



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Μελέτη απόδοσης των πρωτοκόλλων OSPFv2 και IS-IS

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Ακριβής Β. Παπαγεωργίου
(141026)

Επιβλέπων : Δρ. Βασίλειος Γκάμας

ΑΘΗΝΑ 2021

Εξεταστική Επιτροπή :

Δρ. Γκάμας Βασίλειος

Καθ. Μπόγρης Αντώνιος

Επ. Καθ. Μυριδάκης Νικόλαος

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Παπαγεωργίου Ακριβή του Βασιλείου, με αριθμό μητρώου cs141026 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα

Παπαγεωργίου Ακριβή



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης εντός ενός αυτόνομου συστήματος (intra-area routing protocols) είναι γνωστά ως πρωτόκολλα εσωτερικής πύλης. Δύο από τα πιο γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης που έχουν χρησιμοποιηθεί για δρομολόγηση μέσα σ' ένα αυτόνομο σύστημα είναι το OSPF και το IS-IS. Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε τόσο με το Open Shortest Path First (OSPF) όσο και με το Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS). Αυτά τα δύο πρωτόκολλα είναι στενά συνδεδεμένα μεταξύ τους και είναι γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης κατάστασης συνδέσμων, που χρησιμοποιούνται για την δρομολόγηση IP πακέτων σε ένα δίκτυο. Σκοπός της εργασίας είναι η αναλυτική παρουσίαση των πρωτοκόλλων OSPFv2 και IS-IS, η αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά τους και η συγκριτική μελέτη τους. Ακόμα, θα μελετηθεί η απόδοση των δύο πρωτοκόλλων, κάνοντας χρήση του λογισμικού προσομοίωσης GNS3.

Η εργασία είναι χωρισμένη σε έξι κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο επισημαίνονται οι κύριες έννοιες σχετικά με τη δρομολόγηση, παρουσιάζεται η έννοια της ιεραρχικής δρομολόγησης αλλά και τα πλεονηκρήματα της. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στα πρωτόκολλα δρομολόγησης και στις κατηγορίες τις οποίες χωρίζονται.

Στο κεφάλαιο δύο περιγράφεται το πρωτόκολλο δρομολόγησης OSPF. Παρουσιάζονται τα δομικά στοιχεία ενός OSPF δικτύου, όπως οι τύποι των δρομολογητών που το αποτελούν και η χρησιμότητά τους, οι τύποι των OSPF πακέτων και οι τύποι των LSAs. Ακόμα, αναλύονται οι κατηγορίες της OSPF δρομολόγησης και επισημαίνονται οι περιφέρειες του OSPF. Περιγράφεται η ανταλλαγή των πληροφοριών δρομολόγησης μέσα σε ένα OSPF δίκτυο και ο τρόπος σύναψης σχέσεων γειτνίασης μεταξύ OSPF δρομολογητών. Επιπρόσθετα παρουσιάζεται συνοπτικά και η έκδοση 3 του OSPF πρωτοκόλλου. Στο κεφάλαιο τρία, παρουσιάζεται το πρωτόκολλο IS-IS, οι περιοχές και η δομή των πακέτων που διαχειρίζεται.

Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται συγκριτική μελέτη των πρωτοκόλλων τόσο σε θεωρητικό όσο και σε εργαστηριακό επίπεδο χρησιμοποιώντας το λογισμικό GNS3. Τέλος, στο κεφάλαιο πέντε αποτυπώνονται τα συμπεράσματα που έχουν προκύψει από την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας και στο κεφάλαιο έξι παρατίθεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

Λέξεις Κλειδιά: OSPF, OSPFv3, IS-IS, πρωτόκολλα, αυτόνομο σύστημα, αλγόριθμος κατάστασης συνδέσμων, αλγόριθμος του Dijkstra, IPv4, περιοχές, πακέτα

ABSTRACT

Intra-area routing protocols are also known as internal gateway protocols. Two of the most well-known routing protocols which are used for routing within an autonomous system are OSPF and IS-IS. In this work we will deal with the Open Shortest Path First (OSPF) and the Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS) routing protocols. These two protocols which are closely related fall under the category of link-state routing protocols and are used to route IP packets to a network. The objective of this work is to present the OSPFv2 and IS-IS protocols, making a reference to their main characteristics. Also, the performance of the two protocols is studied using the GNS3 simulation software.

The work is divided into six chapters. In the first chapter are mentioned some basic concepts about routing, emphasizing the hierarchical routing model and its advantages. Also, routing protocols and their categorization are presented.

Chapter two describes the OSPF protocol. The main characteristics an OSPF network are presented, such as the types of OSPF packets and the types of LSAs. Also, the OSPF routing categories are analyzed and the OSPF regions are identified. This chapter also presents the exchange of routing information within an OSPF network and how relationships are established between OSPF routers. Moreover, the version 3 of the OSPF protocol (OSPFv3) is briefly discussed. Chapter three deals with the IS-IS protocol, presenting its main characteristics including the areas and types of packets used.

The fourth chapter deals with the comparative study of OSPF and IS-IS protocols at both theoretical and laboratory level using GNS3 software. Chapter five reflects the conclusions derived from this study and chapter six includes the literature used.

Key Words: OSPF, OSPFv3, IS-IS, protocols, autonomous system, link-state algorithm, Dijkstra algorithm, IPv4, areas, packets

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την εκτέλεση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξη τους σε όλα τα στάδια της ζωής μου. Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον επιβλέποντα καθηγητή μου, που με καθοδήγησε και μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το θέμα των πρωτοκόλλων δρομολόγησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	Εισαγωγή	11
1.1	Εισαγωγή στη δρομολόγηση	11
1.2	Ιεραρχική δρομολόγηση και Αυτόνομα Συστήματα	14
1.3	Κατηγοριοποιήσεις πρωτοκόλλων δρομολόγησης	15
2	Το πρωτόκολλο OSPF	16
2.1	Ιεραρχικό OSPF	17
2.2	Τύποι OSPF routers	18
2.3	Κατηγορίες OSPF δρομολόγησης	21
2.4	Τύποι LSA (Link State Advertisement)	22
2.5	Περιφέρειες OSPF	26
2.6	Τύποι OSPF πακέτων	27
2.7	Καταστάσεις OSPF Neighbor	29
2.8	OSPFv3	30
3	ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΟ IS-IS	31
3.1	Τύποι IS-IS δρομολογητών	32
3.2	Network Service Access Point (NSAP)	33
3.3	Περιοχές του IS-IS	35
3.4	IS-IS packets	37
4	Συγκριτική μελέτη OSPF και IS-IS	39
4.1	Σύγκριση χαρακτηριστικών σε θεωρητικό επίπεδο	39
4.2	Προσομοίωση στο GNS3	41
5	Συμπεράσματα	58
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Αν ένα πακέτο φύγει από το δίκτυο A και σταλθεί στο δίκτυο E ο δρομολογητής R2 θα πρέπει να γνωρίζει τη διεύθυνση του E καθώς και τη διεύθυνση του επόμενου κόμβου, που είναι ο δρομολογητής R1, μέσω του οποίου θα περάσει το πακέτο για να φτάσει στο δίκτυο E.....	12
Εικόνα 2: Διαχωρισμός περιφερειών και τύποι δρομολογητών.....	18
Εικόνα 3: Τύποι OSPF routers.....	19
Εικόνα 4: Διαδίκτυο αποτελούμενο από 7 δίκτυα.....	20
Εικόνα 5: Ανάλυση μονοπατιών για τον κάθε δρομολογητή ξεχωριστά.....	20
Εικόνα 6: Κατηγορίες OSPF Δρομολόγησης.....	21
Εικόνα 7: Type 1 – Router LSA.....	22
Εικόνα 8: Type 2 – Network LSA.....	22
Εικόνα 9: Type 3 – Summary LSA.....	23
Εικόνα 10: Type 4 – Summary ASBR LSA.....	23
Εικόνα 11: Type 5 – Autonomous System External LSA.....	24
Εικόνα 12: LSA Header.....	25
Εικόνα 13: Transit Area.....	26
Εικόνα 14: Το OSPF πακέτο.....	28
Εικόνα 15: Τύποι δρομολογητών στο πρωτόκολλο IS-IS.....	33
Εικόνα 16: NSAP Address Format.....	33
Εικόνα 17: IS-IS Configuration [6].....	35
Εικόνα 18: Παραμετροποίηση IS-IS στους δρομολογητές [6].....	36
Εικόνα 19: IS-IS Γείτονες [6].....	36
Εικόνα 20: Τοπολογία των 2 πρωτοκόλλων.....	42
Εικόνα 21: Πίνακας δρομολόγησης του R1.....	43
Εικόνα 22: Επιτυχή επικοινωνία δρομολογητή R1 με όλους τους δρομολογητές.....	44
Εικόνα 23 : Επιτυχή επικοινωνία δρομολογητή R2 με όλους τους δρομολογητές.....	44
Εικόνα 24: Επιτυχή επικοινωνία δρομολογητή R3 με όλους τους δρομολογητές.....	45
Εικόνα 25: Packet Loss 15%.....	45
Εικόνα 26: Στον R1 χάνονται πακέτα από το loss που έχει εισαχθεί.....	45
Εικόνα 27: Delay 10ms.....	46
Εικόνα 28: Round-trip time στον R1.....	46
Εικόνα 29: Bandwidth 10kBit/sec.....	47
Εικόνα 30: Ελάχιστο round trip time στον R1.....	47
Εικόνα 31: Πίνακας Δρομολόγησης R1.....	48
Εικόνα 32: Επιτυχή επικοινωνία δρομολογητή R1 με δρομολογητή R3.....	49
Εικόνα 33: Επιτυχή επικοινωνία δρομολογητή R2 με δρομολογητή R3.....	49
Εικόνα 34: Επιτυχή επικοινωνία δρομολογητή R3 με δρομολογητή R1.....	49
Εικόνα 35: Packet Loss 5%.....	50
Εικόνα 36: Στον R1 χάνονται πακέτα από το loss που έχει εισαχθεί.....	50

<i>Εικόνα 37: Delay 15 ms</i>	50
<i>Εικόνα 38: Round trip time στον R1</i>	51
<i>Εικόνα 39: Bandwidth 10000kBit/sec</i>	51
<i>Εικόνα 40: Ελάχιστο round trip time στον R1</i>	51
<i>Εικόνα 41: Packet Loss Chart</i>	52
<i>Εικόνα 42: Delay Chart- Min Round Trip Time</i>	54
<i>Εικόνα 43: Delay Chart- Average Round Trip Time</i>	54
<i>Εικόνα 44: Delay Chart- Max Round Trip Time</i>	55
<i>Εικόνα 45: Bandwidth Chart - Min Round Trip Time</i>	56
<i>Εικόνα 46: Bandwidth Chart - Average Round Trip Time</i>	56
<i>Εικόνα 47: Bandwidth Chart - Max Round Trip Time</i>	57

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

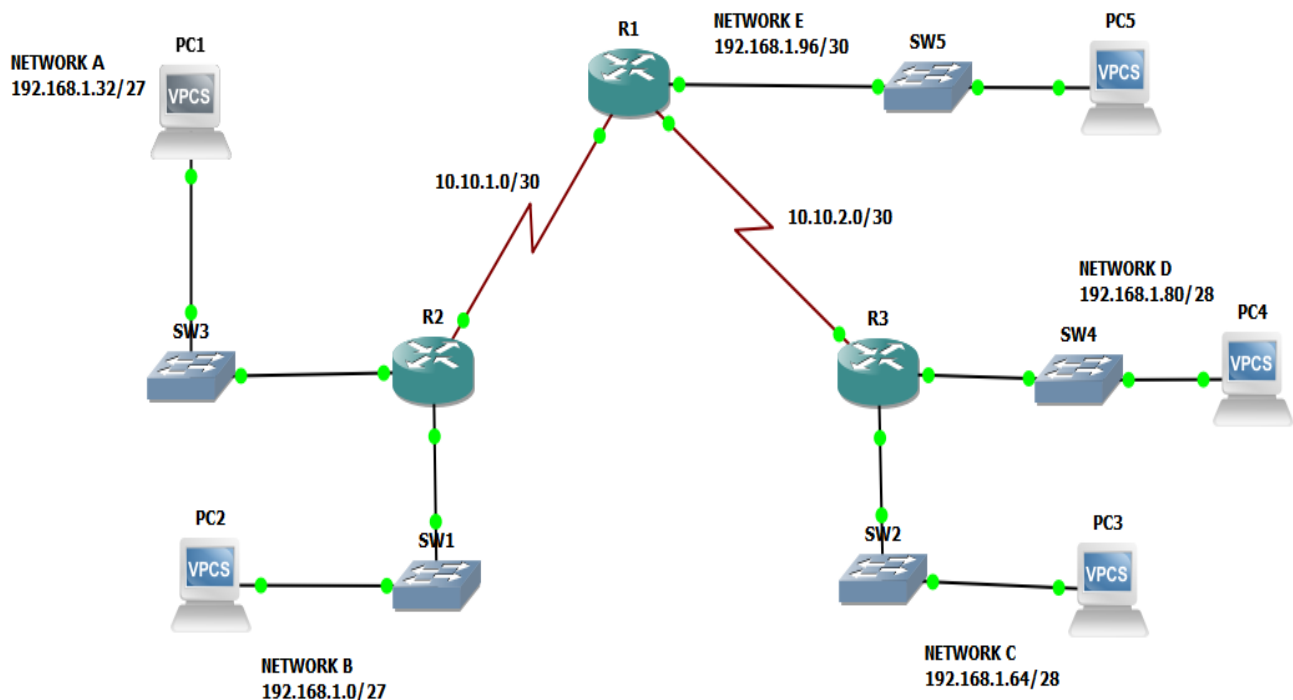
Πίνακας 1: Δημοφιλής παράμετροι TLV	32
Πίνακας 2: Τύποι IS-IS πακέτων	38
Πίνακας 3: Ορολογία OSPF και ISIS.....	41
Πίνακας 4: Success Rate πρωτοκόλλων για Packet Loss 5%-25%	52
Πίνακας 5: Delay - Min, Average, Max Round Trip Time	53
Πίνακας 6: Bandwidth - Min, Average, Max Round Trip Time	55

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Internet έχει γίνει ένα αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μας. Καθημερινά χρησιμοποιούμε πολλές υπηρεσίες όπως video streaming, email και μεταφορά αρχείων. Η λειτουργία αυτών των υπηρεσιών βασίζεται σε πακέτα δεδομένων και τα πρωτόκολλα δρομολόγησης έχουν σημαντικό ρόλο και σκοπό να τα παραδώσουν μέσω του Διαδικτύου. Είναι πολλά τα πρωτόκολλα που υπάρχουν στο δίκτυο IP, αλλά θα αναφερθούμε στο Open Shortest Path First Version 2 (OSPFv2) και στο Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS). Το OSPF και το συγγενικό του IS-IS αναπτύσσονται σήμερα σε διάφορους ISP. Είναι πρωτόκολλα εσωτερικής πύλης (IGP), υιοθετούν τη μέθοδο κατάστασης συνδέσμων και χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο του Dijkstra για να υπολογίσουν συντομότερες διαδρομές. Είναι χρήσιμο να τονίσουμε ότι το OSPF έχει δημιουργηθεί για το IPv4. Λόγω όμως των αυξανόμενων αναγκών για IP διευθύνσεις δημιουργήθηκε το IPv6 το οποίο υποστηρίζει ένα μεγαλύτερο εύρος IP διευθύνσεων. Άρα, αναπτύχθηκε μια νέα έκδοση (3η έκδοση) του OSPF για να μπορεί να χειρίζεται τις μεγαλύτερες σε μήκος διευθύνσεις IPv6.

1.1 Εισαγωγή στη δρομολόγηση

Η διαδικασία με την οποία γίνεται η εκμάθηση αλλά και η επιλογή των διαδρομών ανάμεσα σε συνδεδεμένα δίκτυα μέσα σ' ένα δίκτυο και στη συνέχεια η αποστολή πακέτων δεδομένων, ονομάζεται *δρομολόγηση*. Οι *δρομολογητές (routers)* είναι ηλεκτρονικές συσκευές που συνδέουν τα δίκτυα μεταξύ τους και είναι υπεύθυνοι να υλοποιήσουν αποτελεσματικά την παραπάνω διαδικασία. Ένας δρομολογητής όταν παραλάβει ένα πακέτο για κάποιο προορισμό θα πρέπει να υπολογίσει την βέλτιστη διαδρομή και να το προωθήσει στον επόμενο δρομολογητή. Η διαδικασία αυτή θα συνεχιστεί μέχρι το πακέτο να φτάσει στον τελικό δρομολογητή, ο οποίος και θα το προωθήσει στην μηχανή προορισμού. Η αποτελεσματική δρομολόγηση επιτυγχάνεται από την κατασκευή *πινάκων δρομολόγησης* που κάθε δρομολογητής δημιουργεί και διατηρεί. Αυτός ο πίνακας περιέχει όλες τις διαθέσιμες διαδρομές προς προορισμούς που μπορεί να φτάσει ένας δρομολογητής και ο δρομολογητής με τη σειρά του τις χρησιμοποιεί για να αποφασίσει ποια θα είναι η βέλτιστη διαδρομή για ένα εισερχόμενο πακέτο. Οι διαδρομές αυτές αποτελούνται από τις IP διευθύνσεις του δικτύου, αλλά και από την διεύθυνση του επόμενου κόμβου (next hop) μέσω του οποίου ο δρομολογητής θα πρέπει να στείλει ένα πακέτο. Για παράδειγμα όπως βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα, αν θέλουμε να στείλουμε ένα πακέτο από το δίκτυο A προς το δίκτυο E ο δρομολογητής R2 θα πρέπει να γνωρίζει τη διεύθυνση του E καθώς και τη διεύθυνση του επόμενου κόμβου, που είναι ο δρομολογητής R1, μέσω του οποίου θα περάσει το πακέτο για να φτάσει στο δίκτυο E. [1]



Εικόνα 1: Αν ένα πακέτο φύγει από το δίκτυο A και σταλθεί στο δίκτυο E ο δρομολογητής R2 θα πρέπει να γνωρίζει τη διεύθυνση του E καθώς και τη διεύθυνση του επόμενου κόμβου, που είναι ο δρομολογητής R1, μέσω του οποίου θα περάσει το πακέτο για να φτάσει στο δίκτυο E.

Την επιλογή της καλύτερης διαδρομής την αναλαμβάνει ο αλγόριθμος δρομολόγησης (*routing algorithm*) που χρησιμοποιείται από ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης (*routing protocol*) το οποίο τρέχει στο δρομολογητή. Η επικοινωνία μεταξύ των δρομολογητών γίνεται σύμφωνα με ένα σύνολο κανόνων που περιέχονται στα πρωτόκολλα δρομολόγησης. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης ανταλλάσσουν πληροφορίες που τους επιτρέπουν να μαθαίνουν τις τοπολογίες των δικτύων και να επιλέγουν βέλτιστες διαδρομές για όλους τους προορισμούς στο διαδίκτυο. Για την υλοποίηση αλλά και την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο λειτουργούν τα πρωτόκολλα δρομολόγησης είναι απαραίτητη η αντίληψη των βασικών λειτουργιών των δρομολογητών, των ειδών της δρομολόγησης καθώς και του τρόπου διασύνδεσης των διαφορετικών δικτύων που σχηματίζουν το διαδίκτυο.

Οι δυο πιο βασικές και σημαντικές λειτουργίες ενός δρομολογητή είναι οι εξής :

Πρωώθηση: Είναι η διαδικασία κατά την οποία όταν ένα πακέτο φθάνει στην εισερχόμενη ζεύξη ενός δρομολογητή, και ανάλογα με τη διεύθυνση προορισμού που φέρει το πακέτο, ο δρομολογητής αναζητά στους πίνακες δρομολόγησης την κατάλληλη εξερχόμενη ζεύξη για να το μεταδώσει. Έτσι, η πρωώθηση αναφέρεται στην ενέργεια του δρομολογητή για τη μετάδοση ενός δεδομενογραφήματος (*datagram*) από μια διεπαφή εισερχόμενης ζεύξης προς την κατάλληλη διεπαφή εξερχόμενης ζεύξης.

Δρομολόγηση: Είναι η διαδικασία εκμάθησης της βέλτιστης διαδρομής ενός πακέτου καθώς αυτό μεταδίδεται από έναν αποστολέα σ' έναν παραλήπτη. Έτσι, η δρομολόγηση αναφέρεται στη συνολική

διεργασία σε όλο το δίκτυο, που καθορίζει τις διαδρομές από-άκρο-σε-άκρο, τις οποίες ακολουθούν τα δεδομενογραφήματα από την προέλευση προς τον προορισμό.

Η δρομολόγηση μπορεί να είναι **στατική ή δυναμική**. Στη στατική δρομολόγηση οι πίνακες δρομολόγησης ενημερώνονται χειροκίνητα από το διαχειριστή ενώ στη δυναμική δημιουργούνται και ενημερώνονται δυναμικά μέσω ενός αλγόριθμου δρομολόγησης.

Η στατική δρομολόγηση χρησιμοποιείται συνήθως σε μικρά, σταθερά δίκτυα με απλές τοπολογίες ενώ δεν είναι εφικτή για μεσαία ή μεγάλα δίκτυα επειδή είναι δύσκολος ο προσδιορισμός των διαδρομών για μεγάλο αριθμό δρομολογητών. Είναι απλή, ορίζεται εύκολα και δε χρειάζεται επιπλέον λογισμικό δρομολόγησης. Χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις όπου υπάρχει μόνο μια δικτυακή σύνδεση και μόνο ένας δρομολογητής συνδέει το δίκτυο με το υπόλοιπο Internet. Οι διαδρομές καθορίζονται εκ των προτέρων, δηλαδή υπολογίζονται από τον δρομολογητή όταν αυτός τεθεί σε λειτουργία. Οι διαδρομές δρομολόγησης δεν δημιουργούνται δυναμικά αλλά είναι προκαθορισμένα. Το κύριο μειονέκτημα της είναι ότι κάθε φορά που γίνεται κάποια αλλαγή στο δίκτυο θα πρέπει να προσδιοριστούν ξανά χειροκίνητα οι διαδρομές στους πίνακες, αφού οι δρομολογητές δεν έχουν τη δυνατότητα να προσαρμοστούν από μόνοι τους. Οι πίνακες προώθησης του υπολογιστή υπηρεσίας περιέχουν δύο καταχωρίσεις, μια για το δίκτυο στο οποίο είναι συνδεδεμένος ο υπολογιστής υπηρεσίας και μια προεπιλεγμένη καταχώρηση που οδηγεί την υπόλοιπη κυκλοφορία σε έναν συγκεκριμένο δρομολογητή. Στη στατική δρομολόγηση εντάσσονται η *δρομολόγηση συντομότερης διαδρομής* και η *δρομολόγηση πλημμύρας (flooding)*. [2]

- **Δρομολόγηση συντομότερης διαδρομής** : Κάθε δρομολογητής υπολογίζει τη συντομότερη διαδρομή, δηλαδή υπολογίζονται οι αποστάσεις από κάθε δρομολογητή προς τους γειτονικούς του, προς κάθε προορισμό και βάσει αυτού αποφασίζει σε ποιον δρομολογητή επόμενου βήματος να στείλει το πακέτο IP. Ένας από τους πιο διαδεδομένους αλγόριθμους εύρεσης συντομότερης διαδρομής είναι ο αλγόριθμος Dijkstra.
- **Δρομολόγηση πλημμύρας (flooding)** : κάθε πακέτο στέλνεται σε κάθε εξερχόμενη ζεύξη εκτός από αυτή από την οποία έφτασε. Έτσι, δημιουργούνται άπειρα αντίγραφα του πακέτου και θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για την διακοπή της πλημμύρας.

Αν και υπάρχουν περιπτώσεις όπου ένας δρομολογητής κάνει χρήση στατικής δρομολόγησης, οι περισσότεροι δρομολογητές χρησιμοποιούν *δυναμική δρομολόγηση*. Η *δυναμική δρομολόγηση* χρησιμοποιεί αλγόριθμους δρομολόγησης που εγκλιματίζονται δυναμικά στις αλλαγές του δικτύου. Αυτοί είναι υπεύθυνοι για την κατανόηση και εκμάθηση των διαδρομών αλλά και τη δημιουργία ενημερώσεων στους πίνακες δρομολόγησης για οποιαδήποτε αλλαγή συμβαίνει στο δίκτυο. Επιλέγουν τα βέλτιστα μονοπάτια χρησιμοποιώντας τεχνικές οι οποίες αναλύουν τις εισερχόμενες ενημερώσεις και σύμφωνα με αυτές ορίζουν την βέλτιστη διαδρομή των πακέτων προς κάποιο προορισμό. Κάθε δρομολογητής εκτελεί ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης, το οποίο μαθαίνει για προορισμούς που μπορούν να φτάσουν οι άλλοι δρομολογητές και ενημερώνει τους άλλους δρομολογητές για τους προορισμούς που μπορεί να φτάσει ο ίδιος. Το πρωτόκολλο δρομολόγησης χρησιμοποιεί τις εισερχόμενες πληροφορίες για να ενημερώνει συνεχώς τον τοπικό πίνακα προώθησης.

Καθώς τα δίκτυα διαρκώς μεγαλώνουν και μεταβάλλουν την τοπολογία και τα χαρακτηριστικά τους, η στατική δρομολόγηση έχει αποδειχθεί μη επαρκής και έχει επικρατήσει πλέον η δυναμική. Οι πιο βασικοί

τύποι αλγορίθμων δρομολόγησης είναι ο αλγόριθμος διανυσμάτων απόστασης (distance vector algorithm) και ο αλγόριθμος κατάστασης συνδέσμων (link state algorithm) ή αλγόριθμος του Dijkstra.

Ακόμα, η συνεχόμενη επέκταση των δικτύων δημιούργησε την ανάγκη για τον διαχωρισμό τους σε μικρότερα τμήματα. Σκοπός είναι η αποδοτικότερη διαχείριση της κίνησης από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης. Για να περιοριστεί η κυκλοφορία δρομολόγησης, το Internet χρησιμοποιεί μια ιεραρχία δρομολόγησης. Έτσι, οι δρομολογητές και το διαδίκτυο χωρίζονται σε ομάδες-τμήματα που ονομάζονται **αυτόνομα συστήματα (ΑΣ)**. Όλοι οι δρομολογητές που ανήκουν σε ένα δίκτυο ανταλλάσσουν πληροφορίες δρομολόγησης, οι οποίες στη συνέχεια συνοψίζονται πριν μεταβιβαστούν σε ένα άλλο δίκτυο. [2]

1.2 Ιεραρχική δρομολόγηση και Αυτόνομα Συστήματα

Όπως επισημαίνεται παραπάνω τα δίκτυα συνεχώς επεκτείνονται και αλλάζουν την τοπολογία τους. Είναι λογικό ότι σε ένα μεγάλο δίκτυο θα δημιουργείται πρόβλημα στη σωστή διαχείριση της κίνησης από τη μια άκρη στην άλλη. Καθώς ο αριθμός των δρομολογητών γίνεται μεγάλος, η καθυστέρηση που παρατηρείται τόσο για τον υπολογισμό, όσο και την αποθήκευση και την επικοινωνία των πληροφοριών δρομολόγησης γίνεται απαγορευτική. Το σημερινό διαδίκτυο αποτελείται από εκατομμύρια δρομολογητές. Η αποθήκευση πληροφοριών δρομολόγησης σε κάθε έναν από αυτούς, θα απαιτούσε τεράστιες ποσότητες μνήμης. Ο φόρτος που απαιτείται για εκπομπή ενημερώσεων κατάστασης συνδέσμων ανάμεσα σε όλους τους δρομολογητές μέσα στο διαδίκτυο δε θα άφηνε καθόλου εύρος ζώνης για αποστολή πακέτων. Τα σημερινά πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν μπορούν να διαχειριστούν ολόκληρο το διαδίκτυο σαν να είναι ένα και μόνο απέραντο δίκτυο, οπότε δημιουργήθηκε η ανάγκη για τη διαίρεση των μεγάλων δικτύων σε μικρότερα τμήματα. Έτσι, κυριάρχησε το μοντέλο της **ιεραρχικής δρομολόγησης**.

Αυτά τα προβλήματα μπορούν να επιλυθούν οργανώνοντας τους δρομολογητές σε περιοχές ή αυτόνομα συστήματα (Autonomous Systems, AS). Σε ένα αυτόνομο σύστημα όλοι οι δρομολογητές συνυπάρχουν κάτω από την ίδια διαχειριστική αρχή και έχουν την ίδια πολιτική δρομολόγησης. Για παράδειγμα, ένα αυτόνομο σύστημα μπορεί να αντιστοιχεί σε έναν ISP (Internet Service Provider), μια ολόκληρη εταιρεία ή σε ένα μεγάλο πανεπιστήμιο. Εναλλακτικά, ένας μεγάλος οργανισμός με πολλές τοποθεσίες μπορεί να επιλέξει να ορίσει από ένα αυτόνομο σύστημα για την κάθε τοποθεσία. Ειδικότερα, κάθε ISP αποτελεί συνήθως ένα αυτόνομο σύστημα αλλά είναι δυνατόν ένας μεγάλος ISP να διαιρεθεί σε πολλά αυτόνομα συστήματα.

Τα Αυτόνομα Συστήματα (ΑΣ) εκτελούν όλα τον ίδιο αλγόριθμο δρομολόγησης και έχουν πληροφορίες για τους άλλους κόμβους. Ο αλγόριθμος δρομολόγησης που εκτελείται μέσα σε ένα αυτόνομο σύστημα καλείται πρωτόκολλο δρομολόγησης ενδο-αυτόνομου (intra-area) συστήματος. Ένας ή περισσότεροι δρομολογητές σε ένα ΑΣ είναι υπεύθυνοι για την προώθηση πακέτων σε προορισμούς έξω από το ΑΣ. Αυτοί οι δρομολογητές ονομάζονται δρομολογητές πύλης (gateway routers). [1]

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα της ιεραρχικής δρομολόγησης είναι τα εξής :

- Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν έχουν τη δυνατότητα να διαχειριστούν την κίνηση σε ολόκληρο το διαδίκτυο. Γι' αυτό χωρίζονται σε αυτόνομα συστήματα για να γίνεται εφικτή η δρομολόγηση.

- Η ιεραρχική δρομολόγηση επιτρέπει στο κάθε ΑΣ να ακολουθεί τους δικούς του κανόνες δρομολόγησης σύμφωνα με τις ανάγκες που έχει κάθε οργανισμός.
- Κάνει ευκολότερο τον υπολογισμό των διαδρομών, πιο ευέλικτη την προσαρμογή σε τυχόν αλλαγές και παρέχει μεγαλύτερη αυτονομία στα ΑΣ.
- Η ιεράρχηση μέσα στο ίδιο ΑΣ σε περιφέρειες έχει επίσης πλεονεκτήματα που είναι και πάλι η ευκολία στη διαχείριση, η ευελιξία και η αυτονομία.

1.3 Κατηγοριοποιήσεις πρωτοκόλλων δρομολόγησης

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης κατηγοριοποιούνται σε :

- **Πρωτόκολλα Εσωτερικής Πύλης (Interior Gateway Protocol –IGP) ή Intra-AS**
- **Πρωτόκολλα Εξωτερικής Πύλης (Exterior Gateway Protocol –EGP) ή αλλιώς Inter-AS**

Με τον όρο Πρωτόκολλα Εσωτερικής Πύλης εννοούμε τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν οι δρομολογητές στο εσωτερικό ενός αυτόνομου συστήματος για να ανταλλάσσουν πληροφορίες δρομολόγησης και να υπολογίζουν τις βέλτιστες διαδρομές. Υπάρχουν πολλά διαθέσιμα πρωτόκολλα IGP και κάθε αυτόνομο σύστημα μπορεί να επιλέξει το δικό του. Είναι εύκολα στην εγκατάσταση και τη λειτουργία, όμως μπορούν να περιορίσουν το μέγεθος ή την πολυπλοκότητα δρομολόγησης ενός αυτόνομου συστήματος. Τα πιο γνωστά Intra-AS πρωτόκολλα δρομολόγησης είναι το OSPF (Open Shortest Path First), το RIP (Routing Information Protocol) και το IGRP (Interior Gateway Routing Protocol).

Τα Πρωτόκολλα Εξωτερικής Πύλης είναι τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν οι συνοριακοί δρομολογητές ενός ΑΣ για να ανταλλάσσουν πληροφορίες δρομολόγησης με τους δρομολογητές ενός άλλου ΑΣ. Είναι πιο πολύπλοκα στην παραμετροποίηση και τη λειτουργία αλλά παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία και μικρότερη επιβάρυνση (μείωση κυκλοφορίας), που το επιτυγχάνουν συνοψίζοντας τις πληροφορίες δρομολόγησης που προέρχονται από το αυτόνομο σύστημα πριν τις μεταβιβάσει σε άλλο ΑΣ. Επίσης, το EGP ορίζει περιορισμούς πολιτικής που δίνουν τη δυνατότητα στον διαχειριστή ενός συστήματος να καθορίζει με ακρίβεια ποιες πληροφορίες επιτρέπεται να εξέρχονται από τον οργανισμό. Τα περισσότερα διαδεδομένα Inter-AS πρωτόκολλα δρομολόγησης είναι το EGP (Exterior Gateway Protocol) και το BGP (Border Gateway Protocol).

Ανάλογα με τη μέθοδο δρομολόγησης που χρησιμοποιούν τα πρωτόκολλα δρομολόγησης χωρίζονται σε πρωτόκολλα δρομολόγησης με *διανύσματα απόστασης (distance vector routing protocols)* και σε πρωτόκολλα δρομολόγησης με *κατάσταση συνδέσμων (link state protocols)*.

Τα distance vector πρωτόκολλα δρομολόγησης είναι από τα πρώτα πρωτόκολλα που έχουν δημιουργηθεί. Είναι εύκολα και σχετικά απλά αλλά δεν καλύπτουν πια τις ανάγκες των σημερινών πολύπλοκων δικτύων. Το RIP και το IGRP είναι παραδείγματα πρωτοκόλλων με διανύσματα απόστασης. Αργότερα όμως, καθώς τα ΑΣ εξαπλώνονταν με γρήγορο ρυθμό, η σχεδίαση αυτή αποδείχθηκε ανεπαρκής για τη διαχείριση της δρομολόγησης μέσω των μεγαλύτερων και απαιτητικών δικτύων. Τα link state πρωτόκολλα δρομολόγησης αποδείχθηκαν πιο αποτελεσματικά στη δρομολόγηση μέσα στα μεγάλα και πολύπλοκα δίκτυα. Έτσι, κατευθείαν αντικατέστησαν τα πρώτα. Παραδείγματα τέτοιων πρωτοκόλλων είναι το OSPF, το IS-IS και EIGRP [1],[2].

2 ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ OSPF

Το πρωτόκολλο Open Shortest Path First (OSPF) είναι ένα **Πρωτόκολλο Εσωτερικής Πύλης (Interior Gateway Protocol –IGP)**. Από την ονομασία του πρωτοκόλλου καταλαβαίνουμε ότι είναι ένα **“ανοιχτό” πρωτόκολλο**, δηλαδή υποδηλώνει ότι η προδιαγραφή του είναι **δημόσια διαθέσιμη**. Χρησιμοποιεί όπως αναφέραμε και παραπάνω τον αλγόριθμο κατάστασης συνδέσμων (Link State - LS) για τον υπολογισμό των βέλτιστων διαδρομών και οι ενημερώσεις δρομολόγησης διαδίδονται σε ολόκληρο το ΑΣ μέσω πλημμύρας (flooding). Επιπλέον χρησιμοποιεί τον ελάχιστου κόστους αλγόριθμο δρομολόγησης Dijkstra για τον υπολογισμό των βέλτιστων μονοπατιών δρομολόγησης. Ο αλγόριθμος κατάστασης συνδέσμων απαιτεί περισσότερη μνήμη, περισσότερους υπολογισμούς, έχει μεγαλύτερη δυναμική από τον αλγόριθμο με διανύσματα απόστασης (distance vector) και είναι ευρέως διαδεδομένος και χρησιμοποιούμενος στο Διαδίκτυο.[1] [2] Ουσιαστικά η λειτουργία του αλγόριθμου βασίζεται στο γεγονός ότι ο κάθε κόμβος :

- Ανακαλύπτει τους γείτονες του και μαθαίνει τις διευθύνσεις δικτύου τους.
- Υπολογίζει το κόστος προς κάθε έναν από τους γείτονες του. Το κόστος υπολογίζεται με βάση ένα μέτρο σύγκρισης ή metric που υπάρχει σε κάθε διαδρομή και βοηθάει στην επιλογή της καλύτερης διαδρομής προς κάποιο προορισμό. Η τιμή του metric δείχνει πόσο καλή ή κακή είναι μια σύνδεση (link) και μας καθοδηγεί για το ποια διαδρομή είναι προτιμότερο να ακολουθηθεί. Η μέτρηση του κόστους των επιμέρους link που σχηματίζουν μια διαδρομή δίνει το συνολικό κόστος της διαδρομής. Όσο μικρότερο είναι το κόστος τόσο καλύτερη είναι η διαδρομή. Τοποθετεί την παραπάνω πληροφορία μέσα σε **πακέτα LSPs (Link State Packets)**.
- Στέλνει τα LSPs στους γείτονες του και όλοι οι κόμβοι μαθαίνουν την πλήρη τοπολογία του δικτύου.
- Τρέχει τον αλγόριθμο του Dijkstra για να υπολογίσει το συντομότερο μονοπάτι προς κάθε άλλο δρομολογητή.

Για οποιαδήποτε αλλαγή ενημερώνει όλους τους κόμβους του δικτύου αλλά λαμβάνει και πληροφορίες από όλους τους κόμβους για την κατάσταση των ζεύξεων. Οι OSPF αγγελίες μεταδίδονται σε όλο το ΑΣ, μεταφέρονται σε OSPF αυθεντικοποιημένα μηνύματα πάνω από το πρωτόκολλο IP. Υποστηρίζει την ανάθεση μετρικών (δηλαδή το κόστος δρομολογίου) από τους διαχειριστές του δικτύου.

Σήμερα χρησιμοποιούνται 2 εκδόσεις του πρωτοκόλλου, η OSPFv2 και η OSPFv3. Η OSPFv2 υποστηρίζει τη δρομολόγηση **IPv4** πακέτων και περιγράφεται στο RFC 2328. Η OSPFv3 υποστηρίζει τη δρομολόγηση πακέτων **IPv6** και περιγράφεται στο RFC 2740. Το OSPF τρέχει πάνω από το πρωτόκολλο IP που σημαίνει ότι τα OSPF πακέτα μεταδίδονται με την IP επικεφαλίδα. Η τιμή του protocol field στην επικεφαλίδα για το OSPF είναι 89. [9]

Στο OSPF, ο δρομολογητής σχεδιάζει έναν πίνακα τοπολογίας, δηλαδή ένα γράφημα ολόκληρου του αυτόνομου συστήματος. Ο δρομολογητής τρέχει τοπικά τον αλγόριθμο του Dijkstra για να καθορίσει ένα δέντρο ελάχιστης διαδρομής σε όλα τα υποδίκτυα, με τον εαυτό του ως αρχικό κόμβο. Τα κόστη των ζεύξεων παραμετροποιούνται από το διαχειριστή του δικτύου. Ο διαχειριστής μπορεί μετά από επιλογή να ορίσει όλα τα κόστη σε 1, επιτυγχάνοντας έτσι τη διαδρομή με τα μικρότερα μονοπάτια. Το OSPF

παρέχει τους μηχανισμούς για τον καθορισμό της διαδρομής ελαχίστου κόστους, αλλά δεν επιβάλλει πολιτική για το πως ορίζονται τα βάρη στις ζεύξεις.

Στο OSPF, ένας δρομολογητής μεταφέρει τις απαραίτητες πληροφορίες δρομολόγησης (για παράδειγμα, ποιο πρωτόκολλο του έχει εφαρμοσθεί και με ποια δίκτυα είναι συνδεδεμένος ο δρομολογητής) σε όλους τους δρομολογητές στο αυτόνομο σύστημα. Ένας δρομολογητής εκπέμπει πληροφορίες κατάστασης ζεύξης κάθε φορά που υπάρχει αλλαγή στο δίκτυο (για παράδειγμα, μια αλλαγή σε κόστος ή στην κατάσταση της ζεύξης up/down). Μεταφέρει περιοδικά τις πληροφορίες κατάστασης ζεύξης (τουλάχιστον μία φορά κάθε 30 λεπτά), ακόμη και όταν η κατάσταση της ζεύξης δεν έχει υποστεί κάποια αλλαγή. Το RFC 2328 υποστηρίζει ότι "αυτή η περιοδική ενημέρωση των διαφημίσεων κατάστασης ζεύξης προσθέτει σταθερότητα στον αλγόριθμο". Οι διαφημίσεις OSPF περιέχονται σε μηνύματα OSPF που μεταδίδονται μέσω IP. Έτσι, η αξιόπιστη μεταφορά μηνυμάτων και η μετάδοση της κατάστασης ζεύξης είναι βασικές λειτουργίες τα οποία το OSPF πρέπει να εφαρμόσει. Ακόμα, το πρωτόκολλο OSPF ελέγχει αν οι ζεύξεις είναι λειτουργικές (αποστέλλοντας μηνύματα HELLO στους γείτονες) και επιτρέπει σε ένα δρομολογητή να πάρει μια βάση δεδομένων γειτονικού δρομολογητή για την κατάσταση των ζεύξεων σε ολόκληρο το δίκτυο.

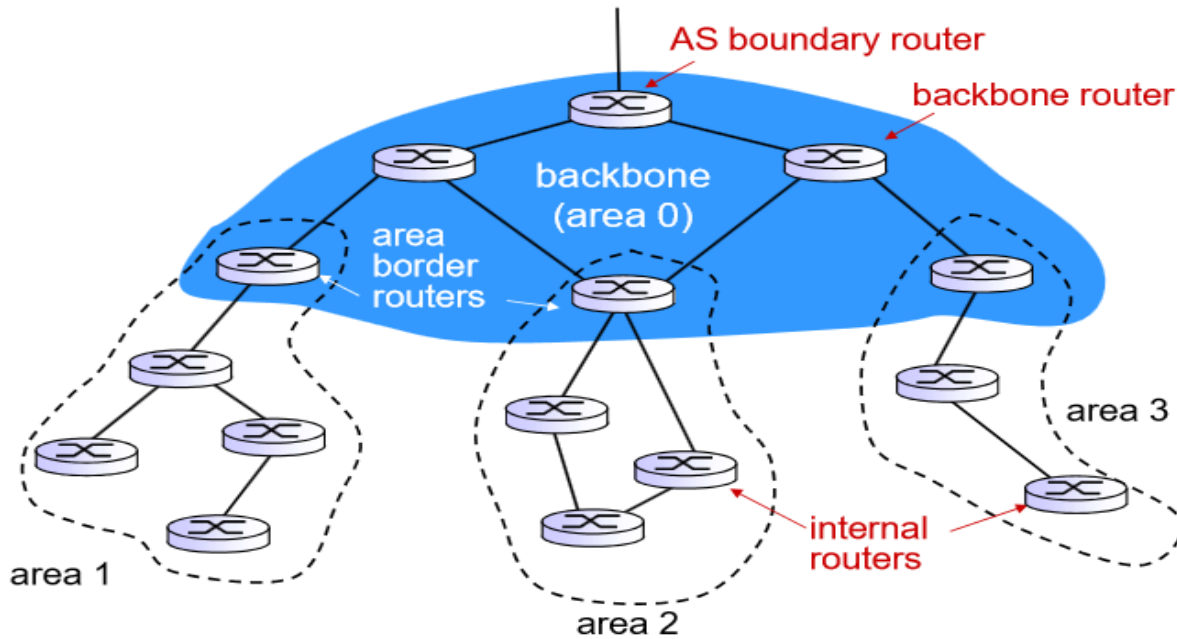
Ορισμένα από τα βελτιωμένα χαρακτηριστικά που ενσωματώνονται στο OSPF είναι τα εξής: [1]

- **Ασφάλεια:** Τα μηνύματα του OSPF μπορούν να αυθεντικοποιηθούν, δηλαδή μόνο έμπιστοι δρομολογητές επιτρέπεται να συμμετέχουν στο πρωτόκολλο OSPF για την αποφυγή κακόβουλων εισβολών. Τα πακέτα OSPF μεταξύ δρομολογητών δεν αυθεντικοποιούνται και μπορούν να πλαστογραφηθούν. Υπάρχουν δύο τύποι αυθεντικοποίησης που μπορούν να διαμορφωθούν, ο απλός και ο MD5. Είναι προφανές ότι ο απλός έλεγχος ταυτότητας δεν είναι πολύ ασφαλής. Η αυθεντικοποίηση MD5 βασίζεται σε μυστικά κλειδιά που έχουν οριστεί σε όλους τους δρομολογητές. Χρησιμοποιούνται αριθμοί ακολουθίας μαζί με το MD5 για να υπάρχει προστασία από επαναλαμβανόμενες επιθέσεις (replay attacks).
- **Δυνατότητα πολλαπλών διαδρομών ίδιου κόστους,** δηλαδή μία μόνο διαδρομή για τη μεταφορά τις κίνησης.
- **Υποστήριξη μονοεκπομπής και πολυεκπομπής (unicast/multicast).** Το Multicast OSPF (MOSPF), χρησιμοποιεί την ίδια τοπολογία με το OSPF.
- **Υποστήριξη ιεραρχικού OSPF** σε μεγάλους τομείς (domains).

2.1 Ιεραρχικό OSPF

Όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 2 χωρίζουμε το δίκτυο σε περιφέρειες (area 0, area 1, area 2, area 3) και κάθε μια από αυτές αναγνωρίζεται από ένα μοναδικό id. Κάθε δρομολογητής είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να γνωρίζει ακριβώς ποιοι άλλοι δρομολογητές ανήκουν στην περιφέρεια του. Εκτός από την ανταλλαγή μηνυμάτων και πληροφοριών μέσα στην περιφέρεια, το OSPF επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ περιφερειών. Ένας δρομολογητής σε κάθε περιφέρεια μπορεί να επικοινωνεί με δρομολογητή σε άλλες περιφέρειες και αυτοί οι δύο δρομολογητές μπορούν να συνοψίσουν τις πληροφορίες δρομολόγησης που έχουν μάθει από άλλους δρομολογητές και στη συνέχεια ανταλλάσσουν αυτή τη σύνοψη [2]. Ακόμα, στο σχήμα μπορούμε να ξεχωρίσουμε τους τύπους των OSPF routers - AS boundary

router, backbone router, area border router, internal router- (αναλύονται παρακάτω). Τα δύο βασικά επίπεδα ιεραρχίας είναι η τοπική περιφέρεια και η περιφέρεια κορμού, όπου κάθε κόμβος έχει ολοκληρωτική εικόνα της τοπολογίας της περιφέρειας στην οποία ανήκει. Επίσης, κάθε κόμβος γνωρίζει τις διαδρομές προς τα δίκτυα άλλων περιφερειών και όλες οι τοπικές περιοχές πρέπει να συνδέονται στην περιφέρεια κορμού (area 0).



Εικόνα 2: Διαχωρισμός περιφερειών και τύποι δρομολογητών

2.2 Τύποι OSPF routers

Είναι σημαντικό να δώσουμε έμφαση και στις κατηγορίες των OSPF δρομολογητών. Χωρίζονται σε :

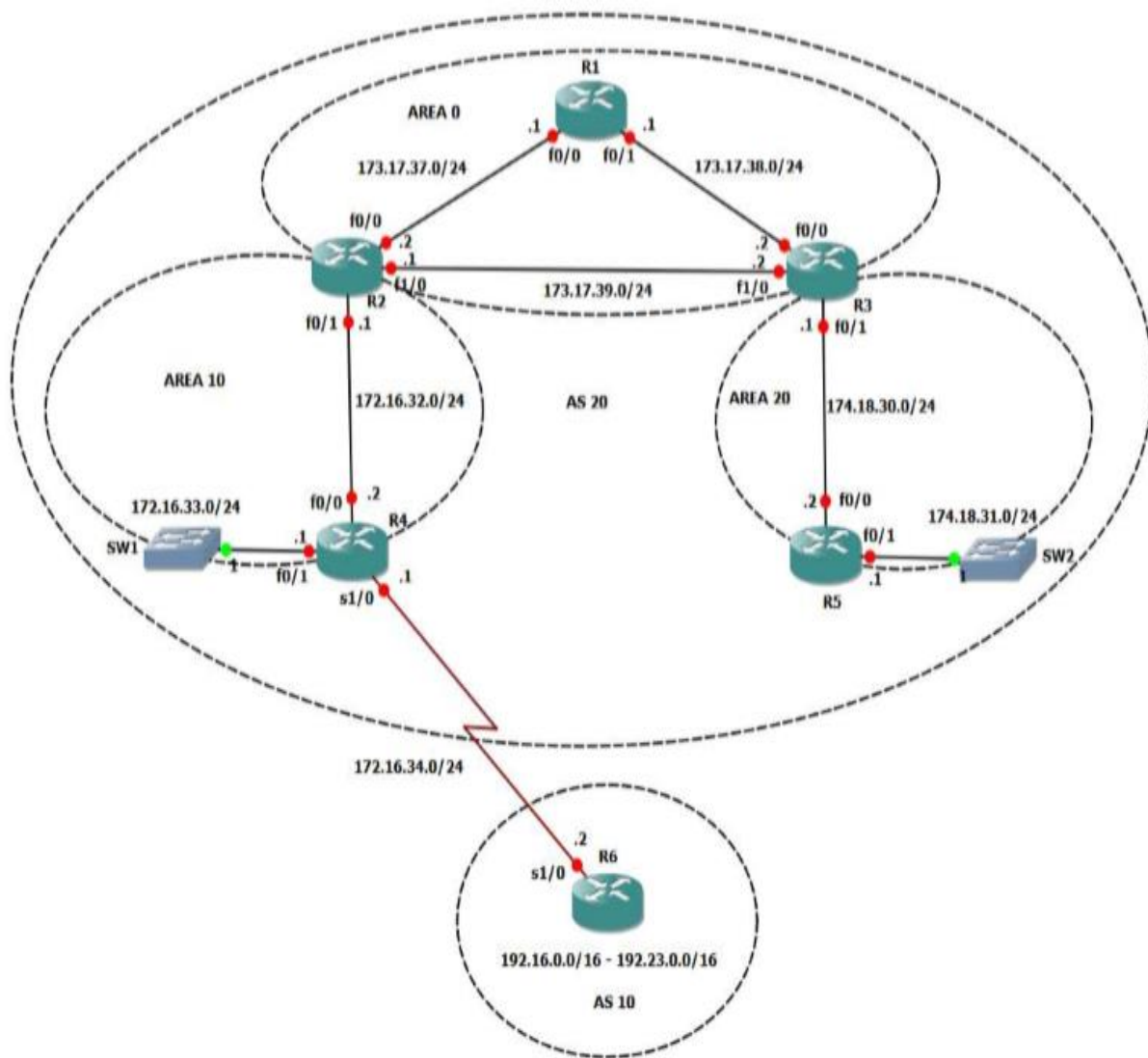
Internal Router -> Όλα τα interfaces του δρομολογητή είναι συνδεδεμένα στην ίδια περιοχή, εσωτερικός δρομολογητής μιας περιφέρειας.

Backbone router -> Τουλάχιστον ένα interface συνδεδεμένο στην Area 0 (δίκτυο κορμού), δηλαδή εκτελεί την OSPF δρομολόγηση στην περιφέρεια κορμού.

Area Border Router -> Ανήκει σε δύο ή και περισσότερες περιοχές από τις οποίες η μια είναι οπωσδήποτε η backbone area. Συνδέεται σε διαφορετικές περιοχές, συνοψίζει τις διαδρομές προς τα δίκτυα της περιφέρειας του και τα διαφημίζει σε άλλους Area Border Routers. Μια περιοχή μπορεί να έχει έναν ή περισσότερους ABRs.

Autonomous System Boundary Router -> Τουλάχιστον ένα interface συνδεδεμένο σε άλλο ΑΣ, διασυνδέεται δηλαδή με άλλα ΑΣ. Έχει τη δυνατότητα να εισάγει και να εξάγει τις πληροφορίες δρομολόγησης από άλλα ΑΣ ακόμα και αν δε χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο OSPF. Αυτό συμβαίνει γιατί ο ASBR μεταφράζει αυτή την πληροφορία σε μορφή που να μπορούν να την επεξεργαστούν οι δρομολογητές στις περιοχές του ΑΣ που ανήκει.

Με το παρακάτω σχήμα μπορούμε εύκολα να καταλάβουμε όλους τους τύπους OSPF δρομολογητών. Ο R1 θεωρείται Backbone δρομολογητής γιατί συνδέεται σε περιφέρεια κορμού (Area 0) αλλά και Internal router επειδή όλα τα interfaces του είναι συνδεδεμένα στην ίδια Area. Οι R2 και R3 είναι Area Border Router επειδή συνδέονται σε δυο διαφορετικές περιφέρειες (Area 10 & Area 20 αντίστοιχα) αλλά και Backbone γιατί συνδέονται στην περιφέρεια κορμού (Area 0). Ο R5 είναι Internal router γιατί τα interfaces του είναι συνδεδεμένα στην ίδια περιφέρεια. Οι R4 και R6 θεωρούνται Autonomous System Boundary Routers γιατί έχουν τουλάχιστον ένα interface συνδεδεμένο σε άλλο ΑΣ.

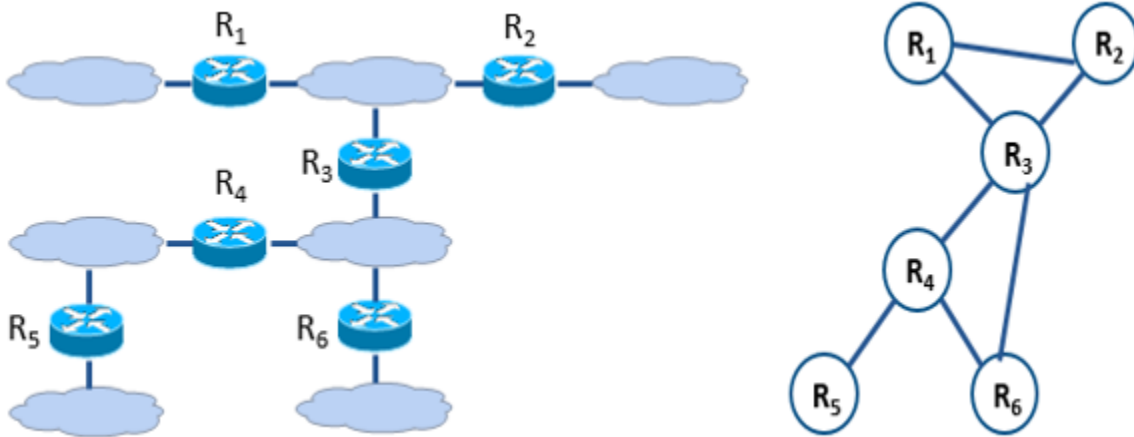


Εικόνα 3: Τύποι OSPF routers

Παραδείγματα Γράφων OSPF

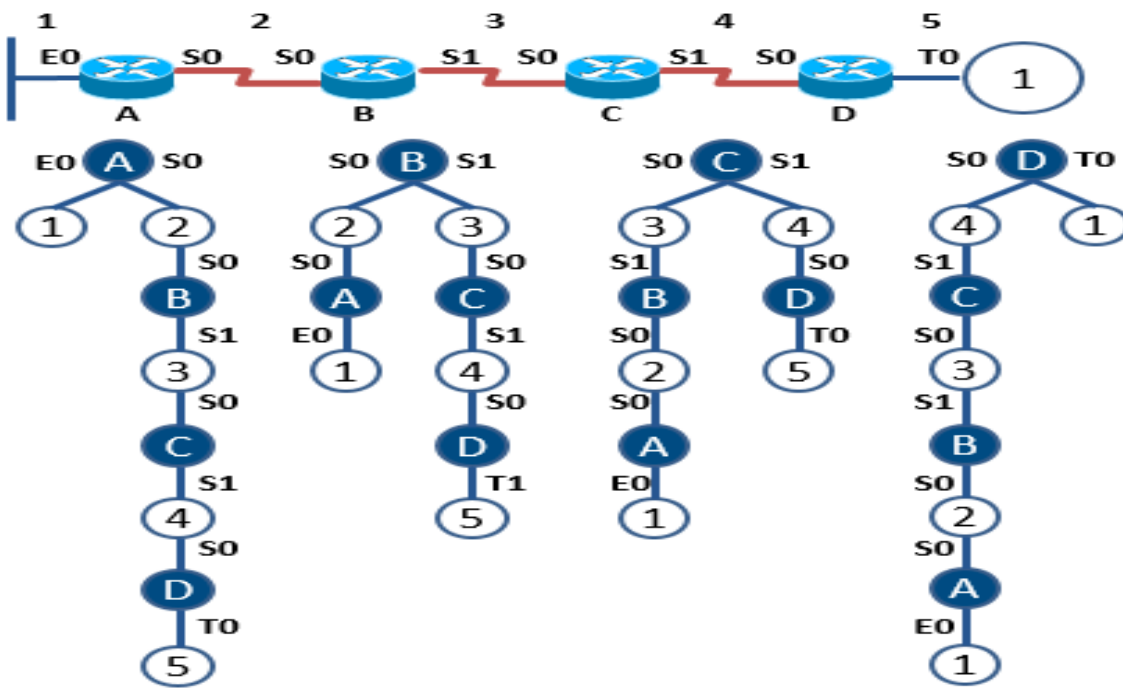
1^ο Παράδειγμα γράφου OSPF

Έχουμε ένα διαδίκτυο αποτελούμενο από 7 δίκτυα συνδεδεμένα με δρομολογητές και τον αντίστοιχο γράφο OSPF όπου κάθε δρομολογητής αντιστοιχεί σε έναν κόμβο, και κάθε ακμή σε μία σύνδεση μεταξύ ζεύγους δρομολογητών. [2]



Εικόνα 4: Διαδίκτυο αποτελούμενο από 7 δίκτυα

2^ο Παράδειγμα Γράφου OSPF



Εικόνα 5: Ανάλυση μονοπατιών για τον κάθε δρομολογητή ξεχωριστά

Απο το παραπάνω παράδειγμα γράφου έχουμε τα εξής [2] :

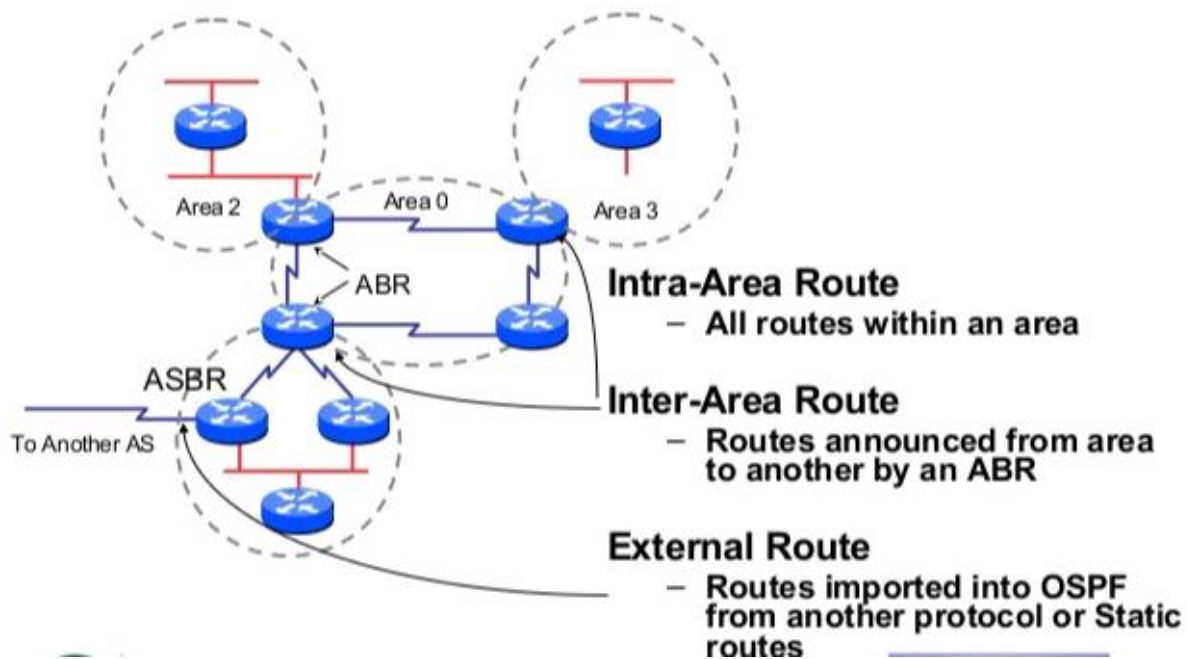
- Κάθε κόμβος είναι υποχρεωμένος να γνωρίζει όλους τους γείτονες του και να προσθέσει αυτή την πληροφορία στο LSP (Link State Advertisement).
- Το LSP μεταδίδεται σε όλους τους άλλους κόμβους.
- Με την πληροφορία που συγκεντρώνεται από όλους τους κόμβους ολοκληρώνεται η τοπολογία του συνολικού δικτύου.
- Τώρα πλέον μπορεί να τρέξει ο αλγόριθμος του Dijkstra για να βρει το καλύτερο μονοπάτι προς όλες τις κατευθύνσεις.

2.3 Κατηγορίες OSPF δρομολόγησης

Intra-area -> Εκτελείται μεταξύ των εσωτερικών δρομολογητών μιας περιφέρειας.

Inter-area -> Εκτελείται μεταξύ των δρομολογητών που ανήκουν σε διαφορετικές περιφέρειες και έχει ως προϋπόθεση την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών περιφερειών, μέσω του area 0.

External διαδρομές -> Αφορά διαδρομές που προέρχονται από άλλα ΑΣ.



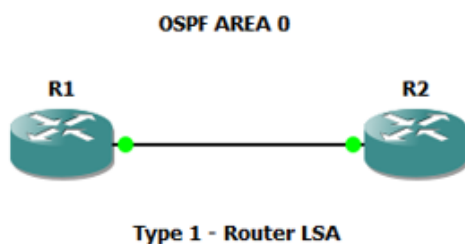
Εικόνα 6: Κατηγορίες OSPF Δρομολόγησης

2.4 Τύποι LSA (Link State Advertisement)

Το Link State Advertisement είναι ένα βασικό μέσο επικοινωνίας του πρωτοκόλλου OSPF για το πρωτόκολλο Internet (IP). Περιέχει LS πληροφορίες και πληροφορίες δρομολόγησης που είναι κοινές στους OSPF δρομολογητές. Οι τύποι των LSA είναι 11 και περιγράφονται παρακάτω : [7]

LSA Type 1 : Router LSA

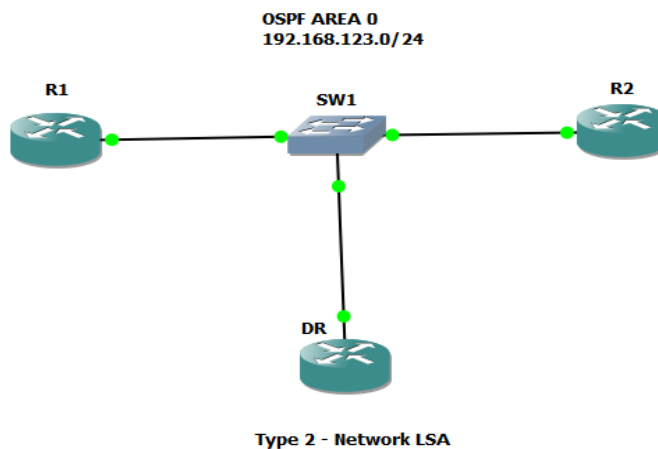
Κάθε δρομολογητής παράγει ένα Router LSA για κάθε περιοχή στην οποία ανήκει. Τα LSAs περιγράφουν την κατάσταση των συνδέσμων του δρομολογητή στην περιφέρεια και διαχέονται μόνο μέσα στη συγκεκριμένη περιοχή. Για όλους τους τύπους LSA, υπάρχουν επικεφαλίδες LSA 20 byte. Ένα από τα πεδία της επικεφαλίδας LSA είναι το αναγνωριστικό κατάστασης σύνδεσης (link-state ID). Το ID LSA τύπου 1 είναι ίσο με το αναγνωριστικό του δρομολογητή.



Εικόνα 7: Type 1 – Router LSA

LSA Type 2 : Network LSA

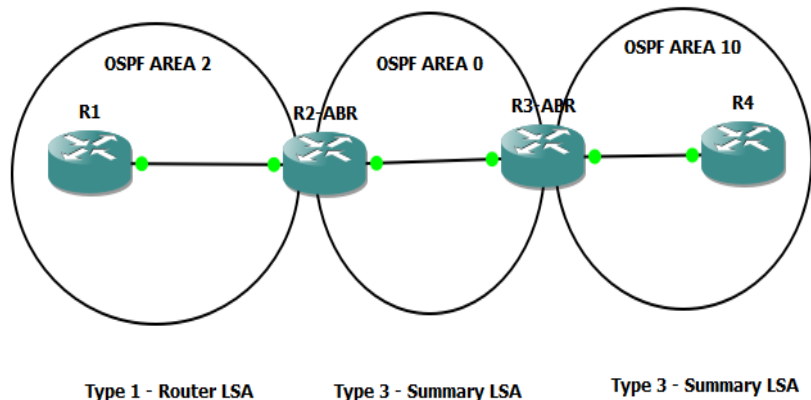
Οι Designated Routers (DR, όπου χρησιμοποιούνται για να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των γειτνιάσεων και χρησιμεύει ως κεντρικό σημείο για την ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης) δημιουργούν Network LSA για δίκτυα πολλαπλών προσβάσεων και ανακοινώνουν ποιοι δρομολογητές συνδέονται στο broadcast δίκτυο. Το αναγνωριστικό κατάστασης σύνδεσης του LSA τύπου 2 είναι η διεύθυνση διεπαφής IP του DR. Ο LSA τύπου 2 περιλαμβάνει τους δρομολογητές που συνδέονται στο broadcast δίκτυο αλλά και το prefix του δικτύου μαζί με τη μάσκα του.



Εικόνα 8: Type 2 – Network LSA

LSA Type 3 : Summary LSA

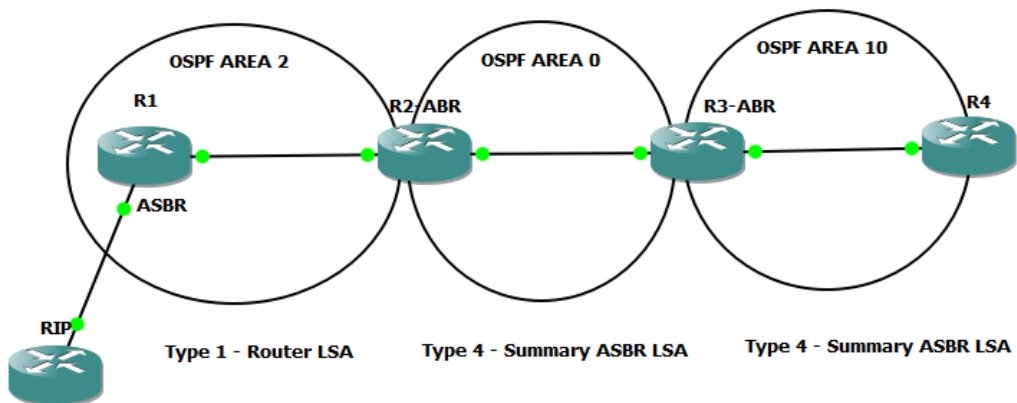
Ένας ABR λαμβάνει τις πληροφορίες δρομολόγησης από μία περιοχή στην οποία διασυνδέεται και τις συνοψίζει πριν τις στείλει στις υπόλοιπες περιφέρειες. Αυτή η σύνοψη δεν είναι προεπιλεγμένη, δηλαδή δε πραγματοποιείται αυτόματα από το OSPF αλλά από τον διαχειριστή του δικτύου. Το link-state ID της επικεφαλίδας τύπου 3 ισούται με την IP διεύθυνση του δικτύου προορισμού.



Εικόνα 9: Type 3 – Summary LSA

LSA Type 4 : Summary ASBR LSA

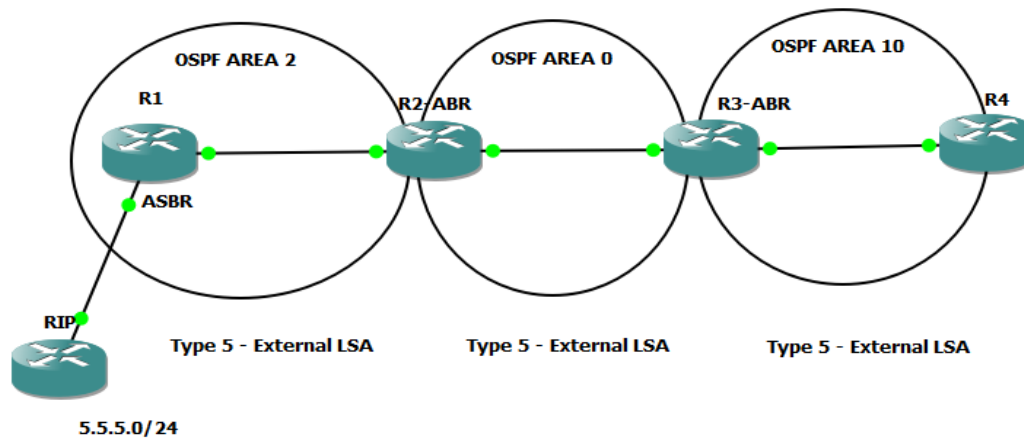
Τα LSA τύπου 4 παράγονται από έναν ABR, περιλαμβάνουν διαδρομές προς τον ASBR και η τιμή του πεδίου link-state ID της επικεφαλίδας τους ισούται με το router ID του ASBR.



Εικόνα 10: Type 4 – Summary ASBR LSA

LSA Type 5 : Autonomous System External LSA

Περιλαμβάνουν διαδρομές οι οποίες προέρχονται από διαφορετικά αυτόνομα συστήματα. Ακόμα, διαδίδονται σε όλες τις περιοχές του δικτύου, εκτός από κάποιες ειδικές περιοχές, και το link-state ID της επικεφαλίδας ενός LSA τύπου 5 είναι ίσο με την διεύθυνση του εξωτερικού δικτύου.



Εικόνα 11: Type 5 – Autonomous System External LSA

LSA Type 6 : Multicast OSPF LSA

Χρησιμοποιείται για multicast εφαρμογές.

LSA Type 7 : Not-so-stubby area LSA

Απεικονίζουν διαδρομές από εξωτερικά δίκτυα και για να μεταδοθεί η πληροφορία δρομολόγησης που μεταφέρουν σε άλλες περιοχές θα πρέπει να μετατραπούν σε External AS LSAs (τύπου 5).

LSA Type 8,9: External attribute LSA for BGP

Αρχικά δημιουργήθηκαν για την μετάδοση των χαρακτηριστικών του BGP. Πλέον όμως, χρησιμοποιούνται απο το OSPFv3 τοπικά σε κάθε link χωρίς να διανέμονται έξω από αυτό. Περιλαμβάνουν πληροφορίες για τους άμεσα συνδεδεμένους δρομολογητές καθώς και για τα IPv6 δίκτυα που σχετίζονται με αυτό.

Opaque LSAs (Type 10,11)

Θα χρησιμοποιηθούν κύριως για μελλοντικούς σκοπούς πάνω σε ειδικές εφαρμογές.

Τα LSAs ενθυλακώνονται μέσα στο OSPF πακέτο. Κάθε LSA έχει το δικό του περιεχόμενο αλλά όλα έχουν την ίδια επικεφαλίδα :

Common LSA 20-byte Packet Header

Bit/ Byte	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0	LS Age																LS Type															
32	Link State ID																															
64	Advertising Router																															
96	LS Sequence Number																															
128	LS Checksum																Length															
160	Depending on the "LS Type" details of the contents will vary. (Details of each LS Type are listed below.)																															
192																																
~																																
~																																
~																																
~	...																															

Εικόνα 12: LSA Header

Παρακάτω αναλύονται όλα τα πεδία στην LSA Header :

- **LSA Age** : περιλαμβάνει την ηλικία ενός LSA σε δευτερόλεπτα. Αρχίζει με την τιμή 0 και μπορεί να φτάσει τα 30 λεπτά ή και στη μέγιστη επιτρεπτή τιμή ηλικίας που είναι 60 λεπτά. Τα LSA πακέτα που έχουν φτάσει στη μέγιστη τιμή ηλικίας διαγράφονται από τη βάση και ταυτόχρονα διαμοιράζονται στους υπόλοιπους δρομολογητές. Όταν ενημερωθούν και οι υπόλοιποι δρομολογητές πρέπει με τη σειρά τους να αφαιρέσουν τα πακέτα αυτά.
- **LSA Type** : περιέχει τον τύπο κάθε LSA (type 1,2,3 κτλ)
- **Link State ID** : αποσαφηνίζει το LSA ενός δρομολογητή.
- **Advertising router** : περιλαμβάνει το Router Id του δρομολογητή που δημιούργησε το LSA.
- **LSA Sequence Number** : είναι ένας αριθμός 32 bit που ελέγχει την διαδικασία της πλημμύρας των LSAs. Εντοπίζει τα «παλιά» LSAs, σταματά τη μεταφορά τους και τα απομακρύνει από την βάση δεδομένων κατάστασης συνδέσμων. Κρατάει στη βάση του το πιο ενημερωμένο LSA, δηλαδή αυτό που έχει μεγαλύτερο αριθμό ακολουθίας.
- **LSA checksum** : χρησιμοποιείται για να ανακαλύπτει τυχόν μεταβολές στα LSAs.
- **Length** : περιέχει το μέγεθος του LSA μαζί με την επικεφαλίδα σε bytes. Το μεγαλύτερο που μπορεί να φτάσει είναι τα 65535 bytes, αλλά συνήθως δε ξεπερνά τις μερικές εκατοντάδες bytes.
- **Options** : η τιμή του αναφέρεται σε ιδιαίτερες απαιτήσεις που μπορεί να έχει η μεταφορά ενός LSA.

2.5 Περιφέρειες OSPF

Είναι χρήσιμο να τονίσουμε ότι επειδή το OSPF επιτρέπει σε έναν διαχειριστή να διαχωρίζει τους δρομολογητές και τα δίκτυα ενός αυτόνομου συστήματος σε πολλές περιφέρειες, μπορεί να προσαρμόζεται ώστε να χειρίζεται μεγαλύτερο όγκο δρομολογητών σε σχέση με άλλα πρωτόκολλα εσωτερικών πυλών.

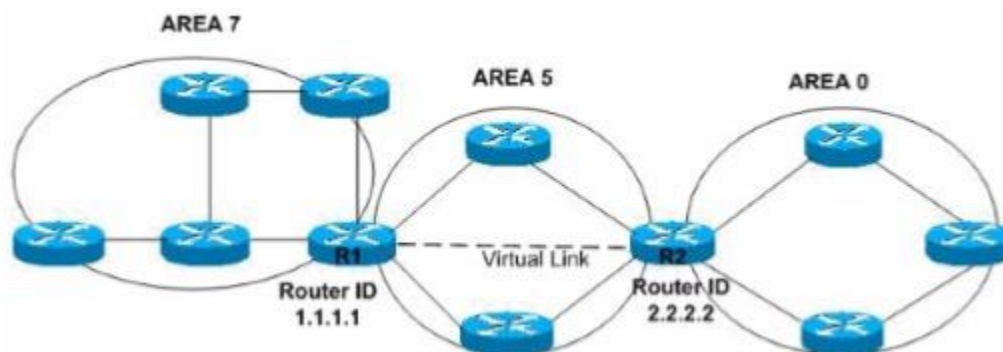
Ας δούμε αναλυτικά τους τύπους περιφερειών :

OSPF Area : ορίζει ένα σύνολο δρομολογητών με ίδια χαρακτηριστικά.

Backbone Area : είναι η περιοχή του κορμού του δικτύου στην οποία πρέπει να έχουν πρόσβαση μέσω ενός δρομολογητή όλες οι υπόλοιπες περιοχές του δικτύου. Η πληροφορία δρομολόγησης περνάει από τη μια περιοχή στην άλλη μέσα από την backbone area.

Standard Area : είναι η περιοχή στην οποία μεταφέρονται τα LSAs τύπου 1,2,3,4 και 5. Το LSA τύπου 4 μεταφέρεται από τις standard areas που περιέχουν κάποιον ASBR προς τις άλλες περιοχές. Αυτό επιτρέπει σε όλες τις περιοχές να γνωρίζουν την έξοδο τους από το αυτόνομο σύστημα. Η backbone area θεωρείται standard area.

Transit Area : είναι η περιοχή η οποία χρησιμοποιείται για την διασύνδεση περιφερειών στην περιφέρεια κορμού. Αν δεν υπάρχει άμεση-φυσική σύνδεση με την backbone area τότε δημιουργείται μια εικονική σύνδεση στην Transit Area. Αυτή η εικονική σύνδεση πραγματοποιείται μεταξύ δυο Area Border Routers και η επικοινωνία με την περιφέρεια κορμού θα περνάει μέσα από αυτό. Η Transit Area είναι η περιφέρεια στην οποία ορίζεται η εικονική σύνδεση. Στην εικόνα 13 η Area 7 δεν έχει άμεση φυσική σύνδεση με την Area 0, οπότε η εικονική σύνδεση μεταξύ των δρομολογητών R1, R2 (ABRs) έρχεται να εξασφαλίσει τη σύνδεση τους.



Εικόνα 13: Transit Area

Stub Area : είναι η περιοχή η οποία περιέχει LSAs τύπου 1 και 2. Χρησιμοποιείται για διαδρομές προς εξωτερικά δίκτυα, οπότε δε περιέχει LSAs τύπου 4 και 5. Οι εσωτερικοί δρομολογητές της δε χρειάζεται να γνωρίζουν για το πώς να φτάσουν σε εξωτερικά δίκτυα, δεδομένου ότι υπάρχει ο ABR. Για να οριστεί μια περιοχή ως stub area θα πρέπει όλοι οι δρομολογητές που ανήκουν σε αυτή να ρυθμιστούν ανάλογα.

Totally Stubby Area : Μπορούμε να καθορίσουμε μια stub area ως totally stubby area η οποία περιέχει LSAs τύπου 1 και 2. Δε περιέχει LSAs τύπου 3, 4 και 5. Ο ABR δημοσιεύει μια default διαδρομή στην οποία στηρίζεται η δρομολόγηση εκτός της περιφέρειας.

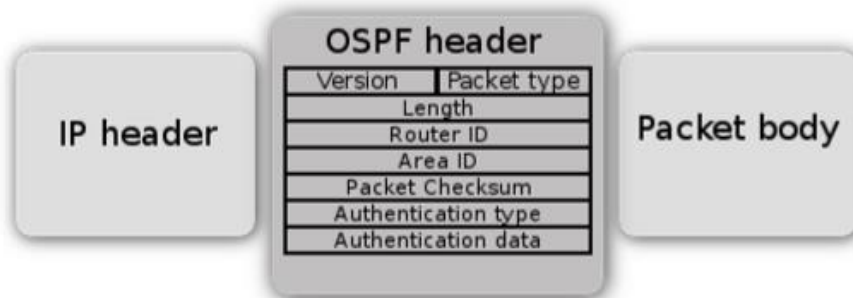
Not-So-Stubby Area : είναι η περιοχή όπου υλοποιεί την λειτουργικότητα μιας stub ή totally stubby περιφέρειας, περιλαμβάνοντας όμως και έναν ASBR που βρίσκεται εντός της περιφέρειας και επιτρέπει external διαδρομές. Οι external διαδρομές μπορούν να αποσταλούν και σε άλλες περιφέρειες αλλά απαγορεύεται η εισαγωγή external διαδρομών από άλλες περιφέρειες. Ο ASBR δημιουργεί LSAs τύπου 7 τα οποία μετατρέπονται σε LSAs τύπου 5.

2.6 Τύποι OSPF πακέτων

Το OSPF υποχρεώνει τους δρομολογητές ώστε να αποστείλουν πακέτα που θα εντοπίζουν τους γείτονες τους και θα κατοχυρώνουν την σωστή μεταφορά αυτών. Ο κάθε τύπος πακέτου χρησιμεύει για τη λειτουργία ενός συγκεκριμένου σκοπού στη διαδικασία δρομολόγησης OSPF. Υποστηρίζονται τα εξής πακέτα: [9]

- **Hello packets (type 1):** Στέλνονται περιοδικά για την αναζήτηση και δημιουργία γειτόνων και χρησιμοποιούνται για να διατηρήσουν την γειτνίαση με άλλους δρομολογητές OSPF. Οι Designated και οι Backup Designated router είναι δρομολογητές οι οποίοι εκλέγονται από το δίκτυο και σχετίζονται με τα Hello packets.
- **Database Description packet ή (DDP) (type 2):** Χρησιμοποιούνται μετά τη δημιουργία γειτνίασης. Περιέχουν πληροφορία για το περιεχόμενο των διαδρομών που γνωρίζει ο δρομολογητής αποστολής και αυτή η πληροφορία χρησιμοποιείται από τους δρομολογητές λήψης οι οποίοι ελέγχουν τα στοιχεία. Τα πακέτα αυτά εξασφαλίζουν τη διατήρηση ίδιας τοπολογίας σε δρομολογητές μιας περιοχής.
- **Link State Request ή LSR packet (type 3):** Οι δρομολογητές λήψης έχουν τη δυνατότητα να ζητήσουν πληροφορίες για καταχωρίσεις στο DDP αφού στείλουν αίτηση κατάστασης ζεύξης (LSR). Οπότε, χρησιμοποιούνται για την αίτηση των πιο ενημερωμένων LSAs από άλλους δρομολογητές. Αν κάποιος δρομολογητής εντοπίσει ότι η δική του τοπολογία δεν έχει τις τελευταίες πιο ενημερωμένες διαδρομές στέλνει ένα LSR πακέτο ζητώντας να του σταλούν τα LSAs που του λείπουν.
- **Link State Update ή LSU packet (type 4):** Τα πακέτα ενημέρωσης στέλνονται ως απάντηση στο αίτημα του LSR πακέτου και χρησιμοποιούνται για την γνωστοποίηση καινούργιων πληροφοριών και περιλαμβάνουν τα ζητούμενα LSAs.
- **Link State Acknowledgement ή LSAck packet (type 5):** Αποτελούν επιβεβαιώσεις (acknowledgements) ότι έγινε παραλαβή των παραπάνω πακέτων. Όταν λαμβάνεται ένα πακέτο LSU ο δρομολογητής αποστέλλει ένα LSAck για να εξακριβώσει ότι ελήφθησαν τα πακέτα.

Τα OSPF πακέτα ενθυλακώνονται κατευθείαν στο IP πακέτο. Μέσα στην επικεφαλίδα του IP πακέτου (IP Header), υποδηλώνεται το OSPF πακέτο μέσω του αριθμού 89 που είναι ο αριθμός πρωτοκόλλου. Στη συνέχεια υπάρχει το OSPF Header και ανάλογα με τον τύπο του πακέτου το ωφέλιμο φορτίο.



Εικόνα 14: Το OSPF πακέτο

Παρακάτω αναλύονται τα πεδία της OSPF επικεφαλίδας :

- **Version number** : είναι η έκδοση του OSPF, Version 2 για IPv4 και Version 3 για IPv6.
- **Packet Type** : είναι ένας αριθμός που δείχνει τον τύπο του OSPF πακέτου (1: Hello, 2: DBD, 3: LSR, 4: LSU, 5: LSack).
- **Packet Length** : περιλαμβάνει το μέγεθος του OSPF πακέτου μαζί με την επικεφαλίδα σε bytes.
- **Router ID** : είναι ο αριθμός του δρομολογητή που τον δημιούργησε, ο αριθμός που τον ξεχωρίζει μοναδικά και έχει μήκος 32 bits.
- **Area ID** : είναι ο αριθμός της OSPF περιοχής από την οποία προέρχεται το πακέτο και έχει μήκος 32 bits.
- **Checksum** : χρησιμοποιείται για την εύρεση των λαθών των πακέτων. Αν ο παραλήπτης διαπιστώσει αλλαγές το πακέτο απορρίπτεται.
- **Authentication Type** : απεικονίζει την μέθοδο της επιβεβαίωσης των πακέτων εφόσον υπάρχει. Παίρνει τιμές από 0-2 που αντιστοιχούν σε 1 αν δεν υπάρχει επιβεβαίωση, 2 για απλή επιβεβαίωση και 3 για MD5 επιβεβαίωση.
- **Authentication** : περιλαμβάνει πληροφορίες που επιβεβαιώνουν την ορθότητα του πακέτου.

Το περιεχόμενο του OSPF πακέτου βρίσκεται μέσα στο ωφέλιμο φορτίο. Ανάλογα με τον τύπο του OSPF πακέτου περιλαμβάνει την αντίστοιχη πληροφορία. Για παράδειγμα αν το πακέτο είναι τύπου hello τότε περιέχει πληροφορία για δημιουργία γειτόνων και γειτνιάσεων.

2.7 Καταστάσεις OSPF Neighbor

Η εγκατάσταση μιας γειτονικής σχέσης προκύπτει αν αυτή περάσει από 8 στάδια. Τα στάδια αυτά είναι τα εξής : [8]

- **Down** : Είναι η πρώτη κατάσταση που βρίσκεται ένας γειτονικός δρομολογητής, όπου δεν έχει ανταλλάξει καμία πληροφορία (Hello packets) με κάποιον γειτονικό δρομολογητή.
- **Attempt** : Αφορά μόνο τα Non-Broadcast Multiple Access (NBMA) δίκτυα, πχ ATM. Αν ο δρομολογητής δεν έχει λάβει κάποια πληροφορία μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό περιθώριο από κάποιον γείτονα θα πρέπει να γίνει προσπάθεια επικοινωνίας με την αποστολή unicast hello πακέτων.
- **Init** : Ο δρομολογητής έχει λάβει ένα hello πακέτο από κάποιον γείτονα αλλά δε μπορεί να υπάρξει επικοινωνία γιατί αυτή ακόμα δεν έχει επιβεβαιωθεί.
- **2-Way** : Η κατάσταση αυτή μας δείχνει ότι η επικοινωνία μεταξύ δύο γειτονικών δρομολογητών έχει εγκατασταθεί και προς τις 2 κατευθύνσεις. Σε αυτή την κατάσταση οι δρομολογητές συμπεραίνουν αν θα προχωρήσουν στη δημιουργία γειτνιάσεων. Αν οι δρομολογητές ανήκουν σε broadcast ή non-broadcast multi-access δίκτυα μεταπηδούν στην κατάσταση FULL ώστε να γίνει η εκλογή Designated router ή Backup Designated router. Οπότε, η κατάσταση διεπαφών προς αυτούς θα προχωρήσει στο επόμενο στάδιο όταν ο κάθε δρομολογητής γίνει γείτονας μόνο με αυτούς. Παραμένει στην κατάσταση 2-way με τους άλλους γειτονικούς του κόμβους.
- **Exstart** : Οι δρομολογητές DR και BDR εφαρμόζουν μια σχέση master-slave (κυρίου-σκλάβου) ώστε να γίνει η ανταλλαγή των LSA της βάσης δεδομένων δρομολόγησης. Όποιος δρομολογητής έχει μεγαλύτερο router id διαλέγεται και θεωρείται master, και στη συνέχεια μεταπηδά στην κατάσταση Exchange όπου ξεκινάει η ανταλλαγή πληροφορίας. Ξεκινάει πρώτος την ανταλλαγή ο master, αποστέλλοντας στον slave αίτηση για πληροφορία δρομολόγησης.
- **Exchange** : Οι OSPF δρομολογητές ανταλλάσσουν database descriptor (DBD) πακέτα με την link-state πληροφορία για να ενημερώσουν ο ένας τον άλλον. Τα πακέτα αυτά περιέχουν επικεφαλίδες LSAs, περιγράφουν το περιεχόμενο της link-state database και συγκρίνουν την εισερχόμενη link-state database με αυτή που έχουν ήδη στη δική τους βάση. Εκτός από τις επικεφαλίδες περιλαμβάνουν και έναν αριθμό ακολουθίας που έχει τη δυνατότητα να αυξηθεί μόνο από τον κύριο δρομολογητή.
- **Loading** : Οι δρομολογητές αποστέλλουν link-state request πακέτα. Αν ένας δρομολογητής λάβει LSR θα απαντήσει με μήνυμα LSU. Στη συνέχεια, τα LSU είναι απαραίτητο να εξακριβωθούν με την αποστολή acknowledgements (LSAcks). Κατά τη σχέση γειτνίασης εάν ένας δρομολογητής λάβει ένα outdated (απαρχαιωμένο) LSA υποχρεώνει την αποστολή νέου στέλνοντας ένα link-state request πακέτο.
- **Full** : Αφού ολοκληρωθεί η κατάσταση Loading, οι δρομολογητές έχουν πλήρως εγκαταστήσει τη σχέση γειτνίασης και έχουν την ίδια topology database. Η κατάσταση Full είναι η κατάσταση που

πρέπει να βρίσκεται ο OSPF δρομολογητής. Αν βρίσκεται σε κάποια άλλη κατάσταση αναδεικνύει ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα κατά τον ορισμό της σχέσης γειννίας. Η μόνη εξαίρεση είναι η κατάσταση 2-way σε ένα broadcast δίκτυο.

2.8 OSPFv3

Η 3η έκδοση του OSPF έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε περιβάλλον με δίκτυα IPv6. Ενσωματώνει αλλαγές οι οποίες είναι απαραίτητες για τη λειτουργία σε ένα δίκτυο IPv6. Η βασική αλλαγή που έχει ενσωματωθεί και πραγματοποιείται στο OSPFv3 είναι η επικεφαλίδα του πακέτου. Πλέον η επικεφαλίδα του πακέτου είναι απλή και περιλαμβάνει ένα καινούριο πεδίο το Instance Id. Το πεδίο αυτό αντικατοπτρίζει μια σημαντική αλλαγή, αφού επιτρέπει την εκτέλεση πολλαπλών στιγμιότυπων του OSPF μέσω ενός μόνο συνδέσμου. Αυτό σημαίνει ότι πολλές διευθύνσεις μπορούν να ρυθμιστούν στην ίδια διεπαφή. Ωστόσο, οι αλλαγές στην επικεφαλίδα του OSPFv3 πρωτοκόλλου έχουν αντίκτυπο και στα OSPFv3 Hello Packets. Η δομή του άλλαξε για να μπορέσει να φέρει εις πέρας τις αλλαγές που έγιναν για το IPv6. [10]

Οι αλλαγές είναι οι εξής :

- Τα δίκτυα LSA δε περιέχουν διευθύνσεις IPv6 σε σύγκριση με το OSPF.
- Το OSPFv3 απαιτεί να ρυθμιστεί το Router Id πριν ξεκινήσει η δρομολόγηση.
- Οι δρομολογητές DR και BDR είναι πλέον αναγνωρίσιμοι από τα Router Id τους αντί των IP διευθύνσεών τους.
- Όλες οι πληροφορίες προθέματος IP έχουν καταργηθεί από το πακέτο ανίχνευσης Hello, καθιστώντας το OSPFv3 ουσιαστικά ανεξάρτητο πρωτόκολλο.

Μια ακόμα βασική αλλαγή για το OSPFv3 είναι οι μηχανισμοί ασφαλείας που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο για την προστασία των ενημερώσεων δρομολόγησης. Χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες που παρέχονται από το IPsec, το οποίο χρησιμοποιείται στο περιβάλλον IPv6. [10]

3 ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΟ IS-IS

Το πρωτόκολλο IS-IS (Intermediate System-to-Intermediate System, Ενδιάμεσο Σύστημα σε Ενδιάμεσο Σύστημα) είναι και αυτό ένα **Πρωτόκολλο Εσωτερικής Πύλης** για το Διαδίκτυο, που χρησιμοποιείται για την διανομή πληροφοριών δρομολόγησης IP σε ένα ΑΣ. Είναι στενά συνδεδεμένο με το OSPF. Σχεδιάστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 από την εταιρεία Digital Equipment Corporation και το όνομα του ακολουθεί την ορολογία της εταιρείας, σύμφωνα με την οποία κάθε δρομολογητής είναι ένα ενδιάμεσο σύστημα και κάθε υπολογιστής υπηρεσίας είναι ένα ακραίο σύστημα. Τυποποιήθηκε από τον οργανισμό ISO (International Organization for Standardization) στο ISO/IEC 10589. Το πρότυπο ISO/IEC 10589 ορίζει υποστήριξη για το ISO ConnectionLess Network Protocol (CLNP).

Το IS-IS δημιουργήθηκε την ίδια περίπου περίοδο με το OSPF, με τα δύο πρωτόκολλα να έχουν πολλές ομοιότητες. Όταν το OSPF και το IS-IS επινοήθηκαν, το OSPF έγινε πιο δημοφιλές γιατί ήταν ένα ανοικτό πρωτόκολλο που είχε σχέση με το IP. Το IS-IS σχεδόν πέρασε στην αφάνεια αλλά από τότε έχει εξελιχθεί σημαντικά. Ορίστηκε μια νεότερη έκδοση του που είχε ως στόχο να το ενοποιήσει με το IP και το Internet. Το IS-IS ξεκίνησε ως πρωτόκολλο δρομολόγησης σύνδεσης για τα δίκτυα ISO αλλά η ομάδα IETF (Internet Engineering Task Force) αναδημοσίευσε το πρωτόκολλο ως πρότυπο διαδικτύου στο RFC 1142 (αναδημοσίευση του ISO ως υπηρεσία προς την κοινότητα του διαδικτύου).

Επιπλέον, υιοθετεί τη μέθοδο κατάστασης συνδέσμων. Είναι σχεδιασμένο για να μεταφέρει αποτελεσματικά τις πληροφορίες σε ένα δίκτυο υπολογιστών. Οι δρομολογητές ανταλλάσσουν αυτές τις πληροφορίες τοπολογίας με τους πλησιέστερους γείτονες τους και αυτές μεταφέρονται σε όλο το ΑΣ, έτσι ώστε κάθε δρομολογητής να έχει μια πλήρη εικόνα της τοπολογίας του ΑΣ. Αυτή η εικόνα χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τον υπολογισμό των συντομότερων διαδρομών από άκρο σε άκρο χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο του Dijkstra. Επομένως, σε ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης κατάστασης συνδέσεων, η επόμενη διεύθυνση λίστας στην οποία διαβιβάζονται δεδομένα καθορίζεται επιλέγοντας την καλύτερη διαδρομή από άκρο σε άκρο προς τον τελικό προορισμό. Ακόμα, απαιτεί από δύο γειτονικούς δρομολογητές να κάνουν περιοδικούς ελέγχους στο μεταξύ τους σύνδεσμο και να μεταδίδουν ένα μήνυμα κατάστασης με εκπομπή. [2]

Τέλος, το πρωτόκολλο IS-IS είναι ένα δημοφιλές πρωτόκολλο δρομολόγησης ιδιαίτερα στους παρόχους υπηρεσιών. Το πρωτόκολλο επιτρέπει γρήγορη εκτέλεση με μεγάλη κλιμακοσιμότητα (scalability). Βασίζεται στη μέθοδο κατάστασης ζεύξης και είναι ελάχιστα ευαίσθητο στους βρόχους δρομολόγησης. Χρησιμοποιεί διάφορες παραμέτρους TLV (Type, Length, Value) που ενισχύουν το πρωτόκολλο κάνοντας το ευέλικτο στις διάφορες απαιτήσεις και διαθέσιμο σε νέα χαρακτηριστικά. [5] Κάποιες από τις πιο δημοφιλείς παραμέτρους TLV είναι οι παρακάτω :

TLV	Όνομα	Περιγραφή
1	Area Address	Περιλαμβάνει τις διευθύνσεις περιοχής με τις οποίες είναι συνδεδεμένο το ενδιάμεσο σύστημα.
2	ISIS Neighbors	Περιλαμβάνει όλες τις διεπαφές ISIS στις οποίες είναι συνδεδεμένος ο δρομολογητής.
10	Authentication	Οι πληροφορίες που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ταυτότητας του PDU (Protocol Data Unit).

Πίνακας 1: Δημοφιλής παράμετροι TLV

3.1 Τύποι IS-IS δρομολογητών

Το IS-IS ορίζει δύο κατηγορίες συσκευών δικτύου : [6]

- ES (End System)
- IS (Intermediate systems)

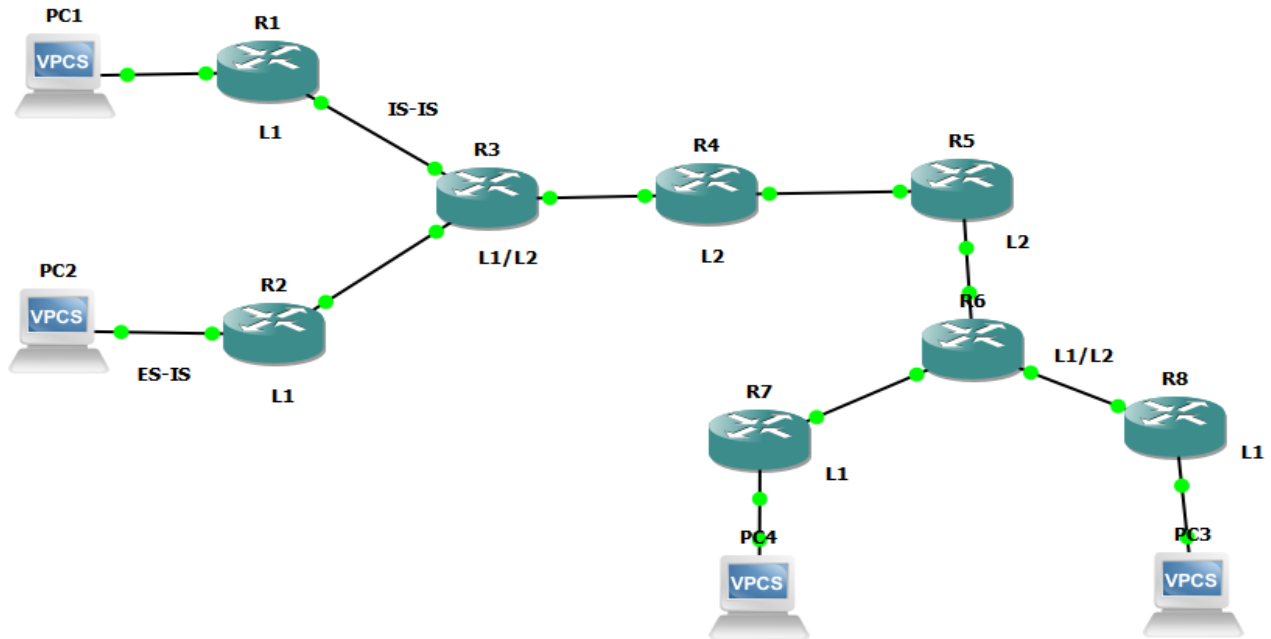
Ένας δρομολογητής είναι ένα ενδιάμεσο σύστημα (Intermediate System-IS) και ένας υπολογιστής είναι ένα τερματικό σύστημα (End System-ES). Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ ενός δρομολογητή και ενός υπολογιστή λέγεται ES-IS Protocol ενώ αυτό που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ των δρομολογητών λέγεται IS-IS Protocol.

Routers L1: Οι δρομολογητές επιπέδου 1 είναι δρομολογητές που δεν έχουν άμεση συνδεσιμότητα με άλλη περιοχή. Διατηρούν τη βάση δεδομένων σύνδεσης L1 και είναι ανάλογοι με τους εσωτερικούς δρομολογητές OSPF Internal Routers.

Routers L2: Οι δρομολογητές επιπέδου 2 είναι δρομολογητές που συνδέουν όλες τις περιοχές του δικτύου. Διατηρούν μια βάση δεδομένων σύνδεσης L2. Είναι ανάλογοι με τους δρομολογητές OSPF Backbone Routers.

Routers L1 / L2: Οι δρομολογητές L1 / L2 είναι ανάλογοι με τους ABR του OSPF. Διατηρούν ξεχωριστή βάση δεδομένων σύνδεσης L1 και ξεχωριστή βάση δεδομένων σύνδεσης L2. Μπορούν να συνδεθούν στους δρομολογητές L1 και L2.

Κάθε δρομολογητής L1 εντός μιας περιοχής διατηρεί μια link-state database. Οι δρομολογητές L1 / L2 δεν διαφημίζουν τις διαδρομές L2 στους δρομολογητές L1. Για να γίνει δρομολόγηση ενός πακέτου σε άλλη περιοχή, ένας δρομολογητής L1 πρέπει να προωθήσει το πακέτο στο δρομολογητή L1 / L2.



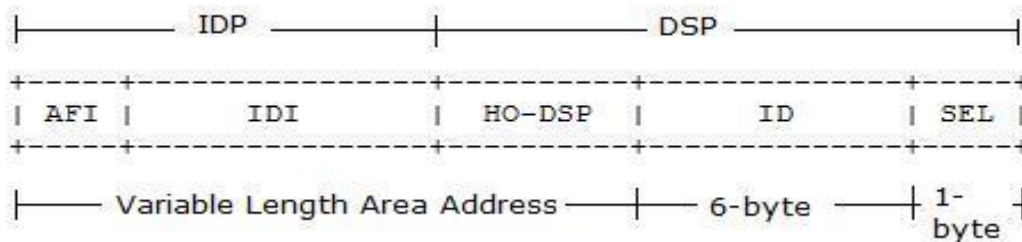
Εικόνα 15: Τύποι δρομολογητών στο πρωτόκολλο IS-IS

3.2 Network Service Access Point (NSAP)

Η διεύθυνση δικτύου υπηρεσίας (NSAP-Network Service Access Point) ή διεύθυνση ISO είναι η διεύθυνση στρώματος δικτύου για πακέτα CLNS. Η υπηρεσία Connectionless-mode Network Service (CLNS) ή απλά Connectionless Network Service είναι μια ασυνδεσμική δικτύωση όπου η κάθε μετάδοση είναι ανεξάρτητη. Δηλαδή, είναι μια datagram υπηρεσία του επιπέδου δικτύου του OSI που δεν έχει ως προϋπόθεση την εγκατάσταση ενός κυκλώματος πριν από τη μετάδοση των δεδομένων και δρομολογεί τα μηνύματα στους προορισμούς τους ανεξάρτητα από οποιαδήποτε άλλα μηνύματα. Το CLNS δεν είναι υπηρεσία διαδικτύου, αλλά δίνει δυνατότητες σε περιβάλλον OSI δικτύου παρόμοιες με εκείνες που παρέχονται από το Internet Protocol (IP) και το User Datagram Protocol (UDP). [4]

Οι διευθύνσεις NSAP υποδιαιρούνται σε δύο μέρη : [6]

1. Αρχικό τμήμα τομέα (IDP-Initial Domain Part)
2. Τμήμα συγκεκριμένου τομέα (DSP-Domain Specific Part)



Εικόνα 16: NSAP Address Format

Το IDP αποτελείται από τα :

- AFI (Authority and Format Identifier): Αναγνωριστικό αρχής και μορφής, δεσμεύει 1 byte
- IDI (Initial Domain Identifier): Αναγνωριστικό αρχικού τομέα, έχει μεταβλητό μήκος

Το DSP αποτελείται από τα :

- HO-DSP (High-Order of DSP) : Υψηλή σειρά DSP
- ID- System Identifier: Αναγνωριστικό συστήματος (6-bytes)
- SEL- NSAP Selector (1-byte): Επιλογή SEL-NSAP (1-byte)

Το HO-DSP μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε μορφή όπως ορίζεται από την αρχή που προσδιορίζεται από το αρχικό τμήμα τομέα (IDP).Ο συνδυασμός του IDP και HO-DSP προσδιορίζει τόσο τον τομέα δρομολόγησης όσο και την περιοχή εντός του τομέα δρομολόγησης. Οπότε, αυτός ο συνδυασμός καλείται "διεύθυνση περιοχής". Όλοι οι κόμβοι εντός της περιοχής πρέπει να έχουν την ίδια διεύθυνση περιοχής.

Το αναγνωριστικό αρχής και μορφής (AFI) έχει δυαδική τιμή μεταξύ 0 και 99. Αυτή η τιμή προσδιορίζει τη μορφή IDI και DSP.

Ο Τίτλος Δικτύου Δικτύου (NET-Network Entity Title) είναι μια διεύθυνση NSAP(Network Service Access Point) με το NSEL ρυθμισμένο στο 0. Η διεύθυνση NSAP για όλους τους δρομολογητές (ISes) έχει οριστεί με NSEL ίσο με 0.

Ένας δρομολογητής μπορεί να ρυθμιστεί με πολλαπλά NET στις εξής περιπτώσεις :

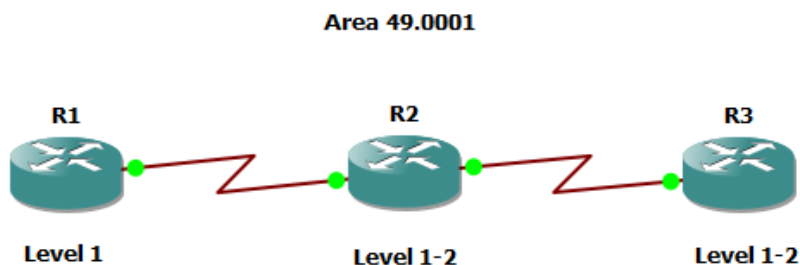
1. Κατά τη διάρκεια της μεταφοράς διευθύνσεων περιοχής από κάποια διεύθυνση περιοχής Α σε άλλη διεύθυνση περιοχής Β
2. Κατά τη συγχώνευση δύο περιοχών Α & Β
3. Κατά τη διαίρεση της περιοχής Γ σε δύο περιοχές Α & Β

Ας δούμε δύο απλά παραδείγματα :

- **49.0001.1111.1111.1111.00**
AFI = 49
Area ID = 0001
System ID = 1111.1111.1111
NSEL = 00
- **49.0001.1234.BBBB.BBBB.BBBB.00**
Area address = 49.0001.1234
System ID = BBBB.BBBB.BBBB
NSEL= 00

3.3 Περιοχές του IS-IS

Το IS-IS βασίζεται στη διαίρεση του συνόλου όλων των δρομολογητών σε υποσύνολα, τα οποία ονομάζονται περιοχές. Δύο δρομολογητές σε μια περιοχή πρέπει να είναι σε θέση να προσεγγίσουν ο ένας τον άλλον. Στο IS-IS, κάθε δρομολογητής σε ένα ΑΣ ανήκει σε έναν από τους τρεις τύπους που αναφέραμε πιο πάνω : Layer 1 (ενδο-περιοχή), Layer 2 (εσωτερική περιοχή) ή Layer 1-2 (και τα δύο). Οι περιοχές που αποτελούνται κυρίως από τους δρομολογητές L1 ονομάζονται περιοχές L1 και η περιοχή που αποτελείται μόνο από τους δρομολογητές L2 ονομάζεται περιοχή L2. Οι δρομολογητές L1 σε μια περιοχή L1 μπορούν να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους αλλά δεν μπορούν να επικοινωνήσουν απευθείας με άλλους δρομολογητές έξω από την περιοχή στην οποία ανήκουν. Οι περιοχές L1 επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω της περιοχής L2. Με άλλα λόγια, η περιοχή L2 είναι μια backbone area που συνδέει τις περιοχές L1 μεταξύ τους. Κάθε περιοχή L1 πρέπει να έχει ειδικούς δρομολογητές ώστε να κάνουν την επικοινωνία μεταξύ των δρομολογητών L1 και L2 εφικτή. Διαφορετικά, οι δρομολογητές L1 δεν θα μπορούσαν να στείλουν την κυκλοφορία έξω από την περιοχή τους. Οι δρομολογητές L1 / L2 μπορούν να επικοινωνούν απευθείας με άλλους δρομολογητές L1 / L2 σε άλλες περιοχές L1. Ανταλλάσσουν πληροφορίες και με τα δύο επίπεδα και χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των δρομολογητών μεταξύ τομέων με τους δρομολογητές εντός περιοχής. [11]



Εικόνα 17: IS-IS Configuration [6]

Μελέτη Απόδοσης των πρωτοκόλλων OSPFv2 και IS-IS

```
R1 router
interface Loopback 0
 ip address 1.1.1.1 255.255.255.255
 ip router isis
!
interface Serial 1/0
 ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
 ip router isis
!
router isis
 is-type level-1
 net 49.0001.1111.1111.1111.00
 passive-interface Loopback 0
!

R2 router
interface Loopback 0
 ip address 2.2.2.2 255.255.255.255
 ip router isis
!
interface Serial 1/0
 ip address 10.1.1.2 255.255.255.0
 ip router isis
!
interface Serial 1/1
 ip address 10.2.2.1 255.255.255.0
 ip router isis
!
router isis
 net 49.0001.2222.2222.2222.00
 passive-interface Loopback 0
!

R3 router
interface Loopback 0
 ip address 3.3.3.3 255.255.255.255
 ip router isis
!
interface Serial 1/0
 ip address 10.2.2.2 255.255.255.0
 ip router isis
!
router isis
 net 49.0001.3333.3333.3333.00
 passive-interface Loopback 0
!
```

Εικόνα 18: Παραμετροποίηση IS-IS στους δρομολογητές [6]

```
R1# show isis neighbors

System Id      Type Interface  IP Address    State Holdtime Circuit Id
2222.2222.2222 L1  Se1/0        10.1.1.2     UP    21      00

R2# show isis neighbors

System Id      Type Interface  IP Address    State Holdtime Circuit Id
1111.1111.1111 L1  Se1/0        10.1.1.1     UP    29      00
3333.3333.3333 L1L2 Se1/1        10.2.2.2     UP    23      00

R3# show isis neighbors

System Id      Type Interface  IP Address    State Holdtime Circuit Id
2222.2222.2222 L1L2 Se1/0        10.2.2.1     UP    25      01
```

Εικόνα 19: IS-IS Γείτονες [6]

3.4 IS-IS packets

Το IS-IS ορίζει τέσσερις τύπους πακέτων : [5] [6]

- **IS-IS Hello (IIH) PDUs (Protocol Data Unit)** : χρησιμοποιούνται για να ανακαλύψουν τους γείτονες στην τοπολογία και να προσδιορίσουν αν οι γείτονες στο σύστημα είναι επιπέδου 1 ή επιπέδου 2. Intermediate System-to-Intermediate System Hello PDUs (IIHs) ανταλλάσσονται μεταξύ των IS (intermediate systems) γειτόνων σε κυκλώματα στα οποία είναι ενεργοποιημένο το πρωτόκολλο IS-IS. Τα μηνύματα αυτά περιέχουν το αναγνωριστικό συστήματος του αποστολέα, την καθορισμένη διεύθυνση περιοχής και την ταυτότητα των γειτόνων. Έχουν τρία διαφορετικά format : ένα για πακέτα hello από σημείο σε σημείο, ένα για συνδέσεις μετάδοσης επιπέδου 1 και ένα για συνδέσεις μετάδοσης επιπέδου 2. Οι δρομολογητές επιπέδου 1 πρέπει να μοιράζονται την ίδια διεύθυνση περιοχής για να σχηματίσουν μια γειτνίαση, ενώ οι δρομολογητές επιπέδου 2 δεν έχουν αυτόν τον περιορισμό.
- **Link-state PDUs** : Περιέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των γειτνιάσεων σε γειτονικά συστήματα IS-IS. Κατακλύζονται περιοδικά σε ολόκληρη την περιοχή. Επίσης, περιλαμβάνεται η μετρική και οι IS-IS γειτονικές πληροφορίες. Κάθε link-state PDU πρέπει να ανανεώνεται περιοδικά στο δίκτυο και να αναγνωρίζεται από πληροφορίες εντός ενός PDU αριθμού ακολουθίας. Στις διασυνδέσεις από σημείο σε σημείο, κάθε link-state PDU αναγνωρίζεται από ένα μερικό αριθμό ακολουθίας PDU (PSNP-Partial Sequence Number PDU), αλλά σε συνδέσεις μετάδοσης αποστέλλεται μέσω του δικτύου, πλήρης αριθμός ακολουθίας PDU (CSNP-Complete Sequence Number PDU). Οποιοσδήποτε δρομολογητής βρίσκει νεότερες πληροφορίες PDU σχετικά με την κατάσταση σύνδεσης στο CSNP εκκαθαρίζει την παλιά καταχώρηση και ενημερώνει τη βάση δεδομένων.
- **Complete sequence number PDUs (CSNPs)** : Περιέχει μια πλήρη λίστα όλων των Link-State PDU στη βάση δεδομένων του IS-IS. Τα CSNPs αποστέλλονται περιοδικά σε όλους τους συνδέσμους, και τα συστήματα λήψης χρησιμοποιούν τις πληροφορίες για την ενημέρωση και τον συγχρονισμό των βάσεων δεδομένων. Στο CSNP περιλαμβάνεται ένα αναγνωριστικό PDU κατάστασης σύνδεσης (identifier), μια διάρκεια ζωής (lifetime), ένας αριθμός ακολουθίας (sequence number) και ένα άθροισμα ελέγχου (checksum) για κάθε καταχώρηση στη βάση δεδομένων. Επίσης, η διαφήμιση των CSNP συμβαίνει όταν σχηματίζεται γειτνίαση με άλλο δρομολογητή. Όπως τα IS-IS hello PDUs έτσι και τα CSNPs διατίθενται σε δύο τύπους: Επίπεδο 1 και Επίπεδο 2. Όταν μια συσκευή λαμβάνει ένα CSNP, ελέγχει τις καταχωρήσεις βάσης δεδομένων σε σχέση με τη δική της τοπική link-state database. Εάν ανιχνεύσει πληροφορίες που λείπουν, η συσκευή ζητάει συγκεκριμένες λεπτομέρειες σχετικά με την PDU κατάστασης σύνδεσης χρησιμοποιώντας ένα μερικό αριθμό ακολουθίας PDU (PSNP).
- **Partial sequence number PDUs (PSNPs)** : Στέλνει πολυεκπομπή από έναν δέκτη όταν εντοπίζει ότι λείπει μια Link-State PDU (δηλαδή όταν η βάση δεδομένων PDU της σύνδεσης είναι παλιά). Ο δέκτης στέλνει ένα PSNP στο σύστημα που διαβίβασε το CSNP, ζητώντας ουσιαστικά να μεταδοθεί το Link-State PDU που λείπει. Αυτή η συσκευή δρομολόγησης, με τη σειρά της, προωθεί το PDU της κατάστασης σύνδεσης που λείπει στην απαιτούμενη συσκευή δρομολόγησης. Ένα PSNP

χρησιμοποιείται από έναν δρομολογητή IS-IS για να ζητήσει πληροφορίες PDU σχετικά με την κατάσταση σύνδεσης από έναν γειτονικό δρομολογητή. Ένα PSNP μπορεί επίσης να αναγνωρίσει ρητά τη λήψη ενός PDU σύνδεσης κατάστασης σε έναν σύνδεσμο από σημείο σε σημείο. Όπως οι PDUs και τα CSNP, το PSNP έχει επίσης δύο τύπους: Επίπεδο 1 και Επίπεδο 2. Όταν μια συσκευή συγκρίνει μια CSNP με την τοπική βάση δεδομένων της και καθορίζει ότι λείπει ένα Link-State PDU, ο δρομολογητής εκδίδει ένα PSNP για το PDU που λείπει από την κατάσταση σύνδεσης, το οποίο επιστρέφεται σε PDU σύνδεση από τον δρομολογητή που στέλνει το CSNP. Το λαμβανόμενο PDU της κατάστασης σύνδεσης στη συνέχεια αποθηκεύεται στην τοπική βάση δεδομένων και αποστέλλεται μια επιβεβαίωση στον αρχικό δρομολογητή.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει συνοπτικά τους τύπους των IS-IS πακέτων [6] :

Κατηγορία	Τύπος Πακέτου	Τύπος Αριθμού
Hello	LAN Level-1 Hello	15
	LAN Level-2 Hello	16
	Point-to-Point Hello	17
LSP	Level-1 LSP	18
	Level-2 LSP	20
SNP	Level-1 Complete SNP	24
	Level-2 Complete SNP	25
	Level-1 Partial SNP	26
	Level-2 Partial SNP	27

Πίνακας 2: Τύποι IS-IS πακέτων

4 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ OSPF ΚΑΙ IS-IS

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η συγκριτική μελέτη των δύο πρωτοκόλλων τόσο σε θεωρητικό όσο και σε εργαστηριακό κομμάτι. Στο θεωρητικό κομμάτι θα τονίσουμε τις ομοιότητες και τις διαφορές, αλλά και την ορολογία που χρησιμοποιούν τα δύο πρωτόκολλα. Στο εργαστηριακό κομμάτι θα γίνει προσομοίωση του OSPF και του ISIS στο GNS3 VM και θα εξαχθούν αντίστοιχα συμπεράσματα.

4.1 Σύγκριση χαρακτηριστικών σε θεωρητικό επίπεδο

Όπως είδαμε στις παραπάνω υπο-ενότητες τα πρωτόκολλα OSPF και IS-IS είναι εννοιολογικά παρόμοια αλλά διαφέρουν σε αρκετά σημεία. Σε αυτή την υπο-ένότητα θα γίνει αναλυτική σύγκριση των ομοιοτήτων και διαφορών των δύο πρωτοκόλλων.

Ας ξεκινήσουμε με τις ομοιότητες : [12]

- Είναι και τα δύο πρωτόκολλα Εσωτερικής Πύλης (IGP) και χρησιμοποιούν αλγορίθμους δρομολόγησης κατάστασης συνδέσμων.
- Και τα δύο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διανομή πληροφοριών μεταξύ δρομολογητών που ανήκουν στο ίδιο αυτόνομο σύστημα.
- Και τα δύο χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο Dijkstra για τον υπολογισμό της βέλτιστης διαδρομής.
- Μπορούν να χρησιμοποιήσουν πολυεκπομπή για να ανακαλύψουν γειτονικούς δρομολογητές χρησιμοποιώντας Hello πακέτα. Ακόμα, μπορούν να υποστηρίξουν τον έλεγχο ταυτότητας των ενημερώσεων δρομολόγησης.
- Υποστηρίζουν και τα δύο CIDR (Classless Inter Domain Routing) και VLSM (Variable Length Subnetting).
- Εκλέγουν και οι δύο Designated Router στα δίκτυα εκπομπής και υποστηρίζουν απεριόριστο αριθμό βημάτων.
- Και τα δύο πρωτόκολλα δρομολόγησης υποστηρίζουν το μηχανισμό ελέγχου ταυτότητας.

Συνεχίζοντας με τις διαφορές :

- Το OSPF υπάγεται στο πρότυπο IETF (International Engineering Task Force), ενώ το ISIS έχει οριστεί από τον οργανισμό τυποποίησης ISO.
- Το OSPF υποστηρίζει συνδέσεις Non-Broadcast-Multi-Access (NBMA) και Point-to-Multipoint συνδέσεις, ενώ το ISIS όχι.
- Η ευρεία υιοθέτηση του IP μπορεί να συνέβαλε στη δημοσιότητα του OSPF. Το IS-IS όμως δεν χρησιμοποιεί IP για να μεταφέρει μηνύματα πληροφοριών δρομολόγησης.
- Το IS-IS εκτελείται απευθείας πάνω από το OSI layer 2 (Datalink layer) και επομένως είναι ασφαλές από επιθέσεις όπως: η πλαστογράφηση πακέτων IP αλλά και ορισμένες επιθέσεις Denial of Service (DoS). Αντίθετα, το OSPF τρέχει μέσω του IP με τον αριθμό πρωτοκόλλου 89. Αυτό σημαίνει ότι το OSPF πρέπει να εισάγει πρόσθετη επικεφαλίδα IP, μόνο που η επικεφαλίδα αυτή αυξάνει το γενικό κόστος του πακέτου δρομολόγησης.

- Το OSPF ορίζει τη Backbone Area (περιοχή 0) για διαφημίσεις μεταξύ περιοχών. Το IS-IS οργανώνει τον τομέα σε δύο επίπεδα.
- Οι δρομολογητές OSPF μπορούν να ανήκουν σε πολλές περιοχές, ενώ οι δρομολογητές IS-IS ανήκουν σε μια συγκεκριμένη περιοχή.
- Το OSPF εκλέγει τους DR και BDR, ενώ το IS-IS επιλέγει μόνο ένα DR που ονομάζεται DIS.
- Το OSPF διαθέτει ένα μεγαλύτερο σύνολο επεκτάσεων και προαιρετικών χαρακτηριστικών που καθορίζονται στα πρότυπα του πρωτοκόλλου. Ωστόσο, το IS-IS διευρύνεται ευκολότερα, αφού η χρήση δεδομένων Type-Length-Value (TLV) επιτρέπει στους μηχανικούς να εφαρμόσουν υποστήριξη για νέες τεχνικές χωρίς να επανασχεδιάσουν το πρωτόκολλο.
- Τα περισσότερα πρωτόκολλα δρομολόγησης χρειάζονται τροποποίηση για να υποστηρίξουν το IPv6, όμως το IS-IS επειδή είναι ένα ουδέτερο πρωτόκολλο δικτύου μπορεί να υποστηρίξει το IPv6 απευθείας.
- Το OSPF χρησιμοποιεί το Router ID (αναγνωριστικό δρομολογητή), ενώ το IS-IS χρησιμοποιεί το System ID (αναγνωριστικό συστήματος) για να αναγνωρίζει κάθε δρομολογητή στο δίκτυο.
- Το OSPF μπορεί να υποστηρίξει εικονικούς συνδέσμους, ενώ το IS-IS δεν μπορεί επειδή εκτελείται στο Level 2.
- Το OSPF υποστηρίζει περισσότερους τύπους συνδέσμων από το IS-IS. Οι συνδέσεις point-to-point και broadcast (μετάδοσης) υποστηρίζονται και από τα δύο πρωτόκολλα δρομολόγησης. Το OSPF υποστηρίζει επίσης τους τύπους συνδέσεων πολλαπλών επιπέδων Nonbroadcast, Point-to-Multipoint και Demand Circuits.

Ορολογία OSPF και IS-IS

OSPF	IS IS
Δρομολογητής-Router	Ενδιάμεσο Σύστημα-Intermediate System (IS)
Designated Router	Designated Intermediate system (DIS)
Υπολογιστής-Host	Τερματικό Σύστημα-End System (ES)
Σύνδεση-Link	Κύκλωμα-Circuit
Πακέτο-Packet	Protocol Data Unit (PDU)
Hello Packet(HP)	IS-IS Hello Packet (IIH)
Διαφήμιση Κατάστασης Σύνδεσης-Link State Advertisement(LSA)	Link State Packet (LSP)
Περιγραφή Πακέτου Βάσης Δεδομένων -Database Description Packet(DBD)	Πλήρες Πακέτο Αριθμών Ακολουθίας-Complete Sequence Number Packet (CSNP)

Κατάσταση Επιβεβαίωσης Πακέτου-Link State Acknowledgement order Request Packet	Μερικό Πακέτο-Partial Sequence Number Packet (PSNP)
Αυτόνομο Σύστημα-Autonomous System	Τομέας Δρομολόγησης-Routing Domain
Περιοχή 0-Backbone Area	Επίπεδο 2-Level 2 Sub-Domain
Area	Level-1 Area
Autonomous System Boundary Router(ASBR)	Level-2 Intermediate System
Αναγνωριστικό Δρομολογητή-Router Id	Αναγνωριστικό Συστήματος-System ID
Link-State ID	Link-State Packet ID
IP Destination Address + IP Protocol Number	Network Service Access Point(NSAP)
Subnet = IP Network	Subnet = Data Link
Virtual Link	Virtual Link

Πίνακας 3: Ορολογία OSPF και ISIS

Μεταφορά OSPF και IS-IS

Το OSPF χρησιμοποιεί το Πρωτόκολλο IP για την μεταφορά των πακέτων

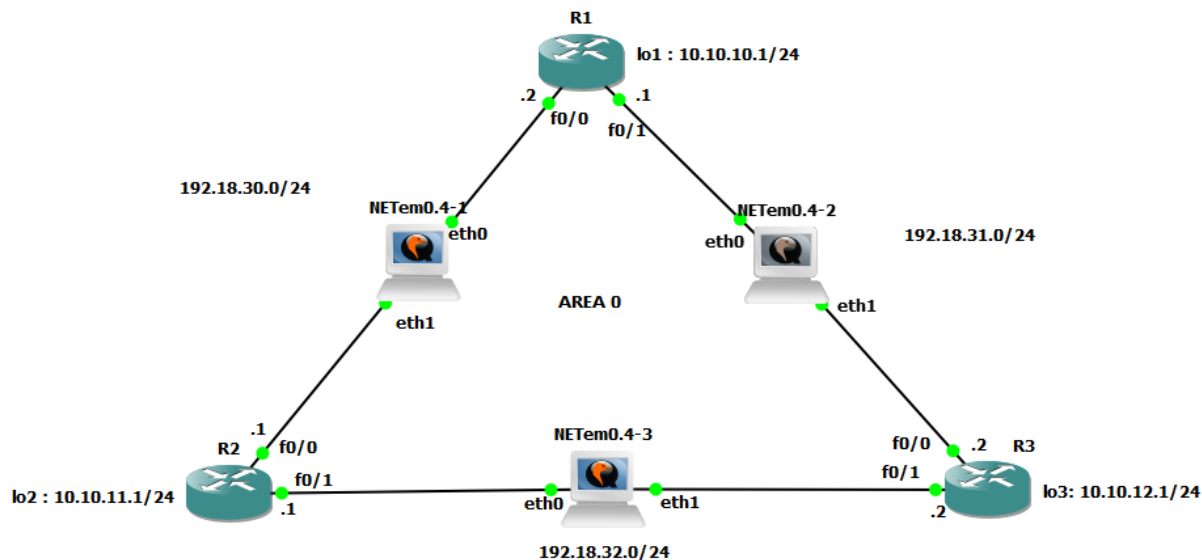
Data Link Header	IP Header	OSPF Header	OSPF Data
------------------	-----------	-------------	-----------

Το IS-IS είναι άμεσα ενσωματωμένο στο Layer 2

Data Link Header	IS-IS Header	IS-IS Data
------------------	--------------	------------

4.2 Προσομοίωση στο GNS3

Σκοπός της προσομοίωσης είναι η συγκριτική μελέτη των πρωτοκόλλων OSPFv2 και IS-IS. Θα χρησιμοποιήσουμε το VMware workstation όπου θα εγκαταστήσουμε εκεί το GNS3 VM, οπότε το GNS θα εκτελείται σε μία εικονική μηχανή (VM). Θα χρησιμοποιήσουμε ακόμα στη τοπολογία μας τη συσκευή NetEm (Network Link Emulator) που προσομοιώνει ένα Network Link και μπορεί να εισάγει διάφορες παραμέτρους όπως το εύρος ζώνης (bandwidth), την καθυστέρηση (delay) και την απώλεια πακέτων (packet loss) σε έναν σύνδεσμο. Η δικτυακή τοπολογία και για τα δυο πρωτόκολλα είναι η εξής :



Εικόνα 20: Τοπολογία των 2 πρωτοκόλλων

Ας ξεκινήσουμε με την παραμετροποίηση του OSPF. Αρχικά, θα πρέπει να δώσουμε σε κάθε interface των routers IP διευθύνσεις αλλά και να ενεργοποιήσουμε μια loopback διεύθυνση σε κάθε router. Έστω ότι είμαστε στον δρομολογητή R1, οι εντολές που θα εκτελέσουμε είναι οι εξής:

Για την Ip διεύθυνση εκτελώ :

```
R1# conf t
R1(config)# int f0/0 (αντίστοιχο interface)
R1(config-if)# no shutdown
R1(config-if)# ip address 192.18.30.2 255.255.255.0 (αντίστοιχη διεύθυνση)
R1(config-if)# end
R1# wr
```

Για το Loopback εκτελώ :

```
R1# conf t
R1(config)# int lo1
R1(config-if)# ip address 10.10.10.1 255.255.255.0
R1(config-if)# end
R1# wr
```

Για την παραμετροποίηση του OSPF εκτελώ :

```
R1# conf t
R1(config)# router ospf 2
R1(config-router)# router-id 1.1.1.1
R1(config-router)# network 192.18.30.0 0.0.0.255 area 0
```

```
R1(config-router)# network 192.18.31.0 0.0.0.255 area 0
R1(config-router)# network 10.10.10.0 0.0.0.255 area 0
R1(config-router)# end
R1# wr
```

Η ίδια διαδικασία, για την παραμετροποίηση των IP διευθύνσεων και του OSPF πρωτοκόλλου εκτελείται και στους υπόλοιπους δρομολογητές με τις αντίστοιχες διευθύνσεις.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο πίνακας δρομολόγησης του δρομολογητή R1 :

```
R1#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

C    192.18.31.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
C    192.18.30.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
    10.0.0.0/8 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks
O    10.10.11.1/32 [110/11] via 192.18.30.1, 00:00:24, FastEthernet0/0
C    10.10.10.0/24 is directly connected, Loopback1
O    10.10.12.1/32 [110/11] via 192.18.31.2, 00:00:34, FastEthernet0/1
O    192.18.32.0/24 [110/20] via 192.18.31.2, 00:00:34, FastEthernet0/1
      [110/20] via 192.18.30.1, 00:00:24, FastEthernet0/0
R1#
```

Εικόνα 21: Πίνακας δρομολόγησης του R1

Εδώ φαίνονται τα δίκτυα τα οποία είναι απευθείας συνδεδεμένα με τους δρομολογητές, όπου αναγνωρίζονται από το C που υπάρχει μπροστά από την IP διεύθυνση του δικτύου προορισμού, αλλά και τα δίκτυα που έχουν παραμετροποιηθεί με το πρωτόκολλο OSPF και αναγνωρίζονται αντίστοιχα από το O. Είναι επίσης χρήσιμο να σχολιάσουμε το [110/20]. Το 110 είναι το Administrative Distance που είναι το Default Distance Value για το OSPF πρωτόκολλο και το 20 είναι η μετρική η οποία προκύπτει προσθέτοντας το κόστος κάθε συνδέσμου από το οποίο περνάει το πακέτο (10 + 10). Στο OSPF το κόστος κάθε συνδέσμου προκύπτει ως εξής: $Cost = 10^8 / \text{interface bandwidth in bps}$.

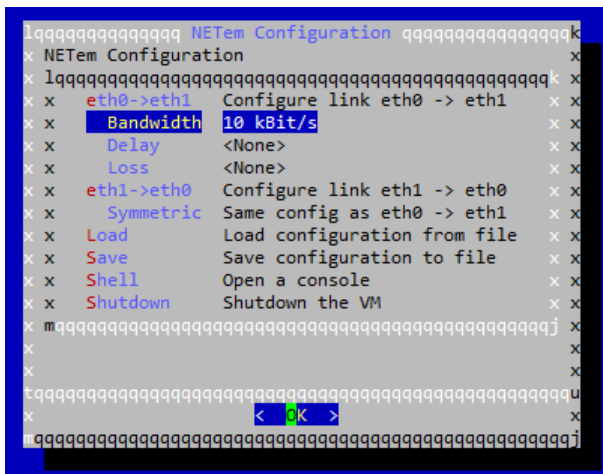
Στη συνέχεια, θα πρέπει να ελέγξουμε αν όλοι οι δρομολογητές επικοινωνούν μεταξύ τους με τα ping test. Παρακάτω βλέπουμε πως όλοι οι δρομολογητές επικοινωνούν μεταξύ τους με ποσοστό επιτυχίας 100%.

```
R1#ping 192.18.32.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.18.32.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 72/128/152 ms
R1#ping 192.18.30.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.18.30.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 68/70/76 ms
R1#ping 192.18.31.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.18.31.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/1/1 ms
R1#ping 192.18.31.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.18.31.2, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 60/91/128 ms
R1#ping 192.18.32.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.18.32.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 56/373/1536 ms
R1#
```

Εικόνα 22: Επιτυχή επικοινωνία δρομολογητή R1 με όλους τους δρομολογητές

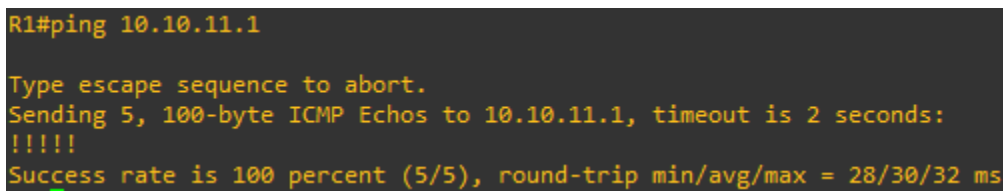
```
R2#ping 192.18.32.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.18.32.2, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 4/128/196 ms
R2#ping 192.18.31.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.18.31.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 100/148/200 ms
R2#ping 192.18.30.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.18.30.2, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 68/116/204 ms
R2#
```

Εικόνα 23 : Επιτυχή επικοινωνία δρομολογητή R2 με όλους τους δρομολογητές



Εικόνα 29: Bandwidth 10kBit/sec

Παρατηρούμε στον δρομολογητή R1 ότι για bandwidth 10kBit/s , η αποστολή των πακέτων γίνεται με το ελάχιστο round trip time όπως φαίνεται παρακάτω :



Εικόνα 30: Ελάχιστο round trip time στον R1

Συνεχίζουμε με την παραμετροποίηση του ISIS. Όπως στο OSPF έτσι και στο ISIS θα πρέπει να δώσουμε σε κάθε interface των routers IP διευθύνσεις αλλά και να ενεργοποιήσουμε μια loopback διεύθυνση για κάθε router. Έστω ότι είμαστε στον δρομολογητή R1, οι εντολές που θα εκτελέσουμε είναι οι εξής:

Για την Ip διεύθυνση εκτελώ :

```
R1# conf t
R1(config)# int f0/0 (αντίστοιχο interface)
R1(config-if)# no shutdown
R1(config-if)# ip address 192.18.30.2 255.255.255.0 (αντίστοιχη διεύθυνση)
R1(config-if)# ip router isis
R1(config-if)# end
R1# wr
```


Για το Loopback εκτελώ :

```
R1# conf t
R1(config)# int lo1
R1(config-if)# ip address 10.10.10.1 255.255.255.0
R1(config-if)# ip router isis
R1(config-if)# end
R1# wr
```

Για την παραμετροποίηση του ISIS εκτελώ :

```
R1# conf t
R1(config)# router isis
R1(config-router)# net 49.0001.0000.0000.0001.00
R1(config-router)# end
R1# wr
```

Η ίδια διαδικασία, για την παραμετροποίηση των IP διευθύνσεων και του IS-IS πρωτοκόλλου εκτελείται και στους υπόλοιπους δρομολογητές με τις αντίστοιχες διευθύνσεις.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο πίνακας δρομολόγησης του δρομολογητή R1 :

```
R1#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

C    192.18.31.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
C    192.18.30.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
     10.0.0.0/24 is subnetted, 3 subnets
C      10.10.10.0 is directly connected, Loopback1
i L2  10.10.11.0 [115/30] via 192.18.31.2, FastEthernet0/1
i L2  10.10.12.0 [115/20] via 192.18.31.2, FastEthernet0/1
i L2  192.18.32.0/24 [115/20] via 192.18.31.2, FastEthernet0/1
```

Εικόνα 31: Πίνακας Δρομολόγησης R1

Παραπάνω φαίνονται τα δίκτυα τα οποία είναι απευθείας συνδεδεμένα με τους δρομολογητές, όπου αναγνωρίζονται από το C που υπάρχει μπροστά από την διεύθυνση, αλλά και τα δίκτυα που έχουν παραμετροποιηθεί με το πρωτόκολλο ISIS και αναγνωρίζονται αντίστοιχα από το i. Χρήσιμο είναι να σχολιάσουμε για παράδειγμα το [115/20]. Το 115 είναι το Administrative Distance που είναι το Default

Distance Value για το ISIS πρωτόκολλο και το 20 είναι η μετρική η οποία προκύπτει προσθέτοντας το κόστος κάθε συνδέσμου από το οποίο περνάει το πακέτο (10 + 10). Όλα τα IS-IS links χρησιμοποιούν μετρική 10. Ακόμα, το L2 είναι ο τύπος του δρομολογητή (type level 2).

Στη συνέχεια, θα πρέπει να ελέγξουμε αν όλοι οι δρομολογητές επικοινωνούν μεταξύ τους με τα ping test. Ενδεικτικά screenshots τα παρακάτω :

```
R1#ping 192.18.31.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.18.31.2, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 68/132/200 ms
```

Εικόνα 32: Επιτυχή επικοινωνία δρομολογητή R1 με δρομολογητή R3

```
R2#ping 192.18.32.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.18.32.2, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 96/493/1904 ms
```

Εικόνα 33: Επιτυχή επικοινωνία δρομολογητή R2 με δρομολογητή R3

```
R2#ping 192.18.32.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.18.32.2, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 96/493/1904 ms
R3#ping 192.18.31.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.18.31.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 84/103/144 ms
```

Εικόνα 34: Επιτυχή επικοινωνία δρομολογητή R3 με δρομολογητή R1

Packet Loss

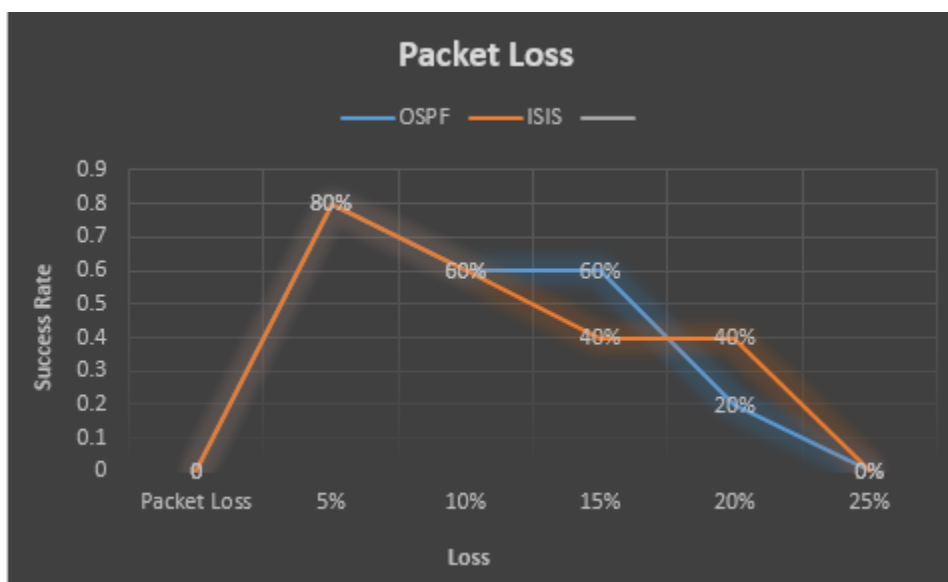
Για το packet loss εισάγω στη συσκευή NetEm04-2 που συνδέει τον R1 και τον R3, τιμή ίση με 5% όπως φαίνεται στην εικόνα :

Προχωράμε με την συγκριτική μελέτη της απόδοσης των πρωτοκόλλων OSPFv2 και IS-IS. Για απώλεια πακέτων (packet loss) από 5% έως 25% τα δύο πρωτόκολλα έχουν το παρακάτω Success Rate όσο αφορά το ring:

	Success Rate	
Packet Loss	OSPF	ISIS
5%	80%	80%
10%	60%	60%
15%	60%	40%
20%	20%	40%
25%	0%	0%

Πίνακας 4: Success Rate πρωτοκόλλων για Packet Loss 5%-25%

Το αντίστοιχο διάγραμμα είναι το εξής :



Εικόνα 41: Packet Loss Chart

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το Packet Loss τόσο περισσότερα πακέτα χάνονται. Στο OSPF για packet loss 5% έχουμε success rate 80% , δηλαδή 4/5 πακέτα (χάνεται ένα πακέτο). Για packet loss 10% έχουμε success rate 60%, δηλαδή 3/5 πακέτα (χάνονται δύο πακέτα). Για packet loss 15% έχουμε επίσης success rate 60% . Για packet loss 20% έχουμε success rate 20%, δηλαδή 1/5 πακέτα (χάνονται τέσσερα πακέτα). Τέλος, για packet loss 25% έχουμε success rate 0%, δηλαδή 0/5 πακέτα (χάνονται όλα τα πακέτα).

Αντίστοιχα , στο ISIS για packet loss 5% έχουμε success rate 80% . Για packet loss 10% έχουμε success rate 60% . Για packet loss 15% έχουμε success rate 40%, δηλαδή 2/5 πακέτα (χάνονται 3 πακέτα). Για packet loss 20% έχουμε επίσης success rate 40%. Τέλος, για packet loss 0% έχουμε success rate 0% .

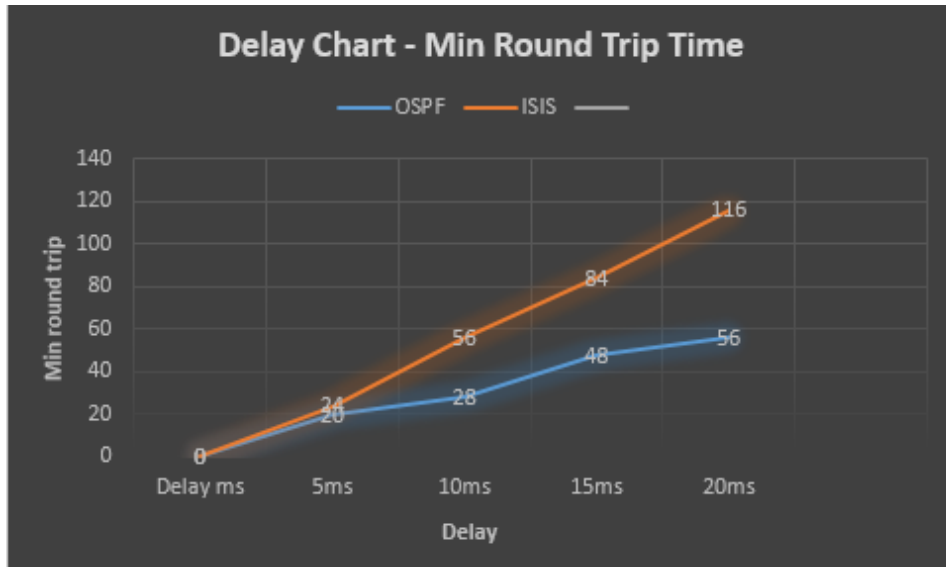
Παρατηρούμε ότι και στα δύο πρωτόκολλα έχουμε μια καθοδική πορεία όσον αφορά τα πακέτα μας, που αυτό είναι το αναμενόμενο για το αντίστοιχο loss που δίνουμε κάθε φορά. Στο σημείο αυτό να τονίσουμε ότι και στο OSPF και στο ISIS παρατηρούμε σε δύο σημεία ότι έχουμε το ίδιο success rate (60% και 40%), χωρίς αυτό όμως να επηρεάζει την αποτελεσματικότητά τους.

Για την καθυστέρηση (delay) θα συγκρίνουμε το min round trip time, το average round trip time και το max round trip time. Από 5 έως 20 ms τα δύο πρωτόκολλα έχουν τα παρακάτω round trip time :

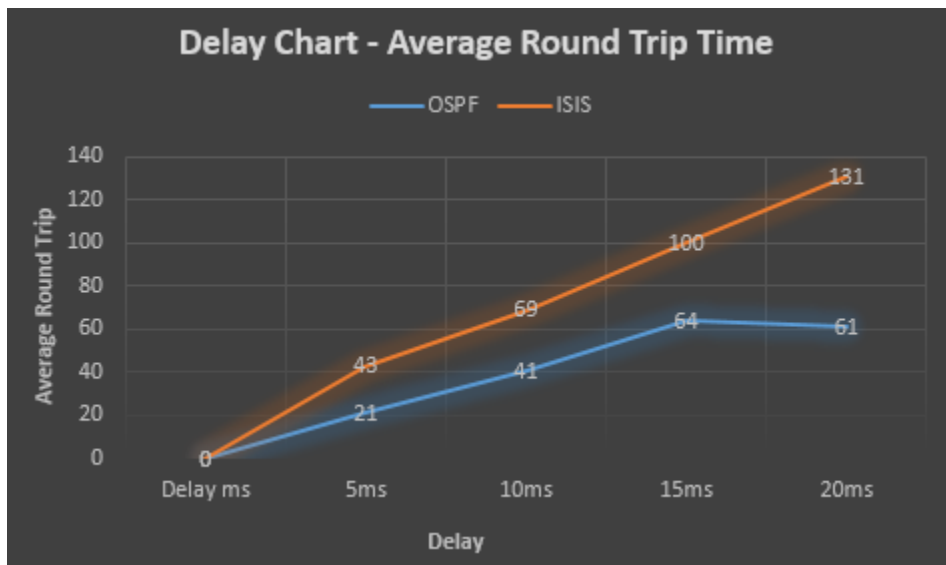
Delay (ms)	Round trip time					
	OSPF			IS-IS		
	Min	Average	Max	Min	Average	Max
5	20	21	24	24	43	68
10	28	41	56	56	69	92
15	48	64	76	84	100	116
20	56	61	68	116	131	156

Πίνακας 5: Delay - Min, Average, Max Round Trip Time

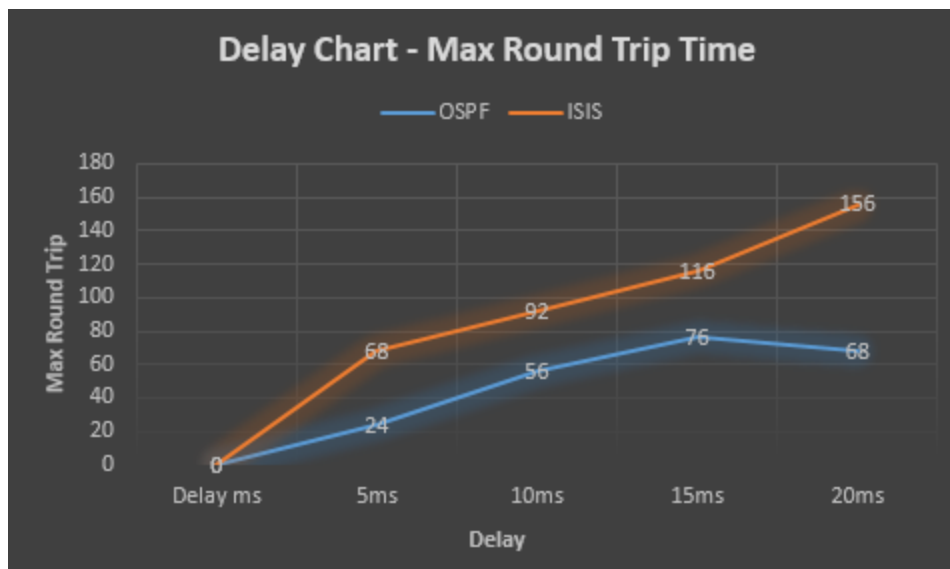
Τα αντίστοιχα διαγράμματα είναι τα εξής :



Εικόνα 42: Delay Chart- Min Round Trip Time



Εικόνα 43: Delay Chart- Average Round Trip Time



Εικόνα 44: Delay Chart- Max Round Trip Time

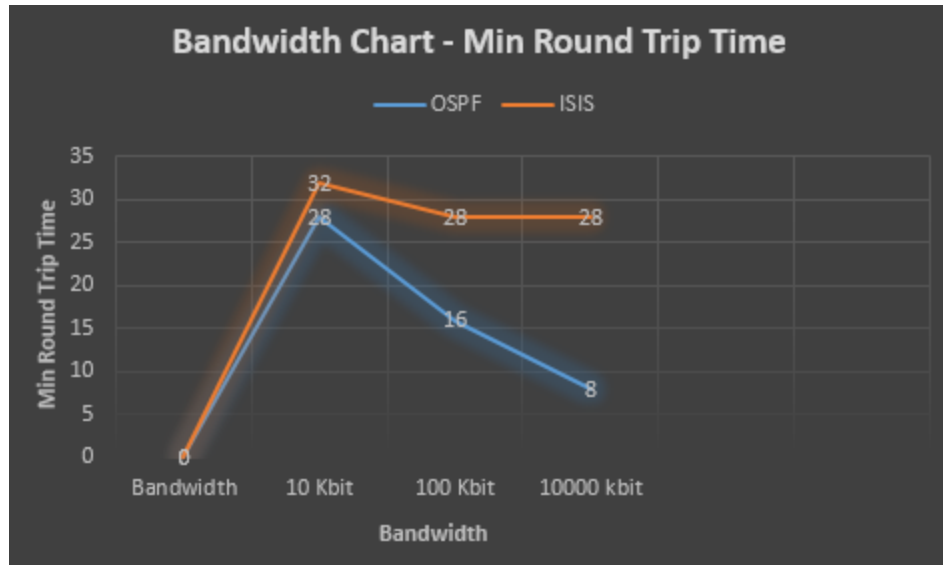
Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η καθυστέρηση, τόσο μεγαλώνει το round trip time. Σ' αυτό το σημείο να τονίσουμε ότι στο ospf στο average και στο max round trip time στα 20 ms παρατηρούμε ότι μειώνεται ελάχιστα το round trip time. Ωστόσο, δεν είναι σημαντική η μείωση ώστε να μας προβληματίζει. Συνολικά παρατηρούμε ότι η απόδοση του OSPF είναι καλύτερη από αυτήν του IS-IS όσο αφορά την παράμετρο της καθυστέρησης που εισάγουμε σε έναν σύνδεσμο του δικτύου.

Τέλος, όπως στο delay έτσι και στο bandwidth θα συγκρίνουμε το min round trip time, το average round trip time και το max round trip time. Για 10, 100 και 10000 kbit/sec τα δύο πρωτόκολλα έχουν τα παρακάτω round trip time :

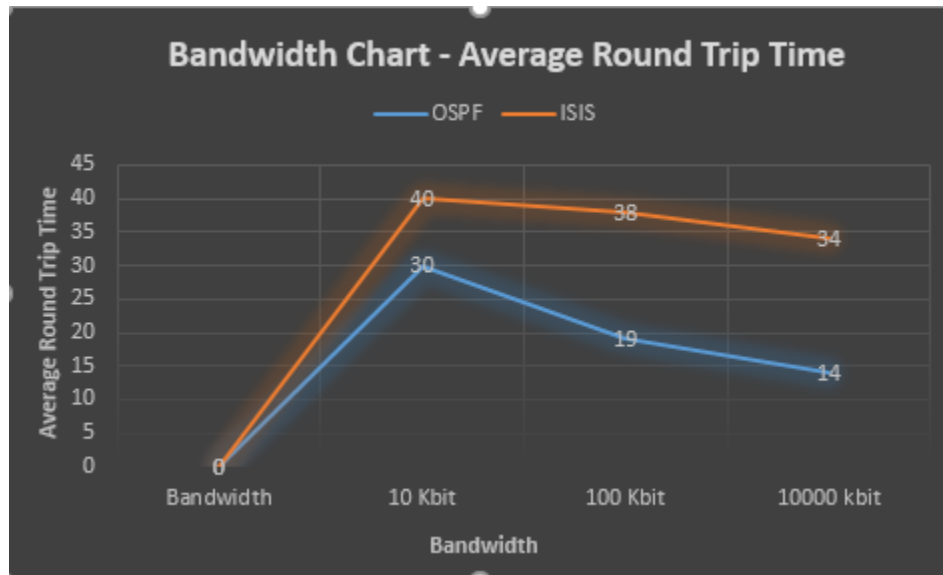
Bandwidth (kbit/s)	Round trip time					
	OSPF			IS-IS		
	Min	Average	Max	Min	Average	Max
10	28	30	32	32	40	48
100	16	19	20	28	38	44
10000	8	14	20	28	34	44

Πίνακας 6: Bandwidth - Min, Average, Max Round Trip Time

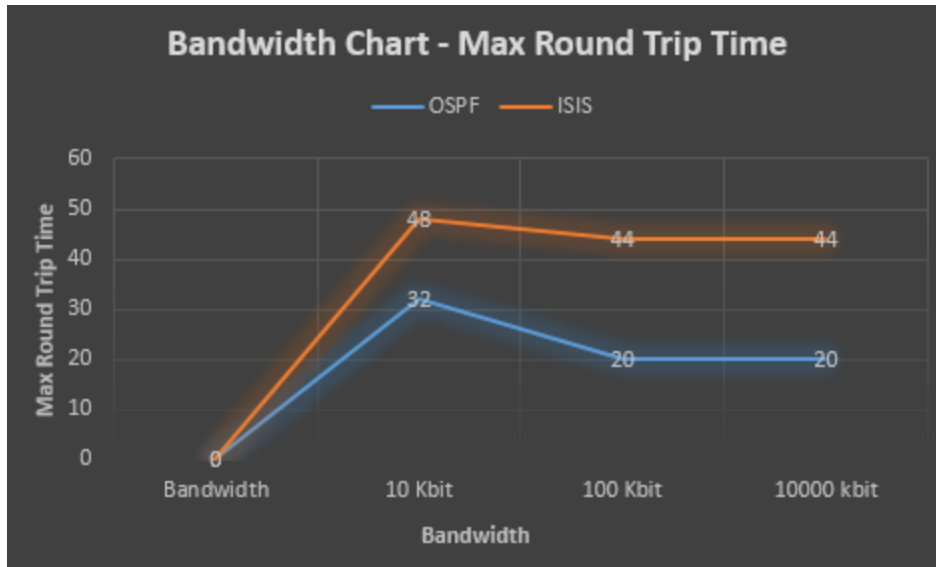
Τα αντίστοιχα διαγράμματα είναι τα εξής :



Εικόνα 45: Bandwidth Chart - Min Round Trip Time



Εικόνα 46: Bandwidth Chart - Average Round Trip Time



Εικόνα 47: Bandwidth Chart - Max Round Trip Time

Με το bandwidth περιγράφεται η ταχύτητα μεταφοράς των δεδομένων, δηλαδή όσο αυξάνουμε το bandwidth τόσο περισσότερα πακέτα θα έχουμε αλλά σε ελάχιστο round trip time. Στις παραπάνω εικόνες επιβεβαιώνεται ότι όσο αυξάνουμε το bandwidth τόσο ελάχιστο round trip time έχουμε. Επιπλέον παρατηρούμε ότι η απόδοση του OSPF είναι καλύτερη από αυτήν του IS-IS όσο αφορά την παράμετρο του bandwidth που εισάγουμε σε έναν σύνδεσμο του δικτύου.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως είδαμε τα δύο πρωτόκολλα είναι εννοιολογικά παρόμοια αλλά διαφέρουν σε αρκετά σημεία μεταξύ τους.

Το πρωτόκολλο ISIS είναι γενικά ένα πρωτόκολλο το οποίο προτιμάται από το OSPF. Αυτό γιατί προσφέρει μεγαλύτερη επεκτασιμότητα, μπορεί να λειτουργήσει και στους δύο τομείς IPv4 και IPv6 χωρίς να γίνουν πολλές αλλαγές και ακόμα μπορεί να φιλοξενήσει μεγάλο αριθμό δρομολογητών. Επιπλέον, με το ISIS μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διευθύνσεις IP ή CLNP, επεκτείνεται ευκολότερα αφού η χρήση δεδομένων Type-Length-Value (TLV) επιτρέπει στους μηχανικούς να εφαρμόσουν υποστήριξη για νέες τεχνικές χωρίς να επανασχεδιάσουν το πρωτόκολλο. Το να υποστηρίζεις ένα νέο TLV σε ένα IGP είναι πολύ καλύτερο από το να αλλάξεις ολόκληρο το IGP για να υποστηρίξεις οποιοδήποτε νέο χαρακτηριστικό. Χρησιμοποιεί ένα LSP ανά επίπεδο για την ανταλλαγή πληροφοριών, το οποίο περιέχει πολλά TLV καθένα από τα οποία αντιπροσωπεύει ένα κομμάτι πληροφοριών δρομολόγησης.

Το OSPF είναι ένα γρήγορο πρωτόκολλο και κατάλληλο για μεγάλα δίκτυα. Χρησιμοποιείται ευρέως και είναι κατάλληλο για λειτουργικές βελτιώσεις και τοπολογικές ευελιξίες ενσωματωμένες στο IPv6. Χρησιμοποιεί διευθύνσεις IP 32bit για δρομολόγηση και τρέχει μέσω του IP με τον αριθμό πρωτοκόλλου 89. Αυτό σημαίνει ότι το OSPF πρέπει να εισάγει πρόσθετη επικεφαλίδα IP, μόνο που η επικεφαλίδα αυτή αυξάνει το γενικό κόστος του πακέτου δρομολόγησης. Ακόμα, υποστηρίζει περισσότερους τύπους συνδέσμων και διαθέτει ένα μεγαλύτερο σύνολο επεκτάσεων και προαιρετικών χαρακτηριστικών που καθορίζονται στα πρότυπα του πρωτοκόλλου. Όμως όλες αυτές οι δυνατότητες του πρωτοκόλλου έχουν ως αντίτιμο την πολυπλοκότητα στη ρύθμιση και στην άρση βλαβών. Για αυτό άλλωστε απαιτείται περισσότερη επεξεργαστική ισχύς και μνήμη στους δρομολογητές.

Στο εργαστηριακό κομμάτι φάνηκε ότι και τα δύο πρωτόκολλα είναι αποτελεσματικά και ότι έχουν αναμενόμενη συμπεριφορά. Ωστόσο το OSPF φάνηκε να υπερισχύει του IS-IS όσο αφορά το success rate του ring εισάγοντας διαφορετική καθυστέρηση, απώλεια πακέτων και bandwidth στο δίκτυο.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Δικτύωση Υπολογιστών, Προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω 6η Έκδοση, James F. Kurose, Keith W. Ross
- [2] Δίκτυα και Διαδίκτυα Υπολογιστών, 6η Αμερικάνικη Έκδοση, Douglas E. Comer
- [3] OSPFv3 and IS-IS PROTOCOLS, International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET) Volume 3 Issue 8, August 2014
- [4] ISO Connectionless Network Service, Cisco Press, 2002, pp. Chapter 2, Section 1.
- [5] IS-IS Overview
https://www.juniper.net/documentation/en_US/junos/topics/concept/is-is-routing-overview.html
- [6] IS-IS Protocol
<https://sites.google.com/site/amitsciscozone/home/is-is>
- [7] OSPF LSA Types
<http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=2294214&seqNum=2>
- [8] OSPF Neighbor States
<https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/open-shortest-path-first-ospf/13685-13.html>
- [9] OSPF - ISIS
https://openclass.teiwm.gr/modules/document/file.php/INFORMATIC117/10_ospf%20and%20isis_theory.pdf
- [10] Paper - A Comparison of OSPFv3 and EIGRPv6 in a Small IPv6 Enterprise Network, Richard John Whitfield, 2015
- [11] Paper - An Integer programming formulation for optimal deployment of ISIS protocol, Martine Labbe, November 9, 2006
- [12] Paper - Comparing OSPF and ISIS, AfNOG 2013