

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΟΣΗΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ

***Συγκριτική Μελέτη των Πρωτοκόλλων Δυναμικής Δρομολόγησης
OSPF και EIGRP με Προσομοίωση***

ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ

ΙΑΤΡΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΘΗΝΑ 2018

***Συγκριτική Μελέτη των Πρωτοκόλλων Δυναμικής Δρομολόγησης
OSPF και EIGRP με Προσομοίωση***

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΟΣΗΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ

***Συγκριτική Μελέτη των Πρωτοκόλλων Δυναμικής Δρομολόγησης
OSPF και EIGRP με Προσομοίωση***

ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ

ΙΑΤΡΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΘΗΝΑ 2018

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ι. ΜΑΝΤΑΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Μ. ΔΙΟΜΗΔΟΥΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Θ. ΜΑΡΙΟΛΗΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω την σύζυγό μου Αραμπατζή Αποστολία, τα τέκνα μου Παναγιωτοπούλου Σοφία και Δανάη και τους γονείς μου Παναγιωτόπουλο Ελευθέριο και Παναγιωτοπούλου Ιορδανία, για την υποστήριξη και την υπομονή που επέδειξαν στο πρόσωπό μου.

Επίσης, τον καλό φίλο και συνάδελφο κο Κωτσαλά Νικόλαο για την παρότρυνση του, ώστε να ξεκινήσω και να ολοκληρώσω το συγκεκριμένο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών.

Ακόμη, τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κο Μαντά Ιωάννη καθώς και τους Διδάκτορες κους Γάλλο Παρίση και Λιάσκο Ιωσήφ, για την συνεχή καθοδήγησή τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Τέλος, την αδερφή μου κα Βασιλική Παναγιωτοπούλου και τον αγαπητό φίλο κο Δαγιακίδη Μιχαήλ, για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφεραν στην εκμάθηση του περιβάλλοντος του Riverbed Modeler.

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΝΟΣΗΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ «ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΥΓΕΙΑΣ - ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ
ΥΓΕΙΑΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***Συγκριτική Μελέτη των Πρωτοκόλλων Δυναμικής Δρομολόγησης
OSPF και EIGRP με Προσομοίωση***

ΤΟΥ ΙΩΑΝΝΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΥ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια οι τεχνολογίες διασύνδεσης και τα δίκτυα δεδομένων έχουν αλλάξει τον τρόπο που εργαζόμαστε, μαθαίνουμε, διασκεδάζουμε, ζούμε. Ο ευαίσθητος τομέας της υγείας έχει και αυτός ωφεληθεί από τα δίκτυα υπολογιστών, θέτοντας τις δικές του απαιτήσεις για υψηλή διαθεσιμότητα, επίδοση και ασφάλεια. Ακόμα και μικρές δυσλειτουργίες είναι δυνατό να έχουν επίπτωση στην κατάσταση της υγείας των πολιτών. Τα πρωτόκολλα δυναμικής δρομολόγησης αναλαμβάνουν, εκτός των άλλων, τη διασύνδεση απομακρυσμένων μεταξύ τους δικτύων και έχουν καθοριστικό ρόλο στη συνολική συμπεριφορά του πληροφοριακού συστήματος.

Η παρούσα εργασία εστιάζει στα δύο σημαντικότερα σύγχρονα εσωτερικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, τα OSPF (Open Shortest Path First) και EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol), που εφαρμόζονται σε δίκτυα πληροφοριακών συστημάτων υγείας. Σχεδόν έχουν μονοπωλήσει το σύνολο των υλοποιήσεων σε δίκτυα μεσαίων και μεγάλων οργανισμών.

Μετά την αρχική μελέτη για την κατανόηση των δύο πρωτοκόλλων, επιχειρείται η σύγκρισή τους, τόσο θεωρητικά, όσο και πρακτικά, με χρήση προσομοίωσης. Αναπτύσσονται σενάρια και λαμβάνονται μετρήσεις που καταδεικνύουν τη σχετική

επίδοση των πρωτοκόλλων κατά περίπτωση. Οι προσομοιώσεις δείχνουν μία μικρή υπεροχή του πρωτοκόλλου EIGRP, στα συγκεκριμένα βεβαίως σενάρια.

Στα Πληροφοριακά Συστήματα Υγείας υπάρχουν εφαρμογές με μεγάλη ευαισθησία στο χρόνο, όπως οι απομακρυσμένες επεμβάσεις ή η απομακρυσμένη απεικόνιση κρίσιμων μεγεθών / δεδομένων του ασθενούς. Σε τέτοιες περιπτώσεις απαιτούνται δικτυακές υποδομές υπερυψηλών επιδόσεων, οι οποίες επιτυγχάνονται, ανάμεσα σε άλλα, με την κατάλληλη επιλογή και ρύθμιση του πρωτοκόλλου δρομολόγησης.

Λέξεις κλειδιά: πρωτόκολλα δυναμικής δρομολόγησης, επίδοση, μετρική, σύγκλιση, κίνηση, καθυστέρηση, πληροφοριακά συστήματα υγείας, προσομοίωση, Modeler

NATIONAL AND KAPODISTRIAN UNIVERSITY OF ATHENS
FACULTY OF NURSING
INTERUNIVERSITY POSTGRADUATE PROGRAM IN HEALTH CARE
MANAGEMENT AND HEALTH CARE INFORMATICS

DISSERTATION

***A Comparative Study of OSPF and EIGRP
Dynamic Routing Protocols Through Simulation***

BY IOANNIS PANAGIOTOPOULOS

SUMMARY

During the last decades people have become witnesses to the rapid expansion of data networks. Modern networking has changed the way we work, study, play and communicate. It has also an important impact on health information systems, with their specific demands: availability, high performance, security. Dynamic routing protocols are crucial for the infrastructure to meet the business requirements.

The present thesis focuses on the two most important modern interior gateway protocols, OSPF (Open Shortest Path First) and EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol), which monopolize the market, as more or less industry standards. They are as well configured on most health information networks. Both operate inside an autonomous system, and while having different ways to form relationships among routing devices, adapt to topology changes and handle failures, they provide the same results: robust routing tables and network stability.

The objective is to undertake a comparison, both in theory and in practice, by means of simulation. After the initial study of the two protocols, simulation scenarios are implemented in the Riverbed Modeler environment. A set of measures is taken and comprehensive results are produced. As for the scenarios implemented, a slight superiority of the EIGRP protocol can be concluded.

In Health Information Systems there are many time-sensitive services and applications, such as remote monitoring of the status of the patient. In such cases,

high-performance network infrastructures are required, which can be achieved, among others, by the appropriate selection and configuration of the dynamic routing protocol.

Keywords: dynamic routing protocols, performance, metric, convergence, delay, health information systems, traffic, simulation, Modeler.

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Εικόνων	xii
Λίστα Πινάκων	xiii
1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Στόχοι της Εργασίας	2
1.2. Μεθοδολογία	4
1.3. Αρχικές Εκτιμήσεις	5
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση και Συναφείς Επιστημονικές Εργασίες	7
3. Εσωτερικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης	10
3.1. Εισαγωγή στη Δρομολόγηση	10
3.2. Πρωτόκολλα δρομολόγησης Διανύσματος-απόστασης	11
3.3. Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Κατάστασης-ζεύξης.....	12
4. Το πρωτόκολλο OSPF	14
4.1. Μηνύματα του OSPF	14
4.2. OSPF και Ιεραρχικές Αρχιτεκτονικές	17
4.3. OSPF, Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα	19
4.4. OSPF και Δίκτυα Υγείας.....	20
5. Το Πρωτόκολλο EIGRP	22
5.1. Μηνύματα του EIGRP	22
5.2. Η Μετρική του EIGRP	24
5.3. Αλγόριθμος και λειτουργία	25
5.4. Σύγκλιση	26
5.5. EIGRP, Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα	28
5.6. EIGRP και Δίκτυα Υγείας	29
5.7. Συγκριτική μελέτη / συζήτηση.....	29
6. Προσομοίωση.....	32
6.1. Εισαγωγή στην Προσομοίωση	32

6.2. Riverbed Modeler.....	33
7. Υλοποίηση και Αποτελέσματα	36
7.1. Εισαγωγή	36
7.2. Πίνακες Δρομολόγησης.....	37
7.3. Κλιμάκωση στο OSPF.....	38
7.4. Κλιμάκωση στο EIGRP	40
7.5. Σύγκριση στη Μικρή Τοπολογία.....	42
7.6. Σύγκριση στη Μεγάλη Τοπολογία	42
7.7. OSPF με Αστοχία και Επαναφορά Διασύνδεσης	43
7.8. EIGRP με Αστοχία και Επαναφορά Διασύνδεσης.....	44
7.9. Σύγκριση με Αστοχία και Επαναφορά Σύνδεσης	45
7.10. Μετρήσεις Φωνής	46
7.11. Μετρήσεις Βίντεο	49
8. Συμπεράσματα	50
9. Αναφορές	52

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 - Επίπεδο δικτύου (Network domain) του Riverbed Modeler.....	33
Εικόνα 2 - Επίπεδο κόμβου (Node domain).....	34
Εικόνα 3 - Επίπεδο διαδικασίας (Process domain).....	34
Εικόνα 4 - Διαδικασία προσομοίωσης και αποτελεσμάτων	34
Εικόνα 5 - Εισαγωγική (basic) τοπολογία.....	36
Εικόνα 6 - Εκτεταμένη (scaled) τοπολογία	37
Εικόνα 7 - Πίνακας δρομολόγησης OSPF	37
Εικόνα 8 - Πίνακας δρομολόγησης EIGRP.....	38
Εικόνα 9 - Συνολική κίνηση του πρωτοκόλλου OSPF	39
Εικόνα 10 - Χρήση της CPU στις δύο OSPF τοπολογίες	40
Εικόνα 11 - Συνολική κίνηση του πρωτοκόλλου EIGRP.....	41
Εικόνα 12 - Χρήση της CPU στις δύο OSPF τοπολογίες	41
Εικόνα 13 - Κίνηση των δύο πρωτοκόλλων στη μικρή τοπολογία.....	42
Εικόνα 14 - Κίνηση των δύο πρωτοκόλλων στη μικρή τοπολογία.....	43
Εικόνα 15 - Συνολική κίνηση του OSPF με αστοχία και επαναφορά σύνδεσης.....	44
Εικόνα 16 - Συνολική κίνηση του EIGRP με αστοχία και επαναφορά σύνδεσης	44
Εικόνα 17 - Σύγκριση στη μικρή τοπολογία με αστοχία και επαναφορά σύνδεσης	45
Εικόνα 18 - Σύγκριση στη μεγάλη τοπολογία με αστοχία και επαναφορά σύνδεσης...	46
Εικόνα 19 - Το προσαρμοσμένο προφίλ χρήστη με όνομα HealthcareUser	47
Εικόνα 20 - Εφαρμογή του προφίλ HealthcareUser	47
Εικόνα 21 - Τα δύο είδη κίνησης που υποστηρίζονται	48
Εικόνα 22 - Συγκριτική μέτρηση jitter φωνής.....	48
Εικόνα 23 - Συγκριτική μέτρηση καθυστέρησης πακέτου σε μετάδοση βίντεο	49

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 – Μήνυμα του πρωτοκόλλου OSPF	14
Πίνακας 2 – IP header του OSPF μηνύματος.....	15
Πίνακας 3 – Τύποι OSPF πακέτων	15
Πίνακας 4 – OSPF πακέτο τύπου hello.....	16
Πίνακας 5 – Τύποι OSPF Link-State Advertisement	17
Πίνακας 6 – Τύποι OSPF περιοχών.....	19
Πίνακας 7 – Πλεονεκτήματα / μειονεκτήματα του πρωτοκόλλου OSPF	20
Πίνακας 8 – Ενθυλακωμένο (encapsulated) EIGRP πακέτο	23
Πίνακας 9 – Προμετωπίδα πακέτου EIGRP	23
Πίνακας 10 – Τύποι EIGRP μηνυμάτων.....	24
Πίνακας 11 – Παράμετροι για τον υπολογισμό του metric στο EIGRP	24
Πίνακας 12 – Πλεονεκτήματα / μειονεκτήματα του πρωτοκόλλου EIGRP	29

1. Εισαγωγή

Στις επικοινωνίες δεδομένων (data communications) δρομολόγηση (routing) είναι η διαδικασία προώθησης (forwarding) ενός πακέτου, από κόμβο σε κόμβο, μέχρι το δίκτυο προορισμού του. Η δρομολόγηση λαμβάνει χώρα στο Τρίτο Επίπεδο (Επίπεδο Δικτύου) του Μοντέλου Αναφοράς OSI (Open Systems Interconnection) και περιλαμβάνει δύο θεμελιώδεις λειτουργίες:

- Επιλογή της καλύτερης διαδρομής (best path selection).
- Προώθηση του πακέτου (packet forwarding)⁽¹⁾.

Η επιλογή της καλύτερης διαδρομής συνίσταται στην εύρεση μίας διεπαφής (interface) εξόδου που θα χρησιμοποιηθεί για να προωθηθεί το πακέτο προς τον επόμενο κόμβο. Πρόκειται για μία λογική διαδικασία απόφασης, με βάση συγκεκριμένα κάθε φορά κριτήρια. Η καλύτερη διαδρομή (διεπαφή εξόδου) είναι μία καταχώρηση στον πίνακα δρομολόγησης και δημιουργείται είτε στατικά (static entry) είτε δυναμικά, με χρήση δηλαδή πρωτοκόλλων.

Η ίδια η πράξη της προώθησης δηλώνει τη χρήση λογικών και φυσικών πόρων ώστε το πακέτο να εξέλθει από τη διεπαφή που έχει επιλεγεί, στη μορφή του κατάλληλου κάθε φορά πλαισίου (frame) και με τα κατάλληλα φυσικά χαρακτηριστικά (κυματομορφές, τάσεις, ρεύματα κ.λπ.).

Σε μικρά δίκτυα είναι δυνατό η ανάγκη για δρομολόγηση να καλυφθεί με στατικές καταχωρήσεις. Σε μεσαίες και μεγαλύτερες ωστόσο τοπολογίες αυτές καθίστανται πρακτικά μη διαχειρίσιμες και μη λειτουργικές. Ένα πρωτόκολλο δυναμικής δρομολόγησης μπορεί τότε να αναλάβει την εύρεση των καλύτερων διαδρομών για κάθε προορισμό και να ανταποκριθεί αυτόματα στις αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου του οργανισμού. Η επιλογή του πρωτοκόλλου δρομολόγησης που θα ρυθμιστεί στις συσκευές του οργανισμού εξαρτάται από παράγοντες όπως το μέγεθος, οι φυσικές συνδέσεις, η προς εξυπηρέτηση κίνηση, οι απαιτήσεις επίδοσης, οι δυνατότητες υλικού κλπ. Αστοπήματα στη σχεδίαση και ρύθμιση του πρωτοκόλλου μπορούν να οδηγήσουν σε κακές επιδόσεις και βρόχους (loops) ακόμα και σε μεσαία δίκτυα.

Κυρίαρχη είναι εδώ η έννοια του αυτόνομου συστήματος (Autonomous System, AS). Ως αυτόνομο σύστημα μπορεί να θεωρηθεί μία συλλογή από δρομολογητές που λειτουργούν υπό κοινή διαχείριση (under a common administration). Με την έννοια αυτή το αυτόνομο σύστημα ταυτίζεται λίγο πολύ με τον οργανισμό ή τον πάροχο τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Για τη διασύνδεση μέσα στο ίδιο αυτόνομο σύστημα χρησιμοποιούνται τα πρωτόκολλα δρομολόγησης εσωτερικής πύλης (Interior Gateway Protocols, IGP). Τέτοια εσωτερικά πρωτόκολλα είναι το RIP (Routing Information Protocol), το OSPF (Open Shortest Path First) ή το EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol), στις διάφορες υλοποιήσεις τους. Για τη διασύνδεση δικτύων που ανήκουν σε διαφορετικά αυτόνομα συστήματα έχουν αναπτυχθεί τα πρωτόκολλα εξωτερικής πύλης (Exterior Gateway Protocols, EGP), και ειδικότερα το BGP (Border Gateway Protocol), στο οποίο στηρίζεται ο κορμός του παγκόσμιου διαδικτύου.

Για τα Πληροφοριακά Συστήματα Υγείας (Health Information Systems), και από τη σκοπιά της δρομολόγησης των πακέτων πληροφορίας, υπάρχουν δύο διακριτές περιπτώσεις⁽²⁾:

- Συγκέντρωση δεδομένων υγείας με σκοπό την ασύγχρονη αξιοποίησή τους για λήψη αποφάσεων.
- Χρήση των υποδομών για πρωτογενές ιατρικό έργο, τόσο για διάγνωση όσο και για επέμβαση.

Στην πρώτη περίπτωση οι δικτυακές υποδομές θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από υψηλή διαθεσιμότητα (availability) και ασφάλεια (εξαιτίας της φύσης των ιατρικών δεδομένων), ωστόσο οι εφαρμογές που χειρίζονται τα δεδομένα δεν είναι υπερ-ευαίσθητες στον χρόνο (time-sensitive applications). Αντίθετα, στη δεύτερη περίπτωση δεν απαιτείται απλά υπερ-υψηλή διαθεσιμότητα αλλά και επίδοση, χωρίς καθυστερήσεις ούτε απώλειες πακέτων. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι εφαρμογές τηλεϊατρικής για απομακρυσμένη διάγνωση ή ακόμα και για χειρουργικές επεμβάσεις^(2, 3).

1.1. Στόχοι της Εργασίας

Στην εργασία αυτή θα μελετηθούν τα δύο πιο σημαντικά σύγχρονα πρωτόκολλα δρομολόγησης εσωτερικής πύλης (Interior Gateway Protocols, IGP), το

OSPF και το EIGRP. Αρχικά αναφέρονται τα βασικά τους χαρακτηριστικά και η λειτουργία τους, ώστε να είναι δυνατή η μετάβαση στον κυρίως στόχο της εργασίας, δηλαδή στη μελέτη και σύγκριση της συμπεριφοράς των πρωτοκόλλων αυτών μέσω προσομοίωσης, με χρήση της εφαρμογής Modeler του οίκου Riverbed.

Η στρατηγική της προσομοίωσης θέτει τις εξής προτεραιότητες:

- Δημιουργία τουλάχιστο δύο τοπολογιών, μίας μικρής (small, basic) και μίας μεγαλύτερης (large, scaled), από τη σκοπιά του πλήθους των κόμβων / δρομολογητών και των μεταξύ τους διασυνδέσεων. Πρόθεση εδώ είναι να μελετηθεί τόσο η συμπεριφορά κάθε πρωτοκόλλου καθώς το δίκτυο μεγαλώνει, αλλά και των δύο πρωτοκόλλων συγκριτικά.
- Προσθήκη κίνησης χρήστη (user traffic) χαμηλής, μεσαίας και υψηλής έντασης (bandwidth intensive) και σχετικές μετρήσεις.
- Οι επιδόσεις των πρωτοκόλλων μπορούν κατά περίπτωση να αξιολογηθούν με μέτρηση μεγεθών όπως η μέση διάρκεια σύγκλισης ή η κίνηση που δημιουργείται από τα μηνύματα του πρωτοκόλλου. Η μέση διάρκεια σύγκλισης⁽¹⁾ εκφράζει τον χρόνο που απαιτείται ώστε το σύνολο των δρομολογητών να έχουν συγχρονισμένη εικόνα για τα δίκτυα προορισμού στην τοπολογία. Η κίνηση⁽⁴⁾ που δημιουργείται από το πρωτόκολλο εκφράζει τις απαιτήσεις του σε εύρος ζώνης αλλά και υλικό ώστε αυτό να μπορεί να λειτουργήσει. Τονίζεται εδώ ότι η κίνηση του πρωτοκόλλου από κόμβο σε κόμβο είναι διαφορετική⁽⁴⁾ από την κίνηση του χρήστη (user traffic).
- Οι απαιτήσεις σε υλικό (hardware resources) μπορούν να αξιολογηθούν με μέτρηση μεγεθών όπως η χρήση της CPU.
- Η επίδραση των πρωτοκόλλων στην εμπειρία του χρήστη μπορεί να αξιολογηθεί με μέτρηση μεγεθών όπως η διακύμανση της καθυστέρησης στη φωνή και στο βίντεο, το jitter ή ο μέσος χρόνος φόρτωσης αρχείων και ιστοσελίδων.

Σε δίκτυα δεδομένων που εξυπηρετούν ένα πληροφοριακό σύστημα υγείας, και ειδικότερα εφαρμογές τηλεϊατρικής, είναι αναγκαία όχι μόνο η υψηλή διαθεσιμότητα (availability) των υποδομών, αλλά και η επίδοσή τους (performance). Ακόμα και μικρές καθυστερήσεις ή απώλειες πακέτων που οφείλονται σε επανυπολογισμούς και

αναδρομολόγηση μπορεί να μην είναι αποδεκτές. Οι υπερ-υψηλές επιδόσεις των δικτυακών υποδομών εξασφαλίζονται με δύο τρόπους:

- Προσεκτικές σχεδιαστικές επιλογές, από τις φυσικές συνδέσεις και την επιλογή των συσκευών έως τη διευθυνσιοδότηση και την επιλογή των πρωτοκόλλων.
- Λεπτές ρυθμίσεις (fine tuning) κατά περίπτωση, για τη βέλτιστη συμπεριφορά των δρομολογητών.

Για τη λήψη λοιπόν των κατάλληλων σχεδιαστικών αποφάσεων και για την υλοποίηση των βέλτιστων ρυθμίσεων είναι αναγκαία η κατανόηση των πρωτοκόλλων δυναμικής δρομολόγησης, και προς αυτή την κατεύθυνση κινείται η παρούσα εργασία. Πρόθεση είναι όχι μόνο η μελέτη των δύο σημαντικότερων εσωτερικών πρωτοκόλλων, αλλά και η μέτρηση της επίδοσής τους σε ρεαλιστικά προσομοιωμένο περιβάλλον. Τα συμπεράσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο για γνώση αλλά και ως κατευθύνσεις για τη σχεδίαση και λειτουργία δικτύων που εξυπηρετούν πληροφοριακά συστήματα υγείας.

1.2. Μεθοδολογία

Για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής ακολουθήθηκε η τυπική διαδρομή για τέτοια εγχειρήματα, που περιλαμβάνει τόσο βιβλιογραφική μελέτη όσο και υλοποίηση με χρήση συγκεκριμένων εργαλείων:

- Αρχικά μελετήθηκαν πανεπιστημιακά εγχειρίδια καθώς και υλικό μεγάλων κατασκευαστών δικτυακών συσκευών^(1,4) για την καλύτερη κατανόηση της IP δρομολόγησης και των σχετικών μεθόδων. Αυτό ήταν το εισαγωγικό βήμα με σκοπό την κεφαλαιοποίηση των βασικών σχετικών γνώσεων.
- Το δεύτερο βήμα ήταν η κατεξοχήν ανασκόπηση των σχετικών πηγών (literature review): αναζητήθηκαν εργασίες από την παλαιότερη και την τρέχουσα διεθνή ερευνητική δραστηριότητα: τεχνικά άρθρα της IEEE αλλά και τεχνολογικών εταιρειών (Cisco, Microsoft, Hewlett Packard, Avaya κλπ.), ανακοινώσεις και πρακτικά συνεδρίων, καθώς και κάθε είδους πηγή που θα μπορούσε να αποδειχθεί χρήσιμη. Ενδεικτικά αναφέρονται θέσεις Ιστού όπως το Cisco Learning Network, η ψηφιακή βιβλιοθήκη IEEEExplore ή το Google Scholar. Έμφαση δόθηκε σε τεχνικές λεπτομέρειες των πρωτοκόλλων και σε

υλοποιήσεις με προσομοίωση. Αναζητήθηκαν συμπεράσματα και μετρήσεις που θα μπορούσαν να κατευθύνουν τη δική μας στρατηγική για την προσομοίωση. Λέξεις κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν είναι OSPF, EIGRP, performance, convergence, metrics, traffic, comparison κ.λπ.

- Το τρίτο βήμα ήταν η επιλογή του εργαλείου για την προσομοίωση. Από τις διαθέσιμες πλατφόρμες που η τεχνική και επιστημονική κοινότητα χρησιμοποιεί επιλέχθηκε τελικά το Riverbed Modeler, τόσο για τη σχετική ευκολία εγκατάστασης και χρήσης σε περιβάλλον σταθμού εργασίας Windows, όσο και για τις δυνατότητες τοπολογιών και μετρήσεων. Πρόκειται για ένα εργαλείο με ευρεία χρήση στο Πανεπιστήμιο και στη Βιομηχανία για εκπαιδευτικούς σκοπούς αλλά και για έρευνα και ανάπτυξη.

- Μετά τη φάση της εξοικείωσης με το περιβάλλον και τη χρήση του εργαλείου προσομοίωσης, το τελευταίο βήμα ήταν η υλοποίηση των τοπολογιών και η λήψη μίας σειράς μετρήσεων, στο μέτρο του διαθέσιμου χρόνου και των δυνατοτήτων. Έγινε προσπάθεια να αναδειχθεί το φαινόμενο της κλιμάκωσης, ξεκινώντας από μία μικρή και χωρίς απαιτήσεις τοπολογία και καταλήγοντας σε μία μεγαλύτερη και πιο απαιτητική. Η πρώτη θα μπορούσε να αντιστοιχεί στη διασύνδεση μονάδων υγείας σε επίπεδο περιφέρειας ενώ η δεύτερη σε εθνικό επίπεδο. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάστηκαν με παραστατικό και κατανοητό τρόπο και εξήχθησαν συμπεράσματα.

1.3. Αρχικές Εκτιμήσεις

Στο σημείο αυτό, και με βάση τη μέχρι τώρα κατανόηση των πρωτοκόλλων αλλά και τις σχετικές εκτιμήσεις, δίνονται αρχικές προβλέψεις για βασικά μεγέθη που αναμένεται να μετρηθούν. Πιο συγκεκριμένα:

- Σχετικά με τη μέση διάρκεια σύγκλισης:
 - Σε απλές τοπολογίες η σύγκλιση αναμένεται να είναι ταχύτερη στο EIGRP.
 - Σε ιεραρχικά σχεδιασμένες τοπολογίες, η σύγκλιση αναμένεται να είναι ταχύτερη στο OSPF, εξαιτίας του multi-area χαρακτήρα του. Το EIGRP δεν εμφανίζει αντίστοιχο χαρακτηριστικό λειτουργίας.

- Σχετικά με τον όγκο των μηνυμάτων του πρωτοκόλλου:
 - Το EIGRP αναμένεται γενικά να υπερέχει, έστω και κατά λίγο. Το OSPF είναι γνωστό ότι διαχέει μεγάλο όγκο ενημερώσεων (LSA flooding) τόσο στην αρχική σύγκλιση όσο και σε αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου.
- Σχετικά με τη μέση καθυστέρηση πακέτου:
 - Εδώ οι τιμές αναμένεται να είναι παραπλήσιες για τα δύο πρωτόκολλα, με μία μικρή ίσως υπεροχή του EIGRP.
- Σχετικά με τη χρησιμοποίηση πόρων υλικού:
 - Γενικά το OSPF, εξαιτίας της link-state φύσης του και του τρόπου που συγκλίνει, αναμένεται να είναι πιο απαιτητικό σε πόρους υλικού. Μολοντούτο, σε ιεραρχικά σχεδιασμένες τοπολογίες οι απαιτήσεις του OSPF είναι σημαντικά μικρότερες, στη multi-area υλοποίησή του.
- Σχετικά με το jitter:
 - Το ίδιο και εδώ, αναμένεται περίπου η ίδια συμπεριφορά ανά τοπολογία και στα δύο πρωτόκολλα.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση και Συναφείς Επιστημονικές Εργασίες

Από τις πρώτες υλοποιήσεις σε δίκτυα μεσαίας κλίμακας έως τη σημερινή εποχή του Διαδικτύου, τα πρωτόκολλα δυναμικής δρομολόγησης εξελίχθηκαν σημαντικά: ξεκινώντας από τα RIPv1, RIPv2 και IGRP, με τους γνωστούς περιορισμούς στα classless δίκτυα και στις ασυνεχείς (discontinuous) τοπολογίες, μία σειρά προσεγγίσεων ερευνήθηκαν και υλοποιήθηκαν ⁽⁵⁾. Μία περιοχή που γρήγορα συγκέντρωσε το ενδιαφέρον των επιστημόνων και των μηχανικών αφορούσε στη χρήση βέλτιστων αλγορίθμων για την εύρεση των καλύτερων διαδρομών στο δίκτυο. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά των μεθόδων αυτών είναι ασφαλώς η ταχύτητα σύγκλισης, η αποτελεσματική χρήση πόρων και η ευστάθεια. Λέγοντας ευστάθεια εδώ εννοούμε την πολύ μικρή έως μηδενική πιθανότητα για λανθασμένες αναπαραστάσεις του γράφου του δικτύου, δηλαδή για πίνακες δρομολόγησης με σφάλματα ή / και βρόχους πακέτων. Οι προσπάθειες αυτές καρποφόρησαν με την υλοποίηση του πρωτοκόλλου OSPF, και ακόμα περισσότερο με την multi-area εκδοχή του⁽⁶⁾.

Το OSPF είναι ένα πλήρες πρωτόκολλο, με την έννοια ότι έχει γνώση της συνολικής τοπολογίας, αφού συντηρεί τον πλήρη γράφο του δικτύου (topology database). Το ουσιώδες αυτό χαρακτηριστικό από τη μία εξασφαλίζει ενδογενώς loop-free αποφάσεις, από την άλλη όμως επιβαρύνει το δίκτυο με επανυπολογισμούς σε κάθε αλλαγή στην τοπολογία. Αυτή είναι όμως η link-state φύση του πρωτοκόλλου. Αντίθετα, και σύμφωνα με τη Cisco⁽⁴⁾ το EIGRP ενσωματώνει χαρακτηριστικά διανύσματος απόστασης (distance-vector) και στηρίζει μερικά τις αποφάσεις του στην υπόθεση της εφικτότητας (feasibility condition).

Τα δύο πρωτόκολλα έχουν μελετηθεί αρκετά, τόσο ατομικά όσο και συγκριτικά⁽⁷⁾. Είναι σαφές⁽⁸⁾ η επίδραση της επιλογής του πρωτοκόλλου που χρησιμοποιείται στην επίδοση του υλοποιημένου δικτύου, τόσο επιμέρους όσο και συνολικά. Οι Kaur & Sharma⁽⁸⁾ προχώρησαν σε μετρήσεις για διασυνδέσεις που υλοποιούνται τμηματικά με διαφορετικές τεχνολογίες, όπως ATM, FDDI και ασύρματα. Τέτοια σενάρια έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και για τα πληροφοριακά συστήματα υγείας, όπου συχνά χρησιμοποιείται κάθε διαθέσιμη τεχνολογία για την επίτευξη της διασύνδεσης με παραμεθόριες περιοχές. Η συστηματική μελέτη της σύγκλισης σε

περίπτωση αστοχιών δείχνει άλλοτε μικρή υπεροχή του EIGRP και άλλοτε τα αποτελέσματα είναι μικτά⁽⁹⁻¹¹⁾. Με βάση αυτές τις παρατηρήσεις και μετά από σύγκριση με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων σε απλές και πιο σύνθετες τοπολογίες, αναμένεται να εξαχθούν συμπεράσματα, λαμβάνοντας υπόψη, στο μέτρο του δυνατού, ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως ιεραρχική σχεδίαση ή συνόψεις δικτύων (network summaries).

Η εργασία των Ittiphon & Suwat⁽¹²⁾ για τη σύγκριση των δύο πρωτοκόλλων δείχνει ότι το EIGRP είναι πιο αποτελεσματικό με όρους χρονικής διάρκειας που απαιτείται για την επαναδρομολόγηση προς το δίκτυο προορισμού σε περίπτωση αστοχίας της τρέχουσας διαδρομής. Επίσης, οι Shafiul et al.⁽¹³⁾ προχώρησαν στη συγκριτική μελέτη της επίδοσης των EIGRP και OSPF σε περιβάλλον με ροή κίνησης βίντεο πραγματικού χρόνου. Μετρήθηκαν μεγέθη όπως η απώλεια πακέτων (packet loss), η διαμεσολαβητική ικανότητα (through put), η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο (end-to-end delay) και η διάρκεια σύγκλισης (convergence duration). Το EIGRP αποδείχθηκε ικανότερο στη διαχείριση των αστοχιών σε ένα τέτοιο περιβάλλον time-sensitive κίνησης. Οι Krishnan & Shobha⁽¹⁴⁾ προχώρησαν τη μελέτη αυτή για να επιβεβαιώσουν την υπεροχή του EIGRP σε συνδυασμό με τις μικρότερες απαιτήσεις του σε πόρους υλικού. Εκτός από τις απαιτήσεις σε επεξεργαστική ισχύ (CPU), ο Thorepoor (2010) μετρήσε και τις απαιτήσεις σε εύρος ζώνης συνδέσεων, για να καταλήξει και εκείνος στο συμπέρασμα ότι το EIGRP συγκλίνει σχετικά γρηγορότερα δαπανώντας λιγότερους πόρους υλικού και εύρους ζώνης.

Ως προς τις απαιτήσεις υλικού, χρήσιμη είναι η μελέτη των Jun, Xiaoxiang & Jianping⁽¹⁵⁾. Αφού εστίασαν στα κλιμακοθέσιμα (scalable) χαρακτηριστικά του OSPF διαπίστωσαν εκτεταμένη χρησιμοποίηση της CPU σε πολλές περιπτώσεις. Οι Che & Cobley (2009) μετέδωσαν φωνή σε δίκτυα με RIP, EIGRP και OSPF, χρησιμοποιώντας και εκείνοι, το Modeler της Riverbed. Όπως ήταν αναμενόμενο, οι επιδόσεις του RIP ήταν μέτριες προς κακές. Διαπιστώθηκε ότι, στην περίπτωση που η συνθήκη εφικτότητας (feasibility condition) δεν ισχύει στο EIGRP, το OSPF υπερέχει καθαρά στη σύγκλιση σε περίπτωση πτώσης μίας σύνδεσης. Τέλος, οι Kalyan & Prasad⁽¹⁶⁾ συμπεραίνουν ότι η υπεροχή του ενός ή του άλλου πρωτοκόλλου δρομολόγησης καθορίζεται από μία σειρά παραγόντων, και ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της κάθε υλοποίησης. Επιμένουν στο γεγονός ότι δεν υπάρχει μία

μοναδική οικουμενική συνταγή και ότι ένα πρωτόκολλο δε μπορεί από μόνο του να καλύψει τις ανάγκες κάθε τοπολογίας και κάθε κίνησης.

Ειδικότερα για τη δρομολόγηση πακέτων σε πληροφοριακά συστήματα του χώρου της υγείας, κοινός είναι ο προβληματισμός για την υλοποίηση αξιόπιστων και υψηλών επιδόσεων λύσεων, αφού η έστω και για λίγα δέκατα του δευτερολέπτου απώλεια σήματος μπορεί να είναι μοιραία για την ανθρώπινη ζωή⁽²⁾. Εκτός από το παραδοσιακό (legacy) routing και switching έμφαση δίνεται στα μοντέρνα ah-hoc ασύρματα δίκτυα και τη βελτιστοποίηση της επίδοσής τους μέσα από την υλοποίηση νέων μεθόδων δρομολόγησης⁽³⁾.

Με το τέλος της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, ένα πράγμα μπορεί με βεβαιότητα να γίνει δεκτό: εργασίες σαν την παρούσα, και έχουν προηγηθεί πάρα πολλές, δε μπορούν σε καμία περίπτωση να θεωρηθούν ως ολοκληρωμένες και πλήρεις λύσεις για την επιλογή ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης και για την εν γένει σχεδίαση του δικτύου ενός οργανισμού. Αντίθετα, βοηθούν στην κατανόηση, τεκμηριώνουν και διευκολύνουν τις σχετικές αποφάσεις, ειδικά σε κρίσιμους τομείς όπως οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου στο χώρο της Υγείας.

3. Εσωτερικά Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

3.1. Εισαγωγή στη Δρομολόγηση

Λέγοντας δίκτυο δεδομένων συνήθως εννοούμε μία συλλογή από υπολογιστικά συστήματα (τελικές συσκευές, όπως εξυπηρετητές, σταθμοί εργασίας, έξυπνα τηλέφωνα, δικτυακοί εκτυπωτές, κλπ.) που συνδέονται μέσω ενός προσαρμογέα δικτύου (Network Interface Card, NIC). Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται τα γνωστά μας Τοπικά Δίκτυα (Local Area Networks, LANs), που τυπικά λειτουργούν στο Δεύτερο Επίπεδο του Μοντέλου Αναφοράς OSI, δηλαδή το Επίπεδο Σύνδεσης Δεδομένων⁽¹⁸⁾. Στη σημερινή εποχή το πρωτόκολλο που έχει σχεδόν αποκλειστικά στα τοπικά δίκτυα είναι το Ethernet, στις διάφορες παραλλαγές και υλοποιήσεις του.

Η εξέλιξη των επιχειρήσεων και των δικτύων πολύ γρήγορα οδήγησε στην ανάγκη διασύνδεσης απομακρυσμένων μεταξύ τους LANs. Πώς όμως θα υλοποιηθεί μία τέτοια διασύνδεση, από δικτυακή σκοπιά; Την απάντηση δίνει η διαδικασία της δρομολόγησης (routing), που συμβαίνει στο Τρίτο Επίπεδο του Μοντέλου Αναφοράς OSI, το Επίπεδο Δικτύου. Ως δρομολόγηση, όπως και παραπάνω είδαμε, εννοούμε εδώ την προώθηση ενός πακέτου από κόμβο σε κόμβο έως το δίκτυο προορισμού. Οι κόμβοι είναι συσκευές που λειτουργούν στο Επίπεδο Δικτύου (Network Layer) του OSI, και τυπικά λέγονται δρομολογητές⁽¹⁹⁾. Αποστολή τους είναι να εξετάζουν κάθε εισερχόμενο πακέτο και, όταν αυτό είναι δυνατό, να προωθούν το πακέτο έξω από την καταλληλότερη κάθε φορά διεπαφή τους.

Πώς όμως λειτουργούν οι δρομολογητές; Κατ' αρχάς ένας δρομολογητής συνδέει διαφορετικά μεταξύ τους IP δίκτυα. Για κάθε εισερχόμενο πακέτο σε μία διεπαφή, αρχικά ελέγχει εάν το πακέτο έχει προορισμό στο ίδιο δίκτυο της διεπαφής υποδοχής. Σε αυτή την περίπτωση το πακέτο απορρίπτεται (dropped). Όταν όμως το πακέτο απευθύνεται σε κάθε άλλο διαφορετικό δίκτυο (αυτή είναι και η συνηθισμένη περίπτωση) τότε αναζητούν στον πίνακα δρομολόγησης, τη μία μετά την άλλη (lookup) την καλύτερη διαδρομή. Ο πίνακας δρομολόγησης είναι μία βάση δεδομένων που περιέχει δίκτυα προορισμού και διεπαφές εξόδου για το καθένα. Αφού βρεθεί η καταλληλότερη διεπαφή εξόδου, το υλικό του δρομολογητή αναλαμβάνει και την ίδια την προώθηση του πακέτου, ενθυλακώνοντάς το (encapsulation) σε κατάλληλο

πλαίσιο (frame) και ηλεκτρονικό σήμα (signal). Άρα ο δρομολογητής πληροί δύο λειτουργίες, μία λογική απόφαση και μία πράξη προώθησης της πληροφορίας⁽²⁰⁾.

Στην παραπάνω αρχική συζήτηση δεν έγινε αναφορά στο πώς δημιουργούνται οι πίνακες δρομολόγησης. Αρχικά εισάγονται όλα τα δίκτυα που είναι άμεσα συνδεδεμένα (directly connected) στις λειτουργικές διεπαφές του μηχανήματος. Έπειτα εισάγονται όλα τα στατικά routes που χειροκίνητα έχουν ρυθμιστεί από τον διαχειριστή του δικτύου. Τέλος, εάν ένα πρωτόκολλο δυναμικής δρομολόγησης έχει τεθεί σε λειτουργία, όλες οι διαδρομές που μαθαίνονται από αυτό εισάγονται στον πίνακα. Για κάθε αλλαγή στην τοπολογία του δικτύου (πχ. πτώση ή επαναφορά μία σύνδεσης) το πρωτόκολλο αναλαμβάνει την ενημέρωση του routing table, προσθέτοντας ή αφαιρώντας γραμμές κατά περίπτωση⁽²¹⁾.

Τα πρωτόκολλα εσωτερικής πύλης (IGPs) που ενδιαφέρουν εδώ, χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με το είδος του αλγορίθμου που χρησιμοποιούν: στα πρωτόκολλα διανύσματος-απόστασης (distance-vector) και στα κατάστασης-ζεύξης (link-state). Πρόκειται για δύο διαφορετικές προσεγγίσεις όχι μόνο σε μαθηματικό αλλά και σε πρακτικό επίπεδο. Αμέσως παρακάτω θα εξεταστούν συνοπτικά τα χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας⁽²¹⁾.

3.2. Πρωτόκολλα δρομολόγησης Διανύσματος-απόστασης

Τα πρωτόκολλα αυτά χρησιμοποιούν διαδρομές που δείχνουν μόνο την κατεύθυνση και την απόσταση, όπως αυτές διαδίδονται από τους γειτονικούς μόνο κόμβους. Κάθε δρομολογητής – κόμβος δεν έχει πλήρη εικόνα της τοπολογίας του δικτύου και στηρίζεται στην πληροφορία από τους γείτονές του για το προς τα πού είναι κάθε δίκτυο προορισμού και πόσο μακριά. Για αυτό και το distance-vector routing λέγεται πολύ επιτυχημένα και 'routing by rumor'. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα πρωτόκολλα RIPv1, RIPv2, IGRP και EIGRP⁽²²⁾.

Λέγοντας κατεύθυνση εννοείται εδώ ότι η διαδρομή έχει μαθευτεί από μία διεπαφή εισόδου και λέγοντας απόσταση εννοούμε το κόστος για την πρόσβαση στο δίκτυο προορισμού. Το κόστος μπορεί να μετρηθεί με το πλήθος των ενδιάμεσων κόμβων (hop-count) μέχρι τον προορισμό, όπως συμβαίνει στο πρωτόκολλο RIP, ή με τον υπολογισμό μίας πιο σύνθετης μετρικής, όπως συμβαίνει στα IGRP και EIGRP.

Ένας τέτοιος υπολογισμός μπορεί να λαμβάνει υπόψη παραμέτρους όπως το εύρος ζώνης (bandwidth), η καθυστέρηση (delay), ο φόρτος (load) ή η αξιοπιστία (reliability) της σύνδεσης⁽²³⁾.

Στα πρωτόκολλα διανύσματος-απόστασης οι ενημερώσεις δρομολόγησης (routing updates) στέλνονται περιοδικά, ακόμα και όταν δε συμβαίνει καμία αλλαγή στην τοπολογία του δικτύου. Τέτοιες ενημερώσεις μπορεί να περιέχουν ολόκληρο το routing table ή μέρος αυτού. Με τη λήψη μίας τέτοιας ενημέρωσης, ο δρομολογητής τη συγκρίνει με το υφιστάμενο routing table, το ενημερώνει εάν είναι απαραίτητο, και τέλος διαχέει την ενημέρωση στους γειτονικούς του δρομολογητές⁽²⁴⁾.

Αυτή η αρχή λειτουργίας του distance-vector routing έχει ενδογενείς αδυναμίες που είναι δυνατό να οδηγήσουν σε βρόχους δρομολόγησης (routing loops), ακόμα και σε απλές τοπολογίες. Πρακτικά, κάθε δρομολογητής δε γνωρίζει τι συμβαίνει πέρα από τον γείτονά του, με αποτέλεσμα να μπορεί να διατηρήσει στον πίνακά του διαδρομές για απομακρυσμένα δίκτυα που δεν είναι πια προσβάσιμα. Το πρόβλημα αυτό έχει ξεπεραστεί με διάφορες μεθόδους, όπως η καταμέτρηση στο άπειρο (count to infinity), ο διαχωρισμός των ενημερώσεων (split-horizon) και η αντίστροφη δηλητηρίαση της διαδρομής (route poisoning). Περισσότερες λεπτομέρειες μπορούν να βρεθούν στο⁽²⁵⁾ και αλλού.

3.3. Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Κατάστασης-ζεύξης

Λέγοντας δρομολόγηση κατάστασης-ζεύξης (link-state routing) εννοείται πρακτικά ότι ο κάθε δρομολογητής αποφασίζει από μόνος του για τις καλύτερες κάθε φορά διαδρομές με βάση τον γράφο του δικτύου, που τον συντηρεί στην κύρια μνήμη του (RAM). Ο γράφος περιγράφει επακριβώς την τοπολογία του δικτύου, με το σύνολο των κόμβων, των μεταξύ τους συνδέσμων (ζεύξεων) καθώς και με άλλα στοιχεία. Ο γράφος του δικτύου χρησιμοποιείται για να γίνουν οι υπολογισμοί των βέλτιστων διαδρομών, και το αποτέλεσμα εισάγεται βεβαίως στον πίνακα δρομολόγησης. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η περιοδική ενημέρωση των πινάκων, και ενημερώσεις δρομολόγησης ανταλλάσσονται μόνο όταν αυτό είναι απαραίτητο (event-triggered updates), πχ. στην αστοχία ή στην επαναφορά μίας σύνδεσης. Τα πρωτόκολλα που ανήκουν στην κατηγορία αυτή είναι τα OSPF και IS-IS⁽²⁶⁾.

Τα πρωτόκολλα αυτά ξεκινούν με την εξασφάλιση σχέσεων με τους γειτονικούς δρομολογητές (adjacencies), καθώς και τη συντήρηση των σχέσεων αυτών. Έπειτα κάθε router εκπέμπει μία σειρά από πληροφορίες για τα δικά του links, που διαχέονται στο σύνολο των δρομολογητών μέσα στο αυτόνομο σύστημα. Με τον τρόπο αυτό κάθε router χτίζει στη RAM του τον γράφο του δικτύου⁽²⁷⁾.

Όταν ο γράφος δημιουργηθεί, αυτό που απομένει είναι να εκτελεστεί μία μέθοδος για την εύρεση του συντομότερου μονοπατιού προς κάθε κλάδο του γράφου. Ο αλγόριθμος αυτός τρέχει ατομικά και ανεξάρτητα σε κάθε δρομολογητή και το αποτέλεσμα του χρησιμοποιείται για την πλήρωση (population) του πίνακα δρομολόγησης με τις καλύτερες κατά περίπτωση διαδρομές. Βασικό χαρακτηριστικό και, κατά κάποιο τρόπο και περιορισμός, της προσέγγισης αυτής είναι ότι με κάθε αλλαγή στην τοπολογία ο αλγόριθμος της κοντινότερης διαδρομής ξανατρέχει και οι διαδρομές επανυπολογίζονται⁽²⁸⁾. Το βασικό πλεονέκτημα εδώ είναι ότι, μιας και κάθε δρομολογητής συντηρεί τη δική του εικόνα ολόκληρου του δικτύου, είναι πολύ δύσκολος ο σχηματισμός βρόχων δρομολόγησης.

Αμέσως παρακάτω θα εξεταστούν τα βασικά χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων OSPF και EIGRP. Το πρωτόκολλο OSPF (Open Shortest Path First) είναι ο χαρακτηριστικότερος εκπρόσωπος της link-state κατηγορίας. Το EIGRP (Enhanced Interior Gateway Protocol) ενώ έχει distance-vector φύση, ενσωματώνει, όπως θα φανεί, και πιο προηγμένα χαρακτηριστικά.

4. Το πρωτόκολλο OSPF

Το πρωτόκολλο OSPF (Open Shortest Path First) είναι ένα εσωτερικό πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε για IP δίκτυα ήδη από τη δεκαετία του 1970 από την ομάδα εργασίας του IETF που συγκροτήθηκε για τον σκοπό αυτό. Ανήκει στην κατηγορία των πρωτοκόλλων κατάστασης-ζεύξης και μεταφέρει ενημερώσεις δρομολόγησης στο εσωτερικό ενός αυτόνομου συστήματος. Το όνομά του φανερώνει δύο από τα βασικά του χαρακτηριστικά: είναι ανοιχτό, με την έννοια ότι αποτελεί οικουμενικό (universal) πρότυπο, και στηρίζεται στον αλγόριθμο του Dijkstra, που είναι γνωστός και ως Shortest Path First, SPF αλγόριθμος. Η πρώτη έκδοση του πρωτοκόλλου, OSPFv1 τυποποιήθηκε το 1989 με το RFC 1131. Η δεύτερη έκδοση, OSPFv2, που μέχρι σήμερα χρησιμοποιείται, τυποποιήθηκε με τα RFCs 1583, 2178 και 2328 το 1991. Τέλος, το OSPFv3 είναι η υλοποίηση του πρωτοκόλλου για τη δρομολόγηση IPV6 κίνησης, και τυποποιήθηκε με το RFC 2740 το 1997^(29,30).

4.1. Μηνύματα του OSPF

Μία προσέγγιση για την καλή κατανόηση ενός πρωτοκόλλου είναι η περιγραφή των μηνυμάτων που αυτό χρησιμοποιεί, είτε πρόκειται για ενημερώσεις δρομολόγησης (routing updates) είτε για άλλες λειτουργίες. Αυτή την προσέγγιση θα ακολουθήσουμε, ξεκινώντας με τη γενική ενθυλάκωση ενός OSPF μηνύματος σε ένα IP πακέτο και σε ένα Ethernet πλαίσιο⁽³¹⁾:

Data Link Frame Header	IP Packet Header	OSPF Packet Header	OSPF packet Type
1. MAC Διεύθυνση Αποστολής (Φυσική διεύθυνση της διεπαφής) 2. MAC Διεύθυνση Προορισμού (Multicast διεύθυνση: 01-00-5E-00-00-05 or 01-00-5E-00-00-06)	1. IPv4 Διεύθυνση Πηγής (Λογική διεύθυνση της διεπαφής) 2. IPv4 Διεύθυνση προορισμού (Multicast: 224.0.0.5 / 224.0.0.6 και με τιμή στο πεδίο Πρωτοκόλλου στο 89)	Type Code 1. Router ID 2. Area ID (περιοχή)	1. Hello Packet 2. Database Description 3. Link state request 4. List state update 5. List state acknowledgement (βασικοί τύποι OSPF μηνυμάτων)

Πίνακας 1 – Μήνυμα του πρωτοκόλλου OSPF

Πιο συγκεκριμένα, στην προμετωπίδα (header) του πακέτου χρησιμοποιείται η τιμή 89 για το πεδίο πρωτοκόλλου, ενώ η IP διεύθυνση προορισμού είναι η διεύθυνση

πολυεκπομπής (multicast) 224.0.0.5 ή 224.0.0.6. Η προμετωπίδα του IP πακέτου που μεταφέρει το OSPF μήνυμα φαίνεται παρακάτω^(30,31):

Version Number έκδοση 2 για IPv4 έκδοση 3 για IPv6	Type Hello, DBD, LSR, LSU, LSAck (πέντε τύποι πακέτων)	Packet Length (Μήκος) Συνολικό μήκος του μηνύματος σε οκτάδες (bytes) μαζί με την προμετωπίδα
Router ID Router ID του δρομολογητή που στέλνει το μήνυμα		
Area ID Area ID περιοχή στην οποία βρίσκεται η διεπαφή που στέλνει το μήνυμα		
Checksum Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της πληρότητας (integrity) του μηνύματος, συμπεριλαμβανόμενης της προμετωπίδας	Au Type Περιγράφει τον τύπο της αμοιβαίας πιστοποίησης ταυτότητας (authentication) ανάμεσα σε δύο γειτονικούς δρομολογητές 0 = no authentication 1 = simple authentication, clear text password 2 = encrypted message digest key MD5	
Authentication Πεδίο μήκους 64 bits για την πιστοποίηση ταυτότητας που λαμβάνει χώρα πριν δύο γειτονικοί δρομολογητές αποκαταστήσουν σχέση γειτονίας		

Πίνακας 2 – IP header του OSPF μηνύματος

Το OSPF χρησιμοποιεί 5 βασικούς τύπους πακέτου για την υλοποίηση των λειτουργιών του ⁽³⁰⁾. Οι τύποι αυτοί είναι:

Τύπος 1: Hello Packet
Τύπος 2: DataBase Description (DBD)
Τύπος 3: Link State Request (LSR)
Τύπος 4: List State Update (LSU)
Τύπος 5: List State Acknowledgement (LSAck)

Πίνακας 3 – Τύποι OSPF πακέτων

Κάθε τύπος πακέτου έχει διαφορετική λειτουργία, όπως περιγράφεται συνοπτικά αμέσως παρακάτω:

OSPF πακέτο Τύπου 1

Πρόκειται για το hello πακέτο, που χρησιμοποιείται για την ανακάλυψη των γειτονικών δρομολογητών και τη συντήρηση της σχέσης γειτονίας με αυτούς. Τα hello πακέτα δηλαδή πληρούν και έναν μηχανισμό τύπου keep-alive. Στην περίπτωση που ένας δρομολογητής δε λάβει hello πακέτο για ένα ορισμένο διάστημα (λέγεται και dead interval) τότε ο γείτονας θα θεωρηθεί χαμένος και κάθε link-state πληροφορία που είχε μεταδώσει ακυρώνεται. Ανάλογα με τον τύπο του δικτύου, point-to-point ή Non-

Broadcast Multi-Access, NBMA, ακολουθείται διαφορετική διαδικασία για το σχηματισμό σχέσεων γειτνίασης⁽³¹⁾.

Network Mask Μάσκα που έχει εφαρμοστεί στη διεπαφή εξόδου που στέλνει το πακέτο		
Hello Interval Η περίοδος την αποστολής helloπακέτων από μία διεπαφή, με προεπιλεγμένη τιμή στα 10 δεύτερα	Options Προαιρετικές ρυθμίσεις, όπως το E-bit (bitflag) που δηλώνει τον τύπο της περιοχής στην οποία βρίσκεται η διεπαφή (1=normal, 0=stub).	Router Priority Πρόκειται για μία τιμή που είναι δυνατό να ρυθμιστεί για τον έλεγχο της εκλογής DR/BDRσε NBMAδίκτυα
Router Dead Interval Χρονικό διάστημα για το οποίο ένας γείτονας θεωρείται απολεσθείς, με προεπιλεγμένη τιμή στα 40 δεύτερα		
Designated Router (DR) To Router ID του DR		
Backup Designated Router (BDR) To Router ID του BDR		
List of Neighbor(s) Η λίστα με τους γειτονικούς (adjacent) δρομολογητές		

Πίνακας 4 – OSPF πακέτο τύπου hello

OSPF πακέτο Τύπου 2

Είναι τα πακέτα Data Base Description (DBD) που ανταλλάσσονται μετά τον σχηματισμό της σχέσης γειτονίας (adjacency) και περιέχουν την κυρίως link-state πληροφορία που θα οδηγήσει στο χτίσιμο του γράφου του δικτύου σε κάθε δρομολογητή.

OSPF πακέτο Τύπου 3

Αναφέρονται ως Link State Request πακέτα και χρησιμοποιούνται για να ζητηθούν επιπλέον πληροφορίες για την τοπολογία του δικτύου.

OSPF πακέτο Τύπου 4

Αναφέρονται ως Link State Update πακέτα και σκοπός τους είναι η διάχυση των LSAs. Ένα LSU πακέτο μπορεί να περιέχει πληθώρα από LSAs. Παρακάτω δίνουμε τους τύπους των LSAs, μαζί με μία σύντομη περιγραφή της λειτουργίας τους.

OSPF πακέτο Τύπου 5

Αναφέρονται ως List State Acknowledgement και προφανώς χρησιμοποιούνται για να προσδώσουν αξιόπιστο χαρακτήρα στη διάχυση των ενημερώσεων (LSUs) και των διαφημίσεων (LSAs).

Τύποι των LSAs

Link State Advertisement (LSA) Types #	Description
1	Router LSAs
2	Network LSAs
3,4	Summary LSAs
5	Autonomous System External LSAs

Πίνακας 5 – Τύποι OSPF Link-State Advertisement

4.2. OSPF και Ιεραρχικές Αρχιτεκτονικές

Το OSPF αποδίδει πολύ καλύτερα σε ιεραρχικά δίκτυα, όπου η τοπολογία χωρίζεται σε μικρότερες περιοχές με ιεραρχική διάταξη. Ως περιοχή εδώ νοείται μία συλλογή από δρομολογητές που έχουν συγχρονισμένες τις topology databases τους. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνονται σημαντικά η ευστάθεια και η σύγκλιση, ενώ εξασφαλίζονται πίνακες δρομολόγησης μικρότερου μεγέθους. Η ιεραρχική σχεδίαση για την υλοποίηση του OSPF πολλαπλών περιοχών (multi-area) έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, επιφέρει όμως και περιορισμούς. Οι περιοχές δε σχεδιάζονται αυθαίρετα, αλλά μία κεντρική περιοχή (backbone area) θα πρέπει να συνδέεται φυσικά με όλες τις υπόλοιπες. Ένας δρομολογητής που έχει δύο διεπαφές σε διαφορετικές περιοχές (τυπικά η μία θα είναι η backbone area) είναι ένας Area Border Router, ABR. Αυτός αναλαμβάνει την ενημέρωση από περιοχή σε περιοχή, χωρίς να γίνεται επανυπολογισμός για το σύνολο των δρομολογητών της τοπολογίας. Σε περίπτωση που δεν είναι δυνατή η άμεση φυσική σύνδεση ανάμεσα σε μία περιοχή και την backbone area, τότε είναι δυνατό να ρυθμιστεί ένα OSPF Virtual Link^(30,31).

Για τη βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς του πρωτοκόλλου και για δυνατότητα λεπτότερων ρυθμίσεων, διάφοροι τύποι περιοχών έχουν οριστεί:

●Backbone Area

Η Backbone Area είναι ο φυσικός και λογικός κορμός μίας multi-area υλοποίησης του OSPF και αναλαμβάνει τη διάδοση των πληροφοριών δρομολόγησης από περιοχή σε περιοχή. Βρίσκεται στο κέντρο, και γύρω-γύρω χτίζονται οι non-backbone περιοχές. Ακόμα και στην περίπτωση της ρύθμισης ενός Virtual Link, όλες οι περιοχές θεωρούνται άμεσα συνδεδεμένες με την Backbone Area.

●Stub Area

Μία Stub Area λαμβάνει διαφημίσεις δρομολόγησης που αφορούν σε δίκτυα διαφορετικών αυτόνομων συστημάτων (AS). Ωστόσο μία Stub Area είναι δυνατό να

λαμβάνει ενημερώσεις και για δίκτυα που βρίσκονται σε διαφορετική περιοχή. Βασικά χαρακτηριστικά της Stub Area είναι:

- Επιτρέπει routes εντός και εκτός της περιοχής. Stub area permits inter & intra area routes.
 - Δεν επιτρέπει τη διάχυση εξωτερικών LSAs. Stub area prohibits flooding of external LSAs.
 - Μία προεπιλεγμένη διαδρομή (default route) ορίζεται προς το εσωτερικό της stub περιοχής.
 - Ένας δρομολογητής που βρίσκεται μέσα στην stub area χρειάζεται ειδικές ρυθμίσεις, ως stub router.
- Not-So-Stubby Area (NSSA)

Πρόκειται για μία επέκταση της Stub Area όπου επιτρέπεται η διάχυση προς τα μέσα εξωτερικών LSAs, χωρίς επίσης να επιτρέπεται η λήψη τους από άλλες περιοχές. Τα σημαντικότερα της χαρακτηριστικά είναι:

- Ο Autonomous System Boundary Router (ASBR) μπορεί να διαφημίζει εξωτερικά δίκτυα με LSAs τύπου 7.
- Τα LSAs τύπου 7 είναι δυνατό να μετατραπούν σε LSAs Τύπου 5, ώστε να είναι δυνατή η διάχυσή τους από περιοχή σε περιοχή.
- Επιτρέπονται (και μάλιστα είναι επιθυμητά) συνοπτικές ενημερώσεις (summary routes).

●Totally Stubby Area

Η περιοχή του τύπου αυτού συνδέεται ασφαλώς με την back bone περιοχή, από την οποία και λαμβάνει μία μόνο προεπιλεγμένη διαδρομή (default). Με τον τρόπο αυτό η συνδεσιμότητα της Totally Stubby περιοχής εξασφαλίζεται με το πιο απλό LSA Τύπου 3, με φανερά τα πλεονεκτήματα. Σε μία τέτοια περιοχή:

- Δεν επιτρέπονται συνοπτικές διαδρομές που περιλαμβάνουν δίκτυα από άλλη περιοχή.
 - Δεν επιτρέπονται εσωτερικές διαφημίσεις μέσα σε μία totally stubby περιοχή.
 - Επιτρέπεται μόνο μία προεπιλεγμένη διαδρομή (default route), με σαφές αποτέλεσμα τη μείωση των απαιτήσεων σε πόρους συστήματος.
- Totally (NSSA) Not-So-Stubby Area

Πρόκειται για έναν συνδυασμό των δύο παραπάνω τύπων περιοχών, όπου ο ASBR μπορεί να διαφημίζει εξωτερικά δίκτυα και ο ABR χρησιμοποιεί μόνο μία προεπιλεγμένη διαδρομή προς τα μέσα. Τα βασικά χαρακτηριστικά εδώ είναι:

- Συνόψεις διαδρομών Τύπου 3, 4 ή 5 δεν διαδίδονται σε μία totally NSSA.
- Δεν επιτρέπονται εξωτερικές διαδρομές, εκτός από την προεπιλεγμένη.
- Τα LSAs τύπου 7 είναι δυνατό να μετατραπούν σε LSAs Τύπου 5, ώστε να είναι δυνατή η διάχυσή τους από περιοχή σε περιοχή⁽³³⁾.
- Transit Area

Ο όρος χρησιμοποιείται για να δηλώσει δύο ή περισσότερους ABR δρομολογητές που μεταφέρουν κίνηση από τη μία περιοχή στην άλλη.

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τους διάφορους τύπους περιοχών OSPF σε μία μεσαία προς μεγάλη τοπολογία.

Τύπος Περιοχής	Περιορισμοί
Normal	-
Stub	Δεν επιτρέπονται εξωτερικά LSAs Τύπου 5.
NSSA	Δεν επιτρέπονται εξωτερικά LSAs Τύπου 5. Τα LSAs τύπου 7 είναι δυνατό να μετατραπούν σε LSAs Τύπου 5, ώστε να είναι δυνατή η διάχυσή τους από περιοχή σε περιοχή
Totally Stub	Δεν επιτρέπονται LSAs Τύπου 3, 4 ή 5, παρά μόνο η προεπιλεγμένη διαδρομή.
NSSA Totally Stub	Δεν επιτρέπονται LSAs Τύπου 3, 4 ή 5, παρά μόνο η προεπιλεγμένη διαδρομή. Τα LSAs τύπου 7 είναι δυνατό να μετατραπούν σε LSAs Τύπου 5, ώστε να είναι δυνατή η διάχυσή τους από περιοχή σε περιοχή

Πίνακας 6 – Τύποι OSPF περιοχών

4.3. OSPF, Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Ο παρακάτω πίνακας επιχειρεί να συνοψίσει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του πρωτοκόλλου OSPF.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
• Το OSPF είναι ανοιχτό πρωτόκολλο, βασισμένο σε οικουμενικά πρότυπα. Αντίθετα, το EIGRP είναι ιδιοκτησία της Cisco.	– Σε σχέση με άλλα πρωτόκολλα δρομολόγησης η ρύθμιση και η επίλυση προβλημάτων είναι πιο σύνθετες.
• Εξασφαλίζει ενδογενώς μία loop-free αναπαράσταση του δικτύου.	– Η διάχυση των LSAs είναι πιθανό να δημιουργήσει μείωση των επιδόσεων σε μεγαλύτερες τοπολογίες.
• Η ενημέρωση για αλλαγή στην	– Απαιτούνται περισσότεροι πόροι

τοπολογία διαδίδεται γρήγορα, εξασφαλίζοντας ευστάθεια και γρήγορη σύγκλιση.	από τον επεξεργαστή, σε σχέση με ανταγωνιστικά πρωτόκολλα, ώστε να εκτελεστεί ο αλγόριθμος SPF.
Χρησιμοποιεί μία ελαφριά διαδικασία keep alive στέλνοντας περιοδικά μικρά hello μηνύματα στη διεύθυνση πολυεκπομπής (multicast) 224.0.0.5.	Απαιτούνται πόροι κύριας μνήμης (RAM) για την τήρηση των πινάκων γειτόνων, τοπολογίας και δρομολόγησης.
Είναι ένα καθαρό classless πρωτόκολλο, υποστηρίζει VLSM, CIDR και προσαρμοσμένη σύνοψη (manual summarization).	Δεν υποστηρίζει κατανομή φορτίου με άνισα κόστη (unequal cost load balancing).
Εκμεταλλεύεται την ιεραρχική σχεδίαση ενός δικτύου, με πολύ σημαντικές βελτιώσεις στη λειτουργία και την επίδοσή του.	
Η μετρική που χρησιμοποιεί είναι ένα κόστος που στηρίζεται στο εύρος ζώνης (bandwidth) του συνδέσμου.	
Είναι κατάλληλο για μεγάλες τοπολογίες.	
Τα μηνύματα που ανταλλάσσει είναι ελαφρά, καταναλώνοντας λιγότερο εύρος ζώνης.	
Ελαχιστοποιεί την ανταλλαγή ενημερώσεων δρομολόγησης, καθώς και το μέγεθος των πινάκων.	
Δεν έχει περιορισμό στον αριθμό των ενδιάμεσων δρομολογητών (hop count).	

Πίνακας 7 – Πλεονεκτήματα / μειονεκτήματα του πρωτοκόλλου OSPF

4.4. OSPF και Δίκτυα Υγείας

Η πρώτη έκδοση του πρωτοκόλλου OSPF προτυποποιήθηκε⁽²⁹⁾ το 1989 με το RFC 1131. Με μία σειρά από αναθεωρήσεις και προσθήκες, η τρέχουσα υλοποίηση του OSPF στο IPv4 ακολουθεί το RFC 2328 του 1998. Για είκοσι λοιπόν έτη το πρωτόκολλο έχει δοκιμαστεί σε μεσαία και μεγάλα δίκτυα δεδομένων του δημόσιου και ιδιωτικού τομέα, σε ολόκληρο τον κόσμο.

Στην Ελλάδα το OSPF έχει χρησιμοποιηθεί στα δίκτυα κορμού των παρόχων καθώς και σε πληθώρα εθνικών υλοποιήσεων εταιρειών και οργανισμών. Χρησιμοποιείται επίσης στο δίκτυο 'Σύζευξις' καθώς και στο Εθνικό Δίκτυο Έρευνας

και Τεχνολογίας. Η πολύ καλή συμπεριφορά του σε μεγάλα δίκτυα το καθιστά κατάλληλο για πληροφοριακά συστήματα υγείας εθνικής εμβέλειας, όπου γίνεται εκτεταμένη χρήση time-sensitive εφαρμογών. Ο ανοιχτός του, επίσης, χαρακτήρας, επιτρέπει τη χρήση δρομολογητών από διαφορετικούς κατασκευαστές (multi-vendor) δίνοντας ευελιξία στη διαδικασία της προμήθειας πληροφοριακού εξοπλισμού.

5. Το Πρωτόκολλο EIGRP

Το πρωτόκολλο δυναμικής δρομολόγησης EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε από τη Cisco για την υποστήριξη της δρομολόγησης σε IP, IPX και AppleTalk δίκτυα. Θεωρείται ότι ανήκει στην οικογένεια των πρωτοκόλλων διανύσματος-απόστασης, αν και ενσωματώνει προηγμένα χαρακτηριστικά που του επιτρέπουν πολύ καλή συμπεριφορά σε μεγάλα και πολύ μεγάλα δίκτυα. Για το λόγο αυτό συχνά λέγεται και υβριδικό, αφού θέτει σε λειτουργία μηχανισμούς που απαντώνται σε πρωτόκολλα κατάστασης-ζεύξης.

Το EIGRP διαθέτει όλα τα χαρακτηριστικά ενός μοντέρνου εσωτερικού πρωτοκόλλου δρομολόγησης, όπως classless, γρήγορη σύγκλιση, καταμερισμός ίσου κόστους και υποστήριξη δικτύων μεγαλύτερου μεγέθους. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του όμως είναι ότι μπορεί, κάτω από ορισμένες συνθήκες, να κρατήσει ενδογενώς ένα εναλλακτικό route (το λεγόμενο feasible success or route) μεγαλύτερου κόστους και άμεσα να το χρησιμοποιήσει σε περίπτωση που χρειαστεί. Το λεκτικό 'άμεσα' εδώ σημαίνει ότι η αναδρομολόγηση των πακέτων γίνεται χωρίς κανενός είδους υπολογισμό. Πρόκειται δηλαδή για σχεδόν άμεση σύγκλιση. Η διαδρομή του feasible successor μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και για κατανομή φορτίου άνισου κόστους (unequal cost load balancing). Αυτό σημαίνει ότι στον πίνακα δρομολόγησης συμμετέχουν και διαδρομές μεγαλύτερου κόστους από τη βέλτιστη. Αυτή η ενδογενής υιοθέτηση υποβέλτιστων διαδρομών είναι μοναδική στο EIGRP^(35,37).

5.1. Μηνύματα του EIGRP

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει την ενθυλάκωση (encapsulation) ενός EIGRP πακέτου μέσα σε ένα Ethernet πλαίσιο⁽³⁵⁾.

Data Link Frame Header	IP Packet Header	EIGRP Packet Header	Type/Length/Value (TLV) Types
1. Mac Source Address (Φυσική διεύθυνση του sending interface) 2. Mac Destination Address (Multicast address: 01-00-5E-00-00-0A)	1. IPv4 Source Address (Λογική διεύθυνση sending interface) 2. IPv4 Destination Address (Multicast: 224.0.0.10 and Protocol field 88)	Opcode for EIGRP packet type Autonomous System Number	<u>General TLV Types:</u> 0x0001 =EIGRP Parameters 0x0003 =Sequence 0x0004 =Software Version 0x0005 =Next Multicast Sequence <u>IP-Specific TLV Types:</u>

			0x0102 =Internal Routes 0x0103 =IP External Routes
--	--	--	---

Πίνακας 8 – Ενθυλακωμένο (encapsulated) EIGRP πακέτο

Πιο συγκεκριμένα, το περιεχόμενο του EIGRP μηνύματος ενθυλακώνεται με μία προμετωπίδα όπου το πεδίο του πρωτοκόλλου έχει τιμή 88, ενώ ως IP διεύθυνση προορισμού χρησιμοποιείται η διεύθυνση πολυεκπομπής 224.0.0.10. Η προμετωπίδα ενός EIGRP πακέτου φαίνεται παρακάτω⁽³⁶⁾:

Version Number Έκδοση, για IPv4 ή IPv6 κίνηση	OPCode (Operation Code) Δείχνει τον τύπο του EIGRP πακέτου, όπου: 1=Update, 2=Reserved, 3=Query, 4=Reply, 5=Hello, 6=IPX-SAP, 10=SIA Query & 11=Reply Query	Checksum Υπολογίζεται για ολόκληρο το EIGRP μήνυμα.
Flags Πεδίο των 32 bits που χρησιμοποιείται για δύο μόνο σημαίες: Το πρώτο bit (0x00000001) γνωστό και ως <i>initialized</i> (init) bit δείχνει μία νέα σχέση γειτονίας. Το δεύτερο bit (0x00000002) γνωστό ως <i>conditional receive</i> bit χρησιμοποιείται στο multicasting.		
Sequence Πεδίο των 32 bits που χρησιμοποιείται από το Reliable Transport Protocol (RTP).		
Acknowledgement Εξασφαλίζει ασφάλεια και αξιοπιστία για τη μεταφορά μηνυμάτων		
AS Number Ο μοναδικός αριθμός του Αυτόνομου Συστήματος, είτε είναι καταχωρημένος είτε όχι.		
Type / Value / Length Είναι το πεδίο TLV που παρέχει συμπληρωματικές αλλά αναγκαίες πληροφορίες για το πλαίσιο και το πακέτο.		

Πίνακας 9 – Προμετωπίδα πακέτου EIGRP

Έξι είναι οι τύποι EIGRP μηνυμάτων που χρησιμοποιούνται, και κάθε ένας έχει τη δική του λειτουργία⁽³⁶⁾:

Hello	Στέλνονται σε μία multicast διεύθυνση για την ανακάλυψη και τη συντήρηση της σχέσης με τους γείτονες (unreliable)
Acknowledgment	Unicast μήνυμα επιβεβαίωσης (unreliable)
Updates	Χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο RTP και ενημερώνουν για τα προσβάσιμα και μη δίκτυα (reliable)
Queries	Χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο RTP, είναι multicast και ρωτούν τους γειτονικούς δρομολογητές για διαθέσιμες διαδρομές προς το

	δίκτυο προορισμού (reliable)
Replies	Χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο RTP και είναι unicast απαντήσεις σε Query πακέτα (reliable)
Requests	Μπορεί να είναι είτε unicast είτε multicast και παρέχουν πληροφορίες για τους γείτονες (unreliable)

Πίνακας 10 – Τύποι EIGRP μηνυμάτων

5.2. Η Μετρική του EIGRP

Σε αντίθεση με όλα τα προηγούμενα πρωτόκολλα δρομολόγησης, το EIGRP υπολογίζει το κόστος με χρήση μίας σύνθετης φόρμουλας, λαμβάνοντας υπόψη μία σειρά από παραμέτρους:

Bandwidth	Το ελάχιστο εύρος ζώνης στη διαδρομή προς τον προορισμό
Load	Ακέραιος με τιμές από 1 έως 255
Total Delay	Η συνολική καθυστέρηση έως τον προορισμό
Reliability	Ακέραιος με τιμές από 1 έως 255
MTU	Το Maximum Transmission Unit, με προεπιλεγμένη τιμή το 1500
Hop Count	Το πλήθος των κόμβων, πρακτικά των δρομολογητών έως τον προορισμό

Πίνακας 11 – Παράμετροι για τον υπολογισμό του metric στο EIGRP

Για τον υπολογισμό του κόστους λαμβάνεται υπόψη το ελάχιστο εύρος ζώνης μέχρι τον προορισμό, δηλαδή το χειρότερο από αυτή την άποψη link. Συνυπολογίζεται επίσης η συνολική καθυστέρηση από τον τρέχοντα κόμβο έως τον προορισμό. Η πλήρης φόρμουλα για τον καθορισμό του κόστους είναι^(35–37):

$$metric = \left[\left(K1 * \frac{10^7}{bandwidth_{min}} + \frac{K2 * bandwidth_{min}}{256 - load} + K3 * \sum delays \right) * \frac{K5}{K4 + reliability} \right] * 256$$

Με τις τιμές των K συντελεστών να είναι προεπιλεγμένα: $K1 = 1, K2 = 0, K3 = 1, K4 = 0, K5 = 0$

$(bandwidth + delay) * 256$

όπου οι τιμές των bandwidth (εύρος ζώνης) και delay (καθυστέρηση) υπολογίζονται ως εξής:

**Bandwidth = 10^7 / Τιμή του ελάχιστου εύρους ζώνης
στους ενδιάμεσους κλάδους**

**Delay = αθροιστική καθυστέρηση σε όλους τους κλάδους
μέχρι τον προορισμό**

5.3. Αλγόριθμος και λειτουργία

Το EIGRP χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο DUAL (Diffusing Update Algorithm) για το χτίσιμο και τη συντήρηση του πίνακα δρομολόγησης. Εκτός από το routing table, συντηρεί άλλους δύο πίνακες, τον πίνακα γειτόνων (neighbor table) και αυτόν με την τοπολογία του δικτύου (topology table).

Πίνακας γειτόνων

Κάθε EIGRP δρομολογητής δέχεται πληροφορία για την κατάσταση των γειτονικών του δρομολογητών, καθώς και τις IP διευθύνσεις τους. Όταν βρίσκεται ένας νέος γείτονας, η IP διεύθυνση και η διεπαφή καταγράφονται και μπαίνουν στον πίνακα των γειτόνων. Ο πίνακας λοιπόν αυτός δημιουργείται και συντηρείται από το hello πρωτόκολλο. Ο αριθμός του αυτόνομου συστήματος και οι τιμές των συντελεστών K θα πρέπει να ταυτίζονται στα δύο άκρα της σύνδεσης ώστε να είναι δυνατή η δημιουργία της σχέσης γειτονίας.

Τα πακέτα hello εκπέμπονται κάθε 5 δευτερόλεπτα σε τοπικό δίκτυο και κάθε 60 δεύτερα σε WAN, για τη δημιουργία και τη συντήρηση της σχέσης γειτονίας. Ο ρόλος του πίνακα γειτόνων είναι αναγκαίος για τη λειτουργία του πρωτοκόλλου. Μεταξύ άλλων, λαμβάνει υπόψη του το πρωτόκολλο RTP (Reliable Transport Protocol), μία cisco proprietary υλοποίηση πρωτοκόλλου αντίστοιχου με τα TCP / UDP. Έχει επίσης ληφθεί πρόνοια για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας από άποψη χρόνου⁽³¹⁾.

Η Διάχυση των Ενημερώσεων (DUAL)

Η Cisco εξασφαλίζει στο EIGRP την εύρεση της καλύτερης διαδρομής για κάθε κόμβο προορισμού με χρήση της μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων DUAL, Diffusing Update Algorithm. Η εύρεση κάθε φορά μίας χωρίς βρόχους διαδρομής γίνεται με χρήση των παρακάτω στοιχείων⁽²²⁾:

- Feasible Distance (FD) είναι το κόστος της καλύτερης διαδρομής προς το δίκτυο προορισμού, ο αριθμός δηλαδή που καταχωρείται στον πίνακα δρομολόγησης.

- Reported Distance (RD) / Advertised Distance (AD) είναι το συνολικό κόστος προς το δίκτυο προορισμού, όπως διαφημίζεται από κάθε γειτονικό κόμβο.
- Successor είναι ο κόμβος που χρησιμοποιείται κατά τη βέλτιστη διαδρομή προς το δίκτυο προορισμού, αυτός δηλαδή που καταχωρείται στον πίνακα δρομολόγησης. Προφανώς το κόστος της βέλτιστης αυτής διαδρομής είναι το FD.
- Feasible Successor (FS) είναι μία εναλλακτική διαδρομή που, υπό συνθήκες, χρησιμοποιείται για άμεση σύγκλιση όταν ο Successor δεν είναι διαθέσιμος. Δηλαδή υπάρχει η δυνατότητα ο FS να μεταβεί σχεδόν άμεσα από το topology table στο routing table, χωρίς την ανάγκη ανταλλαγής μηνυμάτων και υπολογισμών. Η συνθήκη που πρέπει να πληρείται για να συμβεί αυτό αναφέρεται ως Feasibility Condition, και απαιτεί το RD από τον εναλλακτικό κόμβο να είναι αυστηρά μικρότερο από το τρέχον FD. Τηρείται με αυτόν τον τρόπο μία χωρίς βρόχους εναλλακτική διαδρομή προς τον κόμβο προορισμού έτοιμη για άμεση εισαγωγή στον πίνακα δρομολόγησης⁽³⁴⁾.

Πίνακας τοπολογίας

Περιλαμβάνει το σύνολο των διαδρομών για κάθε δίκτυο προορισμού, όπως αυτές έχουν διαφημιστεί από τους γειτονικούς κόμβους. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνει τις διαδρομές με τα κόστη τους, τους Successors και τους Feasible Successors, εάν υπάρχουν, και, φυσικά, τα αντίστοιχα IP δίκτυα. Για κάθε προσβάσιμο απομακρυσμένο δίκτυο, ο πίνακας τοπολογίας περιλαμβάνει την καθυστέρηση, την αξιοπιστία, τον φόρτο, το εύρος ζώνης, καθώς και τις σχετικές αποστάσεις⁽³¹⁾.

5.4. Σύγκλιση

Όπως και στο πρωτόκολλο OSPF έτσι και εδώ, η διαδικασία της ανταλλαγής πληροφοριών δρομολόγησης που οδηγεί στη σύγκλιση ξεκινά με την αποκατάσταση της σχέσης γειτονίας ανάμεσα στους άμεσα συνδεδεμένους δρομολογητές. Οι προεπιλεγμένες τιμές για την περίοδο του hello είναι 5 ή 60 δευτερόλεπτα, ανάλογα με την ταχύτητα της διεπαφής. Στο τέλος αυτής της πρώτης διαδικασίας έχουν σχηματιστεί οι πίνακες γειτόνων.

Σε αυτό το σημείο οι δύο γείτονες ξεκινούν την ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης και χτίζουν ο καθένας τον πίνακα τοπολογίας. Έπειτα εκτελούν τη μέθοδο DUAL για τον υπολογισμό των αποστάσεων (distances) και των successors. Βεβαίως ελέγχεται η ισχύς της Feasibility Condition και γίνονται οι αντίστοιχες ενέργειες.

Η ύπαρξη feasible successors επηρεάζει τη διαδικασία της σύγκλισης του πρωτοκόλλου⁽³⁸⁾. Όταν χαθεί η διαδρομή από τον πίνακα δρομολόγησης, τότε:

- Ο δρομολογητής ελέγχει εάν υπάρχει FS προς το συγκεκριμένο δίκτυο και εάν ναι, τότε τον χρησιμοποιεί άμεσα, δηλαδή τον εισάγει στον πίνακα δρομολόγησης χωρίς καμία ενδιάμεση ενέργεια.
- Εάν η feasibility condition δεν ισχύει, τότε η διαδρομή χαρακτηρίζεται ως Active και όλοι οι γείτονες (που έχουν απομείνει) ερωτώνται εάν έχουν διαδρομή προς το δίκτυο προορισμού. Εάν ένας γείτονας δεν διαθέτει τέτοια διαδρομή, τότε, και αυτός, χαρακτηρίζει το δίκτυο προορισμού ως Active και απευθύνει με τη σειρά του ερώτηση στους δικούς του γείτονες. Στην περίπτωση που διαθέτει εναλλακτική διαδρομή προς το destination, τότε γίνεται η ενημέρωση προς τα πίσω και επιτυγχάνεται η σύγκλιση. Στην περίπτωση που δε βρεθεί καμία διαδρομή προς τον προορισμό, τότε αυτός παραμένει σε κατάσταση Active μέχρι την εκπνοή του κατάλληλου ρολογιού. Μέχρι τότε, λέμε ότι βρίσκεται σε μία κατάσταση κολλημένο σε Active (Stuck-In-Active, SIA).
- Είναι σαφές ότι, παρά τον προχωρημένο χαρακτήρα του πρωτοκόλλου EIGRP, η διαδικασία της σύγκλισης έχει μία distance-vector φύση. Για έναν μεγάλο αριθμό από κόμβους, και όταν δε βρίσκεται εναλλακτική διαδρομή, η κατάσταση SIA είναι δυνατό να οδηγήσει σε σημαντική πτώση της επίδοσης του δικτύου. Τέτοια προβλήματα αντιμετωπίζονται με σωστή σχεδίαση, τόσο σε επίπεδο τοπολογίας όσο και διευθυνσιοδότησης, με σωστή υλοποίηση συνόψεων (summarization).

Από τη σκοπιά της υλοποίησης, ο σχεδιαστής και ο διαχειριστής του δικτύου ενός οργανισμού οφείλουν να δώσουν έμφαση στα εξής, για να πετύχουν τις καλύτερες δυνατές επιδόσεις του EIGRP:

- Λεπτές ρυθμίσεις στα ρολόγια. Αν και μία τέτοια παρέμβαση πρέπει να γίνει με πολύ μεγάλη προσοχή, είναι πιθανό να οδηγήσει σε πολύ πιο γρήγορη διαδικασία σύγκλισης.
- Σύνοψη δικτύων (summarizations) που σε συνδυασμό με ιεραρχικές προσεγγίσεις οδηγούν σε μείωση του μεγέθους των πινάκων δρομολόγησης.
- Κατάλληλη ρύθμιση φίλτρων στις ενημερώσεις δρομολόγησης (route filtering) ώστε η κατάσταση SIA να τερματίζεται γρηγορότερα.
- Κατάλληλη ρύθμιση ακραίων (stub) δρομολογητών σε απομακρυσμένα σημεία, ώστε να περιορίζεται η αποστολή σε αυτούς ερωτημάτων.

5.5. EIGRP, Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Ο παρακάτω πίνακας επιχειρεί να συνοψίσει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του πρωτοκόλλου EIGRP.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
• Χρησιμοποιεί τη διεύθυνση πολυεκπομπής 224.0.0.10 για την αποστολή hello πακέτων. Τα μηνύματα του πρωτοκόλλου είναι μικρού μεγέθους, τόσο για την εξοικονόμηση του εύρους ζώνης όσο και την ταχύτητα σύγκλισης.	– Προβλήματα είναι δυνατό να δημιουργηθούν εξαιτίας της αυτόματης σύνοψης, για παράδειγμα σε ασυνεχείς τοπολογίες.
• Ο DUAL εξασφαλίζει την εύρεση των διαδρομών προς κάθε δίκτυο προορισμού χωρίς βρόχους.	– Δεν υποστηρίζεται σε multi-vendor περιβάλλοντα, αφού είναι ιδιοκτησία της Cisco.
• Υποστηρίζει VLSM, CIDR, αυτόματη και μη-αυτόματη σύνοψη.	– Πιθανά προβλήματα σε broadcast και multi-access δίκτυα, όπου σχηματίζεται μεγάλος αριθμός από σχέσεις γειτονίας.
• Είναι ένα μοντέρνο πρωτόκολλο με σχετικά εύκολη ρύθμιση και επίλυση προβλημάτων.	– Δεν ταιριάζει με ιεραρχικά σχεδιασμένα δίκτυα, ώστε να βελτιώσει σημαντικά τη συμπεριφορά του.
• Η μέθοδος DUAL εξασφαλίζει σταθερότητα και γρήγορη σύγκλιση.	– Πιθανά προβλήματα σε μεγαλύτερες τοπολογίες με αναδιανομή (redistribution) διαδρομών.
• Τα μηνύματα του EIGRP χρησιμοποιούν το Reliable Transport Protocol (RTP) στο	– Είναι πιθανό σε μεγάλες τοπολογίες να εμφανίζονται SIA καταστάσεις με αποτέλεσμα αργή

Επίπεδο Μεταφοράς για τη σωστή παράδοσή τους.	σύγκλιση και φτωχές επιδόσεις του πρωτοκόλλου.
Δυνατότητα για τήρηση εναλλακτικών διαδρομών και για άμεση χρησιμοποίησή τους σε περίπτωση αστοχίας.	
Ενημερώσεις μόνο όταν αυτές είναι απαραίτητες.	
Μη-αυτόματη σύνοψη δικτύων σε επίπεδο διεπαφής, για τη μείωση του μεγέθους των πινάκων δρομολόγησης.	
Καταμερισμός φορτίου ίσου και άνισου κόστους.	
Ενδογενής υποστήριξη δυνητικά για κάθε routed πρωτόκολλο.	

Πίνακας 12 – Πλεονεκτήματα / μειονεκτήματα του πρωτοκόλλου EIGRP

5.6. EIGRP και Δίκτυα Υγείας

Η σχεδόν άμεση σύγκλιση που είναι δυνατό να παρέχει το πρωτόκολλο EIGRP το καθιστά κατάλληλο για υλοποίηση σε περιπτώσεις όπου η χρονική καθυστέρηση θεωρείται κρίσιμος παράγοντας. Τα πληροφοριακά συστήματα υγείας υποστηρίζουν τέτοιες time-sensitive εφαρμογές. Το πρωτόκολλο δίνει επίσης περισσότερες δυνατότητες ελέγχου της κίνησης, δίνοντας προτεραιότητα σε κίνηση που θεωρείται κρίσιμη, και αφήνοντας σε δεύτερο χρόνο την επεξεργασία μη-κρίσιμων πακέτων. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατό, για παράδειγμα, τα δεδομένα που αφορούν στην κατάσταση ενός ασθενή να δρομολογούνται κατά προτεραιότητα έναντι μίας http ή e-mail κίνησης.

Η σχετικά απλοποιημένη διαδικασία για τη ρύθμιση και τη συντήρηση EIGRP δικτύων επιτρέπουν την ανάθεση καθηκόντων διαχειριστή δικτύου σε μέσο τεχνικό προσωπικό, επιτρέποντας σε έναν οργανισμό παροχής υπηρεσιών υγείας να δώσει τη λιγότερη δυνατή έμφαση σε IT ανθρωποπροσπάθεια.

5.7. Συγκριτική μελέτη / συζήτηση

Τα EIGRP και OSPF είναι δύο μοντέρνα πρωτόκολλα δρομολόγησης που έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά. Είναι και τα δύο classless, που πρακτικά σημαίνει

ότι υποστηρίζουν VLSM και CIDR, αφού η πληροφορία της μάσκας υποδικτύωσης μεταφέρεται με τις ενημερώσεις δρομολόγησης από κόμβο σε κόμβο. Χρησιμοποιούν event-triggered ενημερώσεις, συγκλίνουν γρήγορα και έχουν καλή συμπεριφορά σε μεγάλα δίκτυα. Στο σημείο αυτό συνοψίζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του κάθε πρωτοκόλλου με βάση τη σχετική βιβλιογραφία, πριν την προσομοίωση που θα λάβει χώρα παρακάτω.

- Μετρικές (metrics):

Το κόστος στο OSPF υπολογίζεται σωρευτικά με βάση το ονομαστικό εύρος ζώνης του κάθε συνδέσμου. Το EIGRP υλοποιεί μία σύνθετη μετρική, που προεπιλεγμένα στηρίζεται στο εύρος ζώνης και την καθυστέρηση, αλλά μπορεί να λάβει υπόψη το φορτίο, την αξιοπιστία του συνδέσμου καθώς και το MTU. Το EIGRP λοιπόν έχει μικρότερο Administrative Distance από το OSPF.

- Σύγκλιση (convergence):

Όλα τα πρωτόκολλα δρομολόγησης ανταποκρίνονται σε αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου και επικαιροποιούν τους πίνακες δρομολόγησης ως αποτέλεσμα υπολογισμών, ώστε να ενημερωθούν για τη νέα κατάσταση. Αν και το OSPF δε διαθέτει λειτουργία ανάλογη του FS, η μελέτη των πηγών δείχνει ότι είναι δύσκολο να εξαχθεί ένα ασφαλές συμπέρασμα για την υπεροχή του ενός ή του άλλου πρωτοκόλλου.

- Διαμετακομιστική Ικανότητα (Throughput):

Και σε αυτό το σημείο είναι σαφές ότι δεν μπορεί να διαπιστωθεί με καθαρό τρόπο ποιο πρωτόκολλο υπερέχει. Ο Thorenoor (2010) υποστηρίζει ότι το EIGRP κάνει καλύτερη χρησιμοποίηση του υλικού και των γραμμών, ενώ οι Islam & Ashique (2010) δίνουν την πρωτιά στο OSPF, και μάλιστα την ίδια ακριβώς εποχή.

- Κλιμακοθεσιμότητα (scalability):

Με τον όρο κλιμακοθεσιμότητα νοείται η διατήρηση της συμπεριφοράς των υποδομών και υπηρεσιών καθώς αυξάνονται οι ανάγκες σε κίνηση. Αυτό συμβαίνει με την αύξηση του πλήθους των εξυπηρετούμενων χρηστών ή / και την αύξηση των απαιτήσεων των εφαρμογών σε εύρος ζώνης. Στην περίπτωση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης ένα τρόπος να εξεταστεί η κλιμακοθεσιμότητα είναι η αύξηση του

πλήθους των κόμβων, δηλαδή των δρομολογητών. Το πρωτόκολλο EIGRP αποδίδει καλύτερα σε οριζόντιες τοπολογίες, στις οποίες το OSPF αυξάνει σημαντικά τις απαιτήσεις σε υλικό και εύρος ζώνης. Αντίθετα, σε ιεραρχικές υλοποιήσεις, και με προσεκτική διευθυνσιοδότηση, το OSPF εξορθολογεί τις απαιτήσεις σε πόρους και επιδεικνύει καλύτερες επιδόσεις.

6. Προσομοίωση

6.1. Εισαγωγή στην Προσομοίωση

Η προσομοίωση είναι η αναπαράσταση ενός φυσικού συστήματος με χρήση μαθηματικών μοντέλων. Η εκτέλεση σεναρίων προσομοίωσης, μπορεί να βοηθήσει τόσο στη σχεδίαση του πραγματικού συστήματος όσο και στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς πολύ μεγάλων ή πολύ μικρών συστημάτων. Εκτός από την έρευνα και ανάπτυξη, αδιαμφισβήτητη είναι επίσης η προσφορά της στην εκπαίδευση. Τα εργαλεία προσομοίωσης είναι εφαρμογές που εγκαθίστανται και εκτελούνται πάνω σε ένα τυπικό λειτουργικό σύστημα, είτε αυτό είναι Unix-based είτε είναι Windows-based.

Για την προσομοίωση δικτύων δεδομένων, τη μελέτη τους δηλαδή χωρίς τη χρήση πραγματικού εξοπλισμού, τα υφιστάμενα εργαλεία είναι δύο ειδών:

•Εργαλεία ρύθμισης δικτυακών συσκευών:

Είναι προγράμματα που προσομοιώνουν το λειτουργικό σύστημα δρομολογητών, μεταγωγών και άλλων συσκευών, με σκοπό τη χρήση των εντολών για τη ρύθμισή τους. Δε μελετούν τη συμπεριφορά των συσκευών και των γραμμών με το χρόνο και εστιάζουν στη σύνταξη των εντολών. Τέτοια εργαλεία είναι το Cisco Packet Tracer, το Boson Netsim ή το gns3.

•Εργαλεία προσομοίωσης της συμπεριφοράς του δικτύου στο χρόνο:

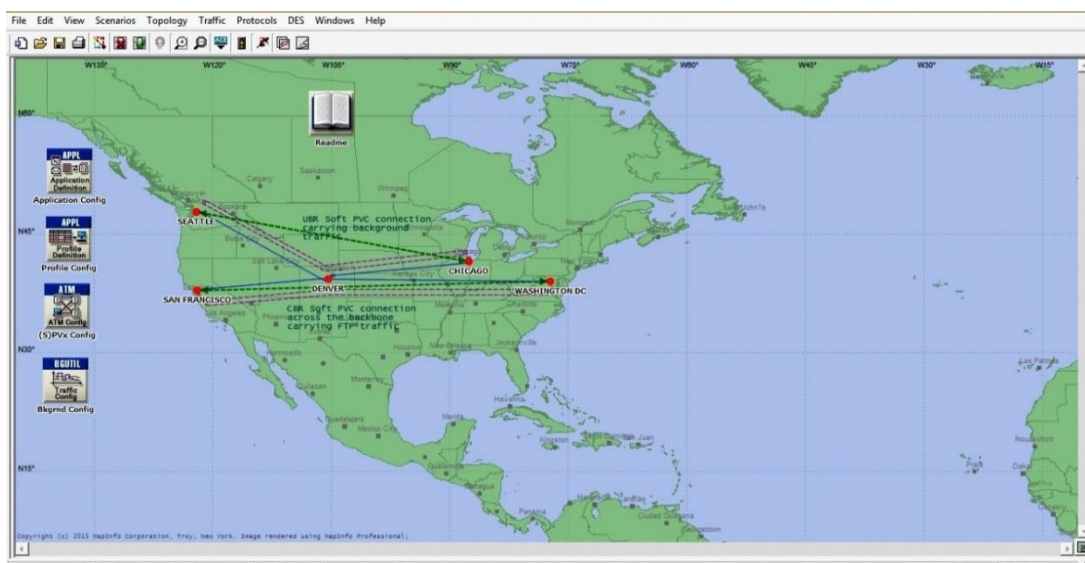
Πρόκειται για εφαρμογές που υλοποιούν μοντέλα προσομοίωσης των πραγματικών δικτυακών μηχανημάτων από τη σκοπιά του φυσικού συστήματος. Μπορούν δηλαδή να αναπαραστήσουν, επιμέρους ή συνολικά, τη συμπεριφορά του δικτύου στο χρόνο. Σε τέτοιες εφαρμογές η ρύθμιση των routers ή των switches είναι συνήθως απλή, γιατί δε δίνεται έμφαση σε αυτή. Αντίθετα, πολλές και λεπτές ρυθμίσεις είναι δυνατό να γίνουν στο κομμάτι της ίδιας της προσομοίωσης, για τη συλλογή μετρήσεων και αποτελεσμάτων που θα προβλέπουν τη συμπεριφορά του πραγματικού συστήματος. Τέτοια εργαλεία είναι το Modeler του οίκου Riverbed (παλαιότερα Opnet), το ns2 ή το Omnet++.

6.2. Riverbed Modeler

Στην εργασία αυτή θα χρησιμοποιηθεί η εφαρμογή Riverbed Modeler στην εκπαιδευτική της έκδοση. Πρόκειται για εργαλείο με ευρύτατη χρήση τόσο στην Τεχνολογική όσο και στην Ακαδημαϊκή Κοινότητα. Διανέμεται ως εφαρμογή που εγκαθίσταται σε λειτουργικό σύστημα Windows και μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά σε έναν μέσο σταθμό εργασίας. Εφαρμόζει την προσέγγιση της προσομοίωσης διακριτών γεγονότων στο χρόνο (DES) και δίνει τη δυνατότητα για μετρήσεις τόσο σε μεμονωμένα αντικείμενα όσο και για το δίκτυο συνολικά. Είναι υλοποιημένο σε τρία επίπεδα / τομείς λειτουργίας:

- Επίπεδο δικτύου (Network domain)

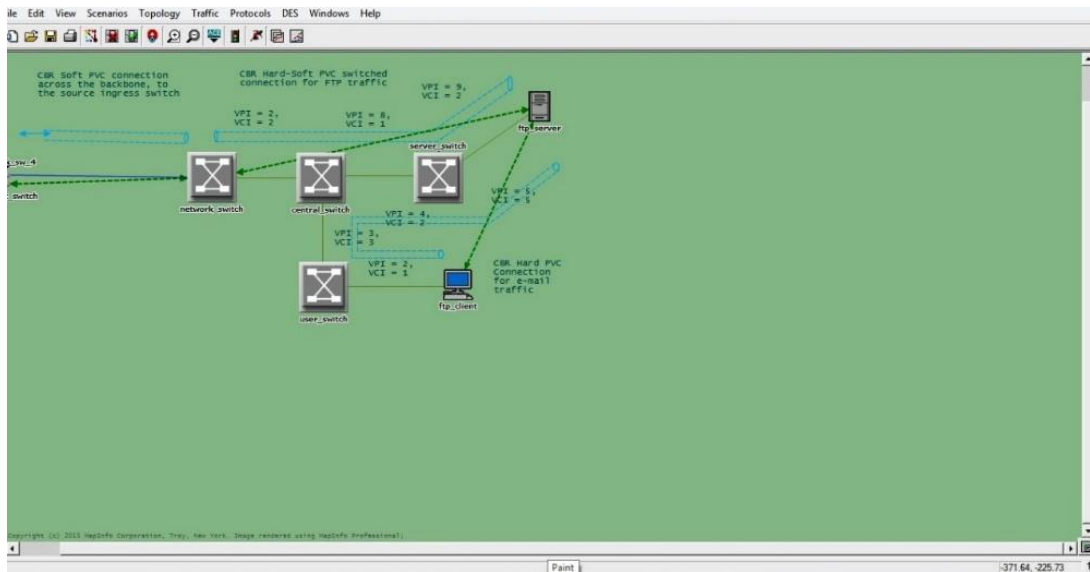
Προσεγγίζει το δίκτυο συνολικά (**Εικόνα 1**), λαμβάνοντας υπόψη τις ενδιάμεσες και τελικές συσκευές, την κίνηση, τις γραμμές, καθώς και κάθε άλλο φυσικό ή γεωγραφικό χαρακτηριστικό που είναι δυνατό να μοντελοποιηθεί.



Εικόνα 1 - Επίπεδο δικτύου (Network domain) του Riverbed Modeler

- Επίπεδο κόμβου (Nodes domain)

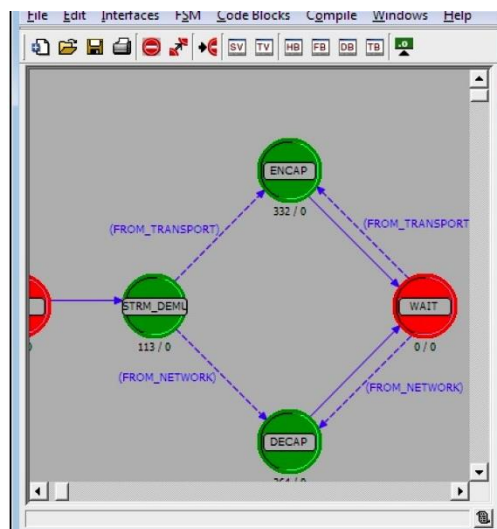
Προσομοιώνει τις ενδιάμεσες υποδομές (**Εικόνα 2**), είτε πρόκειται για μία μόνο συσκευή είτε για ένα τοπικό δίκτυο, ομάδες συσκευών ή / και χρηστών κλπ.



Εικόνα 2 - Επίπεδο κόμβου (Node domain)

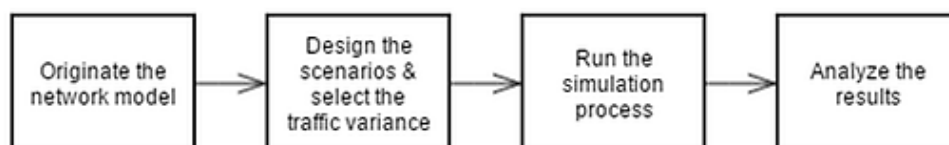
- Επίπεδο διαδικασίας (Process domain)

Πρόκειται για το τμήμα του κώδικα που καθορίζει την κάθε είδους κίνηση (χρηστών και πρωτοκόλλων) και παράγει τα αποτελέσματα. Περιλαμβάνει δηλαδή τους κόμβους και τις υπηρεσίες που εκτελούνται σε αυτούς (**Εικόνα 3**).



Εικόνα 3 - Επίπεδο διαδικασίας (Process domain)

Η σωστή χρήση του Modeler, αλλά και κάθε ανάλογου εργαλείου, ακολουθεί τέσσερα στάδια, σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4).



Εικόνα 4 - Διαδικασία προσομοίωσης και αποτελεσμάτων

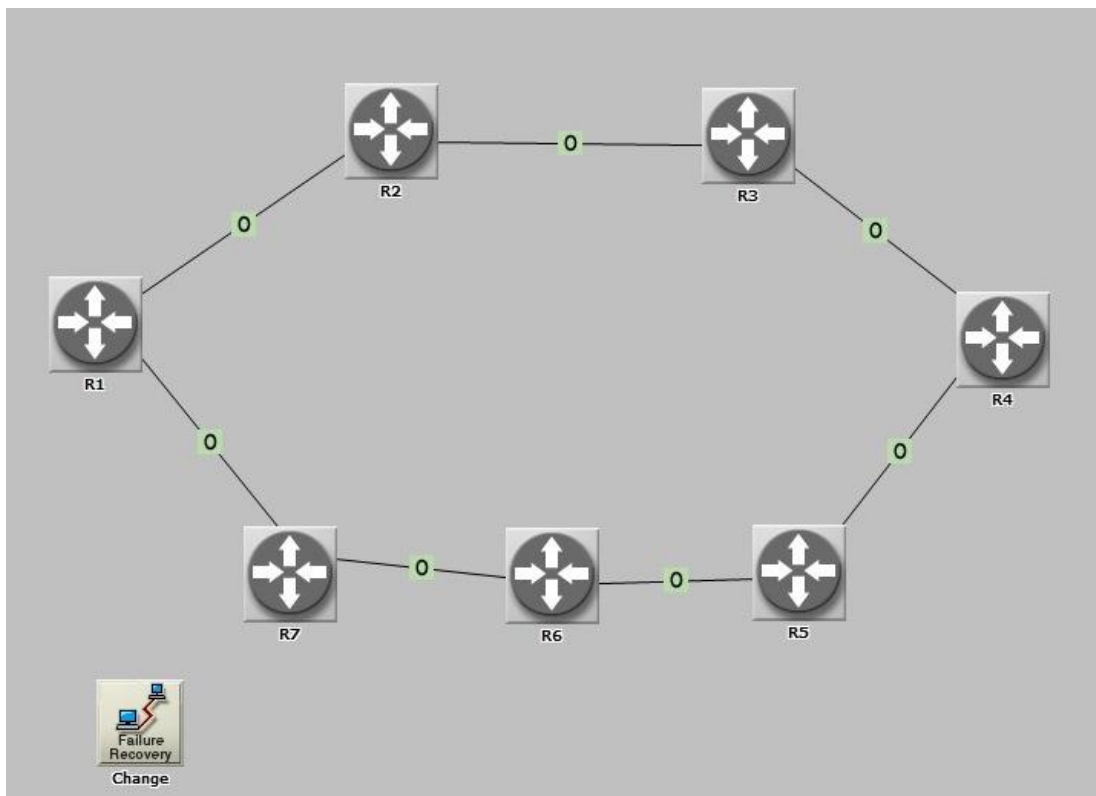
Στην αμέσως επόμενη ενότητα θα παρουσιαστούν τα σενάρια που υλοποιήθηκαν, τα αποτελέσματα της εκτέλεσης των προσομοιώσεων και τα σχετικά συμπεράσματα.

7. Υλοποίηση και Αποτελέσματα

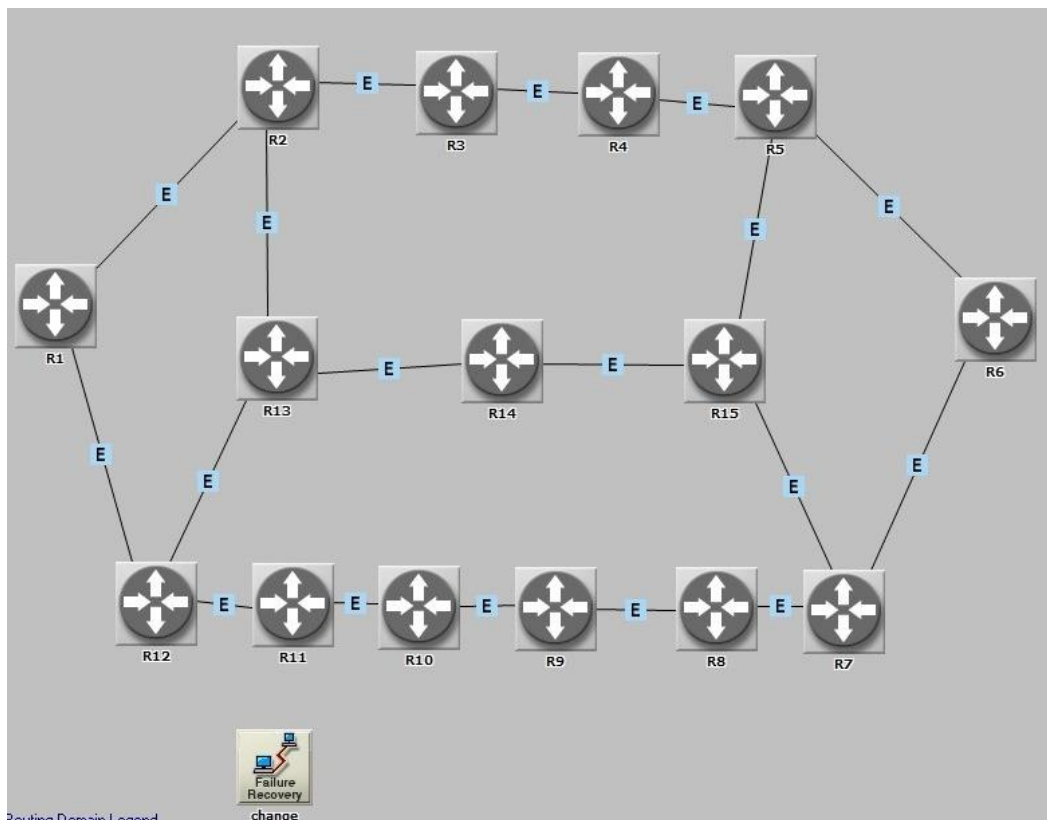
7.1. Εισαγωγή

Η πρόθεση της παρούσας εργασίας είναι όχι μόνο να συμβάλλει στην κατανόηση των χαρακτηριστικών και των λειτουργιών των δύο πιο σημαντικών εσωτερικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης, αλλά και να εξάγει πρακτικά συμπεράσματα με βάση συγκεκριμένα σενάρια και μετρήσεις σε προσομοιωμένο περιβάλλον.

Δύο τοπολογίες υλοποιήθηκαν στο Modeler, και φαίνονται στις **Εικόνες 5** και **6**. Η βασική τοπολογία (small, basic) αποτελείται από 7 δρομολογητές σε κλειστή συνδεσμολογία. Η μεγαλύτερη τοπολογία (large, scaled) έχει 15 κόμβους με mesh διασυνδέσεις. Όλες οι προσομοιώσεις έχουν διάρκεια 10 λεπτά. Στην πρώτη σειρά μετρήσεων οι τοπολογίες συγκλίνουν χωρίς καμία μεταβολή στη διάρκεια της προσομοίωσης. Στη δεύτερη σειρά μετρήσεων η σύνδεση ανάμεσα στους κόμβους R1 και R2 αστοχεί (failure) στο 3^ο λεπτό και επανέρχεται (recovery) στο 4^ο λεπτό. Στην τρίτη σειρά μετρήσεων έγινε εισαγωγή στο δίκτυο κίνησης χρήστη υψηλής έντασης. Ακολουθούν τα αποτελέσματα, μαζί με σχετικές παρατηρήσεις και προβληματισμούς.



Εικόνα 5 - Εισαγωγική (basic) τοπολογία



Εικόνα 6 - Εκτεταμένη (scaled) τοπολογία

7.2. Πίνακες Δρομολόγησης

Με την ολοκλήρωση της προσομοίωσης, και με την κατάλληλη ρύθμιση στην εφαρμογή, είναι δυνατό να εξαγονται οι πίνακες δρομολόγησης όλων των κόμβων. Στην **Εικόνα 7** φαίνεται ένα OSPF routing table, ενώ η **Εικόνα 8** δείχνει τον πίνακα του EIGRP.

Destination	Source Protocol	Route Preference	Metric	Next Hop Address	Next Hop Node	Outgoing Interface	Outgoing LSP	Insertion Time (secs)
192.0.1.0/24	Direct	0	0	192.0.1.1	Enterprise Networ...	IF10	N/A	240.000
192.0.2.0/24	OSPF 1	110	256	192.0.6.1	Enterprise Networ...	IF11	N/A	34.930
192.0.3.0/24	OSPF 1	110	128	192.0.1.2	Enterprise Networ...	IF10	N/A	255.000
192.0.4.0/24	OSPF 1	110	320	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	24.930
192.0.5.0/24	OSPF 1	110	320	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	24.930
	OSPF 1	110	320	192.0.6.1	Enterprise Networ...	IF11	N/A	34.930
192.0.6.0/24	Direct	0	0	192.0.6.2	Enterprise Networ...	IF11	N/A	0.000
192.0.7.0/24	OSPF 1	110	192	192.0.6.1	Enterprise Networ...	IF11	N/A	34.930
192.0.8.0/24	OSPF 1	110	128	192.0.6.1	Enterprise Networ...	IF11	N/A	34.930
192.0.9.0/24	OSPF 1	110	192	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	24.930
	OSPF 1	110	192	192.0.1.2	Enterprise Networ...	IF10	N/A	255.000
192.0.10.0/24	OSPF 1	110	256	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	24.930
	OSPF 1	110	256	192.0.1.2	Enterprise Networ...	IF10	N/A	255.000
192.0.11.0/24	OSPF 1	110	320	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	24.930
	OSPF 1	110	320	192.0.1.2	Enterprise Networ...	IF10	N/A	255.000
192.0.12.0/24	OSPF 1	110	384	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	24.930
	OSPF 1	110	384	192.0.1.2	Enterprise Networ...	IF10	N/A	255.000
192.0.13.0/24	Direct	0	0	192.0.13.2	Enterprise Networ...	IF4	N/A	0.000
192.0.14.0/24	OSPF 1	110	128	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	24.930
192.0.15.0/24	OSPF 1	110	128	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	24.930
192.0.16.0/24	OSPF 1	110	256	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	24.930
192.0.17.0/24	OSPF 1	110	256	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	24.930
	OSPF 1	110	256	192.0.6.1	Enterprise Networ...	IF11	N/A	34.930
192.0.18.0/24	OSPF 1	110	192	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	24.930
Gateway of last re...	not set							

Εικόνα 7 - Πίνακας δρομολόγησης OSPF

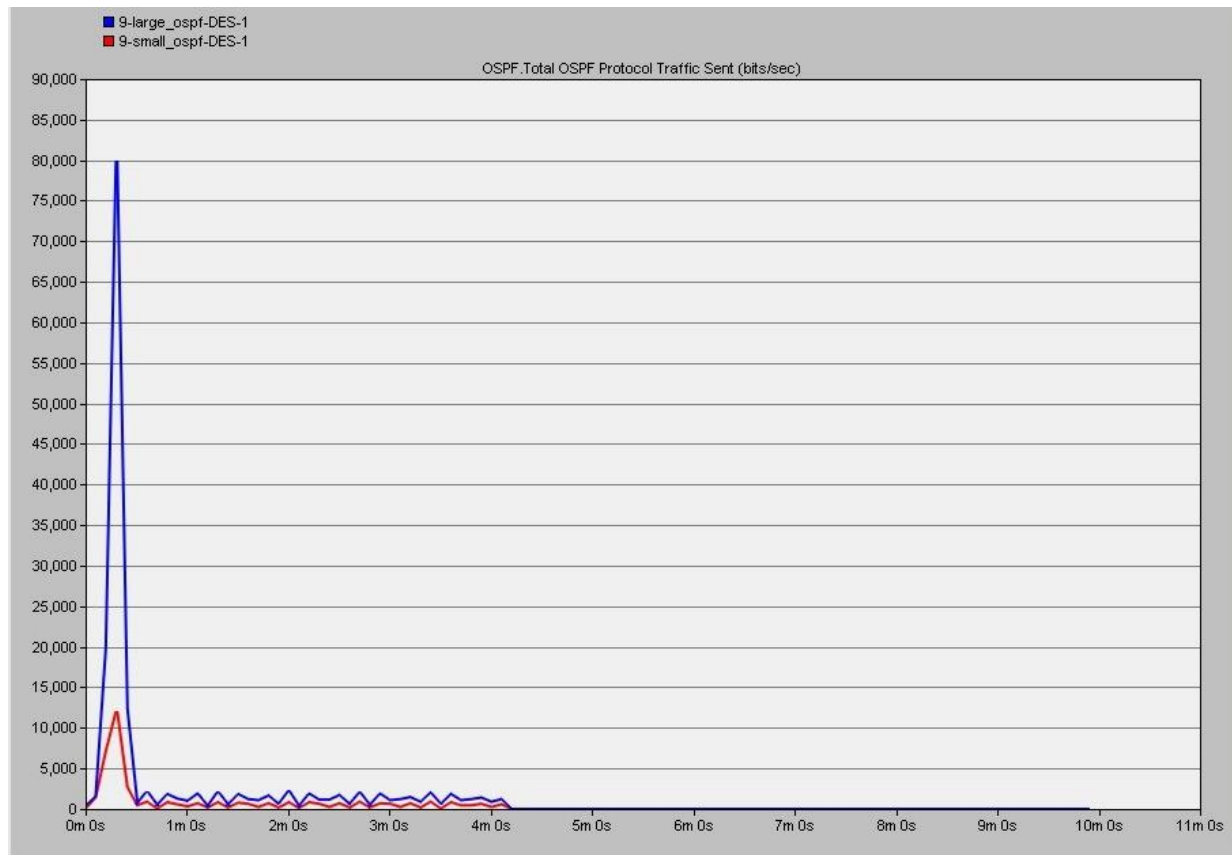
Destination	Source Protocol	Route Preference	Metric	Next Hop Address	Next Hop Node	Outgoing Interface	Outgoing LSP	Insertion Time (secs)
192.0.1.0/24	Direct	0	0	192.0.1.1	Enterprise Networ...	IF10	N/A	240.000
192.0.2.0/24	EIGRP 1	90	3705856	192.0.6.1	Enterprise Networ...	IF11	N/A	5.006
192.0.3.0/24	EIGRP 1	90	2681856	192.0.1.2	Enterprise Networ...	IF10	N/A	240.007
192.0.4.0/24	EIGRP 1	90	4217856	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	5.011
192.0.5.0/24	EIGRP 1	90	4217856	192.0.6.1	Enterprise Networ...	IF11	N/A	5.010
	EIGRP 1	90	4217856	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	5.011
192.0.6.0/24	Direct	0	0	192.0.6.2	Enterprise Networ...	IF11	N/A	0.000
192.0.7.0/24	EIGRP 1	90	3193856	192.0.6.1	Enterprise Networ...	IF11	N/A	5.005
192.0.8.0/24	EIGRP 1	90	2681856	192.0.6.1	Enterprise Networ...	IF11	N/A	5.004
192.0.9.0/24	EIGRP 1	90	3193856	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	5.007
	EIGRP 1	90	3193856	192.0.1.2	Enterprise Networ...	IF10	N/A	240.007
192.0.10.0/24	EIGRP 1	90	3705856	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	5.007
	EIGRP 1	90	3705856	192.0.1.2	Enterprise Networ...	IF10	N/A	240.007
192.0.11.0/24	EIGRP 1	90	4217856	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	5.008
	EIGRP 1	90	4217856	192.0.1.2	Enterprise Networ...	IF10	N/A	240.007
192.0.12.0/24	EIGRP 1	90	4729856	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	5.009
	EIGRP 1	90	4729856	192.0.1.2	Enterprise Networ...	IF10	N/A	240.007
192.0.13.0/24	Direct	0	0	192.0.13.2	Enterprise Networ...	IF4	N/A	0.000
192.0.14.0/24	EIGRP 1	90	2681856	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	5.004
192.0.15.0/24	EIGRP 1	90	2681856	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	5.004
192.0.16.0/24	EIGRP 1	90	3705856	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	5.008
192.0.17.0/24	EIGRP 1	90	3705856	192.0.6.1	Enterprise Networ...	IF11	N/A	5.006
	EIGRP 1	90	3705856	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	5.008
192.0.18.0/24	EIGRP 1	90	3193856	192.0.13.1	Enterprise Networ...	IF4	N/A	5.006
Gateway of last re...	not set							

Εικόνα 8 - Πίνακας δρομολόγησης EIGRP

Φαίνονται καθαρά τα άμεσα συνδεδεμένα δίκτυα καθώς και αυτά που έχουν μαθευτεί μέσω του πρωτοκόλλου. Το Administrative Distance (λέγεται και Route Preference) όπως και η τιμή του cost metric έχουν τις δικές τους στήλες. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η τελευταία στήλη, 'Insertion Time', που δίνει μία σαφή εικόνα για την ταχύτητα σύγκλισης. Τονίζεται εδώ η κομβικής σημασίας για τα πληροφοριακά συστήματα υγείας παράμετρος της γρήγορης γενικά απόκρισης των υποδομών.

7.3. Κλιμάκωση στο OSPF

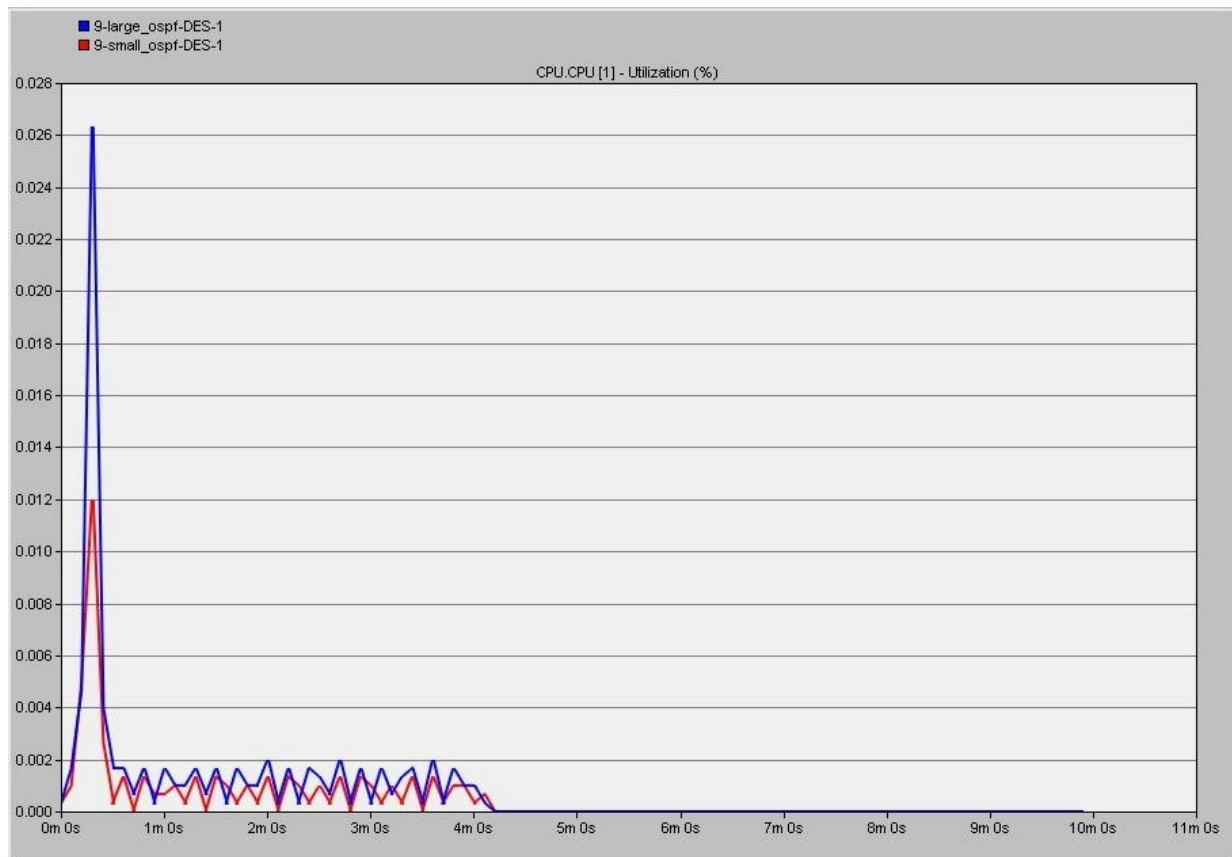
Η **Εικόνα 9** δείχνει τον συνολικό όγκο των μηνυμάτων του OSPF πρωτοκόλλου για τη μικρή και τη μεγάλη τοπολογία. Με τον τρόπο αυτό γίνεται μία εκτίμηση της συμπεριφοράς του πρωτοκόλλου καθώς το δίκτυο μεγαλώνει (scaling effect). Σε πληροφοριακά συστήματα μονάδων υγείας ίσως δεν είναι πιθανό να σημειωθούν μεγάλες αλλαγές στο πλήθος των χρηστών ή στις απαιτήσεις των εφαρμογών. Είναι πάντοτε ωστόσο χρήσιμη η δυνατότητα διαστασιολόγησης που δίνουν τέτοιες μετρήσεις.



Εικόνα 9 - Συνολική κίνηση του πρωτοκόλλου OSPF

Στη μεγαλύτερη τοπολογία το πρωτόκολλο στέλνει σχεδόν οκτώ φορές περισσότερη κίνηση για τις ανάγκες της σύγκλισής του. Είναι επίσης σαφές το LSA flooding που συμβαίνει στα OSPF δίκτυα στη φάση της αρχικής σύγκλισης, ώστε να σχηματιστούν και να συγχρονιστούν τα topology databases σε κάθε κόμβο.

Η **Εικόνα 10** απεικονίζει τη χρησιμοποίηση της CPU στις δύο OSPF τοπολογίες. Η συμπεριφορά εδώ είναι ανάλογη με αυτήν της κίνησης. Οι απαιτήσεις δηλαδή σε υπολογιστικούς πόρους κορυφώνονται για τις ανάγκες της αρχικής σύγκλισης και έπειτα ηρεμούν. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι το ποσοστό χρησιμοποίησης του επεξεργαστή σχεδόν διπλασιάζεται στη μεγάλη τοπολογία.

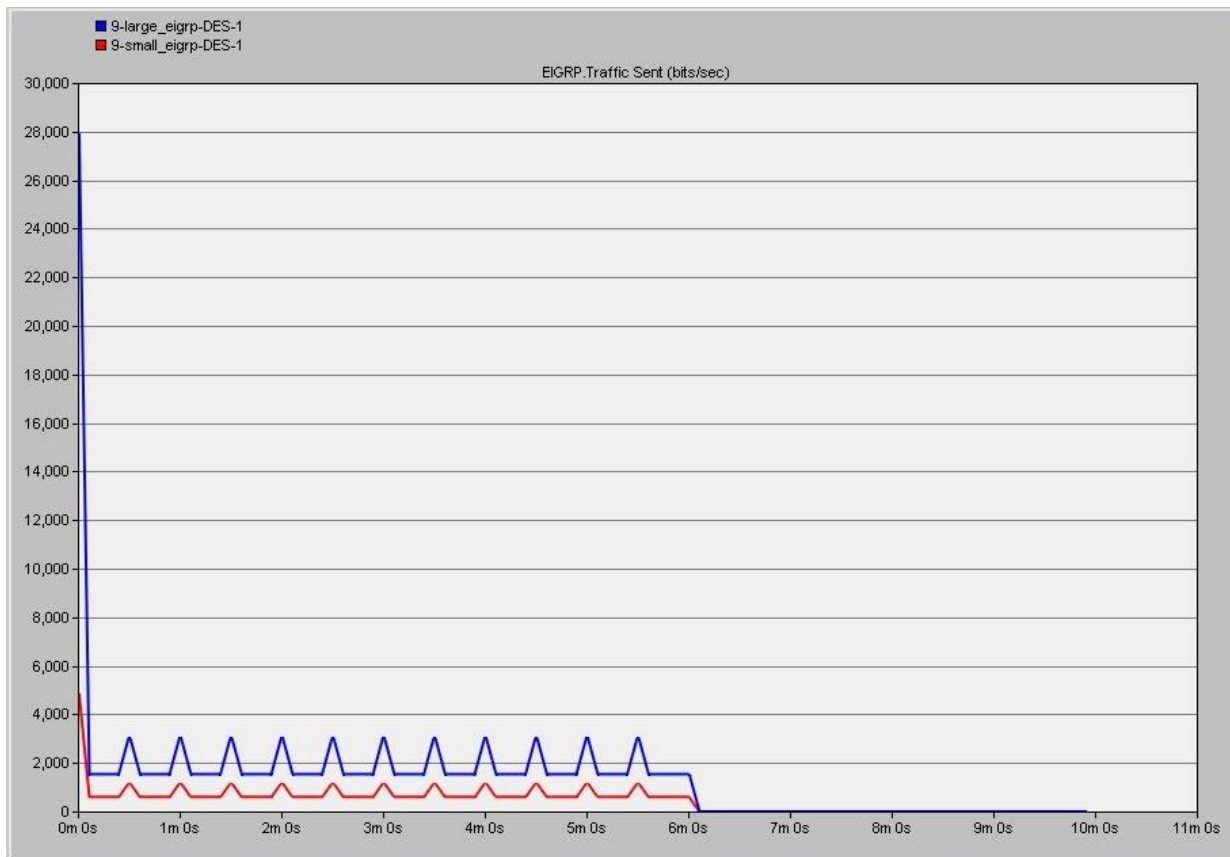


Εικόνα 10 - Χρήση της CPU στις δύο OSPF τοπολογίες

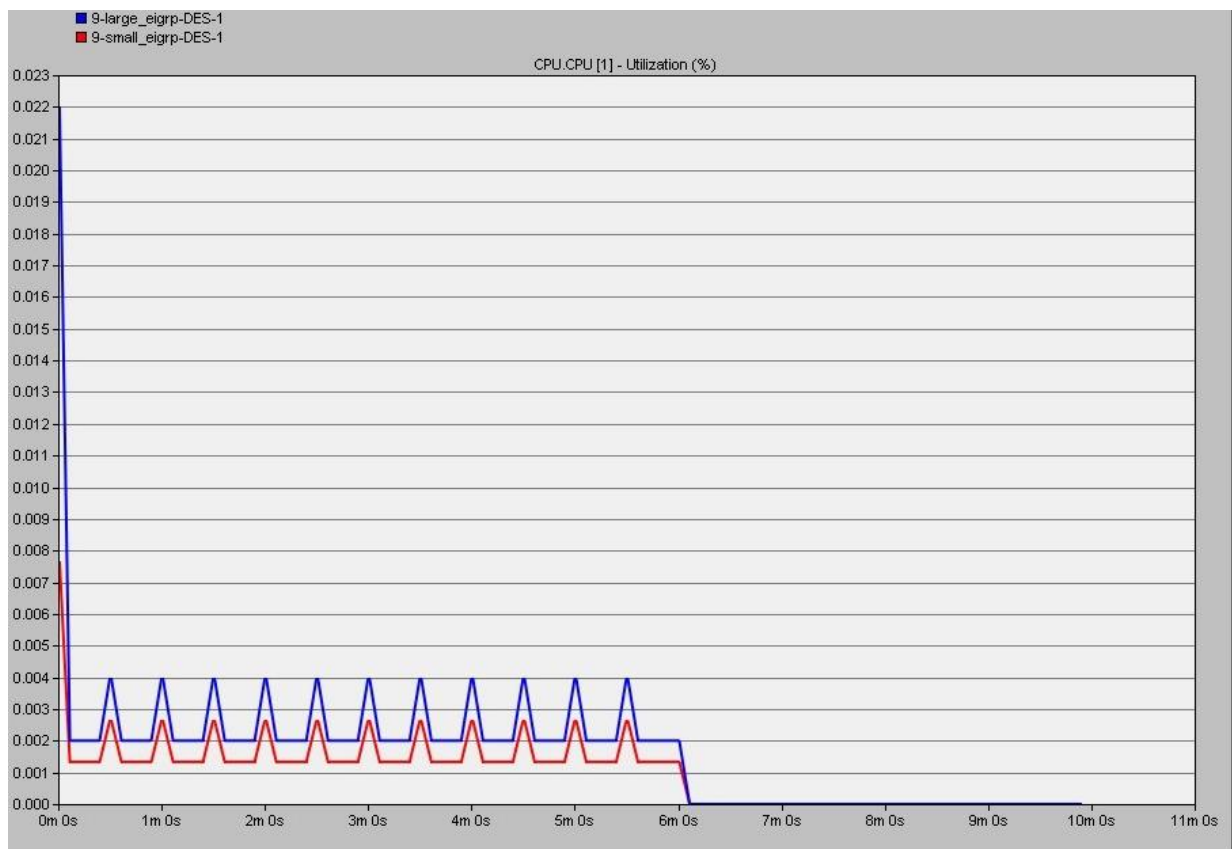
7.4. Κλιμάκωση στο EIGRP

Οι ίδιες ακριβώς μετρήσεις επαναλαμβάνονται για το πρωτόκολλο EIGRP, στη μικρή και στη μεγάλη τοπολογία, όπως δείχνουν οι **Εικόνες 11** και **12**. Η κίνηση που στέλνουν οι EIGRP δρομολογητές είναι περίπου 7 φορές περισσότερη στη μεγάλη τοπολογία, ενώ περίπου τριπλάσια είναι η απαίτηση σε επεξεργαστική ισχύ.

Μπορεί να εξαχθεί εδώ το συμπέρασμα ότι, με διπλασιασμό του πλήθους των κόμβων τα δύο πρωτόκολλα συμπεριφέρονται πρακτικά με τον ίδιο τρόπο, χωρίς κάποιο να έχει εντυπωσιακά καλές ή κακές scaling επιδόσεις. Τονίζεται ότι οι προσομοιώσεις γίνονται σε οριζόντιες, μη ιεραρχικές τοπολογίες.

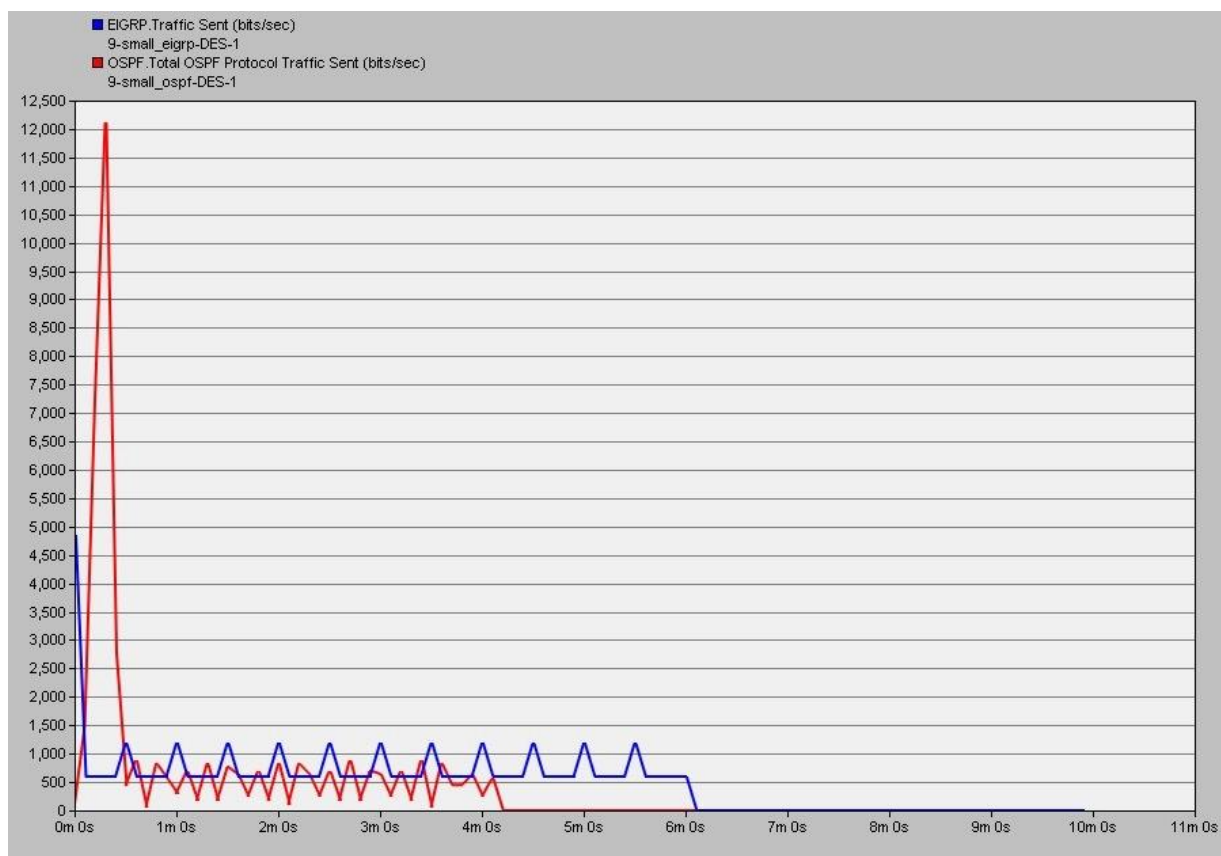


Εικόνα 11 - Συνολική κίνηση του πρωτοκόλλου EIGRP



Εικόνα 12 - Χρήση της CPU στις δύο OSPF τοπολογίες

7.5. Σύγκριση στη Μικρή Τοπολογία

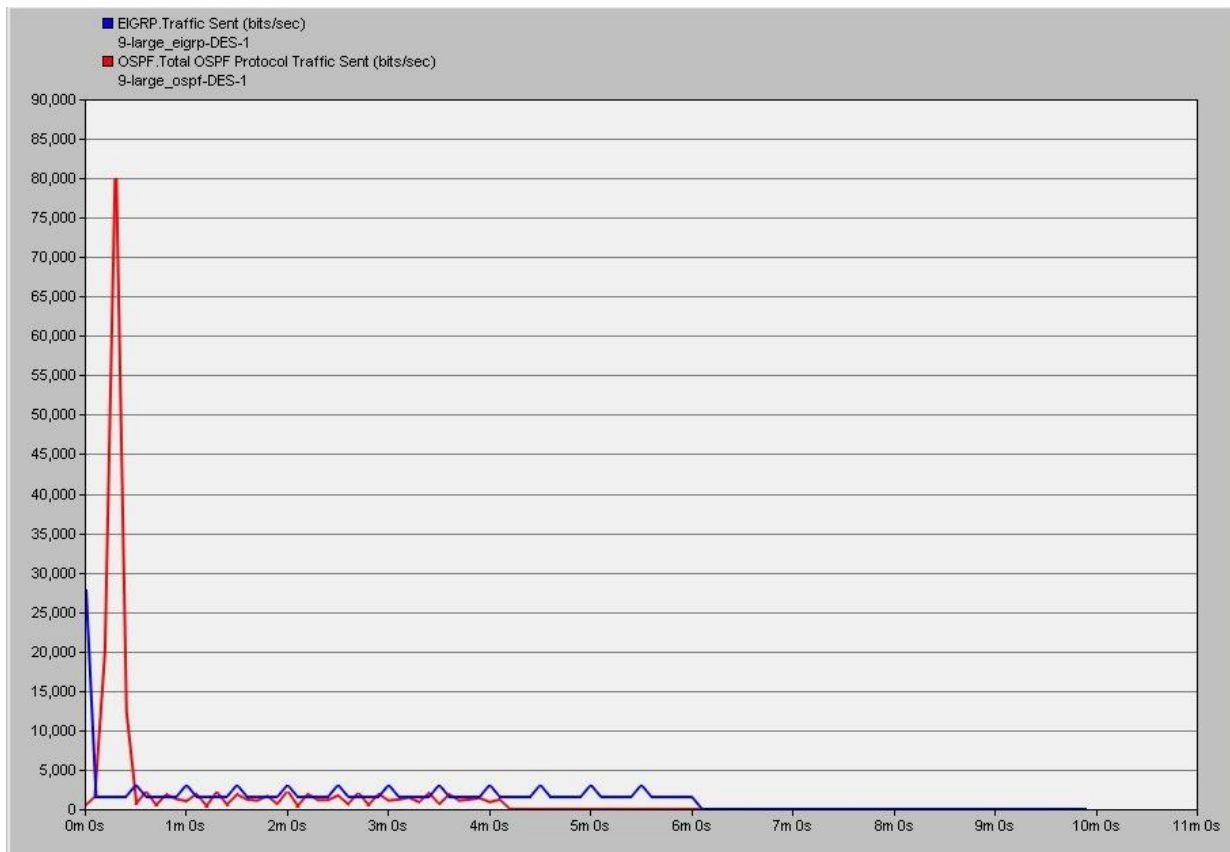


Εικόνα 13 - Κίνηση των δύο πρωτοκόλλων στη μικρή τοπολογία

Η **Εικόνα 13** δείχνει την κίνηση που στέλνουν τα δύο πρωτόκολλα για να επιτύχουν τη σύγκλισή τους στις δύο τοπολογίες (σε bits/sec). Είναι σαφής η υπεροχή του EIGRP, που αναμενόταν χάρη στη distance-vector φύση του. Το OSPF, ως είναι γνωστό, είναι πιο απαιτητικό κατά την αρχική του σύγκλιση, γεγονός που επιβεβαιώνεται στην προσομοίωση.

7.6. Σύγκριση στη Μεγάλη Τοπολογία

Στην **Εικόνα 14** επαναλαμβάνεται η μέτρηση της κίνησης των πρωτοκόλλων στη μεγάλη τοπολογία. Και πάλι το EIGRP υπερέχει. Φαίνεται επίσης ότι και στις δύο περιπτώσεις (μικρή και μεγάλη τοπολογία) το OSPF έχει ανάγκη από περίπου τριπλάσια κίνηση σε σχέση με το EIGRP. Για μη-ιεραρχικά λοιπόν δίκτυα τέτοιου μεγέθους (έως 20 κόμβοι με mesh διασυνδέσεις) το EIGRP δείχνει λιγότερο απαιτητικό σε κίνηση, αλλά και σε CPU.

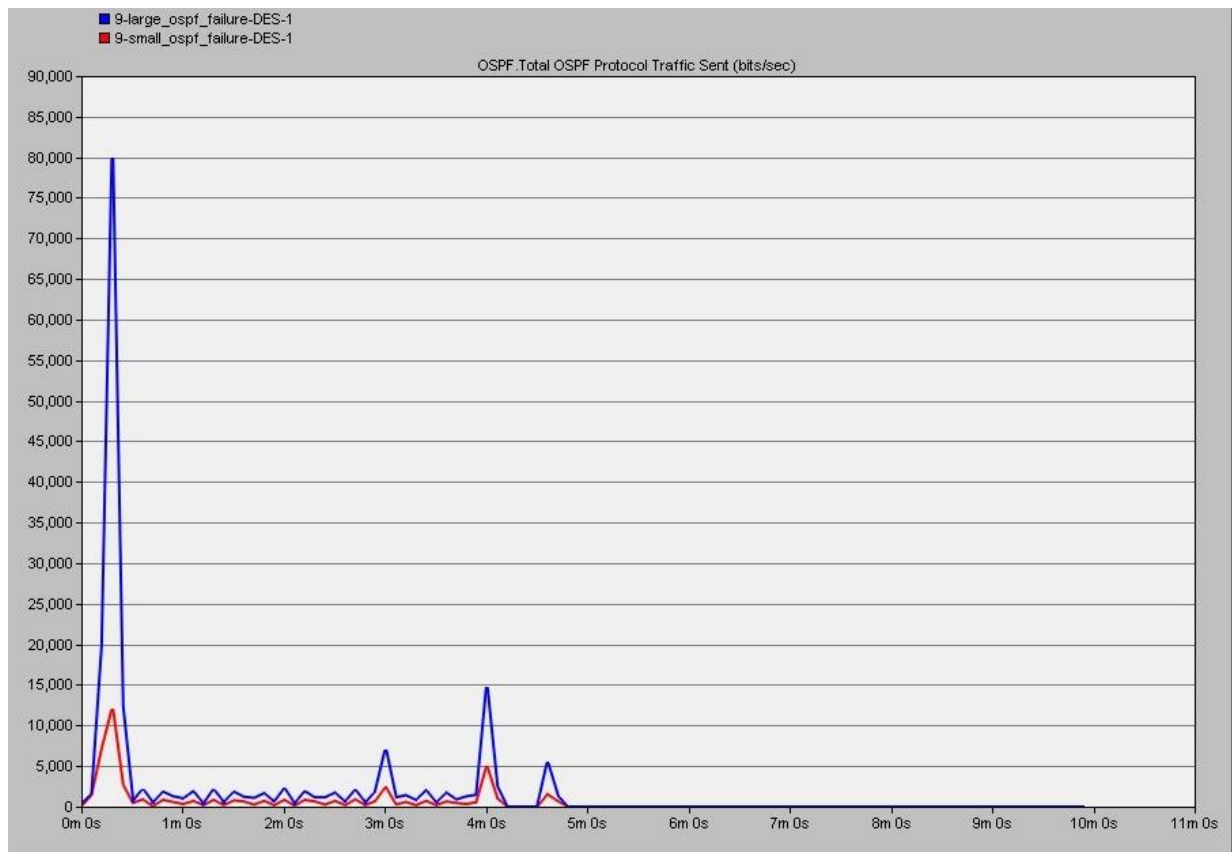


Εικόνα 14 - Κίνηση των δύο πρωτοκόλλων στη μικρή τοπολογία

7.7. OSPF με Αστοχία και Επαναφορά Διασύνδεσης

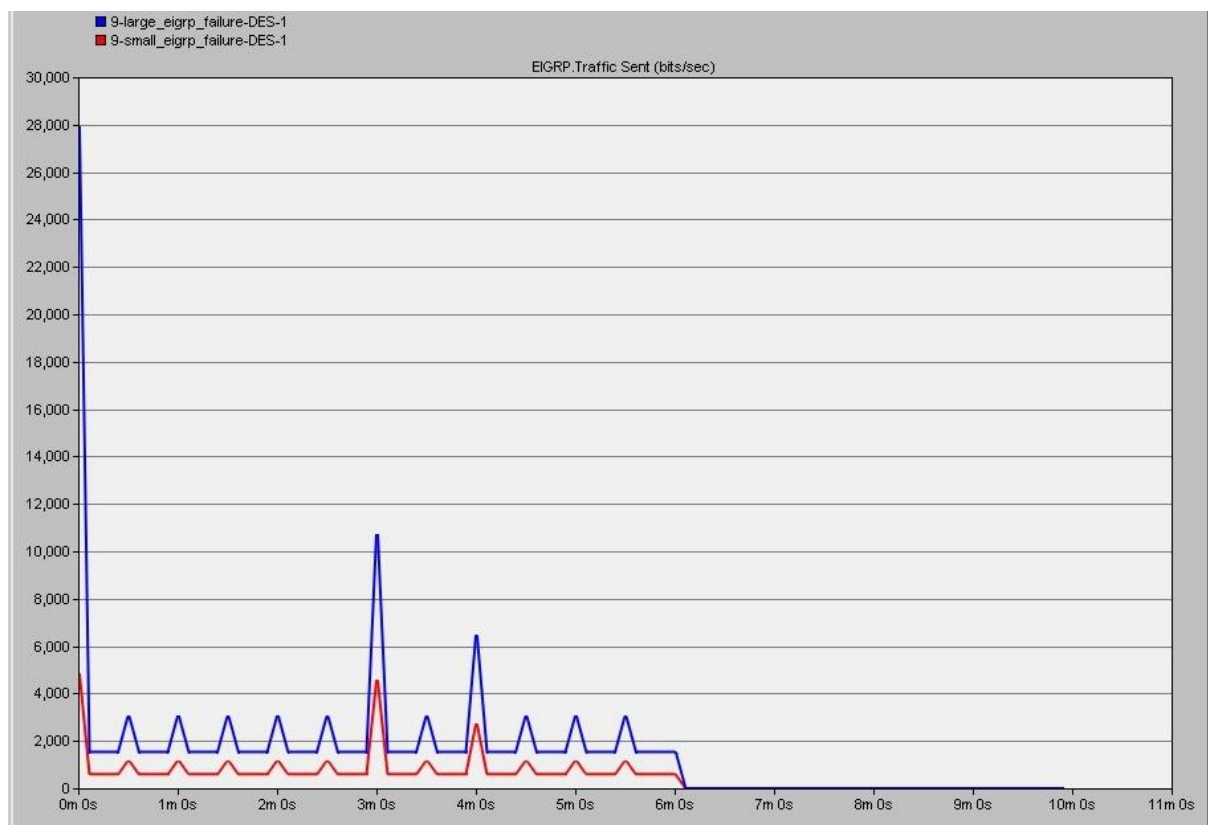
Στην πρώτη ομάδα μετρήσεων το δίκτυο εκκίνησε και αφέθηκε να συγκλίνει χωρίς καμία παρέμβαση ή αλλαγή. Σε αυτή τη δεύτερη φάση, η σύνδεση ανάμεσα στους κόμβους R1 και R2 αστοχεί στα 180 sec και επανέρχεται στα 240 sec. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να εκτιμηθεί η συμπεριφορά των πρωτοκόλλων σε αλλαγές στην τοπολογία (topology changes) σε συνθήκες παραγωγικής λειτουργίας. Εφαρμογές τηλεϊατρικής όπως η απομακρυσμένη απεικόνιση των μεγεθών του ασθενούς ή η απομακρυσμένες επεμβάσεις χαρακτηρίζονται ως εξαιρετικά time-sensitive και ουσιαστικά επιβάλλουν μηδενική απώλεια υπηρεσίας. Τέτοιες υπερ-επιδόσεις βέβαια επιτυγχάνονται όχι μόνο με επιλογή και ρύθμιση πρωτοκόλλων δρομολόγησης, αλλά και με ειδικές τεχνικές σχεδίασης.

Η **Εικόνα 15** δείχνει την κίνηση στο OSPF με την αστοχία και επαναφορά που περιγράφηκε παραπάνω. Είναι σαφείς οι αυξημένες απαιτήσεις του πρωτοκόλλου στο 3^ο και στο 4^ο λεπτό όπου συμβαίνουν οι αλλαγές. Ωστόσο είναι πολύ μικρότερες από τις απαιτήσεις του OSPF κατά τη φάση της αρχικής σύγκλισης.



Εικόνα 15 - Συνολική κίνηση του OSPF με αστοχία και επαναφορά σύνδεσης

7.8. EIGRP με Αστοχία και Επαναφορά Διασύνδεσης



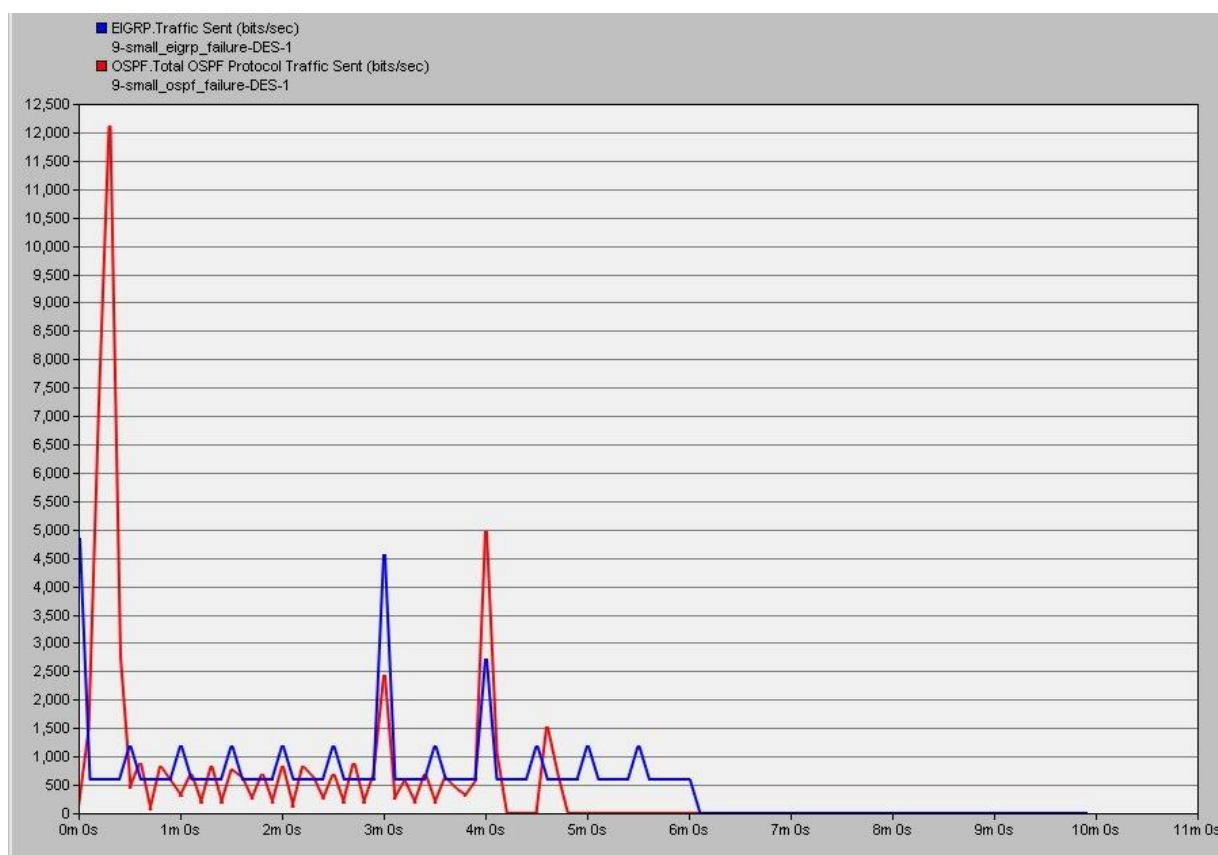
Εικόνα 16 - Συνολική κίνηση του EIGRP με αστοχία και επαναφορά σύνδεσης

Αντίστοιχη είναι η συμπεριφορά του EIGRP (**Εικόνα 16**). Αυτό που εδώ μπορεί να επιβεβαιωθεί, για άλλη μία φορά, είναι ότι το EIGRP δεν έχει την αρχική εκρηκτική (bursty) συμπεριφορά που επιδεικνύει το OSPF.

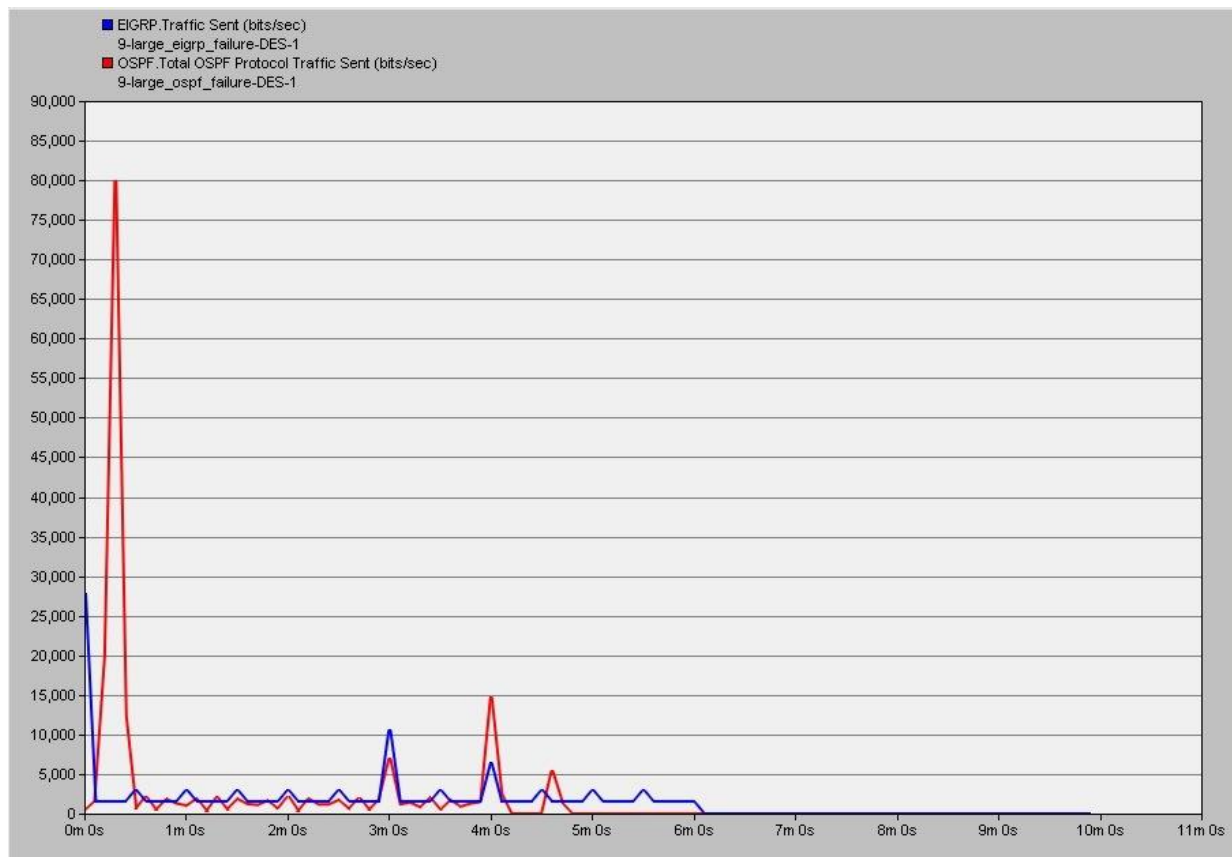
7.9. Σύγκριση με Αστοχία και Επαναφορά Σύνδεσης

Η **Εικόνα 17** δείχνει την κίνηση που δημιουργούν τα δύο πρωτόκολλα στη μικρή τοπολογία, με αστοχία και επαναφορά σύνδεσης, όπως πάντα ανάμεσα στους κόμβους R1 και R2. Το EIGRP εμφανίζεται και εδώ ως το λιγότερο απαιτητικό πρωτόκολλο και μάλιστα το προβάδισμα είναι σαφές.

Οι ίδιες παρατηρήσεις ισχύουν και στη μεγάλη τοπολογία (**Εικόνα 18**), όπου η διαφορά ανάμεσα στα δύο πρωτόκολλα είναι περισσότερο ξεκάθαρη.



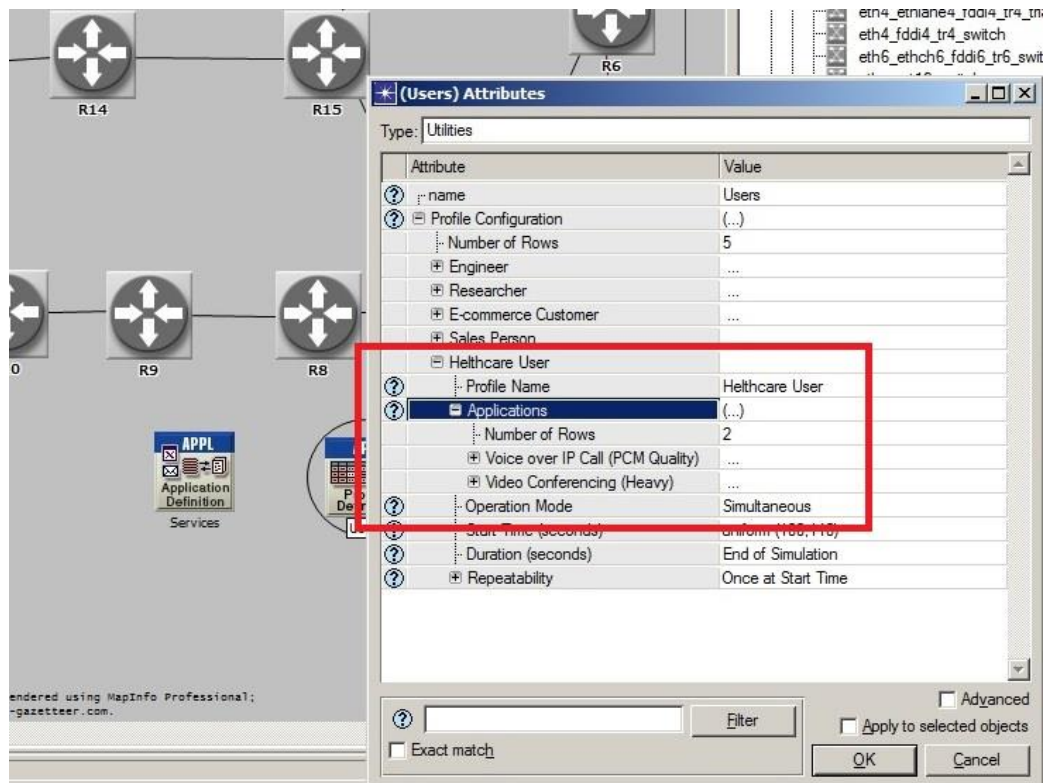
Εικόνα 17 - Σύγκριση στη μικρή τοπολογία με αστοχία και επαναφορά σύνδεσης



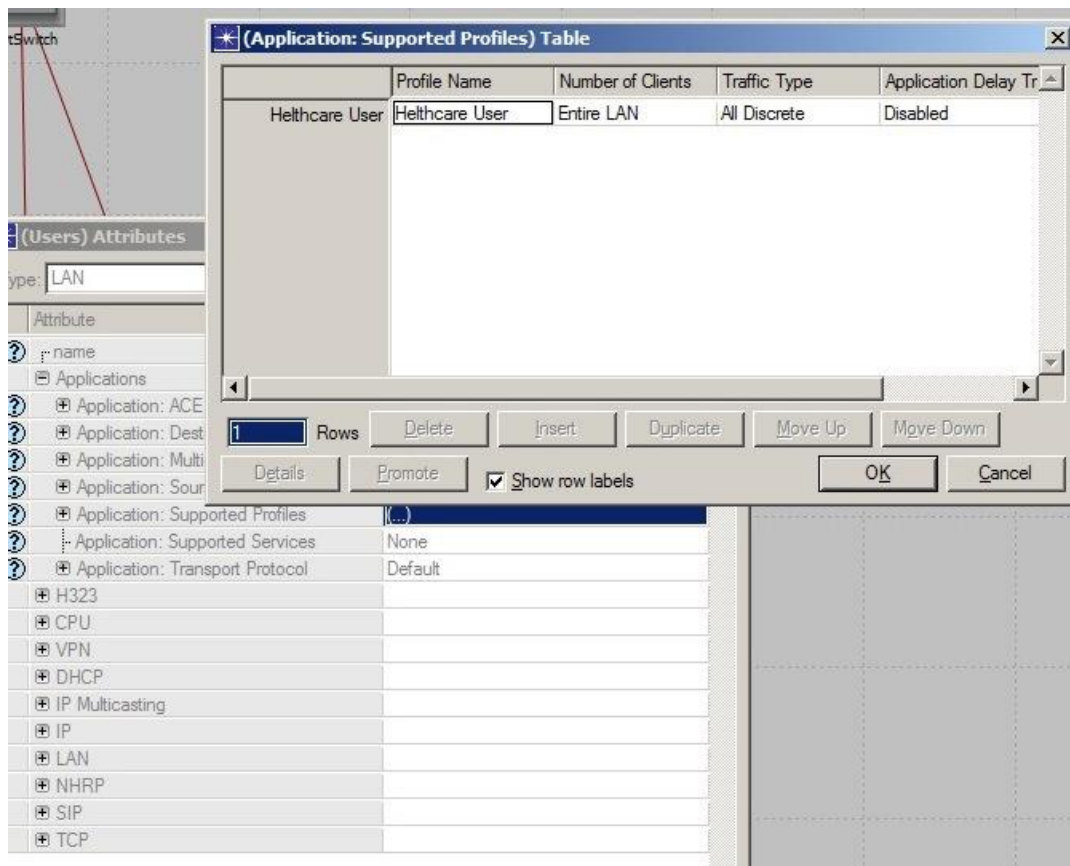
Εικόνα 18 - Σύγκριση στη μεγάλη τοπολογία με αστοχία και επαναφορά σύνδεσης

7.10. Μετρήσεις Φωνής

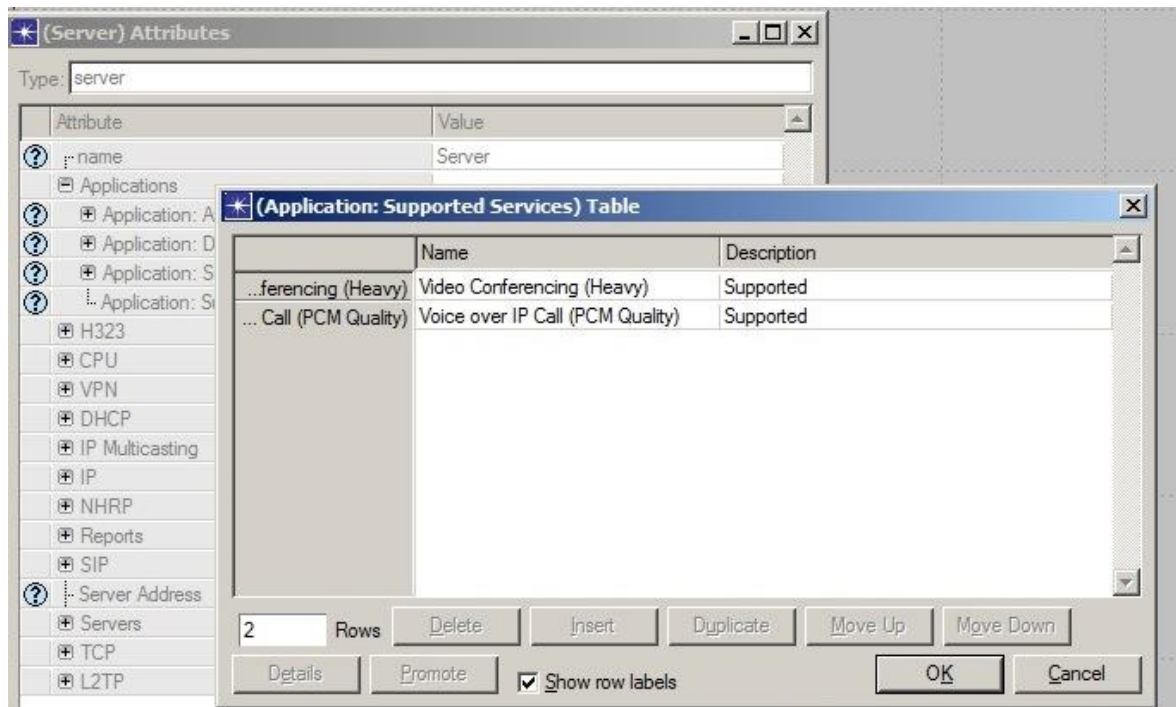
Για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας είναι αναγκαία η εισαγωγή κίνησης χρήστη, ώστε να μετρηθεί, στο μέτρο του δυνατού, η επίδραση των πρωτοκόλλων στην πραγματική, χρήσιμη κίνηση στο δίκτυο. Επιλέχθηκαν δύο είδη κίνησης, με υψηλές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης (bandwidth-intensive) και ευαισθησία στο χρόνο (time-sensitive): φωνή ποιότητας PCM (Voice OverIP, PCM Quality) και βίντεο (Video Conferencing, Heavy). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα κατάλληλα modules του προγράμματος Modeler, και δημιουργήθηκε ένα custom προφίλ χρήστη που να καταναλώνει τα δύο αυτά είδη κίνησης, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 19**. Στο νέο αυτό προφίλ δόθηκε το όνομα HealthcareUser. Το προφίλ HealthcareUser εφαρμόστηκε σε μία ομάδα χρηστών στο ένα άκρο του δικτύου (**Εικόνα 20**), ενώ στο άλλο άκρο συνδέθηκε εξυπηρετητής (**Εικόνα 21**) επιφορτισμένος με τις κινήσεις voice και video.



Εικόνα 19 - Το προσαρμοσμένο προφίλ χρήστη με όνομα HealthcareUser



Εικόνα 20 - Εφαρμογή του προφίλ HealthcareUser



Εικόνα 21 - Τα δύο είδη κίνησης που υποστηρίζονται

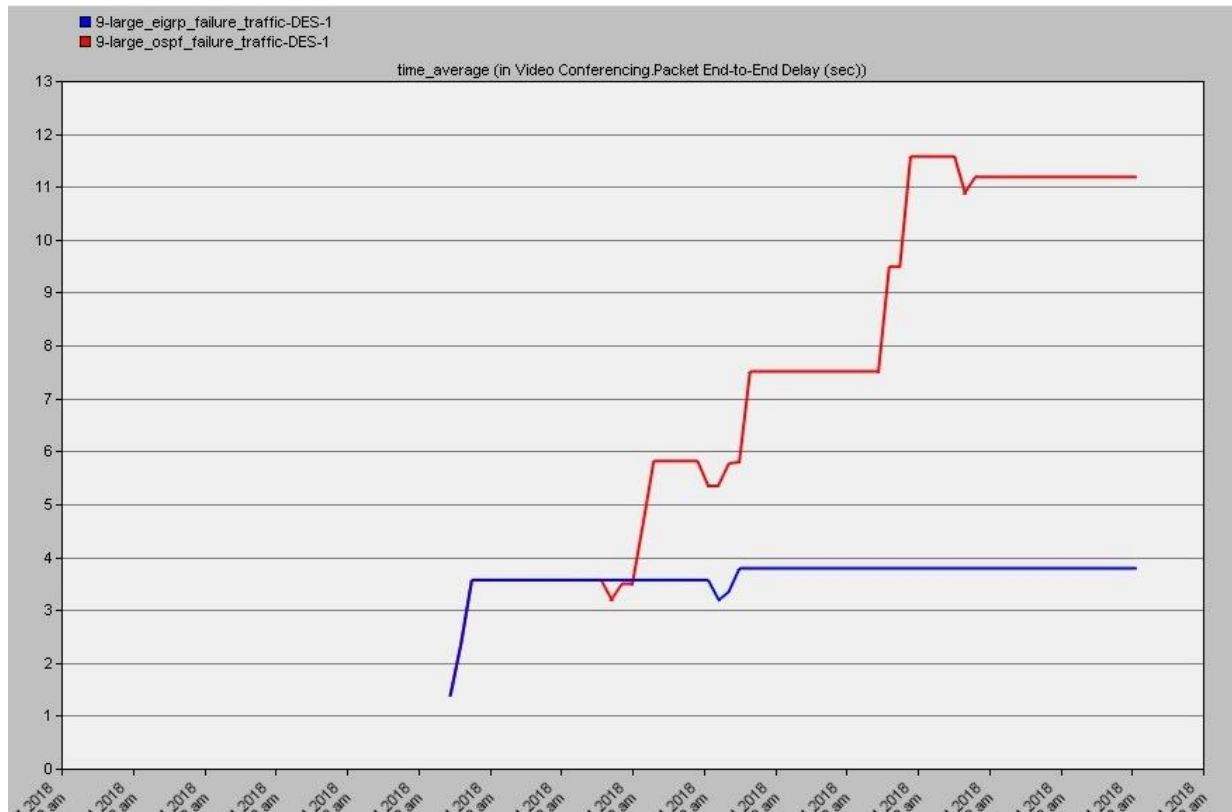
Η **Εικόνα 22** δείχνει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Το μέγεθος που μετρήθηκε είναι το jitter της φωνής για τα δύο πρωτόκολλα στη μεγάλη τοπολογία με αστοχία και επαναφορά γραμμής. Είναι σαφής η υπεροχή του EIGRP που δίνει αισθητά μικρότερο jitter.



Εικόνα 22 - Συγκριτική μέτρηση jitter φωνής

7.11. Μετρήσεις Βίντεο

Ένα από τα πιο βασικά μεγέθη που χαρακτηρίζει την ποιότητα της μετάδοσης βίντεο σε δίκτυα δεδομένων είναι η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση, η οποία και μετρήθηκε για τα δύο πρωτόκολλα στη μεγάλη τοπολογία με αστοχία και επαναφορά της σύνδεσης R1 – R2. Η **Εικόνα 23** δείχνει, και εδώ, την καλύτερη επίδοση του EIGRP.



Εικόνα 23 - Συγκριτική μέτρηση καθυστέρησης πακέτου σε μετάδοση βίντεο

8. Συμπεράσματα

Τα σημερινά δίκτυα δεδομένων υπάρχουν για να εξυπηρετούν τις εφαρμογές, που γίνονται όλο και πιο απαιτητικές σε εύρος ζώνης και λιγότερο ανεκτικές σε καθυστερήσεις. Ειδικότερα, τα πληροφοριακά συστήματα υγείας, για ευνόητους λόγους, αξιώνουν υψηλή διαθεσιμότητα, επίδοση και ασφάλεια. Τα πρωτόκολλα δυναμικής δρομολόγησης είναι βέβαιο ότι δεν καθορίζουν από μόνα τους τη συμπεριφορά των υποδομών, έχουν ωστόσο σημαντικό ρόλο.

Αφού μελετήθηκαν τα δύο πιο σημαντικά σημερινά πρωτόκολλα εσωτερικής πύλης, το OSPF και το EIGRP υλοποιήθηκαν σενάρια προσομοίωσης στο περιβάλλον Riverbed Modeler για την αξιολόγηση της επίδοσής τους, τόσο ατομικά όσο και συγκριτικά. Και τα δύο πρωτόκολλα φάνηκε ότι συμπεριφέρονται καλά όταν το δίκτυο μεγαλώνει, τουλάχιστο στο μέτρο των τοπολογιών και των μετρήσεων που εδώ έγιναν. Ωστόσο, και για τις μη-ιεραρχικές τοπολογίες στις οποίες η μελέτη αυτή περιορίστηκε, ήταν σχεδόν πάντα ξεκάθαρη η υπεροχή του EIGRP.

Η τρέχουσα εργασία ακολούθησε τις δυνατότητες και τους περιορισμούς της τελικής πτυχιακής εργασίας ενός μεταπτυχιακού προγράμματος. Πιο συγκεκριμένα:

- Περιορισμοί χρόνου, στο μέτρο της μέσης διαθεσιμότητας του σπουδαστή του συγκεκριμένου προγράμματος.
- Περιορισμοί τεχνογνωσίας.
- Τεχνικοί περιορισμοί, που απορρέουν από τη χρήση εκπαιδευτικής διανομής της εφαρμογής προσομοίωσης.

Παρά τους περιορισμούς, ήταν δυνατή η εξαγωγή μίας σειράς βασικών συμπερασμάτων, που θα μπορούσαν να επεκταθούν προς τρεις κατευθύνσεις:

- Την επέκταση των μετρήσεων σε περιβάλλον IPv6 κίνησης.
- Την υλοποίηση πιο απαιτητικών τοπολογιών, τόσο από την άποψη του πλήθους των κόμβων όσο και από την άποψη της προς μετάδοση κίνησης.
- Την πιο λεπτομερειακή απεικόνιση των συνιστωσών του πληροφοριακού συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη συγκεκριμένα

χαρακτηριστικά εξοπλισμού, γραμμών, κίνησης κλπ. για μία πραγματικά ρεαλιστική προσομοίωση.

Τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής δε μπορούν βεβαίως να λειτουργήσουν ως 'συνταγές' που ισχύουν σε κάθε εφαρμογή. Υποδεικνύουν όμως έναν τρόπο δουλειάς και μία κατεύθυνση για την εξαγωγή πρακτικών συμπερασμάτων και τη λήψη αποφάσεων κατά περίπτωση.

9. Αναφορές

- (1) Cisco, Enhanced Interior Gateway Routing Protocol; Διαθέσιμο στο: http://docwiki.cisco.com/w/index.php?title=Enhanced_Interior_Gateway_Routing_Protocol&oldid=49107
- (2) Wan-Young Chung W-Y, An S-M, Lee S-C. Real Time Multi-hop Routing Protocol for Healthcare System Based on WSN, IMCS 2012 – The 14th International Meeting on Chemical Sensors; 2012.
- (3) Sundararajan TVP, Sumithra MG, Maheswar, R. A Novel Smart Routing Protocol for Remote Health Monitoring in Medical Wireless Networks - Journal of Healthcare Engineering 2014; · Vol. 5 · No. 1, Page 95–122.
- (4) Cisco Enhanced Interior Gateway Routing Protocol. Διαθέσιμο στο: <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/enhanced-interior-gateway-routing-protocol-eigrp/16406-eigrp-toc.html#eigrpmetrics>
- (5) Fortz B, Rexford J, Thorup, M. Traffic engineering with traditional IP routing protocols, Communications Magazine, IEEE, 2002; 40 (10): 118-124.
- (6) Goyal M, et al. Improving Convergence Speed and Scalability in OSPF: A Survey, Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2012; 14 (2),: 443-463.
- (7) Al-Saud K A, Tahir H M, Saleh M. Impact of MD5 Authentication on Routing Traffic for the Case of: EIGRP, RIPv2 and OSPF, Journal of Computer Science 2008; 4 (9): 721.
- (8) Kaur I, Sharma M. Performance evaluation of hybrid network using EIGRP & OSPF for different applications, International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), 2011; 3 (5): 3950-3960.
- (9) Thorenoor S G. Dynamic routing protocol implementation decision between EIGRP, OSPF and RIP based on technical background using OPNET modeler, Computer and Network Technology (ICCNT). Bangkok, 23-25 April 2010. Bangalore, India: IEEE; 2010.
- (10) Wijaya C. Performance Analysis of Dynamic Routing Protocol EIGRP and OSPF in IPv4 and IPv6 Network. Informatics and Computational Intelligence (ICI). Bandung, 12-14 December 2011. Indonesia: IEEE; 2011.
- (11) Wu B. Simulation Based Performance Analyses on RIPv2, EIGRP, and OSPF Using OPNET, Math and Computer Science Working Papers 2011 (11),: 23.

- (12) Ittiphon K, Suwat P. Link Recovery Comparison between OSPF & EIGRP, International Conference on Information and Computer Networks (ICICN) 2012 27, pp. 192, Singapore: IACSIT Press.
- (13) Shafiul H et al. Performance Evaluation of Dynamic Routing Protocols on Video Streaming Applications, Current Trends in Technology and Science 2013 2 (1): 4.
- (14) Krishnan YN, Shobha G. Performance Analysis of OSPF and EIGRP Routing Protocols for Greener, Internetworking International Conference on Green High Performance Computing (ICGHPC). Nagercoil, 14-15 March 2013. Bangalore, India: IEEE; 2013.
- (15) Jun B, Xiaoxiang L, Jianping W. OSPF performance measurements and scalability study, Wireless and Optical Communications Networks. Bangalore, Beijing: IEEE; 2006.
- (16) Kalyan G P S, Prasad DVV. Optimal selection of Dynamic Routing Protocol with real time case studies, Recent Advances in Computing and Software Systems (RACSS). Chennai, 25-27 April 2012. India: IEEE; 2012.
- (17) Che X, Cobley L J. VoIP Performance over Different Interior Gateway Protocols, International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS) 2009; 1 (1), pp. 34-41.
- (18) Sendra S et al. Study and performance of interior gateway IP routing protocols. Network Protocols and Algorithms, 2011;2 (4), pp. 88-117.
- (19) Doyle J. Dynamic Routing Protocols, In: Doyle, J. Routing TCP/IP (CCIE Professional Development), A detailed examination of interior routing protocols. U.S.A.: Cisco Press, 1; 2001.
- (20) Kurose J F, Ross K W. Computer Networking. 3rdedn. Pearson Education; 2004.
- (21) Medhi D, Ramasamy K. Network Routing: Algorithms, Protocols, and Architectures. Oxford, U.K.: Elsevier Inc; 2007.
- (22) XuZ, DaiS, Garcia-Luna-Aceves JJ. A more efficient distance vector routing algorithm. MILCOM 97 Proceedings, IEEE 1997; (2), pp. 993-997.
- (23) Vutukury S & Garcia-Luna-Aceves J J. (2001) MDVA: A Distance-Vector Multipath Routing Protocol, INFOCOM, Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, IEEE 2001; (1): 557-564.
- (24) Pei D, Massey D, Zhang L. A formal specification for RIP protocol, UCLA CSD Technical Report TR040046; 2004.

- (25) Rakheja P et al. Performance Analysis of RIP, OSPF, IGRP and EIGRP Routing Protocols in a Network. International Journal of Computer Applications 2012; 48 (18), pp. 6-11.
- (26) Liu Y, Reddy A N. A fast rerouting scheme for OSPF/IS-IS networks. 13th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN). 11-13 October 2004, USA: IEEE; 2004.
- (27) Haas Z J, Pearlman M R. The Performance of Query Control Schemes for the Zone Routing Protocol. IEEE/ACM Transactions on Networking (TON) 2001; 9 (4), pp. 427-438.
- (28) Hinds A, Atojoko A, Zhu S Y. Evaluation of OSPF and EIGRP Routing Protocols for IPv6. International Journal of Future Computer and Communication 2013; 2 (4), pp. 287-291.
- (29) Moy J. OSPF Version 2, RFC 2328. Ascend Communications Inc. ;1998.
- (30) Ferguson D, Moy J. OSPF Version 3, RFC 5340. Sycamore Networks, Inc.;2008
- (31) Graziani R, Jonson A. Routing Protocols and Concepts, CCNA Exploration Companion Guide. London: Pearson Education. Companion Guide series; 2008.
- (32) Cisco. OSPF Design Guide. [Online].2005;Διαθέσιμο στο: <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/open-shortest-path-first-ospf/7039-1.html#t6>
- (33) Shamim, F., et al., (2002) Troubleshooting IP Routing Protocols. London: Cisco Press, CCIE Professional Development series.
- (34) Cisco. (2005) Introduction to EIGRP. Διαθέσιμο στο: http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/enhanced-interior-gateway-routing-protocol-eigrp/13669-1.html#eigrp_concepts
- (35) Cisco. (2007) Characteristics of EIGRP Διαθέσιμο στο: http://cisco.edu.mn/CCNA_R&S_3_%28Scaling%20Networks%29/course/module7/7.1.3.1/7.1.3.1.html
- (36) Leahy E. EIGRP – Packets &Neighborships. Διαθέσιμο στο: <http://ericleahy.com/index.php/eigrp-packets-neighborships/>
- (37) Albrightson B, Garcia-Luna-Aceves J J. & Boyle J. (2011) EIGRP – A fast routing Protocol Based on Distance Vectors 2011; pp. 1-13.
- (38) Sankar D, Lancaster D. Routing Protocol Convergence Comparison using Simulation and Real Equipment, Advances in Communications, Computing, Networks and Security 2014; 10, pp. 186-194.

- (39) Ayub N, et al. Performance analysis of OSPF and EIGRP routing protocols with respect to the convergence, European Journal of Scientific Research 2011; 61 (3), pp. 434-447.
- (40) Islam M N, Ashique, M.A.U. Simulation Based EIGRP over OSPF Performance Analysis. Master Thesis in Electrical Engineering Emphasis on Telecommunications 2010; (4983). Blekinge Institute of Technology.
- (41) Prokkola, J. Simulations and Tools for Telecommunications 521365S. 2008; OPNET - Network Simulator. (MSc). University of Oulu.

ΜΔΕ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ ΕΛ. ΙΩΑΝΝΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2018