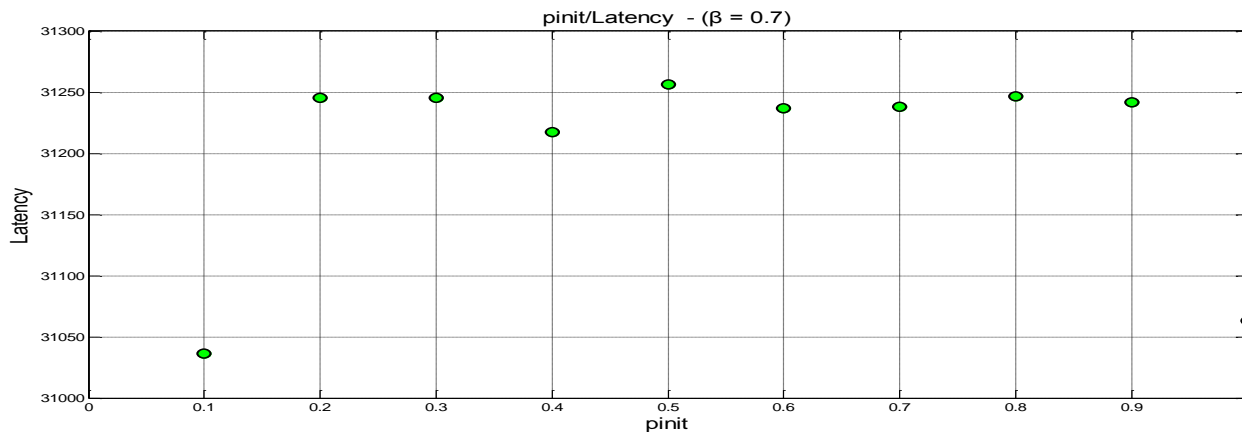
Εικόνα 29: Καμπύλη ρ_{init} – Delivery Probability (με Δεδομένο β)

Παρατηρώντας ότι για κάθε ρ_{init} , η Delivery Probability είναι ίδια, θα προβούμε στην μελέτη του Overhead για την επιλογή του βέλτιστου ρ_{init} .



Εικόνα 30: Καμπύλη ρ_{init} – Overhead (με Δεδομένο β)

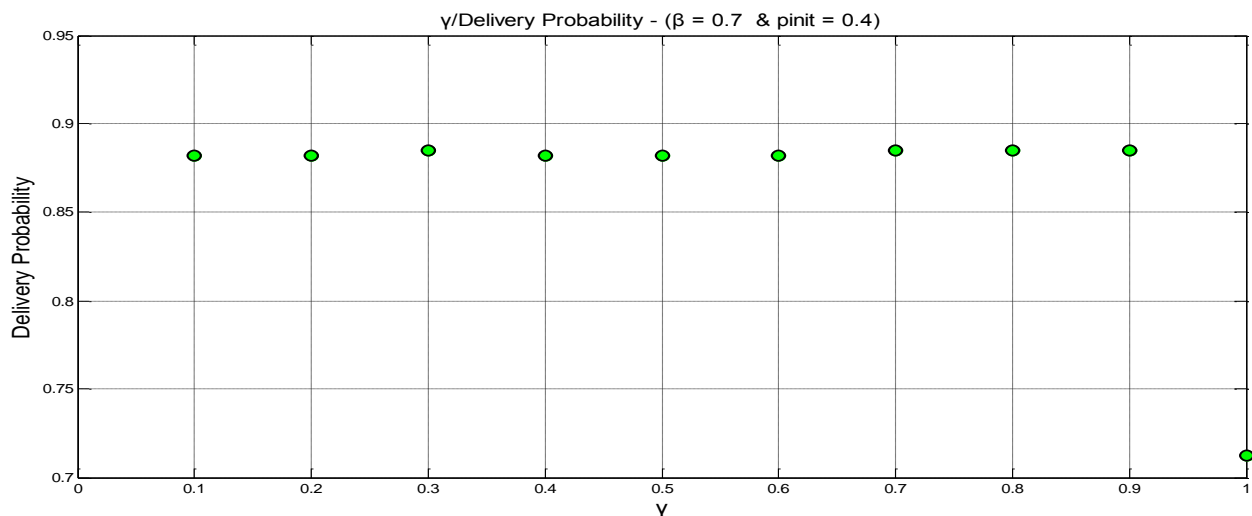
Στο Overhead, βλέπουμε ότι για $\rho_{init} = 0.2$ και $\rho_{init} = 0.4$ η τιμή του είναι μικρότερη και ίδια, οπότε θα προβούμε στην μελέτη του Latency για την επιλογή του βέλτιστου ρ_{init} .



Εικόνα 31: Καμπύλη ρ_{init} – Latency (με Δεδομένο β)

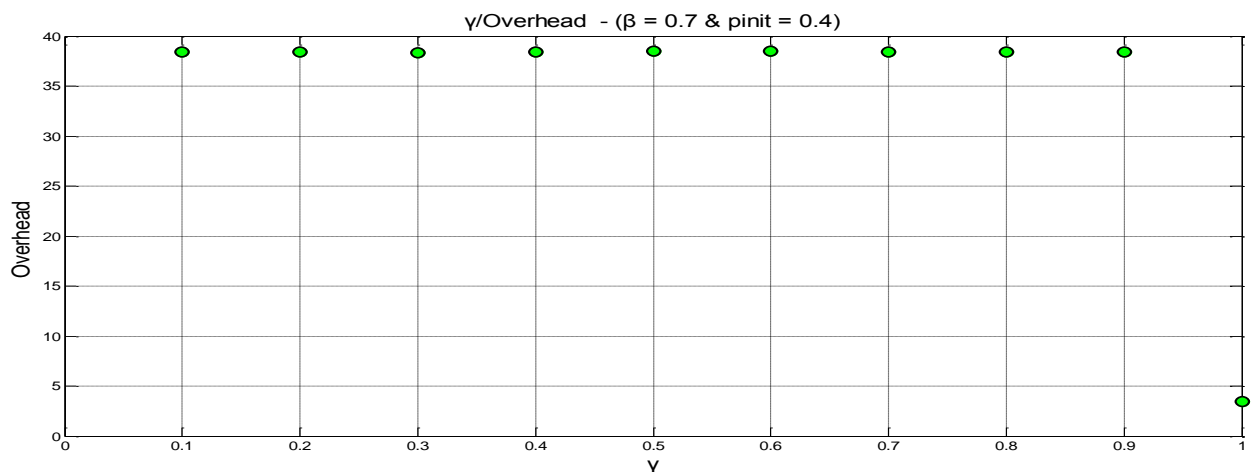
Συνεπώς, για το αρχείο Infocom05, η βέλτιστη τιμή για το ρ_{init} , θεωρούμε ότι είναι το 0.4 δεδομένου ότι το β είναι 0.7.

Επιλογή του γ , με Δεδομένο το β και το ρ_{init} :



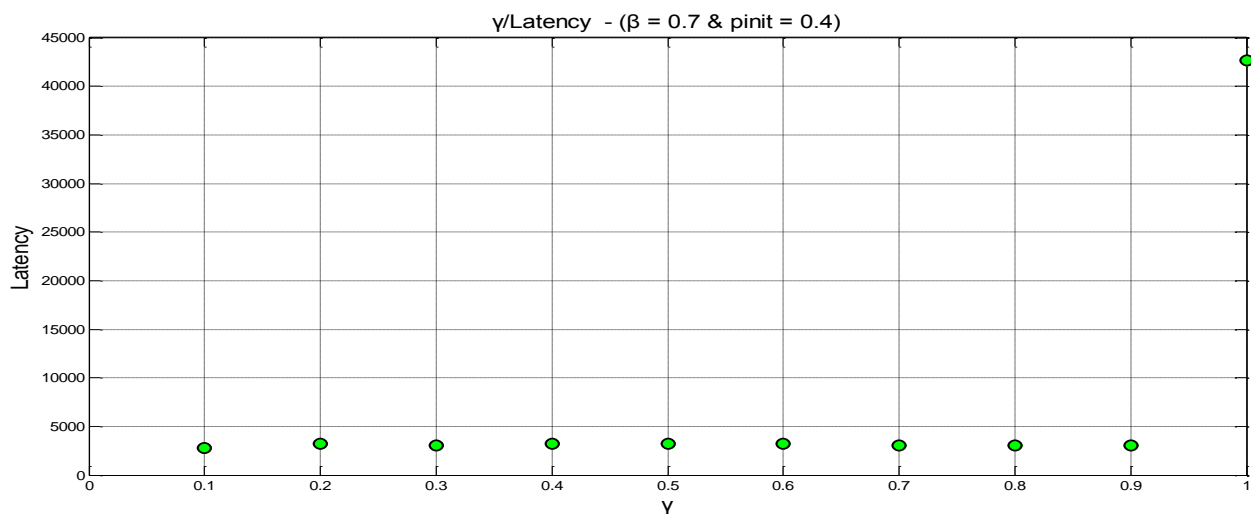
Εικόνα 32: Καμπύλη γ – Delivery Probability (με Δεδομένο β & ρ_{init})

Παρατηρώντας ότι για $\gamma = 0.3$, $\gamma = 0.7$, $\gamma = 0.8$ και $\gamma = 0.9$, η Delivery Probability είναι ίδια, θα προβούμε στην μελέτη του Overhead για την επιλογή του βέλτιστου γ .



Εικόνα 33: Καμπύλη γ – Overhead (με Δεδομένο β & ρ_{init})

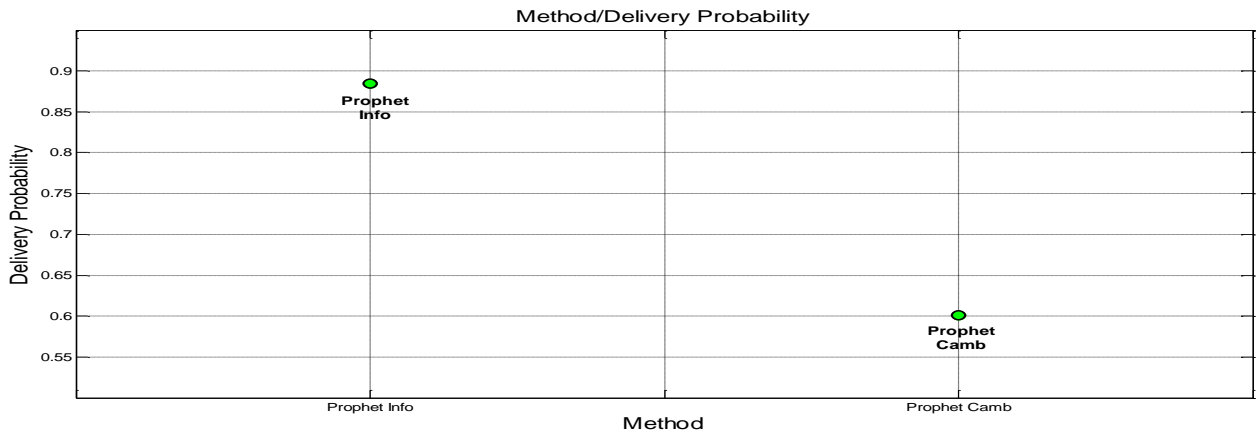
Στο Overhead, βλέπουμε ότι για $\gamma = 0.3$ η τιμή του είναι μικρότερη έναντι των τιμών για $\gamma = 0.7$, $\gamma = 0.8$ και $\gamma = 0.9$, οπότε και θα την επιλέξουμε για βέλτιστη τιμή.



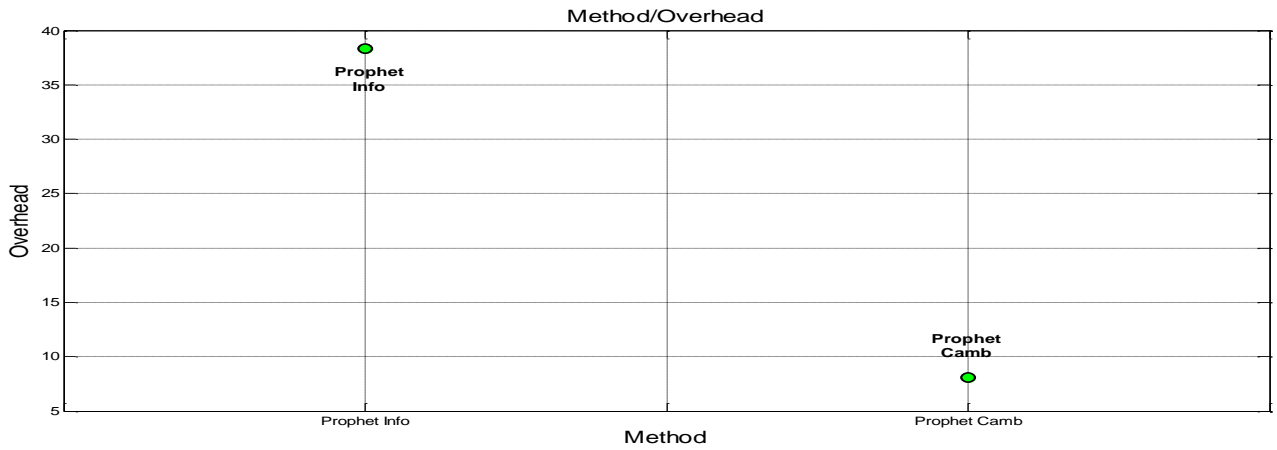
Εικόνα 34: Καμπύλη γ – Latency (με Δεδομένο β & p_{init})

Συνεπώς, οι βέλτιστες τιμές καταλήξαμε ότι θα θεωρούμε ότι είναι $\gamma = 0.3$, $p_{init} = 0.4$ και $\beta = 0.7$.

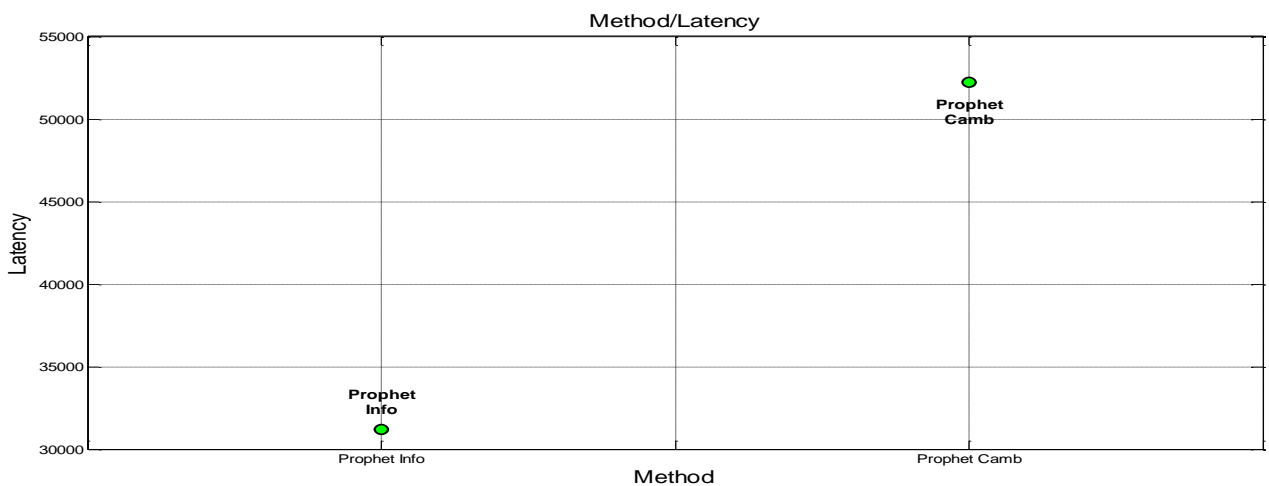
4.5 Γραφικές Απεικονίσεις των Βασικών Μετρικών Επίδοσης των Βέλτιστων Παραμέτρων κάτω από Traces



Εικόνα 35: Καμπύλη Delivery Probability Prophet



Εικόνα 36: Καμπύλη Overhead Prophet



Εικόνα 37: Καμπύλη Latency Prophet

4.6 Περιγραφή Γραφικών Απεικονίσεων των Βασικών Μετρικών Επίδοσης των Βέλτιστων Παραμέτρων κάτω από Traces

Πίνακας 3: Βασικές Μετρικές Επίδοσης Infocom05 vs Βασικές Μετρικές Επίδοσης Cambridge (Prophet)

<u>Μέθοδος</u>	<u>Delivery Probability</u>	<u>Overhead</u>	<u>Latency</u>
Prophet Cambridge ($\beta = 0.7, \gamma = 0.8, p_{init} = 0.1$)	0.6013	8.0658	52238.1233
Prophet Infocom05 ($\beta = 0.7, \gamma = 0.3, p_{init} = 0.4$)	0.8849	38.3251	31218.6734

Αρχικά, εφαρμόζοντας το πρωτόκολλο δρομολόγησης Prophet για το Infocom05, παρατηρούμε ότι η Delivery Probability ανέρχεται στο 88,49%. Όσον αφορά το Cambridge, η Delivery Probability είναι τα 2/3 σε σχέση με την αντίστοιχη του Infocom05, πέφτοντας σχεδόν στο 60%. Προφανώς για το πρωτόκολλο αυτό θα είναι μικρότερα και τα επίπεδα τιμών για το Overhead (τείνει στο 80%), σε αντίθεση με το Latency όπου οι σχετικές αντίστοιχες τιμές θα είναι αυξημένες κατά 70% περίπου.

Ως ένα επιπλέον σενάριο, δοκιμάστηκε να αντιστραφούν οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων για κάθε ένα από τα traces. Οι προκύπτουσες μετρικές επίδοσης είναι οι εξής:

Πίνακας 4: Βασικές Μετρικές Επίδοσης Infocom05 vs Βασικές Μετρικές Επίδοσης Cambridge με Ανεστραμμένες Τιμές Παραμέτρων (Prophet)

<u>Μέθοδος</u>	<u>Delivery Probability</u>	<u>Overhead</u>	<u>Latency</u>
Prophet Cambridge ($\beta = 0.7, \gamma = 0.3, p_{init} = 0.4$)	0.6013	8.3096	49408.5074
Prophet Infocom05 ($\beta = 0.7, \gamma = 0.8, p_{init} = 0.1$)	0.8849	38.3387	31218.6678

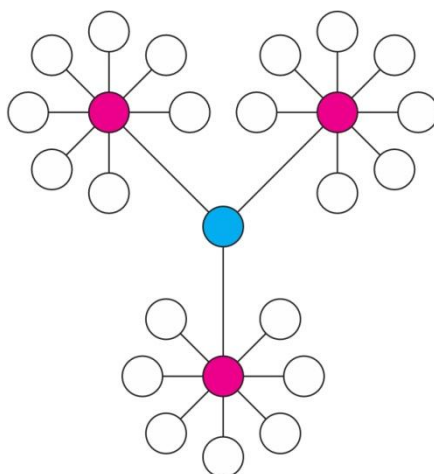
Συνεπώς, παρατηρείται ότι για κάθε πιθανό συνδυασμό των παραμέτρων β , γ και p_{init} , οι τιμές των μετρικών επίδοσης που προκύπτουν είναι πολύ κοντά στις βέλτιστες τιμές αυτών, γεγονός το οποίο αποδεικνύεται από τη δυσδιάκριτη επιλογή των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων. Το χαρακτηριστικό αυτό, των παραμέτρων β , γ και p_{init} , αποτελεί πλεονέκτημα για το πρωτόκολλο δρομολόγησης Prophet, μιας και δεν είναι αναγκαία η χρονοβόρα διαδικασία εύρεσης των βέλτιστων παραμέτρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΤΩΝ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΕ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΕΛΛΙΠΟΥΣ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑΣ

5.1 Εισαγωγή στην Έννοια της Κεντρικότητας (Centrality)

Για την ανάλυση των κοινωνικών δικτύων χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες μετρικές Κοινωνικής Δικτύωσης [11]. 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 κοινωνική δικτύωση μπορεί να έχει άμεση σχέση με τα οπορτουμιστικά δίκτυα. Η ιδέα στην οποία βασίζεται αυτή η σχέση είναι ότι οι κοινωνικές σχέσεις που αναπτύσσουν οι χρήστες στην καθημερινότητα τους, εξακολουθούν να ισχύουν όταν αυτοί αποτελούν κόμβους ενός δικτύου. Κόμβοι ενός δικτύου που συναντιούνται συχνά σημαίνει ότι πιθανότατα έχουν μια κοινωνική σχέση και στην πραγματικότητα. Η συσχέτιση δύο κόμβων ονομάζεται επαφή. Για να έχουμε επαφή μεταξύ δύο κόμβων, απαραίτητη προϋπόθεση είναι οι κόμβοι αυτοί να έχουν υπάρξει γείτονες στο παρελθόν. Το κριτήριο αυτό δεν είναι σαφώς ορισμένο, διότι η ύπαρξη ενός κόμβου στην γειτονιά ενός άλλου δεν συνεπάγεται ότι υπάρχει κάποια κοινωνική σχέση μεταξύ τους (τυχαία συνάντηση μεταξύ δύο κόμβων). Ο καθορισμός ενός σωστού κριτηρίου για το πότε έχουμε επαφή μεταξύ δύο κόμβων αποτελεί πρόβλημα. Οι σχέσεις μπορούν να αναπαρασταθούν με ένα γράφημα που ονομάζεται κοινωνικός γράφος, όπου οι κόμβοι είναι οι χρήστες και οι ακμές οι σχέσεις που αναπτύσσουν. Ο κοινωνικός γράφος αποτελεί μια αναπαράσταση όλων των επαφών μεταξύ των κόμβων του δικτύου.

Η δρομολόγηση που στηρίζεται στην ιδέα της κοινωνικής δικτύωσης χρησιμοποιεί μετρικές οι οποίες εξάγονται από τις συνδέσεις του κοινωνικού γράφου. Μία από τις βασικές έννοιες Κοινωνικής Δικτύωσης που είναι απαραίτητες για τη μελέτη της συμπεριφοράς ενός κόμβου, που αποτελεί μέρος ενός κοινωνικού δικτύου, είναι η Centrality (Κεντρικότητα) [2, 14]. Η σημαντικότητα της θέσης ενός κόμβου σε σχέση με τη διάταξη των υπόλοιπων κόμβων, αποδίδεται με τον όρο της κεντρικότητας. Αυτή η έννοια της κοινωνικής δικτύωσης αξιολογεί τη διαρθρωτική σημασία του κόμβου μέσα στο δίκτυο. Ένας κόμβος με μεγάλη κεντρικότητα παρουσιάζει και μεγάλη συνδεσιμότητα με άλλα μέλη του δικτύου, ενώ ένας κόμβος με χαμηλή κεντρικότητα είναι πιο απομονωμένος από τους υπόλοιπους κόμβους και δεν είναι τόσο δημοφιλής. Έτσι, λοιπόν, ένας κόμβος με μεγάλη κεντρικότητα έχει περισσότερες πιθανότητες να παραδώσει τα δεδομένα στον προορισμό. Για παράδειγμα, στην Εικόνα 38 φαίνεται ένας από τους πιο δημοφιλείς κόμβους του δικτύου και είναι αυτός με το μπλε χρώμα. Αυτός ο κόμβος συνδέεται με πολλούς άλλους, εξαιτίας της θέσης του. Η κεντρικότητα του είναι μεγάλη, διότι προφανώς έρχεται σε επαφή με την πλειοψηφία των κόμβων του δικτύου.



Εικόνα 38: Μπλε Κόμβος → Μεγάλη Κεντρικότητα

Η μετρική της κεντρικότητας ενός κόμβου έχει πολλές παραλλαγές. Η έννοια της κεντρικότητας προσεγγίζεται με τους εξής διαφορετικούς τρόπους:

- ✓ Κεντρικότητα Βαθμού (Degree centrality): Η μετρική αυτή ορίζεται ως το σύνολο των άμεσων συνδέσεων που έχει ένας κόμβος με άλλους κόμβους.
- ✓ Κεντρικότητα ως προς την Εγγύτητα (Closeness centrality): Με τον όρο closeness centrality εκφράζεται ποιοτικά το μέσο μήκος των συντομότερων μονοπατιών που ξεκινούν από έναν κόμβο και καταλήγουν σε όλους τους κόμβους με τους οποίους είναι δυνατόν να συνδέεται ο κόμβος αυτός. Η closeness centrality δεν περιορίζεται στα όρια της γειτονιάς, όπως το degree centrality, αλλά εξαρτάται από όλο το δίκτυο.
- ✓ Κεντρικότητα από τη Διαμεσότητα (Betweenness Centrality) [13]: 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.
- ✓ Κεντρικότητα Γέφυρας (Bridging Centrality) [12]: Η μετρική bridging centrality, 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.

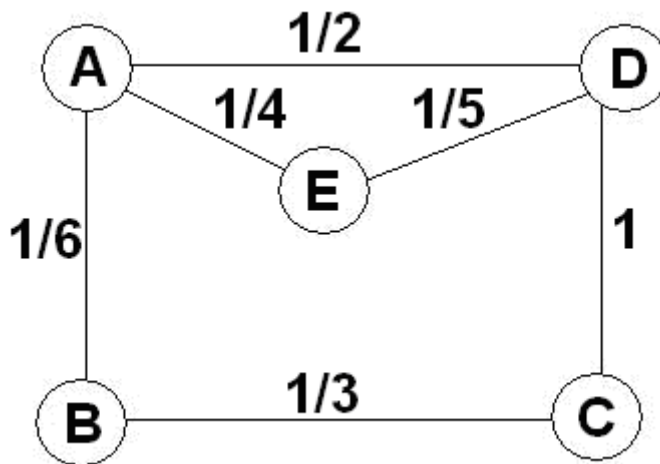
Ως επί το πλείστον, δείξαμε την σχέση μεταξύ των πρωτοκόλλων Epidemic και Spray-and-Wait. Εδώ εμφανίζεται και η παρουσία του πρωτοκόλλου Prophet το οποίο και έχει στόχο να “ξεπεράσει” τα δύο παραπάνω πρωτόκολλα παραδίδοντας επιτυχώς περισσότερα μηνύματα με πολύ μικρότερο πλεονασμό αντιγράφων.

Η εικόνα γίνεται περίπλοκη και αποκτά ενδιαφέρον σε συνθήκες ελλιπούς συνεργασίας, όπου εφαρμόζεται η διαδικασία απενεργοποίησης των κόμβων που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη κεντρικότητα από διαμεσότητα. Σε αυτό το στοιχείο επικεντρώνει και η προτεινόμενη άσκηση, που οι φοιτητές καλούνται να αναπαράγουν τέτοιες συνθήκες σύγκρισης για τα πρωτόκολλα και να αναλύσουν τα αποτελέσματα που παράγονται.

Παρακάτω παραθέτουμε αποτελέσματα σχετικά με το πώς συγκρίνονται τα τρία πρωτόκολλα δρομολόγησης, μελετώντας την ανθεκτικότητα και την ευαισθησία τους σε τέτοιου είδους συνθήκες. Η εκφώνηση της σχετικής άσκησης δίνεται στο Παράρτημα II.

5.2 Παράδειγμα Υπολογισμού Betweenness Centrality

Έστω ότι έχουμε το παρακάτω κοινωνικό δίκτυο:



Το 1/2 πάνω στην γραμμή AD δηλώνει το μήκος μονοπατιού μεταξύ των κόμβων A και D, το μήκος μονοπατιού μεταξύ των A και E είναι 1/4. Ομοίως ισχύει και για τα υπόλοιπα.

Όπως προαναφέραμε, με το 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. Το betweenness centrality υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$C_B(A) = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{j-1} \frac{g_{jk}(A)}{g_{jk}}$$

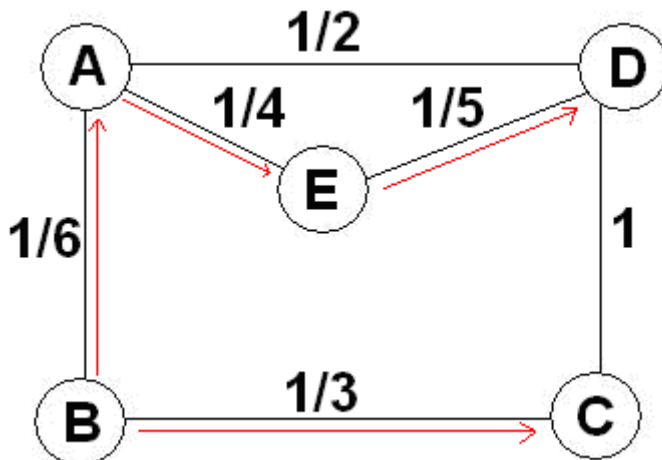
όπου:

- ✓ g_{jk} το πλήθος των συντομότερων μονοπατιών που ενώνουν δύο οποιοδήποτε κόμβους του δικτύου j και k
- ✓ $g_{jk}(p_i)$ το πλήθος των συντομότερων μονοπατιών στα οποία συμπεριλαμβάνεται και ο κόμβος p_i

Θα υπολογίσουμε το betweenness centrality για τον κόμβο A.

Υπολογισμός $C_B(A)$:

- ✓ Τα συντομότερα μονοπάτια που ενώνουν τον κόμβο B με τους υπόλοιπους κόμβους (εκτός A) δίνονται με κόκκινες γραμμές:



Δηλαδή:

Κόμβος B → Λοιποί κόμβοι	Διαδρομή	$g_{jk}(A)$	g_{jk}	$\frac{g_{jk}(A)}{g_{jk}}$
B → C	B → C			
B → D	B → A → E → D	1	1	1
B → E	B → A → E	1	1	1
Σύνολο				2

Επομένως, για $j = 1$, $\sum_{k=1}^{j-1} \frac{g_{jk}(A)}{g_{jk}} = 2$

- ✓ Τα συντομότερα μονοπάτια που ενώνουν τον κόμβο C με τους υπόλοιπους κόμβους (εκτός A) είναι:

Κόμβος C → Λοιποί κόμβοι	Διαδρομή	$g_{jk}(A)$	g_{jk}	$\frac{g_{jk}(A)}{g_{jk}}$
C → B	C → B			
C → D	C → B → A → E → D	1	1	1
C → E	C → B → A → E	1	1	1
Σύνολο				2

Επομένως, για $j = 2$, $\sum_{k=1}^{j-1} \frac{g_{jk}(A)}{g_{jk}} = 2$

- ✓ Τα συντομότερα μονοπάτια που ενώνουν τον κόμβο D με τους υπόλοιπους κόμβους (εκτός A) είναι:

Κόμβος D → Λοιποί κόμβοι	Διαδρομή	$g_{jk}(A)$	g_{jk}	$\frac{g_{jk}(A)}{g_{jk}}$
D → B	D → E → A → B	1		1
D → C	D → E → A → B → C	1		1
D → E	D → E			1
Σύνολο				2

Επομένως, για $j = 3$, $\sum_{k=1}^{j-1} \frac{g_{jk}(A)}{g_{jk}} = 2$

- ✓ Τα συντομότερα μονοπάτια που ενώνουν τον κόμβο E με τους υπόλοιπους κόμβους (εκτός A) δίνονται με κόκκινες γραμμές:

Δηλαδή:

Κόμβος E → Λοιποί κόμβοι	Διαδρομή	$g_{jk}(A)$	g_{jk}	$\frac{g_{jk}(A)}{g_{jk}}$
E → B	E → A → B	1	1	1
E → C	E → A → B → C	1	1	1
E → D	E → D			
Σύνολο				2

Επομένως, για $j = 4$, $\sum_{k=1}^{j-1} \frac{g_{jk}(A)}{g_{jk}} = 2$

Άρα, $C_B(A) = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{j-1} \frac{g_{jk}(A)}{g_{jk}} = 2 + 2 + 2 + 2 = 8$

Ομοίως για τους υπόλοιπους κόμβους έχουμε ότι:

$C_B(B) = 6, C_B(C) = 0, C_B(D) = 0, C_B(E) = 6$

Οπότε, ο κόμβος A είναι ο σημαντικότερος κόμβος στο δίκτυο, διότι έχει το μεγαλύτερο betweenness centrality.

5.3 Παράμετροι και Διαδικασίες Προσομοίωσης

Η προσομοίωση δικτύου στον προσομοιωτή ONE πραγματοποιήθηκε για τα πρωτόκολλα Epidemic, Spray and Wait και Prophet με χρήση traces, χρησιμοποιώντας τα Infocom05 και Cambridge αρχεία όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στόχος της προσομοίωσης δικτύου είναι η σύγκριση των τριών παραπάνω πρωτοκόλλων δρομολόγησης σύμφωνα με τις μετρικές επίδοσης. Να σημειώσουμε ότι στο πρωτόκολλο δρομολόγησης Prophet δεν βάζουμε κάποιο άνω όριο στον αριθμό των αντιγράφων του μηνύματος. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι

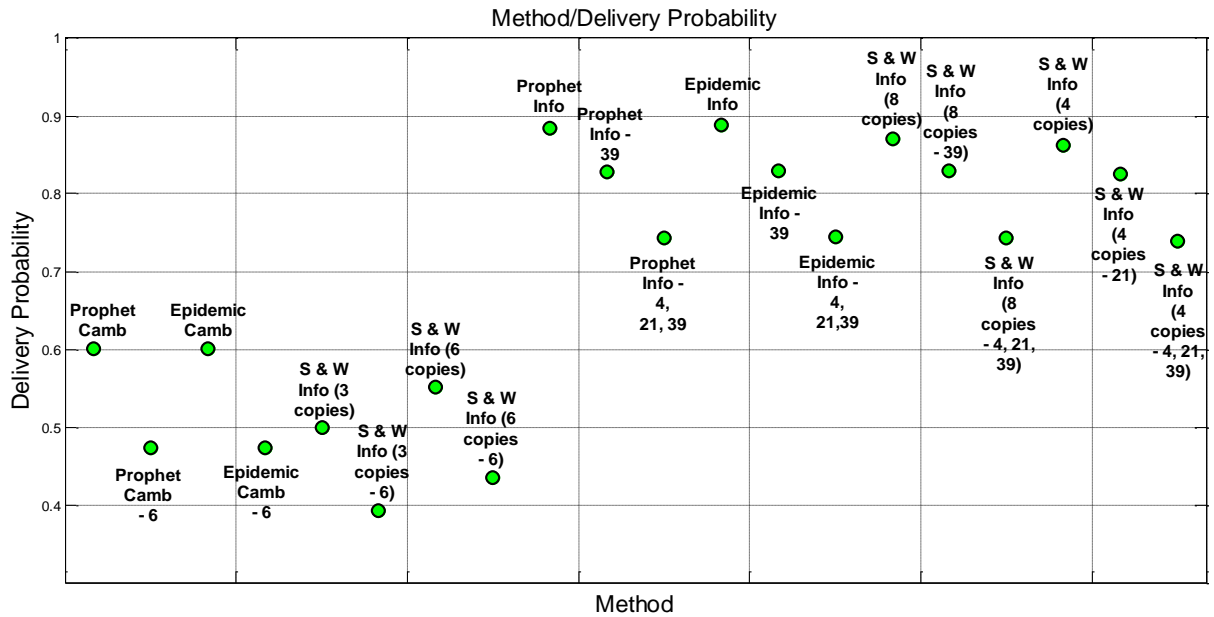
παράμετροι των προσομοιώσεων των οποίων τα αποτελέσματα και η ανάλυση παρουσιάζονται σε επόμενα εδάφια.

Πίνακας 5: Παράμετροι Προσομοίωσης

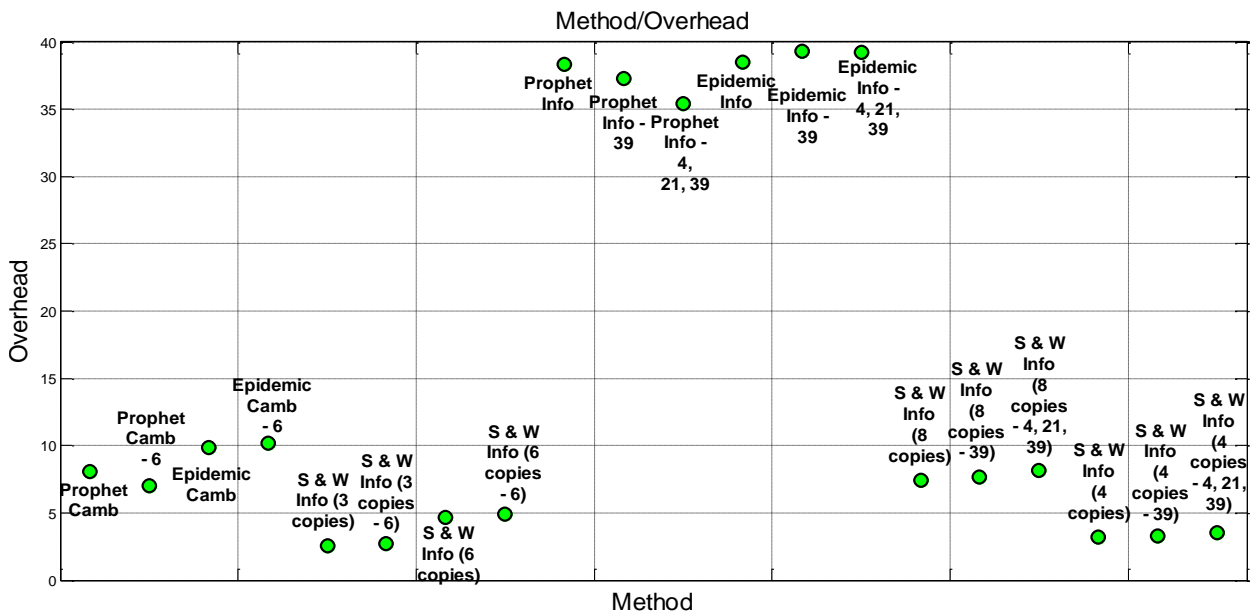
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΤΙΜΗ
Χρόνος προσομοίωσης	277200 s (77 h) για Infocom05, 460000 s (127.7 h) για Cambridge
Έκταση περιοχής προσομοίωσης	4000 x 4000 m ²
Σύνολο κόμβων	12 κόμβοι (Cambridge), 40 κόμβοι (Infocom05)
Ταχύτητα κόμβων	0,5 - 1,5 m/sec
Ακτίνα κάλυψης κόμβου	30 m
Ταχύτητα μετάδοσης	500 kBps
Χρόνος αναμονής κάθε κόμβου	0 s - 120 s
Μέγεθος Buffer	300 MB
Time-To-Live (TTL)	Άπειρο
Μοντέλο κινητικότητας κόμβων	Μοντέλο τυχαίων στάσεων
Διάστημα δημιουργία πακέτου	600 s - 900 s
Μέγεθος πακέτου	500 kB - 1 MB

Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για δίκτυο με πρωτόκολλα Epidemic και Spray and Wait διάδοσης με 12 κόμβους για το αρχείο Cambridge και 40 κόμβους για το αρχείο Infocom05. Στην συνέχεια, με την χρήση του betweenness centrality υπολογίζουμε τον κεντρικότερο κόμβο σε κάθε ένα από τα δίκτυα. Υπολογίζουμε, αρχικά, το σύνολο των συνδέσεων ανά δύο κόμβους. Με την χρήση του εργαλείου Matlab βρίσκουμε ότι στο πρώτο, με το μεγαλύτερο betweenness centrality είναι ο κόμβος 7, ενώ στο δεύτερο ο 11. Απενεργοποιούμε τους κόμβους αυτούς, για κάθε ένα από τα δίκτυα, και επανεκτελούμε την προσομοίωση. Αξίζει να αναφέρουμε ότι για το αρχείο Infocom05 απενεργοποιούμε εκτός του 11, τους κόμβους 30 και 5 οι οποίοι παρουσιάζουν το δεύτερο και τρίτο μεγαλύτερο betweenness centrality, αντίστοιχα. Αυτό, για να γίνει καλύτερα η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέρχονται από την προσομοίωση των δύο traces. Κατά την διάρκεια της προσομοίωσης Cambridge δημιουργήθηκαν 607 μηνύματα, ενώ 365 μηνύματα δημιουργήθηκαν κατά το Infocom05.

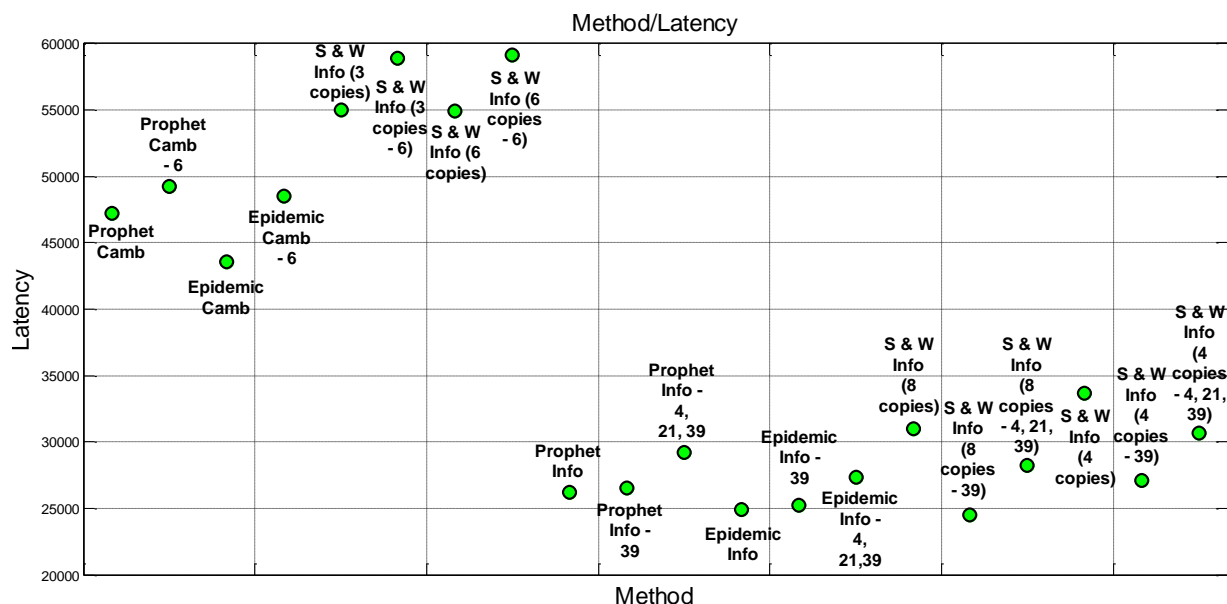
5.4 Γραφικές Απεικονίσεις και Σύγκριση Τιμών των Βασικών Μετρικών Επίδοσης Όλων των Μελετώμενων Πρωτοκόλλων Δρομολόγησης μέσω Traces



Εικόνα 39: Καμπύλη Delivery Probability Όλων των Μελετώμενων Μεθόδων



Εικόνα 40: Καμπύλη Overhead Όλων των Μελετώμενων Μεθόδων



Εικόνα 41: Καμπύλη Latency Όλων των Μελετώμενων Μεθόδων

Πίνακας 6: Βασικές Μετρικές Επίδοσης Infocom05 vs Βασικές Μετρικές Επίδοσης Cambridge (Epidemic, Spray & Wait και Prophet)

<u>Μέθοδος</u>	<u>Delivery Probability</u>	<u>Overhead</u>	<u>Latency</u>
Prophet Cambridge	0.6013	8.0658	52238.1233
Prophet Cambridge (χωρίς τον 6)	0.4728	7.0139	54283.8937
Epidemic Cambridge	0.6013	9.8877	48535.5537
Epidemic Cambridge (χωρίς τον 6)	0.4728	10.1742	53492.9495
Spray & Wait Cambridge (3 αντίγραφα)	0.4992	2.5776	60024.2894
Spray & Wait Cambridge (3 αντίγραφα - χωρίς 6)	0.3921	2.7479	63886.6424
Spray & Wait Cambridge (6 αντίγραφα)	0.5519	4.6985	59908.6370
Spray & Wait Cambridge (6 αντίγραφα - χωρίς 6)	0.4349	4.9015	64116.2333
Prophet Infocom05	0.8849	38.3251	31218.6734
Prophet Infocom05 (χωρίς τον 39)	0.8274	37.3079	31519.7421
Prophet Infocom05 (χωρίς τον 4, 21, 39)	0.7425	35.3764	34192.1321
Epidemic Infocom05	0.8877	38.5031	29911.6657
Epidemic Infocom05 (χωρίς τον 39)	0.8301	39.2838	30196.0954
Epidemic Infocom05 (χωρίς τον 4, 21, 39)	0.7452	39.2279	32302.7353
Spray & Wait Infocom05 (8 αντίγραφα)	0.8712	7.3868	35970.9620
Spray & Wait Infocom05 (8 αντίγραφα - χωρίς 39)	0.8301	7.6370	29521.7779
Spray & Wait Infocom05 (8 αντίγραφα - χωρίς 4, 21, 39)	0.7425	8.1181	33256.3391
Spray & Wait Infocom05 (4 αντίγραφα)	0.8630	3.1937	38635.5911
Spray & Wait Infocom05 (4 αντίγραφα - χωρίς 39)	0.8247	3.3123	32096.2043
Spray & Wait Infocom05 (4 αντίγραφα - χωρίς 4, 21, 39)	0.7397	3.5148	35691.3756

Αρχικά, για το Cambridge, εφαρμόζοντας την Epidemic διάδοση, η Delivery Probability παίρνει τη μέγιστη τιμή της. Χαμηλότερα είναι τα επίπεδα για τη Spray and Wait διάδοση με 6 αντίγραφα και ακόμα χαμηλότερα με 3 αντίγραφα. Απενεργοποιώντας τους 3 κεντρικότερους κόμβους η πτώση της Delivery Probability θα είναι αναλογική.

Όσον αφορά το Overhead, κατά την Epidemic διάδοση θα είναι περίπου 4 φορές μεγαλύτερο σε σχέση με τη Spray and Wait διάδοση με τη χρήση 3 αντιγράφων και περίπου 2 φορές σε σχέση με τη Spray and Wait διάδοση με τη χρήση 6 αντιγράφων. Να σημειωθεί ότι η απενεργοποίηση κόμβων επιφέρει την απειροελάχιστη αύξηση του Overhead στο Cambridge.

Η πορεία των επιπέδων του Latency είναι αντίθετη από αυτή του Overhead, καθώς το βέλτιστο Latency εμφανίζεται για την Epidemic διάδοση, ενώ για τη Spray and Wait διάδοση είτε με τη χρήση 3, είτε με τη χρήση 6 αντιγράφων τα επίπεδα είναι παρόμοια. Ακόμα παρατηρείται ότι η απενεργοποίηση των κόμβων προκαλεί αισθητή αύξηση του Latency.

Εφαρμόζοντας την Epidemic διάδοση για το Infocom05, η Delivery Probability ανέρχεται στο 88,77%. Σχεδόν όμοια είναι τα επίπεδα (ελαφριά χειρότερα) και για τη Spray and Wait διάδοση είτε με 4, είτε με 8 αντίγραφα. Απενεργοποιώντας τους 3 κεντρικότερους κόμβους η πτώση της Delivery Probability θα είναι έντονα αισθητή, και για τα 3 αυτά σενάρια.

Όσον αφορά το Overhead, κατά την Epidemic διάδοση θα είναι περίπου 5 φορές μεγαλύτερο σε σχέση με τη Spray and Wait διάδοση με τη χρήση 8 αντιγράφων και περίπου 12 φορές σε σχέση με τη Spray and Wait διάδοση με τη χρήση 4 αντιγράφων. Να σημειωθεί ότι η απενεργοποίηση κόμβων επιφέρει την απειροελάχιστη αύξηση του Overhead στο Infocom05.

Η πορεία των επιπέδων του Latency είναι αντίθετη από αυτή του Overhead καθώς το βέλτιστο Latency εμφανίζεται για την Epidemic διάδοση και το χειρίστο για τη Spray and Wait διάδοση με τη χρήση 4 αντιγράφων. Ακόμα παρατηρείται ότι η απενεργοποίηση των κόμβων προκαλεί αύξηση του Latency για την Epidemic διάδοση, ενώ κατά τη Spray and Wait διάδοση το αποτέλεσμα είναι αντίθετο, ιδιαίτερος όταν απενεργοποιείται ένας κόμβος από το δικτυακό περιβάλλον.

Εισάγοντας στη σύγκριση και το πρωτόκολλο δρομολόγησης Prophet, φαίνεται πως τόσο για το Cambridge, όσο και για το Infocom05, τα επίπεδα τιμών του για τη Delivery Probability είναι παραπλήσια με αυτά του πρωτοκόλλου διάδοσης Epidemic. Παρόμοια παρατήρηση μπορούμε να κάνουμε και για τις άλλες δύο βασικές μετρικές επίδοσης, με τη διαφορά ότι οι διαφοροποιήσεις των τιμών είναι λίγο πιο αξιοπρόσεχτες, όπου το Overhead είναι λίγο καλύτερο για το πρωτόκολλο δρομολόγησης Prophet σε αντίθεση με τη Latency όπου το αποτέλεσμα είναι αντίθετο.

Συγκεντρωτικά, η βέλτιστη Delivery Probability και Latency παρουσιάζεται για το Epidemic στο Infocom05, έχοντας ως αντίκτυπο όμως το χειρίστο Overhead. Τα καλύτερα επίπεδα του Overhead εμφανίζονται για το πρωτόκολλο διάδοσης Spray & Wait με τη χρήση 3 αντιγράφων, για το Cambridge, όπου παράλληλα κάνουν την εμφάνισή τους οι χειρότερες τιμές της Latency (μαζί με το πρωτόκολλο διάδοσης Spray & Wait με τη χρήση 6 αντιγράφων, για το Cambridge).

Καταλήγουμε στο συμπέρασμα άρα ότι, σε συνθήκες ελλιπούς συνεργασίας, μελετώντας τις τιμές που προέκυψαν παραπάνω, κανένα από τα μελετώμενα πρωτόκολλα δεν υπερτερεί ξεκάθαρα ενάντια των υπολοίπων. Η απενεργοποίηση των κόμβων με την μεγαλύτερη κεντρικότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη της Delivery Probability και ανάλογη του Overhead (μόνο στην περίπτωση του πρωτοκόλλου

δρομολόγησης Prophet δεν συμβαίνει), όπως και αναμενόταν από τη θεωρία. Επίσης αξιοσημείωτο είναι ότι, το πρωτόκολλο δρομολόγησης Prophet τείνει να συμπεριφέρεται όπως το πρωτόκολλο διάδοσης Epidemic, κάτι το οποίο περιμέναμε να συναντήσουμε μιας και δεν γίνεται η χρήση κάποιου άνω ορίου στον αριθμό των αντιγράφων του μηνύματος στο πρωτόκολλο δρομολόγησης Prophet.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Εργαστήριο ONE

Εγκατάσταση Προσομοιωτή ONE για Windows:

Από την ιστοσελίδα <http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/> στην στήλη Download πατώντας τον σύνδεσμο «here» κατεβάζουμε το πακέτο zip. Αποτελεί την τελευταία έκδοση του προσομοιωτή ONE την 1.4.1. Αποσυμπιέζουμε τον φάκελο και τον τοποθετούμε σε κάποιο μέρος στον υπολογιστή μας. Στην δική μας περίπτωση τοποθετούμε τον φάκελο «one_1.4.1» στην διεύθυνση C:\. Για την λειτουργία του προσομοιωτή πρέπει να κάνουμε τα εξής:

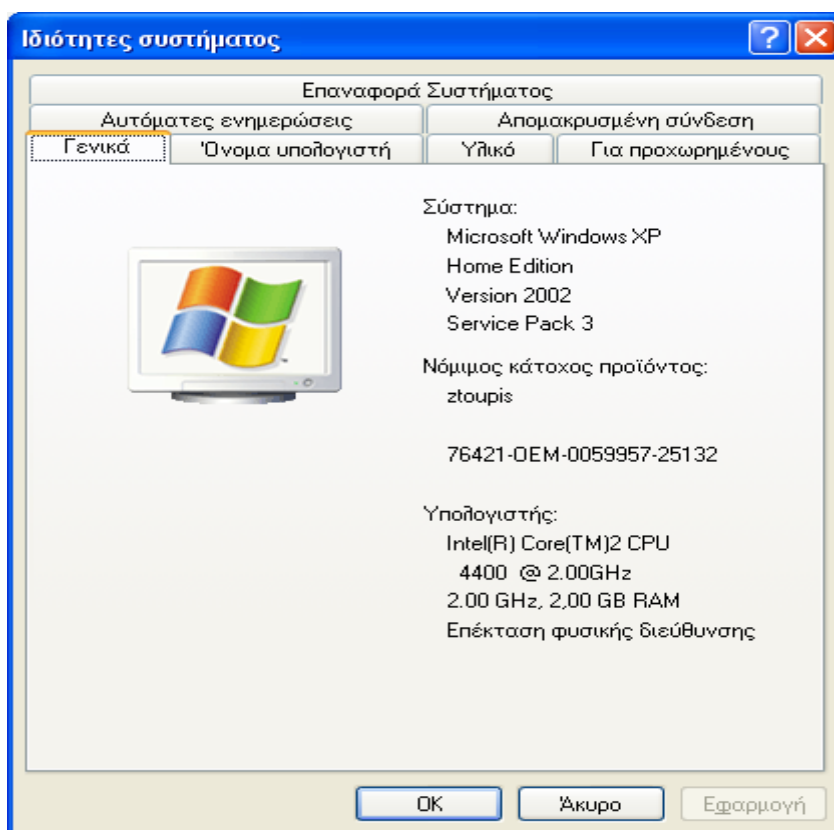
- ✓ Πατάμε:



- ✓ Πατάμε δεξί κλικ στο:



- ✓ Επιλέγουμε Ιδιότητες από την λίστα. Εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο:



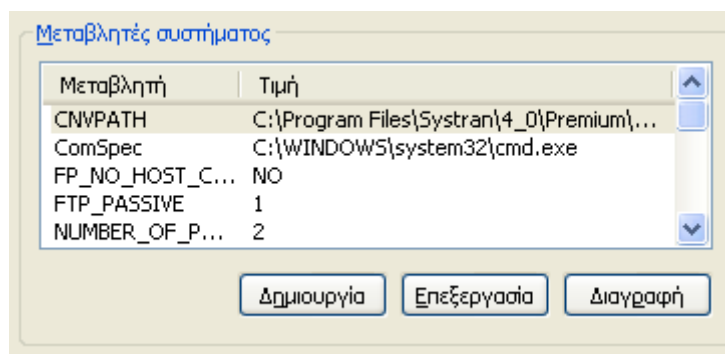
- ✓ Επιλέγουμε την καρτέλα:

Για προχωρημένους

- ✓ Πατάμε το πλήκτρο:

Μεταβλητές περιβάλλοντος

- ✓ Στο πλαίσιο:



στην στήλη Μεταβλητή βρίσκουμε την λέξη Path

- ✓ Πατάμε το πλήκτρο:

Επεξεργασία

- ✓ Στην συνέχεια πληκτρολογούμε τη διεύθυνση:

;C:\one_1.4.1\lib

ή διαφορετικά αν έχουμε αποθηκεύσει τον φάκελο one_1.4.1 σε άλλη διεύθυνση τότε πληκτρολογούμε

;διεύθυνση\one_1.4.1\lib

Προσέξτε το ερωτηματικό που μπαίνει στην αρχή!!

- ✓ Στην συνέχεια πατάμε:

OK

για να κλείσουμε το παράθυρο «Επεξεργασία μεταβλητής χρήστη»

OK

για να κλείσουμε το παράθυρο «Μεταβλητές περιβάλλοντος» και

OK

για να κλείσουμε το παράθυρο «Ιδιότητες Συστήματος» και να αποθηκευτούν οι αλλαγές που πραγματοποιήσαμε.

Για την λειτουργία του προσομοιωτή χρειαζόμαστε το πρόγραμμα jdk (Java Development Kit) της java. Είναι ελεύθερο και μπορούμε να το κατεβάσουμε από την ιστοσελίδα:

<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html>

Αφού γίνει η εγκατάσταση, πρέπει να ενημερώσουμε τις μεταβλητές συστήματος, όπως παραπάνω. Μόνο που τώρα, στην μεταβλητή Path θα πληκτρολογήσουμε:

;C:\Program Files\Java\jdk1.6.0_17\bin

ή διαφορετικά:

;διεύθυνση\Java\jdk version\bin.

Εκτέλεση προσομοιωτή ONE:

Υπάρχουν δύο τρόποι εκτέλεσης του προσομοιωτή ONE:

1. Με γραφικό περιβάλλον
Πατώντας διπλό αριστερό κλικ στο εικονίδιο:



2. Από κονσόλα (μέσω της Γραμμής Εντολών)
Ανοίγουμε το παράθυρο της Γραμμής Εντολών (Command Prompt) και μεταβαίνουμε στην διεύθυνση που έχουμε τοποθετήσει τον φάκελο one_1.4.1. Πληκτρολογώντας τις κατάλληλες εντολές μέσω γραμμής εντολών μπαίνουμε στον φάκελο one_1.4.1 και πληκτρολογούμε την εντολή :

```
one -b 1 default_settings.txt
```

Εγχειρίδιο Χρήσης του Προσομοιωτή ONE

Το ONE είναι ένας Opportunistic Network Environment προσομοιωτής [7] που παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο για τη δημιουργία των Ιχνών Κινητικότητας (Mobility Traces), εκτελώντας προσομοιώσεις DTN μηνυμάτων με διαφορετικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, απεικονίζοντας τόσο τις προσομοιώσεις με αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο, όσο και τα αποτελέσματα μετά την ολοκλήρωσή τους.

Quick start

Running:

Το ONE μπορεί να ξεκινήσει χρησιμοποιώντας το one.bat (για Windows) ή one.sh (για Linux / Unix).

Synopsis:

```
one.sh [-b] [run-index (count)] [conf-file]
```

Options:

[-b] : Εκτέλεση της προσομοίωσης σε batch mode. Δεν ξεκινάει το GUI, αλλά εκτυπώνονται πληροφορίες σχετικά με την πρόοδο στο τερματικό.

Παράμετροι:

conf-file: Το αρχείο ρυθμίσεων, από όπου διαβάζονται οι παράμετροι προσομοίωσης.

run-index: Αν εκτελείται στη λειτουργία GUI (χωρίς την επιλογή -b), μπορεί να του δοθεί ποιόν τρέχων δείκτη να χρησιμοποιήσει στη δεδομένη εκτέλεση. Σε batch mode, η τελευταία παράμετρος είναι ο μετρητής του τρέχων δείκτη, δηλαδή, πόσες εκτελέσεις γίνονται με διαφορετικά ευρετήρια εκτέλεσης.

Configuring

Όλες οι παράμετροι προσομοίωσης δίνονται μέσω των αρχείων ρυθμίσεων. Αυτά τα αρχεία είναι συνήθως αρχεία κειμένου που περιέχουν ζευγάρια τιμών κλειδιών. Η σύνταξη για την πλειονότητα των μεταβλητών είναι:

```
Namespace.key = value
```

Πολλές ρυθμίσεις ορίζουν μονοπάτια σε εξωτερικά αρχεία δεδομένων. Οι διαδρομές μπορεί να είναι σχετικές ή απόλυτες, αλλά ο διαχωριστής καταλόγου πρέπει να είναι '/' τόσο σε Unix όσο και σε Windows περιβάλλον.

Μερικές μεταβλητές περιέχουν τιμές διαχωρισμένες με κόμμα, με την εξής σύνταξη:

```
Namespace.key = value1, value2, value3, κλπ.
```

Για run-indexed τιμές η σύνταξη είναι η εξής:

```
Namespace.key = [run1value; run2value; run3value; κλπ]
```

Τα αρχεία ρυθμίσεων μπορούν να περιέχουν σχόλια επίσης. Μια γραμμή σχολίου πρέπει να ξεκινά με το χαρακτήρα "#". και τότε το υπόλοιπο της γραμμής παραλείπεται. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο, επίσης, για την εύκολη απενεργοποίηση των ρυθμίσεων. Το αρχείο "default_settings.txt" διαβάζεται πάντα, και το (προαιρετικό) αρχείο ρυθμίσεων που δίνεται ως παράμετρος, μπορεί να προσδιοριστεί με περισσότερες ρυθμίσεις ή με την αντικατάσταση κάποιων (ή και όλων) εκ των ρυθμίσεων στις προεπιλεγμένες ρυθμίσεις του αρχείου. Μπορούν να οριστούν στο αρχείο, ως προεπιλογή, όλες οι ρυθμίσεις που είναι κοινές για όλες τις προσομοιώσεις και να εκτελεστούν διαφορετικές, ειδικές, προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας διαφορετικά αρχεία διαμόρφωσης.

Run indexing

Το Run indexing είναι ένα χαρακτηριστικό που επιτρέπει την εκτέλεση πολλών διαφορετικών διαμορφώσεων που χρησιμοποιούν μόνο ένα αρχείο ρυθμίσεων. Παρέχεται μια σειρά από ρυθμίσεις για τις μεταβλητές που θα πρέπει να αλλαχθούν μεταξύ των εκτελέσεων.

Movement models

Τα Μοντέλα Κίνησης διέπουν τον τρόπο με τον οποίο κινούνται οι κόμβοι στην προσομοίωση. Παρέχουν τις συντεταγμένες, τις ταχύτητες και τους χρόνους αναμονής για τους κόμβους. Η βασική εγκατάσταση περιέχει 5 μοντέλα κίνησης: External Movement, Random Waypoint, Map Based Movement, Shortest Path Map Based Movement και Map Route Movement. Όλα τα μοντέλα, εκτός από το external movement, έχουν δυνατότητα προσαρμογής της ταχύτητας και του χρόνου παύσης των διανομών. Μία ελάχιστη και μία μέγιστη τιμή μπορεί να δοθεί και η κίνηση του μοντέλου αντλεί ομοιόμορφα κατανεμημένες τυχαίες τιμές που βρίσκονται εντός του δεδομένου εύρους τιμών. Το ίδιο ισχύει και για τις περιόδους αναμονής.

Στα External Movement μοντέλα κίνησης, οι ταχύτητες και οι χρόνοι παύσης ερμηνεύονται από τα δοθέντα δεδομένα.

Όταν ένας κόμβος χρησιμοποιεί το random waypoint μοντέλο κίνησης (RandomWaypoint), δίνεται ένας τυχαίος συντονισμός στην περιοχή της προσομοίωσης. Ο κόμβος κινείται άμεσα προς το δεδομένο προορισμό και με σταθερή ταχύτητα, σταματά για λίγο, και εν συνεχεία κινείται προς μία νέα διαδρομή. Αυτό συνεχίζεται καθ'όλες τις προσομοιώσεις και οι κόμβοι κινούνται κατά μήκος αυτών των ζιγκ-ζαγκ μονοπατιών.

Τα Map Based μοντέλα κίνησης περιορίζουν την κίνηση του κόμβου σε προκαθορισμένα μονοπάτια. Διαφορετικοί τύποι διαδρομών μπορούν να οριστούν και ένα μπορεί να ορίσει έγκυρα μονοπάτια για όλες τις ομάδες κόμβων. Με αυτόν τον τρόπο, για παράδειγμα, τα αυτοκίνητα μπορούν να μην κινηθούν προς τους εσωτερικούς χώρους ή προς τα πεζοδρόμια. Το βασικό map-based μοντέλο κίνησης (MapBasedMovement) διανέμονται αρχικά οι κόμβοι μεταξύ δύο γειτονικών (που συνδέονται μεταξύ τους με ένα μονοπάτι) κόμβων του χάρτη και τότε οι κόμβοι αρχίζουν να κινούνται από τον έναν

γειτονικό κόμβο του χάρτη στον άλλο. Όταν ο κόμβος φτάσει στον επόμενο κόμβο του χάρτη, επιλέγει τυχαία τον επόμενο γειτονικό κόμβο του χάρτη (επιλέγει τον κόμβο του χάρτη από τον οποίο προήλθε, μόνο εάν αυτή είναι η μόνη επιλογή - δηλαδή αποφεύγει να επιστρέψει πίσω από εκεί που προήλθε). Μόλις ο κόμβος έχει μετακινηθεί στο χαμηλότερο σημείο 10-100 του χάρτη των κόμβων, σταματά για λίγο και μετά ξεκινά ξανά να κινείται.

Τα Shortest Path Based μοντέλα κίνησης αποτελούν μία πιο εξελιγμένη έκδοση του Map Based μοντέλου κίνησης (ShortestPathMapBasedMovement), που χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο της συντομότερης διαδρομής του Dijkstra για να βρει το χαμηλότερο σημείο της περιοχής του χάρτη. Μόλις ένας κόμβος φτάσει στον προορισμό του και περιμένει κατά το χρόνο παύσης, ένας νέος τυχαίος κόμβος του χάρτη επιλέγεται και ο κόμβος κινείται εκεί, χρησιμοποιώντας τη συντομότερη διαδρομή που μπορεί να ληφθεί μόνο με τη χρήση έγκυρων κόμβων του χάρτη. Στα Shortest Path Based μοντέλα κίνησης, τα δεδομένα χάρτη μπορούν να περιέχουν επίσης τα Points Of Interest (POIs). Αντί να επιλεγεί οποιοσδήποτε τυχαίος κόμβος του χάρτη ως επόμενος προορισμός, το μοντέλο κίνησης μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να παρέχει ένα POI που ανήκει σε μια συγκεκριμένη ομάδα POI με μία προσαρμοζόμενη πιθανότητα. Δεν μπορεί να υπάρξει απεριόριστος αριθμός ομάδων POIs και όλες οι ομάδες μπορούν να περιέχουν οποιαδήποτε ποσότητα των POIs. Όλες οι ομάδες κόμβων μπορούν να έχουν διαφορετικές πιθανότητες για όλες τις ομάδες POIs. Τα POIs μπορούν να χρησιμοποιηθούν με το μοντέλο, π.χ. σε καταστήματα, σε εστιατόρια και σε τουριστικά αξιοθέατα.

Το Route Based μοντέλο κίνησης (MapRouteMovement) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μοντέλα κόμβων που ακολουθούν ορισμένες διαδρομές, π.χ. λεωφορείο ή οι γραμμές του τραμ. Μόνο οι στάσεις στη διαδρομή πρέπει να οριστούν και στη συνέχεια οι κόμβοι χρησιμοποιώντας τη διαδρομή, κινούνται από τη μία στάση στην άλλη, κάνοντας χρήση των συντομότερων μονοπατιών και σταματώντας στις στάσεις τη ρυθμισμένη ώρα.

Routing modules and message creation

Οι ενότητες δρομολόγησης ορίζουν τον τρόπο με τον οποίο τα μηνύματα διακινούνται στην προσομοίωση. Υπάρχουν έξι διαφορετικές ενεργητικές ενότητες δρομολόγησης (First Contact, Epidemic, Spray and Wait, Direct Delivery, PРоPHET and MaxProp) και ο παθητικός δρομολογητής για την προσομοίωση εξωτερικής δρομολόγησης που περιλαμβάνεται στη συσκευασία. Οι ενεργητικές ενότητες δρομολόγησης είναι υλοποιήσεις γνωστών αλγορίθμων δρομολόγησης για τα DTN. Ο παθητικός δρομολογητής είναι φτιαγμένος ειδικά για την αλληλεπίδραση με άλλους (DTN) προσομοιωτές δρομολόγησης ή την εκτέλεση προσομοιώσεων που δεν χρειάζονται καμία λειτουργικότητα δρομολόγησης. Ο δρομολογητής δεν κάνει τίποτα, εκτός αν «κατευθύνεται» από εξωτερικά γεγονότα. Αυτά τα εξωτερικά γεγονότα παρέχονται στον προσομοιωτή από μια κλάση που υλοποιεί τη διεπαφή EventQueue.

Reports

Οι αναφορές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργήσουν τα συνοπτικά δεδομένα των προσομοιώσεων, τα λεπτομερή δεδομένα των συνδέσεων και των μηνυμάτων, τα αρχεία που είναι κατάλληλα για χρήση μετά την επεξεργασία, π.χ., GraphViz (για τη δημιουργία γραφημάτων) και επίσης, για τη διασύνδεση με άλλα προγράμματα.

Host groups

Είναι μια ομάδα από κόμβους που διαμοιράζει τις ρυθμίσεις κίνησης και δρομολόγησης. Διαφορετικές ομάδες μπορεί να έχουν διαφορετικές τιμές για τις ρυθμίσεις και με αυτόν

τον τρόπο μπορούν να αντιπροσωπεύουν διαφορετικούς τύπους κόμβων. Βάση των ρυθμίσεων μπορεί να οριστούν στο "Group" namespace και διαφορετικές ομάδες κόμβων που μπορούν να υπερισχύσουν αυτών των ρυθμίσεων ή να ορίσουν νέες σε συγκεκριμένους χώρους των ονομάτων τους (Ομάδα 1, Ομάδα2, κλπ.).

The settings

Υπάρχουν πολλές ρυθμίσεις για την διαμόρφωση.

Scenario settings

Scenario.name

Το όνομα του σεναρίου. Όλα τα αρχεία της έκθεσης είναι προεπιλεγμένα με αυτό το πρόθεμα.

Scenario.simulateConnections

Για την περίπτωση που πρόκειται να προσομοιωθούν συνδέσεις. Αν το ενδιαφέρον περιορίζεται μόνο στην κίνηση μοντελοποίησης, μπορεί να απενεργοποιηθεί για να επιταχύνει την προσομοίωση. Συνήθως είναι ενεργοποιημένο.

Scenario.updateInterval

Πόσα δευτερόλεπτα πρόκειται να ενισχυθούν σε κάθε ενημέρωση. Με την επιτάχυνση της προσομοίωσης, μειώνεται η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Τιμές μεταξύ του 0,1 έως 2 είναι ιδανικές για τις προσομοιώσεις.

Scenario.endTime

Ο αριθμός των δευτερολέπτων προσομοίωσης που πρέπει να προσομοιωθούν.

Scenario.nrofHostGroups

Ο αριθμός ομάδων των κόμβων που υπάρχουν κατά την προσομοίωση.

Host group settings (used in Group or GroupN namespace)

groupID

Το αναγνωριστικό της ομάδας (μία συμβολοσειρά ή ένας χαρακτήρας). Χρησιμοποιείται ως πρόθεμα στα ονόματα των κόμβων που εμφανίζονται στο GUI και στις εκθέσεις. Το πλήρες όνομα του κόμβου αποτελείται από: GroupID + networkAddress.

nrofHosts

Ο αριθμός των κόμβων στην ομάδα αυτή.

transmitRange

Το εύρος (σε μέτρα) των ασύρματων συσκευών των κόμβων.

transmitSpeed

Η ταχύτητα μετάδοσης των ασύρματων συσκευών των κόμβων (δηφιολέξεις (bytes) ανά δευτερόλεπτο).

movementModel

Το μοντέλο της κίνησης όλων των κόμβων για χρήση στην ομάδα. Πρέπει να είναι έγκυρο με βάση το πακέτο κίνησης.

waitTime

Η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή (δύο δεκαδικές τιμές διαχωρισμένες με κόμμα) του διαστήματος του χρόνου αναμονής (σε δευτερόλεπτα). Καθορίζει πόση ώρα οι κόμβοι θα πρέπει να παραμείνουν στο ίδιο μέρος αφού φθάσουν στον προορισμό της τρέχουσας διαδρομής. Μια νέα τυχαία τιμή ανάμεσα στο χρονικό διάστημα αυτό χρησιμοποιείται σε κάθε στάση. Προεπιλεγμένη τιμή είναι η 0,0.

speed

Η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή (δύο δεκαδικές τιμές διαχωρισμένες με κόμμα) της ταχύτητας διαστήματος (m / s). Καθορίζει πόσο γρήγορα κινούνται οι κόμβοι. Μια νέα τυχαία τιμή χρησιμοποιείται για την κάθε νέα διαδρομή. Προεπιλεγμένη τιμή είναι η 1,1.

bufferSize

Το μέγεθος του μηνύματος buffer των κόμβων (σε bytes). Όταν το buffer είναι γεμάτο, ο κόμβος δεν μπορεί να δεχτεί άλλα μηνύματα, εκτός αν «διώξει» κάποια παλιά μηνύματα από τον buffer του.

router

Μονάδα που χρησιμοποιείται για την δρομολόγηση των μηνυμάτων. Πρέπει να είναι έγκυρο με βάση το πακέτο δρομολόγησης.

activeTimes

Χρονικά διαστήματα (πλειάδες τιμών χρόνων προσομοίωσης, διαχωρισμένες με κόμμα: start1, end1, start2, end2, ...) κατά τα οποία οι κόμβοι της ομάδας πρέπει να είναι ενεργοί. Εάν δεν ορίζονται διαστήματα, οι κόμβοι είναι ενεργοί όλη την ώρα.

msgTTL

Ο χρόνος ζωής (λεπτά προσομοίωσης) των μηνυμάτων που δημιουργούνται από την ομάδα υποδοχής. Οι κόμβοι (με ενεργή μονάδα δρομολόγησης) ελέγχουν κάθε ένα λεπτό, αν κάποια από τα TTL των μηνυμάτων τους έχουν λήξει και συνεπώς πρέπει να διωχθούν. Εάν δεν ορίζεται κάποια τιμή για το TTL, τίθεται ως άπειρο.

Movement model settings

MovementModel.rngSeed

Η βάση για τη δημιουργία τυχαίων αριθμών όλων των μοντέλων κίνησης. Αν η βάση και όλες οι σχετικές ρυθμίσεις του μοντέλου κίνησης παραμένουν ίδιες, όλοι οι κόμβοι θα πρέπει να κινούνται με τον ίδιο τρόπο σε διαφορετικές προσομοιώσεις (χρησιμοποιούνται ίδιοι προορισμοί, ταχύτητα και τιμές του χρόνου αναμονής).

MovementModel.worldSize

Το μέγεθος του κόσμου της προσομοίωσης σε μέτρα (δύο τιμές διαχωρισμένες με κόμμα: πλάτος, ύψος).

MapBasedMovement.nrofMapFiles

Ο αριθμός των ρυθμίσεων του αρχείου του χάρτη που αναζητούνται στο αρχείο ρυθμίσεων.

MapBasedMovement.mapFileN

Η διαδρομή προς το νισστό αρχείο του χάρτη (το «N» πρέπει να είναι θετικός ακέραιος αριθμός). Θα πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον nrofMapFiles ξεχωριστά αρχεία που ορίζονται στα αρχεία ρυθμίσεων. Όλα τα αρχεία του χάρτη πρέπει να είναι WKT αρχεία με LINESTRING ή / και MULTILINESTRING WKT κατευθύνσεις.

Report settings

Report.nrofReports

Ο αριθμός των ενοτήτων των αναφορών που θα φορτωθούν.

Report.reportDir

Το μέρος όπου αποθηκεύονται τα αρχεία εξόδου της αναφοράς. Μπορεί να είναι μία απόλυτη διαδρομή ή σχετική με το μονοπάτι, όπου ξεκίνησε η προσομοίωση. Εάν ο κατάλογος δεν υπάρχει, δημιουργείται.

Event generator settings

Events.nrof

Ο αριθμός των γεννητριών που φορτώνονται για την προσομοίωση. Οι συγκεκριμένες ρυθμίσεις για την εκδήλωση της γεννήτριας ορίζονται στο EventsN namespaces (έτσι το Events1.settingName διαμορφώνει ένα σκηνικό για την πρώτη εκδήλωση της γεννήτριας κ.λπ.).

EventsN.class

Το όνομα της κλάσης της γεννήτριας που φορτώνεται (π.χ., ExternalEventsQueue ή MessageEventGenerator). Η κλάση πρέπει να βρεθεί από το πακέτο εισόδου.

Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τη λειτουργία και την παραμετροποίηση του ONE επισκεφθείτε την ιστοσελίδα:

http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/pub/the_one.pdf

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Ασκήσεις πάνω στην ενότητα των Οπορτουνιστικών Δικτύων

Άσκηση 1^η: Σύγκριση των πρωτοκόλλων διάδοσης Epidemic και Spray and Wait με τη χρήση διαφορετικών τιμών του Buffer Size και του TTL

- 1) Ποια είναι κατά τη γνώμη σας οι βασικές μετρικές επίδοσης για τη σύγκριση των πρωτοκόλλων και γιατί;
- 2) Θεωρείστε ότι η περιοχή μελέτης για το μοντέλο κίνησης της προσομοίωσης έχει έκταση $1500 \times 1500 \text{ m}^2$, περιοχή στην οποία είναι τυχαία διασκορπισμένοι 100 κόμβοι (nodes = 100), οι οποίοι κινούνται με ταχύτητα 0.5-1.5 m/sec (Ταχύτητα (speed) = 0.5 m/sec, 1.5 m/sec). Η προσομοίωση διαρκεί 2 ώρες (Πέρασ Χρόνου Προσομοίωσης (endTime) = 18000 sec) και οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα ελεύθερης κίνησης προς κάθε κατεύθυνση με μέγιστη ακτίνα κίνησης, από την αρχική τυχαία του θέση, τα 30 m (Transmit Range = 30 m), έχοντας ταχύτητα παράδοσης πακέτων 500 kbps (Transmit Speed = 500 kbps). Ο χρόνος αναμονής κάθε κόμβου στον προορισμό του κυμαίνεται από 0 έως 120 sec (χρόνος αναμονής (waitTime) = 0-120 sec). Ο κάθε κόμβος υποθέτουμε ότι έχει άπειρο μέγεθος (το Buffer Size απειρίζεται μπαίνοντας σε σχόλια) και το TTL των πακέτων που δημιουργούνται είναι, επίσης, άπειρο (msgTtl: προεπιλογή (default) = άπειρο (infinite) – TTL απειρίζεται μπαίνοντας σε σχόλια). Νέα πακέτα θα δημιουργούνται συνεχώς και τυχαία κάθε 15 – 25 sec (Creation interval = 15 sec – 25 sec) έως και 2000 sec πριν τη λήξη του χρόνου προσομοίωσης. Το κάθε πακέτο είναι μεγέθους 500 kB – 1 MB (size = 500 kB, 1 MB).

Εκτελέστε την προσομοίωση για τα παραπάνω δεδομένα, εφαρμόζοντας το πρωτόκολλο της Epidemic διάδοσης (δηλαδή ο κάθε κόμβος θα ελέγχει κάθε άλλο κόμβο που συναντά, αν δεν έχει ήδη αντίγραφο του πακέτου που μεταφέρει και στην περίπτωση που συμβαίνει αυτό, θα του παραδίδει ένα αντίγραφο).

A) Με βάση τα παραπάνω σενάρια, καλείστε να δημιουργήσετε τις γραφικές παραστάσεις Latency – ρυθμού παραγωγής μηνυμάτων, Overhead – ρυθμού παραγωγής μηνυμάτων και Delivery Probability – ρυθμού παραγωγής μηνυμάτων για τα δύο πρωτόκολλα διάδοσης. Συγκρίνετε τα αποτελέσματά τους. Ποιο πρωτόκολλο διάδοσης είναι αποδοτικότερο ως προς τη Latency, ποιο ως προς το Overhead και ποιο ως προς τη Delivery Probability. Σχολιάστε τα αποτελέσματα. Κατά τη γνώμη σας, ποια από τις τρεις αυτές παράμετρους θεωρείται σημαντικότερη στην αξιολόγηση της απόδοσης ενός δικτύου και σύμφωνα με αυτή, ποιο από τα δύο πρωτόκολλα διάδοσης θεωρείται αποδοτικότερο;

B) Δημιουργήστε τις γραφικές παραστάσεις Latency – Buffer Size, Overhead – Buffer Size και Delivery Probability – Buffer Size για τα δύο πρωτόκολλα διάδοσης, επιλέγοντας τις τιμές του Buffer Size από 10 MB έως 70 MB, θέτοντας TTL 50 min και 100 min στο ίδιο διάγραμμα. Τι παρατηρείται και γιατί συμβαίνει αυτό; Αιτιολογείται η παρατήρησή σας από τη θεωρία; Συγκρίνετε τα αποτελέσματα του κάθε πρωτοκόλλου διάδοσης για τα δύο διαφορετικά TTL. Επίσης, συγκρίνετε μεταξύ τους τα δύο πρωτόκολλα διάδοσης. Κατά τη γνώμη σας, ποιο από τα δύο παραπάνω πρωτόκολλα διάδοσης θεωρείται αποδοτικότερο για μεγάλα TTL και ποιο για μικρά;

Γ) Δημιουργήστε τη γραφική παράσταση Delivery Probability – TTL για τα δύο πρωτόκολλα διάδοσης, επιλέγοντας τις τιμές του TTL από 10 min έως 150 min, θέτοντας Buffer Size 30 MB και 70 MB στο ίδιο διάγραμμα. Τι παρατηρείται αυτήν τη φορά και γιατί συμβαίνει αυτό; Αιτιολογείται η παρατήρησή σας από τη θεωρία; Συγκρίνετε τα αποτελέσματα του κάθε πρωτοκόλλου διάδοσης για τα δύο διαφορετικά Buffer Size. Επίσης, συγκρίνετε μεταξύ τους τα δύο πρωτόκολλα διάδοσης. Κατά τη γνώμη σας, ποιο από τα δύο πρωτόκολλα διάδοσης θεωρείται αποδοτικότερο για μεγάλα Buffer Size και ποιο για μικρά;

- 3) Ως δεύτερο σενάριο, με τα ίδια δεδομένα, απενεργοποιώντας την Binary Spray διάδοση και εφαρμόζοντας αυτή τη φορά για την προσομοίωση το πρωτόκολλο της Spray and Wait διάδοσης, επαναλάβετε το ερώτημα 2). Δηλαδή, θεωρείστε ότι η παράδοση μεταξύ των κόμβων γίνεται παραδίδοντας ο κάθε ένας, ένα αντίγραφο του πακέτου, το πολύ σε 20 άλλους κόμβους (δηλαδή κυκλοφορούν το πολύ 20 αντίγραφα του κάθε πακέτου – Number of Copies = 20).

Άσκηση 2^η: Μελέτη του πρωτοκόλλου της Prophet δρομολόγησης κάτω από συγκεκριμένη κίνηση των δικτυακών κόμβων μέσω των Traces

- 1) Ποια η προσφορά της συγκεκριμένης κίνησης (αρχεία traces) μέσα σε ένα δικτυακό περιβάλλον;
- 2) Ποια η συμβολή των μεταβλητών ρ_{init} , β , γ για την Prophet δρομολόγηση μέσα σε ένα δικτυακό περιβάλλον; Επηρεάζει η διαφορετική επιλογή τιμών;
- 3) Χρησιμοποιώντας το αρχείο Cambridge_internal_sanitized_ONE.txt, από πόσους κόμβους αποτελείται το δικτυακό περιβάλλον αυτό;
- 4) Θεωρείστε ότι η περιοχή μελέτης για το μοντέλο κίνησης της προσομοίωσης έχει έκταση $4000 \times 4000 \text{ m}^2$. Οι κόμβοι κινούνται με ταχύτητα $0.5\text{-}1.5 \text{ m/sec}$ ($\text{speed} = 0.5 \text{ m/sec}, 1.5 \text{ m/sec}$). Η προσομοίωση διαρκεί 127.7 ώρες ($\text{endTime} = 460000 \text{ sec}$) και οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα ελεύθερης κίνησης προς κάθε κατεύθυνση με μέγιστη ακτίνα κίνησης, από την αρχική τυχαία του θέση, τα 30 m ($\text{Transmit Range} = 30 \text{ m}$), έχοντας ταχύτητα παράδοσης πακέτων 500 kbps (ταχύτητα μετάδοσης (Transmit Speed) = 500 kbps). Ο χρόνος αναμονής κάθε κόμβου στον προορισμό του κυμαίνεται από 0 έως 120 sec ($\text{waitTime} = 0\text{-}120 \text{ sec}$). Ο κάθε κόμβος υποθέτουμε ότι έχει μέγεθος 50 MB και το TTL των πακέτων που δημιουργούνται είναι άπειρο ($\text{msgTtl: default} = \text{infinite}$). Νέα πακέτα θα δημιουργούνται συνεχώς και τυχαία κάθε $600 - 900 \text{ sec}$ ($\text{Creation interval} = 600 \text{ sec} - 900 \text{ sec}$) έως και 4154 sec πριν τη λήξη του χρόνου προσομοίωσης. Το κάθε πακέτο είναι μεγέθους $500 \text{ kB} - 1 \text{ MB}$ ($\text{size} = 500 \text{ kB}, 1 \text{ MB}$). Η παράμετρος secondsInTimeUnit ισούται με 1000 .

Χρησιμοποιώντας το αρχείο Cambridge_internal_sanitized_ONE.txt, εκτελέστε δύο προσομοιώσεις για τα παραπάνω δεδομένα, εφαρμόζοντας το πρωτόκολλο της Prophet δρομολόγησης, στην οποία είναι τυχαία διασκορπισμένοι 12 κόμβοι. Στην πρώτη επιλέξτε τις τιμές 0.3 , 0.7 και 0.9 για τις παραμέτρους β , ρ_{init} και γ αντίστοιχα. Στην συνέχεια, επιλέξτε τις παραμέτρους $\beta = 0.7$, $\rho_{init} = 0.1$ και $\gamma = 0.8$. Με βάση τα παραπάνω καλείστε να συγκρίνετε ποιες θεωρούνται καλύτερες τιμές για τις τρεις παραμέτρους, λαμβάνοντας υπόψη τις βασικές μετρικές επίδοσης. Δημιουργήστε τις γραφικές παραστάσεις. Σχολιάστε τα αποτελέσματα.

- 5) Τώρα χρησιμοποιήστε το αρχείο Inf05_internal_sanitized_ONE.txt και επαναλάβετε την ίδια διαδικασία με την διαφορά ότι, πλέον, θα υπάρχουν 40 τυχαία διασκορπισμένοι κόμβοι και η προσομοίωση διαρκεί πλέον 77 ώρες ($\text{endTime} = 277200 \text{ sec}$). Δημιουργήστε τις γραφικές παραστάσεις. Τι παρατηρείται σε σύγκριση με το παραπάνω ερώτημα; Γιατί εμφανίζεται το φαινόμενο αυτό;
- 6) Χρησιμοποιώντας το αρχείο Cambridge_DP.txt*, που απεικονίζει την προβλεψιμότητα παράδοσης ενός κόμβου, που έχει υπολογίσει για τους υπόλοιπους κόμβους, απαντήστε στα παρακάτω ερωτήματα.

A) Στο αρχείο που σας δίνετε οι στήλες $4, 17, 30, 43, 56\dots$ δηλαδή ανά 13 βήματα έχουν την μορφή 00 . Αναφέρεται γιατί συμβαίνει αυτό. Ποια στήλη με κόμβο προορισμό τον 10^0 έχει τη μορφή 00 ;

B) Επιλέξτε προβλεψιμότητα παράδοσης από πέντε τυχαίους κόμβους προς τον 10^ο κόμβο-προορισμό για όλο τον χρόνο που δίνεται. Δημιουργήστε τις γραφικές παραστάσεις. Ποιος από τους κόμβους που επιλέξατε έχει την μεγαλύτερη προβλεψιμότητα παράδοσης και σε ποια χρονική στιγμή; Τι παρατηρείτε και πως εξηγείται ότι η καμπύλη έχει αυτή την μορφή;

*Σημείωση:

Το αρχείο Cambridge_DP.txt χρησιμοποιεί την ακόλουθη μορφή:

Χρόνος	Κόμβος A	Κόμβος B	DPΤιμή1	DPΤιμή2	DP Τιμή (X*X)-1	DP ΤιμήX*X
--------	-------------	-------------	---------	---------	-------	--------------------	---------------

Η πρώτη στήλη αναφέρεται στο χρόνο, όταν η σύνδεση είναι ενεργή μεταξύ των κόμβων A και B. Υποθέτοντας ότι το Trace αποτελείται από X κόμβους, τότε οι X ακόλουθες τιμές (DPΤιμή1 προς DPΤιμήX) από την στήλη 4, στη στήλη 3+X αναφέρονται στην προβλεψιμότητα παράδοσης που ο πρώτος κόμβος (nodeid 0) έχει υπολογίσει για τους υπόλοιπους κόμβους μέχρι εκείνη την χρονική στιγμή. Οι επόμενες τιμές X (στήλες 3+X+1 έως 3+2*X) αναφέρονται στην προβλεψιμότητα παράδοσης, όπου ο δεύτερος κόμβος (nodeid 1) έχει υπολογίσει για τους υπόλοιπους κόμβους, μέχρι εκείνη τη στιγμή, και ούτω καθεξής.

Άσκηση 3^η: Μελέτη της ανθεκτικότητας και της ευαισθησίας των πρωτοκόλλων διάδοσης Epidemic και Spray and Wait σε συνθήκες ελλιπούς συνεργασίας

- 1) Ποια τα είδη των Centrality Metrics;
- 2) Θεωρείστε ότι η περιοχή μελέτης για το μοντέλο κίνησης της προσομοίωσης έχει έκταση $4000 \times 4000 \text{ m}^2$. Οι κόμβοι κινούνται με ταχύτητα 0.5-1.5 m/sec (speed = 0.5 m/sec, 1.5 m/sec). Η προσομοίωση διαρκεί 127.7 ώρες (endTime = 460000 sec) και οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα ελεύθερης κίνησης προς κάθε κατεύθυνση με μέγιστη ακτίνα κίνησης, από την αρχική τυχαία του θέση, τα 30 m (Transmit Range = 30 m), έχοντας ταχύτητα παράδοσης πακέτων 500 kBps (Transmit Speed = 500 kBps). Ο χρόνος αναμονής κάθε κόμβου στον προορισμό του κυμαίνεται από 0 έως 120 sec (waitTime = 0-120 sec). Ο κάθε κόμβος υποθέτουμε ότι έχει μέγεθος 50 MB και το TTL των πακέτων που δημιουργούνται είναι άπειρο (msgTtl: default = infinite). Νέα πακέτα θα δημιουργούνται συνεχώς και τυχαία κάθε 600 – 900 sec (Creation interval = 600 sec – 900 sec) έως και 4154 sec πριν τη λήξη του χρόνου προσομοίωσης. Το κάθε πακέτο είναι μεγέθους 500 kB – 1 MB (size = 500 kB, 1 MB).

Χρησιμοποιώντας το αρχείο Cambridge_internal_sanitized_ONE.txt:

A) Εκτελέστε την προσομοίωση για τα παραπάνω δεδομένα, εφαρμόζοντας τόσο το πρωτόκολλο της Epidemic διάδοσης σε μια περιοχή, όσο και το πρωτόκολλο της Spray and Wait διάδοσης με χρήση 6 αντιγράφων του κάθε πακέτου, στην οποία είναι τυχαία διασκορπισμένοι 12 κόμβοι.

B) Με βάση τα παραπάνω σενάρια, καλείστε να δημιουργήσετε τις γραφικές παραστάσεις των βασικών μετρικών επίδοσης για τα δύο πρωτόκολλα διάδοσης. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα τους. Ποιο πρωτόκολλο διάδοσης είναι αποδοτικότερο ως προς τη Latency, ποιο ως προς το Overhead και ποιο ως προς τη Delivery Probability. Σχολιάστε τα αποτελέσματα. Ποιο από τα δύο πρωτόκολλα διάδοσης θεωρείται αποδοτικότερο αυτήν τη φορά;

Γ) Απενεργοποιώντας τον κόμβο 7 από το παραπάνω δικτυακό περιβάλλον, επαναλάβετε τα ερωτήματα α) και β). Τι διαφορές παρατηρείται και γιατί; Απενεργοποιώντας έναν άλλον κόμβο της επιλογής σας, συγκρίνετε τα αποτελέσματα. Πως εξηγείται τις επικείμενες διαφοροποιήσεις; Σε ποιο συμπέρασμα καταλήγετε για τον κόμβο 7;

- 3) Ως δεύτερο σενάριο, με τα ίδια δεδομένα, με την διαφορά ότι, πλέον, θα υπάρχουν 40 τυχαία διασκορπισμένοι κόμβοι και χρησιμοποιώντας το αρχείο Inf05_internal_sanitized_ONE.txt, επαναλάβετε το ερώτημα 2). Αυτή τη φορά απενεργοποιείτε τους κόμβους 5, 11 και 30 από το δικτυακό περιβάλλον και η προσομοίωση διαρκεί πλέον 77 ώρες (endTime = 277200 sec).
- 4) Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω αποτελέσματα για τα δύο πρωτόκολλα διάδοσης, τι παρατηρείται στο ρυθμό μεταβολής της Delivery Probability, όταν στο δίκτυο υπάρχουν 12 και 40 κόμβοι αντίστοιχα; Γιατί εμφανίζεται το φαινόμενο αυτό;

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Ξενογλωσσος Όρος	Ελληνικός Όρος
ACK	Επιβεβαιώσεις
Agent	Αντιπρόσωπος
Betweenness Centrality	Κεντρικότητα από τη Διαμεσότητα
Bit Rate	Ρυθμός Μετάδοσης
Bridging Centrality	Κεντρικότητα Γέφυρας
Buffer	Μνήμη
Centrality	Κεντρικότητα
Closeness Centrality	Κεντρικότητα ως προς την Εγγύτητα
Command Prompt	Γραμμής Εντολών
Core Package	Πακέτο Εισόδου-Πυρήνα
Creation Interval	Διάστημα Δημιουργίας Πακέτου
Crawdad	Community Resource for Archiving Wireless Data At Dartmouth
Daverage	Μέση Καθυστέρηση Παράδοσης
Default	Προεπιλογή
Degree Centrality	Κεντρικότητα Βαθμού
Delay Tolerant Networks	Δίκτυα με Ανοχή στις Καθυστερήσεις
Delivery Cost	Πλεονασμός των Αντιγράφων ανά Μήνυμα
Delivery Probability	Ποσοστό Παράδοσης των Μηνυμάτων
Delivery Ratio	Λόγος Παράδοσης
Destination	Προορισμός
endTime	Πέρασ Χρόνου Προσομοίωσης
Epidemic	Επιδημικός
GUI	Γραφική Διεπαφή Χρήστη
Gui Package	Πακέτο Οπτικοποίησης
Haggle Project	Πρόγραμμα Εξερεύνησης Δικτύωσης για Κινητούς Χρήστες
iMote	Πλατφόρμα Hardware Επόμενης Γενιάς που Βασίζεται στο Microsoft.NET Micro Framework
Infinite	Άπειρο
InterPlaNetary Internet	Διαπλανητικό Internet
Latency	Καθυστέρηση Παράδοσης
Mobility Traces	Ίχνη Κινητικότητας
Modules	Ενότητες
Movement Package	Πακέτο Κινητικότητας
Node Utility-Based Forwarding	Εκπομπή Προτεραιότητας
Opportunistic Networks	Οπορτουμιστικά Δίκτυα
Overhead	Πλήθος μεταδόσεων
Overlay Network	Υπερκείμενο Δίκτυο
Probabilistic Routing using History of Encounters and Transitivity	Πιθανοτική Δρομολόγηση Χρησιμοποιώντας το Ιστορικό των Συναντήσεων και της Μεταβατικότητας
Random Direction Mobility	Κινητικότητα Τυχαίας Κατεύθυνσης

Random Walk Mobility	Κινητικότητα Τυχαίου Περιπάτου
Random Waypoint Mobility	Κινητικότητα Τυχαίων Στάσεων
Randomized Forwarding	Απλή Ευρεία Εκπομπή
Regional Network	Περιφερειακό Δίκτυο
Relays	Αναμεταδότες
Report Package	Πακέτο Αναφορών
Router	Δρομολογητής
Routing Package	Πακέτο Δρομολόγησης
Scan Time	Χρόνος Σάρωσης
Size	Μέγεθος
Source	Πηγή
Speed	Ταχύτητα
Store-Carry and Forward Message Switching	Μεταγωγή Μηνυμάτων με Αποθήκευση και Προώθηση
Test Package	Πακέτο Δοκιμών Σωστής Λειτουργίας
Time Granularity	Διακριτότητα Χρόνου
Trace Files	Εγγραφές Ιχνών
Transmit Range	Εύρος Μετάδοσης
Transmit Speed	Ταχύτητα Μετάδοσης
waitTime	Χρόνος Αναμονής

ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

ACK	Acknowledgment
DTN	Delay Tolerant Network
GUI	Graphical User Interface
h	Hour
IPN	InterplaNetary Internet
kB	Killobyte
m	Meter
MANET	Mobile Ad-hoc Networking
Mb	Megabit
MB	Megabyte
min	Minutes
MRP	Mobile Relay Protocol
msgTtl	Message Time to Live
ONE	Opportunistic Networking Environment
OSI	Open Systems Interconnection
P_{del}	Delivery Ratio
PREP	Prioritized Epidemic
PRoPHET	Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity
R	Delivery Cost
sec	Second
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TTL	Time to Live
VANET	Vehicular Ad-hoc Networks

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1]: Frans Ekman, Ari Keränen, Jouni Karvo and Jörg Ott , “Working Day Movement Model”, In Proc. 1st ACM/SIGMOBILE Workshop on Mobility Models for Networking Research (May 2008).
- [2]: L. C. Freeman, “Centrality in social networks conceptual clarification”, Social networks (Soc. networks), Vol. 1(3), 1979, pp 215–239.
- [3]: A. Lindgren, “Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks”, Mobile Comp. and Commun. Rev., Vol. 7(3), October 2001, pp 19 - 20.
- [4]: A. Vahdat and D. Becker, “Epidemic Routing for Partially Connected Ad Hoc Networks,” Technical Report CS-200006, Duke University, April 2000.
- [5]: Anders Lindgren, Avri Doria and Olov Schelen, “Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks”, In The First International Workshop on Service Assurance with Partial and Intermittent Resources (SAPIR) (2004).
- [6]: T. Spyropoulos, K. Psounis and C. S. Raghavendra, “Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks”, In proc. WDTN '05 (2005), ACM Press, pp. 252–259.
- [7]: Ari Keranen, “Opportunistic Network Environment simulator”, Special Assignment report, Helsinki University of Technology, Department of Communications and Networking, May 2008.
- [8]: Ari Keränen, Jörg Ott and Teemu Kärkkäinen, “The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation”, Helsinki University of Technology (TKK) Department of Communications and Networking.
- [9]: <http://web.mst.edu/~mobildat/DTN/index.html> [Προσπελάστηκε 06/03/2012].
- [10]: <http://crawdad.cs.dartmouth.edu/> [Προσπελάστηκε 06/03/2012].
- [11]: E. Daly and M. Haahr, “Social network analysis for routing in disconnected delay-tolerant MANETs,” in Proceedings of the 8th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc). Montreal, Quebec, Canada: ACM Press, 2007, pp. 32–40. DOI 10.1145/1288107.1288113.
- [12]: W. Hwang, Y. Cho, A. Zhang and M. Ramanathan, “Bridging Centrality: Identifying Bridging Nodes in Scale-free Networks,” Department of Computer Science and Engineering, University at Buffalo, Tech. Rep. 2006-05, March 15 2006.
- [13]: L. C. Freeman, “A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness”, Lehigh University, 1977, Vol. 40, No. 1, 35-41.
- [14]: P. Nikolopoulos, T. Papadimitriou, P. Pantazopoulos, M. Karaliopoulos and I. Stavrakakis, “How much off-center are Centrality Metrics for Routing in Opportunistic Networks”, ACM MobiCom 2011 Workshop on Challenged Networks (CHANTS'11) September 23, 2011.
- [15]: Ellen (Xiaolan) Zhang, Giovanni Neglia, Jim Kurose and Don Towsley. “Performance modeling of epidemic routing”, Elsevier Computer Networks journal, 2007, Volume 51/10, pages 2859-2891.
- [16]: A. Lindgren, A. Doria, E. Davies and S. Grasic, “Probabilistic Routing Protocol for Intermittently Connected Networks draft-irtf-dtnrg-prophet-09”, draft-irtf-dtnrg-prophet-09, April 2011.
- [17]: I. Cardei, C. Liu and J. Wu, "Routing In Wireless Networks With Intermittent Connectivity", *Encyclopedia of Wireless and Mobile Communications*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007.