

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



ΠΜΣ Τεχνοοικονομική Διοίκηση και Ασφάλεια Ψηφιακών Συστημάτων

Τεχνοοικονομική Διοίκηση Ψηφιακών Συστημάτων

ΓΝΩΣΙΑΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Εισηγητής : Παναγιώτης Δεμέστιχας

Σπουδαστής : Μιχαολιάκος Μιχάλης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πρόκληση που παρουσιάζεται από την αύξηση της ζήτησης της ποιότητας των υπηρεσιών και των εφαρμογών είναι ήδη ορατή και λαμβάνεται σοβαρά υπόψη. Οι υφιστάμενες δικτυακές αρχιτεκτονικές καθώς και οι επιμέρους υποδομές έρχονται ήδη αντιμέτωπές με συνεχείς και εναλλασσόμενες ανάγκες των χρηστών καθιστώντας αυτές σε αρκετές περιπτώσεις μη λειτουργικές με τις απαιτήσεις τους. Η τερατώδης διανομή πληροφορίας και η ανάγκη για την εξυπηρέτηση τους από τα δίκτυα των τηλεπικοινωνιών, οδηγεί σε αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας αλλά και σε υψηλά λειτουργικά κόστη. Έτσι όπως διαμορφώνεται η πραγματικότητα ως προς τις ανάγκες που καλούνται να εξυπηρετήσουν τα δίκτυα υποδομών, είναι η κατάλληλη στιγμή να τεθούν στο προσκήνιο ζητήματα ανασχεδιασμού και διαχείρισης των μελλοντικών υποδομών με απώτερο σκοπό την αύξηση της αξιοπιστίας, της αποδοτικότητας αλλά και της μεγαλύτερης βιωσιμότητας τους.

Σημαντικό πυλώνα ως προς την εξεύρεση λύσεων που θα καλύπτουν τα ανωτέρω είναι η δημιουργία μιας πράσινης πολιτικής διαχείρισης και σχεδιασμού των εν δυνάμει δικτύων που θα έχει ως κύριο στόχο τον "χειρισμό" της κατανάλωσης της ενέργειας στα δίκτυα των ΤΠΕ.

Η ευρυζωνικότητα, οι ανάγκες για γρήγορη πρόσβαση στο διαδίκτυο και τις υπηρεσίες του, η ραγδαία αύξηση των χρηστών, η ψηφιοποίηση των κοινωνικών αλλά και των επιχειρηματικών διαδικασιών με την ταυτόχρονη άνοδο των ποσοστών κατανάλωσης της ενέργειας από το μέρος των ΤΠΕ επιταχύνει την υλοποίηση της ιδέας της πράσινης πολιτικής.

Ήδη η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εστιάζεται στο σχεδιασμό της Νέας Πληροφοριακής Στρατηγικής που πρέπει να χαρακτηρίζει τον τομέα της τεχνολογίας εν γένει. Η πράσινη πληροφορική λοιπόν, είναι προ των πυλών. Η ανάγκη για μείωση των εκπομπών ρύπων και CO₂ με την χρήση της τεχνολογίας αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στόχο για τις ΤΠΕ, καθώς αυτές ευθύνονται για το 2% των εκπομπών στον πλανήτη.

Η ανάπτυξη των ευρυζωνικών δικτύων και υποδομών ψηφιακών υπηρεσιών θα πρέπει πλέον να συμβάλει στην επίτευξη του στόχου της Ένωσης για μείωση των εκπομπών των θερμοκηπιακών αερίων, καθιστώντας ως κύριο στόχο την εξεύρεση ενεργειακά αποδοτικών λύσεων σε πολλούς τομείς της ευρωπαϊκής οικονομίας.

Τροχοπέδη ως προς τον πράσινο στόχο, στις υφιστάμενες διαδικτυακές υποδομές και τα ετερογενή δίκτυα αποτελεί η έλλειψη του εξοπλισμού που μπορεί να μετρήσει αλλά και να διαχειριστεί την ενέργεια. Σε αυτό το σημείο οι τεχνικές μηχανικής της πληροφορίας λαμβάνουν χώρα, έτσι ώστε να μπορέσουν να δημιουργήσουν ένα εύφορο έδαφος ως προς την ανάπτυξη αποδοτικά ενεργειακών δικτυακών υποδομών.

Η μηχανική κυκλοφορίας μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών διαχείρισης θα μπορέσει να διαχειριστεί την πληροφορία με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η εξισορρόπηση φόρτου, η απόδοση και η αξιοπιστία της υπηρεσίας.

Επομένως η διαχείριση των ενεργειακά αποδοτικών δικτύων θα επιφέρει την αύξηση της αξιοποίησης της χρήσης του δικτύου που θα οδηγήσει σε ταυτόχρονη μείωση των κεφαλαιακών (CAPEX) και λειτουργικών δαπανών (OPEX) αφού θα εξοικονομηθούν χρήματα τόσο από την επένδυση σε νέο εξοπλισμό όσο και από την μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας από τις υποδομές πυρήνα.

Λέξεις κλειδιά : αυτόνομα δίκτυα, μηχανική κίνησης , εξισορρόπηση φορτίου, ενεργειακή απόδοση, γνωσιακή διαχείριση

ABSTRACT

The challenge presented by the rise of demand for Quality of services and applications, is already visible and is taken under seriously considerations. Present network architectures are facing regular and alternate user needs, becoming more and more difficult to comply and function with their demands. The monstrous data distribution and the need to service them through telecommunications networks drives into on ongoing consumption of energy and high costs (Opex and Capex). In the way that needs growing over and over it's the right time to put for issues of re-development and administration of future infrastructures focusing on reliability, performance and increase their life cycle.

Important pillar in order to find solutions regarding the above issues is the creation of a green management policy planning that will primarily target the 'handling' of the energy consumption in ICT networks.

Broadband, the need for fast internet access and services, the rapid growth of users, the digitization of society and business processes with the simultaneous increase in energy consumption figures from the part of the ICT accelerate the implementation of the idea of green policy. Demand for fast internet access and services, rapid growth of users and the digitization of society and business processes with the increase in energy consumption of the ICT accelerate the needs for the implementation of the green management policy.

The European Commission has already focused on the design of a new IT strategy that should characterize the technology industry . Therefore Green computing is In front of us .The reduction of CO2 emissions with the use of technology is a very important objective for ICT, as they account for 2% of emissions on the planet.

Development of broadband networks and digital service infrastructures must now contribute to achieving the EU to reduce emissions of greenhouse gases, making the main objective of finding energy efficient solutions in many sectors of the European economy.

Barrier for the green target, is the lack of equipment that can measure and manage energy in the existing infrastructure of heterogeneous networks. At this point the traffic engineering mechanism of information taking place, so that we can create a fertile ground for the development of energy efficient network infrastructures.

Traffic engineering in an automated management process will be able to manage the data rows in such a way as to ensure the balancing workload, performance and reliability

of the service so that it leads to a reduction in energy consumption. In conclusion, the management of energy-efficient networks will lead to increased utilization of network use while reducing capital (CAPEX) and operational expenditures (OPEX) by reducing the energy consumption of core infrastructures.

Keywords: autonomous networks, traffic engineering, load balancing, energy Efficiency , cognitive management,

ΠΕΙΡΑΙΑΣ
2013

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον κο Παναγιώτη Δεμέστιχα για την καθοδήγηση του καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου σπουδών αλλά και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον κο Κωνσταντίνο Τσαγκάρη και στον κο Βασίλειο Φωτεινό για τις ουσιαστικές υποδείξεις τους καθώς και για τη δημιουργική και ευχάριστη συνεργασία που είχαμε σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Αφιερωμένη στους γονείς μου, τον Στέλιο και την Βασιλική

Μιχαολιάκος Μιχάλης

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
2	ΠΡΑΣΙΝΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ	13
2.1	Εισαγωγή	13
2.2	Πράσινες Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ)	14
2.3	Ο ρόλος της ΕΕ στη Πράσινη Πολιτική	15
2.4	Ρυθμιστική Αρχή - Νομικό Πλαίσιο	16
2.5	Συμπεράσματα	16
3	ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΔΙΚΤΥΑ	18
3.1	Εισαγωγή	18
3.2	Προκλήσεις Διαχείρισης Μελλοντικών Δικτύων	18
3.2.1	Εισαγωγή	18
3.2.2	Πολυπλοκότητα Δικτύων	18
3.2.3	Κόστος διαχείρισης	19
3.2.4	Δυναμικές Ανάγκες Χρηστών	19
3.3	Αυτόνομη Δικτύωση	19
3.4	Αυτόνομη Διαχείριση	20
3.5	Αυτόνομη Μηχανική Κίνησης	21
3.6	Συμπεράσματα	22
4	ΓΝΩΣΙΑΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ	23
4.1	Εισαγωγή	23
4.2	Γνωστικά Δίκτυα	23
4.2.1	Γενικά	23
4.2.2	Ορισμός	24
4.3	Λειτουργία Γνωστικών Δικτύων	24
4.4	Διαχείριση Γνωστικών Δικτύων	25
4.5	Συμπεράσματα	25
5	ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗΣ (TRAFFIC ENGINEERING)	27
5.1	Γενικά	27
5.2	Χαρακτηριστικά Μηχανική Κίνησης	27
5.3	Λειτουργία Μηχανικής Κίνησης	28
5.4	Εφαρμογή Μηχανικής Κίνησης	28
5.5	Συμπεράσματα	29

6	MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING (MPLS)	30
6.1	Εισαγωγή	30
6.2	Λειτουργία Mpls	30
6.2.1	Γενικά	30
6.2.2	Ορολογία	31
6.2.3	Πρώθηση Πληροφορίας MPLS	32
6.2.4	Label Imposition-Disposition	34
6.3	Μηχανική Κίνησης & MPLS	34
6.4	Mpls -Qos	35
6.5	Συμπεράσματα	36
7	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	37
7.1	Εισαγωγή	37
7.2	Ενεργειακές Προσεγγίσεις	37
7.2.1	Αεναργοποίηση Δικτυακών Οντοτήτων	37
7.2.2	Ενεργειακά αποτελεσματικός δικτυακός Σχεδιασμός	38
7.2.3	Πρώθηση ενεργειακών πακέτων	38
7.2.4	Ενεργειακή Δρομολόγηση	38
7.3	Παράδοξο του Jevons	39
7.4	Συμπεράσματα	39
8	ENERGY EFFICIENCY- OPEX COSTS	40
8.1	Εισαγωγή	40
8.2	Δαπάνες	40
8.3	Κατανάλωση Ενέργειας	40
9	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ENERGY-EFFICIENCY NETWORK ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ GNS 3	42
9.1	Graphical Network Simulator	42
9.2	Γρήγορο Εγχειρίδιο Εγκατάστασης (για Windows OS)	43
9.3	Εγχειρίδιο Χρήσης	44
10	ΕΕΜ	48
11	JPERF	52
12	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ	55
12.1	Εισαγωγή	55
12.2	Τοπολογία	56
12.3	Δικτυακές Οντότητες	57
12.4	Παραμετροποίηση Δικτυακών Οντοτήτων	57

12.4.1	Παραμετροποίηση Διευθυνσιοδότησης	57
12.4.2	Παραμετροποίηση Ospf	58
12.4.3	Παραμετροποίηση Mpls	66
12.4.4	Traceroutes	80
12.4.5	Παραμετροποίηση MPLS TE	82
12.4.6	Αυτοματοποιημένη Διαχείριση Υποδομής	98
12.4.7	Παραμετροποίηση Αυτοματοποιημένης Διαχείρισης	101
12.5	Καταναλώσεις Δρομολογητών	105
12.6	Ενεργειακή Τοπολογία	106
12.7	Scenario	107
12.7.1	Γενικά	107
12.7.2	Μετρήσεις Κατανάλωσης της Ενέργειας	107
12.7.3	Ροές Δεδομένων	108
12.7.4	Διαγράμματα	109
12.7.5	Συγκριτικά περιπτώσεων Κατανάλωσης της Ενέργειας	114
12.7.6	End to End Power Consumption	116
12.8	Συμπεράσματα	117
12.9	Μελλοντικά Βήματα	118
13	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	119
13.1	Μετρήσεις Μνήμης	119
13.1.1	Γενικά	119
13.1.2	Μετρήσεις Μνήμης (Τελική - Αρχική ***)	119
13.2	Συμπεράσματα	121
13.3	Μετρήσεις CPU	122
13.3.1	Προτιμώμενα Μονοπάτια	122
13.3.2	Μετρήσεις Cpu	122
13.3.3	Διαγράμματα Cpu	122
13.4	Συμπεράσματα	128
14	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ & ΠΙΝΑΚΩΝ	129
15	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	132
15.1	Βιβλιογραφία	132

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια τα δίκτυα Τηλεπικοινωνιακών Παρόχων έρχονται αντιμέτωπα με την ραγδαία αύξηση του όγκου της μεταδιδόμενης πληροφορίας αλλά και της συνεχούς ανάγκης για υψηλή ποιότητα υπηρεσίας προς τους χρήστες-καταναλωτές. Οι υφιστάμενες δικτυακές αρχιτεκτονικές καθώς και οι επιμέρους υποδομές έρχονται ήδη αντιμέτωπές με συνεχείς και εναλλασσόμενες ανάγκες των χρηστών καθιστώντας αυτές σε αρκετές περιπτώσεις μη λειτουργικές με τις απαιτήσεις τους. Οι ολοένα και αυξανόμενες ανάγκες οδήγησαν στην υλοποίηση δαιδαλωδών δικτυακών υποδομών πυρήνα με άναρχο τρόπο με αποτέλεσμα να υπάρχει υψηλό διαχειριστικό κόστος αλλά και υψηλή κατανάλωση ενέργειας .

Έτσι όπως διαμορφώνεται η πραγματικότητα ως προς τις ανάγκες των χρηστών αλλά και τα οικονομικό-κοινωνικά πλαίσια που ορίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση, είναι η κατάλληλη στιγμή να τεθούν στο προσκήνιο ζητήματα ανασχεδιασμού και διαχείρισης των μελλοντικών υποδομών των Τηλεπικοινωνιακών Παρόχων με απώτερο σκοπό την αύξηση της αξιοπιστίας, της αποδοτικότητας αλλά και της μεγαλύτερης βιωσιμότητας τους.

Σημαντικό πυλώνα ως προς την εξεύρεση λύσεων που θα καλύπτουν τα ανωτέρω είναι η δημιουργία μιας πράσινης πολιτικής διαχείρισης και σχεδιασμού των εν δυνάμει δικτύων που θα έχει ως κύριο στόχο τον "χειρισμό" της κατανάλωσης της ενέργειας στα δίκτυα των ΤΠΕ.

Η ευρυζωνικότητα, οι ανάγκες για γρήγορη πρόσβαση στο διαδίκτυο και τις υπηρεσίες του, η ραγδαία αύξηση των χρηστών, η ψηφιοποίηση των κοινωνικών αλλά και των επιχειρηματικών διαδικασιών με την ταυτόχρονη άνοδο των ποσοστών κατανάλωσης της ενέργειας από το μέρος των ΤΠΕ επιταχύνει την υλοποίηση μιας πράσινης πολιτικής σχεδιασμού αλλά και παροχής ποιότητας υπηρεσίας προς τους χρήστες. Ήδη η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εστιάζει στο σχεδιασμό της Νέας Πληροφοριακής Στρατηγικής που πρέπει να χαρακτηρίζει τον τομέα της τεχνολογίας εν γένει. Η πράσινη πληροφορική λοιπόν, είναι προ των πυλών. Η ανάγκη για μείωση των εκπομπών ρύπων και CO₂ με την χρήση της τεχνολογίας αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στόχο για τις ΤΠΕ, καθώς αυτές ευθύνονται για το 2% των εκπομπών ρύπων στον πλανήτη. Η ανάπτυξη των ευρυζωνικών δικτύων και υποδομών ψηφιακών υπηρεσιών θα πρέπει πλέον να συμβάλει στην επίτευξη του στόχου της Ένωσης για μείωση των εκπομπών των θερμοκηπιακών αερίων, καθιστώντας ως κύριο στόχο την εξεύρεση ενεργειακά αποδοτικών λύσεων σε πολλούς τομείς της ευρωπαϊκής οικονομίας.

Τροχοπέδη ως προς τον πράσινο στόχο, στις υφιστάμενες διαδικτυακές υποδομές και τα ετερογενή δίκτυα αποτελεί η έλλειψη του εξοπλισμού που μπορεί να μετρήσει αλλά και να διαχειριστεί την ενέργεια. Σε αυτό το σημείο οι τεχνικές μηχανικής της κίνησης λαμβάνουν χώρα, έτσι ώστε να μπορέσουν να δημιουργήσουν ένα εύφορο έδαφος ως προς την ανάπτυξη αποδοτικά ενεργειακών δικτυακών υποδομών. Η μηχανική κυκλοφορίας μέσω

αυτοματοποιημένων διαδικασιών διαχείρισης θα μπορέσει να διαχειριστεί την πληροφορία με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η εξισορρόπηση φόρτου, η απόδοση και η αξιοπιστία της υπηρεσίας με ενεργειακά αποδεκτό τρόπο.

Κατά αυτόν τον τρόπο η διαχείριση των ενεργειακά αποδοτικών δικτύων θα οδηγήσει στην αύξηση της αξιοποίησης της χρήσης του δικτύου με ταυτόχρονη μείωση των κεφαλαιακών δαπανών (CAPEX) αφού θα εξοικονομηθούν χρήματα τόσο από την επένδυση σε νέο εξοπλισμό όσο και από την μείωση των λειτουργικών δαπανών (OPEX) από την κατανάλωση της ενέργειας από τη ίδια την υποδομή.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την διατύπωση του προβλήματος Energy aware Traffic Engineering, τον ρόλο της μηχανικής κίνησης στην μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας στα δίκτυα πυρήνα, ενώ στο τέλος εμφανίζονται μια σειρά από αποτελέσματα προσομοιώσεων που επιβεβαιώνουν την δυνατότητα της μηχανικής κίνησης να ικανοποιεί τις ανάγκες των μελλοντικών δικτύων για μείωση των λειτουργικών εξόδων μέσω της κατανάλωσης της ενέργειας.

Το υπόλοιπο του εγγράφου οργανώνεται ως εξής:

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι έννοιες της πράσινης πληροφορικής, των πράσινων τεχνολογιών και του ρόλου του νομοθέτη για την εισαγωγή της πράσινης πολιτικής στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται αναφορά στα αυτόνομα δίκτυα και στον σημαντικό ρόλο της αυτόνομης δικτύωσης αλλά και της αυτόνομης διαχείρισης στα δίκτυα μεταφοράς δεδομένων.

Στο κεφάλαιο 4 επικεντρωνόμαστε στα γνωσιακά δίκτυα, στο σκοπό τους, στη λειτουργία τους και στη διαχείριση τους.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η λειτουργία της μηχανικής κίνησης (traffic engineering), τα χαρακτηριστικά της και η σημαντικότητα της εφαρμογής της στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών.

Στο κεφάλαιο 6 επικεντρωνόμαστε στην τεχνολογία του MPLS, στη λειτουργία του και στην συλλειτουργία του με τη μηχανική κίνησης και την ποιότητα της υπηρεσίας στα δίκτυα μεταφοράς.

Στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζουμε τα ενεργειακά μοντέλα λειτουργίας, τις ενεργειακές προσεγγίσεις και την εφαρμογή τους στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών που θα οδηγήσει στην μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας και κατ' επέκταση στη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος των ΤΠΕ.

Στο κεφάλαιο 8 αναφερόμαστε στη σύνδεση της κατανάλωσης της ενέργειας με τις λειτουργικές δαπάνες και τα κόστη κεφαλαίου.

Στο κεφάλαιο 9 παρουσιάζεται το πρόγραμμα προσομοίωσης GNS3 ,τα δομικά στοιχεία λειτουργίας του, και τα μοντέλα από τα οποία αποτελείται.

Στο κεφάλαιο 10 παρουσιάζεται η τεχνολογία EEM και ο τρόπος λειτουργίας της στους δρομολογητές της Cisco καθώς και παραδείγματα εφαρμογής του στους Cisco δρομολογητές.

Στο κεφάλαιο 11 αναφερόμαστε στο πρόγραμμα δημιουργίας κίνησης JPERF, τον τρόπο λειτουργίας και τα κύρια χαρακτηριστικά του .

Στο κεφάλαιο 12 επικεντρωνόμαστε σε επιλεγμένα σενάρια και την υλοποίηση τους και παρουσιάζουμε γραφήματα που παρουσιάζουν μετρήσεις power consumption και end to end power consumption από τις δικτυακές οντότητες της τοπολογίας.

Σκοπός της διπλωματικής.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να μελετήσει την ανάπτυξη, την προσομοίωση και την αξιολόγηση ενεργειακά αποτελεσματικής δικτυακής αρχιτεκτονικής με την βοήθεια της γνωσιακής διαχείρισης και την προσθήκη ευφυών χαρακτηριστικών στη απόφαση δρομολόγησης της πληροφορίας. Η δρομολόγησης της πληροφορίας θα πραγματοποιείται με την χρήση μηχανισμών κίνησης(traffic engineering) ενώ η διαχείριση της δρομολόγησης θα λαμβάνει υπόψη τεχνοοικονομικά κριτήρια, όπως χειρισμός της κατανάλωσης της ενέργειας που οδηγεί στην μείωση των λειτουργικών εξόδων της υποδομής.

Ουσιαστικά οδηγηθήκαμε στην δημιουργία μιας αρχιτεκτονική δικτύου πυρήνα, όπου θα πραγματώνονται ενεργειακά μονοπάτια δρομολόγησης έτσι ώστε να παρέχεται αξιόπιστη, αποδοτική και ποιοτική υπηρεσία αλλά και να καθίσταται η δικτυακή υποδομή ως βιώσιμη τόσο τεχνολογικά όσο και οικονομικά. Η κατανεμημένη αρχιτεκτονική που δημιουργήσαμε λαμβάνει αποφάσεις με την χρήση αλγορίθμου που εκτελείται αυτόνομα λαμβάνοντας υπόψη προκαθορισμένα κριτήρια της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Απώτερος σκοπός του αλγορίθμου είναι να εξισορροπήσει τον φόρτο με συνεχείς εναλλαγές των ενεργών διασυνδέσεων της υποδομής έτσι ώστε να μειώνεται η κατανάλωση της ενέργειας.

2 ΠΡΑΣΙΝΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

2.1 Εισαγωγή

Παρατηρώντας κανείς τις τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων ετών σχετικά με το διαδίκτυο εύλογα διερωτάται:

«Η τεχνολογική ανάπτυξη της πληροφορικής δημιούργησε τις διαδικτυακές καταναλωτικές προσδοκίες που μεταφράστηκαν σε ανάγκες ή η καταναλωτική αδηφαγία μεταφέρθηκε στο κλάδο της πληροφορικής και οδήγησε σε τεχνολογική εξέλιξη ;»

Όποια και να είναι η απάντηση στο παραπάνω ερώτημα, είναι γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών σε συνεργασία με τους μεγάλους κατασκευαστές κατάφεραν να απαντήσουν στις προκλήσεις της εποχής, που ήταν :

- η απελευθέρωση της αγοράς της κινητής
- η ανάγκη για την διανομή φωνής, δεδομένων και πολυμεσικών εφαρμογών από το διαδίκτυο
- η ανάγκη χρήσης της τεχνολογίας ως υπηρεσία σε πολλαπλούς κλάδους (υγεία-παιδεία, μμμ)

αλλά και να τις αντιμετωπίσουν με ιδιαίτερη επιτυχία. Η σύγκλιση των ετερογενών δικτύων κινητής και δεδομένων και η δημιουργία ενοποιημένων δικτύων επόμενης γενιάς είναι πλέον γεγονός. Τα δίκτυα επόμενης γενιάς κατάφεραν να εξυπηρετήσουν ταυτόχρονα ετερογενείς τύπους υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις δικτυακής υποδομής βασισμένα στη τεχνολογική σουίτα TCP/IP έχοντας ως κύρια χαρακτηριστικά σχεδιασμού :

- Την διαθεσιμότητα
- Την αξιοπιστία
- Την υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων και υπηρεσιών
- Την ασφάλεια
- Την υψηλή απόδοση

Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι ο σχεδιασμός των ανωτέρω υποδομών θα έπρεπε να επιτρέπει την δημιουργία όσο το δυνατόν περισσότερο “ανθεκτικών δικτύων”, όπου έρεπε να καταφέρουν να ανταποκριθούν στην αύξηση των απαιτήσεων για όλο και υψηλότερη αλλά και εγγυημένη ποιότητα των υπηρεσιών προς τον καταναλωτή. Δηλαδή οι κατασκευαστές κατασκεύαζαν και οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών απλά σχεδίαζαν αρχιτεκτονικές για να ικανοποιήσουν τους

πελάτες τους. Απόρροια των παραπάνω ήταν η ανάπτυξη δικτυακών υποδομών όπου να μεν άντεξαν την ετερογένεια των υποδομών-υπηρεσιών αλλά αύξησαν αρκετά τα λειτουργικά κόστη (κόστος διαχείρισης, κόστος συντήρησης και κόστος ενεργειακής κατανάλωσης), ενώ οι περισσότερες υποχρησιμοποιούν τους πόρους τους.

Οι τάσεις της σημερινής εποχής όμως άλλαξαν, οι κοινωνικό-οικονομικές αλλαγές έφεραν ανατροπές που επηρεάζουν άμεσα τις υποδομές των Τηλεπικοινωνιακών Παρόχων και πλέον η ανάγκη για ανασχεδιασμό των υποδομών είναι υπαρκτή και ιδιαίτερα κρίσιμη.

2.2 Πράσινες Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ)

Η ανάπτυξη ανθεκτικών υποδομών από την πλευρά των ΤΠΕ επιβάρυνε την ατμόσφαιρα λόγω της μεγάλης ενεργειακής κατανάλωσης. Πιο συγκεκριμένα αναφέρουμε ότι η ενεργειακή κατανάλωση από τη χρήση εξοπλισμού και υπηρεσιών ΤΠΕ αφορά το 10% περίπου της ηλεκτρικής κατανάλωσης στην Ευρώπη, και το 2% των εκπομπών CO₂, ποσοστό το οποίο αναμένεται να τριπλασιαστεί έως το 2020 [1]. Ο στόχος λοιπόν των Τηλεπικοινωνιακών Παρόχων είναι να καταφέρουν να αποκτήσουν πράσινο “χαρακτήρα” στην εν γένει λειτουργία τους που θα οδηγήσει σε νέες πρακτικές διαχείρισης, νέα προϊόντα κατανάλωσης αλλά και υπηρεσίες πληροφορικής και επικοινωνιών φιλικές προς το περιβάλλον, έτσι ώστε σε πρώτη φάση να μειωθεί το ποσοστό ενεργειακής κατανάλωσης τους.

Η πρώτη πρόκληση επομένως είναι να μειωθεί το ενεργειακό αποτύπωμα των ίδιων των ΤΠΕ, αναπτύσσοντας παράλληλα καινοτόμες αλλά και λιγότερο ενεργοβόρες τεχνολογίες. Επομένως γίνεται αντιληπτό ότι θα πρέπει να επιστρατευτεί η τεχνολογία προκειμένου ο κλάδος των ΤΠΕ να γίνει λιγότερο ενεργοβόρος.

Τι σημαίνει όμως πράσινη πληροφορική ;

Στην πραγματικότητα για τους ΤΠΕ η πράσινη πληροφορική σημαίνει την δημιουργία ενεργειακών αποδοτικά data centers, λιγότερο ενεργοβόρων δικτυακών αρχιτεκτονικών, χρήση εξοπλισμού χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, χρήση τεχνολογιών virtualization, cloud computing, teleconferencing & telepresence, δημιουργία εικονικών Παρόχων και φυσικά προσπάθεια για χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας.

Το όφελος που θα προκύψει από τη χρήση των ΤΠΕ για την αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου αναμένεται να αντισταθμίσει τη μόλυνση που προκαλούν οι ίδιες ΤΠΕ έτσι ώστε να μπορούμε να μιλάμε για Πράσινες ΤΠΕ. Από μελέτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης προκύπτει ότι οι ΤΠΕ θα καταφέρουν να μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση περίπου στο 11 % [2] αν εφαρμόσουν ενεργειακά μοντέλα λειτουργίας στις υποδομές τους αλλά και στις επιχειρησιακές τους λειτουργίες. Οι Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) αναμφίβολα έχουν ευρεία δυναμική και μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην

εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και τη δυνατότητα να επιφέρουν ραγδαίες και δραστικές αλλαγές σε κάθε πλευρά της κοινωνίας, από τη διακυβέρνηση ως τη βιομηχανία.

2.3 Ο ρόλος της ΕΕ στη Πράσινη Πολιτική

Η ενσωμάτωση της διάστασης της πράσινης πολιτικής στις ΤΠΕ απασχολεί ιδιαίτερα την Ευρωπαϊκή Ένωση και αποτελεί θεμέλιο λίθο στην περιβαλλοντολογική πολιτική της. Η Ευρωπαϊκή Ένωση αναμένεται να συμβάλλει δυναμικά στην υιοθέτηση της πράσινης πολιτικής και την δραστική μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας, όπως αυτή προκύπτει από τον κανονισμό του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου σχετικά με τους προσανατολισμούς για τα διευρωπαϊκά δίκτυα τηλεπικοινωνιών.

Μεταξύ άλλων ο κανονισμός [3] αναφέρει ότι :

- Θα χρηματοδοτούνται έργα υποδομών με υψηλή προστιθέμενη αξία, όχι μόνο «βαριά» υποδομή, αλλά και «άυλες και έξυπνες» υποδομές και δομές διακυβέρνησης για την υλοποίηση του «βασικού δικτύου» στις μεταφορές, των «διαδρόμων προτεραιότητας» στην ενέργεια, καθώς και ψηφιακές υποδομές.
- Η ανάπτυξη ευρυζωνικών δικτύων και υποδομών ψηφιακών υπηρεσιών θα συμβάλει στην επίτευξη του στόχου της Ένωσης για μείωση των εκπομπών των θερμοκηπιακών αερίων, καθιστώντας εφικτές ενεργειακά αποδοτικές λύσεις σε πολλούς τομείς της ευρωπαϊκής οικονομίας.
- Η διαλειτουργικότητα των ευρυζωνικών δικτύων και η υποδομή ψηφιακών επικοινωνιών που συνδέονται με τα δίκτυα ενέργειας παρέχει τη δυνατότητα συγκλινουσών επικοινωνιών για την ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικών, αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών ψηφιακών δικτύων. Επιπλέον, η σύγκλιση θα επεκταθεί πέρα από τη συνδετικότητα ώστε να καταστεί δυνατή η δεσμοποιημένη παροχή ενέργειας και τηλεπικοινωνιών από τους οργανισμούς ενέργειας και τους παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών αντίστοιχα.

Οι εν λόγω προσανατολισμοί προβλέπουν τους στόχους και τις προτεραιότητες των έργων κοινού ενδιαφέροντος. Ως έργα κοινού ενδιαφέροντος χαρακτηρίζονται τα έργα που όσον αφορούν την ενέργεια μπορούν και συμβάλουν στον περιορισμό των θερμοκηπιακών αερίων, καθώς και στην προστασία και βελτίωση του περιβάλλοντος.

Μία από τις φιλοδοξίες της ΕΕ είναι να αναπτυχθεί σε μία low-carbon οικονομία. Ειδικότερα, σκοπεύει να εφαρμόσει ένα συγκεκριμένο πλαίσιο πολιτικής υπό το πρίσμα των ακόλουθων δύο περιβαλλοντικών και ενεργειακών στόχων που έχει θέσει για το 2020:

- Μείωση κατ' ελάχιστο 20% greenhouse gases (GHG)

- Το 20% της Ευρωπαϊκής κατανάλωσης ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

2.4 Ρυθμιστική Αρχή -Νομικό Πλαίσιο

Σημαντικό ρόλο στην υιοθέτηση της πράσινης νοοτροπίας από την πλευρά των ΤΠΕ αναμένεται να παίξει το νομικό και ρυθμιστικό πλαίσιο πάνω στο οποίο θα στηριχθεί αυτό το δύσκολο εγχείρημα. Αυτό που απαιτείται σήμερα είναι ένα θεσμικό πλαίσιο το οποίο θα ενσωματώνει τις ΤΠΕ στην αντιμετώπιση της κλιματολογικής και παράλληλα της οικονομικής κρίσης που διανύουμε. Θα πρέπει να υπάρξουν συγκεκριμένοι δείκτες, και να προσδιοριστούν οι μετρικές για το τι μπορεί να επιτευχθεί από τον ίδιο τον τομέα των ΤΠΕ ώστε να γίνει πιο 'πράσινος', αλλά και για αναμενόμενα αποτελέσματα από την πλήρη αξιοποίηση της δυναμικής των ΤΠΕ οριζόντια σε όλους τους τομείς της οικονομίας και της κοινωνίας, συμβάλλοντας στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην προστασία του περιβάλλοντος.

Καταλυτικός είναι ο ρόλος των ρυθμιστικών παρεμβάσεων με τη μορφή υποχρεώσεων ή κινήτρων προς την αγορά. Ο ρόλος του ρυθμιστή πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να προστατεύει τόσο τον καταναλωτή όσο και την γενικότερη λειτουργία του ανταγωνισμού των ΤΠΕ. Οι ρυθμίσεις λοιπόν θα πρέπει να πιέζουν προς διαρθρωτικές αλλαγές ως προς τη λειτουργία των ΤΠΕ στην κατανάλωση της ενέργειας με απώτερο σκοπό να δημιουργήσει ένα ώριμο ενεργειακό περιβάλλον λειτουργίας. Οι ενεργειακές παρεμβάσεις θα πρέπει να αποσκοπούν στην υιοθέτηση και προώθηση πράσινων υπηρεσιών από τους παρόχους έτσι ώστε αφενός να μειωθεί η περιβαλλοντική επιβάρυνση, να γίνει ποιοτικότερη χρήση των υφιστάμενων υποδομών αλλά και να ενθαρρυνθεί η ιδέα νέων επενδύσεων σε μελλοντικά πράσινα δίκτυα.

2.5 Συμπεράσματα

Με την κυριαρχία αυτής της νέας τάσης, που σχετίζεται με την περιβαλλοντική διάσταση της τεχνολογίας, αρκετές εταιρείες πληροφορικής προσπαθούν να πραγματοποιήσουν σημαντικά βήματα για τον περιορισμό της οικολογικής επιβάρυνσης του φυσικού περιβάλλοντος τόσο με την παραγωγή εξελιγμένων "πράσινων" προϊόντων όσο και με την εφαρμογή νέου επιχειρηματικού μοντέλου ανάπτυξης. Με την αποδοτική και στοχευόμενη συνεργασία επομένως ιδιωτικού και δημοσίου τομέα, με τη συνισταμένη προσπάθεια όλων, οι ΤΠΕ μπορούν να γίνουν ένα ισχυρό μέσο προς τη δημιουργία και εδραίωση μίας οικολογικής αλλά και βιώσιμης ανάπτυξης. Ελπίζουμε πως οι ΤΠΕ, έχοντας τη στήριξη πάντα της ειδικής επιτροπής Green ICT που λειτουργεί από πέρυσι, και με τη συμμετοχή λοιπών εταιρών, από το δημόσιο και ιδιωτικό τομέα, να κάνουμε αυτό το όραμα πραγματικότητα.

Είναι, λοιπόν, γεγονός ότι μπορούν να προκύψουν πολλαπλά οφέλη από την εφαρμογή της "Πράσινης Πληροφορικής", η οποία μπορεί να αποτελέσει εργαλείο ανταγωνιστικότητας και ανάπτυξης. Ήδη, ένα ικανοποιητικό ποσοστό των επιχειρήσεων του κλάδου έχει παρουσιάσει έξυπνες, καινοτόμες, "πράσινες" ιδέες, με στόχο την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον και τη μείωση των επιβλαβών εκπομπών στην ατμόσφαιρα.

3 ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΔΙΚΤΥΑ

3.1 Εισαγωγή

Τα δίκτυα μεταφορών αποκτούν αξία στην αγορά από την διαφοροποίηση σε επίπεδα ποιότητας της υπηρεσίας, τις απαιτήσεις διαθεσιμότητας και την ποικιλία των υπηρεσιών και εφαρμογών που παρέχουν. Κατά μια γενική έννοια λοιπόν μια από τις κυριότερες προκλήσεις αυτών των δικτύων είναι να ανταποκριθούν στις συμφωνίες σε επίπεδο υπηρεσίας (SLA) με τους χρήστες κατά την παραγωγική λειτουργία τους. Η παραγωγική λειτουργία όλων των συστημάτων επικοινωνίας βάλλεται από απρόβλεπτους παράγοντες όπου μπορούν να την επηρεάσουν. Η αύξηση στην ποικιλομορφία των δεδομένων και η πολυπλοκότητα της επικοινωνίας οδηγεί στην κοινή άποψη της αυτοματοποίησης των δικτύων αλλά και της διαδικασίας διαχείρισης των πληροφοριακών υποδομών. Σήμερα οι υπηρεσίες διαχείρισης είναι δομημένες με τέτοιο τρόπο ώστε να χρειάζεται ανθρώπινη παρέμβαση, γεγονός που οδηγεί σε υψηλούς χρόνους απόκρισης στις αλλαγές, υψηλό κόστος διαχείρισης και μείωση του βαθμού της ποιότητας της προσφερόμενης υπηρεσίας στους καταναλωτές.

Επιπλέον η αυξημένη πολυπλοκότητα της διαχείρισης αποτελεί περιοριστική μεταβλητή για την ανάγκη ολοένα και μεγαλύτερης ανάπτυξης που παρουσιάζουν οι υποδομές ΤΠΕ. Άρα με τα αυτόνομα δίκτυα χρησιμοποιούμε τεχνολογία προκειμένου να διαχειριστούμε αλλά και να αναπτύξουμε τεχνολογία.

3.2 Προκλήσεις Διαχείρισης Μελλοντικών Δικτύων

3.2.1 Εισαγωγή

Τις προηγούμενες δεκαετίες η υποδομή δεδομένων περιλάμβανε ετερογενή δίκτυα φωνής και δεδομένων. Ωστόσο οι ανάγκες της εποχής σε συνδυασμό με την τεχνολογική ανάπτυξη ενοποίησαν αυτά τα δίκτυα σε ένα βασισμένο στην τεχνολογία IP. Πλέον η επικοινωνία ανεξάρτητα από το είδος της πληροφορίας μεταφέρεται με την χρήση IP πακέτων καταφέροντας να καλύψει όλο το φάσμα σταθερών και κινητών υπηρεσιών δεδομένων και φωνής. Βέβαια η σύγκλιση των ετερογενών δικτύων έφερε στην επιφάνεια αρκετές προκλήσεις τόσο ως προς τον έλεγχο αλλά και την διαχείριση των νέων δικτύων.

3.2.2 Πολυπλοκότητα Δικτύων

Τα μελλοντικά δίκτυα, καλούνται να διανείμουν τις ιδιαίτερα εξελιγμένες εφαρμογές τους και κατά συνέπεια τις υπηρεσίες τους διαμέσου ετερογενών δικτύων, γεγονός που αυξάνει την πολυπλοκότητα αλλά και την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης. Τα νέα αυτά δίκτυα θα πρέπει να προσφέρουν ιδιαίτερα αξιόπιστη και αποτελεσματική αρχιτεκτονική πυρήνα μιας κι εκεί στηρίζεται η

επιχειρησιακή λειτουργία των Παρόχων Τηλεπικοινωνιών. Μια από τις κύριες προκλήσεις της μετάβασης στη νέα υποδομή αποτελεί η συντήρηση και η διαχείριση του συνόλου της υποδομής, που φυσικά μεταφράζεται σε λειτουργικό κόστος (Opex Costs) .

3.2.3 Κόστος διαχείρισης

Οι διαδικασίες διαχείρισης των σημερινών δικτύων στηρίζουν την λειτουργία τους σε ad-hoc διαδικασίες από πεπειραμένους διαχειριστές. Η διαχείριση των αλλαγών (change management) σε ετερογενή περιβάλλοντα χρειάζεται αρκετό χρόνο και προσδίδει αρκετό φόρτο στους διαχειριστές, ενώ σε περίπτωση σφάλματος το κόστος διόρθωσης μπορεί να είναι αρκετά υψηλό. Τυχόν σφάλματα σε μια υποδομή είναι ικανά να αυξήσουν αρκετά το κόστος διαχείρισης. Συνεπώς καταλαβαίνουμε ότι το κόστος διαχείρισης μιας νέας υποδομής θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά την διάρκεια απόφασης μιας επένδυσης η εισαγωγής μιας νέας τεχνολογίας σε υφιστάμενες υποδομές. Κύρια στοιχεία του κόστους διαχείρισης αποτελούν , το κόστος τους ανθρώπινου δυναμικού, το κόστος των σφαλμάτων και τέλος το κόστος αργής απόκρισης στις αλλαγές που επηρεάζει την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας. Η αυτοματοποιημένη διαχείριση μπορεί να δώσει άμεσα λύσεις σε αυτή την πρόκληση καθώς η εισαγωγή της δεν αυξάνει το κόστος ανθρώπινου δυναμικού, μπορεί να αντιμετωπίσει τυχόν σφάλματα σε μια υποδομή και φυσικά η γρήγορη απόκριση και η ευελιξία σε αλλαγές αυξάνει την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας.

3.2.4 Δυναμικές Ανάγκες Χρηστών

Οι νέες εφαρμογές του διαδικτύου διακρίνονται για το αυξανόμενο εύρος ζώνης που χρειάζονται προκειμένου να λειτουργήσουν. Κατά τον αρχικό σχεδιασμό παροχής τέτοιων υπηρεσιών συνήθως προσεγγίζεται το διαθέσιμο εύρος ζώνης που χρειάζεται. Βεβαία πολλές φορές η θεωρητική προσέγγιση σε σχέση με το απαιτούμενο εύρος ζώνης μπορεί να διαφέρει αισθητά με αποτέλεσμα να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση. Πλέον οι Πάροχοι των υπηρεσιών αντιμετωπίζουν τέτοια φαινόμενα είτε εν τη γενέσει, παρέχοντας στον καταναλωτή πολύ υψηλό εύρος ζώνης σε σχέση με τις πραγματικές του ανάγκες, το οποίο συνήθως υποχρησιμοποιείται καθώς και με διάφορες πολιτικές αναδρομολόγησης . Ωστόσο και οι δυο τακτικές οδηγούν σε αύξηση του κόστους , λόγω χρήσης περισσότερου και πιο ακριβού εξοπλισμού, αύξησης του κόστους διαχείρισης και φυσικά αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης δηλαδή αύξηση του των δεικτών CAPEX και OPEX ενός οργανισμού. Σαφέστατα η αυτόνομη διαχείριση με προέκταση τα δυναμικά πρωτόκολλα δρομολόγησης και τις μεθόδους Traffic engineering θα απαντούσε άμεσα σε αυτά τα προβλήματα, αφού θα δημιουργούσε πελατοκεντρικές υπηρεσιοστραφείς υποδομές .

3.3 Αυτόνομη Δικτύωση

Τα μελλοντικά δίκτυα θα στηρίζονται σε υπηρεσιοστραφείς υποδομές όπου η παροχή της υπηρεσίας θα πραγματώνεται με τη χρήση πρωτόκολλου IP και θα μπορεί να ανταποκριθεί στην ετερογένεια των παρεχόμενων υπηρεσιών στους χρήστες. Είναι γεγονός ότι η διαχείριση των δικτύων και των υπηρεσιών στηρίζεται ως επί το πλείστον στον ανθρώπινο παράγοντα που οδηγεί σε αργή απόκριση, καθυστερήσεις, υψηλό λειτουργικό κόστος και χαμηλή ποιότητα υπηρεσίας προς τους χρήστες.

Η διαχείριση των υποδομών αποτελεί κρίσιμο σημαντικό παράγοντα επιτυχίας των μελλοντικών δικτύων. Οι απαιτήσεις για ένα αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης θα πρέπει να είναι :

- Χαμηλό κόστος λειτουργίας : Το σύστημα διαχείρισης θα πρέπει να μειώσει το κόστος διαχείρισης των παρεχόμενων υπηρεσιών.
- Ευελιξία/ Προσαρμοστικότητα : Το σύστημα διαχείρισης θα πρέπει να προσδίδει ευελιξία στην διαχείριση και προσαρμοστικότητα εισαγωγή νέων υπηρεσιών προς τους χρήστες.
- Απόκριση : Το σύστημα διαχείρισης θα πρέπει να παρέχει ταχεία απόκριση σε οποιαδήποτε αλλαγή, σφάλμα κατά την διανομή της πληροφορίας.
- Επεκτασιμότητα : Το σύστημα διαχείρισης θα πρέπει να έχει την δυνατότητα επέκτασης της παροχής των υπηρεσιών σε νέους πελάτες.
- Ανοχή στη Βλάβη : Το σύστημα διαχείρισης θα πρέπει να εξασφαλίζει την παροχή υπηρεσιών, ανεξάρτητα από τα προβλήματα που συμβαίνουν στο δίκτυο παροχής υπηρεσιών.
- Αποτελεσματική χρήση διαθέσιμων πόρων : Το σύστημα διαχείρισης θα πρέπει να επιτρέψει στον πάροχο υπηρεσιών την χρήση των πόρων κατά βέλτιστο τρόπο.
- Υπηρεσία διασφάλισης ποιότητας : Το σύστημα διαχείρισης θα πρέπει να κρατά μετρήσεις σύμφωνα με τα SLA's του πελάτη και του παρόχου και να επεμβαίνει κατά την διάρκεια μετάδοσης των δεδομένων οποτεδήποτε οι μετρήσεις πέφτουν από κάποιο ορισμένο αποδεκτό κατώφλι.
- Ομοιογένεια : Το σύστημα διαχείρισης θα πρέπει να ομογενοποιήσει τις διαθέσιμες πηγές λειτουργίας.
- Διαχείριση με βάση πολιτικές : Το σύστημα διαχείρισης θα πρέπει λαμβάνει κατευθυντήριες γραμμές για τις δράσεις διαχείρισης που πρέπει να ληφθούν προκειμένου να διασφαλίζεται η υψηλή ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας.

3.4 Αυτόνομη Διαχείριση

Ως ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται η έρευνα της IBM (2001) σχετικά με τα αυτόνομα συστήματα. Τα αυτόνομα συστήματα είναι αυτοδιαχειριζόμενα συστήματα τα οποία αποφασίζουν μόνα τους, έχοντας τον πλήρη έλεγχο της κατάστασης λειτουργίας, βελτιστοποιώντας την, ενώ παράλληλα έχουν την δυνατότητα να προσαρμόζονται σε τυχόν αλλαγές της αρχιτεκτονικής. Η κεντρική ιδέα των αυτόνομων συστημάτων στηρίζεται στην αυτό- διαχειριστική τους ικανότητα που αποφορτίζει τον ανθρώπινο παράγοντα από διαδικασίες συντήρησης, ελέγχου και εν τέλει πιστοποίησης της αξιοπιστίας και της αποδοτικότητας της λειτουργίας τους.

Η IBM λοιπόν αναφέρει τα κύρια χαρακτηριστικά της αυτοματοποιημένης διαχείρισης, τα οποία είναι :

- **Self - Configuration:** Οι μεταβλητές λειτουργίας ρυθμίζονται αυτόματα σύμφωνα με πολιτικές που έχουν οριστεί από τους operators. Οι πολιτικές αυτές συγκεκριμενοποιούν το αποτέλεσμα. Κάθε νέα οντότητα που προστίθεται στην διαδικτυακή υποδομή προσαρμόζεται έτσι ώστε να συλλειτουργεί με τις υπόλοιπες αλλά και να είναι έτοιμη να ανταποκρίνεται σε τυχόν μεταβολές τους περιβάλλοντος λειτουργίας.
- **Self-Optimization:** Η αναγνώριση του περιβάλλοντος και οι αυτοματοποιημένες αλλαγές προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή αποδοτικότητα αλλά και να βελτιστοποιηθεί η λειτουργικότητα αποτελεί κύριο γνώρισμα των αυτόνομων υποδομών.
- **Self-Healing:** Ιδιαίτερα σημαντική ιδιότητα των αυτόνομων δικτύων αποτελεί η διαδικασία ανίχνευσης και επιδιόρθωσης των σφαλμάτων των οντοτήτων.
- **Self-Protection:** Η αυτοπροστασία των αυτόνομων συστημάτων πραγματοποιείται αφενός με την αναγνώριση προβλημάτων και αφετέρου με την ενεργοποίηση μηχανισμών self-healing.

3.5 Αυτόνομη Μηχανική Κίνησης

Τα έσοδα των Παρόχων υπηρεσιών και εφαρμογών εξαρτώνται άμεσα από την διαφοροποίηση των επιπέδων Qos, τις απαιτήσεις διαθεσιμότητας και γενικότερα από τα έσοδα που λαμβάνουν από τα SLA με τους χρήστες. Ωστόσο η τήρηση των όρων των συμφωνιών σε επίπεδο υπηρεσιών αποτελεί πρόκληση για τους διαχειριστές των υποδομών. Οποιαδήποτε μεταβολή στην τοπολογία του δικτύου, στην συνδεσιμότητα ή στην αλλαγή προορισμών μπορεί να επηρεάσει την αποδοτικότητα μιας δικτυακής υποδομής και να διαβάλλει τα επίπεδα ποιότητας της υπηρεσίας.

Είναι γεγονός ότι η πλειοψηφία των συστημάτων ελέγχου της κυκλοφορίας που χρησιμοποιούνται από τους παρόχους υπηρεσιών χρειάζονται την ανθρώπινη παρέμβαση προκειμένου να λειτουργήσουν ορθά. Είναι επίσης γνωστό ότι η συνεχής αύξηση του όγκου της κυκλοφορίας, η ποικιλία των δεδομένων και οι ετερογενείς απαιτήσεις των χρηστών αυξάνουν το επίπεδο δυσκολίας ως προς τη διαχείρισή τους. Αυτό οδηγεί σε αργούς χρόνους απόκρισης, υψηλό κόστος διαχείρισης και μείωσης των επιπέδων ποιότητας της υπηρεσίας.

Η αυτοματοποιημένη υπηρεσία διαχείρισης είναι απαραίτητη για την δημιουργία και την διατήρηση μιας ευέλικτης υποδομής που θα έχει χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα από τις υφιστάμενες. Άρα είναι κοινή πλέον η άποψη ότι τα μελλοντικά συστήματα επικοινωνίας θα πρέπει να διαχειρίζονται αυτόνομα χωρίς την ανθρώπινη παρουσία.

Η μηχανική κίνησης χρησιμοποιείται κατά κόρον στις αρχιτεκτονικές πυρήνα των δικτύων μεταφοράς IP παρουσιάζοντας ιδιαίτερη δυναμική τόσο στη διαχείριση όσο και στην αποτελεσματικότητά της. Στην ουσία μέσω της μηχανικής κίνησης καταφέρνουμε τον χειρισμό της κίνησης με την διαδικασία δρομολόγησης της πληροφορίας από προτιμώμενα μονοπάτια. Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας επιλογής μονοπατιών μέσω

της μηχανικής κίνησης θα προσθέσει ιδιαίτερη αξία στη διαχείριση των δικτύων των Παρόχων καθώς θα προσδώσει ιδιαίτερη ευελιξία και αποτελεσματικότητα στην μεταφορά της επικοινωνίας. Αρκετά ενδιαφέρον είναι το [5] όπου αναφέρετε στην δημιουργία ενός αυτοδιαχειριζομένου συστήματος που θα στηρίζει την λειτουργία του στην θεωρία του Δαρβίνου σχετικά με την εξέλιξη. Ουσιαστικά ο πρώτος στόχος τους συστήματος διαχείρισης είναι να παραμένει το σύστημα ενεργό κάτω από οποιαδήποτε συνθήκη. Στη συνέχεια ορίζει ως βραχυπρόθεσμους στόχους την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα της υποδομής και ως μακροπρόθεσμο στόχο την βελτίωση τους. Ουσιαστικά στηρίζεται στην δημιουργία πολλαπλών μονοπατιών όπου θα χρησιμοποιούνται ανάλογα με τις δικτυακές αλλαγές που προκύπτουν. Τα μονοπάτια που θα χρησιμοποιήσει η μηχανική κίνησης εξαρτώνται από τα επίπεδα συμφωνίας υπηρεσιών και χρησιμοποιούνται ως metrics για την προτίμηση των μονοπατιών. Η αυτοματοποίηση λοιπόν της διαδικασίας μηχανικής κίνησης αναμένεται να δώσει ιδιαίτερα ενθαρρυντικές λύσεις στα μελλοντικά δίκτυα δεδομένου του ότι θα απαντά σε χρόνια προβλήματα που αντιμετώπιζαν οι πάροχοι υπηρεσιών, όπως η αστοχία σε διασυνδέσεις, οι καθυστερήσεις και γενικότερα θα μπορέσουν να επιτρέψουν τον καλύτερο έλεγχο στα επίπεδα συμφωνίας υπηρεσιών μεταξύ των Παρόχων και των χρηστών.

3.6 Συμπεράσματα

Τα αυτόνομα δίκτυα και η διαχείριση τους αναμένεται να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα της αυξανόμενης πολυπλοκότητας στις υφιστάμενες υποδομές καθώς και την αύξηση του λειτουργικού κόστους διαχείρισης, ενώ θα βοηθήσει στην εξάπλωση των μελλοντικών υποδομών και υπηρεσιών.

Η πολλά υποσχόμενη ιδέα των αυτό - διαχειριζόμενων δικτυακών οντοτήτων αναμένεται να αντιμετωπίσει κυρίως απρόβλεπτες καταστάσεις που αντιμετωπίζουν καθημερινά οι διαχειριστές. Σε αυτή την προσέγγιση ουσιαστικά μεταφέρεται νοημοσύνη στα δικτυακά στοιχεία με απώτερο σκοπό τον καλύτερο έλεγχο λειτουργίας σε μια υποδομή.

Κάποιες έρευνες έχουν επικεντρωθεί στις πτυχές της διαχείρισης του δικτύου, ενώ άλλες έχουν επικεντρωθεί στην επικοινωνία του δικτύου. Ο κοινός παρονομαστής μεταξύ όλων αυτών των προσεγγίσεων είναι η εισαγωγή της δυνατότητας αυτοδιαχείρισης ή καλύτερα αυτοσυντήρησης του δικτύου, απελευθερώνοντας τον ανθρώπινο παράγοντα που θα αποφέρει τη μείωση του λειτουργικού κόστους ενώ ταυτόχρονα θα κρατήσει σε υψηλά επίπεδα τη ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας προς τους χρήστες τηρώντας τα συμφωνημένα επίπεδα υπηρεσίας.

4 ΓΝΩΣΙΑΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ

4.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη των δικτύων οδηγείται προς την δημιουργία αυτό-διαχειριζόμενων η καλύτερα αυτό προσαρμοζόμενων δικτυακών υποδομών έτσι ώστε να ξεπεράσει την αναποτελεσματικότητα της επανα παραμετροποίησης αλλά και της διαχείρισης των ετερογενών δικτύων. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι οποιοδήποτε πρόβλημα στην παραμετροποίηση η γενικότερα στην διαχείριση μιας υποδομής αντανακλά στην απόδοση της και φυσικά στην ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας. Η ανάγκη για βελτιστοποίηση των διαδικασιών των δικτυακών υποδομών, οδηγούμαστε στην δημιουργία αυτό-διαχειριζόμενων δικτύων. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι τα Γνωσιακά Δίκτυα.

Κύριο γνώρισμα τους αποτελεί η αφομοίωση του δικτυακού περιβάλλοντος και ο έλεγχος αυτού με απώτερο σκοπό την λήψη αποφάσεων προς όφελος της μετάδοσης της πληροφορίας. Παρότι διαφαίνεται ως κάτι ιδιαίτερα δύσκολο, η ανάπτυξη τέτοιων δικτυακών υποδομών θα επιφέρει τεράστια οφέλη στον τηλεπικοινωνιακό τομέα.

4.2 Γνωστικά Δίκτυα

4.2.1 Γενικά

Η "διακίνηση" της πληροφορίας αποτελεί την πιο ενδιαφέρουσα μορφή υπηρεσίας του 21ου αιώνα. Οι κοινωνίες και τα παράγωγα τους πλέον αναπτύσσονται διατηρούνται και συντηρούνται μέσω της επικοινωνίας. Η πληροφόρηση αποτελεί ίσως το σημαντικότερο εργαλείο ανάπτυξης των περισσότερων κλάδων παγκοσμίως. Η μετάδοση της πληροφορίας με κριτήρια όπως η ασφάλεια, η αξιοπιστία και η διαθεσιμότητα επέτρεψαν την συνεχή εξέλιξη των δικτυακών υποδομών τα τελευταία έτη.

Η παραγωγή και η εξέλιξη των υποδομών δεν σταματά ποτέ, όσο οι ανάγκες των καταναλωτών- χρηστών διαρκώς μεγαλώνουν. Η μετάδοση της πληροφορίας όμως, απαιτεί αμεσότητα και αδιαλειψία στην επικοινωνία ακόμα και στο πιο απομακρυσμένο άκρο του πλανήτη.

Η διαρκής αύξηση των απαιτήσεων των χρηστών είχε ως αποτέλεσμα την ανάγκη για όλο και περισσότερη διανομή πληροφορίας και για συνεχή βελτίωση της παρεχόμενης υπηρεσίας από τους παρόχους. Έτσι σήμερα καταλήγουμε στην έρευνα για την ενοποίηση των διαφορετικών δικτυακών υποδομών και την δημιουργία των «έξυπνων» δικτύων, ώστε να βελτιστοποιήσουμε την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών.

4.2.2 Ορισμός

Ο ορισμός για τα Cognitive Networks που συμφωνείται από επιστημονικές πηγές είναι :

“Ένα γνωστικό δίκτυο είναι ένα δίκτυο με μια γνωστική διαδικασία που μπορεί και αντιλαμβάνεται τις τρέχουσες συνθήκες δικτύωσης, και μετέπειτα σχεδιάζει, αποφασίζει και ενεργεί πάνω σε αυτές τις συνθήκες. Το δίκτυο μπορεί να εκπαιδευτεί μέσα από αυτές τις προσαρμογές και να τις χρησιμοποιήσει ώστε να λαμβάνει μελλοντικές αποφάσεις, φυσικά λαμβάνοντας πάντα υπ’ όψιν την επικοινωνία και τη μετάδοση πληροφορίας από τη μια του άκρη έως την άλλη.”

Ουσιαστικά προκύπτει ότι τα γνωστικά δίκτυα καταφέρνουν να μεταλλάξουν δυναμικά την λογική αρχιτεκτονική των υποδομών, έτσι ώστε να οδηγηθούν στην βελτίωση της παρεχόμενης υπηρεσίας κατά συνθήκη. Η βελτίωση της παρεχόμενης υπηρεσίας σχετίζεται με την αποδοτικότητα των γνωστικών δικτύων καθώς εκεί αποσκοπεί η χρήση τους. Άρα οι υποδομές από παθητικές οντότητες εξελίσσονται σε δίκτυα που προσαρμόζονται κάθε φορά στις απαιτήσεις και τις ανάγκες των χρηστών.

4.3 Λειτουργία Γνωστικών Δικτύων

Ουσιαστικά οι δυο κινητήριες δυνάμεις εισαγωγής αλλά και αποδοχής των γνωστικών δικτύων είναι τεχνολογικές αλλά και επιχειρηματικές. Από τεχνολογικής πλευράς, τα γνωστικά δίκτυα οραματίζονται την δημιουργία ενός υπηρεσιοστραφούς περιβάλλοντος από άκρο εις άκρο, που θα περιλαμβάνει ποικιλομορφία υπηρεσιών ενώ οι στόχοι των δικτυακών οντοτήτων θα υπαγορεύονται από τις μεταβαλλόμενες ανάγκες των χρηστών.

Από επιχειρησιακής άποψης τα γνωστικά δίκτυα σκοπεύουν να αυξήσουν τα κέρδη από την δημιουργία νέων υπηρεσιών, να μειώσουν τα λειτουργικά κόστη (κόστος διαχείρισης, κόστος ενεργειακής κατανάλωσης) και να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη ανάπτυξη .

Ουσιαστικά η λειτουργία των γνωστικών δικτύων προσφέρει στους διαχειριστές των υποδομών την δυνατότητα της συνεχούς ανάλυσης της λειτουργίας και της απόδοσης των δικτυακών στοιχείων, με στόχο την αποτελεσματική παροχή υπηρεσιών. Τα δικτυακά στοιχεία επαναπροσδιορίζουν τη λειτουργία τους σύμφωνα με τις ανάγκες των παρεχόμενων υπηρεσιών, δημιουργώντας υψηλά επίπεδα αλληλεπίδρασης μεταξύ των διαχειριστών του δικτύου και των τελικών χρηστών.

Οι βασικές τεχνικές της λειτουργίας των γνωστικών δικτύων [4] συνοψίζονται στην :

- παρατήρηση
- ανάλυση
- λήψη απόφασης

- δράση

Για παράδειγμα θα μπορούσε σε μια δικτυακή αρχιτεκτονική να παρατηρείται η απώλεια πακέτων σε μια επικοινωνία από άκρο εις άκρο να αναλύεται η συμπεριφορά των υπόλοιπων ανεκτών δρομολογίων να λαμβάνεται η απόφαση αλλαγή δρομολογίου και με τεχνικές μηχανικής κίνησης να αλλάζει διαδρομές η υπηρεσία αυξάνοντας το επίπεδα ποιότητας της επικοινωνίας.

4.4 Διαχείριση Γνωστικών Δικτύων

Γίνεται αντιληπτό ότι η διαχείριση των γνωστικών δικτύων θα πρέπει να έχει ως σκοπό την μεταβολή των χαρακτηριστικών λειτουργίας των δικτυακών οντοτήτων που θα επιφέρουν όμως την βέλτιστη συμπεριφορά ως προς την λειτουργία τους. Παράλληλα θα πρέπει η διαχείριση να καταφέρει να συντονίσει τις οποιεσδήποτε μεταβολές στις οντότητες και να διασφαλίσει την εύρυθμη λειτουργία του συνόλου της υποδομής. Συνεπώς η διαχείριση των γνωστικών δικτύων και σύμφωνα πάντα με τις συνθήκες των δικτυακών υποδομών θα πρέπει είτε να έχει κεντρικοποιημένη διάσταση, μέσα από την οποία θα καλείται να λαμβάνει τις βέλτιστες αποφάσεις προκειμένου να επιτύχει το μέγιστο της απόδοσης, είτε να διαχωρίζεται σύμφωνα με συγκεκριμένα κριτήρια σε μικρότερες υποδομές έτσι ώστε οι αλλαγές που προκύπτουν να αφορούν λιγότερες οντότητες της υποδομής.

Και τα δυο σχήματα διαχείρισης αντίστοιχα έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που κατηγοριοποιούνται σχετικά με την πολυπλοκότητα της διαδικασίας καθώς και του φόρτου διαχείρισης .

Γενικότερα όμως κάποια βασικές αρχές της διαχείρισης των γνωστικών δικτύων είναι :

- Οι αποφάσεις που θα λαμβάνονται θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από αξιοπιστία έτσι ώστε να βελτιώνουν την παρεχόμενη υπηρεσία προς τον χρήστη. Η διαδικασία μεταβολών θα πρέπει να είναι πλήρως διαχειρίσιμη και αναστρέψιμη.
- Οι υποδομές, μέσω της συμπεριφοράς των δικτυακών οντοτήτων θα πρέπει να προβλέπουν τυχόν αλλαγές και αυτόματα να επεμβαίνουν.
- Οι αποφάσεις που θα λαμβάνονται θα αφορούν είτε όλη, είτε μέρη της δικτυακής υποδομής.

4.5 Συμπεράσματα

Τα γνωστικά δίκτυα αποτελούν μια ιδιαίτερα σημαντική λύση στην πολυπλοκότητα των υποδομών των Παρόχων στοχεύοντας στη βελτίωση της ποιότητας της παρεχόμενης υπηρεσίας προς τους τελικούς χρήστες. Ουσιαστικά πρόκειται για μια τεχνοοικονομική λύση που θα ωθήσει τα δίκτυα των Παρόχων προς

την περαιτέρω ανάπτυξη. Η εξέλιξη όμως των γνωστικών δικτύων θα πρέπει να περάσει από αρκετά στάδια προκειμένου να γίνει αποδεκτή από τους τελικούς χρήστες. Ουσιαστικά θα πρέπει να εισαχθούν οι γνωστικές διαδικασίες στις υφιστάμενες υποδομές. Θα πρέπει λοιπόν να καταβληθεί ιδιαίτερη προσπάθεια έτσι ώστε να εφαρμοσθούν πού τεχνικές των γνωστικών δικτύων στα ετερογενή δίκτυα. Το προσδοκώμενο οικονομικό όφελος από τα γνωστικά δίκτυα φαίνεται να είναι η μείωση των εξόδων κεφαλαίου αφενός από την εύκολη δυνατότητα εισαγωγής νέων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας και αφετέρου από την αυτοματοποίηση και ουσιαστικά την απλοποίηση των διαδικασιών διαχείρισης των δικτύων.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

5 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗΣ (TRAFFIC ENGINEERING)

5.1 Γενικά

Η δυναμική δρομολόγηση χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών καθώς πρόσδιδε μια ευελιξία στη χρήση της ενώ σημαντική ήταν και η δυνατότητα διάγνωσης τυχόν προβλημάτων των διαδρομών και η αυτόματη εναλλαγή τους. Συνήθως για την δημιουργία των δυναμικών μονοπατιών χρησιμοποιήθηκαν μεταβλητές όπως τα hops, το bw, και το delay αλλά και σε κάποιες περιπτώσεις προσαρμοσμένα βάρη ανάλογα με τις ανάγκες δρομολόγησης. Ωστόσο η ανάγκη για αύξηση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών και εφαρμογών καθώς και η ετερογένεια στα δίκτυα υποδομών καθιστά την δυναμική δρομολόγηση ανεπαρκή προκειμένου να καλύψει το σύνολο των αναγκών. Η ανάγκη για καλύτερο έλεγχο αλλά και για βέλτιστη διαχείριση των δεδομένων από άκρο εις άκρο αποτελεί ιδιαίτερα κρίσιμο παράγοντα για την εύρυθμη λειτουργία των υποδομών και αναζητά κάθετες λύσεις.

Η μηχανική κίνησης ήρθε να προσθέσει αξία στην επικοινωνία και στη διαδικασία επιλογής δρομολογίων με απώτερο σκοπό τον πλήρη χειρισμό των μονοπατιών δρομολόγησης της κυκλοφορίας. Ουσιαστικά μπορεί και συνυπάρχει με τα δυναμικά πρωτόκολλα δρομολόγησης οδηγώντας σε πιο διαχειρίσιμα αλλά και πιο αποδοτικά δίκτυα υπηρεσιών.

Η εφαρμογή λοιπόν, της μηχανικής κίνησης είναι ιδιαίτερα επικερδής στα πολύπλοκα σημερινά δίκτυα που αποτελούνται από πολλαπλές πιθανές διαδρομές. και εναλλακτικά μονοπάτια καθώς απλοποιεί την διαχείριση και δημιουργεί ευκαιρίες ανάπτυξης για τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών και τις παρεχόμενες υπηρεσίες τους.

5.2 Χαρακτηριστικά Μηχανική Κίνησης

Η μηχανική της κίνησης (traffic engineering) διαχειρίζεται τις ροές της πληροφορίας ώστε να διανείμει τα δεδομένα από τα μονοπάτια της αρχιτεκτονικής με τέτοιο τρόπο ώστε να μην προκαλείται συμφόρηση, απώλεια πακέτων, καθυστερήσεις και υπέρ ή υπό χρησιμοποίηση των ενεργών διασυνδέσεων. Η μηχανική κυκλοφορίας είναι η τεχνική διαχείρισης της κίνησης με απώτερο σκοπό την αποσυμφόρηση των μονοπατιών και την ομαλή λειτουργία της αρχιτεκτονικής.

Επομένως τα κύρια χαρακτηριστικά της μηχανικής κίνησης είναι η ανακατεύθυνση των διαδρομών της κυκλοφορίας καθώς και ο έλεγχος της που θα οδηγήσει την απόδοση των υποδομών σε υψηλά επίπεδα.

Βέβαια θα πρέπει να προσδιορίσουμε σχετικά με το τι εννοούμε με τον όρο απόδοση. Η απόδοση λοιπόν ανά δικτυακή υποδομή διαφέρει και μπορεί να είναι προσανατολισμένη κυρίως ως προς :

- Διαθεσιμότητα
- Αξιοπιστία

- Ασφάλεια
- Ταχύτητα
- Οικονομία

Η μηχανική κυκλοφορίας που αποσκοπεί στην διαθεσιμότητα, την αξιοπιστία, την ταχύτητα και την ασφάλεια είναι προσανατολισμένη στην παροχή ποιότητας της υπηρεσίας στις διαφορετικές ροές δεδομένων, ενώ όταν αποσκοπεί στην οικονομία είναι προσανατολισμένη στην βέλτιστη χρήση όλων των πόρων της υποδομής οικονομικά και αξιόπιστα.

Στα πλαίσια της δικής μας εργασίας η μηχανική κίνησης προσανατολίζεται στην οικονομία καθώς όπως θα δείξουμε, χρησιμοποιείται με σκοπό την μείωση των λειτουργικών εξόδων από τον χειρισμό της ενεργειακής κατανάλωσης.

5.3 Λειτουργία Μηχανικής Κίνησης

Ο τρόπος λειτουργίας της μηχανικής κίνησης στηρίζεται σε ένα μοντέλο διαδικασιών μέσα από το οποίο διασφαλίζεται η επιτυχία των απαιτούμενων στόχων. Συνεπώς και με βάση την οριοθέτηση των διαδικασιών το μοντέλο λειτουργίας της μηχανικής κίνησης θα μπορούσε να αποτελείται από τα παρακάτω βήματα :

- Ορισμός επιθυμητών στόχων
- Ανάλυση συμπεριφοράς δικτυακών στοιχείων
- Ανάλυση ποιότητας μετάδοσης της επικοινωνίας από άκρο εις άκρο
- Ορισμός πολιτικών μηχανικής κίνησης
- Έλεγχος ποιότητας μετάδοσης της επικοινωνίας από άκρο εις άκρο

Ιδιαίτερα σημαντικό βήμα αποτελεί ο έλεγχος της ποιότητας μετάδοσης της επικοινωνίας από άκρο εις άκρο αφού γίνει χρήση της μηχανικής της κίνησης έτσι ώστε να παρατηρήσουμε κατά πόσο βελτιώθηκε η απόδοση της δικτυακής υποδομής.

5.4 Εφαρμογή Μηχανικής Κίνησης

Η μηχανική κίνησης βρήκε άμεση εφαρμογή στα δίκτυα των Παρόχων προκειμένου να ικανοποιήσει αρχιτεκτονικές όπου υπήρχαν προβλήματα σχετικά με τον καταμερισμό του φορτίου, την ανάκτηση

δρομολογίων καθώς και λόγους προσαρμογής των παρεχόμενων υπηρεσιών. Ουσιαστικά όμως χρησιμοποιήθηκε για την αναβάθμιση της παρεχόμενης ποιότητας της υπηρεσίας.

Συγκεκριμένα για τον καταμερισμό του φορτίου αποτελεί σημαντική ιδιότητα ενός δικτύου να μπορεί να διαμοιράζει την πληροφορία από διαφορετικά μονοπάτια. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα δυναμικά πρωτόκολλα αποφασίζουν την υπέρ χρησιμοποίηση μονοπατιών που θεωρούνται βέλτιστα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μονοπάτια σε μια τοπολογία που δεν χρησιμοποιούνται καθόλου. Ο καταμερισμός του φορτίου οδηγεί στην καλύτερη διαχείριση των πόρων μιας αρχιτεκτονικής. Βέβαια προκειμένου να υπάρχει καταμερισμός φόρτου θα πρέπει τα εναλλακτικά μονοπάτια να καλύπτουν όλες τις προϋποθέσεις μεταγωγής των δεδομένων. Η ανάκτηση δρομολογίων σχετίζεται με το γεγονός ότι τα δυναμικά πρωτόκολλα εφόσον χάσουν μια διαδρομή (τεθεί εκτός λειτουργίας) υπολογίζουν εκ νέου το βέλτιστο μονοπάτι. Μέσω της μηχανικής της κυκλοφορίας δημιουργούνται διαδρομές (Tunnels) όπου παραμένουν ενεργά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περίπτωση καταστολής της λειτουργίας των μόνιμων μονοπατιών. Σε αρκετές περιπτώσεις όπου ο πάροχος θέλει να προσαρμόσει την μεταγωγή των δεδομένων από μονοπάτια που το δυναμικό πρωτόκολλο δεν τα θεωρεί βέλτιστα για λόγους ασφάλειας, ενέργειας, κτλ η μηχανική της κίνησης παρέχει αποδοτικές λύσεις επιτρέποντας τον κατάλληλο χειρισμό της πληροφορίας.

5.5 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά καταλήγουμε στο ότι η παρουσία της μηχανικής κίνησης στα δίκτυα των Παρόχων κατάφερε να αυξήσει τα επίπεδα της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσίας. Η συλλείτουργα της με τα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης έκανε πιο ομαλή την εισαγωγή της στα δίκτυα μεταφοράς. Οι στόχοι της μηχανικής κυκλοφορίας αφορούν κυρίως την βελτίωση της απόδοσης των τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Πιο συγκεκριμένα αποσκοπεί στον χειρισμό των ροών πληροφορίας έτσι ώστε να εκπληρώνει με βέλτιστο τρόπο τους προκαθορισμένους στόχους προκειμένου να οδηγούμαστε σε λειτουργικά αποτελέσματα. Επίσης στοχεύει στην δημιουργία προσαρμοσμένων μονοπατιών δρομολόγησης έτσι ώστε να οδηγούμαστε σε δίκτυα εξισορρόπησης φόρτου. Δηλαδή η πληροφορία να διανέμεται από διάφορα εναλλακτικά μονοπάτια και να αποφεύγεται η συμφόρηση στο δίκτυο και να χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά το σύνολο των πόρων της αρχιτεκτονικής.

6 MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING (MPLS)

6.1 Εισαγωγή

Η ραγδαία αύξηση των παρεχόμενων υπηρεσιών, η ανάγκη για αποδοτικότερη διαχείριση του εύρους ζώνης και για ασφαλές περιβάλλον μεταγωγής των δεδομένων καθιστά ιδιαίτερα κρίσιμη την διαχείριση των IP υποδομών. Ως εκ τούτου λόγω του όγκου της κυκλοφορίας και της πολυπλοκότητας των διασυνδέσεων θα έπρεπε η διαχείριση να περάσει και στο επίπεδο των διαθέσιμων πόρων. Η τεχνολογία που ανταποκρίθηκε με ιδιαίτερη επιτυχία στις προκλήσεις της εποχής και οδήγησε στην αποδοτική διαχείριση των διαθέσιμων πόρων στις υποδομές IP είναι το Multiprotocol Label Switching (MPLS). Η λειτουργικότητα του πρωτοκόλλου έδινε την δυνατότητα ολοένα και μεγαλύτερης χρήσης του από τους διαχειριστές των δικτύων τηλεπικοινωνιών καθώς απαντούσε σε τεχνολογικά προβλήματα της εποχής.

Το πρωτόκολλο MPLS κατάφερε να προσδώσει επιπλέον ταχύτητα και ευελιξία στις υφιστάμενες υποδομές, καθώς έχει την δυνατότητα λειτουργίας πάνω από οποιοδήποτε τύπο πρωτοκόλλου. Λόγω της προσαρμοστικότητας της τεχνολογίας του το MPLS έδωσε σημαντικές λύσεις στις υφιστάμενες υποδομές καταλήγοντας να αποτελεί τεχνολογία κρίσιμης σημασίας για τα IP δίκτυα κορμού.

Εν κατακλείδι, η τεχνολογία MPLS καταφέρνει να αναπτύσσεται διατηρώντας τη συμβατότητα με τα υφιστάμενα δίκτυα Παρόχων όπου ο όγκος των δεδομένων είναι ιδιαίτερα υψηλός, με την ταυτόχρονη συλλειτουργία με τα υπάρχοντα πρωτόκολλα επικοινωνίας.

6.2 Λειτουργία Mpls

6.2.1 Γενικά

Η λειτουργία του MPLS διαφέρει από την παραδοσιακή δρομολόγηση καθώς καταφέρνει να απλοποιήσει την όλη διαδικασία και παράλληλα να αυξήσει την ευελιξία της, αφού διαφοροποιεί την δημιουργία πινάκων δρομολόγησης. Το MPLS βέβαια δεν χρησιμοποιείται για να αντικαταστήσει την IP δρομολόγηση, αλλά για να συλλειτουργήσει παράλληλα με απώτερο σκοπό την προώθηση της πληροφορίας γρήγορα, ποιοτικά και αποδοτικά.

Το MPLS στηρίζει την λειτουργία του σε ένα μηχανισμό προώθησης των πακέτων με βάση μια ετικέτα που τοποθετείται σαν trailer στην επικεφαλίδα του IP πακέτου. Η ετικέτα που προστίθεται είναι κάποιος αριθμός που χρησιμοποιείται προκειμένου να ορίσει την μοναδικότητα της ροής της πληροφορίας. Καθώς η πληροφορία εισέρχεται σε ένα δίκτυο δημιουργείται μια ετικέτα όπου ακολουθεί την πληροφορία κατά την μεταγωγή της, άρα οποιαδήποτε δρομολόγηση πραγματοποιείται γίνεται με βάση την τιμή αυτή. Κάθε ενδιάμεσος δρομολογητής που βρίσκεται στο MPLS δίκτυο χρησιμοποιεί την αριθμητική ετικέτα κάθε πακέτου και την τοποθετεί σε έναν πίνακα ετικετών όπου από αυτόν πλέον θα βρίσκει τον επόμενο δρομολογητή στον οποίο θα προωθήσει το πακέτο MPLS με τη νέα του ετικέτα. Η διαδικασία ετικετοποίησης είναι και αντίστροφη καθώς όταν η πληροφορία εξέρχεται από ένα MPLS δίκτυο αφαιρείται η ετικέτα.

6.2.2 Ορολογία

Προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας του MPLS ακολουθούν τα οι ορολογίες των σημαντικότερων στοιχείων της προαναφερθείσας τεχνολογίας.

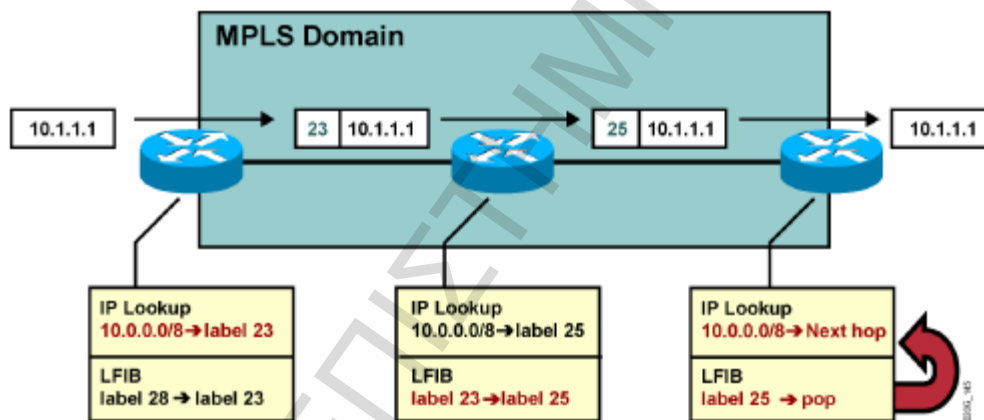
Mpls Network : Το δίκτυο όπου στηρίζει την λειτουργία του στο πρωτόκολλο MPLS. Δηλαδή οι δρομολογητές του δικτύου υποστηρίζουν το πρωτόκολλο.

MPLS Label Switch Router (LSR)(βλ σχήμα 1) : Ο MPLS δρομολογητής που προσθέτει, ή αφαιρεί ή μετατρέπει την ετικέτα μιας ροής της πληροφορίας ώστε να προωθηθεί στο MPLS δίκτυο. Ο LSR κατηγοριοποιείται εκ νέου :

Ingress Edge LSR : Ο MPLS δρομολογητής που δέχεται την εισερχόμενη ροή δεδομένων και στην συνέχεια προσθέτει την ετικέτα που της αντιστοιχεί.

Middle LSR : Ο ενδιάμεσος MPLS δρομολογητής ο οποίος μετατρέπει την ετικέτα στην πληροφορία.

Egress Edge LSR:ο MPLS δρομολογητής ο οποίος αφαιρεί την ετικέτα από την εξερχόμενη πληροφορία.

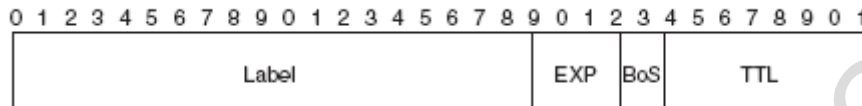


Σχήμα 1. Label Switched Router

Forwarding Equivalent Class (FEC) : Μια κοινή ομάδα πακέτων για την οποία προωθείται η πληροφορία από το ίδιο μονοπάτι και με τους ίδιους Όρους προώθησης.

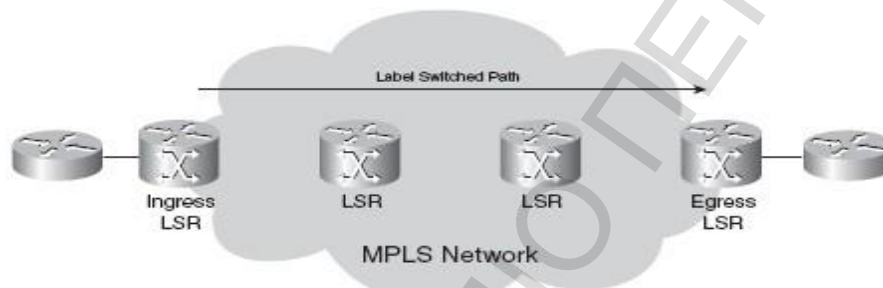
Mpls Label (βλ σχήμα 2): Η αριθμητική ετικέτα 32 bit, που προστίθεται ως trailer στο πακέτο και ορίζει την διαδικασία προώθησης του. Α πρώτα 20 bits ορίζουν τον αριθμό της ετικέτας, τα επόμενα 3 bits (exp)

ορίζουν την ποιότητα της υπηρεσίας, το BoS bit καθορίζει αν η ετικέτα είναι στην αρχή ή στο τέλος της στοίβας και το TTL έχει τον ίδιο ρόλο όπως στον IP Header .



Σχήμα 2.Mpls Label

Label Switching Path (LSP) (βλ σχήμα 3) : Άκρο εις άκρο MPLS μονοπάτι που διαπερνά η ροή δεδομένων από τον αποστολέα έως τον παραλήπτη.



Σχήμα 3.Mpls Path

LIB(Label Information Base) : Πίνακας αποθήκευσης των ετικετών ετικέτες που χρησιμοποιούνται στο MPLS δίκτυο.

LFIB (Label Forwarding Information Base) : Πίνακας στον οποίο στηρίζεται η διεργασία προώθησης πακέτων (αντίστοιχο του IP forwarding table.Αποτελεί συνδυασμό του LIB και του IP routing table

6.2.3 Προώθηση Πληροφορίας MPLS

Οι Label Switching Routers (LSR) κατά την προώθηση ενός πακέτου εκτελούν τα ακόλουθα βήματα:

- Ο LSR παίρνει μια απόφαση προώθησης κάθε πακέτου που βασίζεται στη διεύθυνση προορισμού
- Στη συνέχεια αποφασίζει την ετικέτα που προσδιορίζει την κλάση ισοδυναμίας προώθησης(Forwarding Equivalence Class - FEC) ή κατεύθυνση του πακέτου στο MPLS δίκτυο.
- Τέλος ενθυλακώνει το πακέτο σε ένα MPLS πακέτο όπου στην επικεφαλίδα υπάρχει η αριθμητική ετικέτα.

Κάθε ενδιαμέσος δρομολογητής που βρίσκεται στο MPLS δίκτυο χρησιμοποιεί την αριθμητική ετικέτα κάθε πακέτου και την τοποθετεί σε έναν πίνακα ετικετών όπου από αυτόν πλέον θα βρίσκει τον επόμενο δρομολογητή στον οποίο θα προωθήσει το πακέτο MPLS με τη νέα του ετικέτα.

Ο δρομολογητής LSR που βρίσκεται στην έξοδο του δικτύου MPLS αφαιρεί την επικεφαλίδα από τα MPLS πακέτα και τα προωθεί σύμφωνα με τα πεδία της. Κατά την προώθηση του πακέτου στο MPLS δίκτυο, το πακέτο διασχίζει ένα μονοπάτι, το Label Switching Path. Η δυνατότητα δημιουργίας προκαθορισμένων μονοπατιών σε ένα δίκτυο MPLS είναι ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου γιατί ουσιαστικά παρέχει ευελιξία στον τρόπο δρομολόγησης από τον διαχειριστή. Επίσης ο διαχειριστής του δικτύου μπορεί να επιλέξει μονοπάτια βάσει κάποιων πολιτικών και κριτηρίων, έτσι ώστε να είναι αποτελεσματική τόσο η προώθηση και κατά συνέπεια και η διαχείριση της κίνησης στο Mpls δίκτυο. Σε σχέση με τους παραδοσιακούς τρόπους δρομολόγησης το Mpls μας δίνει τα παρακάτω σημαντικά πλεονεκτήματα:

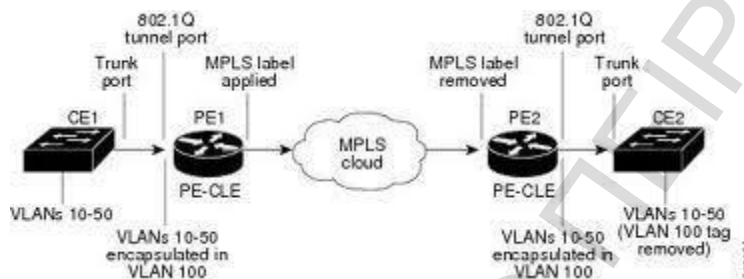
- Η προώθηση των πακέτων μπορεί να γίνει από δικτυακές συσκευές που λειτουργούν σε χαμηλότερο επίπεδο από το επίπεδο δικτύου, αρκεί να μπορούν να αναγνωρίσουν και να διαχειριστούν τις αριθμητικές ετικέτες .
- Μερικές φορές τα πακέτα μιας συγκεκριμένης ροής είναι υποχρεωτικό να ακολουθούσουν ένα συγκεκριμένο μονοπάτι που έχει προκαθοριστεί πριν καν εισέρθουν σε ένα δίκτυο. Η χρησιμότητα έγκειται στην χάραξη πολιτικών κίνησης.
- Υποστήριξη πολλών πρωτοκόλλων
- Αυξημένη απόδοση
- Traffic engineering
- Αυξημένη Ασφάλεια
- Υποστήριξη QoS

Το MPLS καταφέρνει να ελέγχει την προώθηση των πακέτων με τον λιγότερο δυνατό φόρτο για τους δρομολογητές. Παρόλο που το συνεχές μαρκάρισμα των πακέτων ανά δρομολογητή παραπέμπει στην ποιότητα της υπηρεσίας, το Mpls δεν σχεδιάστηκε για αυτήν. Το MPLS είναι περισσότερο ένας μηχανισμός προώθησης παρά ένα ακόμα πρωτόκολλο που εξασφαλίζει την ποιότητα της υπηρεσίας.

Για τη διάδοση των αριθμητικών ετικετών στους δρομολογητές και τη δημιουργία LSP χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο Label Distribution Protocol (LDP), καθώς και μια βελτιωμένη έκδοση του πρωτοκόλλου RSVP.

6.2.4 Label Imposition-Disposition

Η διαδικασία κατά την οποία ένας Ingress Lsr δέχεται ένα ethernet frame και τοποθετεί τις ετικέτες προκειμένου να δρομολογηθεί η πληροφορία στο Mpls δίκτυο ,ονομάζεται Label Imposition. Όταν η πληροφορία δρομολογηθεί και φτάσει στον Egress Lsr ,οι ετικέτες θα απομακρυνθούν προκειμένου να δρομολογηθεί το frame στον τελικό παραλήπτη. Η λειτουργία αφαίρεσης των ετικετών ονομάζεται label disposition (βλ σχήμα 4).



Σχήμα 4. EoMpls Imposition & Disposition

6.3 Μηχανική Κίνησης & MPLS

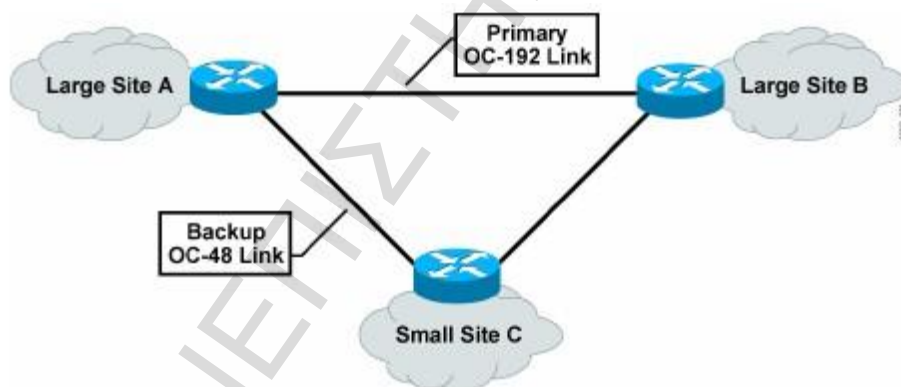
Η εξάπλωση του πλήθους των χρηστών-συνδρομητών καθώς και οι προηγμένες απαιτήσεις των τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών οδηγούν στην δυσκολία ακριβής κατανομής δικτυακών πόρων που να ικανοποιούν επακριβώς τις λειτουργικές τους προϋποθέσεις. Συνέπεια αυτών είναι η διακύμανση στην συμφόρηση της δικτυακής κίνησης, έχοντας περιόδους πλήρους ηρεμίας και περιόδους πλήρους συμφόρησης. Η παρουσία όλων αυτών των προβλημάτων κάνει επιτακτική την ανάγκη για δυναμικούς μηχανισμούς που θα παρατηρούν, θα ελέγχουν και θα ρυθμίζουν την κίνηση με αποτελεσματικό τρόπο. Το MPLS μέσω του μηχανισμού μηχανικής κίνησης καταφέρνει να αυτοματοποιήσει τις διαδικασίες προώθησης της κίνησης και να μεταδίδει την πληροφορία με τον πιο αποδοτικό τρόπο. Οι στόχοι της μηχανικής κίνησης του Mpls προσανατολίζονται στην κυκλοφορία και στους διάθεση των δικτυακών πόρων. Πιο αναλυτικά χρησιμοποιείται:

- Για τη δρομολόγηση των κυρίων μονοπατιών
- Για την παροχή ακριβούς ελέγχου
- Για την αποδοτικότερη χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης
- Ελαχιστοποίηση της απώλειας πακέτων, των παρατεταμένων περιόδων συμφόρησης και μεγιστοποίηση του throughput

- Για την παροχή περισσότερων επιλογών, χαμηλότερου κόστους, και καλύτερης υπηρεσίας στους πελάτες

Το Mpls μέσω της μηχανικής κίνησης αναλύει την δικτυακή κίνηση και δημιουργεί Tunnels μέσα στα οποία προωθεί την πληροφορία. Η πληροφορία ακόμα και αν προορίζεται για τον ίδιο προορισμό θα φτάσει εκεί από διαφορετικά μονοπάτια με αποτέλεσμα να εξισορροπείται ο δικτυακός φόρτος(βλ σχήμα 5). Η μηχανική κίνησης αποφασίζει πιο μονοπάτι θα ακολουθήσει η πληροφορία βασισμένη στις ελεύθερες πηγές δικτυακών πόρων. Για την εφαρμογή της η μηχανική κίνησης απαιτεί να τηρούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις:

- Κάθε LSR θα πρέπει να γνωρίζει όλη την τοπολογία του MPLS δικτύου (με την χρήση δυναμικής δρομολόγησης ospf ή is-is).
- Κάθε LSR θα πρέπει να γνωρίζει επιπλέον πληροφορίες (περιορισμούς συνδέσεων) σχετικά με τις συνδέσεις του δικτύου (με την χρήση δυναμικής δρομολόγησης ospf ή is-is).
- Για την δημιουργία των tunnels και την μετάδοση των ετικετών, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το πρωτόκολλο RSVP ή το πρωτόκολλο CR - LDP .



Σχήμα 5. Traffic Engineering

6.4 Mpls -Qos

Το πρωτόκολλο Mpls έχει την δυνατότητα συλλειτουργίας με τεχνικές ποιότητας της υπηρεσίας. Καταρχήν παρατηρείται διακριτή ομοιότητα στον τρόπο λειτουργίας του πρωτοκόλλου MPLS με τα χαρακτηριστικά του μοντέλου ποιότητας της υπηρεσίας DiffServ. Το συμπέρασμα προκύπτει από την ανάλυση της κίνησης ενός πακέτου δεδομένων ανά δρομολογητή και την αλλαγή των παραμέτρων της κίνησης κίνησης. Επόμενο

κοινό χαρακτηριστικό αποτελεί η δέσμευση πόρων μέσω του Rsvp, κατά την υλοποίηση των tunnels (μηχανική κίνησης) η οποία μας παραπέμπει στο μοντέλο IntServ. Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί το πεδίο στην επικεφαλίδα του Mpls όπου περιέχει τα EXP bits, τα οποία χρησιμοποιούνται προκειμένου να δημιουργηθούν επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας ανά ροές δεδομένων. Επομένως η λειτουργικότητα του MPLS βρίσκει απόλυτη εφαρμογή στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών επιτρέποντας την δημιουργία πολλαπλών επιπέδων υπηρεσιών από άκρο εις άκρο για τους τελικούς χρήστες.

6.5 Συμπεράσματα

Το πρωτόκολλο MPLS αποτελεί σημαντική τεχνολογία για τα δίκτυα των Παρόχων τηλεπικοινωνιών. Κατάφερε να δώσει την δυνατότητα στους παρόχους να διαφοροποιήσουν τις παρεχόμενες υπηρεσίες από άκρο εις άκρο αυξάνοντας το επίπεδο ποιότητας της υπηρεσίας και τους βοήθησε να δημιουργήσουν υπηρεσιοστραφείς υποδομές. Ουσιαστικά το Mpls λειτουργεί μαζί με το πρωτόκολλο IP σε επίπεδο δρομολόγησης με στόχο την ποιοτική και αποδοτική διαμεταγωγή των δεδομένων με ιδιαίτερη αξιοπιστία. Το MPLS σε συνδυασμό με τη μηχανική κίνησης δημιουργεί προσαρμοσμένα μονοπάτια δρομολόγησης σε ένα IP δίκτυο για αποδοτική μετάδοση της πληροφορίας σε συνδυασμό με μείωση της συμφόρησης μιας δικτυακής αρχιτεκτονικής.

Η ιδιαιτερότητα του MPLS παρατηρείται στο ότι κατόρθωσε να οδηγήσει τα δίκτυα των Παρόχων να σταθούν με επιτυχία στις προκλήσεις σχετικά με την διαχείριση των υποδομών, την ευελιξία στις αλλαγές, την κλιμάκωση, την συλλειτουργία με άλλες τεχνολογίες, οδηγώντας τα σε περαιτέρω τεχνολογική ανάπτυξη.

7 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

7.1 Εισαγωγή

Η εξοικονόμηση ενέργειας αποκτά ολοένα και περισσότερο ενδιαφέρον τόσο για κοινωνικούς όσο και για οικονομικούς λόγους. Το τελευταίο διάστημα παρατηρείται αυξανόμενη ερευνητική κίνηση σχετικά με την αναγκαιότητα της μείωσης της κατανάλωσης της ενέργειας όπου θεωρείται μείζον κοινωνικό θέμα. Σήμερα η ενέργεια των υδρογονανθράκων καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής ζήτησης απελευθερώνοντας μεγάλες ποσότητες αερίων και αποτελεί κύριο αίτιο υπερθέρμανσης τους πλανήτη. Οι τεχνολογικές κατευθύνσεις που διερευνώνται για την αντιμετώπιση της κατανάλωσης της ενέργειας οδηγούν αφενός στην αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αφετέρου σε νέες προσεγγίσεις ως προς τον σχεδιασμό και την χρήση των υφιστάμενων υποδομών των ΤΠΕ.

7.2 Ενεργειακές Προσεγγίσεις

Σύμφωνα με έρευνες τα δίκτυα κορμού των ΤΠΕ είναι αυτά που καταναλώνουν το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας. Δυστυχώς δεν υπάρχουν αρκετά έξυπνα εργαλεία προκειμένου να μετρήσουμε με ακρίβεια την κατανάλωση της ενέργειας σε αυτά τα δίκτυα, ενώ δεν έχει δοθεί και η κατάλληλη προσοχή τόσο στο σχεδιασμό όσο και στην παραμετροποίηση των υποδομών με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ενεργειακά αποτελεσματικές.

Οι προσεγγίσεις ως προς την κατανάλωση της ενέργειας μπορούν να διαχωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- Απενεργοποίηση κάποιων δικτυακών οντοτήτων με βάση ενεργειακά κριτήρια.
- Ενεργειακά αποτελεσματικός δικτυακός Σχεδιασμός.
- Προώθηση ενεργειακών πακέτων
- Ενεργειακή Δρομολόγηση

7.2.1 Απενεργοποίηση Δικτυακών Οντοτήτων

Μια πρώτη σημαντική προσέγγιση στην εξοικονόμηση της ενέργειας στα δίκτυα κορμού αποτελεί, η επιλεκτική απενεργοποίηση δικτυακών οντοτήτων με βάση το ωφέλιμο φορτίο. Δηλαδή κατά τη διάρκεια της ημέρας όπου κάποιοι κόμβοι δεν χρησιμοποιούνται ή υπολειτουργούν θα μπορούσαν να σταματήσουν να λειτουργούν και η κίνηση να δρομολογείται από διαφορετικές διαδρομές. Θα μπορούσαν λοιπόν να ορίζονται κάποια κατώφλια όσον αφορά την εισερχόμενη κίνηση σε κάποιο κόμβο και όταν οι μετρήσεις του βάρους της κίνησης έπεφταν από τα προκαθορισμένα όρια, αυτόματα η κίνηση θα διαπερνούσε εναλλακτικές διαδρομές.

Γεγονός είναι ότι συγκεκριμένες ώρες της ημέρας (πχ νύχτα) η ζήτηση για διαθέσιμους πόρους μειώνεται οπότε μπορούμε να επιτύχουμε την ζητούμενη απόδοση σε σχέση με την κατανάλωση της ενέργειας του δικτύου. Σε ένα δίκτυο κορμού θα μπορούσαν να απενεργοποιηθούν τόσο δικτυακές συσκευές, όσο και μέρη αυτών εφόσον οι δικτυακές συσκευές είναι modular.

Βέβαια οποιαδήποτε αλλαγή σε προγραμματισμό σε έναν ή περισσότερους κόμβους του δικτύου μπορεί να επηρεάσει την λειτουργικότητα και των υπολοίπων και για αυτό τον λόγο χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στον όλο σχεδιασμό.

7.2.2 Ενεργειακά αποτελεσματικός δικτυακός Σχεδιασμός

Ο ενεργειακά αποτελεσματικός δικτυακός σχεδιασμός έγκειται στην προσέγγιση σχεδιασμού ενεργειακά αποδοτικών αρχιτεκτονικών εν τη γένεση. Δηλαδή στον αρχικό σχεδιασμό λαμβάνουν χώρα χαρακτηριστικά όπως η ενεργειακή κατανάλωση των δικτυακών συσκευών, η δικτυακή κατανάλωση των modules του chassis, η ενεργειακή κατανομή πόρων έτσι ώστε να μην υποχρησιμοποιείται η δικτυακή υποδομή. Έτσι οδηγούμαστε σε modular αρχιτεκτονικές με ink υψηλών ταχυτήτων και στον προγραμματισμό τεχνικών όπως load balancing, link controlling και traffic engineering.

Πολλές υφιστάμενες υποδομές κορμού δίνουν την δυνατότητα επαναπροσδιορισμού της αρχιτεκτονικής, έτσι ώστε να γίνει ενεργειακά αποδεκτή, αλλά σε αυτή την περίπτωση μιλάμε για ανασχεδιασμό του συνόλου της υποδομής.

7.2.3 Προώθηση ενεργειακών πακέτων

Στην προσπάθεια να μειωθεί η κατανάλωση της ενέργειας κάποιοι ερευνητές προτείνουν τα ενεργειακά πακέτα δρομολόγησης. Έχει αποδειχθεί ότι για έναν σταθερό ρυθμό μετάδοσης τα μικρότερα πακέτα καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια.

Η άποψη αυτή στηρίζεται στην δημιουργία ενός διαφορετικού energy- efficient header που θα δώσει την δυνατότητα μεταφοράς περισσότερου όγκου δεδομένων με ταυτόχρονη μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας που είναι και το ζητούμενο.

7.2.4 Ενεργειακή Δρομολόγηση

Η παραδοσιακή δυναμική δρομολόγηση στηρίζεται στην επιλογή δρομολογίων με βάση κάποια συγκεκριμένα κριτήρια που είναι το BW, το Delay, τα Hops ή κάποιο custom weight. Στόχος της ενεργειακής δρομολόγησης είναι να επιλέγονται οι διαδρομές έχοντας ως κριτήριο τα energy efficient μονοπάτια δρομολόγησης. Δηλαδή ο αλγόριθμος να λαμβάνει χώρα μεταβλητές που έχουν να κάνουν με μετρήσιμα στοιχεία ενέργειας και τα αποτελέσματα να προκύπτουν χάρη σε αυτές τις τιμές. Η ενεργειακή δρομολόγηση θα μπορούσε να επωφεληθεί την ύπαρξη ανοιχτών πρωτοκόλλων δρομολόγησης όπως το Osprf, το Is-Is και το BGP.

7.3 Παράδοξο του Jevons

Βέβαια αξίζει να αναφερθεί το πόρισμα του οικονομικού επιστήμονα Jevons, το οποίο είναι γνωστό ως το “παράδοξο του Jevons” και έχει ελκύσει αρκετούς αναγνώστες. Ο Jevons υποστήριξε ότι η αυξημένη αποδοτικότητα στη χρήση ενός πόρου, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης για τον συγκεκριμένο πόρο και όχι τη μείωσή της. Αυτό συμβαίνει επειδή η βελτίωση στην αποδοτικότητα οδηγεί στην αύξηση της παραγωγικής κλίμακας .

Στην περίπτωση μας κάποιος περιορισμός στην κατανάλωση ενέργειας που θα προκληθεί από την δημιουργία μιας πράσινης υπηρεσίας ή προϊόντος από τους ΤΠΕ από μόνο του δεν οδηγεί υποχρεωτικά και σε μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Μάλιστα, θα παραμονεύει πάντα το παράδοξο να προκληθεί αύξηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας.

Για παράδειγμα, η χρήση των ΤΠΕ που προκαλεί μείωση κατανάλωσης ενέργειας, μπορεί κάλλιστα να προκαλέσει μείωση του κόστους η οποία με τη σειρά της να προκαλέσει αύξηση της ζήτησης η οποία με τη σειρά της είναι πιθανό να οδηγήσει σε αύξηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας.

Ούτως η άλλως οι συνδυασμένες επιπτώσεις είναι γενικά δύσκολο να αναλυθούν καθώς έχουν να κάνουν με τις ρίζες της οικονομικής και κοινωνικής συμπεριφοράς του πολιτισμού μας, σε σχέση πάντα με τις άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις που σε γενικές γραμμές μπορούν να αναλυθούν ευκολότερα.

7.4 Συμπεράσματα

Η ενεργειακή κατανάλωση των ΤΠΕ αυξάνεται ραγδαία από τη στιγμή όπου η επικοινωνία έχει γίνει απαραίτητο εργαλείο ανάπτυξης για κάθε οργανισμό στη σύγχρονη κοινωνία. Οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι αποτελούν σημαντικό κομμάτι στη πίτα των ενεργοβόρων επιχειρήσεων των ΤΠΕ. Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική ανάγκη για την ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικών («πράσινων») λύσεων δικτύου για την αιχμόρο ανάπτυξη των ΤΠΕ. Μέχρι πρόσφατα οι έρευνες σχετικά με τα δίκτυα μεταφορά επικεντρωνόντουσαν στην παροχή ολοένα και περισσότερων διαθέσιμων πόρων προς τους τελικούς χρήστες. Με την ολοένα αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας λόγω της εξάπλωσης της επικοινωνίας είναι επιβεβλημένο να οριστεί ως στόχος η δημιουργία ενεργειακά αποτελεσματικών αρχιτεκτονικών που να οδηγούν σε αποτελεσματικές και αποδοτικές υποδομές που θα στηρίζουν τα μελλοντικά δίκτυα.

Συμπερασματικά οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι αποτελούν σήμερα ένα ισχυρό μοχλό πίεσης προκειμένου να στηρίξουν την μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας τόσο κοινωνικά (προστασίας του περιβάλλοντος) όσο και τεχνολογικά (με την ενσωμάτωση νέων ενεργειακών προσεγγίσεων) και θα πρέπει άμεσα να εργασθούν για αυτούς τους σκοπούς.

8 ENERGY EFFICIENCY- OPEX COSTS

8.1 Εισαγωγή

Οι τηλεπικοινωνιακοί Πάροχοι παγκοσμίως ενισχύουν ολοένα και περισσότερο τις δικτυακές τους υποδομές προκειμένου να βελτιώσουν την ανταγωνιστικότητα τους αλλά και να συμβαδίσουν με τις αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών. Βέβαια δεν μπορεί να αγνοηθεί η αύξηση της κατανάλωσης της ενέργειας που επιφέρει η δημιουργία αυτών των πανίσχυρων δικτύων. Όπως έχουμε προαναφέρει η τρέχουσα κατανάλωση από τα δίκτυα των ΤΠΕ παγκοσμίως είναι 2 % και διαφαίνεται ότι θα αυξηθεί ακόμα περισσότερο καθώς ο ρυθμός ανάπτυξης των δικτυακών υποδομών είναι αρκετά υψηλός. Εκτός των άλλων το κόστος της ενέργειας αποτελεί σημαντικό ποσοστό των λειτουργικών δαπανών ενός παρόχου τηλεπικοινωνιών. Στις ώριμες αγορές το κόστος της ενέργειας αντιπροσωπεύει, κατά μέσο όρο, το 10 τοις εκατό του κόστους λειτουργίας ενός δικτύου. Στις αναδυόμενες αγορές το ποσοστό αυτό μπορεί να κυμαίνεται οπουδήποτε ανάμεσα στο 15 και το 30 τοις εκατό περίπου.

Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι είναι αρκετοί οι λόγοι για τους οποίους θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην κατανάλωση της ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των ρυθμιστικών απαιτήσεων, τις ανάγκες για τυποποιημένη τεχνολογία μετάδοσης των δεδομένων (Ethernet 802.3az), την "πράσινη" νοοτροπία και φυσικά την επιχειρηματική λογική. Κατά αυτή την σκέψη οι ενεργειακά αποδεκτές αρχιτεκτονικές θα αποτελέσουν σημαντικά περιουσιακά στοιχεία κάθε επιχειρηματικού οργανισμού, στο εγγυς μέλλον.

8.2 Δαπάνες

Οι σύγχρονοι οργανισμοί διαχωρίζουν τις δαπάνες, σε δαπάνες κεφαλαίων (Capex) και σε λειτουργικές δαπάνες (Opex). Έτσι και στην περίπτωση των δικτύων ΤΠΕ, το αντίστοιχο κόστος χωρίζεται σε δύο μέρη, το κόστος κατασκευής του δικτύου, γνωστό και ως CAPEX (από την σύμπτυξη των όρων Capital Expenses) και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του δικτύου γνωστό και ως OPEX (από την σύμπτυξη των όρων Operational Expenses).

Για τους παρόχους τηλεπικοινωνιακών δικτύων, ο έλεγχος του κόστους κατασκευής είναι σχετικά εύκολος καθώς μπορεί να υπάρξει άμεση σύγκριση. Αντίθετα η μέτρηση και ο έλεγχος του κόστους λειτουργίας και συντήρησης του δικτύου αποτελεί μια πρόκληση για τους οικονομικά υπεύθυνους αφού περιλαμβάνει στοιχεία που δεν είναι άμεσα συνδεδεμένα με την λειτουργία της υποδομής. Έτσι πολλές φορές

8.3 Κατανάλωση Ενέργειας

Η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να χαρακτηριστεί ως σημαντικό και διαχειρίσιμο στοιχείο του κόστους λειτουργίας και συντήρησης μιας δικτυακής υποδομής. Δεδομένου του ότι η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας συνεχώς αυξάνεται καταλαβαίνουμε ότι η μείωση της κατανάλωσης μπορεί εύκολα να μετρηθεί και να

αποδοθεί στους δείκτες του Ορεχ. Κατά αυτόν τρόπο η μείωση των λειτουργικών εξόδων οδηγεί στην δυνατότητα νέων επενδύσεων αυξάνοντας την αποδοτικότητα του Οργανισμού.

Συμπερασματικά καταλαβαίνουμε ότι τα ενεργειακά κέρδη από την μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας είναι πολυδιάστατα και μετρήσιμα, οδηγώντας σε άμεσα οικονομικά οφέλη τους επιχειρηματικούς οργανισμούς, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα τους κοινωνικούς σκοπούς της πράσινης πολιτικής που φιλοδοξεί να επιτύχει η Ευρωπαϊκή Ένωση.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

9 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ENERGY-EFFICIENCY NETWORK ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ GNS 3

9.1 Graphical Network Simulator

Το GNS 3 είναι ένα ελεύθερο λογισμικό προσομοίωσης πολύπλοκων δικτυακών αρχιτεκτονικών, εξειδικευμένο στο παγκοσμίως γνωστό λειτουργικό σύστημα της Cisco, το Cisco Ios. Στην ουσία το GNS αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την εκμάθηση και την δοκιμή σε εργαστηριακό περιβάλλον τόσο του λειτουργικού συστήματος, όσο και του δικτυακού εξοπλισμού της κατασκευάστριας εταιρείας Cisco. Η δυναμικότητα του συγκεκριμένου λογισμικού έγκειται στο γεγονός ότι επιτρέπει την χρήση όλων των εντολών του λειτουργικού συστήματος, καθώς για την εφαρμογή του χρησιμοποιούνται πραγματικότητα Cisco Ios. Το εν λόγω λογισμικό επιτρέπει την χρήση δικτυακού εξοπλισμού, όπως δρομολογητές, μεταγωγείς, συστήματα ασφάλειας, μεταγωγείς frame relay και ATM. Ακολουθεί σχετική λίστα με τα μοντέλα του κατασκευαστή Cisco που υποστηρίζει:

- 1710
- 1720
- 1721
- 1750
- 1751
- 1760
- 2610
- 2610XM
- 2611
- 2611XM
- 2620
- 2620XM
- 2621
- 2621XM
- 2650XM

- 2651XM
- 2691
- 3620
- 3640
- 3660
- 3725
- 3745
- 7200
- 7600
- Cisco ASA 5500
- Cisco IPS/IDS

Το Graphical Network Simulator εκτελείται σε λειτουργικά Windows και Linux. Οι δυνατότητες του λογισμικού ως προς την απόδοση του σε εικονικό περιβάλλον είναι 1000 πακέτα ανά δευτερόλεπτο.

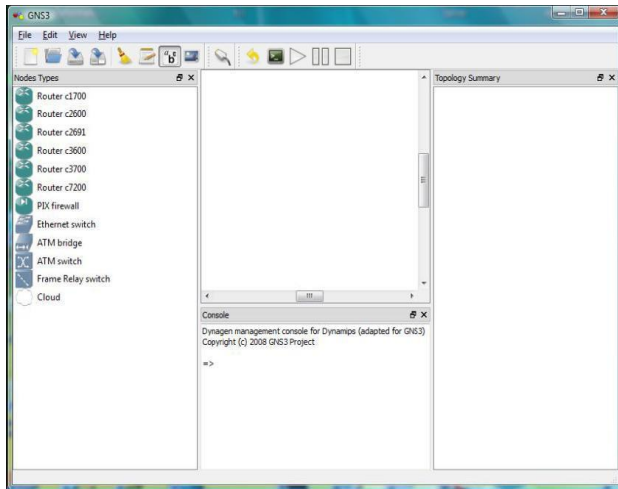
9.2 Γρήγορο Εγχειρίδιο Εγκατάστασης (για Windows OS)

Η πλήρης λειτουργία του Graphical Network Simulator προϋποθέτει τρία σημαντικά βήματα:

- Download : Από το site www.gns3.net υπάρχει η δυνατότητα να κατέβει το ελεύθερο λογισμικό.
- Installation: Αφού κατέβει το λογισμικό στη συνέχεια θα πρέπει να εγκατασταθεί στο λειτουργικό σύστημα του προσωπικού υπολογιστή. Η εγκατάσταση είναι πολύ εύκολη καθώς το GNS παρέχει ένα εύχρηστο ερωτηματολόγιο εγκατάστασης.
- Καθορισμός φακέλων Cisco Ios: Μετά την εγκατάσταση θα πρέπει να ορίσουμε στο λογισμικό τους φακέλους όπου θα εγκαταστήσουμε τα λειτουργικά συστήματα του δικτυακού εξοπλισμού της Cisco. Κάθε φορά που το λογισμικό εκτελείται θα ψάχνει στον φάκελο αυτό έτσι ώστε να βρίσκει το λειτουργικό που του έχουμε ορίσει.

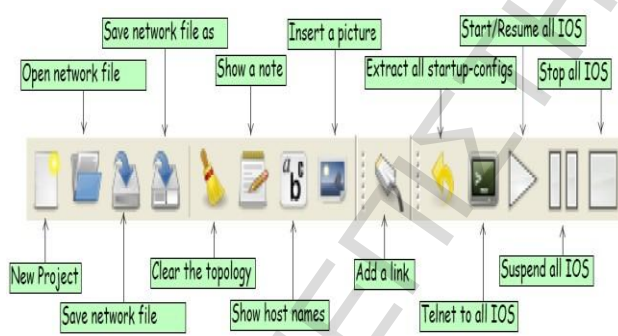
9.3 Εγχειρίδιο Χρήσης

Ενα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα του GNS είναι η εύχρηστη και φιλική προς τον χρήστη διεπαφή που διαθέτει.



Σχήμα 6. Graphical Network Simulator

Το αρχικό μενού του Graphical Network Simulator παρέχει την δυνατότητα πολλαπλών επιλογών λειτουργίας της τοπολογίας.



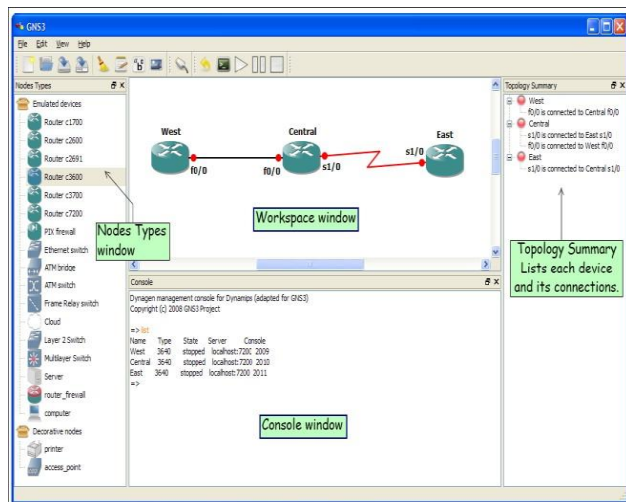
Σχήμα 7. Μενου Επιλογών

Υπάρχουν οι ακόλουθες επιλογές (βλ σχήμα 8):

- **New Project:** Αφορά την δημιουργία νέας τοπολογίας.
- **Open network file:** Αφορά το άνοιγμα ενός φακέλου για την εύρεση μιας ήδη δημιουργημένης τοπολογίας που έχει αποθηκευτεί.
- **Save network file:** Αφορά την αποθήκευση μιας τοπολογίας

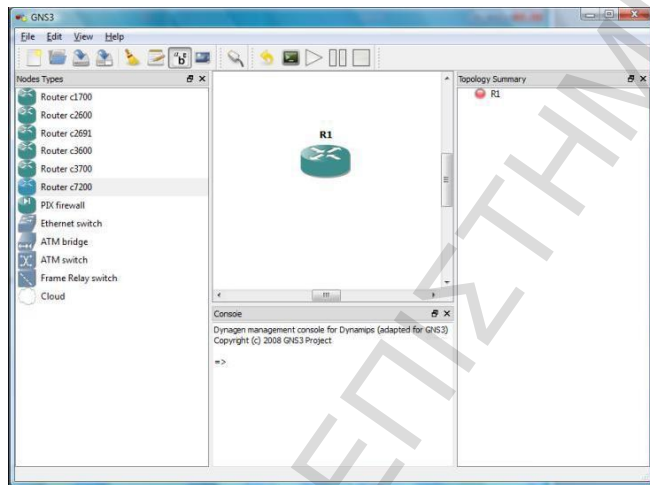
- Save network file as: Αφορά την αποθήκευση μιας τοπολογίας με συγκεκριμένο όνομα.
- Clear the topology: Επιτρέπει την διαγραφή της τοπολογίας από την επιφάνεια διεργασίας.
- Show Hosts Names: Επιτρέπει την εμφάνιση των Hosts Names των δικτυακών στοιχείων.
- Insert a picture: Επιτρέπει την εισαγωγή φωτογραφίας ως back round στην τοπολογία.
- Add a link: Επιτρέπει την σύνδεση μεταξύ δυο δικτυακών στοιχείων.
- Extract all startup-configs: Επιτρέπει την εξαγωγή του φακέλου εντολών που τρέχει στα δικτυακά στοιχεία σε αρχείο txt.
- Telnet to all Ios: Επιτρέπει την σύνδεση μέσω Telnet στα λειτουργικά συστήματα των δικτυακών στοιχείων της τοπολογίας.
- Start/resume all Ios: Επιτρέπει την έναρξη λειτουργίας των λειτουργικών συστημάτων των δικτυακών στοιχείων της τοπολογίας.
- Suspend all Ios: Επιτρέπει την παύση λειτουργίας των λειτουργικών συστημάτων των δικτυακών στοιχείων της τοπολογίας.
- Stop all Ios: Επιτρέπει την διακοπή λειτουργίας των λειτουργικών συστημάτων των δικτυακών στοιχείων της τοπολογίας.

Το Gns χωρίζεται σε τέσσερα παράθυρα επιλογής. Το αριστερό τμήμα απαριθμεί τα είδη των διαθέσιμων δικτυακών κόμβων. Ουσιαστικά εδώ θα παρατηρήσουμε εικονίδια για πλατφόρμες, όπως δρομολογητές, μεταγωγείς, συστήματα ασφάλειας και μεταγωγείς Frame relay και ATM. Το μεσαίο τμήμα της διεπαφής περιέχει δυο παράθυρα. Το επάνω τμήμα αποτελεί την επιφάνεια διεργασίας όπου θα δημιουργήσουμε την τοπολογία. Το κάτω τμήμα ουσιαστικά μας δείχνει την κονσόλα (τον πυρήνα) του λογισμικού GNS (μοιάζει με το Dos). Στο δεξιό τμήμα υπάρχει το παράθυρο όπου παρέχει συνοπτικά στοιχεία για την τοπολογία (βλ σχήμα 8).



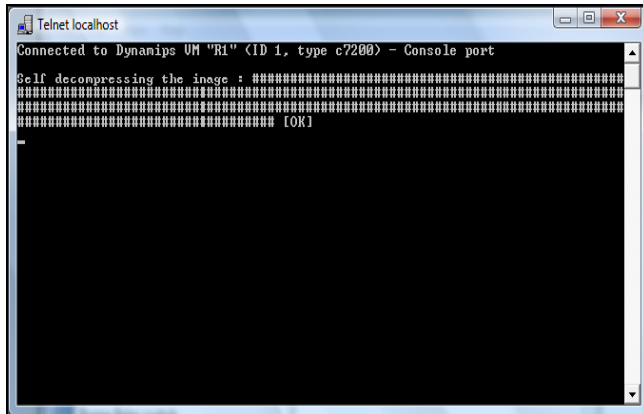
Σχήμα 8. Παραθυρα Επιλογών

Για την χρήση ενός δικτυακού στοιχείου στην τοπολογία αρκεί να γίνει Drag n Drop στην επιφάνεια διεργασίας(βλ σχήμα 9).



Σχήμα 9. Drag n Drop

Με δεξί κλικ πάνω στο δικτυακό στοιχείο, εμφανίζεται ένα μενού από διαφορετικές επιλογές. Η αρχική επιλογή είναι το Configure όπου δίνει την δυνατότητα επιλογής κατάλληλης παραμετροποίησης, όσον άφορα τα αποσπώμενα μέρη του δικτυακού στοιχείου(interfaces, flash, ram). Η επιλογή Start επιτρέπει την ενεργοποίηση του δικτυακού στοιχείου ενώ η αμέσως επομένη επιλογή Console, ξεκίνα το δικτυακό στοιχείο επιτρέποντας την διαχείριση του από τον χρήστη (βλ σχήμα 10).



Σχήμα 10.Console

Η παραμετροποίηση πολλών δικτυακών στοιχείων θα επιφέρει την χρήση επιπλέον πόρων μνήμης και επεξεργαστικής ισχύς για τον υπολογιστή όπου τρέχει το λογισμικό.

10 EEM

Ο ενσωματωμένος διαχειριστής εκδήλωσης (EEM), παρακολουθεί βασικές λειτουργίες και μετρήσεις του συστήματος και στη συνέχεια ενεργεί σε αυτά μέσω μιας σειράς πολιτικών. Οι πολιτικές αυτές είναι προγραμματισμένα σενάρια που χρησιμοποιούνται για να προσαρμόσουν τα συστήματα σε συγκεκριμένα μοτίβα λειτουργίας.

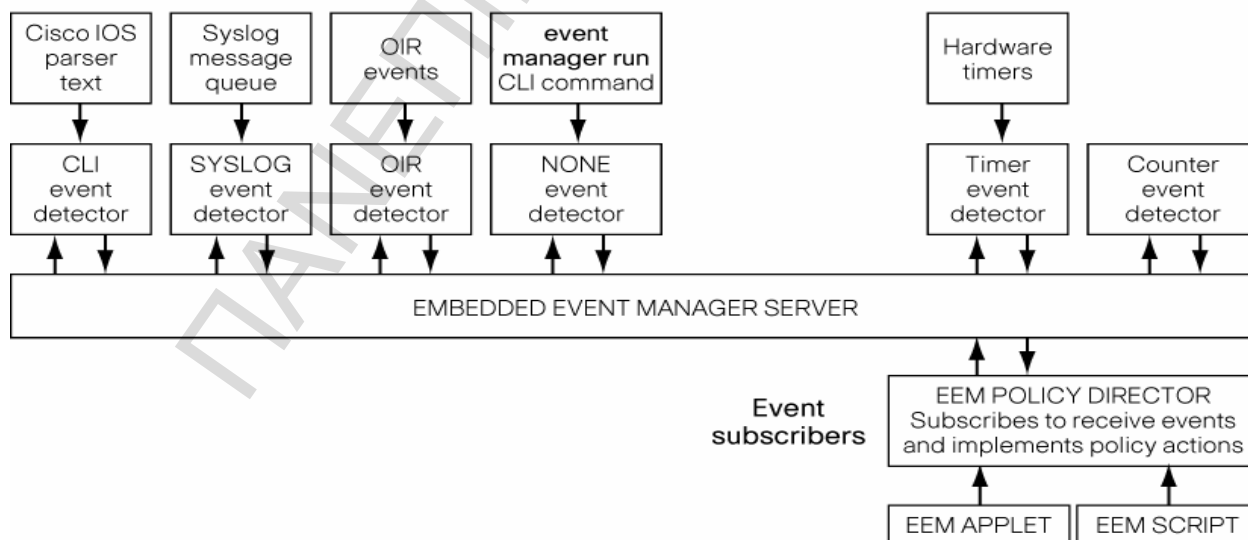
Κάθε σενάριο δημιουργεί δράσεις, όπως η εκτέλεση εντολών και η δημιουργία μηνυμάτων syslog και SNMP. Η ενεργοποίηση των δράσεων του EEM γίνεται αυτοματοποιημένα, με βάση συγκεκριμένα κριτήρια ενώ οι δράσεις αποκατάστασης πραγματοποιούνται χωρίς να χρειάζονται τα συστήματα εκ νέου επανεκκίνηση.

Στα πλαίσια ανάπτυξης του επιπέδου διαχείρισης των δικτυακών συσκευών η Cisco δημιούργησε μία online scripting δικτυακή κοινότητα με την ονομασία Cisco Beyond, η οποία δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να ανταλλάσσουν πληροφορίες καθώς και τις καλύτερες πρακτικές διαχείρισης συσκευών, με αποτέλεσμα την αυξημένη δυνατότητα διαχείρισης, ελέγχου και ευελιξίας για τα Cisco switches και routers που υποστηρίζουν την τεχνολογία Cisco IOS Embedded Event Manager (EEM).

Ο Cisco Embedded Event Manager (EEM) αποτελείται από τρία κύρια μέρη:

- EEM server,
- event publisher (event detector),
- event Subscriber

Core event publishers



Σχήμα 11. Core Event Publishers

EVENT DETECTOR

Ο event detector ειδοποιεί το EEM server όταν κάτι συμβαίνει μια εκδήλωση ενδιαφέροντος συμβαίνει. Ο event detector ουσιαστικά αποτελεί την διεπαφή μεταξύ του agent και της πολιτικής EEM που θα οδηγήσει σε μια δράση του συστήματος.

EEM POLICY

Όταν ανιχνεύεται κάποιο γεγονός η πολιτική EEM λαμβάνει χώρα και δρα προκειμένου να φέρει την δικτυακή οντότητα σε μια συγκεκριμένη κατάσταση. Δηλαδή από κάθε πολιτική EEM προκύπτει μια δράση.

Οι δικτυακές οντότητες Cisco μπορούν και αναγνωρίζουν την δημιουργία EEM πολιτικών είτε από το λειτουργικό τους σύστημα (Cisco Cli), είτε μέσω της γλώσσας προγραμματισμού TCL Script.

Η δράση που ακολουθεί την πολιτική θα μπορούσε να είναι οποιαδήποτε από τις παρακάτω :

- Εκτέλεση μιας εντολής Cisco
- Ρύθμιση ή τροποποίηση ενός μετρητή
- Αναζήτηση κατάσταση δικτυακής οντότητας
- Πληροφόρηση μέσω e-mail
- Χειροκίνητη ενεργοποίηση EEM πολιτικής
- Επαναφόρτωσης τους λειτουργικού
- Πληροφόρηση μέσω snmp trap
- Πληροφόρηση μέσω syslog

EEM APPLET

Ένα applet EEM είναι μια απλή μορφή πολιτικής που ορίζεται στο λειτουργικό σύστημα της Cisco (cli). Στο applet EEM, υποστηρίζονται τρεις τύποι παραμετροποίησης.

- Οι εντολές event που χρησιμοποιούνται όταν ένα γεγονός γίνει αντιληπτό.
- Οι εντολές action που χρησιμοποιούνται που καθορίζουν μια δράση.

- Οι εντολές set που χρησιμοποιούνται προκειμένου να αλλάξει μια μεταβλητή σε μια δικτυακή οντότητα.

EEM Sample Configuration: EEM with Applet Policy

Στη συνέχεια αναφέρονται τα βασικά βήματα παραμετροποίησης ενός EEM Applet

1. Δημιουργία EEM Applet

```
ROUTER(config)#event manager applet ISR_CISCO
```

2. Δημιουργία Μηνύματος Syslog

```
ROUTER(config-applet)# event syslog pattern "Interface GigabitEthernet0/0, changed state to down"
```

3. Παραμετροποίηση Δράσεων

```
ROUTER(config-applet)# action 1.0 cli command "enable" ROUTER(config-
```

```
applet)# action 1.1 cli command "configure term" ROUTER(config-applet)# action
```

```
1.2 cli command "interface g0/1" ROUTER(config-applet)# action 1.3 cli
```

```
command "no shut" ROUTER(config-applet)#
```

ενώ σε Tcl Script θα ήταν :

```
::cisco::eem::event_register_syslog pattern "Interface GigabitEthernet0/0, changed state to down"
```

```
# event manager applet ISR_CISCO Creates and registers the applet with EEM
# event syslog pattern "Interface GigabitEthernet0/0, changed state to down"
# action 1.0 cli command "enable"
# action 1.1 cli command "configure term"
# ROaction 1.2 cli command "interface g0/1"
# action 1.3 cli command "no shut"
#
```

```
namespace import ::cisco::eem::*
namespace import ::cisco::lib::*
```

```
array set arr_einfo [event_reqinfo]

if [catch {cli_open} result] {
    error $result $errorInfo
} else {
    array set cli1 $result
}

if [catch {cli_exec $cli1(fd) "enable"} _cli_result] {
    error $_cli_result $errorInfo
}

if [catch {cli_exec $cli1(fd) "configure term"} _cli_result] {
    error $_cli_result $errorInfo
}

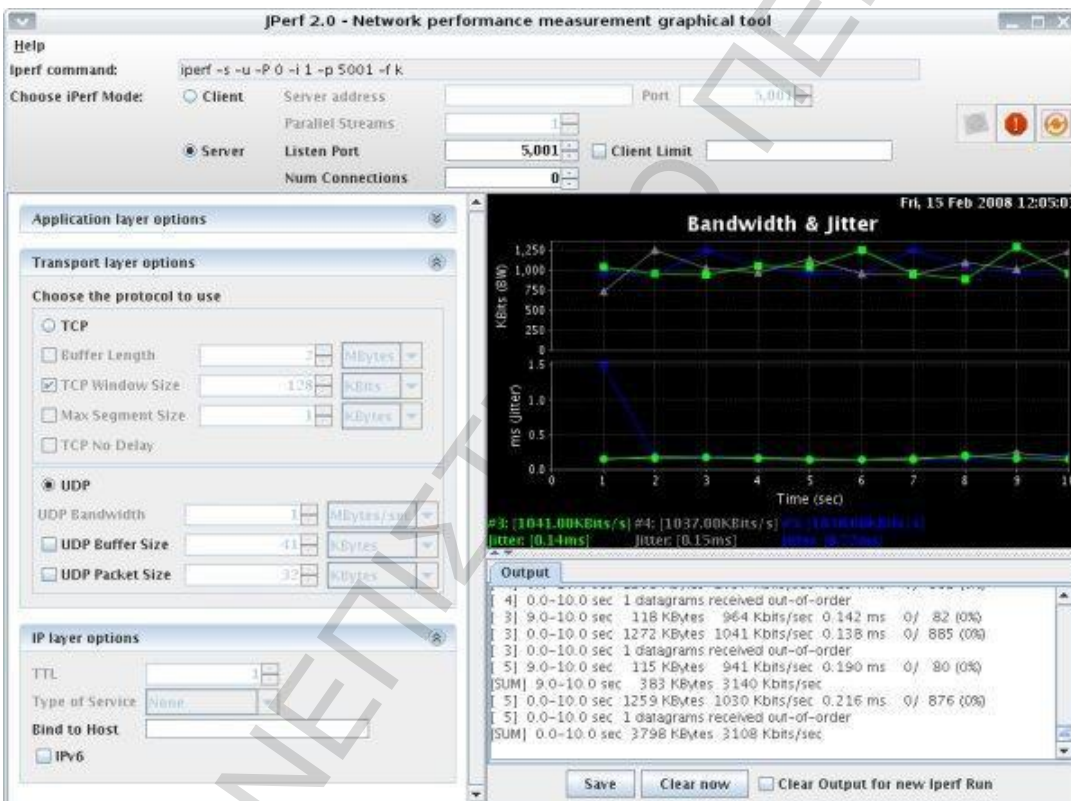
if [catch {cli_exec $cli1(fd) "no shut"} _cli_result] {
    error $_cli_result $errorInfo
}

catch {cli_close $cli1(fd) $cli1(tty_id)} result
```

11 JPERF

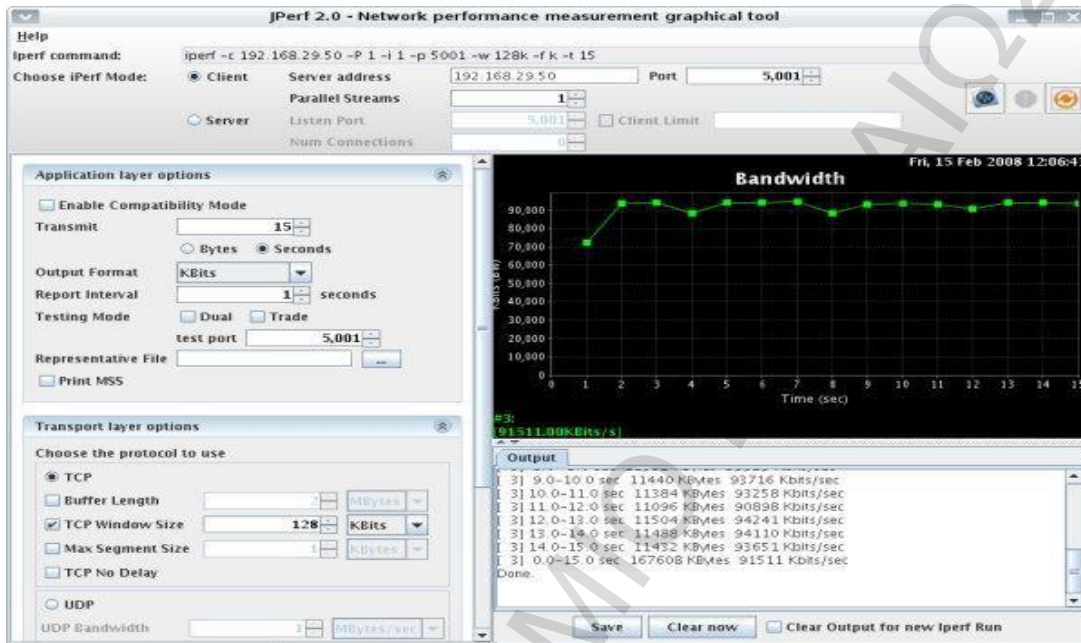
Το Jperf είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του εύρους ζώνης και την ποιότητα της σύνδεσης ενός δικτύου. Το JPERF παράγει κίνηση και παρέχει τα αποτελέσματα σε γραφικό περιβάλλον Java.

Το μοντέλο λειτουργίας του ανήκει στην κατηγορία Client-Server, δηλαδή θα πρέπει στο δίκτυο να υπάρχουν δυο τερματικά όπου με βάση αυτά θα γίνουν οι δοκιμές. Τα δυο τερματικά θα πρέπει να διασυνδέονται σε επίπεδο δικτύου.



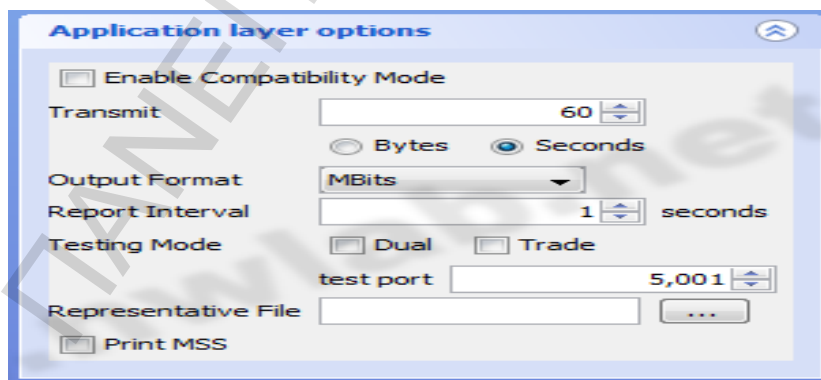
Σχημα 12.Jperf Interface

Καθώς ανοίγουμε το πρόγραμμα στο επάνω μέρος της διεπαφής θα πρέπει να ορίσουμε τον ρόλο του τερματικού για τις μετρήσεις (Client ή Server). Η πόρτα που "ακούει" ο Server είναι η 5001(βλ σχήμα 12). Αντίστοιχη ρύθμιση θα πρέπει να πραγματοποιήσουμε για τον ορισμό του Client, εκεί όπου θα ορίσουμε ποιος θα είναι ο αποδέκτης της πληροφορίας (ip Server, βλ σχήμα 13).



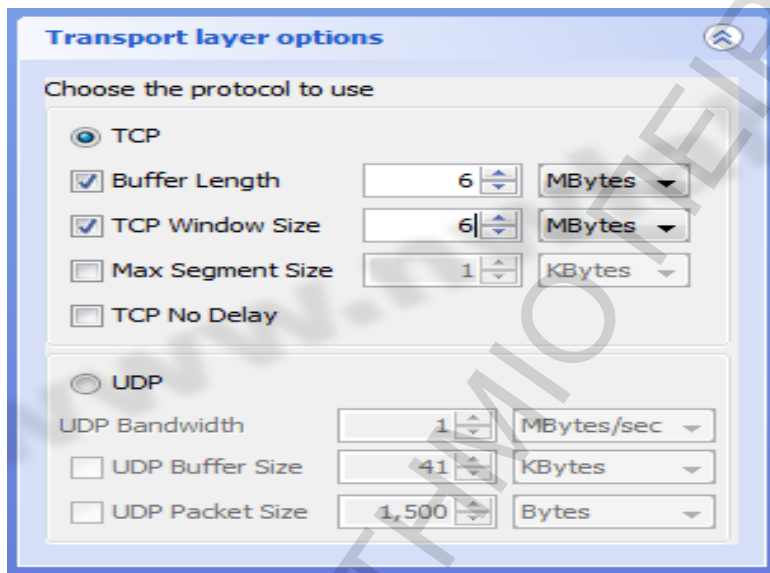
Σχήμα 13. Jperf Server Ip

Στη συνέχεια θα πρέπει να ορισθεί το μέγεθος της ροής της πληροφορίας σε επίπεδο εφαρμογής (βλ σχήμα 14) , δηλαδή για πόσο χρόνο ή τι όγκο δεδομένων θέλουμε να παράγει η εφαρμογή και σε τι μονάδα μέτρησης θα ορίζονται τα αποτελέσματα.



Σχήμα 14 Jperf Options

Επίσης θα πρέπει να ορισθεί το πρωτόκολλο επιπέδου μεταφοράς δεδομένων (UDP ή TCP) καθώς και μεταβλητές που αφορούν το μέγεθος του segment ή του πακέτου, το windows size καθώς και το Buffer size(βλ σχήμα 15).



Σχήμα 15. Transport Layer Options

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής διατίθενται σε πίνακα όπου μπορούμε να διαγνώσουμε το συνολικό αριθμό των πακέτων και το εύρος ζώνης ανά μεταφορά ρών δεδομένων.

Βέβαια η διαφορά μεταξύ του TCP (Transmission Control Protocol) και UDP (User Datagram Protocol) είναι ότι οι διαδικασίες ελέγχου για την ροή των πακέτων προς τον δέκτη, ενώ τα UDP πακέτα αποστέλλονται χωρίς κανέναν έλεγχο, αλλά με το πλεονέκτημα του ότι είναι πιο γρήγορη η μεταφορά.

Τέλος, το Jperf αποτελεί ελεύθερο λογισμικό που μπορεί να εγκατασταθεί πολύ εύκολα σε οποιοδήποτε UNIX / Linux ή σύστημα Microsoft Windows .

12 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ

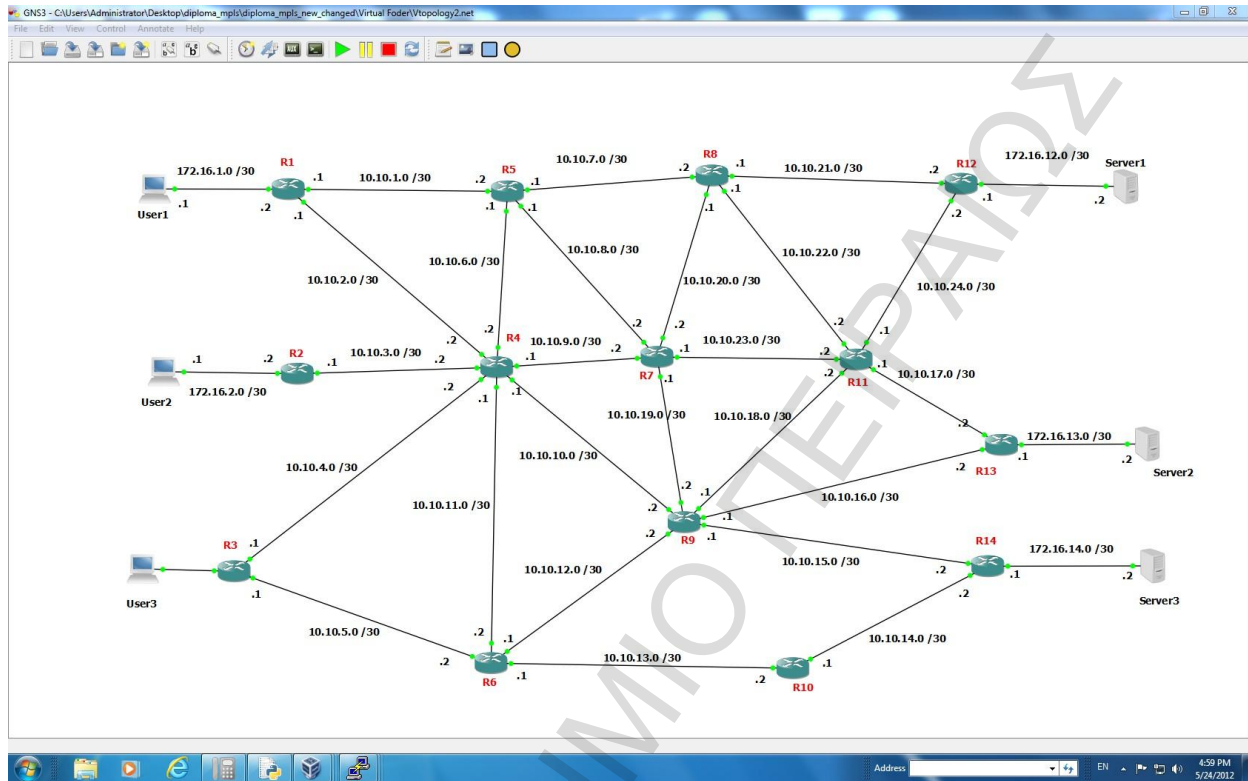
12.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα προσπαθήσουμε να εντάξουμε -σε πειραματικό πλαίσιο- τις θεωρητικές αναφορές των προηγούμενων κεφαλαίων προσομοιώνοντας ένα Mpls δίκτυο με τη χρήση του Graphical Network Simulator. Το Mpls δίκτυο θα εξομοιώνει ένα πραγματικό δίκτυο εισάγοντας αυτοματοποιημένους μηχανισμούς δημιουργίας virtual tunnels και τεχνικών traffic engineering .

Ο λογικός σχεδιασμός της αρχιτεκτονικής στηρίζεται στην δημιουργία explicit paths (Tunnels) απο κάθε user προς κάθε Server της τοπολογίας. Με τη χρήση λογισμικού Traffic generator (Jperf) καταφέραμε να δημιουργήσουμε φορτία δεδομένων στους δρομολογητές της τοπολογίας. Για την καλύτερη διαχείριση του φορτίου χρησιμοποιήσαμε μηχανισμούς load balancing και traffic engineering προκειμένου να "χειριστούμε" την κίνηση από τις διαδρομές που επιθυμούμε, με κριτήριο την κατανάλωση της ενέργειας. Κατά την διάρκεια μεταφοράς φορτίου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στους πόρους(μνήμη και επεξεργαστική ισχύ) των δρομολογητών καθώς και στο utilization του δικτύου έτσι ώστε με την χρήση επιστημονικών τύπων να αναλύσουμε την κατανάλωση της ισχύος των δρομολογητών.

Σκοπό του σεναρίου αποτελεί η δημιουργία μιας ενεργειακά αποτελεσματικής αρχιτεκτονικής που θα εξυπηρετεί το σύνολο των χρηστών.

12.2 Τοπολογία



Σχημα 16 Topology Architecture

Η τοπολογία περιλαμβάνει 14 LSR όπου αποτελούν τους δρομολογητές του MPLS δικτύου.

Οι δρομολογητές LSR1, LSR2, LSR3 αποτελούν τους ingress LSR καθώς αυτοί δέχονται τις ροές δεδομένων από τους χρήστες και τις προωθούν στο MPLS δίκτυο.

Αντίστοιχα οι δρομολογητές LSR12, LSR13, LSR14 αποτελούν τους egress LSR καθώς η πληροφορία εξέρχεται το MPLS δίκτυο και αφαιρείται η ετικέτα.

Οι χρήστες User1, User2, User3 προωθούν ροές δεδομένων προς τους Server1, Server2, Server3.

12.3 Δικτυακές Οντότητες

Οι δρομολογητές της τοπολογίας μας είναι τεχνολογίας modular-chassis. Δηλαδή αποτελούνται από ένα κεντρικό chassis και 6 modules στα οποία τοποθετούνται ως ξεχωριστά μέρη επιπλέον Linecards. Οι επιλογές των επιπλέον μερών έχουν να κάνουν με την προσθήκη controller (είναι απαραίτητος για τον δρομολογητή), interfaces (στην τοπολογία μας κάνουμε χρήση του module PA-2FE) και service engines (δεν χρησιμοποιούνται στην τοπολογία μας). Ανάλογα με τις διασυνδέσεις του κάθε δρομολογητή χρησιμοποιούμε τα αντίστοιχα module.

Κύριο μέλημα της αρχιτεκτονικής είναι να χρησιμοποιήσουμε όσα modules χρειαζόμαστε έτσι ώστε η τοπολογία μας να είναι ενεργειακά αποδεκτή, καθώς ένα module καταναλώνει ενέργεια ακόμα και αν δεν έχει ενεργές συνδέσεις επάνω του.

12.4 Παραμετροποίηση Δικτυακών Οντοτήτων

Η παραμετροποίηση των δικτυακών οντοτήτων μέσω του Graphical Network Simulator, έγινε με σκοπό τη λειτουργία του Mpls δικτύου και την δυνατότητα χειρισμού της κίνησης με τεχνολογία Traffic Engineering και αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

- Παραμετροποίηση Διευθυνσιοδότησης : Η παραμετροποίηση αφορά την διευθυνσιοδότηση των δρομολογητών, Χρηστών, Εξυπηρετητών σε επίπεδο IP.
- Παραμετροποίηση Ospf & Mpls πρωτοκόλλου: Η παραμετροποίηση του OSPF & MPLS αφορά τους δρομολογητές LSR1 έως και LSR14 και περιλαμβάνει την ενεργοποίηση του MPLS, την ενεργοποίηση του Ospf και την ενεργοποίηση του LDP.
- Παραμετροποίηση MPLS TE : Η παραμετροποίηση του Mpls TE αφορά τους δρομολογητές LSR1 έως και LSR14 και περιλαμβάνει την δημιουργία virtual Tunnels μεταξύ των ακριανών δρομολογητών για την μεταφορά των ροών δεδομένων.
- Παραμετροποίηση Αυτοματοποιημένης Διαχείρισης : Η παραμετροποίηση της αυτοματοποιημένης διαχείρισης αφορά την χρήση TE και Load Balancing και περιλαμβάνει την δημιουργία Tcl Scripts. Οι δρομολογητές σύμφωνα με τα scripts εκτελούν αντίστοιχες δράσεις.

12.4.1 Παραμετροποίηση Διευθυνσιοδότησης

Η παραμετροποίηση Διευθυνσιοδότησης αφορά την παραμετροποίηση των LSR σε LAYER 3 (σύμφωνα με το OSI μοντέλο αναφοράς) έτσι ώστε να αναγνωρίζονται σαν δικτυακές οντότητες στην τοπολογία.

Δηλαδή κάθε οντότητα της τοπολογίας και σύμφωνα με τις διεπαφές διασύνδεσης θα προγραμματίζεται με τις διευθύνσεις που θα χρησιμοποιεί. Για παράδειγμα ο LSR1 χρησιμοποιεί τρεις διασυνδέσεις :

LSR	LOOPBACK	IP (LSR)	LSR	LOOPBACK	IP (LSR)	LSR	LOOPBACK	IP (LSR)	LSR	LOOPBACK	IP (LSR)
R1	192.168.1.1	10.10.1.1 (R5)	R5	192.168.5.1	10.10.1.2(R1)	R8	192.168.8.1	10.10.7.2(R5)	R11	192.168.11.1	10.10.22.2(R8)
		10.10.2.1(R4)			10.10.7.1(R8)			10.10.21.1(R12)			10.10.23.2(R7)
					10.10.8.1(R7)			10.10.22.1(R11)			10.10.18.2(R9)
R2	192.168.2.1	10.10.3.1 (R4)			10.10.6.1(R4)			10.10.20.1(R7)			10.10.17.1(R13)
											10.10.24.1(R12)
R3	192.168.3.1	10.10.4.1 (R4)	R6	192.168.6.1	10.10.5.2(R3)	R9	192.168.9.1	10.10.10.2(R4)			
		10.10.5.1(R6)			10.10.11.2(R4)			10.10.12.2(R6)	R12	192.168.12.1	10.10.21.2(R8)
					10.10.12.1(R9)			10.10.15.1(R14)			10.10.24.2(R11)
R4	192.168.4.1	10.10.2.2(R1)			10.10.13.1(R10)			10.10.16.1(R13)			
		10.10.3.2(R2)						10.10.18.1(R11)	R13	192.168.13.1	10.10.17.2(R11)
		10.10.4.2(R3)	R7	192.168.7.1	10.10.8.2(R5)			10.10.19.2(R7)			10.10.16.2(R9)
		10.10.6.2(R5)			10.10.9.2(R4)						
		10.10.9.1(R7)			10.10.19.1(R9)	R10	192.168.10.1	10.10.13.2(R6)	R14	192.168.14.1	10.10.15.2(R9)
		10.10.10.1(R9)			10.10.23.1(R11)			10.10.14.1(R14)			10.10.14.2(R10)
		10.10.11.1(R6)			10.10.20.2(R8)						

Πίνακας 1. Πίνακας Διευθυνσιοδότησης

12.4.2 Παραμετροποίηση Ospf

12.4.2.1 Γενικά

Στην τοπολογία έχει ενεργοποιηθεί στο σύνολο των δρομολογητών το πρωτόκολλο δρομολόγησης OSPF.

Κάθε δρομολογητής δημιουργεί μια γειτονική σχέση με τους άμεσα συνδεδεμένους δρομολογητές. Οι δρομολογητές, αρχικά διαφημίζουν τα δίκτυα που έχουν άμεσα συνδεδεμένα πάνω τους και στη συνέχεια τα δίκτυα που μαθαίνουν από τους γείτονες, έως ότου γνωστοποιηθεί η τοπολογία σε όλους τους δρομολογητές

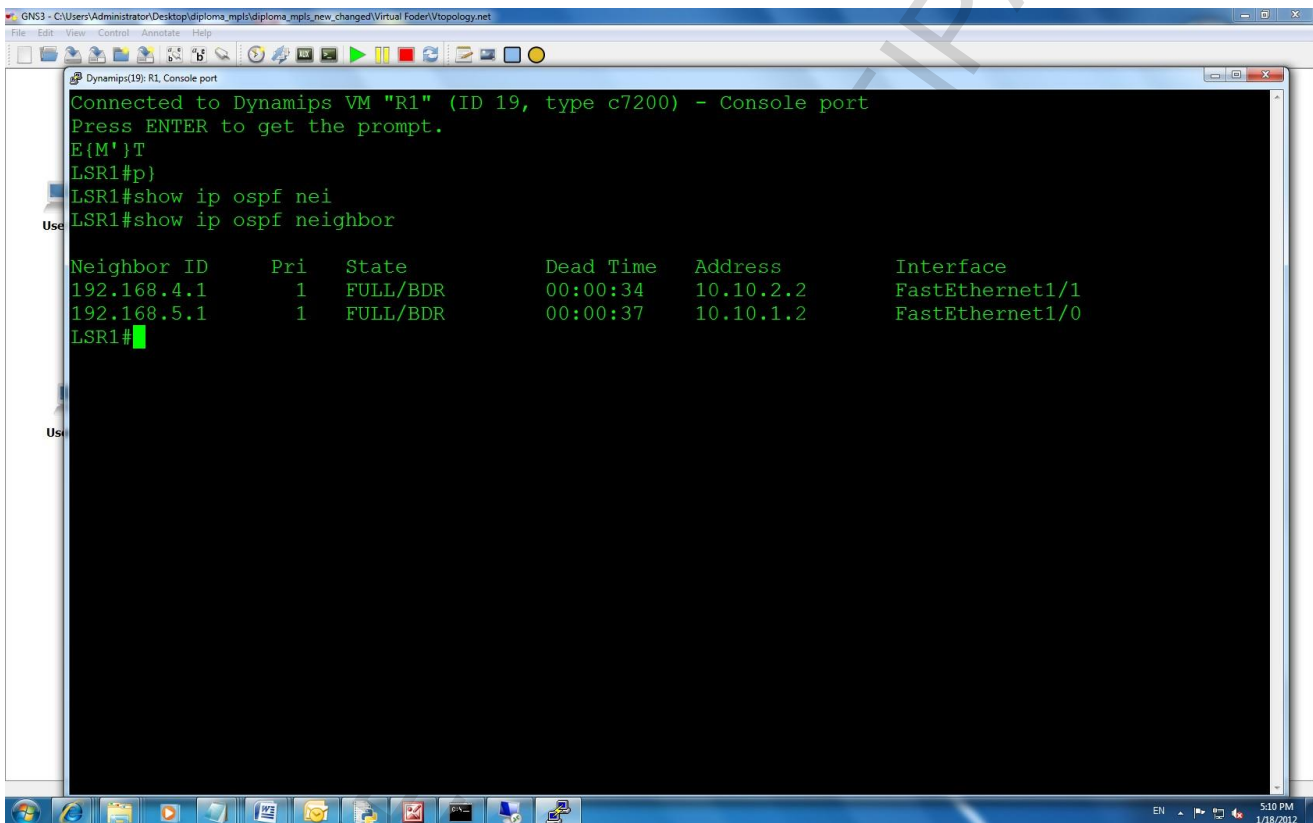
Στη συνέχεια ο τίθεται σε εφαρμογή ο αλγόριθμος προκειμένου να διαγνώσει τα καλύτερα μονοπάτια προς κάθε προορισμό.

Είναι σημαντικό να γνωστοποιήσουμε ότι κάθε δρομολογητής χρησιμοποιεί ως router-id για το OSPF μια νοητή διεύθυνση που ονομάζεται loopback. Κάθε δρομολογητής ανάλογα με το hostname του έχει την αντίστοιχη loopback.

Δηλαδή ο R1 χρησιμοποιεί την 192.168.1.1, ο R2 την 192.168.2.1, ο R3 την 192.168.3.1 κτλ.

12.4.2.2 Αλγόριθμος Ospf

Όπως προείπαμε ο αλγόριθμος αρχικά δημιουργεί "σχέσεις" με τους γείτονες. Για παράδειγμα όπως φαίνεται στην φυσική αρχιτεκτονική ο δρομολογητής R1 θα δημιουργήσει γειτονικές σχέσεις με τους άμεσα συνδεδεμένους R4 και R5.Απο αυτούς θα γνωρίσει και τα υπόλοιπα δίκτυα.



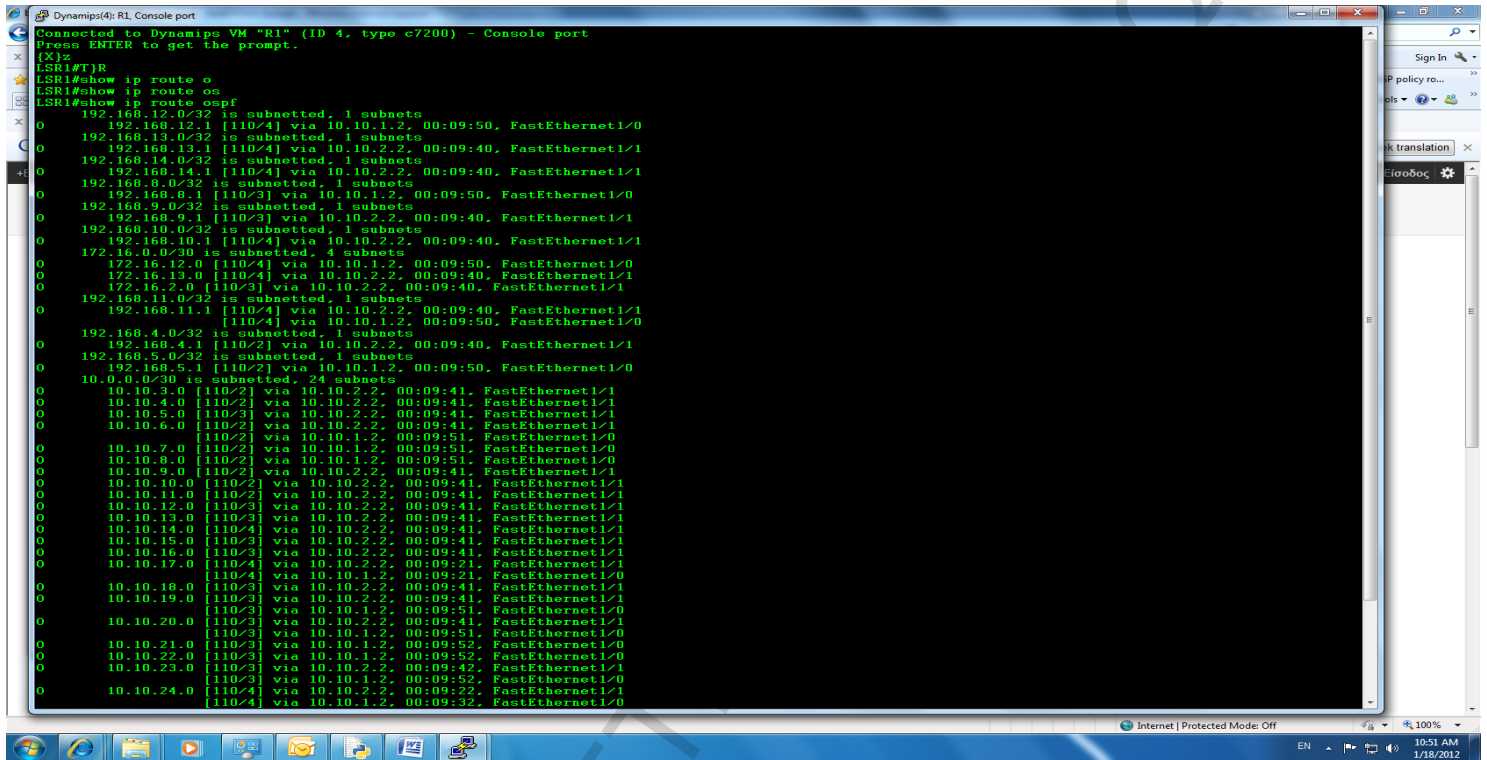
```
Connected to Dynamips VM "R1" (ID 19, type c7200) - Console port
Press ENTER to get the prompt.
E(M')T
LSR1#p)
LSR1#show ip ospf nei
LSR1#show ip ospf neighbor

Neighbor ID      Pri   State           Dead Time   Address      Interface
192.168.4.1      1     FULL/BDR        00:00:34   10.10.2.2    FastEthernet1/1
192.168.5.1      1     FULL/BDR        00:00:37   10.10.1.2    FastEthernet1/0
LSR1#
```

Σχήμα 17.Ospf Neighbor

12.4.2.2.1 Δρομολόγια Ospf

Στη συνέχεια οι δρομολογητές ανακαλύπτουν τα δίκτυα που δεν γνωρίζουν από τους γείτονες. Οι δρομολογητές μαθαίνουν τα δίκτυα όλης της αρχιτεκτονικής και τα εμφανίζουν στο routing table.

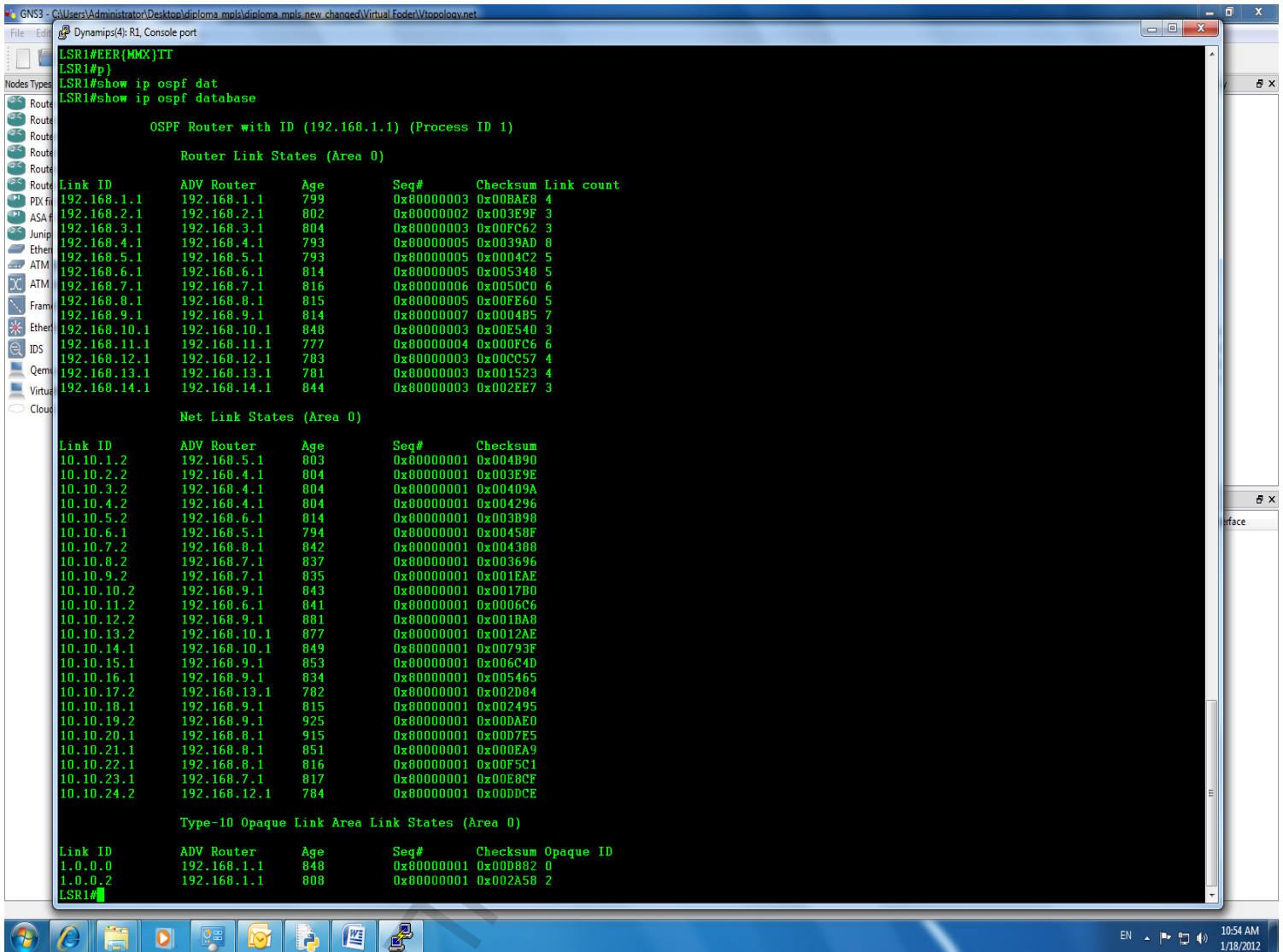


```
LSR1#show ip route o
LSR1#show ip route ospf
0/0 192.168.12.0/32 is subnetted, 1 subnets
0 192.168.12.1 [110/4] via 10.10.1.2, 00:09:50, FastEthernet1/0
0 192.168.13.0/32 is subnetted, 1 subnets
0 192.168.13.1 [110/4] via 10.10.2.2, 00:09:40, FastEthernet1/1
0 192.168.14.0/32 is subnetted, 1 subnets
0 192.168.14.1 [110/4] via 10.10.2.2, 00:09:40, FastEthernet1/1
0 192.168.8.0/32 is subnetted, 1 subnets
0 192.168.8.1 [110/3] via 10.10.1.2, 00:09:50, FastEthernet1/0
0 192.168.9.0/32 is subnetted, 1 subnets
0 192.168.9.1 [110/3] via 10.10.2.2, 00:09:40, FastEthernet1/1
0 192.168.10.0/32 is subnetted, 1 subnets
0 192.168.10.1 [110/4] via 10.10.2.2, 00:09:40, FastEthernet1/1
0 172.16.0.0/30 is subnetted, 4 subnets
0 172.16.12.0 [110/4] via 10.10.1.2, 00:09:50, FastEthernet1/0
0 172.16.13.0 [110/4] via 10.10.2.2, 00:09:40, FastEthernet1/1
0 172.16.2.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:09:40, FastEthernet1/1
0 192.168.11.0/32 is subnetted, 1 subnets
0 192.168.11.1 [110/4] via 10.10.2.2, 00:09:40, FastEthernet1/1
0 192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
0 192.168.4.1 [110/2] via 10.10.2.2, 00:09:40, FastEthernet1/1
0 192.168.5.0/32 is subnetted, 1 subnets
0 192.168.5.1 [110/2] via 10.10.1.2, 00:09:50, FastEthernet1/0
0 10.0.0.0/30 is subnetted, 24 subnets
0 10.10.3.0 [110/2] via 10.10.2.2, 00:09:41, FastEthernet1/1
0 10.10.4.0 [110/2] via 10.10.2.2, 00:09:41, FastEthernet1/1
0 10.10.5.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:09:41, FastEthernet1/1
0 10.10.6.0 [110/2] via 10.10.2.2, 00:09:41, FastEthernet1/1
0 10.10.7.0 [110/2] via 10.10.1.2, 00:09:51, FastEthernet1/0
0 10.10.8.0 [110/2] via 10.10.1.2, 00:09:51, FastEthernet1/0
0 10.10.9.0 [110/2] via 10.10.2.2, 00:09:41, FastEthernet1/1
0 10.10.10.0 [110/2] via 10.10.2.2, 00:09:41, FastEthernet1/1
0 10.10.11.0 [110/2] via 10.10.2.2, 00:09:41, FastEthernet1/1
0 10.10.12.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:09:41, FastEthernet1/1
0 10.10.13.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:09:41, FastEthernet1/1
0 10.10.14.0 [110/4] via 10.10.2.2, 00:09:41, FastEthernet1/1
0 10.10.15.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:09:41, FastEthernet1/1
0 10.10.16.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:09:41, FastEthernet1/1
0 10.10.17.0 [110/4] via 10.10.2.2, 00:09:21, FastEthernet1/1
0 10.10.18.0 [110/4] via 10.10.1.2, 00:09:21, FastEthernet1/0
0 10.10.19.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:09:41, FastEthernet1/1
0 10.10.20.0 [110/3] via 10.10.1.2, 00:09:51, FastEthernet1/0
0 10.10.21.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:09:41, FastEthernet1/1
0 10.10.22.0 [110/3] via 10.10.1.2, 00:09:52, FastEthernet1/0
0 10.10.23.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:09:42, FastEthernet1/1
0 10.10.24.0 [110/3] via 10.10.1.2, 00:09:52, FastEthernet1/0
0 10.10.24.0 [110/4] via 10.10.2.2, 00:09:22, FastEthernet1/1
0 10.10.24.0 [110/4] via 10.10.1.2, 00:09:32, FastEthernet1/0
```

Σχήμα 18.Ospf Routing Table

12.4.2.2.2 Βάση δεδομένων Ospf

Ο αλγόριθμος Ospf τρέχει σε μια βάση δεδομένων όπου βρίσκονται όλες οι πιθανές διαδρομές και διαλέγει τις βέλτιστες.



Σχήμα 19.Ospf Database

12.4.2.2.3 Ενεργοποίηση- Λειτουργία Ospf

Η παραμετροποίηση των πρωτοκόλλων Ospf αφορά όλους τους δρομολογητές που βρίσκονται στην δικτυακή αρχιτεκτονική, δηλαδή τους LSR1 έως και LSR14. Η διαδικασία παραμετροποίησης των πρωτοκόλλων διαχωρίζεται σε τρία βασικά στάδια παραμετροποίησης. Ακολουθούν τα αρχεία παραμετροποίησης ανά δρομολογητή και ανά στάδιο παραμετροποίησης.

Το πρωτόκολλο δυναμικής δρομολόγησης Ospf θα πρέπει να ενεργοποιηθεί δε κάθε δρομολογητή και στη συνέχεια θα πρέπει ο κάθε ένας να διαφημίζει τα δίκτυα τα οποία βρίσκονται συνδεδεμένα πάνω του.

Σε κάθε δρομολογητή για λειτουργικούς σκοπούς ορίζεται ένα Router id.

Στο σενάριο της δικτυακής αρχιτεκτονικής το Router Id χρησιμοποιείται προκειμένου να υποδείξουμε στους δρομολογητές τους γείτονες του. Ως Router Id συνήθως υποδεικνύουμε μια νοητή διεύθυνση, που ονομάζεται Loopback Address.

Έτσι λοιπόν σε κάθε LSR ενεργοποιήθηκε το Loopback Interface. Η διευθυνσιοδότηση του Interface ανά δρομολογητή παρατηρείται στον πίνακα διευθυνσιοδοτησης

LSR1

```
(config)#router ospf 1      Ενεργοποίηση Ospf
```

```
(config-router)#network 10.10.1.0 0.0.0.3 area 0 Ενεργοποίηση Διαφημιζόμενων Δικτύων
```

```
(config-router)#network 10.10.2.0 0.0.0.3 area 0
```

```
(config-router)# network 172.16.1.0 0.0.0.3 area 0
```

```
(config-router)# network 192.168.1.1 0.0.0.0 area 0
```

Αντίστοιχη παραμετροποίηση πραγματοποιήθηκε σε όλους τους δρομολογητές.

12.4.2.2.4 Πίνακες Δρομολόγησης Ospf

Με το πέρας της παραμετροποίησης του Ospf θα πρέπει όλοι οι δρομολογητές να γνωρίζουν όλα τα δίκτυα της τοπολογίας.

Με την χρήση της εντολής :

```
show ip route connected
```

θα μπορέσουμε να αναγνώσουμε το Routing Table για τα connected δίκτυα που γνωρίζει ο κάθε δρομολογητής.

Για παράδειγμα για τον LSR1 ισχύει :

```
LSR1#show ip route
```

```
LSR1#show ip route connected
```

```
172.16.0.0/30 is subnetted, 6 subnets
```

```
C 172.16.1.0 is directly connected, FastEthernet2/0
```

10.0.0.0/30 is subnetted, 24 subnets

C 10.10.1.0 is directly connected, FastEthernet1/0

C 10.10.2.0 is directly connected, FastEthernet1/1

192.168.1.0/32 is subnetted, 1 subnets

C 192.168.1.1 is directly connected, Loopback0

Αντίστοιχα, προκειμένου να αναγνώσουμε το Routing Table για τα Ospf δίκτυα που γνωρίζει ο κάθε δρομολογητής θα κάνουμε χρήση της εντολής :

show ip route Ospf

LSR1 # show ip route ospf

192.168.12.0/32 is subnetted, 1 subnets

O 192.168.12.1 [110/4] via 10.10.1.2, 00:06:58, FastEthernet1/0

192.168.13.0/32 is subnetted, 1 subnets

O 192.168.13.1 [110/4] via 10.10.2.2, 00:06:58, FastEthernet1/1

192.168.14.0/32 is subnetted, 1 subnets

O 192.168.14.1 [110/4] via 10.10.2.2, 00:06:58, FastEthernet1/1

192.168.8.0/32 is subnetted, 1 subnets

O 192.168.8.1 [110/3] via 10.10.1.2, 00:06:58, FastEthernet1/0

192.168.9.0/32 is subnetted, 1 subnets

O 192.168.9.1 [110/3] via 10.10.2.2, 00:06:58, FastEthernet1/1

192.168.10.0/32 is subnetted, 1 subnets

O 192.168.10.1 [110/4] via 10.10.2.2, 00:06:58, FastEthernet1/1

172.16.0.0/30 is subnetted, 6 subnets

O 172.16.12.0 [110/4] via 10.10.1.2, 00:06:58, FastEthernet1/0

O 172.16.13.0 [110/4] via 10.10.2.2, 00:06:58, FastEthernet1/1

O 172.16.14.0 [110/4] via 10.10.2.2, 00:06:58, FastEthernet1/1

- O 172.16.2.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:06:58, FastEthernet1/1
- O 172.16.3.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:06:58, FastEthernet1/1
- 192.168.11.0/32 is subnetted, 1 subnets
- O 192.168.11.1 [110/4] via 10.10.2.2, 00:06:58, FastEthernet1/1
- [110/4] via 10.10.1.2, 00:06:58, FastEthernet1/0
- 192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
- O 192.168.4.1 [110/2] via 10.10.2.2, 00:06:58, FastEthernet1/1
- 192.168.5.0/32 is subnetted, 1 subnets
- O 192.168.5.1 [110/2] via 10.10.1.2, 00:06:59, FastEthernet1/0
- 10.0.0.0/30 is subnetted, 24 subnets
- O 10.10.3.0 [110/2] via 10.10.2.2, 00:06:59, FastEthernet1/1
- O 10.10.4.0 [110/2] via 10.10.2.2, 00:06:59, FastEthernet1/1
- O 10.10.5.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:06:59, FastEthernet1/1
- O 10.10.6.0 [110/2] via 10.10.2.2, 00:06:59, FastEthernet1/1
- [110/2] via 10.10.1.2, 00:06:59, FastEthernet1/0
- O 10.10.7.0 [110/2] via 10.10.1.2, 00:06:59, FastEthernet1/0
- O 10.10.8.0 [110/2] via 10.10.1.2, 00:06:59, FastEthernet1/0
- O 10.10.9.0 [110/2] via 10.10.2.2, 00:06:59, FastEthernet1/1
- O 10.10.10.0 [110/2] via 10.10.2.2, 00:06:59, FastEthernet1/1
- O 10.10.11.0 [110/2] via 10.10.2.2, 00:06:59, FastEthernet1/1
- O 10.10.12.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:06:59, FastEthernet1/1
- O 10.10.13.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:06:59, FastEthernet1/1
- O 10.10.14.0 [110/4] via 10.10.2.2, 00:06:59, FastEthernet1/1
- O 10.10.15.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:06:59, FastEthernet1/1

- O 10.10.16.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:06:59, FastEthernet1/1
- O 10.10.17.0 [110/4] via 10.10.2.2, 00:06:59, FastEthernet1/1
[110/4] via 10.10.1.2, 00:06:59, FastEthernet1/0
- O 10.10.18.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:06:59, FastEthernet1/1
- O 10.10.19.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:06:59, FastEthernet1/1
[110/3] via 10.10.1.2, 00:06:59, FastEthernet1/0
- O 10.10.20.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:07:00, FastEthernet1/1
[110/3] via 10.10.1.2, 00:07:00, FastEthernet1/0
- O 10.10.21.0 [110/3] via 10.10.1.2, 00:07:00, FastEthernet1/0
- O 10.10.22.0 [110/3] via 10.10.1.2, 00:07:00, FastEthernet1/0
- O 10.10.23.0 [110/3] via 10.10.2.2, 00:07:00, FastEthernet1/1
[110/3] via 10.10.1.2, 00:07:00, FastEthernet1/0
- O 10.10.24.0 [110/4] via 10.10.2.2, 00:07:00, FastEthernet1/1
[110/4] via 10.10.1.2, 00:07:00, FastEthernet1/0

192.168.6.0/32 is subnetted, 1 subnets

- O 192.168.6.1 [110/3] via 10.10.2.2, 00:07:00, FastEthernet1/1

192.168.7.0/32 is subnetted, 1 subnets

- O 192.168.7.1 [110/3] via 10.10.2.2, 00:07:00, FastEthernet1/1

[110/3] via 10.10.1.2, 00:07:00, FastEthernet1/0

192.168.2.0/32 is subnetted, 1 subnets

- O 192.168.2.1 [110/3] via 10.10.2.2, 00:07:00, FastEthernet1/1

192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets

- O 192.168.3.1 [110/3] via 10.10.2.2, 00:07:00, FastEthernet1/1

Μέσω του Ospf ο LSR1 κατάφερε να μάθει όλα τα δίκτυα της τοπολογίας τα οποία δεν είναι συνδεδεμένα απευθείας πάνω του.

12.4.3 Παραμετροποίηση Mpls

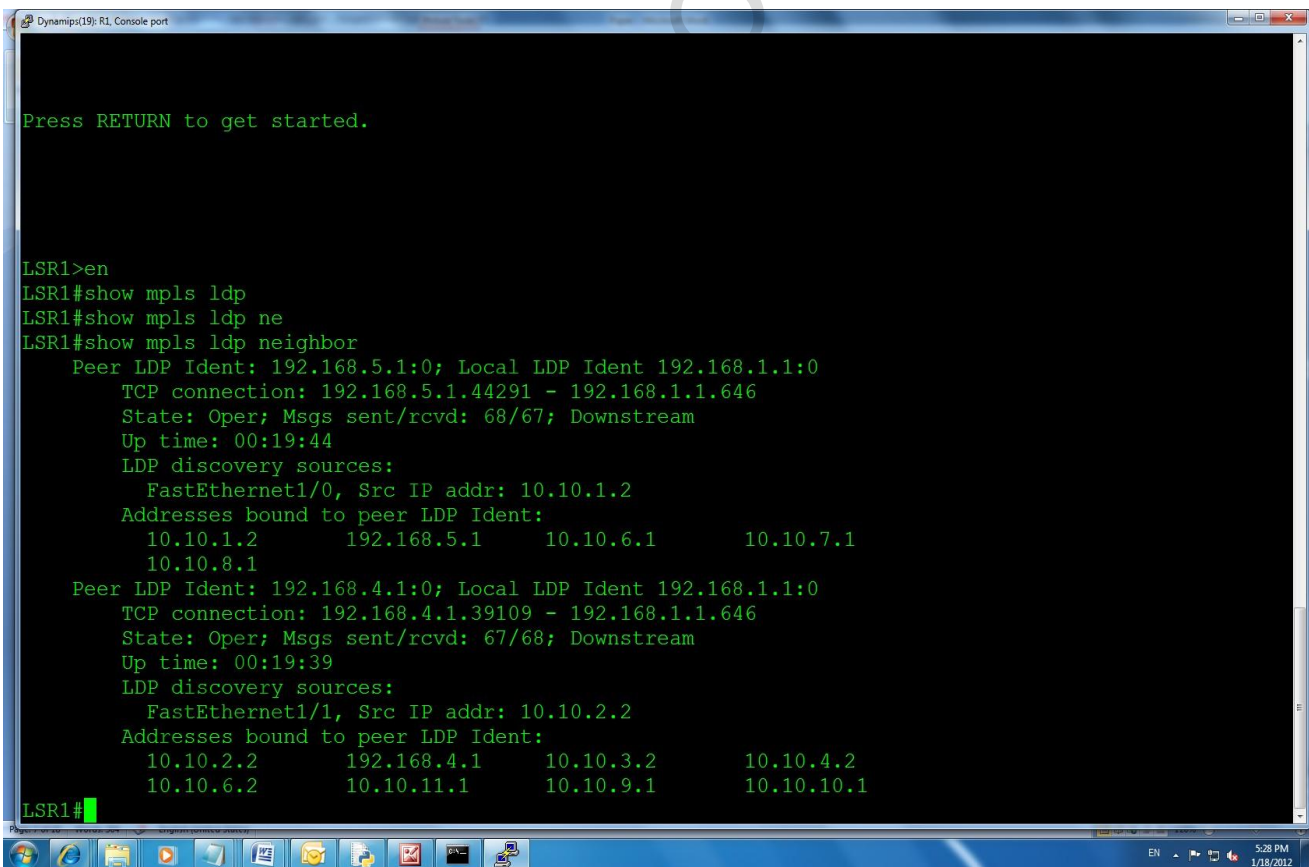
12.4.3.1 Γενικά

Στην αρχιτεκτονική έχει προγραμματιστεί το πρωτόκολλο MPLS. Αντίστοιχα θα δημιουργηθούν γειτονικές σχέσεις μεταξύ των δρομολογητών και μέσω του πρωτοκόλλου LDP θα διαφημιστούν οι σχέσεις διαδρομών και ετικετών.

Και στο MPLS οι δρομολογητές χρησιμοποιούν ως router-id την διεύθυνση loopback.

12.4.3.2 Αλγόριθμος Mpls

Αντίστοιχα με το Ospf, στο Mpls σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι γείτονες των δρομολογητών στην λειτουργία του πρωτοκόλλου. Ός γείτονες ορίζονται οι άμεσα συνδεδεμένοι δρομολογητές. Έτσι ο δρομολογητής R1 έχει δημιουργήσει γειτονικές σχέσεις με τους άμεσα συνδεδεμένους R4 και R5.



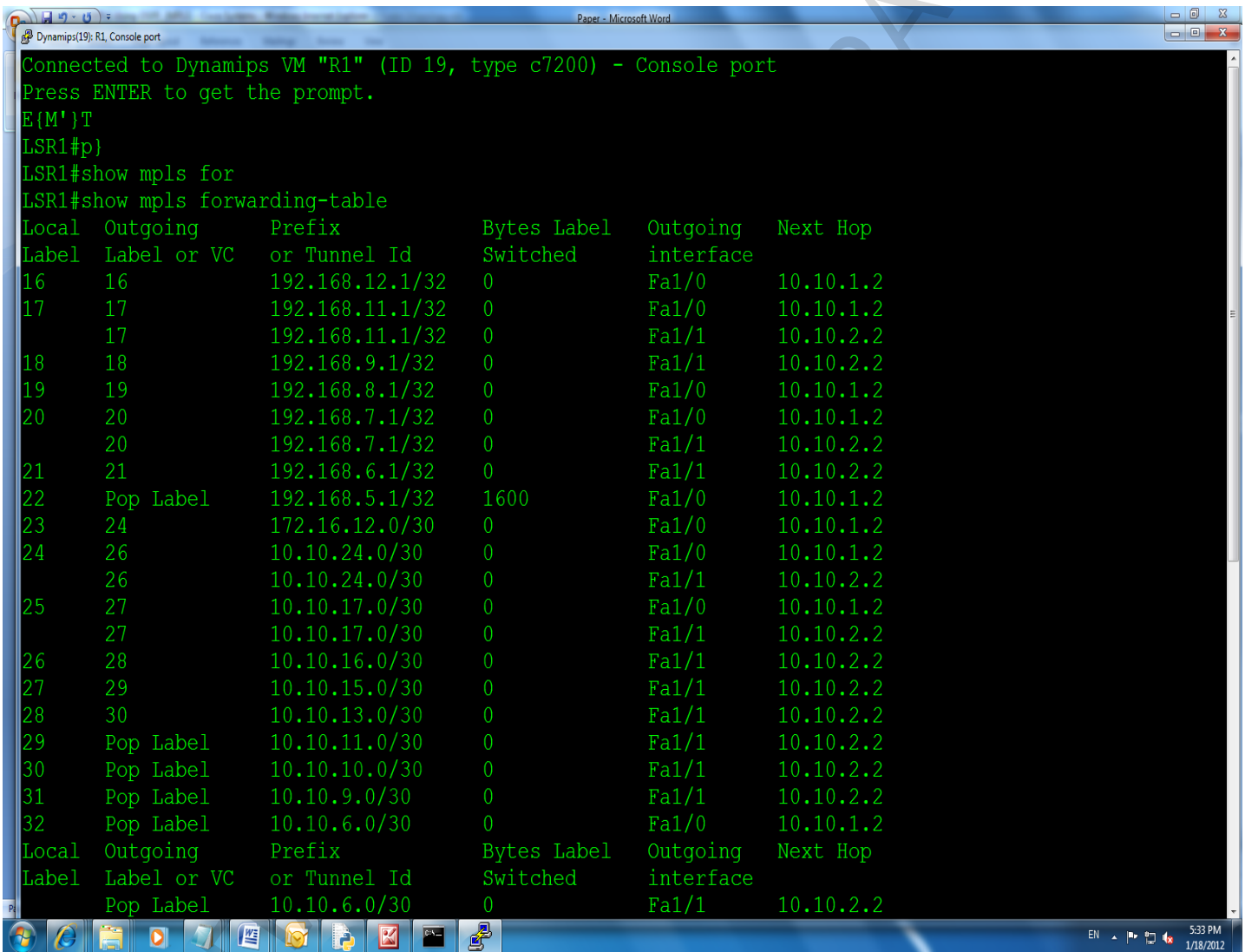
```
Dynamips(19): R1 Console port
Press RETURN to get started.

LSR1>en
LSR1#show mpls ldp
LSR1#show mpls ldp ne
LSR1#show mpls ldp neighbor
  Peer LDP Ident: 192.168.5.1:0; Local LDP Ident 192.168.1.1:0
  TCP connection: 192.168.5.1.44291 - 192.168.1.1.646
  State: Oper; Msgs sent/rcvd: 68/67; Downstream
  Up time: 00:19:44
  LDP discovery sources:
    FastEthernet1/0, Src IP addr: 10.10.1.2
  Addresses bound to peer LDP Ident:
    10.10.1.2      192.168.5.1      10.10.6.1      10.10.7.1
    10.10.8.1
  Peer LDP Ident: 192.168.4.1:0; Local LDP Ident 192.168.1.1:0
  TCP connection: 192.168.4.1.39109 - 192.168.1.1.646
  State: Oper; Msgs sent/rcvd: 67/68; Downstream
  Up time: 00:19:39
  LDP discovery sources:
    FastEthernet1/1, Src IP addr: 10.10.2.2
  Addresses bound to peer LDP Ident:
    10.10.2.2      192.168.4.1      10.10.3.2      10.10.4.2
    10.10.6.2      10.10.11.1      10.10.9.1      10.10.10.1
LSR1#
```

Σχήμα 20. Mpls Neighbors

12.4.3.2.1 Πίνακας Προώθησης Mpls

Κάθε δρομολογητής δημιουργεί μια βάση δεδομένων όπου περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις διαδρομές, τα πακέτα και τις ετικέτες.

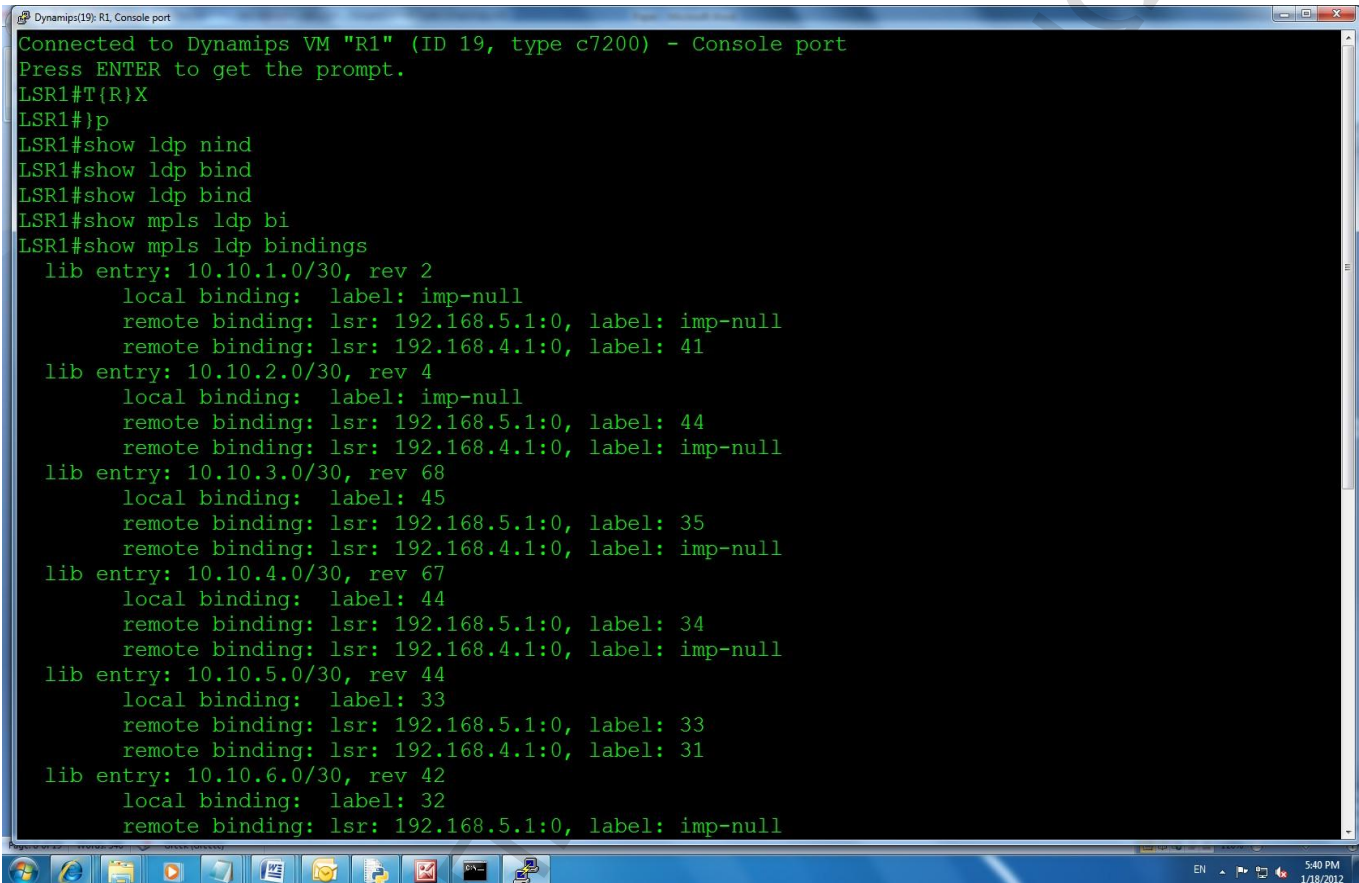


```
Connected to Dynamips VM "R1" (ID 19, type c7200) - Console port
Press ENTER to get the prompt.
E{M'}T
LSR1#p)
LSR1#show mpls for
LSR1#show mpls forwarding-table
Local  Outgoing  Prefix          Bytes Label  Outgoing  Next Hop
Label  Label or VC or Tunnel Id    Switched     interface
16     16         192.168.12.1/32 0             Fa1/0      10.10.1.2
17     17         192.168.11.1/32 0             Fa1/0      10.10.1.2
       17         192.168.11.1/32 0             Fa1/1      10.10.2.2
18     18         192.168.9.1/32  0             Fa1/1      10.10.2.2
19     19         192.168.8.1/32  0             Fa1/0      10.10.1.2
20     20         192.168.7.1/32  0             Fa1/0      10.10.1.2
       20         192.168.7.1/32  0             Fa1/1      10.10.2.2
21     21         192.168.6.1/32  0             Fa1/1      10.10.2.2
22     Pop Label  192.168.5.1/32 1600          Fa1/0      10.10.1.2
23     24         172.16.12.0/30  0             Fa1/0      10.10.1.2
24     26         10.10.24.0/30   0             Fa1/0      10.10.1.2
       26         10.10.24.0/30   0             Fa1/1      10.10.2.2
25     27         10.10.17.0/30   0             Fa1/0      10.10.1.2
       27         10.10.17.0/30   0             Fa1/1      10.10.2.2
26     28         10.10.16.0/30   0             Fa1/1      10.10.2.2
27     29         10.10.15.0/30   0             Fa1/1      10.10.2.2
28     30         10.10.13.0/30   0             Fa1/1      10.10.2.2
29     Pop Label  10.10.11.0/30   0             Fa1/1      10.10.2.2
30     Pop Label  10.10.10.0/30   0             Fa1/1      10.10.2.2
31     Pop Label  10.10.9.0/30    0             Fa1/1      10.10.2.2
32     Pop Label  10.10.6.0/30    0             Fa1/0      10.10.1.2
Local  Outgoing  Prefix          Bytes Label  Outgoing  Next Hop
Label  Label or VC or Tunnel Id    Switched     interface
       Pop Label  10.10.6.0/30    0             Fa1/1      10.10.2.2
```

Σχήμα 21. Mpls Forwarding Table

12.4.3.2.2 Πίνακας Συσχέτισης Ετικετών

Οι δρομολογητές δημιουργούν μια βάση δεδομένων προκειμένου να συσχετίσουν τους παραλήπτες με τις ετικέτες.



```
Dynamips(19): R1 Console port
Connected to Dynamips VM "R1" (ID 19, type c7200) - Console port
Press ENTER to get the prompt.
LSR1#T(R)X
LSR1#}p
LSR1#show ldp nind
LSR1#show ldp bind
LSR1#show ldp bind
LSR1#show mpls ldp bi
LSR1#show mpls ldp bindings
lib entry: 10.10.1.0/30, rev 2
  local binding: label: imp-null
  remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: imp-null
  remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 41
lib entry: 10.10.2.0/30, rev 4
  local binding: label: imp-null
  remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 44
  remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: imp-null
lib entry: 10.10.3.0/30, rev 68
  local binding: label: 45
  remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 35
  remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: imp-null
lib entry: 10.10.4.0/30, rev 67
  local binding: label: 44
  remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 34
  remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: imp-null
lib entry: 10.10.5.0/30, rev 44
  local binding: label: 33
  remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 33
  remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 31
lib entry: 10.10.6.0/30, rev 42
  local binding: label: 32
  remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: imp-null
```

Σχήμα 22. Mpls Ldp Binding

12.4.3.2.3 Ενεργοποίηση- Λειτουργία Mpls

Σε κάθε διεπαφή που ακουμπά στο Mpls Δίκτυο θα ενεργοποιηθεί το πρωτόκολλο. Για παράδειγμα στον LSR1:

LSR1

```
interface FastEthernet1/0
```

```
ip address 10.10.1.1 255.255.255.252
```

```
mpls ip Ενεργοποίηση πρωτοκόλλου MPLS
```

```
interface FastEthernet1/1
```

```
ip address 10.10.2.1 255.255.255.252
```

```
mpls ip Ενεργοποίηση πρωτοκόλλου MPLS
```

Αντίστοιχα θα πρέπει να παραμετροποιηθούν και οι υπόλοιποι δρομολογητές της τοπολογίας.

Στη συνέχεια σε κάθε διεπαφή που ακουμπά στο Mpls Δίκτυο θα ενεργοποιηθεί το πρωτόκολλο. Για παράδειγμα στον LSR1:

LSR1

```
interface FastEthernet1/0
```

```
mpls label protocol ldp Ενεργοποίηση LDP
```

```
interface FastEthernet1/1
```

```
mpls label protocol ldp Ενεργοποίηση LDP
```

12.4.3.2.4 Πίνακες Προώθησης Δεδομένων Mpls

Με το πέρας της παραμετροποίησης του Mpls θα πρέπει όλοι οι δρομολογητές να γνωρίζουν όλα τα δίκτυα της τοπολογίας και η πληροφορία να μεταφέρεται από τον μηχανισμό προώθησης του πρωτοκόλλου.

Με την χρήση της εντολής :

```
show mpls ldp neighbor
```

ο κάθε δρομολογητής θα έχει αναγνωρίσει τους γειτονικούς δρομολογητές όπου μέσω αυτών θα γνωρίσει την τοπολογία.

Για παράδειγμα ο LSR1 :

```
LSR1#show mpls ldp neighbor
```

```
Peer LDP Ident: 192.168.4.1:0; Local LDP Ident 192.168.1.1:0
```

```
TCP connection: 192.168.4.1.32245 - 192.168.1.1.646
```

```
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 79/79; Downstream
```

```
Up time: 00:28:51
```

LDP discovery sources:

FastEthernet1/1, Src IP addr: 10.10.2.2

Addresses bound to peer LDP Ident:

10.10.2.2 192.168.4.1 10.10.3.2 10.10.4.2
10.10.6.2 10.10.11.1 10.10.9.1 10.10.10.1

Peer LDP Ident: 192.168.5.1:0; Local LDP Ident 192.168.1.1:0

TCP connection: 192.168.5.1.19202 - 192.168.1.1.646

State: Oper; Msgs sent/rcvd: 79/79; Downstream

Up time: 00:28:41

LDP discovery sources:

FastEthernet1/0, Src IP addr: 10.10.1.2

Addresses bound to peer LDP Ident:

10.10.1.2 192.168.5.1 10.10.6.1 10.10.7.1
10.10.8.1

ενώ με την εντολή

show mpls forwarding table

καταφέρνουμε να εμφανίσουμε τον πίνακα προώθησης του πρωτοκόλλου Mpls.

Έτσι για τον LSR1 :

LSR1#show mpls forwarding-table

Local Label	Outgoing Label or VC	Prefix or Tunnel Id	Bytes Switched	Label	Outgoing interface	Next Hop
16	Pop Label	192.168.4.1/32	0		Fa1/1	10.10.2.2
17	Pop Label	10.10.11.0/30	0		Fa1/1	10.10.2.2
18	Pop Label	10.10.10.0/30	0		Fa1/1	10.10.2.2

19	Pop Label	10.10.9.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2
20	Pop Label	10.10.6.0/30	0	Fa1/0	10.10.1.2
	Pop Label	10.10.6.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2
21	Pop Label	10.10.4.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2
22	Pop Label	10.10.3.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2
23	19	192.168.14.1/32	0	Fa1/1	10.10.2.2
24	20	192.168.10.1/32	0	Fa1/1	10.10.2.2
25	21	192.168.9.1/32	0	Fa1/1	10.10.2.2
26	22	192.168.6.1/32	0	Fa1/1	10.10.2.2
27	Pop Label	192.168.5.1/32	0	Fa1/0	10.10.1.2
28	24	192.168.3.1/32	0	Fa1/1	10.10.2.2
29	25	192.168.2.1/32	0	Fa1/1	10.10.2.2
30	26	172.16.14.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2
31	27	172.16.3.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2
32	28	172.16.2.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2
33	28	10.10.19.0/30	0	Fa1/0	10.10.1.2
	29	10.10.19.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2
34	30	10.10.18.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2
Local Outgoing Prefix Bytes Label Outgoing Next Hop					
Label Label or VC or Tunnel Id Switched interface					
35	31	10.10.16.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2
36	32	10.10.13.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2
37	Pop Label	10.10.8.0/30	0	Fa1/0	10.10.1.2
38	Pop Label	10.10.7.0/30	0	Fa1/0	10.10.1.2

39	35	10.10.14.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2	
40	36	10.10.15.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2	
41	37	10.10.12.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2	
42	38	10.10.5.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2	
43	48	192.168.13.1/32	0	Fa1/1	10.10.2.2	
44	47	192.168.12.1/32	0	Fa1/0	10.10.1.2	
45	48	192.168.11.1/32	0	Fa1/0	10.10.1.2	
	50	192.168.11.1/32	0	Fa1/1	10.10.2.2	
46	49	192.168.8.1/32	0	Fa1/0	10.10.1.2	
47	42	192.168.7.1/32	0	Fa1/0	10.10.1.2	
	52	192.168.7.1/32	0	Fa1/1	10.10.2.2	
48	53	172.16.13.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2	
49	51	172.16.12.0/30	0	Fa1/0	10.10.1.2	
50	52	10.10.21.0/30	0	Fa1/0	10.10.1.2	
51	54	10.10.22.0/30	0	Fa1/0	10.10.1.2	
52	55	10.10.17.0/30	0	Fa1/0	10.10.1.2	
	57	10.10.17.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2	
53	53	10.10.24.0/30	0	Fa1/0	10.10.1.2	
Local	Outgoing	Prefix	Bytes	Label	Outgoing	Next Hop
Label	Label or VC	or Tunnel Id	Switched	interface		
	56	10.10.24.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2	
54	43	10.10.23.0/30	0	Fa1/0	10.10.1.2	
	59	10.10.23.0/30	0	Fa1/1	10.10.2.2	
55	44	10.10.20.0/30	0	Fa1/0	10.10.1.2	

60 10.10.20.0/30 0 Fa1/1 10.10.2.2

Τέλος για να παρατηρήσουμε τον πίνακα συσχετίσεων ετικετών με τους παραλήπτες θα πρέπει να εκτελέσουμε την εντολή :

```
show mpls ldp bindings
```

Για παράδειγμα στον LSR1 :

```
LSR1#show mpls ldp bi
```

```
LSR1#show mpls ldp bindings
```

```
lib entry: 10.10.1.0/30, rev 2
```

```
local binding: label: imp-null
```

```
remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: imp-null
```

```
remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 24
```

```
lib entry: 10.10.2.0/30, rev 4
```

```
local binding: label: imp-null
```

```
remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 29
```

```
remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: imp-null
```

```
lib entry: 10.10.3.0/30, rev 48
```

```
local binding: label: 35
```

```
remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 31
```

```
remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: imp-null
```

```
lib entry: 10.10.4.0/30, rev 40
```

```
local binding: label: 31
```

```
remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 28
```

```
remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: imp-null
```

```
lib entry: 10.10.5.0/30, rev 38
```

```
local binding: label: 30
```

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 47

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 32

lib entry: 10.10.6.0/30, rev 52

local binding: label: 37

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: imp-null

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: imp-null

lib entry: 10.10.7.0/30, rev 44

local binding: label: 33

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: imp-null

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 25

lib entry: 10.10.8.0/30, rev 54

local binding: label: 38

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: imp-null

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 23

lib entry: 10.10.9.0/30, rev 46

local binding: label: 34

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 30

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: imp-null

lib entry: 10.10.10.0/30, rev 36

local binding: label: 29

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 27

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: imp-null

lib entry: 10.10.11.0/30, rev 50

local binding: label: 36

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 26

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: imp-null

lib entry: 10.10.12.0/30, rev 34

local binding: label: 28

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 44

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 31

lib entry: 10.10.13.0/30, rev 32

local binding: label: 27

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 43

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 30

lib entry: 10.10.14.0/30, rev 88

local binding: label: 55

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 55

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 53

lib entry: 10.10.15.0/30, rev 86

local binding: label: 54

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 54

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 58

lib entry: 10.10.16.0/30, rev 74

local binding: label: 47

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 42

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 42

lib entry: 10.10.17.0/30, rev 75

local binding: label: 48

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 45

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 43

lib entry: 10.10.18.0/30, rev 73

local binding: label: 46

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 41

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 41

lib entry: 10.10.19.0/30, rev 30

local binding: label: 26

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 25

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 28

lib entry: 10.10.20.0/30, rev 28

local binding: label: 25

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 19

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 22

lib entry: 10.10.21.0/30, rev 26

local binding: label: 24

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 18

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 21

lib entry: 10.10.22.0/30, rev 42

local binding: label: 32

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 17

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 20

lib entry: 10.10.23.0/30, rev 24

local binding: label: 23

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 24

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 27

lib entry: 10.10.24.0/30, rev 76

local binding: label: 49

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 46

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 44

lib entry: 172.16.1.0/30, rev 6

local binding: label: imp-null

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 40

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 40

lib entry: 172.16.2.0/30, rev 22

local binding: label: 22

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 23

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 19

lib entry: 172.16.3.0/30, rev 72

local binding: label: 45

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 39

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 52

lib entry: 172.16.12.0/30, rev 71

local binding: label: 44

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 53

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 51

lib entry: 172.16.13.0/30, rev 69

local binding: label: 43

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 39

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 38

lib entry: 172.16.14.0/30, rev 84

local binding: label: 53

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 52

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 57

lib entry: 192.168.1.1/32, rev 8

local binding: label: imp-null

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 38

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 37

lib entry: 192.168.2.1/32, rev 20

local binding: label: 21

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 22

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 18

lib entry: 192.168.3.1/32, rev 68

local binding: label: 42

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 36

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 50

lib entry: 192.168.4.1/32, rev 18

local binding: label: 20

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 21

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: imp-null

lib entry: 192.168.5.1/32, rev 16

local binding: label: 19

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: imp-null

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 17

lib entry: 192.168.6.1/32, rev 14

local binding: label: 18

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 37

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 29

lib entry: 192.168.7.1/32, rev 12

local binding: label: 17

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 20

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 26

lib entry: 192.168.8.1/32, rev 10

local binding: label: 16

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 16

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 16

lib entry: 192.168.9.1/32, rev 82

local binding: label: 52

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 51

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 56

lib entry: 192.168.10.1/32, rev 80

local binding: label: 51

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 50

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 49

lib entry: 192.168.11.1/32, rev 67

local binding: label: 41

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 36

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 35

lib entry: 192.168.12.1/32, rev 66

local binding: label: 40

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 49

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 48

lib entry: 192.168.13.1/32, rev 64

local binding: label: 39

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 35

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 34

lib entry: 192.168.14.1/32, rev 78

local binding: label: 50

remote binding: lsr: 192.168.4.1:0, label: 48

remote binding: lsr: 192.168.5.1:0, label: 55

12.4.4 Traceroutes

Προκειμένου να διαπιστώσουμε τις διαδρομές που χρησιμοποιούν οι δρομολογητές προς ένα προορισμό καθώς και τις αλλαγές των ετικετών ανά διαδρομή εκτελούμε traceroutes

Για παράδειγμα από τον R1 προς τον R13, η πληροφορία θα διαπεράσει διαδοχικά τους

R4-R9-R11


```
Dynamics(4): R1, Console port
LSR1#p
LSR1#tracert mpls ipv4 192.168.13.1/32 verbose
LSR1#tracert mpls ipv4 192.168.13.1/32 verbose
LSR1#tra
LSR1#tracert mpls ipv4 192.168.13.1/32 verb
LSR1#tracert mpls ipv4 192.168.13.1/32 verbose
T Tracing MPLS Label Switched Path to 192.168.13.1/32, timeout is 2 seconds
C Codes: '!' - success, 'Q' - request not sent, '.' - timeout,
'L' - labeled output interface, 'B' - unlabeled output interface,
'D' - DS Map mismatch, 'F' - no FEC mapping, 'f' - FEC mismatch,
'M' - malformed request, 'm' - unsupported tlvs, 'N' - no label entry,
'P' - no rx intf label prot, 'p' - premature termination of LSP,
'R' - transit router, 'I' - unknown upstream index,
'X' - unknown return code, 'x' - return code 0
T Type escape sequence to abort.
  0 10.10.2.1 10.10.2.2 MRU 1500 [Labels: 41 Exp: 0]
L L 1 10.10.2.2 10.10.10.2 MRU 1500 [Labels: 38 Exp: 0] 32 ms, ret code 8
L L 2 10.10.10.2 10.10.16.2 MRU 1504 [Labels: implicit-null Exp: 0] 212 ms, ret code 8
| I 3 10.10.16.2 92 ms, ret code 3
L LSR1#
L LSR1#
L LSR1#
L LSR1#
L LSR1#tracert mpls ipv4 192.168.14.1/32 verbose
T Tracing MPLS Label Switched Path to 192.168.14.1/32, timeout is 2 seconds
C Codes: '!' - success, 'Q' - request not sent, '.' - timeout,
'L' - labeled output interface, 'B' - unlabeled output interface,
'D' - DS Map mismatch, 'F' - no FEC mapping, 'f' - FEC mismatch,
'M' - malformed request, 'm' - unsupported tlvs, 'N' - no label entry,
'P' - no rx intf label prot, 'p' - premature termination of LSP,
'R' - transit router, 'I' - unknown upstream index,
'X' - unknown return code, 'x' - return code 0
T Type escape sequence to abort.
  0 10.10.2.1 10.10.2.2 MRU 1500 [Labels: 16 Exp: 0]
L L 1 10.10.2.2 10.10.10.2 MRU 1500 [Labels: 31 Exp: 0] 96 ms, ret code 8
L L 2 10.10.10.2 10.10.15.2 MRU 1504 [Labels: implicit-null Exp: 0] 144 ms, ret code 8
| I 3 10.10.15.2 100 ms, ret code 3
L LSR1#
L LSR1#tracert mpls ipv4 192.168.10.1/32 verbose
T Tracing MPLS Label Switched Path to 192.168.10.1/32, timeout is 2 seconds
C Codes: '!' - success, 'Q' - request not sent, '.' - timeout,
'L' - labeled output interface, 'B' - unlabeled output interface,
'D' - DS Map mismatch, 'F' - no FEC mapping, 'f' - FEC mismatch,
'M' - malformed request, 'm' - unsupported tlvs, 'N' - no label entry,
'P' - no rx intf label prot, 'p' - premature termination of LSP,
'R' - transit router, 'I' - unknown upstream index,
'X' - unknown return code, 'x' - return code 0
T Type escape sequence to abort.
  0 10.10.2.1 10.10.2.2 MRU 1500 [Labels: 18 Exp: 0]
L L 1 10.10.2.2 10.10.11.2 MRU 1500 [Labels: 16 Exp: 0] 144 ms, ret code 8
L L 2 10.10.11.2 10.10.13.2 MRU 1504 [Labels: implicit-null Exp: 0] 88 ms, ret code 8
| I 3 10.10.13.2 96 ms, ret code 3
L LSR1#
```

Σχήμα 23.1 Trace route Mpls Path

Επίσης από τον R1 προς τον R12 η πληροφορία θα διαπεράσει διαδοχικά τους

R5-R8

```
Dynamips(19): R1, Console port
Connected to Dynamips VM "R1" (ID 19, type c7200) - Console port
Press ENTER to get the prompt.

^
% Invalid input detected at '^' marker.

LSR1#T(R)X
LSR1#}p
LSR1#traceroute mpls ipv4 192.168.12.1/32 verbose
Tracing MPLS Label Switched Path to 192.168.12.1/32, timeout is 2 seconds

Codes: '!' - success, 'Q' - request not sent, '.' - timeout,
       'L' - labeled output interface, 'B' - unlabeled output interface,
       'D' - DS Map mismatch, 'F' - no FEC mapping, 'f' - FEC mismatch,
       'M' - malformed request, 'm' - unsupported tlvs, 'N' - no label entry,
       'P' - no rx intf label prot, 'p' - premature termination of LSP,
       'R' - transit router, 'I' - unknown upstream index,
       'X' - unknown return code, 'x' - return code 0

Type escape sequence to abort.
 0 10.10.1.1 10.10.1.2 MRU 1500 [Labels: 16 Exp: 0]
L 1 10.10.1.2 10.10.7.2 MRU 1500 [Labels: 31 Exp: 0] 108 ms, ret code 8
L 2 10.10.7.2 10.10.21.2 MRU 1504 [Labels: implicit-null Exp: 0] 76 ms, ret code 8
! 3 10.10.21.2 76 ms, ret code 3
LSR1#
```

Σχήμα 23.2 Trace route Mpls Path

12.4.5 Παραμετροποίηση MPLS TE

Προκειμένου να χειριστούμε τις ροές δεδομένων παραμετροποιήσαμε τους δρομολογητές έτσι ώστε να κάνουν χρήση Mpls TE. Δημιουργήσαμε λοιπόν ιδεατά Tunnels από κάθε User προς κάθε Server της τοπολογίας.

1^ο Στάδιο : Ενεργοποίηση Mpls TE (ενεργοποιείται σε όλες τις διεπαφές που ανήκουν στο Mpls δίκτυο) και στο πρωτόκολλο OSPF

LSR1

(config)# mpls traffic-eng tunnels **Ενεργοποίηση TE**

ή

interface FastEthernet1/0

mpls traffic-eng tunnels **Ενεργοποίηση TE**

interface FastEthernet1/1

mpls traffic-eng tunnels **Ενεργοποίηση TE**

OSPF

router ospf 1

mpls traffic-eng router-id Loopback0

mpls traffic-eng area 0

2° Στάδιο : Παραμετροποίηση Tunnels

Δημιουργήθηκαν δυο explicit paths απο κάθε User προς όλους τους Servers της τοπολογίας. Άρα κάθε χρήστης θα έχει συνολικά 6 Tunnels.

Πιο συγκεκριμένα τα paths έχουν ως εξής :

User1

--->**Server1** :

Tunnel 1: R1-R5-R8-R12

Tunnel 2: R1-R4-R7-R11-R12

--->**Server2**

Tunnel3--->R1-R5-R8-R11-R13 Tunnel4--->R1-R4-R9-

R13

--->**Server3**

Tunnel5:R1-R5-R7-R9-R14 Tunnel6:R1-R4-R6-R10-

14

User2

--->**Server1**

Tunnel1: R2-R4-R7-R8-R12

Tunnel2: R2-R4-R9-R11-R12

--->**Server2**

Tunnel3--->R2-R4-R7-R11-R13 Tunnel4--->R1-R4-R9-

R13

--->**Server3**

Tunnel5:R2-R4-R9-R14

Tunnel6:R2-R4-R6-R10-14

User3

--->**Server1**

Tunnel1: R3-R4-R5-R8-R12

Tunnel2: R3-R6-R9-R11-R12

--->**Server2**

Tunnel3--->R3-R4-R7-R11-R13 Tunnel4--->R3-R6-R9-

R13

--->**Server3** Tunnel5:R3-R4-R9-

R14 Tunnel6:R3-R6-R10-14

Για τον δρομολογητή LSR1 :

LSR1

Δ Η Μ Ι Ο Υ Ρ Γ Ι Α T U N N E L S

interface Tunnel1

bandwidth 50000

ip unnumbered Loopback0

```
ip load-sharing per-packet
keepalive 10 3
tunnel destination 192.168.12.1
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name Tunnel1
tunnel mpls traffic-eng load-share 1
tunnel bandwidth transmit 100000
tunnel bandwidth receive 100000
no routing dynamic
!
```

interface Tunnel2

```
ip unnumbered Loopback0
ip load-sharing per-packet
keepalive 10 3
tunnel destination 192.168.12.1
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name Tunnel2
tunnel mpls traffic-eng load-share 1
tunnel bandwidth transmit 100000
tunnel bandwidth receive 100000
no routing dynamic
!
```

interface Tunnel3

```
ip unnumbered Loopback0
ip load-sharing per-packet
keepalive 10 3
tunnel destination 192.168.13.1
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name Tunnel3
tunnel mpls traffic-eng load-share 1
tunnel bandwidth transmit 100000
tunnel bandwidth receive 100000
no routing dynamic
!
```

interface Tunnel4

```
ip unnumbered Loopback0
ip load-sharing per-packet
keepalive 10 3
tunnel destination 192.168.13.1
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name Tunnel4
tunnel mpls traffic-eng load-share 1
tunnel bandwidth transmit 100000
tunnel bandwidth receive 100000
```

no routing dynamic

!

interface Tunnel5

ip unnumbered Loopback0

ip load-sharing per-packet

keepalive 10 3

tunnel destination 192.168.14.1

tunnel mode mpls traffic-eng

tunnel mpls traffic-eng autoroute announce

tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name Tunnel5

tunnel mpls traffic-eng load-share 1

tunnel bandwidth transmit 100000

tunnel bandwidth receive 100000

no routing dynamic

!

interface Tunnel6

ip unnumbered Loopback0

ip load-sharing per-packet

keepalive 10 3

tunnel destination 192.168.14.1

tunnel mode mpls traffic-eng

tunnel mpls traffic-eng autoroute announce

tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name Tunnel6

tunnel mpls traffic-eng load-share 1

tunnel bandwidth transmit 100000

tunnel bandwidth receive 100000

no routing dynamic

ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ EXPLICIT PATHS

ip explicit-path name Tunnel1 enable next-

address 192.168.5.1

next-address 192.168.8.1

!

ip explicit-path name Tunnel2 enable next-

address 192.168.4.1

next-address 192.168.7.1

next-address 192.168.11.1

!

ip explicit-path name Tunnel3 enable next-

address 192.168.5.1

next-address 192.168.8.1

next-address 192.168.11.1

next-address 192.168.13.1

!

ip explicit-path name Tunnel4 enable next-

address 192.168.4.1

next-address 192.168.9.1

next-address 192.168.13.1

!


```
ip explicit-path name Tunnel5 enable next-  
address 192.168.5.1  
next-address 192.168.7.1  
next-address 192.168.9.1  
next-address 192.168.14.1  
!
```

```
ip explicit-path name Tunnel6 enable next-  
address 192.168.4.1  
next-address 192.168.6.1  
next-address 192.168.10.1  
next-address 192.168.14.1  
!
```

Αντίστοιχα ενεργοποιούνται τα Tunnels Interfaces και τα Explicit Paths.

12.4.5.1.1 Πίνακες Δρομολόγησης Mpls TE

Προκειμένου να διαγνώσουμε ότι τα Mpls Tunnels ενεργοποιήθηκαν ανα προορισμό θα εκτελέσουμε την εντολή :

```
show mpls traffic-eng tunnels
```

Το αποτέλεσμα της εντολής θα μας δείξουν τα λειτουργικά Tunnels απο έναν δρομολογητή προς κάθε προορισμό.

Για παράδειγμα, για τον LSR1 ισχύει :

```
LSR1#show mpls traffic-eng tunnels
```

Name: LSR1_t1 (Tunnel1) Destination: 192.168.12.1

Status:

Admin: up Oper: up Path: valid Signalling: connected

path option 1, type explicit Tunnel1 (Basis for Setup, path weight 3)

Config Parameters:

Bandwidth: 0 kbps (Global) Priority: 7 7 Affinity: 0x0/0xFFFF

Metric Type: TE (default)

AutoRoute: enabled LockDown: disabled Loadshare: 1 auto-
bw: disabled

Active Path Option Parameters:

State: explicit path option 1 is active

BandwidthOverride: disabled LockDown: disabled Verbatim: disabled

InLabel : -

OutLabel : FastEthernet1/0, 45

RSVP Signalling Info:

Src 192.168.1.1, Dst 192.168.12.1, Tun_Id 1, Tun_Instance 33

RSVP Path Info:

My Address: 10.10.1.1

Explicit Route: 10.10.1.2 10.10.7.1 10.10.7.2 10.10.21.1

10.10.21.2 192.168.12.1

Record Route: NONE

Tspec: ave rate=0 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=0 kbits

RSVP Resv Info:

Record Route: NONE

Fspec: ave rate=0 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=0 kbits

History:

Tunnel:

Time since created: 50 minutes, 42 seconds

Time since path change: 13 minutes, 5 seconds

Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 33

Current LSP:

Uptime: 13 minutes, 5 seconds

Prior LSP:

ID: path option 1 [32]

Removal Trigger: tunnel shutdown

Name: LSR1_t2 (Tunnel2) Destination: 192.168.12.1

Status:

Admin: up Oper: up Path: valid Signalling: connected

path option 1, type explicit Tunnel2 (Basis for Setup, path weight 4)

Config Parameters:

Bandwidth: 0 kbps (Global) Priority: 7 7 Affinity: 0x0/0xFFFF

Metric Type: TE (default)

AutoRoute: enabled LockDown: disabled Loadshare: 1 auto-
bw: disabled

Active Path Option Parameters:

State: explicit path option 1 is active

BandwidthOverride: disabled LockDown: disabled Verbatim: disabled

InLabel : -

OutLabel : FastEthernet1/1, 45

RSVP Signalling Info:

Src 192.168.1.1, Dst 192.168.12.1, Tun_Id 2, Tun_Instance 26

RSVP Path Info:

My Address: 10.10.2.1

Explicit Route: 10.10.2.2 10.10.9.1 10.10.9.2 10.10.23.1

10.10.23.2 10.10.24.1 10.10.24.2 192.168.12.1

Record Route: NONE

Tspec: ave rate=0 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=0 kbits

RSVP Resv Info:

Record Route: NONE

Fspec: ave rate=0 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=0 kbits

History:

Tunnel:

Time since created: 50 minutes, 43 seconds

Time since path change: 13 minutes, 4 seconds

Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 26

Current LSP:

Uptime: 13 minutes, 4 seconds

Prior LSP:

ID: path option 1 [25]

Removal Trigger: tunnel shutdown

Name: LSR1_t3 (Tunnel3) Destination: 192.168.13.1

Status:

Admin: up Oper: up Path: valid Signalling: connected

path option 1, type explicit Tunnel3 (Basis for Setup, path weight 4)

Config Parameters:

Bandwidth: 0 kbps (Global) Priority: 7 7 Affinity: 0x0/0xFFFF

Metric Type: TE (default)

AutoRoute: enabled LockDown: disabled Loadshare: 1 auto-

bw: disabled

Active Path Option Parameters:

State: explicit path option 1 is active

BandwidthOverride: disabled LockDown: disabled Verbatim: disabled

InLabel : -

OutLabel : FastEthernet1/0, 57

RSVP Signalling Info:

Src 192.168.1.1, Dst 192.168.13.1, Tun_Id 3, Tun_Instance 33

RSVP Path Info:

My Address: 10.10.1.1

Explicit Route: 10.10.1.2 10.10.7.1 10.10.7.2 10.10.22.1

10.10.22.2 10.10.17.1 10.10.17.2 192.168.13.1

Record Route: NONE

Tspec: ave rate=0 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=0 kbits

RSVP Resv Info:

Record Route: NONE

Fspec: ave rate=0 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=0 kbits

History:

Tunnel:

Time since created: 50 minutes, 45 seconds

Time since path change: 13 minutes, 1 seconds

Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 33

Current LSP:

Uptime: 13 minutes, 2 seconds

Prior LSP:

ID: path option 1 [32]

Removal Trigger: tunnel shutdown

Name: LSR1_t4 (Tunnel4) Destination: 192.168.13.1

Status:

Admin: admin-down Oper: down Path: not valid Signalling: Down

path option 1, type explicit Tunnel4

Config Parameters:

Bandwidth: 0 kbps (Global) Priority: 7 7 Affinity: 0x0/0xFFFF

Metric Type: TE (default)

AutoRoute: enabled LockDown: disabled Loadshare: 1

auto-bw: disabled

History:

Tunnel:

Time since created: 50 minutes, 45 seconds

Time since path change: 39 minutes, 44 seconds

Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 29

Prior LSP:

ID: path option 1 [29]

Removal Trigger: tunnel shutdown

Name: LSR1_t5 (Tunnel5) Destination: 192.168.14.1

Status:

Admin: admin-down Oper: down Path: not valid Signalling: Down

path option 1, type explicit Tunnel5

Config Parameters:

Bandwidth: 0 kbps (Global) Priority: 7 7 Affinity: 0x0/0xFFFF

Metric Type: TE (default)

AutoRoute: enabled LockDown: disabled Loadshare: 1 auto-
bw: disabled

History:

Tunnel:

Time since created: 50 minutes, 46 seconds

Time since path change: 39 minutes, 42 seconds

Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 34

Prior LSP:

ID: path option 1 [34]

Removal Trigger: tunnel shutdown

Name: LSR1_t6 (Tunnel6) Destination: 192.168.14.1

Status:

Admin: up Oper: up Path: valid Signalling: connected

path option 1, type explicit Tunnel6 (Basis for Setup, path weight 4)

Config Parameters:

Bandwidth: 0 kbps (Global) Priority: 7 7 Affinity: 0x0/0xFFFF

Metric Type: TE (default)

AutoRoute: enabled LockDown: disabled Loadshare: 1 auto-
bw: disabled

Active Path Option Parameters:

State: explicit path option 1 is active

BandwidthOverride: disabled LockDown: disabled Verbatim: disabled

InLabel : -

OutLabel : FastEthernet1/1, 46

RSVP Signalling Info:

Src 192.168.1.1, Dst 192.168.14.1, Tun_Id 6, Tun_Instance 20

RSVP Path Info:

My Address: 10.10.2.1

Explicit Route: 10.10.2.2 10.10.11.1 10.10.11.2 10.10.13.1

10.10.13.2 10.10.14.1 10.10.14.2 192.168.14.1

Record Route: NONE

Tspec: ave rate=0 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=0 kbits

RSVP Resv Info:

Record Route: NONE

Fspec: ave rate=0 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=0 kbits

History:

Tunnel:

Time since created: 53 minutes, 39 seconds

Time since path change: 13 seconds

Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 20

Current LSP:

Uptime: 13 seconds

Prior LSP:

ID: path option 1 [19]

Removal Trigger: tunnel shutdown

Πλέον στο routing Table ως προτιμώμενα μονοπάτια θα είναι τα μονοπάτια των Tunnels.

Με την χρήση της εντολής

show ip route x.x.x.x όπου x.x.x.x είναι η Ip του κάθε προορισμού του Tunnel

θα παρατηρούμε δυο Tunnel ανα προορισμό.

Για τον LSR1 ισχύει :

```
LSR1#show ip route 172.16.12.2
```

```
Routing entry for 172.16.12.0/30
```

```
Known via "ospf 1", distance 110, metric 4, type intra area
```

```
Last update from 192.168.12.1 on Tunnel1, 00:07:16 ago
```

```
Routing Descriptor Blocks:
```

```
* 192.168.12.1, from 192.168.12.1, 00:07:16 ago, via Tunnel2
```

```
Route metric is 4, traffic share count is 1
```

```
192.168.12.1, from 192.168.12.1, 00:07:16 ago, via Tunnel1
```

```
Route metric is 4, traffic share count is 1
```

12.4.6 Αυτοματοποιημένη Διαχείριση Υποδομής

Όπως έχουμε προαναφέρει στο κεφάλαιο 3 η αυτοματοποίηση των διαδικασιών δικτύωσης έρχεται να απαντήσει στη πολυπλοκότητα των υποδομών πυρήνα, στον έλεγχο των λειτουργικών εξόδων διαχείρισης και φυσικά στην ανάπτυξη των δικτύων τηλεπικοινωνιών αφού θα καταφέρει να δημιουργήσει πελατοκεντρικά δίκτυα που θα καλύπτουν τις ιδιαίτερα δυναμικές ανάγκες των χρηστών.

Η υποδομή πυρήνα που έχουμε δημιουργήσει καλείται να χειριστεί την κίνηση προς τους servers 1,2,3 με ενεργειακά κριτήρια έτσι ώστε να δημιουργήσουμε ένα ενεργειακά αποδοτικό δίκτυο που θα οδηγεί σε μείωση τους κόστους λειτουργίας του. Οι δικτυακές οντότητες της υποδομής είναι του κατασκευαστή Cisco

και φέρουν ως λειτουργικό σύστημα το Cisco IOS. Η διαχείριση των δικτυακών οντοτήτων πραγματοποιείται με την χρήση εντολών και μπορεί να πραγματοποιηθεί :

- χειροκίνητα : με σειριακή σύνδεση στον εξοπλισμό
- απομακρυσμένα : χρησιμοποιώντας προγράμματα απομακρυσμένης διαχείρισης (telnet,ssh,rlogin κτλ)
- απομακρυσμένα : χρησιμοποιώντας εξωτερικό server (ftp,tftp,rcp κτλ). Ο δικτυακός εξοπλισμός Cisco έχει την δυνατότητα να κατεβάσει ένα νέο τρέχον αρχείο παραμετροποίησης αλλάζοντας τις συνθήκες λειτουργίας τους.

12.4.6.1 Αυτοματοποίηση διαδικασίας Διαχείρισης

Στα σενάρια που υλοποιήσαμε κάναμε χρήση των λειτουργιών EEM ,που όπως αναφέρουμε στο κεφαλαίο 10 ουσιαστικά στηρίζουν την δράση τους στην παρακολούθηση των βασικών λειτουργιών παρακολουθεί βασικές λειτουργίες και μετρήσεις του συστήματος και στη συνέχεια ενεργεί σε αυτά μέσω μιας σειράς πολιτικών.

Θεωρούμε σημαντικό να αναφέρουμε ότι το λειτουργικό σύστημα της Cisco έχει την δυνατότητα να αλλάξει την παραμετροποίηση των δικτυακών οντοτήτων είτε μέσω του EEM , είτε μέσω της γλώσσας προγραμματισμού TCL [38] .

Η διαδικασία αυτοματοποιημένης διαχείρισης των δικτυακών οντοτήτων μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους παρακάτω τρόπους :

1) Από ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης :

Ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης έχει την δυνατότητα διαχείρισης των δικτυακών οντοτήτων, μέσω του πρωτοκόλλου διαχείρισης SNMP. Συνίσταται το σύστημα διαχείρισης μιας υποδομής να είναι του ιδίου κατασκευαστή με τον λοιπό δικτυακό εξοπλισμό για λόγους ομοιογένειας της υποδομής. Ο κατασκευαστής Cisco, συγκεκριμένα χρησιμοποιεί ως σύστημα διαχείρισης το Cisco works όπου μέσω του module device configuration manager έχει την δυνατότητα αλλαγής τους τρέχοντος προγραμματισμού των δικτυακών οντοτήτων.

Βέβαια θα μπορούσαν να διαχειριστούν οποιαδήποτε δικτυακή υποδομή και συστήματα τρίτου κατασκευαστή ή συστήματα που στηρίζονται σε ελεύθερο λογισμικό, εφόσον υποστηρίζουν το πρωτόκολλο SNMP. Σύμφωνα λοιπόν με το [37][38] ένα σύστημα διαχείρισης μέσω του snmp θα προκαλέσει τον δρομολογητή να συνδεθεί με έναν εξωτερικό tftp server προκειμένου να κατεβάσει ένα νέο τρέχον αρχείο

παραμετροποίησης που θα υποδεικνύει τις αλλαγές. Τα βήματα για την αυτοματοποιημένη διαχείριση μέσω snmp είναι :

α) Παραμετροποίηση δρομολογητών προκειμένου να γίνουν μέλη του ίδιου snmp community

β) Δημιουργία νέου αρχείου παραμετροποίησης

γ) Αποστολή snmp εντολών στον δρομολογητή προκειμένου να συνδεθεί με τον tftp και να κατεβάσει το νέο αρχείο παραμετροποίησης. Το νέο αρχείο εντολών θα προσαρμόσει τις συσκευές σε νέες συνθήκες λειτουργίας.

2) Με την παράλληλη χρήση TCL Script και TFTP service

Με την χρήση TCL Script και με βάση κάποιο κριτήριο (πχ χρόνος ή μετρήσεις link utilization) ο δρομολογητής θα προκληθεί να συνδεθεί με έναν tftp server προκειμένου να κατεβάσει το επιθυμητό αρχείο παραμετροποίησης.

Αντίστοιχα θα μπορούσε αντί να χρησιμοποιηθεί εξωτερικός tftp server να σώζονται τα αρχεία tcl χειρωνακτικά στην μνήμη flash και με την χρήση eem applet περιοδικά να εφαρμόζονται στη τρέχουσα λειτουργία του εξοπλισμού.

3) Με την χρήση TCL Script

Με την χρήση TCL Script και με βάση κάποιο κριτήριο (πχ χρόνος ή μετρήσεις link utilization) ο δρομολογητής θα πραγματοποιήσει αλλαγές στο τρέχον αρχείο παραμετροποίησης. Οι αλλαγές εφαρμόζονται άμεσα στη τρέχουσα λειτουργία του εξοπλισμού.

Στη δική μας υποδομή ο προγραμματισμός σχετικά με την μηχανική κίνησης και την ενεργοποίηση των μονοπατιών πραγματοποιήθηκε στους ingress lsr της τοπολογίας μας , διότι από εκεί ξεκινούν τα lsr paths αλλά και τα explicit paths προς τους τελικούς προορισμούς. Η παραμετροποίηση για την ενεργοποίηση των μονοπατιών πραγματοποιήθηκε σε κάθε δρομολογητή με την χρήση tcl script και tftp service . Το tcl script ενεργοποιεί την χρήση explicit paths από τους ingress προς τους egress lsr's με βάση χρονικά κριτήρια κατά τα οποία έχει θεωρηθεί ότι αλλάζει η χρησιμοποίηση (μειώνεται το utilization) των διασυνδέσεων της υποδομής. Ως αποτέλεσμα των νέων μονοπατιών είναι η ορθή χρήση της χρησιμοποίησης τους δικτύου που θα οδηγήσει στην μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας.

12.4.7 Παραμετροποίηση Αυτοματοποιημένης Διαχείρισης

12.4.7.1 Χρήση Tcl Script & EEM Applet

Τα tcl scripts θα εφαρμοστούν με τη χρήση χρονοπρογραμματισμού. Αρχικά τα φορτία διαμοιράζονται από δύο μονοπάτια ανά προορισμό. Κατά την εφαρμογή των tcl scripts, αρχικά θα απενεργοποιηθεί το 2ο explicit path από τον User1 προς τον Server1 στις 11.59 pm και θα επαναενεργοποιηθεί στις 5.59 am. Αντίστοιχα θα δημιουργηθούν 2 Tcl Scripts :

1ο script-Απενεργοποίηση Tunnel 1

```
::cisco::eem::event_register_timer cron name Timer1 cron_entry " 59 11 * * * "  
  
namespace import ::cisco::eem::*  
namespace import ::cisco::lib::*  
  
array set arr_einfo [event_reqinfo]  
  
if [catch {cli_open} result] {  
    error $result $errorInfo  
} else {  
    array set cli1 $result  
}  
  
if [catch {cli_exec $cli1(fd) "en"} _cli_result] {  
    error $_cli_result $errorInfo  
}  
  
if [catch {cli_exec $cli1(fd) "conf t"} _cli_result] {  
    error $_cli_result $errorInfo  
}  
  
if [catch {cli_exec $cli1(fd) "ip explicit-path name Tunnell disable "} _cli_result] {  
    error $_cli_result $errorInfo  
}  
  
if [catch {cli_exec $cli1(fd) "end"} _cli_result] {  
    error $_cli_result $errorInfo  
}  
  
action_syslog msg "Tunnell_is_down"  
  
# Close open cli before exit.  
catch {cli_close $cli1(fd) $cli1(tty_id)} result
```

2ο Script-Ενεργοποίηση Tunnel 1

```

::cisco::eem::event_register_timer cron name Timer2 cron_entry " 59 5 * * * "

namespace import ::cisco::eem::*
namespace import ::cisco::lib::*

array set arr_einfo [event_reqinfo]

if [catch {cli_open} result] {
    error $result $errorInfo
} else {
    array set cli1 $result
}

if [catch {cli_exec $cli1(fd) "en"} _cli_result] {
    error $_cli_result $errorInfo
}

if [catch {cli_exec $cli1(fd) "conf t"} _cli_result] {
    error $_cli_result $errorInfo
}

if [catch {cli_exec $cli1(fd) "ip explicit-path name Tunnell enable "}
_cli_result] {
    error $_cli_result $errorInfo
}

if [catch {cli_exec $cli1(fd) "end"} _cli_result] {
    error $_cli_result $errorInfo
}

action_syslog msg "Both Tunnels are up"

catch {cli_close $cli1(fd) $cli1(tty_id)} result

```

12.4.7.1 Χρήση Tcl Script-EEM Applet & TFTP service

Τα tcl scripts θα εφαρμοστούν με τη χρήση χρονοπρογραμματισμού. Αρχικά τα φορτία διαμοιράζονται από δύο μονοπατιά ανα προορισμό. Κατά την εφαρμογή των tcl scripts, αρχικά θα συνδεθεί ο δρομολογητής με κάποιον εξωτερικό tftp server και θα κατεβάσει το αρχείο που θα έχουμε αποθηκεύσει. Στη συνέχεια θα εφαρμόσει το αρχείο εντολών στη τρέχουσα λειτουργία του. Οι αλλαγές θα πραγματοποιηθούν άμεσα. Το σενάριο με την χρήση tftp server κρίνεται ως πιο ευέλικτο, καθώς μπορούμε ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας της δικτυακής υποδομής να προσαρμόζουμε το αντίστοιχο αρχείο tcl, να το αποθηκεύουμε στον tftp server και στη συνέχεια οι δρομολογητές να το εφαρμόζουν στην τρέχουσα λειτουργία τους.

1o Script : Σύνδεση με Tftp Server

```
::cisco::eem::event_register_timer cron name Timer1 cron_entry " 59 11 * * * "  
  
namespace import ::cisco::eem::*  
namespace import ::cisco::lib::*  
  
array set arr_einfo [event_reqinfo]  
  
if [catch {cli_open} result] {  
    error $result $errorInfo  
} else {  
    array set cli1 $result  
}  
  
if [catch {cli_exec $cli1(fd) "en"} _cli_result] {  
    error $_cli_result $errorInfo  
}  
  
if [catch {cli_exec $cli1(fd) "tclsh tftp://10.100.1.1/newtcl.tcl"} _cli_result] {  
    error $_cli_result $errorInfo  
}  
  
if [catch {cli_exec $cli1(fd) "end"} _cli_result] {  
    error $_cli_result $errorInfo  
}  
  
action_syslog msg "New tcl script is up and running"  
  
catch {cli_close $cli1(fd) $cli1(tty_id)} result
```

Τρέχον Tcl Script

```
namespace import ::cisco::lib::*  
  
array set arr_einfo [event_reqinfo]  
  
if [catch {cli_open} result] {  
    error $result $errorInfo  
} else {  
    array set cli1 $result  
}  
  
if [catch {cli_exec $cli1(fd) "en"} _cli_result] {  
    error $_cli_result $errorInfo  
}  
  
if [catch {cli_exec $cli1(fd) "conf t"} _cli_result] {  
    error $_cli_result $errorInfo  
}
```

```

}

if [catch {cli_exec $cli1(fd) "ip explicit-path name Tunnell disable "}
_cli_result] {
    error $_cli_result $errorMsg
}

if [catch {cli_exec $cli1(fd) "end"} _cli_result] {
    error $_cli_result $errorMsg
}

action_syslog msg "Tunnell_is_down"

catch {cli_close $cli1(fd) $cli1(tty_id)} result

```

2ο Tcl script: Σύνδεση με Tftp Server

```

::cisco::eem::event_register_timer cron name Timer2 cron_entry " 59 05 * * * "

namespace import ::cisco::eem::*
namespace import ::cisco::lib::*

array set arr_einfo [event_reqinfo]

if [catch {cli_open} result] {
    error $result $errorMsg
} else {
    array set cli1 $result
}

if [catch {cli_exec $cli1(fd) "en"} _cli_result] {
    error $_cli_result $errorMsg
}

if [catch {cli_exec $cli1(fd) "tclsh tftp://10.100.1.1/newtcl.tcl"} _cli_result] {
    error $_cli_result $errorMsg
}

if [catch {cli_exec $cli1(fd) "end"} _cli_result] {
    error $_cli_result $errorMsg
}

action_syslog msg "New tcl script is up and running"

catch {cli_close $cli1(fd) $cli1(tty_id)} result

```

Τρέχον Tcl Script

```

namespace import ::cisco::lib::*

```



```

array set arr_einfo [event_reqinfo]

if [catch {cli_open} result] {
    error $result $errorInfo
} else {
    array set cli1 $result
}

if [catch {cli_exec $cli1(fd) "en"} _cli_result] {
    error $_cli_result $errorInfo
}

if [catch {cli_exec $cli1(fd) "conf t"} _cli_result] {
    error $_cli_result $errorInfo
}

if [catch {cli_exec $cli1(fd) "ip explicit-path name Tunnell enable "}
_cli_result] {
    error $_cli_result $errorInfo
}

if [catch {cli_exec $cli1(fd) "end"} _cli_result] {
    error $_cli_result $errorInfo
}

action_syslog msg "Both Tunnels are up"

catch {cli_close $cli1(fd) $cli1(tty_id)} result

```

12.5 Καταναλώσεις Δρομολογητών

Οι δρομολογητές της τοπολογίας μας είναι τεχνολογίας modular-chassis. Δηλαδή αποτελούνται από ένα κεντρικό chassis και 6 modules στα οποία τοποθετούνται ως ξεχωριστά μέρη επιπλέον Linecards. Οι επιλογές των επιπλέον μερών έχουν να κάνουν με την προσθήκη controller (είναι απαραίτητος για τον δρομολογητή), interfaces (στην τοπολογία μας κάνουμε χρήση του module PA-2FE) και service engines (δεν χρησιμοποιούνται στην τοπολογία μας).

Οι καταναλώσεις του δρομολογητή μας είναι :

Max power consumption (fully configured)** :370 w

Chassis power consumption (without modules & controller) : 190 w

Controller : 30 w

Interface Module PA-2FE : 15 w

Ο controller μπορεί να χρησιμοποιήσει 2 θύρες 10/100 Mbps που έχει τοποθετημένες πάνω του.

Στην τοπολογία μας όλοι οι δρομολογητές έχουν 1 Controller, ενώ ανάλογα με τα links που χρησιμοποιούν τοποθετούνται επιπλέον modules.

**Fully configured Θεωρείται ο δρομολογητής ο οποίος έχει χρησιμοποιήσει linecards σε όλα τα Modules .

12.6 Ενεργειακή Τοπολογία

Η προσομοίωση των σεναρίων στην εφαρμογή του Gins πραγματοποιήθηκε με βάση τις ενεργειακές προσεγγίσεις από το κεφάλαιο 6.2. Δηλαδή η αρχιτεκτονική μας στηρίχθηκε στις εξής αρχές :

- Ενεργειακά αποτελεσματικός δικτυακός Σχεδιασμός.
- Απενεργοποίηση δικτυακών οντοτήτων με βάση ενεργειακά κριτήρια.

Κατά συνέπεια χρησιμοποιήθηκαν modular δρομολογητές με τον ελάχιστο αριθμό modules ανά διασύνδεση ενώ δημιουργήθηκαν πολλαπλά tunnels προκειμένου να μπορούν να εφαρμοστούν τεχνικές load balancing και traffic engineering.

12.7 Scenario

12.7.1 Γενικά

Σύμφωνα με το κεφάλαιο 6.2 καθώς και τα [6][7][18] η επιλεκτική διακοπή λειτουργίας συγκεκριμένων οντοτήτων της τοπολογίας οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας.

Το 1ο σενάριο αναφέρεται στην δημιουργία μιας κατάλληλα ενεργειακής αρχιτεκτονικής όπου με συγκεκριμένα κριτήρια (πχ. ώρα , φόρτος αρχιτεκτονικής) διανέμει την πληροφορία απο τα προτιμώμενα ενεργειακά μονοπάτια επιλέγοντας να κλείσει τα Linecards των απενεργοποιημένων μονοπατιών.

12.7.2 Μετρήσεις Κατανάλωσης της Ενέργειας

Αρχικά οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν διαμοιράζοντας το φορτίο απο δυο μονοπάτια για κάθε προορισμό, ενώ στη συνέχεια προτιμήθηκε ένα μονοπάτι ανα προορισμό. Οι δρομολογητές όπου έχουν modules που δεν συμμετέχουν πλέον στη διανομή του φορτίου δεν τα απενεργοποίησαν, απλά τα άφησαν idle.

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε ο τύπος από το [18]:

$$\text{Powerswitch} = \text{Powerchassis} + \text{numlinecards} * \text{Powerlinecard} + \sum_{i=0} \text{numportsconfigsi} * \text{Powerconfigsi} * \text{utilizationFactor}.$$

Powerchassis = Power consumption of chassis (without controller or linecard)

numlinecards = Number of used linecards

Powerlinecard =Power consumption of linecards

$\sum_{i=0} \text{numportsconfigsi}$ = Sum of used ports

Powerconfigsi = Power Consumption of used ports

utilizationFactor = port utilization

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν οι καταναλώσεις του δρομολογητή ανάλογα με τα modules που χρησιμοποιούν.

Για παράδειγμα :

για τον LSR1 όπου με την χρήση και των 2 Tunnels και υπολογισμένο το Utilization factor στο 10.75 %, η εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας είναι :

Power chassis= 220 (chassis ->190 + controller --> 30)

numlinecards= 1

Powerlinecard = 15 w

$\sum_{i=0} \text{numportsconfigsi} = 3 * 100 \text{ Mbps}$

Utilization factor --> 0.1075

$\text{Power}_{\text{Router1}} = 230 + 1 * 15 + (3 * 100) * 0.1075$

$\text{Power}_{\text{Router1}} = 277.25 \text{ W}$

Αυτό που προκύπτει από τον επιστημονικό τύπο είναι ότι αυτό που αλλάζει είναι το σύνολο των Used ports ανά δρομολογητή και σύμφωνα με τα Tunnels που χρησιμοποιεί. Κατά συνέπεια οδηγούμαστε σε μεταβολές στις καταναλώσεις της ενέργειας.

12.7.3 Ροές Δεδομένων

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αναφέρονται σε ταυτόχρονη κίνηση που ξεκινάει από τους χρήστες προς τους αντίστοιχους εξυπηρετητές.

Δηλαδή από : User1---

>Server1 User2--->Server2

User3--->Server3

Το φορτίο που δημιουργήθηκε διαρκεί 60 sec, είναι κίνηση udp με διαθέσιμο bw 40 Mbits/sec.

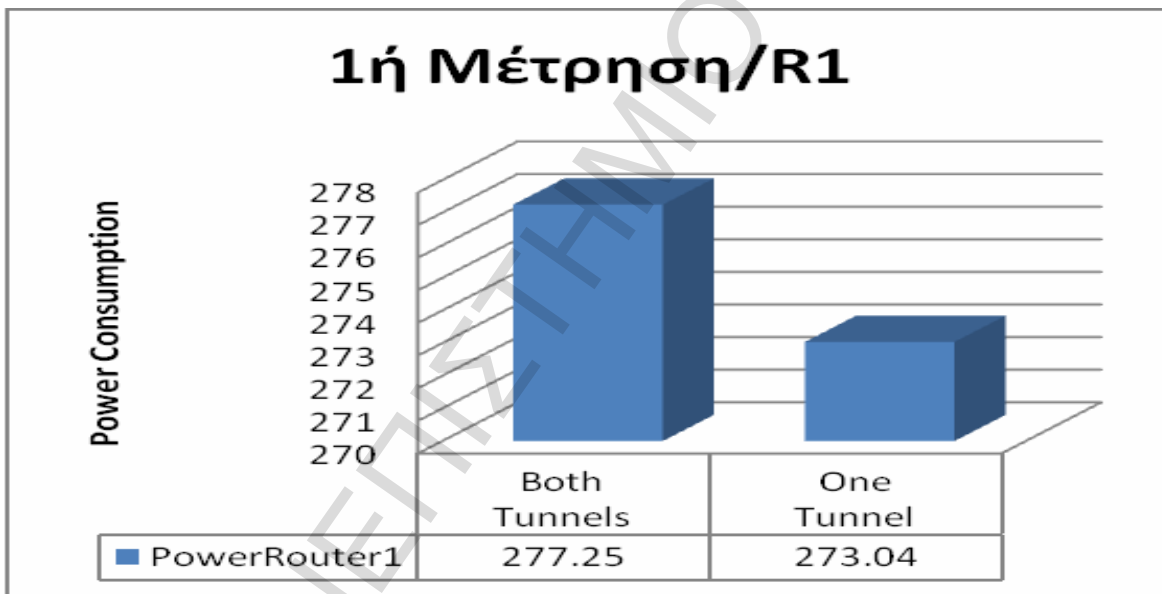
12.7.4 Διαγράμματα

12.7.4.1 Power Consumption Measurements

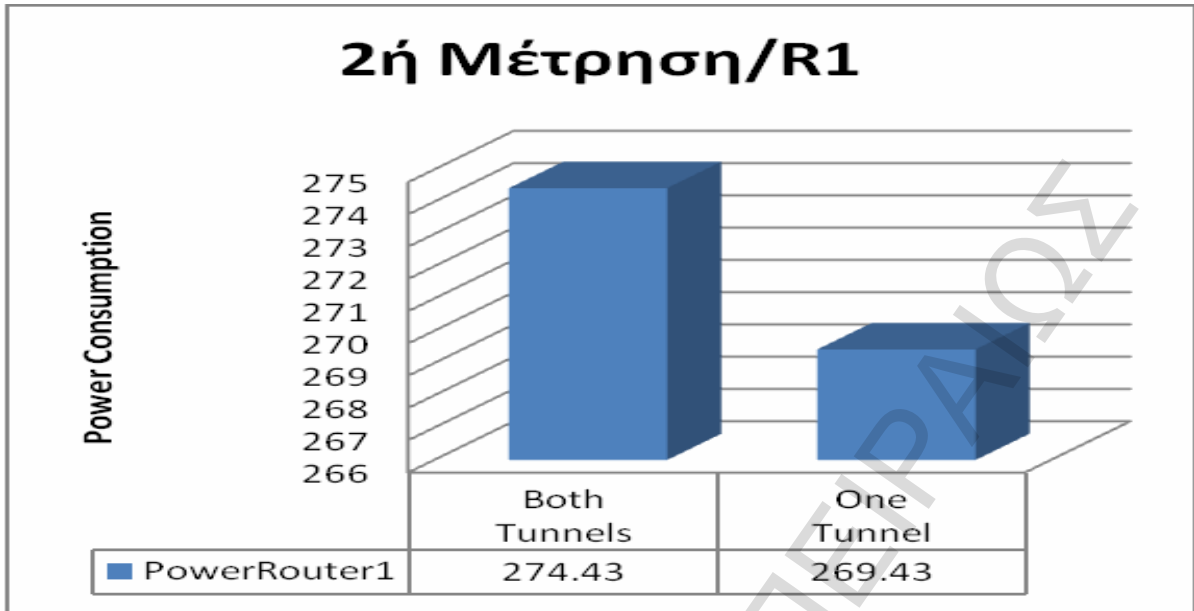
Με το λογισμικό Jperf δημιουργήσαμε ροές δεδομένων για 60 sec με διαθέσιμο εύρος ζώνης στα 40 Mbit/sec. Προκειμένου να υπάρξει μεγαλύτερη ακρίβεια αλλά και να μειωθεί η περίπτωση θορύβου στα αποτελέσματα πραγματοποιήθηκαν 3 μετρήσεις ανα δρομολογητή, στην αρχή με 2 Tunnels ενεργά ανα προορισμό και στη συνέχεια με 1 Tunnel ενεργό. Το σύνολο των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε με την χρήση του αναφερόμενου τύπου για το σενάριο 2.

12.7.4.1.1 LSR1

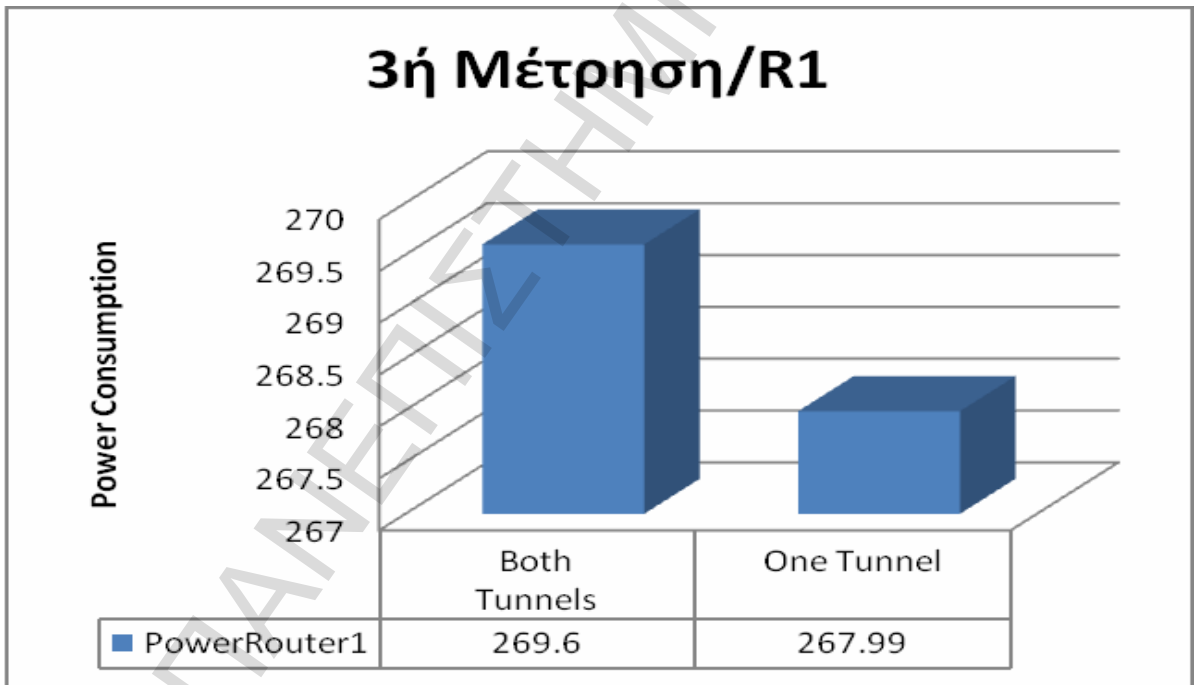
LSR1



Σχήμα 24. Power Consumption R1 /1st Measurement

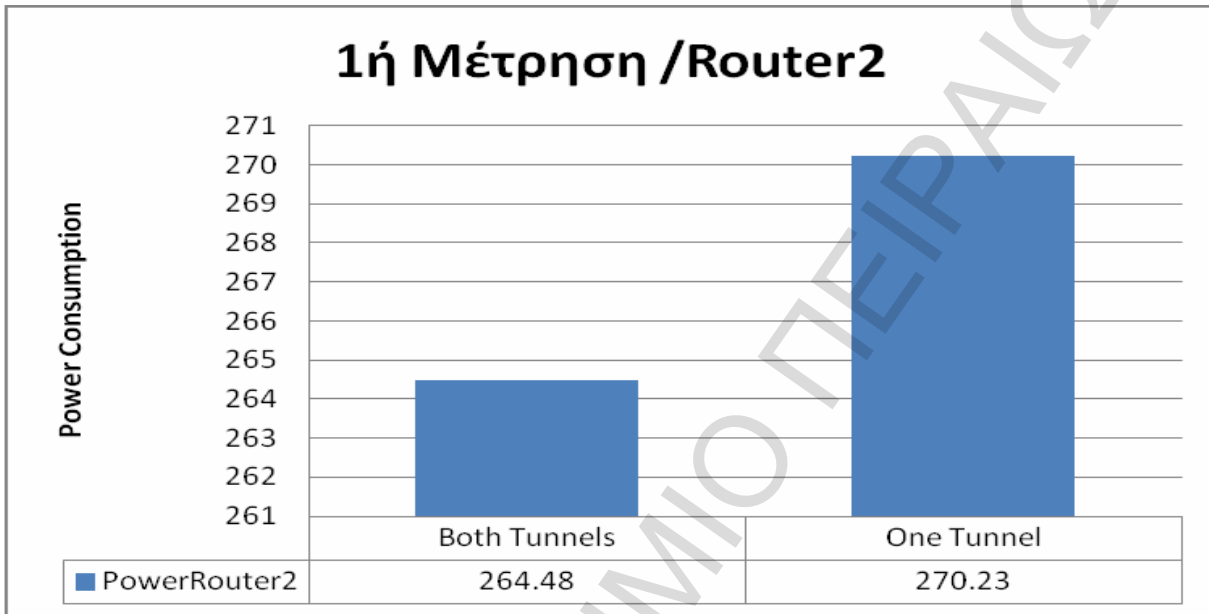


Σχήμα 25. Power Consumption R1 / 2nd Measurement

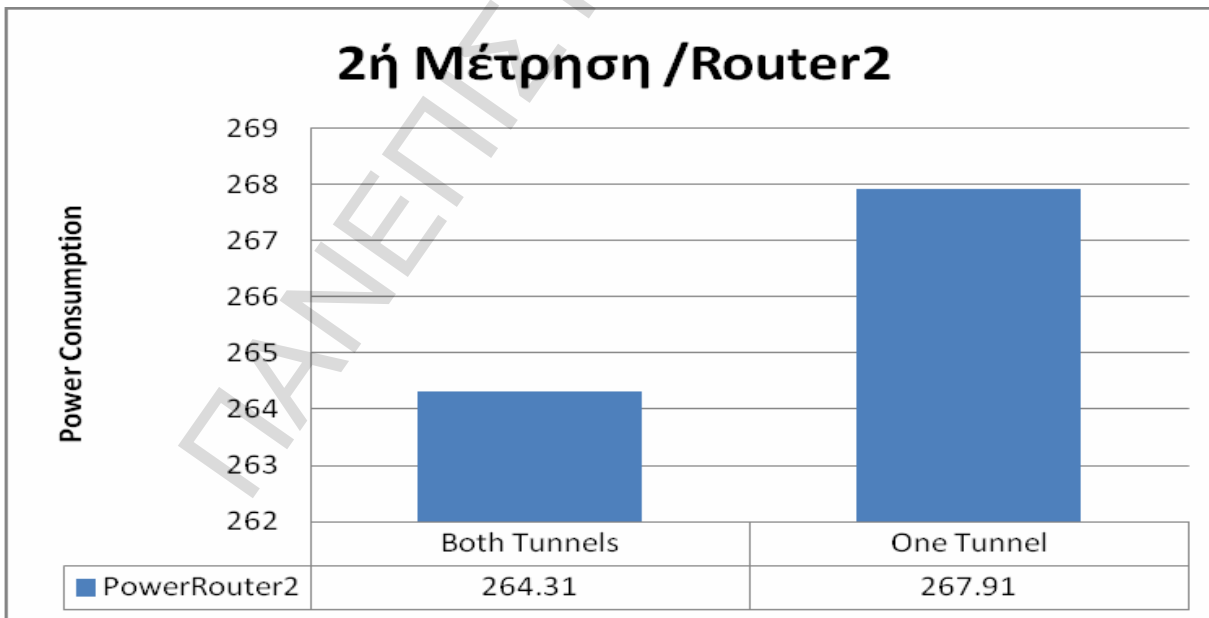


Σχήμα 26. Power Consumption R1 / 3rd Measurement

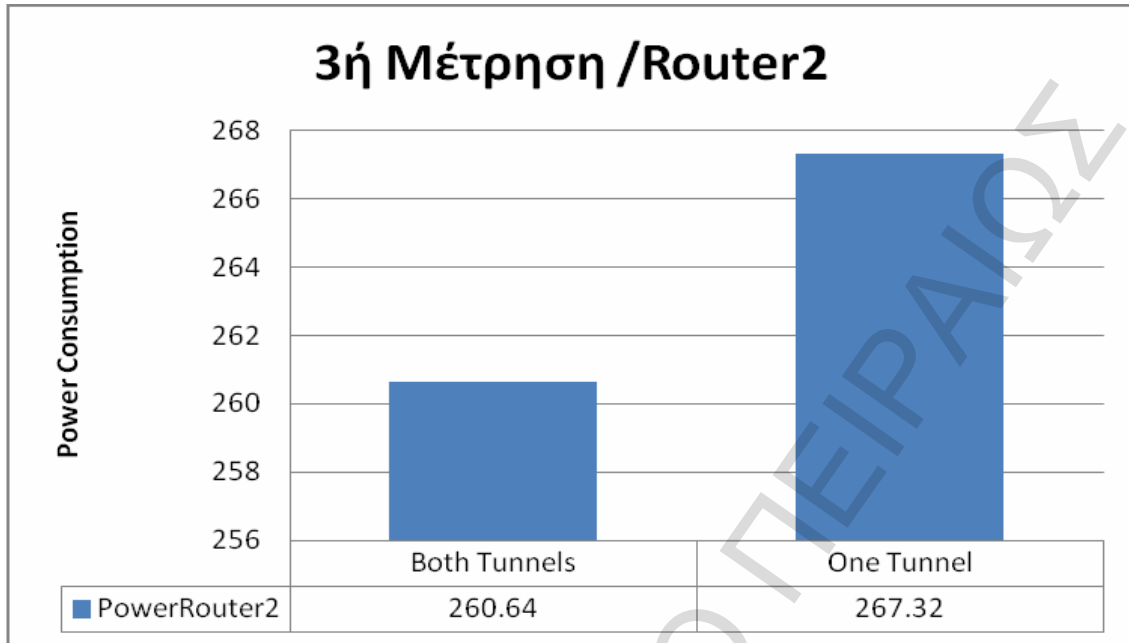
LSR2



Σχήμα 27. Power Consumption R2 / 1st Measurement



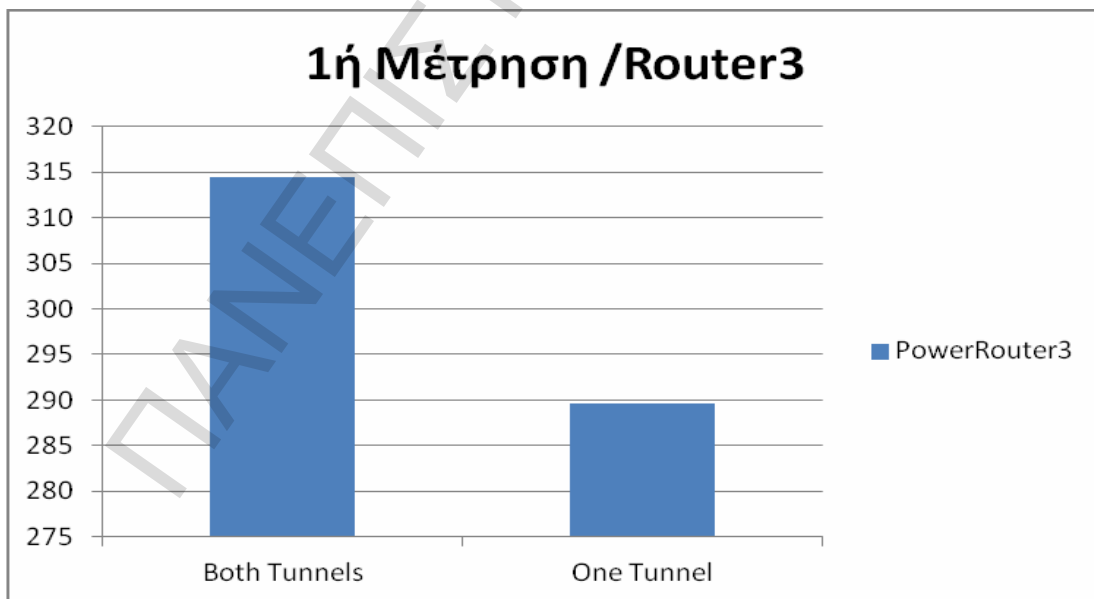
Σχήμα 28. Power Consumption R2 / 2nd Measurement



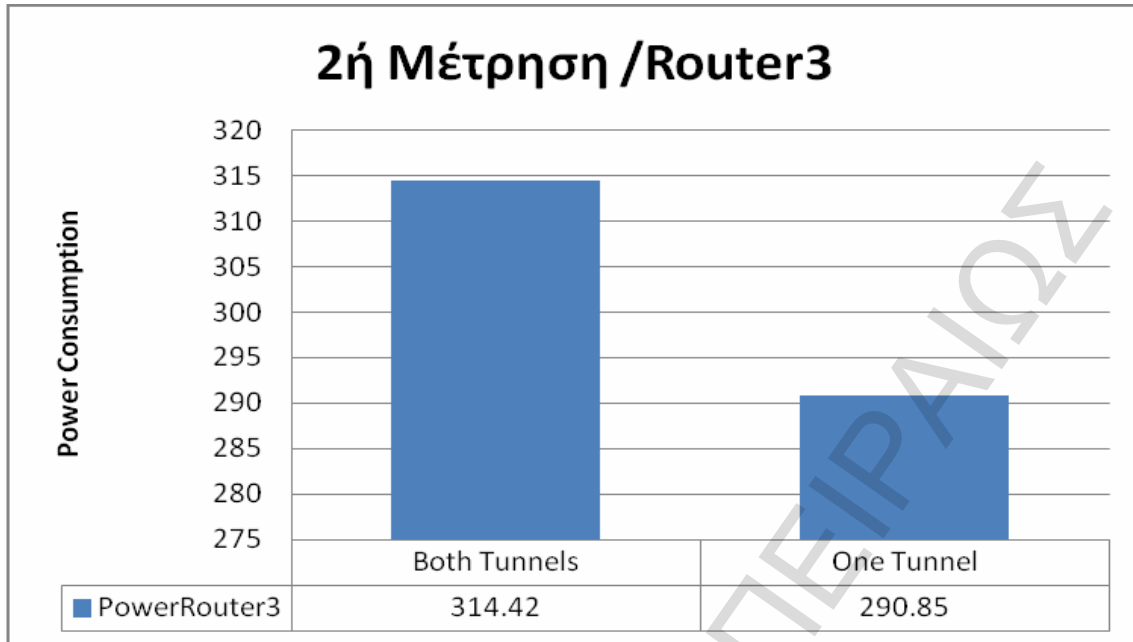
Σχήμα 29. Power Consumption R2 /3rd Measurement

12.7.4.1.3 LSR3

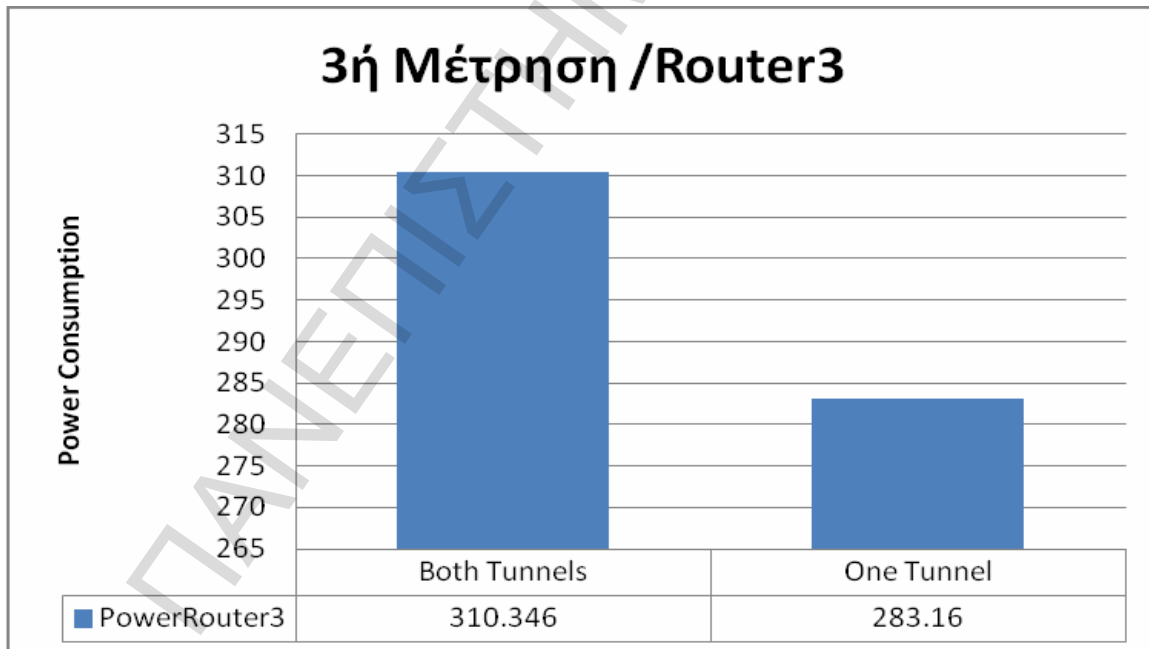
LSR3



Σχήμα 30. Power Consumption R3 /1st Measurement



Σχήμα 31. Power Consumption R3 /2nd Measurement

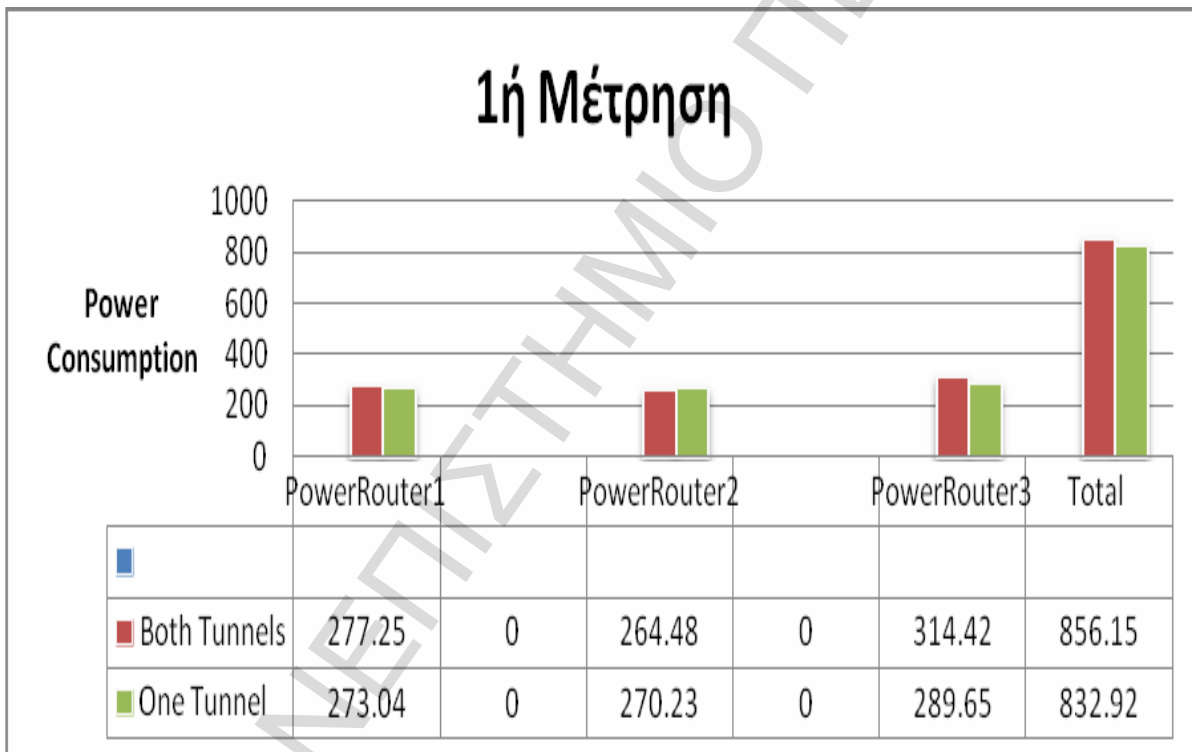


Σχήμα 32. Power Consumption R3 /3rd Measurement

12.7.5 Συγκριτικά περιπτώσεων Κατανάλωσης της Ενέργειας

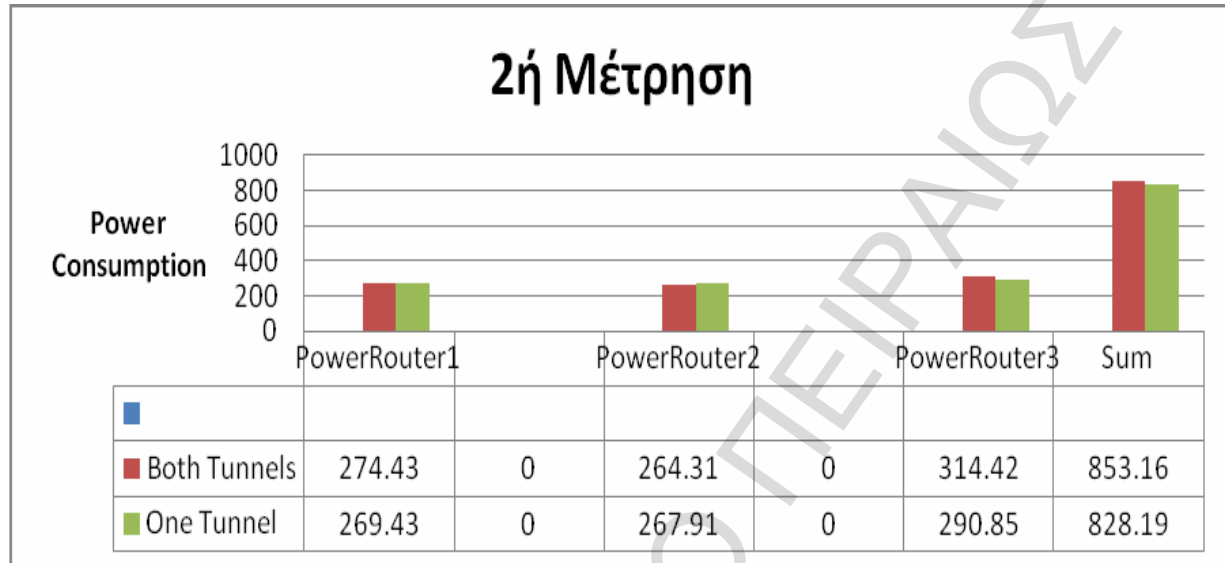
Τα παρακάτω διαγράμματα αποτελούν συγκριτικά περιπτώσεων κατανάλωσης της ενέργειας κατά την μεταφορά δεδομένων με την χρήση δύο και ενός Tunnel στους ingress LSR's 1,2,3. Ο άξονας χ αναφέρεται στην κατανάλωση της ενέργειας, ενώ ο άξονας ψ αναφέρεται στον ingress LSR. Η κόκκινη διαβάθμιση αντιστοιχεί στην χρήση δυο Tunnels ενώ η πράσινη στη χρήση ενός.

12.7.5.1 1ή Μέτρηση



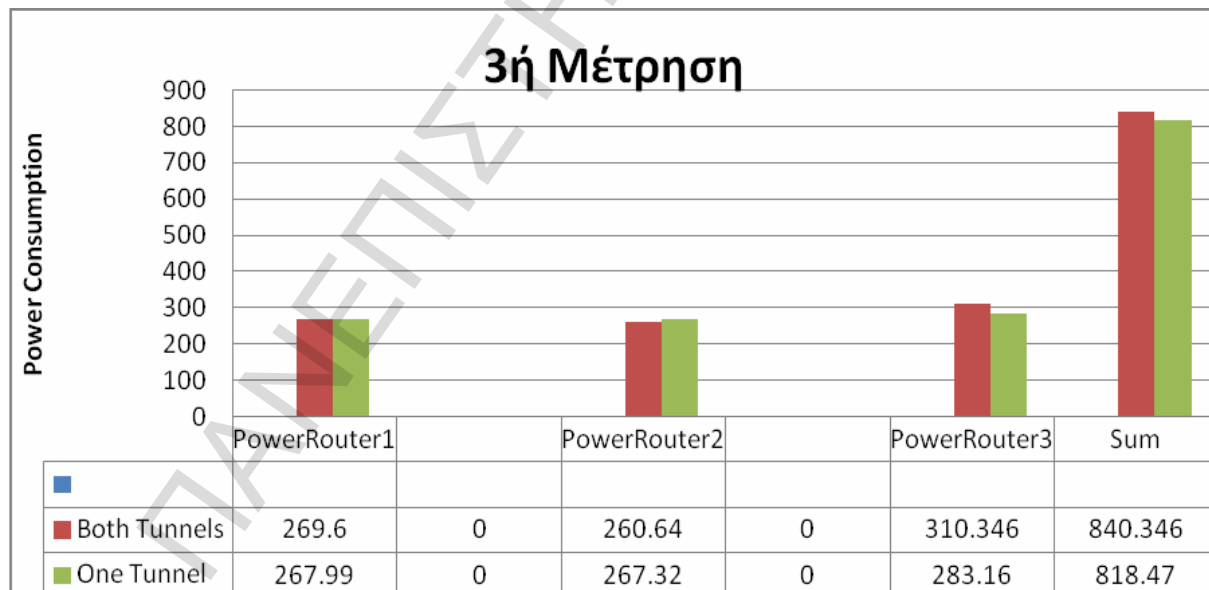
Σχήμα 33. End to End Power Consumption (User1-Server1)/1st Measurement

12.7.5.2 2ή Μέτρηση



Σχήμα 34. End to End Power Consumption (User1-Server1)/ 2nd Measurement

12.7.5.3 3ή Μέτρηση

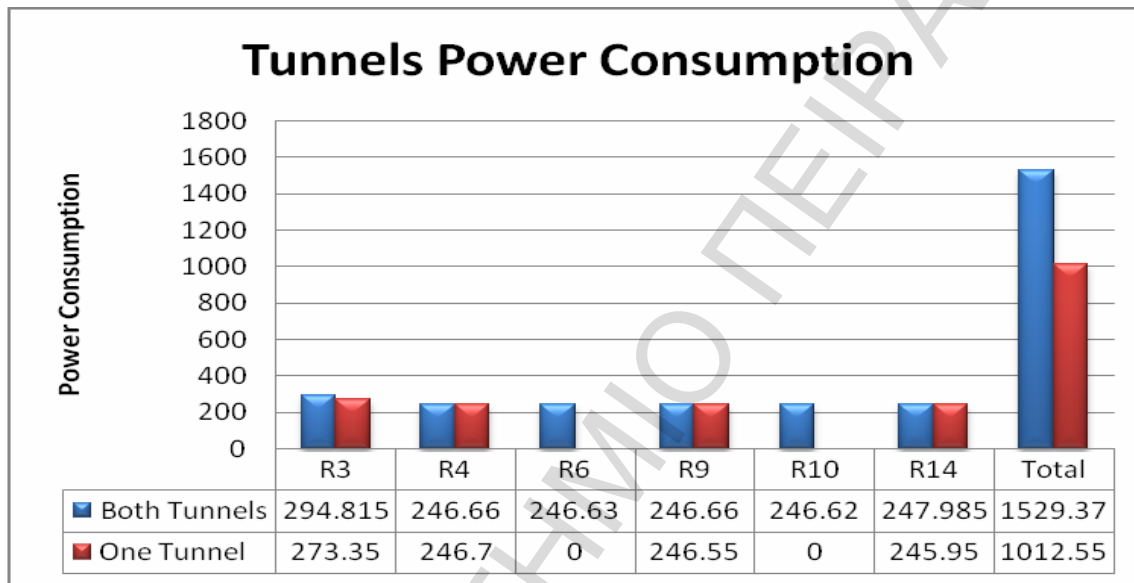


Σχήμα 35. End to End Power Consumption (User1-Server1)/ 3rd Measurement

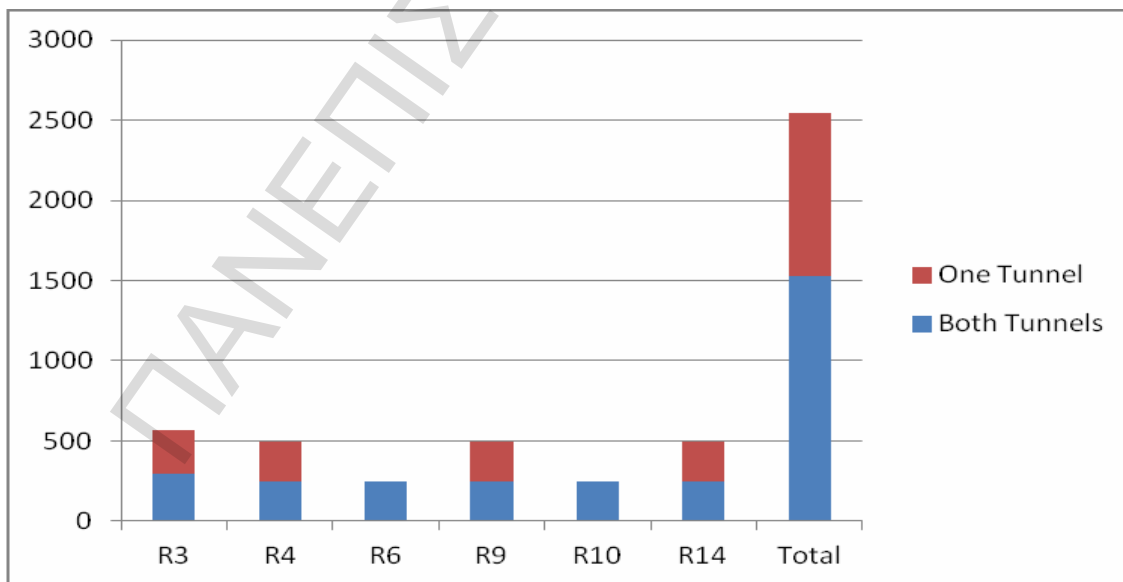
12.7.6 End to End Power Consumption

Τα παρακάτω διαγράμματα προκύπτουν από την σύγκριση των καταναλώσεων ενέργειας end to end με δύο Tunnels ενεργά και στη συνέχεια με ένα Tunnel.

Το διάγραμμα αφορά φορτίο που ξεκινά από τον User 3 προς τον Server 3 και διαπέρνει τα Tunnel 5 & 6 και στη συνέχεια μόνο το Tunnel 5. Βεβαίως ορίζονται σημαντικές διαφορές κατανάλωσης της ενέργειας στους ingress και egress δρομολογητές.



Σχήμα 36. End to End Power Consumption (User3-Server3)



Σχήμα 37. End to End Power Consumption (User3-Server3)

12.8 Συμπεράσματα

Στο σενάριο που υλοποιήσαμε εξετάσαμε την ικανότητα της μηχανικής της κίνησης στην προσαρμογή των δικτυακών οντοτήτων της τοπολογίας μας σχετικά με τη μεταφορά της πληροφορίας απο διαφορετικά Isp ανα συνθήκη με απώτερο σκοπό την εξισορρόπηση φόρτου και την δημιουργία λειτουργικά αποδοτικών ενεργειακών δικτύων . Δυστυχώς, οι υφιστάμενες δικτυακές υποδομές, δεν μπορούν να διαχειριστούν αποτελεσματικά την διαχείριση της ενεργειακής κατανάλωσης. Η μηχανική της κίνησης διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στον καθορισμό της απόδοσης, της αξιοπιστίας και τις ανάπτυξης των δικτύων των Παρόχων. Η κύρια πρόκληση της μηχανικής κίνησης είναι να χειριστεί τις απρόβλεπτες συνθήκες που μπορεί να οδηγήσει μια αλλαγή σε ένα δίκτυο, τις απαιτήσεις χωρητικότητας αλλά και τα διαθέσιμα φορτία προκειμένου να λάβει μια απόφαση δρομολόγησης. Η εξισορρόπηση του φορτίου και η αποφυγή της κυκλοφοριακής συμφόρησης αποτελεί παράγοντα ζωτικής σημασίας για την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα των Παρόχων υπηρεσιών. Λαμβάνοντας υπόψη τους στόχους της μηχανικής κίνησης παρουσιάζουμε την λύση μας που στηρίζεται στον ανασχεδιασμό των δικτυακών οντοτήτων ως Στόχος είναι η μέγιστη αξιοποίηση των δικτυακών διασυνδέσεων με την ταυτόχρονη μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας. Η προσέγγιση της ορθής χρήσης των διασυνδέσεων σε ένα δίκτυο πυρήνα επιτρέπει στους διαχειριστές του δικτύου να αξιοποιούν στο μέγιστο τις δυνατότητες της υπάρχουσας υποδομής για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και αποφεύγουν την αγορά νέου εξοπλισμού (μείωση δαπανών κεφαλαίου Capex). Επιπλέον, έχουμε την μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας με την αποτελεσματική χρήση των modules των δρομολογητών, άρα κέρδος σε λειτουργικά έξοδα (OPEX).

Με άλλα λόγια, με βάση τις συνθήκες του δικτύου και τα αιτήματα κυκλοφορίας προσπαθούμε να βρούμε τη βέλτιστο σύνολο των διασυνδέσεων που μπορούν να λειτουργήσουν, ενώ τα υπόλοιπα θα τεθούν εκτός λειτουργίας ή απλά σε κατάσταση ύπνου. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος εφαρμόζει τεχνικές μηχανικής κίνησης, προκειμένου να ορίζει προτιμώμενα μονοπάτια για την μετάδοση της πληροφορίας και να θέτει κάποια άλλα ανενεργά. Ουσιαστικά η εφαρμογή του αλγορίθμου οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας σε δίκτυα IP/MPLS με την απενεργοποίηση ή την ύπνωση των linecard των δρομολογητών. Με άλλα λόγια η μηχανική κίνησης λειτουργεί σαν εξισοροπιστής φόρτου στην δικτυακή υποδομή ανάλογα με τα ενεργειακά κριτήρια που θέτει κάθε φορά ο operator.

Συμπερασματικά τα αποτελέσματα που εξάγαμε δείχνουν ότι κατορθώσαμε να καταλήξουμε σε μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας σε μετάδοση της πληροφορίας απο άκρο εις άκρο. Κατά τις μετρήσεις παρατηρήθηκε μείωση της κατανάλωσης για τους δρομολογητές LSR1 (περίπου 1.5-3%) και LSR3 (περίπου 7-8%) ενώ παρατηρήθηκε αύξηση για τον δρομολογητή LSR2 κατά την χρήση μονού προτιμώμενου μονοπατιού. Συνολικά παρατηρήθηκε μείωση της κατανάλωσης και των 3 δρομολογητών κατά την χρήση ενός προτιμώμενου μονοπατιού κατά περίπου 3 % (προκύπτει απο τα συγκριτικά διαγράμματα) και στα δυο σενάρια. Ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει στην μείωση κατανάλωσης που παρατηρείται κατά τις μετρήσεις end to end για τις δυο διαφορετικές περιπτώσεις (Both Tunnels & One Tunnel) που φτάνει στο 30 %.

Η μείωση της χρήσης των διαθέσιμων πόρων του δικτύου επιτρέπει την εξοικονόμηση ενέργειας και ταυτόχρονα την ελαχιστοποίηση των λειτουργικών εξόδων για τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους υπηρεσιών. Επιπλέον, η μείωση του λειτουργικού κόστους επιτρέπει στους οργανισμούς να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι των πιο “σπάταλων” ανταγωνιστών. Αξίζει να τονίσουμε ότι δημιουργούνται σημαντικά οφέλη που οδηγούν σε επενδύσεις χωρίς καν να χρησιμοποιούνται κόστη επενδύσεων.

12.9 Μελλοντικά Βήματα

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από την προσομοίωση της εφαρμογής προσομοίωσης GNS3 στο IP/MPLS πραγματοποιήθηκε με βάση την "καθαρή" πληροφορία και συγκεκριμένα θέτοντας ως κριτήριο τον προορισμό των ροών. Όπως θα παρατηρήσει κάποιος η μηχανική κίνησης κατάφερε να ελέγξει την διανομή της πληροφορίας σε επίπεδο δρομολόγησης και μας οδήγησε σε μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας. Θεωρούμε ότι θα είχε νόημα να μελετήσουμε μελλοντικά την δημιουργία μιας αυτόνομης αρχιτεκτονικής όπου η μηχανική κίνησης θα λάμβανε χώρα όχι ανά προορισμό δεδομένων με κριτήριο τον χρόνο ή κάποιες μετρήσεις από τα χαρακτηριστικά των διεπαφών, αλλά με βάση το context που περιέχει η πληροφορία. Ούτως ή άλλως πιστεύουμε πως η τεχνολογία της αρχιτεκτονικής που θα λειτουργεί με βάση το περιεχόμενο αναμένεται να είναι από τα κύρια χαρακτηριστικά των δικτύων επόμενης γενιάς. Επομένως θα έχουμε δίκτυα τα οποία θα προσαρμόζονται αυτόματα και γρήγορα ανάλογα με τις μεταβαλλόμενες συνθήκες και θα καλύπτουν τις ενεργειακές απαιτήσεις του κάθε διαχειριστή. Κατά αυτόν τον τρόπο θα δημιουργήσουμε ένα προσωποποιημένο δίκτυο μεταφοράς όπου οι δικτυακές οντότητες αποκτούν χαρακτήρα και συμπεριφορά και είναι ευπροσάρμοστες στις αλλαγές. Από ένα κεντροποιημένο σύστημα θα δέχονται κάποιες συνθήκες λειτουργίας και στη συνέχεια θα προσπαθούν να ικανοποιήσουν τον στόχο τους, που θα είναι η ορθή κατανάλωση της ενέργειας. Άρα αφενός θα έχουμε ικανοποιήσει τις απαιτήσεις μείωσης της κατανάλωσης της ενέργειας από αυτοματοποιημένες διαδικασίες αφετέρου η χρήση του μοντέλου στα δίκτυα των Παρόχων θα δημιουργήσει νέα προϊόντα υπηρεσιών που θα βοηθήσουν στην περαιτέρω ανταγωνιστικότητα και ανάπτυξη στον κλάδο των τηλεπικοινωνιών.

13 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

13.1 Μετρήσεις Μνήμης

13.1.1 Γενικά

Τα σενάρια τα οποία υλοποιήσαμε, προκειμένου να μετρήσουμε την κατανάλωση της ενέργειας, στηρίχθηκαν σε μετρήσεις της Cru (σύμφωνα με τον τύπο από 11.7.2) και τα used ports (σύμφωνα με τον τύπο από 11.8.1). Παρόλα αυτά θεωρούμε ότι γενικότερα η εναλλαγή χρήσης των πόρων μιας δικτυακής οντότητας μπορεί να επηρεάσει την κατανάλωση της ενέργειας. Δηλαδή εκτός από την cru, οι διαδοχικές εναλλαγές της μνήμης ανά περίπτωση αποκτούν σημαντικό ενδιαφέρον.

Συνεπώς οδηγηθήκαμε σε ένα ακόμη σενάριο όπου αυτή την φορά μετράμε την διαφορά μνήμης στους δρομολογητές με την χρήση ενός και δύο Tunnels.

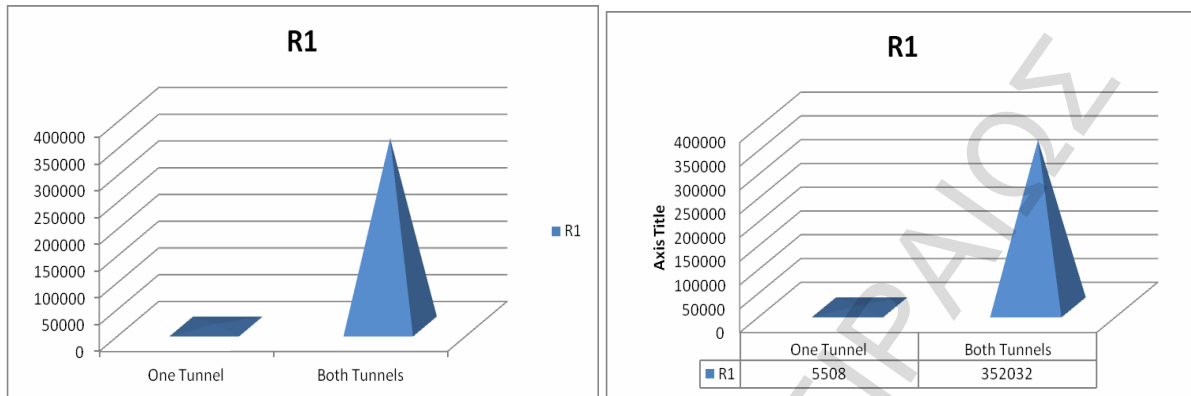
13.1.2 Μετρήσεις Μνήμης (Τελική - Αρχική *)**

Πραγματοποιήθηκαν Μετρήσεις της μνήμης, αρχικά με 2 Tunnels και στη συνέχεια με 1. Προκειμένου να διαπιστωθούν οι πόροι που σπαταλούνται κατά την μεταφορά της κίνησης από τους χρήστες προς τους εξυπηρετητές μετρήθηκε η διαφορά μεταξύ αρχικού και τελικού μεγέθους της μνήμης κατά την χρήση 2 Tunnels και 1 Tunnel.

Δηλαδή η πρώτη μέτρηση πραγματοποιείται με την απουσία κίνησης και η δεύτερη με την ενεργοποίηση της κίνησης. Η διαφορά των δυο μετρήσεων παρουσιάζεται στα ακόλουθα διαγράμματα.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται δείχνουν την μεγάλη διαφορά της δεσμευμένης μνήμης κατά την χρήση 2 Tunnels ανά προορισμό. Να σημειωθεί ότι η ενεργοποίηση των Tunnels (2 Tunnel ενεργά) καθώς και η απενεργοποίησή τους (1 Tunnel ενεργό) πραγματοποιήθηκε αυτόματα με βάση τον αλγόριθμο των σεναρίων 1,2, δηλαδή με τεχνικές της μηχανικής κίνησης.

Δρομολογητής R1

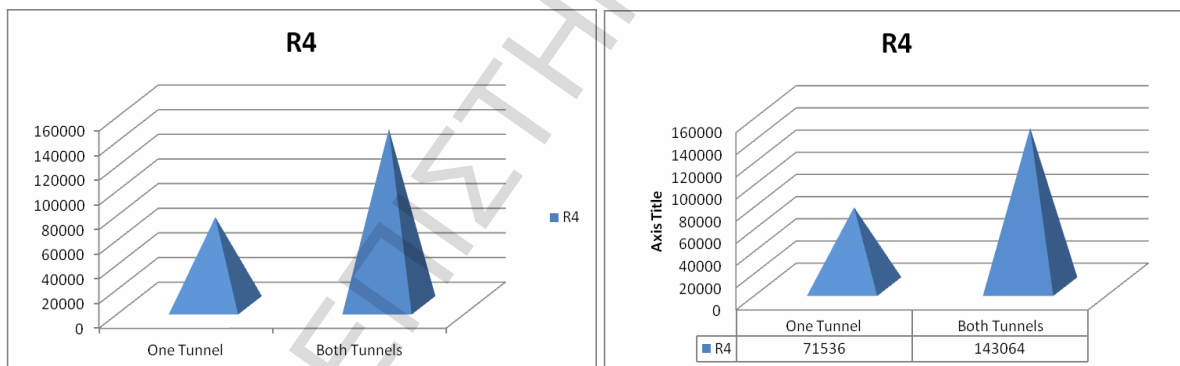


Σχήμα 38. Memory Consumption R1 (User1-Server1)

Δρομολογητής R2

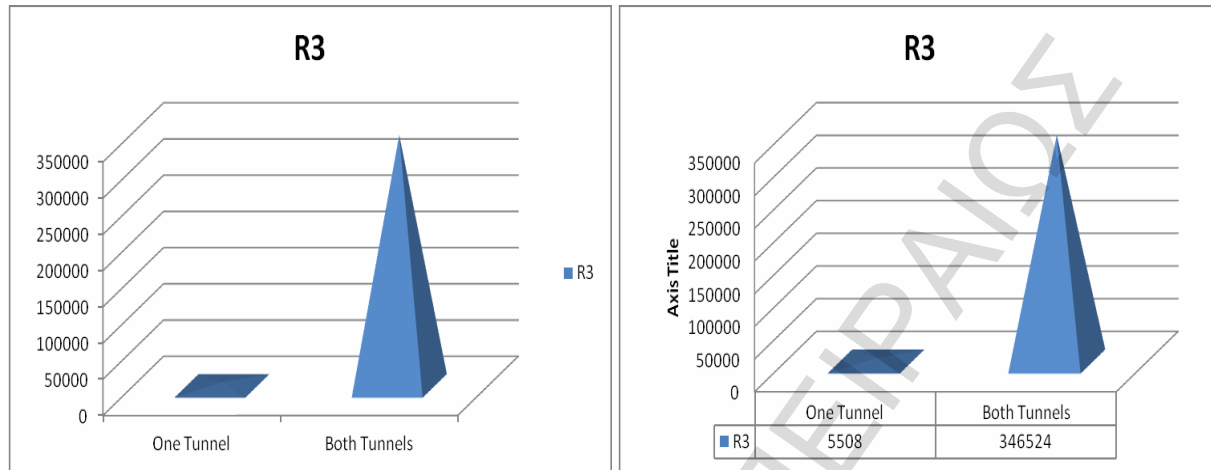
Για τον δρομολογητή R2 δεν παρουσιάστηκαν μεταβολές στη μνήμη.

Οι μεταβολές παρατηρήθηκαν στον δρομολογητή R4.



Σχήμα 39. Memory Consumption R2 (User1-Server1)

Δρομολογητής R3



Σχήμα 40. Memory Consumption R3 (User1-Server1)

***Η διαφορά μεταφράζεται σε bytes.

13.2 Συμπεράσματα

Στο παράρτημα δεν κάναμε χρήση επιστημονικού τύπου προκειμένου να οδηγηθούμε σε ασφαλή συμπεράσματα. Όσον αφορά τους εξυπηρετητές το [7] αναφέρεται στην επιρροή της μνήμης στην κατανάλωση της ενέργειας. Αντίστοιχα θα μπορούσαμε να οδηγηθούμε σε ασφαλέστερα συμπεράσματα με περαιτέρω έρευνα προκειμένου να τεκμηριώσουμε την σύνδεση της κατανάλωσης της μνήμης με την κατανάλωση της ενέργειας.

Κατά τις μετρήσεις στην προσομοίωση της τοπολογίας μας παρατηρήθηκε μεγάλη αύξηση της μνήμης των δρομολογητών (αναφερόμαστε στους δρομολογητές όπου ξεκινούν τα explicit paths R1-R2-R3) όταν εξυπηρετούσαν το φορτίο και τα δύο paths σε σχέση με την αύξηση της όταν υπήρχε μόνο ένα path ενεργό ανα προορισμό.

Να σημειωθεί ότι ο δρομολογητής 2 είναι ειδική περίπτωση καθώς χρησιμοποιεί μόνο ένα link προς τον δρομολογητή 4 και απο εκεί και μετά ξεχωρίζουν τα explicit paths. Άρα οι αλλαγές της μνήμης παρατηρήθηκαν στο R4.

13.3 Μετρήσεις CPU

13.3.1 Προτιμώμενα Μονοπάτια

Τα προτιμώμενα μονοπάτια ανα προορισμό προσδιορίστηκαν με σκοπό την δημιουργία μιας αποδεκτής ενεργειακά αρχιτεκτονικής που να οδηγεί στην αποδοτική χρησιμοποίηση του δικτύου αλλά και στην χρήση λιγότερων διασυνδέσεων ανα προορισμό.

Τα προτιμώμενα μονοπάτια ανα προορισμό είναι :

User1 --->Server1

Tunnel2: R1-R4-R7-R11-R12

User2--->Server2

Tunnel3--->R2-R4-R7-R11-R13

User3--->Server3

Tunnel5:R3-R4-R9-R14

13.3.2 Μετρήσεις Cpu

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αναφέρονται σε ταυτόχρονη κίνηση που ξεκινάει απο τους χρήστες προς τους αντίστοιχους εξυπηρετητές.

Δηλαδή απο : User1---

>Server1 User2--->Server2

User3--->Server3

Το φορτίο που δημιουργήθηκε διαρκεί 60 sec, είναι κίνηση udr με διαθέσιμο bw 40 Mbits/sec.

13.3.3 Διαγράμματα Cpu

13.3.3.1 Μετρήσεις Cpu (%)

Με το λογισμικό Jperf δημιουργήσαμε ροές δεδομένων για 60 sec με διαθέσιμο εύρος ζώνης στα 40 Mbit/sec.

Προκειμένου να υπάρξει μεγαλύτερη ακρίβεια αλλά και να μειωθεί η περίπτωση θορύβου στα αποτελέσματα πραγματοποιήθηκαν 3 μετρήσεις ανα δρομολογητή, στην αρχή με 2 Tunnels ενεργά ανα προορισμό και στη συνέχεια με 1 Tunnel ενεργό.

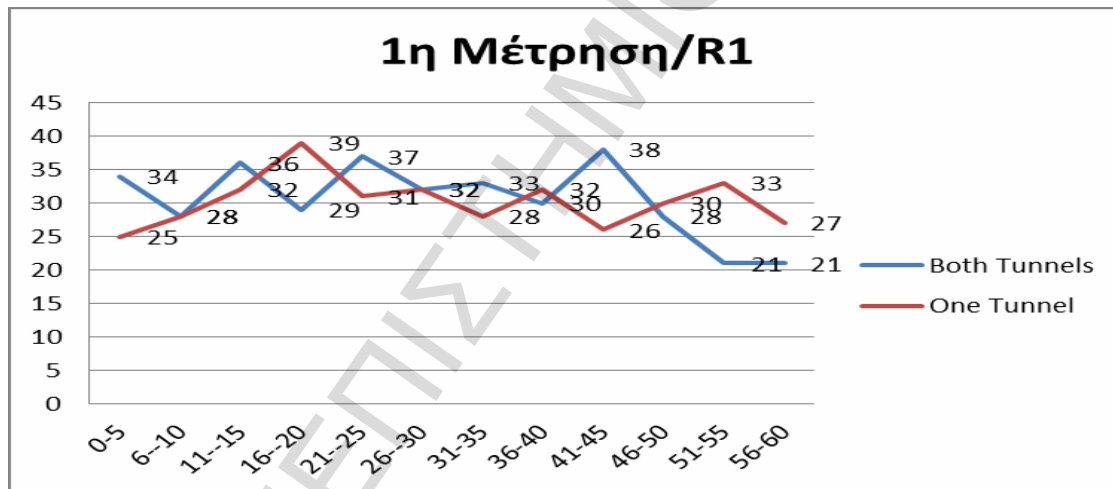
Στα διαγράμματα που προέκυψαν η μπλε διαβάθμιση αντιστοιχεί στα 2 Tunnels, ενώ η κόκκινη στο 1.

13.3.3.2 Cpu & Power Consumption Measurements

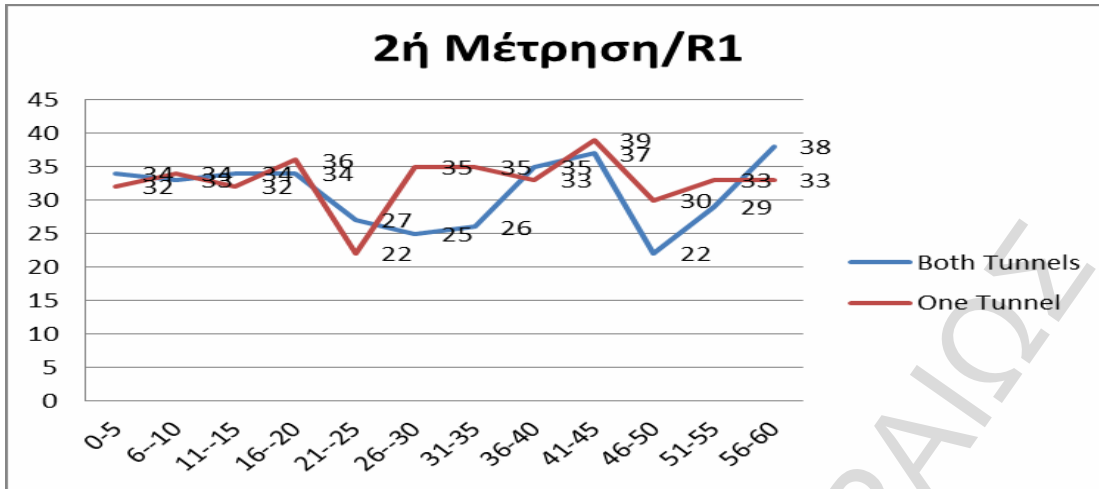
13.3.3.2.1 LSR1- Cpu Measurements

Ο άξονας χ αναφέρεται στην διάρκεια των μετρήσεων (60 sec), ενώ ο άξονας ψ αναφέρεται στις μετρήσεις Cpu την δεδομένη χρονική στιγμή.

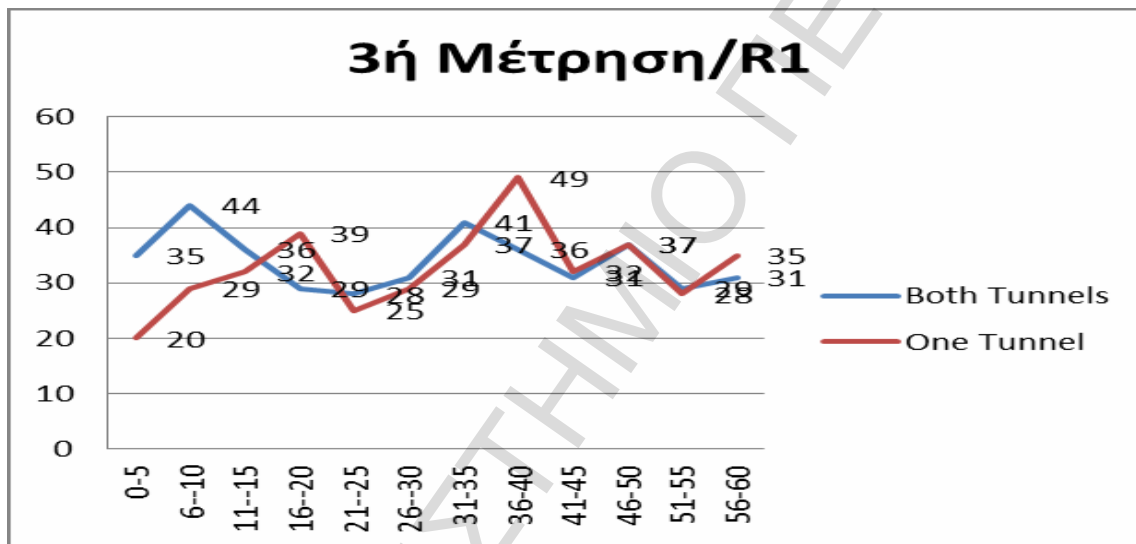
Στο πρώτο διάγραμμα παρατηρούμε τις εναλλαγές της Cpu, ενώ στο δεύτερο παρατηρούνται και οι τιμές των εναλλαγών της Cpu



Σχήμα 41. Cpu 1st Measurement/R1

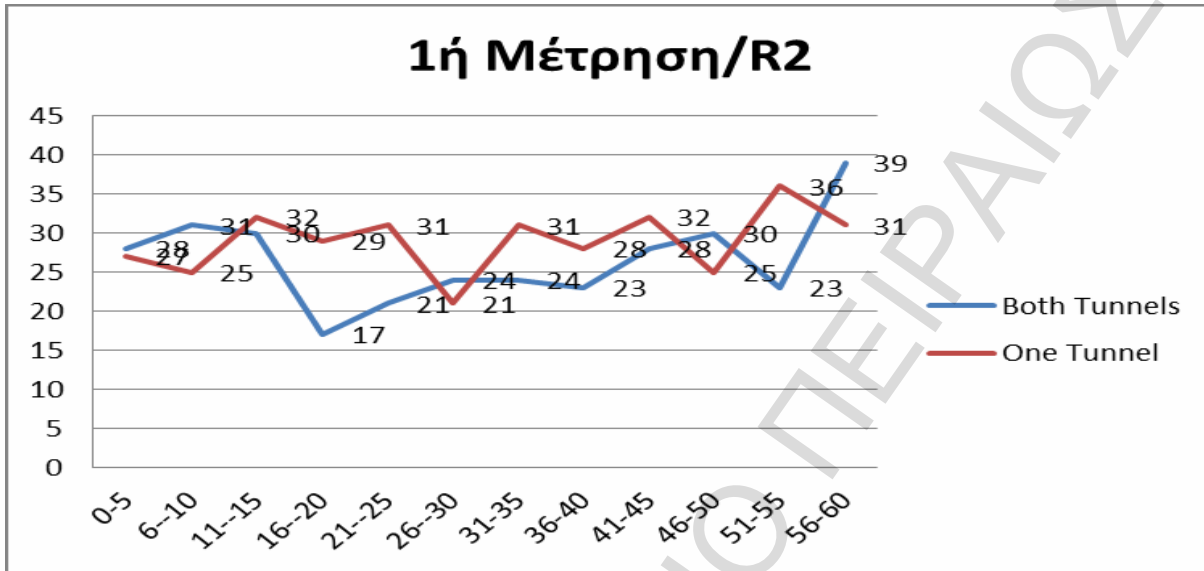


Σχήμα 42. Cpu 2nd Measurement/R1

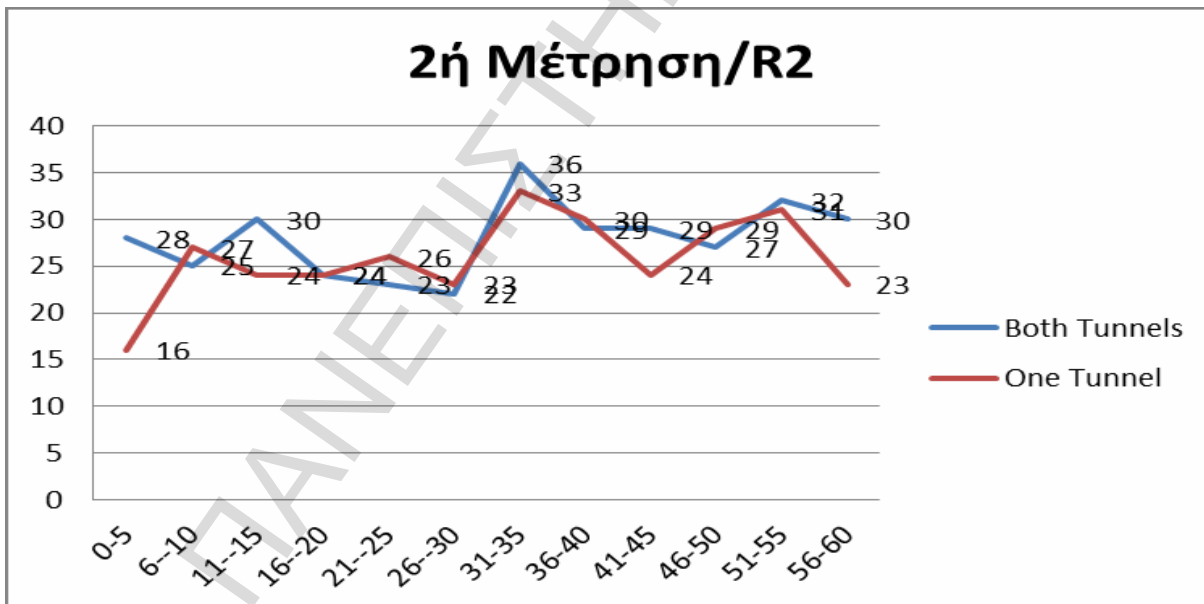


Σχήμα 43. Cpu 3rd Measurement/R1

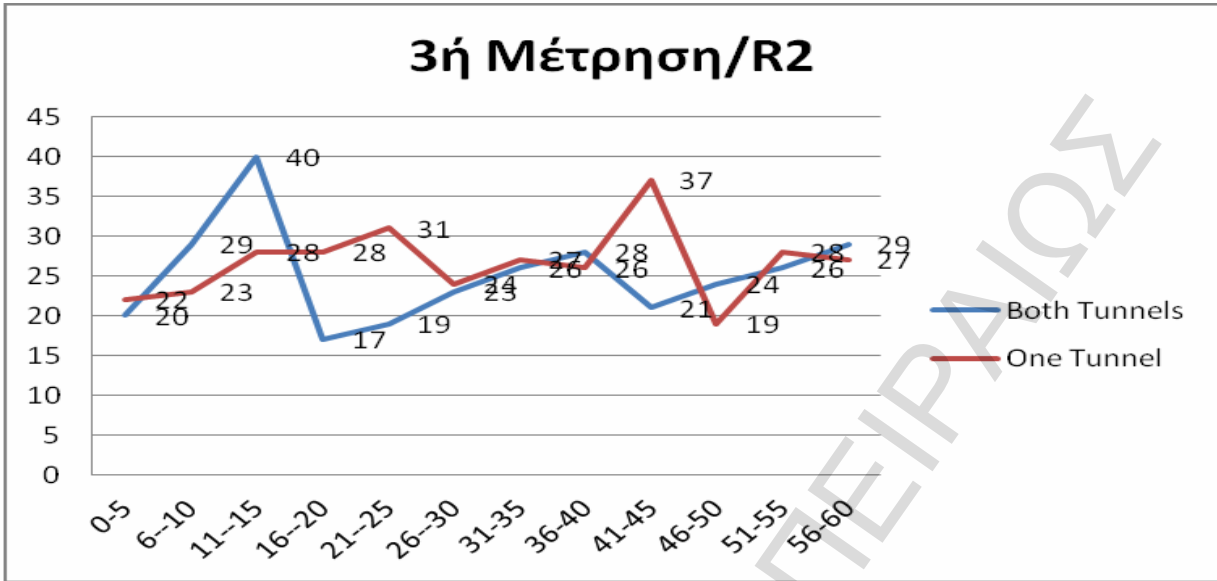
13.3.3.2.2 LSR2-CPU Measurements



Σχήμα 44. Cpu 1st Measurement/R2

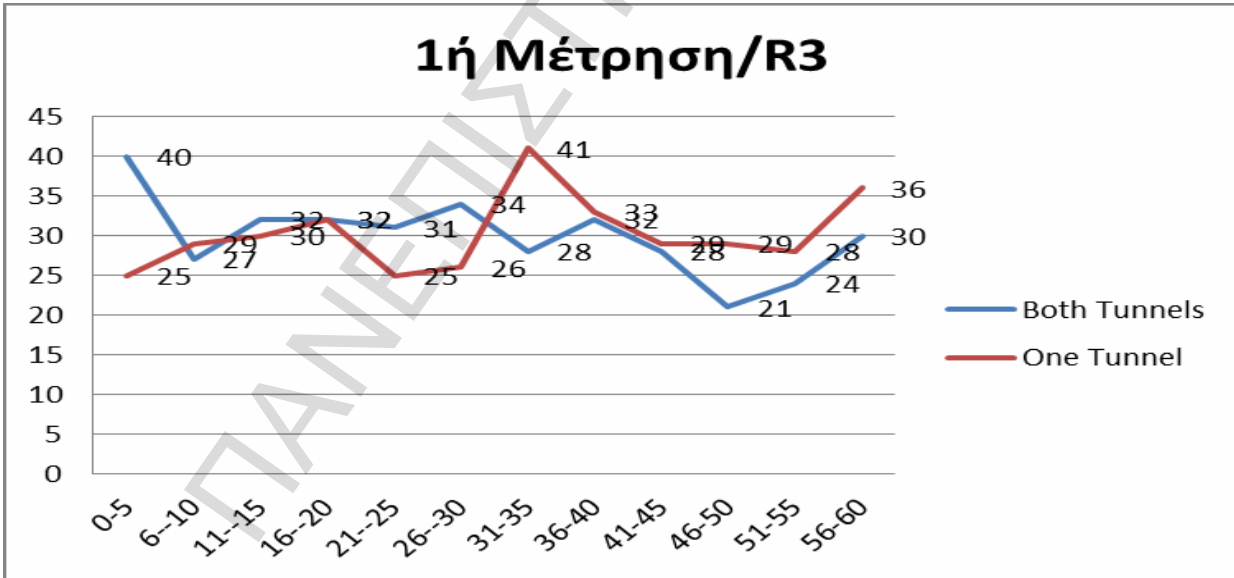


Σχήμα 45. Cpu 2nd Measurement/R2

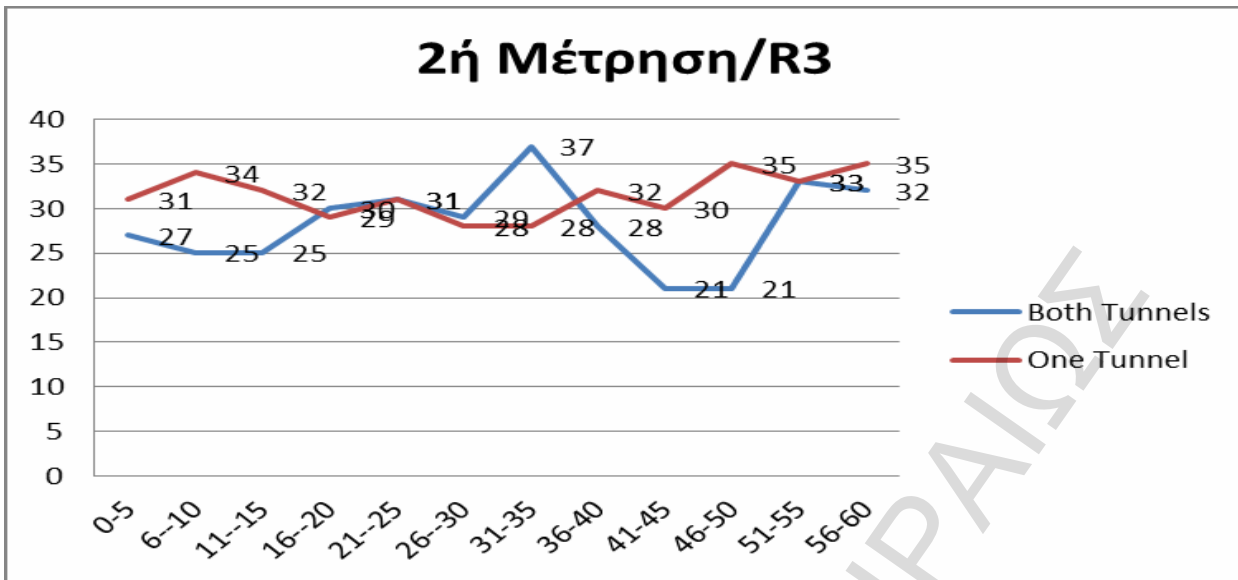


Σχήμα 46. Cpu 3rd Measurement/R2

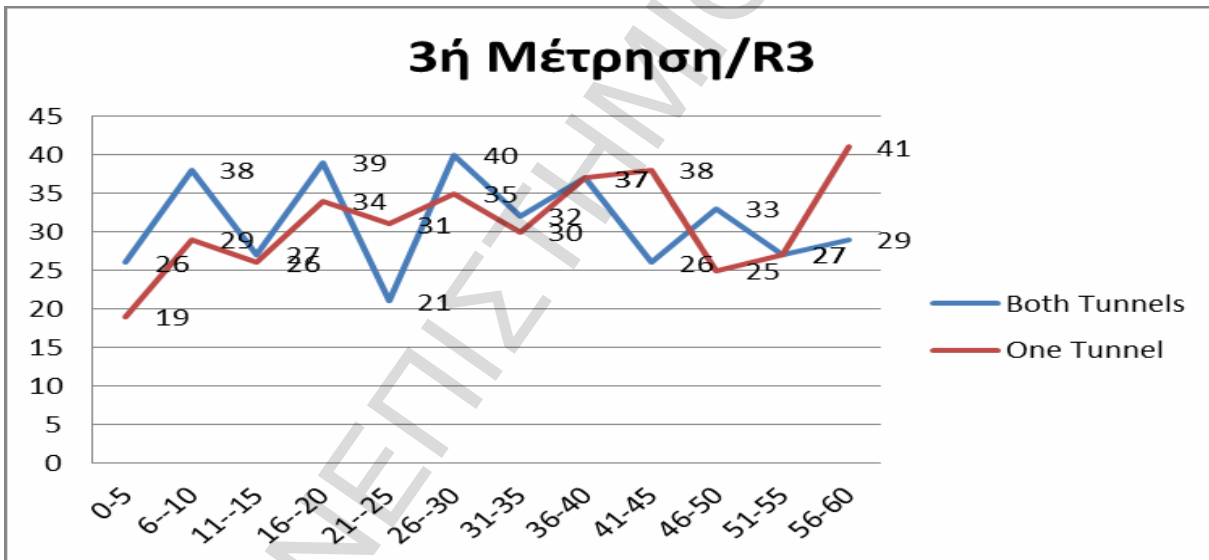
13.3.3.2.3 LSR3-CPU Measurements



Σχήμα 47. Cpu 1st Measurement/R3



Σχήμα 48. Cpu 2nd Measurement/R3



Σχήμα 49. Cpu 3rd Measurement/R3

13.4 Συμπεράσματα

Στο παράρτημα δεν κάναμε χρήση επιστημονικού τύπου προκειμένου να οδηγηθούμε σε ασφαλή συμπεράσματα. Όσον αφορά τους εξυπηρετητές το [8] αναφέρεται στην επιρροή της μεταβολής της CPU στην κατανάλωση της ενέργειας. Αντίστοιχα θα μπορέσουμε να οδηγηθούμε σε ασφαλέστερα συμπεράσματα με περαιτέρω έρευνα προκειμένου να τεκμηριώσουμε την σύνδεση της κατανάλωσης της CPU των δικτυακών οντοτήτων με την κατανάλωση της ενέργειας, σε μια υποδομή πυρήνα. Για καθαρά προσωπικούς λόγους κάναμε μια αντιπαραβολή του επιστημονικού τύπου από το [8] και προσαρμόζοντας τον στους δρομολογητές της αρχιτεκτονικής μας καταλήξαμε σε αποτελέσματα παρόμοια με το σενάριο 1, δηλαδή σε μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας κατά ένα ποσοστό 30 % κατά την μεταφορά της πληροφορίας end to end.

14 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ & ΠΙΝΑΚΩΝ

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

1. Label Switched Router /σελ 31
2. Mpls Label /σελ 32
3. Mpls Path /σελ 32
4. EoMpls Imposition & Disposition /σελ 34
5. Traffic Engineering /σελ 35
6. Graphical Network Simulator/σελ 44
7. Μενου Επιλογών/σελ 44
8. Παραθυρα Επιλογών/σελ 46
9. Drag n Drop/σελ 46
10. Console/σελ 47
11. Core Event Publishers/σελ 48
12. Jperf Interface /σελ 52
13. Jperf Server Ip/σελ 53
14. Jperf Options/σελ 53
15. Transport Layer Options /σελ 54
16. Topology Architecture/σελ 56
17. Ospf Neighbor/σελ 59
18. Ospf Routing Table/σελ 60
19. Ospf Database/σελ 63
20. Mpls Neighbor/σελ 66
21. Mpls Forwarding Table/σελ 67

22. Mpls Ldp Binding/σελ 68
23. Trace route Mpls Path /σελ 81-82
24. Power Consumption R1 /1st Measurement/σελ 109
25. Power Consumption R1 /2nd Measurement/σελ 110
26. Power Consumption R1 /3rd Measurement/σελ 110
27. Power Consumption R2 /1st Measurement/σελ 111
28. Power Consumption R2 /2nd Measurement/σελ 111
29. Power Consumption R2 /3rd Measurement/σελ 112
30. Power Consumption R3 /1st Measurement/σελ 112
31. Power Consumption R2 /2nd Measurement/σελ 113
32. Power Consumption R2 /3rd Measurement/σελ 113
33. End to End Power Consumption (User1-Server1)/ 1st Measurement/σελ 114
34. End to End Power Consumption (User1-Server1)/ 2nd Measurement/σελ 11
35. End to End Power Consumption (User1-Server1)/ 3rd Measurement/σελ 127
36. End to End Power Consumption (User3-Server3) /σελ 128
37. End to End Power Consumption (User3-Server3) /σελ 128
38. Memory Consumption R1 (User1-Server1) /σελ 131
39. Memory Consumption R2 (User1-Server1) /σελ 132
40. Memory Consumption R3 (User3-Server1) /σελ 133
41. Memory Consumption R3 (User3-Server1) /σελ 133
42. Cpu 1st Measurement/R1/σελ 121
43. Cpu 2nd Measurement/R1 /σελ 123
44. Cpu 3rd Measurement/R1 / σελ 124
45. Cpu 1st Measurement/R2 / σελ 124

46. Cpu 2nd Measurement/R2 /σελ 125
47. Cpu 3rd Measurement/R2/ σελ 125
48. Cpu 1st Measurement/R3/ σελ 126
49. Cpu 2nd Measurement/R3/ σελ 126
50. Cpu 3rd Measurement/R3. σελ 127
51. Cpu 3rd Measurement/R3,σελ127

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας Διεθυσιοδότησης /σελ 58

15 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

15.1 Βιβλιογραφία

- [1] SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age
- [2] GREENING the NETWORKS of NEXT GENERATION : IOANNIS TOMKOS
- [3] Κανονισμός Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου
- [4] Architectures and Cross-Layer Design for Cognitive Networks by Dzmitry Kliazovich* and Fabrizio Granelli
- [5] Energy-Efficient Next-Generation Networks (E2NGN) by Pulak Chowdhury
- [6] Greening Backbone Networks: Reducing Energy Consumption by Shutting Off Cables in Bundled Links by Martin Suchara, Will Fisher, Jennifer Rexford
- [7] Power Awareness in Network Design and Routing by Joseph Chabarek, Joel Sommers, Paul Barford, Cristian Estan, David Tsian, Steve Wright
- [8] The Problem of Power Consumption in Servers by Intel
- [9] Energy saving in IP over WDM backbone networks Filip Idzikowski, Sebastian Orłowski, Christian Raack, Hagen Woesner, Adam Wolisz
- [10] Autonomic Core Network Management System by Ali Tizghadam
- [11] Autonomic Traffic Engineering for Network Robustness Ali Tizghadam
- [12] Challenges for Autonomic Network Management by Nazim Agoulmine, Sasitharan Balasubramaniam, Dmitri Botvitch, John Strassner, Elyes Lehtihe and William Donnelly
- [13] AUTONOMIC NETWORK MANAGEMENT: A PROPOSED FRAMEWORK by DANIEL BRYAN MARCONETT
- [14] Future Networks and Management White Paper
- [15] Some Issues of Future Autonomic Networks by Shiduan Cheng, Wendong Wang, Yuhong Li, Yuehui Jin Xiangyang Gong, Yidong Cui, Bo Hu, Yan Shi, Ranganai Chaparadza
- [16] ENERGY-AWARE UMTS CORE NETWORK DESIGN by Luca Chiaraviglio, Marco Mellia, Fabio Neri
- [17] Energy Efficient Routing in Nomadic Networks by Mads Darø Kristensen, Niels Olof Bouvin
- [18] A Power Benchmarking Framework for Network Devices by Priya Mahadevan

- [19] Saving Energy in LAN Switches:
- [20] New Methods of Packet Coalescing for Energy Efficient Ethernet by M Mostowfi, K Christensen
- [21] Greening Backbone Networks: Reducing Energy
- [22] Consumption by Shutting Off Cables in Bundled Links by Will Fisher, Martin Suchara, and Jennifer Rexford
- [23] Achieving Energy Efficiency Using Traffic Grooming in WDM Networks by Shrestharth Ghosh
- [24] Cisco.Press : Traffic.Engineering With MPLS
- [25] Power reduction Techniques int multilayer traffic engineering by B Puype, W Vereecken, D Colle
- [26] Green Routing in Data Center Network by Yunfei Shang, Dan Li, Mingwei Xu
- [27] Five Ways to Save Server Power, White Paper, The Green Grid
- [28] A Practical Perspective on Traffic Engineering by Rajiv Ramaswami, Kumar N
- [29] CAPEX and OPEX in Aggregation and Core Networks by CG Gruber
- [30] The Energy Efficient Network by cisco.com
- [31] EEM Configuration for Cisco Integrated Services Router Platforms by cisco.com
- [32] Iperf/Jperf How-to Guide
- [33] Practical Strategies for IP Traffic Engineering and Enhancing Core network Availability by John Evans
- [34] www.gns3.org
- [35] Cisco Energy Efficient Data Center Solutions and Best Practices by cisco.com
- [36] Cisco Cookbook By Kevin Dooley, Ian Brown
- [37] Tcl Scripting for Cisco IOS by cisco.com
- [38] Sustainable energy use in mobile communications ,White Paper by Ericsson