

Ατομική Διπλωματική Εργασία

**ADAPTIVE FLOCK-BASED NATURE-INSPIRED CONGESTION
AVOIDANCE IN WIRELESS SENSOR NETWORKS**

Άντρεα Κυριάκου

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μάιος 2013

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**ADAPTIVE FLOCK-BASED NATURE-INSPIRED CONGESTION AVOIDANCE
IN WIRELESS SENSOR NETWORKS**

Άντρεα Κυριάκου

Επιβλέπων Καθηγητής
Κος Αντρέας Πιτσιλίδης

Η Ατομική Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των
απαιτήσεων απόκτησης του πτυχίου Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του
Πανεπιστημίου Κύπρου

Μάιος 2013

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω κατ' αρχάς τον επιβλέποντα μου καθηγητή κύριο Αντρέα Πιτσιλλίδη τόσο για την υπομονή και υποστήριξη που μου πρόσφερε καθ' όλη τη διάρκεια της υλοποίησης της διπλωματικής εργασίας όσο και για την άψογη συνεργασία που είχαμε. Θα ήθελα επίσης, να ευχαριστήσω τον κύριο Παύλο Αντωνίου για την πολύτιμη βοήθεια και τις γνώσεις που μου πρόσφερε, όπως επίσης για τα καθοδηγητικά του σχόλια, την πολύ καλή συνεργασία και την προθυμία του πάντα να με βοηθήσει.

Περίληψη

Το θέμα της διπλωματικής μου εργασίας αφορά τη δρομολόγηση και τον εντοπισμό συμφόρησης σε ένα δίκτυο ασύρματων αισθητήρων. Τα δίκτυα αυτά είναι μια νέα τεχνολογική μορφή η οποία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Έτσι, εμφανίζεται η ανάγκη για να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία με αποτέλεσμα να απαιτούνται νέοι τρόποι για τη βελτίωση της λειτουργίας τους αφού τα υφιστάμενα πρωτόκολλα δεν είναι αποτελεσματικά σε τέτοιου είδους δίκτυα. Τα δίκτυα αισθητήρων διαφέρουν τόσο από τα κοινά ασύρματα δίκτυα, όσο και από τα ενσύρματα δίκτυα. Αυτό, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των κόμβων που αποτελούν το κάθε δίκτυο.

Η διπλωματική αυτή εργασία, είναι συνέχεια ενός ήδη υπάρχον πρωτόκολλου για αυτού του είδους δίκτυα που έχει δημιουργήσει ο κύριος Παύλος Αντωνίου. Η διαφορά από το πρωτότυπο πρωτόκολλο είναι πως στη διπλωματική μου εργασία εντάσσεται η έννοια της προσαρμοστικότητας του κάθε αισθητήρα ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο δίκτυο, προσπαθώντας να επιτευχθούν καλύτερα αποτελέσματα. Το αρχικό πρωτόκολλο ονομάζεται Flock-CC και μιμείται την συμπεριφορά των πουλιών σαν κοπάδι το οποίο θα μπορεί να παρουσιάζει ένα αξιόπιστο, επεκτάσιμο και αυτό-προσαρμοστικό πρωτόκολλο για τον έλεγχο της συμφόρησης στα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων. Εφαρμόζεται σε real-time event – based εφαρμογές για τα WSNs. Το πρωτόκολλο αυτό είναι εμπνευσμένο από τη συμπεριφορά των πτηνών ως σμήνος. Η κύρια ιδέα του είναι να οδηγήσει τα πακέτα (πουλιά) με τέτοιο τρόπο που να σχηματίσουν σμήνος και ροή προς το sink (μαγνητικός πόλος-ο προορισμός των πουλιών), ενώ γίνεται προσπάθεια να αποφευχθούν περιοχές συμφόρησης (που είναι τα εμπόδια). Η κίνηση των πακέτων επηρεάζεται από δυνάμεις έλξης και απώθησης μεταξύ των πακέτων. Επίσης, η κίνηση των πακέτων επηρεάζεται από το οπτικό πεδίο και το μαγνητικό πεδίο προς την κατεύθυνση που βρίσκεται ο τεχνητός μαγνητικός πόλος (δηλαδή το sink). Η προσέγγιση αυτή είναι απλή να υλοποιηθεί σε κάθε κόμβο και εφαρμόζεται ελάχιστη ανταλλαγή μηνυμάτων. Τέλος, το Flock - CC παρέχει μια σωστή αναλογία όσον αφορά τη παράδοσης και τις απώλειες πακέτων, τη καθυστέρηση και την ενέργεια στα πλαίσια χαμηλής, υψηλής και ακραίας φόρτου κυκλοφορίας. Παρέχει επίσης, την αξιοπιστία έναντι των αποτυχημένων κόμβων, την επεκτασιμότητα σε διάφορα μεγέθη δικτύων ξεπερνώντας τις τυπικές συμβατικές προσεγγίσεις.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Ορισμός του προβλήματος	1
1.2 Σκοπός της μελέτης	3
1.3 Σημασία της μελέτης	4
1.4 Σκελετός της διπλωματικής	4
 Κεφάλαιο 2 Γενικό πλαίσιο.....	 6
2.1 Τι είναι το πρόβλημα της συμφόρησης	6
2.2 Μειονεκτήματα στη χρήση των πρωτοκόλλων TCP και UDP	8
2.3 Υπάρχοντα πρωτόκολλα για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων	10
2.4 Τι είναι το Flock-CC	18
2.5 Έννοια της προσαρμοστικότητας	21
 Κεφάλαιο 3 Υλοποίηση.....	 23
3.1 Η αλγοριθμική περιγραφή του πρωτοκόλλου Flock – CC	23
3.2 Η αλγοριθμική περιγραφή της προσαρμοστικότητας	36
 Κεφάλαιο 4 Ανάλυση αποτελεσμάτων	 42
4.1 Περιγραφή αποτελεσμάτων	42
4.2 Τιμές παραμέτρων	44
4.3 Επιλογή παραμέτρων προς εξέταση	47
4.3.1. Packet Delivery Ratio (PDR)	47
4.3.2 End to End delay (EED)	66
4.3.3 Συγκρούσεις στο μέσο και ξεχείλισμα ουρών	78
4.3.4 Τιμές για διάφορα σενάρια του ξ	84
4.3.5 Sampling Period (T)	86
4.4 Αποτελέσματα για καλύτερη εξίσωση υπολογισμού του ξ	89
4.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων με default Flock – CC	90
 Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα.....	 93

5.1 Επίλογος	93
5.2 Μελλοντική δουλειά	94
Βιβλιογραφία.....	95
Παράρτημα Α.....	A-1

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Ορισμός του προβλήματος	1
1.2 Σκοπός της μελέτης	3
1.3 Σημασία της μελέτης	4
1.4 Γενική περιγραφή της διπλωματικής	4

1.1 Ορισμός του προβλήματος

Ένα από τα θέματα που έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές τα τελευταία χρόνια και παρουσιάζει ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον, είναι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Μέχρι το παρόν στάδιο, έχουν γίνει πολλές μελέτες και έχουν αναπτυχθεί διάφορες κρίσιμες εργασίες ακόμα και σε θέματα υγείας. Όπως αναμένεται, η ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής, θα οδηγήσει σε μεγαλύτερα επιτεύγματα όπως η λειτουργία τους χωρίς να χρειάζεται η επίβλεψη από ανθρώπινο δυναμικό, για συνεχόμενα χρονικά διαστήματα. Τα δίκτυα αυτά, ως συνήθως αποτελούνται από μικρές συσκευές και συνήθως φτηνές, οι οποίες συνεργάζονται για να φέρουν εις πέρας ένα σκοπό. Οι συσκευές αυτές (κόμβοι) είναι συνήθως περιορισμένης υπολογιστικής δυνατότητας, ενέργειας, χώρου μνήμης και του ποσού των δεδομένων (bits) που λαμβάνονται ή στέλλονται ανά μονάδα χρόνου σε ένα κανάλι (bandwidth). Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, οι αυτόνομοι κόμβοι αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον για να αισθανθούν ή να ελέγξουν τις φυσικές παραμέτρους. Αλληλεπιδρά όμως και ο ένα κόμβος με τον άλλο για να μπορέσουν να ανταλλάξουν πληροφορίες ή για να προωθήσουν δεδομένα προς ένα ή περισσότερους προορισμούς. Οι προορισμοί αυτοί ονομάζονται sink nodes. [1,2]

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να σημειωθεί πως, προβλήματα μπορούν να υπάρξουν και σε αυτού του είδους δίκτυα. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να προκύψει από το συνδυασμό των αλληλεπιδράσεων που αναφέρονται πιο πάνω, μαζί με τις μεταβολές στις συνθήκες του ασύρματου δικτύου. Ως αποτέλεσμα, παρατηρείται απρόβλεπτη μεταβολή του φόρτου κίνησης και της χωρητικότητας του μέσου με αποκορύφωση, τη διαμόρφωση της τοπολογίας που μπορούν να προέρθουν από το χάσιμο κάποιου κόμβου (π.χ έλλειψη μπαταρίας), μετακίνηση κάποιου κόμβου ή λόγω κάποιων ενδιάμεσων χειρισμών με αποτέλεσμα την χειροτέρευση των συνθηκών του δικτύου. [2]

Το πιο πάνω πρόβλημα της συμφόρησης στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι ένα σημαντικό αντικείμενο συζήτησης προς επίλυση, το οποίο όμως δεν μπορεί να λυθεί με τους γνωστούς τρόπους που αντιμετωπίζεται η συμφόρηση στα παραδοσιακά δίκτυα. Αυτό συμβαίνει λόγω της διαφορετικής ερμηνείας και τρόπου αντιμετώπισης που υπάρχει στα δίκτυα αυτά. Η διαφορά τους, φαίνεται από το γεγονός πως, στα ασύρματα δίκτυα εντάσσονται δύο παράμετροι, τα οποία είναι το μέγεθος των αλλαγών του προβλήματος, το οποίο αντιμετωπίζεται περισσότερο σε δίκτυα μεγάλης κλίμακας ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, τα οποία αποτελούνται από ένα μεγάλο φάσμα κόμβων αισθητήρων. Η δεύτερη παράμετρος, είναι ο περιορισμός των πόρων για επίλυση του προβλήματος, το οποίο είναι ένα ουσιαστικό πρόβλημα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Ακόμα ένας λόγος που ενδυναμώνει τη διαφορά ανάμεσα στα δίκτυα που προαναφέρονται είναι και οι στρατηγικές επίλυσης της συμφόρησης. Στα ασύρματα δίκτυα είναι εντελώς διαφορετικές οι στρατηγικές αυτές, από τα παραδοσιακά δίκτυα αφού στη πρώτη περίπτωση, η κίνηση παίρνει τη μορφή πολλά – προς – ένα, σε αντίθεση με τη δεύτερη περίπτωση όπου η κίνηση έχει τη μορφή της στρατηγικής end – to – end. Εδώ είναι που εντάσσεται το θέμα της διπλωματικής μου εργασίας και που θα προσπαθήσω να δώσω λύση σε αυτό. Το πρόβλημα της συμφόρησης, είναι το θέμα που θα παρουσιάσω, προσπαθώντας να βελτιώσω τη ποιότητα ρου δικτύου. [2]

Για να μπορέσει να επιτευχθεί η αντιμετώπιση της συμφόρησης μέσω του έλεγχου και να αποφευχθεί η συμφόρηση, θα χρειαστούν κατάλληλοι χειρισμοί, οι οποίοι

να έχουν την ευθύνη για τη κίνηση που υπάρχει στο δίκτυο με τρόπο που να αντιμετωπιστεί και να αποφευχθεί. Αυτοί οι χειρισμοί, θα μπορούσαν να είναι είτε με συγκεντρωτική στρατηγική αντιμετώπισης είτε με αποκεντρωμένη στρατηγική αντιμετώπισης. Η πρώτη προσέγγιση όμως, όπως θα εξηγήσω δεν είναι αποδοτική. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι σε ένα δίκτυο αποτελούμενο από συσκευές με μικρή ισχύ και οι οποίες λειτουργούν με μπαταρίες, θα ήταν μη αποδοτική η αλόγιστη σπατάλη της. Με μια τέτοια προσέγγιση, η επιβάρυνση που θα παρουσιαστεί μέσω του φόρτου από την επικοινωνία των κόμβων, θα οδηγούσε σε επώδυνη λύση, σπαταλώντας έτσι σε γρήγορο χρονικό διάστημα, την μπαταρία του κάθε κόμβου. Επίσης, σε περίπτωση αλλαγής της τοπολογίας του δικτύου, η ενημέρωση και κατά συνέπεια, η αντίδραση θα γίνεται με αργό τρόπο. Το ίδιο θα ισχύει και σε περίπτωση με συνθήκες συμφόρησης. Ακόμα, μέσω της συγκεντρωτικής στρατηγικής αντιμετώπισης δεν εφαρμόζεται η επεξεργασία μέσα στο δίκτυο, όπου γίνεται απλή επεξεργασία και παίρνονται αποφάσεις από τους κόμβους και τέλος, σε περίπτωση αποτυχίας στην επικοινωνία, ολόκληρο το σύστημα, δεν λειτουργεί. Αντίθετα, μια προσέγγιση με αποκεντρωμένες στρατηγικές, θα ήταν πιο αποδοτικός, λύνοντας τα πιο πάνω προβλήματα, προσφέροντας αξιοπιστία, αυτό-οργάνωση και ευέλικτους μηχανισμούς. Σε δίκτυα με αποκεντρωμένες στρατηγικές, ο κάθε κόμβος θα λαμβάνει αποφάσεις βάση των τοπικών πληροφοριών που λαμβάνει από το περιβάλλον του, εισάγοντας έτσι την έννοια της προσαρμοστικότητας. Με αυτό τον τρόπο, μειώνεται η πολυπλοκότητα και κάθε κόμβος ανταλλάζει ελάχιστες πληροφορίες.[2] Αυτός, είναι και ο μηχανισμός, βάση του οποίου θα βασιστεί η διπλωματική μου εργασία.

1.2 Σκοπός της μελέτης

Στη διπλωματική αυτή εργασία, θα ασχοληθώ με ένα υπάρχων πρωτόκολλο, το οποίο ονομάζεται Flock-CC, το οποίο έχει υλοποιηθεί από τον κύριο Παύλο Αντωνίου, με διαφορά ότι εγώ θα το διαμορφώσω με τρόπο έτσι ώστε να ενταχθεί ο ορισμός της προσαρμοστικότητας του κάθε κόμβου ανάλογα με τις αλλαγές του περιβάλλοντος του δικτύου και της κίνησης που υπάρχει σε αυτό. Ο κάθε κόμβος θα λαμβάνει αποφάσεις βάση των πληροφοριών που λαμβάνει από τους άμεσους

γείτονες του. Με τη λήψη των πληροφοριών αυτών και με την εκτέλεση κάποιων υπολογισμών εσωτερικά του κάθε κόμβου, θα λαμβάνονται αποφάσεις για το προς τα πού να στείλει πακέτα, αν πρέπει να ανοιχτεί το φάσμα στο οποίο στέλλει τα δεδομένα λόγω αποτυχίας κάποιου κόμβου που βρίσκεται αμέσως μπροστά, είτε λόγω συμφόρησης. Με την λογική αυτή, θα έχουμε ως στόχο την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων, όπως περιμένουμε, όσο αφορά το ποσοστό των επιτυχημένων μεταφορών πακέτων και της καθυστέρησης του πακέτου για να φτάσει στον προορισμό. Για την επίτευξη της σύγκρισης των δύο τεχνικών (με ή χωρίς προσαρμοστικότητα), θα παρουσιαστούν στη συνέχεια, σενάρια με διαφορετικές τοπολογίες και με συγκεκριμένο αρχικά αριθμό κόμβων.

1.3 Σημασία της μελέτης

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων με και χωρίς την έννοια της προσαρμοστικότητας, για το πρωτόκολλο Flock-CC, για να μπορέσουμε να συμπεράνουμε, αν όντως η έννοια της προσαρμοστικότητας, μας δίνει όπως αναμένουμε καλύτερα αποτελέσματα σε σενάρια με χάσιμο κόμβων και συμφόρησης.

1.4 Γενική περιγραφή της διπλωματικής

Το υπόλοιπο μέρος της διπλωματικής εργασίας, είναι οργανωμένο ως εξής: στο Κεφάλαιο 2, θα δοθεί ο ορισμός του προβλήματος της συμφόρησης στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, πως το αντιμετωπίζουμε, ποιες τεχνικές υπάρχουν με έμφαση το πρωτόκολλο Flock-CC που μιμείται τη συμπεριφορά των πουλιών ως κοπάδι και ένταξη της έννοιας της προσαρμοστικότητας στην οποία βασίζεται η διπλωματική μου εργασία. Στο Κεφάλαιο 3, θα γίνει αναλυτική αλγοριθμική περιγραφή της προσαρμοστικότητας στο Flock-CC, ανάλυση του υπάρχοντος πρωτοκόλλου Flock-CC και οι δοκιμές που εφάρμοσα για προσαρμοστικότητα. Μια ανάλυση της απόδοσης στην υλοποίηση της προσαρμοστικότητας θα παρουσιαστεί στο Κεφάλαιο 4, παρουσιάζοντας ακόμα, γραφικές παραστάσεις για

τις συγκριμένες δοκιμές που εφαρμόστηκαν. Τέλος, στο Κεφάλαιο 5, θα είναι ο επίλογος και ανάλυση για μελλοντική δουλειά που μπορεί να γίνει.

Κεφάλαιο 2

Γενικό πλαίσιο

2.1 Τι είναι το πρόβλημα της συμφόρησης	6
2.2 Μειονεκτήματα στη χρήση των πρωτοκόλλων TCP και UDP	8
2.3 Υπάρχοντα πρωτόκολλα για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων	10
2.4 Τι είναι το Flock-CC	18
2.5 Έννοια της προσαρμοστικότητας	21

2.1 Τι είναι το πρόβλημα της συμφόρησης

Η συμφόρηση στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι μια κατάσταση στην οποία μπορεί να βρεθεί το δίκτυο. Η κατάσταση αυτή παρουσιάζεται όταν το ποσοστό του φόρτου κυκλοφορίας που υπάρχει μέσα στο δίκτυο, υπερβαίνει τη διαθέσιμη χωρητικότητα σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου. Οι επιπτώσεις που παρουσιάζονται κατά τη συμφόρηση είναι πολλαπλές. Η σπατάλη ενέργειας και ελάττωση του ρυθμού μεταφοράς των δεδομένων (bits) μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη (throughput) είναι κάποιες από τις συνέπειες της συμφόρησης. Ως επίσης, το φαινόμενο της συμφόρησης αυξάνει τις συγκρούσεις και κατ' επέκταση τις αναμεταδώσεις στο μέσο επίπεδο ελέγχου πρόσβασης λόγω χάσιμο πακέτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα που προκαλεί η συμφόρησης κατά τη διάρκεια της καθυστέρησης στην ουρά του κόμβου (η οποία αυξάνεται) και το χάσιμο πληροφοριών, έχει ως συνέπεια τη ελάττωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών (QoS), τη μείωση διάρκειας ζωής του δικτύου και την αποσύνθεση της τοπολογίας του σε πολλαπλά μέρη.

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 1, μια διαφορετική συμπεριφορά παρουσιάζετε στα παραδοσιακά ενσύρματα δίκτυα, όπου η συμφόρηση γίνεται αντιληπτή από το ξεχείλισμα της ουράς (buffer). Ο τρόπος αντιμετώπισης της

συμφόρησης σε τέτοιου είδους δίκτυα, είναι και πάλι διαφορετικός. Στη περίπτωση των παραδοσιακών δικτύων, οι μόνοι που συμμετέχουν είναι ο αποστολέας και ο παραλήπτης, για αυτό ονομάζεται ως: end-to-end. Αντίθετα στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων παρατηρείται το φαινόμενο όπου πολλοί αισθητήρες στέλλουν προς ένα μόνο αισθητήρα ο οποίος είναι και ο παραλήπτης (sink). Σε ένα τέτοιου είδους περιβάλλον, όπως τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, ο end-to-end τρόπος δεν θα ήταν αποτελεσματικός λόγω της προδιάθεσης του δικτύου σε λάθη. Ως επίσης, μια προσέγγιση end-to-end, σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερημένη ανταπόκριση από το δίκτυο για να πράξει τις κατάλληλες ενέργειες, με αποτέλεσμα, την αύξηση των λαθών και των. Αποκορύφωμα της προσέγγισης αυτής σε τέτοιου είδους δίκτυα, θα είναι κατά τη διάρκεια μεγάλων περιόδων συμφόρησης, το δίκτυο θα παρουσιάζει ακόμη χειρότερα αποτελέσματα. Η απώλεια πακέτων στο μέσο, είναι ένα αποτέλεσμα σε ύπαρξης συμφόρησης. Το πρόβλημα όμως, γίνεται εντονότερο όταν μιλούμε τόσο για τις περιοχές υψηλής ζήτησης αλλά και γύρω από αυτές. Οι περιοχές αυτές, μπορεί να είναι το σημείο όπου καταλήγουν όλα τα δεδομένα(sink), όπου παρουσιάζεται η λογική του πολλά προς ένα (πολλοί κόμβοι στέλλουν πακέτα προς ένα κόμβο που ονομάζεται sink) ή ακόμα όταν συμβεί ένα γεγονός, όπως για παράδειγμα μια ομάδα κόμβων που δεν λειτουργούν ή όταν μια ομάδα από κόμβους σημειώσουν την ίδια χρονική στιγμή, το ίδιο γεγονός. Η έλλειψη της χωρητικότητας του καναλιού, που είναι μια συνέπεια της συμφόρησης, θα επηρεάσει τόσο τους κόμβους όσο και το μέσο. Το ασύρματο μέσο, σε ένα γρήγορο χρονικό διάστημα, θα φτάσει ίσως το ανώτατο όριο χωρητικότητας του σε αντίθεση με το ξεχείλισμα της ουράς, το οποίο μπορεί να χρειαστεί ένα πιο μεγάλο χρονικό διάστημα. Όσο αφορά τους κόμβους, η επιρροή που θα υπάρχει είναι σε αυτούς που βρίσκονται γύρω από τους κόμβους που στέλλουν πακέτα. Σε μικρού μεγέθους δίκτυα (μικρός αριθμός αισθητήρων), το ξεχείλισμα της ουράς, δεν μπορεί να σταθεί από μόνο του σαν απόδειξη για συμφόρηση. Αυτό όμως δεν ισχύει σε μεγάλου αριθμού δίκτυα αισθητήρων. Σε τέτοιου είδους δίκτυα, το ξεχείλισμα της ουράς θεωρείται ο καλύτερος τρόπος απόδειξης για ύπαρξη συμφόρησης. Σαν αποτέλεσμα, για να γίνει εφικτή η γενικοποίηση της ένδειξης για συμφόρηση, εφαρμόζεται ο συνδυασμός των πιο κάτω μηχανισμών. Ο συνδυασμός αυτός περικλείει, τα αποθέματα της χωρητικότητας της ουράς και την ένδειξη από το ασύρματο μέσο.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, αποδίδουν καλύτερα όταν η υποδομή του δικτύου είναι αυτόνομη, απλή και με αποκεντρωμένες στρατηγικές. Οι αποκεντρωμένες στρατηγικές είναι σχεδιασμένες, με τρόπο που κάθε κόμβος θα λαμβάνει αποφάσεις βάση των τοπικών πληροφοριών που λαμβάνει από το περιβάλλον του. Η πιο πάνω θα επιφέρει τη γρήγορη, αποτελεσματική και αποδοτική αντιμετώπιση της συμφόρησης σε αντίθεση με άλλες στρατηγικές που απαιτούν την ολοκληρωμένη γνώση ολόκληρου του δικτύου από κάθε κόμβο.

2.2 Μειονεκτήματα στη χρήση των πρωτοκόλλων TCP και UDP

Όπως είδαμε στο πιο πάνω κεφάλαιο, το πρόβλημα της συμφόρησης, συνεχίζει να υπάρχει στα ασύρματα δίκτυα. Με βάση αυτά που προαναφερθήκαν, η αντιμετώπιση της συμφόρησης σε ασύρματα δίκτυα, δεν μπορεί να είναι η ίδια με αυτή που εφαρμόζεται στα παραδοσιακά δίκτυα. Έτσι οι ερευνητές, έδωσαν εξηγήσεις που επεξηγούν τους λόγους που τα πρωτόκολλα του επιπέδου μεταφοράς, όπως είναι το TCP και UDP, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Οι λόγοι αυτοί, φαίνονται πιο κάτω.

Πρώτον, το TCP είναι ένα πρωτόκολλο με προσανατολισμένη σύνδεση, στην οποία, εφαρμόζεται τριπλή χειραψία ανάμεσα στον αποστολέα και τον παραλήπτη πριν την μεταφορά δεδομένων. Η μετάδοση τους γίνεται εάν και μόνο εάν εγκατασταθεί επιτυχώς η σύνδεση μεταξύ τους. Σε ένα δίκτυο αισθητήρων όμως, τα δεδομένα που παίρνουν οι αισθητήρες, για τις εφαρμογές που βασίζονται σε ένα γεγονός (event- based applications), αποτελούνται απλά από αρκετά bytes. Σαν αποτέλεσμα, η τριπλή χειραψία, θα είναι μια μεγάλη υπερφόρτωση για ένα μικρό αριθμό δεδομένων. Δεύτερο, τα ασύρματα δίκτυα είναι επιρρεπής σε λάθη, οπότε, υπάρχει πιθανότητα ο χρόνος για εγκατάσταση της σύνδεσης TCP να είναι μεγαλύτερος από αυτό που θα χρειαζόταν στην παραδοσιακή υποδομή του διαδικτύου. Αυτό όμως θα έχει ως συνέπεια, όταν τελικά γίνει η σύνδεση, να υπάρχει η περίπτωση, τα δεδομένα να μην είναι ενημερωμένα με την υφιστάμενη κατάσταση (outdated). Ακόμα ένας λόγος που το TCP δεν δίνει αποτελεσματική και αποδοτική λύση, αυτή τη φορά, αφορά , την πιθανότητα χασίματος του πακέτου. Όταν συμβεί κάτι τέτοιο, το TCP αντιλαμβάνεται ότι έχει χαθεί λόγω

συμφόρησης. Έτσι ενημερώνει τον έλεγχο συμφόρησης του δικτύου και καθορίζει το μέγιστο ρυθμό αποστολής δεδομένων για να μην υπερχειλίσει ο χώρος αποθήκευσης (buffer) του παραλήπτη (flow control). Μπορεί όμως, να μην υπάρχει συμφόρηση, αλλά να υπάρχει λάθος σε κάποια bit (error-bit) του πακέτου. Το TCP όπως λόγω του ότι δεν θα μπορεί να το ξεχωρίσει, θα χαμηλώσει το ρυθμό που τα bits μεταφέρονται μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη(throughput). Μια τέτοια προσέγγιση σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, θα έχει ως αποτέλεσμα να χαμηλώσει το ρυθμό μεταφοράς δεδομένων, ειδικά σε ένα δίκτυο με πολλαπλά ασύρματα σημεία. Θα ήταν δύσκολο ακόμα, για τους κόμβους που βρίσκονται μακριά από το κόμβο που θα καταλήξουν τα δεδομένα(sink), να υποστηρίξουν τις εφαρμογές των ασύρματων δικτύων, οι οποίες θα απαιτούσαν μια συνεχόμενη ροή δεδομένων. Τρίτο, το TCP χρησιμοποιεί: end – to – end προσέγγιση σε περίπτωση συμφόρησης. Με αυτή την λογική όμως, απαιτείται περισσότερος χρόνος για ανταπόκριση από το δίκτυο, όταν συμβεί η συμφόρηση με αποτέλεσμα το πέταμα ενός μεγάλου αριθμού πακέτων. Σαν αποτέλεσμα, καταλήγουμε σε άσκοπη κατανάλωση ενεργείας και σε μη αποδοτική χρήση της, η οποία είναι ένα πολύ σημαντικός παράγοντας σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Επιπρόσθετα με αυτό, το μεγάλο χρονικό διάστημα που θα χρειαστεί για να παρουσιάσει ανταπόκριση το δίκτυο, δεν θα διευκολύνει καθόλου το «γέμισμα» του καναλιού μετά τη συμφόρηση, οδηγώντας στη μη αποδοτική χρήση του. Ο τέταρτος λόγος στηρίζεται στο γεγονός ότι το TCP χρησιμοποιεί end – to – end ACK και αναμετάδοση για να εγγυηθεί την αξιοπιστία. Αυτός ο μηχανισμός, θα έχει ως αποτέλεσμα το χαμηλότερο ρυθμό αποστολής δεδομένων και τον μεγαλύτερο χρόνο μετάδοσης σε περίπτωση που το RTT είναι μεγαλύτερο από αυτό που υπάρχει σε ένα μεγάλο αριθμού δικτύου αισθητήρων, αφού ο αποστολέας θα σταματήσει την αποστολή μέχρι να παραλάβει ACK μετά από κάθε μετάδοση δεδομένων. Ο πέμπτος και τελευταίος λόγος, περιλαμβάνει την θέμα της αδικίας. Συγκεκριμένα, σημειώνοντας ότι σε ένα δίκτυο αισθητήρων, οι κόμβοι μπορεί να έχουν διαφορετικό αριθμό από hops και RTT από το sink, η χρήση του TCP θα οδηγούσε στο πιο πάνω γεγονός. Αυτό στηρίζεται στο ότι οι κόμβοι κοντά στο sink μπορεί να έχουν περισσότερες ευκαιρίες να στείλουν δεδομένα, με αποτέλεσμα, να υπάρχει πιθανότητα να

εξαντλήσουν πρώτοι την ενέργειά τους. Αυτό όμως θα οδηγούσε σε παράλυση ολοκλήρου του δικτύου. [3]

Με βάση τους πιο πάνω λόγους το TCP δεν μπορεί να οδηγήσει σε αποδοτική λύση στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Όπως θα δούμε και πιο κάτω, ακόμα και το UDP που είναι ένα πιο απλό πρωτόκολλο, δεν θα μπορεί να υποστηρίξει τέτοιου είδους δίκτυα. Οι δύο λόγοι είναι οι εξής: σε περίπτωση συμφόρησης, πολλά πακέτα θα «πεταχτούν» λόγω της μη ύπαρξης ελέγχου (έλεγχος για να μην πλημυρίσει το παραλήπτη και έλεγχος για τη συνθήκες συμφόρησης στο δίκτυο έτσι ώστε να μην το πλημυρίσει). Επίσης, λόγω της απουσίας, του μηχανισμού με ACK, δεν υπάρχει η αξιοπιστία. Έτσι το χάσιμο του πακέτου θα γίνεται αντιληπτό από αλγόριθμους του χαμηλότερου επιπέδου (όπως είναι το MAC layer) ή από πιο ψηλά επίπεδα, όπως είναι το επίπεδο εφαρμογής. [3]

2.3 Υπάρχοντα πρωτόκολλα για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

Όπως είδαμε στο πιο πάνω κεφάλαιο, τα γνωστά πρωτόκολλα του διαδικτύου δεν θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν. Για να μπορέσει να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της συμφόρησης, η δημιουργία καινούργιων πρωτοκόλλων ειδικά σχεδιασμένων για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, ήταν αναγκαία. Πολλά είναι τα πρωτόκολλα που έχουν σχεδιαστεί για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, κάποια από τα οποία κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις κατηγορίες και έχουν ως στόχο τον έλεγχο της συμφόρησης ή/και την εγγύηση της αξιοπιστίας στους κόμβους που στέλλουν προς το κόμβο που καταλήγουν τα δεδομένα(upstream) και το αντίστροφο(downstream). Οι τέσσερις κατηγορίες είναι οι εξής: 1) ο έλεγχος της συμφόρησης για τους κόμβους που στέλλουν προς το κόμβο που καταλήγουν τα δεδομένα (upstream), 2) έλεγχος της συμφόρησης για το αντίστροφο(downstream), 3) εγγύηση της αξιοπιστίας στους κόμβους που στέλλουν προς το κόμβο που καταλήγουν τα δεδομένα(upstream) και 4) εγγύηση της αξιοπιστίας για το αντίστροφο (downstream). [3]

Μερικά από τα υπάρχοντα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι τα εξής: το CODA, ESRT, RMST, PSFQ, GARUDA, ATP, SenTCP.

Το CODA φέρνει τα αρχικά του από το COngestion Detection and Avoidance και ανήκει στη πρώτη κατηγορία και περιέχει τρία στοιχεία. Αυτά είναι: 1) ο εντοπισμός της συμφόρησης, 2) το open-loop hop-by-hop backpressure και 3) το closed-loop end-to-end multi-source regulation. [3]

Το πρωτόκολλο αυτό προσπαθεί να ανακαλύψει τη συμφόρηση με το να παρακολουθεί το μέχρι στιγμής χώρο που κατέχει στο χώρο αποθήκευσης (buffer) και το φόρτο που υπάρχει στο ασύρματο κανάλι. Η συμφόρηση γίνεται αντιληπτή, όταν ο ποσοστό που χρησιμοποιείται από το χώρο αποθήκευσης (buffer) ή ο φόρτος που υπάρχει στο ασύρματο κανάλι, υπερβεί ένα προκαθορισμένο όριο τιμής. Αφού γίνει αντιληπτή η συμφόρηση από κάποιο κόμβο, θα ενημερώσει όσους κόμβους είναι γείτονες του και στέλλουν δεδομένα προς το sink, με ένα τρόπο που ονομάζεται open-loop hop-by-hop backpressure.

Στο σημείο αυτό, οι κόμβοι που θα ενημερωθούν για την ύπαρξη του γεγονότος αυτού, θα μειώσουν το ρυθμό που στέλλουν δεδομένα, όπως συμβαίνει και στο AIMD. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η επαναφορά στη συνεχή υποπίεση (backpressure), μετά που θα λάβουν το σήμα υποπίεσης. Το τρίτο και τελευταίο στοιχείο του πρωτοκόλλου είναι η ικανότητα του να διαχειριστεί multi-source rate μέσω της προσέγγισης closed-loop end-to-end. Το προαναφερόμενο στοιχείο του, έχει ως εξής: όταν ο ρυθμός ενός αισθητήρα, υπερβεί το θεωρητικό throughput, τότε θα ενεργοποιήσει στα πακέτα με ζυγό αριθμό, το bit που είναι υπεύθυνο για τη ρύθμιση. Στη συνέχεια, όταν το sink λάβει ένα πακέτο, με ενεργοποιημένο το bit που είναι υπεύθυνο για τη ρύθμιση, θα στείλει στους αισθητήρες, ένα ACK μήνυμα ελέγχου για να τους ενημερώσει ότι πρέπει να μειώσουν το ρυθμό αποστολής των πακέτων τους. Όταν δεν θα υπάρχει πλέον συμφόρηση, το sink θα στείλει πάλι ένα ACK μήνυμα ελέγχου στους κόμβους αισθητήρων για να τους ενημερώσει ότι μπορούν να αυξήσουν το ρυθμό αποστολής τους. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο χρησιμοποιεί το ρυθμό που εφαρμόζει το AIMD στο TCP πρωτόκολλο, για να μπορέσει να ελέγξει το ρυθμό των αισθητήρων. [3]

Ένα άλλο πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι το ESRT. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο, παίρνει τα αρχικά του από το Event-to-Sink Reliable Transport και ανήκει στην τρίτη κατηγορία. Έχει ως στόχο τόσο την παροχή της αξιοπιστίας από τους αισθητήρες κόμβους προς το sink όσο

και τον έλεγχο της συμφόρησης. Η λειτουργία του πρωτοκόλλου, είναι η εξής: αρχικά, σε περιοδικά χρονικά διαστήματα, υπολογίζει τη πραγματική αξιοπιστία r . Η συγκεκριμένη παράμετρος, βασίζεται στα επιτυχώς ληφθέντα πακέτα ανά χρονικό διάστημα. Ένας άλλος υπολογισμός, είναι η εξαγωγή της απαιτούμενης συχνότητας f των αισθητήρων, η οποία υπολογίζεται με τον τύπο $f=G(r)$. Τέλος, το πρωτόκολλο αυτό, ενημερώνει όλους τους κόμβους για τη συχνότητα αυτή, μέσω ενός νοητού καναλιού με υψηλή ισχύ. Έτσι οι κόμβοι θα μπορούν να αναφέρουν αλλά και να μεταδώσουν πακέτα με μια συχνότητα f . Το ESRT, είναι μια προσέγγιση End-to-End, η οποία με τη ρύθμιση που εφαρμόζει στην συχνότητα των κόμβων, εγγυάται ένα επιθυμητό επίπεδο αξιοπιστίας για τις εφαρμογές και διατήρηση της ενέργειας. [3]

Επίσης το RMST, είναι ένα άλλο πρωτόκολλο που προσφέρεται για αυτό το σκοπό και φέρνει τα αρχικά του από το Reliable Multi -Segment Transport. Ανήκει και αυτό όπως και το προηγούμενο πρωτόκολλο (ESRT), στη τρίτη κατηγορία και χρησιμοποιεί το selective NACK. Είναι σχεδιασμένο να τρέχει το πρωτόκολλο δρομολόγησης directed diffusion, για να παρέχει στις εφαρμογές την εγγύηση της αξιοπιστίας από τους κόμβους προς το sink, όπου γίνεται η διανομή και το σπάσιμο σε μικρότερα πακέτα(fragmentation) αλλά και η επανασυναρμολόγηση (reassembly). Αυτό το επιτυγχάνει με το να ανακαλύπτει το μονοπάτι από τους κόμβους προς το sink. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο, χρησιμοποιεί ένα μηχανισμό timer-driven ο οποίος μπορεί να ανακαλύψει το χάσιμο δεδομένων και στη συνέχεια να στείλει NACK προς το μονοπάτι από τον κόμβο που το ανακάλυψε προς τον αποστολέα, ο οποίος μπορεί να βρίσκεται στη μνήμη του κόμβου είτε όχι. Οι ενδιάμεσοι κόμβοι αποθηκεύουν στη προσωρινή τους μνήμη, το κάθε πακέτο για να μπορέσει να λειτουργήσει ο μηχανισμός ανάκτησης hop - by - hop. Σε περίπτωση που δεν έχουν το έχουν αποθηκευμένο, τότε λειτουργεί ο μηχανισμός ανάκτησης end-to-end, όπου λαμβάνουν μέρος μόνο οι κόμβοι στα άκρα. Όσοι κόμβοι λάβουν το μήνυμα NACK, θα είναι υπεύθυνοι για την εύρεση του πακέτου που χάθηκε. Σε περίπτωση που δεν καταφέρουν επιτυχώς τη συγκεκριμένη αποστολή, είτε σε περίπτωση που ο αποστολέας δεν βρίσκεται στη μνήμη του κόμβου, θα στείλει NACK στο μονοπάτι που περιλαμβάνει τον εαυτό τους προς το sink. [3,4]

Στο σημείο αυτό, θα γίνει περιγραφή του πρωτοκόλλου PSFQ, το οποίο έχει τα αρχικά του από το Pump Slowly Fetch Quickly και ανήκει στη τέταρτη κατηγορία που είναι εγγύηση της αξιοπιστίας για downstream. Το πρωτόκολλο αυτό έχει ως στόχο, τη διανομή των δεδομένων από το sink προς τους αισθητήρες κόμβους. Αυτό επιτυγχάνεται με το διαμοιρασμό των δεδομένων σε μια σχετικά μικρή ταχύτητα, επιτρέποντας όμως στους κόμβους που αντιμετωπίζουν κάποιο χάσιμο πακέτων, να ανακτήσουν τα χαμένα segments από τους άμεσους γείτονες. Το πρωτόκολλο αυτό έχει ως κίνητρο, να θέσει ένα χαλαρό όριο όσο αφορά τη καθυστέρηση ενώ παράλληλα, προσπαθεί να μειώσει το κόστος για την αποκατάσταση των χαμένων πακέτων. Αυτό το πετυχαίνει με την τοπική ανάκτηση των δεδομένων από του άμεσους γείτονες του. Πιο κάτω γίνεται μια απλή περιγραφή για τον τρόπο λειτουργίας του πρωτοκόλλου που όπως θα δούμε χωρίζεται σε τρεις λειτουργίες. Οι λειτουργίες αυτές είναι οι εξής: 1) pump, 2) fetch και 3) report. Στο αρχικό στάδιο του PSFQ, το sink στέλλει στους γείτονες του μέσω broadcast ένα πακέτο ανά χρόνο T , που περιέχει το ID των πεδίων του αρχείου, το μέγεθος του αρχείου, τον αριθμό ακολουθίας, το TTL και ένα bit αναφοράς. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι όλα τα δεδομένα του πακέτου να σταλούν. Στη συνέχεια, ο αισθητήρας κόμβος μπορεί να βρεθεί σε κατάσταση fetch όταν γίνει αντιληπτό ότι ένας από τους αριθμούς ακολουθίας λείπει από ένα fragment του αρχείου. Τότε, αποστέλλεται NACK προς το αντίστροφο μονοπάτι για να ανακτήσει το fragment που έχει χαθεί. Το NACK όμως, δεν χρειάζεται να σταλεί, εκτός και αν ο αριθμός των επαναλήψεων που έχουν ληφθεί για το ίδιο NACK, είναι μεγαλύτερο από το προκαθορισμένο threshold ενώ τα segments που λείπουν και για τα οποία γίνεται η αίτηση από το μήνυμα NACK, δεν βρίσκονται στη μνήμη cache του αισθητήρα. Τέλος, το sink μπορεί να κάνει τους αισθητήρες να στείλουν feedback δεδομένα με πληροφορίες για την κατάσταση της παράδοσης προς αυτό μέσω ενός απλού και επεκτάσιμου hop-by-hop μηχανισμού. [3,4]

Στη συνέχεια, θα μελετηθεί το πρωτόκολλο Garuda. Ανήκει, στη κατηγορία της εγγύησης αξιοπιστίας σε downstream και αποτελείται από τρία στοιχεία. Το πρώτο είναι η εξασφάλιση της παράδοσης του πρώτου πακέτου, με τρόπο που να επιλεγθούν και να κατασκευαστούν αισθητήρες Core. Ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται είναι το WFP, Wait for First Packet δηλαδή, το οποίο

χρησιμοποιεί το Garuda για να μεταδώσει τους παλμούς. Το δεύτερο στοιχείο του πρωτοκόλλου, είναι η επιλογή του Core. Η επιλογή γίνεται με μεθόδους που χρησιμοποιούν μόνο αισθητήρες HopCount της μορφής $3*i$, όπου το i είναι ένας θετικός ακέραιος αριθμός. Οι αισθητήρες αυτοί, έχουν την ιδιότητα να διαλέγουν τους εαυτούς τους σαν αισθητήρες Core. Το τρίτο και τελευταίο στοιχείο του πρωτοκόλλου, είναι ότι το πρωτόκολλο ξεκινά με την ανάκτηση από χάσιμο τόσο στους αισθητήρες Core όσο και σε μη αισθητήρες Core, χρησιμοποιώντας την εκτός σειρά ακολουθίας NACK. [3,4]

Ακόμα ένα πρωτόκολλο στο οποίο θα γίνει αναφορά είναι το ATP το οποίο λειτουργεί για ad-hoc δίκτυα. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο χρησιμοποιεί αλγόριθμο ελέγχου, ο οποίος βασίζεται στη βοήθεια του δικτύου με end-to-end feedback και στον παραλήπτη. Σε περίπτωση που θα χρειαστεί ανάκτηση πακέτων, λόγω της ύπαρξης χασίματος τους, το ATP, χρησιμοποιεί τη λογική του selective ACK. Στη ιδέα του πρωτοκόλλου αυτού συμβάλλουν και οι ενδιάμεσοι κόμβοι, οι οποίοι μέσω υπολογισμών, εντοπίζουν την καθυστέρηση D. Η τιμή αυτή περιλαμβάνει το άθροισμα του εκθετικού μέσου όρου από τη καθυστέρηση στην ουρά των κόμβων όσο και της καθυστέρησης για μετάδοση των πακέτων. Ο υπολογισμός αυτός, έχει ως βάση ότι το απαιτούμενο end-to-end ποσοστό πρέπει να είναι το αντίστροφο του D το οποίο υπολογίζεται βάση όλων των πακέτων που διαπερνούν τον κόμβο και χρησιμοποιείται για να ενημερώνει τη τιμή του piggybacked σε κάθε πακέτο που αποστέλλεται. Η ενημέρωση αυτή γίνεται μόνο αν η νέα τιμή του D είναι μεγαλύτερη από την παλιά. Με την λήξη των πιο πάνω, ο παραλήπτης έχει το δικαίωμα να πάρει τη μεγαλύτερη τιμή του D από το κάθε πακέτο και στη συνέχεια, να υπολογίσει το ποσοστό που απαιτείται για τον αποστολέα σε end-to-end. Στη συνέχεια το στέλλει σαν feedback στον αποστολέα. Ο αποστολέας με τη σειρά του, ρυθμίζει το ρυθμό αποστολής του ανάλογα με τη τιμή του D που έχει λάβει από τον παραλήπτη. Όπως έχει αναφερθεί πιο πάνω, το συγκεκριμένο πρωτόκολλο εγγυάται την αξιοπιστία. Για να το πετύχει αυτό, όταν συμβεί χάσιμο πακέτων, χρησιμοποιείται ο end to end μηχανισμός του selective ACKs με μέγεθος του block στα είκοσι. Το ATP παρουσιάζει πλεονέκτημα σε σχέση με το TCP που χρησιμοποιείται στα παραδοσιακά δίκτυα. Οι διαφορές τους είναι τόσο στο μέγεθος του block στο selective ACKs, το οποίο είναι πολύ πιο

μικρό από αυτό του ATP, όσο και στο ότι το ATP επιτυγχάνει πιο μεγάλο ποσοστό δικαιოსύνης και μεγαλύτερο throughput. Το επιτυγχάνει αυτό, με το να αποσυνδέσει τον έλεγχο της συμφόρησης από την αξιοπιστία. [3]

Τέλος, θα γίνει αναφορά στο SenTCP. Το SenTCP είναι ένα open-loop hop by hop πρωτόκολλο το οποίο εφαρμόζει έλεγχο συμφόρησης για upstream κίνηση. Το πρωτόκολλο αυτό χωρίζεται σε δύο βασικά μέρη. Το πρώτο είναι ότι χρησιμοποιεί το μέσο όρο του χρόνου υπηρεσίας των τοπικών πακέτων και το μέσο όρο του διαστήματος άφιξης έτσι ώστε να γίνει εκτίμηση σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο για την τρέχουσα τοπική συμφόρηση. Ο χρόνος άφιξης του πακέτου αλλά και του χρόνου εξυπηρέτησης, βοηθά τόσο στον ακριβές υπολογισμό της συμφόρησης όσο και στην αποτελεσματική διαφοροποίηση της ύπαρξης απώλειας σε ασύρματα δίκτυα. ο λόγος είναι γιατί τόσο ο χρόνος άφιξης του πακέτου αλλά και του χρόνου εξυπηρέτησης μπορούν να πάρουν μικρές τιμές σε περίπτωση συμφόρησης. Το δεύτερο μέρος είναι ότι το SenTCP χρησιμοποιεί hop by hop έλεγχο συμφόρησης. Επίσης, σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο, θα γίνεται διανομή τόσο σήματος feedback προς τα πίσω όσο και hop by hop. Στη περίπτωση του σήματος feedback, μεταφέρεται το τοπικό επίπεδο συμφόρησης και η αναλογία κατοχής στο χώρο αποθήκευσης του κόμβου (buffer). Το σήμα αυτό, αξιοποιείται για τους γειτονικούς αισθητήρες, για να μπορέσουν να προσαρμόσουν το ρυθμό αποστολής τους στο Transport Layer. Στη περίπτωση του hop by hop feedback ελέγχου, υπάρχει η δυνατότητα αφαίρεσης της συμφόρησης σε γρήγορο χρονικό διάστημα αλλά και η δυνατότητα μείωσης των πακέτων που πετιούνται. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση ενέργειας. Σαν γενικά συμπεράσματα, το πρωτόκολλο αυτό εξασφαλίζει υψηλότερο throughput και καλύτερη απόδοση ενέργειας. [3,5]

Πιο πάνω, παρουσιάστηκαν κάποια από τα πολλά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Όπως συμβαίνει όμως και με τα πλείστα στοιχεία, υπάρχουν πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα, παρουσιάστηκαν πιο πάνω. Τώρα θα γίνει μια σύντομη αναφορά στα μειονεκτήματα του κάθε πρωτοκόλλου. Για αρχή, ας πάρουμε το πρωτόκολλο CODA. Στο πρωτόκολλο αυτό, παρουσιάζονται τα εξής τέσσερα μειονεκτήματα.

Το πρώτο είναι η έλλειψη της αξιοπιστίας. Σαν δεύτερο μειονέκτημα, το γεγονός της μονής κατεύθυνσης (unidirectional) ελέγχου, από τους κόμβους προς το sink, ενώ σαν τρίτο μειονέκτημα παρουσιάζεται το θέμα της μειωμένης αξιοπιστίας το οποίο, ειδικά σε σενάρια με υψηλό ποσοστό αποστολής δεδομένων και αραή τοπολογία από πηγές, το πρόβλημα αυτό γίνεται ακόμα πιο έντονο. Σαν, τέταρτο και τελευταίο μειονέκτημα παρουσιάζεται ο χρόνος ανταπόκρισης ή η καθυστέρηση, όπου θα οδηγήσουν σε αύξηση τους, σε closed loop όπου υπάρχουν πολλαπλές πηγές, όταν υπάρξει μεγάλο ποσοστό συμφόρησης. Αυτό θα συμβεί, λόγω του ότι σε τέτοιες χρονικές περιόδους, θα υπάρχει μεγάλη πιθανότητα χασίματος του ACK που θα στέλλει το sink. [3]

Το πρωτόκολλο ESRT, παρουσιάζει τα εξής τρία μειονεκτήματα: το πρώτο είναι ότι το πρωτόκολλο αυτό επικεντρώνεται μόνο στην αξιοπιστία και την κατανάλωση ενέργειας, σαν δεύτερο μειονέκτημα παρουσιάζεται το γεγονός ότι χρησιμοποιεί ένα κανάλι με μεγάλη ισχύ που είναι μόνο ενός hop, το οποίο θα επηρεάσει την συνεχόμενη ροή των δεδομένων. Σαν τρίτο και τελευταίο μειονέκτημα, είναι η ρύθμιση της συχνότητας των αισθητήρων που εκπέμπουν την ίδια τιμή συχνότητας. Το μειονέκτημα που παρουσιάζεται εδώ είναι ότι θα ήταν πιο αξιόλογο, αν χρησιμοποιούσε τους κόμβους με διαφορετική τιμή συχνότητας αφού θα είχαν διαφορετική συμβολή στη συμφόρηση. [3]

Στη συνέχεια, θα αναφερθούν τα μειονεκτήματα του πρωτοκόλλου RMST, τα οποία είναι τρία. Το πρώτο είναι πως δεν εφαρμόζει έλεγχο συμφόρησης, το δεύτερο είναι πως δεν υπάρχει αποτελεσματικός μηχανισμός για να διατηρεί την ενέργεια και τρίτο είναι η μη ύπαρξη αξιοπιστίας σε επίπεδο εφαρμογής. [3]

Στο σημείο αυτό, θα παρουσιαστούν τα μειονεκτήματα του PSFQ. Τα μειονεκτήματα του είναι τα εξής: το πρώτο είναι η ανικανότητα του πρωτοκόλλου, να ανακαλύψει το χάσιμο ενός ολόκληρου πακέτου αφού χρησιμοποιεί μόνο NACK και καθόλου ACK, το δεύτερο μειονέκτημα είναι η ανάκτηση με την κρυφή μνήμη γίνεται με hop-by-hop το οποίο συνεπάγεται την ύπαρξη περισσότερου χώρου αποθήκευσης(buffer). Σαν τρίτος λόγος παρουσιάζονται τα

στατιστικά και η αργή άντληση που εφαρμόζεται στο πρωτόκολλο, τα οποία προκαλούν μεγάλη καθυστέρηση.[3]

Τα τρία τελευταία πρωτόκολλα που απομένουν είναι το GARUDA, ATP και SenTCP. Το πρώτο παρουσιάζει δύο μειονεκτήματα τα οποία είναι: δεν παρέχει έλεγχο συμφόρησης και η αξιοπιστία που παρέχεται είναι μόνο για δεδομένα από το sink προς τους κόμβους. Στο δεύτερο πρωτόκολλο, υπάρχει το πρόβλημα της προσέγγισης με τρόπο end to end το οποίο στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, δεν είναι πάντα αποδοτικό και δεν μελετά προβλήματα ενέργειας. Τέλος, το SenTCP, αντιμετωπίζει μόνο θέματα συμφόρησης αλλά δεν παρέχει εγγύηση αξιοπιστίας. [3]

Attributes		CODA	ESRT	RMST	PSFQ	GARUDA	SenTCP
Direction		Upstream	Upstream	Upstream	Downstream	Downstream	Upstream
Congestion	Support	Yes	Passive	No	No	No	Yes
	Congestion detection	Buffer size& Channel condition	Buffer size	-	-	-	Buffer size& Pkts arrival rare
	Open-loop or Closed-loop	Both	Close	-	-	-	
Reliability	Support	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No
	Packet or Application Reliability	-	Application	Packet	Packet	Packet	-
	Loss detection	-	No	Yes	Yes	Yes	-
	End-to-End or Hop-by-Hop	-	E2E	HbH	HbH	HbH	-
	Cache	-	No	Yes or No	Yes	Yes	-
	In-sequence or Out-of-sequence NACK	-	N/A	In-seq	Out-of-seq	Out-of-seq	-
	ACK or NACK	-	ACK	NACK	NACK	NACK	-
Energy-conservation		Good	Fair	No result	No result	Yes	Good

(E2E: End-to-end; HbH: Hop-by-hop; Upstream: from sensor to sink; Downstream: from sink to sensor)

Πίνακας 2.1: Σύνοψη του τρόπου λειτουργίας του κάθε πρωτοκόλλου μεταφοράς που αναφέρθηκε πιο πάνω και τα οποία χρησιμοποιούνται στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.[3]

2.4 Τι είναι το Flock-CC

Στο υποκεφάλαιο αυτό, θα μελετηθεί το πρωτόκολλο στο οποίο θα δοθεί και η έμφαση της διπλωματικής εργασίας. Το πρωτόκολλο αυτό ονομάζεται Flock-CC και μιμείται την συμπεριφορά των πουλιών σαν κοπάδι. Ένα σμήνος πουλιών, φέρνει εις πέρας μια αποστολή σε ένα πολύπλοκο κόσμο με ομαδικό τρόπο για να πετύχουν ένα κοινό προς αυτούς στόχο(αυτά μπορεί να είναι η αναζήτηση της τροφής τους, το χτίσιμο της φωλιάς τους, η μετανάστευση και πολλά άλλα). Σαν οντότητες από μόνα τους τα πουλιά, έχουν αντίληψη μόνο για το τοπικό περιβάλλον που βρίσκεται γύρω τους και κάποιες συγκεκριμένες τάσεις οι οποίες κατευθύνονται από απλούς κανόνες. [2]

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο, αναφέρεται σε σμήνος πουλιών με ένα ομοιογενές μοντέλο συμπεριφοράς αποτελούμενο από ατομικούς κόμβους και με πεπερασμένο ορατό φάσμα. Οι ατομικοί αυτοί κόμβοι, μπορούν να αλληλεπιδρούν τόσο με το περιβάλλον, όσο και μεταξύ τους. Κάθε ένας από αυτούς, επηρεάζεται όσο αφορά τη συμπεριφορά του από τους άμεσους γείτονές του. Το πρωτόκολλο έχει βασιστεί από πλευρά σχεδιασμού αλληλεπιδράσεων των πακέτων σαν ομάδες, από δύο άλλους μελετητές, τους Reynolds και Couzin et al. Από τον πρώτο, το πρωτόκολλο πήρε την ιδέα του κοπαδιού από τις «βοειδή» ('boid') προσημειώσεις ενώ από τον δεύτερο, την ιδέα του βιολογικού σμήνους. Υπάρχουν όμως διαφορές όσο αφορά το βιολογικό σμήνος του Couzin et al. Οι διαφορές είναι ότι στη λογική του Couzin et al, το μοντέλο είναι διαμορφωμένο σε ένα συνεχές τρισδιάστατο χώρο σε αντίθεση με το μοντέλο του Flock-CC, το οποίο διαμορφώθηκε σε ένα δισδιάστατο διακριτό χώρο. Η επόμενη διαφορά τους, έχει να κάνει με τον παγκόσμιο στόχο, ο οποίος υπάρχει στο Flock-CC, ενώ δεν υπάρχει στο μοντέλο του Couzin αλλά ούτε και του Reynolds. Συγκεκριμένα, στα μοντέλα των Reynolds και Couzin, το κοπάδι κινείται συνεχώς προς ένα καθορισμένο, πεπερασμένο χώρο χωρίς να υπάρχει κανένας τελικός προορισμός όπως ο για παράδειγμα η έλξη από ένα παγκόσμιο στόχο. Κάτι τέτοιο, δεν ισχύει όμως στο Flock-CC, το οποίο μιμείται τη συμπεριφορά των μεταναστευτικών πουλιών. Σε αυτό τα πακέτα, σχηματίζουν μορφή κοπαδιού και κινούνται προς το sink. Σαν αποτέλεσμα, η δημιουργία και

ύπαρξη ενός πεδίου έλξης προς το sink είναι απαραίτητο και το οποίο θα παρομοιαστεί με μαγνητικό πόλο. [2]

Πιο κάτω θα γίνει αναφορά και ανάλυση των χαρακτηριστικών του πρωτοκόλλου Flock-CC. Αρχικά, θα γίνει αναφορά για τη ζώνη απόθησης (ZoR), τη ζώνη έλξης (ZoA) και τις δυνάμεις που ασκούνται πάνω στο κοπάδι. Τα δύο πρώτα είναι στοιχεία που προήλθαν από τη μελέτη του Couzin. Η συμπεριφορά του κάθε πουλιού εξαρτάται από τη τοπική απόθηση, την ευθυγράμμιση και τη τάση έλξης. Οι πιο πάνω παράμετροι βασίζονται στον προσανατολισμό και τη θέση τους, σε σχέση το ένα με το άλλο. [2]

Το κάθε πουλί, προσομοιώνεται στο μοντέλο του Couzin, σε ένα τρισδιάστατο χώρο. Υπάρχουν N πουλιά, με διάνυσμα θέσης και μονάδα κατεύθυνσης. Το κάθε πουλί, αξιολογεί τη θέση των γειτόνων του βάση της θέσης και/ή του προσανατολισμού τους σε μια μη επικαλυπτόμενη ομόκεντρη ζώνη συμπεριφοράς. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να υπολογιστεί η επιθυμητή κατεύθυνση του κάθε πουλιού χρησιμοποιώντας μαζί κάποιους κανόνες [2,6]. Οι κανόνες αυτοί παρουσιάζονται πιο κάτω.

Ο πρώτος και πιο σημαντικός κανόνας είναι η ζώνη απόθησης (ZoR), στην οποία κάθε πουλί, προσπαθεί να διατηρήσει μια ελάχιστη απόσταση από τα υπόλοιπα πουλιά. Η ζώνη απόθησης (ZoR), παρουσιάζεται ως μια σφαίρα, με κέντρο το πουλί. Σε κάθε στιγμή, όταν υπάρξει περισσότερο από ένα πουλί στη σφαίρα της ζώνης απόθησης, τότε το πουλί που βρίσκεται στο κέντρο της σφαίρας, θα πετάξει μακριά από τους γείτονες της περιοχής εκείνης. Οι επόμενοι κανόνες έχουν σχέση με τη ζώνη έλξης (ZoA) και τη ζώνη προσανατολισμού (ZoO), οι οποίοι αξιοποιούνται ως εξής. Όταν δεν υπάρχει κανένας γείτονας μέσα στη ζώνη απόθησης (ZoR), τότε το πουλί ανταποκρίνεται προς τα άλλα πουλιά που βρίσκονται στη σφαίρα της ζώνης έλξης (ZoA) και στη σφαίρα της ζώνης προσανατολισμού (ZoO). Οι ζώνες αυτές είναι μεν σφαιρικές, όμως, τα πουλιά έχουν περιορισμό ως προς το πεδίο που μπορούν να βλέπουν. [2,6]

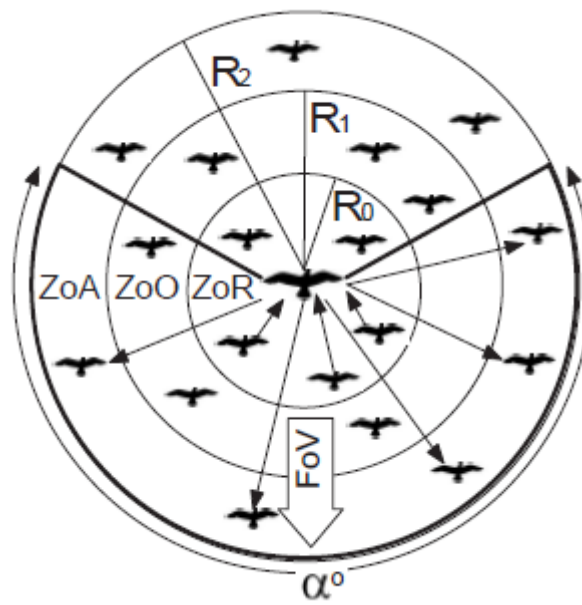
Το οπτικό πεδίο (FoV), είναι η παράμετρος που καθορίζει την έκταση της παρατηρητικότητας που μπορεί να έχει κάθε πουλί σε κάθε δεδομένη στιγμή. Η τιμή του πεδίο αυτού καθορίζεται ανάλογα με τη τοποθεσία του ματιού και ανάλογα με το είδος του ζώου μπορεί να υπάρξει διαφορετικό οπτικό πεδίο. Στη λογική του Couzin, όλα τα πουλιά έχουν οπτικό πεδίο ίσο με μια τιμή α° , ενώ το μη ορατό πεδίο είναι $360 - \alpha^\circ$. Έτσι το πίσω μέρος από το κάθε πουλί, δεν είναι ορατό και άρα οι γείτονες που βρίσκονται πίσω του δεν είναι ορατοί, αφού βρίσκονται εκτός του οπτικού του πεδίου (FoV). Η ζώνη προσανατολισμού (ZoO), είναι η περιοχή στην οποία τα πουλιά ευθυγραμμίζονται σε σχέση με τα υπόλοιπα γειτονικά πουλιά, ενώ η ζώνης έλξης (ZoA) είναι η περιοχή στην οποία τα πουλιά ελκύονται και μετακινείται το ένα προς το άλλο. Λόγω του περιορισμού στην όραση των πουλιών, να μην μπορούν να δουν πολύ μακριά, τα γειτονικά πουλιά που βρίσκονται εκτός της ζώνης έλξης, δεν αλληλεπιδρούν. [2,6]

Προσαρμόζοντας τώρα, τη λογική του Couzin στο πρωτόκολλο του Flock-CC, η συλλογική συμπεριφορά των πουλιών προέρχεται από κάποιους απλούς κανόνες που ακολουθεί το κάθε πουλί. Η ζώνη της απώθησης, αποτελεί τη ζώνη στην οποία οι γείτονες απωθούνται για να αποφύγουν τις συγκρούσεις λόγω μικρής απόστασης, η ζώνη έλξης, αποτελεί τη ζώνη στην οποία οι γείτονες ελκύονται για να κρατήσουν την έννοια του συνειρμού μεταξύ των μελών του κοπαδιού, λόγω μακρινής απόστασης. Επίσης, μέσα στη ζώνη προσανατολισμού, αποτελεί τη ζώνη στην οποία το πουλί συμβαδίζει τη ταχύτητα και τη κατεύθυνση με τους γείτονές του. Τέλος, εντάσσει την έννοια της τυχειότητας για την ανακάλυψη νέων μονοπατιών. [2] Όπως θα περιγραφεί πιο κάτω, θα ενταχθεί ακόμα ένα χαρακτηριστικό που είναι η προσαρμοστικότητα.

Μια παράμετρος, που δεν ήταν αναγκαία στο μοντέλο του Couzin είναι η ύπαρξη του προσανατολισμού και της έλξης προς ένα συγκεκριμένο παγκόσμιο σημείο. Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων οι δύο πιο πάνω παράμετροι είναι απαραίτητοι, λόγω της ύπαρξης του sink, που είναι ο προορισμός. Αντίθετα, η μη ύπαρξη τους θα οδηγούσε το κοπάδι των πουλιών να πετά οπουδήποτε χωρίς συγκεκριμένο προορισμό. Έτσι, στο Flock-CC, εντάσσεται η λογική των πουλιών που μεταναστεύουν. Τα συγκεκριμένα πουλιά, χρησιμοποιούν το μαγνητικό πεδίο της

γης για να μπορούν να βρουν την κατεύθυνση που θα πετάξουν(είτε προς τον ισημερινό είτε προς τους μαγνητικούς πόλους). [2]

Πιο κάτω μπορούμε να δούμε ένα σχήμα που περιγράφει τις πιο πάνω παραμέτρους που βρίσκουμε και στη λογική του Couzin.



Σχήμα 2.1: Το ZoA είναι η ζώνη έλξης, το ZoO είναι η ζώνη προσανατολισμού, το ZoR είναι η ζώνη απώθησης και τέλος το FoV το οπτικό πεδίο στο οποίο έχει τιμή α° . [2]

2.5 Έννοια της προσαρμοστικότητας

Πιο πάνω, έγινε μια πρώτη περιγραφή για τον τρόπο λειτουργίας του πρωτοκόλλου Flock-CC. Στο σημείο αυτό, θα γίνει η ένταξη της έννοιας της προσαρμοστικότητας στην οποία, το συγκεκριμένο πρωτόκολλο, παρουσιάζεται με την ίδια λογική που περιγράφηκε, με διαφορά, ότι κάθε πουλί (κόμβος/αισθητήρας), θα λαμβάνει αποφάσεις ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον. Τέτοιες στρατηγικές ονομάζονται αποκεντρωμένες. Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, μια τέτοια μορφή στρατηγικής βοηθά στην πιο αποδοτική, γρήγορη και αποτελεσματική αντιμετώπιση της συμφόρησης, αφού το πλήθος των πληροφοριών (μηνυμάτων

ελέγχου) που ανταλλάσσονται μειώνεται. Έτσι σε μικρό χρονικό διάστημα, οι αισθητήρες, μαθαίνουν για την ύπαρξη της συμφόρησης και μειώνουν το ρυθμό αποστολής τους για κάποια προκαθορισμένη περίοδο. Επίσης, λόγω των μικρών ποσών δεδομένων που ανταλλάζουν, σε τέτοιου είδους δίκτυα όπου υπάρχει προδιάθεση για εξάντληση της μπαταρίας κάποιου κόμβου, στην ύπαρξη κάποιου τέτοιου γεγονότος, οι γύρω ενδιαφερόμενοι κόμβοι θα μπορέσουν σε σύντομο χρονικό διάστημα να το μάθουν και έτσι να αλλάξουν το μονοπάτι στο οποίο προωθούν τα πακέτα, με το άνοιγμα του σμήνους. Ακόμα ένα πλεονέκτημα της στρατηγικής αυτής είναι το γεγονός, ότι οι αισθητήρες αποτελούνται από μικρή μνήμη, έτσι η ανταλλαγή πιο λίγων δεδομένων, δεν θα υπερφορτώνει τη μνήμη του κόμβου.

Τα πλεονεκτήματα όμως δεν σταματούν εδώ. Ακόμα μια πλεονεκτική πλευρά της ανταλλαγής πιο λίγων δεδομένων, δίνει ένα πιο απλό σχεδιασμό στο ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας και πιο αποδοτικό από πλευράς ενέργειας αφού οι κόμβοι δεν θα σπαταλούν την ενέργεια τους σε αχρείαστες πληροφορίες. Έτσι θα αυξηθεί ο χρόνος ζωής ολόκληρου του δικτύου.

Κεφάλαιο 3

Υλοποίηση

3.1 Η αλγοριθμική περιγραφή του πρωτοκόλλου Flock-CC	23
3.2 Η αλγοριθμική περιγραφή της προσαρμοστικότητας	36

3.1 Η αλγοριθμική περιγραφή του πρωτοκόλλου Flock-CC

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, παρουσιάστηκε μια νέα τεχνική για εντόπιση συμφόρησης στα δίκτυα που ονομάζεται Flock – CC. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια πιο λεπτομερής περιγραφή τόσο του πρωτοκόλλου, όσο και της προσαρμοστικότητας που εφαρμόζεται σε αυτό. Το πρωτόκολλο αυτό μιμείται την συμπεριφορά των πουλιών σαν κοπάδι και συγκεκριμένα των αποδημητικών πουλιών. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο εφαρμόζεται σε event – based applications για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Ο σκοπός του Flock - CC είναι να μετακινήσει τα πακέτα σαν ομάδα ή κοπάδι και να μετακινηθούν προς ένα παγκόσμιο πόλο έλξης, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι το sink. Παράλληλα προσπαθεί να αποφύγει τα εμπόδια που είναι οι περιοχές συμφόρησης ή κάποιος ελαττωματικός κόμβος. Ακόμα ένας στόχος του πρωτοκόλλου είναι να ελαχιστοποιηθεί η συμφόρηση. Η ακριβής συσχέτιση που δίνεται στο πρωτόκολλο αυτό είναι η εξής: το κάθε πακέτο αντιστοιχεί σε ένα πουλί που πετά στο δίκτυο, έχοντας μια δυναμική θέση και κατεύθυνση. Το κάθε πουλί πετά ανά ένα hop κάθε φορά σε διακριτές περιοχές του δικτύου. Το δίκτυο, αποτελείται από ένα αριθμό κόμβων οι οποίοι προωθούν τα πακέτα που φτάνουν σε αυτούς, προς το sink. Ο τρόπος που ταξιδεύουν τα πακέτα στους κόμβους, καθορίζεται βάση κάποιων

δυνάμεων που όπως αναφέρθηκαν και πριν είναι οι δυνάμεις έλξης και απώθησης. Τα πακέτα του κάθε κόμβου, αλληλεπιδρούν με πακέτα που υπάρχουν στους γειτονικούς κόμβους και βρίσκονται στο οπτικό τους πεδίο. Κάθε πακέτο, αντιμετωπίζει τη μαγνητική δύναμη που προέρχεται από το πόλο παγκόσμιας έλξης που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι το sink. [2]

Μια πιο συγκεκριμένη προσέγγιση του πρωτοκόλλου, δείχνει τους τέσσερις κανόνες που κατευθύνουν το πρωτόκολλο και τα όποια ισχύουν στη συμπεριφορά των κοπαδιών των πουλιών. Οι τέσσερις αυτοί κανόνες που ακολουθούνται από κάθε πακέτο είναι οι εξής: 1) απωθούνται από τα γειτονικά πακέτα. Αυτά δηλαδή που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση με τον κόμβο μέσα στο οπτικό του πεδίο (όταν βρίσκονται ένα hop μακριά από το πακέτο). 2) έλκονται από τα γειτονικά τους πακέτα που βρίσκονται στους κόμβους σε μέση απόσταση (όταν βρίσκονται δύο hop μακριά από το πακέτο). 3) προσανατολίζονται και έλκονται από ένα παγκόσμιο πόλο έλξης μέσω του μαγνητικού πεδίου και 4) δέχονται κάποια διαταραχή, για να μπορέσουν να διαλέξουν ένα τυχαίο μονοπάτι. [2]

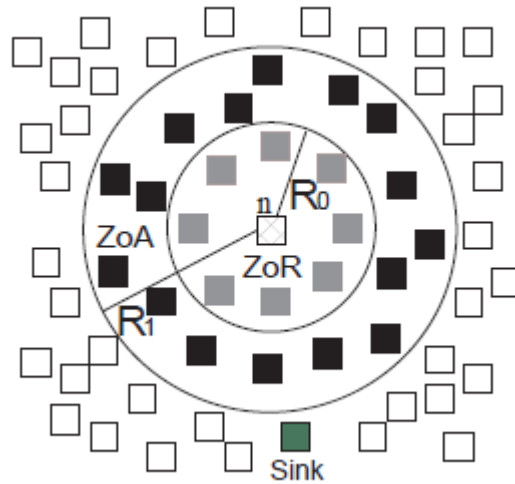
Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθούν τα πιο σημαντικά στοιχεία που απαρτίζουν το πρωτόκολλο αυτό και που υπάρχουν σαν στόχος του πρωτοκόλλου, είναι ο εντοπισμός και η διατήρηση συγκεκριμένων τιμών για τις παραμέτρους έτσι ώστε να μειωθεί η πολυπλοκότητα για διαφορετικές συνθήκες και διαφορετικό περιβάλλον. Τα στοιχεία αυτά είναι πέντε και είναι τα εξής: 1) οι δυνάμεις έλξης και απώθησης, 2) το τεχνητό μαγνητικό πεδίο, 3) το οπτικό πεδίο, 4) η συνάρτηση υπολογισμού η οποία υπολογίζει πόσο επιθυμητός είναι ένας κόμβος. Η συνάρτηση αυτή υπολογίζεται βάση των τριών παραμέτρων που προαναφερθήκαν και καθορίζει την κατεύθυνση που θα κινηθεί το κάθε πακέτο. Η πέμπτη και τελευταία παράμετρος είναι η τυχαιοποίηση, η οποία βοηθά στην ανακάλυψη νέων κόμβων προς χρήση τους για να προωθήσουν πακέτα. [2]

Πιο κάτω παρουσιάζεται η τοπολογία του δικτύου σε γενική μορφή. Μέσα στο δίκτυο υπάρχουν N κόμβοι, όπου $N > 0$ οι οποίοι έχουν την ικανότητα παραγωγής αλλά και προώθησης πακέτων. Για τον προσδιορισμό της ζώνης έλξης, απώθησης και το οπτικό και μαγνητικό πεδίο, γίνεται αναφορά ως προς το πακέτο i και ο

τρέχον κόμβος n , όπου $n \in \{1, \dots, N\}$ που το περιέχει. Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι η θέση του κόμβου, έστω n , καθορίζει τη θέση του πακέτου, έστω i . [2]

Κάθε κόμβος περιέχει πεπερασμένη ουρά, throughput ανάλογα με τη χωρητικότητα του ασύρματου μέσου και τέσσερις πίνακες μονής κατεύθυνσης. Οι τέσσερις πίνακες είναι οι εξής: 1) ο πίνακας απόθησης που ονομάζεται q_n , 2) ο πίνακας έλξης που ονομάζεται s_n , 3) ο πίνακας γειτνίασης που ονομάζεται A_n και τέλος 4) ο πίνακας μετάδοσης που ονομάζεται t_n . Οι πληροφορίες που εμπεριέχονται στους πίνακες αυτούς αφορούν τους γείτονες του κάθε κόμβου που έχει ενεργό ασύρματο μέσο προς αυτό. Οι πληροφορίες αυτές, λαμβάνονται σε κάθε αισθητήρα ανά διακριτά χρονικά διαστήματα των T δευτερολέπτων. Στη συνέχεια, γίνεται broadcasting των τιμών, χρησιμοποιώντας πακέτα ελέγχου, ανά χρόνο T δευτερολέπτων, προς όλους τους γείτονες, αυτούς δηλαδή που υπάρχουν στην εμβέλεια μετάδοσης. Η χρησιμότητα των πακέτων ελέγχου όμως δεν σταματά εδώ. Τα πακέτα αυτά, χρησιμοποιούνται για να ανανεώσουν τις πληροφορίες που αφορούν τη συνδεσιμότητα των γειτόνων και την απόσταση τους από το sink. [2]

Αναλύοντας περισσότερο τη λογική της ζώνης απόθησης και έλξης, μπορούμε να δούμε στο πιο κάτω σχήμα (Σχήμα 3.1) την απεικόνιση τους, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται μια πιο αναλυτική περιγραφή τους. Οι ακμές που φαίνονται στο σχήμα, υποδεικνύουν την ύπαρξη ασύρματης σύνδεσης μεταξύ των δύο κόμβων. Κάθε πακέτο, μπορεί να κινηθεί κατά μήκος τους μονοπατιού προς το sink, ανάμεσα στους κόμβους του δικτύου, μέσω hop-by-hop. [2]



Σχήμα 3.1: Η ζώνη απώθησης ZoR, με ακτίνα R_0 , είναι το εύρος μετάδοσης για τον κόμβο n , ενώ η ζώνη απώθησης, ZoA, είναι αυτή με ακτίνα R_1 . [2]

Όπως φαίνεται στο πιο πάνω σχήμα (Σχήμα 3.1), η ζώνη απώθησης καθορίζεται ως ο κύκλος ZoR, με ακτίνα R_0 . Η εμβέλεια αυτή προσδιορίζει το φάσμα μετάδοσης του κόμβου n γύρω από κάποιο πακέτο i και καλύπτει τα πακέτα που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Τα πακέτα δηλαδή που βρίσκονται στις ουρές των κόμβων με γκριζο χρώμα (1 hop μακριά από το πακέτο i). Αντίθετα, η ζώνη έλξης καθορίζεται ως ο κύκλος ZoA, με ακτίνα R_1 και περιλαμβάνει τα πακέτα που βρίσκονται σε μέση απόσταση από το πακέτο i . Τα πακέτα αυτά, βρίσκονται στις ουρές των κόμβων 2 hops μακριά από το πακέτο i , στο κόμβο n . Η ισχύς των προαναφερθεισών ζωνών, που εκπέμπεται από τα πακέτα του κάθε κόμβου, είναι ανάλογη του αριθμού πακέτων που υπάρχουν στην ουρά του κόμβου. Για κόμβους που βρίσκονται ένα hop μακριά, ο αριθμός των πακέτων που υπάρχει στους ουρές τους, λαμβάνεται άμεσα από τα broadcasted πακέτα ελέγχου. Τα πακέτα ελέγχου, λειτουργούν ως μέσο μετάδοσης πληροφοριών μέσα στο δίκτυο αισθητήρων όπως γίνεται αντιληπτό από ένα πακέτο. Σε αντίθεση, για κόμβους που βρίσκονται δύο hops μακριά, τα πράγματα αλλάζουν. Ο αριθμός των πακέτων στους κόμβους δεν μπορεί να γίνει γνωστός με τον ίδιο τρόπο λόγω του ότι οι κόμβοι που βρίσκονται δύο hops μακριά, είναι εκτός του εύρους μετάδοσης από τον κόμβο n . Η λύση που δίνει το Flock – CC στο πιο πάνω πρόβλημα είναι η εξής: ο αριθμός των πακέτων που υπάρχει στην ουρά του κόμβου n , μπορεί να υπολογιστεί με τη μέτρηση των

επιτυχών μεταδιδόμενων πακέτων που στάλθηκαν από τους κόμβους που βρίσκονται ένα hop μακριά προς τους κόμβους που βρίσκονται δύο hops μακριά. Αυτή η λογική διαπράττεται επιτυχώς, λόγω του broadcasting του ασύρματου μέσου. Σαν αποτέλεσμα των πιο πάνω, το πακέτο i θα ελκύεται από τα πακέτα που κινούνται στους κόμβους δύο hops μακριά από τον κόμβο n και θα απωθείται από τα πακέτα που κινούνται στους κόμβους με γκρίζο χρώμα. [2]

Μέχρι αυτό το σημείο έχει αναλυθεί το πρώτο χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου. Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί με περισσότερη λεπτομέρεια το δεύτερο χαρακτηριστικό του, που είναι το τεχνητό μαγνητικό πεδίο. Το στοιχείο αυτό υιοθετήθηκε από το πρωτόκολλο για να προσφέρει την έλξη και τον προσανατολισμό των πακέτων προς το sink. Με αυτό το μέτρο, θα υπάρξει μείωση των χαμένων πακέτων αφού θα υπάρχει μια καθοδήγηση σε μονοπάτια που οδηγούν προς το sink και θα αποφευχθούν αχρείαστες επαναλήψεις των μονοπατιών. [2]

Η αναλογία που υπάρχει μεταξύ του κοπαδιού των πουλιών και των πακέτων όσο αφορά το μαγνητικό πεδίο φαίνεται πιο κάτω. Τα αποδημητικά πουλιά πετούν προς το πόλο, χάρις στο μαγνητικό πεδίο της Γης που τα καθοδηγεί, με αντίστοιχη συμπεριφορά των πακέτων που «πετούν» προς το sink. Στη περίπτωση αυτή, το sink είναι το τεχνητό μαγνητικό πεδίο το οποίο ελκύει τα πακέτα για να τα αναγκάσει να «πετάξουν» προς αυτό. [2]

Όσο αφορά το προσανατολισμό των πακέτων προς το sink, εξαρτάται από την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου που δείχνει προς το sink. Παράλληλα όμως, λαμβάνεται υπόψη και η έλξη για τα κοντινότερα μονοπάτια που οδηγούν προς το sink. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της έντασης που παρέχει το μαγνητικό πεδίο. Συγκεκριμένα, η δύναμη του μαγνητικού πεδίου, γίνεται μεγαλύτερη μέσω του κοντινότερου μονοπατιού προς το sink, ενώ αντίθετα, εξασθενεί για τα πιο μακρινά μονοπάτια. Με τον τρόπο αυτό τα πακέτα προσανατολίζονται με κατεύθυνση προς το sink αφού σε αντίθετη περίπτωση τα πακέτα δεν θα μπορούσαν να αισθανθούν την έλξη που προσφέρει το πιο κοντινό μονοπάτι. Με τον προσανατολισμό λοιπόν αυτό, αποφεύγονται οι βρόχοι μεταξύ των γειτονικών κόμβων το οποίο θα έχει ως επίπτωση στο πρωτόκολλο τη χειροτέρευση της ποιότητα υπηρεσίας του. [2]

Έχοντας τη γενική γνώση για την έννοια του προσανατολισμού, μπορεί τώρα να σημειωθεί ο τρόπος υλοποίησης του. Όπως έχει αναφερθεί και πιο πριν, το τεχνητό μαγνητικό πεδίο είναι αυτό που δείχνει προς το sink. Για να μπορέσει να καθοριστεί η κατεύθυνση προς το sink, χρησιμοποιείται μια παράμετρος που υπολογίζει τον αριθμό των hops μεταξύ του συγκεκριμένου κόμβου και του sink σε μια χρονική στιγμή. Συγκεκριμένα, η χρήση της παραμέτρου $h_j(k)$, όπου $j \in \{1, \dots, N\}$, δηλώνει τον αριθμό των Hops μεταξύ του κόμβου j και του sink, τη χρονική στιγμή k . Η διαδικασία εύρεσης της απόστασης του κόμβου από το sink, μετρούμενο σε hops, ονομάζεται hop distance. Η διαδικασία αυτή, αρχίζει από το sink, το οποίο με την βοήθεια του broadcast, μεταδίδει μέσω μηνυμάτων ελέγχου τον αριθμό μηδέν για το δικό του hop distance. Ο τρόπος υπολογισμού της απόστασης του κάθε κόμβου από το sink, γίνεται με την πρόσθεση μιας μονάδας στον γειτονικό κόμβο που είναι πιο κοντά στο sink (αυτός δηλαδή που έχει τη μικρότερη απόσταση από hops προς το sink). Με αυτό τον τρόπο, όλοι οι κόμβοι του δικτύου βρίσκουν το δικό τους hop distance. Η συγκεκριμένη παράμετρος δεν μπορεί να μείνει πάντα σταθερή, αφού επηρεάζεται άμεσα από κάποια τοπολογική αλλαγή που μπορεί να συμβεί είτε λόγω έλλειψης μπαταρίας κάποιου κόμβου ή είτε λόγω αποτυχία του, μετακίνησης του ή λόγω κάποιων εσωτερικών προβλημάτων. [2]

Ένας κόμβος μπορεί να θεωρήσει ένα γειτονικό του κόμβο ως αποτυχημένο, εκτός εμβέλειας ή απασχολημένο, όταν για περισσότερο από T δευτερόλεπτα δεν λάβει κάποιο μήνυμα ελέγχου. Το διάστημα αυτό ονομάζεται T_{lost} . Όταν ο κόμβος n , αντιληφθεί για την απώλεια του γειτονικού του κόμβου, τότε τον διαγράφει από τον πίνακα γειτνίασης που περιέχει την απόσταση σε hops όλων των κόμβων που βρίσκονται ένα hop μακριά. Στη συνέχεια, όταν η απώλεια ενός γειτονικού κόμβου επηρεάζει τις τιμές των παραμέτρων, τότε η τιμή που αφορά την απόσταση των hops του κόμβου n ανανεώνεται. Η πληροφορία αυτή, θα προωθηθεί σε όλους τους κόμβους που βρίσκονται προς τα πίσω και όσοι επηρεάζονται από την αλλαγή αυτή, θα ανανεώσουν τις συγκεκριμένους παραμέτρους τους. [2]

Η σωστή κατεύθυνση των πακέτων προς το sink, γίνεται με συλλογή πληροφοριών από το περιβάλλον από τον τρέχον κόμβο που φιλοξενεί το συγκεκριμένο πακέτο,

ενώ στο μονοπάτι που οδηγεί προς το sink, το οποίο είναι το μαγνητικό πεδίο, λαμβάνεται υπόψη ο αριθμός των hop distance, ο οποίος μειώνεται. Η επιλογή του συγκεκριμένου μονοπατιού, συνδυάζεται τόσο με τον προσανατολισμό όσο και με την έννοια της έλξης προς τα κοντινότερα μονοπάτια που προσφέρει το τεχνητό μαγνητικό πεδίο, δηλαδή το sink. Συγκεκριμένα, όταν ένα πακέτο θα προωθηθεί προς το sink και κατά συνέπεια έχει προσανατολισμό προς αυτό, θα έχει ως επιλογή ένα αριθμό νέων κόμβων που είναι πιθανοί για τη φιλοξενία του συγκεκριμένου πακέτου. Οι πιθανοί αυτοί κόμβοι θα έχουν μικρότερη ή ίση απόσταση από το sink και λαμβάνουν υπόψη τις δυνάμεις έλξης και απώθησης. Το μαγνητικό πεδίο είναι αυτό που κατευθύνει τα πακέτα για να κινηθούν προς τους κόμβους που βρίσκονται κοντά στο sink, όπου η ισχύς του είναι μεγαλύτερη. Με την προώθηση των πακέτων διαμέσου των κόμβων με μικρότερες αποστάσεις, υπάρχουν κάποια πλεονεκτήματα τα οποία είναι τα εξής: 1) μείωση του βρόχου που απέρχονται τα πακέτα και 2) μεταδώσεις στο sink γίνονται πιο γρήγορες. Για να επιτευχθούν τα πιο πάνω πλεονεκτήματα, θα πρέπει να καθοριστούν διαφορετικά επίπεδα έλξης στους διάφορους κόμβους οι οποίοι είναι πιθανοί για να φιλοξενήσουν κάποιο πακέτο. Επίσης, για να επιτευχθεί η έλξη προς κόμβους που θα έχουν μικρότερη απόσταση από το sink, τα πακέτα λαμβάνουν περισσότερη έλξη προς αυτούς.[2]

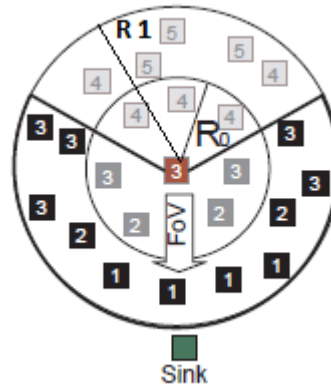
Πιο πάνω έγινε μια περιγραφή για τον τρόπο με τον οποίο το sink ελκύει τα πακέτα. Στο σημείο αυτό θα γίνει μια αναλυτική περιγραφή για ακόμα μια παράμετρο του πρωτοκόλλου που είναι το οπτικό πεδίο, το οποίο είναι περιορισμένο, όπως συμβαίνει και στα πουλιά. Το πακέτο μπορεί να αλληλεπιδράσει μόνο με πακέτα γειτονικών κόμβων που βρίσκονται μέσα στο οπτικό του πεδίο. Το οπτικό πεδίο ενός πουλιού μπορεί να καθορίσει την κατεύθυνση στην οποία θα κινηθεί. Με τη σειρά του ο προσανατολισμός του οπτικού τους πεδίου, καθορίζεται βάση του τεχνητού μαγνητικού πεδίου. Το οπτικό πεδίο ενός πακέτου μπορεί να κυμαίνεται από μερικές μοίρες ως 360 μοίρες, διαχωρίζοντας το σε τρεις κατηγορίες. Για την καλύτερη επεξήγηση των κατηγοριών, θέτετε το πακέτο έστω i να βρίσκεται σε κάποιο κόμβο n . Στη πρώτη κατηγορία, το οπτικό πεδίο του πακέτου είναι 360 μοίρες. Με τη προκειμένη περίπτωση το πακέτο μπορεί να αλληλεπιδράσει και να «δει» όλα τα άλλα πακέτα

που βρίσκονται σε γειτονικούς του κόμβους. Με βάση κάποιες μελέτες που έγιναν γύρω από το θέμα του πλήρες οπτικού πεδίου, έδειξαν ότι μια τέτοια προσέγγιση δίνει κακή απόδοση λόγω της έλλειψης προσανατολισμού προς τον πόλο έλξης. Έτσι τα πακέτα οδηγούνται σε βρόχους και χάσιμο πακέτων λόγω συγκρούσεων. Στη δεύτερη κατηγορία, το οπτικό πεδίο του πακέτου είναι πιο μικρό. Το πακέτο μπορεί να αλληλεπιδράσει και να «δει» μόνο τα πακέτα που βρίσκονται σε κόμβους με μικρότερη ή ίση αρίθμηση hops από τον κόμβο n . Τέλος, στη τρίτη κατηγορία, το οπτικό πεδίο του πουλιού είναι ακόμα πιο μικρό. Έτσι, το πακέτο έστω i που βρίσκεται σε κάποιο κόμβο n , μπορεί να αλληλεπιδράσει και να «δει» μόνο τα πακέτα που βρίσκονται σε κόμβους με μικρότερη αρίθμηση από hops από ότι στο κόμβο n . [2]

Για την αποφυγή των προβλημάτων που παρουσιάστηκαν για την πρώτη κατηγορία, θα ήταν μια λύση η εφαρμογή της δεύτερης ή τρίτης προσέγγισης. Αυτό όμως, δεν σημαίνει ότι οι δεν υπάρχουν μειονεκτήματα. Αντίθετα, με τους την εφαρμογή της τρίτης προσέγγισης, παρατηρείται η αύξηση του φόρτου που παρατηρείται στους μπροστινούς κόμβους και μειώνει την εξερεύνηση για νέα μονοπάτια. Επίσης, με τον τρόπο αυτό, αποφεύγεται ο έλεγχος για εύρεση του ποσοστού επιθυμητότητας των πίσω κόμβων που ίσως να έχουν μεγαλύτερο ποσοστό από ότι οι κόμβοι που βρίσκονται μπροστά. Τα μειονεκτήματα όμως των δύο αυτών προσεγγίσεων δεν τελειώνουν εδώ αφού με τις προσεγγίσεις αυτές, μπορεί να οδηγηθεί σε μικρότερη διάρκεια ζωής του δικτύου, λόγω της μεγαλύτερης ζήτησης μπροστινών κόμβων που προκαλεί την εξασθένηση τους από θέμα ενέργειας. Κατά συνέπεια, όταν τα πακέτα θα καταστρέφονται όταν όλοι οι μπροστινοί κόμβοι αποτύχουν. [2]

Σαν αποτέλεσμα των πιο πάνω η προσέγγιση που ακολουθεί το πρωτόκολλο Flock – CC είναι η δεύτερη. Συγκεκριμένα, κάθε κόμβος σημειώνει σε ένα πίνακα γειτνίασης, τις αποστάσεις του κάθε γείτονα του από το sink. Ο πίνακας αυτός ονομάζεται A_n . Έτσι, η ζώνη απώθησης θεωρείται η περιοχή που σχηματίζει ο κύκλος με ακτίνα R_0 και αφορά τους κόμβους που βρίσκονται σε απόσταση ίση ή μικρότερη από το κόμβο n . Κάθε κόμβος n αποθηκεύει σε ένα πίνακα απώθησης q_n , το μέγεθος της ουράς του κάθε κόμβου που βρίσκεται μέσα στη ζώνη αυτή. Η

ζώνη έλξης, είναι η περιοχή που σχηματίζει ο κύκλος με ακτίνα $R1$ και αφορά τους κόμβους που βρίσκονται σε απόσταση ίση ή μικρότερη από το κόμβο n . Κάθε κόμβος n , αποθηκεύει στο πίνακα έλξης, s_n , τον αριθμό των πακέτων που υπάρχει σε κόμβους δύο hops μακριά, αφού τα broadcast μηνύματα δεν μπορούν να προωθηθούν από τον κόμβο n προς 2 δύο hops μακριά. Η πιο πάνω περιγραφή που αφορά τη ζώνη απόθησης και έλξης φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα (Σχήμα 3.2).[2]



Σχήμα 3.2: στο πιο πάνω σχήμα, φαίνεται το οπτικό πεδίο του κόμβου που βρίσκεται στο κέντρο, το οποίο περικλείει κόμβους σε ίση ή μικρότερη απόσταση από αυτόν, σε σχέση με το sink. Το $R0$ είναι η ακτίνα του κύκλου που καθορίζει τη ζώνη απόθησης και το $R1$, η ακτίνα του κύκλου που καθορίζει τη ζώνη έλξης.[2]

Τέλος, κάθε κόμβος έχει την ευθύνη, σε κάθε χρονικό διάστημα T , να κάνει καταμέτρηση του αριθμού όλων των προσπαθειών μετάδοσης πακέτων, ακόμα και των αναμεταδόσεων. Η μέτρηση αυτή αφορά πακέτα που προωθούνται από κόμβους της ζώνης απόθησης προς κόμβους της ζώνης έλξης. Με την μέτρηση των συγκεκριμένων προσπαθειών αποστολής, αποθηκεύεται σε ένα πίνακα μετάδοσης, s'_n , οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για ομαλοποίηση.[2]

Οι ζώνες απόθησης και έλξης, έρχονται να συνδυαστούν για να βοηθήσουν ένα κόμβο να αποφασίσει για το κάθε πακέτο που περιέχει. Συγκεκριμένα, ο συνδυασμός των δύο ζωνών, συμβάλει στην εύρεση της επιθυμητότητας κάποιου κόμβου. Η συγκεκριμένη συνάρτηση υπολογίζεται ανά χρόνο T και αφορά τα

πακέτα που στέλλονται σε αυτό το χρονικό διάστημα. Η χρησιμότητα της συγκεκριμένης συνάρτησης είναι για να βοηθήσει στην επιλογή του επόμενου κόμβου με τη μεγαλύτερη επιθυμητότητας, αποφεύγοντας ή ελαχιστοποιώντας έτσι τη συμφόρηση στους επόμενους κόμβους. Για τον υπολογισμό και αποθήκευση των τιμών επιθυμητότητας, χρησιμοποιείται ένας πίνακας M διαστάσεων που αφορά το συγκεκριμένο διάνυσμα. Η αναφορά στο $D(k)$ εννοεί τον αριθμό των υποψηφίων κόμβων που θα φιλοξενήσουν ένα πακέτο και οι οποίοι βρίσκονται στο φάσμα μετάδοσης και μέσα στο οπτικό του πεδίο του τρέχον κόμβου που βρίσκεται το πακέτο, τη χρονική στιγμή k . Για να μπορέσουμε να αναπαραστήσουμε την επιθυμητότητα για κάθε κόμβο m , όπου το m , είναι μια εγγραφή στο πίνακα M διαστάσεων που αναφέρθηκε πιο πάνω, που υπολογίστηκε στο κόμβο n , αναφερόμαστε στη παράμετρο $D_{nm}(k)$. Η παράμετρος επιθυμητότητας $D_{nm}(k)$, υπολογίζεται σε κάθε αρχή του χρονικού διαστήματος k για κάθε κόμβο m που βρίσκεται μέσα στο οπτικό του πεδίο. Χρησιμοποιείται για κάθε πακέτο που στέλλεται στη χρονική περίοδο k , από το φιλοξενοούμενο κόμβο και ο τρόπος υπολογισμού του είναι ο εξής $D_{nm}(k) = s_{nm}^{norm}(k) - q_{nm}^{norm}(k)$. Το $s_{nm}^{norm}(k)$ και $q_{nm}^{norm}(k)$ υπολογίζονται βάση συγκεκριμένων συνθηκών. Συγκεκριμένα, το $s_{nm}^{norm}(k)$ παίρνει τιμή $s_{nm}(k) / s'_{nm}(k)$ εάν το $s'_{nm}(k)$ είναι μεγαλύτερο από μηδέν. Σε αντίθετη περίπτωση παίρνει τιμή ίση με το ξ , όπου το ξ υπολογίζεται βάση του τύπου που θα αναλυθεί πιο κάτω και παίρνει τιμές από μηδέν ως ένα. Το ξ καθορίζει το φάσμα στο οποίο θα εξαπλωθούν τα πακέτα, το $s_{nm}(k)$ καθορίζει τον αριθμό των επιτυχημένων πακέτων μετάδοσης που στέλλονται από τον κόμβο m προς κόμβους δύο hops μακριά από τον κόμβο n και τέλος το $s'_{nm}(k)$ είναι ο συνολικός αριθμός των προσπαθειών μετάδοσης των πακέτων σε κάθε κόμβο m . Το $s_{nm}^{norm}(k)$, είναι ένα μέτρο ποιότητας του φόρτου στο ασύρματο κανάλι για το περιβάλλον γύρω από τον κόμβο m , ανάλογα με το πώς γίνεται αντιληπτό από το κόμβο n και παίρνει τιμές από το μηδέν ως ένα. Η παράμετρος αυτή αναπαριστά σε κανονικοποιημένη μορφή την δύναμη της έλξης που ασκείται σε ένα πακέτο i από πακέτα που μεταδίδονται επιτυχώς και κατά συνέπεια μετακινούνται από κάποιο κόμβο m σε κόμβους που βρίσκονται δύο hops μακριά από τον κόμβο που φιλοξενεί το πακέτο i . Όπως έχει αναφερθεί και πριν το $s_{nm}^{norm}(k)$ παίρνει τιμή $s_{nm}(k) / s'_{nm}(k)$. Όταν το $s_{nm}(k)$ πλησιάζει το ένα, τότε γύρω από τον κόμβο m , δεν υπάρχει συμφόρηση στο κανάλι και κατά συνέπεια ένα

μεγάλο ποσοστό πακέτων μεταδίδονται επιτυχώς, χωρίς να χρειάζονται πολλές αναμεταδόσεις. Στη περίπτωση όμως που το $s_{nm}(k)$ πλησιάζει το μηδέν, τότε τα πράγματα είναι εντελώς διαφορετικά. Σε μια τέτοια περίπτωση, θα σήμαινε ότι στο κανάλι υπάρχει συμφόρηση και κατά συνέπεια τα πακέτα μεταδίδονται επιτυχώς μετά από πολλές αναμεταδόσεις. [2]

Σε περίπτωση ύπαρξης κάποιου αδρανή κόμβου, τότε το $s'_{nm}(k)$ θα είναι ίσο με μηδέν, λόγω του ότι δεν θα υπάρχει καμιά συνολική προσπάθεια μετάδοσης και δεν θα υπάρχει κάποια ένδειξη για την ποιότητα του ασύρματου καναλιού όσο αφορά τους γύρω κόμβους από αυτόν που γίνεται η αναφορά. Το πρόβλημα που πιθανός να παρουσιαστεί είναι στον καθορισμό αν ένας κόμβος είναι πολύ ελκυστικός ή αντίθετα απωθητικός. Με την ένταξη της μεταβλητής ξ , η οποία καθορίζει την εξάπλωση των πακέτων, έρχεται να δώσει μια δύναμη έλξης με κανονικοποιημένη μορφή που υπάρχει σε ένα κόμβο, ο οποίος προηγουμένως ήταν αδρανής. Για μικρές τιμές του ξ , το κοπάδι παρουσιάζει μικρή εξάπλωση, ενώ για μεγάλες τιμές του ξ , τα πακέτα παρουσιάζουν εξάπλωση λόγω της έλξης τους από κόμβους αδρανείς και ιδίως στα άκρα του κοπαδιού.[2]

Η δεύτερη παράμετρος που συμβάλει για τον υπολογισμό της επιθυμητότητας είναι το $q^{norm}_{nm}(k)$. Η συγκεκριμένη παράμετρος παίρνει τιμές από μηδέν ως ένα, συμπεριλαμβανομένων και λαμβάνει υπόψη τον αριθμό των πακέτων που βρίσκονται στην ουρά του κόμβου m και τη χωρητικότητα της ουράς του κάθε κόμβου m , το οποίο παίρνει τιμή $q_{nm}(k) / Q_m$. Με τη παράμετρο αυτή, μπορούμε να βρούμε το ποσοστό της ουράς που χρησιμοποιείται στο συγκεκριμένο κόμβο m και να παρουσιάσουμε σε κανονικοποιημένη μορφή τη δύναμη απόθησης που ασκούν τα πακέτα που υπάρχουν στην ουρά του συγκεκριμένου κόμβου, πάνω σε ένα πακέτο. Αναλύοντας περισσότερο τις πιθανές τιμές που μπορεί να πάρει η συγκεκριμένη παράμετρος, βλέπουμε ότι: όταν το $q_{nm}(k)$ πλησιάζει το ένα, τότε ο κόμβος m θεωρείται να «υποφέρει» από συμφόρηση λόγω του μεγάλου αριθμού πακέτων που υπάρχουν στην ουρά του κόμβου, ενώ αντίθετα, όταν το $q_{nm}(k)$ πλησιάζει το μηδέν, τότε η ουρά του κόμβου είναι σχεδόν άδεια ή ακόμη και άδεια.[2]

Κάνοντας τις πράξεις για εύρεση της επιθυμητότητας φαίνονται οι πιθανές τιμές της, οι οποίες κυμαίνονται από -1 μέχρι και 1, συμπεριλαμβανομένων. Με τον υπολογισμό της παραμέτρου $D_{nm}(k)$, στον κόμβο m , ένα πακέτο μπορεί να προωθηθεί από τον κόμβο n προς τον κόμβο m , όπου ο κόμβος m βρίσκεται μέσα στο οπτικό πεδίο με τη μεγαλύτερη τιμή επιθυμητότητας επιτρέποντας έτσι την εξερεύνηση νέων και καλών μονοπατιών. Στη προσέγγιση αυτή εισάγεται και το τελευταίο χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου που είναι η τυχαιοποίηση. Η τυχαιοποίηση, είναι μια προσέγγιση που παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα στο αναφερόμενο πρωτόκολλο. Συγκεκριμένα, επιτρέπει την εξερεύνηση νέων και ίσως καλύτερων μονοπατιών, βοηθά στο να μην πλημυρίσουν οι κόμβοι που είναι δημοφιλής για προώθηση πακέτων λόγω της υψηλής τους τιμής που παρουσιάζουν για επιθυμητότητα. Με τον τρόπο αυτό, αντιμετωπίζεται το πρόβλημα για μετάδοση στους ίδιους κόμβους μέσα σε ένα χρονικό διάστημα T . Έτσι, μειώνεται η πιθανότητα γεμίσματος της ουράς των δημοφιλή κόμβων.[2]

Μια πιο αναλυτική περιγραφή της τυχαιοποίησης, έρχεται να εξηγήσει τον τρόπο με τον οποίο εμπλέκετε αυτή στο πρωτόκολλο Flock – CC. Όταν ένα πακέτο πρόκειται να προωθηθεί σε ένα άλλο κόμβο, υπάρχει μια διαδικασία ή αλλιώς απόφαση που πρέπει να λάβει ο κόμβος που φιλοξενεί το πακέτο. Η απόφαση αυτή είναι ο καθορισμός του επόμενου κόμβου που πρόκειται να λάβει το μήνυμα και περιλαμβάνει τρία στάδια. Τα στάδια αυτά περιλαμβάνουν την επιλογή της κατεύθυνσης με τη χρήση του οπτικού και μαγνητικού πεδίου, επιλογή του νέου κόμβου βάση πιθανολογίας και της επιθυμητότητας τους και τέλος, γίνεται ταξινόμηση των κόμβων σε φθίνουσα σειρά ανάλογα με την επιθυμητότητα τους, στη συγκεκριμένη κατεύθυνση. Σημαντικό ρόλο για την κατεύθυνση της κίνηση του πακέτου, είναι η θέση του sink αφού βάση του μαγνητικού πεδίου, το κάθε πακέτο θέτει το οπτικό του πεδίο προς το sink και λαμβάνει μια δύναμη έλξης από τον τεχνητό πόλο. Το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί παρέχει τη παγκόσμια έλξη στο sink μέσω της διαφοροποίησης της έλξης στους κόμβους που βρίσκονται μέσα στο οπτικό πεδίο. Αυτό το επιτυγχάνει με τη χρήση στρατηγικών κανόνων μέσα από τους οποίους γίνεται μια επιλογή από πιθανούς νέους κόμβους. Η επιλογή των κόμβων γίνεται από αυτούς που βρίσκονται στο οπτικό πεδίο και χρησιμοποιούν κάποιους κανόνες. Ο πρώτος και πιο σημαντικός κανόνας αφορά την επιλογή όλων

των κόμβων που βρίσκονται σε μικρότερη απόσταση από hops προς το sink. Σε περίπτωση που υπάρχει κάποιος κόμβος από τους επιλεγόμενους, με διαθέσιμο χώρο από buffer, τότε το πακέτο θα κινηθεί μπροστά. Ο δεύτερος και λιγότερο σημαντικός κανόνας είναι ο εξής: εάν κανένας από τους κόμβους που βρίσκονται κοντά στο sink, δεν έχει διαθέσιμο χώρο στο buffer τότε επιλέγονται όλοι οι κόμβοι με ίσο hop distance από το sink. Το ίδιο συμβαίνει και όταν όλοι οι κόμβοι φαίνονται ως απρόσιτοι. Σε περίπτωση που ένας κόμβος από τους επιλεγμένους, έχει διαθέσιμο χώρο buffer τότε τα πακέτα θα κινηθούν προς εκεί και ο τρίτος και τελευταίος κανόνας που είναι και ο λιγότερο σημαντικός από τους άλλους δύο που προαναφέρθηκαν, εξηγεί ότι αν κανένα από τα πιο πάνω δεν ισχύει, τότε το πακέτο θα κινηθεί προς τα πίσω. Με βάση αυτό το κανόνα, ένα πακέτο μπορεί να κινηθεί προς τα πίσω βρίσκοντας ένα κόμβο που βρίσκεται εκτός του οπτικού του πεδίου. Αυτό όμως μπορεί να συμβεί μόνο στη περίπτωση όπου όλοι οι κόμβοι που βρίσκονται μπροστά και στο πλάι, είναι απρόσιτοι ή δεν έχουν ελεύθερο χώρο στο buffer τους. Η συγκεκριμένη στρατηγική είναι παρόμοια με αυτή που ακολουθείται στον καθορισμό της επιθυμητής κατεύθυνσης του πτηνού στο μοντέλο του Couzin. Όταν γίνει η επιλογή για τους πιθανούς κόμβους που θα φιλοξενήσουν το πακέτο, εφαρμόζεται ταξινόμηση βάση της επιθυμητότητας τους, σε φθίνουσα σειρά. Η τυχαιοποίηση, εισάγει πιθανολογική επιλογή του επόμενου κόμβου που θα φιλοξενήσει το πακέτο. Ο τρόπος υλοποίησης της είναι βασισμένος σε μεθόδους επιλογής, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε γενετικούς αλγόριθμους (επιλογή ρουλέτας ή επιλογή βάση κατάταξης). Οι μέθοδοι επιλογής, χρησιμοποιούνται για την τυχαία επιλογή των μελών. Για να υπάρχει η έννοια της δικαιοσύνης ως προς την επιλογή του κόμβου, εφαρμόζεται επιλογή ανάλογα με την επιθυμητότητα του κόμβου είτε βάση του αριθμού κατάταξης σε φθίνουσα σειρά, που έγινε στις επιθυμητότητες των κόμβων. Όσο αφορά το αναφερόμενο πρωτόκολλο Flock – CC, με βάση δοκιμών που έγιναν και αναφέρονται στο έγγραφο [2], έδειξαν ότι η επιλογή βάση της κατάταξης από την ταξινόμηση ως προς τις επιθυμητότητες, ήταν καλύτερη από την τεχνική της ρουλέτας για αυτό και επικράτησε η πρώτη. Η συγκεκριμένη τεχνική που επικράτησε, κατατάσσει κάθε πακέτο i ανάλογα με την καταλληλότητα του, που ονομάζεται f_i . Επίσης, αναθέτει στο κάθε πακέτο μια νέα τιμή $f'i$ η οποία είναι ανάλογη της κατάταξης που λαμβάνει το πακέτο. [2]

Το πρωτόκολλο Flock – CC, παίρνει ως πιθανούς νέους κόμβους, οι οποίοι έστω ότι είναι M και η επιθυμητότητα του κάθε ενός κόμβου δηλώνει τη καταλληλότητα του. Ο κόμβος με την μικρότερη τιμή επιθυμητότητας, λαμβάνει τιμή ένα, ο επόμενος χειρότερος κόμβος λαμβάνει τη τιμή δύο ενώ ο κόμβος με τη μεγαλύτερη τιμή επιθυμητότητας, λαμβάνει τη τιμή M . Όλοι οι M κόμβοι, λαμβάνουν μια τιμή ανάλογα με τη κατάταξη της επιθυμητότητας τους. Ο κόμβος που θα επιλεγθεί με μια πιθανότητα p_i η οποία υπολογίζεται ως εξής:

$$p_i = \frac{f^i_i}{\sum_{j=1}^J f^j_j}, \text{ όπου το } f^i_i \text{ είναι η νέα τιμή που λαμβάνει το πακέτο με βάση την}$$

κατάταξή του, ενώ το $\sum_{j=1}^J f^j_j$, είναι η το άθροισμα της νέας τιμής όλων των κόμβων. [2]

3.2 Η αλγοριθμική περιγραφή της προσαρμοστικότητας

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα γίνει μια πιο αναλυτική περιγραφή που αφορά την προσαρμοστικότητα που εφαρμόστηκε στο πρωτόκολλο του Flock – CC. Αρχικά, αξίζει να σημειωθεί ότι η τροποποίηση που δέχθηκε το πρωτόκολλο, βρίσκεται στο χρονικό διάστημα T (sampling period) και το ξ (εξάπλωση κοπαδιού). Η κάθε παράμετρος εφαρμόζει την προσαρμοστικότητά της ανάλογα με τα δεδομένα που υπάρχουν στο δίκτυο. Συγκεκριμένα, η παράμετρος T , ασχολείται με κόμβους που παρουσιάζουν κάποια αλλαγή στη τοπολογία του δικτύου, είτε αυτό συμβαίνει λόγω μπαταρίας είτε λόγω αποτυχίας. Ένας κόμβος θεωρείται «νεκρός» λόγω μπαταρίας, όταν γίνει ρητή αναφορά για την αποτυχία του. Αυτό γίνεται με την εντολή fail, ενώ αποτυχημένος θεωρείται όταν περάσει χρονικό διάστημα T_{lost} που είναι ίσο με 30.5 δευτερόλεπτα και δεν έχουν λάβει μήνυμα από αυτόν οι γείτονες του ή κάποιος από αυτούς. Ο διαχωρισμός αυτός για ανακάλυψη του αποτυχημένου κόμβου, εφαρμόστηκε για να αποφευχθεί η συχνή θεώρηση των κόμβων ως αποτυχημένων, λόγω της λήξης του T_{lost} , ενώ στη πραγματικότητα δεν ήταν αποτυχημένος. Έτσι, σε σύγκριση με το default Flock – CC, έγινε αύξηση του T_{lost} από 3.5 σε 30.5, για να μην υπάρχει συχνή «σύγχυση» των κόμβων για απώλεια, ενώ εφαρμόστηκε η ρητή αναφορά της αποτυχίας του κόμβου για να μην υπάρχει καθυστέρηση εντοπισμού των απωλειών. Το

πρόβλημα αυτό, προέκυπτε λόγω των collisions που υπήρχαν, με αποτέλεσμα τα πακέτα να χάνονταν και να θεωρείτο ως αποτυχημένος. Το sampling period αρχικά παίρνει τιμή ίση με δύο και παραμένει στη συγκεκριμένη τιμή, μέχρι να υπάρξει κάποιο από τα πιο πάνω προβλήματα. Με την συγκεκριμένη τιμή του sampling period, επιτεύχθηκε η μείωση των μηνυμάτων ελέγχου σε περίπτωση που δεν υπάρχουν απώλειες. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή, εντοπιστεί κάποιο από τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν, ακολουθείται μια διαδικασία κατά την οποία η τιμή του sampling period θα μειωθεί κατά πολύ και θα γίνει ίσο με 0.5. Με αυτό τον τρόπο η διάδοση του μηνύματος για ενημέρωση των ενδιαφερόμενων κόμβων, ότι ο συγκεκριμένος κόμβος έχει έρθει σε κατάσταση μη λειτουργήσιμη, γίνεται σε μικρό χρονικό διάστημα. Η ενημέρωση αυτή αφορά κόμβους που βρίσκονται σε ίσο και μεγαλύτερο hop count από αυτόν που το ανακάλυψε. Δηλαδή αφορά τους κόμβους που μπροστά τους έχουν κάποιο ελαττωματικό κόμβο αφού η κατεύθυνση αποστολής τους είναι προς το sink, όπου το hop count μειώνεται όσο πιο κοντά βρισκόμαστε προς το sink. Αυτό θα προτρέψει στην αποφυγή των κόμβων να προωθήσουν πακέτα προς τον ελαττωματικό κόμβο. Ο αριθμός των κόμβων που θα ενημερωθούν για το πρόβλημα, εξαρτάται από τη τιμή της μεταβλητής tth, ενώ η διάρκεια της διατήρησης του sampling period σε μισό, θα διαρκέσει σε κάθε κόμβο όσο καθορίζει η τιμή της μεταβλητής ttw. Κάθε κόμβος θα εφαρμόσει μόνο μια φορά την προσαρμοστικότητα του, όταν βρίσκεται σε φάση προσαρμοστικότητας (δηλαδή μέχρι να λήξει το δικό του ttw). Ο κάθε κόμβος που θα ανακαλύψει ότι ο γείτονας του έχει αποτύχει (είτε λόγω μπαταρίας είτε μέσω του Tlost) θα σβήσει τα στοιχεία του αποτυχημένου κόμβου από το πίνακα γειτνίασης στον οποίο κρατά όλες τις πληροφορίες για τους γείτονες του και θα εφαρμόσει την προσαρμοστικότητα. Έστω ότι ο κόμβος n, ανακαλύπτει κάποιο κόμβο που απέτυχε. Τότε, θα μειώσει το sampling period του σε 0.5, θα θέσει το δικό του tth, ανάλογα με τη τιμή που δόθηκε για tth και το ίδιο θα συμβεί για το ttw. Στη συνέχεια, ο κόμβος n, έχει την ευθύνη να ενημερώσει τους άμεσους του γείτονες, αυτοί τους επόμενους κτλ, ανάλογα με τη τιμή του tth. Θα τους ενημερώσει επίσης για τη τιμή του ttw και tth για να γνωρίζει πότε θα βγει από τη φάση προσαρμοστικότητας και για το πόσους κόμβους πιο κάτω να ενημερώσει, αντίστοιχα και για την ταυτότητα του κόμβου που εντόπισε σαν απώλεια για να

γίνει ο έλεγχος για το αν πρέπει να μπει σε φάση προσαρμοστικότητας(αν βρίσκεται μπροστά του δηλαδή, θα μπει σε αυτή τη φάση). Όταν ένας κόμβος λάβει το μήνυμα ότι υπάρχει ελαττωματικός κόμβος, τότε εφαρμόζονται μια σειρά ελέγχων. Συγκεκριμένα, αν ο κόμβος που έλαβε το μήνυμα, είναι στα ανάλογα hops που θέλει να περικλύσει το tth και δεν βρίσκεται ήδη σε κατάσταση προσαρμοστικότητας, τότε θα εφαρμόσει την προσαρμοστικότητα. Δηλαδή, θα μειώσει το δικό του sampling period, κάνοντας το ίσο με 0.5 και θα θέσει το δικό του χρονομετρητή που εξαρτάται από την τιμή του ttw (για να μπορέσει μετά από ttw χρόνο να επαναφέρει το sampling period, ίσο με δύο). Με τη λήξη του χρονομετρητή του κάθε κόμβου ξεχωριστά, θα επαναφέρει το sampling period στο δύο και θα βγει από την φάση της προσαρμοστικότητας.

Μια πιο αναλυτική περιγραφή με στοιχεία του κώδικα και σχήμα, δίνεται στο Παράρτημα Α.

Η παράμετρος ξ , είναι η δεύτερη παράμετρος που τροποποιείται για εφάρμοση της προσαρμοστικότητας. Η συγκεκριμένη παράμετρος αφορά την εξάπλωση του κοπαδιού και αφορά κόμβους που βρίσκονται στα άκρα της κίνησης του δικτύου. Με την αύξηση της τιμής του ξ , θα υπάρξει άνοιγμα του κοπαδιού για εξερεύνηση νέων μονοπατιών και κατά συνέπεια, εκμετάλλευσης κόμβων που πριν δεν χρησιμοποιούνταν. Αντίθετα, με την μείωση της τιμής του ξ , θα χρησιμοποιούνται οι ίδιοι κόμβοι που χρησιμοποιούνταν και πριν. Η πρώτη περίπτωση είναι ιδανική, σε περίπτωση ύπαρξης ελαττωματικών κόμβων, όπου τα πακέτα θα πρέπει να «ταξιδέψουν» από άλλα μονοπάτια και κατά συνέπεια, θα χρειαστεί να ανακαλύψουν νέους κόμβους που να μπορούν να τα προωθήσουν. Το ίδιο συμβαίνει και σε περιπτώσεις που οι κόμβοι είναι αρκετά δημοφιλείς οι οποίοι παρουσιάζουν μικρό εναπομείναντα χώρο στο buffer, λόγω των πολλαπλών πακέτων που περιμένουν στην ουρά για να εξυπηρετηθούν. Με μια πιο αναλυτική ματιά στο πότε θα ήταν καλή και αναγκαία η αύξηση του ξ , φαίνεται ότι όταν η αναλογία του αριθμού επιτυχημένων πακέτων προς το συνολικό αριθμό πακέτων που στάλθηκαν από ένα κόμβο είναι μικρό, ενώ το ποσοστό των πακέτων που υπάρχει στην ουρά του buffer ενός κόμβου προς τον αριθμό της χωρητικότητας του buffer είναι μεγάλο, τότε θα χρειαστεί εξερεύνηση προς νέα μονοπάτια και κατά συνέπεια νέων κόμβων που να προωθήσουν τα πακέτα. Αντίθετα, όταν το

ποσοστό του αριθμού επιτυχημένων πακέτων προς το συνολικό αριθμό πακέτων που στάλθηκαν από ένα κόμβο είναι μεγάλο, ενώ το ποσοστό των πακέτων που υπάρχει στην ουρά του buffer ενός κόμβου προς τον αριθμό της χωρητικότητας του buffer είναι μικρό, τότε θα χρειαστεί η μείωση του ξ , για εκμετάλλευση των μπροστινών ίδιων κόμβων που προωθούσαν πριν τα πακέτα γιατί όπως φαίνεται έχουν καλό ποσοστό μετάδοσης των πακέτων.

Η λογική υλοποίησης της συγκεκριμένης παραμέτρου, έγινε με διάφορους τρόπους. Συγκεκριμένα, υλοποιήθηκαν τρεις ιδέες, οι οποίες είχαν σαν κύριο στόχο την αύξηση του PDR(Packet Delivery Ration), δηλαδή το ποσοστό των επιτυχημένων μεταφορών και κατά δεύτερο την μείωση του EED (End – to – End Delay), δηλαδή, της καθυστέρησης μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη που στη προκειμένη περίπτωση, παραλήπτης είναι το το sink. Η πρώτη ιδέα είναι η εξής:

$\xi_{\text{νέο}} = \xi_{\text{παλιό}} + \gamma * (\text{επιθυμητό σημείο ρύθμισης} - \text{υπολογιζόμενη επιθυμητότητα})$

όπου το $\xi_{\text{νέο}}$ παίρνει τιμές από μηδέν ως ένα συμπεριλαμβανομένων. Το $\xi_{\text{παλιό}}$, είναι η παράμετρος που παίρνει τη τιμή που είχε υπολογιστεί πριν ως $\xi_{\text{νέο}}$ ενώ η υπολογιζόμενη επιθυμητότητα είναι ο μέσος όρος των άμεσων γειτόνων του συγκεκριμένου κόμβου που υπολογίζει το δικό του ξ . Να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός της επιθυμητότητας είναι κανονικοποιημένος, όπως φαίνεται στη πιο πάνω εξίσωση. Τα γ και επιθυμητό σημείο ρύθμισης έχουν δοκιμαστεί με διάφορες τιμές και συνδυασμούς, ενώ το $\xi_{\text{παλιό}}$, δοκιμάστηκε με διάφορες αρχικές τιμές. Όλοι οι συνδυασμοί και τιμές των παραμέτρων που αναφέρθηκαν, αναφέρονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Η δεύτερη εξίσωση που έχει υπολογιστεί είναι παρόμοια με την πρώτη με μόνη διαφορά στον τρόπο υπολογισμού της παραμέτρου που ονομάζεται υπολογιζόμενη επιθυμητότητα. Ο νέος τρόπος υπολογισμού στη δεύτερη εξίσωση έχει ως εξής:

$\xi_{\text{νέο}} = \xi_{\text{παλιό}} + \gamma * (\text{επιθυμητό σημείο ρύθμισης} - ((\text{Βάρος}_1 * \text{επιθυμητότητα}_{\text{κόμβου}}) + (\text{Βάρος}_2 * \text{επιθυμητότητα}_{\text{γειτονικών}_{\text{κόμβων}}})) / 2)$

Η υπολογιζόμενη επιθυμητότητα που υπήρχε στην πρώτη εξίσωση, τώρα αντικαταστήθηκε από τον μέσο όρο των παραμέτρων επιθυμητότητα κόμβου και

επιθυμητότητα γειτονικών κόμβων. Συγκεκριμένα, η επιθυμητότητα του κόμβου είναι η δική του επιθυμητότητα (δηλαδή του εαυτού του), η οποία πολλαπλασιάζεται με κάποιες τιμές (Βάρος1) που θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο. Επίσης, η επιθυμητότητα γειτονικών κόμβων είναι ο μέσος όρος των άμεσων γειτόνων του κόμβου, η οποία πολλαπλασιάζεται με το Βάρος2 το οποίο παίρνει διάφορες τιμές που θα αναλυθούν και αυτές στο επόμενο κεφάλαιο. Να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός της επιθυμητότητας είναι κανονικοποιημένος, όπως φαίνεται στη πιο πάνω εξίσωση.

Οι πιο πάνω εξισώσεις, σχηματίστηκαν με την έννοια της εύρεσης μιας καλής τιμής για την επιθυμητότητα, με στόχο να φτάσει στο συγκεκριμένο σημείο και σε περίπτωση σφάλματος να αυξηθεί το ξ .

Η τρίτη και τελευταία εξίσωση που έχει προταθεί είναι η εξής:

$$\xi_{\text{νέο}} = \xi_{\text{παλιό}} + \gamma \cdot (\text{μέσος_όρος_επιθυμητότητας} (kT) - \text{μέσος_όρος_επιθυμητότητας}((k-1)T))$$

Η συγκεκριμένη εξίσωση, υπολογίζει το μέσο όρο επιθυμητότητας των γειτόνων τη χρονική στιγμή k , δηλαδή την τρέχουσα χρονική στιγμή, αφαιρώντας το μέσο όρο επιθυμητότητας των γειτόνων τη χρονική στιγμή $k-1$, δηλαδή της προηγούμενης χρονικής στιγμής. οι παράμετροι $\xi_{\text{παλιό}}$ και γ παίρνουν διάφορες τιμές που θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο. Η έννοια της συγκεκριμένης εξίσωσης βασίζεται στο γεγονός ότι αν οι γείτονες του κόμβου είναι «καλοί», (δηλαδή η τιμή της αναλογίας των επιτυχημένων πακέτων προς το συνολικό αριθμό πακέτων που έστειλε ο κόμβος, είναι μεγάλος και μικρή η αναλογία του αριθμού των πακέτων στην ουρά προς τη χωρητικότητα του buffer στο κόμβο) τότε η επιθυμητότητα (desirability) θα αυξάνεται και άρα το ξ θα μεγαλώνει. Αν σε κάποιο σημείο φτάσει σε επιθυμητό στάδιο, τότε το ξ θα σταθεροποιηθεί αφού η αφαίρεση θα δίνει αποτέλεσμα μηδέν. Σε περίπτωση που το νέο desirability δηλαδή στο χρόνο kT , είναι μεγαλύτερο από το παλιό desirability (δηλαδή στο $(k-1)T$), τότε θα πρέπει να εκμεταλλευτεί την πληροφορία αυτή, με το να ανοίξει το κοπάδι για να ανακαλύψει νέους κόμβους για προώθηση. Αυτό το επιτυγχάνει με αύξηση στο ξ . Ενώ αντίθετα, αν το desirability στο χρόνο

kT , είναι μικρότερο από το παλιό desirability (δηλαδή στο $(k-1)T$), τότε η πράξη από την αφαίρεση θα γίνει αρνητική και το ξ θα μειωθεί.

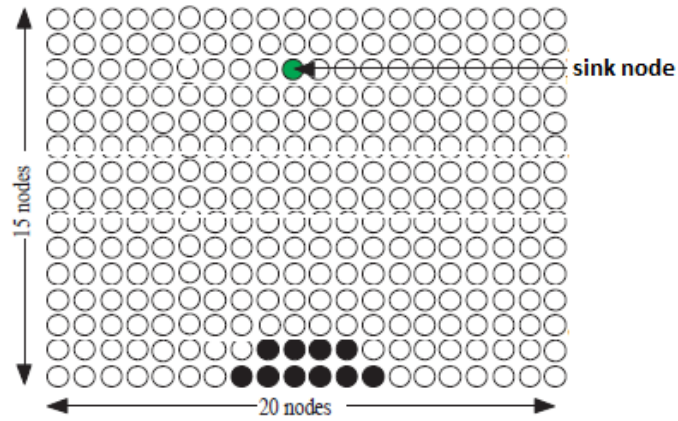
Κεφάλαιο 4

Ανάλυση αποτελεσμάτων

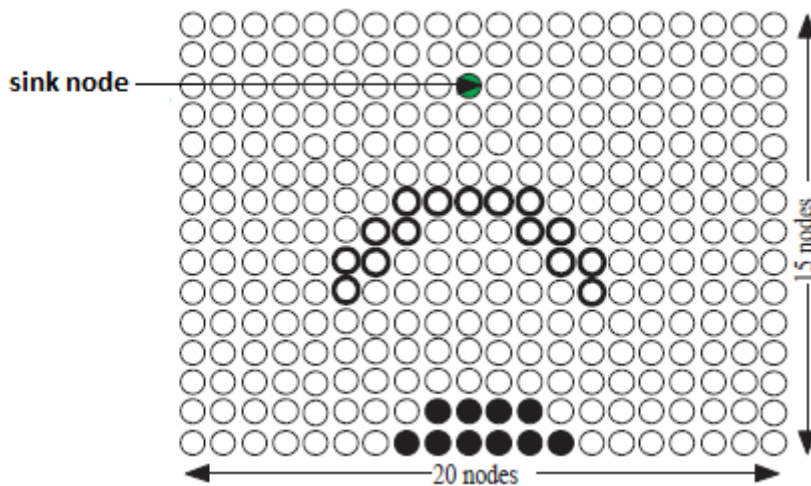
4.1 Περιγραφή τοπολογιών	42
4.2 Τιμές παραμέτρων	44
4.3 Επιλογή παραμέτρων προς εξέταση	47
4.4 Αποτελέσματα για καλύτερη εξίσωση υπολογισμού του ξ	89
4.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων με default Flock –CC	90

4.1 Περιγραφή τοπολογιών

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της προσαρμοστικότητας όσο αφορά το T και ξ , για δύο διαφορετικά σενάρια (διαφορετικές τοπολογίες και αριθμό ενεργών κόμβων) . Θα παρουσιαστούν επίσης συγκρίσεις με το default Flock – CC πρωτόκολλο για να υπάρξει ένα μέτρο σύγκρισης για διαφορετικό φόρτο κίνησης. Για την αξιολόγηση του πρωτόκολλο θα γίνει βάση των παραμέτρων PDR(Packet Delivery Ration), δηλαδή το ποσοστό επιτυχημένων πακέτων που καταλήγουν στο sink σε σχέση με το συνολικό αριθμό που αρχικά και το EED(End – to – End Delay), που είναι η μέση τιμή καθυστέρησης ανά σενάριο. Δηλαδή, η μέση τιμή των καθυστερήσεων που χρειάζονται τα πακέτα για να φτάσουν στο sink. Η προσαρμοστικότητα θα εφαρμοστεί σε δύο διαφορετικά σενάρια, τα οποία όμως αποτελούνται από 300 κόμβους σε ένα δισδιάστατο χώρο. Η διαφορά τους βρίσκεται στο ότι στο δεύτερο σενάριο, υπάρχουν κόμβοι που αποτυγχάνουν (κάνουν fail). Η τοπολογία των σεναρίων 1 και 2, φαίνεται στο σχήμα 4.1 και 4.2 αντίστοιχα.



Σχήμα 4.1: Τοπολογία 300 κόμβων σεναρίου 1. Οι κόμβοι με μαύρο χρώμα είναι οι αποστολείς και ο πράσινος κόμβος είναι το sink.



Σχήμα 4.2: Τοπολογία 300 κόμβων σεναρίου 2. Οι κόμβοι με μαύρο χρώμα είναι οι αποστολείς, ο πράσινος κόμβος είναι το sink και οι κόμβοι με μαυρισμένο περίγραμμα είναι οι «νεκροί» / αποτυχημένοι κόμβοι (κάνουν fail).

Στο σενάριο 1, υπάρχει συνεχής συμφόρηση στο δίκτυο, ενώ οι 10 κοντινοί κόμβοι με μαύρο χρώμα που βρίσκονται στο κέντρο είναι αυτοί που στέλλουν πακέτα. Στο σχήμα 4.1, φαίνεται η εικονογραφημένη μορφή του σεναρίου. Έχοντας κοντινούς κόμβους να στέλλουν δεδομένα, είναι ένα συνηθές

χαρακτηριστικό που παρουσιάζεται στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Συγκεκριμένα, σε πραγματικού χρόνου εφαρμογές, είναι συχνό το γεγονός ύπαρξης πολλών κοντινών κόμβων, οι οποίοι ενεργοποιούνται σε σχεδόν ταυτόχρονη χρονική στιγμή σε συνδυασμό με την ύπαρξη κάποιου συμβάντος. Η επιλογή του συγκεκριμένου σεναρίου, έγινε για να μπορέσει να παρουσιαστεί η ικανότητα του πρωτοκόλλου για αντιμετώπιση της συμφόρησης με την ύπαρξη της προσαρμοστικότητας όσο αφορά το T (sampling period).

Στο σενάριο 2, η συμφόρηση παρουσιάζεται παροδικά, σε αντίθεση με το σενάριο 1, το οποίο βρισκόταν συνεχή επιβάρυνση από την ύπαρξη της συμφόρησης. Ακόμα μια διαφορά που παρουσιάζεται στο σενάριο αυτό είναι η ύπαρξη κόμβων που αποτυγχάνουν. Στο σχήμα 4.2, φαίνεται η εικονογραφημένη μορφή του σεναρίου. Αρχικά οι κόμβοι που βρίσκονται κάτω, κέντρο του δικτύου, με μαύρο χρώμα, είναι αυτοί που στέλλουν δεδομένα. Οι κόμβοι με μαύρο περίγραμμα, είναι αυτοί που αποτυγχάνουν. Βάση του σεναρίου, η αποτυχία των κόμβων γίνεται ταυτόχρονα, στο σαραντακοστό δευτερόλεπτο. Με την νεκρή αυτή ζώνη, μπορεί να φανεί η ικανότητα τόσο των πακέτων να κινηθούν γύρω από τη νεκρή ζώνη, όσο και την ικανότητα του αλγορίθμου να κινηθεί με τρόπο που να αποφύγει την παγίδευση των πακέτων σε κόμβους, εμποδίζοντάς τα έτσι να προωθηθούν. Η ικανότητα αυτή επηρεάζεται από την παράμετρο ξ , η οποία χρησιμοποιήθηκε στην προσαρμοστικότητα. Έτσι η επιλογή του συγκεκριμένου σεναρίου, βασίστηκε στην παρουσίαση του πως λειτουργεί η προσαρμοστικότητα σε ύπαρξη αποτυχημένων κόμβων.

4.2 Τιμές παραμέτρων

Οι τιμές των παραμέτρων έχουν ως εξής. Η τιμή που τέθηκε στο T ήταν 2 δευτερόλεπτα, για να μπορέσουν να μειωθούν τα φαινόμενα συμφόρησης, μέσω της μείωσης της αποστολής μηνυμάτων ελέγχου. Βάση του εγγράφου [2], μια τιμή για το T η οποία να είναι μικρότερη ή ίση με το δύο, είναι επιθυμητή για να μείνει συνεπής στις αλλαγές του δικτύου. Στη περίπτωση της

προσαρμοστικότητας, το Tlost αυξήθηκε από 3T (αυτό που υπήρχε στο default Flock - CC) σε 30.5T. Αυτό, εφαρμόστηκε για να μειωθεί η «σύγχυση» των κόμβων στο να θεωρούν κάποιο κόμβο αποτυχημένο ενώ στη πραγματικότητα δεν ήταν. Η σύγχυση που προκαλούταν, ήταν λόγω του μικρού διαστήματος του Tlost. Για να μην υπάρξει όμως αργή ενημέρωση για τον χαμένο κόμβο, εφαρμόστηκε και ο ρητός τρόπος αντίληψης του χαμένου κόμβου. Συγκεκριμένα, όταν ο κόμβος κάνει “fail”, τότε αμέσως θα υπάρξει η ενημέρωση για τον χαμένο κόμβο και δεν θα χρειαστεί να περιμένει να λήξει ο χρονομετρητής για να το Tlost. Όσο αφορά το sampling period, η προσαρμοστικότητα, του συνδυάζεται με άλλες δύο παραμέτρους που είναι το tth και ttw. Η πρώτη δοκιμάστηκε με τιμές 2, 3 και 4, ενώ η δεύτερη με τιμές 1, 2 και 3. Όλοι οι συνδυασμοί εφαρμόστηκαν για να βρεθεί το πιο αποδοτικό ταίρι τιμών για κάθε σενάριο.

Η παράμετρος ξ , παίρνει τιμές από το μηδέν ως ένα, επιτρέποντας στα πακέτα να κινηθούν τόσο με μερική ή καθόλου εξάπλωση, όσο και με πλήρη εξάπλωση. Η τιμή της συγκεκριμένης παραμέτρου υπολογίζεται βάση της πιο αποδοτικής για κάθε σενάριο εξίσωσης, που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3.

Η τιμή για τις παραμέτρους που απαρτίζουν τις εξισώσεις ήταν οι εξής: παίρνοντας την πρώτη εξίσωση, οι παράμετροι που παίρνουν τιμές είναι: το γάμμα, επιθυμητό σημείο ρύθμισης και το ξπαλιό, το οποίο αρχικά παίρνει κάποια τιμή ενώ αργότερα γίνεται ίσο με τη τιμή που υπολογίστηκε στο προηγούμενο T, ως ξνέο. Το γάμμα, δοκιμάστηκε με τιμές 0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, αφήνοντας έτσι το ξ να κινηθεί σε πιο ομαλούς αλλά και πιο απότομους ρυθμούς όπως με το γάμμα = 0.5. Η τιμή 0, δοκιμάστηκε για να γίνει ο έλεγχος αν η προσαρμοστικότητα πρέπει να εφαρμοστεί μόνο στο T, ενώ οι επόμενες τιμές του γάμμα, δοκιμάστηκαν για να μπορέσει να βοηθήσει το ξ , να κινηθεί με διαφορετικούς ρυθμούς μεταξύ του 0 και 1. Όσο αφορά το ξπαλιό, δοκιμάστηκαν τιμές 0.5 και 0.75 λόγω του ότι αυτές ήταν οι τιμές που είχαν βρεθεί από το default Flock – CC ως οι πιο αποδοτικές για τα συγκεκριμένα σενάρια. Τέλος, η παράμετρος για το επιθυμητό σημείο ρύθμισης δοκιμάστηκε για τιμές 0, 0.5 και 0.75. Η τιμή 0, ανατέθηκε για το λόγο ότι επιτρέπει στο ξ , να αυξομειώνεται σε ένα ισοδύναμο βάρος στον υπολογισμό του ξ σε κάθε κόμβο. Οι τιμές 0.5 και

0.75 δοκιμάστηκαν γιατί επιτρέπει στο κόμβο να αυξομειώσει το ξ , αλλά παράλληλα να είναι και επιθυμητός. Η τιμή 1 δεν έχει δοκιμαστεί γιατί θα αυξανόταν συνεχώς το ξ και στη συνέχεια θα παράμενε στη τιμή 1. Αυτή η συνεχής αύξηση του ξ και η παραμονή του στην τιμή 1, θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των συγκρούσεων λόγω του μεγάλου ανοίγματος του κοπαδιού.

Όσο αφορά τη δεύτερη εξίσωση, εντάσσονται ακόμα δύο παράμετροι, οι οποίοι το Βάρος 1 και Βάρος 2. Η λογική αυτή βασίζεται στο ότι εκτός από τους γείτονες, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η επιθυμητότητα του εαυτού του κόμβου. Για Βάρος 1 έχουν δοκιμαστεί οι τιμές 1 σε συνδυασμό με το Βάρος 2 να παίρνει τιμή 0 και η τιμή 0.6 για Βάρος 1 σε συνδυασμό με το Βάρος 2 να παίρνει τιμή 0.4. Λαμβάνοντας την επιθυμητότητα του εαυτού του ο κάθε κόμβος, εξυπηρετεί στη περίπτωση που μπορεί οι γείτονες του δεν είναι επιθυμητοί, αλλά ο ίδιος είναι. Στον συνδυασμό των Βαρών 1 και 0 για Βάρος 1 και Βάρος 2 αντίστοιχα, θα σήμαινε την περίπτωση όπου ο κόμβος δεν λαμβάνει υπόψη καθόλου τους γείτονές του, ενώ αντίθετα λαμβάνει υπόψη μόνο τη δική του επιθυμητότητα. Κάτι εντελώς αντίθετο από την πρώτη εξίσωση που είχε προταθεί. Στον συνδυασμό με βάρη: 0.6 και 0.4 για Βάρος 1 και Βάρος 2 αντίστοιχα, θα σήμαινε ότι λαμβάνεται περισσότερο υπόψη η επιθυμητότητα του εαυτού του αλλά για τον υπολογισμό της συνολικής επιθυμητότητας, θα συνέβαλε και η επιθυμητότητα των άμεσων γειτόνων.

Επίσης, για κάθε σενάριο με την πιο αποδοτική εξίσωση υπολογισμού του ξ , έχει εφαρμοστεί διαφορετικός φόρτος κίνησης. Δηλαδή, ο κάθε αποστολέας, με το συμβάν κάποιου γεγονότος, μπορεί να παράξει ένα σταθερό ρυθμό κίνησης και έχει εφαρμοστεί η χαμηλή, υψηλή και ακραία περίπτωση των 25, 35 και 45 πακέτων/δευτερόλεπτο αντίστοιχα. Με τον τρόπο αυτό, το δίκτυο μπορεί να χαρακτηριστεί με ελαφριά συμφόρηση, με συμφόρηση και με πολύ μεγάλη ύπαρξη συμφόρησης.

4.3 Επιλογή παραμέτρων προς εξέταση

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της προσαρμοστικότητας των πιο πάνω εξισώσεων όσο αφορά το ξ , αλλά και για το sampling period μαζί με τις παραμέτρους t_{th} και t_{tw} . Κάθε σενάριο έχει «εκτελεστεί» από 5 φορές.

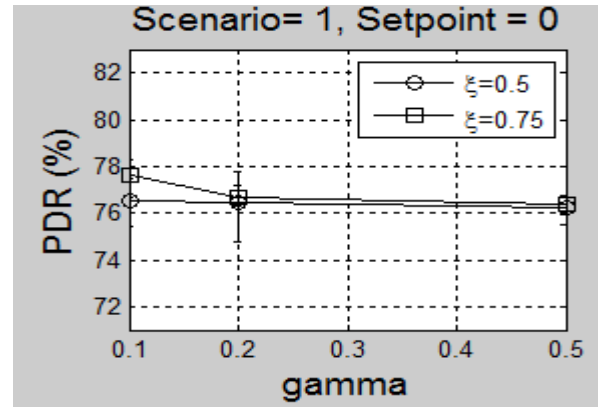
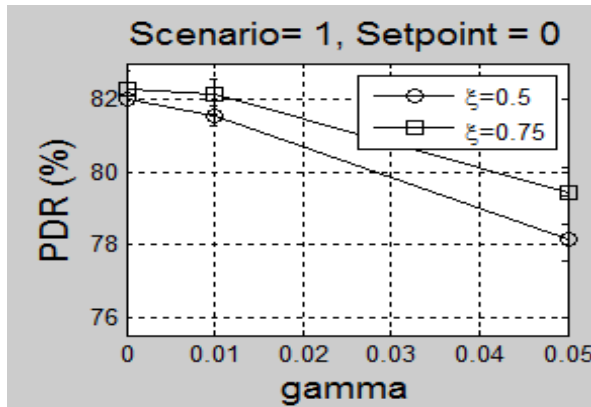
4.3.1 Packet Delivery Ratio (PDR)

Πιο κάτω φαίνονται τα αποτελέσματα της πρώτης εξίσωσης

$\xi_{\text{νέο}} = \xi_{\text{παλιό}} + \gamma * (\text{επιθυμητό σημείο ρύθμισης} - \text{υπολογιζόμενη επιθυμητότητα})$ με όλους τους συνδυασμούς που εφαρμόστηκαν σε αρχικό στάδιο.

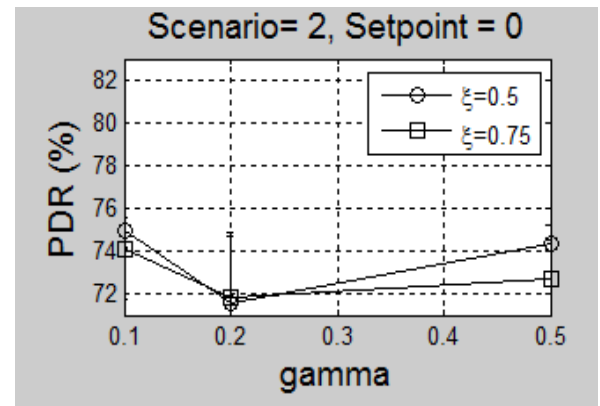
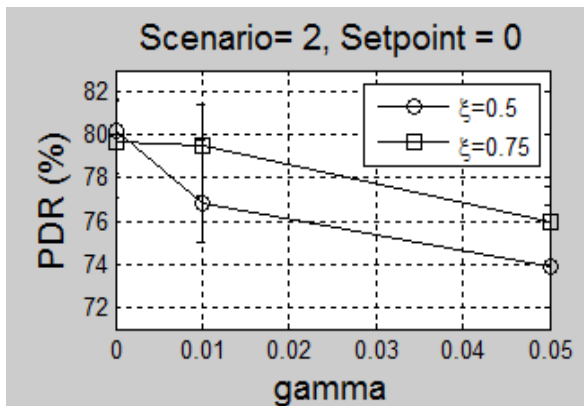
(α)

(β)



(γ)

(δ)



Σχήμα 4.3: Οι γραφικές παραστάσεις των δύο σεναρίων για το PDR σε σχέση με το γ , με όλους τους συνδυασμούς και επιθυμητό σημείο ρύθμισης =0, της πρώτης εξίσωσης.

Το σχήμα 4.3 εικονογραφεί το PDR σε σχέση με το γάμμα, όσο αφορά τη πρώτη εξίσωση, έχοντας το επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0. Η γραφική παράσταση (α) παρουσιάζει τα πρώτα τρία γάμμα (0, 0.01 και 0.05) του σεναρίου 1, ενώ η δεύτερη γραφική παράσταση (β), παρουσιάζονται τα επόμενα τρία γάμμα (0.1, 0.2 και 0.5) του σεναρίου. Αντίστοιχα, εικονογραφούνται τα γάμμα για το σενάριο 2, στις γραφικές παραστάσεις (γ) και (δ). Όπως φαίνεται πιο πάνω, στο σενάριο 2, όσο αυξάνεται το γάμμα, τόσο μειώνεται η απόδοση του PDR, με εξαίρεση τη περίπτωση όπου το γάμμα γίνεται ίσο με 0.5. Στη περίπτωση όμως του σεναρίου 1, όσο αυξάνεται το γάμμα, τόσο μειώνεται το PDR. Η μείωση του PDR με την αύξηση του γάμμα, συμβαίνει είτε το ξ αρχίζει από 0.5 είτε από 0.75. Θέτοντας το επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0, υπάρχει ένα ισότιμο βάρος για τον υπολογισμό του ξ , σε κάθε κόμβο. Με την αύξηση του γάμμα, δίνεται η ευχέρεια στη τιμή του ξ , να μειώνεται σε ένα πιο έντονο ρυθμό από ότι για πιο μικρά γάμμα. Σε γενικές γραμμές ισχύει ότι για μεγάλα γάμμα, η τιμή του ξ , μπορεί να χαρακτηριστεί από ακραίες τιμές (0 ή 1), οι οποίες οδηγούν στη μείωση της παραμέτρου υπό εξέταση που είναι το PDR. Αυτό, συμβαίνει γιατί σε περίπτωση που το ξ είναι πολύ μικρό τότε, οδηγούμαστε σε μια κατάσταση συνεκτική, όπου δηλαδή, τα πακέτα προωθούνται μόνο προς κόμβους που υπάρχουν μπροστά τους, γεμίζοντας έτσι τις ουρές τους και παρουσιάζοντας συμφόρηση στα δημοφιλή και κοντινότερα μονοπάτια προς το sink, αφήνοντας, αναξιοποίητα κάποια μονοπάτια. Επίσης, η έλξη που θα υπάρχει από τους αδρανείς κόμβους, θα είναι μικρή. Με την αύξηση του ξ , όταν κοντέψει δηλαδή το 1, το σμήνος εξαπλώνεται. Αυτό όμως δημιουργεί άλλα προβλήματα τα οποία είναι: η ανικανότητα ένδειξης της ποιότητας του καναλιού στη περιοχή όπου υπάρχουν αδρανείς κόμβοι και σε περίπτωση που στο κανάλι υπάρχουν ήδη πολλά πακέτα, τότε θα υπάρχει μεγάλος αριθμός χαμένων πακέτων. Επίσης, τα πακέτα θα έλκονται από τους αδρανείς κόμβους που βρίσκονται στα άκρα. Αυτό όμως σε συνδυασμό με τα πακέτα που θα έλκονται από το sink που είναι ο μαγνητικός πόλος, θα συγκρούονται και έτσι θα μειωθεί η τιμή του PDR.

Παίρνοντας μια λεπτομερή περιγραφή των πιο πάνω γραφικών παραστάσεων, μπορούν να δοθούν εξηγήσεις για τον τρόπο που λειτουργεί η παραπάνω εξίσωση με τις συγκριμένες τιμές. Αρχικά, θέτοντας το επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0,

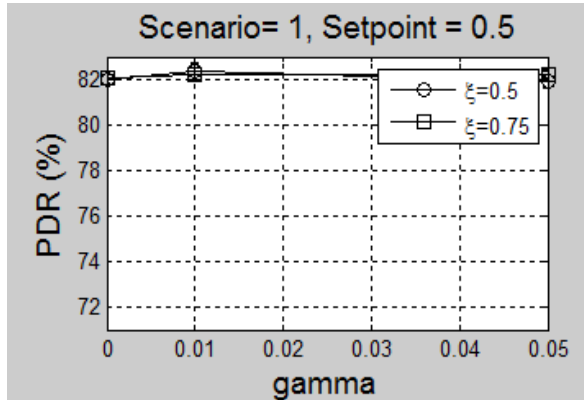
αναγκάζει το ξ , να μειώνεται συνεχώς μέχρι να καταλήξει στη τιμή $\xi=0$. Αυτό συμβαίνει γιατί μέσα από την αφαίρεση της παρένθεσης, η τιμή θα είναι πάντα αρνητική (λόγω του μηδέν). Με τη μείωση αυτή του ξ , θα οδηγηθεί το δίκτυο σε συνεκτική κατάσταση, με αποτέλεσμα όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, τα πακέτα να πετούν προς κόμβους που βρίσκονται μπροστά, γεμίζοντας έτσι τις ουρές τους. Μέσω της κατάστασης αυτής, θα παρουσιαστεί συμφόρηση στα δημοφιλή και ίσως κοντινότερα μονοπάτια, ενώ η έλξη που θα υπάρχει από τους αδρανείς κόμβους θα είναι μικρή. Έτσι κάποια μονοπάτια που πιθανόν να ήταν διαθέσιμα για να προωθήσουν πακέτα, δεν θα χρησιμοποιηθούν.

Το γάμμα θα επηρεάζει το πόσο απότομα θα μειωθεί η τιμή του ξ . Στη περίπτωση όπου το γάμμα $=0$, δεν υπάρχει καθόλου η έννοια της προσαρμοστικότητας όσο αφορά το ξ . Έτσι όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.2 (α), το PDR είναι πιο ψηλό έχοντας για $\xi=0.75$ όπως καθορίστηκε και στο έγγραφο [2]. Αντίστοιχα για το σενάριο 2 και όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2 (γ), όταν το γάμμα $=0$, το PDR είναι πιο ψηλό έχοντας για $\xi=0.5$. Σε αυτή τη περίπτωση το ξ θα παραμένει σταθερό με τιμή ανάλογα με την αρχική. Στη συνέχεια, όταν το γάμμα πάρει τιμή ίση με 0.01, παρατηρείται μια μικρή μείωση στο σενάριο 1 λόγω του ότι το ξ μειώνεται συνεχώς και κατά συνέπεια ξεφεύγει από το ιδανικό για το σενάριο ξ . Σε αντίθεση με το σενάριο 2 στο οποίο η πτώση του PDR είναι εμφανής, ιδικά στη περίπτωση όπου το αρχικό ξ είναι ίσο με 0.5. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι, το ξ , αρχίζει να μειώνεται προς τιμές πολύ μικρότερες του 0.5, με αποτέλεσμα το PDR να μειωθεί. Στη περίπτωση του $\xi=0.75$, στο σενάριο 2, το PDR παραμένει πιο ψηλό, λόγω του ότι με την αργή μείωση του ξ , οδηγείται σε τιμές πολύ κοντά ή ακόμα και στο 0.5, το οποίο είναι το ιδανικό στο συγκεκριμένο σενάριο.

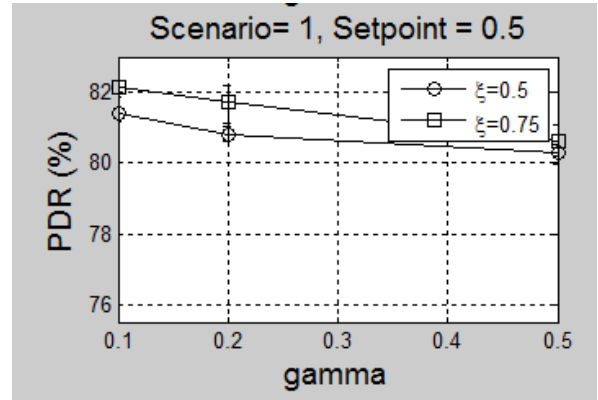
Μια πιο απότομη μείωση παρατηρείται στη περίπτωση του γάμμα $= 0.05$, τόσο στο σενάριο 1 όσο και στο σενάριο 2. Στη περίπτωση αυτή, από τα 20 κιόλας δευτερόλεπτα, το ξ , πέφτει κατά 0.20 από την αρχική του τιμή, ενώ στη συνέχεια πέφτει και παραμένει στο μηδέν. Αυτό όμως οδηγεί δικαιολογημένα σε πτώση του PDR. Στη περίπτωση όπου το γάμμα παίρνει τιμές 0.1 και 0.2 παρατηρείται ξανά η πτώση του PDR, λόγω της απότομης μείωσης των τιμών του ξ στα δύο σενάρια. Μια διαφορετική αντίδραση παρουσιάζεται για γάμμα $= 0.5$, στο σενάριο 2. Αυτή

η μικρή άνοδος, παρουσιάζεται λόγω του ότι κάποιοι κόμβοι καταφέρνουν να πάρουν λίγο μεγαλύτερες τιμές για κάποια δευτερόλεπτα σε σχέση με τη περίπτωση όπου γάμμα είναι ίσο με 0.1 ή 0.2. Το γάμμα = 0.5 επιτρέπει στο ξ , να αυξήσει περισσότερο τη συγκεκριμένη τιμή (των spikes) που παρουσίασαν οι κόμβοι στο γάμμα = 0.1 και 0.2 και αυτό το οδηγεί σε μικρή άνοδο του PDR.

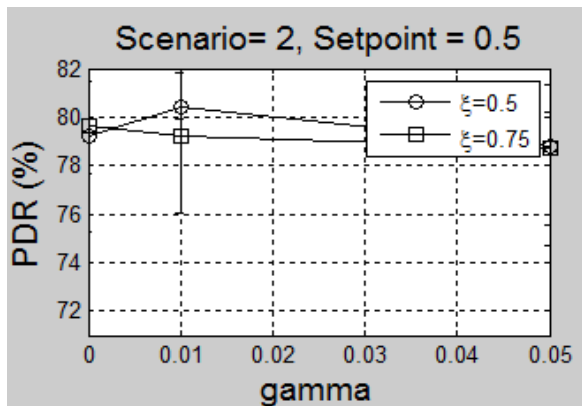
(α)



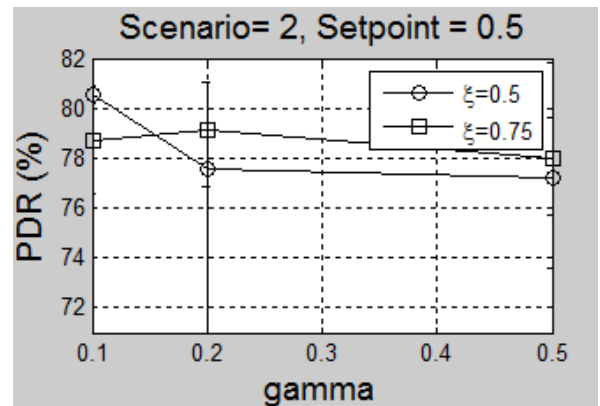
(β)



(γ)



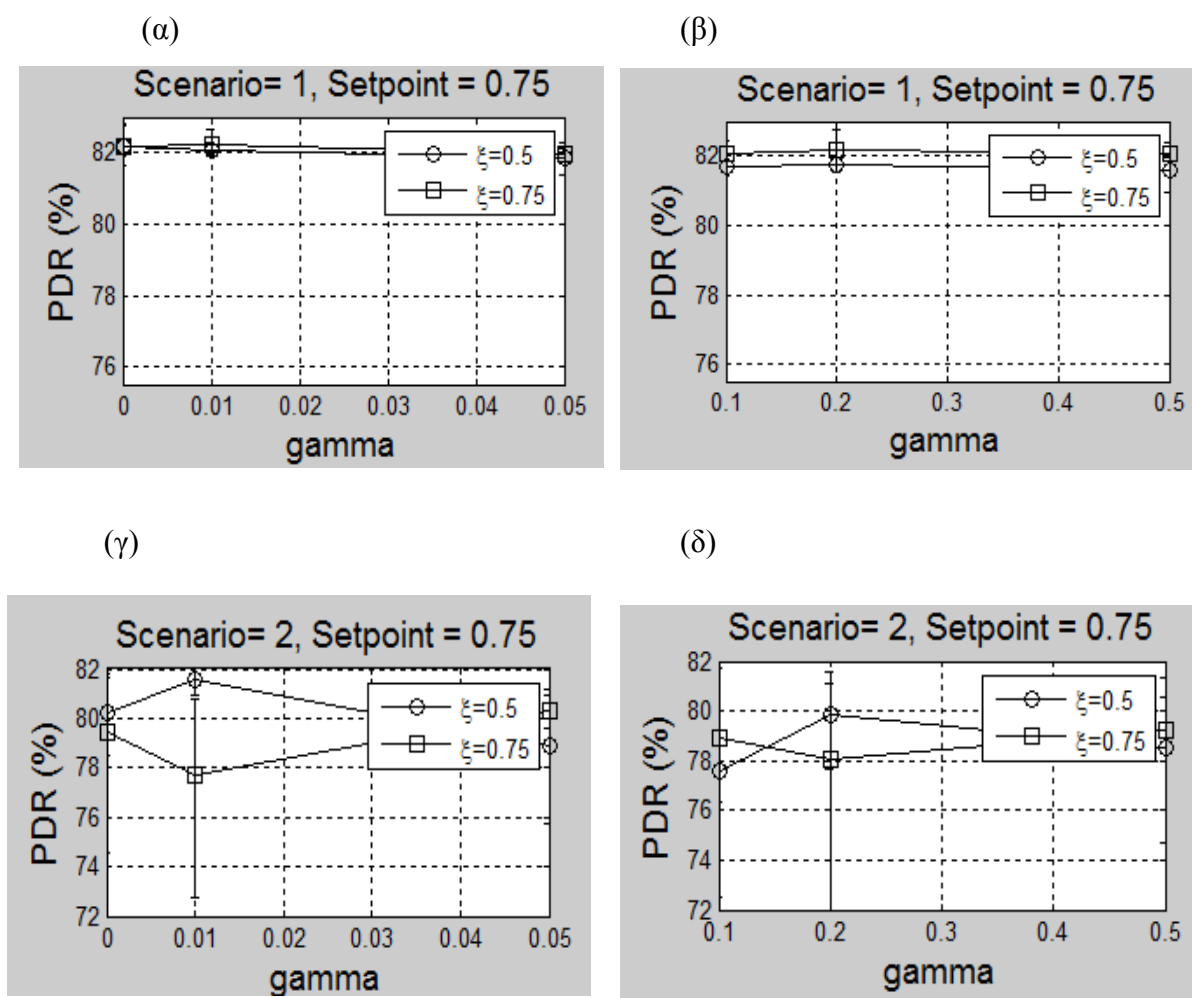
(δ)



Σχήμα 4.4: Οι γραφικές παραστάσεις των δύο σεναρίων για το PDR σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς και επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0.5, της πρώτης εξίσωσης.

Το σχήμα 4.4 εικονογραφεί το PDR σε σχέση με το γάμμα, όσο αφορά τη πρώτη εξίσωση, έχοντας το επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0.5. Η γραφική παράσταση (α) παρουσιάζει τα πρώτα τρία γάμμα (0, 0.01 και 0.05) του σεναρίου 1, ενώ η δεύτερη γραφική παράσταση (β), παρουσιάζονται τα επόμενα τρία γάμμα (0.1, 0.2

και 0.5) του σεναρίου. Αντίστοιχα, εικονογραφούνται τα γάμμα για το σενάριο 2, στις γραφικές παραστάσεις (γ) και (δ). Όπως φαίνεται πιο πάνω, στο σενάριο 1, όσο αυξάνεται το γάμμα, τόσο μειώνεται η απόδοση του PDR. Το ίδιο συμβαίνει και στη περίπτωση του σεναρίου 2, με εξαίρεση τη περίπτωση του γάμμα=0.1 για το $\xi=0.5$ και το γάμμα =0.2 για $\xi=0.75$. Όπως φαίνεται πιο πάνω, η προσαρμοστικότητα βελτιώνει τα αποτελέσματα του default Flock – CC, ιδίως στο σενάριο 2. Καλύτερα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε αυτό το σημείο σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση όπου το επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0. Με την ανάθεση του επιθυμητού σημείου ρύθμισης = 0.5, βοήθησε τους κόμβους του δικτύου να αυξομειώνουν τη τιμή του ξ και παράλληλα να είναι επιθυμητοί. Στη περίπτωση του σεναρίου 1, παρατηρείται μικρή πτώση του PDR μεταξύ του γάμμα=0.01 και γάμμα=0.05, ενώ η ένταση της πτώσης γίνεται πιο μεγάλη, όταν το γάμμα κινηθεί μεταξύ 0.1 και 0.5. Αυτό δικαιολογείται βάση του ότι με την αύξηση του γάμμα, οι τιμές του ξ αυξομειώνονται πιο έντονα. Έτσι καταλήγει σε ακραίες τιμές που όπως αναφέρθηκε πιο πάνω ρίχνουν το ποσοστό του PDR. Στο σενάριο 2, όταν το γάμμα κινηθεί μεταξύ του 0.01 και 0.05, παρατηρείται πτώση στο PDR, λόγω του ότι, όταν το γάμμα παίρνει τιμή 0.01, οι τιμές του ξ ανεβοκατεβαίνουν σε ένα αργό ρυθμό, ενώ αντίθετα στο γάμμα=0.05, παρουσιάζονται πιο έντονες αλλαγές στις αυξομειώσεις, μαζί με ακραίες τιμές που οδηγούν στη πτώση του PDR. Μικρή αύξηση του PDR, παρουσιάζεται στη περίπτωση όπου το γάμμα κινείται από 0.05 σε 0.1, με το ξ να παίρνει αρχική τιμή 0.5. Παρατηρώντας τις τιμές του ξ των κόμβων σε διάφορα μέρη του δικτύου, φαίνεται πως οι κάτω κόμβοι κυμαίνονται γύρω από το φάσμα όπου το $\xi=0.5$ ενώ στη περίπτωση του $\xi=0.75$, οι κάτω κόμβοι αυξάνονται, φτάνοντας ακραίες τιμές όπως το 1. Γενικά το $\xi=0.5$ κρατά σε πιο χαμηλές τιμές το ξ , από ότι το 0.75 σε αρχικό επίπεδο(πριν φτάσει τις ακραίες τιμές). Για αυτό και όταν το γάμμα γίνει 0.2, όπου το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού θα αυξηθεί, σε περίπτωση που το αποτέλεσμα της αφαίρεσης είναι κάτι το αρνητικό, τότε το ξ θα μειωθεί κατά πολύ, μειώνοντας έτσι το PDR.



Σχήμα 4.5: Οι γραφικές παραστάσεις των δύο σεναρίων για το PDR σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς και επιθυμητό σημείο ρύθμισης =0.75, της πρώτης εξίσωσης.

Το σχήμα 4.4 εικονογραφεί το PDR σε σχέση με το γάμμα, όσο αφορά τη πρώτη εξίσωση, έχοντας το επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0.5. Οι γραφικές (α) και (β) αφορούν το σενάριο 1 για όλα τα γάμμα, ενώ οι γραφικές (γ) και (δ), αφορούν το σενάριο 2 για όλα τα γάμμα. Αυτή τη φορά, το γάμμα δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το ποσοστό του PDR. Αντίθετα, μπορεί να υπάρχει μια μικρή επιρροή(πτώση) με την αύξηση του γάμμα, όμως αυτό δεν είναι εμφανές όπως τις προηγούμενες περιπτώσεις. Στο συνδυασμό αυτών των τιμών, όταν το γάμμα είναι ίσο με 0.01, υπάρχει ξανά μια πιο ομαλή προσέγγιση τιμών από ότι στο 0.1. Στο γάμμα=0.1, η τιμή του PDR, δεν έχει μειωθεί όπως τις προηγούμενες περιπτώσεις. Αυτό οφείλεται στο ότι αυξάνοντας το επιθυμητό σημείο ρύθμισης, η τιμή του ξ ,

μειώνεται σε λιγότερες περιπτώσεις από ότι στη περίπτωση που ήταν ίσο με 0 ή 0.5. Έτσι, έχει το πλεονέκτημα να διατηρήσει ένα επίπεδο στη τιμή του ξ , χωρίς πολλές αυξομειώσεις. Ακόμα και στη περίπτωση όπου το $\gamma = 0.1$, υπάρχει απότομη αλλαγή από τους κάτω κόμβους, όμως οι μεσαίοι κόμβοι αλλάζουν την τιμή του ξ πιο ομαλά, ενώ οι πάνω κόμβοι διατηρούν τιμές κοντά στο 0.75 που είναι το ιδανικό βάση του εγγράφου [2].

Στο σενάριο 2, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5 (α), η προσαρμοστικότητα, βοηθά στην αύξηση του PDR. Στη περίπτωση του $\gamma = 0.01$ υπάρχει ομαλή αυξομείωση με κύρια επικράτηση τις τιμές γύρω στο 0.5, όταν το $\xi = 0.5$, το οποίο είναι το ιδανικό στο σενάριο 2. Έτσι παρατηρείται αύξηση του PDR, σε αντίθεση με το $\xi = 0.75$ το οποίο δείχνει να μειώνεται σημαντικά λόγω του ότι το ξ παίρνει τιμές κοντά στο 0.75. Στο $\gamma = 0.05$ αρχίζει να μειώνεται η τιμή του PDR, λόγω των πιο απότομων και ακραίων τιμών του ξ με μικρή άνοδο στη περίπτωση του $\gamma = 0.2$ και $\xi = 0.5$, στο οποίο οι μέσοι κόμβοι κυμαίνονται σε τιμές κοντά στο 0.5.

Σαν γενικά συμπεράσματα της πιο πάνω εξίσωσης, φάνηκε πως θέτοντας το επιθυμητό σημείο ρύθμισης ίσο με μηδέν, λόγω της συχνής μείωσης του ξ , τα αποτελέσματα δεν είναι τόσο αποδοτικά, τόσο για το σενάριο 1 όσο και για το σενάριο 2. Όταν το $\xi = 0.75$, τα αποτελέσματα είναι λίγο καλύτερα σε αυτή τη περίπτωση λόγω του ότι η μείωση του ξ , μέχρι τα 100 δευτερόλεπτα που θα σταματήσει το simulation, δεν θα φτάσει να μειωθεί τόσο, όσο όταν το $\xi = 0.5$. Σε περίπτωση που οι γείτονες κόμβοι δεν είναι καθόλου επιθυμητοί (δηλαδή αν η υπολογιζόμενη επιθυμητότητα είναι μικρότερη του 0), τότε και μόνο το ξ μπορεί να αυξηθεί. Σταθεροποίηση του ξ , μπορεί να συμβεί μόνο όταν η υπολογιζόμενη επιθυμητότητα είναι ίση με μηδέν.

Στη δεύτερη περίπτωση, όπου το επιθυμητό σημείο ρύθμισης ίσο με 0.5, δίνεται η ευκαιρία στο ξ , να αυξομειωθεί, δίνοντας μας έτσι καλύτερα αποτελέσματα από πριν. Το φαινόμενο της μείωσης του PDR, όσο αυξάνεται το γ , συνεχίζει να ισχύει με εξαίρεση κάποιες περιπτώσεις όπου δίνει ώθηση στο ξ , να ανεβάσει λίγο περισσότερο τη τιμή του spike, αυξάνοντας λίγο το PDR. Θέτοντας το επιθυμητό

σημείο ρύθμισης ίσο με 0.5, οι περιπτώσεις μείωσης του ξ , είναι λιγότερες. Αν δηλαδή οι γείτονες είναι πολύ επιθυμητοί (έστω υπολογιζόμενη επιθυμητότητα=1 ή κάτι μεγαλύτερο από 0.5), τότε το ξ θα μειωθεί, λόγω της αφαίρεσης στη παρένθεση που θα δώσει αρνητική τιμή. Έτσι οδηγούμαστε σε μια κατάσταση συνεκτική, όπου δηλαδή, τα πακέτα προωθούνται μόνο προς κόμβους που υπάρχουν μπροστά τους, γεμίζοντας έτσι τις ουρές τους και παρουσιάζοντας συμφόρηση στα δημοφιλή και κοντινότερα μονοπάτια προς το sink, αφήνοντας, αναξιοποίητα κάποια μονοπάτια, ενώ η έλξη από τους αδρανείς κόμβους που πιθανώς να είναι διαθέσιμοι, θα είναι μικρή. Αν η υπολογιζόμενη επιθυμητότητα δώσει αποτέλεσμα 0.5, (άρα οι γείτονες είναι επιθυμητοί), τότε το ξ θα παραμείνει σταθερό. Σε αντίθετη περίπτωση όπου οι γείτονες δεν είναι επιθυμητοί, τότε το ξ θα αυξηθεί, λόγω του ότι το αποτέλεσμα από την παρένθεση θα είναι κάτι το θετικό και έτσι θα οδηγήσει στην αύξησή του. Έτσι θα οδηγηθεί σε εξερεύνηση νέων μονοπατιών για προώθηση των πακέτων. Το ποσοστό της αύξησης θα είναι ανάλογο με το γάμμα. Όσο μεγαλύτερο είναι το γάμμα, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η αύξηση του ξ .

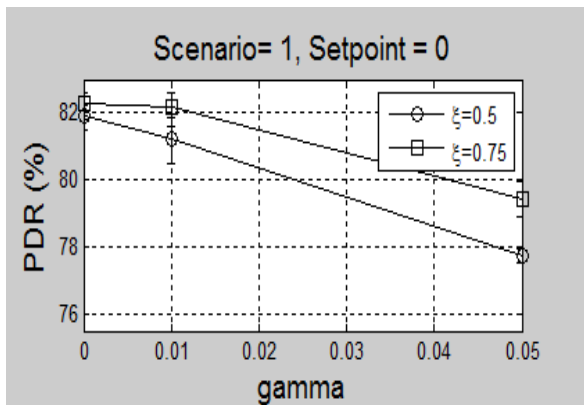
Στη τρίτη περίπτωση όπου το επιθυμητό σημείο ρύθμισης ίσο με 0.75, οι περιπτώσεις μείωσης του ξ , είναι ακόμα λιγότερες. Σε περίπτωση που οι γείτονες είναι πολύ επιθυμητοί (έστω υπολογιζόμενη επιθυμητότητα=1 ή κάτι μεγαλύτερο από 0.75), τότε το ξ θα μειωθεί, λόγω της αφαίρεσης στη παρένθεση που θα δώσει αρνητική τιμή. Με αυτό τον τρόπο οδηγείται το δίκτυο σε μια κατάσταση συνεκτική, δημιουργώντας τα προβλήματα που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Αν η υπολογιζόμενη επιθυμητότητα δώσει αποτέλεσμα 0.75, (άρα οι γείτονες είναι αρκετά επιθυμητοί), τότε το ξ θα παραμείνει σταθερό. Σε αντίθετη περίπτωση όπου οι γείτονες δεν είναι τόσο επιθυμητοί (κάτι μικρότερο από 0.75), τότε το ξ θα αυξηθεί, λόγω του ότι το αποτέλεσμα από την παρένθεση θα είναι κάτι το θετικό και έτσι θα οδηγήσει στην αύξησή του. Έτσι θα οδηγηθεί σε εξερεύνηση νέων μονοπατιών για προώθηση των πακέτων. Τα προβλήματα που μπορεί να προκαλέσει κάτι τέτοιο, αναφέρονται πιο πάνω. Το ποσοστό της αύξησης θα είναι ανάλογο με το γάμμα. Αν το γάμμα είναι μεγάλο, τότε το ξ θα αυξηθεί περισσότερο.

Η δεύτερη εξίσωση για υπολογισμό του ξ , με όλους τους συνδυασμούς που εφαρμόστηκαν σε αρχικό στάδιο, είναι η εξής:

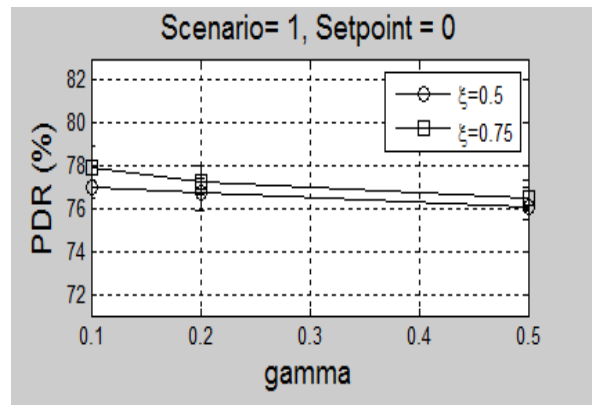
$$\xi_{\text{νέο}} = \xi_{\text{παλιό}} + \gamma * (\text{επιθυμητό σημείο ρύθμισης} - ((\text{Βάρος}_1 * \text{επιθυμητότητα_κόμβου}) + (\text{Βάρος}_2 * \text{επιθυμητότητα_γειτωνικών_κόμβων})) / 2)$$

Η εξίσωση αυτή υλοποιήθηκε με τα εξής βάρη: (α) Βάρος1 = 1, Βάρος2 = 0 και (β) Βάρος1 = 0.6, Βάρος2 = 0.4.

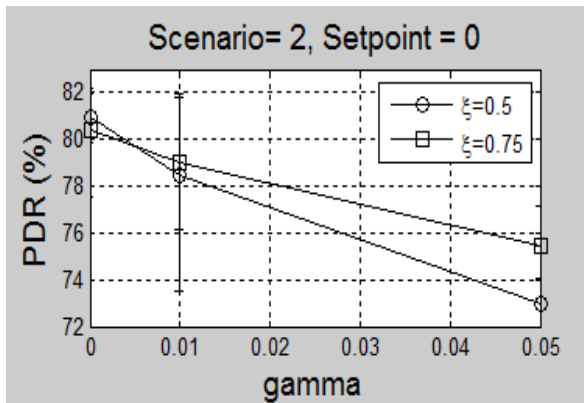
(α)



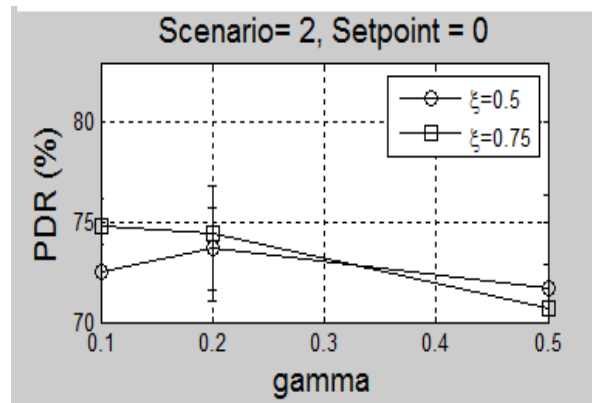
(β)



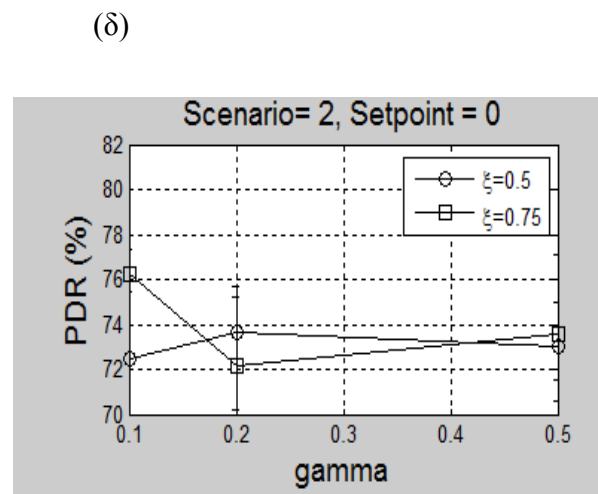
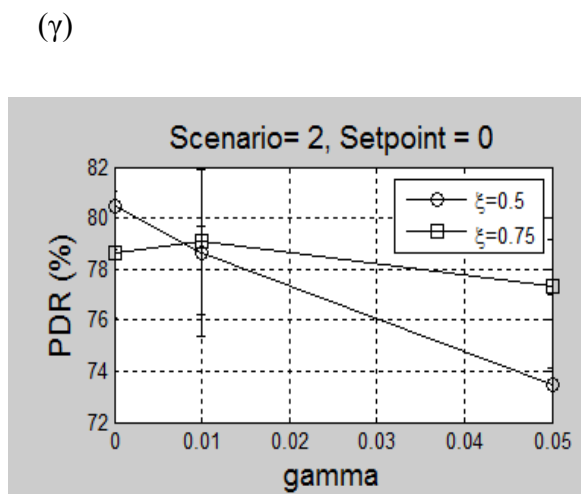
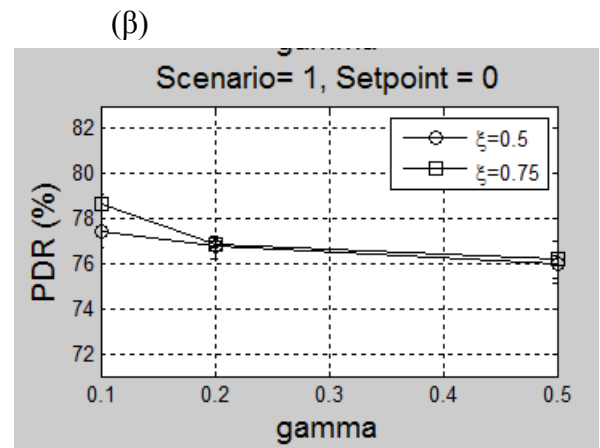
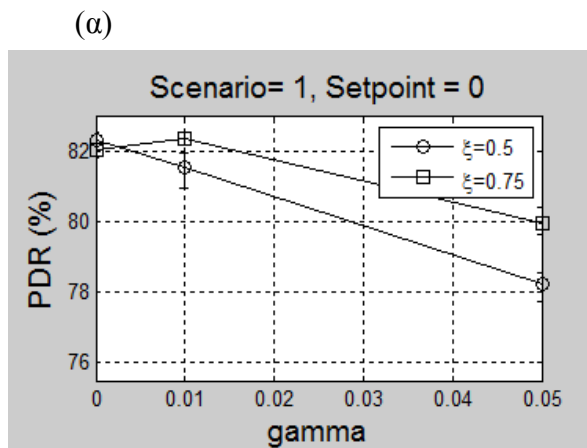
(γ)



(δ)



Σχήμα 4.6: Οι γραφικές παραστάσεις των δύο σεναρίων για το PDR σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς και επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0, της δεύτερης εξίσωσης, για τα βάρη: Βάρος1=1 και Βάρος2=0.



Σχήμα 4.7: Οι γραφικές παραστάσεις των δύο σεναρίων για το PDR σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς και επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0, της δεύτερης εξίσωσης, για τα βάρη: Βάρος1=0.6 και Βάρος2=0.4.

Στα πιο πάνω σχήματα, φαίνεται το PDR σε σχέση με το γάμμα για την δεύτερη εξίσωση υπό μελέτη για τον υπολογισμό του ξ . Το επιθυμητό σημείο ρύθμισης είναι μηδέν, ενώ το Βάρος1=1 και Βάρος2=0, για το Σχήμα 4.6. Αντίστοιχα, για το Σχήμα 4.7 τα βάρη έχουν ως εξής: Βάρος1=0.6 και Βάρος2=0.4. Σε κάθε σχήμα, η γραφική παράσταση (α) παρουσιάζει τα πρώτα τρία γάμμα (0, 0.01 και 0.05) του σεναρίου 1, ενώ η δεύτερη γραφική παράσταση (β), παρουσιάζονται τα επόμενα τρία γάμμα (0.1, 0.2 και 0.5) του σεναρίου. Αντίστοιχα, εικονογραφούνται τα γάμμα για το σενάριο 2, στις γραφικές παραστάσεις (γ) και (δ). Όπως φαίνεται πιο πάνω, ισχύει, ιδιαίτερα στο σενάριο 1 (Σχήμα 4.6 (α),

Σχήμα 4.6 (β), Σχήμα 4.7 (α), Σχήμα 4.7 (β)), το γεγονός ότι όσο αυξάνεται το γάμμα, τόσο μειώνεται το PDR.

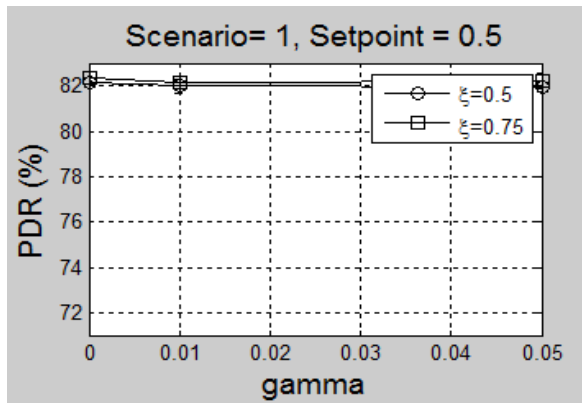
Με βάση το Σχήμα 4.6 (α) και Σχήμα 4.7 (α), απότομη μείωση παρατηρείται όταν το γάμμα πάρει τιμή ίση με 0.05. Από το σημείο αυτό και μετά παρατηρείται πτώση της τιμής του PDR. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι το ξ με τη συνεχή μείωση του φτάνει στο σημείο που παίρνει την ακραία τιμή του 0. Με την αύξηση του γάμμα, η πτώση αυτή γίνεται ακόμα πιο έντονη, λόγω της συντομότερης κατάληξης στη τιμή του 0.

Το ίδιο συμβαίνει και στο σενάριο 2, με τις δύο περιπτώσεις βαρών (Σχήμα 4.6 (γ) και (δ)). Περισσότερη μείωση του PDR παρατηρείται στα σενάρια, όταν το γάμμα πάρει τιμές μεγαλύτερες του 0.05. Η πτώση αυτή, δικαιολογείται βάση της απότομης μείωσης των τιμών του ξ , καταλήγοντας έτσι σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα στην ακραία και μη αποδοτική τιμή του 0. Η συγκεκριμένη τιμή, οδηγεί σε γέμισμα των ουρών στους κόμβους που βρίσκονται μπροστά, με αποτέλεσμα τη μείωση του PDR.

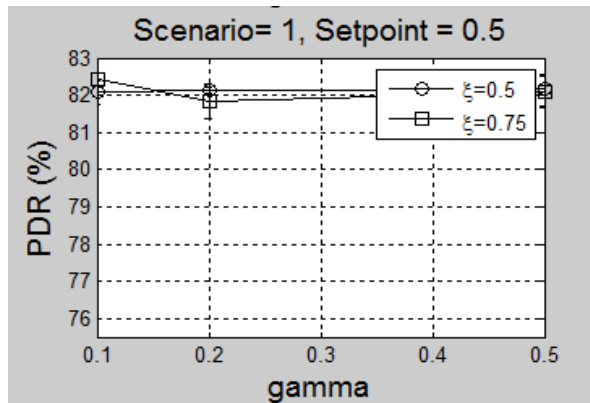
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.7 (γ), η προσαρμοστικότητα του ξ , δεν παρουσίασε καλύτερα αποτελέσματα. Επιλέγοντας για γάμμα τη τιμή του 0.01, το PDR, παραμένει ουδέτερο ως προς την αρχική τιμή του ξ . Αυτό που συμβαίνει στη προκειμένη περίπτωση είναι πως, θέτοντας αρχική τιμή του $\xi=0.5$, παρουσιάζεται μια αργή πτώση του ξ που όμως λόγω του μικρού γάμμα, αργεί να φανεί μια αισθητή διαφορά. Έτσι το PDR, δεν πέφτει πολύ. Αντίστοιχα, με την ανάθεση του $\xi=0.75$ σαν αρχική τιμή φαίνεται να μειώνεται η τιμή του ξ , όμως και πάλι με αργό ρυθμό. Έτσι το ξ , δεν φτάνει σε ένα επιθυμητό σημείο για να μπορέσει να δείξει ότι η προσαρμοστικότητα βοήθησε. Από το γάμμα $=0.05$, φαίνεται μια αισθητή πτώση στο PDR, όσο αφορά το $\xi=0.5$ σαν αρχική τιμή. Ο λόγος είναι οι ακραίες τιμές που οδηγείται το ξ , οι οποίες δεν βοηθούν το δίκτυο να βελτιωθεί. Αντίθετα, ακόμα και σε κόμβους που περιέχουν ένα καλό desirability, η τιμή του ξ μειώνεται λόγω του ότι το επιθυμητό σημείο ρύθμισης τέθηκε ίσο με μηδέν. Έχοντας το ξ αρχικό ίσο με 0.75, σε ένα μεγαλύτερο γάμμα από ότι το 0.01, τα πράγματα γίνονται καλύτερα λόγω του έχει την ευκαιρία να μειωθεί και να φτάσει το ιδανικό για το σενάριο $\xi=0.5$, κάτι που βοηθά στο PDR. Αντίθετα, έχοντας το

$\xi=0.5$, πλησιάζει όλο και πιο γρήγορα στη μη αποδοτική τιμή του 0, με αποτέλεσμα το γέμισμα των ουρών και κατά συνέπεια το χάσιμο πακέτων.

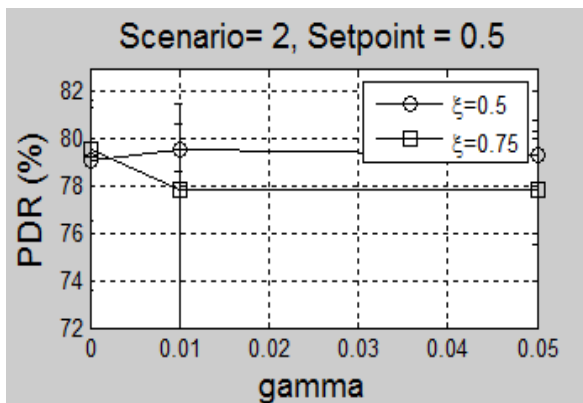
(α)



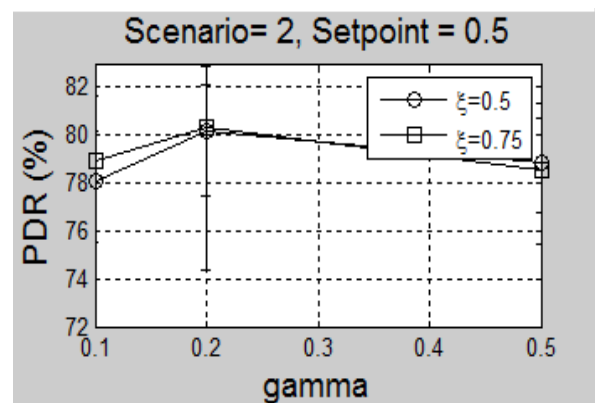
(β)



(γ)

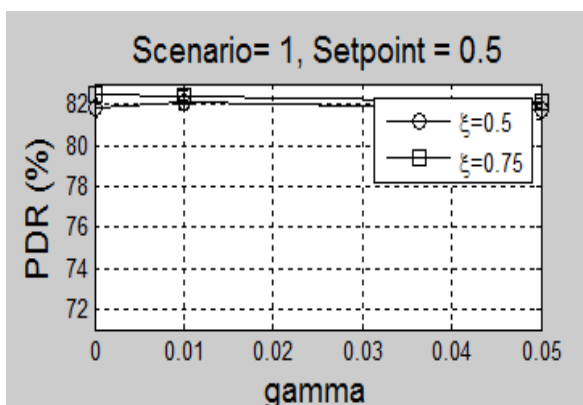


(δ)

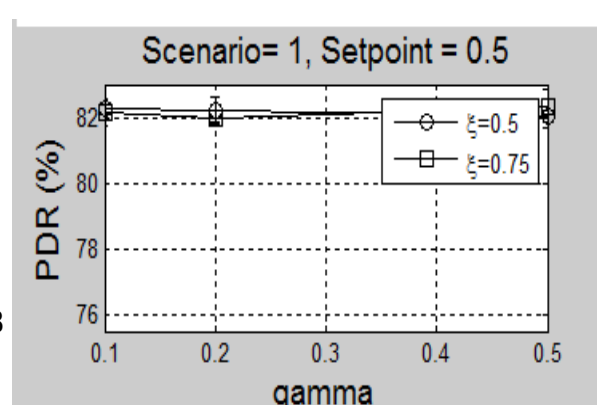


Σχήμα 4.8: Οι γραφικές παραστάσεις των δύο σεναρίων για το PDR σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς και επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0.5, της δεύτερης εξίσωσης, για τα βάρη: Βάρος1=1 και Βάρος2=0.

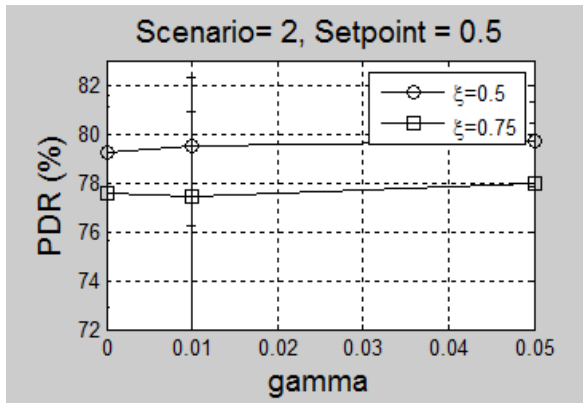
(α)



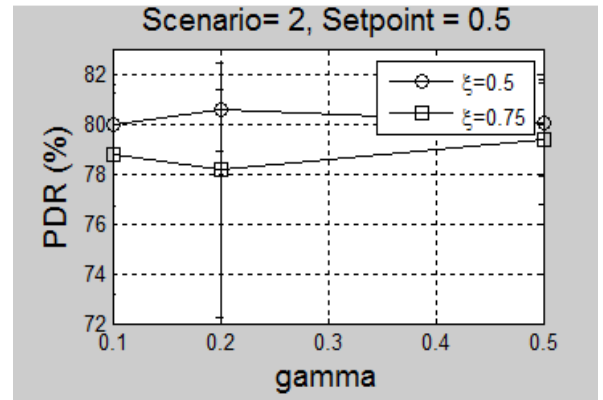
(β)



(γ)



(δ)



Σχήμα 4.9: Οι γραφικές παραστάσεις των δύο σεναρίων για το PDR σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς και επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0.5, της δεύτερης εξίσωσης, για τα βάρη: Βάρος1=0.6 και Βάρος2=0.4.

Στο σχήμα 4.8 (α) και (β) φαίνονται τα αποτελέσματα του σεναρίου ένα, για το επιθυμητό σημείο ρύθμισης σε 0.5. Όπως μπορεί να φανεί από τις γραφικές παραστάσεις, το γάμμα δεν μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα του PDR. Στη πρώτη περίπτωση (Σχήμα 4.8 (α) και (β)), συμβαίνει λόγω του ότι η υπολογιζόμενη επιθυμητότητα που λαμβάνεται υπόψη είναι μόνο του εαυτού του. Η συγκεκριμένη παράμετρος, παραμένει σχεδόν στις ίδιες τιμές, δείχνοντας την επιθυμητότητα του κόμβου. Συγκεκριμένα, με την βοήθεια της προσαρμοστικότητας, το γέμισμα των ουρών μειώθηκε κατά πολύ, με αποτέλεσμα στις οι ουρές να υπάρχουν πολύ λιγότερα πακέτα από ότι στο default Flock – CC. Αποτέλεσμα της συγκεκριμένης παρατήρησης είναι το γεγονός ότι το ξ , παραμένει σταθερό, λόγω του ότι η αφαίρεση από την παρένθεση υπολογισμού του ξ , βγαίνει η ίδια τιμή. Δηλαδή, έχοντας υπολογίσει την επιθυμητότητα του κόμβου και λαμβάνοντας υπόψη μόνο την επιθυμητότητα του εαυτού του, ο κόμβος θα έχει αποτέλεσμα μέσου όρου το 0.5. Έτσι το αποτέλεσμα θα είναι ίσο με 0 και κατά συνέπεια, το ξ θα παραμένει σταθερό.

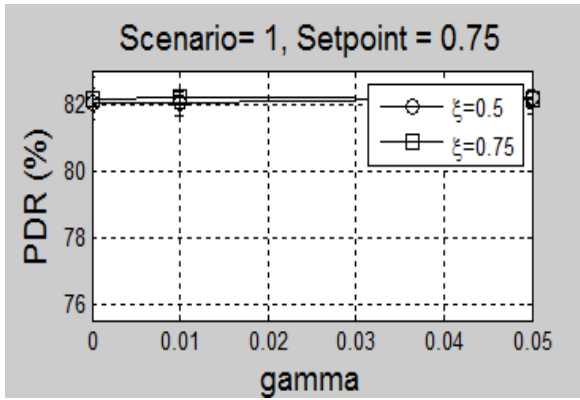
Στο σχήμα 4.9 (α) και (β), πάλι οι τιμές παραμένουν σε κοντινά επίπεδα χωρίς να επηρεάζεται από τις τιμές του γάμμα. Όπως και πριν, έτσι και σε αυτή τη περίπτωση, λόγω του ότι μειώθηκαν κατά πολύ οι αναμεταδώσεις και το γέμισμα

της ουράς, η επιθυμητότητα του κάθε κόμβου παραμένει σε ψηλά επίπεδα, με αποτέλεσμα το ψηλό ποσοστό του PDR.

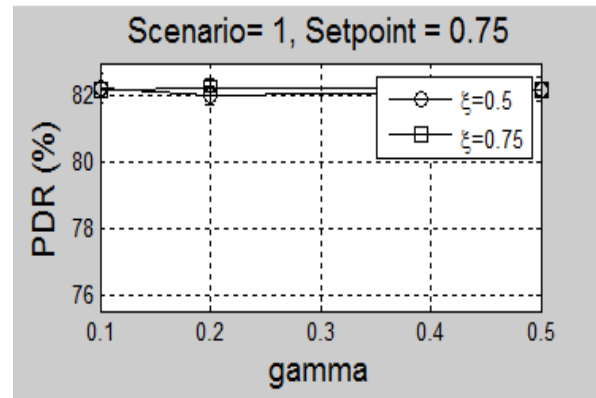
Όσο αφορά το σενάριο 2, στο σχήμα 4.8 (γ) και (δ), παρατηρείται περίπου ίδια αντιμετώπιση ως προς τις δύο αρχικές τιμές του ξ , εξαίρεση τα μικρότερα γάμμα. Κάτι τέτοιο συμβαίνει λόγω του επιθυμητού σημείου ρύθμισης που είναι 0.5, σε συνδυασμό με την επιθυμητότητα του κόμβου, η οποία με το συγκεκριμένο φόρτο που έχει δοθεί στο δίκτυο, κυμαίνεται στο 0.5. Οι τιμές επιθυμητότητας, κυμαίνονται στα συγκεκριμένα πλαίσια για το λόγο ότι τα γεμίσματα των ουρών παρουσιάζονται πολύ πιο αραιά, από στο default Flock-CC. Κατ' επέκταση, η τιμή του ξ παραμένει σε σχεδόν ίδια επίπεδα, αφού της αφαίρεσης στη παρένθεση θα βγει μηδέν και με αποτέλεσμα, το γάμμα να μην επηρεάζει τόσο πολύ στην απόδοση του δικτύου. Στη περίπτωση όπου το ξ έχει αρχική τιμή το 0.75, σε συνδυασμό με ένα μικρό γάμμα, παρατηρείται πτώση του PDR και αυτό είναι επόμενο αφού οι τιμές του ξ θα παραμένουν κοντά στο 0.75 (το γάμμα δεν του επιτρέπει να αυξομειωθεί πολύ), το οποίο δεν είναι αποδοτικό για το συγκεκριμένο σενάριο. Μια μικρή άνοδος υπάρχει για το PDR, όταν το γάμμα αυξηθεί και πάρει ως αρχική τιμή το $\xi=0.75$. Η συγκεκριμένη αντίδραση συμβαίνει λόγω των περισσότερων αυξομειώσεων που επιτρέπει να υπάρξουν.

Στο σχήμα 4.9 (γ) και (δ), φαίνεται πως το γάμμα δεν επηρεάζει τις τιμές του PDR. Κάτι τέτοιο συμβαίνει λόγω της επίδρασης που υπάρχει από την επιθυμητότητα του εαυτού του κόμβου, η οποία παραμένει σε αρκετά ψηλά (λόγω της μείωσης των χαμένων πακέτων) επίπεδα τις περισσότερες φορές, κρατώντας ένα μικρότερο ανεβοκατέβασμα τιμών. Το $\xi=0.5$ παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα λόγω του ότι όπως έχει αποδειχθεί και στο έγγραφο [2], έχοντας το $\xi=0.5$ σε μια τέτοια τοπολογία βοηθά στην καλύτερη απόδοσή του.

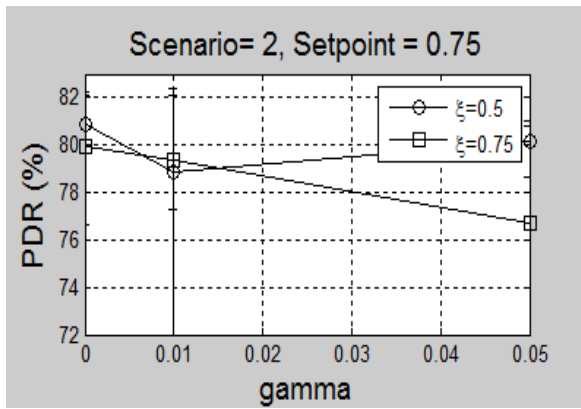
(α)



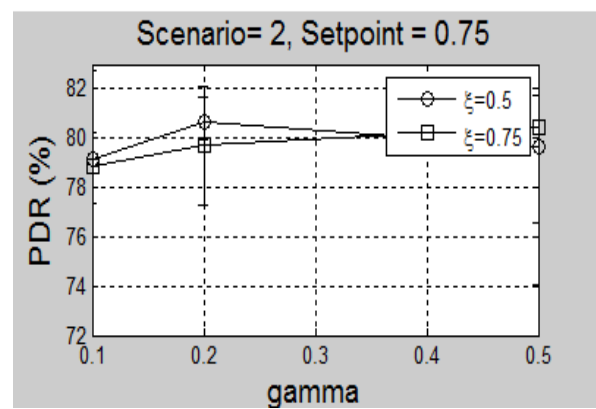
(β)



(γ)

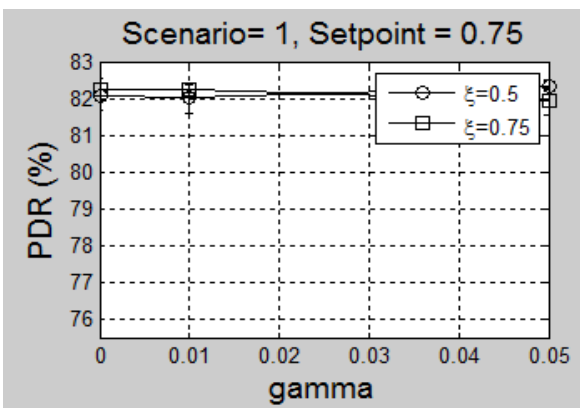


(δ)

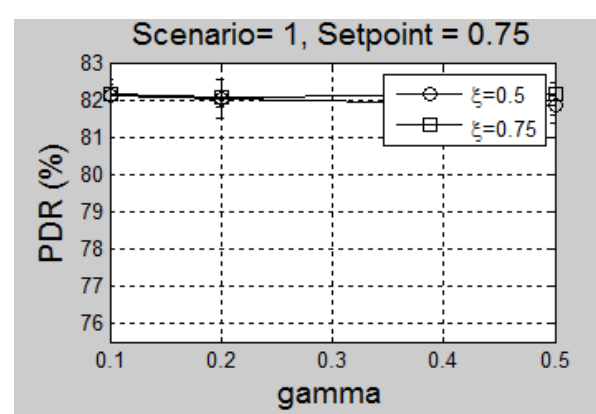


Σχήμα 4.10: Οι γραφικές παραστάσεις των δύο σεναρίων για το PDR σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς και επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0.75, της δεύτερης εξίσωσης, για τα βάρη: Βάρος1=1 και Βάρος2=0.

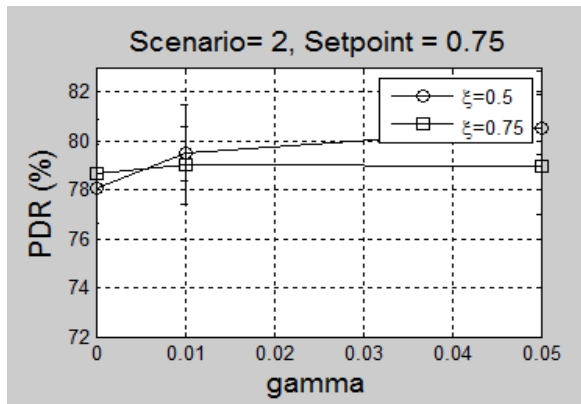
(α)



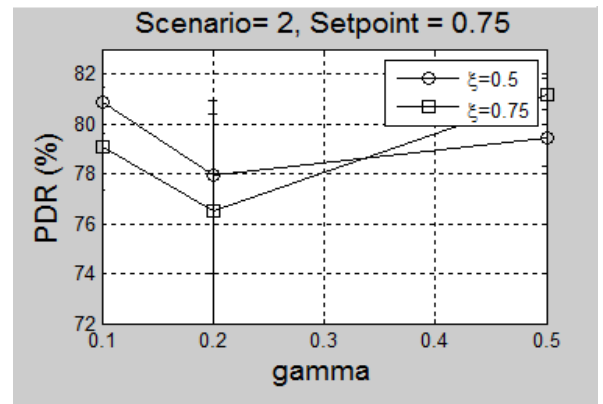
(β)



(γ)



(δ)



Σχήμα 4.11: Οι γραφικές παραστάσεις των δύο σεναρίων για το PDR σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς και επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0.75, της δεύτερης εξίσωσης, για τα βάρη: Βάρος1=0.6 και Βάρος2=0.4

Στο σχήμα 4.10 (α) και (β) φαίνονται τα αποτελέσματα του σεναρίου ένα, για το επιθυμητό σημείο ρύθμισης σε 0.75. Όπως μπορεί να φανεί από τις γραφικές παραστάσεις, το γάμμα δεν μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα του PDR. Κάτι τέτοιο, συμβαίνει λόγω του ότι η υπολογιζόμενη επιθυμητότητα που λαμβάνεται υπόψη είναι μόνο του εαυτού του και το επιθυμητό σημείο ρύθμισης είναι ψηλό. Η υπολογιζόμενη επιθυμητότητα, παραμένει σχεδόν στις ίδιες τιμές, δείχνοντας την επιθυμητότητα του κόμβου. Συγκεκριμένα, με την βοήθεια της προσαρμοστικότητας, το χάσιμο πακέτων μειώθηκε κατά πολύ, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η τιμή του PDR. Με την αύξηση της τιμής του επιθυμητού σημείου ρύθμισης, επιτυγχάνεται η αυξομείωση των τιμών του ξ και παράλληλα δίνεται η ένδειξη ότι ο κόμβος είναι επιθυμητός.

Στο σχήμα 4.11 (α) και (β), εικονογραφούνται οι γραφικές παραστάσεις των δύο σεναρίων για το PDR σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς και επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0.75, της δεύτερης εξίσωσης, για τα βάρη: Βάρος1=0.6 και Βάρος2=0.4. Το επιθυμητό σημείο ρύθμισης, αυτή τη φορά τέθηκε πιο ψηλά από πριν (ήταν 0 ή 0.5). Όπως όμως φάνηκε από το σημείο ρύθμισης σε

0.5, οι κόμβοι μπορούσαν να αυξομειώνουν το ξ , αλλά παράλληλα να θέτονται ως επιθυμητοί. Με την μείωση των αναμεταδόσεων στο κανάλι, έχει επιτευχθεί ένα ψηλότερο PDR.

Στο σενάριο 2, του σχήματος 4.10(γ) παρατηρείται πτώση των αποτελεσμάτων, με ένα μικρό γάμμα. Με τον συνδυασμό αυτό, οι τιμές που λαμβάνει το ξ φαίνεται να μην βοηθούν το συγκεκριμένο σενάριο με ένα ψηλό επιθυμητό σημείο ρύθμισης. Με ένα όμως μεγαλύτερο γάμμα, με το οποίο το ξ μπορεί να κινηθεί σε ένα μεγαλύτερο φάσμα τιμών, βοηθά αύξηση του PDR. Επίσης, έχοντας το συνδυασμός του $\xi=0.75$, με ένα μεγαλύτερο γάμμα, προκαλείται η αύξηση του ξ , οδηγεί στο άνοιγμα του κοπαδιού, αυξάνοντας έτσι τα χαμένα πακέτα, το οποίο οδηγεί σε χαμηλότερο PDR από ότι στη περίπτωση του $\xi=0.5$.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.11 (γ) και (δ), σε αρχικά στάδια του γάμμα, δεν φαίνεται να επηρεάζει το PDR. Μια απότομη μείωση παρουσιάζεται όταν το γάμμα = 0.2. Η συγκεκριμένη συμπεριφορά βασίζεται στο ότι έχοντας το γάμμα=0.2, το ξ αυξομειώνεται λιγότερο από ότι όταν το γάμμα=0.5, το οποίο βοηθά στο να δώσει ώθηση στην αρχή του σεναρίου για να ανακαλύψει νέα μονοπάτια. Έτσι, το γάμμα=0.2 παρουσιάζει μικρότερο PDR από ότι το γάμμα=0.5.

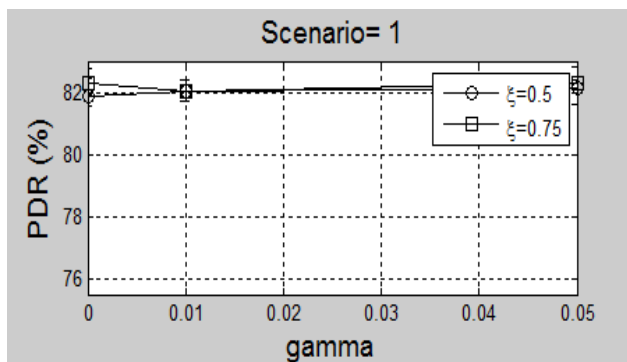
Σαν γενικά συμπεράσματα της πιο πάνω εξίσωσης, έχοντας το επιθυμητό σημείο ρύθμισης ίσο με 0, παρατηρείται όπως και πριν (πρώτη εξίσωση) πτώση του PDR, ιδιαίτερα, καθώς αυξάνεται το γάμμα. Το ίδιο συνέβηκε και στα δύο ζεύγη βαρών που δοκιμάστηκαν. Έχοντας το επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0, οι τιμές του ξ παρουσιάζουν συνεχή σχεδόν πτώση και στις δύο προσεγγίσεις βαρών. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο, λόγω του χαμηλού επιθυμητού σημείου ρύθμισης το οποίο οδηγεί σε αρνητικές τιμές μέσα από το αποτέλεσμα της παρένθεσης και κατά συνέπεια μείωση στο ξ . Αυξομειώσεις παρουσιάζονται όταν το επιθυμητό σημείο ρύθμισης αυξηθεί σε 0.5 ή 0.75. Οι αλλαγές στη τιμή του ξ , είναι μεγαλύτερες στη περίπτωση όπου τα βάρη λάμβαναν υπόψη και την επιθυμητότητα των γειτόνων. Επίσης, έχοντας το επιθυμητό σημείο ρύθμισης στο 0.5, οι αυξομειώσεις, ιδίως στα βάρη Βάρος1= 1 και Βάρος2=0, δεν ήταν μεγάλες, λόγω της επιθυμητότητας των κόμβων(οι οποίες ακόμα και αν ήταν 1 η επιθυμητότητα του κόμβου, η

υπολογιζόμενη επιθυμητότητα, ήταν 0.5) με αποτέλεσμα τη τιμή 0 ή κάτι πολύ κοντινό, μέσα από την πράξη της παρένθεσης. Με την αύξηση του επιθυμητού σημείου ρύθμισης και ιδίως όταν τα βάρη είχαν τις τιμές Βάρος1= 0.6 και Βάρος2=0.4, δινόταν στο ξ , η ευκαιρία αυξομείωσης ακόμη περισσότερο. Έχοντας τα βάρη: Βάρος1= 1 και Βάρος2=0 και επιθυμητό σημείο ρύθμισης 0.5, σε περίπτωση που οι κόμβοι ήταν πολύ επιθυμητοί(είχαν επιθυμητότητα=1, άρα υπολογιζόμενη επιθυμητότητα 0.5), το ξ παράμενε σταθερό, λόγω της πράξης από την παρένθεση που ήταν 0. Σε περίπτωση που οι κόμβοι δεν ήταν επιθυμητοί, το ξ αυξανόταν λόγω του θετικού αποτελέσματος της παρένθεσης. Έχοντας τα βάρη Βάρος1= 0.6 και Βάρος2=0.4 όταν το επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0.5, τότε το ξ αυξάνεται όταν οι κόμβοι δεν είναι επιθυμητοί και άρα το αποτέλεσμα από τις επιθυμητότητες είναι μικρότερο του 0.5, παραμένει σταθερό όταν είναι επιθυμητοί, αφού το αποτέλεσμα θα βγει ίσο με 0.5.

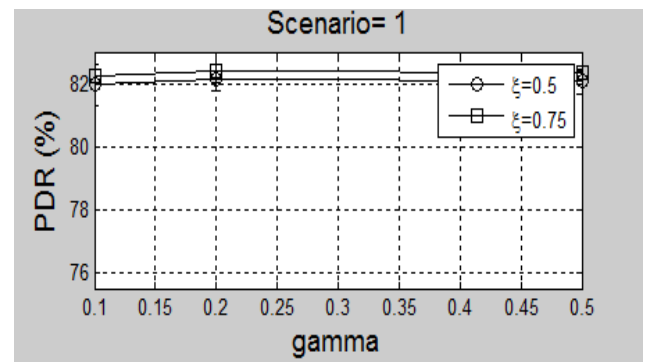
Στο σημείο αυτό, φαίνονται τα αποτελέσματα της τρίτης εξίσωσης:

$$\xi_{\text{νέο}} = \xi_{\text{παλιό}} + \gamma * (\text{μέσος_όρος_επιθυμητότητας} (kT) - \text{μέσος_όρος_επιθυμητότητας} ((k-1) T)).$$

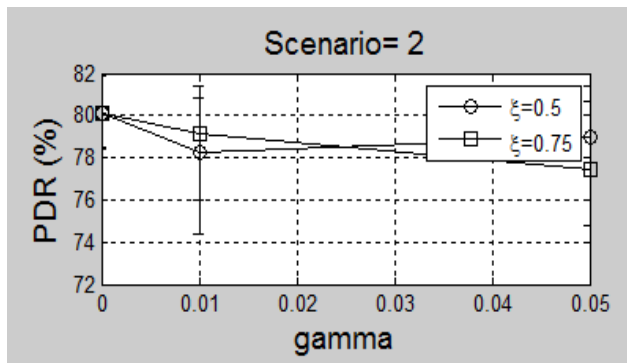
(α)



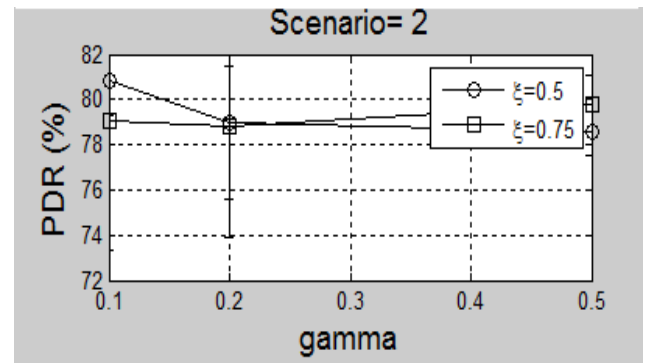
(β)



(γ)



(δ)



Σχήμα 4.15: Οι γραφικές παραστάσεις των δύο σεναρίων για το PDR σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς της τρίτης εξίσωσης.

Στις πιο πάνω γραφικές φαίνονται τα αποτελέσματα για τα δύο σενάρια, με βάση την τρίτη εξίσωση που έχει προταθεί. Στη συγκεκριμένη εξίσωση έχουν δοκιμαστεί έξι γάμμα και δύο αρχικές τιμές για το ξ . Όπως μπορεί να φανεί από πιο πάνω, στο σενάριο 1 (Σχήμα 4.15 (α) και (β)) η μετρική PDR δεν φαίνεται να επηρεάζεται τόσο με τη τιμή του γάμμα. Κάτι τέτοιο όμως δεν ισχύει στο δεύτερο σενάριο, όπου τα πράγματα αλλάζουν πολύ. Η επιτυχία ενός μεγάλου ποσοστού στο σενάριο 1, βρίσκεται στο γεγονός ότι με την συγκεκριμένη εξίσωση, το γάμμα δεν συμβάλει τόσο την αύξηση του ξ , με αποτέλεσμα τις ακραίες τιμές. Αντίθετα, ένα μεγαλύτερο γάμμα, δίνει την ευκαιρία στους κόμβους να αυξομειώσουν το ξ τους έτσι ώστε να το φέρουν σε τιμές που να εξυπηρετούν στην καλύτερη λειτουργία του κοπαδιού. Με ένα μικρό γάμμα, οι τιμές του ξ δεν μπορούν να έχουν μεγάλη αύξηση, με αποτέλεσμα, να παραμένουν σε πολύ κοντινές τιμές με τις αρχικές. Με ένα μεγαλύτερο όμως γάμμα, οι τιμές του ξ , μπορούν να αυξομειωθούν αν χρειάζεται. Διατηρούν και πάλι όμως, τιμές κοντά στις αρχικές, αποφεύγοντας έτσι τις ακραίες τιμές και κατά συνέπεια τη πτώση του PDR.

Στο σενάριο 2 της συγκεκριμένης εξίσωσης, τα πράγματα αλλάζουν. Όπως φαίνεται τα μικρά γάμμα δεν βοηθούν στη βελτίωση της κατάστασης του δικτύου, αφού παραμένουν σε σχεδόν ίδιες τιμές ως προς το ξ . μεγαλύτερες όμως τιμές του γάμμα, φαίνεται να βοηθούν στη βελτίωση του δικτύου. Συγκεκριμένα, έχοντας για αρχική

τιμή το 0.5 και γάμμα =0.1, το ξ , μπορεί να αυξομειωθεί με μεγαλύτερη άνεση, ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου, παρουσιάζοντας ένα καλύτερο αποτέλεσμα από ότι όταν το ξ παραμένει σχεδόν σταθερό.

Για τη συγκεκριμένη εξίσωση δοκιμάστηκαν τιμές 0.001 και 0.005, χωρίς όμως να επιφέρουν καλύτερα αποτελέσματα.

Έχοντας μελετήσει τις πιο πάνω γραφικές παραστάσεις, συμπέρασμα από αυτά βγαίνει πως η καλύτερη εξίσωση και συνδυασμός για το σενάριο 1, είναι η εξίσωση 2 με βάρη: Βάρος 1 = 0.6 και Βάρος 2 = 0.4. Οι τιμές των παραμέτρων που έδωσαν το καλύτερο συνδυασμό είναι οι εξής: γάμμα = 0.1, επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0.5 και αρχικό ξ =0.75. Ο πιο πάνω συνδυασμός, έδωσε σαν αποτέλεσμα το PDR = 82.45 %. Για τον συνδυασμό αυτό δοκιμάστηκαν επίσης τιμές 0.08, 0.09 και 0.15, που όμως δεν είχαν καλύτερα αποτελέσματα από αυτά που προαναφέρθηκαν.

Όσο αφορά το σενάριο 2, καλύτερη εξίσωση ήταν η πρώτη, έχοντας τους εξής συνδυασμούς: γάμμα=0.01, επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0.5 και αρχικό ξ =0.5. Ο πιο πάνω συνδυασμός, έδωσε σαν αποτέλεσμα το PDR = 81.56%. Για τον συνδυασμό αυτό δοκιμάστηκαν επίσης τιμές 0.001, 0.005, 0.02 και 0.03, που όμως δεν είχαν καλύτερα αποτελέσματα από αυτά που προαναφέρθηκαν.

Για την εφαρμογή της προσαρμοστικότητας όσο αφορά το sampling period, έχουν δοκιμαστεί οι συνδυασμοί: για tth = {3,4,5} και ttw = {1,2,3}. Τα αποτελέσματα όμως ήταν πολύ κοντινά. Καλύτερος όμως συνδυασμός, ήταν το tth = {4} και ttw={2}, όπου ενημερώνονται 4 hops πιο κάτω από τον ελαττωματικό κόμβο.

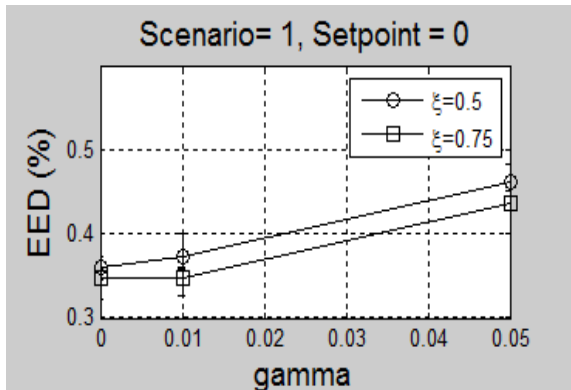
4.3.2 End to End Delay (EED)

Το End to End Delay, είναι η παράμετρος που υπολογίζει το χρόνο σε ms και έχει σαν έννοια τη μέση τιμή της καθυστέρησης ανά σενάριο. Η μέση τιμή δηλαδή για να φτάσουν τα πακέτα στο sink.

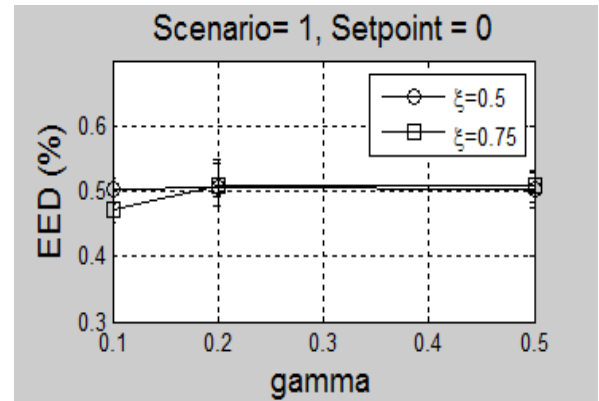
Πιο κάτω φαίνονται τα αποτελέσματα για τη συγκεκριμένη παράμετρο, στην κάθε εξίσωση.

Αρχίζοντας από την πρώτη εξίσωση, το Σχήμα 4.16, εικονογραφεί τα αποτελέσματά της για την παράμετρο EED.

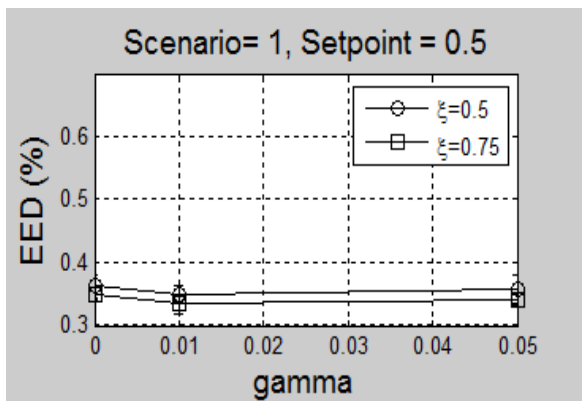
(α)



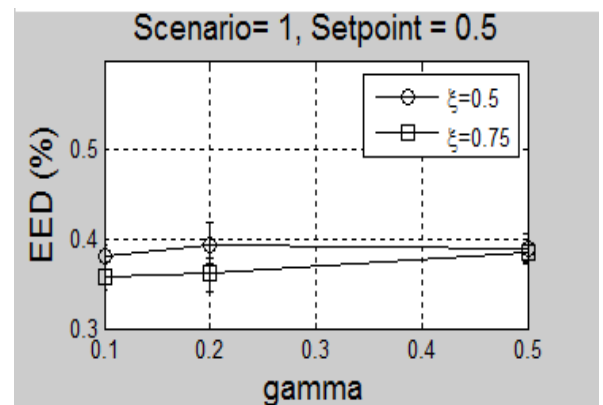
(β)



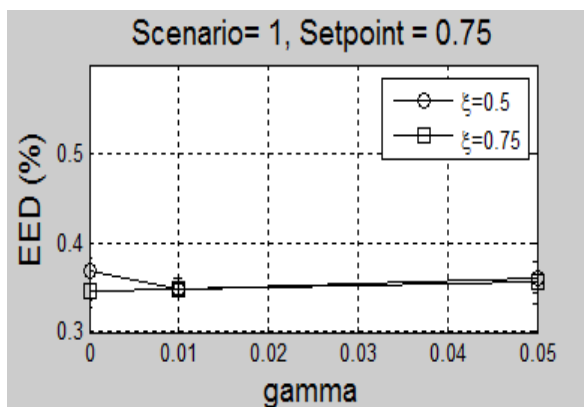
(γ)



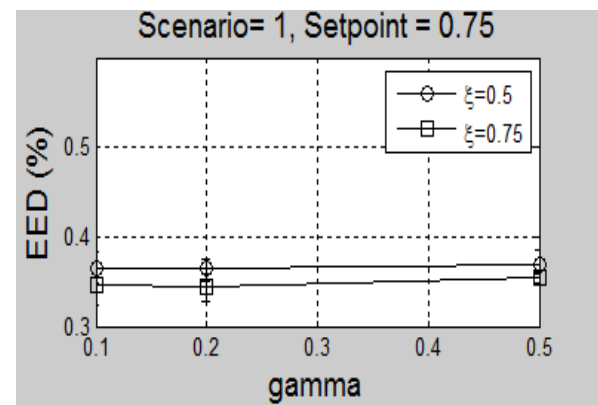
(δ)



(ε)



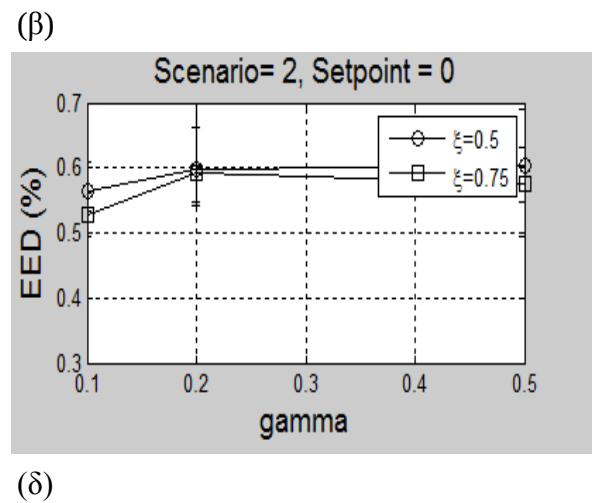
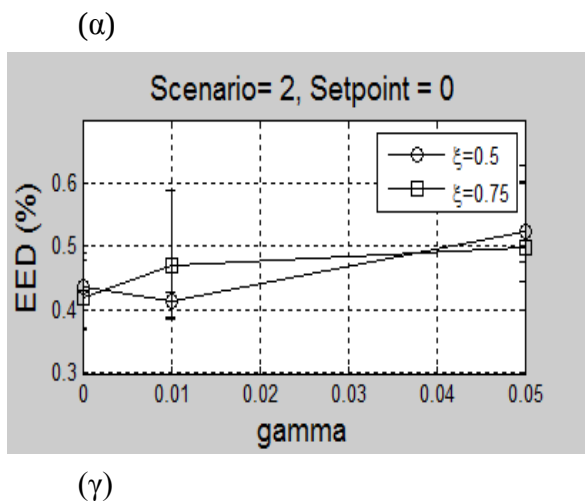
(ζ)

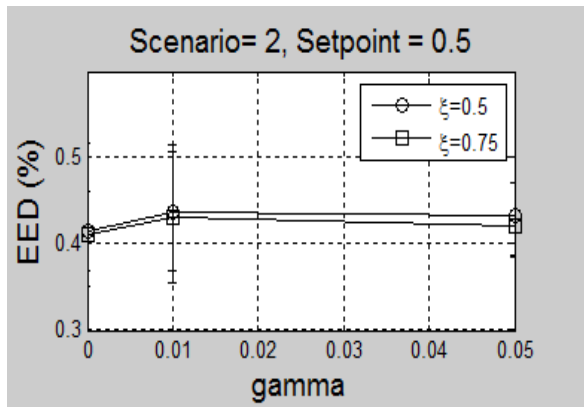


Σχήμα 4.16: Οι γραφικές παραστάσεις του πρώτου σεναρίου για το EED σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς της πρώτης εξίσωσης.

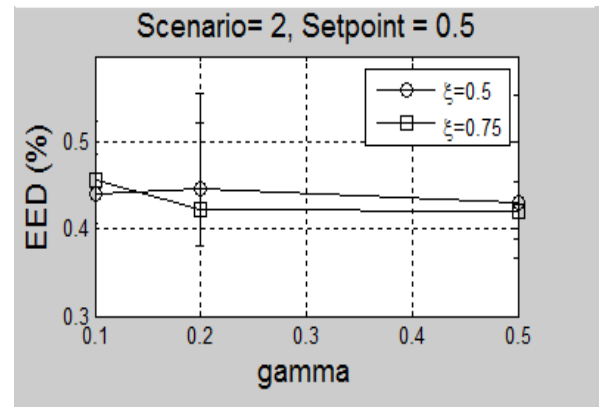
Όπως μπορεί να φανεί από τις γραφικές του σχήματος 4.16, το EED, κυμαίνεται σε περίπου ίδια αποτελέσματα, χωρίς να επηρεάζεται από την τιμή του γάμμα. Τη διαφορά όμως, κάνει το σενάριο με το οποίο το επιθυμητό σημείο ρύθμισης γίνεται ίσο με 0. Στο συγκεκριμένο σενάριο, το ξ παρουσιάζει συνεχή σχεδόν μείωση με αποτέλεσμα την ακραία και μη αποδοτική τιμή του 0. Με την αύξηση του γάμμα, παρατηρείται αύξηση του χρόνου καθυστέρησης, λόγω του ότι το ξ , φτάνει στη τιμή του 0 πολύ πιο γρήγορα, με αποτέλεσμα το γέμισμα των ουρών στους μπροστινούς κόμβους και την αύξηση της συμφόρησης των δημοφιλέστερων και κοντινότερων μονοπατιών προς το sink. Έτσι ο χρόνος καθυστέρησης αυξάνεται λόγω των αναμεταδόσεων με αποτέλεσμα να χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να φτάσουν τα πακέτα στον προορισμό τους.

Στη συνέχεια, με τα σχήματα 4.16 (γ) ως (ε), φαίνεται ότι με την αύξηση του γάμμα, το EED αυξάνεται ελαφρώς. Στη περίπτωση αυτή, το EED δεν δείχνει τόσο απότομες αλλαγές στη παράμετρο υπό εξέταση, λόγω του ότι το επιθυμητό σημείο ρύθμισης είναι μεγαλύτερο επιτρέποντας έτσι περισσότερες αυξομειώσεις στη τιμή του ξ . Με τον τρόπο αυτό τα πακέτα μπορούν να εξαπλώνονται ή να κινούνται προς τα μπροστά ανάλογα με τη τιμή του ξ , μειώνοντας έτσι τη συνολική καθυστέρηση μετάδοσης.

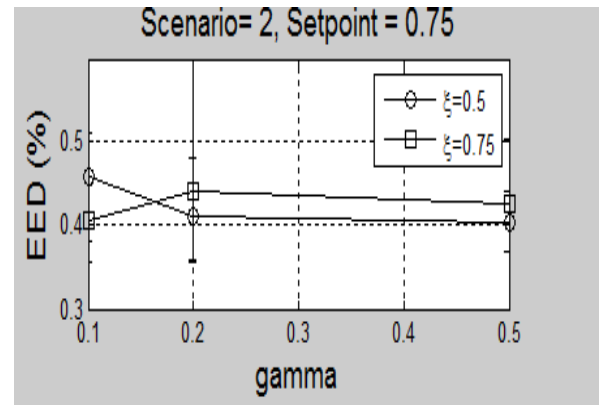
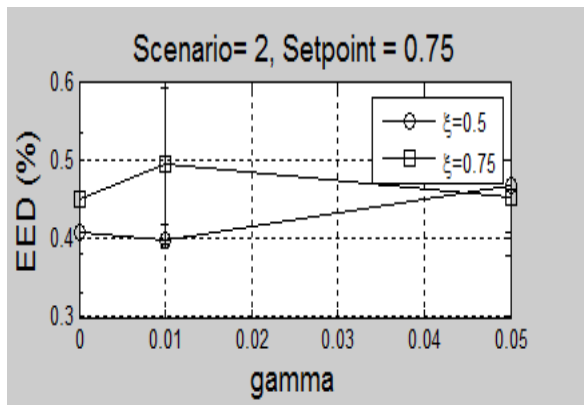




(ε)



(ζ)



Σχήμα 4.17: Οι γραφικές παραστάσεις του δεύτερου σεναρίου για το EED σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς της πρώτης εξίσωσης

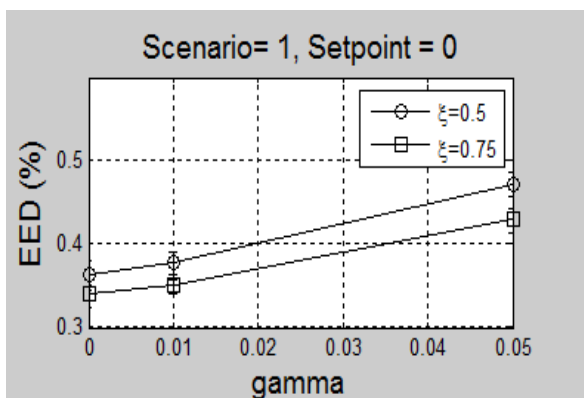
Με βάση το Σχήμα 4.17, το σενάριο 2 παρουσιάζει τα δικά του αποτελέσματα όσο αφορά το EED. Η συγκεκριμένη παράμετρος αντιδρά διαφορετικά ανάλογα με το επιθυμητό σημείο ρύθμισης που της έχει ανατεθεί. Μια πιο προσεγγιστική προσέγγιση στα αποτελέσματα, δείχνει πως και πάλι, με επιθυμητό σημείο ρύθμισης το 0, η τιμή της καθυστέρησης αυξάνεται ανάλογα με την τιμή του γάμμα, λόγω της πιο γρήγορης κατάληξης στη τιμή του 0 που οδηγεί σε μεγάλες καθυστερήσεις και γέμισμα των ουρών. Σε τέτοια περίπτωση, οι πηγές που στέλλουν τα δεδομένα, αντιμετωπίζουν το πρόβλημα των χαμένων πακέτων με αποτέλεσμα, να χρειαστεί η αναμετάδοση τους και κατά συνέπεια η αύξηση της καθυστέρησης μέχρι να φτάσουν στο sink.

Στη περίπτωση όπου το επιθυμητό σημείο ρύθμισης τεθεί σαν επιθυμητό, (δηλαδή 0.5 ή 0.75), τότε ο χρόνος καθυστέρησης κυμαίνεται σε πιο ομαλά επίπεδα. Συγκεκριμένα, λόγω των αυξομειώσεων που υπάρχουν, ο χρόνος καθυστέρησης μειώνεται σε σχέση με

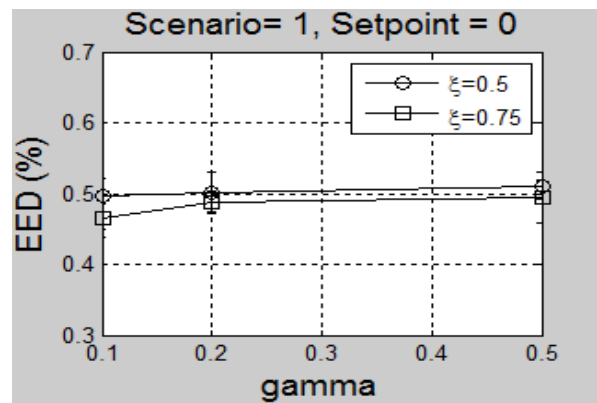
τη πρώτη περίπτωση (Σχήμα 4.17 (α) και (β)). Θέτοντας το επιθυμητό σημείο ρύθμισης ως επιθυμητό, επιτυγχάνεται ένα πιο ομαλό περιβάλλον για το ξ , επιτρέποντάς του να κινηθεί σε τιμές πιο αποδοτικές, μειώνοντας έτσι το EED. Επίσης, με μια τέτοια ρύθμιση, οι τιμές του ξ που θα καταλήξουν στην ακραία τιμή του 0, μειώνονται, δίνοντας έτσι ένα καλύτερο αποτέλεσμα στο EED.

Με μια μεγαλύτερη ένταση παρουσιάζεται το EED, όταν το επιθυμητό σημείο ρύθμισης τεθεί ως 0.75. Κάτι τέτοιο, συμβαίνει γιατί με ένα τέτοιο σημείο, επιτρέπονται μεγαλύτερες αυξήσεις στο ξ , αφού το ξ , μειώνεται όταν η επιθυμητότητα του κόμβου είναι μεγαλύτερη από 0.75. Όπως είναι αναμενόμενο, η τιμή του EED, με αρχική τιμή για $\xi = 0.75$, είναι μεγαλύτερη από όταν το $\xi = 0.5$. Θέτοντας το $\xi = 0.75$, το οποίο δεν είναι αποδοτικό για το συγκεκριμένο σενάριο, αποτέλεσμα θα έχει την μεγαλύτερη καθυστέρηση μεταφοράς πακέτων στον sink. Με την αύξηση όμως του γάμμα, λόγω των μεγαλύτερων αυξομειώσεων που υπάρχουν, η παράμετρος υπό εξέταση, φτάνει σε κοντινά επίπεδα με αυτά του $\xi = 0.5$ σαν αρχική τιμή.

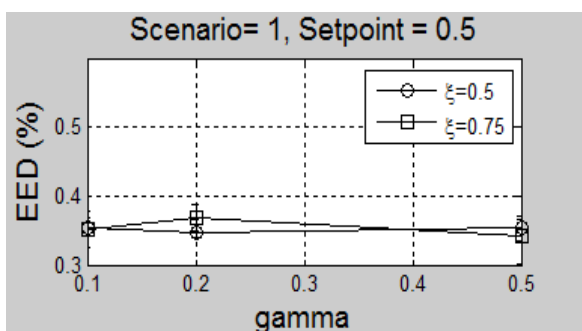
(α)



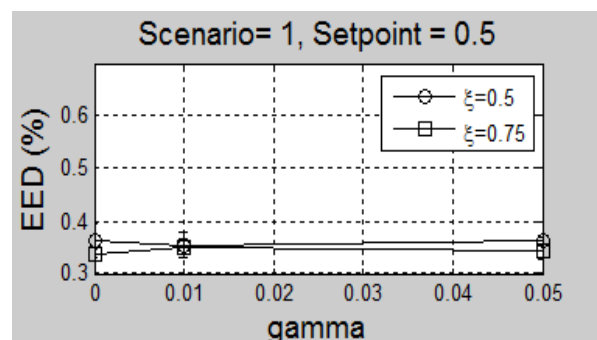
(β)



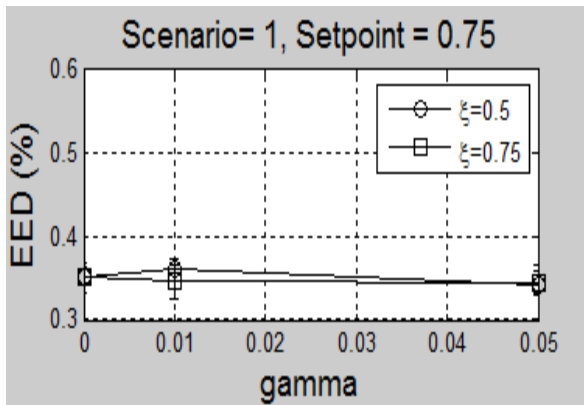
(γ)



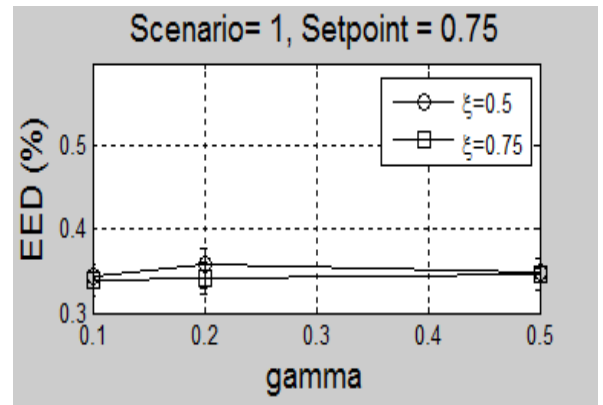
(δ)



(ε)



(ζ)

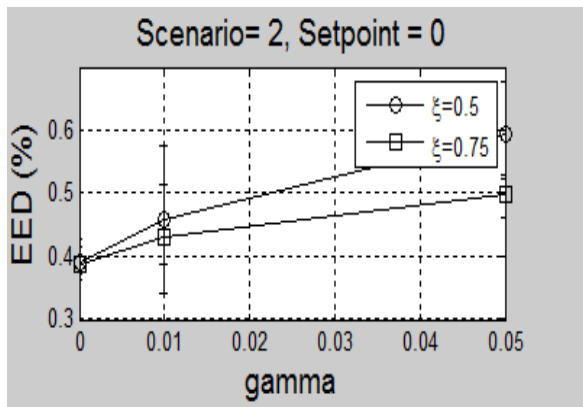


Σχήμα 4.18: Οι γραφικές παραστάσεις του πρώτου σεναρίου για το EED σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς της δεύτερης εξίσωσης, με βάρη: Βάρος1 = 1 και Βάρος2 = 0.

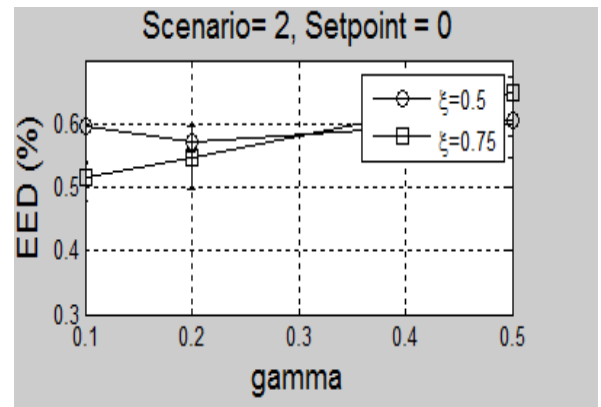
Βάση του σχήματος 4.18, φαίνεται η παράμετρος υπό εξέταση EED, με εφαρμογή της δεύτερης εξίσωσης και με βάρη Βάρος1 = 1 και Βάρος2 = 0. Όπως μπορεί να προσέξει κανείς από τις πιο πάνω γραφικές, στο σχήμα 4.18 (α) και (β), με την αύξηση του γάμμα, το EED αυξάνεται. Αυτό συμβαίνει λόγω του πολύ μικρού επιθυμητού σημείου ρύθμισης που έχει τεθεί, το οποίο συμβάλει στη συνεχή πτώση του ξ με αποτέλεσμα το γέμισμα των ουρών στους μπροστινούς κόμβους που όπως έχει φανεί και από το έγγραφο [2], προκαλεί μεγάλες καθυστερήσεις.

Με την ανάθεση του επιθυμητού σημείου ρύθμισης, σε μια μεγαλύτερη και επιθυμητή τιμή (0.5 ή 0.75), η καθυστέρηση μειώνεται κατά πολύ, λόγω της αυξομείωσης που παρατηρείται στο ξ . Με αυτήν την προσαρμογή, γίνεται μείωση των περιπτώσεων γεμίσματος των ουρών στους κόμβους, η οποία συμβαίνει όταν το ξ «αγγίζει» ή πλησιάσει κατά πολύ την τιμή 0. Έτσι μειώνονται οι αναμεταδώσεις και κατά συνέπεια τα πακέτα φτάνουν γρηγορότερα στον προορισμό τους.

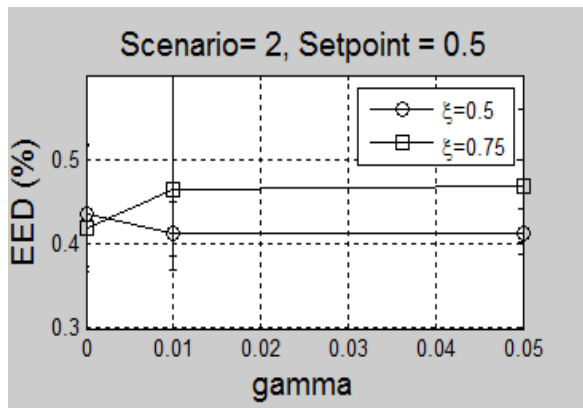
(α)



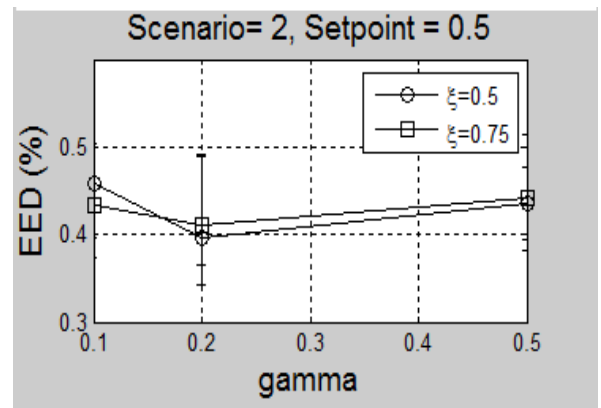
(β)



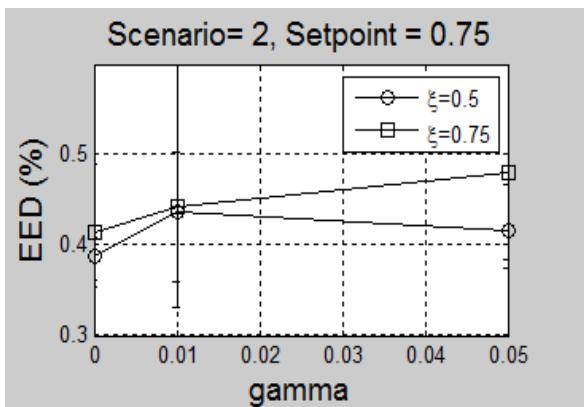
(γ)



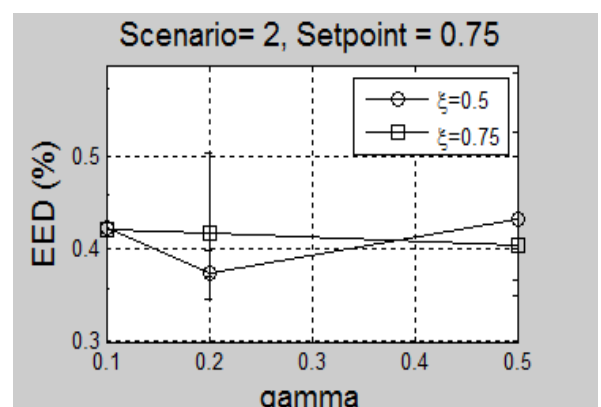
(δ)



(ϵ)



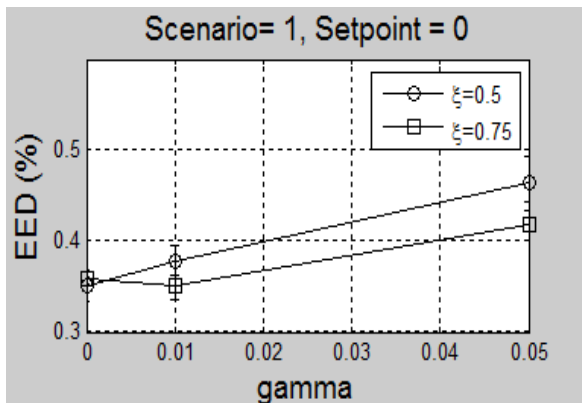
(ζ)



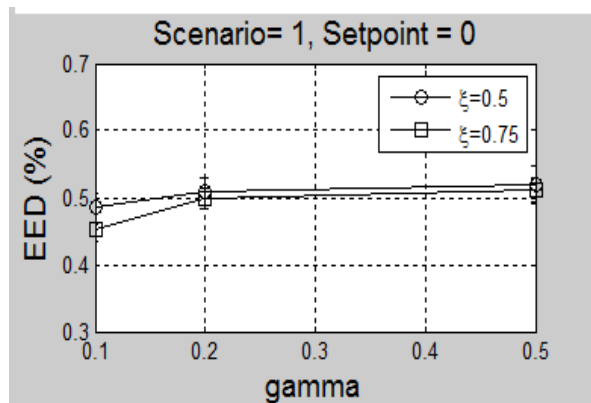
Σχήμα 4.19: Οι γραφικές παραστάσεις του δεύτερου σεναρίου για το EED σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς της δεύτερης εξίσωσης, με βάρη: Βάρος1 = 1 και Βάρος2 = 0.

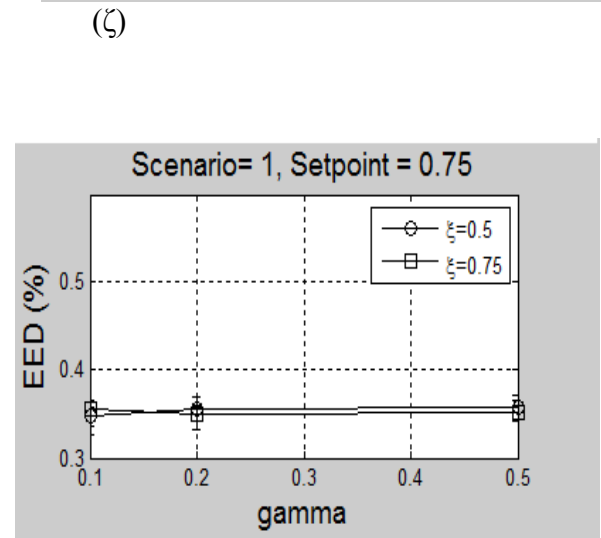
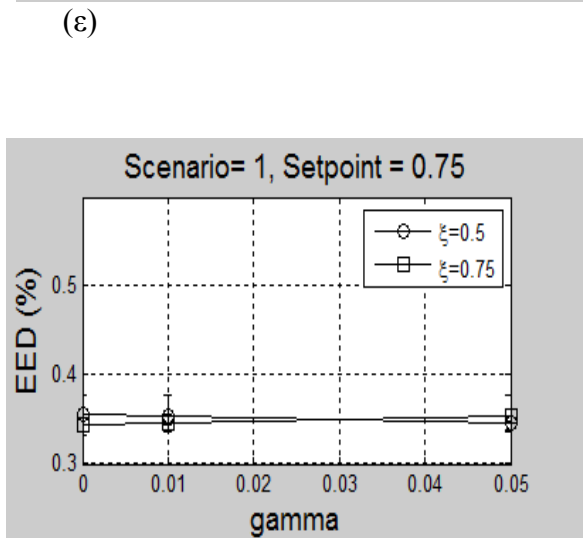
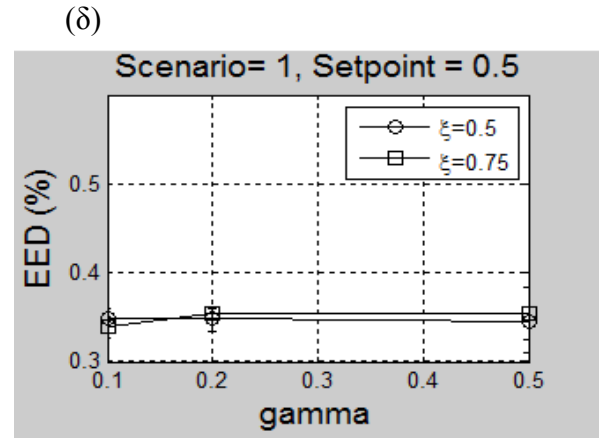
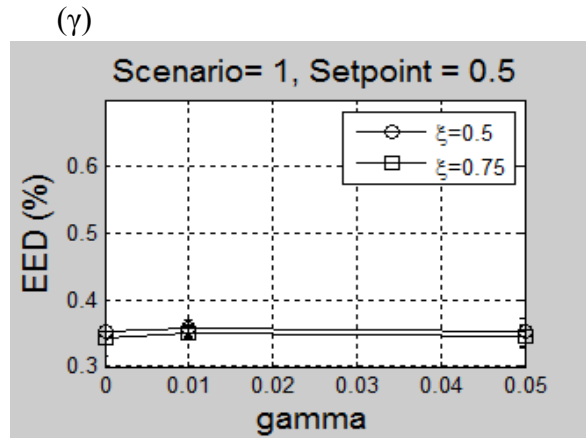
Το σχήμα 4.19 παρουσιάζει τις γραφικές παραστάσεις για το EED ανάλογα με το γάμμα για τα διάφορα επιθυμητά σημεία ρύθμισης. Στο σχήμα 4.19(α) και (β) φαίνεται πως το γάμμα είναι ανάλογο της παραμέτρου υπό εξέταση EED. Αυτό συμβαίνει λόγω της ακραίας τιμής του 0, η οποία οδηγεί σε γέμισμα των ουρών και κατά συνέπεια την ανάγκη για αναμεταδώσεις. Με την αύξηση του γάμμα, η ακραία αυτή τιμή εμφανίζεται σε πιο γρήγορο χρονικό διάστημα (αφού οι αυξομειώσεις γίνονται πιο έντονες) και έτσι παρουσιάζεται μεγαλύτερη καθυστέρηση. Στη περίπτωση του σχήματος 4.19(γ) και (δ), σαν μεγαλύτερη καθυστέρηση παρουσιάζει η αρχική τιμή του $\xi = 0.75$, κάτι το οποίο δείχνει πως η τιμή αυτή δεν είναι αποδοτική για το συγκεκριμένο σενάριο. Στα αρχικά γάμμα, οι τιμές του ξ , παραμένουν σε πολύ κοντινές τιμές, λόγω του ότι η επιθυμητότητα των κόμβων είναι πολύ κοντινή σε κάθε sapling period, με αποτέλεσμα την μηδαμινή αλλαγή στη τιμή του ξ . Αντίθετα, όταν το γάμμα γίνει ίσο με 0.2, όπου επιτρέπεται κάποια αυξομείωση των τιμών, η καθυστέρηση μειώνεται. Στη περίπτωση με μεγαλύτερη επιθυμητότητα, οι τιμές δεν φαίνονται να επηρεάζονται από την τιμή του γάμμα και αυτό γιατί με μεγαλύτερη επιθυμητότητα, η πιθανότητα μείωσης της τιμής του ξ είναι μικρότερη. Έτσι μειώνονται οι μη αποδοτικές τιμές όπου $\xi = 0$. Τη μικρότερη καθυστέρηση την παρουσιάζει στο γάμμα=0.2 (σχήμα 4.19(ζ)).

(α)



(β)



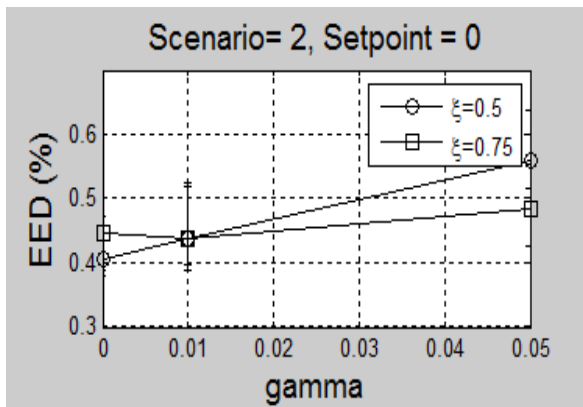


Σχήμα 4.20: Οι γραφικές παραστάσεις του πρώτου σεναρίου για το EED σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς της δεύτερης εξίσωσης, με βάρη: Βάρος1 = 0.6 και Βάρος2 = 0.4.

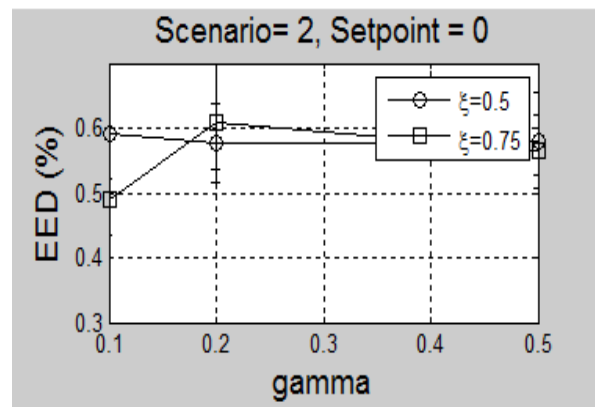
Το σχήμα 4.20 παρουσιάζει τις γραφικές παραστάσεις για το EED ανάλογα με το γάμμα για τα διάφορα επιθυμητά σημεία ρύθμισης με εφαρμογή την εξίσωση δύο και βάρη Βάρος1 = 0.6 και Βάρος2 = 0.4. Στο σχήμα 4.19(α) και (β) φαίνεται πως το γάμμα είναι ανάλογο της παραμέτρου υπό εξέταση EED. Αυτό συμβαίνει λόγω της ακραίας τιμής του 0 που επέρχεται το ξ , λόγω του μηδενικού επιθυμητού σημείου ρύθμισης που έχει ανατεθεί, αναγκάζοντας έτσι το ξ να μειώνεται συνεχώς. Έτσι όταν το ξ γίνει ίσο με 0, παρουσιάζεται το γέμισμα των ουρών στους μπροστά κόμβους με αποτέλεσμα την ανάγκη για αναμεταδώσεις και κατά συνέπεια την αύξηση της παραμέτρου EED.

Στις γραφικές του σχήματος 4.20 (γ) ως (ζ), παρουσιάζεται ένα πολύ κοντινό πεδίο τιμών. Με τις συγκεκριμένες τιμές που ανατέθηκαν στο σημείο ρύθμισης, επιτυγχάνεται αυξομείωση της τιμής του ξ , αποφεύγοντας στις περισσότερες φορές τις τιμές κοντά στο 0, μειώνοντας έτσι το EED. Η αποφυγή της τιμής του 0, γίνεται λόγω του ψηλού επιθυμητού σημείου ρύθμισης, σε συνδυασμό με τις τιμές επιθυμητότητας των κόμβων, οι οποίες λόγω της μείωσης των συγκρούσεων και γεμίσματος των ουρών, διατηρούν ψηλές τιμές.

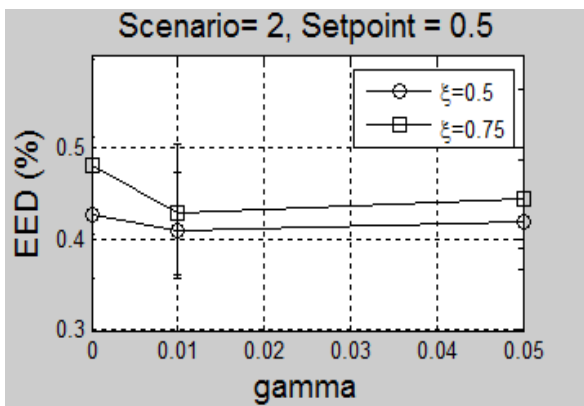
(α)



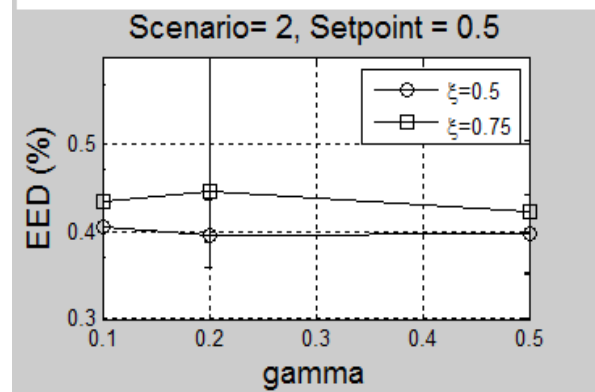
(β)



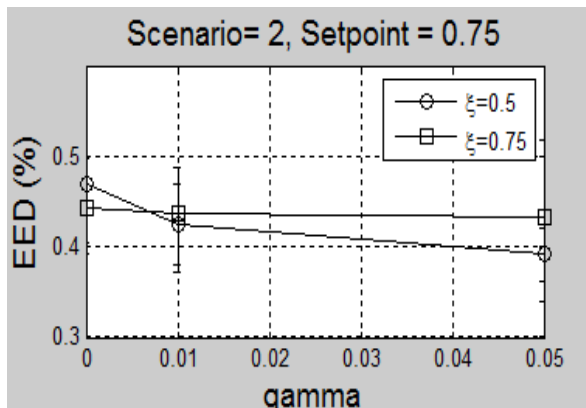
(γ)



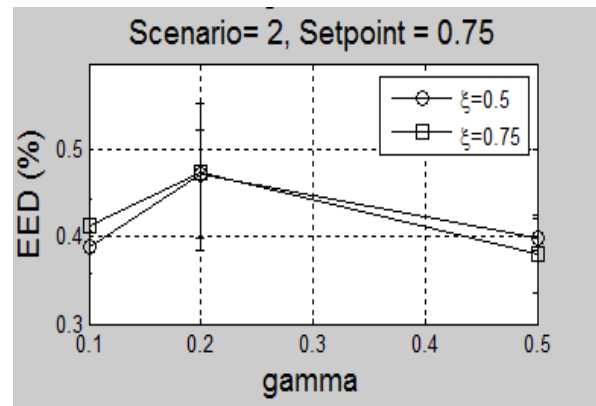
(δ)



(ε)



(ζ)



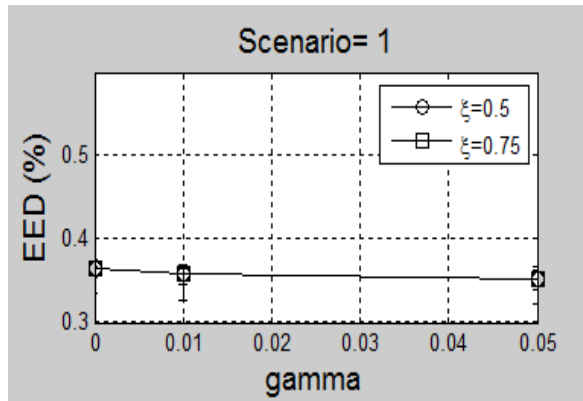
Σχήμα 4.21: Οι γραφικές παραστάσεις του πρώτου σεναρίου για το EED σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς της δεύτερης εξίσωσης, με βάρη: Βάρος1 = 0.6 και Βάρος2 = 0.4.

Το σχήμα 4.21 παρουσιάζει τις γραφικές παραστάσεις για το EED ανάλογα με το γάμμα για τα διάφορα επιθυμητά σημεία ρύθμισης, για τη δεύτερη εξίσωση με βάρη Βάρος1 = 0.6 και Βάρος2 = 0.4. Στο σχήμα 4.21(α) και (β) φαίνεται πως το γάμμα είναι ανάλογο της παραμέτρου υπό εξέταση EED. Αυτό συμβαίνει λόγω της ακραίας τιμής του 0, η οποία οδηγεί σε γέμισμα των ουρών και κατά συνέπεια την ανάγκη για αναμεταδώσεις. Με την αύξηση του γάμμα, η ακραία αυτή τιμή εμφανίζεται σε πιο γρήγορο χρονικό διάστημα (αφού οι αυξομειώσεις γίνονται πιο έντονες) και έτσι παρουσιάζεται μεγαλύτερη καθυστέρηση. Στη περίπτωση του σχήματος 4.19(γ) και (δ), σαν μεγαλύτερη καθυστέρηση παρουσιάζει η αρχική τιμή του $\xi=0.75$, κάτι το οποίο δείχνει πως η τιμή αυτή δεν είναι αποδοτική για το συγκεκριμένο σενάριο. Στα αρχικά γάμμα, οι τιμές του ξ , παραμένουν σε πολύ κοντινές τιμές, λόγω του ότι η υπολογιζόμενη επιθυμητότητα είναι πολύ κοντινή σε κάθε sapling period(λόγω της επιρροής από την επιθυμητότητα του κάθε κόμβου), με αποτέλεσμα την μηδαμινή αλλαγή στη τιμή του ξ . Όταν όμως το επιθυμητό σημείο ρύθμισης αυξηθεί, τότε επιτρέπονται μεγαλύτερες αυξομειώσεις όταν η επιθυμητότητα των κόμβων είναι μικρή. Ένα ανάλογο χρόνο καθυστέρησης με το σχήμα 4.21 (γ) και (δ), παρουσιάζουν οι επόμενες δύο ((ε) και (ζ)). Για γάμμα = 0.2, παρουσιάζει κάποια άνοδο και αυτό συμβαίνει γιατί οι αρχικές τιμές που μπορεί να λάβει το ξ , δεν βοηθούν τόσο για να μπορέσει να μειωθεί ο χρόνος του

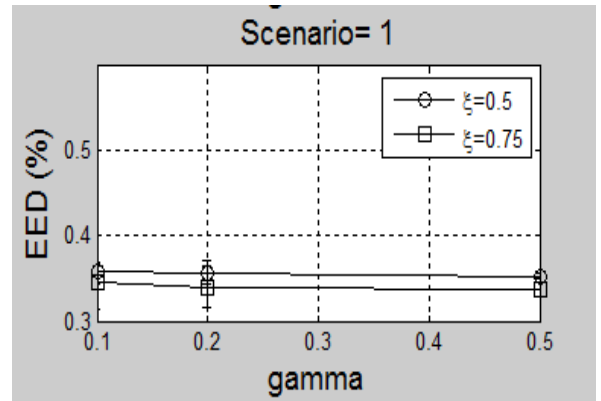
σεναρίου. Έχοντας όμως το γάμμα =0.5 δίνεται μια ώθηση στο ξ έτσι ώστε να βοηθήσει στην μείωση της μέσης τιμής του σεναρίου.

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την τρίτη και τελευταία εξίσωση, όσο αφορά το EED.

(α)



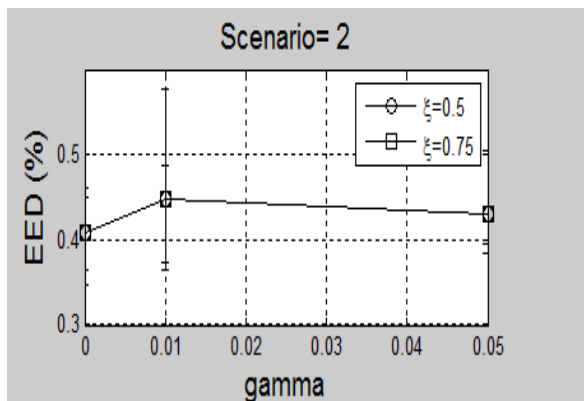
(β)



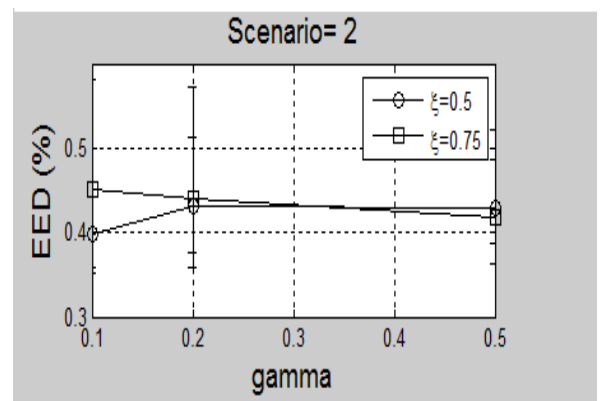
Σχήμα 4.22: Οι γραφικές παραστάσεις του πρώτου σεναρίου για το EED σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς της τρίτης εξίσωσης

Με βάση το Σχήμα 4.22, η παράμετρος του EED δεν φαίνεται να επηρεάζεται από την τιμή του γάμμα. Κάτι τέτοιο συμβαίνει λόγω του ότι, η συγκεκριμένη εξίσωση, δίνει μια πιο ομαλή αλλαγή στο ξ , ακόμα και σε μεγάλα γάμμα, διατηρώντας έτσι τη καθυστέρηση σε ίδια επίπεδα.

(α)



(β)



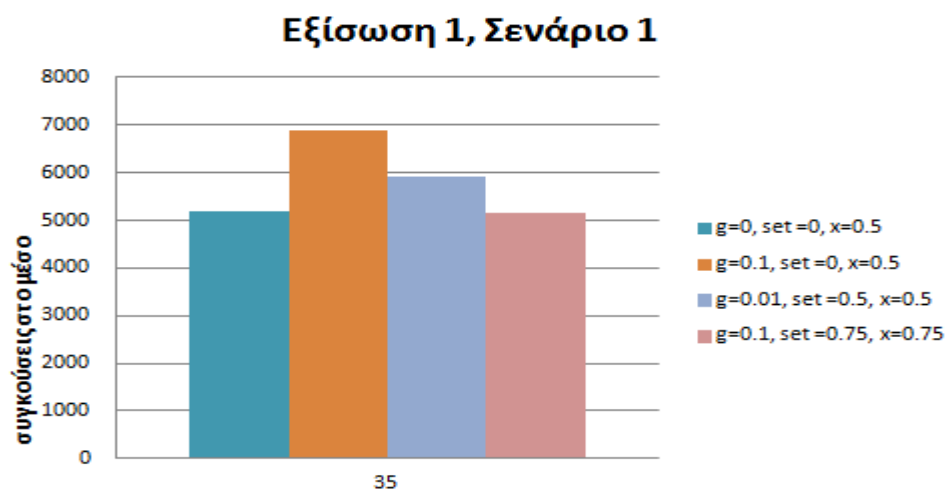
Σχήμα 4.25: Οι γραφικές παραστάσεις του δεύτερου σεναρίου για το EED σε σχέση με το γάμμα, με όλους τους συνδυασμούς της τρίτης εξίσωσης

Με βάση το Σχήμα 4.25, η παράμετρος του EED δεν φαίνεται και πάλι να επηρεάζεται από την τιμή του γάμμα. Υπάρχει όμως μεγαλύτερο φάσμα τιμών από τα αποτελέσματα της εξίσωσης από το πρώτο σενάριο. Λόγω της συγκεκριμένης τοπολογίας, θα υπάρξει μεγαλύτερη δυσκολία για να φτάσουν τα πακέτα στον sink(αποφυγή ελαττωματικών κόμβων και εύρεση εναλλακτικών μονοπατιών για αποστολή των δεδομένων). Σε γενικά όμως πλαίσια, οι τιμές του EED, παραμένουν πολύ κοντινές.

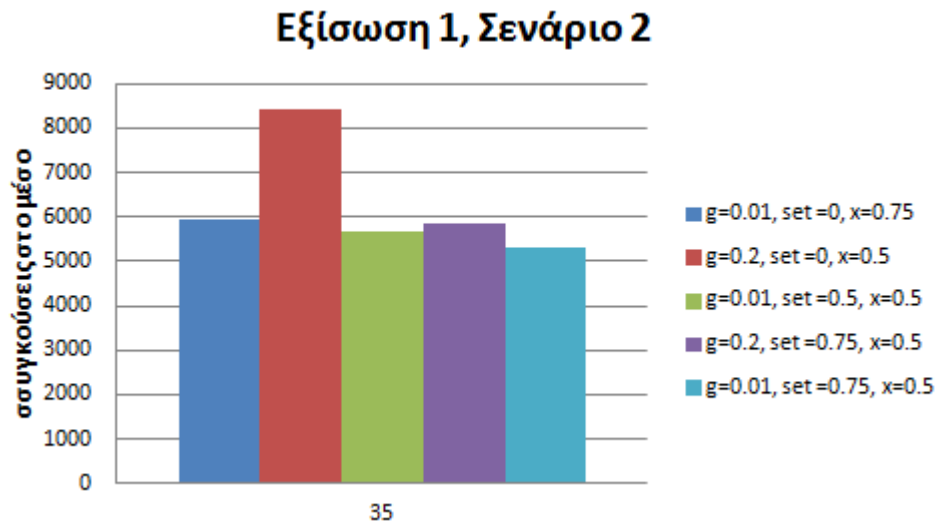
Με βάση το καλύτερο συνδυασμό εξίσωσης και παραμέτρων για το σενάριο 1, όπως αναφέρθηκε πιο πριν είναι η εξίσωση 2 με βάρη: Βάρος 1 = 0.6 και Βάρος 2 = 0.4 και με τιμές γάμμα = 0.1, επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0.5 και αρχικό $\xi = 0.75$. Ο πιο πάνω συνδυασμός, έδωσε σαν αποτέλεσμα το PDR = 82.45%. Σαν EED, έχει ως τιμή ίση με 0.339 ms.

Όσο αφορά το σενάριο 2, καλύτερη για το σενάριο ήταν η εξίσωση 1, έχοντας τους εξής συνδυασμούς: γάμμα=0.01, επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0.5 και αρχικό $\xi = 0.5$. Ο πιο πάνω συνδυασμός, έδωσε σαν αποτέλεσμα το PDR = 81.56%. Σαν EED, έχει ως τιμή ίση με 0.373 ms.

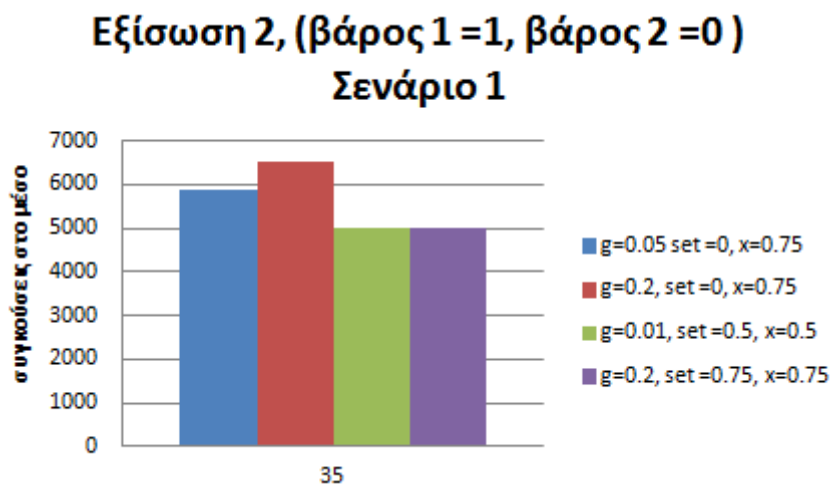
4.3.3 Συγκρούσεις στο μέσο και ξεχείλισμα ουρών



Σχήμα 4.26: Οι γραφικές παραστάσεις του πρώτου σεναρίου, της πρώτης εξίσωσης για τις συγκρούσεις στο μέσο για φόρτο 35% και σε επιλεγμένους συνδυασμούς τιμών.

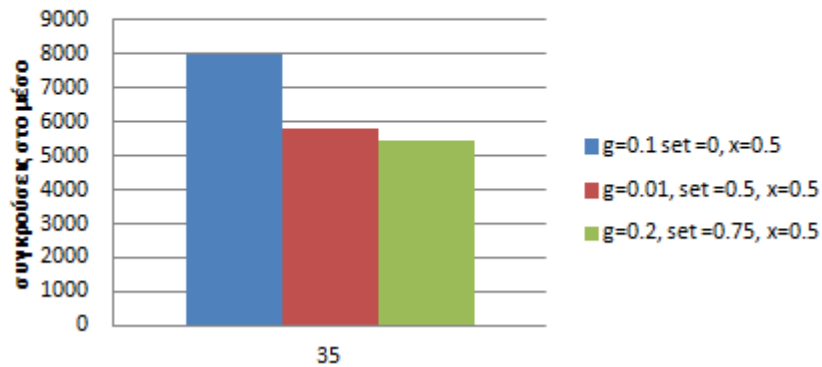


Σχήμα 4.27: Οι γραφικές παραστάσεις του δεύτερου σεναρίου, της πρώτης εξίσωσης για τις συγκρούσεις στο μέσο για φόρτο 35% και σε επιλεγμένους συνδυασμούς τιμών.



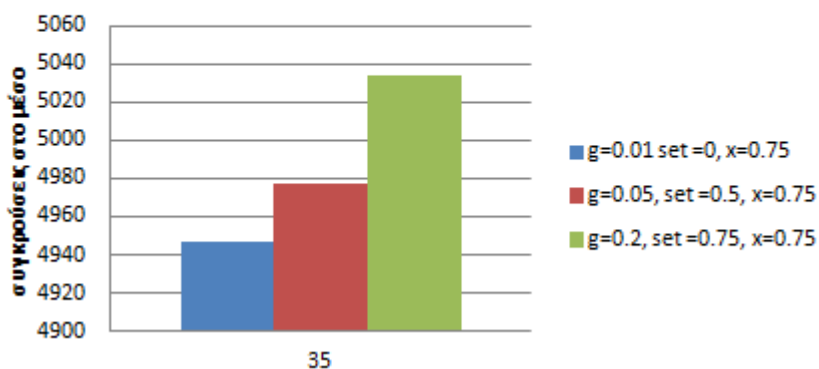
Σχήμα 4.28: Οι γραφικές παραστάσεις του πρώτου σεναρίου, της δεύτερης εξίσωσης για τις συγκρούσεις στο μέσο για φόρτο 35% και σε επιλεγμένους συνδυασμούς τιμών.

**Εξίσωση 2, (βάρος 1 =1, βάρος 2 =0)
Σενάριο 2**



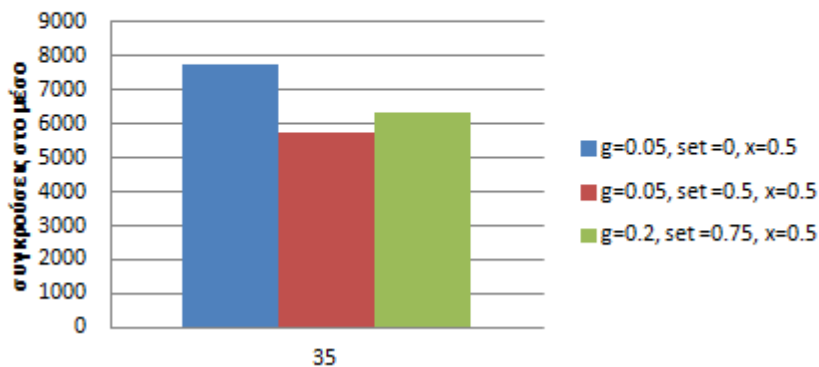
Σχήμα 4.29: Οι γραφικές παραστάσεις του δεύτερου σεναρίου, της δεύτερης εξίσωσης για τις συγκρούσεις στο μέσο για φόρτο 35% και σε επιλεγμένους συνδυασμούς τιμών.

**Εξίσωση 2, (βάρος 1 = 0.6,
βάρος 2 = 0.4) Σενάριο 1**



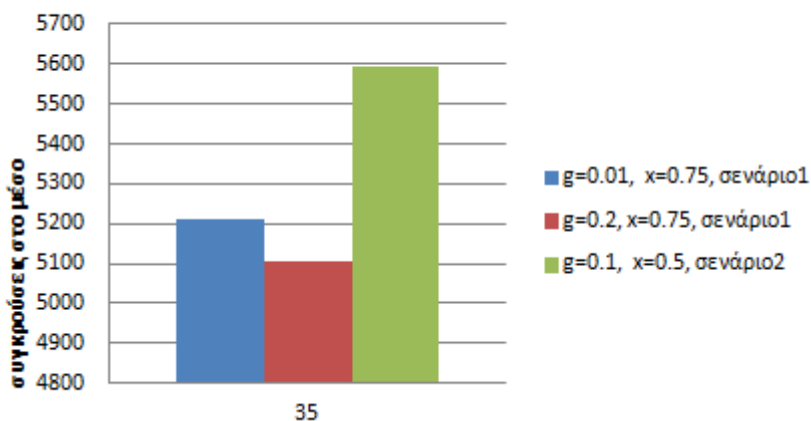
Σχήμα 4.30: Οι γραφικές παραστάσεις του πρώτου σεναρίου, της δεύτερης εξίσωσης για τις συγκρούσεις στο μέσο για φόρτο 35% και σε επιλεγμένους συνδυασμούς τιμών.

Εξίσωση 2, (βάρος 1 = 0.6, βάρος 2 = 0.4) Σενάριο 2



Σχήμα 4.31: Οι γραφικές παραστάσεις του δεύτερου σεναρίου, της δεύτερης εξίσωσης για τις συγκρούσεις στο μέσο για φόρτο 35% και σε επιλεγμένους συνδυασμούς τιμών

Εξίσωση 3



Σχήμα 4.32: Οι γραφικές παραστάσεις του πρώτου και δεύτερου σεναρίου, της τρίτης εξίσωσης για τις συγκρούσεις στο μέσο για φόρτο 35% και σε επιλεγμένους συνδυασμούς τιμών.

Στα σχήματα 4.26 ως 4.32, φαίνονται τα αποτελέσματα για επιλεγμένους συνδυασμούς τιμών, όσο αφορά την κάθε εξίσωση. Στο σχήμα 4.26, φαίνεται ότι, με $\gamma = 0.1$ και επιθυμητό σημείο ρύθμισης $=0$, υπάρχει ο πιο μεγάλος αριθμός συγκρούσεων στο μέσο. Κάτι τέτοιο συμβαίνει λόγω της μείωσης του ξ σε ακραίες

τιμές, που έχει σαν αποτέλεσμα το ξεχείλισμα των ουρών με αποτέλεσμα περισσότερες αναμεταδώσεις και άρα συγκρούσεις στο μέσο. Επίσης, λιγότερες συγκρούσεις υπάρχουν όταν το επιθυμητό σημείο ρύθμισης είναι 0.5 και έστω γάμμα $=0.01$. Ακόμα πιο λίγες υπάρχουν όταν δεν εφαρμοστεί προσαρμοστικότητα ως προς ξ , ενώ ακόμα πιο λίγες όταν τεθεί ένα ψηλό επιθυμητό σημείο ρύθμισης και γάμμα, το οποίο προσφέρει λιγότερες συγκρούσεις. Αυτό συμβαίνει λόγω των αυξομειώσεων που προσφέρει ένα τέτοιος συνδυασμός.

Στη συνέχεια, στο σχήμα 4.27, φαίνεται ότι και πάλι, έχοντας ένα μικρό επιθυμητό σημείο ρύθμισης(ίσο με 0), υπάρχει περισσότερος αριθμός χαμένων πακέτων, άρα περισσότερες αναμεταδώσεις και συγκρούσεις. Όπως είναι αναμενόμενο με ένα τέτοιο σημείο ρύθμισης, όσο αυξάνεται το γάμμα, τόσο αυξάνονται τα χαμένα πακέτα. Περισσότερες συγκρούσεις υπάρχουν όταν το γάμμα αυξηθεί λόγω των ακραίων τιμών του ξ που οδηγούν σε συγκρούσεις. Μικρότερο αριθμό χαμένων πακέτων, δίδει ένα ψηλό επιθυμητό σημείο ρύθμισης με μικρό γάμμα, λόγω του ότι επιτρέπει αυξομειώσεις στο δίκτυο και θέτει τους κόμβους πιο επιθυμητούς. Στην συγκεκριμένη περίπτωση εξίσωσης υπήρχαν 426 αριθμός χαμένων πακέτων λόγω ξεχειλισμένων ουρών.

Βλέποντας το σχήμα 4.28, παρατηρείται ότι με την δεύτερη εξίσωση πάλι ισχύουν, αυτά που προαναφέρθηκαν για το σχήμα 4.26. Δηλαδή, έχοντας το σημείο ρύθμισης σε χαμηλά επίπεδα, οι συγκρούσεις στο μέσο αυξάνονται. Σε αντίθεση με ένα μεγαλύτερο σημείο ρύθμισης, όπου οι συγκρούσεις, μειώνονται.

Όσο αφορά το σχήμα 4.29, φαίνεται και πάλι ότι έχοντας μικρό επιθυμητό σημείο ρύθμισης, οι συγκρούσεις αυξάνονται σε αντίθεση με τη περίπτωση όπου το επιθυμητό σημείο ρύθμισης, αυξάνεται.

Στο σχήμα 4.30, παρατηρείται το εξής γεγονός, μέσω της εξίσωσης. Λόγω του ότι λαμβάνονται υπόψη και οι γείτονες κόμβοι, θέτοντας ένα μεγάλο γάμμα και επιθυμητό σημείο ρύθμισης, το σμήνος θα εξαπλωθεί και έτσι περισσότερος αριθμός χαμένων πακέτων θα συμβούν, άρα περισσότερες αναμεταδώσεις και συγκρούσεις. Με μικρότερες τιμές που δοκιμάστηκαν στην εξίσωση, φάνηκε ότι με ένα μικρότερο

γάμμα και επιθυμητό σημείο ρύθμισης $=0.5$ παρουσιάζονται ακόμα λιγότερες συγκρούσεις. Τέλος, οι πιο λίγες συγκρούσεις στην εξίσωση παρουσιάστηκαν για μικρό γάμμα και επιθυμητό σημείο ρύθμισης $= 0$.

Σε ένα δίκτυο με ελαττωματικούς κόμβους(σχήμα 4.31), με εφαρμογή της δεύτερης εξίσωσης, περισσότερες συγκρούσεις παρατηρούνται όταν το επιθυμητό σημείο ρύθμισης είναι 0 ακολουθούμενο από τη περίπτωση από μεγάλο επιθυμητό σημείο ρύθμισης και γάμμα όπου οδηγεί σε ακραίες τιμές και άρα σε συγκρούσεις. Λιγότερες συγκρούσεις παρουσιάζονται όταν το γάμμα είναι μικρό σε συνδυασμό με επιθυμητό σημείο ρύθμισης 0.5.Ο αριθμός των χαμένων πακέτων που χάνονται λόγω του ότι έχει γεμίσει η ουρά είναι 544 σε αυτή την εξίσωση.

Γενικά, στα σχήματα 4.26 και 4.28 (περιπτώσεις χωρίς ελαττωματικούς κόμβους) μπορεί να φανεί ότι μεγαλύτερες συγκρούσεις στο μέσο υπάρχουν όταν το γάμμα είναι μεγάλο με συνδυασμό επιθυμητό σημείο ρύθμισης $=0$. Στη συνέχεια παρατηρούνται λιγότερες συγκρούσεις, όταν το γάμμα $= 0.01$ ή 0.05 με συνδυασμό το επιθυμητό σημείο ρύθμισης $=0.5$. Ακολουθεί η περίπτωση όπου δεν υπάρχει προσαρμοστικότητα, ενώ τελευταία παρουσιάζεται η περίπτωση όπου το γάμμα είναι μεγάλο και το επιθυμητό σημείο ρύθμισης $= 0.75$. Έχοντας ένα μεγάλο γάμμα και επιθυμητό σημείο ρύθμισης $=0$, παρουσιάζονται οι περισσότερες συγκρούσεις, λόγω του ότι η τιμή του ξ , μειώνεται συνεχώς φτάνοντας σε ακραίες, μη αποδοτικές τιμές οι οποίες γεμίζουν οι ουρές και χρειάζονται περισσότερες αναμεταδώσεις και κατά συνέπεια συγκρούσεις. Επίσης, έχοντας ένα μικρό γάμμα και μέσο επιθυμητό σημείο ρύθμισης, λόγω του ότι δεν επιτρέπονται τόσες αυξομειώσεις, δεν φαίνεται να βοηθά στις μειώσεις των συγκρούσεων, όσο όταν ένα μεγάλο γάμμα τεθεί σε συνδυασμό με ένα επιθυμητό σημείο ρύθμισης $=0.75$.

Στα σχήματα 4.27, 4.29 και 3.31(περιπτώσεις με ελαττωματικούς κόμβους), έγινε φανερό ότι έχοντας ένα μεγάλο γάμμα και επιθυμητό σημείο ρύθμισης $=0$, παρουσιάζονται οι περισσότερες συγκρούσεις, ενώ ακολουθεί ο συνδυασμός για μικρό γάμμα και επιθυμητό σημείο ρύθμισης $= 0$, λόγω της συνεχής μείωσης του ξ . Στη συνέχεια, έχοντας ένα μεγάλο γάμμα και επιθυμητό σημείο ρύθμισης $= 0.75$, παρουσιάζει πιο λίγες συγκρούσεις. Πάλι όμως υπάρχουν συγκρούσεις λόγω

ακραίων τιμών (πχ. 1) το οποίο οδηγεί σε συγκρούσεις. Ακολουθούν οι συνδυασμοί όπου υπάρχει ένα μικρό γάμμα και επιθυμητό σημείο ρύθμισης =0.5 ενώ με ένα μικρό γάμμα και επιθυμητό σημείο ρύθμισης =0.75 παρουσιάζονται οι λιγότερες συγκρούσεις.

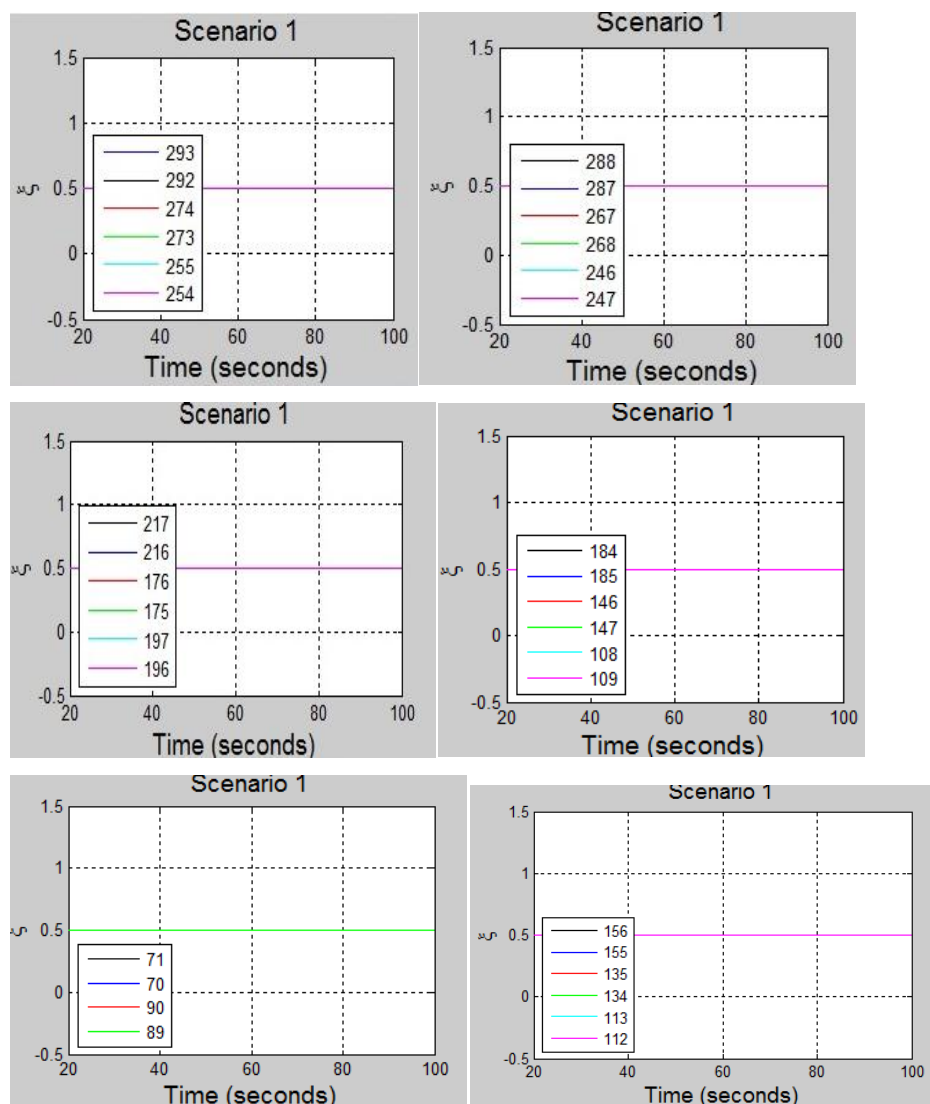
Τέλος, έχοντας την τρίτη εξίσωση παρατηρείται το γεγονός πως σε ένα δίκτυο με ελαττωματικούς κόμβους, υπάρχουν περισσότερα χαμένα πακέτα λόγω συγκρούσεων. Κάτι τέτοιο συμβαίνει λόγω της αύξησης στη τιμή του ξ η οποία μπορεί να προκαλέσει τις συγκρούσεις στο μέσο, όταν κοντεύει τις τιμές του 1. Σε ένα δίκτυο όμως χωρίς ελαττωματικούς κόμβους, περισσότερες συγκρούσεις, στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρούνται όταν το γάμμα είναι μικρό. Αυτό προκαλείται από το γεγονός ότι έχοντας ένα μικρό γάμμα, δεν επιτρέπει στο δίκτυο να κινηθεί σε διάφορες τιμές, ως προς το ξ , για να μπορέσει να το προσαρμόσει ανάλογα με τις συνθήκες του δικτύου. Ο αριθμός των χαμένων πακέτων λόγω γεμίματος της ουράς στη προκειμένη εξίσωση είναι 374, που είναι και ο μικρότερος αριθμός σε σχέση με τις άλλες δύο εξισώσεις.

4.3.4 Τιμές για διάφορα σενάρια του ξ

19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20
59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40
79	78	77	76	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61	60
99	98	97	96	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81	80
119	118	117	116	115	114	113	112	111	110	109	108	107	106	105	104	103	102	101	100
139	138	137	136	135	134	133	132	131	130	129	128	127	126	125	124	123	122	121	120
159	158	157	156	155	154	153	152	151	150	149	148	147	146	145	144	143	142	141	140
179	178	177	176	175	174	173	172	171	170	169	168	167	166	165	164	163	162	161	160
199	198	197	196	195	194	193	192	191	190	189	188	187	186	185	184	183	182	181	180
219	218	217	216	215	214	213	212	211	210	209	208	207	206	205	204	203	202	201	200
239	238	237	236	235	234	233	232	231	230	229	228	227	226	225	224	223	222	221	220
259	258	257	256	255	254	253	252	251	250	249	248	247	246	245	244	243	242	241	240

279	278	277	276	275	274	273	272	271	270	269	268	267	266	265	264	263	262	261	260
299	298	297	296	295	294	293	292	291	290	289	288	287	286	285	284	283	282	281	280

Πίνακας 4.1: Τοπολογία δικτύου, με την ταυτότητα του κάθε κόμβου. Ο αριθμός 50 είναι το sink.

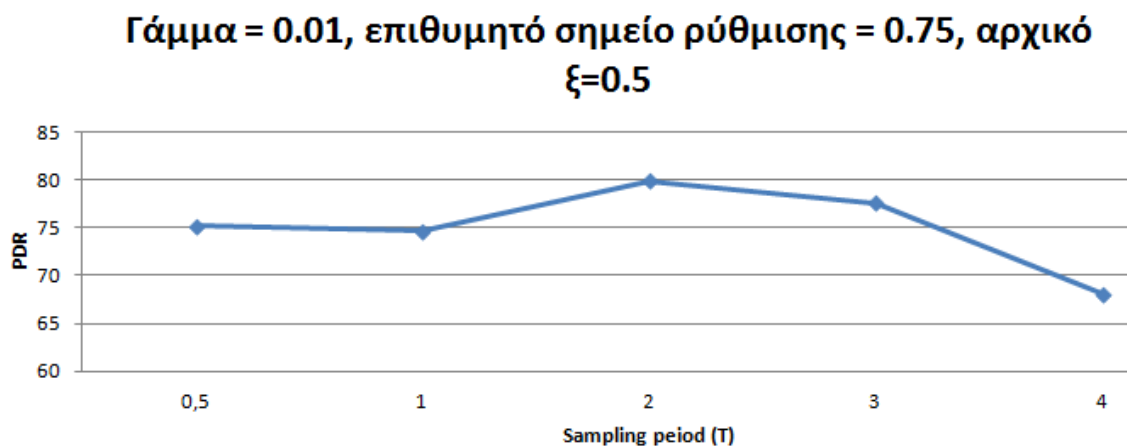


Σχήμα 4.33 τιμές για διάφορους κόμβους με $\gamma=0$, επιθυμητό σημείο ρύθμισης $=0$ και $\xi=0.5$, για την πρώτη εξίσωση.

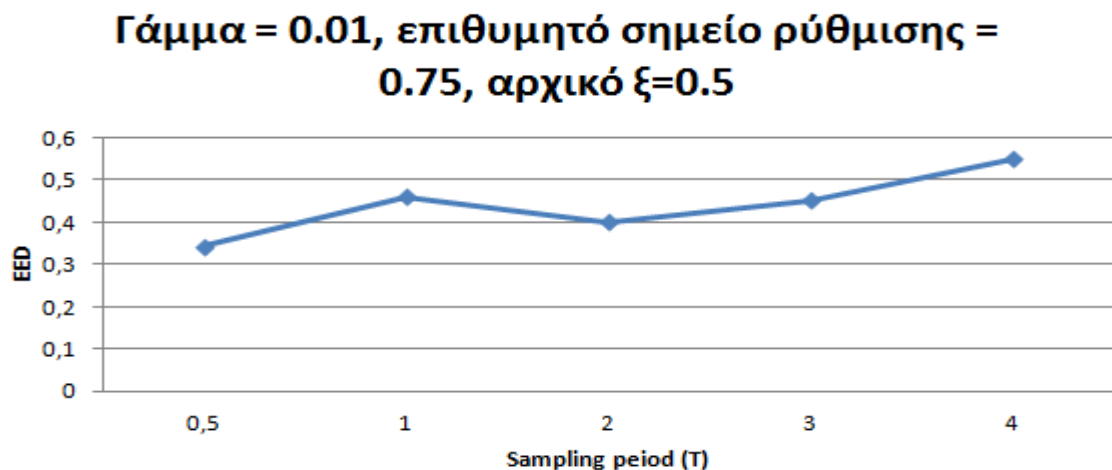
Στο σχήμα 4.33, δεν υπάρχει προσαρμοστικότητα και έτσι το ξ παραμένει σταθερό σε όλους τους κόμβους. Αυτό συμβαίνει γιατί το $\gamma=0$.

Η συνέχεια του υποκεφαλαίου βρίσκεται στο αρχείο `graphs_matlab3_updated.pdf` λόγω προβλήματος της word να δεχτεί τις επιπρόσθετες γραφικές.

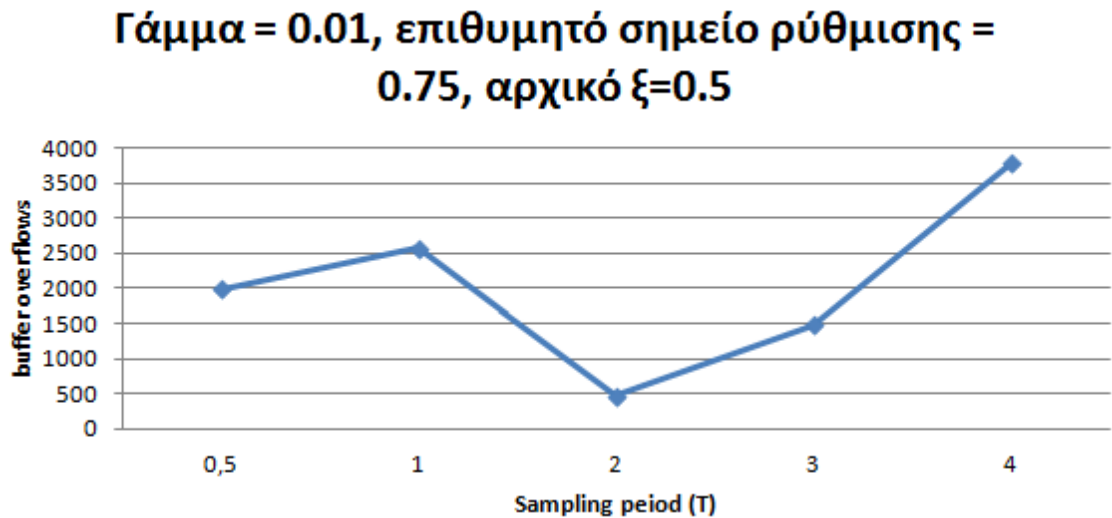
4.3.5 Sampling period (T)



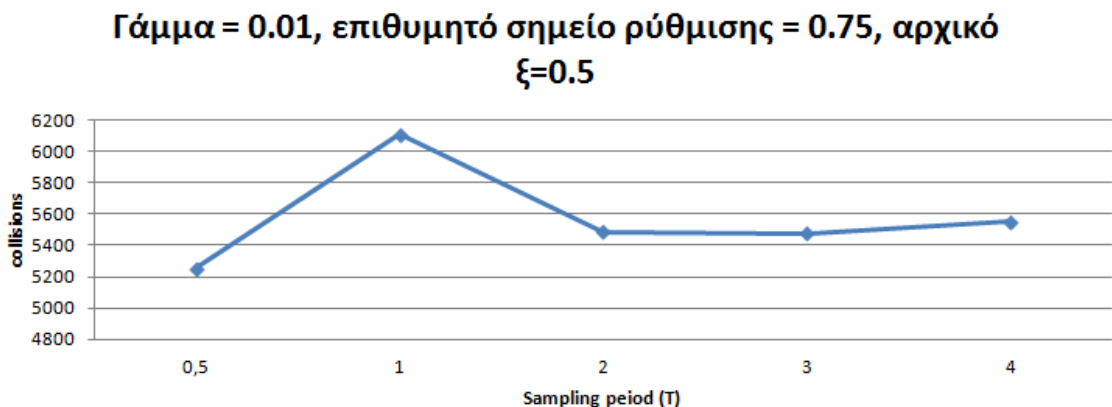
Σχήμα 4.55: Δοκιμή διάφορων σταθερών τιμών ως προς T, σε συνάρτηση με το PDR. Οι δοκιμές αφορούν το σενάριο 2, με την πιο αποδοτική εξίσωση του ξ και των t_{th} και t_{tw} .



Σχήμα 4.56: Δοκιμή διάφορων σταθερών τιμών ως προς T, σε συνάρτηση με το EED. Οι δοκιμές αφορούν το σενάριο 2, με την πιο αποδοτική εξίσωση του ξ και των tth και ttw.



Σχήμα 4.57: Δοκιμή διάφορων σταθερών τιμών ως προς T, σε συνάρτηση με το ξεχείλισμα των ουρών. Οι δοκιμές αφορούν το σενάριο 2, με την πιο αποδοτική εξίσωση του ξ και των tth και ttw.



Σχήμα 4.58: Δοκιμή διάφορων σταθερών τιμών ως προς T, σε συνάρτηση με τις συγκρούσεις στο μέσο. Οι δοκιμές αφορούν το σενάριο 2, με την πιο αποδοτική εξίσωση του ξ και των tth και ttw.

Adaptive T					
Tth	Ttw	PDR	EED	Buffer Overflows	Collisions
4	2	81,56	0,373	426	5305,6

Πίνακας 4.2 Πιο πάνω είναι τα αποτελέσματα, του πρωτοκόλλου, μέσω της προσαρμοστικότητας.

Στα σχήματα 4.55 ως 4.58, εφαρμόστηκαν διάφορες τιμές του T, οι οποίες παρέμεναν σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια του προγράμματος για να γίνει σύγκριση με την προσαρμοστικότητα του. Όταν δηλαδή το T αλλάζει από αρχική τιμή 2, σε 0.5(όταν ανακαλυφθεί χαμένος κόμβος). Οι δοκιμές αυτές εφαρμόστηκαν στο σενάριο 2, όπου υπάρχουν χαμένοι κόμβοι και κατά συνέπεια θα εφαρμοζόταν η προσαρμοστικότητα του T. Επίσης, οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές αυτές, ήταν οι καλύτερες από το σενάριο 2, δηλαδή, εφαρμόστηκε με την εξίσωση 1, γάμμα = 0.01, επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0.75, αρχικό ξ = 0.5, tth = 4 και ttw = 2. Στον πίνακα 4.2 φαίνονται τα αποτελέσματα του καλύτερου συνδυασμού στο σενάριο 2.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του πίνακα με τα πιο πάνω σχήματα, μπορεί να φανεί ότι η προσαρμοστικότητα, βοήθησε αρκετά σε σχέση με ένα σταθερό T. Το ψηλότερο ποσοστό PDR (Σχήμα 4.55) που έχει επιτευχθεί με σταθερό T, είναι σχεδόν 79,91% (όταν το T=2). Όπως όμως φαίνεται από τον πίνακα 4.2, η προσαρμοστικότητα, φτάνει σε ένα πολύ καλύτερο ποσοστό που είναι 81.56 (πολύ κοντινό PDR με αυτό που έδειξε σε δίκτυο χωρίς κόμβους με απώλειες). Αντίθετα, όσο αφορά το EED, παρατηρείται μια μικρή διαφορά. Συγκεκριμένα, η προσαρμοστικότητα φαίνεται να παρουσιάζει ελαφρώς μεγαλύτερο EED από ότι το T=0.5. Για τις επόμενες όμως περιπτώσεις παρουσιάζει μικρότερο. Όσο αφορά όμως τις επόμενες δύο παραμέτρους, δηλαδή συγκρούσεις στο μέσο και ξεχείλισμα των ουρών στους κόμβους, η προσαρμοστικότητα φαίνεται να

βελτιώνει τα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, ο πιο χαμηλός αριθμός για συγκρούσεις, με σταθερό T , ήταν 5254 (όταν $T=0.5$) ενώ για το ξεχείλισμα της ουράς, η πιο μικρή τιμή ήταν 468 (όταν $T=2$). Μέσω της προσαρμοστικότητας όμως τα αποτελέσματα αυτά μειώνονται, αυξάνοντας έτσι το ποσοστό του PDR, με εξαίρεση τις συγκρούσεις στο μέσο, όταν το $T=0.5$ το οποίο παρουσιάζει ένα μικρότερο αποτέλεσμα. Για τις άλλες όμως σταθερές τιμές, προσαρμοστικότητα, δίδει καλύτερα αποτελέσματα όσο αφορά το ξεχείλισμα των ουρών και τις συγκρούσεις. Συγκεκριμένα, οι τιμές για την προσαρμοστικότητα ήταν 5305,6 και 426 αντίστοιχα.

4.4 Αποτελέσματα για καλύτερη εξίσωση υπολογισμού του ξ

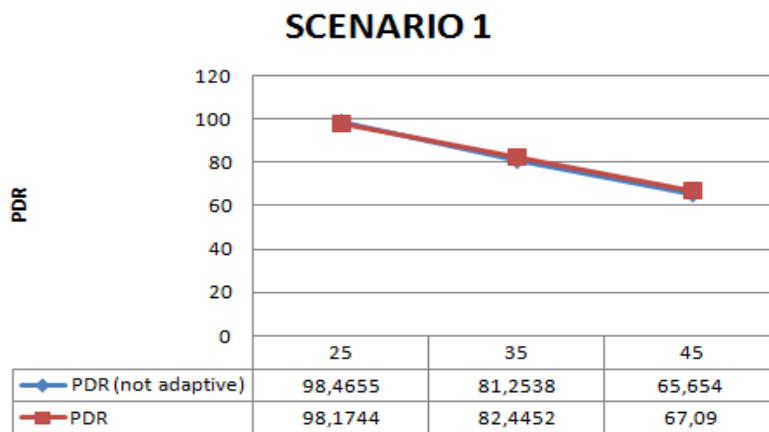
Έχοντας μελετήσει τις πιο πάνω γραφικές παραστάσεις, συμπέρασμα από αυτά βγαίνει πως η καλύτερη εξίσωση και συνδυασμός για το σενάριο 1, είναι η εξίσωση 2 με βάρη: Βάρος 1 = 0.6 και Βάρος 2 = 0.4. Οι τιμές των παραμέτρων που έδωσαν το καλύτερο συνδυασμό είναι οι εξής: γάμμα = 0.1, επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0.5 και αρχικό $\xi = 0.75$, να ενημερώνονται 4 hops και $ttw=2$. Τα αποτελέσματα για το σενάριο 1 έχουν ως εξής: PDR=82.45 % , το EED =0.34 ms, τα ξεχειλίσματα στις ουρές ήταν 544 πακέτα, ενώ οι συγκρούσεις στο μέσο ήταν 4916 πακέτα. Συνολικά στάλθηκαν 31103 πακέτα.

Όσο αφορά το σενάριο 2, καλύτερη εξίσωση ήταν η πρώτη, έχοντας τους εξής συνδυασμούς: γάμμα=0.01, επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0.5 και αρχικό $\xi = 0.5$, να ενημερώνονται 4 hops και $ttw=2$. Ο πιο πάνω συνδυασμός, έδωσε σαν αποτέλεσμα το PDR = 81.56% EED=0.37 ms, τα ξεχειλίσματα στις ουρές ήταν 426 πακέτα, ενώ οι συγκρούσεις στο μέσο ήταν 5306 πακέτα. Συνολικά στάλθηκαν 31087 πακέτα.

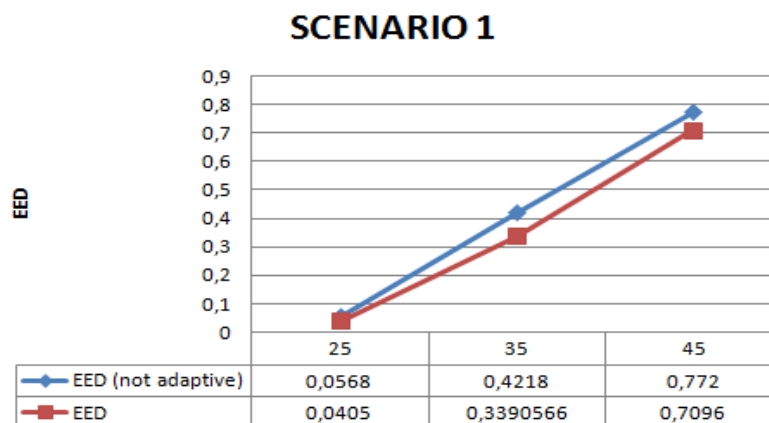
Σαν αποτέλεσμα, η καλύτερη κοινή εξίσωση για τα δύο σενάρια είναι η πρώτη με τον εξής συνδυασμό. Το γάμμα=0.01, επιθυμητό σημείο ρύθμισης = 0.75 και αρχικό $\xi = 0.5$, ενημέρωση 4 hops και $ttw=2$. Η επιλογή της συγκεκριμένης εξίσωσης αποφασίστηκε ως η κοινή καλύτερη λόγω του ότι μέσω αυτής δίνεται καλύτερο PDR για το σενάριο 2 αλλά και ένα αρκετό καλό αποτέλεσμα για το σενάριο 1. Ουσιαστικά, λόγω του ότι το σενάριο 1 έδινε γενικά σε περισσότερες περιπτώσεις

ένα καλό PDR με πολύ μικρή διαφορά, ενώ το σενάριο 2 λόγω των αποτυχημένων κόμβων, έδινε σε περιορισμένες περιπτώσεις ένα πολύ καλό PDR, αποφασίστηκε η συγκεκριμένη εξίσωση, όπου θα δίνει πολύ καλά αποτελέσματα και στις δύο περιπτώσεις. Τα αποτελέσματα για κάθε σενάριο έχουν ως εξής: για το σενάριο 1, PDR=82.08, το EED =0.35 ms, τα ξεχειλίσματα στις ουρές ήταν 426 πακέτα, ενώ οι συγκρούσεις στο μέσο ήταν 5146 πακέτα. Συνολικά στάλθηκαν 31099 πακέτα. Όσο αφορά το σενάριο 2, τα αποτελέσματα έχουν εξής: PDR = 81.56 % , EED = 0,37 ms, τα ξεχειλίσματα στις ουρές ήταν 426 πακέτα, ενώ οι συγκρούσεις στο μέσο ήταν 5306 πακέτα. Συνολικά στάλθηκαν 31087 πακέτα.

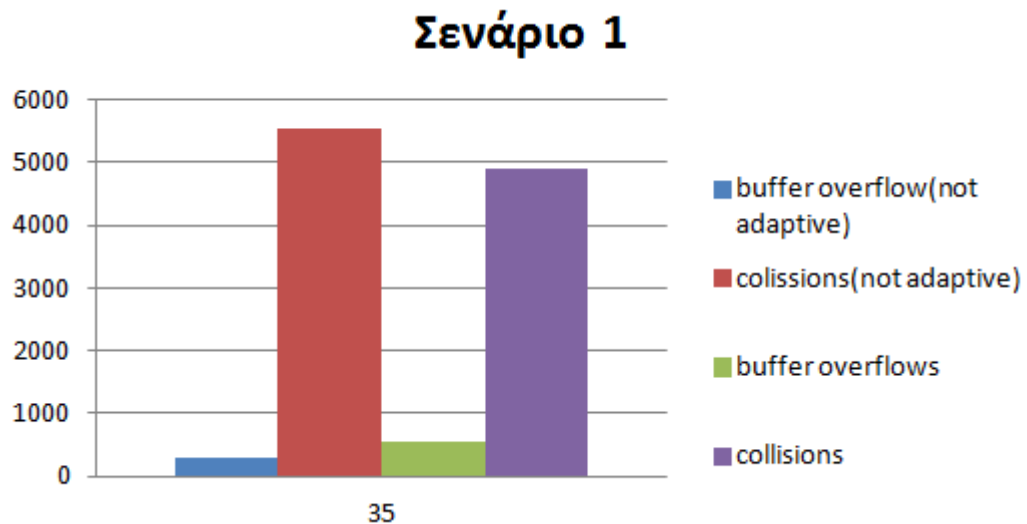
4.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων με default Flock -CC



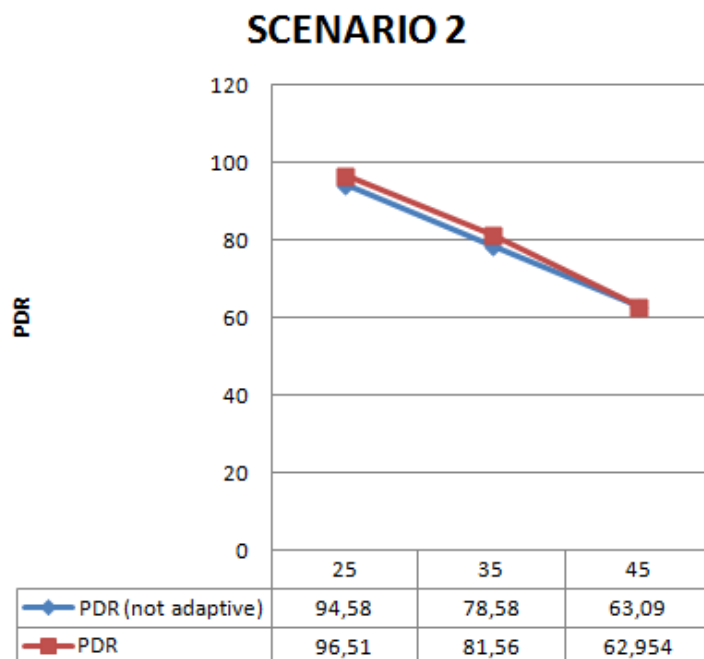
Σχήμα 4.59: Σύγκριση αποτελεσμάτων με το default Flock –CC και με προσαρμοστικότητα, ως προς το PDR για τα διάφορα rates.



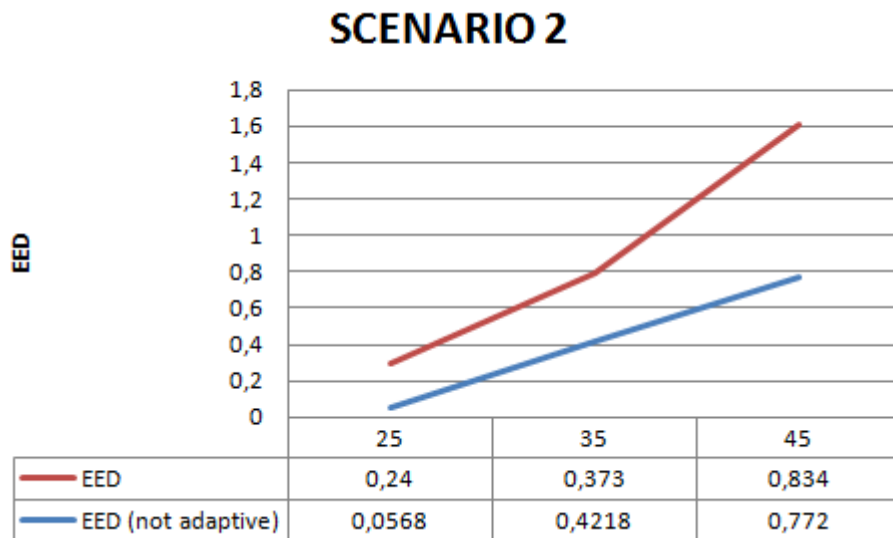
Σχήμα 4.60: Σύγκριση αποτελεσμάτων με το default Flock –CC και με προσαρμοστικότητα, ως προς το EED για τα διάφορα rates.



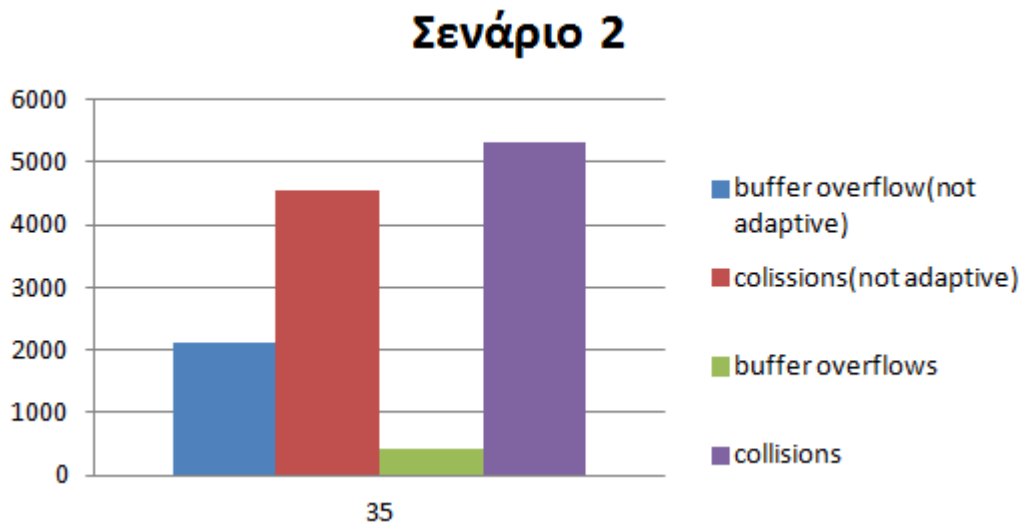
Σχήμα 4.61: Σύγκριση αποτελεσμάτων με το default Flock –CC και με προσαρμοστικότητα, ως προς ξεχείλισμα ουράς και συγκρούσεις στο μέσο για τα διάφορα rates.



Σχήμα 4.62: Σύγκριση αποτελεσμάτων με το default Flock –CC και με προσαρμοστικότητα, ως προς το PDR για τα διάφορα rates, για το σενάριο 2



Σχήμα 4.63: Σύγκριση αποτελεσμάτων με το default Flock –CC και με προσαρμοστικότητα, ως EED.



Σχήμα 4.64: Σύγκριση αποτελεσμάτων με το default Flock –CC και με προσαρμοστικότητα, ως προς ξεχείλιση ουράς και συγκρούσεις στο μέσο για τα διάφορα rates.

Στα σχήματα 4.59 ως 4.64, γίνεται σύγκριση τιμών για τις διάφορες παραμέτρους ανάμεσα στην προσαρμοστικότητα του Flock –CC και στο default. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.59, για το σενάριο 1, με φόρτο 35% (στο οποίο δίδεται περισσότερη έμφαση) η προσαρμοστικότητα δεν φαίνεται να βοηθά τόσο έτσι ώστε να υπάρχει κάποια διαφορά. Υπάρχει μια αύξηση όμως από 81,25% σε 82,44%. Επίσης, η παράμετρος EED, μειώνεται από 0,42 σε 0,34 ms, ενώ οι συγκρούσεις μειώνονται κατά ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό. Άνοδος όμως υπάρχει για τα ξεχειλίσματα στις ουρές.

Όσο αφορά το σενάριο 2, στο σχήμα 4.62, παρουσιάζεται η σύγκριση τιμών για το PDR. Στη συγκεκριμένη περίπτωση υπάρχει μια αρκετή άνοδος ποσοστού. Συγκεκριμένα, παίρνοντας το φόρτο 35%, παρατηρείται άνοδος από 78,58% σε 81,56% ενώ μειώνεται επίσης και το EED. οι παράμετροι για το ξεχείλισμα των ουρών και τις συγκρούσεις στο μέσο, δίδουν τα εξής αποτελέσματα. Όσο αφορά τις συγκρούσεις, υπάρχει άνοδος με την εφαρμογή της προσαρμοστικότητας, όμως μειώνεται κατά πολύ το ποσό των ξεχειλισμένων πακέτων από τις ουρές.

Σαν γενικό συμπέρασμα, στο σενάριο 1, για την αύξηση του PDR βοήθησε η μείωση των συγκρούσεων στο μέσο, ενώ για το σενάριο 2, η μείωση των ξεχειλισμένων πακέτων από τις ουρές είναι αυτό που ώθησε το PDR με προσαρμοστικότητα να δώσει τη διαφορά σε σχέση με το default Flock –CC.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

5.1 Επίλογος	94
5.2 Μελλοντική δουλειά	95

5.1 Επίλογος

Στη διπλωματική αυτή εργασία δόθηκε έμφαση στην έννοια της προσαρμοστικότητας, η οποία εφαρμόστηκε στο πρωτόκολλο Flock – CC. Η λογική του πρωτοκόλλου στηρίχτηκε στην ομαδική κίνηση των πακέτων προς τον προορισμό τους, που είναι το sink. Η λογική αυτή υιοθετήθηκε, έτσι ώστε να γίνει έλεγχος της κίνησης των πακέτων σαν κοπάδι αποφεύγοντας τη συμφόρηση και τους ελαττωματικούς κόμβους.

Το πρωτόκολλο είναι εμπνευσμένο από την λογική του Couzin, από το οποίο έγινε μεταφορά σε ένα τοπολογικό χώρο για να μπορέσει να γίνει εφικτός ο καθορισμός της κίνησης των πακέτων στο περιβάλλον των ασύρματων αισθητήρων. Το πρωτόκολλο βασίζεται στα εξής χαρακτηριστικά: 1) κάθε πακέτο δέχεται δυνάμεις έλξης και απώθησης από τα πακέτα που βρίσκονται σε γειτονικούς κόμβους και οι οποίοι βρίσκονται μέσα στο οπτικό του πεδίο. 2) το μαγνητικό πεδίο κατευθύνει τα πακέτα προς το sink, 3) το οπτικό πεδίο και η τυχαιοποίηση για επιλογή τυχαίου μονοπατιού. Το πρωτόκολλο όμως στη συγκεκριμένη διπλωματική, έχει αλλαχτεί. Συγκεκριμένα, η έννοια της προσαρμοστικότητας, ήρθε να ενισχύσει κάποιες μετρικές που μπορούν να χαρακτηρίσουν το δίκτυο, οι οποίες είναι το PDR και EED. η επιτυχία της προσαρμοστικότητας, βασίστηκε σε κάποιες παραμέτρους, οι οποίες ανάλογα με τις συνθήκες του δικτύου, λάμβανε αποφάσεις, με στόχο την πιο αποδοτική και αποτελεσματική λειτουργία του πρωτοκόλλου. Οι παράμετροι που εφαρμόζουν την προσαρμοστικότητα είναι το ξ (που ήδη υπήρχε στο πρωτόκολλο) και

καθορίζει το πόσο θα εξαπλωθεί το κοπάδι και το T δηλαδή το sampling period, το οποίο πάλι χρησιμοποιήθηκε στο default πρωτόκολλο. Η διαφορά που υπάρχει όμως τώρα, είναι ότι το ξ και T , δεν είναι σταθερά. Συγκεκριμένα, το ξ υπολογίζεται βάση της καλύτερης από τις τρεις εξισώσεις που προτάθηκαν και το T , το οποίο αρχικά είναι σταθερό, αλλάζει όταν υπάρξει κάποιος ελαττωματικός κόμβος. Με την αλλαγή του T , έρχονται να συνδυαστούν δύο άλλοι παράμετροι που είναι το tth (πόσα hops θα ενημερώσει για τον ελαττωματικό κόμβο) και ttw (πότε θα επαναφέρει το T στην αρχική του τιμή).

5.3 Μελλοντική δουλειά

Μια εισήγηση ως προς μελλοντική δουλειά που μπορεί να γίνει πάνω στη συγκεκριμένη διπλωματική είναι η ένταξη περισσότερης προσαρμοστικότητας, η οποία όπως φάνηκε βελτίωσε τη λειτουργία του πρωτοκόλλου, ιδίως σε σενάρια με ελαττωματικούς κόμβους. Συγκεκριμένα, θα μπορούσε να ενταχθεί προσαρμοστικότητα ως προς τη παράμετρο γάμμα. Να υπάρχει αυξομείωση της τιμής της ανάλογα με το αν οι συνθήκες το απαιτούν ή το επιτρέπουν, για να μπορέσει να βελτιώσει το PDR και κατά συνέπεια τα χαμένα πακέτα από συγκρούσεις ή ξεχειλίσμα ουρών. Επίσης, μια άλλη εισήγηση είναι να πραγματοποιηθεί έλεγχος για να γίνει πρόληψη ξεχειλίσματος στις ουρές των κόμβων που όπως φάνηκε στο σενάριο1, η προσαρμοστικότητα δεν βοήθησε και επίσης να γίνεται τροποποίηση έτσι ώστε η ανταλλαγή και μεταφορά μηνυμάτων στο ελάχιστο, μειώνοντας έτσι τη σπατάλη ενέργειας που είναι ένας σημαντικός παράγοντας στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

Βιβλιογραφία

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su*, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, “Wireless sensor networks: a survey” Computer Networks vol. 38, pp 393–422, 2002.

- [2] Pavlos Antoniou, Andreas Pitsillides, Tim Blackwell, Andries Engelbrecht, Loizos Michael, “Congestion Control in Wireless Sensor Networks based on Bird Flocking Behavior”, 2012

- [3] Chonggang Wang, Kazem Sohraby, Bo Li, and Weiwen Tang,
“Issues of Transport Control Protocols for Wireless Sensor Networks”

- [4] Kazem Sohraby, Daniel Minoli, Taieb F Znati, “Wireless sensor networks: technology, protocols and applications” Publisher: Hoboken, N.J. : Wiley-Interscience, 2007, ISBN: 978-0-471-74300-2

- [5] Sensors, Advancements in Modeling, Design Issues, Fabrication and Practical Applications, Publisher: Springer- Verlag Berlin Heudenberg, 2008, ISBN: 978-3-540-69030-6

- [6] Iain D. Couzin, Jens Krause, Richard James, Graeme D. Ruxton, Nigel R. Franks, “Collective Memory and Spatial Sorting in Animal Groups” 2002

Παράρτημα Α

Για την καλύτερη επεξήγηση της προσαρμοστικότητας όσο αφορά το sampling period, όπου εντάσσονται οι παράμετροι tth και ttw, πιο κάτω φαίνεται ένα μέρος παραδείγματος με επεξηγήσεις. Στα αρχεία που υπάρχουν στο CD, είναι η ίδια τοπολογία με αυτή του σεναρίου 1, με διαφορά ότι: στα 40 δευτερόλεπτα κάνει “fail” ο κόμβος 130 ενώ στα 60 δευτερόλεπτα κάνει “fail” ο κόμβος 260.

Στα παραδείγματα του CD, δίδονται παραδείγματα για:

- Ενημέρωση 2 hops πιο κάτω(tth1.txt),
- Ενημέρωση 3 hops πιο κάτω (tth2.txt),
- Ενημέρωση 4 hops πιο κάτω (tth3.txt)

Επίσης, δίνονται παραδείγματα για το σενάριο 2 με ανάλογα tth (scen2_tth0 (ενημέρωση 1 hop μακριά), scen2_tth1(ενημέρωση 2 hops μακριά), scen2_tth2(ενημέρωση 3 hops μακριά), scen2_tth3(ενημέρωση 4 hops μακριά)).

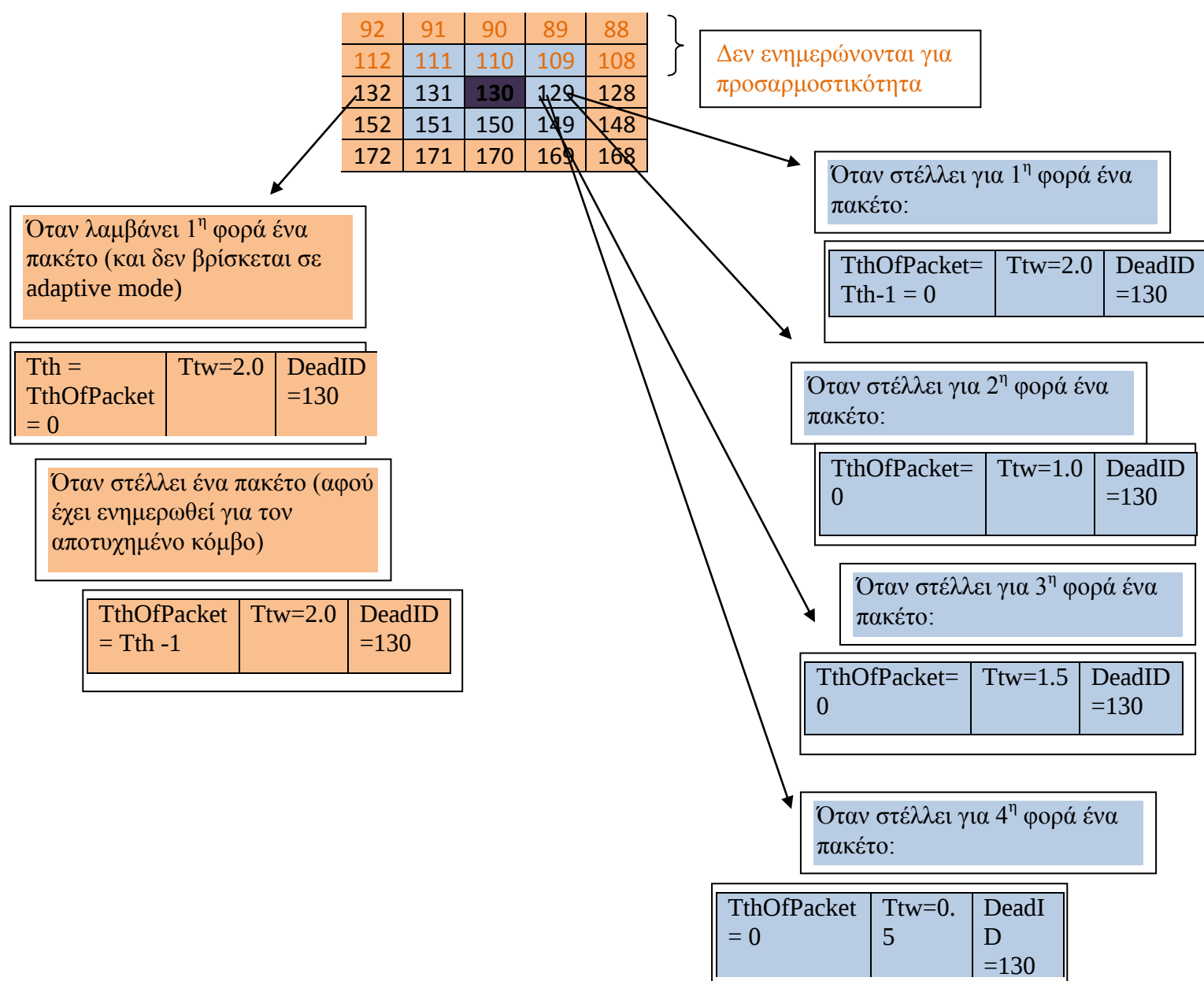
Στο πιο κάτω παράδειγμα γίνεται επεξήγηση της περίπτωσης για ενημέρωση 2 hops πιο κάτω και ttw=2, για τον κόμβο 130, που στα 40 δευτερόλεπτα κάνει “fail”.

Σαν παράμετρο το πρόγραμμα, για να ενημερώσει 2 hops πιο κάτω, του δίνεται η παράμετρος tth=1 και ttw=2. Στο tth, δίδεται ο αριθμός 1, για το λόγο ότι στο πρόγραμμα συνεχίζει μέχρι να φτάσει το -1, όπου σταματά να ενημερώνει. Οι κόμβοι που θα εφαρμόσουν την προσαρμοστικότητα είναι όσοι βρίσκονται σε ίσο ή μεγαλύτερο hop count από τον αποτυχημένο κόμβο.

19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20
59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40
79	78	77	76	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61	60
99	98	97	96	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81	80
119	118	117	116	115	114	113	112	111	110	109	108	107	106	105	104	103	102	101	100
139	138	137	136	135	134	133	132	131	130	129	128	127	126	125	124	123	122	121	120
159	158	157	156	155	154	153	152	151	150	149	148	147	146	145	144	143	142	141	140
179	178	177	176	175	174	173	172	171	170	169	168	167	166	165	164	163	162	161	160
199	198	197	196	195	194	193	192	191	190	189	188	187	186	185	184	183	182	181	180
219	218	217	216	215	214	213	212	211	210	209	208	207	206	205	204	203	202	201	200
239	238	237	236	235	234	233	232	231	230	229	228	227	226	225	224	223	222	221	220

259	258	257	256	255	254	253	252	251	250	249	248	247	246	245	244	243	242	241	240
279	278	277	276	275	274	273	272	271	270	269	268	267	266	265	264	263	262	261	260
299	298	297	296	295	294	293	292	291	290	289	288	287	286	285	284	283	282	281	280

Πίνακας Α.1: Η τοπολογία του δικτύου. Ο κόμβος 130 είναι αυτός που κάνει “fail”. Οι κόμβοι με γαλάζιο φόντο είναι αυτοί που βρίσκονται ένα hop μακριά, ενώ αυτοί που βρίσκονται 2 hops μακριά έχουν φόντο πορτοκαλί.



Σχήμα A.1: έμφαση σε μια μικρότερη περιοχή της τοπολογίας του δικτύου. Με $tth=1$ και $ttw=2$.

Μέσα στο αρχείο, υπάρχουν κόμβοι που φαίνονται ως αποτυχημένοι, είτε λόγω λήξης του Tlost είτε λόγω του ότι έγιναν “fail”. Όταν ένας κόμβος κάνει “fail”, τυπώνεται μέσα στο αρχείο η γραμμή «Node idNode has failed» (όπου το idNode είναι ο αριθμός του κόμβου).

Έτσι αρχικά τυπώνεται το πιο κάτω μήνυμα στα 40 δευτερόλεπτα.

Node 130 has failed

Node 130 has failed at 40.000000

Εδώ θα γίνει εφαρμογή της προσαρμοστικότητας για hop count μεγαλύτερα και ίσα από το 4 (αφού ο κόμβος 130 είναι σε 4 hops μακριά από το sink). Ο 131 είναι γείτονας (1 hop μακριά) του 130 και το ανακαλύπτει, οπότε εφαρμόζει προσαρμοστικότητα και τον αφαιρεί από τον πίνακα γειτνίασης του.

Found dead node. The dead node id is: 130 and it's 4 hops away from sink.

Adaptive for the node with id: 131

REMOVE DEAD NODE FOUND AT 40.037399 FROM THE TABLE OF
NODE WITH ID:131

Το ίδιο κάνει και ο 149, ο 129, 150, 151 (οι οποίοι είναι όλοι 1 hop μακριά από τον αποτυχημένο κόμβο) όπως φαίνεται πιο κάτω.

Found dead node. The dead node id is: 130 and it's 4 hops away from sink.

Adaptive for the node with id: 149

REMOVE DEAD NODE FOUND AT 40.061547 FROM THE TABLE OF
NODE WITH ID:149

Found dead node. The dead node id is: 130 and it's 4 hops away from sink.

Adaptive for the node with id: 129

REMOVE DEAD NODE FOUND AT 40.113367 FROM THE TABLE OF
NODE WITH ID:129

Found dead node. The dead node id is: 130 and it's 4 hops away from sink.

Adaptive for the node with id: 150

REMOVE DEAD NODE FOUND AT 40.151209 FROM THE TABLE OF
NODE WITH ID:150

Found dead node. The dead node id is: 130 and it's 4 hops away from sink.

Adaptive for the node with id: 151

REMOVE DEAD NODE FOUND AT 40.168523 FROM THE TABLE OF
NODE WITH ID:151

Μέχρι τώρα, ανακαλύφθηκε από τους κόμβους που βρίσκονταν 1 hop μακριά. Τώρα και αυτοί με τη σειρά τους θα ενημερώσουν τους κόμβους που βρίσκονται 2 hops μακριά από τον 130.

Ο 131, θα στείλει πακέτο το οποίο θα περιλαμβάνει τις πληροφορίες για το tth, ttw και για το id του κόμβου που πέθανε. Πριν στείλει το πακέτο, θα μειώσει το tth κατά ένα(μόνο την πρώτη φορά που θα στείλει ο κάθε ένας), για να ξέρουν οι επόμενοι κόμβοι μέχρι ποιο σημείο θα ενημερωθούν. Το ttw, παραμένει ως έχει λόγω του ότι είναι η πρώτη φορά που στέλλει πακέτο ο 131.

Send packet: I am the node with id= 131. I send this packet information: tth= 0,
ttw=2.000000

Send packet at 40.537399

Οι κόμβοι 132 και 152 ενημερώνονται από τον γείτονά τους (τον 131), ο οποίος έχει μάθει για τον αποτυχημένο κόμβο 130. Λαμβάνοντας το πακέτο ο 132 και 152, παίρνει τις πληροφορίες από το πακέτο και θέτει το tth= 0 (όσο δηλαδή ήταν το tth μέσα στο πακέτο), ενώ το ttw γίνεται ίσο με το αρχικό ttw που τέθηκε σαν παράμετρος στην αρχή του προγράμματος.

Receive packet: I am 132 node and the packet tth = 0

Receive packet: Received from node 131 at 40.538319

Receive packet: I am 152 node and the packet tth = 0

Receive packet: Received from node 131 at 40.538319

Ο 149, θα στείλει πακέτο το οποίο θα περιλαμβάνει τις πληροφορίες για το tth, ttw και για το id του κόμβου που πέθανε. Πριν στείλει το πακέτο, θα μειώσει το tth κατά ένα,

για να ξέρουν οι επόμενοι κόμβοι μέχρι ποιο σημείο θα ενημερωθούν. Το ttw, παραμένει ως έχει λόγω του ότι είναι η πρώτη φορά που στέλλει πακέτο ο 149.

Send packet: I am the node with id= 149. I send this packet information: tth= 0, ttw=2.000000

Send packet at 40.561547

Οι υπόλοιποι κόμβοι που βρίσκονται 2 hops μακριά (πορτοκαλί χρώμα πίνακα)από τον αποτυχημένο κόμβο, εφαρμόζουν τον κανόνα που αναφέρθηκε πριν(για όταν λαμβάνουν ένα μήνυμα). Οι κόμβοι αυτοί λαμβάνουν μηνύματα από τους κόμβους 1 hop μακριά του αποτυχημένου κόμβου (μπλε χρώμα στον πίνακα).

Receive packet: I am 148 node and the packet tth = 0

Receive packet: Received from node 149 at 40.565111

Receive packet: I am 169 node and the packet tth = 0

Receive packet: Received from node 149 at 40.565111

Receive packet: I am 168 node and the packet tth = 0

Receive packet: Received from node 149 at 40.565111

Receive packet: I am 170 node and the packet tth = 0

Receive packet: Received from node 149 at 40.565111

Ο 129, θα στείλει πακέτο το οποίο θα περιλαμβάνει τις πληροφορίες για το tth, ttw και για το id του κόμβου που πέθανε. Πριν στείλει το πακέτο, θα μειώσει το tth κατά ένα, για να ξέρουν οι επόμενοι κόμβοι μέχρι ποιο σημείο θα ενημερωθούν. Το ttw, παραμένει ως έχει λόγω του ότι είναι η πρώτη φορά που στέλλει πακέτο ο 129.

Send packet: I am the node with id= 129. I send this packet information: tth= 0, ttw=2.000000

Send packet at 40.613367

Οι υπόλοιποι κόμβοι που βρίσκονται 2 hops μακριά (πορτοκαλί χρώμα πίνακα)από τον αποτυχημένο κόμβο, εφαρμόζουν τον κανόνα που αναφέρθηκε πριν(για όταν λαμβάνουν ένα μήνυμα). Οι κόμβοι αυτοί λαμβάνουν μηνύματα από τους κόμβους 1 hop μακριά του αποτυχημένου κόμβου (μπλε χρώμα στον πίνακα).

Receive packet: I am 128 node and the packet tth = 0

Receive packet: Received from node 129 at 40.618618

Ο 130 λαμβάνει το μήνυμα από τον γείτονα του(ο οποίος έθεσε το $tth=0$ γιατί πριν το στείλει το μείωσε), αλλά ο 130 το αγνοεί (έχει αποτύχει ο 130).

Receive packet: I am 130 node and the packet $tth = 0$

Receive packet: Received from node 129 at 40.618618

Οι κόμβοι 150 και 151, θα στείλουν πακέτο το οποίο θα περιλαμβάνει τις πληροφορίες για το tth , ttw και για το id του κόμβου που πέθανε. Πριν στείλουν το πακέτο, θα μειώσουν το tth κατά ένα, για να ξέρουν οι επόμενοι κόμβοι μέχρι ποιο σημείο θα ενημερωθούν. Το ttw , παραμένει ως έχει λόγω του ότι είναι η πρώτη φορά που στέλλουν πακέτο.

Send packet: I am the node with $id= 150$. I send this packet information: $tth= 0$, $ttw=2.000000$

Send packet at 40.651209

Send packet: I am the node with $id= 151$. I send this packet information: $tth= 0$, $ttw=2.000000$

Send packet at 40.668523

Οι κόμβοι 171 και 172 λαμβάνουν το μήνυμα και εφαρμόζουν τη διαδικασία που αναφέρθηκε πιο πριν(όταν λαμβάνουν ένα μήνυμα).

Receive packet: I am 171 node and the packet $tth = 0$

Receive packet: Received from node 151 at 40.669283

Receive packet: I am 172 node and the packet $tth = 0$

Receive packet: Received from node 151 at 40.669283

Οι πιο κάτω κόμβοι, θα στείλουν πακέτο και εφαρμόσουν τη διαδικασία που αναφέρθηκε πιο πριν(όταν στέλλουν ένα μήνυμα). Το tth θα μείνει ως είχε από την πρώτη φορά που έστηλαν πακέτο, ενώ το ttw , θα μειωθεί κατά 0.5, δηλαδή κατά sampling period αφού έχουν εφαρμόσει την προσαρμοστικότητα. Όταν το ttw γίνει 0, θα επαναφέρουν το sampling period τους σε 2.

Send packet: I am the node with $id= 131$. I send this packet information: $tth= 0$, $ttw=1.500000$

Send packet at 41.037399

Send packet: I am the node with id= 149. I send this packet information: tth= 0,
ttw=1.500000

Send packet at 41.061547

Send packet: I am the node with id= 129. I send this packet information: tth= 0,
ttw=1.500000

Send packet at 41.113367

Send packet: I am the node with id= 150. I send this packet information: tth= 0,
ttw=1.500000

Send packet at 41.151209

Send packet: I am the node with id= 151. I send this packet information: tth= 0,
ttw=1.500000

Send packet at 41.168523

Send packet: I am the node with id= 131. I send this packet information: tth= 0,
ttw=1.000000

Send packet at 41.537399

Send packet: I am the node with id= 149. I send this packet information: tth= 0,
ttw=1.000000

Send packet at 41.561547

Send packet: I am the node with id= 129. I send this packet information: tth= 0,
ttw=1.000000

Send packet at 41.613367

Send packet: I am the node with id= 150. I send this packet information: tth= 0,
ttw=1.000000

Send packet at 41.651209

Send packet: I am the node with id= 151. I send this packet information: tth= 0,
ttw=1.000000

Send packet at 41.668523

Send packet: I am the node with id= 131. I send this packet information: tth= 0,
ttw=0.500000

Send packet at 42.037399

Send packet: I am the node with id= 149. I send this packet information: tth= 0,
ttw=0.500000

Send packet at 42.061547

Ο 128, επειδή 1^η φορά στέλλει θέτει το ttw ίσο με 2 και μειώνει το tth κατά ένα. Δεν θα ενημερωθούν πιο κάτω κόμβοι από αυτόν όμως γιατί το tth=-1.

Send packet: I am the node with id= 128. I send this packet information: tth= -1,
ttw=2.000000

Send packet at 42.067297

Το ίδιο με τον κόμβο 128, κάνουν και οι κόμβοι 170,168,148,171.

Send packet: I am the node with id= 170. I send this packet information: tth= -1,
ttw=2.000000

Send packet at 42.077336

Send packet: I am the node with id= 168. I send this packet information: tth= -1,
ttw=2.000000

Send packet at 42.096576

Send packet: I am the node with id= 148. I send this packet information: tth= -1,
ttw=2.000000

Send packet at 42.097591

Send packet: I am the node with id= 171. I send this packet information: tth= -1,
ttw=2.000000

Send packet at 42.113128

Ο 129 στέλλει ξανά μήνυμα. Είναι η 4^η φορά που στέλλει, άρα είναι το 4^ο sampling period για αυτόν που είναι σε 0.5.

Send packet: I am the node with id= 129. I send this packet information: tth= 0,
ttw=0.500000

Send packet at 42.113367

Ο 149 λαμβάνει μήνυμα επειδή έχει λήξει ο χρόνος όπου βρισκόταν σε adaptive mode(από τον χρόνο δηλαδή που το έχει μάθει, έχουν περάσει 4 sampling period των 0.5 δευτερολέπτων => το ttw του έχει γίνει 0).

Receive packet: I am 149 node and the packet tth = 0

Receive packet: Received from node 129 at 42.118449

Ο 132 στέλλει μήνυμα, αλλά κανένας δεν θα εφαρμόσει προσαρμοστικότητα μέσω αυτού, λόγω του ότι το $tth=-1$. Το ttw είναι ίσο με 2 γιατί 1^η φορά στέλλει.

Send packet: I am the node with id= 132. I send this packet information: $tth= -1$, $ttw=2.000000$

Send packet at 42.139883

Ο 150 έχει στείλει 3 φορές και τώρα στέλλει τη τελευταία φορά πριν βγει από το adaptive mode.

Send packet: I am the node with id= 150. I send this packet information: $tth= 0$, $ttw=0.500000$

Send packet at 42.151209

Οι κόμβοι 170 και 171, λαμβάνουν μήνυμα λόγω του ότι έχουν βγει από τη φάση προσαρμοστικότητας.

Receive packet: I am 170 node and the packet $tth = 0$

Receive packet: Received from node 150 at 42.154493

Receive packet: I am 171 node and the packet $tth = 0$

Receive packet: Received from node 150 at 42.154494

Ο 152 και 172 στέλλουν μήνυμα, αλλά κανένας δεν θα εφαρμόσει προσαρμοστικότητα μέσω αυτού, λόγω του ότι το $tth=-1$. Το ttw είναι ίσο με 2 γιατί 1^η φορά στέλλει.

Send packet: I am the node with id= 152. I send this packet information: $tth= -1$, $ttw=2.000000$

Send packet at 42.160160

Send packet: I am the node with id= 172. I send this packet information: $tth= -1$, $ttw=2.000000$

Send packet at 42.164180

Ο 151 έχει στείλει 3 φορές και τώρα στέλλει τη τελευταία φορά πριν βγει από το adaptive mode.

Send packet: I am the node with id= 151. I send this packet information: $tth= 0$, $ttw=0.500000$

Send packet at 42.168523

Οι πιο κάτω κόμβοι, λαμβάνουν μήνυμα γιατί από το χρόνο που το έμαθαν, έχει λήξει ο χρόνος προσαρμοστικότητας τους.

Receive packet: I am 152 node and the packet tth = 0

Receive packet: Received from node 151 at 42.169618

Receive packet: I am 172 node and the packet tth = 0

Receive packet: Received from node 151 at 42.169618

Οι πιο κάτω κόμβοι στέλλουν μήνυμα, αλλά κανένας δεν θα εφαρμόσει προσαρμοστικότητα μέσω αυτού, λόγω του ότι το tth=-1. Το ttw είναι ίσο με 2 γιατί 1^η φορά στέλλει.

Send packet: I am the node with id= 169. I send this packet information: tth= -1, ttw=2.000000

Send packet at 42.199812

Send packet: I am the node with id= 149. I send this packet information: tth= -1, ttw=2.000000

Send packet at 44.061547

Send packet: I am the node with id= 170. I send this packet information: tth= -1, ttw=2.000000

Send packet at 44.077336

Send packet: I am the node with id= 171. I send this packet information: tth= -1, ttw=2.000000

Send packet at 44.113128

Send packet: I am the node with id= 152. I send this packet information: tth= -1, ttw=2.000000

Send packet at 44.160160

Send packet: I am the node with id= 172. I send this packet information: tth= -1, ttw=2.000000

Send packet at 44.164180