



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ανακάλυψη πληροφορίας πλαισίου με χρήση
νοημοσύνης σμήνους**

**Εμμανουήλ Ι. Συνοδινός
Ιωάννης Σ. Προβατάρης**

**Επιβλέποντες: Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Επίκουρος Καθηγητής
Χρήστος Αναγνωστόπουλος, Διδάκτωρ**

ΑΘΗΝΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2008

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανακάλυψη πληροφορίας πλαισίου με χρήση
νοημοσύνης σμήνους

Εμμανουήλ Ι. Συνοδινός

A.M.: M796

Ιωάννης Σ. Προβατάρης

A.M.: M795

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Επίκουρος Καθηγητής
Χρήστος Αναγνωστόπουλος, Διδάκτωρ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Επίκουρος Καθηγητής

Οκτώβριος 2008

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα δίκτυα κινητών ασύρματων κόμβων χωρίς συγκεντρωτική δομή (mobile ad-hoc networks MANET) λειτουργούν σε μεγάλο βαθμό αυτόνομα, χωρίς να απαιτείται επίβλεψη. Η δυνατότητά τους αυτή στηρίζεται στην επίγνωση πληροφορίας πλαισίου (context awareness) την οποία διαθέτουν. Η επίγνωση πληροφορίας πλαισίου σε ένα δίκτυο αυτού του τύπου είναι δυνατό να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας μηχανισμούς ανακάλυψης πληροφορίας πλαισίου βασισμένους σε αλγόριθμους εμπνευσμένους από τη φύση όπως οι αλγόριθμοι νοημοσύνης σμήνους. Η επίδοση των μηχανισμών αυτών εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε συστήματος όπως η συμπεριφορά των κόμβων από τους οποίους απαρτίζεται και τις τεχνικές προδιαγραφές τους. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει ένα αλγόριθμο εύρεσης πληροφορίας πλαισίου βασισμένο στη νοημοσύνη σμήνους και μελετά την επίδοση που επιτυγχάνει. Η εξέταση της επίδοσης του αλγορίθμου πραγματοποιήθηκε με πειράματα τα οποία διεξήχθησαν μέσω εξομοίωσης του συστήματος σε υπολογιστή.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Επίγνωση Πλαισίου

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, πληροφορία πλαισίου, νοημοσύνη σμήνους, βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων, βελτιστοποίηση αποικίας μυρμηγκιών

ABSTRACT

Mobile ad-hoc networks (MANET) operate largely autonomously, without need for supervision. This ability is based on the context awareness such systems demonstrate. Context awareness on such systems can be achieved using context discovery mechanisms based on algorithms inspired by nature, such as swarm intelligence algorithms. The performance of these mechanisms depends on characteristics of each system, such as the performance of the individual nodes of the system and their technical specifications. This thesis presents a context discovery algorithm based on swarm intelligence and studies its performance. The algorithm presented is studied using computer simulation experiments.

SUBJECT AREA: Context awareness

KEYWORDS: wireless sensor networks, context, swarm intelligence, particle swarm optimization, ant colony optimization

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον επίκουρο καθηγητή του τμήματος Ευσάθιο Χατζηευθυμιάδη που μας εμπιστεύθηκε την εργασία αυτή καθώς και τον Διδάκτορα του τμήματος Χρήστο Αναγνωστόπουλο, χωρίς τη συμβολή του οποίου δεν θα ήταν δυνατή η πραγματοποίηση αυτής της εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	12
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	14
2.1 Πληροφορία πλαισίου	14
2.2 Επίγνωση πληροφορίας πλαισίου	16
2.3 Κατηγοριοποιήσεις Συστημάτων Επίγνωσης Πληροφορίας Πλαισίου	17
2.4 Αρχιτεκτονική Συστημάτων Επίγνωσης Πληροφορίας Πλαισίου	18
2.5 Μοντελοποίηση Πληροφορίας Πλαισίου	20
3 ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΣΜΗΝΟΥΣ	21
3.1 Το βιολογικό ανάλογο.....	21
3.2 Αλγόριθμοι Νοημοσύνης Σμήνους	23
3.2.1 Ο αλγόριθμος Ant Colony Optimisation (ACO)	23
3.2.2 Ο αλγόριθμος Particle Swarm Optimization (PSO)	26
3.3 Εφαρμογές Αλγορίθμων Νοημοσύνης Σμήνους	29
4 Ο PSO ΣΤΗΝ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	32
4.1 Γενικά	32
4.2 Εφαρμογή του αλγορίθμου PSO στην ανακάλυψη πληροφορίας πλαισίου	33
5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	36
5.1 Οι κόμβοι του συστήματος.....	36
5.2 Οι παράμετροι	36
5.2.1 Ο χώρος	36
5.2.2 Ο αριθμός των αισθητήριων κόμβων	36
5.2.3 Ο αριθμός των μη αισθητήριων κόμβων.....	37

5.2.4	Η εμβέλεια επικοινωνίας.....	37
5.2.5	Η ταχύτητα κίνησης.....	37
5.2.6	Το κατώφλι ποιότητας.....	37
5.3	Οι πολιτικές.....	38
5.3.1	Εγωιστική πολιτική.....	38
5.3.2	Άπληστη πολιτική.....	39
5.3.3	Απαιτητική πολιτική.....	40
5.3.4	Οκνηρή πολιτική.....	41
5.4	Πειραματικά μεγέθη.....	43
5.4.1	Πλήθος ικανοποιημένων κόμβων.....	43
5.4.2	Κόστος μετάδοσης δεδομένων.....	43
5.4.3	Κόστος σηματοδοσίας.....	43
5.4.4	Αριθμός κύκλων σηματοδοσίας.....	43
5.4.5	Λόγος ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών.....	43
5.4.6	Μέσος βαθμός ικανοποίησης.....	44
5.5	Πειραματικά αποτελέσματα.....	44
5.5.1	Πλήθος ικανοποιημένων κόμβων.....	44
5.5.2	Κόστος μεταφοράς δεδομένων.....	50
5.5.3	Αριθμός κύκλων σηματοδοσίας.....	56
5.5.4	Λόγος ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών.....	61
5.5.5	Κόστος σηματοδοσίας.....	69
5.5.6	Μέσος βαθμός ικανοποίησης.....	74
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	79
	ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ.....	80
	ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....	81
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	82

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική ενός Συστήματος Επίγνωσης Πληροφορίας Πλαισίου	18
Εικόνα 2: 1) Το πρώτο μυρμήγκι επιλέγει μια διαδρομή προς την τροφή (F) και επιστρέφει στη φωλιά (N) αφήνοντας ίχνη φερομόνης 2) τα άλλα μυρμήγκια ακολουθούν κάποια από τις τέσσερις διαδρομές 3) η διαδρομή με την μεγαλύτερη εναπόθεση φερομόνης, που είναι και η συντομότερη, γίνεται προτιμητέα.....	22
Εικόνα 3: Παράδειγμα εύρεσης συντομότερου μονοπατιού από μυρμήγκια	24
Εικόνα 4: Παράδειγμα συμπεριφοράς τεχνητών μυρμηγκιών.....	25
Εικόνα 5: Επίδειξη του αλγορίθμου PSO για 40 σωματίδια, Rosenbrock fitness function. Η άσπρη γραμμή αντιπροσωπεύει το minimum της συνάρτησης (τροφή)στο οποίο τελικά συγκλίνουν τα σωματίδια. [25].....	27
Εικόνα 6: Διάγραμμα καταστάσεων της εγωιστικής πολιτικής.....	39
Εικόνα 7: Διάγραμμα καταστάσεων της άπληστης πολιτικής.	40
Εικόνα 8: Διάγραμμα καταστάσεων της απαιτητικής πολιτικής.	41
Εικόνα 9: Διάγραμμα καταστάσεων της οκνηρής πολιτικής.	42
Εικόνα 10: Πλήθος ικανοποιημένων κόμβων για μικρή εμβέλεια επικοινωνίας.....	46
Εικόνα 11: Πλήθος ικανοποιημένων κόμβων για μεγάλη εμβέλεια επικοινωνίας	46
Εικόνα 12: Πλήθος ικανοποιημένων κόμβων για μικρό κατώφλι ικανοποίησης	48
Εικόνα 13: Πλήθος ικανοποιημένων κόμβων για μεγάλο κατώφλι ικανοποίησης.....	48
Εικόνα 14: Πλήθος ικανοποιημένων κόμβων για μικρή εμβέλεια κίνησης.....	49
Εικόνα 15: Πλήθος ικανοποιημένων κόμβων για μεγάλη εμβέλεια κίνησης	50
Εικόνα 16: Κόστος μεταφοράς δεδομένων για μικρή εμβέλεια επικοινωνίας. Στο συγκεκριμένο πείραμα όλες οι πολιτικές εκτός από την απαιτητική έχουν πολυ χαμηλό αριθμό ικανοποιημένων κόμβων κι επομένως πολυ λίγες μεταφορές δεδομένων.	51
Εικόνα 17: Κόστος μεταφοράς δεδομένων για μέση εμβέλεια επικοινωνίας.	

Παρατηρούμε πως αυξάνοντας την εμβέλεια επικοινωνίας αυξάνεται και το κόστος μεταφοράς δεδομένων. Η άπληστη πολιτική έχει πολύ μεγάλη αύξηση ενώ οι υπόλοιπες πολιτικές έχουν κατά μέσο όρο παρόμοιο κόστος.....	52
Εικόνα 18: Κόστος μεταφοράς δεδομένων για μεγάλη εμβέλεια επικοινωνίας. Παρατηρούμε πως αυξάνοντας την εμβέλεια επικοινωνίας ακόμα περισσότερο, το κόστος μεταφοράς δεδομένων αυξάνεται μόνο για την άπληστη πολιτική. Στις υπόλοιπες δεν υπάρχει αύξηση καθώς ο αριθμός ικανοποιημένων κόμβων είχε ήδη φτάσει πολύ κοντά στο μέγιστο.	53
Εικόνα 19: Κόστος μεταφοράς δεδομένων για χαμηλό κατώφλι ικανοποίησης.	54
Εικόνα 20: Κόστος μεταφοράς δεδομένων για μεγαλύτερο κατώφλι ικανοποίησης.	54
Εικόνα 21: Κόστος μεταφοράς δεδομένων για μικρή εμβέλεια κίνησης.	55
Εικόνα 22: Κόστος μεταφοράς δεδομένων για μεγάλη εμβέλεια κίνησης. Παρατηρούμε πως οι μέσες τιμές στις οποίες συγκλίνει η κάθε πολιτική δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα με την αύξηση της ταχύτητας κίνησης. Η σύγκλιση αντίθετα, είναι πιο γρήγορη για μεγάλες τιμές της ταχύτητας κίνησης.....	56
Εικόνα 23: Αριθμός κύκλων σηματοδosis για μικρή εμβέλεια επικοινωνίας.....	57
Εικόνα 24: Αριθμός κύκλων σηματοδosis για μεγάλη εμβέλεια επικοινωνίας.....	57
Εικόνα 25: Αριθμός κύκλων σηματοδosis για μικρό κατώφλι ποιότητας πληροφορίας πλαισίου	58
Εικόνα 26: Αριθμός κύκλων σηματοδosis για μεγάλο κατώφλι ποιότητας πληροφορίας πλαισίου	59
Εικόνα 27: Αριθμός κύκλων σηματοδosis για μικρή ταχύτητα κίνησης	60
Εικόνα 28: Αριθμός κύκλων σηματοδosis για μεγάλη ταχύτητα κίνησης	60
Εικόνα 29: Ο λόγος ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνίας για μικρή εμβέλεια επικοινωνίας. Στο πείραμα αυτό, η άπληστη πολιτική φαίνεται να έχει παρόμοια επίδοση με την εγωιστική και την σκληρή. Ο λόγος είναι ο χαμηλός αριθμός ικανοποιημένων κόμβων.	62

Εικόνα 30: Αυξάνοντας την εμβέλεια επικοινωνίας παρατηρείται σημαντική αύξηση στο λόγο ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών για όλες τις πολιτικές με εξαίρεση την άπληστη όπου η αύξηση είναι μικρότερη.	63
Εικόνα 31: Σε συνθήκες μεγάλης εμβέλειας επικοινωνίας και πυκνότητας κόμβων ανα μονάδα χώρου όπου είναι πολύ εύκολη η εύρεση ικανοποιητικής πληροφορίας ανεξαρτήτως πολιτικής, παρατηρούμε πως όλες οι πολιτικές πλην της άπληστης τείνουν να συγκλίνουν στην ίδια τιμή	64
Εικόνα 32: ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών για χαμηλό κατώφλι	65
Εικόνα 33: Λόγος ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών για υψηλό κατώφλι. Η αύξηση του κατωφλίου ικανοποίησης οδηγεί σε αύξηση του λόγου ικανοποίησης για όλες τις πολιτικές. Η απαιτητική πολιτική επωφελείται περισσότερο από την αύξηση αυτή.	66
Εικόνα 34: Λόγος ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών για χαμηλή εμβέλεια κίνησης	67
Εικόνα 35: Λόγος ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών για μεγάλη εμβέλεια κίνησης. Παρατηρούμε πως ο λόγος σε αυτή την περίπτωση φτάνει λόγω ταχύτερης σύγκλισης σε τιμές που δεν είχαν εμφανιστεί με τη μικρότερη εμβέλεια κίνησης.	68
Εικόνα 36: Λόγος ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών για ακραία εμβέλεια κίνησης. Όταν η εμβέλεια κίνησης πλησιάζει υπεβολικά την εμβέλεια επικοινωνίας υπάρχει σημαντική πτώση ως προς τη μετρική αυτή.	69
Εικόνα 37: Κόστος σηματοδοσίας για μικρή εμβέλεια επικοινωνίας.....	70
Εικόνα 38: Κόστος σηματοδοσίας για μεγάλη εμβέλεια επικοινωνίας	70
Εικόνα 39: Κόστος σηματοδοσίας για μικρό κατώφλι ποιότητας πληροφορίας πλαισίου	71
Εικόνα 40: Κόστος σηματοδοσίας για μεγάλο κατώφλι ποιότητας πληροφορίας πλαισίου	72
Εικόνα 41: Κόστος σηματοδοσίας για μικρή ταχύτητα κίνησης	73
Εικόνα 42: Κόστος σηματοδοσίας για μεγάλη ταχύτητα κίνησης	74

Εικόνα 43: Μέσος βαθμός ικανοποίησης για μικρή εμβέλεια επικοινωνίας	75
Εικόνα 44: Μέσος βαθμός ικανοποίησης για μεγάλη εμβέλεια επικοινωνίας	75
Εικόνα 45: Μέσος βαθμός ικανοποίησης για μικρό κατώφλι ποιότητας πληροφορίας πλαισίου	76
Εικόνα 46: Μέσος βαθμός ικανοποίησης για μεγάλο κατώφλι ποιότητας πλαισίου.....	77
Εικόνα 47: Μέσος βαθμός ικανοποίησης για μικρή ταχύτητα κίνησης	78
Εικόνα 48: Μέσος βαθμός ικανοποίησης για μεγάλη ταχύτητα κίνησης.....	78

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών του τμήματος πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών από τους φοιτητές του προγράμματος Ιωάννη Προβατάρη και Εμμανουήλ Συνοδινό.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα είδη ασύρματων δικτύων χωρίς συγκεντρωτική δομή (ad-hoc networks) που βρίσκουν εφαρμογές σε πεδία όπως οι στρατιωτικές επιχειρήσεις, τα συστήματα καταμεμημένου υπολογισμού, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (wireless sensor networks) είναι τα δίκτυα κινητών ασύρματων κόμβων χωρίς συγκεντρωτική δομή (mobile ad-hoc networks MANET).

Τα MANET λειτουργούν όσο το δυνατόν πιο αυτόνομα χωρίς να απαιτείται επέμβαση από τους χρήστες, χαρακτηριστικό που αποτελεί προϋπόθεση για την χρησιμότητά τους και επιτυγχάνεται μέσω της “επίγνωσης πληροφορίας πλαισίου” (context awareness).

Ο όρος “επίγνωση πληροφορίας πλαισίου” αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος να ανακαλύπτει, να ερμηνεύει, να αξιοποιεί και να συλλογίζεται βάσει της πληροφορίας για την περιρρέουσα κατάσταση γύρω από μια οντότητα (χρήστη ή εφαρμογή) με απώτερο σκοπό να λάβει αποφάσεις και να προσαρμοστεί όσο το δυνατό ταχύτερα σε διάφορες καταστάσεις [1].

Στα δίκτυα MANET ειδικότερα, η ταχύτητα εύρεσης της πληροφορίας πλαισίου έχει μεγάλη σημασία. Τα χαρακτηριστικά των δικτύων αυτών που συμβάλουν σε αυτό είναι η ανάγκη για γρήγορη προσαρμογή στην εκάστοτε κατάσταση του συστήματος καθώς και οι ενεργειακοί περιορισμοί των κόμβων.

Μια κατηγορία αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για την εύρεση πληροφορίας πλαισίου αντλούν έμπνευση από τη συμπεριφορά κοινωνικών έμβιων όντων (πτηνά, έντομα) όπου ολόκληρες ομάδες συνεργάζονται για την εύρεση τροφής. Οι αλγόριθμοι αυτοί ονομάζονται αλγόριθμοι νοημοσύνης σμήνους. Συστήματα που χρησιμοποιούν τέτοιους μηχανισμούς βασίζονται στη συνεργασία μεταξύ οντοτήτων για την επίτευξη του στόχου του εκάστοτε συστήματος. Οι δύο πιο διαδεδομένοι αλγόριθμοι της κατηγορίας αυτής είναι ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (particle swarm optimization-PSO) και ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών (ant colony optimization- ACO).

Αντικείμενο της παρούσης εργασίας είναι η μελέτη δικτύων MANET που χρησιμοποιούν μηχανισμούς ανακάλυψης πληροφορίας πλαισίου βασισμένους σε αλγορίθμους νοημοσύνης σμήνους.

Η διάρθρωση αυτής της εργασίας είναι η ακόλουθη:

Το δεύτερο κεφάλαιο ασχολείται με την έννοια της ανακάλυψης πληροφορίας πλαισίου και τα συστήματα που παρουσιάζουν επίγνωση πληροφορίας πλαισίου.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στην νοημοσύνη σμήνους (swarm intelligence) καθώς επίσης και στους αλγορίθμους βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (particle swarm optimization-PSO) και βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών (ant colony optimization) και τις εφαρμογές τους.

Το τέταρτο κεφάλαιο πραγματεύεται τη χρήση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (PSO) για την ανακάλυψη πληροφορίας πλαισίου.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στις παραμέτρους που επηρεάζουν τη σύγκλιση ενός συστήματος ανακάλυψης πληροφορίας πλαισίου καθώς επίσης και τις πολιτικές συμπεριφοράς κόμβων ενός τέτοιου συστήματος που η παρούσα εργασία θα εξετάσει πειραματικά.

2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

2.1 Πληροφορία πλαισίου

Η έννοια του Πλαισίου (context) έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον σε ποικίλες επιστημονικές περιοχές όπως η τεχνητή νοημοσύνη, οι επικοινωνίες, η γλωσσολογία και η φιλοσοφία. Για τον όρο Πλαίσιο έχουν προταθεί διάφοροι ορισμοί στην παγκόσμια Βιβλιογραφία.

Το λεξικό Merian-Webster [2] ορίζει ως πλαίσιο τις “αλληλοσχετιζόμενες συνθήκες μέσα στις οποίες υπάρχει ή συμβαίνει κάτι”. Ο αντίστοιχος ορισμός στο διαδικτυακό λεξικό FOLDOC [3] είναι “αυτό το οποίο περιβάλλει και δίνει νόημα σε κάτι άλλο”.

Οι Schilit και Theimer [4] ορίζουν το πλαίσιο ως “τη θέση και την ταυτότητα γειτονικών ως προς μία οντότητα αντικειμένων και προσώπων, καθώς επίσης και τις αλλαγές που συμβαίνουν σε αυτά τα αντικείμενα”. Στο Brown et al [5], σε έναν παρόμοιο ορισμό, το πλαίσιο ορίζεται ως η θέση και οι ταυτότητες των ατόμων που περιβάλλουν τον χρήστη, ή ώρα η εποχή η θερμοκρασία κλπ. Ένας επιπλέον ορισμός δίνεται στο Ryan et al. [6], κατά τον οποίο το πλαίσιο απαρτίζεται από τη θέση του χρήστη, το περιβάλλον του, την ταυτότητά του και το χρόνο. Στο [7], το πλαίσιο καθορίζεται από την συναισθηματική κατάσταση του χρήστη, που έχει στραμμένη την προσοχή του ο χρήστης, η θέση του, ο προσανατολισμός του, χρόνος και τα άτομα και αντικείμενα που τον περιβάλλουν. Οι ορισμοί αυτοί έχουν σαν κοινό στοιχείο ότι ορίζουν το πλαίσιο με συγκεκριμένα παραδείγματα.

Οι παραπάνω ορισμοί περιγράφουν το πλαίσιο έχοντας ως κέντρο τον χρήστη. Κάποιοι άλλοι ορισμοί που έχουν δοθεί, τοποθετούν στο κέντρο του ορισμού την εφαρμογή. Ο Brown [8], περιγράφει το πλαίσιο ως το σύνολο των στοιχείων του περιβάλλοντος του χρήστη για τα οποία έχει επίγνωση η εκάστοτε εφαρμογή ενώ οι Ward et al. [9] ορίζουν το πλαίσιο ως την κατάσταση των στοιχείων που περιβάλλουν την εφαρμογή.

Ένας ορισμός που φαίνεται να περιγράφει καλύτερα το πλαίσιο δίνεται από τον Dey στο [10]. Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, “πλαίσιο αποτελεί οποιαδήποτε πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να χαρακτηρίσει την κατάσταση μιας οντότητας. Η οντότητα αυτή μπορεί να είναι κάποιο αντικείμενο, πρόσωπο ή τοποθεσία που θεωρείται σχετικό με την αλληλεπίδραση μεταξύ χρήστη και εφαρμογής, συμπεριλαμβανομένων του ίδιου του χρήστη και της εφαρμογής”.

Ο τελευταίος ορισμός, είναι πιο γενικός από άλλους ορισμούς και δεν περιορίζει τον πλαίσιο να περιλαμβάνει συγκεκριμένα στοιχεία του περιβάλλοντος. Διαισθητικά η θέση, ο χρόνος η ταυτότητα του χρήστη και οι δραστηριότητές του αποτελούν σημαντικά στοιχεία του πλαισίου. Ωστόσο δεν επαρκούν για να καλύψουν το εύρος της έννοια αυτής [11]. Ο προσδιορισμός του πλαισίου δεν είναι εύκολο να γίνει καθώς η ίδια πληροφορία μπορεί να αποτελεί μέρος του πλαισίου σε κάποιες περιπτώσεις ενώ σε άλλες όχι. Επίσης ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή, οι πληροφορίες που μπορεί να έχουν ενδιαφέρον ώστε να συμπεριληφθούν στο πλαίσιο μπορεί να διαφέρουν αρκετά. Για παράδειγμα πληροφορίες όπως η ατμοσφαιρική πίεση ή η υγρασία μπορεί να έχουν πολύ μεγάλο ενδιαφέρον για κάποιες εφαρμογές και πολύ μικρό για κάποιες άλλες.

Στην Πληροφορική η έννοια της πληροφορίας πλαισίου αποτελεί αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας με στόχο την χρήση συστημάτων που έχουν γνώση των πληροφοριών πλαισίου στο πεδίο του κινητού υπολογισμού (mobile computing) αλλά και γενικότερα σε δικτυακές εφαρμογές. Συγκεκριμένα στην Πληροφορική έννοιες του πλαισίου και της πληροφορίας πλαισίου ταυτίζονται με την προϋπόθεση ότι οι πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον παρουσιάζουν ενδιαφέρον, η οποία κάνει

αισθητή την ανάγκη προσδιορισμού του κατάλληλου πλαισίου για κάθε εφαρμογή ανάλογα με τις ανάγκες της.

Όπως αναφέρει ο [1] ανάγκη προσδιορισμού ενός κατάλληλου πλαισίου της εκάστοτε εφαρμογής οδηγεί στην κατηγοριοποίηση των διαφόρων ειδών πλαισίου που είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν με βάση τα χαρακτηριστικά τους:

- Τύπος Πλαισίου
 - Χαρακτηριστικά πληροφορίας πλαισίου ανθρώπινου χρήστη: Περίγυρος χρήστη (θέση, ταυτότητα, κινητικότητα, διαθέσιμες συσκευές κλπ), φυσική οντότητα χρήστη (ταυτότητα, συνήθειες, ιστορικό κλπ)
 - Χαρακτηριστικά πληροφορίας πλαισίου για συσκευή: Διεύθυνση IP, IP mask
 - Χαρακτηριστικά πληροφορίας πλαισίου για δίκτυο: Ταυτότητα δικτύου, εύρος ζώνης, ποιότητα υπηρεσιών, επίπεδο ασφαλείας κλπ
- Εμμονή
 - Σταθερό (δεν απαιτείται ενημέρωση): Πλαίσιο το οποίο δεν εξελίσσεται με το χρόνο. Παραμένοντας σταθερό σε όλη τη διάρκεια της ύπαρξής του (π.χ. όνομα, Αρ. Ταυτότητας κλπ)
 - Προσωρινό (απαιτείται ενημέρωση): πληροφορία πλαισίου που μεταβάλλεται με το χρόνο (π.χ. θέση, φορτίο δεδομένων σε δρομολογητές). Επιπλέον το προσωρινό πλαίσιο μπορεί να διαφοροποιείται ανάλογα με τον ρυθμό με την ταχύτητα με την οποία μεταβάλλεται σε:
 - Στατικό: Πλαίσιο που δεν μεταβάλλεται πολύ γρήγορα με το χρόνο (ατμοσφαιρική πίεση)
 - Δυναμικό: Πλαίσιο που μεταβάλλεται με σχετικά γρήγορο ρυθμό (θέση οδηγού αυτοκινήτου)
- Μετρησιμότητα
 - Φυσικό (μετρήσιμο): Πλαίσιο το οποίο δεν είναι απροσδιόριστο και μπορεί να μετρηθεί (γεωγραφική θέση, υγρασία, θερμοκρασία, καθυστέρηση δικτύου)
 - Απροσδιόριστο (μη μετρήσιμο με τη βοήθεια φυσικών μεγεθών): Πλαίσιο το οποίο αποτελείται από μη αριθμητικές τιμές (π.χ. όνομα, επάγγελμα κλπ)
- Βαθμός αναγκαιότητας
 - Αναγκαίο: Πληροφορία πλαισίου η οποία είναι ζωτικής σημασίας για την ορθή λειτουργία μιας εφαρμογής ή ενός συστήματος.
 - Μη αναγκαίο: Πληροφορία πλαισίου η οποία είναι πιθανό να αποδειχθεί χρήσιμη αλλά δεν είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του συστήματος.
- Χρονικές συνθήκες
 - Παρελθόν: Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει πληροφορία πλαισίου από το παρελθόν, δηλαδή το ιστορικό της πληροφορίας πλαισίου για κάποια χρονική περίοδο που έχει παρέλθει.
 - Παρόν: Περιλαμβάνει την τρέχουσα πληροφορία πλαισίου (π.χ. Τρέχουσα θέση του χρήστη)
 - Μέλλον: Πληροφορία πλαισίου που αναφέρεται σε προκαθορισμένα ή

προβλέψιμα μελλοντικά γεγονότα, (π.χ. η ώρα έναρξης μιας συνεδρίασης). Τέτοιου είδους πληροφορία πλαισίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα που ειδοποιούν τους χρήστες τους σχετικά προκαθορισμένα γεγονότα ή αλλαγές που αφορούν προκαθορισμένα γεγονότα για τα οποία ενδιαφέρεται ο χρήστης (π.χ. αλλαγή ώρας μιας συνέλευσης).

- Αλληλεπίδραση πηγών πληροφορίας με καταναλωτές πληροφορίας πλαισίου
 - Ώθηση πλαισίων: Οι πηγές πλαισίων ενημερώνουν περιοδικά τους καταναλωτές με νέες πληροφορίες.
 - Ανάκτηση πλαισίων: Οι καταναλωτές της πληροφορίας πλαισίου ζητούν ενημερωμένα πλαίσια πληροφορίας από τις πηγές περιοδικά ή όταν υπάρξει ανάγκη.

2.2 Επίγνωση πληροφορίας πλαισίου

Οι εφαρμογές, οι υπηρεσίες και τα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί λόγω της προόδου που έχει σημειωθεί στα πεδία του διάχυτου (pervasive computing) και του κινητού υπολογισμού (mobile computing) λειτουργούν σε περιβάλλοντα που περιγράφονται από μία πληθώρα παραμέτρων που δεν περιορίζονται σε χωρικές παραμέτρους και πληροφορίες απόστασης από άλλες συσκευές του συστήματος. Η γνώση του πλαισίου της κάθε εφαρμογής ή υπηρεσίας και η προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες παραμέτρους που αποτελούν το πλαίσιο βελτιώνει σημαντικά την ποιότητα της προσφερόμενης υπηρεσίας και την εμπειρία που αποκομίζει ο χρήστης από το σύστημα. Αυτό έχει ως συνέπεια σε τέτοιου είδους εφαρμογές να υπάρχει ανάγκη για επίγνωση του πλαισίου (context awareness).

Η επίγνωση πλαισίου ορίζεται ως: “η ικανότητα ενός συστήματος να ανακαλύπτει, να διερμηνεύει, να συμπεραίνει, να αξιοποιεί και να συλλογίζεται βάση της περιρρέουσας πληροφορίας ώστε να λαμβάνει αποφάσεις, να προβαίνει σε προκαθορισμένες ενέργειες και να προσαρμόζεται στις διάφορες καταστάσεις” [12].

Το [13] αναφέρεται στα τα προγράμματα που εμφανίζουν επίγνωση πλαισίου, ως προγράμματα που προσαρμόζονται στην τοποθεσία όπου χρησιμοποιούνται, το σύνολο των ανθρώπων, εξυπηρετών και προσβάσιμων συσκευών που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση καθώς επίσης και στις μεταβολές σε αυτά, ώστε να έχουν την ικανότητα να εξετάζουν το περιβάλλον του υπολογισμού και να αντιδρούν στις αλλαγές σε αυτό.

Στο [14] ορίζεται ως σύστημα που έχει επίγνωση του πλαισίου, εκείνο το σύστημα που χρησιμοποιεί την πληροφορία πλαισίου για να παράσχει κάποια σχετική πληροφόρηση ή υπηρεσία στον χρήστη, όπου η σχετικότητα ορίζεται με βάση τον σκοπό του χρήστη.

Η εισαγωγή κατάλληλων μηχανισμών που υλοποιούν την επίγνωση πλαισίου σε συστήματα πληροφορικής που χρησιμοποιούνται στην καθημερινή ζωή έχει τη δυνατότητα να απλοποιήσει τη λειτουργία του, μειώνοντας τις απαιτούμενες παρεμβάσεις του χρήστη.

Ένα παράδειγμα όπου ένα σύστημα που παρουσιάζει επίγνωση πληροφορίας πλαισίου χρησιμοποιείται για να ικανοποιήσει την ανάγκη ενός χρήστη για “υπηρεσίες βασισμένες στη θέση” (location-based services) περιγράφεται στο [1]. Σε αυτό το παράδειγμα ο χρήστης διαθέτει μια κινητή συσκευή που του επιτρέπει καθώς αυτός μετακινείται μέσα σε ένα συνεδριακό χώρο, να έχει ανά πάσα στιγμή πρόσβαση στις σχετικές με την αίθουσα στην οποία βρίσκεται πληροφορίες, (π.χ. το θέμα της διάλεξης, το πρόγραμμα των παρουσιάσεων) και να διατηρεί ιστορικό της διαδρομής του χρήστη και των σημείων

που ο χρήστης θεώρησε πιο ενδιαφέροντα (κρίνοντας ίσως με βάση το χρόνο παραμονής σε κάθε αίθουσα). Το σύστημα αυτό έχει επίσης τη δυνατότητα να πληροφορεί το χρήστη για τη θέση και τις αίθουσες οι οποίες κίνησαν το ενδιαφέρον των συναδέλφων του. Από αυτό το παράδειγμα γίνεται εμφανές ότι η εισαγωγή της επίγνωσης πλαισίου σε εφαρμογές κινητού ή διάχυτου υπολογισμού είναι ένα θέμα με ιδιαίτερο βάθος και μεγάλο εύρος εφαρμογών.

2.3 Κατηγοριοποιήσεις Συστημάτων Επίγνωσης Πληροφορίας Πλαισίου

Οι Schilit et al. [13] κατηγοριοποίησαν τα συστήματα επίγνωσης πληροφορίας πλαισίου σε δύο ορθογώνιες διαστάσεις: αν ο στόχος είναι η απόκτηση κάποιας πληροφορίας ή η εκτέλεση κάποιας λειτουργίας και αν αυτός ο στόχος πραγματοποιείται αυτόματα ή με την παρέμβαση του χρήστη. Έτσι προκύπτουν τέσσερις κατηγορίες εφαρμογών:

Εφαρμογές εγγύτερης επιλογής: είναι εφαρμογές που παρουσιάζουν πληροφορία στο χρήστη και απαιτούν τη δική του παρέμβαση. Αυτές οι εφαρμογές αποτελούν διαδραστικές εφαρμογές όπου παρουσιάζουν στο χρήστη κάποιες επιλογές, τονίζοντας αυτές που φαίνονται πιο σχετικές με το τρέχον πλαίσιο.

Εφαρμογές αυτόματης αναδιοργάνωσης με βάση το πλαίσιο: αποτελούν εφαρμογές που παρουσιάζουν πληροφορίες στο χρήστη αυτόματα, βασιζόμενες στην πληροφορία πλαισίου.

Εφαρμογές που υποστηρίζουν λειτουργίες εξαρτώμενες από το πλαίσιο: πρόκειται για εφαρμογές που παρουσιάζουν μια σειρά από διαθέσιμες λειτουργίες στο χρήστη ώστε να επιλέξει. Οι λειτουργίες αυτές ωστόσο, δεν εκτελούνται χωρίς την προτροπή του χρήστη. Ανάλογα με το πλαίσιο, διαφοροποιούνται οι διαθέσιμες προς το χρήστη λειτουργίες και πιθανώς επηρεάζεται και ο τρόπος με τον οποίο θα εκτελεστούν.

Εφαρμογές που χρησιμοποιούν πράξεις πυροδοτούμενες από το πλαίσιο: είναι εφαρμογές που εκτελούν λειτουργίες για το χρήστη αυτόματα. Σε αυτού του είδους τις εφαρμογές, εκτελούνται αυτόματα και χωρίς την παρέμβαση του χρήστη κάποιες ενέργειες, όταν κρίνεται ότι το πλαίσιο είναι κατάλληλο.

Μια κατηγοριοποίηση των χαρακτηριστικών των συστημάτων επίγνωσης πληροφορίας πλαισίου παρουσιάζεται από τον Pascoe [15]. Σύμφωνα με αυτή, τα χαρακτηριστικά των συστημάτων είναι τα παρακάτω:

Αίσθηση του πλαισίου: είναι η δυνατότητα του συστήματος να συλλέγει την πληροφορία του πλαισίου και να την παρουσιάζει στο χρήστη.

Προσαρμογή στο πλαίσιο: συνιστά την αυτόματη εκτέλεση ή τροποποίηση μιας υπηρεσίας προς το χρήστη με βάση το πλαίσιο.

Ανακάλυψη πόρων βασισμένη στο πλαίσιο: η δυνατότητα μιας εφαρμογής πληροφορίας πλαισίου να εντοπίζει και να προσφέρει στο χρήστη πόρους και υπηρεσίες ανάλογα με το εκάστοτε πλαίσιο.

Εμπλουτισμός του πλαισίου: η δυνατότητα μιας εφαρμογής να επηρεάσει το πλαίσιο με επιπρόσθετα δεδομένα. Για παράδειγμα η τοποθέτηση μιας ψηφιακής προειδοποίησης σε κάποια τοποθεσία ή οποία θα μπορεί να είναι διαθέσιμη σε όσους βρεθούν στη θέση αυτή στο μέλλον.

Όπως παρατηρείται στο [14], η κατηγοριοποίηση αυτή παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με την κατηγοριοποίηση των Schilit et al. Η αίσθηση του πλαισίου μπορεί να

αντιστοιχηθεί με τις εφαρμογές εγγύτερης εφαρμογής ενώ η προσαρμογή στο πλαίσιο θυμίζει τις εφαρμογές που χρησιμοποιούν πράξεις πυροδοτούμενες από το πλαίσιο. Επίσης, το τρίτο χαρακτηριστικό, η ανακάλυψη πόρων βασισμένη στο πλαίσιο, είναι το ανάλογο των εφαρμογών αυτόματης αναδιοργάνωσης με βάση το πλαίσιο. Συνδυάζοντας τις προηγούμενες δύο κατηγοριοποιήσεις, στο [14] προτείνονται οι εξής κατηγορίες χαρακτηριστικών των εφαρμογών επίγνωσης πλαισίου:

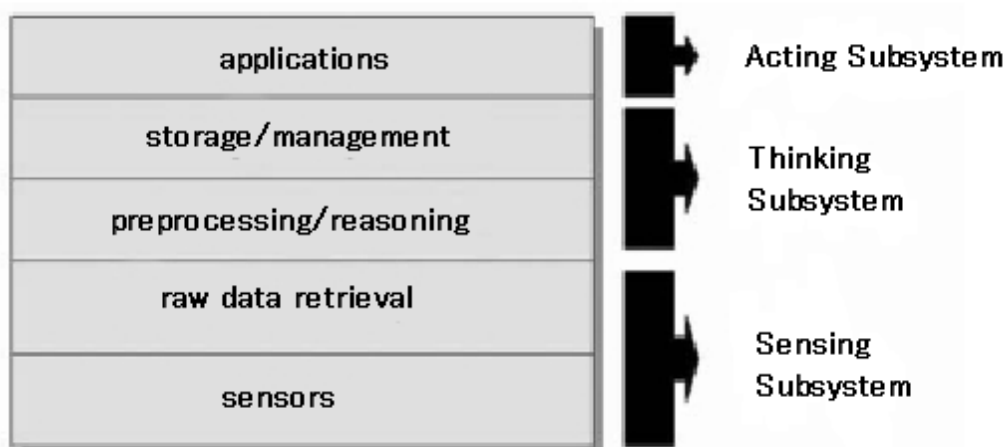
παρουσίαση πληροφοριών και λειτουργιών στο χρήστη

αυτόματη εκτέλεση λειτουργιών

επισήμανση του πλαισίου για μελλοντική χρήση

2.4 Αρχιτεκτονική Συστημάτων Επίγνωσης Πληροφορίας Πλαισίου

Σύμφωνα με το [1] η λειτουργία ενός Συστήματος Επίγνωσης Πληροφορίας Πλαισίου (ΣΕΠ) χωρίζεται σε 3 βασικά μέρη: τη λειτουργία της αίσθησης (sensing) της περιρρέουσας κατάστασης, τη λειτουργία της σκέψης (thinking) και τη λειτουργία της δράσης (acting). Οι λειτουργίες αυτές απεικονίζονται στην εικόνα 1 καθώς επίσης τα επίπεδα από τα οποία οικοδομείται ένα ΣΕΠ.



Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική ενός Συστήματος Επίγνωσης Πληροφορίας Πλαισίου

Η ανάγκη των ΣΕΠ να λαμβάνουν πληροφορίες πλαισίου σχετικά με το περιβάλλον και την περιρρέουσα κατάσταση οδηγεί στον εξοπλισμό τους με πηγές πληροφόρησης και ειδικούς αισθητήρες ώστε να έχουν πρόσβαση στα απαιτούμενα δεδομένα. Οι αισθητήρες είναι εξαρτήματα με περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας που εντάσσονται στο ΣΕΠ με σκοπό να τροφοδοτούν το μοντέλο υπολογισμού με δεδομένα σχετικά με ενδιαφέρουσες παραμέτρους του περιβάλλοντος. Τα δεδομένα αυτά μετασχηματίζονται με χρήση ειδικών αλγορίθμων σε δεδομένα που μπορούν να αξιοποιηθούν από το σύστημα.

Τα δεδομένα που το ΣΕΠ λαμβάνει από τους αισθητήρες που διαθέτει οδηγούν στην εξαγωγή συμπερασμάτων για την κατάσταση του περιβάλλοντος και τελικά στη λήψη αποφάσεων, με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων και μεθόδων [16]. Τέτοια μοντέλα είναι τα ακόλουθα [1]:

- Φυσικά μαθηματικά μοντέλα (Kalman filtering)

- Αναγνώριση προτύπων (pattern recognition)
- Νευρωνικά Δίκτυα (neural networks)
- Cluster algorithms
- Cognitive based models
- Fuzzy logic

Το τρίτο μέρος της λειτουργίας ενός ΣΕΠ που περιλαμβάνει τις πράξεις στις οποίες προβαίνει το σύστημα για να ικανοποιήσει τις ανάγκες της εφαρμογής την οποία εξυπηρετεί. Οι ενέργειες αυτές είναι πιθανό να περιλαμβάνουν ακόμη και τη συλλογή επιπρόσθετων δεδομένων και πρέπει να πραγματοποιούνται χωρίς να παραβιάζουν τους χρονικούς περιορισμούς που τίθενται από την ταχύτητα με την οποία μεταβάλλεται η κατάσταση του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα έστω ένα κινητό σύστημα που προσφέρει πληροφορίες σχετικά με τα εκθέματα που περιλαμβάνονται στην αίθουσα ενός μουσείου στην οποία βρίσκεται ο χρήστης. Στην περίπτωση που αυτό το σύστημα δεν έχει τη δυνατότητα να διαπιστώσει αρκετά γρήγορα τη θέση του χρήστη και να ανακτήσει τα σχετικά δεδομένα, θα προσφέρει στο χρήστη πληροφορίες σχετικές με τα εκθέματα της συγκεκριμένης αίθουσας αφού ο χρήστης έχει μετακινηθεί σε διαφορετική αίθουσα.

Ο σχεδιασμός ενός ΣΕΠ πρέπει να εξασφαλίζει την ορθότητα των 3 λειτουργιών που αναφέρθηκαν πιο πάνω καθώς επίσης και να περιλαμβάνει τη σωστή επιλογή της πληροφορίας πλαισίου και την επαρκή αναγνώριση της περιρρέουσας κατάστασης του υπό σχεδιασμό συστήματος. Συνεπώς ο σχεδιασμός ενός ΣΕΠ πρέπει να οδηγεί σε ένα σύστημα που να παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά[1]:

- Διεισδυτικότητα (pervasiveness): Η δυνατότητα του συστήματος να συνεργάζεται αποτελεσματικά με τους χρήστες και να δρα αυτόνομα στις απαιτούμενες ενέργειες.
- Προ-δραστικότητα (pro-activeness): Η ικανότητα πρόληψης και προσαρμογής για την αντιμετώπιση των αναγκών που θα παρουσιαστούν στο κοντινό μέλλον.
- Ικανότητα Συμπερασμού Πλαισίου (inference): Η ικανότητα επαγωγής συμπερασμάτων από το πλαίσιο.

Επιπροσθέτως κατά το σχεδιασμό ενός ΣΕΠ εμφανίζονται διάφορα ζητήματα. Ενδεικτικά στο [1] αναφέρονται τα εξής:

- Η ανάγκη κατάλληλης αναπαράστασης της πληροφορίας πλαισίου (context representation) με καθορισμένα “μοντέλα αναπαράστασης πλαισίου” (context model) ώστε το εκάστοτε μοντέλο γνώσης του πλαισίου να αντικατοπτρίζει το τρέχον πλαίσιο και να επιτυγχάνεται ο κατάλληλος συμπερασμός (context inference) και συλλογισμός του (context reasoning).
- Η ανάγκη να εξοπλιστούν οι συσκευές και τα συστήματα με τους κατάλληλους αισθητήρες και τις απαραίτητες πληγές πληροφορίας ώστε να η λήψη πληροφορίας είτε από το περιβάλλον είτε από τους χρήστες να γίνεται με τη μικρότερη δυνατή επέμβαση από το χρήστη.
- Η εφαρμογή μεθόδων σύντηξης (context fusion) και συνάθροισης πλαισίου (context aggregation) λόγω της ετερογένειας που παρουσιάζουν τα δεδομένα που συλλέγει το σύστημα.
- Η ταξινόμηση (context classification) και η πρόβλεψη (context prediction) του

πλαίσιου είναι κυρίως αναγκαίες σε συστήματα με υπολογιστικές ικανότητες.

- Η εκμάθηση (training) και η προσαρμογή (adaptation) του συστήματος πρέπει να πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο και όχι να έπεται της ενέργειας που καλείται να διευκολύνει.
- Η αλληλεπίδραση με το χρήστη (user interaction) και η παρέμβαση του χρήστη (user intervention) πρέπει να είναι περιορισμένης έκτασης και να διεκπεραιώνεται όσο το δυνατόν πιο διακριτικά.

Ένα άλλο ζήτημα που έχουν να αντιμετωπίσουν τα ΣΕΠ είναι η τήρηση της ισορροπίας μεταξύ της προνοητικότητας του συστήματος και της παρέμβασης από το χρήστη στη λειτουργία του. Προϋπόθεση για τη λειτουργία ενός συστήματος που εκμεταλλεύεται πλήρως τις δυνατότητες που του παρέχει η επίγνωση πλαισίου είναι η ύπαρξη σε αυτά μηχανισμών που να πρόβλεψη του πλαισίου και προσαρμογής σε αυτό ώστε να εκμεταλλεύονται την παραγόμενη και επαγόμενη πληροφορία. Ακόμη απαιτείται η υλοποίηση μηχανισμών που θα μαθαίνουν τις συνήθειες των χρηστών του συστήματος και θα προσαρμόζονται στις αλλαγές τους. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση της γνώσης που υπάρχει σχετικά με το πλαίσιο του παρελθόντος (historical context) η οποία επιτρέπει την πρόβλεψη και την προσαρμογή στις συμπεριφορές του μέλλοντος.

2.5 Μοντελοποίηση Πληροφορίας Πλαισίου

Η Μοντελοποίηση Πλαισίου σύμφωνα με το [1] είναι η περιοχή της Επίγνωσης Πλαισίου που εξετάζει τα εξής ζητήματα:

- ποια είναι η πλέον κατάλληλη πληροφορία πλαισίου (μεταβλητές, παράμετροι, ορίσματα) για να επιτευχθεί η βέλτιστη κατά το δυνατόν αναπαράσταση πληροφορίας (χρόνος, θέση, φυσικά μεγέθη) για μια συγκεκριμένη οικογένεια εφαρμογών ή υπηρεσιών (π.χ. location-based services). Οι μεταβλητές αυτές μπορούν να θεωρηθούν συνιστώσες του πλαισίου και το ίδιο το πλαίσιο ένα πολυδιάστατο διάνυσμα (context vector) σε ένα διανυσματικό χώρο που ορίζεται από τις τιμές των μεταβλητών.
- ποιες είναι οι ενάγουσες και υπάρχουσες εξαρτήσεις-συσχετίσεις μεταξύ των συνιστωσών αυτών (π.χ. χρονικές εξαρτήσεις, σχέσεις εξειδίκευσης και γενίκευσης, εξαρτήσεις μέρους-όλου κ.α.).
- ποιες μέθοδοι εκμάθησης, ταξινόμησης και προσαρμογής του διανύσματος του πλαισίου πρέπει να χρησιμοποιηθούν, αν αυτό κριθεί αναγκαίο.

3 ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΣΜΗΝΟΥΣ

3.1 Το βιολογικό ανάλογο

Οι οργανωμένες συμπεριφορές των ατόμων από τα οποία απαρτίζονται αποικίες κοινωνικών εντόμων όπως οι τερμίτες, οι μέλισσες και τα μυρμήγκια αλλά και η οργάνωση που παρατηρείται σε σμήνη διαφόρων ειδών πτηνών έχουν παρατηρηθεί και προκαλούν το ενδιαφέρον του ανθρώπου από την αρχαιότητα.

Η οργάνωση που χαρακτηρίζει τις αποικίες των κοινωνικών εντόμων αλλά και τα σμήνη των πτηνών εμφανίζεται ότι καθορίζει τις υποχρεώσεις καθενός από τα μέλη της ομάδας με απώτερο σκοπό την ευημερία του συνόλου, χωρίς να απαιτείται κεντρικός έλεγχος.

Η οργάνωση που παρατηρείται σε τέτοιου είδους ομάδες βασίζεται κατά κύριο λόγο στις αλληλεπιδράσεις μεμονωμένων μελών της ομάδας [1]. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές είναι αρκετά απλές (π.χ. Ένα μυρμήγκι κινείται πάνω στο ίδιο μονοπάτι που ακολούθησε ένα άλλο), όμως στο σύνολό τους επιτρέπουν στην ομάδα να βρίσκει λύση σε δύσκολα προβλήματα, όπως η διαδρομή με τη μικρότερη απόσταση προς την τροφή. Η δυνατότητα μιας ομάδας κοινωνικών εντόμων να λύνει χρησιμοποιώντας απλές αλληλεπιδράσεις σύνθετα προβλήματα, χωρίς την ανάγκη εποπτείας, ονομάζεται “νοημοσύνη σμήνους”.

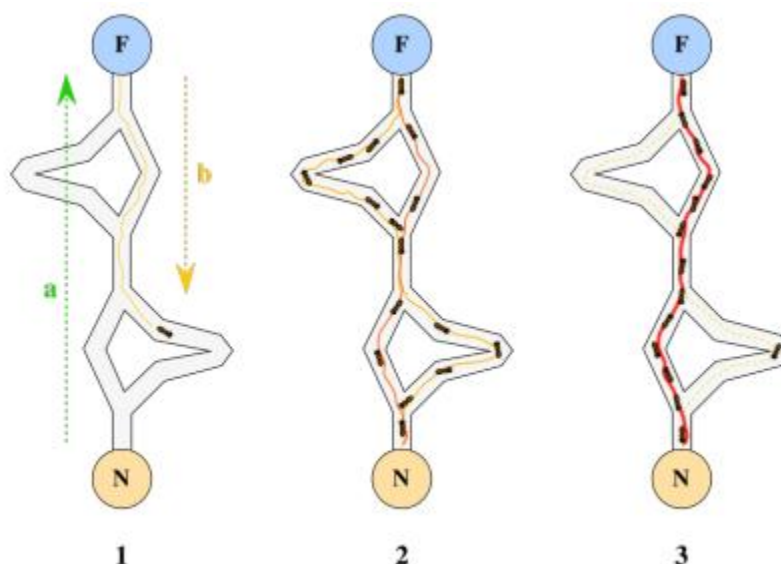
Μία από τις πρώτες διαδικασίες με βάση τη νοημοσύνη σμήνους που αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας ήταν η μέθοδο αναζήτησης και μεταφοράς της τροφής από τα μυρμήγκια [1]. Η μελέτη της έδειξε ότι οι γραμμές που σχηματίζουν τα μυρμήγκια είναι αποτέλεσμα της έκκρισης από τα σώματά τους, της φερομόνης (pheromone), μιας ουσίας που προσελκύει άλλα μυρμήγκια. Επιπροσθέτως η μελέτη έδειξε την καταλληλότητα της διαδικασίας που βασίζεται στην έκκριση φερομόνης για τη λύση του προβλήματος εύρεσης της συντομότερης διαδρομής ανάμεσα στη φωλιά και την τροφή.

Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της μελέτης περιλάμβαναν [1] τη δημιουργία 4 μονοπατιών διαφορετικού μήκους μεταξύ της φωλιάς και της τροφής. Παρατηρήθηκε ότι τα άτομα της αποικίας μέσα σε διάστημα μερικών λεπτών χρησιμοποιούσαν σχεδόν αποκλειστικά τη συντομότερη διαδρομή (εικόνα 2). Η ταχεία αυτή προσαρμογή αποδίδεται στο ότι τα μυρμήγκια που αρχικά ακολούθησαν τη βέλτιστη διαδρομή, ήταν τα πρώτα που επέστρεψαν στη φωλιά. Με αυτό τον τρόπο το βέλτιστο μονοπάτι ήταν το πρώτο που είχε διπλό ίχνος φερομόνης, γεγονός που προσέλκυσε περισσότερα μυρμήγκια τα οποία με τη σειρά τους άφησαν ακόμη περισσότερη φερομόνη στο μονοπάτι αυτό.

Η επίτευξη συλλογικών στόχων από ομάδες εντόμων βασίζεται στην αυτο-οργάνωση (self-organization) των εντόμων[1]. Στα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της αυτο-οργάνωσης των εντόμων, τα μεμονωμένα άτομα θεωρούνται “απλοί πράκτορες” ικανοί να εκτελέσουν μόνο απλές λειτουργίες, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τους την δομή των μεμονωμένων εντόμων. Για παράδειγμα, στα SO μοντέλα αυτό που έχει σημασία είναι η μετακίνηση της μέλισσας μεταξύ δύο σημείων και όχι πως αυτό πραγματοποιήθηκε, δηλαδή πια αισθητήρια μέσα χρησιμοποίησε η μέλισσα για τον εντοπισμό της θέσης της και του στόχου της, αν έχει περιορισμένη ικανότητα μνήμης κτλ. Ομοίως, στις αποικίες των μυρμηγκιών το βασικό χαρακτηριστικό που λαμβάνουν υπόψη τα SO μοντέλα είναι ότι τα μυρμήγκια μπορούν να ακολουθήσουν με κάποια πιθανότητα ένα ίχνος φερομόνης και να το ενισχύσουν χωρίς να ενδιαφέρει πως ανιχνεύεται το ίχνος αυτό, πως λαμβάνεται η απόφαση από το μυρμήγκι να το ακολουθήσει ή όχι και τέλος με ποιον τρόπο ενισχύει το ήδη υπάρχον ίχνος φερομόνης.

Τα SO μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί με βάση την παραπάνω θεώρηση δείχνουν ότι

είναι δυνατόν να εμφανιστούν περίπλοκες συλλογικές συμπεριφορές σε μια αποικία εντόμων. Αναλυτικότερα, η αυτο-οργάνωση [17] βασίζεται σε ένα σύνολο δυναμικών μηχανισμών με τους οποίους σχηματίζονται δομές σε ένα σύστημα από αλληλεπιδράσεις των συνιστωσών του. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές στηρίζονται καθαρά σε τοπικές πληροφορίες χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τους τη συνολική εικόνα.



Εικόνα 2: 1) Το πρώτο μυρμήγκι επιλέγει μια διαδρομή προς την τροφή (F) και επιστρέφει στη φωλιά (N) αφήνοντας ίχνη φερομόνης 2) τα άλλα μυρμήγκια ακολουθούν κάποια από τις τέσσερις διαδρομές 3) η διαδρομή με την μεγαλύτερη εναπόθεση φερομόνης, που είναι και η συντομότερη, γίνεται προτιμητέα

Αυτές οι παρατηρήσεις από το ζωικό βασίλειο οδήγησαν σε υπολογιστικές προσομοιώσεις [1] βασισμένες στην τεχνική της απόθεσης της φερομόνης, στις οποίες δημιουργήθηκαν αποικίες από εικονικά μυρμήγκια και πηγές τροφής σε διαφορετική απόσταση από τη φωλιά τους. Στην αρχή, τα εικονικά μυρμήγκια εξερεύνησαν το γύρω χώρο με τυχαίο τρόπο. Στη συνέχεια καθόρισαν μονοπάτια που συνέδεαν όλες τις πηγές τροφής με τη φωλιά. Στη συνέχεια χρησιμοποίησαν σχεδόν αποκλειστικά τα μονοπάτια προς τις πλησιέστερες πηγές τροφής, με αποτέλεσμα τη σταδιακή εξάντληση των πηγών αυτών. Όταν η τροφή εξαντλήθηκε, τα εικονικά μυρμήγκια άρχισαν να αξιοποιούν πιο μακρινές πηγές.

Αυτό το φαινόμενο της σύγκλισης σε κάποια βέλτιστη λύση από κάποιες αρχικές χαοτικές συνθήκες μέσω της αυτο-οργάνωσης, οδήγησε πολλούς ερευνητές, κυρίως από το χώρο της Πληροφορικής και των Επικοινωνιών, να θεμελιώσουν και να χρησιμοποιήσουν τέτοιους εμπνευσμένους από τη βιολογία (bio-inspired) αλγορίθμους σε προβλήματα βελτιστοποίησης (π.χ. δρομολόγησης σε ασύρματα δίκτυα) και αυτο-οργάνωσης (π.χ. σμήνη ρομπότ) με εξαιρετική επιτυχία. Δύο από τους πιο σημαντικούς και δημοφιλείς αλγορίθμους περιγράφονται στην επόμενη ενότητα.

3.2 Αλγόριθμοι Νοημοσύνης Σμήνους

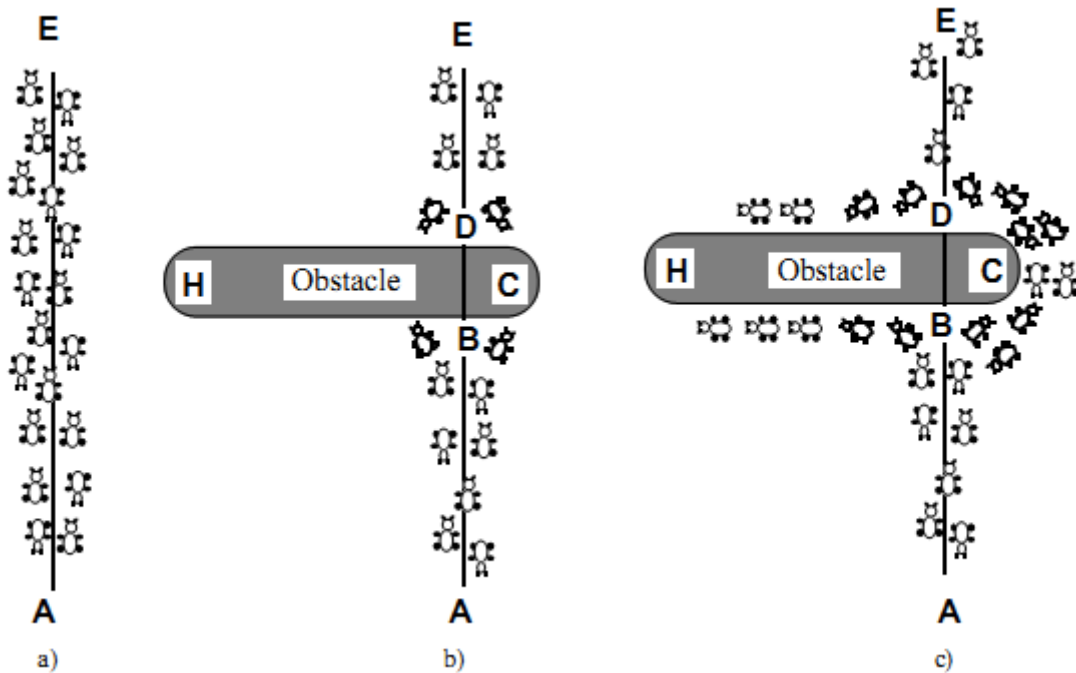
3.2.1 Ο αλγόριθμος Ant Colony Optimisation (ACO)

Ο αλγόριθμος αυτός προτάθηκε από τον Dorigo [18] ως ένας ευριστικός αλγόριθμος γενικού σκοπού, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση διάφορων προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης, μεταξύ των οποίων είναι και το πρόβλημα του Περιπλανώμενου Πωλητή (Travelling Salesman Problem). Το πρόβλημα αυτό συνίσταται στην εύρεση της ελάχιστης διαδρομής που πρέπει να διατρέξει ένας πωλητής προκειμένου να επισκεφθεί όλες τις πόλεις ενός συνόλου, ακριβώς μία φορά την κάθε μία.

Πηγή έμπνευσης για την επινόηση του αλγορίθμου αυτού αποτέλεσαν μελέτες της συμπεριφοράς και της αυτο-οργάνωσης αποικιών μυρμηγκιών στην προσπάθειά τους να εξασφαλίσουν τροφή[18]. Ένα βασικό ερώτημα που κλήθηκαν να απαντήσουν αυτές οι μελέτες είναι ο τρόπος με τον οποίο τα μυρμηγκία κατορθώνουν να ακολουθούν το μονοπάτι που αποτελεί τη συντομότερη διαδρομή από την αποικία τους στην πηγή της τροφής και το αντίστροφο, παρά το γεγονός ότι έχουν πολύ περιορισμένη όραση. Ανακαλύφθηκε ότι αυτό καθίσταται δυνατό με την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με τις διαδρομές από και προς την πηγή της τροφής, εμμέσως, με την απόθεση στο μονοπάτι ιχνών φερομόνης. Κάθε μυρμηγκί καθώς κινείται αποθέτει μια ποσότητα φερομόνης στο μονοπάτι το οποίο ακολουθεί, αφήνοντας ένα ίχνος φερομόνης πίσω του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τα μεμονωμένα μυρμηγκία που υπό άλλες συνθήκες θα ακολουθούσαν κατά βάση τυχαία πορεία, να ακολουθούν με μεγάλη πιθανότητα τα ίχνη φερομόνης που εντοπίζουν και συνεπώς να ενισχύουν το ίχνος που ακολούθησαν με τη δική τους φερομόνη. Με τον τρόπο αυτό ο βαθμός στον οποίο είναι ελκυστικό ένα μονοπάτι, εξαρτάται από τον αριθμό των μυρμηγκιών που το έχουν ακολουθήσει και κατά συνέπεια η πιθανότητα με την οποία ένα μυρμηγκί ακολουθεί ένα μονοπάτι αυξάνεται με τον αριθμό των μυρμηγκιών που το ακολούθησαν προηγουμένως.

Ένα παράδειγμα[18] αυτής της συμπεριφοράς δίνεται στην εικόνα 2. Αρχικά όπως φαίνεται στο τμήμα 1a της εικόνας υπάρχει ένα μονοπάτι το οποίο ακολουθούν τα μυρμηγκία από τη φωλιά A στην πηγή της τροφής E και το αντίστροφο. Κάποια στιγμή εμφανίζεται ένα εμπόδιο που δεν επιτρέπει στα μυρμηγκία να ακολουθήσουν το μονοπάτι που ακολουθούσαν ως τώρα, όπως φαίνεται στο τμήμα 1b της εικόνας. Κατά συνέπεια τα μυρμηγκία που κατευθύνονται στο σημείο E πρέπει να αποφασίσουν στο σημείο B αν θα κινηθούν προς τα δεξιά ή τα αριστερά. Αντίστοιχη απόφαση πρέπει να πάρουν και τα μυρμηγκία που κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση, στο σημείο D. Η απόφαση για το ποιο μονοπάτι θα ακολουθήσουν επηρεάζεται από την ποσότητα φερομόνης που έχει εναποτεθεί από τα μυρμηγκία που έχουν ακολουθήσει προηγουμένως καθένα από τα μονοπάτια. Υψηλότερα επίπεδα φερομόνης σε κάποιο μονοπάτι αυξάνουν την πιθανότητα να επιλεγεί εκείνο έναντι του άλλου διαθέσιμου μονοπατιού. Το πρώτο μυρμηγκί που θα φτάσει στο σημείο B (ή D) έχει ίσες πιθανότητες να επιλέξει είτε το αριστερό είτε το δεξί μονοπάτι (καθώς δεν υπάρχει ίχνος φερομόνης σε κανένα από τα 2 μονοπάτια). Εξαιτίας του γεγονότος ότι το μονοπάτι που περνάει από το σημείο C είναι μικρότερο σε μήκος από το μονοπάτι που διέρχεται από το σημείο H, το πρώτο μυρμηγκί που θα το ακολουθήσει θα φτάσει στο σημείο D πριν το πρώτο μυρμηγκί που ακολουθεί το μονοπάτι BHD. Συνεπώς ένα μυρμηγκί που κινείται από το σημείο E στο σημείο D θα εντοπίσει ισχυρότερο ίχνος φερομόνης στο μονοπάτι DCB, το οποίο θα έχουν αφήσει τα μισά από το σύνολο των μυρμηγκιών, ο αριθμός δηλαδή των μυρμηγκιών που προτίμησαν τυχαία το μονοπάτι DCBA καθώς και όσα μυρμηγκία επέστρεψαν από το μονοπάτι BCD. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι

πιθανότερο το μυρμήγκι να προτιμήσει το μονοπάτι DCB από το DHB. Κατά συνέπεια ο αριθμός των μυρμηγκιών που ακολουθούν το μονοπάτι BCD στη μονάδα του χρόνου είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των μυρμηγκιών που ακολουθούν το μονοπάτι BHD στον ίδιο χρόνο. Αυτό προκαλεί ταχύτερη αύξηση της ποσότητας της φερομόνης στο συντομότερο μονοπάτι, οπότε η πιθανότητα με την οποία επιλέγεται το συντομότερο μονοπάτι αυξάνεται και σύντομα το σύνολο των μυρμηγκιών ακολουθεί το μονοπάτι αυτό.



Εικόνα 3: Παράδειγμα εύρεσης συντομότερου μονοπατιού από μυρμήγκια. Τα μυρμήγκια ακολουθούν το μονοπάτι μεταξύ των σημείων A και E. Η παρεμβολή ενός εμποδίου αναγκάζει τα μυρμήγκια να ακολουθήσουν 2 διαφορετικά μονοπάτια, με ην ίδια πιθανότητα. Στο συντομότερο μονοπάτι εναποτίθεται μεγαλύτερη ποσότητα φερομόνης

Οι αλγόριθμοι που ορίζονται στο [18] που προέρχονται από τη μελέτη της συμπεριφοράς των αποικιών μυρμηγκιών, έχουν ως στόχο την επίλυση προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης και όχι την εξομοίωση της λειτουργίας των αποικιών των μυρμηγκιών και ως εκ τούτου παρουσιάζουν ορισμένες σημαντικές διαφορές από τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν τα ανάλογα συστήματα στη φύση:

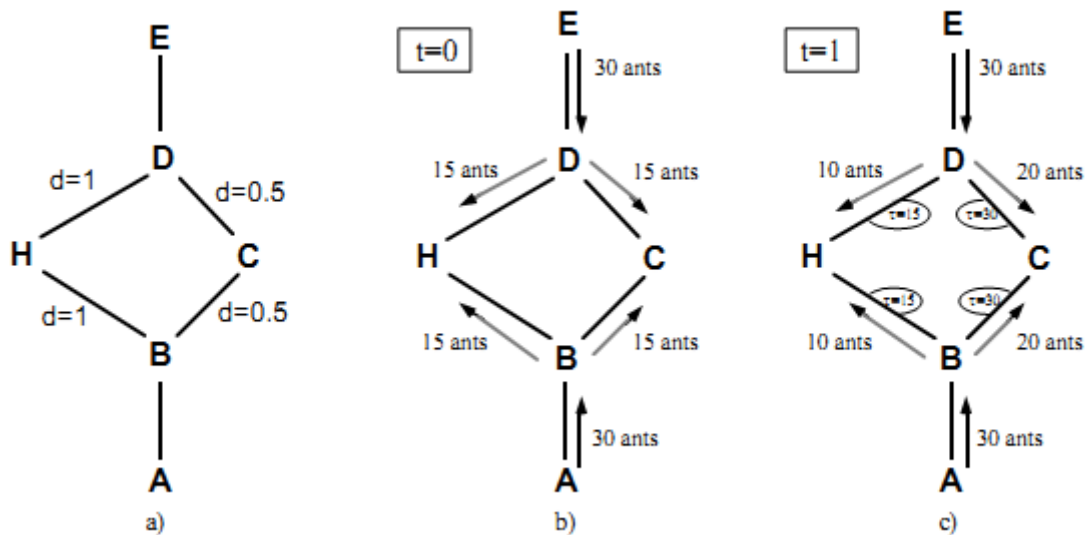
τα τεχνητά μυρμήγκια έχουν κάποια διαθέσιμη μνήμη

τα τεχνητά μυρμήγκια χρησιμοποιούν σε κάποιο βαθμό την όρασή τους

ο χρόνος είναι διακριτός

Μια πιθανή ερμηνεία [18] του προηγούμενου παραδείγματος με τρόπο που να εφαρμόζεται ο αλγόριθμος ACO παρουσιάζεται στην εικόνα 4. Θεωρώντας το σύστημα στις διακριτές χρονικές στιγμές $t=0, 1, 2$ και υποθέτοντας ότι στη μονάδα του χρόνου 30 μυρμήγκια κινούνται από το A στο B και 30 επιπλέον από το E στο D, ότι η ταχύτητα κάθε μυρμηγκιού είναι 1 και ότι στη μονάδα του χρόνου κάθε μυρμήγκι αποθέτει μια μονάδα φερομόνης στο μονοπάτι που ακολουθεί σε κάθε χρονική στιγμή t , ποσότητα η οποία εξατμίζεται πλήρως και στιγμιαία στο μέσω του χρονικού διαστήματος $(t+1, t+2)$ έχουμε:

Τη χρονική στιγμή $t = 0$ δεν υπάρχουν ίχνη φερομόνης και 30 μυρμηγκία βρίσκονται στο B και 30 ακόμη στο D. Η επιλογή μονοπατιού σε αυτή τη στιγμή γίνεται τυχαία οπότε κατά μέσο όρο 15 μυρμηγκία από κάθε ένα από τα 2 αυτά σημεία θα κινηθούν προς το σημείο H και 15 προς το σημείο C (εικόνα 4b).



Εικόνα 4: Παράδειγμα συμπεριφοράς τεχνητών μυρμηγκιών. αποστάσεις των σημείων-κόμβων.. Τη χρονική στιγμή 1 το ίχνος είναι ισχυρότερο στα συντομότερα μονοπάτια, που επιλέγονται με μεγαλύτερη πιθανότητα από τα μυρμηγκία.

Τη χρονική στιγμή $t = 1$ τα 30 νέα μυρμηγκία που φτάνουν στο B από το A εντοπίζουν ίχνος έντασης 15 στο μονοπάτι που διέρχεται από το σημείο H, το οποίο εναπόθεσαν τα 15 μυρμηγκία που ακολούθησαν αυτή την πορεία και ίχνος έντασης 30 στο μονοπάτι που διέρχεται από το σημείο C, το οποίο εναποτέθηκε από τα 15 μυρμηγκία που από το B συνέχισαν την πορεία τους σε αυτό το μονοπάτι και τα 15 μυρμηγκία που έφτασαν στο B ερχόμενα από το D μέσω του C (εικόνα 4c). Η πιθανότητα να επιλεγεί ένα από τα 2 μονοπάτια εξαρτάται από την ποσότητα της φερομόνης που έχει αποθεθεί κατά τρόπο ώστε κατά μέσο όρο το μονοπάτι που διέρχεται από το σημείο C επιλέγεται από διπλάσιο αριθμό μυρμηγκιών από ό,τι το εναλλακτικό: 20 έναντι 10 μυρμηγκιών αντίστοιχα. Το ίδιο ισχύει και για τα μυρμηγκία που έφτασαν στο D από το σημείο E.

Η διαδικασία συνεχίζεται κατ' αυτόν τον τρόπο ωστόσο το σύνολο των μυρμηγκιών ακολουθεί το συντομότερο μονοπάτι και βασίζεται στο ότι μεγάλες συγκεντρώσεις φερομόνης σε κάποιο μονοπάτι αυξάνουν τις πιθανότητες επιλογής του μονοπατιού αυτού από τα μυρμηγκία καθώς αποτελούν ένδειξη ότι το συγκεκριμένο μονοπάτι είναι το συντομότερο διαθέσιμο μονοπάτι.

Η κάθε λύση για το TSP με χρήση αυτού του αλγορίθμου σχηματίζεται με τη διαδοχική μετάβαση των τεχνητών μυρμηγκιών-πρακτόρων από τη μια πόλη στην άλλη με κάποια πιθανότητα [1]. Το «ταξίδι» ολοκληρώνεται όταν το τεχνητό μυρμηγκί επιστρέψει στην αρχική πόλη. Τότε βαθμολογείται η λύση που έχει επιτύχει με κριτήριο το συνολικό μήκος της διαδρομής και προστίθεται η ανάλογη φερομόνη στο μονοπάτι που ακολούθησε. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε άτομο της αποικίας μέχρι να συμπληρωθεί ο ζητούμενος αριθμός επαναλήψεων.

Αρχικά τα μυρμηγκία τοποθετούνται είτε τυχαία στις πόλεις είτε το καθένα σε μια

διαφορετική πόλη ως αφετηρία της διαδρομής τους. Η πόλη αυτή καταγράφεται ως η αφετηρία στη λίστα της μνήμης κάθε μυρμηγκιού έτσι ώστε να αποκλειστεί από τις επόμενες επιλογές του. Η επιλογή της επόμενης πόλης την οποία θα επισκεφθεί κάθε μυρμηγκί ορίζεται από μια πιθανότητα μετάβασης η οποία εξαρτάται από την «ορατότητα» του κάθε μυρμηγκιού (ορατότητα ορίζεται ως το αντίστροφο της απόστασης μεταξύ δύο πόλεων και άρα εισάγει μεγάλη πιθανότητα στον κανόνα μετάβασης όσον αφορά τις κοντινές πόλεις) και στην ποσότητα της φερομόνης που έχει εναποτεθεί στην κάθε διαδρομή εκφράζοντας την εμπειρία της υπόλοιπης αποικίας.

Αφού όλα τα μυρμηγκία ολοκληρώσουν τα «ταξίδια» τους σε κάθε επανάληψη, τότε προστίθεται φερομόνη σε κάθε μονοπάτι ανάλογα με την επίδοση του κάθε μυρμηγκιού. Σημαντικός παράγοντας στην όλη διαδικασία είναι και η εισαγωγή ενός παράγοντα σχετικού με την εξάτμιση της φερομόνης. Κατά αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η ενίσχυση των αρχικών τυχαίων διακυμάνσεων. Τα βήματα του αλγορίθμου ACO είναι τα ακόλουθα[1]:

Βήμα 1ο: Θέτουμε τη φερομόνη στην αρχική της τιμή (είτε σε μια πολύ μικρή τιμή είτε σε μια τυχαία τιμή) σε όλα τα μονοπάτια που συνδέουν τις πόλεις μεταξύ τους. Υπολογίζουμε όλες τις αποστάσεις των πόλεων. Επιλέγουμε (τυχαία) την πόλη-αφετηρία της διαδρομής κάθε μυρμηγκιού και την τοποθετούμε στην λίστα της μνήμης του.

Βήμα 2ο: Για κάθε μυρμηγκί, επιλέγουμε την επόμενη πόλη που θα επισκεφτεί με βάση τον τυχαίο αναλογικό κανόνα μετάβασης μέχρι να ολοκληρώσει τη διαδρομή του επισκεπτόμενο κάθε πόλη μια μόνο φορά και τελικά να επιστρέψει στην αφετηρία του.

Βήμα 3ο: Καταγράφουμε την καλύτερη διαδρομή που βρέθηκε.

Βήμα 4ο: Ανανεώνουμε τη φερομόνη στα μονοπάτια που επισκέφτηκαν τα μυρμηγκία με βάση τον κανόνα ανανέωσης της φερομόνης.

Βήμα 5ο: Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία από το βήμα 2 μέχρι έως ότου ολοκληρωθεί ένας συγκεκριμένος αριθμός επαναλήψεων ή επιτευχθεί ένα κριτήριο σύγκλισης.

Παραλλαγές [19] ή/και τροποποιήσεις ([20],[21]) του παραπάνω αλγορίθμου έχουν επίσης αναπτυχθεί για να αντιμετωπίσουν την επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων ή να βελτιώσουν την απόδοση του αρχικού αλγορίθμου που μόλις περιγράφηκε.

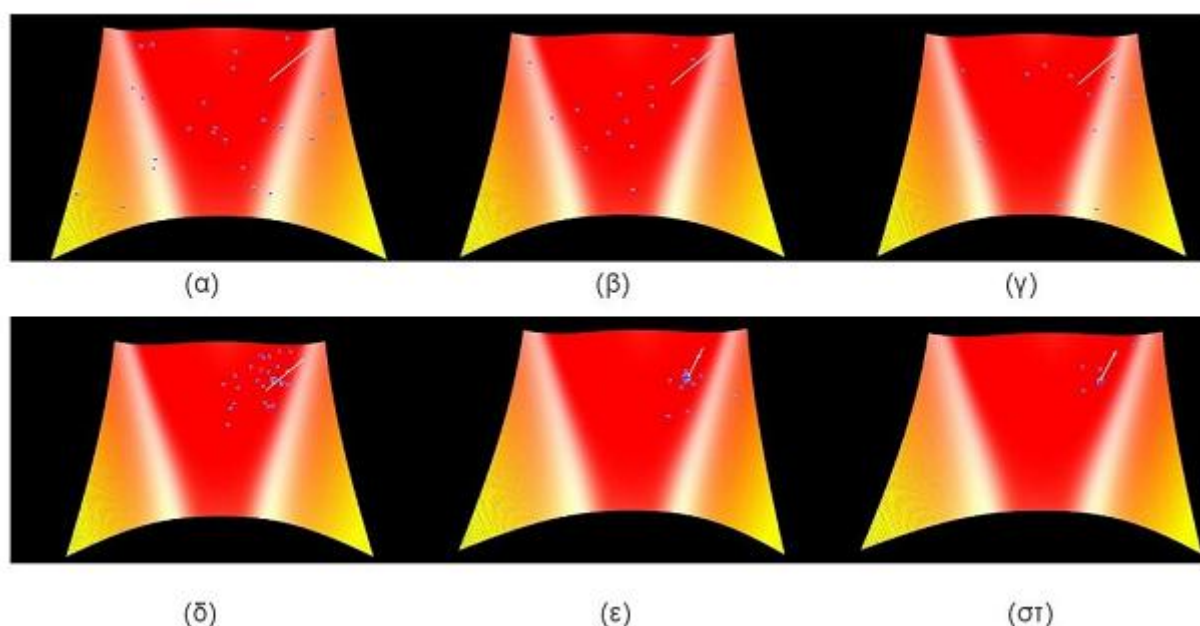
3.2.2 Ο αλγόριθμος Particle Swarm Optimization (PSO)

Ο αλγόριθμος PSO χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές βελτιστοποίησης, όπως δρομολόγηση κυκλοφορίας σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα, σχεδιασμό αλγορίθμων για έλεγχο αυτόνομων ρομπότ κλπ., βασιζόμενος στην αλληλεπίδραση οντοτήτων μεταξύ τους μέσα σε μια αγέλη σωματιδίων.

Η αρχική ιδέα επινοήθηκε από τους Eberhart και Kennedy [22] και βελτιώθηκε από τους Clerc και Kennedy[23]. Αποτελεί μεταφορά του βιολογικού αναλόγου της κοινωνικής συμπεριφοράς και αυτο-οργάνωσης διαφόρων ειδών οντοτήτων (αγέλες ψαριών και πουλιών). Οι οντότητες αυτές τοποθετούνται σε ένα χώρο όπου ορίζεται μια συνάρτηση και στον οποίο εκτελείται από κάθε οντότητα αναζήτηση των θέσεων όπου πραγματοποιείται μεγιστοποίηση αυτής της συνάρτησης. Οι οντότητες χρησιμοποιούν τα αποτελέσματα της αναζήτησης για την περαιτέρω πλοήγηση τους μέσα στο χώρο, με σκοπό να μεγιστοποιήσουν ακόμη περισσότερο τη συγκεκριμένη συνάρτηση και να τείνουν προς την/τις πηγές τροφής. Οι πληροφορίες που συλλέγονται από την κάθε οντότητα χρησιμοποιούνται όχι μόνο για τη δική τους πλοήγηση, αλλά διαχέονται και σε

άλλα μέλη της αγέλης που τυχόν βρεθούν στη γειτονιά τους επιδεικνύοντας μια συνεργατική συμπεριφορά [24].

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως ο αλγόριθμος PSO προσομοιώνει τη συμπεριφορά μιας αγέλης πουλιών ή ψαριών. Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η συμπεριφορά μιας ομάδας πουλιών η οποία αναζητά τροφή σε μια περιοχή πετώντας με τυχαίο τρόπο. Επιπροσθέτως στην περιοχή υπάρχει μόνο ένα σημείο στο οποίο βρίσκεται μια ποσότητα τροφής και τα πουλιά του σμήνους δεν γνωρίζουν πού ακριβώς βρίσκεται αλλά είναι σε θέση να αντιληφθούν την απόστασή τους από την τροφή σε κάθε χρονική στιγμή. Σε αυτή την περίπτωση η πιο αποτελεσματική στρατηγική για την εύρεση της τροφής είναι το σμήνος να κατευθυνθεί προς το πουλί που βρίσκεται σε μικρότερη απόσταση από την τροφή.



Εικόνα 5: Επίδειξη του αλγορίθμου PSO για 40 σωματίδια, Rosenbrock fitness function. Η άσπρη γραμμή αντιπροσωπεύει το minimum της συνάρτησης (τροφή) στο οποίο τελικά συγκλίνουν τα σωματίδια. [25]

Το κύριο πλεονέκτημα του PSO είναι η μεγάλη ταχύτητα σύγκλισης. Ο PSO είναι δυνατό να εφαρμοστεί για την επίλυση πολλών προβλημάτων καθώς κάνει ελάχιστες παραδοχές. Για να είναι εφικτή η εφαρμογή του, πρέπει να βρεθεί ένας τρόπος να αντιστοιχηθούν οι λύσεις του προβλήματος στα σωματίδια του αλγορίθμου. Αφού γίνει αυτό, τα σωματίδια εξερευνούν το χώρο του προβλήματος και οδηγούνται στην εύρεση καλών λύσεων.

Στον κλασσικό PSO υπάρχει ένα σμήνος από σωματίδια, κάθε ένα από τα οποία ανά πάσα χρονική στιγμή βρίσκεται σε μία υποψήφια λύση του προβλήματος. Ο αλγόριθμος περιλαμβάνει πολλαπλές επαναλήψεις, κατά τις οποίες τα σωματίδια αυτά κινούνται μέσα στο χώρο αναζήτησης του προβλήματος και ψάχνουν για καλύτερες λύσεις. Η ποιότητα της κάθε λύσης καθορίζεται από μια συνάρτηση ποιότητας f .

Σύμφωνα με τον PSO η συμπεριφορά του κάθε σωματιδίου καθορίζεται από την προσωπική του εμπειρία καθώς και από τη συλλογική εμπειρία ολόκληρου του σμήνους. Κάθε σωματίδιο i σε κάθε χρονική στιγμή χαρακτηρίζεται από το διάνυσμα θέσης του \mathbf{x}_i και το διάνυσμα ταχύτητάς του \mathbf{v}_i . Επιπλέον θυμάται την καλύτερη θέση στην οποία έχει βρεθεί στο παρελθόν, το διάνυσμα της οποίας θα ονομάσουμε $\mathbf{x}_i^{\#}$ (personal best) καθώς και την καλύτερη θέση στην οποία έχει βρεθεί οποιοδήποτε

σωματίδιο του σμήνους το διάνυσμα της οποίας θα συμβολίσουμε ως \mathbf{x}^* (global best). Τα δύο αυτά διανύσματα αντιπροσωπεύουν την προσωπική και συλλογική μνήμη του σωματιδίου αντίστοιχα. Σε κάθε χρονική στιγμή t η νέα ταχύτητα του κάθε σωματιδίου i στην διάσταση j , καθώς και η θέση του όπως προκύπτει βάσει της ταχύτητας αυτής ορίζονται ως εξής[26]:

$$u_{ij}(t+1) = wu_{ij}(t) + c_1r_1(x_{ij}^{\#}(t) - x_{ij}(t)) + c_2r_2(x_j^* - x_{ij}(t)) \quad (1)$$

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + u_{ij}(t+1) \quad (2)$$

Στην παραπάνω εξίσωση, το w ονομάζεται παράγοντας αδράνειας και τα r_1, r_2 είναι τυχαίοι αριθμοί στο διάστημα $[0, 1]$. Όπως φαίνεται από την παραπάνω εξίσωση, η κίνηση κάθε σωματιδίου καθορίζεται από τον τρόπο με τον οποίο κινούταν την προηγούμενη χρονική στιγμή, την προσωπική του εμπειρία και τη συλλογική εμπειρία του σμήνους. Ο δεύτερος όρος στην εξίσωση της ταχύτητας τείνει να στείλει το σωματίδιο στην καλύτερη θέση με βάση την προσωπική του εμπειρία (personal best) ενώ ο τρίτος στην καλύτερη θέση με βάση τη συλλογική εμπειρία ολόκληρου του σμήνους (global best). Η ταχύτητα κάθε σωματιδίου σε κάθε χρονική στιγμή περιορίζεται να μην περνάει μια μέγιστη τιμή u_{max} όπως δείχνει η επόμενη εξίσωση:

$$u_{ij} = \text{sign}(u_{ij}) \min(|u_{ij}|, u_{max}) \quad (3)$$

Η μέγιστη ταχύτητα u_{max} σε χώρο αναζήτησης που εκτείνεται στο διάστημα $[-s, s]$ ορίζεται ως $p*s$ όπου p ένας αριθμός στο διάστημα $[0, 1]$.

Μια περιγραφή του PSO με ψευδοκώδικα είναι η παρακάτω:

Αρχικοποίησε το μέγεθος του σμήνους και τις υπόλοιπες παραμέτρους

Αρχικοποίησε τη θέση και την ταχύτητα κάθε σωματιδίου του σμήνους τυχαία

ΟΣΟ (δεν έχει ικανοποιηθεί η συνθήκη τερματισμού)

$t = t + 1$

Εκτίμησε την ποιότητα της θέσης για κάθε σωματιδίου με τη συνάρτηση f

Ενημέρωσε την τιμή του \mathbf{x}^* με την καλύτερη θέση που έχει βρεθεί ως τώρα

ΓΙΑ ΚΑΘΕ σωματίδιο i

Ενημέρωσε το $\mathbf{x}_i^{\#}$ με την τρέχουσα θέση αν είναι καλύτερη από το τρέχον $\mathbf{x}_i^{\#}$

ΓΙΑ ΚΑΘΕ διάσταση j του χώρου

Υπολόγισε τις νέες τιμές της ταχύτητας v_{ij} και της θέσης x_{ij}

ΤΕΛΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ

ΤΕΛΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ

ΤΕΛΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ

Το κριτήριο τερματισμού μπορεί να επιλεγεί ως ένα από τα παρακάτω:

- Κάποιος μέγιστος αριθμός επαναλήψεων του αλγορίθμου.
- Αριθμός επαναλήψεων κατά της οποίες δεν έχει βρεθεί κάποια καλύτερη λύση από τις ήδη υπάρχουσες.
- Αν η απόκλιση της καλύτερης λύσης που έχει βρεθεί σε σχέση με την ελάχιστη τιμή της συνάρτησης f περάσει κάτω από κάποιο προκαθορισμένο όριο.

Η επιλογή της παραμέτρου αδράνειας w που αναφέρθηκε παραπάνω επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά και τη σύγκλιση του αλγορίθμου. Η παράμετρος αυτή ορίζει την επίδραση που θα έχει στον καθορισμό της νέας ταχύτητας η τρέχουσα ταχύτητα του κάθε σωματιδίου. Μικρές τιμές στην παράμετρο αυτή ευνοούν την εξερεύνηση τοπικών γειτονιών στο χώρο αναζήτησης, καθώς τα σωματίδια κινούνται γρήγορα προς τις καλύτερες λύσεις με βάση την προσωπική τους εμπειρία και τη συλλογική εμπειρία του σμήνους. Αντίθετα μεγαλύτερες τιμές της παραμέτρου αυτής ευνοούν την εξερεύνηση νέων περιοχών στο χώρο αναζήτησης. Με άλλα λόγια, η παράμετρος αυτή καθορίζει την ισορροπία ανάμεσα στη λεπτομερή εξερεύνηση των διάφορων γειτονιών του χώρου αναζήτησης και στην καθολική εξερεύνηση ολόκληρου του χώρου αναζήτησης. Κατάλληλη επιλογή της τιμής της οδηγεί σε ταχύτερη σύγκλιση του αλγορίθμου. Πειραματικές μελέτες δείχνουν πως είναι καλή στρατηγική να επιλεγούν αρχικά μεγάλες τιμές για την παράμετρο της αδράνειας που οδηγούν αρχικά σε καθολική εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης και σταδιακά να μειώνεται η τιμή αυτή ώστε να γίνεται λεπτομερέστερη αναζήτηση στις γειτονιές που έχουν ανακαλυφθεί.

Στον αλγόριθμο όπως περιγράφηκε παραπάνω, κάθε σωματίδιο επηρεάζεται από τη συνολική εμπειρία ολόκληρου του σμήνους προκειμένου να καθορίσει την ταχύτητά του. Μια εναλλακτική προσέγγιση είναι κάθε σωματίδιο να λαμβάνει υπόψη του την εμπειρία ενός υποσυνόλου των υπόλοιπων σωματιδίων και όχι του συνόλου αυτών. Δηλαδή για κάθε σωματίδιο να οριστεί μια γειτονιά με την οποία αλληλεπιδρά. Οι δύο αυτές εναλλακτικές προσεγγίσεις ονομάζονται *gbest* (global best) και *lbest* (local best) μοντέλα από τους Eberhart και Kennedy. Για την *lbest* εκδοχή του αλγορίθμου οι εξισώσεις της ταχύτητας και της θέσης που είδαμε προηγουμένως θα πρέπει να τροποποιηθούν ως εξής:

$$u_{ij}(t+1) = wu_{ij}(t) + c_1r_1(x_{ij}^{\#}(t) - x_{ij}(t)) + c_2r_2(x_{ij}^l - x_{ij}(t)) \quad (4)$$

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + u_{ij}(t+1) \quad (5)$$

Στην *gbest* προσέγγιση, η καλύτερη λύση που έχει ανακαλυφθεί για ολόκληρο το σύνολο, έλκει τα υπόλοιπα σωματίδια ολόκληρου του σμήνους και τελικά όλα τα σωματίδια συγκλίνουν προς τη λύση αυτή. Στην *lbest* προσέγγιση οι γειτονιές είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους και μόνο ορισμένα σωματίδια έλκονται από κάθε τοπικά βέλτιστη λύση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η *gbest* προσέγγιση να συγκλίνει γρηγορότερα αλλά με το μειονέκτημα ότι μπορεί να εγκλωβιστεί σε τοπικά βέλτιστα σημεία αποτυγχάνοντας έτσι πιθανώς να εξερευνήσει άλλες καλύτερες λύσεις. Αντίθετα η *lbest* προσέγγιση συγκλίνει πιο αργά αλλά έχει τη δυνατότητα να αποφεύγει να παγιδευτεί σε τοπικά βέλτιστα σημεία του χώρου αναζήτησης.

Ο ορισμός της γειτονιάς που αναφέρθηκε παραπάνω μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Ένας θα μπορούσε να είναι η ευκλείδεια απόσταση των σωματιδίων. Η περίπτωση που η γειτονιά περιλαμβάνει όλα τα σωματίδια με δυνατότητα να επικοινωνούν όλα μεταξύ τους είναι ουσιαστικά το *gbest* μοντέλο. Οι Kennedy και Mendes στο [27] μελετούν τις επιπτώσεις που έχουν στην απόδοση του PSO διάφορες τοπολογίες του πληθυσμού των σωματιδίων.

3.3 Εφαρμογές Αλγορίθμων Νοημοσύνης Σμήνους

Τα τελευταία χρόνια, αυξάνονται διαρκώς οι προσπάθειες επινόησης μεθόδων για την

εφαρμογή της νοημοσύνης σμήνους σε πληθώρα προβλημάτων[1]. Η αναζήτηση τροφής από τα μυρμηγκία έχει οδηγήσει σε νέες μεθόδους για την αναδρομολόγηση της κυκλοφορίας στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Η συνεργατική αλληλεπίδραση των μυρμηγκιών που προσπαθούν να μεταφέρουν ένα μεγάλο κομμάτι τροφής μπορεί να οδηγήσει σε πιο αποτελεσματικούς αλγόριθμους για χρήση σε ρομπότ. Και ο καταμερισμός εργασίας ανάμεσα στις μέλισσες ίσως βοηθήσει σε αποτελεσματικότερες διαδικασίες στις βιομηχανίες με αλυσίδα συναρμολόγησης.

Οι κυριότερες εφαρμογές του αλγορίθμου ACO σε ασύρματα δίκτυα χωρίς συγκεντρωτική δομή (MANET)[1] -τα οποία αποτελούν και την κυριότερη πλατφόρμα για εφαρμογές κινητού υπολογισμού- αφορούν τη δρομολόγηση. Αρκετοί αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια βασισμένοι στον ACO για την εξάλειψη των προβλημάτων δρομολόγησης που εμφανίζονται στα δίκτυα MANET εξαιτίας της κινητικότητας των πηγών. Ο αλγόριθμος AntHocNet[28] είναι ένας υβριδικός αλγόριθμος που δημιουργεί αρχικά τους πίνακες δρομολόγησης και κατόπιν χρησιμοποιεί πράκτορες (μυρμηγκία) για την συνεχή αξιολόγηση των μονοπατιών. Ο αλγόριθμος ARA (Ant colony-based Routing Algorithm) [29] είναι ένας κατά απαίτηση (on demand) αλγόριθμος που βασίζεται στην εύρεση του συντομότερου μονοπατιού ανάμεσα στους κόμβους όταν ζητηθεί χρησιμοποιώντας τα πακέτα δεδομένων ως πράκτορες για να ιχνηλατήσουν τα συντομότερα μονοπάτια.

Σε άλλες περιπτώσεις([30], [31]) χρησιμοποιούνται πράκτορες για να διατρέξουν το δίκτυο τυχαία, ιχνηλατώντας τα μονοπάτια που χρησιμοποίησαν από την πηγή προς τους κόμβους. Αλγόριθμοι υπολογισμού θέσης με τη βοήθεια του ACO έχουν επίσης αναφερθεί [32] στους οποίους οι πράκτορες διαχέουν την πληροφορία δρομολόγησης που έχουν ανακτήσει. Ένας υβριδικός αλγόριθμος που συνδυάζει τον ACO με το πρωτόκολλο AODV [33] χρησιμοποιεί πράκτορες που διατρέχουν τυχαία το δίκτυο και κρατούν πληροφορίες για τους n κόμβους που επισκέφθηκαν τελευταία ενημερώνοντας τους πίνακες δρομολόγησης κατάλληλα.

Αρκετοί ακόμα αλγόριθμοι έχουν προταθεί για τη δρομολόγηση σε δίκτυα MANET. Όλοι αυτοί οι αλγόριθμοι παρεκκλίνουν από τις αρχές του ACO προσπαθώντας να αντιμετωπίσουν τις ιδιαιτερότητες αυτών των δικτύων, και οι περισσότεροι από αυτούς δεν διαφέρουν τελικά από κοινούς κατά απαίτηση αλγόριθμους δρομολόγησης. Θα πρέπει να αναφερθεί ακόμη ότι έχουν χρησιμοποιηθεί παραλλαγές του ACO για την αποτελεσματικότερη ενεργειακή διαχείριση των ασύρματων δικτύων [34], οι οποίες αποσκοπούν σε τη σωστή διαχείριση των ενεργειακών πόρων του δικτύου.

Ο αλγόριθμος PSO έχει βρει εκτεταμένες εφαρμογές σε προβλήματα βελτιστοποίησης και αυτο-οργάνωσης όσον αφορά δίκτυα MANET. Πιο συγκεκριμένα έχουν προταθεί μέθοδοι δρομολόγησης [35] οι οποίες χρησιμοποιώντας «bird-flocking» τεχνικές [36], όπως επίσης και μέθοδοι αυτο-οργάνωσης τέτοιων δικτύων[37] εξαιτίας της συνεργατικής συμπεριφοράς του συγκεκριμένου αλγορίθμου. Μάλιστα ο βαθμός της αυτο-οργάνωσης που επιτεύχθηκε με την εφαρμογή του PSO δεν απέχει και πολύ από το βαθμό αυτο-οργάνωσης που θα είχε το ίδιο δίκτυο σε περίπτωση κεντρικής διαχείρισης. Ο αλγόριθμος PSO έχει βρει εφαρμογή και στην ενεργειακή διαχείριση των κόμβων ενός δικτύου MANET[38] με τη δημιουργία clusters για εξοικονόμηση ενέργειας όσον αφορά τη συλλογή δεδομένων από τους κόμβους-αισθητήρες.

Ένας καινούργιος τομέας στον οποίο βρίσκουν εφαρμογή οι αλγόριθμοι Νοημοσύνης Σμήνους είναι τα Σμήνη Ρομπότ (Robot Swarm). Η χρήση σμήνους ρομπότ για την διεκπεραίωση διαφόρων εργασιών παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα όπως απλότητα κατασκευής ρομποτικών μονάδων, υψηλή πιστότητα (μικρή πιθανότητα λάθους) και μικρό κόστος. Ένα σμήνος ρομπότ μπορεί να πραγματοποιήσει πολύπλοκες εργασίες

που είναι δύσκολες ακόμη και για τα παραδοσιακά ρομποτικά συστήματα. Ένα τέτοιο μοντέλο[39] έχει προταθεί για την ανακάλυψη και αποφυγή εμποδίων με τη βοήθεια του PSO. Άλλα μοντέλα σμήνων ρομπότ έχουν επίσης προταθεί για ανοχή στις αστοχίες (fault tolerance) [40], [41] και συνεργατική αναζήτηση [42].

Θα πρέπει να αναφερθεί επίσης και η χρησιμοποίηση του PSO σε σμήνη μη επανδρωμένων αεροσκαφών και μη επανδρωμένων υποβρυχίων που χρησιμοποιούνται κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς. Τρία τέτοια παραδείγματα είναι η εφαρμογή του PSO για την εύρεση βέλτιστης διαδρομής προς το στόχο στις τρεις διαστάσεις, την αποφυγή εμποδίων και εχθρικών μονάδων από ένα σμήνος μη επανδρωμένων αεροσκαφών με την ταυτόχρονη κατανάλωση ελάχιστων καυσίμων [43], την προστασία με χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών συγκεκριμένης περιοχής από εχθρούς [44], όπως επίσης και την αυτο-οργάνωση και πλοήγησης σμήνους μη επανδρωμένων υποβρυχίων με τη βοήθεια μιας βελτιωμένης έκδοσης του αλγορίθμου PSO [45].

Άλλες τυπικές εφαρμογές είναι η εξερεύνηση σε εχθρικό έδαφος (covering), πραγματοποίηση περιπόλων (patrolling), χειραγώγηση του περιβάλλοντος (environment manipulation), επαναρυθμιζόμενα ρομπότ (self-assembling) και βελτίωση προσδιορισμού θέσης (localization). Επιπλέον σημαντική ερευνητική δουλειά έχει πραγματοποιηθεί στο σχεδιασμό συστημάτων σμήνους για την εξερεύνηση περιοχών. Στην πλειονότητα τους οι υπάρχουσες ερευνητικές εργασίες η οποίες ασχολούνται με συστήματα νοημοσύνης σμήνους θεωρούν τις πηγές πληροφορίας στατικές εκτός ελάχιστων περιπτώσεων όπου οι προσπάθειες αφορούν δυναμικά περιβάλλοντα.([46],[47],[48],[49]).

4 Ο ΡΟΛΟΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

4.1 Γενικά

Τα συστήματα κατανεμημένου υπολογισμού που βασίζονται σε πολλούς πράκτορες (multi-agent systems) έχουν γνωρίσει ραγδαία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια [1] και χρησιμοποιούνται από πληθώρα υπηρεσιών κινητού υπολογισμού. Η λειτουργία των συστημάτων πολλαπλών πρακτόρων βασίζεται στην αποτελεσματική διεκπεραίωση των εργασιών μιας εφαρμογής κινητού υπολογισμού από μία πληθώρα απλών στην δομή, αυτόνομων πρακτόρων αντί ενός περίπλοκου πράκτορα, υπεύθυνου για την εκτέλεση ολόκληρης της διαδικασίας. Η προσέγγιση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τον καθορισμό συστημάτων που χαρακτηρίζονται από ανώτερη επεκτασιμότητα και αντοχή καθώς και μεγαλύτερες δυνατότητες προσαρμογής σε σύγκριση με τα κεντροποιημένα συστήματα.

Συστήματα που έχουν σχεδιαστεί με βάση την νοημοσύνη σμήνους αποτελούνται από αυτόνομους πράκτορες (σωματίδια) που συνεργάζονται για την επίτευξη των στόχων του σμήνους, χωρίς να απαιτείται κεντρική διαχείριση και παρά τις περιορισμένες υπολογιστικές ικανότητες των μεμονωμένων σωματιδίων.

Το πρόβλημα της ανακάλυψης πληροφορίας πλαισίου (context discovery problem) είναι δυνατό να αντιμετωπιστεί από συστήματα νοημοσύνης σμήνους, στα οποία κάθε κινητός κόμβος/πράκτορας αναλαμβάνει το προσδιορισμό της θέσης της αιτούμενης πληροφορίας πλαισίου (π.χ. θερμοκρασία, φωτεινότητα), προκειμένου να τροφοδοτήσει την υπηρεσία με όσο το δυνατό καταλληλότερη πληροφορία πλαισίου. Επιπροσθέτως η προσέγγιση του προβλήματος ανακάλυψης πληροφορίας πλαισίου με συστήματα νοημοσύνης σμήνους προσφέρει αυξημένη ανθεκτικότητα και αξιοπιστία.

Τα συστήματα κατανεμημένου υπολογισμού για την ανακάλυψη πληροφοριών πλαισίου παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά [1]:

- Απουσία ιεραρχικής δομής εντολών και ελέγχου. Οι πράκτορες είναι στη γενική περίπτωση απλοί και το σύστημα που προκύπτει αποτελείται από πανομοιότυπες μονάδες που λειτουργούν και συνεργάζονται παράλληλα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το σύστημα που προκύπτει να είναι ανθεκτικό στις αποτυχίες (fail tolerant) καθώς δεν υπάρχει συγκεκριμένο σημείο από την ορθή λειτουργία του οποίου να εξαρτάται η λειτουργία ολόκληρου του συστήματος. Αντιθέτως σε ένα κεντροποιημένο σύστημα πρέπει να ληφθεί ειδική μνεία για να αποφευχθούν οι αποτυχίες.
- Απλότητα των πρακτόρων. Οι μεμονωμένοι πράκτορες έχουν περιορισμένες δυνατότητες αίσθησης και επεξεργασίας δεδομένων γεγονός που οδηγεί στη χρήση πλήθους πρακτόρων, οι οποίοι εργάζονται παράλληλα και συνεργάζονται για την ανακάλυψη των πληροφοριών του πλαισίου κατά τρόπο που εξασφαλίζει ευελιξία και ανοχή στις αποτυχίες οποιουδήποτε από αυτούς.
- Εγκυρότητα πληροφορίας πλαισίου. Η πληροφορία πλαισίου που αποκομίζει το σύστημα από τη συνεργασία των πρακτόρων που το απαρτίζουν, χαρακτηρίζεται από διάφορους βαθμούς εγκυρότητας, που σχετίζεται με χρονικούς ή χωρικούς περιορισμούς. Σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα η πληροφορία πλαισίου απαρχαιώνεται με το πέρασμα του χρόνου και απαιτείται η επικαιροποίησή του με αναζήτηση από τους πράκτορες.
- Περιορισμένοι πόροι των πρακτόρων. Οι πράκτορες που απαρτίζουν το σύστημα διαθέτουν περιορισμένη μνήμη, επεξεργαστικές δυνατότητες, ικανότητες

αίσθησης και επικοινωνιακούς πόρους.

Τα χαρακτηριστικά των συστημάτων κατανεμημένου υπολογισμού για την ανακάλυψη πληροφοριών πλαισίου που αναφέρθηκαν αναδεικνύουν την ομοιότητα αυτών των συστημάτων με τα συστήματα που σχηματίζουν ομάδες έμβιων όντων για την επίτευξη των στόχων τους (π.χ. αποικίες μυρμηγκιών).

4.2 Εφαρμογή του αλγορίθμου PSO στην ανακάλυψη πληροφορίας πλαισίου

Ο αλγόριθμος PSO συνιστά αλγόριθμο πάνω στον οποίο μπορεί να βασιστεί ένας μηχανισμός ανακάλυψης πληροφορίας πλαισίου σε περιβάλλοντα διάχυτου υπολογισμού. Συγκεκριμένα σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, το κάθε σωματίδιο (particle) αντιπροσωπεύει έναν μη αισθητήριο κόμβο του δικτύου. Οι πηγές της «τροφής» ουσιαστικά είναι οι αισθητήρες που κινούνται ανάμεσα στο σμήνος των μη αισθητήριων κόμβων. Κάθε σωματίδιο του σμήνους έχει σαν στόχο να βρίσκεται ανά πάσα χρονική στιγμή κοντά σε κάποια από τις πηγές της τροφής.

Από την παραπάνω περιγραφή φαίνονται κάποιες διαφοροποιήσεις σε σχέση με τον κλασσικό αλγόριθμο PSO. Κατά πρώτον δεν υπάρχει ένα μοναδικό βέλτιστο σημείο στο οποίο να προσπαθούν να συγκλίνουν όλα τα σωματίδια του σμήνους. Υπάρχουν δηλαδή πολλές πηγές της τροφής. Επιπλέον οι πηγές αυτές της τροφής δεν παραμένουν σταθερές αλλά κινούνται μέσα στο χώρο. Απόρροια των δυο παραπάνω διαφορών είναι να διαφοροποιείται και ο στόχος. Ο στόχος πλέον δεν είναι να εντοπίσει κάθε σωματίδιο του σμήνους (και κατ'επέκταση να συγκλίνει το σμήνος σαν σύνολο) το βέλτιστο σημείο, αλλά είναι να βρίσκεται κάθε σωματίδιο του σμήνους ικανοποιητικά κοντά σε ένα από τα βέλτιστα σημεία (τις πηγές της τροφής) ανά πάσα στιγμή.

Παρά τις παραπάνω διαφοροποιήσεις σε σχέση με την κλασσική του μορφή, ο αλγόριθμος εφαρμόζεται με παρόμοιο τρόπο. Ουσιαστικά εκμεταλλευόμαστε το, εμπνευσμένο από το φυσικό κόσμο, μοντέλο κίνησης των σωματιδίων του PSO με διαφορετικό σκοπό. Ο PSO κλασσικά χρησιμοποιείται για την εύρεση λύσης σε κάποιο πρόβλημα βελτιστοποίησης. Όσον αφορά την ανακάλυψη της πληροφορίας πλαισίου είναι ο ίδιος ο τρόπος κίνησης των σωματιδίων του PSO ο οποίος παρουσιάζει ενδιαφέρον. Όπως τα σωματίδια στον PSO μέσα από την συνεργατική διαδικασία που ορίζει ο αλγόριθμος προσεγγίζουν την πηγή της τροφής, έτσι και οι κινούμενοι μη αισθητήριοι κόμβοι φιλοδοξούν να πλησιάσουν κάποια πηγή τροφής, δηλαδή κάποιο αισθητήρα.

Όπως είχε αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο PSO είναι ένας επαναληπτικός αλγόριθμος σε κάθε βήμα του οποίου κάθε σωματίδιο αποφασίζει την νέα του θέση με βάση την τρέχουσα θέση του και μια ταχύτητα. Η ταχύτητα αυτή σύμφωνα με το μοντέλο του αλγορίθμου περιλαμβάνει τρεις συνιστώσες: την αδράνεια του σωματιδίου, μια συνιστώσα που ωθεί το σωματίδιο προς την καλύτερη θέση που έχει ανακαλύψει ως τώρα και μια «κοινωνική» συνιστώσα που ωθεί το σωματίδιο προς την καλύτερη θέση που έχει ανακαλυφθεί συλλογικά από το ίδιο το σωματίδιο και τα γειτονικά του. Οι δύο τελευταίες συνιστώσες τείνουν να στείλουν το σωματίδιο προς τις περιοχές όπου έχουν εντοπιστεί οι ισχυρότερες ενδείξεις ότι υπάρχει η τροφή με βάση την προσωπική εμπειρία του σωματιδίου και τη συλλογική εμπειρία της γειτονιάς αντίστοιχα. Ωστόσο σε ένα περιβάλλον όπου η θέση των πηγών δεν παραμένει σταθερή ένα τέτοιο είδος μνήμης δεν θα συνέτεινε στον εντοπισμό των πηγών της τροφής. Επομένως, πρέπει να τροποποιηθεί ο τρόπος με τον οποίο τα σωματίδια αξιολογούν ένα σημείο ως υποσχόμενο για να κινηθούν προς αυτό. Το χαρακτηριστικό του προβλήματος που είναι

καθοριστικό ως προς αυτό είναι η μεταβλητότητα του πλαισίου, κι ως αποτέλεσμα αυτής, η απαξίωση της πληροφορίας πλαισίου που έχει λάβει ένας μη αισθητήριος κόμβος με την πάροδο του χρόνου. Λόγω αυτής της ιδιότητας της πληροφορίας πλαισίου ένας κόμβος (είτε αισθητήριος είτε μη αισθητήριος) που έχει πρόσφατη πληροφορία, είναι αρκετά κοντά σε κάποια πηγή της πληροφορίας αυτής. Άρα η τρέχουσα θέση του είναι ένα σημείο που οδηγεί προς την τροφή, δηλαδή προς κάποιον αισθητήρα.

Μετά την προηγούμενη διαπίστωση μπορούμε πλέον να προσαρμόσουμε τις συνιστώσες της ταχύτητας στα δεδομένα του προβλήματος. Η αδράνεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συνιστώσα ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιείται και στον κλασικό αλγόριθμο του PSO. Όσον αφορά τη δεύτερη συνιστώσα η οποία τείνει να στείλει το σωματίδιο στην καλύτερη με βάση την προσωπική του εμπειρία θέση δεν έχει νόημα πλέον καθώς δεν έχουν αξία οι παρελθοντικές πληροφορίες του σωματιδίου. Συνεπώς δεν χρησιμοποιείται κατά τον υπολογισμό της νέας θέσης του σωματιδίου. Τέλος η κοινωνική συνιστώσα ωθεί ένα σωματίδιο προς τον γειτονικό του κόμβο με την πιο πρόσφατη πληροφορία πλαισίου.

Συμβολίζουμε με $P_i(t)$ το διάνυσμα θέσης ενός σωματιδίου i τη χρονική στιγμή t . Επίσης με $P_{i, best}(t)$ συμβολίζουμε το διάνυσμα θέσης εκείνου του γειτονικού σωματιδίου του i που έχει την καλύτερη ποιότητα πληροφορίας πλαισίου σε σύγκριση με τα υπόλοιπα γειτονικά σωματίδια του i . Τότε, το διάνυσμα της ταχύτητάς του σωματιδίου i μπορεί να οριστεί ως:

$$U_i(t+1) = W * U_i(t) + C_2 * (P_{i, best}(t) - P_i(t)) \quad (6)$$

Το W είναι ο παράγοντας αδράνειας που καθορίζει κατά πόσο έχουν αδράνεια τα σωματίδια ενώ το C_2 είναι ο συντελεστής της κοινωνικής συνιστώσας. Επειδή οι μη αισθητήριοι κόμβοι έχουν μια δεδομένη μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορούν να κινηθούν και η ταχύτητα όπως υπολογίζεται παραπάνω ενδεχομένως να την ξεπερνάει, σε περίπτωση που συμβεί αυτό περιορίζεται το μέτρο της σε αυτό του μέγιστου δυνατού. Δηλαδή έχουμε

$$U_i'(t+1) = \frac{U_i(t+1)}{|U_i(t+1)|} * \min \{ |U_i(t+1)|, U_{max} \} \quad (7)$$

Με βάση την ταχύτητα αυτή πλέον η θέση του κάθε σωματιδίου τη χρονική στιγμή $t+1$ υπολογίζεται ως εξής:

$$P_i(t+1) = P_i(t) + U_i'(t+1) \quad (8)$$

Ο παραπάνω τύπος περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο αποφασίζει κάθε σωματίδιο πως θα κινηθεί σε κάθε χρονική στιγμή. Ωστόσο εμπεριέχει την έννοια της γειτονιάς η οποία θα πρέπει να καθοριστεί. Η γειτονιά στον PSO μπορεί να οριστεί έτσι ώστε να περιλαμβάνει ένα μικρό μέρος ή ακόμα και όλα τα σωματίδια του σμήνους. Η επιλογή στον PSO επηρεάζει την ταχύτητα σύγκλισης και την ποιότητα της λύσης που θα βρεθεί όπως αναφέρθηκε και στο σχετικό κεφάλαιο. Ωστόσο όσον αφορά την ανακάλυψη της πληροφορίας πλαισίου τα όρια της γειτονιάς αυτής υπαγορεύονται από τις δυνατότητες επικοινωνίας των μη αισθητήριων κόμβων. Εάν ήταν δυνατή η επικοινωνία όλων των σωματιδίων άμεσα το πρόβλημα της ανακάλυψης πλαισίου θα είχε λυθεί, καθώς κάθε κόμβος θα μπορούσε ανά πάσα στιγμή να λάβει την πιο ενημερωμένη πληροφορία πλαισίου. Ωστόσο οι κινούμενοι κόμβοι έχουν περιορισμένη ενέργεια και κατ'επέκταση

εμβέλεια επικοινωνίας. Λόγω αυτού του περιορισμού ως γειτονιά ενός σωματιδίου ορίζεται το σύνολο των κόμβων που βρίσκονται εντός της εμβέλειας επικοινωνίας του.

5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

5.1 Οι κόμβοι του συστήματος

Το σύστημα εύρεσης πληροφορίας απαρτίζεται από ένα σχετικά μεγάλο σύνολο κόμβων οι οποίοι διαθέτουν περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων όπως επίσης και περιορισμένη διαθέσιμη ενέργεια. Ένα υποσύνολο των κόμβων του συστήματος αποτελείται από κόμβους οι οποίοι διαθέτουν δυνατότητες αίσθησης του περιβάλλοντος μέσω ενσωματωμένων αισθητήρων. Οι κόμβοι αυτοί ονομάζονται αισθητήριοι κόμβοι. Οι κόμβοι που δε διαθέτουν δυνατότητες αίσθησης ονομάζονται μη αισθητήριοι κόμβοι και επιχειρούν να αποκτήσουν πρόσβαση σε πληροφορία πλαισίου ικανοποιητικής ποιότητας μέσω της επικοινωνίας με άλλους κόμβους του συστήματος

Οι αισθητήριοι κόμβοι κινούνται τυχαία στο χώρο και περιοδικά ανανεώνουν την πληροφορία πλαισίου που διαθέτουν. Η κίνηση των μη αισθητήριων κόμβων καθορίζεται από την πολιτική την οποία ακολουθούν και έχει ως στόχο την εύρεση κόμβων (αισθητήριων ή μη) που διαθέτουν πληροφορία πλαισίου που θεωρείται επιθυμητή, σύμφωνα με την πολιτική που ακολουθείται, ώστε μέσω της επικοινωνίας με αυτούς του κόμβους να αποκτήσει ο κόμβος πρόσβαση στο πλαίσιο αυτό.

Τα προαναφερθέντα καθιστούν σαφές ότι το σύστημα βασίζεται στην συνεργασία μεταξύ των κόμβων που περιλαμβάνει για τον εύρεση της πληροφορίας πλαισίου. Κατά συνέπεια οι περιορισμοί στους διαθέσιμους πόρους και δυνατότητες των μεμονωμένων κόμβων, σε συνδυασμό με την έλλειψη κεντρικής εποπτείας επηρεάζουν τα αποτελέσματα που παράγει ένα τέτοιο σύστημα καθώς περιορίζουν την ικανότητα των κόμβων να επεξεργαστούν τα διαθέσιμα δεδομένα και να επικοινωνήσουν με τους υπόλοιπους κόμβους του συστήματος.

5.2 Οι παράμετροι

Τα αποτελέσματα ενός συστήματος εύρεσης πληροφορίας πλαισίου επηρεάζονται από τις εξής παραμέτρους:

5.2.1 Ο χώρος

Ο χώρος στον οποίο κινούνται οι κόμβοι του δικτύου επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο κινούνται οι κόμβοι καθώς και τις αποστάσεις μεταξύ των κόμβων. Στα πειράματα που διεξήχθησαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, ο χώρος στον οποίο κινούνται οι κόμβοι ήταν ένα ορθογώνιο επίπεδο.

5.2.2 Ο αριθμός των αισθητήριων κόμβων

Ο αριθμός των αισθητήριων κόμβων επηρεάζει την ποιότητα της πληροφορίας πλαισίου που είναι διαθέσιμη ανά πάσα στιγμή στο δίκτυο καθώς και τον αριθμό των μη αισθητήριων κόμβων του δικτύου που έχουν πρόσβαση σε έγκυρη πληροφορία πλαισίου.

5.2.3 Ο αριθμός των μη αισθητήριων κόμβων

Ο αριθμός των μη αισθητήριων κόμβων του συστήματος επηρεάζει τη δυνατότητα διάχυσης της πληροφορίας πλαισίου που παρουσιάζει το δίκτυο.

5.2.4 Η εμβέλεια επικοινωνίας

Η μέγιστη απόσταση στην οποία είναι δυνατό να επικοινωνήσουν οι κόμβοι μεταξύ τους εξαρτάται από το υλικό (hardware) αλλά και το λογισμικό κάθε ενός από τους κόμβους. Επιπροσθέτως η μετάδοση δεδομένων σε μεγάλη απόσταση αυξάνει τις ενεργειακές ανάγκες των κόμβων. Συνεπώς η εμβέλεια επικοινωνίας των κόμβων είναι μία ιδιότητα του συστήματος που επηρεάζεται από τους περιορισμούς που οφείλονται στη φύση των κόμβων που το απαρτίζουν. Αφετέρου η εμβέλεια επικοινωνίας των κόμβων έχει επίδραση στην σύγκλιση του συστήματος, καθώς αυτή βασίζεται στη συνεργασία μεταξύ των κόμβων, χωρίς την ύπαρξη κεντρικής εποπτείας και γνώσης από τους κόμβους της συνολικής κατάστασης του συστήματος. Στα πειράματα που διεξήχθησαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, το σύνολο των κόμβων είχε την ίδια εμβέλεια επικοινωνίας, η οποία παρέμενε σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του συγκεκριμένου πειράματος.

5.2.5 Η ταχύτητα κίνησης

Η μέγιστη ταχύτητα με την οποία είναι δυνατό να κινηθεί κάθε ένας από τους κόμβους καθορίζεται από περιορισμούς στην ταχύτητα των σωματιύων στα οποία έχουν εγκατασταθεί οι κόμβοι όσο και από περιορισμούς στη διαθέσιμη ενέργεια του κόμβου στην περίπτωση αυτοκινούμενων κόμβων. Η σύγκλιση του συστήματος εξαρτάται από τη μέγιστη ταχύτητα των κόμβων καθώς οι κόμβοι μετακινούνται στην προσπάθειά τους να αποκτήσουν πρόσβαση σε πληροφορία πλαισίου ικανοποιητικής ποιότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μέγιστη ταχύτητα των κόμβων να περιορίζει την απόσταση στην μονάδα του χρόνου που οι κόμβοι μπορούν να κινηθούν προς την τοποθεσία στην οποία προσδοκούν ότι θα έχουν τη δυνατότητα να αποκτήσουν πλαίσιο ικανοποιητικής πληροφορίας. Στα πειράματα που διεξήχθησαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, το σύνολο των κόμβων είχε την ίδια ταχύτητα κίνησης, η οποία παρέμενε σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του συγκεκριμένου πειράματος. Χρονική διάρκεια ζωής της πληροφορίας πλαισίου

5.2.6 Το κατώφλι ποιότητας

Η ελάχιστη τιμή ποιότητας που οι κόμβοι του συστήματος θεωρούν ικανοποιητική επηρεάζει την ποιότητα της πληροφορίας πλαισίου που υπάρχει ανά πάσα στιγμή στο σύστημα. Συγκεκριμένα η αύξηση της ελάχιστης ικανοποιητικής τιμής ποιότητας τείνει να αυξάνει τη συνολική ποιότητα πληροφορίας πλαισίου που υπάρχει στο σύστημα καθώς οι κόμβοι αναζητούν υψηλότερης ποιότητας πληροφορία πλαισίου. Ταυτόχρονα η αύξηση της απαιτούμενης από τους κόμβους ποιότητας πληροφορίας πλαισίου προκαλεί αυξημένες ανάγκες επεξεργασίας δεδομένων και επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις του συστήματος.

5.3 Οι πολιτικές

Η συμπεριφορά των κόμβων που αποτελούν το σύστημα εύρεσης πληροφορίας πλαισίου καθορίζεται από την πολιτική που ο κάθε κόμβος εφαρμόζει. Η πολιτική του κάθε κόμβου καθορίζει τις προϋποθέσεις υπό τις οποίες ο κόμβος αναζητά μετρήσεις περισσότερο έγκυρες από αυτές που ήδη έχει, επικοινωνώντας με γειτονικούς του κόμβους καθώς επίσης και τις συνθήκες στις οποίες ο κόμβος κινείται, είτε τυχαία, είτε έχοντας κάποιο κόμβο του συστήματος ως οδηγό. Η επιλογή της πολιτικής που θα ακολουθήσουν οι κόμβοι του συστήματος έχει μεγάλη σημασία καθώς επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τόσο τους ενεργειακούς πόρους που θα χρησιμοποιήσει κάθε ένας από τους κόμβους και κατά συνέπεια το σύστημα, όσο και το κατά πόσο το σύστημα θα συγκλίνει σε κάποια λύση και την ποιότητα της λύσης αυτής. Η παρούσα εργασία θα ορίσει και θα συγκρίνει τα αποτελέσματα που παράγουν οι εξής πολιτικές συμπεριφοράς των κόμβων:

5.3.1 Εγωιστική πολιτική

Στην εγωιστική πολιτική (εικόνα 6), κάθε κόμβος παραμένει ακίνητος όσο έχει μέτρηση ικανοποιητικής παλαιότητας. Μόλις η μέτρηση σταματήσει να τον ικανοποιεί εντοπίζει το σύνολο των γειτόνων του έχουν πιο πρόσφατες από αυτόν μετρήσεις. Να σημειώσουμε πως το σύνολο αυτό μπορεί να περιλαμβάνει και κόμβους οι μετρήσεις των οποίων είναι πιο παλαιές από όσο απαιτεί ο κόμβος για να είναι ικανοποιημένος, αρκεί να είναι πιο πρόσφατες από αυτή που έχει διαθέσιμη εκείνη τη χρονική στιγμή. Σε περίπτωση που το σύνολο αυτό είναι κενό κινείται τυχαία και επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία μέχρι να εντοπιστεί κάποιος κόμβος με πιο πρόσφατη μέτρηση. Μόλις εντοπιστεί ένας ή περισσότεροι γειτονικοί κόμβοι με πιο πρόσφατη μέτρηση, επιλέγει εκείνον με την πιο πρόσφατη μέτρηση από όλους για να τον τοποθετήσει ως οδηγό του, παίρνει τη μέτρησή του και κινείται προς την κατεύθυνσή του. Εάν η νέα αυτή μέτρηση που έλαβε από τον νέο οδηγό είναι ικανοποιητική περνάει πάλι στην κατάσταση όπου παραμένει ακίνητος μέχρι παλαιώσει η μέτρηση και να μην τον ικανοποιεί. Σε αντίθετη περίπτωση αναζητά τους γείτονες που έχουν ακόμα πιο πρόσφατες μετρήσεις. Εάν βρεθούν τέτοιοι γείτονες επιλέγει τον καλύτερο από αυτούς, παίρνει τη μέτρησή του, τον τοποθετεί ως το νέο του οδηγό και κινείται προς την κατεύθυνσή του, ενώ σε αντίθετη περίπτωση εξακολουθεί να ακολουθεί τον προηγούμενο οδηγό. Αυτό συνεχίζεται μέχρι να βρεθεί οδηγός με ικανοποιητικής (για τον συγκεκριμένο κόμβο) παλαιότητας μέτρηση.

Σε μορφή ψευδοκώδικα η πολιτική έχει ως εξής:

ΕΑΝ (κόμβος ικανοποιημένος)

ΥΠΑΡΧΕΙ_ΟΔΗΓΟΣ = ψευδές

Μείνε ακίνητος

ΑΛΛΙΩΣ ΕΑΝ (πλήθος(λίστα γειτονικών κόμβων με νεότερο πλαίσιο) = 0)

ΕΑΝ (ΥΠΑΡΧΕΙ_ΟΔΗΓΟΣ)

Κινήσου προς τον οδηγό

ΑΛΛΙΩΣ

Κινήσου τυχαία

ΤΕΛΟΣ ΕΑΝ

ΑΛΛΙΩΣ

Θέσε ως οδηγό τον γείτονα με το πιο πρόσφατο πλαίσιο

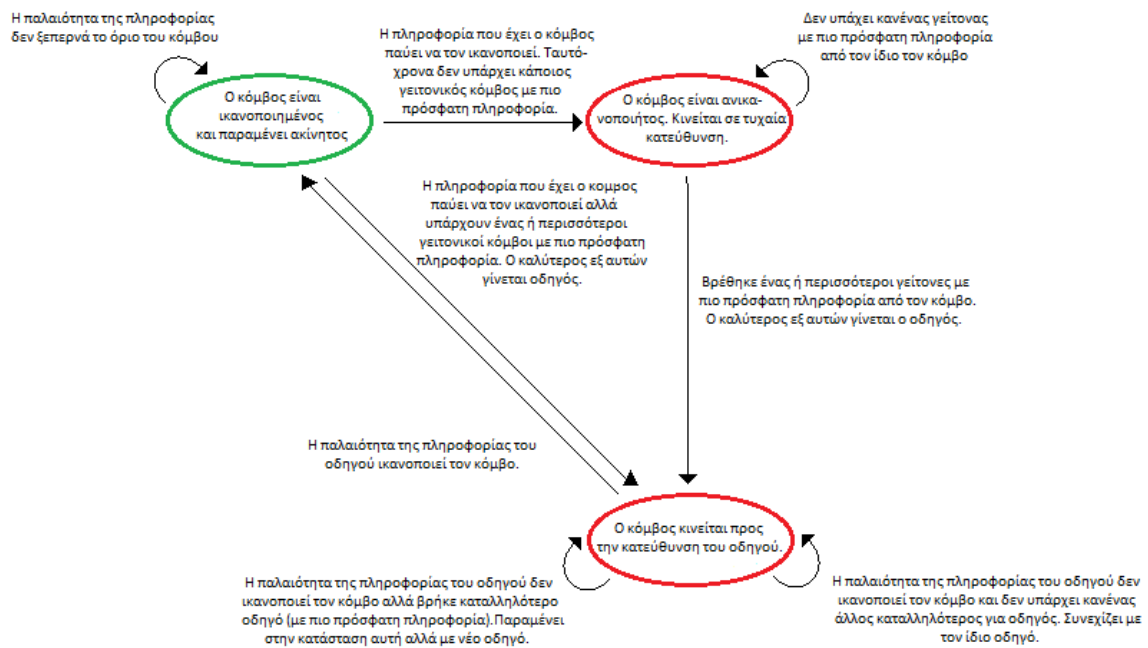
ΥΠΑΡΧΕΙ_ΟΔΗΓΟΣ = αληθές

Λάβε πληροφορία πλαισίου από οδηγό

Θέσε ληφθείσα πληροφορία ως διαθέσιμο πλαίσιο

Κινήσου προς τον οδηγό

ΤΕΛΟΣ ΕΑΝ



Εικόνα 6: Διάγραμμα καταστάσεων της εγωιστικής πολιτικής.

5.3.2 Άπληστη πολιτική

Σύμφωνα με την άπληστη πολιτική (εικόνα 7), κάθε κινούμενος κόμβος αναζητά ανά πάσα χρονική στιγμή κάποιον κόμβο με πιο πρόσφατη μέτρηση από αυτή που ήδη έχει για να κινηθεί προς την κατεύθυνσή του. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες πολιτικές που έχουμε υλοποιήσει η αναζήτηση αυτή γίνεται πάντα, ανεξάρτητα από το αν είναι ικανοποιημένος με την παλαιότητα της μέτρησης που έχει ήδη ή όχι. Ο κόμβος που επιλέγεται τελικά σε κάθε χρονική στιγμή είναι ο κόμβος με την πιο πρόσφατη μέτρηση ανάμεσα σε όλους τους γειτονικούς κόμβους. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει κανένας γειτονικός κόμβος με πιο πρόσφατη μέτρηση από αυτή που ήδη έχει ο κόμβος, τότε πραγματοποιείται κίνηση προς τυχαία κατεύθυνση. Στην πολιτική αυτή γίνεται προσπάθεια να εντοπιστεί όσο το δυνατό πιο πρόσφατη μέτρηση με αντάλλαγμα τη συνεχή επικοινωνία μεταξύ των κόμβων, κι επομένως υψηλότερο κόστος.

Σε μορφή ψευδοκώδικα η πολιτική έχει ως εξής:

ΕΑΝ (πλήθος(λίστα γειτονικών κόμβων με νεότερο πλαίσιο) = 0)

Κινήσου τυχαία

ΑΛΛΙΩΣ

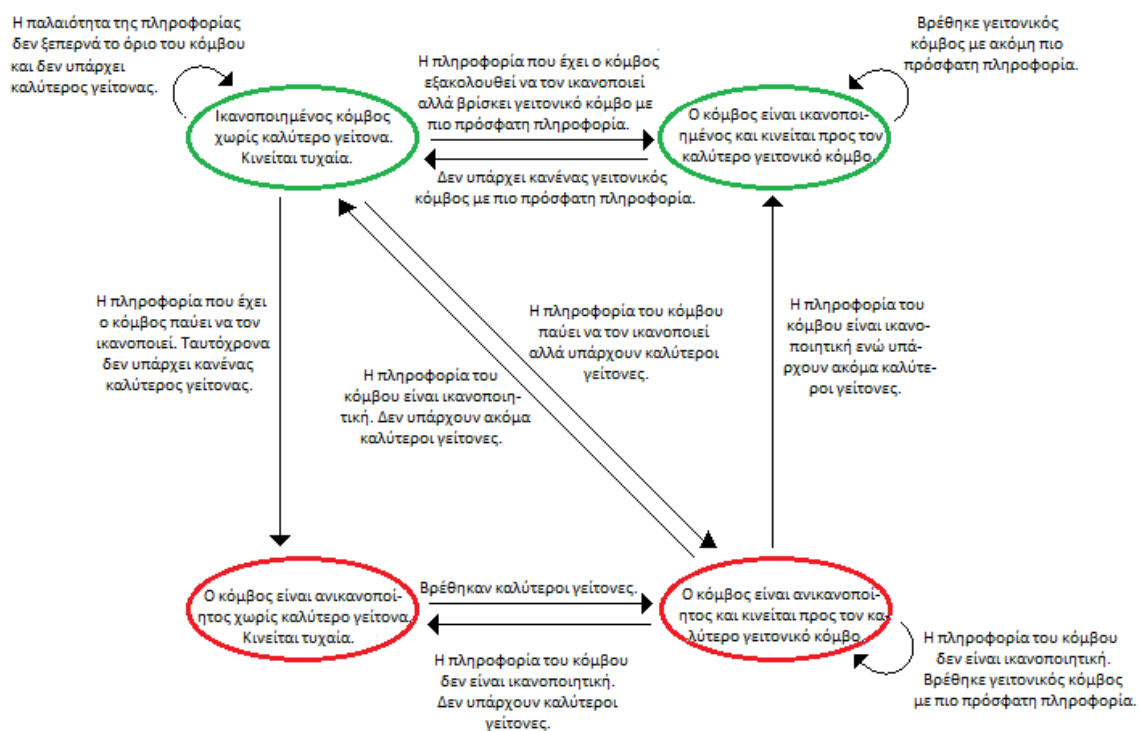
Θέσε ως οδηγό τον γείτονα με το πιο πρόσφατο πλαίσιο

Λάβε πληροφορία πλαισίου από οδηγό

Θέσε ληφθείσα πληροφορία ως διαθέσιμο πλαίσιο

Κινήσου προς τον οδηγό

ΤΕΛΟΣ ΕΑΝ



Εικόνα 7: Διάγραμμα καταστάσεων της άπληστης πολιτικής.

5.3.3 Απαιτητική πολιτική

Η απαιτητική πολιτική (εικόνα 8) καθορίζει πως οι κινούμενοι κόμβοι που συμμορφώνονται με αυτή πρέπει να ακολουθούν κόμβους-στόχους μόνο στην περίπτωση που αυτοί έχουν μέτρηση της οποίας η παλαιότητα τους ικανοποιεί. Αναλυτικά στην κατάσταση μη ικανοποίησης ο κόμβος επιλέγει ως κόμβο-στόχο τον κόμβο με την πιο πρόσφατη μέτρηση από το σύνολο των γειτονικών κόμβων των οποίων η μέτρηση τον ικανοποιεί. Στην περίπτωση που το σύνολο αυτό είναι κενό, ο κόμβος εκτελεί τυχαία κίνηση για την συγκεκριμένη μονάδα του χρόνου. Στην κατάσταση ικανοποίησης ο κινούμενος κόμβος ακολουθεί τον κόμβο-στόχο χωρίς να επιχειρεί

οποιοδήποτε εντοπισμό άλλων γειτονικών κόμβων.

Σε μορφή ψευδοκώδικα η πολιτική έχει ως εξής:

EAN (κόμβος ικανοποιημένος)

Κινήσου προς τον οδηγό

ΑΛΛΙΩΣ EAN (πλήθος(λίστα γειτονικών κόμβων με ικανοποιητικό πλαίσιο) = 0)

Κινήσου τυχαία

ΑΛΛΙΩΣ

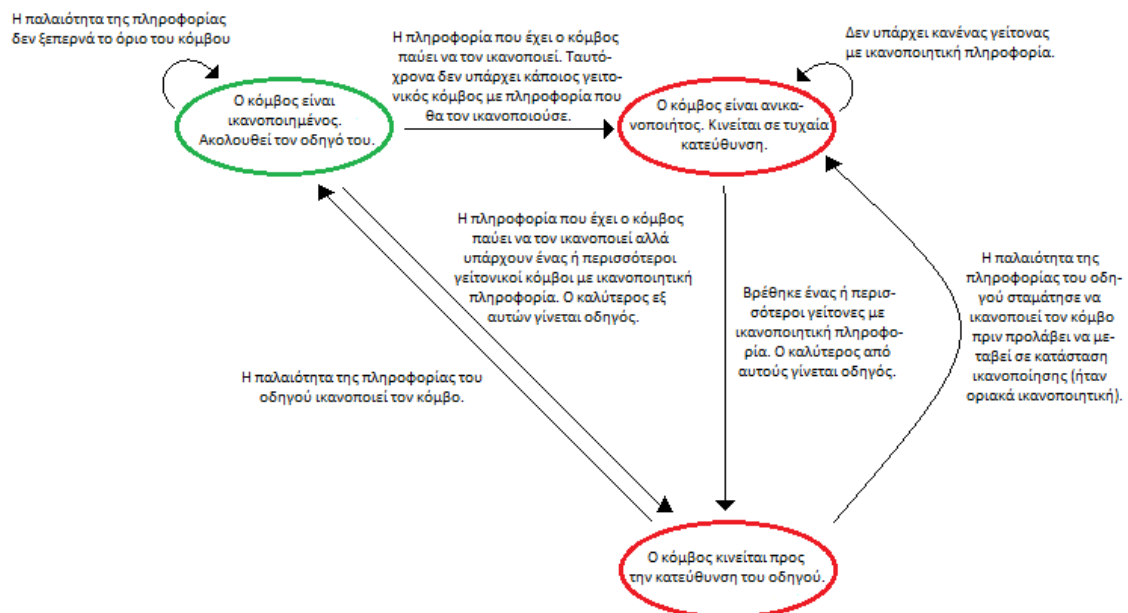
Θέσε ως οδηγό τον γείτονα με το πιο πρόσφατο πλαίσιο

Λάβε πληροφορία πλαισίου από οδηγό

Θέσε ληφθείσα πληροφορία ως διαθέσιμο πλαίσιο

Κινήσου προς τον οδηγό

ΤΕΛΟΣ EAN



Εικόνα 8: Διάγραμμα καταστάσεων της απαιτητικής πολιτικής.

5.3.4 Οκνηρή πολιτική

Η οκνηρή πολιτική (εικόνα 9) καθορίζει πως κάθε κινούμενος κόμβος που βρίσκεται στην κατάσταση ικανοποίησης παραμένει ακίνητος, χωρίς να αναζητά νέα μέτρηση για όσο χρόνο βρίσκεται σε αυτή την κατάσταση. Αναλυτικά στην κατάσταση μη ικανοποίησης ο κινούμενος κόμβος επιλέγει ως κόμβο-στόχο το στόχο με την πιο πρόσφατη μέτρηση από το σύνολο των κόμβων που έχουν πιο πρόσφατη μέτρηση από αυτόν. Σε περίπτωση που το σύνολο αυτό είναι κενό, ο κόμβος ακολουθεί τον κόμβο-στόχο που πιθανώς έχει ή στην περίπτωση που δεν έχει κόμβο-στόχο παραμένει ακίνητος. Στην κατάσταση ικανοποίησης ο κόμβος παραμένει ακίνητος χωρίς να επιχειρεί οποιοδήποτε εντοπισμό άλλων γειτονικών κόμβων. Να σημειωθεί ότι ο κινούμενος κόμβος δε θεωρεί κόμβο-στόχο του κινούμενο κόμβο ο οποίος του μετέδωσε

μέτρηση που τον ικανοποίησε.

Σε μορφή ψευδοκώδικα η πολιτική έχει ως εξής:

ΕΑΝ (κόμβος ικανοποιημένος)

ΥΠΑΡΧΕΙ_ΟΔΗΓΟΣ = ψευδές

Μείνε ακίνητος

ΑΛΛΙΩΣ ΕΑΝ (πλήθος(λίστα γειτονικών κόμβων με νεότερο πλαίσιο) = 0)

ΕΑΝ (ΥΠΑΡΧΕΙ_ΟΔΗΓΟΣ)

Κινήσου προς τον οδηγό

ΑΛΛΙΩΣ

Μείνε ακίνητος

ΤΕΛΟΣ ΕΑΝ

ΑΛΛΙΩΣ

Θέσε ως οδηγό τον γείτονα με το πιο πρόσφατο πλαίσιο

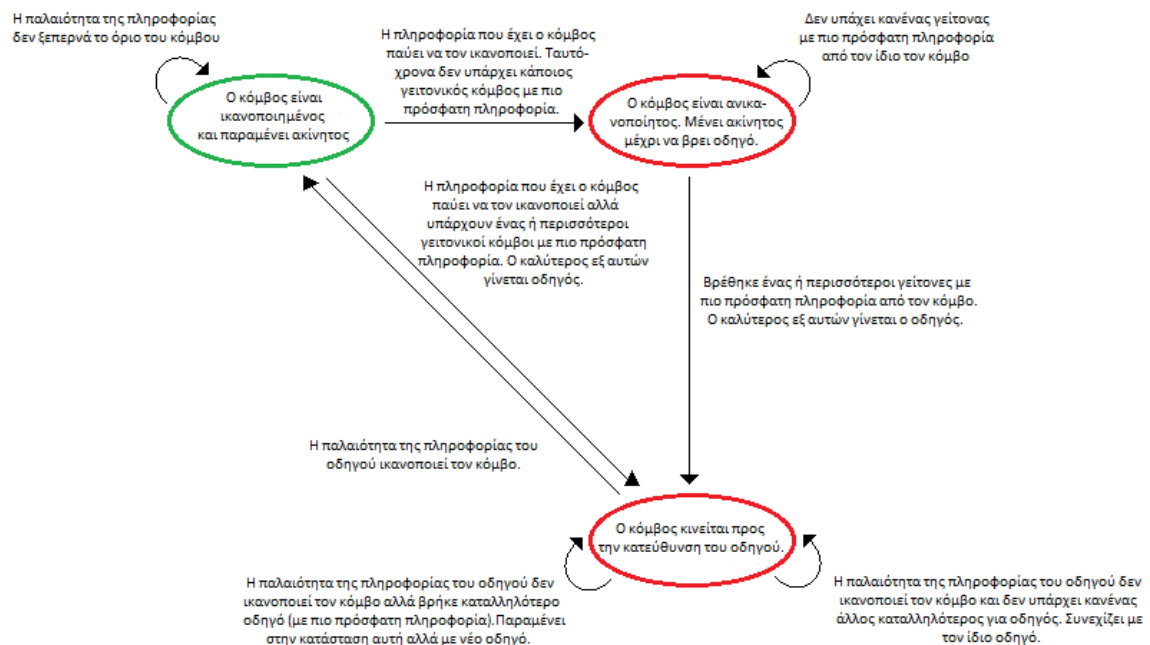
ΥΠΑΡΧΕΙ_ΟΔΗΓΟΣ = αληθές

Λάβε πληροφορία πλαισίου από οδηγό

Θέσε ληφθείσα πληροφορία ως διαθέσιμο πλαίσιο

Κινήσου προς τον οδηγό

ΤΕΛΟΣ ΕΑΝ



Εικόνα 9: Διάγραμμα καταστάσεων της οκνηρής πολιτικής.

5.4 Πειραματικά μεγέθη

Στα πειράματα που διεξήχθησαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μετρήθηκαν τα εξής μεγέθη:

5.4.1 Πλήθος ικανοποιημένων κόμβων

Ο αριθμός των μη αισθητήριων κόμβων του συστήματος που βρίσκονται σε κατάσταση ικανοποίησης ανά πάσα στιγμή. Το κατά πόσον ένας κόμβος βρίσκεται σε κατάσταση ικανοποίησης εξαρτάται από την ποιότητα της πληροφορίας πλαισίου που διαθέτει. Πιο συγκεκριμένα, ο κόμβος είναι ικανοποιημένος εάν διαθέτει πληροφορία πλαισίου της οποίας η παλαιότητα δεν υπερβαίνει το όριο πάνω από το οποίο η πληροφορία θεωρείται παρωχημένη.

5.4.2 Κόστος μετάδοσης δεδομένων

Ο συνολικός αριθμός μεταδόσεων δεδομένων μεταξύ κόμβων του συστήματος ανά πάσα στιγμή. Μετάδοση δεδομένων πραγματοποιείται με πρωτοβουλία ενός κόμβου ο οποίος κρίνει σκόπιμο να λάβει πληροφορία πλαισίου από συγκεκριμένο γειτονικό του κόμβο. Το κόστος μετάδοσης δεδομένων περιλαμβάνει μόνο τις μεταδόσεις πληροφορίας πλαισίου και όχι την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων μέσω της οποίας οι κόμβοι πληροφορούνται για την ποιότητα της πληροφορίας πλαισίου που διαθέτουν οι γείτονές τους.

5.4.3 Κόστος σηματοδοσίας

Ο συνολικός αριθμός μεταδόσεων σηματοδοσίας μεταξύ κόμβων του συστήματος ανά πάσα στιγμή. Οι μεταδόσεις σηματοδοσίας περιλαμβάνουν την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων του συστήματος με στόχο οι μη αισθητήριοι κόμβοι να πληροφορηθούν σχετικά με την ποιότητα πληροφορίας πλαισίου που διαθέτουν οι γειτονικοί κόμβοι τους.

5.4.4 Αριθμός κύκλων σηματοδοσίας

Ο αριθμός κύκλων σηματοδοσίας που εκτελούνται από τους κόμβους του συστήματος ανά πάσα στιγμή. Ένας κύκλος σηματοδοσίας περιλαμβάνει την επικοινωνία ενός μη αισθητήριου κόμβου με όλους τους γειτονικούς του κόμβους με στόχο να πληροφορηθεί ο κόμβος την ποιότητα της πληροφορίας πλαισίου που διαθέτουν οι γειτονικοί κόμβοι του, σε ένα βήμα της εξομίωσης.

5.4.5 Λόγος ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών.

Ο λόγος του αριθμού των μη αισθητήριων κόμβων που βρίσκονται σε κατάσταση ικανοποίησης προς το συνολικό κόστος επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων ανά πάσα

στιγμή. Το συνολικό κόστος επικοινωνίας περιλαμβάνει τόσο το κόστος μετάδοσης δεδομένων όσο και τον αριθμό κύκλων σηματοδότησης τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

5.4.6 Μέσος βαθμός ικανοποίησης

Ο μέσος όρος των βαθμών ικανοποίησης των ικανοποιημένων μη αισθητήριων κόμβων του συστήματος ανά πάσα στιγμή. Ο βαθμός ικανοποίησης ενός ικανοποιημένου κόμβου είναι το χρονικό διάστημα μετά την παρέλευση του οποίου η πληροφορία πλαισίου που διαθέτει ο κόμβος τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή θα είναι παρωχημένη. Αξίζει να σημειωθεί ότι στον υπολογισμό αυτού του μεγέθους δε λαμβάνονται υπόψη οι μη ικανοποιημένοι αισθητήριοι κόμβοι.

5.5 Πειραματικά αποτελέσματα

Για την πειραματική μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος έγιναν μια σειρά πειραμάτων. Ο χώρος μέσα στον οποίο κινούνταν οι κόμβοι θεωρήθηκε τετραγωνικός με σταθερές διαστάσεις 100 x 100. Όλα τα πειράματα εκτελέστηκαν για 4 διαφορετικούς συνδυασμούς πλήθους αισθητήριων και μη αισθητήριων κόμβων. Τα ζεύγη τιμών που επιλέγησαν ήταν 4 αισθητήριοι και 15 μη αισθητήριοι κόμβοι, 5 αισθητήριοι και 40 μη αισθητήριοι κόμβοι, 10 αισθητήριοι και 40 μη αισθητήριοι κόμβοι και 20 αισθητήριοι και 100 μη αισθητήριοι κόμβοι. Με αυτό τον τρόπο μελετήθηκε η συμπεριφορά του συστήματος για διαφορετικές πυκνότητες αισθητήριων και μη αισθητήριων κόμβων ανά μονάδα επιφάνειας. Για κάθε πιθανό συνδυασμό τιμών των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκε, μετρήθηκε ο μέσος όρος 200 πειραμάτων.

Μελετήθηκε η επίδραση που έχει η μεταβολή της εμβέλειας επικοινωνίας, της εμβέλειας κίνησης και του ορίου παλαιότητας της πληροφορίας που έχουν οι μη αισθητήριοι κόμβοι πάνω στα 6 πειραματικά μεγέθη που αναφέρθηκαν στην προηγούμενο υποκεφάλαιο. Για κάθε μια από τις τρεις προαναφερθείσες παραμέτρους, έγινε ένας αριθμός πειραμάτων όπου όλες οι υπόλοιπες παράμετροι παρέμειναν σταθερές.

5.5.1 Πλήθος ικανοποιημένων κόμβων

Προκειμένου να ερμηνεύσουμε καλύτερα τα αποτελέσματα της απόδοσης των τεσσάρων πολιτικών ως προς το πλήθος των ικανοποιημένων κόμβων, υπολογίζουμε τις θεωρητικά μέγιστες τιμές για κάθε πολιτική. Στην απαιτητική, την οκνηρή και την εγωιστική πολιτική, κάθε κόμβος μένει ανικανοποίητος πάντα τη χρονική στιγμή όπου σταματάει να τον ικανοποιεί η ποιότητα της πληροφορίας που έχει, οπότε και εκκινεί την αναζήτηση καλύτερης πληροφορίας. Επομένως, το ευνοϊκότερο σενάριο είναι αυτό κατά το οποίο ο κάθε κόμβος βρίσκει άμεσα πληροφορία βέλτιστης ποιότητας μόλις σταματήσει να τον ικανοποιεί η υπάρχουσα πληροφορία. Στο σενάριο αυτό μένει ικανοποιημένος για T_h μονάδες χρόνου και ανικανοποίητος για 1 μονάδα χρόνου, όπου με T_h συμβολίζουμε τη μέγιστη παλαιότητα πληροφορίας που θεωρεί ικανοποιητική ο κάθε κόμβος. Άρα κατά μέσο όρο κάθε κόμβος είναι ικανοποιημένος για $T_h/(T_h+1)$ χρονικές μονάδες και επομένως το θεωρητικά μέγιστο μέσο πλήθος ικανοποιημένων κόμβων ανά χρονική στιγμή είναι $N_{nsn} * T_h/(T_h+1)$, όπου N_{nsn} το πλήθος των μη αισθητήριων κόμβων. Στην άπληστη πολιτική αντίθετα, επειδή ο κόμβος εξερευνά τους γειτονικούς κόμβους ακόμα και όταν έχει πληροφορία ικανοποιητικής παλαιότητας, σε

ένα ιδανικό σενάριο ο κάθε κόμβος μπορεί να είναι ικανοποιημένος σε κάθε χρονική στιγμή. Άρα το θεωρητικό μέγιστο πλήθος ικανοποιημένων κόμβων γι' αυτή την πολιτική είναι N_{nsn} .

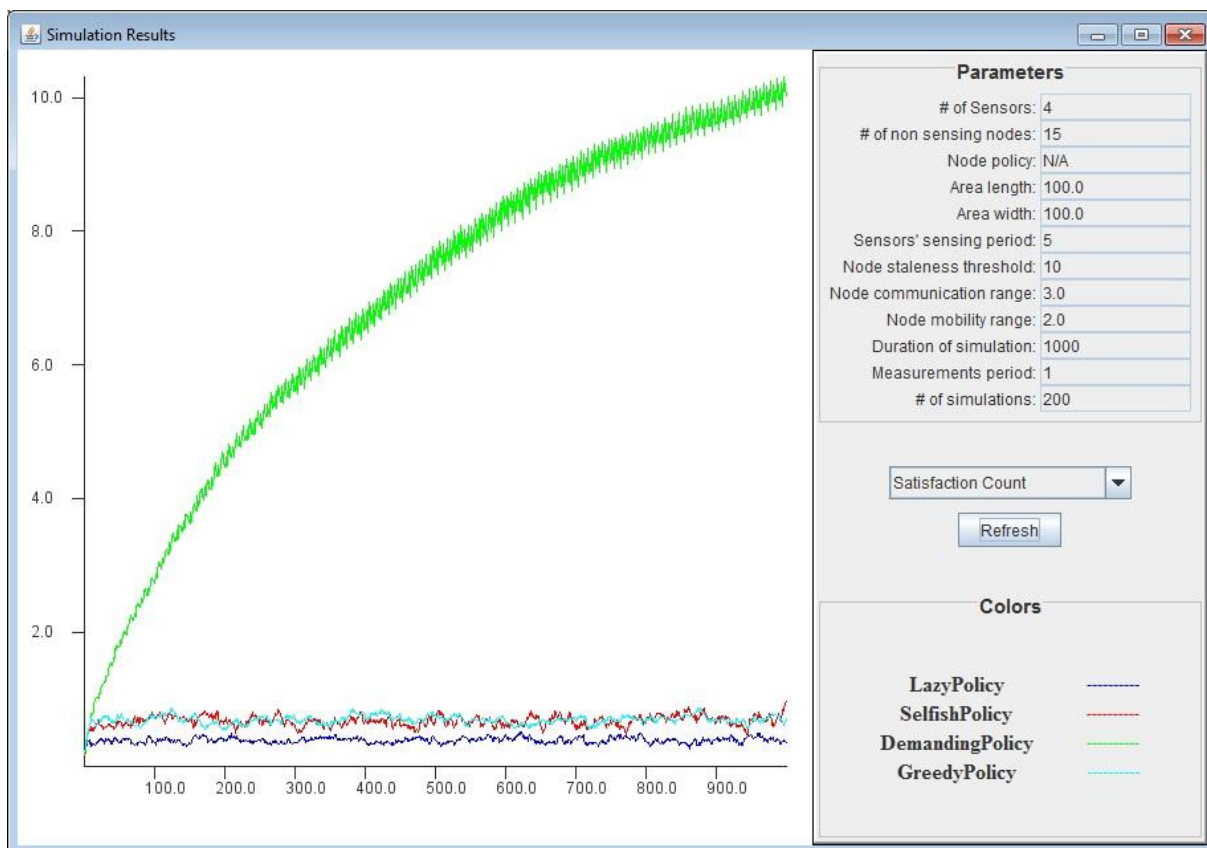
5.5.1.1 Η επίδραση της εμβέλειας επικοινωνίας

Η εμβέλεια επικοινωνίας παρατηρήθηκε, όπως ήταν αναμενόμενο, να έχει μεγάλη επίδραση στη συμπεριφορά του συστήματος. Αυξάνοντας την ακτίνα επικοινωνίας όλες οι πολιτικές παρατηρήθηκε να έχουν μεγαλύτερο πλήθος ικανοποιημένων κόμβων κάθε χρονική στιγμή. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο καθώς η μεγαλύτερη εμβέλεια επικοινωνίας σημαίνει ότι ο κάθε κόμβος έχει μεγαλύτερη γειτονιά. Η μεγαλύτερη γειτονιά, έχει σαν αποτέλεσμα να μπορεί ο κάθε κόμβος να εντοπίσει ευκολότερα πληροφορία ικανοποιητικής ποιότητας όταν την αναζητήσει.

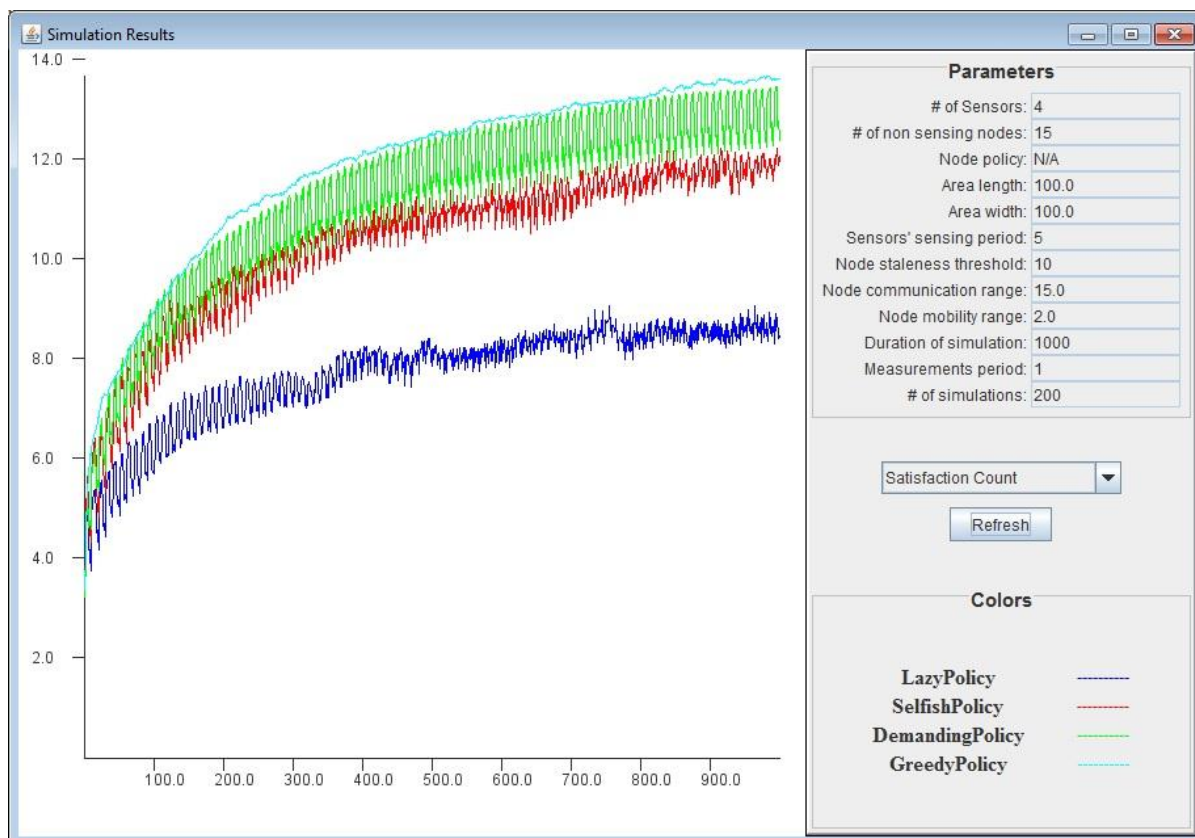
Όσον αφορά την σύγκριση της απόδοσης των τεσσάρων πολιτικών ως προς αυτή τη μετρική, παρατηρούμε πως για μικρές ακτίνες επικοινωνίας την καλύτερη απόδοση με σημαντική διαφορά την έχει η απαιτητική πολιτική (Εικόνα 10). Οι υπόλοιπες πολιτικές έχουν παρόμοια απόδοση μεταξύ τους η οποία είναι αρκετά χαμηλότερη. Για μέσες εμβέλειες επικοινωνίας, παρατηρούμε πως η απαιτητική πολιτική εξακολουθεί να έχει καλύτερη απόδοση, ενώ οι υπόλοιπες πλησιάζουν την απόδοσή της, με την οκνηρή να έχει τη χαμηλότερη απόδοση. Όταν η εμβέλεια επικοινωνίας πάρει ακραία μεγάλες τιμές, η άπληστη πολιτική έχει το μεγαλύτερο αριθμό ικανοποιημένων κόμβων με μικρή διαφορά σε σχέση με τις υπόλοιπες πολιτικές (Εικόνα 11). Η οκνηρή πολιτική παραμένει να έχει τη χειρότερη απόδοση μέχρι πολύ ακραίες τιμές, οπότε προσεγγίζει τη θεωρητικά μέγιστη δυνατή τιμή, άρα προσεγγίζει την απαιτητική και την εγωιστική πολιτική που έχουν το ίδιο θεωρητικό μέγιστο.

Λαμβάνοντας τις μέγιστες τιμές για κάθε πολιτική ως προς τη μετρική αυτή που αναφέρθηκαν προηγουμένως, μπορούμε να δικαιολογήσουμε τις παρατηρήσεις μας όσον αφορά τη σχετική απόδοση μεταξύ των 4 πολιτικών. Καθώς αυξάνεται η ακτίνα επικοινωνίας, ο κάθε κόμβος εντοπίζει ευκολότερα καλύτερες πηγές πληροφορίας. Για ακραίες τιμές, κάθε πολιτική τείνει να φτάσει στο θεωρητικό μέγιστο οπότε και η άπληστη πολιτική έχει πλεονέκτημα καθώς έχει μεγαλύτερο θεωρητικό μέγιστο ως προς αυτή τη μετρική. Για μικρότερες τιμές της εμβέλειας επικοινωνίας ωστόσο, οι οποίες είναι και πιο ρεαλιστικές, η απαιτητική πολιτική έχει μεγάλο πλεονέκτημα σε σχέση με τις υπόλοιπες πολιτικές. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στο γεγονός ότι κινείται καλύτερα όταν βρίσκεται σε κατάσταση ικανοποίησης, καθώς ακολουθεί τον κόμβο οδηγό δηλαδή τον πιο υποσχόμενο κόμβο με βάση τα στοιχεία που έχει.

Η παραπάνω συμπεριφορά παρατηρείται τόσο με μικρό όσο και με μεγαλύτερο πλήθος κόμβων. Αυξάνοντας το πλήθος των κόμβων η σύγκλιση στη μέγιστη τιμή παρατηρείται να συμβαίνει γρηγορότερα καθώς αυξάνεται η πιθανότητα που έχει ένας κόμβος σε κάθε χρονική στιγμή να εντοπίσει πληροφορία πλαισίου ικανοποιητικής παλαιότητας.



Εικόνα 10: Πλήθος ικανοποιημένων κόμβων για μικρή εμβέλεια επικοινωνίας



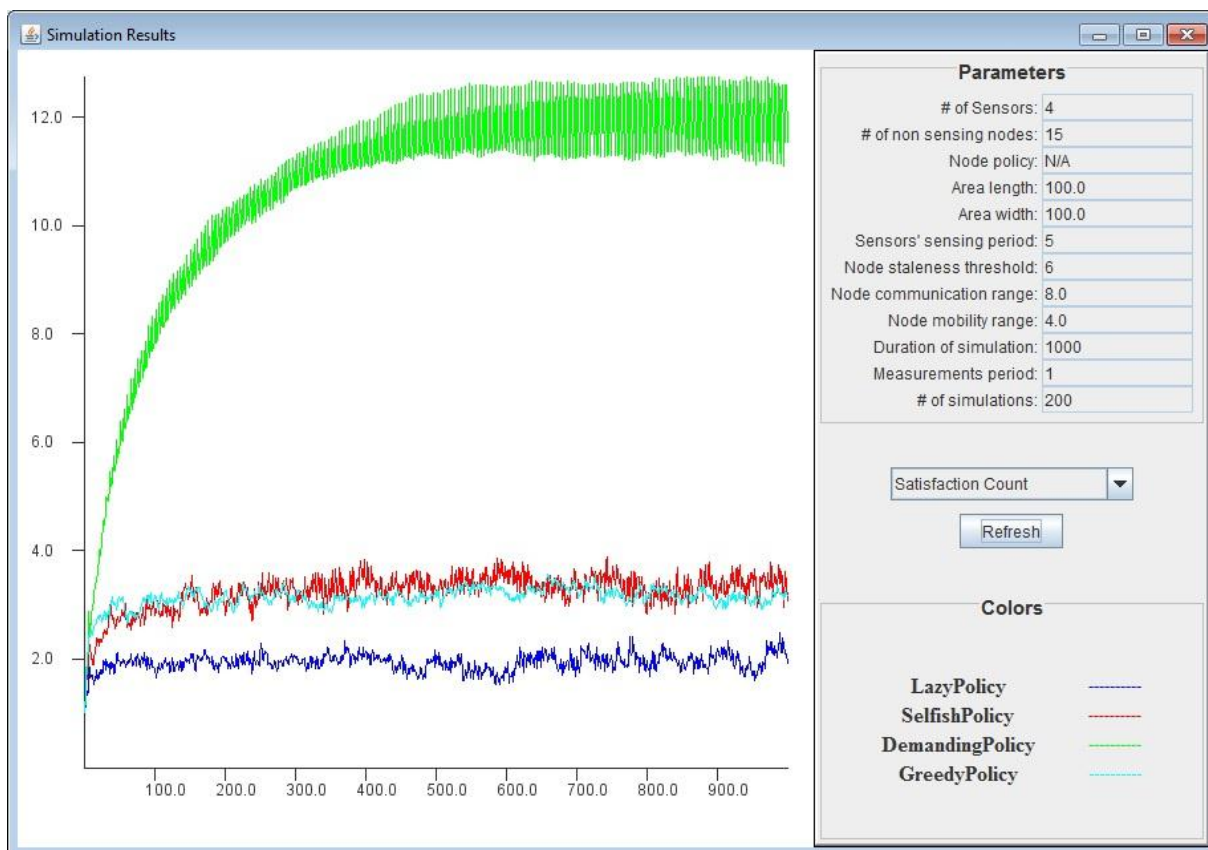
Εικόνα 11: Πλήθος ικανοποιημένων κόμβων για μεγάλη εμβέλεια επικοινωνίας

5.5.1.2 Η επίδραση του κατωφλίου ποιότητας

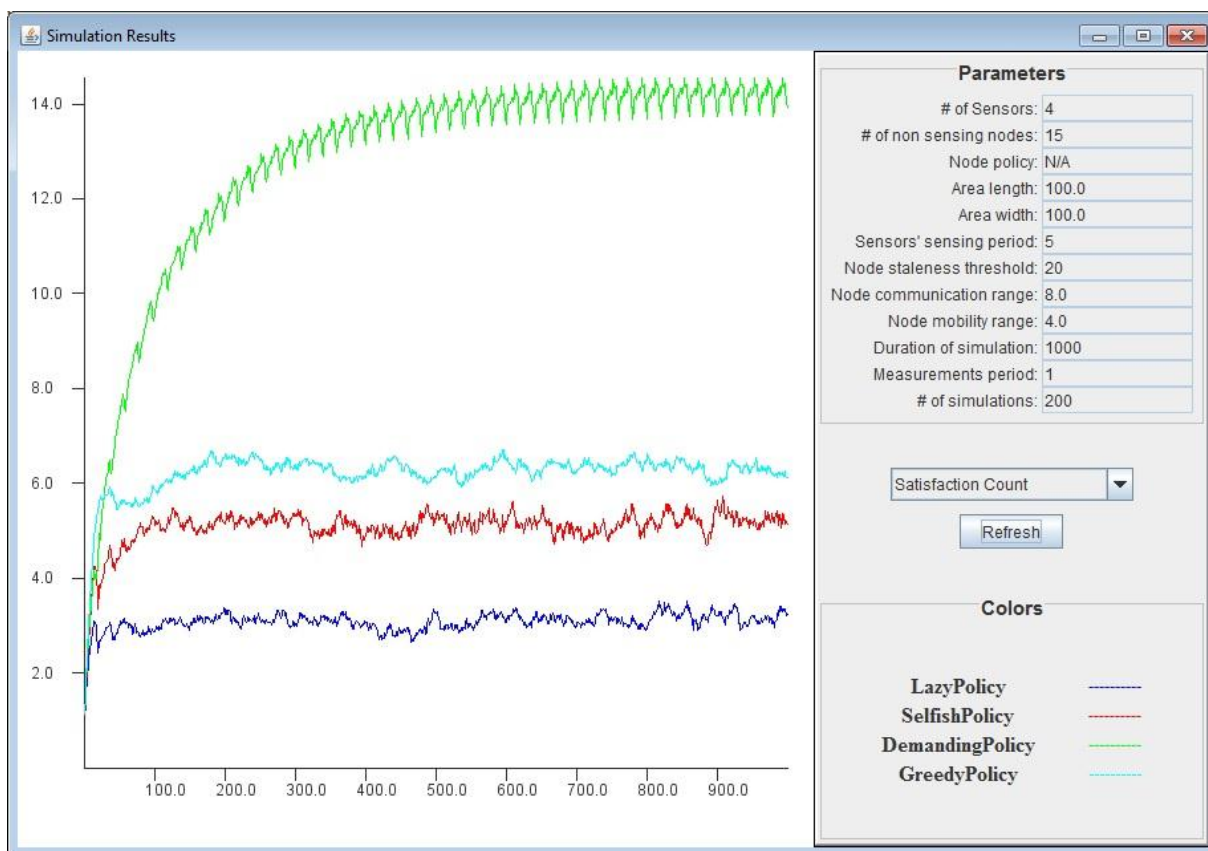
Αυξάνοντας το όριο της παλαιότητας πληροφορίας την οποία θεωρεί ικανοποιητική ο κάθε κόμβος, μπορούμε να μελετήσουμε τη συμπεριφορά κάθε πολιτικής σε συστήματα όπου υπάρχει εντονότερη απαίτηση για πρόσφατη πληροφορία σε σχέση με συστήματα όπου η πληροφορία πλαισίου δεν απαξιώνεται τόσο γρήγορα. Παρατηρήθηκε πως αυξάνοντας το κατώφλι ικανοποίησης των κόμβων του συστήματος, αυξάνεται και το πλήθος των ικανοποιημένων κόμβων για όλες τις πολιτικές. Αυτό οφείλεται στο ότι μεγαλύτερο όριο σημαίνει πως κατά μέσο όρο θα χρειάζεται περισσότερος χρόνος από τη στιγμή που βρίσκει ικανοποιητική πληροφορία ο κόμβος μέχρι αυτή να απαξιωθεί.

Η αύξηση στον αριθμό των ικανοποιημένων κόμβων που παρατηρείται είναι λίγο μεγαλύτερη για την απαιτητική και την άπληστη πολιτική σε σχέση με την εγωιστική και την οκνηρή πολιτική. Αυτό οφείλεται στη συμπεριφορά που έχουν οι πολιτικές όταν βρίσκονται σε ικανοποιημένη κατάσταση. Στην οκνηρή πολιτική ένας ικανοποιημένος κόμβος, παραμένει ακίνητος οπότε αυξάνοντας το κατώφλι ικανοποίησης αυξάνεται και ο χρόνος που μένει ακίνητος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, όταν σταματήσει να τον ικανοποιεί η πληροφορία που έχει, να δυσκολευτεί περισσότερο να εντοπίσει ικανοποιητική πληροφορία καθώς οι αισθητήριοι κόμβοι που βρίσκονταν στη γειτονιά του θα έχουν απομακρυνθεί. Επομένως να μην μένει ικανοποιημένος για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα κατά μέσο όρο ο κάθε κόμβος αλλά το όφελος αυτό περιορίζεται από το μεγαλύτερο χρόνο για την ανακάλυψη ικανοποιητικής μέτρησης. Αντίστοιχα στην εγωιστική πολιτική, οι κόμβοι κινούνται τυχαία όταν είναι ικανοποιημένοι κι επομένως κατά πάσα πιθανότητα όταν σταματήσουν αρχίσουν να αναζητούν νέα πληροφορία θα έχουν απομακρυνθεί από την πηγή που τους παρείχε την προηγούμενη ικανοποιητική πληροφορία. Στις άλλες δύο πολιτικές αντίθετα, οι κόμβοι δεν κινούνται τυχαία όσο είναι ικανοποιημένοι αλλά έχουν συμπεριφορές που τείνουν να διατηρούν τους κόμβους κοντά στις πηγές πληροφορίας που έχουν προσεγγίσει. Η μεν απαιτητική πολιτική ακολουθεί τον κόμβο που της παρείχε την προηγούμενη ικανοποιητική πληροφορία ενώ η άπληστη πολιτική ακολουθεί οποιονδήποτε κόμβο βρει να έχει καλύτερης ποιότητας πληροφορία από αυτή που ήδη έχει ακόμα και όσο είναι σε κατάσταση ικανοποίησης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, όταν βρεθούν να μην έχουν ικανοποιητικής ποιότητας πληροφορία, να χρειάζονται λιγότερο χρόνο για να εντοπίσουν κόμβο με κατάλληλη πληροφορία.

Για μεγάλο αριθμό αισθητήρων και κόμβων, παρατηρούμε επίσης πως η αύξηση του κατωφλίου ικανοποίησης οδηγεί τελικά στο μέγιστο αριθμό ικανοποιημένων κόμβων για την απαιτητική και την άπληστη πολιτική καθώς οι αισθητήρες βρίσκουν με μεγάλη πιθανότητα άμεσα πληροφορία βέλτιστης ή πολύ κοντά στη βέλτιστη όταν την αναζητήσουν. Έτσι για ακραίες τιμές πλήθους κόμβων η άπληστη πολιτική έχει λίγο καλύτερη απόδοση σε σχέση με την απαιτητική πολιτική καθώς το θεωρητικό της μέγιστο είναι μεγαλύτερο. Αυξάνοντας το κατώφλι ικανοποίησης, το ανώτατο θεωρητικό όριο των υπόλοιπων πολιτικών πέραν της άπληστης βελτιώνεται και τείνει να φτάσει σε αυτό της άπληστης. Παρόλα αυτά η άπληστη πολιτική είναι πιθανότερο να φτάσει στο θεωρητικό της μέγιστο από τις άλλες πολιτικές καθώς η προϋπόθεση για να γίνει αυτό είναι κάθε κόμβος να βρίσκει κάποιον κόμβο με καλύτερη πληροφορία προτού σταματήσει να τον ικανοποιεί η πληροφορία που ήδη έχει. Αντίθετα, για να καταφέρουν οι υπόλοιπες πολιτικές να φτάσουν στο θεωρητικό τους μέγιστο, πρέπει να είναι σε θέση να βρουν γειτονικό κόμβο με πληροφορία ελάχιστης παλαιότητας ακριβώς τη χρονική στιγμή που σταματά να τους ικανοποιεί η πληροφορία που έχουν διαθέσιμη.



Εικόνα 12: Πλήθος ικανοποιημένων κόμβων για μικρό κατώφλι ικανοποίησης

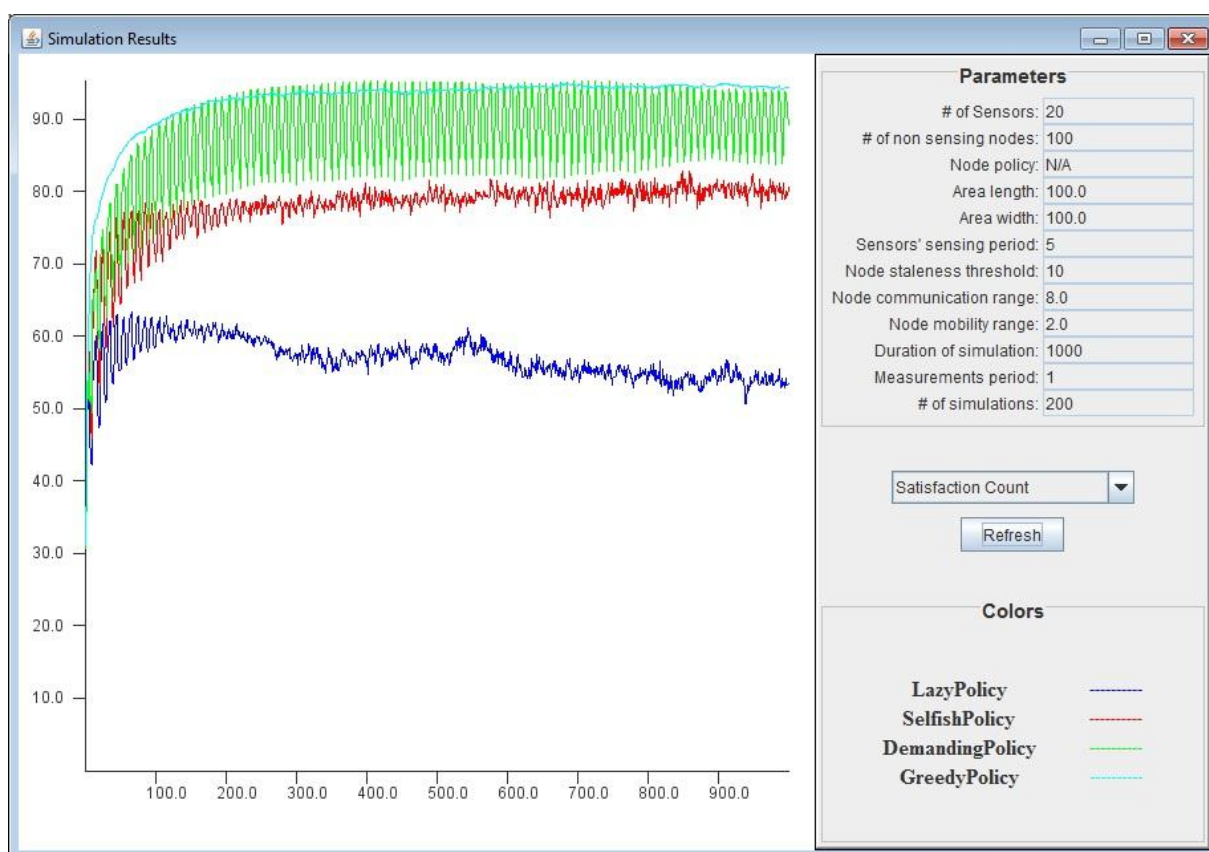


Εικόνα 13: Πλήθος ικανοποιημένων κόμβων για μεγάλο κατώφλι ικανοποίησης

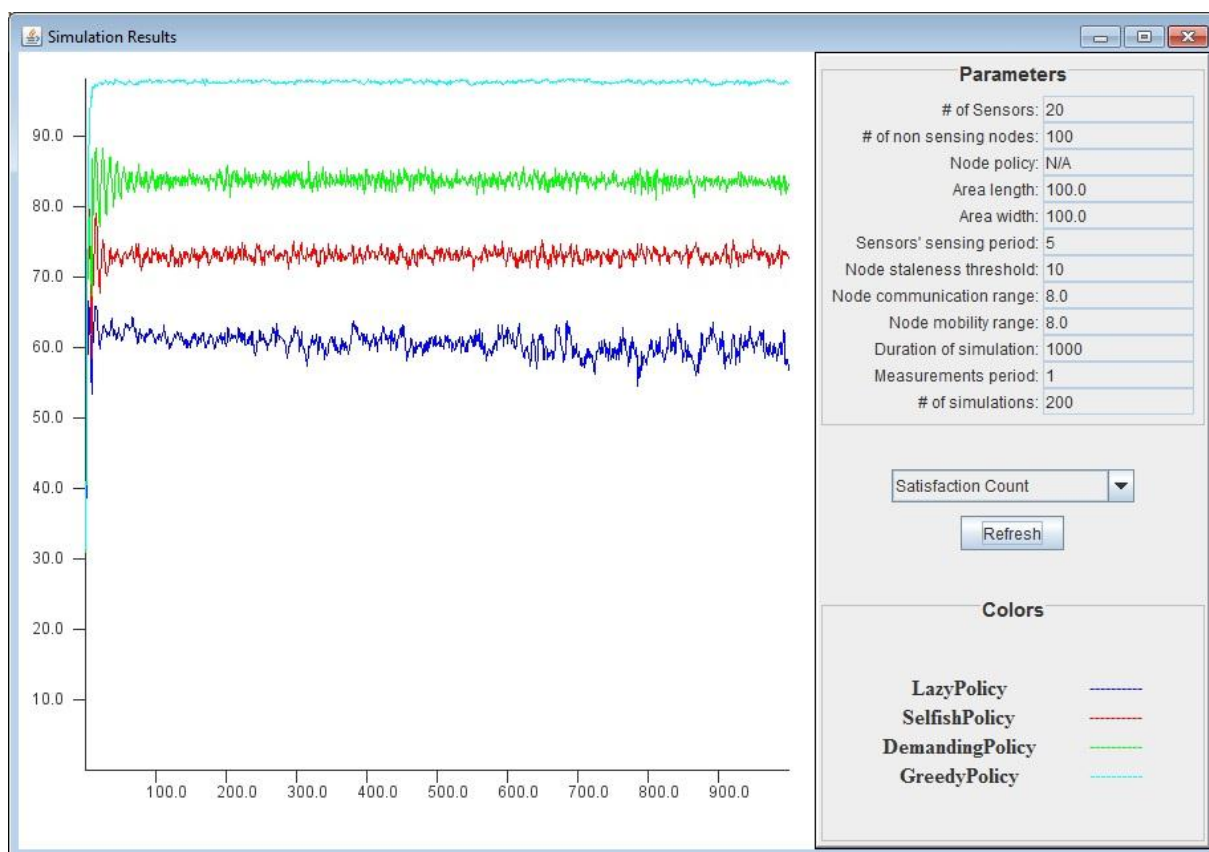
5.5.1.3 Η επίδραση της ταχύτητας κίνησης

Η αύξηση της εμβέλειας κίνησης φαίνεται να επηρεάζει την ταχύτητα σύγκλισης για όλες τις πολιτικές. Μεγάλες τιμές της εμβέλειας κίνησης οδηγούν σε γρηγορότερη σύγκλιση ως προς τον αριθμό των ικανοποιημένων κόμβων.

Ωστόσο η μεγάλη εμβέλεια κίνησης αυξάνει και την πιθανότητα να εγκλωβιστεί κάποιος κόμβος σε κάποιο τοπικό μέγιστο. Όσο η ταχύτητα κίνησης προσεγγίζει την εμβέλεια επικοινωνίας, κάθε κόμβος κινείται γρήγορα προς τον καλύτερο κόμβο που βρίσκεται στην εμβέλεια του χωρίς να εξερευνά τόσο καλά τους κόμβους που βρίσκονται ενδιάμεσα. Γι αυτό παρατηρείται σε ορισμένες περιπτώσεις πως η αύξηση της εμβέλειας κίνησης οδηγεί σε μικρή μείωση του συνολικού πλήθους ικανοποιημένων κόμβων στο οποίο συγκλίνει η κάθε πολιτική. Η άπληστη πολιτική είναι λιγότερο ευαίσθητη σε αυτό το φαινόμενο καθώς εξερευνά τους γειτονικούς της κόμβους ακόμα και όταν είναι σε κατάσταση ικανοποίησης, οπότε έχει μεγαλύτερο περιθώριο να ανακαλύψει καλύτερους κόμβους που πιθανώς να έχει προσπεράσει σε προηγούμενη χρονική στιγμή.



Εικόνα 14: Πλήθος ικανοποιημένων κόμβων για μικρή εμβέλεια κίνησης



Εικόνα 15: Πλήθος ικανοποιημένων κόμβων για μεγάλη εμβέλεια κίνησης

5.5.2 Κόστος μεταφοράς δεδομένων

Το κόστος μεταφοράς δεδομένων εκφράζει την ενέργεια που καταναλώνεται συνολικά από τους κόμβους του συστήματος σε κάθε χρονική στιγμή, για μεταδόσεις της πληροφορίας πλαισίου. Τέτοιες μεταφορές λαμβάνουν χώρα όταν κάποιος κόμβος εντοπίσει κάποιον γειτονικό του κόμβο με πληροφορία πλαισίου καλύτερης ποιότητας.

Το κόστος μεταφοράς δεδομένων επιδιώκουμε να είναι χαμηλό καθώς αυτό σημαίνει μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Ωστόσο το χαμηλό κόστος επικοινωνίας μπορεί και να οφείλεται στην αδυναμία εύρεσης ικανοποιητικής μέτρησης. Επομένως αυτό που κάνει μια πολιτική να είναι πρακτικά καλή από άποψη κόστους μεταφοράς δεδομένων, είναι να έχει χαμηλό κόστος μεταφοράς δεδομένων όταν τα επίπεδα ικανοποίησης των κόμβων είναι υψηλά. Αυτό εκφράζεται από το λόγο της ικανοποίησης των κόμβων προς το φόρτο επικοινωνιών τον οποίο θα μελετήσουμε στο επόμενο υποκεφάλαιο.

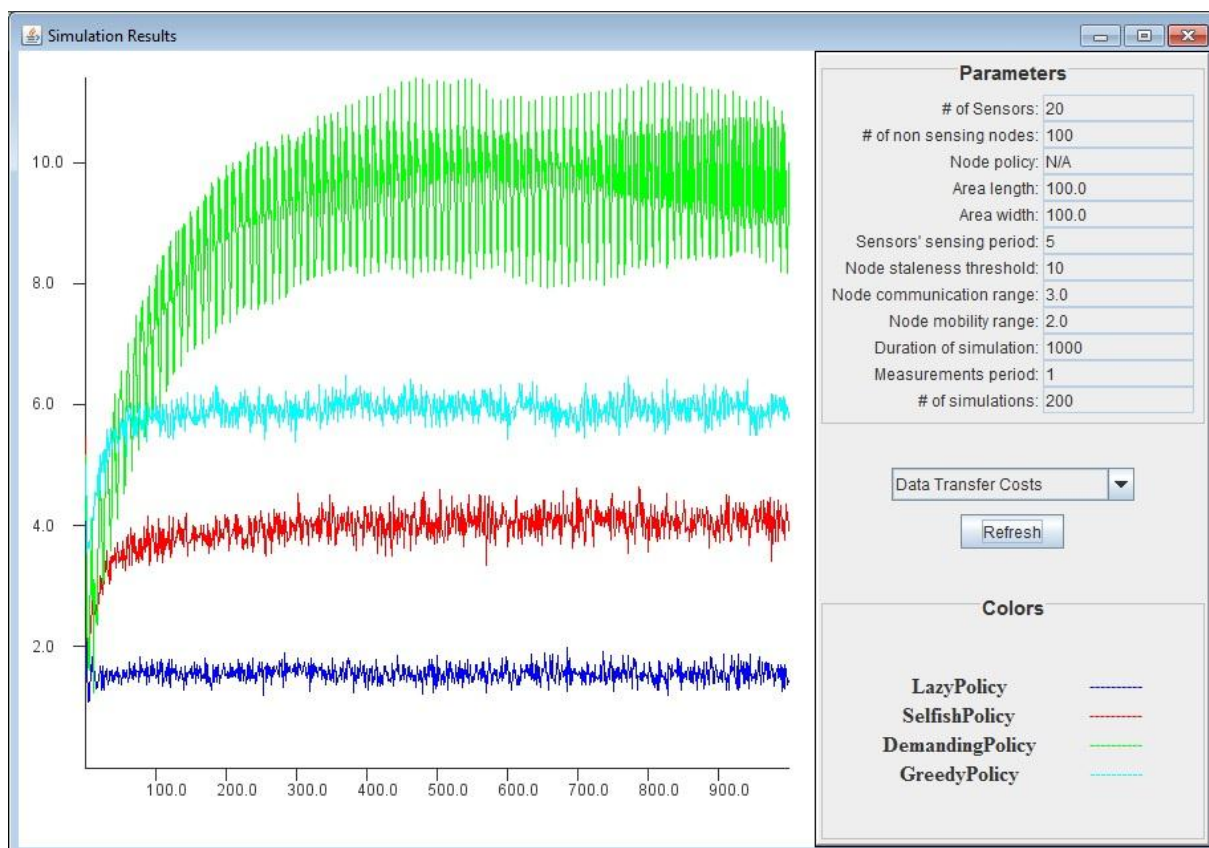
Όσον αφορά τις επιδόσεις των πολιτικών σε σχέση με το κόστος μεταφοράς δεδομένων, παρατηρούμε πως η άπληστη πολιτική έχει σημαντικά μεγαλύτερο κόστος μεταφοράς δεδομένων σε σχέση με τις άλλες πολιτικές. Οι μόνες εξαιρέσεις σε αυτό τον κανόνα είναι όταν η πολιτική αυτή έχει πολύ χαμηλό αριθμό ικανοποιημένων κόμβων. Για παράδειγμα για μικρή πυκνότητα κόμβων στη μονάδα του χώρου και μικρή εμβέλεια επικοινωνίας, στην άπληστη πολιτική παρατηρείται αδυναμία εύρεσης ικανοποιητικής μέτρησης σε μεγάλο βαθμό όπως είδαμε και στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Αντίθετα η απαιτητική πολιτική έχει μεγάλο αριθμό ικανοποιημένων κόμβων. Έτσι στην άπληστη πολιτική οι κόμβοι δεν εντοπίζουν ικανοποιητικούς γειτονικούς κόμβους συχνά με αποτέλεσμα να είναι περιορισμένες και οι μεταφορές δεδομένων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η απαιτητική πολιτική να έχει μεγαλύτερο κόστος μεταφοράς δεδομένων

στις περιπτώσεις αυτές.

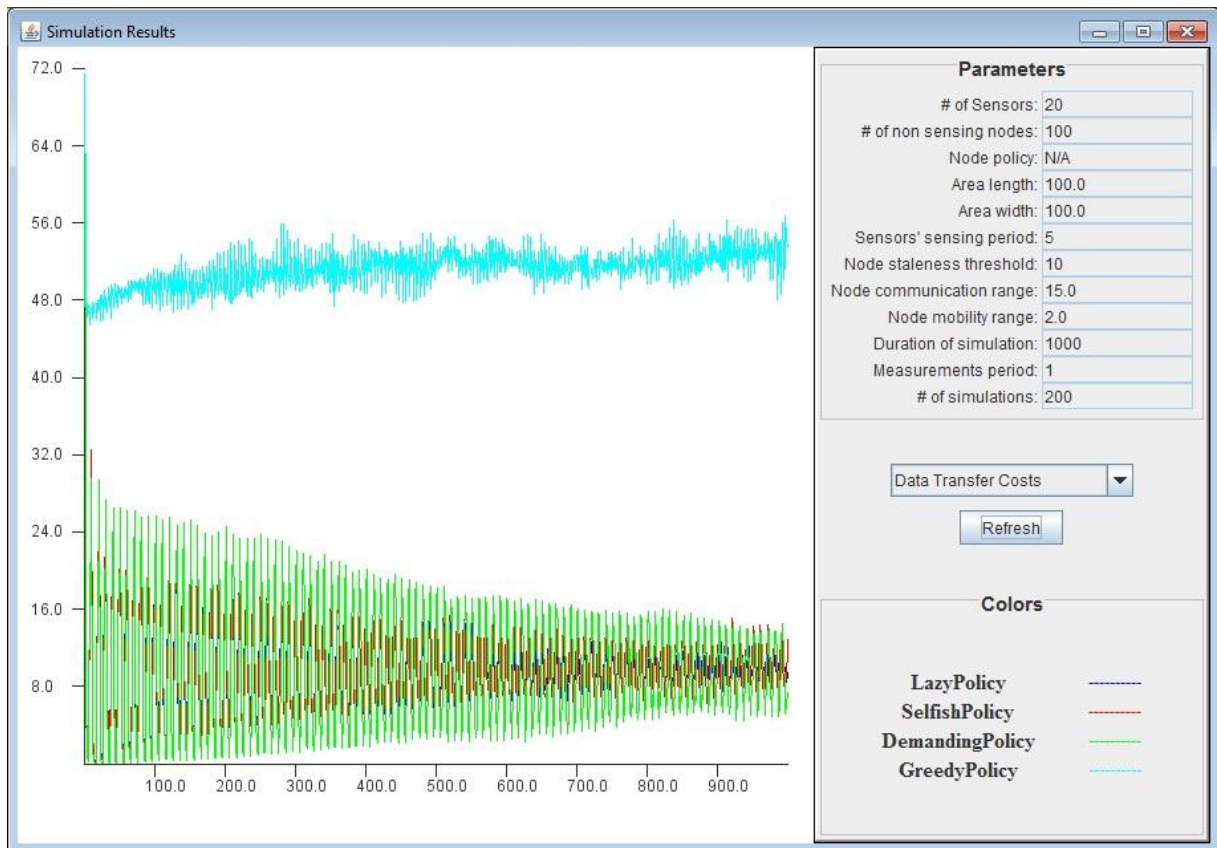
Το υψηλό κόστος της απαιτητικής πολιτικής οφείλεται στο ότι οι κόμβοι αναζητούν καλύτερη πληροφορία μονίμως, ακόμα και όταν η πληροφορία που ήδη έχουν είναι ικανοποιητική. Αντίθετα, σε όλες τις άλλες πολιτικές, οι κόμβοι δεν ζητούν νέα πληροφορία όταν η υπάρχουσα πληροφορία είναι κάτω από το όριο παλαιότητας που τους ικανοποιεί.

5.5.2.1 Η επίδραση της εμβέλειας επικοινωνίας

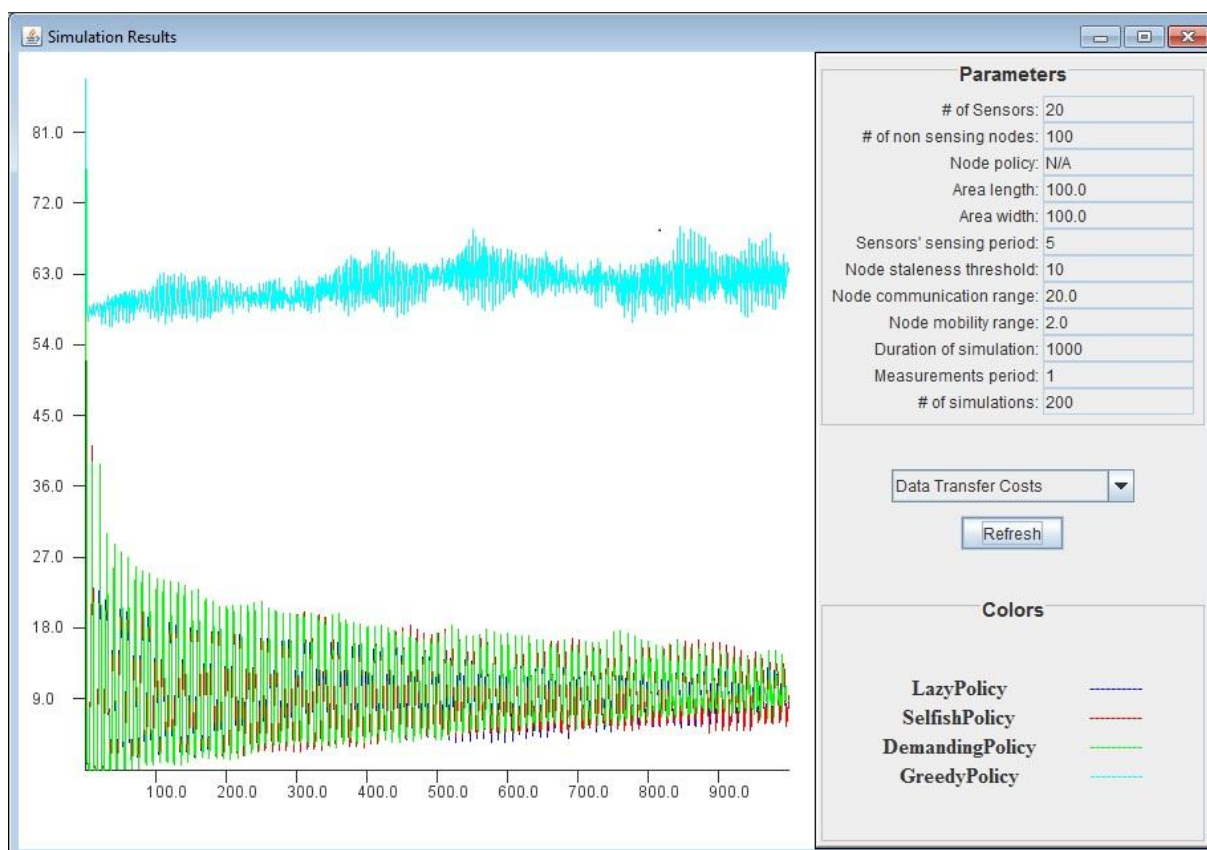
Αυξάνοντας την εμβέλεια επικοινωνίας αυξάνεται και η πιθανότητα που έχεις κάθε κόμβος να εντοπίσει κόμβο με καλύτερη πληροφορία από αυτή που έχει ήδη. Επομένως αυξάνονται οι μεταφορές δεδομένων. Ωστόσο στην οκνηρή, την απαιτητική και την εγωιστική πολιτική, αυτή η αύξηση στις μεταφορές δεδομένων συνεπάγεται και αύξηση στον πλήθος των ικανοποιημένων κόμβων κάθε χρονική στιγμή. Αυτό συμβαίνει γιατί, στις πολιτικές αυτές μόνο οι μη ικανοποιημένοι κόμβοι αναζητούν νέα πληροφορία. Επομένως, κάθε τέτοια μεταφορά δεδομένων σημαίνει πως κάποιος κόμβος έγινε ικανοποιημένος. Αντίθετα στην άπληστη πολιτική, η μεταφορά δεδομένων από έναν κόμβο με καλύτερης ποιότητας πληροφορίας προς ένα γειτονικό του, δεν συνεπάγεται απαραίτητα και αύξηση των ικανοποιημένων κόμβων, καθώς ο αποδέκτης των δεδομένων μπορεί να ήταν ήδη ικανοποιημένος. Επομένως η αύξηση στην εμβέλεια επικοινωνίας αυξάνει κατά πολύ περισσότερο το κόστος μεταφοράς δεδομένων για την άπληστη πολιτική παρά για τις υπόλοιπες.



Εικόνα 16: Κόστος μεταφοράς δεδομένων για μικρή εμβέλεια επικοινωνίας. Στο συγκεκριμένο πείραμα όλες οι πολιτικές εκτός από την απαιτητική έχουν πολύ χαμηλό αριθμό ικανοποιημένων κόμβων κι επομένως πολύ λίγες μεταφορές δεδομένων.



Εικόνα 17: Κόστος μεταφοράς δεδομένων για μέση εμβέλεια επικοινωνίας. Παρατηρούμε πως αυξάνοντας την εμβέλεια επικοινωνίας αυξάνεται και το κόστος μεταφοράς δεδομένων. Η άπληστη πολιτική έχει πολύ μεγάλη αύξηση ενώ οι υπόλοιπες πολιτικές έχουν κατά μέσο όρο παρόμοιο κόστος.



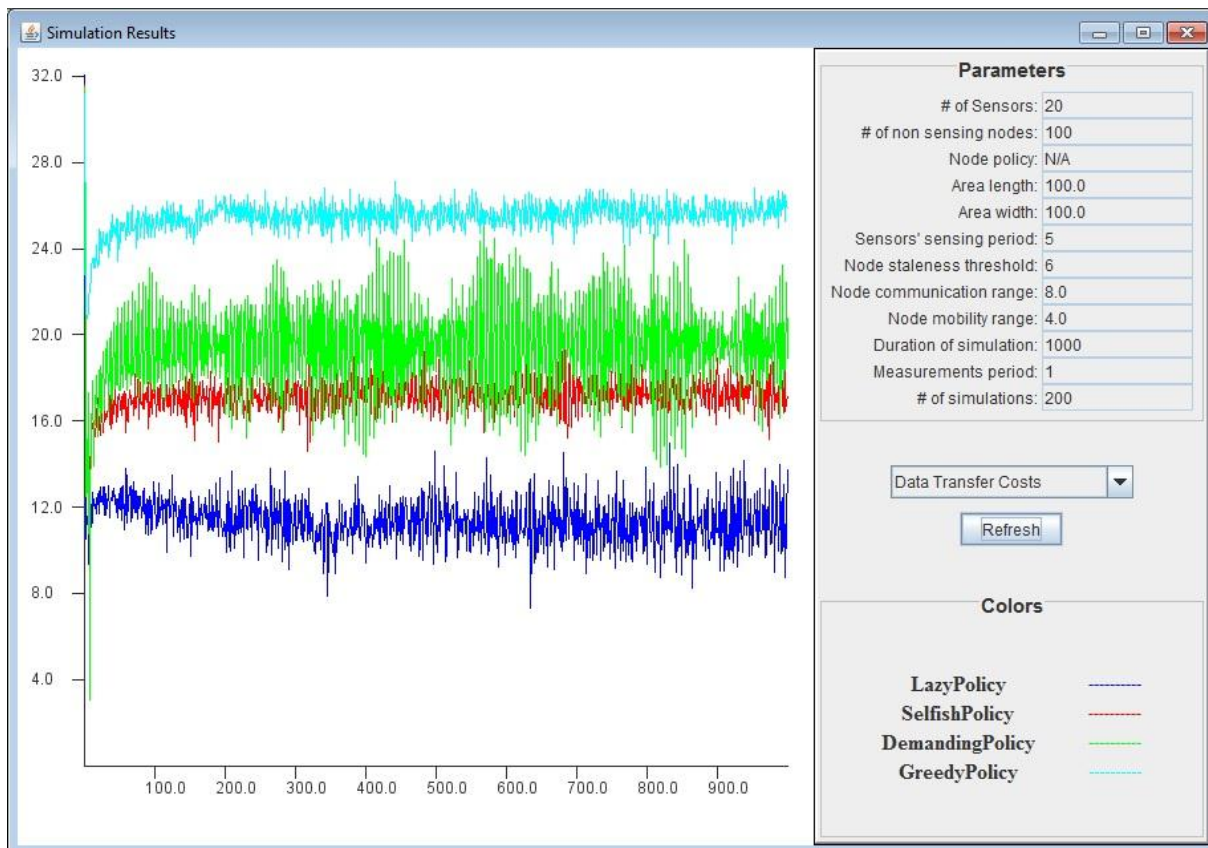
Εικόνα 18: Κόστος μεταφοράς δεδομένων για μεγάλη εμβέλεια επικοινωνίας. Παρατηρούμε πως αυξάνοντας την εμβέλεια επικοινωνίας ακόμα περισσότερο, το κόστος μεταφοράς δεδομένων αυξάνεται μόνο για την άπληστη πολιτική. Στις υπόλοιπες δεν υπάρχει αύξηση καθώς ο αριθμός ικανοποιημένων κόμβων είχε ήδη φτάσει πολύ κοντά στο μέγιστο.

5.5.2.2 Η επίδραση του κατωφλίου ποιότητας

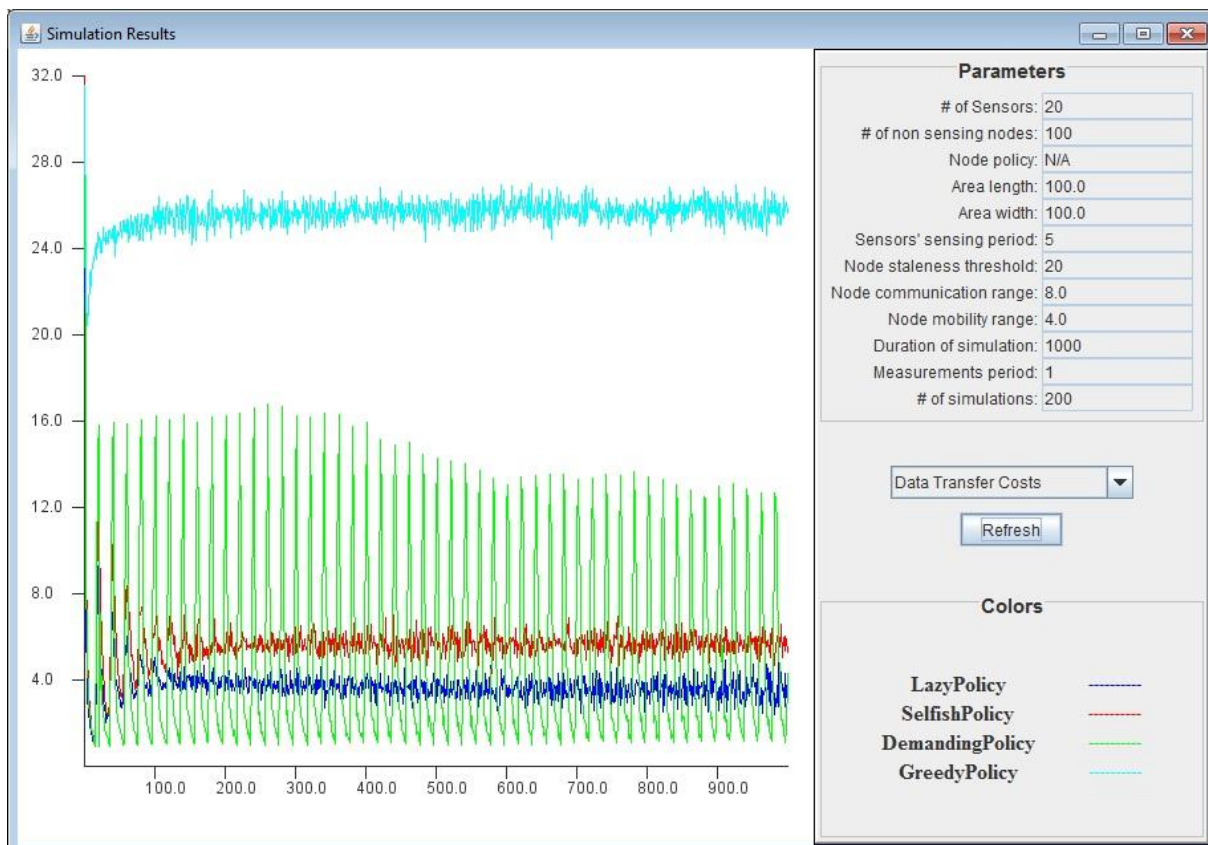
Από τα πειράματα που διεξήχθησαν παρατηρήθηκε πως το κόστος μεταφοράς δεδομένων παραμένει ανεπηρέαστο από το κατώφλι ικανοποίησης των κόμβων στην άπληστη πολιτική, ενώ στις υπόλοιπες πολιτικές περιορίζεται όσο αυξάνεται το κατώφλι.

Στην άπληστη πολιτική, η συμπεριφορά των κόμβων παραμένει η ίδια είτε είναι ικανοποιημένοι είτε όχι. Η γειτονιά εξερευνείται σε κάθε χρονική στιγμή και μόλις βρεθεί πληροφορία καλύτερης ποιότητας από την ποιότητα που έχει ο κόμβος, η πληροφορία αυτή μεταδίδεται. Επομένως, το κόστος μετάδοσης δεδομένων παραμένει ίδιο είτε υπάρχει απαίτηση για πολύ πρόσφατη πληροφορία είτε όχι.

Στις υπόλοιπες πολιτικές αντίθετα, επειδή μεταδόσεις δεδομένων προς έναν κόμβο γίνονται μόνο όταν αυτός ο κόμβος δεν έχει ικανοποιητικής παλαιότητας πληροφορία, η αύξηση του κατωφλίου έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους μεταφοράς δεδομένων. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς αυξάνοντας το κατώφλι αυξάνεται ο μέσος χρόνος ικανοποίησης όπως είδαμε και στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, οπότε μειώνεται και ο χρόνος το ποσοστό του χρόνου κατά τον οποίο οι κόμβοι ανταλλάσσουν πληροφορία πλαισίου.



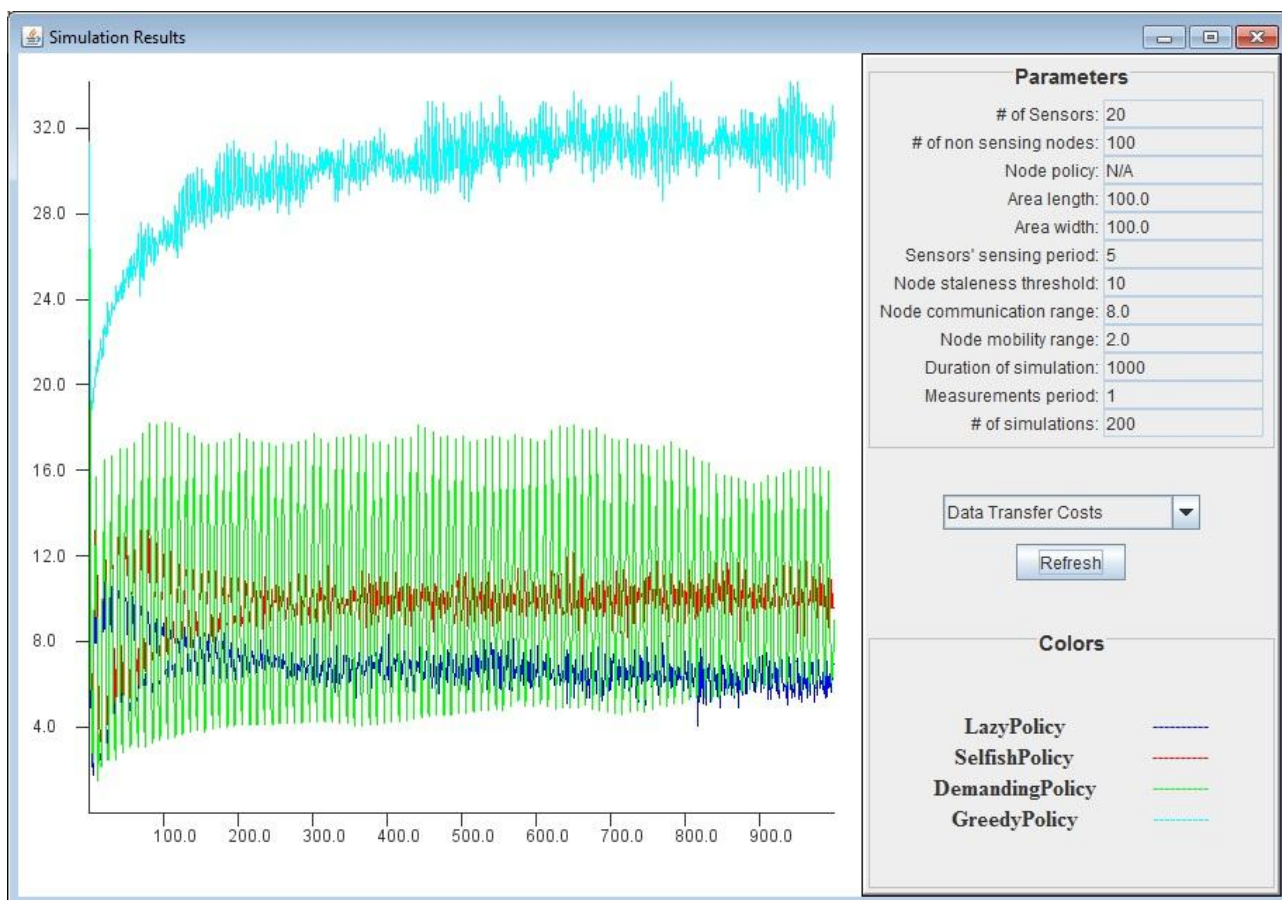
Εικόνα 19: Κόστος μεταφοράς δεδομένων για χαμηλό κατώφλι ικανοποίησης.



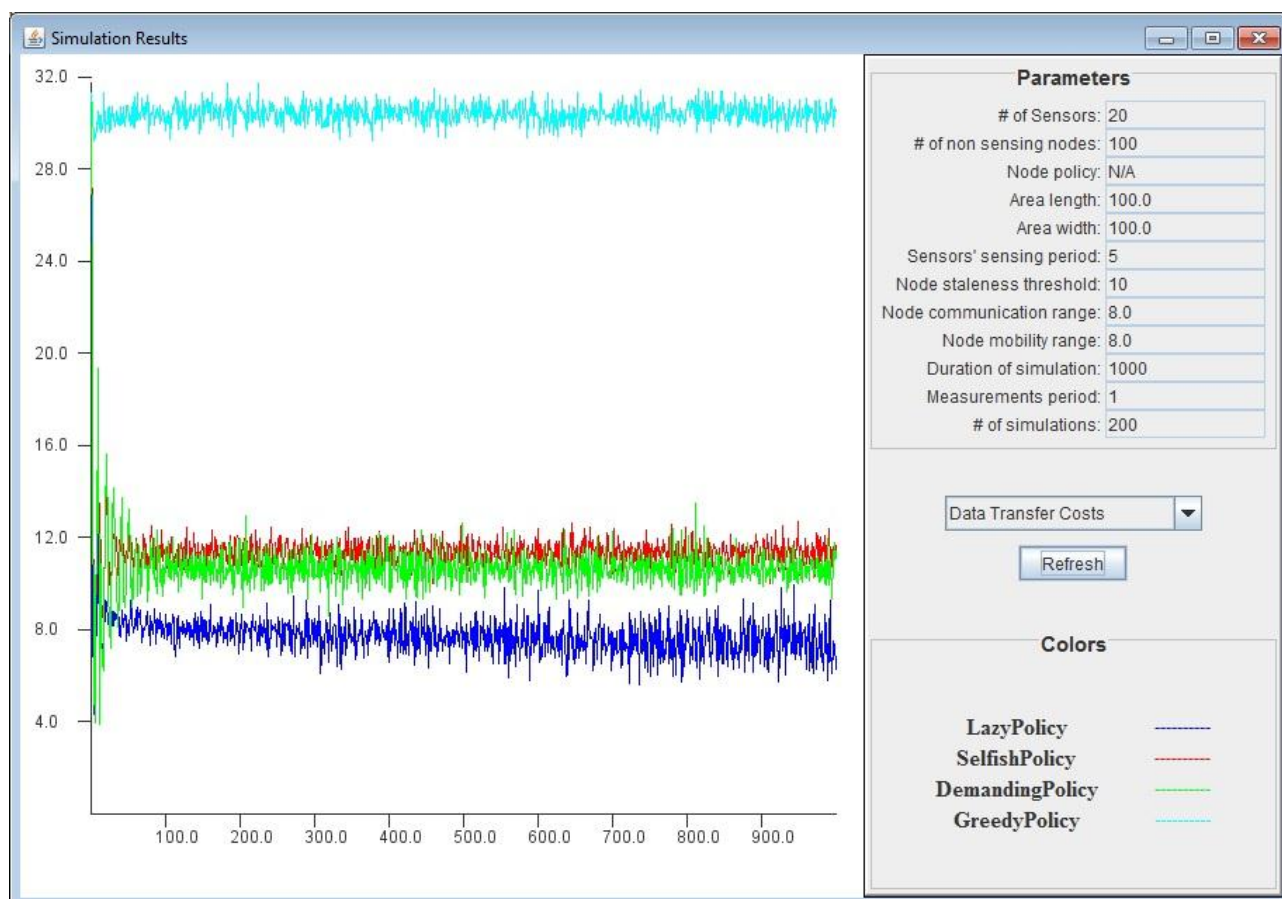
Εικόνα 20: Κόστος μεταφοράς δεδομένων για μεγαλύτερο κατώφλι ικανοποίησης.

5.5.2.3 Η επίδραση της ταχύτητας κίνησης

Η αύξηση της εμβέλειας κίνησης παρατηρήθηκε να αυξάνει την ταχύτητα της σύγκλισης του κόστους επικοινωνίας. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αυξάνοντας την εμβέλεια κίνησης παρατηρείται ταχύτερη σύγκλιση και ως προς τον αριθμό των ικανοποιημένων κόμβων. Δεν παρατηρείται κάποια σημαντική συσχέτιση της ταχύτητας κίνησης με την τιμή στην οποία συγκλίνει η κάθε πολιτική τελικά.



Εικόνα 21: Κόστος μεταφοράς δεδομένων για μικρή εμβέλεια κίνησης.



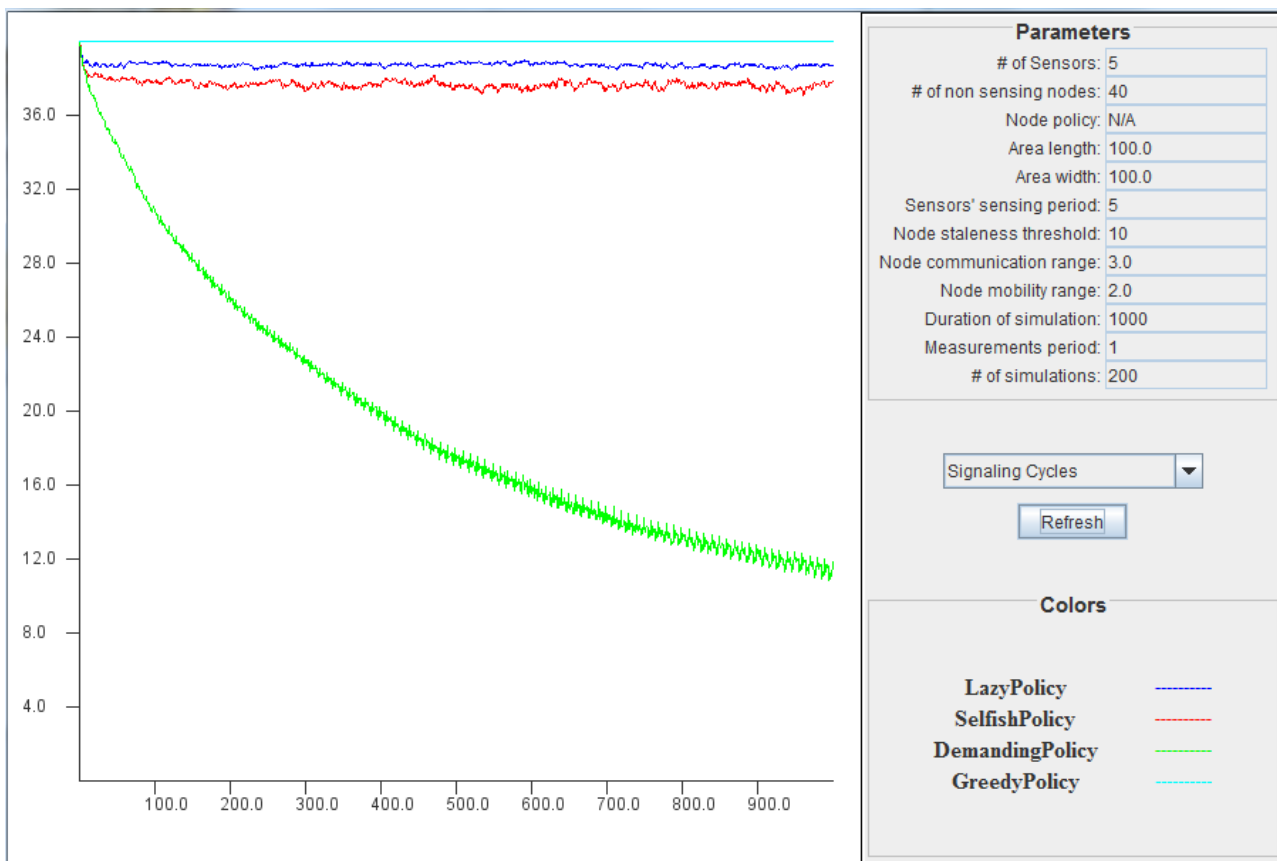
Εικόνα 22: Κόστος μεταφοράς δεδομένων για μεγάλη εμβέλεια κίνησης. Παρατηρούμε πως οι μέσες τιμές στις οποίες συγκλίνει η κάθε πολιτική δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα με την αύξηση της ταχύτητας κίνησης. Η σύγκλιση αντίθετα, είναι πιο γρήγορη για μεγάλες τιμές της ταχύτητας κίνησης.

5.5.3 Αριθμός κύκλων σηματοδοσίας

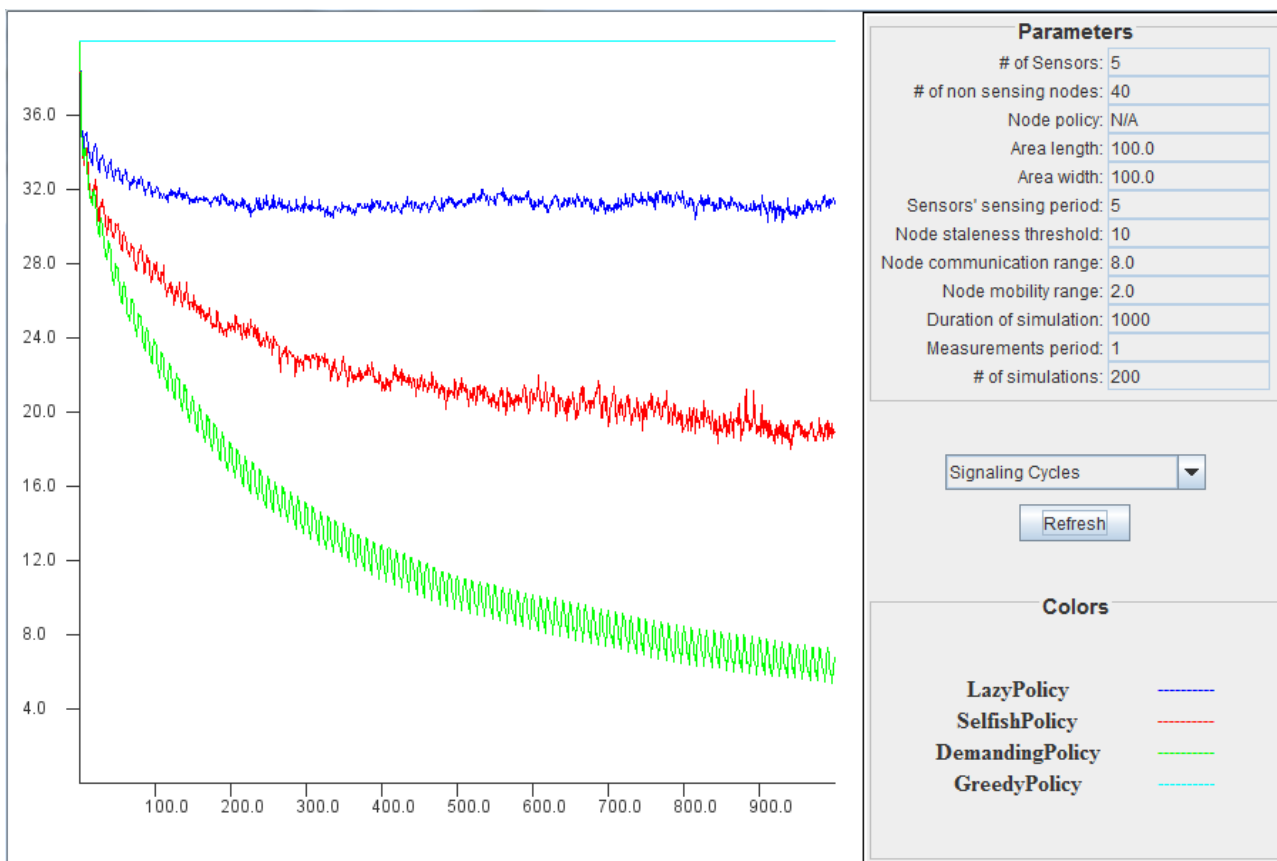
5.5.3.1 Η επίδραση της εμβέλειας επικοινωνίας

Παρατηρώντας την επίδραση της ακτίνας επικοινωνίας των κόμβων διαπιστώνουμε ότι η άπληστη πολιτική έχει το μέγιστο δυνατό αριθμό κύκλων σηματοδοσίας ανεξάρτητα από την ακτίνα επικοινωνίας των κόμβων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι σύμφωνα με την άπληστη πολιτική κάθε μη αισθητήριος κόμβος πρέπει σε κάθε βήμα να επιχειρεί να εντοπίσει πιθανούς γείτονές του, ανεξάρτητα από το κατά πόσο βρίσκεται σε κατάσταση ικανοποίησης.

Σχετικά με τις υπόλοιπες πολιτικές, παρατηρούμε ότι η οκνηρή απαιτεί περισσότερους κύκλους από ότι η εγωιστική, ενώ η απαιτητική χρησιμοποιεί τους λιγότερους κύκλους σηματοδοσίας από όλες τις πολιτικές. Σε όλες τις περιπτώσεις πολιτικών πλην της άπληστης παρατηρείται μείωση του αριθμού των απαιτούμενων κύκλων σηματοδοσίας με την αύξηση της ακτίνας επικοινωνίας.



Εικόνα 23: Αριθμός κύκλων σηματοδosis για μικρή εμβέλεια επικοινωνίας

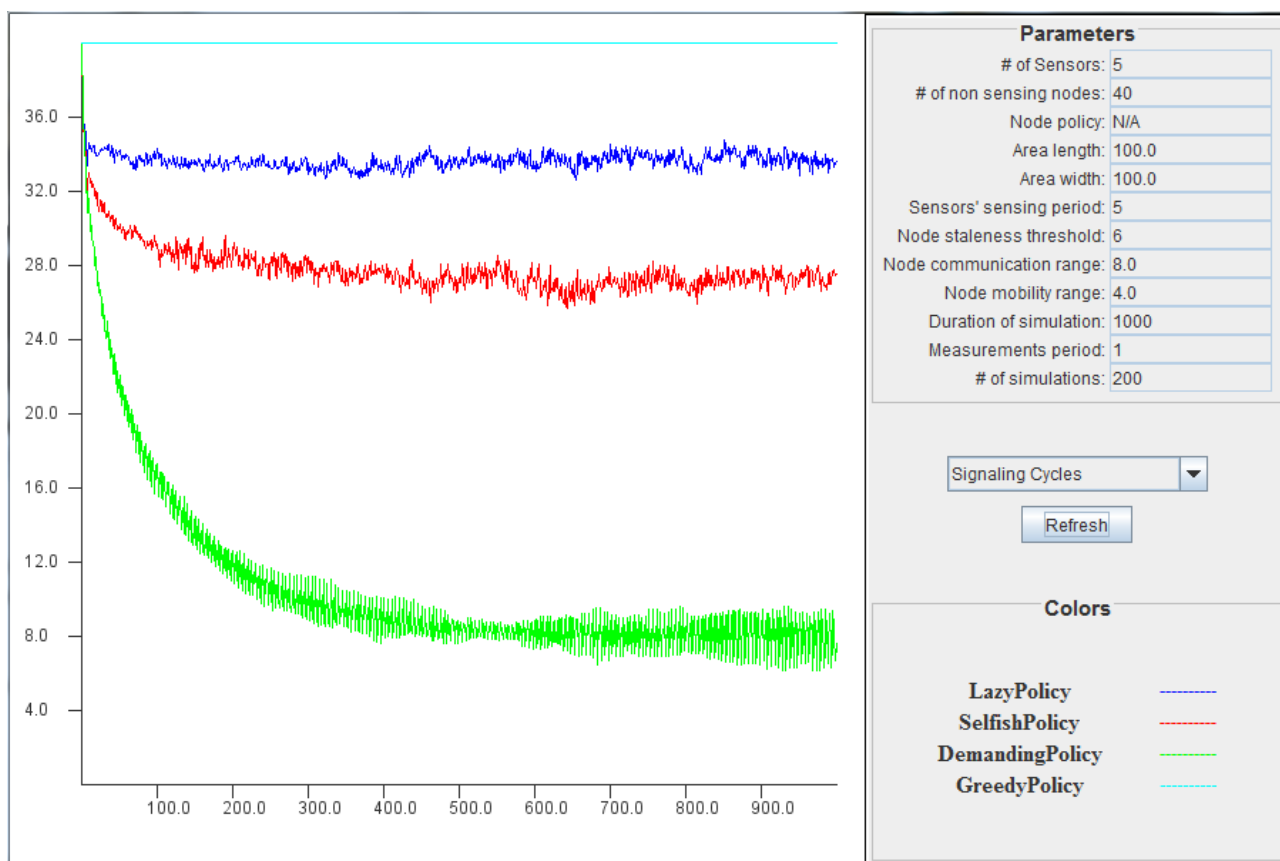


Εικόνα 24: Αριθμός κύκλων σηματοδosis για μεγάλη εμβέλεια επικοινωνίας

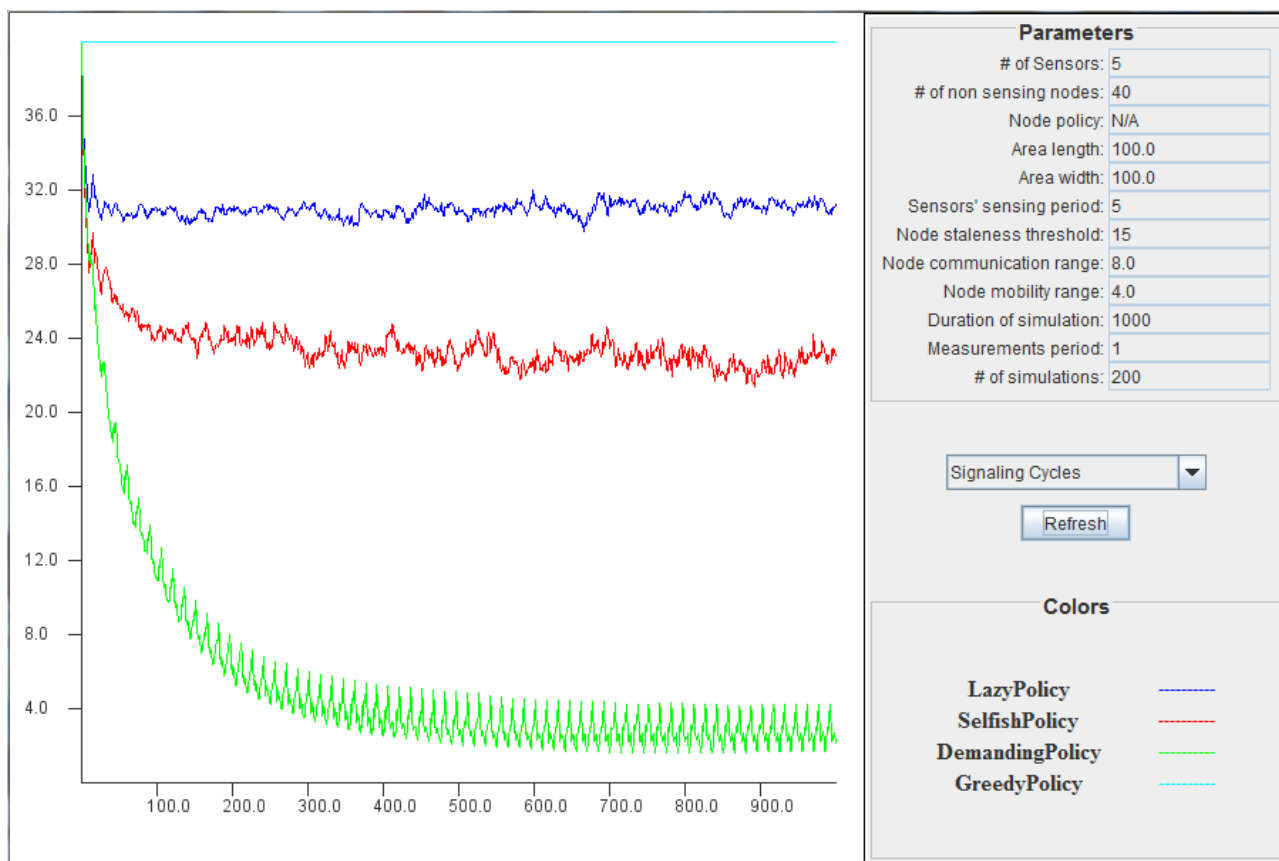
5.5.3.2 Η επίδραση του κατωφλίου ποιότητας

Παρατηρώντας την επίδραση του κατωφλίου ποιότητας των μη αισθητήριων κόμβων διαπιστώνουμε ότι η άπληστη πολιτική έχει το μέγιστο δυνατό αριθμό κύκλων σηματοδosis ανεξάρτητα από την τιμή του κατωφλίου ποιότητας. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι σύμφωνα με την άπληστη πολιτική κάθε μη αισθητήριος κόμβος πρέπει σε κάθε βήμα να επιχειρεί να εντοπίσει πιθανούς γείτονές του, ανεξάρτητα από το κατά πόσο βρίσκεται σε κατάσταση ικανοποίησης.

Όσον αφορά τις υπόλοιπες πολιτικές παρατηρούμε ότι η σκνηρή απαιτεί περισσότερους κύκλους από ότι η εγωιστική, ενώ η απαιτητική χρησιμοποιεί το μικρότερο αριθμό κύκλων σηματοδosis. Επιπροσθέτως παρατηρούμε ότι η αύξηση του κατωφλίου ποιότητας προκαλεί μείωση των απαιτούμενων κύκλων σηματοδosis σε όλες τις περιπτώσεις πολιτικών πλην της άπληστης πολιτικής.



Εικόνα 25: Αριθμός κύκλων σηματοδosis για μικρό κατώφλι ποιότητας πληροφορίας πλαισίου

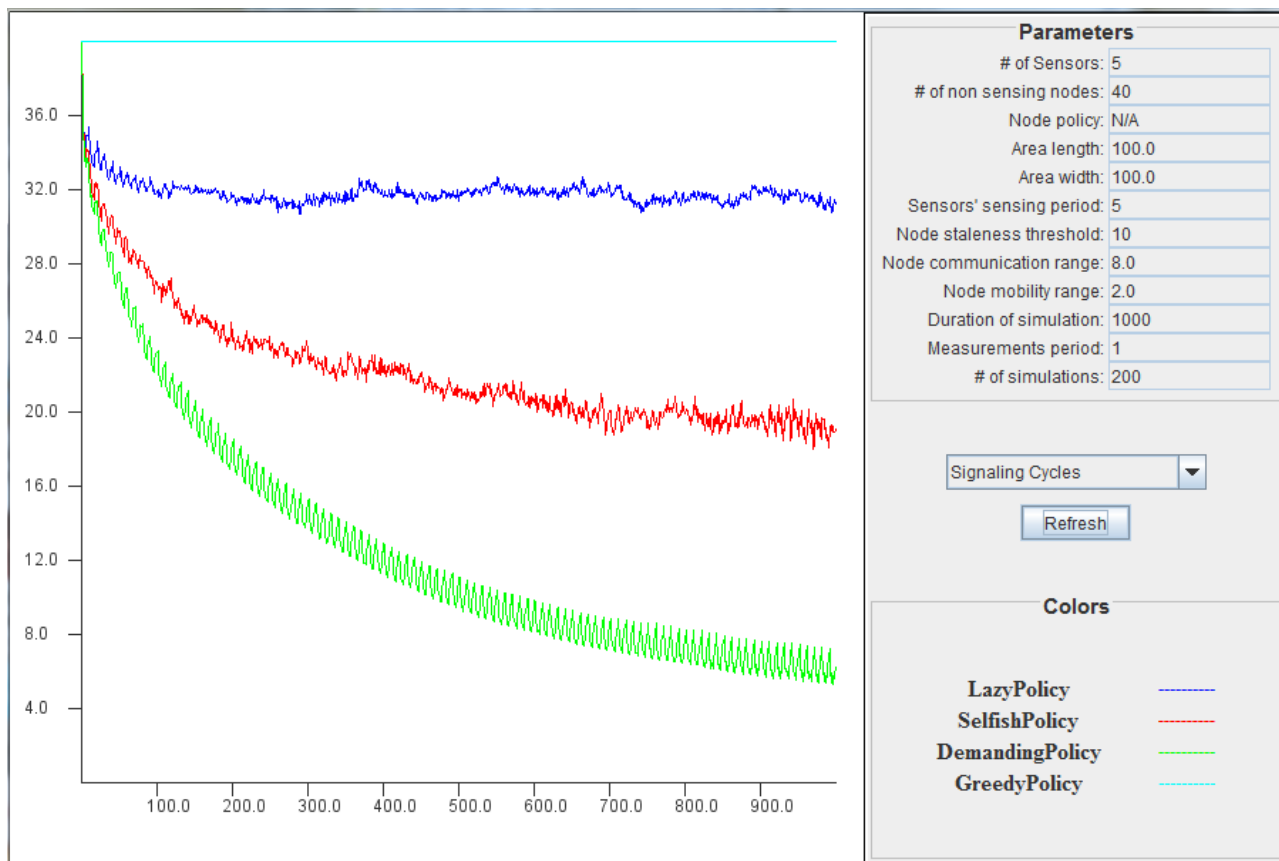


Εικόνα 26: Αριθμός κύκλων σηματοδότησης για μεγάλο κατώφλι ποιότητας πληροφορίας πλαισίου

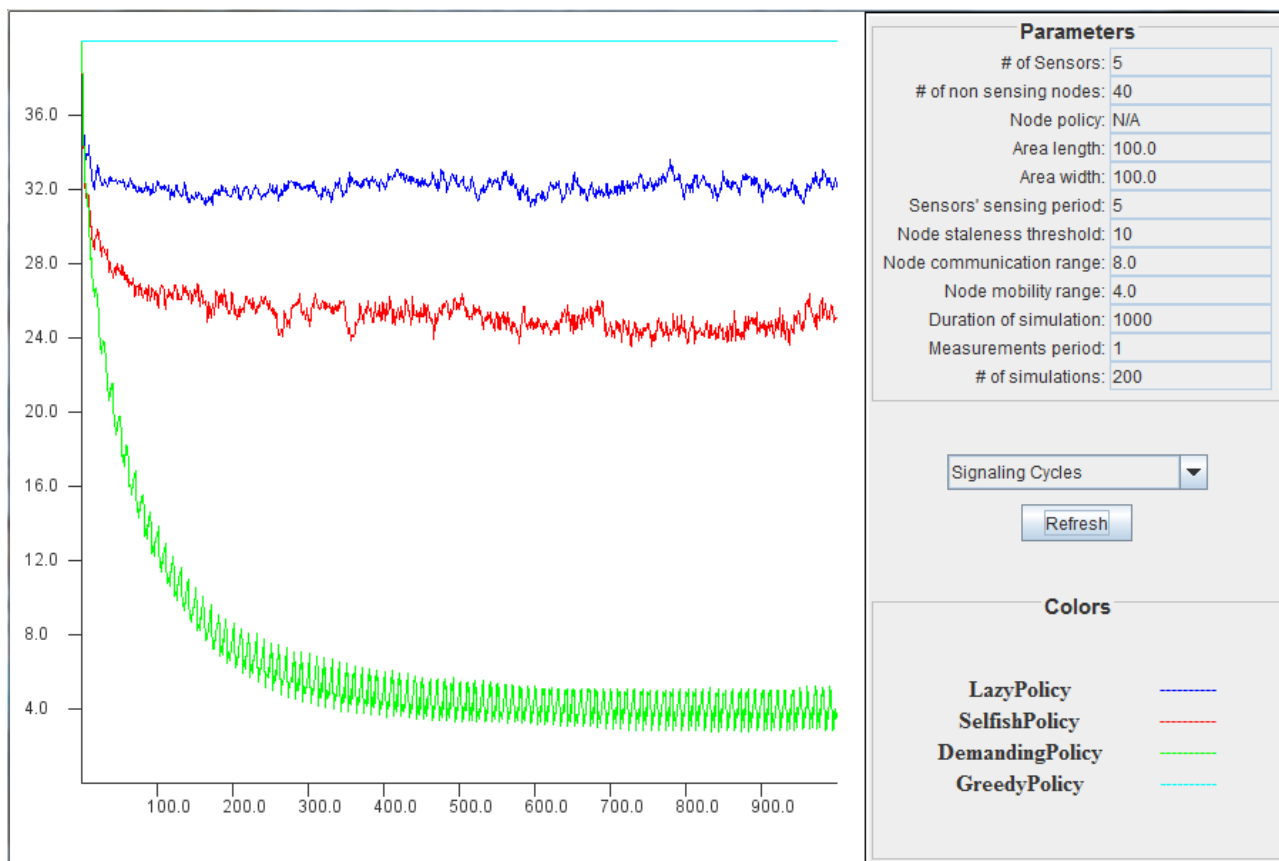
5.5.3.3 Η επίδραση της εμβέλειας επικοινωνίας

Παρατηρώντας την επίδραση της ταχύτητας κίνησης επικοινωνίας των κόμβων διαπιστώνουμε ότι η άπληστη πολιτική έχει το μέγιστο δυνατό αριθμό κύκλων σηματοδότησης ανεξάρτητα από την ταχύτητα κίνησης των κόμβων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι σύμφωνα με την άπληστη πολιτική κάθε μη αισθητήριο κόμβος πρέπει σε κάθε βήμα να επιχειρεί να εντοπίσει πιθανούς γείτονές του, ανεξάρτητα από το κατά πόσο βρίσκεται σε κατάσταση ικανοποίησης.

Όσον αφορά τις υπόλοιπες πολιτικές παρατηρούμε ότι η σκνηρή απαιτεί περισσότερους κύκλους από ότι η εγωιστική, ενώ η απαιτητική χρησιμοποιεί το μικρότερο αριθμό κύκλων σηματοδότησης. Επιπροσθέτως παρατηρούμε ότι η αύξηση της ταχύτητας κίνησης οδηγεί σε μείωση των κύκλων που χρησιμοποιεί η απαιτητική. Αντίθετα οι ανάγκες της εγωιστικής σε κύκλους σηματοδότησης αυξάνονται με την αύξηση της ταχύτητας κίνησης. Η σκνηρή δεν επηρεάζεται αισθητά από την αύξηση της ταχύτητας κίνησης των κόμβων.



Εικόνα 27: Αριθμός κύκλων σηματοδότησης για μικρή ταχύτητα κίνησης



Εικόνα 28: Αριθμός κύκλων σηματοδότησης για μεγάλη ταχύτητα κίνησης

5.5.4 Λόγος ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών

Ο λόγος ικανοποίησης προς το φόρτο επικοινωνιών εκφράζει το κατά πόσο μια πολιτική καταφέρνει να πετύχει το στόχο, που είναι να έχει όσο το δυνατόν περισσότερους ικανοποιημένους κόμβους σε κάθε χρονική στιγμή, λαμβάνοντας υπόψη ταυτόχρονα και το κόστος το οποίο υπάρχει για την επίτευξη του συγκεκριμένου αποτελέσματος. Για το λόγο αυτό αποτελεί πολύ σημαντική μετρική για ένα σύστημα. Ως ένδειξη του φόρτου επικοινωνιών χρησιμοποιήσαμε το άθροισμα του κόστους επικοινωνιών συν τους κύκλους σηματοδοσίας.

Παρατηρήθηκε πως η άπληστη πολιτική σε όλα σχεδόν τα πειράματα όπου υπήρχε ικανοποιητικός αριθμός ικανοποιημένων κόμβων, είχε πολύ χαμηλή απόδοση ως προς τη μετρική αυτή σε σχέση με τις υπόλοιπες πολιτικές. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς στην πολιτική αυτή το κόστος είναι πολύ υψηλό. Αυτό ισχύει τόσο για το κόστος σηματοδοσίας όσο και για το κόστος μεταφοράς δεδομένων. Το μεν κόστος σηματοδοσίας υφίσταται πάντα για κάθε κόμβο του συστήματος αφού όλοι οι κόμβοι ερευνούν μονίμως τους γειτονικούς τους κόμβους για τυχόν ύπαρξη πληροφορίας καλύτερης ποιότητας. Το δε κόστος μεταφοράς δεδομένων είναι επίσης υψηλό καθώς ακόμα και όταν ο κόμβος έχει πολύ πρόσφατη πληροφορία, υπάρχει περίπτωση να λάβει νέα πληροφορία πλαισίου επειδή κάποιος γειτονικός κόμβος είχε λίγο καλύτερης ποιότητας πληροφορία. Αυτό όμως πρακτικά οδηγεί σε δυσανάλογα μεγάλη αύξηση του κόστους σε σχέση με το κέρδος που υπάρχει σε χρόνο κατά τον οποίο μένουν ικανοποιημένοι ο κόμβοι του συστήματος.

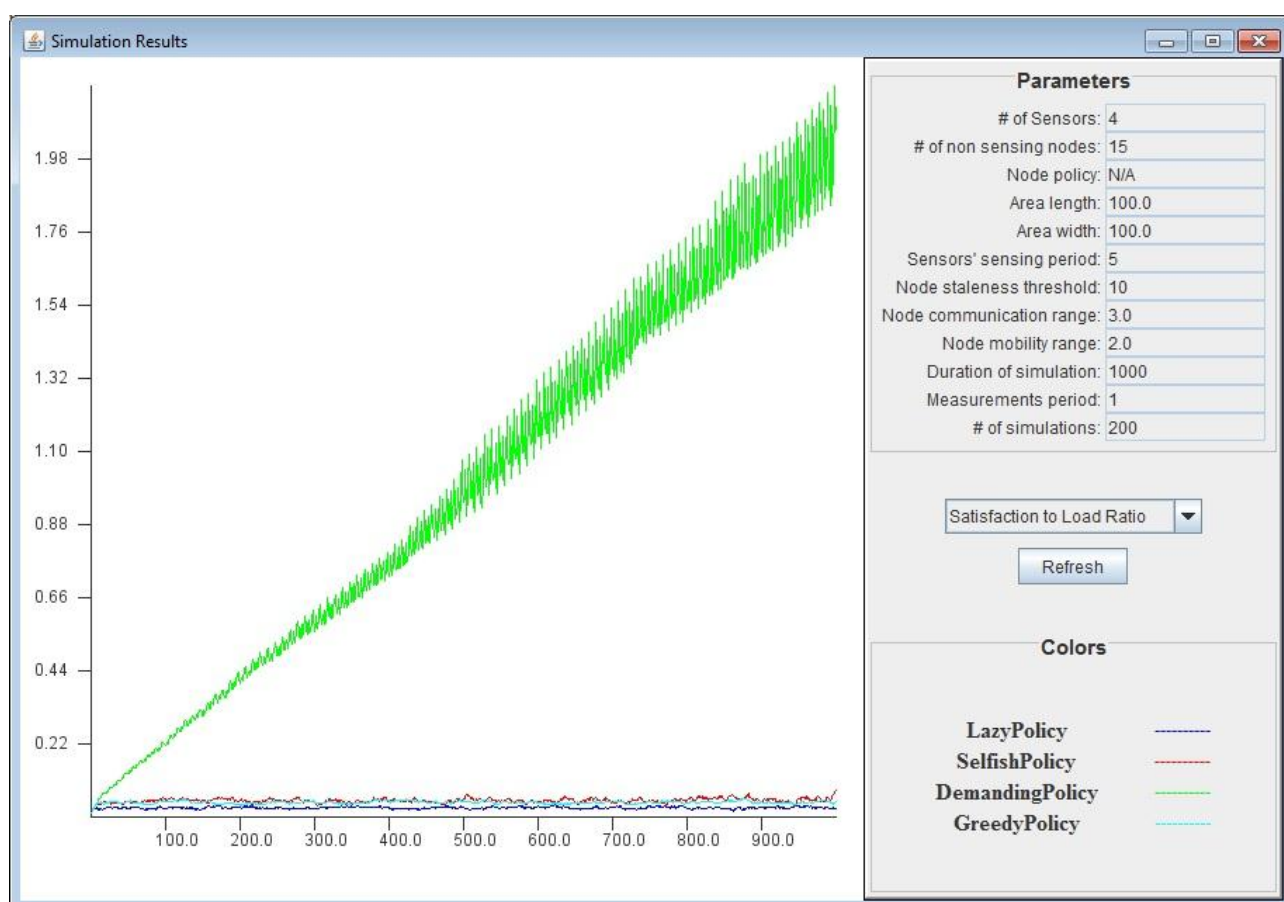
Αντίθετα, η απαιτητική πολιτική είχε τις υψηλότερες τιμές ως προς τη μετρική αυτή. Αυτό οφείλεται στο συνδυασμό υψηλού ποσοστού ικανοποιημένων κόμβων που επιτυγχάνει η πολιτική αυτή και του χαμηλού κόστους επικοινωνίας. Στην απαιτητική πολιτική οι κόμβοι επιχειρούν να εντοπίσουν και να λάβουν καλύτερης ποιότητας πληροφορία μόνο όταν πάνε να είναι ικανοποιημένοι από την πληροφορία που κατέχουν. Το ίδιο ισχύει και για την εγωιστική και την σκληρή πολιτική βέβαια, ωστόσο αυτές οι πολιτικές δεν έχουν τόσο υψηλό αριθμό ικανοποιημένων κόμβων. Αυτό το πλεονέκτημα της απαιτητικής πολιτικής ως προς τον αριθμό των ικανοποιημένων κόμβων ισχύει υπό κανονικές συνθήκες. Όχι όμως και σε ακραίες τιμές πυκνότητας ή εμβέλειας επικοινωνίας. Σε τέτοιες περιπτώσεις, κάθε κόμβος βρίσκει με μεγάλη πιθανότητα πληροφορία πολύ υψηλής ποιότητας και οι τρεις αυτές πολιτικές καταλήγουν να έχουν σχεδόν τον ίδιο λόγο ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών.

5.5.4.1 Η επίδραση της εμβέλειας επικοινωνίας

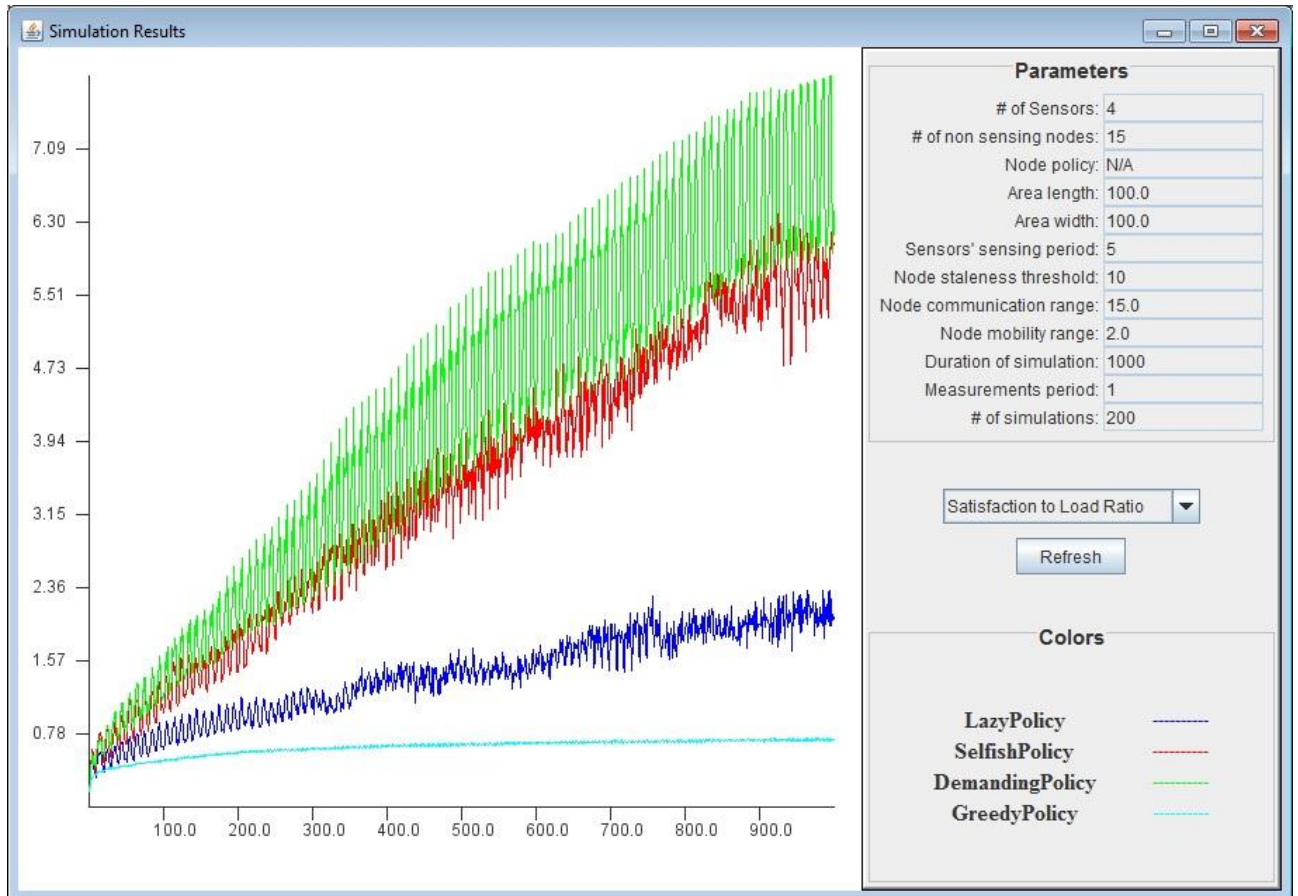
Η αύξηση της εμβέλειας επικοινωνίας παρατηρήθηκε να έχει θετική επίδραση στον λόγο ικανοποίησης των κόμβων προς κόστος επικοινωνιών σε όλες τις πολιτικές. Η μόνη εξαίρεση ήταν η άπληστη πολιτική για μεγάλη πυκνότητα κόμβων και μεγάλες τιμές της εμβέλειας επικοινωνίας. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο καθώς όπως είδαμε και προηγουμένως, η αύξηση της εμβέλειας επικοινωνίας αυξάνει τον αριθμό των ικανοποιημένων κόμβων σε κάθε περίπτωση. Επιπλέον, εξαιρώντας την άπληστη πολιτική, περιορίζει και τον αριθμό των κύκλων σηματοδοσίας, καθώς οι κόμβοι βρίσκουν ικανοποιητικότερη πληροφορία όταν την αναζητήσουν με αποτέλεσμα να μείνουν για περισσότερο χρόνο ικανοποιημένοι με αυτή. Όσον αφορά το κόστος μετάδοσης δεδομένων, εξαιρώντας και πάλι την άπληστη πολιτική, είδαμε ότι έχουμε

επίσης μείωση καθώς αυξάνεται η εμβέλεια επικοινωνίας. Επομένως είναι αναμενόμενο σε όλες τις πολιτικές πλην της άπληστης να αυξάνεται η τιμή του λόγου ικανοποίησης προς το φόρτο επικοινωνιών καθώς αυξάνεται η εμβέλεια επικοινωνίας.

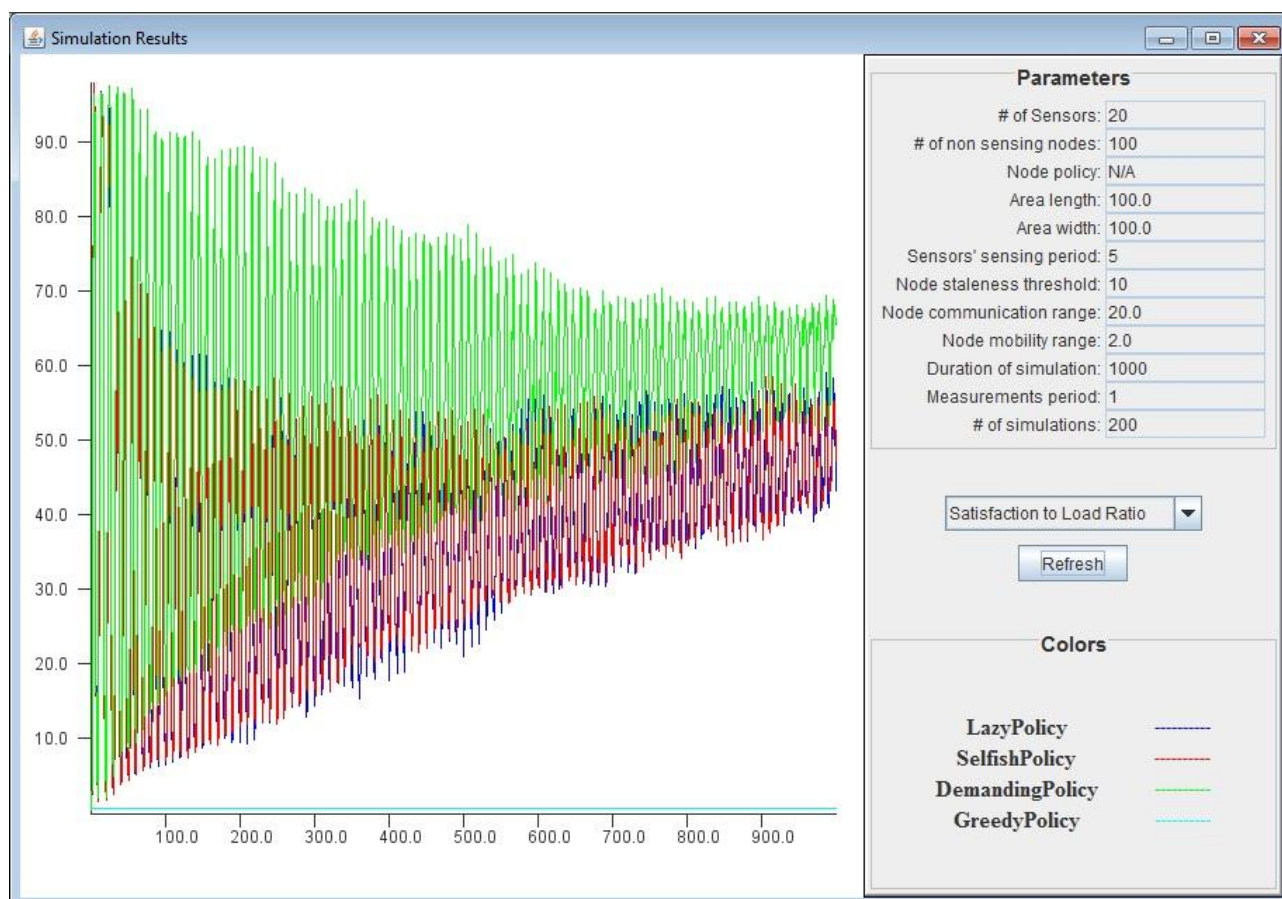
Όσον αφορά την άπληστη πολιτική, για χαμηλές τιμές ικανοποιημένων κόμβων υπάρχει μια οριακή αύξηση στον λόγο ικανοποιημένων κόμβων προς κόστος επικοινωνιών, αν και συνολικά ο λόγος είναι πολύ χαμηλός λόγο του υψηλού κόστους. Όταν το πλήθος ικανοποιημένων κόμβων είναι υψηλό, αύξηση στην εμβέλεια επικοινωνίας οδηγεί σε μικρή μείωση στη μετρική αυτή. Ο λόγος είναι πως η αύξηση στην εμβέλεια επικοινωνίας σε τέτοιες συνθήκες οδηγεί σε μεγαλύτερο πλήθος μεταδόσεων δεδομένων χωρίς όμως οι μεταδόσεις αυτές να είναι πραγματικά απαραίτητες. Πολλοί ικανοποιημένοι κόμβοι καταλήγουν να λαμβάνουν πληροφορία πλαισίου συχνά με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη αύξηση στο κόστος επικοινωνιών για πολύ μικρή αύξηση στο χρόνο κατά τον οποίο μένουν ικανοποιημένοι.



Εικόνα 29: Ο λόγος ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνίας για μικρή εμβέλεια επικοινωνίας. Στο πείραμα αυτό, η άπληστη πολιτική φαίνεται να έχει παρόμοια επίδοση με την εγωιστική και την σκνηρή. Ο λόγος είναι ο χαμηλός αριθμός ικανοποιημένων κόμβων.



Εικόνα 30: Αυξάνοντας την εμβέλεια επικοινωνίας παρατηρείται σημαντική αύξηση στο λόγο ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών για όλες τις πολιτικές με εξαίρεση την άπληστη όπου η αύξηση είναι μικρότερη.

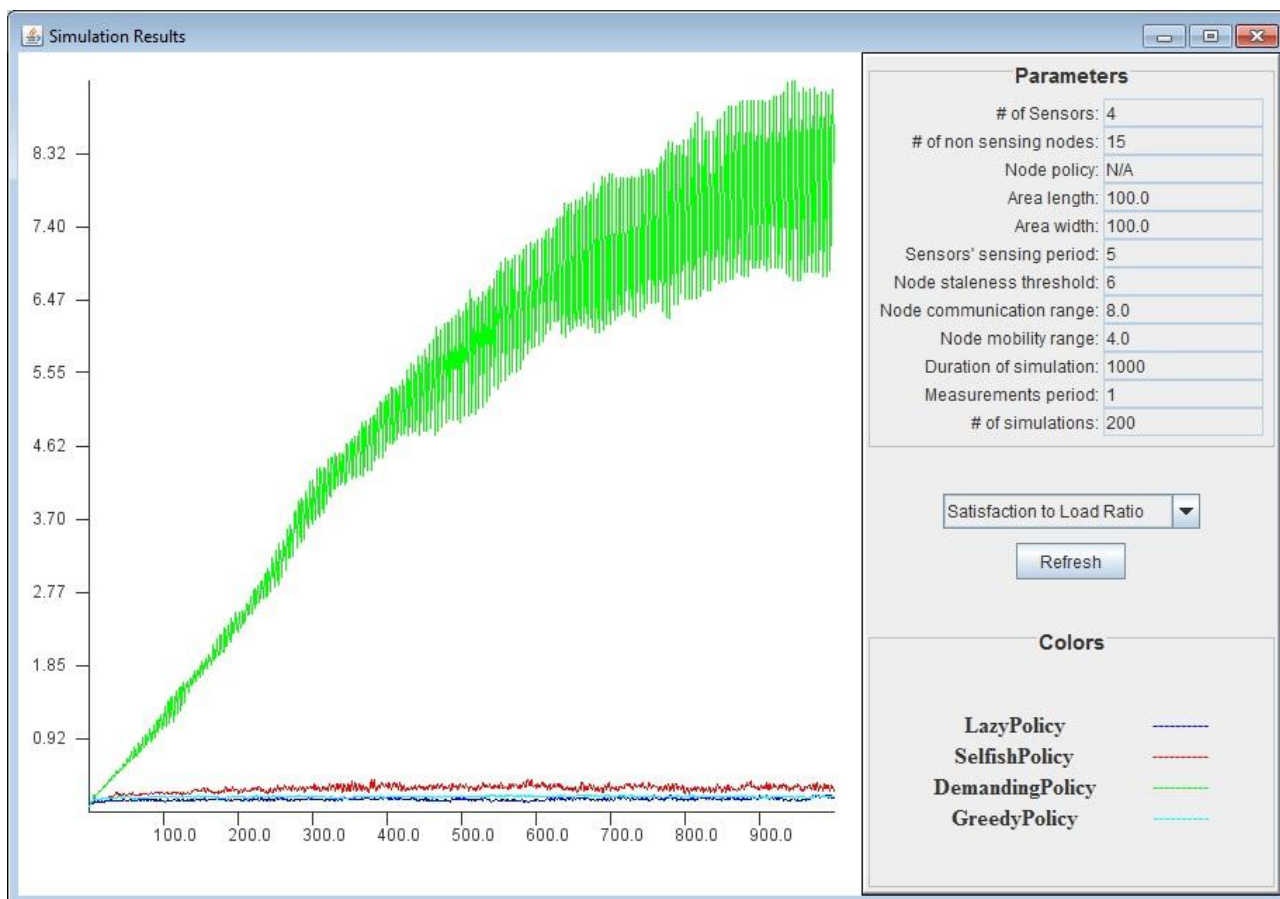


Εικόνα 31: Σε συνθήκες μεγάλης εμβέλειας επικοινωνίας και πυκνότητας κόμβων ανά μονάδα χώρου όπου είναι πολύ εύκολη η εύρεση ικανοποιητικής πληροφορίας ανεξαρτήτως πολιτικής, παρατηρούμε πως όλες οι πολιτικές πλην της άπληστης τείνουν να συγκλίνουν στην ίδια τιμή

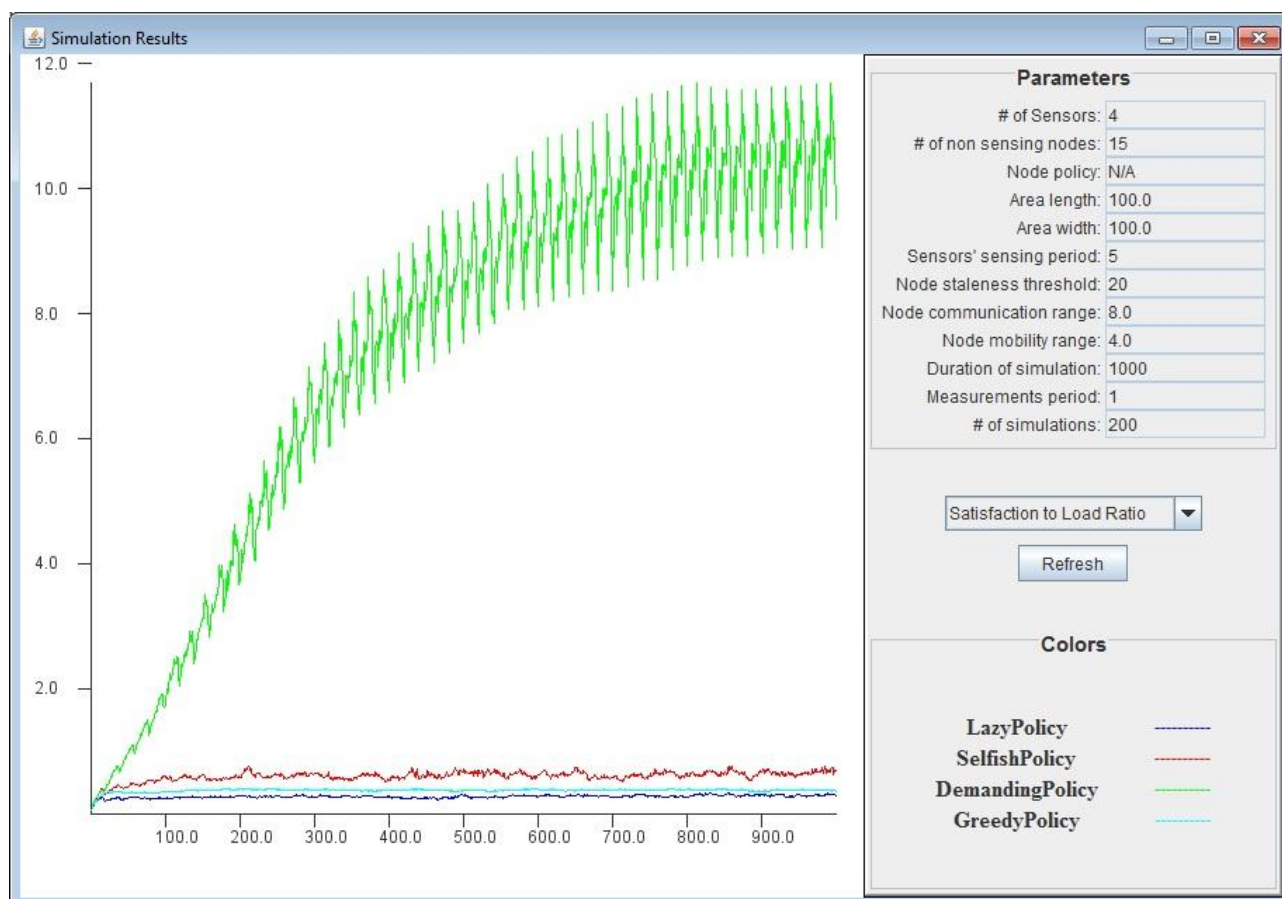
5.5.4.2 Η επίδραση του κατωφλίου ποιότητας

Η αύξηση της τιμή του κατωφλίου ικανοποίησης των κόμβων του συστήματος, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οδηγεί σε μικρή αύξηση του αριθμού των ικανοποιημένων κόμβων σε κάθε χρονική στιγμή ενώ οδηγεί και σε μικρή μείωση του κόστους μεταφοράς δεδομένων σε όλες τις πολιτικές πλην της άπληστης. Επομένως αναμένουμε αυξάνοντας το κατώφλι ικανοποίησης να εντοπίσουμε μικρή αύξηση και στο λόγο ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών. Πράγματι, τα πειραματικά αποτελέσματα συμφωνούν με τα παραπάνω. Παρατηρούμε αύξηση στο λόγο ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών για όλες τις πολιτικές.

Γενικά παρατηρούμε πως η αύξηση του κατωφλίου ικανοποίησης προκαλεί μεγαλύτερη αύξηση του λόγου ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών στην απαιτητική πολιτική. Ο λόγος είναι η αύξηση στο βαθμό ικανοποίησης είναι μεγαλύτερη στην απαιτητική πολιτική σε σχέση με τις υπόλοιπες. Αυτό παύει να ισχύει όταν ο αριθμός των κόμβων είναι πολύ μεγάλος οπότε και η απαιτητική πολιτική φτάνει κοντά στο μέγιστο αριθμό ικανοποιημένων κόμβων. Σε αυτές τις περιπτώσεις η απαιτητική πολιτική έχει φτάσει τη μέγιστη τιμή που μπορεί να επιτύχει και δεν έχει μεγάλα περιθώρια βελτίωσης.



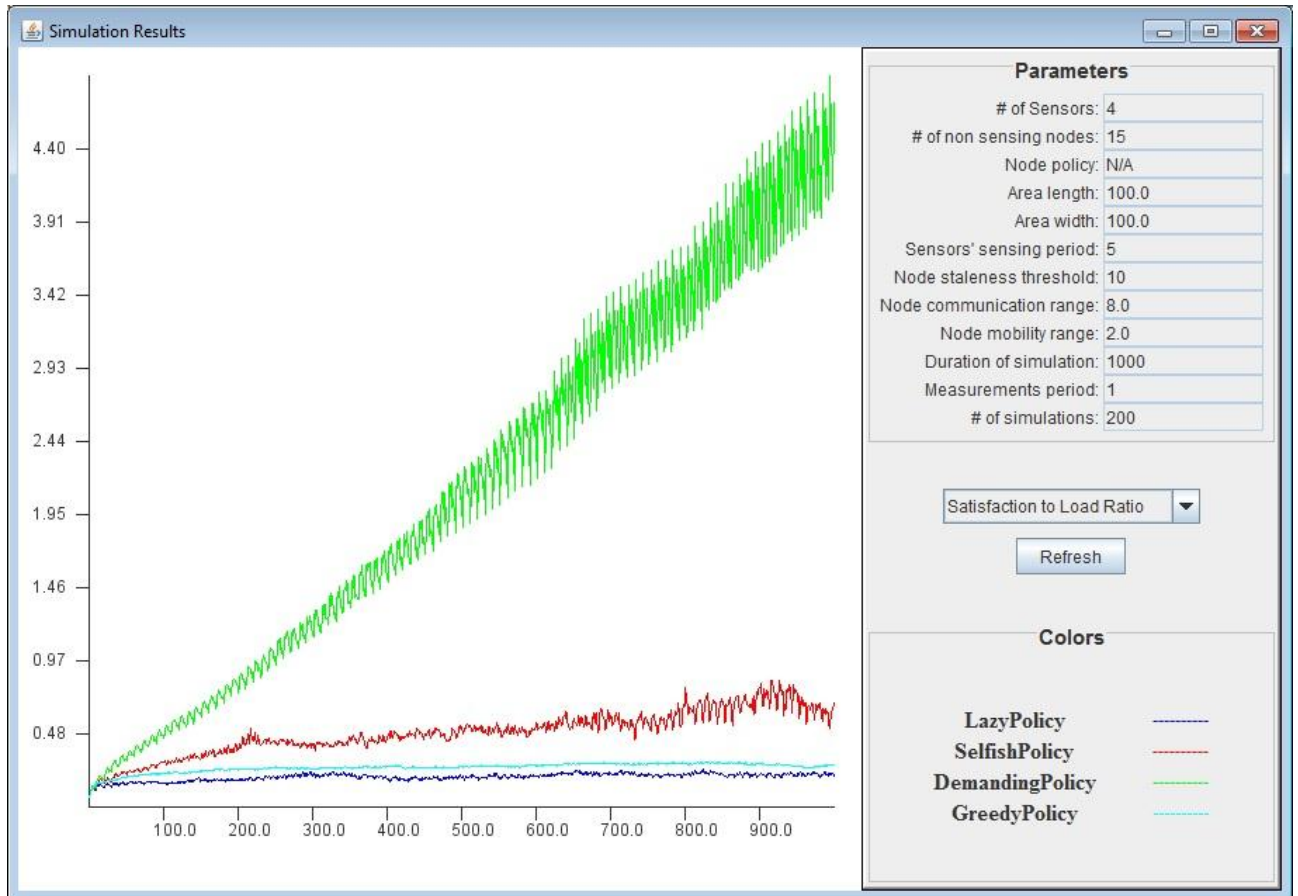
Εικόνα 32: ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών για χαμηλό κατώφλι



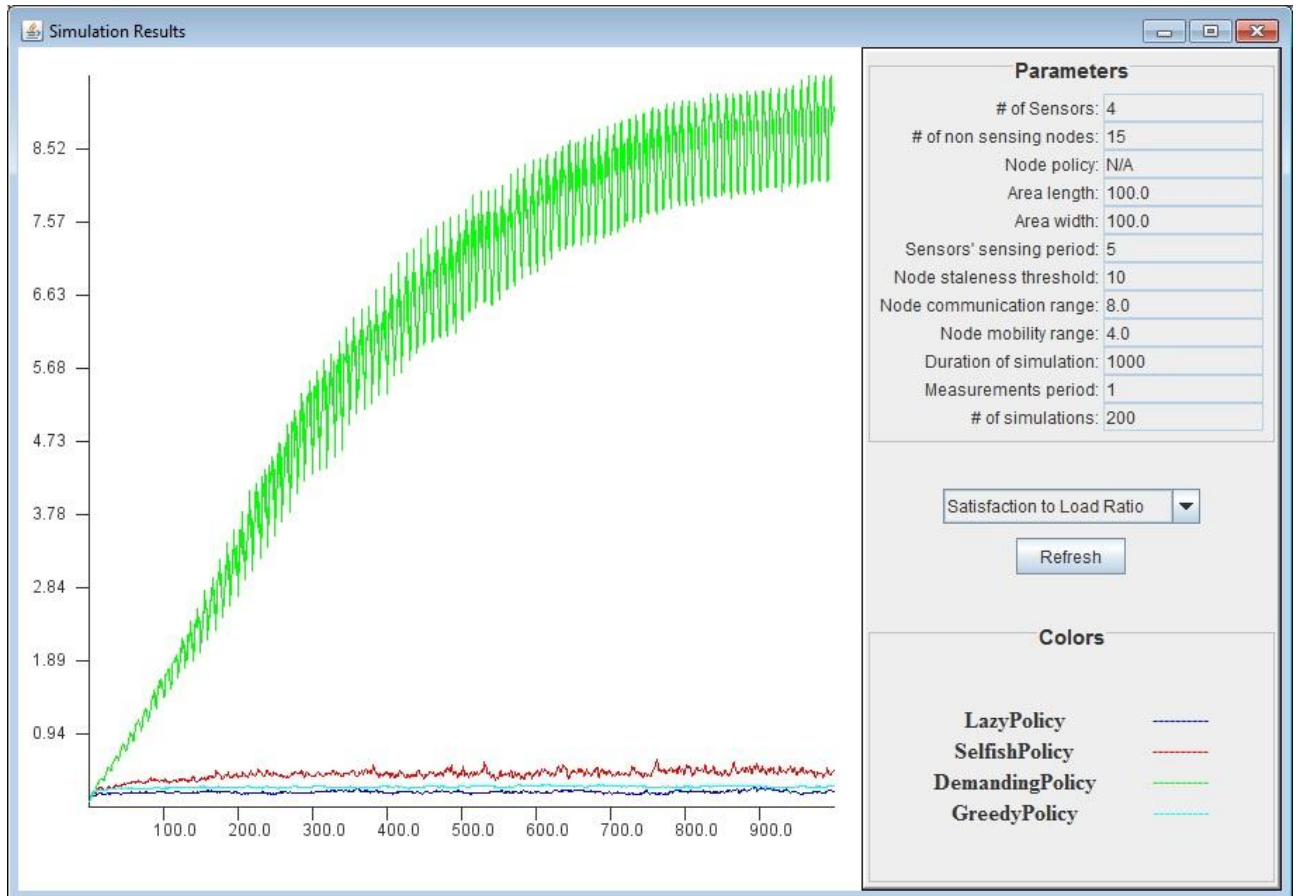
Εικόνα 33: Λόγος ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών για υψηλό κατώφλι. Η αύξηση του κατωφλίου ικανοποίησης οδηγεί σε αύξηση του λόγου ικανοποίησης για όλες τις πολιτικές. Η απαιτητική πολιτική επωφελείται περισσότερο από την αύξηση αυτή.

5.5.4.3 Η επίδραση της ταχύτητας κίνησης

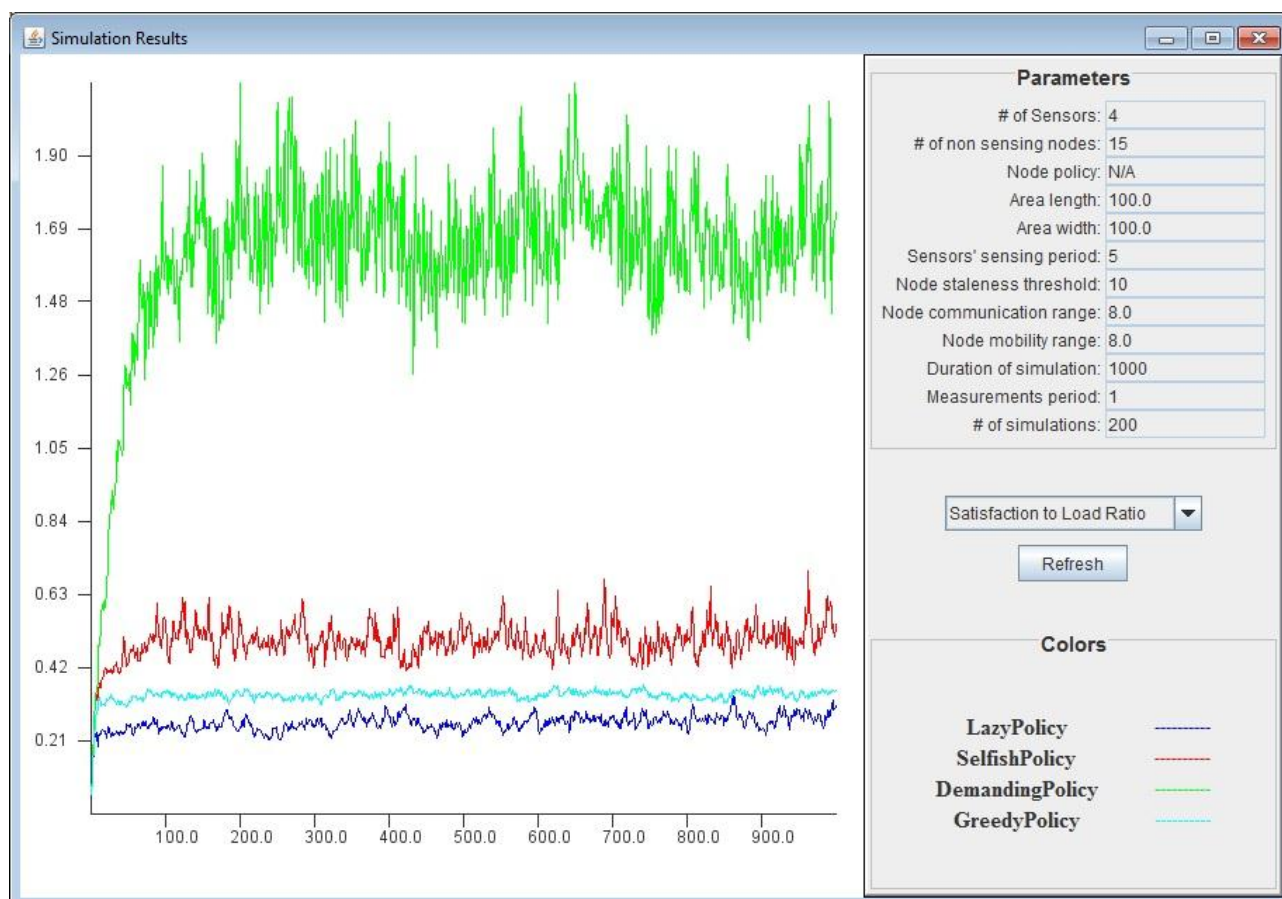
Η εμβέλεια κίνησης φαίνεται να αυξάνει την ταχύτητα σύγκλισης ως προς τη μετρική αυτή. Παρόλα αυτά, όπως συζητήθηκε και παραπάνω, υπάρχει ενδεχόμενο οι κόμβοι να παγιδευτούν σε τοπικά μέγιστα καθώς κατευθύνονται πολύ γρήγορα στον πρώτο γειτονικό τους κόμβο που έχει υψηλής ποιότητας πληροφορία χωρίς να εξερευνούν σε ικανοποιητικό βαθμό της περιοχή γύρω από αυτόν. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι κόμβοι είναι πιθανό να παραμείνουν ικανοποιημένοι για πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Αυτό οδηγεί τόσο σε μείωση του χρόνου ικανοποίησης των κόμβων, όσο και σε αύξηση των κύκλων σηματοδότησης καθώς οι κόμβοι αναζητούν συχνότερα καλύτερης ποιότητας πληροφορία. Έτσι σε πολύ ακραίες τιμές, όταν δηλαδή η ταχύτητα κίνησης προσεγγίζει υπερβολικά την εμβέλεια επικοινωνίας, παρατηρούμε σημαντική μείωση. Η μείωση αυτή είναι ιδιαίτερα εμφανής στην απαιτητική πολιτική που έχει και υψηλή τιμή στη μετρική αυτή (εικόνα 36).



Εικόνα 34: Λόγος ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών για χαμηλή εμβέλεια κίνησης



Εικόνα 35: Λόγος ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών για μεγάλη εμβέλεια κίνησης. Παρατηρούμε πως ο λόγος σε αυτή την περίπτωση φτάνει λόγω ταχύτερης σύγκλισης σε τιμές που δεν είχαν εμφανιστεί με τη μικρότερη εμβέλεια κίνησης.



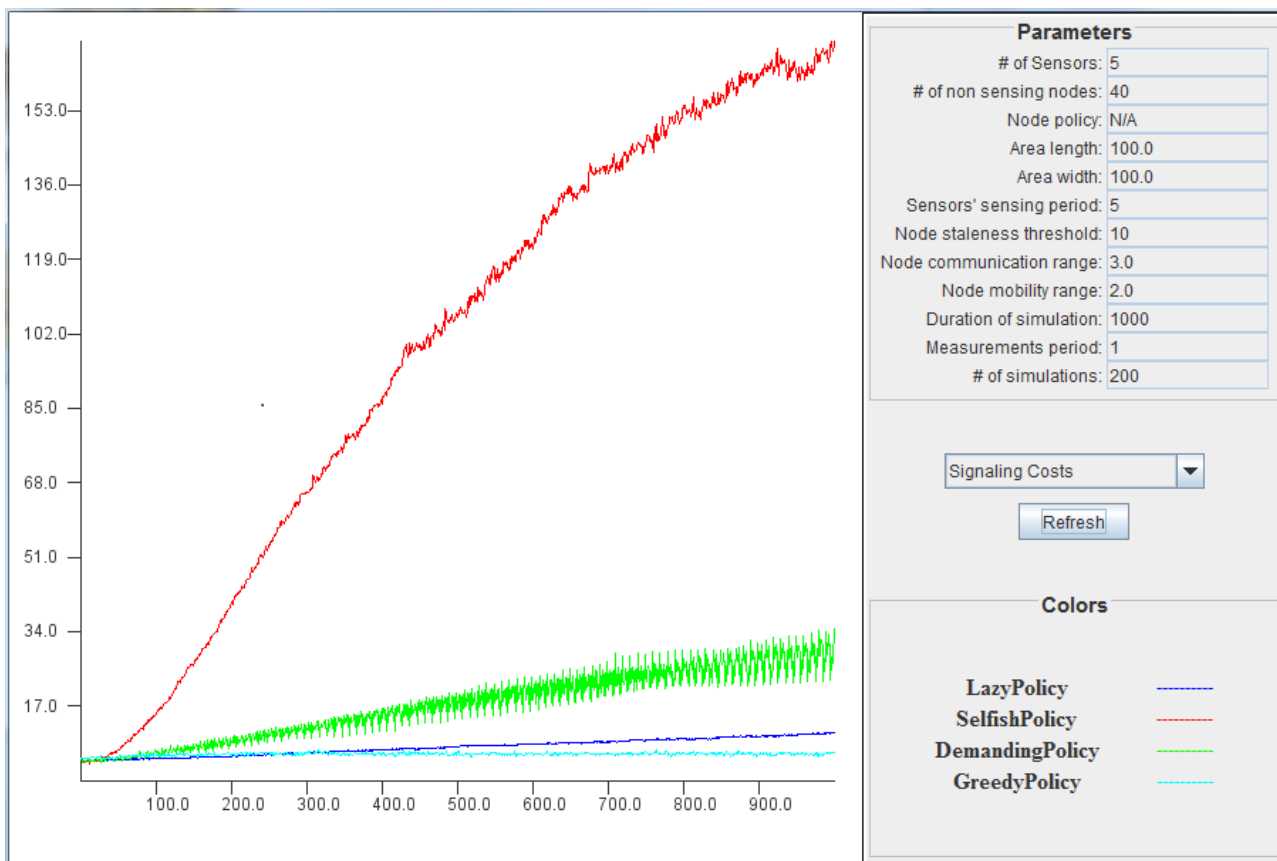
Εικόνα 36: Λόγος ικανοποίησης προς φόρτο επικοινωνιών για ακραία εμβέλεια κίνησης. Όταν η εμβέλεια κίνησης πλησιάζει υπερβολικά την εμβέλεια επικοινωνίας υπάρχει σημαντική πτώση ως προς τη μετρική αυτή.

5.5.5 Κόστος σηματοδοσίας

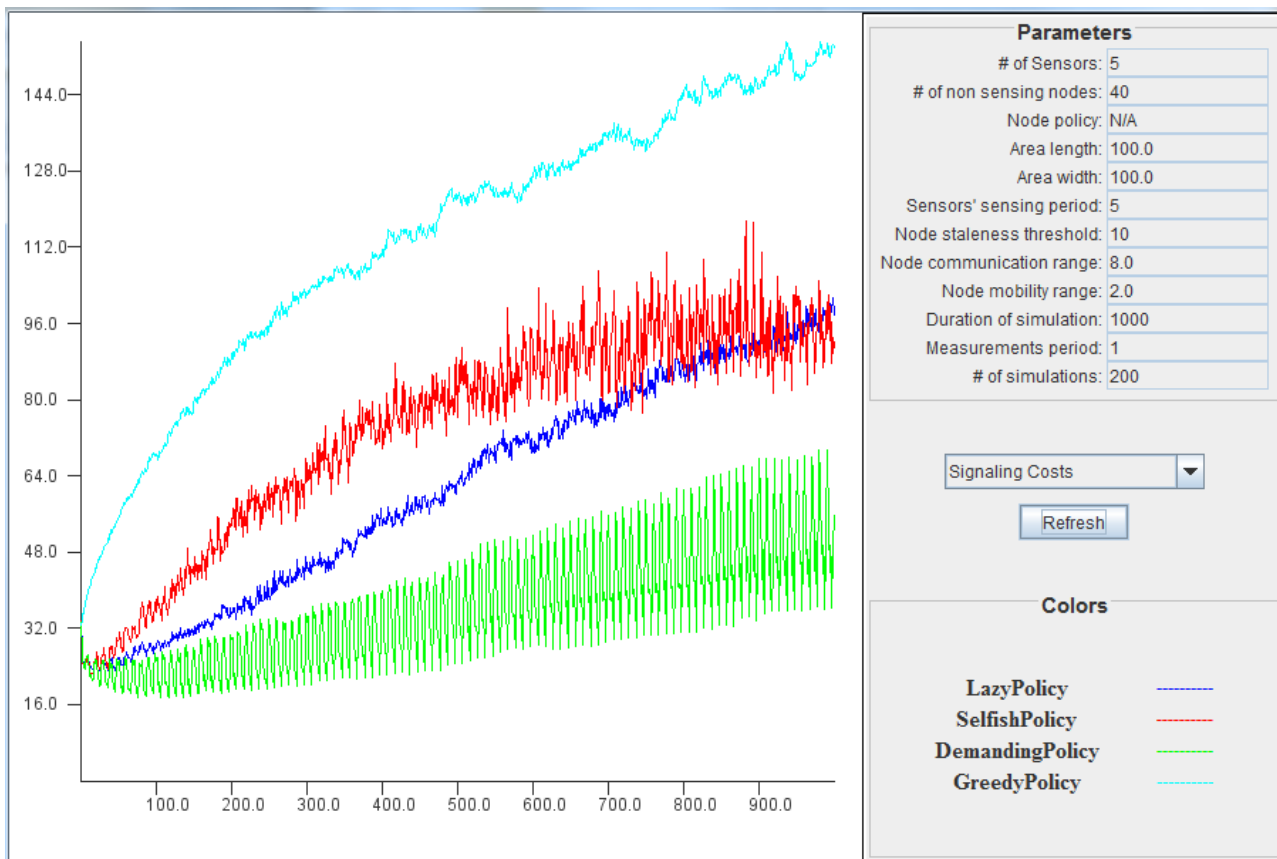
5.5.5.1 Η επίδραση της εμβέλειας επικοινωνίας

Παρατηρώντας την επίδραση της εμβέλειας επικοινωνίας στο κόστος σηματοδοσίας, διαπιστώνουμε ότι για μικρές ακτίνες επικοινωνίας, η εγωιστική πολιτική έχει το μεγαλύτερο κόστος σηματοδοσίας. Η απαιτητική πολιτική έχει μεγαλύτερο κόστος σηματοδοσίας από την οκνηρή και την άπληστη, ενώ η άπληστη έχει το μικρότερο κόστος σηματοδοσίας.

Αυξάνοντας την ακτίνα επικοινωνίας παρατηρούμε ότι το κόστος σηματοδοσίας της εγωιστικής μειώνεται ενώ το κόστος των υπόλοιπων πολιτικών αυξάνεται σημαντικά. Το κόστος της άπληστης μάλιστα αυξάνεται σε τέτοιο βαθμό ώστε η άπληστη να έχει το μεγαλύτερο κόστος σηματοδοσίας, ακολουθούμενη από την εγωιστική. Παρατηρούμε επίσης ότι σε αυτή την περίπτωση η απαιτητική έχει το μικρότερο σηματοδοσίας από όλες τις υπόλοιπες πολιτικές.



Εικόνα 37: Κόστος σηματοδότησης για μικρή εμβέλεια επικοινωνίας

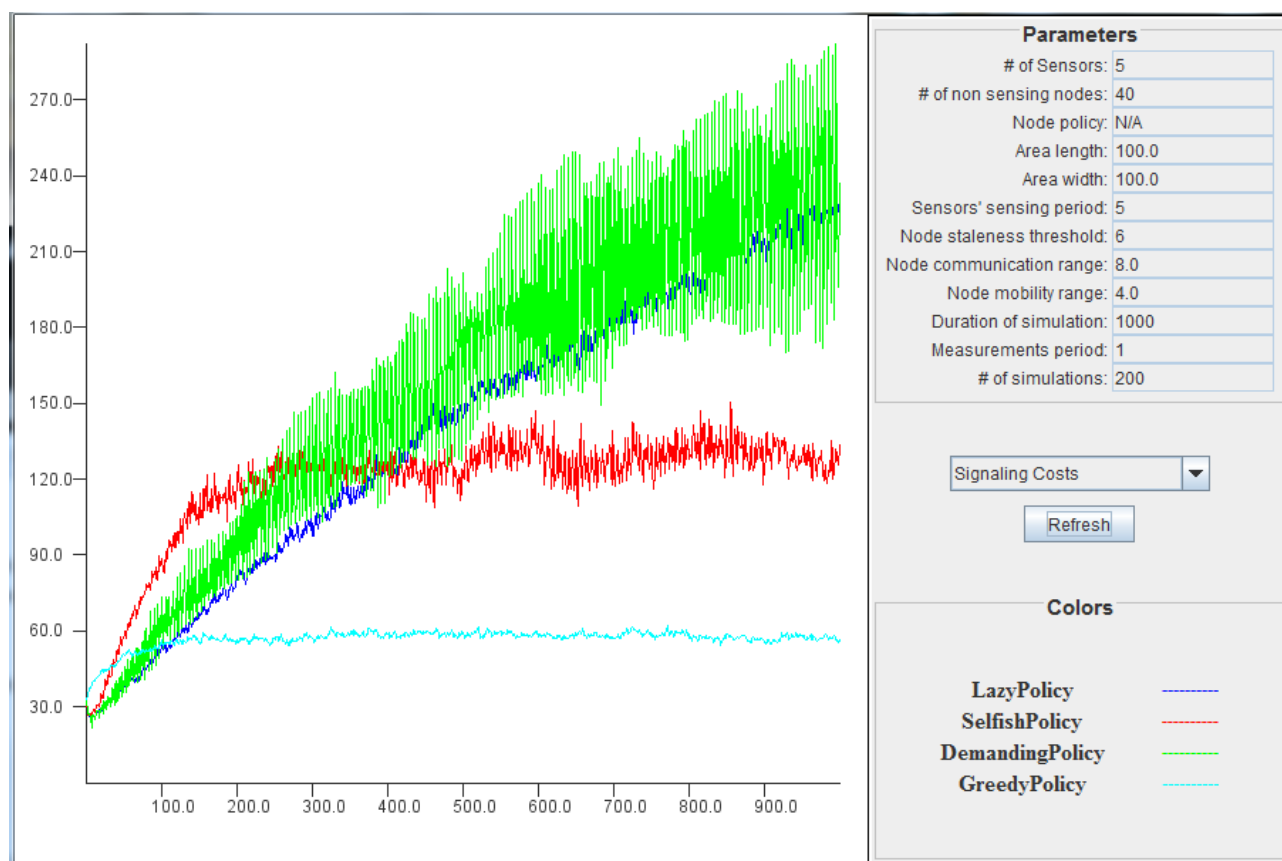


Εικόνα 38: Κόστος σηματοδότησης για μεγάλη εμβέλεια επικοινωνίας

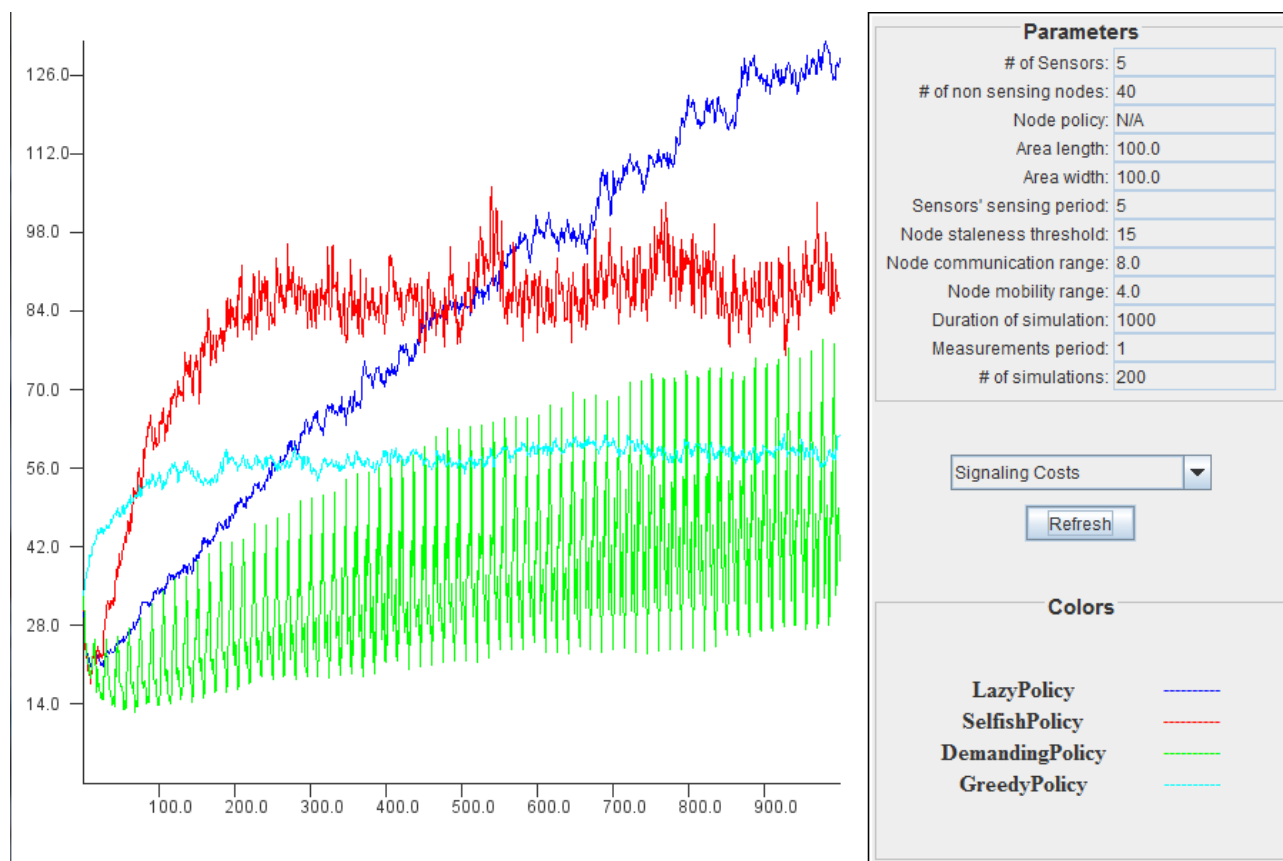
5.5.5.2 Η επίδραση του κατωφλίου ποιότητας

Παρατηρώντας την επίδραση του κατωφλίου ποιότητας στο κόστος σηματοδοσίας παρατηρούμε αύξηση του κατωφλίου ποιότητας προκαλεί μείωση του κόστους σηματοδοσίας σε όλες τις περιπτώσεις πολιτικών πλην της άπληστης πολιτικής.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός η αύξηση του κατωφλίου ποιότητας των κόμβων ελαττώνει την ανάγκη των μη αισθητήριων κόμβων για πληροφορία πλαισίου καθώς επιτρέπει στους μη αισθητήριους κόμβους να βρίσκονται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε κατάσταση ικανοποίησης, σε συστήματα που χρησιμοποιούν κάποια από τις προαναφερθείσες πολιτικές πλην της άπληστης πολιτικής. Αντιθέτως συστήματα όπου οι κόμβοι εφαρμόζουν την άπληστη πολιτική δεν επηρεάζονται αισθητά από την αύξηση του κατωφλίου επικοινωνίας καθώς εκεί οι κόμβοι σε κάθε βήμα επιχειρούν να εντοπίσουν πιθανούς γείτονές τους, ανεξάρτητα από το κατά πόσο βρίσκονται σε κατάσταση ικανοποίησης.



Εικόνα 39: Κόστος σηματοδοσίας για μικρό κατώφλι ποιότητας πληροφορίας πλαισίου



Εικόνα 40: Κόστος σηματοδότησης για μεγάλο κατώφλι ποιότητας πληροφορίας πλαισίου

Παρατηρώντας την επίδραση του κατωφλίου ποιότητας στο κόστος σηματοδότησης παρατηρούμε αύξηση του κατωφλίου ποιότητας προκαλεί μείωση του κόστους σηματοδότησης σε όλες τις περιπτώσεις πολιτικών πλην της άπληστης πολιτικής.

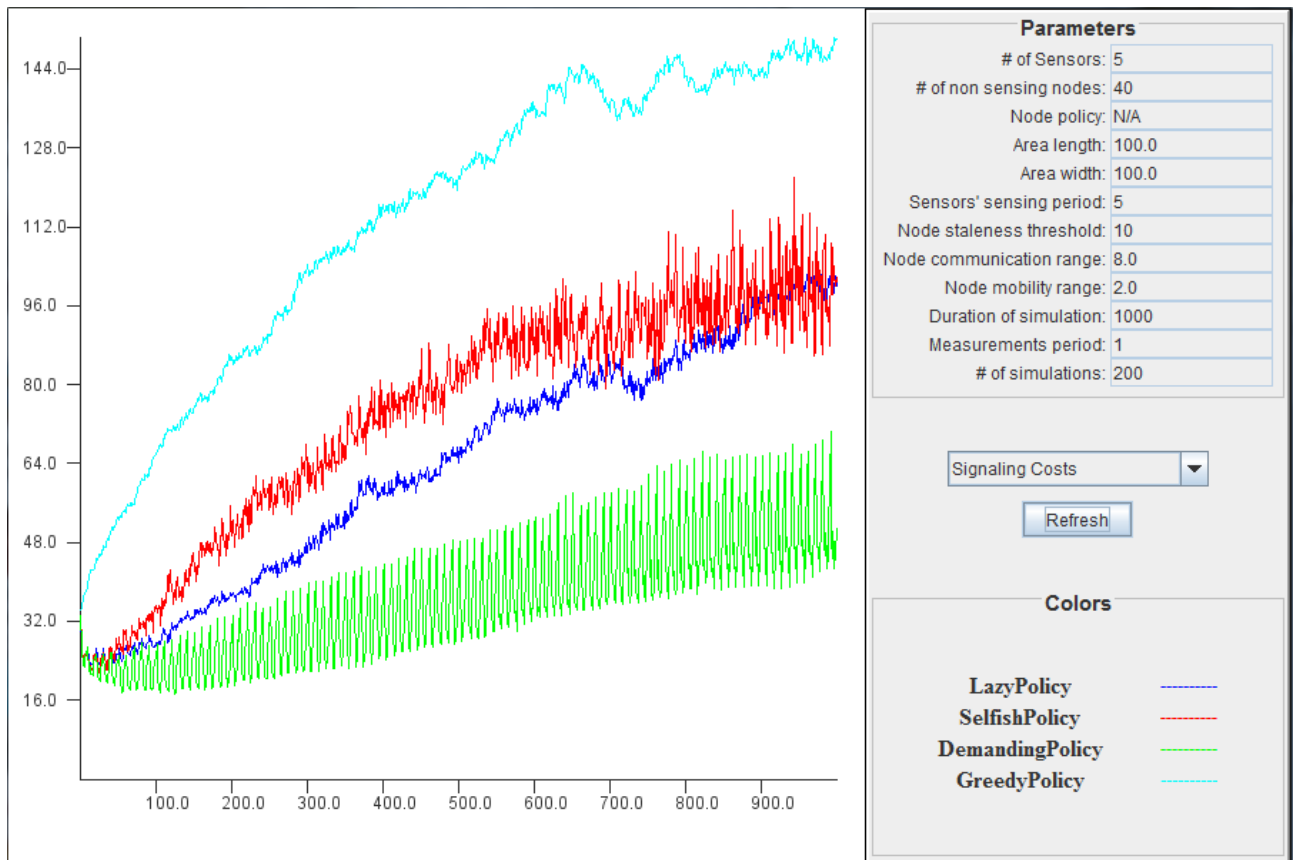
Αυτό οφείλεται στο γεγονός η αύξηση του κατωφλίου ποιότητας των κόμβων ελαττώνει την ανάγκη των μη αισθητήριων κόμβων για πληροφορία πλαισίου καθώς επιτρέπει στους μη αισθητήριους κόμβους να βρίσκονται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε κατάσταση ικανοποίησης, σε συστήματα που χρησιμοποιούν κάποια από τις προαναφερθείσες πολιτικές πλην της άπληστης πολιτικής. Αντιθέτως συστήματα όπου οι κόμβοι εφαρμόζουν την άπληστη πολιτική δεν επηρεάζονται αισθητά από την αύξηση του κατωφλίου επικοινωνίας καθώς εκεί οι κόμβοι σε κάθε βήμα επιχειρούν να εντοπίσουν πιθανούς γείτονές τους, ανεξάρτητα από το κατά πόσο βρίσκονται σε κατάσταση ικανοποίησης.

5.5.5.3 Η επίδραση της ταχύτητας κίνησης

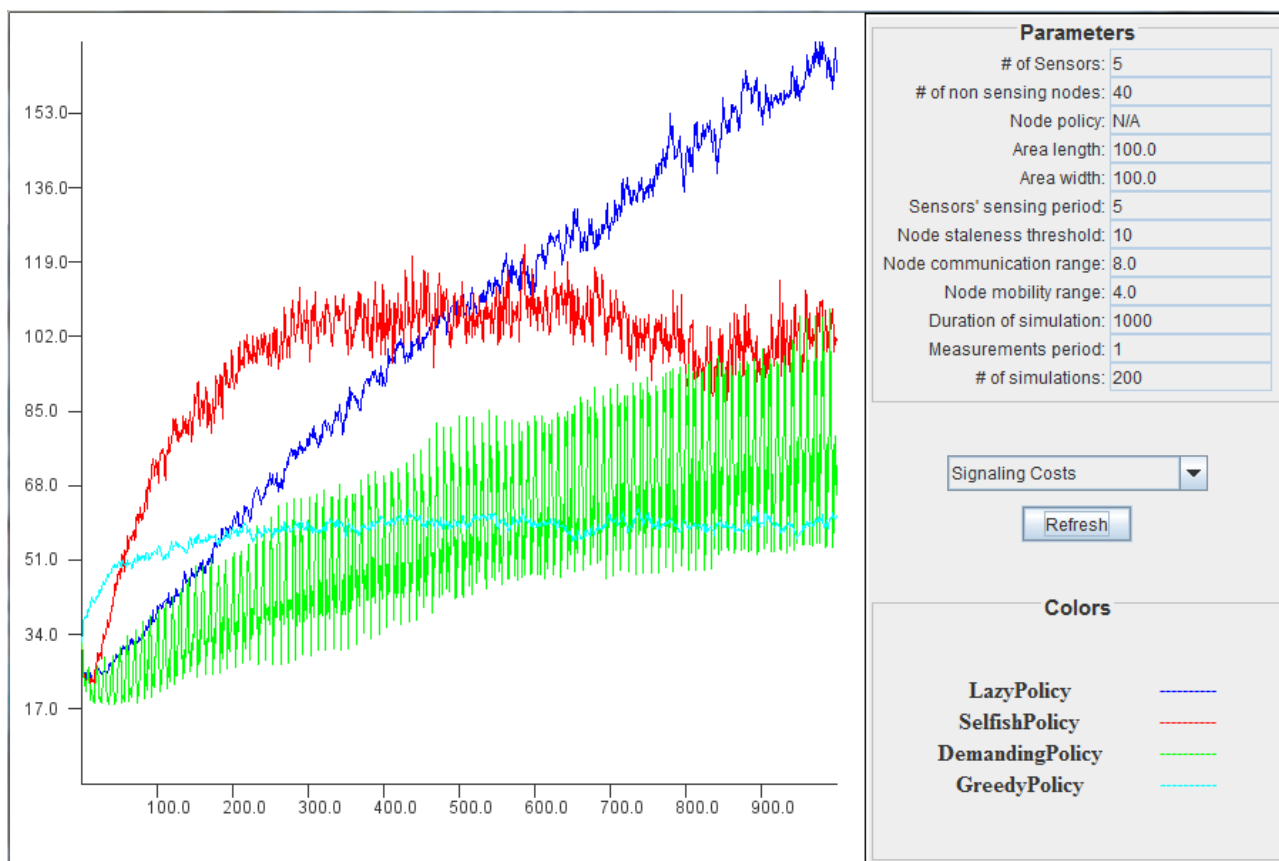
Παρατηρώντας την επίδραση της ταχύτητας κίνησης των κόμβων στο κόστος σηματοδότησης διαπιστώνουμε ότι για μικρή ταχύτητα κίνησης η άπληστη πολιτική έχει το μεγαλύτερο κόστος, ακολουθούμενη από την εγωιστική, ενώ η απαιτητική έχει το μικρότερο κόστος από όλες τις πολιτικές.

Αύξηση της ταχύτητας κίνησης έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους της άπληστης πολιτικής και την αύξηση του κόστους των υπόλοιπων πολιτικών με συνέπεια η σκληρή πολιτική να έχει το μεγαλύτερο κόστος σηματοδότησης, ακολουθούμενη από την απαιτητική πολιτική, ενώ η άπληστη πολιτική απαιτεί το μικρότερο κόστος

σηματοδοσίας. Παρατηρούμε επίσης ότι η αύξηση της ταχύτητας κίνησης προκαλεί ταχύτερη σύγκλιση του κόστους της άπληστης και της εγωιστικής πολιτικής.



Εικόνα 41: Κόστος σηματοδοσίας για μικρή ταχύτητα κίνησης



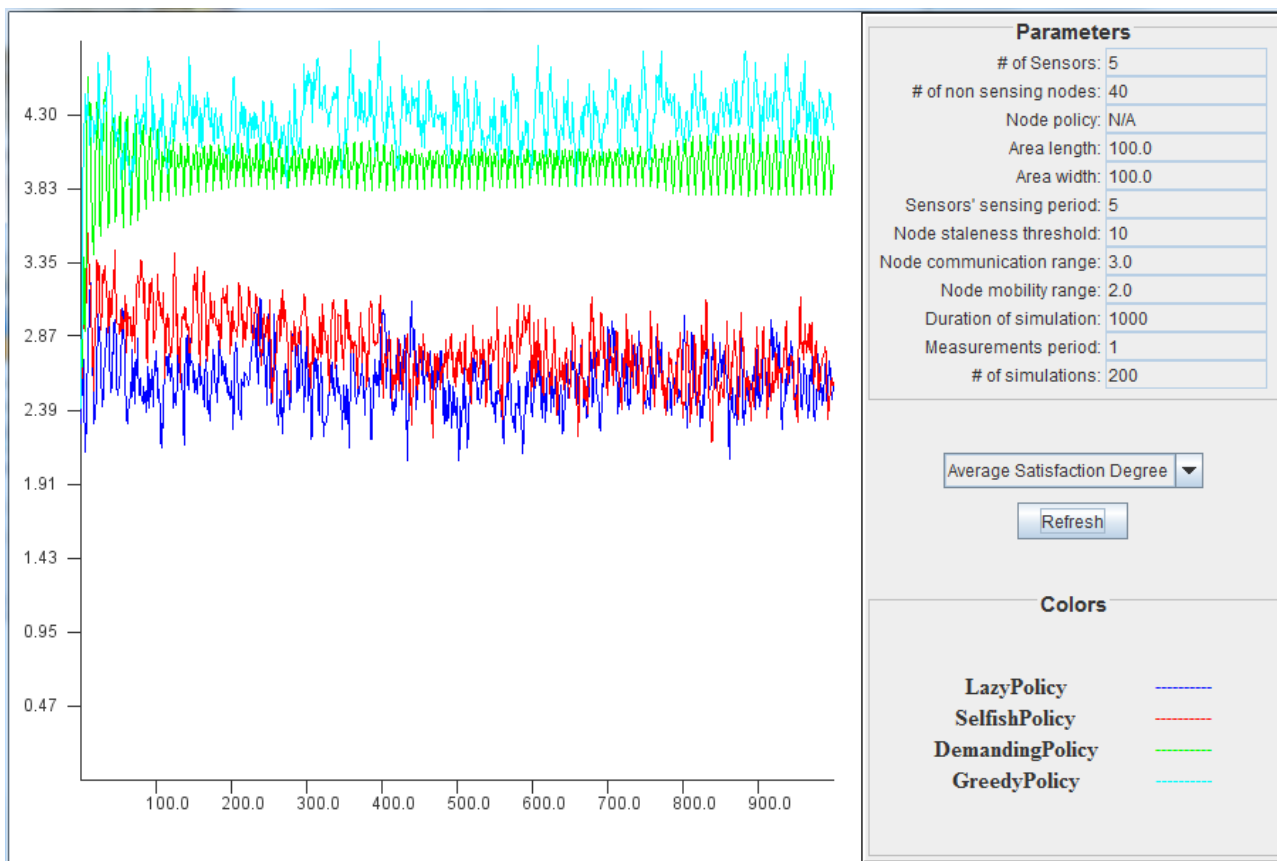
Εικόνα 42: Κόστος σηματοδότησης για μεγάλη ταχύτητα κίνησης

5.5.6 Μέσος βαθμός ικανοποίησης

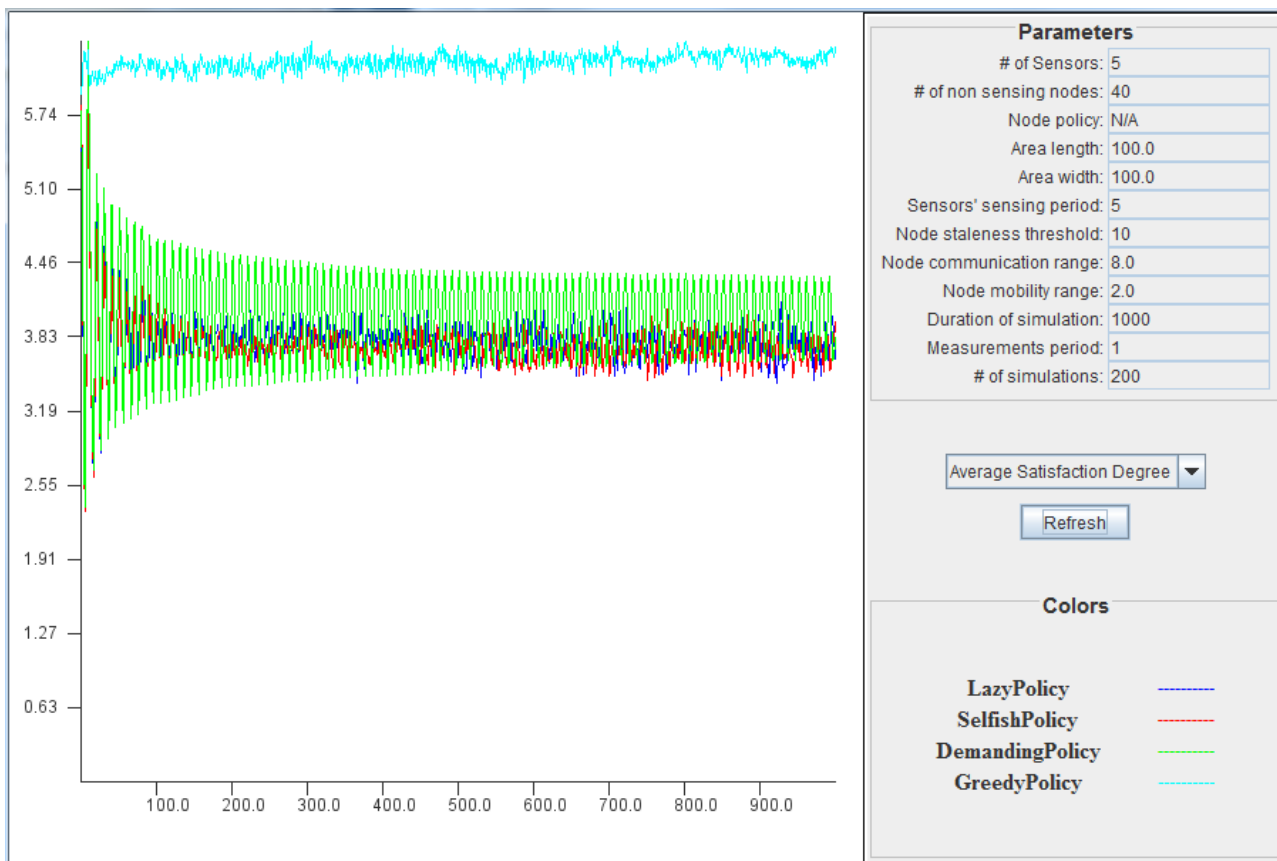
5.5.6.1 Η επίδραση της εμβέλειας επικοινωνίας

Παρατηρώντας την επίδραση της εμβέλειας επικοινωνίας στο μέσο βαθμό ικανοποίησης διαπιστώνουμε ότι η άπληστη πολιτική επιτυγχάνει μεγαλύτερο βαθμό ικανοποίησης με την αύξηση της εμβέλειας επικοινωνίας και επίσης ότι σε κάθε περίπτωση ο βαθμός ικανοποίησης που επιτυγχάνεται είναι υψηλότερος από αυτόν που επιτυγχάνουν οι υπόλοιπες πολιτικές. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι οι μη αισθητήριοι κόμβοι συστημάτων που εφαρμόζουν την άπληστη πολιτική επιχειρούν σε κάθε βήμα της εξομοίωσης να αποκτήσουν πληροφορία πλαισίου μικρότερης παλαιότητας από αυτή που διαθέτουν ήδη, ανεξάρτητα από το αν βρίσκονται σε κατάσταση ικανοποίησης.

Όσον αφορά τις υπόλοιπες πολιτικές παρατηρούμε ότι η αύξηση της εμβέλειας επικοινωνίας δεν επηρεάζει σημαντικά το μέσο βαθμό ικανοποίησης που επιτυγχάνει η απαιτητική παρά μόνο αυξάνοντας τη διακύμανση που παρουσιάζει στη διάρκεια της εξομοίωσης. Αντιθέτως ο μέσος βαθμός ικανοποίησης της σκληρής και της εγωιστικής βελτιώνονται με την αύξηση της εμβέλειας επικοινωνίας.



Εικόνα 43: Μέσος βαθμός ικανοποίησης για μικρή εμβέλεια επικοινωνίας



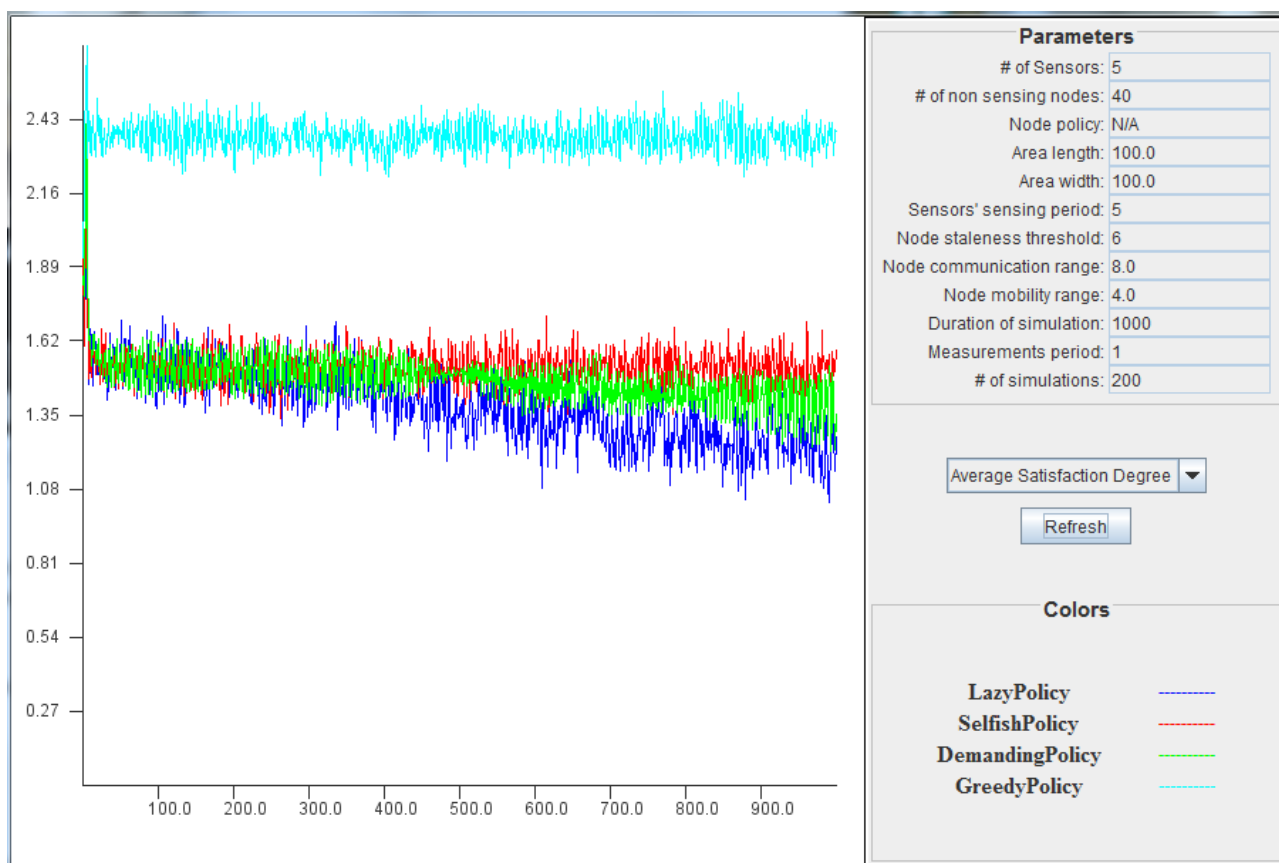
Εικόνα 44: Μέσος βαθμός ικανοποίησης για μεγάλη εμβέλεια επικοινωνίας

5.5.6.2 Η επίδραση του κατωφλίου ποιότητας

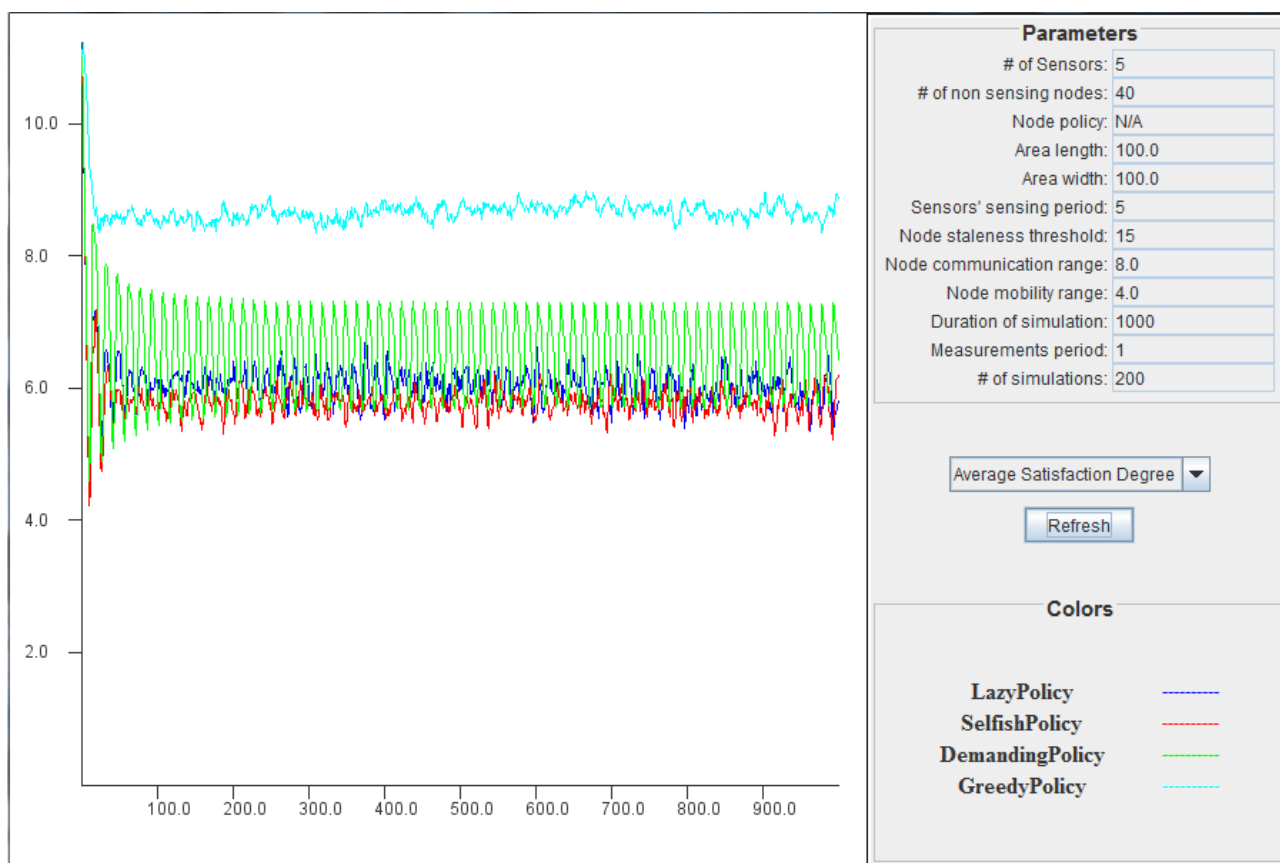
Παρατηρώντας την επίδραση του κατωφλίου ποιότητας των μη αισθητήριων κόμβων του συστήματος στο μέσο βαθμό ικανοποίησης διαπιστώνουμε τα εξής:

Η άπληστη πολιτική επιτυγχάνει μεγαλύτερο μέσο βαθμό ικανοποίησης από τις υπόλοιπες πολιτικές εξαιτίας της συνεχούς αναζήτησης από τους μη αισθητήριους κόμβους που την εφαρμόζουν, πιο πρόσφατης πληροφορίας πλαισίου από αυτή που ήδη διαθέτουν.

Γενικά ο μέσος βαθμός ικανοποίησης που επιτυγχάνουν οι πολιτικές αυξάνεται με την αύξηση του κατωφλίου ποιότητας των μη αισθητήριων κόμβων καθώς η αύξηση αυτή επιτρέπει στους μη αισθητήριους κόμβους να λαμβάνουν πληροφορία πλαισίου που θα τους κρατήσει σε κατάσταση ικανοποίησης για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, δηλαδή τους προσφέρει υψηλότερο βαθμό ικανοποίησης.



Εικόνα 45: Μέσος βαθμός ικανοποίησης για μικρό κατώφλι ποιότητας πληροφορίας πλαισίου



Εικόνα 46: Μέσος βαθμός ικανοποίησης για μεγάλο κατώφλι ποιότητας πλαισίου

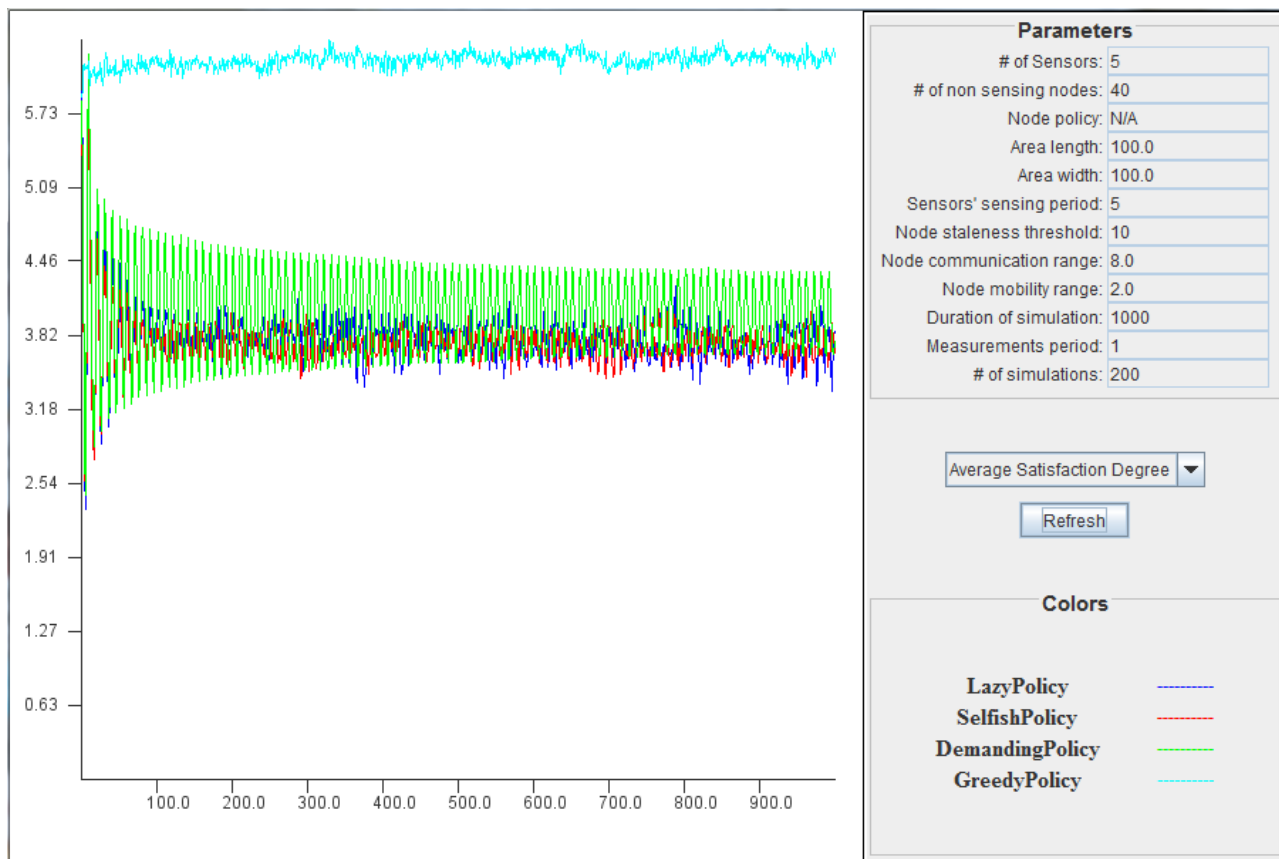
5.5.6.3 Η επίδραση της ταχύτητας κίνησης

Παρατηρώντας την επίδραση της ταχύτητας κίνησης των κόμβων του συστήματος στο μέσο βαθμό ικανοποίησης διαπιστώνουμε τα εξής:

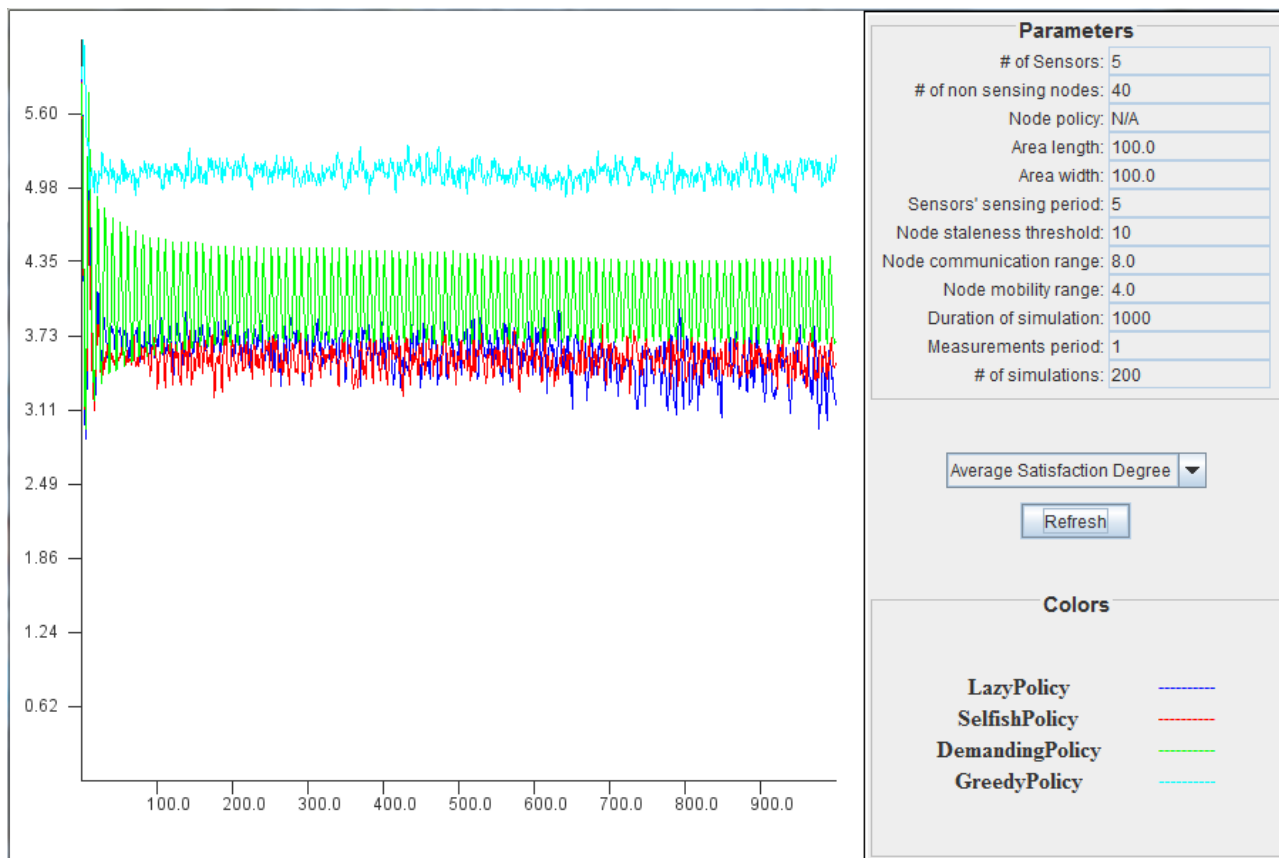
Η άπληστη πολιτική επιτυγχάνει μεγαλύτερο μέσο βαθμό ικανοποίησης από τις υπόλοιπες πολιτικές εξαιτίας της συνεχούς αναζήτησης από τους μη αισθητήριους κόμβους που την εφαρμόζουν, πιο πρόσφατης πληροφορίας πλαισίου από αυτή που ήδη διαθέτουν.

Ο μέσος βαθμός ικανοποίησης που επιτυγχάνει η άπληστη πολιτική μειώνεται σημαντικά με την αύξηση της ταχύτητας κίνησης των κόμβων. οι επιδόσεις των υπόλοιπων πολιτικών δεν επηρεάζονται σημαντικά από την αύξηση της ταχύτητας κίνησης.

Η επιδείνωση της επίδοσης της άπληστης πολιτικής με την αύξηση της ταχύτητας είναι αποτέλεσμα του γεγονότος ότι η μεγαλύτερη ταχύτητα κίνησης επιτρέπει σε κάποιο μη αισθητήριο κόμβο του συστήματος να απομακρυνθεί σημαντικά από κόμβους οι οποίοι πρόσφατα τον προμήθευσαν νεότερη πληροφορία πλαισίου στην περίπτωση που κανένας από αυτούς δε διαθέτει νεότερη πληροφορία πλαισίου από τον προαναφερθέντα κόμβο, οπότε εκείνος θα εκτελέσει τυχαία κίνηση.



Εικόνα 47: Μέσος βαθμός ικανοποίησης για μικρή ταχύτητα κίνησης



Εικόνα 48: Μέσος βαθμός ικανοποίησης για μεγάλη ταχύτητα κίνησης

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε ένας αλγόριθμος ανακάλυψης πληροφορίας πλαισίου σε δίκτυα MANET βασισμένος σε αλγορίθμους νοημοσύνης σμήνους. Κατά τον αλγόριθμο αυτό, κάθε κόμβος ακολουθεί μια συγκεκριμένη πολιτική και αποσκοπεί στο να έχει για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα έγκυρη, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του, πληροφορία πλαισίου. Η πολιτική αυτή μπορεί να οριστεί με διαφορετικούς τρόπους και καθορίζει το πότε αναζητά καλύτερης ποιότητας πληροφορία πλαισίου και τον τρόπο που κινείται ο κόμβος. Καθώς σε δίκτυα MANET είναι σημαντικό το κόστος επικοινωνίας να παραμένει όσο το δυνατόν χαμηλότερο, μελετήθηκε εκτός από τον βαθμό ικανοποίησης των κόμβων, και το κόστος που απαιτείται για κάθε πολιτική.

Παρουσιάστηκαν τέσσερις πιθανές πολιτικές συμπεριφοράς των κόμβων του συστήματος και μελετήθηκαν τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται με κάθε μια από αυτές. Από τη μελέτη αυτή, συμπεραίνουμε πως ανάλογα με τις παραμέτρους του δικτύου (όπως το μέγεθος του χώρου, η εμβέλεια επικοινωνίας των κόμβων, το πλήθος των κόμβων) διαφέρουν οι επιδόσεις της κάθε πολιτικής.

Από τις τέσσερις πολιτικές που παρουσιάστηκαν, η απαιτητική πολιτική υπερείχε στα περισσότερα σενάρια που μελετήθηκαν ως προς τον αριθμό των ικανοποιημένων κόμβων αλλά κυρίως ως προς το λόγο του πλήθους ικανοποιημένων κόμβων προς κόστος επικοινωνιών. Το κύριο πλεονέκτημά της σε σχέση με τις υπόλοιπες πολιτικές, είναι ο τρόπος με τον οποίο κινούνται οι κόμβοι κατά την πολιτική αυτή. Η κίνηση των κόμβων στην απαιτητική πολιτική είναι τέτοια που δεν επιτρέπει στις πηγές πληροφορίας που έχουν εντοπιστεί να απομακρυνθούν πολύ. Επίσης, το κόστος επικοινωνίας περιορίζεται καθώς επικοινωνίες γίνονται μόνο όταν υπάρχει ανάγκη για εύρεση καλύτερης πληροφορίας πλαισίου. Παρόλα αυτά σε σενάρια όπου το πλήθος των κόμβων ήταν μεγάλο αναλογικά με το μέγεθος του χώρου, η άπληστη πολιτική παρατηρήθηκε να πετυχαίνει οριακά μεγαλύτερο αριθμό ικανοποιημένων κόμβων. Ταυτόχρονα όμως, το κόστος της άπληστης πολιτικής ήταν πολύ μεγαλύτερο καθώς απαιτεί πολλές επικοινωνίες μεταξύ των κόμβων. Η εγωιστική και η σκληρή πολιτική είναι απλούστερες και τα αποτελέσματά τους ως προς το πλήθος των ικανοποιημένων κόμβων ήταν κατά κανόνα κάτω από αυτά της απαιτητικής πολιτικής.

Με βάση την μελέτη που έγινε, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως ο προτεινόμενος αλγόριθμος μπορεί να οδηγήσει σε πολύ καλά αποτελέσματα με χρήση της κατάλληλης, για τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε δικτύου, πολιτικής.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Ξενόγλωσσος όρος	Ελληνικός Όρος
Mobile ad-hoc networks	Δίκτυα κινητών ασύρματων κόμβων χωρίς συγκεντρωτική δομή
Context awareness	Επίγνωση πληροφορίας πλαισίου
Ad-hoc networks	Ασύρματα δίκτυα χωρίς συγκεντρωτική δομή
Wireless sensor networks	Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων
Particle swarm optimization	Βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων
Ant colony optimization	Βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών
Swarm intelligence	Νοημοσύνη σμήνους
Context	Πλαίσιο
Mobile computing	Κινητός υπολογισμός
Pervasive computing	Διάχυτος υπολογισμός
Location-based services	Υπηρεσίες βασισμένες στη θέση
Pattern recognition	Αναγνώριση προτύπων
Neural networks	Νευρωνικά δίκτυα
Travelling Salesman Problem	Πρόβλημα του Περιπλανώμενου Πωλητή
Swarm Robots	Σμήνη ρομπότ
Fault tolerance	Ανοχή στις αστοχίες
Multi-agent systems	Συστήματα κατανεμημένου υπολογισμού που βασίζονται σε πολλούς πράκτορες
Context discovery problem	Πρόβλημα της ανακάλυψης πληροφορίας πλαισίου
Particle	Σωματίδιο

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

MANET	Mobile Ad-hoc Networks
ACO	Ant Colony Optimisation
PSO	Particle Swarm Optimization
ΣΕΠ	Σύστημα Επίγνωσης Πληροφορίας Πλαισίου
ARA	Ant colony-based Routing Algorithm

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Μιχαήλ Σ. Νικητίδης, "Μηχανισμός Ανακάλυψης Πληροφορίας Πλαισίου με χρήση Αλγορίθμων Διάχυσης Πληροφορίας", Διπλωματική Εργασία, Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2009.
- [2] "Merriam-Webster Online" Feb. 2005; <http://www.merriam-webster.com/dictionary/context> [Προσπελάστηκε 10/9/2008]
- [3] "The Free On-line Dictionary of Computing" Jul. 2004; <http://foldoc.doc.ic.ac.uk/foldoc/> [Προσπελάστηκε 14/9/2008]
- [4] B.N. Schilit and M.M.Theimer, "Disseminating active map information to mobile hosts", IEEE Network, vol. 8, no. 5, 1994, pp. 22-32.
- [5] P.J. Brown, J.D. Bovey and X. Chen, "Context-aware applications: from the laboratory to the marketplace", IEEE Personal Communications, vol. 4, no. 5, 1997, pp. 58-64.
- [6] N. Ryan, J. Pascoe and D. Morse, " Enhanced Reality Fieldwork: the Context-Aware Archaeological Assistant ", Computer Applications in Archaeology (CAA 97), 1997.
- [7] A.K. Dey, "Context-Aware Computing: The CyberDesk Project", Spring Symposium on Intelligent Environments, Technical Report SS-98-02, pp. 51-54.
- [8] P.J. Brown, " The Stick-e Document: a Framework for Creating Context-Aware Applications", Electronic Publishing, vol. 8, no. 2 & 3, Jun. & Sep. 1995, pp. 259 - 272.
- [9] A. Ward, A. Jones and A. Hopper, "A New Location Technique for the Active Office", IEEE Personal Communications, vol. 4, no 5, pp. 42-47.
- [10] A.K. Dey, "Understanding and using context", Journal of Personal and Ubiquitous Computing, vol. 5, no. 1, 2001, pp. 4-7.
- [11] A. Soyulu, P. De Causmaecker and P. Desmet, "Context and Adaptivity in Pervasive Computing Environments: Links with Software Engineering and Ontological Engineering", Journal of Software, vol. 6, no. 9, Nov. 2009, pp. 992-1013.
- [12] C. Anagnostopoulos, A. Tsounis, S. Hadjiefthymiades, "Context Awareness in Mobile Computing Environments", Wireless Personal Communications, vol. 42, 2006, pp. 445-464.
- [13] W. N. Schilit, N. I. Adams and R. Want, "Context-aware Computing Applications", Proc. 1st Int'l Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA 94), IEEE CS Press, 1994, pp. 85-90.
- [14] A. K. Dey and G. D. Abowd, "Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness", Proc. 1st Int'l Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC 99), Springer, 1999, pp. 304-307.
- [15] J. Pascoe, " Adding Generic Contextual Capabilities to Wearable Computers", Proc. 2nd Int'l Symposium on Wearable Computers (ISWC 98), IEEE CS Press, 1998, pp. 92-99.
- [16] S. Loke, Context Aware Pervasive Systems: Architectures for a new breed of applications, Auerbach Publications, 2007.
- [17] E. Bonabeau, M. Dorigo and G. Theraulaz, "Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems", Oxford University Press, 1999.
- [18] M. Dorigo, "The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B, vol. 26, no. 1, 1996, pp. 1-13.
- [19] T. Stützle and H. Hoos, "MAX-MIN Ant System", Future Generation Computer Systems vol. 16, 2000, pp. 889-914.
- [20] M. Dorigo and L.M. Gambardella, "Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem", IEEE Trans. Evol. Comput., vol. 1, no. 1, 1997, pp. 53–66.
- [21] M. Dorigo and L.M. Gambardella, "Ant colonies for the traveling salesman problem", BioSystems vol. 43, no. 2, 1997, pp. 73–81.
- [22] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization", Proc. IEEE Int'l Conf. on Neural Networks, vol. 4, 1995, pp. 1942–1948.
- [23] M. Clerc and J. Kennedy, "The Particle Swarm-Explosion, Stability, and Convergence in a Multidimensional Complex Space", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 6, no. 1, 2002, pp. 58-73.
- [24] Y. Altshuler, V. Yanovsky, I.A. Wagner and A.M. Bruckstein, "Swarm Intelligence – Searchers, Cleaners and Hunters", Swarm Intelligent Systems, Eds. N. Nedjah, L. de Macedo Mourele, vol. 26, 2006, pp. 93-132.
- [25] "PSO Visualization Applet" <http://gecco.org.chemie.uni-frankfurt.de/PsoVis/applet.html> Jul. 2005; [Προσπελάστηκε 7/9/2008]
- [26] C. Anagnostopoulos and S. Hadjiefthymiades, "Towards the Application of Swarm Intelligence in Context Discovery", Department of Informatics and Telecommunications, University of Athens, 2008.
- [27] J. Kennedy and R. Mendes, "Neighborhood topologies in fully informed and best-of-neighborhood

- particle swarms", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, vol. 34, no. 4, pp. 515-519.
- [28] G. Di Caro, F. Ducatelle and L.M. Gambardella, "AntHocNet: An adaptive nature-inspired algorithm for routing in Mobile Ad Hoc networks.", *European Transactions on Telecommunications*, vol. 16, no. 5, 2008, pp. 443-455.
- [29] M. Gunes, U. Sorges and I. Bouazizi, "ARA – The Ant-colony based routing algorithm for MANETs", *Proc. Int'l Conference on Parallel Processing Workshops (ICPP 02)*, 2002, pp. 79-85.
- [30] K. Fujita, A. Saito and T. Matsui, H. Matsuo, "An adaptive ant-based routing algorithm used routing history in dynamic networks", *Proc. 4th Asia-Pacific Conf. on Simulated Evolution and Learning*, 2002.
- [31] H. Matsuo and K. Mori, "Accelerated ants routing in dynamic networks", *2nd Int' I Conf. on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD 01)*, 2001, pp. 333-339.
- [32] D. Camara and A.A.F. Loureiro, "A Gps/ant-like routing in ad hoc networks", *Telecommunication Systems*, vol. 18, no. 1–3, 2001, pp. 85–100.
- [33] S. Marwaha, C. K. Tham, D. Srinivasan, "Mobile agents based routing protocol for mobile ad hoc networks", *Proc. IEEE Global Telecommunications Conference (Globecom 02)*, vol. 1, 2002, pp. 163-167
- [34] T. Camilo, C. Carreto, J. Sa Silva and F. Boavida, "Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence", *Lecture Notes in Computer Science, LNCS 4150*, Springer, 2006, pp. 49-59
- [35] X. Zhang and W. Xu, "Agent Computing and Multi-Agent Systems", *Lecture Notes in Computer Science, LNCS 4088*, Springer, 2006, pp. 602-607
- [36] J. Deneubourg, S. Goss, G. Sandini, F. Ferrari and P. Dario, "Self-Organizing Collection and Transport of Objects in Unpredictable Environments", *Proc. Japan-USA Symposium on Flexible Automation (JUSFA 90)*, 1990, pp. 1093-1098.
- [37] G. Di Marzo Serugendo, A. Karageorgos, O. Rana and F. Zambonelli, eds., "Engineering Self-organising Systems", *Lecture Notes in Computer Science, LNCS 2977*, Springer, 2004, pp. 20-35.
- [38] X. Jia, J. Wu and Y. He, eds., " Mobile Ad-hoc and Sensor Networks", *Lecture Notes in Computer Science, LNCS 3794*, Springer, 2005, pp. 362-369
- [39] H. Min, J. Zhu and X. Zheng, "Obstacle avoidance with multi-objective optimization by PSO in dynamic environment", *Proc. Int' I Conf. Machine Learning and Cybernetics (ICMLC 05)*, Vol. 5, 2005, pp. 2950-2956.
- [40] A. Drogoul and J. Ferber, "From Tom Thumb to the Dockers: Some Experiments With Foraging Robots", *2nd Int' I Conf. on Simulation of Adaptive Behavior (SAB 92)*, 1992, pp. 451-459.
- [41] L.E. Parker, "ALLIANCE: An Architecture for Fault-Tolerant Multi-Robot Cooperation", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 14, no. 2, 1998, pp. 220-240.
- [42] S.M. LaValle, D. Lin, L.J. Guibas, J.C. Latombe and R. Motwani, "Finding an Unpredictable Target in a Workspace with Obstacles", *Proc. IEEE Int' I Conference on Robotics and Automation*, vol. 1, 1997, pp. 737-742.
- [43] J.L. Foo, J.S. Knutzon, J.H. Oliver and E.H. Winer, "Three-Dimensional multi-objective path planning of unmanned aerial vehicles using particle swarm optimization", *48th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference (AIAA 07)*, 2007.
- [44] A. Banks, J. Vincent and K. Phalp, "Particle Swarm Guidance System for Autonomous Unmanned Aerial Vehicles in an Air Defence Role", *Journal of Navigation*, vol. 61, no1, 2008, pp. 9-29.
- [45] B. Guo, X. Liang, B. Wang and L. Wan, "Sigmoid surface control for mini underwater vehicles by improved particle swarm optimization", *Proc. 2007 IEEE Int' I Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2007)*, 2007, pp. 1200-1205.
- [46] K. Pasino, M. Polycarpou, D. Jacques, M. Pachter, Y. Liu, Y. Yang, M. Flint and M. Baum, "Cooperative Control for Autonomous Air Vehicles", *Cooperative Control and Optimization*, R. Murphy, P. Pardalos (eds.), Kluwer Academics Publishers, 2002.
- [47] M. Polycarpou, Y. Yang and K. Pasino, "A Cooperative Search Framework for Distributed Agents", *Proc. 2001 IEEE Int' I Symposium on Intelligent Control (ISIC 01)*, 2001, pp. 1-6.
- [48] L.D. Stone, "Theory of Optimal Search", Academic Press, 1975.
- [49] P. Vincent, I. Rubin, "A Framework and Analysis for Cooperative Search Using UAV Swarms", *Proc. 2004 ACM Symposium on Applied Computing (SAC 04)*, 2004.