

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ & ΔΙΚΤΥΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ



Πρωτόκολλα Διαχείρισης Ασυρμάτων και Ενσυρμάτων
Δικτύων με Τεχνικές Δικτυακής Κωδικοποίησης.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΚΑΤΣΑΛΗ του ΣΕΡΓΙΟΥ
ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΞΕΝΑΚΗ του ΧΡΗΣΤΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΦΟΙΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ,
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ & ΔΙΚΤΥΩΝ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Καθηγητής Α.ΤΑΣΙΟΥΛΑΣ
ΣΥΝΕΞΕΤΑΣΤΕΣ : Λέκτορας Ι.ΚΟΥΤΣΟΠΟΥΛΟΣ
Λέκτορας Γ. ΕΥΘΥΒΟΥΛΙΔΗΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ
Νοέμβριος 2007



ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Πιστοποιείται ότι η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία με θέμα:

Πρωτόκολλα Διαχείρισης Ασυρμάτων και Ενσυρμάτων Δικτύων με
Τεχνικές Δικτυακής Κωδικοποίησης.

των φοιτητών του Τμήματος Μηχανικών Η/Υ
Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΚΑΤΣΑΛΗ του **ΣΕΡΓΙΟΥ**
ΞΕΝΑΚΗ ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ του **ΧΡΗΣΤΟΥ**

Παρουσιάστηκε δημόσια και εξετάστηκε στο Τμήμα Μηχανικών Η/Υ
Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ	
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»	
Αριθ. Εισ.:	6014/1
Ημερ. Εισ.:	06-11-2007
Δωρεά:	Συγγραφέα
Ταξιδετικός Κωδικός:	Δ
	004.6
	ΚΑΤ

Ο Επιβλέπων

οι Συνεξεταστές :

Καθηγητής
Λ. Τασιούλας

Λέκτορες
Ι. Κουτσόπουλος
Γ. Ευθυβουλίδης

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά μία μελέτη της ποσοτικοποίησης του κέρδους ανά περίπτωση όσο αφορά τη ρυθμαπόδοση του δικτύου σε τοπολογίες ασύρματων και ενσύρματων δικτύων με spanning tree τοπολογίες, χρήση της τεχνολογίας vlan και εφαρμογή δικτυακής κωδικοποίησης (network coding). Χωρίζεται σε δύο τμήματα: το πρώτο αφορά τη μελέτη και αλγεβρική μορφοποίηση του προβλήματος εφαρμογής network coding, της παραγωγή κανόνων εφαρμογής της κωδικοποίησης / αποκωδικοποίησης στο κατάλληλο σημείου του δικτύου, την ποσοτικοποίηση του ποσοστιαίου κέρδους στη ρυθμαπόδοση σε σχέση με την απλή προώθηση πακέτων (gain %). Το δεύτερο τμήμα αφορά τις προσομοιώσεις, τις γραφικές παραστάσεις και τα αποτελέσματα που πιστοποιούν την ανάλυση του πρώτου μέρους.

Στην εργασία αυτή αποδεικνύουμε ότι με την εφαρμογή δικτυακής κωδικοποίηση με βάση τρεις προτεινόμενους κανόνες και την πολύπλεξη 2-3 frames σε κάθε περίπτωση, ο αριθμός των hops για την επικοινωνία δύο οποιοδήποτε κόμβων μειώνεται και άρα έχουμε βελτίωση στη ρυθμαπόδοση σε σύγκριση με την απλή προώθηση native πακέτων.

Περιεχόμενα

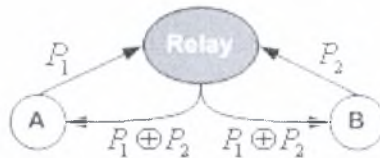
1. Εισαγωγή	2
2. Ορισμός Προβλήματος – Σενάρια και Εκτιμήσεις	3
Μέρος Α – Πρακτικοί περιορισμοί	4
Μέρος Β – Δικτυακή κωδικοποίηση ανά περίπτωση layer	5
Μέρος Γ – Παρουσίαση της τεχνολογίας vlan	7
3. Αλγεβρική Μορφοποίηση του Προβλήματος.....	7
Εφαρμογή δικτυακής κωδικοποίησης.....	8
Περιπτώσεις κωδικοποίησης	9
Κανόνας 1	9
Κανόνας 2	10
Κανόνας 3	11
4. Χαρακτηριστικά Εργαλείου Προσομοίωσης.....	12
Δημιουργία τοπολογίας.....	13
Λειτουργικότητα / χαρακτηριστικά του κάθε κόμβου.....	13
Metrics	14
Προσεγγίσεις.....	14
Προσέγγιση Α: Πολύπλεξη ροών ιδίου κόμβου	14
Προσέγγιση Β: Πολύπλεξη ροών διαφορετικών κόμβων.....	15
5. Γραφικές Παραστάσεις και Αποτελέσματα.....	15
Περίπτωση 1: μεταβολή του αριθμού των κόμβων	15
Περίπτωση 2: μεταβολή του αριθμού των vlan.....	24
Περίπτωση 3: μεταβολή της ροής.....	33
6. Συμπεράσματα.....	44
7. Βιβλιογραφία	46

1. Εισαγωγή

Τα δίκτυα επικοινωνιών αποτελούν θεμελιώδες μέρος των πληροφοριακών συστημάτων. Σε όλα τα είδη δικτύων, ασύρματα, ενσύρματα, τοπικά, ευρείας ζώνης κτλ. , που είναι συνδεδεμένα στο Internet, η κυρίαρχη τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι η TCP/IP σουίτα πρωτοκόλλων. Σε περιπτώσεις δρομολόγησης πακέτων διαφορετικών των IP-πακέτων και χρήσης πρωτοκόλλων διαφορετικών του TCP/IP, τεχνικές ενθυλάκωσης εφαρμόζονται με σκοπό μόνο IP-πακέτα να μεταδίδονται από τους δρομολογητές.

Αν και οι μοντέρνες στρατηγικές σχεδίασης έχουν ως κύρια κριτήριά τους την εφαρμογή ασφάλειας (security), επιδεξιότητας (manageability), εξελισμιότητας (scalability), οι περιορισμοί στο εύρος ζώνης αποτελεί μέγιστο παράγοντα μείωσης της απόδοσης του δικτύου διότι όλη η πληροφορία μεταχειρίζεται με τον ίδιο τρόπο. Παραδοσιακά, οι κόμβοι του δικτύου λειτουργούν ως αναμεταδότες πληροφορίας μόνο αναπαράγοντας και προωθώντας πακέτα σε άλλους κόμβους – προορισμούς.

Μία νέα ανερχόμενη τεχνική, που καλείται δικτυακή κωδικοποίηση (network coding) [1],[2],[3],[4] καταρρίπτει της προηγούμενη υπόθεση και αυξάνει τη ρυθμισαπόδοση (throughput) με το να επιτρέπει σε ένα κόμβο να συνδυάζει - πολυπλέκει πακέτα που έχει λάβει ή/και έχει ο ίδιος παράγει σε νέα εξερχόμενα πακέτα [5]. Ένα απλό σενάριο στο οποίο απεικονίζεται η τεχνική της δικτυακής κωδικοποίησης είναι το γνωστό “Alice και Bob”.



Εικόνα 1: Το παράδειγμα Alice and Bob

Στην παραπάνω εικόνα δεν υπάρχει άμεση επικοινωνιακή οδός μεταξύ των χρηστών, οπότε χρειάζεται ένας αναμεταδότης. Ο χρήστης A θέλει να στείλει το πακέτο P_1 στον χρήστη B και ο χρήστης B θέλει να στείλει το πακέτο P_2 στον χρήστη A. Με την εφαρμογή της δικτυακής κωδικοποίησης, ο κόμβος αναμεταδότης αντί να προωθεί τα πακέτα P_1, P_2 ανεξάρτητα, μεταδίδει το $P_1 \oplus P_2$. Τότε ο κάθε χρήστης i (όπου $i = 1, 2$) έχοντας ένα αντίγραφο του P_i μπορεί να αποκτήσει το πακέτο P_j (όπου $j = 1, 2$ και $j \neq i$) με το να εκτελέσει την πράξη XOR $P_i \oplus (P_i \oplus P_j)$.

Σε πιο εξεζητημένες περιπτώσεις η πράξη του XOR μπορεί να αντικατασταθεί με έναν γραμμικό συνδυασμό με κατάλληλους συντελεστές [3],[6], με βάση τους οποίους πραγματοποιείται η κωδικοποίηση και η αποκωδικοποίηση.

Στη βιβλιογραφία, η δικτυακή κωδικοποίηση μελετάται κυρίως για multicast και broadcast περιβάλλοντα. όπως σε εφαρμογές ασύρματων δικτύων [7],[8],[9],[10] επειδή είναι από τη φύση τους είναι broadcast. Επιπρόσθετα, έρευνες για να βρεθούν τρόποι να μεγιστοποιηθεί η χωρητικότητα σε όλα τα είδη δικτύων και πρότυπα επικοινωνιών είναι σε εξέλιξη.

Ωστόσο πολλοί προβληματισμοί για το πώς να υλοποιηθεί πρακτικά η δικτυακή κωδικοποίηση πρέπει να λυθούν. Εκτός από το να βρεθεί ο βέλτιστος γραμμικός κώδικας ανά περίπτωση, ένα ακόμη ανοιχτό ζήτημα είναι το σε ποιο επίπεδο του TCP/IP, κάτω από ποιες περιπτώσεις και με ποιόν τρόπο να εφαρμοστούν οι τεχνικές της κωδικοποίησης / αποκωδικοποίησης με σκοπό να μεγιστοποιηθεί η ρυθμαπόδοση.

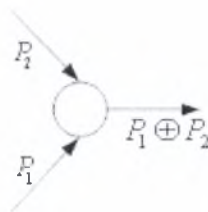
Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι να διευκρινιστούν οι διαφορές της εφαρμογής της δικτυακής κωδικοποίησης στο data link και στο network layer και να προταθεί μια πρακτική προσέγγιση βασισμένη σε τρεις ευδιάκριτους κανόνες που μπορούν να εφαρμοστούν στις ευρέως χρησιμοποιούμενες spanning tree τοπολογίες.

2. Ορισμός Προβλήματος – Σενάρια και Εκτιμήσεις

Αν και σε πραγματικές υλοποιήσεις που αφορούν ασύρματα broadcast περιβάλλοντα τύπου IEEE 802.11 έχει προταθεί η ιδέα της κωδικοποίησης σε ενδοίαμεσο επίπεδο του MAC και του network, ωστόσο δεν έχει αποσαφηνιστεί πλήρως σε ποιό από τα δύο είναι ποσοτικά αποτελεσματικότερο να γίνει ανά τύπο δικτύου, είτε αναφερόμαστε σε τοπικά δίκτυα, είτε σε WAN, είτε σε ενσύρματα, είτε σε ασύρματα.

Ως γνωστόν όλα τα σύγχρονα δίκτυα άμεσα υλοποιούν σε επίπεδο δικτύου ή ενθυλακώνουν σε επίπεδο data link IP πακέτα και αυτό γιατί είναι η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στο Διαδίκτυο. Το switching των πακέτων μπορεί να γίνει στο επίπεδο δικτύου με βάση την πληροφορία στην IP επικεφαλίδα, είτε σε επίπεδο γραμμής δεδομένων με βάση την φυσική διεύθυνση προορισμού του frame.

Στη γενική περίπτωση όταν ένας κόμβος ο οποίος υλοποιεί απλή XOR δικτυακή κωδικοποίηση, λαμβάνει δύο πακέτα P_1, P_2 , ως είσοδο και στην έξοδο του παράγει το κωδικοποιημένο πακέτο $P_1 \oplus P_2$.



Εικόνα 2: απλό XOR μοντέλο

Στην προσπάθεια μας να αποσαφηνίσουμε σε ποιο επίπεδο πρέπει να γίνεται το coding και βασιζόμενοι στο παραπάνω γενικό σχήμα, αν θεωρήσουμε ότι οι κόμβοι αναπαριστούν switch επιπέδου data link, τότε η κωδικοποίηση γίνεται σε επίπεδο frame ενώ αν αναπαριστούν routers επιπέδου network τότε η κωδικοποίηση γίνεται σε επίπεδο IP πακέτων.

Συγκεκριμένα εφαρμόζοντας την παραπάνω ιδέα σε μια πραγματική υλοποίηση θα πρέπει να μας απασχολήσουν οι εξής περιπτώσεις: κωδικοποίηση σε επίπεδο data link, κωδικοποίηση σε επίπεδο network, κωδικοποίηση συνδυάζοντας τις παραπάνω περιπτώσεις.

Η μεθοδολογία που θα ακολουθήσουμε σκιαγραφώντας όλα τα σενάρια αφορά την περίπτωση απλής κωδικοποίησης με XOR και όχι σύνθετο γραμμικό κώδικα, ωστόσο οι περιπτώσεις θα ισχύουν και για οποιοδήποτε άλλο πιο βέλτιστο. Επίσης οι περιπτώσεις που εξετάζουμε δεν αφορούν μόνο περιβάλλοντα multicast και μπορούν να εφαρμοστούν και σε unicast μεταδόσεις.

Σκοπός μας είναι να προταθούν τρόποι εφαρμογής της δικτυακής κωδικοποίησης σε δίκτυα τύπου Ethernet και ειδικότερα σε broadcast δίκτυα με vlan (virtual lan) τα οποία έχουν μεγάλο πρακτικό ενδιαφέρον.

Μέρος Α – Πρακτικοί περιορισμοί

Εαν θέλουμε να εξετάσουμε πρακτικά πως μπορούμε να κωδικοποιήσουμε είτε 2 frames μεταξύ τους είτε 2 IP packets θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας τα ακόλουθα:

1. Ποιες προϋποθέσεις πρέπει να ισχύουν για το δίκτυο/κόμβους: Εξαρτώνται από την τοπολογία που αναφερόμαστε κάθε φορά καθώς και την εφαρμογή. Πλήθος περιπτώσεων αφορά συνεκτικούς γράφους που εμφανίζονται σε ενσύρματα δίκτυα (π.χ. P2P συστήματα) σε αντιδιαστολή με τα ασύρματα περιβάλλοντα με χρήση broadcast αναμεταδότη. Όσο αφορά τους κόμβους θα πρέπει να έχουν αυξημένη υπολογιστική ισχύ σε σχέση με τους συμβατικούς κόμβους –αναμεταδότες.

2. Πόσα και ποια frames/πακέτα θα συμμετάσχουν στη διαδικασία

Οι μεταδόσεις είναι ως επί το πλείστον ασύγχρονες, τα frames/packets υπόκεινται σε τυχαίες delays και losses, οι χωρητικότητες των link δεν είναι εκ των προτέρων γνωστές και είναι δύσκολο να έχουμε centralized γνώση του δικτύου. Επίσης ίσως χρειάζεται να κωδικοποιήσουμε frames/packets διαφορετικού μεγέθους.

Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να γίνεται buffering καθώς και padding των shorter frames/packets με μηδενικά. Ο παραλήπτης μπορεί εύκολα να αφαιρέσει το padding ελέγχοντας το size field στην frame/IP header.

3. Με ποιούς κανόνες και σε ποιο σημείο θα γίνεται η διαδικασία κωδικοποίησης/αποκωδικοποίησης.

Η βασική αρχή του network coding είναι ότι μπορούμε να μεταδώσουμε n packets σε ένα XOR, με την προϋπόθεση ότι ο κάθε αποδέκτης έχει $n-1$ packets ώστε να μπορεί να γίνει το decode. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε linear network codes θα πρέπει να διαλέξουμε γραμμικά ανεξάρτητους συνδυασμούς διαφορετικά θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε πολυωνμικούς αλγορίθμους που σχεδιάζουν τέτοιους κώδικες. Επίσης υπάρχουν deterministic decentralized algorithms που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές

Αυτό που μας ενδιαφέρει είναι ολοι οι κόμβοι να είναι υποψήφιοι για εφαρμόσουν encoding/decoding λειτουργίες, χωρίς να απαιτείται γνώση της τοπολογίας του δικτύου, οι κόμβοι να προστίθενται και να αφαιρούνται στο σύστημα με ad hoc τρόπο.

Στη συνέχεια του paper προτείνονται και παρουσιάζονται αναλυτικά τρεις κανόνες κωδικοποίησης πρακτικά εφαρμόσιμοι σε spanning tree τοπολογίες. Οι κανόνες διαφοροποιούνται ως προς το σημείο που γίνεται η κωδικοποίηση/αποκωδικοποίηση και εφαρμόζονται με σκοπό την αύξηση του throughput.

4. Ποια πεδία θα κωδικοποιήσουμε του frames/packets και με πιο τρόπο.

Ένα τυπικό frame/packet έχει τη γενική μορφή:



Εικόνα 3: IEEE 802.3 πλαίσιο

Όταν αναφερόμαστε σε IP packets τότε οι source και destination διευθύνσεις αναφέρονται σε IP διευθύνσεις ενώ αν αναφερόμαστε σε frames source και destination διευθύνσεις αντιστοιχούν σε φυσικές διευθύνσεις.

Για να εφαρμόσουμε network coding συνδυάζοντας 2 frames/πακέτα μπορούμε είτε να επιτρέψουμε όλα τα πεδία να συμμετέχουν στην XOR διαδικασία είτε να εφαρμόσουμε XOR μόνο σε ορισμένα πεδία. Επιλέγοντας τη δεύτερη λύση μπορούμε είτε να αφήσουμε τα υπόλοιπα ως έχουν, με επίπτωση να μεγαλώσει το frame/πακέτο είτε να τα συνδυάσουμε με βάση με κάποιους άλλους κανόνες λαμβάνοντας υπόψιν τον τύπο δικτύου. Αυτό γιατί το frame format ανά τύπο δικτύου διαφέρει. Επιπλέον πεδίο θα χρειαστεί που θα δείχνει ότι αν το frame/packet είναι native ή όχι.

Επιλέγοντας τη λύση όπου κάνουμε XOR μόνο τα data οδηγούμαστε στην κατασκευή ενός καινούργιου header το οποίο έχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για το XOR frame/packet.

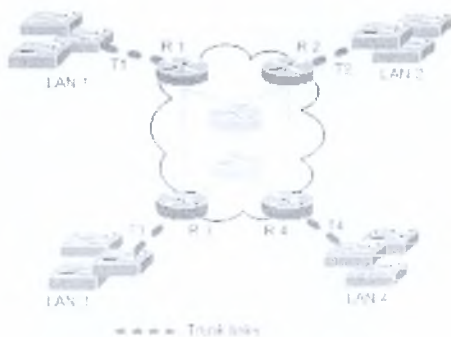


Εικόνα 4: XOR frame/packet

Στις περιπτώσεις που δημιουργείται ένα ξεχωριστό XOR Header έχουμε overhead, μπορεί το μήκος όλου του frame να μεγαλώνει οστόσο υπάρχει περισσότερη πληροφορία που θα βοηθήσει τον παραλήπτη να κάνει decode.

Μέρος Β – Δικτυακή κωδικοποίηση ανά περίπτωση layer

Στα παραπάνω είδαμε πως η κωδικοποίηση μπορεί να γίνει επιμέρους στο επίπεδο 2 και 3. Στο σημείο αυτό θα αναφέρουμε ένα σενάριο για να εξετάσουμε κατά πόσο μπορούμε πρακτικά να συνδυάσουμε τις δύο προσεγγίσεις.

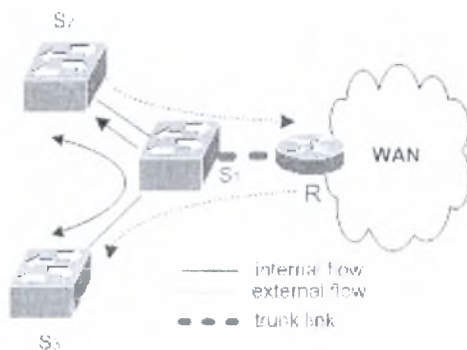


Εικόνα 5: layer 2 – layer 3 δικτυακή κωδικοποίηση

Στο παραπάνω σχήμα ορίζουμε ως: R_i με $i=\{1, \dots, 4\}$ τους border router οι οποίοι συνδέουν τα αντίστοιχα LAN σε ένα WAN δίκτυο και ως T_i τα trunk connections μεταξύ των αντίστοιχων border router με το gateway switch του τοπικού δικτύου.

Ας υποθέσουμε ότι στην παραπάνω τοπολογία έχουμε τις ροές πληροφορίας F_{ij} , όπου i είναι πακέτα που έχουν ως source το LAN i και προορισμό το LAN j .

Έστω ότι από τα δίκτυα 1 και 2 θέλουμε να μεταδώσουμε πληροφορίες προς το multicast group των δικτύων 3 και 4. Οι τεχνικές του network coding που έχουν ήδη αναπτυχθεί παρατηρούμε ότι είναι άμεσα εφαρμόσιμες σε επίπεδο δικτύου με κατάλληλο μετασχηματισμό IP πακέτων. Γενικότερα για πολύπλεξη 2 ή περισσότερων διαφορετικών ροών F_{ij} με $i \neq j$ μπορεί να εφαρμοστεί network coding σε επίπεδο δικτύου. Ωστόσο μια πρακτική υλοποίηση πρέπει να συμμορφωθεί με τις προϋποθέσεις για κωδικοποίηση που αναφέρθηκαν παραπάνω.

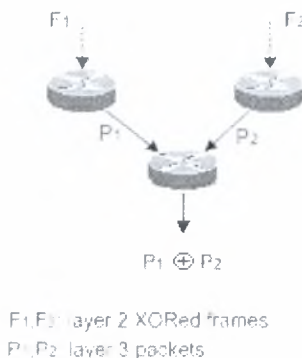


Εικόνα 6: layer 2 δικτυακή κωδικοποίηση

Εξετάζοντας από τη μεριά του τοπικού δικτύου, μπορούμε να διακρίνουμε 2 είδη ροών, τις εσωτερικές που αφορούν κίνηση εντός του LAN και τις εξωτερικές στις οποίες συμμετέχει ο router ο οποίος προωθεί ή εισάγει κίνηση από άλλα δίκτυα. Όπως και στο προηγούμενο σχήμα, η σύνδεση του gateway switch με το router πραγματοποιείται μέσω ενός trunk link.

Εαν θέλουμε να εφαρμόσουμε κωδικοποίηση μεταξύ των εσωτερικών ροών, αυτή θα πρέπει να γίνει με μετασχηματισμό των data link frames και όχι IP πακέτων γιατί τα switch προωθούν βασισμένα στις φυσικές διευθύνσεις. Αυτό αποτελεί γενική θεώρηση και μπορεί να μελετηθεί για όλα τα πρωτόκολλα και τις τεχνολογίες ενσύρματες/ασύρματες του data link επιπέδου.

Όσο αφορά τις external flows μια περίπτωση είναι τα πακέτα τους να προωθούνται ως native στο router χωρίς να συμμετέχουν σε καμία διαδικασία κωδικοποίησης δευτέρου επιπέδου και απο εκεί και πέρα να κωδικοποιούνται σε επίπεδο IP στο WAN δίκτυο. Άλλη περίπτωση αφορά την συμμετοχή και σε κωδικοποίηση επιπέδου 2 μέχρι το router αλλά και περαιτέρω κωδικοποίηση των XOR frame σε XOR πακέτα.



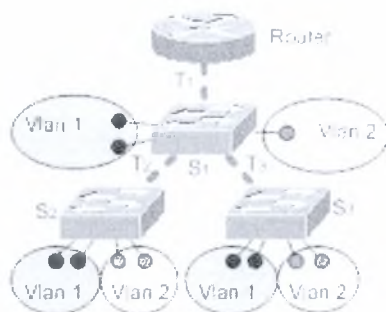
Εικόνα 7: συνδυασμός frames/packets

Στην εργασία μας θα επικεντρωθούμε μόνο στις περιπτώσεις των εσωτερικών ροών. Ειδικότερα θα μας απασχολήσει η εφαρμογή network coding σε spanning tree τοπολογίες με τεχνικές vlan. Η κωδικοποίηση σε αυτό το μοντέλο θα γίνεται σε επίπεδο 2 με την

προυπόθεση όμως ότι όλη η κίνηση υποχρεωτικά διέρχεται από τον router, ο οποίος παίρνει τις αποφάσεις προώθησης στα κατάλληλα vlan προορισμού.

Μέρος Γ – Παρουσίαση της τεχνολογίας vlan

Η κυρίαρχη τοπολογία επιπέδου 2 του OSI είναι τύπου spanning tree και αυτό γιατί ως ακυκλικός γραφος εξαλείφει περιπτώσεις loop. VLAN (virtual lan) [11] είναι μια τεχνική που εφαρμόζεται σε συσκευές επιπέδου 2 (switch) και χρησιμοποιείται ώστε να γίνει διαχωρισμός του φυσικού δικτύου σε λογικά ανεξάρτητα δίκτυα επιπέδου 3 του OSI. Θα εξηγήσουμε την τεχνική vlan μέσω παραδείγματος, βασισμένοι στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 8: intervlan routing

Στο σχήμα υπάρχουν 3 switch συνδεδεμένα σε spanning tree. Το κάθε switch υποστηρίζει 2 vlan και κάθε χρήστης συνδεδεμένος στο switch μπορεί να ανήκει είτε στο vlan 1 είτε στο vlan 2. Η επικοινωνία μεταξύ χρηστών που ανήκουν στο ίδιο vlan και στο ίδιο ή διαφορετικό switch πραγματοποιείται με τη γνωστή διαδικασία switching που λαμβάνει σε επίπεδο 2 με βάση τις φυσικές διευθύνσεις. Για παράδειγμα ένας χρήστης του vlan 1 του switch 1 θέλει να στείλει ένα frame σε ένα χρήστη του switch 3 του ίδιου vlan. Σε αυτή την περίπτωση ανάλογα με τις φυσικές διευθύνσεις που έχουν καταχωρημένες στα MAC table τα switch, γίνεται η διαδικασία προώθησης προς τον προορισμό. Στην επικοινωνία αυτή δεν συμμετέχει ποθενά ο router.

Αντίθετα για την επικοινωνία χρηστών που ανήκουν σε διαφορετικά vlan ανεξάρτητα αν αναφερόμαστε στο ίδιο switch ή όχι, τότε συμμετέχει υποχρεωτικά ο router ο οποίος είναι υπεύθυνος για το switching σε επίπεδο 3. Για παράδειγμα αν στείλει ένας χρήστης του switch 2 που ανήκει στο vlan 2, σε ένα χρήστη του vlan 1 στο switch 3, τότε η κίνηση προωθείται μέσω των trunk T_2, T_1 στον router. αυτός αποφασίζει σε ποιο δίκτυο επιπέδου 3 ανήκει ο προορισμός και στη συνέχεια μέσω των trunk T_1, T_3 το πακέτο παραδίδεται στον προορισμό. Τα trunk links είναι γραμμές που διαφέρουν από τις απλές στο ότι μπορούν να υποστηρίξουν κίνηση περισσότερων του 1 vlan και να την προωθούν ανεξάρτητα.

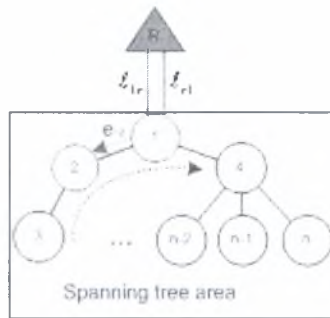
Με βάση το σχήμα και το παράδειγμα που περιγράψαμε, η μελέτη που ακολουθεί μπορεί να γενικευτεί και να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε πρόβλημα που χρησιμοποιεί spanning tree και υποχρεωτικά η κίνηση πρέπει να διέρχεται από κάποιο κόμβο του δέντρου, όπως για παράδειγμα σε περιπτώσεις flooding των routing updates (e.g. ospf), packet/user authentication κ.α. Σκοπός μας είναι σε τέτοιου είδους τοπολογίες να εφαρμόσουμε network coding για να έχουμε καλύτερη απόδοση στα trunk links.

3. Αλγεβρική Μορφοποίηση του Προβλήματος

Σε αυτό το τμήμα, θα αναλύσουμε αλγεβρικά τρεις κανόνες που προτείνουμε και με βάση τους οποίους θα μπορούσαμε να εφαρμόσουμε network coding σε spanning tree τοπολογίες.

Έστω ότι το δίκτυο μας αναπαριστάται ως ένας μη κατευθυνόμενος (bidirectional) γράφος $G = (V, E)$ σε spanning tree τοπολογία, όπου V το σύνολο των κόμβων τέτοιο ώστε $v_i \in V$ με $i=1, \dots, n$ και E το σύνολο ακμών όπου $e_{ij} \in E$ εκφράζει την ακμή που συνδέει αυστηρά γειτονικούς κόμβους v_i, v_j με $i, j \in [1, \dots, n]$. Ορίζουμε ως μονοπάτι με source τον κόμβο i και destination τον κόμβο j το σύνολο των ακμών $P_{ij} = \{e_{iu}, e_{uv}, \dots, e_{vj}\}$, όπου $u, v \in V$ και $u \neq i, j, v$ και $v \neq i, j, u$. Ονομάζουμε τις ακμές που ενώνουν τη ρίζα του spanning tree με τον router r ως ℓ_{ir} και ℓ_{ri} και τονίζουμε ότι $\ell \notin E$ και θα μας χρειαστούν στην ανάλυση που θα ακολουθήσει.

Για παράδειγμα με βάση το παρακάτω σχήμα, το e_{12} εκφράζει την ακμή που συνδέει τους κόμβους v_1, v_2 . Το $P_{34} = \{e_{32}, e_{21}, e_{14}\}$ εκφράζει το μονοπάτι μεταξύ της πηγής v_3 και του προορισμού v_4 .



Εικόνα 9: μονοπάτια-ακμές σε spanning tree

Εφαρμόζοντας ν/α τεχνικές για οποιοδήποτε ζευγάρι source-destination, και source ν/α διαφορετικό του destination ν/α, θα πρέπει το frame να περάσει υποχρεωτικά δια μέσω των ακμών ℓ από τον router ο οποίος κάνει το switching σε επίπεδο 3. Για παράδειγμα εάν ο χρήστης 3 στέλνει στον 4 και ανήκει σε διαφορετικό ν/α απο αυτόν, τότε τα frame στέλνονται από το μονοπάτι $P_{34} = \{e_{32}, e_{21}, \ell_{1r}, \ell_{r1}, e_{14}\}$.

Εφαρμογή network coding

Όλες οι ακμές $e_{ij} \in E$ θεωρούνται trunk links με την έννοια ότι επιτρέπουν multiplexing και ταυτόχρονη μετάδοση διαφορετικών ροών. Εφαρμόζοντας network coding θέλουμε να μεγιστοποιήσουμε το end to end throughpurt στο path P_{SD} που αποτελείται από διαδοχικά trunk links, όπου $SD = source - destination pair$.

Ουσιαστικά υπολογίζουμε πόσα hop χρειάζονται για να φτάσει ένα frame από τον source στον destination με την υποχρεωτική διέλευση του από τον router, είτε όταν εφαρμόζεται network coding είτε όχι. Στην περίπτωση που εφαρμόζουμε network coding ορίζουμε σαν \bar{P}_{SD} το σύνολο των ακμών από τις οποίες διέρχεται το μεταδιδόμενο frame. Το κέρδος που υπολογίζουμε αφορά το λόγο.

$$Gain = \frac{\sum_{\text{for all } ik, jl \text{ combinations}} (|P_{ik}| + |P_{jl}|) - \sum_{\text{for all } ik, jl \text{ combinations}} (|\bar{P}_{ik}| + |\bar{P}_{jl}| - |\bar{P}_{ik} \cap \bar{P}_{jl}|)}{\sum_{\text{for all } ik, jl \text{ combinations}} (|P_{ik}| + |P_{jl}|)} \quad (1)$$

όπου $|P_{SD}|, |\bar{P}_{SD}|$ είναι οι πληθάρημοι των συνόλων P_{SD} και \bar{P}_{SD} αντίστοιχα ενώ $|\bar{P}_{ik} \cap \bar{P}_{jl}|$ εκφράζει το πλήθος των trunk από τα οποία διέρχεται το XOR frame.

Η ανάλυση που ακολουθεί βασίζεται στις εξής παραδοχές:

- Αποδίδουμε μοναδιαίο weight σε όλα τα trunk links.
- Κάθε trunk link από το οποίο διέρχεται ένα frame, συνεισφέρει 1 hop στα total hop counts του P_{SD} .
- Όλα τα trunk links είναι bi-directional, lossless και free of delays.
- Οι μεταδόσεις λαμβάνουν χώρα σε Collision free περιβάλλον.
- Η κίνηση από κάθε source γεννάται σύμφωνα με uniform κατανομή.
- Η τεχνική του network coding εφαρμόζεται σύμφωνα με 3 κανόνες που προτείνονται.
- Κάνουμε κωδικοποίηση σύμφωνα με απλό bitwise XOR με 2 ή 3 frame που αφορούν μόνο internal flows, ενώ τα external flows δεν τα λαμβάνουμε υπόψη.
- Δεν επιτρέπουμε κωδικοποίηση ήδη κωδικοποιημένου πακέτου.
- Όλα τα switch υποστηρίζουν τα ίδια ακριβώς vlan.
- Η κωδικοποίηση αφορά μόνο ροές διαφορετικών vlan.

Περιπτώσεις κωδικοποίησης

Η μελέτη που κάνουμε εξετάζει πως θα γίνει η κωδικοποίηση με 3 κανόνες καθέ ένας από τους οποίους εξετάζεται σε δύο διαφορετικά σενάρια που αφορούν τη λειτουργία των κόμβων. Συγκεκριμένα στο πρώτο σενάριο εξετάζουμε περιπτώσεις όπου οι ροές που συνδυάζονται παράγονται αυστηρά από τον ίδιο κόμβο προς τυχαίο προορισμό, ενώ στο δεύτερο οι ροές που συνδυάζονται γεννούνται από κόμβους που επιλέγονται με τυχαίο τρόπο.

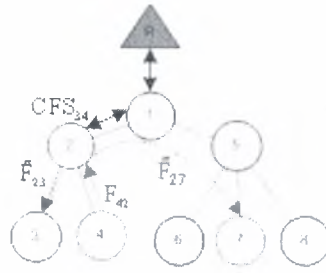
Ορισμοί και θεωρήσεις

Στο σημείο αυτό ορίζονται και αναλύονται οι τρεις κανόνες κωδικοποίησης. Οι τρεις κανόνες διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς το σημείο κωδικοποίησης, το σημείο αποκωδικοποίησης και το πλήθος $|P_{SD}|$. Επίσης και για τους τρεις κανόνες ορίζουμε τις ακόλουθες έννοιες:

1. CFS_{ij} με $i, j \in [1, \dots, n]$ ο κοινός πατέρας δύο κόμβων v_i, v_j που είναι πηγές των ροών F_k και F_j προς κωδικοποίηση.
2. CFD_{kl} με $k, l \in [1, \dots, n]$ ο κοινός πατέρας δύο κόμβων v_k, v_l που αποτελούν τους παραλήπτες των ροών F_k και F_l .
3. Θα συμβολίζουμε \bar{F}_{ij} οποιαδήποτε ροή χρησιμοποιείται πριν, κατά τη διάρκεια και μετά της XOR διαδικασίας. Οποιοσδήποτε κόμβος v μπορεί να μπει στη θέση i, j όπως και οποιοσδήποτε CFS, CFD ή ο router.
4. Όταν δημιουργείται ένα XOR frame, τότε αυτό περιέχει πληροφορίες σχετικά με τα vlan προορισμού και των δύο ροών, έτσι ώστε ο router να μπορεί τροποποιώντας κάποια πεδία να στέλνει με κατάλληλες οδηγίες στον κόμβο-decoder το XORed frame για να γίνεται από αυτόν το intervlan routing. Είναι εκτός πεδίου έρευνας οι λεπτομέρειες υλοποίησης και εξαρτώνται από τα πρωτόκολλα ενθυλάκωσης για vlan, πχ IEEE 802.1q.

Κανόνας 1

Με βάση τον κανόνα 1 ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία: Δύο τυχαία frame των ροών F_k και F_j γίνονται XOR στον κόμβο CFS_{ij} . Έπειτα το XORed frame προωθείται στον router, γίνεται η κατάλληλη επεξεργασία σύμφωνα με την παραδοχή 3. Το XORed frame καταλήγει πίσω στον CFS_{ij} για αποκωδικοποίηση. Ο τελευταίος προωθεί τώρα τα δύο αποκωδικοποιημένα native frames στους αντίστοιχους προορισμούς v_k, v_l . Σε οποιοδήποτε κόμβο του spanning tree, το switching γίνεται σε επίπεδο 2.



Εικόνα 10: παράδειγμα εφαρμογής του κανόνα 1

Παράδειγμα: έστω οι ροές F_{23} και F_{47} όπως φαίνονται στο σχημα....Σύμφωνα με τον κανόνα 1, CFS_{24} είναι ο κόμβος v_2 στον οποίο γίνεται και η κωδικοποίηση και η αποκωδικοποίηση.

Χωρίς network coding η ροή από τον κόμβο v_2 στον v_3 αναλύεται ως $F_{23} = F_{2R} + F_{R3}$ και

$P_{23} = \{e_{21}, e_{1R}, e_{R1}, e_{12}, e_{23}\} \Rightarrow |P_{23}| = 5$. Αυτό σημαίνει ότι για την ολοκλήρωση της μετάδοσης το frame διέρχεται από 5 trunks.

Όμοια η ροή από τον κόμβο v_4 στον v_7 αναλύεται ως

$$F_{47} = F_{4R} + F_{R7} \text{ και}$$

$$P_{47} = \{e_{42}, e_{21}, e_{1R}, e_{R1}, e_{15}, e_{57}\} \Rightarrow |P_{47}| = 6.$$

Συνολικά και για τις 2 ροές θα χρειαστούμε $|P_{23}| + |P_{47}| = 5 + 6 = 11$ μεταδόσεις πάνω σε trunk.

Με network coding η ροή από τον κόμβο v_2 στον v_3 αναλύεται ως

$$F_{23} = (\bar{F}_{2R} + \bar{F}_{R2})_{\text{XOR}} + \bar{F}_{23} \text{ και}$$

$$\bar{P}_{23} = \{e_{21}, e_{1R}, e_{R1}, e_{12}, e_{23}\}.$$

Όμοια

$$F_{47} = \bar{F}_{42} + (\bar{F}_{2R} + \bar{F}_{R2})_{\text{XOR}} + \bar{F}_{21} + \bar{F}_{15} + \bar{F}_{57} \text{ και } \bar{P}_{47} = \{e_{42}, e_{21}, e_{1R}, e_{R1}, e_{12}, e_{21}, e_{15}, e_{57}\}$$

Σε αυτή την περίπτωση συνολικά και για τις 2 ροές θα χρειαστούμε

$$|\bar{P}_{23}| + |\bar{P}_{47}| - |(\bar{P}_{23} \cap \bar{P}_{47})| = 5 + 8 - 4 = 9$$

και αυτό γιατί από το μονοπάτι $2 \rightarrow 1 \rightarrow R \rightarrow 1 \rightarrow 2$ μόνο το XOR frame οπότε τα μεταδόσεις στα trunk $e_{21}, e_{1R}, e_{R1}, e_{12}$ προσμετρώνται μία φορά.

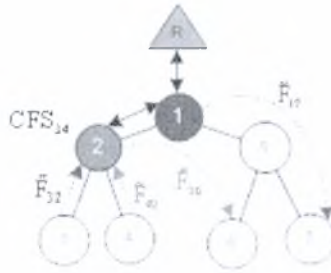
Συνεπώς το κέρδος με βάση τη σχέση (1) ανέρχεται σε $Gain = \frac{11-9}{11} = \frac{2}{11} \approx 0.18 = 18\%$.

Κανόνας 2

Με βάση τον κανόνα 2 όπως και παραπάνω δύο τυχαία frame των ροών F_{ik} και F_{ij} γίνονται XOR στον κόμβο CFS_{ij} . Έπειτα το XORed frame προωθείται στον router, γίνεται η κατάλληλη επεξεργασία σύμφωνα με την παραδοχή 3 και καταλήγει πάλι πίσω στον CFS_{ij} για αποκωδικοποίηση. Ο τελευταίος προωθεί μόνο ένα από τα δύο αποκωδικοποιημένα native frames στα trunks από τα οποία έχει ήδη περάσει το XOR με αποτέλεσμα να μπορεί να γίνει decode για μια ροή και σε κάποιο άλλο κόμβο.

Όταν στον CFS_{ij} ένας τουλάχιστον από τους δύο προορισμούς είναι σε διαφορετική μεριά από αυτή στην οποία έρχεται το XOR για decode, τότε ο κανόνας 2 εμπίπτει στον κανόνα 1.

Θα εξηγήσουμε μέσω του παραδείγματος.



Εικόνα 11: παράδειγμα εφαρμογής του κανόνα 2

Παράδειγμα: έστω οι ροές F_{46} και F_{37} όπως φαίνονται στο σχημα.. Χωρίς network coding η ροή από τον κόμβο v_1 στον v_7 αναλύεται ως $F_{37} = F_{3R} + F_{R7}$ και $P_{37} = \{e_{32}, e_{21}, e_{1R}, e_{R1}, e_{15}, e_{57}\} \Rightarrow |P_{37}| = 6$.

Αυτό σημαίνει ότι για την ολοκλήρωση της μετάδοσης το frame διέρχεται από 6 trunks.

Όμοια η ροή από τον κόμβο v_4 στον v_6 αναλύεται ως

$$F_{46} = F_{4R} + F_{R7} \text{ και}$$

$$P_{47} = \{e_{42}, e_{21}, e_{1R}, e_{R1}, e_{15}, e_{57}\} \Rightarrow |P_{47}| = 6.$$

Συνολικά και για τις 2 ροές θα χρειαστούμε $|P_{37}| + |P_{47}| = 6 + 6 = 12$ μεταδόσεις πάνω σε trunk.

Σύμφωνα με τον κανόνα 2, CFS_{34} είναι ο κόμβος v_3 στον οποίο γίνεται και η κωδικοποίηση και η αποκωδικοποίηση μόνο της ροής F_{46} . Η αποκωδικοποίηση της ροής F_{37} , γίνεται στον κόμβο v_1 και αυτό γιατί ο v_1 έχοντας ήδη αποθηκευμένο το XOR πακέτο $\tilde{F}_{27} \oplus \tilde{F}_{46}$, που επιστρέφει από τον router και δεχόμενος frame από τη ροή \tilde{F}_{26} και επειδή $\tilde{F}_{17} = \tilde{F}_{27}$ εκτελώντας την πράξη

$$(\tilde{F}_{17} \oplus \tilde{F}_{26}) \oplus \tilde{F}_{26} = \tilde{F}_{17}$$

μπορεί να στείλει το σωστό native frame στον v_7 .

Με network coding η ροή από τον κόμβο v_4 στον v_6 αναλύεται ως

$$F_{46} = \tilde{F}_{42} + (\tilde{F}_{2R} + \tilde{F}_{R2})_{XOR} + \tilde{F}_{21} + \tilde{F}_{15} + \tilde{F}_{56} \text{ και } \tilde{P}_{46} = \{e_{42}, e_{21}, e_{1R}, e_{R1}, e_{12}, e_{21}, e_{15}, e_{56}\}.$$

Όμοια

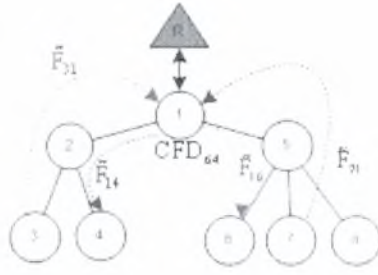
$$F_{37} = \tilde{F}_{32} + (\tilde{F}_{2R} + \tilde{F}_{R2})_{XOR} + \tilde{F}_{23} + \tilde{F}_{15} + \tilde{F}_{57} \text{ και } \tilde{P}_{37} = \{e_{32}, e_{21}, e_{1R}, e_{R1}, e_{12}, e_{23}, e_{15}, e_{57}\}$$

Σε αυτή την περίπτωση συνολικά και για τις 2 ροές θα χρειαστούμε $|P_{37}| + |P_{46}| - |(P_{37} \cap P_{46})| = 7 + 8 - 5 = 10$

Συνεπώς το κέρδος με βάση τη σχέση (1) ανέρχεται σε $Gain = \frac{12-10}{12} = \frac{2}{12} \approx 0.17 = 17\%$.

Κανόνας 3

Η λειτουργικότητα του κανόνα 3 είναι παρόμοια με αυτή του κανόνα 1 με τη διαφορά ότι δύο τυχαία frame των ροών F_{ik} και F_{jl} κωδικοποιούνται και αποκωδικοποιούνται στον κόμβο CFD_{kl} . Αν και προγραμματιστικά είναι εύκολο να υπολογιστεί ο CFS μεταξύ δύο κόμβων, ο CFD δεν μπορεί εκ των προτέρων να προσδιοριστεί και αυτό γιατί προϋποθέτει ότι η κάθε πηγή γνωρίζει ποιός είναι ο προορισμός της άλλης ροής. Επομένως βασιζόμαστε σε μια παραδοχή ότι ο CFD μπορεί να υπολογιστεί.



Εικόνα 12: παράδειγμα εφαρμογής του κανόνα 3

Παράδειγμα: έστω οι ροές F_{36} και F_{74} όπως φαίνονται στο σχημα..Σύμφωνα με τον κανόνα 3, CFD_{64} είναι ο κόμβος v_1 στον οποίο γίνεται και η κωδικοποίηση και η αποκωδικοποίηση. Χωρίς network coding η ροή από τον κόμβο v_3 στον v_6 αναλύεται ως

$$F_{36} = F_{3R} + F_{R6} \text{ και}$$

$$P_{36} = \{e_{32}, e_{21}, e_{1R}, e_{R1}, e_{15}, e_{56}\} \Rightarrow |P_{36}| = 6.$$

Όμοια η ροή από τον κόμβο v_7 στον v_4 αναλύεται ως

$$F_{74} = F_{7R} + F_{R4} \text{ και}$$

$$P_{74} = \{e_{75}, e_{51}, e_{1R}, e_{R1}, e_{12}, e_{24}\} \Rightarrow |P_{74}| = 6.$$

Συνολικά και για τις 2 ροές θα χρειαστούμε $|P_{36}| + |P_{74}| = 6 + 6 = 12$ μεταδόσεις πάνω σε trunk.

Με network coding η ροή από τον κόμβο v_3 στον v_6 αναλύεται ως

$$F_{36} = \bar{F}_{31} + (\bar{F}_{1R} + \bar{F}_{R1})_{XOR} + \bar{F}_{16} \text{ και}$$

$$\bar{P}_{36} = \{e_{32}, e_{21}, e_{1R}, e_{R1}, e_{15}, e_{36}\}.$$

Όμοια

$$F_{74} = \bar{F}_{75} + \bar{F}_{51} + (\bar{F}_{1R} + \bar{F}_{R1})_{XOR} + \bar{F}_{12} + \bar{F}_{24} \text{ και } \bar{P}_{74} = \{e_{75}, e_{51}, e_{1R}, e_{R1}, e_{12}, e_{24}\}$$

Σε αυτή την περίπτωση συνολικά και για τις 2 ροές θα χρειαστούμε $|\bar{P}_{36}| + |\bar{P}_{74}| - |\bar{P}_{36} \cap \bar{P}_{74}| = 6 + 6 - 2 = 10$

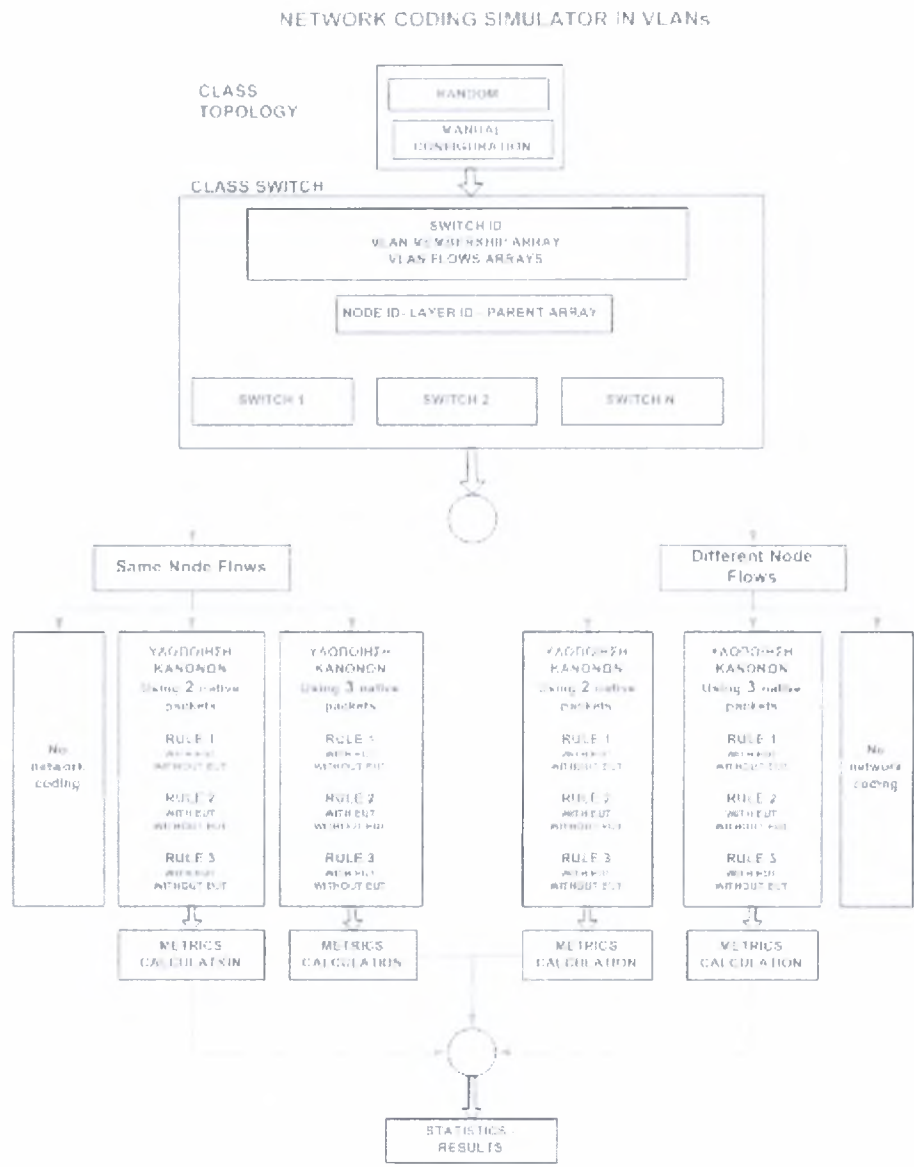
Συνεπώς το κέρδος με βάση τη σχέση (1) έρχεται σε $Gain = \frac{12-10}{12} = \frac{2}{12} \approx 0.17 = 17\%$.

Το metric που χρησιμοποιούμε δηλαδή το utilization των trunk links άμεσα μεταφράζεται σε αύξηση του throughput. Ανεξάρτητα από περίπτωση και κανόνα παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο κέρδος εντοπίζεται στο trunk link ανάμεσα στο spanning tree root κόμβο και τον router. Αυτό γιατί σε οποιοδήποτε σημείο και αν δημιουργηθεί το XOR πακέτο, αυτό περνάει υποχρεωτικά από αυτό το link. Επίσης όπως θα παρατηρήσουμε στη συνέχεια και στις γραφικές που ακολουθούν, μεγαλύτερο ακόμη κέρδος επιτυγχάνουμε όταν κωδικοποιούμε 3 ροές (xor 3 natives) που όμως μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερο overhead εξαιτίας της ενδεχόμενης πολυπλοκότητας του frame header.

4. Χαρακτηριστικά Εργαλείου Προσομοίωσης

Για τις ανάγκες της εξομοίωσης, αναπτύξαμε σε C++ ένα εξομοιωτή στον οποίο μελετήσαμε διάφορα σενάρια όσο αναφορά τον τρόπο που υπολογίζουμε συνολικά την απόδοση του δικτύου εφαρμόζοντας τους τρεις κανόνες κωδικοποίησης που προτείνουμε. Ο σχεδιασμός του εξομοιωτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, όπου και απεικονίζονται τα

modules από τα οποία αποτελείται και είναι υπεύθυνα για τις λειτουργίες της δικτυακής κωδικοποίησης:



Εικόνα 13: Τα modules του εξομοιωτή

Με βάση την παραπάνω εικόνα τα modules του εξομοιωτή μας είναι τα ακόλουθα:

Δημιουργία τοπολογίας

Η χρησιμοποιούμενη τοπολογία που δημιουργούμε με τυχαίο τρόπο σε κάθε προσομοίωση είναι spanning tree. Μας αφορά κάθε φορά η διάταξη των κόμβων και όχι τα χαρακτηριστικά του καναλιού το οποίο θεωρούμε lossless, bidirectional και without delays.

Λειτουργικότητα / χαρακτηριστικά του κάθε κόμβου

Μετά την τυχαία δημιουργία του spanning tree, αναθέτουμε σε κάθε κόμβο από ένα id με βάση το οποίο ελέγχουμε τη θέση του στο δέντρο και τις σχέσεις προγόνου- απογόνων.

Ο κάθε κόμβος διατηρεί ένα πίνακα με εξερχόμενες ροές. Ανάλογα με τα σενάρια που περιγράφουμε παρακάτω μια ροή πολυπλέκεται είτε με ροές του ίδιου κόμβου (case A) είτε επιλέγοντας τυχαία ροές άλλων κόμβων (case B). Οι ροές που τελικά θα επιλεγούν για χορ εξυπηρετούνται αμέσως.

Η κίνηση που γεννάει ο κάθε κόμβος για κάποιο κόμβο-προορισμό επιλέγεται τυχαία από ένα διάστημα $[0, \maxTraffic]$. Το \maxTraffic είναι μια παράμετρος η οποία ρυθμίζεται σε κάθε εξομοίωση.

Metrics

Μας ενδιαφέρει να με μετρήσουμε το ακόλουθο κέρδος:

$$Gain = \frac{\sum_{\substack{\text{for all } k, j \\ \text{combinations}}} (|P_k| + |P_j|) - \sum_{\substack{\text{for all } k, j \\ \text{combinations}}} (|\tilde{P}_k| + |\tilde{P}_j| - |\tilde{P}_k \cap \tilde{P}_j|)}{\sum_{\substack{\text{for all } k, j \\ \text{combinations}}} (|P_k| + |P_j|)}$$

όπου παρουσιάζει τη μείωση του trunk utilization από το σύνολο των ροών, που άμεσα συνεπάγεται σε αύξηση του throughput.

Προσεγγίσεις

Σκοπός μας είναι να μελετήσουμε την αύξηση της απόδοσης του δικτύου για διάφορες προσεγγίσεις με την εφαρμογή των τριών κανόνων network coding. Κάθε μια από αυτές τις περιπτώσεις τις εξετάζουμε είτε κωδικοποιώντας 2 είτε 3 πακέτα μεταξύ τους και πάντα και για τους τρεις κανόνες που προτείνουμε. Κάθε φορά που εξετάζουμε τους κανόνες διακρίνουμε δύο υποπεριπτώσεις αντίστοιχα όπου είτε λαμβάνουμε είτε όχι το EUT (τελικές μεταδόσεις από το switch στο χρήστη). Συγκεκριμένα οι προσεγγίσεις είναι οι ακόλουθες:

Προσέγγιση A: Πολύπλεξη ροών ίδιου κόμβου

Ο κάθε κόμβος διατηρεί ένα πίνακα με εξερχόμενες ροές. Ο κάθε κόμβος διαλέγει ροές (source είναι ο ίδιος). Σε ποιο σημείο θα γίνεται η κωδικοποίηση και σε ποιο σημείο θα γίνεται η αποκωδικοποίηση εξαρτάται από τον κανόνα που θα εφαρμοστεί για αυτές τις ροές κάθε φορά.

Πάνω στο σκεπτικό αυτό διακρίνουμε δύο υποπεριπτώσεις:

A1: ο κόμβος διαλέγει πρώτα τα ζευγάρια με ίδιο "source-destination" και μετά όλα τα υπόλοιπα, σειριακά μέχρι να εξαντλήσει τις επιλογές του. Όσες ροές δεν μπορούν να κωδικοποιηθούν αποστέλλονται σαν native ακολουθώντας την διαδικασία που προβλέπεται από τα vlan.

A2: ο κάθε κόμβος διαλέγει σειριακά ζευγάρια που έχουν αυτόν σαν source αλλά τυχαίο destination (δεν αποκλείεται να είναι και ο ίδιος με μετάδοση σε άλλο vlan).

Αφού ο κάθε κόμβος υπολογίζει σύμφωνα με τα παραπάνω ποιο θα είναι το κέρδος που προκύπτει από την πολύπλεξη ροών που παράγει αυτός, το συνολικό κέρδος προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους.

Προσέγγιση Β: Πολύπλεξη ροών διαφορετικών κόμβων

Στην περίπτωση αυτή η επιλογή των ροών γίνεται τελείως τυχαία. Αυτό σημαίνει ότι η μια ροή μπορεί να παράγεται από ένα κόμβο V_i προς κάποιο άλλο V_j ενώ η άλλη ροή από κάποιο άλλο V_k προς ένα V_l , χωρίς κανένα περιορισμό στη σχέση k,l με τα i, j

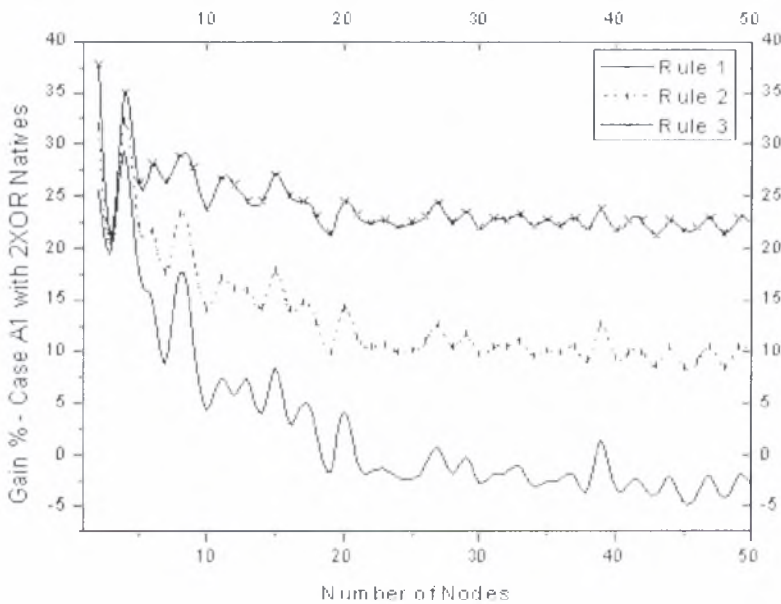
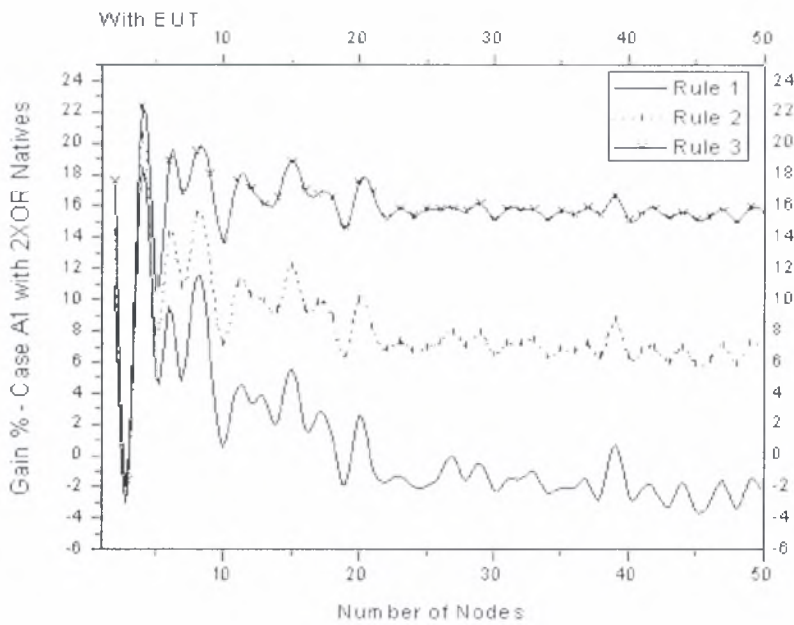
Το κάθε switch δεν εξετάζει μόνο ατομικά με βάση τους τρεις κανόνες που ακολουθούν ποιες εξερχόμενες δικές του ροές θα κωδικοποιήσει. Διαλέγουμε τυχαία 2 ή 3 ροές (πχ ζευγάρια 1->2 + 4->3 + 3->1) και εξετάζουμε που μπορεί να γίνει το XOR πακέτο και που θα γίνει το decode βάση των κανόνων.

5. Γραφικές Παραστάσεις και Αποτελέσματα

Οι γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν απεικονίζουν τις προσεγγίσεις Α, Β σε σχέση με τρεις μεταβλητές που εκφράζουν α) τον αριθμό των κόμβων του δέντρου, β) το φόρτο κάθε ροής (maxTraffic), γ) τον αριθμό των vlan. Κάθε κρατούμε σταθερά μια από τις μεταβλητές αυτές και μεταβάλλουμε τις υπόλοιπες δύο. Όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί περιπτώσεων παρουσιάζονται στις γραφικές που ακολουθούν:

Περίπτωση 1: μεταβολή του αριθμού των κόμβων

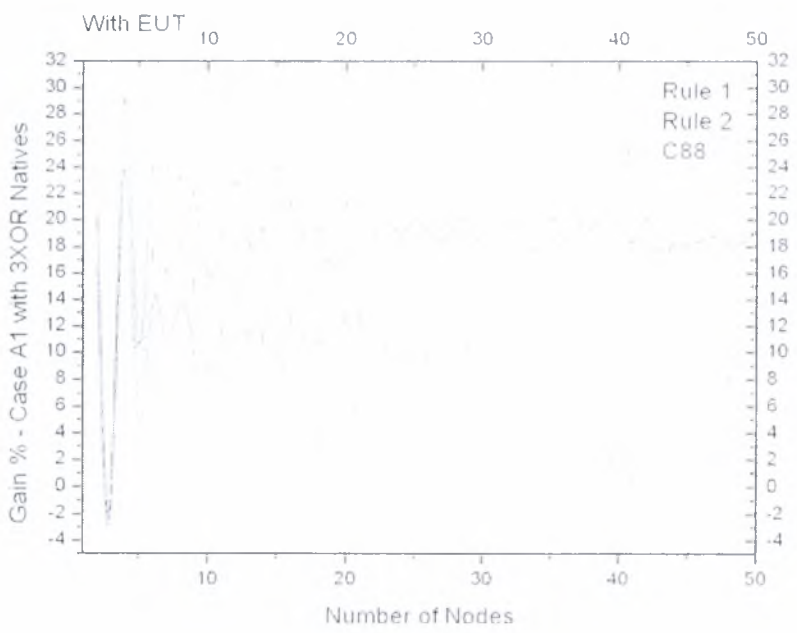
Κρατάμε σταθερό τον αριθμό vlan και τον αριθμό των flows κα μεταβάλλουμε τον αριθμό των κόμβων.

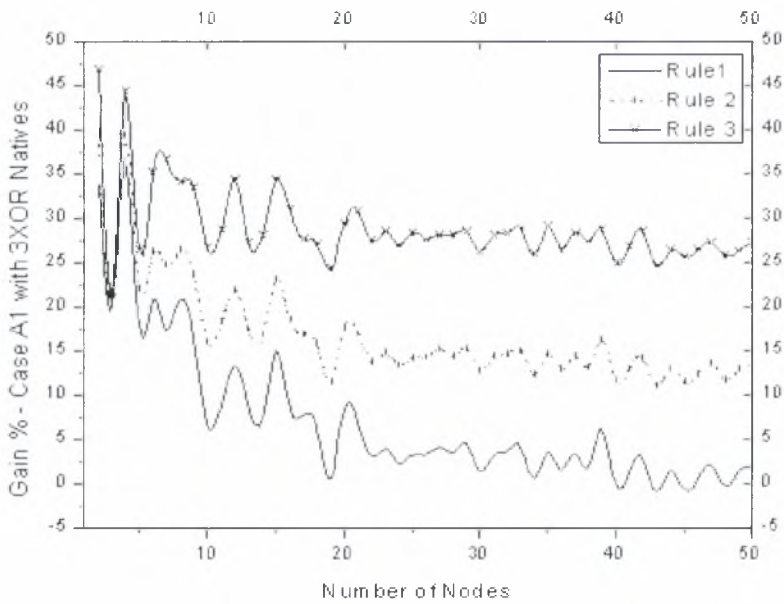


Το πρώτο ζευγάρι γραφικών της περίπτωσης 1 απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της A1 προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 2 ροές. Στην πρώτη περίπτωση μετράμε και τις τελικές μεταδόσεις προς το χρήστη (EUT). Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο κέρδος το έχουμε εφαρμόζοντας τον κανόνα 3, το οποίο κυμαίνεται από 15 %-22%. Από 20 – 50 κόμβους το κέρδος με τον κανόνα 3 συγκλίνει κοντά στο 18%, του κανόνα 2 στο κοντά 7% και για τον κανόνα 1 έχουμε αρνητικό κέρδος. Αυτό σημαίνει ότι

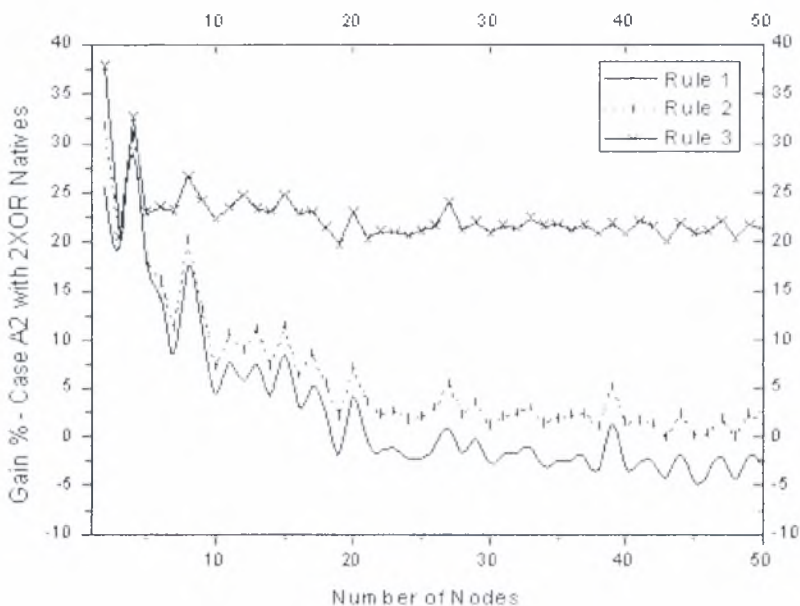
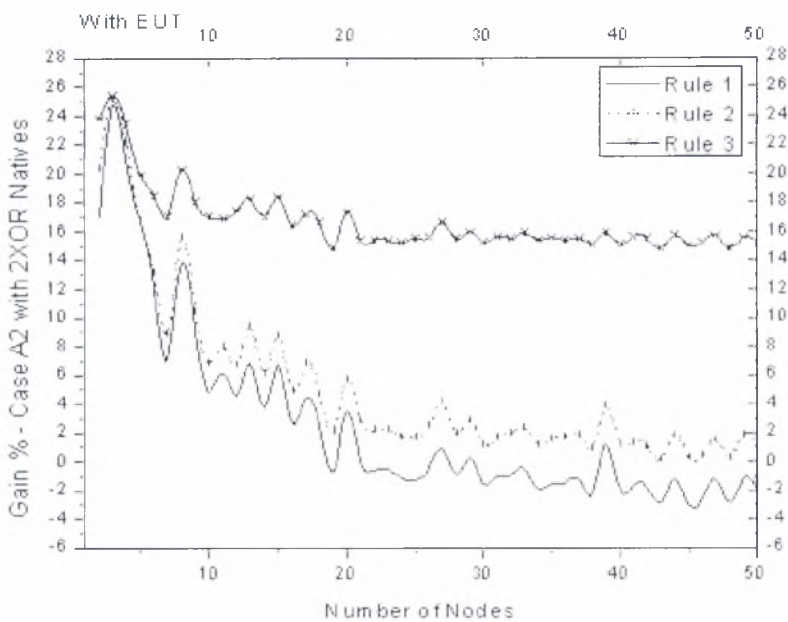
συμφέρει περισσότερο να στέλνουμε native πακέτα από το να τα κωδικοποιούμε με τον κανόνα 1. Το τελευταίο συμβαίνει διότι όταν οι sources και destinations είναι σε διαφορετική μεριά του spanning tree, τότε η αποκωδικοποίηση γίνεται μακριά από τους προορισμούς και άρα δαπανούνται πολλά hops για να φτάσει το πακέτο.

Παρόμοια αποτελέσματα έχουμε και για την περίπτωση χωρίς EUT. Ο κανόνας 3 είναι συμφερότερος εκ των τριών και ο κανόνας 1 είναι προτιμότερο να μην εφαρμόζεται. Τα αντίστοιχα ποσοστά κέρδους κατά μέσο όρο είναι: 23%, 10% και -7%.



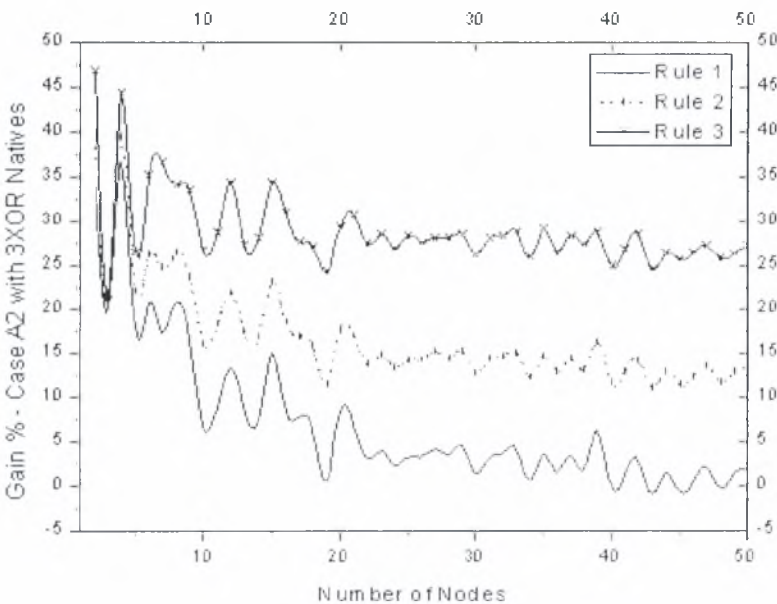
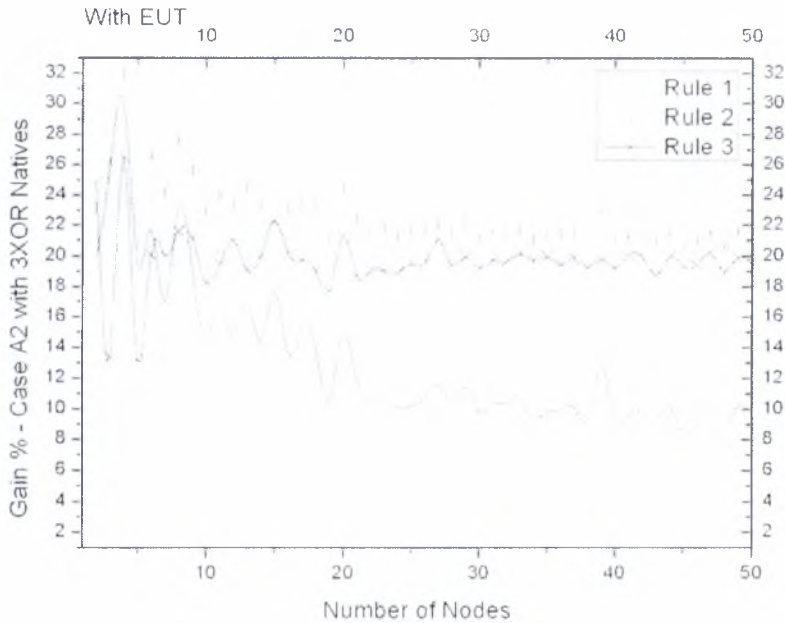


Το δεύτερο ζευγάρι γραφικών απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της A1 προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 3 ροές. Και σε αυτή την περίπτωση το μεγαλύτερο κέρδος το έχουμε εφαρμόζοντας τον κανόνα 3, το συνολικό κέρδος του οποίου κατά μέσο όρο του οποίου συγκλίνει στο 19%. Κωδικοποιώντας 3 ροές βλέπουμε ότι έχουμε ένα ελάχιστο θετικό κέρδος από τον κανόνα 1, πράγμα το οποίο δέν ισχύει για 2 πακέτα. Και σε αυτές τις γραφικές ο κανόνας 3 οδηγεί σε μεγαλύτερο κέρδος και άρα είναι ο προτιμότερος.

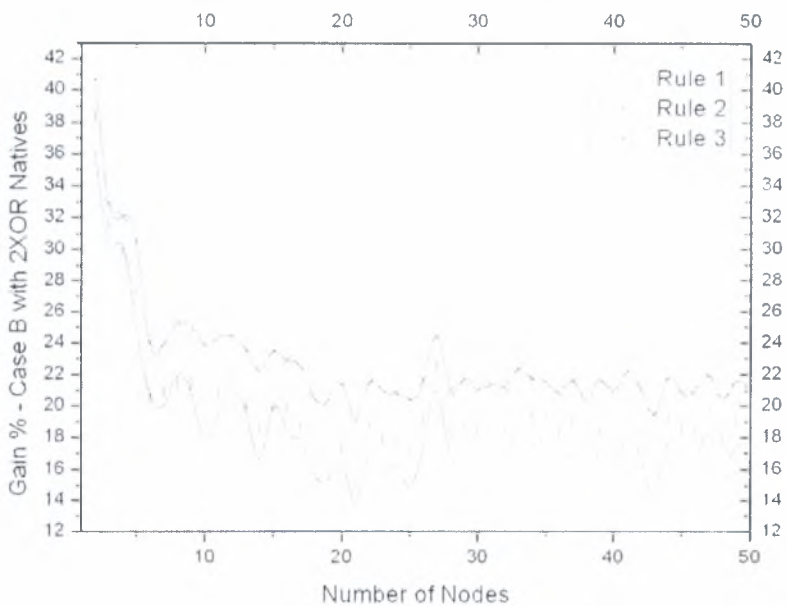
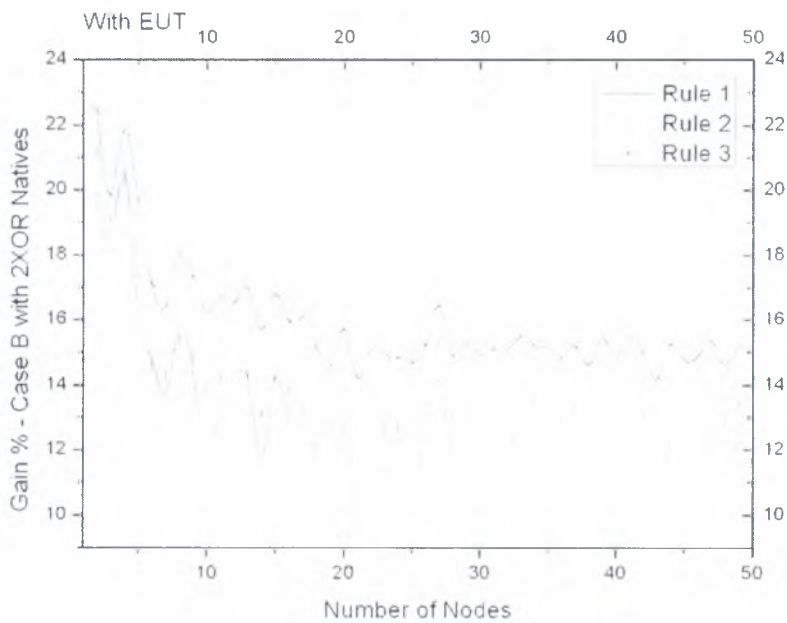


Το τρίτο ζευγάρι γραφικών απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της A2 προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 2 ροές. Παρατηρούμε ότι μεγαλύτερο κέρδος έχουμε και πάλι στον κανόνα 3. Η απόσταση στο μετρούμενο κέρδος μεταξύ των κανόνων 3 και 2 έχει μεγαλώσει με αποτέλεσμα ο κανόνας 2 να δίνει κέρδη κοντά στα κέρδη του κανόνα 1. Οι γραφικές των κανόνων 1 και 2 έχουν την ίδια συμπεριφορά και είναι κοντά μεταξύ τους. Ο κανόνας 3 σταθερά δίνει κέρδη από 15-20% (με ή χωρίς EUT). Εφόσον λοιπόν

εφαρμόζουμε περίπτωση A2 που ο destination κόμβος είναι οποιοσδήποτε, στις περιπτώσεις που οι destinations είναι σε διαφορετική μεριά των source και σε χαμηλότερο μάλιστα επίπεδο στο δένδρο, τότε ο κανόνας 2 θα δίνει μικρό κέρδος συγκριτικά με τον 3. Προτιμότερος είναι ο 3 σε περιπτώσεις σας και αυτή διότι αποκωδικοποίηση γίνεται στον κοινό πατέρα των προορισμών.

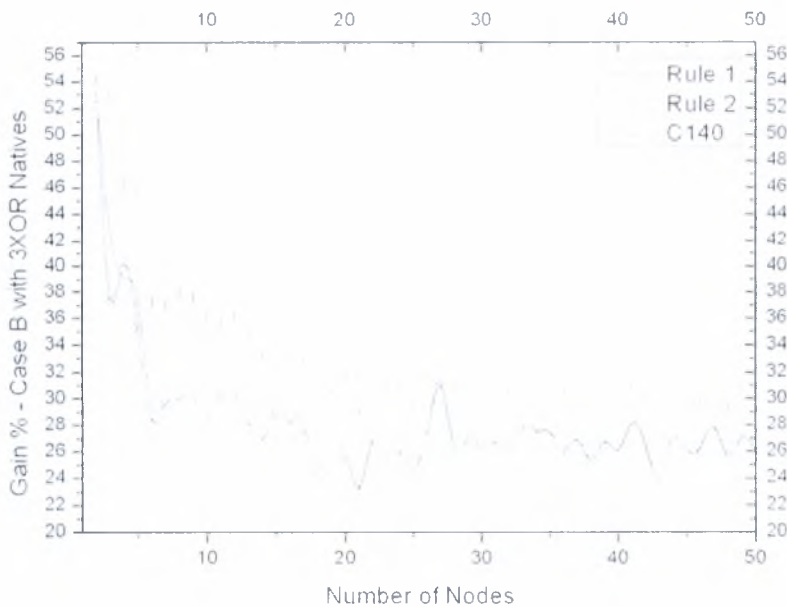
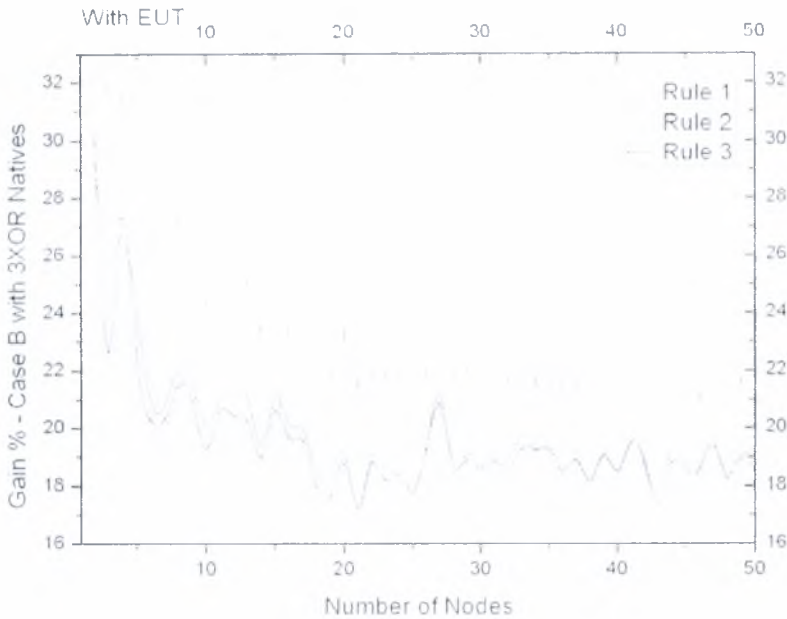


Το τέταρτο ζευγάρι γραφικών απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της A2 προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 3 ροές. Στην περίπτωση αυτή παρατηρούμε ότι συμφερότερος είναι ο κανόνας 2 ο οποίος οδηγεί κατά μέσο όσο σε ελαφρώς καλύτερο κέρδος κατά 2-3%. Αυτή η παρατήρηση γίνεται περισσότερο ευδιάκριτη από τους 10 κόμβους και έπειτα. Από 0-10 κόμβους η μορφή των γραφικών και των τριών κανόνων είναι σχεδόν η ίδια. Αντιθέτως στην περίπτωση που δεν λαμβάνουμε υπόψη μας τις μεταδόσεις στον τελικό χρήστη, ο κανόνας 3 είναι ευδιάκριτα ο συμφερότερος και δίνει κέρδη άνω του 25%.



Το πέμπτο ζευγάρι γραφικών απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της B προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 2 ροές. Στην περίπτωση αυτή η επιλογή των ροών που θα κωδικοποιηθούν είναι εντελώς τυχαία, περίπτωση πιο ρεαλιστική σε πραγματική υλοποίηση. Και στην περίπτωση που μετράμε EUT και σε αυτή που δεν μετράμε, ο κανόνας 3 είναι και πάλι ο επικρατέστερος και οδηγεί σε κέρδη κοντά στο 20%.

Υπολείπονται οι κανόνες 2 και 1 αλλά με μικρές διαφορές όσο αφορά το κέρδος. Το ενθαρρυντικό είναι ότι και οι τρεις κανόνες οδηγούν σε κέρδη άνω του 16%.

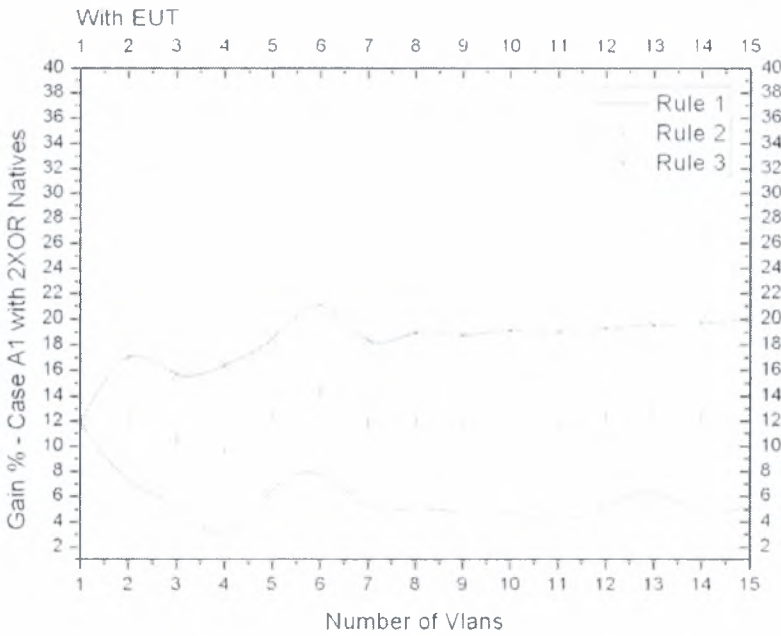


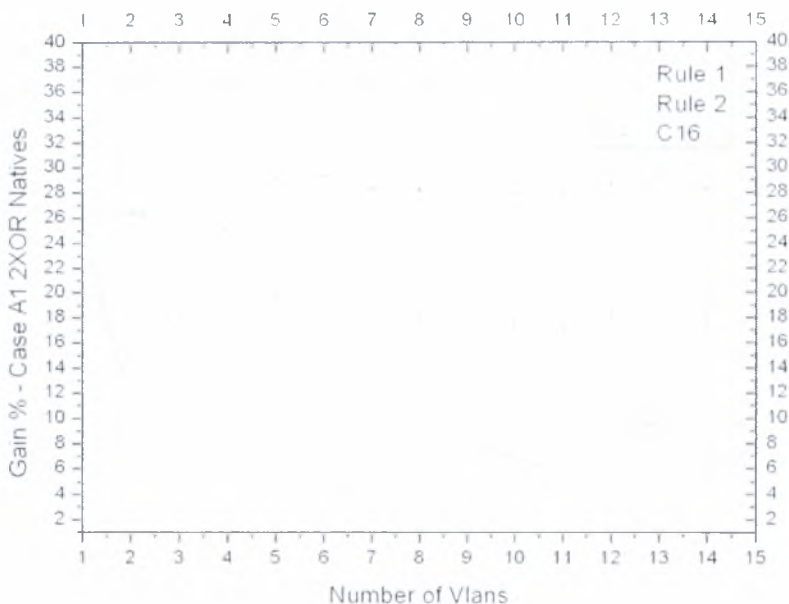
Το έκτο ζευγάρι γραφικών απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της B προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 3 ροές. Στην περίπτωση κωδικοποίησης 3 πακέτων ο κανόνας 2 υπερτερεί οδηγώντας σε κέρδη κοντά στο 30%. Η γραφικές του κανόνα

κέρδη της τάξης του 26-28%. Ο λόγος που ο κανόνας 2 είναι ο προτιμότερος είναι επειδή κατά την αποκωδικοποίηση δεν χρειάζεται να στείλουμε και τα 3 πακέτα natives στους προορισμούς. Έτσι γλιτώνουμε σεβαστό αριθμό μεταδόσεων.

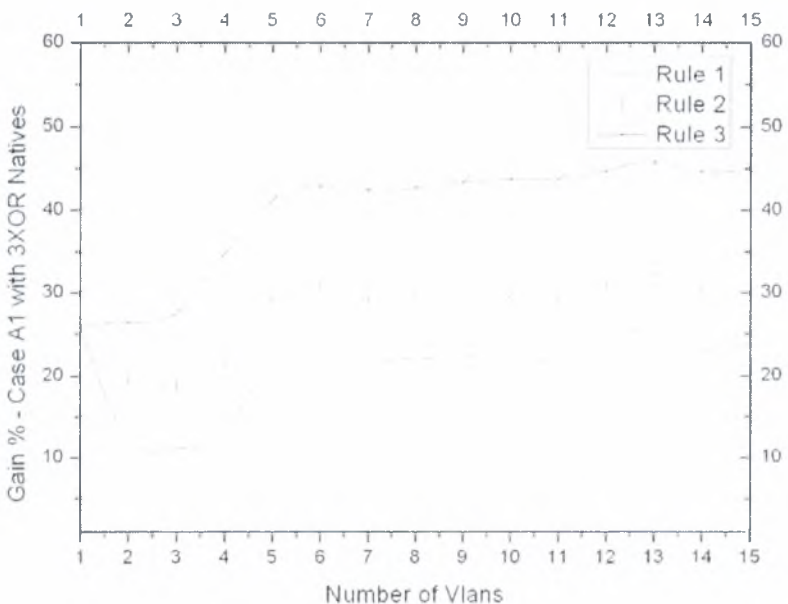
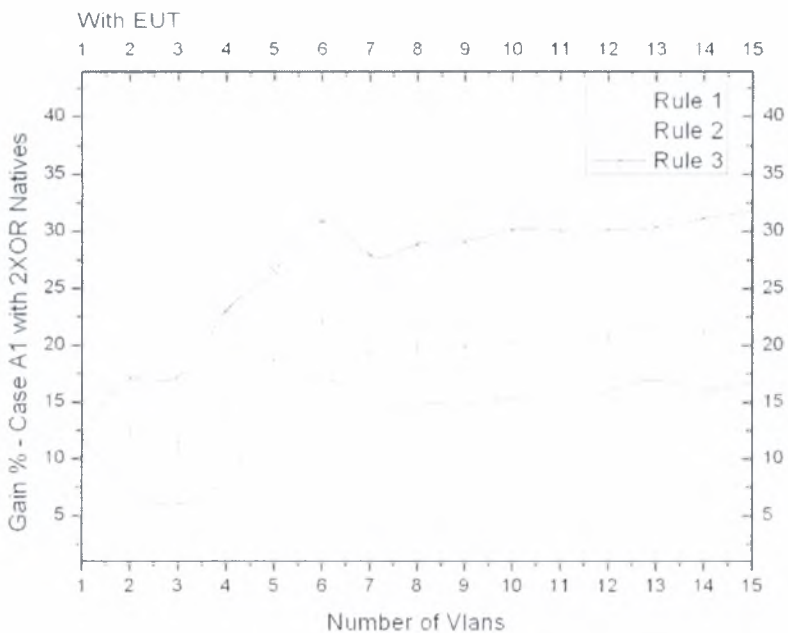
Περίπτωση 2: μεταβολή του αριθμού των vlan

Κρατάμε σταθερό τον αριθμό κόμβων και τον αριθμό των flows κα μεταβάλλουμε τον αριθμό των vlan.



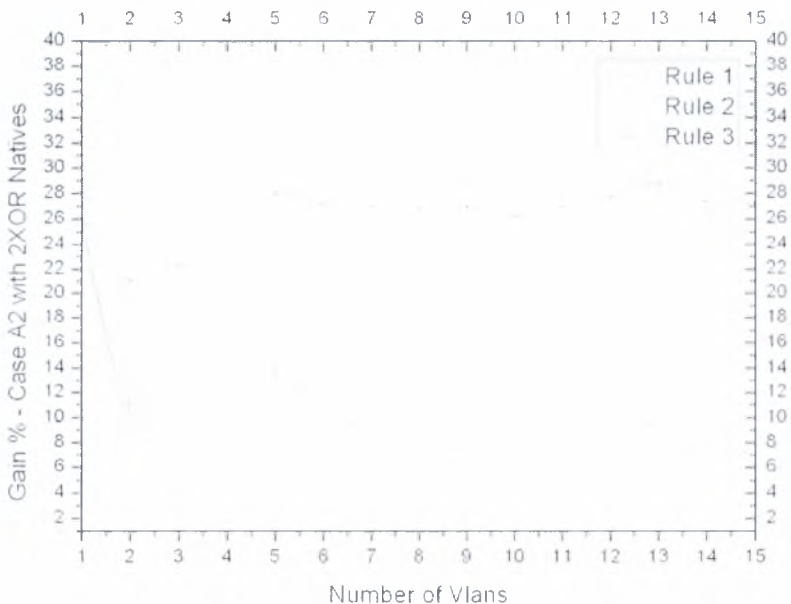
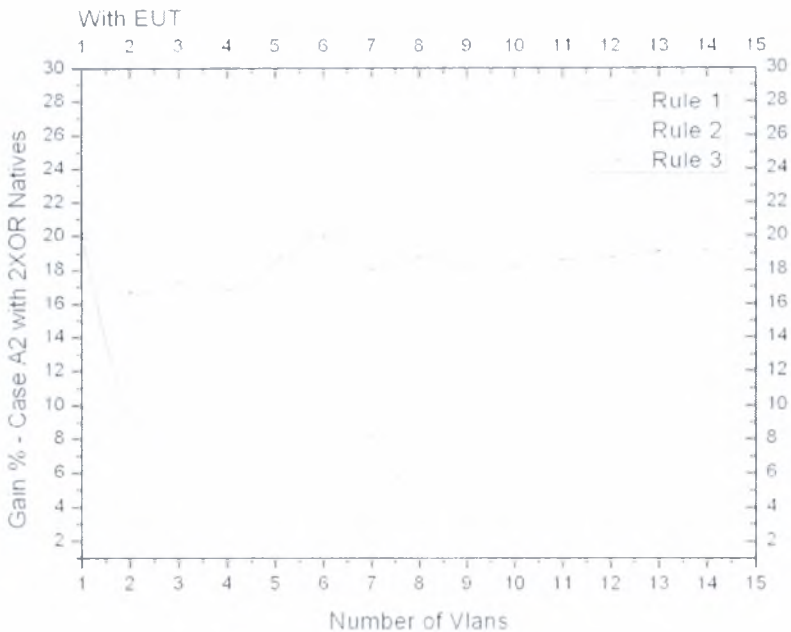


Το πρώτο ζευγάρι γραφικών της περίπτωσης 2 απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της A1 προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 2 ροές. Στην περίπτωση αυτή συμφερότερος είναι ο κανόνας 3 που οδηγεί σε κέρδη μεταξύ 20-30% (με – χωρίς EUT). Εάν όλοι οι κόμβοι έχουν προγραμματισμένο ένα μόνο vlan τότε το κέρδος που δίνουν και οι τρεις κανόνες είναι 12% για EUT και 26% χωρίς. Καθώς μεταβάλλουμε τον αριθμό των vlans, από 7 vlans και άνω ο κανόνας 3 συγκλίνει στο 28%, ο κανόνας 2 στο 18% και ο κανόνας 1 στο 8%.



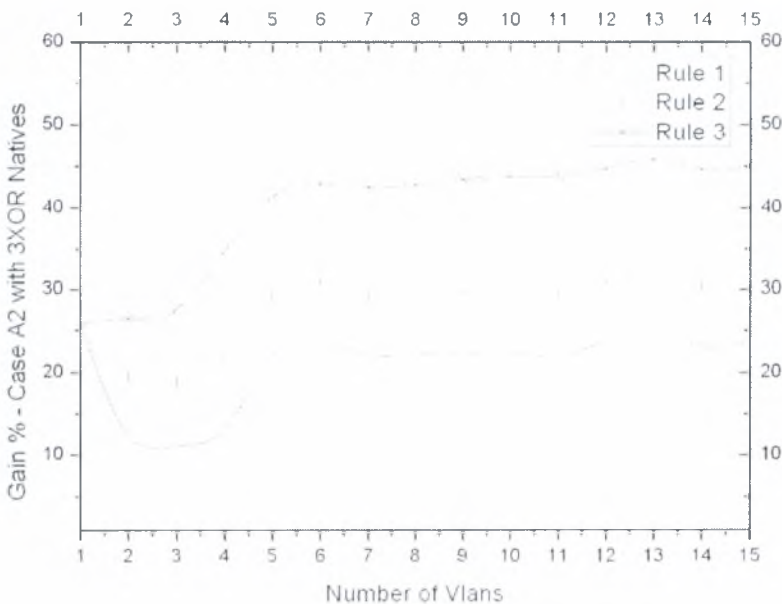
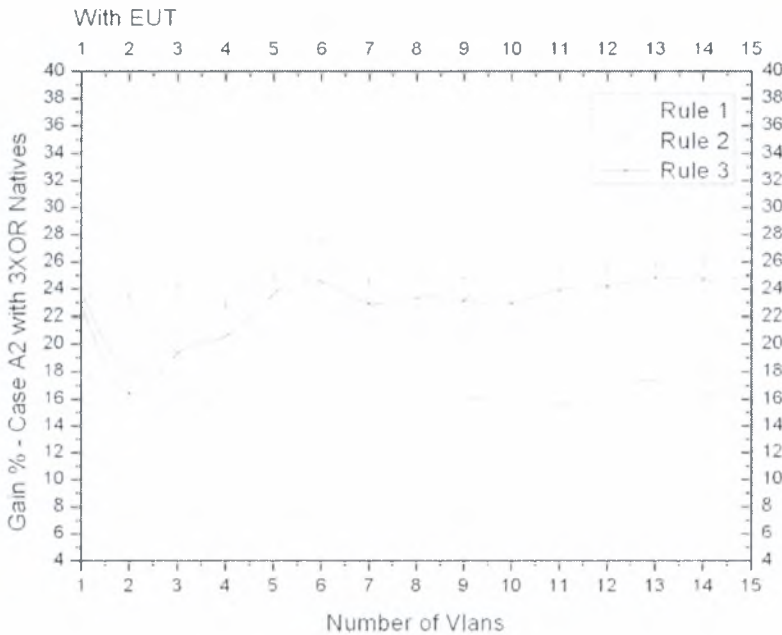
Το δεύτερο ζευγάρι γραφικών απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της A1 προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 3 ροές. Σε όλη την εξομοίωση ο κανόνας 3 ευδιάκριτα υπερτερεί όσο αφορά το κέρδος του κανόνα 2 και 1. Στην αρχή υποθέτοντας ότι έχουμε ένα μόνο vlan όλοι οι κανόνες οδηγούν στο ίδιο κέρδος το οποίο είναι στο 25% για περίπτωση χωρίς EUT και 13% για EUT. Από 6 vlan και άνω όλοι οι κανόνες συγκλίνουν

κατά μέσο όρο πολύ κοντά στα κέρδη που συνεισφέρουν ολικά. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι όλοι οι κόμβοι έχουν τον ίδιο αριθμό vlans.



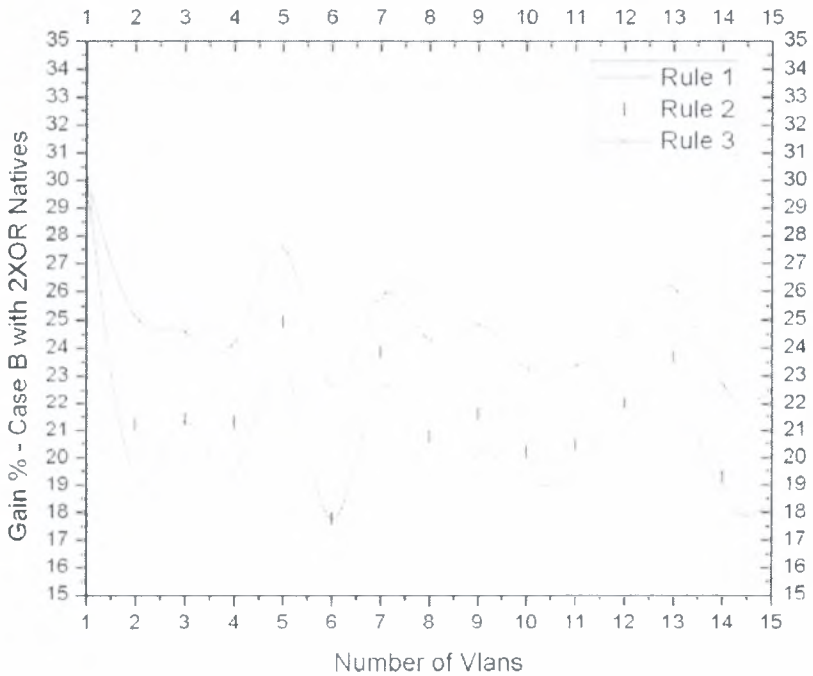
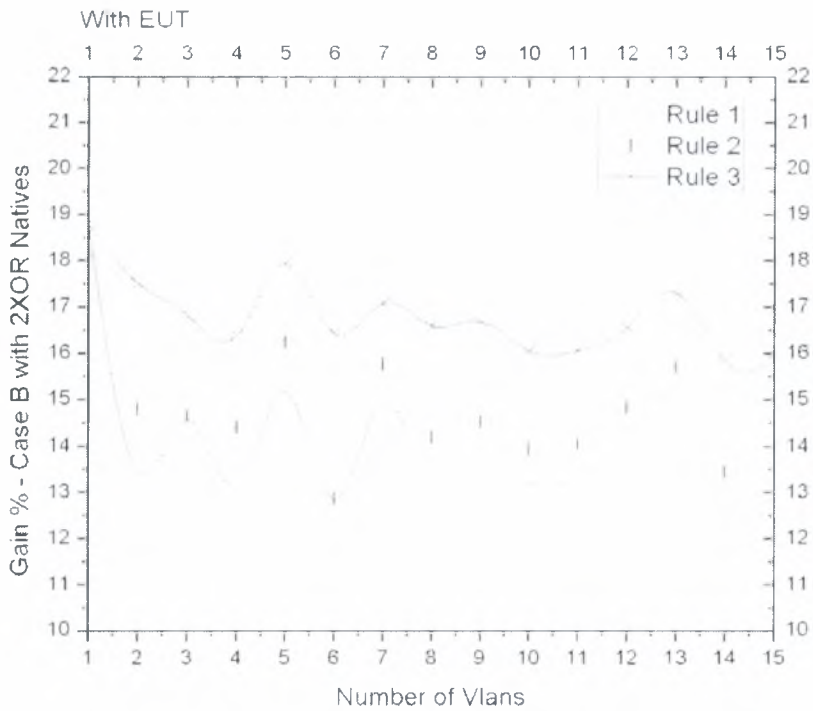
Το τρίτο ζευγάρι γραφικών απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της A2 προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 2 ροές. Και σε αυτή την περίπτωση ο κανόνας 3 υπερτερεί σε σχέση με τους άλλους 2. Ενώ για ένα vlan και οι τρεις κανόνες συνεισφέρουν

το ίδιο κέρδος, καθώς αυξάνουμε τον αριθμό των vlans τα κέρδη που δίνουν οι κανόνες 1 και 2 συνεχώς μειώνονται μέχρι σχεδόν να αρχίσουν να σταθεροποιούνται μετά το 6^ο vlan. Αντιθέτως για τον κανόνα 3 το κέρδος ελαφρά αυξάνεται και συγκλίνει από το 5^ο vlan και μετά στην τελική τιμή του κέρδους του 28%.



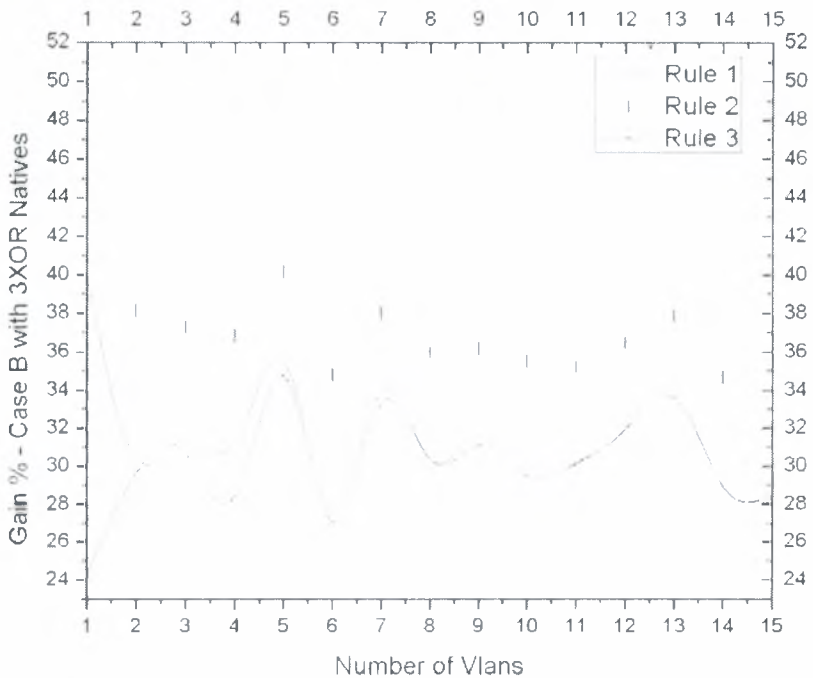
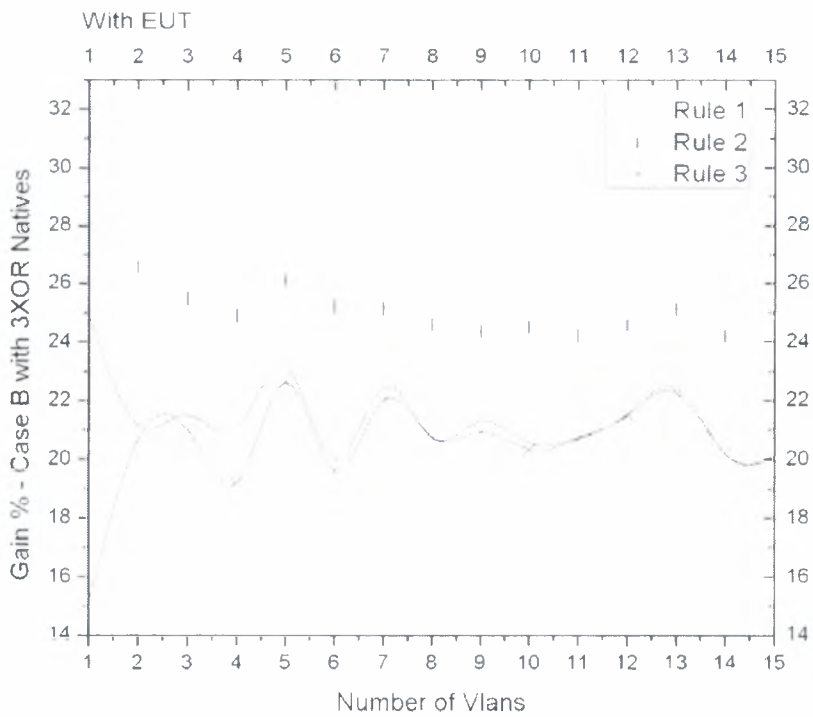
Το τέταρτο ζευγάρι γραφικών απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της A2 προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 3 ροές. Σε αυτή την περίπτωση διακρίνουμε ότι

όταν μετράμε μεταδόσεις προς τον τελικό χρήστη ο κανόνας 2 για τις διάφορες τιμές των vlans είναι προτιμότερος του κανόνα 3 και οδηγεί σε κέρδη που είναι 2 με 3 ποσοστιαίες μονάδες μεγαλύτερα. Αντίθετα στην περίπτωση χωρίς EUT ο κανόνας 3 ευδιάκριτα υπερτερεί για όλες τις τιμές των vlans > 1. Επίσης σημειώνουμε ότι κωδικοποιώντας 3 πακέτα και εφαρμόζοντας την περίπτωση A2 έχουμε πετύχει από τα μεγαλύτερα ποσοστιαία κέρδη στη ρυθμαπόδοση που αγγίζουν το 45% για αριθμό vlans > 5. Στην περίπτωση αυτή των 3XOR με A2 και οι τρεις κανόνες για αριθμό vlans >5 δίνουν υψηλά κέρδη που κυμαίνονται από 24% (στη χειρότερη περίπτωση) έως και 45% στην καλύτερη.



Το πέμπτο ζευγάρι γραφικών απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της B προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 2 ροές. Στην περίπτωση αυτή το ποσοστιαίο κέρδος κυμαίνεται από 17% - 27% για την χειρότερη (κανόνας 1 – 6 vlans) και για την

καλύτερη (κανόνας 3 - 5 v-lans) αντίστοιχα περίπτωση. Η μορφή των γραφικών, και για τους τρεις κανόνες, παρουσιάζει απότομες μεταβολές (αυξομειώσεις) σε όλη την εξομοίωση και μάλιστα μετά από τα 13 v-lans τα κέρδη μειώνονται αναλογικά και κυμαίνεται από 18% - 23%.

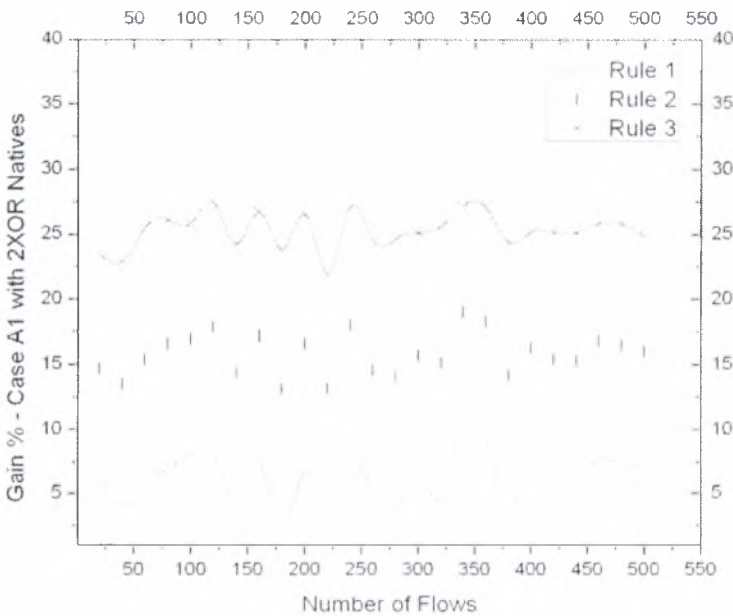
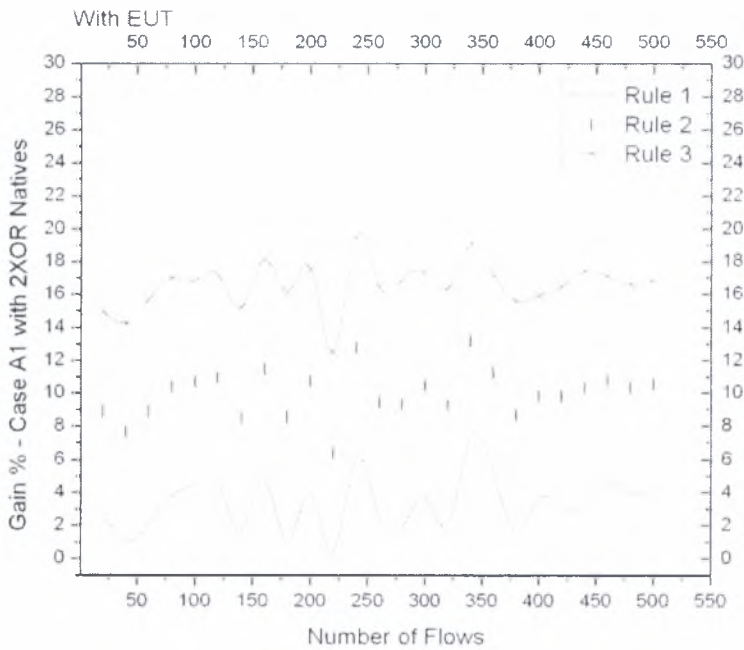


Το έκτο ζευγάρι γραφικών απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της Β προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 3 ροές. Σε αυτή την περίπτωση το μεγαλύτερο κέρδος, που το πετυχαίνουμε με τον κανόνα 2, ξεπερνά το 30% φτάνει το 40% για αριθμό

v lans = 5. Παρατηρούμε ότι για 3 και άνω v lans τα κέρδη που αποδίδουν οι κανόνες 1 και 3 είναι σχεδόν όμοια και οι γραφικές τους ταυτίζονται. Το θετικό είναι ότι και οι τρεις κανόνες αποδίδουν ποσοστιαίο κέρδος που ξεπερνά το 25%. Στις περιπτώσεις που κωδικοποιούμε 3 πακέτα ο κανόνας 2 φαίνεται πως είναι προτιμότερος λόγω του ότι όπως ορίσαμε μετά το σημείο κωδικοποίησης δεν χρειάζεται να αποστέλλονται όλα τα natives στους παραλήπτες.

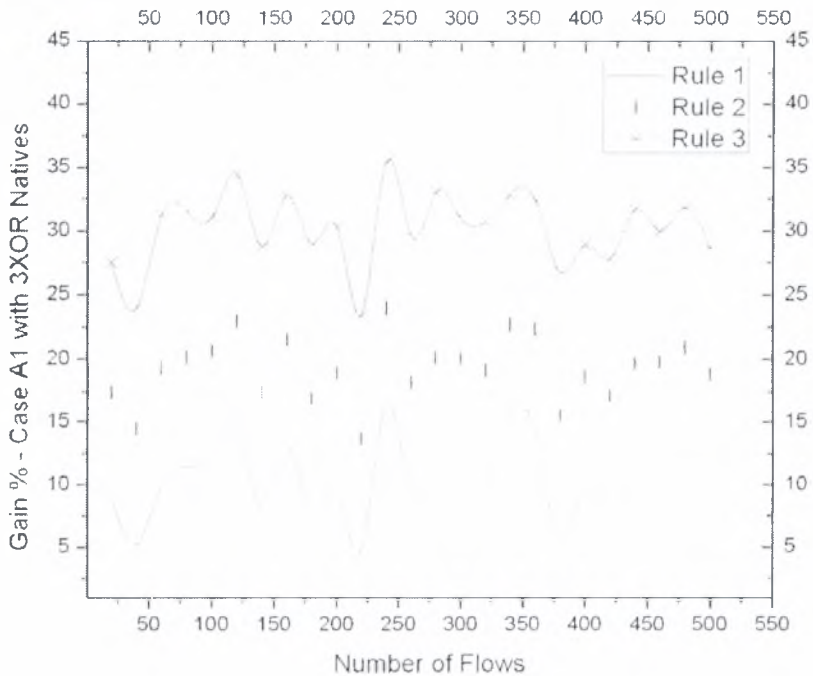
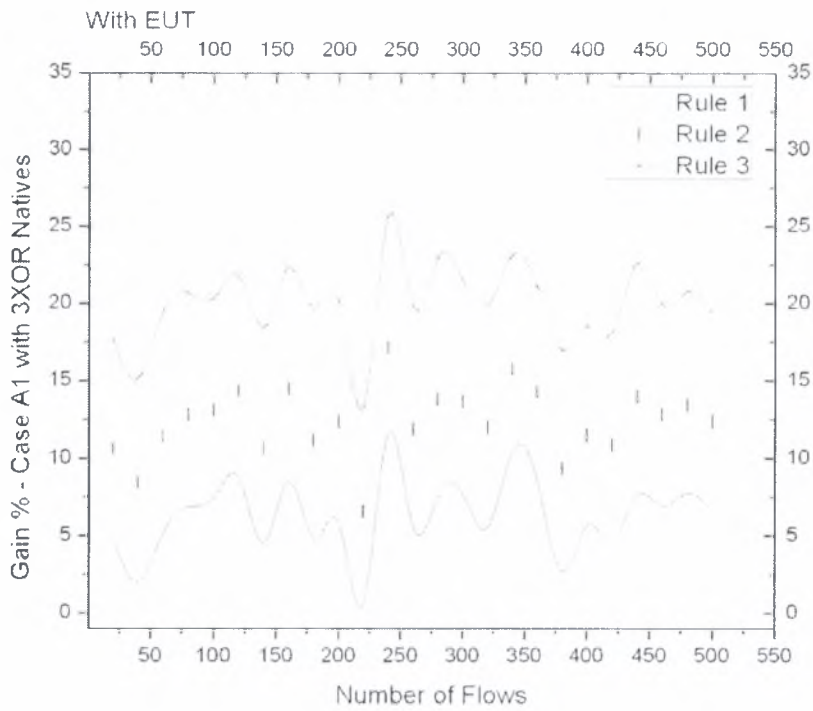
Περίπτωση 3: μεταβολή της ροής

Κρατάμε σταθερό τον αριθμό v lan και τον αριθμό των κόμβων και μεταβάλλουμε τον αριθμό των flow.



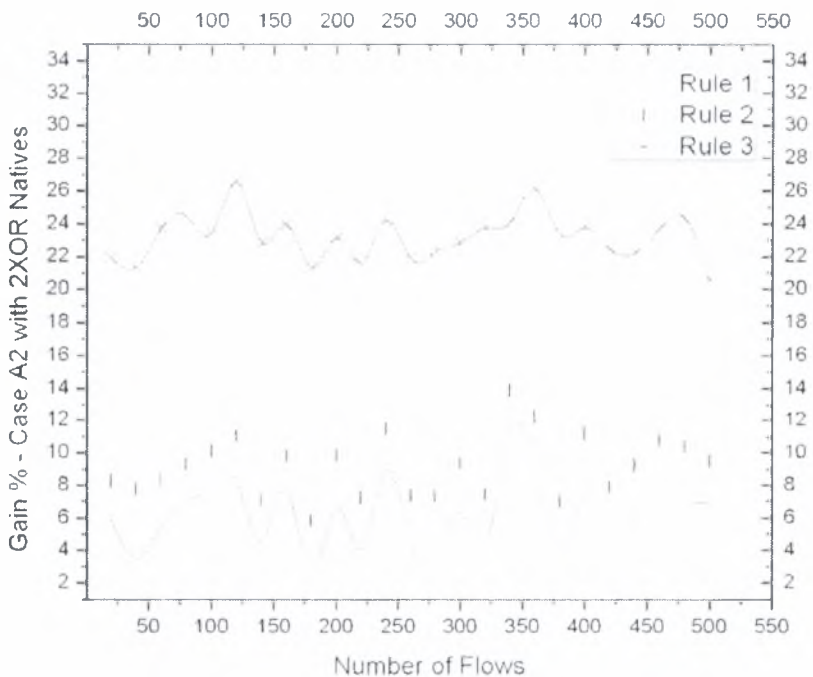
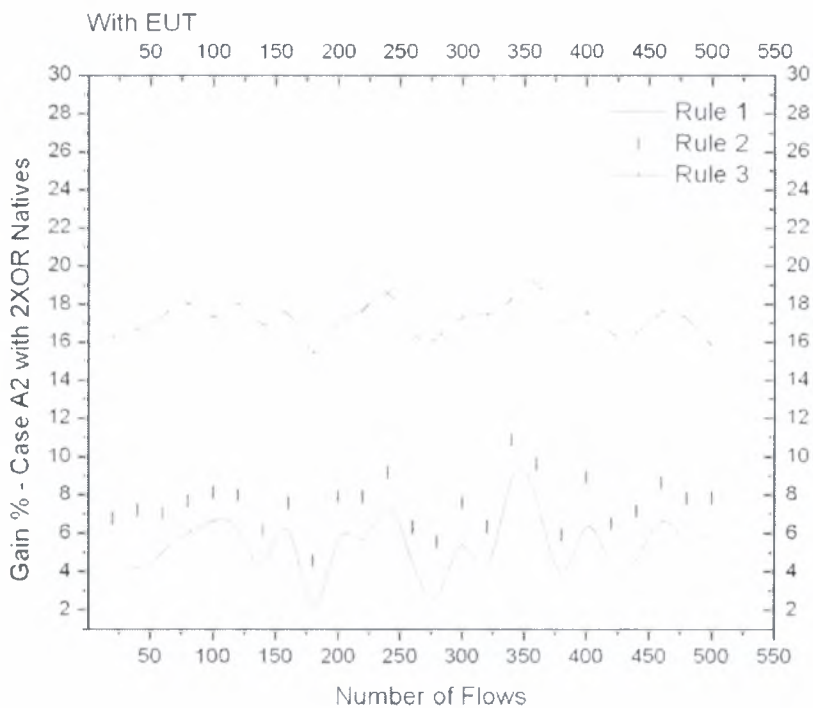
Το πρώτο ζευγάρι γραφικών της περίπτωσης 3 απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της Β προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 3 ροές. Στην περίπτωση αυτή, και για τους τρεις κανόνες, έχουμε και στις τρεις γραφικές αυξομειώσεις που κυμαίνονται από 3-6 ποσοστιαίες μονάδες. Και πάλι καταλληλότερος είναι ο κανόνας 3, συνεισφέροντας μεγαλύτερο ποσοστιαίο κατά μέσο όρο κέρδος της τάξης του 25% για την περίπτωση χωρίς

EUT. Και οι τρεις γραφικές έχουν παρόμοια μορφή. Όσο αυξάνουμε τα flows τόσο περισσότερες αυξομειώσεις στο κέρδος παρατηρούμε και αυτό είναι λογικό όσο αυξάνεται ο φόρτος στα trunks.



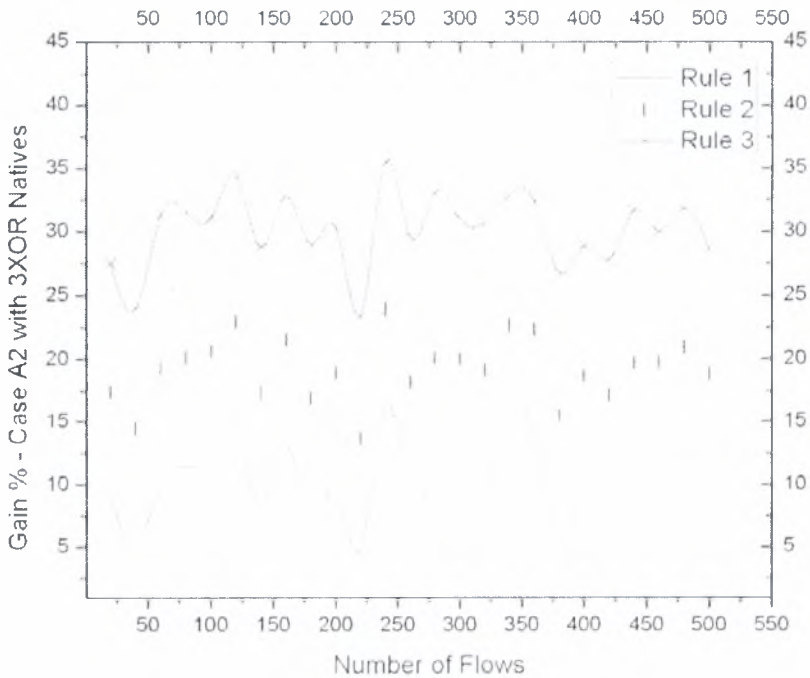
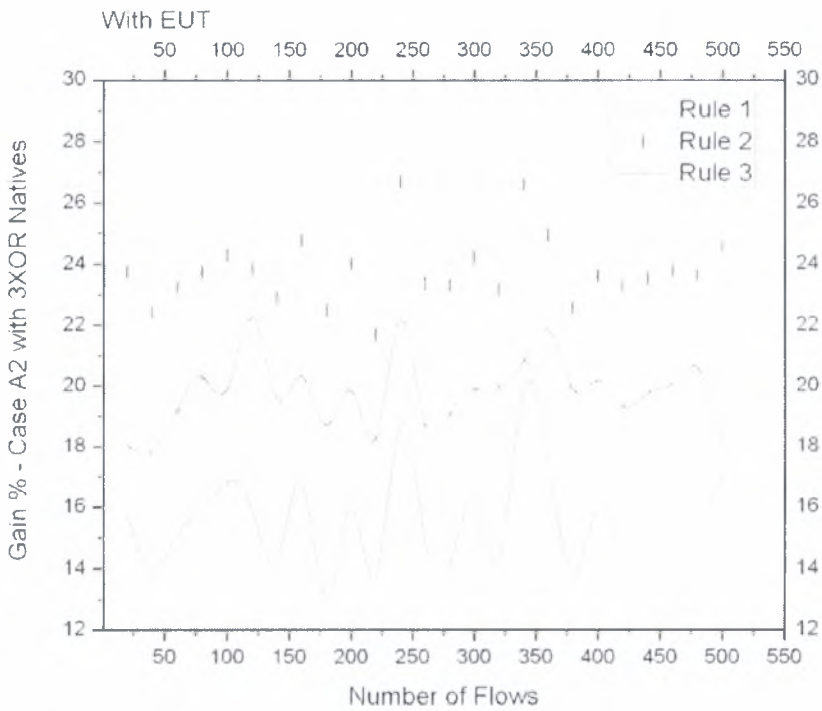
Το δεύτερο ζευγάρι γραφικών απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της A1 προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 3 ροές. Και σε αυτή την περίπτωση ο κανόνας 3

είναι ο συμφερότερος με ποσοστιαία κέρδη $> 30\%$. Μεγάλες αυξομειώσεις παρατηρούνται και για τους τρεις κανόνες στην περιοχή των 200 – 350 flows. Και εδώ το μορφότυπο των γραφικών είναι πανομοιότυπο με αναλογικές αυξήσεις και μειώσεις και για τους τρεις κανόνες αντίστοιχα.



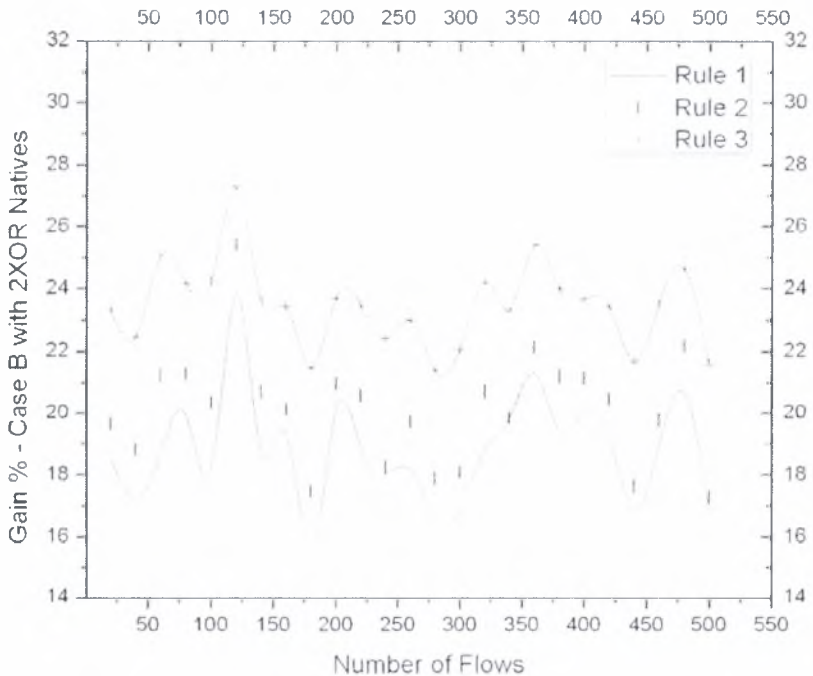
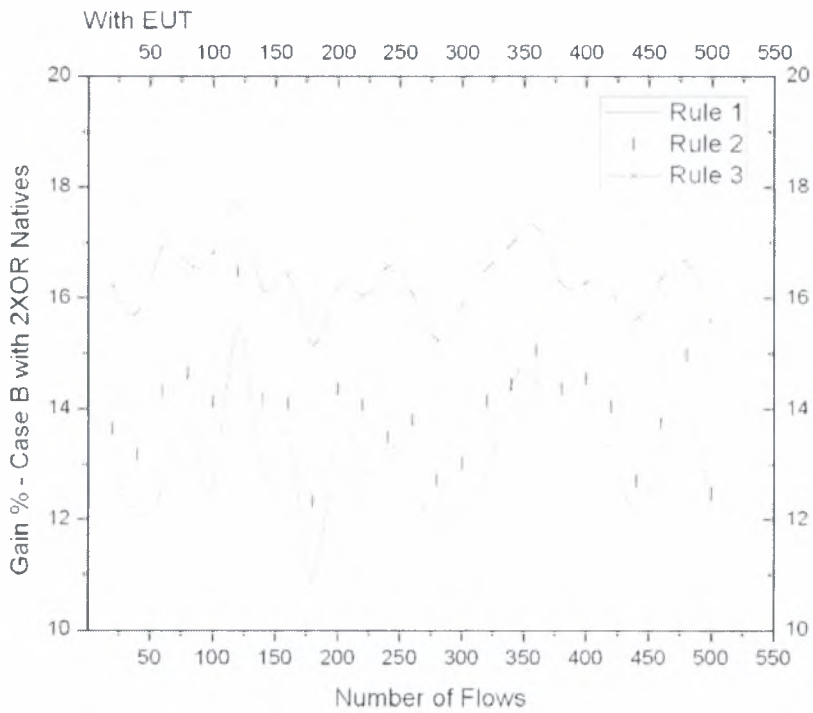
Το τρίτο ζευγάρι γραφικών απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της A2 προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 2 ροές. Στην περίπτωση αυτή ευδιάκριτα ο

κανόνας 3 οδηγεί σε κέρδη της τάξης του 20%-25% και με διαφορά 10-15 ποσοστιαίων μονάδων από τους άλλους δύο, τα κέρδη των οποίων είναι παρεμφερή. Η γραφική του κανόνα 3 παρουσιάζει πιο ομαλές αυξομειώσεις σε σχέση με τις άλλες δύο. Το μεγαλύτερο κέρδος παρουσιάζεται στον κανόνα 3 με flow = 300 και το χειρότερο στον κανόνα 1 με flow = 175.



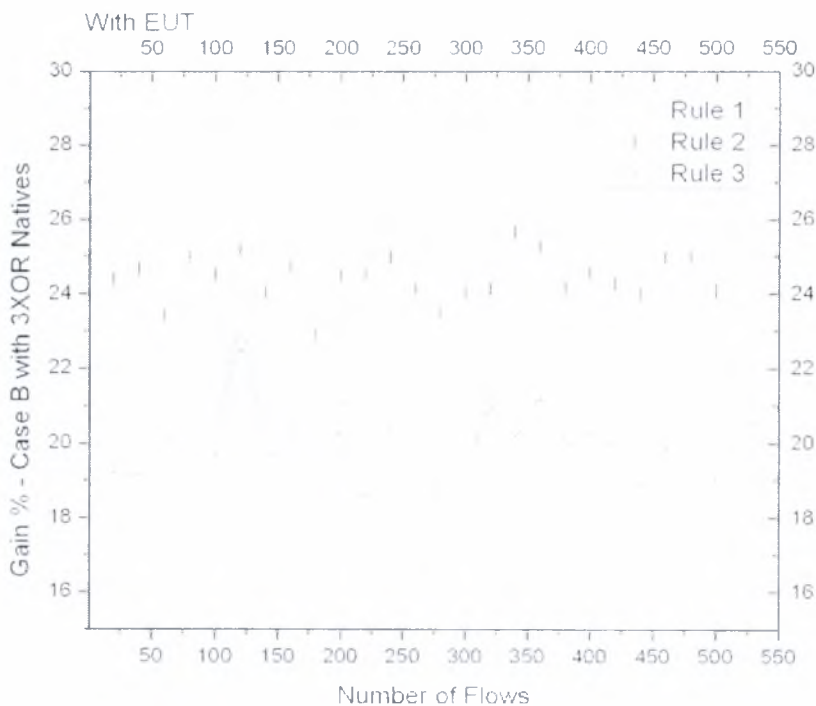
Το τέταρτο ζευγάρι γραφικών απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της A2 προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 3 ροές. Στην περίπτωση χωρίς υπολογισμό του

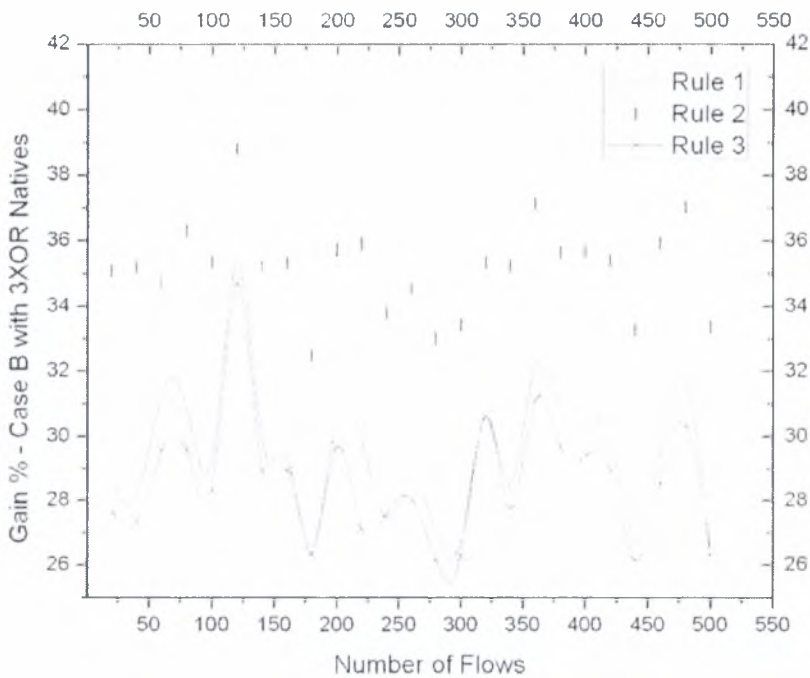
ΕΥΤ αυτή έχουμε κέρδος 35% για flow = 225 με τον κανόνα 3, που είναι και το μέγιστο παρατηρούμενο κέρδος. Αντίθετα όταν λάβουμε υπόψη και το ΕΥΤ, ο κανόνας 2 οδηγεί σε μέγιστο κέρδος της τάξης του 27% για flow = 225 και flow = 350 και γενικά είναι ο κανόνας με τα μεγαλύτερα κέρδη για κάθε τιμή του flow.



Το πέμπτο ζευγάρι γραφικών απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της Β προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 2 ροές. Στην περίπτωση αυτή ο κανόνας 3

οδηγεί σε μεγαλύτερα κέρδη από τους άλλους δύο για κάθε τιμή flows. Το μεγαλύτερο κέρδος παρατηρείται στο 27% για flow = 175. Για αυτόν τον αριθμό των flows παρατηρούνται τα μέγιστα των κερδών και για τους τρεις κανόνες αντίστοιχα.





Το έκτο ζευγάρι γραφικών απεικονίζει το συνολικό % κέρδος από την εφαρμογή της B προσέγγισης με κωδικοποίηση πακέτων από 3 ροές. Στην περίπτωση αυτή, με ή χωρίς μέτρηση EUT, ο κανόνας 2 είναι ο συμφερότερος και οδηγεί σε ποσοστιαίο κέρδος της τάξης του 40% για flows = 175 χωρίς EUT και σε κέρδος της τάξης του 26% για flows = 325 με EUT. Είναι μία από τις λίγες περιπτώσεις όπου ο κανόνας 2 ευδιάκριτα υπερτερεί των άλλων όσο αφορά στην αύξηση του κέρδους στη ρυθμαπόδοση. Και οι τρεις γραφικές έχουν παρόμοια μορφή όσο αφορά τις αυξομειώσεις τους με μέγιστες τιμές κερδών να σημειώνονται για flows = 175.

6. Συμπεράσματα

Η ιδέα της δικτυακής κωδικοποίησης είναι μια άμεσα εφαρμόσιμη τεχνική με μεγάλα πλεονεκτήματα σε καθαρά broadcast περιβάλλοντα και ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου λαμβάνουν χώρα ασύρματες μεταδόσεις.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την ποσοτικοποίηση των ωφελειών και την αύξηση της ρυθμαπόδοσης σε εφαρμογές ενσύρματων δικτύων με spanning tree και τεχνικές vlan όταν εφαρμόσουμε δικτυακή κωδικοποίηση στον τρόπο αποστολής πακέτων / frames στους αντίστοιχους αποδέκτες.

Παρουσιάστηκαν κάποιες θεωρήσεις για το ποιο επίπεδο του OSI είναι προτιμότερο να εφαρμοστεί network coding ανά περίπτωση κίνησης. Χωρίς να αποδεικνύουμε αυστηρά με μαθηματική απόδειξη τελικά πού πρέπει να γίνεται, αναλύουμε μέσω παραδειγμάτων ανά περίπτωση ότι μπορεί να έχουμε κωδικοποίηση ροών σε επίπεδο 2 με κωδικοποίηση frames, καθώς και μπορεί να έχουμε κωδικοποίηση σε επίπεδο 3 με κωδικοποίηση IP – πακέτων. Σε κάθε περίπτωση προτείνουμε, αν και δεν είναι μέρος της εργασίας, τι μορφή πρέπει να έχει το νέο κωδικοποιημένο frame ή πακέτο αντίστοιχα.

Οι περιπτώσεις που εξετάζουμε διεξοδικά μέσω προσομοιώσεων αφορούν κωδικοποίηση που γίνεται στο επίπεδο data link και σε τοπολογίες spanning tree όπου η ρίζα του δένδρου είναι ένας κόμβος (switch) ο οποίος συνδέεται με έναν router. Υποθέτουμε ότι οι τεχνικές network coding με απλό XOR θα εφαρμόζονται εντός του τοπικού δικτύου και για κίνηση που προορίζεται για άλλα LANs τα πακέτα θα δρομολογούνται ως natives από τον τελικό router.

Στο θεωρητικό μέρος της εργασίας προτείνουμε τρεις κανόνες δικτυακής κωδικοποίησης, οι οποίοι θα υποδεικνύουν κάθε φορά τον κόμβο που θα κάνει την κωδικοποίηση / αποκωδικοποίηση των πακέτων. Στη συνέχεια και για κάθε περίπτωση κωδικοποιημένων ροών υπολογίζουμε το συνολικό ποσοστιαίο κέρδος (% gain) από την εφαρμογή του αντίστοιχου κανόνα σε σχέση με την απλή προώθηση πακέτων χωρίς network coding.

Στις προσομοιώσεις που πραγματοποιήσαμε, υπολογίζοντας τα αντίστοιχα κέρδη για κάθε περίπτωση καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα: το μεγαλύτερο ποσοστιαίο κέρδος το έχουμε όταν οι εφαρμόσουμε την περίπτωση B με πολύπλεξη πακέτων από 3 ροές στον κανόνα 2 και αυτό είναι περίπου 40% για 5 vlans. Αυτό σημαίνει ότι είναι προτιμότερο να κωδικοποιούμε 3 πακέτα στον κοινό πατέρα των sources και κάθε switch να διατηρεί πληροφορία για 5 vlans. Στην περίπτωση αυτή σχεδόν στέλνουμε διπλάσιο όγκο πληροφορίας σε σχέση με την απλή προώθηση πακέτων. Σε αντίθεση με την περίπτωση αυτή, παρατηρούμε ότι δεν μας συμφέρει καθόλου να εφαρμόσουμε network coding όταν έχουμε πολύπλεξη πακέτων 2 ροών όπου η κωδικοποίηση θα γίνει με βάση την περίπτωση A1 και με τον κανόνα 1. Εκεί όχι μόνο κέρδος έχουμε, αλλά μπορεί να χάσουμε σε μεταδόσεις έως και 7% σε σχέση με την απλή προώθηση. Αυτές ήταν δύο ακρέες περιπτώσεις, αλλά γενικά η ιδέα εφαρμογής network coding σε επίπεδο 2 του OSI μειώνει τον αριθμό των transitions από 10% - 40% στην πλειονότητα των περιπτώσεων.

Η δική μας μελέτη απέδειξε ότι κυρίως στις περιπτώσεις που δεν μετρούμε το EUT, άρα αναφερόμαστε στα κέρδη των trunk links, πετυχαίνουμε σημαντικά κέρδη που ξεπερνούν το 25%-30% για κάθε κανόνα. Θα πρέπει επίσης να αναφέρουμε ότι οι τρεις κανόνες που προτείνονται δεν είναι πάντα διακριτοί, αλλά ανάλογα με τις ροές προς κωδικοποίηση (ζευγάρια ροών που επιλέγονται) μπορούν οι τρεις κανόνες να εκφυλιστούν σε έναν, όπου την πράξη της κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης θα την πραγματοποιήσει το switch – κοινός πατέρας των sources. Τέλος βασική παρατήρηση αποτελεί το γεγονός ότι η μεθοδολογία που ακολουθήσαμε ώστε να εφαρμόσουμε τεχνικές κωδικοποίησης, εφαρμόζεται σε spanning tree τοπολογίες οι οποίες γνωρίζουν ένα πολύ μεγάλο εύρος εφαρμογών.

7. Βιβλιογραφία

- [1] *Network information flow*, R. Ahlswede, N. Cai, S.-Y. R. Li, and R. W. Yeung, "" *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 46, no. 4, pp. 1204–1216, Jul. 2000.
- [2] *Network Coding: An Instant Primer*, Christina Fragouli et al, EPFL – IC, LCA-REPORT-2005-010
- [3] *An Algebraic Approach to Network Coding*, Ralf Koetter, Member, IEEE, and Muriel Médard, Senior Member, IEEE, *IEEE/ACM Transactions on networking*, vol. 11, no. 5, October 2003
- [4] *Network Coding Theory*, Raymond W. Yeung et al, The Chinese University of Hong Kong, China, whyeung@ie.cuhk.edu.hk
- [5] *Maximum Flow in Random Graphs*, Cem Derdiyok, LCM-EPFL, June 25, 2004
- [6] *Linear network coding*, S.-Y. R. Li, R. W. Yeung, and N. Cai *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 49, no. 2, pp. 371–381, Feb. 2003.
- [7] *On the X-ities of Network Coding in Wireless Networks*, Qunfeng Dong et al, University of Wisconsin, Madison, WI, USA
- [8] *XORs in The Air: Practical Wireless Network Coding*, Sachin Katti et al, MIT SAIL, Univ. of Cambridge.
- [9] *Network Coding for Wireless Applications: A Brief Tutorial*, Supratim Deb et al., Laboratory for Information and Decision Systems, Massachusetts Institute of Technology
- [10] *Wireless Broadcasting Using Network Coding*, Dong Nguyen, Thinh Nguy, Bella Bose, School of EECS, Oregon State University.
- [11] All info about vlans were found in Cisco CCNA curriculums and Cisco Press.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



904000091254