



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ
ΠΑΡΟΧΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ (QOS) ΣΕ NOC
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ
NOXIM

ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

Σταμούλης Γεώργιος, Λάλλας Ευθύμιος
Καθηγητής, Επίκουρος καθηγητής

Λαμία έτος 2020



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ
ΠΑΡΟΧΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ (QOS) ΣΕ ΝΟC
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ
ΝΟΧΙΜ

ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

Σταμούλης Γεώργιος, Λάλλας Ευθύμιος
Καθηγητής, Επίκουρος καθηγητής

Λαμία έτος 2020



UNIVERSITY OF
THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

INVESTIGATION OF QUALITY OF SERVICE
(QOS) PARAMETERS IN NOC SYSTEMS USING
NOXIM SIMULATOR

TRIANTAFYLLOY DIMITRIOS

FINAL THESIS

ADVISOR

Stamoulis Georgios, Lallas Eythymios
Professor, Assistant professor

Lamia year 2020

«Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις ⁽¹⁾, που προβλέπονται από της διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

1. Δεν παραθέτω κομμάτια βιβλίων ή άρθρων ή εργασιών άλλων αυτολεξεί **χωρίς να τα περικλείω σε εισαγωγικά** και χωρίς να αναφέρω το συγγραφέα, τη χρονολογία, τη σελίδα. Η αυτολεξεί παράθεση χωρίς εισαγωγικά χωρίς αναφορά στην πηγή, είναι λογοκλοπή. Πέραν της αυτολεξεί παράθεσης, λογοκλοπή θεωρείται και η παράφραση εδαφίων από έργα άλλων, συμπεριλαμβανομένων και έργων συμφοιτητών μου, καθώς και η παράθεση στοιχείων που άλλοι συνέλεξαν ή επεξεργάστηκαν, χωρίς αναφορά στην πηγή. Αναφέρω πάντοτε με πληρότητα την πηγή κάτω από τον πίνακα ή σχέδιο, όπως στα παραθέματα.

2. Δέχομαι ότι η αυτολεξεί **παράθεση χωρίς εισαγωγικά**, ακόμα κι αν συνοδεύεται από αναφορά στην πηγή σε κάποιο άλλο σημείο του κειμένου ή στο τέλος του, είναι αντιγραφή. Η αναφορά στην πηγή στο τέλος π.χ. μιας παραγράφου ή μιας σελίδας, δεν δικαιολογεί συρραφή εδαφίων έργου άλλου συγγραφέα, έστω και παραφρασμένων, και παρουσίασή τους ως δική μου εργασία.

3. Δέχομαι ότι υπάρχει επίσης περιορισμός στο μέγεθος και στη συχνότητα των παραθεμάτων που μπορώ να εντάξω στην εργασία μου εντός εισαγωγικών. Κάθε μεγάλο παράθεμα (π.χ. σε πίνακα ή πλαίσιο, κλπ), προϋποθέτει ειδικές ρυθμίσεις, και όταν δημοσιεύεται προϋποθέτει την άδεια του συγγραφέα ή του εκδότη. Το ίδιο και οι πίνακες και τα σχέδια

4. Δέχομαι όλες τις συνέπειες σε περίπτωση λογοκλοπής ή αντιγραφής.

Ημερομηνία:/...../20.....

Ο – Η Δηλ.

(1) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον περιουσιακό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων οδηγεί στην εντατικοποίηση της έρευνας νέων αρχιτεκτονικών Network On Chip, καθώς και στην προσπάθεια βελτιστοποίησης της παρεχόμενης από αυτά Ποιότητας Υπηρεσιών (Quality Of Service). Θα δούμε τι είναι τα Network On Chip, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε σχέση με παραδοσιακές διασυνδέσεις, τα διαφορετικά είδη και τις διάφορες τοπολογίες τους, καθώς και τις τεχνικές δρομολόγησης και μεταγωγής που χρησιμοποιούν. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τον εξομοιωτή Noxim που θα χρησιμοποιήσουμε στην μελέτη μας και τις δυνατότητές του. Κάνοντας χρήση αυτού θα παραχθούν μετρήσεις και θα αναλυθούν έχοντας ως οπτική την βελτίωση της Ποιότητας Παροχής Υπηρεσιών και την κατάλληλη επιλογή αλγορίθμου σε κάθε περίπτωση. Τέλος θα συγκεντρώσουμε τα επιμέρους στοιχεία και θα προσπαθήσουμε να καταλήξουμε σε κάποια συγκεντρωτικά συμπεράσματα.

ABSTRACT

The increasing complexity of integrated circuits is leading to the intensification of research on new Network On Chip architectures, as well as the attempt to optimize the Quality Of Service provided by them. We will analyze what a Network On Chip is, its advantages and disadvantages over traditional interfaces, their different types and topologies, and their routing and switching techniques as well. Next, we will present the Noxim simulator that we will use in our study and its capabilities. Using this, measurements will be produced and analyzed with the view of improving the Quality of Service and selecting the appropriate routing algorithm in each case. Finally, we will summarize the individual elements and try to reach some conclusions.

Table of Contents

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ABSTRACT	III
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	<u>2</u>
(ΥΠΟΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.1).....	2
(ΕΝΟΤΗΤΑ 1.1.Α) ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ</u>	<u>3</u>
(ΥΠΟΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.1).....	3
(ΕΝΟΤΗΤΑ 2.1.Α) ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	3
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 NETWORKS ON CHIP</u>	<u>4</u>
(ΥΠΟΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.1).....	4
(ΕΝΟΤΗΤΑ 3.1.Α) ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ NETWORK ON CHIP	4
(ΕΝΟΤΗΤΑ 3.1.Β) ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ NOC ΜΕ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΚΟΙΝΟΥ ΔΙΑΥΛΟΥ	5
(ΥΠΟΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.2).....	6
(ΕΝΟΤΗΤΑ 3.2.Α) ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ NETWORK ON CHIP	6
(ΕΝΟΤΗΤΑ 3.2.Β) ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΤΩΝ NETWORK ON CHIP.....	6
(ΕΝΟΤΗΤΑ 3.2.Γ) ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ.....	7
(ΕΝΟΤΗΤΑ 3.2.Δ) WIRELESS NOC.....	7
(ΕΝΟΤΗΤΑ 3.2.Ε) OPTICAL NOC	8
(ΥΠΟΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.3).....	8
(ΕΝΟΤΗΤΑ 3.3.Α) ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ	8
(ΕΝΟΤΗΤΑ 3.3.Β) ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ.....	9
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 NOXIM</u>	<u>10</u>
(ΥΠΟΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.1).....	10
(ΕΝΟΤΗΤΑ 4.1.Α) ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
(ΕΝΟΤΗΤΑ 4.1.Β) ΜΕΓΕΘΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ	10
(ΕΝΟΤΗΤΑ 4.1.Γ) ΜΕΓΕΘΟΣ BUFFER.....	10
(ΕΝΟΤΗΤΑ 4.1.Δ) ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΑΚΕΤΟΥ	10
(ΕΝΟΤΗΤΑ 4.1.Ε) ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	10
(ΕΝΟΤΗΤΑ 4.1.ΣΤ) ΡΥΘΜΟΣ ΕΓΧΥΣΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ	12
(ΕΝΟΤΗΤΑ 4.1.Ζ) ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ	13
(ΕΝΟΤΗΤΑ 4.1.Η) ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	13
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....</u>	<u>15</u>

(ΥΠΟΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.1)	15
(ΕΝΟΤΗΤΑ 5.1.Α) ΜΕΘΟΛΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	15
(ΕΝΟΤΗΤΑ 5.1.Β) ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	15
(ΕΝΟΤΗΤΑ 5.1.Γ) ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	23
ΕΝΟΤΗΤΑ 5.1.Γ) ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΑΡΕΞΗΣ HOTSPOT ΚΟΜΒΟΥ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	33
ΕΝΟΤΗΤΑ 5.1.Δ) ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΓΕΘΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	35
ΕΝΟΤΗΤΑ 5.1.Ε) ΜΕΛΕΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ (WORST CASE SCENARIO) .	42
ΕΝΟΤΗΤΑ 5.1.ΣΤ) ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΕΙΡΙΣΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΜΕ ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	45
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	49
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή

(Υποκεφάλαιο 1.1)

(Ενότητα 1.1.α) Εισαγωγή

Η συνεχόμενη αύξηση των συσκευών που απαιτούν διασύνδεση μεταξύ τους, τόσο εσωτερικά σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα όσο και γενικά μεταξύ τους σε αυτό που ονομάζεται Internet Of Things, μας οδηγούν στο να αναζητήσουμε νέους τρόπους ποιοτικής διασύνδεσης μεταξύ τους. Οι παραδοσιακοί τρόποι διασύνδεσης, όπως με μεμονωμένα καλώδια μεταξύ των κόμβων ή με την χρήση κοινού διαύλου παρουσιάζουν ζητήματα σε αυτού του είδους τις εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα η χρήση μεμονωμένων καλωδίων μας περιορίζει καθώς είναι εφικτή μόνο για μικρό αριθμό κόμβων, με την συμφόρηση να αυξάνεται εκθετικά καθώς μεγαλώνει ο αριθμός τους. Επιπλέον δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε περίπτωση που επιθυμούμε την μετέπειτα αύξηση του δικτύου μας. Από την άλλη η χρήση κοινού διαύλου λύνει τα προβλήματα που έχουν τα μεμονωμένα καλώδια καθώς μπορούμε να τον επαναχρησιμοποιήσουμε και να συνδέσουμε σε αυτόν μεγαλύτερο αριθμό κόμβων σε σχέση με τα καλώδια. Παρόλα αυτά και πάλι όμως ο αριθμός των κόμβων που μπορούμε να συνδέσουμε σε ένα δίαυλο επικοινωνίας παραμένει πεπερασμένος καθώς το εύρος ζώνης της επικοινωνίας (bandwidth) είναι συγκεκριμένο και κοινόχρηστο από όλους τους διασυνδεδεμένους κόμβους. Έτσι στην προσπάθεια λύσης αυτών των προβλημάτων οδηγηθήκαμε στην χρήση των Network On Chip που εμπνεόμενα από την δρομολόγηση των πακέτων στο διαδίκτυο εφαρμόζουν αυτή την ιδέα στο επίπεδο επικοινωνίας εντός ενός ολοκληρωμένου συστήματος. Ένα NOC αποτελείται από δρομολογητές, συνδέσμους και διεπαφές δικτύου. Οι δρομολογητές κατευθύνουν δεδομένα μέσω διαφόρων συνδέσμων.

Μαζί με την λύση που μας έδωσαν τα Network On Chip δημιουργήθηκε και η ανάγκη βελτίωσης των υπηρεσιών που παρέχουν, σε μία προσπάθεια να ελαχιστοποιηθούν οι καθυστερήσεις μετάδοσης, η απώλεια πακέτων, ο ρυθμός bit, η απόδοση, η διαθεσιμότητα, το jitter κλπ. Σε αυτή την εργασία θα προσπαθήσουμε να ελέγξουμε την ποιότητα των υπηρεσιών σε κάποια συγκεκριμένα μεγέθη δικτύων με την χρήση του προσομοιωτή Noxim.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Βιβλιογραφική Επισκόπηση

(Υποκεφάλαιο 2.1)

(Ενότητα 2.1.α) Βιβλιογραφική επισκόπηση

Η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε συνίσταται κυρίως από δημοσιεύσεις-έρευνες στο διαδίκτυο ανάλογων θεμάτων με το δικό μας, με θέμα τα Network On Chip. Αφορούν κυρίως θέσεις με έρευνες κοντινές με την δική μας και έγινε χρήση τους για να εξηγηθούν ορισμένα θεωρητικά κομμάτια. Οι καμπύλες και οι μετρήσεις, καθώς και η επεξήγηση τους, που παρουσιάζονται έχουν παραχθεί από εμάς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Networks On Chip

(Υποκεφάλαιο 3.1)

(Ενότητα 3.1.α) Περιγραφή των Network On Chip

Ένα Network On Chip (NOC) είναι μια τεχνολογία διασύνδεσης πάνω στο ολοκληρωμένο κύκλωμα που χρησιμοποιείται στα System On Chip (SOC) για την αποτελεσματική σύνδεση διαφόρων λειτουργικών μονάδων (πυρήνες ημιαγωγού IP που σχηματοποιούν διάφορες λειτουργίες του συστήματος υπολογιστών). Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά συστήματα αρτηρίας, ανά NOC ενσωματώνει εκατοντάδες ή χιλιάδες πνευματικές ιδιότητες (IP) όπως επεξεργαστές, μνήμες ή άλλο προσαρμοσμένο σχέδιο σε ένα ενιαίο τοιπ. Ο στόχος ενός υφάσματος διασύνδεσης NOC είναι να μειωθεί η συμφόρηση της δρομολόγησης των καλωδίων στο τοιπ, το πιο εύκολο κλείσιμο του χρονισμού και εν τέλει να αποτελέσει ένα τυποποιημένο τρόπο προσθήκης/αντικατάστασης διαφόρων IP στο σχεδιασμό του SOC, παρέχοντας μεγαλύτερη ευελιξία, υψηλή επεκτασιμότητα και χαμηλή καθυστέρηση σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα κοινού διαύλου.

Επί του παρόντος, τα NOC είναι ένας από τους πιο ελπιδοφόρους τομείς για την ανάπτυξη της τεχνολογίας μικροεπεξεργαστών γενικότερα και των συστημάτων μεμονωμένων chip ειδικότερα, με προβλέψεις για μεγάλη ανάπτυξη στο εγγύς μέλλον καθώς πολυπύρηνες αρχιτεκτονικές υπολογιστών γίνονται πιο συνηθισμένες. Ένα πολύ συνηθισμένο NOC που χρησιμοποιείται σε σύγχρονους προσωπικούς υπολογιστές είναι μια μονάδα επεξεργασίας γραφικών (GPU), η οποία χρησιμοποιείται συνήθως σε γραφικά υπολογιστών, video gaming και επιτάχυνση της τεχνητής νοημοσύνης.

Το Network On Chip βελτιώνει την κλιμάκωση των σύγχρονων ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, δίνοντάς τους την δυνατότητα τους να ενσωματώνουν αυξανόμενο αριθμό IPs στον ίδιο πυρήνα πυριτίου, καθώς και να αυξάνει την αποδοτικότητα ισχύος των σύνθετων SOC χρησιμοποιώντας μια κοινή υποδομή για όλους στην επικοινωνία τόσο εντός του ενσωματωμένου κυκλώματος όσο και μεταξύ τους.

Η σχεδίασή τους είναι βασισμένη στα δίκτυα (network based). Οι ενότητες του ολοκληρωμένου κυκλώματος είναι σχεδιασμένες να είναι αρθρωτές υπό την έννοια της επιστήμης δικτύων. Τα NOC είναι ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων που βασίζεται σε δρομολογητή μεταξύ των ενοτήτων SOC και εφαρμόζει τη θεωρία και τις μεθόδους δικτύωσης ηλεκτρονικών υπολογιστών στην επικοινωνία on-chip φέρνοντας αξιοσημείωτες βελτιώσεις σε σχέση με τις συμβατικές αρχιτεκτονικές επικοινωνιών κοινού διαύλου και crossbar διαμορφώσεων. Τα networks-on-chip έρχονται σε πολλές τοπολογίες δικτύου, πολλές από τις οποίες εξακολουθούν να είναι πειραματικές μέχρι και σήμερα.

Στην πραγματικότητα, η σχεδίασή τους είναι παρόμοια με την ανάπτυξη των "μεγάλων" συστημάτων επικοινωνίας. Στην περίπτωση της τηλεφωνίας, είχαμε αρχικά μια άμεση σύνδεση μεταξύ δύο συσκευών με καλώδιο (το ανάλογο για μονοπύρηννα συστήματα είναι η επικοινωνία αρτηρίας). Έπειτα εμφανίστηκαν οι πρώτοι διακόπτες μήτρας (matrix switches) με το αντίστοιχο ανάλογο να είναι οι crossbar διαμορφώσεις. Στην συνέχεια η τηλεφωνία πέρασε στην αναμετάδοση σημάτων (αναλογικά είναι οι σύγχρονες εκδόσεις των NOC) ενώ τελικά έχει

φτάσει στις μέρες μας στην ψηφιακή μετάδοση που βασίζεται στη μεταγωγή πακέτων ,όπως για παράδειγμα, μέσω του πρωτοκόλλου TCP / IP στην περίπτωση του Internet (το ανάλογο για τα NOC βρίσκεται σε ενεργή ανάπτυξη).

(Ενότητα 3.1.β) Σύγκριση των NOC με αρχιτεκτονικές επικοινωνίας κοινού διαύλου

Network on chip			Αρχιτεκτονικές επικοινωνίας κοινού διαύλου
Τα στοιχεία συνδέονται από διασυνδέσεις σημείου σε σημείο ανεξαρτήτως μεγέθους δικτύου. Η τοπική απόδοση δεν υποβαθμίζεται.	+	-	Κάθε στοιχείο προσθέτει μια παρασιτική χωρητικότητα, εξ ου και η υποβάθμιση της ηλεκτρικής απόδοσης αυξάνεται με τον αριθμό των συνδέσεων πάνω σε ένα δίαυλο.
Η μεταφορά δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί με καθυστερημένες μεταβάσεις, επειδή οι συνδέσεις είναι από σημείο σε σημείο.	+	-	Η χρονική διαχείριση του διαύλου είναι δύσκολη.
Οι αποφάσεις δρομολόγησης είναι καταναμημένες.	+	-	Οι καθυστερήσεις που προκαλούνται από τον έλεγχο στον δίαυλο μπορεί να προκαλέσουν εμπλοκές, ειδικά εάν ο αριθμός των διαχειριστών είναι σημαντικός.
Το εύρος ζώνης αυξάνεται καθώς αυξάνεται το μέγεθος του δικτύου.	+	-	Το εύρος ζώνης είναι περιορισμένο και μοιράζεται από όλα τα στοιχεία του διαύλου.
Οι τεχνικές αυτοδιάγνωσης είναι τοπικοί, πλήρεις και γρήγοροι.	+	-	Οι τεχνικές αυτοδιάγνωσης είναι χρονοβόρες και προβληματικές.
Η λήψη εσωτερικών αποφάσεων μπορεί να προσθέσει καθυστερήσεις.	-	+	Η καθυστέρηση του διαύλου είναι η ταχύτητα ενός κυκλώματος ελέγχου σύνδεσης, εάν χορηγηθεί ο δίαυλος.
Οι σχεδιαστές χρειάζονται αναβαθμίσεις για να εκμεταλλευτούν αυτές τις νέες ιδέες	-	+	Η ιδέα είναι απλή και εύκολη στην κατανόηση.

[1] Achballah , A. B., & Saoud, S. B. (2013). A Survey of Network-On-Chip Tools. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 4(9). doi: 10.14569/ijacsa.2013.040910

(Υποκεφάλαιο 3.2)

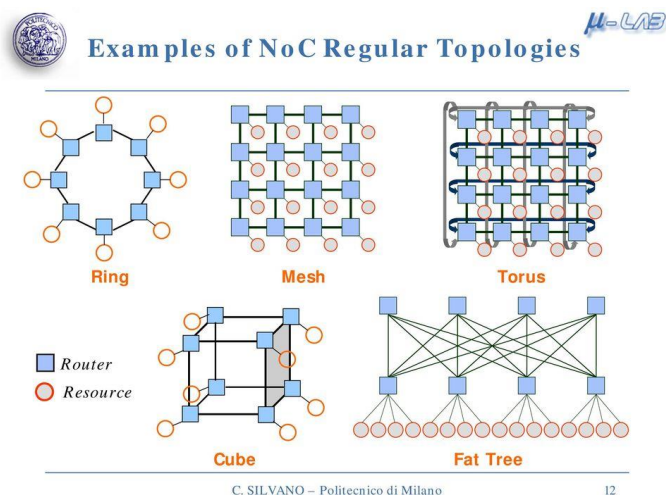
(Ενότητα 3.2.α) Αρχιτεκτονική των Network On Chip

Τα NOCs αποτελούνται συνήθως από δρομολογητές (Router), προσαρμογέα δικτύου (Network adapter) και συνδέσεις (καλώδια).

1. Δρομολογητής: κατευθύνει τα δεδομένα σύμφωνα με το επιλεγμένο πρωτόκολλο. Περιέχει τη στρατηγική δρομολόγησης.
2. Προσαρμογείς δικτύου: Παρέχουν μια γέφυρα μεταξύ του δρομολογητή και του στοιχείου που συνδέεται με αυτόν. Το κύριο καθήκον τους είναι να διαχωρίζουν τον υπολογισμό (IPs) από την επικοινωνία (δίκτυο). Αυτό αποτελείται από δύο πράξεις οι οποίες είναι η μετατροπή πρωτοκόλλου και η κατασκευή πακέτων.
3. Συνδέσεις: είναι οι δίαυλοι μετάδοσης δεδομένων μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του κυκλώματος στο δίκτυο.

(Ενότητα 3.2.β) Τοπολογίες των Network On Chip

Η τοπολογία ενός δικτύου είναι ο τρόπος με τον οποίο οργανώνονται δρομολογητές, προσαρμογείς δικτύου και συνδέσεις. Υπάρχουν πολλές τοπολογίες που χωρίζονται σε κανονικές και ακανόνιστες. Αυτή η ταξινόμηση βασίζεται στην κατανομή των δρομολογητών στο δίκτυο. Παρακάτω βλέπουμε κάποιες συνήθεις τοπολογίες που μπορούμε να βρούμε :α) δακτύλιος, β) πλέγμα, γ) πλέγμα torus, δ) κύβος, ε) δέντρο (Fat-tree).



(Ενότητα 3.2.γ) Τρισδιάστατη τοπολογία

Στην προσπάθεια των ερευνητών ώστε να ενσωματώσουμε όσο το δυνατόν περισσότερους κόμβους σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, παρατηρήθηκε ότι οι διδιάστατες υποδομές βασισμένες σε NOC (2D-NOC) υποφέρουν από μακροχρόνια καθυστέρηση και μεγάλη κατανάλωση. Έτσι γεννήθηκε η ιδέα των τρισδιάστατων τοπολογιών. Στο αρχικό αυτό στάδιο τα νέα 3D NOCs αποτελούν απλά πολλά στοιβαγμένα 2D NOC, κατάλληλης τοπολογίας, ενωμένα μεταξύ τους στην διάσταση Z.

Τα τρισδιάστατα NOC παρέχουν καλύτερη απόδοση, μεγαλύτερη ευελιξία και υψηλότερη απόδοση σε σύγκριση με τις παραδοσιακές διδιάστατες αρχιτεκτονικές και επιτρέπουν τη συνεχή βελτίωση των επιδόσεων. Παρόλα αυτά αντιμετωπίζουν και αυτά πρόβλημα με την καθυστέρηση και την κατανάλωση ενέργειας, λόγω της θετικής συσχέτισης μεταξύ του μήκους των συρμάτων με αυτά. Αναμένεται ωστόσο ότι με την ανάπτυξη των τεχνολογιών και την μείωση του αποτυπώματος των καλωδίων θα έχουμε βελτίωση τόσο στην καθυστέρηση όσο και στην αποδοτικότητα τους. Επίσης λόγω της υψηλής συγκέντρωσης τους αντιμετωπίζουν πρόβλημα με υψηλές θερμοκρασίες, οδηγώντας στην ανάγκη δημιουργίας ειδικών διαύλων στο πυρίτιο ώστε να διοχετεύουν την θερμότητα αυτή προς το περιβάλλον. Επιπρόσθετα για να περιοριστεί εν γένει η αυξημένη παραγωγή θερμότητας οι ερευνητές σχεδίασαν ειδικούς αλγορίθμους που κατανέμουν την κίνηση εντός του δικτύου λαμβάνοντας υπόψιν τους και την θερμική συμπεριφορά.

Τα υπάρχοντα 3D NOC αποτελούν απλή επέκταση των κανονικών αρχιτεκτονικών 2D και δεν εκμεταλλεύονται πλήρως τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η τρισδιάστατη ενσωμάτωση και γίνονται προσπάθειες ως προς την ανάπτυξη και βελτιστοποίηση τους.

(Ενότητα 3.2.δ) Wireless NOC

Για να αποκτήσουμε μια επεκτάσιμη, οικονομικά αποδοτική και ευέλικτη επικοινωνιακή υποδομή, η ασύρματη διασύνδεση προτάθηκε να αντικαταστήσει την ενσύρματη επικοινωνία, αντικαθιστώντας όλες τις ενσύρματες συνδέσεις με ασύρματες. Αυτό όμως θα οδηγούσε σε περιορισμένη επεκτασιμότητα των δικτύων μας καθώς αυξάνοντας ο αριθμός των κόμβων σε εκατοντάδες ή και χιλιάδες δεν θα επαρκούσε η χωρητικότητα των ασύρματων καναλιών. Έτσι οδηγηθήκαμε σε υβριδικές τοπολογίες. Αντί να χρησιμοποιήσει καθολικά ασύρματους συνδέσμους για να μεταφέρει δεδομένα μεταξύ διαφορετικών κόμβων, ο υβριδικός σχεδιασμός χρησιμοποιεί τόσο ενσύρματους όσο και ασύρματους συνδέσμους. Ο υβριδικός σχεδιασμός βασίζεται στην ιδέα ότι ο απλός και αξιόπιστος ενσύρματος σύνδεσμος μικρής απόστασης είναι κατάλληλος για την τοπική κυκλοφορία μέσα σε μια μικρή ομάδα κόμβων, ενώ η ασύρματη σύνδεση μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση και την αποδοτικότητα της επικοινωνίας σε μεγάλες αποστάσεις. Προσφέρει μεγάλη επεκτασιμότητα και ευκολία σχεδιασμού καθώς δεν ξεφεύγει πολύ από την κλασική σχεδίαση NOC. Διαφόρων ειδών τοπολογίες είναι οι 2D υβριδική τοπολογία με βάση το πλέγμα (2D mesh-based hybrid topology), οι πολλαπλές σειρές υβριδικής τοπολογίας (Multiple tiers hybrid topology) και η τοπολογία μικρού κόσμου (Small-world-based topology).

(Ενότητα 3.2.ε) Optical NOC

Τα οπτικά NOC είναι ένας νέος τύπος δικτύου που βασίζεται στην οπτική μεταφορά (silicon photonics) των σημάτων μεταξύ των κόμβων του, σε αντίθεση με την ηλεκτρική μεταφορά μέσω των καλωδίων στα παραδοσιακά δίκτυα. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά NOC η απόδοση (throughput) και η ενεργειακή του αποδοτικότητα (energy efficiency) δεν δεσμεύονται από την μη ισορροπημένη κλιμάκωση των συρμάτων όσο αυξάνεται το μέγεθος του δικτύου. Ωστόσο, λόγω των θερμοηλεκτρικών επιδράσεων, οι επιλεκτικές σε μήκος κύματος φωτονικές συσκευές πυριτίου όπως οι μικροαντανακλαστήρες υποφέρουν από μεταβολή μήκους κύματος εξαρτώμενη από την θερμοκρασία, καθιστώντας και σε αυτή την περίπτωση σημαντικό τον έλεγχο αυτής.

(Υποκεφάλαιο 3.3)

(Ενότητα 3.3.α) Δρομολόγηση

Η δρομολόγηση είναι η μεταφορά δεδομένων από την πηγή στον προορισμό με μια σαφώς καθορισμένη στρατηγική. Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης ταξινομούνται σύμφωνα με διαφορετικά κριτήρια.

1. Εάν ο αποστολέας παρέχει τη διαδρομή με την οποία θα ρέουν τα δεδομένα τότε ονομάζεται δρομολόγηση πηγής, ενώ καλείται κατανομημένη εάν η απόφαση διέλευσης λαμβάνεται τοπικά σε κάθε κόμβο. Στην περίπτωση που οι αποφάσεις δρομολόγησης λαμβάνονται τοπικά έχουμε κατανομημένη δρομολόγηση ενώ σε αντίθεση εάν οι αποφάσεις δρομολόγησης κατανέμονται πανομοιότυπα σε όλο το δίκτυο, ανεξάρτητα από τη πηγή, η δρομολόγηση ονομάζεται κεντρική. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις η δρομολόγηση δεν λαμβάνει υπόψη τον αποστολέα.
2. Η δρομολόγηση είναι ντετερμινιστική (deterministic) εάν η διαδρομή καθορίζεται μόνο από τον αποστολέα και τον δέκτη. Η διαδρομή μεταξύ των ίδιων κόμβων δικτύου είναι αμετάβλητη. Ωστόσο, εάν η μεταφορά δεδομένων μεταξύ δύο στοιχείων δικτύου μπορεί να επιτευχθεί μέσω πολλαπλών διαδρομών, τότε η δρομολόγηση αποκαλείται προσαρμοστική (adaptive) και είναι εφικτή χάρη στις αποφάσεις που λαμβάνονται τοπικά στους κόμβους. Η εφαρμογή προσαρμοστικών αλγορίθμων δρομολόγησης μπορεί να δημιουργήσει πολύπλοκους κόμβους αλλά μπορεί να εξασφαλίσει καλύτερη ροή δεδομένων εντός ενός NOC.
3. Η δρομολόγηση ονομάζεται μεταγωγή κυκλώματος όταν ένα κύκλωμα (μια διαδρομή) μεταξύ του πομπού και του δέκτη διατηρείται για όλη διάρκεια που απαιτείται για τη μεταφορά δεδομένων. Από την άλλη ονομάζεται μεταγωγή πακέτου όταν τα προς μετάδοση δεδομένα χωρίζονται σε πακέτα που περιέχουν ένα μέρος των δεδομένων και τις πληροφορίες δρομολόγησης.

Τα πακέτα μπορεί να ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές για να φτάσουν στον προορισμό τους.

Ένας αλγόριθμος δρομολόγησης έχει συνήθως ένα ή περισσότερα από τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Για παράδειγμα, μια προσαρμοστική δρομολόγηση είναι γενικά μια δρομολόγηση μεταγωγής πακέτου.

(Ενότητα 3.3.β) Τεχνικές μεταγωγής

Η κύρια λειτουργία των μεταγωγών (switches) είναι να καθορίζουν πότε και πώς θα συνδέονται οι εισοδοί (inputs) ενός δρομολογητή στις εξόδους του (outputs). Υπάρχουν αρκετές τεχνικές μεταγωγής μεταξύ των οποίων είναι οι store and forward, virtual cut-through and wormhole.

1. Store and forward. Τα μεταφερόμενα δεδομένα χωρίζονται σε πακέτα και κάθε πακέτο περιέχει πληροφορίες δρομολόγησης. Όταν ένα πακέτο φτάσει σε έναν κόμβο, αποθηκεύεται πλήρως σε μία περιοχή ενδιάμεσης αποθήκευσης (buffer) και εξάγονται πληροφορίες δρομολόγησης για να προσδιοριστεί η κατάλληλη θύρα εξόδου.
2. Virtual cut-through. Οι πληροφορίες δρομολόγησης περιέχονται στα πρώτα byte του πακέτου. Αντί της αποθήκευσης ολόκληρου του πακέτου, όπως στην περίπτωση του store and forward, τα πακέτα αποστέλλονται μόλις καθοριστεί η θύρα εξόδου. Σε περίπτωση που χρησιμοποιείται αυτή η θύρα, το πακέτο θα αποθηκευτεί σε ένα buffer.
3. Wormhole. Τα πακέτα χωρίζονται σε υπο-πακέτα που ονομάζονται flits (Flow Control Unit). Τα δεδομένα ελέγχου περιέχονται στο Header Flit. Ως αποτέλεσμα, ένα μοναδικό πακέτο μπορεί να μεταδοθεί από διαφορετικούς κόμβους. Αυτό θα μειώσει την καθυστέρηση, αλλά μπορεί να προκαλέσει πολλά σημεία συμφόρησης στο δίκτυο. Αυτή η τεχνική μεταγωγής χρησιμοποιείται από τον εξομοιωτή που θα δουλέψουμε, τον NOXIM.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 NOXIM

(Υποκεφάλαιο 4.1)

(Ενότητα 4.1.α) Εισαγωγή

Τα πρόσφατα SOC's περιέχουν τυπικά μια σχετικά περίπλοκη αρχιτεκτονική με μεγάλο αριθμό υπολογιστικών στοιχείων. Για να διευκολυνθεί η ανάπτυξη ενσωματωμένων συστημάτων που περιέχουν ένα NOC και για να εξασφαλιστεί η βέλτιστη διαχείριση της διαμετακόμισης εσωτερικών δεδομένων, έχουν προταθεί διάφορα ειδικά εργαλεία. Μερικά από αυτά είναι ο NOXIM, οι NS-2 και NS-3, ο DARSIM, ο SunFloor-3D καθώς και άλλα.

Ο NOXIM έχει υλοποιηθεί από την ομάδα Αρχιτεκτονικής Υπολογιστών του Πανεπιστημίου της Κατάνια το 2010 σε γλώσσα SystemC. Παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα να δημιουργήσει και να πάρει μετρήσεις από μία διοδιάστατη αρχιτεκτονική NOC. Μερικές από τις παραμέτρους που ο NOXIM μας επιτρέπει να μεταβάλλουμε είναι: 1) Μέγεθος δικτύου ,2) Μέγεθος buffer ,3) Μέγεθος πακέτου ,4) Αλγόριθμος δρομολόγησης ,5) Ρυθμός έγχυσης πακέτων,6) Στρατηγική δρομολόγησης και 7) Κατανομή της κίνησης στο δίκτυο. Σαν αποτελέσματα μπορεί να μας παρέχει μετρήσεις όσον αφορά την απόδοση, την καθυστέρηση και την κατανάλωση ενέργειας του NOC που μελετούμε.

(Ενότητα 4.1.β) Μέγεθος δικτύου

Ο NOXIM μας παρέχει την δυνατότητα να μεταβάλλουμε τόσο το μέγεθος όσο και την τοπολογία του δικτύου προς μελέτη. Στην δική μας περίπτωση η τοπολογία του δικτύου μας είναι πάντοτε πλέγμα και το μέγεθος του είναι στην συντριπτική πλειονότητα των μετρήσεών μας 8 επί 8. Μόνο στις περιπτώσεις που μελετούμε την επίδραση του μεγέθους του δικτύου αυτού καθ' αυτού αλλάζει αυτό.

(Ενότητα 4.1.γ) Μέγεθος buffer

Στις μετρήσεις μας, με εξαίρεση την περίπτωση μελέτης της επίδραση του μεγέθους του buffer, η τιμή του είναι σταθερή και στην προκαθορισμένη τιμή του στα 4 flits.

(Ενότητα 4.1.δ) Μέγεθος πακέτου

Όπως και στην περίπτωση του μεγέθους του buffer έτσι και εδώ η τιμή του είναι σταθερή και στην προκαθορισμένη τιμή του στα 8 flits, με εξαίρεση την περίπτωση μελέτης της επίδραση του μεγέθους του στην απόδοση του δικτύου μας.

(Ενότητα 4.1.ε) Αλγόριθμοι δρομολόγησης

Οι επιλογές που μας δίνει ο NOXIM ως προς τον αλγόριθμο με τον οποίο θα γίνεται η δρομολόγηση των πακέτων είναι αρκετές. Συγκεκριμένα μπορούμε να επιλέξουμε μεταξύ των XY, DELTA, WEST FIRST, NORTH LAST, NEGATIVE FIRST, ODD EVEN, DYAD ενώ μπορούμε επίσης να καθορίσουμε εμείς την δρομολόγηση με πίνακας δικής μας κατασκευής (TABLE BASED). Οι αλγόριθμοι ντετερμινιστικής δρομολόγησης παράγουν πάντα την ίδια διαδρομή δρομολόγησης για ένα δεδομένο ζεύγος διευθύνσεων πηγής και προορισμού, συνήθως το συντομότερο. Οι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι δρομολόγησης χρησιμοποιούν

πληροφορίες σχετικά με την κυκλοφορία δικτύου και / ή την κατάσταση του καναλιού για να αποφευχθεί η συμφόρηση των περιοχών αυτών του δικτύου που ήδη βρίσκονται σε οριακή κατάσταση. Γενικά, προτιμάται ένας προσαρμοστικός αλγόριθμος δρομολόγησης αφού έχει τη δυνατότητα επίτευξης υψηλότερων επιδόσεων (χαμηλή καθυστέρηση, υψηλή απόδοση και ανοχή σφαλμάτων). Ο αλγόριθμος XY κατηγοριοποιείται ως ντετερμινιστικός καταναμημένος αλγόριθμος και ο Odd Even ως προσαρμοστικός αλγόριθμος δρομολόγησης. Οι αλγόριθμοι West First, Norst Last και Negative First ορίζονται ως μερικώς προσαρμοστικοί ενώ τέλος ο αλγόριθμος DYAD συνδυάζει τα πλεονεκτήματα προσαρμοστικού και προκαθορισμένου αλγόριθμου δρομολόγησης.

Αλγόριθμος XY. Είναι ένα είδος καταναμημένου ντετερμινιστικού αλγόριθμου δρομολόγησης περιορισμού. Ο αλγόριθμος συγκρίνει την τρέχουσα διεύθυνση του δρομολογητή (C_x , C_y) με τη διεύθυνση προορισμού (D_x , D_y) του πακέτου, που είναι αποθηκευμένη στην υποδοχή κεφαλίδας (Header Flit). Η διεύθυνση D_x συγκρίνεται πρώτα με τη διεύθυνση C_x (οριζόντια). Τα Flits θα δρομολογούνται στην Ανατολική θύρα όταν $C_x < D_x$, West όταν $C_x > D_x$ και εάν $C_x = D_x$ η πτέρυγα κεφαλίδας είναι ήδη οριζόντια ευθυγραμμισμένη. Εάν αυτή η τελευταία προϋπόθεση είναι αληθής, η διεύθυνση D_y (κάθετη) συγκρίνεται με τη διεύθυνση C_y . Τα Flits θα δρομολογούνται στο Νότο όταν $C_y < D_y$, στο North όταν $C_y > D_y$. Εάν η επιλεγμένη θύρα είναι απασχολημένη, η δέσμη κεφαλίδας καθώς και όλες οι επόμενες πλειάδες αυτού του πακέτου θα μπλοκαριστούν. Η αίτηση δρομολόγησης για αυτό το πακέτο θα παραμείνει ενεργή έως ότου δημιουργηθεί μια σύνδεση σε κάποια μελλοντική εκτέλεση της διαδικασίας σε αυτό το δρομολογητή.

Αλγόριθμος WEST FIRST. Ανήκει και αυτός στους αλγόριθμους δρομολόγησης περιορισμού, αλλά είναι μερικώς προσαρμοστικός, όπως και οι North-last and Negative-first. Οι αλγόριθμοι της οικογενείας αυτής αποφεύγουν τα αδιέξοδα περιορίζοντας τους τύπους των στροφών που επιτρέπονται στον αλγόριθμο, ενώ καθορίζουν τη διαδρομή από τον κόμβο προέλευσης στον κόμβο προορισμού σε ένα δίκτυο. Συγκεκριμένα ο West-first περιορίζει όλες τις στροφές προς τη δυτική κατεύθυνση. Αυτό σημαίνει ότι η κατεύθυνση προς τη δύση θα πρέπει να ληφθεί πρώτα εάν χρειαστεί στην προτεινόμενη διαδρομή. Εάν $D_x \leq C_x$, τα πακέτα δρομολογούνται ντετερμινιστικά, όπως στον αλγόριθμο XY. Εάν $D_x > C_x$ τα πακέτα μπορούν να δρομολογηθούν προσαρμοστικά στις ανατολικές, βόρειες ή νότιες κατευθύνσεις. Ο συνολικός χρόνος για την παράδοση ενός μεμονωμένου πακέτου μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας προσαρμοστικούς αλγόριθμους, καθώς το πακέτο μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να κάνει στροφές για να ξεφύγει από τις συνθήκες αποκλεισμού.

Αλγόριθμος NORTH LAST. Στον αλγόριθμο αυτό περιορίζεται η στροφή σε οποιαδήποτε άλλη κατεύθυνση εάν η τρέχουσα κατεύθυνση είναι βόρεια. Αυτό σημαίνει ότι η βόρεια κατεύθυνση θα πρέπει να ληφθεί τελευταία εάν χρειαστεί στην προτεινόμενη διαδρομή. Συγκεκριμένα εάν

$Dy \leq Cy$ τα πακέτα δρομολογούνται ντετερμινιστικά. Εάν $Dy > Cy$ τα πακέτα μπορούν να δρομολογηθούν προσαρμοστικά στις δυτικές, ανατολικές ή νότιες κατευθύνσεις.

Αλγόριθμος NEGATIVE FIRST. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε περιορισμό της στροφής σε αρνητική κατεύθυνση, ενώ η τρέχουσα κατεύθυνση είναι θετική. Η Δύση θεωρείται ως η αρνητική κατεύθυνση στην X-διάσταση και ο νότος θεωρείται ως η αρνητική κατεύθυνση στην Y-διάσταση. Αυτό σημαίνει ότι κάθε άλμα σε μία από τις αρνητικές κατευθύνσεις θα πρέπει να πραγματοποιηθεί προτού γίνει οποιαδήποτε άλλη στροφή. Εάν ($Dx \leq Cx$ και $Dy \geq Cy$) ή ($Dx \geq Cx$ και $Dy \leq Cy$) τα πακέτα δρομολογούνται ντετερμινιστικά. Όλες οι άλλες συνθήκες οδηγούν σε κάποια μορφή προσαρμοστικής δρομολόγησης.

Αλγόριθμος ODD EVEN. Είναι ένας διανεμημένος αλγόριθμος προσαρμοστικής δρομολόγησης ο οποίος βασίζεται στο odd-even turn μοντέλο. Εφαρμόζει ορισμένους περιορισμούς, για την αποφυγή και αποτροπή εμφάνισης αδιεξόδου. Αυτός ο αλγόριθμος δρομολόγησης συνδυάζει διαφορετικές απαγορεύσεις στροφής σε μονές και ομοιόμορφες στήλες, παρέχοντας έτσι μία πιο ισορροπημένη κατανομή της προσαρμοστικότητας σε όλο το δίκτυο σε σύγκριση με τους αλγόριθμους δρομολόγησης περιορισμού, αλλά εξακολουθεί να μην παρέχει έγκυρη λύση για αποτυχίες γενικά.

Αλγόριθμος DYAD. Συνδυάζει τα πλεονεκτήματα τόσο των ντετερμινιστικών όσο και των προσαρμοστικών αλγορίθμων δρομολόγησης, αλλάζοντας λογικά μεταξύ της ντετερμινιστικής και της προσαρμοσμένης δρομολόγησης με βάση τις συνθήκες συμφόρησης του δικτύου. Ειδικότερα με τον DYAD (**D**ynamic **A**daptive **D**eterministic) κάθε δρομολογητής παρακολουθεί συνεχώς το φορτίο του δικτύου τοπικά και λαμβάνει αποφάσεις βάσει αυτών των πληροφοριών. Όταν το δίκτυο δεν είναι συμφορημένο, ο δρομολογητής DYAD λειτουργεί ντετερμινιστικά, απολαμβάνοντας έτσι τον χαμηλό χρόνο καθυστέρησης που απορρέει από τη ντετερμινιστική δρομολόγηση. Αντίθετα, όταν το δίκτυο παρουσιάσει συμφόρηση, ο δρομολογητής DYAD αλλάζει στη λειτουργία προσαρμοστικής δρομολόγησης και έτσι αποφεύγει τους υπερφορτωμένους κόμβους, αξιοποιώντας άλλες διαδρομές δρομολόγησης. Αυτό οδηγεί σε υψηλότερη απόδοση δικτύου.

(Ενότητα 4.1.στ) Ρυθμός έγχυσης πακέτων

Στο NOXIM υποστηρίζονται οι ρυθμοί έγχυσης πακέτων σύμφωνα με την κατανομή Poisson, την κατανομή Pareto, την έγχυση με ριπές (bursts) και με δικής μας επιλογής τρόπο (custom). Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήθηκε μόνο η μέθοδος με κατανομή Poisson για τη μοντελοποίηση της χρονικής μεταβολής της κυκλοφορίας. Αυτό σημαίνει ότι ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών γενεών πακέτων σε έναν πυρήνα κατανέμονται εκθετικά. Πιο ειδικά η εντολή στο πρόγραμμα μας συντάσσεται ως εξής: -pir R, όπου R ο ρυθμός έγχυσης. Παραδειγματος χάρη για R ίσο με 0,1 εισάγονται στο δίκτυο μας 10 πακέτα κάθε 100 κύκλους.

(Ενότητα 4.1.ζ) Στρατηγική δρομολόγησης

Στον NOXIM μπορούμε να επιλέξουμε μεταξύ των Random, Buffer level και NOP στρατηγικών δρομολόγησης,

Random. Η στρατηγική δρομολόγησης είναι τυχαία. Κάθε επιλογής δρομολόγησης έχει ίσες πιθανότητες επιλογής.

Buffer level. Η επιλογή της δρομολόγησης γίνεται τοπικά στο buffer και συγκεκριμένα λαμβάνει υπόψη την πληρότητα του συγκεκριμένου buffer. Ειδικότερα η στρατηγική buffer level θα επιλέξει να προωθήσει πακέτα με προτεραιότητα από κανάλια όπου έχουν γεμίσει οι buffer τους ώστε να αποδεσμευτούν και να αποφύγουμε την συμφόρηση.

NOP. Σε αυτή τη στρατηγική δρομολόγησης όταν καταφθάνει ένα πακέτο προς δρομολόγηση ο αλγόριθμος ελέγχει τη διαθεσιμότητα των buffer εισόδου των γειτόνων του. Κάνοντας χρήση ενός συστήματος βαθμολογίας, σύμφωνα με την οποία η βαθμολογία ενός υποψήφιου γειτονικού κόμβου αυξάνεται για κάθε γειτονικό κόμβο στην διαδρομή με διαθέσιμο χώρο σε ένα μη δεσμευμένο buffer εισόδου, επιλέγεται τελικά το κανάλι με την υψηλότερη βαθμολογία. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι όλες αυτές οι ανταλλαγές δεδομένων δεν χρειάζεται να συγχρονιστούν καθολικά αλλά είναι επιθυμητό να έχουμε τακτική ενημέρωση τοπικά μεταξύ των γειτονικών κόμβων. Αν και αυτό δεν επιτευχθεί ο αλγόριθμος δεν παύει να λειτουργεί, αλλά ουσιαστικά έχουμε στατική δρομολόγηση.

(Ενότητα 4.1.η) Κατανομή κίνησης στο δίκτυο

Στον NOXIM μας παρέρχεται η δυνατότητα να έχουμε διαφορετικού είδους κίνησης των δεδομένων (πακέτων) μας. Συγκεκριμένα υποστηρίζονται και χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις οι Random, Transpose 1 και 2, Shuffle και Butterfly.

Random. Η κατανομή της κίνησης στο δίκτυο είναι τυχαία. Κάθε κόμβος έχει ίσες πιθανότητες να παράξει πακέτο και η διεύθυνση προορισμού είναι και αυτή τυχαία. Η τυχαία κατανομή είναι ένα καλό μοντέλο για επικοινωνία με δείκτες, στην οποία οι τιμές του δείκτη δεν έχουν σχέση με τη δομή του δικτύου. Είναι πολύ ευνοϊκή επειδή, καθιστώντας την κυκλοφορία ομοιόμορφα κατανεμημένη, εξισορροπεί το φορτίο ακόμη και για αλγόριθμους που έχουν κανονικά κακή εξισορρόπηση φορτίου, βελτιώνοντας έτσι την εικόνα τους.

Transpose 1 και 2. Κάθε κόμβος στέλνει μηνύματα μόνο σε έναν προορισμό με το άνω και το κάτω μισό της δικής του διεύθυνσης ανεστραμμένη. Με το πρώτο πρότυπο κυκλοφορίας (Transpose 1), ένας κόμβος (i, j) στέλνει μηνύματα μόνο στον κόμβο $(n - j, n - i)$, όπου n η διάσταση του δικτύου μας. Αυτό το σχέδιο κυκλοφορίας είναι πολύ παρόμοιο με το μετασχηματισμό πίνακα (matrix-transpose). Στο δεύτερο μοτίβο κυκλοφορίας (Transpose 2), ένας κόμβος (i, j) στέλνει μόνο μηνύματα στον κόμβο (j, i) . Ορισμένοι αλγόριθμοι τείνουν να δρομολογούν πακέτα από τον ίδιο κόμβο. Οι Transpose κατανομές κίνησης επιλέχθηκαν καθώς μας δίνουν μία καλή ένδειξη πως ένας αλγόριθμος διαχειρίζεται κατανομές επικοινωνίας που τείνουν να συμφορήσουν το δίκτυο.

Shuffle. Σταθερό ζεύγος προέλευσης-προορισμού για κάθε μήνυμα. Ο κόμβος με δυαδική τιμή $a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_1, a_0$ επικοινωνεί με τον κόμβο $a_{n-2}, a_{n-3}, \dots, a_0, a_{n-1}$ (περιστροφή ενός bit αριστερά). Μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε συγκεκριμένα μεγέθη δικτύου (Μέγεθος n επί n , με το n να είναι δύναμη του 2).

Butterfly. Είδος κίνησης που προσομοιώνει οπτικά το σχήμα μίας πεταλούδας. Πιο συγκεκριμένα έχουμε κίνηση από όλους τους κόμβους προς όλους με εξαίρεση ότι στο πάνω μισό του πλαισίου δεν έχουμε αποστολή πακέτων από δεξιά προς αριστερά και αντίθετα. Στο πρότυπο μετακίνησης Butterfly ένας κόμβος με διεύθυνση $(a_{n-1}, a_{n-2} \dots a_1, a_0)$ στέλνει μηνύματα στον κόμβο $(a_0, a_{n-2} \dots a_2, a_1, a_{n-1})$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Μετρήσεις

(Υποκεφάλαιο 5.1)

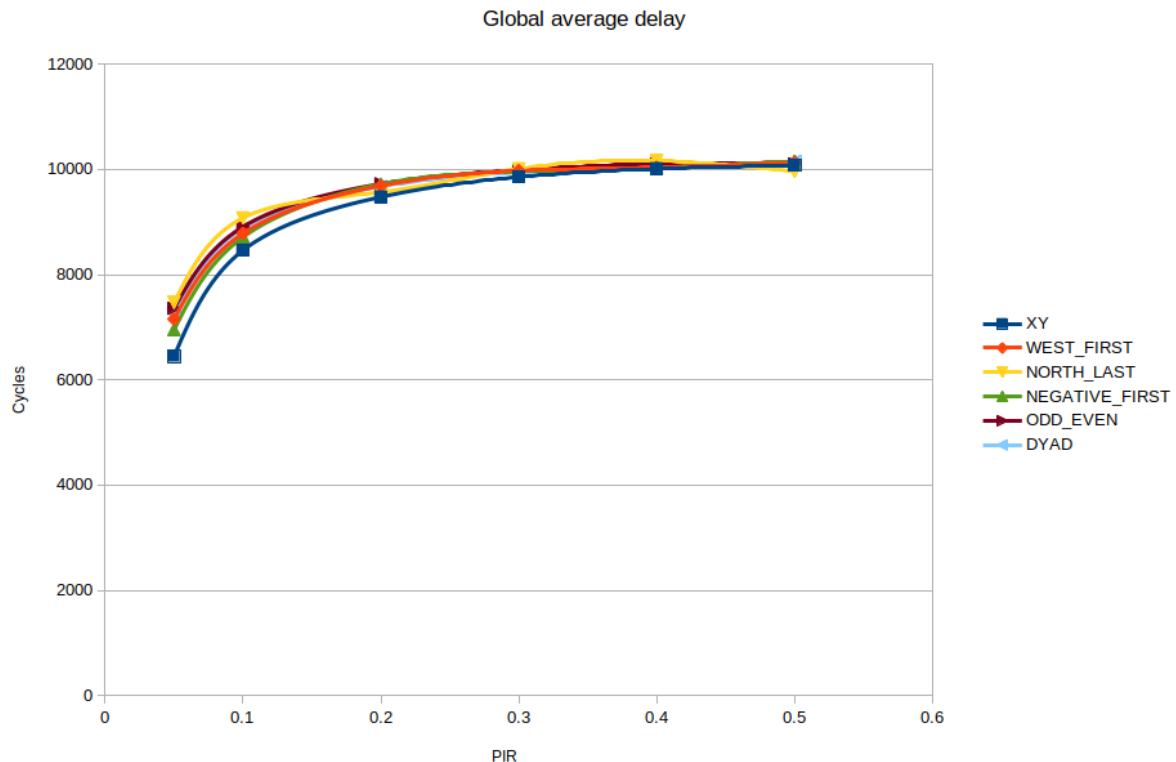
(Ενότητα 5.1.α) Μεθοδολογία μετρήσεων

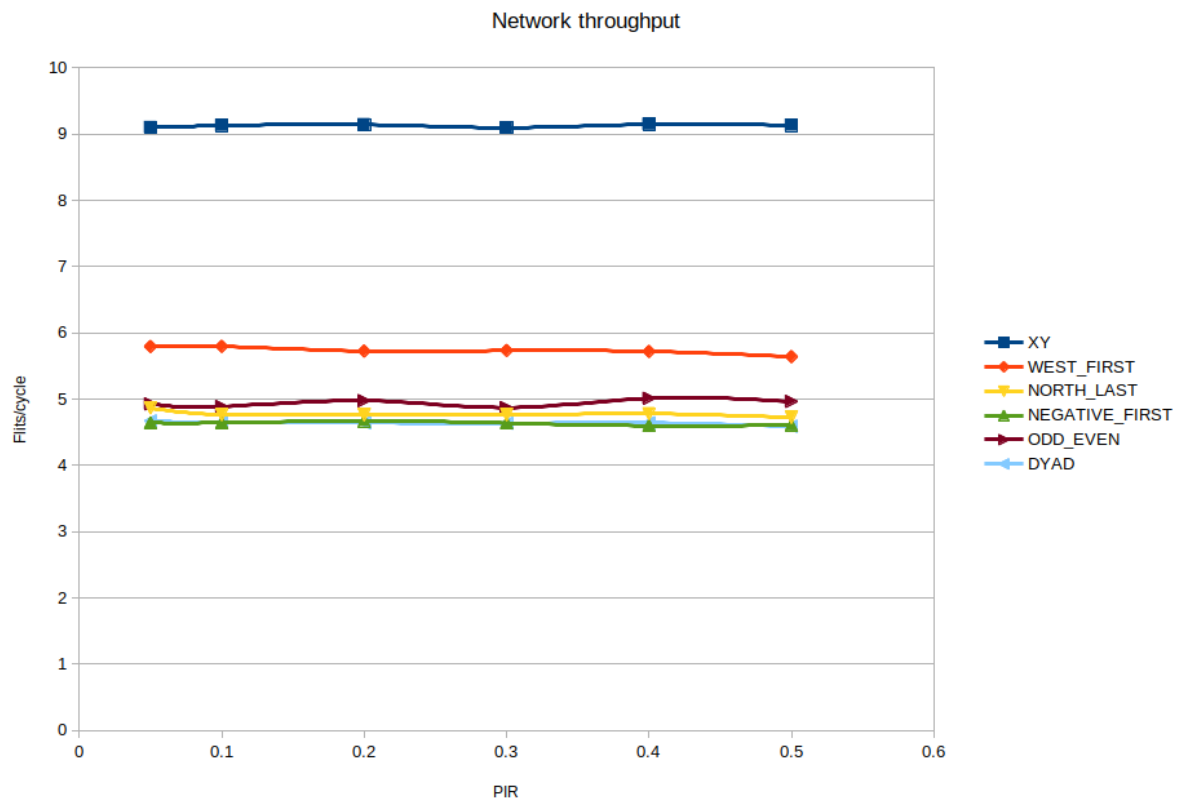
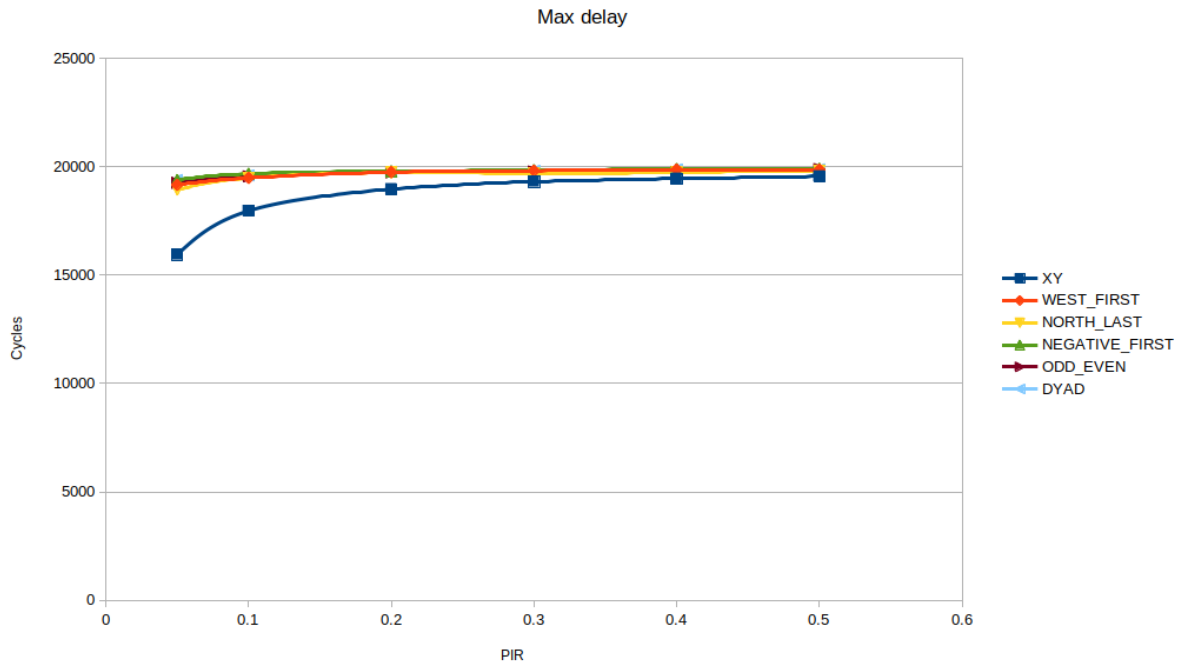
Όλες οι μετρήσεις που έγιναν στον NOXIM αφορούν τοπολογία τύπου πλέγματος 8 επί 8, εκτός και εάν εξετάζεται κάτι διαφορετικό σε άλλη περίπτωση. Οι ρυθμίσεις του NOXIM είναι 1000 κύκλοι warmup με 20000 κύκλους που τρέχει η προσομοίωση. Κάθε μέτρηση επαναλήφθηκε για 10 φορές και η μέση τιμή των μετρήσεων αυτών είναι αυτή που κρατάμε.

(Ενότητα 5.1.β) Μεταβολή του αλγόριθμου δρομολόγησης

Στην περίπτωση αυτή εξετάζουμε την επίδραση του αλγόριθμου δρομολόγησης στην απόδοση του δικτύου (Throughput), στην μέση (Global average delay) και μέγιστη (Max delay) καθυστέρηση που παρατηρείται, για κάθε μία διαφορετική κατανομή κίνησης στο δίκτυο μας. Το traffic time distribution είναι το default (Poisson) και μελετάτε για εύρος τιμών από 0,05 έως 0,5, ενώ το Selection strategy είναι το Random.

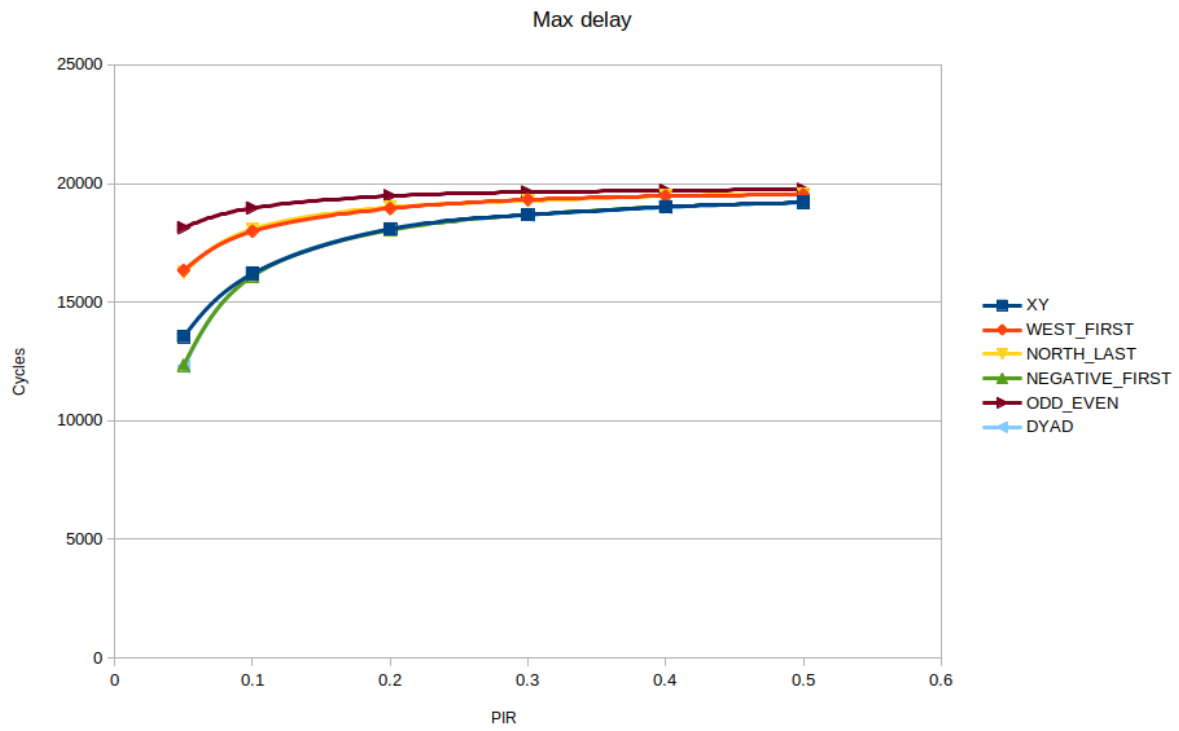
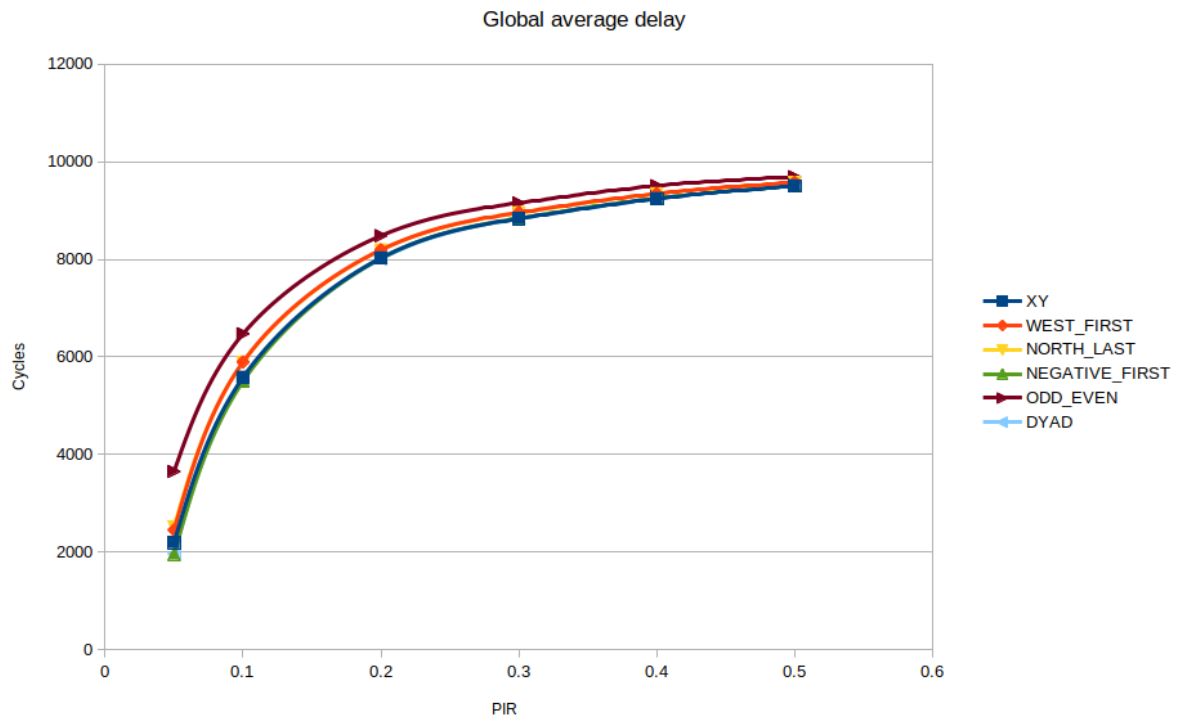
Random κατανομή

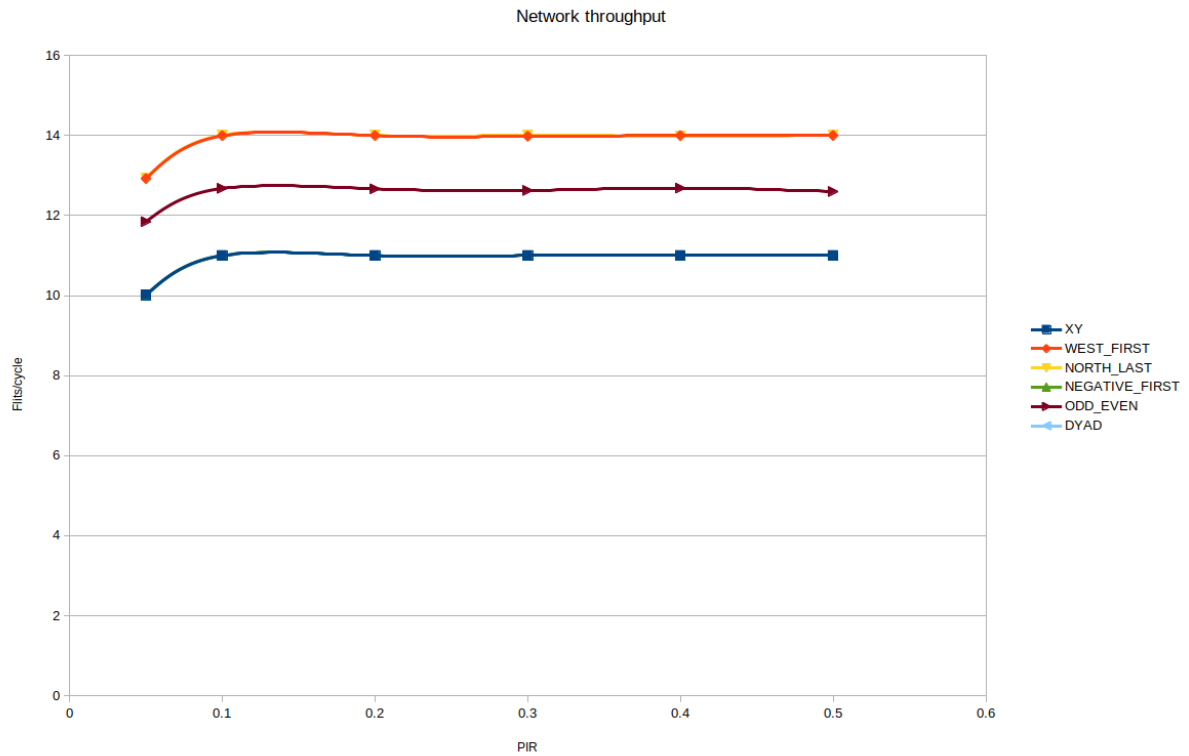




Όλοι οι αλγόριθμοι έχουν παρόμοια συμπεριφορά, με εξαίρεση το σημαντικά υψηλότερο throughput του αλγορίθμου XY και την μικρότερη μέγιστη καθυστέρηση που παρουσιάζει για τα μικρότερα PIR.

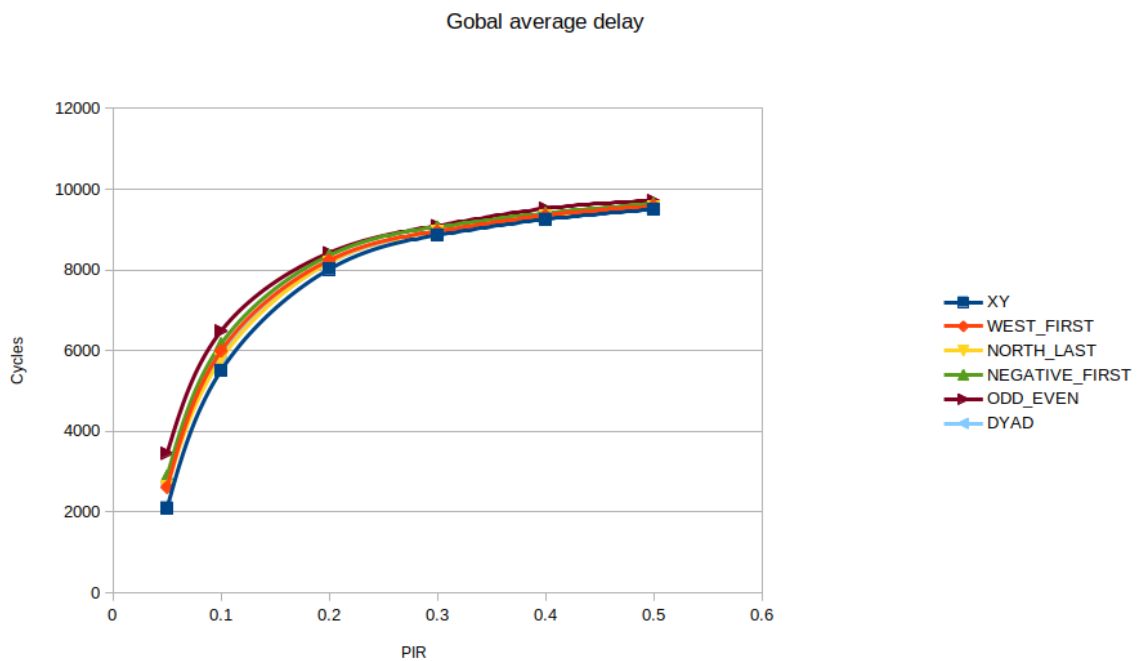
Transpose 1 κατανομή

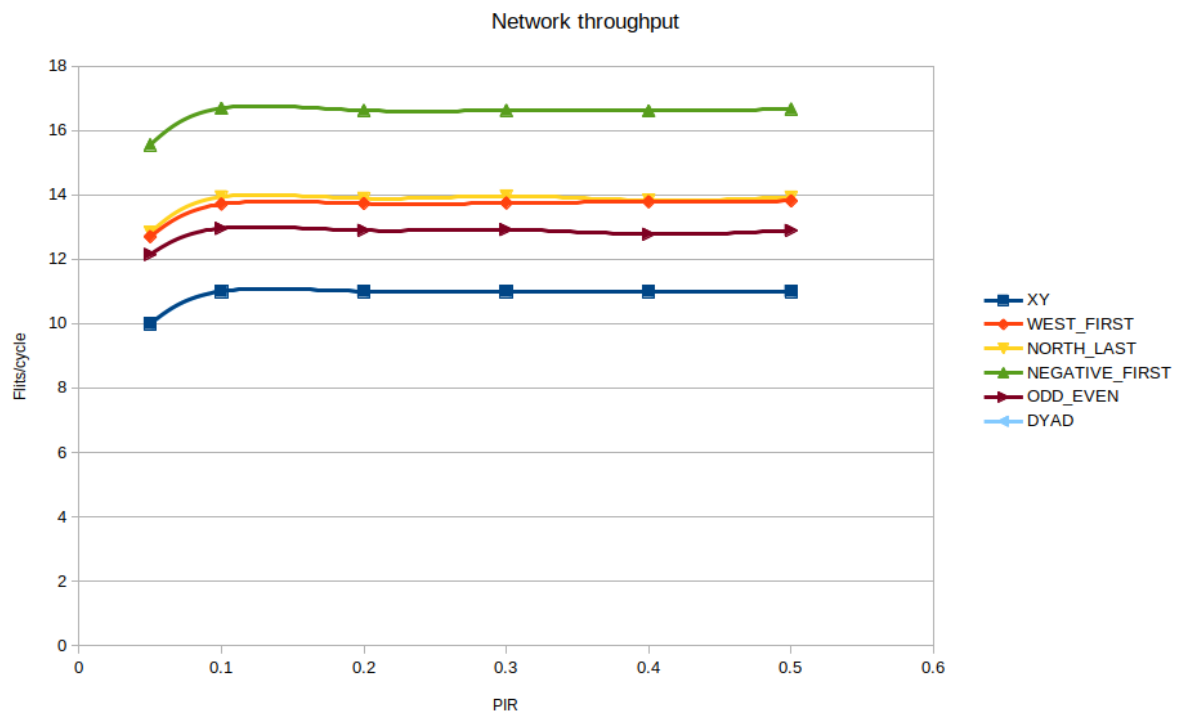
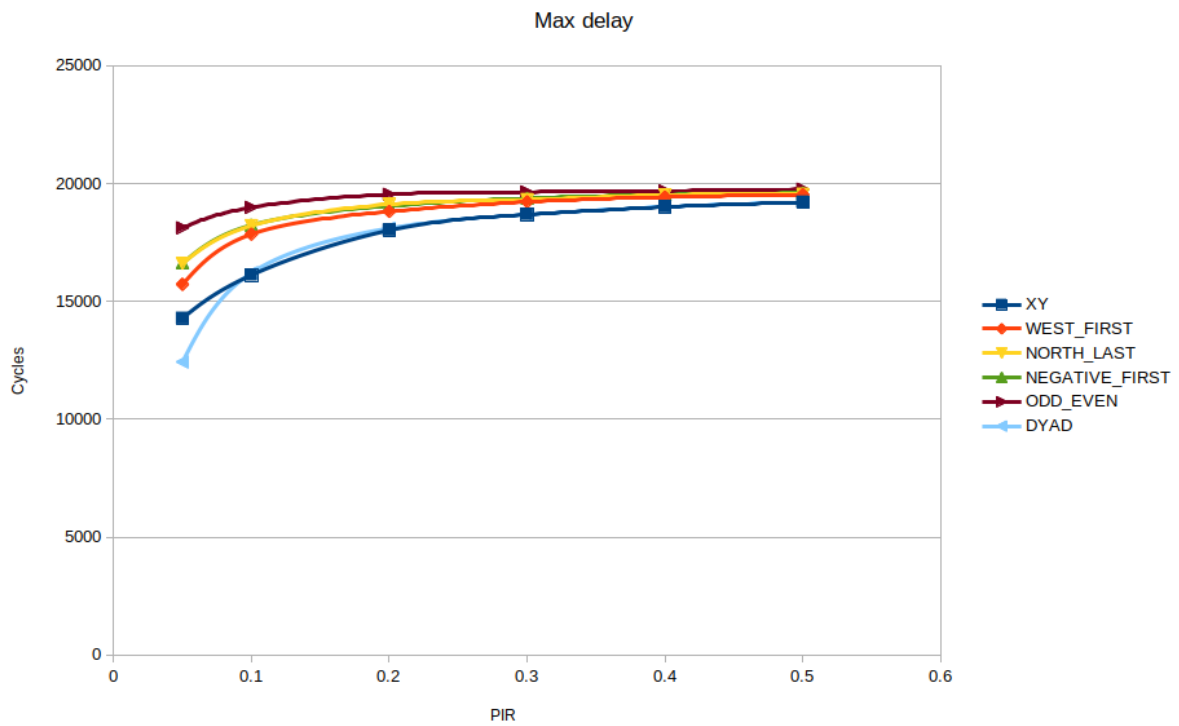




Παρατηρείται μικρότερη μέγιστη καθυστέρηση για μικρότερα PIR στους αλγόριθμους XY και Negative First, ενώ οι αλγόριθμοι West first και North last έχουν την υψηλότερη απόδοση. Στην μέση της κλίμακας είναι ο αλγόριθμος Odd Even, ενώ οι υπόλοιποι είναι ακριβώς το ίδιο, όσον αφορά την απόδοση. Η απόδοση πάντως είναι σχετικά υψηλή για το σύνολο τους.

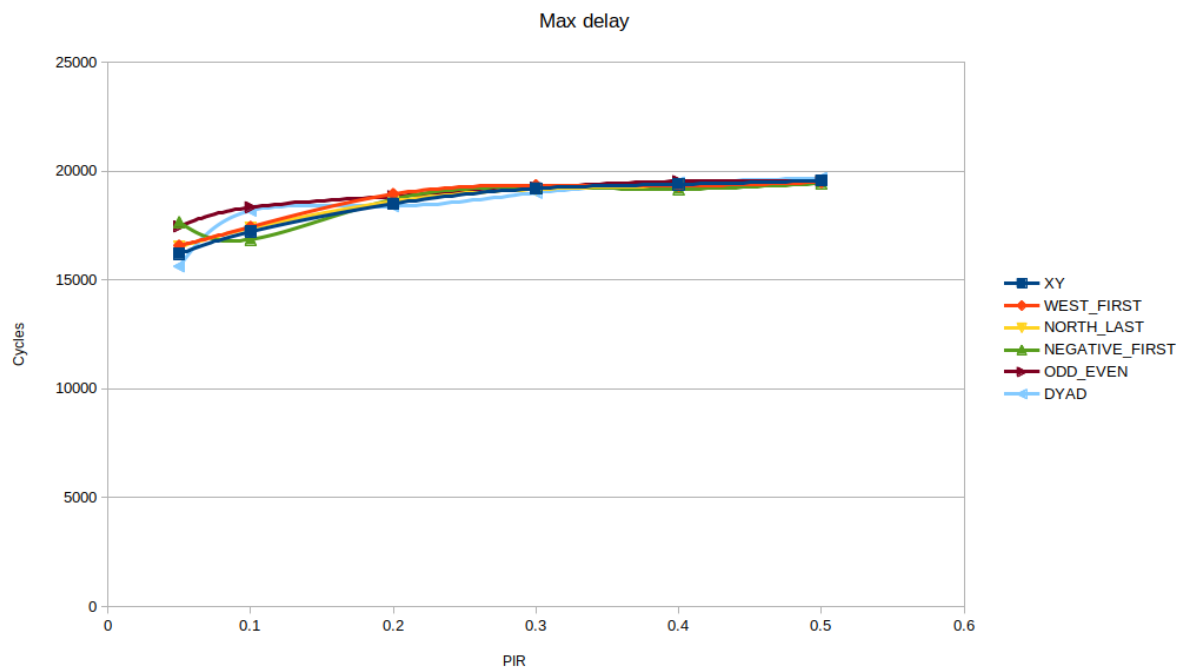
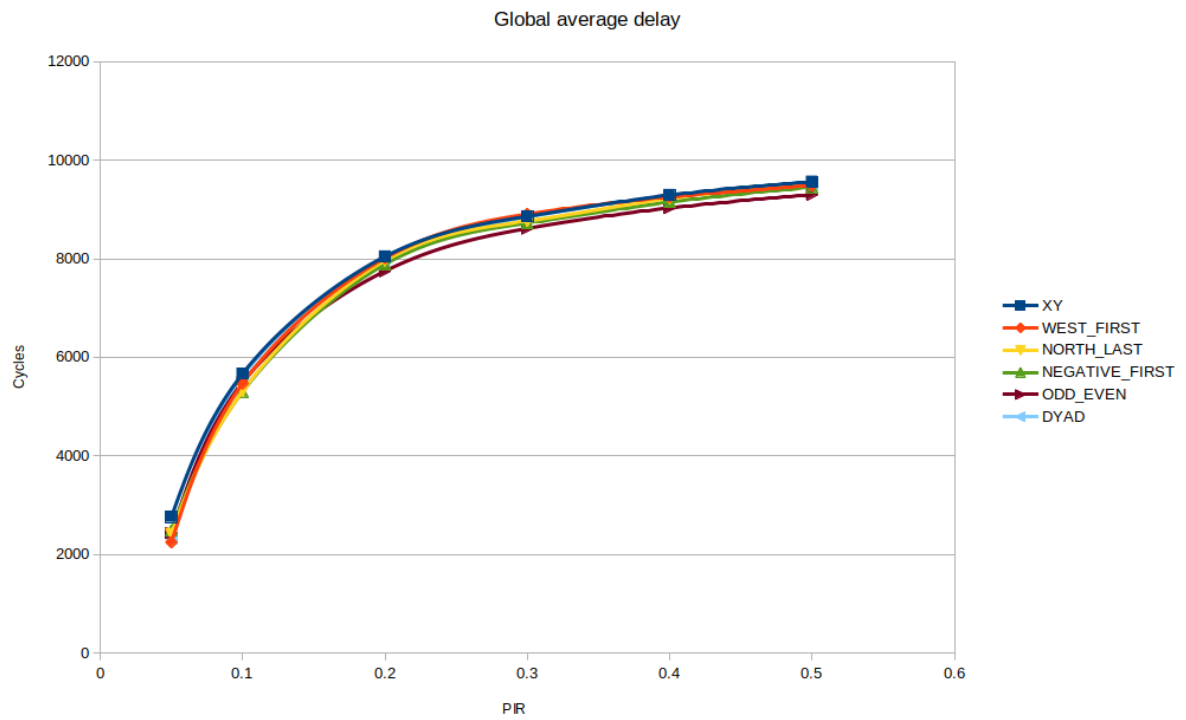
Transpose 2 κατανομή

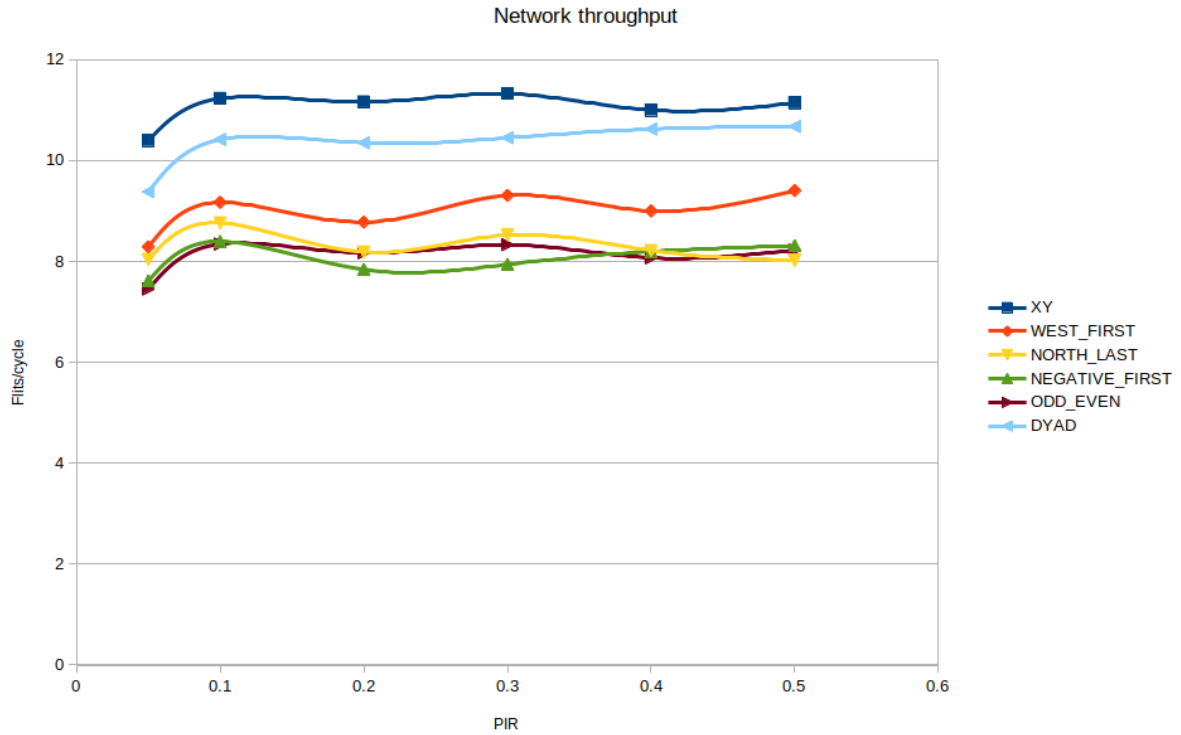




Αντίστοιχα παρατηρείται μικρότερη μέγιστη καθυστέρηση για μικρότερα PIR στους αλγόριθμους XY και DYAD. Την υψηλότερη απόδοση έχει ο αλγόριθμος Negative First και την χειρότερη οι XY και DYAD.

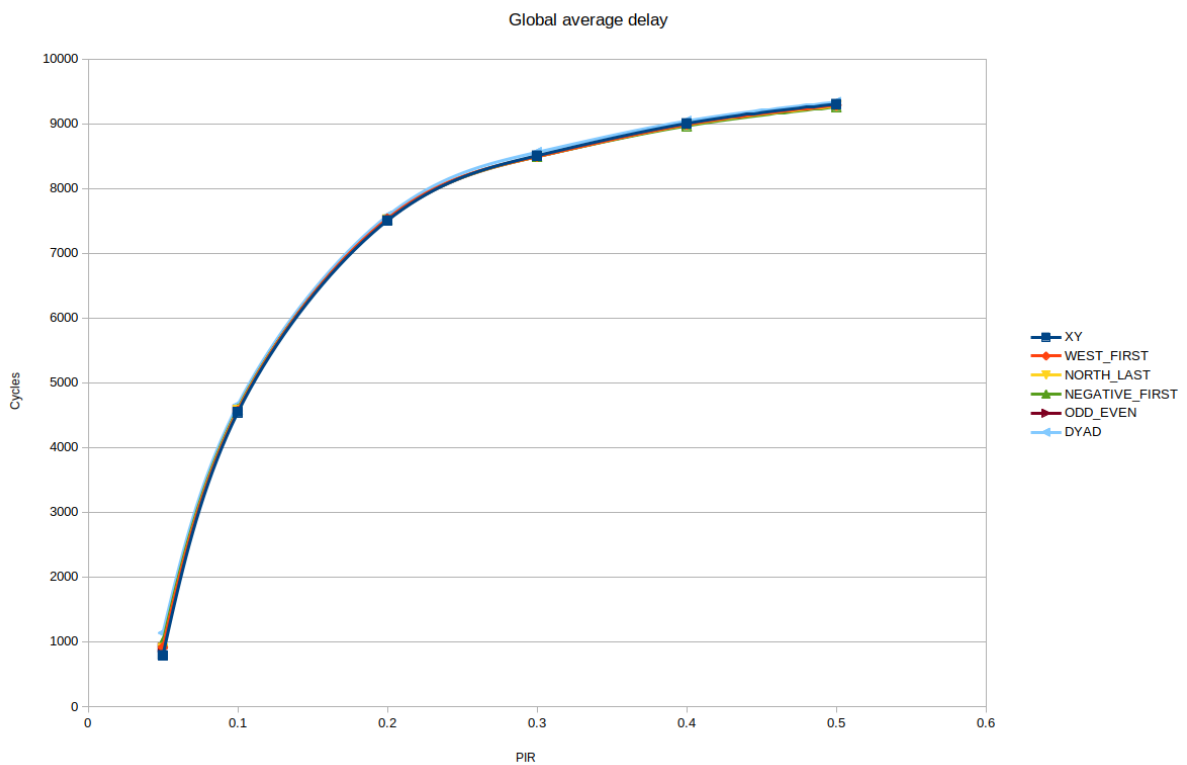
Shuffle κατανομή

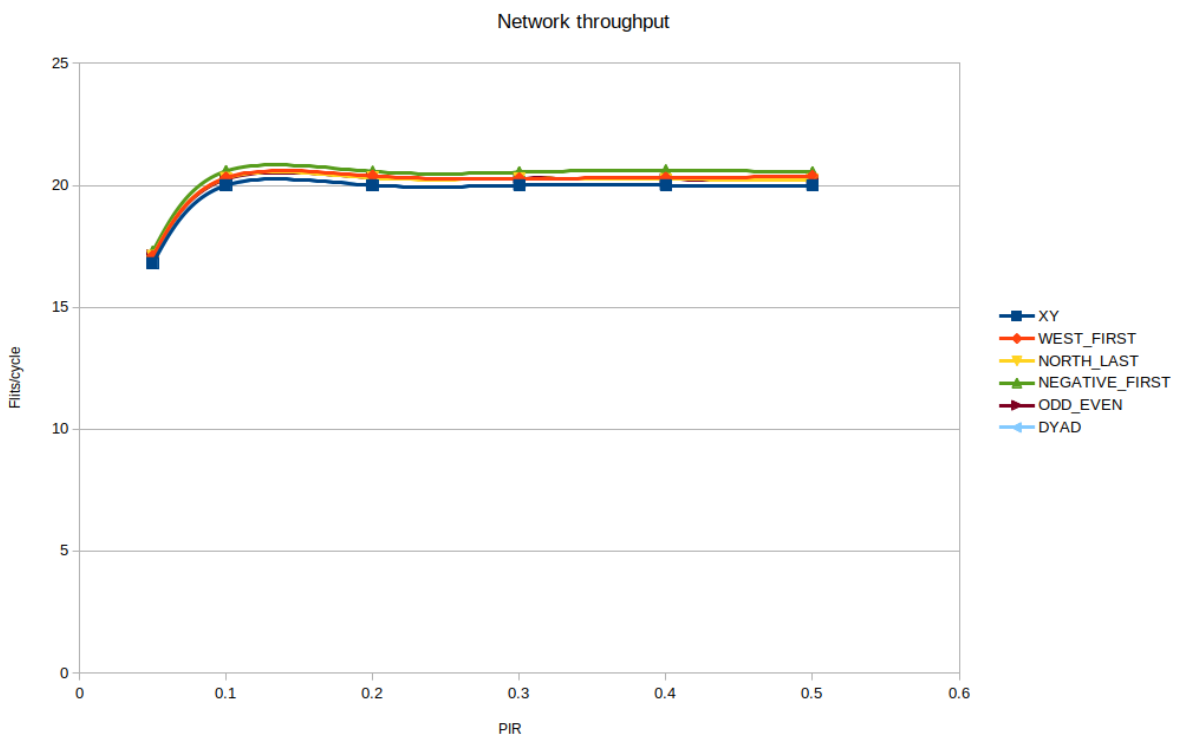
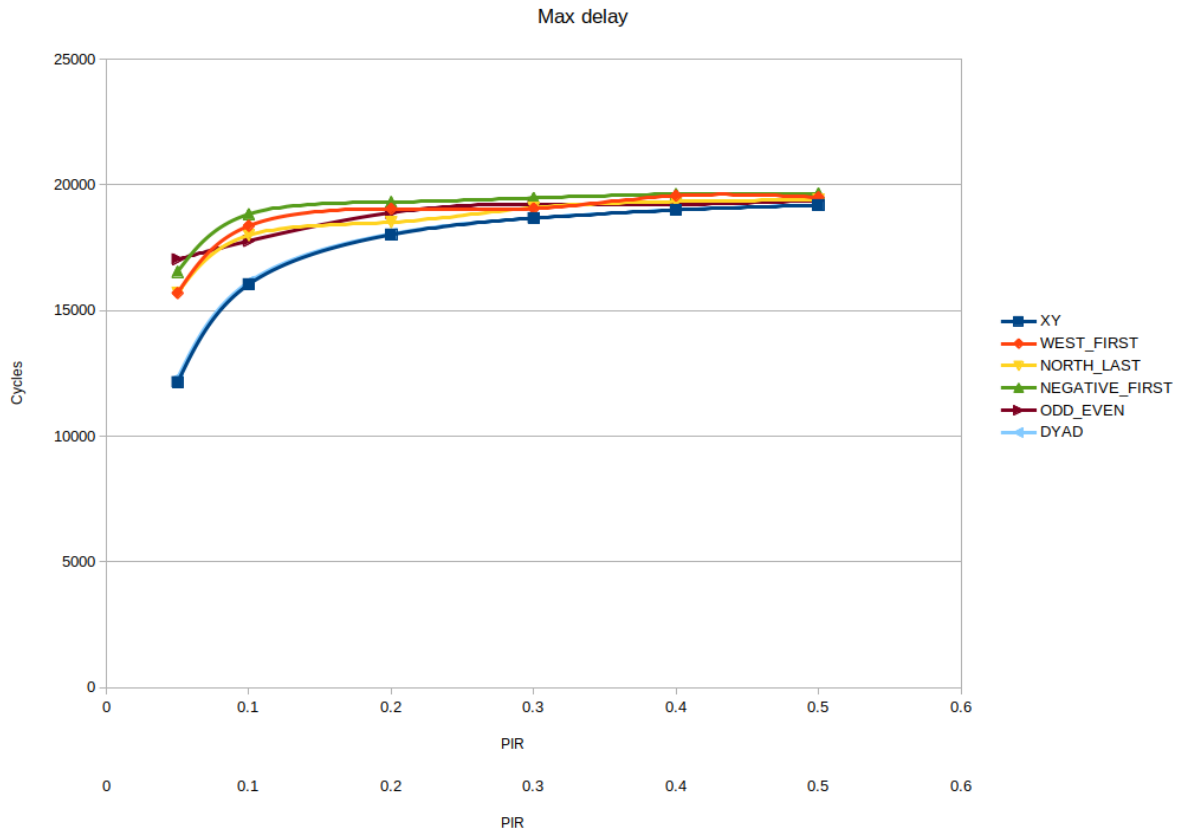




Μέγιστη και μέση καθυστέρηση είναι παρόμοιες για το σύνολο των αλγορίθμων. Οι XY και DYAD παρουσιάζουν υψηλότερη απόδοση, ενώ οι υπόλοιποι παρόμοια απόδοση, με τον West first να ξεχωρίζει ελαφρώς.

Butterfly κατανομή



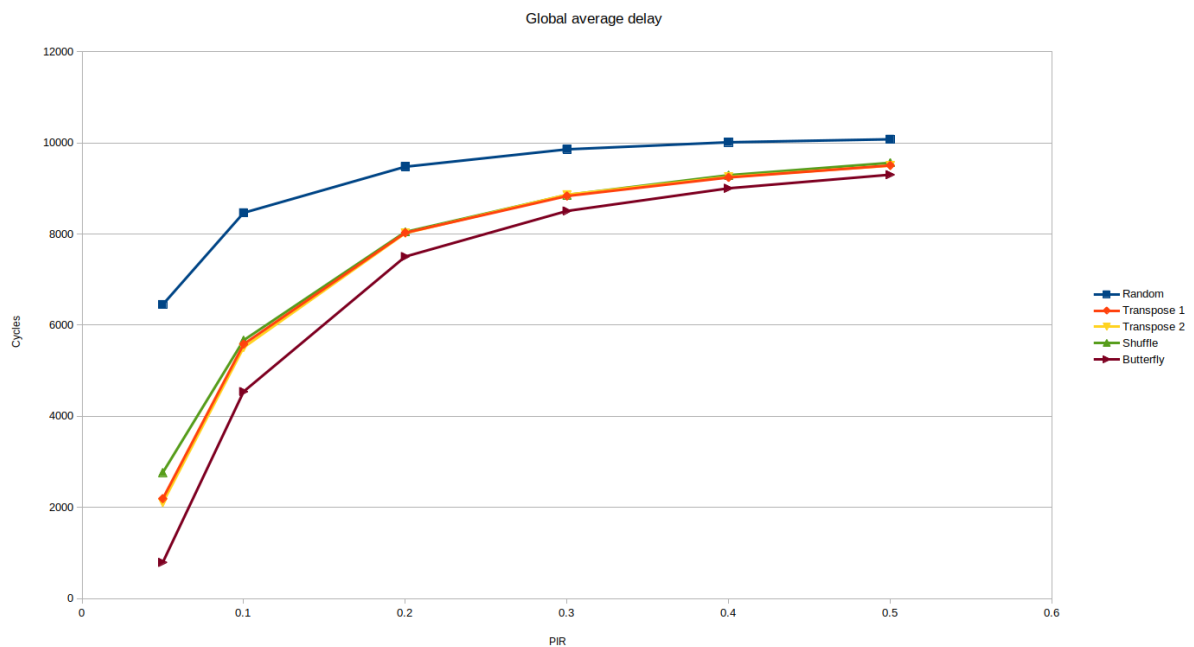


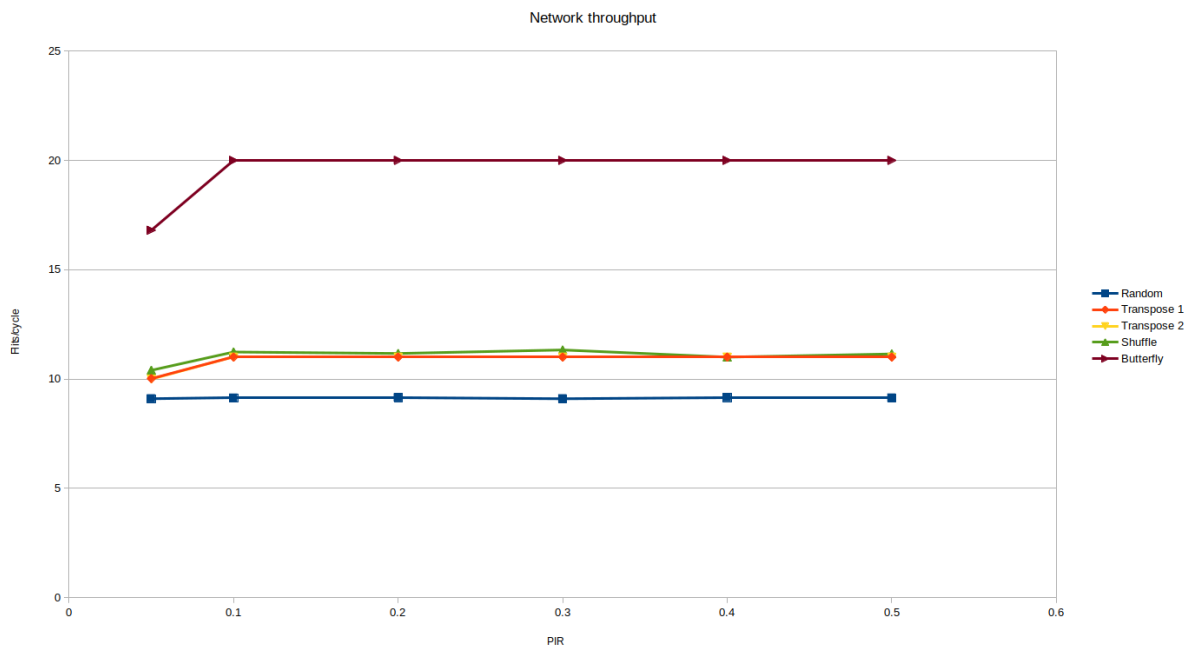
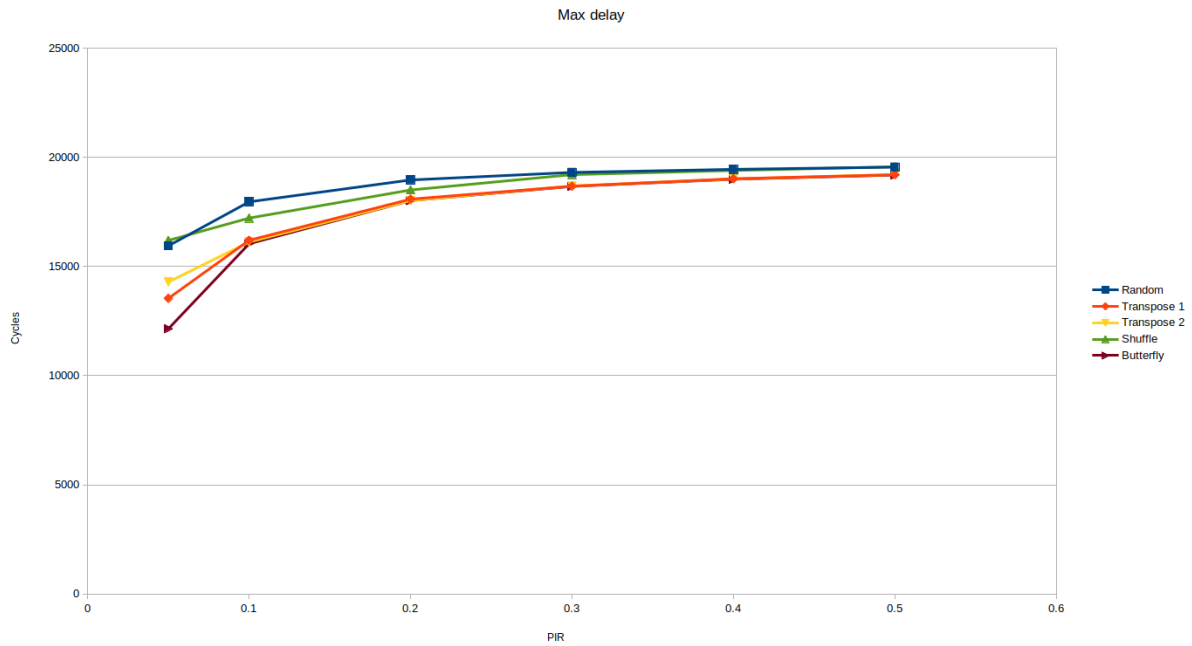
Ο αλγόριθμος XY εμφανίζει μία μικρότερη μέγιστη καθυστέρηση για μικρότερα PIR. Στις υπόλοιπες μετρήσεις το σύνολο των αλγορίθμων έχει παρόμοια συμπεριφορά.

(Ενότητα 5.1.γ) Μεταβολή της κατανομής κίνησης στο δίκτυο

Στην περίπτωση αυτή εξετάζουμε την επίδραση της κατανομής της κίνησης στην απόδοση του δικτύου (Throughput), στην μέση (Global average delay) και μέγιστη (Max delay) καθυστέρηση που παρατηρείται, για κάθε ένα διαφορετικό αλγόριθμο δρομολόγησης την φορά. Οι άλλες δύο παράμετροι παραμένουν στις ίδιες ρυθμίσεις και τιμές όπως και παραπάνω.

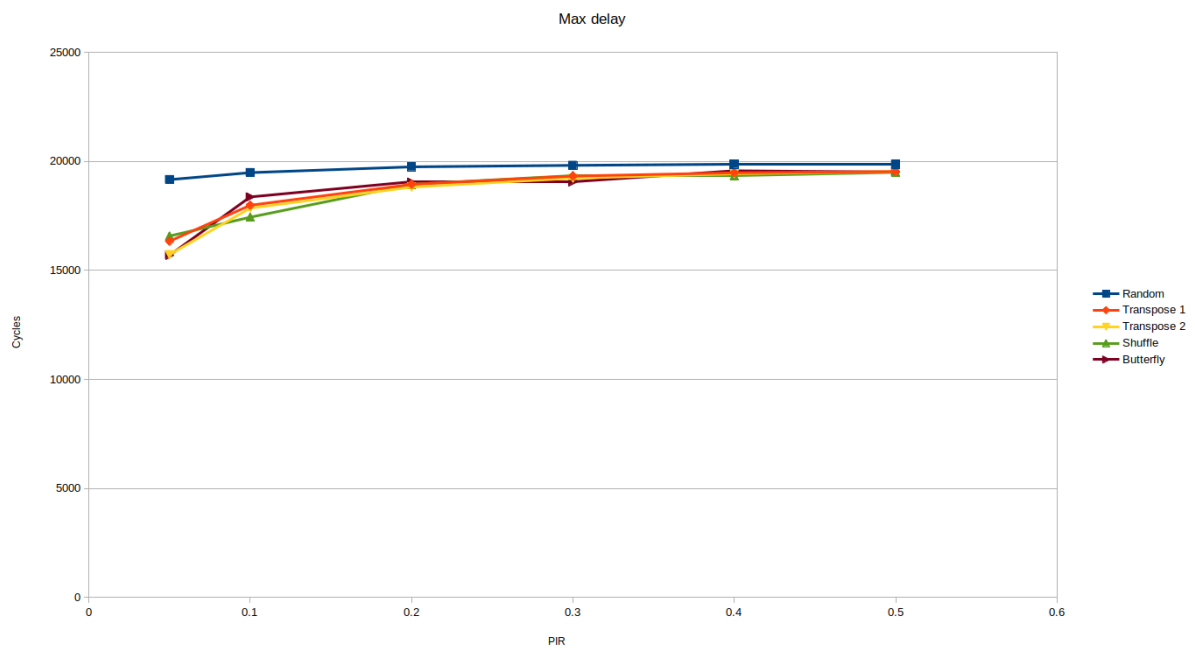
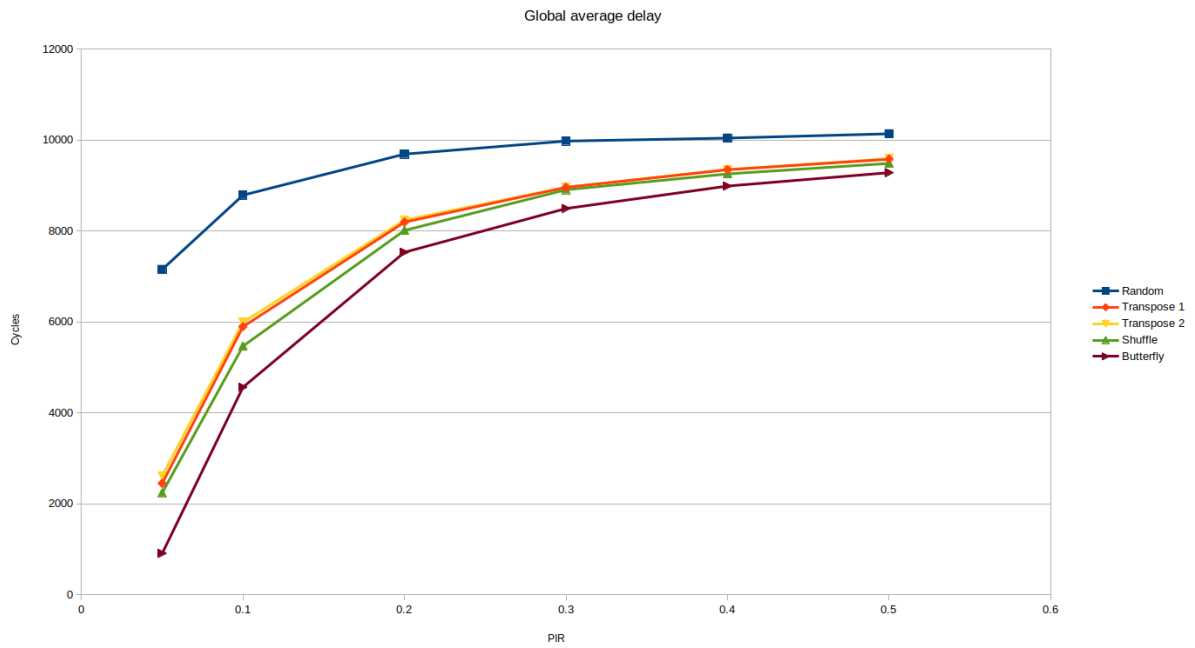
Αλγόριθμος δρομολόγησης XY

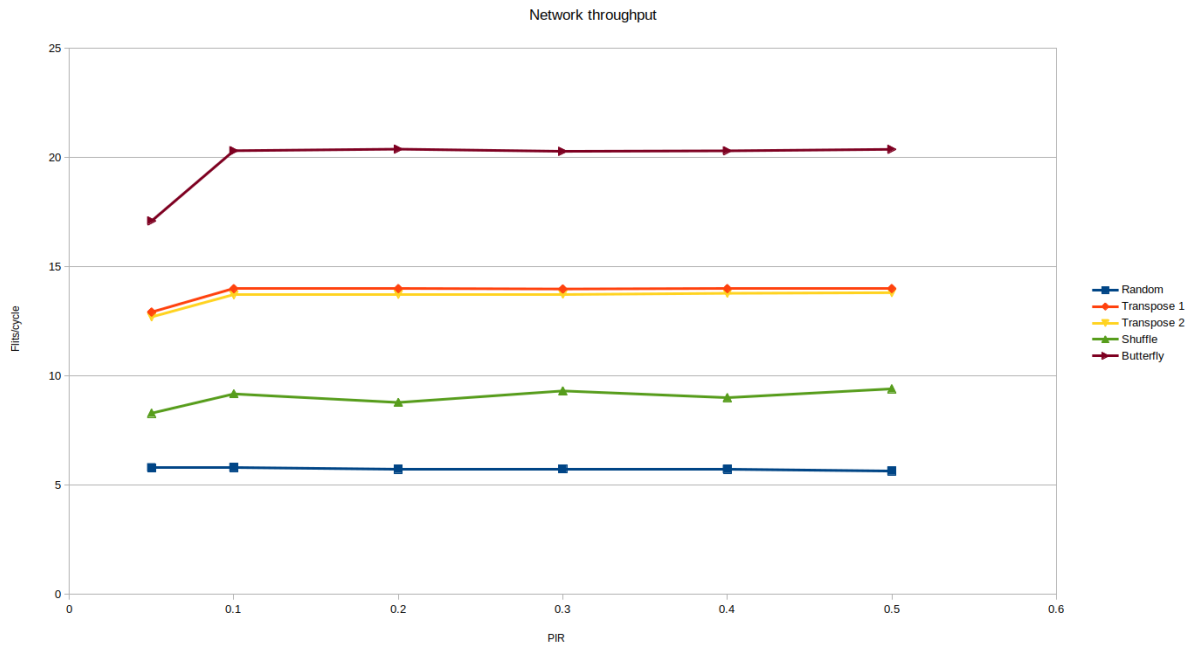




Στην περίπτωση του αλγορίθμου XY η κατανομή κίνησης Butterfly παρουσιάζει την χαμηλότερη μέση και μέγιστη καθυστέρηση, ενώ η απόδοσή σε αυτή είναι πολύ μεγαλύτερη. Στις υπόλοιπες κατανομές οι Transpose,1 και 2,αλλά και η Shuffle έχουν παρόμοια συμπεριφορά, με την Random κατανομή να παρουσιάζει τόσο την μικρότερη απόδοση, όσο και τις μεγαλύτερες καθυστερήσεις.

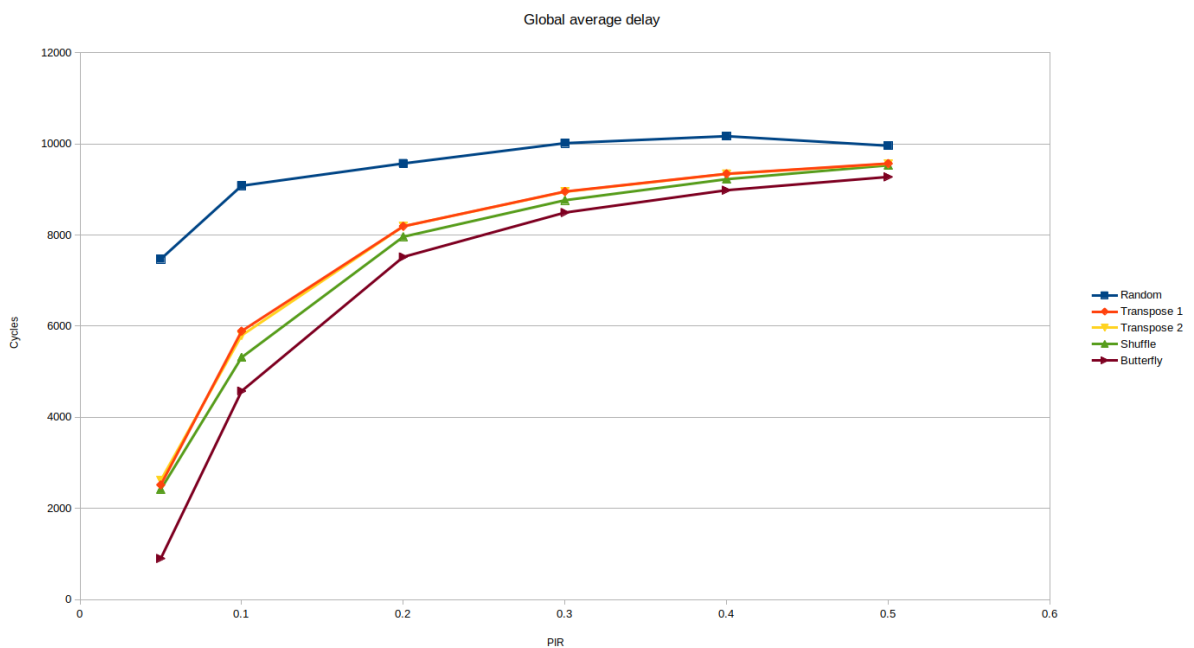
Αλγόριθμος δρομολόγησης West first

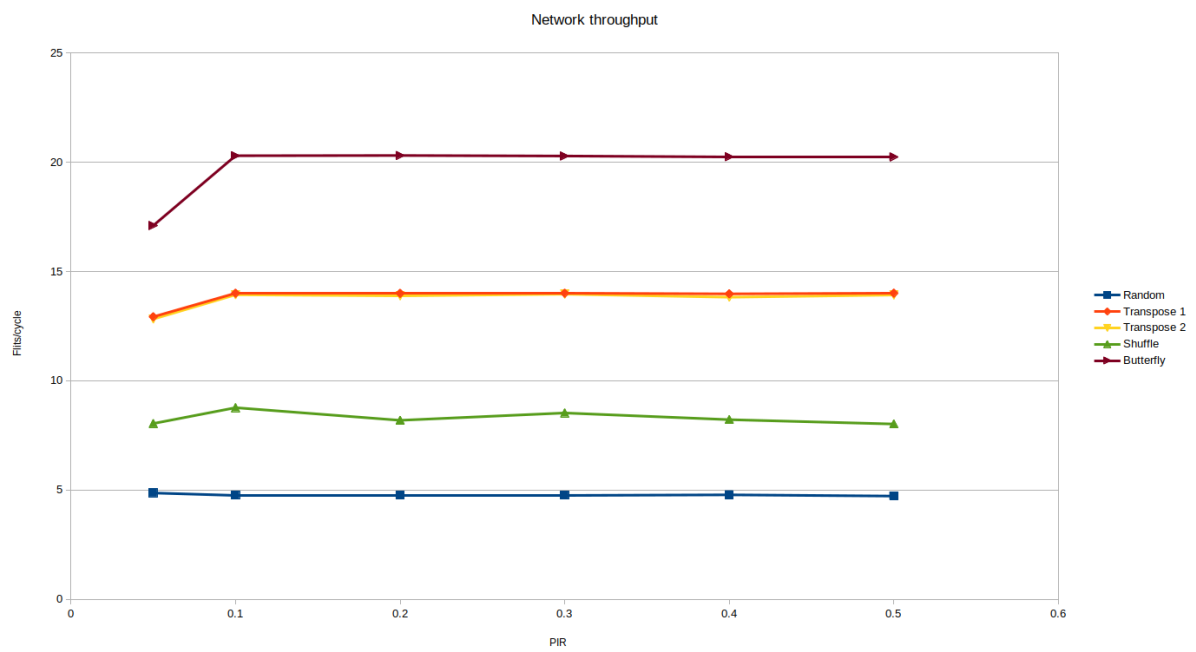
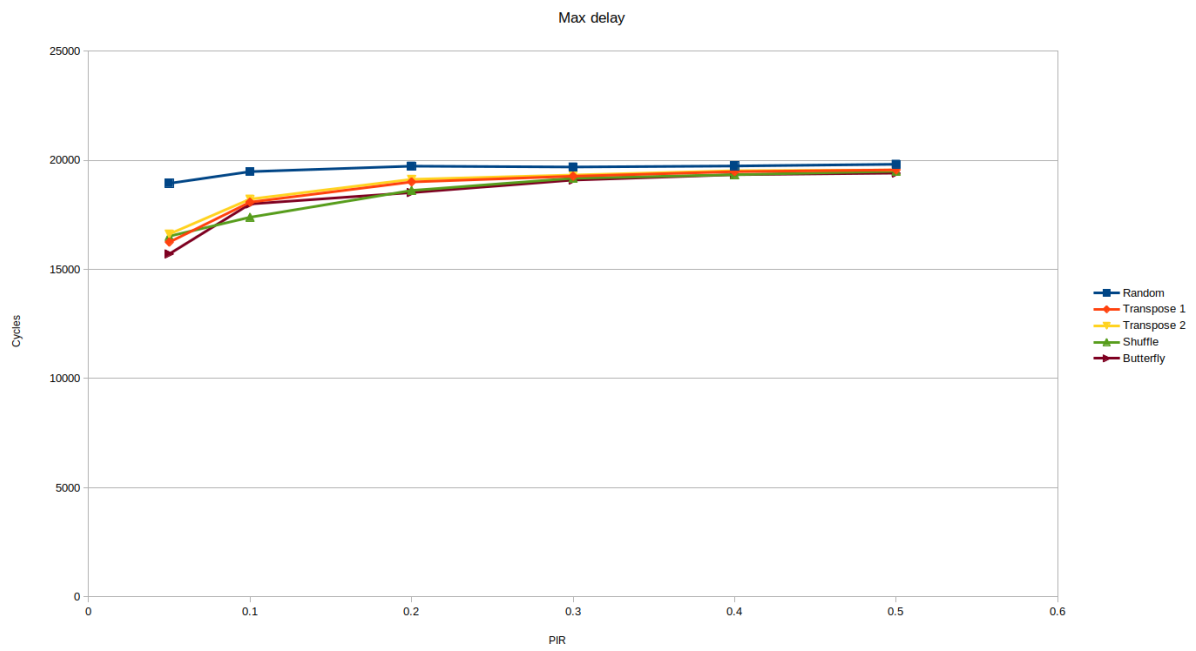




Στην περίπτωση του αλγορίθμου West first για κατανομή κίνησης Butterfly έχουμε την μικρότερη μέση καθυστέρηση ενώ για την Random κατανομή την μεγαλύτερη. Οι υπόλοιπες έχουν παρόμοια συμπεριφορά. Στην μέγιστη καθυστέρηση ξεχωρίζει ελαφρώς, ως προς το χειρότερο, η Random με τις υπόλοιπες να έχουν παρόμοια συμπεριφορά. Η Butterfly μας δίνει την καλύτερη απόδοση, ακολουθούμενη από τις Transpose κατανομές. Χειρότερη και πάλι η Random με την Shuffle κατανομή ελαφρώς καλύτερη.

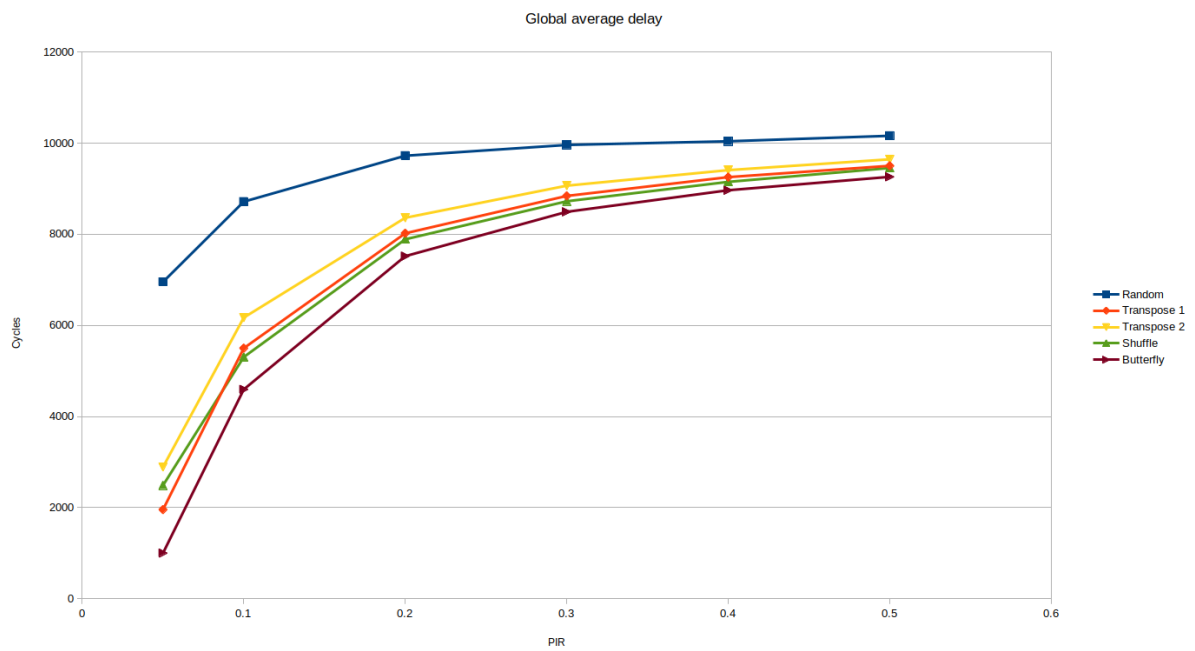
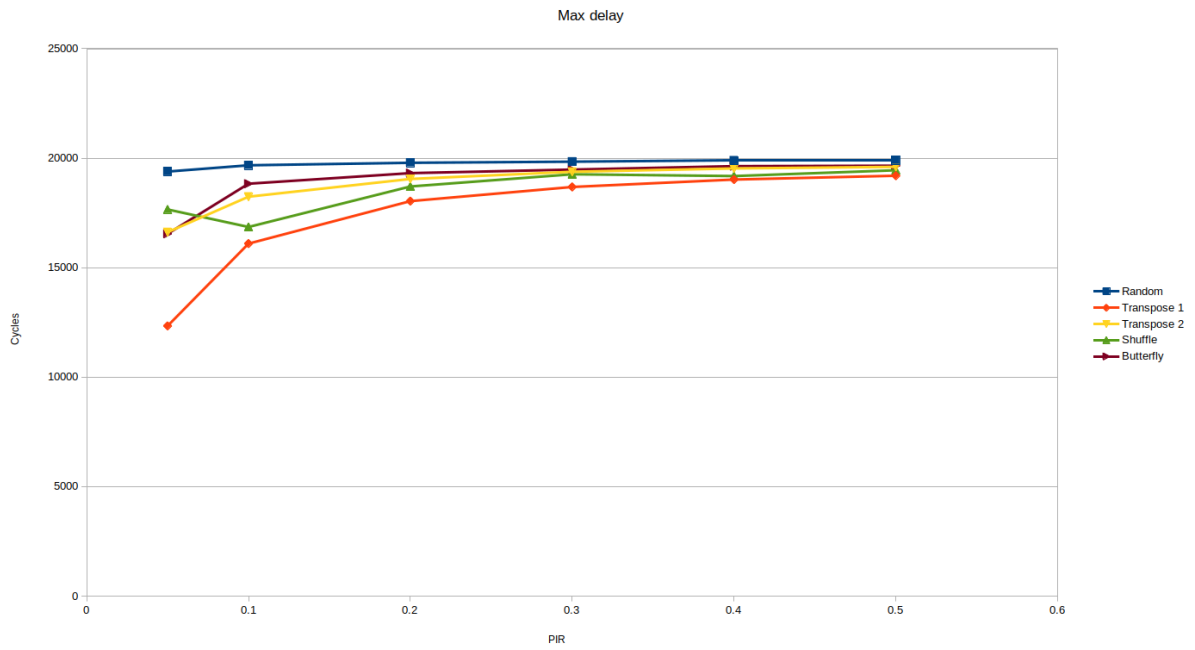
Αλγόριθμος δρομολόγησης North last

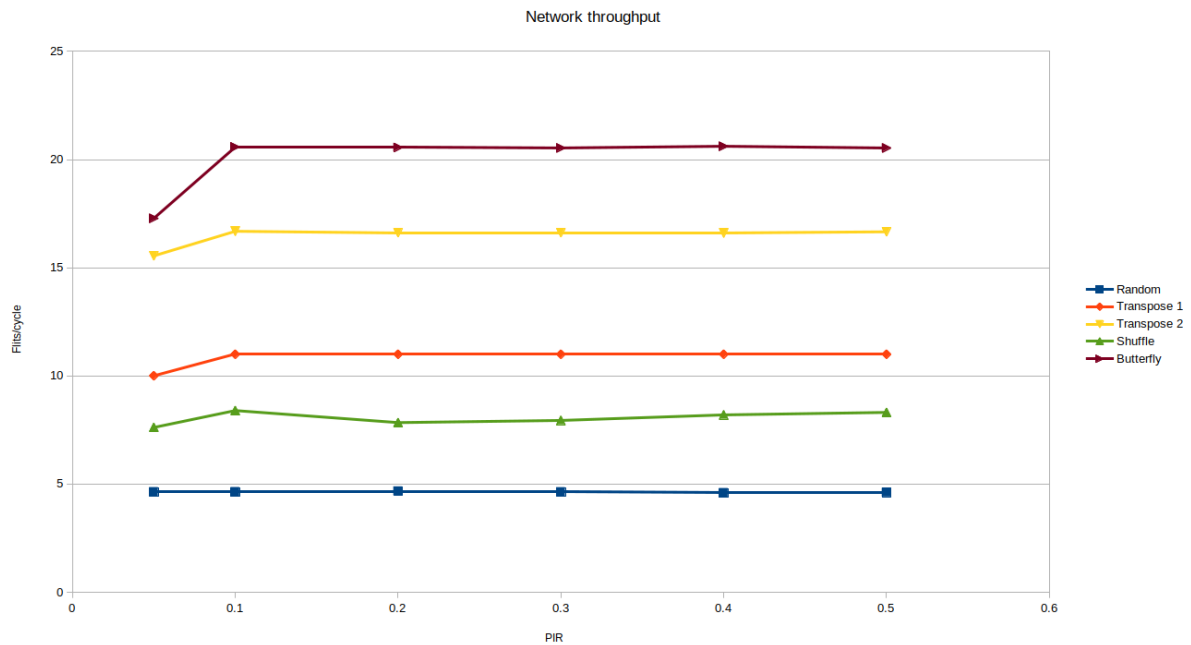




Ο αλγόριθμος North last παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τον West first που εξετάσαμε παραπάνω.

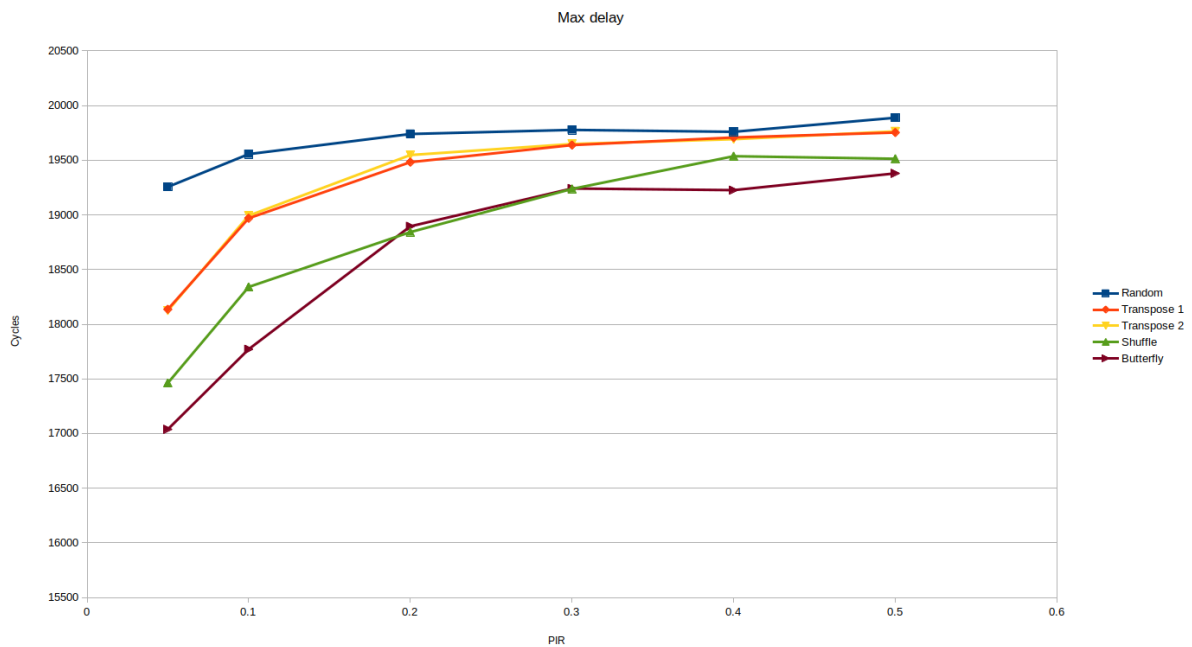
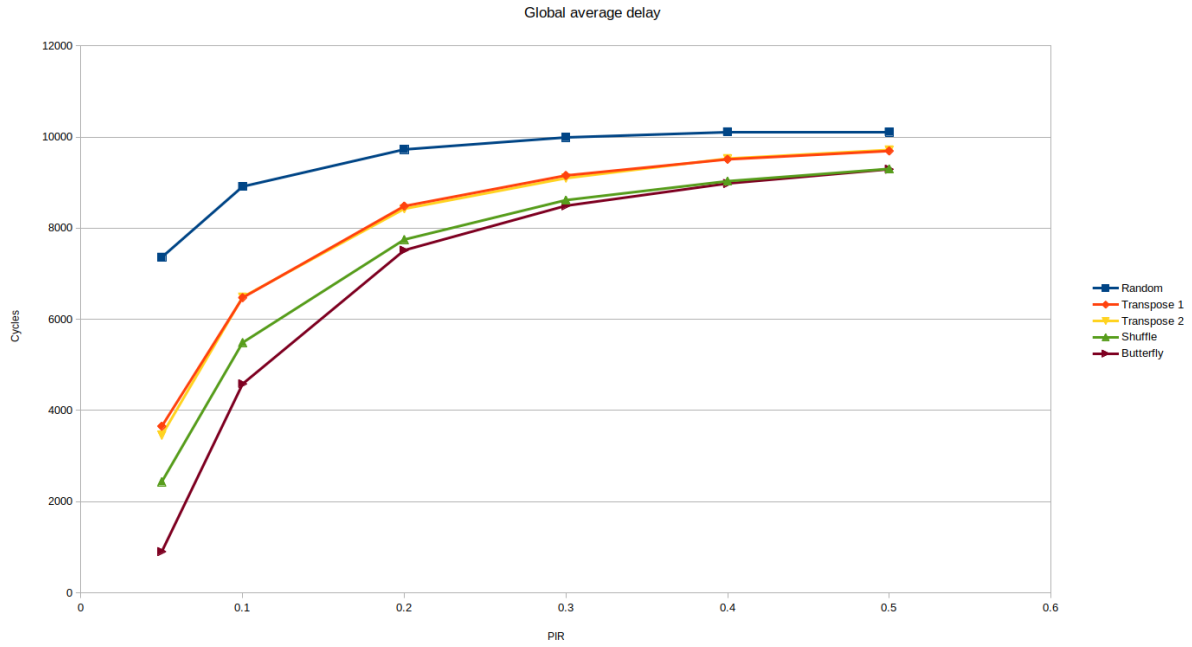
Αλγόριθμος δρομολόγησης Negative first

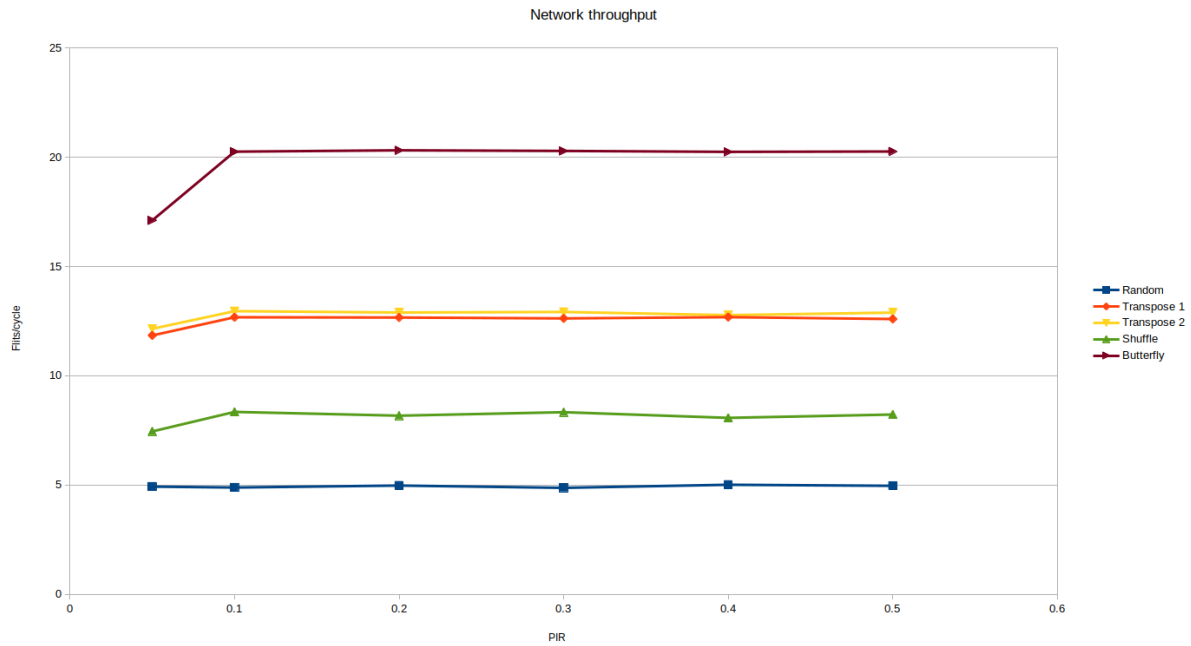




Ο αλγόριθμος Negative First για την μέση καθυστέρηση έχει παρόμοια συμπεριφορά με τους West first και North last. Για την μέγιστη καθυστέρηση λειτουργεί καλύτερα με την Transpose 1 κατανομή, ενώ όσον αφορά την απόδοση η Butterfly κατανομή δίνει την υψηλότερη, με την Random και πάλι την χαμηλότερη. Σημαντική διαφοροποίηση με τους δύο προηγούμενους αλγορίθμους η πολύ υψηλότερη απόδοση που παρατηρείται για την Transpose 2 κατανομή.

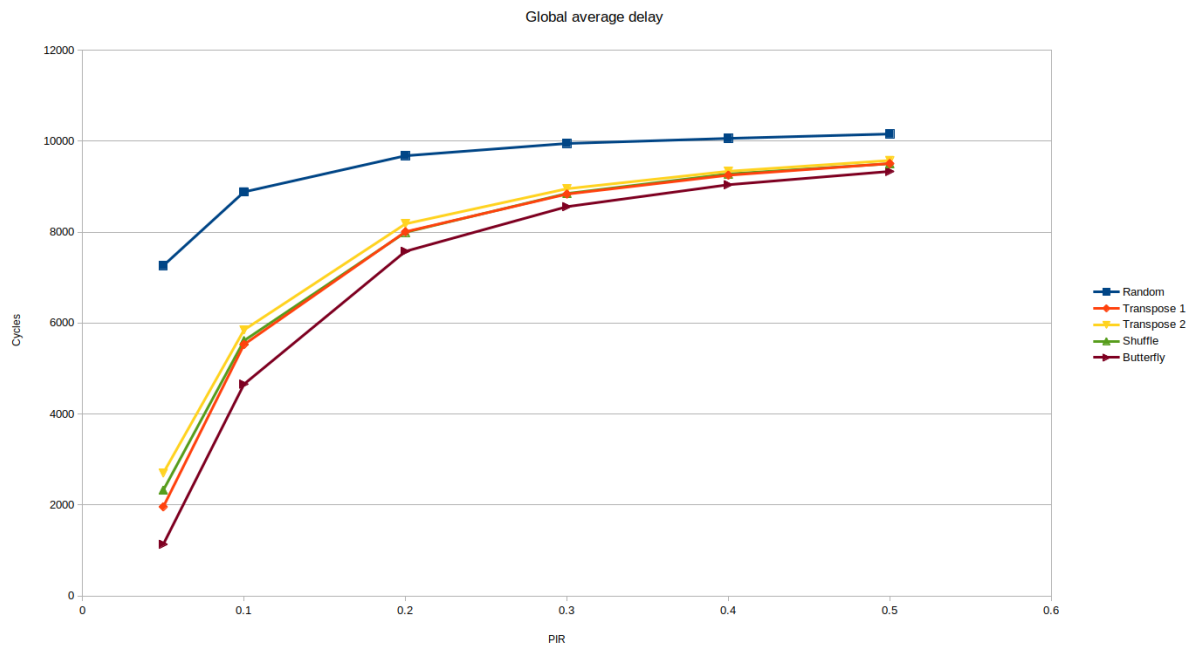
Αλγόριθμος δρομολόγησης Odd even

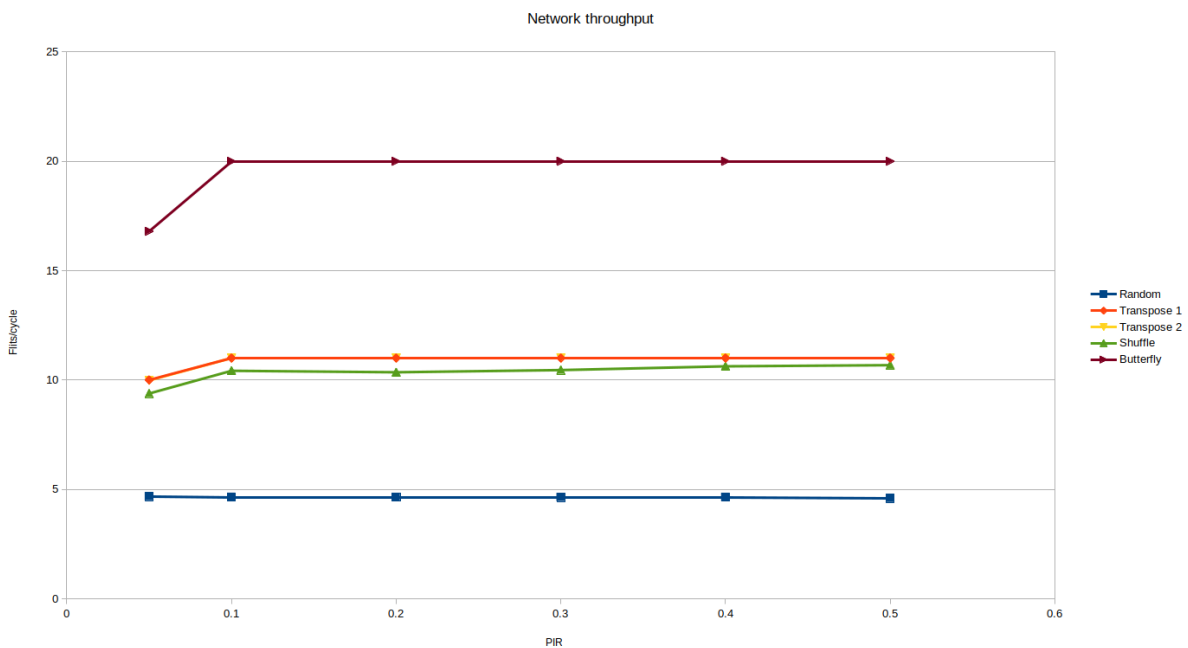
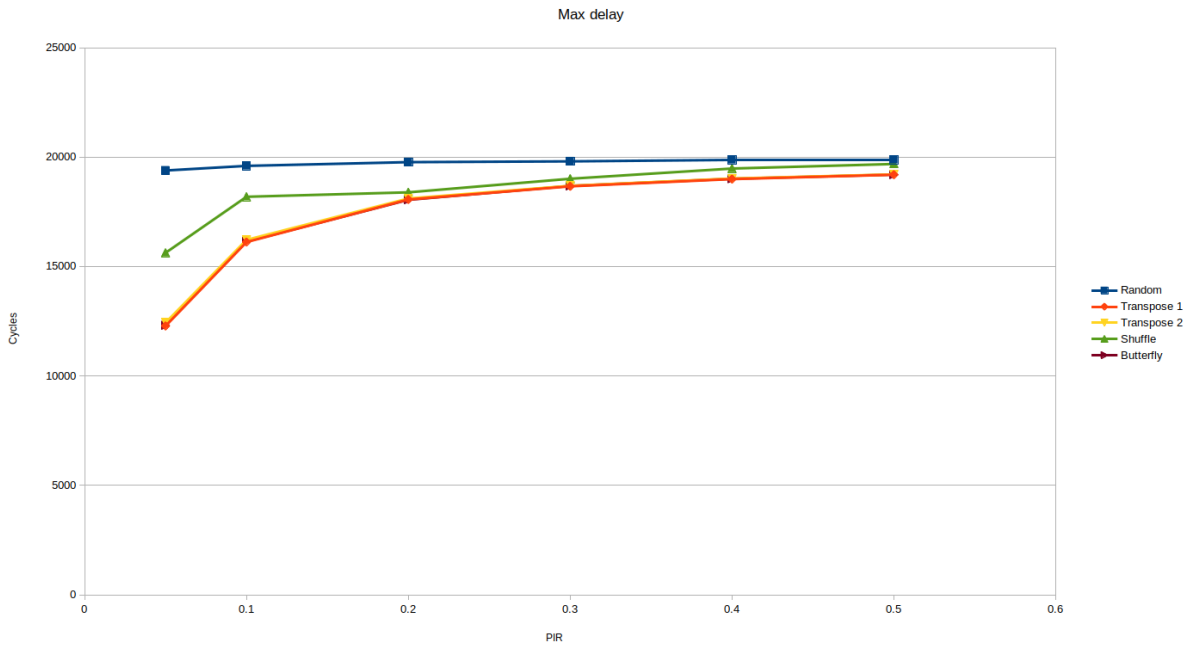




Για την μέση καθυστέρηση η κατανομή Butterfly λειτουργεί και πάλι καλύτερα, αν και για μεγάλα PIR η κατανομή Shuffle δίνει αντίστοιχα αποτελέσματα. Η κατανομή Random και πάλι έχει την υψηλότερη μέση και μέγιστη καθυστέρηση, καθώς και την χαμηλότερη απόδοση. Η Butterfly δίνει την μεγαλύτερη απόδοση, ακολουθούμενη από τις Transpose.

Αλγόριθμος δρομολόγησης DYAD



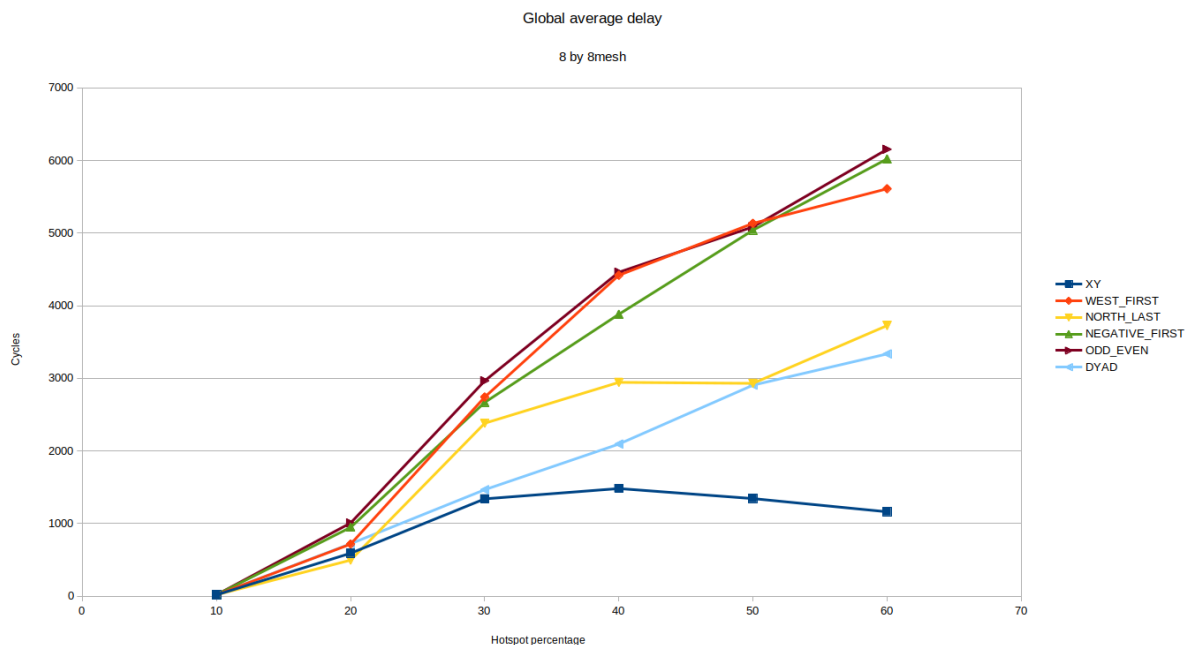


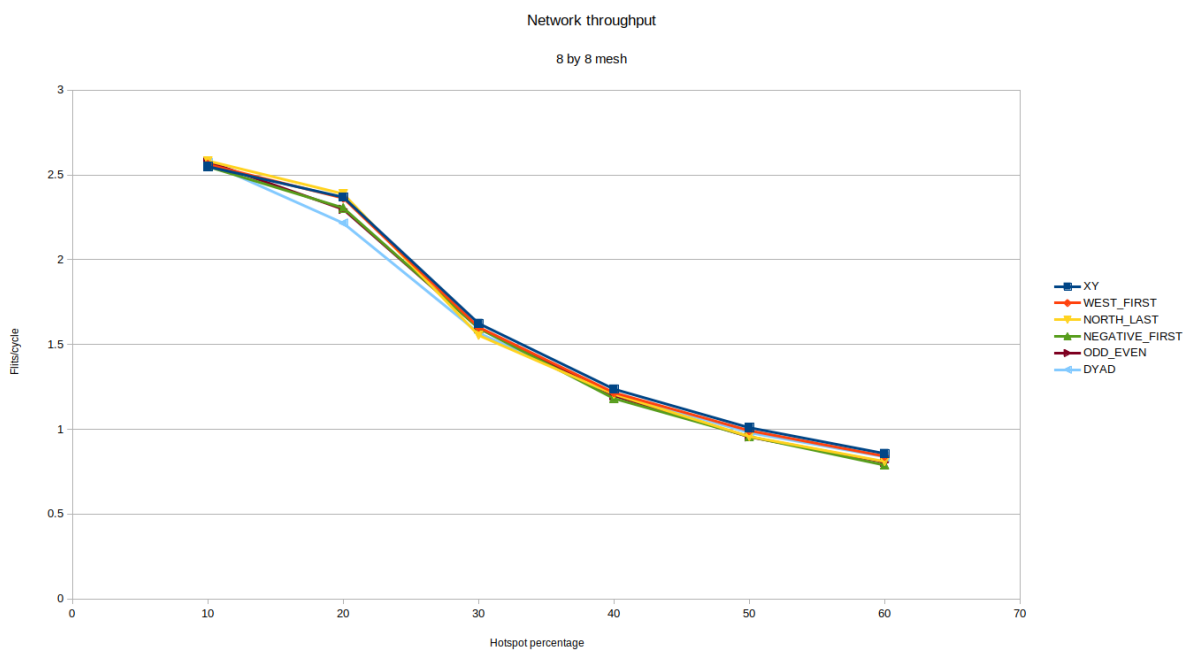
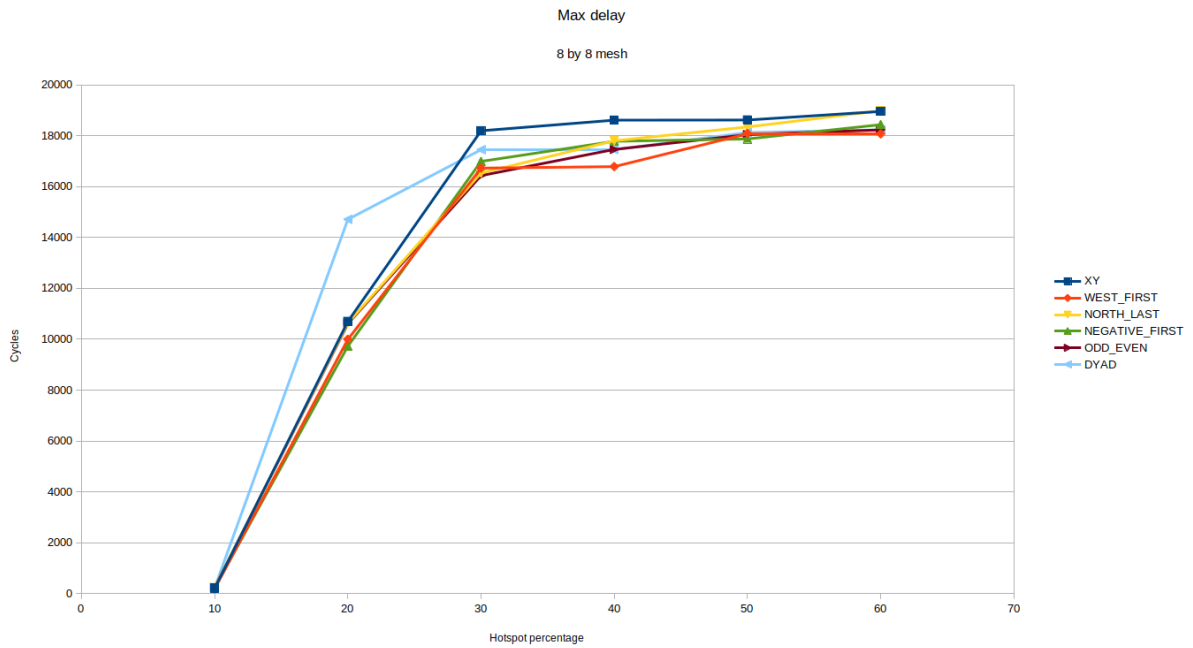
Ο αλγόριθμος DYAD εμφανίζει την μικρότερη μέση καθυστέρηση για την κατανομή Butterfly και την μεγαλύτερη για την Random κατανομή. Όσον αφορά την μέγιστη καθυστέρηση οι Butterfly και Transpose 1 και 2 δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα, ενώ και πάλι για Random κατανομή έχουμε με διαφορά την μεγαλύτερη μέγιστη καθυστέρηση. Η Butterfly δίνει την μέγιστη απόδοση και η Random την χαμηλότερη, με τις άλλες τρεις κατανομές να έχουν μία παρόμοια απόδοση, ανάμεσα σε αυτές τις δύο.

Ενότητα 5.1.γ) Μελέτη ύπαρξης hotspot κόμβου στο δίκτυο

Στο σενάριο αυτό μελετούμε την επίδραση που έχει ένας hotspot κόμβος για διάφορα ποσοστά στην απόδοση του δικτύου, στην μέση και μέγιστη καθυστέρηση, για κάθε ένα αλγόριθμο δρομολόγησης. Ως hotspot ονομάζουμε ένα κόμβο που έχει σημαντικά μεγαλύτερη κίνηση σε σχέση με τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου. Στην ομοιόμορφη κυκλοφορία κάθε κόμβος στέλνει μηνύματα σε άλλους κόμβους με ίσες πιθανότητες. Οι κόμβοι προορισμού επιλέγονται τυχαία χρησιμοποιώντας μία ενιαία συνάρτηση κατανομής πιθανοτήτων. Σε αντίθεση, σε αυτό που ονομάζουμε Hot Traffic κάθε κόμβος στέλνει μηνύματα σε άλλους κόμβους με ίση πιθανότητα εκτός από έναν συγκεκριμένο κόμβο (που ονομάζεται Hotspot) ο οποίος λαμβάνει μηνύματα με μεγαλύτερη πιθανότητα. Το ποσοστό των πρόσθετων μηνυμάτων που λαμβάνει ένας κόμβος Hotspot σε σύγκριση με τους άλλους κόμβους είναι το ποσοστό που βλέπουμε στις γραφικές παραστάσεις στην συνέχεια. Επομένως, ένας Hotspot κόμβος αντιπροσωπεύει έναν πολύ απασχολημένο κόμβο. Τα Hotspots μπορούν να προστεθούν ως μία λειτουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης ώστε να επαληθεύσουμε μία κυκλοφορία παρόμοια με μία πραγματική εφαρμογή δικτύου.

Η κατανομή της κίνησης στο δίκτυο είναι Random (Ωστε να μπορούμε να εισάγουμε hotspot node), ενώ και το traffic time distribution είναι το default (Poisson) για σταθερή τιμή. Τέλος το selection strategy είναι και αυτό Random.



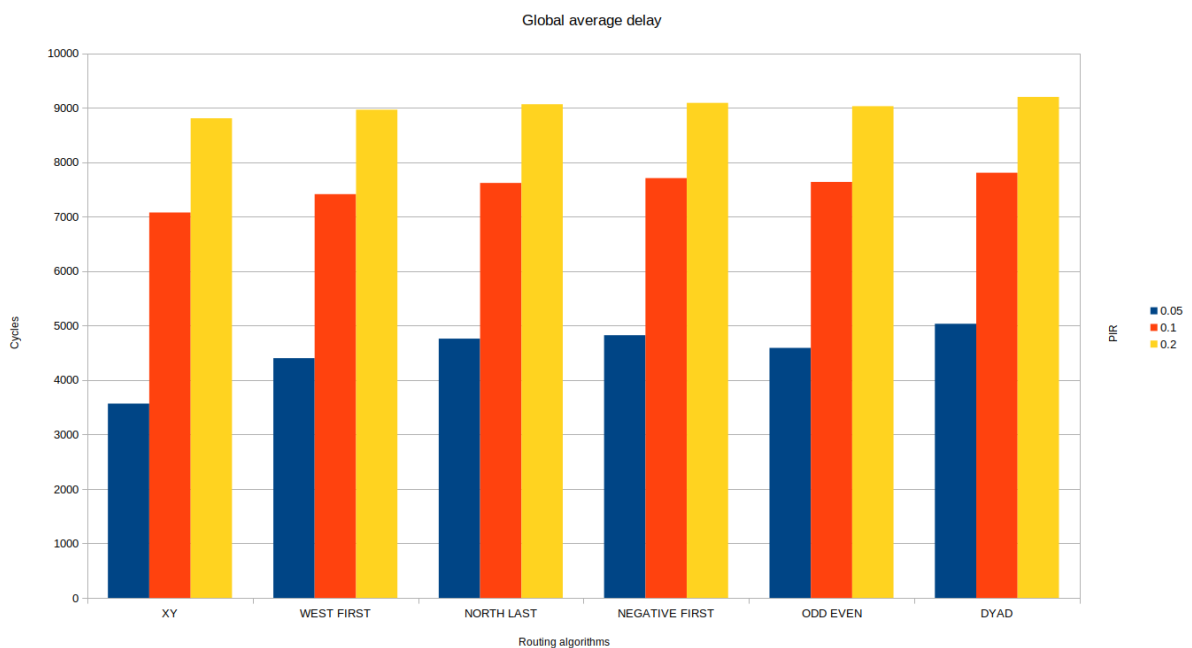


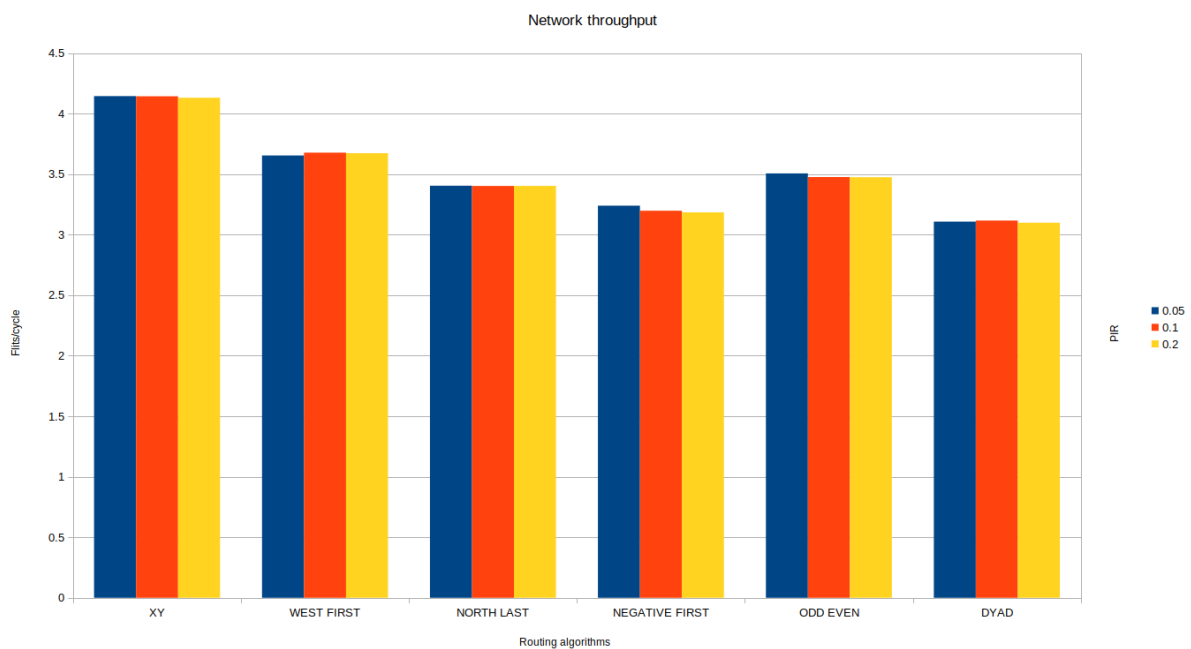
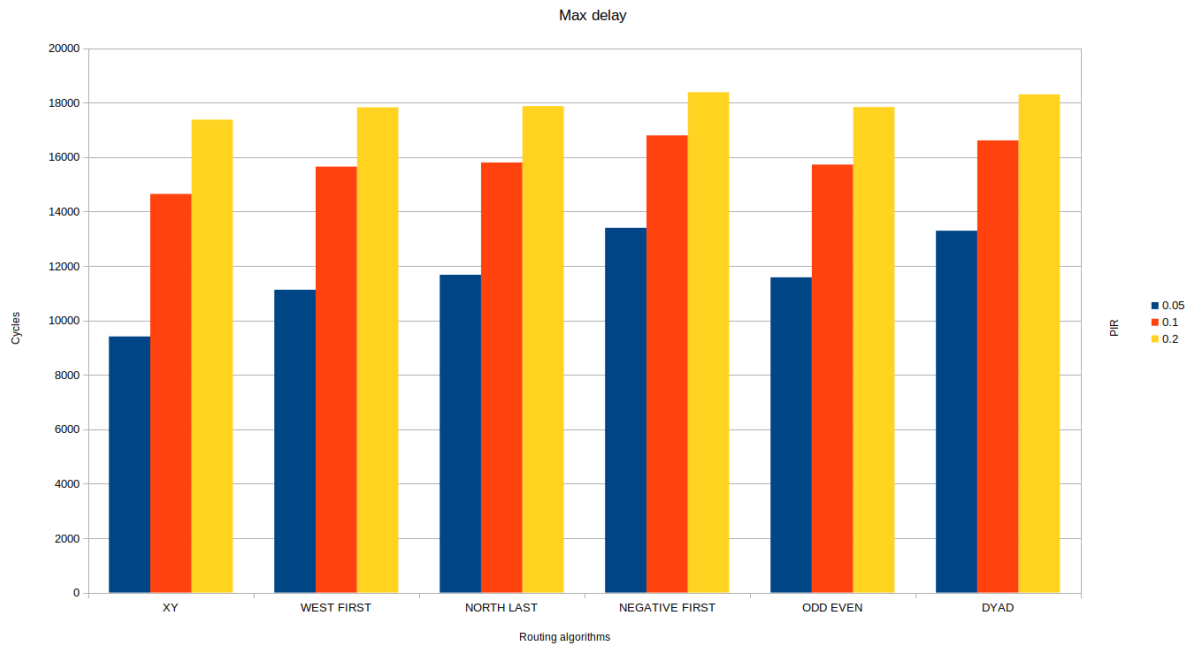
Όλοι οι αλγόριθμοι παρουσιάσουν την ίδια απόδοση (throughput) και παρόμοια μέγιστη καθυστέρηση. Όσον αφορά την μέση καθυστέρηση όμως ο αλγόριθμος XY δίνει με διαφορά τα καλύτερα αποτελέσματα ακολουθούμενος από τον DYAD και μετά τον North last. Οι υπόλοιποι τρεις έχουν παρόμοια συμπεριφορά.

Ενότητα 5.1.8) Σύγκριση αλγορίθμων σε διάφορα μεγέθη δικτύου

Στην περίπτωση αυτή συγκρίνουμε όλους τους αλγορίθμους δρομολόγησης για διάφορα μεγέθη δικτύου. Το traffic time distribution είναι το default (Poisson) για τρεις διαφορετικές τιμές, ενώ και τα Selection strategy και κατανομή της κίνησης είναι στη Random επιλογή.

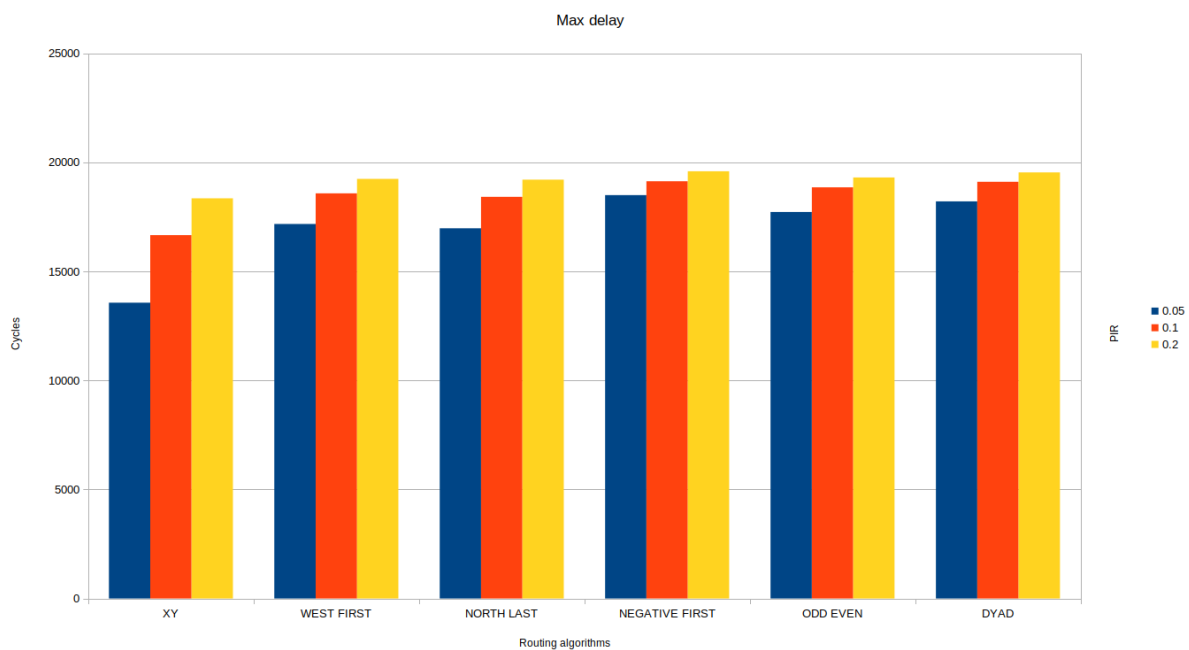
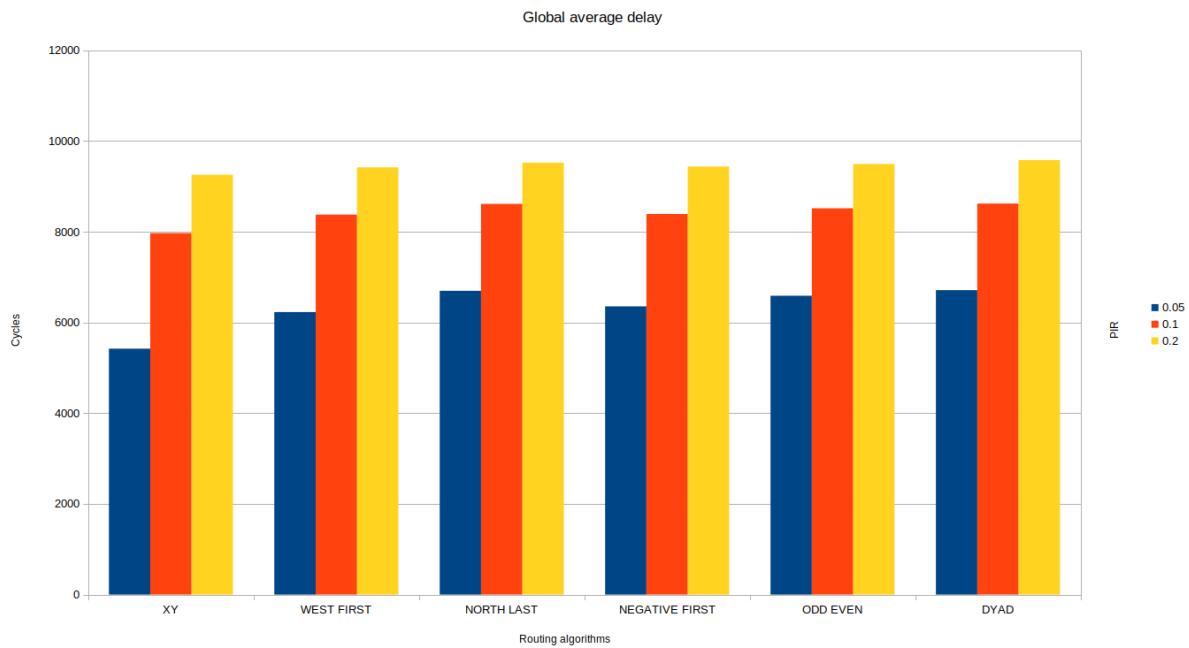
Δίκτυο 4 επί 4

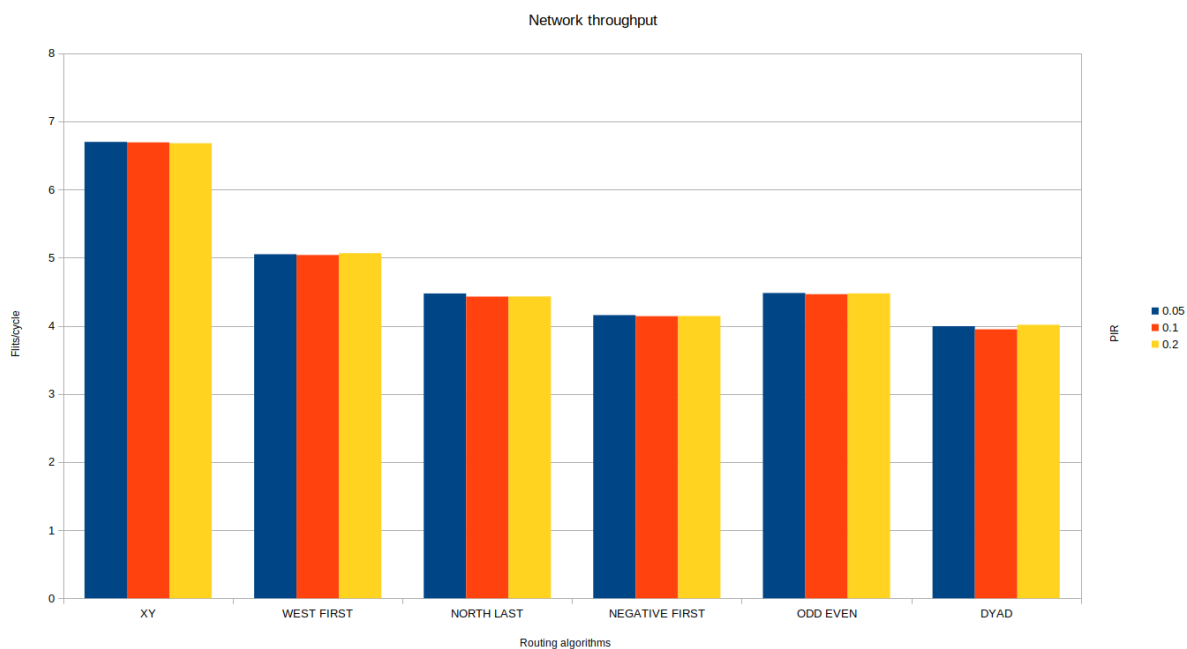




Ο αλγόριθμος XY παρουσιάζει για μικρά PIR μικρότερη μέση καθυστέρηση. Οι υπόλοιποι αλγόριθμοι, μαζί με τον XY για τα υπόλοιπα PIR, έχουν παρόμοια συμπεριφορά. Οι DYAD και Negative first παρουσιάζουν ελαφρώς μεγαλύτερες μέγιστες καθυστερήσεις, με τον XY να είναι και πάλι οριακά καλύτερος των υπολοίπων. Ίδια εικόνα και στην απόδοση με τον XY καλύτερο και τους DYAD και Negative first οριακά χειρότερους.

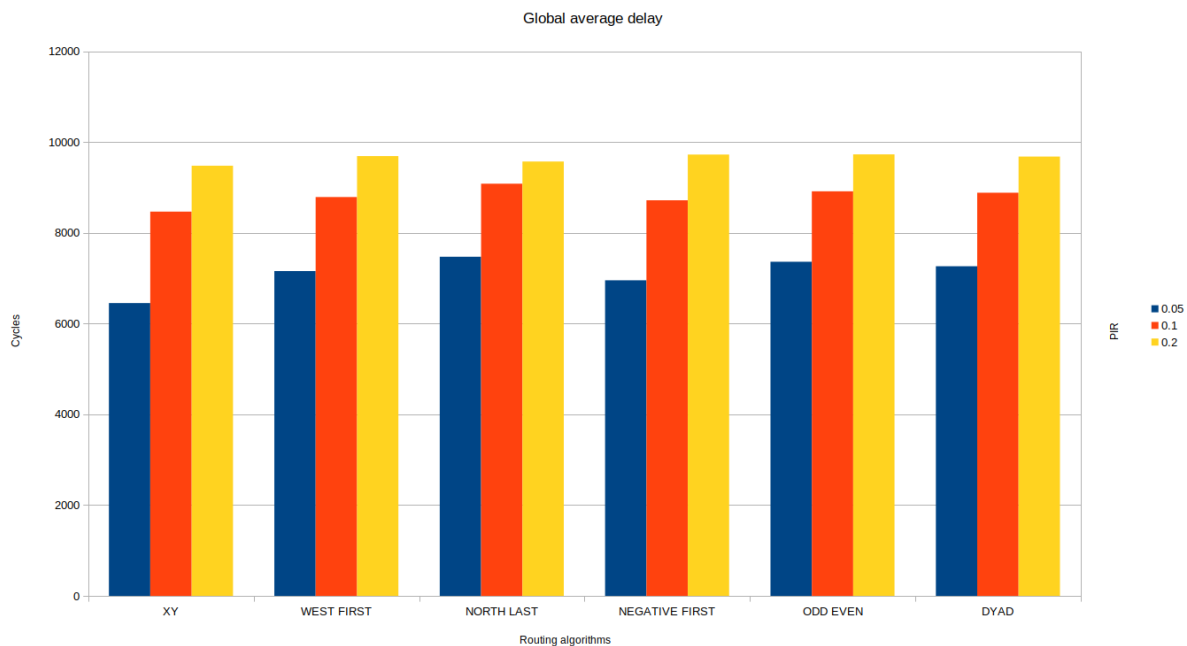
Δίκτυο 6 επί 6

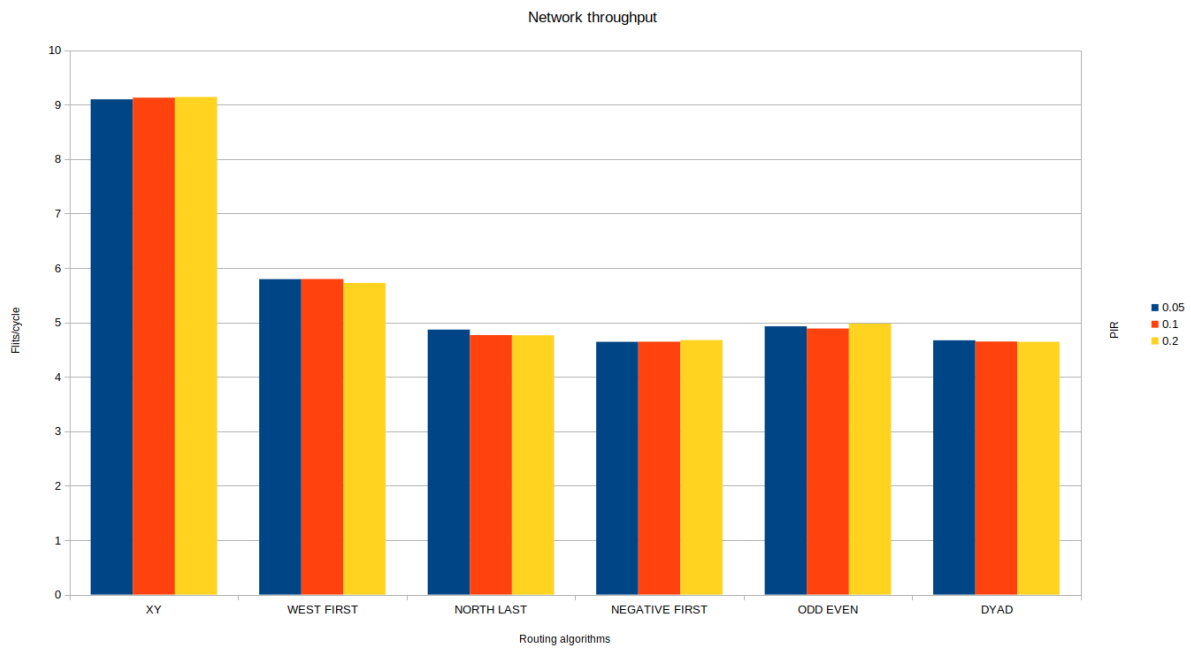
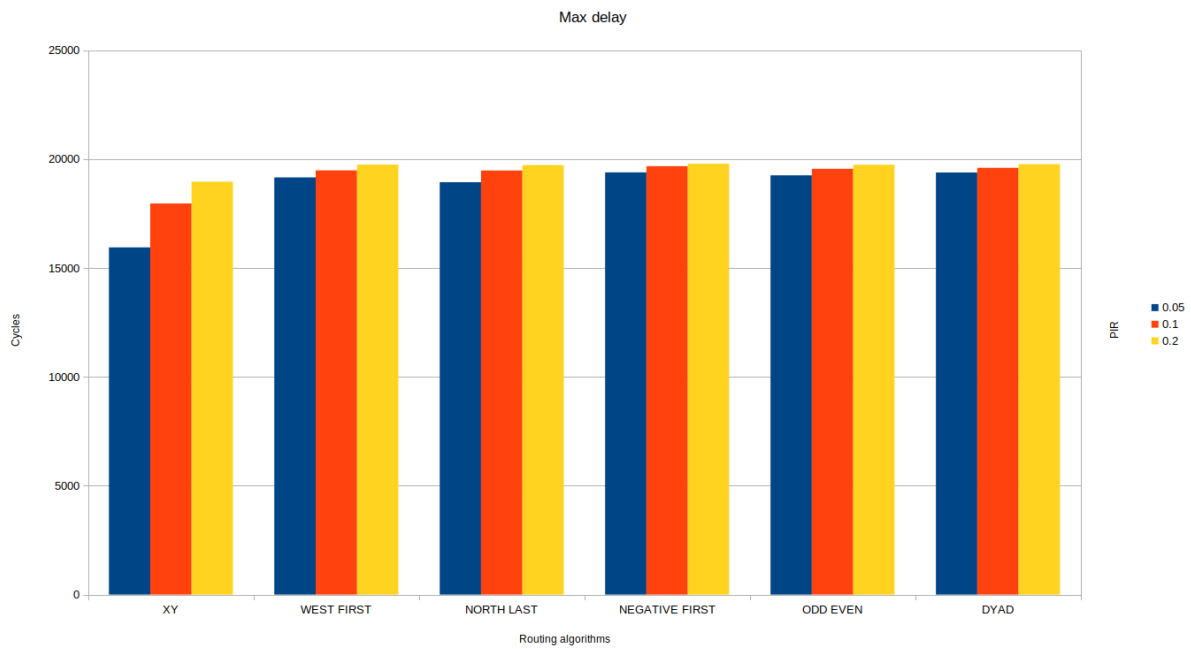




Ο αλγόριθμος XY παρουσιάζει και πάλι για τα πιο μικρά PIR μικρότερη μέση και μέγιστη καθυστέρηση. Οι υπόλοιποι αλγόριθμοι έχουν παρόμοια συμπεριφορά. Στην απόδοση ο XY είναι σημαντικά καλύτερος με τους υπολοίπους να έχουν παρόμοια εικόνα και τους DYAD και Negative first να είναι οριακά χειρότεροι.

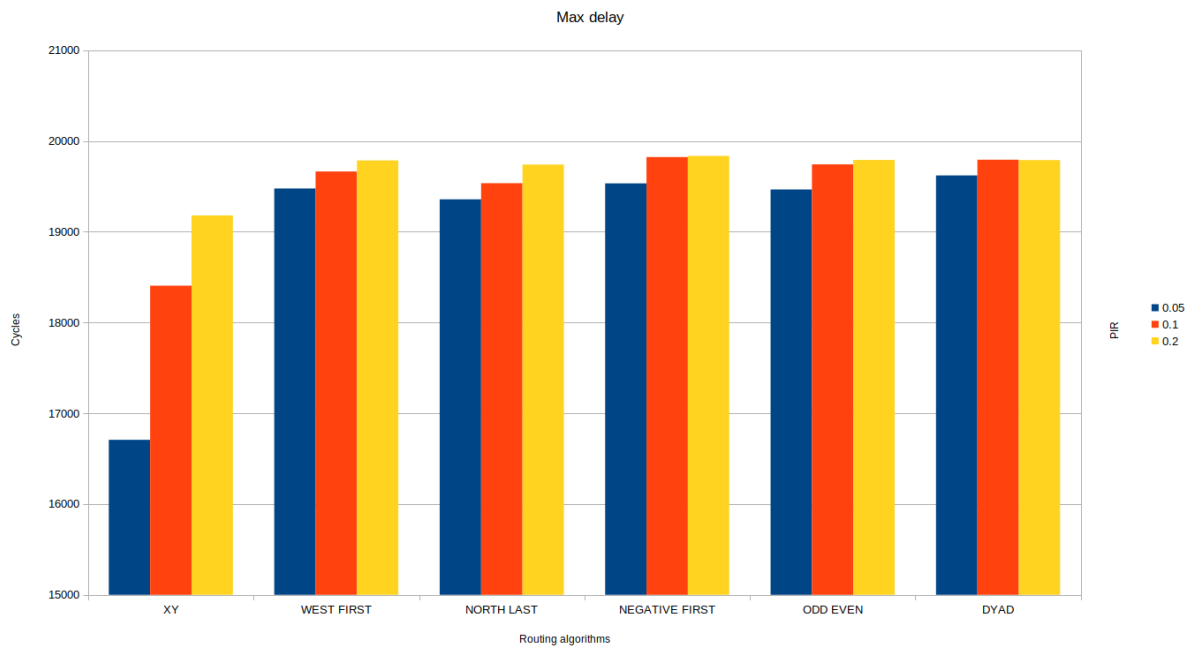
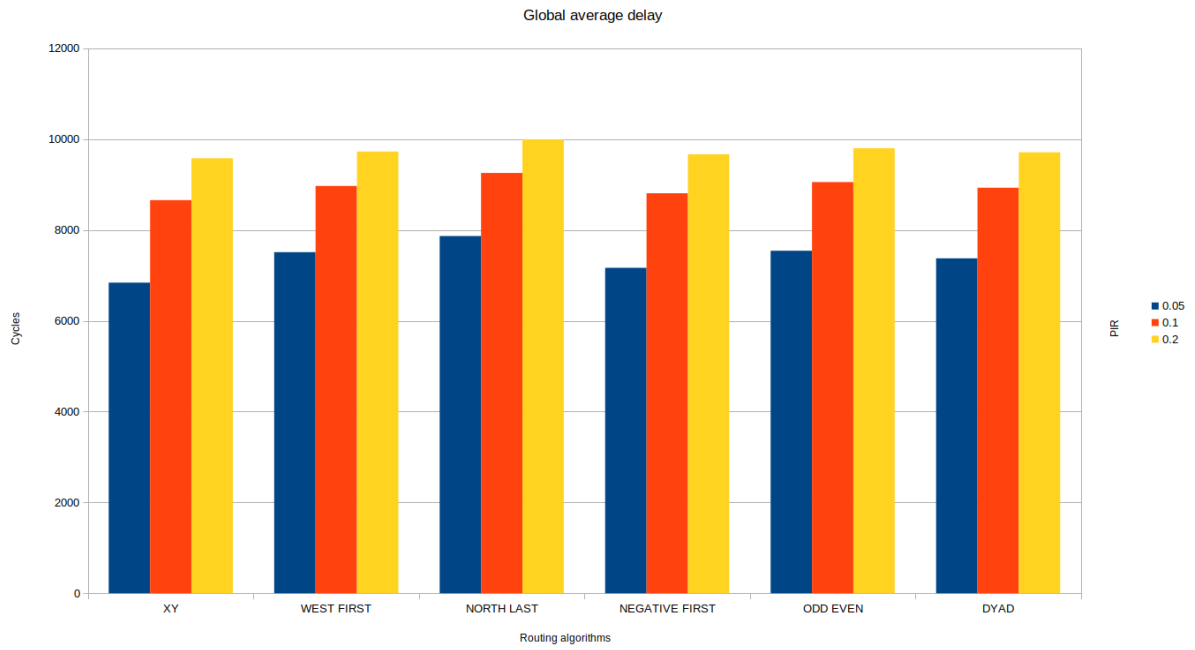
Δίκτυο 8 επί 8

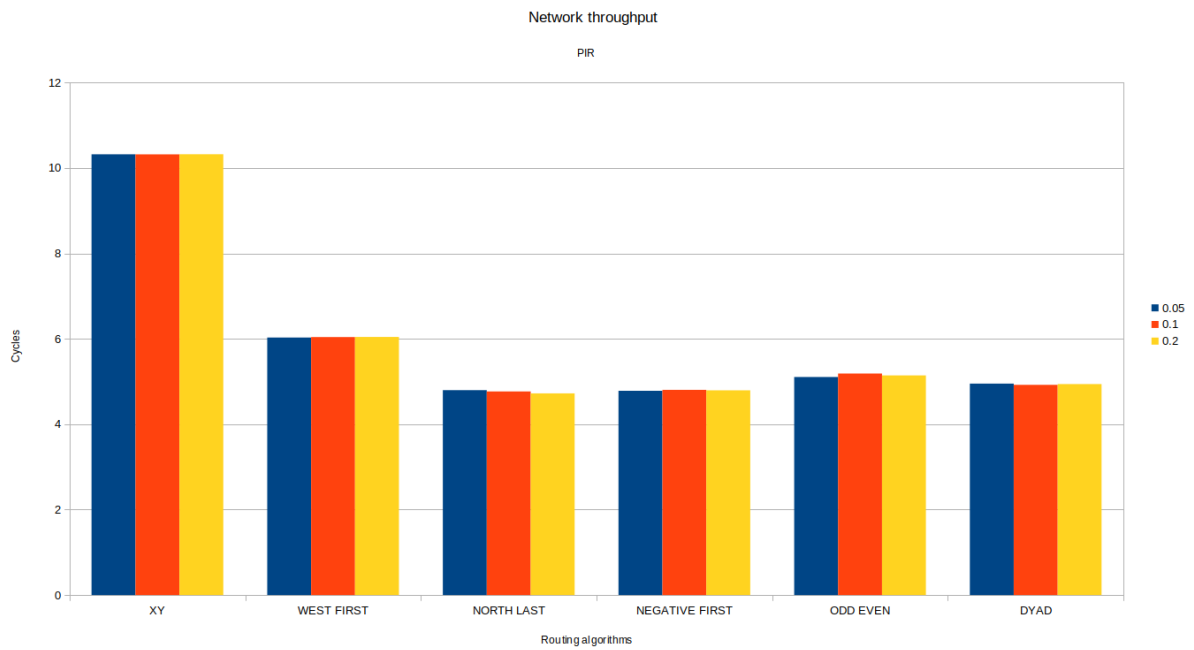




Ο αλγόριθμος XY παρουσιάζει και πάλι για τα πιο μικρά PIR οριακά μικρότερη μέση, ενώ μας δίνει και την καλύτερη μέγιστη καθυστέρηση καθώς και την καλύτερη απόδοση. Παρόμοια απόδοση για τους υπόλοιπους αλγορίθμους, με εξαίρεση την λίγο καλύτερη απόδοση του West first.

Δίκτυο 9 επί 9





XY και Negative first δίνουν οριακά καλύτερες μέσες καθυστερήσεις. Στην μέγιστη καθυστέρηση και την απόδοση ο αλγόριθμος XY δίνει σημαντικά καλύτερες μετρήσεις.

Ενότητα 5.1.ε) Μελέτη βελτίωσης παροχής υπηρεσιών (Worst case scenario)

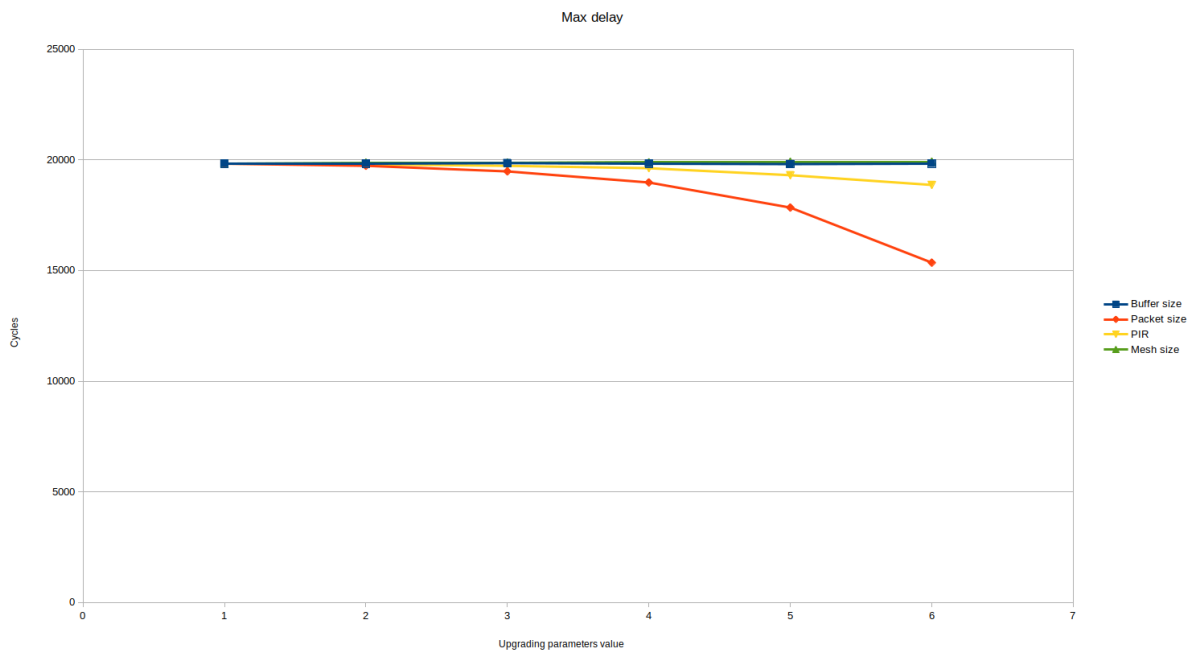
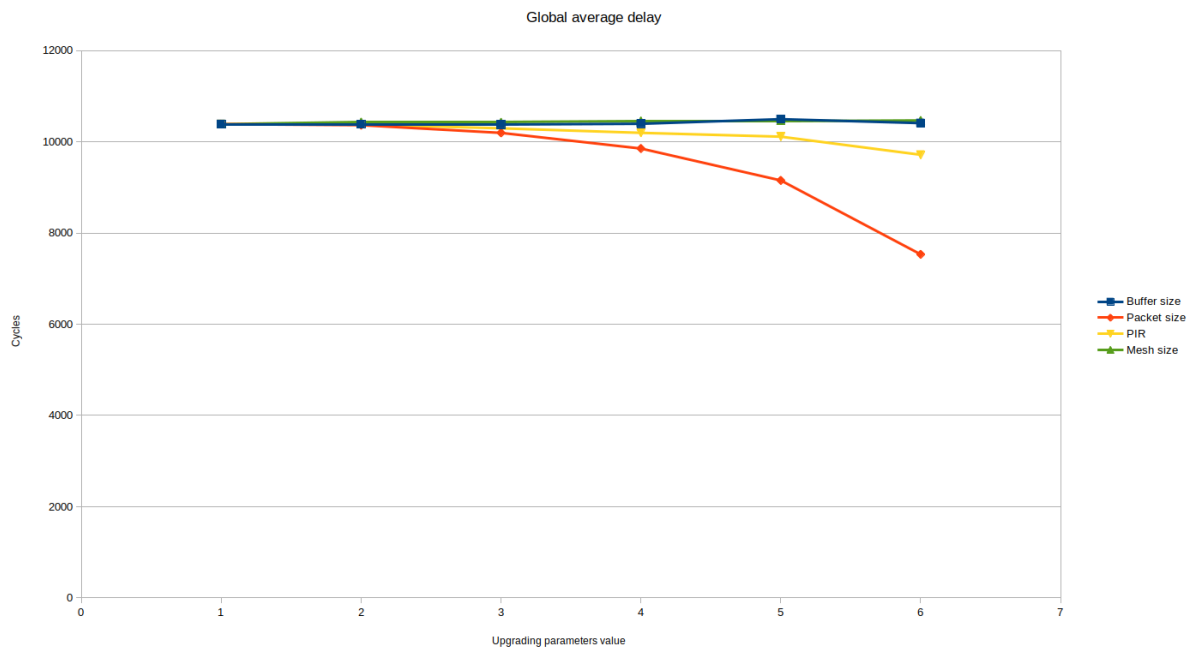
Η ποιότητα της υπηρεσίας (Quality Of Service, QoS) είναι η περιγραφή ή η μέτρηση της συνολικής απόδοσης μιας υπηρεσίας (όπως η τηλεφωνία, ένα δίκτυο υπολογιστών ή μία υπηρεσία cloud computing) και ιδιαίτερα η απόδοση που βλέπουν οι χρήστες του δικτύου. Για να μετρηθεί ποσοτικά η ποιότητα της υπηρεσίας, συχνά εξετάζονται διάφορες σχετικές πτυχές της, όπως η απώλεια πακέτων, ο ρυθμός bit η απόδοση, η καθυστέρηση μετάδοσης, η διαθεσιμότητα, το jitter κλπ.

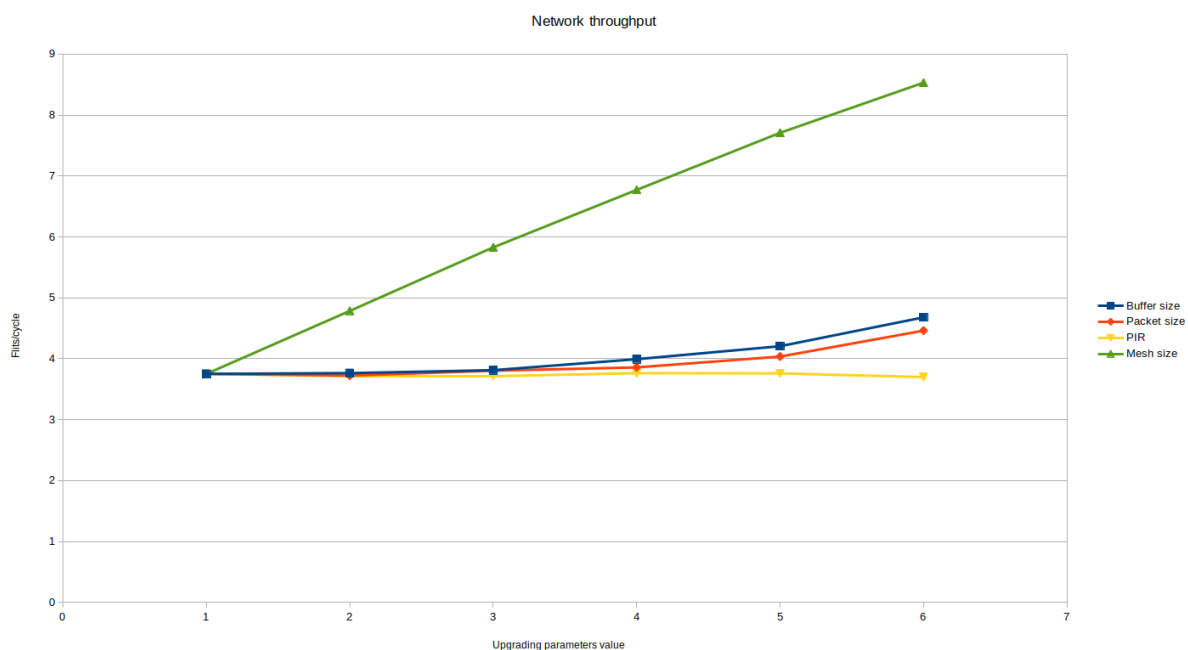
Στην περίπτωση μας θα εξετάσουμε ως μέτρα QoS την καθυστέρηση μετάδοσης (Μέση και μέγιστη) και την απόδοση του δικτύου μας (throughput). Δυστυχώς δεν μπορούμε να μετρήσουμε άλλα μέτρα, κυρίως την απώλεια πακέτων.

Η καθυστέρηση μετάδοσης αφορά τον χρόνο που απαιτείται για ένα πακέτο να φτάσει στον προορισμό του ξεκινώντας από την πηγή του. Περιλαμβάνει το χρόνο που έχει περάσει σε κάθε κόμβο (πηγή-δρομολογητές) και σε συνδέσμους μέσω της διαδρομής επικοινωνίας έως ότου αυτό φτάσει στον προορισμό του. Η καθυστέρηση είναι γενικά απρόβλεπτη ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου και το κατά πόσο θα παρατηρείται συμφόρηση σε αυτό. Η απόδοση σημαίνει πόσα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν από την πηγή στον προορισμό σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Οι παράμετροι που θα εξετάσουμε είναι το μέγεθος του δικτύου (mesh size), το μέγεθος του πακέτου (packet size), το μέγεθος του buffer και τον ρυθμό έγχυσης πακέτων (Packet Injection Rate). Θα εξετάσουμε την ποιότητα των υπηρεσιών και την βελτίωσή της προσπαθώντας να βελτιώσουμε ένα σενάριο που οι παράμετροι αυτοί παίρνουν συγχρόνως ακραίες τιμές και θα δούμε πως βελτιώνοντας μία παράμετρο την φορά θα βελτιωθεί και η ποιότητα της υπηρεσίας.

Στην περίπτωση αυτή θεωρούμε μία χειρίστη περίπτωση για το δίκτυο μας (4 επί 4) στην οποία το PIR έχει πάρει την ακραία των μετρήσεών μας (0,5), ενώ το μέγεθος του buffer έχει μειωθεί σε 2 flits (κατώτερη τιμή) και το μέγεθος του πακέτου έχει αντίστοιχα αυξηθεί σε 64 flits (ανώτερη τιμή). Κάθε φορά βελτιώνουμε μόνο μία από τις παραμέτρους αυτές, αυξάνοντας δηλαδή το μέγεθος του δικτύου και το μέγεθος του buffer, ενώ αντίστοιχα μειώνεται το μέγεθος του πακέτου και ο ρυθμός έγχυσης πακέτων.



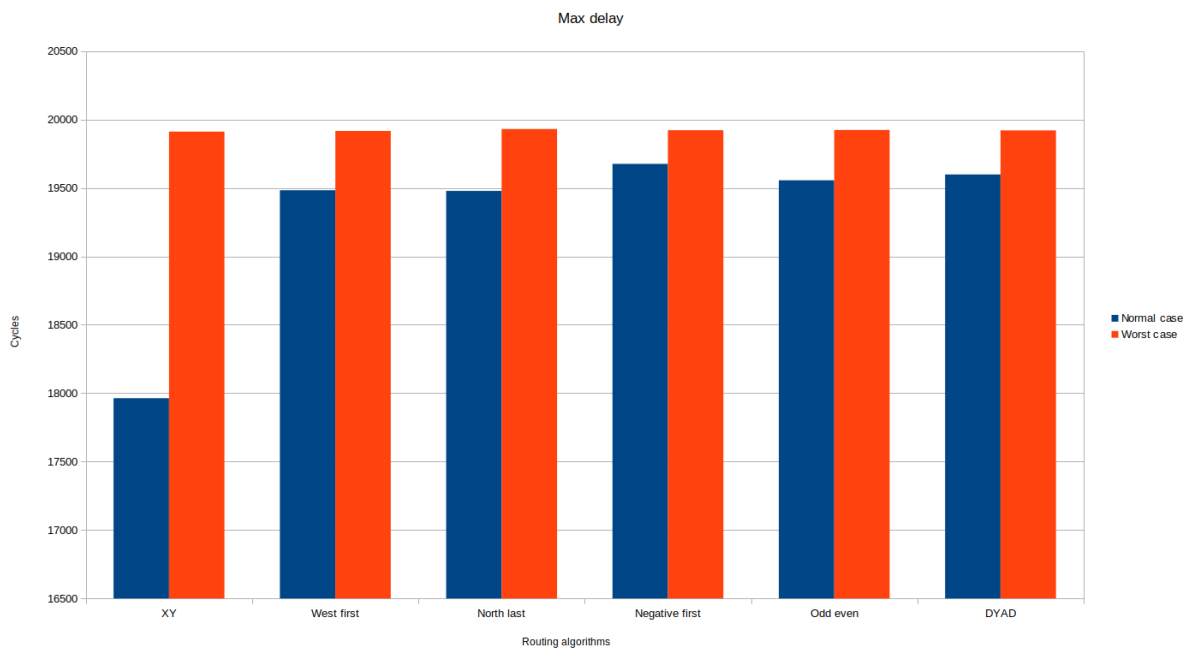
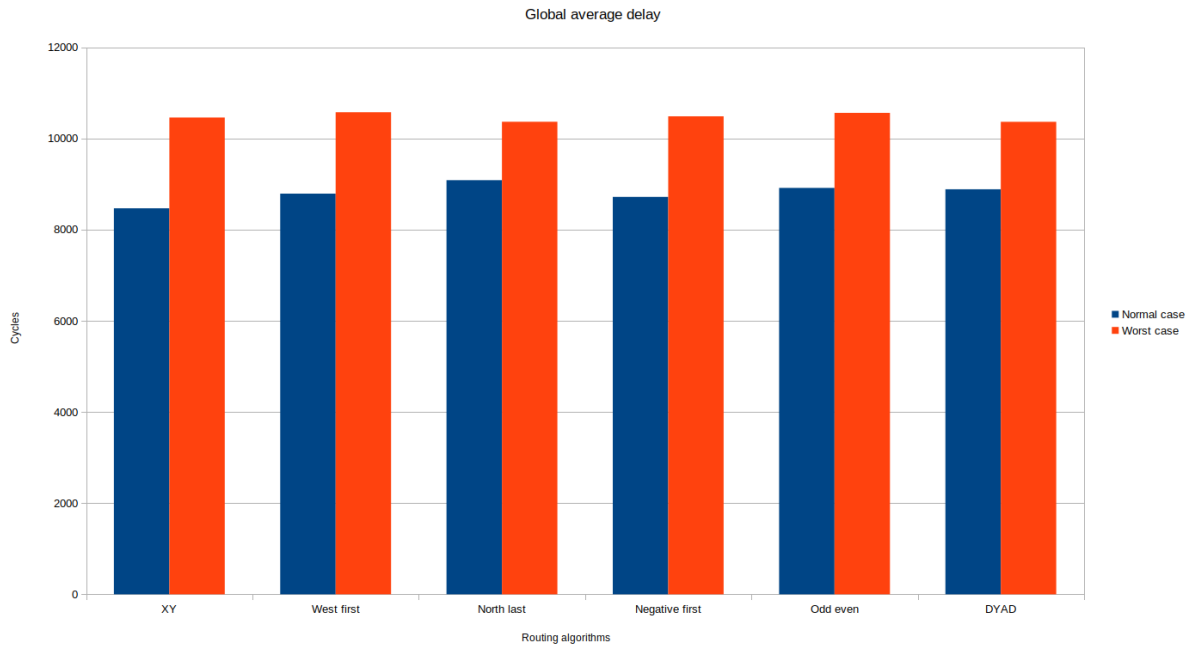


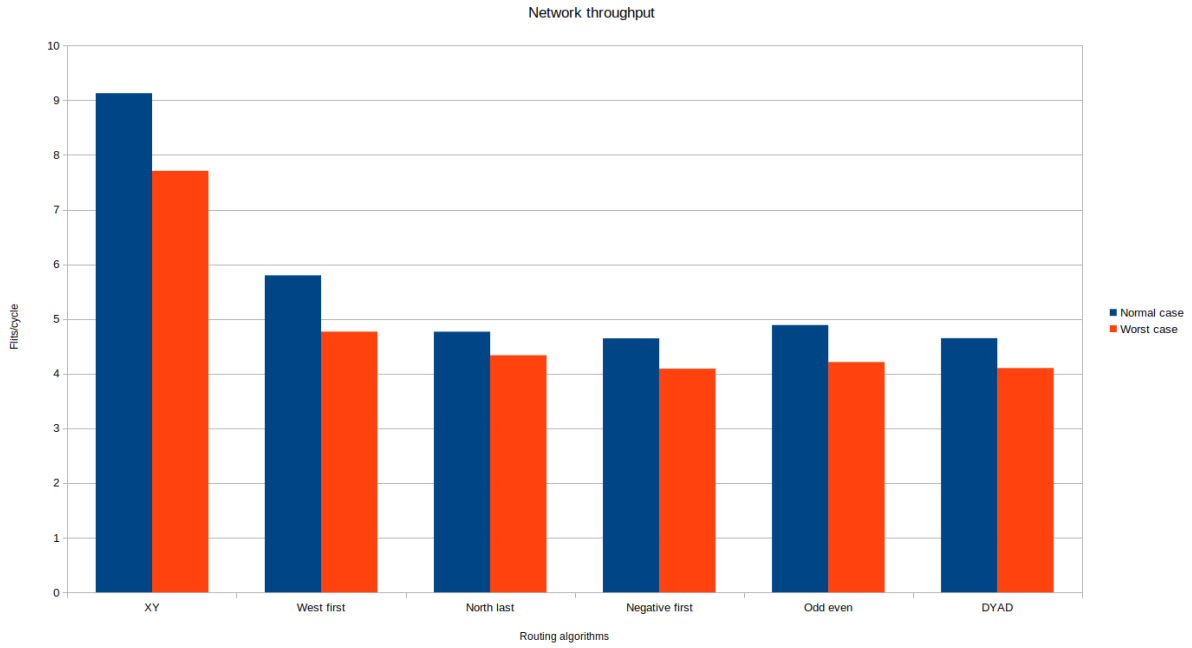
Η αύξηση του μεγέθους του buffer αλλά και του δικτύου δεν βελτιώνουν την εικόνα όσον αφορά την μέση και μέγιστη καθυστέρηση. Η μείωση του ρυθμού έγχυσης των πακέτων βελτιώνει ελαφρώς την εικόνα, αλλά την μεγαλύτερη διαφορά για την μέση και μέγιστη καθυστέρηση κάνει η μείωση του μεγέθους πακέτου. Όσον αφορά την απόδοση του δικτύου η αύξηση του μεγέθους του οδηγεί, όπως είναι αναμενόμενο, στην αύξηση της απόδοσής του και είναι ο παράγοντας με την μεγαλύτερη επίδραση. Η μείωση του PIR δεν δίνει κάποια μεταβολή, ενώ η μείωση μεγέθους πακέτου και η αύξηση μεγέθους buffer μας βελτιώνει την εικόνα ελαφρώς όσο πηγαίνουμε προς τις καλύτερες τιμές.

Ενότητα 5.1.στ) Σύγκριση χειριστού σεναρίου με κανονικές συνθήκες

Θα συγκρίνουμε το παραπάνω χειριστό σενάριο με μία περίπτωση “κανονικών” συνθηκών. Εξαιρεση ότι μελετάμε για μέγεθος δικτύου 8 επί 8 αυτή την φορά. Οι κανονικές συνθήκες ορίζονται από εμάς ως ρυθμός έγχυσης πακέτων στο 0,1, μέγεθος buffer στα 4 flits και το μέγεθος του πακέτου στα 8 flits. Η σύγκριση θα γίνει τόσο για τους αλγορίθμους δρομολόγησης όσο και για την κατανομή της κίνησης στο δίκτυο.

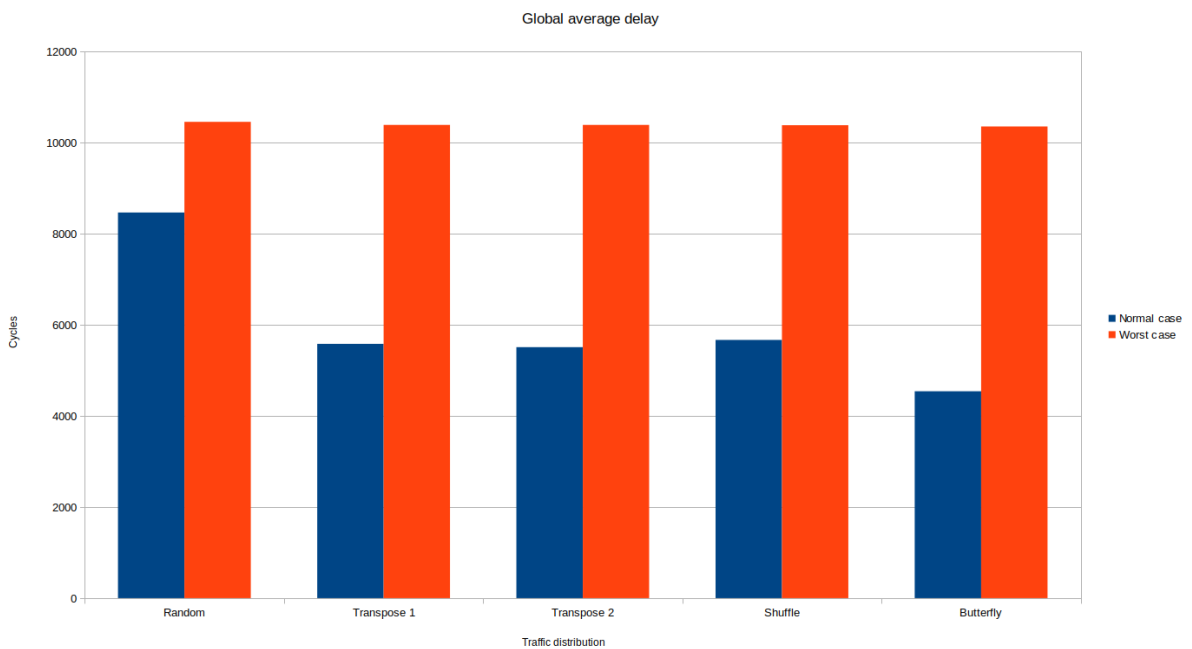
Σύγκριση αλγορίθμων δρομολόγησης

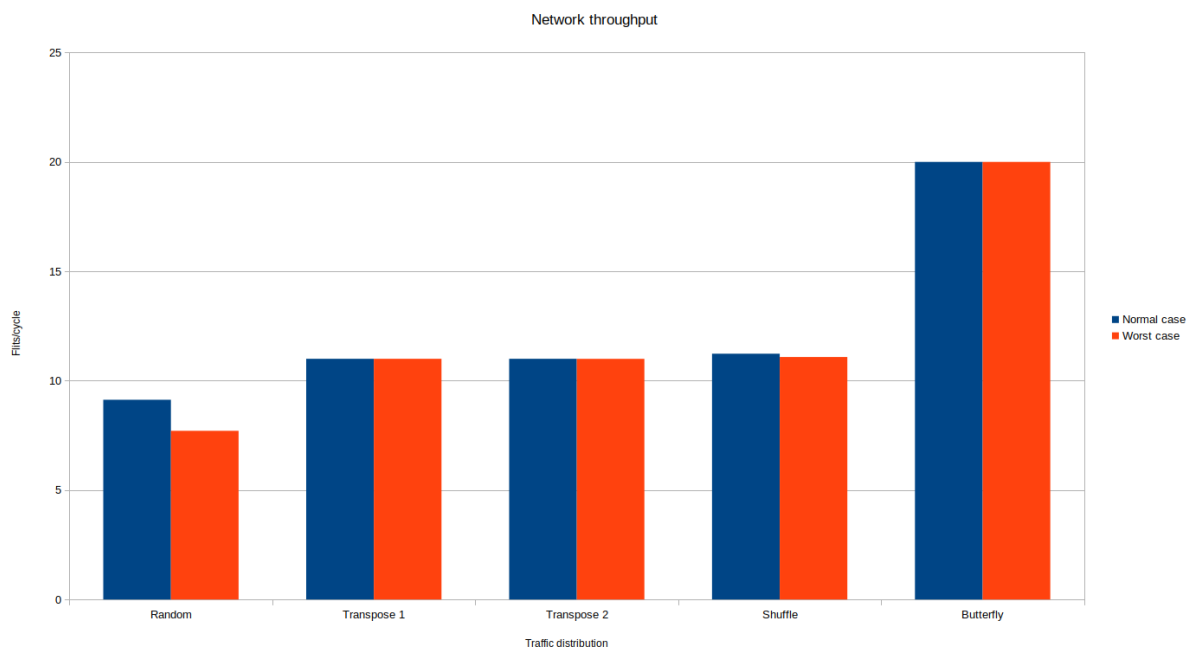
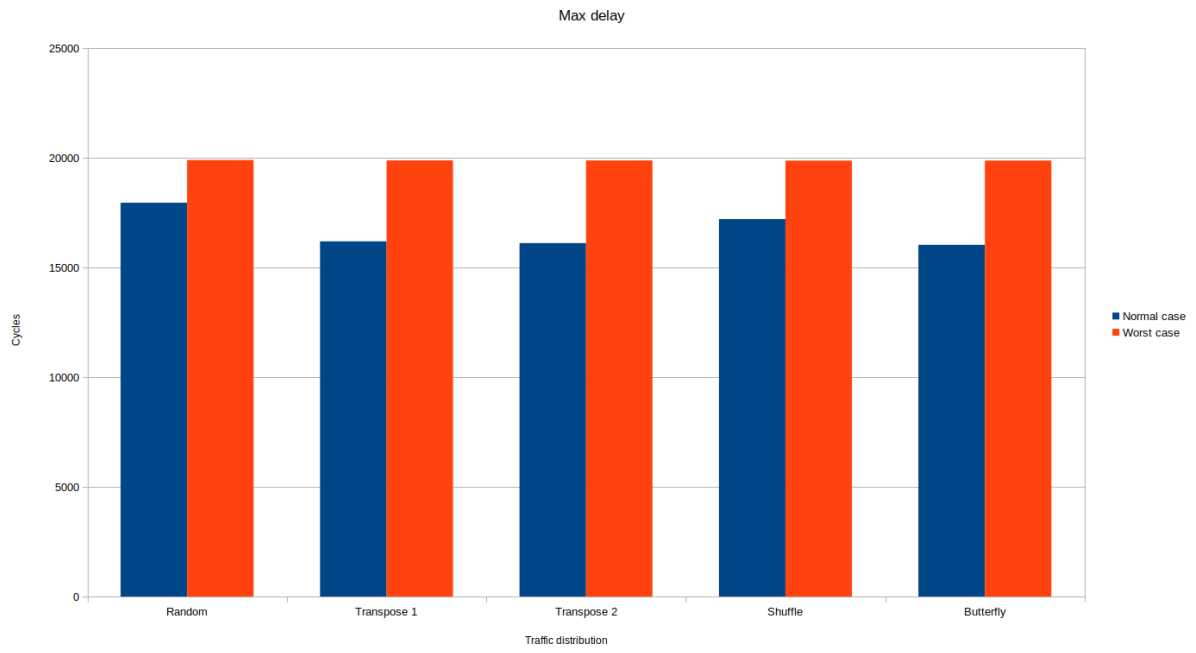




Όλοι οι αλγόριθμοι έχουν παρόμοια συμπεριφορά για την μέση καθυστέρηση. Για την μέγιστη καθυστέρηση ξεχωρίζει η σημαντικά χαμηλότερη καθυστέρηση που δίνει ο αλγόριθμος XY για το κανονικό σενάριο και η ελαφρώς μεγαλύτερη που δίνει ο Negative first για το ίδιο. Για την απόδοση του δικτύου ξεχωρίζει ο αλγόριθμος XY, τόσο στο κανονικό όσο και στο χειριστο σενάριο. Οι υπόλοιποι αλγόριθμοι έχουν παρόμοια συμπεριφορά.

Σύγκριση κατανομών κίνησης





Η Random κατανομή κίνησης παρουσιάζει την υψηλότερη μέση καθυστέρηση για το κανονικό σενάριο, ενώ η Butterfly την χαμηλότερη. Οι Transpose 1 και 2 αλλά και η Shuffle κατανομή εμφανίζουν ελαφρώς μεγαλύτερη μέση καθυστέρηση από την Butterfly, αλλά σημαντικά χαμηλότερη και αυτές από την Random. Στο χειρίστο σενάριο έχουν όλες τους παρόμοια συμπεριφορά, όπως και για τα δύο σενάρια της μέγιστης καθυστέρησης. Εξαιρέση οι ελαφρώς αυξημένες τιμές της μέγιστης καθυστέρησης για το κανονικό σενάριο και τις Random και Shuffle κατανομές. Οι Transpose 1 και 2, καθώς και η Shuffle κατανομή δίνουν καλύτερες τιμές απόδοσης από την Random. Μάλιστα η Random κατανομή είναι η μοναδική που μας δίνει μειωμένη απόδοση στο χειρίστο σενάριο σε σχέση με το κανονικό. Τέλος η Butterfly κατανομή δίνει με διαφορά την μεγαλύτερη απόδοση του δικτύου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Συμπεράσματα

Γίνεται σαφές από τα παραπάνω η σημασία που έχει η επιλογή του καταλληλότερου αλγορίθμου δρομολόγησης για το κάθε διαφορετικό σενάριο και εφαρμογή. Βλέπουμε λοιπόν ότι σε Random κίνηση ο ντετερμινιστικός αλγόριθμος XY είναι ο μόνος που ξεχωρίζει σημαντικά και μας δίνει αυξημένη απόδοση και ελαφρώς μειωμένη μέγιστη καθυστέρηση. Περνώντας σε κατανομή κίνησης Transpose 1 παρατηρείται η μικρότερη μέγιστη καθυστέρηση για τον μερικώς προσαρμοστικό Negative first και τον ντετερμινιστικό XY, αλλά και η σημαντικά μικρότερη απόδοση που δίνουν αυτοί οι δύο μαζί με τον υβριδικό DYAD. Οι υπόλοιποι τρεις προσαρμοστικοί αλγόριθμοι (West first, North last και Odd even) δίνουν χειρότερες μετρήσεις για την μέγιστη καθυστέρηση αλλά πολύ καλύτερες αποδόσεις, ειδικά οι μερικώς προσαρμοστικοί West first και North last, και δευτερευόντως ο πλήρως προσαρμοστικός Odd even. Σε Transpose 2 κατανομή ο XY και ο υβριδικός DYAD είναι οι δύο αλγόριθμοι που παρουσιάζουν μειωμένη μέγιστη καθυστέρηση (ειδικότερα για μικρότερα PIR) αλλά είναι και οι δύο με την μικρότερη απόδοση. Οι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι εμφανίζουν την μεγαλύτερη απόδοση, ειδικότερα οι μερικώς, με τον Negative first να έχει την υψηλότερη με σημαντική διαφορά. Στην Shuffle κατανομή κίνησης οι αλγόριθμοι διαφοροποιούνται μόνο ως προς την απόδοση που μας δίνουν και πιο συγκεκριμένα σε αυτή την περίπτωση ο ντετερμινιστικός XY και ο υβριδικός DYAD (λειτουργεί προφανώς ντετερμινιστικά την περισσότερη ώρα σε αυτή την περίπτωση, λόγω μη συμφόρησης) δίνουν την υψηλότερη, με τους προσαρμοστικούς να μένουν πιο πίσω. Τέλος για την Butterfly κατανομή όλοι οι αλγόριθμοι δίνουν ουσιαστικά ίδιες μετρήσεις, με εξαίρεση τα μικρότερα PIR που ο XY δίνει μικρότερες μέγιστες καθυστερήσεις, καθιστώντας τον την επιλογή μας για αυτό το σενάριο.

Εξετάζοντας την επίδραση του μεγέθους δικτύου βλέπουμε ότι για τον αλγόριθμο XY τα πάντα αυξάνονται γραμμικά όσο αυξάνεται και η διάσταση του δικτύου, με εξαίρεση την μέγιστη καθυστέρηση που παραμένει σταθερή για τους κατανομές Transpose 1, Transpose 2 και Butterfly. Επίσης για την Butterfly κατανομή έχουμε σταθερή και μέση καθυστέρηση για τα δύο μεγέθη δικτύου που μπορούμε να μελετήσουμε (θυμίζουμε ότι οι Shuffle και Butterfly μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε δίκτυα που είναι δυνάμεις του δύο). Στον αλγόριθμο West first και πάλι έχουμε παράλληλη αύξηση των παραμέτρων με το μέγεθος δικτύου. Εξαιρέση η σταθερή μέση καθυστέρηση για την Butterfly κατανομή. Και για τον North last έχουμε παράλληλη αύξηση, με εξαίρεση την σταθερή μέση καθυστέρηση για τις κατανομές Shuffle και Butterfly και την σταθερή μέγιστη καθυστέρηση για την Shuffle. Η εικόνα της αντιστοιχίας αύξησης είναι όμοια και για τον Negative first, με εξαίρεση στην περίπτωση αυτή την σταθερή μέση καθυστέρηση για τις κατανομές Transpose 1, Shuffle και Butterfly και την σταθερή μέγιστη καθυστέρηση για την Transpose 1. Εξετάζοντας τον αλγόριθμο Odd even παρατηρούμε και πάλι το ίδιο πρότυπο με εξαίρεση αυτή την φορά τις σταθερές μέσες καθυστερήσεις για τις κατανομές κίνησης Shuffle και Butterfly. Τέλος για τον DYAD η εξαίρεση της παράλληλης αύξησης με το μέγεθος του δικτύου αφορούν την σταθερή μέση καθυστέρηση για την Butterfly και την πολύ μικρή αύξηση για τις δύο Transpose κατανομές. Επίσης οι τρεις αυτές κατανομές σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο DYAD δίνουν σταθερή μέγιστη καθυστέρηση.

Βλέποντας την παράμετρο του μεγέθους του buffer και την επίδραση που έχει στις παραμέτρους ενός δικτύου παρατηρούμε ότι η αύξηση του μεγέθους του μειώνει την μέση καθυστέρηση και αυξάνει την απόδοση για όλους τους αλγορίθμους. Η μέγιστη καθυστέρηση δεν φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά και είναι πρακτικά σταθερή, με τον ρυθμό έγχυσης να είναι ο παράγοντας που την επηρεάζει περισσότερο.

Όσον αφορά το κατά πόσο μία Hotspot κίνηση είναι προτιμότερη από μία Uniform τα αποτελέσματά μας δεν δίνουν μια τέτοια εικόνα. Αυτό είναι λογικό καθώς ο NOXIM κάνει χρήση της Wormhole τεχνικής μεταγωγής που είναι ίσως η χειρότερη για την συμφόρηση που προκαλεί σε ένα σενάριο Hotspot. Έχοντας λοιπόν ως δεδομένο μία Hotspot κίνηση βλέπουμε ότι έχουμε γρήγορη συμφόρηση, τόσο του buffer του hotspot κόμβου όσο και των γειτονικών του, με αποτέλεσμα μια χωρική εξάπλωση της συμφόρησης. Αυτό μπορεί να οδηγήσει το δίκτυο σε πρόωρο κορεσμό, όπου στο χειρότερο σενάριο το NOC μπορεί να καταστεί μη ανακτήσιμο. Έτσι, ένας μηχανισμός πρόληψης hotspot μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα ευεργετικός, καθώς μπορεί ενδεχομένως να επιτρέψει στο σύστημα διασύνδεσης να προσαρμόσει τη συμπεριφορά του και να αποτρέψει την άνοδο των πιθανών hotspot, διατηρώντας την απόδοση του NOC.

Τέλος εξετάζοντας την οπτική του QOS (Quality Of Service) και τον βέλτιστο συνδυασμό των παραμέτρων παρατηρούμε ότι η απάντηση είναι λίγο διαφορετική από την τετριμμένη, δηλαδή τον συνδυασμό του μικρότερου συνδυασμού πακέτου και ρυθμού έγχυσης με το μέγιστο μέγεθος δικτύου και buffer. Προφανώς και αυτός ο συνδυασμός (Μέγεθος buffer 64 flits, μέγεθος πακέτου 2 flits, ρυθμός έγχυσης 0,05 και μέγεθος δικτύου 9 επί 9) δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα, άρα και την καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών, αλλά πρέπει να λάβουμε υπόψιν και τους περιορισμούς που έχουμε στην κατασκευή ενός NOC, καθώς και το γεγονός ότι πρέπει το δίκτυο που θα χρησιμοποιήσουμε να είναι κατάλληλο για την εφαρμογή που το χρειαζόμαστε χωρίς να έχουμε κάνει χρήση περιττών δυνατοτήτων. Έτσι σε μία εφαρμογή που πρωταρχικό στόχο θα είχαμε την μείωση των καθυστερήσεων θα επιλέγαμε την μείωση του ρυθμού έγχυσης και του μεγέθους πακέτου, ενώ αντίστοιχα σε μία εφαρμογή με στόχο την μέγιστη απόδοση θα επιλέγαμε κυρίως την αύξηση του μεγέθους δικτύου και δευτερευόντως την αύξηση του μεγέθους buffer και την μείωση του μεγέθους πακέτου.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Achballah , A. B., & Saoud, S. B. (2013). A Survey of Network-On-Chip Tools. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 4(9). doi: 10.14569/ijacsa.2013.040910
- [2] Mello, Aline & Ost, Luciano & Moraes, Fernando & Calazans, Ney. (2004). Evaluation of Routing Algorithms on Mesh Based NoCs.
- [3] Kamal, Rajeev & Goyal, Pankaj & Nehra, Vikas. (2012). Network on Chip: Topologies, Routing, Implementation. 4.
- [4] Wang, S., & Jin, T. (2014). Wireless network-on-chip: a survey. *The Journal of Engineering*, 2014(3), 98–104. doi: 10.1049/joe.2013.0209
- [5] Saadaoui, A., & Nasri, S. (2012). NOC: QOS Metrics Modelling And Analysis Based On Dynamic Routing. *International Journal of Distributed and Parallel Systems*, 3(2), 43–52. doi: 10.5121/ijdps.2012.3204
- [6] Hu, J., & Marculescu, R. (2004). DyAD. *Proceedings of the 41st Annual Conference on Design Automation - DAC 04*. doi: 10.1145/996566.996638
- [7] Ascia, G., Catania, V., Palesi, M., & Patti, D. (2006). Neighbors-on-Path: A New Selection Strategy for On-Chip Networks. *2006 IEEE/ACM/IFIP Workshop on Embedded Systems for Real Time Multimedia*. doi: 10.1109/estmed.2006.321278
- [8] Kamal, R., Goyal, P., & Nehra, V. (2012). Network on Chip: Topologies, Routing, Implementation . *International Journal of Advances in Science and Technology*, 4(1).