

Διατριβή Διπλωματικής

Using Nature-Inspired approaches in Nano-Networking

Ελένη Λαζάρου

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μάιο 2016

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Using Nature-Inspired approaches in Nano-Networking

Ελένη Λαζάρου

Επιβλέπων Καθηγητής

Αντρέας Πιτσιλίδης

Η παρούσα εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων απόκτησης του
Προπτυχιακού Πτυχίου Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου
Κύπρου

Μάιο 2016

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Αντρέα Πιτσιλλίδη που υπήρξε επιβλέπων καθηγητής στην παρούσα εργασία. Η υποστήριξη και η βοήθεια που μου πρόσφερε υπήρξαν καθοριστικές για την ολοκλήρωση της μελέτης αυτής. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον Αντρέα Καμηλάρη αφού χωρίς την αμέριστη και απλόχερη βοήθειά του, η ολοκλήρωση της μελέτης θα ήταν αδύνατη.

Επίσης θα είμαι πολύ ευγνώμων και ευχαριστώ πάρα πολύ την Αγγελική Τσολιαρίδου και το Χρίστο Λιάσκο. Όπου μέσα από τις συζητήσεις μας, αποκόμισα γνώσεις και ιδέες που βοήθησαν την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Τελειώνοντας, ευχαριστώ ιδιαίτερα την οικογένεια και τους φίλους μου που υπήρξαν δίπλα μου και με στήριζαν καθ' όλη τη διάρκεια του Πτυχίου μου. Η ολοκλήρωση της μελέτης αυτής δεν θα ήταν δυνατή χωρίς την αμέριστη συμπαράσταση των δικών μου ανθρώπων.

Περίληψη

Η τεχνολογία έχει εξελιχτεί όμως συνεχίζει να εξελίσσεται όλο και περισσότερο και σε επίπεδο Nano-Networking. Είναι μια νέα τεχνολογία που τα τελευταία χρόνια φάνηκε να υπάρχει αρκετό ενδιαφέρον.

Το «Nano-Networking» αναφέρονται σε τεράστια δίκτυα με ακραία όρια της διαθέσιμης ενέργειας κόμβων, την ασύρματη συνδεσιμότητα, την δύναμη του CPU και την χωρητικότητα του. Όλα αυτά θα προσαρμόζονται σε πολύ μικρά chip που στο μέλλον μπορούν να προσαρμοστούν στην καθημερινότητάς μας και να λειτουργούν σαν μικρά sensor. Για παράδειγμα μπορούν να προσαρμοστούν ακόμα και σε σημεία του σώματος μας για να στέλνουν μηνύματα στο γιατρό αν σε κάποια στιγμή υπάρχει κάποιο πρόβλημα.

Σκοπός λοιπόν της παρούσας εργασίας ήταν να μελετήσω το Nano - Networking και να βελτιστοποιήσω την μετάδοση αυτών των πακέτο που στέλνονται σε ένα δίκτυο σαν αυτό έτσι ώστε τα δεδομένα να φτάνουν όσο πιο γρήγορα γίνεται στο τελικό παραλήπτη πχ. στο γιατρό χωρίς να υπάρχει μεγάλη απώλεια των πακέτων.

Στην μελέτη αυτή προσαρμόστηκε ο αλγόριθμος bird Flocking και έγινε μια σύγκριση αποτελεσμάτων για την υλοποίηση αυτή.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή	6
1.1 Nano-networking	6
1.2 Foundation for Research and Technology - (FORTH)	6
1.3 Σκοπός Εργασίας	7
Κεφάλαιο 2 - Εισαγωγή Corona	8
2.1 Περιγραφή-Συστήματος αναφοράς συντεταγμένων και δρομολόγησης πακέτων	9
2.1.1 Εικονικό Σύστημα Συντεταγμένων του Corona	9
2.1.2 Αλγόριθμος δρομολόγησης του Corona.....	11
2.2 Προσημείωση και Αποτελέσματα	12
2.2.1 Περιγραφή προσημείωσης	12
2.2.2 Αποτελέσματα	13
Κεφάλαιο 3 - Bird Flocking.....	15
3.1 Η βασική ιδέα.....	15
3.2 Τα βασικά στοιχεία του μοντέλου Flock-CC.....	16
3.2.1 Οι ζώνες απώθησης και την έλξης	17
3.2.2 Το τεχνητό μαγνητικό πεδίο	18
3.2.3 Το τεχνητό μαγνητικό πεδίο(Field of View- FoV)	20
3.2.4 Τυχαιότητα	21
Κεφάλαιο 4 - Περιγραφή Σεναρίων.....	21
4.1 Σενάριο 1 – Απλό σενάριο	25
4.1.1 Αποτελέσματα του πρώτου σεναρίου.....	26
4.1.2 Υλοποίηση Σεναρίου 1.....	27

4.2 Σενάριο 2 – Χρήση εμποδίων.....	29
4.2.1 Αποτελέσματα του δεύτερου σεναρίου	30
4.3 Σενάριο 3 – Μεγάλο εμπόδιο με στατικό έλεγχο	31
4.3.1 Αποτελέσματα του τρίτου σεναρίου	33
4.4 Σενάριο 4 – Μεγάλο εμπόδιο με δυναμικό έλεγχο.....	33
4.4.1 Αποτελέσματα του τέταρτου σεναρίου	34
4.4.2 Υλοποίηση Σεναρίου.....	36
4.5 Σενάριο 5 – Αλλαγή πορείας	39
4.5.1 Αποτελέσματα του πέμπτου σεναρίου	40
4.6 Σενάριο 6 – Δημιουργία Σμήνους	43
4.6.1 Αποτελέσματα του έκτου σεναρίου	44
Κεφάλαιο 5 - Διαφορές Bird Flocking και Corona	47
5.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων	48
Κεφάλαιο 6 - Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία	52
6.1 Συζήτηση – Συμπεράσματα	52
6.2 Μελλοντική Εργασία	53
Βιβλιογραφία	57
Παράρτημα Α	58
A-1 Συνάρτηση δημιουργίας bird Flocking	58
A-2 Δημιουργία πακέτου.....	62
A-3 Αρχικοποίηση των κόμβων με τα hops από τον τελικό προορισμό.....	62
A-4 Αρχικοποίηση της τοπολογίας.....	63

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

Η αποστολή δεδομένων είναι απαραίτητη για την επικοινωνία, την ενημέρωση σε μια σύγχρονη κοινωνία του σήμερα.

1.1 Nano-networking

Το Nano-networking είναι ένας καινοτόμος τρόπος της αποστολής δεδομένων. Για την υλοποίηση αυτού του είδους δικτύωσης είναι απαραίτητο να υπάρχει χαμηλή πολυπλοκότητα αλλά παράλληλα υψηλή απόδοση. Είναι μια μέθοδος η οποία θα παρουσιάσει αυτά τα χαρακτηριστικά καθώς θα μπορέσει να εξυπηρετήσει πολλαπλούς ρόλους συμπεριλαμβανομένου της βέλτιστης διαδρομής των δεδομένων καθώς επίσης απεριόριστη επεκτασιμότητα της προώθησης της ενέργειας απόδοσης. Οι πρόοδοι στη νάνο τεχνολογία επιτρέπει την ανάπτυξη των μικροσκοπικών μηχανών από νάνο κλίμακα συστατικά, δηλαδή νάνο μηχανές. Αποτελείται από ένα τροφοδοτικό, μια μνήμη, μια κεραία και μια μονάδα CPU, νάνο μηχανές είναι εντελώς αυτόνομοι κόμβοι οι οποίοι είναι σε θέση να εκτελέσουν απλές εργασίες και να επικοινωνούν σε μικρές αποστάσεις. Τα δίκτυα αυτά αναμένεται να αναπτυχθούν ευρέως σε διάφορους τομείς, όπως η βιοϊατρική, η βιομηχανία, το περιβάλλον και τον στρατό.

1.2 Foundation for Research and Technology - (FORTH)

Για την υλοποίηση της παρούσας μελέτης είχε μελετηθεί το σενάριο υλοποίησης Nano-networking σε συνεργασία το ερευνητικό κέντρο στη Κρήτη [1]. Στο σενάριο αυτό υπήρχε ένας τεράστιος όγκος κόμβων για τον οποίο ξεκινούσε από ένα σημείο όπου θεωρείται πως είναι ο αποστολέας του πακέτου και έστελνε το μήνυμα προς όλες τις κατευθύνσεις ένα είδος flooding. Ο αλγόριθμος δρομολόγησης που χρησιμοποιούν λέγεται Corona.

Με αυτό τον τρόπο ενημερώνονταν όλοι οι γείτονες του κόμβου αποστολέα με το πακέτο που ήθελε να στείλει. Και αυτό συνεχίζονταν μέχρις ότου το πακέτο έφτανε στο παραλήπτη που ήθελε να φτάσει ο αποστολέας.

Το σενάριο είχε αρκετά καλά αποτελέσματα αλλά μεγάλη απώλεια των πακέτων. Ο λόγος ήταν αφού δεν υπήρχε μια κατεύθυνση για την αποστολή των πακέτων αρκετά από αυτά ήταν πλέον αχρείαστα.

1.3 Σκοπός Εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η βελτιστοποίηση της υπάρχουσας έρευνας στον αλγόριθμο Corona έτσι ώστε να παρατηρηθεί μικρότερη απώλεια πακέτων σε ένα Nano δίκτυο όπως είναι αυτό που θα μελετήσουμε πιο κάτω. Η νέα έκδοση του σεναρίου αυτού θα είναι υλοποιημένη με βάση τον Αλγόριθμο Bird-Flocking. Για την υλοποίηση του αλγορίθμου αυτού έχουμε μειώσει τον όγκο των κόμβων καθώς επίσης έχουν προστεθεί και διάφοροι πίνακες για την καλύτερη υλοποίηση του αλγορίθμου αυτού.

Στο Κεφάλαιο 2 θα γίνει μια αναφορά στον αλγόριθμο Corona με διάφορα αποτελέσματα που έχουν παρατηρηθεί. Ακολούθως στο Κεφάλαιο 3 θα υπάρχει μια πιο επεξηγηματική περιγραφή του Bird-Flocking πως δουλεύει και στο Κεφάλαιο 4 θα περιγράψω μερικά σενάρια μετά από την υλοποίηση του αλγορίθμου καθώς και μια πιθανή χρήση του αλγορίθμου αυτού σε Nano-networking. Στο Κεφάλαιο 5 θα συγκρίνουμε τον αλγόριθμο bird Flocking με τον αλγόριθμο δρομολόγησης Corona και θα παρατηρηθούν μερικά συμπεράσματα. Τέλος στα Κεφάλαια 6 θα δείξω την υλοποίηση του αλγορίθμου σε κάποια μελλοντική εργασία καθώς και την βιβλιογραφία της παρούσας μελέτης.

Κεφάλαιο 2 - Εισαγωγή Corona

Οι πρόοδοι στη νάνο τεχνολογία επιτρέπει την ανάπτυξη των μικροσκοπικών μηχανών από νάνο κλίμακα συστατικά, δηλαδή νάνο μηχανές. Αποτελείται από ένα τροφοδοτικό, μια μνήμη, μια κεραία και μια μονάδα CPU, νάνο μηχανές είναι εντελώς αυτόνομοι κόμβοι οι οποίοι είναι σε θέση να εκτελέσουν απλές εργασίες και να επικοινωνούν σε μικρές αποστάσεις. Τα δίκτυα αυτά αναμένεται να αναπτυχθούν ευρέως σε διάφορους τομείς, όπως η βιοϊατρική, η βιομηχανία, το περιβάλλον και τον στρατό. Επικοινωνία μεταξύ των νάνο μηχανών εξελίσσεται προς την κατεύθυνση των δικτύων ad-hoc λόγω των χαρακτηριστικών τους, την ικανότητα να είναι επαναδιαμορφώσιμες και αυτό-οργανωμένες. Ωστόσο, οι αυστηροί περιορισμοί των νανο-κόμβων όσον αφορά την υπολογιστική ισχύ, μνήμη και ενέργεια σε συνδυασμό με την αναμενόμενη υψηλό αριθμό των νανο-κόμβων ανά δίκτυο οδηγούν σε διαφορετικά ζητήματα σχεδιασμό του πρωτοκόλλου και της δικτύωσης. Έτσι στο αλγόριθμο δρομολόγησης και διευθυνσιοδότησης Corona υλοποιεί ένα νέο σύστημα δρομολόγησης δεδομένων σε σχέση με τους περιορισμούς και τα χαρακτηριστικά των nanonetworks. Αυτό δεν αναλαμβάνει καμία πληροφορία για την κατάσταση των γειτόνων και ένα νανο-CPU είναι σε θέση να εκτελέσει μόνο απλούς υπολογισμούς. Μια απάντηση-πακέτου παραδίδεται με τη χρήση μόνο των πληροφοριών διεύθυνσης στο μήνυμα, αποτρέποντας την εκπομπή του στο δίκτυο. Οι διευθύνσεις αποτελούνται από ένα σύνολο τεσσάρων τιμών που χαρακτηρίζουν την τοπική εύρος ζώνης όπου ο συγκεκριμένος κόμβος ανήκει. Σύμφωνα με την προτεινόμενη διαδικασία για την επίλυση του ο κάθε κόμβος θέτει σε τοπικό επίπεδο τη δική του διεύθυνση. Σε μεγάλα nanonetworks μια τέτοια προσέγγιση αναμένεται να μειώσει την οδυνηρή ανάθεση της αντιμετώπισης αρκετά σημαντικά. Όσο αφορά την τοπολογία που έχουν χρησιμοποιήσει η μελέτη τους επικεντρώθηκε σε ορθογώνιες τοπολογίες πλέγματος, όπου αυτή δείχθηκε σε διευθύνσεις οι τρεις προκλήσεις του σχεδιασμού των νανο δικτύωσης δηλαδή:

- i. υψηλή επεκτασιμότητα και την κάλυψη σε σχέση με τον αριθμό των κόμβων στο δίκτυο
- ii. περιορισμένη πολυπλοκότητα και
- iii. υψηλής ενεργειακής απόδοσης.

Αρχικά, απαιτούνται λειτουργικές παράμετροι της τοπολογίας που εξαρτώνται από τη βελτιστοποίηση, δεύτερον, οι κόμβοι υποτίθεται ότι έχουν δυνατότητες ψηφιακής επεξεργασίας σήματος και αέρινες υποστήριξη σημείο υπολογισμού. Τρίτον, η λειτουργία τους επικεντρώθηκε σε 2D ορθογώνιο πλέγμα τοπολογίας το οποίο θα χρησιμοποιήσω και για το δικό μου σενάριο.

2.1 Περιγραφή-Συστήματος αναφοράς συντεταγμένων και δρομολόγησης πακέτων

Το Corona αποτελείται από δύο χαρακτηριστικά. Είναι ένας τρόπος δρομολόγησης αλλά και εκχώρησης διευθύνσεων σε νανο κόμβους σε 2D τοπολογίες. Αρχικά το σύστημα συντεταγμένων γίνεται με βάση τα σημεία αναφοράς που δίνονται(anchors). Οι κόμβοι επιλέγονται από το χρήστη και χρησιμοποιούνται ως σημεία άγκυρας η οποία μετρά δυναμικά την απόστασή τους από αυτούς, σε αριθμό hop. Έτσι στη τελική φάση οι συντεταγμένες αυτές που υπολογίστηκαν σε κάθε κόμβο χρησιμοποιούνται ως διεύθυνση. Το Corona επίσης λειτουργεί και ως σύστημα δρομολόγησης επιλέγει τη διαδρομή, από τον αποστολέα S στο δέκτη R, με τον ελάχιστο αριθμό hop. Η απόφαση λαμβάνεται από τον κόμβο πηγή S και οι πληροφορίες αποθηκεύονται στην κεφαλίδα του πακέτου.

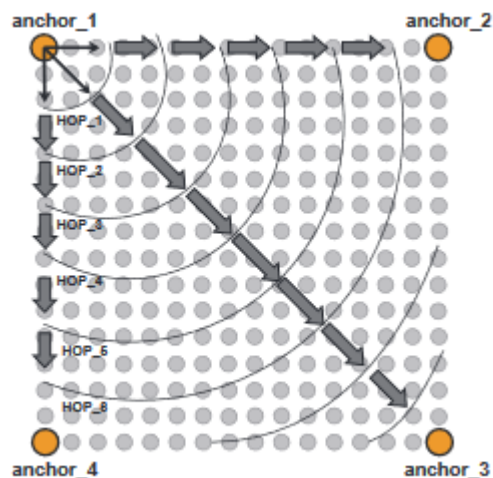
Το CORONA απαιτεί ελάχιστη επιβάρυνση εγκατάσταση και απλούς υπολογισμούς. Μόλις αναπτυχθεί, λειτουργεί αποτελεσματικά, παρέχοντας μια πολύ χαμηλού πακέτου αναμετάδοση και του ποσοστού παρεμβολής.

2.1.1 Εικονικό Σύστημα Συντεταγμένων του Corona

Το προτεινόμενο σύστημα συντεταγμένων, μια επισκόπηση των υποθέσεων συστημάτων δίνεται στο Σχ. 2.1.1.1. Υποθέτουμε μια ορθογώνια περιοχή επί της οποίας ένα μεγάλο σύνολο των κοιλιών είναι ομοιόμορφα τοποθετημένα. Η διάταξη μπορεί να είναι καλά τοποθετημένη ή τυχαία, υπό την προϋπόθεση ότι η μέση πυκνότητα κόμβων παραμένει ομοιόμορφη σε όλη την επιφάνεια. Αυτή η διάταξη είναι σημαντικό για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των βιομηχανικών . Οι συντεταγμένες ενός κόμβου περιλαμβάνουν τέσσερα μέρη, το καθένα αντιστοιχεί στην απόσταση του κόμβου από τις

τέσσερις άγκυρες οι οποίες είναι τοποθετημένοι στις κορυφές της περιοχής. Για παράδειγμα, τα ομόκεντρα τόξα στο Σχ. 2.1.1.1 χονδρικά αντιστοιχούν προς την απόσταση μεταξύ του λυκίσκου άγκυρα 1 και κάθε κόμβο στο δίκτυο. Ως εκ τούτου, σύμφωνα με την CORONA, κάθε κόμβος πρέπει να αποκτήσει την απόστασή του από την άγκυρα 1-άγκυρα 4 κόμβους. Αυτό πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια μιας φάσης εγκατάστασης, κατά την οποία οι κόμβοι μεταδίδουν την άγκυρα διαδοχικά σε ένα ενιαίο πακέτο με ειδικά flags.

Η Διαδικασία Packet Routing είναι ένα σύστημα συντεταγμένων σε ένα 2D χώρο που απαιτεί τρεις άγκυρες για να προσδιορίσει επακριβώς μια περιοχή. Ωστόσο, δεδομένου ότι CORONA υποθέτει ορθογώνιες περιοχές με ένα anchor να τοποθετείται στις κορυφές, ακόμη και δύο άγκυρες μπορεί να αρκεί. Πρώτον, μια περιοχή με θεωρητικά διπλούν συντεταγμένες συνήθως βρίσκεται εκτός της ζώνης του ορθογωνίου. Δεύτερον, αν οι δύο περιοχές με πανομοιότυπα συντεταγμένες τυχαίνει να βρίσκονται εντός της περιοχής του δικτύου, το αποτέλεσμα θα είναι απλώς μια προσωρινή αύξηση του αριθμού των αναμετάδοση κόμβων.



Σχήμα 2.1.1.1. Τέσσερις άγκυρες οι οποίες είναι τοποθετημένοι στις κορυφές της περιοχής

2.1.2 Αλγόριθμος δρομολόγησης του Corona

Κατά την διάρκεια δρομολόγησης πακέτων υπάρχουν 3 βασικά βήματα τα οποία πρέπει να υλοποιηθούν. Αρχικά επιλέγεται ο anchor. Η πηγή επιλέγει το ζεύγος των σημείων αναφοράς (anchor) η οποία δίνει το μικρότερο αριθμό hop για τη μεταφορά του πακέτου. Στην συνέχεια γίνεται η ενσωμάτωση στην επικεφαλίδα του πακέτου. Το αναγνωριστικό των επιλεγμένων anchors που είναι αποθηκευμένα στην κεφαλίδα του πακέτου. Και τέλος υπάρχει ένα κριτήριο αναμετάδοση, που είναι το κριτήριο σύμφωνα με το οποίο ένας κόμβος για να συμπεράνουμε αν θα μεταδώσει το πακέτο ή όχι.

Αρχικά στο πρώτο βήμα ο αποστολέας πρέπει να πάρει δύο από τις τέσσερις άγκυρες που βασίζεται σε δύο προϋποθέσεις. Πρώτον, οι δύο άγκυρες δεν πρέπει να είναι διαγώνια . Ο λόγος είναι απλός αν αντιμετωπίζαν, τότε θα υπήρχε περίπτωση όπου θα δημιουργείτο διασταύρωση που θα μπορούσε να οδηγήσει σε δρομολόγηση πορείας του κατακερματισμού και η δρομολόγησης να είναι αναποτελεσματική. Έτσι, υπάρχουν μόνο τέσσερα έγκυρα ζεύγη άγκυρα, το καθένα που βρίσκεται σε μια πλευρά της ορθογώνιας περιοχής.

$$D_{pair_k} = \sum_{i=1}^4 |s_i^{(pair_k)} - r_i^{(pair_k)}| \quad [1]$$

Για το δεύτερο κριτήριο, απλά να παίρνει τα ζεύγη anchors που προσφέρει το μικρότερο συνολικό αριθμό των hops μεταξύ του αποστολέα και του δέκτη. Με άλλα λόγια, κάθε ζεύγος σημείου αναφοράς είναι σαν ένα σύστημα συντεταγμένων, και να επιλέγετε αυτό που ελαχιστοποιεί τον αριθμό των hop.

$$p_{best} = \operatorname{argmin}_{pair_k} \{D_{pair_k}, k = 1..4\} \quad [1]$$

[1]

Στο δεύτερο βήμα η ταυτότητα των επιλεγμένων anchors πρέπει να ενσωματωθεί στο πακέτο.

Για το λόγο αυτό προσθέτουν ένα ακόμη 2D flags στην κεφαλίδα. Έτσι, η σημαία SETUP έχει ρυθμιστεί σε 1 για να δείξει ότι αυτό το πακέτο ανήκει στην φάση μετάδοσης. Ενώ τα επόμενα 2 σημαίες καθορίζετε ποια anchors έχουν επιλεγεί για τη μετάδοση πακέτων

CORONA Additions			Standard Packet Fields		
SETUP 1/0 (1-bit flag)	ANCHOR_A (2-bit flag)	ANCHOR_B (2-bit flag)	N_HOPS	{SOURCE}	{RECEIVER}

Και τέλος για το 3 βήμα είναι το κριτήριο αναμετάδοσης. Μετά τη λήψη του πακέτου ένας κόμβος T (T1, T2, T3, T4) συμπεράνουμε αν θα αναμεταδώσει ή όχι με βάση απλές συγκρίσεις

ακέραιο:

$(T_i \in [s_i, r_i] \ \&\& \ (T_j \in [S_j, R_j])).$ Με τη χρήση επιλεγμένων σημείων αναφοράς i και j.

2.2 Προσημείωση και Αποτελέσματα

Στην ενότητα αυτή αξιολογεί την απόδοση του προτεινόμενου σχήματος CORONA έναντι εναλλακτικών λύσεων.

2.2.1 Περιγραφή προσημείωσης

Ιδιαίτερα, το CORONA συγκρίνεται με το σύστημα Δυναμικών Υποδομών (DIF) , καθώς και μια προσέγγιση flooding (πλημμύρες). Οι προσομοιώσεις θεωρούν 2D τοπολογίες, δηλαδή ένα ενιαίο δίκτυο και μια ομοιόμορφη τυχαία διάταξη, και 10.000 κόμβους. Η επιλεγμένη διάταξη γεμίζει ένας τετράγωνος χώρος, με διαστάσεις 10 x 10 mm.

Στη συνέχεια, με χρόνο μεταξύ άφιξης 100 nsec, επιλέγεται τυχαία ένα αποστολέα και ένας δέκτης μεταξύ των κόμβων. Ο αποστολέας στέλνει ένα ενιαίο πακέτο, το οποίο μεταφέρεται στον δέκτη με έναν τρόπο που ορίζεται από κάθε σύγκριση του συστήματος. Επαναλαμβάνουμε αυτή τη διαδικασία για 100 τυχαία ζεύγη:

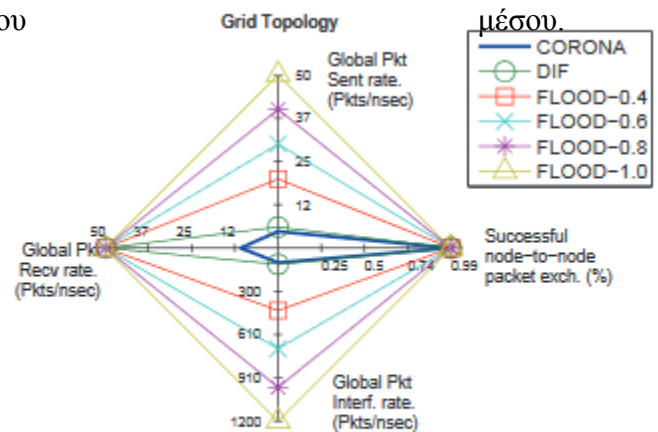
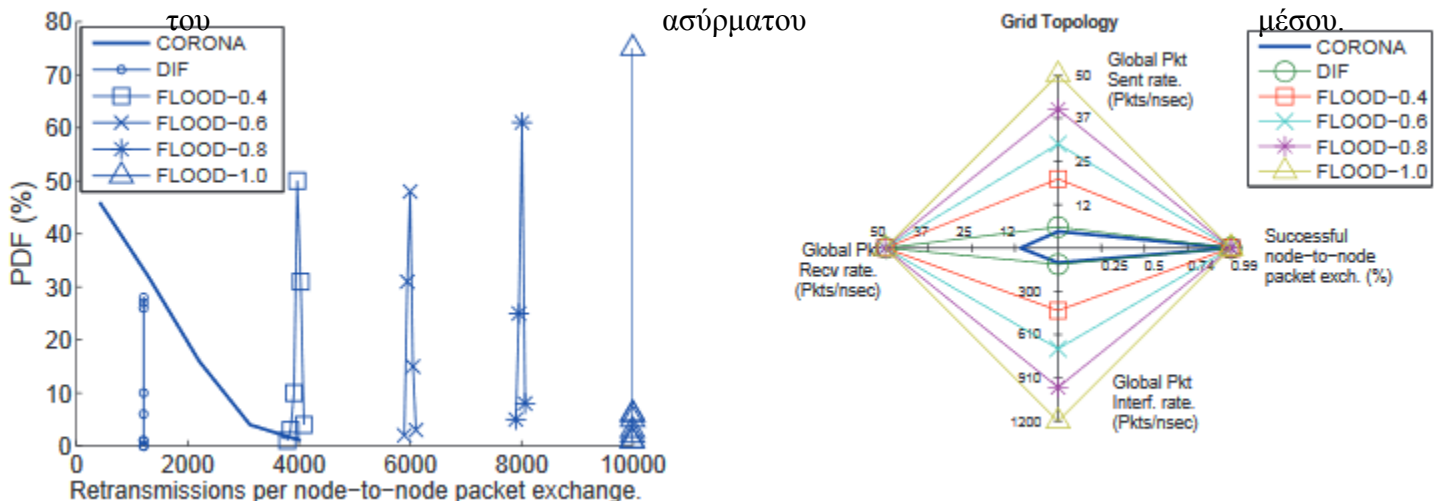
- Η επιτυχής από κόμβο σε κόμβο σχέση ανταλλάζει πακέτα (δηλαδή πόσα από τα 100 ζευγάρια που ανακοινώθηκαν με επιτυχία).
- Ο αριθμός των κόμβων που συμμετέχουν για αναμετάδοση ανά κάθε μία από τις 100 ανταλλαγές πακέτων, που αποτελεί μια συνάρτηση κατανομής πιθανότητας.
- Το δίκτυο σε i) ποσοστό πακέτων αναμετάδοση (δηλαδή παγκόσμια),
 - ii) ποσοστό επιτυχούς λήψης ενός πακέτου,
 - iii) το ποσοστό απώλειας πακέτων

2.2.2 Αποτελέσματα

Τα Σχήματα 2.2.2.1 και 2.2.2.2 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα που αφορούν την διάταξη πλέγματος. Στο Σχ. 2.2.2.1. Είναι προφανές ότι η προσέγγιση FLOOD περιλαμβάνει κάθε από τα 10.000 κόμβους του δικτύου, για κάθε ζεύγος μετάδοσης, όταν η πιθανότητα πλημμύρας είναι 1.0 (Flood-1.0). Ο αριθμός αυτός πέφτει αναλογικά με την πιθανότητα πλημμύρας, όταν η τελευταία μειώθηκε σε $p = 0,8, 0,6, 0,4$, αντίστοιχα. Παρατηρείτε ότι τα αντίστοιχα είναι στενές κορυφές γύρω από τα μέσα που ορίζονται από $p \times 10.000$. Παρατηρούμε ότι p είναι μια παράμετρος που απαιτεί χειροκίνητη, ακριβή ρύθμιση, η οποία δεν μπορεί να είναι βιώσιμη για nanonetworks. Για παράδειγμα, το Σχ. 2.2.2.2 δείχνει ότι ακόμη και οι παραλλαγές του P μπορεί προσφέρει πλεονέκτημα μικρής απόδοσης. Όλες συγκρίσεις παραλλαγές των πλημμυρών και DIF επιτύχει τέλεια σχέση ανταλλαγής πακέτων (100%), αλλά με ένα συνολικό ποσοστό λήψης ενός πακέτου σχεδόν πέντε φορές υψηλότερη από ό, τι CORONA. Επιπλέον, πλημμύρα αναλαμβάνει τα υψηλότερα παγκόσμια ποσοστά μετάδοσης πακέτων και απώλεια πακέτων. Αυτό είναι αναμενόμενο, δεδομένου ότι όλοι οι κόμβοι τυφλά συμμετέχουν σε κάθε ανταλλαγή πακέτων κάτι που δεν συμβαίνει στο σενάριο bird flocking αφού για την αποστολή του πακέτου συμμετέχει μόνο ένας node. Ωστόσο, αυτή η απόδοση μπορεί να αποδυναμώσει την πολύ περιορισμένη τροφοδοσία των nanonodes. Το

σύστημα DIF αποδίδει πολύ καλύτερα από ό, τι το flooding σε κάθε περίπτωση, χωρίς να απαιτείται καμία ρύθμιση.

Από την άλλη πλευρά, CORONA παρουσιάζει ενδιαφέρον γνωρίσματα. Στο Σχ. 2.2.2.1 παρατηρούμε ότι το CORONA δεν είναι μια στενή κορυφή, πράγμα που σημαίνει ότι ο αριθμός των αναμεταδοτών που συμμετέχουν σε μια ανταλλαγή πακέτου ποικίλλει σημαντικά. Αυτό είναι αναμενόμενο, δεδομένου ότι τα πακέτα ταξιδεύουν τώρα πάνω από μονοπάτια που ορίζονται από το σύστημα των συντεταγμένων. Στην ουσία, η απόδοση του DIF αντιστοιχεί περίπου σε ένα μέσο σενάριο για CORONA από αυτή την άποψη. Ωστόσο, μικρότερες διαδρομές είναι πιο πιθανό για το CORONA. Επιπροσθέτως, η Σχ. 2.2.2.2 δείχνει ότι CORONA συνδυάζει μια τέλεια σχέση ανταλλαγής πακέτων (100%), με σημαντικά μειωμένη παγκόσμια αποστολής και λήξης πακέτων και το ποσοστό παρεμβολής. Τα κέρδη της CORONA πάνω από τις πλημμύρες και DIF επικυρώνει επίσης τον ισχυρισμό σύντομης διαδρομής. Από την άποψη της παγκόσμιας παρεμβολής πακέτων. Το DIF και το CORONA συμπεριφέρονται παρόμοια με τη διάταξη του δικτύου υποτίθεται στο σχήμα. 2.2.2.2. Οι μετρήσεις αυτές είναι αντιπροσωπευτικές της ενεργειακής απόδοσης των συστημάτων. Ωστόσο, το συνολικό ποσοστό λήψης ενός πακέτου είναι πολύ χαμηλότερο για CORONA. Αυτή η μέτρηση εκφράζει το δυναμικό επικοινωνίας πολυπλεξίας. Στην ουσία, για κάθε ανταλλαγή πακέτων, DIF περιλαμβάνει περίπου πέντε φορές περισσότερους ελεγκτές από CORONA. Αυτό σημαίνει ότι στην περίπτωση της ταυτόχρονης ανταλλαγής πακέτων μεταξύ πολλών ζευγών αποστολέα-δέκτη, DIF θα αναμενόταν να προκαλέσει άσκοπη παρεμβολή, περιορίζοντας την πολυπλεξία δυναμικό



Σχήμα 2.2.2.1. ο αριθμός των αναμεταδοτών που συμμετέχουν σε μια ανταλλαγή πακέτου

Σχήμα 2.2.2.2. CORONA συνδυάζει μια τέλεια σχέση ανταλλαγής πακέτων (100%)

Κεφάλαιο 3 - Bird Flocking

Σε αυτή την ενότητα η ιδέα θα μελετήσουμε τη ιδέα πίσω από τον αλγόριθμο bird Flocking. Θα εξηγήσουμε πως η ιδέα αυτή διαμορφώνετε σε ένα σμήνος από πουλιά και καθώς πια είναι τα στοιχεία που ακολουθεί η λογική με βάση το φυσικό σμήνος πουλιών και αυτό που θα υλοποιηθεί με βάση την λογική του nano-Networking.



3.1 Η βασική ιδέα

Θεωρούμε ένα σύστημα όπου δημιουργούνται πολλαπλά πακέτα και αυτά τα πακέτα βρίσκονται μέσα σε κόμβους οι οποίοι πρέπει να κατευθυνθούν προς ένα ειδικό κόμβο όπου θεωρείται ο τελικός προορισμός για τα πακέτα.

Η βασική ιδέα είναι ότι υπάρχει αυτή η παγκόσμια έλξη που είναι ο τελικός προορισμός και τα πακέτα αρχίζουν να κατευθύνονται προς σε αυτή αποφεύγοντας πιθανά εμπόδια και νεκρές ζώνες .

Στο μοντέλο αυτό θεωρούμε ότι κάθε πακέτο είναι ένα «πουλί» με δυναμική θέση και μία κατεύθυνση. Η μετακίνηση του πακέτου γίνεται με μεταβάσεις 1 hop απόσταση από τα διακριτά σημεία της τοπολογίας μας δισδιάστατου χώρου. Εννοιολογικά προκειμένου να διευκολύνουν την μετακίνηση πακέτων συμπεριφέρονται σαν κοπάδι. Τα βασικά χαρακτηριστικά των φυσικών κοπαδιών θα ενσωματωθούν στο μοντέλο αυτό το bird flocking δηλαδή ότι τα πακέτα αλληλοεπιδρούν με έλξη και άπωση δυνάμεις με άλλα πακέτα που βρίσκονται σε γειτονικούς κόμβους στο FoV του πακέτου. Επίσης υπάρχει και μια μαγνητική δύναμη που κατευθύνει προς το τελικό προορισμό.

Πιο συγκεκριμένα η προσέγγιση Flock-CC διέπεται από 4 απλούς κανόνες:

Rule 1: Τα πακέτα απωθούνται από τα γειτονικά πακέτα που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση (Δηλαδή ένα hop μακριά από το πακέτο) μέσα στο FoV του πακέτου

Rule 2: Τα πακέτα έλκονται από γειτονικά πακέτα που βρίσκονται στους κόμβους σε μεσαίες αποστάσεις (Δηλαδή δύο λυκίσκο μακριά από το πακέτο) μέσα στο FoV,

Rule 3: Τα πακέτα είναι προσανατολισμένα και έλκονται από το μαγνητικό πεδίο, και

Rule 4: Τα πακέτα μπορούν να διαλέξουν μια τυχαία διαδρομή η οποία τηρεί τις προϋποθέσεις που προαναφέρονται.

3.2 Τα βασικά στοιχεία του μοντέλου Flock-CC

Τα βασικά στοιχεία της προσέγγισης Flock-CC που ορίζονται στο παρόν τμήμα:

- (α) οι ζώνες απώθησης και την έλξης και τις δυνάμεις,
- (β) το τεχνητό μαγνητικό πεδίο
- (γ) το οπτικό πεδίο (FoV),
- (δ) τυχαιότητα

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι ένας βασικός στόχος του σχεδιασμού ήταν να διατηρηθεί ο αριθμός των ρυθμιζόμενων παραμέτρων τόσο μικρό όσο πρακτικά, προκειμένου να μειωθεί η πολυπλοκότητα στη βελτιστοποίηση τιμές παραμέτρων για διαφορετικά περιβάλλοντα και συνθήκες του δικτύου όπως είναι το Nano - Networking.

Σκεφτείτε ένα δίκτυο αυτόνομων κόμβων N , $N > 0$, που είναι σε θέση να παράγουν πακέτα. Μια πεπερασμένη ουρά συνδέεται με κάθε κόμβο, ενώ throughput του κόμβου περιορίζεται από τη χωρητικότητα ασύρματου καναλιού. Ένα πακέτο i είναι στον κόμβο $n \in \{1 \text{ του, } \dots$

$N \}$ (Δηλ. Το πακέτο i κατοικεί στην ουρά του κόμβου n) λαμβάνονται ως σημεία αναφοράς προκειμένου να καθορίσουν και να συζητήσουν απώθησης και έλξης ζώνες, το μαγνητικό πεδίο και το οπτικό πεδίο. Η θέση του κόμβου n καθορίζει τη θέση του που φιλοξενείται πακέτου i .

Κάθε κόμβος n διατηρεί τέσσερις μονοδιάστατη πίνακες:

- (α) πίνακα έλξης,
- (β) πίνακα άπωση
- (γ) πίνακα μετάδοσης,
- (δ) πίνακα γειτνίαση.

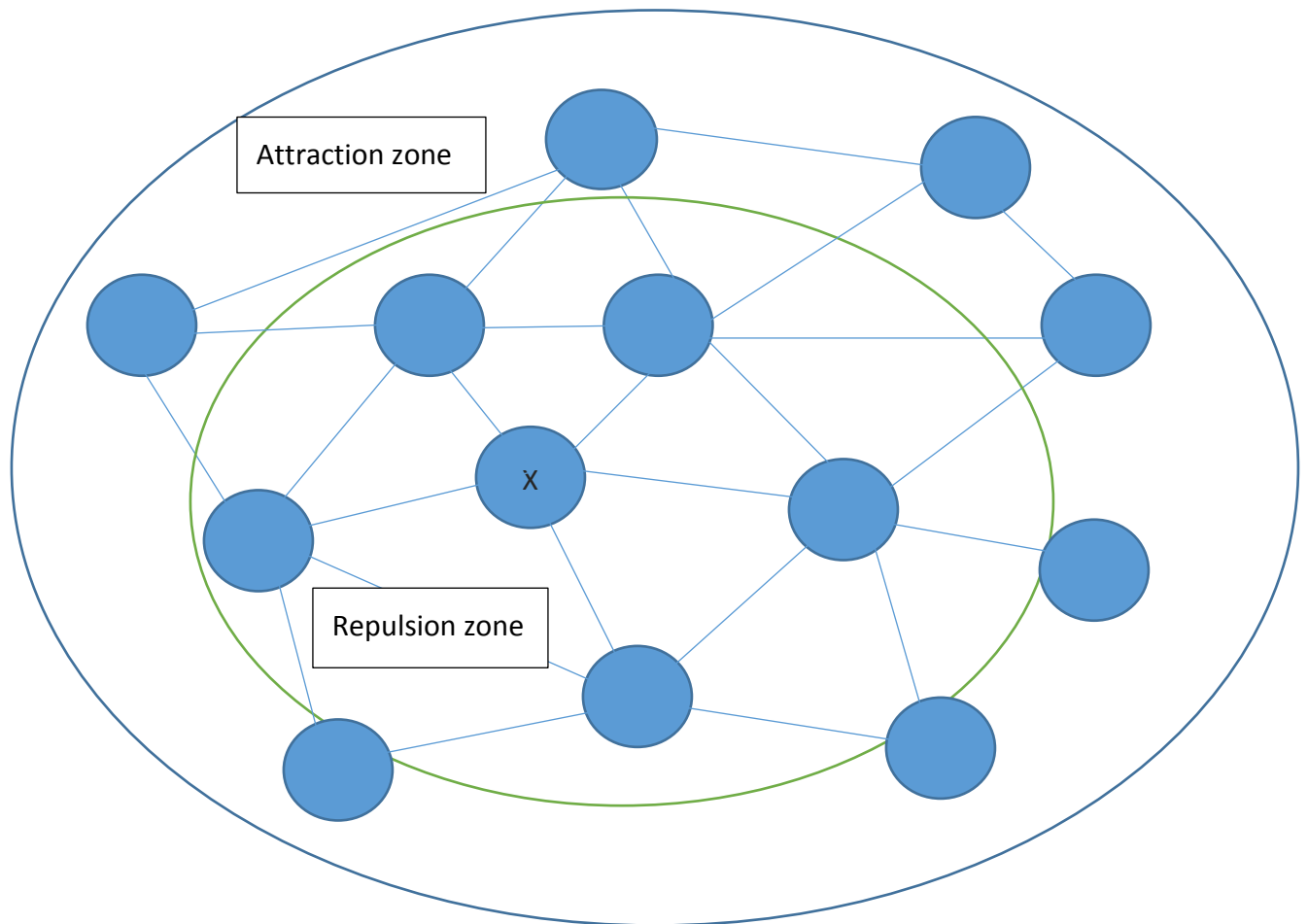
Κάθε ένα από αυτούς τους πίνακες περιέχει διαφορετικές πληροφορίες για ένα σύνολο γειτονικών κόμβων, για τα οποία ο κόμβος n έχει ενεργή ασύρματη σύνδεση μαζί τους.

Μια είσοδος s του πίνακα έλξη του κόμβου n περιέχει πληροφορίες σχετικά με τον κόμβο m . Το ίδιο ισχύει και για όλους τους πίνακες. Τα περιεχόμενα του κάθε πίνακα συζητηθούν αργότερα. Στη συνέχεια, οι τιμές αυτών των ποσοτήτων που μεταδίδονται περιοδικά (κάθε T δευτερόλεπτα) σε όλες τις γειτονικές κόμβους (σε ακτίνα $range$ μετάδοσης), χρησιμοποιώντας ένα ειδικό πακέτο ελέγχου. Αυτά τα περιοδικά πακέτα ελέγχου χρησιμοποιούνται επίσης για να ενημερώσετε τις πληροφορίες σχετικά με τη συνδεσιμότητα των γειτονικών κόμβων.

Παρακάτω, τα πέντε βασικά στοιχεία της προσέγγισης Flock-CC ορίζεται.

3.2.1 Οι ζώνες απώθησης και την έλξης

Σε αυτό το σημείο βλέπουμε τις δυνάμεις έλξης και άπωσης. Οι ακμές στο γράφημα δείχνουν την ύπαρξη ασύρματη σύνδεση μεταξύ δύο κόμβων. Κάθε πακέτο αναμένεται να κινηθεί σε ένα distance απόσταση 1 hop. Η δύναμη της έλξης εμφανίζεται στους κόμβους που απέχουν 2 hop από τον κόμβο στον οποίο βρισκόμαστε και η δύναμη της άπωσης εμφανίζεται από τους κόμβους που απέχουν 1 hop distance πάλι από εμάς.



Σχήμα 3.2.1.1 Δείχνει τις ζώνες άπωσης και έλξης

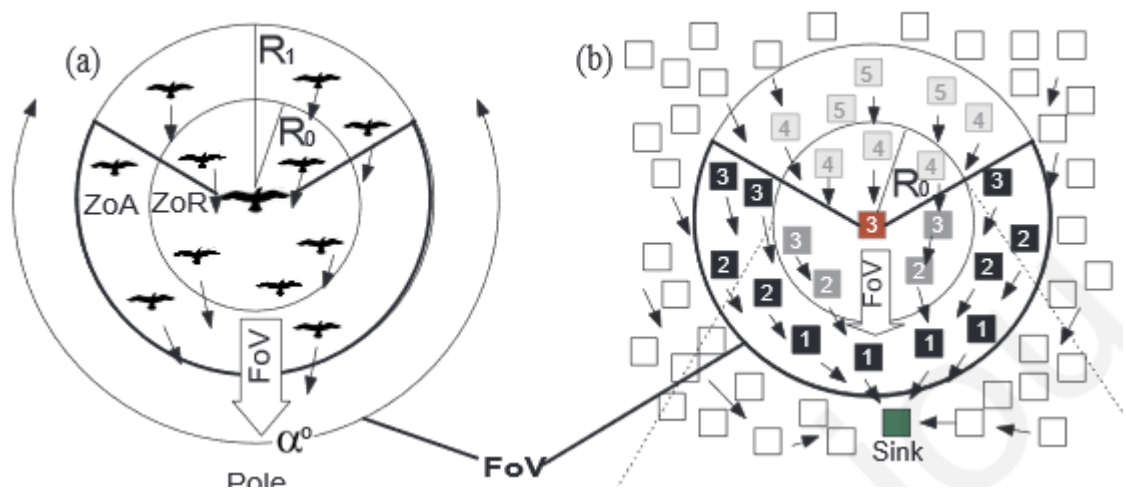
3.2.2 Το τεχνητό μαγνητικό πεδίο

Προκειμένου να αποφευχθεί η άσκοπη δρομολόγηση σε κόμβους και να περιοριστή το ξεχείλισμα που συμβαίνει στη δρομολόγηση των πακέτων της FORTH και να ελαχιστοποιήσει τις απώλειες πακέτων, τα πακέτα θα πρέπει να «καθοδηγούνται» για τη

δημιουργία πορείας προς το τελικό προορισμό. Το τεχνητό μαγνητικό πεδίο υιοθετηθεί για δύο λόγους:

- α) για την παροχή προσανατολισμού και
- β) έλξη των πακέτων προς το τελικό προορισμό.

Το μαγνητικό πεδίο της Γης είναι υπεύθυνος για την καθοδήγηση των πουλιών να πετούν προς τους πόλους. Στο ίδιο πλαίσιο, ο τελικός προορισμός θεωρείται ως ένα τεχνητό μαγνητικό πόλο μέσα στο δίκτυο και τα πακέτα αναμένεται να «πετούν» υπό την επίδραση του τεχνητού μαγνητικού πεδίου, όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα. Προσανατολισμός στο τελικό παραλήπτη συνάγεται από την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου (μικρότερες διαδρομές μέχρι το παραλήπτη), ενώ η έλξη προς τα συντομότερα μονοπάτια για να το τελικό προορισμό οδηγείται από την ισχύ του μαγνητικού πεδίου. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι μεγαλύτερη μέσα από τη συντομότερη διαδρομή προς το παραλήπτη και εξασθενεί με μεγαλύτερες διαδρομές. Προσανατολισμός επιτρέπει πακέτα να αντιληφθεί την κατεύθυνση του, διαφορετικά η απουσία της έλξης για να συντομότερα μονοπάτια προς το προορισμό τους προκαλεί τα πακέτα να παγιδευτούν σε βρόχους μεταξύ γειτονικών κόμβων. Επιπλέον, είναι αδύνατο για ένα πακέτο να αισθανθεί την έλξη προς τα συντομότερα μονοπάτια στο τελικό προορισμό χωρίς προσανατολισμό.

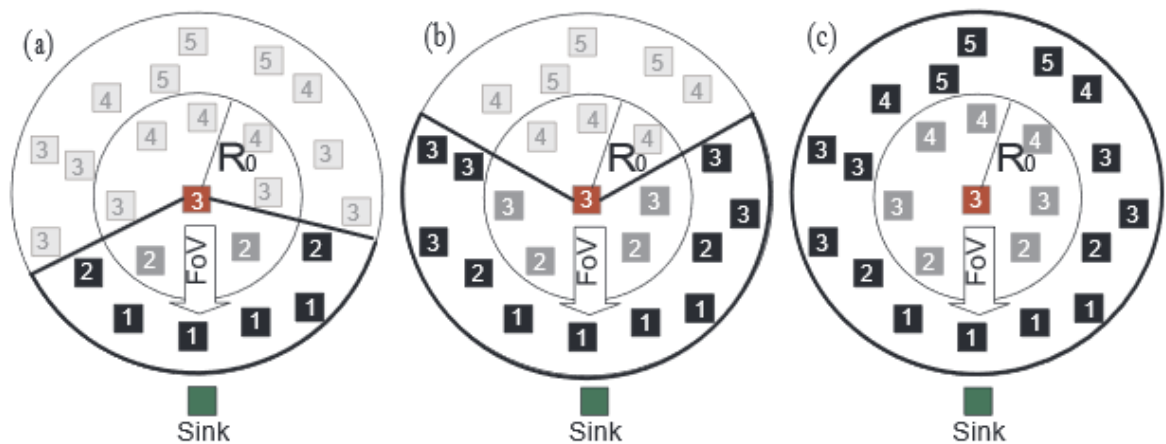


Σχήμα 3.2.2.1 Το μαγνητικό πεδίο της Γης [2]

3.2.3 Το τεχνητό μαγνητικό πεδίο(Field of View- FoV)

Η FoV ενός πακέτου μπορεί να εκτείνεται από μερικές μοίρες μέχρι 360ο. Στο προτεινόμενο

προσέγγιση, τρία διαφορετικά ανοίγματα FoV θεωρήθηκαν όπως απεικονίζεται στο πιο κάτω σχήμα 3,2,3,1. Στην περίπτωση του στενού FoV, το πακέτο i στον κόμβο n (κόμβος στη μέση) μπορεί να «δει» μόνο τα πακέτα που βρίσκονται σε κόμβους με μικρότερες αποστάσεις hop από τον κόμβο n. Στην περίπτωση ευρύ πακέτο FoV μπορώ να «δει» τα πακέτα που βρίσκονται σε κόμβους με μικρότερες ή ίσες αποστάσεις hop στο τελικό προορισμό σε σύγκριση με τον κόμβο n. Στην ακραία περίπτωση, η 360 μοιρών FoV του πακέτου I περιλαμβάνει όλους τους κόμβους στη γειτονιά του πακέτου. Προσομοιώσεις δείχνουν ότι το πλήρες 360 μοιρών FoV ,επιτρέποντας πακέτα να κινηθούν προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, επιδεικνύει κακή απόδοση. Ο λόγος είναι η απουσία προσανατολισμού, και ως εκ τούτου για την παγκόσμια έλξη. Αυτό προκάλεσε υψηλό πακέτο συγκέντρωση στο δίκτυο, ιδιαίτερα στην περιοχή των κόμβων πηγής, διότι πακέτα παγιδεύονται σε βρόχους. Τελικά, η συντριπτική πλειοψηφία των πακέτων χάθηκαν λόγω των συγκρούσεων στο ασύρματο κανάλι. Ένας φυσικός τρόπος για την αντιμετώπιση του προβλήματος των βρόχων πακέτου είναι να επιμείνει στη χρήση του στενού FoV όπου τα πακέτα επιτρέπεται να κινούνται προς τα εμπρός μόνο. Αυτή η φυσική λύση είναι πάρα πολύ άκαμπτο, δεδομένου ότι αποκλείει τεχνητά εξέταση άλλων κόμβων που δεν είναι απαραίτητα για την άμεση διαδρομή, αλλά μπορεί να έχουν υψηλότερη σκοπιμότητα, αυξάνοντας έτσι τον ισχυρισμό και τον κόμβο φόρτωσης, καθώς και ελαχιστοποιώντας την εξερεύνηση νέων δρόμων. Επιπλέον, αν χρησιμοποιούνται πάντα οι ίδιοι κόμβοι, στη συνέχεια, μια υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας θα πρέπει να τηρούνται σε αυτά κόμβους και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μικρότερη διάρκεια ζωής του δικτύου. Επιπλέον, ένα πρόβλημα μπορεί να προκύψουν όταν μπροστά κόμβοι έχουν πάθει βλάβη η είναι πλέον απρόσιτος λόγω της απώλειας των πακέτων ελέγχου. Στην περίπτωση αυτή, τα πακέτα φθάνοντας σε αδιέξοδο. Έτσι, πιο μεγάλο FoV του επιτρέπει τα πακέτα να διαβιβάζονται ακόμη και σε κόμβους που τοποθετούνται σε ίση απόσταση hop από το τελικό προορισμό έχει επιλεγεί στο προτεινόμενο πρωτόκολλο Flock-CC.



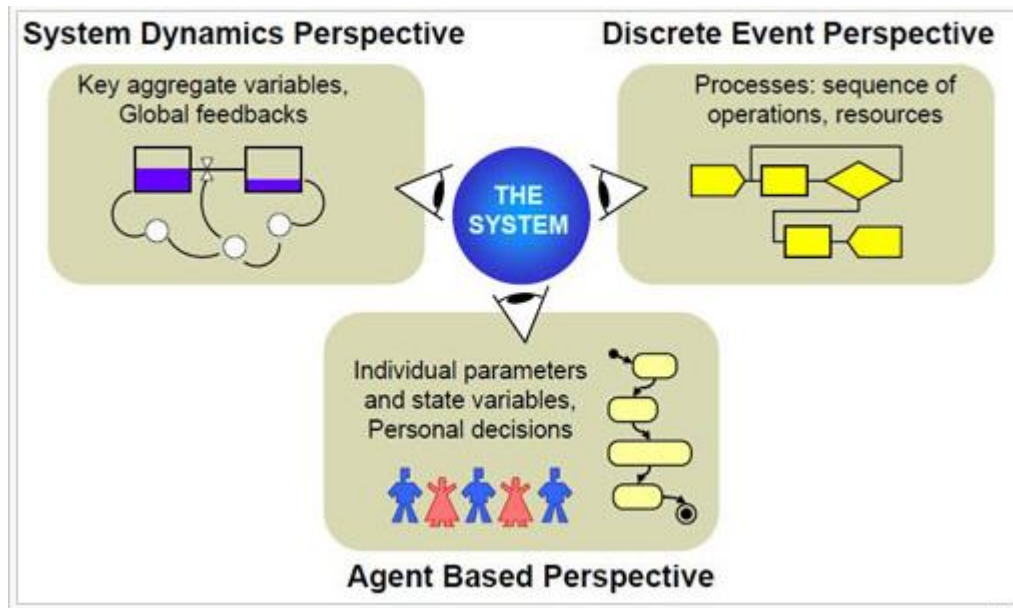
Σχήμα 3.2.3.1 Τρία διαφορετικά ανοίγματα FoV

3.2.4 Τυχειότητα

Τυχειότητα (ή διαταραχή) είναι ότι ένα μέρος της φύσης που επιτρέπει την εξερεύνηση, και ίσως εντοπισμό των καλύτερων διαδρομών. Τυχειότητα αντιμετωπίζει επίσης το πρόβλημα ότι μερικές φορές διέρχονται τα ίδια αποτελέσματα (ιδιαίτερα επιθυμητά) για επιλογή νέων κόμβων φιλοξενία, το οποίο μπορεί να προκαλέσει μεγάλη πληρότητα ουράς για δημοφιλή κόμβους φιλοξενίας.

Κεφάλαιο 4 - Περιγραφή Σεναρίων

Για την υλοποίηση των σεναρίων χρησιμοποίησα το εργαλείο AnyLogic. Το AnyLogic είναι ένα multimethod εργαλείο μοντελοποίησης προσομοίωσης. Υποστηρίζει agent based, διακεκριμένα γεγονότα , και μεθοδολογίες δυναμικών συστημάτων προσομοίωσης.



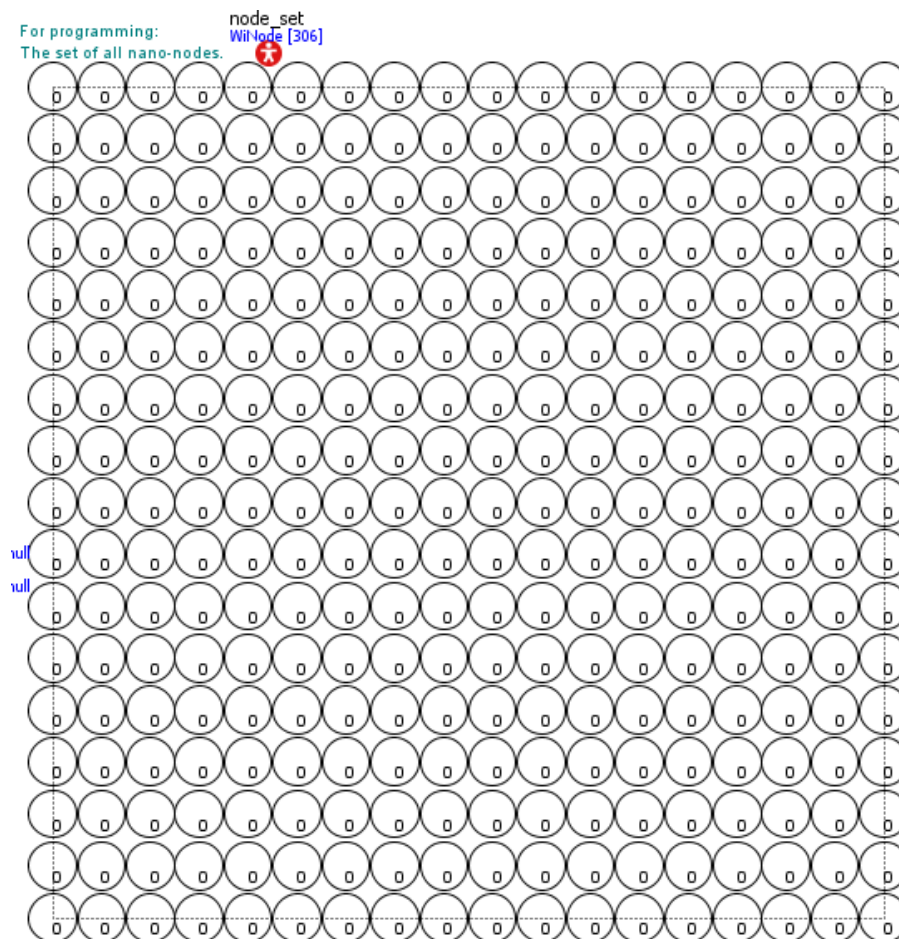
Σχήμα 4.1 [8]

Σχήμα 4.1 Το AnyLogic υποστηρίζει agent based, διακεκριμένα γεγονότα , και μεθοδολογίες δυναμικών συστημάτων προσομοίωσης [8]

Το AnyLogic περιλαμβάνει μια γραφική γλώσσα μοντελοποίησης και επίσης επιτρέπει στο χρήστη να επεκτείνει μοντέλα προσομοίωσης με κώδικα Java. Η φύση της Java της AnyLogic προσφέρεται για επεκτάσεις προσαρμοσμένου μοντέλου μέσω Java κωδικοποίησης, καθώς και η δημιουργία των Java εφαρμογών που μπορεί να ανοίξει με οποιοδήποτε πρότυπο πρόγραμμα περιήγησης. Αυτές οι μικρο εφαρμογές στα AnyLogic μοντέλα είναι πολύ πιο εύκολο να μοιραστεί ή να τοποθετηθεί στις ιστοσελίδες. Εκτός από τις βοηθητικές εφαρμογές Java η έκδοση Professional επιτρέπει τη δημιουργία εφαρμογών χρόνου εκτέλεσης Java που μπορεί να διανεμηθεί στους χρήστες. Αυτές οι εφαρμογές Java μπορεί να είναι μια βάση για τα εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων.

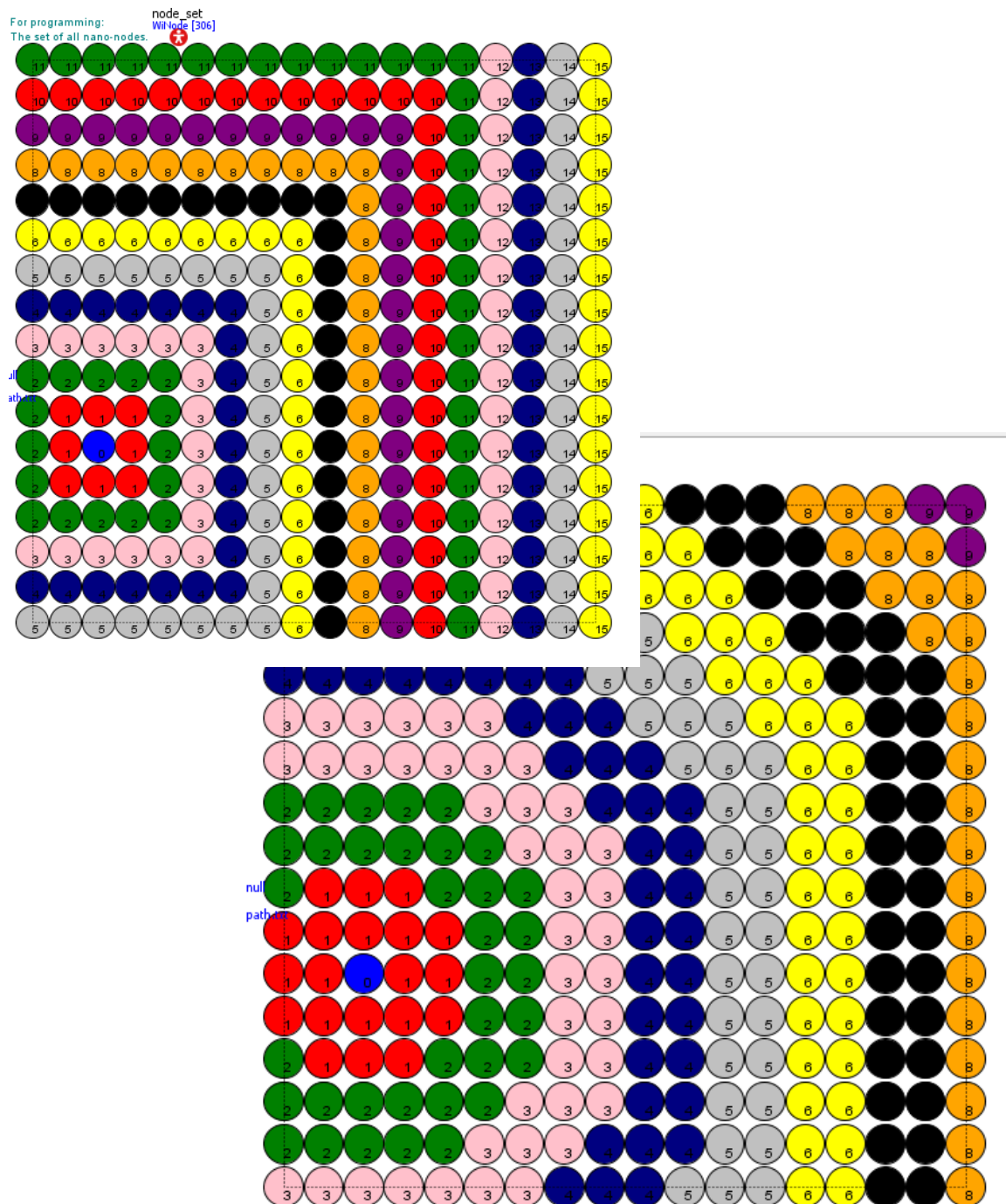
Στα πιο κάτω σενάρια που έχουν υλοποιηθεί έπρεπε να καθοριστεί η τοπολογία των κόμβων, η εμβέλεια αποστολής των πακέτων καθώς και ποιος θα είναι ο αποστολέας των πακέτων και ο τελικός παραλήπτης δηλαδή ο sink.

Η τοπολογία που θα χρησιμοποιηθεί είναι των 306 κόμβων όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2 Τοπολογία που χρησιμοποιήθηκε 306 κόμβοι

Η εμβέλεια αποστολής μπορεί να καθοριστεί επίσης από εμάς όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3



Σχήμα 4.3 Διάφορες εμβέλεις αποστολής πακέτων

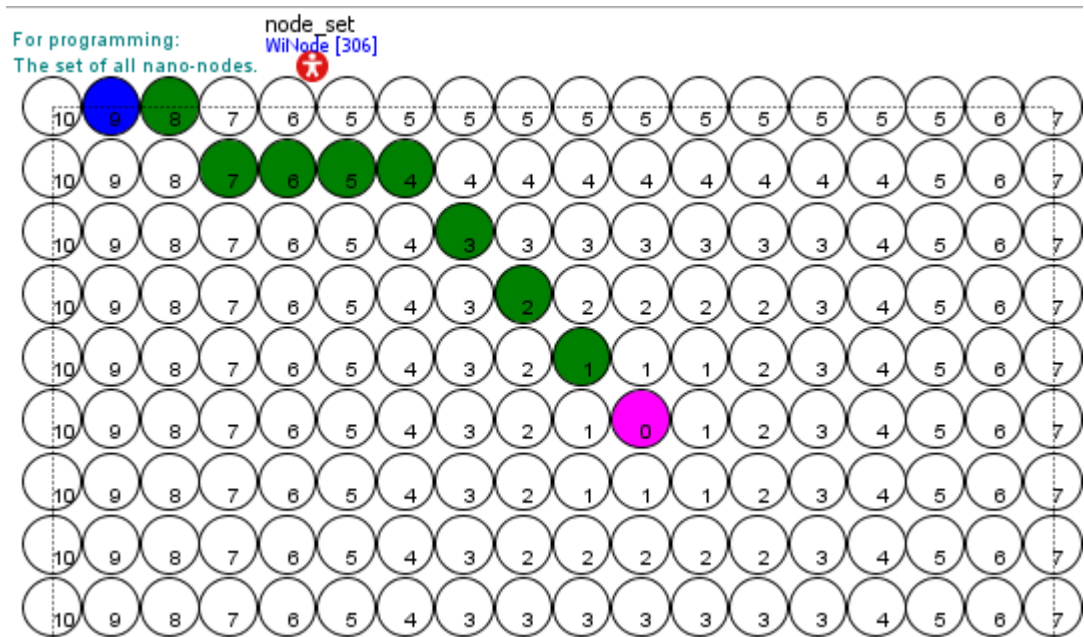
Μέσα σε κάθε κόμβο φαίνεται η απόσταση που έχει ο κάθε κόμβος από τον τελικό παραλήπτη. Ο κόμβος που έχει την παράμετρο μηδέν είναι ο sink ο τελικός μας προορισμός.

Για καλύτερη διαχείριση των αποτελεσμάτων το πρόγραμμα μας έχει σαν έξοδο του 2 αρχεία. Το ένα αρχείο αποθηκεύει το χρόνο που χρειάστηκε για να φτάσει στο τελικό του προορισμό και το άλλο την διαδρομή που έκανε μέχρι να φτάσει σε αυτόν.

Σε ένα αρχικό στάδιο οι κόμβοι πρέπει να είναι ενήμεροι για την απόσταση hop που έχουν από τον τελικό προορισμό (sink). Έτσι πριν αρχίσει να στέλνεται το πρώτο πακέτο το sink στέλνει ένα πακέτο προς όλους τους κόμβους έτσι ώστε να τους ενημερώσει. Το πακέτο αυτό έχει την πληροφορία πόση απόσταση έχουν από αυτόν δηλαδή σε Hop. Και όταν αυτό καθοριστεί ξεκινά να στέλνεται το πρώτο πακέτο.

4.1 Σενάριο 1 – Απλό σενάριο

Σε αυτό το σενάριο θα μελετηθεί ένα απλό σενάριο του αλγορίθμου bird Flocking. Για την υλοποίηση αυτή θα χρειαστεί μια τοπολογία των 306 κόμβων. Η εμβέλεια που θα χρησιμοποιηθεί είναι η απλή όπως φαίνεται στη πρώτη εικόνα 4.1.1. Για αποστολέα έχω καθορίσει το κόμβο 1 όπου φαίνεται με μπλε και για παραλήπτη τον κόμβο 100 όπου είναι με ροζ. Η διαδρομή φαίνεται με το πράσινο για να είναι πιο ξεκάθαρο.



Σχήμα 4.1.1 Για αποστολέα έχω καθορίσει το κόμβο 1 όπου φαίνεται με μπλε και για παραλήπτη τον κόμβο 100 όπου είναι με ροζ. Η διαδρομή φαίνεται με το πράσινο για να είναι πιο ξεκάθαρο.

Σε κάθε τρέξιμο του αλγορίθμου βγαίνουν διαφορετικά αποτελέσματα μιας και οι τιμές της ουράς που έχει ο κάθε κόμβος αλλάζουν ανάλογα.

Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψιν του το ποσοστό επιτυχίας της δυνάμεις έλξης και άπωσης καθώς και την ουρά εξυπηρέτησης του κάθε κόμβου. Η δύναμη έλξης καθορίζεται από τα Hops που απέχουν οι γείτονες των γειτόνων τους. Η δύναμη άπωσης ορίζεται από την ουρά εξυπηρέτησης που βρίσκεται στους γείτονες τους. Αθροίζοντας όλες αυτές τις αντίθετες δυνάμεις αποφασίζεται ποιος θα είναι ο επόμενος παραλήπτης του πακέτου.

4.1.1 Αποτελέσματα του πρώτου σεναρίου

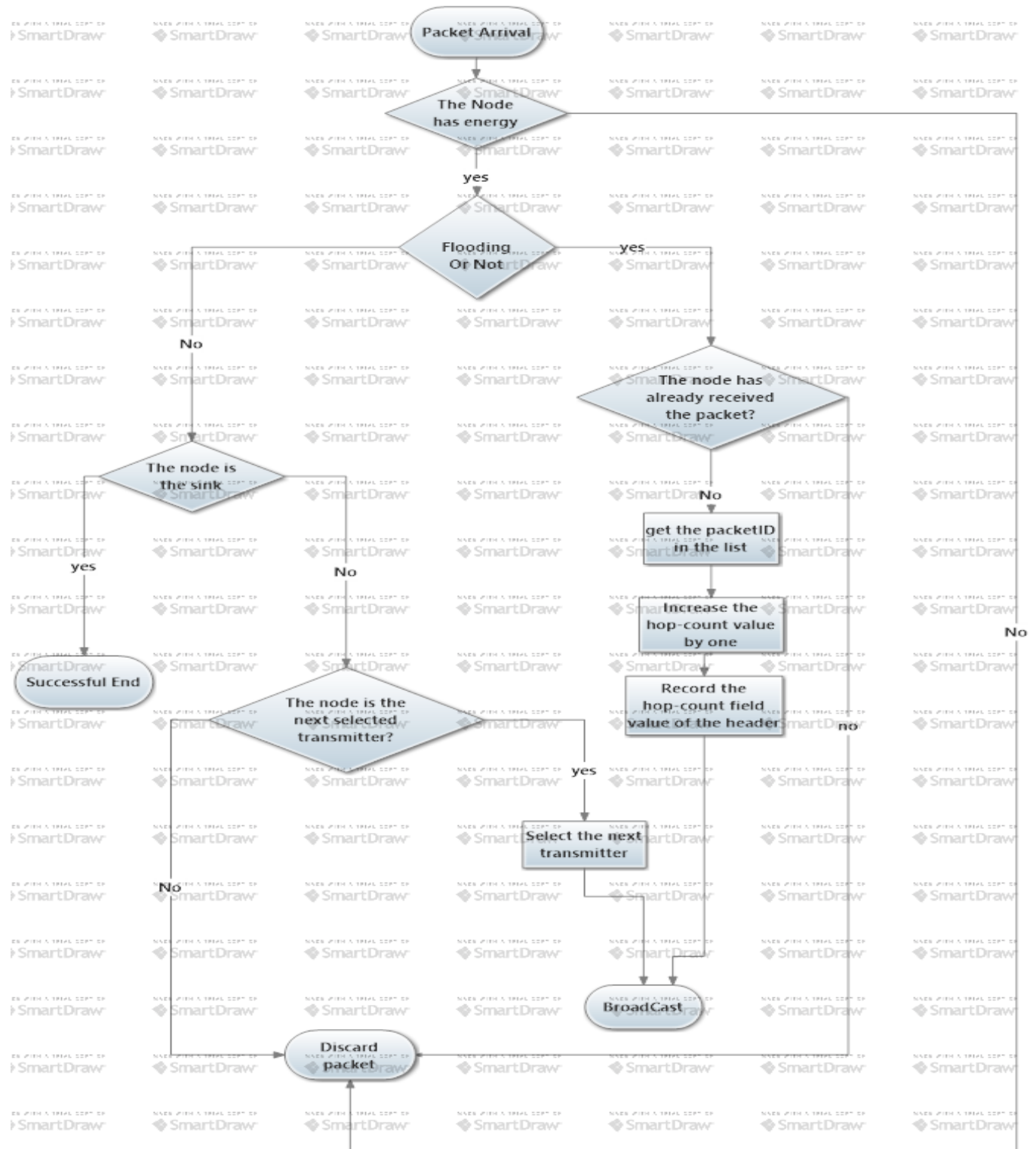
Αριθμός πειραμάτων	Χρόνος Ολοκλήρωσης
1	11.02606938
2	9.022147816
3	11.02606938
4	9.022147816
5	11.02606938
6	11.02786969
7	11.02606938
8	9.022147816
9	11.02606938
10	11.02606938
Μεσος Χρόνος	10.42507294

Περίπου ο μέσος χρόνος εκτέλεσης αυτού του σεναρίου είναι 10.42507294 nsec.

4.1.2 Υλοποίηση Σεναρίου 1

Για την σωστή ολοκλήρωση του bird flocking χρειάστηκε να υλοποιήσουμε ολοκληρωμένα τον αλγόριθμο μας όπως φαίνεται στο πιο κάτω flow chart. Όταν το πακέτο φτάσει στο κόμβο μας πρέπει να ελέγξουμε ότι δεν χάθηκε ολόκληρη η ενέργεια του κόμβου και ότι είναι σε θέση να το στείλει στον επόμενο. Σε ένα δεύτερο στάδιο πρέπει να αποφασίσει αν το πακέτο που έφτασε είναι για να ενημέρωση τους γείτονες ή για να τρέξει με τον αλγόριθμο bird Flocking. Όταν πάρει αυτή την πληροφορία από το header του πακέτου αποφασίζει:

Αν το πακέτο που πείρε είναι για ενημέρωση τότε απλά το αναμεταδίδουμε αυξάνοντας την απόσταση. Αν το πακέτο που πείρε είναι για τον αλγόριθμο bird Flocking τότε συνεχίζει με τον αλγόριθμο. Ελέγχει αν είναι ο σωστός παραλήπτης βρίσκει ποιος θα είναι ο επόμενος και στέλνει το πακέτο. Στο σχήμα 4.1.2.1 φαίνεται η υλοποίηση αυτή

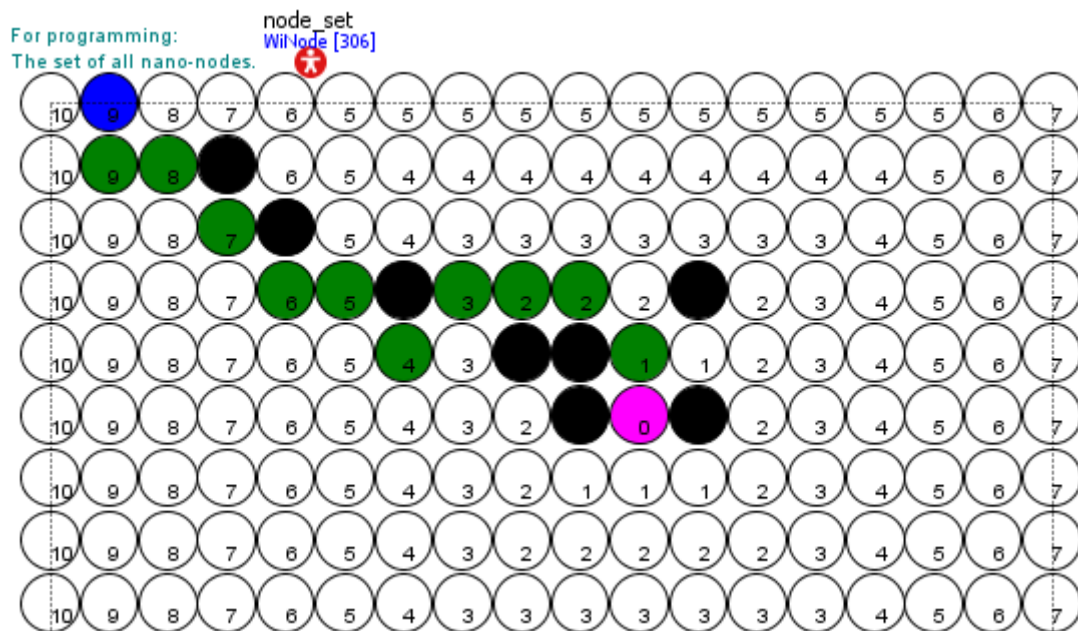


Σχήμα 4.1.2.1 Υλοποίηση πρώτου σεναρίου

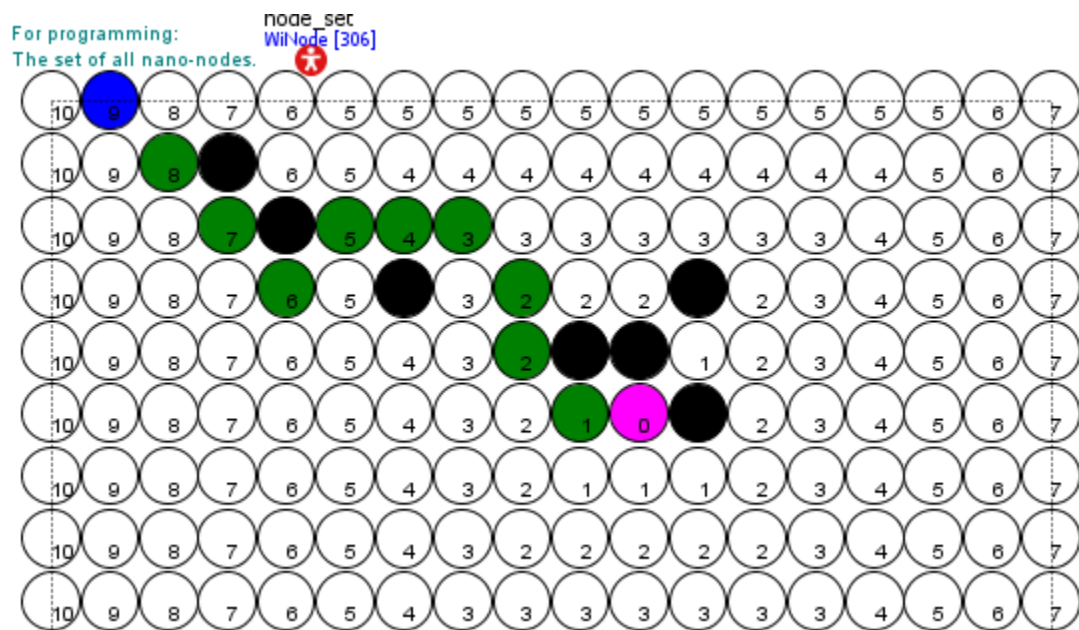
4.2 Σενάριο 2 – Χρήση εμποδίων

Σε αυτό το σενάριο θα μελετηθεί πως ο αλγόριθμος bird Flocking ανταποκρίνεται όταν συναντά μερικά εμπόδια. Για την υλοποίηση αυτή θα χρειαστεί μια τοπολογία των 306 κόμβων. Η εμβέλεια που θα χρησιμοποιηθεί είναι η απλή και είναι η ίδια που χρησιμοποιήθηκε για το πρώτο σενάριο. Για αποστολέα έχω καθορίσει το κόμβο 1 όπου φαίνεται με μπλε και για παραλήπτη τον κόμβο 100 όπου είναι με ροζ. Η διαδρομή φαίνεται με το πράσινο για να είναι πιο ξεκάθαρο. Σχήμα 4.2.1 και Σχήμα 4.2.2. Επίσης σε αυτή την εκδοχή του σεναρίου έχουμε καθορίσει στατικά κάποιους κόμβους να βρίσκονται εκτός λειτουργίας. Έτσι ο αλγόριθμος πρέπει να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει τέτοιου είδους εμπόδια και να διαλέξει άλλη διαδρομή για την αποστολή του πακέτου.

Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψιν του το ποσοστό επιτυχίας της δυνάμεις έλξης και άωσης καθώς και την ουρά εξυπηρέτησης του κάθε κόμβου. Η δύναμη έλξης καθορίζεται από τα Hops που απέχουν οι γείτονες των γειτόνων τους. Η δύναμη άωσης ορίζεται από την ουρά εξυπηρέτησης που βρίσκεται στους γείτονες τους. Αθροίζοντας όλες αυτές τις αντίθετες δυνάμεις αποφασίζεται ποιος θα είναι ο επόμενος παραλήπτης του πακέτου. Επίσης λαμβάνει στατικά ποιοι κόμβοι είναι απενεργοποιημένοι έτσι δημιουργεί μια διαδρομή την οποία θα αποφύγει αυτά τα εμπόδια.



Σχήμα 4.2.1 Μια εκτέλεση του αλγορίθμου. Με μαύρα είναι οι εκτός λειτουργίας



Σχήμα 4.2.2 Μια εκτέλεση του αλγορίθμου. Με μαύρα είναι οι εκτός λειτουργίας

4.2.1 Αποτελέσματα του δεύτερου σεναρίου

Αριθμός πειραμάτων	Χρόνος Ολοκλήρωσης
1	12.02606938
2	10.022147816
3	11.02606938
4	11.022147816
5	12.02606938
6	12.02786969
7	10.02606938
8	11.022147816
9	11.02606938

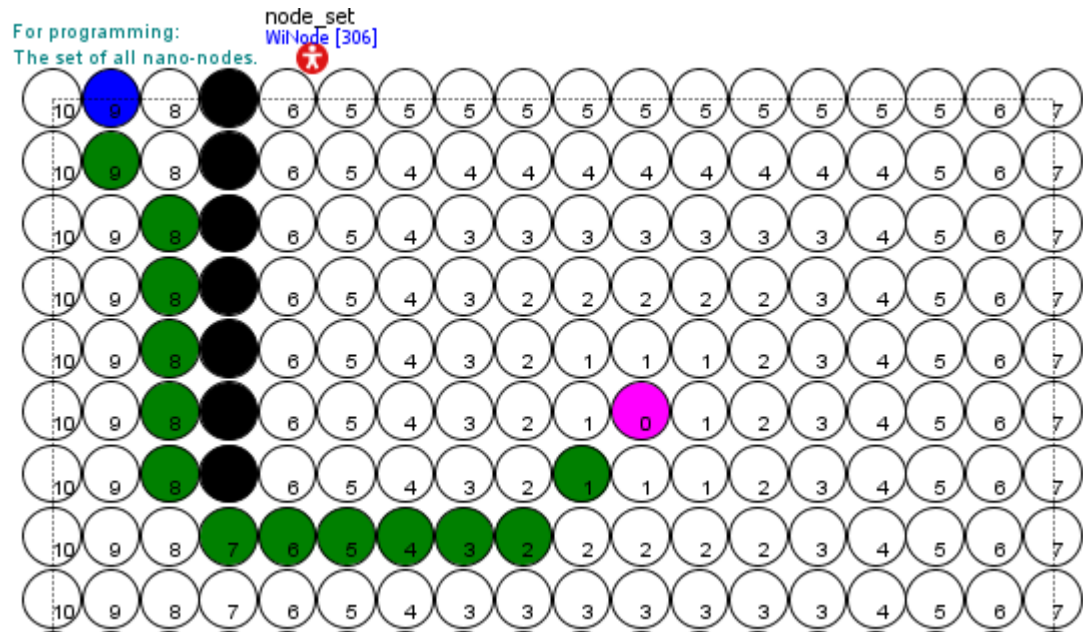
10	11.02606938
Μέσος Χρόνος	11.42507294

Ο μέσος όρος χρόνου ολοκλήρωσης του πιο πάνω σεναρίου είναι περισσότερος από τον μέσο όσο του προηγούμενου σεναρίου αυτό συμβαίνει γιατί προσθέτοντας επιπλέον ελέγχους αργή η υλοποίηση του. Επίσης σε κάθε εκτέλεση του αλγορίθμου η διαδρομή που επιλέγετε είναι διαφορετική λόγω της τυχαιότητας του αλγορίθμου.

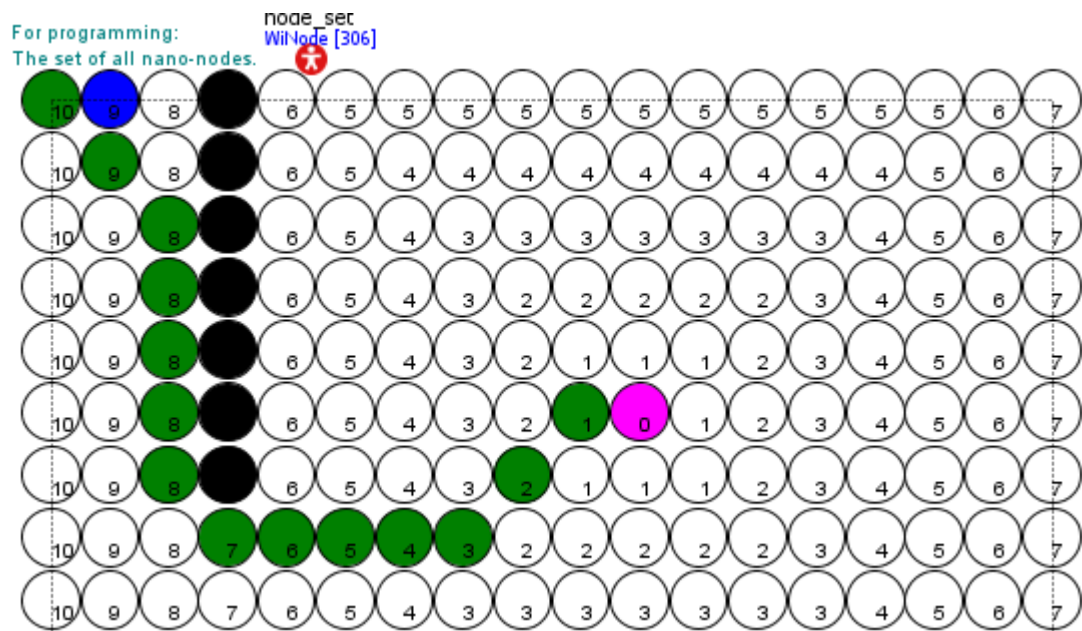
4.3 Σενάριο 3 – Μεγάλο εμπόδιο με στατικό έλεγχο

Σε αυτό το σενάριο θα μελετηθεί πως ο αλγορίθμος bird Flocking αντιδρά όταν συναντά ένα τέτοιο μεγάλο εμπόδιο. Για την υλοποίηση αυτή θα χρειαστεί μια τοπολογία των 306 κόμβων. Η εμβέλεια που θα χρησιμοποιηθεί είναι η απλή και είναι η ίδια που χρησιμοποιήθηκε για το πρώτο σενάριο. Για αποστολέα έχω καθορίσει το κόμβο 1 όπου φαίνεται με μπλε και για παραλήπτη τον κόμβο 100 όπου είναι με ροζ. Η διαδρομή φαίνεται με το πράσινο για να είναι πιο ξεκάθαρο. Επίσης σε αυτή την εκδοχή του σεναρίου έχουμε καθορίσει στατικά κάποιους κόμβους να βρίσκονται εκτός λειτουργίας σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε ένα μεγάλο εμπόδιο που δημιουργείται και πως ο αλγόριθμος ανταποκρίνεται σε τέτοιου είδους εμπόδια. Έτσι ο αλγόριθμος πρέπει να είναι σε θέση να τα αντιμετωπίσει και να διαλέξει άλλη διαδρομή για την αποστολή του πακέτου. Σχήμα 4.3.1 και Σχήμα 4.3.2.

Ο αλγόριθμος επίσης λαμβάνει υπόψιν του το ποσοστό επιτυχίας της δυνάμεις έλξης και άωσης καθώς και την ουρά εξυπηρέτησης του κάθε κόμβου. Η δύναμη έλξης καθορίζεται από τα Hops που απέχουν οι γείτονες των γειτόνων τους. Η δύναμη άωσης ορίζεται από την ουρά εξυπηρέτησης που βρίσκεται στους γείτονες τους. Αθροίζοντας όλες αυτές τις αντίθετες δυνάμεις αποφασίζεται ποιος θα είναι ο επόμενος παραλήπτης του πακέτου. Επίσης λαμβάνει στατικά ποιοι κόμβοι είναι απενεργοποιημένοι έτσι δημιουργεί μια διαδρομή την οποία θα αποφύγει αυτά τα εμπόδια. Όταν το εμπόδιο που συναντά είναι πολύ μεγάλο βλέπουμε ότι ο αλγόριθμος προσαρμόζεται κατάλληλα για να το αποφύγει.



Σχήμα 4.3.1 όταν συναντήσει κάποιο μεγάλο εμπόδιο



Σχήμα 4.3.2 όταν συναντήσει κάποιο μεγάλο εμπόδιο

4.3.1 Αποτελέσματα του τρίτου σεναρίου

Αριθμός πειραμάτων	Χρόνος Ολοκλήρωσης
1	13.606938
2	11.0147816
3	12.0606938
4	12.02147816
5	13.2606938
6	12.2786969
7	10.026938
8	12.0227816
9	12.0266938
10	13.606938
Μέσος Χρόνος	12.507294

Ο μέσος όρος χρόνου ολοκλήρωσης του πιο πάνω σεναρίου είναι περισσότερος αυτό συμβαίνει γιατί προσθέτοντας επιπλέον ελέγχους αργή η υλοποίηση του επίσης το μεγάλο εμπόδιο που δημιουργείται εμποδίζει αρκετά την εύρεση του επόμενου κόμβου αποστολής του πακέτου. Επίσης σε κάθε εκτέλεση του αλγορίθμου η διαδρομή που επιλέγετε είναι διαφορετική λόγω της τυχειότητας του αλγορίθμου.

4.4 Σενάριο 4 – Μεγάλο εμπόδιο με δυναμικό έλεγχο

Σε αυτό το σενάριο θα μελετηθεί πως ο αλγορίθμου bird Flocking αντιμετωπίζει τέτοιου είδους εμπόδια κάνοντας χρήση timeout. Για την υλοποίηση αυτή θα χρειαστεί μια τοπολογία των 306 κόμβων. Η εμβέλεια που θα χρησιμοποιηθεί είναι η απλή και είναι η ίδια που χρησιμοποιήθηκε για το πρώτο σενάριο. Για αποστολέα έχω καθορίσει το κόμβο 1 όπου φαίνεται με μπλε και για παραλήπτη τον κόμβο 100 όπου είναι με ροζ. Η διαδρομή φαίνεται με το πράσινο για να είναι πιο ξεκάθαρο. Επίσης σε αυτή την εκδοχή του σεναρίου έχουμε καθορίσει στατικά κάποιους κόμβους να βρίσκονται εκτός λειτουργίας σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε ένα μεγάλο εμπόδιο που δημιουργείται και πως ο

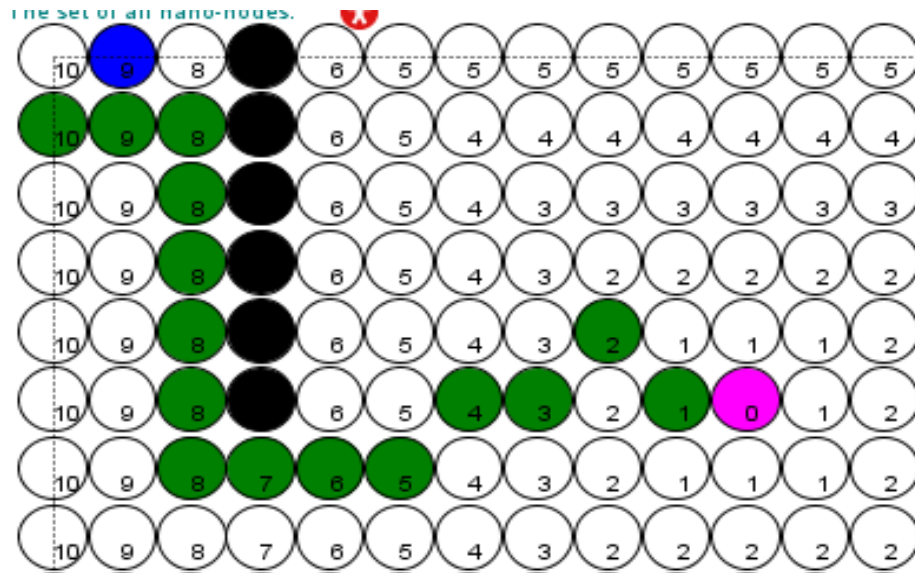
αλγόριθμος ανταποκρίνεται σε τέτοιου είδους εμπόδια όπως και στο σενάριο 3 αλλά σε αυτή την εκδοχή του σεναρίου ο αλγόριθμος αντιλαμβάνεται δυναμικά ότι το πακέτο δεν έφτασε στο παραλήπτη με την χρήση κάποιου timeout. Όταν το πακέτο δεν έφτασε στο παραλήπτη γιατί έχει σταλθεί σε κάποιο απενεργοποιημένο κόμβο τότε λήγει το timeout και το πακέτο αναμεταδίδεται σε κάποιον άλλο κόμβο.

Ο αλγόριθμος επίσης λαμβάνει υπόψιν του το ποσοστό επιτυχίας της δυνάμεις έλξης και άπωσης καθώς και την ουρά εξυπηρέτησης του κάθε κόμβου. Η δύναμη έλξης καθορίζεται από τα Hops που απέχουν οι γείτονες των γειτόνων τους. Η δύναμη άπωσης ορίζεται από την ουρά εξυπηρέτησης που βρίσκεται στους γείτονες τους. Αθροίζοντας όλες αυτές τις αντίθετες δυνάμεις αποφασίζεται ποιος θα είναι ο επόμενος παραλήπτης του πακέτου. Επίσης λαμβάνει στατικά ποιοι κόμβοι είναι απενεργοποιημένοι έτσι δημιουργεί μια διαδρομή την οποία θα αποφύγει αυτά τα εμπόδια. Όταν το εμπόδιο που συναντά είναι πολύ μεγάλο βλέπουμε ότι ο αλγόριθμος προσαρμόζεται κατάλληλα για να το αποφύγει όπως και στο προηγούμενο σενάριο.

Με την διαφορά ότι σε αυτή την περίπτωση ο έλεγχος γίνεται σε πιο ρεαλιστικά πλαίσια για τα αποτελέσματα που βλέπουμε είναι αυτά που θα είχαμε σε πραγματικούς χρόνους.

Σχήμα 4.4.1

4.4.1 Αποτελέσματα του τέταρτου σεναρίου



Σχήμα 4.4.1 Μεγάλο εμπόδιο με δυναμικό έλεγχο

Αριθμός πειραμάτων	Χρόνος Ολοκλήρωσης
1	116.03
2	166.03
3	115.03
4	135.03
5	114.03
6	116.03
7	116.03
8	114.03
9	110.22
10	112.02
Μέσος Χρόνος	121.4

Πίνακα 4.4.1.1

Ο μέσος όρος χρόνου ολοκλήρωσης του πιο πάνω σεναρίου είναι περισσότερος αυτό συμβαίνει γιατί προσθέτοντας επιπλέον ελέγχους αργή η υλοποίηση του επίσης το μεγάλο εμπόδιο που δημιουργείται εμποδίζει αρκετά την εύρεση του επόμενου κόμβου αποστολής του πακέτου. Επίσης υπάρχει καθυστέρηση λόγω του timeout το οποίο είναι 50ns. Όταν το

πακέτο σταλθεί σε απενεργοποιημένο κόμβο τότε μέχρι να λήξει το timeout υπάρχει μια αδράνεια. Στην συνέχεια υπάρχει αναμετάδοση του πακέτου και έτσι στο τέλος όλα αυτά προσφέρουν καθυστερήσεις.

Στο πιο πάνω σενάριο που έχει μελετηθεί έχει παρατηρηθεί ένα ποσοστό απώλειας των πακέτων που έχουν σταλθεί μέχρι το πακέτο να φτάσει στο τελικό προορισμό. Τα αποτελέσματα που παρατηρούμε στο Πίνακα 4.4.1.2 δείχνουν τον αριθμό των επιτυχημένων πακέτων από την αρχή μέχρι το προορισμό του πακέτου. Καθώς επίσης και τον αριθμό των αποτυχημένων πακέτων που έχουν σταλθεί στη συγκεκριμένη εκτέλεση του simulation για το συγκεκριμένο σενάριο.

Αριθμός πειραμάτων	Αριθμός επιτυχημένων πακέτων	Αριθμός αποτυχημένων πακέτων	Ποσοστό απώλειας πακέτων
1	21	6	22%
2	21	6	22%
3	19	6	24%
4	22	5	22%
5	19	5	26%
6	20	6	23%
7	19	6	24%
8	21	5	19%
9	20	5	20%
10	19	4	17%
Μέσος όρος			21,9%

4.4.2 Υλοποίηση Σεναρίου

Επίσης λόγω του δυναμικού ελέγχου ο αλγόριθμος δεν γνωρίζει ποιοι κόμβοι είναι απενεργοποιημένοι και έτσι υπάρχει καθυστέρηση στην αναμετάδοση του χαμένου πακέτου. Επίσης σε κάθε εκτέλεση του αλγορίθμου η διαδρομή που επιλέγετε είναι διαφορετική λόγω της τυχειότητας του αλγορίθμου. Ο τρόπος με τον οποίο στέλνονται τα δεδομένα φαίνονται στον Σχήμα 4.4.1. Το πακέτο όταν φτάσει στο κόμβο ελέγχεται αν έχει

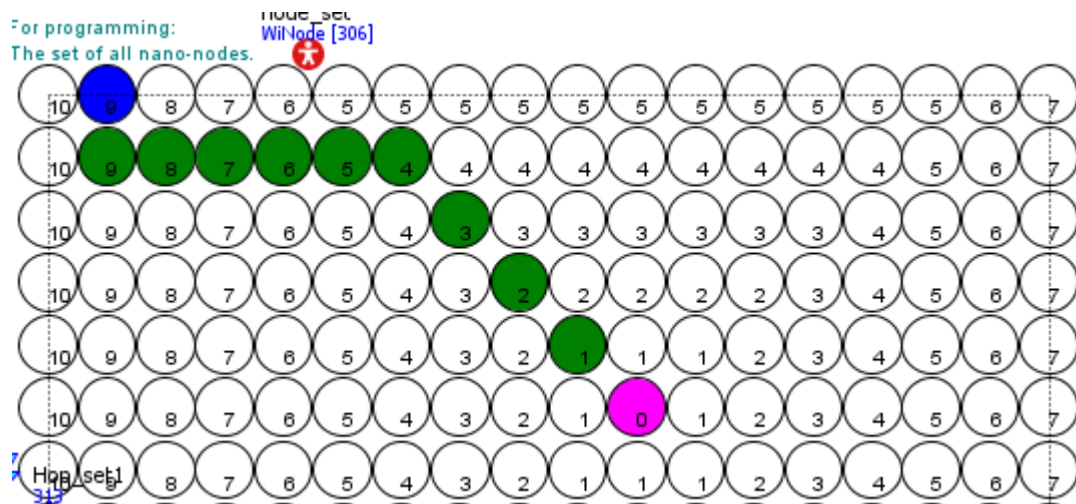
ενέργεια τότε μπορεί να λάβει πακέτο . Αν το πακέτο είναι για ενημέρωση των hops από τον τελικό προορισμό τότε μπαίνει το πακέτο μέσα σε μια λίστα αυξάνεται μια παράμετρος η οποία καθορίζει τον αριθμό των hops και ενημερώνει το header του πακέτου και στέλνεται με flooding τρόπο. Αλλιώς εξετάζεται αν το πακέτο είναι acknowledgment αν είναι τότε δεν γίνεται τίποτα αντίθετα αν είναι τότε ελέγχετε αν είναι ο τελικός παραλήπτης. Όταν το πακέτο περάσει αυτούς τους ελέγχους τότε βρίσκει τον επόμενο παραλήπτη και κάνει broadcast το πακέτο. Σε περίπτωση που το πακέτο φτάνει σε απενεργοποιημένο κόμβο και έχει εγκλωβιστεί εκεί περιμένει να λήξει το timeout έτσι σαν αποτέλεσμα ο προηγούμενος κόμβος αναμεταδίδει το duplicate πακέτο που σε τέτοια περίπτωση το ξανά αναμεταδίδει. Το πακέτο μπορεί να αναμεταδοθεί μέχρι και 3 φορές. Αν κάνει 3 αποτυχημένες προσπάθειες τότε το πακέτο καταστράφηκε.

4.5 Σενάριο 5 – Αλλαγή πορείας

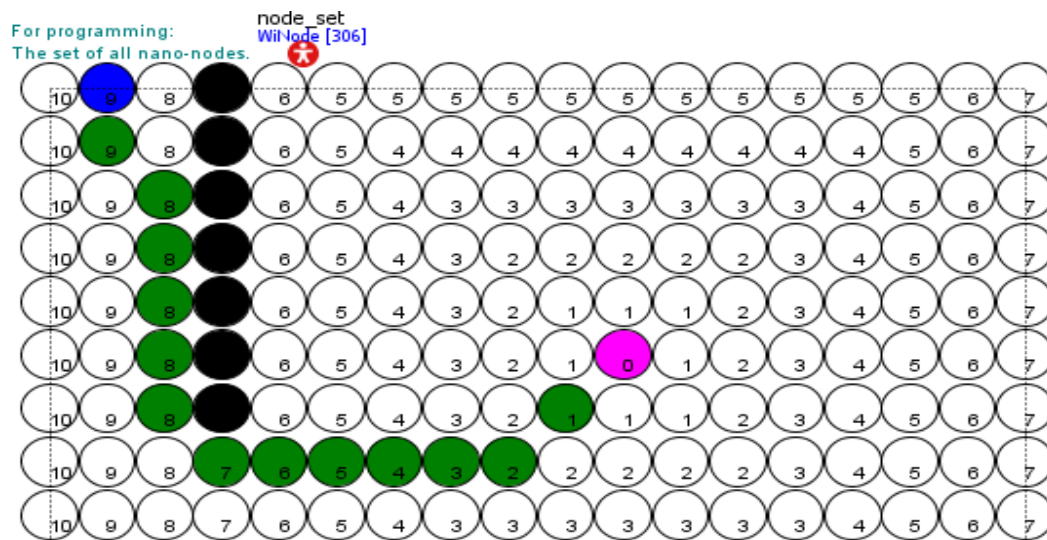
Σε αυτό το σενάριο θα μελετηθεί σε περίπτωση που η πορεία του πακέτου αλλάξει λόγω ανεπιθύμητου εμποδίου. Για την υλοποίηση αυτή θα χρειαστεί μια τοπολογία των 306 κόμβων. Η εμβέλεια που θα χρησιμοποιηθεί είναι η απλή και είναι η ίδια που χρησιμοποιήθηκε για το πρώτο σενάριο. Για αποστολέα έχω καθορίσει το κόμβο 1 όπου φαίνεται με μπλε και για παραλήπτη τον κόμβο 100 όπου είναι με ροζ. Η διαδρομή φαίνεται με το πράσινο για να είναι πιο ξεκάθαρο. Ένα πακέτο στην αρχή του σεναρίου στέλνεται χωρίς να υπάρχει κάποιο εμπόδιο όπως είχε γίνει και στο σενάριο1 όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5.1. Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψιν του το ποσοστό επιτυχίας της δυνάμεις έλξης και άπωσης καθώς και την ουρά εξυπηρέτησης του κάθε κόμβου. Η δύναμη έλξης καθορίζεται από τα Hops που απέχουν οι γείτονες των γειτόνων τους. Η δύναμη άπωσης ορίζεται από την ουρά εξυπηρέτησης που βρίσκεται στους γείτονες τους. Αθροίζοντας όλες αυτές τις αντίθετες δυνάμεις αποφασίζεται ποιος θα είναι ο επόμενος παραλήπτης του πακέτου.

Στην συνέχεια δημιουργείται ένα μεγάλο τοίχος μπροστά στην πηγή όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5.2 στην οποία στέλνονται τα πακέτα έτσι όταν σταλθεί το επόμενο πακέτο αναγνωρίζει ότι υπάρχει εμπόδιο και με δυναμικό τρόπο αλλάζει πορεία και στέλνει το πακέτο από διαφορετική διαδρομή από ότι ακολούθησε το πρώτο πακέτο. Σε αυτή την εκδοχή του σεναρίου ο αλγόριθμος αντιλαμβάνεται δυναμικά ότι το πακέτο δεν έφτασε στο παραλήπτη με την χρήση κάποιου timeout. Όταν το πακέτο δεν έφτασε στο παραλήπτη γιατί έχει σταλθεί σε κάποιο απενεργοποιημένο κόμβο τότε λήγει το timeout και το πακέτο από τον προηγούμενο παραλήπτη που δεν έλαβε acknowledgment αναμεταδίδεται σε κάποιον άλλο κόμβο. Και σε αυτό το σημείο του αλγόριθμου λαμβάνονται υπόψιν οι ίδιες δυνάμεις δηλαδή το ποσοστό επιτυχίας της δυνάμεις έλξης και άπωσης καθώς και την ουρά εξυπηρέτησης του κάθε κόμβου. Αθροίζοντας όλες αυτές τις αντίθετες δυνάμεις αποφασίζεται ποιος θα είναι ο επόμενος παραλήπτης του πακέτου.

4.5.1 Αποτελέσματα του πέμπτου σεναρίου



Σχήμα 4.5.1 το πρώτο πακέτο πριν εμφανιστεί εμπόδιο



Σχήμα 4.5.2 το δεύτερο πακέτο όταν εμφανίστηκε εμπόδιο

Αριθμός πειραμάτων	Χρόνος Ολοκλήρωσης
1	417.04
2	415.03
3	412.032
4	616.03
5	310.02
6	311.02
7	513.02
8	209.02
9	118.03
10	315.03
Μέσος Χρόνος	333.5

Πίνακα 4.5.1.2

Ο μέσος όρος χρόνου ολοκλήρωσης του πιο πάνω σεναρίου είναι περισσότερος αυτό συμβαίνει γιατί στέλνει περισσότερα πακέτα και προσθέτοντας επιπλέον ελέγχους αργή η υλοποίηση του επίσης το μεγάλο εμπόδιο που δημιουργείται εμποδίζει αρκετά την εύρεση του επόμενου κόμβου αποστολής του πακέτου.

Επιπλέον λόγο του δυναμικού ελέγχου ο αλγόριθμος δεν γνωρίζει ποιοι κόμβοι είναι απενεργοποιημένοι και έτσι υπάρχει καθυστέρηση στην αναμετάδοση του χαμένου πακέτου. Έτσι σε κάθε εκτέλεση του αλγορίθμου η διαδρομή που επιλέγετε είναι διαφορετική λόγω της τυχαιότητας του αλγορίθμου.

Στο πιο πάνω σενάριο που έχει μελετηθεί έχει παρατηρηθεί ένα ποσοστό απώλειας των πακέτων που έχουν σταλθεί μέχρι το πακέτο να φτάσει στο τελικό προορισμό. Τα αποτελέσματα που παρατηρούμε στο Πίνακα 4.5.1.2 δείχνουν τον αριθμό των επιτυχημένων πακέτων από την αρχή μέχρι το προορισμό του πακέτου. Καθώς επίσης και τον αριθμό των αποτυχημένων πακέτων που έχουν σταλθεί στη συγκεκριμένη εκτέλεση του simulation για το συγκεκριμένο σενάριο.

Αριθμός πειραμάτων	Αριθμός επιτυχημένων πακέτων	Αριθμός αποτυχημένων πακέτων	Ποσοστό απώλειας πακέτων
1	27	6	18%
2	25	6	19%
3	28	7	20%
4	28	6	17%
5	30	6	16%
6	30	6	16%
7	25	6	19%
8	28	7	20%
9	28	7	20%
10	28	6	17%
Μέσος όρος			28.2%

Πίνακα 4.5.1.2

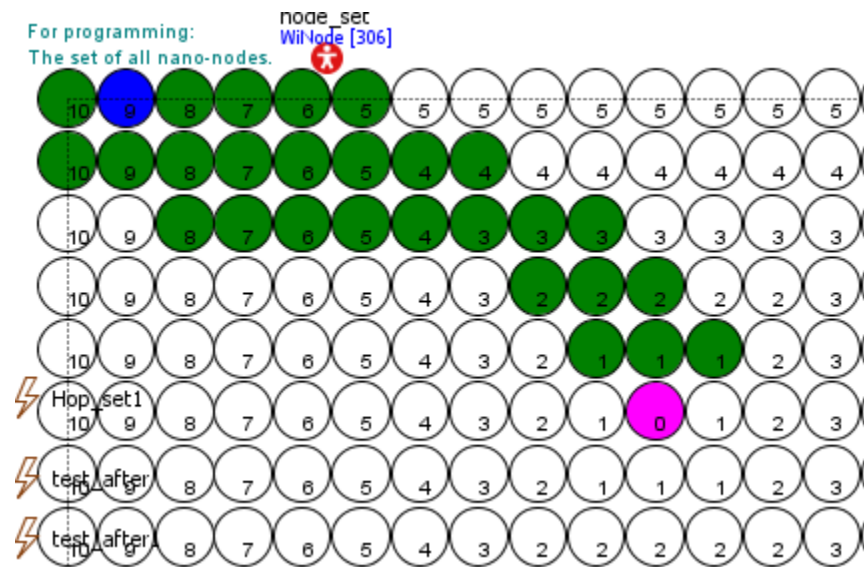
4.6 Σενάριο 6 – Δημιουργία Σμήνους

Σε αυτό το σενάριο θα δημιουργήσουμε ένα σμήνος από πακέτα ούτως ώστε να δημιουργήσουμε μια πιο παραστατική εικόνα του bird Flocking.

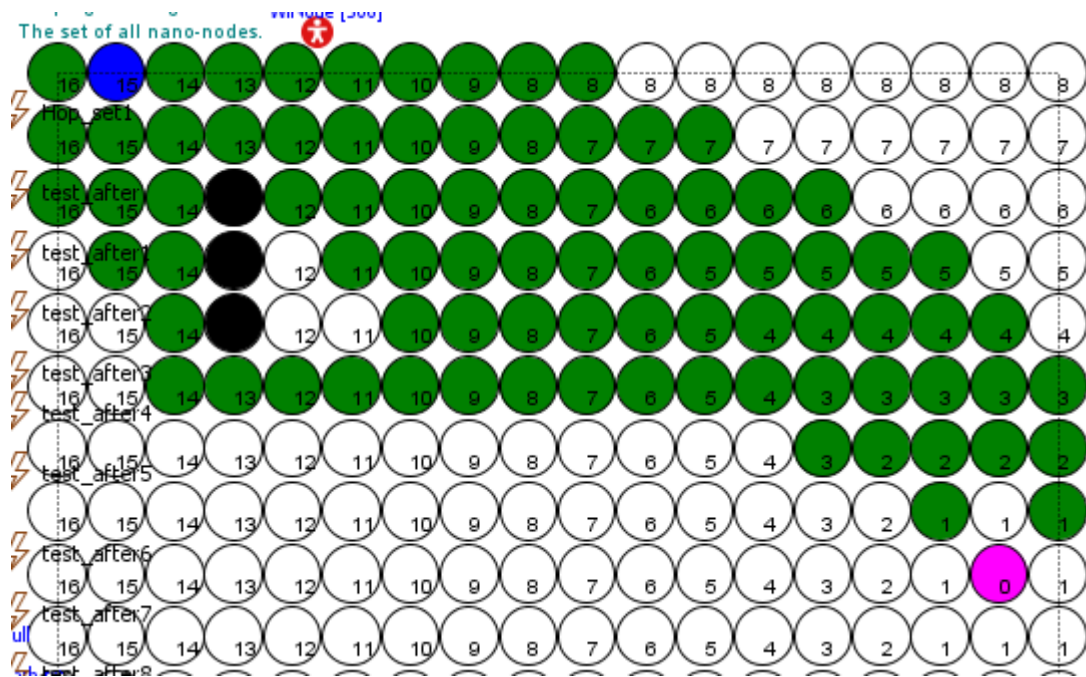
Για την υλοποίηση αυτή θα χρειαστεί μια τοπολογία των 306 κόμβων. Η εμβέλεια που θα χρησιμοποιηθεί είναι η απλή και είναι η ίδια που χρησιμοποιήθηκε για το πρώτο σενάριο. Για αποστολέα έχω καθορίσει το κόμβο 1 όπου φαίνεται με μπλε και για παραλήπτη τον κόμβο 200 όπου είναι με ροζ. Η διαδρομή φαίνεται με το πράσινο για να είναι πιο ξεκάθαρο. Ένα πακέτο στην αρχή του σεναρίου στέλνεται χωρίς να υπάρχει κάποιο εμπόδιο όπως είχε γίνει και στο σενάριο1 όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.6.1. Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψιν του το ποσοστό επιτυχίας της δυνάμεις έλξης και άωσης καθώς και την ουρά εξυπηρέτησης του κάθε κόμβου. Η δύναμη έλξης καθορίζεται από τα Hops που απέχουν οι γείτονες των γειτόνων τους. Η δύναμη άωσης ορίζεται από την ουρά εξυπηρέτησης που βρίσκεται στους γείτονες τους. Αθροίζοντας όλες αυτές τις αντίθετες δυνάμεις αποφασίζεται ποιος θα είναι ο επόμενος παραλήπτης του πακέτου.

Το σμήνος που δημιουργείται είναι των 20 πακέτων και ξεκινούν όλα με μια μικρή καθυστέρηση το ένα μετά το άλλο να προωθούνται. Έχω δοκιμάσει τον αλγόριθμο και σε περίπτωση εμφάνισης του εμποδίου έτσι ώστε να είναι εμφανές πως ο αλγόριθμος λειτουργά και κάνει χρήση αυτών των δυνάμεων. Σχήμα 4.6.2. Όταν σταλθεί το επόμενο πακέτο σε απενεργοποιημένο κόμβο με χρήση ενός timeout αλλάζει πορεία αναμεταδίδοντας το πακέτο σε κάποιο άλλο γείτονα του έτσι στέλνει το πακέτο από διαφορετική διαδρομή από ότι ακολούθησε το πρώτο πακέτο. Σε αυτή την εκδοχή του σεναρίου ο αλγόριθμος αντιλαμβάνεται δυναμικά ότι το πακέτο δεν έφτασε στο παραλήπτη με την χρήση κάποιου timeout. Όταν το πακέτο δεν έφτασε στο παραλήπτη γιατί έχει σταλθεί σε κάποιο απενεργοποιημένο κόμβο τότε λήγει το timeout και το πακέτο από τον προηγούμενο παραλήπτη που δεν έλαβε acknowledgment αναμεταδίδεται σε κάποιον άλλο κόμβο. Και σε αυτό το σημείο του αλγόριθμου λαμβάνονται υπόψιν οι ίδιες δυνάμεις δηλαδή το ποσοστό επιτυχίας της δυνάμεις έλξης και άωσης καθώς και την ουρά εξυπηρέτησης του κάθε κόμβου. Αθροίζοντας όλες αυτές τις αντίθετες δυνάμεις αποφασίζεται ποιος θα είναι ο επόμενος παραλήπτης του πακέτου.

4.6.1 Αποτελέσματα του έκτου σεναρίου



Σχήμα 4.6.1 Χωρίς Εμπόδιο



Σχήμα 4.6.2 Σμήνος όταν εμφανίστηκε εμπόδιο

Αριθμός πειραμάτων	Χρόνος Ολοκλήρωσης
1	417.04
2	415.03
3	412.032
4	616.03
5	310.02
6	315.03
7	513.02
8	413.03
9	415.03
10	412.03
Μέσος Χρόνος	423.8

Πίνακα 4.6.1.2

Ο μέσος όρος χρόνου ολοκλήρωσης του πιο πάνω σεναρίου είναι περισσότερος αυτό συμβαίνει γιατί στέλνει περισσότερα πακέτα και προσθέτοντας επιπλέον ελέγχους αργή η υλοποίηση του επίσης το εμπόδιο που δημιουργείται εμποδίζει αρκετά την εύρεση του επόμενου κόμβου αποστολής του πακέτου.

Επιπλέον λόγο του δυναμικού ελέγχου ο αλγόριθμος δεν γνωρίζει ποιοι κόμβοι είναι απενεργοποιημένοι και έτσι υπάρχει καθυστέρηση στην αναμετάδοση του χαμένου πακέτου. Έτσι σε κάθε εκτέλεση του αλγορίθμου η διαδρομή που επιλέγετε είναι διαφορετική λόγω της τυχειότητας του αλγορίθμου. Το **TimeOut = 100ns**. Το μέγεθος της ουράς εξυπηρέτησης για τον κάθε κόμβο είναι μέχρι 5 πακέτα.

Αριθμός πειραμάτων	Αριθμός επιτυχημένων πακέτων από τα 20 που	Αριθμός αποτυχημένων	Ποσοστό απώλειας
-----------------------	--	-------------------------	---------------------

	στέλνονται	πακέτων	πακέτων
1	17	3	15%
2	16	4	20%
3	19	1	5%
4	14	6	30%
5	15	5	25%
6	18	2	10%
7	18	2	10%
8	17	3	15%
9	19	1	5%
10	17	3	15%
Μέσος όρος			15%

Στο
πάνω

πιο

πίνακα βλέπουμε τον αριθμό επιτυχημένων πακέτων που φτάνουν στον τελικό προορισμό από την πηγή όταν ξεκινήσει να στέλνεται το σμήνος των 20 πακέτων.

Επίσης βλέπουμε ότι υπάρχει χάσιμο πακέτων είτε γιατί οι ουρές εξυπηρέτησης είναι πολύ μεγάλες είτε γιατί έχει γίνει 3 duplicate acknowledgment και το πακέτο έχει πλέον καταστραφεί.

Κεφάλαιο 5 - Διαφορές Bird Flocking και Corona

Μια βασική διαφορά Bird Flocking και του Corona είναι οι μοναδικότητα διευθύνσεων. Στο σενάριο Bird Flocking θεωρούμε την διεύθυνση του κάθε κόμβου μοναδική. Ο κάθε node αρχικοποιείται με το δικό του ID το οποίο γίνεται με την έναρξη του σεναρίου. Από την άλλη μεριά το Corona δεν έχει μοναδικά ID για τον κάθε κόμβο. Οι κόμβοι μπορούν να έχουν την ίδια διεύθυνση και η πληροφορία που την καθορίζει είναι ο αριθμός των hop που απέχουν από τον αρχικό τους κόμβο με βάση το πεδίο εμβέλειας.

Μια άλλη διαφορά των δυο αλγορίθμων δρομολόγησης είναι ο αριθμός των κόμβων που συμμετέχουν για την δρομολόγηση ενός πακέτου. Για την υλοποίηση του Bird Flocking δεν χρειάζεται περισσότερο από ένα κόμβο για την δρομολόγηση του σε αντίθεση με το Corona που συμμετέχουν όλοι οι γείτονες του κόμβου. Με αυτό τον τρόπο ο αλγόριθμος μοιάζει με flooding παρόλα αυτά υπάρχει μια κατεύθυνση στον αλγόριθμο τους.

Μια επιπλέον διαφορά είναι η πληροφορία που αποθηκεύεται στο header του πακέτου.

Για παράδειγμα στο header του Corona προσθέτουν ένα ακόμη 2D flags στην κεφαλίδα. Έτσι, η σημαία SETUP έχει ρυθμιστεί σε 1 για να δείξει ότι αυτό το πακέτο ανήκει στην φάση μετάδοσης. Ενώ τα επόμενα 2 σημαίες καθορίσετε ποια anchors έχουν επιλεγεί για τη μετάδοση πακέτων.



Σχήμα 5.1 Header του αλγορίθμου Corona

Στο header του bird flocking αποθηκεύεται η πληροφορία του αποστολέα, του τελικού παραλήπτη, του επόμενου πιθανού παραλήπτη μέχρι να φτάσει στον τελικό. Επίσης αποθηκεύεται η πληροφορία αν το πακέτο θα μεταδοθεί με flooding ή bird Flocking αλγόριθμο.

Bird Flocking Header

Last Client ID	Next receiver	Sink	Flooding packet	N_Hop
----------------	---------------	------	-----------------	-------

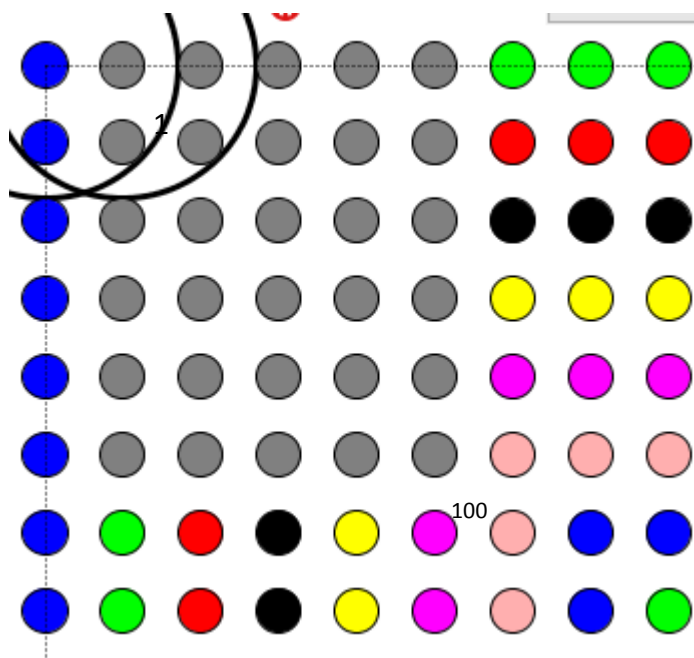
Σχήμα 5.2 Header του αλγορίθμου Bird Flocking

Ο αλγόριθμος bird flocking αντιμετωπίζει και μερικά προβλήματα. Ο αλγόριθμος χρειάζεται αρκετό χώρο και αρκετή μνήμη για να μπορεί να κρατά την πληροφορία των γειτόνων τους αλλά και των γειτόνων που απέχουν 2 hop από αυτούς.

Επίσης ο αλγόριθμος χρειάζεται αρκετή επεξεργασία για την επιλογή του επόμενου παραλήπτη και αυτό προσφέρει μεγάλη καθυστέρηση. Η καθυστέρηση αυτή είναι ανεκτή για λίγα πακέτα σε ένα μετέπειτα στάδιο όμως όταν τα πακέτα είναι πολύ περισσότερα πιθανών να αντιμετωπιστούν μερικά προβλήματα και ο αλγόριθμος να χρειαστεί περισσότερη απλοποίηση.

5.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Για την σύγκριση των δύο αλγορίθμων θα μελετήσουμε το σενάριο το οποίο δεν υπάρχουν εμπόδια στη διαδρομή του πακέτου. Η τοπολογία θα είναι η ίδια και στις δύο υλοποιήσεις δηλαδή θα γίνει χρήση 306 κόμβων και η τοπολογία έχει μορφή τετραγώνου. Η εμβέλεια που θα χρησιμοποιηθεί είναι η απλή και είναι όπως αυτή φαίνεται στο Σχήμα 5.1.1.. Για αποστολέα έχω καθορίσει το κόμβο 1 και για παραλήπτη τον κόμβο 100. Η διαδρομή φαίνεται με το πράσινο για να είναι πιο ξεκάθαρο για τον αλγόριθμο bird Flocking όπως υλοποιήθηκε στο Σενάριο 4.1. Για τον αλγόριθμο Corona η εμβέλεια που κάλυψε για την αποστολή των πακέτων φαίνεται έχει γκριζό χρώμα όπως στην Εικόνα 5.1.2.



49

Σχήμα 5.1.2- Η εμβέλεια κάλυψης αποστολής πακέτου από το κόμβο 1 μέχρι τον κόμβο 100

Αριθμός Πειραμάτων	Χρόνοι αλγορίθμου Corona	Χρόνοι αλγορίθμου Bird Flocking
1	50, 0123275078	11.02606938
2	50.0232750	9.022147816
3	50.0123275	11.02606938
4	50.0123275	9.022147816
5	50.0232750	11.02606938
6	50.0123275	11.02786969
7	50.0123275	11.02606938
8	50.0232750	9.022147816
9	50.0123275	11.02606938
10	50.0123275	11.02606938
Μέσος όρος	50.0123275	10.42507294

Πίνακας 5.1.1=Σύγκριση χρόνων των δύο αλγορίθμων

Στον Πίνακα 5.1.1 βλέπουμε τους χρόνους των δύο αλγορίθμων σε διάφορους εκτελέσεις. Συγκρίνοντας τα οι δύο αλγόριθμοι έχουν μεγάλη διαφορά στους χρόνους τους. Ο αλγόριθμος bird Flocking είναι αρκετά πιο γρήγορος για την αποστολή ενός πακέτου γιατί τις τιμές που χρειάζεται για την υλοποίηση του αλγορίθμου αυτού τις παίρνει στατικά από την main. Έτσι δεν καθυστερεί για παραπάνω υπολογισμούς. Σε αντίθεση το Corona χρειάζεται να υπολογίσει και να αποφασίσει πιο anchor θα χρησιμοποιήσει σε κάθε αποστολή των κόμβων.

Και στους δύο αλγορίθμους δεν υπάρχει packet loss θεωρούμε ότι δεν υπάρχουν απώλειες. Σε αυτή την υλοποίηση των σεναρίων θεωρείται ότι τα πακέτα δεν συναντούν εμπόδια.

Αριθμός Πειραμάτων	Αριθμός επιτυχημένων πακέτων Corona	Αριθμός επιτυχημένων πακέτων Bird Flocking
1	30	11
2	30	12
3	30	10
4	30	13
5	30	11
6	30	10
7	30	11
8	30	10
9	30	14
10	30	11
Μέσος όρος	30	11,3

Πίνακας 5.1.2 Σύγκριση αριθμού επιτυχημένων πακέτων των δύο αλγορίθμων

Παρατηρούμε μεγάλη διαφορά και στο σύνολο επιτυχημένων πακέτων μεταξύ των δύο αλγορίθμων όπως φαίνεται και στο Πίνακα 5.1.2. Ένα από τα χαρακτηριστικά του Bird Flocking είναι η τυχαιότητα που υπάρχει μέσα στις επιλογές του επόμενου παραλήπτη που κάνει ο αλγόριθμος. Έτσι βλέπουμε γιατί ο αλγόριθμος σε κάθε εκτέλεση του έβγαζε διαφορετικά αποτελέσματα. Σε αντίθεση με το Corona το οποίο είναι πολύ πιο σταθερό στις επιλογές και στον αριθμό αποστολής των πακέτων του. Μέσο αυτών των συγκρίσεων βλέπουμε και γιατί οι χρόνοι εκτέλεσης του αλγορίθμου είχαν πιο σταθερά αποτελέσματα.

Τέλος βλέπουμε πως χρειάζεται πολύ περισσότερα πακέτα για να σταλθεί το αρχικό πακέτο στο παραλήπτη με τον αλγόριθμο του Corona ενώ σε αντίθεση με στον αλγόριθμο Bird Flocking τα πακέτα που στέλνονται είναι πολύ περισσότερα.

Κεφάλαιο 6 - Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία

Ολοκληρώνοντας την εργασία αυτή, στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα καθώς γίνεται αναφορά σε μελλοντικά σχέδια που αφορούν την εφαρμογή του “Nano Networking” στη ζωή μας.

6.1 Συζήτηση – Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία είχε ως στόχο τη βελτιστοποίηση και την αναβάθμιση των λειτουργιών της υπάρχουσας εργασίας της FORTH σύμφωνα με την χρήση του Bird Flocking. Η αναβαθμισμένη εφαρμογή αναπτύχθηκε με χρήση του εργαλείου AnyLogic.

Σημαντική διαφοροποίηση της εργασίας αυτής είναι ο τρόπος αποστολής των πακέτων μέσω ενός αλγορίθμου τον οποίο ελαχιστοποιεί την απώλεια των πακέτων και δίνει στο πακέτο μια κατεύθυνση διάδοσης του πακέτου αυτού. Αυτό δίνει τη δυνατότητα ένα πακέτο να φτάνει στο προορισμό του πολύ πιο γρήγορα.

Σημαντικό μέρος της παρούσας μελέτης ήταν η λήψη σωστών αποφάσεων αναφορικά με τον τρόπο υπολογισμού των γειτόνων καθώς και η σωστή υλοποίηση του αλγορίθμου με τέτοιο τρόπο που μπορούμε να υλοποιήσουμε σωστά τον αλγόριθμο. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν οι απαραίτητοι πίνακες υπολογισμού των γειτόνων οι οποίοι θα είναι σε θέση να διαχειρίζονται αποδοτικά τον μεγάλο όγκο δεδομένων με βασικό χαρακτηριστικό την επεκτασιμότητα και με πρόνοια ο έλεγχος των γειτόνων να γίνονται για αρχή με στατικό τρόπο και σε ένα μετέπειτα στάδιο με δυναμικό τρόπο.

Ένα άλλο κομμάτι τις μελέτης αυτής που παρουσιάστηκε ήταν πως τα πακέτα αλλάζουν πορεία όταν κατά την διάρκεια αντιμετωπίζεται κάποιο εμπόδιο.

Τέλος, στα πλαίσια αυτής της μελέτης, θα είμαστε σε θέση στην περίπτωση εμφάνισης κάποιου απενεργοποιημένου κόμβου ο έλεγχος να γίνεται δυναμικά. Δηλαδή ο κόμβος ο οποίος παίρνει το πακέτο στέλνει ένα είδος ACK το οποίο επιβεβαιώνει ότι το πακέτο έφτασε στο προορισμό του. Αλλιώς δίνουμε την δυνατότητα αναμετάδοσης του πακέτου μέχρι και 3 φορές

6.2 Μελλοντική Εργασία

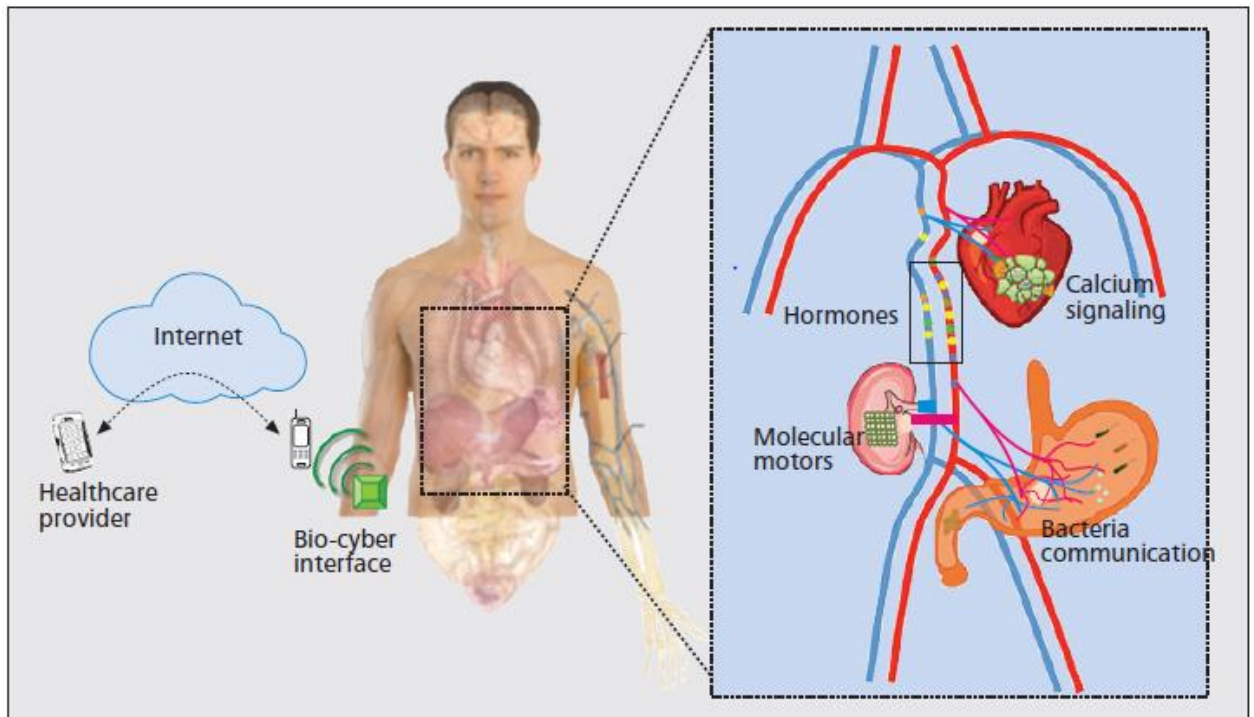
Ένας από τους βασικότερους μελλοντικούς στόχους της παρούσας εργασίας είναι με την χρήση Nano Network να αλλάξει την ζωή μας. Το Nano Network μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς της καθημερινότητας μας και ένας από αυτούς είναι για θέματα υγείας. Μπορεί να είναι σε θέση να ενημερώσει σε πολύ σύντομο χρόνο για τυχόν πάθηση ενός ασθενή στο γιατρό πριν να είναι πολύ αργά. Είναι κάτι το οποίο μπορεί να ενσωματωθεί με τον άνθρωπο και να του σώσει την ζωή.

Μια παρόμοια ιδέα που έχει αναπτυχθεί είναι το Internet of Things (IoT) [5] έχει γίνει ένα σημαντικό θέμα έρευνας κατά την τελευταία δεκαετία, όπου τα πράγματα αναφέρονται σε διασυνδεδεμένα μηχανήματα και αντικείμενα με ενσωματωμένες δυνατότητες των υπολογιστών που χρησιμοποιούνται για την επέκταση του Internet σε πολλούς τομείς σε εφαρμογές. Ενώ η συνέχιση της έρευνας και ανάπτυξης για τις γενικές συσκευές IoT, υπάρχουν πολλά πεδία εφαρμογής όπου απαιτείται πολύ μικρό, κρυφό, και μη παρεμβατική πράγματα. Οι ιδιότητες των νανο υλικών ενέπνευσαν την ιδέα του Internet της NanoThings (IoNT), με βάση τη διασύνδεση των συσκευών σε νανο κλίμακα. Παρά το γεγονός ότι αποτελεί καταλύτη για πολλές εφαρμογές, η τεχνητή φύση των συσκευών IoNT μπορεί να είναι επιζήμια, όπου η ανάπτυξη των NanoThings μπορούσε να οδηγήσει σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα στην υγεία ή τη ρύπανση. Το νέο μοντέλο του Διαδικτύου της Bio-NanoThings (IoBNET) εισάγεται σε αυτό το χαρτί από απορρέουν από τη συνθετική βιολογία και η νανο τεχνολογία εργαλεία που επιτρέπουν τη μηχανική των βιολογικών ενσωματωμένων υπολογιστικών συσκευών. Βασίζεται σε βιολογικά κύτταρα, και τις λειτουργίες τους στη βιοχημική τομέα, Bio-NanoThings υπόσχονται να ενεργοποιήσετε εφαρμογές όπως αισθητήρες ενδο-σώματος και δίκτυα ενεργοποίησης, και τον περιβαλλοντικό έλεγχο των τοξικών παραγόντων και της ρύπανσης. Η IoBNT [5] στέκεται ως ένα παράδειγμα-μετατόπιση αντίληψη για την επικοινωνία και την τεχνολογία του δικτύου, όπου οι νέες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν για την ανάπτυξη αποτελεσματικών και ασφαλών τεχνικών για την ανταλλαγή πληροφοριών, την αλληλεπίδραση, και τη δικτύωση μέσα στο βιοχημικό τομέα, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπουν την διασύνδεση με το ηλεκτρικό πεδίο της το διαδίκτυο.

Το Ίντερνετ των πραγμάτων (IoT) ορίζει ένα καλό φυσικό παράδειγμα, όπου συνδέονται όλα τα είδη του πραγματικού κόσμου φυσικά στοιχεία (αισθητήρες, προσωπικές ηλεκτρονικές συσκευές, ή οικιακές συσκευές, μεταξύ άλλων), και είναι σε θέση να αλληλοεπιδράσουν αυτόνομα μεταξύ τους. Ένα μεγάλο μέρος των επενδύσεων για Ίντερνετ των πραγμάτων ήταν και εξακολουθεί να γίνεται από κυβερνητικές υπηρεσίες και τη βιομηχανία σε όλο τον κόσμο. Πρόσφατα, η έννοια του Ίντερνετ των πραγμάτων έχει αναθεωρηθεί υπό το φως των νέων ερευνητικών προόδους στον τομέα της νανο τεχνολογίας και της μηχανικής επικοινωνίας, που επιτρέπουν την ανάπτυξη των δικτύων των ενσωματωμένων υπολογιστικών συσκευών, με βάση τα νανο υλικά, μετα-υλικά, που έχουν κλίμακες που κυμαίνονται από το ένα σε μερικές εκατοντάδες νανο μέτρα, που ονομάζεται NanoThings. Το Διαδίκτυο των NanoThings(IoNT), προτείνεται ως βάση πολλών μελλοντικών εφαρμογών, όπως στους τομείς των στρατιωτικών, την υγειονομική περίθαλψη και την ασφάλεια, όπου οι NanoThings, χάρη στο περιορισμένο μέγεθος τους, μπορεί εύκολα να κρύβονται, εμφυτεύονται, και διάσπαρτα στο περιβάλλον, όπου μπορούν να συνεταιριστικά εκτελέσει ανίχνευση, ενεργοποίηση, την επεξεργασία και τη δικτύωση. Ενώ NanoThings μπορεί να ωθήσει τη μηχανική των συσκευών και συστημάτων σε πρωτοφανή περιβάλλοντα και κλίμακες, όπως και σε άλλες συσκευές, έχουν τεχνητό χαρακτήρα, δεδομένου ότι βασίζονται σε συντίθενται υλικά. Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορεί να είναι επιβλαβής για ορισμένα περιβάλλοντα εφαρμογών, όπως στο εσωτερικό του σώματος ή σε φυσικά οικοσυστήματα, όπου η ανάπτυξη των NanoThings και την ακτινοβολία τους θα μπορούσε να οδηγήσει σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα στην υγεία ή τη ρύπανση. Μια νέα κατεύθυνση έρευνας στην τεχνολογία των συσκευών και των συστημάτων νανο κλίμακα επιδιώκεται στον τομέα της βιολογίας, συνδυάζοντας νανο τεχνολογίας με εργαλεία από συνθετική βιολογία για τον έλεγχο, την επαναχρησιμοποίηση, να τροποποιήσει και να δημιουργήσει ξανά βιολογικά κύτταρα. Με απορρέουν από μια αναλογία μεταξύ ενός βιολογικού κυττάρου και ένα τυπικό IoT ενσωματωμένη υπολογιστική συσκευή, ένα κύτταρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά ως υπόστρωμα για την υλοποίηση μια λεγόμενη Bio-NanoThings, μέσω του ελέγχου, την επαναχρησιμοποίηση και ανασχεδιασμός των λειτουργιών βιολογικών κυττάρων, όπως ανίχνευση, ενεργοποίηση, την επεξεργασία και την επικοινωνία. Η εκτέλεση των εντολών με βάση το DNA, η βιοχημική επεξεργασία των δεδομένων, η μετατροπή της χημικής

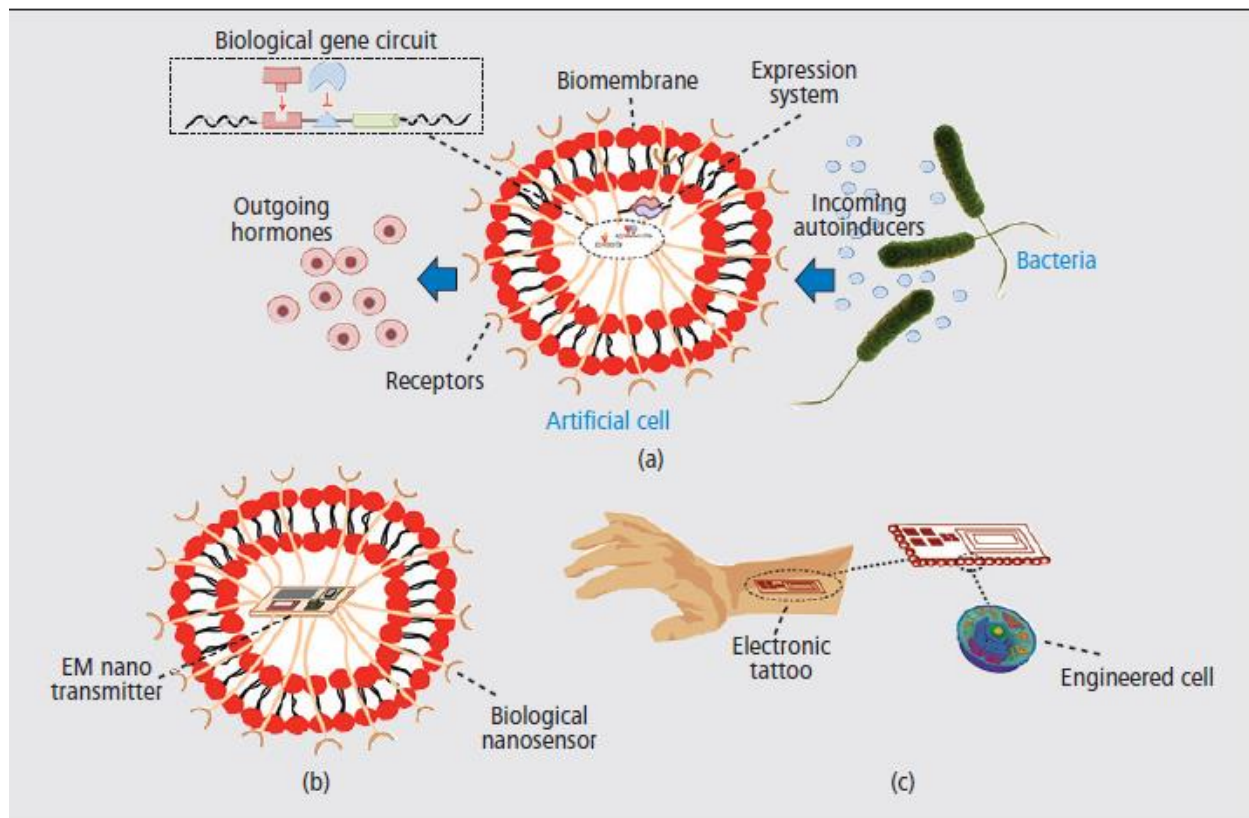
ενέργειας, καθώς και η ανταλλαγή πληροφοριών μέσω της μετάδοσης και λήψης των μορίων, αποτελούν τη βάση μιας πληθώρας εφαρμογών που θα ενεργοποιηθεί από την IoBNT, όπως:

- Intra-Body ανίχνευσης και ενεργοποίησης, όπου Bio-NanoThings μέσα στο ανθρώπινο σώμα θα συλλέγει συλλογικά τις πληροφορίες που αφορούν την υγεία, τη διαβιβάζει σε έναν εξωτερικό πάροχο υγειονομικής περίθαλψης μέσω του Διαδικτύου, και να εκτελέσει εντολές από τον ίδιο πάροχο, όπως σύνθεση και την απελευθέρωση των φαρμάκων. Όπως στο Σχήμα 6.2.1.



Σχήμα 6.2.1 [5]

- Intra-Body ελέγχου συνδεσιμότητας, όπου Bio-NanoThings θα επισκευάσει ή να αποτρέψει τις αποτυχίες στην επικοινωνία μεταξύ των εσωτερικών μας οργάνων, όπως εκείνες που βασίζονται στο ενδοκρινικό και το νευρικό σύστημα, οι οποίες αποτελούν τη βάση πολλών ασθενειών. Όπως στο Σχήμα 6.2.2



Σχήμα 6.2.2 [5]

- Περιβαλλοντικός έλεγχος και καθαρισμός, όπου Bio-NanoThings αναπτυχθεί στο περιβάλλον, όπως ένα φυσικό οικοσύστημα, θα ελέγξει για τοξικές και ρυπογόνες ουσίες, και σε συνεργασία μετατρέψει αυτούς τους παράγοντες μέσω της βιολογικής αποκατάστασης, π.χ. βακτήρια που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό πετρελαιοκηλίδων. Έτσι και η παρούσα μελέτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να καλύψει τέτοιου είδους ανάγκες σε ένα μετέπειτα στάδιο.

Βιβλιογραφία

- [1] C.Liaskos, A. Tsioliaridou, S.Ioannidis, N.Kantartzis, A.Pitsillides, “A Deployable Routing System for Nanonetworks”, Aristotle University Thessaloniki,Greece and University of Cyprus, 2109 Nicosia, Cyprus, 2015
- [2] P. Antoniou, A.Pitsillides, T.Blackwell, A.Engelbrecht, L.Michael “Congestion Control in Wireless Sensor Networks based on Bird Flocking Behavior”
- [3] P.Antoniou, A.Pitsillides, T.Blackwell, A. Engelbrecht, “Employing the Flocking Behavior of Birds for Controlling Congestion in Autonomous Decentralized Networks”
- [4] V.Rantala,T.Lehtonen,J.Plosila., Network on Chip Routing Algorithms
- [5] I. F. Akyildiz, M. Pierobon, S. Balasubramaniam, and Y. Koucheryavy., “THE INTERNET OF BIO-NANOTHINGS”
- [6] C.Liaskos, A.Tsoliaridou, A.Pitsillides, N.Kantartzis, A.Lalas, X.Dimitropoulos, S.Ioannidis, M.Kafesakis, C.Soukoulis. “Building Software Defined Materials with Nanonetworks”
- [7] C.Liaskos, A.Tsioliaridou, “A Promise of Realizable, Ultra- Scalable Communications at nano-Scale: A multi-Modal nano-Machine Architecture”
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/AnyLogic>



Η υλοποίηση αυτή γίνεται μέσα στο `checkReceiver`

}

```

int size_rep=repulsion2.size();
int size_atr=attraction.size();
int max_success_queue=0;
int isblock=0;
int block=0;
if(duplicate_ack==1){
for(int i=0; i<size_rep; i++){
repulsion.clear();

if(!get_Main().visited.contains(repulsion2.get(i))){
calculateRepulsion(repulsion2.get(i));
for(int w=0; w<repulsion.size(); w++){
for(int j=0; j<size_atr; j++){
if(repulsion.get(w)==attraction.get(j)){

if((get_Main().hops[repulsion2.get(i)]<get_Main().hops[nodeID]) &&

max<=(get_Main().unsuccessful_queue[repulsion2.get(i)]+

(get_Main().attraction_queue[repulsion2.get(i)]-
get_Main().hops[attraction.get(j)]))) {

max=(get_Main().unsuccessful_queue[repulsion2.get(i)]+

abs((get_Main().attraction_queue[repulsion2.get(i)]-
get_Main().hops[attraction.get(j)]))) );
x=repulsion2.get(i);
}

}

}

}

}
}
}

```

```

}
if(duplicate_ack==2){
    for(int i=0; i<size_rep; i++){
        repulsion.clear();
        if(!get_Main().visited.contains(repulsion2.get(i))){
            calculateRepulsion(repulsion2.get(i));
            for(int w=0; w<repulsion.size(); w++){
                for(int j=0; j<size_atr; j++){
                    if(repulsion.get(w)==attraction.get(j)){

if((get_Main().hops[repulsion2.get(i)]==get_Main().hops[nodeID]) &&

max<=(get_Main().unsuccessful_queue[repulsion2.get(i)]+

(get_Main().attraction_queue[repulsion2.get(i)]-
    get_Main().hops[attraction.get(j)]))) {

max=(get_Main().unsuccessful_queue[repulsion2.get(i)]+

abs((get_Main().attraction_queue[repulsion2.get(i)]-

get_Main().hops[attraction.get(j)]))) ;

                    x=repulsion2.get(i);
                    }
                }
            }
        }
    }
}

if(duplicate_ack==3){
    for(int i=0; i<size_rep; i++){
        repulsion.clear();
        if(!get_Main().visited.contains(repulsion2.get(i))){
            calculateRepulsion(repulsion2.get(i));
            for(int w=0; w<repulsion.size(); w++){

```



```
ackTimeOut.restart();
```

A-2 Δημιουργία πακέτου

```
WiNode Sender_n = null;
    startflooding = 2;
    start_time=time();

    for (WiNode n : node_set){

        if(n.nodeID == Sender){
            Sender_n = n;
        }
    }

    //traceln(best_n.getIndex());
    Sender_n.source.set_maxArrivals(1);
    Sender_n.oval.setVisible(true);
    Sender_n.source.inject(1);
```

A-3 Αρχικοποίηση των κόμβων με τα hops από τον τελικό προορισμό

```
WiNode Sink_n = null;
    startflooding = 1;

    for (WiNode n : node_set){

        if(n.nodeID == Sink){
            Sink_n = n;
        }
    }

    //traceln(best_n.getIndex());
    Sink_n.source.set_maxArrivals(1);
    Sink_n.oval.setVisible(true);
    Sink_n.source.inject(1);
```

A-4 Αρχικοποίηση της τοπολογίας

Γίνονται οι αρχικοποιήσεις της τοπολογίας, της πηγής και τον προορισμό του πακέτου

Parameters

Nnodes:	=	306
Po:	=	2
Fo:	=	100
NoiseLevel:	=	0
Significant_DT:	=	0.01
SINR_threshold:	=	-10
TxQueueCapacity:	=	10
useMAC:	=	0
maxMACbackoff:	=	10
magnifier:	=	50
type:	=	2
channel_model:	=	1
isRayTracingEnabled:	=	☐
stdX_fade_dB:	=	0
batteryReductionStepPerPacket:	=	0
chargeEveryT_nsec:	=	1000
chargeBy:	=	0.1
reviveAtLevel:	=	0.5
K_abs_factor:	=	0.52
Sink:	=	100
Sender:	=	1
Sender1:	=	1