



Πανεπιστήμιο Πειραιώς
Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Κατεύθυνση Δικτυοκεντρικών Συστημάτων

Διπλωματική Εργασία

**Πρωτόκολλα Δρομολόγησης, προβλήματα και μέθοδοι
αντιμετώπισής τους.**

Αποστολόπουλος Βασίλειος-Άγγελος
ΜΕ09046

Επιβλέπων καθηγητής:
Μηλιώνης Απόστολος

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2011

РАВЕЛЪТНО РЕПАА

Στους γονείς μου

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας που αναφέρεται στο αγαπημένο μου θέμα των Πρωτοκόλλων Δρομολόγησης τόσο θεωρητικά όσο και πρακτικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Απόστολο Μηλιώνη για την κατανόησή του, την ενθάρρυνσή του και την άνετη επικοινωνία μαζί του. Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κκ. Άγγελο Ρούσκα και Χρήστο Ξενάκη για την τιμή που μου κάνανε να είναι μέλη της τριμελούς επιτροπής. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους πρώην συναδέλφους και προϊσταμένους μου στη εταιρία που εργάζομαι κ. Αλέξη Μάσσιο και Δρ. Περικλή Νικολαΐδη για την εμπιστοσύνη που μου δείξανε συστήνοντάς με στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα του Πανεπιστημίου Πειραιά. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου για την συνεχή υποστήριξή τους σε όλα τα στάδια της εκπαίδευσής μου και της ζωής μου γενικότερα.

РАНЕЕЗНАКОМСТВО

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετώνται τα βασικά Interior Unicast Routing Protocols, τυχόν προβλήματα που μπορούμε να συναντήσουμε κατά την εφαρμογή τους καθώς και μέθοδοι αντιμετώπισής τους όπου είναι αυτό εφικτό. Η εργασία είναι χωρισμένη σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος (κεφάλαια 1 έως και 7) παρουσιάζεται η θεωρία και στο δεύτερο μέρος (κεφάλαια 8 έως και 11) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα πειραμάτων με Cisco Routers.

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μια εισαγωγή στις βασικές έννοιες του networking. Παρουσιάζεται το 7-layer OSI μοντέλο, η TCP/IP (version 4) protocol suite με ιδιαίτερη έμφαση στα TCP και UDP protocols. Αναλύεται το IPv4 Addressing και ακολουθεί εισαγωγή/παρουσίαση του IP version 6.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες του Routing, οι διαφορές του Classful από το Classless Routing, παρουσιάζεται το Variable Length Subnet Masking (VLSM), αναλύεται το Summarization και ακολουθεί η περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών των Distance Vector και των Link State Routing protocols.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται το RIP protocol. Αναλύονται προβλήματα που μπορούμε να συναντήσουμε τόσο σε RIPv1 όσο και σε RIPv2 και προτείνονται λύσεις. Τέλος, παρουσιάζεται το RIP next generation (RIPng) - που είναι η έκδοση του RIP protocol που δημιουργήθηκε για υποστήριξη δρομολόγησης σε δίκτυα IP version 6 - με έμφαση στις διαφορές του από το RIPv2.

Στο κεφάλαιο 4 αναπτύσσεται το OSPF protocol. Παρουσιάζεται σε high level ο τρόπος που δουλεύει, η ορολογία του, οι δομές που χρησιμοποιεί, τα χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων Areas καθώς και οι τύποι των OSPF Routers. Περιγράφονται τα πακέτα και πως οι routers ανακαλύπτουν τους γείτονές τους και ανταλλάσσουν πληροφορίες. Αναλύονται προβλήματα και προτείνονται λύσεις. Στο τέλος γίνεται αναφορά στο OSPF version 3 που δημιουργήθηκε για να υποστηρίξει δρομολόγηση σε δίκτυα IP version 6.

Στο κεφάλαιο 5 εξετάζεται το IS-IS protocol. Παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του, οι τύποι των Routers, το Addressing και χρησιμοποιείται ένα παράδειγμα ενός σχετικά σύνθετου δικτύου χωρισμένου σε Areas για να εξηγηθεί η λειτουργία του πρωτοκόλλου. Ακολουθεί η αναπόφευκτη σύγκριση με το OSPF καθώς και τα δύο πρωτόκολλα όντας του ίδιου τύπου έχουν πολλές ομοιότητες, ακολουθεί αναφορά στα παρόμοια με το OSPF προβλήματα και προτείνονται λύσεις. Τέλος, γίνεται αναφορά στις επεκτάσεις του IS-IS που έγιναν για υποστήριξη δρομολόγησης σε δίκτυα IP version 6.

Στο κεφάλαιο 6 εξετάζεται η συνύπαρξη διαφορετικών Routing protocols, οι περιπτώσεις που αυτό είναι επιβαλλόμενο, οι μέθοδοι που το υλοποιούν καθώς και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να αποφεύγονται κατά το δυνατόν τα προβλήματα.

Στο κεφάλαιο 7 αναφέρονται κάποια προβλήματα του Routing αυτού καθ' εαυτού και προτείνεται η χρήση του Multiprotocol Label Switching (MPLS) για την επίλυσή τους. Γίνεται μια εισαγωγή στο MPLS και ακολουθεί περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του. Δεν γίνεται απόπειρα περαιτέρω εμβάθυνσης καθότι δεν είναι το κύριο αντικείμενο της παρούσας εργασίας αλλά αναφέρεται μόνο σαν μέθοδος επίλυσης κάποιων προβλημάτων.

Τα βασισμένα σε Cisco Routers εργαστήρια του δεύτερου μέρους έχουν σκοπό τόσο να αποδείξουν πειραματικά όσα ελέγχθησαν στο θεωρητικό μέρος, όσο και να βοηθήσουν τον αναγνώστη να εμπεδώσει όσα διάβασε στα προηγούμενα κεφάλαια.

Πίνακας Περιεχομένων

Πρωτόκολλα Δρομολόγησης, προβλήματα και μέθοδοι αντιμετώπισής τους.....	1
Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη.....	7
Πίνακας Εικόνων.....	13
Μέρος 1^ο Θεωρία.....	19
1 Εισαγωγή.....	21
1.1 Ιεραρχική Σχεδίαση των Δικτύων.....	21
1.2 Το μοντέλο αναφοράς OSI.....	27
1.3 Ο TCP/IP Protocol Stack.....	31
1.3.1 ARP, RARP Protocols.....	35
1.3.2 IP Addressing.....	36
1.3.3 IP Subnetting.....	37
1.3.4 IP version 6.....	39
1.3.4.1 Η Ορολογία του IP Version 6.....	40
1.3.4.2 IP version 6 Headers.....	41
1.3.4.3 IP Version 6 Addresses.....	42
1.3.4.4 IP version 6 Neighbor discovery.....	48
1.3.4.5 IP version 6 Stateless autoconfiguration.....	49
1.4 Εισαγωγή στην Δρομολόγηση (Routing).....	50
1.5 Απαιτήσεις του Routing.....	52
1.6 Routing Tables.....	53
2 Χαρακτηριστικά των Routing Protocols.....	57
2.1 TTL (Time to Live).....	57
2.2 Classful Routing.....	58
2.3 Classless Routing.....	59
2.4 VLSM (Variable Length Subnet Masking).....	60
2.5 Summarization.....	61
2.6 Longest Match.....	64
2.7 Distance Vector Routing Protocols.....	65
2.8 Link State Routing Protocols.....	67
3 Routing Information Protocol (RIP).....	69
3.1 RIP version 1.....	70
3.1.1 Πρόβλημα: Discontinuous Subnets.....	72
3.1.2 Λύση: Χρήση RIP version 2.....	73
3.1.3 Λύση: Χρήση των Static Routes.....	74
3.2 RIP version 2.....	74
3.3 Πρόσθετες Επεκτάσεις του RIP Version 2.....	76
3.4 Συμπεριφορά σε αλλαγές στην Τοπολογία του Δικτύου.....	76
3.4.1 Πρόβλημα: Countdown to infinity.....	77
3.4.2 Λύση: Split Horizon.....	80
3.4.3 Λύση: Split Horizon with Poisoned Reverse.....	81
3.4.4 Λύση: Triggered Updates.....	81
3.4.5 Λύση: Route Poisoning.....	83
3.4.6 Λύση: Hold-down Timers.....	83
3.4.7 Λύση: Hold-down Timers με Triggered Updates.....	84

3.5	Πρόβλημα: Όταν το Split-Horizon δημιουργεί πρόβλημα αντί να το λύνει	87
3.6	Λύση: Point-to-Point Sub-interfaces	88
3.7	RIP next generation (RIPng).....	88
3.7.1	RIPng packet.....	89
3.7.2	RIPng Next Hop.....	91
3.7.3	RIPng Timers.....	92
3.7.4	Split Horizon – Poisoned Reverse	92
3.7.5	Triggered Updates.....	93
4	Open Shortest Path First (OSPF).....	95
4.1	Βασικά Χαρακτηριστικά του OSPF - Σύγκριση με RIP	95
4.2	Ορολογία	97
4.3	Link-state Database	100
4.4	Link State Advertisements (LSAs)	101
4.4.1	LSA Header	101
4.4.2	LSA Payload	104
4.4.2.1	Router-LSAs	104
4.4.2.2	Network-LSAs	105
4.4.2.3	Summary-LSAs	105
4.4.2.4	AS-external-LSAs	105
4.5	OSPF Areas	106
4.6	Γενική περιγραφή του πακέτου OSPF	110
4.7	OSPF Hello Protocol.....	113
4.8	OSPF Router Id.....	115
4.9	OSPF Broadcast Networks	116
4.10	OSPF Point-to-Point Networks.....	117
4.11	OSPF Non Broadcast Multi Access (NBMA) Networks	118
4.12	OSPF Adjacencies.....	121
4.13	Multi-Area OSPF	123
4.13.1	Πρόβλημα: Broken Backbone	123
4.13.2	Πρόβλημα: Συχνός υπολογισμός του Shortest Path	123
4.13.3	Πρόβλημα: Μεγάλο Routing Table	123
4.13.4	Πρόβλημα: Μεγάλο Link State Database.....	123
4.13.5	Λύση: Ιεραρχικό routing με Summarization	124
4.13.6	Λύση: Χρήση Stub Areas όπου είναι αυτό δυνατόν.....	124
4.13.7	Λύση: External Route Summarization	124
4.13.8	Λύση: Χρήση Timers για περιορισμό του Overhead.....	125
4.14	Επεκτασιμότητα (Scalability)	125
4.15	OSPF Version 3	128
4.15.1	Αλλαγές στην χρήση των διευθύνσεων.....	129
4.15.2	Εμβέλεια του Flooding	129
4.15.3	Αλλαγές στην μορφή των LSAs	130
4.15.4	Αλλαγές στην μορφή των OSPF Packets	131
4.15.5	Διαχείριση των αγνώστων LSA Types	132
4.15.6	Ταυτοποίηση των Neighbors με χρήση του Router ID.....	132
5	Intermediate System to Intermediate System (IS-IS)	133
5.1	Βασικά χαρακτηριστικά του IS-IS	134

5.1.1	Οι τύποι των Routers στο IS-IS	134
5.1.2	Addressing	135
5.1.3	Subnetwork Point of Attachment (SNPA)	137
5.1.4	Routing στο IS-IS.....	137
5.2	Η χρήση του Hello Protocol για τον σχηματισμό adjacencies	140
5.3	IS-IS Broadcast Networks	141
5.4	Η Link State Database	142
5.4.1	Link State Packets (LSPs)	143
5.4.1.1	IP Routing.....	145
5.4.1.2	Supported Protocols	146
5.4.2	Complete and Partial Sequence Number PDUs.....	146
5.5	Ομοιότητες και διαφορές του IS-IS με το OSPF.....	147
5.6	Προβλήματα του IS-IS και αντιμετώπισή τους	149
5.7	Scalability	149
5.8	IPv6 Support	150
5.8.1	IPv6 Reachability TLV	150
5.8.2	IPv6 Interface Address TLV.....	150
5.8.3	IPv6 NLPID	151
5.8.4	IPv6 Operation.....	151
6	Ταυτόχρονη χρήση περισσοτέρων του ενός Routing Protocols	153
6.1	Route Redistribution	154
6.2	Route Redistribution (Δύο σενάρια)	155
6.3	Seed Metrics	156
6.4	Σχεδίαση και Υλοποίηση Route Redistribution.....	157
6.5	Προβλήματα του Route Redistribution	159
7	Εισαγωγή στο MPLS	161
7.1	Μειονεκτήματα του παραδοσιακού Routing	161
7.2	Εισαγωγή στο Multiprotocol Label Switching	162
7.3	Η Αρχιτεκτονική του MPLS.....	164
7.3.1	Το MPLS Label.....	164
7.3.2	Οι Εσωτερικές MPLS δομές του Router software.....	166
7.3.3	Ο MPLS Label Stack.....	168
7.3.4	Δημιουργία και Διανομή των MPLS Labels	170
7.4	Η Λειτουργία του MPLS	172
	Μέρος 2^ο Εργαστήρια	173
8	Παραδείγματα RIP.....	175
8.1	Rip Classful Routing	175
8.2	Rip Classless Routing.....	181
8.3	Rip: Classful Routing Discontinuous Subnets.....	187
8.3.1	Συμπεράσματα	193
8.4	Rip: Classless Routing Discontinuous Subnets	194
8.5	RIP: Αντιμετώπιση του Counting to Infinity (Σενάριο 1).....	197
8.6	RIP: Αντιμετώπιση του Counting to Infinity (Σενάριο 2).....	201
9	Παραδείγματα OSPF	209
9.1	OSPF Single Area Broadcast Network	209
9.2	OSPF Multi Area Network	218

9.2.1	OSPF Standard Areas.....	219
9.2.2	Summarization των Non-backbone Areas.....	228
9.2.3	Summarization και του Backbone	232
9.2.4	Stub Area.....	234
9.2.5	Not So Stubby Area (NSSA)	236
9.2.6	Broken Backbone.....	239
9.3	OSPF version 3 Multi Area Network.....	245
9.3.1	Summarization	257
9.3.2	Stub Area.....	260
9.3.3	Not So Stubby Area (NSSA)	261
9.3.4	Broken Backbone.....	265
10	Παραδείγματα IS-IS	273
10.1	Multi-Area IS-IS (CLNS Routing).....	273
10.2	Multi-Area IS-IS (CLNS και IP Routing).....	279
11	Παραδείγματα Route Redistribution	285
11.1	Σύνδεση 2 Sites με έναν Router.....	285
11.2	Σύνδεση 2 Sites με 2 Routers	294
11.2.1	Χρήση Route Filtering	299
11.2.2	Χρήση Administrative Distance	303
12	Επίλογος – Συμπεράσματα	307
13	Βιβλιογραφία.....	309
Παράρτημα Α		313
A.1	Cisco Router Emulation	313
A.2	Εγκατάσταση του Emulator Software	313
A.3	Παραδοτέα.....	316

Πίνακας Εικόνων

Σχήμα 1-1 Σχέση μεταξύ των Layers, Protocols και Interfaces	22
Σχήμα 1-2 Ροή της πληροφορίας μέσα από τα Layers.....	25
Σχήμα 1-3 Ροή της πληροφορίας και Protocol Data Units	26
Σχήμα 1-4 OSI Layers, Protocols, Interfaces	30
Σχήμα 1-5 OSI Routing: Layers, Protocols, Connections	51
Σχήμα 2-1 Routers που τρέχουν Classful Routing protocol.....	58
Σχήμα 2-2 Routers που τρέχουν Classless Routing protocol	60
Σχήμα 2-3 Παράδειγμα VLSM.....	61
Σχήμα 3-1 Discontinued Subnets.....	72
Σχήμα 3-2 Discontinued Subnets: Classful Routing Updates	72
Σχήμα 3-3 Discontinued Subnets: Classful Routing Updates συνέχεια.....	73
Σχήμα 3-4 Discontinued Subnets, RIPv2	73
Σχήμα 3-5 Routers σε ισοροπία	77
Σχήμα 3-6 Απώλεια Σύνδεσης στον Router R3.....	78
Σχήμα 3-7 Λανθασμένη ενημέρωση από τον R2.....	78
Σχήμα 3-8 Αύξηση του Metric στον Router R2	79
Σχήμα 3-9 Αύξηση του Metric στον Router R3	79
Σχήμα 3-10 Σύγκλιση (Convergence)	79
Σχήμα 3-11 Routing Updates με Split Horizon	80
Σχήμα 3-12 Routing Loop	82
Σχήμα 3-13 Link Down, triggered updates.....	84
Σχήμα 3-14 Link Down, triggered Updates, συνέχεια	85
Σχήμα 3-15 Poisoned Reverse	85
Σχήμα 3-16 RIP σε WAN Multipoint Interface	87
Σχήμα 3-17 RIP σε WAN Point-to-Point Sub-interfaces	88
Σχήμα 4-1 Οι βασικές λειτουργίες του OSPF.....	97
Σχήμα 4-2 OSPF Areas.....	108
Σχήμα 4-3 Stub Area	109
Σχήμα 4-4 Transit Area	110
Σχήμα 4-5 Αποκατάσταση Broken Backbone	110
Σχήμα 4-6 Broadcast Network.....	117
Σχήμα 4-7 Point-to-Point Network	117
Σχήμα 4-8 Hub-and-Spoke	118
Σχήμα 4-9 Full Mesh.....	119
Σχήμα 4-10 Partial Mesh	119
Σχήμα 5-1 Multi-Area IS-IS Network.....	138
Σχήμα 5-2 Διαχωρισμός των Areas στο OSPF.....	147
Σχήμα 5-3 Διαχωρισμός των Areas στο IS-IS	148
Σχήμα 6-1 Χρήση RIP και OSPF.....	154
Σχήμα 6-2 Default Route προς μια κατεύθυνση.....	155
Σχήμα 6-3 Redistribution χωρίς Default Route	155
Σχήμα 7-1 Διέλευση IP πακέτου μέσα από MPLS domain.....	163
Σχήμα 7-2 Control & Data Planes. Cisco Press: MPLS and VPN Architectures.	167
Σχήμα 7-3 MPLS Label Stack.	168
Σχήμα 8-1 RIP Classful Routing.....	175

Σχήμα 8-2 Wireshark capture RIP Response (1)	179
Σχήμα 8-3 Wireshark capture RIP Response (2)	180
Σχήμα 8-4 RIP Classless Routing	181
Σχήμα 8-5 Wireshark capture Classless RIP Response (1)	185
Σχήμα 8-6 Wireshark capture Classless RIP Response (2)	186
Σχήμα 8-7 Classful Routing Discontinuous Subnets (1)	187
Σχήμα 8-8 Classful Routing Discontinuous Subnets (2)	189
Σχήμα 8-9 Classless Routing Discontinuous Subnets (1)	194
Σχήμα 8-10 Classless Routing Discontinuous Subnets (2)	196
Σχήμα 8-11 RIP Counting to infinity Σενάριο 1	197
Σχήμα 8-12 RIP Counting to infinity Σενάριο 1 (Interface Down)	198
Σχήμα 8-13 Counting to infinity Σενάριο 2	201
Σχήμα 8-14 Counting to infinity Σενάριο 2 (Διακοπή επικοινωνίας)	203
Σχήμα 9-1 OSPF Single Area Broadcast Network	209
Σχήμα 9-2 OSPF Hello Packet	214
Σχήμα 9-3 OSPF Hello Packet DR election	214
Σχήμα 9-4 OSPF Hello Packet DR, BDR election	215
Σχήμα 9-5 OSPF Multi Area Network	218
Σχήμα 9-6 OSPF Multi Area Network Summarization (1)	229
Σχήμα 9-7 OSPF Multi Area Network Summarization (2)	232
Σχήμα 9-8 OSPF Multi Area Network Summarization, Stub Area	234
Σχήμα 9-9 OSPF Multi Area Network Summarization, Stub, NSSA	236
Σχήμα 9-10 OSPF Broken Backbone	239
Σχήμα 9-11 OSPF Repaired Backbone	240
Σχήμα 9-12 OSPFv3 Multi Area Network	245
Σχήμα 9-13 OSPFv3 Summarization	257
Σχήμα 9-14 OSPFv3 Summarization, Stub Area	260
Σχήμα 9-15 OSPFv3 Summarization, Stub Area, NSSA	261
Σχήμα 9-16 OSPFv3 Broken Backbone	265
Σχήμα 9-17 OSPFv3 Repaired Backbone	268
Σχήμα 10-1 IS-IS CLNS Routing	273
Σχήμα 10-2 IS-IS CLNS, IP Routing	279
Σχήμα 11-1 Route Redistribution, Single Router	285
Σχήμα 11-2 Route Redistribution, 2 Routers	294
Σχήμα 11-3 Suboptimal Routing (trace 192.168.2.2)	297
Σχήμα 11-4 Suboptimal Routing (trace 192.168.5.1)	298
Σχήμα 11-5 Optimum Routing-Route Filtering (trace 192.168.2.2)	302
Σχήμα 11-6 Optimum Routing-Route Filtering (trace 192.168.5.1)	302
Σχήμα 11-7 Optimum Routing-Admin Distance (trace 192.168.2.2)	306
Σχήμα 11-8 Optimum Routing-Admin Distance (trace 192.168.5.1)	306

Ακρωνύμια

ABR	Area Border Router
AFI	Address Format Identifier
ARP	Address Resolution Protocol
AS	Autonomous System
ASBR	Autonomous System Boundary Router
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BDR	Backup Designated Router
BGP	Border Gateway Protocol
BOOTP	Bootstrap Protocol
CLNP	Connection-Less Network Protocol
CLNS	Connection-Less Network Service
CSNP	Complete Sequence Number Protocol Data Unit
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
DCC	Data Country Code
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DIS	Designated Intermediate System
DNS	Domain Naming System
DSP	Domain Specific Part
DR	Designated Router
EGP	Exterior Gateway Protocol
ES	End System
ESH	End System Hello
FTP	File Transfer Protocol
HDLC	High Level Data Link Control
HO-DSP	High Order Domain Specific Part
IANA	Internet Assigned Numbers Authority
ICD	International Code Designator
ICMP	Internet Control Message Protocol
IDP	Initial Domain Part
IDI	Initial Domain Identifier
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IGMP	Internet Group Messaging Protocol
IGP	Internal Gateway Protocol
IIH	Intermediate System to Intermediate System Hello
IP	Internet Protocol

IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
IS	Intermediate System
ISH	Intermediate System Hello
IS-IS	Intermediate System to Intermediate System
ISO	International Standards Organization
L3	Layer 3
LAN	Local Area Network
LDP	Label Distribution Protocol
LER	Label Edge Router
LLC	Logical Link Control
LSA	Link State Advertisement
LSDB	Link State Database
LSR	Label Switch Router
MAC	Media Access Control
MPLS	Multiprotocol Label Switching
NBMA	Non Broadcast Multi Access
NDP	Neighbor Discovery Protocol
NLPID	Network Layer Protocol ID
NSAP	Network Service Access Point
NSSA	Not So Stubby Area
NTP	Network Time Protocol
OSI	Open Systems Interconnection
OSPF	Open Shortest Path First
PDU	Protocol Data Unit
PPP	Point-to-Point Protocol
PSNP	Partial Sequence Number Protocol Data Unit
PVC	Permanent Virtual Circuit
QOS	Quality Of Service
RARP	Reverse Address Resolution Protocol
RFC	Request For Comments
RIP	Routing Information Protocol
RIPng	Routing Information Protocol next generation
RTE	Route Table Entry
SLIP	Serial Line Internet Protocol
SNMP	Simple Network Management Protocol
SNP	Sequence Number Protocol Data Unit
SNPA	Subnetwork Point of Attachment

SVC	Switched Virtual Circuit
TCP	Transfer Control Protocol
TFTP	Trivial File Transfer Protocol
TLV	Type, Length, Value
TOS	Type Of Service
TTL	Time To Live
UDP	User Datagram Protocol
VCI	Virtual Circuit Identifier
VLSM	Variable Length Subnet Mask
VPI	Virtual Path Identifier
WAN	Wide Area Network

КОНСТИТУЦИОННО ПРАВО

Μέρος 1^ο Θεωρία

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ

КОНСТИТУЦИОННО ПРАВО

1 Εισαγωγή

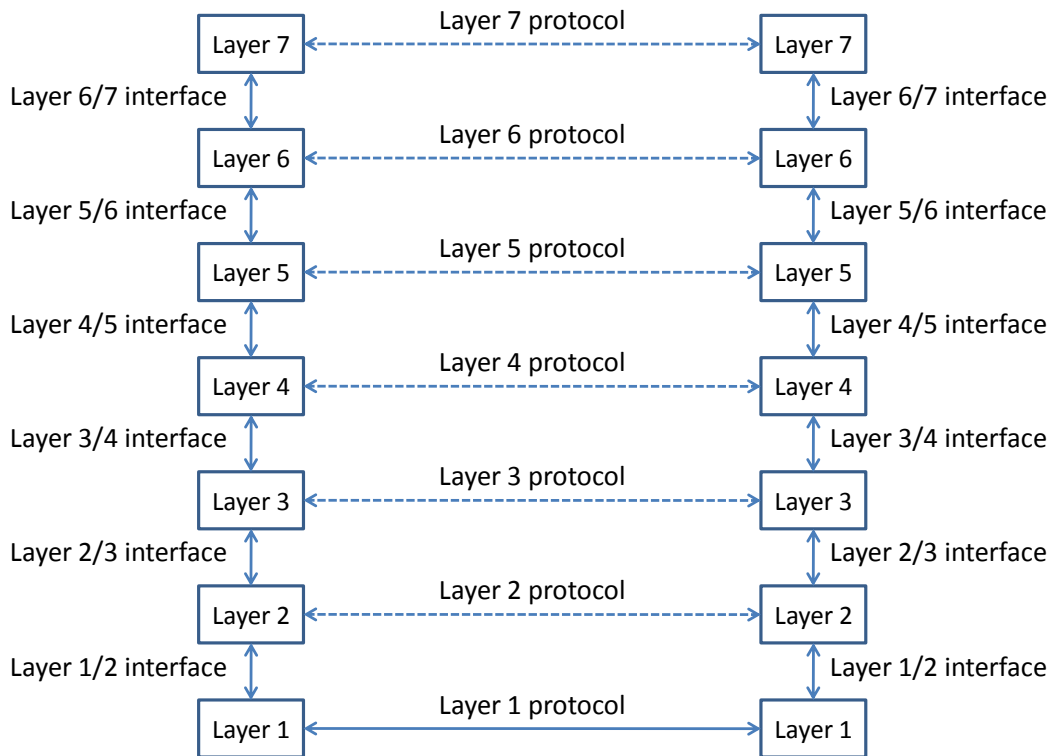
1.1 Ιεραρχική Σχεδίαση των Δικτύων

Τα δίκτυα υπολογιστών έχουν σχεδιαστεί με μια ιεραρχική δομή αποτελούμενη από επίπεδα (Layers η Levels). Αυτό έχει γίνει τόσο για λόγους ευκολίας όσο και για λόγους επέκτασης. Η λογική είναι ότι κάθε επίπεδο παρέχει ορισμένες υπηρεσίες στο αμέσως ανώτερο επίπεδο. Οι υπηρεσίες αυτές παρέχονται με την μορφή **interfaces**. Παράλληλα, αυτή η μεθοδολογία σχεδίασης συντελεί στην απόκρυψη από τα πιο πάνω επίπεδα των λεπτομερειών υλοποίησης.

Το επίπεδο **n** σε έναν κόμβο επικοινωνεί με το αντίστοιχο επίπεδο **n** ενός άλλου κόμβου. Οι κανόνες που διέπουν την επικοινωνία αυτή αποτελούν ένα πρωτόκολλο επιπέδου **n**. Τα επίπεδα αυτά ονομάζονται ομότιμα (**peers**). Στην πραγματικότητα η επικοινωνία δεν γίνεται απευθείας μεταξύ των peers αλλά κάθε επίπεδο επικοινωνεί με το απευθείας χαμηλότερο χρησιμοποιώντας τα παρεχόμενα interfaces. Τα επίπεδα 1 είναι αυτά που έχουν την δυνατότητα φυσικής επικοινωνίας μεταξύ τους σε αντίθεση με την εικονική επικοινωνία των ανωτέρων επιπέδων.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 1-1) έχει επιλεγεί για παράδειγμα μια σχεδίαση δικτύου 7 επιπέδων (σαφώς με επηρεασμούς από το OSI πρότυπο στο οποίο θα γίνει αναφορά παρακάτω) όπου φαίνεται η σχέση μεταξύ Layers, Protocols και Interfaces.

Με τα αμφίδρομα κάθετα βέλη απεικονίζονται τα interfaces μεταξύ των Layers και με τα οριζόντια τα πρωτόκολλα μεταξύ των ομότιμων επιπέδων (Peer Layers). Η συμπαγής οριζόντια γραμμή μεταξύ των Layers 1^{ου} επιπέδου υποδηλώνει φυσική σύνδεση. Σε αντίθεση οι διακεκομμένες οριζόντιες γραμμές μεταξύ των υπόλοιπων ομότιμων Layers υποδηλώνουν εικονικές συνδέσεις.



Σχήμα 1-1 Σχέση μεταξύ των Layers, Protocols και Interfaces

Το σύνολο των επιπέδων και των πρωτοκόλλων αποτελεί την Δικτυακή Αρχιτεκτονική. Για να είναι δυνατή η υλοποίηση πρέπει οι προδιαγραφές του κάθε επιπέδου να είναι σαφείς και πλήρεις. Οι λεπτομέρειες μιας συγκεκριμένης υλοποίησης δεν μας ενδιαφέρουν ούτε είναι μέρος της υλοποίησης. Το ίδιο ισχύει και για τα interfaces.

Τόσο οι υλοποιήσεις των επιπέδων όσο και οι προδιαγραφές των interfaces τους μπορούν να διαφέρουν από μηχάνημα σε μηχάνημα και αυτά να επικοινωνούν επιτυχώς εφ' όσον έχουν υλοποιηθεί σωστά τα αντίστοιχα επίπεδα και τα απαιτούμενα πρωτόκολλα.

Ας υποθέσουμε για απλότητα ότι μια οντότητα 3^{ου} επιπέδου στον 1^ο Host επιθυμεί να επικοινωνήσει με την ομότιμή της στον 2^ο Host ο οποίος συνδέεται απευθείας με τον 1^ο Host. Η επικοινωνία δεν θα πραγματοποιηθεί οριζόντια μεταξύ των δύο οντοτήτων. Αντίθετα θα συμβούν τα εξής:

1. Η οντότητα στο Layer 3 θα δημιουργήσει ένα πακέτο δεδομένων και θα το περάσει σαν παράμετρο καλώντας ένα interface του Layer 2.
2. Στο Layer 2 η πληροφορία θα συμπληρωθεί με έναν Header που θα περιέχει πληροφορίες σχετικές με την πληροφορία και θα περαστεί σαν παράμετρος καλώντας ένα interface του Layer 1.
3. Με τη σειρά του θα μετασχηματίσει την πληροφορία με βάση τα φυσικά χαρακτηριστικά της συσκευής και θα εκπέμψει την πληροφορία στο καλώδιο.
4. Όταν ληφθεί το σήμα από την συσκευή προορισμού το Layer 1 θα το μετατρέψει σε πληροφορία.
5. Κατόπιν θα το αποστείλει στο Layer 2 όπου με βάση τις πληροφορίες του Header που είχε προστεθεί από το αντίστοιχο Layer της συσκευής αποστολής, θα ερμηνεύσει κατάλληλα την οντότητα του τρίτου επιπέδου που πρέπει να το παραλάβει.
6. Αφαιρεί λοιπόν τον Header και το αποστέλλει στην αντίστοιχη οντότητα του επιπέδου 3.

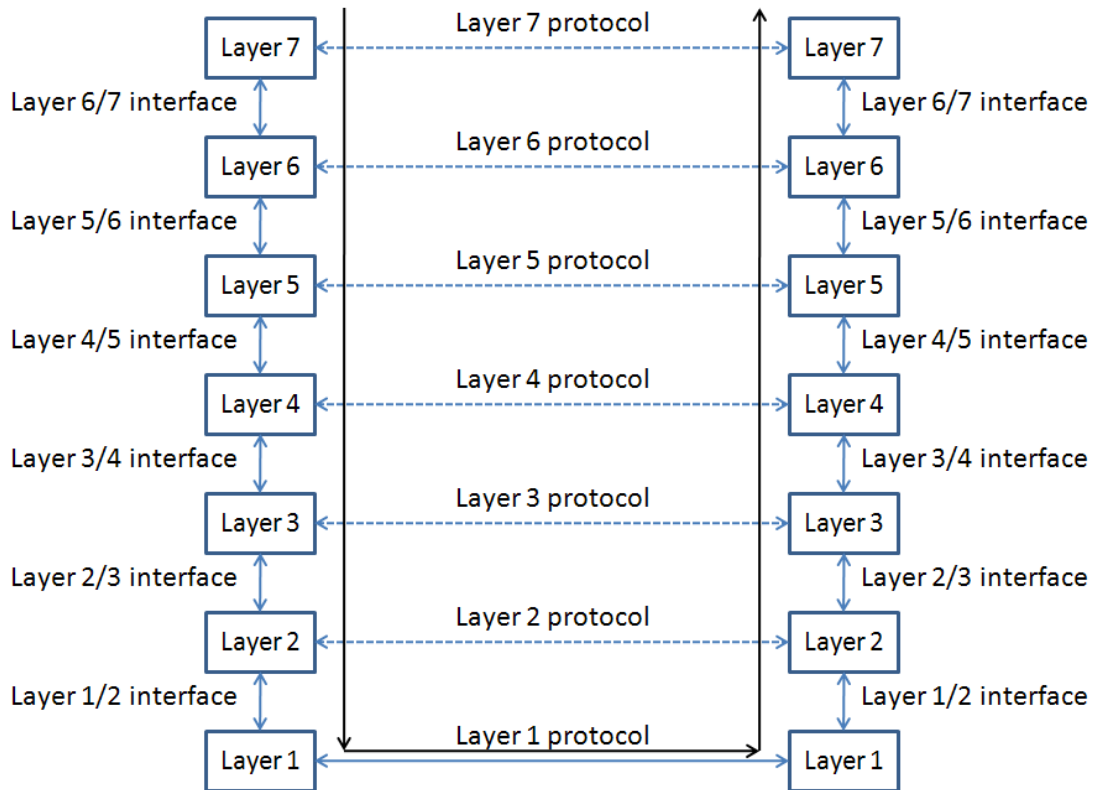
Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόζεται γενικότερα από όλα τα Layers. Η παραπάνω περιγραφή μάλιστα ήταν απλουστευμένη.

Λίγο πιο αναλυτικά συμβαίνουν τα εξής:

- Στον αποστολέα υπάρχει αρχικά ένα μήνυμα που πρέπει να φτάσει στον παραλήπτη.
- Το μήνυμα αυτό παραδίδεται στο ανώτερο Layer (που με βάση το συγκεκριμένο παράδειγμα είναι το Layer 7).
- Το μήνυμα αυτό παραδίδεται στο αμέσως χαμηλότερο Layer ακολουθώντας τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου interface.
- Καθώς το μήνυμα μεταφέρεται σε όλο και χαμηλότερα Layers, προστίθεται κάποιος Header που περιέχει πληροφορίες σχετικά με το μήνυμα που ακολουθεί η ακόμα και πληροφορία ελέγχου που απαιτείται από κάποιο πρωτόκολλο.

- Από κάποιο Layer και κάτω υπάρχει η πιθανότητα το μήνυμα να είναι πολύ μεγάλο για να μπορεί να διαχειριστεί σαν μια οντότητα οπότε σπάει σε περισσότερα μηνύματα, το καθένα με τον δικό του Header. Σε αυτήν την περίπτωση προστίθεται στον Header πληροφορία κατάλληλη για την επανένωση του μηνύματος στον παραλήπτη.
- Μερικές φορές στα χαμηλά Layers εκτός από Header προστίθεται και Trailer.
- Η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται στον παραλήπτη αλλά με την αντίθετη φορά.
- Κάθε φορά εξετάζεται ο Header για να ληφθούν πληροφορίες για το υπόλοιπο μήνυμα.
- Ο Header ενός επιπέδου αφαιρείται καθώς αυτό μεταφέρεται σε ανώτερο επίπεδο.
- Αν σε κάποια φάση το μήνυμα είχε χωριστεί σε μικρότερα τότε στο αντίστοιχο Layer συνενώνεται στο αρχικό.
- Τελικά το μήνυμα παραδίδεται από το ανώτερο Layer στον τελικό παραλήπτη.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 1-2) φαίνεται η πραγματική ροή της πληροφορίας μέσα από τα Layers.



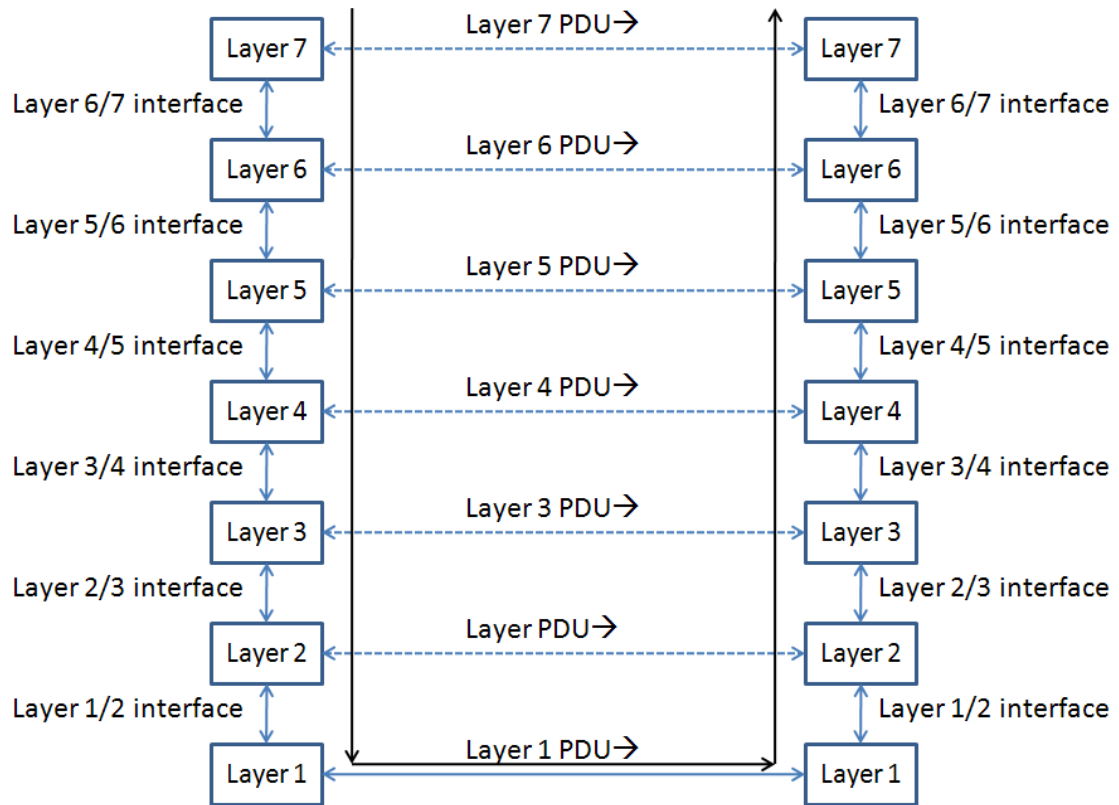
Σχήμα 1-2 Ροή της πληροφορίας μέσα από τα Layers

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να περιγραφεί η μονάδα πληροφορίας που ανταλλάσσεται μεταξύ δύο ομότιμων (Peers) οντοτήτων.

Ο στόχος είναι να παραληφθεί αυτή η μονάδα πληροφορίας από κάποιο ομότιμο Layer στον παραλήπτη.

Η μονάδα αυτή πληροφορίας ονομάζεται Protocol Data Unit (συνοπτικά PDU) και σαν πρόθεμα μπορεί να πάρει κάποιον χαρακτηρισμό που θα προσδιορίζει το συγκεκριμένο Layer που αναφέρεται. Πχ Layer 3 PDU (L3 PDU) είναι μια μονάδα πληροφορίας που ανταλλάσσεται μεταξύ δύο οντοτήτων του 3^{ου} Layer.

Η σχέση των PDUs με τα Layers φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 1-3).



Σχήμα 1-3 Ροή της πληροφορίας και Protocol Data Units

1.2 Το μοντέλο αναφοράς OSI

Έχοντας αναφέρει προηγουμένως το μοντέλο 7 επιπέδων δεν έχουμε παρά να αποδώσουμε ονόματα και λειτουργίες στα διάφορα επίπεδα για να αναφερθούμε στο Open Systems Interconnection (OSI) μοντέλο που έχει αναπτυχθεί από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (International Standards Organization η ISO κατά συντομία). Ο Zimmerman [2] περιέγραψε το 1980 τις αρχές που ακολουθήθηκαν ώστε να επιλεγούν τελικά 7 Layers.

1. Δεν πρέπει να υπάρχουν τόσο πολλά Layers που να καθίσταται δύσκολη η περιγραφή και η ολοκλήρωσή τους.
2. Πρέπει να γίνεται διαχωρισμός σε σημείο όπου οι περιγραφές των υπηρεσιών μπορούν να είναι σύντομες και ο αριθμός των αλληλεπιδράσεων ο ελάχιστος δυνατός.
3. Πρέπει να δημιουργείται καινούργιο Layer για να υλοποιεί λειτουργίες που είναι αισθητά διαφορετικές ως προς το είδος ή την τεχνολογία.
4. Παρόμοιες λειτουργίες πρέπει να ανήκουν στο ίδιο Layer.
5. Πρέπει να υπάρχει διαχωρισμός όπου η περασμένη εμπειρία έχει δείξει ότι είναι χρήσιμο.
6. Πρέπει να δημιουργείται ένα Layer αποτελούμενο από συναρτήσεις που μπορούν να αλλάξουν εύκολα η ακόμα και να επανασχεδιαστούν προκειμένου να ακολουθούν τις τελευταίες εξελίξεις χωρίς αυτό να επηρεάζει τα γειτονικά Layers.
7. Πρέπει να γίνεται διαχωρισμός εκεί όπου θα ήταν χρήσιμο το interface να τυποποιηθεί κάποια στιγμή στο μέλλον.
8. Πρέπει να δημιουργείται ένα καινούργιο Layer όταν υπάρχει ανάγκη ύπαρξης ενός καινούργιου επιπέδου αφαίρεσης όσον αφορά τον χειρισμό των δεδομένων.
9. Οι αλλαγές στα πρωτόκολλα ενός επιπέδου δεν πρέπει να επηρεάζουν τα άλλα Layers.
10. Πρέπει να υπάρχουν Interfaces μόνο μεταξύ γειτονικών Layers.
11. Πρέπει να δημιουργούνται sub-Layers μέσα σε ένα Layer σε περιπτώσεις όπου ξεχωριστές υπηρεσίες το απαιτούν.
12. Τα sub-Layers πρέπει να έχουν μία κοινή λειτουργικότητα που τους επιτρέπει να επικοινωνούν με γειτονικά Layers.
13. Τα sub-Layers επιτρέπεται να παρακάμπτονται.

Τα 7 Layers του προτύπου (από το χαμηλότερο προς το υψηλότερο) είναι τα παρακάτω:

1. Physical Layer
2. Data Link Layer
3. Network Layer
4. Transport Layer
5. Session Layer
6. Presentation Layer
7. Application Layer

Πολύ συνοπτικά οι λειτουργίες τους περιγράφονται παρακάτω:

1. Physical Layer

Αναλαμβάνει την εκπομπή πληροφορίας σε ένα κανάλι επικοινωνίας. Τα σχεδιαστικά θέματα σχετίζονται με τα φυσικά χαρακτηριστικά του καναλιού όπως την τάση, την ταχύτητα, την συχνότητα ή συχνότητες. Άλλα θέματα είναι η κωδικοποίηση της πληροφορίας, ο αριθμός των φυσικών καναλιών, ο συγχρονισμός, οι μηχανικές συνδέσεις η μονοκατευθυντικότητα ή δικατευθυντικότητα της μετάδοσης και η λήξη της μετάδοσης.

2. Data Link Layer

Αναλαμβάνει να προστατέψει το σήμα από λάθη και να το παρουσιάζει χωρίς λάθη στα υψηλότερα επίπεδα. Ακόμα, οργανώνει τα δεδομένα σε μονάδες που ονομάζονται Frames (Το ανεπίσημο όνομα των Layer 2 PDUs). Επίσης, ο έλεγχος ροής μπορεί να είναι λειτουργία αυτού του επιπέδου. Παρέχει την δυνατότητα συνδέσεων σε οντότητες του επιπέδου 3. Έχει την δυνατότητα να παρέχει διαφορετικής ποιότητας υπηρεσίες στα ανώτερα επίπεδα ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες.

3. Network Layer

Παρέχει την δυνατότητα ανταλλαγής πακέτων (Layer 3 PDUs). Επιτρέπει σε οντότητες του επιπέδου 4 (Transport) να επικοινωνούν μεταξύ τους με τρόπο που είναι ανεξάρτητος από τον τρόπο σύνδεσης και από το αν παρεμβάλλονται άλλες συσκευές ενδιάμεσα. Επιπλέον, σε αυτό το επίπεδο λαμβάνονται αποφάσεις σχετικά με την δρομολόγηση των πακέτων (βλ επόμενο κεφάλαιο). Το ανεπίσημο όνομα της PDU αυτού του Layer είναι το Packet. Ο έλεγχος συμφόρησης (congestion control) πολλές φορές είναι λειτουργία αυτού του επιπέδου. Σε αυτό το επίπεδο τρέχουν τόσο τα Routing Protocols που όπως θα δούμε παρακάτω είναι αυτά που ανταλλάσσουν πληροφορίες σχετικές με την βέλτιστη διαδρομή των πακέτων αλλά και τα Routed Protocols που είναι αυτά των οποίων τα

πακέτα μπορούν να προωθούνται σε άλλες συσκευές που διαθέτουν αυτό το Layer μέχρι να φτάσουν στον προορισμό τους.

4. Transport Layer

Γνωστό και ως Host-Host Layer λαμβάνει δεδομένα από το ανώτερο Layer, τα μοιράζει σε μικρότερα τμήματα και φροντίζει για την παράδοσή τους. Προσδιορίζει και τον τύπο της υπηρεσίας δηλαδή αν είναι error-free με επιβεβαίωση παράδοσης και μάλιστα με εξασφάλιση λήψης δεδομένων με την σωστή σειρά η απλά αποστέλλει μηνύματα χωρίς κάποια εξασφάλιση. Το ανεπίσημο όνομα της PDU αυτού του Layer είναι το Segment.

5. Session Layer

Υποστηρίζει συνδέσεις μεταξύ χρηστών (στην πραγματικότητα δικτυακών οντοτήτων του ανώτερου επιπέδου). Με τον όρο σύνδεση εννοούμε μια συμφωνία μεταξύ δύο μερών βάσει κάποιων προδιαγραφών. Για να πραγματοποιηθεί μια σύνδεση προηγείται μια «διαπραγμάτευση» μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών.

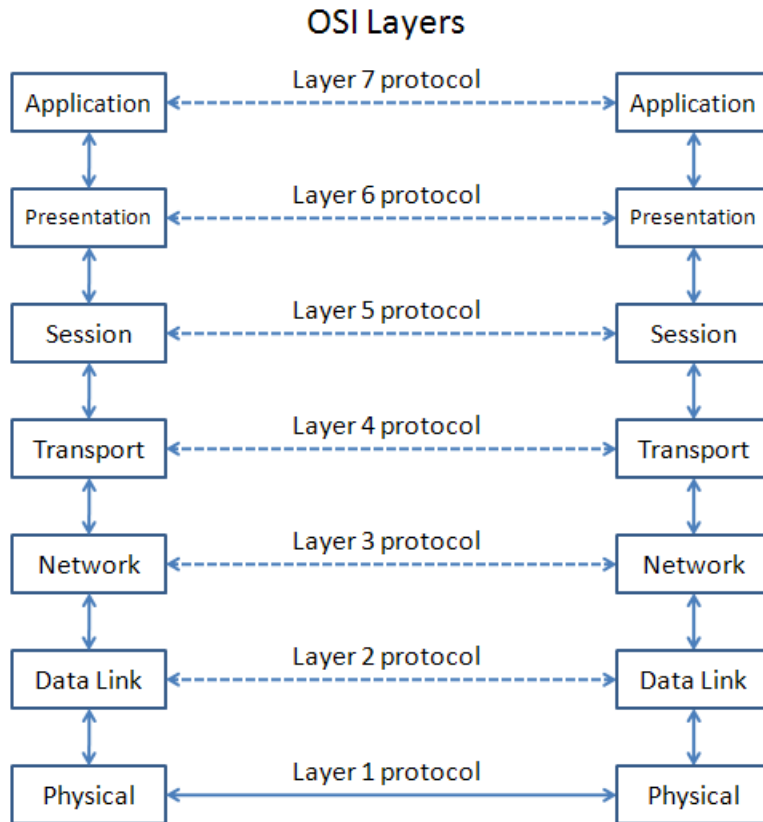
6. Presentation Layer

Είναι υπεύθυνο για γενικού τύπου λειτουργίες και μετατροπές πάνω στα δεδομένα. Τέτοιες λειτουργίες είναι η μετατροπή character sets πχ από ASCII σε EBCDIC και αντίστροφα. Άλλου τύπου λειτουργίες είναι η συμπίεση των δεδομένων η ακόμα και η κρυπτογράφηση και η αποκρυπτογράφηση τους.

7. Application Layer

Οι λειτουργίες του εξαρτώνται από τον εκάστοτε χρήστη. Είναι το επίπεδο όπου τρέχουν οι εφαρμογές. Από αυτές εξαρτάται και το σύνολο των επιτρεπτών μηνυμάτων που ανταλλάσσονται.

Έχοντας αναφέρει τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι το Σχήμα 1-1 μπορεί να μετατραπεί στο παρακάτω Σχήμα 1-4 (με μη αναφορά στα interfaces για λόγους απλότητας).



Σχήμα 1-4 OSI Layers, Protocols, Interfaces

1.3 Ο TCP/IP Protocol Stack

Η σουίτα πρωτοκόλλων TCP/IP δημιουργήθηκε για να επιτρέψει τη σύνδεση ετερογενών μηχανημάτων. Αυτό που ξεκίνησε σαν ένα ερευνητικό project της κυβέρνησης των Ηνωμένων Πολιτειών κατέληξε να είναι ο πιο δημοφιλής τρόπος δικτύωσης.

Σε αντίθεση με το OSI το TCP/IP έχει λιγότερα Layers. Κατ' άλλους είναι τέσσερα και κατ' άλλους πέντε. Στην πρώτη περίπτωση δεν προσμετρείται το Physical Layer. Τα Layers είναι:

1. Physical Layer
2. Link Layer
3. Internet Layer
4. Transport Layer
5. Application Layer

Για όλα τα παραπάνω Layers ισχύει σε γενικές γραμμές ότι και στα αντίστοιχα του OSI με την εξαίρεση του Application που μπορεί να συμπεριλαμβάνει και λειτουργίες των Session και Presentation Layers επιπλέον.

1. Physical Layer

Το Physical Layer πολλές φορές παραλείπεται στην συζήτηση περί TCP/IP καθώς δεν αναφέρεται ειδικά στο TCP/IP.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι υπεύθυνο για την τελική μετάδοση του σήματος. Περιλαμβάνει λειτουργίες που σχετίζονται με τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του χρησιμοποιούμενου Hardware, την κωδικοποίηση, σηματοδότηση, αποστολή και λήψη καθώς και θέματα συσχετιζόμενα με την φυσική τοπολογία του Δικτύου.

2. Link Layer

Το Layer αυτό παρέχει υπηρεσίες φυσικής σύνδεσης στο ανώτερο (Network) Layer. Μετατρέπει τα raw data όπως τα λαμβάνει σε frames. Επίσης λαμβάνει τα δεδομένα από το ανώτερο Layer και τα μετατρέπει σε frames. Διαθέτει 2 sub-layers το LLC και το MAC. Τα sub-Layers αυτά είναι ορισμένα από την IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

Το MAC (Medium Access Control) στην πραγματικότητα αποτελείται από ένα σύνολο από πρωτόκολλα γραμμένα για να υποστηρίξουν διαφορετικού τύπου φυσικές συσκευές όπως Ethernet, Token Ring, Fiber, Wireless κλπ.

Το LLC (Logical Link Control) είναι ένα device independent Sub-Layer πάνω από το MAC που παρέχει την επικοινωνία με το ανώτερο Layer. Μπορεί να παρέχει Connectionless ή Connection Oriented Services.

Κάποια από τα 802 standards της IEEE που μπορούν να υλοποιούνται σε αυτό το Layer είναι τα παρακάτω:

802.1 Bridging and Management

802.2 Logical Link Control

802.3 Ethernet – CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)

802.4 Token Bus

802.5 Token Ring

802.6 Metropolitan Area Network

802.7 Broadband Technical Advisory Group

802.8 Fiber-Optic Technical Advisory Group

802.9 Integrated Voice/Data networks

802.10 Network security

802.11 Wireless Wan

802.12 Demand Priority Access LAN, 100 Base VG-AnyLAN

802.15 Wireless Personal Area Networks

802.16 Broadband Wireless Metropolitan Area Networks

802.17 Resilient Packet Rings

802.21 Media Independent Handover Services

Τα παραπάνω standards έχουν και υποκατηγορίες που προσδιορίζονται από ένα ή περισσότερα γράμματα στο τέλος.

Κάθε δικτυακή συσκευή έχει τουλάχιστον μια Layer 2 Address (MAC Address). Η διεύθυνση αυτή είναι απαραίτητη για να μπορεί η συσκευή να προσδιορίζεται μονοσήμαντα στο δίκτυο. Τόσο η Layer 2 Address του αποστολέα όσο και του παραλήπτη αποτελούν μέρος του Layer 2 Header.

Όταν η διεύθυνση αναφέρεται στο Ethernet έχει μήκος 48 bits. Τα πρώτα 24 bits (3 Bytes) είναι vendor-specific. Ο στόχος είναι οι MAC Addresses να είναι μοναδικές ώστε να μπορούν οι συσκευές που είναι συνδεδεμένες με ένα φυσικό μέσο να αναγνωρίζονται μοναδικά.

Υπάρχουν τρεις τύποι διευθύνσεων.

Unicast: Αναφέρονται σε μια συγκεκριμένη δικτυακή συσκευή. Χρησιμοποιούνται για επικοινωνία ένα προς ένα.

Broadcast: Είναι η διεύθυνση που «ακούνε» όλες οι δικτυακές συσκευές που είναι συνδεδεμένες με ένα φυσικό μέσο. Συνήθως αντιπροσωπεύεται με όλα τα bits να έχουν την τιμή 1.

Multicast: Είναι κάποια διεύθυνση που «ακούνε» ένα υποσύνολο δικτυακών συσκευών που είναι συνδεδεμένες με ένα φυσικό μέσο. Είναι το σύνολο των ενδιαφερομένων συσκευών για έναν συγκεκριμένο τύπο κίνησης. Η χρήση αυτών των διευθύνσεων ελαφρύνει τον φόρτο που προκαλείται από την χρήση του broadcasting.

Σε αυτό το Layer «τρέχουν» κάποια πρωτόκολλα που θα συζητηθούν αργότερα (ARP, RARP).

Ακόμα, σε αυτό το Layer «τρέχουν» πρωτόκολλα υπεύθυνα για remote συνδέσεις όπως PPP και SLIP.

3. Internet Layer

Το Internet Layer αντιστοιχεί στο Network Layer του OSI. Σε αυτό το Layer η Layer 3 PDU ονομάζεται Packet.

Σε αυτό το Layer εκτελούνται λειτουργίες όπως:

Για εισερχόμενα πακέτα:

- Εξασφάλιση ότι ένα πακέτο έχει μορφοποιηθεί σωστά.
- Εξασφάλιση ότι ένα πακέτο προορίζεται για τον συγκεκριμένο Host.
- Επανένωση πακέτων αν αυτά προήλθαν από διάσπαση ενός μηνύματος σε μικρότερα.
- Μεταφορά του πακέτου στο ανώτερο Layer που είναι το Transport.

Για εξερχόμενα πακέτα:

- Επιλογή του κατάλληλου επόμενου κόμβου στο δίκτυο. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται Routing.
- Σπάσιμο του πακέτου σε μικρότερα εφόσον αυτό κρίνεται αναγκαίο και πέρασμά τους στο Link Layer.

Ένας ρόλος αυτού του Layer είναι και το να εξαφανίζει τα λανθασμένα πακέτα για προστασία από συμφόρηση.

Οι συσκευές καθίστανται μοναδικές σε αυτό Layer με την χρήση των διευθύνσεων. Η διεύθυνση λέγεται IP Address και έχει μήκος 32 bits στην τρέχουσα (IPv4) έκδοση και 128 bits στην επόμενη έκδοση (IPv6).

Σε αυτό το Layer «τρέχει» και το πρωτόκολλο ICMP (Internet Control Message Protocol). Πρόκειται για ένα βοηθητικό πρωτόκολλο που ενημερώνει για προβλήματα συνδεσιμότητας.

Το IP protocol εφαρμόζει best effort delivery μόνο.

4. Transport Layer

Σε αυτό το Layer συναντάμε δύο βασικά πρωτόκολλα.

Το **TCP** και το **UDP**.

Το TCP είναι ένα stateful, connection oriented, reliable stream πρωτόκολλο.

Είναι connection oriented γιατί για να επικοινωνήσουν δύο εφαρμογές πρέπει να ανταλλάξουν μια συγκεκριμένη ακολουθία μηνυμάτων.

Είναι reliable γιατί διαθέτει μηχανισμούς επανεκπομπής ανά πάσα στιγμή και επίσης ελέγχει την ακεραιότητα τόσο του header του όσο και του payload με τη χρήση checksums.

Είναι stream protocol γιατί δεν ξεχωρίζει εγγραφές με κάποιο τρόπο. Μπορεί πχ ο αποστολέας να στείλει 30 Bytes τις 3 πρώτες φορές και 10 Bytes την τέταρτη και ο παραλήπτης να διαβάσει 2 φορές από 50 Bytes κάθε φορά.

Είναι stateful γιατί κάθε TCP επικοινωνία βρίσκεται σε μία από ένα σύνολο δυνατών καταστάσεων και μπορεί να μεταβεί σε κάποια άλλη επιτρεπτή αναλόγως με το γεγονός που θα συμβεί.

Το UDP πρωτόκολλο αντίθετα είναι stateless, connectionless, unreliable και message oriented.

Είναι connectionless γιατί δεν απαιτείται πρωτότερη σύνδεση για να επικοινωνήσουν δύο εφαρμογές.

Είναι unreliable γιατί δεν έχει μηχανισμούς επανεκπομπής και δεν υπάρχει τρόπος να ελεγχθεί ότι έχουν χαθεί δεδομένα κατά την μετάδοση και μπορεί απλώς προαιρετικά να ελέγχει την ακεραιότητα του header και του payload.

Είναι message oriented γιατί στέλνει και λαμβάνει μηνύματα και όχι streams από Bytes.

Τέλος είναι stateless γιατί δεν καταγράφει κατάσταση. Το κάθε μήνυμα είναι ανεξάρτητο από το προηγούμενο.

Στο Layer αυτό η PDU ονομάζεται segment.

Η Layer 4 «διεύθυνση» είναι το port number και είναι ένας αριθμός μήκους 16 bits (με τιμές 1-65535).

Τα ports κάτω από το 1024 λέγονται well known γιατί σε αυτά «ακούνε» οι γνωστές εφαρμογές του TCP/IP.

5. Application Layer

Στο Application Layer τρέχουν οι εφαρμογές τόσο οι υποστηρικτικές (πχ telnet, ftp, dns, snmp) όσο και των χρηστών. Κάποιες κάνουν χρήση του UDP και κάποιες του TCP.

1.3.1 ARP, RARP Protocols

Έχοντας πλέον περιγράψει τα Layers 2 και 3 μπορούμε να κάνουμε μια συνοπτική αναφορά στα πρωτόκολλα ARP και RARP.

Δύο συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε ένα φυσικό μέσο, για να επικοινωνήσουν απευθείας πρέπει να γνωρίζουν τις Layer 2 διευθύνσεις τους (MAC Addresses). Όμως, σε επίπεδο εφαρμογής οι διευθύνσεις αυτές είναι αδιάφορες. Αυτό που είναι γνωστό

είναι οι διευθύνσεις σε Layer 3 δηλαδή οι IP διευθύνσεις. Διαφαίνεται λοιπόν η ανάγκη να υπάρχει η δυνατότητα αντιστοίχισης μεταξύ των διευθύνσεων των δύο επιπέδων.

Το ARP (Address Resolution Protocol) παρέχει μια δυναμική αντιστοίχιση μεταξύ των IP Addresses και των MAC Addresses. Πιο συγκεκριμένα, δοθείσας μιας γνωστής IP Address μιας δικτυακής συσκευής, αναζητά την αντίστοιχη MAC Address της συσκευής αυτής. Όταν αυτή βρεθεί, τότε το ζευγάρι των IP και MAC Addresses φυλάσσεται σε μια cache (ARP cache) ώστε να είναι διαθέσιμο για τις επόμενες χρήσεις.

Το RARP (Reverse Address Resolution Protocol) χρησιμοποιείται σε συστήματα που δεν έχουν σκληρό δίσκο για να ανακτήσουν την/τις IP Address(es). Σε αυτήν την περίπτωση η MAC Address είναι γνωστή. Το RARP protocol στέλνει ερωτήσεις για να μάθει ποια είναι η IP Address που αντιστοιχεί στην συγκεκριμένη MAC Address.

1.3.2 IP Addressing

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1.3 οι διευθύνσεις που χρησιμοποιούνται στο TCP/IP είναι είτε 32-bit (IPv4) είτε 128-bit (IPv6).

Στην παρούσα παράγραφο θα αναλυθούν οι απλούστερες 32-bit διευθύνσεις του IPv4.

Κατ' αρχήν πρέπει να ειπωθεί ότι μια διεύθυνση IPv4 χωρίζεται σε δύο κύρια μέρη: Το Network id και το Host id. Το πρώτο χαρακτηρίζει το δίκτυο που ανήκει μία δικτυακή συσκευή και το δεύτερο την συσκευή την ίδια.

Οι διευθύνσεις αυτές χωρίζονται σε 5 classes ανάλογα με τις τιμές των πρώτων bits του πρώτου byte.

Πιο συγκεκριμένα:

1. Class A: 1^ο Byte: 0xxxxxxx Τιμές από 0-127 (Στην πράξη 1-126)
2. Class B: 1^ο Byte: 10xxxxxx Τιμές από 128-191
3. Class C: 1^ο Byte: 110xxxxx Τιμές από 192-223
4. Class D: 1^ο Byte: 1110xxxx Τιμές από 224-239
5. Class E: 1^ο Byte: 1111xxxx Τιμές από 240-255

Στις διευθύνσεις κλάσης A το Network id είναι το πρώτο byte (8 bits) και τα υπόλοιπα 3 bytes (24 bits) αποτελούν το host part.

Στην πράξη οι χρησιμοποιούμενες τιμές είναι **1-126**. Η τιμή 0 σημαίνει το τρέχον δίκτυο και μπορεί να χρησιμοποιείται μόνο σαν source διεύθυνση και σε πολύ ειδικές περιπτώσεις και η τιμή 127 είναι δεσμευμένη για χρήση από τον τοπικό host (πχ η διεύθυνση 127.0.0.1 σημαίνει localhost).

Επομένως υποστηρίζουν μέχρι 2^7-2 διαφορετικά δίκτυα αλλά με δυνατότητα $2^{24}-2$ hosts στο κάθε ένα από αυτά (Οι τιμές όπου όλα τα bits είναι 0 η όλα 1 έχουν ειδική σημασία και δεν χρησιμοποιούνται).

Στις διευθύνσεις κλάσης B το Network id είναι τα 2 πρώτα bytes (16 bits) και τα υπόλοιπα 2 bytes (16 bits) αποτελούν το host part.

Υποστηρίζουν μέχρι 2^{14} διαφορετικά δίκτυα αλλά με δυνατότητα $2^{16}-2$ hosts στο κάθε ένα από αυτά (Οι τιμές στο host part όπου όλα τα bits είναι 0 η όλα 1 έχουν ειδική σημασία και δεν χρησιμοποιούνται).

Στις διευθύνσεις κλάσης C το Network id είναι τα 3 πρώτα bytes (24 bits) και το υπόλοιπο 1 byte (8 bits) αποτελεί το host part.

Υποστηρίζουν μέχρι 2^{21} διαφορετικά δίκτυα αλλά με δυνατότητα 2^8-2 hosts στο κάθε ένα από αυτά (Οι τιμές όπου όλα τα bits είναι 0 η όλα 1 έχουν ειδική σημασία και δεν χρησιμοποιούνται).

Οι διευθύνσεις της κλάσης D χρησιμοποιούνται για Multicasting όπου ένα πακέτο προορίζεται να παραληφθεί από περισσότερες από μία δικτυακές συσκευές.

Τέλος, οι διευθύνσεις της κλάσης E είναι πειραματικές.

Εναλλακτικά παρακάτω μπορεί να χρησιμοποιείται η ορολογία octet αντί για byte για να υποδηλώσει αριθμό μεγέθους 8 Bits.

1.3.3 IP Subnetting

Είδαμε παραπάνω ότι ανάλογα με την κλάση υποστηρίζεται διαφορετικός αριθμός δικτύων και αριθμός συσκευών ανά δίκτυο. Το πιο πιθανό είναι ο συγκεκριμένος συνδυασμός να μην ταιριάζει με τις δικτυακές ανάγκες μιας επιχείρησης και η να σπαταλιούνται ή να μην φτάνουν τόσο τα Network ids όσο και τα Host ids.

Η λύση στο πρόβλημα αυτό είναι να δανειζόμαστε τόσα Bits από το Host part όσα χρειάζονται για να δημιουργείται ο ιδανικός συνδυασμός δικτύων και συσκευών ανά δίκτυο.

Η συγκεκριμένη διαδικασία ονομάζεται subnetting και τα παραγόμενα δίκτυα πλέον τα ονομάζουμε υποδίκτυα (subnets).

Για να προσδιορίσουμε πόσα bits δανειζόμαστε χρησιμοποιούμε μια λέξη μήκους 32 bits την subnet mask. Τα αρχικά bits που αντιστοιχούν στο δίκτυο και το υποδίκτυο έχουν την τιμή 1 ενώ τα bits που αντιστοιχούν στο host part έχουν την τιμή 0.

Το σε πιο υποδίκτυο ανήκει μια IP Address καθορίζεται από το λογικό AND της IP Address και της Subnet mask.

Τα default subnet masks όταν δεν χρησιμοποιούμε subnetting για τις κλάσεις A, B και C φαίνονται παρακάτω:

Class A	Subnet Mask: 255.0.0.0
Class B	Subnet Mask: 255.255.0.0
Class C	Subnet Mask: 255.255.255.0

Στις άλλες δύο κλάσεις δεν έχει νόημα να μιλάμε για default subnet masks και subnetting γενικότερα καθότι η κλάση D αναφέρεται σε Multicasting όπου τα μηνύματα που αποστέλλονται σε συγκεκριμένη διεύθυνση παραλαμβάνονται από όσες δικτυακές συσκευές δηλώνουν συμμετοχή και η κλάση E είναι πειραματική.

Ο αριθμός των bits που «δανειζόμαστε» καθορίζει και τον αριθμό των υποδικτύων (subnets) που έχουμε στην διάθεσή μας όπως και τον αριθμό των hosts ανά subnet.

Έτσι, αν δανειστούμε n bits, τότε ο αριθμός των διαθέσιμων subnets είναι 2^n . Αν ο αριθμός των bits που απομένουν για το host part είναι m τότε ο αριθμός των διαθέσιμων hosts είναι $2^m - 2$ (Οι τιμές όπου όλα τα bits είναι 0 ή όλα τα bits είναι 1 χρησιμοποιούνται για να δηλώνουν το τρέχον subnet και broadcasting αντίστοιχα).

Η subnet mask εκτός από την παραπάνω μορφή μπορεί και να αναπαρίσταται με τον αριθμό των αρχικών bits που έχουν την τιμή 1. Πχ η subnet mask 255.255.255.0 μπορεί και να αναφέρεται σαν /24.

Έτσι πχ το subnet 172.16.30.0 με network mask 255.255.255.0 μπορεί να αναφέρεται και ως 172.16.30.0/24.

1.3.4 IP version 6

Το IP version 6 είναι μια καινούργια έκδοση του Internet Protocol για να αντιμετωπίσει την κύρια αδυναμία της τρέχουσας έκδοσης του IP version 4 που είναι η επικείμενη έλλειψη ελεύθερων διευθύνσεων IP. Οι αλλαγές που εισήγαγε το IP version 6 είναι οι ακόλουθες:

- **Αυξημένες δυνατότητες διευθυνσιοδότησης**

Στο IP version 6 το μέγεθος των IP διευθύνσεων αυξήθηκε από 32 bits σε 128 bits για να υποστηρίξει περισσότερα επίπεδα ιεραρχικού addressing, πολύ περισσότερους κόμβους και auto-configuration. Η επεκτασιμότητα του multicast routing βελτιώθηκε με την προσθήκη ενός πεδίου "scope" στις multicast addresses. Επίσης, δημιουργήθηκε ένας καινούργιος τύπος διευθύνσεων (anycast address) για την αποστολή πακέτων σε έναν οποιαδήποτε κόμβο από ένα σύνολο κόμβων.

- **Απλοποίηση του Header**

Κάποια IP version 4 header fields καταργήθηκαν ή έγιναν προαιρετικά σε μια προσπάθεια μείωσης τόσο του bandwidth όσο και του processing overhead.

- **Βελτιωμένη υποστήριξη επεκτάσεων και προαιρετικών λειτουργιών**

Οι αλλαγές στον τρόπο κωδικοποίησης των IP header options επιτρέπει αποτελεσματικότερο forwarding, λιγότερο αυστηρούς περιορισμούς στο μήκος των options και μεγαλύτερη ευελιξία για δημιουργία καινούργιων options στο μέλλον.

- **Δυνατότητα ταυτοποίησης ροών**

Προστέθηκε η δυνατότητα κατηγοριοποίησης των πακέτων των ροών οι αποστολείς των οποίων έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις όσον αφορά θέματα ποιότητας υπηρεσίας η άμεσης ανταπόκρισης.

- **Δυνατότητες ταυτοποίησης, ακεραιότητας και ιδιωτικότητας**

Στο IP Version 6 προστέθηκαν σαν επεκτάσεις οι δυνατότητες για authentication, data integrity, και data confidentiality.

1.3.4.1 Η Ορολογία του IP Version 6

Η ορολογία που χρησιμοποιείται στο IP version 6 είναι η παρακάτω:

Node: Είναι μια συσκευή που υλοποιεί IPv6.

Router: Δικτυακή συσκευή (node) που προωθεί IPv6 πακέτα που δεν προορίζονται για αυτή.

Host: Κόμβος που δεν έχει τις δυνατότητες προώθησης πακέτων που έχουν οι Routers.

Upper layer: Ένα protocol layer αμέσως υψηλότερο του IPv6 (πχ Transport protocols όπως TCP and UDP, Control protocols όπως ICMP, Routing protocols όπως OSPF).

Link: Ένα μέσο επικοινωνίας το οποίο επιτρέπει στους κόμβους να επικοινωνούν μεταξύ τους σε επίπεδο Link Layer. Πχ Ethernet, X.25, Frame Relay.

Neighbors: Κόμβοι συνδεδεμένοι στο ίδιο link.

Interface: Η σύνδεση ενός κόμβου με ένα link.

Address: Η IPv6 διεύθυνση ενός interface η συνόλου interfaces.

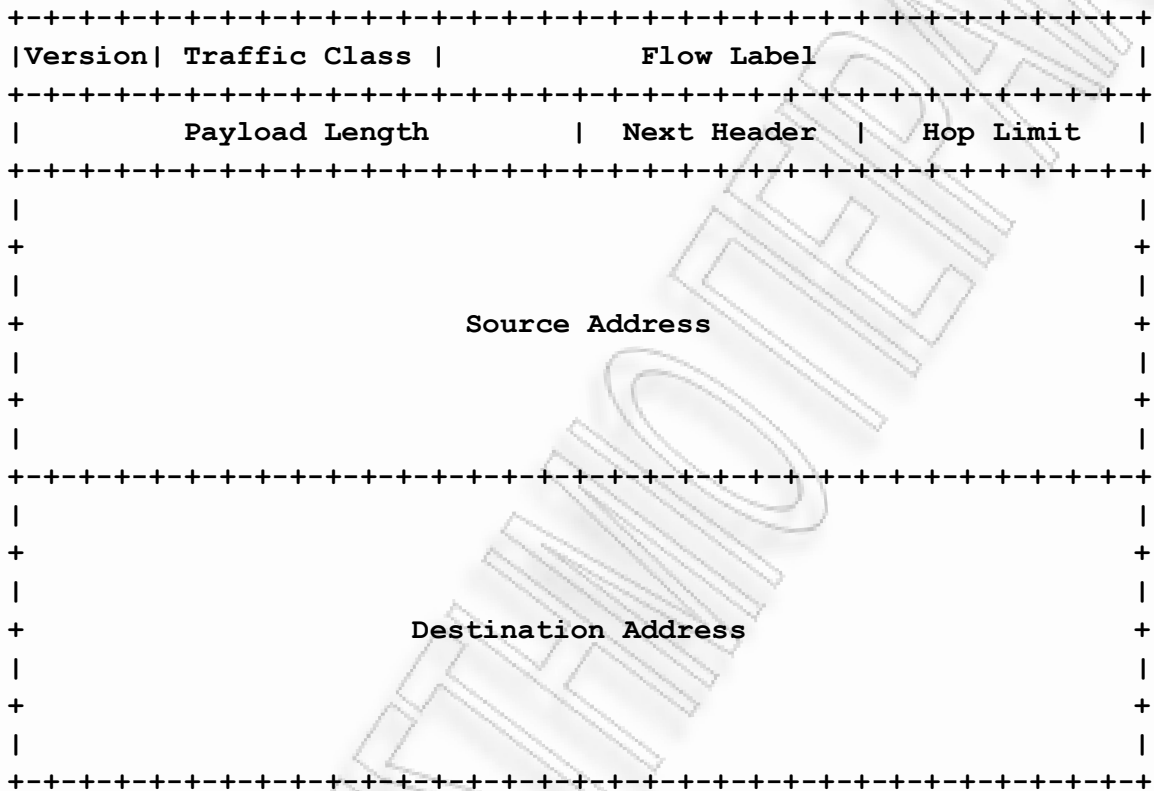
Packet: Μονάδα πληροφορίας του Layer 3. Συνδυασμός IPv6 header και payload.

Link MTU: Το μέγιστο μέγεθος πακέτου που μπορεί να μεταδοθεί από ένα link.

Path MTU: Το ελάχιστο Link MTU όλων των links σε μια διαδρομή ενός πακέτου από τον αποστολέα μέχρι τον παραλήπτη.

1.3.4.2 IP version 6 Headers

Ο βασικός IP version 6 header έχει την παρακάτω μορφή:



Version: Ένα πεδίο μήκους 4 bits που υποδηλώνει την IP version και έχει τιμή ίση με 6.

Traffic Class: Ένα πεδίο μήκους 8 bits που χρησιμεύει στην κατηγοριοποίηση του πακέτου σε classes για παροχή ποιότητας υπηρεσίας.

Flow Label: Ένα πεδίο μήκους 20 bits που χρησιμεύει στην ομαδοποίηση των ροών.

Payload Length: Ένα πεδίο μήκους 16 bits που υποδηλώνει το μήκος του Payload.

Next Header: Ένα πεδίο μήκους 8 bits που προσδιορίζει τον επόμενο header ή το πρωτόκολλο του Payload.

Hop Limit: Ένα πεδίου μήκους 8 bits που υποδηλώνει τον μέγιστο αριθμό των Hops. Κάθε φορά που το πακέτο προωθείται από έναν κόμβο η τιμή του μειώνεται κατά ένα. Το πακέτο διαγράφεται όταν η τιμή του πεδίου γίνει μηδέν.

Source Address: Η 128-bit διεύθυνση του αποστολέα του πακέτου.

Destination Address: Η 128-bit διεύθυνση του παραλήπτη του πακέτου.

Ο παραπάνω header είναι ο πρώτος και είναι υποχρεωτικός. Από εκεί και πέρα μπορεί να ακολουθείται από άλλους προαιρετικούς extension headers ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις. Η λογική πίσω από αυτό είναι οι headers να είναι οι ελάχιστοι δυνατοί ώστε να μην έχουμε περιττό overhead τόσο στο μέγεθος του πακέτου όσο και σε επεξεργαστική ισχύ. Οι headers αυτοί πρέπει να επεξεργάζονται με την σειρά που εμφανίζονται στο πακέτο και είναι οι εξής:

- Hop-by-Hop Options
- Routing (Type 0)
- Fragment
- Destination Options
- Authentication
- Encapsulating Security Payload

Κάθε header προσδιορίζει το τι ακολουθεί (Payload ή άλλος header) από την τιμή του πεδίου **Next Header**.

1.3.4.3 IP Version 6 Addresses

Οι IPv6 addresses έχουν μήκος 128 bits και προσδιορίζουν interfaces ή σύνολα από interfaces. Υπάρχουν τρεις τύποι IPv6 διευθύνσεων:

Unicast: Προσδιορίζει ένα interface. Ένα πακέτο που αποστέλλεται σε μια unicast address παραδίδεται στο interface που προσδιορίζεται από αυτήν την διεύθυνση.

Anycast: Προσδιορίζει ένα σύνολο από interfaces (που συνήθως ανήκουν και σε διαφορετικούς κόμβους). Ένα πακέτο που αποστέλλεται σε μια anycast address παραδίδεται σε ένα από τα interfaces που προσδιορίζονται από αυτήν την διεύθυνση συνήθως το «πλησιέστερο» σύμφωνα με τους κανόνες του χρησιμοποιούμενου routing protocol).

Multicast: Προσδιορίζει ένα σύνολο από interfaces (που συνήθως ανήκουν και σε διαφορετικούς κόμβους). Ένα πακέτο που αποστέλλεται σε μια anycast address παραδίδεται σε όλα τα interfaces που προσδιορίζονται από αυτήν την διεύθυνση.

ΔΕΝ υπάρχουν broadcast addresses στο IPv6. Υποκαθίστανται από τις multicast addresses.

Υπάρχουν διάφορες μορφές που μπορούν να αναπαριστώνται οι IPv6 διευθύνσεις:

Οι διευθύνσεις μπορούν να αναπαριστώνται με μια σειρά από οκτώ αριθμούς των 16 bits ο καθένας χωριζόμενοι με το σύμβολο «:».

Πχ **2001:1964:1923:1934:0219:1010:0814:0808**.

Σίγουρα είναι επίπονο να γράφουμε τόσο μεγάλες διευθύνσεις. Κάποιες φορές μπορεί να είναι αναπόφευκτο, άλλες όμως μπορούμε να τις συντομεύσουμε κάνοντας χρήση κάποιων κανόνων όπως:

Όταν ένας αριθμός 16 bits ξεκινάει με μηδενικά τότε αυτά μπορούν να παραληφθούν. Βέβαια μόνο τα αρχικά 0 μπορούν να παραληφθούν, όχι τα τελικά. Επίσης πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένα 0.

Πχ έστω η παρακάτω IPv6 Multicast Address:

FF01:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0001.

Η διεύθυνση αυτή μπορεί να συντομευθεί ως εξής:

FF01:0:0:0:0:0:0:1.

Υπάρχει ένας ακόμα κανόνας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην συντόμευση των διευθύνσεων:

Μια συνεχόμενη σειρά ενός ή περισσότερων αριθμών 16 bits μπορεί να αντικατασταθεί από τα σύμβολα «::». Αυτό όμως μπορεί να συμβεί μόνο μια φορά. Δεν μπορεί να υπάρχουν τα παραπάνω σύμβολα παραπάνω από μία φορές.

Έτσι η προηγούμενη διεύθυνση μπορεί να απλοποιηθεί περισσότερο ως εξής:

FF01::1.

Τα prefixes γράφονται πάντα με ένα «/» στο τέλος ακολουθούμενο από τον αριθμό των bits πχ:

2001:1964:1923:1934:0219:1010:0814:0808/64.

Τα είδη των διευθύνσεων είναι:

Default Address: Η Default Address είναι η **::/0**

Unspecified Address: Η διεύθυνση **::/128** είναι η Unspecified Address και απαγορεύεται να ανατεθεί σε οποιονδήποτε κόμβο. Χρησιμοποιείται σαν Source Address από κόμβους που δεν έχουν μάθει ακόμα την διεύθυνσή τους. Απαγορεύεται να χρησιμοποιηθεί σαν Destination Address.

Loopback Address: Η Loopback Address είναι η **::1/128**

Multicast Addresses

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι IPv6 multicast address προσδιορίζουν ένα group από interfaces (τυπικά σε διαφορετικούς κόμβους). Ένα interface μπορεί να ανήκει σε περισσότερα από ένα multicast groups. Οι Multicast addresses έχουν την παρακάτω μορφή:



Οι Multicast Addresses είναι οι **FF00:/8**

Η τιμή 11111111 στην αρχή προσδιορίζει την διεύθυνση αυτή σαν multicast.

Flgs: είναι 4 bits: |0|R|P|T|

Το high-order bit έχει τιμή 0.

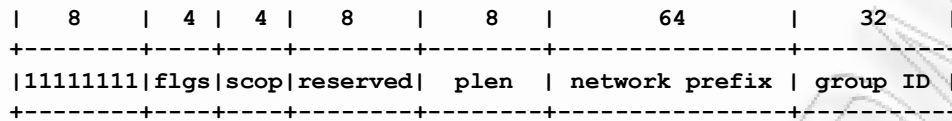
T=0 σημαίνει permanently-assigned ("well-known") multicast address από Internet Assigned Numbers Authority (IANA).

T=1 σημαίνει non-permanently-assigned (λέγονται transient ή dynamically assigned) multicast address.

P=0 δηλώνει multicast address που δεν έχει ανατεθεί βάσει του network prefix.

P=1 δηλώνει multicast address που έχει ανατεθεί βάσει του network prefix.

Στην περίπτωση αυτή το prefix βρίσκεται από τη παρακάτω μορφή της Multicast address:



R=1 δηλώνει multicast address που εμπεριέχει διεύθυνση RP (Rendezvous Point που χρησιμοποιείται σε Multicast Routing protocols). Σε αυτήν την περίπτωση πρέπει τα P και T bits να έχουν την τιμή 1.

Scop: είναι ένα πεδίο 4 bit που δηλώνει την εμβέλεια (scope) της Multicast address. Οι τιμές που μπορεί να πάρει είναι οι εξής:

0	Reserved
1	Interface-Local scope
2	Link-Local scope
3	Reserved
4	Admin-Local scope
5	Site-Local scope
6	(unassigned)
7	(unassigned)
8	Organization-Local scope
9	(unassigned)
A	(unassigned)
B	(unassigned)
C	(unassigned)
D	(unassigned)
E	Global scope
F	Reserved

Interface-Local scope σημαίνει εμβέλεια σε ένα μόνο interface κάποιου κόμβου και χρησιμεύει μόνο για loopback transmission του multicast.

Link-Local multicast scope σημαίνει εμβέλεια παρόμοια με την αντίστοιχη Link Local unicast scope (αναφέρεται παρακάτω).

Η Admin-Local scope είναι η μικρότερη εμβέλεια που μπορεί να ρυθμιστεί.

Site-Local scope σημαίνει εμβέλεια για όλο το site.

Organization-Local scope σημαίνει εμβέλεια σε όλα τα sites που ανήκουν σε έναν οργανισμό.

Unassigned σημαίνει ότι είναι διαθέσιμη στους administrators για να ορίζουν αυτοί την εμβέλεια.

group ID: Είναι το multicast group, είτε προσωρινό είτε μόνιμο εντός της αναφερόμενης εμβέλειας.

Κάποιες συχνά χρησιμοποιούμενες multicast addresses ακολουθούν:

All Nodes Addresses: FF01::1 (Interface-local)
 FF02::1 (Link-local)

All Routers Addresses: FF01::2 (Interface-local)
 FF02::2 (Link-local)
 FF05::2 (Site-local)

All RIP Routers: FF02::9 (Link-local)

Η μονιμότητα ή όχι των multicast addresses είναι ανεξάρτητη από την εμβέλειά τους. Πχ αν στο group των NTP Servers ανατεθεί μια μόνιμη multicast address με group ID of 0x101 τότε:

Η διεύθυνση FF01::101 αναφέρεται σε όλους τους NTP servers του ίδιου interface (επομένως και του ίδιου κόμβου) του αποστολέα.

Η διεύθυνση FF02::101 αναφέρεται σε όλους τους NTP servers στο link του αποστολέα.

Η διεύθυνση FF05::101 αναφέρεται σε όλους τους NTP servers στο site του αποστολέα.

Η διεύθυνση FF0E::101 αναφέρεται σε όλους τους NTP servers του Internet.

Οι multicast addresses έχουν νόημα μόνο εντός της συγκεκριμένης εμβέλειάς τους.

Όπως και στο IPv4 έτσι και στο IPv6 οι Multicast addresses δεν μπορούν να χρησιμοποιούνται σαν source addresses.

Link-Local IPv6 Unicast Addresses

Οι Link-Local IPv6 Unicast Addresses είναι διευθύνσεις που χρησιμοποιούνται σε ένα link. Έχουν την ακόλουθη μορφή:



Είναι δηλαδή οι διευθύνσεις: **FE80::/10** (από το RFC 4291 όμως τα εικονιζόμενα 54 bits έχουν υποχρεωτικά την τιμή 0).

Χρησιμοποιούνται για Addressing σε ένα Link για σκοπούς autoconfiguration, neighbor discovery και σε απουσία router. Πακέτα με source ή destination address μια link-local address απαγορεύεται να προωθούνται από τους routers.

Site-Local IPv6 Unicast Addresses

Οι Site-Local Addresses δημιουργήθηκαν για τοπική χρήση σε sites. Έχουν την παρακάτω μορφή:

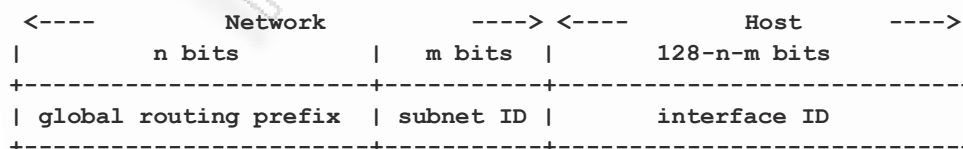


Είναι δηλαδή οι διευθύνσεις: **FEC0::/10**

Η τοπική χρήση των διευθύνσεων αυτών θεωρείται πλέον ξεπερασμένη. Με βάση το RFC 4291 πρέπει να αντιμετωπίζονται σαν Global Unicast. Πάντως, υπάρχουσες IPv6 υλοποιήσεις μπορούν να συνεχίσουν να τις χρησιμοποιούν.

Global Unicast Addresses

Οι Global Unicast Addresses έχουν την παρακάτω ιεραρχική μορφή:



Ο περιορισμός οι Global Unicast Addresses να είναι μόνο οι 2000::/3 (τα 3 πρώτα bits δηλαδή να είναι 001) έχει αρθεί. Αρκεί βέβαια να μην υπάρχει conflict με τις προηγούμενες διευθύνσεις που αναφέρθηκαν.

Η αντίθεση με τις IPv4 Addresses είναι ότι το για το subnet id δανειζόμαστε bits από το Network part και όχι από το host part.

Το Interface Id είναι σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις 64 bit. Το ενδιαφέρον με τα interface Ids είναι ότι για τις περισσότερες περιπτώσεις δεν χρειάζεται να ανατεθούν αλλά μπορούν να δημιουργηθούν αυτόματα από τις MAC Addresses. Ένα παράδειγμα θα το δείξει καλύτερα:

Έστω ένα interface με MAC Address 00:12:34:56:78:90

Το interface id που δημιουργείται αυτόματα είναι το

0212:34FF:FE56:7890

Το 02 στο πρώτο byte σημαίνει ότι είναι set το Global/Local bit.

Αν τώρα συνδυάσουμε την παραπάνω διεύθυνση με το Link Local Prefix η τελική διεύθυνση του interface γίνεται:

FE80::0212:34FF:FE56:7890

Εναλλακτικά, αν δεν κάνουμε set το Global/Local bit μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ότι interface id θέλουμε

Επίσης, συνήθως το subnet ID έχει μήκος 16 bits. Οπότε, το global routing prefix έχει μήκος 48 bits. Σίγουρα μπορεί να πει κάποιος ότι αυτό είναι σπατάλη διευθύνσεων. Αλλά με το πλήθος των διαθέσιμων διευθύνσεων και την ευκολία στην ανάθεση και σχεδίαση αυτό αντισταθμίζεται.

1.3.4.4 IP version 6 Neighbor discovery

Ότι είναι το ARP για το IPv4, είναι το NDP (Neighbor Discovery Protocol) για το IPv6. Ένας κόμβος στέλνει ένα request πακέτο (το οποίο στην ορολογία του NDP λέγεται Neighbor Solicitation) και ο κόμβος που τον αφορά το πακέτο αποστέλλει στην απάντησή του (Neighbor Advertisement) την link-layer διεύθυνσή του. Το NDP είναι μέρος του ICMPv6, σε αντίθεση με το ARP που τρέχει πάνω από Layer 2. Το NDP

χρησιμοποιεί multicasts και όχι broadcasts (τα οποία έτσι και αλλιώς δεν υπάρχουν στο IPv6).

Για κάθε unicast address που ανταποκρίνεται, κάθε host κάνει listen σε μια solicited-node multicast address. Η solicited-node multicast address που αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη unicast address δημιουργείται από τα τελευταία τρία octets της unicast address προσθέτοντας στην αρχή τους **FF02::1:FF00:0000/104**.

Έτσι η solicited-node multicast address της unicast address

2001:1964:1923:1934:0219:1016:0814:0808 είναι η FF02::1:FF14:0808.

Η solicited-node multicast address χρησιμοποιείται σαν ο προορισμός ενός neighbor solicitation packet. Αυτό σημαίνει ότι η συγκεκριμένη χρήση του multicast δεν παραλαμβάνεται από hosts που δεν τους αφορά (η πιθανότητα δύο Hosts στο ίδιο link να έχουν ίδια τα τελευταία 3 octets είναι αμελητέα).

1.3.4.5 IP version 6 Stateless autoconfiguration

Στο IPv4 είναι δυνατόν ένας κόμβος να ανακαλύπτει την IP Address χρησιμοποιώντας BOOTP και επίσης να αποκτά αυτόματα IP Address με τη χρήση του DHCP. Αυτό όμως δεν είναι ο κανόνας και δεν γίνεται αυτόματα. Αντιθέτως, στο IPv6 το αυτόματο configuration είναι πολύ πιο συνηθισμένο.

Το πιο σύνηθες αυτόματο configuration είναι το stateless autoconfiguration. Ο host δημιουργεί την IPv6 Address από το interface ID και το link-local network prefix FE80::/10. Για να μάθει αν υπάρχουν και άλλα prefixes για κάποιο link ο host στέλνει ένα Router Solicitation packet στην link-local All-Routers multicast address FF02::2. Οι Routers απαντάνε στέλνοντας όλα τα IPv6 prefixes που χρησιμοποιούνται από το link με Router Advertisement packets. Επιπλέον, τα Router Advertisements στέλνονται και περιοδικά.

1.4 Εισαγωγή στην Δρομολόγηση (Routing)

Με τον όρο Δρομολόγηση (Routing) εννοούμε την διαδικασία εκμάθησης της βέλτιστης διαδρομής κατά την οποία ένα πακέτο (L3 PDU) πρέπει να προωθηθεί με στόχο να φτάσει στον τελικό του προορισμό.

Η μεθοδολογία λήψης απόφασης που ακολουθείται για τον σκοπό αυτό καθορίζεται από τον Αλγόριθμο Δρομολόγησης και υλοποιείται από ένα Πρωτόκολλο Δρομολόγησης που είναι το σύνολο των κανόνων που ακολουθούν οι Routers προκειμένου να ανταλλάσσουν μεταξύ τους πληροφορία σχετικά με την τοπολογία του δικτύου που συμμετέχουν.

Η γνώση της τοπολογίας δίνει την δυνατότητα στους Routers να επιλέγουν την βέλτιστη διαδρομή (και σε ορισμένες περιπτώσεις και εναλλακτική διαδρομή) με βάση κάποια προκαθορισμένα κριτήρια.

Η πληροφορία αυτή αποθηκεύεται σε διάφορες εσωτερικές δομές ανάλογα με το εκάστοτε χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο και τον συγκεκριμένο κατασκευαστή του Router. Σε κάθε περίπτωση όμως υπάρχει το Routing Table.

Το Routing Table περιέχει όλες τις πληροφορίες που χρειάζεται ένας Router για να προωθήσει το πακέτο. Η προώθηση των πακέτων βασίζεται μόνο στην διεύθυνση προορισμού (με μόνη εξαίρεση το Policy Based Routing, το οποίο όμως δεν είναι scalable καθότι πρέπει να ρυθμίζεται ανά Router).

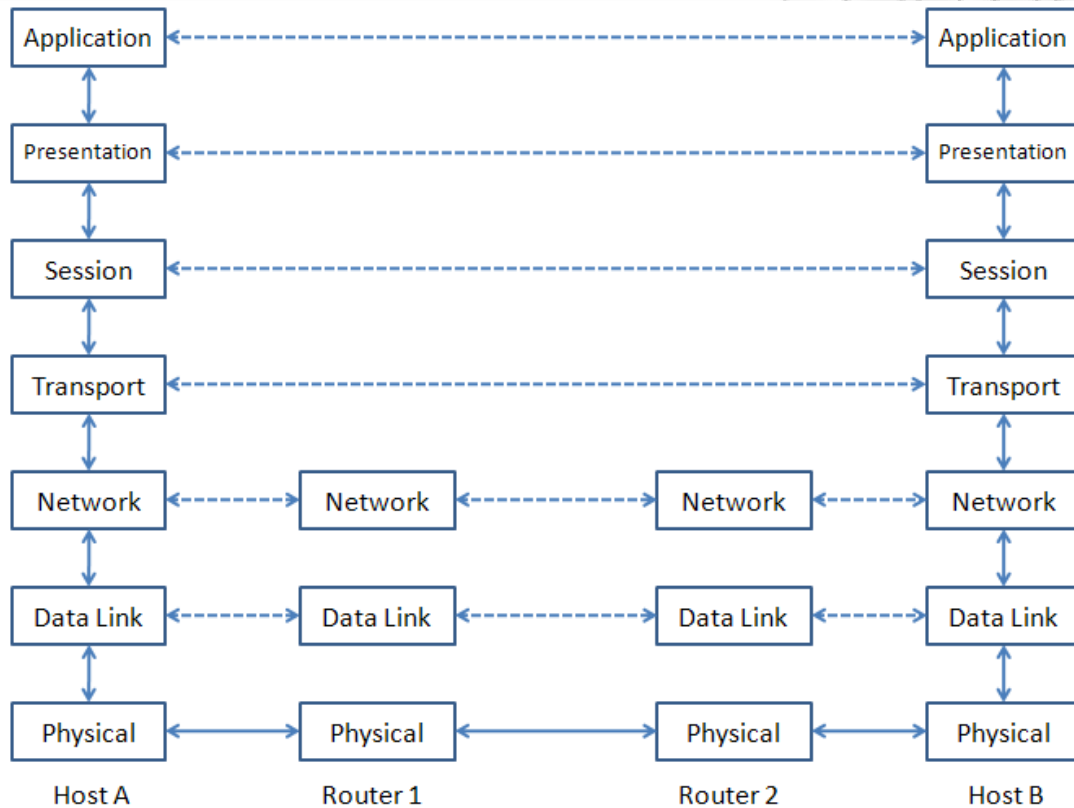
Κάθε Router στο δίκτυο αναλύει κάθε πακέτο χωριστά και συμβουλευεται το δικό του Routing Table για να αποφασίσει που θα το προωθήσει. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται και hop-by-hop destination-based unicast routing. Ανάλογα με το μέγεθος του Routing Table μπορεί να υπάρξουν καθυστερήσεις με αυτήν την διαδικασία.

Βέβαια, όπως θα αναφερθεί και στο κεφάλαιο 7 μια Layer 2 τοπολογία μπορεί να είναι διαφορετική από μια Layer 3 τοπολογία οπότε υπάρχει πιθανότητα να επιλεγούν μη βέλτιστες διαδρομές. Αυτό μπορεί να συμβεί γιατί οι Layer 2 συσκευές δεν έχουν γνώση της τοπολογίας του δικτύου.

Η ορολογία Routing αποδίδεται μόνο στην διαδικασία εκμάθησης της βέλτιστης διαδρομής μέσω της ανταλλαγής πληροφορίας μεταξύ των Routers με χρήση ενός πρωτοκόλλου. Η τελική διαδικασία της προώθησης του πακέτου ονομάζεται Forwarding.

Το Routing είναι μια διεργασία του Layer 3. Επομένως μια συσκευή για να παρέχει Routing capabilities αρκεί να διαθέτει τα τρία πρώτα Layers του protocol stack.

Παρακάτω (Σχήμα 1-5) βλέπουμε την σχέση των OSI layers και protocols σε μια περίπτωση όπου δύο hosts συνδέονται με την βοήθεια δύο Routers.



Σχήμα 1-5 OSI Routing: Layers, Protocols, Connections

Παρατηρούμε ότι οι Routers δεν χρειάζεται να υλοποιούν τον πλήρη OSI protocol stack. Βέβαια, στην πράξη θα υλοποιούν έστω περιορισμένα κάποια ακόμα Layers σε μια προσπάθεια να δίνουν δυνατότητες απομακρυσμένης διαχείρισης.

1.5 Απαιτήσεις του Routing

Ένας Router για να μπορεί να εκτελεί τον σκοπό του πρέπει να εκπληρώνει τις παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Να έχει ενεργή την αντίστοιχη σουίτα πρωτοκόλλων (protocol suite ή protocol stack).
2. Να έχει πληροφορία σχετικά με το destination network.
3. Να ξέρει από ποιο Interface θα προωθήσει ένα πακέτο για να επιτευχθεί η βέλτιστη διαδρομή.

Τα παραπάνω είναι λογικά. Καταρχήν, ο Router θα πρέπει να υποστηρίζει τον protocol stack (OSI, TCP/IP, IPX/SPX, DECnet) όπου ανήκει η διεύθυνση προορισμού. Αν δεν υπάρχει αυτή η υποστήριξη τότε απλά ο Router είναι άχρηστος. Δεν μπορεί να λειτουργήσει σε κανένα από τα 3 Layers που είναι το minimum για την παροχή υπηρεσιών δρομολόγησης.

Επιπλέον της παραπάνω υποστήριξης, ο Router θα πρέπει να έχει πληροφορίες για το δίκτυο προορισμού στο Routing Table. Αν δεν έχει τότε απλά δεν μπορεί να προωθήσει τα πακέτα προς αυτό το δίκτυο οπότε τα διαγράφει. Εναλλακτικά, υπάρχει η δυνατότητα ένας Router να έχει ένα Default Route το οποίο και συμβουλεύεται αν δεν έχει στο Routing Table του το συγκεκριμένο Δίκτυο Προορισμού.

Η τελική απόφαση για την προώθηση ενός πακέτου προς έναν προορισμό αφορά στην επιλογή του interface του Router απ' όπου θα προωθηθεί ένα πακέτο. Συνήθως στο Routing Table, για κάθε destination network υπάρχει μόνο ένα entry, εκείνο που αντιστοιχεί στην βέλτιστη διαδρομή. Εναλλακτικά, υπάρχει περίπτωση να υπάρχουν περισσότερα entries τόσο για λόγους redundancy όσο και load balancing. Σε κάθε περίπτωση, το επιλεγόμενο Interface προσδιορίζει και το Layer 2 encapsulation του πακέτου.

1.6 Routing Tables

Πως ένας Router αποφασίζει από πιο Interface πρέπει να προωθήσει κάποιο πακέτο; Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το Routing Table είναι μία δομή που περιέχει όλες τις πληροφορίες που χρειάζεται ένας Router για να προωθήσει το πακέτο.

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι αν και όσα αναφέρονται είναι γενικά και ανεξάρτητα από την συγκεκριμένη σουίτα πρωτοκόλλων, η παρούσα εργασία θα επικεντρώσει στην σουίτα πρωτοκόλλων TCP/IP καθότι έχει επικρατήσει πλέον παγκοσμίως.

Η ελάχιστη πληροφορία που πρέπει να υπάρχει στο Routing Table για την σουίτα πρωτοκόλλων TCP/IP είναι η εξής:

- IP Network Number
- Direct/Indirect Flag
- Next Hop Address
- Interface

Όταν το δίκτυο προορισμού (που περιλαμβάνει Network Address συνδυασμένο με subnet mask) βρίσκεται στο ίδιο δίκτυο/υποδίκτυο με κάποιο από τα interfaces του Router, τότε το Direct/Indirect Flag έχει την τιμή Direct, το Next Hop Address μπορεί να είναι κενό ή σε άλλες περιπτώσεις (ανάλογα με την υλοποίηση) να έχει τιμή ίδια με την IP Address του εξερχόμενου Interface.

Σε κάθε περίπτωση το Interface υποδηλώνει το αντίστοιχο Interface του Router από το οποίο πρέπει να εξέλθει ένα πακέτο για να παραδοθεί στον προορισμό του.

Ισχύει δηλαδή κάτι τέτοιο (RFC 1180):

network	direct/indirect flag	router	interface number
development	direct	<blank>	1

Όταν το δίκτυο προορισμού βρίσκεται σε άλλο δίκτυο/υποδίκτυο από οποιοδήποτε από τα interfaces του Router τότε το Direct/Indirect Flag έχει την τιμή Indirect, το Next Hop Address έχει τη διεύθυνση του κοντινότερου στον προορισμό Router και το Interface δείχνει το αντίστοιχο Interface απ' όπου πρέπει να προωθηθεί για να φτάσει στον επόμενο Router.

Ισχύει δηλαδή κάτι τέτοιο (επίσης από RFC 1180):

network	direct/indirect	flag	router	interface	number
development	direct		<blank>	1	
accounting	indirect		devnetrouter	1	
factory	indirect		devnetrouter	1	

Απαραίτητη προϋπόθεση όμως στον παραπάνω πίνακα είναι ο devnetrouter να είναι συνδεδεμένος σε κάποιο από τα υποδίκτυα του τρέχοντος Router.

Οι παραπάνω πληροφορίες είναι οι ελάχιστες απαραίτητες. Στην πράξη όμως, το Routing Table αποθηκεύει πολύ περισσότερες πληροφορίες για κάθε Network id. Τέτοιες επιπρόσθετες πληροφορίες μπορεί να είναι:

- **Ο μηχανισμός με τον οποίον το κάθε routing entry δημιουργήθηκε.**

Αν πχ δημιουργήθηκε στατικά η δυναμικά (και στην δεύτερη περίπτωση με πιο Routing Protocol).

- **Το μέτρο εμπιστοσύνης στον μηχανισμό εκμάθησης.**

Σε κάποιον Router μπορεί να είναι ενεργοποιημένα περισσότερα από ένα Routing protocols. Μπορούν ακόμα να υπάρχουν στατικές εντολές σχετικά με το Routing κάποιων δικτύων. Υπάρχει περίπτωση επομένως, να πάρουμε για το ίδιο δίκτυο πληροφορία από πολλές πηγές (Routing protocols, static commands). Η πληροφορία αυτή μπορεί να είναι και αντικρουόμενη. Ο Router πρέπει να έχει έναν τρόπο να ιεραρχεί την πληροφορία αυτή. Μία μέθοδος ιεραρχίας είναι να αποδίδει κάποιο μέτρο εμπιστοσύνης ανάλογα με τον μηχανισμό. Συνήθως μια στατική ρύθμιση θεωρείται πιο σημαντική από μία πληροφορία που λαμβάνεται από κάποιο Routing protocol. Πχ η Cisco και η Juniper χρησιμοποιούν τον όρο “Administrative Distance” για να υποδηλώσουν το μέτρο εμπιστοσύνης.

- **Το «κόστος» (metric) που υποδηλώνει την απόσταση από το δίκτυο προορισμού.**

Ανάλογα με το Routing protocol, το routing metric μπορεί να είναι μια τιμή που υποδηλώνει απλά τον αριθμό των hops (συνδέσεων) μέχρι τον τελευταίο Router, μπορεί να είναι μια τιμή επηρεασμένη από την ταχύτητα των links μεταξύ των Routers, η ακόμα μπορεί και να είναι μία πιο σύνθετη τιμή που υπολογίζεται από

ένα σύνολο παραμέτρων. Τέτοιες παράμετροι μπορεί να είναι εκτός από την ταχύτητα, η καθυστέρηση της γραμμής, η αξιοπιστία της, ο φόρτος της ή ακόμα και κάποια σταθερά.

- **Την ενημερότητα της πληροφορίας.**

Υποδηλώνει πόσο πρόσφατη είναι η ενημέρωση για το συγκεκριμένο Δίκτυο. Αναλόγως με το χρησιμοποιούμενο Routing Protocol τα Routing Entries των Network ids ενημερώνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Παρακάτω βλέπουμε το Routing Table ενός Cisco Router.

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

10.0.0.0/8 is variably subnetted, 4 subnets, 2 masks
R 10.200.200.11/32 [120/1] via 10.1.1.1, 00:00:14, FastEthernet0/0
R 10.200.200.12/32 [120/1] via 10.2.2.2, 00:00:15, FastEthernet2/0
C 10.2.2.0/24 is directly connected, FastEthernet2/0
C 10.1.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0

Σε αυτό το Routing table φαίνονται τα εξής:

1. **Ο τρόπος εκμάθησης δηλαδή το συγκεκριμένο Routing Protocol.**

Στον τρόπο εκμάθησης ανήκει και η περίπτωση στατικής ρύθμισης ή ακόμα και η περίπτωση απευθείας σύνδεσης (είναι η περίπτωση Direct που έχει αναφερθεί προηγουμένως).

2. **Το Δίκτυο/Υποδίκτυο προορισμού.**

Αυτό αναπαρίσταται τόσο με μια IP Address και μια Subnet Mask. Αυτόν τον συνδυασμό τον ονομάζουμε και IP Prefix.

3. Η Administrative Distance και το Routing Protocol Metric.

Η administrative distance που είναι η εμπιστοσύνη του Router στο συγκεκριμένο Routing Protocol. Όσο χαμηλότερες τιμές έχει τόσο πιο πολύ η εμπιστοσύνη στο συγκεκριμένο Routing Protocol. Πολύ μεγάλη προτεραιότητα έχει η στατική ρύθμιση (administrative distance: 1) και την μεγαλύτερη την έχει η απευθείας σύνδεση (administrative distance: 0).

Το Routing Protocol Metric «δείχνει» την απόσταση από το δίκτυο προορισμού και συντελεί στην λήψη βέλτιστων διαδρομών. Πιο πάνω αναφέρθηκαν διάφορα κριτήρια απλά ή σύνθετα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν Routing Metric (η ταχύτητα, η καθυστέρηση της γραμμής, η αξιοπιστία της, ο φόρτος της ή ακόμα και κάποια σταθερά).

4. Το next hop address.

Είναι η διεύθυνση του επόμενου Router που πρέπει να αποσταλεί ένα πακέτο προκειμένου να φτάσει στον προορισμό του.

5. Η ενημερότητα του Routing Entry.

Είναι ο χρόνος που έχει μεσολαβήσει από την τελευταία ενημέρωση του συγκεκριμένου Routing Entry από το Routing Protocol.

6. Το όνομα του Interface.

Είναι το όνομα του Interface από το οποίο πρέπει να εξέλθει ένα πακέτο για να φτάσει με την βέλτιστη διαδρομή στον προορισμό του.

7. Ο Default Gateway (αν υπάρχει).

Αν και στο συγκεκριμένο παράδειγμα δεν υπάρχει, ο Default Gateway είναι η διεύθυνση του Router που αποστέλλεται ένα πακέτο αν προορίζεται προς κάποια διεύθυνση που δεν συμπεριλαμβάνεται στο Routing Table. Το Routing Table entry του Default Gateway αναφέρεται και σαν 0.0.0.0/0 ώστε να καλύπτει όλα τα δίκτυα/υποδίκτυα που δεν υπάρχουν στο Routing Table.

2 Χαρακτηριστικά των Routing Protocols

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να κατηγοριοποιηθούν τα Routing Protocols. Classful έναντι Classless, Distance Vector έναντι Link State, Interior έναντι Exterior. Υπάρχουν βέβαια και Routing Protocols που συνδυάζουν στοιχεία από παραπάνω από μία κατηγορίες.

Κατ' αρχήν όμως θα γίνει μία αναφορά στο Time to Live (TTL) πεδίο του IP Header το οποίο αν και δεν είναι χαρακτηριστικό των Routing protocols, εν τούτοις έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να αντιμετωπίζει κάποιες από τις ατέλειές τους και πιο συγκεκριμένα το να υπάρχουν πακέτα που κυκλοφορούν στο Internet για πάντα. Αυτό θα είχε συνέπεια την κατάρρευσή του σε χρόνο ρεκόρ.

2.1 TTL (Time to Live)

Κανένα Routing Protocol δεν είναι τέλειο. Ένα αδύνατο σημείο είναι η συμπεριφορά του πρωτοκόλλου όταν τα Interfaces των Routers μεταβαίνουν από την κατάσταση λειτουργίας στην κατάσταση μη λειτουργίας και αντίστροφα.

Για να αποφευχθεί η περίπτωση ένα πακέτο να περιφέρεται συνέχεια από Router σε Router χρησιμοποιείται το πεδίο TTL στον IP Header. Το πεδίο αυτό γίνεται Initialize με μία αρχική τιμή. Η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει είναι 255 καθότι έχει μήκος 8 bits.

Αν και το TTL υποδηλώνει χρόνο (η μονάδα μέτρησης είναι δευτερόλεπτα) κάθε φορά που το πακέτο διέρχεται από έναν Router η τιμή του TTL μειώνεται κατά 1 ακόμα και αν δεν έχει περάσει 1 δευτερόλεπτο. Εναλλακτικά, αν το πακέτο παραμείνει σε έναν Router παραπάνω από 1 δευτερόλεπτο τότε ο Router μπορεί να το μικρύνει και περισσότερο από ένα.

Το TTL έχει λοιπόν διπλή χρήση. Χρησιμοποιείται τόσο σαν χρόνος όσο και σαν “number of hops” (όταν κάθε Router το ελαττώνει ανά 1).

Στην πράξη η υλοποίηση με μείωση του χρόνου δεν είναι πρακτική (και μάλιστα είναι προαιρετική) γι' αυτό και στις περισσότερες TCP/IP υλοποιήσεις το TTL χρησιμοποιείται μόνο σαν hop count.

Όταν το TTL ενός πακέτου φτάσει την τιμή 0 το πακέτο δεν μπορεί να προωθηθεί άλλο από τον Router και απορρίπτεται. Ταυτόχρονα αποστέλλεται ένα ICMP (Internet Control Message protocol) Time Exceeded μήνυμα λάθους στον αποστολέα του μηνύματος.

2.2 Classful Routing

Υπάρχουν κάποια πεπαλαιωμένα Routing Protocols που δεν αποστέλλουν την subnet mask μαζί με το network number.

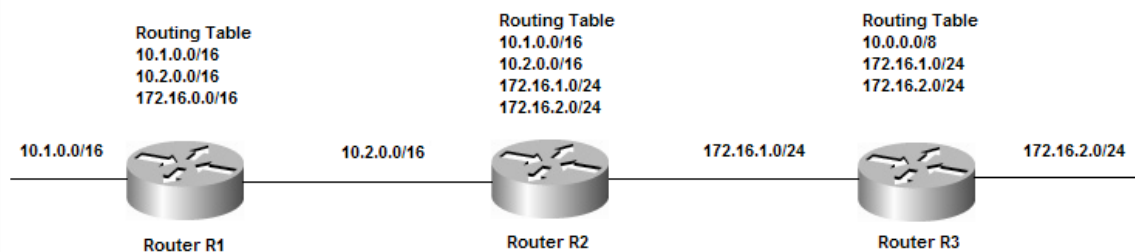
Σε αυτήν την περίπτωση όλα τα subnets που έχουν το ίδιο major network (είτε κλάσης A, είτε B είτε C) πρέπει να έχουν το ίδιο subnet mask.

Όταν ένας Router λαμβάνει σε ένα interface ένα Routing update ενός Classful Routing protocol τότε ισχύουν τα εξής:

- Αν το Routing update αφορά το ίδιο major network number που είναι configured στο συγκεκριμένο interface τότε ο Router χρησιμοποιεί την subnet mask του interface αυτού.
- Αν το Routing update αφορά κάποιο άλλο major network number τότε ο Router χρησιμοποιεί την default subnet mask της κλάσης που ανήκει αυτό το network number.

Βέβαια, στην πρώτη περίπτωση, για να υπάρχει συνέπεια πρέπει όλα τα subnetworks ενός major network να έχουν την ίδια subnet mask. Αυτό οδηγεί και σε σπατάλη διευθύνσεων πχ στην περίπτωση μιας point-to-point σύνδεσης όπου χρειάζεται να υποστηρίζονται μόνο 2 hosts. Αν προσθέσουμε και τις 2 μη χρησιμοποιούμενες τιμές (όλα 0 και όλα 1) τότε είναι προφανές ότι για τις 4 συνολικά διευθύνσεις χρειαζόμαστε μόνο 2 bits για το host part. Τα άλλα 30 bits θα μπορούσαν να υποδηλώνουν το subnet. Έτσι αν πχ η subnet mask είναι 255.255.255.0 (/24) που υποστηρίζει μέχρι $2^8 - 2 = 254$ hosts τότε αυτό σημαίνει ότι σπαταλιούνται πολλές διευθύνσεις.

Το δεύτερο θέμα του Classful routing φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 2-1:



Σχήμα 2-1 Routers που τρέχουν Classful Routing protocol

Παρατηρούμε τα εξής:

Router R1: Και τα δύο interfaces του έχουν διευθύνσεις που ανήκουν στο ίδιο major network (10.0.0.0). Ο Router R1 δεν συνδέεται απευθείας με τον R3 που έχει interfaces που ανήκουν σε διαφορετικό major network (172.16.0.0). Επομένως δεν έχει γνώση της subnet mask που χρησιμοποιείται από τον R3 και στο Routing Table του χρησιμοποιεί την default subnet mask (255.255.0.0 ή αλλιώς /16) της κλάσης B που ανήκουν τα υποδίκτυα 172.16.1.0 και 172.16.2.0.

Router R2: Έχει Interfaces που ανήκουν και στα δύο major network numbers 10.0.0.0 και 172.16.0.0 άρα έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιεί στο Routing Table του για το κάθε υποδίκτυο τις αντίστοιχες subnet masks.

Router R3: Όπως και ο Router R1, τα δύο interfaces του Router R3 έχουν διευθύνσεις που ανήκουν στο ίδιο major network (172.16.0.0). Όμως, ο Router R3 δεν συνδέεται απευθείας με τον R1 που έχει interfaces που ανήκουν σε διαφορετικό major network (10.16.0.0). Επομένως, δεν έχει γνώση της subnet mask που χρησιμοποιείται από τον R1 και στο Routing Table του χρησιμοποιεί την default subnet mask (255.0.0.0 ή αλλιώς /8) της κλάσης A που ανήκουν τα υποδίκτυα 10.1.0.0 και 10.2.0.0.

Γενικά, γειτονικοί Routers με interfaces που έχουν διευθύνσεις που ανήκουν στο ίδιο major network μοιράζονται πληροφορίες για τα αντίστοιχα υποδίκτυα με την προϋπόθεση όμως να έχουν όλα την ίδια subnet mask. Όσον αφορά υποδίκτυα που ανήκουν σε διαφορετικό major network, ανταλλάσσεται μόνο Classful πληροφορία για αυτά.

2.3 Classless Routing

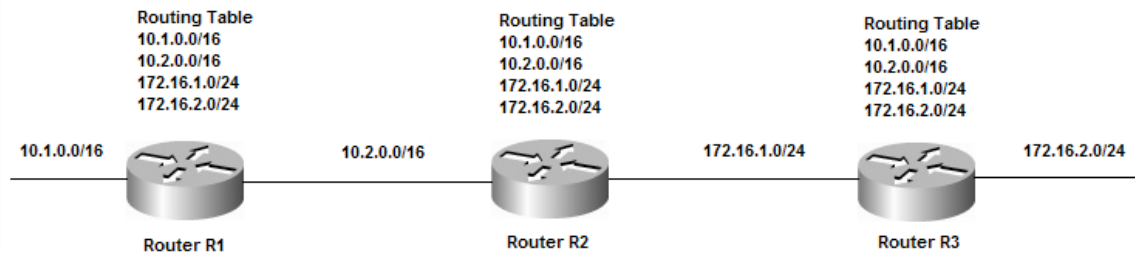
Το Classless Routing δημιουργήθηκε για να δώσει κάποια προσωρινή λύση στο πρόβλημα της εξάντλησης των διευθύνσεων με την ορθολογικότερη κατανομή τους.

Πλέον, αντί να ανατίθεται σε κάποιον οργανισμό ένα δίκτυο πχ κλάσης C, ανατίθεται ένα συνεχές block διευθύνσεων μεγέθους δύναμης του 2 που καθορίζεται από το network number ακολουθούμενο από «/» και τον αριθμό των σημαντικών bits.

Οι περιορισμοί που αναφέρθηκαν στο παραπάνω κεφάλαιο (Classless Routing) υπάρχουν όπως αναφέρθηκε γιατί κάποια Routing Protocols δεν αποστέλλουν την subnet mask μαζί με το subnet number.

Τα μοντέρνα Routing Protocols έρχονται να διορθώσουν αυτόν τον περιορισμό. Έτσι καταργείται ο περιορισμός της χρήσης της ίδιας subnet mask από όλα τα υποδίκτυα που ανήκουν στο ίδιο κύριο δίκτυο. Ακόμα καταργείται και η υποχρεωτική χρήση της default subnet mask για υποδίκτυα που ανήκουν σε διαφορετικό κύριο δίκτυο.

Στο παρακάτω Σχήμα 2-2 φαίνονται τα Routing Tables τριών Routers που τρέχουν ένα Classless Routing Protocol.



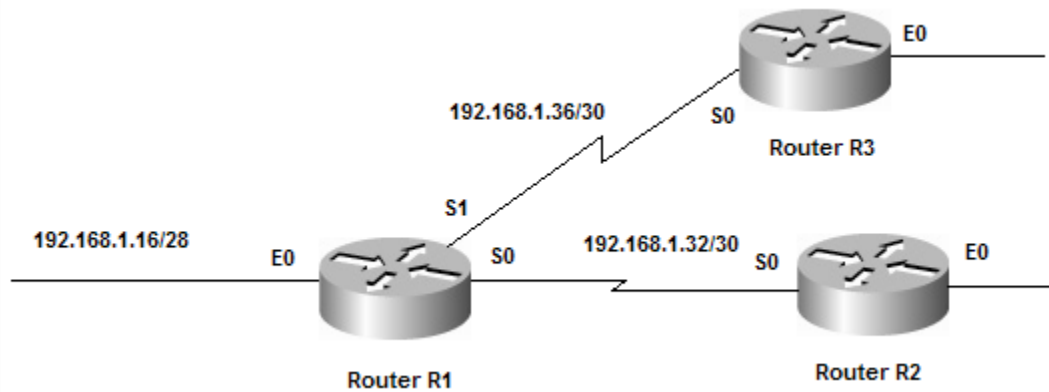
Σχήμα 2-2 Routers που τρέχουν Classless Routing protocol

2.4 VLSM (Variable Length Subnet Masking)

Τα Classless Routing protocols με την δυνατότητά τους να αποστέλλουν και την subnet mask μαζί με το network number, παρέχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιείται διαφορετική subnet mask στα διάφορα interfaces που ανήκουν στο ίδιο network number. Αυτή η δυνατότητα μπορεί να αξιοποιηθεί για εξοικονόμηση διευθύνσεων.

Πχ ένα Ethernet interface ενός Router μπορεί να έχει μια subnet mask 255.255.255.240 (/28) αν υπάρχει ανάγκη υποστήριξης μέχρι $2^4 - 2 = 14$ hosts (συμπεριλαμβανομένου και του Router). Αντίθετα, ένα Serial interface που συνδέεται με έναν μόνο Router, αρκεί να έχει μια subnet mask 255.255.255.252 (/30) η οποία υποστηρίζει μέχρι $2^2 - 2 = 2$ hosts που είναι και οι δύο συνδεδεμένοι Routers.

Το σενάριο αυτό απεικονίζεται στο Σχήμα 2-3 όπου ο Router R1 χρησιμοποιεί subnet mask 255.255.255.240 (/28) στο Ethernet interface του ενώ, χρησιμοποιεί subnet mask 255.255.255.252 (/30) στα σειριακά interfaces του. Εννοείται η χρήση ενός Classless Routing protocol.



Σχήμα 2-3 Παράδειγμα VLSM

2.5 Summarization

Όταν το μέγεθος του Routing Table αυξάνει λόγω του μεγέθους του δικτύου τότε μπορεί να υπάρξουν τα παρακάτω προβλήματα:

1. Καθυστέρηση και κατανάλωση υπολογιστικών πόρων των Routers λόγω της αναζήτησης κάποιου Routing Prefix (network ή subnetwork με συγκεκριμένη subnet mask) στο Routing Table αλλά και ενημέρωσης του Routing Table μετά από επικοινωνία με Router που συμμετέχει στο ίδιο Routing Protocol.
2. Κατανάλωση μνήμης του Router λόγω του μεγέθους του Routing Table.
3. Κατανάλωση bandwidth λόγω αποστολής μεγαλύτερου Routing Table στους Routers που συμμετέχουν σε κάποιο Routing Protocol.

Στην περίπτωση του Classful Routing το summarization γίνεται αυτόματα ανάλογα με την κλάση που ανήκει κάποιο subnet. Έτσι, για την κλάση A χρησιμοποιείται summarization στο πρώτο octet, για την κλάση B στο δεύτερο octet και για την κλάση C στο τρίτο octet.

Όμως αυτό δεν είναι πάντοτε εφικτό ούτε βέλτιστο. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι να μην υπάρχουν υποδίκτυα του συγκεκριμένου major network σε άλλα σημεία του δικτύου γιατί αλλιώς θα είχαμε εσφαλμένη πληροφόρηση άρα λάθος δρομολόγηση.

Για να είναι εφικτό το summarization πρέπει να υπάρχει μια αποτελεσματική σχεδίαση όπου:

1. Τα subnets να έχουν κατανεμηθεί σε συνεχή τμήματα και ο αριθμός τους να είναι δύναμη του 2.

2. Το σχετικό octet στην πρώτη διεύθυνση στο block που θα γίνει summarized πρέπει να είναι πολλαπλάσιο του αριθμού των subnets.

Πιο συγκεκριμένα, το summarizing καθορίζεται από μία μάσκα επίσης 32 bits σαν το subnet όπου τα πρώτα bits που υποδηλώνουν το κοινό τμήμα (το summarized network) έχουν την τιμή 1 και τα υπόλοιπα (που υποδηλώνουν το αδιάφορο τμήμα μιας διεύθυνσης) έχουν την τιμή 0. Είναι απαραίτητο όλες οι διευθύνσεις που δημιουργούνται από όλους τους συνδυασμούς των bits που αντιστοιχούν στις θέσεις των 0 να συμπεριλαμβάνονται στο summarized δίκτυο. Έστω τα παρακάτω υποδίκτυα:

172.16.0.0/24
172.16.1.0/24
172.16.2.0/24
172.16.3.0/24

Αυτά σε Binary μορφή αντιστοιχούν στα εξής:

Από: **10101100.00010000.00000000.00000000**
Μέχρι και: **10101100.00010000.00000000.11111111**

Από: **10101100.00010000.00000001.00000000**
Μέχρι και: **10101100.00010000.00000001.11111111**

Από: **10101100.00010000.00000010.00000000**
Μέχρι και: **10101100.00010000.00000010.11111111**

Από: **10101100.00010000.00000011.00000000**
Μέχρι και: **10101100.00010000.00000011.11111111**

Παρατηρούμε τα εξής:

1. Το κοινό μέρος είναι το **10101100.00010000.000000** δηλαδή τα πρώτα 22 bits.
2. Όσον αφορά τα υπόλοιπα 10 bits έχουν όλους τους δυνατούς συνδυασμούς.

Μπορούμε λοιπόν να τα κάνουμε Summarize ως εξής: **172.16.0.0/22**

Απαραίτητη προϋπόθεση για summarization κατά βούληση και σε οποιαδήποτε αριθμό bits είναι το Routing protocol να είναι Classless δηλαδή να υποστηρίζει την αποστολή του mask μαζί με το Network Address.

Το summarization μπορεί να γίνεται τόσο σε class boundary όσο και σε οποιαδήποτε άλλο σημείο. Όταν συμπεριλαμβάνει περισσότερα από ένα major networks τότε ονομάζεται και supernetting. Ένα παράδειγμα ακολουθεί. Έστω τα παρακάτω Class C Networks:

192.168.16.0/24	192.168.24.0/24
192.168.17.0/24	192.168.25.0/24
192.168.18.0/24	192.168.26.0/24
192.168.19.0/24	192.168.27.0/24
192.168.20.0/24	192.168.28.0/24
192.168.21.0/24	192.168.29.0/24
192.168.22.0/24	192.168.30.0/24
192.168.23.0/24	192.168.31.0/24

Για λόγους συντομίας αλλά και απλότητας θα επικεντρώσουμε στην δυαδική αναπαράσταση του τρίτου octet που παίρνει τις τιμές 16-31:

00010000	00011000
00010001	00011001
00010010	00011010
00010011	00011011
00010100	00011100
00010101	00011101
00010110	00011110
00010111	00011111

Βλέπουμε ότι τα κοινά bits είναι τα πρώτα τέσσερα (0001) ενώ τα υπόλοιπα τέσσερα παίρνουν όλες τις δυνατές τιμές από 0000 μέχρι και 1111. Άρα, τα πρώτα 20 bits (τα πρώτα 2 bytes και τα 4 bits του 3^{ου} byte) είναι τα κοινά οπότε το summarization boundary προσδιορίζεται μεταξύ το 20^{ου} και του 21^{ου} bit και αναγράφεται ως εξής:

192.168.16.0/20

Η παραπάνω summary address περιλαμβάνει ένα συνεχόμενο block 16 class C δικτύων. Οπότε εκτός από Summary Address μπορούμε να την ονομάσουμε και supernet.

Όσον αφορά το summarization σε IPv6 δεν αλλάζει κάτι. Η φιλοσοφία είναι η ίδια με τις διευθύνσεις απλώς να έχουν μήκος 128 bits αντί για 32.

2.6 Longest Match

Όταν ένας Router «τρέχει» ένα Classless Routing protocol τότε η αναζήτηση κάποιου entry στο Routing Table γίνεται με την αρχή του longest match. Επιλέγεται δηλαδή από τα entries του Routing Table που ικανοποιούν την συνθήκη αναζήτησης, εκείνο που έχει τα περισσότερα κοινά bits με την διεύθυνση προορισμού (υπολογίζοντας φυσικά από το most significant bit).

Έτσι υπάρχει η σιγουριά ότι έχει γίνει η καλύτερη δυνατή επιλογή αφού επιλέγονται οι πιο συγκεκριμένες διαδρομές.

Αυτό βέβαια έχει και κάποιες συνέπειες.

1. Αν κάποιος οργανισμός δεν έχει μόνο ένα «συμπαγές» block διευθύνσεων όπου μπορούν να γίνουν summarized αλλά έχει και κάποιες ανεξάρτητες διευθύνσεις, τότε φυσικά με την αρχή του longest match το routing θα δουλεύει κανονικά αλλά καταργείται το πλεονέκτημα του summarization. Βέβαια αυτό είναι πιο πολύ σχεδιαστική αδυναμία καμιά φορά όμως είναι αναπόφευκτο όταν ένας οργανισμός αλλάζει Provider.
2. Αν η διεύθυνση προορισμού είναι προς κάποιο subnet που δεν υπάρχει στο Routing Table, αλλά υπάρχει ένα entry προς ένα γενικότερο subnet ή απλά προς το αντίστοιχο major network, τότε το πακέτο προωθείται με κίνδυνο βέβαια να γίνει drop σε κάποιον άλλο Router.
3. Αν δεν υπάρχει ταίριασμα τότε, για να μην γίνει drop το πακέτο πρέπει να υπάρχει κάποιος default gateway (last resort) gateway που όμως μπορεί να δρομολογήσει το πακέτο με μην βέλτιστο τρόπο.

Στην περίπτωση όμως του Classful Routing το longest match δεν ισχύει τελείως. Στην προαναφερθείσα περίπτωση 2 δεν επιλέγεται το γενικότερο entry αλλά το πακέτο γίνεται drop.

2.7 Distance Vector Routing Protocols

Η «απόσταση» (Distance) είναι μια κάπως γενική έννοια που μπορεί να συμπεριλαμβάνει κάποιο metric ανάλογα με τις ανάγκες μας πχ την χρονοκαθυστέρηση της παράδοσης ενός μηνύματος, η το κόστος αποστολής του.

Οι Distance Vector Αλγόριθμοι παίρνουν το όνομά τους από το γεγονός ότι είναι δυνατόν να υπολογιστούν οι βέλτιστες διαδρομές όταν ανταλλάγει απλώς πληροφορία σχετική με τις αποστάσεις. Τέτοια πληροφορία ανταλλάσσεται μόνο μεταξύ «γειτόνων» δηλαδή Routers που ανήκουν στο ίδιο Subnet. Η πληροφορία που ανταλλάσσεται μεταξύ των γειτόνων είναι μέρος ή και ολόκληρο το Routing Table τους.

Αν δύο Routers **i** και **j** είναι απευθείας συνδεδεμένοι τότε μπορούμε να αποδίδουμε ένα κόστος (metric), **d(i, j)** στην μετάβαση (hop) από τον **i** στο **j**. Το κόστος αυτό είναι το ίδιο ανεξαρτήτως του προορισμού και θεωρούμε ότι είναι ένας θετικός ακέραιος αριθμός.

Οπότε, για να υπολογίσουμε το κόστος μιας διαδρομής δεν έχουμε παρά να προσθέσουμε τα κόστη των επί μέρους μεταβάσεων που αποτελούν την συνολική διαδρομή.

Έστω ότι με **D(i, j)** αναπαριστάμε το κόστος της βέλτιστης διαδρομής από το **i** στο **j**. Εφόσον τα κόστη είναι προσθετικά για το ελάχιστο κόστος ισχύει ότι:

$$\begin{aligned} D(i, i) &= 0, && \text{(για κάθε } i) \\ D(i, j) &= \min_k [d(i, k) + D(k, j)], && (i \neq j) \end{aligned}$$

και οι βέλτιστες διαδρομές από το **i** στο **j** είναι μέσω των **γειτόνων k** για τους οποίους ισχύει ότι το άθροισμα **d(i, k) + D(k, j)** έχει την ελάχιστη τιμή.

Επομένως, το metric μπορεί να υπολογιστεί με τον κάθε Router **i** να λαμβάνει από όλους τους γείτονές του **k** την απόστασή τους από τον Router **j**. Κατόπιν, προσθέτει και την δική του απόσταση από τον κάθε γείτονα **k** για να βρει το μικρότερο άθροισμα βάσει της παραπάνω συνθήκης.

Όλα τα παραπάνω θεωρούν ότι η τοπολογία του δικτύου παραμένει σταθερή. Η σειρά με την οποία θα γίνουν οι υπολογισμοί δεν έχει σημασία. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί σημαίνει δυνατότητα παράλληλης εκτέλεσης των υπολογισμών επομένως, κάθε Router μπορεί να στέλνει ενημερώσεις σύμφωνα με το δικό του ρολόι και ανεξάρτητα από όλους τους άλλους που συμμετέχουν στο ίδιο Distance Vector protocol.

Όταν αλλάζει η κατάσταση του δικτύου (πχ κάποιο link γίνεται από up, down ή από down up, τότε ο αλγόριθμος οδηγείται σε μία νέα κατάσταση ισορροπίας χρησιμοποιώντας την προηγούμενη κατάσταση σαν σημείο εκκίνησης. Είναι απαραίτητο ο αλγόριθμος να μπορεί να συγκλίνει σε πεπερασμένο χρόνο ανεξάρτητα από το σημείο εκκίνησης.

Ο αλγόριθμος όπως περιγράφηκε προηγουμένως υπονοεί ότι βρίσκονται κάθε φορά οι βέλτιστες διαδρομές με το να αποθηκεύονται οι αποστάσεις των γειτόνων από τον προορισμό και κατόπιν να γίνεται σύγκριση κάθε φορά προσθέτοντας την απόσταση του κάθε γείτονα και εφαρμόζοντας μια συνάρτηση ελαχίστου.

Στην πράξη όμως έχει αποθηκευτεί η βέλτιστη προηγούμενη τιμή και αντικαθίσταται μόνο όταν βρεθεί καλύτερη. Έτσι εξοικονομείται τόσο processing power όσο bandwidth και μνήμη.

Μέχρι στιγμής έχουμε αναφερθεί στην βελτίωση (μείωση) του metric: Το metric παραμένει ως έχει μέχρι να βρεθεί ένα καλύτερο (μικρότερο). Υπάρχει όμως και περίπτωση όπου η αρχική τιμή/εκτίμηση να είναι χαμηλή. Πρέπει να υπάρχει δυνατότητα και να μπορεί να αυξηθεί.

Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ο παρακάτω απλός αλγόριθμος:

1. Αν η καινούργια πληροφορία για κάποιο route με συγκεκριμένο gateway παραληφθεί από κάποιον διαφορετικό gateway τότε το route ενημερώνεται μόνο αν το παραληφθέν metric είναι καλύτερο από το υπάρχον.
2. Αν η καινούργια πληροφορία για κάποιο route με συγκεκριμένο gateway παραληφθεί από το ίδιο gateway τότε το metric ενημερώνεται οπωσδήποτε.

Οπότε, όλα τα παραπάνω συνοψίζονται ως εξής:

1. Υπάρχει ένα Routing Table με entries για κάθε προορισμό στο δίκτυο. Κάθε entry περιλαμβάνει τον προορισμό, την απόσταση (metric) και τον gateway.
2. Περιοδικά αποστέλλεται ένα Routing Update σε όλους τους γειτονικούς Routers που περιέχει πληροφορίες για όλα τα entries του Routing table (destination, metric).

3. Αν ένα routing update περιέχει πληροφορία για κάποιο route με συγκεκριμένο gateway αλλά παραληφθεί από κάποιον διαφορετικό gateway τότε το route ενημερώνεται μόνο αν το παραληφθέν metric συν την απόσταση του γειτονικού Router που το απέστειλε είναι καλύτερο από το υπάρχον. Αν η καινούργια πληροφορία για κάποιο route με συγκεκριμένο gateway παραληφθεί από το ίδιο gateway τότε το metric ενημερώνεται οπωσδήποτε με την τιμή του απεσταλμένου metric συν την απόσταση του συγκεκριμένου γειτονικού Router που το απέστειλε. Εναλλακτικά μπορεί να ακολουθείται η σύμβαση κατά την οποία ο αποστέλλων Router προσθέτει στο metric και το κόστος του interface από το οποίο γίνεται η αποστολή. Έτσι ο Router που παραλαμβάνει το Routing entry έχει έτοιμο το άθροισμα.

Δοθέντος ότι γνώση ενός Router για την τοπολογία του δικτύου βασίζεται στην αντίστοιχη γνώση των γειτόνων του η μεθοδολογία που βασίζεται στην προσέγγιση του Distance Vector ονομάζεται και “Routing by Rumor”.

2.8 Link State Routing Protocols

Τα Link State Routing Protocols φροντίζουν για την καταγραφή της κατάστασης των links (interfaces) αν όχι όλων, τουλάχιστον ενός μέρους των Routers που συμμετέχουν στο Routing protocol.

Αυτό βέβαια σημαίνει ταυτόχρονα ότι κάθε Router που συμμετέχει σε ένα Link State Protocol έχει μερική αν όχι και πλήρη γνώση της τοπολογίας του δικτύου. Έτσι, αντίθετα με ότι συμβαίνει με τα Distance Vector Protocols, δεν εξαρτάται από την πληροφορία που έχουν οι γειτονικοί του Routers.

Ο τρόπος που γίνεται αυτό εφικτό είναι με μια διαδικασία flooding. Κάθε φορά που ένα network interface αλλάζει κατάσταση (up→down, down→up) ένα link state advertisement γίνεται flood στο δίκτυο. Έτσι όλοι οι Routers μπορούν να ενημερωθούν σχετικά (τόσο για την τοπολογία του δικτύου όσο και για να ενημερώσουν το Routing Table τους). Επίσης, με αυτόν τον τρόπο όλοι οι Routers έχουν την ίδια πληροφορία.

Έχοντας ένας Router τις παραπάνω πληροφορίες σε κάποια εσωτερική δομή που στο εξής θα την ονομάζουμε είτε Topological Database είτε Link State Database, μπορεί να δημιουργήσει το Routing Table του φτιάχνοντας πρώτα ένα Shortest Path Tree - συνήθως χρησιμοποιώντας τον SPF αλγόριθμο του Dijkstra - με κορυφή κάθε φορά τον ίδιο τον Router και κόμβους όλους τους υπόλοιπους Routers για τους οποίους έχει καταγράψει πληροφορίες για τα links τους.

Εφόσον δημιουργηθεί το SPF Tree, αυτόματα υπάρχει και πληροφορία για τις βέλτιστες διαδρομές που μπορεί να εισαχθεί στο Routing Table. Το κόστος (metric) κάθε διαδρομής είναι το άθροισμα του κόστους των επιμέρους links που την αποτελούν.

Το γεγονός ότι όλοι οι Routers έχουν την ίδια γνώση για την τοπολογία του δικτύου οδηγεί σε συνεπή συμπεριφορά όσον αφορά την προώθηση των πακέτων. Σίγουρα τα Link State πρωτόκολλα δρομολόγησης είναι πιο πολύπλοκα από τα Distance Vector. Όμως, αν αρχίσουμε να προσθέτουμε χαρακτηριστικά στα τελευταία ώστε να τους δώσουμε περισσότερες δυνατότητες, τότε καταλήγουμε σε εξίσου πολύπλοκα πρωτόκολλα (πχ το BGP που θεωρείται Advanced Distance Vector).

3 Routing Information Protocol (RIP)

Το Routing Information Protocol (RIP) είναι ένα απλό σχετικά Distance Vector πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε για να υποστηρίξει Routing σε μικρά δίκτυα TCP/IP. Το “Distance Vector” δεν είναι παρά μια λίστα που για κάθε προορισμό καταγράφει την κατεύθυνση (τον επόμενο Router δηλαδή που πρέπει να προωθηθεί το πακέτο) και την απόστασή του ή αλλιώς το κόστος (metric).

Έχει τους εξής περιορισμούς:

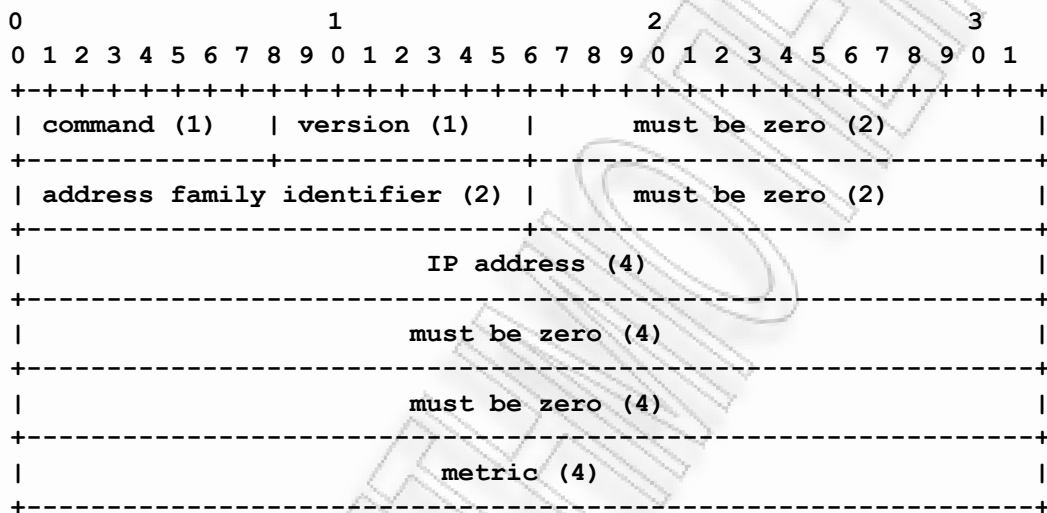
1. Το πρωτόκολλο υποστηρίζει δίκτυα με μέγιστο μήκος Path 15 hops. Αυτό βέβαια ισχύει με κόστος 1 για κάθε hop και μικραίνει αν υπάρξει διαφορετική ρύθμιση. Metric 16 σημαίνει άπειρο κόστος δηλαδή μη σύνδεση.
2. Το πρωτόκολλο βασίζεται σε μια σειρά γεγονότων που ονομάζεται “counting to infinity” για την επίλυση κάποιων ασυνήθιστων προβληματικών καταστάσεων. Όταν σε ένα δίκτυο αποτελούμενο από πολλούς Routers δημιουργηθεί μεταξύ τους ένα Routing Loop, τότε η επίλυσή του απαιτεί ή πολύ χρόνο (αν η συχνότητα των Routing Updates είναι μικρή) ή πολύ bandwidth (αν αποστέλλονται Routing Updates όποτε υπάρχει κάποια μεταβολή). Το Loop αυτό μπορεί να καταναλώσει πολύ bandwidth μέχρι να διορθωθεί αλλά στην πράξη θα δημιουργηθεί πρόβλημα μόνο σε αργές γραμμές. Αλλά ακόμα και σε αυτήν την περίπτωση το πρόβλημα είναι εξαιρετικά σπάνιο. Επιπλέον, υπάρχουν και κάποιες ασφαλιστικές δικλίδες που το αποτρέπουν στην πλειονότητα των περιπτώσεων.
3. Το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί σταθερά κόστη (Metrics) για να συγκρίνει τα Paths. Αυτό σημαίνει ότι δυναμικά μεταβαλλόμενα μεγέθη όπως φόρτος γραμμής, καθυστέρηση ή αξιοπιστία δεν λαμβάνονται υπόψη.

Υπάρχουν δύο εκδόσεις του RIP Protocol (Version 1 και Version 2). Θα αναφερθεί πρώτα η Version 1 και κατόπιν οι επεκτάσεις της που οδήγησαν στην Version 2.

3.1 RIP version 1

Το RIP version 1 είναι ένα Classful Routing Protocol. Αυτό σημαίνει ότι υπόκειται στους περιορισμούς που έχουν αναφερθεί στην παράγραφο 2.2. Δεν μεταφέρει πληροφορία για τη subnet mask άρα δεν υποστηρίζει Classless Interdomain Routing. Τρέχει πάνω από UDP port 520 και χρησιμοποιεί broadcasting για την αποστολή των μηνυμάτων.

Η μορφή του μηνύματος (όπως απεικονίζεται στο RFC 1058) φαίνεται παρακάτω:



Τα πεδία είναι ακέραιοι εκτός αν αναφερθεί κάτι άλλο. Τα μεγέθη τους (δηλούμενα στις παρενθέσεις) είναι σε octets και το πιο σημαντικό octet είναι πρώτο (Big Endian).

Το μέρος του datagram από το address family identifier μέχρι και το metric μπορεί να επαναλαμβάνεται μέχρι 25 φορές. Η IP address είναι η γνωστή 4-octet Internet address με network order (επίσης δηλαδή Big Endian). Τα χρησιμοποιούμενα πεδία είναι τα εξής:

command: Προσδιορίζει το είδος του μηνύματος. Στην ουσία τα μηνύματα είναι δύο ειδών: Request και Response.

Πιο συγκεκριμένα οι τιμές του συγκεκριμένου πεδίου και οι ερμηνείες τους είναι οι εξής:

1 - request: Αίτηση αποστολής ολόκληρου ή μέρους του Routing Table.

2 - response: Μήνυμα που περιέχει ολόκληρο ή μέρος του Routing Table. Το μήνυμα αυτό μπορεί να αποσταλεί είτε σαν απάντηση σε ένα request είτε να είναι ένα Update μήνυμα που δημιουργείται από τον αποστολέα.

3 - traceon: Δεν χρησιμοποιείται πλέον. Μηνύματα με την εντολή αυτή απλά αγνοούνται από τον παραλήπτη τους.

4 - traceoff: Δεν χρησιμοποιείται πλέον. Μηνύματα με την εντολή αυτή απλά αγνοούνται από τον παραλήπτη τους.

5 - reserved: Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται από την Sun Microsystems (Oracle πλέον) για τους δικούς της σκοπούς. Αν σε κάποια μελλοντική έκδοση χρειαστεί να προστεθούν εντολές τότε θα πρέπει να ξεκινούν από το νούμερο 6. Μηνύματα με αυτήν την εντολή μπορούν να αγνοούνται με ασφάλεια από άλλες υλοποιήσεις.

version: Υποδηλώνει την version του RIP. Έχει τιμές 1 ή 2.

address family identifier: Έχει την τιμή 2 για IP Protocol. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επεκτάσεις (Χρησιμοποιείται στην version 2 όπως θα αναφερθεί παρακάτω).

IP address: Είναι η IP Address προορισμού για την οποία γίνεται ερώτηση στην περίπτωση μηνύματος request ή για την οποία έχουμε ενημέρωση στην περίπτωση μηνύματος response.

Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση του μηνύματος 1- request το μήνυμα μπορεί να περιέχει μια λίστα από προορισμούς ενώ στην περίπτωση του μηνύματος 2 - response περιέχει επιπλέον και το metric. Το next hop gateway προσδιορίζεται από την διεύθυνση του Router που στέλνει το response.

Το πεδίο αυτό μπορεί να περιέχει οτιδήποτε από τα παρακάτω:

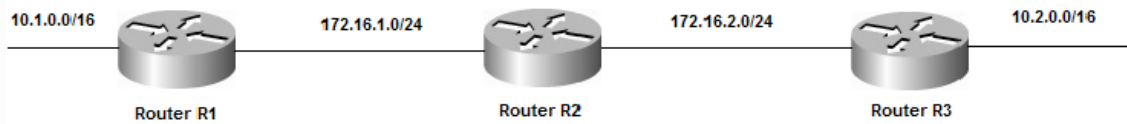
- Host Address
- Subnet Number
- Network Number
- 0.0.0.0 που υποδηλώνει Default Route

metric: Είναι το κόστος μετάβασης (συνήθως αριθμός των hops) για τον συγκεκριμένο προορισμό. Όπως έχει ήδη αναφερθεί παίρνει τιμές από 1 έως 15 ενώ η τιμή 16 ερμηνεύεται σαν unreachable.

Τα πεδία με τιμή reserved δεν χρησιμοποιούνται στην περίπτωση του RIP version 1.

3.1.1 Πρόβλημα: Discontinuous Subnets

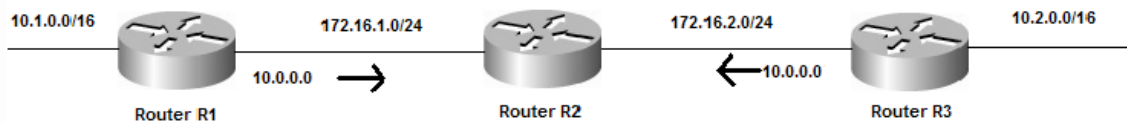
Τα χαρακτηριστικά του Classful Routing έχουν αναλυθεί στην παράγραφο 2.2 οπότε δεν θα επαναληφθούν εδώ. Θα εξεταστεί όμως η περίπτωση των discontinuous subnets όπως εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3-1).



Σχήμα 3-1 Discontinued Subnets

Σε αυτήν την περίπτωση (Discontinued Subnets και ένα Classful Routing Protocol όπως RIP) οι Routers R1 και R3 δεν μπορούν να στείλουν στον Router R2 πληροφορία για τα subnets 10.1.0.0/16 και 10.2.0.0/16 αντίστοιχα αφού παρεμβάλλεται διαφορετικό major network.

Έτσι στέλνουν Routing πληροφορία μόνο για το κύριο network 10.0.0.0/8. Ο Router R2 λαμβάνει την ίδια πληροφορία από δύο διαφορετικά interfaces (Αναπαρίσταται με τα βέλη στο Σχήμα 3-2).

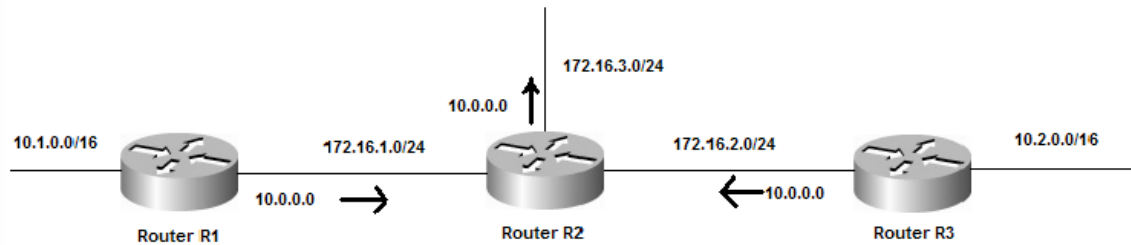


Σχήμα 3-2 Discontinued Subnets: Classful Routing Updates

Εδώ παρουσιάζεται και το εξής παράδοξο θέμα. Εφ' όσον δέχεται πληροφορία για κάποιο network από ένα interface λόγω του κανόνα του Split Horizon δεν μπορεί να στείλει την πληροφορία στο ίδιο Interface (περισσότερες πληροφορίες παρακάτω). Η πληροφορία όμως σε αυτήν την περίπτωση είναι η ίδια (10.0.0.0).

Οπότε ο Router R2 έχει 2 ίδια entries (ένα για κάθε από τα interfaces του) και δεν μπορεί να την προωθήσει. Αλλά και να γινόταν disable το Split Horizon το entry 10.0.0.0 θα ερχόταν στους Routers R1 και R3 αλλά δεν θα άλλαζε τίποτα θα το απέρριπταν - όπως θα φανεί και στο σχετικό lab στο Κεφάλαιο 8 - εφ' όσον το RIPv1 είναι Classful protocol.

Στην παραπάνω περίπτωση λοιπόν συσκευές που ανήκουν στο subnet 10.1.0.0/16 δεν μπορούν να επικοινωνήσουν με συσκευές που ανήκουν στο subnet 10.2.0.0/16 και αντίστροφα.



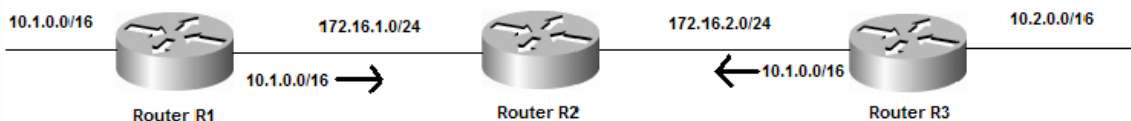
Σχήμα 3-3 Discontinued Subnets: Classful Routing Updates συνέχεια

Παραπάνω (Σχήμα 3-3) βλέπουμε την περίπτωση όπου ο Router R2 να συνδέεται και με κάποιο άλλο subnetwork (172.16.3.0). Τα routing updates και εδώ φαίνονται με βέλη. Στην περίπτωση που κάποια συσκευή που βρίσκεται στο υποδίκτυο 172.16.3.0 επιθυμεί να επικοινωνήσει με κάποια συσκευή σε ένα από τα υποδίκτυα 10.1.0.0/16 ή 10.2.0.0/16 θα υπάρξει το εξής πρόβλημα:

Ο Router R2 έχει στο Routing Table του δυο entries για το δίκτυο 10.0.0.0/8 (το οποίο και διαφημίζει στο interface που είναι συνδεδεμένο με το υποδίκτυο 172.16.3.0/24). Τα δύο entries αυτά έχουν σαν gateways τους Routers R1 και R3. Δεν υπάρχει τρόπος πακέτα που προορίζονται για το υποδίκτυο 10.1.0.0/16 να δρομολογηθούν μόνο μέσω του σωστού Router που είναι ο R1. Όμοια, δεν υπάρχει τρόπος πακέτα που προορίζονται για το υποδίκτυο 10.2.0.0/16 να δρομολογηθούν μόνο μέσω του σωστού Router που είναι ο R3. Αντίθετα, ο επιλεγείς Router κάθε φορά θα είναι τυχαίος και όχι σίγουρα ο σωστός.

3.1.2 Λύση: Χρήση RIP version 2

Η λύση σε αυτήν την περίπτωση είναι να χρησιμοποιηθεί η version 2 του RIP protocol. Έτσι θα υπάρχει η δυνατότητα αποστολής του Subnet Mask και το Routing θα δουλεύει σωστά.



Σχήμα 3-4 Discontinued Subnets, RIPv2

3.1.3 Λύση: Χρήση των Static Routes

Αν δεν έχουμε την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε RIP Version 2 όπου έχουμε την δυνατότητα αποστολής του Subnet Mask τότε η λύση για τα discontinued subnets είναι να χρησιμοποιήσουμε Static Routing. Έτσι μπορούμε να ελέγξουμε με ακρίβεια ποιό subnet έχει ποιόν gateway. Η λύση όμως αυτή απαιτεί πολλές ρυθμίσεις ακόμα και για μικρό αριθμό από Routers. Επιπλέον, κάθε φορά που αλλάζει η τοπολογία του δικτύου (κάτι βέβαια όχι πολύ συχνό) οι ρυθμίσεις θα πρέπει να αλλάζουν και αυτές. Είναι προφανές λοιπόν ότι η λύση αυτή δεν είναι Scalable.

3.2 RIP version 2

Σε αντίθεση με το RIP version 1 το RIP version 2 είναι ένα classless Routing protocol. Συμπεριλαμβάνει δηλαδή και την subnet mask. Η μορφή ενός επαναλαμβανόμενου entry του μηνύματος του RIP version 2 (από το Address Family μέχρι το metric δηλαδή) φαίνεται παρακάτω:

0	1	2	3																
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1																			
Address Family Identifier (2)										Route Tag (2)									
IP Address (4)																			
Subnet Mask (4)																			
Next Hop (4)																			
Metric (4)																			

Θα περιγραφούν μόνο τα πρόσθετα πεδία καθότι τα κοινά πεδία έχουν την ίδια ακριβώς λειτουργικότητα όπως και στο RIP version 1.

Αυτά τα πρόσθετα πεδία είναι:

Route Tag: Στο πεδίο αυτό φυλάσσεται ένας αριθμός που αποτελεί χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου route entry και πρέπει να επαναπροωθηθεί. Η πρόθεση είναι να χρησιμοποιείται σαν μέθοδος διαχωρισμού των εσωτερικών RIP routes από τα εξωτερικά που μπορεί να έχουν προέλθει από άλλα Routing Protocols. Για να γίνει αυτό βέβαια απαιτείται κατάλληλη ρύθμιση των εξωτερικών Routers. Στην πράξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλούς σκοπούς αρκεί να υπάρχει συνέπεια στην χρήση.

Subnet Mask: Αυτό το πεδίο περιέχει την subnet mask που αντιστοιχεί στην IP address και που προσδιορίζει το network ή subnetwork. Αν το πεδίο αυτό έχει την τιμή μηδέν (0) τότε δεν έχει συμπεριληφθεί subnet mask για αυτό το entry.

Όταν υπάρχει περίπτωση ένας Router που τρέχει RIP Version 1 να λαμβάνει RIP Version 2 μηνύματα από έναν γειτονικό Router τότε πρέπει να τηρούνται οι παρακάτω κανόνες:

1. Πληροφορία εσωτερική σε ένα δίκτυο δεν πρέπει ποτέ να αποστέλλεται σε κάποιο άλλο δίκτυο.
2. Πληροφορία σχετική για ένα πιο συγκεκριμένο υποδίκτυο δεν πρέπει να ανακοινώνεται όταν υπάρχει περίπτωση κάποιος Router να το ερμηνεύσει σαν host route.
3. Τα supernet routes δεν πρέπει να ανακοινώνονται για να μην ερμηνευτούν λάθος (από τους Routers που τρέχουν RIP Version 1).

Next Hop: Είναι η διεύθυνση που πρέπει να προωθηθεί ένα πακέτο για να φτάσει βέλτιστα στον προορισμό του. Τιμή 0.0.0.0 σημαίνει προώθηση στον αποστολέα του RIP μηνύματος. Η διεύθυνση του next hop πρέπει να είναι άμεσα προσπελάσιμη και να ανήκει στο subnet από το οποίο εστάλη το συγκεκριμένο μήνυμα.

Ο σκοπός του πεδίου αυτού είναι να βελτιστοποιήσει το επιλεγμένο Path. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν το RIP protocol δεν είναι ενεργοποιημένο σε όλους τους routers του δικτύου. Το πεδίο αυτό έχει καθαρά συμβουλευτικό χαρακτήρα. Στην περίπτωση που αγνοηθεί υπάρχει πιθανότητα μη βέλτιστης επιλογής του επόμενου Router αλλά ακόμα και έτσι η επιλεγείσα διαδρομή είναι σωστή. Αν το Next Hop δεν είναι άμεσα προσπελάσιμο πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν να έχει τιμή 0.0.0.0.

3.3 Πρόσθετες Επεκτάσεις του RIP Version 2

Επιπλέον των παραπάνω δυνατοτήτων (Subnet Mask, Next Hop και Route Tag) που αναφέρθηκαν παραπάνω το RIP Version 2 έχει και τις παρακάτω δυνατότητες:

- Αποστολή μηνυμάτων με χρήση multicasting αντί για broadcasting

Με την αποστολή των μηνυμάτων με χρήση multicasting επιτυγχάνουμε μείωση του φόρτου που αναπόφευκτα δημιουργείται από τα broadcasts. Έτσι μόνο οι συσκευές που είναι ρυθμισμένες να τρέχουν RIP Version 2 καταναλώνουν CPU για την λήψη των μηνυμάτων. Η multicast address είναι η 224.0.0.9.

- Δυνατότητα Authentication

Το RIP Version 2 παρέχει την δυνατότητα authentication τόσο cleartext όσο και MD-5. Έτσι παρέχει προστασία τόσο από παραποιημένα μηνύματα με στόχο την παραβίαση ασφαλείας, όσο και από τυχόν λάθη στο configuration των γειτονικών Routers.

3.4 Συμπεριφορά σε αλλαγές στην Τοπολογία του Δικτύου

Η αρχική αναφορά στην παράγραφο 2.7 θεωρούσε ότι η τοπολογία του δικτύου παραμένει σταθερή. Όμως, αυτή η θεωρητικά ιδανική κατάσταση δεν ισχύει στην πράξη. Τόσο οι Routers όσο και οι γραμμές μπορούν να αποτύχουν και αργότερα να επανέλθουν. Αλλαγές στην τοπολογία σημαίνουν και αλλαγές στο ποιό Routers είναι γειτονικοί ποιόν. Αυτό αντανακλάται όταν τρέχει ο αλγόριθμος (πχ στην περίπτωση του RIP κάθε 30 sec). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η υλοποίηση των Distance Vector Routing protocols έχει γνώση μόνο του καλύτερου metric και όχι όλων. Έτσι για να κάνει επανυπολογισμό πρέπει να ξανατρέξει ο αλγόριθμος. Από την άλλη μεριά ένας crashed Router δεν θα στείλει ποτέ ενημέρωση.

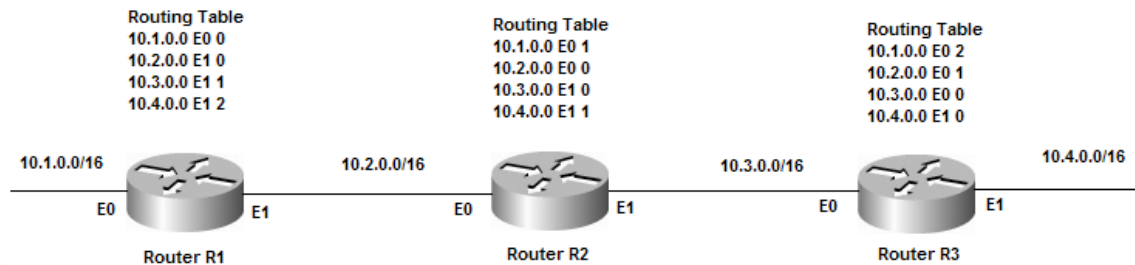
Για την αντιμετώπιση αυτού του είδους των προβλημάτων τα Distance Vector protocols χρησιμοποιούν timers ώστε να λήγουν τα route entries. Οι λεπτομέρειες υλοποίησης εξαρτώνται από το εκάστοτε Routing protocol. Στο RIP, κάθε Router που συμμετέχει στο Routing στέλνει ένα update στους γειτονικούς Routers κάθε 30 δευτερόλεπτα. Αν για κάποιο Route Entry δεν ληφθεί ενημέρωση από τον Gateway του για 180 δευτερόλεπτα, τότε μπορεί να θεωρηθεί ότι είτε ο συγκεκριμένος Router, είτε η δικτυακή του σύνδεση έχει πάψει να λειτουργεί. Οπότε το route entry ακυρώνεται. Μόλις ληφθεί το ίδιο Route

Prefix από γειτονικό router, τότε αυτό θα εγκατασταθεί στο Route Table αντικαθιστώντας το ακυρωμένο Route Entry. Αν και στέλνονται ενημερώσεις κάθε 30 δευτερόλεπτα, μηνύματα – ειδικά UDP μηνύματα που χρησιμοποιεί το RIP – μπορούν να χαθούν. Γι' αυτό οριοθετήθηκαν σαν όριο για timeout τα 180 δευτερόλεπτα.

Για να ειδοποιούνται οι γειτονικοί Routers όμως ότι κάποιος προορισμός δεν είναι πλέον διαθέσιμος υπάρχει – όπως θα δούμε παρακάτω – η δυνατότητα αποστολής ενός Routing Update που περιέχει τον συγκεκριμένο προορισμό αλλά με metric που έχει τιμή 16 - μεγαλύτερη από την μέγιστη που είναι 15 - που σημαίνει άπειρη απόσταση επομένως μη προσπελάσιμος προορισμός. Αν και το 16 φαίνεται καταρχήν ότι είναι μικρός αριθμός (μέγιστο metric 15 σημαίνει το πολύ 15 hops μέγεθος του Path) μπορεί να υπάρξουν περιπτώσεις που είναι αναγκαίο (όπως θα φανεί παρακάτω). Επίσης, η τιμή αυτή χρησιμοποιείται στην πλειοψηφία των υλοποιήσεων για να υποδηλώσει ακυρωμένο Routing Entry.

3.4.1 Πρόβλημα: Countdown to infinity

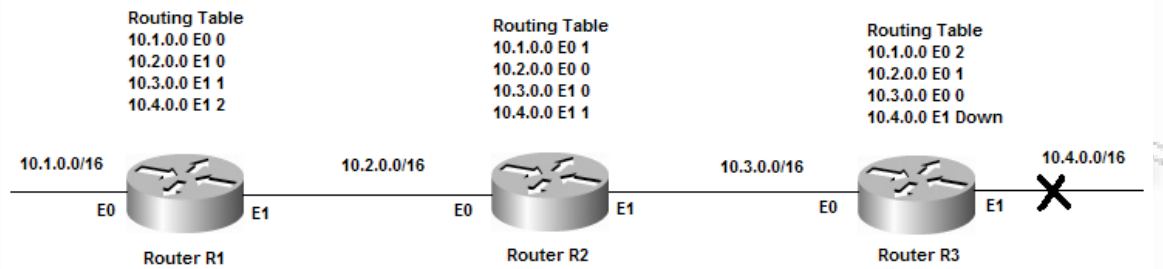
Έστω οι παρακάτω τρεις Routers R1, R2 και R3 στο Σχήμα 3-5 που τρέχουν RIP.



Σχήμα 3-5 Routers σε ισορροπία

Οι Routers είναι σε ισορροπία η αλλιώς έχουν συγκλίνει αφού όλα τα interfaces είναι λειτουργικά και όλοι έχουν την ίδια συνεπή εικόνα για την τοπολογία του δικτύου.

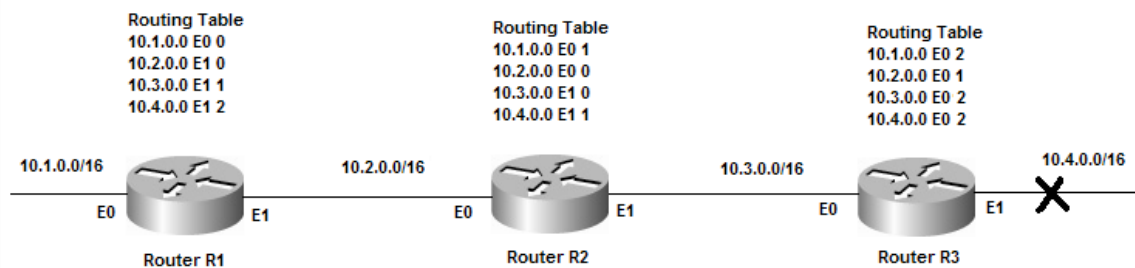
Στο Σχήμα 3-6 το interface E1 του Router R3 για κάποιο λόγο γίνεται down.



Σχήμα 3-6 Απώλεια Σύνδεσης στον Router R3

Ο Router R3 το χαρακτηρίζει Down στο Routing Table του και σταματά να το χρησιμοποιεί για προώθηση πακέτων.

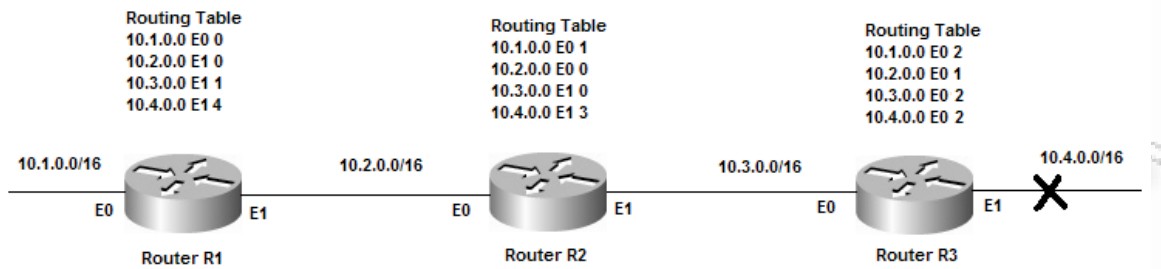
Προς το παρόν οι Routers R1 και R2 δεν έχουν ενημερωθεί και θεωρούν ότι υπάρχει πρόσβαση προς το δίκτυο 10.4.0.0.



Σχήμα 3-7 Λανθασμένη ενημέρωση από τον R2

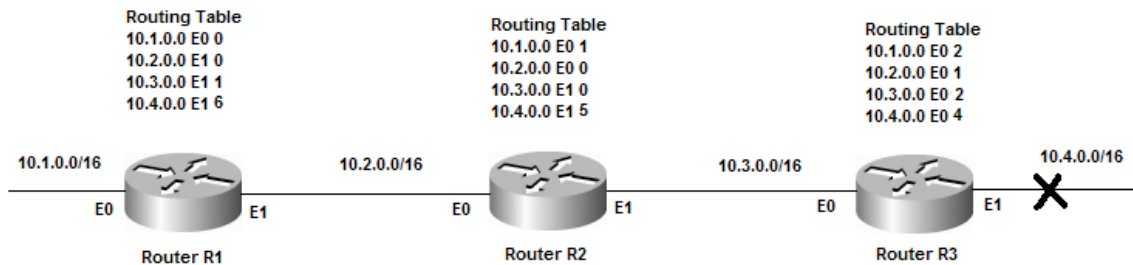
Ο Router R2 έχει καταγράψει απόσταση 1 από το 10.4.0.0 μέσω του interface E1. Αποστέλλει ενημερώσεις στους γειτονικούς Routers επομένως και στον Router R3. Έτσι ο Router R3 νομίζει ότι έχει πρόσβαση στο 10.4.0.0 με metric 2 μέσω του Interface E0 από το οποίο και είχε ενημερωθεί (Σχήμα 3-7).

Κατόπιν, ο Router R3 αποστέλλει ενημερώσεις στον γείτονά του (Router R2) ο οποίος ενημερώνει το δικό του Routing entry με metric 3 (Σχήμα 3-8).



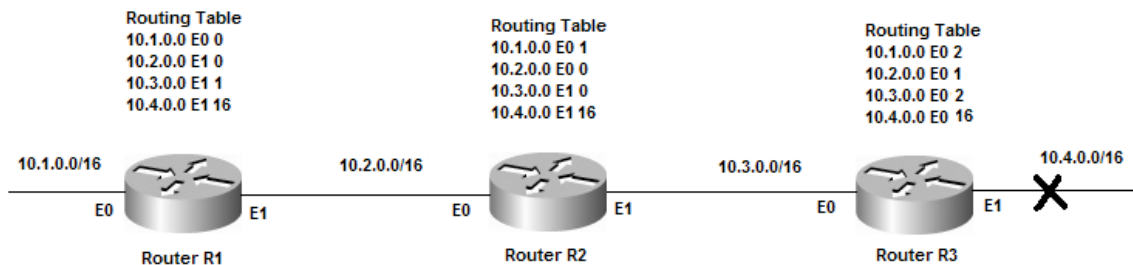
Σχήμα 3-8 Αύξηση του Metric στον Router R2

Με τη σειρά του, ο Router R2 αποστέλλει ενημερώσεις και μια πιθανή μελλοντική κατάσταση (ανάλογα βέβαια με τη σειρά που αποστέλλονται τα updates) φαίνεται παρακάτω (Σχήμα 3-9).



Σχήμα 3-9 Αύξηση του Metric στον Router R3

Το φαινόμενο αυτό συνεχίζεται μέχρι το metric να πάρει την τιμή 16 τόσο στον Router R3 όσο και τους υπόλοιπους (Σχήμα 3-10).



Σχήμα 3-10 Σύγκλιση (Convergence)

Μόνο τότε υπάρχει σύγκλιση (convergence) και όλοι οι Routers έχουν την ίδια γνώση για την τοπολογία του δικτύου. Μέχρι όμως να συμβεί αυτό, ένα πακέτο που προορίζεται για το δίκτυο 10.4.0.0 θα κάνει loop ανάμεσα στους Routers R2 και R3.

Βέβαια, τα loops σταματάνε όταν το TTL του IP Header το πακέτου φτάσει στην τιμή 0. Όμως, επειδή κάτι τέτοιο θα προκαλέσει παρατεταμένο φόρτο δικτύου δεν αποτελεί σωστή αντιμετώπιση. Γι' αυτό και επιλέγεται σαν άπειρη απόσταση ένας σχετικά μικρός αριθμός από hops (16). Ακόμα και έτσι όμως η σύγκλιση θα είναι σχετικά αργή αφού τα Routing Updates αποστέλλονται κάθε 30 δευτερόλεπτα.

Παρακάτω θα εξεταστούν προσπάθειες αποφυγής του φαινομένου αυτού.

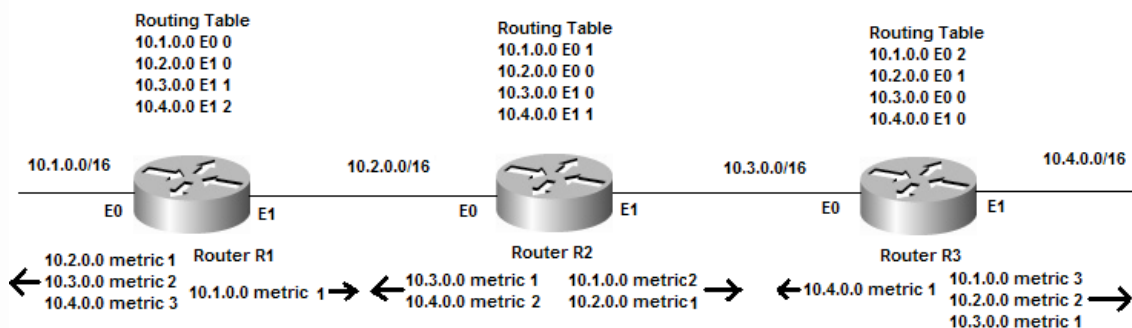
3.4.2 Λύση: Split Horizon

Στο παραπάνω παράδειγμα οι Routers R2 και R3 αντήλλαξαν λανθασμένη πληροφορία. Κάθε ένας ισχυριζόταν ότι είχε path προς τον προορισμό μέσω του άλλου. Αυτό δεν είχε νόημα.

Ένας τρόπος αντιμετώπισης του παραπάνω προβλήματος είναι με χρήση της τεχνικής Split Horizon. Βάσει της τεχνικής αυτής:

Δεν αποστέλλεται πληροφορία για κάποιον προορισμό από κάποιο Interface αν έχει ληφθεί από το ίδιο Interface πληροφορία σχετικά με αυτόν τον προορισμό.

Έτσι βάση αυτού του κανόνα, αφού ο Router R2 είχε λάβει ενημέρωση σχετικά με τον προορισμό 10.4.0.0 από το interface E1 του, δεν πρέπει ποτέ να στείλει πληροφορία για τον προορισμό αυτόν από αυτό το interface.



Σχήμα 3-11 Routing Updates με Split Horizon

Στο παραπάνω Σχήμα 3-11 αποτυπώνονται τα Routing Updates όταν εφαρμόζεται η τεχνική Split Horizon.

Έτσι όταν το interface E1 του Router R3 γίνει down ο Router R3 δεν λαμβάνει παραπλανητική πληροφορία από τον Router R2. Επιπλέον, τα metrics για τα route entries των Routers R2 και R3 που αναφέρονται στον προορισμό 10.4.0.0 δεν αλλάζουν αλλά κάποια στιγμή κάνουν timeout.

3.4.3 Λύση: Split Horizon with Poisoned Reverse

Ο κανόνας του Split Horizon μπορεί να εμπλουτιστεί με ένα επιπλέον χαρακτηριστικό που ονομάζεται Poisoned Reverse. Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο ο κανόνας του Split Horizon λέει:

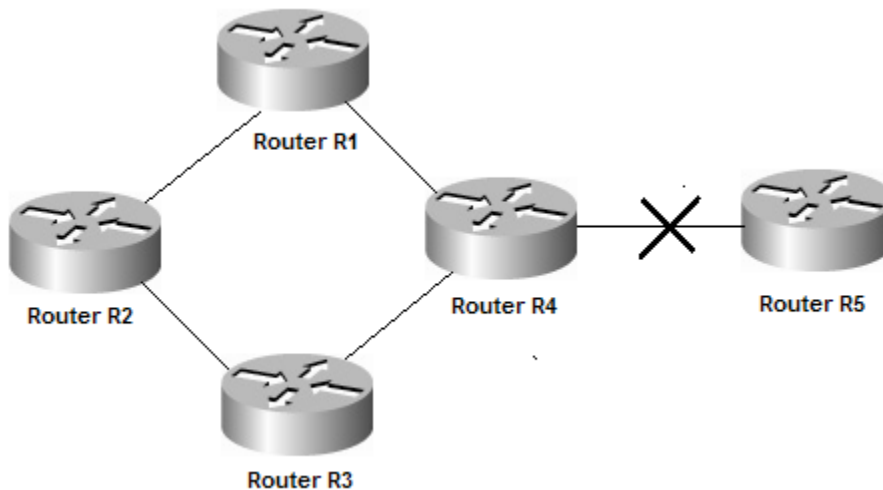
Δεν στέλνεται πληροφορία για κάποιον προορισμό από κάποιο Interface αν έχει ληφθεί από το ίδιο Interface πληροφορία σχετικά με αυτόν τον προορισμό.

Αντίθετα ο κανόνας Split Horizon with Poisoned Reverse περιλαμβάνει τα Route Entries που κανονικά θα παραλείπονταν αλλά με Metric 16 (τα χαρακτηρίζει unreachable δηλαδή).

Βέβαια, η πληροφορία που αποστέλλεται δεν μας λέει κάτι καινούργιο. Επίσης αποστολή της πληροφορίας συνεπάγεται αυξημένη κατανάλωση του bandwidth. Και πράγματι, όταν το δίκτυο είναι σε ισορροπία ο κανόνας αυτός δεν προσθέτει κάτι εκτός από κατανάλωση bandwidth. Η χρησιμότητά του φαίνεται όταν συμβαίνουν αλλαγές στο δίκτυο και υπάρχει ανάγκη γρήγορης σύγκλισης.

3.4.4 Λύση: Triggered Updates

Το “Split horizon” μπορεί να εμποδίσει τον σχηματισμό routing loops μόνο ανάμεσα σε δύο routers. Δεν μπορεί όμως να αποτρέψει routing loops ανάμεσα σε τρεις ή περισσότερους όταν αυτοί είναι συνδεδεμένοι πχ κυκλικά και στέλνουν λανθασμένη πληροφορία ο ένας στον άλλο. Με άλλα λόγια δεν μπορεί να αποτρέψει το “countdown to infinity” πρόβλημα όταν υπάρχει redundancy. Πχ στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3-12) ο R1 μπορεί να θεωρεί ότι έχει path μέσω του R2, ο R2 μέσω του R3, ο R3 μέσω του R4 και ο R4 μέσω του R1.



Σχήμα 3-12 Routing Loop

Το Routing Loop θα σταματήσει όταν το metric του προβληματικού entry φτάσει την τιμή που αντιστοιχεί σε άπειρη (unreachable) απόσταση (countdown to infinity).

Τα Triggered updates είναι μια προσπάθεια να επιταχύνουμε την σύγκλιση του δικτύου. Triggered updates σημαίνει ότι όποτε ένα metric για κάποιο routing entry αλλάζει, ο Router αποστέλλει το σχετικό routing update σχεδόν αμέσως ανεξάρτητα αν δεν έχει φτάσει η ώρα για αποστολή του τακτικού routing update. Το RIP απλά προσθέτει μια μικρή καθυστέρηση για να αποφύγει τον φόρτο δικτύου από ταυτόχρονα updates.

Έστω ότι ένα Link γίνεται Down. Με τα Triggered Updates, όταν ένα Routing Update φτάνει σε έναν Router αυτός με την σειρά του θα στείλει triggered updates στους απευθείας συνδεδεμένους γείτονές του που με τη σειρά τους θα στείλουν και εκείνοι κοκ. Έτσι έχουμε έναν καταγισμό από Routing Updates. Βέβαια, οι Routers που θα ανταποκριθούν ούτως ή άλλως (είτε αν το metric ενός Routing Entry βελτιωθεί είτε χειροτερέψει) είναι αυτοί που για κάποιο Routing Entry δέχονται Updates από τον ίδιο τον Gateway του συγκεκριμένου Routing Entry. Τελικά επηρεάζονται τα paths που οδηγούν στο link που έγινε Down.

Αν σε όλη την διάρκεια του καταγισμού των triggered updates δεν στελνόντουσαν άλλα μηνύματα θα είχαμε ταχύτατη σύγκλιση και δεν θα συνέβαιναν routing loops.

Δυστυχώς, παράλληλα με τα triggered updates στέλνονται και τα τακτικά updates. Routers που δεν έχουν ακόμα λάβει τα triggered updates ενδέχεται να στέλνουν πληροφορία βασισμένη σε routes που δεν υφίστανται πλέον. Υπάρχει πάντα η πιθανότητα μετά από την άφιξη ενός triggered update, ένας router να λάβει κάποιο από τα περιοδικά updates από έναν ανενημέρωτο Router. Αυτό θα ξαναδημιουργήσει το

σβησμένο Routing Entry άρα θα δημιουργηθεί λανθασμένη πληροφορία. Αν τα triggered updates διαδίδονται ταχύτατα το counting to infinity δεν είναι πολύ πιθανό αλλά πάντως δεν είναι και αδύνατον.

Στο RFC 1812 (router requirements) αναφέρεται η απαίτηση ότι όλες οι υλοποιήσεις του RIP πρέπει να υποστηρίζουν triggered updates για τα routes που γίνονται delete και μπορούν να υλοποιούν triggered updates για τις άλλες περιπτώσεις (καινούργια routes η αλλαγές σε metrics υπαρχόντων). Επιπλέον πρέπει να υπάρχει περιορισμός στον ρυθμό με τον οποίο τα triggered updates μπορούν να μεταδίδονται.

3.4.5 Λύση: Route Poisoning

Μία ακόμα μέθοδος αντιμετώπισης του “Countdown to Infinity” είναι η μέθοδος “Route Poisoning”. Σύμφωνα με αυτήν την μέθοδο, ένας Router που το interface του μεταβαίνει στην κατάσταση “Down” μαρκάρει τα αντίστοιχα Route Entries σαν Poisoned για να μην επηρεαστεί από τυχόν ενημερώσεις από άλλους Routers. Συγχρόνως τα αποστέλλει με metric που υποδηλώνει unreachable (16) στους γειτονικούς Routers για να προλάβει το “countdown to infinity”.

3.4.6 Λύση: Hold-down Timers

Μία μέθοδος που χρησιμοποιείται για να εμποδίζει τα Routing Updates από το να εγκαθιστούν λανθασμένα Route Entries είναι τα Hold-down Timers. Οι Routers ρυθμίζονται να αγνοούν Routing updates που επιφέρουν αλλαγές για κάποιο χρονικό διάστημα. Το χρονικό διάστημα αυτό υπολογίζεται έτσι ώστε να είναι μεγαλύτερο του χρόνου που χρειάζεται να ενημερωθεί από ένα Routing Update ολόκληρο το δίκτυο.

Τα hold-down timers κανονικά δεν αποτελούν μέρος των RFCs που περιγράφουν το RIP protocol (πχ RFC1058, RFC2453). Όμως προστέθηκαν στο RFC2091 (Triggered Extensions to RIP to Support Demand Circuits) και χρησιμοποιούνται στο RIP protocol με επιτυχία από vendors όπως Cisco, Juniper, HP (πιθανόν με ιδιαιτερότητες ανά vendor).

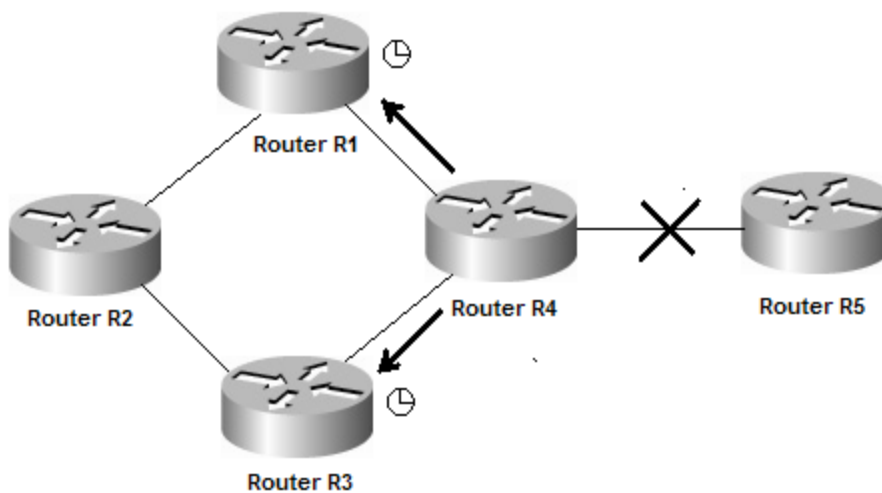
Πιο συγκεκριμένα, τα hold-down timers - με την επιφύλαξη της συγκεκριμένης υλοποίησης από τους vendors - δουλεύουν ως εξής:

1. Όταν ένας Router διαπιστώσει ότι ένας προορισμός είναι πλέον μη προσπελάσιμος, τον ενημερώνει σαν μη προσπελάσιμο μεν, ξεκινά ένα hold-down timer δε.

2. Αν κατά την διάρκεια του timer ληφθεί ένα route entry για τον συγκεκριμένο προορισμό με καλύτερο (μικρότερο) metric από το αρχικό τότε ο προορισμός χαρακτηρίζεται προσπελάσιμος και το timer ακυρώνεται.
3. Αν κατά την διάρκεια του hold-down ληφθεί για τον συγκεκριμένο προορισμό ένα Routing Update με όχι καλύτερο metric το update αγνοείται δίνοντας έτσι την ευκαιρία στο δίκτυο να συγκλίνει αντί να περιέλθει σε μια “countdown to infinity” κατάσταση.
4. Κατά την διάρκεια του hold-down τα εμπλεκόμενα routes εμφανίζονται στο Routing Table σαν “possibly down”.
5. Αν κατά την διάρκεια του hold-down timer εκπνεύσει κάποιο άλλο timer που απαιτεί την διαγραφή του route entry τότε το route entry διαγράφεται.

3.4.7 Λύση: Hold-down Timers με Triggered Updates

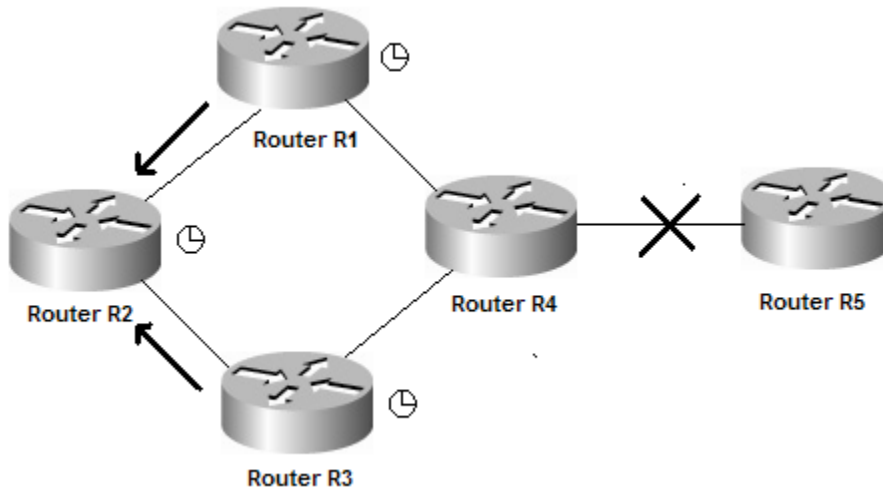
Ο συνδυασμός των Triggered Updates με τα Hold-down Timers είναι ο καλύτερος για την αντιμετώπιση των Routing Loops. Ιδιαίτερα δε αν συνδυαστεί με Split Horizon with Poisoned Reverse.



Σχήμα 3-13 Link Down, triggered updates.

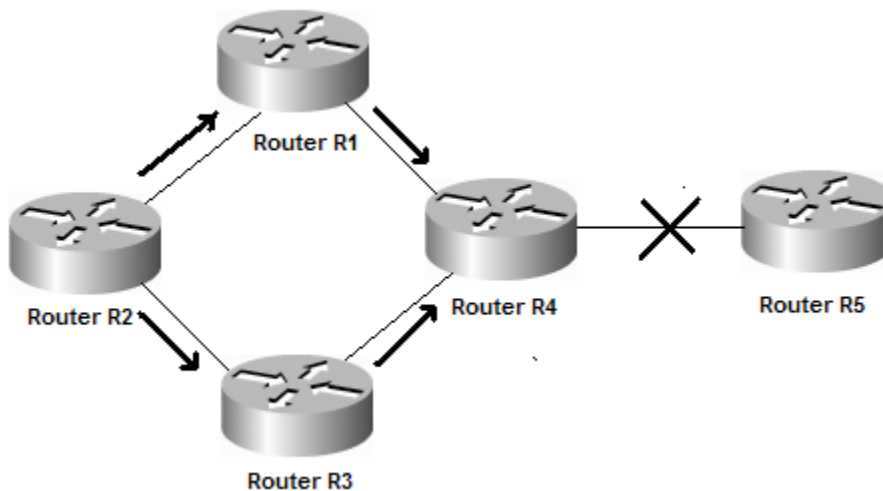
Στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 3-13) έχουμε link failure στον Router R4. Ο Router R4 ενημερώνει αντίστοιχα το Routing Table του και αποστέλλει triggered updates στους γειτονικούς Routers R1 και R3.

Οι Routers R1 και R3 δέχονται τις ενημερώσεις, καταγράφουν το προβληματικό entry σαν “possibly down” και ξεκινούν τους hold-down timers.



Σχήμα 3-14 Link Down, triggered Updates, συνέχεια

Στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 3-14) οι Routers R1 και R3 στέλνουν με τη σειρά τους triggered updates στον γείτονά τους Router R2 που ξεκινά και αυτός ένα hold-down timer.



Σχήμα 3-15 Poisoned Reverse

Στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 3-15) οι Routers R1, R2 και R3 αποστέλλουν Poisoned Reverse δηλώνοντας σαν unreachable το failed link του Router R4 εμποδίζοντας τα Routing Loops.

Από εδώ και στο εξής υπάρχουν οι εξής τρεις περιπτώσεις:

1. Το link να μην επανέρθει.

Σε αυτήν την περίπτωση το Route Entry από “possibly down” χαρακτηρίζεται ως “down”.

Κατόπιν συμβαίνουν ένα από τα παρακάτω δύο σενάρια:

1a. Προαιρετικά (ανάλογα με την υλοποίηση δηλ εκτός RFC) μπορεί να ξεκινήσει ένα άλλο timer στην λήξη του οποίου το Route Entry χαρακτηρίζεται ως “invalid” και κατόπιν ένα άλλο στην λήξη του οποίου γίνεται flush δηλαδή διαγράφεται.

1b. Βάσει RFCs (RFC1058, RFC2453) ξεκινά ένα garbage timer για να δώσει χρόνο για ενημέρωση των άλλων Routers. Στο τέλος του το Route Entry διαγράφεται από το Routing Table.

2. Το link να επανέρθει πριν γίνουν expire οι hold-down timers.

Στην περίπτωση που το link επανέρθει πριν γίνουν expire οι hold-down timers υπάρχει καταρχήν μία αναμονή μέχρι να γίνουν expire.

Κατόπιν, ο Router R4 στέλνει triggered updates στους γειτονικούς του Routers R1 και R3 και τους ενημερώνει σχετικά. Οι Routers προσθέτουν πάλι το συγκεκριμένο δίκτυο στο Routing Table τους.

Οι Routers R1 και R4 με τη σειρά τους στέλνουν triggered updates στον γειτονικό τους Router R2 που με τη σειρά του ενημερώνει το Routing Table του.

3. Το link να επανέρθει αφού γίνουν expire οι hold-down timers.

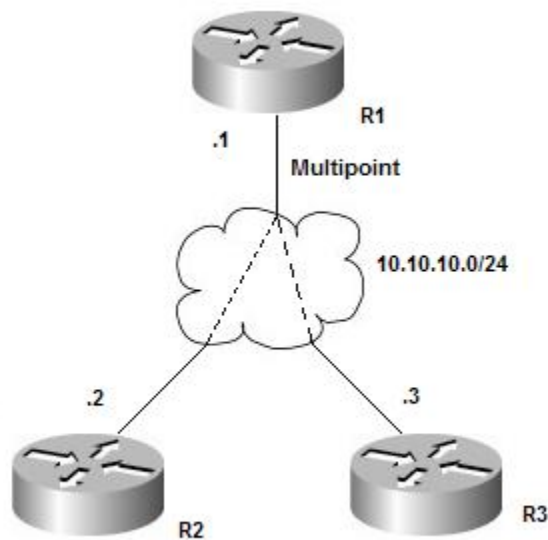
Στην περίπτωση αυτή ο Router R4 στέλνει triggered updates στους γειτονικούς του Routers R1 και R3 και τους ενημερώνει σχετικά. Οι Routers προσθέτουν πάλι το συγκεκριμένο δίκτυο στο Routing Table τους.

Οι Routers R1 και R4 με τη σειρά τους στέλνουν triggered updates στον γειτονικό τους Router R2 που με τη σειρά του ενημερώνει το Routing Table του.

3.5 Πρόβλημα: Όταν το Split-Horizon δημιουργεί πρόβλημα αντί να το λύνει

Υπάρχει μια τοπολογία όπου το Split Horizon μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα αντί να το λύσει.

Η τοπολογία αυτή απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3-16).



Σχήμα 3-16 RIP σε WAN Multipoint Interface

Έστω μια **Multipoint Frame-Relay** WAN τοπολογία όπου όλοι οι routers ανήκουν στο **ίδιο subnet**. Οι routers R2 και R3 συνδέονται με Virtual Circuits με τον R1.

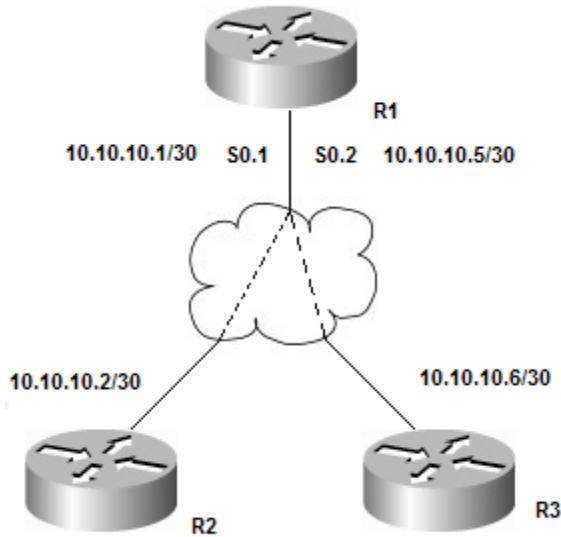
Σε μια Multipoint τοπολογία κάποιος router θεωρεί ότι έχει ένα interface συνδεδεμένο στο WAN. Τόσο τα Routing Updates του R2 όσο και του R3 εισέρχονται στον R1 από το ίδιο interface.

Σε αυτή την περίπτωση αν το Split Horizon είναι ενεργοποιημένο στον R1 τότε τα Routing Updates του R2 δεν μπορούν να αποσταλούν στον R3 και τα Routing Updates του R3 δεν μπορούν να αποσταλούν στον R2.

Αυτό συμβαίνει γιατί το Split Horizon δεν αποστέλλει πληροφορία για κάποιον προορισμό προς κάποιο Interface αν έχει ληφθεί από το ίδιο Interface πληροφορία σχετικά με αυτόν τον προορισμό. Το interface εισόδου και εξόδου είναι το ίδιο και γι' αυτό και προκύπτει το πρόβλημα.

3.6 Λύση: Point-to-Point Sub-interfaces

Η λύση στο παραπάνω πρόβλημα είναι αντί για multipoint να χρησιμοποιήσουμε point-to-point sub-interfaces. Βέβαια, τώρα το κάθε sub-interface θα πρέπει να ανήκει σε διαφορετικό subnet. Τα sub-interfaces αντιμετωπίζονται από το RIP Protocol σαν διαφορετικά interfaces οπότε ο κανόνας του Split Horizon δεν προκαλεί πρόβλημα.



Σχήμα 3-17 RIP σε WAN Point-to-Point Sub-interfaces

Στο παραπάνω παράδειγμα (Σχήμα 3-17) υποθέτουμε ότι όλοι οι routers τρέχουν RIP Version 2 με auto summarization disabled (γιατί και στους τρεις routers χρησιμοποιούμε subnets που ανήκουν στο ίδιο major network (10.0.0.0/8)).

3.7 RIP next generation (RIPng)

Το RIPng δημιουργήθηκε σαν επέκταση του RIP με στόχο την υποστήριξη Routing σε περιβάλλον IP version 6. Σύμφωνα με αυτές τις επεκτάσεις κάθε router που τρέχει RIPng θεωρούμε ότι:

- Υποστηρίζει IP version 6.
- Έχει τουλάχιστον 2 interfaces (με ενεργοποιημένο IP Version 6) αλλιώς δεν θεωρείται καν router.

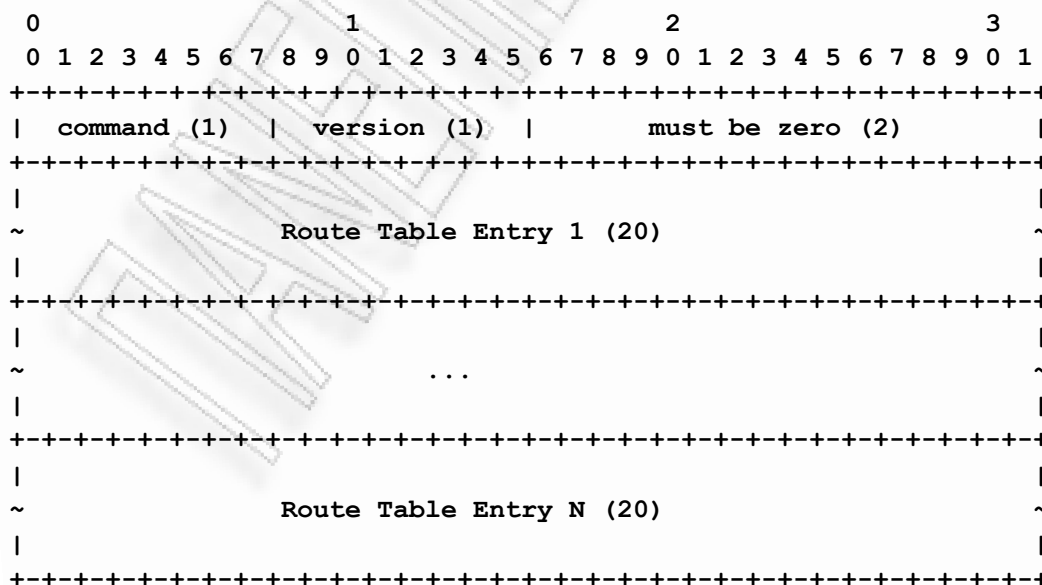
Επίσης υποστηρίζει ένα routing table με entries για κάθε προορισμό προσπελάσιμο από τον συγκεκριμένο router με entries που περιέχουν τουλάχιστον την παρακάτω πληροφορία:

- Το IPv6 prefix του προορισμού.
- Το συνολικό κόστος (metric) της διαδρομής από τον router μέχρι τον προορισμό.
- Την IPv6 address του επόμενου router που πρέπει να προωθηθεί το πακέτο για να φτάσει στον προορισμό του. Αν ο προορισμός βρίσκεται σε απευθείας συνδεδεμένο δίκτυο δεν μας χρειάζεται αυτή η διεύθυνση.
- Μία ένδειξη (route change flag) ότι η συγκεκριμένη πληροφορία έχει αλλάξει πρόσφατα.
- Διάφορα timers που αφορούν το route entry ("timeout" και "garbage-collection time").

Το RIPng έχει τις ίδιες δυνατότητες που έχει και το RIPv2. Δεν χρειάζεται να συμπεριλαμβάνει όμως authentication καθότι αυτό είναι τώρα πλέον μέρος του IPv6. Η χρησιμοποιούμενη Multicast Address είναι η **FF02::9** (All RIP Routers).

3.7.1 RIPng packet

Η μορφή του RIPng πακέτου είναι η εξής:



Η χρήση των πεδίων είναι η ακόλουθη:

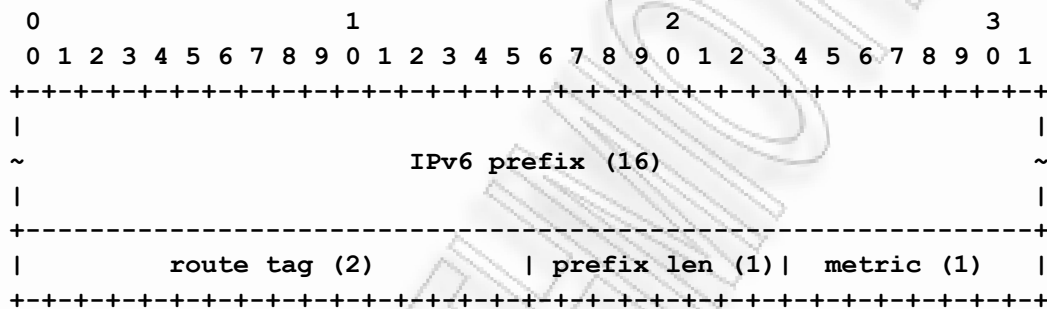
command: Παίρνει τις ακόλουθες τιμές:

1 - request: Αίτηση αποστολής μέρους ή ολόκληρου του Routing Table ενός συστήματος.

2 - response: Μήνυμα που περιέχει μέρος ή και ολόκληρο το Routing Table του αποστολέα. Το μήνυμα αυτό μπορεί να αποσταλεί είτε σαν απάντηση σε ένα request η απλά να δημιουργηθεί και να αποσταλεί από τον αποστολέα.

version: Είναι η version του RIPng. Στην παρούσα φάση είναι 1.

Τα Route Table Entries (RTEs) έχουν την ακόλουθη μορφή:



IPv6 prefix: Είναι το prefix της διεύθυνσης προορισμού μήκους 128 bits.

route tag: Το route tag field είναι ένα χαρακτηριστικό που προσαρτάται σε ένα route entry και που πρέπει να διατηρείται και να διαδίδεται μαζί με το route. Χρησιμεύει στον διαχωρισμό των routes σε εσωτερικά (internal) RIPng routes (που προέρχονται δηλαδή από το ίδιο πρωτόκολλο) και εξωτερικά (external) RIPng routes που προέρχονται από άλλα Routing Protocols.

Για την σωστή αξιοποίηση αυτού του πεδίου χρειάζεται και η υποστήριξη του από τα άλλα routing protocols και πιο συγκεκριμένα από τις υλοποιήσεις τους. Όσον αφορά το περιεχόμενο πληροφορίας του route tag αυτό μπορεί να αντιπροσωπεύει οτιδήποτε στον βαθμό που υπάρχει συνέπεια σε όλα τα routing protocols που το χρησιμοποιούν.

prefix len: Είναι το μήκος σε bits του IPv6 prefix.

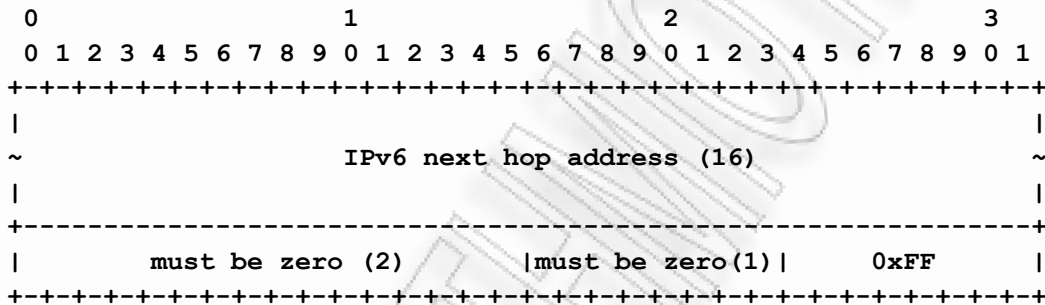
metric: Είναι το κόστος του Path. Όπως και στο RIP version 1 και 2 παίρνει τιμές από 1 έως 15 με την τιμή 16 να σημαίνει άπειρο (μη σύνδεση).

3.7.2 RIPng Next Hop

Το RIPng καταγράφει την next hop IPv6 address στην οποία τα πακέτα πρέπει να προωθηθούν για να φτάσουν στον προορισμό τους. Το next hop δεν συμπεριλαμβάνεται στα route entries που περιγράφηκαν πριν. Αντίθετα, υπάρχει ένα ιδιαίτερο Route Table Entry που αναφέρεται στο next hop. Ο λόγος είναι η εξοικονόμηση χώρου αφού γλυτώνουμε την επανάληψη. Αν υπήρχε σε κάθε route entry τότε το μέγεθός του θα διπλασιαζόταν.

Στο RIPng το next hop RTE αφορά όλα τα address RTEs που το ακολουθούν μέχρι να υπάρξει καινούργιο next hop RTE ή να φτάσουμε στο τέλος του μηνύματος.

Το next hop Route Table Entry (RTE) έχει την ακόλουθη μορφή:



Το next hop RTE προσδιορίζεται από την τιμή 0xFF του πεδίου metric του RTE. Στη θέση του IPv6 prefix field υπάρχει η IPv6 next hop address. Τα πεδία route tag και prefix length πρέπει να έχουν τιμή 0 στην αποστολή και να αγνοούνται στην λήψη.

Αν η IPv6 next hop Address έχει τιμή 0:0:0:0:0:0:0 τότε σημαίνει ότι ο router το interface του οποίου το αποστέλλει είναι και αυτός που δημιουργεί το RIPng μήνυμα. Οι διευθύνσεις που ανακοινώνονται σαν IPv6 next hop πρέπει να είναι link-local addresses (**FE80:0/10**).

Σημειώτεον ότι το πεδίο next hop είναι συμβουλευτικό. Συμπεριλαμβάνεται για να προσδιορίσει το βέλτιστο next hop. Στην περίπτωση που δεν συμπεριληφθεί εξακολουθούμε να έχουμε routing απλώς υπάρχει πιθανότητα να μην είναι βέλτιστο. Είναι δε ιδιαίτερα χρήσιμο όταν δεν χρησιμοποιείται RIPng σε όλους τους routers του δικτύου. Αν η next hop address δεν είναι link-local τότε πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν να ήταν 0:0:0:0:0:0:0.

3.7.3 RIPng Timers

Η λειτουργία του RIPng δεν διαφέρει από εκείνη των RIPv1 και RIPv2.

Κάθε 30 δευτερόλεπτα αποστέλλεται σε όλους τους γείτονες ένα Unsolicited Response μήνυμα που περιέχει ολόκληρο το Routing Table. Προς αποφυγή φόρτου αν υπάρχουν πολλοί routers σε ένα segment, το χρονικό διάστημα αυτό μεταβάλλεται κατά μια τυχαία τιμή από 0 μέχρι το μισό του διαστήματος δηλαδή μέχρι 15 δευτερόλεπτα (επομένως στην συγκεκριμένη περίπτωση μεταβάλλεται δηλαδή από 0 μέχρι ± 15 δευτερόλεπτα).

Υπάρχουν δύο timers που αντιστοιχούν σε ένα route: το “timeout” timer και το “garbage collection” timer.

Μετά την λήξη του “timeout” timer που είναι 180 δευτερόλεπτα τα route entries χαρακτηρίζονται σαν invalid. Παρόλα αυτά δεν αφαιρούνται από το Routing Table μέχρι να ενημερωθούν όλοι οι γείτονες ότι το συγκεκριμένο route δεν υπάρχει πλέον. Ο χρόνος που θα παραμείνουν καθορίζεται από το “garbage collection timer” που είναι 120 δευτερόλεπτα. Πιο συγκεκριμένα με την λήξη του “timeout” timer συμβαίνουν τα εξής:

- Ξεκινάει το garbage collection timer.
- Το metric για το route παίρνει την τιμή 16 (infinity) καθιστώντας το μη διαθέσιμο.
- Το route change flag παίρνει τιμή που δείχνει ότι το route entry έχει αλλάξει.
- Αποστέλλεται response στους γειτονικούς routers για να τους ενημερώσει για το μη διαθέσιμο route entry.

3.7.4 Split Horizon – Poisoned Reverse

Το Split Horizon δουλεύει όπως έχει ήδη αναφερθεί στο RIPv1 και RIPv2. Δεν συμπεριλαμβάνει routes σε updates που στέλνονται προς τον router από τον οποίο μαθεύτηκαν. Γενικότερα (για broadcast και multicast networks) δεν στέλνει από ένα interface updates για routes που έμαθε από το ίδιο interface.

Το Split Horizon with Poisoned Reverse (ή πιο απλά, Poison Reverse) αντίθετα τα συμπεριλαμβάνει αλλά αλλάζει το κόστος (metric) σε άπειρο δηλαδή μη σύνδεση. Αυτή η μέθοδος όπως έχει αναφερθεί παραπάνω είναι η προτιμώμενη. Παρόλα αυτά συνίσταται να υπάρχει έλεγχος σε επίπεδο interface για την ενεργοποίηση ή όχι των μεθόδων αυτών.

3.7.5 Triggered Updates

Για την άμεση ανταπόκριση σε αλλαγές, αντί να υπάρχει η αναμονή που επιβάλλεται από το timer των 30 δευτερολέπτων με τα Triggered updates αποστέλλεται ενημέρωση μόλις συμβεί αλλαγή σε κάποιο route entry.

Όμως, πρέπει να δοθεί προσοχή στα παρακάτω θέματα:

Τα triggered updates μπορούν να προκαλέσουν πολύ φόρτο σε δίκτυα χαμηλής ταχύτητας με πολλούς routers. Για αυτόν τον λόγο πρέπει να υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί. Αμέσως μόλις αποσταλεί ένα triggered update, ένα timer τίθεται σε μια τυχαία τιμή μεταξύ 1 και 5 δευτερολέπτων. Αν συμβούν και άλλες αλλαγές που κανονικά θα προκαλούσαν και αυτές αποστολή updates πριν τελειώσει το timer, τότε αποστέλλεται με την λήξη του ένα μόνο update και το timer επανατίθεται σε μια άλλη τυχαία τιμή από το ίδιο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, τα Triggered updates μπορούν να μην αποσταλούν αν επίκειται αποστολή κανονικού update.

Τα triggered updates δεν χρειάζεται να περιλαμβάνουν το πλήρες Routing Table. Μόνο τα routes που αλλάζουν χρειάζεται να αποστέλλονται. Αυτά είναι τουλάχιστον εκείνα τα routes, το route change flag των οποίων έχει γίνει set. Επιλογή τυχόν πρόσθετων routes τίθεται στην διακριτική ευχέρεια του εκάστοτε vendor όμως, καλό είναι να αποστέλλονται μόνο τα απολύτως αναγκαία (δηλαδή αυτά που αλλάξανε) και καλό είναι να μην αποστέλλονται πλήρη routing updates. Το Split Horizon παραμένει σε ισχύ και με τα triggered updates όπως και με τα περιοδικά updates. Μόλις αποστέλλονται triggered updates τα σχετικά route change flags πρέπει να γίνεται clear.

Επομένως, η μοναδική διαφορά ανάμεσα στα triggered updates και τα περιοδικά updates έγκειται στην πιθανή παράλειψη των routes που δεν έχουν αλλάξει. Όλοι οι μηχανισμοί του RIPv2 εφαρμόζονται κανονικά.

РАНЕЕЗНАКО ПЕРПАА

4 Open Shortest Path First (OSPF)

Οι περιορισμοί του RIP πρωτοκόλλου πχ το όριο των 15 hops και η σχετικά αργή προσαρμοστικότητά του στις μεταβολές του δικτύου το καθιστούν κατάλληλο μόνο για μικρά δίκτυα.

Έτσι αναπτύχθηκε το Open Shortest Path First που είναι και το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα Link State πρωτοκόλλου. Η πρώτη έκδοσή του δημοσιεύτηκε στο RFC 1131 το 1989 και γρήγορα αντικαταστάθηκε από την δεύτερη έκδοση στο RFC 1247 (και αργότερα RFC 2328) το 1991 και είναι η πιο συνηθισμένη (με revisions φυσικά) μέχρι σήμερα.

Για την υποστήριξη του IPv6 δημιουργήθηκε μια καινούργια βελτιωμένη version, η version 3. Η version 3 όμως δεν είναι backward compatible με την version 2. Υποστηρίζει μόνο IPv6. Έτσι για να υποστηρίζονται σε έναν Router και οι δύο IP versions (IPv4, IPv6) θα πρέπει να τρέχουν και οι δύο OPSF εκδόσεις (version 2 και 3).

4.1 Βασικά Χαρακτηριστικά του OSPF - Σύγκριση με RIP

Το OSPF έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα σε σχέση με το RIP:

1. Ταχύτητα σύγκλισης

Αν η διάμετρος του δικτύου (η μεγαλύτερη απόσταση ανάμεσα σε δύο routers) είναι μεγάλη, η σύγκλιση στο RIP ακόμα και με triggered updates μπορεί και να απαιτήσει πολύ χρόνο (λόγω hold-down timer).

Σε αντίθεση, στο OSPF οι αλλαγές στα links προκαλούν σχεδόν άμεση ενημέρωση προς όλους τους routers του δικτύου μέσω μιας διαδικασίας flooding.

2. Υποστήριξη μεγάλων δικτύων

Το OSPF δεν έχει τον περιορισμό των 15 hops όπως το RIP αφού δεν έχει προβλήματα τύπου countdown to infinity που θα επέβαλαν ένα σχετικά μικρό άνω όριο. Ο μόνος περιορισμός είναι από το IP protocol το ίδιο και πιο συγκεκριμένα από το TTL (Time to Live) πεδίο του IP Header. Αλλά αυτό μπορεί να πάρει μέγιστη τιμή 255 οπότε δεν αποτελεί ουσιαστικό περιορισμό.

3. Ευέλικτο τρόπο επιλογής metrics

Το OSPF χρησιμοποιεί πιο χρήσιμα metrics από το RIP. Μπορεί να χρησιμοποιήσει πχ την ταχύτητα του link. Ή το metric μπορεί και να ρυθμιστεί χειροκίνητα ανά περίπτωση. Ακόμα, παρέχει την δυνατότητα διαφορετικών metrics ανάλογα με το πεδίο TOS (Type of Service) του IP Header δηλαδή μπορεί να βελτιστοποιείται για καθυστέρηση, φόρτο, αξιοπιστία ή κόστος.

Επιπλέον, σε σχέση με το RIP version 1 έχει και τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

1. Υποστήριξη VLSM (Variable Length Subnet Masks)

Το OSPF (σαν classless protocol) μεταφέρει πληροφορία σχετικά με την subnet mask οπότε υποστηρίζει Variable Length Subnet Masks. Αυτό παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στην σχεδίαση του δικτύου και οικονομία στην κατανομή διευθύνσεων.

2. Χαμηλή κατανάλωση πόρων στην αποστολή και λήψη των πακέτων

Τα Routing Updates (Link State Advertisements) αποστέλλονται με Multicast. Έτσι επιβαρύνουν λιγότερο δικτυακές συσκευές που δεν συμμετέχουν στο OSPF. Κάθε 30 λεπτά αποστέλλονται όλες οι πληροφορίες αλλά και πάλι η επιβάρυνση είναι μικρότερη σε σχέση με τα 30 δευτερόλεπτα του RIP. Βέβαια, αυτό δεν μπορεί να ποσοτικοποιηθεί ακριβώς γιατί το OSPF στέλνει διαφορετικού είδους πληροφορία απ' ότι το RIP.

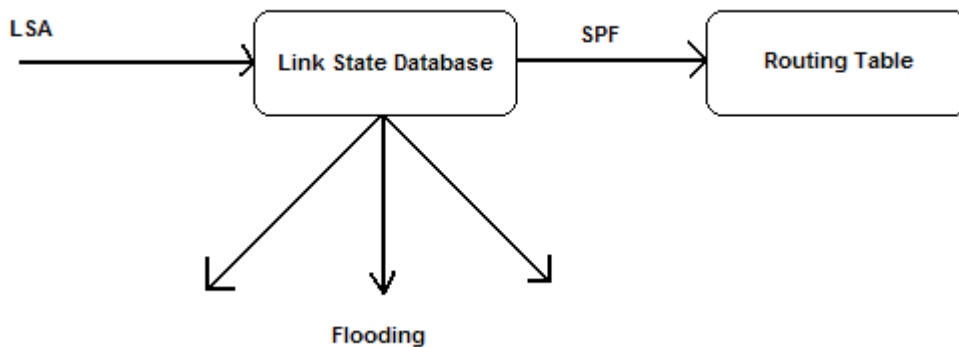
3. Δυνατότητα authentication

Το OSPF παρέχει την δυνατότητα authentication και με αυτόν τον τρόπο παρέχει προστασία τόσο από λάθη όσο και από απόπειρες αλλοίωσης του Routing Table.

Σε σχέση όμως με το RIP (version 1 και 2) το OSPF έχει και μειονεκτήματα:

1. Απαιτεί περισσότερη υπολογιστική ισχύ απ' ότι το RIP. Ο λόγος είναι η εκτέλεση του Shortest Path First αλγορίθμου κάθε φορά που υπάρχει ενημέρωση για αλλαγή της κατάστασης κάποιου link.
2. Είναι πιο πολύπλοκο στις ρυθμίσεις ειδικά όταν στο δίκτυο υπάρχουν πολλοί Routers οπότε θα πρέπει να προηγηθεί σχεδίαση.

Το OSPF είναι ένα Link State Protocol. Κάθε Router που τρέχει OSPF καταγράφει το status όλων των links του σε μια βάση που λέγεται Link State Database. Σε κατάσταση ισορροπίας όλοι οι Routers που συμμετέχουν (και όπως θα αναφερθεί αργότερα ανήκουν στην ίδια OSPF Area) έχουν την ίδια database. Όταν αλλάζει το status κάποιου link τότε οι συμμετέχοντες Routers ενημερώνονται με μια διαδικασία flooding (η πληροφορία προωθείται στους γείτονες, με την σειρά τους οι γείτονες την επαναπροωθούν κοκ).



Σχήμα 4-1 Οι βασικές λειτουργίες του OSPF

Όλοι οι Routers εφαρμόζουν τον ίδιο Shortest Path First αλγόριθμο στην Link State Database τους με την διαφορά ότι ο κάθε Router θεωρεί τον εαυτό του σαν κορυφή του «δέντρου». Το αποτέλεσμα είναι ένα «δέντρο» που έχει σαν κόμβους όλες τις δικτυακές συσκευές. Δεν υπάρχει κόμβος ασύνδετος και όλοι οι κόμβοι είναι συνδεδεμένοι μόνο έτσι ώστε οι αποστάσεις από τον Root κόμβο να είναι οι ελάχιστες. Δεν υπάρχουν πολλές διαδρομές που οδηγούν στον ίδιο κόμβο εκτός αν το κόστος τους είναι το ίδιο. Το Shortest Path Tree αυτό δίνει και τις ελάχιστες αποστάσεις όλων των κόμβων από τον συγκεκριμένο Router και χρησιμοποιείται για την δημιουργία του Routing Table.

Το OSPF επιτρέπει την ομαδοποίηση των Routers σε ομάδες που λέγονται Areas. Οι Routers που ανήκουν στην ίδια Area έχουν την ίδια Link State Database για την Area αυτή.

4.2 Ορολογία

Παρακάτω θα αναφερθεί η ορολογία που χρησιμοποιείται από το OSPF προκειμένου να είναι κατανοητή σε μεταγενέστερα κεφάλαια.

Network: Ένα IP network/subnet/supernet. Ένα φυσικό δίκτυο μπορεί να έχει πολλές IP Addresses που η κάθε μια μπορεί να ανήκει σε ίδιο ή διαφορετικό network ή

subnetwork. Σε αυτήν την περίπτωση τις αντιμετωπίζουμε σαν ξεχωριστά networks. Τα Point-to-point δίκτυα αποτελούν εξαίρεση και θεωρούνται σαν ένα network ανεξαρτήτως addressing.

Interface (ή Link): Είναι η σύνδεση ανάμεσα σε έναν router και ένα από τα συνδεδεμένα του δίκτυα. Ένα interface βρίσκεται σε μία κατάσταση (state) που καθορίζεται από τα χαμηλότερα network layers αλλά και το routing πρωτόκολλο. Ένα interface έχει συνήθως μια IP address και mask (σε σπάνιες περιπτώσεις και δεύτερη ή και καμία αν είναι unnumbered). Λέγεται και link.

Autonomous System: Είναι ένα σύνολο από routers που ανταλλάσσουν routing πληροφορία με τη χρήση του ίδιου routing protocol. Συντομεύεται σαν AS.

Σημείωση: ο ορισμός αυτός αφορά τα Interior Gateway Protocols γιατί για τα Exterior Gateway Protocols όπως το BGP, Αυτόνομο Σύστημα είναι ένα σύνολο από Routers κάτω από την ίδια διαχείριση.

Area: Είναι ένα σύνολο από Routers και τα δίκτυα που τους συνδέουν. Εντός της Area όλοι οι Routers που τρέχουν OSPF έχουν την ίδια Link State Database.

Router ID: Είναι ένας αριθμός μήκους 32 bit που προσδιορίζει μοναδικά μέσα σε ένα αυτόνομο σύστημα κάθε router που τρέχει OSPF.

Neighboring routers: Είναι οι Routers που έχουν interfaces σε ένα κοινό δίκτυο. Ανακαλύπτονται και συσχετίζονται δυναμικά από το OSPF Hello Protocol που αποτελεί μέρος του OSPF.

Adjacency: Είναι ο συσχετισμός ανάμεσα σε δύο γειτονικούς routers με στόχο την ανταλλαγή routing πληροφορίας. Δεν σχηματίζεται ανάμεσα σε όλους τους γειτονικούς routers.

Link State: Είναι το status ενός link. Τα Link States αποστέλλονται σε άλλους routers σε πακέτα που λέγονται Link State Advertisements.

Link State Advertisement: Πληροφορία που περιγράφει την κατάσταση ενός router και πιο συγκεκριμένα την κατάσταση των interfaces και των adjacencies. Το κάθε Link State Advertisement γίνεται flood στους συμμετέχοντες στο OSPF routers (ή για κάποιους τύπους LSAs, μόνο σε όλους τους OSPF routers που ανήκουν στην ίδια Area όπως θα αναλυθεί παρακάτω). Η συλλογή των Link State Advertisements αποτελεί την Link State Database. Το Link State Advertisement αναπαρίσταται με την συντομογραφία: LSA.

Link State Database (ή αλλιώς topology database, ή topology table): Κάθε Router αποθηκεύει Link State Entries για όλα τα interfaces όλων των Routers σε μια βάση που λέγεται Link State Database. Όλοι οι Routers που ανήκουν στην ίδια OSPF Area έχουν την ίδια Link State Database (σε κατάσταση ισορροπίας δηλαδή όταν το δίκτυο έχει συγκλίνει).

Cost: Είναι μια τιμή που αντιστοιχείται σε ένα link και χρησιμοποιείται στο Routing για την επιλογή βέλτιστης διαδρομής. Συνήθως βασίζεται στην ταχύτητα του Link αλλά ανάλογα με την υλοποίηση του OSPF αλλά μπορεί να είναι διαφορετικό ανάλογα με το πεδίο Type Of Service (TOS) του IP Header.

OSPF Hello Protocol: Είναι το μέρος του OSPF protocol που εγκαθιδρύει και διαχειρίζεται τις σχέσεις των γειτονικών routers. Σε κάποια κατηγορία δικτύων (broadcast networks) το OSPF Hello Protocol μπορεί και να ανακαλύπτει δυναμικά τους γειτονικούς routers.

Flooding: Είναι η διαδικασία με την οποία διανέμεται η Routing πληροφορία (LSAs) με στόχο τον συγχρονισμό της Link State Database των OSPF routers.

Point-to-point networks: Είναι δίκτυα που ενώνουν μόνο δύο routers μεταξύ τους.

Broadcast networks: Είναι δίκτυα που υποστηρίζουν περισσότερους από δύο συνδεδεμένους routers και συγχρόνως παρέχουν την δυνατότητα αποστολής broadcast και multicast μηνύματος σε όλους τους συνδεδεμένους routers. Οι γειτονικοί routers σε τέτοιου τύπου δίκτυα μπορούν να ανακαλύπτονται δυναμικά με την χρήση του OSPF Hello Protocol που εκμεταλλεύεται την δυνατότητα για broadcasting (στην πράξη το OSPF protocol κάνει χρήση multicast όπου αυτό είναι εφικτό για να βελτιώσει το performance). Σε ένα broadcast network δύο routers θεωρείται ότι μπορούν να επικοινωνούν απευθείας. Ένα δίκτυο Ethernet είναι ένα broadcast network.

Non-broadcast networks (NBMA): Είναι δίκτυα που υποστηρίζουν περισσότερους από δύο συνδεδεμένους routers, αλλά δεν παρέχουν δυνατότητα broadcasting. Σε αυτά τα δίκτυα οι γειτονικοί routers επικοινωνούν με το OSPF Hello Protocol αλλά, λόγω της έλλειψης δυνατότητας broadcasting χρειάζονται ρυθμίσεις για να είναι δυνατή η ανακάλυψη των γειτόνων. Σε τέτοιου τύπου δίκτυα τα OSPF πακέτα που κανονικά θα αποστέλλονταν με multicasting στέλνονται με unicasting ένα ένα. Ένα δίκτυο X.25 ή Frame Relay είναι συνήθως ένα non-broadcast network.

Designated Router: Τα broadcast και τα NBMA δίκτυα που έχουν τουλάχιστον δύο routers έχουν και έναν Designated Router που αντιπροσωπεύει το συγκεκριμένο δίκτυο

που είναι συνδεδεμένος. Ο Designated Router αποστέλλει LSA για το δίκτυο και βελτιώνει την απόδοση (τόσο σε επίπεδο δικτύου όσο και σε επίπεδο router) με την μείωση του αριθμού των adjacencies. Ο Designated Router εκλέγεται με την βοήθεια του OSPF Hello Protocol.

4.3 Link-state Database

Η Link State Database έχει πληροφορίες για όλα τα links όλων των routers που τρέχουν OSPF και ανήκουν στην ίδια Area. Επιπλέον, έχει πληροφορίες για όλα τα networks που συνδέονται με τα links, επιλεγμένες ή πλήρεις πληροφορίες για τα δίκτυα των υπόλοιπων Areas καθώς και για τυχόν εξωτερικά δίκτυα. Υλοποιείται σαν ένας κατευθυντικός γράφος με τους routers και τα δίκτυα να είναι οι κόμβοι του. Δύο routers συνδέονται στον γράφο όταν είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με μία φυσική point-to-point σύνδεση. Σύνδεση ανάμεσα σε router και network σημαίνει ότι ο router έχει ένα interface συνδεδεμένο σε αυτό το network. Τα networks μπορεί να είναι είτε transit είτε stub.

Transit networks θεωρούνται αυτά που μπορούν να μεταφέρουν πακέτα μη τοπικής προέλευσης και μη τοπικού προορισμού. Ένα transit network σε ένα γράφημα αναπαρίσταται από ένα κόμβο με εισερχόμενα και εξερχόμενα βέλη. Τα stub networks από την άλλη μεριά είναι μόνο προορισμοί πακέτων. Ένα stub network αναπαρίσταται με έναν κόμβο με μόνο εισερχόμενα βέλη.

Σε κάθε δίκτυο transit ή stub αντιστοιχεί και μια IP Address με μια Subnet Mask. Η συγκεκριμένη διαρρύθμιση του γράφου γύρω από έναν κόμβο που αναπαριστά δίκτυο εξαρτάται από τον τύπο του δικτύου (broadcast, non-broadcast multi-access, point-to-point).

Οι Link State Databases ανταλλάσσονται μεταξύ neighboring routers αφού βέβαια πρώτα ανακαλύψει ο ένας τον άλλον είτε με την χρήση του OSPF Hello Protocol είτε με χειροκίνητη ρύθμιση. Ο μηχανισμός συγχρονισμού των Link State Databases είναι το reliable flooding.

Σε κατάσταση ισορροπίας όλοι οι Routers της ίδιας OSPF Area έχουν τον ίδιο γράφο δηλαδή την ίδια Link State Database. Για την εύρεση των βέλτιστων διαδρομών σε όλα τα δίκτυα κάθε router υπολογίζει το Shortest Path tree με root τον εαυτό του. Κατόπιν, από το Shortest Path tree μπορεί να υπολογιστεί το Routing Table.

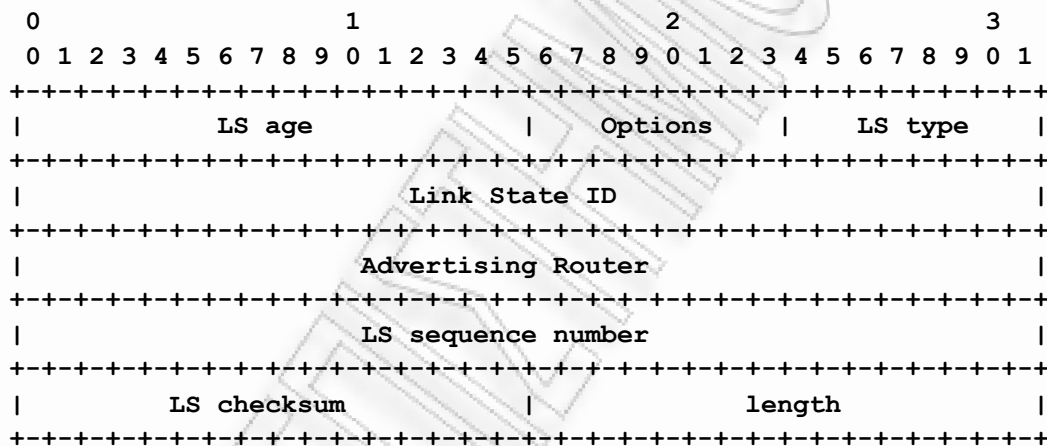
Αλλαγή σε κάποιο Link (από up σε down και αντίστροφα) προκαλεί και αλλαγή στον γράφο δηλαδή την Link State Database επομένως προκαλεί και επανυπολογισμό του Shortest Path tree και ακόλουθα του Routing Table.

4.4 Link State Advertisements (LSAs)

Κάθε φορά που ένας router γίνεται initialize ή απλά αλλάζει το status ενός ή περισσότερων links αποστέλλονται ένα ή περισσότερα LSAs με την διαδικασία του flooding. Μάλιστα η Link State Database ενός router αποτελείται από το σύνολο των LSAs που λαμβάνει.

4.4.1 LSA Header

Υπάρχουν πολλών ειδών LSAs αλλά όλα έχουν τον παρακάτω LSA Header:



LS Type Field: Κατηγοριοποιεί τα LSAs ανάλογα με την προέλευσή τους.

Έτσι υπάρχουν τα παρακάτω βασικά LSAs:

1. Router LSAs

Κάθε router δημιουργεί ένα LSA αυτού του τύπου για να περιγράψει τα ενεργά interfaces και τους neighbors.

2. Network LSAs

Περιγράφουν ένα network (είτε broadcast είτε NBMA). Επίσης αναφέρουν την ταυτότητα των συνδεδεμένων σε αυτό routers.

3. Network-summary LSAs

Μεταφέρουν πληροφορίες για networks (IP Address/Subnet Mask) ανάμεσα σε OSPF Areas.

4. ASBR-Summary LSAs

Προσδιορίζουν τους routers που μεταφέρουν routing πληροφορία από άλλα Αυτόνομα Συστήματα (AS).

5. AS External LSAs

Περιέχουν routing πληροφορία από άλλα Αυτόνομα Συστήματα (AS).

Τα παραπάνω LSAs είναι τα πιο βασικά. Όμως προστέθηκαν και άλλοι τύποι όπως:

6. Group-Membership LSAs

Χρησιμοποιούνται για να προσδιορίζουν την θέση των multicast group members στο MOSPF (Multicast OSPF).

7. NSSA LSAs

Παρέχουν ένα περιορισμένο σύνολο εξωτερικής routing πληροφορίας.

8. Χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν BGP specific πληροφορία.

Μπορούν να προστίθενται LSA Types από καιρού εις καιρόν αλλά ένας router δεν είναι υποχρεωμένος να λαμβάνει LSA types που δεν αναγνωρίζει, αλλά μόνο να τα προωθεί.

Link State Id: Προσδιορίζει μοναδικά ένα LSA ενός router από όλα τα άλλα LSAs. Πολλές φορές για λόγους απόδοσης μεταφέρει ταυτόχρονα και πληροφορία.

Advertising Router: Είναι το OSPF Router id του router που δημιούργησε (και επομένως απέστειλε πρώτος) το συγκεκριμένο LSA.

LS Sequence Number: Το sequence number χρησιμοποιείται για να βρεθεί το νεώτερο LSA για τις περιπτώσεις όπου ένας Router έχει δύο LSAs με το ίδιο id. Μεγαλύτερο sequence number συνεπάγεται νεώτερο LSA. Το πεδίο αυτό έχει μήκος 32 bit και ΔΕΝ είναι κυκλικό για να είναι ξεκάθαρο πιο sequence number είναι νεώτερο. Όταν το sequence φθάνει στον μέγιστο αριθμό Smax= 0x7fffffff τότε διαγράφει το LSA με αυτό το sequence number και δημιουργεί ένα καινούργιο LSA που το sequence number του έχει την χαμηλότερη τιμή S0 =0x80000001.

LS Checksum: Χρησιμοποιείται για να εντοπίζει τυχόν αλλοιώσεις του LSA πακέτου.

LS Age: Είναι η «ηλικία» του LSA (μετρημένη σε δευτερόλεπτα) από τότε που δημιουργήθηκε. Η συνηθισμένη κλίμακα τιμών είναι από το 0 μέχρι τα 30 λεπτά (LSRrefreshTime). Μόλις το πεδίο αυτό φτάσει την τιμή που αντιστοιχεί σε 30 λεπτά (1800 sec) ο originating router δημιουργεί και κάνει flood ένα καινούργιο LSA (με το ίδιο id και περιεχόμενο) με age 0 και μεγαλύτερο sequence number. Αν ο αρχικός router αποτύχει για κάποιο λόγο οπότε δεν αποστέλλει καινούργιο LSA τότε το πεδίο age συνεχίζει να αυξάνει μέχρι την μέγιστη τιμή που αντιστοιχεί σε 60 λεπτά (MaxAge). Τότε το LSA διαγράφεται από την Link State Database και ταυτόχρονα γίνεται flood με την τιμή του πεδίου LS age 60 λεπτά. Αυτό είναι ένδειξη σε όλους τους routers να διαγράψουν το συγκεκριμένο LSA.

Στο OSPF υπάρχει η δυνατότητα του premature aging. Ο originating router μπορεί αν χρειαστεί να διαγράψει ένα LSA χωρίς να περιμένει το πεδίο LS Age να φτάσει την τιμή MaxAge. Το διαγράφει από την Link State Database του θέτοντας το πεδίο LS Age στην τιμή MaxAge και ταυτόχρονα στέλνοντάς το στους άλλους routers με την διαδικασία flooding.

Μάλιστα η διαδικασία του premature aging χρησιμοποιείται στην περίπτωση που το πεδίο LS Sequence number φτάσει στην τιμή Smax και πρέπει να γυρίζει στην τιμή S0.

Length: Είναι το μήκος σε bytes του LSA (header + payload). Έχει μήκος 16 bit που σημαίνει μέγιστο μήκος LSA 65535 bytes! Στην πράξη το μήκος του μεγαλύτερου LSA είναι της τάξης των λίγων εκατοντάδων bytes.

Options: Υποδηλώνει ότι το LSA έχει κάποιες συγκεκριμένες απαιτήσεις κατά την διάρκεια του flooding η του routing.

4.4.2 LSA Payload

Μέχρι στιγμής περιγράφηκε ο LSA Header μόνο! Το payload εξαρτάται από τον τύπο του LSA. Αναλυτική περιγραφή ανά πεδίο για κάθε τύπο LSA είναι μη πρακτικό. Οπότε θα γίνει μια βασική περιγραφή των βασικότερων (για περισσότερες λεπτομέρειες μπορεί κάποιος να ανατρέξει στο RFC2328: OSPF Version 2).

4.4.2.1 Router-LSAs

Τα Router-LSAs είναι Type 1 LSAs. Κάθε router δημιουργεί ένα Router-LSA και το αποστέλλει με την διαδικασία του flooding σε όλους τους routers που ανήκουν στην ίδια OSPF Area. Το συγκεκριμένο LSA περιγράφει την κατάσταση ΟΛΩΝ των links του router για την συγκεκριμένη area που καταγράφεται στον LSA Header. Το Link State ID είναι το Router ID του συγκεκριμένου Router. Κάθε περιγραφόμενο link χαρακτηρίζεται και αυτό από ένα Link ID που προσδιορίζει την οντότητα στο άλλο άκρο του link. Υπάρχουν διάφοροι τύποι Router-LSAs. Παρακάτω συνοψίζονται οι τιμές που χρησιμοποιούνται για τα πεδία Link type και Link ID καθώς και αντίστοιχη περιγραφή.

Link type	Description	Link ID
1	Point-to-point link	Neighbor Router ID
2	Link to transit network	Interface address of network Designated Router
3	Link to stub network	IP network/subnet number
4	Virtual link	Neighbor Router ID

Point-to-point links: Είναι είτε φυσικά είτε λογικά (subinterfaces) point-to-point σειριακά links. Αυτά τα links μπορούν να είναι είτε numbered (δηλαδή να έχουν IP Address) είτε unnumbered.

Transit links: Είναι interfaces συνδεδεμένα σε networks που έχουν παραπάνω από έναν router συνδεδεμένους.

Stub network links: Η ονομασία αυτή δεν έχει καμία σχέση με τις Stub Areas. Ένα Stub segment είναι ένα segment (πχ Ethernet) που έχει έναν μόνο router συνδεδεμένο σε αυτό. Ένα loopback interface θεωρείται σαν link σε stub network.

Virtual links: Είναι λογικά links που συνδέουν Areas που δεν συνδέονται με τη Backbone Area. Τα Virtual links αντιμετωπίζονται σαν numbered point-to-point links.

Επιπλέον των παραπάνω, κάθε link έχει ένα 32 bit data field (Link Data) για επιπλέον πληροφορίες και ένα πεδίο για το «κόστος» (δηλαδή το metric) χρήσης του link για output.

Όσον αφορά το πεδίο Link Data, το περιεχόμενό του εξαρτάται από το Link Type. Αν το Link Type είναι 3 (Link to stub) τότε το πεδίο Link Data περιέχει το Network Mask. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις περιέχει την IP Address του συγκεκριμένου interface.

4.4.2.2 Network-LSAs

Τα Network-LSAs είναι Type 2 LSAs. Ένα Network-LSA δημιουργείται για κάθε Broadcast και NBMA network που έχει δύο ή περισσότερους συνδεδεμένους routers. Το Network-LSA δημιουργείται από τον Designated Router (DR) και περιγράφει όλους τους routers που είναι συνδεδεμένοι στο συγκεκριμένο δίκτυο συμπεριλαμβανομένου και του DR.

Το Link State ID πεδίο του LS είναι η IP interface address του Designated Router. Η απόσταση (κόστος) όλων των συνδεδεμένων routers από το δίκτυο είναι 0 οπότε δεν χρειάζονται πεδία για καταγραφή των metrics για το συγκεκριμένο LSA. Επιπλέον το Network-LSA καταγράφει και την subnet mask του δικτύου. Αποστέλλεται με την διαδικασία του flooding σε όλους τους routers που ανήκουν στην ίδια OSPF Area.

4.4.2.3 Summary-LSAs

Τα Summary-LSAs είναι Type 3 και Type 4 LSAs. Αυτά τα LSAs δημιουργούνται και αποστέλλονται από τους Area Border Routers (ABRs). Τα Summary-LSAs Type 3 μεταφέρουν πληροφορίες για προορισμούς ανάμεσα σε Areas. Το Link State ID τους είναι η IP Address του δικτύου προορισμού και σαν payload η network mask και το metric. Τα Summary-LSAs Type 4 προσδιορίζουν τους routers (AS Boundary Routers) που μεταφέρουν routing πληροφορία από άλλα αυτόνομα συστήματα (AS). Το Link State ID τους είναι το Router ID του ASBR.

4.4.2.4 AS-external-LSAs

Τα AS-external-LSAs είναι Type 5 LSAs. Αυτά τα LSAs δημιουργούνται και αποστέλλονται από τους AS Boundary Routers (ASBRs) και μεταφέρουν routing πληροφορία από εξωτερικά αυτόνομα συστήματα (AS). Αποστέλλεται με την διαδικασία του flooding σε όλους τους routers του Αυτόνομου Συστήματος ανεξαρτήτως OSPF Area.

Ένα AS-external-LSA συνήθως περιγράφει ένα συγκεκριμένο εξωτερικό προορισμό. Σε αυτήν την περίπτωση το Link State ID πεδίο έχει την τιμή του IP network με payload το network mask και το metric. Τα AS-external-LSAs επιπλέον χρησιμοποιούνται για να περιγράφουν ένα default route. Σε αυτήν την περίπτωση το Link State ID είναι 0.0.0.0 και το Network Mask επίσης 0.0.0.0.

Υπάρχουν δύο τύποι External Routes: ο Type 1 και ο Type 2. Η διαφορά τους έγκειται στον τρόπο υπολογισμού των metrics.

Όταν τα External Routes εισάγονται στο OSPF Αυτόνομο Σύστημα αποκτούν με κάποιο τρόπο ένα metric συμβατό με τα metrics του OSPF.

Όταν ένα External Route entry είναι Type 1 τότε μόλις εισαχθεί στο OSPF Αυτόνομο Σύστημα και αποκτήσει κάποιο metric, από κει και πέρα το metric συνεχίζει να αυξάνεται κανονικά.

Όταν ένα External Route entry είναι Type 2 τότε μόλις εισαχθεί στο OSPF Αυτόνομο Σύστημα και αποκτήσει κάποιο metric, το metric αυτό δεν μεταβάλλεται καθόλου.

Type 1 External Route Entries επιτρέπουν βέλτιστο Routing όταν υπάρχουν πολλά Paths προς τον ASBR. Από την άλλη μεριά το πιο πιθανό είναι ότι η απόσταση του ASBR από τον τελικό προορισμό είναι πολύ μεγαλύτερη από την απόσταση του ASBR από τους υπόλοιπους Routers του ίδιου Αυτόνομου Συστήματος για να έχει και νόημα αυτό το βέλτιστο Routing.

4.5 OSPF Areas

Όταν το Αυτόνομο Σύστημα έχει πολλούς routers τότε κρίνεται σκόπιμο να μοιραστεί σε μικρότερα συνεχή τμήματα (από δίκτυα, routers και hosts) που λέγονται Areas.

Όλοι οι OSPF routers σε μια Area έχουν την ίδια Link State Database. Εφ' όσον δεν χρειάζεται οι routers να έχουν καταχωρημένη πληροφορία για την πλήρη τοπολογία των άλλων Areas, η Link State Database είναι μικρότερη επομένως και πιο διαχειρίσιμη. Τόσο το processing όσο και το networking overhead είναι μικρότερα.

Ο καταμερισμός του Αυτόνομου Συστήματος σε Areas δεν μπορεί να είναι αυθαίρετος. Πρέπει να ακολουθεί τους εξής κανόνες:

- Πρέπει να υπάρχει μια "κεντρική" OSPF Area που λέγεται Backbone Area.
- Όλες οι άλλες Areas πρέπει να συνδέονται στην Backbone Area.

Οι Areas εντός ενός Αυτόνομου Συστήματος προσδιορίζονται μοναδικά από το Area Id. Το Area Id είναι ένας 32 bit αριθμός που μπορεί να αναπαρίσταται είτε σαν δεκαδικός αριθμός είτε σαν IP Address (dotted decimal notation).

Η Backbone Area έχει Area id 0 (ή 0.0.0.0).

Αν με την απώλεια ενός ή περισσότερων links διακοπεί η συνέχεια της Backbone Area τότε ουσιαστικά το Αυτόνομο Σύστημα χωρίζεται σε δύο ή περισσότερα μέρη. Αυτό διορθώνεται όπως θα αναφερθεί παρακάτω με την χρήση των virtual links. Οι routers, ανάλογα με την θέση τους στις Areas κατηγοριοποιούνται ως εξής:

Internal Routers: Είναι οι routers που βρίσκονται εξ' ολοκλήρου σε μια Area. Όλα τα interfaces των internal routers συνδέονται σε δίκτυα που ανήκουν στην ίδια Area.

Backbone Routers: Είναι οι routers που έχουν ένα τουλάχιστον Interface στην Backbone Area.

Area Border Routers (ABRs): Είναι οι routers που έχουν Interfaces σε περισσότερες από μία Areas. Συντηρούν ξεχωριστή Link State Database για κάθε Area στην οποία ανήκουν. Οι routers αυτοί είναι υπεύθυνοι για την μεταφορά πληροφορίας ανάμεσα σε διαφορετικές Areas.

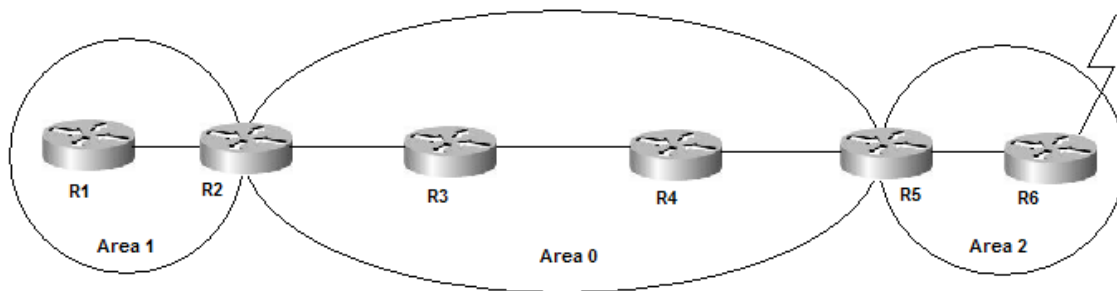
Autonomous System Boundary Routers (ASBRs): Είναι οι routers που ανταλλάσσουν routing πληροφορία με άλλα Αυτόνομα Συστήματα. Μεταφέρουν την εξωτερική routing πληροφορία μέσα σε ολόκληρο το Αυτόνομο Σύστημα. Οποιοσδήποτε router στο AS (internal Router, Area Border Router, Backbone Router) μπορεί να είναι και AS Boundary Router.

Στους παραπάνω ρόλους υπάρχει επικάλυψη. Εκτός από την επικάλυψη που αναφέρθηκε στους AS Boundary Routers μπορούν να υπάρχουν και οι παρακάτω συνδυασμοί:

Ένας Backbone Router μπορεί να είναι και Internal Router .

Ένας Backbone Router μπορεί να είναι και Area Border Router .

Γενικά οι μόνοι ρόλοι που δεν έχουν επικάλυψη είναι του Internal Router και του Area Border Router. Ένας router η θα είναι Internal ή Area Border.



Σχήμα 4-2 OSPF Areas.

Στο παραπάνω παράδειγμα (Σχήμα 4-2) η κατηγοριοποίηση των routers έχει ως εξής:

Router R1: Internal Router.

Router R2: Area Border Router και Backbone Router.

Router R3: Internal Router και Backbone Router.

Router R4: Internal Router και Backbone Router.

Router R5: Area Border Router και Backbone Router.

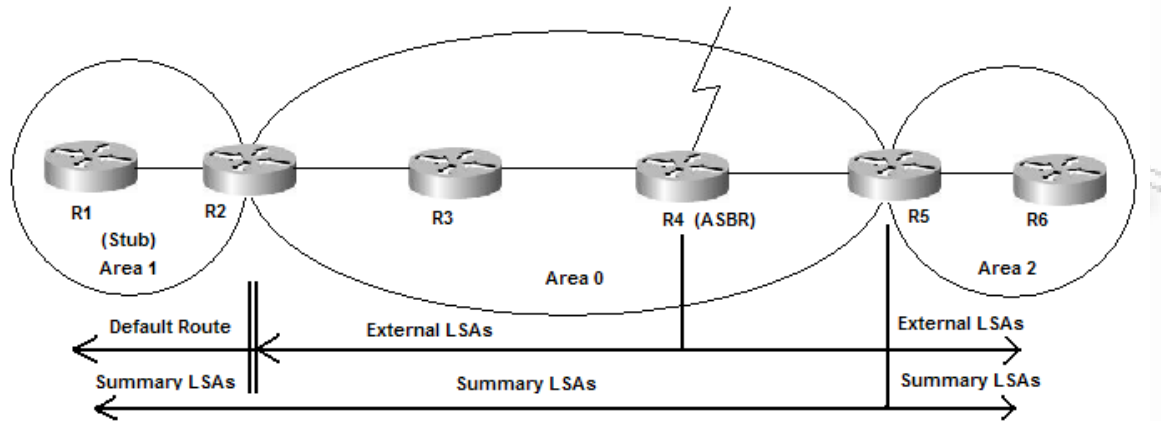
Router R6: Internal Router και Autonomous System Boundary Router.

Κάποιες φορές οι non Backbone Areas έχουν και κάποιες ειδικές ιδιότητες οπότε μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

Stub Areas: Είναι Areas στις οποίες τα AS external advertisements δεν χρειάζεται να μεταδίδονται. Στην περίπτωση όπου υπάρχουν στην Link State Database πολλά AS external advertisements (LSAs Type 5) και υπάρχει ένας Area Border Router δεν έχει νόημα να έχουμε τόση external routing πληροφορία. Το path θα είναι πάντα μέσω του Area Border Router.

Έτσι στις Stub Areas επιτυγχάνουμε μείωση του μεγέθους της Link State Database επομένως και μείωση των απαιτήσεων μνήμης και επεξεργαστικής ισχύος των internal routers της stub area.

Όταν ένας Area Border Router συνδέεται με μια Stub Area, τότε αυτόματα αντί να στέλνει όλα τα external routes δεν στέλνει παρά ένα Default Route. Έτσι δίνει στους routers της Stub Area πρόσβαση στους εξωτερικούς προορισμούς.



Σχήμα 4-3 Stub Area

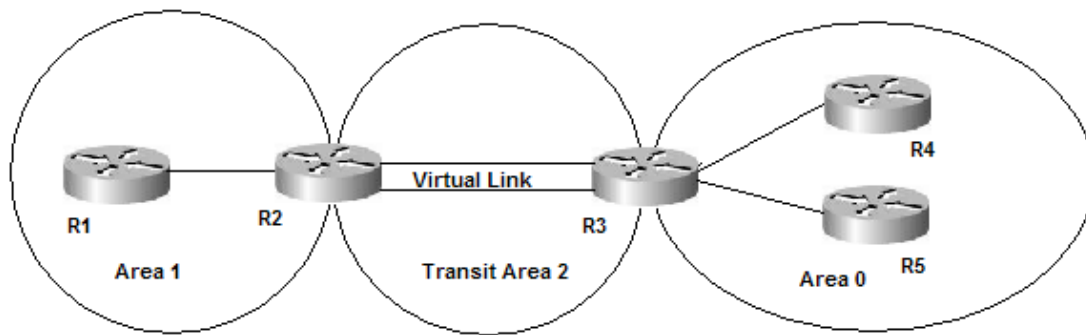
Μια Stub Area υπόκειται στους παρακάτω περιορισμούς:

1. Δεν μπορεί να δημιουργηθεί virtual link μέσω αυτής (λογικό γιατί σε αυτήν την περίπτωση θα ήταν Transit Area).
2. Δεν μπορεί να περιέχει κανέναν AS Boundary Router.

Not-So-Stubby Areas: Σε αντίθεση με την Stub Area που δεν επιτρέπει external routes μια Not-So-Stubby Area (NSSA) επιτρέπει external routes από κάποιον ASBR που βρίσκεται εντός της Area. Τα external routes αυτά μπορούν να αποσταλούν σε άλλες Areas. Απαγορεύονται όμως External routes από άλλες Areas.

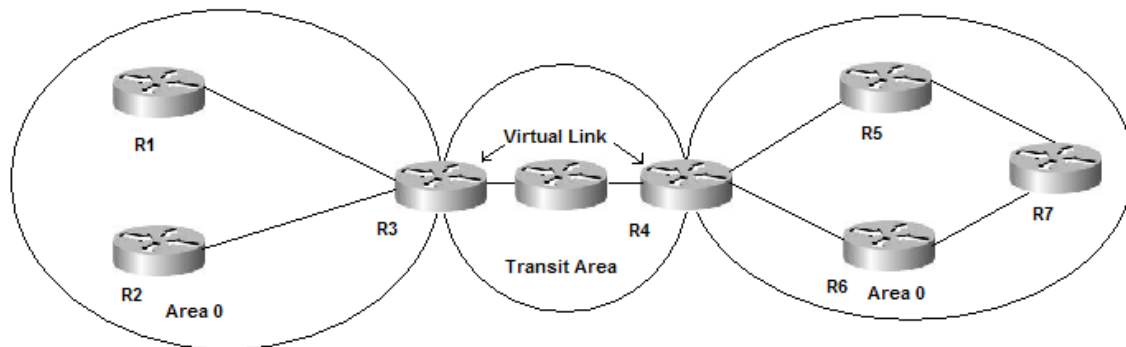
Transit Areas: Οι Transit Areas χρησιμοποιούνται για να συνδέουν άλλες Areas στο backbone. Ο κανόνας είναι ότι όλες οι Areas πρέπει να συνδέονται στην Backbone Area. Αν για κάποιο λόγο πχ τοπολογίας ή απώλειας σύνδεσης μια Area δεν τηρεί αυτήν την προϋπόθεση τότε για να μην αποκοπεί συνδέεται στην Backbone Area μέσω μιας Transit Area.

Παρακάτω (Σχήμα 4-4) η Transit Area 2 χρησιμοποιείται για να συνδέει την Area 1 στην Backbone Area. Ανάμεσα στον Router R2 και R3 υπάρχει ένα Virtual Link.



Σχήμα 4-4 Transit Area

Επίσης χρησιμοποιείται στην αποκατάσταση επικοινωνίας όταν διακοπεί η συνέχεια της Backbone Area (Σχήμα 4-5). Σε όλες τις περιπτώσεις εκτός από την δημιουργία της Transit Area πρέπει να δημιουργήσουμε και ένα virtual link για να αποκατασταθεί η σύνδεση.



Σχήμα 4-5 Αποκατάσταση Broken Backbone

Η Transit Area χρησιμοποιείται μόνο για αυτούς τους σκοπούς. Δεν μπορεί να χρησιμοποιείται σαν αποστολέας ή παραλήπτης πληροφορίας.

4.6 Γενική περιγραφή του πακέτου OSPF

Το OSPF «τρέχει» πάνω από IP (protocol number 89). Καθότι στην πλειονότητα των περιπτώσεων τα OSPF πακέτα ανταλλάσσονται μεταξύ neighboring routers έχουν TTL=1. Αυτό παρέχει προστασία από επαναπροώθηση πακέτων από προβληματικούς routers. Η διεύθυνση προορισμού είτε είναι η συγκεκριμένη unicast IP Address ενός neighboring router είτε μία από τις παρακάτω δύο multicast Addresses:

- **AllSPFRouters (224.0.0.5)**

Όλοι οι routers που τρέχουν OSPF ακούν σε αυτήν την διεύθυνση. Τα OSPF Hello packets αποστέλλονται σε αυτή όπως επίσης και άλλα OSPF πακέτα κατά την διάρκεια του flooding.

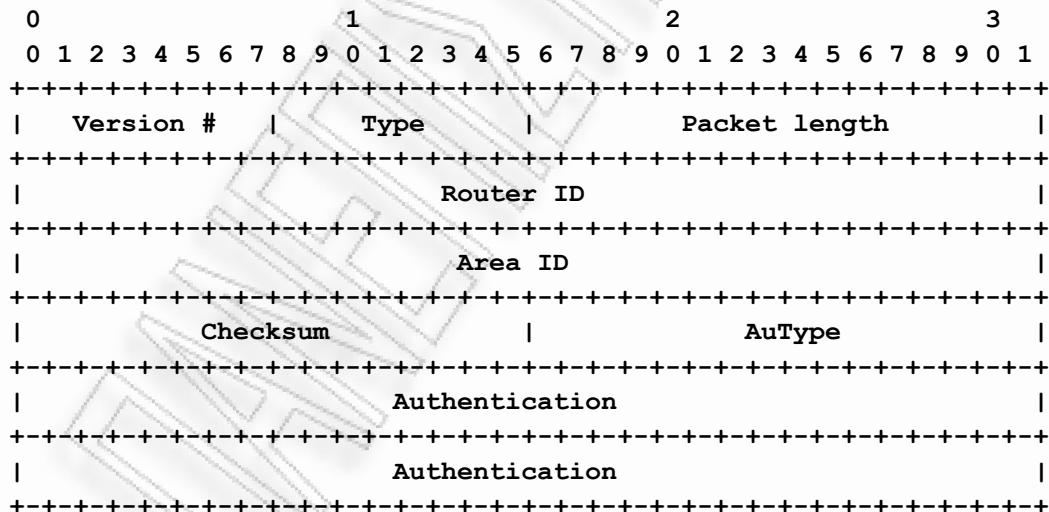
- **AllDRouters (224.0.0.6)**

Ο Designated Router και ο Backup Designated Router λαμβάνουν πακέτα που προορίζονται για αυτήν την διεύθυνση. Επίσης κάποια OSPF πακέτα αποστέλλονται σε αυτήν την διεύθυνση κατά την διάρκεια του flooding.

Ο ρόλος τους θα αναλυθεί περισσότερο σε επόμενη παράγραφο. Το fragmentation είναι δυνατόν να αποφευχθεί αν το φροντίζει η συγκεκριμένη υλοποίηση του OSPF αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί και να είναι αναπόφευκτο (πολλοί neighboring routers ή μεγάλο LSA packet).

Τα πακέτα OSPF αποστέλλονται με TOS (Type Of Service) 0 αλλά με το πεδίο IP Precedence να έχει την τιμή “internetwork control” σε μια προσπάθεια να έχουν προτεραιότητα. Βέβαια, στην πράξη σπάνια επιτυγχάνεται.

Τα πακέτα OSPF ξεκινάνε με τον παρακάτω header μήκους 24 bytes:



Ο header αυτός περιέχει τα παρακάτω πεδία:

Version: Είναι η version του OSPF protocol. Η πλέον συνηθισμένη (και η μόνη που μπορεί να υποστηρίξει το κλασσικό IP version 4) είναι η 2.

Type: Ο τύπος του OSPF πακέτου. Τα πακέτα ανήκουν στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Hello Packets (Type 1).

Χρησιμοποιούνται στην εύρεση των γειτόνων (Neighboring Routers) και στην δημιουργία adjacencies μεταξύ τους.

2. Database Description (DBD) Packets (Type 2).

Χρησιμοποιούνται για τον συγχρονισμό της Link State Database μεταξύ των routers.

3. Link State Requests (LSR) Packets (Type 3).

Χρησιμοποιούνται για αίτηση αποστολής συγκεκριμένων Link State εγγραφών από router σε router.

4. Link State Updates (LSU) Packets (Type 4).

Χρησιμοποιούνται για την αποστολή συγκεκριμένων Link State εγγραφών από router σε router κατόπιν προηγούμενου αιτήματος (LSR).

5. Link State Acknowledgements Packets (Type 5).

Χρησιμοποιούνται για επιβεβαίωση λήψης OSPF πακέτων.

Router Id: Είναι το OSPF Router id που χαρακτηρίζει μοναδικά τον αποστολέα για να μπορεί να τον προσδιορίζει ο παραλήπτης. Έχει μήκος 32 bits.

OSPF Area id: Αντιστοιχεί το πακέτο σε συγκεκριμένη OSPF Area. Έχει μήκος 32 bits.

Packet length: Είναι το μήκος του πακέτου OSPF σε bytes (περιλαμβανομένου του header).

Checksum: Προστατεύει το OSPF πακέτο από αλλοιώσεις. Αν ο παραλήπτης διαπιστώσει πρόβλημα αγνοεί το πακέτο.

Autype, Authentication: Τα παραπάνω δύο πεδία παρέχουν προαιρετικά την δυνατότητα για authentication. Με το authentication υπάρχει η εξασφάλιση ότι το συγκεκριμένο πακέτο προέρχεται πράγματι από τον router με το συγκεκριμένο OSPF Router id και ότι δεν έχει αλλοιωθεί. Η αλλοίωση θα μπορούσε να είναι είτε κακόβουλη ενέργεια είτε λάθος στο configuration.

4.7 OSPF Hello Protocol

Οι Routers για να ανταλλάξουν πληροφορία με τους γειτονικούς τους πρέπει πρώτα να τους ανακαλύψουν και να σχηματίσουν και να συντηρούν Adjacencies. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το OSPF Hello Protocol. Τα OSPF Hello Packets αποστέλλονται στην Multicast Address AllSPFRouters (224.0.0.5).

Η αποστολή και η λήψη OSPF Hello Packets βοηθά όχι μόνο στο να ανακαλύπτονται οι Neighboring Routers αλλά και να εντοπίζονται τυχόν αποτυχίες. Έτσι OSPF Hello Packets αποστέλλονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (HelloInterval) που ρυθμίζονται ανά Router. Αν ένας Router δεν λάβει OSPF Hello Packets για κάποιον γειτονικό router μέσα σε κάποιο (επίσης ρυθμίσιμο) χρονικό διάστημα (RouterDeadInterval), τότε θεωρεί ότι ο συγκεκριμένος router είναι εκτός λειτουργίας και επομένως προσπαθεί να βρει εναλλακτικές διαδρομές για όσους προορισμούς είχαν τον συγκεκριμένο router σαν default gateway.

Η επιλογή του RouterDeadInterval είναι πολύ σημαντική για την σύγκλιση (Convergence) του δικτύου καθώς το flooding που ακολουθεί (για να ενημερωθούν για την αποτυχία οι υπόλοιποι routers) δεν παίρνει πολύ χρόνο.

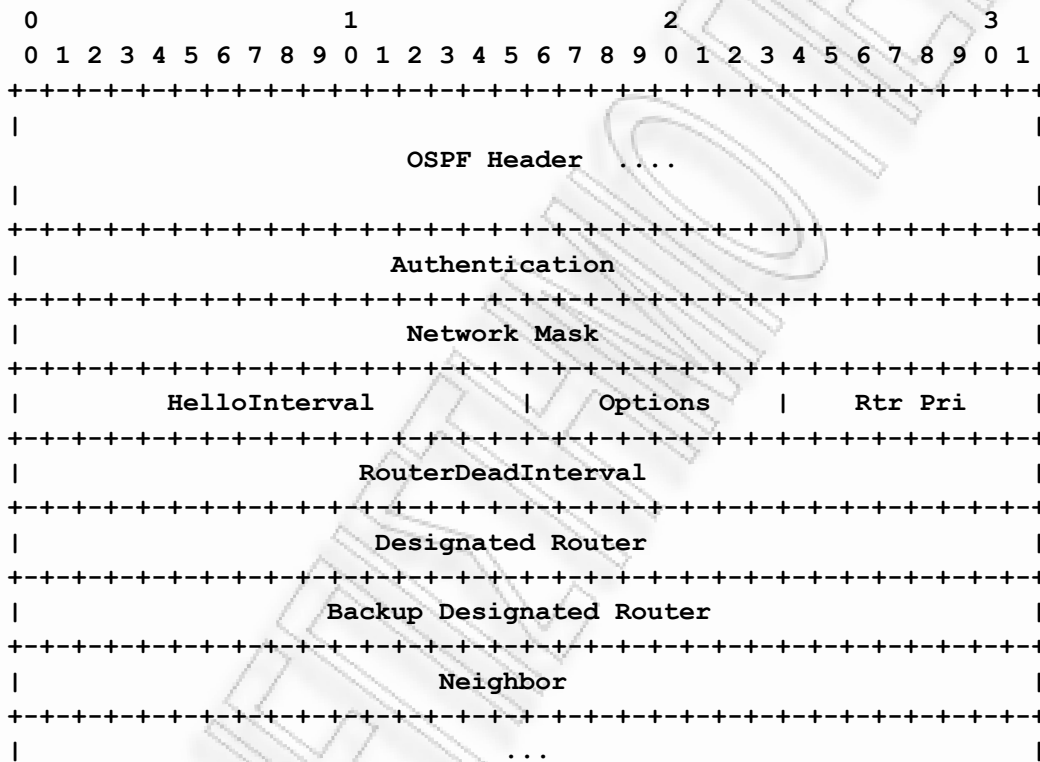
Επιπλέον, το OSPF Hello Protocol έχει και επιπρόσθετη λειτουργικότητα όπως την εξασφάλιση ότι το link ανάμεσα σε neighboring routers είναι bi-directional. Αυτό μας εξασφαλίζει ότι δεν θα χαθούν πακέτα αν προωθηθούν σε κάποιον neighboring router .

Η μέθοδος που επιτυγχάνεται αυτό είναι η ακόλουθη. Όταν ένας router στέλνει OSPF Hello Packets συμπεριλαμβάνει το Router id του. Όταν το λάβει κάποιος neighboring router τότε το αποθηκεύει σε ένα table και απαντάει στέλνοντας τα router ids όλων των γειτόνων του συμπεριλαμβάνοντας και το αρχικό router id. Έτσι ο αρχικός router βλέπει το δικό του router id στην απάντηση του γειτονικού router και εξασφαλίζει ότι το link λειτουργεί και προς τις δύο κατευθύνσεις. Ακόμα, το OPSF Hello Protocol μεταφέρει και κάποια flags για την διαπραγμάτευση κάποιων προαιρετικών χαρακτηριστικών.

Απαραίτητες προϋποθέσεις για να χαρακτηριστούν δύο routers σαν neighboring routers είναι να συμφωνούν:

1. Στην τιμή του HelloInterval.
2. Στην τιμή του RouterDeadInterval.
3. Στο Area Id.
4. Αν χρησιμοποιείται authentication στο authentication password.
5. Σε κάποια options πχ στο Stub Area flag.

Το OSPF Hello Packet απεικονίζεται παρακάτω:



Network mask: Η network mask που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο interface.

Options: Προαιρετικές δυνατότητες του router πχ stub.

HelloInterval: Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα στα Hello packets.

Rtr Pri: Η προτεραιότητα του Router. Χρησιμοποιείται για την επιλογή του Designated Router (DR) και του Backup Designated Router (BDR) (περισσότερα για αυτό το θέμα σε επόμενη παράγραφο).

RouterDeadInterval: Ο χρόνος (σε δευτερόλεπτα) που αν μεσολαβήσει χωρίς λήψη Hello Packet από κάποιον Neighboring Router αυτός δηλώνεται Down.

Designated Router: Η IP Address του Designated Router (DR) για αυτό το network, από την οπτική γωνία του αποστολέα. Χρησιμοποιείται στην εκλογή του DR. Τιμή 0.0.0.0 σημαίνει απουσία Designated Router.

Backup Designated Router: Η IP Address του Backup Designated Router (BDR) για αυτό το network, από την οπτική γωνία του αποστολέα. Χρησιμοποιείται στην εκλογή του BDR. Τιμή 0.0.0.0 σημαίνει απουσία Backup Designated Router.

Neighbor: Τα Router IDs όλων των routers από τους οποίους έχουν παραληφθεί πρόσφατα Hello Packets. Με τον όρο «πρόσφατα» εννοείται νωρίτερα από το χρονικό διάστημα RouterDeadInterval (σε δευτερόλεπτα).

Το OSPF Hello protocol θα συζητηθεί και στις 3 παραγράφους που ακολουθούν.

4.8 OSPF Router Id

Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως το Router Id είναι ένας αριθμός μήκους 32 bit που προσδιορίζει μοναδικά μέσα σε ένα αυτόνομο σύστημα κάθε router που τρέχει OSPF. Δεν υπάρχει τυποποιημένος τρόπος επιλογής του Router ID και επαφίεται στην συγκεκριμένη υλοποίηση του OSPF.

Μια μέθοδος είναι να επιλέγεται η μεγαλύτερη ή η μικρότερη IP Address των ενεργών interfaces ενός Router. Βέβαια τα interfaces μπορεί να αλλάζουν κατάσταση. Πιο σταθερό είναι να χρησιμοποιούνται αν υπάρχουν loopback interfaces που να έχουν προτεραιότητα από τα φυσικά interfaces. Εναλλακτικά το Router ID μπορεί να ρυθμίζεται χειροκίνητα ανά Router.

Πχ έστω ένας router με δύο interfaces ένα σειριακό (πχ S0) με IP Address 192.168.10.1 και ένα Ethernet (πχ E0) με διεύθυνση 172.16.1.1. Τότε, με την σύμβαση να χρησιμοποιείται η μεγαλύτερη IP Address, το router id του θα ήταν 192.168.10.1. Αν όμως στα παραπάνω interfaces προστίθεντο σαν ενεργά ένα loopback (πχ Lo0) με διεύθυνση 10.10.10.1 και ένα loopback (πχ Lo1) με IP Address 1.1.1.1 τότε το router id του θα ήταν 10.10.10.1.

4.9 OSPF Broadcast Networks

Για την ανταλλαγή routing πληροφορίας ένας router πρέπει πρώτα να ανακαλύψει τους γειτονικούς του (neighboring routers). Αν όμως κάθε router έπρεπε να επικοινωνεί με όλους τους γείτονές του σε ένα broadcast περιβάλλον τότε ο φόρτος του δικτύου θα ήταν μεγάλος. Με N routers θα ήταν $O(N^2)$.

Κάτι τέτοιο δεν θα ήταν πρακτικό στην αποστολή κάποιων OSPF πακέτων που μεταδίδονται με unicast. Για να απλοποιηθεί αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται ο Designated Router (DR). Για λόγους backup χρησιμοποιείται και Backup Designated Router (BDR) που τον αντικαθιστά σε περίπτωση αποτυχίας.

Ο Designated Router προσφέρει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

1. Ελαττώνει τον φόρτο δικτύου από routing updates.

Αντί όλοι οι routers του broadcast segment να δημιουργούν adjacencies και να ανταλλάσσουν LSAs μεταξύ τους και να δημιουργούν υπερβολικό φόρτο στο δίκτυο, στέλνουν όλη την routing πληροφορία στους DR και BDR. Ο DR αναλαμβάνει με την σειρά του να στείλει όλη την πληροφορία σε όλους τους υπόλοιπους routers του broadcast network.

2. Διαχειρίζεται τον συγχρονισμό της Link State Database.

Αφού ο DR στέλνει την routing πληροφορία σε όλους τους υπόλοιπους routers του broadcast network εξασφαλίζεται ότι όλοι θα λάβουν την ίδια ακριβώς πληροφορία.

Για να επιλεγούν οι DR και BDR εκτελείται μια election διαδικασία από το OSPF Hello Protocol. Σε κάθε router αναθέτουμε μια προτεραιότητα ανάλογα με το αν πρέπει να του ανατεθεί ο ρόλος ή όχι. Τα μηνύματα Hello στέλνονται στην διεύθυνση AllSPFRouters (224.0.0.5). Κάθε Router «διαφημίζει» τον εαυτό του δίνοντας έτσι την δυνατότητα ανακάλυψης όλων των neighboring routers. Ο αλγόριθμος επιλογής είναι ο εξής:

- Ο Router με την υψηλότερη προτεραιότητα γίνεται DR.
- Ο Router με την δεύτερη υψηλότερη προτεραιότητα γίνεται BDR.
- Αν δύο ή περισσότεροι routers έχουν την ίδια προτεραιότητα τότε υπερτερεί ο router με το μεγαλύτερο (και το δεύτερο μεγαλύτερο) router id.

- Router με προτεραιότητα 0 δεν γίνεται ποτέ DR η BDR.
- Αν προστεθεί στο δίκτυο κάποιος router με υψηλότερη προτεραιότητα δεν αλλάζουν οι DR και BDR. Μόνο αν κάποιος από αυτούς πέσει ξεκινάει election.



Σχήμα 4-6 Broadcast Network

Έτσι έστω στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 4-6) ότι για τους 4 routers ισχύουν τα εξής:

Router R1: Priority 10, OSPF Router Id = 192.168.10.1

Router R2: Priority 20

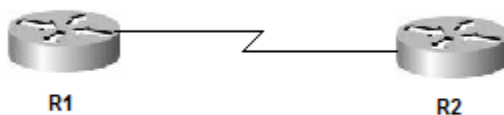
Router R3: Priority 10, OSPF Router Id = 10.10.10.1

Router R4: Priority 0

Τότε DR γίνεται ο R2 (έχει την μεγαλύτερη προτεραιότητα) και BDR γίνεται ο R1 (έχει την δεύτερη μεγαλύτερη προτεραιότητα που είναι ίση με την προτεραιότητα του R3 αλλά έχει μεγαλύτερο Router Id). Ο Router R4 δεν γίνεται ποτέ DR η BDR αφού έχει προτεραιότητα 0.

4.10 OSPF Point-to-Point Networks

Στα point-to-point networks δύο routers (Σχήμα 4-7) συνδέονται μεταξύ τους με μια σειριακή γραμμή. Οι routers ανακαλύπτουν ο ένας τον άλλο στέλνοντας OSPF Hello packets στην διεύθυνση AllSPFRouters (224.0.0.5). Δημιουργείται adjacency μεταξύ τους και δεν συντρέχει λόγος ύπαρξης DR και BDR.



Σχήμα 4-7 Point-to-Point Network

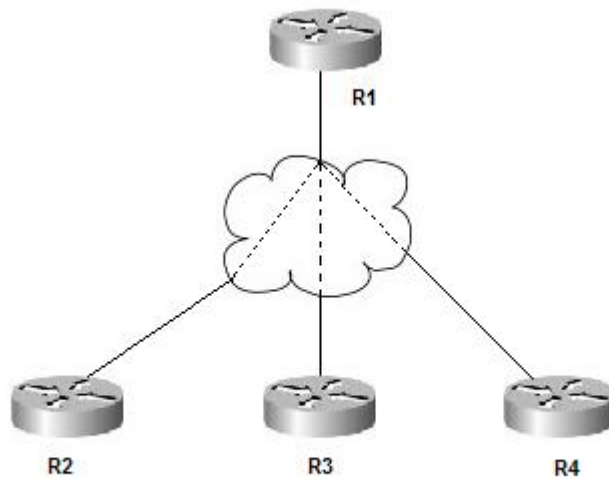
4.11 OSPF Non Broadcast Multi Access (NBMA) Networks

Στα Non Broadcast Multi Access (NBMA) Networks περισσότεροι από δύο routers συνδέονται μεταξύ τους αλλά δεν έχουν broadcast δυνατότητες. Αυτό σημαίνει ότι οι routers δεν μπορούν να λάβουν broadcasts και multicasts από άλλους routers. Non Broadcast Multi Access (NBMA) Networks μπορεί να είναι τα Frame Relay, τα X25 και τα ATM δίκτυα.

Οι τοπολογίες αυτών των δικτύων είναι οι εξής:

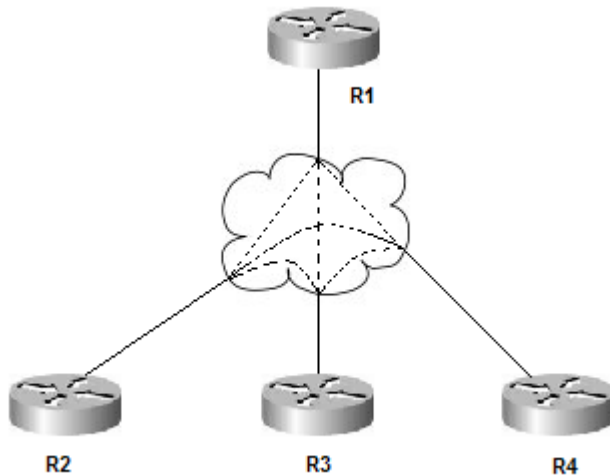
Star: Είναι τοπολογίες hub-and-spoke. Σε αυτήν την τοπολογία (Σχήμα 4-8) remote sites (spokes) συνδέονται σε ένα κεντρικό (hub). Είναι η πιο οικονομική τοπολογία γιατί απαιτεί τον ελάχιστο δυνατό αριθμό PVCs (Permanent Virtual Circuits). Όμως έχει και μειονεκτήματα:

- Το Hub Site είναι Single Point of Failure.
- Η επικοινωνία των spoke routers απαιτεί 2 hops (μέσω του Hub)



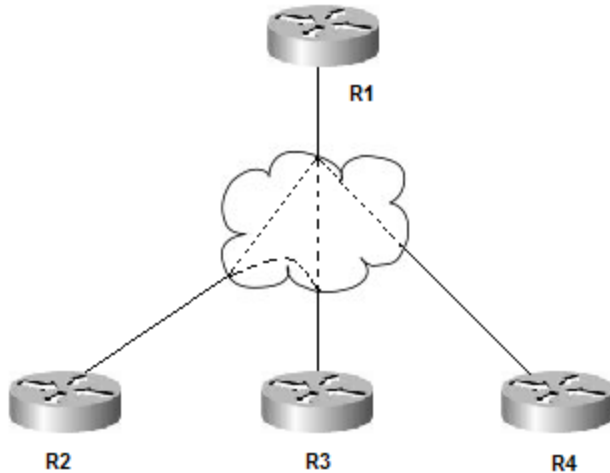
Σχήμα 4-8 Hub-and-Spoke

Full Mesh: Σε αυτήν την τοπολογία (Σχήμα 4-9) κάθε router συνδέεται με όλους τους άλλους routers με PVCs. Η τοπολογία αυτή λύνει τα παραπάνω δύο προβλήματα της Star τοπολογίας αφού όλοι οι routers έχουν απευθείας σύνδεση μεταξύ τους και υπάρχει redundancy. Όμως όταν αυξάνεται ο αριθμός των routers, γίνεται πολύ ακριβή καθώς ο απαιτούμενος αριθμός των συνδέσεων για N routers είναι $N*(N-1)/2$.



Σχήμα 4-9 Full Mesh

Partial Mesh: Η τοπολογία αυτή συνδυάζει τις δύο προηγούμενες. Κάποιοι κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους με τοπολογία Full Mesh, κάποιοι με Star και υπάρχουν και ενδιάμεσες καταστάσεις. Η φιλοσοφία είναι να υπάρχει οικονομία στον αριθμό των συνδέσεων ενώ ταυτόχρονα να υπάρχει και redundancy για τους πιο σημαντικούς κόμβους.



Σχήμα 4-10 Partial Mesh

Στα Non Broadcast Multi Access (NBMA) Networks η εκλογή του DR και του BDR δεν είναι πάντα εφικτό να γίνεται αυτόματα.

Μόνο στα Full Mesh NBMA Networks όλοι οι routers μπορούν να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους.

Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις η εκλογή του DR και του BDR είναι πρόβλημα αφού απαιτείται φυσική σύνδεση μεταξύ όλων των routers στο NBMA Network.

Ο λόγος είναι ότι τα Non Broadcast Multi Access (NBMA) Networks αντιμετωπίζονται από το OSPF σαν Broadcast Networks. Εφ' όσον υπάρχουν σε ένα network segment πολλοί routers συνδεδεμένοι χρειάζεται να υπάρχει DR και BDR. Όμως τα δίκτυα αυτά δεν έχουν δυνατότητα broadcast (και multicast) ώστε να τρέξουν όλες οι διεργασίες του OSPF Hello Protocol και να εκλεγούν DR και BDR.

Οπότε, είναι ανάγκη στους Routers που επιθυμούμε να γίνουν DR και BDR να δηλώνουμε όλους τους άλλους neighboring routers ώστε να σχηματιστούν adjacencies. Και φυσικά πρέπει να ρυθμίζουμε τις προτεραιότητες ανάλογα. Τα Hello Packets στέλνονται σαν unicasts στους συγκεκριμένους routers. Πολλές φορές ένα Hello Packet αποστέλλεται περιοδικά και άλλες σαν απάντηση σε Hello Packet. Πιο συγκεκριμένα, οι Routers που επιθυμούμε να γίνουν DR η BDR στέλνουν τα περιοδικά Hello Packets στους neighbors και εκείνοι απαντούν.

Σε μια NBMA τοπολογία το OSPF λειτουργεί με έναν από τους παρακάτω δύο τρόπους:

1. Non Broadcast Multi Access (NBMA)

Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας εξομοιώνεται η λειτουργία του OSPF σε ένα broadcast network. Η δήλωση των neighbors που αναφέρθηκε παραπάνω είναι απαραίτητη. Για την εξομοίωση του broadcasting τα αποστέλλόμενα πακέτα γίνονται replicate. Ο τρόπος αυτός λειτουργίας συναντάται κυρίως σε Full Mesh τοπολογίες.

2. Point-to-Multipoint

Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας το OSPF αντιμετωπίζει το NBMA Network σαν ένα σύνολο από Point-to-Point links. Οι routers ανακαλύπτουν τους γείτονές τους αλλά δεν χρειάζεται να γίνει εκλογή DR και BDR. Ο τρόπος αυτός λειτουργίας συναντάται κυρίως σε Partial Mesh (και Hub-and-Spoke) τοπολογίες.

4.12 OSPF Adjacencies

Οι Neighboring Routers δημιουργούν adjacencies με στόχο την ανταλλαγή routing πληροφορίας. Οι routers που γίνονται adjacent θα έχουν τελικά και την ίδια Link State Database. Η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται μετά από διάφορα στάδια τα οποία είναι:

Down: Δεν έχει γίνει ακόμα καμία ανταλλαγή πληροφορίας με άλλον router.

Attempt: Το στάδιο αυτό αφορά μόνο τα Non Broadcast Multi Access (NBMA) Networks (Frame Relay, X.25) και σημαίνει ότι δεν έχει ληφθεί πρόσφατα κάποια πληροφορία και ότι θα πρέπει να γίνει μια προσπάθεια επικοινωνίας με αποστολή Hello πακέτων με ρυθμό PollInterval.

Init: Έχει παραληφθεί Hello packet από κάποιον neighbor αλλά ακόμα δεν έχει υπάρξει επικοινωνία και από τις δύο κατευθύνσεις.

Two-way: Έχει υπάρξει επικοινωνία και από τις δύο κατευθύνσεις με έναν neighboring router (Έχει δει τον εαυτό του σε Hello packets που έχει λάβει από Neighboring Router).

Από εδώ και μετά η συνέχεια εξαρτάται από το είδος του δικτύου. Σε ένα Broadcast Network εκλέγονται DR and BDR και ανάλογα αν κάποιος από τους συμμετέχοντες routers ανήκει σε αυτήν την κατηγορία συνεχίζεται η ανταλλαγή μηνυμάτων με στόχο τη δημιουργία adjacency. Διαφορετικά οι routers παραμένουν σε αυτήν την κατάσταση. Το ίδιο ισχύει και για τα NBMA networks με την διαφορά ότι η εκλογή DR και BDR δεν είναι αυτόματη. Σε ένα Point-to-Point network (ή virtual link) οι routers θα προχωρήσουν στην ανταλλαγή μηνυμάτων για να δημιουργήσουν adjacency χωρίς να χρειαστεί εκλογή DR και BDR.

Exstart: Οι routers δημιουργούν ένα αρχικό sequence number που θα εξασφαλίσει ότι θα λαμβάνουν την πιο ενημερωμένη πληροφορία. Σε αυτό το στάδιο ένας router γίνεται primary και ο άλλος secondary. Ο primary ξεκινάει στέλνοντας στον secondary αίτηση για πληροφορία.

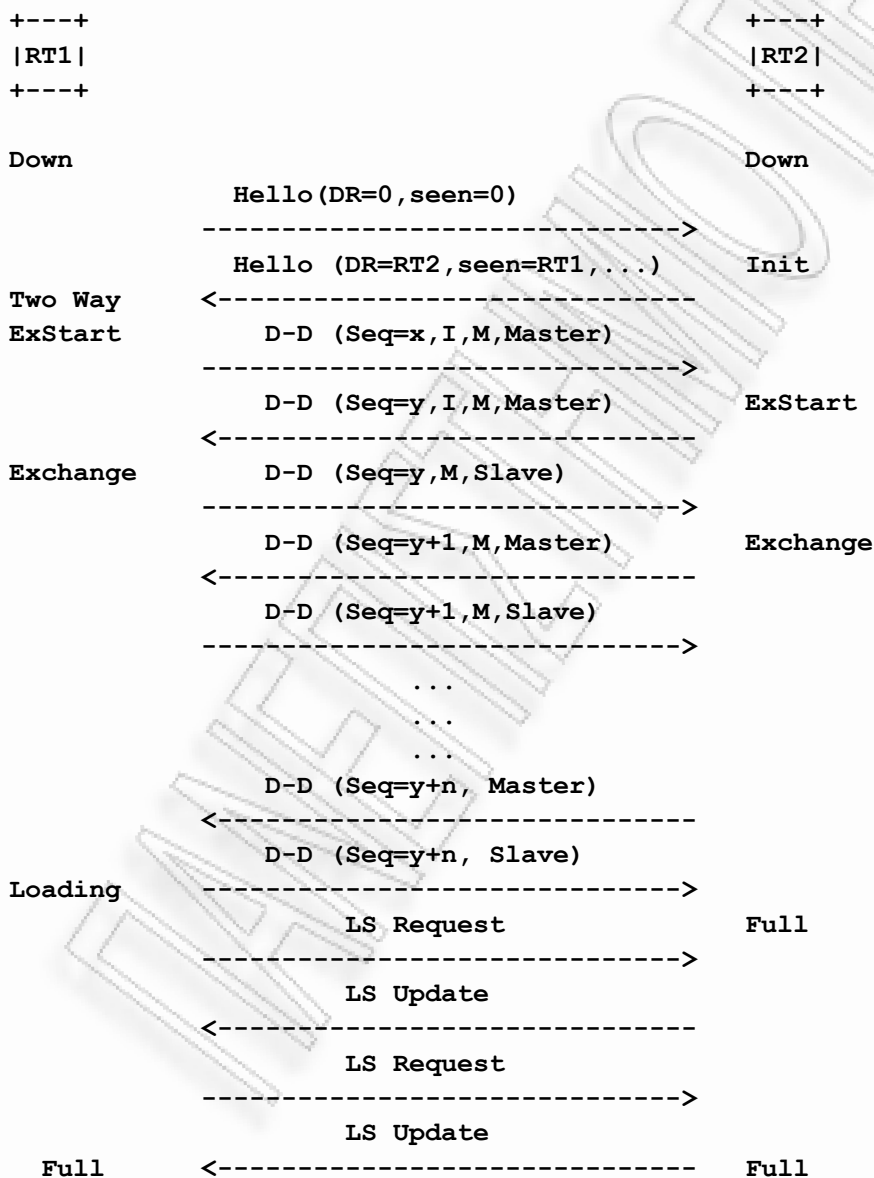
Exchange: Σε αυτό το στάδιο οι routers περιγράφουν ολόκληρη την Link State Database στέλνοντας Database Description Packets. Από δω και στο εξής επιτρέπεται να ξεκινήσει το flooding των πακέτων.

Loading: Σε αυτό το στάδιο οι routers ολοκληρώνουν την ανταλλαγή πληροφοριών έχοντας δημιουργήσει μια link-state request list και μια link-state retransmission list.

Πληροφορία για links που είναι ημιτελής ή έχει λήξει προστίθεται στην request list. Οποιαδήποτε ενημέρωση που αποστέλλεται τοποθετείται στην retransmission list μέχρι να γίνει acknowledged (δηλαδή να επαληθευτεί η λήψη του).

Full: Σε αυτό το στάδιο έχει δημιουργηθεί adjacency ανάμεσα στους εμπλεκόμενους Neighboring Routers που θεωρούνται fully adjacent και έχουν πανομοιότυπη Link State Database.

Παρακάτω απεικονίζεται η ακολουθία μηνυμάτων και καταστάσεων που οδηγούν από την **Down** State στην **Full**.



4.13 Multi-Area OSPF

Μέχρι στιγμής έχει γίνει αναφορά στις OSPF Areas αλλά δεν έχει συζητηθεί η βέλτιστη τακτική διευθυνσιοδότησης των Areas καθώς και η μεταφορά πληροφορίας από Area σε Area που θα επιφέρει τον ελάχιστο φόρτο τόσο του δικτύου όσο και των δικτυακών συσκευών. Αυτά θα συζητηθούν στις προτεινόμενες λύσεις των προβλημάτων που ακολουθούν.

4.13.1 Πρόβλημα: Broken Backbone

Το συγκεκριμένο πρόβλημα και η λύση του έχουν αναφερθεί αναλυτικά στην παράγραφο 4.5. Αναφέρεται για λόγους πληρότητας.

4.13.2 Πρόβλημα: Συχνός υπολογισμός του Shortest Path

Όταν ο αριθμός των routers σε ένα δίκτυο αυξάνει, αυτό σημαίνει και αυξημένο αριθμό από links επομένως και αυξημένη πιθανότητα μεταβολής. Κάθε μεταβολή της κατάστασης ενός ή περισσότερων links προκαλεί και flooding των LSAs. Μεγαλύτερο δίκτυο σημαίνει και μεγαλύτερο αριθμό από network segments τα οποία μπορούν να φορτωθούν από το flooding. Όλα αυτά συνεπάγονται μεγαλύτερο bandwidth overhead. Όμως, ένα πολύ σοβαρό θέμα είναι ότι τέτοιες αλλαγές προκαλούν αλλαγή της Link State Database με επακόλουθο, την ανάγκη επανυπολογισμού του Shortest Path Tree (απαραίτητου για την δημιουργία και ενημέρωση του routing table). Αυτό με την σειρά του προκαλεί σημαντική αύξηση της χρήσης CPU με ότι αυτό συνεπάγεται. Αν μάλιστα ο router λαμβάνει LSAs πολύ συχνά τότε αυτό καταντάει σοβαρό.

4.13.3 Πρόβλημα: Μεγάλο Routing Table

Πολλοί routers συνεπάγονται μεγάλο δίκτυο επομένως και μεγάλο αριθμό από network segments άρα και μεγάλο Routing Table. Αυτό σημαίνει κατανάλωση μνήμης αλλά και κάποια (έστω μικρή) καθυστέρηση στην προώθηση των πακέτων (αφού πρέπει οι προορισμοί να αναζητούνται στο Routing Table) .

4.13.4 Πρόβλημα: Μεγάλο Link State Database

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, μεγάλο δίκτυο σημαίνει και μεγάλη Link State Database εφόσον σε αυτήν φυλάσσονται πληροφορίες για όλα τα links όλων των routers του δικτύου. Επομένως η κατανάλωση μνήμης στους Routers είναι μεγάλη.

4.13.5 Λύση: Ιεραρχικό routing με Summarization

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων το OSPF επιτρέπει τον καταμερισμό του Αυτόνομου Συστήματος σε μικρότερα τμήματα, τις Areas. Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω αρκετές φορές, μόνο οι routers που ανήκουν στην ίδια Area είναι υποχρεωμένοι να έχουν πανομοιότυπη Link State Database. Βέβαια, οι Area Border Routers (ABRs) πρέπει να έχουν πληροφορίες για όλες τις Areas που συνδέουν. Όμως εφαρμόζοντας την τακτική οι ABRs να συνδέουν δύο, ή το πολύ τρεις Areas μεταξύ τους αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα.

Μέχρι στιγμής όμως, αν απλώς φροντίσουμε να προωθούνται από τους ABR όλες οι routing πληροφορίες δεν έχουμε πετύχει πλήρως τον στόχο μας. Γι' αυτό:

1. Είναι απαραίτητο να σχεδιάζουμε το Addressing της κάθε Area έτσι ώστε να τηρεί τους κανόνες του Summarization που αναφέρονται στην παράγραφο 2.5.
2. Κατόπιν, πρέπει να ρυθμίσουμε τους ABRs έτσι ώστε να κάνουν advertise μόνο την summarized routing πληροφορία από κάποια non Backbone Area στην Backbone Area.

Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε τα μικρότερα δυνατά Routing Tables και Link State Databases.

4.13.6 Λύση: Χρήση Stub Areas όπου είναι αυτό δυνατόν

Οι Stub Areas δεν δέχονται External Routing Updates (Type 5). Ο ABR που είναι συνδεδεμένος με μία Stub Area μπλοκάρει όλα τα External Route Updates και στέλνει απλώς ένα Default Route στους routers της Stub Area. Έτσι επιτυγχάνουμε μικρότερο Link State Database, μικρότερο Routing Table και μικρότερη κατανάλωση CPU. Όταν ισχύουν οι προϋποθέσεις για να είναι μια Area Stub (δηλαδή να μην είναι transit Area άρα να μην περνάνε virtual links από αυτήν και να μην περιλαμβάνει ASBR) είναι καλό να το επιδιώκουμε γιατί μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μικρότερης ισχύος και με λιγότερη μνήμη routers.

4.13.7 Λύση: External Route Summarization

Όταν υπάρχουν ένας ή περισσότεροι ASBRs στο Αυτόνομο Σύστημα τότε ενδέχεται να εισάγει πολλά external routes. Τα αρνητικά αποτελέσματα έχουν ήδη αναφερθεί. Η λύση είναι πάλι να υπάρξει πρόβλεψη ώστε να είναι δυνατόν το summarization.

4.13.8 Λύση: Χρήση Timers για περιορισμό του Overhead.

Στο OSPF χρησιμοποιούνται τα παρακάτω δύο timers σε μια προσπάθεια ελέγχου του flooding:

1. MinLSInterval

Είναι το ελάχιστο χρονικό διάστημα που πρέπει να μεσολαβήσει ανάμεσα σε δύο διαφορετικές αποστολές οποιουδήποτε LSA. Η τιμή του MinLSInterval είναι 5 δευτερόλεπτα.

2. MinLSArrival

Είναι ο ελάχιστος χρόνος που πρέπει να μεσολαβήσει ανάμεσα στη λήψη δύο instances ενός LSA κατά την διάρκεια του flooding. Τα LSA instances που λαμβάνονται με υψηλότερη συχνότητα διαγράφονται. Η τιμή του MinLSArrival είναι 1 δευτερόλεπτο.

Μία λύση που έχουν ακολουθήσει η CISCO, η Juniper και η HP για να περιοριστεί η υπερβολική κατανάλωση CPU είναι να μπουν περιορισμοί στο πόσο συχνά μπορεί να γίνεται ο υπολογισμός του Shortest Path.

Η φιλοσοφία είναι η εξής:

1. Χρησιμοποιείται timer για καθυστέρηση μεταξύ του χρόνου άφιξης ενός LSA και της έναρξης υπολογισμού του SPF. Αυτό προστατεύει τόσο από γρήγορα ups και downs του interface αλλά και δίνει την ευκαιρία άφιξης και άλλων LSAs επομένως γλυτώνουμε από περιττή χρήση CPU.
2. Χρησιμοποιείται timer που επιβάλλει μια ελάχιστη καθυστέρηση της εκτέλεσης του Shortest Path από την προηγούμενη.

4.14 Επεκτασιμότητα (Scalability)

Το πόσο scalable είναι ένα Routing Protocol είναι κάτι που δεν μπορεί να προσδιοριστεί με απόλυτη ακρίβεια. Όσον αφορά το OSPF είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων όπως:

- **Ο αριθμός των routers ανά Area και των links ανά router.**

Οι routes που ανήκουν σε μια Area έχουν την ίδια Link State Database που περιέχει Link State entries για όλα τα links όλων των routers. Περισσότεροι

routers ανά Area, αλλά και links ανά router σημαίνουν περισσότερα Link State entries, άρα και μεγαλύτερη Link State Database και περισσότερο χρόνο εκτέλεσης του αλγόριθμου του Dijkstra για να υπολογιστεί το Shortest Path. Τα παραπάνω έχουν σαν επακόλουθο αυξημένη κατανάλωση υπολογιστικής ισχύος και μνήμης.

- **Η σταθερότητα των links.**

Αν τα links ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται συχνά προκαλούν συχνή αποστολή πακέτων (flooding) για ενημέρωση όλων των routers της Area. Ταυτόχρονα αλλάζει συχνά το περιεχόμενο της Link State Database και επίσης καλείται συχνά ο Shortest Path First αλγόριθμος. Τα επακόλουθα είναι αυξημένη κατανάλωση υπολογιστικής ισχύος.

- **Η ισχύς και η μνήμη των routers.**

Ισχυρότεροι routers σημαίνουν και ταχύτερη εκτέλεση του αλγόριθμου του Dijkstra.

- **Η ταχύτητα του κάθε network segment.**

Γρηγορότερα network segments σημαίνουν ταχύτερη δημιουργία adjacencies, γρηγορότερο flooding και γρηγορότερη αποστολή LSAs άρα και σύγκλιση (convergence).

- **Η τοπολογία του κάθε network segment (Broadcast, Point-to-Point, Non-Broadcast).**

Το Point-to-Point network segment είναι το segment που επιφέρει το μικρότερο overhead. Το Non-Broadcast προκαλεί duplication των πακέτων για να εξομοιώσει το broadcasting και το Broadcast network απαιτεί DR και BDR election ακολουθούμενο από αποστολή LSAs.

- **Ο χωρισμός του Αυτόνομου Συστήματος σε Areas.**

Ο χωρισμός του Αυτόνομου Συστήματος σε Areas μικραίνει τον αριθμό των routers ανά Area, το μέγεθος της Link State Database ανά Router, τον χρόνο εκτέλεσης του Shortest Path Algorithm και (υπό προϋποθέσεις) το μέγεθος του Routing Table.

- **Το είδος των Areas.**

Οι Stub Areas δεν δέχονται external routes. Ο Area Border Router τα αντικαθιστά με ένα Default Route. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του μεγέθους της Link State Database, του χρόνου εκτέλεσης του Shortest Path για την δημιουργία του Routing Table και του μεγέθους του Routing Table. Αν μια Area δεν χρειάζεται να γίνει Transit (για να υποστηρίζει Virtual Links) και δεν χρειάζεται να συμπεριλαμβάνει Autonomous Systems Boundary Routers (ASBRs) τότε είναι καλή ιδέα να γίνεται Stub.

- **Το summarization στις Areas.**

Η σωστή σχεδίαση των Areas έτσι ώστε να επιτρέπει το summarization από την Area στο Backbone συντελεί στην μείωση του Link State Database με όλες τις θετικές συνέπειες που έχουν αναφερθεί παραπάνω.

- **Η ύπαρξη ή μη εξωτερικών route entries καθώς και το summarization τους αν υπάρχουν.**

Τα εξωτερικά routes μπορούν και αυτά να αυξήσουν το μέγεθος της Link State Database, τον χρόνο υπολογισμού του Shortest Path και το μέγεθος του Routing Table. Με σωστή σχεδίαση μπορούν να γίνουν summarized και να μειώσουν το μέγεθος της Link State Database, τον χρόνο υπολογισμού του Shortest Path καθώς και το μέγεθος του Routing Table.

- **Τα διάφορα timers.**

Τα διάφορα timers (HelloInterval, RouterDeadInterval, RxmtInterval, PollInterval, MinLSInterval, MinLSArrival) επηρεάζουν την απόδοση του OSPF είτε προς ελαφρά γρηγορότερη σύγκλιση (αλλά με επιβάρυνση τόσο σε υπολογιστική ισχύ όσο και κατανάλωση bandwidth), είτε προς το αντίθετο (πιο αργή σύγκλιση αλλά με μικρότερο overhead).

- **Τυχόν πρόσθετες proprietary λύσεις που περιορίζουν τον φόρτο υπολογισμού του Shortest Path.**

Proprietary υλοποιήσεις όπως αυτές που αναφέρθηκαν προηγουμένως βοηθάνε στην μείωση του φόρτου επεξεργασίας, της μνήμης και του bandwidth. Μια ακόμα proprietary υλοποίηση είναι ο περιορισμός του μεγέθους του Link State Table με επίπτωση όμως την απώλεια πληροφορίας.

Έχοντας αναφέρει όλα τα παραπάνω είναι προφανές ότι δεν μπορεί να προσδιοριστεί ακριβώς ο μέγιστος αριθμός των επιτρεπομένων routers ανά Area ή ο μέγιστος αριθμός των network segments ανά Area. Best practices όπως σωστή σχεδίαση του Addressing σε κάθε Area ώστε να μπορούμε να εφαρμόζουμε Summarization προς το Backbone, summarization των external routes (εφόσον είναι αυτό εφικτό) και χρήση Stub Areas όπου οι συνθήκες το επιτρέπουν συντελούν στην δημιουργία ενός βιώσιμου και επεκτάσιμου δικτύου.

4.15 OSPF Version 3

Για να υποστηριχθεί το IPv6 με το OSPF χρειάζονται μεταβολές στα μηνύματα τουλάχιστον για να συμπεριληφθούν οι καινούργιες πολύ μεγαλύτερες διευθύνσεις των 128 bit. Στο OSPF θα μπορούσε να γίνει είτε με την μεταβολή των υπαρχόντων Link State Advertisements (LSA) είτε με την δημιουργία νέων. Αντί όμως να επεκταθεί το OSPFv2 θεωρήθηκε προτιμότερο δοθείσας της βελτίωσης της υποδομής των δικτύων και του hardware να δημιουργηθεί μια καινούργια βελτιωμένη έκδοση. Έτσι δημιουργήθηκε το OSPF version 3.

Το OSPF version 3 δεν είναι backward compatible με το OSPF version 2. Έτσι, αν χρειαζόμαστε να υποστηρίξουμε routing τόσο για IPv4 και IPv6 πρέπει να χρησιμοποιούμε και τις δύο εκδόσεις ταυτόχρονα.

Οι βασικοί μηχανισμοί του OSPF (flooding, εκλογή Designated Router, χρήση των Areas, Link State Database, αλγόριθμος Shortest Path κλπ) παραμένουν ως έχουν. Φυσικά, έχουν γίνει τροποποιήσεις για να μπορούν να χειρίζονται τις 128-bit IPv6 Addresses.

Το IPv6 χρησιμοποιεί τον όρο "link" όταν αναφέρεται σε κάποιο δικτυακό μέσο που χρησιμοποιείται από κόμβους για να επικοινωνούν στο επίπεδο του link layer. Τα Interfaces συνδέονται σε links. Πολλαπλά IPv6 subnets μπορούν να αντιστοιχούν σε ένα link, και δύο κόμβοι μπορούν να επικοινωνούν σε ένα link ακόμα και αν δεν έχουν το ίδιο IPv6 prefix.

Έτσι οποιαδήποτε αναφορά σε network η subnet στο OSPF version 2 αντικαθίσταται με τον όρο link στο OSPF version 3. Η ορολογία αυτή αφορά τα OSPF protocol packets, τα Hello packets και το περιεχόμενο των network LSAs.

Οι IP version 6 Multicast Addresses που χρησιμοποιούνται είναι οι:

FF02::5 (All SPF Routers)

FF02::6 (All DR Routers)

Παρατηρούμε ότι έχουν Link Local scope (02 σαν δεύτερο Byte).

4.15.1 Αλλαγές στην χρήση των διευθύνσεων

Στο OSPF version 3 έγινε προσπάθεια να μην υπάρχει address specific πληροφορία στα OSPF protocol packets και στα κύρια LSA types με στόχο έναν βασικό πυρήνα ανεξάρτητο του πρωτοκόλλου. Αναλυτικότερα:

- Οι IPv6 addresses δεν υπάρχουν πλέον στα OSPF packets εκτός από τα LSA payloads των Link State Update packets.
- Τα Router-LSAs και τα Network-LSAs δεν περιλαμβάνουν διευθύνσεις αλλά παρέχουν πληροφορία σχετικά με την τοπολογία του δικτύου. Για πληροφορίες σχετικές με διευθύνσεις δημιουργήθηκαν καινούργιοι τύποι LSAs (όπως θα εξηγηθεί αναλυτικότερα παρακάτω).
- Τα OSPF Router IDs, Area IDs, and LSA Link State IDs παραμένουν στα 32 bits. Επομένως οι αναφερθείσες παράμετροι δεν είναι IPv6 addresses.
- Οι Neighboring routers προσδιορίζονται από το Router ID και όχι από την IP Address όπως στα broadcast, NBMA (Non-Broadcast Multi-Access) και Point-to-Multipoint links στην περίπτωση του OSPF v2.

4.15.2 Εμβέλεια του Flooding

Ως γνωστόν, το OSPF χρησιμοποιεί Flooding για να στέλνει τα LSAs είτε σε όλη την Area είτε σε όλο το Αυτόνομο Σύστημα (ανάλογα με τον τύπο του LSA). Στο OSPF3 η εμβέλεια των LSAs κωδικοποιείται στο LS type πεδίο του LSA (που γίνεται 2 Bytes από 1). Υπάρχουν οι εξής τρεις τύποι εμβέλειας του flooding για τα LSAs:

- **Link-local scope:** Το LSA γίνεται flood στο local link και όχι πάρα πέρα. Χρησιμοποιείται για τα καινούργια link-LSAs.

- **Area scope:** Το LSA γίνεται flood σε όλη την OSPF Area. Χρησιμοποιείται για router-LSAs, network-LSAs, inter-area-prefix-LSAs, inter-area-router-LSAs και intra-area-prefix-LSAs. Βασικά, με εξαίρεση τα link-LSAs (που θα εξηγηθούν παρακάτω) και τα AS-external-LSAs όλα τα άλλα LSAs έχουν Area scope.
- **AS scope:** Το LSA γίνεται flood σε όλο το routing domain (Αυτόνομο Σύστημα). Χρησιμοποιείται για τα AS-external-LSAs που αποστέλλονται από τους AS Boundary Routers (ASBRs).

4.15.3 Αλλαγές στην μορφή των LSAs

Όλες οι πληροφορίες οι σχετικές με addressing έχουν αφαιρεθεί από τον LSA header, τα router-LSAs και τα network-LSAs. Αυτοί οι δύο τύποι LSAs περιγράφουν την τοπολογία του δικτύου ανεξαρτήτως πρωτοκόλλου. Για την πληροφόρηση σχετικά με τα IPv6 routes και next hops δημιουργήθηκαν καινούργια LSAs. Αναλυτικά, οι κυριότερες αλλαγές είναι οι εξής:

- Τα router-LSAs και τα network-LSAs δεν περιλαμβάνουν πληροφορία σχετική με addressing και είναι network protocol independent.
- Έχει δημιουργηθεί ένας καινούργιος τύπος LSA το link-LSA που έχει link-local flooding scope. Ο ρόλος του είναι να παρέχει την link-local address του router σε όλους τους άλλους routers που συνδέονται με το link, να τους πληροφορήσει για όλα τα IPv6 prefixes που αντιστοιχούν στο link και να ανακοινώσει τα Options του network-LSA που θα δημιουργηθεί για το link.
- Στο OSPFv2 τα router-LSAs μεταφέρουν τις διευθύνσεις των interfaces των routers addresses. Αυτό ισοδυναμεί με τις link-local addresses. Οι διευθύνσεις αυτές χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των next hops οπότε δεν χρειάζεται να γίνονται flood πέρα από το local link. Οπότε, ο αποδοτικότερος τρόπος αποστολής τους είναι με την χρήση Link-LSAs.
- Δημιουργήθηκε ένα καινούργιο LSA το intra-area-prefix-LSA. Το LSA αυτό μεταφέρει IPv6 prefix πληροφορία. Στο OSPFv2 η πληροφορία αυτή συμπεριλαμβανόταν στα router-LSAs και στα network-LSAs.
- Οι διευθύνσεις στα LSAs είναι της μορφής [prefix, prefix length] αντί για [address, mask]. Το default route είναι ένα prefix μήκους 0.

- Τα Type-3 summary-LSAs μετονομάστηκαν σε "inter-area-prefix-LSAs" και τα Type-4 summary LSAs μετονομάστηκαν σε "inter-area-router-LSAs".

Για λόγους καθαρά πληρότητας αναφέρονται και οι υπόλοιπες αλλαγές:

- Το πεδίο Options μεταφέρθηκε από τον LSA header στο payload των router-LSAs, network-LSAs, inter-area-router-LSAs και link-LSAs και μεγάλωσε σε 24 bits.
- Το πεδίο LSA Type μεγάλωσε στα 16 bits, με τα 3 πρώτα να δηλώνουν το flood scope και την διαχείριση των αγνώστων LSA types.
- Το πεδίο Options του network LSA συμπεριλαμβάνει όλα τα Options που ανακοινώνουν οι συνδεδεμένοι στο link routers.
- Το Link State ID στα inter-area-prefix-LSAs, inter-area-router-LSAs, NSSA-LSAs, και AS-external-LSAs δεν εμπεριέχει κάποια πληροφορία και χρησιμεύει απλώς σαν id. Πληροφορίες σχετικές με addressing βρίσκονται στο LSA Payload.
- Τα Network-LSAs και τα Link-LSAs είναι τα μόνα LSAs των οποίων το Link State ID εμπεριέχει πληροφορία. Είναι το Interface ID του originating router στο συγκεκριμένο link. Για αυτόν τον λόγο τα network-LSAs και τα link-LSAs είναι τα μόνα LSAs των οποίων το μέγεθος δεν μπορεί να περιοριστεί: ένα network-LSA πρέπει να περιέχει όλους τους routers που είναι συνδεδεμένοι στο link και ένα link-LSA πρέπει να περιέχει όλες τις διευθύνσεις του router addresses στο link.

4.15.4 Αλλαγές στην μορφή των OSPF Packets

Το OSPFv3 τρέχει πάνω από IPv6. Πέρα όμως από αυτό όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στο OSPFv3 έχουν αφαιρεθεί αναφορές σε addresses από τα OSPFv3 packet headers σε μία προσπάθεια να γίνει "network-protocol-independent".

Οι αλλαγές στη μορφή των OSPFv3 πακέτων είναι οι εξής:

- Η OSPF version αυξήθηκε από 2 σε 3.

- Το Options πεδίο στα Hello packets και Database Description packets μεγάλωσε στα 24 bits.
- Τα Authentication και AuType πεδία αφαιρέθηκαν από τον OSPF packet header (Ο λόγος είναι ότι το authentication όπως άλλωστε και το encryption έχουν προστεθεί στις δυνατότητες του IPv6).
- Το Hello packet δεν περιέχει πλέον πληροφορία σχετικά με κάποια διεύθυνση. Αντίθετα, χρησιμοποιεί ένα μοναδικό Interface ID που χρησιμοποιεί ο αποστέλλων router για να ταυτοποιεί το interface του στο link. Το Interface ID χρησιμοποιείται και σαν το Link State ID του network-LSA στην περίπτωση του Designated Router στο link.
- Στο πεδίο Options προσετέθη η δυνατότητα ένας κόμβος να μπορεί να συμμετέχει στην τοπολογία χωρίς να προωθεί IPv6 datagrams, κάτι χρήσιμο σε multi-homed hosts που πρέπει να συμμετέχουν στο routing protocol.
- Ο OSPF packet header περιλαμβάνει ένα "Instance ID" που επιτρέπει σε άλλα OSPF protocol instances να τρέχουν παράλληλα σε κάποιο link.

4.15.5 Διαχείριση των αγνώστων LSA Types

Σε αντίθεση με το OSPFv2 που αγνοούσε τελείως τα άγνωστα LSA Types, στο OSPFv3 είτε αντιμετωπίζονται σαν να έχουν link-local flooding scope και είτε αποθηκεύονται και προωθούνται σαν να ήταν γνωστά.

4.15.6 Ταυτοποίηση των Neighbors με χρήση του Router ID

Στο OSPFv3, οι neighboring routers σε ένα link προσδιορίζονται από το OSPF Router ID. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με το OSPFv2 όπου οι μεν neighbors σε point-to-point networks και virtual links αναγνωρίζονται από τα Router IDs ενώ οι neighbors σε broadcast, NBMA, και point-to-multipoint links προσδιορίζονται από τις διευθύνσεις τους.

5 Intermediate System to Intermediate System (IS-IS)

Αν και το IS-IS (Intermediate System to Intermediate System) ξεκίνησε σαν ISO Standard (ISO10589) εντούτοις αναδημοσιεύτηκε τον Φεβρουάριο του 1990 σαν RFC1142 (OSI IS-IS Intra-domain Routing Protocol). Αυτή ήταν μια αναδημοσίευση στην οποία αναφερόταν ρητώς ότι δεν αποτελούσε Internet Standard. Λίγους μήνες μετά όμως (Δεκέμβριο 1990) δημοσιεύτηκε το RFC1195 (Use of OSI IS-IS for Routing in TCP/IP and Dual Environments).

Το πρωτόκολλο αυτό που ονομάστηκε και Integrated IS-IS βασίζεται στο OSI Intra-domain IS-IS Routing Protocol αλλά έχει επεκτάσεις που προσθέτουν TCP/IP Routing δυνατότητες.

Έτσι λοιπόν το Integrated IS-IS Protocol υποστηρίζει ταυτόχρονα IP και OSI protocol suites (IP hosts, OSI end systems, dual end systems). Πιο συγκεκριμένα μπορεί να υποστηρίζει καθαρά IP περιβάλλοντα, καθαρά OSI, ή ταυτόχρονα και τα δύο (εξ ου και ο χαρακτηρισμός “integrated”). Το OSI Layer 3 protocol είναι το Connectionless Network Protocol (CLNP) και το παρεχόμενο service Connectionless Network Service (CLNS). Οι Routers στο IS-IS ονομάζονται Intermediate Systems.

Παλαιότερα ήταν πολύ δημοφιλές πρωτόκολλο σε ISPs λόγω του ότι η Αμερικάνικη κυβέρνηση επέβαλε στους ISPs την υποστήριξη των OSI πρωτοκόλλων. Επιπλέον προσέφερε σταθερότητα, επεκτασιμότητα και ταχεία σύγκλιση. Το Integrated IS-IS αν και δεν είναι πλέον δημοφιλές πρωτόκολλο είναι συγκρίσιμο και πιθανόν κάποιες φορές ανώτερο του OSPF. Το μόνο θέμα την σημερινή εποχή είναι ότι δεν μπορούν εύκολα να βρεθούν άτομα με εμπειρία στο IS-IS.

Είναι ένα ιεραρχικό Link-State Routing Protocol που παρέχει δυνατότητες subnetting, Variable Length Subnet Masks (VLSM), TOS-based routing, external routing και authentication και βασίζεται στον Shortest Path First αλγόριθμο του Dijkstra.

Σημείωση: Από δω και στο εξής για λόγους απλότητας αναφορά στο IS-IS θα σημαίνει αναφορά στο Integrated IS-IS.

5.1 Βασικά χαρακτηριστικά του IS-IS

Σύμφωνα με το IS-IS το δίκτυο αποτελείται από “Routing Domains” τα όρια των οποίων καθορίζονται από τους network administrators με τον χαρακτηρισμό κάποιων links σαν external. Από external links δεν αποστέλλονται routing updates.

Το IS-IS έχει μια ιεραρχική δομή δύο επιπέδων. Ένα Routing Domain καταμερίζεται σε Areas.

Το IS-IS είναι ένα Link-State Protocol. Επομένως και σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει ένα Link State Database. Όπως και στην περίπτωση του OSPF, οι Routers δημιουργούν adjacencies με ένα Hello Protocol και ανταλλάσσουν Link State Information χρησιμοποιώντας Link State Packets (LSPs) σε κάθε Area με στόχο να δημιουργήσουν την Link State Database.

Κατόπιν, χρησιμοποιείται ο Shortest Path First (SPF) αλγόριθμος του Dijkstra για να επιλεγούν τα βέλτιστα Paths και να δημιουργηθεί το Routing Table.

5.1.1 Οι τύποι των Routers στο IS-IS

Στο IS-IS ορίζονται οι εξής τύποι Routers:

Level-1: Οι Level-1 Routers έχουν πλήρη γνώση της τοπολογίας της Area που ανήκουν αλλά δεν έχουν πληροφορίες για Routers και προορισμούς εκτός της Area τους.

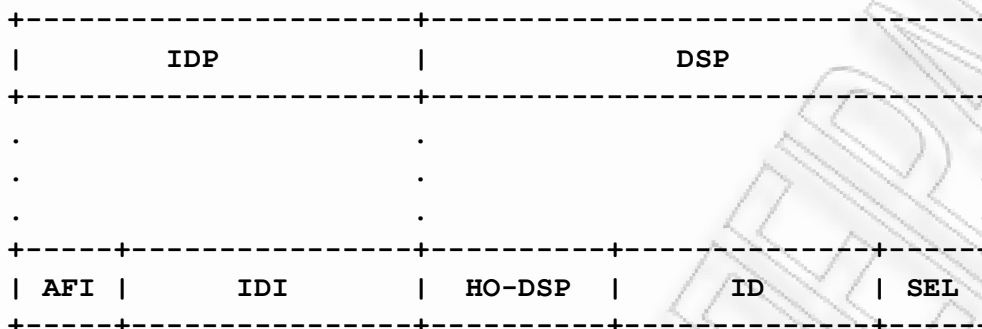
Level-2: Οι Level-2 Routers έχουν γνώση της Layer-2 τοπολογίας δηλαδή γνωρίζουν πώς να προωθήσουν πακέτα που ο προορισμός τους ανήκει σε Area διαφορετική από τον αποστολέα τους. Όμως δεν χρειάζεται να έχουν λεπτομερείς πληροφορίες για τις Areas.

Level-1-2: Οι Level-1-2 Routers συνδυάζουν την δυνατότητες και των δύο κατηγοριών. Είναι απαραίτητοι γιατί μπορούν να δέχονται πακέτα από τους υπόλοιπους Level-1 Routers της Area που ανήκουν και να τα προωθούν σε άλλες Areas.

Μόνο οι Level-2 και οι Level-1-2 Routers μπορούν να στέλνουν πακέτα εκτός του routing Domain.

5.1.2 Addressing

Η ιεραρχική δομή των διευθύνσεων εικονίζεται παρακάτω:



Οι διευθύνσεις (που λέγονται και NSAP διευθύνσεις) αποτελούνται από το **Initial Domain Part (IDP)** και από το **Domain Specific Part (DSP)**.

Το IDP είναι το τμήμα των διευθύνσεων που έχει τυποποιηθεί κατά ISO και προσδιορίζει τόσο την μορφή του DSP όσο και τον υπεύθυνο οργανισμό για την επιλογή των τιμών του DSP.

Πιο συγκεκριμένα το IDP αποτελείται από τα εξής δύο πεδία:

Authority and Format Identifier (AFI): Είναι το πεδίο που στην ουσία προσδιορίζει τόσο την μορφή των διευθύνσεων όσο και τον κάτοχό τους.

Κάποιες από τις τιμές που μπορεί να πάρει είναι οι εξής:

39: ISO Data Country Code (DCC)

45: E.164

47: International Code Designator

49: Private Addresses

Initial Domain Identifier (IDI): Ουσιαστικά προσδιορίζει ένα subdomain part για το συγκεκριμένο AFI. Πχ 47.0005 είναι η διεύθυνση κάποιων υπουργείων της Αμερικής.

Το DSP χωρίζεται περαιτέρω στα:

- 1. High Order Part of DSP (HO-DSP):** Χωρίζει το Domain σε Areas.
- 2. System identifier (ID):** Προσδιορίζει μοναδικά ένα σύστημα (τόσο Host όσο και Router) μέσα σε μια Area. Το συνηθισμένο μήκος του είναι 6 octets.

- 3. NSAP selector (SEL):** Προσδιορίζει ένα Process σε μια συσκευή. Δεν παίρνει μέρος στις αποφάσεις routing γι αυτό και σε όλους τους routers – γιατί και οι routers έχουν μια διεύθυνση – έχει την τιμή 0.

Το HO-DSP μπορεί να χρησιμοποιεί οποιοδήποτε format επιλέγει ο οργανισμός που προσδιορίζεται από το IDP.

Ο συνδυασμός των [IDP, HO-DSP] προσδιορίζει το routing domain και την Area εντός του routing domain και μπορεί να αναφέρεται και σαν "Area Address".

Με βάση τα παραπάνω, συνηθισμένες τιμές για Area Addresses σε δίκτυα οργανισμών που δεν συνδέονται με δίκτυα άλλων μπορεί να είναι:
49.0001, 49.0002, κλπ.

Όλες οι δικτυακές συσκευές (IS, ES) σε ένα IS-IS network πρέπει να έχουν μια NSAP διεύθυνση. Επομένως και οι routers (ISs). Η NSAP διεύθυνση αυτή αναφέρεται σε ολόκληρο τον router και όχι ειδικά σε κάποιο από τα interfaces του.

Αντίστοιχα με τα παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι συνηθισμένες τιμές διευθύνσεων για routers πχ της Area 49.0001 είναι 49.0001.0000.0000.0001.00, 49.0001.0000.0000.0002.00 κλπ.

Οι NSAP διευθύνσεις των routers λέγονται και NET (Network Entity Title) Addresses. Σε αυτές τις addresses το πεδίο SEL (τελευταίο byte) είναι πάντα 0 (και όπως ειπώθηκε και προηγουμένως το πεδίο αυτό δεν συμμετέχει στις αποφάσεις routing).

Το routing εντός της Area γίνεται με βάση το System ID. Έτσι είναι λογικό που οι τιμές του System ID πρέπει να είναι μοναδικές σε μια Area. Αλλά και οι Level-2 routers πρέπει να αναγνωρίζονται μεταξύ τους άρα πρέπει να έχουν και αυτοί μοναδικά System IDs.

Μια καλή πρακτική για να μην δημιουργούνται συγκρούσεις αν αλλάξει ο χαρακτηρισμός ενός router από Level-1 σε Level-2 ή αντίστροφα είναι να χρησιμοποιούνται μοναδικά System Ids σε όλο το Domain. Πχ αν οι routers έχουν ένα τουλάχιστον Ethernet interface μπορούμε να χρησιμοποιούμε την MAC Address του (τόσο το System ID όσο και το MAC Address έχουν μήκος 6 Bytes) μιας που οι MAC Addresses είναι μοναδικές.

5.1.3 Subnetwork Point of Attachment (SNPA)

Ένα interface ενός router που είναι συνδεδεμένο σε ένα subnetwork και που παρέχει κάποιες υπηρεσίες είναι ένα Subnetwork Point of Attachment (SNPA). Το SNPA είναι πιο πολύ μια έννοια αφού είναι το σημείο όπου παρέχονται υπηρεσίες και όχι το φυσικό interface αυτό καθ' εαυτό.

Οι διευθύνσεις που ανατίθενται στα SNPAs έχουν την εξής λογική:

- Για τα LANs χρησιμοποιούμε την MAC Address του συγκεκριμένου interface.
- Για τις ATM και X.25 συνδέσεις χρησιμοποιούμε το Virtual Circuit id.
- Για τις Frame Relay συνδέσεις χρησιμοποιούμε το Data Link Connection Identifier (DLCI).
- Για τα High Level Data Link (HDLC) interfaces χρησιμοποιούμε μια τιμή πάντα που συμβολίζεται με “HDLC” .

Πρέπει να υπάρχει και ένας τρόπος για να προσδιορίζονται μοναδικά τα interfaces και να έχουν διευθύνσεις. Τα interfaces στο IS-IS ονομάζονται circuits. Σε κάθε interface ανατίθεται ένα “circuit id”. Η μεθοδολογία έχει ως εξής:

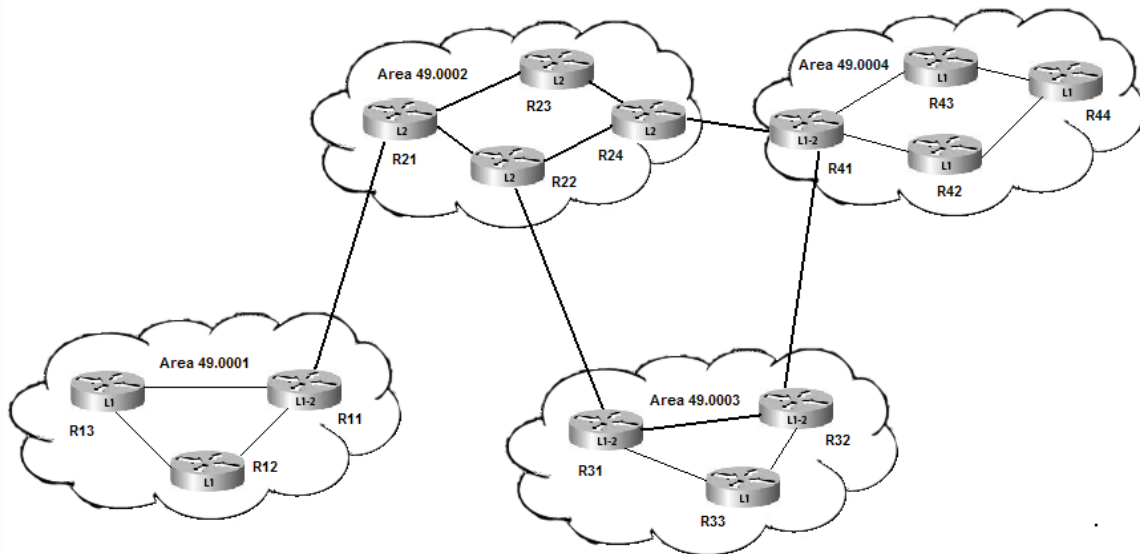
- Στην περίπτωση των LAN interfaces στο System ID του router προστίθεται ένα byte με τιμές από ένα και αυξανόμενες για κάθε LAN interface. Το νούμερο των 7 bytes που δημιουργείται λέγεται και LAN ID.
- Στην περίπτωση των point-to-point interfaces το circuit id είναι το SNPA.

5.1.4 Routing στο IS-IS

Σε κάθε Area το Level-1 routing εντοπίζει τις θέσεις των IS (Intermediate Systems) δηλαδή των routers και των ES (End Systems) δηλαδή των Hosts. Οι συσκευές σε μια Area χαρακτηρίζονται από το “System Identifier”. Το “Area Address” μέρος της διεύθυνσης είναι το ίδιο σε μια Area (με εξαίρεση τις περιπτώσεις μετάπτωσης όπου χρησιμοποιούνται προσωρινά περισσότερα “Area Addresses”).

Ένας Level-1 router λοιπόν για να προωθήσει ένα πακέτο εξετάζει την “Area Address” του πακέτου. Αν είναι ίδια με του router τότε το προωθεί βάσει του Routing Table του. Αν διαφέρει τότε το προωθεί στον πλησιέστερο Level-1-2 router.

Οι Level-2 routers μαθαίνουν την ευρύτερη τοπολογία του δικτύου με την καταγραφή των Areas. Αυτό που χρειάζεται να ξέρουν είναι πως θα προωθήσουν το πακέτο μέχρι την Area προορισμού. Δεν χρειάζεται να ξέρουν λεπτομέρειες σχετικά με την εσωτερική τοπολογία σε κάθε Area. Αυτό το αναλαμβάνει ο Level-1-2 router της Area προορισμού που θα το προωθήσει με βάση τα δικά του routing tables.



Σχήμα 5-1 Multi-Area IS-IS Network

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε ένα δίκτυο IS-IS αποτελούμενο από 4 Areas.

Απαραίτητη προϋπόθεση για συνδεσιμότητα είναι όλες οι Areas να συνδέονται σε κάποιο backbone από συνδεδεμένους Level-2 η Level-1-2 Routers (Αυτό εικονίζεται με τις πιο bold γραμμές σύνδεσης στο παραπάνω σχήμα και θα εξηγηθεί αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο). Αν χαθεί η συνέχεια του backbone τότε χάνεται και η συνδεσιμότητα. Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν Level-1 routers για να επανασυνδεθεί το backbone.

Ας υποθέσουμε ότι ένα πακέτο έχει αποστολέα ένα ES που βρίσκεται σε ένα segment του Router R12 της Area 49.0001 και παραλήπτη ένα ES που βρίσκεται σε ένα segment του Router R44 της Area 49.0004.

Τα βήματα που θα ακολουθηθούν είναι τα εξής:

1. Το ES (End System) αποστέλλει το πακέτο στον IS (Intermediate System) που είναι ο Router R12.
2. Ο Router R12 συγκρίνει την Area στην οποία ανήκει και την Area της διεύθυνσης προορισμού. Βλέποντας ότι δεν είναι ίδιες αποστέλλει το πακέτο στον πλησιέστερο L1-2 Router R11 (που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι και ο μοναδικός L1-2 Router).
3. Ο L1-2 Router R11 έχει γνώση της τοπολογίας των Areas και ξέρει πώς να το προωθήσει για να το στείλει στην Area 49.0004. Το αποστέλλει στον L2 Router R21 της Area 49.0002.
4. Ο L2 Router R21 όντας επίσης γνώστης της τοπολογίας ξέρει ότι πρέπει να το προωθήσει στον L2 Router R24 ο οποίος είναι συνδεδεμένος με την Area 49.0004. Για να το επιτύχει αυτό το προωθεί πρώτα σε έναν από τους R22 ή R23 ανάλογα με τα metrics.
5. Ο L2 Router R22 ή ο L2 Router R23 το προωθεί με την σειρά του στον L2 Router R24.
6. Ο L2 Router R24 ξέρει πώς να προωθήσει το πακέτο από την Area 49.0002 στην Area 49.0004 και το προωθεί στον L1-2 Router R41 της Area 49.0004.
7. Ο L1-2 Router R41 της Area 49.0004 που παραλαμβάνει το πακέτο βλέπει ότι προορίζεται για την ίδια Area. Γνωρίζοντας την τοπολογία το προωθεί είτε στον L1 Router R42 είτε στον L1 Router R43.
8. Ο L1 Router R42 ή ο L1 Router R43 το προωθεί με την σειρά του στον L1 Router R44.
9. Ο L1 Router R44 το παραλαμβάνει, βλέπει ότι το πακέτο προορίζεται για ένα ES σε δικό του segment και το αποστέλλει σε αυτό χρησιμοποιώντας αυτήν την φορά το System Id της διεύθυνσης προορισμού.

5.2 Η χρήση του Hello Protocol για τον σχηματισμό adjacencies

Παρόμοια με το OSPF, το IS-IS χρησιμοποιεί ένα Hello protocol για να δημιουργεί adjacencies.

Υπάρχουν πολλές παραλλαγές του Hello Protocol ανάλογα με το ποιού τύπου συσκευών επικοινωνούν μεταξύ τους.

Προηγουμένως αναφέρθηκαν συνολικά δύο τύποι συσκευών:

End Systems (ES): Ουσιαστικά είναι οι Hosts. Δεν έχουν routing capabilities και βασίζονται στους IS για αυτό.

Intermediate Systems (IS): Είναι οι Routers.

Κατ' αρχήν, για την επικοινωνία των End Systems με τα Intermediate Systems δημιουργήθηκε το **End System to Intermediate System (ES-IS) Protocol** που επιτρέπει στα End Systems (ES) και στα Intermediate Systems (IS) να αλληλοανακαλύπτονται δημιουργώντας adjacencies ανάμεσά τους.

Τα End Systems (ESs) αποστέλλουν **End System Hellos (ESHs)** σε συγκεκριμένες διευθύνσεις για να ανακοινώσουν την παρουσία τους στα Intermediate Systems (ISs) που ακούνε σε αυτές τις διευθύνσεις για να εντοπίζουν τα γειτονικά ESs.

Τα Intermediate Systems (ISs) αποστέλλουν **Intermediate System Hellos (ISH)** σε συγκεκριμένες διευθύνσεις για να ανακοινώσουν την παρουσία τους στα End Systems (ESs) που ακούνε σε αυτές τις διευθύνσεις και διαλέγουν κάποιον IS για να προωθούν τα μηνύματά τους. Ταυτόχρονα, μπορούν να στέλνουν έτσι και την Area που ανήκουν δίνοντας στα ES την δυνατότητα για autoconfiguration. Εναλλακτικά, αν κάποιο ES έχει ρυθμιστεί να ανήκει σε συγκεκριμένη Area τότε λαμβάνει υπόψη μόνο ISHs από ISs που ανήκουν στην ίδια Area.

Παρόμοια, στο **Intermediate System to Intermediate System (IS-IS) Protocol** τα Intermediate Systems (ISs) αποστέλλουν **IS-IS Hellos (IISs)** για να δημιουργούν και να συντηρούν adjacencies μεταξύ τους. Υπάρχουν και σε αυτήν την περίπτωση κανόνες για το πότε και πως σχηματίζονται adjacencies από γειτονικούς ISs.

- Δύο Level-1 routers σχηματίζουν Level-1 adjacency μόνο εφόσον ανήκουν στην ίδια Area.
- Δύο Level-2 routers σχηματίζουν Level-2 adjacency ακόμα και αν ανήκουν σε διαφορετικές Areas.
- Ένας Level-1 router σχηματίζει Level-1 adjacency με έναν Level-1-2 router μόνο εφόσον ανήκουν στην ίδια Area.
- Ένας Level-2 router σχηματίζει Level-2 adjacency με έναν Level-1-2 ακόμα και αν ανήκουν σε διαφορετικές Areas.
- Δύο Level-1-2 routers σχηματίζουν και Level-1 και Level-2 adjacencies αν ανήκουν στην ίδια Area.
- Δύο Level-1-2 routers σχηματίζουν μόνον Level-2 adjacency αν ανήκουν σε διαφορετικές Areas.

Όταν δημιουργηθούν adjacencies τότε τα Hello μηνύματα δρουν σαν keepalives: συντηρούν τα adjacencies. Όπως και στο OSPF, έτσι και στο IS-IS υπάρχει Hello Interval (ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα στα hellos) και Hold Time που είναι το χρονικό διάστημα που αν περάσει χωρίς λήψη Hello τα αντίστοιχα adjacencies διαγράφονται. Η διαφορά με το OSPF έγκειται στο ότι στο IS-IS δεν είναι υποχρεωτικό τα Hello Intervals και τα Hold Times να είναι ίδια για να δημιουργηθεί adjacency.

Υπάρχουν 3 ειδών **IS-IS Hellos (IHs)**:

- LAN Level 1 Hello Packets
- LAN Level 2 Hello Packets
- Point-to-Point Hello Packets

5.3 IS-IS Broadcast Networks

Όπως και το OSPF έτσι και το IS-IS εκλέγει έναν Designated Router (η ορολογία εδώ είναι Designated IS) σε ένα Broadcast Multi-Access network. Το ίδιο το network segment αντιμετωπίζεται σαν ένας pseudonode. Κάθε router, (συμπεριλαμβανομένου και του Designated IS) ανακοινώνουν ένα link στον pseudonode. Επιπλέον, ο Designated IS ανακοινώνει, σαν αντιπρόσωπος του pseudonode, ένα link μηδενικού κόστους σε όλους τους συνδεδεμένους routers.

Αντίθετα με το OSPF όμως, ένας IS-IS router δημιουργεί adjacencies με όλους τους γείτονές του σε ένα broadcast multi-access network και όχι μόνο με τον Designated IS. Όμως κάθε router (συμπεριλαμβανομένου και του DIS) στο broadcast network δηλώνει ότι έχει link με το pseudonode (αντί να δηλώνει όλους τους routers) και στέλνει με multicasts Link State Packets (LSPs) σε όλους τους γείτονές του. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιεί μια κατηγορία από PDUs που ονομάζονται Sequence Number PDUs (SNPs) για να εξασφαλίσει αξιόπιστο flooding των LSPs.

Η διαδικασία εκλογής του Designated IS είναι απλή. Σε κάθε IS-IS router interface ανατίθενται μια Level-1 προτεραιότητα και μια Level-2 προτεραιότητα από 0 μέχρι 127.

Ο Router ανακοινώνει τις Level-1 και Level-2 προτεραιότητές του στα Hellos που αποστέλλει από τα interfaces του. Η Level-1 προτεραιότητα ανακοινώνεται στα Level-1 Hellos, και η Level-2 προτεραιότητα ανακοινώνεται στα Level-2 Hellos. Αντίθετα με το OSPF όπου η προτεραιότητα 0 εμποδίζει τον router από το να γίνει DIS, ένας IS-IS router με προτεραιότητα 0 έχει απλά την χαμηλότερη προτεραιότητα αλλά μπορεί να εκλεγεί σαν DIS. Interfaces σε non-broadcast networks όπου δεν εκλέγεται DIS έχουν πάντα προτεραιότητα 0.

Ο router με την υψηλότερη προτεραιότητα εκλέγεται DIS. Σε περίπτωση ισοβαθμίας, εκλέγεται ο router το interface του οποίου έχει την υψηλότερη MAC address.

Σε ένα broadcast network μπορεί να εκλεγούν ξεχωριστοί DISs για Level 1 και για Level 2. Αυτό συμβαδίζει με το γεγονός ότι δημιουργούνται ξεχωριστές adjacencies (για Level-1 και Level-2). Αυτό, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ένα interface μπορεί να έχει διαφορετικές προτεραιότητες για κάθε level, σημαίνει ότι μπορεί ο Level-1 DIS να είναι διαφορετικός από τον Level-2 DIS.

5.4 Η Link State Database

Στο IS-IS συντηρούνται δύο Link State Databases (LSDBs) η Level-1 LSDB και η Level-2 LSDB. Για την δημιουργία τους αποστέλλονται από τα router interfaces Level-1 και Level-2 Link State Packets (LSPs). Η διαδικασία είναι η flooding που έχει περιγραφεί στο OSPF. Βέβαια, η επιλογή της αποστολής Level-1 LSPs, Level-2 LSPs ή και των δύο Levels LSPs εξαρτάται από το Level του Router και των adjacencies που δημιουργεί το κάθε interface.

5.4.1 Link State Packets (LSPs)

Κάθε Link State Packet (LSP) περιέχει εκτός των άλλων τα εξής:

1. Header με τα εξής πεδία:
 - PDU Type
 - Length
 - LSP Remaining Lifetime
 - LSP ID
 - LSP Sequence Number
 - Checksum
2. Ένα μεταβλητό αριθμό πεδίων της μορφής TLV (Type, Length, Value) με τις εξής πληροφορίες:
 - Τους γειτονικούς IS του router.
 - Τους γειτονικούς ES του router.
 - Τυχόν authentication πληροφορία.
 - IP Subnets (αν υπάρχουν).

Το LSP ID χαρακτηρίζει μοναδικά τα LSPs.

Τα LSPs έχουν sequence numbers για να εντοπίζονται τα duplicates και να μην εισέρχονται στην Link State Database. Επίσης χρησιμεύουν για να εντοπίζονται τα νεώτερα. Ξεκινάνε από την τιμή 1 και αυξάνουν. Αν τα LSPs έχουν το ίδιο LSP Id τότε LSP με μεγαλύτερο sequence number σημαίνει και νεώτερη έκδοση του LSP.

Το LSP Remaining Lifetime ή αλλιώς MaxAge είναι ο εναπομένον χρόνος (μετρούμενος σε δευτερόλεπτα) όπου το συγκεκριμένο LSP είναι έγκυρο. Όταν η τιμή γίνει ίση με 0 ξεκινάει η aging διαδικασία ώστε να διαγραφεί το συγκεκριμένο LSP από την Link State Database όλων των routers της Area. Η default τιμή του MaxAge είναι 1200 δευτερόλεπτα (20 λεπτά).

Επίσης υπάρχει ένα χρονικό διάστημα που ονομάζεται LSP refresh interval (το οποίο έχει τιμή μικρότερη από MaxAge) και που αφορά τον χρόνο ανάμεσα στην αποστολή ανανεωμένων LSPs με στόχο τα υπάρχοντα να μην γίνονται aging.

Το πεδίο MaxAge μπορεί να πάρει μέγιστη τιμή 65535. Αντίστοιχα μπορεί να μεγαλώσει και το LSP refresh interval (να πάρει μια τιμή λίγο μικρότερη). Οπότε, σε ένα σταθερό δίκτυο μια επέμβαση σε αυτούς τους timers τέτοια ώστε τα χρονικά διαστήματα στα οποία αναφέρονται να μεγαλώσουν αισθητά, θα έχει σαν αποτέλεσμα να στέλνονται πολύ πιο αραιά LSPs συντελώντας στην ελάττωση του φόρτου από flooding σε WAN networks και στην βελτίωση του scalability.

Το Checksum χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του integrity. Πιθανές αντιδράσεις σε λήψη LSP με λάθος Checksum είναι ή να αγνοηθεί ή να ξεκινήσει διαδικασία διαγραφής από τον παραλήπτη. Το τελευταίο έρχεται σε αντίθεση με το OSPF όπου μόνο ο κάτοχος του συγκεκριμένου Link State Entry μπορεί να το διαγράψει.

Τα πεδία της μορφής TLV (Type, Length, Value) που ακολουθούν είναι αυτά που ουσιαστικά παρέχουν τις πληροφορίες για ESs, ISs, IP Subnets κλπ.

Ενδεικτικές τιμές ακολουθούν:

Type	Value
1	Area Address
2	Intermediate System and pseudonode neighbors.
3	End System Neighbors
4	Partition Designated Level 2 Intermediate System for the partition
5	Prefix Neighbors
6	LAN Address
8	Authentication Information
9	LSP Entries
10	Authentication Value
128	IP Internal Reachability Information
129	Protocols Supported (NLPID)
130	IP External Reachability Information
131	Inter-Domain Routing Protocol Information
132	IP Interface Address
133	Authentication Information

5.4.1.1 IP Routing

Τα attributes

128 (IP Internal Reachability Information) και
130 (IP External Reachability Information)

μεταφέρουν IP πληροφορία. Πιο συγκεκριμένα, το πεδίο Value περιέχει entries που έχουν την παρακάτω μορφή:

0 I/E	DEFAULT METRIC		1 octet
S R	DELAY METRIC		1 octet
S R	EXPENSE METRIC		1 octet
S R	ERROR METRIC		1 octet
	IP ADDRESS		4 octets
	SUBNET MASK		4 octets

Παρέχεται η δυνατότητα υποστήριξης διαφορετικών metrics ανάλογα με το πεδίο Type of Service (TOS).

Το πεδίο I/E (Internal/External Metrics) μήκους 1 bit πρέπει να έχει τιμή 0 όταν αναφερόμαστε σε IP Internal Reachability Information TLV και μπορεί να παίρνει και τις δύο τιμές όταν πρόκειται για IP External Reachability Information.

Το πεδίο S μήκους 1 bit παίρνει τιμή 1 για να δηλώσει ότι το συγκεκριμένο metric είναι unsupported και 0 αν είναι supported (Αργότερα αποδείχτηκε ότι metrics πέρα από το Default δεν χρησιμοποιούνται).

Το πεδίο R μήκους 1 bit είναι Reserved και πρέπει να παίρνει τιμή 0 στην αποστολή και να αγνοείται στην λήψη.

Τα πεδία που αναφέρονται στα metrics έχουν μήκος 6 bits επομένως παίρνουν τιμές από 0 μέχρι 63. Η κλίμακα από 0 μέχρι 63 είναι δεσμευτική για αυτό και το metric ονομάστηκε και narrow metric. Αντίστοιχα, το μέγιστο συνολικό Path metric είναι 1023. Οι τιμές αυτές επιλέχθηκαν αρχικά για να ελαττώσει τον φόρτο υπολογισμού του Shortest Path

First. Όμως, το hardware εξελίσσεται γρήγορα και κρίθηκε προτιμότερο (RFC5305) να δημιουργηθεί ένα “Extended Reachability” TLV με μέγεθος του πεδίου metric 4 Bytes και ένα “Extended Neighbor Reachability” TLV με μέγεθος του πεδίου metric 3 Bytes.

5.4.1.2 Supported Protocols

Το “Supported Protocols” TLV παίρνει σαν τιμή ένα σύνολο από τιμές που αντιστοιχούν στα υποστηριζόμενα πρωτόκολλα. Οι τιμές αυτές λέγονται Network Layer Protocol Identifiers (NLPIDs).

5.4.2 Complete and Partial Sequence Number PDUs

Τα Sequence number PDUs χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίζεται ο συγχρονισμός των Link State Databases. Λέγοντας συγχρονισμό εννοούμε ότι οι neighboring routers συμφωνούν μεταξύ τους ως προς τι θεωρείται σαν το πιο πρόσφατο LSP από τους άλλους routers. Οι sequence number PDUs χρησιμοποιούνται και για το acknowledgement των πακέτων.

Υπάρχουν οι εξής τύποι Sequence Number PDUs:

1. Level 1 Complete Sequence Numbers PDUs.
2. Level 2 Complete Sequence Numbers PDUs.
3. Level 1 Partial Sequence Numbers PDUs.
4. Level 2 Partial Sequence Numbers PDUs.

Ένα Partial Sequence Number PDU καταγράφει τα πιο πρόσφατα sequence numbers των LSPs και παίζει τον ρόλο του acknowledgement. Διαφέρει όμως από τα παραδοσιακά acknowledgements με την έννοια ότι:

- Μπορεί να κάνει acknowledge πολλαπλά LSPs συγχρόνως
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ζητηθεί πληροφορία

Ένα Complete Sequence Number PDU περιέχει όλα τα πιο πρόσφατα sequence numbers όλων των LSPs στην Link State Database. Αποστέλλεται περιοδικά ανάμεσα σε γειτονικούς routers για συγχρονισμό της Link State Database και επίσης όταν ενεργοποιείται ένα router link.

5.5 Ομοιότητες και διαφορές του IS-IS με το OSPF

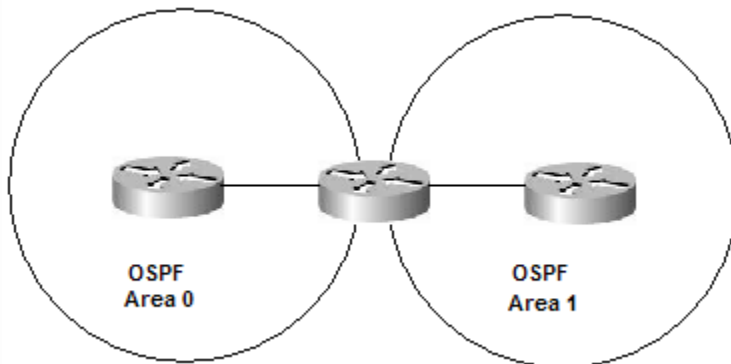
Υπάρχουν αρκετές ομοιότητες του OSPF με το IS-IS. Αυτές είναι οι παρακάτω:

- Και τα δύο χρησιμοποιούν μια Link-State Database η οποία δίνεται σαν είσοδος στον αλγόριθμο Shortest Path First του Dijkstra για να υπολογιστεί ένα shortest-path tree και από αυτό το Routing Table.
- Και τα δύο χρησιμοποιούν Hello packets για να σχηματίζουν και να διατηρούν adjacencies.
- Και τα δύο χρησιμοποιούν Areas για να σχηματίσουν μια ιεραρχική τοπολογία δύο επιπέδων.
- Και τα δύο έχουν την δυνατότητα για address summarization ανάμεσα στις areas.
- Και τα δύο είναι classless protocols.
- Και τα δύο εκλέγουν έναν Designated Router για να αντιπροσωπεύει τα broadcast networks.
- Και τα δύο έχουν δυνατότητα για authentication.

Βέβαια, υπάρχουν και διαφορές (κάποιες από τις οποίες είχαν και αναφερθεί σε προηγούμενες παραγράφους αλλά όχι συστηματικά).

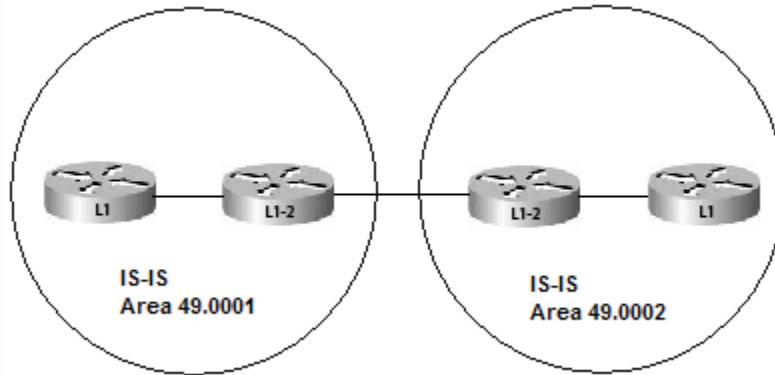
Μία διαφορά που αφορά τον τρόπο διαχωρισμού των Areas είναι η παρακάτω:

Στο OSPF το σημείο διαχωρισμού των Areas είναι μέσα στον Area Border Router. Αυτό γιατί ένας Area Border Router μπορεί να έχει interfaces που το καθένα να ανήκει σε διαφορετική Area.



Σχήμα 5-2 Διαχωρισμός των Areas στο OSPF

Αντίθετα, στο IS-IS το σημείο διαχωρισμού είναι πάνω στο Interface δηλαδή ανάμεσα σε δύο Routers. Ένας Router μπορεί να ανήκει σε μία μόνο Area που προσδιορίζεται από το System ID του.



Σχήμα 5-3 Διαχωρισμός των Areas στο IS-IS

Άλλες διαφορές είναι οι εξής:

- Το OSPF έχει διάφορους τύπους Areas που συνδέονται στην Backbone Area: πχ Normal, Stub, Not so Stubby. Το IS-IS δεν έχει διαφορετικούς τύπους Areas.
- Το OSPF απαιτεί να υπάρχει μια Area που παίζει το ρόλο του Backbone. Όλες οι άλλες Areas πρέπει ή να συνδέονται απευθείας στο Backbone που είναι και ο σωστός τρόπος ή έμμεσα με χρήση virtual links. Στο IS-IS το backbone είναι απλώς μια σειρά από συνδεδεμένους Level-2 και/ή Level-1-2 routers. Οι routers αυτοί δεν είναι υποχρεωτικό να ανήκουν στην ίδια Area.
- Το OSPF αποστέλλει πολλά μικρά LSAs. Το IS-IS αποστέλλει λιγότερα LSPs.
- Το OSPF τρέχει over IP (protocol 89). Το IS-IS τρέχει over Layer 2 (Data Link).
- Όσον αφορά τα refreshes το OSPF μετράει προς τα πάνω (από 0 μέχρι MaxAge) ενώ το IS-IS αντίστροφα (από MaxAge μέχρι 0).
- Στο OSPF υπάρχουν ξεχωριστοί τύποι πακέτων για επαλήθευση (Link State Acknowledgment packet) και για αίτηση (Link State Request Packet). Στο IS-IS τα Partial Sequence Number PDUs αναλαμβάνουν και τους δύο ρόλους. Επίσης μπορούν να κάνουν Acknowledge πολλά LSPs ταυτόχρονα.

5.6 Προβλήματα του IS-IS και αντιμετώπισή τους

Τα προβλήματα που μπορούμε να συναντήσουμε όταν χρησιμοποιούμε IS-IS είναι παρόμοια με εκείνα που μπορούμε να συναντήσουμε όταν χρησιμοποιούμε OSPF. Στο κάτω-κάτω και τα δύο είναι Ιεραρχικά Link State Routing Protocols. Οπότε, θα αναφερθούν περιληπτικά:

1. Συχνός υπολογισμός του Shortest Path
2. Μεγάλο Routing Table
3. Μεγάλο Link State Database

Η (κατά το δυνατόν) λύση στα παραπάνω προβλήματα είναι μία ιεραρχική σχεδίαση έτσι ώστε:

- Ο αριθμός των routers ανά Area παραμένει σε λογικό επίπεδο.
- Το Addressing της κάθε Area είναι σχεδιασμένο έτσι που να επιτρέπει summarization των routes που εισάγονται στο backbone.
- Η επιλογή των ορίων της Area καθορίζεται από τα όρια του κάθε Site αλλά και της ταχύτητας των links με στόχο το flooding να περιορίζεται σε τμήματα του δικτύου που διαθέτουν ικανοποιητικό bandwidth.

5.7 Scalability

Τα θέματα που επηρεάζουν το scalability του IS-IS είναι πολύ παρόμοια με τα θέματα που επηρεάζουν το scalability του OSPF. Αυτό είναι αναμενόμενο καθότι και τα δύο είναι Link State Protocols με αρκετές ομοιότητες μάλιστα που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Οπότε, εδώ οι παράγοντες θα αναφερθούν πολύ συνοπτικά.

- Ο αριθμός των routers ανά Area και των links ανά router.
- Η σταθερότητα των links.
- Η ισχύς και η μνήμη των routers.
- Η ταχύτητα του κάθε network segment.
- Η τοπολογία του κάθε network segment.
- Ο χωρισμός του Αυτόνομου Συστήματος σε Areas.
- Το summarization στις Areas.
- Τα διάφορα timers.
- Τυχόν Proprietary υλοποιήσεις για την προστασία των Resources.

Το IS-IS πάντως θεωρείται πιο Scalable από το OSPF και οι λόγοι είναι η ευκολία επέκτασης του Backbone και η δυνατότητα αύξησης των MaxAge και RefreshInterval timers σε πολύ μεγάλες τιμές (μέχρι 65535 και 65000 αντίστοιχα) όταν τα δίκτυα είναι σταθερά με αποτέλεσμα το ελάχιστο δυνατό overhead.

5.8 IPv6 Support

Το IS-IS είναι ένα εύκολα επεκτάσιμο πρωτόκολλο καθότι κάνει χρήση πεδίων της μορφής TLV (Type, Length, Value). Έτσι, για την υποστήριξη του IPv6 το IS-IS χρησιμοποιεί τα παρακάτω δύο νέα TLVs: το “Reachability” TLV και το “Interface Address” TLV. Στην παράγραφο 5.4.1 έγινε αναφορά στα χρησιμοποιούμενα TLVs και τις τιμές του πεδίου “Type”. Οπότε μπορούμε να πούμε ότι ο πίνακας που παρουσιάστηκε εκεί συμπληρώνεται με τις παρακάτω αντιστοιχίες:

Type	Value
236	IPv6 Reachability
232	IPv6 Interface Address

5.8.1 IPv6 Reachability TLV

Αντί να προστεθεί Internal και External Reachability Information όπως ίσχυε αντίστοιχα για το IPv4, χρησιμοποιείται μόνο ένα TLV με χρήση ενός “external” bit. Το περιεχόμενό του περιλαμβάνει:

- Το IPv6 prefix
- Το prefix length
- Το metric
- Bits σχετικά με το αν το entry είναι internal η external, up η down.

5.8.2 IPv6 Interface Address TLV

Το “IPv6 Interface Address” TLV αντιστοιχεί στο “IP Interface Address” TLV λαμβανομένης υπόψη φυσικά της αύξησης του μεγέθους της IP Address από 32 σε 128 bits. Επιπλέον, εισάγονται περιορισμοί όσον αφορά τις IPv6 addresses που γίνονται advertise. Όσον αφορά τα Hello PDUs, το “Interface Address” TLV πρέπει να περιέχει

μόνο τις link-local IPv6 addresses που έχουν ανατεθεί στο interface που στέλνει το Hello. Αυτό είναι λογικό αν σκεφτεί κανείς ότι μόνο γειτονικοί routers επικοινωνούν με το Hello Protocol. Όσον αφορά τα LSPs, το "Interface Address" TLV πρέπει να περιέχει μόνο τις μη link-local IPv6 addresses.

5.8.3 IPv6 NLPID

Για να δηλώνεται υποστήριξη του IPv6 πρέπει να χρησιμοποιείται το Network Protocols Supported TLV (NLPID) με τιμή 142 (0x8E).

5.8.4 IPv6 Operation

Το χρησιμοποιούμενο metric είναι αυτό που έχει αναφερθεί στο RFC5305. Αν κατά τον υπολογισμό του SPF ένα path metric ξεπεράσει την μέγιστη τιμή (MAX_V6_PATH_METRIC) τότε αυτή θεωρείται ίση με την μέγιστη τιμή.

Η σειρά προτίμησης μεταξύ paths για ένα συγκεκριμένο IPv6 prefix πρέπει να μεταβληθεί για να συμπεριληφθεί και το up/down bit. Έτσι η σειρά προτίμησης γίνεται:

1. Level 1 up prefix
2. Level 2 up prefix
3. Level 2 down prefix
4. Level 1 down prefix

Αν πολλαπλά paths έχουν την ίδια σειρά προτίμησης τότε η επιλογή βασίζεται στο metric. Αν ακόμα και το metric είναι το ίδιο τότε μπορεί να εφαρμοστεί equal-cost multi-path routing αν αυτό υποστηρίζεται από την συγκεκριμένη υλοποίηση του IS-IS, διαφορετικά, η επιλογή του path μπορεί να είναι τυχαία.

КОНСТИТУЦИОННО ПРАВО

6 Ταυτόχρονη χρήση περισσότερων του ενός Routing Protocols

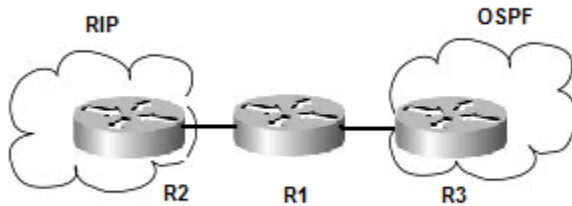
Υπάρχουν περιπτώσεις όπου χρειάζεται να χρησιμοποιούνται περισσότερα του ενός Routing Protocols. Τέτοιες περιπτώσεις μπορούν να είναι:

- Όταν γίνεται μετάβαση από ένα παλαιότερο Routing Protocol σε ένα νεότερο πχ επειδή το δίκτυο έχει μεγαλώσει και χρειαζόμαστε πλέον ένα ιεραρχικό πρωτόκολλο.
- Όταν χρειάζεται να μεταβούμε σε ένα καινούργιο Routing Protocol αλλά χρειάζεται να κρατήσουμε και το παλαιότερο για λόγους συμβατότητας.
- Όταν πρόκειται να συνδεθούν διαφορετικά τμήματα ενός οργανισμού που στα δίκτυά τους χρησιμοποιούν για κάποιο λόγο διαφορετικά Routing Protocols τα οποία διαχειρίζονται από διαφορετικά άτομα ή ομάδες και πιθανό να πρέπει να διατηρηθούν για λόγους πολιτικής ή απλά οικονομίας.
- Όταν χρησιμοποιούνται Routers διαφορετικών κατασκευαστών είναι πιθανό σε κάποια τμήματα του δικτύου να χρησιμοποιείται ένα Routing Protocol για λόγους συμβατότητας και σε κάποιο άλλο τμήμα που χρησιμοποιούνται Routers του ίδιου κατασκευαστή να χρησιμοποιείται κάποιο άλλο Routing Protocol για λόγους βελτιστοποίησης της απόδοσης.
- Όταν θέλουμε κάποια Static Routes να τα ανακοινώσουμε σε ένα Routing Protocol.

Σε όλες τις περιπτώσεις για να επιτύχουμε την ταυτόχρονη λειτουργία δύο ή περισσότερων Routing Protocols σε ένα δίκτυο πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τουλάχιστον έναν (Boundary) Router συνδεδεμένο στα αντίστοιχα Αυτόνομα Συστήματα και που έχει την δυνατότητα (software, ισχύ, μνήμη) να τρέχει και τα δύο Routing protocols ταυτόχρονα.

6.1 Route Redistribution

Σε μια απλή τοπολογία όπως αυτή που εικονίζεται παρακάτω (Σχήμα 6-1) δύο Αυτόνομα Συστήματα που το ένα χρησιμοποιεί RIP και το άλλο OSPF συνδέονται μέσω ενός Boundary Router (R1).



Σχήμα 6-1 Χρήση RIP και OSPF

Θα μπορούσε κάποιος να ισχυριστεί ότι θα μπορούσε ο Boundary Router (R1) να αποστέλλει Default Route. Όμως αυτό παρουσιάζει τα εξής προβλήματα:

- Πιθανή μη υποστήριξη του Default Route από κάποια υλοποίηση ενός Routing Protocol.
- Πιθανότητα μη βέλτιστης διαδρομής όταν τα δύο Αυτόνομα Συστήματα συνδέονται με παραπάνω από έναν Router.
- Πιθανότητα να συμβεί Routing Loop αν αναζητείται προορισμός που δεν υπάρχει σε κανένα από τα Αυτόνομα Συστήματα (αν το κάθε Αυτόνομο Σύστημα έχει Default Route που «δείχνει» στο άλλο Αυτόνομο Σύστημα!).

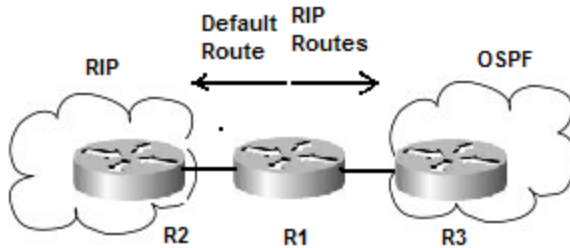
Για όλους αυτούς τους λόγους η λύση είναι το Route Redistribution που είναι η ανταλλαγή Routing information ανάμεσα σε Αυτόνομα Συστήματα. Αναφορά σε Route Redistribution πρακτικά δεν υπάρχει σε κάποιο RFC. Εξαιρέση ίσως το RFC1812 (Requirements for IPv4 Routers) όπου όμως η αναφορά περιορίζεται στο ότι οι routers δεν πρέπει να έχουν ενεργοποιησει by default το redistribution και θα πρέπει να ρυθμίζονται πολύ συντηρητικά όσον αφορά τι external routes επιτρέπουν. Στο RFC αναφέρεται ότι πρέπει να ρυθμίζεται τοπικά στους routers δοθέντος ότι υποστηρίζεται από την υλοποίηση του εκάστοτε Routing Protocol.

Στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 6-1) ο Router που χρειάζεται να ρυθμιστεί για το redistribution είναι μόνο ο Boundary Router R1 ο οποίος πρέπει να συμμετέχει στα

routing protocols και των δύο Αυτόνομων Συστημάτων. Οι υπόλοιποι routers και των δύο Αυτόνομων Συστημάτων δεν χρειάζεται να έχουν γνώση παρά μόνο για το Αυτόνομο Σύστημα στο οποίο ανήκουν.

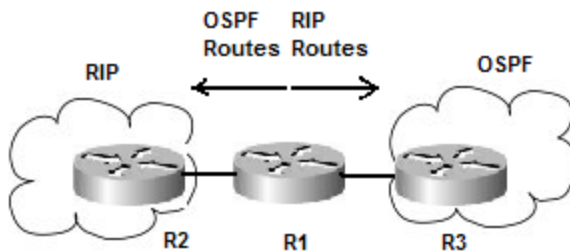
6.2 Route Redistribution (Δύο σενάρια)

Στην προηγούμενη παράγραφο αναφέρθηκε ότι δεν είναι καλή ιδέα να αποστέλλεται Default Route από τον ενδιάμεσο router προς τα δύο (ή περισσότερα) Αυτόνομα Συστήματα. Όμως, σε ένα λίγο διαφορετικό σενάριο όπου ένα από τα δύο Αυτόνομα Συστήματα αναφέρεται σε ένα Branch Site που μάλιστα συνδέεται με έναν μόνο router τότε η περίπτωση αποστολής Default Route προς αυτό το Site είναι ελκυστική.



Σχήμα 6-2 Default Route προς μια κατεύθυνση

Στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 6-2) θεωρούμε ότι το Αυτόνομο Σύστημα που «τρέχει» RIP είναι ένα τέτοιο Branch Site που συνδέεται με έναν μόνο router και χρησιμοποιεί routers μικρής ή μέτριας ισχύος και μνήμης. Στην περίπτωση αυτή είναι πρακτικό ο Boundary Router R1 να αποστέλλει ένα μόνο route, το Default Route. Έτσι δεν επιβαρύνονται οι τοπικοί routers και το routing παραμένει σωστό αφού όλοι οι υπόλοιποι προορισμοί είναι προσπελάσιμοι μέσω του R1. Αντίστοιχα, θεωρούμε ότι το κύριο Site «τρέχει» OSPF. Το κύριο site δοθέντος ότι θα έχει και άλλες συνδέσεις με τον εξωτερικό κόσμο χρειάζεται να λαμβάνει όλα τα routes.



Σχήμα 6-3 Redistribution χωρίς Default Route

Αντίθετα, υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα συνδεδεμένα Αυτόνομα Συστήματα είναι ισότιμα. Τότε το Redistribution πρέπει να γίνεται και προς τις δύο πλευρές (Σχήμα 6-3). Τυχόν χρήση Default Route μόνο προβλήματα θα δημιουργούσε όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο.

6.3 Seed Metrics

Όταν χρησιμοποιούμε Route Redistribution ουσιαστικά αναμιγνύουμε Routing Protocols. Τα Routing Protocols αυτά κατά το πιθανότερο χρησιμοποιούν διαφορετικού τύπου metrics. Πρέπει να έχουμε λοιπόν έναν τρόπο να καθορίζουμε τα metrics για το «ξένο» (redistributed) Routing Protocol.

Ο τρόπος αυτός είναι τα Seed Metrics. Λέγοντας Seed Metrics εννοούμε ρυθμίσεις στον Boundary Router που προσδιορίζουν το default routing metric του redistributed Routing Protocol. Το metric αυτό ισχύει για τα redistributed routes στον συγκεκριμένο (Boundary) router. Από κει και στο εξής καθώς η συγκεκριμένη (redistributed) routing πληροφορία διαδίδεται στους υπόλοιπους routers τα metrics αυξάνουν με τον ίδιο τρόπο που αυξάνουν και τα metrics των υπόλοιπων route entries.

Η λογική υπαγορεύει ότι για την επιλογή των Seed Metrics αυτά πρέπει να έχουν κάποια τιμή ενδεικτική της θέσης των route entries που αναφέρονται και κατά προτίμηση μεγαλύτερη από την μέγιστη τιμή που μπορεί να προκύψει στα metrics σε κάποιο δίκτυο. Ο λόγος είναι να αποφευχθεί τυχόν Routing Loop. Βέβαια κάθε Routing Protocol έχει και περιορισμούς. Πχ στο RIP ξέροντας ότι αυτό έχει maximum αποδεκτή τιμή του Routing Metric το 15 δεν έχει νόημα να χρησιμοποιήσουμε σαν Seed Metric μια τιμή ίση με 12 αν το δίκτυο έχει διάμετρο (μέγιστη απόσταση ανάμεσα σε routers) μεγαλύτερη από 3 hops. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η τιμή 4 είναι μια ρεαλιστική επιλογή. Ρεαλιστική επιλογή των Seed Metrics επιβάλλεται ακόμα περισσότερο στην περίπτωση όπου υπάρχουν περισσότεροι του ενός Boundary Routers. Ο λόγος είναι ότι με σωστή επιλογή των metrics θα επιτύχουμε βελτιστοποίηση στο routing αφού προκειμένου για προορισμούς εκτός Αυτόνομου Συστήματος θα επιλέγεται κάθε φορά ο Boundary Router που αντιστοιχεί στο βέλτιστο Path.

6.4 Σχεδίαση και Υλοποίηση Route Redistribution

Γενικά, για την σωστή σχεδίαση του Route Redistribution πρέπει να ακολουθήσουμε κάποιες αρχές.

- **Να είμαστε γνώστες του δικτύου και της δικτυακής κίνησης**

Αυτό είναι πρωταρχικής σημασίας. Υπάρχουν πολλοί τρόποι να υλοποιηθεί το Route Redistribution οπότε, η καλύτερη γνώση του δικτύου και της κίνησης θα βοηθήσει στη λήψη πιο σωστής απόφασης.

- **Να μην έχουμε επικάλυψη στα Routing Protocols**

Δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται δύο Routing Protocols στο ίδιο δίκτυο. Αντίθετα, πρέπει να υπάρχουν σαφώς καθορισμένα όρια ανάμεσα σε δίκτυα που χρησιμοποιούν διαφορετικά Routing Protocols. Μόνο οι Boundary Routers μπορούν να τρέχουν και τα δύο Routing Protocols.

- **Route Redistribution προς μια μόνο κατεύθυνση**

Για την αποφυγή των Routing Loops, της επιλογής μη βέλτιστων Paths και καθυστερήσεων στην σύγκλιση συστήνεται να χρησιμοποιούμε Redistribution προς μια μόνο κατεύθυνση και να χρησιμοποιούμε Default Route προς την άλλη κατεύθυνση. Βέβαια, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, αυτό δεν είναι πάντα εφικτό.

- **Route Redistribution και προς τις δύο κατευθύνσεις**

Σε περιπτώσεις που είναι αναγκαίο να έχουμε Route Redistribution και προς τις δύο κατευθύνσεις πρέπει να αξιοποιούμε όλα τα μέσα που μας δίνει ο εκάστοτε vendor προκειμένου να έχουμε τον έλεγχο και να αποφύγουμε τα προβλήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω (Routing Loops, επιλογή μη βέλτιστων Paths, καθυστερήσεις στην σύγκλιση).

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του Route Redistribution εξαρτώνται από τις συγκεκριμένες υλοποιήσεις των vendors. Τέτοιες μέθοδοι είναι:

1. Administrative Distance

Η Administrative Distance όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι ο βαθμός εμπιστοσύνης στο συγκεκριμένο Routing Protocol. Τα Metrics των Routing Protocols δεν είναι όλα ίδια. Επομένως δεν υπάρχει η δυνατότητα σύγκρισης. Οπότε, χρειάζεται ένας τρόπος για να επιλέγεται κάποιο από τα Routing Protocols. Ανάλογα με την υλοποίηση υπάρχει μια σειρά προτίμησης. Βέβαια, είναι λογικό τα connected routes να έχουν την υψηλότερη προτεραιότητα ακολουθούμενα από τα static routes. Ακολουθούν τα πιο εύρωστα Routing Protocols. Οποσδήποτε η σειρά προτίμησης παρουσιάζει υποκειμενικότητα και σίγουρα είναι vendor specific. Αυτό όμως έχει μικρή σημασία αν μπορούμε να επεμβαίνουμε στο configuration των routers και να την αλλάζουμε.

2. Passive Interfaces

Είναι interfaces που συνδέονται με δίκτυα στα οποία δεν επιθυμούμε να αποστέλλουμε routing updates. Οι λόγοι μπορεί να είναι:

- a. είτε γιατί δεν τρέχει σε εκείνα τα δίκτυα το συγκεκριμένο Routing Protocol
- b. είτε γιατί θέλουμε να αποκρύψουμε πληροφορία
- c. είτε γιατί θέλουμε να μην δημιουργήσουμε δικτυακή κίνηση προς το συγκεκριμένο interface
- d. είτε γιατί προσπαθούμε να γλυτώσουμε από Routing Loops.

Η περίπτωση c χρησιμοποιείται συνήθως σε περιπτώσεις on-demand WAN links όπου δεν επιθυμούμε να δημιουργούμε κίνηση για να μην τα ενεργοποιούμε και χρεωνόμαστε ή απλά δεν επιθυμούμε να αυξάνουμε τον φόρτο της γραμμής.

Οι υπόλοιπες περιπτώσεις καλύπτουν (εν μέρει τουλάχιστον) και την περίπτωση όπου ναί μεν χρησιμοποιούμε Route Redistribution, προσπαθούμε δε να γλυτώσουμε (ή μετριάσουμε γιατί από μόνα τους τα Passive Interfaces δεν είναι αρκετά) τα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν.

Σημείωση: Ενώ δεν μπορεί να αποσταλούν Routing Updates από τα passive interfaces, εντούτοις μπορούν να ληφθούν.

3. Distribute lists

Τα Distribute lists είναι μια απλή μέθοδος επιλογής ενός υποσυνόλου από τα Route Entries ενός Routing Protocol που επιθυμούμε να ανακοινωθούν σε ένα

άλλο Routing Protocol. Ταυτόχρονα μας δίνουν την δυνατότητα να αλλάζουμε την Administrative Distance για ένα μόνο υποσύνολο από Routing Updates και όχι για όλο το Routing Protocol.

4. Route maps

Τα Route maps είναι - εκτός των άλλων - μια ευέλικτη μέθοδος επιλογής των Route Entries που επιθυμούμε να ανακοινώσουμε σε ένα άλλο Routing Protocol. Μας δίνουν δυνατότητα επιλογής με βάση μια ευρεία κλίμακα κριτηρίων. Επίσης μας δίνουν την δυνατότητα αλλαγής των Route Metrics.

5. Static Routes

Πολλές φορές είναι αναγκαίο κάποια Static Routes που είναι ρυθμισμένα σε έναν router να τα ανακοινώσουμε σε κάποιο Routing Protocol.

6.5 Προβλήματα του Route Redistribution

Τα προβλήματα που μπορούν να δημιουργηθούν με το Route Redistribution έχουν αναφερθεί ήδη παραπάνω:

- Πιθανά Routing Loops
- Μη βέλτιστο Routing
- Αργή Σύγκλιση του Δικτύου

Η προσεκτική εφαρμογή των αρχών και μεθόδων που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο σίγουρα βοηθάει στην πρόληψη προβλημάτων. Όμως, όσο τα δίκτυα γίνονται όλο και πιο πολύπλοκα, διαφορετικά Αυτόνομα Συστήματα συνδέονται με περισσότερους από έναν Boundary Routers και ο αριθμός των Route Entries αυξάνει, τότε και η πιθανότητα να εμφανιστεί κάποιο από τα παραπάνω προβλήματα σίγουρα αυξάνει επίσης.

Καμιά φορά, κάποια εφαρμοζόμενη πρακτική για αποφυγή προβλημάτων μπορεί να αφαιρέσει ταυτόχρονα και κάποια από τα πλεονεκτήματα του Route Redistribution. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το να εμποδίζουμε Routing πληροφορία που έχει εξαχθεί από ένα Routing Protocol να επανεισάγεται στο ίδιο. Ο λόγος είναι η αποφυγή των Routing Loops ή μη βέλτιστου Routing. Όμως, αυτό με τη σειρά του έχει και σαν συνέπεια την απώλεια του redundancy.

Η απόφαση για εφαρμογή ή όχι λοιπόν του Route Redistribution καθώς και η συγκεκριμένη παραμετροποίησή του επαφίεται στην εμπειρία του Network Designer καθώς και στην συστηματική παρακολούθηση του δικτύου.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ

7 Εισαγωγή στο MPLS

7.1 Μειονεκτήματα του παραδοσιακού Routing

Στο παραδοσιακό IP Routing ισχύουν τα εξής:

- Τα Routing protocols χρησιμοποιούνται σε όλες τις δικτυακές συσκευές (Routers, L3 Switches) ενός δικτύου για να διανείμουν routing πληροφορία με στόχο να δημιουργηθούν τα routing tables σε κάθε συμμετέχουσα συσκευή.
- Η προώθηση των πακέτων βασίζεται μόνο στην διεύθυνση προορισμού (με μόνη εξαίρεση το Policy Based Routing, το οποίο όμως δεν είναι scalable καθότι πρέπει να ρυθμίζεται ανά Router).
- Κάθε Router στο δίκτυο αναλύει κάθε πακέτο χωριστά και συμβουλευτεί το δικό του Routing Table για να αποφασίσει που θα το προωθήσει. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται και hop-by-hop destination-based unicast routing. Ανάλογα με το μέγεθος του Routing Table μπορεί να υπάρξουν καθυστερήσεις με αυτήν την διαδικασία.
- Μια Layer 2 τοπολογία μπορεί να είναι διαφορετική από μια Layer 3 τοπολογία οπότε υπάρχει πιθανότητα να επιλεγούν μη βέλτιστες διαδρομές. Αυτό μπορεί να συμβεί γιατί οι Layer 2 συσκευές δεν έχουν γνώση της τοπολογίας του δικτύου.

7.2 Εισαγωγή στο Multiprotocol Label Switching

Το Multiprotocol Label Switching είναι μια τεχνολογία που προσπαθεί να λύσει αρκετά από τα προαναφερθέντα προβλήματα του παραδοσιακού Routing.

Το MPLS επιδιώκει να συνδυάσει τα πλεονεκτήματα της προώθησης πακέτων σε Layer 2 με το Routing (Layer 3).

Στο MPLS η προώθηση των πακέτων βασίζεται στα Labels. Σε κάθε πακέτο εκχωρείται ένα Label. Ο μηχανισμός προώθησης που είναι η ανταλλαγή των Labels (Label Swapping) θα συζητηθεί παρακάτω. Το Label αυτό διαβάζεται από τις MPLS-enabled δικτυακές συσκευές και ουσιαστικά παρέχει την πληροφορία για το που θα προωθηθεί το πακέτο.

Τα Labels αυτά συνήθως αντιστοιχούν σε target IP Addresses. Όμως, αυτό δεν είναι υποχρεωτικό. Μπορούν να αντιστοιχηθούν και με κάποια άλλη παράμετρο όπως source IP Address.

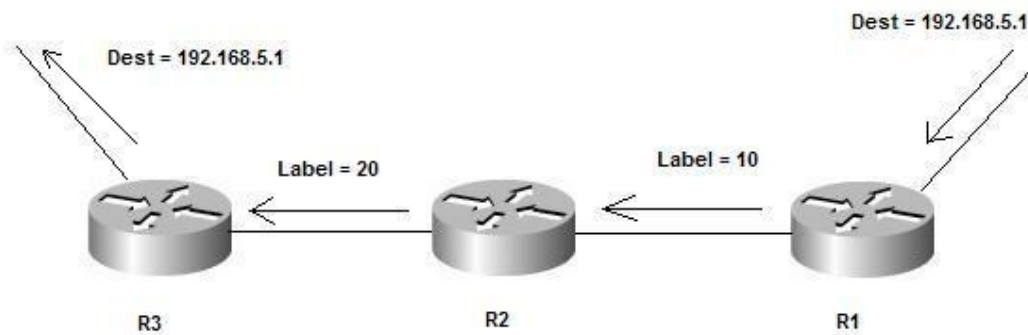
Το σημαντικό πλεονέκτημα του πρωτοκόλλου αυτού είναι ο τρόπος που εκχωρούνται τα labels και η δυνατότητα να υπάρχει ένας stack από labels. Αυτό το σημαντικό χαρακτηριστικό είναι που δίνει στο MPLS διάφορες ενδιαφέρουσες δυνατότητες όπως Traffic Engineering, Virtual Private Networks, Fast Rerouting control κλπ.

Το MPLS μπορεί να υποστηρίξει και άλλα Network protocols και όχι μόνο το IP. Αυτό ισχύει γιατί το Label Switching είναι ανεξάρτητο του Layer 3 protocol. Υποδηλώνεται και από την λέξη Multiprotocol (στα Αρχικά MPLS).

Ένας MPLS-enabled Router λέγεται και “Label Switch Router” η αλλιώς LSR. Παρακάτω θα γίνει χρήση αυτής της ορολογίας.

Τέλος, ορίζουμε σαν MPLS domain ένα σύνολο συνδεδεμένων κόμβων με ενεργοποιημένο MPLS και οι οποίοι βρίσκονται κάτω από ένα κοινό administrative domain (με την έννοια ότι τρέχουν ένα κοινό routing protocol και ανταλλάσσουν σχετική πληροφορία μεταξύ τους).

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 7-1) συνοψίζεται η λειτουργία του MPLS.



Σχήμα 7-1 Διέλευση IP πακέτου μέσα από MPLS domain.

Έστω τρεις Routers (R1, R2, R3) που «τρέχουν» MPLS.

Ένα πακέτο που προορίζεται για μια IP διεύθυνση εισέρχεται στον Router R1.

Ο Router R1 ψάχνει το Routing Table. Ένας Router που βρίσκεται στα «άκρα» του MPLS δικτύου (MPLS domain) λέγεται **Edge-LSR**.

Ο Edge-LSR (R1 στο παράδειγμα) εκτελεί ένα routing lookup.

Κατόπιν προσθέτει ένα Label στο πακέτο και το προωθεί.

Ο Router R2 λαμβάνει το πακέτο, αλλάζει το label και το επαναπροωθεί.

Ο Router R2 βρίσκεται στο εσωτερικό του MPLS δικτύου. Ένας Router του οποίου όλα τα interfaces επικοινωνούν με MPLS-enabled Routers λέγεται **Core-LSR**. Οι routers αυτής της κατηγορίας **δεν** χρειάζονται να κάνουν routing table lookup.

Ο Router R3 λαμβάνει το πακέτο αφαιρεί το label, ψάχνει το routing table και το προωθεί εκτός MPLS domain. Και ο Router αυτός είναι **Edge-LSR**.

7.3 Η Αρχιτεκτονική του MPLS

7.3.1 Το MPLS Label

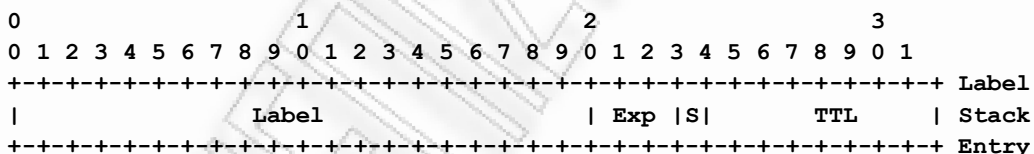
Το MPLS έχει σχεδιαστεί για να χρησιμοποιείται πρακτικά με όλα τα φυσικά μέσα (Layer 1) και όλους τους τύπους Layer 2 encapsulation.

Τα περισσότερα encapsulations είναι τύπου frame (frame-based). Σε αυτές τις περιπτώσεις το MPLS λέγεται frame-mode MPLS και το Label τοποθετείται μεταξύ του 2^{ου} και του 3^{ου} layer. Γι' αυτό καμιά φορά λέγεται ανεπίσημα και 2.5 layer.

Το ATM είναι μια ειδική περίπτωση όπου χρησιμοποιούνται πακέτα συγκεκριμένου μεγέθους (53 bytes = 5 header + 48 payload) και τα οποία ονομάζονται cells. Σε αυτές τις περιπτώσεις δεν είναι δυνατόν να παρεμβληθεί το Label οπότε χρησιμοποιεί τα πεδία (VPI/VCI) του ATM header σαν Label και το MPLS ονομάζεται cell-mode MPLS.

Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετούνται περισσότερα από ένα Labels σχηματίζοντας έτσι ένα Label Stack (όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο).

Το MPLS Label έχει μήκος 32 bits και το format του όπως περιγράφεται στο RFC3032 (MPLS Label Stack Encoding) απεικονίζεται παρακάτω:



- Label: Label Value, 20 bits
- Exp: Experimental Use, 3 bits
- S: Bottom of Stack, 1 bit
- TTL: Time to Live, 8 bits

Η χρήση των πεδίων ενός Label περιγράφεται παρακάτω:

- Label

20 bits που αποθηκεύουν την αριθμητική τιμή του Label. Όταν ένας MPLS-enabled Router λαμβάνει ένα labeled packet κάνει μία αναζήτηση με βάση την τιμή του Label στην κορυφή του Label Stack. Μια επιτυχής αναζήτηση φέρνει τις ακόλουθες πληροφορίες:

1. Το επόμενο hop που θα προωθηθεί το πακέτο.
2. Την λειτουργία που θα εκτελεστεί στον Label Stack πριν την προώθηση του πακέτου. Αυτή η λειτουργία μπορεί να είναι μία από τις παρακάτω:
 - i. Αντικατάσταση του Label που βρίσκεται στην κορυφή του Stack με άλλο (swap).
 - ii. Αφαίρεση του Label που βρίσκεται στην κορυφή του Stack (pop).
 - iii. Αντικατάσταση του Label που βρίσκεται στην κορυφή του Stack (swap) και κατόπιν εισαγωγή ενός ή περισσότερων ακόμα Labels στον Stack (push).
3. Το encapsulation του link εξόδου και γενικά ότι χρειάζεται ο Router να ξέρει για να προωθήσει το πακέτο.

- Exp

3 bits δεσμευμένα για πειραματική χρήση (συνήθως μεταφέρει την τιμή του πεδίου IP Precedence).

- S

1 bit που υποδηλώνει αν το συγκεκριμένο Label είναι το τελευταίο του Stack (bottom) οπότε έχει την τιμή 1. Διαφορετικά έχει την τιμή 0 (για όλα τα άλλα Labels).

- TTL

Time to Live. Πεδίο 8 bits που χρησιμοποιείται όπως και το TTL πεδίο στο IP packet (για να αποφευχθούν τα άπειρα loops των πακέτων).

7.3.2 Οι Εσωτερικές MPLS δομές του Router software

Το Router software παρέχει δύο κύριες λειτουργικές δομές που υποστηρίζουν το MPLS. Αυτές είναι:

- **Control Plane**

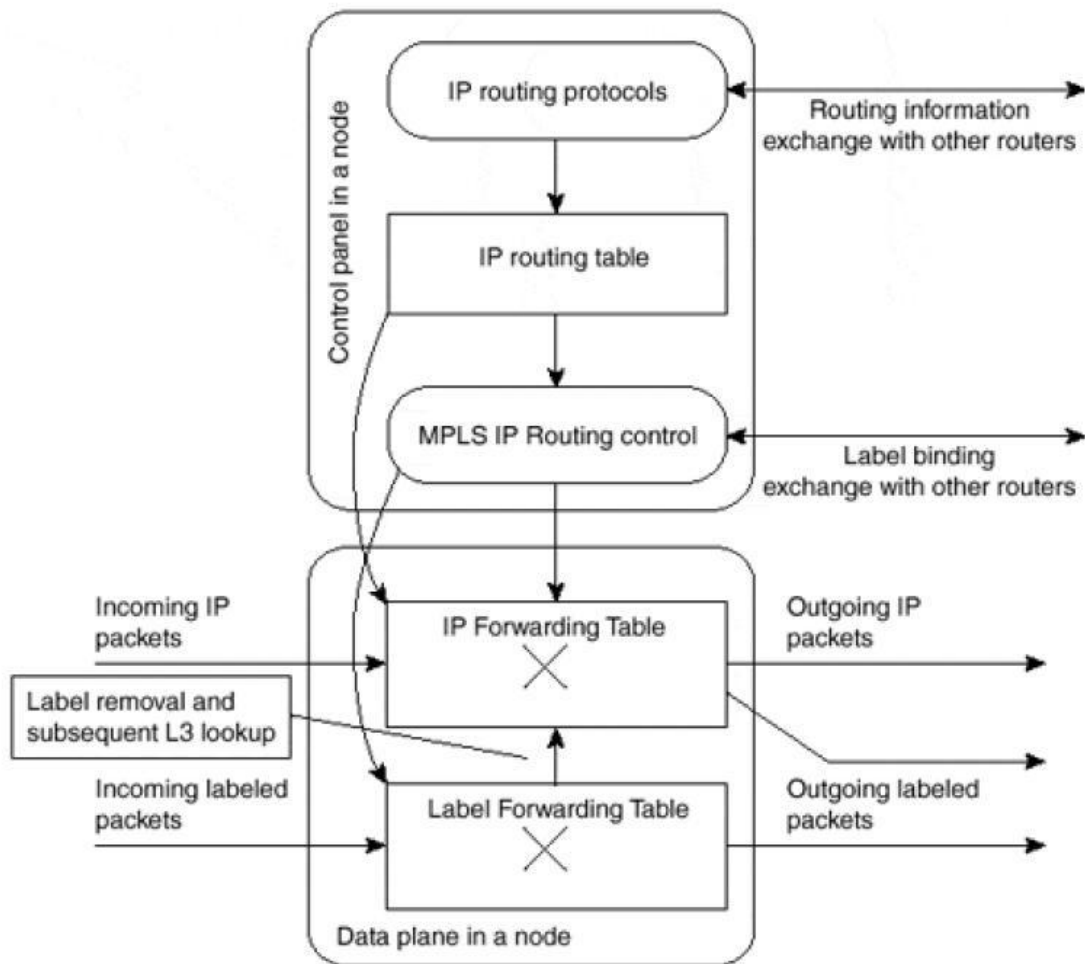
Ανταλλάσσει Layer 3 (Routing) πληροφορία και Labels. Συμπεριλαμβάνει όλους τους μηχανισμούς υποστήριξης των Routing protocols (επομένως ανταλλαγής πληροφορίας χρήσιμης για την δρομολόγηση των πακέτων). Βέβαια όλα αυτά υποστηρίζονται και από τους Routers που **δεν** είναι MPLS-enabled.

Επιπλέον όμως οι MPLS-enabled Routers ανταλλάσσουν και πληροφορία σχετικά με τα Labels. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα Label Distribution Protocol το οποίο επιπλέον της ανταλλαγής Labels, τα αντιστοιχεί σε networks που γίνονται γνωστά με την χρήση ενός Routing protocol.

- **Data Plane**

Το Data Plane αναλαμβάνει την προώθηση των πακέτων, είτε βασιζόμενο στην διεύθυνση προορισμού, είτε - στην περίπτωση των MPLS-enabled Routers - βασιζόμενο σε Labels.

Παρακάτω (Σχήμα 7-2), όχι μόνο φαίνονται αναλυτικότερα οι προαναφερθείσες δομές (control plane, data plane) αλλά αναλύονται σε περαιτέρω δομές και λειτουργίες.



Σχήμα 7-2 Control & Data Planes. Cisco Press: MPLS and VPN Architectures.

Στο Control Plane απεικονίζονται:

- Η ανταλλαγή routing πληροφορίας και η κατοπινή δημιουργία του Routing Table.
- Η ανταλλαγή των Labels.
- Η δημιουργία πίνακα αντιστοίχισης Labels και IP διευθύνσεων.

Στο Data Plane απεικονίζονται:

- Ο IP Forwarding Table που έχει σχηματιστεί από το Routing Table και χρησιμοποιείται για την προώθηση των IP packets με βάση την διεύθυνση προορισμού.
- Ο Label Forwarding Table που σχηματίζεται από κάποιο Label Exchange Protocol (πχ LDP) και χρησιμοποιείται για την προώθηση των πακέτων με βάση το Label.

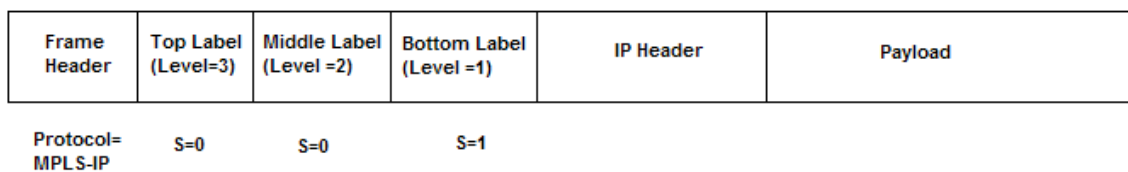
7.3.3 Ο MPLS Label Stack

Προηγουμένως έγινε αναφορά στον Label Stack. Το MPLS δεν περιορίζεται σε ένα Label. Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιούνται πολλά Labels. Το μοντέλο συγκεκριμένα είναι Last-In, First-out εξ' ου και η αναφορά σε Label Stack.

Η επεξεργασία των Labels είναι ανεξάρτητη του αριθμού τους. Το MPLS επεξεργάζεται πάντα το top Label.

Ένα unlabeled πακέτο (άρα non-MPLS) αντιμετωπίζεται σαν πακέτο χωρίς Label Stack (βάθος 0). Η αρίθμηση ξεκινά από το bottom του stack. Έτσι αν έχουμε ένα Label Stack με πχ 3 Labels, το «πιο πάνω» δηλαδή το top Label είναι το Label επιπέδου 3 και το αμέσως πιο κάτω επιπέδου 2. Το «τελευταίο» δηλαδή αυτό που είναι στο bottom του Label Stack είναι πάντα επιπέδου 1.

Τα παραπάνω απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 7-3).
Σαν Layer 3 protocol θεωρούμε το IP.



Σχήμα 7-3 MPLS Label Stack.

- Ο Layer 2 Header (Frame Header) προσδιορίζει το πρωτόκολλο που ακολουθεί (Αναλυτικότερα στην επόμενη σελίδα).
- Κατόπιν, το Top Level Label (στο Level 3) έχει το end-of-stack bit (S) ίσο με 0 το οποίο σημαίνει ότι δεν είναι το τελευταίο Label στον MPLS Label Stack.
- Τό ίδιο ισχύει και για το επόμενο Label (στο Level 2).
- Το τελευταίο Label (στο Level 1) έχει το end-of-stack bit (S) ίσο με 1. Αυτό υποδηλώνει τέλος του MPLS Stack και συνέχεια με το L3 πακέτο (IP Header + Payload).

Το MPLS Label **δεν** περιέχει πληροφορία για το L3 protocol που ακολουθεί. Γι' αυτό χρειάστηκε να οριστούν στον Layer 2 header και άλλοι τύποι πρωτοκόλλων και συγκεκριμένα ένας για κάθε MPLS-enabled L3 πρωτόκολλο.

Έτσι για το IP Protocol έχουμε τα ακόλουθα πρωτόκολλα:

- **Unlabeled IP unicast:** Αυτό είναι το γνώριμο IP Protocol σαν L3 protocol. Η τιμή του πεδίου είναι 0x0800 (hex 800).
- **Labeled IP unicast:** Αυτό είναι το IP Protocol με ένα τουλάχιστο Label πριν τον IP Header. Το bottom-of-the-stack bit προσδιορίζει την αρχή του Layer 3. Η τιμή του πεδίου είναι 0x8847.
- **Labeled IP multicast:** Προσδιορίζει το πρωτόκολλο που ακολουθεί σαν multicast IP packet με τουλάχιστον ένα Label (και εδώ το bottom-of-the-stack bit προσδιορίζει την αρχή του Layer 3). Η τιμή του πεδίου είναι 0x8848.

Το πιο συνηθισμένο είναι να υπάρχει μόνο ένα Label. Υπάρχουν όμως ειδικές χρήσεις του MPLS που επιβάλλουν την χρήση παραπάνω του ενός Labels. Αυτές είναι:

- **MPLS VPNs (2 labels)**

Το top label καθορίζει τον router εξόδου (egress router) και το δεύτερο label προσδιορίζει το VPN.

- **MPLS TE (2 ή περισσότερα labels)**

Το top label καθορίζει το endpoint του traffic engineering tunnel και το δεύτερο καθορίζει τον προορισμό.

- **MPLS VPNs συνδυασμένα με MPLS TE (3 ή περισσότερα labels)**

7.3.4 Δημιουργία και Διανομή των MPLS Labels

Όπως έχει αναφερθεί ήδη, τα MPLS Labels χρησιμοποιούνται στον μηχανισμό προώθησης. Τα MPLS Labels έχουν τοπική μόνο σημασία. Παρόλα αυτά πρέπει να αποσταλούν στους γειτονικούς Routers. Αυτό μπορεί να υλοποιηθεί με δύο τρόπους:

- Με το να συμπεριληφθεί το Label σε ένα υπαρκτό Routing protocol.
- Με το να δημιουργηθεί ένα καινούργιο πρωτόκολλο για την ανταλλαγή των Labels μεταξύ των Routers.

Η πρώτη επιλογή συνεπάγεται αλλαγή **όλων** των Routing protocols. Αυτό όχι μόνο απαιτεί πολύ μεγάλη προσπάθεια αλλά μπορεί να εισάγει και ασυμβατότητα μεταξύ δικτυακών συσκευών (πχ. μια να «τρέχει» το αρχικό routing protocol και άλλη το ανανεωμένο). Γι αυτό η δεύτερη επιλογή κρίθηκε σαν πιο πρακτική.

Έτσι δημιουργήθηκε το LDP (Label Distribution protocol) που είναι IETF standard και έχει σαν σκοπό να διανέμει MPLS Labels μεταξύ γειτονικών Routers.

Το LDP αποτελεί λειτουργία του Control Plane. Τα MPLS Labels που μεταφέρονται με αυτό το πρωτόκολλο αποθηκεύονται σε μια δομή του Control Plane που λέγεται Label Information Base (LIB).

Στην πραγματικότητα, η πληροφορία που ανταλλάσσεται μεταξύ των MPLS-enabled Routers μέσω του LDP και αποθηκεύεται στο Control Plane είναι η αντιστοιχία των IP Prefixes με MPLS Labels.

Κάθε Router παράγει ένα τοπικό Label για κάθε IP Prefix που βρίσκεται στο Routing Table του. Τον συνδυασμό αυτό (IP Prefix, Label) τον αποστέλλει στους γειτονικούς Routers με το LDP.

Ο Router που λαμβάνει αυτήν την πληροφορία ενημερώνει τον πίνακα LIB που αναφέρθηκε προηγουμένως. Το Label που έλαβε μαζί με το συγκεκριμένο IP Prefix το χαρακτηρίζει σαν next hop Label για αυτό το IP Prefix.

Το συγκεκριμένο Prefix το γνωρίζει από το Routing table, και για το οποίο (prefix) έχει φτιάξει και αυτός ένα αντίστοιχο τοπικό Label. Τα δυο αυτά Labels (next hop και τοπικό) τα αντιστοιχίζει.

Το τοπικό αυτό Label θα χρησιμοποιηθεί για να διαφημίσει ο συγκεκριμένος Router με την σειρά του την αντιστοιχία του με το IP Prefix κάνοντας χρήση του LDP.

Μετά από όλα αυτά η πληροφορία μεταφέρεται και στο Data Plane για να χρησιμοποιηθεί ως εξής:

- Στην IP Forwarding Table αντιστοιχείται το Label (που ελήφθη με το LDP) με το αντίστοιχο IP Prefix.
- Το Τοπικό Label αντιστοιχείται με το next-hop Label σε έναν άλλο Πίνακα (Label Forwarding Information Table)

Τώρα, όλες οι εσωτερικές δομές που απαιτούνται για την υλοποίηση του MPLS είναι έτοιμες να υποστηρίξουν την λειτουργία του MPLS.

Σημείωση: Η ορολογία Control και Data Planes είναι επηρεασμός από την Cisco βιβλιογραφία αλλά επιπλέον περιγράφεται συνοπτικά στο RFC2917 (A Core MPLS IP VPN Architecture Κεφ. 15 - Performance Considerations) όπου γίνεται διαχωρισμός ανάμεσα σε routing (control) plane και forwarding (data) plane.

7.4 Η Λειτουργία του MPLS

Έχοντας αναφέρει τα παραπάνω μπορούμε να διακρίνουμε διάφορα πιθανά σενάρια στην λειτουργία ενός MPLS-enabled Router (LSR).

1. Ένα unlabeled IP πακέτο εισέρχεται στον Router και απλώς γίνεται η χρήση της Forwarding Information Base για να επαναπροωθηθεί χωρίς να εισαχθεί MPLS Label (Κανονικό IP Routing). Αυτό θα μπορούσε να γίνει αν δεν υπάρχει Label για το συγκεκριμένο prefix.
2. Ένα unlabeled IP πακέτο εισέρχεται στον Router και με χρήση της πληροφορίας της Forwarding Information Base επαναπροωθείται σαν Labeled πακέτο αν υπάρχει Label για το συγκεκριμένο prefix. Το γεγονός ότι το πακέτο εισέρχεται σαν unlabeled IP και εξέρχεται labeled υποδηλώνει ότι ο συγκεκριμένος Router είναι **Edge-LSR**.
3. Ένα labeled IP πακέτο εισέρχεται στον Router και με χρήση της πληροφορίας που υπάρχει στην Label Forwarding Information Base επαναπροωθείται πάλι σαν labeled πακέτο. Αν μάλιστα όλα τα interfaces του συγκεκριμένου Router έχουν MPLS-enabled γείτονες τότε ο Router αυτός είναι **Core-LSR**.
4. Ένα labeled IP πακέτο εισέρχεται στον Router αλλά δεν βρίσκεται σχετική πληροφορία στην Label Forwarding Information Base. Το αποτέλεσμα είναι το labeled πακέτο να διαγραφεί.
5. Ένα labeled IP πακέτο εισέρχεται στον Router και με χρήση της πληροφορίας που υπάρχει στην Label Forwarding Information Base το Label αφαιρείται (pop) και στη συνέχεια το Routing Table προσδιορίζει την προώθησή του σαν unlabeled IP πακέτο. Το γεγονός ότι το πακέτο εισέρχεται σαν labeled IP και εξέρχεται unlabeled υποδηλώνει ότι ο συγκεκριμένος Router είναι **Edge-LSR**.

Μέρος 2^ο Εργαστήρια

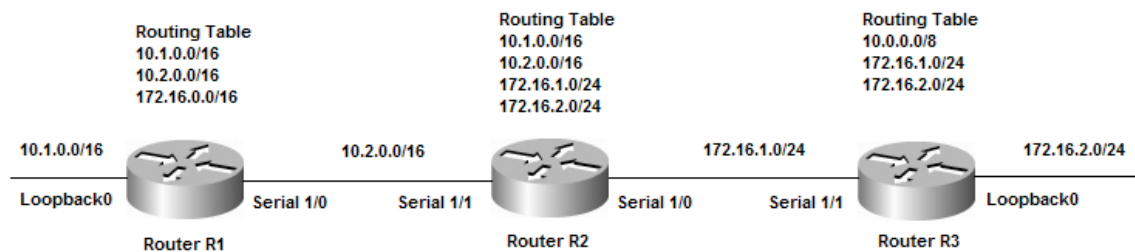
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ

РАНЕЕЗНАМО ПЕРПАА

8 Παραδείγματα RIP

8.1 Rip Classful Routing

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιούνται 3 Routers στην παρακάτω συνδεσμολογία. Και οι τρεις Routers τρέχουν RIP version 1.



Σχήμα 8-1 RIP Classful Routing

Η ρύθμιση των Routers για RIP version 1 φαίνεται παρακάτω:

```
R1(config)#router rip
R1(config-router)#version 1
R1(config-router)#network 10.0.0.0
```

```
R2(config)#router rip
R2(config-router)#version 1
R2(config-router)#network 10.0.0.0
R2(config-router)#network 172.16.0.0
```

```
R3(config)#router rip
R3(config-router)#version 1
R3(config-router)#network 172.16.0.0
```

Ο Router R1 έχει δύο interfaces με IP Addresses που ανήκουν στο 10.0.0.0 major network και ο Router R3 έχει δύο interfaces με IP Addresses που ανήκουν στο 172.16.0.0 major network. Οι Routers αυτοί συνδέονται μέσω του Router R2. Επιπλέον ισχύουν τα εξής:

1. Όλα τα subnets του major network 10.0.0.0/8 είναι συνεχόμενα.

2. Όλα τα subnets του major network 172.16.0/16 είναι συνεχόμενα.
3. Υπάρχει συνέπεια όσον αφορά την χρήση της subnet mask σε όλα τα interfaces του Routers R1 και σε όλα τα interfaces του Router R3.

Οπότε, δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα με το Routing αν και Classful.

Τα Routing Tables των τριών Routers ακολουθούν:

R1#show 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

R 172.16.0.0/16 [120/1] via 10.2.0.2, 00:00:23, Serial1/0

10.0.0.0/16 is subnetted, 2 subnets

C 10.2.0.0 is directly connected, Serial1/0

C 10.1.0.0 is directly connected, Loopback0

R1#

R2#show 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

172.16.0.0/24 is subnetted, 2 subnets

C 172.16.1.0 is directly connected, Serial1/0


```
R 172.16.2.0 [120/1] via 172.16.1.2, 00:00:17, Serial1/0
  10.0.0.0/16 is subnetted, 2 subnets
C 10.2.0.0 is directly connected, Serial1/1
R 10.1.0.0 [120/1] via 10.2.0.1, 00:00:25, Serial1/1
R2#
```

R3#show 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

```
172.16.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
C 172.16.1.0 is directly connected, Serial1/1
C 172.16.2.0 is directly connected, Loopback0
R 10.0.0.0/8 [120/1] via 172.16.1.1, 00:00:06, Serial1/1
R3#
```

Παρακάτω φαίνεται το output του debugging του Rip Protocol για κάθε έναν από τους 3 Routers. Βλέπουμε τόσο την δημιουργία των Routing Entries όσο και την αποστολή και την λήψη των Routing Updates.

R1#

```
*May 10 13:16:49.695: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Loopback0
(10.1.0.1)
*May 10 13:16:49.699: RIP: build update entries
*May 10 13:16:49.699: subnet 10.2.0.0 metric 1
*May 10 13:16:49.703: network 172.16.0.0 metric 2
*May 10 13:17:00.899: RIP: received v1 update from 10.2.0.2 on Serial1/0
*May 10 13:17:00.903: 172.16.0.0 in 1 hops
*May 10 13:17:08.591: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Serial1/0
(10.2.0.1)
*May 10 13:17:08.595: RIP: build update entries
*May 10 13:17:08.595: subnet 10.1.0.0 metric 1
```

*May 10 13:17:15.423: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Loopback0 (10.1.0.1)
*May 10 13:17:15.427: RIP: build update entries
*May 10 13:17:15.427: subnet 10.2.0.0 metric 1
*May 10 13:17:15.431: network 172.16.0.0 metric 2

R2#

*May 10 13:17:14.255: RIP: received v1 update from 172.16.1.2 on Serial1/0
*May 10 13:17:14.259: 172.16.2.0 in 1 hops
*May 10 13:17:27.591: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Serial1/1 (10.2.0.2)
*May 10 13:17:27.595: RIP: build update entries
*May 10 13:17:27.595: network 172.16.0.0 metric 1
*May 10 13:17:37.283: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Serial1/0 (172.16.1.1)
*May 10 13:17:37.287: RIP: build update entries
*May 10 13:17:37.287: network 10.0.0.0 metric 1
*May 10 13:17:38.163: RIP: received v1 update from 10.2.0.1 on Serial1/1
*May 10 13:17:38.167: 10.1.0.0 in 1 hops
*May 10 13:17:40.239: RIP: received v1 update from 172.16.1.2 on Serial1/0
*May 10 13:17:40.243: 172.16.2.0 in 1 hops
*May 10 13:17:57.479: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Serial1/1 (10.2.0.2)
*May 10 13:17:57.483: RIP: build update entries
*May 10 13:17:57.483: network 172.16.0.0 metric 1

R3#

*May 10 13:14:50.515: RIP: received v1 update from 172.16.1.1 on Serial1/1
*May 10 13:14:50.519: 10.0.0.0 in 1 hops
*May 10 13:14:51.559: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Serial1/1 (172.16.1.2)
*May 10 13:14:51.563: RIP: build update entries
*May 10 13:14:51.563: subnet 172.16.2.0 metric 1
*May 10 13:14:54.615: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Loopback0 (172.16.2.1)
*May 10 13:14:54.619: RIP: build update entries
*May 10 13:14:54.619: network 10.0.0.0 metric 2
*May 10 13:14:54.623: subnet 172.16.1.0 metric 1
*May 10 13:15:18.439: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Serial1/1 (172.16.1.2)

*May 10 13:15:18.443: RIP: build update entries
 *May 10 13:15:18.443: subnet 172.16.2.0 metric 1
 *May 10 13:15:18.655: RIP: received v1 update from 172.16.1.1 on Serial1/1
 *May 10 13:15:18.659: 10.0.0.0 in 1 hops
 *May 10 13:15:22.607: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Loopback0 (172.16.2.1)
 *May 10 13:15:22.611: RIP: build update entries
 *May 10 13:15:22.611: network 10.0.0.0 metric 2
 *May 10 13:15:22.615: subnet 172.16.1.0 metric 1

Τα παραπάνω debug outputs επαληθεύονται και από τα παρακάτω αποτελέσματα του capture των πακέτων σε μορφή αναγνώσιμη από το Wireshark.

Τα captures έγιναν μεταξύ R1 και R2. Ακολουθούν screenshots που δείχνουν το περιεχόμενο των Routing Updates. Το επιλεγμένο πακέτο (Frame 4 για το Σχήμα 8-2 και Frame 1 για το Σχήμα 8-3) φαίνεται με μπλε χρώμα στα παρακάτω δύο σχήματα.

r1.cap - Wireshark

File Edit View Go Capture Analyze Statistics Help

Filter: Expression... Clear Apply

No. -	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1	0.000000	10.2.0.2	255.255.255.255	RIPv1	Response
2	5.094000	N/A	N/A	SLARP	Line keepaliv
3	6.329000	N/A	N/A	SLARP	Line keepaliv
4	15.000000	10.2.0.1	255.255.255.255	RIPv1	Response
5	15.094000	N/A	N/A	SLARP	Line keepaliv
6	16.313000	N/A	N/A	SLARP	Line keepaliv

Frame 4 (56 bytes on wire, 56 bytes captured)
 Cisco HDLC
 Internet Protocol, Src: 10.2.0.1 (10.2.0.1), Dst: 255.255.255.255 (255.255.255.255)
 User Datagram Protocol, Src Port: router (520), Dst Port: router (520)
 Routing Information Protocol
 Command: Response (2)
 Version: RIPv1 (1)
 IP Address: 10.1.0.0, Metric: 1
 Address Family: IP (2)
 IP Address: 10.1.0.0 (10.1.0.0)
 Metric: 1

Σχήμα 8-2 Wireshark capture RIP Response (1)

Wireshark interface showing a capture of a RIPv1 response packet. The packet list table is as follows:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1	0.000000	10.2.0.2	255.255.255.255	RIPv1	Response
2	5.094000	N/A	N/A	SLARP	Line keepaliv
3	6.329000	N/A	N/A	SLARP	Line keepaliv
4	15.000000	10.2.0.1	255.255.255.255	RIPv1	Response
5	15.094000	N/A	N/A	SLARP	Line keepaliv
6	16.313000	N/A	N/A	SLARP	Line keepaliv

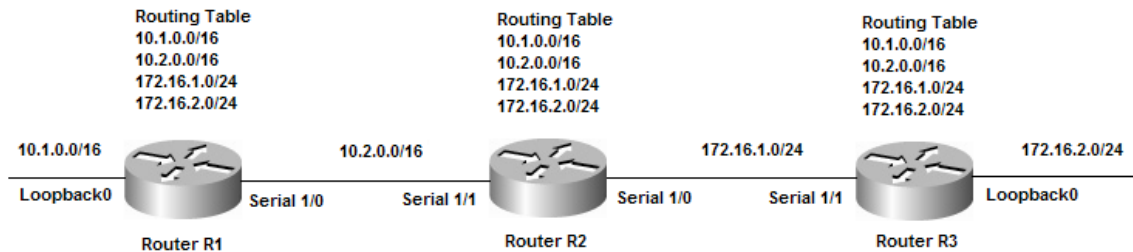
The details pane for the selected packet (Frame 4) shows the following structure:

- Frame 1 (56 bytes on wire, 56 bytes captured)
- Cisco HDLC
- Internet Protocol, Src: 10.2.0.2 (10.2.0.2), Dst: 255.255.255.255 (255.255.255.255)
- User Datagram Protocol, Src Port: router (520), Dst Port: router (520)
- Routing Information Protocol
 - Command: Response (2)
 - Version: RIPv1 (1)
 - IP Address: 172.16.0.0, Metric: 1
 - Address Family: IP (2)
 - IP Address: 172.16.0.0 (172.16.0.0)
 - Metric: 1

Σχήμα 8-3 Wireshark capture RIP Response (2)

8.2 Rip Classless Routing

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιούνται 3 Routers στην παρακάτω συνδεσμολογία. Και οι τρεις Routers τρέχουν RIP version 2.



Σχήμα 8-4 RIP Classless Routing

Ο Router R1 έχει δύο interfaces με IP Addresses που ανήκουν στο 10.0.0.0 major network και ο Router R3 έχει δύο interfaces με IP Addresses που ανήκουν στο 172.16.0.0 major network. Οι Routers αυτοί συνδέονται μέσω του Router R2. Επιπλέον ισχύει το εξής:

Και οι τρεις Routers έχουν ενεργοποιημένο Classless Routing.

Οι σχετικές εντολές ρύθμισης είναι οι εξής:

```
R1(config)#router rip
R1(config-router)#version 2
R1(config-router)#network 10.0.0.0
R1(config-router)#no auto-summary
```

```
R2(config)#router rip
R2(config-router)#version 2
R2(config-router)#network 10.0.0.0
R2(config-router)#network 172.16.0.0
R2(config-router)# no auto-summary
```

```
R3(config)#router rip
R3(config-router)#version 2
R3(config-router)#network 172.16.0.0
R3(config-router)# no auto-summary
```

Σε αντίθεση με το Classful Routing το γεγονός ότι ισχύουν και τα παρακάτω είναι αδιάφορο:

1. Όλα τα subnets του major network 10.0.0.0 είναι συνεχόμενα.
2. Όλα τα subnets του major network 172.16.0.0 είναι συνεχόμενα.
3. Υπάρχει συνέπεια όσον αφορά την χρήση της subnet mask σε όλα τα interfaces του Routers R1 και σε όλα τα interfaces του Router R3.

Ο λόγος είναι ότι κάθε Router ενημερώνεται για το routing prefix αλλά και το prefix length.

Τα Routing Tables των τριών Routers ακολουθούν:

R1#show 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

172.16.0.0/24 is subnetted, 2 subnets

R 172.16.1.0 [120/1] via 10.2.0.2, 00:00:12, Serial1/0

R 172.16.2.0 [120/2] via 10.2.0.2, 00:00:12, Serial1/0

10.0.0.0/16 is subnetted, 2 subnets

C 10.2.0.0 is directly connected, Serial1/0

C 10.1.0.0 is directly connected, Loopback0

R1#

R2#show 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

```
172.16.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
C    172.16.1.0 is directly connected, Serial1/0
R    172.16.2.0 [120/1] via 172.16.1.2, 00:00:27, Serial1/0
10.0.0.0/16 is subnetted, 2 subnets
C    10.2.0.0 is directly connected, Serial1/1
R    10.1.0.0 [120/1] via 10.2.0.1, 00:00:15, Serial1/1
R2#
```

R3#show 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

```
172.16.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
C    172.16.1.0 is directly connected, Serial1/1
C    172.16.2.0 is directly connected, Loopback0
10.0.0.0/16 is subnetted, 2 subnets
R    10.2.0.0 [120/1] via 172.16.1.1, 00:00:15, Serial1/1
R    10.1.0.0 [120/2] via 172.16.1.1, 00:00:15, Serial1/1
R3#
```

Παρακάτω φαίνεται το output του debugging του Rip Protocol για κάθε έναν από τους 3 Routers. Βλέπουμε τόσο την δημιουργία των Routing Entries όσο και την αποστολή και την λήψη των routing updates.

R1#debug ip rip

RIP protocol debugging is on

```
*May 11 16:38:23.135: RIP: sending v2 update to 224.0.0.9 via Serial1/0 (10.2.0.1)
*May 11 16:38:23.139: RIP: build update entries
*May 11 16:38:23.139: 10.1.0.0/16 via 0.0.0.0, metric 1, tag 0
*May 11 16:38:36.615: RIP: received v2 update from 10.2.0.2 on Serial1/0
```

*May 11 16:38:36.619: 172.16.1.0/24 via 0.0.0.0 in 1 hops
*May 11 16:38:36.619: 172.16.2.0/24 via 0.0.0.0 in 2 hops
*May 11 16:38:39.547: RIP: sending v2 update to 224.0.0.9 via Loopback0 (10.1.0.1)
*May 11 16:38:39.551: RIP: build update entries
*May 11 16:38:39.551: 10.2.0.0/16 via 0.0.0.0, metric 1, tag 0
*May 11 16:38:39.555: 172.16.1.0/24 via 0.0.0.0, metric 2, tag 0
*May 11 16:38:39.559: 172.16.2.0/24 via 0.0.0.0, metric 3, tag 0
*May 11 16:38:39.567: RIP: ignored v2 packet from 10.1.0.1 (sourced from one of our addresses)
*May 11 16:38:52.023: RIP: sending v2 update to 224.0.0.9 via Serial1/0 (10.2.0.1)

R2#

*May 11 16:38:23.131: RIP: received v2 update from 10.2.0.1 on Serial1/1
*May 11 16:38:23.135: 10.1.0.0/16 via 0.0.0.0 in 1 hops
*May 11 16:38:36.367: RIP: sending v2 update to 224.0.0.9 via Serial1/1 (10.2.0.2)
*May 11 16:38:36.371: RIP: build update entries
*May 11 16:38:36.371: 172.16.1.0/24 via 0.0.0.0, metric 1, tag 0
*May 11 16:38:36.375: 172.16.2.0/24 via 0.0.0.0, metric 2, tag 0
*May 11 16:38:38.723: RIP: received v2 update from 172.16.1.2 on Serial1/0
*May 11 16:38:38.727: 172.16.2.0/24 via 0.0.0.0 in 1 hops
*May 11 16:38:47.843: RIP: sending v2 update to 224.0.0.9 via Serial1/0 (172.16.1.1)
*May 11 16:38:47.847: RIP: build update entries
*May 11 16:38:47.847: 10.1.0.0/16 via 0.0.0.0, metric 2, tag 0
*May 11 16:38:47.851: 10.2.0.0/16 via 0.0.0.0, metric 1, tag 0
*May 11 16:38:51.999: RIP: received v2 update from 10.2.0.1 on Serial1/1
*May 11 16:38:52.003: 10.1.0.0/16 via 0.0.0.0 in 1 hops
*May 11 16:39:03.771: RIP: sending v2 update to 224.0.0.9 via Serial1/1 (10.2.0.2)

R3#

*May 11 16:38:33.015: RIP: sending v2 update to 224.0.0.9 via Loopback0 (172.16.2.1)
*May 11 16:38:33.019: RIP: build update entries
*May 11 16:38:33.019: 10.1.0.0/16 via 0.0.0.0, metric 3, tag 0
*May 11 16:38:33.023: 10.2.0.0/16 via 0.0.0.0, metric 2, tag 0
*May 11 16:38:33.027: 172.16.1.0/24 via 0.0.0.0, metric 1, tag 0
*May 11 16:38:33.035: RIP: ignored v2 packet from 172.16.2.1 (sourced from one of our addresses)
*May 11 16:38:38.475: RIP: sending v2 update to 224.0.0.9 via Serial1/1 (172.16.1.2)
*May 11 16:38:38.479: RIP: build update entries
*May 11 16:38:38.479: 172.16.2.0/24 via 0.0.0.0, metric 1, tag 0
*May 11 16:38:47.867: RIP: received v2 update from 172.16.1.1 on Serial1/1

- *May 11 16:38:47.871: 10.1.0.0/16 via 0.0.0.0 in 2 hops
- *May 11 16:38:47.875: 10.2.0.0/16 via 0.0.0.0 in 1 hops
- *May 11 16:39:00.615: RIP: sending v2 update to 224.0.0.9 via Loopback0 (172.16.2.1)

Τα παραπάνω debug outputs επαληθεύονται και από τα παρακάτω αποτελέσματα του capture των πακέτων σε μορφή αναγνώσιμη από το Wireshark.

Σημείωση: Έγινε χρήση της δυνατότητας του Cisco emulator που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη εργασία να δημιουργεί wireshark compatible captures ανεξαρτήτως τύπου interface.

Τα captures έγιναν μεταξύ R1 και R2. Ακολουθούν screenshots που δείχνουν το περιεχόμενο των Routing Updates. Το επιλεγμένο πακέτο (Frame 8 για το Σχήμα 8-5 και Frame 13 για το Σχήμα 8-6) φαίνεται με μπλε χρώμα στα παρακάτω δύο σχήματα.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
6	12.219000	N/A	N/A	SLARP	Line keep.
7	13.281000	N/A	N/A	SLARP	Line keep.
8	21.219000	10.2.0.1	224.0.0.9	RIPV2	Response
9	22.234000	N/A	N/A	SLARP	Line keep.
10	23.281000	N/A	N/A	SLARP	Line keep.

Frame 8 (56 bytes on wire, 56 bytes captured)

- ⊕ Cisco HDLC
- ⊕ Internet Protocol, Src: 10.2.0.1 (10.2.0.1), Dst: 224.0.0.9 (224.0.0.9)
- ⊕ User Datagram Protocol, Src Port: router (520), Dst Port: router (520)
- ⊖ Routing Information Protocol
 - Command: Response (2)
 - Version: RIPv2 (2)
 - Routing Domain: 0
 - ⊖ IP Address: 10.1.0.0, Metric: 1
 - Address Family: IP (2)
 - Route Tag: 0
 - IP Address: 10.1.0.0 (10.1.0.0)
 - Netmask: 255.255.0.0 (255.255.0.0)
 - Next Hop: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
 - Metric: 1

Σχήμα 8-5 Wireshark capture Classless RIP Response (1)

The image shows a Wireshark capture of a Classless RIP Response (2) packet. The packet list pane shows the following data:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
12	33.281000	N/A	N/A	SLARP	Line keepa
13	34.562000	10.2.0.2	224.0.0.9	RIPV2	Response
14	42.234000	N/A	N/A	SLARP	Line keepa
15	43.297000	N/A	N/A	SLARP	Line keepa

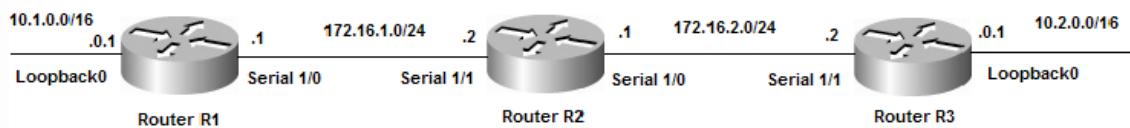
The packet details pane for frame 13 shows the following structure:

- Frame 13 (76 bytes on wire, 76 bytes captured)
- Cisco HDLC
- Internet Protocol, Src: 10.2.0.2 (10.2.0.2), Dst: 224.0.0.9 (224.0.0.9)
- User Datagram Protocol, Src Port: router (520), Dst Port: router (520)
- Routing Information Protocol
 - Command: Response (2)
 - Version: RIPv2 (2)
 - Routing Domain: 0
 - IP Address: 172.16.1.0, Metric: 1
 - Address Family: IP (2)
 - Route Tag: 0
 - IP Address: 172.16.1.0 (172.16.1.0)
 - Netmask: 255.255.255.0 (255.255.255.0)
 - Next Hop: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
 - Metric: 1
 - IP Address: 172.16.2.0, Metric: 2
 - Address Family: IP (2)
 - Route Tag: 0
 - IP Address: 172.16.2.0 (172.16.2.0)
 - Netmask: 255.255.255.0 (255.255.255.0)
 - Next Hop: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
 - Metric: 2

Σχήμα 8-6 Wireshark capture Classless RIP Response (2)

8.3 Rip: Classful Routing Discontinuous Subnets

Θα εξεταστεί η περίπτωση των discontinuous subnets όπως εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα όπου χρησιμοποιούνται 3 Routers στην παρακάτω συνδεσμολογία. Και οι τρεις Routers τρέχουν RIP version 1.



Σχήμα 8-7 Classful Routing Discontinuous Subnets (1)

Έστω ότι δοκιμάζουμε από τον Router R1 να κάνουμε ping το Loopback0 interface του Router R3.

```
R1#ping 10.2.0.1
```

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.2.0.1, timeout is 2 seconds:

.....

Success rate is 0 percent (0/5)

```
R1#
```

Παρατηρούμε αποτυχία. Όμοια δοκιμάζουμε από τον Router R3 να κάνουμε ping το Loopback0 interface του Router R1.

```
R3#ping 10.1.0.1
```

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.1.0.1, timeout is 2 seconds:

.....

Success rate is 0 percent (0/5)

```
R3#
```

Επίσης αποτυχία. Η εξήγηση βρίσκεται αν εξετάσουμε τα Routing Tables των Routers.

```
R1#show 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

```
172.16.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
C    172.16.1.0 is directly connected, Serial1/0
R    172.16.2.0 [120/1] via 172.16.1.2, 00:00:26, Serial1/0
10.0.0.0/16 is subnetted, 1 subnets
C    10.1.0.0 is directly connected, Loopback0
R1#
```

Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει στο Routing Table το subnet 10.2.0.0. Αυτό θα εξηγηθεί παρακάτω. Όμοια και για τον R3 δεν υπάρχει στο Routing Table το subnet 10.1.0.0:

R3#show 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

```
172.16.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
R    172.16.1.0 [120/1] via 172.16.2.1, 00:00:12, Serial1/1
C    172.16.2.0 is directly connected, Serial1/1
10.0.0.0/16 is subnetted, 1 subnets
C    10.2.0.0 is directly connected, Loopback0
R3#
```

Το ενδιαφέρον είναι το Routing Table του Router R2:

R2#show 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

172.16.0.0/24 is subnetted, 2 subnets

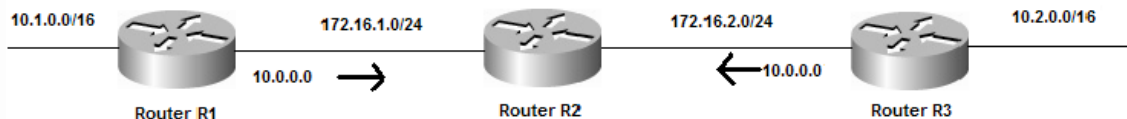
C 172.16.1.0 is directly connected, Serial1/1

C 172.16.2.0 is directly connected, Serial1/0

R 10.0.0.0/8 [120/1] via 172.16.2.2, 00:00:23, Serial1/0
 [120/1] via 172.16.1.1, 00:00:21, Serial1/1

R2#

Όλοι οι Routers χρησιμοποιούν RIP version 1 και επίσης παρεμβάλλεται ο Router (R2) τα Interfaces του οποίου ανήκουν σε διαφορετικό Major network number (172.16.0.0 αντί για 10.0.0.0). Ως εκ τούτου οι Routers R1 και R3 αποστέλλουν στα Routing Updates μόνο το Major Network Number (10.0.0.0). Το αποτέλεσμα είναι ο Router R2 να έχει δύο next hops (με τα ίδια metrics) για το ίδιο subnet.



Σχήμα 8-8 Classful Routing Discontinuous Subnets (2)

Θα μπορούσε κάποιος να πει ότι με την εφαρμογή του κανόνα του Split Horizon ένας Router που λαμβάνει ένα route update από ένα interface δεν αποστέλλει το route update από το ίδιο interface. Έτσι αφού ο Router R2 λαμβάνει το route update για το 10.0.0.0 και από τα δύο interfaces δεν το στέλνει σε κανένα από αυτά. Αυτό είναι σωστό. Όμως δεν είναι το μόνο. Αλλά καταρχήν ας το επιβεβαιώσουμε ενεργοποιώντας το debugging:

R2#**debug ip rip**

RIP protocol debugging is on

*May 12 02:16:10.415: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Serial1/0 (172.16.2.1)

*May 12 02:16:10.419: RIP: build update entries

```

*May 12 02:16:10.419: subnet 172.16.1.0 metric 1
*May 12 02:16:20.915: RIP: received v1 update from 172.16.2.2 on Serial1/0
*May 12 02:16:20.919: 10.0.0.0 in 1 hops
*May 12 02:16:21.467: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Serial1/1
(172.16.1.2)
*May 12 02:16:21.471: RIP: build update entries
*May 12 02:16:21.471: subnet 172.16.2.0 metric 1
*May 12 02:16:36.551: RIP: received v1 update from 172.16.1.1 on Serial1/1
*May 12 02:16:36.551: 10.0.0.0 in 1 hops
*May 12 02:16:38.615: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Serial1/0
(172.16.2.1)
*May 12 02:16:38.619: RIP: build update entries
*May 12 02:16:38.619: subnet 172.16.1.0 metric 1
*May 12 02:16:47.719: RIP: received v1 update from 172.16.2.2 on Serial1/0
*May 12 02:16:47.719: 10.0.0.0 in 1 hops
*May 12 02:16:50.263: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Serial1/1
(172.16.1.2)
*May 12 02:16:50.267: RIP: build update entries
*May 12 02:16:50.267: subnet 172.16.2.0 metric 1
R2#

```

Βλέπουμε παραπάνω (με Bold) ότι ο Router R2 ετοιμάζει προς αποστολή μόνο τα route entries 172.16.1.0 και 172.16.2.0.

Κατόπιν, ας απενεργοποιήσουμε το Split Horizon στα interfaces του Router R2.

```

R2(config)#int s1/0
R2(config-if)#no ip split-horizon
R2(config-if)#int s1/0
R2(config-if)#no ip split-horizon

```

Ακολούθως ενεργοποιούμε το debugging.

```

R2#debug ip rip
RIP protocol debugging is on
*May 12 02:29:51.591: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Serial1/1
(172.16.1.2)
*May 12 02:29:51.595: RIP: build update entries
*May 12 02:29:51.595: network 10.0.0.0 metric 2
*May 12 02:29:51.599: subnet 172.16.1.0 metric 1

```

```

*May 12 02:29:51.599: subnet 172.16.2.0 metric 1
*May 12 02:29:52.231: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Serial1/0
(172.16.2.1)
*May 12 02:29:52.235: RIP: build update entries
*May 12 02:29:52.235: network 10.0.0.0 metric 2
*May 12 02:29:52.239: subnet 172.16.1.0 metric 1
*May 12 02:29:52.239: subnet 172.16.2.0 metric 1
*May 12 02:29:52.983: RIP: received v1 update from 172.16.2.2 on Serial1/0
*May 12 02:29:52.987: 10.0.0.0 in 1 hops
R2#

```

Βλέπουμε δηλαδή ότι ο Router R2 αποστέλλει και το network 10.0.0.0. Το debug δείχνει ότι λαμβάνει το route entry για το δίκτυο 10.0.0.0.

R1#debug ip rip

RIP protocol debugging is on

```

*May 12 02:37:00.583: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Loopback0
(10.1.0.1)
*May 12 02:37:00.587: RIP: build update entries
*May 12 02:37:00.587: network 172.16.0.0 metric 1
*May 12 02:37:04.247: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Serial1/0
(172.16.1.1)
*May 12 02:37:04.251: RIP: build update entries
*May 12 02:37:04.251: network 10.0.0.0 metric 1
*May 12 02:37:19.339: RIP: received v1 update from 172.16.1.2 on Serial1/0
*May 12 02:37:19.343: 10.0.0.0 in 2 hops
*May 12 02:37:19.347: 172.16.1.0 in 1 hops
*May 12 02:37:19.347: 172.16.2.0 in 1 hops

```

Αν εξετάσουμε όμως το Routing Table ας πούμε του R1 δεν θα δούμε διαφορά:

R1#show 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

172.16.0.0/24 is subnetted, 2 subnets

C 172.16.1.0 is directly connected, Serial1/0

R 172.16.2.0 [120/1] via 172.16.1.2, 00:00:06, Serial1/0

10.0.0.0/16 is subnetted, 1 subnets

C **10.1.0.0 is directly connected, Loopback0**

R1#

Πως θα μπορούσαμε όμως να ξεπεράσουμε κάτι τέτοιο υποθέτοντας ότι οι δικτυακές μας συσκευές δεν υποστήριζαν ούτε καν το RIP version 2 που είναι ένα classless protocol; Η απάντηση είναι με **Static Routes**.

R1(config)#ip route 10.2.0.0 255.255.0.0 172.16.1.2

R2(config) #ip route 10.1.0.0 255.255.0.0 172.16.1.1

R2(config) #ip route 10.2.0.0 255.255.0.0 172.16.2.2

R3(config)#ip route 10.1.0.0 255.255.0.0 172.16.2.1

Τώρα έχουμε connectivity:

R1#ping 10.2.0.1

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.2.0.1, timeout is 2 seconds:

!!!!

Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 32/101/272 ms

R1#

R3#ping 10.1.0.1

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.1.0.1, timeout is 2 seconds:

!!!!

Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 4/65/116 ms

R3#

R1#show 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

```
172.16.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
C   172.16.1.0 is directly connected, Serial1/0
R   172.16.2.0 [120/1] via 172.16.1.2, 00:00:04, Serial1/0
10.0.0.0/16 is subnetted, 2 subnets
S   10.2.0.0 [1/0] via 172.16.1.2
C   10.1.0.0 is directly connected, Loopback0
R1#
```

R3#show 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

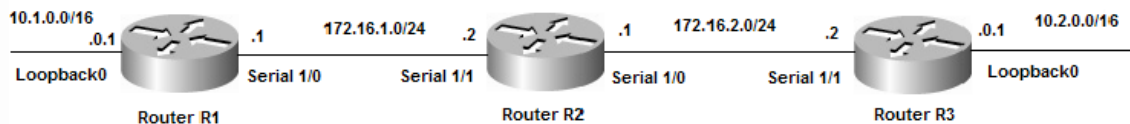
```
172.16.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
R   172.16.1.0 [120/1] via 172.16.2.1, 00:00:13, Serial1/1
C   172.16.2.0 is directly connected, Serial1/1
10.0.0.0/16 is subnetted, 2 subnets
C   10.2.0.0 is directly connected, Loopback0
S   10.1.0.0 [1/0] via 172.16.2.1
R3#
```

8.3.1 Συμπεράσματα

Ακόμα όμως και με τρεις Routers για να εισάγουμε τα static routes απαιτήθηκε configuration. Είναι προφανές ότι σε ένα μεγαλύτερο δίκτυο με αρκετά route entries η λύση των static routes για την επίλυση του προβλήματος του Discontinuous Subnets με Classful Routing Protocols **δεν είναι Scalable**. Επομένως, για το συγκεκριμένο πρόβλημα η χρήση ενός Classless Routing Protocol είναι επιβαλλόμενη.

8.4 Rip: Classless Routing Discontinuous Subnets

Τώρα, θα εξεταστεί η ίδια περίπτωση των discontinuous subnets όπως εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα με τους 3 Routers στην παρακάτω συνδεσμολογία. Η διαφορά είναι ότι και οι τρεις Routers τώρα τρέχουν RIP version 2 με απενεργοποιημένο το auto summarization.



Σχήμα 8-9 Classless Routing Discontinuous Subnets (1)

Οι εντολές για να ενεργοποιήσουμε τον συγκεκριμένο τρόπο λειτουργίας φαίνονται παρακάτω (για τον Router R1).

```
R1(config)#router rip
R1(config-router)#version 2
R1(config-router)#no auto-summary
```

Ας εξετάσουμε τώρα τα Routing Tables.

```
R1#show 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

```
172.16.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
C    172.16.1.0 is directly connected, Serial1/0
R    172.16.2.0 [120/1] via 172.16.1.2, 00:00:06, Serial1/0
10.0.0.0/16 is subnetted, 2 subnets
R    10.2.0.0 [120/2] via 172.16.1.2, 00:00:06, Serial1/0
C    10.1.0.0 is directly connected, Loopback0
```

R1#

R2#show 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

172.16.0.0/24 is subnetted, 2 subnets

C 172.16.1.0 is directly connected, Serial1/1

C 172.16.2.0 is directly connected, Serial1/0

10.0.0.0/8 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks

R 10.2.0.0/16 [120/1] via 172.16.2.2, 00:00:17, Serial1/0

R 10.0.0.0/8 [120/1] via 172.16.2.2, 00:02:37, Serial1/0

R 10.1.0.0/16 [120/1] via 172.16.1.1, 00:00:05, Serial1/1

R2#

R3#show 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

172.16.0.0/24 is subnetted, 2 subnets

R 172.16.1.0 [120/1] via 172.16.2.1, 00:00:14, Serial1/1

C 172.16.2.0 is directly connected, Serial1/1

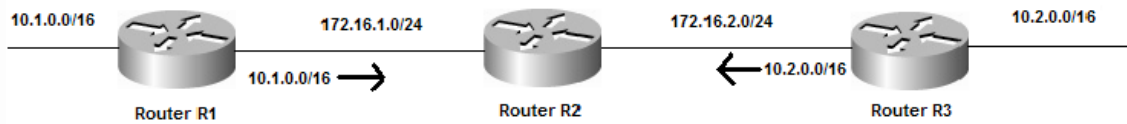
10.0.0.0/16 is subnetted, 2 subnets

C 10.2.0.0 is directly connected, Loopback0

R 10.1.0.0 [120/2] via 172.16.2.1, 00:00:14, Serial1/1

R3#

Βλέπουμε ότι στο Routing Table του κάθε Router υπάρχουν τα subnets και των άλλων.



Σχήμα 8-10 Classless Routing Discontinuous Subnets (2)

Επαληθεύουμε την συνδεσιμότητα κάνοντας Ping το loopback interface του Router R3 από τον Router R1.

R1#ping 10.2.0.1

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.2.0.1, timeout is 2 seconds:

!!!!

Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 28/54/92 ms

R1#

Επίσης κάνουμε Ping το loopback interface του Router R1 από τον Router R3.

R3#ping 10.1.0.1

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.1.0.1, timeout is 2 seconds:

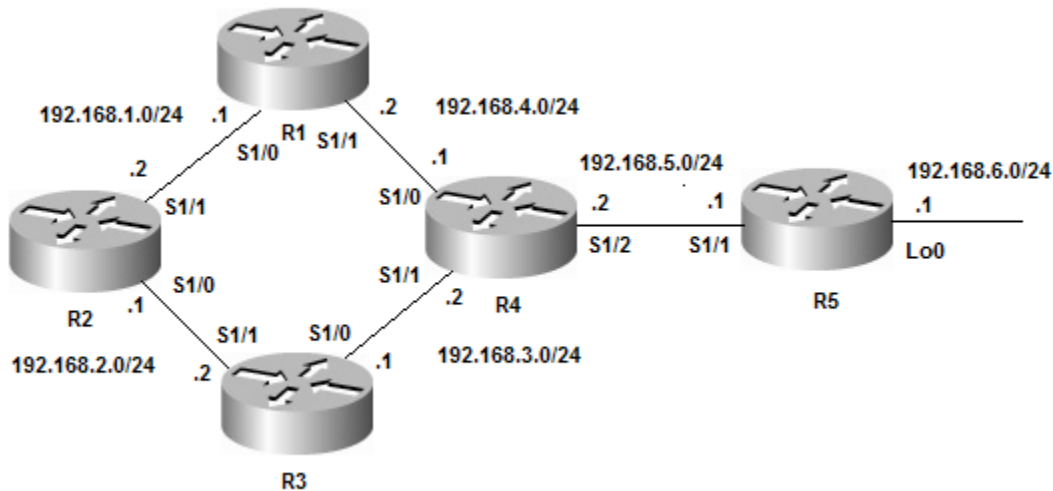
!!!!

Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 28/48/88 ms

R3#

8.5 RIP: Αντιμετώπιση του Counting to Infinity (Σενάριο 1)

Έστω ότι έχουμε 5 Routers με την παρακάτω συνδεσμολογία:



Σχήμα 8-11 RIP Counting to infinity Σενάριο 1

Το Routing protocol που τρέχουν όλοι οι Routers είναι το Rip version 2.

Σε κατάσταση ισορροπίας έχουμε πλήρη συνδεσιμότητα. Από τον Router R1 έχουμε επικοινωνία με το Loopback Interface του Router R5.

```
R1#ping 192.168.6.1
```

```
Type escape sequence to abort.
```

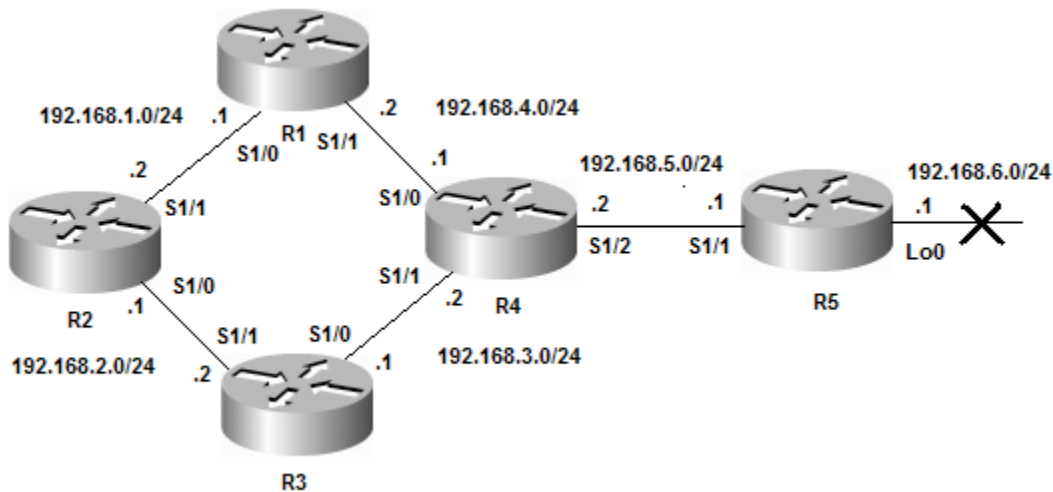
```
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.6.1, timeout is 2 seconds:
```

```
!!!!
```

```
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 8/69/120 ms
```

```
R1#
```

Θα παρακολουθήσουμε τι συμβαίνει αν γίνει down το loopback interface του Router R5 (αφού ενεργοποιήσουμε πρώτα το debugging στον Router R1).



Σχήμα 8-12 RIP Counting to infinity Σενάριο 1 (Interface Down)

```
R5(config)#int lo0
R5(config-if)#shut
```

*May 21 01:49:06.815: %LINK-5-CHANGED: Interface Loopback0, changed state to administratively down

*May 21 01:49:07.815: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to down

```
R5(config-if)#
```

Στον Router R1 έχουμε:

```
R1#debug ip rip
```

RIP protocol debugging is on

*May 21 01:49:02.575: RIP: received v2 update from 192.168.4.1 on Serial1/1

*May 21 01:49:02.579: 192.168.2.0/24 via 0.0.0.0 in 2 hops

*May 21 01:49:02.583: 192.168.3.0/24 via 0.0.0.0 in 1 hops

*May 21 01:49:02.587: 192.168.5.0/24 via 0.0.0.0 in 1 hops

*May 21 01:49:02.587: 192.168.6.0/24 via 0.0.0.0 in 2 hops

*May 21 01:49:05.851: RIP: received v2 update from 192.168.1.2 on Serial1/0

*May 21 01:49:05.855: 192.168.2.0/24 via 0.0.0.0 in 1 hops

*May 21 01:49:05.859: 192.168.3.0/24 via 0.0.0.0 in 2 hops

*May 21 01:49:09.723: RIP: received v2 update from 192.168.4.1 on Serial1/1

*May 21 01:49:09.723: 192.168.6.0/24 via 0.0.0.0 in 16 hops (inaccessible)

*May 21 01:49:11.727: RIP: sending v2 flash update to 224.0.0.9 via Serial1/0 (192.168.1.1)

*May 21 01:49:11.731: RIP: build flash update entries

```

*May 21 01:49:11.731: 192.168.6.0/24 via 0.0.0.0, metric 16, tag 0
*May 21 01:49:11.735: RIP: sending v2 flash update to 224.0.0.9 via Serial1/1
(192.168.4.2)
*May 21 01:49:11.739: RIP: build flash update entries
*May 21 01:49:11.739: 192.168.6.0/24 via 0.0.0.0, metric 16, tag 0
*May 21 01:49:13.771: RIP: received v2 update from 192.168.1.2 on Serial1/0
*May 21 01:49:13.775: 192.168.6.0/24 via 0.0.0.0 in 16 hops (inaccessible)
...
... (Παραλείφθηκε λόγω μεγάλου όγκου επαναλαμβανόμενης πληροφορίας)
...
*May 21 01:50:02.235: RIP: received v2 update from 192.168.1.2 on Serial1/0
*May 21 01:50:02.239: 192.168.2.0/24 via 0.0.0.0 in 1 hops
*May 21 01:50:02.243: 192.168.3.0/24 via 0.0.0.0 in 2 hops
*May 21 01:50:02.247: 192.168.6.0/24 via 0.0.0.0 in 16 hops (inaccessible)
*May 21 01:50:10.971: RIP: sending v2 update to 224.0.0.9 via Serial1/1 (192.168.4.2)
*May 21 01:50:10.975: RIP: build update entries
*May 21 01:50:10.975: 192.168.1.0/24 via 0.0.0.0, metric 1, tag 0
*May 21 01:50:10.979: 192.168.2.0/24 via 0.0.0.0, metric 2, tag 0
*May 21 01:50:18.083: RIP: sending v2 update to 224.0.0.9 via Serial1/0
(192.168.1.1)
*May 21 01:50:18.087: RIP: build update entries
*May 21 01:50:18.087: 192.168.3.0/24 via 0.0.0.0, metric 2, tag 0
*May 21 01:50:18.091: 192.168.4.0/24 via 0.0.0.0, metric 1, tag 0
*May 21 01:50:18.095: 192.168.5.0/24 via 0.0.0.0, metric 2, tag 0
*May 21 01:50:25.351: RIP: received v2 update from 192.168.4.1 on Serial1/1
*May 21 01:50:25.355: 192.168.2.0/24 via 0.0.0.0 in 2 hops
*May 21 01:50:25.359: 192.168.3.0/24 via 0.0.0.0 in 1 hops
*May 21 01:50:25.363: 192.168.5.0/24 via 0.0.0.0 in 1 hops
*May 21 01:50:27.807: RIP: received v2 update from 192.168.1.2 on Serial1/0
*May 21 01:50:27.811: 192.168.2.0/24 via 0.0.0.0 in 1 hops
*May 21 01:50:27.815: 192.168.3.0/24 via 0.0.0.0 in 2 hops
*May 21 01:50:37.087: RIP: sending v2 update to 224.0.0.9 via Serial1/1
(192.168.4.2)

```

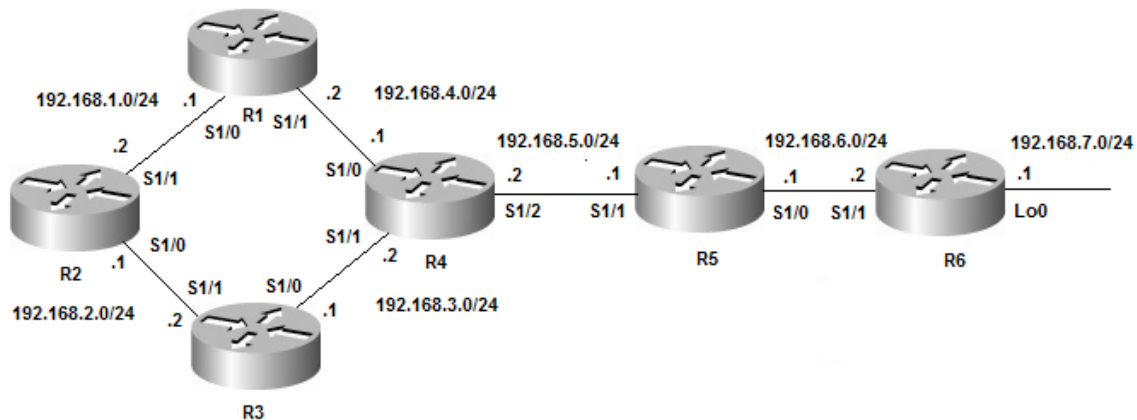
Το πρόβλημα δημιουργείται στον Router R5 στις **01:49:06.815** και το αντίστοιχο Route Entry ενημερώνεται ότι είναι μη προσπελάσιμο στις **May 21 01:50:02.247**. Τα routing updates που ξεκινούν από τις **01:50:10.975** και μετά υποδηλώνουν ότι διαγράφεται τελείως και από το Routing Table του Router R1.

Συμπεράσματα: Βλέπουμε ότι στην πράξη με την χρήση τεχνικών όπως Split-Horizon, Route Poisoning with Poisoned Reverse και Triggered Updates τα πράγματα δεν είναι τόσο τραγικά και στην πραγματικότητα δεν έχουμε καν counting to infinity!

Όμως, το παραπάνω παράδειγμα δεν είναι χαρακτηριστικό όλων των περιπτώσεων γιατί γινόταν χρήση πληροφορίας από χαμηλότερο Layer. Πιο συγκεκριμένα ο Router R5 έχοντας πληροφορία ότι ένα interface μετέβαινε στην κατάσταση Down έστειλε Route Poisoning για το αντίστοιχο routing prefix.

8.6 RIP: Αντιμετώπιση του Counting to Infinity (Σενάριο 2)

Σε αυτό το παράδειγμα προσθέτουμε 1 Router (τον R6) και έχουμε την παρακάτω συνδεσμολογία:



Σχήμα 8-13 Counting to infinity Σενάριο 2

Σε κατάσταση ισορροπίας υπάρχουν στα Routing Tables όλων των Routers πληροφορίες και για τα 7 network segments.

Το Routing protocol που τρέχουν όλοι οι Routers είναι το Rip version 2.

Σε κατάσταση ισορροπίας έχουμε πλήρη συνδεσιμότητα. Από τον Router R1 έχουμε επικοινωνία με το Loopback Interface του Router R6.

```
R1#ping 192.168.7.1
```

```
Type escape sequence to abort.
```

```
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.7.1, timeout is 2 seconds:
```

```
!!!!
```

```
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 28/96/176 ms
```

```
R1#
```

Ας εξετάσουμε 2 Routing Tables, το Routing Table του Router R1 και το Routing Table του Router R5:

```
R1#show 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 192.168.4.0/24 is directly connected, Serial1/1
R 192.168.5.0/24 [120/1] via 192.168.4.1, 00:00:12, Serial1/1
R 192.168.6.0/24 [120/2] via 192.168.4.1, 00:00:12, Serial1/1
R 192.168.7.0/24 [120/3] via 192.168.4.1, 00:00:12, Serial1/1
C 192.168.1.0/24 is directly connected, Serial1/0
R 192.168.2.0/24 [120/1] via 192.168.1.2, 00:00:09, Serial1/0
R 192.168.3.0/24 [120/1] via 192.168.4.1, 00:00:12, Serial1/1
R1#
```

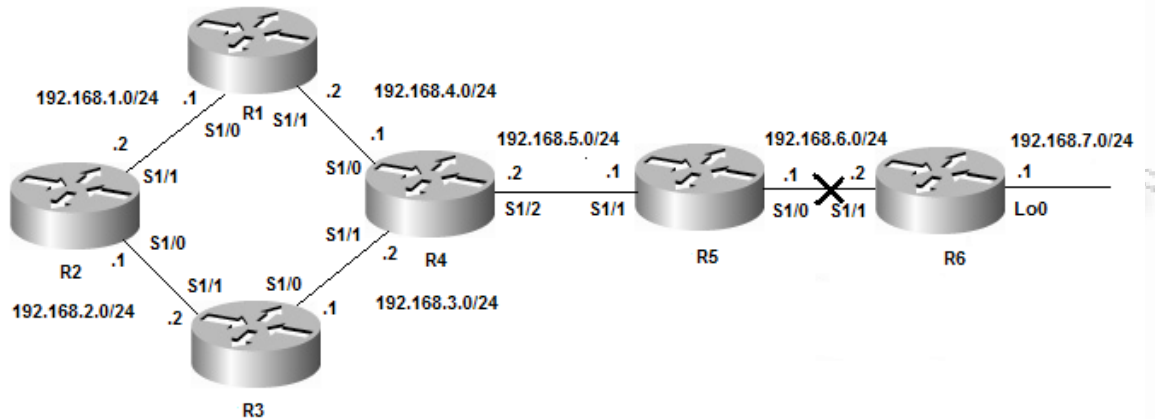
R5#show ip route

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

```
R 192.168.4.0/24 [120/1] via 192.168.5.2, 00:00:10, Serial1/1
C 192.168.5.0/24 is directly connected, Serial1/1
C 192.168.6.0/24 is directly connected, Serial1/0
R 192.168.7.0/24 [120/1] via 192.168.6.2, 00:00:08, Serial1/0
R 192.168.1.0/24 [120/2] via 192.168.5.2, 00:00:10, Serial1/1
R 192.168.2.0/24 [120/2] via 192.168.5.2, 00:00:10, Serial1/1
R 192.168.3.0/24 [120/1] via 192.168.5.2, 00:00:10, Serial1/1
R5#
```

Και σε αυτήν την περίπτωση θα εξομοιώσουμε μια διακοπή με το να κάνουμε Down ένα Interface. Πιο συγκεκριμένα, θα κάνουμε down το Interface Serial 1/1 του Router R6 με στόχο να αποκόψουμε το segment με prefix 192.168.7.0/24.



Σχήμα 8-14 Counting to infinity Σενάριο 2 (Διακοπή επικοινωνίας)

Όμως σε αυτήν την περίπτωση θα εμποδίσουμε τον Router R5 να ενημερωθεί ότι η σύνδεση του Serial 1/0 Interface του με τον Router R6 είναι Down για να μην γυρίσουμε στην προηγούμενη περίπτωση όπου ένα χαμηλότερο Layer ειδοποιούσε το ανώτερο, το οποίο με τη σειρά του χαρακτήριζε κάποια Routing entries σαν “inaccessible” (Route poisoning).

Θα το επιτύχουμε αυτό δίνοντας τις παρακάτω εντολές:

```
R5(config)#int s1/0
R5(config-if)#no keepalive
```

```
R6(config)#int s1/0
R6(config-if)#no keepalive
```

Κατόπιν κάνουμε **shutdown** το interface s1/1 του Router R6. Ο Router R5 απλά θα σταματήσει να λαμβάνει Routing Updates από τον Router R6.

```
R6(config)#int s1/1
R6(config-if)#shutdown
```

```
*Jul 1 02:52:03.303: %LINK-5-CHANGED: Interface Serial1/1, changed state to
administratively down
*Jul 1 02:52:03.307: %ENTITY_ALARM-6-INFO: ASSERT INFO Se1/1 Physical Port
Administrative State Down
*Jul 1 02:52:04.303: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface
Serial1/1, changed state to down
```

Το interface s1/1 γίνεται shutdown στον Router R6 περίπου στις **02:52:03**

Μέχρι τις 2:52:03 ο Router R5 λαμβάνει Routing Updates για το prefix 192.168.7.0/24

```
*Jul 1 02:51:46.127: RIP: received v2 update from 192.168.6.2 on Serial1/0
*Jul 1 02:51:46.131:   192.168.7.0/24 via 0.0.0.0 in 1 hops
*Jul 1 02:51:46.135: RIP: Update contains 1 routes
*Jul 1 02:51:55.419: RIP: received v2 update from 192.168.5.2 on Serial1/1
*Jul 1 02:51:55.423:   192.168.1.0/24 via 0.0.0.0 in 2 hops
*Jul 1 02:51:55.427:   192.168.2.0/24 via 0.0.0.0 in 2 hops
*Jul 1 02:51:55.431:   192.168.3.0/24 via 0.0.0.0 in 1 hops
*Jul 1 02:51:55.431:   192.168.4.0/24 via 0.0.0.0 in 1 hops
*Jul 1 02:51:55.435: RIP: Update contains 4 routes
*Jul 1 02:52:01.091: RIP: sending v2 update to 224.0.0.9 via Serial1/1 (192.168.5.1)
*Jul 1 02:52:01.095: RIP: build update entries
*Jul 1 02:52:01.099:   192.168.6.0/24 via 0.0.0.0, metric 1, tag 0
*Jul 1 02:52:01.099:   192.168.7.0/24 via 0.0.0.0, metric 2, tag 0
*Jul 1 02:52:01.103: RIP: Update contains 2 routes
*Jul 1 02:52:01.107: RIP: Update queued
*Jul 1 02:52:01.107: RIP: Update sent via Serial1/1
```

Μετά τις 2:52:03 δεν υπάρχουν Routing Updates από τον Router R6.

```
*Jul 1 02:52:10.323: RIP: sending v2 update to 224.0.0.9 via Serial1/0 (192.168.6.1)
*Jul 1 02:52:10.327: RIP: build update entries
*Jul 1 02:52:10.327:   192.168.1.0/24 via 0.0.0.0, metric 3, tag 0
*Jul 1 02:52:10.331:   192.168.2.0/24 via 0.0.0.0, metric 3, tag 0
*Jul 1 02:52:10.335:   192.168.3.0/24 via 0.0.0.0, metric 2, tag 0
*Jul 1 02:52:10.335:   192.168.4.0/24 via 0.0.0.0, metric 2, tag 0
*Jul 1 02:52:10.339:   192.168.5.0/24 via 0.0.0.0, metric 1, tag 0
*Jul 1 02:52:10.339: RIP: Update contains 5 routes
*Jul 1 02:52:10.339: RIP: Update queued
*Jul 1 02:52:10.343: RIP: Update sent via Serial1/0
*Jul 1 02:52:25.299: RIP: received v2 update from 192.168.5.2 on Serial1/1
*Jul 1 02:52:25.303:   192.168.1.0/24 via 0.0.0.0 in 2 hops
*Jul 1 02:52:25.307:   192.168.2.0/24 via 0.0.0.0 in 2 hops
*Jul 1 02:52:25.311:   192.168.3.0/24 via 0.0.0.0 in 1 hops
*Jul 1 02:52:25.311:   192.168.4.0/24 via 0.0.0.0 in 1 hops
*Jul 1 02:52:25.315: RIP: Update contains 4 routes
```

Στο διάστημα αυτό ο Router R5 συνεχίζει να ενημερώνει για το prefix 192.168.7.0/24 αποστέλλοντας updates από το άλλο interface του (Serial 1/1)

***Jul 1 02:52:26.723: RIP: sending v2 update to 224.0.0.9 via Serial1/1 (192.168.5.1)**

*Jul 1 02:52:26.727: RIP: build update entries

*Jul 1 02:52:26.731: 192.168.6.0/24 via 0.0.0.0, metric 1, tag 0

***Jul 1 02:52:26.735: 192.168.7.0/24 via 0.0.0.0, metric 2, tag 0**

*Jul 1 02:52:26.735: RIP: Update contains 2 routes

*Jul 1 02:52:26.739: RIP: Update queued

***Jul 1 02:52:26.743: RIP: Update sent via Serial1/1**

Όμως παρατηρούμε ότι τώρα δεν αλλάζει (αμέσως) το Routing Table του Router R5. Το prefix 192.168.7.0/24 συνεχίζει να υπάρχει για τα επόμενα 3 λεπτά (μέχρι δηλαδή να γίνει timeout).

R5#show 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

R 192.168.4.0/24 [120/1] via 192.168.5.2, 00:00:14, Serial1/1

C 192.168.5.0/24 is directly connected, Serial1/1

C 192.168.6.0/24 is directly connected, Serial1/0

R 192.168.7.0/24 [120/1] via 192.168.6.2, 00:02:45, Serial1/0

R 192.168.1.0/24 [120/2] via 192.168.5.2, 00:00:14, Serial1/1

R 192.168.2.0/24 [120/2] via 192.168.5.2, 00:00:14, Serial1/1

R 192.168.3.0/24 [120/1] via 192.168.5.2, 00:00:14, Serial1/1

R5#

Στα 3 λεπτά το route prefix 192.168.7.0/24 γίνεται delete και ξεκινάει το hold down period.

***Jul 1 02:54:49.683: RT: delete route to 192.168.7.0 via 192.168.6.2, rip metric [120/1]**

*Jul 1 02:54:49.687: RT: SET_LAST_RDB for 192.168.7.0/24 OLD rdb: via 11.13.11.13

***Jul 1 02:54:49.691: RT: no routes to 192.168.7.0, entering holddown**

*Jul 1 02:54:49.695: RT: NET-RED 192.168.7.0/24

Αμέσως μετά αποστέλλονται triggered updates όπου περιέχουν το 192.168.7.0/24 prefix με metric 16 δηλαδή το κάνουν poison.

***Jul 1 02:54:51.699: RIP: sending v2 flash update to 224.0.0.9 via Serial1/1 (192.168.5.1)**

***Jul 1 02:54:51.703: RIP: build flash update entries**

***Jul 1 02:54:51.703: 192.168.7.0/24 via 0.0.0.0, metric 16, tag 0**

*Jul 1 02:54:51.707: RIP: Update contains 1 routes

*Jul 1 02:54:51.711: RIP: Update queued

***Jul 1 02:54:51.711: RIP: sending v2 flash update to 224.0.0.9 via Serial1/0 (192.168.6.1)**

***Jul 1 02:54:51.715: RIP: build flash update entries**

***Jul 1 02:54:51.715: 192.168.7.0/24 via 0.0.0.0, metric 16, tag 0**

*Jul 1 02:54:51.719: RIP: Update contains 1 routes

*Jul 1 02:54:51.723: RIP: Update queued

*Jul 1 02:54:51.723: RIP: Update sent via Serial1/1

*Jul 1 02:54:51.727: RIP: Update sent via Serial1/0

*Jul 1 02:54:51.995: RIP: sending v2 update to 224.0.0.9 via Serial1/0 (192.168.6.1)

*Jul 1 02:54:51.999: RIP: build update entries

*Jul 1 02:54:51.999: 192.168.1.0/24 via 0.0.0.0, metric 3, tag 0

*Jul 1 02:54:52.003: 192.168.2.0/24 via 0.0.0.0, metric 3, tag 0

*Jul 1 02:54:52.007: 192.168.3.0/24 via 0.0.0.0, metric 2, tag 0

*Jul 1 02:54:52.007: 192.168.4.0/24 via 0.0.0.0, metric 2, tag 0

*Jul 1 02:54:52.011: 192.168.5.0/24 via 0.0.0.0, metric 1, tag 0

***Jul 1 02:54:52.011: 192.168.7.0/24 via 0.0.0.0, metric 16, tag 0**

*Jul 1 02:54:52.011: RIP: Update contains 6 routes

*Jul 1 02:54:52.011: RIP: Update queued

*Jul 1 02:54:52.011: RIP: Update sent via Serial1/0

Η εξέταση του Routing Table τώρα δείχνει το 192.168.7.0/24 σαν possibly down.

R5#show 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

```
R 192.168.4.0/24 [120/1] via 192.168.5.2, 00:00:09, Serial1/1
C 192.168.5.0/24 is directly connected, Serial1/1
C 192.168.6.0/24 is directly connected, Serial1/0
R 192.168.7.0/24 is possibly down, routing via 192.168.6.2, Serial1/0
R 192.168.1.0/24 [120/2] via 192.168.5.2, 00:00:09, Serial1/1
R 192.168.2.0/24 [120/2] via 192.168.5.2, 00:00:09, Serial1/1
R 192.168.3.0/24 [120/1] via 192.168.5.2, 00:00:09, Serial1/1
R5#
```

Λίγο αργότερα έρχονται τα παρακάτω μηνύματα που δείχνουν ότι πλέον το 192.168.7.0/24 είναι inaccessible.

```
R5#
*Jul 1 02:54:53.755: RIP: received v2 update from 192.168.5.2 on Serial1/1
*Jul 1 02:54:53.759: 192.168.7.0/24 via 0.0.0.0 in 16 hops (inaccessible)
*Jul 1 02:54:53.759: RT: 192.168.7.0 came out of holddown
*Jul 1 02:54:53.763: RIP: Update contains 1 routes
R5#
```

Φυσικά το prefix φεύγει από το Routing Table.

R5#show 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

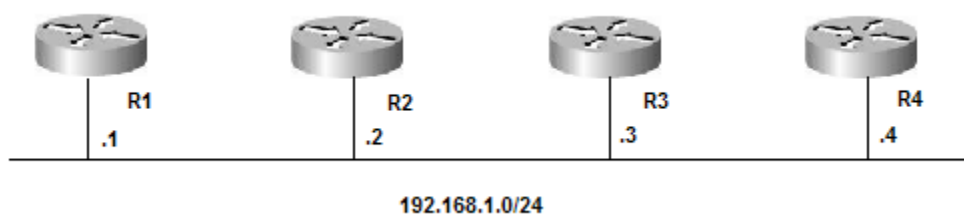
```
R 192.168.4.0/24 [120/1] via 192.168.5.2, 00:00:09, Serial1/1
C 192.168.5.0/24 is directly connected, Serial1/1
C 192.168.6.0/24 is directly connected, Serial1/0
R 192.168.1.0/24 [120/2] via 192.168.5.2, 00:00:09, Serial1/1
R 192.168.2.0/24 [120/2] via 192.168.5.2, 00:00:09, Serial1/1
R 192.168.3.0/24 [120/1] via 192.168.5.2, 00:00:09, Serial1/1
R5#
```

Συμπεράσματα: Τώρα είδαμε στην πράξη και την εφαρμογή των timeout και hold-down timers επιπλέον των Split-Horizon, Route Poisoning with Poisoned Reverse και Triggered Updates που είδαμε και πριν. Και πάλι δεν έχουμε πρόβλημα countdown to infinity.

9 Παραδείγματα OSPF

9.1 OSPF Single Area Broadcast Network

Θα μελετήσουμε κατ' αρχήν ένα τμήμα Αυτόνομου Συστήματος οι Routers του οποίου τρέχουν OSPF, συνδέονται σε ένα broadcast network και ανήκουν σε μια Area. Ο λόγος είναι αφ' ενός για να φανεί η λογική επιλογής του Designated Router και αφ' ετέρου για να μελετηθεί η Link State Database. Επίσης μπορούμε να μελετήσουμε το Hello Protocol.



Σχήμα 9-1 OSPF Single Area Broadcast Network

Στο παραπάνω δίκτυο οι τέσσερις Routers R1, R2, R3 και R4 ανήκουν όλοι στο ίδιο network (192.168.1.0/24) με διευθύνσεις αντίστοιχα:

192.168.1.1/24, 192.168.1.2/24, 192.168.1.3/24 και 192.168.1.4/24 στο Ethernet interface τους. Δεν έχουν δοθεί συγκεκριμένες οδηγίες για να αλλάξει το Router id τους και έχουν ενεργοποιημένο μόνο το συγκεκριμένο Ethernet interface.

Ας ξεκινήσουμε παρατηρώντας το status των neighboring routers του Router R1.

```
R1#show ip ospf neighbor
```

```
Neighbor ID Pri State          Dead Time Address      Interface
192.168.1.2  1  2WAY/DROTHER 00:00:39 192.168.1.2  FastEthernet0/0
192.168.1.3  1  FULL/BDR     00:00:31 192.168.1.3  FastEthernet0/0
192.168.1.4  1  FULL/DR      00:00:39 192.168.1.4  FastEthernet0/0
R1#
```

Και από την παραπάνω αναφορά λοιπόν βλέπουμε ότι ο Designated Router είναι ο 192.168.1.4 (R4) και Backup Designated Router ο 192.168.1.3 (R3).

Και αυτό είναι λογικό. Κάθε Router έχει μόνο ένα interface ενεργοποιημένο άρα αποκτά το Router Id του από αυτό το interface. Επομένως ο Router με το υψηλότερο Router Id είναι ο R4 και ο Router με το αμέσως υψηλότερο ο R3.

Ο Router R1 έχει δημιουργήσει Full Adjacencies μόνο με τον R4 (DR) και τον R3 (BDR) ενώ η 2WAY adjacency δείχνει ότι απλώς ο R1 και ο R2 έχουν αναγνωριστεί μεταξύ τους σαν γείτονες και τίποτα άλλο.

Από την σκοπιά του Router R4 που είναι ο Designated Router έχουμε:

```
R4#show ip ospf neighbor
```

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
192.168.1.1	1	FULL/DROTHER	00:00:37	192.168.1.1	FastEthernet0/0
192.168.1.2	1	FULL/DROTHER	00:00:38	192.168.1.2	FastEthernet0/0
192.168.1.3	1	FULL/BDR	00:00:31	192.168.1.3	FastEthernet0/0

R4#

Βλέπουμε και στην πράξη ότι ο Designated Router δημιουργεί adjacencies με όλους τους υπόλοιπους Routers.

Από την σκοπιά του Router R3 που είναι ο Backup Designated Router έχουμε:

```
R3#show ip ospf neighbor
```

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
192.168.1.1	1	FULL/DROTHER	00:00:30	192.168.1.1	FastEthernet0/0
192.168.1.2	1	FULL/DROTHER	00:00:31	192.168.1.2	FastEthernet0/0
192.168.1.4	1	FULL/DR	00:00:32	192.168.1.4	FastEthernet0/0

R3#

Βλέπουμε και στην πράξη ότι ο Backup Designated router δημιουργεί adjacencies με όλους τους υπόλοιπους Routers.

Ας εξετάσουμε συνοπτικά την Link State Database του Router R1.

```
R1#show ip ospf database
```

```
OSPF Router with ID (192.168.1.1) (Process ID 1)
```

```
Router Link States (Area 0)
```

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count
192.168.1.1	192.168.1.1	1237	0x80000004	0x000D72	1
192.168.1.2	192.168.1.2	1283	0x80000004	0x000B71	1
192.168.1.3	192.168.1.3	1237	0x80000004	0x000970	1
192.168.1.4	192.168.1.4	1283	0x80000004	0x00076F	1

Net Link States (Area 0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
192.168.1.4	192.168.1.4	1283	0x80000004	0x007E20

R1#

Τα “Router Link States” αντιστοιχούν στα Type 1 LSAs και τα “Net Link States” αντιστοιχούν στα Type 2 LSAs.

Από αριστερά προς δεξιά έχουμε:

Link ID: Είναι το Link State ID του LSA (και ας αναφέρεται σαν “Link ID”). Προσδιορίζει μοναδικά ένα LSA ενός Router.

ADV Router: Είναι ο Advertising Router και πιο συγκεκριμένα το OSPF Router id του Router που δημιούργησε (και επομένως απέστειλε πρώτος) το συγκεκριμένο LSA.

Age: Είναι η «ηλικία» του LSA (μετρημένη σε δευτερόλεπτα) από τότε που δημιουργήθηκε.

Seq#: Είναι το sequence number που χρησιμοποιείται για να βρεθεί το νεότερο LSA για τις περιπτώσεις όπου ένας Router έχει δύο LSAs με το ίδιο id (η χαμηλότερη τιμή είναι 0x80000001).

Checksum: Χρησιμοποιείται για να εντοπίζει τυχόν αλλοιώσεις του LSA πακέτου.

Παρακάτω θα δούμε ένα LSA Type 1 Entry της Link State Database (προς αποφυγή μεγάλου όγκου output) αναλυτικά:

R1#show ip ospf database router 192.168.1.1

OSPF Router with ID (192.168.1.1) (Process ID 1)

Router Link States (Area 0)

LS age: 215

Options: (No TOS-capability, DC)

LS Type: Router Links

Link State ID: 192.168.1.1

Advertising Router: 192.168.1.1

LS Seq Number: 8000000D

Checksum: 0xFA7B

Length: 36

Number of Links: 1

Link connected to: a Transit Network
(Link ID) Designated Router address: 192.168.1.4
(Link Data) Router Interface address: 192.168.1.1
Number of TOS metrics: 0
TOS 0 Metrics: 1

Ο LSA Header έχει ήδη αναλυθεί.

Όσον αφορά το LSA Payload βλέπουμε τα εξής:

Link connected to: a Transit Network (interface συνδεδεμένο σε network που έχει παραπάνω από έναν Router συνδεδεμένους).

Link ID: Designated Router address: 192.168.1.4

Link Data: Router Interface address: 192.168.1.1

Ακόμα βλέπουμε ότι δεν χρησιμοποιούνται TOS metrics (εξάλλου είναι προαιρετικά και συνήθως δεν υλοποιούνται) και το **Metric** έχει τιμή 1.

Ο default αυτόματος αλγόριθμος υπολογισμού του OSPF metric για τους Cisco Routers είναι ο ακόλουθος: 100000000/<ταχύτητα του Interface>.

Οπότε, αφού το Fast Ethernet Interface έχει ταχύτητα 100Mbps ο λόγος (άρα και το metric) είναι 1. Πάντως η τιμή του αριθμητή του παραπάνω αλγόριθμου είναι παραμετροποιήσιμη.

Παρακάτω θα δούμε το μοναδικό LSA Type 2 Entry της Link State Database αναλυτικά:

R1#show ip ospf database network

OSPF Router with ID (192.168.1.1) (Process ID 1)

Net Link States (Area 0)

Routing Bit Set on this LSA

LS age: 13

Options: (No TOS-capability, DC)

LS Type: Network Links

Link State ID: 192.168.1.4 (address of Designated Router)

Advertising Router: 192.168.1.4

LS Seq Number: 8000000B

Checksum: 0x7027

Length: 40

Network Mask: /24

Attached Router: 192.168.1.4
Attached Router: 192.168.1.1
Attached Router: 192.168.1.2
Attached Router: 192.168.1.3

Έτσι βλέπουμε ότι ο Router με Router ID 192.168.1.4 (Advertising Router) και IP Address 192.168.1.4 (Link State ID) είναι ο Designated Router στον οποίο συνδέονται οι Routers με Router IDs:

192.168.1.1, 192.168.1.2, 192.168.1.3 και 192.168.1.4.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι για κάποιο λόγο το Ethernet Interface του Designated Router R4 αποτυγχάνει (για την συγκεκριμένη δοκιμή το κάνουμε shutdown).

Κάποια μηνύματα που εμφανίστηκαν στο Router R1 ήταν τα εξής:

```
*May 13 03:43:04.438: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 192.168.1.4 on FastEthernet0/0 from FULL to DOWN, Neighbor Down: Dead timer expired
```

```
*May 13 03:43:06.618: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 192.168.1.2 on FastEthernet0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
```

Αυτό σημαίνει ότι όταν το RouterDeadInterval πέρασε, τότε συνέβησαν τα εξής:

1. Το Status του Adjacency έγινε DOWN και ο Router R4 έπαψε να είναι neighboring Router του R1.
2. Μετά το DR Election ο R3 έγινε DR και ο R2 έγινε BDR.
3. Οι Routers πρέπει να ανταλλάξουν LSAs με τον DR και τον BDR. Τελικά τα Adjacencies με τους R2 και R3 μεταβαίνουν στην FULL state.

```
R1#show ip ospf neighbor
```

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
192.168.1.2	1	FULL/BDR	00:00:36	192.168.1.2	FastEthernet0/0
192.168.1.3	1	FULL/DR	00:00:38	192.168.1.3	FastEthernet0/0

Ακολουθούν screenshots που δείχνουν Hello Packets λίγο πριν το RouterDeadInterval και μετά το election του R3 ως DR και του R2 ως BDR.

Wireshark capture of an OSPF Hello Packet (Frame 31). The packet is sent from 192.168.1.2 to 224.0.0.5. The details pane shows OSPF Hello Packet parameters: Network Mask: 255.255.255.0, Hello Interval: 10 seconds, Options: 0x12 (L, E), Router Priority: 1, Router Dead Interval: 40 seconds, Designated Router: 192.168.1.4, Backup Designated Router: 192.168.1.3, and Active Neighbors: 192.168.1.1, 192.168.1.3, and 192.168.1.4.

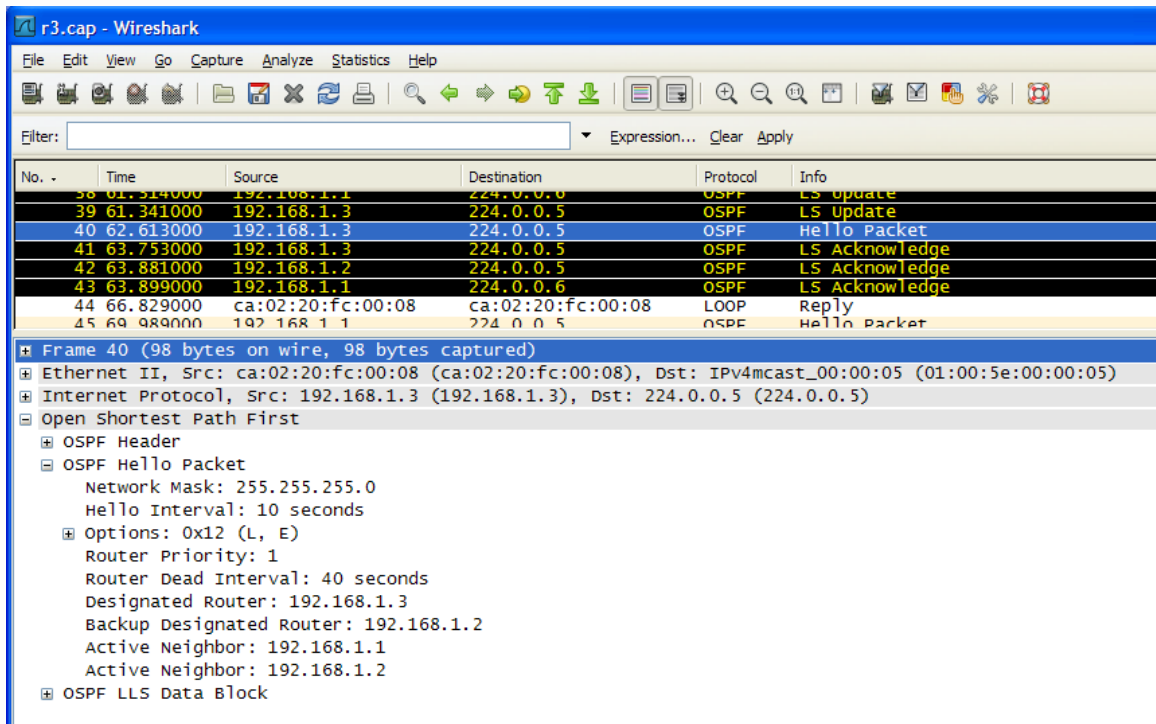
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
31	50.859000	192.168.1.2	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
32	52.609000	192.168.1.3	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
33	56.818000	ca:02:20:fc:00:08	ca:02:20:fc:00:08	LOOP	Reply
34	60.020000	192.168.1.1	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
35	60.851000	192.168.1.2	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet

Σχήμα 9-2 OSPF Hello Packet

Wireshark capture of an OSPF Hello Packet (Frame 35) during DR election. The packet is sent from 192.168.1.2 to 224.0.0.5. The details pane shows OSPF Hello Packet parameters: Network Mask: 255.255.255.0, Hello Interval: 10 seconds, Options: 0x12 (L, E), Router Priority: 1, Router Dead Interval: 40 seconds, Designated Router: 192.168.1.3, Backup Designated Router: 192.168.1.3, and Active Neighbors: 192.168.1.1 and 192.168.1.3.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
31	50.859000	192.168.1.2	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
32	52.609000	192.168.1.3	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
33	56.818000	ca:02:20:fc:00:08	ca:02:20:fc:00:08	LOOP	Reply
34	60.020000	192.168.1.1	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
35	60.851000	192.168.1.2	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet

Σχήμα 9-3 OSPF Hello Packet DR election



Σχήμα 9-4 OSPF Hello Packet DR, BDR election

Στην παρούσα φάση δεν είχαμε χρησιμοποιήσει Router ids οπότε η επιλογή για κάθε Router γινόταν με βάση το interface που είχε την μεγαλύτερη ενεργή IP Address. Αυτό όμως δεν είναι καλή ιδέα αν μας ενδιαφέρει ένας Router να έχει πάντα το ίδιο Router id - ώστε να τον ξεχωρίζουμε εύκολα - γιατί τα Interfaces δεν είναι πάντα σταθερά. Εξαιρέση στο τελευταίο αποτελούν τα Loopback Interfaces βέβαια. Όμως, στα συγκεκριμένα παραδείγματα θα ρυθμίσουμε τους Routers με συγκεκριμένα Router ids. Οι εντολές είναι οι εξής:

```
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)#router-id 1.1.1.1
```

```
R2(config)#router ospf 1
R2(config-router)#router-id 2.2.2.2
```

```
R3(config)#router ospf 1
R3(config-router)#router-id 3.3.3.3
```

```
R4(config)#router ospf 1
R4(config-router)#router-id 4.4.4.4
```

Ακολουθώντας μπορούμε είτε να κάνουμε reset τα ospf processes σε κάθε Router είτε να τους επανεκκινήσουμε. Επιλέγεται η δεύτερη λύση. Μετά την επανεκκίνηση ασ εξετάσουμε την Link State Database σε κάποιον Router:

```
R1#show ip ospf database
```

```
OSPF Router with ID (1.1.1.1) (Process ID 1)
```

```
Router Link States (Area 0)
```

Link ID count	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link
1.1.1.1	1.1.1.1	535	0x80000002	0x00A4AB	1
2.2.2.2	2.2.2.2	537	0x80000002	0x0066E0	1
3.3.3.3	3.3.3.3	536	0x80000002	0x002816	1
4.4.4.4	4.4.4.4	536	0x80000002	0x00E94B	1

```
Net Link States (Area 0)
```

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
192.168.1.4	4.4.4.4	536	0x80000001	0x008803

```
R1#
```

Τώρα είναι πιο καθαρό που χρησιμοποιείται Router id και που IP Address.

Παρακάτω θα ξαναδούμε ένα Type 1 LSA Entry της Link State Database αναλυτικά για να ξεχωρίσουμε router id από IP Address:

```
R1#show ip ospf database router 1.1.1.1
```

```
OSPF Router with ID (1.1.1.1) (Process ID 1)
```

```
Router Link States (Area 0)
```

```
LS age: 693  
Options: (No TOS-capability, DC)  
LS Type: Router Links  
Link State ID: 1.1.1.1  
Advertising Router: 1.1.1.1  
LS Seq Number: 80000002  
Checksum: 0xA4AB  
Length: 36  
Number of Links: 1
```


Link connected to: a Transit Network
(Link ID) Designated Router address: 192.168.1.4
(Link Data) Router Interface address: 192.168.1.1
Number of TOS metrics: 0
TOS 0 Metrics: 1

R1#

Για τον ίδιο λόγο θα ξαναδούμε και το μοναδικό Type 2 LSA Entry της Link State Database:

R1#show ip ospf database network

OSPF Router with ID (1.1.1.1) (Process ID 1)

Net Link States (Area 0)

Routing Bit Set on this LSA

LS age: 862

Options: (No TOS-capability, DC)

LS Type: Network Links

Link State ID: 192.168.1.4 (address of Designated Router)

Advertising Router: 4.4.4.4

LS Seq Number: 80000001

Checksum: 0x8803

Length: 40

Network Mask: /24

Attached Router: 4.4.4.4

Attached Router: 1.1.1.1

Attached Router: 2.2.2.2

Attached Router: 3.3.3.3

R1#

Τέλος βλέπουμε τους neighboring routers του Router R1:

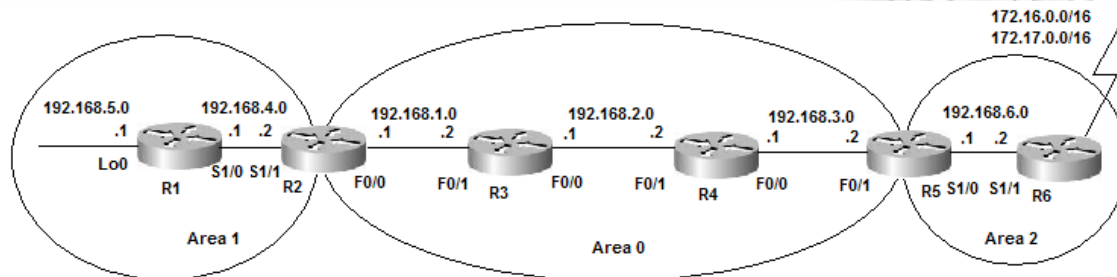
R1#show ip ospf neighbor

Neighbor	ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
2.2.2.2		1	2WAY/DROTHER	00:00:38	192.168.1.2	FastEthernet0/0
3.3.3.3		1	FULL/BDR	00:00:38	192.168.1.3	FastEthernet0/0
4.4.4.4		1	FULL/DR	00:00:35	192.168.1.4	FastEthernet0/0

R1#

9.2 OSPF Multi Area Network

Εδώ θα μελετήσουμε ένα Αυτόνομο Σύστημα που αποτελείται από 3 Areas: Την Backbone Area (Area 0) την Area 1 και την Area 2. Όλοι οι Routers του Αυτόνομου Συστήματος τρέχουν OSPF.



Σχήμα 9-5 OSPF Multi Area Network

Ισχύουν τα εξής:

- Οι Routers R3 και R4 είναι Internal, Backbone Routers.
- Ο Router R1 είναι Internal Router της Area 1.
- Ο Router R6 είναι Internal Router της Area 2.
- Ο Router R2 είναι Area Border Router (ABR) και ενώνει την Area 1 με την Backbone Area.
- Ο Router R5 είναι Area Border Router (ABR) και ενώνει την Area 2 με την Backbone Area. Για την υλοποίηση των External Routes χρησιμοποιούνται δύο Loopback Interfaces που δεν συμμετέχουν στο Routing Protocol (OSPF process 1) του Αυτόνομου Συστήματος.
- Ο Router R6 είναι και Autonomous System Border Router (ASBR).
- Αν και δεν απεικονίζεται, θεωρούμε ότι στην Backbone Area 0 ανήκει και το δίκτυο 192.168.0.0.

9.2.1 OSPF Standard Areas

Το Configuration των Routers είναι πολύ απλό. Οι βασικές εντολές πχ για τον Router R2 που όντας ABR συνδέει δύο Areas είναι της μορφής:

```
R2(config)#router ospf 1
```

```
R2(config-router)#network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0
```

```
R2(config-router)#network 192.168.4.0 0.0.0.255 area 1
```

Ας ξεκινήσουμε εξετάζοντας τα Routing Tables κάποιων από τους Routers.

```
R1#show 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
```

```
O E2 172.17.0.0/16 [110/20] via 192.168.4.2, 03:02:06, Serial1/0
```

```
O E2 172.16.0.0/16 [110/20] via 192.168.4.2, 03:02:06, Serial1/0
```

```
C 192.168.4.0/24 is directly connected, Serial1/0
```

```
C 192.168.5.0/24 is directly connected, Loopback0
```

```
O IA 192.168.6.0/24 [110/131] via 192.168.4.2, 03:13:36, Serial1/0
```

```
O IA 192.168.1.0/24 [110/65] via 192.168.4.2, 04:23:33, Serial1/0
```

```
O IA 192.168.2.0/24 [110/66] via 192.168.4.2, 04:23:33, Serial1/0
```

```
O IA 192.168.3.0/24 [110/67] via 192.168.4.2, 03:15:34, Serial1/0
```

```
R1#
```

Όσον αφορά τον Router R1 παρατηρούμε τα εξής:

Ο Router R1 ανήκει στην Area 1.

Τα Route entries με τον χαρακτηρισμό “O IA” σημαίνουν OSPF Inter Area. Είναι network segments του Αυτόνομου Συστήματος που ανήκουν σε άλλη Area.

Τα Route entries με τον χαρακτηρισμό “**O E2**” σημαίνουν Type 2 External Route entries (Είναι αυτά που προέρχονται από τον Router R6).

R2#show 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

O E2 172.17.0.0/16 [110/20] via 192.168.1.2, 00:02:07, FastEthernet0/0

O E2 172.16.0.0/16 [110/20] via 192.168.1.2, 00:02:07, FastEthernet0/0

C 192.168.4.0/24 is directly connected, Serial1/1

O 192.168.5.0/24 [110/65] via 192.168.4.1, 00:02:07, Serial1/1

O IA 192.168.6.0/24 [110/67] via 192.168.1.2, 00:02:07, FastEthernet0/0

C 192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0

O 192.168.2.0/24 [110/2] via 192.168.1.2, 10:54:31, FastEthernet0/0

O 192.168.3.0/24 [110/3] via 192.168.1.2, 10:54:31, FastEthernet0/0

R2#

Ο Router R2 ανήκει στην Area 0. Υπάρχουν και άλλα networks σε αυτήν την Area και τα βλέπουμε με τον χαρακτηρισμό “**O**” στο Routing Table. Τα Route Entries αυτά τα λέμε και Intra-Area Route Entries.

Και εδώ βλέπουμε επίσης Inter-Area Route Entries (**O IA**) καθώς και External Type 2 (**E2**).

Ας δούμε και την Link State Database του Router R2.

R2#show ip ospf database

OSPF Router with ID (2.2.2.2) (Process ID 1)

Router Link States (Area 0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count
2.2.2.2	2.2.2.2	274	0x80000002	0x004702	1

3.3.3.3	3.3.3.3	271	0x80000003	0x00A9AC	2
4.4.4.4	4.4.4.4	271	0x80000003	0x00A1A8	2
5.5.5.5	5.5.5.5	277	0x80000002	0x009C8F	1

Net Link States (Area 0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
192.168.1.2	3.3.3.3	276	0x80000001	0x003F6E
192.168.2.2	4.4.4.4	274	0x80000001	0x006A36
192.168.3.2	5.5.5.5	277	0x80000001	0x0095FD

Summary Net Link States (Area 0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
192.168.4.0	2.2.2.2	316	0x80000001	0x00F195
192.168.5.0	2.2.2.2	296	0x80000001	0x00F094
192.168.6.0	5.5.5.5	312	0x80000001	0x0081F7

Summary ASB Link States (Area 0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
6.6.6.6	5.5.5.5	304	0x80000001	0x00527D

Router Link States (Area 1)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count
1.1.1.1	1.1.1.1	308	0x80000002	0x0078BF	3
2.2.2.2	2.2.2.2	311	0x80000002	0x002190	2

Summary Net Link States (Area 1)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
192.168.1.0	2.2.2.2	318	0x80000001	0x009A2F
192.168.2.0	2.2.2.2	272	0x80000001	0x00992E
192.168.3.0	2.2.2.2	262	0x80000001	0x00982D
192.168.6.0	2.2.2.2	262	0x80000001	0x00F988

Summary ASB Link States (Area 1)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
---------	------------	-----	------	----------

6.6.6.6 2.2.2.2 262 0x80000001 0x00CA0E

Type-5 AS External Link States

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum Tag
172.16.0.0	6.6.6.6	313	0x80000001	0x00AD1E 0
172.17.0.0	6.6.6.6	313	0x80000001	0x00A129 0

R2#

Παρατηρούμε ότι:

Ο Router R2 σαν Area Border Router έχει Link State πληροφορία και για τις δύο Areas.

Το τι είναι τα πεδία έχει περιγραφεί στη προηγούμενη παράγραφο όπως έχουν περιγραφεί αναλυτικά και κάποιοι τύποι Link State Entries οπότε θα προχωρήσουμε στην αναλυτική περιγραφή των υπόλοιπων τύπων Link State Entries.

Με την παρακάτω εντολή εξετάζουμε ένα συγκεκριμένο Type-1 Link State Entry του Area Border Router R2. Εφόσον είναι ABR θα πάρουμε πληροφορίες και για όλες τις Areas που συνδέεται.

R2#show ip ospf database router 2.2.2.2

OSPF Router with ID (2.2.2.2) (Process ID 1)

Router Link States (Area 0)

LS age: 500
Options: (No TOS-capability, DC)
LS Type: Router Links
Link State ID: 2.2.2.2
Advertising Router: 2.2.2.2
LS Seq Number: 80000002
Checksum: 0x4702
Length: 36
Area Border Router
Number of Links: 1

Link connected to: a Transit Network
(Link ID) Designated Router address: 192.168.1.2

(Link Data) Router Interface address: 192.168.1.1
Number of TOS metrics: 0
TOS 0 Metrics: 1

Router Link States (Area 1)

LS age: 534
Options: (No TOS-capability, DC)
LS Type: Router Links
Link State ID: 2.2.2.2
Advertising Router: 2.2.2.2
LS Seq Number: 80000002
Checksum: 0x2190
Length: 48
Area Border Router
Number of Links: 2

Link connected to: another Router (point-to-point)
(Link ID) Neighboring Router ID: 1.1.1.1
(Link Data) Router Interface address: 192.168.4.2
Number of TOS metrics: 0
TOS 0 Metrics: 64

Link connected to: a Stub Network
(Link ID) Network/subnet number: 192.168.4.0
(Link Data) Network Mask: 255.255.255.0
Number of TOS metrics: 0
TOS 0 Metrics: 64

Όσον αφορά παρακάτω συνδεδεμένο σε Transit Network Link της Area 0

(Link ID) Designated Router address: 192.168.1.2
(Link Data) Router Interface address: 192.168.1.1

έχει συζητηθεί αναλυτικά στην προηγούμενη παράγραφο.
Περίληπτικά, αναφέρεται στο Ethernet Interface (fa0/0) του Router R2 που συνδέεται με εκείνο (fa0/1) του Router R3 ο οποίος μάλιστα είναι και DR.

Εδώ (όσον αφορά την Area 1) βλέπουμε για πρώτη φορά point-to-point Link συνδεδεμένο σε άλλο Router καθώς και Link συνδεδεμένο σε Stub Network. Στην πραγματικότητα σε point-to-point networks όταν προσδίδονται IP Addresses σε interfaces εκτός από το point-to-point link που ενημερώνει για την IP Address του άλλου Router δημιουργείται και ένα stub link που ανακοινώνει σύνδεση στο IP subnet.

Με την παρακάτω εντολή θα εξετάσουμε ένα συγκεκριμένο Type-2 Link State Entry του Area Border Router R2.

R2#show ip ospf database network adv-router 3.3.3.3

OSPF Router with ID (2.2.2.2) (Process ID 1)

Net Link States (Area 0)

Routing Bit Set on this LSA

LS age: 1976

Options: (No TOS-capability, DC)

LS Type: Network Links

Link State ID: 192.168.1.2 (address of Designated Router)

Advertising Router: 3.3.3.3

LS Seq Number: 80000001

Checksum: 0x3F6E

Length: 32

Network Mask: /24

Attached Router: 3.3.3.3

Attached Router: 2.2.2.2

Η εντολή αυτή έχει αναλυθεί στο προηγούμενο παράδειγμα.

Με την παρακάτω εντολή θα εξετάσουμε ένα συγκεκριμένο Type-3 Link State Entry του Area Border Router R2.

R2#show ip ospf database summary 192.168.4.0

OSPF Router with ID (2.2.2.2) (Process ID 1)

Summary Net Link States (Area 0)

LS age: 81

Options: (No TOS-capability, DC, Upward)
LS Type: Summary Links(Network)
Link State ID: 192.168.4.0 (summary Network Number)
Advertising Router: 2.2.2.2
LS Seq Number: 80000002
Checksum: 0xEF96
Length: 28
Network Mask: /24
TOS: 0 Metric: 64

Βλέπουμε ότι το Link State ID περιέχει και πληροφορία: το Network Number. Η πληροφορία συμπληρώνεται από την subnet mask και το metric.

Με την παρακάτω εντολή θα εξετάσουμε τα Type-4 Link State Entries του Area Border Router R2.

R2#show ip ospf database asbr-summary

OSPF Router with ID (2.2.2.2) (Process ID 1)

Summary ASB Link States (Area 0)

Routing Bit Set on this LSA
LS age: 246
Options: (No TOS-capability, DC, Upward)
LS Type: Summary Links(AS Boundary Router)
Link State ID: 6.6.6.6 (AS Boundary Router address)
Advertising Router: 5.5.5.5
LS Seq Number: 80000002
Checksum: 0x507E
Length: 28
Network Mask: /0
TOS: 0 Metric: 64

Summary ASB Link States (Area 1)

LS age: 223
Options: (No TOS-capability, DC, Upward)
LS Type: Summary Links(AS Boundary Router)

Link State ID: 6.6.6.6 (AS Boundary Router address)
Advertising Router: 2.2.2.2
LS Seq Number: 80000002
Checksum: 0xC80F
Length: 28
Network Mask: /0
TOS: 0 Metric: 67

R2#

Το Type-4 Link State Entry παρέχει πληροφορία για τους Autonomous System Boundary Routers (ASBRs). Έχουμε μόνο έναν ASBR οπότε δεν θα πάρουμε υπερβολική ποσότητα πληροφορίας έτσι και αλλιώς.

Παρατηρούμε ότι υπάρχει ένα Entry για κάθε Area. Το Link State ID περιέχει και σε αυτήν την περίπτωση πληροφορία: Το Router ID του ASBR.

Πρέπει να διευκρινιστεί το εξής:

Ο συγκεκριμένος τύπος του entry αυτού είναι της κατηγορίας Summary. Μεταδίδεται λοιπόν στις Areas. Γι αυτό και αν παρατηρήσουμε τα Advertising Routers στα δύο παραπάνω entries είναι και στις δύο περιπτώσεις Router ids που ανήκουν σε Area Border Routers. Μόνο Area Border Routers έχουν στην Link State Database τέτοιου τύπου entries.

Με την παρακάτω εντολή θα εξετάσουμε τα Type-5 Link State Entries του Area Border Router R2.

R2#show ip ospf database external

OSPF Router with ID (2.2.2.2) (Process ID 1)

Type-5 AS External Link States

Routing Bit Set on this LSA
LS age: 360
Options: (No TOS-capability, DC)
LS Type: AS External Link
Link State ID: 172.16.0.0 (External Network Number)
Advertising Router: 6.6.6.6

LS Seq Number: 80000002
Checksum: 0xAB1F
Length: 36
Network Mask: /16
Metric Type: 2 (Larger than any link state path)
TOS: 0
Metric: 20
Forward Address: 0.0.0.0
External Route Tag: 0

Routing Bit Set on this LSA
LS age: 360
Options: (No TOS-capability, DC)
LS Type: AS External Link
Link State ID: 172.17.0.0 (External Network Number)
Advertising Router: 6.6.6.6
LS Seq Number: 80000002
Checksum: 0x9F2A
Length: 36
Network Mask: /16
Metric Type: 2 (Larger than any link state path)
TOS: 0
Metric: 20
Forward Address: 0.0.0.0
External Route Tag: 0

Παρατηρούμε ότι και σε αυτήν την περίπτωση το Link State Id περιέχει πληροφορία (το External Network). Η πληροφορία συμπληρώνεται από τη Network Mask, την Forward Address και το metric. Αν η Forwarding Address είναι 0.0.0.0 τότε next hop Router είναι ο Advertising Router. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί βέβαια αν υπάρχει η δυνατότητα να γλυτώσουμε extra hops (σε αυτήν την περίπτωση η τιμή του καθορίζεται από τον Advertising Router).

Ας εξετάσουμε το Routing Table σε έναν Internal Backbone Router έστω τον Router R3:

R3#show 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

```
O E2 172.17.0.0/16 [110/20] via 192.168.2.2, 00:00:02, FastEthernet0/0
O E2 172.16.0.0/16 [110/20] via 192.168.2.2, 00:00:02, FastEthernet0/0
O IA 192.168.4.0/24 [110/65] via 192.168.1.1, 10:52:32, FastEthernet0/1
O IA 192.168.5.0/24 [110/66] via 192.168.1.1, 00:00:07, FastEthernet0/1
O IA 192.168.6.0/24 [110/66] via 192.168.2.2, 10:52:32, FastEthernet0/0
C 192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
C 192.168.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
O 192.168.3.0/24 [110/2] via 192.168.2.2, 10:52:32, FastEthernet0/0
R3#
```

9.2.2 Summarization των Non-backbone Areas

Τα Inter-Area route entries 192.168.4.0/24 και 192.168.5.0/24 που προέρχονται από την Area 1 θα μπορούσαν να γίνουν summarized σε ένα supernet: 192.168.4.0/23

Επίσης, τα External Type 2 Routers 172.16.0.0/16 και 172.17.0.0/24 θα μπορούσαν και αυτά να γίνουν summarized.

Με το summarization γλυτώνουμε τα εξής:

1. Χώρο στην Link State Database με αποτέλεσμα εξοικονόμηση μνήμης αλλά και χρόνο υπολογισμού του Shortest Path Tree.
2. Μεγαλύτερη σταθερότητα. Αν μεταβάλλονται links οι διευθύνσεις των οποίων είναι μόνο ένα υποσύνολο των διευθύνσεων που γίνονται summarized τότε το status του summary δεν αλλάζει. Αυτό μας γλυτώνει επίσης από περιττό χρόνο υπολογισμού του Shortest Path Tree.
3. Το Routing Table είναι μικρότερο με αποτέλεσμα εξοικονόμηση μνήμης και γρηγορότερη αναζήτηση.

Συνεχίζουμε λοιπόν κάνοντας αυτές τις δύο παρακάτω αλλαγές.

1. Στον Area Border Router R2 ενεργοποιούμε το summarization για τα δύο networks της Area 1.

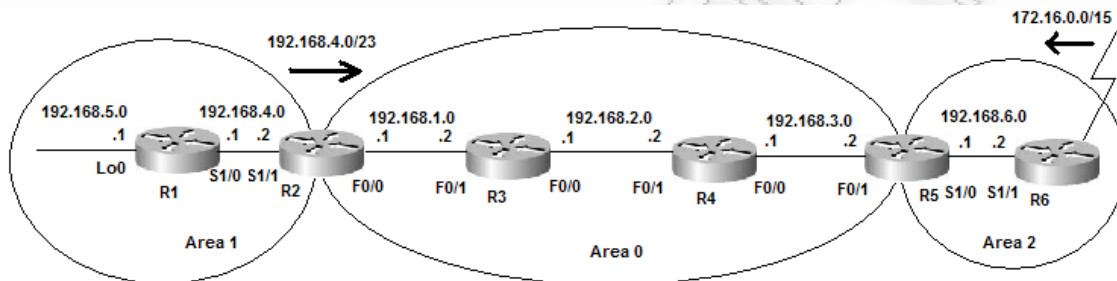
```
R2(config)#router ospf 1
```

```
R2(config-router)#area 1 range 192.168.4.0 255.255.254.0
```

2. Στον Autonomous System Boundary Router R6 ενεργοποιούμε το summarization για τα δύο external networks.

```
R6(config)#router ospf 1
```

```
R6(config-router)#summary-address 172.16.0.0 255.254.0.0
```



Σχήμα 9-6 OSPF Multi Area Network Summarization (1)

Το αποτέλεσμα τους φαίνεται παρακάτω στο Route Table του Internal Backbone Router R3:

```
R3#show 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

```
O IA 192.168.6.0/24 [110/66] via 192.168.2.2, 00:27:43, FastEthernet0/0
```

```
C 192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
```

```
C 192.168.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
```

```
O 192.168.3.0/24 [110/2] via 192.168.2.2, 00:27:43, FastEthernet0/0
```

```
O E2 172.16.0.0/15 [110/20] via 192.168.2.2, 00:00:43, FastEthernet0/0
```

```
O IA 192.168.4.0/23 [110/65] via 192.168.1.1, 00:19:30, FastEthernet0/1
```

R3#

Ας εξετάσουμε και τα αντίστοιχα entries της Link State Database:

R3#show ip ospf database summary 192.168.4.0

OSPF Router with ID (3.3.3.3) (Process ID 1)

Summary Net Link States (Area 0)

Routing Bit Set on this LSA

LS age: 392

Options: (No TOS-capability, DC, Upward)

LS Type: Summary Links(Network)

Link State ID: 192.168.4.0 (summary Network Number)

Advertising Router: 2.2.2.2

LS Seq Number: 80000001

Checksum: 0xEC9B

Length: 28

Network Mask: /23

TOS: 0 Metric: 64

R3#show ip ospf database external 172.16.0.0

OSPF Router with ID (3.3.3.3) (Process ID 1)

Type-5 AS External Link States

Routing Bit Set on this LSA

LS age: 507

Options: (No TOS-capability, DC)

LS Type: AS External Link

Link State ID: 172.16.0.0 (External Network Number)

Advertising Router: 6.6.6.6

LS Seq Number: 80000001

Checksum: 0xA923

Length: 36

Network Mask: /15

Metric Type: 2 (Larger than any link state path)

TOS: 0

Metric: 20
Forward Address: 0.0.0.0
External Route Tag: 0

Η εισαγωγή στη Backbone Area summarized routes από τις άλλες Areas είναι και η συνιστώμενη βέλτιστη πρακτική. Ο λόγος είναι ότι από την στιγμή που εισάγονται Summarized Routes από μια Area στην Backbone μεταδίδονται summarized και στις άλλες Areas.

Αυτό μπορούμε να το επαληθεύσουμε εξετάζοντας το Routing Table του Router R6 σχετικά με Inter-Area Route Entries για τα Routing Prefixes που ανήκουν στην Area 1 και εισάγονται summarized από τον Area Border Router R2.

R6#show ip route

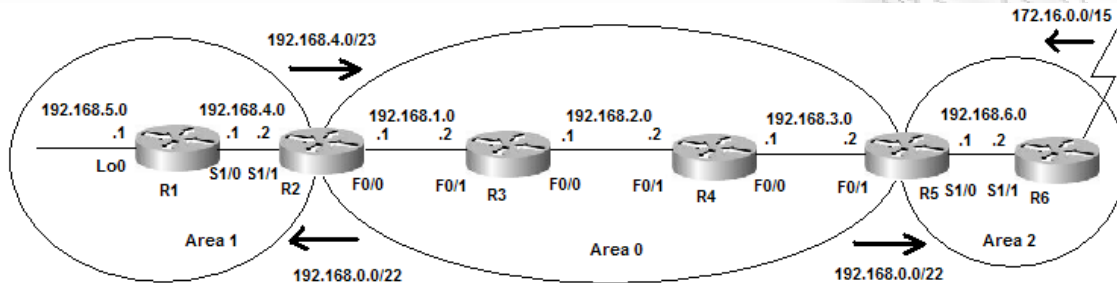
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS 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 172.17.0.0/16 is directly connected, Loopback1
C 172.16.0.0/16 is directly connected, Loopback0
C 192.168.6.0/24 is directly connected, Serial1/1
O IA 192.168.1.0/24 [110/67] via 192.168.6.1, 00:39:31, Serial1/1
O IA 192.168.2.0/24 [110/66] via 192.168.6.1, 00:39:31, Serial1/1
O IA 192.168.3.0/24 [110/65] via 192.168.6.1, 00:39:59, Serial1/1
O 172.16.0.0/15 is a summary, 00:40:14, Null0
O IA 192.168.4.0/23 [110/131] via 192.168.6.1, 00:39:20, Serial1/1
R6#

9.2.3 Summarization και του Backbone

Όσον αφορά το Summarization στο εξεταζόμενο δίκτυο, μπορούμε να προβούμε σε μια ακόμα σημαντική βελτίωση: Μπορούμε να το εφαρμόσουμε και στις διευθύνσεις του Backbone (Area 0).



Σχήμα 9-7 OSPF Multi Area Network Summarization (2)

Το Backbone έχει δύο ABRs (R2 και R5) οπότε θα το ρυθμίσουμε και στους δύο ως εξής:

```
R2(config)#router ospf 1
```

```
R2(config-router)#area 0 range 192.168.0.0 255.255.252.0
```

```
R5(config)#router ospf 1
```

```
R5(config-router)#area 0 range 192.168.0.0 255.255.252.0
```

Κατόπιν, μπορούμε να εξετάσουμε το Routing Table κάποιου Router που είναι internal σε κάποια από τις non-Backbone Areas (Area 1 η Area 2).

Έστω ότι εξετάζουμε τον Router R6 που είναι Internal Router της Area 2.

```
R6#show 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 172.17.0.0/16 is directly connected, Loopback1
```



```
C 172.16.0.0/16 is directly connected, Loopback0
C 192.168.6.0/24 is directly connected, Serial1/1
O 172.16.0.0/15 is a summary, 01:25:32, Null0
O IA 192.168.4.0/23 [110/131] via 192.168.6.1, 01:24:38, Serial1/1
O IA 192.168.0.0/22 [110/65] via 192.168.6.1, 00:06:30, Serial1/1
R6#
```

Όμοια στον R1(Internal Router της Area 1):

R1#show 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

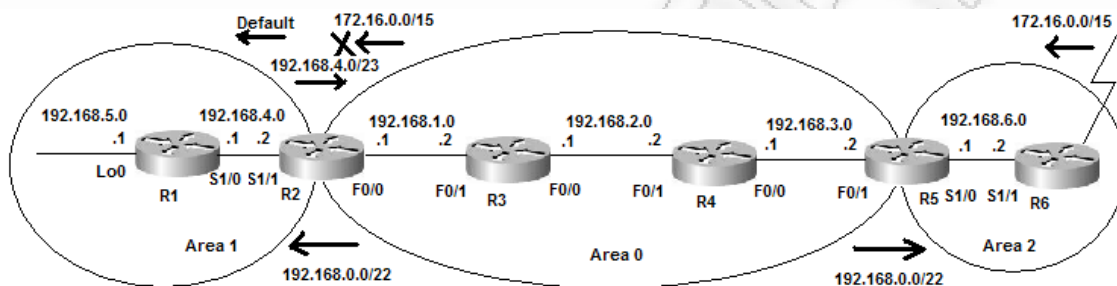
```
C 192.168.4.0/24 is directly connected, Serial1/0
C 192.168.5.0/24 is directly connected, Loopback0
O IA 192.168.6.0/24 [110/131] via 192.168.4.2, 01:52:48, Serial1/0
O E2 172.16.0.0/15 [110/20] via 192.168.4.2, 00:35:39, Serial1/0
O IA 192.168.0.0/22 [110/65] via 192.168.4.2, 00:35:44, Serial1/0
R1#
```

Η Σχεδίαση του Addressing των Areas έτσι ώστε να είναι δυνατόν το Summarization είναι απαραίτητη προϋπόθεση για το scalability για τους λόγους που αναφέρθηκαν προηγουμένως (μικρότερη Link State Database, σπανιότερες αλλά και συντομότερες κλήσεις του αλγόριθμου υπολογισμού του Shortest Path, μικρότερο Routing Table, γρηγορότερη αναζήτηση στο Routing Table).

9.2.4 Stub Area

Ένας ακόμα τρόπος που οδηγεί στο ίδιο αποτέλεσμα είναι η χρήση Stub Areas όπου είναι αυτό εφικτό. Στις Stub Areas τα AS external advertisements δεν μεταδίδονται από τον ABR. Αντίθετα, ο ABR στέλνει ένα Default Route. Στις περιπτώσεις που υπάρχουν πολλά External Routes κάτι τέτοιο μειώνει το μέγεθος του Link State Database με όλα τα συνακόλουθα πλεονεκτήματα.

Οι προϋποθέσεις για να μπορεί να χαρακτηριστεί μια Area σαν Stub Area είναι να μην είναι Transit Area και να μην περιέχει ASBRs. Στην περίπτωση μας αυτό ισχύει για την Area 1.



Σχήμα 9-8 OSPF Multi Area Network Summarization, Stub Area

Για να μετατραπεί η Area 1 σε Stub Area πρέπει να γίνουν configure ανάλογα οι Routers που ανήκουν σε αυτήν την Area. Αυτό μπορεί να γίνει ως εξής:

```
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)#area 1 stub
```

```
R2(config)#router ospf 1
R2(config-router)#area 1 stub
```

Το ενδιαφέρον είναι να παρατηρήσουμε τα μηνύματα που δημιουργούνται στους 2 Routers σαν αποτέλεσμα των παραπάνω εντολών:

```
R1(config-router)#
*Jun 23 21:00:12.287: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 2.2.2.2 on Serial1/0 from
FULL to DOWN, Neighbor Down: Adjacency forced to reset
*Jun 23 21:00:32.631: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 2.2.2.2 on Serial1/0 from
LOADING to FULL, Loading Done
R1(config-router)#
```

```
R2(config-router)#
```

*Jun 23 21:00:24.207: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 1.1.1.1 on Serial1/1 from FULL to DOWN, Neighbor Down: Adjacency forced to reset
R2(config-router)#

*Jun 23 21:00:32.423: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 1.1.1.1 on Serial1/1 from LOADING to FULL, Loading Done
R2(config-router)#

Ο λόγος που το Adjacency μεταξύ των Routers R1 και R2 καταστρέφεται και επαναδημιουργείται είναι ότι δύο Routers σχηματίζουν adjacencies μόνο αν συμφωνούν ότι ανήκουν σε Stub Area (Hello Option E-bit = Δυνατότητα επεξεργασίας AS-external-LSAs).

Το αποτέλεσμα στο Routing Table του Router R1 είναι το εξής:

R1#show 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 192.168.4.2 to network 0.0.0.0

C 192.168.4.0/24 is directly connected, Serial1/0

C 192.168.5.0/24 is directly connected, Loopback0

O IA 192.168.6.0/24 [110/131] via 192.168.4.2, 00:12:51, Serial1/0

O*IA 0.0.0.0/0 [110/65] via 192.168.4.2, 00:12:51, Serial1/0

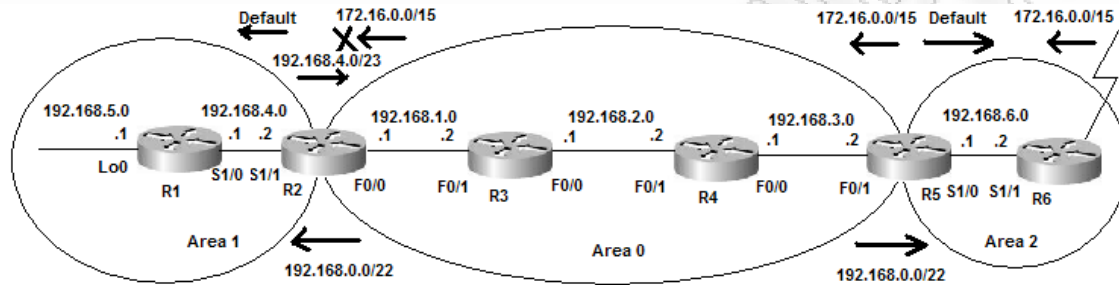
O IA 192.168.0.0/22 [110/65] via 192.168.4.2, 00:12:51, Serial1/0

R1#

Βλέπουμε ότι αντί για External Route Entries υπάρχει το Default Route (**O*IA 0.0.0.0/0**).

9.2.5 Not So Stubby Area (NSSA)

Η Area 2 πληροί τις προϋποθέσεις για να γίνει Not So Stubby Area (NSSA): Δεν είναι transit αλλά περιλαμβάνει ASBR. Ακόμα και έτσι όμως, περιορίζοντας External Routes που προέρχονται από εξωτερικό της NSSA ASBR μειώνουμε τα μεγέθη της Link State Database και του Routing Table αυξάνοντας ταυτόχρονα την απόδοση όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω.



Σχήμα 9-9 OSPF Multi Area Network Summarization, Stub, NSSA

Για να μετατραπεί η Area 2 σε Not so Stubby Area πρέπει να γίνουν configure ανάλογα οι Routers που ανήκουν σε αυτήν την Area. Αυτό μπορεί να γίνει ως εξής:

```
R5(config)#router ospf 1
R5(config-router)#area 2 nssa
```

```
R6(config)#router ospf 1
R6(config-router)#area 2 nssa
```

Όπως και στην περίπτωση των Stub Areas έτσι και εδώ είναι ενδιαφέρον είναι να παρατηρήσουμε τα μηνύματα που δημιουργούνται στους 2 Routers σαν αποτέλεσμα των παραπάνω εντολών:

```
R5(config-router)#
*Jun 23 21:04:34.467: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 6.6.6.6 on Serial1/0 from
FULL to DOWN, Neighbor Down: Adjacency forced to reset
*Jun 23 21:04:43.111: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 6.6.6.6 on Serial1/0 from
LOADING to FULL, Loading Done
```

```
R6(config-router)#
*Jun 23 21:04:40.347: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 5.5.5.5 on Serial1/1 from
FULL to DOWN, Neighbor Down: Adjacency forced to reset
```

*Jun 23 21:04:43.531: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 5.5.5.5 on Serial1/1 from LOADING to FULL, Loading Done

Ο λόγος που το Adjacency μεταξύ των Routers R5 και R6 καταστρέφεται και επαναδημιουργείται είναι ότι δύο Routers σχηματίζουν adjacencies μόνο αν συμφωνούν ότι ανήκουν σε Not So Stubby Area (Hello Options N-bit, E-bit). Το αποτέλεσμα στο Routing Table του Area Border Router R6 είναι το εξής:

R5#show 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 192.168.6.0/24 is directly connected, Serial1/0

O 192.168.1.0/24 [110/3] via 192.168.3.1, 00:09:29, FastEthernet0/1

O 192.168.2.0/24 [110/2] via 192.168.3.1, 00:09:29, FastEthernet0/1

C 192.168.3.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1

O N2 172.16.0.0/15 [110/20] via 192.168.6.2, 00:08:30, Serial1/0

O IA 192.168.4.0/23 [110/67] via 192.168.3.1, 00:08:30, FastEthernet0/1

O 192.168.0.0/22 is a summary, 00:09:29, Null0

R5#

Ας δούμε τώρα το Routing Table του Router R6.

R6#show 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 172.17.0.0/16 is directly connected, Loopback1
C 172.16.0.0/16 is directly connected, Loopback0
C 192.168.6.0/24 is directly connected, Serial1/1
O 172.16.0.0/15 is a summary, 00:01:20, Null0
O IA 192.168.4.0/23 [110/131] via 192.168.6.1, 00:00:26, Serial1/1
O IA 192.168.0.0/22 [110/65] via 192.168.6.1, 00:01:05, Serial1/1
R6#

```

Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει Default Route. Αυτό οφείλεται στο ότι ο Area Border Router μπορεί να δημιουργήσει Default Route για μια Not So Stubby Area αλλά σε αντίθεση με μια Stub Area αυτή δεν είναι η Default συμπεριφορά. Για να υπάρξει Default Route στην NSSA Area 2 χρειάζεται η παρακάτω εντολή στον Area Border Router R5.

```
R5(config)#router ospf 1
```

```
R5(config-router)#area 2 nssa default-information-originate
```

Ας εξετάσουμε τώρα το Routing Table του Router R6.

```
R6#show 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 192.168.6.1 to network 0.0.0.0

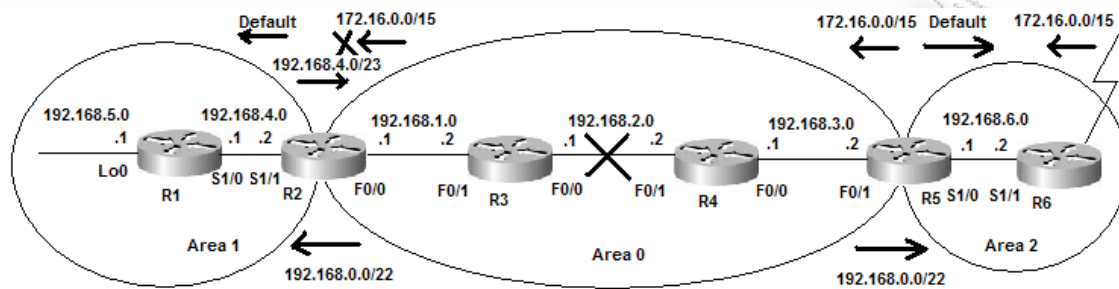
```

C 172.17.0.0/16 is directly connected, Loopback1
C 172.16.0.0/16 is directly connected, Loopback0
C 192.168.6.0/24 is directly connected, Serial1/1
O*N2 0.0.0.0/0 [110/1] via 192.168.6.1, 00:01:33, Serial1/1
O 172.16.0.0/15 is a summary, 00:08:41, Null0
O IA 192.168.4.0/23 [110/131] via 192.168.6.1, 00:07:48, Serial1/1
O IA 192.168.0.0/22 [110/65] via 192.168.6.1, 00:08:26, Serial1/1
R6#

```

Τώρα το Default Route υπάρχει στο Routing Table και ο Gateway είναι ο ABR R5.

9.2.6 Broken Backbone



Σχήμα 9-10 OSPF Broken Backbone

Έστω ότι το link μεταξύ των R3 και R4 routers χάνεται. Το αποτέλεσμα είναι ότι το backbone αποκόπτεται στα δύο.

Το αποτέλεσμα φαίνεται στα Routing Tables. Ας κοιτάξουμε το Routing Table των Routers R3 και R4.

R3#show 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 192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1

O IA 192.168.4.0/23 [110/65] via 192.168.1.1, 00:04:36, FastEthernet0/1

R3#

R4#show 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

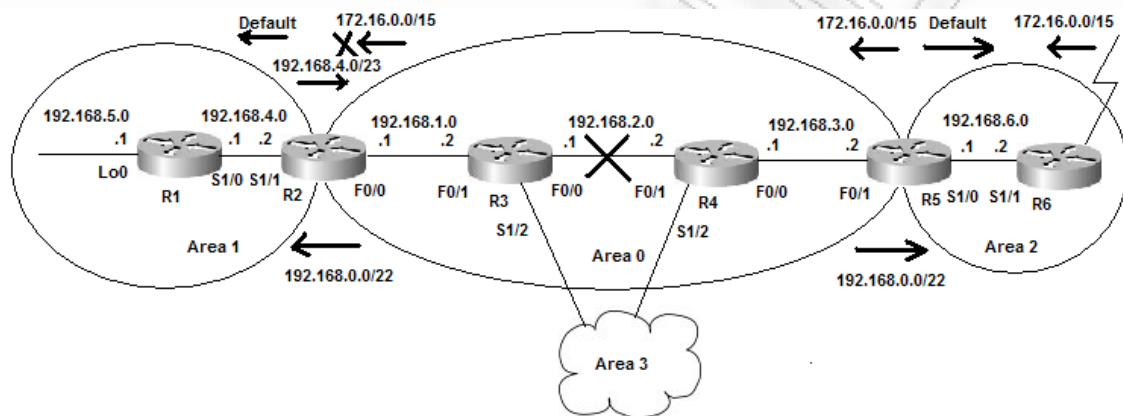
o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

```
O IA 192.168.6.0/24 [110/65] via 192.168.3.2, 00:04:36, FastEthernet0/0
C 192.168.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
C 192.168.3.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
O E2 172.16.0.0/15 [110/20] via 192.168.3.2, 00:04:36, FastEthernet0/0
R4#
```

Βλέπουμε και στην πράξη ότι το δίκτυο κόβεται στα δύο.

Για την αποκατάσταση πρέπει να δημιουργηθεί ένα virtual link μεταξύ των R3 και R4.



Σχήμα 9-11 OSPF Repaired Backbone

Το Virtual Link δημιουργείται με χρήση μιας Transit Area (πχ Area 3).

Το configuration των Virtual Links απαιτεί γνώση του Router Id. Είναι ένας από τους λόγους που είναι προτιμότερο να ρυθμίζουμε εμείς το Router Id για να είναι πάντα σταθερό αντί να εξαρτάται από τις IP Addresses των interfaces. Ευτυχώς αυτό έχει ήδη εξασφαλιστεί.

Έτσι εκτελούμε τις παρακάτω εντολές:

Για να «ενώσουμε» το Backbone θα χρησιμοποιήσουμε από ένα Serial Interface στους Routers R3 και R4.

```
R3(config)#interface Serial1/2
R3(config-if)#ip address 192.168.10.1 255.255.255.252
R3(config-if)#no shutdown
```



```
R4(config)#interface Serial1/2  
R4(config-if)#ip address 192.168.10.2 255.255.255.252  
R4(config-if)#no shutdown
```

Ακόμα, θα χρειαστεί να δημιουργήσουμε ένα virtual link ανάμεσα στους Routers R3 και R4.

Θα ορίσουμε και στους 2 Routers την Transit Area 3 και αμέσως μετά το Virtual Link.

```
R3(config)#router ospf 1  
R3(config-router)#network 192.168.10.1 0.0.0.0 area 3  
R3(config-router)#area 3 virtual-link 4.4.4.4
```

```
R4(config)#router ospf 1  
R4(config-router)#network 192.168.10.2 0.0.0.0 area 3  
R4(config-router)#area 3 virtual-link 3.3.3.3
```

```
*Jun 23 21:27:34.147: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 4.4.4.4 on Serial1/2 from  
LOADING to FULL, Loading Done
```

```
R3(config-router)#area 3 virtual-link 4.4.4.4
```

```
*Jun 23 21:27:56.939: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 4.4.4.4 on OSPF_VL0 from  
LOADING to FULL, Loading Done
```

```
*Jun 23 21:27:58.099: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 3.3.3.3 on OSPF_VL0 from  
LOADING to FULL, Loading Done
```

```
R4(config-router)#
```

Αμέσως μετά εξετάζουμε το Routing Table στους Routers R3 και R4.

```
R3#show 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
```

```
192.168.10.0/30 is subnetted, 1 subnets
C    192.168.10.0 is directly connected, Serial1/2
O IA 192.168.6.0/24 [110/129] via 192.168.10.2, 00:04:04, Serial1/2
C    192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
O    192.168.2.0/24 [110/65] via 192.168.10.2, 00:04:04, Serial1/2
O    192.168.3.0/24 [110/65] via 192.168.10.2, 00:04:04, Serial1/2
O E2 172.16.0.0/15 [110/20] via 192.168.10.2, 00:04:04, Serial1/2
O IA 192.168.4.0/23 [110/65] via 192.168.1.1, 00:04:04, FastEthernet0/1
R3#
```

R4#show 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

```
192.168.10.0/30 is subnetted, 1 subnets
C    192.168.10.0 is directly connected, Serial1/2
O IA 192.168.6.0/24 [110/65] via 192.168.3.2, 00:04:48, FastEthernet0/0
O    192.168.1.0/24 [110/65] via 192.168.10.1, 00:04:48, Serial1/2
C    192.168.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
C    192.168.3.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
O E2 172.16.0.0/15 [110/20] via 192.168.3.2, 00:04:38, FastEthernet0/0
O IA 192.168.4.0/23 [110/129] via 192.168.10.1, 00:04:48, Serial1/2
R4#
```

Παρατηρούμε ότι η επικοινωνία αποκαταστάθηκε.

Παρακάτω βλέπουμε κάτι καινούργιο: ο χαρακτηρισμός DNA σημαίνει Set το Do Not Age bit που σημαίνει μη αποστολή Periodic Updates κάτι που γίνεται κανονικά κάθε 30 λεπτά. Σημειωτέον ότι αυτό δεν έχει καμία απολύτως επίδραση στο Hello Protocol.

R3#show ip ospf database

OSPF Router with ID (3.3.3.3) (Process ID 1)

Router Link States (Area 0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count
2.2.2.2	2.2.2.2	243	0x80000003	0x004503	1
3.3.3.3	3.3.3.3	368	0x80000006	0x0077EE	2
4.4.4.4	4.4.4.4	1 (DNA)	0x80000005	0x00C71B	3
5.5.5.5	5.5.5.5	1772	0x80000003	0x00A088	1

Net Link States (Area 0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
192.168.1.2	3.3.3.3	245	0x80000002	0x003D6F
192.168.3.2	5.5.5.5	2208	0x80000001	0x0095FD

Summary Net Link States (Area 0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
192.168.4.0	2.2.2.2	243	0x80000002	0x00EA9C
192.168.6.0	5.5.5.5	2244	0x80000001	0x0081F7
192.168.10.0	3.3.3.3	402	0x80000001	0x007F01
192.168.10.0	4.4.4.4	19 (DNA)	0x80000001	0x00611B

Router Link States (Area 3)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count
3.3.3.3	3.3.3.3	370	0x80000003	0x00B5DA	2
4.4.4.4	4.4.4.4	371	0x80000002	0x005735	2

Summary Net Link States (Area 3)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
192.168.1.0	3.3.3.3	408	0x80000001	0x007C49
192.168.2.0	4.4.4.4	394	0x80000001	0x00536D
192.168.3.0	4.4.4.4	394	0x80000001	0x004877
192.168.4.0	3.3.3.3	408	0x80000001	0x00D8AA
192.168.6.0	4.4.4.4	394	0x80000001	0x00A9D2

Summary ASB Link States (Area 3)

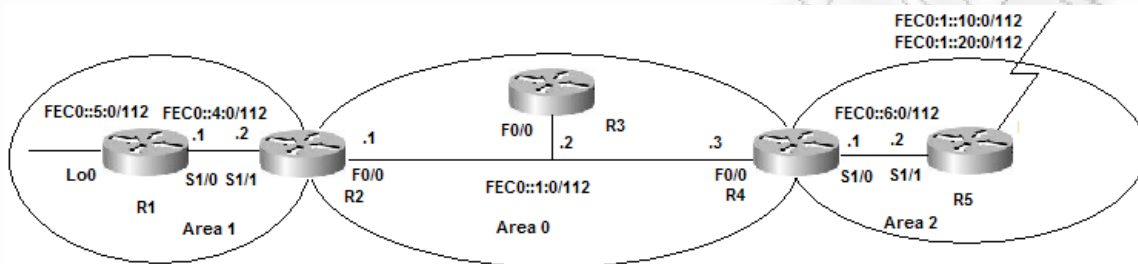
Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
5.5.5.5	3.3.3.3	365	0x80000001	0x00C614
5.5.5.5	4.4.4.4	394	0x80000001	0x0026F0

Type-5 AS External Link States

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum Tag
172.16.0.0 R3#	5.5.5.5	1754	0x80000001	0x0062FC 0

9.3 OSPF version 3 Multi Area Network

Θα εξετάσουμε στη συνέχεια ένα παρόμοιο σενάριο σε ένα Αυτόνομο Σύστημα με 3 Areas αλλά στο οποίο γίνεται χρήση IP version 6. Η version του OSPF που υποστηρίζει IP version 6 είναι η 3.



Σχήμα 9-12 OSPFv3 Multi Area Network

Οι IPv6 Site Local Addresses (FEC0::/10) είναι πλέον Obsolete. Όμως, παραμένουν έγκυρες και οι χρήση τους επιτρέπεται. Οπότε θα χρησιμοποιηθούν στο συγκεκριμένο Αυτόνομο Σύστημα.

Στην περίπτωση του OSPFv3 κάθε Router πρέπει να έχει ένα Router Id (το μήκος του οποίου παραμένει 32 bit άρα δεν μπορεί να ανατίθεται αυτόματα από IPv6 Address).

Ρυθμίζουμε τους Routers ως εξής:

1. Ενεργοποιούμε το IPv6

```
R2(config)#ipv6 unicast-routing
```

2. Δίνουμε IPv6 Address στα interfaces

```
R2(config)#int fa 0/0
```

```
R2(config-if)#ipv6 address fec0::1:1/112
```

```
R2(config)#int s 1/1
```

```
R2(config-if)#ipv6 address fec0::4:1/112
```

Εδώ χρειάζεται μια εξήγηση: Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θεωρούμε σαν host part τα τελευταία 16 Bits (οπότε το μέγεθος της μάσκας είναι 128-16 = 112).

3. Ενεργοποιούμε το OSPF για IPv6 (βλέποντας και την απαίτηση ανάθεσης router id).

```
R2(config)#ipv6 router ospf 1
```

```
*May 18 02:37:33.699: %OSPFv3-4-NORTRID: OSPFv3 process 1 could not pick a router-id, please configure manually
```

```
R2(config-rtr)#router-id 2.2.2.2
```

4. Αναθέτουμε interfaces σε OSPF Areas.

```
R2(config)#int fa 0/0
```

```
R2(config-if)#ipv6 ospf 1 area 0
```

```
R2(config)#int s 1/1
```

```
R2(config-if)#ipv6 ospf 1 area 1
```

Και βλέπουμε το αποτέλεσμα:

```
*May 18 03:13:34.075: %OSPFv3-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 3.3.3.3 on FastEthernet0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
```

```
*May 18 03:15:42.519: %OSPFv3-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 4.4.4.4 on FastEthernet0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
```

Ας δούμε το Routing Table στους Routers R2 και R3:

```
R2#show ipv6 route
```

```
IPv6 Routing Table - 10 entries
```

```
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
```

```
U - Per-user Static route
```

```
I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary
```

```
O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2
```

```
ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
```

```
L FE80::/10 [0/0]
```

```
via ::, Null0
```

```
C FEC0::1:0/112 [0/0]
```

```
via ::, FastEthernet0/0
```

```
L FEC0::1:1/128 [0/0]
```

```
via ::, FastEthernet0/0
```

```
C FEC0::4:0/112 [0/0]
```

```
via ::, Serial1/1
```

```
L FEC0::4:1/128 [0/0]
```

```
via ::, Serial1/1
O FEC0::5:0/112 [110/65]
  via FE80::C800:1AFF:FE14:0, Serial1/1
OI FEC0::6:0/112 [110/65]
  via FE80::C803:1AFF:FE14:8, FastEthernet0/0
OE2 FEC0:1::10:0/112 [110/20]
  via FE80::C803:1AFF:FE14:8, FastEthernet0/0
OE2 FEC0:1::20:0/112 [110/20]
  via FE80::C803:1AFF:FE14:8, FastEthernet0/0
L FF00::/8 [0/0]
  via ::, Null0
R2#
```

R3#show ipv6 route

IPv6 Routing Table - 9 entries

Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP

U - Per-user Static route

I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary

O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2

ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2

```
L FE80::/10 [0/0]
  via ::, Null0
C FEC0::1:0/112 [0/0]
  via ::, FastEthernet0/0
L FEC0::1:3/128 [0/0]
  via ::, FastEthernet0/0
OI FEC0::4:0/112 [110/65]
  via FE80::C801:1AFF:FE14:8, FastEthernet0/0
OI FEC0::5:0/112 [110/66]
  via FE80::C801:1AFF:FE14:8, FastEthernet0/0
OI FEC0::6:0/112 [110/65]
  via FE80::C803:1AFF:FE14:8, FastEthernet0/0
OE2 FEC0:1::10:0/112 [110/20]
  via FE80::C803:1AFF:FE14:8, FastEthernet0/0
OE2 FEC0:1::20:0/112 [110/20]
  via FE80::C803:1AFF:FE14:8, FastEthernet0/0
L FF00::/8 [0/0]
  via ::, Null0
R3#
```

Επίσης, ας δούμε την Link State Database στον Router R2:

```
R2#show ipv6 ospf database
```

```
OSPFv3 Router with ID (2.2.2.2) (Process ID 1)
```

```
Router Link States (Area 0)
```

ADV Router	Age	Seq#	Fragment ID	Link count	Bits
2.2.2.2	329	0x80000006	0	1	B
3.3.3.3	330	0x8000000B	0	1	None
4.4.4.4	1371	0x80000006	0	1	B

```
Net Link States (Area 0)
```

ADV Router	Age	Seq#	Link ID	Rtr count
4.4.4.4	1375	0x80000002	4	3

```
Inter Area Prefix Link States (Area 0)
```

ADV Router	Age	Seq#	Prefix
2.2.2.2	1392	0x80000001	FEC0::4:0/112
2.2.2.2	1392	0x80000001	FEC0::5:0/112
4.4.4.4	1428	0x80000001	FEC0::6:0/112

```
Inter Area Router Link States (Area 0)
```

ADV Router	Age	Seq#	Link ID	Dest RtrID
4.4.4.4	1418	0x80000001	84215045	5.5.5.5

```
Link (Type-8) Link States (Area 0)
```

ADV Router	Age	Seq#	Link ID	Interface
2.2.2.2	1404	0x80000001	4	Fa0/0
3.3.3.3	1443	0x80000001	4	Fa0/0
4.4.4.4	1440	0x80000001	4	Fa0/0

```
Intra Area Prefix Link States (Area 0)
```

ADV Router	Age	Seq#	Link ID	Ref-lstyp	Ref-LSID
4.4.4.4	1394	0x80000001	4096	0x2002	4

```
Router Link States (Area 1)
```

ADV Router	Age	Seq#	Fragment ID	Link count	Bits
1.1.1.1	1403	0x80000002	0	1	None
2.2.2.2	1398	0x80000002	0	1	B

```
Inter Area Prefix Link States (Area 1)
```

ADV Router	Age	Seq#	Prefix
2.2.2.2	1368	0x80000001	FEC0::1:0/112
2.2.2.2	1368	0x80000001	FEC0::6:0/112

```
Inter Area Router Link States (Area 1)
```

ADV Router	Age	Seq#	Link ID	Dest RtrID
2.2.2.2	1368	0x80000001	84215045	5.5.5.5

```
Link (Type-8) Link States (Area 1)
```


ADV Router	Age	Seq#	Link ID	Interface
1.1.1.1	1434	0x80000001	5	Se1/1
2.2.2.2	1404	0x80000001	7	Se1/1

Intra Area Prefix Link States (Area 1)

ADV Router	Age	Seq#	Link ID	Ref-lstype	Ref-LSID
1.1.1.1	1434	0x80000001	0	0x2001	0
2.2.2.2	1404	0x80000001	0	0x2001	0

Type-5 AS External Link States

ADV Router	Age	Seq#	Prefix
5.5.5.5	1434	0x80000001	FEC0:1::10:0/112
5.5.5.5	431	0x80000001	FEC0:1::20:0/112

Ta router (Type-1) Link State entries που δημιουργούνται από τον Router R2 είναι τα εξής:

R2#show ipv6 ospf database router adv-router 2.2.2.2

OSPFv3 Router with ID (2.2.2.2) (Process ID 1)

Router Link States (Area 0)

LS age: 441
 Options: (V6-Bit E-Bit R-bit DC-Bit)
 LS Type: Router Links
 Link State ID: 0
 Advertising Router: 2.2.2.2
 LS Seq Number: 80000006
 Checksum: 0xAD2B
 Length: 40
 Area Border Router
 Number of Links: 1

Link connected to: a Transit Network
 Link Metric: 1
 Local Interface ID: 4
 Neighbor (DR) Interface ID: 4
 Neighbor (DR) Router ID: 4.4.4.4

Router Link States (Area 1)

LS age: 1508
Options: (V6-Bit E-Bit R-bit DC-Bit)
LS Type: Router Links
Link State ID: 0
Advertising Router: 2.2.2.2
LS Seq Number: 80000002
Checksum: 0x6C3A
Length: 40
Area Border Router
Number of Links: 1

Link connected to: another Router (point-to-point)
Link Metric: 64
Local Interface ID: 7
Neighbor Interface ID: 5
Neighbor Router ID: 1.1.1.1

R2#

To network (Type-2) Link State entry του Router R2 που δημιουργείται τον Router R4 (είναι ο DR) είναι το εξής:

R2#show ipv6 ospf database network

OSPFv3 Router with ID (2.2.2.2) (Process ID 1)

Net Link States (Area 0)

LS age: 1578
Options: (V6-Bit E-Bit R-bit DC-Bit)
LS Type: Network Links
Link State ID: 4 (Interface ID of Designated Router)
Advertising Router: 4.4.4.4
LS Seq Number: 80000002
Checksum: 0xAC1
Length: 36
Attached Router: 4.4.4.4
Attached Router: 2.2.2.2
Attached Router: 3.3.3.3

Το πεδίο Advertising Router περιέχει το Router Id του Designated Router. Πληροφορίες για τον Designated Router βρίσκουμε και από σχετικό Type-1 Link State Entry του Router R2.

R2#show ipv6 ospf database router adv-router 4.4.4.4

OSPFv3 Router with ID (2.2.2.2) (Process ID 1)

Router Link States (Area 0)

Routing Bit Set on this LSA

LS age: 1658

Options: (V6-Bit E-Bit R-bit DC-Bit)

LS Type: Router Links

Link State ID: 0

Advertising Router: 4.4.4.4

LS Seq Number: 80000006

Checksum: 0x715F

Length: 40

Area Border Router

Number of Links: 1

Link connected to: a Transit Network

Link Metric: 1

Local Interface ID: 4

Neighbor (DR) Interface ID: 4

Neighbor (DR) Router ID: 4.4.4.4

Μέχρι στιγμής βλέπουμε αυτό που έχει αναφερθεί στο θεωρητικό μέρος: Την απόκρυψη πληροφορίας σχετικά με τις IPv6 Addresses σε μια προσπάθεια να γίνει το OSPFv3 πιο ευέλικτο. Φυσικά, η πληροφορία για τις διευθύνσεις πρέπει να υπάρχει.

Ας εξετάσουμε έναν καινούργιο τύπο Link State Entries τα Link (Type-8).

R2#show ipv6 ospf database link adv-router 2.2.2.2

OSPFv3 Router with ID (2.2.2.2) (Process ID 1)

Link (Type-8) Link States (Area 0)

LS age: 1751
Options: (V6-Bit E-Bit R-bit DC-Bit)
LS Type: Link-LSA (Interface: FastEthernet0/0)
Link State ID: 4 (Interface ID)
Advertising Router: 2.2.2.2
LS Seq Number: 80000001
Checksum: 0x3411
Length: 64
Router Priority: 1
Link Local Address: FE80::C801:1AFF:FE14:8
Number of Prefixes: 1
Prefix Address: FEC0::1:0
Prefix Length: 112, Options: None

Link (Type-8) Link States (Area 1)

LS age: 1751
Options: (V6-Bit E-Bit R-bit DC-Bit)
LS Type: Link-LSA (Interface: Serial1/1)
Link State ID: 7 (Interface ID)
Advertising Router: 2.2.2.2
LS Seq Number: 80000001
Checksum: 0x9AA4
Length: 64
Router Priority: 1
Link Local Address: FE80::C801:1AFF:FE14:8
Number of Prefixes: 1
Prefix Address: FEC0::4:0
Prefix Length: 112, Options: None

Σε αυτόν τον καινούργιο τύπο περιέχονται οι πληροφορίες για τα Routing Prefixes αλλά έχει Link Local Scope. Βλέπουμε πληροφορίες τόσο για τα Prefixes όσο και για τις Link Local Addresses (Στα συγκεκριμένα παραδείγματα δεν έχουν επιλεγεί συγκεκριμένες Link Local Address οπότε η επιλογή γίνεται αυτόματα με τον αλγόριθμο που έχει ήδη αναφερθεί (το Interface Id δημιουργείται από την MAC Address με την παρεμβολή σε συγκεκριμένες θέσεις της τιμής: FFFE).

Ας εξετάσουμε τώρα τον άλλο καινούργιο τύπο των Link State Entries τα intra-area prefix LSAs που μεταφέρει prefix και έχει Area Scope.

R2#show ipv6 ospf database prefix

OSPFv3 Router with ID (2.2.2.2) (Process ID 1)

Intra Area Prefix Link States (Area 0)

Routing Bit Set on this LSA

LS age: 1418

LS Type: Intra-Area-Prefix-LSA

Link State ID: 4096

Advertising Router: 4.4.4.4

LS Seq Number: 80000001

Checksum: 0xAEE9

Length: 52

Referenced LSA Type: 2002

Referenced Link State ID: 4

Referenced Advertising Router: 4.4.4.4

Number of Prefixes: 1

Prefix Address: FEC0::1:0

Prefix Length: 112, Options: None, Metric: 0

Intra Area Prefix Link States (Area 1)

Routing Bit Set on this LSA

LS age: 1440

LS Type: Intra-Area-Prefix-LSA

Link State ID: 0

Advertising Router: 1.1.1.1

LS Seq Number: 80000001

Checksum: 0x87AF

Length: 72

Referenced LSA Type: 2001

Referenced Link State ID: 0

Referenced Advertising Router: 1.1.1.1

Number of Prefixes: 2

Prefix Address: FEC0::4:0

Prefix Length: 112, Options: None, Metric: 64

Prefix Address: FEC0::5:0

Prefix Length: 112, Options: None, Metric: 1

Routing Bit Set on this LSA

LS age: 1456

LS Type: Intra-Area-Prefix-LSA

Link State ID: 0

Advertising Router: 2.2.2.2

LS Seq Number: 80000001

Checksum: 0xED8C

Length: 52

Referenced LSA Type: 2001

Referenced Link State ID: 0

Referenced Advertising Router: 2.2.2.2

Number of Prefixes: 1

Prefix Address: FEC0::4:0

Prefix Length: 112, Options: None, Metric: 64

Τα inter area prefix (Type-3) Link State entries που υπάρχουν στην Link State Database του Router R3 - ο συγκεκριμένος Internal Backbone Router επιλέγεται για να δείξει όλα τα inter area prefixes τόσο της Area 1 όσο και της Area 2, για να είναι λογικό το μέγεθος του output αφού σαν internal θα δώσει πληροφορίες μόνο για μια Area και για μελλοντική σύγκριση όταν αργότερα θα γίνει summarization - είναι τα εξής:

R3#show ipv6 ospf database inter-area prefix

OSPFv3 Router with ID (3.3.3.3) (Process ID 1)

Inter Area Prefix Link States (Area 0)

Routing Bit Set on this LSA

LS age: 238

LS Type: Inter Area Prefix Links

Link State ID: 0

Advertising Router: 2.2.2.2

LS Seq Number: 80000002

Checksum: 0x7C35

Length: 44

Metric: 64

Prefix Address: FEC0::4:0

Prefix Length: 112, Options: None

Routing Bit Set on this LSA
LS age: 238
LS Type: Inter Area Prefix Links
Link State ID: 1
Advertising Router: 2.2.2.2
LS Seq Number: 80000002
Checksum: 0x901E
Length: 44
Metric: 65
Prefix Address: FEC0::5:0
Prefix Length: 112, Options: None

Routing Bit Set on this LSA
LS age: 284
LS Type: Inter Area Prefix Links
Link State ID: 0
Advertising Router: 4.4.4.4
LS Seq Number: 80000002
Checksum: 0x7037
Length: 44
Metric: 64
Prefix Address: FEC0::6:0
Prefix Length: 112, Options: None

To inter area router (Type-4) Link State entry που υπάρχει στην Link State Database του Router R3 - ο συγκεκριμένος επιλέγεται για να είναι λογικό το μέγεθος του output - είναι το εξής:

R3#show ipv6 ospf database inter-area router

OSPFv3 Router with ID (3.3.3.3) (Process ID 1)

Inter Area Router Link States (Area 0)

Routing Bit Set on this LSA
LS age: 563
Options: (V6-Bit E-Bit R-bit DC-Bit)
LS Type: Inter Area Router Links
Link State ID: 84215045
Advertising Router: 4.4.4.4

LS Seq Number: 80000002
Checksum: 0xF09C
Length: 32
Metric: 64
Destination Router ID: 5.5.5.5

Τέλος, το external (Type-5) Link State entry που υπάρχουν στην Link State Database του Router R3είναι το εξής:

R3#show ipv6 ospf database external

OSPFv3 Router with ID (3.3.3.3) (Process ID 1)

Type-5 AS External Link States

Routing Bit Set on this LSA

LS age: 578

LS Type: AS External Link

Link State ID: 0

Advertising Router: 5.5.5.5

LS Seq Number: 80000002

Checksum: 0x5648

Length: 44

Prefix Address: FEC0:1::10:0

Prefix Length: 112, Options: None

Metric Type: 2 (Larger than any link state path)

Metric: 20

Routing Bit Set on this LSA

LS age: 1618

LS Type: AS External Link

Link State ID: 1

Advertising Router: 5.5.5.5

LS Seq Number: 80000001

Checksum: 0xCFBE

Length: 44

Prefix Address: FEC0:1::20:0

Prefix Length: 112, Options: None

Metric Type: 2 (Larger than any link state path)

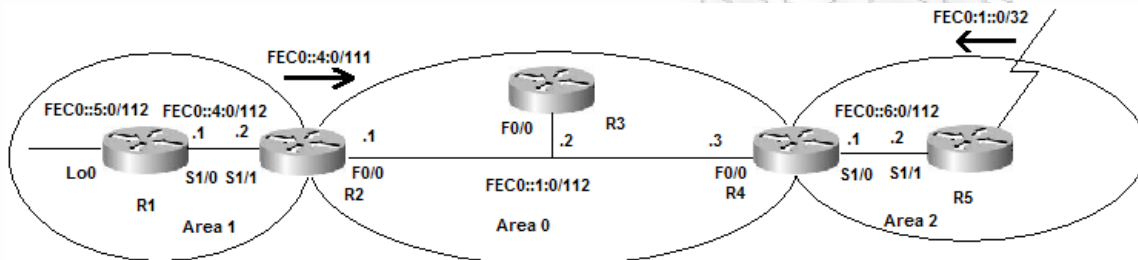
Metric: 20

9.3.1 Summarization

Τα Inter-Area route entries **FEC0::4:0/112** και **FEC0::5:0/112** που προέρχονται από την Area 1 θα μπορούσαν να γίνουν summarized σε ένα supernet: **FEC0::4:0/111**

Επίσης, τα External Type 2 Routers **FEC0:1::10:0/112** και **FEC0:1::20:0/112** θα μπορούσαν και αυτά να γίνουν summarized.

Εδώ θα κάνουμε μια παραδοχή: Θα τα κάνουμε summarize στο prefix **FEC0:1::0/32** θεωρώντας ότι δεν χρησιμοποιούνται άλλες διευθύνσεις από το παραπάνω range στο Site μας.



Σχήμα 9-13 OSPFv3 Summarization

Τα οφέλη του summarization έχουν αναφερθεί πολλές φορές προηγουμένως οπότε δεν θα επαναληφθούν εδώ.

Συνεχίζουμε λοιπόν κάνοντας αυτές τις δύο παρακάτω αλλαγές.

Στον Area Border Router R2 ενεργοποιούμε το summarization για τα δύο networks της Area 1.

```
R2(config)#ipv6 router ospf 1
R2(config-router)#area 1 range FEC0::4:0/111
```

Στον Autonomous System Boundary Router R5 ενεργοποιούμε το summarization για τα δύο external networks.

```
R5(config)#ipv6 router ospf 1
R5(config-router)#summary-address FEC0:1::0/32
```

Ας εξετάσουμε τώρα το Routing Table του Router R3:

```
R3#show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 7 entries
```

Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP

U - Per-user Static route

I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary

O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2

ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2

L FE80::/10 [0/0]

via ::, Null0

C FEC0::1:0/112 [0/0]

via ::, FastEthernet0/0

L FEC0::1:3/128 [0/0]

via ::, FastEthernet0/0

OI FEC0::4:0/111 [110/129]

via FE80::C801:1AFF:FE14:8, FastEthernet0/0

OI FEC0::6:0/112 [110/65]

via FE80::C803:1AFF:FE14:8, FastEthernet0/0

OE2 FEC0:1::/32 [110/20]

via FE80::C803:1AFF:FE14:8, FastEthernet0/0

L FF00::/8 [0/0]

via ::, Null0

R3#

To Routing Table του Router R3 αντανakλά το summarization που κάναμε.

Ας εξετάσουμε τώρα τα Type-3 Link State Entries του Router R3.

R3#show ipv6 ospf database inter-area prefix

OSPFv3 Router with ID (3.3.3.3) (Process ID 1)

Inter Area Prefix Link States (Area 0)

Routing Bit Set on this LSA

LS age: 230

LS Type: Inter Area Prefix Links

Link State ID: 0

Advertising Router: 2.2.2.2

LS Seq Number: 80000001

Checksum: 0xF87A

Length: 44

Metric: 128

Prefix Address: FEC0::4:0
Prefix Length: 111, Options: None

Routing Bit Set on this LSA
LS age: 252
LS Type: Inter Area Prefix Links
Link State ID: 0
Advertising Router: 4.4.4.4
LS Seq Number: 80000001
Checksum: 0x7236
Length: 44
Metric: 64
Prefix Address: FEC0::6:0
Prefix Length: 112, Options: None

Κατόπιν, ας εξετάσουμε τα Type-5 Link State Entries του Router R3.

R3#show ipv6 ospf database external

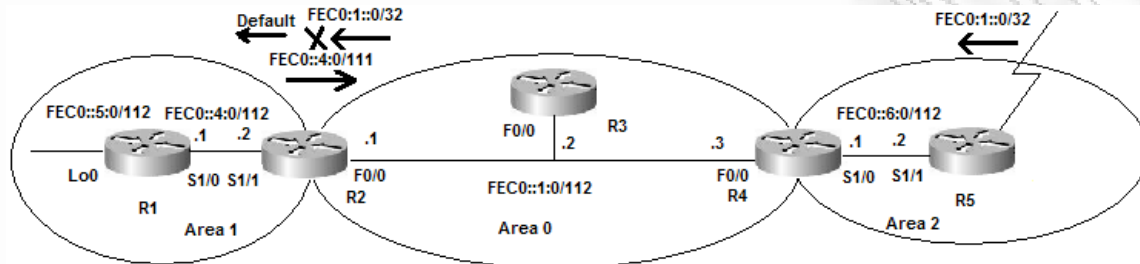
OSPFv3 Router with ID (3.3.3.3) (Process ID 1)

Type-5 AS External Link States

Routing Bit Set on this LSA
LS age: 438
LS Type: AS External Link
Link State ID: 0
Advertising Router: 5.5.5.5
LS Seq Number: 80000001
Checksum: 0x8C7F
Length: 32
Prefix Address: FEC0:1::
Prefix Length: 32, Options: None
Metric Type: 2 (Larger than any link state path)
Metric: 20
R3#

9.3.2 Stub Area

Τα πλεονεκτήματα των Stub Areas και οι προϋποθέσεις για να γίνει μια Area Stub έχουν αναλυθεί προηγουμένως οπότε θα προχωρήσουμε άμεσα στο να μετατρέψουμε την Standard Area 1 σε Stub Area.



Σχήμα 9-14 OSPFv3 Summarization, Stub Area

Θα χρειαστεί να ρυθμιστούν σχετικά οι Routers R1 και R2.

```
R1(config)#ipv6 router ospf 1
R1(config-rtr)#area 1 stub
```

```
R2(config)#ipv6 router ospf 1
R2(config-rtr)#area 1 stub
```

Στο μικρό διάστημα που μεσολαβεί όταν αλλάζουμε τον ένα Router το adjacency καταργείται γιατί το να συμφωνούν οι Routers στο να είναι ή να μην είναι stub είναι απαραίτητη προϋπόθεση δημιουργίας adjacency.

```
*May 19 03:54:57.827: %OSPFv3-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 2.2.2.2 on Serial1/0 from
FULL to DOWN, Neighbor Down: Adjacency forced to reset
*May 19 03:55:19.235: %OSPFv3-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 2.2.2.2 on Serial1/0 from
LOADING to FULL, Loading Done
*May 19 03:55:21.167: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
R1#
```

Ας εξετάσουμε τώρα το Routing Table Router του R1.

```
R1#show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 9 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
       U - Per-user Static route
       I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary
```

O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2
 ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2

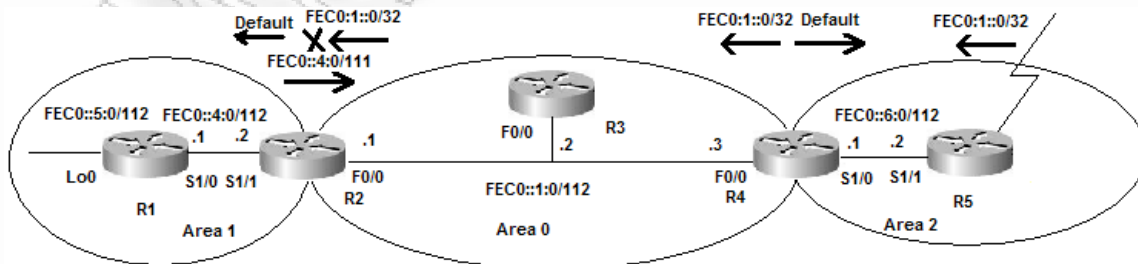
```

OI ::/0 [110/65]
  via FE80::C801:1AFF:FE14:8, Serial1/0
L FE80::/10 [0/0]
  via ::, Null0
OI FEC0::1:0/112 [110/65]
  via FE80::C801:1AFF:FE14:8, Serial1/0
C FEC0::4:0/112 [0/0]
  via ::, Serial1/0
L FEC0::4:2/128 [0/0]
  via ::, Serial1/0
C FEC0::5:0/112 [0/0]
  via ::, Loopback0
L FEC0::5:1/128 [0/0]
  via ::, Loopback0
OI FEC0::6:0/112 [110/129]
  via FE80::C801:1AFF:FE14:8, Serial1/0
L FF00::/8 [0/0]
  via ::, Null0
R1#
  
```

Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν πια External Routes. Αντίθετα, προστέθηκε το entry: **OI ::/0** δηλαδή το **Default Route**.

9.3.3 Not So Stubby Area (NSSA)

Η Area 2 πληροί τις προϋποθέσεις για να γίνει Not So Stubby Area. Βέβαια, για να έχει νόημα θα έπρεπε να έχουμε και δεύτερο ASBR εκτός της Area για να δούμε που θα σταματήσει τα External Routes και (προαιρετικά) θα στείλει Default Route.



Σχήμα 9-15 OSPFv3 Summarization, Stub Area, NSSA

Για τον σκοπό αυτό θα χρησιμοποιήσουμε προσωρινά ένα Loopback interface στον Internal Backbone Router R3.

```
R3(config)#int lo0  
R3(config-if)#ipv6 address FEC0:2::10:1/112
```

```
R3(config-if)#ipv6 router ospf 1  
R3(config-rtr)#redistribute connected
```

Επίσης, θα χρειαστεί να ρυθμιστούν σχετικά οι Routers R4 και R5.

```
R4(config)#ipv6 router ospf 1  
R4(config-rtr)#area 2 nssa
```

```
R5(config)#ipv6 router ospf 1  
R5(config-rtr)#area 2 nssa
```

Ενώ το καινούργιο external prefix (**FEC0:2::10:0/112**) υπάρχει στο Routing Table του Router R4, δεν υπάρχει στο Routing Table του Router R5.

```
R4#show ipv6 route
```

```
IPv6 Routing Table - 9 entries
```

```
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
```

```
U - Per-user Static route
```

```
I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary
```

```
O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2
```

```
ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
```

```
L FE80::/10 [0/0]  
via ::, Null0  
C FEC0::1:0/112 [0/0]  
via ::, FastEthernet0/0  
L FEC0::1:4/128 [0/0]  
via ::, FastEthernet0/0  
OI FEC0::4:0/111 [110/129]  
via FE80::C801:1AFF:FE14:8, FastEthernet0/0  
C FEC0::6:0/112 [0/0]  
via ::, Serial1/0  
L FEC0::6:1/128 [0/0]  
via ::, Serial1/0  
ON2 FEC0:1::/32 [110/20]
```

```
via FE80::C804:1AFF:FE14:0, Serial1/0
OE2 FEC0:2::10:0/112 [110/20]
  via FE80::C802:1AFF:FE14:8, FastEthernet0/0
L FF00::/8 [0/0]
  via ::, Null0
R4#
```

R5#show ipv6 route

```
IPv6 Routing Table - 11 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
       U - Per-user Static route
       I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary
       O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2
       ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
L FE80::/10 [0/0]
  via ::, Null0
OI FEC0::1:0/112 [110/65]
  via FE80::C803:1AFF:FE14:8, Serial1/1
OI FEC0::4:0/111 [110/193]
  via FE80::C803:1AFF:FE14:8, Serial1/1
C FEC0::6:0/112 [0/0]
  via ::, Serial1/1
L FEC0::6:2/128 [0/0]
  via ::, Serial1/1
O FEC0:1::/32 [110/0]
  via ::, Null0
C FEC0:1::10:0/112 [0/0]
  via ::, Loopback0
L FEC0:1::10:1/128 [0/0]
  via ::, Loopback0
C FEC0:1::20:0/112 [0/0]
  via ::, Loopback1
L FEC0:1::20:1/128 [0/0]
  via ::, Loopback1
L FF00::/8 [0/0]
  via ::, Null0
R5#
```

Επιπλέον, μπορούμε να ρυθμίσουμε τον Area Border Router R4 να στέλνει ένα Default Route στην Area 2.

R4(config)#ipv6 router ospf 1

R4(config-rtr)#area 2 nssa default-information-originate

Το αποτέλεσμα φαίνεται στο Route Table του Router R5.

R5#show ipv6 route

IPv6 Routing Table - 12 entries

Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP

U - Per-user Static route

I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary

O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2

ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2

ON2 ::0 [110/1]

via FE80::C803:1AFF:FE14:8, Serial1/1

L FE80::10 [0/0]

via ::, Null0

OI FEC0::1:0/112 [110/65]

via FE80::C803:1AFF:FE14:8, Serial1/1

OI FEC0::4:0/111 [110/193]

via FE80::C803:1AFF:FE14:8, Serial1/1

C FEC0::6:0/112 [0/0]

via ::, Serial1/1

L FEC0::6:2/128 [0/0]

via ::, Serial1/1

O FEC0:1::/32 [110/0]

via ::, Null0

C FEC0:1::10:0/112 [0/0]

via ::, Loopback0

L FEC0:1::10:1/128 [0/0]

via ::, Loopback0

C FEC0:1::20:0/112 [0/0]

via ::, Loopback1

L FEC0:1::20:1/128 [0/0]

via ::, Loopback1

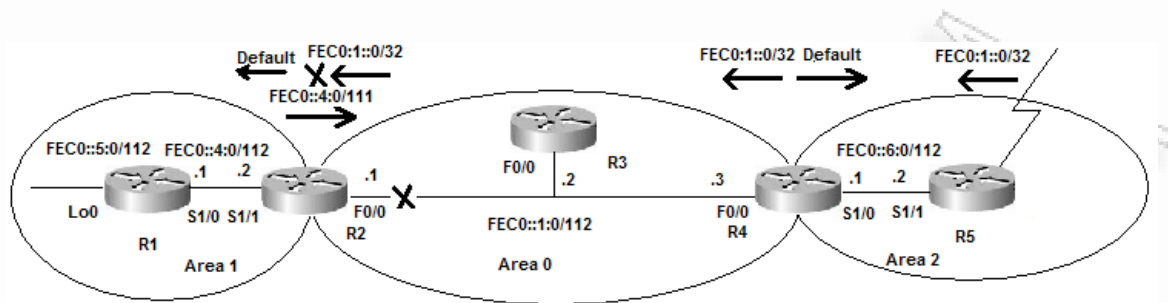
L FF00::/8 [0/0]

via ::, Null0

R5#

Βλέπουμε ότι τώρα υπάρχει στο Route Table του Router R5 και το Default Route (και φυσικά όπως ήδη αναφέρθηκε δεν υπάρχουν External Routes που γίνονται originate εκτός της Area.

9.3.4 Broken Backbone



Σχήμα 9-16 OSPFv3 Broken Backbone

Ας εξετάσουμε κατ' αρχήν το Route Table των Routers R1 και R3.

R1#show ipv6 route

IPv6 Routing Table - 9 entries

Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP

U - Per-user Static route

I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary

O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2

ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2

OI ::0 [110/65]

via FE80::C801:19FF:FE2C:8, Serial1/0

L FE80::/10 [0/0]

via ::, Null0

OI FEC0::1:0/112 [110/65]

via FE80::C801:19FF:FE2C:8, Serial1/0

C FEC0::4:0/112 [0/0]

via ::, Serial1/0

L FEC0::4:2/128 [0/0]

via ::, Serial1/0

C FEC0::5:0/112 [0/0]

via ::, Loopback0

L FEC0::5:1/128 [0/0]

via ::, Loopback0

OI FEC0::6:0/112 [110/129]

via FE80::C801:19FF:FE2C:8, Serial1/0

L FF00::/8 [0/0]

via ::, Null0

R1#

R3#show ipv6 route

IPv6 Routing Table - 9 entries

Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP

U - Per-user Static route

I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary

O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2

ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2

```
L FE80::/10 [0/0]
  via ::, Null0
C FEC0::1:0/112 [0/0]
  via ::, FastEthernet0/0
L FEC0::1:3/128 [0/0]
  via ::, FastEthernet0/0
OI FEC0::4:0/111 [110/129]
  via FE80::C801:19FF:FE2C:8, FastEthernet0/0
OI FEC0::6:0/112 [110/65]
  via FE80::C803:19FF:FE2C:8, FastEthernet0/0
OE2 FEC0:1::/32 [110/20]
  via FE80::C803:19FF:FE2C:8, FastEthernet0/0
C FEC0:2::10:0/112 [0/0]
  via ::, Loopback0
L FEC0:2::10:1/128 [0/0]
  via ::, Loopback0
L FF00::/8 [0/0]
  via ::, Null0
```

Έστω ότι το Fast Ethernet link του Router R2 χάνεται (το εξομοιώνουμε κάνοντάς το shutdown).

R2(config)#int fa0/0

R2(config-if)#shut

```
*May 20 01:20:34.671: %OSPFv3-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 3.3.3.3 on
FastEthernet0/0 from FULL to DOWN, Neighbor Down: Interface down or detached
*May 20 01:20:34.679: %OSPFv3-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 4.4.4.4 on
FastEthernet0/0 from FULL to DOWN, Neighbor Down: Interface down or detached
*May 20 01:20:36.635: %LINK-5-CHANGED: Interface FastEthernet0/0, changed state
to administratively down
*May 20 01:20:36.639: %ENTITY_ALARM-6-INFO: ASSERT INFO Fa0/0 Physical
Port Administrative State Down
```

```
*May 20 01:20:37.635: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface
FastEthernet0/0, changed state to down
R2(config-if)#
```

Το αποτέλεσμα είναι ότι το backbone αποκόπτεται στα δύο. Το αποτέλεσμα φαίνεται στα Routing Tables. Ας κοιτάξουμε το Routing Table των Routers R1 και R3.

R1#show ipv6 route

IPv6 Routing Table - 6 entries

Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP

U - Per-user Static route

I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary

O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2

ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2

```
L FE80::/10 [0/0]
  via ::, Null0
C FEC0::4:0/112 [0/0]
  via ::, Serial1/0
L FEC0::4:2/128 [0/0]
  via ::, Serial1/0
C FEC0::5:0/112 [0/0]
  via ::, Loopback0
L FEC0::5:1/128 [0/0]
  via ::, Loopback0
L FF00::/8 [0/0]
  via ::, Null0
R1#
```

Παρατηρούμε ότι χάθηκαν Route Entries:

R3#show ipv6 route

IPv6 Routing Table - 8 entries

Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP

U - Per-user Static route

I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary

O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2

ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2

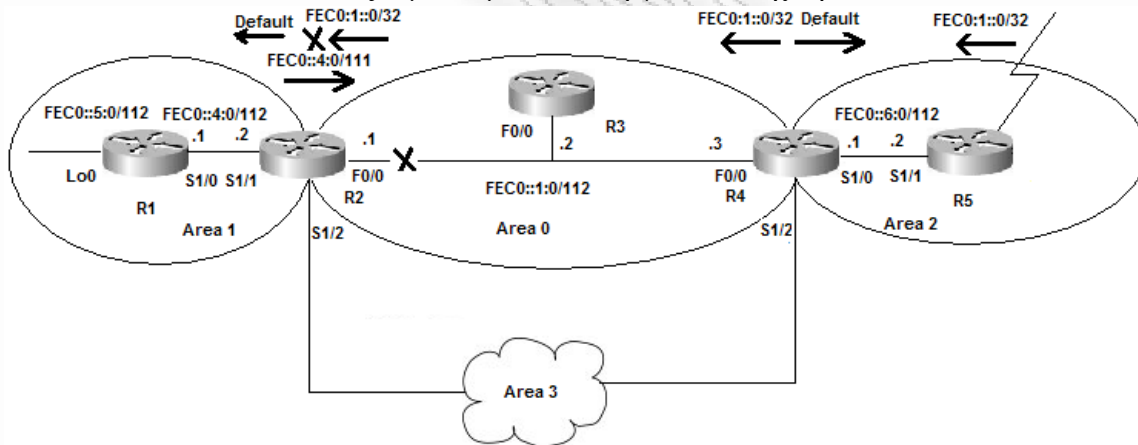
```
L FE80::/10 [0/0]
  via ::, Null0
C FEC0::1:0/112 [0/0]
```

```

via ::, FastEthernet0/0
L FEC0::1:3/128 [0/0]
via ::, FastEthernet0/0
OI FEC0::6:0/112 [110/65]
via FE80::C803:19FF:FE2C:8, FastEthernet0/0
OE2 FEC0:1::/32 [110/20]
via FE80::C803:19FF:FE2C:8, FastEthernet0/0
C FEC0:2::10:0/112 [0/0]
via ::, Loopback0
L FEC0:2::10:1/128 [0/0]
via ::, Loopback0
L FF00::/8 [0/0]
via ::, Null0
R3#

```

Παρατηρούμε ότι χάθηκαν τα Inter Area Route Entries της Area 1 αλλά και τα entries που αναφέρονται στον Router R2. Η λύση είναι και εδώ η χρήση Virtual Links. Θα αξιοποιηθούν τα Serial interfaces των Routers R2 και R4. Θα τους δώσουμε IPv6 Addresses και θα τα κατατάξουμε σε μια καινούργια Area πχ την 3.



Σχήμα 9-17 OSPFv3 Repaired Backbone

```

R2(config-if)#int s1/2
R2(config-if)#ipv6 address fec0::10:1/112
R2(config-if)#ipv6 ospf 1 area 3
R2(config-if)#no shutdown

```

```

R4(config)#int s1/2
R4(config-if)#ipv6 address fec0::10:2/112
R4(config-if)#ipv6 ospf 1 area 3

```

R4(config-if)#no shutdown

R2#

*May 20 01:53:36.495: %OSPFv3-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 4.4.4.4 on Serial1/2 from LOADING to FULL, Loading Done

R2#

R4#

*May 20 01:53:46.651: %OSPFv3-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 2.2.2.2 on Serial1/2 from LOADING to FULL, Loading Done

R4#

Κατόπιν θα ρυθμίσουμε Virtual Links στους Routers R2 και R4.

R2(config)#ipv6 router ospf 1

R2(config-rtr)#area 3 virtual-link 4.4.4.4

R4(config)#ipv6 router ospf 1

R4(config-rtr)#area 3 virtual-link 2.2.2.2

R2#

*May 20 01:57:53.855: %OSPFv3-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 4.4.4.4 on OSPFv3_VL1 from LOADING to FULL, Loading Done

R4#

*May 20 01:58:03.935: %OSPFv3-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 2.2.2.2 on OSPFv3_VL1 from LOADING to FULL, Loading Done

Ας εξετάσουμε πάλι τα Routing Tables των Routers R1 και R3.

R1#show ipv6 route

IPv6 Routing Table - 12 entries

Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP

U - Per-user Static route

I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary

O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2

ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2

OI ::0 [110/65]

via FE80::C801:19FF:FE2C:8, Serial1/0

L FE80::/10 [0/0]

via ::, Null0

```
OI FEC0::1:0/112 [110/129]
  via FE80::C801:19FF:FE2C:8, Serial1/0
C  FEC0::4:0/112 [0/0]
  via ::, Serial1/0
L  FEC0::4:2/128 [0/0]
  via ::, Serial1/0
C  FEC0::5:0/112 [0/0]
  via ::, Loopback0
L  FEC0::5:1/128 [0/0]
  via ::, Loopback0
OI FEC0::6:0/112 [110/192]
  via FE80::C801:19FF:FE2C:8, Serial1/0
OI FEC0::10:0/112 [110/128]
  via FE80::C801:19FF:FE2C:8, Serial1/0
OI FEC0::10:1/128 [110/64]
  via FE80::C801:19FF:FE2C:8, Serial1/0
OI FEC0::10:2/128 [110/128]
  via FE80::C801:19FF:FE2C:8, Serial1/0
L  FF00::/8 [0/0]
  via ::, Null0
R1#
```

R3#show ipv6 route

IPv6 Routing Table - 12 entries

Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP

U - Per-user Static route

I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary

O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2

ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2

```
L  FE80::/10 [0/0]
  via ::, Null0
C  FEC0::1:0/112 [0/0]
  via ::, FastEthernet0/0
L  FEC0::1:3/128 [0/0]
  via ::, FastEthernet0/0
OI FEC0::4:0/111 [110/193]
  via FE80::C803:19FF:FE2C:8, FastEthernet0/0
OI FEC0::6:0/112 [110/65]
  via FE80::C803:19FF:FE2C:8, FastEthernet0/0
OI FEC0::10:0/112 [110/65]
```

via FE80::C803:19FF:FE2C:8, FastEthernet0/0
OI FEC0::10:1/128 [110/65]
via FE80::C803:19FF:FE2C:8, FastEthernet0/0
OI FEC0::10:2/128 [110/1]
via FE80::C803:19FF:FE2C:8, FastEthernet0/0
OE2 FEC0:1::/32 [110/20]
via FE80::C803:19FF:FE2C:8, FastEthernet0/0
C FEC0:2::10:0/112 [0/0]
via ::, Loopback0
L FEC0:2::10:1/128 [0/0]
via ::, Loopback0
L FF00::/8 [0/0]
via ::, Null0
R3#

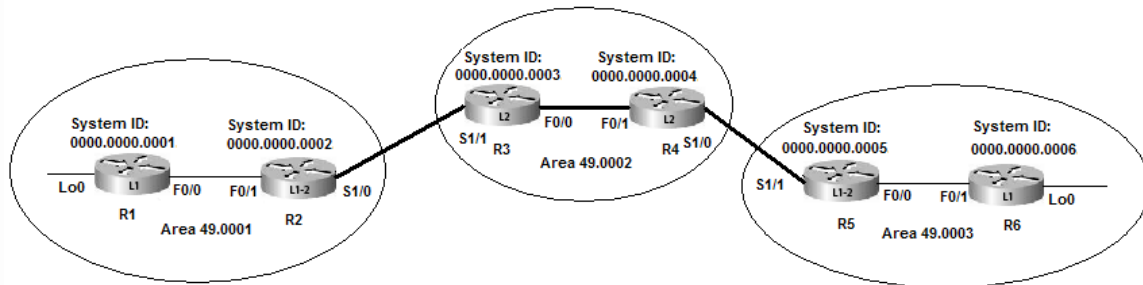
Παρατηρούμε ότι έχουν αποκατασταθεί τα Routing Tables στην αρχική τους κατάσταση.

КОНСТИТУЦИОННО ПРАВО

10 Παραδείγματα IS-IS

10.1 Multi-Area IS-IS (CLNS Routing)

Έστω το παρακάτω Multi-Area Network στο οποίο το Routing Protocol είναι το IS-IS.



Σχήμα 10-1 IS-IS CLNS Routing

Οι Areas 49.0001 και 49.0003 είναι Areas εντός των οποίων υπάρχουν hosts που πρέπει να επικοινωνούν μεταξύ τους. Με Bold γραμμές σημειώνεται το Backbone (που όπως αναφέρθηκε είναι το σύνολο των συνεχόμενα συνδεδεμένων Level-2 ή Level-1-2 Routers). Στο παραπάνω δίκτυο θα ενεργοποιήσουμε το CLNS Routing.

Οι εντολές που θα χρησιμοποιηθούν για τις ρυθμίσεις είναι οι εξής:

1. Κατ' αρχήν ενεργοποιούμε το IS-IS routing protocol, προσδίνουμε μια NET Address σε κάθε Router και προσδιορίζουμε αν ο Router θα είναι Level-1, Level-2 ή και τα δύο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα ρυθμίσουμε τον Level-1 Router R1 και τον Level-1-2 Router R2.

```
R1(config)#router isis
R1(config-router)#net 49.0001.0000.0000.0001.00
R1(config-router)#is-type level-1
```

```
R2(config)#router isis
R2(config-router)#net 49.0001.0000.0000.0002.00
R2(config-router)#is-type level-1-2
```

Ο Router R2 σε κάποιο interface συνδέεται μόνο με Level-1 Router και σε κάποιο άλλο μόνο με Level-2 Router. Οπότε θα παραμετροποιήσουμε τα interfaces του αντίστοιχα.

```
R2(config)#int fa0/1
R2(config-if)#isis circuit-type level-1
```

```
R2(config)#int s1/0
R2(config-if)#isis circuit-type level-2
```

2. Κατόπιν, ενεργοποιούμε το CLNS Routing γενικά στον κάθε Router.

```
R1(config)#clns routing
```

3. Στη συνέχεια θα ενεργοποιήσουμε το CLNS Routing και στα interfaces που θέλουμε να συμμετάσχουν σε αυτό.

```
R1(config)#int fa0/0
R1(config-if)#clns enable
R1(config-if)#clns router isis
```

Στην παρούσα φάση δεν έχουμε ακόμα προσδώσει IP Addresses οπότε δεν μπορούμε να ενεργοποιήσουμε και το IP Routing.

Κατ' αρχήν ας πάρουμε κάποιες γενικές πληροφορίες όπως Router NET Address, αριθμό των interfaces που το CLNS είναι ενεργοποιημένο, αν επιτρέπεται το CLNS Routing, το IS-IS Level του Router κλπ.

```
R2>show clns
```

Global CLNS Information:

2 Interfaces Enabled for CLNS

NET: 49.0001.0000.0000.0002.00

Configuration Timer: 60, Default Holding Timer: 300, Packet Lifetime 64

ERPDU's requested on locally generated packets

Intermediate system operation enabled (CLNS forwarding allowed)

IS-IS level-1-2 Router:

Routing for Area: 49.0001

```
R2>
```

Παρακάτω βλέπουμε πληροφορίες για τα interfaces σχετικά με το IS-IS.

```
R2#show clns interface fa 0/1
```

FastEthernet0/1 is up, line protocol is up

Checksums enabled, MTU 1497, Encapsulation SAP

ERPDU enabled, min. interval 10 msec.
RDPDU enabled, min. interval 100 msec., Addr Mask enabled
Congestion Experienced bit set at 4 packets
CLNS fast switching enabled
CLNS SSE switching disabled
DEC compatibility mode OFF for this interface
Next ESH/ISH in 12 seconds

Routing Protocol: IS-IS

Circuit Type: level-1

Interface number 0x0, local circuit ID 0x1
Level-1 Metric: 10, Priority: 64, Circuit ID: R2.01
DR ID: R2.01
Level-1 Ipv6 Metric: 10
Number of active level-1 adjacencies: 1
Next IS-IS LAN Level-1 Hello in 634 milliseconds

R2#

R2#show clns interface s1/0

Serial1/0 is up, line protocol is up
Checksums enabled, MTU 1500, Encapsulation HDLC
ERPDU enabled, min. interval 10 msec.
RDPDU enabled, min. interval 100 msec., Addr Mask enabled
Congestion Experienced bit set at 4 packets
CLNS fast switching enabled
CLNS SSE switching disabled
DEC compatibility mode OFF for this interface
Next ESH/ISH in 13 seconds

Routing Protocol: IS-IS

Circuit Type: level-2

Interface number 0x1, local circuit ID 0x100
Neighbor System-ID: R3
Level-2 Metric: 10, Priority: 64, Circuit ID: R2.00
Level-2 Ipv6 Metric: 10
Number of active level-2 adjacencies: 1
Next IS-IS Hello in 4 seconds
if state UP

R2#

Οι neighbors του Router R2 είναι οι εξής:

```
R2#show clns neighbors
```

System Id	Interface	SNPA	State	Holdtime	Type	Protocol
R3	Se1/0	*HDLC*	Up	23	L2	IS-IS
R1	Fa0/1	ca00.1770.0008	Up	21	L1	IS-IS

```
R2#
```

Το ενδιαφέρον είναι να δούμε το CLNS Route Table. Σε έναν Level-1 μόνο Router (ειδικά στο συγκεκριμένο σενάριο όπου υπάρχουν μόνο δύο Routers σε κάθε Area) στο Route Table δεν θα φανεί και πολύ πληροφορία.

```
R1#show clns route
```

Codes: C – connected, S – static, d – DecnetIV

I – ISO-IGRP, I – IS-IS, e – ES-IS

B – BGP, b – eBGP-neighbor

```
C 49.0001.0000.0000.0001.00 [1/0], Local IS-IS NET
```

```
C 49.0001 [2/0], Local IS-IS Area
```

```
R1#
```

Αντίθετα, στον Level-1-2 Router R2 το Routing Table έχει περισσότερες πληροφορίες:

```
R2#show clns route
```

Codes: C – connected, S – static, d – DecnetIV

I – ISO-IGRP, I – IS-IS, e – ES-IS

B – BGP, b – eBGP-neighbor

```
C 49.0001.0000.0000.0002.00 [1/0], Local IS-IS NET
```

```
C 49.0001 [2/0], Local IS-IS Area
```

```
I 49.0003 [110/30]
```

```
via R3, Serial1/0
```

```
I 49.0002 [110/10]
```

```
via R3, Serial1/0
```

```
R2#
```

Παρόμοια και για τον Level-2 Router R3:

```
R3#show clns route
```

Codes: C – connected, S – static, d – DecnetIV

I – ISO-IGRP, I – IS-IS, e – ES-IS

B – BGP, b – eBGP-neighbor

C 49.0002.0000.0000.0003.00 [1/0], Local IS-IS NET

C 49.0002 [2/0], Local IS-IS Area

I 49.0003 [110/20]

via R4, FastEthernet0/0

I 49.0001 [110/10]

via R2, Serial1/1

R3#

Ας δοκιμάσουμε να κάνουμε ping την NET Address του Router R6 από τον R1.

R1#ping clns 49.0003.0000.0000.0006.00

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte CLNS Echos with timeout 2 seconds

!!!!

Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 88/136/212 ms

R1#

Επιτυχία!

Ας εξετάσουμε την πληροφορία που έχουν οι Routers σχετικά με την τοπολογία του δικτύου:

R1#show isis topology

IS-IS paths to level-1 routers

System Id	Metric	Next-Hop	Interface	SNPA
R1	--			
R2	10	R2	Fa0/0	ca01.1c30.0006

R1#

R2#show isis topology

IS-IS paths to level-1 routers

System Id	Metric	Next-Hop	Interface	SNPA
R1	10	R1	Fa0/1	ca00.1c30.0008
R2	--			

IS-IS paths to level-2 routers

System Id	Metric	Next-Hop	Interface	SNPA
R2	--			
R3	10	R3	Se1/0	*HDLC*
R4	20	R3	Se1/0	*HDLC*
R5	30	R3	Se1/0	*HDLC*

R2#

Τέλος η Link State Database του Router R2 ακολουθεί:

R2#show isis database

IS-IS Level-1 Link State Database:

LSPID	LSP Seq Num	LSP Checksum	LSP Holdtime	ATT/P/OL
R1.00-00	0x00000004	0x115B	942	0/0/0
R2.00-00	* 0x00000005	0x411D	1106	1/0/0
R2.01-00	* 0x00000003	0x7AD4	1001	0/0/0

IS-IS Level-2 Link State Database:

LSPID	LSP Seq Num	LSP Checksum	LSP Holdtime	ATT/P/OL
R2.00-00	* 0x00000004	0x6592	780	0/0/0
R3.00-00	0x00000004	0xC693	971	0/0/0
R4.00-00	0x00000005	0x1044	595	0/0/0
R4.01-00	0x00000003	0x4889	908	0/0/0
R5.00-00	0x00000003	0x9659	521	0/0/0

R2#

Τα πεδία είναι τα εξής:

LSPID: Link State Id. Χαρακτηρίζει μοναδικά το Link State Packet (LSP).

LSP Seq Num: Το Sequence Number για το συγκεκριμένο LSP. Χρησιμοποιείται όπως και στο OSPF για να εντοπίζονται τα νεότερα instances των LSPs.

LSP Checksum: Το checksum του LSP. Χρησιμοποιείται για εντοπισμό λαθών.

LSP Holdtime: Ο εναπομένον χρόνος κατά τον οποίον το συγκεκριμένο LSP είναι έγκυρο.

ATT/P/OL:

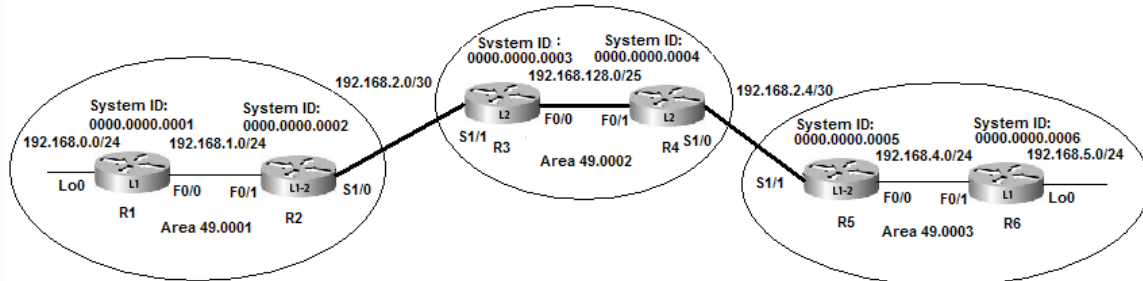
ATT: Attach Bit. Τιμή 1 σημαίνει ότι ο router που δημιούργησε αυτό το LSP συνδέεται μέσω ενός Level 2 Router τουλάχιστον με μια ακόμα Area.

P: Partition Bit. Τιμή 1 σημαίνει ότι ο router που δημιούργησε το συγκεκριμένο LSP έχει την δυνατότητα partition repair.

OL: Overload Bit. Τιμή 1 σημαίνει ότι ο router που δημιούργησε το συγκεκριμένο LSP είναι υπερφορτωμένος και το LSP δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί.

10.2 Multi-Area IS-IS (CLNS και IP Routing)

Στο ίδιο δίκτυο θα ενεργοποιήσουμε και το IP.



Σχήμα 10-2 IS-IS CLNS, IP Routing

Οι επιπλέον εντολές που θα χρησιμοποιηθούν για τις ρυθμίσεις είναι οι εξής:

```
R1(config)#int lo1
R1(config-if)#ip address 192.168.0.1 255.255.255.0
R1(config-if)#ip router isis
```

```
R1(config)#int fa 0/0
R1(config-if)#ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
R1(config-if)#ip router isis
```

```
R2(config)#int fa 0/1
R2(config-if)#ip address 192.168.1.2 255.255.255.0
R2(config-if)#ip router isis
```

```
R2(config)#int s1/0
R2(config-if)#ip address 192.168.2.1 255.255.255.252
R2(config-if)#ip router isis
```

```
R3(config)#int s1/1
R3(config-if)#ip address 192.168.2.2 255.255.255.252
R3(config-if)#ip router isis
```

```
R3(config)#int fa 0/0
R3(config-if)#ip address 192.168.2.129 255.255.255.128
R3(config-if)#ip router isis
```

```
R4(config)#int fa0/1
R4(config-if)#ip address 192.168.2.130 255.255.255.128
R4(config-if)#ip router isis
```

```
R4(config)#int s1/0
R4(config-if)#ip address 192.168.2.5 255.255.255.252
R4(config-if)#ip router isis
```

```
R5(config)#int s1/1
R5(config-if)#ip address 192.168.2.6 255.255.255.252
R5(config-if)#ip router isis
```

```
R5(config)#int fa 0/0
R5(config-if)#ip address 192.168.4.1 255.255.255.0
R5(config-if)#ip router isis
```

```
R6(config)#int fa 0/1
R6(config-if)#ip address 192.168.4.2 255.255.255.0
R6(config-if)#ip router isis
```

```
R6(config)#int lo0
R6(config-if)#ip address 192.168.5.1 255.255.255.0
R6(config-if)#ip router isis
```

Ας εξετάσουμε τώρα τα Routing Tables τριών από τους έξι συνολικά Routers επιλέγοντας έναν Level-1 Router (R1), έναν Level-1 και Level-2 ταυτόχρονα Router (R2) και έναν Level-2 Router (R3).

```
R1#show 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 192.168.1.2 to network 0.0.0.0
```

```
C 192.168.0.0/24 is directly connected, Loopback1
```



```
C 192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
  192.168.2.0/30 is subnetted, 1 subnets
I L1 192.168.2.0 [115/20] via 192.168.1.2, FastEthernet0/0
i*L1 0.0.0.0/0 [115/10] via 192.168.1.2, FastEthernet0/0
R1#
```

Ο Router R1 είναι Level-1 Router. Γνωρίζει λοιπόν τα networks της Area που ανήκει. Για δίκτυα εκτός Area χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες του Level-1-2 Router R2 ο οποίος δημιουργεί να default route entry.

R2#show 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

```
I L2 192.168.4.0/24 [115/40] via 192.168.2.2, Serial1/0
I L2 192.168.5.0/24 [115/50] via 192.168.2.2, Serial1/0
I L1 192.168.0.0/24 [115/20] via 192.168.1.1, FastEthernet0/1
C 192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
  192.168.2.0/24 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks
C 192.168.2.0/30 is directly connected, Serial1/0
I L2 192.168.2.4/30 [115/30] via 192.168.2.2, Serial1/0
I L2 192.168.2.128/25 [115/20] via 192.168.2.2, Serial1/0
R2#
```

Ο Router R2 που είναι και Level-1 και Level-2 Router έχει τόσο Level-1 όσο και Level-2 Route Entries στο Routing Table του.

R3#show 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

```
I L2 192.168.4.0/24 [115/30] via 192.168.2.130, FastEthernet0/0
I L2 192.168.5.0/24 [115/40] via 192.168.2.130, FastEthernet0/0
I L2 192.168.0.0/24 [115/30] via 192.168.2.1, Serial1/1
I L2 192.168.1.0/24 [115/20] via 192.168.2.1, Serial1/1
    192.168.2.0/24 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks
C    192.168.2.0/30 is directly connected, Serial1/1
I L2  192.168.2.4/30 [115/20] via 192.168.2.130, FastEthernet0/0
C    192.168.2.128/25 is directly connected, FastEthernet0/0
R3#
```

Ο Router R3 που είναι Level-2 μόνο Router έχει και μόνο Level-2 Route Entries στο Routing Table του.

Τέλος ελέγχουμε την συνδεσιμότητα και κάνοντας Ping από τον Router R1 στο Loopback Interface του Router R6.

R1#ping 192.168.5.1

```
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.5.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 108/148/212 ms
R1#
```

Επιτυχία!

Εναλλακτικά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και την εντολή trace.

R1#trace 192.168.5.1

```
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.5.1

 1 192.168.1.2 184 msec 188 msec 72 msec
 2 192.168.2.2 132 msec 56 msec 96 msec
```

```
3 192.168.2.130 184 msec 84 msec 120 msec
4 192.168.2.6 280 msec 104 msec 256 msec
5 192.168.4.2 172 msec * 124 msec
```

R1#

Παρακάτω θα χρησιμοποιήσουμε την τεχνική του Summarization για να ελαττώσουμε το μέγεθος του Routing Table. Το Addressing των Areas έχει επιλεγεί έτσι ώστε να επιτρέπει summarization.

Οι IP Addresses της Area 49.0001 μπορούν να γίνουν summarized σαν ένα supernet ως εξής: **192.168.0.0/23**

Οι IP Addresses της Area 49.0003 μπορούν να γίνουν summarized σαν ένα supernet ως εξής: **192.168.4.0/23**

Οι εντολές που το ρυθμίζουν είναι οι εξής:

```
R2(config)#router isis
```

```
R2(config-router)#summary-address 192.168.0.0 255.255.254.0
```

```
R5(config)#router isis
```

```
R5(config-router)#summary-address 192.168.4.0 255.255.254.0
```

Ας εξετάσουμε τώρα το Routing Table του Level-2 R3 Router:

```
R3#show 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

192.168.2.0/24 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks

```
C 192.168.2.0/30 is directly connected, Serial1/1
```

```
I L2 192.168.2.4/30 [115/20] via 192.168.2.130, FastEthernet0/0
```

```
C 192.168.2.128/25 is directly connected, FastEthernet0/0
```

```
I L2 192.168.4.0/23 [115/30] via 192.168.2.130, FastEthernet0/0
I L2 192.168.0.0/23 [115/20] via 192.168.2.1, Serial1/1
R3#
```

Παρατηρούμε ότι το Route Table του Router R3 έχει 2 entries λιγότερα.
Και φυσικά εξακολουθούμε να έχουμε connectivity.

```
R1#ping 192.168.5.1
```

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.5.1, timeout is 2 seconds:

!!!!

Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 128/170/260 ms

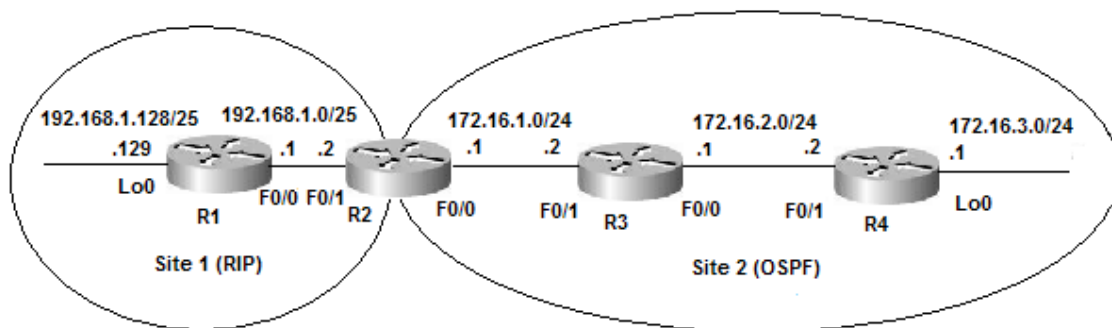
```
R1#
```

11 Παραδείγματα Route Redistribution

Έστω ότι για λόγους πολιτικής ή περιορισμών από υπάρχοντα εξοπλισμό δύο Sites που συνδέονται μεταξύ τους χρειάζεται να χρησιμοποιούν διαφορετικό Routing Protocol.

11.1 Σύνδεση 2 Sites με έναν Router

Στην περίπτωση αυτή το μικρότερο Site 1 είναι το δευτερεύον και χρησιμοποιεί RIP version 2 και το μεγαλύτερο Site 2 είναι το κύριο και χρησιμοποιεί OSPF.



Σχήμα 11-1 Route Redistribution, Single Router

Για να επιτύχουμε την σύνδεση χρειάζεται ο Router που θα συνδέσει τα δύο Sites να μπορεί να τρέχει και τα δύο πρωτόκολλα. Στην περίπτωση ο Router αυτός θα είναι ο R2.

Καταρχήν ρυθμίζουμε το RIP Protocol για τους Routers R1 και R2.

```
R1(config)#router rip
R1(config-router)#version 2
R1(config-router)#network 192.168.1.0
R1(config-router)#no auto-summary
```

```
R2(config)#router rip
R2(config-router)#version 2
R2(config-router)#network 192.168.1.0
R2(config-router)# no auto-summary
R2(config-router)#passive-interface fa 0/0
```

Στον Router R2 έχουμε την πρόσθετη εντολή **passive-interface fa 0/0** η οποία εμποδίζει την αποστολή RIP μηνυμάτων από το συγκεκριμένο Interface. Ο λόγος είναι ότι το συγκεκριμένο Interface συνδέεται στο Site 2 που τρέχει OSPF οπότε δεν έχει νόημα η αποστολή μηνυμάτων.

Κατόπιν ρυθμίζουμε το OSPF Protocol για τους Routers R2, R3 και R4.

```
R2(config)#router ospf 1
```

```
R2(config-router)#network 172.16.1.0 area 0
```

```
R3(config)#router ospf 1
```

```
R3(config-router)#network 172.16.1.0 0.0.0.255 area 0
```

```
R3(config-router)#network 172.16.2.0 0.0.0.255 area 0
```

```
R3(config-router)#R4(config)#router ospf 1
```

```
R4(config-router)#network 172.16.2.0 0.0.0.255 area 0
```

```
R4(config-router)#network 172.16.3.0 0.0.0.255 area 0
```

Ας εξετάσουμε το Routing Table των Routers.

```
R1#show 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

192.168.1.0/25 is subnetted, 2 subnets

```
C    192.168.1.0 is directly connected, FastEthernet0/0
```

```
C    192.168.1.128 is directly connected, Loopback0
```

```
R1#
```

Ο Router R1 είναι απευθείας συνδεδεμένος στα μοναδικά δύο Segments του Site 1. Γι' αυτό και τα δύο Route Entries έχουν τον χαρακτηρισμό Connected.

R2#show 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

172.16.0.0/16 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks

C 172.16.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0

O 172.16.3.1/32 [110/3] via 172.16.1.2, 00:02:48, FastEthernet0/0

O 172.16.2.0/24 [110/2] via 172.16.1.2, 00:02:48, FastEthernet0/0

192.168.1.0/25 is subnetted, 2 subnets

C 192.168.1.0 is directly connected, FastEthernet0/1

R 192.168.1.128 [120/1] via 192.168.1.1, 00:00:02, FastEthernet0/1

R2#

Ο Router R2 έχει ενεργοποιημένο και RIP Protocol και OSPF Protocol. Αυτό απεικονίζεται στο Routing Table του (entries με πρόθεμα R και O αντίστοιχα).

R3#show 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-

ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static ro

o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

172.16.0.0/16 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks

C 172.16.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1

O 172.16.3.1/32 [110/2] via 172.16.2.2, 00:01:39, FastEthernet0/0

C 172.16.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0

R3#

Ο Router R3 ανήκει σε Site που τρέχει OSPF. Αυτό φαίνεται στο Routing Table του και τα Connected Segments.

R4#show 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

172.16.0.0/24 is subnetted, 3 subnets

O 172.16.1.0 [110/2] via 172.16.2.1, 00:02:34, FastEthernet0/1

C 172.16.2.0 is directly connected, FastEthernet0/1

C 172.16.3.0 is directly connected, Loopback0

R4#

Ο Router R4 ανήκει σε Site που τρέχει OSPF. Αυτό φαίνεται στο Routing Table του και τα Connected Segments.

Μέχρι στιγμής οι Routers του Site 1 δεν έχουν γνώση του Site 2 και αντίστροφα. Μοναδική εξαίρεση ο Router 2 συνδέει τα δύο Sites και τρέχει και τα δύο Routing Protocols.

Το ζητούμενο είναι η Routing πληροφορία για το κάθε Site να μεταφέρεται στο άλλο (Redistribution). Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλη ρύθμιση του Router R2.

Υπάρχουν δύο τρόποι αντιμετώπισης:

1. Κάνουμε redistribute όλα τα Routes του (δευτερεύοντος) Site 1 στο (κύριο) Site 2 αλλά στέλνουμε μόνο ένα Default Route στο Site 1.
2. Τα αντιμετωπίζουμε ισοδύναμα και κάνουμε redistribute τα Routes του κάθε Site στο άλλο.

Στο συγκεκριμένο σενάριο ο πρώτος τρόπος είναι αρκετός εφ' όσον το Site 1 θεωρείται το δευτερεύον και το Site 2 το κύριο, συνδέονται με έναν μόνο Router και το Site 1 δεν συνδέεται με κάποιο άλλο Site. Παρόλα αυτά θα υλοποιηθούν και τα δύο σενάρια.

Ας ξεκινήσουμε κάνοντας redistribute το RIP στο OSPF με την απλούστερη μέθοδο που δεν θα δουλέψει αμέσως στο συγκεκριμένο σενάριο!

Αναλυτικότερα, ας εκτελέσουμε τις παρακάτω εντολές στον Router R2.

```
R2(config)#router ospf 1
```

```
R2(config-router)#redistribute rip
```

Οι εντολές εκτελούνται φυσικά αλλά παίρνουμε το παρακάτω μήνυμα:

```
% Only classful networks will be redistributed
```

Ας δοκιμάσουμε να δούμε το Routing Table έστω του Router R4.

```
R4>show 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

172.16.0.0/24 is subnetted, 3 subnets

```
O 172.16.1.0 [110/2] via 172.16.2.1, 00:06:24, FastEthernet0/1
```

```
C 172.16.2.0 is directly connected, FastEthernet0/1
```

```
C 172.16.3.0 is directly connected, Loopback0
```

```
R4>
```

Παρατηρούμε ότι **δεν εμφανίστηκε κανένα** Route Entry του Site 1!

Τι συνέβη;

Ας σταθούμε στο μήνυμα που είχαμε πάρει:

```
% Only classful networks will be redistributed
```

Το Site 1 δεν χρησιμοποιεί classful networks. Χρησιμοποιεί 2 Subnets:

192.168.1.0/25
192.168.1.128/25

Σαν αποτέλεσμα η πληροφορία για αυτά τα subnets δεν γίνεται redistribute.

Η ρύθμιση του redistribution που περιλαμβάνει και subnets είναι η παρακάτω:

```
R2(config)#router ospf 1  
R2(config-router)#redistribute rip subnets
```

Ας εξετάσουμε τώρα το Routing Table του Router R2.

```
R4>show 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

```
172.16.0.0/24 is subnetted, 3 subnets  
O 172.16.1.0 [110/2] via 172.16.2.1, 00:01:03, FastEthernet0/1  
C 172.16.2.0 is directly connected, FastEthernet0/1  
C 172.16.3.0 is directly connected, Loopback0  
192.168.1.0/25 is subnetted, 2 subnets  
O E2 192.168.1.0 [110/20] via 172.16.2.1, 00:01:03, FastEthernet0/1  
O E2 192.168.1.128 [110/20] via 172.16.2.1, 00:01:03, FastEthernet0/1  
R4>
```

Παρατηρούμε τώρα ότι τα Routing Entries του Site 1 εμφανίστηκαν στα Routing Tables των Routers του Site 2 σαν **External OSPF Route Entries**.

Ακόμα δεν έχουμε τελειώσει. Ενώ υπάρχουν Route Entries του Site 1 στο Site 2 δεν ισχύει και το αντίθετο όπως μπορεί να δείξει και το Route Table του Router R1.

R1#show 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

192.168.1.0/25 is subnetted, 2 subnets

C 192.168.1.0 is directly connected, FastEthernet0/0

C 192.168.1.128 is directly connected, Loopback0

R1#

Και εννοείται ότι δεν έχουμε συνδεσιμότητα.

R1#ping 172.16.3.1

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 172.16.3.1, timeout is 2 seconds:

.....

Success rate is 0 percent (0/5)

R1#

Ας ρυθμίσουμε τον Router R2 έτσι ώστε να εισάγει ένα default route στο RIP Protocol.

R2(config-router)#router rip

R2(config-router)#default-information originate

Ας ελέγξουμε τώρα το Routing Table του Router R1.

R1#show 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 192.168.1.2 to network 0.0.0.0

192.168.1.0/25 is subnetted, 2 subnets

C 192.168.1.0 is directly connected, FastEthernet0/0

C 192.168.1.128 is directly connected, Loopback0

R* 0.0.0.0/0 [120/1] via 192.168.1.2, 00:00:25, FastEthernet0/0

R1#

Τώρα υπάρχει Default Route (που «δείχνει» φυσικά στον Router R2) οπότε έχουμε συνδεσιμότητα.

R1#ping 172.16.3.1

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 172.16.3.1, timeout is 2 seconds:

!!!!

Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 28/69/112 ms

R1#

Ας αντικαταστήσουμε τώρα το Default Route με τα Route Entries του Site 2.

R2(config-router)#router rip

R2(config-router)#no default-information originate

R2(config-router)#redistribute ospf 1 metric 2

Και ας εξετάσουμε το Route Table του Router R1.

R1#show 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

172.16.0.0/16 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks

```
R 172.16.1.0/24 [120/2] via 192.168.1.2, 00:00:21, FastEthernet0/0
R 172.16.3.1/32 [120/2] via 192.168.1.2, 00:00:21, FastEthernet0/0
R 172.16.2.0/24 [120/2] via 192.168.1.2, 00:00:21, FastEthernet0/0
  192.168.1.0/25 is subnetted, 2 subnets
C   192.168.1.0 is directly connected, FastEthernet0/0
C   192.168.1.128 is directly connected, Loopback0
R1#
```

Βλέπουμε ότι όλα τα Route Entries του Site 2 υπάρχουν στο Route Table του Router R1 του Site 1. Με την διαφορά όμως ότι τώρα φαίνεται ότι προέρχονται από το RIP Protocol...

Και φυσικά έχουμε συνδεσιμότητα.

```
R1#ping 172.16.3.1
```

Type escape sequence to abort.

Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 172.16.3.1, timeout is 2 seconds:

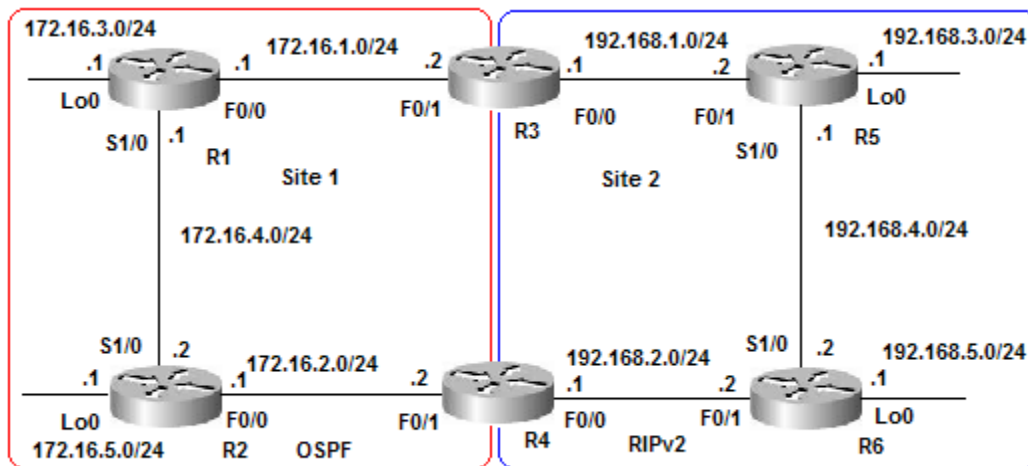
!!!!

Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 8/82/176 ms

```
R1#
```

11.2 Σύνδεση 2 Sites με 2 Routers

Στην περίπτωση αυτή τα Sites 1 και 2 θεωρούνται ισοδύναμα και συνδέονται μεταξύ τους με δύο Routers. Το Site 1 χρησιμοποιεί OSPF και το Site 2 χρησιμοποιεί RIP version 2.



Σχήμα 11-2 Route Redistribution, 2 Routers

Ενεργοποιούμε το OSPF Routing protocol στους Routers R1, R2, R3 και R4.

```
R1(config)#router ospf 1
```

```
R1(config-router)#network 172.16.1.0 0.0.0.255 area 0
```

```
R1(config-router)#network 172.16.3.0 0.0.0.255 area 0
```

```
R1(config-router)#network 172.16.4.0 0.0.0.255 area 0
```

```
R2(config)#router ospf 1
```

```
R2(config-router)#network 172.16.2.0 0.0.0.255 area 0
```

```
R2(config-router)#network 172.16.4.0 0.0.0.255 area 0
```

```
R2(config-router)#network 172.16.5.0 0.0.0.255 area 0
```

```
R3(config)#router ospf 1
```

```
R3(config-router)#network 172.16.1.0 0.0.0.255 area 0
```

```
R4(config)#router ospf 1
```

```
R4(config-router)#network 172.16.2.0 0.0.0.255 area 0
```

Επίσης, ενεργοποιούμε το RIP version 2 Routing protocol στους Routers R3, R4, R5 και R6.

```
R3(config)#router rip
R3(config-router)#version 2
R3(config-router)#no auto-summary
R3(config-router)#network 192.168.1.0
R3(config-router)#passive-interface f0/1
```

```
R4(config)#router rip
R4(config-router)#version 2
R4(config-router)#no auto-summary
R4(config-router)#network 192.168.2.0
R4(config-router)#passive-interface f0/1
```

```
R5(config)#router rip
R5(config-router)# version 2
R5(config-router)# no auto-summary
R5(config-router)# network 192.168.1.0
R5(config-router)# network 192.168.3.0
R5(config-router)# network 192.168.4.0
```

```
R6(config)#router rip
R6(config-router)#version 2
R6(config-router)#no auto-summary
R6(config-router)#network 192.168.2.0
R6(config-router)#network 192.168.4.0
R6(config-router)#network 192.168.5.0
```

Το επόμενο βήμα είναι να ενεργοποιήσουμε το Route Redistribution στους δύο Border Routers R3 και R4.

```
R3(config)#router ospf 1
R3(config-router)#redistribute rip subnets
```

```
R3(config-router)#router rip
R3(config-router)#redistribute ospf 1 metric 2
```

```
R4(config)#router ospf 1
R4(config-router)#redistribute rip subnets
```

R4(config-router)#router rip

R4(config-router)#redistribute ospf 1 metric 2

Ας δούμε το Routing Table του Router R3 μετά από το Redistribution.

R3#show 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

172.16.0.0/16 is variably subnetted, 5 subnets, 2 masks

O 172.16.5.1/32 [110/66] via 172.16.1.1, 00:13:29, FastEthernet0/1

O 172.16.4.0/24 [110/65] via 172.16.1.1, 00:13:29, FastEthernet0/1

C 172.16.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1

O 172.16.3.1/32 [110/2] via 172.16.1.1, 00:13:29, FastEthernet0/1

O 172.16.2.0/24 [110/66] via 172.16.1.1, 00:13:29, FastEthernet0/1

R 192.168.4.0/24 [120/1] via 192.168.1.2, 00:00:06, FastEthernet0/0

R 192.168.5.0/24 [120/2] via 192.168.1.2, 00:00:06, FastEthernet0/0

C 192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0

O E2 192.168.2.0/24 [110/20] via 172.16.1.1, 00:13:29, FastEthernet0/1

R 192.168.3.0/24 [120/1] via 192.168.1.2, 00:00:06, FastEthernet0/0

R3#

Παρατηρούμε ότι το Routing Entry **192.168.2.0** αντί να έχει Gateway του ίδιου Αυτόνομου Συστήματος δηλαδή να έχει για Gateway τον Router R5 και next hop 192.168.1.2 προσδιορίζει σαν next hop την IP **172.16.1.1** του Router R1 που ανήκει στο άλλο Αυτόνομο Σύστημα!

Ας κάνουμε και trace την IP 192.168.2.2 για να δούμε την διαδρομή που ακολουθείται:

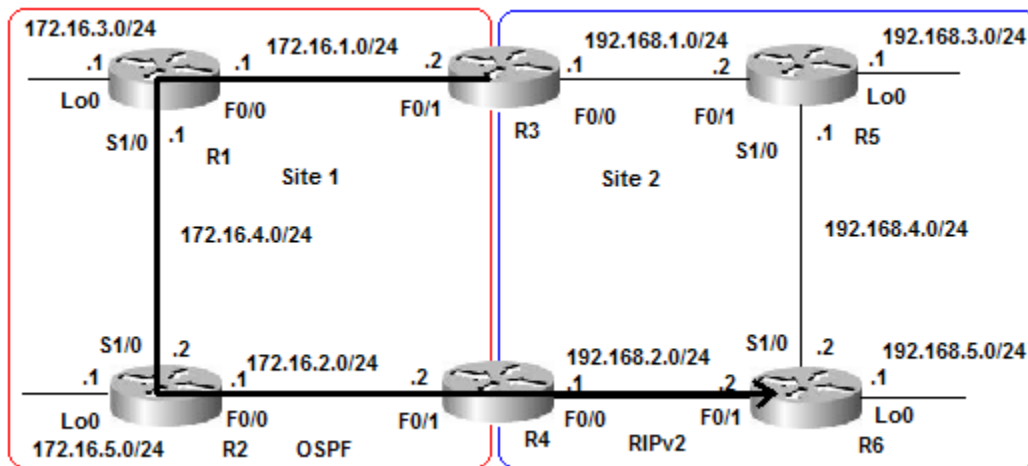
R3#trace 192.168.2.2

Type escape sequence to abort.

Tracing the route to 192.168.2.2

```
1 172.16.1.1 92 msec 68 msec 20 msec
2 172.16.4.2 96 msec 44 msec 40 msec
3 172.16.2.2 68 msec 76 msec 140 msec
4 192.168.2.2 64 msec * 164 msec
```

R3#



Σχήμα 11-3 Suboptimal Routing (trace 192.168.2.2)

Πολύ ενδιαφέρον! Όντως ακολουθήθηκε διαδρομή μέσα από το άλλο Αυτόνομο Σύστημα. Γενικά κάτι τέτοιο είναι suboptimal και θέλουμε να το αποφεύγουμε.

Όμοια ας δούμε και το Routing Table του Router R4.

R4#show 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

172.16.0.0/16 is variably subnetted, 5 subnets, 2 masks

O 172.16.5.1/32 [110/2] via 172.16.2.1, 00:37:49, FastEthernet0/1

O 172.16.4.0/24 [110/65] via 172.16.2.1, 00:37:49, FastEthernet0/1

```

O 172.16.1.0/24 [110/66] via 172.16.2.1, 00:37:49, FastEthernet0/1
O 172.16.3.1/32 [110/66] via 172.16.2.1, 00:37:49, FastEthernet0/1
C 172.16.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
O E2 192.168.4.0/24 [110/20] via 172.16.2.1, 00:37:49, FastEthernet0/1
O E2 192.168.5.0/24 [110/20] via 172.16.2.1, 00:37:49, FastEthernet0/1
O E2 192.168.1.0/24 [110/20] via 172.16.2.1, 00:37:49, FastEthernet0/1
C 192.168.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
O E2 192.168.3.0/24 [110/20] via 172.16.2.1, 00:37:49, FastEthernet0/1
R4#

```

Παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο ακριβώς. Ας κάνουμε και trace.

R4#trace 192.168.5.1

Type escape sequence to abort.

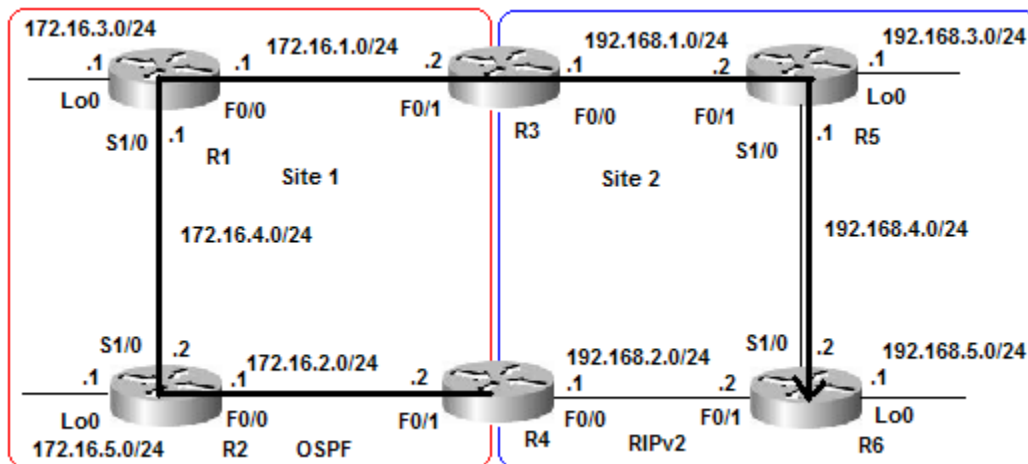
Tracing the route to 192.168.5.1

```

 1 172.16.2.1 120 msec 60 msec 44 msec
 2 172.16.4.1 36 msec 52 msec 40 msec
 3 172.16.1.2 108 msec 112 msec 56 msec
 4 192.168.1.2 160 msec 52 msec 112 msec
 5 192.168.4.2 140 msec * 112 msec

```

R4#



Σχήμα 11-4 Suboptimal Routing (trace 192.168.5.1)

Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι το OSPF έχει προτεραιότητα (μικρότερη administrative distance) ως προς το RIP. Οι Routers R3 και R4 λαμβάνουν Route Entries

που αφορούν το Site 2 και μέσω του Site 1 (εφ' όσον γίνονται redistribute). Όμως τα Site 2 Route Entries που τα λαμβάνουν απευθείας μέσω του RIP έχουν μικρότερη προτεραιότητα από τα Site 2 Route Entries που τα λαμβάνουν μέσω του OSPF παρόλο που τα τελευταία είναι suboptimal.

Υπάρχουν δύο λύσεις στο παραπάνω πρόβλημα:

1. Με Route Filtering και πιο συγκεκριμένα με αποκλεισμό λήψης Route Entries που ανήκουν σε ένα Αυτόνομο Σύστημα από Interfaces που είναι συνδεδεμένα με άλλο Αυτόνομο Σύστημα.
2. Με αλλαγή της Administrative Distance σε συγκεκριμένα Route Entries.

11.2.1 Χρήση Route Filtering

Ας ξεκινήσουμε με την μέθοδο του Route Filtering.

Θα δημιουργήσουμε κατ' αρχήν Access Lists που θα περιέχουν το σύνολο των Route Entries του Site 1.

Έτσι θα δημιουργήσουμε την παρακάτω Access List.

```
R3(config)#ip access-list standard Site-1  
R3(config-std-nacl)#10 permit 172.16.1.0 0.0.0.255  
R3(config-std-nacl)#20 permit 172.16.2.0 0.0.0.255  
R3(config-std-nacl)#30 permit 172.16.3.0 0.0.0.255  
R3(config-std-nacl)#40 permit 172.16.4.0 0.0.0.255  
R3(config-std-nacl)#50 permit 172.16.5.0 0.0.0.255
```

```
R4(config)#ip access-list standard Site-1  
R4(config-std-nacl)#10 permit 172.16.1.0 0.0.0.255  
R4(config-std-nacl)#20 permit 172.16.2.0 0.0.0.255  
R4(config-std-nacl)#30 permit 172.16.3.0 0.0.0.255  
R4(config-std-nacl)#40 permit 172.16.4.0 0.0.0.255  
R4(config-std-nacl)#50 permit 172.16.5.0 0.0.0.255
```

Κατόπιν, θα δημιουργήσουμε από μια distribute list στους Routers R3 και Router R4 και θα την εφαρμόσουμε στα interfaces Fa0/1 τα οποία συνδέουν τους δύο αυτούς Routers με το Site 1.

R3(config)#router ospf 1

R3(config-router)#distribute-list Site-1 in fa 0/1

R4(config)#router ospf 1

R4(config-router)#distribute-list Site-1 in fa 0/1

Ας εξετάσουμε τώρα τα Routing Tables των Border Routers R3 και R4.

R3#show 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

172.16.0.0/16 is variably subnetted, 5 subnets, 2 masks

O 172.16.5.1/32 [110/66] via 172.16.1.1, 00:04:49, FastEthernet0/1

O 172.16.4.0/24 [110/65] via 172.16.1.1, 00:04:49, FastEthernet0/1

C 172.16.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1

O 172.16.3.1/32 [110/2] via 172.16.1.1, 00:04:49, FastEthernet0/1

O 172.16.2.0/24 [110/66] via 172.16.1.1, 00:04:49, FastEthernet0/1

R 192.168.4.0/24 [120/1] via 192.168.1.2, 00:00:16, FastEthernet0/0

R 192.168.5.0/24 [120/2] via 192.168.1.2, 00:00:16, FastEthernet0/0

C 192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0

R 192.168.2.0/24 [120/2] via 192.168.1.2, 00:00:16, FastEthernet0/0

R 192.168.3.0/24 [120/1] via 192.168.1.2, 00:00:16, FastEthernet0/0

R3#

R4#show 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

172.16.0.0/16 is variably subnetted, 5 subnets, 2 masks

```
O 172.16.5.1/32 [110/2] via 172.16.2.1, 00:00:11, FastEthernet0/1
O 172.16.4.0/24 [110/65] via 172.16.2.1, 00:00:11, FastEthernet0/1
O 172.16.1.0/24 [110/66] via 172.16.2.1, 00:00:11, FastEthernet0/1
O 172.16.3.1/32 [110/66] via 172.16.2.1, 00:00:11, FastEthernet0/1
C 172.16.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
R 192.168.4.0/24 [120/1] via 192.168.2.2, 00:00:01, FastEthernet0/0
R 192.168.5.0/24 [120/1] via 192.168.2.2, 00:00:01, FastEthernet0/0
R 192.168.1.0/24 [120/2] via 192.168.2.2, 00:00:01, FastEthernet0/0
C 192.168.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
R 192.168.3.0/24 [120/2] via 192.168.2.2, 00:00:01, FastEthernet0/0
R4#
```

Παρατηρούμε ότι η τάξη αποκαταστάθηκε! Είναι φανερό και στους δύο Routers ότι τα Route Entries του κάθε Site έχουν εισαχθεί από το Routing protocol που χρησιμοποιεί το Site.

Ας το επαληθεύσουμε και με traces.

```
R3#trace 192.168.2.2
```

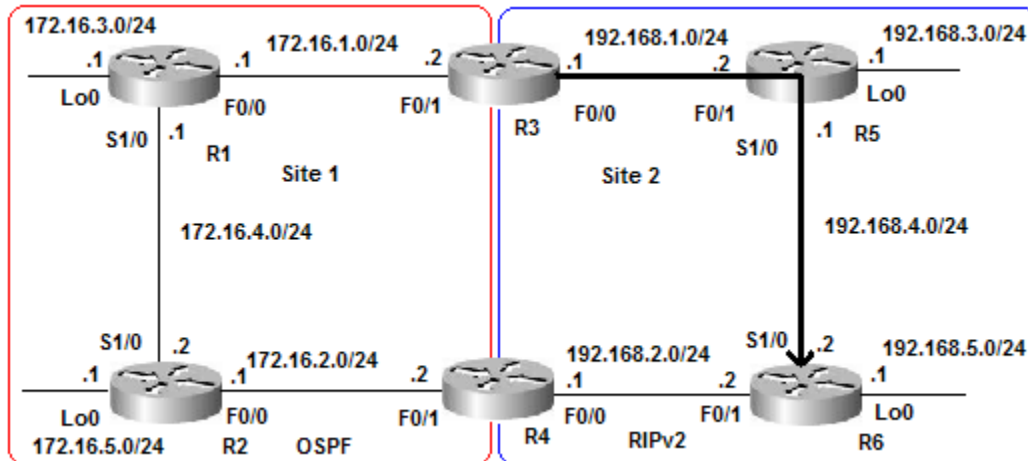
Type escape sequence to abort.

Tracing the route to 192.168.2.2

```
 1 192.168.1.2 124 msec 72 msec 20 msec
 2 192.168.4.2 76 msec * 152 msec
```

```
R3#
```

Μόνο 2 hops αντί για 4!



Σχήμα 11-5 Optimum Routing-Route Filtering (trace 192.168.2.2)

R4#trace 192.168.5.1

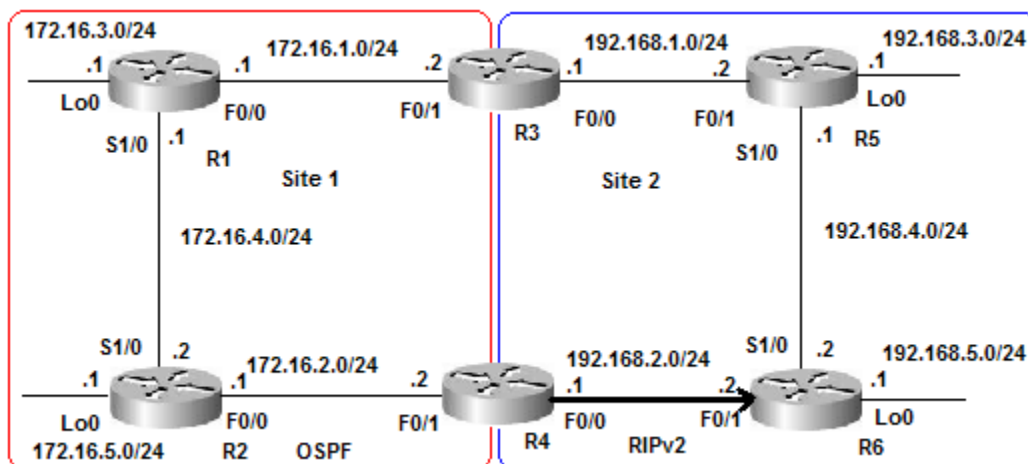
Type escape sequence to abort.

Tracing the route to 192.168.5.1

1 192.168.2.2 120 msec * 36 msec

R4#

Μόνο 1 Hop αντί 5!



Σχήμα 11-6 Optimum Routing-Route Filtering (trace 192.168.5.1)

11.2.2 Χρήση Administrative Distance

Τώρα, θα αντιμετωπιστεί το πρόβλημα με την αλλαγή της Administrative Distance για το Routing Protocol ενός Site και για Route Entries που εισέρχονται στους Border Routers από Interface που δεν συνδέονται με το συγκεκριμένο Site.

Θα δημιουργήσουμε κατ' αρχήν Access Lists που θα περιέχουν το σύνολο των Route Entries του Site 2.

```
R3(config)#ip access-list standard Site-2
```

```
R3(config-std-nacl)#10 permit 192.168.1.0 0.0.0.255
```

```
R3(config-std-nacl)#20 permit 192.168.2.0 0.0.0.255
```

```
R3(config-std-nacl)#30 permit 192.168.3.0 0.0.0.255
```

```
R3(config-std-nacl)#40 permit 192.168.4.0 0.0.0.255
```

```
R3(config-std-nacl)#50 permit 192.168.5.0 0.0.0.255
```

```
R4(config)#ip access-list standard Site-2
```

```
R4(config-std-nacl)#10 permit 192.168.1.0 0.0.0.255
```

```
R4(config-std-nacl)#20 permit 192.168.2.0 0.0.0.255
```

```
R4(config-std-nacl)#30 permit 192.168.3.0 0.0.0.255
```

```
R4(config-std-nacl)#40 permit 192.168.4.0 0.0.0.255
```

```
R4(config-std-nacl)#50 permit 192.168.5.0 0.0.0.255
```

Υπόψη ότι οι παραπάνω Access Lists τελειώνουν με implicit Deny All.

Κατόπιν θα αλλάξουμε την Administrative Distance για τα συγκεκριμένα Route Entries του Site 2 στις ρυθμίσεις του RIP Protocol και για updates που δέχονται οι Border Routers από Routers του Site 2.

Το Site 2 χρησιμοποιεί RIP που έχει Administrative Distance 120 άρα έχει μικρότερη προτεραιότητα από το OSPF με Administrative Distance 110.

Οπότε θα επιλέξουμε σαν νέα Administrative Distance για τα redistributed network entries την τιμή 100 που είναι χαμηλότερη του OSPF. Φυσικά, για να επιτευχθεί ο στόχος θα προσδιορίζουμε και τον/τους Router/Routers τα updates των οποίων θα χρειαστεί να αλλάξουν administrative distance.

```
R3(config)#router rip
```

```
R3(config-router)#distance 100 192.168.1.0 0.0.0.255 Site-2
```

R4(config)#router rip

R4(config-router)#distance 100 192.168.2.0 0.0.0.255 Site-2

Ας εξετάσουμε τώρα τα Routing Tables των Border Routers R3 και R4.

R3#show 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

172.16.0.0/16 is variably subnetted, 5 subnets, 2 masks

O 172.16.5.1/32 [110/66] via 172.16.1.1, 00:19:38, FastEthernet0/1

O 172.16.4.0/24 [110/65] via 172.16.1.1, 00:19:38, FastEthernet0/1

C 172.16.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1

O 172.16.3.1/32 [110/2] via 172.16.1.1, 00:19:38, FastEthernet0/1

O 172.16.2.0/24 [110/66] via 172.16.1.1, 00:19:38, FastEthernet0/1

R 192.168.4.0/24 [100/1] via 192.168.1.2, 00:00:02, FastEthernet0/0

R 192.168.5.0/24 [100/2] via 192.168.1.2, 00:00:02, FastEthernet0/0

C 192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0

R 192.168.2.0/24 [100/2] via 192.168.1.2, 00:00:02, FastEthernet0/0

R 192.168.3.0/24 [100/1] via 192.168.1.2, 00:00:02, FastEthernet0/0

R3#

R4#show 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


```

172.16.0.0/16 is variably subnetted, 5 subnets, 2 masks
O   172.16.5.1/32 [110/2] via 172.16.2.1, 00:20:02, FastEthernet0/1
O   172.16.4.0/24 [110/65] via 172.16.2.1, 00:20:02, FastEthernet0/1
O   172.16.1.0/24 [110/66] via 172.16.2.1, 00:20:02, FastEthernet0/1
O   172.16.3.1/32 [110/66] via 172.16.2.1, 00:20:02, FastEthernet0/1
C   172.16.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
R   192.168.4.0/24 [100/1] via 192.168.2.2, 00:00:08, FastEthernet0/0
R   192.168.5.0/24 [100/1] via 192.168.2.2, 00:00:08, FastEthernet0/0
R   192.168.1.0/24 [100/2] via 192.168.2.2, 00:00:08, FastEthernet0/0
C   192.168.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
R   192.168.3.0/24 [100/2] via 192.168.2.2, 00:00:08, FastEthernet0/0
R4#

```

Παρατηρούμε ότι και αυτήν την φορά η τάξη αποκαταστάθηκε! Είναι φανερό και στους δύο Routers ότι τα Route Entries του κάθε Site έχουν εισαχθεί από το Routing protocol που χρησιμοποιεί το Site.

Ας το επαληθεύσουμε πάλι με traces.

R3#trace 192.168.2.2

Type escape sequence to abort.

Tracing the route to 192.168.2.2

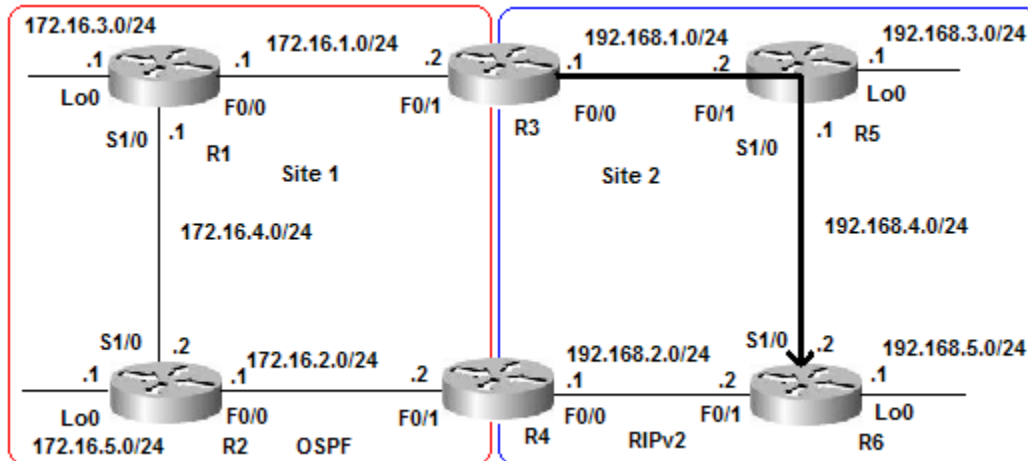
```

  1 192.168.1.2 124 msec 72 msec 20 msec
  2 192.168.4.2 76 msec * 152 msec

```

R3#

Μόνο 2 hops αντί για 4!



Σχήμα 11-7 Optimum Routing-Admin Distance (trace 192.168.2.2)

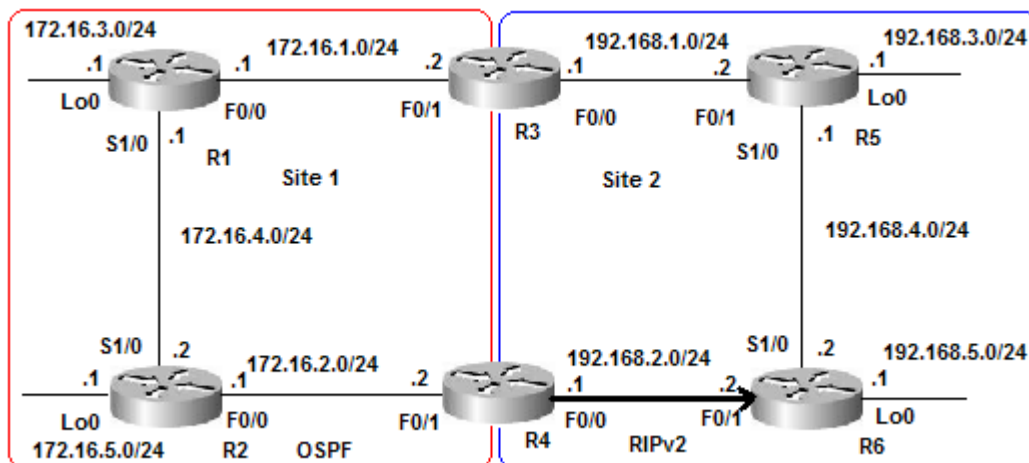
R4#trace 192.168.5.1

Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.5.1

1 192.168.2.2 44 msec * 52 msec

R4#

Και πάλι 1 Hop!



Σχήμα 11-8 Optimum Routing-Admin Distance (trace 192.168.5.1)

12 Επίλογος – Συμπεράσματα

Κατεβλήθη προσπάθεια να καλυφθούν αναλυτικά όσο το δυνατόν περισσότερα και συγχρόνως αντιπροσωπευτικότερα Routing Protocols με ιδιαίτερη αναφορά στα προβλήματα που μπορούν να παρουσιαστούν καθώς και στην αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων.

Σίγουρα δεν καλύφθηκαν τα πάντα! Αυτό θα ήταν αδύνατον άλλωστε. Επιπλέον, η παρούσα εργασία εστίασε σε Interior Unicast Routing Protocols σε Wired Networks που είναι και τα πιο διαδεδομένα στην πράξη.

Θα ήταν ενδιαφέρον να συμπληρωθεί από εργασίες που ανήκουν στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Εργασίες που θα εστιάζουν σε Exterior Gateway Protocols (ουσιαστικά στο BGP) τόσο θεωρητικά όσο και πρακτικά με όσον το δυνατόν περισσότερα σενάρια σε μια προσπάθεια να εξομοιωθούν πραγματικές καταστάσεις τηρουμένων πάντα των αναλογιών.
2. Εργασίες που θα εστιάζουν σε Multicast Routing Protocols.
3. Εργασίες που θα εστιάζουν σε Routing σε Wireless περιβάλλον.

КОНСТИТУЦИОННО ПРАВО

13 Βιβλιογραφία

1. Computer Networks: Andrew S. Tanenbaum Prentice Hall 1981.
2. Zimmerman H: OSI Reference Model – The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection. IEEE Transactions on Communications, vol. COM-28, No-4 April 1980.
3. TCP/IP Illustrated Volume 1: The protocols. W. R. Stevens. Addison Wesley.
4. www.ieee.org (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)
5. RFC1122: Requirement for Internet Hosts: Communication Layers.
6. Building Scalable Cisco networks: Catherine Paquet and Diane Teare, Cisco Press.
7. RFC1180: TCP/IP Tutorial.
8. RFC791: Internet Protocol.
9. RFC1812: Requirements for IP Version 4 Routers.
10. RFC4632: Classless Interdomain Routing.
11. RFC2460: Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification.
12. RFC2373: IP Version 6 Addressing Architecture.
13. RFC4291: IP Version 6 Addressing Architecture.
14. RFC3306: Unicast-Prefix-based IPv6 Multicast Addresses.
15. RFC3956: Embedding the Rendezvous Point (RP) Address in an IPv6 Multicast Address.
16. RFC2461: Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6).
17. RFC4861: Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6).

18. RFC2462: IPv6 Stateless Address Autoconfiguration.
19. RFC1058: Routing Information Protocol.
20. RFC2453: RIP Version 2.
21. Interconnecting Cisco Network Devices. Cisco Press.
22. RFC2091: Triggered Extensions to RIP to Support Demand Circuits.
23. RFC2080: RIPng for IPv6.
24. RFC2081: RIPng Protocol Applicability Statement.
25. OSPF. Anatomy of a Routing Protocol: John T. Moy. Addison Wesley.
26. RFC2328: OSPF version 2.
27. RFC1587: The OSPF NSSA Option.
28. RFC5340: OSPF for IPv6
29. RFC1142: OSI IS-IS Intra-domain Routing Protocol.
30. RFC1195: Use of OSI IS-IS for Routing in TCP/IP and Dual Environments.
31. RFC1237: Guidelines for OSI NSAP Allocation in the Internet.
32. RFC5305: IS-IS Extensions for Traffic Engineering.
33. RFC5308: Routing IPv6 with IS-IS.
34. Routing TCP-IP Volume 1: Jeff Doyle, Jennifer Carroll. Cisco Press.
35. MPLS VPNs: Αποστολόπουλος Βασίλειος-Άγγελος. Εργασία του γράφοντος για το μάθημα: «Ασφάλεια Δικτυοκεντρικών Συστημάτων» του Γ' Εξαμήνου του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς.

36. Cisco Press: MPLS and VPN Architectures.
37. RFC2917: A Core MPLS IP VPN Architecture
38. RFC3031: Multiprotocol Label Switching Architecture.
39. RFC3032: MPLS Label Stack Encoding.

Σημείωση: Με εξαίρεση το Σχήμα 7-2 (Control & Data Planes. Cisco Press: MPLS and VPN Architectures) όλα τα άλλα σχήματα έγιναν από τον γράφοντα με χρήση του MS Paint. Τα εικονίδια των δικτυακών συσκευών ήταν free downloads από το site της Cisco. Το σχήμα 4-1 είναι εμπνευσμένο από το βιβλίο του Moy [25].

КОНСТИТУЦИОННО ПРАВО

Παράρτημα Α

A.1 Cisco Router Emulation

Όλα τα labs έγιναν με Cisco Router Emulation. Φυσικά, είναι δυνατόν να γίνουν και με πραγματικούς Cisco Routers αρκεί αυτοί να διαθέτουν τον απαραίτητο αριθμό και το είδος των interfaces που αναφέρονται στα εργαστήρια. Ανάλογα με το μοντέλο του Router καθώς και το είδος και την θέση των interfaces μπορεί η ονοματολογία να διαφέρει κάπως. Αυτό δεν αλλάζει το αποτέλεσμα.

Το Emulation Software που χρησιμοποιήθηκε ήταν συνδυασμός των Freeware προγραμμάτων Dynamips και Dynagen. Το Dynamips κάνει το Emulation με το Dynagen να παρέχει ένα ευκολότερο command line front- end. Στην πραγματικότητα, αν κάποιος κάνει Download και Install το Dynagen θα διαπιστώσει ότι το Dynamips εμπεριέχεται. Η έκδοση του Dynagen που χρησιμοποιήθηκε ήταν η 0.11.0 και η διεύθυνση που μπορεί να βρει πληροφορίες, tutorials, ακόμα και να το κατεβάσει είναι η:

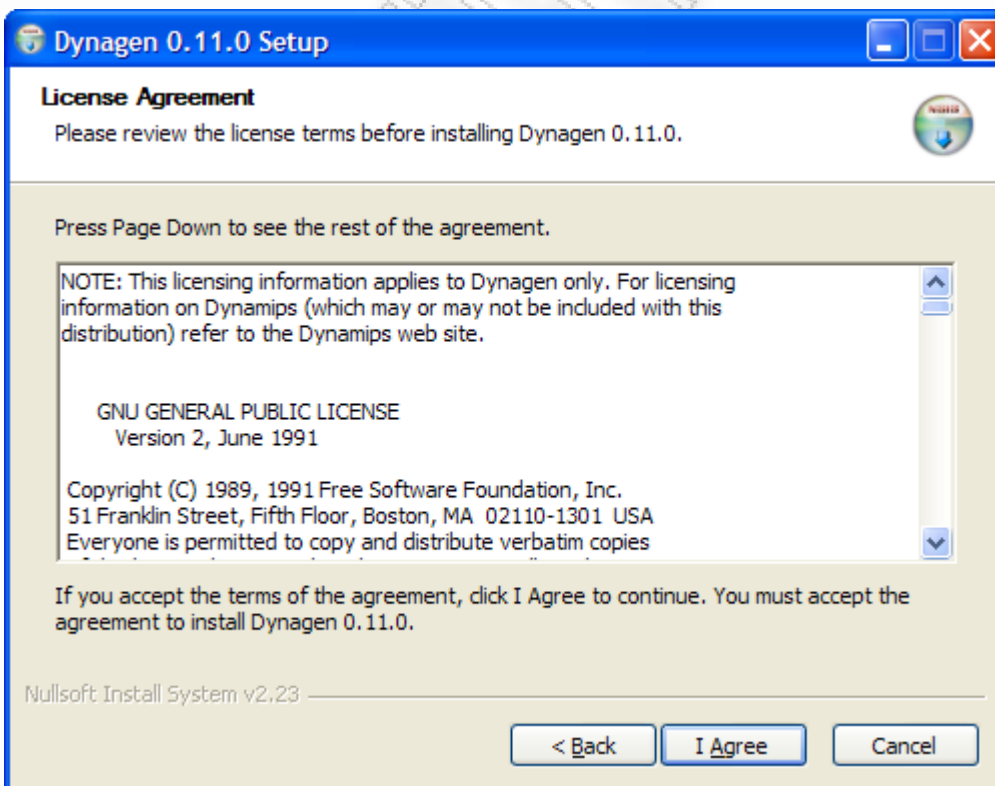
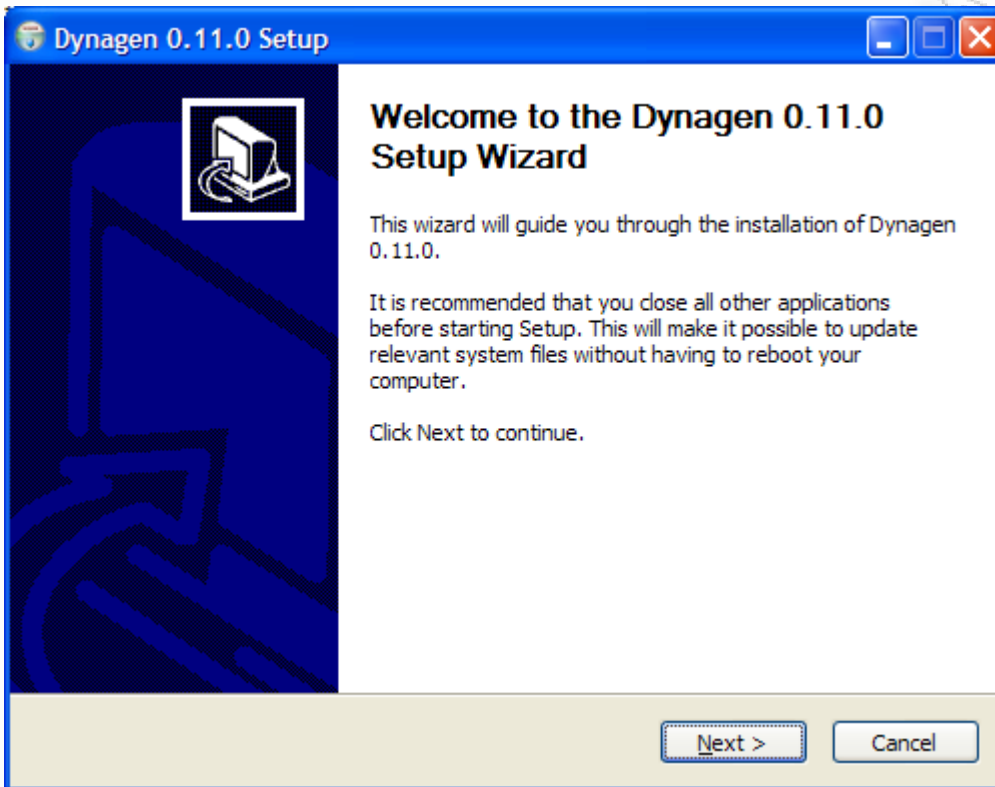
<http://dynagen.org>

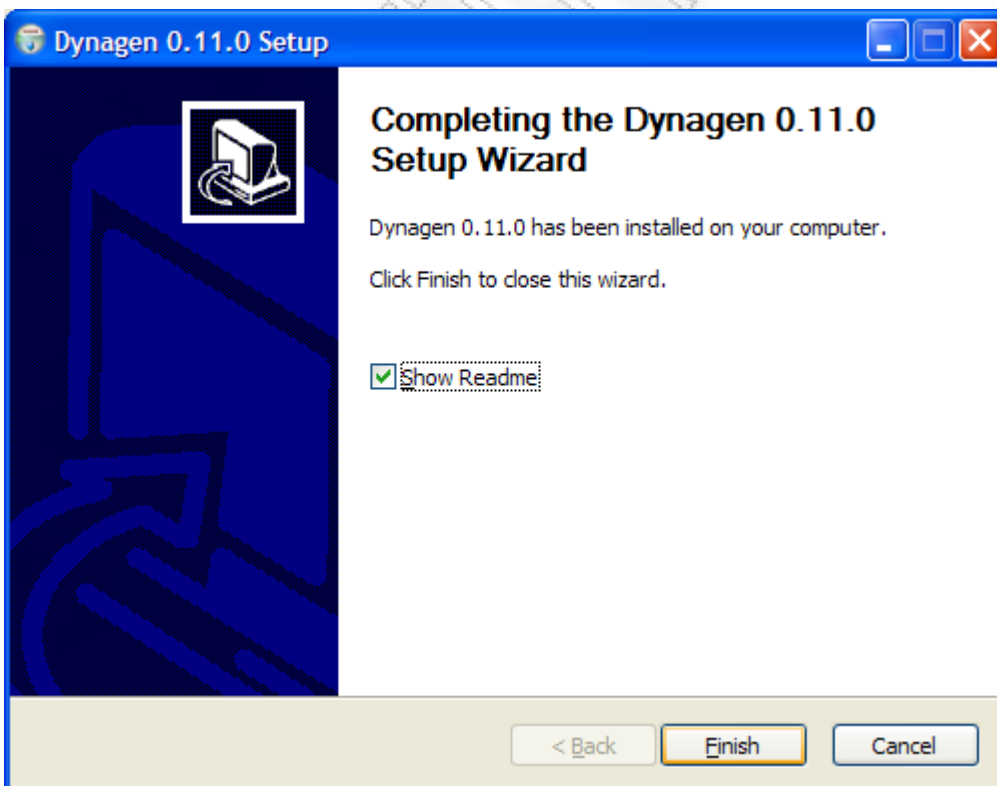
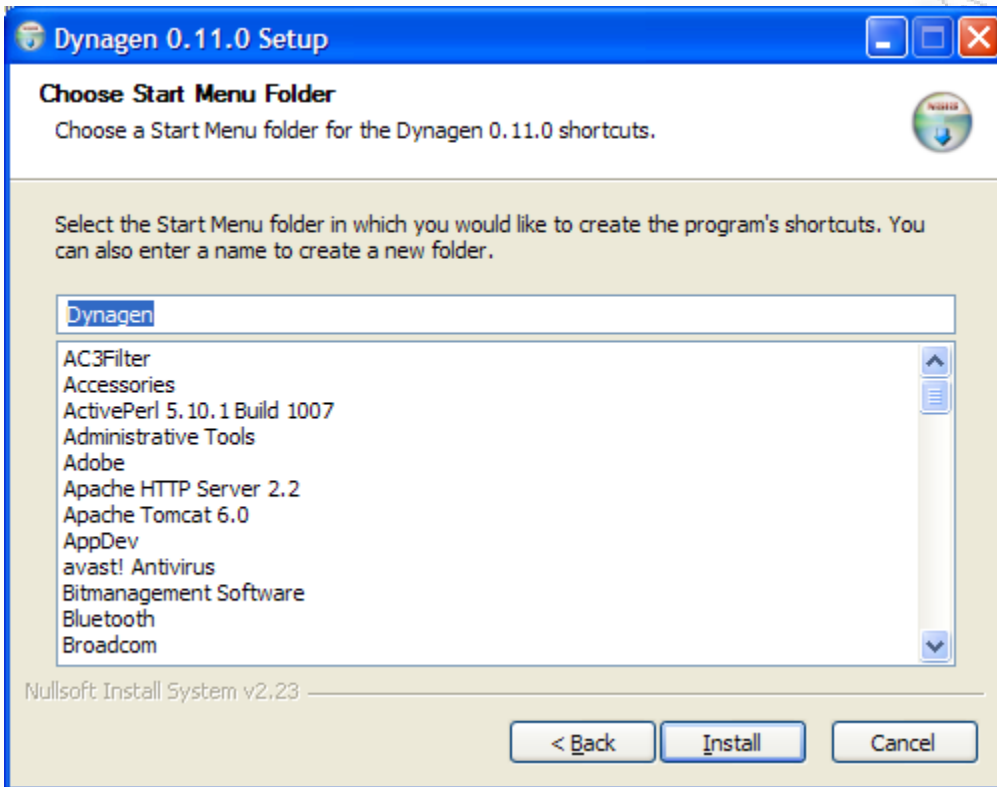
Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη ενός υποστηριζόμενου από το Dynamips Cisco Image.

Όλα τα labs έτρεξαν σε ένα Laptop με Core 2 DUO T7300 (στα 2GHZ) με 4GB μνήμης με λειτουργικό σύστημα Windows XP.

A.2 Εγκατάσταση του Emulator Software

Το Dynagen 0.11.0 για Windows (που όπως ειπώθηκε εμπεριέχει το Dynamips) εγκαθίσταται πολύ εύκολα.





- Το Default Directory είναι το: C:\Program Files\Dynamips
- Ένα ή περισσότερα Cisco Images μπορούν να αποθηκευτούν στο SubDirectory “Images” για λόγους ομαδοποίησης.
- Δείγματα για να ξεκινήσει κάποιος υπάρχουν κάτω από το directory Samples.
- Παρατηρώντας τα .net αρχεία μπορούν πολύ εύκολα να βγουν συμπεράσματα για την δημιουργία καινούργιων για τα διάφορα σενάρια.
- Πριν την οποιαδήποτε απόπειρα είναι σημαντικό να αναγνωστούν tutorials που βρίσκονται στο site του Dynagen που αναφέρθηκε προηγουμένως.

A.3 Παραδοτέα

Τα παραδοτέα της παρούσης διπλωματικής είναι:

- Το παρόν κείμενο σε ηλεκτρονική μορφή.
- Η ηλεκτρονική παρουσίαση σε μορφή powerpoint.
- Το Freeware πρόγραμμα Dynagen 0.11.0
- Τα εργαστήρια (labs) που μπορούν να τοποθετηθούν κάτω από το subdirectory Samples που με τη σειρά του είναι subfolder κάτω από το directory εγκατάστασης (Dynamips).
 - Μέσα σε αυτά τα subdirectories υπάρχουν άλλα subdirectories όπου αποθηκεύουν το configuration των Emulated Cisco Routers.