



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Βελτιστοποίηση ποιότητας υπηρεσίας σε ad hoc δίκτυα μέσω μηχανισμών κινήτρων συνεργασίας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Δ. Γεωργιλάκης

Επιβλέπων : Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος

Λέκτορας ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Βελτιστοποίηση ποιότητας υπηρεσίας σε ad hoc δίκτυα μέσω
μηχανισμών κινήτρων συνεργασίας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωσταντίνος Δ. Γεωργιλάκης

Επιβλέπων : Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος

Λέκτορας ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ^η Ιουνίου 2010.

.....

Αθανάσιος Παναγόπουλος

.....

Φίλιππος Κωνσταντίνου

.....

Ιωάννης Κανελλόπουλος

Αθήνα, Ιούλιος 2010

.....

Κωνσταντίνος Δ. Γεωργιλάκης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Κωνσταντίνος Δ. Γεωργιλάκης
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Σκοπός αυτής της διπλωματικής είναι η μελέτη μηχανισμών κινήτρων σε ad hoc δίκτυα. Τα ad hoc δίκτυα, που διαφέρουν από τα κοινά δίκτυα στο ότι δεν υπάρχει καμία υποδομή (π.χ.δρομολογητές), αυξάνουν την απόδοση του δικτύου. Όμως για την καλή λειτουργία τους είναι απαραίτητη η συνεργασία των κόμβων μέσω της προώθησης των πακέτων των άλλων κόμβων. Αυτό δεν είναι πάντα εφικτό λόγω της ύπαρξης εγωιστικών και κακόβουλων κόμβων. Οι μηχανισμοί κινήτρων δίνουν τα απαραίτητα κίνητρα στους κόμβους για να συνεργάζονται και χωρίζονται σε δύο είδη, βασισμένοι στην φήμη και βασισμένοι στην αμοιβή. Υπάρχουν και υβριδικοί μηχανισμοί που συνδιάζουν στοιχεία και από τα δύο είδη.

Στο πρώτο κομμάτι της διπλωματικής καταγράφονται και αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα από τους πιο γνωστούς μηχανισμούς κινήτρων από τα δύο είδη (φήμης και αμοιβής) , όπως και για τους υπάρχοντες υβριδικούς μηχανισμούς.

Μετά αναπτύχθηκε ένας καινούριος υβριδικός μηχανισμός κινήτρων με σκοπό την βελτιστοποίηση της απόδοσης του δικτύου. Ο μηχανισμός αυτός, όπως και ο μηχανισμός φήμης Darwin, προσομειώθηκε σε Java. Οι δύο μηχανισμοί συγκρίθηκαν μεταξύ τους και τα αποτελέσματα καταγράφονται στην διπλωματική. Γενικά ο υβριδικός μηχανισμός δείχνει να είναι πιο αποδοτικός στην πλειοψηφία των καταστάσεων.

Λέξεις Κλειδιά

Ad hoc δίκτυα, μηχανισμοί κινήτρων, βασισμένος σε φήμη, βασισμένος σε αμοιβή, υβριδικός, εγωιστικοί κόμβοι, καλόβουλοι κόμβοι, βελτιστοποίηση απόδοσης δικτύου.

Abstract

The purpose of this thesis is the study of incentive mechanisms in ad hoc networks. Ad hoc networks, which differ from classical network in no having any infrastructure, increase the performance of network. But for their efficient operation the cooperation of nodes is necessary by forwarding the packets of other nodes. This is not always possible because of the existence of selfish and malicious nodes. Incentive mechanisms give the essential incentive to nodes for cooperating each other and separate in two kinds, reputation-based and pricing-based. There are hybrid mechanisms that combine data from both kinds.

In the first part of the thesis, the most famous incentive mechanisms of both kinds (reputation-based and pricing-based) and the existent hybrid mechanisms are written and are reported their advantages and drawbacks.

Afterwards, a new hybrid incentive mechanism is developed in order to improve the network's performance. This hybrid incentive mechanism, along with the reputation-based mechanism Darwin, is simulated in Java. We compare these two incentive mechanisms and the results are reported. Generally, the hybrid incentive mechanism shows to be more efficient in most circumstances.

Keywords

Ad hoc network, incentive mechanisms, reputation-based, pricing-based, hybrid, selfish nodes, co-operating nodes, improvement of network's performance

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Από την θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Αθανάσιο Παναγόπουλο, καθηγητή της σχολής ΗΜΜΥ, που μου έδωσε την δυνατότητα να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα και να εκπονήσω την διπλωματική μου εργασία. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτριο Χαρίλα για την πολύτιμη βοήθεια, συνεργασία και ακούραστη καθοδήγηση του στην ανάπτυξη και συγγραφή της διπλωματικής εργασίας.

Περιεχόμενα

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
2.ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΙΝΗΤΡΩΝ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΕ ΦΗΜΗ.....	17
2.1CORE (Collaborative Reputation Mechanism).....	17
2.1.1Είδη Φήμης.....	17
2.1.2 Συστατικά Μέρη.....	18
2.1.2.1Οντότητες του δικτύου	18
2.1.2.2Πίνακες φήμης.....	19
2.1.2.3 Μηχανισμός επιτήρησης.....	19
2.1.3Πρωτόκολλο	19
2.1.4Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα.....	21
2.2CONFIDANT (Cooperation Of Nodes: Fairness In Dynamic Adhoc NeTworks)	22
2.2.1 Το Μέρος της Παρακολούθησης(Monitor).....	23
2.2.2Η Διαχείριση της Εμπιστοσύνης(Trust Manager)	23
2.2.3Το Σύστημα της Φήμης(Reputation System)	24
2.2.4Η Διαχείριση Διαδρομών(Path Manager)	25
2.2.5 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα.....	25
2.3SORI (Secure and Objective Reputation-based Incentive).....	26
2.3.1 Παρακολούθηση Γειτόνων	27
2.3.2Προπαγάνδη της Φήμης	28
2.3.3Τιμωρία.....	29
2.3.4Ενίσχυση Ασφάλειας.....	29
2.3.5Μονομερής hash chain για Ταυτοποίηση και Αυθεντικότητα	30
2.3.6Ασφαλές Πρωτόκολλο Δυναμικής Δρομολόγησης.....	31
2.3.7 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα.....	32
2.4Δυναμικός Μηχανισμός Βασισμένος στην Φήμη για Ετερογενή Δίκτυα.....	33

2.4.1 Είδη Κόμβων	33
2.4.2 Μηχανισμός Φήμης	34
2.4.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα	35
2.5 RISM (Semi-distributed Reputation-based Intrusion Detection System)	35
2.5.1 Παρακολούθηση	36
2.5.2 Σύστημα Φήμης	37
2.5.3 Διαχείριση Διαδρομών	39
2.5.4 Λύτρωση και Υποχώρηση	40
2.5.5 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα	40
2.6 OCEAN (Observation-based Cooperation Enforcement in Ad hoc Networks) ..	41
2.6.1 Παρακολούθηση Γειτόνων	41
2.6.2 Βαθμολόγηση Διαδρομών	42
2.6.3 Δρομολόγηση Διαδρομών Βασισμένη στη Βαθμολογία	42
2.6.4 Απόρριψη Κακόβουλης Κίνησης	43
2.6.5 Μηχανισμός Δεύτερης Ευκαιρίας	43
2.6.6 Εγωιστική Συμπεριφορά	43
2.6.7 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα	45
2.7 Προηγμένος Μηχανισμός Φήμης	46
2.7.1 Ευαίσθητη στον Χρόνο Φήμη	48
2.7.2 Φήμη Εξαρτώμενη από το Περιεχόμενο	49
2.7.3 Διαχείριση Εμπειρίας- Διαχείριση Συστάσεων	50
2.7.4 Διαχείριση Φήμης	50
2.7.5 Εξέλιξη - Ανανέωση Φήμης	51
2.7.6 Ανανέωση Φήμης Συστάσεων-Προπαγάνδηση Συστάσεων	52
2.7.7 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα	53
2.8 Μηχανισμοί Φήμης που βασίζονται στην Θεωρία Παιγνίων	54
2.8.1 Συνεργασία χωρίς συγκρούσεις-TFT(Tit For Tat)	54

2.8.2 Συνεργασία με συγκρούσεις- Tit For Tat (TFT)	55
2.8.3 Generous Tit For Tat (GTFT).....	56
2.8.4 Στρατηγικές Πυροδότησης (n-step Trigger και Grim Trigger)	57
2.8.5 Μειονεκτήματα.....	57
2.9 DARWIN (Distributed and Adaptive Reputation mechanism for Wireless ad-hoc Networks).....	58
2.9.1 Αντίσταση στη Συμπαιγνία	60
2.9.2 Εφαρμογή Αλγορίθμου.....	61
2.9.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα.....	62
3. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΙΝΗΤΩΝ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΜΟΙΒΗ	63
3.1 Sprite (Simple Cheat Proof Credit Based System for Mobile Ad hoc Networks)	63
3.1.1 Αρχιτεκτονική Sprite	63
3.1.2 Διάταξη Πληρωμής.....	64
3.1.3 Προδιαγραφές Πρωτοκόλλου Προώθησης	65
3.1.4 Παρακίνηση σε Συνεργασία των Κόμβων κατά την Εύρεση Διαδρομών....	66
3.1.5 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα.....	66
3.2 Packet Purse Model(PPM) και Packet Trade Model(PTM).....	67
3.2.1 Packet Purse Model(PPM).....	67
3.2.2 Packet Trade Model(PTM).....	67
3.2.3 Διάταξη Ασφάλειας	68
3.2.4 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα.....	69
3.3 Μηχανισμός Αμοιβής Βασισμένος στο Nuglet Counter	70
3.3.1 Μηχανισμός Παρακίνησης σε Συνεργασία	70
3.3.2 Προστασία	72
3.3.3 Πρωτόκολλο Προώθησης Πακέτου.....	73
3.3.4 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα.....	74

3.4 Stimulating Cooperative Diversity in Wireless Ad Hoc Networks through Pricing.....	75
3.4.1 Μοντέλο Συστήματος	75
3.4.2 Μηχανισμός Κινήτρων Αμοιβής	77
3.4.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα	79
3.5 Μηχανισμός Κινήτρων Αμοιβής για Κυψελωτά Δίκτυα Πολλαπλών Βημάτων	79
3.5.1 Κυψελωτά Δίκτυα Πολλαπλών Βημάτων	79
3.5.2 Μοντέλο.....	79
3.5.3 Μετάδοση πακέτων	80
3.5.4 Διαδικασία Αμοιβής	81
3.5.5 Κέντρο Μέτρησης	82
3.5.6 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα.....	83
3.6 Ανταλλαγή Εύρους Ζώνης (BE)	84
3.6.1 Μοντέλο (Ανταλλαγή Εύρους Ζώνης)	84
3.6.2 Η Περίπτωση του Στατικού Καναλιού	85
3.6.3 Η Περίπτωση του Καναλιού με Διαλείψεις.....	86
3.6.4 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα.....	89
4 ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΙΝΗΤΡΩΝ	90
4.1 Hybrid Reputation Management System for Mobile Ad hoc Networks	90
4.1.1 Ενοποιημένο Σύστημα.....	90
4.1.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα.....	92
4.2 HEAD (A Hybrid Mechanism to Enforce Node Cooperation in Mobile Ad Hoc Networks).....	92
4.2.1 Μηχανισμός HEAD.....	92
4.2.2 Προώθηση Πακέτου	93
4.2.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα.....	93
5.ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΗ	94

5.1 Σενάριο προσομοίωσης	94
5.1.1 Γενικά Στοιχεία.....	94
5.1.2 Συμπεριφορά εγωιστικών κόμβων	95
5.1.3 Δρομολόγηση	96
5.1.4 Επεξήγηση κλάσεων Java.....	99
5.2 Υβριδικός Μηχανισμός Κινήτρων Συνεργασίας.....	101
5.2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά	101
5.2.2 Λειτουργίες του CSS	103
5.2.3 Χρέωση και αμοιβή για προώθηση πακέτων	105
5.2.4 Αντιμετώπιση Εγωιστικών Κόμβων.....	107
5.2.5 Μέρμνα για απομακρυσμένους κόμβους	110
5.2.6 Τιμές Παραμέτρων	113
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	115
6.1 Σύγκριση υβριδικού αλγορίθμου με Darwin.....	115
6.2 Εξέταση απόδοσης υβριδικού αλγορίθμου	123
6.3 Γενικά Συμπεράσματα.....	131
7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	132
8. ΑΝΑΦΟΡΕΣ	135

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις μέρες μας η τεχνολογία – και πολύ περισσότερο αυτή σχετικά με τα δίκτυα- έχει κάνει μεγάλα άλματα. Όλο και περισσότερο χρησιμοποιούνται ασύρματα δίκτυα. Μια καινούργια τεχνολογία στα ασύρματα δίκτυα είναι τα ad-hoc(αδόμητα) δίκτυα, τα οποία βρίσκονται ακόμη κυρίως σε πειραματικό στάδιο και θα αποτελέσουν την βάση των δικτύων τέταρτης γενιάς. Τα ad-hoc δίκτυα είναι αποκεντρωμένα δίκτυα χωρίς κάποια συγκεκριμένη υποδομή (όπως οι δρομολογητές στα κλασικά δίκτυα) στα οποία ο κάθε κόμβος θα μπορεί να λειτουργεί σαν δρομολογητής και να κάνει προώθηση πακέτων. Θα είναι δηλαδή δρομολογητής και τερματικό μαζί. Έτσι ο κάθε κόμβος θα μπορεί να επικοινωνεί με όλους τους άλλους του δικτύου, άσχετα αν έχουν ή όχι οπτική επαφή. Η απόφαση από ποιον κόμβο θα προωθηθούν τα πακέτα γίνεται δυναμικά και εξαρτάται από την συνδεσιμότητα του δικτύου. Ένα σοβαρό πρόβλημα των προηγούμενων ασύρματων δικτύων που έρχονται να λύσουν τα ad-hoc δίκτυα είναι η κινητικότητα των κόμβων, παρέχοντας απεριόριστες δυνατότητες κίνησης στους κόμβους χρησιμοποιώντας τις MAC διευθύνσεις ως αναγνωριστικές των κόμβων. Τα δίκτυα αυτά θα είναι επικεντρωμένα στις ανάγκες κάθε χρήστη.[1][2] Οι κόμβοι μπορούν να αφήσουν το δίκτυο όποτε θέλουν και δεν υπάρχει συγκεκριμένη είσοδος ή έξοδος προς το υπόλοιπο δίκτυο.[4] Στα δίκτυα αυτά μπορούν να συνυπάρχουν κόμβοι και δίκτυα μαζί. Δίνουν νέες δυνατότητες για ανταλλαγή φάσματος,ενέργειας και κόστους. Έτσι αυξάνονται οι δυνατότητες για συνεργασία των χρηστών(κόμβων) εκτός των άλλων και για ανταλλαγή δεδομένων.[3] Έχουν βρει εφαρμογή σε διασώσεις,πεδία μαχών, κινητές συσκέψεις, εθνικές κρίσεις, οικιακά και κοινωνικά δίκτυα κλπ.[4]

Όμως η συνεργασία των κόμβων δεν μπορεί να θεωρηθεί πάντα δεδομένη. Τις περισσότερες φορές συνεργάζονται ανταλλάσσοντας πόρους με άλλους κόμβους, αλλά κάποιες φορές δρουν εγωιστικά ή ακόμα και κακόβουλα προσπαθώντας να εξαπατήσουν το δίκτυο. Οι κόμβοι που δεν συνεργάζονται χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τους εγωιστικούς(selfish) και τους κακόβουλους(malicious). Εγωιστικοί είναι οι κόμβοι που έχουν ως στόχο να αυξήσουν το κέρδος τους σε ενέργεια κυρίως αδιαφορώντας για την επίδοση του δικτύου. Θέλουν να μειώσουν όσο γίνεται το κόστος τους και γι'αυτό αρνούνται να προωθήσουν πακέτα προκαλώντας διακοπή

του δικτύου σε εκείνο το σημείο. Από την άλλη κακόβουλοι είναι οι κόμβοι που δεν μπορούν να προωθήσουν πακέτα λόγω κάποιου προβλήματος ή κυρίως προσπαθούν να εξαπατήσουν και να επιτεθούν στο δίκτυο δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα.[3] Ορισμένες δραστηριότητες των κακόβουλων κόμβων είναι: [5][6]

- 1.Μη προώθηση – απόρριψη πακέτων.
- 2.Αλλοίωση στοιχείων για την κίνηση στον κόμβο (είτε εμφάνισή του ως καλού είτε ώστε να μην προωθεί πακέτα ως κακού δρομολογητή).
- 3.Να αναγκάσει σε αλλαγή δρομολόγησης λόγω του σπασίματος μιας σύνδεσης, παρόλου που αυτή λειτουργεί σωστά.
- 4.Μη αναφορά κάποιου λάθους στην δρομολόγηση που έγινε.
5. Ασυνήθιστα συχνή αλλαγή πινάκων δρομολόγησης.
- 6.Κρυφή αλλαγή δρομολόγησης.
- 7.Ακύρωση ολόκληρης διαδικασίας.
- 8.Έλεγχος της κίνησης(σε συνεργασία με άλλους κακόβουλους κόμβους).
- 9.Υποδύεται ότι είναι ένας άλλος καλός κόμβος.

Αυτά μπορούν να προσφέρουν στον κακόβουλο κόμβο καλύτερη απόδοση, χρηματικό κέρδος, περισσότερη ενέργεια και απόκτηση εμπιστευτικών πληροφοριών.[5]

Γι' αυτό είναι αναγκαίο η θέσπιση μηχανισμών κινήτρων που θα ωθούν τους κόμβους στο να συνεργάζονται ώστε να βελτιωθεί η συνολική απόδοση του δικτύου. Μηχανισμοί κινήτρων (incentive mechanisms) είναι διάφοροι μηχανισμοί που εφαρμόζονται σε ad-hoc δίκτυα και δίνουν κίνητρα στον κάθε κόμβο ώστε να συνεργάζεται με τους υπόλοιπους, θυσιάζοντας κάποιες φορές και δικούς του πόρους και κάποιες άλλες ωφελείται από τους πόρους των άλλων. Οι μηχανισμοί αυτοί για να ωθήσουν τους κόμβους να συνεργαστούν αντί της συνέχισης των δικών τους ενεργειών βασίζονται στο ότι γενικά αναγνωρίζεται ότι η συνεργασία μπορεί να τους βοηθήσει να αποδώσουν καλύτερα από το να ήταν σε ανταγωνισμό. Οι κόμβοι μπορεί να μοιράζονται ενεργειακούς πόρους. Οι συνεργαζόμενοι κόμβοι θα μοιράζονται

φασματικούς και διαχειριστικούς πόρους ώστε να πετυχαίνουν καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Οι επιβραβεύσεις για την προώθηση πακέτων μπορεί να περιλαμβάνουν χρηματικό κέρδος, πόντους ή ακόμα και καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών στο μέλλον. Σε κάποιες περιπτώσεις είναι αναγκαίο οι μηχανισμοί κινήτρων να μην παροτρύνουν τους χρήστες να συνεργάζονται αλλά και να τους αποθαρρύνουν από το να εξαπατούν. Γι' αυτό πρέπει να υπάρχουν και αντικίνητρα για τη μη συνεργασία και/ή την εξαπάτηση.

Οι μηχανισμοί κινήτρων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: βασισμένοι σε φήμη και βασισμένοι σε αμοιβή. Μηχανισμοί κινήτρων βασισμένοι σε φήμη είναι εκείνοι οι μηχανισμοί που βασίζονται στο πόσο εμπιστεύονται τον κάθε κόμβο οι άλλοι κόμβοι, που έχει το δίκτυο. Μηχανισμοί κινήτρων βασισμένοι στην αμοιβή είναι οι μηχανισμοί που βασίζονται σε θεωρητικές, χρηματικές ή άλλες αμοιβές που δίνονται στους κόμβους που προωθούν πακέτα.[3] Αναλυτικότερα θα αναφερθούμε παρακάτω σε αυτές τις δύο κατηγορίες.

Ποιος είναι όμως ο λόγος που κάνει αυτούς τους μηχανισμούς απαραίτητους στα ad-hoc δίκτυα? Καταρχάς είναι απαραίτητοι ώστε να αντιμετωπιστούν οι κόμβοι που δεν συνεργάζονται -και οι εγωιστικοί και οι κακόβουλοι- που τα προβλήματα που μπορούν να προκαλέσουν αναφέρθηκαν πιο πάνω. Η αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων οδηγεί στην αύξηση της από άκρη σε άκρη χωρητικότητας και έτσι και της φασματικής αποδοτικότητας του δικτύου. Αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης με ταυτόχρονη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.[3] Οι μηχανισμοί κινήτρων εξασφαλίζουν την επιβίωση του δικτύου απέναντι σε επιθέσεις που μπορεί να δεχθεί από κακόβουλους κόμβους. Εξασφαλίζουν ότι μια έμπιστη πληροφορία θα είναι γνωστή μόνο στους επιθυμητούς κόμβους και ότι κανένας άλλος κόμβος δεν θα μπορέσει να την κλέψει. Επίσης εξασφαλίζεται ότι το μήνυμα δεν θα αλλοιωθεί και θα προέρχεται από τον κατάλληλο κόμβο.[7]

Η δομή της διπλωματικής είναι η ακόλουθη. Στο κεφάλαιο 2 αναλύουμε τους πιο γνωστούς μηχανισμούς κινήτρων συνεργασίας βασισμένους στην φήμη και στο κεφάλαιο 3 αναλύουμε τους αντίστοιχους μηχανισμούς που βασίζονται στην αμοιβή. Στο κεφάλαιο 4 αναλύονται οι υβριδικοί μηχανισμοί κινήτρων συνεργασίας που βρέθηκαν. Επίσης σε αυτά τα κεφάλαια αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε μηχανισμού. Στο κεφάλαιο 5 υπάρχει το πώς έγινε η

προσομοίωση του δικτύου για το μηχανισμό κινήτρων Darwin και ένα υβριδικό μηχανισμό, που δημιουργήθηκε. Αυτός ο μηχανισμός περιγράφεται στο ίδιο κεφάλαιο. Στο κεφάλαιο 6 δίνονται και αναλύονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Τέλος στο κεφάλαιο 7 αναφέρονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα πάνω στους μηχανισμούς κινήτρων συνεργασίας.

2.ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΙΝΗΤΡΩΝ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΕ ΦΗΜΗ

2.1 CORE (Collaborative Reputation Mechanism)

Ένας από τους πιο διαδεδομένους μηχανισμούς κινήτρων βασισμένος σε φήμη είναι το CORE (COllaborative REputation Mechanism). Σκοπός αυτού του μηχανισμού είναι μέσω της χρησιμοποίησης της φήμης να αναγκάσει τους κόμβους, που λόγω της διαθέσιμης ενέργειας τείνουν να συμπεριφέρονται εγωιστικά (selfiness), να συνεργαστούν μεταξύ τους ώστε να έχει καλύτερη απόδοση το δίκτυο. Ο μηχανισμός αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε λειτουργία του δικτύου όπως προώθηση πακέτων, δρομολόγηση, διαχείριση δικτύου και διαχείριση θέσης. Αυτό γίνεται επιτρέποντας στους κόμβους που έχουν καλή φήμη να χρησιμοποιούν τους πόρους του δικτύου, ενώ αυτοί που έχουν κακή φήμη απομονώνονται από το δίκτυο. Ο κάθε κόμβος υπολογίζει την φήμη των άλλων κόμβων λαμβάνοντας υπόψη την ίδια του την εμπειρία και παρατηρήσεις από άλλους κόμβους του δικτύου. Επίσης μέσω ακολουθιακών διαδικασιών είναι δυνατό να απομονωθούν οι κόμβοι του δικτύου που εμφανίζουν κακόβουλη συμπεριφορά (malicious nodes) διασπείροντας αρνητικές βαθμολογίες. Το σύστημα αυτό κάνει διάκριση ανάμεσα στους εγωιστικούς κόμβους και στους κακόβουλους κόμβους.

2.1.1 Είδη Φήμης

Υπάρχουν τρία είδη φήμης που χρησιμοποιούνται σε αυτό το σύστημα ώστε να υπολογιστεί η συνολική φήμη του κάθε κόμβου. Ο υπολογισμός της οποίας ανανεώνεται συνεχώς και βασίζεται στις παρατηρήσεις του ίδιου του κόμβου και σε πληροφορίες άλλων κόμβων. Τα είδη της φήμης είναι υποκειμενική (subjective), έμμεση (indirect) και λειτουργική (functional) και αναλύονται ένα ένα παρακάτω. Η συνολική φήμη είναι συνδυασμός και των τριών ειδών.

Υποκειμενική (subjective) φήμη: Το κομμάτι αυτό της φήμης προέρχεται από παρατηρήσεις του ίδιου του κόμβου για την συμπεριφορά των άλλων κόμβων. Έμφαση δίνεται σε παλιότερες παρατηρήσεις εις βάρος των πιο πρόσφατων. Αυτό γίνεται για να αντιμετωπιστούν λανθασμένες παρατηρήσεις για ασυνεργασία του κόμβου που μπορεί να οφείλονται σε προσωρινές διακοπές του δικτύου ή σε προβλήματα που δημιουργούν κακόβουλοι κόμβοι. Ο υπολογισμός της φήμης δίνεται από τη συνάρτηση:

$$r'_{si} \mathcal{F}_j | f_- = \sum \rho(t_k) \cdot \sigma_k$$

όπου το $r'_{si} \mathcal{F}_j | f_-$ είναι η συνολική υποκειμενική φήμη για τον κόμβο s_j με βάση τις παρατηρήσεις του κόμβου s_i . Επίσης σ_k είναι η μεταβλητή που μετρά την φήμη του κόμβου με βάση την k -οστή παρατήρηση. Αυτή παίρνει τιμές από -1(μη επιθυμητό αποτέλεσμα) ως +1(επιθυμητό αποτέλεσμα). Τις ίδιες τιμές παίρνει και η συνολική υποκειμενική φήμη. Το $\rho(t_k)$ είναι μια συνάρτηση σχετική με τον χρόνο που δίνει μεγαλύτερη σημασία στις παλιότερες παρατηρήσεις.

Όταν δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία η τιμή της υποκειμενικής φήμης τίθεται 0. Τέλος πρέπει να σημειώσουμε πως η υποκειμενική φήμη αφορά και μετριέται μόνο για τους γείτονες του κάθε κόμβου.

Έμμεση(indirect): Το κομμάτι αυτό της φήμης αφορά τις παρατηρήσεις των άλλων κόμβων για τον κόμβο που θέλουμε να υπολογίσουμε την φήμη του. Η έμμεση φήμη, που συμβολίζεται με $ir'_{si} \mathcal{F}_j | f_-$, παίρνει μόνο θετικές τιμές(από 0 ως 1) ώστε να αποφευχθούν τυχόν επιθέσεις από malicious nodes με διασπορά αρνητικών τιμών.

Λειτουργική(functional): Αφορά τον συνδυασμό των δύο προηγούμενων φημών, της υποκειμενικής και της έμμεσης για διαφορετικές όμως διαδικασίες. Για παράδειγμα για τον υπολογισμό της συνολικής υποκειμενικής φήμης μπορεί να ληφθεί υπόψη και η φήμη από την δρομολόγηση και από την προώθηση πακέτων. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας διαφορετικά βάρη.

Η συνολική φήμη υπολογίζεται από την συνάρτηση:

$$r'_{si}(s_j) = \sum w_k \{ r'_{si}(s_j | f_k) + ir'_{si}(s_j | f_k) \}$$

όπου w_k είναι η βαρύτητα που έχει η κάθε συναρτησιακή φήμη. Για την καλή απόδοση του δικτύου έχει μεγάλη σημασία η σωστή χρήση της βαρύτητας. Παρόλο που και η προώθηση πακέτων και η δρομολόγηση λαμβάνονται υπόψη, η προώθηση έχει μεγαλύτερη σημασία.

2.1.2 Συστατικά Μέρη

Τα συστατικά μέρη του CORE είναι τρία: α) οντότητες του δικτύου β) πίνακες φήμης και γ) μηχανισμός επιτήρησης.

2.1.2.1 Οντότητες του δικτύου

Είναι οι κόμβοι του δικτύου(s_i). Η κάθε οντότητα περιέχει ένα αριθμό πινάκων φήμης και ένα μηχανισμό επιτήρησης. Αυτά τα δύο στοιχεία επιτρέπουν την παρατήρηση και αξιολόγηση των άλλων κόμβων ώστε να προωθεί την συνεργασία των κόμβων. Αιτών είναι η οντότητα που ζητά να εκτελεστεί κάποια συνάρτηση f , παροχέας είναι η οντότητα που περιμένουμε να εκτελέσει αυτή τη συνάρτηση και έμπιστη οντότητα είναι ο κόμβος που έχει θετική φήμη.

2.1.2.2 Πίνακες φήμης

Είναι μια λίστα δεδομένων που περιλαμβάνει που περιέχει πληροφορίες για την συμπεριφορά των μελών του δικτύου. Οι πληροφορίες που περιέχει είναι: τα διακριτικά χαρακτηριστικά κάθε οντότητας, οι πληροφορίες για τη συμπεριφορά ενός άλλου κόμβου που προέρχονται από δικές του παρατηρήσεις, οι πληροφορίες για τη συμπεριφορά ενός άλλου κόμβου που προέρχονται από πληροφορίες άλλων κόμβων και το μέτρο της φήμης που λαμβάνει μια οντότητα για μια συνάρτηση f . Για κάθε διαδικασία υπάρχει ένας πίνακας φήμης.

2.1.2.3 Μηχανισμός επιτήρησης

Είναι ένας μηχανισμός που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση κόμβων που δεν συνεργάζονται. Ο μηχανισμός αυτός συγκρίνει τα επιθυμητά αποτελέσματα με αυτά που παρατηρήθηκαν για μια διαδικασία. Αν τα αποτελέσματα συμπίπτουν τότε το σ_k παίρνει θετικές τιμές και μένει σε ανενεργή κατάσταση μέχρι να έρθουν τα επόμενα αποτελέσματα. Αν όμως τα επιθυμητά από τα παρατηρούμενα αποτελέσματα διαφέρουν (π.χ. αν δεν εκτελεστεί σωστά η συνάρτηση) το σ_k παίρνει αρνητικές τιμές και μια νέα τιμή της φήμης υπολογίζεται.

2.1.3 Πρωτόκολλο

Η αρχή λειτουργίας του πρωτοκόλλου του CORE αφορά τον παροχέα και τον αιτών και μαζί με τον μηχανισμό επιτήρησης δίνει αρνητική φήμη στους παρόχους που δεν συνεργάζονται και αν εμμένουν σε αυτή την συμπεριφορά τους αποβάλλει από το δίκτυο. Συγκεκριμένα έχουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις:

Όταν δεν υπάρχει κακή συμπεριφορά: Απενεργοποιείται ο μηχανισμός επιτήρησης από τον αιτούντα και απλώς ο πίνακας φήμης του αιτούντα ανανεώνεται με θετικές τιμές και πηγαίνει σε αδρανή κατάσταση.

Όταν υπάρχει κακή συμπεριφορά:Ανανεώνεται ο πίνακας φήμης του αιτούντα με αρνητικές τιμές και πηγαίνει σε αδρανή κατάσταση.

Όταν η αίτηση γίνεται από κόμβο που δεν συμπεριφέρεται σωστά :Όταν έρχεται μια αίτηση ο παροχέας ελέγχει την φήμη του αιτούντα και αν είναι αρνητική αρνείται την εκτέλεση της συνάρτησης f . Ο παροχέας μπορεί αν θέλει να αναγγείλει την άρνηση εκτέλεσης της υπηρεσίας.

Η ανανέωση των πινάκων φήμης με βάση το πρωτόκολλο του CORE γίνεται σε δύο περιπτώσεις:πρώτον κατά την αίτηση για την εκτέλεση μιας συνάρτησης f και δεύτερον κατά την φάση απάντησης του αποτελέσματος της εκτέλεσης της συνάρτησης f .

Στην πρώτη περίπτωση ανανεώνεται μόνο η υποκειμενική φήμη. Αν ο παροχέας αρνηθεί να συνεργαστεί μειώνεται η φήμη του μέσω της αρνητικής βαθμολογίας που στέλνεται,ενώ αν συνεργαστεί δεν αλλάζουν οι πίνακες φήμης. Στη δεύτερη περίπτωση αλλάζει μόνο η έμμεση φήμη. Αν οι κόμβοι συνεργαστούν στέλνεται ένα μήνυμα που περιλαμβάνει όλους τους κόμβους που συνεργάστηκαν και θετικές τιμές φήμης για αυτούς και έτσι αυξάνεται η φήμη τους. Η διάδοση μόνο θετικών τιμών γίνεται για να αποφευχθούν τυχόν επιθέσεις από κακόβουλους κόμβους. Για την αποφυγή αποστολής μεγάλης ποσότητας πληροφορίας μόνο κατά την απάντηση στέλνονται οι τιμές της φήμης και ανανεώνονται οι πίνακες φήμης. Οι τιμές των πινάκων φήμης δεν παραμένουν σταθερές όταν είναι θετικές αλλά μειώνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα ωσότου καταλήξουν στο 0. Έτσι αποφεύγονται τυχόν επιθέσεις από κακόβουλους κόμβους.

Για τις οντότητες του δικτύου δεν συμφέρει να μην συνεργάζονται αφού έτσι στερούνται της χρησιμοποίησης των πόρων του δικτύου. Είναι δύσκολο για τις οντότητες να χτίσουν θετικές τιμές φήμης αφού μόνο μέσω της έμμεσης φήμης μπορεί να αυξηθεί η φήμη όταν τελειώσει όλη η διαδικασία, ενώ κάθε φορά που δεν συνεργάζονται άμεσα ο μηχανισμός επιτήρησης στέλνει αρνητικές τιμές φήμης. Το γεγονός ότι δεν μειώνεται πάντα η φήμη για την αποφυγή προβλημάτων που οφείλονται στο δίκτυο(π.χ. διακοπή σύνδεσης) δεν αναιρεί αυτή τη δυσκολία. [6][8]

2.1.4 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Καταρχάς το CORE έχει υψηλή απόδοση αφού οι εγωιστικοί κόμβοι εντοπίζονται αμέσως. Αυτό γίνεται γιατί ο μηχανισμός επιτήρησης υπάρχει σε κάθε κόμβο και παρακολουθεί όλη τη διαδικασία προώθησης των πακέτων από κόμβο σε κόμβο. Ταυτόχρονα ο μηχανισμός αυτός επεμβαίνει μόνο όταν διαπιστωθεί η ύπαρξη εγωιστικού κόμβου. Έτσι και πόροι του δικτύου δεν σπαταλώνονται και οι εγωιστικοί κόμβοι βρίσκονται αμέσως. Το CORE μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλές διαδικασίες των κόμβων και για διαφορά δίκτυα. Ταυτόχρονα ο τρόπος υπολογισμού της φήμης δίνει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Είναι εύκολο να εισέλθει ένας νέος κόμβος και να χρησιμοποιήσει τις υπηρεσίες του δικτύου, κάνοντας χρήση του μηχανισμού του CORE και ενσωματώνοντας άμεσα τις διαδικασίες (μηχανισμό επιτήρησης, πίνακες φήμης, συστάσεις κ.λ.π.) με τις οποίες θα συμμετέχει στην αξιολόγηση των μελών του δικτύου. Αυτό κάνει το CORE κατάλληλο για ad-hoc δίκτυα. Υπάρχει συνεχής έλεγχος των κόμβων και αξιολόγησή τους ανάλογα με τον αν εκτέλεσαν μια διαδικασία. Οι κόμβοι που δεν συνεργάζονται ενθαρρύνονται να συνεργαστούν ώστε να μπορούν να αξιοποιήσουν τους πόρους του δικτύου. Τέλος το CORE δεν επιτρέπει διασπορά αρνητικής βαθμολογίας και ούτε επιτρέπει στους αρνητικά βαθμολογημένους κόμβους να αποστέλλουν αιτήσεις για εξυπηρέτηση.

Από την άλλη βέβαια έχει και μειονεκτήματα. Πρώτον, το CORE είναι έτσι σχεδιασμένο ώστε να αντιμετωπίζει απολύτως αποτελεσματικά μόνο τους κόμβους που φέρονται εγωιστικά, προκαλώντας μεγαλύτερη επιβάρυνση στους υπόλοιπους κόμβους και υποβαθμίζοντας ταυτόχρονα την απόδοση του δικτύου. Αντίθετα δεν δίνει βάρος στους κακόβουλους κόμβους που έχουν ως στόχο να πλήξουν ίσως ανεπανόρθωτα το δίκτυο. Αυτό τους καθιστά πολύ επικίνδυνους. Ακόμα ο μηχανισμός επιτήρησης αντιμετωπίζει προβλήματα εντοπισμού των εγωιστικών κόμβων στις εξής περιπτώσεις:

1. Ασαφούς και μη προσδιορίσιμης συμφοράς του δικτύου
2. Σύγκρουσης πακέτων δεδομένων και άρα μη αποδοτική λειτουργία του δικτύου
3. Μερικής καταστροφής του δικτύου, όπου δηλαδή ένα τμήμα του, έχει υποστεί βλάβες και το υπόλοιπο υπολειτουργεί

4. Σε περιπτώσεις συνεννοήσεων μεταξύ κακόβουλων κόμβων για δόλια διασπορά θετικών αξιολογήσεων.

5. Περιορισμοί της ενέργειας για το δίκτυο

6. Λανθασμένη και όχι επικίνδυνη συμπεριφορά κάποιου κόμβου[6][8]

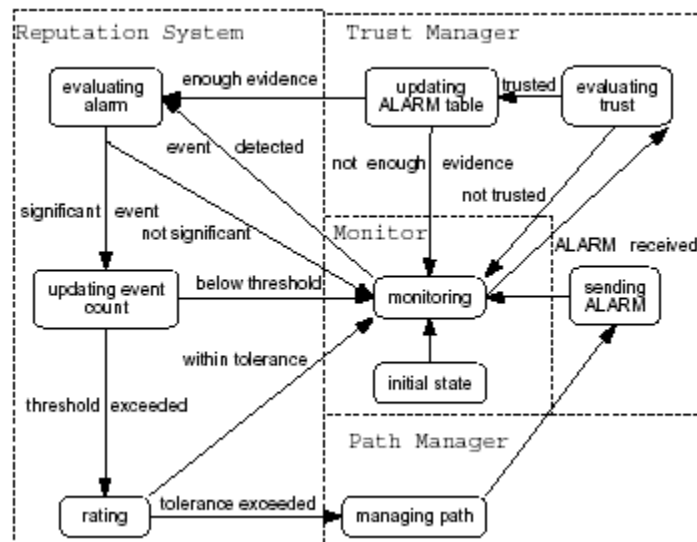
Επίσης υποθέτει ότι οι συστάσεις είναι έμπιστες από όπου και να γίνονται. Έτσι δεν διαθέτει καμιά προστασία απέναντι σε διασπορά ψευδών στοιχείων που είναι ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα των ad hoc δικτύων.[13] Ακόμα οι πόροι ενός κόμβου με πολύ καλή φήμη (κοντά στο 1) μπορεί να σπαταληθούν και γι' αυτό να αναγκαστεί να φέρεται εγωιστικά ώστε να προστατέψει τους πόρους του. Τέλος ότι το βάρος των συναρτήσεων για τον υπολογισμό της φήμης είναι καθορισμένο από πριν και ίδιο για όλους τους κόμβους κάνει το σύστημά αυτό ακατάλληλο για ετερογενή δίκτυα, στα οποία ο κάθε κόμβος μπορεί να δίνει διαφορετική βαρύτητα στην κάθε συνάρτηση.[4]

2.2 CONFIDANT (Cooperation Of Nodes: Fairness In Dynamic Adhoc NeTworks)

Άλλο είδος μηχανισμού κινήτρων βασισμένο στη φήμη είναι το CONFIDANT, βασικές ιδέες του οποίου είναι οι εξής:

- 1) Ο κάθε κόμβος παρακολουθεί τους άμεσους γείτονές του προκειμένου να αποφύγει κάποια δυσάρεστη εμπειρία από κάποιο επικίνδυνο κόμβο.
- 2) Ο κάθε κόμβος μοιράζεται πληροφορίες για κακόβουλους κόμβους με φιλικούς προς αυτόν κόμβους. Ενημερώνει τους φιλικούς κόμβους και αντίστοιχα δέχεται πληροφορίες για κακόβουλους κόμβους.

Το CONFIDANT αποτελείται από τέσσερα υποσυστήματα: το μέρος της παρακολούθησης (monitor), το σύστημα της φήμης (reputation system), τη διαχείριση διαδρομών (path manager) και τη διαχείριση της εμπιστοσύνης (trust manager). Το ακόλουθο σχήμα δείχνει τη δομή του CONFIDANT.



Σχήμα 2.1 – Δομή του CONFIDANT.

2.2.1 Το Μέρος της Παρακολούθησης(Monitor)

Σε ένα ad-hoc δίκτυο οι κόμβοι που μπορούν να δουν μια κακή συμπεριφορά ενός κόμβου είναι οι γείτονές του και καμιά φορά η πηγή και ο προορισμός. Σε αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται η παρακολούθηση των γειτόνων. Η εύρεση των αποκλίνοντων κόμβων γίνεται είτε ακούγοντας την μετάδοση των γειτόνων του κόμβου (παθητική γνώση) είτε παρακολουθώντας την συμπεριφορά του πρωτοκόλλου διαδρομής. Κρατώντας ένα αντίγραφο του πακέτου που φτάνει στον γείτονα μπορεί να ελέγξει αν έφτασε το ίδιο στον επόμενο κόμβο. Αν βρεθεί κάποια κακή συμπεριφορά αναφέρεται στο σύστημα φήμης.

2.2.3Η Διαχείριση της Εμπιστοσύνης(Trust Manager)

Αυτό το κομμάτι αφορά την διαχείριση εισερχόμενων και εξερχόμενων μηνυμάτων ALARM. Ένας κόμβος στέλνει μήνυμα ALARM όταν διαπιστώσει την ύπαρξη κακόβουλου κόμβου. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε με προσωπική εμπειρία είτε με παρακολούθηση είτε έχοντας λάβει μήνυμα ALARM για κακόβουλο κόμβο. Κάθε κόμβος διατηρεί μια λίστα φίλων στους οποίους στέλνει μήνυμα ALARM αν διαπιστώσει την ύπαρξη κακόβουλου κόμβου.

Τα εισερχόμενα μηνύματα ALARM μπορεί να προέρχονται είτε από φίλους είτε από άλλους κόμβους. Πριν ο κόμβος αναλάβει οποιαδήποτε δράση ελέγχει την αξιοπιστία του κόμβου-αποστολέα του ALARM. Ένας μηχανισμός παρόμοιος με τη

διαχείριση εμπιστοσύνης χρησιμοποιείται για την εγκυρότητα και πιστοποίηση των κόμβων. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται Pretty Good Privacy(PGP) και έχει τέσσερα επίπεδα εμπιστοσύνης. Αυτά είναι: άγνωστος(unknown),χωρίς σχόλια(none),οριακά αποδεκτός(marginal) και πλήρως αποδεκτός (complete). Όλες οι υπογραφές που υπάρχουν στο μήνυμα προσμετρώνται για να αποφασίσει το PGP αν θα γίνει αποδεκτό το μήνυμα ALARM.

Η περιοχή της διαχείρισης της εμπιστοσύνης ενός κόμβου στο MANET αποτελείται από :

- I. έναν πίνακα ειδοποιήσεων (ALARM Table), που περιλαμβάνει όλα τα μηνύματα ALARMS
- II. έναν πίνακα εμπιστοσύνης, ώστε να καθορίζεται ποιος κόμβος είναι αξιόπιστος και ποιος όχι.
- III. από μία λίστα φίλων στους οποίους θα αποστέλλονται τα ALARMS.

Για την δρομολόγηση και την προώθηση, η εμπιστοσύνη είναι σημαντική για την λήψη αποφάσεων από ένα κόμβο για να προμηθεύσει ή να αποδεχτεί πληροφορίες δρομολόγησης, για την αποδοχή ενός κόμβου ως μέρους μιας διαδρομής και για να πάρει μέρος σε μια διαδρομή που έχει δημιουργηθεί από άλλους κόμβους.

2.2.3Το Σύστημα της Φήμης(Reputation System)

Είναι το τμήμα εκείνο που υπολογίζεται η φήμη κάθε κόμβου.Ακολουθείται κατανομημένη αρχιτεκτονική και ο κάθε κόμβος έχει λίστες με τις βαθμολογήσεις των άλλων κόμβων και/ή μαύρες λίστες με αναξιόπιστους κόμβους. Αυτές τις λίστες τις ανταλλάσει με τους φίλους του. Πριν προωθήσει οτιδήποτε ο κάθε κόμβος κοιτάει στις μαύρες λίστες ώστε να μην προωθήσει οτιδήποτε σε κόμβους που υπάρχουν εκεί. Στις λίστες που περιλαμβάνουν κακόβουλους χρήστες, ελέγχεται συνεχώς η συμπεριφορά τους, ώστε αν υπάρχει κάποια λανθασμένη αξιολόγηση ή ακόμα και βελτίωση στη συμπεριφορά τους, ο κόμβος να επανακάμπτει στο δίκτυο.

Οι πίνακες φήμης περιλαμβάνουν τους κόμβους και τις βαθμολογήσεις τους. Η βαθμολόγηση δεν αλλάζει παρά μόνο αν υπάρχουν επαρκές αποδείξεις ότι ο κόμβος είναι κακόβουλος. Τότε η βαθμολογία του κόμβου μειώνεται με διαφορετική βαρύτητα ανάλογα με το από που προέρχεται η πληροφορία. Μεγαλύτερο βάρος δίνεται στις προσωπικές εμπειρίες, μικρότερο στις παρακολουθήσεις γειτονικών κόμβων και ακόμα μικρότερο σε αναφορές. Αν η βαθμολογία ενός κόμβου πέσει

κάτω από ένα ανεκτό επίπεδο τότε καλείται η διαχείριση διαδρομής να αναλάβει δράση. Τέλος είναι φανερό πως το σύστημα δίνει μεγαλύτερη βαρύτητα στις αρνητικές εμπειρίες παρά στις θετικές.

2.2.4Η Διαχείριση Διαδρομών(Path Manager)

Στο μέρος της διαχείρισης των διαδρομών ο κόμβος εκτελεί τις εξής ενέργειες :

- I. Χαράσσει τη διαδρομή των μηνυμάτων με βάση την υπόληψη των κόμβων που συμμετέχουν, ώστε να έχουμε ασφαλή διαδικασία
- II. Διαγράφει διαδρομές που περιέχουν κακόβουλους χρήστες.
- III. Δράση όταν λάβει αίτηση από κακόβουλο κόμβο(απόρριψη της αίτησης,δεν στέλνει απάντηση)
- IV. Δράση όταν λάβει αίτηση για διαδρομή που περιέχει κακόβουλο κόμβο(απόρριψη της αίτησης,ειδοποίηση της πηγής)

Ο κάθε κόμβος παρακολουθεί τους γειτόνους του μέσω του monitor και όταν διαπιστώσει ότι κάποιο σημαντικό γεγονός έγινε το αναφέρει στο σύστημα της φήμης. Αυτό ελέγχει αν αυτό έχει γίνει περισσότερες φορές από κάποιο όριο, που ορίζεται από κάθε κόμβο ώστε να αντιμετωπίζονται οι κακόβουλοι κόμβοι. Αν αυτό συμβαίνει μειώνεται η τιμή της φήμης και αν πέσει κάτω από κάποιο όριο ειδοποιείται η διαχείριση διαδρομών ώστε να διαγράψει τον συγκεκριμένο κόμβο από όλες τις διαδρομές. Έπειτα όπως εξηγήθηκε παραπάνω στέλνεται μήνυμα ALARM στους φίλους. Το σύστημα διαχείριση εμπιστοσύνης των κόμβων που θα λάβουν το μήνυμα ελέγξει ότι ο αποστολέας είναι αξιόπιστος. Αν είναι θεωρείται πως ο κόμβος που αναφέρεται είναι κακόβουλος και στέλνεται το μήνυμα στο σύστημα φήμης. Τα υπόλοιπα γίνονται όπως αναγράφεται παραπάνω.[5],[6]

2.2.5 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Το CONFIDANT είναι αρκετά αποδοτικό έχοντας πολύ λιγότερες απώλειες πακέτων λόγω κακόβουλων κόμβων από ότι τα απλά ad-hoc δίκτυα. Συγκεκριμένα σε προσομοιώσεις που έχουν γίνει έχουμε περίπου τα μισά χαμένα πακέτα όταν χρησιμοποιούμε το CONFIDANT. Επίσης το CONFIDANT είναι ανθεκτικό σε μεγάλο αριθμό κόμβων. Σε μελέτες που έχουν γίνει η απόδοση του δικτύου παραμένει σχεδόν σταθερή παρά την προσθήκη κόμβων. Ούτε η προσθήκη ή η αύξηση των κακόβουλων κόμβων επηρεάζει σημαντικά το δίκτυο. Συγκεκριμένα

ακόμα και αν πάνω από τους μισούς κόμβους είναι κακόβουλοι η απόδοση του δικτύου είναι αρκετά καλή, ενώ χωρίς αυτό ακόμα και μικρός αριθμός κακόβουλων κόμβων καταστρέφει το δίκτυο. Η αυξημένη κίνηση πακέτων ή μεγάλος αριθμός εφαρμογών δεν επηρεάζει σημαντικά το δίκτυο.

Η βαρύτητα που δίνει στις συστάσεις ο κάθε κόμβος (ακόμα και η απόρριψη κάποιων από αυτές) ανάλογα με την εμπιστοσύνη που δείχνει στον κόμβο βοηθάει στον καλύτερο υπολογισμό της φήμης. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η κατανομημένη αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται, ο κάθε κόμβος διαχειρίζεται μόνος του την φήμη των άλλων κόμβων, τα μηνύματα και τη λίστα με τους φίλους του χωρίς να χρειάζεται να έχει πρόσβαση σε ένα κεντρικό κόμβο. Έτσι το σύστημα είναι λιγότερο ευάλωτο σε επιθέσεις. Τέλος υπάρχει συνεχής έλεγχος για την ύπαρξη εγωιστικών και κακόβουλων κόμβων, όπως και για την επανένταξη στο δίκτυο κόμβων που είτε είχαν κριθεί λανθασμένα είτε έδειξαν καλή συμπεριφορά.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα, το κυριότερο μειονέκτημα είναι πολύ μέτρια απόδοση που έχει το CONFIDANT σε μεγάλη κινητικότητα των κόμβων. Ουσιαστικά δεν υπάρχει διαφορά σε αυτή τη περίπτωση αν δεν χρησιμοποιηθεί. Επίσης η ύπαρξη τεσσάρων τμημάτων που συνεργάζονται για τον υπολογισμό της φήμης το καθιστά ευάλωτο σε τυχόν επιθέσεις. Τέλος υπάρχει μεγάλη ανταλλαγή μηνυμάτων (ALARM, συστάσεις, λίστες) ανάμεσα στους κόμβους. Αυτό το καθιστά ευάλωτο σε τυχόν επιθέσεις σε αυτά τα μηνύματα και ταυτόχρονα σπαταλούνται και πόροι του συστήματος.[5],[6] Τέλος αρνητικό είναι το γεγονός ότι δεν διαφοροποιεί την βαρύτητα που έχουν οι συστάσεις ανάλογα με το πόσο αξιόπιστος είναι ο κάθε κόμβος.[13]

2.3SORI (Secure and Objective Reputation-based Incentive)

Τα μοναδικά χαρακτηριστικά του SORI είναι τα εξής:

- 1) Η φήμη των κόμβων βγαίνει από αντικειμενικές μετρήσεις
- 2) Η διάδοση της φήμης γίνεται υπολογισμένα και αποτελεσματικά από μια διάταξη αυθεντικότητας βασισμένη σε μονομερή hash chain

3) Η φήμη των κόμβων διαδίδεται μόνο στους γείτονες και όχι σε όλο το δίκτυο, αφού η φήμη ενός κόμβου χρησιμοποιείται μόνο από τους γείτονές του. Έτσι μειώνεται η πληροφορία ελέγχου της επικοινωνίας.

4) Η δρομολόγηση είναι αποτελεσματικά ασφαλισμένη.

Μαζί με τον μηχανισμό φήμης υπάρχει και μια διάταξη τιμωρίας για την τιμωρία των εγωιστικών κόμβων. Για την χρησιμοποίηση του συστήματος κάνουμε τις ακόλουθες παραδοχές:

1) Έχουμε μόνο εγωιστικούς κόμβους και όχι κακόβουλους κόμβους που θέλουν να πλήξουν το δίκτυο

2) Δεν υπάρχει αλλαγή ταυτότητας των κόμβων.

3) Ο κάθε κόμβος ακούει κάθε πακέτο που μεταδίδεται από τους γείτονές του και μπορεί να διαπιστώσει ποιος το μετάδωσε. Έτσι μπορεί να μάθει αν ένα πακέτο προορίζεται για αυτόν.

Η βασική δομή του SORI αποτελείται από τρία κομμάτια: παρακολούθηση γειτόνων, προπαγάνδη της φήμης και τιμωρία. Αυτά τα αναλύουμε παρακάτω.

2.3.1 Παρακολούθηση Γειτόνων

Αυτό το κομμάτι αφορά την παρακολούθηση των γειτόνων. Σκοπός του είναι η παρακολούθηση των γειτόνων και η βαθμολόγηση της φήμης τους. Όπως είπαμε και προηγουμένως ο κάθε κόμβος παρακολουθεί τις μεταδόσεις των γειτόνων του. Έτσι ο κάθε κόμβος έχει μια λίστα με τους γείτονες που έχει διαπιστώσει (λίστα γειτόνικών κόμβων – NNL_N). Ταυτόχρονα κρατάει δύο αριθμούς για κάθε γείτονα. Αυτοί είναι:

$RF_N(X)$: συνολικός αριθμός των πακέτων που έστειλε ο κόμβος στον X για προώθηση

$HF_N(X)$: συνολικός αριθμός των πακέτων που στάλθηκαν από τον κόμβο στον X και προωθήθηκαν.

Η ανανέωση των αριθμών γίνεται ως εξής: κάθε φορά που ο κόμβος στέλνει ένα πακέτο στον X για προώθηση το $RF_N(X)$ αυξάνεται κατά ένα. Μετά ο κόμβος ακούει και αν μέσα σε ένα χρονικό διάστημα ο X προωθήσει το πακέτο αυξάνεται το $HF_N(X)$

κατά ένα. Βέβαια η μη αύξηση του $HF_N(X)$ δεν οφείλεται πάντα σε εγωιστικό κόμβο αλλά μπορεί να οφείλεται σε κυκλοφοριακή συμφόρηση. Αλλά όπως θα πούμε και παρακάτω αυτό δεν δημιουργεί πρόβλημα, εκτός βέβαια αν η συμφόρηση είναι μεγάλη όποτε τότε αντικειμενικά υπάρχει πρόβλημα.

Με βάση αυτές τις τιμές ο κόμβος φτιάχνει μια καταγραφή για τον X που ονομάζεται τοπικά υπολογισμένη καταγραφή ($LER_N(X)$). Αυτή υπολογίζεται με βάση δύο τιμές. Η πρώτη είναι το $G_N(X)$ που υπολογίζεται ως $G_N(X) = RF_N(X) / HF_N(X)$. Η δεύτερη είναι το $C_N(X)$ που ονομάζεται εμπιστοσύνη και δείχνει πόση εμπιστοσύνη έχει στον υπολογισμό του ο κόμβος. Αυτή την τιμή την θέτουμε ίση με $RF_N(X)$, γιατί όσο περισσότερα πακέτα στείλει ο κόμβος τόσο πιο σίγουρος θα είναι για την μέτρησή του.

2.3.2 Προπαγάνδηση της Φήμης

Σκοπός αυτού του μηχανισμού είναι ο εγωιστικός κόμβος να μην τιμωρηθεί μόνο από τον κόμβο που τον παρατήρησε αλλά και από όλους τους γείτονές του. Έτσι η μέτρηση της φήμης ενός κόμβου γίνεται πιο ακριβής. Κάθε κόμβος ανανεώνει περιοδικά το $LER_N(X)$ με τις τιμές των $RF_N(X)$ και $HF_N(X)$. Αν η τιμή του $G_N(X)$ έχει αλλάξει σημαντικά τότε στέλνει τις καινούργιες τιμές του $LER_N(X)$ στους γείτονές του. Αυτοί με την σειρά τους χρησιμοποιούν το δικό του $LER_N(X)$ και το $LER_i(X)$ που στάλθηκε από τον γείτονα (αυτός βέβαια πρέπει να υπάρχει στην λίστα του) για να υπολογίσει την συνολικά υπολογισμένη καταγραφή για τον X ($OER_N(X)$). Η τιμή της δίνεται από την σχέση:

Όπου το $\lambda_N(i)$ είναι η αξιοπιστία του κόμβου i από την πλευρά του κόμβου N . Της δίνουμε τιμή ίση με $G_N(i)$. Αυτή η αξιοπιστία κάνει πιο ασφαλές το σύστημα απέναντι σε εγωιστικούς κόμβους. Αυτό γιατί κάνει δύσκολο για ένα εγωιστικό κόμβο να αλλάξει ταυτότητα και να προπαγανδίσει καλή φήμη για τον εαυτό του. Αφού δεν θα έχει καλή αξιοπιστία δεν θα επηρεάσει πολύ την φήμη του.

2.3.3 Τιμωρία

Σκοπός αυτού του κομματιού είναι να ενθαρρύνει την προώθηση και να τιμωρήσει τους εγωιστικούς κόμβους. Μετά την μέτρηση του $OER_N(X)$, αν ο κόμβος διαπιστώσει πως το $OER_N(X)$ έπεσε κάτω από ένα κατώφλι μπορεί να τιμωρήσει τον X απορρίπτοντας με κάποια πιθανότητα τα πακέτα που του στέλνει για προώθηση. Η πιθανότητα απόρριψης είναι:

Όπου $q=1- OER_N(X)$ και το δ είναι ένα περιθώριο αφού η απόρριψη ενός πακέτου μπορεί να οφείλεται και σε άλλους λόγους όπως η συμφόρηση. Αυτό το περιθώριο έχει σχεδιαστεί για να αποφεύγονται καταστάσεις αντεκδίκησης ανάμεσα σε συνεργάσιμους κόμβους.

2.3.4 Ενίσχυση Ασφάλειας

Πρέπει να παρθούν κάποια έξτρα μέτρα ώστε να ενισχύσουμε την ασφάλεια αυτού του μηχανισμού από κάποια τρωτά σημεία της βασικής διάταξης. Ένας εγωιστικός κόμβος μπορεί να προκαλέσει τα ακόλουθα προβλήματα χωρίς να εντοπιστεί από τη βασική διάταξη:

- 1) Να προσποιηθεί ότι είναι ένας γειτονικός κόμβος με καλή φήμη ώστε να στείλει τα πακέτα του.
- 2) Να προσποιηθεί ότι είναι ένας κόμβος με καλή φήμη ώστε να στείλει λανθασμένες πληροφορίες για να αυξήσει την φήμη του που μετριέται από τους άλλους κόμβους.
- 3) Να επηρεάσει τις πληροφορίες δρομολόγησης κατά τη διαδικασία εύρεσης διαδρομών ώστε τα πακέτα να τον παρακάμπτουν και έτσι να μην φαίνεται ότι απορρίπτει πακέτα. Σε αυτή τη περίπτωση ο εγωιστικός κόμβος δεν μπορεί να απορρίψει τα πακέτα της δρομολόγησης αφού αυτό θα επηρεάσει τη φήμη του. Αυτό που μπορεί να κάνει είναι να παίξει με τα μηνύματα που θα στείλει, π.χ. να στείλει ως πιο σύντομο ένα ανύπαρκτο μονοπάτι ώστε τα πακέτα να παρακάμπτουν τον ίδιο, αφού οι κόμβοι επιλέγουν το πιο σύντομο μονοπάτι. Έτσι τα πακέτα θα χάνονται

οδηγώντας στην χειροτέρευση της επίδοσης του δικτύου. Χρησιμοποιείται το δυναμικής δρομολόγησης πηγής πρωτόκολλο(DSR).

Για την αντιμετώπιση των δύο πρώτων προβλημάτων χρησιμοποιείται μια μέθοδος ταυτοποίησης και αυθεντικότητας και για το τρίτο πρόβλημα σχεδιάστηκε ένα ασφαλές δυναμικό πρωτόκολλο.

2.3.5 Μονομερής hash chain για Ταυτοποίηση και Αυθεντικότητα

Το ότι τα ad-hoc δίκτυα δεν έχουν δομή κάνει αδύνατο την χρησιμοποίηση κλασσικών μεθόδων ταυτοποίησης και αυθεντικότητας όπως το δημόσιο κλειδί. Γι'αυτό χρησιμοποιείται ένας μηχανισμός αυθεντικότητας βασισμένος στη μονομερή hash chain. Η διαδικασία για να πάρει ένας κόμβος την ταυτότητά του (ID_N) είναι η εξής: αρχικά παίρνει ένα τυχαίο αριθμό r_N και εφαρμόζει σε αυτόν επαναληπτικά k (το k είναι το μήκος της hash chain) φορές μια ψευδοτυχαία συνάρτηση h . Η τιμή της ταυτότητας είναι:

$$ID_N = H_k(r_N), \text{ όπου}$$

Όταν ο κόμβος μπαίνει στο δίκτυο στέλνει broadcast την ταυτότητά του και οι γειτονικοί του κόμβοι την αποθηκεύουν στο NNL τους. Αυτή η ταυτότητα θα χρησιμοποιηθεί από τους γείτονες για να βεβαιώσει το γνήσιο των μηνυμάτων που προέρχονται ή προωθούνται από τον κόμβο αυτό.

Όσον αφορά την αυθεντικότητα των πακέτων, ο κόμβος που θέλει να στείλει ένα πακέτο χωρίζει τον χρόνο σε ίσα διαστήματα και εκχωρεί στο i -οστό διάστημα ένα κλειδί (K_i) το οποίο ορίζεται ίσο με $H_{k-i}(r_N)$ σε μονομερή hash chain. Το μήνυμα που στέλνεται σε κάποιο διάστημα συνοδεύεται από κώδικα αυθεντικότητας μηνύματος (MAC), το οποίο υπολογίζεται από το κλειδί (K_i) και το μήνυμα (M_i). Έτσι το μήνυμα που στέλνεται είναι: $\{M_i || MAC(K'_i, M_i) || K_{i-d}\}$. Όπου $K'_i = f(K_i)$ και η f είναι μια άλλη ψευδοτυχαία συνάρτηση και $K_i = H_{k-i}(r_N)$. Το d είναι η καθυστέρηση γνωστοποίησης (πόσα διαστήματα μετά γίνεται γνωστό το κλειδί).

Όταν τώρα ένας κόμβος λάβει ένα μήνυμα ελέγχει αν το MAC έχει ήδη γνωστοποιηθεί. Αν όχι, κρατάει το μήνυμα και ελέγχει το κλειδί όταν πρέπει να γνωστοποιηθεί. Αν έχει γνωστοποιηθεί το απορρίπτει γιατί μπορεί να είναι

πλαστογραφημένο. Το ίδιο κάνει αν το MAC είναι άκυρο. Έτσι ένας εγωιστικός κόμβος αφού έχει ήδη γνωστοποιήσει την ταυτότητά του δεν μπορεί να πάρει άλλο τυχαίο αριθμό r_N και να φτιάξει καινούργια. Αυτό γιατί το σύστημα έχει φτιαχτεί με την παραδοχή πως οι κόμβοι δεν μπορούν να αλλάξουν την ταυτότητά τους. Χαρακτηριστικό της μεθόδου αυθεντικότητας του SORI είναι ότι η ταυτότητα ενός κόμβου σχετίζεται με το κλειδί που χρησιμοποιείται για την βεβαίωση της γνησιότητας ενός πακέτου.

2.3.6 Ασφαλές Πρωτόκολλο Δυναμικής Δρομολόγησης

Για να αντιμετωπίσουμε το τρίτο πρόβλημα χρησιμοποιούμε το DSR με μέτρα ασφάλειας. Συγκεκριμένα όταν ο κόμβος N είναι γειτονικός της πηγής S που ψάχνει τη διαδρομή για ένα προορισμό(P) αυτό που μπορεί να κάνει ο κόμβος N είναι κατά τη μετάδοση του route request reply (rrep) να στείλει ένα και καλά πιο σύντομο μονοπάτι που περνάει από ένα οποιοδήποτε άλλο γειτονικό κόμβο της πηγής. Γι' αυτό ασφαλίζουμε το DSR πρωτόκολλο με μία διάταξη αυθεντικότητας πηγής-προορισμού βασισμένη στο ότι η πηγή και ο προορισμός μπορούν να επιβεβαιώσουν την αυθεντικότητα των μηνυμάτων κατά την επικοινωνία τους. Αυτό γίνεται με τη χρησιμοποίηση ιδιωτικού κλειδιού κατά την σύνδεση μεταξύ τους που γίνεται. Οι δύο αυτοί κόμβοι (S και D) μπορούν να χρησιμοποιήσουν το ιδιωτικό κλειδί για να πιστοποιήσουν την αυθεντικότητα της MAC στα μηνύματα κατά την επικοινωνία τους. Αυτό καθίσταται δυνατό αφού ο προορισμός όταν λάβει το rreq υπολογίζει ένα καινούριο κώδικα MAC_d . Αυτό γίνεται και με τη βοήθεια του seq που χρησιμοποιείται από την πηγή για την ταυτοποίηση των ερωτήσεων. Έτσι ο προορισμός απορρίπτει τις ερωτήσεις που έχουν επαναληφθεί. Μετά τοποθετεί το MAC_d στην απάντηση και την στέλνει από την αντίστροφη διαδρομή. Όταν η πηγή λάβει την απάντηση δεν τη δέχεται αν η MAC_d δεν είναι έγκυρη. Αφού το ιδιωτικό κλειδί είναι γνωστό μόνο στη πηγή και στο προορισμό είναι δύσκολο για ένα εγωιστικό κόμβο να αναγκάσει την πηγή να δεχθεί μια ανύπαρκτη διαδρομή.

Στην περίπτωση που ο κόμβος N δεν είναι γειτονικός της πηγής μπορεί όταν λάβει το rreq να προωθήσει δύο rreq, την κανονική και μια που δεν τον περιλαμβάνει στη διαδρομή. Έτσι η πηγή θα θεωρήσει πως υπάρχει πιο κοντινή διαδρομή προς τον προορισμό που δεν περιλαμβάνει τον κόμβο N. Επίσης μπορεί να δημιουργήσει ένα άλλο ίσο μονοπάτι αλλάζοντας την ταυτότητά του με μια άλλη και έτσι θα υπάρχει

50% πιθανότητα να παρακαμφθεί κατά την προώθηση. Καταρχάς ο κάθε γείτονας στέλνει περιοδικά beacons και ο κάθε κόμβος αν η τιμή αυτών είναι παραπάνω από ένα προκαθορισμένο κατώφλι τους καταχωρεί ως γείτονες. Θα μπορούσαμε για λόγους ενέργειας τα beacons να στέλνονται μόνο σε περίπτωση που δεν επικοινωνεί ο κόμβος με τον γείτονά του. Η διαδικασία της εύρεσης διαδρομών είναι η εξής:

- 1) Η πηγή στέλνει το req έχοντας συμπεριλάβει το seq και το MAC_s για την ερώτηση.
- 2) Κάθε ενδιαμέσος κόμβος απορρίπτει το πακέτο με την ερώτηση αν η ταυτότητά του περιλαμβάνεται στο αρχείο της διαδρομής, ο κόμβος από τον οποίο το έλαβε δεν είναι ενεργός γείτονάς του, αν περιλαμβάνεται στη διαδρομή παραπάνω από ένας ενεργός γείτονάς του και αν η MAC του προηγούμενου κόμβου (MAC_{j-1}) είναι λάθος. Αλλιώς αφού αλλάξει την MAC_{j-1} με την δικιά του και βάλει την ταυτότητά του στο αρχείο της διαδρομής το προωθεί .
- 3) Όταν ο προορισμός λάβει την req την απορρίπτει αν δεν είναι καινούρια, ο προηγούμενος κόμβος δεν είναι γείτονάς του, στο αρχείο διαδρομών περιλαμβάνονται παραπάνω από δύο ενεργοί γείτονές του και αν η MAC δεν είναι σωστή. Αλλιώς φτιάχνει μια απάντηση (rrep) και αφού βάλει και την δικιά του MAC_d την στέλνει στην πηγή μέσω της αντίστροφης διαδρομής.
- 4) Όταν λάβει την rrep η πηγή ελέγχει την MAC και αν είναι λάθος απορρίπτει το πακέτο. Αλλιώς αποδέχεται το μονοπάτι και από αυτά που συγκέντρωσε με τον τρόπο που περιγράφηκε κρατάει το πιο σύντομο.[9]

2.3.7 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Από προσομοιώσεις που έχουν γίνει φαίνεται ότι με την χρησιμοποίηση του SORI οι συνεργάσιμοι κόμβοι έχουν πολύ μεγαλύτερο ρυθμό απόδοσης (ως και διπλάσιο για μεγάλο αριθμό συνδέσεων) από τους εγωιστικούς. Αυτό είναι φανερό ανεξαρτήτως του αριθμού συνδέσεων, του ρυθμού μετάδοσης και του ποσοστού εγωιστικών κόμβων. Είναι όμως πιο έντονο για πολλές συνδέσεις και μεγάλο αριθμό εγωιστικών κόμβων (πάνω από 50%). Αυτό σε συνδυασμό με τα αυστηρά μέτρα τιμωρίας που παίρνονται για τους εγωιστικούς κόμβους δείχνει ότι είναι πολύ αποτελεσματικό για την αντιμετώπισή τους. Επίσης είναι αρκετά αποτελεσματικό στην μέτρηση της φήμης αφού υπολογίζεται από αντικειμενικές μετρήσεις και είναι επαρκώς ασφαλισμένη από διάταξη αυθεντικότητας μονομερούς hash chain. Η

προπαγάνδη της φήμης μόνο στους γείτονες , αφού χρησιμοποιείται μόνο από αυτούς, οδηγεί στην μείωση της πληροφορίας ελέγχου. Αυτό φαίνεται και από τις προσωμειώσεις που η διαφορά της πληροφορίας ελέγχου είναι μικρή σε σχέση με όταν δεν χρησιμοποιούμε κανένα μηχανισμό κινήτρων. Το SORI έχει το καλό ότι η δρομολόγηση είναι επαρκώς προστατευμένη όπως εξηγήθηκε πιο πάνω.

Το πιο σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι είναι προσανατολισμένη στην αντιμετώπιση των εγωιστικών κόμβων και έτσι κακόβουλοι κόμβοι μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στο δίκτυο. Π.χ. θεωρείται δεδομένο ότι ένας κόμβος δεν θα αλλάξει την ταυτότητά του και ότι δεν έχει σκοπό να κάνει επίθεση για να καταστρέψει το δίκτυο. Επίσης με την χρησιμοποίηση των beacons έχουμε αύξηση της πληροφορίας ελέγχου και έχουμε και ενεργειακό κόστος.[9]

2.4 Δυναμικός Μηχανισμός Βασισμένος στην Φήμη για Ετερογενή Δίκτυα

2.4.1 Είδη Κόμβων

Καταρχάς για την χρησιμοποίηση αυτού του μηχανισμού υπάρχουν τρία είδη κόμβων ο σταθμός βάσης(base-station), ο κόμβος αναμετάδοσης(relay-node) και ο κόμβος χρήστη(user-node). Ο σταθμός βάσης είναι υπεύθυνος για:

- 1) Να συλλέγει όλες τις πληροφορίες για την φήμη των κόμβων αναμετάδοσης από τους κόμβους χρήστη.
- 2) Να υπολογίζουν την συνολική τιμή της φήμης για κάθε κόμβο αναμετάδοσης
- 3) Να παραχωρούν επιπλέον χρονοσχισμές στον κάθε κόμβο αναμετάδοσης. Αυτό βασίζεται στην υπολογισμένη τιμή φήμης τους.

Οι κόμβοι αναμετάδοσης μπορούν να αποδεχτούν ή να αγνοήσουν την αίτηση για αναμετάδοση των κόμβων χρήστη. Οι κόμβοι χρήστη μπορούν να κινηθούν και είναι υπεύθυνοι για:

- 1) Να παρατηρούν την συνδεσιμότητα με τους κόμβους αναμετάδοσης
- 2) Να στέλνουν αιτήσεις αναμετάδοσης στους κόμβους αναμετάδοσης

3) Να συλλέγουν πληροφορίες για το αν πέτυχε ή όχι η αίτηση που στάλθηκε στους κόμβους αναμετάδοσης

4) Να υπολογίζουν την τιμή της φήμης για κάθε κόμβο αναμετάδοσης στον οποίο στάλθηκε αίτηση

5) Να στέλνουν τις πληροφορίες για την φήμη στους σταθμούς βάσης

2.4.2 Μηχανισμός Φήμης

Ο αλγόριθμος αυτός εφαρμόζεται με την προσθήκη μιας παράμετρου κινήτρου (b_i) στην ανάθεση χρονοσχισμών του αναλογικού δίκαιου αλγορίθμου. Για τον κόμβο χρήστη η παράμετρος κινήτρου είναι 1 και για τον κόμβο αναμετάδοσης είναι ίση με: $b_i = b_{Fi} + b_{Di}$. Η b_{Fi} είναι μια στάνταρ παράμετρος και η b_{Di} υπολογίζεται δυναμικά. Η ανάθεση χρονοσχισμών γίνεται από τον τύπο:

Όπου το k είναι η χρονοσχισμή, το b_i η παράμετρος κινήτρου όπως εξηγήθηκε, $r_i(t)$ είναι η μέγιστη τιμή του στιγμιαίου ρυθμού μετάδοσης και $\mu(t)$ είναι η μέση τιμή της αναθετούμενης τιμής.

Το b_{Fi} είναι μια τιμή βάσης που αντιπροσωπεύει την αρχική ποσοστιαία αύξηση στον ρυθμό απόδοσης που προσφέρεται από τους παροχείς υπηρεσιών και βασίζεται στο επιχειρησιακό πρότυπό τους για όλους τους κόμβους που αποφασίζουν να γίνουν κόμβοι αναμετάδοσης στη διάταξη αναμετάδοσης. Αυτή η αρχικά σταθερή αμοιβή του ρυθμού απόδοσης θα εξαρτηθεί από τον υπολογισμό από τους παροχείς υπηρεσιών της σπουδαιότητας κάθε κόμβου αναμετάδοσης για το σύστημα.

Το b_{Di} αντιπροσωπεύει τη δυναμική τιμή της επιβράβευσης για κάθε κόμβο αναμεταδότη. Αυτή υπολογίζεται δυναμικά από την φήμη του κάθε κόμβου και βασίζεται στο πρωτόκολλο SORI. Συγκεκριμένα το RF_i δείχνει τον συνολικό αριθμό των πακέτων που έχει στείλει ο κόμβος χρήστη στον κόμβο αναμετάδοσης και το HF_i τον αριθμό των πακέτων που στάλθηκαν από τον κόμβο αναμεταδότη. Το b_{Di} υπολογίζεται από τη σχέση:

Στη σχέση αυτή: το NNL είναι η λίστα των γειτονικών κόμβων, το λ_i είναι η αξιοπιστία των j, k κόμβων στον i , το C είναι η εμπιστοσύνη των κόμβων χρήστη για τον κόμβο αναμετάδοσης X και $G_N(X) = RF_N(X) / HF_N(X)$.

Ο κάθε κόμβος χρήστη δυναμικά ανανεώνει την τιμή της φήμης για τους κόμβους αναμετάδοσης και περιοδικά στέλνει τα αρχεία της φήμης στον σταθμό βάσης. Αυτός υπολογίζει την δικιά του τιμή της φήμης των κόμβων αναμετάδοσης και την χρησιμοποιεί για να δίνει επιβραβεύσεις με το κατάλληλο επιπλέον ρυθμό απόδοσης στους κόμβους αναμετάδοσης.[10]

2.4.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Οι προσομοιώσεις που έγιναν έδειξαν ότι ακόμα και για μικρές τιμές του ρυθμού μετάδοσης η αύξηση του ρυθμού απόδοσης είναι σημαντική σε σχέση με μηχανισμό που δεν χρησιμοποιεί μηχανισμό κινήτρων. Αυτό δείχνει ότι ο συγκεκριμένος μηχανισμός κινήτρων είναι αποτελεσματικός στην αντιμετώπιση των εγωιστικών κόμβων και στην αύξηση του ρυθμού απόδοσης του δικτύου. Επίσης ο δυναμικός τρόπος υπολογισμού της φήμης σε αντίθεση με άλλους μηχανισμούς δεν αφήνει τους κόμβους να επαναπαυτούν και να μην προωθούν τα πακέτα μετά την απόκτηση καλής φήμης. Τέλος ο μηχανισμός αυτός είναι αποτελεσματικός στη διαχείριση σπάνιων πόρων όπως το ραδιοφωνικό φάσμα.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα ισχύουν ότι αναφέρθηκε για το SORI. Δηλαδή ότι ο μηχανισμός αυτός είναι προσανατολισμένος στην αντιμετώπιση των εγωιστικών κόμβων και έτσι κακόβουλοι κόμβοι μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στο δίκτυο. Π.χ. θεωρείται δεδομένο ότι ένας κόμβος δεν θα αλλάξει την ταυτότητά του και ότι δεν έχει σκοπό να κάνει επίθεση για να καταστρέψει το δίκτυο.[10]

2.5 RISM (Semi-distributed Reputation-based Intrusion Detection System)

Το σύστημα αυτό βασίζεται στο παράδειγμα φήμης και έχει ημικατανεμημένο χαρακτήρα. Χρησιμοποιείται ο όρος ημικατανεμημένο γιατί σε αυτό το σύστημα το

περιεχόμενο του συστήματος παρατήρησης δεν περιορίζεται στον κόμβο που έκανε την παρατήρηση, αλλά ούτε αμέσως προπαγανδίζεται σε όλο το δίκτυο – όπως θα συνέβαινε σε ένα κατανεμημένο σύστημα. Το σύστημα κρατάει στη μνήμη την κίνηση που υπάρχει στο δίκτυο και τους περιορισμούς όπως την ποσότητα της μπαταρίας και την υπολογισμένη ενέργεια που ο κάθε κόμβος έχει. Το μοντέλο του συστήματος αποτελείται από τέσσερα μέρη. Αυτά είναι τα: παρακολούθηση, σύστημα φήμης, διαχείριση διαδρομών και λύτρωση και υποχώρηση. Παρακάτω αναλύονται διεξοδικά και τα τέσσερα μέρη.

2.5.1 Παρακολούθηση

Το κομμάτι αυτό είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση των γειτόνων και χρησιμοποιεί τα PACKs (Passive Acknowledgements) που είναι χαρακτηριστικό του DSR πρωτοκόλλου. Κάθε κόμβος καταγράφει τα πακέτα που στάλθηκαν από τον γειτονικό κόμβο και τα συγκρίνει με αυτά που υπάρχουν στην ουρά. Τα πακέτα αυτά θεωρούνται PACK αν συντρέχουν και οι δύο παρακάτω λόγοι:

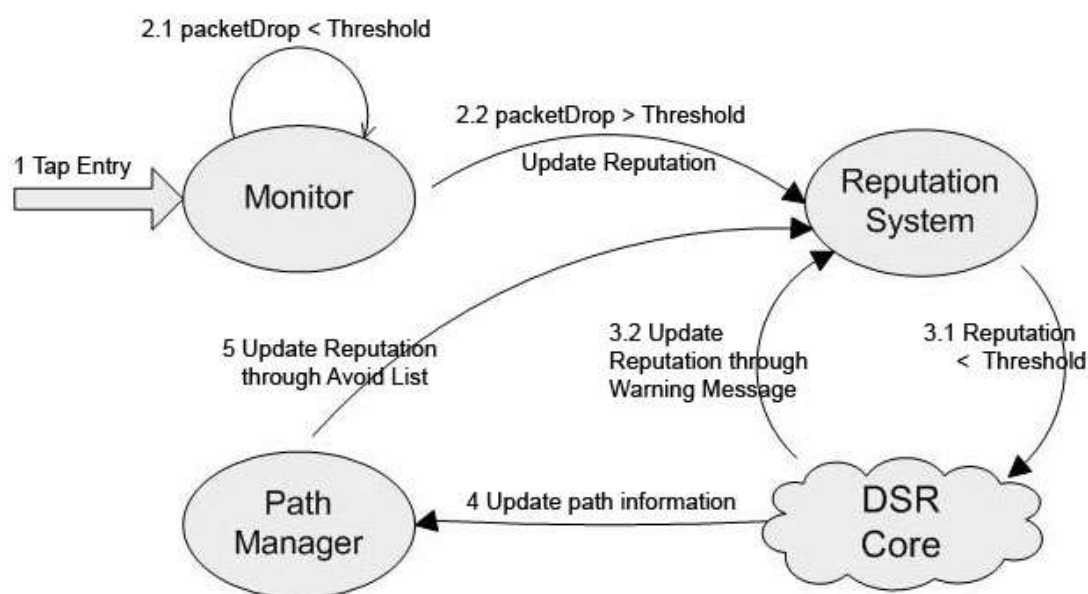
- 1) Αν τα πεδία: διεύθυνση πηγής, διεύθυνση προορισμού, πρωτόκολλο, identification και fragment offset στην επικεφαλίδα του IP των δύο πακέτων ταιριάζουν.
- 2) Αν και τα δύο πακέτα διαθέτουν επικεφαλίδα δρομολόγησης πηγής του DSR. Μάλιστα πρέπει στο δεύτερο πακέτο το πεδίο segments left αυτής της επικεφαλίδας να είναι μικρότερο από του πρώτου.

Μετά από καθορισμένο χρονικό διάστημα γνωστό ως χρονικό παράθυρο ο κάθε κόμβος καταγράφει τον αριθμό των πακέτων για τα οποία δεν έλαβε PACK και το στέλνει στο σύστημα φήμης. Το χρονικό παράθυρο μας δίνει τη δυνατότητα να κοιτάμε τα timeouts σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα και όχι στο timeout του κάθε πακέτου. Μετά από κάθε χρονικό παράθυρο στέλνει την δραστηριότητα του γείτονα στο σύστημα φήμης. Το αν το σύστημα φήμης θα ανανεώσει την φήμη του κόμβου εξαρτάται από την συνεργασία, απόδοση και την συνθήκες περιβάλλοντος που επικρατούν την συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Με το χρονικό παράθυρο παίρνεται υπόψη η συμφύορηση του δικτύου όπως θα αναλυθεί πιο κάτω.[4]

2.5.2 Σύστημα Φήμης

Το σύστημα φήμης υπολογίζει και διατηρεί την τιμή της φήμης των κόμβων η οποία κυμαίνεται από 0 ως την τιμή `MaliciousThreshold`. Η τιμή της φήμης κάθε κόμβου μπορεί να αλλάξει με τρεις τρόπους όπως φαίνεται και από το Σχήμα 2.2. Αυτοί είναι:

- 1) παρατηρήσεις του κάθε κόμβου
- 2) μηνύματα συναγερμού (alarm messages) που αποστέλλονται από γειτονικούς κόμβους
- 3) λίστα αποφυγής (avoid list) που έχει προσαρτηθεί στην επικεφαλίδα του `req/rrep`.



Σχήμα 2.2 – Λειτουργία συστήματος φήμης

Στην κάθε τρόπο της φήμης δίνεται μια συγκεκριμένη βαρύτητα και η μεγαλύτερη βαρύτητα δίνεται στην παρακολούθηση του κάθε κόμβου. Η φήμη ανανεώνεται σε κάθε χρονικό παράθυρο και οι πληροφορίες αποστέλλονται σποραδικά στο δίκτυο μέσω των λιστών αποφυγής που υπάρχουν στα `req/rrep` μηνύματα γλιτώνοντας αρκετά μηνύματα πληροφορίας και μειώνοντας την κίνηση στο δίκτυο. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες χαρακτηρισμού για τους κόμβους: φυσιολογικός, ύποπτος και κακόβουλος. Αυτό εξαρτάται από την φήμη κάθε κόμβου. Αρχικά ο κόμβος χαρακτηρίζεται φυσιολογικός και παίρνει τιμή φήμης 0. Αυτή η τιμή μπορεί να μειωθεί ή να αυξηθεί αν έχει φυσιολογική συμπεριφορά. Η

απόλυτη τιμή της αρνητικής πτώσης είναι μεγαλύτερη από την θετική άνοδο. Η τιμή της φήμης δεν μπορεί να υπερβεί το 0 ώστε να αποφευχθεί η περίπτωση ένας κόμβος να λάβει θετική αξιολόγηση και έτσι να εξαντληθούν οι πόροι του από την υπερβολική προώθηση διαμέσω του ή να απορρίπτει τα πακέτα έχοντας λάβει αρχικά μια θετική τιμή. Στο τέλος κάθε χρονικού παραθύρου ο κάθε κόμβος λαμβάνει την δραστηριότητα των γειτόνων κόμβων με μήνυμα από την παρακολούθηση και σε αυτό περιλαμβάνονται τα πακέτα για τα οποία δεν λήφθηκε PACK. Αυτά καταχωρούνται ως χαμένα ή εγκαταλελειμένα πακέτα. Ο αριθμός των χαμένων πακέτων συγκρίνεται έπειτα με την τιμή `MaliciousDropThreshold` (η οποία είναι ο αριθμός των πακέτων που είναι αποδεκτό να χάνονται) και αν είναι μικρότερη από αυτή την τιμή η φήμη παίρνει θετική αποτίμηση αλλιώς αρνητική. Σε αντίθεση με άλλους μηχανισμούς κινήτρων η `MaliciousDropThreshold` δεν είναι σταθερή. Για τον υπολογισμό της εισάγουμε την παράμετρο κίνησης η οποία υπολογίζεται από την συνάρτηση:

Παράμετρος Κίνησης(`CongestionParameter`)=—————

Πρέπει να πούμε ότι κάνουμε την παραδοχή πως ο κόμβος θα έχει την ίδια κίνηση με τον γείτονά του. Με βάση αυτό η `MaliciousDropThreshold` υπολογίζεται από την συνάρτηση:

$$\text{MaliciousDropThreshold} = \text{MaxPacketRate} * \text{CongestionParameter} * \text{WindowSize}$$

Κάθε φορά που ένας κόμβος χαρακτηρίζεται κακόβουλος ένα μήνυμα συναγερμού στέλνεται μόνο στους γειτονικούς κόμβους και έτσι αποφεύγεται η συμφόρηση. Οι υπόλοιποι κόμβοι θα ενημερωθούν με την αποστολή λίστας αποφυγής που ενσωματώνεται στην επικεφαλίδα του `req` που στέλνει ο κάθε κόμβος κατά την διαδικασία της εύρεσης δρομολόγησης. Όταν θα λάβουν αυτή τη λίστα οι άλλοι κόμβοι θα μειώσουν την τιμή της φήμης των κόμβων που συμπεριλαμβάνονται σε αυτή με βάση ένα συγκεκριμένο βάρος. Έπειτα θα βάλουν στην επικεφαλίδα την δικιά τους λίστα αποφυγής με τους κακόβουλους κόμβους και θα στείλουν το `route request` πακέτο.

Για την αποφυγή επιθέσεων από το δίκτυο ένας κόμβος χαρακτηρίζεται κακόβουλος μόνο έπειτα από δικιά του παρατήρηση. Με τα μηνύματα συναγερμού και τις λίστες αποφυγής το πολύ να μειωθεί η τιμή της φήμης ενός κόμβου ως το

σημείο να χαρακτηριστεί ύποπτος. Αν ένας κόμβος δώσει σε ένα άλλο την κατηγορία ύποπτος μπορεί να διαγνώσει ότι είναι κακόβουλος μόνο από δικιά του παρατήρηση. Αν για ένα κόμβο που έχει χαρακτηριστεί ύποπτος ληφθεί είτε μήνυμα συναγερμού είτε λίστα αποφυγής τότε ο κόμβος που μετράει την φήμη του κάνει ένα τεστ κρούσης (knock test), το οποίο είναι σχεδιασμένο για να ελέγχει την αυθεντικότητα ενός κόμβου για τον οποίο έφτασε η συγκεκριμένη κατηγορία. Η διαδικασία του τεστ κρούσης είναι: αρχικά φτιάχνεται ένα αντίγραφο πακέτου δεδομένων και έπειτα αποστέλλεται στον κόμβο που θέλει να τεστάρει. Αν ο κόμβος προωθήσει το πακέτο παίρνει θετική αποτίμηση, πηγαίνει στη μέση του χαρακτηρισμού ως ύποπτου κόμβου και διαγράφεται η κατηγορία. Αλλιώς χαρακτηρίζεται ως κακόβουλος κόμβος. Έπειτα ακολουθούν οι διαδικασίες που περιγράφηκαν πιο πάνω (αποστολή μηνύματος συναγερμού κτλ.). Αυτό το τεστ μπορεί να γίνει μόνο στους ακριανούς κόμβους ή στους γειτονικούς. Το τεστ στηρίζεται στο ότι αν ο κόμβος είναι κακόβουλος θα απορρίψει το πακέτο. Ένας κόμβος μπορεί να αποτύχει στο τεστ λόγω της κυκλοφοριακής κίνησης και να χαρακτηριστεί κακόβουλος. Μπορεί όμως να επανέλθει μέσω του μηχανισμού λύτρωσης και υποχώρησης.[4][11]

2.5.3 Διαχείριση Διαδρομών

Η διαχείριση διαδρομών εκτελεί τις διάφορες συναρτήσεις της διαχείρισης διαδρομών σε συνεργασία με το πρωτόκολλο DSR. Η κατάταξη των διαδρομών γίνεται σύμφωνα με τον τύπο της προτεραιότητας διαδρομής. Η συνάρτηση που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της προτεραιότητας διαδρομής όπου χρειασθεί είναι η εξής:

Η ανανέωση των πινάκων των διαδρομών γίνεται σε διάφορες περιπτώσεις όπως όταν ένας κόμβος χαρακτηριστεί κακόβουλος ή ένας κακόβουλος κόμβος επιστρέψει στο δίκτυο. Μέσα στις ευθύνες της διαχείρισης διαδρομών είναι το αν θα δέχεται route request ή κίνηση από κακόβουλους κόμβους. Η λίστα αποφυγής υπάρχει στη διαχείριση διαδρομών και κάθε φορά που δέχεται μια αίτηση για διαδρομή από κάποιον κόμβο την βάζει στην επικεφαλίδα του req. Οι κόμβοι που βλέπουν τους εαυτούς τους στην λίστα αποφυγής δεν προωθούν το πακέτο και το απορρίπτουν. Γι' αυτό το πακέτο req στέλνεται μόνο στους κόμβους που δεν είναι κακόβουλοι ή

ύποπτοι. Οι απαντήσεις αυτών των κόμβων επίσης απορρίπτονται και επίσης δεν προωθούν πακέτα που προέρχονται από αυτούς τους κόμβους. Στην εύρεση των διαδρομών προτιμούνται διαδρομές που περιέχουν μόνο φυσιολογικούς κόμβους. Αν ένας κόμβος χαρακτηριστεί ως κακόβουλος όλες τα μονοπάτια που περιλαμβάνουν αυτό τον κόμβο διαγράφονται από τη μνήμη διαδρομών και ένα λάθος διαδρομής αναφέρεται, αφού οι συνδέσεις αυτές εμφανίζονται ως πεσμένες. Οι γειτονικοί κόμβοι μετά που θα λάβουν το λάθος διαδρομής καθαρίζουν την καταχώρηση της δραστηριότητας αυτού του κόμβου και έτσι δημιουργείται ένα λάθος διαδρομής σε αυτό το χρονικό παράθυρο.[4]

2.5.4 Λύτρωση και Υποχώρηση

Το τμήμα αυτού του μηχανισμού κινήτρου έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει σε ένα κόμβο που έχει χαρακτηριστεί κακόβουλος να επανέρχεται στο δίκτυο. Για τους ύποπτους κόμβους το τεστ κρούσης είναι πολύ σημαντικό και μπορεί να αποτύχει για λόγους άσχετους με τους κόμβους όπως η συμφόρηση, η πτώση μιας σύνδεσης ή η επανατοποθέτηση μιας διεπαφής του δικτύου. Γι'αυτό είναι σημαντικό να έχουν την δυνατότητα να επανενταχθούν στο δίκτυο ώστε να απολαμβάνουν όλες τις δυνατότητες που αυτό δίνει. Μετά από συγκεκριμένη χρονικά ανενεργή περίοδο η τιμή της φήμης του κόμβου αυξάνεται κατά μια συγκεκριμένη λυτρωτική τιμή και πηγαίνει στη μέση της κατηγορίας του ύποπτου. Δεν παίρνει όμως ουδέτερη τιμή για να μπορεί ο κόμβος που τον βαθμολογεί να τον ξαναχαρακτηρίσει ως κακόβουλο αν ξαναέχει κακή συμπεριφορά. Ανενεργή περίοδο εννοούμε ότι ο συγκεκριμένος κόμβος δεν εμφανίζεται σε μηνύματα συναγερμού και λίστες αποφυγής.[4],[11]

2.5.5 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Καταρχάς η απόδοσή του σε σχέση με το να μην χρησιμοποιήσουμε κάποιο μηχανισμό κινήτρων είναι πολύ καλύτερη ως και το 40% των κόμβων να είναι κακόβουλοι. Αλλά και μέχρι το 70% είναι αρκετά ικανοποιητική. Επίσης έχει αρκετά ικανοποιητική απόδοση στην κινητικότητα αφού η πτώση στην απόδοση δεν είναι μεγάλη. Όλα αυτά δείχνουν ότι ο μηχανισμός αυτός αντιμετωπίζει ικανοποιητικά και τους εγωιστικούς και τους κακόβουλους κόμβους. Επίσης η μη αύξηση πέρα από την τιμή 0 για τους κόμβους που χαρακτηρίζονται φυσιολογικοί δεν αφήνει τους κόμβους να αποκτήσουν πρώτα φήμη και μετά να κάθονται ή να υπάρχει υπερβολική χρήση αυτών για προώθηση με αποτέλεσμα την εξασθένιση των πόρων τους. Το

σύστημα δίνει μεγαλύτερο βάρος στην εμπειρία του κάθε κόμβου και έτσι δεν μπορεί κάποιος κόμβος να χαρακτηριστεί κακόβουλος από μηνύματα άλλων κόμβων παρά μόνο αν αποτύχει στο τεστ κρούσης. Τέλος υπάρχει μηχανισμός για να γίνουν μέρη του δικτύου ξανά κόμβοι που είχαν χαρακτηριστεί κακόβουλοι. Αυτό βοηθάει στην επανένταξη τόσο κόμβων που είχαν χαρακτηριστεί άδικα ως κακόβουλοι όσο και αυτών που έδειξαν έπειτα μεταμέλεια και καλή συμπεριφορά.

Μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι τα μηνύματα πληροφορίας είναι σημαντική ποσότητα. Αυτό βέβαια γίνεται επειδή κάθε φορά που ανιχνεύεται κακόβουλος κόμβος κόβεται κάθε σύνδεση αυτού.

2.6 OCEAN (Observation-based Cooperation Enforcement in Ad hoc Networks)

Το OCEAN βασίζεται αποκλειστικά στην παρακολούθηση των γειτόνων κάθε κόμβου και δεν υπάρχει καμία μεταφορά πληροφορίας ανάμεσα στους κόμβους για την συμπεριφορά των άλλων κόμβων. Αυτό απλοποιεί την διάταξη προσδοκώντας να επιτύχει παρόμοια αποτελέσματα με πιο σύνθετες διατάξεις. Το OCEAN περιλαμβάνει πέντε στοιχεία. Αυτά είναι τα παρακολούθηση γειτόνων (neighbor watch), βαθμολόγηση διαδρομών (routeranker), δρομολόγηση διαδρομών βασισμένη στη βαθμολογία (rank-based routing), απόρριψη κακόβουλης κίνησης (malicious traffic rejection), μηχανισμός δεύτερης ευκαιρίας (second chance mechanism). Ακολουθεί η ανάλυσή τους.

2.6.1 Παρακολούθηση Γειτόνων

Αυτό το κομμάτι αφορά την παρακολούθηση των γειτόνων. Βασίζεται στην προς όλες τις κατευθύνσεις φύση της κεραίας και αφορά συνδέσεις και προς της δύο κατευθύνσεις. Αρχικά ο κόμβος αποθηκεύει το checksum του πακέτου και μετά το στέλνει στον γειτονικό κόμβο και το παρακολουθεί μέσω του ασύρματου καναλιού. Μετά περιμένει κάποιο συγκεκριμένο διάστημα (συνήθως 1ms). Αν ο γειτονικός κόμβος δεν το στείλει σε αυτό το διάστημα, καταγράφει ένα αρνητικό γεγονός για τον κόμβο αυτό και βγάζει το checksum από τον buffer του. Αν το στείλει ελέγχει αν ταιριάζει το checksum του πακέτου που στάλθηκε με αυτό που έχει αποθηκευμένο στον buffer και αν ταιριάζει τότε καταγράφει ένα θετικό γεγονός και βγάζει το checksum από τον buffer του. Αν δεν ταιριάζει θεωρεί ότι το πακέτο δεν

προωθήθηκε. Μετά στέλνει αυτά τα γεγονότα στη βαθμολόγηση διαδρομών, η οποία κρατάει τους βαθμούς των γειτονικών κόμβων.

Η παρακολούθηση γειτόνων παρακολουθεί μόνο την συμπεριφορά του γειτονικού κόμβου. Έτσι δεν μπορεί να ξέρει για ποιο λόγο ο γειτονικός κόμβος δεν προώθησε το πακέτο. Π.χ. ο γειτονικός κόμβος μπορεί να απέτυχε να το προωθήσει στο επόμενο κόμβο, αλλά αυτό στον αρχικό κόμβο καταγράφεται σαν ο γειτονικός κόμβος να μην προώθησε το πακέτο.

2.6.2 Βαθμολόγηση Διαδρομών

Κάθε κόμβος κρατάει την βαθμολογία όλων των γειτόνων του. Η αρχική βαθμολογία του κάθε κόμβου είναι 0 και αυξάνεται ή μειώνεται ανάλογα με τα αρνητικά ή θετικά γεγονότα που φτάνουν από την παρακολούθηση γειτόνων. Έχει αποδειχθεί ότι κατά απόλυτη τιμή πρέπει το αρνητικό γεγονός να βαθμολογείται περισσότερο από το θετικό. Αν η τιμή της βαθμολογίας ενός κόμβου πέσει κάτω από ένα κατώφλι – ελαττωματικό κατώφλι (Faulty Threshold) – τότε μπαίνει σε μια ελαττωματική λίστα. Στην ελαττωματική λίστα υπάρχουν όλοι οι κόμβοι που έχουν χαρακτηριστεί ως κόμβοι που δεν συμπεριφέρονται καλά. Μια διαδρομή χαρακτηρίζεται ως καλή ή κακή ανάλογα με το αν ο επόμενος κόμβος ανήκει στην ελαττωματική λίστα ή όχι. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στο OCEAN είναι:

1) ουδέτερη βαθμολογία=0

2) θετικό βήμα=+1

3) αρνητικό βήμα=-2

4) ελαττωματικό κατώφλι=-40

2.6.3 Δρομολόγηση Διαδρομών Βασισμένη στη Βαθμολογία

Η δρομολόγηση διαδρομών βασισμένη στη βαθμολογία εφαρμόζει τις πληροφορίες από την παρακολούθηση γειτόνων στην πραγματική επιλογή διαδρομών. Για να αποφεύγονται οι κόμβοι που βρίσκονται στις ελαττωματικές λίστες προσθέτουμε ένα μεταβλητό σε μήκος πεδίο στο DSR RREQ που ονομάζεται λίστα αποφυγής. Λίστα αποφυγής είναι μια λίστα με κόμβους που ο αποστολέας του RREQ επιθυμεί να αποφύγει σε μελλοντικές διαδρομές. Ξαναμεταδίδοντας το πακέτο RREQ, ο κόμβος επισυνάπτει την ελαττωματική λίστα στην λίστα αποφυγής του

πακέτου RREQ. Κάθε κόμβος που λαμβάνει ένα πακέτο RREQ ελέγχει την RREQ λίστα αποφυγής. Το αν ένας κόμβος θα απορρίψει το RREQ πακέτο ή θα το τιμήσει ξαναμεταδίδοντας το ή απαντώντας με ένα DSR route-reply εξαρτάται από την λίστα αποφυγής και από την RREQ διαδρομή. Αν ένας κόμβος που υπάρχει στην RREQ διαδρομή υπάρχει και στην λίστα αποφυγής τότε το πακέτο απορρίπτεται. Αλλιώς ξαναμεταδίδεται ή απαντάει ο κόμβος με ένα DSR route-reply. Έτσι ο κάθε κόμβος επιλέγει τους γειτονικούς κόμβους που εμπιστεύεται και έχει τον έλεγχο των διαδρομών που περνάνε από αυτόν.

2.6.4 Απόρριψη Κακόβουλης Κίνησης

Το κομμάτι αυτό ασχολείται με την απόρριψη όλης της κίνησης που προέρχεται από ένα κόμβο που δεν συμπεριφέρεται σωστά. Απορρίπτεται όλη η κίνηση από αυτούς τους κόμβους για να μην μπορεί κάποιος από αυτούς να στέλνει τα πακέτα του μέσω άλλου κόμβου.

2.6.5 Μηχανισμός Δεύτερης Ευκαιρίας

Ο μηχανισμός δεύτερης ευκαιρίας έχει σχεδιαστεί για να δίνει τη δυνατότητα στους κόμβους που έχουν χαρακτηριστεί ότι δεν συμπεριφέρονται καλά να ξαναγίνουν χρήσιμοι. Αν δεν υπάρχει αυτός ο μηχανισμός αν ένας κόμβος μπει στην ελαττωματική λίστα τότε για πάντα θα αποφεύγεται στις διαδρομές και δεν θα έχει την ευκαιρία να επανακάψει στο δίκτυο. Αυτό θα ήταν πολύ σκληρό για αυτούς τους κόμβους, αφού δεν σημαίνει πάντα ότι η βαθμολόγηση του κόμβου είναι σωστή. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που η κακή βαθμολογία και ο χαρακτηρισμός του ως κόμβου που δεν συμπεριφέρεται σωστά οφείλεται σε άλλους λόγους όπως η πτώση μιας σύνδεσης ή η επανεκκίνηση της διεπαφής του. Γι'αυτό μετά το πέρας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου που έχει μπει στην ελαττωματική λίστα ένας κόμβος βγαίνει από αυτή. Δεν του δίνεται όμως ουδέτερη βαθμολογία ώστε να γίνεται να ξαναμπει στην ελαττωματική λίστα αν δεν συμπεριφέρεται σωστά. Η χρονική αυτή περίοδος λέγεται ελαττωματικό ταϊμάουτ.

2.6.6 Εγωιστική Συμπεριφορά

Σε αυτό το κομμάτι περιγράφεται πως το OCEAN αντιμετωπίζει την εγωιστική συμπεριφορά. Γενική ιδέα είναι να τιμωρείται η εγωιστική συμπεριφορά με το να μην αποστέλλονται τα πακέτα που προέρχονται από εγωιστικούς κόμβους, ώστε

να δράσει αυτή η απειλή ανασταλτικά απέναντι στην διάθεση ενός κόμβου να φερθεί εγωιστικά.

Υπάρχουν κάποιες εγωιστικές συμπεριφορές που δεν ανιχνεύονται από την διάταξη που έχει περιγραφεί. Κάποιες από αυτές είναι οι παρακάτω:

1) Ένας κόμβος μπορεί να απορρίψει τα RREQ. Αυτό μπορεί εύκολα να μην γίνει αντιληπτό αφού τα RREQ μεταδίδονται σε όλους τους κόμβους, δεν γίνονται γνωστά και γι' αυτό μπορούν κάποιες φορές να απορριφθούν παράνομα χωρίς να γίνει γνωστό αυτό.

2) Ένας κόμβος μπορεί να προσθέσει πολλούς κόμβους στα RREQ. Αν το κάνουν αυτό οι διαδρομές που τους περιλαμβάνουν εμφανίζονται να είναι μεγαλύτερες από τις υπόλοιπες. Έτσι δεν γίνονται δεκτές οι διαδρομές που τους περιλαμβάνουν.

3) Ένας κόμβος μπορεί να βάλει μια ανύπαρκτη διαδρομή. Αν το κάνει αυτό, αυτή η διαδρομή δεν θα επιλεγεί και έτσι ο κόμβος αυτός δεν θα χρειασθεί να προωθήσει τίποτα.

Η λογική του OCEAN που βασίζεται στην παρακολούθηση από τον ίδιο τον κόμβο των γειτόνων κάνει μη ανιχνεύσιμες αυτές τις συμπεριφορές. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα ο κάθε κόμβος διατηρεί μετρητές που ονομάζονται *chircounts* για κάθε γειτονικό κόμβο. Κάθε κόμβος κερδίζει πόντους προωθώντας πακέτα του κόμβου αυτού και χάνει πόντους αν του στείλει για προώθηση δικά του πακέτα. Κάθε φορά που ο κόμβος δέχεται πακέτα για προώθηση από έναν γειτονικό κόμβο ελέγχει αυτόν τον μετρητή. Αν η τιμή του *chircounts* πέσει κάτω από ένα κατώφλι, ο κόμβος αρνείται να του προωθήσει τα πακέτα.

Υπάρχουν δύο είδη της διάταξης. Αυτές είναι η αισιόδοξη και η απαισιόδοξη. Η αισιόδοξη διάταξη αυξάνει τον μετρητή του γειτονικού κόμβου B με το που δέχεται ένα πακέτο ανεξάρτητα αν το προώθησε ή όχι. Η απαισιόδοξη διάταξη αυξάνει τον μετρητή ενός γειτονικού κόμβου B μόνο αν προώθησε το πακέτο που του στάλθηκε από τον κόμβο. Για να ζητηθεί στον γειτονικό κόμβο να προωθήσει βέβαια πρέπει αυτός να περιλαμβάνεται στις διαδρομές του κόμβου A. Αν προωθήθηκε το πακέτο είναι δουλειά της παρακολούθησης γειτόνων. Το *chircounts* εξασφαλίζει απλώς ότι ένας γειτονικός κόμβος B δεν θα ζητάει να του προωθεί τα πακέτα ο

κόμβος A χωρίς αυτός να προωθεί τα πακέτα του A με την σειρά του, ακόμα και αν έχει καταφέρει να μην υπάρξει στις διαδρομές του A.

Η απαισιόδοξη διάταξη πάσχει από την αδιέξοδη περίπτωση που δύο κόμβοι αρνούνται να στείλουν τα πακέτα μεταξύ τους επειδή δεν μπορεί ο ένας κόμβος να παρακολουθήσει τον άλλο να του προωθεί τα πακέτα. Από την άλλη η αισιόδοξη διάταξη είναι επιτηκής απέναντι στους κόμβους που δεν συνεργάζονται αφού τους αυξάνει το chipcounts ακόμα και αν αυτοί απορρίπτουν τα πακέτα του γειτονικού κόμβου.

Αυτή η διάταξη αντιμετωπίζει ακόμα πρόβλημα με τους περιμετρικούς κόμβους του δικτύου, στους οποίους δεν ζητείται να προωθήσουν πακέτα. Έτσι αντιμετωπίζουν πρόβλημα στο να προωθήσουν τα δικά τους αφού τιμωρούνται για την μη προώθηση. Αυτό οδηγεί σε πτώση της απόδοσης του δικτύου και σε λαθεμένη θεώρηση περιμετρικών κόμβων. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος εισάγεται μια μεταβλητή παράμετρος που λέγεται τιμή ποσοστού συσσώρευσης - Chip Accumulation Rate (CAR). Το CAR είναι η τιμή με την οποία αυξάνονται τα chipcounts όλων των κόμβων μετά από κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Έτσι όλοι οι κόμβοι – ανεξάρτητα αν προωθούν ή όχι τα πακέτα- μπορούν να στείλουν μια συγκεκριμένη ποσότητα κίνησης σε μικρό βαθμό. Η τιμή του CAR δεν μπορεί να είναι ούτε άπειρη ούτε μηδενική. Αυτό γιατί στην πρώτη περίπτωση ο κάθε κόμβος θα μπορεί απεριόριστα να στέλνει πακέτα και στην δεύτερη περίπτωση η περιφερειακοί κόμβοι δεν θα μπορούν να στείλουν πακέτα και έτσι το δίκτυο θα αντιμετωπίζει τα προβλήματα που αναφέρθηκαν. Γι'αυτό χρειάζεται ένας συγκεκριασμός για την τιμή του CAR. Από προσομοιώσεις που έγιναν βρέθηκε ότι μικρή τιμή του CAR είναι κατάλληλη για την αποτελεσματικότητα του δικτύου.[12]

2.6.7 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Καταρχάς η όλη διάταξη του OCEAN απαιτεί μια λιγότερο περίπλοκη δομή, πιο εύκολα υλοποιήσιμη και είναι λιγότερο ευπαθής σε επιθέσεις κακόβουλων κόμβων που σχετίζονται με την παραχάραξη των αξιολογήσεων ή των λιστών που ανταλλάσσονται στους άλλους μηχανισμούς κινήτρων φήμης. Επίσης απαιτεί λιγότερη ποσότητα πακέτων πληροφορίας. Οι προσομοιώσεις που έγιναν έδειξαν πως συμπεριφέρεται πολύ καλύτερα από ένα ad hoc δίκτυο που δεν χρησιμοποιεί κανένα μηχανισμό και μέχρι περίπου το 25% των κόμβων να μην συμπεριφέρονται σωστά

έχει καλύτερη επίδοση από ένα οχυρωμένο στις επιθέσεις δίκτυο. Επίσης το OCEAN έχει παρόμοια επίδοση από τους μηχανισμούς φήμης που δέχονται την ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα στους κόμβους. Μάλιστα όσο λιγότερη είναι η κινητικότητα των κόμβων και όσο μικρότερο είναι το κατώφλι για τους κακόβουλους κόμβους τόσο καλύτερα συμπεριφέρεται σε σχέση με τους μηχανισμούς αυτούς που βασίζονται στην ανταλλαγή πληροφοριών. Αυτό είναι σημαντικό αφού έχει πιο απλοποιημένη διάταξη από τους άλλους μηχανισμούς. Τέλος θετικό είναι ότι επιτρέπει σε κόμβους που είναι στην ελαττωματική λίστα να επανακάμψουν.

Ίσως το πιο σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν ποινικοποιεί τους κακόβουλους κόμβους όπως θα έπρεπε και έτσι κάποιες φορές έχουν καλύτερη επίδοση ακόμα και από τους κόμβους που συνεργάζονται. Οι άλλοι μηχανισμοί κινήτρων είναι πιο αποτελεσματική στην τιμωρία των κακόβουλων κόμβων. Επίσης είναι αρκετά ευαίσθητο στην κατάλληλη επιλογή των παραμέτρων του (π.χ. του CAR). Όσον αφορά τους κακόβουλους κόμβους, αν και γενικά τους αντιμετωπίζει σωστά δεν υπάρχει προστασία απέναντι σε συνεργασία μεταξύ τους. Επίσης για θέματα όπως η αυθεντικότητα, η κρυπτογράφηση του μηνύματος και η ασφάλεια διαδρομών βασίζεται στους κατάλληλους μηχανισμούς που θα υπάρχουν στα πρωτόκολλα δρομολόγησης διαδρομών.[12][16] Τέλος λόγω του ότι βασίζεται σε πληροφορίες αποκλειστικά από δικές του παρατηρήσεις το κάνει να αντιμετωπίζει προβλήματα στον υπολογισμό της φήμης και στον εντοπισμό των κακόβουλων κόμβων σε περίπτωση μεγάλης κινητικότητας των κόμβων[4].

2.7 Προηγμένος Μηχανισμός Φήμης

Τα βασικά χαρακτηριστικά που διαθέτει ο προηγμένος μηχανισμός φήμης είναι τα εξής :

- 1) Ενσωματώνει δύο διαστάσεις στον υπολογισμό της φήμης, τον χρόνο και το περιεχόμενο. Αυτό το κάνει να είναι ευαίσθητο στον χρόνο και εξαρτώμενο από το περιεχόμενο.
- 2) Ένας απλός αποτελεσματικός μηχανισμός φήμης που ενισχύει την ανταλλαγή ενεργών και αληθών πληροφοριών φήμης.
- 3) Η εκτέλεση δοκιμών ώστε να διαπιστωθεί πόσο αποτελεσματικός και ισχυρός είναι αυτός ο μηχανισμός φήμης.

Οι υπηρεσίες που μπορούν να προσφέρονται από το δίκτυο και να συμμετέχουν στον υπολογισμό της φήμης είναι πολλές – υπηρεσίες διαδικτύου, προώθηση πακέτων, αλλά και άλλες όπως προμήθεια πληροφοριών.

Ο υπολογισμός της φήμης από ένα κόμβο για ένα άλλο περιλαμβάνει συλλογή σχετικών πληροφοριών προκαταβολικά. Η φήμη υπολογίζεται κυρίως από τις εμπειρίες που συλλέγει ένας κόμβος από την αλληλεπίδρασή του με ένα άλλο. Επίσης παίρνει υπόψη τις συστάσεις άλλων κόμβων που έχουν αλληλεπιδράσει με τον κόμβο που θέλει να υπολογίσει την φήμη του. Αυτές οι συστάσεις βασίζονται στην εμπειρία του ίδιου του κόμβου.

Η τιμή της ενός κόμβου ο από την σκοπιά του κόμβου a συμβολίζεται ως $Rep_a(o)$ και παίρνει τιμές από -1 (τελείως αναξιόπιστος) ως $+1$ (τελείως αξιόπιστος). Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει αυτή η μεταβλητή τόσο πιο μεγάλη είναι η τιμή της φήμης. Η κατάσταση στην οποία δεν υπάρχει καμιά πληροφορία για ένα κόμβο ονομάζεται άγνοια και παίρνει την τιμή 0 . Επίσης ορίζονται οι καταστάσεις: πολύ αξιόπιστος($+0.8$) , αξιόπιστος($+0.2$), αναξιόπιστος(-0.2), πολύ αναξιόπιστος(-0.8). Αυτές ορίζονται όχι γιατί είναι η μοναδικές αλλά για να συμβολίζουν κάποιες τιμές της φήμης.

Σημαντικό ρόλο σε αυτό το σύστημα καταλαμβάνει η μεταβλητότητα που πρέπει να παρουσιάζουν οι τιμές φήμης, δηλαδή το κατά πόσον είναι εύκολο, να ανατραπεί η αρχικά σχηματισμένη εικόνα για κάποιον κόμβο (καλή ή κακή). Ακριβώς αυτή είναι η ιδιότητα της φήμης που καθιστά την εξάρτηση απ' το χρόνο σημαντικό στοιχείο του μοντέλου αυτού.

Προκειμένου να δημιουργηθεί ένα αξιόπιστο σύστημα, το οποίο θα ενισχύει την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των κόμβων, οι οποίες θα είναι και ακριβείς, το μοντέλο στηρίζεται στα εξής στοιχεία:

1) Διαφορετική τιμή φήμης υπάρχει για την επιδεξιότητα – δηλαδή για την παροχή καλών υπηρεσιών- που συμβολίζεται ως $SRep$ (Service Reputation) και διαφορετική για τις συστάσεις – δηλαδή παροχή τίμιων συστάσεων – που συμβολίζεται ως $RRep$ (Recommendation Reputation).

2) Η τιμή της φήμης για την παροχή καλών υπηρεσιών($SRep$) προκύπτει από τις εμπειρίες του κόμβου και τις συστάσεις των κόμβων που θεωρούνται αξιόπιστοι.

Μάλιστα η βαρύτητα των συστάσεων στον υπολογισμό της φήμης είναι μεγαλύτερη όσο αναβαίνει η αξιοπιστία ενός κόμβου.

3) Η φήμη εξαρτάται από τον χρόνο και είναι δυναμική. Η τιμή της RRep ενός κόμβου ρυθμίζεται σύμφωνα με την SRep του κόμβου για τον οποία έκανε σύσταση

4) Οι κόμβοι ανταλλάσσουν πληροφορίες φήμης μόνο με εκείνους που θεωρούνται εξυπηρετικοί (δηλαδή έχουν υψηλό RRep).

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, οι κόμβοι ωθούνται να είναι ειλικρινείς και ενεργοί στο σύστημα. Γιατί διαφορετικά η τιμή RRep μειώνεται, και άρα ελαττώνεται και ο αριθμός των κόμβων από τους οποίους αντλούνται πληροφορίες φήμης για άλλους κόμβους και έτσι είναι δύσκολο να εκτιμήσουν άγνωστους κόμβους. Όπως είπαμε το μοντέλο αυτό είναι ευαίσθητο στον χρόνο και εξαρτώμενο από το περιεχόμενο. Παρακάτω αναλύονται αυτά τα δύο.

2.7.1 Ευαίσθητη στον Χρόνο Φήμη

Η τιμή φήμης που αποδίδεται σε ένα κόμβο o από ένα άλλο κόμβο a την χρονική στιγμή t συμβολίζεται ως $Rep_a(o)^t$. Η τιμή της φήμης έχει αθροιστικό νόημα αφού αποτελεί το σύνολο τιμών φήμης που προέρχονται από την ίδια την εμπειρία του κόμβου a και από συστάσεις άλλων κόμβων. Η βαρύτητα που δίνεται στην πρόσφατη συμπεριφορά και στις παλιότερες εμπειρίες δείχνει πόσο γρήγορα αλλάζει η τιμή της φήμης. Π.χ. Μεγάλη βαρύτητα στην πρόσφατη συμπεριφορά μπορεί να ρίξει απότομα την φήμη ενός κόμβου μετά από μη συνεργασία. Στο μοντέλο αυτό δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στην πρόσφατη εμπειρία με την εισαγωγή μιας παραμέτρου που ονομάζεται παράγοντας υποχώρησης (ρ_e). Η καινούργια τιμή της φήμης δίνεται από τον τύπο:

Η ρ_e παίρνει τιμές από το 0 ως το 1. Όσο μικρότερη τιμή πάρει τόσο πιο γρήγορα ξεχνιούνται οι προηγούμενες εμπειρίες. Όταν παίρνει την τιμή 0 οι παλιότερες εμπειρίες ξεχνιούνται τελείως και όταν παίρνει την τιμή 1 παραμένουν σαν τιμή της φήμης για πάντα. Περισσότερες πληροφορίες υπάρχουν αν κρατείται ένα αρχείο με παλιότερες εμπειρίες, αλλά με την χρησιμοποίηση μιας εξαρτώμενης από τον χρόνο μεταβλητής σώνεται χώρος, ο οποίος είναι πολύτιμος στους κόμβους, και ταυτόχρονα η φήμη διατηρεί την ευαισθησία της στο χρόνο.

2.7.2 Φήμη Εξαρτώμενη από το Περιεχόμενο

Είναι απαραίτητο η συμμετοχή του περιεχομένου ως διάσταση στον υπολογισμό της φήμης. Για έναν κόμβο ο μπορεί να υπολογιστεί το $SRep_a(o)^t$ (από εμπειρίες του κόμβου και συστάσεις άλλων κόμβων) από το περιεχόμενο του. Υπάρχει όμως η περίπτωση να μην υπάρχουν αρκετές ή και καθόλου πληροφορίες για τον κόμβο ο από ένα περιεχόμενο C και να υπάρχουν αρκετές πληροφορίες από ένα σχετικό περιεχόμενο C'. Πρέπει τότε να μπορούμε να αποδώσουμε την τιμή της φήμης από τα δύο σχετικά στοιχεία. Για να μπορέσουμε να μετρήσουμε την σχέση μεταξύ των δύο περιεχομένων χρησιμοποιούμε μια ποσοτική μεταβλητή που μετρά τη σχέση μεταξύ δύο περιεχομένων και ονομάζεται απόσταση.

Το περιεχόμενο είναι μια έννοια πολλών διαστάσεων που περιλαμβάνει αρκετούς παράγοντες όπως σημασία και χρησιμότητα της υπηρεσίας, κατηγορία υπηρεσίας. Στον συγκεκριμένο μηχανισμό κινήτρων χρησιμοποιείται μόνο η κατηγορία υπηρεσιών και επιθυμούμε να βρούμε τη σχέση μεταξύ τους. Γι'αυτό υπάρχει ένα δέντρο που κατηγοριοποιούνται οι υπηρεσίες και με βάση αυτό η απόσταση δύο υπηρεσιών ορίζεται ως ο ελάχιστος αριθμός ενδιάμεσων κόμβων που απαιτούνται για να πάμε από την μία υπηρεσία στην άλλη. Άρα η σχέση που μας δίνει την τιμή φήμης για έναν κόμβο ο με περιεχόμενο C δίνεται από τον τύπο :

$$SRep_a(o, C)^t = \frac{\sum_{C' \text{ near } a} SRep_a(o, C')^t \bullet \rho_C^{|C-C'|}}{\sum_{C' \text{ near } a} \rho_C^{|C-C'|}}$$

ρ_c είναι ο παράγοντας υποχώρησης που καθορίζει ακριβώς το ποια σχέση έχουν μεταξύ τους δύο περιεχόμενα για τον υπολογισμό της εξαρτώμενης από το περιεχόμενο φήμης. Έτσι αν $\rho_c=0$ τότε δε λαμβάνονται καθόλου υπόψη άλλα περιεχόμενα. Ενώ όταν $\rho_c=1$ τότε λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της φήμης όλα τα περιεχόμενα με την ίδια βαρύτητα ανεξάρτητα πόσο σχετικά είναι.

Ο μηχανισμός αυτός αποτελείται από τρία μέρη: διαχείριση εμπειρίας, διαχείριση συστάσεων και διαχείριση φήμης. Αυτά περιγράφονται πιο κάτω.

2.7.3 Διαχείριση Εμπειρίας- Διαχείριση Συστάσεων

Η διαχείριση εμπειρίας χρησιμεύει για τη καταγραφή της εμπειρίας των κόμβων. Η καταγραφή περιλαμβάνει την κατηγορία υπηρεσιών(περιεχόμενο C), την χρονοσφραγίδα της εμπειρίας(t) και την συνολική τιμή της φήμης από την εμπειρία($Sexp_a(o,C)^t$).

Η διαχείριση συστάσεων περιλαμβάνει τις εξής τρεις συναρτήσεις: αποθήκευση συστάσεων από άλλους κόμβους, ανταλλαγή συστάσεων με άλλους κόμβους και διαχείριση ενός πίνακα με τα RRep των άλλων κόμβων.

Πρέπει οι συστάσεις των κόμβων να συνδυαστούν μεταξύ τους με κάποιο τρόπο. Γι' αυτό χρησιμοποιούμε ένα αλγόριθμο που ονομάζεται δυναμική πλειοψηφία βάρους, με τον οποίο λαμβάνεται υπόψη οι συστάσεις των κόμβων για τον υπολογισμό της φήμης και δυναμικά αλλάζει η φήμη συστάσεων ανάλογα με την ακρίβεια των συστάσεων. Δεν υπάρχει κάποια λίστα με τους κόμβους εκείνους που θα συμβουλευθεί ένας κόμβος και ούτε διαγράφονται κόμβοι από τον πίνακα των RRep, αλλά αν η τιμή του RRep κάποιου κόμβου πέσει κάτω από ένα κατώφλι τότε αγνοούνται οι συστάσεις του.

2.7.4 Διαχείριση Φήμης

Η διαχείριση φήμης διαχειρίζεται και υπολογίζει την τιμή της SRep για τους άλλους κόμβους του ad hoc δικτύου με βάση τόσο την δικιά του εμπειρία όσο και τις συστάσεις των άλλων κόμβων. Στον υπολογισμό της συνολικής φήμης δίνεται διαφορετική βαρύτητα στην εμπειρία του κόμβου και στις συστάσεις των άλλων κόμβων, δίνοντάς μεγαλύτερη βαρύτητα στην εμπειρία του. Όταν ένας κόμβος α έχει κάποιες συστάσεις για έναν κόμβο ο από μία ομάδα κόμβων P -οι κόμβοι εκείνοι που θεωρούνται αναξιόπιστοι έχουν ήδη απορριφθεί - , η τιμή της SRep θα υπολογιστεί από τη σχέση :

$$SRep_a(o)^t = a \bullet SExp_a(o)^t + (1-a) \bullet \frac{\sum_{p \in P} (RRep_p(p)^t \bullet ReC_p(o))}{\sum_{p \in P} RRep_p(p)}$$

όπου α είναι ο παράγοντας εκείνος που δείχνει τη σημασία που δίνεται στις εμπειρίες του ίδιου του κόμβου και συνήθως έχουμε $a > 0,5$.

2.7.5 Εξέλιξη - Ανανέωση Φήμης

Πρέπει να υπάρχει ένας δείκτης για τον υπολογισμό της ικανοποίησης του κόμβου από την αλληλεπίδραση με ένα άλλον. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί για δείκτη την ποιότητα των υπηρεσιών (Quality of Services QoS) που προσφέρεται. Συμβολίζουμε με b_i την επιθυμητή τιμή (μέγιστη ή μικρότερη) ενός μεγέθους της ποιότητας υπηρεσιών και με r_i την τιμή του μεγέθους αυτού που του πρόσφερε ο άλλος κόμβος. Επίσης συμβολίζουμε με w_i την βαρύτητα που έχει κάθε μέγεθός στον υπολογισμό της QoS. Η ικανοποίηση του κόμβου από την αλληλεπίδραση με έναν άλλο εκφράζεται από τη σχέση $sat_a(o) = \sum_{1 \leq i \leq n} \pi(r_i, b_i) \bullet w_i$, όπου $\pi(r_i, b_i)$ είναι συνάρτηση από την οποία υπολογίζεται το πόσο ικανοποιημένος ως προς ένα μέγεθος φάνηκε ο a από τον o . Παίρνει τις ακόλουθες τιμές:

1) $\pi(r_i, b_i) = r_i/b_i$ όταν το μέγεθος είναι ποσοτικό και δυνατότερο με μεγαλύτερες τιμές. Π.χ. διαθεσιμότητα

2) $\pi(r_i, b_i) = b_i/r_i$, όταν το μέγεθος είναι ποσοτικό και δυνατότερο με μικρότερες τιμές. Π.χ. λανθάνουσα κατάσταση

3) $\pi(r_i, b_i) = 1 - (r_i \oplus b_i)$ όταν το μέγεθος είναι ποιοτικό και παίρνει λογικές τιμές. Π.χ. εμπιστευτικότητα

4) για μεγέθη που η τιμή τους είναι κυριολεκτική (π.χ. ντετερμινιστική, προβλέψιμη και καλύτερη προσπάθεια) οι τιμές της μπορούν να κατηγοριοποιηθούν από το πιο αδύνατο στο πιο ισχυρό.

Η ανανέωση της τιμής της φήμης από την εμπειρία του χρήστη δίνεται από τη σχέση:

$$SExp_a(o)^t = Sexp_a(o)^{t'} \bullet \rho^{(t-t')} + sat_a(o) \bullet (1 - \rho^{(t-t')}) ,$$

όπου t εκφράζει προηγούμενες εμπειρίες και t' είναι η πιο πρόσφατη εμπειρία.

Οι συστάσεις που λαμβάνουν οι κόμβοι από άλλους κόμβους θα αντικαθιστούν τις τιμές τους με νέες. Έτσι, με το χρόνο κάποιος κόμβος a μπορεί να λάβει διαφοροποιημένες τιμές για έναν κόμβο o , ανανεώνοντας έτσι διαρκώς την τιμή $RRep_a(o)$ με βάση τη σχέση :

$$RRe\ p_a(o)^t = RRe\ p_a(o)^t \bullet \rho^{(t-t')}$$

Η ανανέωση της συνολικής φήμης θα γίνει ,όπως προαναφέραμε, από την σχέση:
[13][6]

$$SRe\ p_a(o)^t = a \bullet SExp_a(o)^t + (1-a) \bullet \frac{\sum_{p \in P} (RRe\ p_a(p)^t \bullet Re\ c_p(o))}{\sum_{p \in P} RRe\ p_a(p)}$$

2.7.6 Ανανέωση Φήμης Συστάσεων-Προπαγάνδηση Συστάσεων

Όταν θα λάβει την σύσταση από ένα άλλο ο κόμβος ο κόμβος a μπορεί να ανανεώσει την RRep. Καταρχάς ορίζουμε την διαφορά ανάμεσα στην πιο πρόσφατη τιμή της τιμής της φήμης από εμπειρία με την τιμή της σύστασης ίση με: $diff = |Rrep(o) - SExp_a(o)|$. Για ένα τίμιο κόμβο $Rrep(o) = SExp_a(o)$. Όμως ο υπολογισμός της φήμης είναι υποκειμενικός. Παρόλο που οι κόμβοι μπορεί να έχουν διαφορετικές εμπειρίες, δεν περιμένουμε οι δύο τιμές να έχουν μεγάλη διαφορά. Γι'αυτό υπάρχει ένα κατώφλι με την μέγιστη ανοχή που μπορεί να δείξει ένας κόμβος στην προκατάληψη(δ_a) ενός άλλου. Η διαφορά αντανakλά την ακρίβεια των συστάσεων και χρειάζεται να κανονικοποιηθεί σύμφωνα με τη σχέση: $diff = (1 - diff) / \delta_a$. Μετά η τιμή της φήμης συστάσεων ανανεώνεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$RRep_a(o)^t = RRep_a(o)^{t'} \bullet \rho^{(t-t')} + diff \bullet (1 - \rho^{(t-t')})$$

Όπως φαίνεται με αναληθή σύσταση(αρνητικό diff) η τιμή της φήμης συστάσεων κατακυλάει με τον χρόνο. Για να κάνουμε δυνατό σε κόμβους με κακή φήμη συστάσεων να την βελτιώσουν συμπληρώνουμε την παραπάνω εξίσωση με τη σχέση $RRep_a(o)^t = \sigma_a + \varepsilon + diff \bullet \rho^{(t-t')}$. Αυτό γίνεται όταν η RRep πέσει κάτω από ένα κατώφλι για να θεωρείται ένας κόμβος αξιόπιστος στις συστάσεις και συμβολίζεται με σ_a . Το ε είναι μια μικρή θετική ποσότητα. Με τη μέθοδο αυτή υπάρχει η περίπτωση ένας κόμβος να θεωρηθεί αναξιόπιστος ενώ έχει απλά διαφορετικά γούστα από τον άλλο κόμβο. Ωστόσο, αυτό δεν επηρεάζει το σύστημα αφού έτσι και αλλιώς δεν παίζουν μεγάλη σημασία οι συστάσεις του κόμβου αυτού. Το σύστημα αυτό αποτρέπει τα ψέματα λόγω αδράνειας. Αν ένας κόμβος δεν κάνει συστάσεις η τιμή της φήμης συστάσεων παραμένει στην τιμή της άγνοιας (0) αλλά αφού η τιμή είναι κάτω από το κατώφλι για να θεωρείται αξιόπιστος ο κόμβος δεν είναι πρόθυμοι οι άλλοι κόμβοι να ανταλλάσσουν με αυτόν τον κόμβο συστάσεις. Αν ένας αδρανής

κόμβος κάνει συστάσεις αλλά παραμένει μετά αδρανής, είναι πιθανό να αλλάξουν οι κόμβοι την συμπεριφορά τους και έτσι οι συστάσεις του θα απέχουν από την πραγματικότητα. Έτσι η τιμή της RRep θα πέσει. Γι'αυτούς τους λόγους ο μόνος τρόπος να παραμείνει υψηλή η RRep είναι να κάνει συστάσεις δραστήρια και τίμια.

Σε κάθε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους κάθε κόμβος προσπαθεί να επικοινωνήσει με τους υπόλοιπους κόμβους, κυρίως με αυτούς που έχουν καλή RRep, ώστε να ανταλλάξουν συστάσεις. Την υπόλοιπη χρονική περίοδο, αν ληφθεί κάποια σύσταση, ελέγχεται η τιμή της RRep του κόμβου που έκανε την σύσταση και μόνο αν είναι πάνω από ένα κατώφλι παίρνεται υπόψη. [13]

2.7.7 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Η δυναμική του μοντέλου αυτού είναι ότι με την πάροδο του χρόνου είναι πολύ εύκολο να ανατραπεί η εικόνα ενός κόμβου είτε προς το καλύτερο είτε προς το χειρότερο (π.χ. αν ένας κόμβος με θετική φήμη σταματήσει να συνεργάζεται) και αυτό δίνει τη δυνατότητα στο σύστημα να παρουσιάζει ανά πάσα στιγμή την πραγματική εικόνα για κάθε μέλος του δικτύου. Σε αυτό βοηθάει ότι δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στις εμπειρίες του ίδιου του κόμβου παρά στις συστάσεις από άλλους κόμβους. Έτσι γίνεται και πιο αξιόπιστο το σύστημα. Ένα ακόμα θετικό είναι η βαρύτητα που δίνεται στον ξεχωριστό υπολογισμό για την SRep και RRep. Αυτό βοηθάει στον διαχωρισμό των καλών και κακών κόμβων και μέσω αυτού δίνεται η ανάλογη βαρύτητα στον υπολογισμό της φήμης, οδηγώντας στον καλύτερο υπολογισμό της. Από προσομοιώσεις που έγιναν φάνηκε ότι τα λάθη στον υπολογισμό της φήμης των κόμβων μειώθηκαν σημαντικά με την χρήση του RRep. Ταυτόχρονα και το RRep αλλάζει γρήγορα αν αλλάξει συμπεριφορά ο κόμβος ή παραμείνει ανενεργός, κάνοντας πιο δύσκολο για αυτόν να ανταλλάσσει συστάσεις που του είναι απαραίτητες. Σε όλα αυτά βοηθάνε οι συχνές ενημερώσεις που γίνονται στις τιμές των φημών. Τέλος το σύστημα είναι αποκεντρωμένο και χρησιμοποιεί κατακεντρωμένη λογική. Αυτό βοηθάει στο να είναι πιο ασφαλές.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός ανάμεσα σε καλούς και κακούς κόμβους –π.χ. διατηρώντας λίστες με κακόβουλους κόμβους – που θα βοηθούσε τον κόμβο να διαχωρίσει καλύτερα τους κόμβους και να απομονώσει τους κακόβουλους. Επίσης από προσομοιώσεις φαίνεται ότι είναι δύσκολο για ένα κόμβο που έχει εντοπιστεί να λειτουργεί κακόβουλα ή εγωιστικά να επανακάμψει.

Αυτό είναι πρόβλημα γιατί ο συγκεκριμένος κόμβος μπορεί να έχει χαρακτηριστεί και άδικα κακόβουλος και έτσι και ο ίδιος έχει προβλήματα και μπορούν να προκαλεστούν διάφορα προβλήματα στο δίκτυο. Τέλος δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος μηχανισμός για τον έλεγχο της ταυτότητας και αυτό το κάνει ευάλωτο σε κακόβουλες επιθέσεις που σχετίζονται με την αλλαγή ταυτότητας.[13][6]

2.8 Μηχανισμοί Φήμης που βασίζονται στην Θεωρία Παιγνίων

Θεωρούμε ότι έχουμε τρεις κόμβους, τους A, B και Γ. Ο A θέλει να στείλει ένα πακέτο στον Γ. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω του B, ο οποίος μπορεί να προωθήσει το πακέτο ή να το απορρίψει. Ο A ακούει πάνω στην σύνδεση με τον B και καταλαβαίνει αν ο B προώθησε το πακέτο. Αν έγινε αυτό ο B έχει κέρδος α ($\alpha \geq 1$) μονάδες που ονομάζεται κέρδος πακέτου (Packet Value) και χάνει 1 μονάδα -λόγω του ότι καταναλώνει τους ενεργειακούς πόρους του για να προωθήσει το πακέτο- που ονομάζεται κόστος πακέτου (Packet Cost). Η σύνδεση ανάμεσα σε δύο κόμβους είναι και προς τις δύο μεριές και έτσι ο ένας κόμβος πρέπει να προωθήσει τα πακέτα του άλλου. Μπορούμε να μοντελοποιήσουμε αυτή τη σύνδεση με ένα στρατηγικό παιχνίδι δύο παικτών ανάμεσα στους δύο κόμβους, στο οποίο η στρατηγική του κάθε παίκτη είναι η πιθανότητα με την οποία απορρίπτει τα πακέτα. Συμβολίζουμε με i τον ένα παίκτη και με $-i$ τον αντίπαλό του. Με p_i συμβολίζουμε την πιθανότητα με την οποία ο κόμβος απορρίπτει τα πακέτα και η συνάρτηση απόδοσης του κόμβου δίνεται από τη σχέση: $u_i = p_i - \alpha * p_{-i}$. Αποδεικνύεται ότι αν και οι δύο παίκτες φέρονται εγωιστικά το κέρδος είναι 0 και για τους δύο. Το μόνο σημείο ισορροπίας κατά Nash είναι και οι δύο να φέρονται εγωιστικά, αν το παιχνίδι παιχτεί μια φορά. Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες αν το παιχνίδι επαναληφθεί μπορούμε να επιτύχουμε άλλο σημείο ισορροπίας.[14][15]

2.8.1 Συνεργασία χωρίς συγκρούσεις-TFT(Tit For Tat)

Αρχικά θα θεωρήσουμε την απλοϊκή περίπτωση που δεν υπάρχουν συγκρούσεις. Οι κόμβοι πρέπει να λάβουν υπόψη στην συμπεριφορά τους τις μελλοντικές επιπτώσεις των πράξεών τους. Με $p_i^{(k)}$ συμβολίζουμε την πιθανότητα να απορρίψει ο κόμβος το πακέτο στην k -οστό στάδιο και η σχέση που δίνει την πληρωμή σε αυτό το στάδιο είναι: $u_i^{(k)} = p_i^{(k)} - \alpha * p_{-i}^{(k)}$. Το δ ($0 \leq \delta \leq 1$) ονομάζεται παράμετρος απόρριψης και δείχνει την πιθανότητα να συνεχιστεί το παιχνίδι μετά

από κάθε στάδιο ο κάθε παίκτης. Είναι φανερό πως όσο μεγαλύτερο είναι το δ τόσο πιο πολύ θα κρατήσει το παιχνίδι(η συνόδος για τα ad hoc δίκτυα) και αν $\delta=0$ τότε είναι μιας βαθμίδας. Η διάρκεια της συνόδου είναι ίση με $1/(1-\delta)$.

Σε αυτή την περίπτωση ο κόμβος αρχικά συνεργάζεται και τις επόμενες φορές κάνει ότι κάνει και ο άλλος κόμβος. Η πιθανότητα να απορριφθεί ένα πακέτο στο k-οστό στάδιο είναι ίσο με:

$$p_i^{(0)} = 0$$

$$p_i^{(k)} = p_{-i}^{(k-1)} \text{ για } k > 0$$

Αυτό δείχνει ότι αν το δ είναι αρκετά μεγάλο τότε οι δύο κόμβοι δεν έχουν κάποιο λόγο να αποκλίνουν από την στρατηγική TFT και το αποτέλεσμα θα είναι η αμοιβαία συνεργασία. Παρόλα αυτά με αυτόν το μοντέλο δεν λαμβάνεται υπόψη η φύση της μετάδοσης σε ασύρματα δίκτυα. [14]

2.8.2 Συνεργασία με συγκρούσεις- Tit For Tat (TFT)

Αυτή η περίπτωση προσεγγίζει περισσότερο την πραγματικότητα αφού λαμβάνονται υπόψη οι συγκρούσεις. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί ταυτόχρονα με τον B να προωθεί και ο E. Αυτό εμποδίζει τον A να ακούσει ότι ο B προώθησε το πακέτο και νομίζει ότι το απέρριψε. Μπορούμε να προσομοιάσουμε αυτή την περίπτωση με το δίλημμα του κρατούμενου με θόρυβο. Συμβολίζουμε με p_e την πιθανότητα να μετάδωσε το πακέτο ο κόμβος B και να μην το παρατήρησε ο A. Θεωρούμε ότι το πακέτο απορρίφθηκε αν πράγματι ο B το απέρριψε ή ο B το προώθησε αλλά ο A δεν το παρατήρησε[15]. Με αυτή τη λογική η αντιλαμβανόμενη λιποταξία του κόμβου i είναι ίση με: $\hat{p}_i^{(k)} = p_e + (1 - p_e) * p_{-i}^{(k)}$

Τώρα τα πράγματα αλλάζουν και πρέπει να ξαναορίσουμε τα δεδομένα για το TFT. Η συνολική απόδοση είναι : $\bar{U} = \sum_{k \geq 0} \delta^k * \hat{u}_i^{(k)}$ και στον τύπο για την πιθανότητα απόρριψης για το TFT βάζουμε όπου $p_{-i}^{(k-1)}$ το $\hat{p}_{-i}^{(k)}$. Πρέπει να σημειώσουμε ότι το p_e είναι σταθερό και δεν εξαρτάται από την πιθανότητα απόρριψης. Ο κάθε κόμβος παίζει ταυτόχρονα με όλους τους γείτονές του και διαλέγει ξεχωριστά την πιθανότητα απόρριψης για τον κάθε κόμβο. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η επίδραση των συγκρούσεων είναι δραματική. Ακόμα και αν οι κόμβοι

θέλουν να συνεργαστούν, μια αντιλαμβανόμενη λιποταξία μπορεί άδικα να τιμωρηθεί και το TFT να πυροδοτήσει μια διαδικασία αντιποίνων που θα οδηγήσει σε μηδενικό ρυθμό απόδοσης. Η αντιλαμβανόμενη πιθανότητα απόρριψης δίνεται σε αυτή την περίπτωση από τον τύπο: $\hat{p}_i = 1 - (1 - p_e)^{k+1}$. Αυτό οδηγεί στο αυτή η πιθανότητα να τείνει στο 1. Άρα το TFT δεν μπορεί να διατηρήσει την αμοιβαία συνεργασία μεταξύ των κόμβων.[14]

2.8.3 Generous Tit For Tat (GTFT)

Επειδή όπως είπαμε το TFT δεν μπορεί να διατηρήσει την αμοιβαία συνεργασία μεταξύ των κόμβων εισάγουμε μια νέα μέθοδος, την γενναιόδωρη TFT (GTFT). Αυτό γίνεται εισάγοντας στο TFT ένα κατώφλι ώστε το σύστημα να ανέχεται ένα μικρό αριθμό λιποταξιών χωρίς να τις τιμωρεί. Ορίζουμε το κατώφλι αυτό ως g . Τότε η πιθανότητα λάθους για να ισχύει το GTFT δίνεται από τον τύπο:

$$\begin{cases} p_i^{(0)} = 0 \\ p_i^{(k)} = \max(\hat{p}_{-i}^{(k-1)} - g, 0) \end{cases} \text{ για } k \geq 1$$

Αν η τιμή της παραμέτρου απόρριψης για την στρατηγική GTFT είναι αρκετά μεγάλη μπορούμε να επιτύχουμε την συνεργασία των κόμβων. Μπορεί να αποδειχτεί ότι αν η τιμή του δ είναι αρκετά μεγάλη υπάρχει στρατηγική GTFT η οποία εξασφαλίζει την αμοιβαία συνεργασία. Στο παιχνίδι της επαναλαμβανόμενης αναμετάδοσης πακέτου είναι λογικό για τους παίκτες να χρησιμοποιούν την στρατηγική GTFT με $g = p_e$ αν ισχύει η σχέση: $\alpha \geq \frac{1}{(1-p_e)^2}$

Οι κόμβοι δεν έχουν λόγο να λιποτακτίσουν από την στρατηγική GTFT ακόμα και αν με αυτό δεν πετυχαίνουν πλήρη συνεργασία. Παρατηρούμε ότι η επίδραση των συγκρούσεων οδηγεί στην αύξηση της παραμέτρου απόρριψης κατά ένα παράγοντα ίσο με $1/(1 - p_e)^2$. Άρα όσο μεγαλύτερη είναι η κίνηση στο δίκτυο τόσο πιο μακριά πρέπει να βλέπουν οι κόμβοι για να διατηρήσουν την αμοιβαία συνεργασία[14][15]

2.8.4 Στρατηγικές Πυροδότησης (n-step Trigger και Grim Trigger)

Εκτός από το GTFT υπάρχουν και πιο σοβαροί μηχανισμοί τιμωρίας οι οποίοι ονομάζονται n-step Trigger και Grim Trigger. Αυτοί οι μηχανισμοί πυροδοτούν πλήρη τιμωρία με την κάθε αντιληπτή λιποταξία από την συνεργασία.

Όσον αφορά το n-step Trigger (OT) ο κόμβος με αυτή τη στρατηγική δεν είναι αυτός που πρώτος θα λιποταχτήσει, τιμωρεί αμέσως αυτή την ενέργεια αλλά και είναι έτοιμος να επαναφέρει την συνεργασία μετά την τιμωρία μετά από n στάδια. Η πιθανότητα απόρριψης σε μια στρατηγική OT είναι ίση με:

$$\begin{cases} p_i^{(0)} = 0 \\ p_i^{(k)} = \begin{cases} 0, & \text{if } \hat{p}_{-i}^{(j)} \leq g \text{ for all } j \in (k-n, \dots, k+n) \\ 1 & , \text{else} \end{cases} \end{cases}$$

Είναι εύκολο να αποδειχτεί ότι αν ο κόμβος συνεργάζεται ισχύει η σχέση: $\hat{p}_{-i}^{(k)} = p_e$.

Η επιθυμητή τιμή είναι $g=p_e$. Όμως δεν είναι εύκολο να προσδιορίσουμε ακριβώς το p_e . Άρα οι κόμβοι είτε δεν θα συνεργάζονται καθόλου είτε θα απορρίπτεται μέρος των πακέτων.[15]

Όσον αφορά την στρατηγική Grim Trigger αν αντιληφθεί λιποταξία μετά την τιμωρία δεν αποκαθιστεί την τιμωρία ποτέ. Η πιθανότητα απόρριψης δίνεται από τον τύπο:

$$\begin{cases} p_i^{(0)} = 0 \\ p_i^{(k)} = \begin{cases} 0 & \text{if } \hat{p}_{-i}^{(j)} \leq g \text{ for all } j < k \\ 1 & \text{else} \end{cases} \end{cases}$$

Η Grim Trigger έχει καλύτερη απόδοση από τις προηγούμενες μεθόδους.[14]

2.8.5 Μειονεκτήματα

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι έχουν κάποια μειονεκτήματα ή είναι ανεφάρμοστες στα πραγματικά ad hoc δίκτυα (TFT). Καταρχάς το TFT είναι ανεφάρμοστο σε πραγματικές συνθήκες που υπάρχουν συγκρούσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί όπως έχουμε πει παραπάνω ισχύει η σχέση για την αντιλαμβανόμενη πιθανότητα απόρριψης οδηγεί σε πιθανότητα απόρριψης ίση με 1. Άρα οι κόμβοι δεν θα συνεργάζονται.[14] Το μεγάλο πρόβλημα όλων των υπόλοιπων στρατηγικών που

αναφέρθηκαν είναι ότι για να επιτύχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα πρέπει να επιτύχουμε ακριβή υπολογισμό του p_e , πράγμα αδύνατο σε πραγματικές συνθήκες λόγω των στοχαστικών διακυμάνσεων. Αυτό μπορεί να προκαλέσει αδικαιολόγητες τιμωρίες στους κόμβους. Συγκεκριμένα, στο OT ακόμα και μικρές απώλειες μπορούν να προκαλέσουν τεράστιες απώλειες στην επίδοση. Στο Grim Trigger αυτή η απώλεια είναι παντοτινή. Στο GTFT με μικρά λάθη η απώλεια κρατάει μικρό διάστημα, είναι προσωρινή. Έτσι δεν επιτυγχάνεται πλήρη συνεργασία. Τέλος όσον αφορά n-step Trigger Strategy ο μη ακριβής υπολογισμός οδηγεί είτε όλα τα πακέτα να χάνονται είτε ένα μέρος από αυτά.[14][15] Αυτοί οι λόγοι οδήγησαν στην αντικατάστασή τους από το μηχανισμό DARWIN.[15]

2.9 DARWIN (Distributed and Adaptive Reputation mechanism for Wireless ad-hoc Networks)

Όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω στους μηχανισμούς φήμης που βασίζονται στην θεωρία παιγνίων για τα δίκτυα και περί της θεωρίας παιγνίων ισχύει και εδώ. Ότι παραπάνω χρειαστεί θα αναφερθεί. Σε αυτό τον μηχανισμό φήμης θέλουμε να επιτύχουμε πλήρη συνεργασία χωρίς να βασιζόμαστε στον πλήρη υπολογισμό του p_e . Επίσης το σύστημα αυτό είναι πιο εύρωστο από το προηγούμενο. Η λογική του συστήματος αυτού βασίζεται σε μια άλλη μέθοδος που έχει προταθεί, την Contrite Tit For Tat (CTFT). Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη λογική ότι ένας κόμβος που έκανε λάθος και άσκοπα λιποτάκτησε πρέπει να κάνει μετάνοια και να προσπαθήσει να διορθώσει το λάθος παρά να μπει σε κατάσταση αδράνειας. Στη μέθοδο αυτή ορίζεται η καλή κατάσταση. Σε αυτή την μέθοδο ο κόμβος αρχικά είναι σε καλή κατάσταση. Μετέπειτα ένας κόμβος συνεργάζεται αν είναι σε κακή κατάσταση ή αν ο αντίπαλός του είναι σε καλή κατάσταση.

Με βάση αυτό ορίζεται η πιθανότητα απόρριψης στο DARWIN σύμφωνα με τη σχέση:

$$\tilde{p}_{iDARWIN}^{(k)} = \left[\gamma * (q_{-i}^{(k-1)} - q_i^{(k-1)}) \right]_0^1 \text{ for } k \geq 0$$

Επίσης ορίζουμε τις συναρτήσεις:

$$q_i^{(k)} = \begin{cases} [\hat{p}_i^{(k)} - \tilde{p}_{iDARWIN}^{(k)}]_0^1 & \text{for } k \geq 0 \\ 0 & \text{for } k = -1 \end{cases} \quad (1)$$

$$[x]_0^1 = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq 1 \\ x & \text{if } 0 < x < 1 \\ 0 & \text{if } x \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

Το $\hat{p}_i^{(k)}$ είναι η αντιλαμβανόμενη πιθανότητα απόρριψης και το $\tilde{p}_{iDARWIN}^{(k)}$ είναι η πιθανότητα απόρριψης του DARWIN. Αν ισχύει $\hat{p}_i^{(k)} > \tilde{p}_{iDARWIN}^{(k)}$ τότε ο κόμβος αντιλαμβάνεται ότι χάνονται περισσότερα πακέτα από αυτά που έπρεπε λόγω του DARWIN. Το $q_i^{(k)}$ μετράει αυτή τη λιποταξία ή αλλιώς δείχνει την κατάσταση του κάθε κόμβου. Οι κόμβοι που είναι σε καλύτερη κατάσταση από αυτούς που συνεργάζονται τιμωρούν τον άλλο κόμβο με τη διαφορά της μεταξύ τους κατάστασης. Οι αντιλαμβανόμενες πιθανότητες απόρριψης των κόμβων ανταλλάσσονται μεταξύ των κόμβων. Έχουμε κάνει την παραδοχή ότι οι πλειοψηφία των κόμβων δεν κλέβουν. Γι'αυτό βρίσκουμε την αντιλαμβανόμενη πιθανότητα ως τον μέσο όρο των λαμβανόμενων αντιλαμβανόμενων πιθανοτήτων απόρριψης και έτσι τα ψέματα έχουν μικρή επίδραση.

Καταρχάς παραδεχόμαστε ότι ισχύει $1 < \gamma < p_e^{-1}$. Αποδεικνύεται ότι το DARWIN είναι εύρωστη στρατηγική και οι κόμβοι δεν έχουν λόγο για να λιποτακτήσουν από το την αμοιβαία συνεργασία σε μια μεγάλης διάρκειας αλληλεπίδραση. Για να ισχύει αυτό πρέπει το γ να παίρνει την μικρότερη τιμή του συναρτήσει των α και p_e . Το να εκτιμήσουμε το α είναι αδύνατο άρα η ζητούμενη τιμή του γ μπορεί να προσεγγισθεί από την σχέση: $\gamma = \frac{1 + p_e}{2 * p_e}$. Όπως αποδεικνύεται διαφορετικές τιμές του α δεν έχουν μεγάλη επίδραση στην αποτελεσματικότητα του DARWIN.

Αποδεικνύεται με χρήση του ορισμού του DARWIN και της σχέσης $\hat{p}_i^{(k)} = p_e + (1 - p_e) * p_i^{(k)}$ ότι αν οι δύο κόμβοι χρησιμοποιούν το DARWIN τότε η αμοιβαία συνεργασία επιτυγχάνεται στο μονοπάτι του σημείου ισορροπίας και έτσι

ισχύει: $p_i^{(k)} = p_{-i}^{(k)} = 0$ για κάθε $k \geq 0$. Αφού το DARWIN είναι καλύτερο από τις υπόλοιπες στρατηγικές πετυχαίνει και καλύτερη ανταμοιβή για τους κόμβους.

Έχουμε πει πως δεν γίνεται να γίνει ακριβής υπολογισμός του p_e . Θα δούμε πως συμπεριφέρεται το DARWIN σε αυτή την περίπτωση. Το σφάλμα στον υπολογισμό του p_e συμβολίζεται $\Delta \in (-p_e, 1-p_e)$. Από την σχέση του γ με το p_e και επειδή πρέπει $\gamma < p_e^{-1}$ βγαίνει ότι για το Δ πρέπει να ισχύει: $\Delta > -p_e * \left(\frac{1-p_e}{2-p_e}\right)$. Άρα στο DARWIN για να επιτύχουμε την συνεργασία δεν χρειάζεται ακριβής υπολογισμός του p_e , αλλά και παραπάνω να είναι το διατηρείται η αμοιβαία συνεργασία.

2.9.1 Αντίσταση στη Συμπαιγνία

Εξετάζουμε την περίπτωση που μια ομάδα κόμβων είναι σε συμπαιγνία και δουλεύουν μαζί ώστε να αυξήσουν το κέρδος τους σε σχέση με το βέλτιστο κοινωνικό. Συμβολίζουμε με $U_i^{(0)}_{S_i|S_{-i}}$ την αμοιβή του κόμβου i με στρατηγική S_i που παίζει ενάντια σε ένα κόμβο $-i$ που χρησιμοποιεί στρατηγική S_{-i} . Με S συμβολίζουμε την στρατηγική των κόμβων που είναι σε συμπαιγνία και με D των κόμβων του δικτύου στο οποίο εφαρμόζεται το DARWIN. Ισχύει όπως έχουμε πει: $U_i^{(0)}_{S|S} \leq U_i^{(0)}_{D|D}$ και $U_i^{(0)}_{S|D} \leq U_i^{(0)}_{D|D}$ για κάθε στρατηγική S .

Συμβολίζουμε με p_S την πιθανότητα ένας κόμβος που χρησιμοποιεί DARWIN να αλληλεπιδράσει με αυτόν της συμπαιγνίας και με p_D ένας κόμβος της συμπαιγνίας να αλληλεπιδράσει με αυτόν που χρησιμοποιεί DARWIN. Η πληρωμή του κόμβου που χρησιμοποιεί DARWIN δίνεται από τη σχέση: $U(D) = p_S * U_i^{(0)}_{D|S} + (1-p_S) * U_i^{(0)}_{D|D}$ και αυτού της συμπαιγνίας από την σχέση: $U(S) = p_D * U_i^{(0)}_{S|D} + (1-p_D) * U_i^{(0)}_{S|S}$. Οι κόμβοι της συμπαιγνίας κερδίζουν από αυτή τη στρατηγική τους αν ισχύει $U(S) < U(D)$, δηλαδή αν $p_S * [U_i^{(0)}_{D|D} - U_i^{(0)}_{D|S}] < U_i^{(0)}_{D|D} - U(S)$ (1). Ορίζουμε την αφελή στρατηγική (sucker strategy) αν ισχύει: $U_i^{(0)}_{D|D} < U_i^{(0)}_{D|S}$. Σε αυτή την περίπτωση η (1) πάντα ισχύει, άρα αυτή η περίπτωση πάντα αντιμετωπίζεται. Αν δεν είναι αφελής

στρατηγική τότε η συμπαιγνία των κόμβων αντιμετωπίζεται αν ισχύει:

$$p_S < \frac{U_i^{(0)}|D|S - U(S)}{U_i^{(0)}|D|D - U_i^{(0)}|D|S} . \text{ Άρα αν οι κόμβοι του DARWIN αλληλεπιδρούν μεταξύ τους}$$

τότε μπορούν να αντιμετωπιστούν αυτές οι επιθέσεις.

2.9.2 Εφαρμογή Αλγορίθμου

Συμβολίζουμε με $N_i^{(k)}$ τους άμεσους γείτονες του κόμβου το χρονικό διάστημα k . Ο κόμβος κρατάει δύο μετρητές για κάθε j γείτονά του στο χρονικό διάστημα k . Αυτοί είναι ο αριθμός των πακέτων που έστειλε για προώθηση ($S_{ij}^{(k)}$) και ο αριθμός των πακέτων που προωθήθηκαν ($F_{ij}^{(k)}$) στο χρονικό διάστημα k . Στο τέλος του χρονικού αυτού διαστήματος υπολογίζει για κάθε γείτονά του τον λόγο:

$$c_{ij}^{(k)} = \frac{F_{ij}^{(k)}}{S_{ij}^{(k)}} . \text{ Αυτόν τον λόγο τον στέλνει σε όλους τους γείτονές του και υπολογίζει}$$

μέσω και τον λόγων που λαμβάνει από τους γείτονές του τον μέσο λόγο συνδεσιμότητας από τη σχέση:

$$\hat{c}_j^{(k)} = \frac{\sum_{m \in N_i^{(k)} \cup \{i\}, m \neq j} c_{im}^{(k)} * c_{mj}^{(k)}}{\sum_{m \in N_i^{(k)} \cup \{i\}, m \neq j} c_{im}^{(k)}}$$

Όπου $c_{ii}^{(k)} = 1$ για όλα τα k . Στον υπολογισμό του μέσου λόγου συνδεσιμότητας η βαρύτητα με την οποία προσμετράται η γνώμη του κάθε κόμβου είναι ο λόγος αυτού που μετράει ο κόμβος i . Έτσι δεν επιτρέπεται σε ένα κακόβουλο κόμβο με διασπορά ψευδών στοιχείων να αυξήσει τη φήμη ενός κόμβου του. Ισχύει $\hat{p}_j^{(k)} = 1 - \hat{c}_j^{(k)}$. Με βάση αυτή τη σχέση και τις σχέσεις που ορίζουν την πιθανότητα απόρριψης του DARWIN υπολογίζεται η πιθανότητα απόρριψης που θα χρησιμοποιεί για να προωθεί τα πακέτα του γείτονά του το επόμενο χρονικό διάστημα.

Πρέπει να υπολογίσουμε το p_e ώστε να ισχύει η σχέση $\gamma < p_e^{-1}$. Με βάση ότι το p_e είναι η πιθανότητα ένας τουλάχιστον από τους γείτονες να μεταδίδει εκείνη τη χρονική στιγμή που μεταδίδει ο j . Γι'αυτό θα βρούμε το κλάσμα του χρονικού

διαστήματος που τουλάχιστον ένας διαφορετικός κόμβος από τον j μεταδίδει. Αυτό το συμβολίζουμε ως $\hat{p}_{sj}$. $T_j^{(k)}$ είναι το κλάσμα του χρόνου που ένας κόμβος μεταδίδει στο χρονικό διάστημα k και $T_c^{(k)}$ είναι το κλάσμα του χρόνου που μια σύγκρουση συμβαίνει στο χρονικό διάστημα k . Ισχύει η σχέση:

$$\hat{p}_{sj} = T_c^{(k)} + \sum_{m \in N_i^{(k)}, m \neq j} T_m^{(k)} \quad \hat{p}_{sj} = T_c^{(k)} + \sum_{m \in N_i^{(k)}, m \neq j} T_m^{(k)}.$$

Στο MAC στρώμα αν χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο CSMA/CA ισχύει $\hat{p}_{sj} \geq p_e$. Αυτή η μεγαλύτερη εκτίμηση δεν αποτελεί πρόβλημα όπως έχουμε πει.[15]

2.9.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Όπως αποδεικνύεται από προσομοιώσεις το DARWIN τιμωρεί τους εγωιστικούς κόμβους με αρκετά χειρότερο λόγω προώθησης απέναντι σε αυτούς που συνεργάζονται. Μάλιστα όσο αυξάνεται η πιθανότητα με την οποία απορρίπτουν τα πακέτα τόσο πέφτει η απόδοσή τους. Επίσης ακόμα και με 90% εγωιστικούς κόμβους η απόδοση των κόμβων που συνεργάζονται είναι καλύτεροι από των εγωιστικών. Σε ποσοστά εγωιστικών κόμβων μέχρι 30% η διαφορά αυτή είναι πολύ μεγάλη. Ο λόγος προώθησης πακέτων παραμένει σχεδόν σταθερός ακόμα και σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, στους οποίους το p_e αυξάνεται με αποτέλεσμα να υπάρχουν λανθασμένες θετικές εκτιμήσεις. Έτσι φαίνεται ότι το σύστημα αυτό διατηρεί την ικανότητα να επαναφέρει την συνεργασία των κόμβων. Αυτό είναι λογικό αφού δεν χρειάζεται στο DARWIN ακριβής υπολογισμός του p_e για να επιτύχουμε πλήρη συνεργασία. Αυτό ενισχύεται από το γεγονός ότι ο μηχανισμός δεν είναι ευαίσθητος στις παραμέτρους του συστήματος. Τέλος αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά τυχόν συμπαιγνίες κακόβουλων κόμβων.[15]

3.ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΙΝΗΤΡΩΝ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΙ ΣΤΗΝ ΑΜΟΙΒΗ

3.1 Sprite (Simple Cheat Proof Credit Based System for Mobile Ad hoc Networks)

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί την έννοια της πίστωσης. Περιλαμβάνει μια υπηρεσία εξουσιοδότησης πιστώσεων (Credit Clearance Service - CCS) και ένα αριθμό κινητών κόμβων. Όταν ένας κόμβος λάβει ένα μήνυμα κρατάει μια απόδειξη και ανά τακτά χρονικά διαστήματα στέλνει τις αποδείξεις αυτές στο CCS για να δείξει τα μηνύματα που έλαβε/προώθησε. Το CCS καθορίζει την δαπάνη και δίνει κάποιους πόντους στους κόμβους που προώθησαν το μήνυμα ώστε να μπορούν αυτοί μετά να στείλουν τα δικά τους μηνύματα. Αυτό γιατί η προώθηση περιλαμβάνει κάποιο κόστος για τους ενδιαμέσους κόμβους. Για την προστασία των κόμβων χρησιμοποιείται κρυπτογραφία δημόσιου κλειδιού.[17][3]

3.1.1 Αρχιτεκτονική Sprite

Όπως έχουμε πει η διάταξη του Sprite περιλαμβάνει το CCS και τους κινητούς κόμβους . Για την αναγνώριση των κόμβων κάθε κόμβος έχει μοναδική ταυτότητα. Χρησιμοποιείται το DSR για να μπορεί η πηγή να έχει πλήρη γνώση της διαδρομής από την πηγή στον προορισμό.

Ο κάθε κόμβος που προωθεί χάνει πόντους και αυτοί που προωθούν το μήνυμα κερδίζουν πόντους λόγω του κόστους της προώθησης και με σκοπό να αποκτήσουν τη δυνατότητα να στείλουν τα δικά τους μηνύματα αργότερα. Υπάρχουν δύο τρόποι ένας κόμβος να κερδίσει πόντους. Πρώτον, μπορεί να πληρώσει την χρέωσή του ή να αγοράσει κάποιους πόντους δίνοντας αληθινά λεφτά. Η αναλογία ανάμεσα στα αληθινά λεφτά και στους εικονικούς πόντους εξαρτάται από την απόδοση του δικτύου εκείνη τη στιγμή. Ο επικρατέστερος ,όμως, τρόπος είναι με το να προωθεί τα μηνύματα των άλλων. Τις αποδείξεις που κρατάει ο κάθε κόμβος από την προώθηση των μηνυμάτων των άλλων κόμβων τις στέλνει περιοδικά στο CCS, όταν υπάρχει γρήγορη σύνδεση. Οι αποδείξεις χρησιμοποιούνται για να γλιτώνουν χώρο και φάσμα οι κόμβοι. Το περιεχόμενό τους βασίζεται στο αντίστοιχο του μηνύματος αλλά δεν είναι το πλήρες περιεχόμενο αυτού.

3.1.2 Διάταξη Πληρωμής

Καταρχάς μόνο η πηγή χρεώνεται για την αποστολή ενός μηνύματος. Αυτό γίνεται για να μην μπορεί ένας κόμβος να στείλει άχρηστα ή κακόβουλα μηνύματα. Αν βέβαια ο προορισμός επωφελείται από το μήνυμα που έλαβε μπορεί να πληρώνει την πηγή μέσω ενός πρωτοκόλλου του στρώματος εφαρμογής. Από την άλλη, ο κόμβος που πρέπει να προωθήσει ένα μήνυμα θα λαμβάνει τους αντίστοιχους πόντους ανάλογα αν προώθησε ή όχι το μήνυμα. Ότι το προώθησε θεωρούμε ότι σημαίνει ότι ο επόμενος κόμβος της διαδρομής το έλαβε.

Σκοπός του όλου συστήματος είναι οι κόμβοι να συνεργάζονται και να αποτρέπονται πράξεις εξαπάτησης. Γι' αυτό οι ενδιάμεσοι κόμβοι παίρνουν λιγότερους πόντους από ότι πληρώνει η πηγή. Για να αποφύγει η μεγάλη εκροή πόντων από τους κόμβους στο CCS, περιοδικά το CCS δίνει στους κόμβους συγκεκριμένη ποσότητα πόντων.

Για τον εξαναγκασμό των εγωιστικών κόμβων ώστε να προωθήσουν τα μηνύματα το CCS δίνει περισσότερους πόντους στους κόμβους που προώθησαν το μήνυμα. Καταρχάς προσδιορίζει τον τελευταίο κόμβο στο μονοπάτι που έλαβε το μήνυμα. Τότε το CCS πληρώνει β πόντους τον τελευταίο κόμβο και α τους προηγούμενους κόμβους. Ισχύει $\beta < \alpha$. Οι επόμενοι κόμβοι δεν λαμβάνουν τίποτα. Το β πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το κόστος υποβολής της απόδειξης, το οποίο βέβαια είναι μικρό λόγω του μικρού μεγέθους της απόδειξης. Αυτό γίνεται για να έχει κίνητρο ο κόμβος να στείλει την απόδειξη.

Αν ο προορισμός δεν αναφέρει την απόδειξη στο CSS, τότε αυτό χρεώνει την πηγή παραπάνω από ότι παίρνουν οι ενδιάμεσοι κόμβοι. Το συνολικό ποσό της χρέωσης της πηγής είναι μικρότερο κατά $k*\beta$ από αυτό όταν το μήνυμα φτάσει στον προορισμό του, όπου k είναι ο αριθμός των κόμβων που δεν έφτασε το μήνυμα. Για να αντιμετωπιστούν προβλήματα, όπως οι ενδιάμεσοι κόμβοι – πιθανόν λόγω συμπαιγνίας μεταξύ τους- να προωθούν τις αποδείξεις αντί όλου του μηνύματος, αν ο προορισμός δεν αναφέρει την απόδειξη στο CSS, τότε το κέρδος των ενδιάμεσων κόμβων που έχουν στείλει την απόδειξη στο CSS μειώνεται. Συγκεκριμένα πολλαπλασιάζουμε τα κέρδη τους με μια τιμή, το $\gamma < 1$. Επίσης από το συνολικό ποσό που χρεώνει το σύστημα αυτό την πηγή αν προώθησε αφαιρούμε $\gamma* k*\beta$. Αν και ο προορισμός είναι στην συμπαιγνία και αναφέρει ότι έλαβε το μήνυμα -αν και έλαβε

την απόδειξη αυτού- ο καθορισμός των πόντων είναι σαν να έχει σταλθεί κανονικά το μήνυμα. Οι ενδιαμέσοι κόμβοι λαμβάνουν το κέρδος τους όταν στείλουν της αποδείξεις στο CSS. Αν ο προορισμός του μηνύματος στείλει αργότερα την απόδειξη στο CSS ότι έλαβε το μήνυμα, οι ενδιαμέσοι κόμβοι παίρνουν την διαφορά αυτού που έπρεπε να πάρουν και αυτού που πήραν πριν.

Αυτό που μπορούμε να πούμε είναι ότι οι ενδιαμέσοι κόμβοι θα έχουν κέρδος αν προωθήσουν το μήνυμα ίσο με $p_2 \alpha + (p_1 - p_2) \gamma \alpha + (1 - p_1) \gamma \beta - \gamma \beta$. Αυτό μπορούμε να το απλοποιήσουμε με την τιμή $p_2 (1 - \gamma) \alpha + p_1 \gamma (\alpha - \beta)$. Το p_1 είναι η πιθανότητα να προωθήσει το μήνυμα ο επόμενος κόμβος και p_2 η πιθανότητα να φτάσει το μήνυμα στον προορισμό. Αν αυτή η τιμή είναι μεγαλύτερη από το κόστος της προώθησης τότε συμφέρει τον κόμβο να προωθήσει το μήνυμα.

3.1.3 Προδιαγραφές Πρωτοκόλλου Προώθησης

Όταν η πηγή στείλει το μήνυμα για προώθηση στον επόμενο κόμβο στο μονοπάτι ενσωματώνει στο πακέτο τα πεδία $(m, p, seq, (0, d), s)$ και τα στέλνει μαζί με το μήνυμα. Το m είναι μια συνάρτηση περίληψης του μηνύματος. Το p είναι το μονοπάτι που θα ακολουθήσει το πακέτο. Το seq είναι ένας αριθμός σειράς (sequence number) που δίνεται από τον κάθε ενδιαμέσο κόμβο για το συγκεκριμένο μήνυμα. Το s είναι μια υπογραφή που βάζει ο κάθε κόμβος με βάση τα προηγούμενα τρία πεδία

Ο αποστολέας όταν θέλει να στείλει το μήνυμα αυξάνει πρώτα το seq και έπειτα στέλνει το μήνυμα. Ένας κόμβος όταν λαμβάνει ένα μήνυμα ελέγχει τρία πράγματα αν ισχύουν. Αυτά είναι:

- 1) Ο κόμβος αυτός είναι στο μονοπάτι.
- 2) Το seq του μηνύματος είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο αρχικό.
- 3) Η υπογραφή είναι έγκυρη.

Αν κάποιο από αυτά δεν ισχύει τότε το πακέτο απορρίπτεται. Αλλιώς, σώζει το (m, p, seq, s) ως απόδειξη. Αν δεν είναι ο προορισμός και θέλει να προωθήσει το μήνυμα στέλνει μαζί με αυτό το (m, p, seq, s) . Το CSS όταν λάβει μια απόδειξη ελέγχει αν είναι έγκυρη με βάση το δημόσιο κλειδί.

3.1.4 Παρακίνηση σε Συνεργασία των Κόμβων κατά την Εύρεση Διαδρομών

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται βασίζεται στο DSR, το οποίο βελτιώνει αυτή η μέθοδος ώστε να επιτύχει την συνεργασία των κόμβων κατά την εύρεση των διαδρομών. Αρχικά το ROUTE REQUEST περιλαμβάνει την διεύθυνση της πηγής και ένα sequence number. Όταν θέλει να το στείλει η πηγή αυξάνει το sequence number κατά ένα και το υπογράφει. Ένας κόμβος όταν λάβει ένα ROUTE REQUEST τότε ελέγχει αν αυτό είναι αντίγραφο κοιτάζοντας το sequence number. Επίσης σώζει το ROUTE REQUEST για να λάβει την πληρωμή του μετά από το CSS. Όταν θελήσει να αναμεταδώσει το ROUTE REQUEST βάζει την διεύθυνση του σε αυτό και το υπογράφει. Το CSS όταν λάβει ένα ROUTE REQUEST ελέγχει αν κάποια υπογραφή δεν είναι έγκυρη. Επίσης φτιάχνει ένα δέντρο βασιζόμενο στα ROUTE REQUEST που έλαβε. Η πηγή πληρώνει με α τους κόμβους του δέντρου που δεν είναι φύλλα, με β τα φύλλα του δέντρου και με $\alpha-\beta$ τους κόμβους που δεν περιλαμβάνονται στο δέντρο.[17]

3.1.5 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Καταρχάς από προσομοιώσεις φαίνεται ότι η απόδοση του δικτύου με βάση τον λόγο των πακέτων που προωθούνται είναι πολύ καλός και αν εξαιρέσουμε τα προβλήματα του δικτύου τείνει στο 1 εκτός από περιπτώσεις που οι πόροι του κόμβου – κυρίως η μπαταρία- είναι πολύ χαμηλοί. Επίσης και στην αύξηση των πακέτων που στέλνουν οι κόμβοι το sprite συμπεριφέρεται πολύ καλά έχοντας λόγο προώθησης κοντά στο 1. Ακόμα και για μικρή ενέργεια μπαταρίας μέχρι ένα αρκετά σημαντικό αριθμό πακέτων η απόδοση του συστήματος είναι πολύ καλή. Το σύστημα είναι προστατευμένο και απέναντι σε συμπαιγνίες κόμβων. Τέλος δίνει κίνητρα στους κόμβους να συνεργάζονται και στην εύρεση των κατάλληλων διαδρομών. Αυτό καθιστά το σύστημα πιο αποτελεσματικό στην εύρεση των πιο γρήγορων διαδρομών. [17]

Ωστόσο, το σύστημα αυτό έχει ελαττώματα ως προς την ασφάλειά του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι δεν προστατεύεται απέναντι σε ενεργές επιθέσεις στο δίκτυο (Denial of Service attacks). Επίσης υπάρχουν προβλήματα ως προς τις τοπολογικές απαιτήσεις του Sprite και ως προς τον μεγάλο αριθμό

πληροφορίας ελέγχου που απαιτείται.[3][21] Αυτό οδηγεί και σε απαίτηση για περισσότερη ενέργεια που πρέπει να έχουν οι κόμβοι. Τέλος οι ακριανοί κόμβοι αντιμετωπίζουν προβλήματα λόγω του ότι δεν τους δίνεται η δυνατότητα να προωθήσουν πακέτα.[16] Τέλος η ενέργεια που καταναλώνει ένας κόμβος για την προώθηση του πακέτου θεωρείται ανάλογη της απόστασης. Αυτό όμως δεν λαμβάνει υπόψη του τις διαλείψεις που συμβαίνουν σε ένα κανάλι.[20]

3.2 Packet Purse Model (PPM) και Packet Trade Model (PTM)

Και οι δύο μηχανισμοί κινήτρων βασίζονται στο ότι όποιος κόμβος ζητάει μια υπηρεσία πρέπει να χρεώνεται για αυτήν και όποιος κόμβος την παρέχει να αμείβεται. Γι'αυτό εισάγεται ένα είδος νομίσματος που δεν έχει χρηματική αξία αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο από τους κόμβους. Αυτό το νόμισμα ονομάζεται nuglet.

3.2.1 Packet Purse Model (PPM)

Σε αυτό το μοντέλο πληρώνει ο αποστολέας του μηνύματος. Όταν ο αποστολέας θέλει να στείλει ένα πακέτο βάζει σε αυτό τόσα nuglets ώστε να μπορεί να φτάσει το πακέτο στον προορισμό. Κάθε ενδιαμέσος κόμβος παίρνει από το πακέτο 1 ή περισσότερα nuglets και έτσι αυξάνει το απόθεμά του. Ο αριθμός των nuglets που παίρνει κάθε κόμβος εξαρτάται από την σύνδεση που μεταδίδεται το πακέτο – για μεγαλύτερες αποστάσεις απαιτούνται περισσότερα nuglets. Αν τα nuglets δεν είναι αρκετά το πακέτο απορρίπτεται. Στην ανάλυση που ακολουθεί θεωρούμε πως ο κάθε ενδιαμέσος κόμβος παίρνει ένα nuglet από το πακέτο για να το προωθήσει.

3.2.2 Packet Trade Model (PTM)

Στην περίπτωση αυτή πληρώνει ο παραλήπτης του πακέτου. Κάθε κόμβος αγοράζει το πακέτο από τον προηγούμενο κόμβο για κάποια nuglets και το πουλά για περισσότερα nuglets στον επόμενο κόμβο. Έτσι κάθε κόμβος κερδίζει κάποια nuglets για να καλύψει τις ανάγκες του και ο προορισμός πληρώνει τα nuglets που πήραν όλοι οι ενδιαμέσοι κόμβοι. Στην ανάλυση που ακολουθεί θεωρούμε πως ο κάθε ενδιαμέσος κόμβος πουλάει το πακέτο στον επόμενο κόμβο ένα nuglet παραπάνω από ότι το αγόρασε από τον προηγούμενο κόμβο.

3.2.3 Διάταξη Ασφάλειας

Η διάταξη ασφάλειας αποθηκεύει και διαχειρίζεται κρίσιμα στοιχεία για τη σωστή συμπεριφορά του συστήματος. Τα στοιχεία που αποθηκεύονται σε αυτή τη διάταξη είναι:

- Ένα μοναδικό αναγνωριστικό για τον κάθε κόμβο. Συμβολίζεται ως id_{SM} .
- Ένα δημόσιο κλειδί και ένα ιδιωτικό κλειδί. Το ιδιωτικό κλειδί αποθηκεύεται σε αυτή τη διάταξη, ενώ το δημόσιο κλειδί δεν είναι ανάγκη να αποθηκευτεί εδώ και σώζεται κάπου αλλού. Το δημόσιο όμως κλειδί πρέπει να συσχετίζεται με το μοναδικό αναγνωριστικό του κόμβου από τις διατάξεις ασφάλειας των άλλων κόμβων. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια της υποδομής δημόσιου κλειδιού που υπάρχει για να πιστοποιείται η γνησιότητα των κόμβων και να υπάρχουν ασφαλής συνδέσεις.
- Ο αριθμός των *nuglets*. Αυτός ο αριθμός αποθηκεύεται στην διάταξη ασφάλειας σαν μετρητής και δείχνει τον αριθμό των *nuglets* που έχει ο κάθε κόμβος. Συμβολίζεται ως n_{SM} .
- Μια λίστα με τους γειτονικούς κόμβους την κάθε χρονική στιγμή. Τα στοιχεία για των κάθε γειτονικό κόμβο που υπάρχουν στην λίστα αυτή είναι: το μοναδικό αναγνωριστικό του, διαμοιραζόμενο μυστικό κλειδί, μετρητές για τα πακέτα που στάλθηκαν και λήφθηκαν και μετρητής καλής συμπεριφοράς (*fine counter*). Όταν δύο κόμβοι γίνονται γείτονες τότε δημιουργούν το διαμοιραζόμενο μυστικό κλειδί με τη βοήθεια του πρωτοκόλλου *hello* και της κρυπτογραφίας δημόσιου κλειδιού. Το πρωτόκολλο *hello* χρησιμοποιείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα για να βρίσκονται οι γείτονες του κόμβου. Το διαμοιραζόμενο μυστικό κλειδί συμβολίζεται ως $k_{SM,SM'}$ και είναι γνωστό αποκλειστικά στους δύο αυτούς κόμβους ώστε να ασφαλίσουν την επικοινωνία τους. Ο μετρητής για τα πακέτα που στάλθηκαν συμβολίζεται ως $k_{SM \rightarrow SM'}$ και ο αντίστοιχος για αυτά που λήφθηκαν ως $k_{SM' \rightarrow SM}$. Αυτοί οι μετρητές χρησιμοποιούνται για να αναγνωρίσουν τυχόν επανάληψη του μηνύματος. Αυτοί οι μετρητές αρχικοποιούνται και κάθε φορά που στέλνει μήνυμα ο κόμβος στέλνει μαζί με αυτόν το $k_{SM \rightarrow SM'}$ και έπειτα αυξάνει τον μετρητή. Όταν λάβει ένα μήνυμα από τον γείτονά του τότε ελέγχει αν η τιμή του μετρητή που περιέχεται στο μήνυμα είναι μεγαλύτερη από το $k_{SM \rightarrow SM'}$. Αν είναι μεγαλύτερη το

αποδέχεται και αυξάνει τον μετρητή του σε αυτή τη τιμή, αλλιώς το απορρίπτει. Ο fine counter χρησιμοποιείται για να παρατηρεί τυχόν κακή συμπεριφορά του γείτονά του, συμβολίζεται ως $f_{SM,SM}$ και έχει αρχική τιμή 0. Αν ο κόμβος δεν λάβει γνώση ότι ο γείτονάς του προώθησε το πακέτο αυξάνει αυτό τον μετρητή. Την επόμενη φορά στέλνει μαζί με το πακέτο και αυτό τον μετρητή και αν ο γείτονας συμπεριφερθεί καλά θα επαναφέρει στην αρχική τιμή των μετρητή. Αν λάβει το μήνυμα ο γείτονας θα μειωθούν τα nuglets του, αν όμως δεν τον λάβει θα αυξηθεί ο fine counter. Αν ο μετρητής περάσει ένα όριο τότε μπορεί να σταματήσει να στέλνει πακέτα σε αυτό τον κόμβο.[18]

3.2.4 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Καταρχάς όσον αφορά και τα δύο συστήματα είναι αποδοτικά στο να παρακινούν τους χρήστες να συνεργάζονται, αφού αν δεν προωθούν δεν θα έχουν nuglets ώστε να μπορούν να στείλουν τα μηνύματά τους. Επίσης με την χρήση του fine counter τα nuglets του κόμβου μειώνονται ακόμα περισσότερο αν δεν συνεργάζεται. Ακόμα αν συνεχιστεί αυτή η συμπεριφορά και το fine counter φτάσει σε ένα κατώφλι οι άλλοι κόμβοι δεν θα στέλνουν πακέτα πλέον από αυτό τον κόμβο. Επίσης έχουν αποτελεσματικούς μηχανισμούς απέναντι στην πλαστογράφιση των nuglets ώστε να μην μπορούν οι κόμβοι να τα πλαστογραφούν. Επίσης με τον έλεγχο για τυχόν επανάληψη του μηνύματος εξασφαλίζεται ότι οι κόμβοι δεν θα ξαναστείλουν το μήνυμα ώστε να κερδίσουν nuglets.

Από την άλλη βέβαια η επικεφαλίδα που προστίθεται στα πακέτα για την χρήση αυτών των μηχανισμών είναι αρκετά μεγάλη, προσθέτοντας έξτρα όγκο πληροφορίας για διακίνηση στο δίκτυο. Ακόμα το σύστημα κατά την σχεδιάσή του κάνει την παραδοχή ότι οι κόμβοι έχουν μικρή κινητικότητα ώστε να μπορεί με χρήση του πρωτοκόλου hello να βρίσκει τους γείτονές του. Έτσι μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα όταν έχουμε μεγάλη κινητικότητα των κόμβων.[18] Επίσης η ενέργεια που καταναλώνει ένας κόμβος για την προώθηση του πακέτου παίρνεται ανάλογη της απόστασης. Αυτό όμως δεν παίρνει υπόψη του τις διαλείψεις που συμβαίνουν σε ένα κανάλι.[20]

Όσον αφορά το Packet Purse Model, έχει το πλεονέκτημα ότι οι κόμβοι αποθαρρύνονται να στέλνουν άχρηστα μηνύματα και έτσι να προκαλούν συμφόρηση

στο δίκτυο, αφού έτσι θα μειώνονται τα nuglets του. Βέβαια λόγω του γεγονότος ότι είναι δύσκολο για ένα κόμβο να υπολογίσει από πριν πόσα nuglets χρειάζεται για να φτάσει στον προορισμό το πακέτο, μπορούν να δημιουργηθούν προβλήματα στους κόμβους.

Το Packet Trade Model έλυσε το πρόβλημα του PPM για τον υπολογισμό των nuglets, κάνοντας ταυτόχρονα δυνατή την broadcast μεταφορά πακέτου. Όμως έχει το μειονέκτημα ότι δεν μπορεί να εμποδίσει αποτελεσματικά ένα κόμβο από το να στείλει άχρηστα πακέτα και να συμφορήσει το δίκτυο.[18][3] Επίσης η ενέργεια που καταναλώνουν οι κόμβοι για να εφαρμόσουν αυτούς τους μηχανισμούς είναι μεγάλη και οι ακριανοί κόμβοι αντιμετωπίζουν προβλήματα λόγω του ότι δεν τους δίνεται η δυνατότητα να προωθήσουν πακέτα.[16]

3.3 Μηχανισμός Αμοιβής Βασισμένος στο Nuglet Counter

3.3.1 Μηχανισμός Παρακίνησης σε Συνεργασία

Το μοντέλο αυτό βασίζεται στην ύπαρξη ενός μετρητή που ονομάζεται nuglet counter. Όταν ένας κόμβος προωθήσει ένα πακέτο αυτός ο μετρητής αυξάνει κατά 1. Όταν θέλει να στείλει ένα πακέτο ένας κόμβος υπολογίζει τον αριθμό n των ενδιαμέσων κόμβων. Αν αυτός ο αριθμός είναι μεγαλύτερος ή ίσος με την τιμή του μετρητή, ο κόμβος μπορεί να στείλει το πακέτο και ο μετρητής μειώνεται κατά n . Αλλιώς απορρίπτεται το πακέτο. Ο υπολογισμός του n μπορεί να γίνει και από τον τύπο $n = \left\lceil \frac{distance(i,d)}{power\ range} \right\rceil - 1$. Όπου το $distance(i,d)$ είναι η απόσταση πηγής προορισμού. Αυτή η τιμή δίνει ένα κάτω όριο για τους ενδιαμέσους κόμβους που απαιτούνται.

Ορίζουμε ως in_o τον αριθμό των πακέτων που παράγει ο κόμβος, ως in_f τον αριθμό των πακέτων που του στέλνονται για προώθηση, ως out_o τον αριθμό των δικών του πακέτων που στέλνει ο κόμβος και ως out_f τον αριθμό των πακέτων των άλλων κόμβων που στέλνει. out είναι ο συνολικός αριθμός πακέτων που στέλνονται. Η κατάσταση του κόμβου δίνεται από δύο μεταβλητές τις b που είναι ο αριθμός των πακέτων που μπορεί να στείλει ο κόμβος λόγω της διαθέσιμης μπαταρίας του, και c που είναι η τιμή του nuglet counter. Β και C είναι η αρχική τιμή του b και του c αντίστοιχα. Θεωρούμε πως ο αριθμός των ενδιαμέσων κόμβων, και άρα και το πόσο

πέφτει ο nuglet counter όταν ο κόμβος στείλει πακέτο, είναι σταθερός και ίσος με N . Κάθε φορά που στέλνεται ένα πακέτο το b μειώνεται κατά 1 και όταν φτάσει στο 0 τερματίζεται η λειτουργία του κόμβου. Η τιμή του C δεν επαρκεί για να στείλει μόνο δικά του πακέτα όσο λειτουργεί ο κάθε κόμβος.

Πρέπει να ισχύουν οι εξής τρεις σχέσεις:

$$1) out_o, out_f \geq 0$$

$$2) N * out_o - out_f \leq C$$

$$3) out_o + out_f = B$$

Από αυτές τις σχέσεις βγαίνει ότι η μέγιστη τιμή του out_o είναι ίση με $(B+C/N+1)$. Για να γίνει αυτό πρέπει $out_f = (N*B - C)/(N+1)$.

Το ζήτημα δεν είναι μόνο το out_o να φτάσει τη μέγιστη τιμή αλλά και κάθε στιγμή να έχει τη δυνατότητα ο κόμβος να στείλει τα πακέτα του. Αν δεν μπορεί να τα στείλει εκείνη τη στιγμή απορρίπτονται. Ορίζουμε ως r_o τον μέσο σταθερό ρυθμό που δημιουργεί τα πακέτα του ο κόμβος, ως r_f τον μέσο σταθερό ρυθμό των πακέτων προς προώθηση και ως t_{end} τον χρόνο που κρατάει η μπαταρία του κόμβου. Ορίζουμε το z_o ,που δείχνει τον αριθμό των πακέτων του κόμβου που απορρίπτονται, ίσο με $out_o/(r_o*t_{end})$.

Τώρα σκοπός μας είναι να μεγιστοποιήσουμε τόσο το out_o όσο και το z_o . Όπως έχουμε πει πιο πάνω η μέγιστη τιμή του out_o είναι ίση με $(B+C/N+1)$. Όσον αφορά το z_o διακρίνουμε δύο περιπτώσεις.

1)Αν ισχύει $\frac{r_f}{r_o} \geq \frac{N*B-C}{B+C}$ τότε η μέγιστη τιμή του z_o είναι ίση με 1. Αυτή είναι η ιδανική περίπτωση αφού όλα τα πακέτα του κόμβου προωθούνται.

2)Αν ισχύει $\frac{r_f}{r_o} < \frac{N*B-C}{B+C}$ τότε η μέγιστη τιμή του z_o δίνεται από τη σχέση:

$$z_o = \frac{r_f}{r_o} * \frac{B+C}{N*B-C} < 1. \text{ Δηλαδή, κάποια πακέτα του κόμβου απορρίπτονται.}$$

Άρα η απόρριψη των πακέτων του κόμβου εξαρτάται από το αν στέλνονται επαρκή πακέτα για προώθηση.

Ένας κόμβος όταν μπορεί στέλνει τα δικά του πακέτα. Ορίζουμε ως f τον αριθμό των πακέτων για προώθηση που έχουν σταλθεί. Με βάση αυτόν τον αριθμό υπάρχουν τέσσερις κανόνες για το αν θα προωθήσει ένα πακέτο ο κόμβος ή θα το απορρίψει. Ακολουθούν οι τέσσερις αυτοί κανόνες. Και στους τέσσερις κανόνες τα πακέτα απορρίπτονται αν το f φτάσει στο κατώφλι $\frac{N+B-C}{N+1}$. Για τιμές του f μικρότερες από αυτό το κατώφλι ισχύουν τα ακόλουθα για τους κανόνες:

1^{ος} κανόνας: προώθησε σε όλες τις περιπτώσεις το πακέτο.

2^{ος} κανόνας: Αν $c \leq C$ προώθησε. Αλλιώς προώθησε με πιθανότητα C/c .

3^{ος} κανόνας: Αν $c \leq C$ προώθησε. Αλλιώς απόρριψε το πακέτο.

4^{ος} κανόνας: Αν $c \leq C$ προώθησε με πιθανότητα $(1-c/C)$. Αλλιώς απόρριψε το πακέτο.

Είναι φανερό πως όσο ανεβαίνει ο αριθμός του κανόνα τόσο λιγότερο συνεργάσιμος είναι αυτός. Από προσομοιώσεις που έγιναν φάνηκε ότι ο 4^{ος} κανόνας έχει μακράν τη χειρότερη απόδοση από τους άλλους τρεις. Οι υπόλοιποι εκτός από την περίπτωση $\frac{r_f}{r_o} = N$ φαίρονται το ίδιο καλά. Όταν όμως $\frac{r_f}{r_o} = N$ ο πρώτος κανόνας είναι καλύτερος από τους υπόλοιπους.

Ο 1^{ος} κανόνας με βάση τις προσομοιώσεις που έγιναν είναι εκτός από πιο συνεργάσιμος και πιο αποδοτικός. Γι'αυτό οι κόμβοι επωφελούνται από την χρήση του. Το μόνο πρόβλημα που υπάρχει είναι όταν τελειώνει η μπαταρία του. Τότε μπορεί να είναι καλύτερο για τον κόμβο να χρησιμοποιεί λιγότερο συνεργάσιμους κανόνες ή και να μην συνεργάζεται καθόλου ώστε να διατηρήσει την ενέργειά του. Βέβαια η μπαταρία επαναφορτίζεται.

3.3.2 Προστασία

Για την προστασία του μηχανισμού απέναντι στην πλαστογραφία υπάρχει μια διάταξη ασφάλειας. Όλες οι κρίσιμες συναρτήσεις τοποθετούνται στην διάταξη ασφάλειας.

Κάθε διάταξη ασφάλειας έχει ένα ιδιωτικό κλειδί και ένα δημόσιο κλειδί. Το ιδιωτικό κλειδί και το πιστοποιητικό του δημόσιου κλειδιού αποθηκεύονται στη διάταξη. Στη διάταξη αποθηκεύονται και το δημόσιο κλειδί των άλλων κόμβων.

Όταν δύο κόμβοι όταν γίνονται γείτονες δοκιμάζουν μια επαφή ασφάλειας ανάμεσα στις διατάξεις ασφάλειας τους. Μόνο αν επιτύχει αυτή θεωρούνται γείτονες. Τα στοιχεία που περεΐναι:

- Ένα μοναδικό αναγνωριστικό για την διάταξη ασφάλειας του άλλου κόμβου.
- Ένα μοναδικό αναγνωριστικό για τον άλλο κόμβο.
- Ένα συμμετρικό κλειδί για τη σύνοδο που συμβολίζεται ως k_{AB}
- Δύο sequence numbers, ένα για τα σταλθέντα και ένα για τα ληφθέντα. Αυτά συμβολίζονται ως $c_{A \rightarrow B}$ και $c_{A \leftarrow B}$.
- Ένα μετρητή που ονομάζεται εκκρεμής nuglet counter και συμβολίζεται ως $p_{B@A}^{c_{A \rightarrow B}}$.

Το συμμετρικό κλειδί k_{AB} υπολογίζει τον κωδικό αυθεντικότητας του μηνύματος, ο οποίος προστατεύει την ακεραιότητα και εξασφαλίζει την αυθεντικότητα των πακέτων που ανταλλάσσουν οι δύο κόμβοι. Τα sequence numbers χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουμε ότι τα πακέτα δεν είναι επανάληψη. Το χρησιμοποιείται για να μαζεύει τα nuglets του A που προέρχονται από τον B. Η επαφή ασφάλειας μεταξύ των κόμβων γίνεται με την χρήση ενός πρωτοκόλλου κρυπτογραφίας δημόσιου κλειδιού.

3.3.3 Πρωτόκολλο Προώθησης Πακέτου

Αν ένας κόμβος θέλει να στείλει ένα πακέτο πρώτα το πάει στη διάταξη ασφάλειας του. Εκεί υπολογίζονται οι ενδιάμεσοι κόμβοι. Έπειτα δημιουργεί μια επικεφαλίδα ασφάλειας με βάση το συμμετρικό κλειδί και το $c_{A \rightarrow B}$. Αυτή η επικεφαλίδα περιλαμβάνει τις δύο διατάξεις ασφάλειας, το $c_{A \rightarrow B}$ και τη hash συνάρτηση κρυπτογραφίας κλειδιού $h(k_{AB}, A, B, c_{A \rightarrow B}, \text{πακέτο})$. Μετά το στέλνει στον επόμενο κόμβο.

Όταν το πακέτο θα φτάσει στον επόμενο κόμβο, η διάταξή του ασφάλειας ελέγχει την επικεφαλίδα ασφάλειας. Αρχικά ελέγχει το $c_{A \rightarrow B}$ για να δει αν είναι

μεγαλύτερο από το $C_{B \leftarrow A}$ ώστε να μην είναι επανάληψη το πακέτο. Έπειτα ελέγχει την συνάρτηση h . Αν είναι σωστή, δίνει την τιμή του $C_{A \rightarrow B}$ στον $C_{B \leftarrow A}$. Αν ο προηγούμενος κόμβος δεν είναι η πηγή, αυξάνει το pending nuglet counter του κατά ένα. Μετά με βάση τη διαδικασία που περιγράφηκε ο κόμβος προωθεί το πακέτο.

Σε τακτά χρονικά διαστήματα η διάταξη ασφάλειας εκτελεί ένα πρωτόκολλο συγχρονισμού nuglet για να αδειάσει ο εκκρεμής nuglet counter και να μεταφερθούν τα nuglets στον nuglet counter. Αυτό εξασφαλίζει ότι οι κόμβοι πράγματι έχουν προωθήσει το πακέτο. Το εκκρεμής nuglet counter μηδενίζεται επίσης όταν δύο κόμβοι απομακρυνθούν ο ένας από τον άλλο και δεν θεωρούνται πλέον γείτονες. Έτσι τα nuglets του κόμβου χάνονται.[19]

3.3.4 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Καταρχάς ο μηχανισμός αυτός εξασφαλίζει την προστασία του δικτύου απέναντι σε διάφορες επιθέσεις από κακόβουλους κόμβους. Επίσης δεν μπορεί ένας κόμβος να εξαπατήσει το δίκτυο αφού παίρνει τα nuglets μόνο αν προώθησε το πακέτο και δεν μπορεί να το ξαναπροωθήσει. Η απόδοση του δικτύου είναι αρκετά ικανοποιητική -εμφανίζοντας ελάχιστη πτώση- όταν υπάρχουν αρκετοί κόμβοι που δεν συνεργάζονται. Αυτό συμβαίνει ακόμα και αν ο αριθμός τους είναι πολύ μεγάλος.

Από την άλλη ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η απόδοση των nuglets στο δίκτυο μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σε περίπτωση μεγάλης κινητικότητας των κόμβων. Αυτό γιατί μέρος από τα nuglets που κερδίζει ο κόμβος θα διαγράφονται από τον εκκρεμής nuglet counter. Επίσης ο μηχανισμός αυτός δεν είναι κατάλληλος για μετάδοσης multicast όπου δεν μπορεί να υπολογιστεί ακριβώς ο αριθμός των ενδιαμέσων κόμβων.[19] Επίσης η ενέργεια που καταναλώνουν οι κόμβοι για να εφαρμόσουν αυτό το μηχανισμό είναι μεγάλη και οι ακριανοί κόμβοι αντιμετωπίζουν προβλήματα λόγω του ότι δεν τους δίνεται η δυνατότητα να προωθήσουν πακέτα.[16] Τέλος η ενέργεια που καταναλώνει ένας κόμβος για την προώθηση του πακέτου παίρνεται ανάλογη της απόστασης. Αυτό όμως δεν παίρνει υπόψη του τις διαλείψεις που συμβαίνουν σε ένα κανάλι.[20]

3.4 Stimulating Cooperative Diversity in Wireless Ad Hoc Networks through Pricing

Αυτός ο μηχανισμός διαφέρει ως προς τους προηγούμενους στο ότι λαμβάνει υπόψη του τις διαλείψεις του καναλιού επικοινωνίας. Το δίκτυο αποτελείται από κόμβους και από ένα σημείο πρόσβασης στο οποίο καταλήγουν οι μεταδόσεις των κόμβων. Το σημείο πρόσβασης χρεώνει τους κόμβους για τη μεταφορά πακέτων και οι κόμβοι αποζημιώνουν ο ένας τον άλλο για την προώθηση. Το σημείο πρόσβασης δηλώνει την τιμή των υπηρεσιών για κάθε ζευγάρι πηγής-ενδιάμεσου κόμβου. Αυτές οι τιμές διαλέγονται ώστε να είναι μέγιστο το κέρδος του σημείου πρόσβασης όταν δεν προωθούν οι κόμβοι. Οι υπηρεσίες σχετίζονται με τον όγκο των στοιχείων που μεταδίδουν οι κόμβοι. Το δίκτυο αναλύεται με μια πηγή, ένα ενδιάμεσο κόμβο και το σημείο πρόσβασης. Με βάση την τιμή των υπηρεσιών και την αποζημίωση για την προώθηση μπορούμε να ορίσουμε την αλληλεπίδραση των κόμβων σαν ένα στρατηγικό παιχνίδι που φτάνει σε σημείο ισορροπίας κατά Nash. Η πηγή θέλει να αυξήσει την απόδοσή της. Ο μηχανισμός αμοιβής συγκλίνει στην τιμή της αποζημίωσης που κάνει μέγιστη την ωφέλεια της πηγής.

3.4.1 Μοντέλο Συστήματος

Όπως είπαμε όλοι οι κόμβοι επικοινωνούν ελεύθερα με το σημείο πρόσβασης στέλνοντάς του πακέτα των M bits. Το δίκτυο θεωρείται στατικό με την έννοια ότι ο χρόνος σύγκλισης του μηχανισμού είναι μικρότερος από το χρόνο συνοχής του καναλιού και από την κινητικότητα των κόμβων. Η λειτουργικότητα του μηχανισμού αυτού εξαρτάται από την δρομολόγηση διαδρομών του δικτύου. Θεωρούμε απλές διαδρομές ομαδοποιώντας τους κόμβους σε δυάδες. Ο κόμβος που είναι πιο κοντά στο σημείο πρόσβασης είναι ο ενδιάμεσος κόμβος και ο άλλος η πηγή. Με αυτή την παραδοχή μπορούμε να εξετάσουμε την συνεργασία των κόμβων στα ad hoc δίκτυα.

Το μέτρο της ικανοποίησης του κάθε χρήστη από την επικοινωνία του με άλλους εξαρτιούνται από δυο παράγοντες: το ρυθμό απόδοσης και την ενέργεια της μπαταρίας. Ένας εγωιστικός κόμβος επιθυμεί να αυξήσει τον ρυθμό απόδοσης ξοδεύοντας τη λιγότερη δυνατή ενέργεια. Για να συνδυάσουμε αυτά τα δύο ορίζουμε την συνάρτηση της απόδοσης του κόμβου ως: $U(p) = \frac{T(p)}{p}$ bits/joule. Το $T(p)$

δείχνει τον ρυθμό απόδοσης και το p την ενέργεια της μετάδοσης. Το $T(p)$ δίνεται από τη σχέση: $T(p) = W * f(\gamma)$, όπου $\gamma = \frac{h * p}{N_o * W}$ είναι το SNR του καναλιού και $f(\gamma) = [1 - 2 * BER(\gamma)]^M$. Στην σχέση αυτή το h είναι το κέρδος του μονοπατιού του καναλιού του χρήστη, το W το εύρος ζώνης και το N_o η πυκνότητα θορύβου.

Η απόδοση του κόμβου στον μηχανισμό αμοιβής εξαρτάται από τον ρόλο του (πηγή ή ενδιάμεσος κόμβος) στο δίκτυο και περιλαμβάνει το πραγματικό και το ευκαιριακό κόστος της προώθησης πακέτων μαζί με την επιβράβευση της αμοιβής. Ανάλογα με το ρόλο του κόμβου διαφορετικά πράγματα καθορίζουν τη δράση του. Για τους ενδιάμεσους κόμβους η δράση του καθορίζεται από το ύψος της ενέργειας μεταφοράς του πακέτου (p_r - μέγιστη τιμή p^{max}) και από την προτίμησή του στην προώθηση (k). Το k παίρνει τιμές από 0 (δεν συνεργάζεται καθόλου) ως 1 (συνεργάζεται πλήρως). Για την πηγή η δράση της καθορίζεται από το ύψος της ενέργειας μεταφοράς του πακέτου (p_s - μέγιστη τιμή p^{max}), ένα δείκτη που περιγράφει το πρωτόκολλο μετάδοσης που χρησιμοποιείται (l) και την τιμή της αποζημίωσης που δίνει στον ενδιάμεσο κόμβο για την προώθηση (μ). Με λ συμβολίζουμε την τιμή της υπηρεσίας ανά μονάδα στοιχείων που δίνει το σημείο πρόσβασης.

Θεωρούμε τρεις διαδρομές πηγή-σημείο πρόσβασης, πηγή-ενδιάμεσος κόμβος, ενδιάμεσος κόμβος-σημείο πρόσβασης με αντίστοιχα κέρδη h_{sa} h_{sr} h_{ra} . Διακρίνουμε δύο περιπτώσεις ανάλογα με το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται. Ο ενδιάμεσος κόμβος αποζημιώνεται με μια τιμή αναλογική ως προς τον ρυθμό απόδοσης της πηγής και στις δύο περιπτώσεις.

Αν χρησιμοποιείται το amplify-and-forward πρωτόκολλο τότε ισχύει για τον ρυθμό απόδοσης της πηγής: $T_{AF} = W * f(\gamma_{AF})$, όπου για το SNR ισχύει $\gamma_{AF} = \gamma_{sa} + \min\{\gamma_{sr}, \gamma_{ra}\}$. Η συνάρτηση απόδοσης της πηγής δίνεται από τη σχέση:

$$U_s^{af} = W * [(1 - l) \left(\frac{1}{p_s} - \lambda \right) * f(\gamma_{sa}) + l * \left(\frac{1}{p_s} - \lambda - \mu \right) * f(\gamma_{AF})].$$

Η συνάρτηση απόδοσης του ενδιάμεσου κόμβου δίνεται από τη σχέση:

$$U_r^{af} = W * [(\frac{1}{p_r} - \lambda) * (1 - k) * f(y_{ra}) + k * \mu * f(y_{AF})].$$

Αν χρησιμοποιείται η μετάδοση πολλαπλών βημάτων ο ρυθμός απόδοσης της πηγής είναι το $\min\{T_{sr}, kT_{ra}\}$. Η συνάρτηση απόδοσης της πηγής δίνεται από τη σχέση:

$$U_s^{mh} = W * [(1 - l) (\frac{1}{p_s} - \lambda) * f(y_{sa}) - \lambda * l * f(y_{sr}) + (\frac{1}{p_s} - \mu) * \min \{l * f(y_{sr}), k * f(y_{ra})\}].$$

Ο πρώτος όρος της παρένθεσης είναι η περίπτωση της μη προώθησης ($l=0$) και οι άλλοι δύο όροι η περίπτωση της προώθησης ($l=1$). Η συνάρτηση απόδοσης του ενδιάμεσου κόμβου δίνεται από τη σχέση:

$$U_r^{mh} = W * [(\frac{1}{p_r} - \lambda) * (1 - k) * f(y_{ra}) - \lambda * k * f(y_{ra}) + \mu * \min \{l * f(y_{sr}), k * f(y_{ra})\}]$$

.

Το σημείο πρόσβασης χρεώνει τους κόμβους ανάλογα με τον αριθμό των πληροφοριών που μεταδίδονται στο δίκτυο. Άρα η συνάρτηση απόδοσης του σημείου πρόσβασης δίνεται από τη σχέση: $U_{AP} = \sum_i \lambda_i * (T_s^i + T_r^i)$, όπου το i δείχνει την κάθε ομάδα πηγής-ενδιάμεσου κόμβου που υπάρχει στο δίκτυο.

3.4.2 Μηχανισμός Κινήτρων Αμοιβής

Καταρχάς το λ δίνεται από το σημείο πρόσβασης. Η πηγή δίνει αρχικά αποζημίωση $\mu=0$. Με βάση αυτές τις τιμές των λ και μ η πηγή και ο ενδιάμεσος κόμβος παίζουν ένα στρατηγικό παιχνίδι με σκοπό να μεγιστοποιήσουν τις αποδόσεις τους. Αναλυτικότερα θα εξηγηθεί παρακάτω. Μετά η πηγή υπολογίζει την απόδοσή της και δίνει στο μ την τιμή $\mu + \Delta\mu$ και ξαναπαίζουν το στρατηγικό παιχνίδι. Αυτό γίνεται επαναληπτικά μέχρι η πηγή να φτάσει στο μέγιστο μ που μπορεί να δώσει στον ενδιάμεσο κόμβο (περίπτωση μη προώθησης) ή η νέα απόδοσή της να διαφέρει ελάχιστα από την προηγούμενη επανάληψη (περίπτωση προώθησης). Ο αλγόριθμος αυτός συγκλίνει στην αποζημίωση μ που μεγιστοποιεί την απόδοση της πηγής.

Όσον αφορά τώρα το στρατηγικό παιχνίδι με βάση ότι τα μ, λ είναι γνωστά τα ζητούμενα στην κάθε επανάληψη είναι τα (p_s, l) που μεγιστοποιούν την απόδοση της

πηγής και τα (p_r, k) που μεγιστοποιούν την απόδοση του ενδιάμεσου κόμβου. Αυτό καταλήγει σε σημείο ισορροπίας κατά Nash – στο σημείο ,δηλαδή, που κανένας από τους δύο δεν κερδίζει από το να τα αλλάξει. Υπάρχει πάντα το σημείο $(p_s, 0, p_r, 0)$ που σημαίνει μη προώθηση. Σε κάποιες περιπτώσεις όμως υπάρχει και το σημείο ισορροπίας $(p_s, 1, p_r, 1)$. Η ύπαρξη του εξαρτάται από τη σχετική θέση πηγής και ενδιάμεσου κόμβου. Ο αλγόριθμος για την εύρεση του σημείου αυτού όταν υπάρχει είναι:

1)Μεγιστοποίησε το $U_s(p_s, l)$.

2) Μεγιστοποίησε το $U_r(p_r, k)$ με περιορισμούς.

3)κάνε

i) Μεγιστοποίησε το $U_s(p_s, k)$ με περιορισμούς.

ii) Μεγιστοποίησε το $U_r(p_r, k)$ με περιορισμούς.

μέχρι τα (p_s, l, p_r, k) να μην διαφέρουν από την προηγούμενη επανάληψη.

Αυτό ισχύει και για τα δύο πρωτόκολλα και χρειάζεται 2 επαναλήψεις. Οι περιορισμοί είναι:

1)Για το πρωτόκολλο multi-hop και την πηγή:

$$0 \leq p_s \leq p^{max}, l \in (0,1), l * f(\gamma_{sr}) \leq k * f(\gamma_{ra}).$$

2)Για το πρωτόκολλο multi-hop και τον ενδιάμεσο κόμβο

$$0 \leq p_r \leq p^{max}, k \in (0,1), k * f(\gamma_{ra}) \leq l * f(\gamma_{sr}).$$

3)Για το πρωτόκολλο AF και την πηγή:

$$0 \leq p_s \leq p^{max}, l \in (0,1), l \leq k.$$

4)Για το πρωτόκολλο AF και τον ενδιάμεσο κόμβο

$$0 \leq p_r \leq p^{max}, k \in (0,1), k \leq l, (\gamma_{ra}) \leq (\gamma_{sr}).[20]$$

3.4.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Από προσομοιώσεις που έχουν γίνει φαίνεται ότι στα σημεία που υπάρχει σημείο ισορροπίας με προώθηση –πηγή και ενδιαμέσος κόμβος είναι αρκετά κοντά που είναι συνηθισμένο- η απόδοση τόσο της πηγής, του ενδιαμέσου κόμβου και του σημείου πρόσβασης αυξάνεται και για τα δύο πρωτόκολλα. Αυτή η αύξηση είναι πιο μεγάλη για το AF πρωτόκολλο. Το σημείο πρόσβασης επίσης όσο αυξάνονται οι κόμβοι έχει μεγαλύτερη διαφορά προς τα πάνω στην απόδοση από το να μην χρησιμοποιούνταν κανένας μηχανισμός.

Βέβαια υπάρχει και το αρνητικό πως για να υπάρχουν τα προτερήματα που περιγράφηκαν πρέπει πηγή και ενδιαμέσος κόμβος να είναι σχετικά κοντά.[20]

3.5 Μηχανισμός Κινήτρων Αμοιβής για Κυψελωτά Δίκτυα Πολλαπλών Βημάτων

3.5.1 Κυψελωτά Δίκτυα Πολλαπλών Βημάτων

Τα κυψελωτά δίκτυα πολλαπλών βημάτων αποτελούνται από κυψέλες στις οποίες εκπέμπει ένας σταθμός βάσης όπως και τα συνηθισμένα κυψελωτά συστήματα. Όμως, σε αυτά τα δίκτυα τα πακέτα μέσα στην κυψέλη μεταφέρονται βήμα βήμα μέσω των ίδιων των κόμβων. Ο κάθε κόμβος προωθεί τα πακέτα των άλλων κόμβων. Αυτό διαθέτει πολλά πλεονεκτήματα όπως μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση, λιγότερες παρεμβολές, μεγαλύτερη κάλυψη και δυνατότητα επικοινωνίας των κόμβων ανεξάρτητα από τους σταθμούς βάσης. Ωστόσο, διαθέτουν και όλα τα προβλήματα που πρέπει να λυθούν για τα ad hoc δίκτυα. Γι'αυτό χρησιμοποιείται ένας μηχανισμός κινήτρων βασισμένος σε διάταξη μικροπληρωμής.

3.5.2 Μοντέλο

Υπάρχουν τρία είδη κόμβων σε αυτό το μηχανισμό. Αυτοί είναι: οι χρήστες, οι σταθμοί βάσης και τα κέντρα μέτρησης. Υπάρχουν πολλά δίκτυα το καθένα από τα οποία έχει ένα σταθμό βάσης και ένα κέντρο μέτρησης. Οι χρήστες έχουν μικρό αποθηκευτικό χώρο και λίγη ενέργεια. Ο κάθε χρήστης έχει το δικό του δίκτυο (home network) και όταν βρίσκεται σε άλλο αυτό λέγεται ξένο δίκτυο (foreign network). Επίσης υπάρχει ένα backbone δίκτυο μέσω του οποίου συνδέονται όλοι οι σταθμοί βάσης και τα κέντρα μέτρησης.

Σε αυτό το μηχανισμό χρησιμοποιείται ασύγχρονο κυψελωτό δίκτυο πολλαπλών βημάτων. Η άνω σύνδεση είναι πολλαπλών βημάτων. Τα πακέτα μεταφέρονται στον κοντινότερο σταθμό βάσης με προώθηση μέσω των άλλων χρηστών. Το πακέτο πάει στον σταθμό βάσης του δικτύου του προορισμού μέσω του backbone δικτύου. Από εκεί φτάνει στον παραλήπτη μέσω της κάτω σύνδεσης ενός βήματος. Δηλαδή, ο σταθμός βάσης στέλνει απευθείας το πακέτο στον παραλήπτη. Οι χρήστες μπορούν να ανήκουν σε μία ή περισσότερες από τις παρακάτω κατηγορίες: δημιουργοί (αποστολέας του πακέτου), παραλήπτες και ενδιάμεσος (οι κόμβοι που προωθούν το πακέτο στον κοντινότερο σταθμό).

3.5.3 Μετάδοση πακέτων

Ο κάθε χρήστης εγγράφεται στον δικό του κόμβο και του εκχωρείται μια ταυτότητα (id_u) και ένα συμμετρικό κλειδί (K_u). Αυτά αποθηκεύονται στον χρήστη και στο δικό του δίκτυο. Ορίζουμε ως L την αμοιβή των κόμβων για την προώθηση, η οποία παίρνει ακέραιες τιμές από το 0 ως το max_L . Αυτή καθορίζεται από τον δημιουργό.

Ο κάθε χρήστης u διαθέτει μια λίστα λ_u για κάθε γείτονά του. Αυτή αποτελείται από τα εξής τρία στοιχεία: την ταυτότητα του γείτονα (u_i), τον αριθμό των βημάτων μέχρι τον σταθμό βάσης (d_i) και το κατώφλι της αμοιβής που πρέπει να πάρει ο γείτονας για να προωθήσει το πακέτο (L_i). Ο χρήστης ταξινομεί αυτές τις λίστες από αυτή με το μικρότερο αριθμό βημάτων σε αυτή με το μεγαλύτερο. Αν ο αριθμός των βημάτων είναι ίδιος από το μικρότερο L στο μεγαλύτερο.

Ο δημιουργός καθορίζει όπως είπαμε την τιμή του L , υπολογίζει την MAC ($\mu = MAC_{w_0}(p, L)$) και στέλνει το πακέτο. Ένας κόμβος (μπορεί να είναι και ο δημιουργός) που θέλει να στείλει το πακέτο ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

- 1) Αν μπορεί να το στείλει κατευθείαν στο σταθμό βάσης το στέλνει. Αλλιώς πάει στο βήμα 2.
- 2) Διαλέγει το πρώτο κόμβο από την λίστα του (από αυτούς που δεν έχουν ήδη διαλεχτεί) για τον οποίο ισχύει $L_i \leq L$.
- 3) Στέλνει μια αίτηση προώθησης στον επιλεγμένο γείτονα που περιλαμβάνει σίγουρα το L .

4)Περιμένει για μια χρονική περίοδο να φτάσει η αναγνώριση από τον γείτονα. Αν φτάσει στέλνει το πακέτο. Το αν θα στείλει την αναγνώριση ο γείτονας εξαρτάται από το αν η τιμή του L είναι μεγαλύτερη ή ίση από το κατώφλι του. Αλλιώς, αν δεν έχει τελειώσει η λίστα πάει στο βήμα 2. Αν τελειώσει η λίστα το πακέτο απορρίπτεται.

5)Αν δεν είναι ο δημιουργός, εκτελεί το πρωτόκολλο καταγραφής αμοιβής.

Όταν φτάσει ένα πακέτο στον σταθμό βάσης που είναι εκείνη τη στιγμή ο δημιουργός, ο σταθμός βάσης κοιτάζει το συμμετρικό κλειδί του δημιουργού και ελέγχει αν είναι έγκυρο το πακέτο. Αυτό γίνεται αν ο σταθμός βάσης είναι του δικού του δικτύου. Αλλιώς το στέλνει στον δικό του σταθμό βάσης και αυτός εκτελεί τη διαδικασία που ειπώθηκε και αν είναι έγκυρο το πακέτο το στέλνει πίσω στον σταθμό βάσης για προώθηση. Από εκεί φτάνει στον σταθμό βάσης που βρίσκεται ο παραλήπτης και από εκεί στον παραλήπτη.

Ο σταθμός βάσης του δημιουργού κρατάει ένα αρχείο με τα στοιχεία ασφάλειας του δημιουργού, όπως και τον αριθμό των πακέτων που μεταδίδει για αυτόν τον κόμβο (cnt_{uo}). Το αρχείο αυτό το στέλνει περιοδικά στο κέντρο μέτρησης μαζί με γεωγραφικές πληροφορίες για τον χρήστη.

3.5.4 Διαδικασία Αμοιβής

Μετά την προώθηση του πακέτου, ο κόμβος εξακριβώνει αν η τιμή μιας συνάρτησης f είναι 1. Αν είναι τότε το εισιτήριο αυτό κερδίζει. Επειδή αυτή η συνάρτηση εκτελείται για κάθε ενδιαμέσο κόμβο πρέπει να μην είναι πολύ απαιτητική. Μια καλή συνάρτηση για αυτό το σκοπό είναι η απόσταση Hamming μεταξύ μ και K_u να είναι μικρότερη από ένα κατώφλι h . Η πιθανότητα το μ να είναι το νικηφόρο εισιτήριο είναι: $\frac{1}{2^l} * \sum_{i=0}^h \binom{l}{i}$, όπου l είναι το μήκος των μ και K_u – θεωρούνται ισομηκή. Όλα τα εισιτήρια έχουν την ίδια αξία. Αν η συνάρτηση f είναι 1, ο κόμβος καταγράφει (u_1, u_2, μ, L) . Το u_1 είναι ο κόμβος από τον οποίο έφτασε το πακέτο και u_2 είναι ο κόμβος που θα στείλει το πακέτο (μπορεί να είναι και ο σταθμός βάσης). Αυτό γίνεται γιατί και οι γείτονες αμείβονται αν το εισιτήριο είναι νικηφόρο. Συμβολίζουμε με M τα καταγεγραμμένα νικηφόρα εισιτήρια.

Αν ένας κόμβος είναι γειτονικός στον σταθμό βάσης στέλνει την λίστα M στον σταθμό βάσης. Ο σταθμός βάσης χρησιμοποιεί το συμμετρικό κλειδί του

κόμβου για να ελέγξει την αυθεντικότητα του αιτήματος. Το ίδιο κάνει και ένας οποιοδήποτε άλλος κόμβος όταν θέλει να στείλει ένα πακέτο ή δεν έχει αρκετό αποθηκευτικό χώρο. Την λίστα M την στέλνει σε ένα πακέτο με παραλήπτη το σταθμό βάσης. Η λίστα M ελέγχεται ως προς την αυθεντικότητά της από το σταθμό βάσης ή το κέντρο μέτρησης.

Αν το αίτημα δεν είναι σωστό, το αγνοεί. Αλλιώς στέλνει μια αναγνώριση `ack` στον κόμβο που έστειλε την αίτηση. Αυτός επιβεβαιώνει την αναγνώριση και σβήνει το M . Σε τακτά χρονικά διαστήματα ο σταθμός βάσης στέλνει όλα τα αιτήματα στο κέντρο μέτρησης και σβήνει την λίστα.

Πρέπει να σημειώσουμε πως τα εισιτήρια που κερδίζουν πρέπει να είναι λίγα ώστε να μην τρώει πολύ χώρο σε αποθήκευση ή να μην χρειάζεται μεγάλη επικοινωνία. Ταυτόχρονα πρέπει ο αριθμός των νικηφόρων εισιτηρίων να είναι αρκετά μεγάλος.

3.5.5 Κέντρο Μέτρησης

Το κέντρο μέτρησης περιοδικά επιβεβαιώνει όλους τους ληφθέντες από το σταθμό βάσης ισχυρισμούς των χρηστών. Όλοι οι δημιουργοί που έχουν καταγραφεί από το σταθμό βάσης χρεώνονται ένα ποσό σύμφωνα με το συμβόλαιό τους. Επίσης όλοι οι κόμβοι που υπάρχουν σε ένα έγκυρο ισχυρισμό για αμοιβή αμείβονται από το κέντρο μέτρησης. Αυτοί μπορεί να είναι οι ίδιοι οι κόμβοι ή γείτονες του κόμβου που έκανε την αίτηση – εξαιρούνται οι δημιουργοί και σταθμοί βάσης. Παραμένει ανοιχτό το ζήτημα αν η τιμή της αμοιβής του κόμβου που έκανε τον ισχυρισμό και των γειτόνων του θα είναι η ίδια.

Με βάση τα στοιχεία, που περιλαμβάνουν τους ισχυρισμούς και τις MAC, που λαμβάνει το κέντρο μέτρησης από το σταθμό βάσης το κέντρο μέτρησης γνωρίζει όλη τη διαδρομή του πακέτου. Έτσι ένας κόμβος που δεν ανήκει στη διαδρομή αυτή δεν μπορεί να ζητήσει αμοιβή για αυτό το πακέτο. Επίσης οι ισχυρισμοί ενός κόμβου πρέπει να είναι περίπου ίσοι με του προηγούμενου και του επόμενου κόμβου. Με βάση αυτό αντιμετωπίζονται οι ακόλουθες εγωιστικές ή κακόβουλες συμπεριφορές. Αυτές είναι (αναφέρονται και οι τρόποι ανίχνευσής τους):

1)Απόρριψη πακέτου: Αν έχει μεγαλύτερη συχνότητα αιτήσεων από τον προηγούμενο κόμβο για πακέτα που δεν αναφέρθηκαν ότι λήφθηκαν από κάποιο σταθμό βάσης.

2) sniffing εισιτηριού: Ένας κόμβος είναι ύποπτος αν έχει μεγαλύτερη συχνότητα αιτημάτων από τον προηγούμενο και τον επόμενο κόμβο. Ισχυρές ενδείξεις υπάρχουν όταν δύο κόμβοι ισχυριστούν για το ίδιο εισιτήριο χωρίς να περιέχει ο ένας των άλλων στην αίτηση. Η αναγνώρισή ενός ανύπαρκτου μονοπατιού μπορεί να γίνει από το ότι ο σταθμός βάσης θα έχει καταγράψει τον δημιουργό του πακέτου.

3)Ο κόμβος αμείβει ένα φίλο του: Πρόβλημα υπάρχει αν ένας κόμβος δηλώσει άλλο επόμενο κόμβο από αυτόν που έχει κάνει αίτηση σαν επόμενος κόμβος για ένα πακέτο. Δεν μπορεί το κέντρο μέτρησης να καταλάβει πιο κόμβος έχει δίκιο, αλλά αν αυτό επαναληφθεί αρκετές φορές το κέντρο μέτρησης ανιχνεύει αυτή τη συμπεριφορά.

4)Μεγάλος αριθμός συλλεγόμενων εισιτηρίων: Συνήθως όταν ένας κόμβος έχει μεγάλο αριθμό αιτήσεων για αμοιβή σημαίνει ότι πάει να κλέψει με αυτή τη μέθοδο.

5)Πλαστογράφηση αιτήσεων: Αυτή η κακόβουλη συμπεριφορά αντιμετωπίζεται με της μεθόδους ασφάλειας.[21]

3.5.6 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Καταρχάς ο μηχανισμός αυτός παρέχει επαρκή ασφάλεια απέναντι σε διαφορές περιπτώσεις μη συνεργασίας (απόρριψη πακέτου,πλαστογράφηση αιτήσεων, ψευδή αιτήματα κτλ.). Επίσης ότι το πακέτο φτάνει στον παραλήπτη κατευθείαν από το σταθμό βάσης,στον οποίο βρίσκεται εκείνη τη στιγμή, έχει πολλά πλεονεκτήματα με κυριότερο ότι η ενέργεια που απαιτείται για αυτή την προώθηση καταναλώνεται από τον σταθμό βάσης. Έτσι δεν σπαταλάται άσκοπα επιπλέον ενέργεια από τους κινητούς κόμβους. Το ότι αμείβονται και οι γείτονες ενός κόμβου οδηγεί στην ενθάρρυνση του επόμενου κόμβου στο να προωθήσει το πακέτο και βοηθάει και στην ανίχνευση των κόμβων που δεν συμπεριφέρονται σωστά. [21]

Από την άλλη βέβαια υπάρχει το μειονέκτημα της ενέργειας που καταναλώνουν οι κόμβοι για να εφαρμόσουν αυτό το μηχανισμό, όπως και το ότι οι

ακριανοί κόμβοι αντιμετωπίζουν προβλήματα λόγω του ότι δεν τους δίνεται η δυνατότητα να προωθήσουν πακέτα.[16]

3.6 Ανταλλαγή Εύρους Ζώνης (BE)

Σε αυτό το μηχανισμό αμοιβής ένας κόμβος που θέλει να στείλει ένα πακέτο μεταβιβάζει ένα κομμάτι από το εύρος ζώνης του σε αυτό τον κόμβο που το προωθεί ώστε αυτός να συνεργάζεται. Αυτό μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους. Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιείται η ανταλλαγή ορθογωνικών ζωνών συχνότητας.

3.6.1 Μοντέλο (Ανταλλαγή Εύρους Ζώνης)

Θεωρούμε ότι υπάρχουν N κόμβοι, οι οποίοι επικοινωνούν με ένα σημείο πρόσβασης με μη επικαλυπτόμενο εύρος ζώνης W_i και με μεταδιδόμενη ενέργεια P_i^T , $i=1,2,\dots,N$ ($i=0$ για το σημείο πρόσβασης). Το κέρδος (ρ_{ij}) μια σύνδεσης ij για στατικό κανάλι δίνεται από τον τύπο: $\rho_{ij} = k * d_{ij}^{-3}$, $i=1,2,\dots,N$ και $j=0, 1,2,\dots,N$

Στον τύπο αυτό το k είναι μια σταθερά απωλειών διαδρομής και είναι ίση με $6*10^6 \text{ MHz} * \text{m}^3 / \text{mW}$ και το d_{ij} είναι η απόσταση ανάμεσα σε δύο κόμβους. Σε κανάλι με διαλείψεις το k είναι τυχαία μεταβλητή, με αποτέλεσμα και το ρ_{ij} να είναι τυχαία μεταβλητή. Στην περίπτωση της κατανομής Rayleigh το k ακολουθεί εκθετική κατανομή και το ρ_{ij} δίνεται από τον τύπο: $p(\rho_{ij}) = \frac{1}{\bar{\rho}_{ij}} * \exp(-\frac{\rho_{ij}}{\bar{\rho}_{ij}})$, όπου το $\bar{\rho}_{ij}$ είναι η μέση τιμή του κέρδους.

Κάθε κόμβος θέλει να στείλει ένα αριθμό πακέτων στο σημείο πρόσβασης έχοντας απαίτηση για ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης (data rate) $R_i^{\min}$. Προσπαθεί να το στείλει απευθείας στο σημείο πρόσβασης. Αν όμως η απευθείας σύνδεση έχει μικρότερο ρυθμό μετάδοσης από το $R_i^{\min}$, το στέλνει μέσω ενός ενδιάμεσου κόμβου με ανταλλαγή εύρους ζώνης. Υποθέτουμε ότι δεν υπάρχει διαμοιρασμός ροής στις συνδέσεις. Αν το στείλει απευθείας στο σημείο πρόσβασης για την χωρητικότητα ισχύει: $R_{i0} = W_i * \log_2 \left(1 + \frac{\rho_{i0} * P_i^T}{W_i} \right) \text{ bits/sec.}$

Θεωρούμε ότι το κανάλι είναι μερικώς σταθερό και έτσι μπορούμε να θεωρήσουμε τα στιγμιότυπά του. Θεωρούμε την απλοποιημένη περίπτωση που έχουμε δύο κόμβους στο δίκτυο. Ο ένας κόμβος ζητάει την συνεργασία του άλλου αν ισχύει $R_{i0} < R_i^{min}$ και $R_{ij} \geq R_i^{min}$. Ο άλλος κόμβος αρνείται την συνεργασία αν με αυτό τον τρόπο ο ρυθμός μετάδοσης της σύνδεσής του με το σημείο πρόσβασης πέφτει κάτω από το R_i^{min} .

Η απολαβή ενός κόμβου χωρίς συνεργασία με τον άλλο είναι ίσο με:

$$U_i^{NC} = \begin{cases} R_{i0} & R_{i0} \geq R_i^{min} \\ 0 & R_{i0} < R_i^{min} \end{cases}$$

Όταν οι δύο κόμβοι συνεργάζονται, ο κόμβος που ζητάει την συνεργασία χαμηλώνει τον ρυθμό μετάδοσης για την σύνδεσή του με τον άλλο κόμβο στην τιμή R_i^{min} . Το υπόλοιπο εύρος ζώνης μεταβιβάζεται στιγμιαία στον άλλο κόμβο ως κίνητρο για τη συνεργασία. Αν αυτό γίνει ο δεύτερος κόμβος εγγυάται αυτή την τιμή και χρησιμοποιεί την υπόλοιπη χωρητικότητα του καναλιού για τα δικά του δεδομένα. Στην περίπτωση αυτή η απολαβή των δύο κόμβων δίνεται από τους τύπους:

- Για τον κόμβο που αιτείται την συνεργασία:

$$U_1^C = R_1^{min} = (W_1 - \Delta W_1) * \log \left(1 + \frac{\rho_{10} * P_1^T}{(W_1 - \Delta W_1)} \right).$$

- Για τον κόμβο που συνεργάζεται:

$$U_2^C = (W_2 + \Delta W_2) * \log \left(1 + \frac{\rho_{20} * P_2^T}{(W_2 + \Delta W_2)} \right) - R_1^{min}.$$

3.6.2 Η Περίπτωση του Στατικού Καναλιού

Ορίζουμε ως $-u_i = U_i - U_i^{NC}$ το κέρδος απολαβής ενός κόμβου. Το κέρδος απολαβής όταν δεν συνεργάζονται οι κόμβοι είναι και για τους δύο 0. Επικεντρώνουμε μόνο στα στιγμιότυπα που υπάρχει συνεργασία. Αυτά τα στιγμιότυπα είναι τα στάδια ενός επαναλαμβανόμενου παιχνιδιού που σε κάθε στάδιό του ο ένας κόμβος ζητάει την συνεργασία και ο άλλος αποφασίζει αν θα την προσφέρει. Στην περίπτωση αυτή ορίζουμε ως P την πιθανότητα ο πρώτος κόμβος να

ζητάει την συνεργασία και ως $1-P$ την πιθανότητα ο δεύτερος κόμβος να ζητάει την συνεργασία. Η πιθανότητα P δίνεται από τον τύπο: $P = \frac{P_2}{P_1 + P_2}$, όπου

$$P_1 = \iiint_{\substack{R_{10} < R_1^{\min} \\ R_{12} \geq R_1^{\min} \\ U_2^C \geq R_2^{\min}}} p(\rho_{10}, \rho_{12}, \rho_{20}) d\rho_{10} d\rho_{12} d\rho_{20}. \text{ Ομοίως ορίζεται και το } P_2. \text{ Όπου το}$$

$p(\rho_{10}, \rho_{12}, \rho_{20})$ είναι η αθροιστική συνάρτηση κατανομής πιθανότητας για τα κέρδη των συνδέσεων.

Επειδή έχουμε στατικό κανάλι τα κέρδη $\rho_{10}, \rho_{12}, \rho_{20}$ είναι σταθερά για όλα τα στιγμιότυπα. Προκύπτει ότι $P=0$ ή $P=1$. Υποθέτουμε πως $P=0$. Άρα ο πρώτος κόμβος δεν μπορεί να στείλει απευθείας τα δεδομένα και η μόνη δυνατή στρατηγική για αυτόν είναι να ζητάει συνεργασία. Ο δεύτερος κόμβος θα συνεργάζεται αν $u_2 < 0$. Άρα ο δεύτερος κόμβος για κάθε $\rho_{10}, \rho_{12}, \rho_{20}$ θα συνεργάζεται ή δεν θα συνεργάζεται.

Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων A_{12} στα οποία υπάρχει συνεργασία είναι η τομή των τριών γεωμετρικών τόπων για τους τρεις περιορισμούς για την συνεργασία.

3.6.3 Η Περίπτωση του Καναλιού με Διαλείψεις

Στην περίπτωση του καναλιού με διαλείψεις τα κέρδη συνδέσεων δίνονται από τον τύπο: $p(\rho_{ij}) = \frac{1}{\rho_{ij}} * \exp(-\frac{\rho_{ij}}{\rho_{ij}})$. Σε αντίθεση με το στατικό κανάλι η πιθανότητα P βρίσκεται μεταξύ του 0 και 1. Μοντελοποιούμε την κατάσταση σαν ένα επαναλαμβανόμενο στρατηγικό παιχνίδι. Θεωρούμε: $R_i^{\min} = R_i^{\min} = u_i$. Έτσι προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας ανάλογα με το τι κάνουν οι δύο κόμβοι(συνεργάζονται ή όχι):

1 \ 2	Συνεργάζεται(C)	Δεν συνεργάζεται (N)
C	$(-Pu_1 + (1-P)u_1, Pu_1 - (1-P)u_2)$	$(-Pu_1, Pu_1)$
N	$((1-P)u_1, -(1-P)u_2)$	$(0, 0)$

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-Κέρδος απολαβής των κόμβων ανάλογα με την συμπεριφορά τους

Από αυτόν τον πίνακα προκύπτει πως είναι αποτελεσματικό για τον κόμβο ($i=1$ ή 2) να συνεργάζεται αν $u_i < 0$.

Θα εξετάσουμε την περίπτωση που $u_1 \geq 0, u_2 \geq 0$. Σε αυτή την περίπτωση και οι δύο κόμβοι έχουν απώλεια αν συνεργάζονται. Με την ανταλλαγή εύρους ζώνης, για την απώλεια των κόμβων ισχύει: $0 \leq u_1, u_2 \leq u_t$. Το σημείο ισορροπίας κατά Nash είναι να μην συνεργάζεται κανένας τους. Για να δοθεί λύση στο πρόβλημα θα ψάξουμε για τη λύση Nash υπό όρους (NBS), η οποία έχει τα πλεονεκτήματα τόσο της αποδοτικότητας όσο και της αναλογικής δικαιοσύνης. Χρησιμοποιώντας αυτή τη προσέγγιση θα βρούμε τις συνθήκες κάτω από τις οποίες οι κόμβοι συνεργάζονται με ή χωρίς όρους.

Η NBS είναι μοναδική. Για περιπτώσεις όπως και της δικιάς μας που η μη συνεργασία προσφέρει κέρδος 0 και για τους δύο κόμβους η λύση του NBS δίνεται από την εξίσωση: $\text{maximize}_{u_i, i=1,2} \prod_{i=1}^2 U_i$, υπό τον όρο U_1, U_2 να είναι εφικτά. Τα U_1, U_2 είναι τα διανυσματικά κέρδη των κόμβων 1 και 2, στις οποίες γίνεται ένωση των απλών κερδών με συγκεκριμένες πιθανότητες. Για την περίπτωσή μας τα απλά κέρδη είναι:

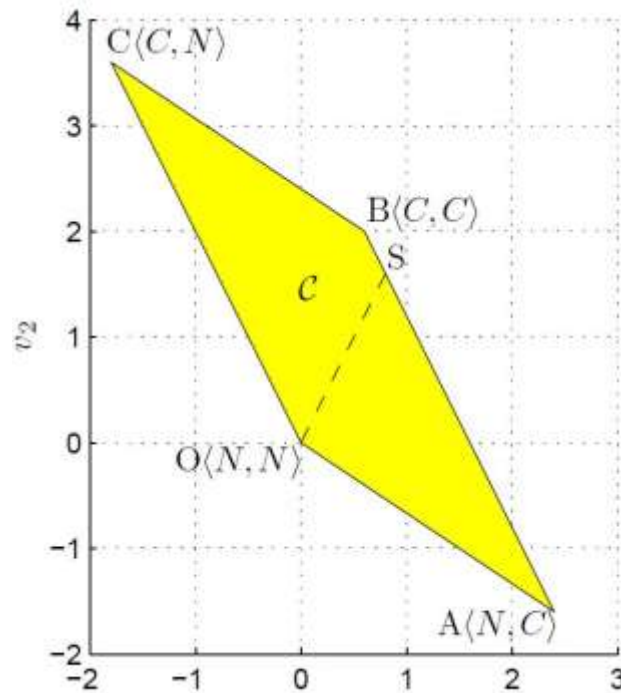
$$\begin{cases} (\tilde{U}_1^1, \tilde{U}_2^1) = (0,0) \\ (\tilde{U}_1^2, \tilde{U}_2^2) = (((1-P)u_t, -(1-P)u_2)) \\ (\tilde{U}_1^3, \tilde{U}_2^3) = ((-Pu_1 + (1-P)u_t, Pu_t - (1-P)u_2)) \\ (\tilde{U}_1^4, \tilde{U}_2^4) = (-Pu_1, Pu_t) \end{cases}$$

Άρα το πρόβλημα ανάγεται στην λύση της εξίσωσης: $\text{maximize}_{\lambda_i, i=1,2} \prod_{i=1}^2 U_i$, με τον περιορισμό ότι:

$$\begin{cases} U_1 = \lambda_1 * \tilde{U}_1^1 + \lambda_2 * \tilde{U}_1^2 + \lambda_3 * \tilde{U}_1^3 + \lambda_4 * \tilde{U}_1^4 \\ U_2 = \lambda_1 * \tilde{U}_2^1 + \lambda_2 * \tilde{U}_2^2 + \lambda_3 * \tilde{U}_2^3 + \lambda_4 * \tilde{U}_2^4 \\ \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 = 1 \\ \lambda_i \geq 0 \end{cases}$$

όπου $\lambda_i, i = 1, 2, 3, 4$ είναι η συνδυασμένες πιθανότητες.

Την λύση αυτή θα τη βρούμε μέσω μιας γεωμετρικής προσέγγισης. Τα τέσσερα σημεία. $(\tilde{U}_1^i, \tilde{U}_2^i)$, $i=1,2,3,4$ δίνονται από τα O,A,B,C στο U_1, U_2 επίπεδο, όπου το O είναι η αρχή των αξόνων. Ακολουθεί το διάγραμμα.



Σχήμα 3.1 Γεωμετρική προσέγγιση του NBS

Το NBS έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- 1) Τα εφικτά σημεία C του (U_1, U_2) είναι κυρτά.
- 2) Υπάρχει μοναδικό NBS που συμβολίζεται με S.
- 3) Η αρνητική κλίση του OS είναι ίση με την κλίση του ∂C στο S.

Αποδεικνύεται ότι το S βρίσκεται πάντα στο τμήμα ABC και συγκεκριμένα ισχύει ($\tan B$ είναι η κλίση του OB):

$$\left\{ \begin{array}{l} S \text{ στο } AB \Leftrightarrow \tan B < -\frac{u_t}{u_1} \text{ ή } \tan B > \frac{u_t}{u_1} \\ S \text{ στο } BC \Leftrightarrow -\frac{u_2}{u_t} < \tan B < \frac{u_2}{u_t} \\ S \text{ στο } B \Leftrightarrow \frac{u_2}{u_t} \leq \tan B \leq \frac{u_t}{u_1} \end{array} \right.$$

Στο τμήμα AB ο κόμβος 2 πάντα συνεργάζεται, ενώ ο κόμβος 1 συνεργάζεται με πιθανότητα P_C . Αν δεν υπάρχει ανταλλαγή εύρους ζώνης το NBS οδηγεί στην μη συνεργασία των κόμβων. Ακολουθούν οι τιμές των δεδομένων στην περίπτωση της ανταλλαγής εύρους ζώνης για κάποιες τιμές των P, u_1, u_2 .

- $P = 0.5, u_1 = u_2$: Στην περίπτωση αυτή η στρατηγική των δύο κόμβων είναι να συνεργάζονται. Λόγω αυτού, όπως μπορεί να και δειχτεί από την παραπάνω εξίσωση, $S = B$. Είναι αρκετά διαδεδομένη σε ασύρματα δίκτυα.
- $P = 0.5, u_1 > u_2$: Αντίστοιχα αποτελέσματα προκύπτουν και για $u_1 < u_2$. Ο δεύτερος κόμβος πάντα συνεργάζεται ενώ ο πρώτος συνεργάζεται αν ισχύει: $u_1 \leq \frac{u_t}{2 \cdot u_t - u_2}$. Αλλιώς συνεργάζεται με πιθανότητα: $P_C = 0.5 * (\frac{u_t}{u_2} + \frac{u_2}{u_t})$.
Δηλαδή, αν η διαφορά στην απώλεια των δύο κόμβων είναι μεγάλη, ο κόμβος με τη μεγάλη χασούρα θα συνεργάζεται με κάποια πιθανότητα.
- $P > 0.5, u_1 = u_2 = u$: Ο δεύτερος κόμβος πάντα συνεργάζεται ενώ ο πρώτος συνεργάζεται αν ισχύει: $P_C \leq \frac{u^2 + u_t^2}{(u + u_t)^2}$. Αλλιώς συνεργάζεται με πιθανότητα: $P_C = \frac{1-P}{2 \cdot P} * (\frac{u_t}{u} + \frac{u}{u_t})$. Ο κόμβος, δηλαδή, που στέλνει τις λιγότερες αιτήσεις θα συνεργάζεται κάποιες φορές. [22]

3.6.4 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Όπως αποδείχτηκε και από προσομοιώσεις, με γνωστές τις θέσεις του σημείου πρόσβασης και του ενός κόμβου, υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθεί ο άλλος κόμβος σε μεγάλη έκταση και να επιτυγχάνεται πλήρη συνεργασία ανάμεσα στους κόμβους. Αυτή η περιοχή είναι πολύ μεγαλύτερη από το να μην χρησιμοποιούσαμε κανένα μηχανισμό. Αυτά δείχνουν την αποδοτικότητα της ανταλλαγής εύρους ζώνης. [22]

4 ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΙΝΗΤΡΩΝ

4.1 Hybrid Reputation Management System for Mobile Ad hoc Networks

Υπάρχουν δύο είδη μηχανισμών κινήτρων συνεργασίας, όπως έχουμε πει, αυτοί που βασίζονται στην φήμη και αυτοί που βασίζονται στη αμοιβή. Με βάση την θεωρία παιγνίων έχουν δημιουργηθεί κάποιοι μηχανισμοί ώστε να επιτύχουμε την συνεργασία των κόμβων. Οι μηχανισμοί που βασίζονται στην φήμη μπορούν να ανιχνεύσουν αποτελεσματικά τους κόμβους που δεν συνεργάζονται με βάση το κατώφλι της φήμης του. Όμως δεν δίνουν κίνητρα σε ένα κόμβο για να συνεργάζεται. Οι μηχανισμοί που βασίζονται στην αμοιβή δίνουν ισχυρά κίνητρα για την συνεργασία των κόμβων. Ωστόσο, δεν διαθέτουν κάποιο μηχανισμό για να εντοπίσουν τους κακόβουλους κόμβους. Άρα κανένα από τα δύο είδη δεν είναι αποτελεσματικό στην αντιμετώπιση της μη συνεργασίας. Γι' αυτό δημιουργήθηκαν υβριδικοί μηχανισμοί, που είναι συνδυασμός και των δύο τρόπων και εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματα και των δύο μηχανισμών.

4.1.1 Ενοποιημένο Σύστημα

Σε αυτό το σύστημα η τιμή που πρέπει να πληρώσει ένας κόμβος για να προωθήσει το πακέτο του εξαρτάται από την φήμη του. Όσο μεγαλύτερη είναι η φήμη ενός κόμβου τόσο λιγότερο θα πληρώσει. Ταυτόχρονα υπάρχει ένα κατώφλι στην φήμη και όποιου κόμβου η φήμη πέσει κάτω από αυτό το κατώφλι οι άλλοι κόμβοι αρνούνται να προωθήσουν τα πακέτα του συγκεκριμένου κόμβου ανεξάρτητα το πόσα χρήματα έχει.

Ακολουθεί ο πίνακας που δείχνει το κέρδος του κάθε κόμβου ανάλογα με τα αν συνεργάζεται ή όχι αυτός και ο αντίπαλος κόμβος.

	Κόμβος j		
Κόμβος i		Συνεργασία	Μη Συνεργασία
	Συνεργασία	$P(C_i, C_j)$	$P(C_i, I_j)$
	Μη Συνεργασία	$P(I_i, C_j)$	$(0, 0)$

Πίνακας 4.1-Ανταμοιβές για Ενοποιημένο Σύστημα

Όπου

$$P(C_i, C_j) = \left(p - c + \left(m_f - \frac{m_p}{R_i} \right), \left(p - c + \left(m_f - \frac{m_p}{R_j} \right) \right) \right)$$

$$P(C_i, I_j) = \begin{cases} \left(-c + m_f, p - \frac{m_p}{R_i} \right) & V_j > 0 \text{ και } R_{I(j)} > R_t \\ (0,0) & \text{Αλλιώς} \end{cases}$$

$$P(I_i, C_j) = \begin{cases} \left(p - \frac{m_p}{R_j}, -c + m_f \right) & V_i > 0 \text{ και } R_{I(i)} > R_t \\ (0,0) & \text{Αλλιώς} \end{cases}$$

Το p είναι το όφελος του κόμβου από την προώθηση του πακέτου, c είναι το κόστος που έχει ο κόμβος για να προωθήσει το πακέτο, m_p είναι η τιμή που πληρώνει ο κόμβος που θέλει να του προωθήσουν το πακέτο, m_f είναι η ανταμοιβή του κόμβου που προώθησε το πακέτο, R_i είναι η τιμή της φήμης, R_t είναι το κατώφλι της φήμης και V_i είναι η ποσότητα των χρημάτων που διαθέτει ένας κόμβος.

Η αμοιβαία συνεργασία είναι σημείο ισορροπίας κατά Nash και Pareto-optimal το p και το m_f είναι μεγαλύτερα από το c . Έτσι υπάρχει ισχυρό κίνητρο για να συνεργάζονται οι κόμβοι. Ακόμα και αν κάποιοι κόμβοι παρεκκλίνουν από την αμοιβαία συνεργασία το κέρδος των υπόλοιπων κόμβων δεν θα μειωθεί. Σχετικός λόγος επιτυχίας μιας στρατηγικής είναι ο λόγος της συνολικής ανταμοιβής μιας στρατηγικής προς την αντίστοιχη ανταμοιβή όλων των στρατηγικών. Αποδεικνύεται ότι με την αύξηση αυτού του λόγου μεγαλώνει και ο αριθμός των κόμβων που συνεργάζονται. Έτσι ακόμα και η κόμβοι με κακή φήμη αν περάσουν από τη μη συνεργασία στη συνεργασία θα έχουν μεγάλη πτώση της τιμής της υπηρεσίας.[23]

4.1.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Ο μηχανισμός αυτός έχει το πλεονέκτημα ότι δίνει ισχυρό κίνητρο ακόμα και σε κόμβους με υψηλή φήμη να συνεργάζονται, αφού έτσι θα μειωθεί το κόστος για να στείλουν τα πακέτα τους. Έτσι δεν παρατηρείται το φαινόμενο να διατηρούν οι κόμβοι την φήμη τους λίγο πάνω από το κατώφλι. Επίσης από προσομοιώσεις που έγιναν φαίνεται ότι ο υβριδικός μηχανισμός είναι πολύ πιο αποτελεσματικός στο να συνεργάζονται οι κόμβοι κυρίως από ένα σύστημα χωρίς μηχανισμό κινήτρων αλλά και από αυτό με μηχανισμό φήμης. Επίσης οι κόμβοι οδηγούνται στην συνεργασία πολύ πιο γρήγορα από το σύστημα που βασίζεται στην αμοιβή.[23]

4.2 HEAD (A Hybrid Mechanism to Enforce Node Cooperation in Mobile Ad Hoc Networks)

Το HEAD βασίζεται στο μηχανισμό φήμης OCEAN. Ανακαλύπτει και τιμωρεί τους κακόβουλους κόμβους με χρήση της φήμης και αναγκάζει τους εγωιστικούς κόμβους να συνεργαστούν χρησιμοποιώντας μηχανισμό αμοιβής.

4.2.1 Μηχανισμός HEAD

Η φήμη του κάθε κόμβου προέρχεται αποκλειστικά από τις παρατηρήσεις του ίδιου του κόμβου. Ο μηχανισμός επιτήρησης του μηχανισμού διατηρεί δύο λίστες: ελλαττωματική λίστα για τους κακόβουλους κόμβους και εγωιστική λίστα για τους εγωιστικούς κόμβους (δηλαδή για τους κόμβους που δεν έχουν αρκετά χρήματα για να στείλουν τα πακέτα τους). Κάθε φορά που ένας γειτονικός κόμβος κάνει αίτηση για να του προωθήσει ένα πακέτο του, ο κόμβος κοιτάει στις δύο αυτές λίστες και αν υπάρχει εκεί ο γείτονας απορρίπτει το πακέτο.

Κάθε κόμβος έχει ένα πίνακα φήμης που κάθε σειρά αντιστοιχεί σε ένα γειτονικό κόμβο. Η κάθε σειρά έχει πέντε στοιχεία. Αυτά είναι: ID του γειτονικού κόμβου, αξιολόγηση, chipcount, λίστα αποφυγής και λίστα nonchip. Η αξιολόγηση περιέχει την τιμή της φήμης του γειτονικού κόμβου που αυξάνεται ή μειώνεται ανάλογα αν συνεργάστηκε ή όχι αντίστοιχα ο γείτονας. Αν η τιμή αυτή πέσει κάτω από ένα κατώφλι ο κόμβος αυτός μπαίνει στην ελλαττωματική λίστα. Το chipcount είναι το ίδιο όπως και στο OCEAN. Η λίστα αποφυγής και η λίστα nonchip περιέχουν τους κόμβους που θεωρούνται κακόβουλοι και εγωιστικοί αντίστοιχα από αυτό τον γείτονα.

Κάθε κόμβος μεταδίδει ανά χρονικές περιόδους μηνύματα προειδοποίησης, τα οποία περιέχουν την ελλαττωματική και τη εγωιστική λίστα του, σε κάθε γείτονά του. Ο γείτονας με το που θα λάβει αυτό το μήνυμα ανανεώνει τις λίστες αποφυγής και nonchip. Επίσης το HEAD διαθέτει μηχανισμό δεύτερης ευκαιρίας. Κάθε κόμβος που είναι στην ελλαττωματική λίστα φεύγει από αυτή μετά από ένα χρονικό διάστημα ώστε να γίνει χρήσιμος ξανά. Παρόλα αυτά η τιμή της φήμης του δεν αλλάζει ώστε αν συνεχίσει την ίδια συμπεριφορά να ξαναμπει στην ελλαττωματική λίστα γρήγορα.

4.2.2 Προώθηση Πακέτου

Κάθε φορά που λαμβάνει ένα πακέτο ένας κόμβος ελέγχει αν ο προηγούμενος και ο επόμενος κόμβος στην διαδρομή υπάρχει στην ελλαττωματική λίστα του. Αν υπάρχει απορρίπτει το πακέτο. Αλλιώς κοιτάει την εγωιστική λίστα για τον επόμενο κόμβο. Αν δεν βρίσκεται ο επόμενος κόμβος σε αυτή τη λίστα, μειώνει το chipcount του προηγούμενου κόμβου κατά ένα, αυξάνει το chipcount του επόμενου κόμβου κατά 1, ορίζει τον χρόνο παύσης και προωθεί το πακέτο. Έπειτα ελέγχει τις λίστες αποφυγής και nonchip του επόμενου κόμβου από τον πίνακα φήμης. Αν ο μεθεπόμενος κόμβος στη διαδρομή υπάρχει σε αυτές, αναβάλλει το πακέτο.

Ταυτόχρονα ο κόμβος παρατηρεί την συμπεριφορά του επόμενου κόμβου. Αν μέσα στο χρόνο παύσης ο επόμενος κόμβος προωθήσει το πακέτο, αυξάνει την φήμη του επόμενου κόμβου. Αλλιώς την μειώνει. Αν υπάρχει κοινός γείτονας Γ δύο συνεχόμενων κόμβων σε μία διαδρομή, ο κόμβος Γ παρακολουθεί αν θα προωθήσει το πακέτο ο δεύτερος κόμβος και τον βαθμολογήσει – όπως κάνει και ο πρώτος κόμβος. [24]

4.2.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Ο μηχανισμός αυτός μέσω του μηνύματος προειδοποίησης βρίσκει γρήγορα και αντιμετωπίζει αποτελεσματικά τους κακόβουλους κόμβους. Επίσης χρησιμοποιώντας τα chipcount αναγκάζει τους εγωιστικούς κόμβους ανεξάρτητα την φήμη τους να συνεργάζονται[24] Ωστόσο επειδή βασίζεται στις παρατηρήσεις του κάθε κόμβου στον υπολογισμό της φήμης αντιμετωπίζει προβλήματα σε περίπτωση μεγάλης κινητικότητας των κόμβων.[4]

5.ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΗ

5.1Σενάριο προσομοίωσης

5.1.1Γενικά Στοιχεία

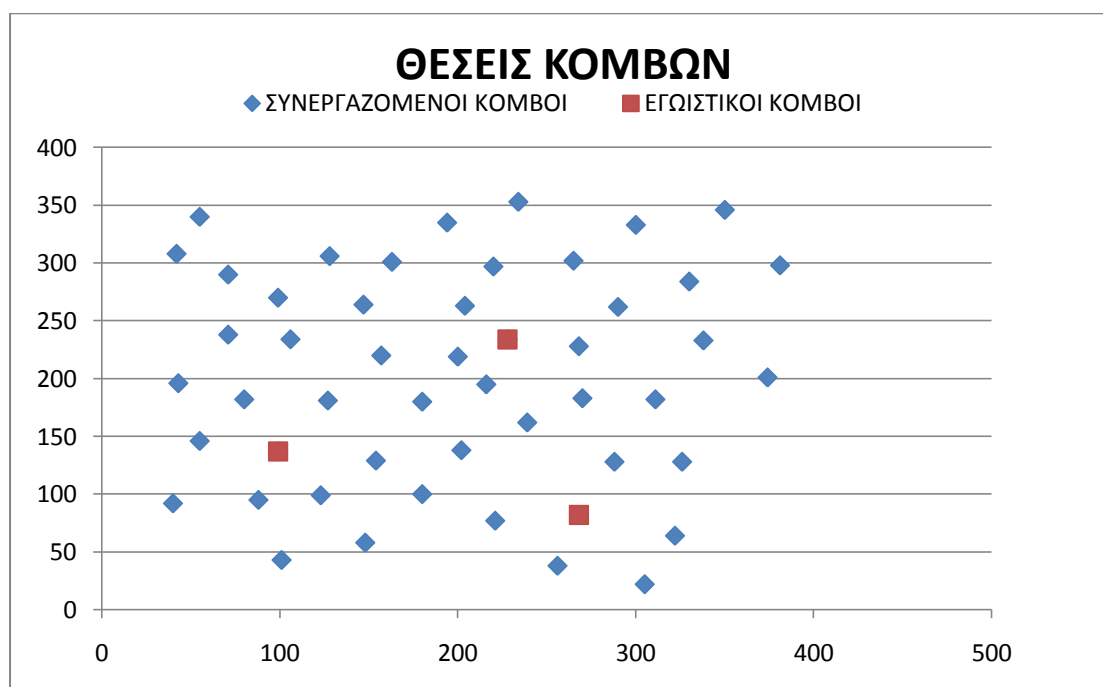
Τα ad-hoc δίκτυα είναι αποκεντρωμένα δίκτυα χωρίς κάποια συγκεκριμένη υποδομή (όπως οι δρομολογητές στα κλασικά δίκτυα) στα οποία ο κάθε κόμβος θα μπορεί να λειτουργεί σαν δρομολογητής και να κάνει προώθηση πακέτων. Έτσι ο κάθε κόμβος θα μπορεί να επικοινωνεί με όλους τους άλλους του δικτύου, άσχετα αν έχουν ή όχι οπτική επαφή. Οι κόμβοι μπορούν να κινηθούν κιόλας. Σε τέτοια δίκτυα για να αντιμετωπιστούν εγωιστικοί (κόμβοι που θέλουν να μειώσουν όσο γίνεται το κόστος τους και γι' αυτό αρνούνται να προωθήσουν πακέτα) και κακόβουλοι κόμβοι (κόμβοι που κυρίως προσπαθούν να εξαπατήσουν και να επιτεθούν στο δίκτυο δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα) είναι απαραίτητος ένας μηχανισμός κινήτρων συνεργασίας, που θα ωθεί τους κόμβους στο να συνεργάζονται και θα τιμωρεί αυτούς που δεν συνεργάζονται ώστε να βελτιωθεί η συνολική απόδοση του δικτύου.

Οι μηχανισμοί κινήτρων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: βασισμένοι σε φήμη και βασισμένοι σε αμοιβή. Μηχανισμοί κινήτρων βασισμένοι σε φήμη είναι εκείνοι οι μηχανισμοί που βασίζονται στο πόσο εμπιστεύονται τον κάθε κόμβο οι άλλοι κόμβοι, που έχει το δίκτυο. Μηχανισμοί κινήτρων βασισμένοι στην αμοιβή είναι οι μηχανισμοί που βασίζονται σε θεωρητικές, χρηματικές ή άλλες αμοιβές που δίνονται στους κόμβους που προωθούν πακέτα.

Στο τελευταίο κομμάτι της διπλωματικής υλοποιήσαμε ένα δικό μας μηχανισμό κινήτρων συνεργασίας, που θα περιγραφεί αναλυτικά παρακάτω. Ο μηχανισμός αυτός είναι υβριδικός, δηλαδή συνδυάζει και τα δύο είδη μηχανισμών κινήτρων συνεργασίας, με αμοιβή και με φήμη. Στόχο έχουμε σε αυτό το κομμάτι να προσομοιώσουμε αυτό τον μηχανισμό σε ένα περιβάλλον προσομοίωσης, όπως και τον μηχανισμό φήμης Darwin, και να τους συγκρίνουμε μεταξύ τους. Για να το κάνουμε αυτό προσομοιώσαμε το δίκτυο με την χρήση της Java και του προγράμματος Eclipse.

Καταρχάς, οι κόμβοι του δικτύου, οι οποίοι ήταν 50, τοποθετήθηκαν σε μια τετραγωνική περιοχή έκτασης $400 \times 400 \text{m}^2$ σε τυχαία σημεία. Προσέχθηκε όμως οι κόμβοι να είναι πιο πυκνοί στο κέντρο του τετραγώνου από ότι στην περιφέρεια και

κάθε κόμβος ,φυσικά, να έχει 1 τουλάχιστον γείτονα. Γείτονας θεωρήθηκε ο κόμβος που απείχε λιγότερο από 60 m. Στην παρακάτω εικόνα δίνονται οι θέσεις όλων των κόμβων του δικτύου. Με κόκκινο είναι οι εγωιστικοί κόμβοι.



Εικόνα 5.1.1-Θέσεις των κόμβων του δικτύου

Κάθε κόμβος μπορεί να στείλει, να λάβει και να προωθήσει πακέτα άλλων κόμβων. Τρέξαμε συνολικά 1000 γύρους. Σε κάθε γύρο κάθε κόμβος έστειλε και ένα πακέτο και οι συνολικοί προορισμοί για τα πακέτα του ήταν 4 (250 πακέτα σε κάθε προορισμό). Οι προορισμοί ήταν τυχαίοι και περίπου κάθε κόμβος δεχόταν ίδιο αριθμό πακέτων. Κάθε φορά που λαμβάνεται επιτυχώς ένα πακέτο, ο παραλήπτης αποστέλλει ένα πακέτο επιβεβαίωσης ack, το οποίο δρομολογείται μέχρι τον αποστολέα ακολουθώντας την ίδια διαδρομή που ακολούθησε το πακέτο. Θεωρούμε αυθαίρετα πως οι κόμβοι προωθούν όλα τα ack για λόγους απλούστευσης. Επίσης παίρνουμε υπόψη μας ότι ένα ack μπορεί να χαθεί για λόγους του δικτύου. Η πιθανότητα αυτή όμως λόγω του μεγέθους του είναι μικρότερη από ότι του πακέτου. Είναι 0.02% . Το πρώτο κομμάτι των προσομοιώσεων έγινε με αυτά τα χαρακτηριστικά και στο δεύτερο οι όποιες αλλαγές έγιναν αναφέρονται στο αντίστοιχο κομμάτι.

5.1.2 Συμπεριφορά εγωιστικών κόμβων

Όσον αφορά τους εγωιστικούς κόμβους, βάλαμε τρεις εγωιστικούς κόμβους (~6% εγωιστικοί στο δίκτυο). Οι εγωιστικοί κόμβοι απέρριπταν όλα τα πακέτα που τους έρχονταν, εκτός και αν στους τελευταίους 5 γύρους δεν είχαν καταφέρει να φτάσουν παραπάνω από 1 πακέτο τους στον προορισμό. Τότε και για όσο διαρκούσε αυτή η κατάσταση εφαρμόζαν τον αντίστοιχο μηχανισμό συνεργασίας. Δηλαδή, η στρατηγική των εγωιστικών κόμβων με βάση την οποία απέρριπταν τα πακέτα κατά τον γύρο k ήταν:

$$\begin{cases} \text{Απόρριψη πακέτου} & \text{if } \sum_{i=k-5}^k \text{proothisi}(i) > 1 \\ \text{Εφαρμογή Μηχανισμού Κινήτρων} & \text{if } \sum_{i=k-5}^k \text{proothisi}(i) \leq 1 \end{cases}$$

Όπου:

$$\text{proothisi}(i) = \begin{cases} 1 & \text{if το πακέτο έφτασε στον προορισμό τον γύρο } i = \text{round \%5} \\ 0 & \text{if το πακέτο δεν έφτασε στον προορισμό τον γύρο } i = \text{round \%5} \end{cases}$$

5.1.3 Δρομολόγηση

Αρχικά όλοι οι κόμβοι βρίσκουν τους γείτονές τους. Έπειτα κάθε κόμβος βρίσκει την πιο σύντομη διαδρομή για τους κόμβους που δεν είναι γείτονές του. Αποθηκεύει σε τρία Hashmap τον αριθμό των ενδιάμεσων κόμβων, την συνολική απόσταση για να φτάσει το πακέτο στον προορισμό και μόνο τον επόμενο γειτονικό κόμβο στην διαδρομή. Πιο σύντομη διαδρομή θεωρείται αυτή με τους λιγότερους ενδιάμεσους κόμβους. Αν δύο διαδρομές περιλαμβάνουν τον ίδιο αριθμό κόμβων τότε επιλέγεται η διαδρομή με την μικρότερη απόσταση. Όπως είπαμε ο κόμβος αποθηκεύει μόνο τον επόμενο κόμβο και όχι όλη την διαδρομή, έτσι σε κάθε κόμβο αποφασίζεται η επόμενη διαδρομή. Αυτή η διαδικασία γίνεται πριν αρχίσουν οι κόμβοι να στέλνουν πακέτα.

Όταν ένας κόμβος θέλει να στείλει ένα πακέτο ή να προωθήσει ένα πακέτο που έλαβε κοιτάει ποιος είναι ο προορισμός του πακέτου και το στέλνει στον επόμενο κόμβο, αν ισχύουν βέβαια κάποια πράγματα. Στο Darwin, το ίδιο κάνουμε και στον υβριδικό, κάθε κόμβος έχει δύο μετρητές για κάθε γείτονά του. Ο πρώτος μετράει πόσα πακέτα του έστειλε για προώθηση και ο δεύτερος πόσα από αυτά προώθησε.

Ανά τακτά χρονικά διαστήματα (σε εμάς ανά 5 γύρους) βρίσκει τον λόγο προώθησης c_{ij} για κάθε γείτονά του και ελέγχει αν αυτός έχει πέσει κάτω από ένα κατώφλι. Το κατώφλι αυτό το βάλουμε ίσο με 0.4 . Αν η τιμή του c_{ij} είναι κάτω από αυτό το κατώφλι και για όσο καιρό είναι, ο κόμβος θεωρείται εγωιστικός και τοποθετείται στην λίστα εγωιστικών κόμβων (selfish_nodes). Ο κόμβος τότε αποφεύγει να του στέλνει πακέτα.

Συγκεκριμένα, ο κάθε κόμβος στέλνει το πακέτο στον κόμβο που βρίσκεται στο HashMap για τον επόμενο κόμβο, εκτός αν αυτός είναι εγωιστικός ή υπάρχει ήδη στην λίστα τον ενδιαμέσων κόμβων που υπάρχει σε κάθε πακέτο ή είναι η πηγή. Αν ισχύει ένα από αυτά τα τρία καλεί την μέθοδο findAlternativeRelay και εξαιρεί όλους τους γείτονές του που είναι εγωιστικοί, υπάρχουν στη λίστα ενδιαμέσων κόμβων ή είναι η πηγή του πακέτου , και ψάχνει την βέλτιστη διαδρομή από τους υπόλοιπους κόμβους. Αν ο λόγος που έκανε αυτό το ψάξιμο ο κόμβος είναι ότι ο επόμενος κόμβος δεν είναι ενδιαμέσος κόμβος ή η πηγή του πακέτου, τότε αλλάζει και τα στοιχεία που έχει αποθηκεύσει για τον προορισμό του πακέτου ώστε να μην ξαναστείλει πακέτα σε εγωιστικό κόμβο. Αλλιώς απλώς στέλνει το πακέτο στον κόμβο που βρήκε. Αν ,όμως, δεν υπάρχει κανένας γειτονικός κόμβος που να μην είναι σε μία από τρεις κατηγορίες τότε κάνει τα εξής. Αν δεν είναι ο επόμενος αποθηκευμένος κόμβος στην λίστα των ενδιαμέσων κόμβων ή είναι η πηγή του πακέτου το στέλνει σε αυτό τον κόμβο. Αλλιώς ξαναψάχνει εξαιρώντας μόνο τους κόμβους που είναι και στους ενδιαμέσους και είναι η πηγή του πακέτου. Αν τελικά πάλι δεν βρήκε τίποτα απορρίπτει το πακέτο. Ακολουθεί στον παρακάτω πίνακα ο ψευδοκώδικας αυτής της διαδικασίας. Περιγράφεται τι γίνεται κατά την κλήση της findAlternativeRelay.

*Για κάθε γείτονα του κόμβου **DO**:*

```
{ if (δεν είναι εγωιστικός και δεν υπάρχει στην λίστα ενδιαμέσων κόμβων και δεν είναι
η πηγή){
    if (η διαδρομή μέσω αυτού του κόμβου είναι καλύτερη από την ήδη υπάρχουσα)
        Αποθήκευσε αυτή την διαδρομή;
}
}
```

```

if (βρέθηκε κάποια διαδρομή)
{
    Επόμενος κόμβος=επόμενος κόμβος αυτής της διαδρομής;
    if (ο λόγος που καλέστηκε η μέθοδος δεν είναι ότι ο επόμενος κόμβος είναι
υπάρχων ενδιάμεσος κόμβος ή πηγή του πακέτου)
        Αποθήκευσε αυτή την διαδρομή στα HashMap του κόμβου για διαδρομή για
τον προορισμό του πακέτου;
}
else
{
    if (ο λόγος που καλέστηκε η μέθοδος δεν είναι ότι ο επόμενος κόμβος είναι
υπάρχων ενδιάμεσος κόμβος ή πηγή του πακέτου)
        Στείλε το πακέτο στον αποθηκευμένο επόμενο κόμβο;
    else
    {
        Ξαναψάξε για βέλτιστη διαδρομή στους γείτονες του κόμβου εκτός αν είναι
ενδιάμεσος κόμβος και πηγή;
        if (βρέθηκε κάποια διαδρομή)
            Επόμενος κόμβος=επόμενος κόμβος αυτής της διαδρομής;
        else
            Απέρριψε το πακέτο;
    }
}
}

```

Σε κάθε πακέτο υπάρχει ένας μετρητής που μετράει από πόσους ενδιάμεσους κόμβους πέρασε το πακέτο. Αν φτάσει τους 15 ενδιάμεσους τότε απορρίπτεται ώστε να μην κάνει κύκλους στο δίκτυο. Επίσης με πιθανότητα 0.002 ένα πακέτο χάνεται κάθε φορά που πάει να το προωθήσει ένας κόμβος για λόγους του δικτύου. Παίρνονται έτσι υπόψιν τυχόν προσωρινές διακοπές του δικτύου ή άλλους λόγους για να χαθεί ένα πακέτο.

Κάθε τίμιος κόμβος αποφασίζει αν θα προωθήσει χρησιμοποιώντας τον αντίστοιχο μηχανισμό στήριξης που τρέχουμε. Στο Darwin αυτό γίνεται μέσω του υπολογισμού της πιθανότητας Darwin με βάση αυτά που αναφέρονται στο κεφάλαιο

2.9 . Η πιθανότητα Darwin ανανεώνεται κάθε 25 γύρους. Στον υβριδικό αλγόριθμο διατηρεί αυτό τον μηχανισμό αλλά προωθεί χρησιμοποιώντας διαφορετική λογική που θα αναπτυχθεί παρακάτω.

Όσον αφορά την προώθηση των ack, αυτή γίνεται με βάση την λίστα με τους ενδιαμέσους κόμβους του αντίστοιχου πακέτου. Αυτή αποθηκεύεται στο ack και κάθε κόμβος ξεκινώντας από την πηγή στέλνει το ack στην ίδια διαδρομή που ακολούθησε το πακέτο αλλά αντίστροφα. Κάθε ενδιάμεσος κόμβος βρίσκει που είναι αυτός στην λίστα των ενδιαμέσων κόμβων και στέλνει το πακέτο στον προηγούμενο κόμβο της λίστας ή στην πηγή του πακέτου αν είναι ο πρώτος της λίστας.

5.1.4 Επεξήγηση κλάσεων Java

Η Java στηρίζεται στην δημιουργία ξεχωριστών κλάσεων και μεθόδων πέρα από την κεντρική. Έτσι και στον κώδικα που τρέξαμε έχουμε μια κεντρική κλάση και άλλες δευτερεύουσες που υλοποιούν κάτι συγκεκριμένο η κάθε μία. Η κεντρική κλάση είναι η Generator. Οι δευτερεύοντες κλάσεις που υπάρχουν στο πρόγραμμα είναι οι ακόλουθες: Ack , Darwin, Data, Decisions, Node, Packet, Routing και Statistics. Κατά την υλοποίηση του υβριδικού μηχανισμού υπάρχει και η κλάση Css. Πιο συγκεκριμένα,

- Η κλάση Node υλοποιεί ένα κόμβο και περιέχει όλα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα στον κόμβο (θέση, αν είναι εγωιστικός, γείτονες, διαδρομή για όλους τους κόμβους και στοιχεία που σχετίζονται με τους μηχανισμούς φήμης).
- Η κλάση Packet υλοποιεί ένα πακέτο και η κλάση Ack ένα ack. Οι δύο αυτές κλάσεις περιέχουν στοιχεία για το πακέτο και το ack αντίστοιχα (id, μέγεθος, πηγή, προορισμός, λίστα και αριθμός ενδιαμέσων κόμβων, τρέχον κόμβος).
- Η κλάση Data περιέχει στοιχεία του δικτύου, δηλαδή προκαθορισμένη πληροφορία που χρησιμοποιείται για αρχικοποίηση του σεναρίου. Αυτά είναι: η θέση στον άξονα x κάθε κόμβου (μέθοδος thesi_x) η θέση στον άξονα y κάθε κόμβου (μέθοδος thesi_y), όλοι οι προορισμοί των πακέτων των κόμβων (μέθοδος dest_nodes), ποιοι κόμβοι είναι εγωιστικοί (μέθοδος cheat_nodes), τους ακριανούς κόμβους (μέθοδος akrianoi_nodes).

- Η κλάση Statistics τυπώνει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε αρχείο txt. Περιέχει δύο μεθόδους, μία για τα στατιστικά κάθε γύρου και μια για τα τελικά αποτελέσματα.
- Η κλάση Decisions περιέχει ό,τι συνάρτηση έχει σχέση με κάποια απόφαση που πρέπει να πάρουν οι κόμβοι. Για την ακρίβεια οι μέθοδοι που περιέχει είναι: DecidetoCheat (χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο που αναφέρθηκε πιο πάνω για να αποφασίσει ένας εγωιστικός κόμβος αν θα κλέψει), DecidetoForward (χρησιμοποιεί τον εκάστοτε μηχανισμό κινήτρων συνεργασίας για να αποφασίσει αν θα προωθήσει ένα πακέτο, οι εγωιστικοί κόμβοι αν δεν κλέβουν εφαρμόζουν και αυτοί τον μηχανισμό κινήτρων –αλλιώς απορρίπτουν το πακέτο) και findAlternativeRelay (αυτή η συνάρτηση καλείται από την FindNextNode της κλάσης Routing κατά την δρομολόγηση του πακέτου όταν δεν μπορεί να στείλει το πακέτο στον κόμβο που είναι αποθηκευμένος σαν επόμενος κόμβος με βάση τον προορισμό. Αναλυτικότερη αναφορά υπάρχει σε άλλο κομμάτι).
- Η κλάση Routing περιέχει τις μεθόδους για την προώθηση των πακέτων και του ack αντίστοιχα. Το πώς γίνεται αυτό αναφέρεται πιο κάτω αναλυτικά.
- Η κλάση Darwin αφορά το κομμάτι που βασίζεται στην υλοποίηση του μηχανισμού κινήτρων συνεργασίας Darwin. Στον υβριδικό αλγόριθμο υλοποιεί κομμάτι που έχει σχέση με το Darwin. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιεί είναι: ypol_clogos (υπολογίζει το c_{ij} για κάθε κόμβο), ypol_q (υπολογίζει την αντιλαμβανόμενη πιθανότητα και την συνάρτηση q_{-i}), ypol_ownp (υπολογίζει την δικιά του αντιλαμβανόμενη πιθανότητα), ypol_ownq (υπολογίζει την συνάρτηση q_i), ypol_pdarwin (υπολογίζει την πιθανότητα Darwin με την οποία θα απορρίπτει πακέτα στους επόμενους γύρους- στον υβριδικό μηχανισμό αν χρειαστεί χρησιμοποιείται αυτή η πιθανότητα).
- Η κλάση Css υλοποιεί το CSS που υπάρχει στον υβριδικό αλγόριθμο και τις διαδικασίες που αυτό εκτελεί. Η μέθοδοι που υπάρχουν είναι: arxikopoisi (αρχικοποιεί τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται από το CSS), ypol_credit (υπολογίζει τα credits που παίρνει ο κάθε κόμβος από την προώθηση ενός πακέτου και αφαιρεί την ποσότητα που απαιτείται από τα credits της πηγής), ypol_cp (υπολογίζει το cp_i), is_egoist (ελέγχει αν ένας κόμβος είναι

εγωιστικός για το CSS με βάση ένα κατώφλι), `new_katastasi` (ελέγχει σε ποια κατάσταση βρίσκεται ο κόμβος σε σχέση με το δικαίωμα αποστολής πακέτων), `extra` (δίνει τα έξτρα credits στους ακριανούς κόμβους ανά μικρά χρονικά διαστήματα), `extra2` (δίνει τα έξτρα credits στους κόμβους που τα δικαιούνται ανά μεγάλα χρονικά διαστήματα), `get_dorean` (βάζει `true` σε μια μεταβλητή για τους κόμβους που δικαιούνται δωρεάν προώθηση) και `mesi_timi_credit` (υπολογίζει την ποσότητα των credits των συνεργάσιμων και των εγωιστικών κόμβων).

- Κεντρική κλάση όπως είπαμε είναι η `Generator`. Σε αυτή αρχικά δημιουργούνται οι κόμβοι και συγκεντρώνουν όλα τα απαραίτητα στοιχεία. Μετά τρέχουμε 1000 γύρους. Σε κάθε γύρο κάθε κόμβος δημιουργεί ένα πακέτο και μετά οι κόμβοι προωθούν ή απορρίπτουν τα πακέτα και τα `ack`. Η διαδικασία αυτή σταματάει όταν τελειώσουν τα πακέτα και τα `ack`. Στο τέλος κάθε γύρου ή περιοδικά ανά κάποιους γύρους καλούνται οι συναρτήσεις που έχουν σχέση με τον εκάστοτε μηχανισμό κινήτρων συνεργασίας.

5.2 Υβριδικός Μηχανισμός Κινήτρων Συνεργασίας

5.2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά

Ο μηχανισμός που αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής είναι υβριδικός, δηλαδή συνδυάζει μηχανισμούς κινήτρων φήμης και μηχανισμούς κινήτρων αμοιβής. Βασίζεται στην ιδέα του υβριδικού μηχανισμού που περιγράφεται στην ενότητα 4.1 της διπλωματικής. Σε αυτό τον μηχανισμό κάθε ενδιαμέσος κόμβος προωθεί και πληρώνεται με βάση τη φήμη του και υπάρχει και ένα κατώφλι για την φήμη του κάθε κόμβου κάτω από το οποίο απορρίπτονται τα πακέτα του συγκεκριμένου κόμβου. Παρόλα αυτά έχει βασικές διαφορές στο πώς υλοποιείται η ιδέα αυτού του αλγορίθμου.

Το κομμάτι που σχετίζεται με τη φήμη βασίζεται στο `Darwin` και ειδικά η απόρριψη των πακέτων για ένα εγωιστικό κόμβο που έχει ξεπεράσει ένα κατώφλι γίνεται όπως στο `Darwin`. Μέχρι αυτό το κατώφλι προωθούνται όλα τα πακέτα του κόμβου. Το `ad hoc` δίκτυο εκτός από τους κόμβους περιέχει και μια υπηρεσία πιστώσεων (`Credit Clearance Service - CCS`) όπως ακριβώς και στο `Sprite`. Η υπηρεσία αυτή είναι κεντρική και διαχειρίζεται τα χρήματα που διαθέτει ο κάθε κόμβος ώστε να μπορεί να στείλει το πακέτο και δίνει τα χρήματα που αναλογούν σε

κάθε ενδιαμέσο κόμβο ανάλογα με το αν προωθεί τα πακέτα των άλλων κόμβων. Τα χρήματα αυτά τα παίρνουν οι ενδιαμέσοι μετά την λήψη ενός πακέτου από τον προορισμό. Τα χρήματα αυτά τα πληρώνει η πηγή. Υπάρχουν βέβαια αρκετές διαφορές σε σχέση με το Sprite στο πώς γίνονται οι πληρωμές και σε σχέση με τα credit του κάθε κόμβου.

Όπως έχουμε αναφέρει, τα δύο είδη μηχανισμών κινήτρων συνεργασίας έχουν πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Όταν χρησιμοποιώντας τον υβριδικό αλγόριθμο προσπαθούμε -όσο αυτό είναι δυνατό- να πάρουμε τα θετικά τους και να αντιμετωπίσουμε τα αρνητικά τους. Γενικά θέλουμε να αυξήσουμε το ποσοστό προώθησης των συνεργάσιμων κόμβων όσο είναι δυνατό βρίσκοντας πιο έγκαιρα τους εγωιστικούς κόμβους και πάνω από όλα τιμωρώντας τους πιο σκληρά. Αυτό το κάνουμε για τον εγωιστικό κόμβο κυρίως μέσω του ποσού των credit που παίρνει ή του αφαιρούνται για προώθηση. Έτσι, εκτός από την απόρριψη των πακέτων του, αντιμετωπίζει σοβαρό πρόβλημα λόγω ελάχιστων credit να στείλει τα πακέτα του. Μέσω αυτού του μηχανισμού αδυνατεί να τα στείλει ακόμα και σε γείτονες που το Darwin τα στέλνει ελεύθερα. Έτσι είναι ουσιαστικά αναγκασμένος να συνεργάζεται έστω και εν μέρει από την αρχή, βοηθώντας την απόδοση του δικτύου. Επίσης θέλουμε να συνδυάσουμε την έγκαιρη ανίχνευση και τιμωρία των εγωιστικών κόμβων που έχουν οι μηχανισμοί φήμης με το ακόμα και αν έχει προωθήσει όλα τα πακέτα ένας κόμβος να έχει κίνητρο να συνεχίσει να προωθεί. Ταυτόχρονα μειώνονται τα έστω και μικρά προβλήματα που μπορεί να αντιμετωπίσει ένας κόμβος στο Darwin που πέφτει λίγο βέβαια, το c_{ij} λόγω απόρριψης πακέτων των εγωιστικών κόμβων. Έτσι πετυχαίνουμε μικρή αύξηση του ποσοστού προώθησης. Ένα ζήτημα όμως που μένει να λυθεί είναι πως θα πετυχαίνεται αυτό συνδυαζόμενο με μεγαλύτερη τιμωρία εγωιστικών κόμβων που φέρονται έξυπνα απορρίπτοντας μικρό μέρος πακέτων. Αυτό εν μέρει λύνεται με την εξάρτηση όλων των μεθόδων που έχουν σχέση με τα credit με το μέσο c_{ij} (cp_i). Τέλος, επιδιώκεται οι ακριανοί κόμβοι να μην έχουν προβλήματα στο να στείλουν τα πακέτα τους λόγω της θέσης τους. Οι περισσότεροι μηχανισμοί κινήτρων αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα σε αυτό το γεγονός. Ταυτόχρονα βέβαια πρέπει να μουν και περιορισμοί ώστε να μην υπερεκμεταλεύονται τη θέση τους.

5.2.2 Λειτουργίες του CSS

Το CSS είναι μια κεντρική υπηρεσία πιστώσεων του δικτύου. Η χρήση της υπηρεσίας αυτής είναι απαραίτητη γιατί η πληρωμή των ενδιάμεσων με βάση το ποσοστό προώθησης, η εξασφάλιση της πληρωμής των ενδιάμεσων και η αντιμετώπιση του ζητήματος των ακριανών κόμβων δεν μπορούν να διαχειριστούν από τον κάθε κόμβο ξεχωριστά. Πόσο μάλλον να διαφυλαχτεί το όλο σύστημα από κακόβουλους κόμβους. Για όλα αυτά χρησιμοποιήθηκε το CSS που έχει παρθεί από το Sprite και διαχειρίζεται οτιδήποτε έχει σχέση με τα credit των κόμβων. Αυτό περιλαμβάνει την αποθήκευση των credit των κόμβων, την πληρωμή των ενδιάμεσων κόμβων μετά την αποστολή του ack από τον παραλήπτη του μηνύματος και την απόδοση έξτρα credit είτε περιοδικά είτε σε ανά τακτά χρονικά διαστήματα σε ‘φτωχούς’ κόμβους λόγω του ότι δεν τους έχουν σταλεί επαρκή πακέτα να προωθήσουν.

Καταρχάς, διατηρείται ο μηχανισμός του Darwin που περιλαμβάνει τον υπολογισμό του λόγου προώθησης κάθε κόμβου αλλά και αυτός που έχει σχέση με τον υπολογισμό της πιθανότητας Darwin. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα ο κάθε κόμβος υπολογίζει για κάθε γειτονικό του κόμβο τον λόγο των πακέτων που προώθησε ($F_{ij}^{(k)}$) προς αυτά που του έστειλε για προώθηση ($S_{ij}^{(k)}$). Δηλαδή ο λόγος αυτός είναι

$$c_{ij}^{(k)} = \frac{F_{ij}^{(k)}}{S_{ij}^{(k)}} .$$

Αυτούς τους λόγους τους ανταλλάσσουν μεταξύ τους οι κόμβοι όπως και στο Darwin αλλά και στέλνονται στο CCS. Το CCS σε κάθε χρονικό διάστημα που του στέλνονται αυτές οι πληροφορίες υπολογίζει το μέσο όρο (cp_i) του λόγου αυτού για κάθε κόμβο με βάση τα αποτελέσματα που έλαβε από τους γείτονες του κάθε κόμβου. Επίσης υπάρχει ένα κατώφλι (Kat_egoist1) για το cp_i κάτω από το οποίο το CCS χαρακτηρίζει τον κόμβο αυτό ως εγωιστικό και εκτός των άλλων από την επόμενη φορά και για όσο διατηρείται αυτό κάτω από το κατώφλι οι λόγοι προώθησης που στέλνει δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό του cp_i . Αυτό όχι τόσο γιατί μπορεί να κλέψει, αφού θεωρείται ότι οι λόγοι αυτοί ανταλλάσσονται με ασφάλεια,

αλλά γιατί αν επιμένει ένας εγωιστικός κόμβος να μην προωθεί, τα πακέτα του θα αρχίσουν να απορρίπτονται από τους άλλους κόμβους για να τον αναγκάσουν να προωθήσει. Αυτοί οι εγωιστικοί κόμβοι είναι διαφορετικοί από αυτούς που ανιχνεύονται κατά την δρομολόγηση. Το κατώφλι αυτό πρέπει να είναι λίγο παραπάνω από το αντίστοιχο κατώφλι για τον χαρακτηρισμό ενός κόμβου ως εγωιστικού γιατί σε αυτό προσμετράται η συνολική εμπειρία του δικτύου και εκτός των άλλων αν ένας γειτονικός κόμβος δεν του έχει στείλει πακέτα ισχύει $c_{ij} = 1$.

Επίσης επιδιώκεται να δίνεται η ευκαιρία στον κόμβο να συνεργάζεται χωρίς να έχει πιο σοβαρές επιπτώσεις, αλλά και χωρίς να του δίνεται μεγάλο περιθώριο. Ισχύει:

$$cp_i^{(k)} = \sum_{j \in N_i, j \neq egoist} c_{ji}^{(k)}$$

Επίσης αυτή τη λίστα με τους εγωιστικούς κόμβους την προωθεί σε όλους τους κόμβους του δικτύου, οι οποίοι την χρησιμοποιούν για να φτιάξουν μια νέα λίστα με εγωιστικούς κόμβους. Πιο κάτω θα αναφερθούμε διεξοδικά.

Από εκεί και πέρα το CCS όπως είπαμε κρατάει τα χρήματα που διαθέτει ο κάθε κόμβος, ο οποίος βέβαια θα γνωρίζει το διαθέσιμο ποσό των credit του. Ξεκινάει δίνοντας ένα αρχικό ποσό σε όλους τους κόμβους. Αυτό το ποσό είναι αρκετό για να μπορεί ο κάθε κόμβος να στείλει αρχικά κάποια πακέτα. Δεν πρέπει όμως σε καμία περίπτωση να είναι μεγάλο ώστε να μπορεί να απορρίπτει εν μέρει πακέτα και να μην έχει πρόβλημα ή να αποφευχθεί όσο είναι δυνατόν η μεγάλη συσσώρευση credit από κεντρικούς κόμβους. Επίσης οι εγωιστικοί κόμβοι, εκτός από το κομμάτι που σχετίζεται με το Darwin με το οποίο απορρίπτονται πακέτα τους, πρέπει να έχουν και οικονομικό πρόβλημα αντιμετωπίζοντας έτσι επιπρόσθετες δυσκολίες να στείλουν τα πακέτα τους. Επίσης ανά μεγάλα χρονικά διαστήματα θα δίνεται στους κόμβους έξτρα credit (extra_credit). Από αυτή την ποσότητα εξαιρούνται οι εγωιστικοί κόμβοι και οι κόμβοι που έχουν ξεπεράσει ένα κατώφλι τα χρήματα που έχουν. Τόσο το κατώφλι όσο και τα λεφτά που θα πάρουν τελικά οι κόμβοι που τα δικαιούνται πολλαπλασιάζονται με το τετράγωνο του cp_i . Δηλαδή όσο καλύτερα συμπεριφέρεται ένας κόμβος τόσο περισσότερα χρήματα δικαιούται. Με αυτό τον τρόπο οι εγωιστικοί κόμβοι πλήτονται ακόμα περισσότερο –ιδιαίτερα όσοι απορρίπτουν αρκετά πακέτα και έχουν χαρακτηριστεί από το CCS ως

εγωιστικοί- και ταυτόχρονα δυσκολεύονται εν μέρει οι κόμβοι που ευνοούνται από την θέση τους να μαζέψουν πάρα πολλά χρήματα.

Το CCS ελέγχει την διαδικασία τις πληρωμές ενός ενδιαμέσου κόμβου από την πηγή , ελέγχει αν κάποιος κόμβος μπορεί να στείλει πακέτα ελεύθερα και μεριμνά για ακριανούς ή και όσους άλλους κόμβους δεν δέχονται αρκετά credit. Αυτά θα παρουσιαστούν αναλυτικά σε παρακάτω ενότητες.

5.2.3 Χρέωση και αμοιβή για προώθηση πακέτων

Σε αυτό το κομμάτι του υβριδικού μηχανισμού συνδυάζονται στοιχεία από μηχανισμούς φήμης και μηχανισμούς αμοιβής. Αυτό γίνεται με το ότι το ποσό που παίρνει κάθε ενδιαμέσος κόμβος για την προώθηση ενός πακέτου δεν είναι σταθερή ποσότητα ή δεν εξαρτάται από την απόσταση δύο κόμβων. Αλλά εξαρτάται από το ποσοστό των πακέτων που προώθησε. Αυτό γίνεται με την εξάρτηση των credits που θα πάρει ο κάθε ενδιαμέσος κόμβος από το cp_i . Αυτό γίνεται για να δίνεται κίνητρο στους κόμβους να συνεργάζονται αδιάκοπα. Η εξάρτηση αυτή δεν γίνεται από φήμη ή με βάση την πιθανότητα Darwin γιατί πρέπει το μέγεθος που εξαρτάται η τιμή των credits να είναι όσο το δυνατόν πιο αδιάβλητη από τυχόν λαθεμένα στοιχεία που μπορεί να δώσουν οι κόμβοι. Ο προορισμός δεν αμείβεται αφού συνήθως ωφελείται από το περιεχόμενο του πακέτου. Αλλά και αυτό να μην γίνεται δεν χάνει πόρους για να προωθήσει το πακέτο. Υπάρχει και ένα σταθερό ποσό που δίνεται ακόμα και στους εγωιστικούς κόμβους που έχουν απορρίψει όλα τα πακέτα ώστε να έχουν το απαραίτητο κίνητρο για να προωθήσουν και να συνεργαστούν. Συγκεκριμένα, η αμοιβή ενός κόμβου για προώθηση πακέτου είναι

$$C_{en(i)} = 0.5 + 2.3 * cp_i^2$$

Από αυτό βλέπουμε πως αν ένας κόμβος δεν προωθεί πακέτα έστω και προσωρινά μειώνεται πολύ το ποσό που παίρνει από την προώθηση των πακέτων. Η πηγή πληρώνει το συνολικό ποσό που δόθηκε στους ενδιαμέσους. Δηλαδή χάνει

$$C_s = \sum_{i \in relay} C_{en(i)}.$$

Υπάρχουν και κάποιες εξαιρέσεις από αυτό ανάλογα την κατάσταση του κόμβου (πληρώνουν παραπάνω) που θα αναφερθούν παρακάτω και ειδική μέριμνα για

ακριανούς κόμβους που μπορεί να μην πληρώσουν τίποτα. Κάθε κόμβος που στέλνει πακέτο σε γείτονά του δεν χρειάζεται να πληρώσει τίποτα.

Όσον αφορά τον τρόπο με τον οποίο πληρώνονται οι κόμβοι, καταρχάς όλες τις πληρωμές και την διαχείριση των credit των κόμβων την κάνει το CCS. Έτσι δεν μπορεί ένας οποιοδήποτε κόμβος να κλέψει credit ή να μην πληρώσει τους κόμβους που έκαναν την προώθηση. Ειδικά ο τελευταίος κίνδυνος είναι απόλυτα εφικτός αφού η πληρωμή γίνεται αναγκαστικά μετά την παραλαβή του πακέτου, το οποίο δεν έχει κάποια credits πάνω του όπως σε άλλους μηχανισμούς που βασίζονται στην αμοιβή. Το τελευταίο δεν μπορεί να γίνει αφού τους ενδιάμεσους κόμβους δεν μπορεί να τους προβλέψει με ακρίβεια, υπάρχει ο κίνδυνος να χαθεί το πακέτο μαζί με τα credits και κυρίως η αμοιβή του κάθε κόμβου δεν είναι σταθερή αλλά εξαρτάται από το ποσοστό των πακέτων που προώθησε από αυτά που του στάλθηκαν, το οποίο για λόγους αξιοπιστίας και ασφάλειας το μετράει μόνο το CCS. Για να μην έχουμε φαινόμενα να μην πληρώνει η πηγή, την αναφορά στο CCS ότι ένα πακέτο έφτασε στον προορισμό του την στέλνει ο παραλήπτης στέλνοντας το αναγνωριστικό πακέτο (ack) - που στέλνει στην πηγή για να ενημερώσει ότι λήφθηκε το πακέτο - πρώτα στο CCS και από εκεί μετά πάει στην πηγή. Έτσι οι ενδιάμεσοι κόμβοι πληρώνονται κανονικά.

Όσοι κόμβοι έχουν πολλά credits για να εμποδίζονται να τα υπερσυσσωρεύουν και έτσι να μπορούν μετά να απορρίπτουν μέρος των πακέτων, πληρώνουν παραπάνω από ότι παίρνουν οι ενδιάμεσοι κόμβοι όταν στέλνουν ένα πακέτο τους. Οι κόμβοι που έχουν περάσει, και για όσο διάστημα είναι πάνω από αυτό το ποσό, ένα όριο στα credit (plousios) θα πληρώνουν λίγο παραπάνω credit και οι κόμβοι που θα γίνουν υπεραρκετά πλούσιοι σε credit (yper_plousios) θα χάνουν αρκετά μεγαλύτερη ποσότητα. Αυτό γίνεται για να αποφεύγεται εν μέρει η πολύ μεγάλη συσσώρευση χρημάτων από κόμβους που μπορούν να υπερεκμεταλευτούν την θέση τους και να συγκεντρώσουν αχρησιμοποίητα credit ή έτσι αργότερα να απορρίπτουν κάποια πακέτα αφού δεν θα τα χρειάζονται. Επίσης έτσι αποφεύγεται η υπερφόρτωση του δικτύου από credits. Επίσης τα όρια για τα credit εξαρτώνται από το τετράγωνο του cp_i , όπως και το τελικό παραπάνω ποσό που θα πληρώσουν. Η μόνη προϋπόθεση είναι ότι όταν $cp_i < 0.1$ τότε αυτό γίνεται ίσο με 0.1. Έτσι οι εγωιστικοί κόμβοι δέχονται άλλη μια σκληρή τιμωρία και ακόμα και κάπως μικρή

απόρριψη πακέτων μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλο χάσιμο credits με προβλήματα μετά στο να προωθήσουν τα πακέτα τους.

Υπάρχει βέβαια το ζήτημα πώς θα ελέγχεται ότι ένας κόμβος δεν έχει τα απαραίτητα credits ώστε να στείλει ένα πακέτο, αφού τα credits δεν περιέχονται στο πακέτο ούτε είναι γνωστή η τιμή του πακέτου. Γι' αυτό βάλουμε ένα κατώφλι (Kat_0) κάτω από το οποίο απαγορεύεται στον κόμβο να στείλει οποιοδήποτε πακέτο εκτός αν πηγαίνει σε γείτονά του. Όπως είπαμε η ανταλλαγή πακέτων με γείτονες δεν κοστίζει τίποτα στους κόμβους. Το κατώφλι αυτό σχετίζεται αποκλειστικά με την διάταξη και το μέγεθος του δικτύου. Αν η τιμή των credits πέσει κάτω από το 0 τότε απαγορεύεται στον κόμβο κάθε αποστολή πακέτου. Πριν την αποστολή του πακέτου, όπως έχουμε πεί, ο κόμβος δεν μπορεί να γνωρίζει πόσα credits κοστίζει το πακέτο που θα στείλει. Γι' αυτό με μόνο περιορισμό το κατώφλι Kat_0 μπορεί να στείλει το πακέτο του. Έτσι μπορεί τα credits του να πέσουν κάτω από το 0. Αυτό δεν είναι πρόβλημα, απλώς μέχρι με οποιοδήποτε τρόπο να ξαναπεράσει το 0 δεν μπορεί να στείλει καθόλου πακέτα. Η κατάσταση του κόμβου i ως προς την δυνατότητα αποστολής πακέτου είναι:

$$\begin{cases} \text{δυνατότητα να στείλει οπουδήποτε (katastasi = 0)} & \text{if credits}(i) \geq \text{Kat_0} \\ \text{μπορεί να στείλει μόνο σε γείτονα (katastasi = 1)} & \text{if } 0 \leq \text{credits}(i) < \text{Kat_0} \\ \text{δεν μπορεί να στείλει καθόλου πακέτα (katastasi = 2)} & \text{if credits}(i) < 0 \end{cases}$$

Τις απαγορεύσεις και τον έλεγχο όλης της διαδικασίας τις αναλαμβάνει αποκλειστικά το CCS. Αυτό θα μπορεί να γίνεται με την ύπαρξη αναγνωριστικού ή κλειδιού που θα πρέπει να τοποθετεί ο κόμβος στο πακέτο που στέλνει και το οποίο θα δίνεται από το CCS. Υπάρχουν και εξαιρέσεις με κάποια κριτήρια για τους ακριανούς κόμβους που θα αναφερθούν παρακάτω.

5.2.4 Αντιμετώπιση Εγωιστικών Κόμβων

Ταυτόχρονα όμως πρέπει να τιμωρούνται οι εγωιστικοί κόμβοι που απορρίπτουν πακέτα, ώστε να έχουν άμεσο αντίκτυπο οι πράξεις τους. Ακόμα και πλούσιοι να είναι θα χάσουν κάποια πακέτα. Οι μηχανισμοί φήμης χρησιμοποιούν την τιμωρία με διάφορες μεθόδους για να τιμωρήσουν τους εγωιστικούς κόμβους.

Εμείς εδώ χρησιμοποιούμε μια παρόμοια μέθοδος με αυτή με την οποία απορρίπτει πακέτα το Darwin. Για το λόγο αυτό οι κόμβοι διατηρούν το μηχανισμό του Darwin με τον υπολογισμό της πιθανότητας Darwin με την οποία απορρίπτουν κάποια πακέτα ή όλα των γειτόνων τους ανάλογα με το αν αυτοί στους προηγούμενους γύρους συμπεριφέρθηκαν καλύτερα ή χειρότερα από τους ίδιους.

Στον μηχανισμό αυτό αρχινάει να απορρίπτει πακέτα με βάση την πιθανότητα Darwin αν ένα κόμβος υπάρχει στη λίστα εγωιστικών κόμβων (*selfish_nodes2*) που διατηρεί ο κάθε κόμβος. Καταρχάς, όπως έχουμε αναφέρει το CSS χαρακτηρίζει τους κόμβους που το *cp_i* έχει πέσει κάτω από ένα κατώφλι ως εγωιστικούς και στέλνει την πληροφορία αυτή σε όλους τους κόμβους. Οι κόμβοι ελέγχουν αν κάποιος από αυτούς είναι γείτονάς του και τον τοποθετεί στη λίστα εγωιστικών κόμβων (*selfish_nodes2*). Αυτό γίνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, όταν υπολογίζεται η *cp_i* ώστε να δοθούν τα έξτρα credits στους ακριανούς κόμβους που τα δικαιούνται. Σε εμάς αυτό συμβαίνει ανά τρεις γύρους. Επίσης αν η πιθανότητα Darwin ενός γείτονα του κόμβου ξεπεράσει ένα μεγάλο κατώφλι (*pkatofli*)—ακόμα και αν η *cp_i* του γείτονα δεν έχει πέσει κάτω από το κατώφλι- τοποθετείται ο γειτονικός κόμβος στην λίστα εγωιστικών κόμβων. Έτσι αντιμετωπίζονται και περιπτώσεις εγωιστικών κόμβων που δεν συμπεριφέρονται καλά σε ένα συγκεκριμένο κόμβο ή που λόγω του ότι δεν τους έχουν στείλει για προώθηση όλοι οι κόμβοι δεν έχουν αναγνωριστεί ως

```
if (  $j \notin \text{selfish\_nodes2}(i)$  )  
    forward packet;  
else  
    drop packet with possibility Darwin;
```

εγωιστικοί από το CSS. Αυτό γίνεται όταν υπολογίζεται η πιθανότητα Darwin. Η λίστα αυτή είναι διαφορετική από αυτή που χρησιμοποιείται για την δρομολόγηση των κόμβων. Επίσης οι κόμβοι των οποίων οι τιμές ξαναπεράσουν και τα δύο κατώφλια φεύγουν από την λίστα. Γενικά για να ξεκινήσει να απορρίπτει βασίζεται στην εμπειρία του δικτύου που λαμβάνοντας την αναγκαία πληροφορία από το CSS. Αν όμως ένας κόμβος του συμπεριφέρεται πολύ χειρότερα από ότι αυτός σε εκείνον – παρόλου που το δίκτυο τον θεωρεί καλόβουλο- τότε και αυτός του απορρίπτει

πακέτα. Για τους υπόλοιπους κόμβους που δεν είναι στην λίστα προωθεί όλα τα πακέτα που του στέλνουν. Ακολουθεί ο ψευδοκώδικας αυτής της διαδικασίας. i είναι ο τρέχον κόμβος και j ο κόμβος που του στέλνει το πακέτο για προώθηση.

Όπου ένα κόμβος j υπάρχει στην λίστα selfish_nodes2 του κόμβου i αν:

$$\begin{cases} cp_j < Kat_egoist1 \wedge j \in Neighbor(i) \\ \tilde{p}_{iDARWIN}^{(k)} > pkatofli \end{cases}$$

Όσον αφορά την πιθανότητα Darwin με την οποία απορρίπτουν οι κόμβοι, βασίζεται στο ότι ένας κόμβος που έκανε λάθος και άσκοπα λιποτάκτησε πρέπει να κάνει μετάνοια και να προσπαθήσει να διορθώσει το λάθος. Αρχικά όλοι οι κόμβοι θεωρούνται ότι είναι σε καλή κατάσταση (προωθούν όλα τα πακέτα). Μετέπειτα ένας κόμβος συνεργάζεται αν είναι σε κακή κατάσταση ή αν ο αντίπαλός του είναι σε καλή κατάσταση. Η πιθανότητα απόρριψης στο DARWIN δίνεται από τη σχέση:

$$\tilde{p}_{iDARWIN}^{(k)} = \left[\gamma * (q_{-i}^{(k-1)} - q_i^{(k-1)}) \right]_0^1 \text{ for } k \geq 0$$

Επίσης ορίζουμε τις συναρτήσεις:

$$q_i^{(k)} = \begin{cases} [\hat{p}_i^{(k)} - \tilde{p}_{iDARWIN}^{(k)}]_0^1 & \text{for } k \geq 0 \\ 0 & \text{for } k = -1 \end{cases}$$

$$[x]_0^1 = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq 1 \\ x & \text{if } 0 < x < 1 \\ 0 & \text{if } x \leq 0 \end{cases}$$

Το $\hat{p}_i^{(k)}$ είναι η αντιλαμβανόμενη πιθανότητα απόρριψης και το $\tilde{p}_{iDARWIN}^{(k)}$ είναι η πιθανότητα απόρριψης του DARWIN. . Το $q_i^{(k)}$ δείχνει την κατάσταση του κάθε κόμβου. Στο τέλος κάθε καθορισμένου χρονικού διαστήματος κάθε κόμβος υπολογίζει για κάθε γείτονά του τον λόγο: $c_{ij}^{(k)} = \frac{F_{ij}^{(k)}}{S_{ij}^{(k)}}$, δηλαδή το λόγο των πακέτων

που προωθήθηκαν προς αυτά που έστειλε στον κόμβο για προώθηση. Αυτόν τον λόγο τον στέλνει σε όλους τους γείτονές του και υπολογίζει μέσω και των λόγων που λαμβάνει από τους γείτονές του τον μέσο λόγο συνδεσιμότητας από τη σχέση:

$$\hat{c}_j^{(k)} = \frac{\sum_{m \in N_i^{(k)} \cup \{i\}, m \neq j} c_{im}^{(k)} * c_{mj}^{(k)}}{\sum_{m \in N_i^{(k)} \cup \{i\}, m \neq j} c_{im}^{(k)}}$$

Όπου $c_{ii}^{(k)} = 1$ για όλα τα k . Στον υπολογισμό του μέσου λόγου συνδεσιμότητας η βαρύτητα με την οποία προσμετράται η γνώμη του κάθε κόμβου είναι ο λόγος αυτού που μετράει ο κόμβος i . Έτσι δεν επιτρέπεται σε ένα κακόβουλο κόμβο με διασπορά ψευδών στοιχείων να αυξήσει τη φήμη ενός κόμβου του. Ισχύει $\hat{p}_j^{(k)} = 1 - \hat{c}_j^{(k)}$. Με βάση αυτή τη σχέση και τις σχέσεις που ορίζουν την πιθανότητα απόρριψης του DARWIN υπολογίζεται η πιθανότητα απόρριψης που θα χρησιμοποιεί για να προωθεί τα πακέτα του γείτονά του το επόμενο χρονικό διάστημα.

Επίσης οι εγωιστικοί κόμβοι που χαρακτηρίζονται ως εγωιστικοί από το CSS υφίστανται και άλλες τιμωρίες από το CSS. Οι κόμβοι που χαρακτηρίζονται ως εγωιστικοί από την πιθανότητα Darwin δεν λαμβάνονται υπόψη σε αυτές τις τιμωρίες για να μην μπορούν οι κόμβοι να διασπείρουν ψευδή στοιχεία για ένα κόμβο αλλά και γιατί είναι πιο αξιόπιστο να βασίζεται η παραπάνω τιμωρία στη συνολική στάση ενός κόμβου. Οι κόμβοι αυτοί δεν έχουν δικαίωμα να λάβουν έξτρα credits (είτε στην ποσότητα που δίνεται ανά μεγάλα χρονικά διαστήματα είτε αφορά ακριανό κόμβο) ή να προωθήσουν δωρεάν τα πακέτα τους. Οι κόμβοι που απορρίπτουν εν μέρει πακέτα και δεν έχουν ξεπεράσει το κατώφλι αυτό αντιμετωπίζουν προβλήματα στο να λάβουν τα παραπάνω δικαιώματα και ακόμα και αν τα λάβουν παίρνουν λιγότερα credits. Τέλος οι εγωιστικοί κόμβοι ανάλογα με το πόσα πακέτα απορρίπτουν χάνουν και παραπάνω credits κατά την προώθηση των πακέτων τους.

5.2.5 Μέριμνα για απομακρυσμένους κόμβους

Καταρχάς, όπως αναφέραμε και πιο πάνω, οι εγωιστικοί κόμβοι που ξεπέρασαν το κατώφλι για την cp_i δεν δικαιούνται κανένα από τα μέσα που χρησιμοποιεί ο υβριδικός μηχανισμός για να βοηθήσει τους ακριανούς και άλλους

κόμβους που δεν μπορούν να συλλέξουν τα απαραίτητα credit από την προώθηση των πακέτων ώστε να μπορούν να στείλουν τα δικά τους πακέτα.

Σχεδόν όλοι οι μηχανισμοί κινήτρων συνεργασίας και ιδίως αυτοί που βασίζονται στην αμοιβή αντιμετωπίζουν προβλήματα αδικίας με τους ακριανούς κόμβους. Οι κόμβοι αυτοί λόγω της θέσης τους δεν μπορούν να μαζέψουν τα απαραίτητα credit από προώθηση και έτσι δεν μπορούν να στείλουν τα πακέτα τους. Επίσης και στους μηχανισμούς φήμης τους είναι δύσκολο να ανεβάσουν την φήμη τους. Το Darwin από την άλλη τους αντιμετωπίζει υπερβολικά καλά θεωρώντας τους πλήρως αξιόπιστους αρχικά και αυτοί που δέχονται ένα μικρό αριθμό πακέτων μπορεί να τιμωρηθούν παραπάνω από ότι θα έπρεπε. Αυτό που κάνουμε στο συγκεκριμένο αλγόριθμο είναι αρχικά ανά τακτά χρονικά διαστήματα να παίρνουν έξτρα credit και αν φτάσουν σε κατάσταση να μην μπορούν να προωθούν αν δεν είναι εγωιστικοί να πληρώνει το CCS τα πακέτα τους. Αυτό που ελέγχεται για αν θα δοθούν αυτές οι βοήθειες στους κόμβους είναι το πόσα πακέτα έλαβαν για προώθηση. Έτσι συμπεριλαμβάνονται και κόμβοι που δεν είναι ακριανοί αλλά για άλλους λόγους δεν τους στέλνονται πακέτα. Τα χρήματα στα οποία ξεκινάει ο υβριδικός αλγόριθμος να τους δίνει έξτρα credit , το όριο των πακέτων που πρέπει να μην έχουν ξεπεράσει και τα χρήματα που θα πάρουν τελικά εξαρτιούνται από το cp_i . Έτσι όσο πιο πολλά (σε ποσοστό) πακέτα προωθεί ένας κόμβος τόσο πιο εύκολα και πιο πολλά credits θα πάρει.

Αρχικά οι κόμβοι που δεν τους στέλνονται αρκετά πακέτα για προώθηση και δεν θεωρούνται εγωιστικοί, θα ενισχύονται με συγκεκριμένη ποσότητα credit ανά τρεις γύρους. Οι κόμβοι που είναι σε αυτή την λίστα είναι αυτοί που τους έχουν σταλεί περίπου όσοι και οι γύροι πακέτα για προώθηση. Αυτό γιατί με βάση την δομή του δικτύου κατά μέσο όρο οι πλειοψηφία των κόμβων στέλνει σε κόμβους που απαιτούνται αρκετά περισσότεροι ενδιαμέσοι από ένα. Βέβαια ο απαιτούμενος αριθμός των πακέτων εξαρτάται και από το cp_i . Οι κόμβοι αυτοί θα δικαιούνται αυτά τα έξτρα χρήματα όταν τα credit τους φτάσουν ένα όριο (Kat_extra_credit), το οποίο εξαρτάται από το τετράγωνο του cp_i . Έτσι όσο πιο πολλά πακέτα προωθούν τόσο πιο εύκολα θα είναι για τους κόμβους να καλύπτουν τα δύο αυτά όρια. Το Kat_extra_credit είναι ίσο με την αρχική ποσότητα. Όμως ουσιαστικά με βάση το πόσα πακέτα προωθούν οι κόμβοι θα παίρνουν τα χρήματα αν έχουν credits από λίγο

ως πολύ πιο κάτω. Οι κόμβοι αυτοί θα παίρνουν κάποια credit, τα οποία θα είναι ίσα με μιάμιση φορά αυτά που θα παίρνουν (extra_credit) ανά μεγάλα χρονικά διαστήματα οι περισσότεροι κόμβοι. Τα credits που θα παίρνουν εξαρτιούνται από το τετράγωνο του cp_i , ώστε να έχουν ένα ακόμη κίνητρο οι κόμβοι να συνεχίσουν να προωθούν. Το άνω όριο υπάρχει για να μην παίρνει ένας πλούσιος κόμβος, που ναι μεν δεν του στέλνονται αρκετά πακέτα αλλά π.χ. στέλνει σε γείτονα και έτσι έχει αρκετά credits. Αυτό θα γίνεται μέχρι να φτάσουν στην κατάσταση 1 και να μπορούν να στείλουν το πολύ μόνο σε γείτονές τους. Αν αργότερα τα credits πέσουν υπάρχει το δεύτερο στάδιο.

Οι παραπάνω κόμβοι όταν φτάσουν σε κατάσταση να μπορούν να στείλουν μόνο σε γείτονές τους ή και καθόλου θα αναλαμβάνει το CCS να πληρώσει τα πακέτα τους. Φυσικά όσο ο κόμβος βρίσκεται σε αυτή την κατάσταση δεν δικαιούται τα έξτρα χρήματα που παίρνουν περιοδικά οι ακριανοί κόμβοι. Για το όριο για τα πακέτα ισχύει ότι και για να λάβουν τα έξτρα credits. Αυτό θα γίνεται με την κατάταξη των κόμβων που δικαιούνται αυτή την ενίσχυση σε μια λίστα, η οποία θα ανανεώνεται οπωσδήποτε σε κάθε γύρο. Αν ο κόμβος προωθήσει κάποιο ή κάποια πακέτα και αποκτήσει τα απαραίτητα credit ώστε να μπορεί να πληρώσει μόνος του τα πακέτα προς οποιοδήποτε κόμβο θα φεύγει από αυτή τη λίστα. Το CCS κατά την αφαίρεση των credit ενός κόμβου για την αποστολή ενός πακέτου θα ελέγχει αν ο κόμβος βρίσκεται στην λίστα. Αν ναι δεν θα του αφαιρεί τα credits. Φυσικά πρέπει να υπάρχει ένα όριο για το πόσα πακέτα μπορούν να στείλουν δωρεάν αυτοί οι κόμβοι. Δεν μπορούν να εκμεταλλεύονται την βοήθεια που τους δίνει ο μηχανισμός για να στείλουν ότι επιθυμούν ή να υπερφορτώσουν το δίκτυο. Γι'αυτό θα μπορούν να στείλουν ένα πακέτο ανά ένα μικρό χρονικό διάστημα.

Η δεύτερη κατηγορία κόμβων περιλαμβάνει τους κόμβους που ναι μεν τους έχουν σταλεί παραπάνω πακέτα από την πρώτη κατηγορία αλλά αυτά δεν ξεπερνάνε ένα κατώφλι. Το κατώφλι αυτό είναι αρκετά μεγαλύτερο από την πρώτη κατηγορία και εξαρτάται και αυτό από το cp_i . Και αυτοί παίρνουν αυτά τα credits (εξαρτιούνται από το cp_i^2 , όπως και η ποσότητα που θα πάρουν) ανά τρεις γύρους. Οι διαφορές με την πρώτη κατηγορία ακριανών κόμβων είναι:

- ότι δεν υπάρχει κάτω όριο για τα χρήματα, αφού οι κόμβοι αυτοί δέχονται ορισμένο αριθμό πακέτων που σε συνδυασμό και με τα έξτρα credits αν συμπεριφέρονται σωστά τους είναι υπεραρκετά.
- παίρνουν τα διπλάσια λεφτά από τα extra_credit, αφού δεν δικαιούνται δωρεάν προώθηση για κανένα λόγο.

Ακολουθεί ο ψευδοκώδικας για τα έξτρα credits που παίρνουν οι ακριανοί και άλλοι κόμβοι.

```

if ((i  $\notin$  selfish) && (credits(i)  $\leq$  arxika_credit *  $cp_i^2$ ) && ( $S_i \leq$  (round *
Kat_packet_proothisi2 *  $cp_i$ )) && (i hasn't the right for free sending packet) * )
{
    if ( $S_i \leq$  (round * Kat_packet_proothisi1 *  $cp_i$ ))
        credits(i) += 1.5 * extra_credit *  $cp_i^2$ ;
    else
        credits(i) += 2 * extra_credit *  $cp_i^2$ ;
}

* if ((i  $\notin$  selfish) && (katastasi#0) && ( $S_i \leq$  (round * Kat_packet_proothisi2 *  $cp_i$ ))
))
    i has the right for free sending packet ;

```

5.2.6 Τιμές Παραμέτρων

Τα βασικά ζητήματα που αφορούν την κατάλληλη επιλογή των τιμών των παραμέτρων που εμφανίζονται στον υβριδικό μηχανισμό έχουν αναφερθεί στην περιγραφή του αλγορίθμου. Εδώ δίνονται –στον πίνακα που ακολουθεί– οι τιμές τους και το τι είναι κάθε μεταβλητή.

Μεταβλητές	Τιμή	Περιγραφή
Kat_egoist1	0.5	Όριο cp_i για να θεωρηθεί ένας κόμβος εγωιστικός από το CSS

pkatofli	0.85	Όριο πιθανότητας Darwin για να θεωρηθεί ένας κόμβος εγωιστικός
arxika_credit	220	Αρχικά credits
extra_credit	28	Τα έξτρα credits που παίρνουν οι κόμβοι
giros_extra	35	Ανά πόσους γύρους παίρνουν έξτρα credits
Kat_0	4	Τιμή των credits που πρέπει να έχει ένας κόμβος για να μπορεί να στείλει ελεύθερα τα πακέτα του
plousios	$2.5 * \text{arxika_credit}$	Όριο για να χαρακτηριστεί ένας κόμβος πλούσιος και να χάνει λίγο παραπάνω credits και να μην δικαιούται τα έξτρα credits.
yper_plousios	$5.7 * \text{arxika_credit}$	Όριο για να χαρακτηριστεί ένας κόμβος πλούσιος και να χάνει πολλά credits κατά την προώθηση των πακέτων του
epibleon	1.3	Τιμή που πολλαπλασιάζεται στα credits που χάνει ένας κόμβος που ξεπέρασε το plousios
epibleon2	2.6	Τιμή που πολλαπλασιάζεται στα credits που χάνει ένας κόμβος που ξεπέρασε το yper_plousios
Kat_packet_proothisi1	1.1	Όριο για τα πακέτα που έχουν δεχτεί για προώθηση η πρώτη κατηγορία ακριανών κόμβων
Kat_packet_proothisi2	4	Όριο για τα πακέτα που έχουν δεχτεί για προώθηση η δεύτερη κατηγορία ακριανών κόμβων

Πίνακας 5.2.6.1 – Τιμές Μεταβλητών Υβριδικού Μηχανισμού Κινήτρων Συνεργασίας

6.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Σύγκριση υβριδικού αλγορίθμου με Darwin

Στο κομμάτι αυτό θα δοθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης κατά την διάρκεια της για τους δύο αλγορίθμους (Darwin και υβριδικός αλγόριθμος) και θα συγκριθούν μεταξύ τους. Η προσομοίωση έγινε με βάση αυτά που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 5.1 για 1000 γύρους. Ακολουθούν τα αποτελέσματα για τους συνεργάσιμους (no-cheating nodes) και για τους εγωιστικούς (cheating nodes) κόμβους ανά 50 γύρους και οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις.

Round	DARWIN	HYBRID
1	0,809	0,787
50	0,934	0,97
100	0,927	0,974
150	0,917	0,976
200	0,911	0,977
250	0,907	0,978
300	0,911	0,98
350	0,914	0,982
400	0,917	0,983
450	0,919	0,984
500	0,92	0,985
550	0,922	0,977
600	0,924	0,97
650	0,926	0,964
700	0,927	0,958
750	0,929	0,954
800	0,928	0,95
850	0,927	0,945
900	0,926	0,941
950	0,926	0,936

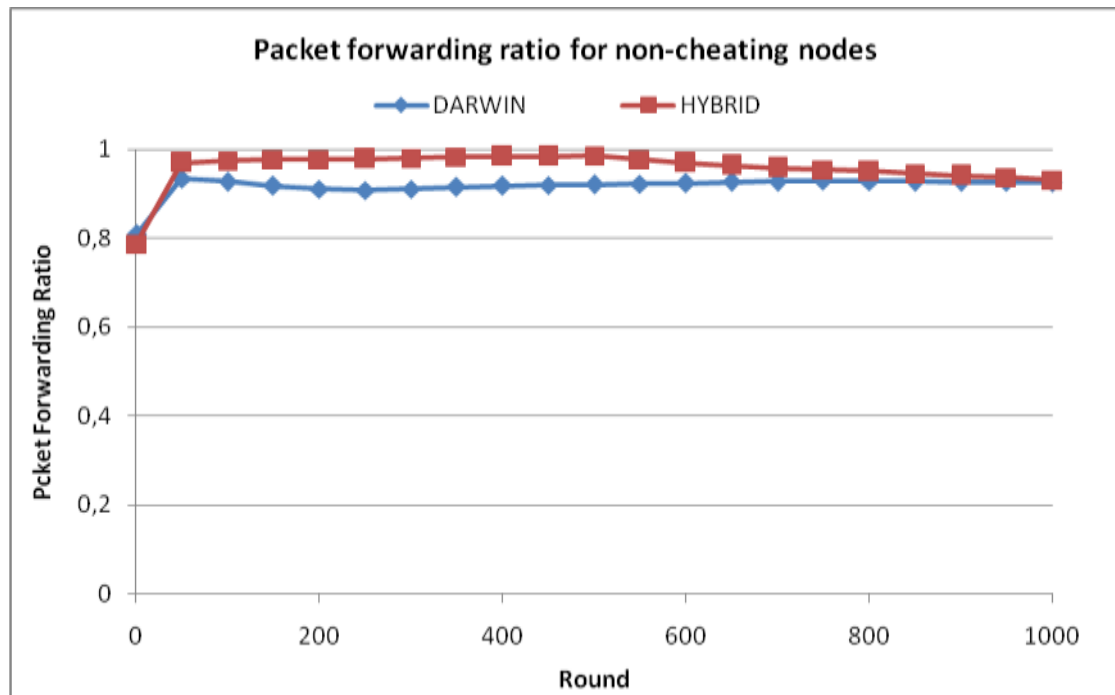
1000	0,925	0,931
------	-------	-------

Πίνακας 6.1.1-Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) συνεργάσιμων κόμβων για Darwin και Hybrid.

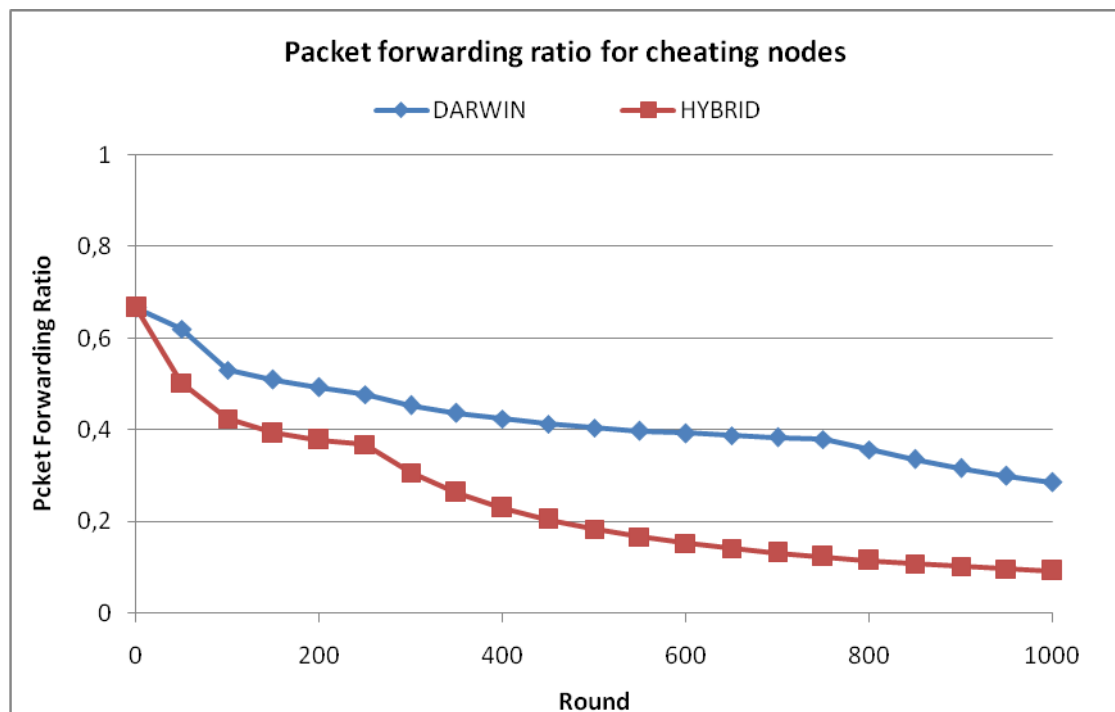
Round	DARWIN	HYBRID
1	0,667	0,667
50	0,621	0,503
100	0,531	0,424
150	0,51	0,393
200	0,493	0,378
250	0,478	0,368
300	0,454	0,307
350	0,437	0,263
400	0,424	0,23
450	0,413	0,205
500	0,405	0,184
550	0,398	0,167
600	0,393	0,153
650	0,388	0,142
700	0,384	0,132
750	0,38	0,123
800	0,357	0,115
850	0,336	0,108
900	0,317	0,102
950	0,3	0,097
1000	0,286	0,092

Πίνακας 6.1.2-Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) εγωιστικών κόμβων για Darwin και Hybrid.

Με βάση αυτά τα αποτελέσματα προκύπτουν οι ακόλουθες γραφικές παραστάσεις για τους συνεργάσιμους και για τους εγωιστικούς κόμβους.



Γραφική Παράσταση 6.1.1 - Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) συνεργάσιμων κόμβων για Darwin και Hybrid.



Γραφική Παράσταση 6.1.2- Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) εγωιστικών κόμβων για Darwin και Hybrid.

Από τα αποτελέσματα και τις γραφικές φαίνεται ότι ο υβριδικός αλγόριθμος δίνει λίγο καλύτερα ποσοστά προώθησης για τους συνεργάσιμους κόμβους σε όλη

την διάρκεια της προσομοίωσης. Μάλιστα στο πρώτο μισό κομμάτι της προσομοίωσης οι συνεργάσιμοι κόμβοι στον υβριδικό αλγόριθμό απολαμβάνουν σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα προώθησης των πακέτων τους (ως και 0.07 παραπάνω). Μετά βαθμιαία –λόγω πτώσης του ποσοστού προώθησης στον υβριδικό αλγόριθμο- η διαφορά αυτή μικραίνει μέχρι που στο τέλος είναι πολύ μικρή (0.006). Πάλι όμως ,έστω και λίγο, ο υβριδικός αλγόριθμος υπερέχει.

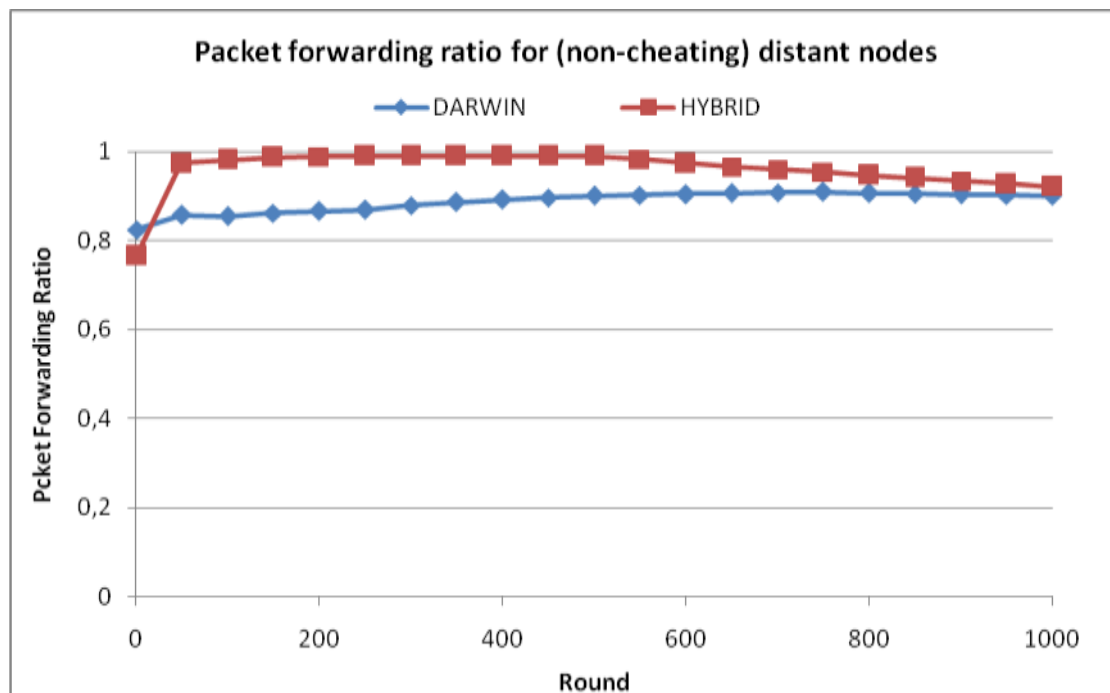
Εκεί όμως που υπερέχει αποφασιστικά είναι στο ποσοστό προώθησης των εγωιστικών κόμβων. Όπως φαίνεται από τον πίνακα και την γραφική παράσταση 6.1.2 το ποσοστό προώθησης των πακέτων των εγωιστικών κόμβων είναι σημαντικά μικρότερο στον υβριδικό αλγόριθμο από ότι στο Darwin. Η διαφορά αυτή κυμαίνεται από 0,107 ως 0,257 για να καταλήξει να είναι στο τέλος 0,194. Αυτό δείχνει ότι ο υβριδικός αλγόριθμος πετυχαίνει χωρίς να αδικήσει τους συνεργάσιμους κόμβους (για την ακρίβεια ευνοώντας τους λίγο) να αποφέρει πολύ σκληρότερη τιμωρία στους εγωιστικούς κόμβους, κάνοντας σχεδόν αδύνατη την προώθηση των πακέτων τους. Γενικά, το ποσοστό προώθησης για τους συνεργάσιμους κόμβους του υβριδικού αλγορίθμου είναι αρκετά υψηλό και για τους εγωιστικούς κόμβους πολύ χαμηλό με μεγάλη πτώση στην αρχή. Αυτό σημαίνει ότι τους εντοπίζει εκτός των άλλων και έγκαιρα.

Μετά πήραμε τα αποτελέσματα για τους ακριανούς κόμβους. Οι κόμβοι αυτοί όπως αναφέρθηκε αντιμετωπίζουν προβλήματα λόγω της θέσης τους στο δίκτυο. Ακριανοί κόμβοι θεωρήθηκαν όσοι βρίσκονται στην περιμετρικά του δικτύου των κόμβων. Η πλειοψηφία τους δέχεται ελάχιστα ως μηδενικά πακέτα για προώθηση και αναγκάζεται ταυτόχρονα συνήθως να έχει πολλούς ενδιάμεσους κόμβους όταν θέλει να στείλει τα δικά τους. Ακολουθούν οι μετρήσεις.

Round	DARWIN	HYBRID
1	0,824	0,765
50	0,857	0,973
100	0,854	0,981
150	0,862	0,986
200	0,866	0,988
250	0,868	0,989

300	0,879	0,989
350	0,886	0,99
400	0,892	0,989
450	0,896	0,989
500	0,9	0,989
550	0,902	0,982
600	0,904	0,973
650	0,906	0,965
700	0,907	0,959
750	0,909	0,954
800	0,906	0,947
850	0,905	0,94
900	0,903	0,933
950	0,902	0,927
1000	0,9	0,921

Πίνακας 6.1.3- Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) ακριανών κόμβων για Darwin και Hybrid.



Γραφική Παράσταση 6.1.3- Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) ακριανών κόμβων για Darwin και Hybrid.

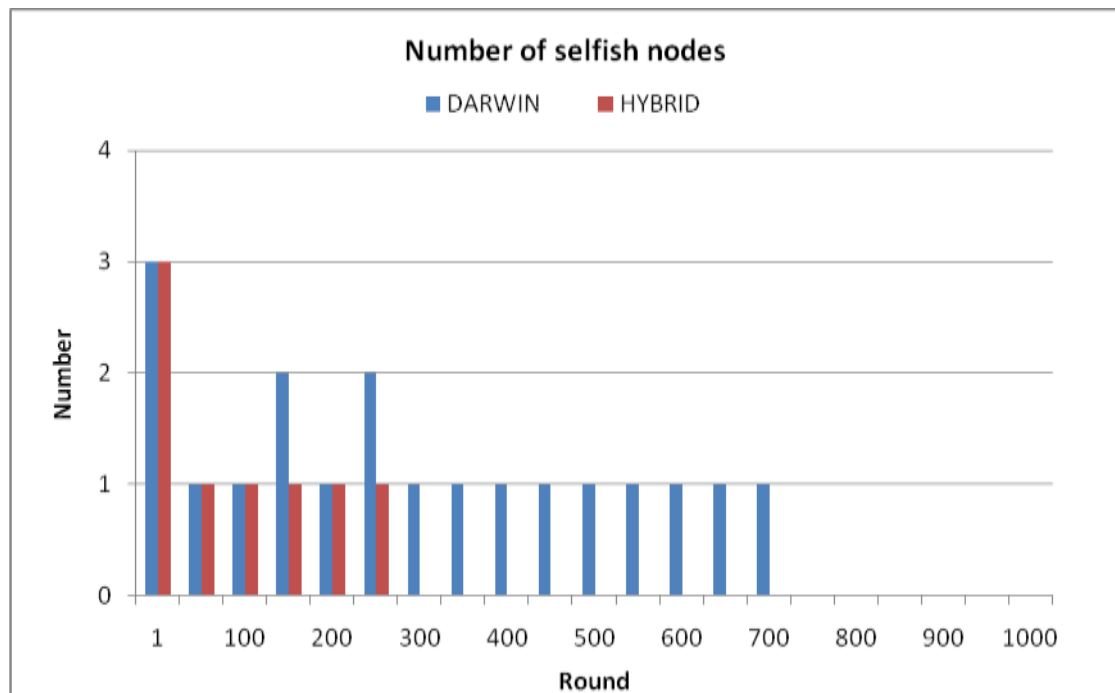
Καταρχάς πρέπει να πούμε πως και οι δύο αλγόριθμοι ,και κυρίως ο υβριδικός, δίνουν αρκετά μεγάλο -άρα και απόλυτα ικανοποιητικό- ποσοστό προώθησης πακέτων για τους ακριανούς κόμβους που πλησιάζει και το συνολικό ποσοστό προώθησης των συνεργάσιμων κόμβων. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί οι κόμβοι που βρίσκονται κεντρικά στο δίκτυο απολαμβάνουν ελάχιστα καλύτερες συνθήκες για να στείλουν τα πακέτα τους. Έτσι ένας κόμβος δεν τιμωρείται λόγω της θέσης του , παρά μόνο αν είναι εγωιστικός. Βέβαια το ποσοστό προώθησής τους δεν ξεπερνά το συνολικό ποσοστό προώθησης και έτσι δεν ευνοούνται παραπάνω από τους άλλους κόμβους,αφού σπαταλούν λιγότερους πόρους για να προωθήσουν πακέτα άλλων κόμβων. Συγκριτικά με το Darwin οι ακριανοί κόμβοι στον υβριδικό αλγόριθμο έχουν αρχικά πολύ καλύτερο (ίσως και υπερβολικά καλό) ποσοστό προώθησης. Η διαφορά βαθμιαία μειώνεται και στο τέλος απολαμβάνουν 0.02 παραπάνω ποσοστό προώθησης.

Ακολουθούν τα στοιχεία για το πόσοι από τους εγωιστικούς κόμβους συμπεριφέρονται ακόμα ως εγωιστικοί και άρα πόσοι από αυτούς αναγκάζονται – έστω και στιγμιαία – να συνεργαστούν για να μπορέσουν να στείλουν κανένα πακέτο.

Round	DARWIN	HYBRID
1	3	3
50	1	1
100	1	1
150	2	1
200	1	1
250	2	1
300	1	0
350	1	0
400	1	0
450	1	0
500	1	0
550	1	0

600	1	0
650	1	0
700	1	0
750	0	0
800	0	0
850	0	0
900	0	0
950	0	0
1000	0	0

Πίνακας 6.1.4- Αριθμός εγωιστικών κόμβων που φέρονται ακόμα εγωιστικά κατά την διάρκεια της προσομοίωσης για Darwin και Hybrid.



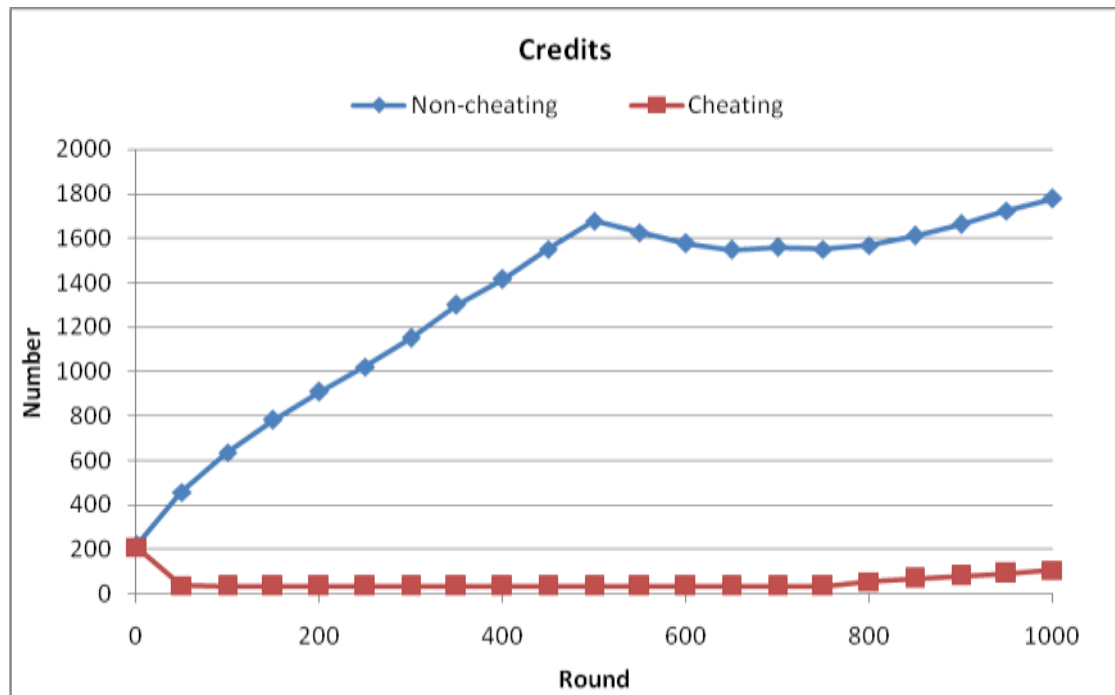
Γραφική παράσταση 6.1.4- Αριθμός εγωιστικών κόμβων που φέρονται ακόμα εγωιστικά κατά την διάρκεια της προσομοίωσης για Darwin και Hybrid.

Από τη Γραφική παράσταση 6.1.4 φαίνεται ότι πολύ γρήγορα ο υβριδικός αλγόριθμος αναγκάζει τους εγωιστικούς κόμβους να συνεργαστούν έστω και πρόσκαιρα. Μάλιστα για την μέση της προσομοίωσης φαίνεται ότι είναι πιο αποτελεσματικός και πολύ πιο γρήγορος σε σχέση με το Darwin.

Ακολουθούν τα στοιχεία για τα credits των συνεργάσιμων και των εγωιστικών κόμβων στον υβριδικό αλγόριθμο κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.

Round	No-cheating nodes	Cheating nodes
1	220,038	210,402
50	457,972	37,285
100	636,235	35,425
150	783,725	35,425
200	909,628	35,425
250	1022,466	35,425
300	1152,146	35,425
350	1301,091	35,425
400	1414,994	35,425
450	1551,062	35,425
500	1677,84	35,425
550	1626,497	35,425
600	1576,1	35,425
650	1547,354	35,425
700	1557,694	35,425
750	1549,69	35,425
800	1566,848	56,78
850	1610,075	69,123
900	1663,17	81,716
950	1722,929	94,056
1000	1778,393	106,397

Πίνακας 6.1.5- Αριθμός credit συνεργάσιμων και εγωιστικών κόμβων κατά την διάρκεια της προσομοίωσης στον Hybrid.



Γραφική παράσταση 6.1.5- Αριθμός credit συνεργάσιμων και εγωιστικών κόμβων κατά την διάρκεια της προσομοίωσης στον Hybrid.

Τα credits των συνεργάσιμων κόμβων είναι εμφανώς πολύ μεγαλύτερα και με γενικά αυξητική τάση από αυτά των εγωιστικών κόμβων. Πρέπει να πούμε ότι κάποιοι συνεργάσιμοι κόμβοι λόγω της θέσης τους να μην μπορεί να έχουν συλλέξει πολλά credits (από προώθηση πακέτων βέβαια), αλλά και συνεργάσιμοι κόμβοι που έχουν λίγα credits λόγω του ότι δεν τους έρχονται πακέτα για προώθηση έχουν διάφορα προνόμια μέχρι και δωρεάν προώθηση πακέτων. Άρα φαίνεται και από τα credits ότι οι συνεργάσιμοι κόμβοι είναι σε πολύ καλύτερη κατάσταση.

6.2 Εξέταση απόδοσης υβριδικού αλγορίθμου

Αρχικά βάλαμε τους εγωιστικούς κόμβους να απορρίπτουν με βάση μια πιθανότητα (ένα μέρος των πακέτων ουσιαστικά) και όχι όλα τα πακέτα που τους στέλνονται. Ακολουθούν τα αποτελέσματα.

Cheating probability Of cheating nodes	DARWIN	HYBRID
0,1	0,926	0,971
0,2	0,87	0,95
0,3	0,823	0,927

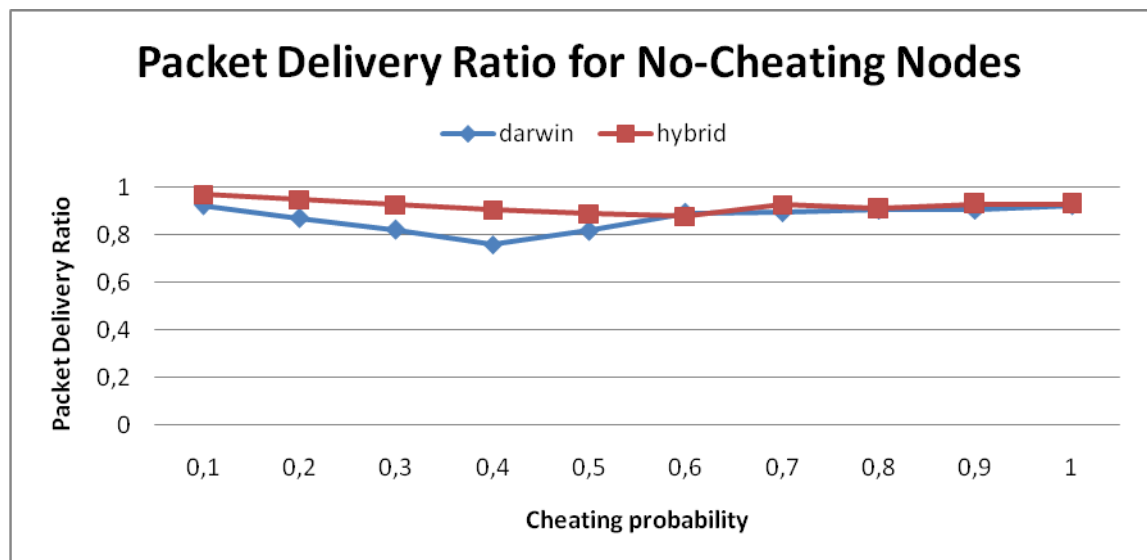
0,4	0,76	0,906
0,5	0,818	0,89
0,6	0,892	0,878
0,7	0,896	0,927
0,8	0,906	0,91
0,9	0,907	0,93
1	0,926	0,931

Πίνακας 6.2.1- Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) συνεργάσιμων κόμβων για Darwin και Hybrid σε σχέση με την πιθανότητα κλεψίματος των εγωιστικών κόμβων.

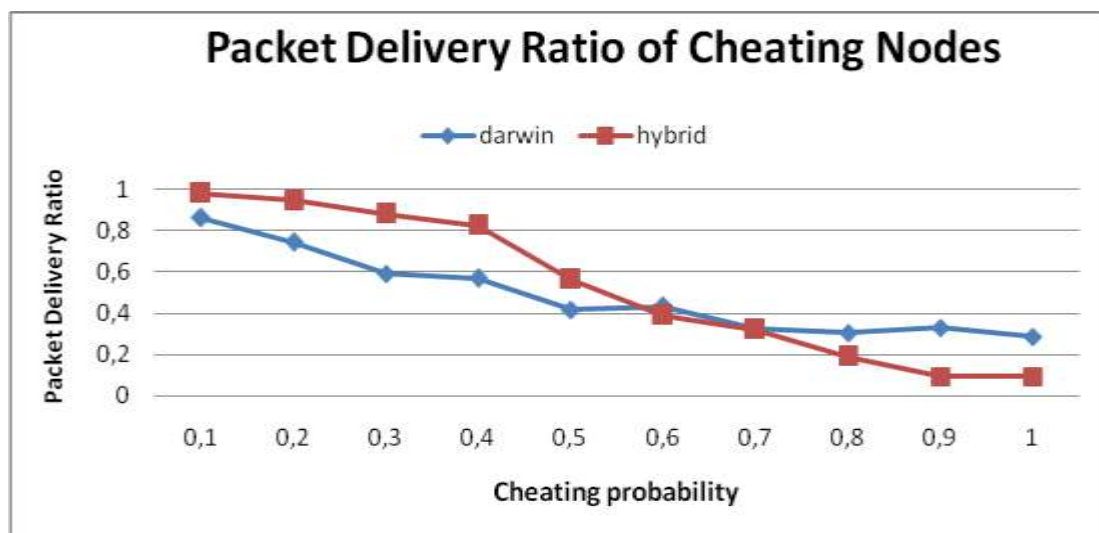
Cheating probability Of cheating nodes	DARWIN	HYBRID
0,1	0,864	0,981
0,2	0,746	0,946
0,3	0,592	0,882
0,4	0,57	0,827
0,5	0,417	0,564
0,6	0,434	0,388
0,7	0,323	0,321
0,8	0,306	0,188
0,9	0,331	0,093
1	0,286	0,092

Πίνακας 6.2.2- Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) εγωιστικών κόμβων για Darwin και Hybrid σε σχέση με την πιθανότητα κλεψίματος των εγωιστικών κόμβων.

Με βάση αυτά τα αποτελέσματα λαμβάνουμε τις ακόλουθες γραφικές παραστάσεις.



Γραφική Παράσταση 6.2.1- Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) συνεργάσιμων κόμβων για Darwin και Hybrid σε σχέση με την πιθανότητα κλεψίματος των εγωιστικών κόμβων.



Γραφική Παράσταση 6.2.2- Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) εγωιστικών κόμβων για Darwin και Hybrid σε σχέση με την πιθανότητα κλεψίματος των εγωιστικών κόμβων.

Καταρχάς βλέπουμε ότι ο υβριδικός αλγόριθμος δίνει καλύτερα αποτελέσματα προώθησης –από ελάχιστο ως πάνω από 0,1- για τους κόμβους που συνεργάζονται σχεδόν για όλες τις πιθανότητες με τις οποίες απορρίπτον πακέτα οι εγωιστικοί κόμβοι. Μόνη εξαίρεση αλλά με πολύ μικρή διαφορά είναι για πιθανότητα απόρριψης 0.6 . Αν αυτό συνδυαστεί με το ότι για τις πιθανότητες απόρριψης πάνω

από 0.7 οι εγωιστικοί έχουν από πολύ ως ελάχιστα χειρότερα αποτελέσματα στον υβριδικό αλγόριθμο, βγάζουμε το συμπέρασμα ότι από 0.7 και πάνω το hybrid είναι πολύ καλύτερο. Βέβαια για πιθανότητες απόρριψης κάτω από 0.5 οι εγωιστικοί κόμβοι έχουν καλύτερα ποσοστά προώθησης στον υβριδικό από το Darwin. Αυτό, όμως, για την πλειοψηφία των τιμών αντισταθμίζεται από τα καλύτερα ποσοστά προώθησης που έχουν και οι συνεργάσιμοι κόμβοι. Μόνη εξαίρεση αποτελεί η πιθανότητα 0.1 που και οι εγωιστικοί –έστω και για ελάχιστο- απολαμβάνουν καλύτερες συνθήκες από τους συνεργάσιμους.

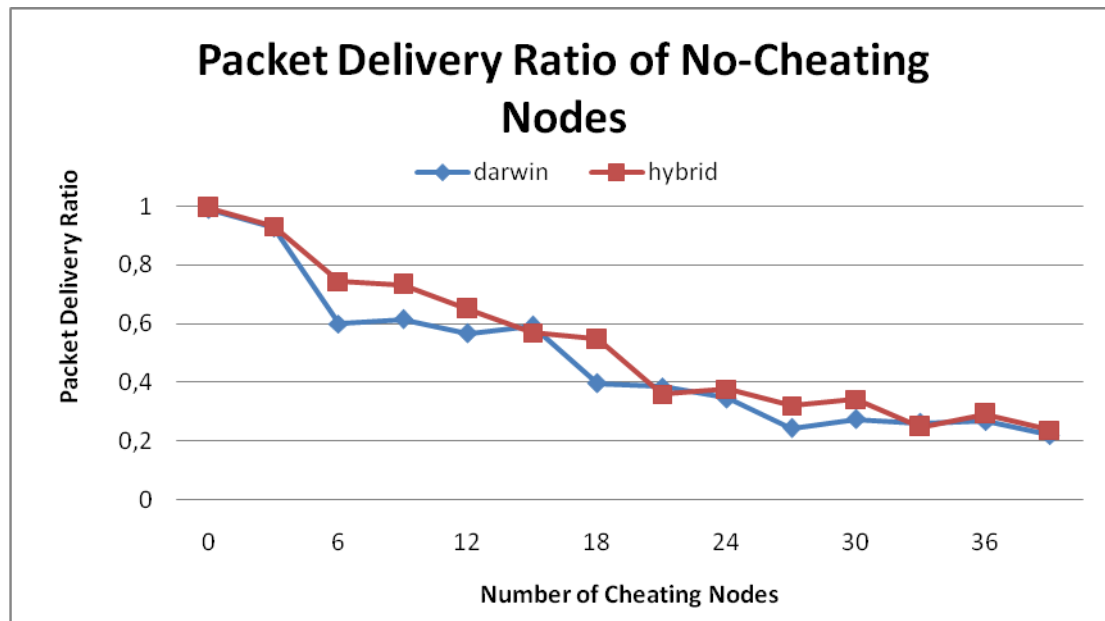
Μετά μετρήσαμε τα αποτελέσματα με βάση πόσοι εγωιστικοί κόμβοι υπάρχουν στο δίκτυο. Ξεκινήσαμε από 0 και τους αυξάναμε ανά τρεις ως τους 39 εγωιστικούς, που είναι ένας ιδιαίτερα υψηλός αριθμός εγωιστικών και το οποιοδήποτε ad-hoc δίκτυο θα αντιμετώπιζε σοβαρά προβλήματα. Ακολουθούν τα ποσοστά προώθησης για τους συνεργάσιμους και τους εγωιστικούς κόμβους και οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις.

Number of cheating nodes	DARWIN	HYBRID
0	0,991	0,994
3	0,926	0,931
6	0,6	0,744
9	0,614	0,732
12	0,567	0,65
15	0,592	0,569
18	0,397	0,546
21	0,385	0,359
24	0,345	0,377
27	0,243	0,32
30	0,273	0,341
33	0,26	0,248
36	0,268	0,291
39	0,219	0,237

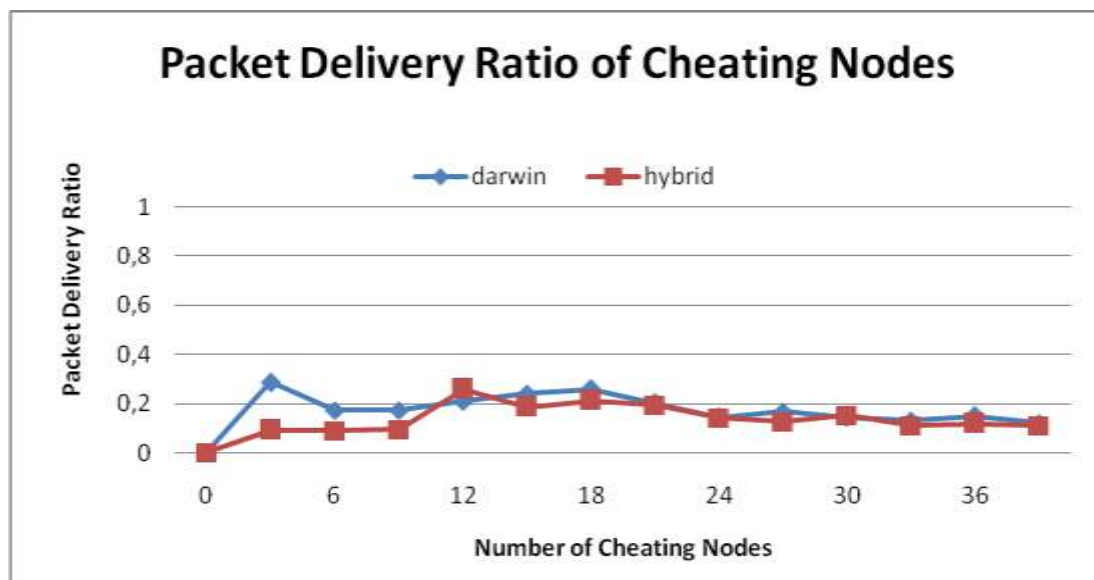
Πίνακας 6.2.3- Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) συνεργάσιμων κόμβων για Darwin και Hybrid σε σχέση με τον αριθμό των εγωιστικών κόμβων.

Number of cheating nodes	DARWIN	HYBRID
0	-	-
3	0,286	0,092
6	0,173	0,09
9	0,172	0,095
12	0,209	0,258
15	0,241	0,185
18	0,259	0,213
21	0,2	0,194
24	0,143	0,142
27	0,167	0,126
30	0,145	0,153
33	0,132	0,11
36	0,148	0,119
39	0,12	0,11

Πίνακας 6.2.4- Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) συνεργάσιμων κόμβων για Darwin και Hybrid σε σχέση με τον αριθμό των εγωιστικών κόμβων.



Γραφική Παράσταση 6.2.3- Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) συνεργάσιμων κόμβων για Darwin και Hybrid σε σχέση με τον αριθμό των εγωιστικών κόμβων.



Γραφική Παράσταση 6.2.4- Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) συνεργάσιμων κόμβων για Darwin και Hybrid σε σχέση με τον αριθμό των εγωιστικών κόμβων.

Καταρχάς βλέπουμε ότι για λίγους ή καθόλου εγωιστικούς τα ποσοστά προώθησης για τους συνεργάσιμους κόμβους είναι υψηλά. Και οι δύο μηχανισμοί στήριξης πετυχαίνουν μέχρι τους 18 εγωιστικούς κόμβους (36%) , που είναι ένα

ιδιαίτερα υψηλό ποσοστό εγωιστικών κόμβων, να έχουν πάνω από 50% προώθηση στα πακέτα των συνεργάσιμων κόμβων. Ακόμα και για μεγάλα νούμερα εγωιστικών κόμβων παρόλο που όπως είναι φυσικό μειώνεται κατά πολύ το ποσοστό προώθησης των συνεργάσιμων κόμβων, παραμένει πάνω από το αντίστοιχο των εγωιστικών. Ο υβριδικός ,βέβαια, για την πλειοψηφία των μετρήσεων πετυχαίνει υψηλότερα ποσοστά προώθησης -σε κάποια και πολύ υψηλότερα- των συνεργάσιμων κόμβων από ότι το Darwin.

Το ποσοστό προώθησης των εγωιστικών κόμβων στον υβριδικό μηχανισμό παρουσιάζει διακυμάνσεις, αλλά χωρίς σε κανένα σημείο να είναι αρκετό για τους εγωιστικούς κόμβους. Ο υβριδικός μηχανισμός δίνει στην πλειοψηφία των μετρήσεων πιο χαμηλά ποσοστά προώθησης από ότι το Darwin.

Στο τέλος αλλάξαμε τον συνολικό αριθμό των κόμβων για να δούμε πώς συμπεριφέρεται το δίκτυο με διαφορετικό αριθμό κόμβων. Πήραμε μετρήσεις για 30,40,50,60 και 70 κόμβους, αφαιρώντας κάποιους από τους ήδη υπάρχοντες ή προσθέτοντας καινούριους στα όρια 400X400 του χώρου που καταλαμβάνουν οι κόμβοι. Για να διατηρήσουμε περίπου στα ίδια επίπεδα το ποσοστό των εγωιστικών κόμβων βάλαμε 2 εγωιστικούς για 30 και 40 κόμβους και 4 για 60 και 70. Ακολουθούν τα αποτελέσματα και οι γραφικές παραστάσεις για αυτές τις μετρήσεις.

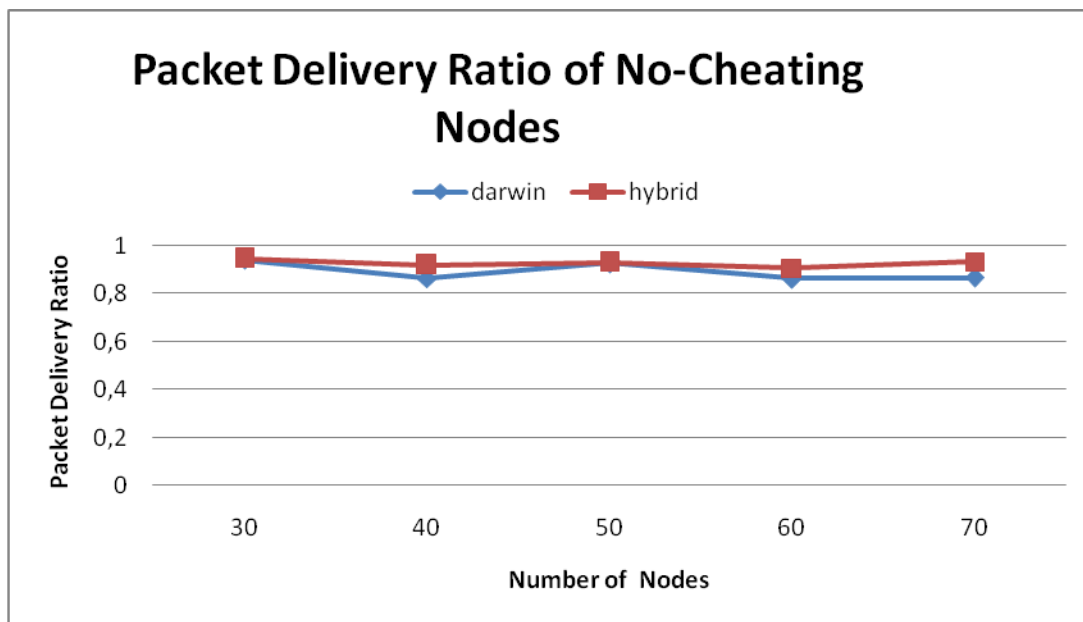
Number of nodes	DARWIN	HYBRID
30	0,94	0,946
40	0,863	0,919
50	0,926	0,931
60	0,862	0,906
70	0,867	0,932

Πίνακας 6.2.5- Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) συνεργάσιμων κόμβων για Darwin και Hybrid σε σχέση με τον αριθμό των κόμβων.

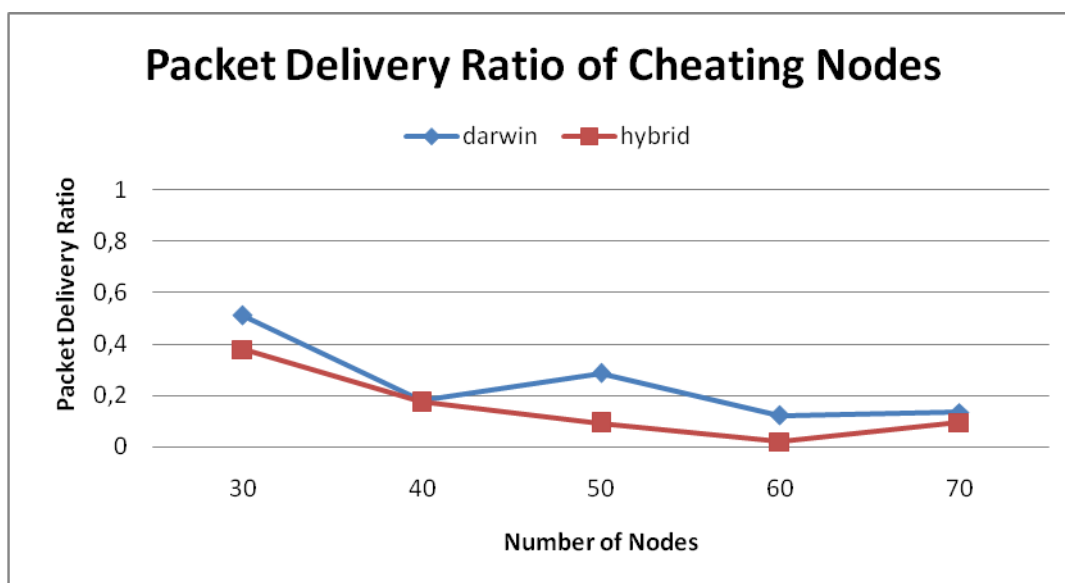
Number of nodes	DARWIN	HYBRID
30	0,51	0,379
40	0,18	0,173

50	0,286	0,092
60	0,122	0,02
70	0,134	0,095

Πίνακας 6.2.6- Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) συνεργάσιμων κόμβων για Darwin και Hybrid σε σχέση με τον αριθμό των κόμβων.



Γραφική Παράσταση 6.2.5- Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) συνεργάσιμων κόμβων για Darwin και Hybrid σε σχέση με τον αριθμό των κόμβων.



Γραφική Παράσταση 6.2.6- Ποσοστό προώθησης πακέτων (Packet Forwarding Ratio) συνεργάσιμων κόμβων για Darwin και Hybrid σε σχέση με τον αριθμό των εγωιστικών κόμβων.

Παρατηρούμε ότι το Hybrid δίνει ταυτόχρονα υψηλότερα ποσοστά προώθησης για τους συνεργάσιμους κόμβους και χαμηλότερα ποσοστά προώθησης για τους εγωιστικούς κόμβους από ότι το Darwin για όλες τις τιμές των κόμβων. Άρα σε αυτό τον τομέα είναι ασυζητητή καλύτερο. Το ποσοστό προώθησης για μικρό αριθμό κόμβων (30) είναι λίγο υψηλό, αλλά παρόλα αυτά στον υβριδικό είναι πολύ χαμηλότερο από ότι στο Darwin.

6.3 Γενικά Συμπεράσματα

Αυτό που φαίνεται καθαρά από τις μετρήσεις είναι τα πολύ καλά αποτελέσματα όσον αφορά την προώθηση των πακέτων των συνεργάσιμων κόμβων που δίνει ο υβριδικός μηχανισμός στήριξης. Αν αυτό το συνδυάσουμε με την σκληρή και έγκαιρη τιμωρία των εγωιστικών κόμβων, βγάζουμε το συμπέρασμα είναι ότι είναι ένας πολύ αποτελεσματικός αλγόριθμος. Επίσης για την πλειοψηφία των συνθηκών που εξετάστηκαν –και ιδίως σε σχέση με τον αριθμό των κόμβων- δίνει αρκετά καλύτερα αποτελέσματα από ότι το Darwin. Τέλος συμπεριφέρεται σωστά στους ακριανούς κόμβους δίνοντας τους το δικαίωμα να προωθούν τα πακέτα τους σχεδόν σχεδόν με το ίδιο ποσοστό όπως και οι υπόλοιποι κόμβοι. Πέρα από κάποιες λογικές αυξομειώσεις στην απόδοσή του, το μόνο μελανό σημείο του υβριδικού μηχανισμού φαίνεται να είναι τα υψηλά ποσοστά προώθησης των εγωιστικών κόμβων που απορρίπτουν μικρό αριθμό πακέτων.

7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Τα ad hoc δίκτυα δείχνουν να είναι το μέλλον όσον αφορά τα δίκτυα. Τα πλεονεκτήματά τους έναντι των δικτύων με σταθερή δομή (ενσύρματα ή ασύρματα) δείχνουν ότι η έρευνα πρέπει να στραφεί προς την βελτίωσή τους ώστε να γίνουν λειτουργικά αντιμετωπίζοντας τα προβλήματα που προκύπτουν από τη δομή τους. Οι μηχανισμοί κινήτρων συνεργασίας είναι πολύ σημαντικοί για την αντιμετώπιση του σοβαρού προβλήματος των εγωιστικών κόμβων. Φαίνεται ,και από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, ότι οι υβριδικοί μηχανισμοί κινήτρων συνεργασίας είναι πιο αποδοτικοί από τους μηχανισμούς φήμης και αμοιβής. Μια σωστή υλοποίησή τους μπορεί να συνδυάσει τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι δύο μηχανισμοί και να τιμωρήσει πιο έγκαιρα και με πιο πολλούς τρόπους τους εγωιστικούς κόμβους. Έτσι θα τους αναγκάσει ουσιαστικά να συνεργαστούν και θα βελτιώσει σε συνδυασμό και με άλλα πράγματα την απόδοση του δικτύου. Άρα η έρευνα πάνω στους μηχανισμούς κινήτρων συνεργασίας πρέπει να επικεντρωθεί προς την δημιουργία υβριδικών μηχανισμών, συνδυάζοντας ιδέες από τους ήδη υπάρχοντες μηχανισμούς των δύο κατηγοριών.

Ο υβριδικός μηχανισμός που δημιουργήθηκε είναι αρκετά αποδοτικός. Αυτός με παραπάνω ανάπτυξη ή/και βελτιστοποίηση σε κάποια σημεία του μπορεί να αποτελέσει την βάση ενός ακόμα πιο αποδοτικού μηχανισμού. Το κυριότερο ζήτημα που πρέπει να λυθεί είναι η μεγαλύτερη τιμωρία –σε σχέση με αυτή που επιτυγχάνεται τώρα- για κόμβους που προωθούν το μεγαλύτερο μέρος των πακέτων ,αλλά όχι όλα. Οι κόμβοι αυτοί δεν γίνεται να υφίσταντο την ίδια τιμωρία με τους ‘κανονικούς’ εγωιστικούς κόμβους, αλλά πρέπει ακόμα και αυτό να είναι αρκετά ανταποδοτικό και να αποτρέπονται έτσι να ακολουθήσουν αυτή την συμπεριφορά. Πρέπει επίσης να εξεταστεί πως λειτουργεί ο υβριδικός μηχανισμός στην κινητικότητα των κόμβων, ένα από τα προτερήματα των ad hoc δικτύων. Γενικότερα πρέπει να μελετηθεί η καλή συμπεριφορά του ad hoc δικτύου στην μεγάλη και γρήγορη κινητικότητα των κόμβων, αφού εκτός από την βελτίωση των δυνατοτήτων που θα δίνουν στον χρήστη υπάρχουν και περιπτώσεις χρήσης αυτών των δικτύων όπως σε έκτακτα καιρικά φαινόμενα ή καταστροφές που η καλή λειτουργία είναι απαραίτητη. Βέβαια αυτό το ζήτημα δεν σχετίζεται μόνο με τους μηχανισμούς κινήτρων συνεργασίας. Ένα ζήτημα είναι να αντιμετωπιστεί η υπερσυσσώρευση

credits που παρατηρείται –όπως ήταν φυσικό- σε κόμβους που βρίσκονται σε ευνοϊκή θέση στο κέντρο του δικτύου. Λόγω της προώθησης έχουν μαζέψει αυτά τα credits, αλλά δεν πρέπει σε καμία περίπτωση λόγω του μεγάλου αριθμού credits να τους δίνεται η δυνατότητα για εν μέρει απόρριψη πακέτων. Ένας τρόπος που πρέπει να εξεταστεί είναι για όσο διάστημα τα credits έχουν ξεπεράσει ένα κατώφλι να μην παίρνουν credits για προώθηση. Αυτό, βέβαια, θέλει προσοχή στην αντιμετώπιση που πρέπει να έχουν αν σταματήσουν να τους στέλνουν οι κόμβοι πακέτα –ίσως λόγω και αλλαγής θέσης. Τότε το δίκτυο πρέπει να τους βοηθά. Μια άλλη λύση που μπορεί να βοηθήσει είναι ανά κάποια σχετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα το δίκτυο να επαναφέρεται περίπου στην αρχική κατάσταση. Με μικρές διαφοροποιήσεις στα credits ανάλογα με τα πόσα είχε ο κάθε κόμβος και την αποθήκευση στους μετρητές των πακέτων που στέλνονται και προωθούνται αναλογικά μικρότερων τιμών. Έτσι οι κόμβοι διαρκώς θα πρέπει να προωθούν όλα τα πακέτα και δεν θα υπάρχουν αδικίες από πιθανές αυξομειώσεις των πακέτων που τους στέλνονται.

Πρέπει να προσεχθεί, σε αυτό τον αλγόριθμο αλλά και γενικότερα, να μην μεγαλώσει πολύ το overload στο δίκτυο και η κατανάλωση πόρων και μνήμης των κόμβων ώστε να επιτύχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Το overload μπορεί να προκαλέσει προβλήματα συμφόρησης στο δίκτυο και να δημιουργήσει προβλήματα τόσο καθυστερήσεων όσο και απόρριψης πακέτων. Αυτό βέβαια συνδέεται με την συνολική έρευνα για βελτίωση συνολικά των δυνατοτήτων των δικτύων. Η ανάπτυξη όλων και πιο αποδοτικών και με περισσότερη μνήμη υπολογιστών βοηθάει στο να μην αντιμετωπίσουν οι κόμβοι προβλήματα. Στον υβριδικό μηχανισμό που υλοποιήσαμε –αλλά και γενικότερα σε τέτοιους μηχανισμούς κινήτρων συνεργασίας- βοηθάει η αναγκαστική λόγω της λογικής του χρησιμοποίηση μιας κεντρικής οντότητας. Τέλος ένα ζήτημα που θέλει προσοχή είναι η ασφάλεια του δικτύου απέναντι σε κακόβουλους κόμβους. Αυτό βέβαια δεν σχετίζεται άμεσα με την λογική του μηχανισμού για να αναγκάσει τους κόμβους να προωθούν τα πακέτα. Χρειάζεται να εξεταστούν οι μηχανισμοί ασφάλειας που θα χρησιμοποιούνται στο δίκτυο. Αυτοί λόγω της αποκεντρωμένης δομής του πρέπει να είναι πιο αποτελεσματικοί. Το δίκτυο πρέπει να προστατευτεί τόσο από κακόβουλες επιθέσεις –όπως και στα κανόνικα δίκτυα- όσο και από προσπάθειες διαστρέβλωσης των στοιχείων που σχετίζονται με τους μηχανισμούς κινήτρων συνεργασίας από τους κακόβουλους κόμβους με σκοπό

να απολαμβάνουν καλή απόδοση χωρίς να χρειάζεται να προωθούν τόσα πολλά πακέτα οι ίδιοι.

8.ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Ad-hoc_network.
- [2] http://el.wikipedia.org/wiki/Ασύρματα_Δίκτυα.
- [3] Dimitris E. Charilas, Stavroula G.Vassaki, Athanasios D. Panagopoulos, Philip Constantinou, Cooperation Incentives in 4G Networks, 2009.
- [4] Animesh Kr Trivedi, Rajan Arora, Rishi Kapoor, Sudip Sanyal, Sugata Sanyal, “A Semi-distributed Reputation-based Intrusion Detection System for Mobile Adhoc Networks”, Journal of Information Assurance and Security 1 , 2006.
- [5] S. Buchegger , J.-Y. L. Boudec, “Performance analysis of the CONFIDANT protocol: Cooperation of nodes - fairness in dynamic ad-hoc networks”, IEEE/ACM Workshop on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHOC), 2002.
- [6] Σαΐνης Θεόδωρος , “ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΛΗΨΗΣ”, Διπλωματική Εργασία, 2005.
- [7] Lidong Zhou, Zygmunt J. HaasSecuring “Securing Ad Hoc Networks”, special issue on network security, 1999.
- [8] P. Michiardi, R. Molva, “Core: A cooperative reputation mechanism to enforce node cooperation in mobile ad hoc networks,” , Communications and Multimedia Security Conference (CMS), 2002.
- [9] Qi He, Dapeng Wu, Pradeep Khosla , “A Secure Incentive Architecture for Ad-hoc Networks”, Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 6, no. 3, pp. 333–346, 2006.
- [10] J. Hwang, A. Shin, H. Yoon, “Dynamic Reputation-Based Incentive Mechanism Considering Heterogeneous Networks”, International Workshop on Modeling Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, pp 137-144, 2008.
- [11] Animesh Kr Trivedi, Rishi Kapoor, Rajan Arora, Sudip Sanyal, Sugata Sanyal, “RISM - Reputation Based Intrusion Detection System for Mobile Adhoc Networks”, CODEC'06, 2006.
- [12] Sorav Bansal, Mary Baker, “Observation-based Cooperation Enforcement in Ad hoc Networks”, arXiv:cs/0307012v2 [cs.NI] , 2003.
- [13] Jinshan Liu, Valerie Issarny , “Enhanced Reputation Mechanism for Mobile Ad Hoc Networks”, Second International Conference, 2004.
- [14] F. Milan, J. J. Jaramillo, R. Srikant, “Achieving cooperation in multihop wireless networks of selfish nodes”, Workshop on Game Theory for Networks (GameNets 2006), 2006.
- [15] Juan Jos Jaramillo, R. Srikant, ”DARWIN: distributed and adaptive reputation mechanism for wireless ad-hoc networks”, 13th ACM international conference on Mobile computing and networking, 2007.
- [16] Elgan Huang, Jon Crowcroft, Ian Wassell, “Rethinking Incentives for Mobile Ad Hoc Networks”, Proceedings of the ACM SIGCOMM workshop on Practice and theory of incentives in networked systems, 2004.
- [17] S. Zhong, J. Chen, Y. R. Yang, “Sprite: A Simple, Cheat-Proof, Credit-Based Systemfor Mobile Ad-Hoc Networks”, INFOCOM ,2003.

- [18] L. Buttyan , J. P. Hubaux, “Enforcing service availability in mobile ad-hoc WANS,”, IEEE/ACM Workshop on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHOC), 2000.
- [19] L. Buttyan , J. P. Hubaux, “Stimulating Cooperation in self-organizing mobile ad hoc networks,” , ACM/Kluwer MONET, vol. 8, pp. 579 - 592, October 2003.
- [20] Shastry N., Adve R.S., “Stimulating Cooperative Diversity in Wireless Ad Hoc Networks through Pricing”, IEEE International Conference on Communications, 2006.
- [21] M. Jakobsson, J. P. Hubaux, L. Buttyan, “A micropayment scheme encouraging collaboration in multi-hop cellular networks,”, Proceedings of Financial Crypto 2003, 2003.
- [22] Dan Zhang, Ileri O. Mandayam N., “Bandwidth exchange as an incentive for relaying”, 42nd Annual Conference on Information Sciences and Systems, 2008 .
- [23] Ze Li , Haiying Shen, “Analysis of A Hybrid Reputation Management System for Mobile Ad hoc Networks”, IEEE, 2009
- [24] GUO Jianl, LIU Hongwei , DONG Jian , YANG Xiaozong , “HEAD: A Hybrid Mechanism to Enforce Node Cooperation in Mobile Ad Hoc Networks” , TSINGHUA SCIENCE AND TECHNOLOGY, pp202-207,Volume 12, 2007.