

Τμήμα
Μηχανικών
Πληροφορικής τ.ε.

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Δυτικής Ελλάδας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εφαρμογή του Πρωτοκόλλου IPv6 Σε Εκπαιδευτικά
Δίκτυα

Δημήτριος Νικ. Αρμενάτζογλου

Επιβλέπων καθηγητής: Μιχαήλ Παρασκευάς

Αντίρριο – Μάιος 2014

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Αντίρριο, Ημερομηνία

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
2. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
3. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή

Αφιέρωση

*Στη μνήμη του πατέρα μου,
Νικόλαου*

Ευχαριστίες

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον συνάδελφό μου στην Διεύθυνση Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου και Δικτυακών Τεχνολογιών, ταυτόχρονα και φίλο μου, Βασίλη Αθανασόπουλο για όλη την βοήθεια που μου παρείχε να κατανοήσω την αρχιτεκτονική σχεδιασμού του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου, ώστε να μπορέσω να εκπληρώσω την πτυχιακή μου εργασία.

Για τις συμβουλές του και την καθοδήγησή του καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου οφείλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Αναστάσιο Νταγιούκλα.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Μιχαήλ Παρασκευά για την επίβλεψη της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Πρόλογος

Το IP version 6, ή διαφορετικά όπως αποκαλείται IPng (next generation), είναι η τελευταία έκδοση του Πρωτοκόλλου του Διαδικτύου (IP – Internet Protocol). Το IP είναι ένα πρωτόκολλο μεταγωγής πακέτων το οποίο χρησιμοποιείται για την μεταφορά δεδομένων, φωνής, video κτλ. πάνω από ψηφιακά δίκτυα και αποτελεί το βασικό πρωτόκολλο το οποίο διέπει την λειτουργία του Διαδικτύου.

Το IPv6 προτάθηκε όταν έγινε ξεκάθαρο ότι το 32-bit σχήμα διευθυνσιοδότησης του IPv4 ήταν ανεπαρκές για να καλύψει τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες που προέκυπταν από την εξάπλωση του Διαδικτύου. Έπειτα από εκτενής συζήτηση επί του θέματος αποφασίστηκε το νέο πρωτόκολλο του Διαδικτύου το IPv6 θα βασιζόταν στο IP αλλά με ένα αρκετά διευρυμένο εύρος διευθύνσεων καθώς επίσης αρκετές βελτιώσεις όπως την απλοποίηση της κύριας κεφαλίδας και την προσθήκη κεφαλίδων επέκτασης (extension headers). Το IPv6 περιγράφηκε αρχικά στο RFC 2460 “*Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification*” το οποίο εκδόθηκε από την Internet Engineering Task Force (IETF). Μετέπειτα RFCs περιγράφουν την αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου και διάφορες υπηρεσίες που υποστηρίζονται από αυτό.

Η αρχιτεκτονική του IPv6 έχει σχεδιαστεί με στόχο να επιτρέπει την εύκολη μετάβαση των χρηστών από το IPv4 στο νέο πρωτόκολλο, ενώ παράλληλα εισαγάγει νέες δυνατότητες όπως από άκρο-ως-άκρο ασφάλεια (end-to-end security), ποιότητα υπηρεσίας (QoS), τεχνικές αυτόματης δημιουργίας διευθύνσεων και παραμετροποίησης σταθμών, μηχανισμούς ανακάλυψης γειτόνων και δρομολογητών. Το νέο διευρυμένο εύρος διευθύνσεων επιτρέπει την διασύνδεση κάθε συσκευής με παγκοσμίως μοναδικές διευθύνσεις, εξαλείφοντας την ανάγκη χρήσης του μηχανισμού NAT (Network Address Translation). Η απλοποιημένη κεφαλίδα του IPv6 χειρίζεται τα πακέτα πιο αποδοτικά βελτιώνοντας έτσι την απόδοση των δρομολογητών. Επιπλέον οι δυνατότητες: prefix aggregation, IPv6 site multihoming, Τέλος στο IPv6 εισάγονται νέοι τύποι διευθύνσεων οι οποίες δεν υφίστανται στο IPv4. Όπως για παράδειγμα οι anycast και οι link-local διευθύνσεις.

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία προτείνεται ένας οδικός χάρτης εφαρμογής του πρωτοκόλλου IPv6 στο Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο. Αρχικά παρουσιάζεται η δομή του πρωτοκόλλου IPv6 και η αρχιτεκτονική διευθυνσιοδότησής του. Αναφέρεται η διεθνής εμπειρία για το πρωτόκολλο IPv6 καθώς και διάφορα έργα τα οποία έχουν συντελέσει στην διάχυσή του. Στην συνέχεια της εργασίας παρατίθενται με λεπτομέρεια προτάσεις για σχήμα αριθμοδότησης IPv6 τόσο για το Δίκτυο Διανομής όσο και για το Δίκτυο Πρόσβασης του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου. Αναπτύσσεται επίσης αρχιτεκτονική δρομολόγησης πρωτοκόλλου εσωτερικών πυλών, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο OSPFv3 (Open Shortest Path First version 3), και δίνεται αναλυτικά η διαδικασία ενεργοποίησής του στο Δίκτυο Διανομής. Παρατίθεται επίσης οδηγός ενεργοποίησης δρομολόγησης πρωτοκόλλου εξωτερικών πυλών με χρήση του πρωτοκόλλου BGP (Border Gateway Protocol), για την διασύνδεση του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου με τον Τοπικό Καταχωρητή Internet (LIR – Local Internet Registry) ΕΔΕΤ (Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας) και δια μέσου αυτού με το Internet. Στην συνέχεια αναπτύσσονται μηχανισμοί πρόσβασης IPv6 μέσω της τεχνολογίας ADSL και των Μητροπολιτικών Δικτύων Οπτικών Ινών του ευρύτερου δημοσίου τομέα, για την διασύνδεση των τελικών χρηστών. Δίνονται επίσης οδηγίες ενεργοποίησης πολιτικών ασφαλείας με IPv6 Access Control Lists. Όλες οι οδηγίες ενεργοποίησης δίνονται βάση δρομολογητών της κατασκευάστριας εταιρίας Cisco. Στο τέλος της εργασίας προτείνεται και παρουσιάζεται το εργαλείο NetDoT (Network Documentation Tool) για την διαχείριση των IPv6 προθεμάτων.

Λέξεις κλειδί: Διευθυνσιοδότηση IPv6, Δρομολόγηση IPv6, Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο, OSPFv3, BGP, Τεχνολογίες Πρόσβασης IPv6, Cisco IOS

Abstract

This thesis proposes a road-map for implementing IPv6 in the Greek School Network. At first, the structure of the IPv6 protocol and its addressing architecture is presented. It is being made reference to the global IPv6 adoption status and European Projects that focused on addressing IPv6 deployment and dissemination. Next, detailed addressing schemas are proposed for the distribution and the access network of the Greek School Network. OSPFv3 is implemented as the interior gateway routing protocol and BGP as the exterior gateway protocol to interconnect the Greek School Network with its upstream provider. In order to interconnect end-users to the Greek School Network, two mechanisms are proposed using static and dynamic prefix delegation via Metropolitan Area Network of the public sector. In addition, ADSL access technology is presented and guidelines are provided in order to enable IPv6 connectivity over PPP sessions and IPv6 prefix assignment via RADIUS. Cisco IOS step-by-step implementation guidelines are provided for the aforementioned mechanisms. Finally a network documentation tool is proposed and illustrated in order to support IPv6 address space management and maintenance.

Key words: IPv6 Addressing plan, IPv6 Routing, Greek School Network, OSPFv3, BGP, IPv6 Access Technologies, Cisco IOS

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	viii
Λίστα Σχημάτων	xi
Λίστα Πινάκων	xii
Λίστα Εικόνων	xii
Λίστα RFCs.....	xiii
Ακρωνύμια	xiv
1 Η δομή του πρωτοκόλλου IPv6.....	1
1.1 Δομή κεφαλίδας του IPv6	1
1.2 Τα πεδία της κεφαλίδας IPv6.....	3
1.3 Κεφαλίδες Επέκτασης (Extension Headers)	5
2 Διευθυνσιοδότηση IPv6.....	6
2.1 Τύποι διευθύνσεων IPv6.....	7
2.2 Αναπαράσταση IPv6 διευθύνσεων σε μορφή κειμένου	8
2.3 Αναπαράσταση IPv6 προθεμάτων διευθύνσεων (IPv6 address prefixes) σε μορφή κειμένου .	10
2.4 Κατηγοριοποίηση IPv6 διευθύνσεων	11
2.5 Unicast Διευθύνσεις	12
2.6 Anycast Διευθύνσεις.....	13
2.7 Multicast Διευθύνσεις	13
2.8 IPv6 Διευθύνσεις με Ενσωματωμένες IPv4 Διευθύνσεις (IPv4-Mapped IPv6 Addresses)	16
2.9 Η Διεύθυνση Ανατροφοδότησης (The Loopback Address)	17
2.10 Η Απροσδιόριστη Διεύθυνση (The Unspecified Address)	18
2.11 Η Απαραίτητη Διεύθυνση Κόμβου (Node's Required Address)	18
2.12 Aggregatable Global Unicast Address	19
2.13 Σύστημα Ονοματοδοσίας IPv6 (IPv6 DNS).....	22
2.14 IP6.ARPA Domain	23
3 Διεθνής Εμπειρία IPv6	24
3.1 Ευρωπαϊκά Έργα Αναπτυξης του IPv6	25
3.1.1 6INIT: IPv6 Internet Initiative	25
3.1.2 GEN6: Governments Enabled with IPv6	26

3.1.3	6NET: Large-Scale International IPv6 Pilot Network.....	26
3.1.4	6Deploy – IPv6 Deployment and Support.....	27
3.1.5	6DISS: IPv6 Dissemination and Exploitation	28
4	Το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο	30
4.1	Δικτυακή Υποδομή Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου	30
4.1.1	Δίκτυο Πυρήνα Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου:	30
4.1.2	Δίκτυο Διανομής Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου:	33
4.1.3	Δίκτυο Πρόσβασης ΠΣΔ:	37
5	Οδικός Χάρτης Εφαρμογής του πρωτοκόλλου IPv6 στο Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο	39
6	Χάραξη Σχήματος Αριθμοδότησης IPv6 για το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο.....	40
6.1	Σχήμα Αριθμοδότησης Δικτύου Διανομής ΠΣΔ.....	42
6.1.1	Αριθμόδοση Loopback IPv6 Addresses Δρομολογητών Δικτύου Διανομής.....	42
6.1.2	Αριθμόδοση LAN και Point-to-Point συνδέσεων	46
6.1.3	Ενεργοποίηση του σχήματος αριθμοδότησης του Δικτύου Διανομής για Cisco Δρομολογητές.....	49
6.2	Σχήμα αριθμοδότησης του Δικτύου Πρόσβαση	54
6.2.1	Πλάνο Απόδοσης Προθεμάτων	55
7	Δρομολόγηση IPv6.....	58
7.1	Πρωτόκολλα Εσωτερικών Πυλών (Interior Gateway Protocols – IGP).....	59
7.2	Σχεδιασμός Αρχιτεκτονικής OSPF	61
7.2.1	Multi-Area OSPF.....	61
7.3	Σχεδιασμός του Backbone - Area 0.....	63
7.3.1	Ενεργοποίηση του OSPF για το Area 0	64
7.4	Not-So-Stubby-Areas	67
7.4.1	Δημιουργία NSSA areas σε Cisco IOS.....	68
8	Δρομολόγηση IPv6 πρωτοκόλλου εξωτερικών πυλών (EGP – Exterior Gateway Protocol).....	69
8.1	Εφαρμογή MP-BGP για το IPv6 - Διασύνδεση ΠΣΔ με ΕΔΕΤ.....	70
8.1.1	Λειτουργία BGP.....	70
8.1.2	Προϋποθέσεις για την διασύνδεση μέσω BGP με τον ΕΔΕΤ	71
8.1.3	Ανακοίνωση Πινάκων Δρομολόγησης από ΠΣΔ προς ΕΔΕΤ	72
8.1.4	Ενδεικτική Παραμετροποίηση BGP Συνοριακού Δρομολογητή ΠΣΔ.....	72
9	Υπηρεσία πρόσβασης IPv6 διά μέσου των Μητροπολιτικών Δικτύων Οπτικών Ινών	74

9.1	Αρχιτεκτονική MetroEthernet των Μητροπολιτικών Δικτύων Οπτικών Ινών	74
9.2	IPv6 Υπηρεσία Πρόσβασης – Μητροπολιτικά Δίκτυα Οπτικών Ινών	77
9.2.1	Στατική Απόδοση IPv6 προθέματος στα CPEs	78
9.2.2	Δυναμική απόδοση IPv6 Προθέματος Στην Σχολική Μονάδα με χρήση του πρωτοκόλλου DHCPv6	90
9.2.3	Παραμετροποίηση Δρομολογητή Πρόσβασης Μητροπολιτικού Δικτύου Οπτικών Ινών ..	92
9.2.4	Παραμετροποίηση Δρομολογητή Σχολικής Μονάδας	94
9.2.5	Επιβεβαίωση της λειτουργίας του μηχανισμού απόδοσης με προθέματος με το πρωτόκολλο DHCPv6:	95
9.2.6	Διαμόρφωση Δρομολογητή Πρόσβασης για την Ανακοίνωση των Routes των Σχολικών Μονάδων στο Δίκτυο Πρόσβασης.....	100
10	Υπηρεσία Πρόσβασης IPv6 ADSL	105
10.1	IETF Specific RADIUS Attributes για IPv6	106
10.2	Τυπική Διαμόρφωση LNS Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου	110
10.3	Τυπική Παραμετροποίηση Cisco CPE	113
11	IPv6 Access Control Lists	115
12	Σύστημα Διαχείρισης IPv6 AddressSpace	117
12.1	NetDoT – Network DocumentationTool	117
12.2	NetDoT IPv4/IPv6 Address Space Management	118
13	Επίλογος	124
14	Βιβλιογραφία	124

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 1.1-1 Η δομή της κεφαλίδας του IPv4	1
Σχήμα 1.1-2 Η δομή της κεφαλίδας IPv6.....	3
Σχήμα 1.3-1Κεφαλίδες επέκτασης.....	6
Σχήμα 2.5-1 Δομή της Aggregatable Global Unicast Διευθύνσεως.....	12
Σχήμα 2.5-2 Δομή της Link-Local Διευθύνσεως.....	12
Σχήμα 2.6-1 Δομή της απαραίτητης AnycastΔιευθύνσεως.....	13
Σχήμα 2.7-1 Δομή της MulticastΔιευθύνσεως.....	14
Σχήμα 2.8-1 Δομή της IPv6-με-ενσωματωμένη-IPv4 διευθύνσεως	16
Σχήμα 2.8-2 Δομή της IPv4-MappedIPv6 διευθύνσεως	17
Σχήμα 2.12-1Ιεραρχική δομή τοπολογίας IPv6GlobalUnicastδιευθύνσεως	22
Σχήμα 2.12-2IPv6 πρόθεμα Δικτύου και InterfaceID.....	22
Σχήμα 4.1-1 Αρχιτεκτονική Διασύνδεσης Δικτύου Πυρήνα ΠΣΔ.....	31
Σχήμα 4.1-2 Αναπαράσταση της διασύνδεσης των κόμβων του Δικτύου Πυρήνα σε Layer 3.....	32
Σχήμα 4.1-3 Κόμβοι 1ου επιπέδου Δικτύου Διανομής ΠΣΔ	34
Σχήμα 4.1-4 Διασύνδεση Δικτύου Διανομής 1 ^{ου} επιπέδου ΠΣΔ με Δίκτυο Διανομής 2 ^{ου} επιπέδου	37
Σχήμα 7.2-1Multi-AreaOSPF	62
Σχήμα 7.2-2Διαφήμιση διαδρομών στο Multi-AreaOSPF.....	63
Σχήμα 7.3-1 Ανακοίνωση της Loopbackστο Area0	65
Σχήμα 7.4-1ΑνακοίνωσηLoopbacks στοArea 0 σανOSPF External Routes	68
Σχήμα 8.1-1 Ανακοίνωση προθεμάτων με BGP.....	71
Σχήμα 9.1-1 Αρχιτεκτονική QinQυλοποίησης των Μητροπολιτικών Δικτύων Οπτικών Ινών	75
Σχήμα 9.1-2 QinQ VLAN tagging	76
Σχήμα 9.1-3 Layer 3 τοπολογία Μητροπολιτικών Δικτύων Οπτικών Ινών.....	77
Σχήμα 9.2-1 Μέθοδος υλοποίησης IPv6 μηχανισμού πρόσβασης στα MANμε στατική απόδοση προθέματος.	82
Σχήμα 9.2-2 Ανακοίνωση OSPF External routesαπό το OSPF δίκτυο του MAN στο Δίκτυο Διανομής	83
Σχήμα 9.2-3 Μέθοδος υλοποίησης IPv6 μηχανισμού πρόσβασης στα MANμε δυναμική απόδοση προθέματος μέσω DHCPv6.....	91
Σχήμα 9.2-4 Ανακοίνωση των προθεμάτων στο Δίκτυο Διανομής τα οποία δημιουργήθηκαν από τον...92	
Σχήμα 9.2-1 Αρχιτεκτονική υπηρεσίας ADSLπρόσβασης	105
Σχήμα 9.2-2 ADSL υπηρεσίαμεδιαφορετικόNetwork Access Provider καιNetwork Service Provider	106

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1.2-1 Μήκος πεδίων κεφαλίδας IPv6	3
Πίνακας 2.2-1 Συνεπτυγμένος τρόπος αναπαράστασης IPv6 διευθύνσεως.....	9
Πίνακας 2.4-1 Κατηγορίες IPv6 διευθύνσεων	11
Πίνακας 2.7-1 Σημαίες ορισμού του εύρους της Multicastδιευθύνσεως.....	15
Πίνακας 2.12-1 Περιφερειακοί Καταχωρητές Internet (RIR)	21
Πίνακας 4.1-1 Ονοματολογία DNS κόμβων Δικτύου Διανομής ΠΣΔ 1ου επιπέδου	33
Πίνακας 4.1-2 Ονοματολογία DNS κόμβων Δικτύου Διανομής ΠΣΔ 2 ^{ου} επιπέδου	36
Πίνακας 6.1-1 Αριθμοδότηση Loopbackδιευθύνσεων κόμβων Δικτύου Διανομής 1 ^{ου} επιπέδου ΠΣΔ	43
Πίνακας 6.1-2 Αριθμοδότηση LoopbackInterfaceστού Δικτύου Διανομής	46
Πίνακας 6.1-3 Ποσοτικοί δίκτες σχήματος απόδοσης προθεμάτων του Δικτύου Διανομής.....	47
Πίνακας 6.1-4 Απόδοση /52 IPv6 προθεμάτων ανά περιοχή.....	48
Πίνακας 6.1-5 Ενδεικτικός πίνακας απόδοσης /56 IPv6 προθέματος ανά κόμβο του Δικτύου Διανομής του ΠΣΔ	48
Πίνακας 6.1-6 Ενδεικτικός πίνακας αριθμοδότησης /64 LANs	49
Πίνακας 6.1-7 Ενδεικτικός Πίνακας αριθμοδότησης /64 ανά point-to-pointlink	49
Πίνακας 6.2-1 Διαθέσιμα /56 προθέματα από τον συνολικό χώρο ΠΣΔ	54
Πίνακας 6.2-2 Ποσοτική απόδοση προθεμάτων ανά είδος μονάδας χρήστη ΠΣΔ	56
Πίνακας 6.2-3 Πλάνο προθεμάτων με framedκαι delegatedαπό κοινούς χώρους.....	57
Πίνακας 6.2-4 Πλάνο απόδοσης προθεμάτων με Framedκαι Delegatedαπό διαφορετικούς χώρους	58
Πίνακας 7.3-1 Κόμβοι OSPF Backbone Δικτύου Διανομής ΠΣΔ	64
Πίνακας 8.1-1 BGP προθέματα ΠΣΔ	70
Πίνακας 9.2-1 Στατική απόδοση προθέματω ανά σχολική μονάδα	78

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 2.12-1 Ιεραρχία της δομής των AggregatableGlobalUnicastδιευθύνσεων	19
Εικόνα 2.14-1Ποσοστό IPv6 χρηστών που προσπελούν τις υπηρεσίες της Google	24
Εικόνα 3.1-1 Πλατφόρμα εκπαίδευσης IPv6 του έργου 6DISS.....	29
Εικόνα 12.2-1 Αρχικό menu NetDoT.....	120
Εικόνα 12.2-2 NetDoT – Μενού εργασιών Address Space	120
Εικόνα 12.2-3 Διαθέσιμα IPv6 προθέματα	121
Εικόνα 12.2-4 Δομή δένδρου IPv6 address space	122
Εικόνα 12.2-5 NetDoT - IPv6 /64 subnets.....	122
Εικόνα 12.2-6 NetDoT - Δημιουργία νέου IPv6 subnet	123
Εικόνα 12.2-7 NetDoT - Οπτικοποίηση των /64 subnets.....	123
Εικόνα 12.2-8 NetDoT - Address Space Availability.....	123

Λίστα RFCs

RFC	Τίτλος
2675	IPv6 Jumbograms
4291	IP Version 6 Addressing Architecture
3315	Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6)
5340	OSPF for IPv6
2460	Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification
3162	RADIUS and IPv6

Ακρωνύμια

Ελληνικά:

ΕΔΕΤ	Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας
ΟΤΕ	Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών Ελλάδος
ΠΣΔ	Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο

Αγγλικά

ABR	Area Border Router
ASBR	Autonomous System Border Router
BGP	Border Gateway Protocol
BRAS	Broadband Remote Access Server
CPE	Customer Premises Equipment
EUI-64	Extender Unique Identifier – 64
GRNET	Greek Research Network
GSN	Greek School Network
IANA	Internet Assigned Numbers Authority
IP v4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
IR	Internet Registry
L2TP	Layer 2 Trunking Protocol
LAN	Local Area Network
LIR	Local Internet Registry
LNS	L2TP Network Server
LSA	Link-State Advertisement
LSU	Link-State Update
MAN	Metropolitan Area Network
MTU	Maximum Transfer Unit
NAS	Network Access Server
NSP	Network Service Provider
NSSA	Not-So-Stubby-Area
OSPF	Open Shortest Path First
PE	Provider Edge
PoP	Point of Presence
PPP	Point-to-Point Protocol
RFC	Request For Comments
RIPE	Reseaux IP Europeens Network Coordination Centre
RIR	Regional Internet Registry
SPF	Shortest Path First
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
VLAN	Virtual LAN

1 Η δομή του πρωτοκόλλου IPv6

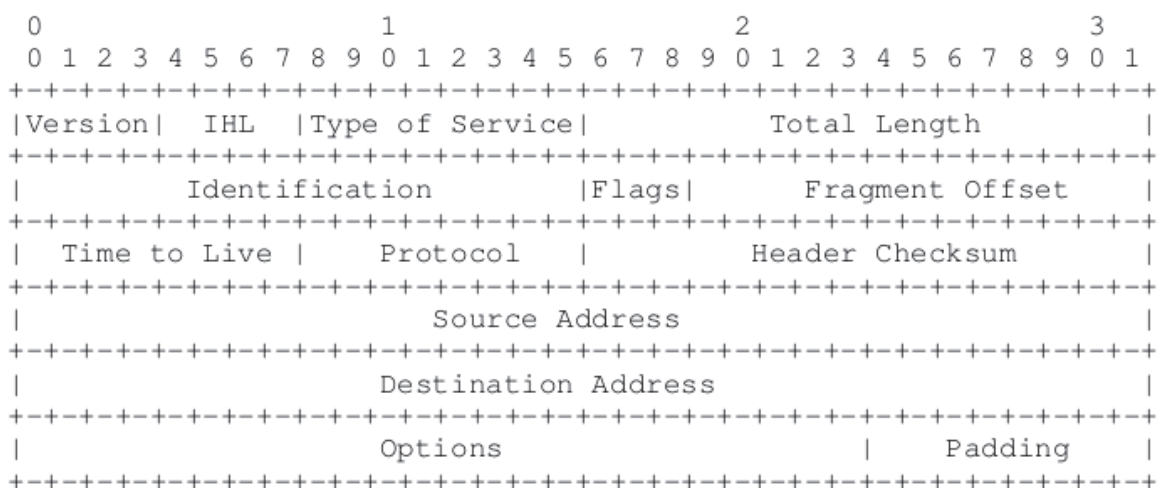
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η δομή της κεφαλίδας του πρωτοκόλλου IPv6. γίνεται αντιπαράθεση με την κεφαλίδα του IPv4 με στόχο να τονισθούν οι αλλαγές που φέρει. Επίσης παρουσιάζονται οι κεφαλίδες επέκτασης (extension headers), χαρακτηριστικό το οποίο δεν υφίστανται στο IPv4.

Η δομή ενός πακέτου IPv6 καθορίζεται στο RFC 2460. Η κεφαλίδα έχει σταθερό μήκος 40 bytes. Τα δύο πεδία διευθύνσεων πηγής και προορισμού έχουν 16 byte (128 bits) μέγεθος, έτσι απομένουν 8 bytes για τις υπόλοιπες πληροφορίες κεφαλίδας.

1.1 Δομή κεφαλίδας του IPv6

Στο IPv6 έχουν αφαιρεθεί πέντε πεδία τα οποία υπήρχαν στην κεφαλίδα του IPv4 (Σχήμα 1.1-1):

- IHL (Internet Header Length) - Μήκος κεφαλίδας
- Identification - Πεδίο Ταυτοποίησης
- Flags- Σημαίες
- Fragmentoffset – Πεδίο το οποίο χρησιμοποιείται για να διευκολύνει την διαδικασία κατακερματισμού των πακέτου
- Header checksum - Πεδίο ελέγχου ακεραιότητας κεφαλίδας



Σχήμα 1.1-1 Η δομή της κεφαλίδας του IPv4

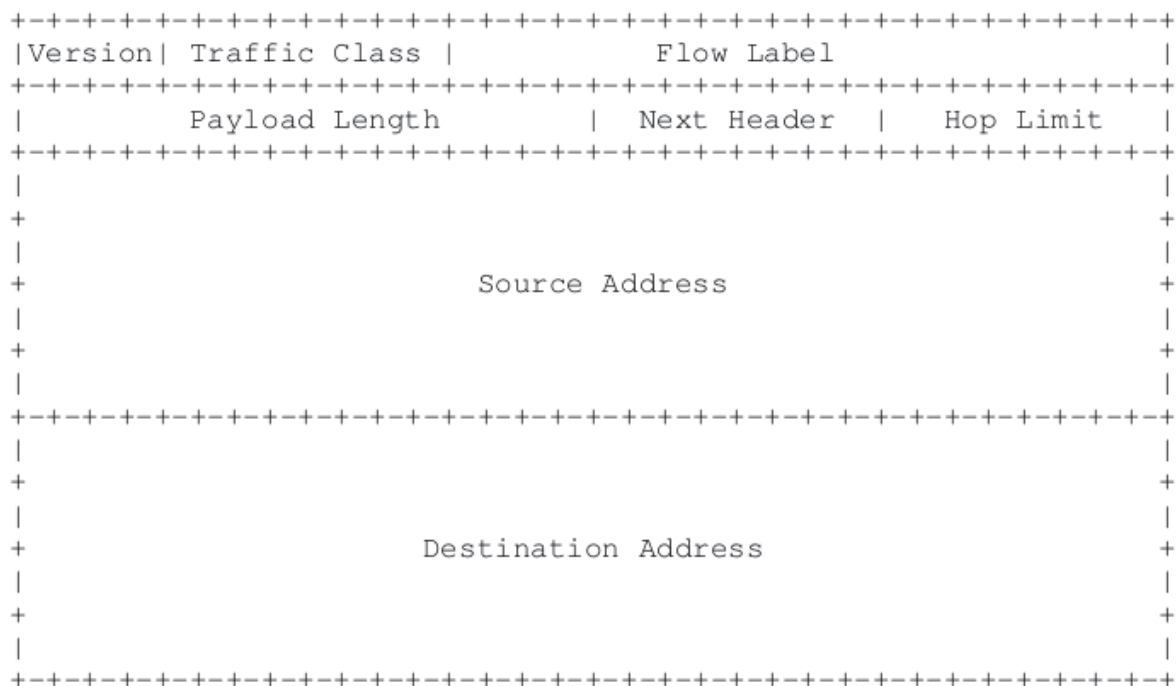
Το πεδίο IHL (Internet Header Length) αφαιρέθηκε καθώς στο IPv6 το μήκος κεφαλίδας είναι σταθερό (40 bytes).

Τα πεδία Identification, Flags, και τα το Fragment offset χρησιμοποιούνται στο IPv4 με σκοπό να διαχειριστούν τον κατακερματισμό ενός πακέτου. Αυτός ο κατακερματισμός (δλδ. ο διαχωρισμός σε μικρότερα πακέτα) συμβαίνει όταν ένα μεγάλο πακέτο IP πρέπει να σταλεί πάνω από ένα δίκτυο το οποίο υποστηρίζει μικρότερο μεγέθους πακέτα. Σε αυτήν την περίπτωση ο δρομολογητής διαιρεί το μεγάλο πακέτο σε περισσότερα μικρότερου μεγέθους πακέτα. Ο δέκτης λαμβάνει όλα αυτά τα πακέτα και συνθέτει το αρχικό πακέτο IP. Αυτά τα τρία πεδία υπάρχουν για να υποστηρίξουν αυτήν την διαδικασία. Στο IPv6 ένας σταθμός μαθαίνει το μέγιστο επιτρεπτό μέγεθος πακέτων με μία διαδικασία η οποία ονομάζεται Path MTU Discovery. Εάν ένας αποστολέας του πρωτοκόλλου IPv6 θέλει να κατακερματίσει ένα πακέτο χρησιμοποιεί μια κεφαλίδα που ονομάζεται Extension Header. Οι IPv6 δρομολογητές δεν πραγματοποιούν κατακερμάτιση των πακέτων. Έτσι τα παραπάνω πεδία είναι έχουν αφαιρεθεί από την κεφαλίδα του IPv6 και εισάγονται ως κεφαλίδες επέκτασης (Extension Header) σε περίπτωση που απαιτείται κατακερματισμός των πακέτων.

Το πεδίο Header Checksum αφαιρέθηκε ώστε να βελτιωθεί η επεξεργαστική ταχύτητα. Αν οι δρομολογητές δεν απαιτείται να ελέγξουν και να ανανεώσουν checksums, η επεξεργασία των πακέτων γίνεται πολύ γρηγορότερη. Ο έλεγχος checksum πραγματοποιείται επίσης στο επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων έτσι το ρίσκο για σφάλματα που δεν έχουν ανιχνευτεί είναι ελάχιστο. Υπάρχει επίσης πεδίο checksum στο επίπεδο μεταφοράς. Το IP είναι πρωτόκολλο καλύτερης-προσπάθειας (best-effort) και είναι ευθύνη των ανώτερων επιπέδων να διαβεβαιώσουν την ακεραιότητα.

Το πεδίο Type of Service έχει αντικατασταθεί από το πεδίο Traffic Class. Το πεδία Protocol Type και Time-to-Live μετονομάστηκαν και τροποποιήθηκαν ελαφρώς. Επίσης προστέθηκε το πεδίο Flow Label.

Έπειτα από τις παραπάνω αλλαγές και τροποποιήσεις η κεφαλίδα του IPv6 πρωτοκόλλου φαίνεται στην εικόνα



Σχήμα 1.1-2 Η δομή της κεφαλίδας IPv6

1.2 Τα πεδία της κεφαλίδας IPv6

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα πεδία της κεφαλίδας του IPv6 με το μήκος του κάθε πεδίου. Στην συνέχεια περιγράφεται η λειτουργία του κάθε ενός από αυτά.

Πεδίο	Μήκος
Version	4 bits
Traffic Class	8 bits (1 Byte)
Flow Label	20 bits
Payload Length	16 bits (2 Bytes)
Next Header	8 bits (1 Byte)
Hop Limit	8 bits (1 Byte)
Source Address	128 bits (16 Bytes)
Destination Address	128 bits (16 Bytes)

Πίνακας 1.2-1 Μήκος πεδίων κεφαλίδας IPv6

Version:

- Χαρακτηρίζει την έκδοση του πρωτοκόλλου IP. Για το IPv4 η τιμή του είναι 01002 ενώ για το IPv6 η τιμή του είναι 01102.

Traffic class:

- Αυτό το πεδίο αντικαθιστά το πεδίο TypeofService που υπήρχε στο IPv4. Ο ρόλος του είναι ο χειρισμός δεδομένων πραγματικού χρόνου ή άλλων ειδικών περιπτώσεων. Χρησιμοποιείται από τους αποστολείς ή τους δρομολογητές για να χαρακτηρίσει την προτεραιότητα στα πακέτα. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να παρέχει υπηρεσίες QoS.

Flow label

- Διακρίνει πακέτα τα οποία απαιτούν τον ίδιο χειρισμό (δλδ. αποτελούν μέρος μιας ροής) με σκοπό την διευκόλυνση της διεκπεραίωσης κίνησης πραγματικού χρόνου. Ο αποστολέας μπορεί να “μαρκάρει” ακολουθίες πακέτων με ένα σετ παραμέτρων. Οι δρομολογητές διατηρούν πίνακα ροών και μπορούν να διεκπεραιώσουν τα πακέτα που ανήκουν στην ίδια ροή πιο αποτελεσματικά επειδή δεν απαιτείται να επεξεργαστούν ξανά τις κεφαλίδες τους.

Payload length

- Αυτό το πεδίο καθορίζει το μήκος του ωφέλιμου φορτίου του πακέτου. Το γεγονός ότι το μέγεθος του μήκους ωφέλιμου φορτίου είναι 16 bit, περιορίζει το μέγιστο φορτίο που μεταφέρει ένα IPv6 πακέτο στα 64 KB ($2^{16} = 65536$ bits). Οι κεφαλίδες επέκτασης θεωρούνται μέρος του ωφέλιμου φορτίου. Επίσης το IPv6 έχει μια κεφαλίδα επέκτασης που αφορά τα Jumbograms. Με τα Jumbograms το IPv6 μπορεί να μεταφέρει μεγαλύτερο όγκο δεδομένων αρκεί οι κόμβοι που επικοινωνούν να βρίσκονται πάνω σε ένα τμήμα δικτύου με MTU μεγαλύτερο από 64 KB. Τα Jumbo grams ορίζονται στο RFC 2675.

Next header

- Στο IPv6 το πεδίο Next Header είναι το αντίστοιχο πεδίο Protocol Type του IPv4 πακέτου. Μετονομάστηκε με σκοπό να αντικατοπτρίζει την νέα δομή των IP πακέτων. Εάν η επόμενη κεφαλίδα είναι UDP ή TCP τότε αυτό το πεδίο θα περιέχει τους ίδιους αριθμούς πρωτοκόλλων όπως και στο IPv4. Για παράδειγμα η τιμή 6 σημαίνει ότι η επόμενη κεφαλίδα είναι TCP ή το 17 σημαίνει ότι η επόμενη κεφαλίδα είναι UDP. Αλλά εάν χρησιμοποιούνται κεφαλίδες επέκτασης τότε το πεδίο αυτό περιέχει την τιμή που χαρακτηρίζει τον τύπο της επόμενης κεφαλίδας επέκτασης.

Hop limit

- Αυτό το πεδίο είναι ανάλογο του TTL πεδίο στο IPv4. Το πεδίο TTL περιέχει ένα νούμερο σε δευτερόλεπτα τα οποία ορίζουν το χρονικό διάστημα για το οποίο ένα πακέτο μπορεί να παραμείνει στο δίκτυο πριν καταστραφεί. Οι περισσότεροι δρομολογητές απλά μειώνουν την τιμή του συγκεκριμένου πεδίο κατά μία μονάδα σε κάθε βήμα. Αυτό το πεδίο μετονομάστηκε σε HopLimit στο IPv6. Η τιμή του πλέον καθορίζει πόσο βήματα (Hops) μπορεί να κάνει κάθε πακέτο. Σαν βήμα θεωρείται η μετάβαση από έναν δρομολογητή στον επόμενο. Όταν η τιμή του φθάσει το 0, ο δρομολογητής το καταστρέφει.

Source Address

- Το πεδίο SourceAddress περιέχει την διεύθυνση του αποστολέα του IPv6 πακέτου.

Destination Address

- Το πεδίο DestinationAddress περιέχει την διεύθυνση του προορισμού του IPv6 πακέτου.

1.3 Κεφαλίδες Επέκτασης (Extension Headers)

Η κεφαλίδα του πρωτοκόλλου IPv4 μπορεί να επεκταθεί από 20 bytes κατ' ελάχιστον έως μέγιστο 60 bytes, με σκοπό την υποστήριξη λειτουργιών που αφορούν την ασφάλεια, την δρομολόγηση το χρονικό μαρκάρισμα πακέτων (time stamping) κτλ.

Στην πράξη αυτό το μέγεθος επέκτασης έχει σπάνια χρησιμοποιηθεί διότι προκαλεί υποβάθμιση της απόδοσης των δρομολογητών. Για παράδειγμα, υλοποιήσεις μεταγωγής υλικού (hardware forwarding implementations) θα πρέπει να “παραδώσουν” το πακέτο στον κύριο επεξεργαστή (χειρισμός λογισμικού) για να επεξεργαστεί επιλογές επέκτασης.

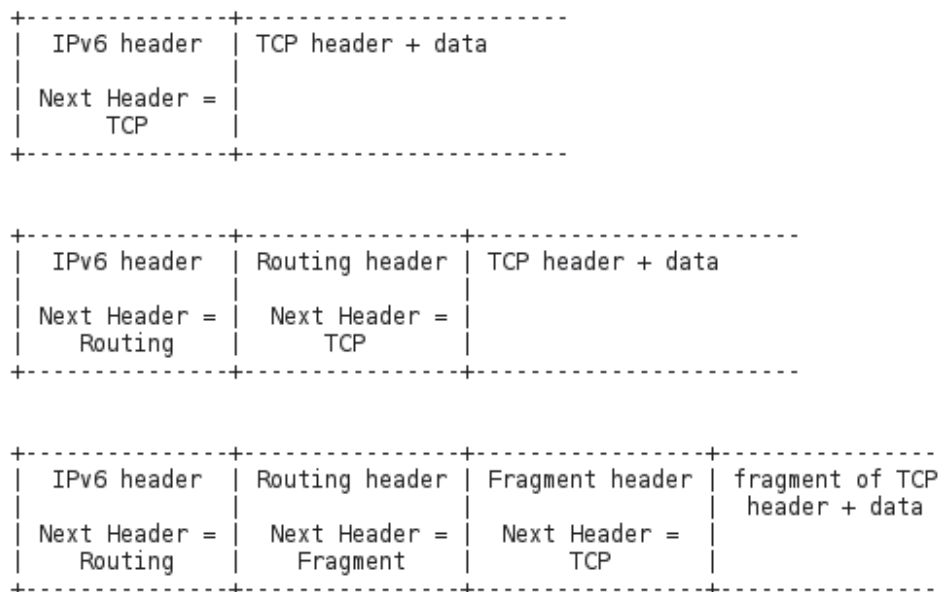
Όσο πιο απλή είναι η κεφαλίδα ενός πακέτου, τόσο γρηγορότερη είναι η επεξεργασία του. Το IPv6 έχει έναν νέο τρόπο να εισαγάγει επιλογές επέκτασης ο οποίος βελτιώνει ουσιαστικά την απόδοση. Χειρίζεται τις επιλογές με επιπλέον κεφαλίδες, οι οποίες ονομάζονται κεφαλίδες επέκτασης (Extension Headers).

Στις προδιαγραφές του πρωτοκόλλου IPv6 (RFC 2460) καθορίζονται έξι κεφαλίδες επέκτασης:

- Κεφαλίδας επιλογών hop-by-hop (Hop-by-Hop Options Header)

- Κεφαλίδα δρομολόγησης (Routing Header)
- Κεφαλίδα κατακεματισμού (Fragmentation Header)
- Κεφαλίδα επιλογών προορισμού (Destination Options Header)
- Κεφαλίδα πιστοποίησης (Authentication Header)
- Κεφαλίδα κρυπτογράφησης δεδομένων πακέτου (Encrypted Security Payload Header)

Μπορούν να υπάρχουν από καμία έως πολλές κεφαλίδες επέκτασης μεταξύ της κεφαλίδας του IPv6 και της κεφαλίδας του πρωτοκόλλου του ανώτερου επιπέδου. Κάθε κεφαλίδα επέκτασης ταυτοποιείται από το πεδίο Next Header της προηγούμενης κεφαλίδας. Οι κεφαλίδες επέκτασης εξετάζονται και επεξεργάζονται μόνο από τον κόμβο τον οποίο χαρακτηρίζει το πεδίο Destination Address. Αν το πεδίο Destination Address είναι μία multicast address τότε οι κεφαλίδες επέκτασης εξετάζονται και επεξεργάζονται από όλους τους κόμβους που ανήκουν στο συγκεκριμένο multicast group.



Σχήμα 1.3-1Κεφαλίδες επέκτασης

2 Διευθυνσιοδότηση IPv6

Η πιο πρόσφατη αναθεώρηση της αρχιτεκτονικής διευθυνσιοδότησης του πρωτοκόλλου IPv6 καθορίζεται στο RFC 4291 “*IP version 6 Addressing Architecture*”. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το σχήμα αριθμοδότησης που εισαγάγει το νέο πρωτόκολλο του Διαδικτύου.

Αναλύονται και παρουσιάζονται οι τύποι και οι κατηγορίες διευθύνσεων που ορίζει το IPv6. Παρουσιάζονται επίσης οι τρόποι αναπαράστασης των IPv6 διευθύνσεων και των προθεμάτων αυτών σε μορφή κειμένου. Ακόμα παρουσιάζεται η δομή των διάφορων τύπων διευθύνσεων όπως οι `AggregatableGlobalUnicast` διευθύνσεις, οι `multicast` διευθύνσεις, οι `link-local` διευθύνσεις, οι IPv6 διευθύνσεις με ενσωματωμένες IPv4 διευθύνσεις κτλ. Τέλος αναφέρονται οι απαραίτητες διευθύνσεις τις οποίες πρέπει να γνωρίζει κάθε IPv6 κόμβος.

2.1 Τύποι διευθύνσεων IPv6

Υπάρχουν τρεις τύποι διευθύνσεων στο IPv6:

Unicast Address:

- Είναι η διεύθυνση που χαρακτηρίζει ένα μοναδικό interface. Ένα πακέτο το οποίο αποστέλλεται σε μία Unicast διεύθυνση παραδίδεται μόνο στο interface το οποίο χαρακτηρίζεται από την ίδια Unicast διεύθυνση την οποία φέρει ως διεύθυνση προορισμού η κεφαλίδα του πακέτου αυτού.

Anycast Address:

- Είναι η διεύθυνση η οποία χαρακτηρίζει ένα σύνολο από interfaces (τα οποία συνήθως ανήκουν σε διαφορετικούς κόμβους). Ένα πακέτο το οποίο αποστέλλεται σε μία anycast διεύθυνση παραδίδεται σε ένα από τα interfaces που χαρακτηρίζονται από αυτήν την διεύθυνση (στο πλησιέστερο interface, σύμφωνα με την μετρική του πρωτοκόλλου δρομολόγησης).

Multicast Address:

- Είναι η διεύθυνση η οποία χαρακτηρίζει ένα σύνολο από interfaces (τα οποία συνήθως ανήκουν σε διαφορετικούς κόμβους). Ένα πακέτο το οποίο αποστέλλεται σε μία multicast διεύθυνση παραδίδεται σε όλα τα interfaces που χαρακτηρίζονται από αυτήν την διεύθυνση.

Παρατηρήσεις:

Στο IPv6 δεν υπάρχουν broadcast διευθύνσεις. Η λειτουργία της broadcast διεύθυνσης αντικαταστάθηκε από τις multicast διευθύνσεις.

Όπως και στο IPv4, οι IPv6 διευθύνσεις ανατίθενται στα interfaces και όχι στους κόμβους. Σε αντίθεση με το IPv4, σ' ένα interface μπορούν να ανατεθούν περισσότερες από μία IPv6 διευθύνσεις κάθε ενός από τους τρεις τύπους.

Ένας κόμβος χαρακτηρίζεται από οποιανδήποτε διεύθυνση χαρακτηρίζει κάποιο από τα interface του. Καθώς μία IPv6 διεύθυνση χαρακτηρίζει μοναδικά ένα interface, έτσι χαρακτηρίζει μοναδικά και τον κόμβο ο οποίος φέρει το interface αυτό.

Στο IPv6 ένα πεδίο μπορεί να έχει όλα τα bits του μηδενικά ή άσσους σαν έγκυρη IPv6 διεύθυνση (σε αντίθεση με το IPv4 όπου όλα τα bits 0 αποτελεί την διεύθυνση υποδικτύου και όλα άσσοι την διεύθυνση broadcast).

2.2 Αναπαράσταση IPv6 διευθύνσεων σε μορφή κειμένου

Η πιο προφανής διαφορά μεταξύ μίας IPv4 διεύθυνσης και μίας IPv6 έγκειται στα παρακάτω δύο σημεία:

1. Α μήκος μίας IPv4 διεύθυνσεως είναι 32 bit, ενώ το μήκος μίας IPv6 διεύθυνσεως είναι 128 bit.
2. Μία IPv4 διεύθυνση αναπαρίσταται από 4 τμήματα των 8-bit σε δεκαδική μορφή, ενώ μία IPv6 διεύθυνση αναπαρίσταται από 8 τμήματα των 16-bit σε δεκαεξαδική μορφή.

Υπάρχουν τρεις συμβατικοί τρόποι με τους οποίους μπορούμε να αναπαραστήσουμε μία IPv6 διεύθυνση με μορφή κειμένου (text representation):

1. Η προτιμώμενη μορφή είναι x:x:x:x:x:x:x, όπου το κάθε "x" είναι από 1 έως 4 δεκαεξαδικά ψηφία. Για παράδειγμα:

ABCD:EF01:2345:6789:ABDC:EF:01:2345:6789

2001:648:2302:0:0:0:0:ABCD

Σημειώνεται ότι δεν είναι απαραίτητο να αναπαραστήσουμε τα αριστερότερα μηδενικά σε ένα πεδίο, αλλά πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένα αριθμητικό στοιχείο σε κάθε πεδίο (εκτός της περίπτωσης που αναφέρεται στο 2.)

2. Εξαιτίας του μεγάλου μήκους της IPv6 διεύθυνσεως και των διάφορων μεθόδων απόδοσης του IPv6 εύρους διευθύνσεων, θα είναι κοινό φαινόμενο να έχουμε διευθύνσεις που περιέχουν μεγάλες ακολουθίες μηδενικών ψηφίων. Με σκοπό να απλοποιήσουμε την αναπαράσταση των IPv6 διευθύνσεων είναι δυνατόν να “συμπιέσουμε” τα μηδενικά. Η χρήση του συμβόλου “::” υποδεικνύει ένα ή περισσότερα groups των 16-bit μηδενικών ψηφίων. Το σύμβολο “::” μπορεί να εμφανιστεί μόνο μία φορά σε μία IPv6 διεύθυνση. Τέλος το σύμβολο “::” μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να αντικαταστήσει επίσης είτε τα προπορευόμενα είτε τα υπολειπόμενα μηδενικά πεδία. Για παράδειγμα:

Διευρυμένη μορφή	Συμπτυγμένη μορφή	Τύπος Διεύθυνσης
2001:DB8:0:0:8:800:200C:417A	2001:DB8::8:800:200C:417A	Unicast διεύθυνση
FF01:0:0:0:0:0:101	FF01::101	Μία Multicast διεύθυνση
0:0:0:0:0:0:1	::1	Η διεύθυνση ανατροφοδότησης (Loopbackaddress)
0:0:0:0:0:0:0	::	Η απροσδιόριστη διεύθυνση (unspecifiedaddress)

Πίνακας 2.2-1 Συμπτυγμένος τρόπος αναπαράστασης IPv6 διευθύνσεως

3. Σε περιβάλλοντα όπου ενδέχεται να εμπλέκονται IPv6 και IPv4 διευθύνσεις, ένας άλλος βολικός τρόπος αναπαράστασης είναι x:x:x:x:d.d.d.d όπου τα “x” είναι δεκαεξαδικές τιμές για τα 6 πρώτα πεδία των 16-bit και τα “d” είναι δεκαδικές τιμές για τα τελευταία 4 πεδία των 8 bit (αναπαράσταση IPv4). Για παράδειγμα:

0:0:0:0:A:192.168.1.2

0:0:0:0:0:10.1.2.3

ή στην συμπιεσμένη τους μορφή:

::A:192.168.1.2

::10.1.2.3

2.3 Αναπαράσταση IPv6 προθεμάτων διευθύνσεων (IPv6 address prefixes) σε μορφή κειμένου

Η αναπαράσταση των προθεμάτων των IPv6 διευθύνσεων καθορίζεται επίσης στο RFC 2373 “IP version 6 Addressing Architecture” και είναι όμοια με τον τρόπο που αναπαρίστανται τα προθέματα διευθύνσεων IPv4 στην μορφή του CIDR (Classless Inter-Domain Routing. Ένα πρόθεμα IPv6 διευθύνσεως αναπαρίσταται με την σημειογραφία:

ipv6-address/prefix-length

όπου:

ipv6-address	Μία IPv6 διεύθυνση οποιουδήποτε τύπου και σημειογραφίας από αυτές που αναφέρονται στην προηγούμενη ενότητα.
prefix-length	Μία δεκαδική τιμή η οποία υποδεικνύει πόσα εκ των αριστερότερων ψηφίων αποτελούν το πρόθεμα της διεύθυνσεως.

Οι παρακάτω είναι έγκυρες αναπαραστάσεις του προθέματος 48-bit 20016482302:

2001:648:2302:0000:0000:0000:0000:0000/48

2001:648:2302:0:0:0:0:0/48

2001:648:2302::/48

Όταν αναπαριστούμε την IPv6 διεύθυνση ενός κόμβου μαζί το πρόθεμα της, τότε αυτά μπορούν να συνδυαστούν ως εξής:

IPv6 διεύθυνση κόμβου	2001:648:2302:1002:3004:5006:7008:1
αριθμός υποδικτύου	2001:648:2302::/48
συμπυγμένη μορφή	2001:648:2302:1002:3004:5006:7008:1/48

Η σημειογραφία της διεύθυνσεως 2001:648:2302:1002:3004:5006:7008:1/48 υποδηλώνει ότι η συγκεκριμένη διεύθυνση έχει μήκος προθέματος τα 48 αριστερότερα bits.

2.4 Κατηγοριοποίηση IPv6 διευθύνσεων

Ο τύπος μίας IPv6 διεύθυνσης ταυτοποιείται από τα αριστερότερα (high-order) bits, όπως συνοψίζεται στον πίνακα:

Address Type	Binary Prefix	IPv6 Notation
Unspecified	00...0 (128 bits)	::/128
Loopback	00...1 (128 bits)	::1/128
Multicast	11111111	FF00::/8
Link-Local Unicast	1111111010	FE80::/10
Global Unicast	όλες οι άλλες	-

Πίνακας 2.4-1 Κατηγορίες IPv6 διευθύνσεων

Παρατηρήσεις:

Οι anycast διευθύνσεις παράγονται από το εύρος των Unicast διευθύνσεων και δεν είναι συντακτικά διακριτές από τις τελευταίες.

Η γενική μορφή των Unicast διευθύνσεων περιγράφεται στην παράγραφο 2.5

Στην ενότητα X περιγράφεται μια ειδική υποπερίπτωση των global unicast διευθύνσεων οι οποίες εμπεριέχουν ενσωματωμένες IPv4 διευθύνσεις για περιπτώσεις δημιουργίας μηχανισμών διαλειτουργικότητας των δύο πρωτοκόλλων, μιας και από τις προδιαγραφές τους δεν είναι συμβατά. Δηλαδή ένας κόμβος IPv4 δεν είναι δυνατόν να επικοινωνήσει άμεσα με έναν κόμβο IPv6, παρά μόνο με την δημιουργία ειδικών μηχανισμών “μετάφρασης” του ενός πρωτοκόλλου στο άλλο.

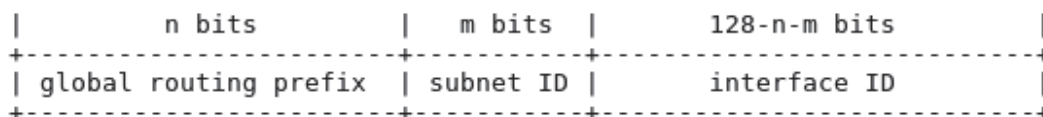
Μελλοντικές αναθεωρήσεις των προδιαγραφών του πρωτοκόλλου ενδέχεται να επανακαθορίσουν μέρος από το εύρος των Global Unicast για άλλους τύπους (π.χ. σε παλαιότερο RFC υφίστανται Site-Local διευθύνσεις, οι οποίες στην συνέχεια αναιρέθηκαν) διευθύνσεων. Μέχρι να συμβεί όμως αυτό κάθε υλοποίηση πρέπει να χειρίζεται κάθε διεύθυνση που δεν εμπίπτει στις κατηγορίες των προαναφερθέντων τύπων ως Global Unicast.

2.5 Unicast Διευθύνσεις

Μία Unicast διεύθυνση αποτελεί ένα αναγνωριστικό για ένα μοναδικό interface σε έναν μοναδικό κόμβο. Οι IPv6 Unicast διεθύνσεις επιτρέπουν την άθροιση διαδρομών/εύρους διεθύνσεων (routes/addressspaceaggregation) με προθέματα μη-προκαθορισμένου μήκους (arbitraryprefixes), όμοια με το IPv4 στην περίπτωση του ClasslessInter-DomainRouting.

Υπάρχουν δύο τύποι Unicastδιευθύνσεων, αυτές είναι οι:

- **Aggregatable Global Unicast Addresses:** Οι AggregatableGlobalUnicastAddresses (σε μία ελεύθερη μετάφραση στα Ελληνικά θα μπορούσαμε να τις πούμε “οικουμενικές διεθύνσεις μονο-διανομής”) αποτελούν αυτές τις διεθύνσεις οι οποίες μπορούν να δρομολογηθούν στο IPv6 Διαδίκτυο και είναι παγκοσμίως μοναδικές.



Σχήμα 2.5-1 Δομήτης Aggregatable Global Unicast Διευθύνσεως

- **Link-Local Unicast Addresses:** Οι LinkLocalUnicast διεθύνσεις προορίζονται για χρήση μόνο σε έναν σύνδεσμο και δεν είναι δρομολογίσιμες. Με άλλα λόγια ένας δρομολογητής δεν θα μεταγάγει ποτέ πακέτα που προορίζονται για μία LinkLocal διεύθυνση. Η χρήση των LinkLocal διεθύνσεων εξυπηρετεί σκοπούς όπως αυτόν την αυτόματης παραμετροποίησης σταθμών ή της ανακάλυψη γειτόνων όσον αφορά τα πρωτόκολλα δρομολόγησης κτλ. Η δομή της Link Local διεύθυνσης φαίνεται στην Εικόνα 2.5-2



Σχήμα 2.5-2 Δομή της Link-Local Διευθύνσεως

Στο RFC 1884 “IPv6 AddressingArchitecture”, όπου αρχικά περιγράφηκε η αρχιτεκτονική διεθυσιοδότησης του πρωτοκόλλου IPv6, προδιαγράφηκαν Site-

LocalUnicastAddresses. Ο στόχος τους ήταν να επιτρέψουν της διευθυνσιοδότηση σε ένα “Site” χωρίς την χρήση ενός globalprefix. Οι Site-Local Unicast Addresses καταργήθηκαν με το RFC 3879 “*Deprecating Site Local Addresses*”.

2.6 Anycast Διευθύνσεις

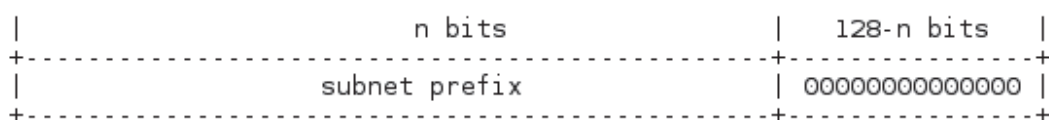
Στο IPv6 εισάγεται η έννοια της “Anycast” διεύθυνσεως. Μία anycast διεύθυνση ανατίθεται σε περισσότερα από ένα interfaces (τυπικά που ανήκουν σε διαφορετικούς κόμβους) με την ιδιότητα ότι ένα πακέτο το οποίο αποστέλλεται σε μία anycast διεύθυνση δρομολογείται στον πλησιέστερο κόμβο ο οποίος έχει αυτήν την διεύθυνση (σύμφωνα με την μετρική της απόστασης του πρωτοκόλλου δρομολόγησης το οποίο χρησιμοποιείται).

Οι anycast διευθύνσεις αποδίδονται από το εύρος των Unicast, χρησιμοποιώντας την καθορισμένη μορφή των Unicast διευθύνσεων. Έτσι, οι anycast διευθύνσεις δεν είναι με κάποιο τρόπο συντακτικά διακριτές από τις Unicast. Όταν μία Unicast διεύθυνση ανατίθεται σε περισσότερα από ένα interfaces, τότε αυτή αποτελεί μία anycast διεύθυνση. Οι κόμβοι στους οποίους έχει αποδοθεί η ίδια Unicastδιεύθυνση πρέπει να παραμετροποιηθούν καταλλήλως για να αντιληφθούν ότι αυτή η διεύθυνση είναι anycast.

Η Απαραίτητη Anycast Διεύθυνση

Η Anycast διεύθυνση δρομολογητή-υποδικτύου (Subnet-RouterAddress) είναι προκαθορισμένη.

Η μορφή της έχει ως ακολούθως:



Σχήμα 2.6-1 Δομή της απαραίτητης AnycastΔιευθύνσεως

Το πρόθεμα του υποδικτύου σε μία anycast διεύθυνση ταυτοποιεί ένα συγκεκριμένο σύνδεσμο. Αυτή η διεύθυνση είναι συντακτικά η ίδια με την unicast διεύθυνση ενός interface στο συγκεκριμένο link με τα bit του πεδίου interface-identifier καθορισμένα στην τιμή μηδεν.

2.7 Multicast Διευθύνσεις

Μία IPv6 multicast διεύθυνση αποτελεί ένα αναγνωριστικό για ένα σύνολο από interfaces (που τυπικά ανήκουν σε διαφορετικούς κόμβους) τα οποία υπάγονται σε μία λογική ομάδα. Ένα

interface μπορεί να ανήκει σε οποιοδήποτε πλήθος multicast ομάδων. Μία multicast διεύθυνση έχει την μορφή που φαίνεται στην Εικόνα



Σχήμα 2.7-1 Δομή της Multicast Διευθύνσεως

Το δυαδικό 11111111 (τα πρώτα 8 bits της διεύθυνσεως) χαρακτηρίζουν ότι η συγκεκριμένη διεύθυνση είναι multicast.

Το επόμενο πεδίο αποτελείται από 4 flags:



- Το αριστερότερο flag είναι δεσμευμένο και πρέπει να αρχικοποιείται με την τιμή 0.
- T = 0 υποδικνύει μία μονίμως-ορισμένη (“wellknown”) multicast διεύθυνση, η οποία έχει ανατεθεί από την Internet Assigned Numbers Authority (IANA).
- T = 1 υποδικνύει μία μη-μονίμως-ορισμένη (“transient” ή “dynamically assigned”) multicast διεύθυνση.
- Η λειτουργία των flags R και P περιγράφεται στο RFC 3306 “Unicast-Prefix-Based IPv6 Multicast Addresses” και στο RFC 3956 “Embedding the Rendezvous Point (RP) Address in an IPv6 Multicast Address” αντιστοίχως. Όταν το P τεθεί ίσο με 1, τότε υποδικνύει ότι η multicast διεύθυνση έχει αποδοθεί βάση δικτυακού προθέματος. Σε αυτήν την περίπτωση το T τίθεται υποχρεωτικά ίσο με 1. Όταν το R τεθεί ίσο με το 1, τότε υποδικνύει ότι η multicast διεύθυνση εμπεριέχει την διεύθυνση ενός Rendezvous Point (ένας κόμβος ο οποίος χρησιμοποιείται για την προώθηση multicast κίνησης). Όταν το R τεθεί ίσο με 1, τότε υποχρεωτικά τα flags P και T τίθενται στην τιμή 1. Η περαιτέρω επεξήγηση της λειτουργίας των συγκεκριμένων flags είναι εκτός της σκοπιάς της παρούσης εργασίας.

Το πεδίο scop είναι μια τιμή 4-bit η οποία χρησιμοποιείται για να ορίσει το εύρος ισχύς (scope) της multicast διεύθυνσης. Οι τιμές του πεδίου καθορίζουν το εύρος όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.7-1 :

Τιμή	Σημασία
0	δεσμευμένη
1	εύρους τοπικού interface (Interface-Local Scope)
2	εύρους τοπικού link (Link-Local Scope)
3	δεσμευμένη
4	εύρους τοπικού διαχειριστή (Admin-LocalScope)
5	εύρους τοπικού site (Site-Local Scope)
6	μη-ορισμένη
7	μη-ορισμένη
8	εύρους τοπικού οργανισμού (Organization-Local Scope)
9	μη-ορισμένη
A	μη-ορισμένη
B	μη-ορισμένη
C	μη-ορισμένη
D	μη-ορισμένη
E	οικουμενικού εύρους (Global Scope)
F	μη-ορισμένη

Πίνακας 2.7-1 Σημαίες ορισμού του εύρους της Multicast διεύθυνσης

Το πεδίο group ID χαρακτηρίζει την ομάδα multicast, είτε εάν αυτή είναι μία μόνιμη ομάδα είτε μία προσωρινή, εντός του εύρους ισχύς το οποίο καθορίζει το προηγούμενο πεδίο. Πιο λεπτομερής καθορισμός της δομής του πεδίου group ID ορίζεται στο RFC 3306 “Unicast-Prefix-based IPv6 Multicast Addresses”.

Η έννοια της μόνιμα-ορισμένης multicast διεύθυνσης είναι ανεξάρτητη από την τιμή του εύρους ισχύς (scope value). Για παράδειγμα, εάν έχει αποδοθεί το group id '101' (hex) στους NTP εξυπηρετητές τότε:

FF01:0:0:0:0:0:101 σημαίνει όλοι οι NTP εξυπηρετητές στο ίδιο interface με τον αποστολέα

FF02:0:0:0:0:0:0:101 σημαίνει όλοι οι NTP εξυπηρετητές στο ίδιο link με τον αποστολέα.

FF05:0:0:0:0:0:0:101 σημαίνει όλοι οι NTP εξυπηρετητές στο ίδιο site με τον αποστολέα.

FF0E:0:0:0:0:0:0:101 σημαίνει όλοι οι NTP εξυπηρετητές στο Διαδίκτυο.

Οι προσωρινά ορισμένες multicast διευθύνσεις έχουν νόημα μόνο εντός ενός ορισμένου scope. Για παράδειγμα, μία ομάδα multicast η οποία ταυτοποιείται από την μη-μόνιμα-ορισμένη site-local multicast διεύθυνση FF15:0:0:0:0:0:0:101 σε ένα συγκεκριμένο site, δεν έχει καμία σχέση με μία ομάδα που χρησιμοποιεί την ίδια ακριβώς multicast διεύθυνση σε ένα άλλο site. Όπως επίσης δεν έχει καμία σχέση με μια μη-μόνιμα-ορισμένη διεύθυνση που χρησιμοποιεί το ίδιο group id με διαφορετικό scope, ούτε μια μία μόνιμη διεύθυνση με το ίδιο group id.

Οι multicast διευθύνσεις δεν πρέπει ποτέ να χρησιμοποιηθούν ως διεύθυνση αποστολέα σε πακέτα. Όπως δεν πρέπει επίσης να εμφανιστούν ποτέ σε κεφαλίδες δρομολόγησης.

Οι δρομολογητές δεν πρέπει να προωθήσουν κάποιο multicast πακέτο πέρα από το scope που ορίζεται από το αντίστοιχο πεδίο της διεύθυνσεως.

2.8 IPv6 Διευθύνσεις με Ενσωματωμένες IPv4 Διευθύνσεις (IPv4-Mapped IPv6 Addresses)

Υπάρχουν δύο τύποι IPv6 διευθύνσεων οι οποίες φέρουν ενσωματωμένες IPv4 διευθύνσεις στα δεξιότερα (low-order) 32 bit. Αυτές είναι οι “IPv4 Compatible IPv6 Addresses” και οι “IPv4-Mapped IPv6 Addresses”.

Οι IPv4 Compatible IPv6 Addresses καθορίστηκαν με σκοπό να υποστηρίξουν την μετάβαση σε IPv6. Η δομή αυτών των διευθύνσεων φαίνεται στην εικόνα:

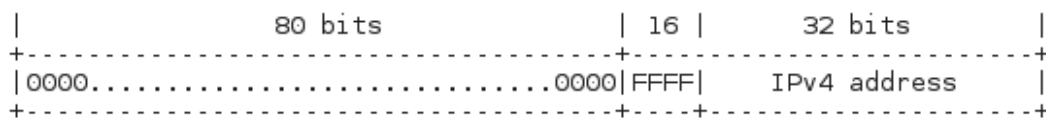


Σχήμα 2.8-1 Δομή της IPv6-με-ενσωματωμένη-IPv4 διεύθυνσεως

Σημείωση: Η IPv4 διεύθυνση που χρησιμοποιείται στην IPv4 Compatible IPv6 Address πρέπει να είναι μία παγκοσμίως-μοναδική IPv4 unicast διεύθυνση.

Οι IPv4 Compatible IPv6 Addresses είναι πλέον “deprecated” (δλδ. δεν συνίσταται η χρήση τους). Οι νέες υλοποιήσεις του πρωτοκόλλου δεν είναι απαραίτητο υποστηρίζουν αυτόν τον τύπο.

Ο δεύτερος τύπος IPv6 διευθύνσεων που περιέχει ενσωματωμένες IPv4 διευθύνσεις είναι IPv4-Mapped IPv6 Addresses. Αυτός ο τύπος χρησιμεύει για να αναπαριστήσουμε τις διευθύνσεις IPv4 κόμβων σαν IPv6 διευθύνσεις. Η δομή αυτών των διευθύνσεων φαίνεται στην Εικόνα:



Σχήμα 2.8-2 Δομή της IPv4-Mapped IPv6 διευθύνσεως

Περισσότερες λεπτομέρειες για την χρήση των IPv4-Mapped IPv6 Addresses παρέχονται στο RFC 4038 “Application Aspects of IPv6 Transition”.

2.9 Η Διεύθυνση Ανατροφοδότησης (The Loopback Address)

Η unicast διεύθυνση 0:0:0:0:0:0:0:1 ονομάζεται διεύθυνση ανατροφοδότησης (loopback address). Χρησιμοποιείται από έναν κόμβο ώστε αυτός να στείλει το πακέτο στον ίδιο τον εαυτό του. Για την διεύθυνση ανατροφοδότησης ισχύουν τα παρακάτω:

- Δεν μπορεί ποτέ να ανατεθεί σε ένα φυσικό interface.
- Χρησιμοποιείται με εύρος ισχύος Link-Local.
- Δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί ποτέ σαν διεύθυνση αποστολέα σε ένα IPv6 πακέτο το οποίο αποστέλλεται έξω από έναν κόμβο.
- Έναν δρομολογητής δεν θα προωθήσει ποτέ ένα πακέτο που έχει διεύθυνση αποστολέα την διεύθυνση ανατροφοδότησης.
- Εάν παραληφθεί ένα πακέτο σε ένα interface με διεύθυνση προορισμού την loopback τότε αυτό απορρίπτεται.

Στην συντετμημένη μορφή της η διεύθυνση ανατροφοδότησης αναπαρίσταται και ως “::1”

2.10 Η Απροσδιόριστη Διεύθυνση (The Unspecified Address)

Η διεύθυνση 0:0:0:0:0:0:0:0 ονομάζεται απροσδιόριστη διεύθυνση. Δεν πρέπει ποτέ να αποδοθεί σε έναν κόμβο. Υποδεικνύει την απουσία μίας IPv6 διεύθυνσης. Ένα παράδειγμα χρήσης της είναι σαν διεύθυνση αποστολέα IPv6 πακέτων ενός σταθμού κατά την διάρκεια της εκκίνησης του ο οποίος σταθμός δεν έχει αποκτήσει ακόμα δικτυακά στοιχεία. Για την απροσδιόριστη διεύθυνση ισχύουν τα παρακάτω:

- Δεν πρέπει ποτέ να χρησιμοποιηθεί σαν διεύθυνση προορισμού ενός IPv6 πακέτου.
- Δεν πρέπει ποτέ να χρησιμοποιηθεί στις κεφαλίδες δρομολόγησης
- Ένα IPv6 πακέτο το οποίο έχει σαν διεύθυνση αποστολέα την απροσδιόριστη διεύθυνση δεν πρέπει ποτέ να προωθηθεί από έναν δρομολογητή.

Στην συντημημένη μορφή της η απροσδιόριστη διεύθυνση αναπαρίσταται ως “::”

2.11 Η Απαραίτητη Διεύθυνση Κόμβου (Node's Required Address)

Ένας κόμβος απαιτείται να αναγνωρίζει τις ακόλουθες διευθύνσεις καθώς ταυτοποιεί τον εαυτό του:

- Την απαραίτητη Link-Local διεύθυνση για κάθε interface του.
- Οποιαδήποτε επιπλέον Unicast και Anycast διεύθυνση έχει ανατεθεί για κάποιο από τα interface του.
- Την διεύθυνση ανατροφοδότησης.
- Την all-nodes multicast διεύθυνση (ενότητα X)
- Την Solicited-Node multicast διεύθυνση για κάθε μία από τις unicast ή anycast διευθύνσεις του.
- Τις multicast διευθύνσεις για όλες τις ομάδες στις οποίες ανήκει ο κόμβος.

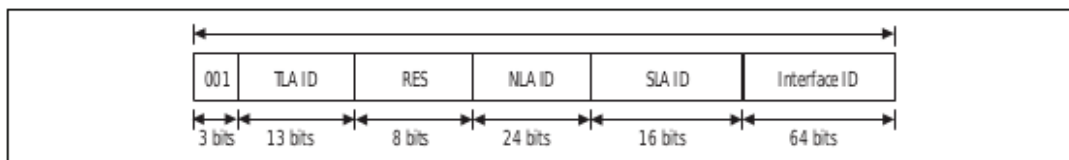
Ένας δρομολογητής απαιτείται να γνωρίζει όλες τις διευθύνσεις τις οποίες απαιτείται να γνωρίζει ένας κόμβος και επιπλέον:

- Τις Subnet-Router Anycast διευθύνσεις για όλα τα interfaces για τα οποία διενεργεί ως δρομολογητής.
- Όλες τις άλλες Anycast διευθύνσεις με τις οποίες έχει παραμετροποιηθεί.
- Τις All-Routers multicast διευθύνσεις.

2.12 Aggregatable Global Unicast Address

Το σχήμα των Aggregatable Global Unicast διευθύνσεων χρησιμοποιείται με σκοπό να καθορίσει μια ιεραρχική δομή για την απόδοση και διαχείριση του IPv6 εύρους διευθύνσεων. Αυτή η νέα δομή διαχωρίζει το εύρος μίας IPv6 διεύθυνσεως σε έξι διακριτά μέρη (Εικόνα 2.12-1)

- Format Prefix (FP)
- Top-Level Aggregation Identifier (TLA ID)
- Reserved (RES)
- Next-Level Aggregation Identifier (NLA ID)
- Site-Level Aggregation Identifier (SLA ID)
- Interface Identifier (Interface ID)



Εικόνα 2.12-1 Ιεραρχία της δομής των AggregatableGlobalUnicastδιευθύνσεων

Format Prefix:

Το πεδίο FP χαρακτηρίζει τον τύπο της διεύθυνσεως. Για τα global routable prefixes το FP έχει πάντα την τιμή “001” (σύμφωνα με τις τρέχουσες πρακτικές της υλοποίησης του IPv6). Τα τρία αυτά bits θα δηλώνουν σε κάθε δρομολογητή στο Διαδίκτυο ότι πρόκειται για μία Global Routable Unicast διεύθυνση. Για κάθε τύπο διεύθυνσεως το FP είναι μοναδικό, με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατό στους δρομολογητές να διακρίνουν εύκολα και γρήγορα τον τύπο των πακέτων και να τα επεξεργάζονται αντιστόιχως. Για παράδειγμα τα unicast πακέτα και τα multicast πακέτα δρομολογούνται με πολύ διαφορετικούς τρόπους. Το unicast packet routing είναι 1-to-1 ενώ το multicast είναι 1-to-N ή N-to-N. Συνεπώς ο χειρισμός τους απαιτεί πολύ διαφορετικούς μηχανισμούς σε ένα Internet backbone δίκτυο. Το FP εξυπηρετεί σαν μία υπόδειξη έτσι ώστε ένας δρομολογητής να μπορεί να διεκπαιρεώσει μία πολύ γρήγορη απόφαση για το πως πρέπει να χειριστεί το πακέτο αυτό.

Top-Level Aggregation ID:

Το TLA ID αποτελείται από 13-bit παρέχοντας έτσι 8192 TLAs. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να υπάρχουν 8192 πάροχοι ή σημεία ανταλλαγής σε αυτό το επίπεδο, σε αναλογία με τους σημερινούς Tier-1 παρόχους. Τα TLAs βρίσκονται στο ανώτατο σημείο της ιεραρχίας δρομολόγησης του Διαδικτύου.

Reserved:

Τα bits του συγκεκριμένου πεδίου είναι δεσμευμένα στο παρόν στάδιο υλοποίησης του IPv6. Η IETF δεν έχει καθορίσει ακόμα ποιό σκοπό μπορούν να εξυπηρετήσουν. Σε αυτή την φάση είναι συνετό να χρησιμοποιηθούν αυτά τα bits από τους TLAs με σκοπό να υποδικτυώσουν τις αναθέσεις τους. Έτσι ώστε να αυξήσουν τον αριθμό των globally routable unicast prefixes τα οποία μπορούν οι TLAs να αναθέτουν στους πελάτες τους.

Next-Level Aggregation ID:

Οι Next-Level Aggregators αντιστοιχούν στους σημερινούς Tier-2 παρόχους υπηρεσιών. Ένας NLA μπορεί να είναι από έναν μικρό οργανισμό με μόνο μία TLA διασύνδεση έως ένας μεγάλος, μέχρι και περιφερειακός, πάροχος με πολλαπλές διασυνδέσεις και πολυσύνθετο backbone δίκτυο. Ένας NLA θα παραλάβει το NLA ID του από τον TLA πάροχό του και με την σειρά του θα διαμοιράσει τμήματα αυτού του ID στους πελάτες του.

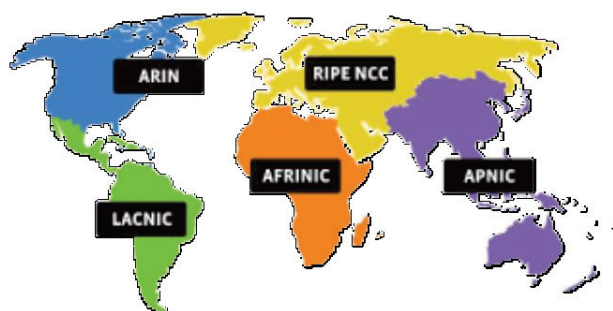
Site-Level Aggregation ID:

Ένας Site-Level Aggregator αποτελεί μια οντότητα η οποία δεν έχει downstream πελάτες που να είναι παρόχοι υπηρεσιών δικτύου. Ένας SLA μπορεί να είναι μία μεγάλη ή μία μικρή επιχείρηση ή ένας μικρός ISP ο οποίος όμως δεν παρέχει address space στους πελάτες του (παρά μόνο συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο).

Interface ID:

Τα τελευταία 64-bit της Globally Routable Unicast διεύθυνσεως αποτελούν το χαρακτηριστικό ενός μοναδικού interface μίας συσκευής. Σε αντιστοιχία με το IPv4 αυτό το πεδίο ταυτίζεται με το host ID. Αυτά τα 64-bit θα κάνουν διακριτό έναν σταθμό από έναν άλλο σε ένα συγκεκριμένο τμήμα (segment) ενός δικτύου. Κάθε interface ID σε ένα τμήμα ενός δικτύου θα είναι μοναδικό.

Οι αρχές που διέπουν την απόδοση και την διαχείριση του Address Space καθορίζονται σε ένα δημοσιευμένο έγγραφο-πρότυπο με τίτλο rirp-589 (στην πιο πρόσφατη αναθεώρησή του). Αυτό το πρότυπο καθορίζει το σύστημα με το οποίο οι Internet Registries διανέμουν το Address Space με στόχο την σωστή διαχείρισή του. Η σωστή διαχείριση είναι απαραίτητη ώστε να διασφαλίσει την δίκαιη και συνεπή/μεθοδευμένη απόδοση address space. Αυτή η τακτική ελαχιστοποιεί την σπατάλη εύρους διευθύνσεων και μεγιστοποιεί την συνάθροιση (aggregation). Η αρχή που ελέγχει το IPv6 address space είναι η Internet Assigned Numbers Authority (IANA). Η IANA αποδίδει address space στους περιφερειακούς Internet Registries (IRs).



Registry	Περιοχή Κάλυψης
AFRINIC	Africa
APNIC	Asia/Pacific
ARIN	North America
LACNIC	Latin America / Caribbean
RIPE NCC	Europe, Middle East, Central Asia

Πίνακας 2.12-1 Περιφερειακοί Καταχωρητές Internet (RIR)

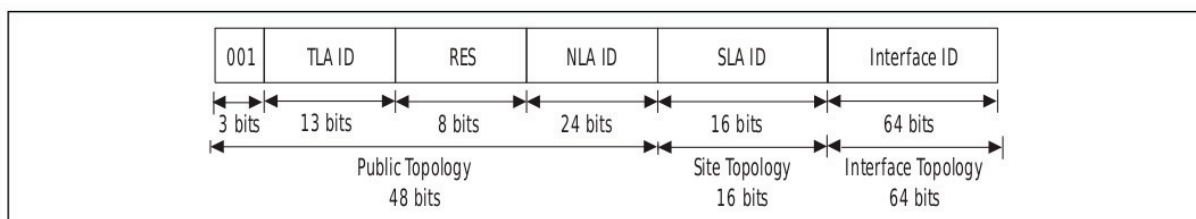
Η πολιτικές που διέπουν την απόδοση του addressspace πρέπει να εφαρμόζονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να καθίσταται βέβαιο ότι:

- Κάθε globalunicast διεύθυνση έχει αποδοθεί με συνετό τρόπο
- Είναι παγκοσμίως δρομολογίσιμη
- Είναι παγκοσμίως μοναδική.
- Επιτρέπει την συνάθροιση (aggregation)

Το RFC 2374 οργανώνει το IPv6 AddressSpace σε μία τοπολογική ιεραρχία. Οι τοπολογίες αυτές είναι:

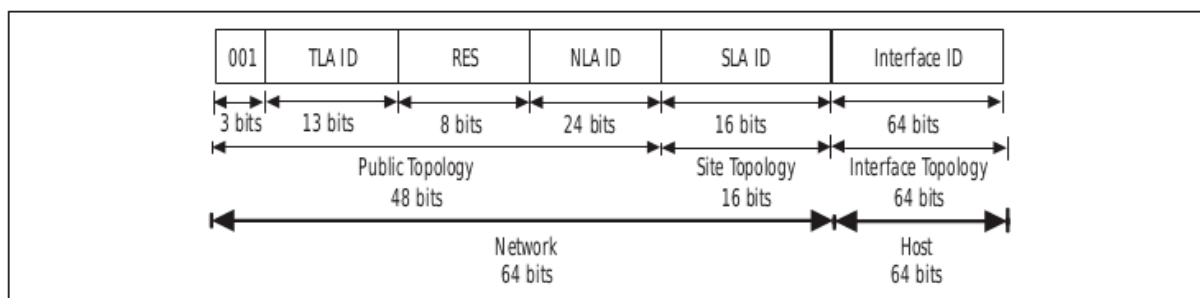
- Δημόσια τοπολογία (publictopology)
- Τοπολογία ενός συγκεκριμένου site (site-topology)
- Interface ID

Η εικόνα X αναπαριστά αυτήν την ιεραρχική δομή.



Σχήμα 2.12-1Ιεραρχική δομή τοπολογίας IPv6GlobalUnicastδιευθύνσεως

Όπως και στο IPv4, έτσι και στο IPv6 μία διεύθυνση αποτελείται από τα bits του δικτύου (network portion) και από τα bits του σταθμού (host portion) Εικόνα. Η χρήση του CIDR (Classless Inter-Domain Routing) διαχωρίζει τα bits του δικτύου από τα bits του σταθμού. Έτσι, για παράδειγμα, η μάσκα /48 αναπαριστά ένα πρόθεμα το οποίο έχει ανατεθεί από την public τοπολογία.



Σχήμα 2.12-2IPv6 πρόθεμα Δικτύου και InterfaceID

2.13 Σύστημα Ονοματοδοσίας IPv6 (IPv6 DNS)

Στο RFC 3596 “DNS Extensions to Support IP version 6” καθορίζονται οι απαραίτητες αλλαγές που πρέπει να πραγματοποιηθούν με στόχο το σύστημα ονοματοδοσίας DNS να υποστηρίξει την ταύτιση ονομάτων τομέα με την αντίστοιχη IPv6 διεύθυνση.Οι επεκτάσεις έχουν σχεδιαστεί

με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι συμβατές με τις τρέχουσες εφαρμογές και τις υλοποιήσεις DNS εξυπηρετητών.

Το RFC 3596 περιγράφει τρεις απαραίτητες αλλαγές που πρέπει να υλοποιηθούν έτσι ώστε να υποστηριχθεί δυνατότητα καταχώρησης IPv6 διευθύνσεων στο DNS

- Καθορίζεται ένα νέο Resource Record το οποίο ονομάζεται AAAA τύπος εγγραφής ώστε να αντιστοιχίζει ονόματα σε 128-bit διευθύνσεις.
- Δημιουργία ενός καινούριου domain “IP6.ARPA” στο οποίο προστίθενται οι IPv6 διευθύνσεις (εάν πρόκειται για reverse lookup, δηλαδή αναζήτηση ονόματος βάση IPv6 διεύθυνσεως).
- Επαναπροσδιορισμός των αιτημάτων DNS (DNS queries) τα οποία επεξεργάζονται το πεδίο Additional Section για να εντοπίσουν IPv6 διευθύνσεις με στόχο την υποστήριξη και του IPv4 και του IPv6 πρωτοκόλλου.

Αυτές οι αλλαγές σχεδιάστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι συμβατές με το υπάρχον λογισμικό. Η τρέχουσα υποστήριξη για τις IPv4 διευθύνσεις διατηρείται. Τα θέματα που αφορούν την μετάβαση είναι σχετικά με την συνύπαρξη των διευθύνσεων και των δύο πρωτοκόλλων στο DNS

2.14 IP6.ARPA Domain

Το IP6.ARPA domain δημιουργήθηκε για την αναζήτηση μιας εγγραφής δεδομένης μιας IPv6 διεύθυνσεως. Ο σκοπός αυτού του domain είναι να παρέχει έναν μηχανισμό ταύτισης μίας IPv6 διεύθυνσης με ένα hostname, παρόλου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλους σκοπούς. Το συγκεκριμένο domain έχει ρίζα το “IP6.ARPA”.

Μία IPv6 διεύθυνση αναπαρίσταται σαν ένα όνομα στο IP6.ARPA domain ως μία ακολουθία δεκαεξαδικών ψηφίων (nibble – hex digit) χωρισμένων με το σύμβολο της τελείας και ακολουθώμενων από το επίθεμα (suffix) “.IP6.ARPA”.

Η ακολουθία των δεκαεξαδικών ψηφίων κωδικοποιείται σε αντίστροφη σειρά. Δηλαδή το τελευταίο ψηφίο της διεύθυνσεως θα είναι πρώτο για την εγγραφή DNS, το πρωτελευταίο θα είναι δεύτερο και ούτω καθ' εξής.

Για παράδειγμα η IPv6 διεύθυνση 2001:648:2302:FCFF::1

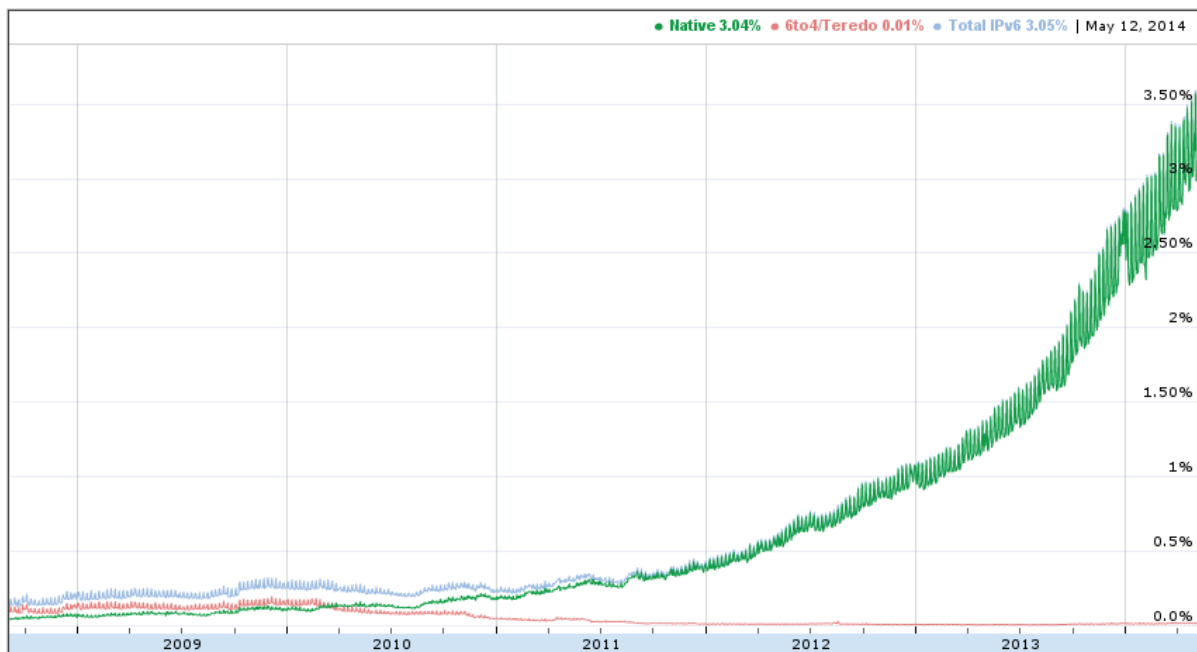
θα καταχωρηθεί σαν εγγραφή στο IP6.ARPA ως:

1.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.F.F.C.F.2.0.3.2.8.4.6.1.0.0.2.IP6.ARPA.

3 Διεθνής Εμπειρία IPv6

Παρόλου που το RFC 2460 “Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification” κλείνει φέτος 16 χρόνια ως draft standard, η υλοποίηση του IPv6 από τους παρόχους και γενικότερα η IPv6 πρόσβαση στο διαδίκτυο είναι ακόμα σχετικά μικρή.

Στην παρακάτω εικόνα αναπαρίσταται το ποσοστό των χρηστών της Google οι οποίοι προσπελαίνουν τις υπηρεσίες της χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο IPv6. Παρατηρούμε ότι το ποσοστό αυτό είναι της τάξεως του 3.5%.



Εικόνα 2.14-1 Ποσοστό IPv6 χρηστών που προσπελαίνουν τις υπηρεσίες της Google

Είναι όμως εξίσου σημαντικό να παρατηρήσει κανείς την εκθετική αύξηση στην IPv6 πρόσβαση που εμφανίζεται τα τελευταία 2 χρόνια. Μερικοί από τους λόγους αυτής της αύξησης παρουσιάζονται στην συνέχεια αυτής της ενότητας.

3.1 Ευρωπαϊκά Έργα Αναπτυξης του IPv6

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται Ευρωπαϊκά έργα τα οποία έχουν συντελέσει στην διάχυση του IPv6.

3.1.1 6INIT: IPv6 Internet Initiative



Το 6INIT είναι έργο του 5ου προγράμματος-πλαισίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης χρηματοδοτούμενο από το πρόγραμμα Information Societies Technologies. Αντικείμενο του έργου είναι να εισαγάγει και να προάγει την εφαρμογή του IPv6 πρωτοκόλλου για την υλοποίηση Multimedia και Security εφαρμογών στην Ευρώπη.

Οι πρωτεύοντες υπηρεσίες τις οποίες πραγματεύεται το έργο είναι:

- Διασύνδεση IPv6 native εφαρμογών
- Διασύνδεση IPv6 native δικτύων.
- Εγκατάσταση τηλεφωνίας και multimedia εφαρμογών
- Κατασκευή IPv6 εφαρμογών (Stock Exchange, Remote Newspaper printing)
- Διασύνδεση IPv6/IPv4 δικτύων

Επίσης οι βασικές εργασίες τις οποίες έπρεπε να διεκπαιρεύσει το έργο ήταν:

- Καθορισμός των λειτουργικών διαδικασιών για IPv6 δίκτυα και για την μετάβαση εφαρμογών από IPv4 σε IPv6.
- Διερεύνηση και έναρξη μίας υπερ-Ευρωπαϊκής λειτουργικής υπηρεσίας μεταγωγής IPv6 πακέτων.
- Παροχή ενός συνόλου multimedia υπηρεσιών πάνω από το IPv6 (IPtelephony, Videoservice κτλ.)
- Προαγωγή της πρόωρης ανάπτυξης IPv6-ready εφαρμογών.
- Υλοποίηση συσκευών πρόσβασης οι οποίες επιτρέπουν διάφανη μετάβαση IPv4-v6.
-

3.1.2 GEN6: Governments Enabled with IPv6



Την 3ή Φεβρουαρίου του 2011 εξαντλήθηκε και η τελευταία περιοχή IPv4 διευθυνσιοδότησης της IANA, ενώ στο χρονικό αυτό σημείο η Ευρώπη δεν είχε την αναμενόμενη πρόοδο στην ανάπτυξη και υλοποίηση του IPv6. Επιφέροντας έτσι τον πιθανό κινδύνο της ασυνέχειας/διακοπής της ανάπτυξης του Internet και της επιχειρηματικής βιωσιμότητας.

Περίοδος Υλοποίησης:

Το GEN6 Project είναι συγχρηματοδοτούμενο έργο από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στόχο του οποίου αποτελεί η ενεργοποίηση του πρωτοκόλλου IPv6 στην υφιστάμενη υποδομή των κυβερνήσεων, των κυβερνητικών δικτύων και των κυβερνητικών υπηρεσιών.

3.1.3 6NET: Large-Scale International IPv6 Pilot Network



Το 6NET ήταν ένα τριετές Ευρωπαϊκό έργο με στόχο να αναδείξει ότι η συνεχώς αυξανόμενη εξάπλωση του Διαδικτύου μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο IPv6. Επιπλέον στόχος ήταν να βοηθήσει την Ευρωπαϊκή Ακαδημία και Βιομηχανία να λάβει έναν ηγετικό ρόλο στην ανάπτυξη δικτυακών τεχνολογιών επόμενης γενεάς.

Το 6NET αφορούσε την συμμετοχή 35 εταιρών από τον επιχειρηματικό και τον ακαδημαϊκό κόσμο και μία συνολική επένδυση ύψους 18 εκατομμυρίων ευρώ, εκ των οποίων τα 11 εκατομμύρια ήταν χρηματοδότηση από το επιχειρησιακό πρόγραμμα Κοινωνία της Πληροφορίας της Infor Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

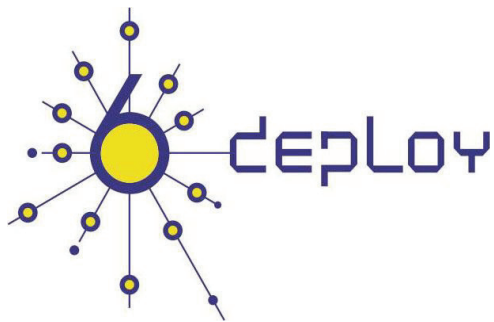
Αντικείμενο του έργου ήταν:

- Η εγκατάσταση και λειτουργία ενός διεθνούς πιλοτικού δικτύου IPv6 με σκοπό την απόκτηση εμπειρίας και την κατανόηση των θεμάτων που αφορούν την υλοποίηση του IPv6.
- Μελέτη των στρατηγικών μετάβασης για την ολοκλήρωση IPv6 δικτύων με την IPv4 υφιστάμενη υποδομή.

- Η εισαγωγή και ο έλεγχος νέων IPv6 υπηρεσιών και εφαρμογών, καθώς και η υποστήριξη των παραδοσιακών υπηρεσιών πάνω στην IPv6 υποδομή.
- Συνεργασία με άλλες δράσεις ανάπτυξης και υλοποίησης του IPv6 καθώς και με οργανισμούς πρωτοποποίησης, προάγοντας έτσι τον ηγετικό ρόλο της Ευρώπης στην θέσπιση νέων δικτυακών τεχνολογιών.
- Η προώθηση και διάχυση της IPv6 τεχνολογίας.

Το 6NET υλοποιήθηκε από 1 Ιανουαρίου 2002 έως 31 Δεκεμβρίου 2004.

3.1.4 6Deploy - IPv6 Deployment and Support



Το 6DEPLOY είναι έργο του εβδόμου προγράμματος-πλαisiού της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στόχος του 6deploy είναι η υποστήριξη της εφαρμογής του IPv6 σε:

- περιβάλλοντα e-Infrastructure
- FP7 projects
- Αναπτυσόμενες χώρες (Αφρική, Λατινική Αμερική, Ασία και Ανατολική Ευρώπη).
- Βιομηχανικά περιβάλλοντα στην Ευρώπη.

Οι εταίροι του έργου παρέχουν βασική εκπαίδευση σε οργανισμούς στην Ευρώπη και τις αναπτυσόμενες χώρες, καθώς επίσης υποστηρίζουν πραγματικές υλοποιήσεις IPv6 δικτύων.

Case-studies από τις υλοποιήσεις θα χρησιμοποιηθούν με σκοπό την απόκτηση πολύτιμης πρακτικής εμπειρίας, η οποία θα βοηθήσει την ομάδα του 6DEPLOY να γίνει το κέντρο της Ευρωπαϊκής εξειδίκευσης σε θέματα που αφορούν την εφαρμογή του IPv6.

Επιπροσθέτως, εγκαθίστανται παγκοσμίως εργαστήρια IPv6 εκπαίδευσης.. Αυτά τα εργαστήρια εγκαθίστανται κάτω από κοινές προδιαγραφές έτσι ώστε εκπαιδευτικό υλικό το 6DEPLOY να μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα αυτά.

Διάρκεια υλοποίησης του έργου ήταν από την 1η Σεπτεμβρίου του 2010 έως την 28η Φεβρουαρίου του 2013.

3.1.5 6DISS: IPv6 Dissemination and Exploitation



Το 6DISS είναι επίσης έργο του εβδομού προγράμματος-πλαisiού της Ευρωπαϊκής ένωσης. Στόχοι του 6DISS είναι:

- Η εγκαθίδρυση ενός κόμβου ανταλλαγής πληροφορίας για τα θέματα που αφορούν την ανάπτυξη του Internet, μεταξύ των πάροχων υπηρεσιών Internet, των πανεπιστημίων, των εμπορικών οργανισμών των κυβερνήσεων και των διάφορων ρυθμιστικών αρχών στις αναπτυσσόμενες χώρες.
- Ανάπτυξη της συνολικής εμπειρίας που αφορά την ανάπτυξη του IPv6 μέσω της ανταλλαγής εμπειριών με την Κίνα και την Ινδία από τις διάφορες υλοποιήσεις,
- Αξιοποίηση της αποκτηθείσας ικανότητας και γνώσης από ICT projects σχετικά με την ανάπτυξη και εξέλιξη του Internet.
- Διάχυση της τεκμηρίωσης των υλοποιήσεων IPv6 και των μεθόδων μετάβασης η οποία παράχθηκε από τα IST projects και βελτίωση αυτής αξιοποιώντας feedback χρηστών.
- Βελτίωση των ευκαιριών συμμετοχής σε Ευρωπαϊκά έργα R&D για τις αναπτυσσόμενες χώρες.
- Υπόστηριξη της ανάπτυξης state-of-the-art υποδομών σε στοχευμένες περιοχές.
- Προαγωγή της Ευρωπαϊκής καινοτομίας στην τεχνολογία, συγκεκριμένα όσον αφορά το πρωτόκολλο IPv6 όπου η Ευρώπη διακατέχει εξέχουσα ανταγωνιστικότητα.
- Πληροφόρηση των συμμετέχοντων σε workshops σχετικά με τα πλέον πρόσφατα standards και θέματα διαλειτουργικότητας (interoperability).

Στα πλαίσια του έργου αναπτύχθηκε συμματρικός όγκος εκπαιδευτικό υλικού και τεκμηρίωσης το οποία είναι διαθέσιμο στον ιστότοπο του έργου καθώς επίσης και εκπαιδευτική πλατφόρμα E-learning (Εικόνα 3.1-1).

Η διάρκεια υλοποίησης του έργου ήταν από 1 Απριλίου 2005 έως 30 Σεπτεμβρίου του 2007.

6DISS IPv6 e-learning

Introduction to the e-learning package

Introduction to IPv6

IPv6 Addressing

The IPv6 Header

IPv6 Basic Services

Security in IPv6

IPv6 Routing, Mobility and Management

- Routing protocols
- Mobility
- Network management

Co-existence with IPv4

Routing Protocols IGP

RIP extended

➔ RIPng

Routing Information Protocol Next-Generation

IPv6 enhancements to RIP

- support for IPv6 addresses
- support for IPv6 prefixes

all-RIP routers

01:59 / 12:50 Subtitles go back play

Εικόνα 3.1-1 Πλατφόρμα εκπαίδευσης IPv6 του έργου 6DISS

4 Το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο

Το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο είναι το εκπαιδευτικό δίκτυο του Υπουργείου Παιδείας & Θρησκευμάτων. Είναι το μεγαλύτερο δημόσιο δίκτυο σε έκταση και πλήθος χρηστών στην Ελλάδα. Αποτελεί ένα κλειστό ενδοδίκτυο (intranet) το οποίο διασυνδέει περισσότερα από 18.000 σχολεία και άλλους δημόσιους φορείς της εκπαίδευσης, Εξυπηρετεί περί τις 180.000 εκπαιδευτικούς και διοικητικούς υπαλλήλους και 1.350.000 μαθητές. Οι υπηρεσίες που παρέχει συνοψίζονται ως:

- Πρόσβαση στο διαδίκτυο με υπηρεσία ελέγχου-περιεχομένου (Content-Filtering) και διαμεσολάβησης ιστού (Web Proxing)
- Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο και Λίστες Ηλεκτρονικής Αλληλογραφίας
- Φιλοξενία ιστοσελίδων (Web-hosting)
- Υποστήριξη χρηστών (Helpdesk)
- Υπηρεσίες τηλεδιάσκεψης και τηλεεκπαίδευσης.
- Υπηρεσίες Video

Η έκταση του δικτύου απλώνεται σε όλη την Ελληνική επικράτεια, με σημεία παρουσίας (PoP – Point of Presence) σε κάθε νομό.

4.1 Δικτυακή Υποδομή Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου

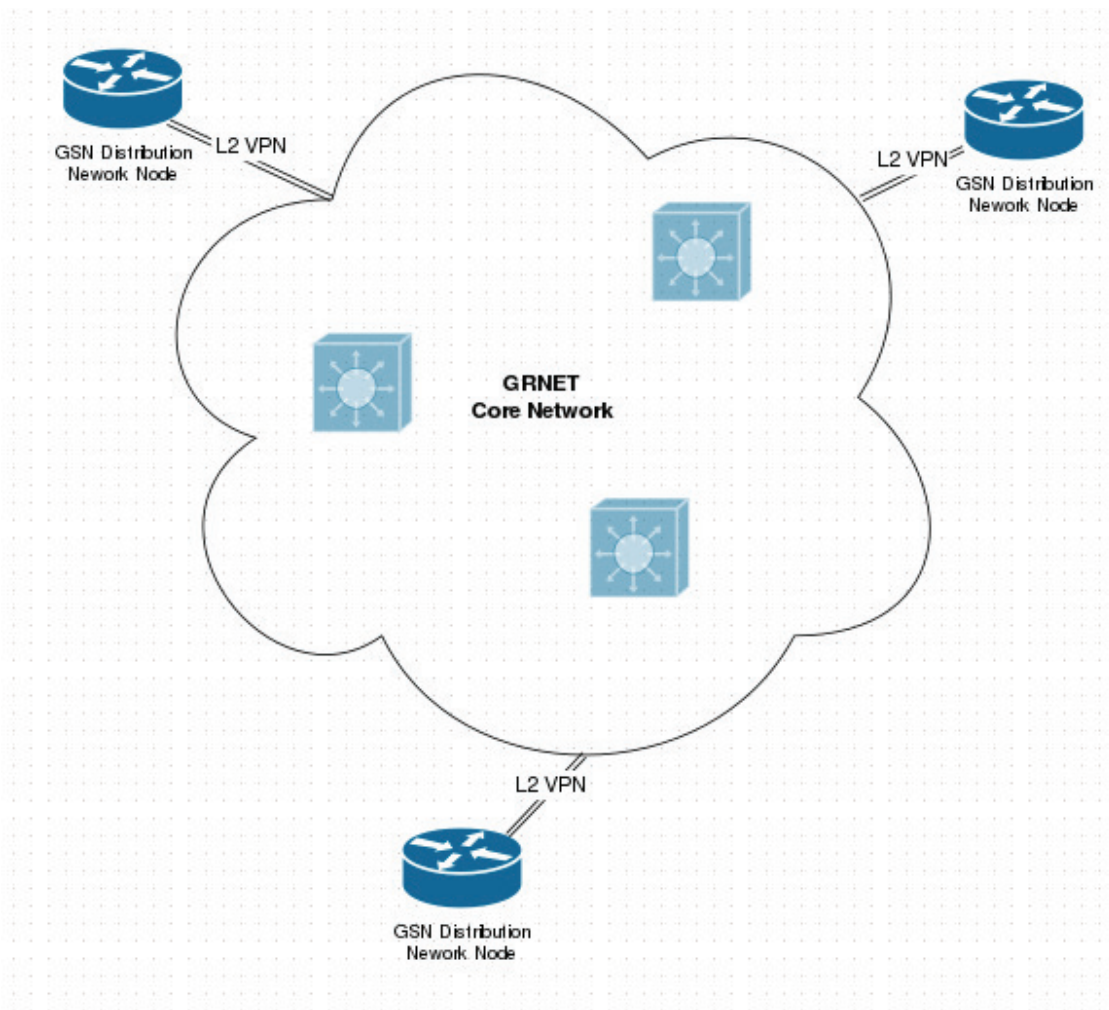
Το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο έχει υιοθετήσει το ιεραρχικό μοντέλο των τριών επιπέδων (3-Layered Model) με σκοπό την κάλυψη των αναγκών διασύνδεσης των πολυπληθών και γεωγραφικά διασκορπισμένων μονάδων του. Συγκεκριμένα, η δομή του δικτύου χωρίζεται στα παρακάτω διακριτά επίπεδα:

4.1.1 Δίκτυο Πυρήνα Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου:

Το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο δεν διαθέτει ιδιόκτητο δίκτυο πυρήνα. Το δίκτυο πυρήνα του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου παρέχεται ως επί το πλείστον από το Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας (ΕΔΕΤ Α.Ε). Χρησιμοποιώντας L2 VPN τεχνολογίες, το ΕΔΕΤ διασυνδέει τους κόμβους του δικτύου διανομής του ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΥ ΣΧΟΛΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ (Εικόνα X).

Επίσης, το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο διασυνδέεται με το Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας (ΕΔΕΤ Α.Ε. - GRNET) και διαμέσου αυτού με το Παν-Ευρωπαϊκό Δίκτυο Έρευνας

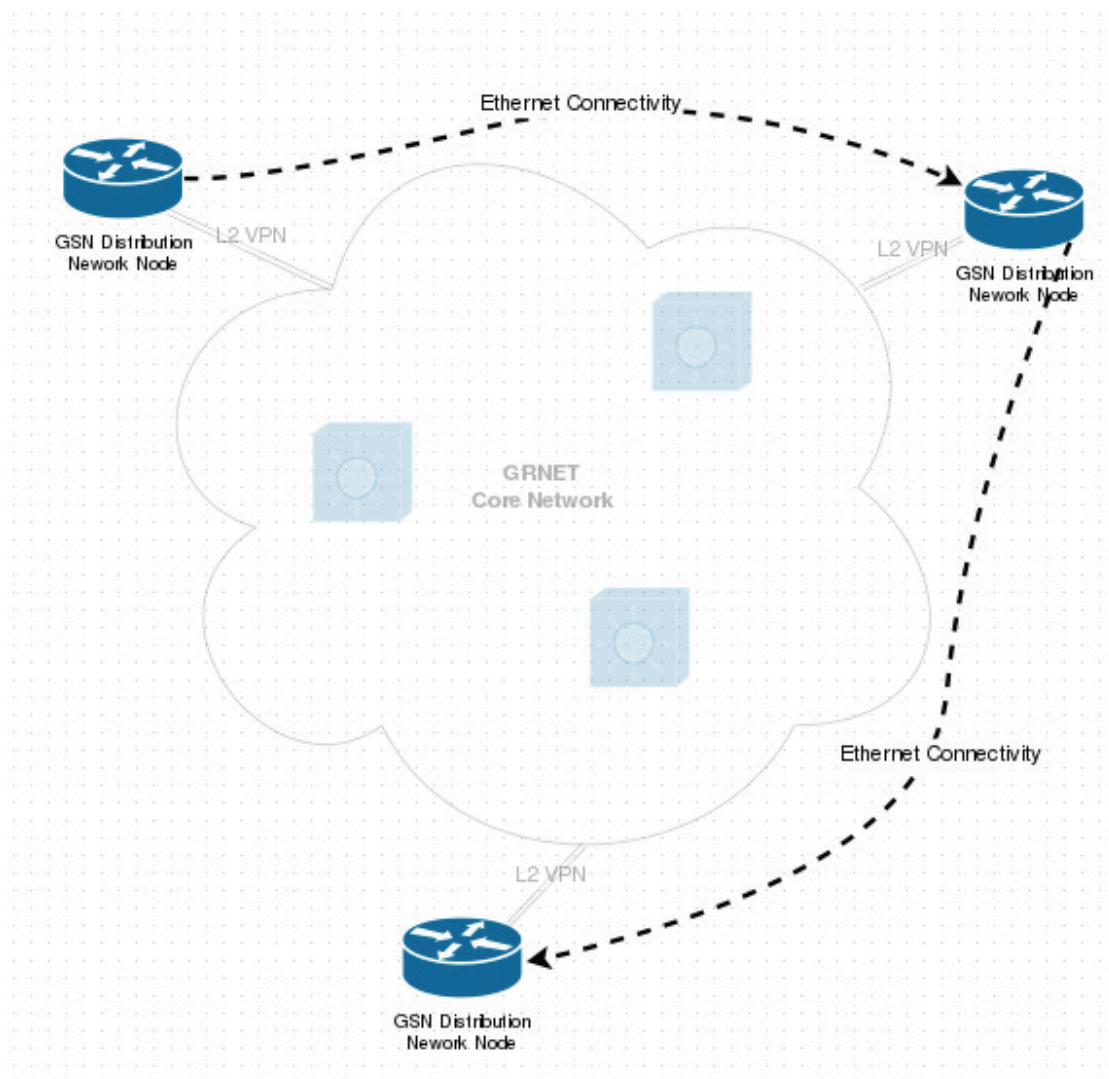
και Εκπαίδευσης GÉANT, το οποία στην συνέχεια παρέχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Επίσης διαμέσου του ΕΔΕΤ, το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο συνδέεται στον κόμβο του GR-IX (Greece Internet Exchange) με σκοπό την ανταλλαγή IP κίνησης με τα υπόλοιπα μέλη (peering members) του GR-IX. Τα οποία μέλη τυπικά είναι Πάροχοι Υπηρεσιών Διαδικτύου (ISPs) ή Δίκτυα Παροχής Περιεχομένου (Content Delivery Networks – CDNs).



Σχήμα 4.1-1 Αρχιτεκτονική Διασύνδεσης Δικτύου Πυρήνα ΠΣΔ

Το δίκτυο πυρήνα του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου είναι δίκτυο επιπέδου μετάδοσης δεδομένων (Layer 2), συνεπώς η περαιτέρω μελέτη του είναι εκτός της σκοπιάς της παρούσας πτυχιακής μιας και το αντικείμενο που πραγματεύεται είναι η εφαρμογή του πρωτοκόλλου IPv6, το οποίο είναι πρωτόκολλο επιπέδου δικτύου (Layer 3).

Από την οπτική που αφορά το επίπεδο δικτύου (Layer 3), συνεπώς και την εφαρμογή του πρωτοκόλλου IPv6, μπορούμε να θεωρήσουμε το δίκτυο πυρήνα του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου και όλη την υποδομή του ΕΔΕΤ σαν ένα μέσο (π.χ. απλά ένα καλώδιο) το οποίο διασυνδέει τους κόμβους του Δικτύου Διανομής του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου (Εικόνα X).



Σχήμα 4.1-2 Αναπαράσταση της διασύνδεσης των κόμβων του Δικτύου Πυρήνα σε Layer 3

Επίσης, το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο διασυνδέεται με το Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας (ΕΔΕΤ Α.Ε. - GRNET) και διαμέσου αυτού με το Παν-Ευρωπαϊκό Δίκτυο Έρευνας και Εκπαίδευσης GÉANT, το οποία στην συνέχεια παρέχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Επίσης διαμέσου του ΕΔΕΤ, το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο συνδέεται στον κόμβο του GR-IX (Greece

Internet Exchange) με σκοπό την ανταλλαγή IP κίνησης με τα υπόλοιπα μέλη (peering members) του GR-IX. Τα οποία μέλη τυπικά είναι Πάροχοι Υπηρεσιών Διαδικτύου (ISPs) ή Δίκτυα Παροχής Περιεχομένου (Content Delivery Networks – CDNs).

4.1.2 Δίκτυο Διανομής Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου:

Το Δίκτυο Διανομής αποτελεί την κύρια δικτυακή υποδομή του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου, η οποία εξυπηρετεί την διασύνδεση των σχολικών και διοικητικών μονάδων της εκπαίδευσης με το δίκτυο πυρήνα και τις υπηρεσίες του ΠΣΔ.

Επιπλέον το δίκτυο διανομής του ΠΣΔ, σε αντίθεση με το δίκτυο πυρήνα, είναι δίκτυο επιπέδου IP. Συνεπώς

Το Δίκτυο Διανομής του ΠΣΔ διακρίνεται σε δύο επίπεδα.. Το πρώτο επίπεδο απαρτίζεται από οκτώ κύριους κόμβους όπως φαίνονται στον πίνακα

#	Κόμβος	Ονοματολογία DNS
1	Αθήνα	br.att.sch.gr
2	Θεσσαλονική	br.thess.sch.gr
3	Λάρισα	br.lar.sch.gr
4	Πάτρα	br.ach.sch.gr
5	Ιοάννινα	br.ioa.sch.gr
6	Ξάνθη	br.xan.sch.gr
7	Σύρος	br.kyk.sch.gr
8	Ηράκλειο	br.ira.sch.gr

Πίνακας 4.1-1 Ονοματολογία DNS κόμβων Δικτύου Διανομής ΠΣΔ 1ου επιπέδου

Η τοπολογία των πρωτεύον κόμβων του δίκτυο διανομής φαίνεται στην εικόνα X.



Σχήμα 4.1-3 Κόμβοι 1ου επιπέδου Δικτύου Διανομής ΠΣΔ

Το δεύτερο επίπεδο αποτελείται από 51 δευτερεύοντες κόμβους, έναν κόμβο σε κάθε νομό της Ελλάδας, όπως φαίνονται στον Πίνακα Χ

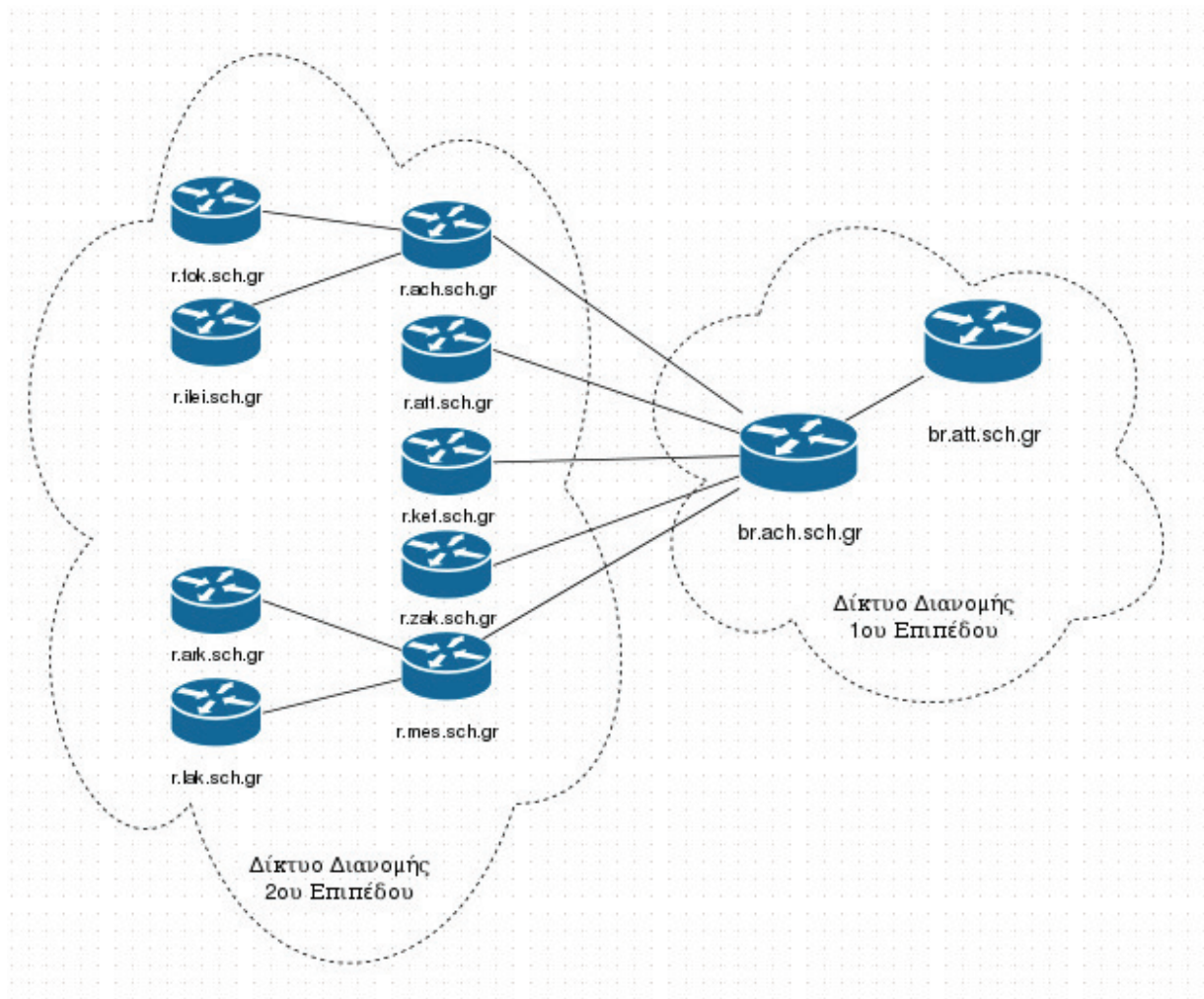
#	Κόμβος	Ονοματολογία DNS
1	Αττικής	r.att.sch.gr
2	Αιτωλοακαρνανίας	r.ait.sch.gr
3	Αργολίδας	r.arg.sch.gr
4	Αρκαδίας	r.ark.sch.gr
5	Άρτας	r.art.sch.gr
6	Αχαΐας	r.ach.sch.gr
7	Βοιωτίας	r.voi.sch.gr
8	Γρεβενών	r.gre.sch.gr
9	Δράμας	r.dra.sch.gr

10	Δωδεκανήσου	r.dod.sch.gr
11	Έβρου	r.evr.sch.gr
12	Εύβοιας	r.eyv.sch.gr
13	Ευρυτανίας	r.eyr.sch.gr
14	Ζακύνθου	r.zak.sch.gr
15	Ηλείας	r.ilei.sch.gr
16	Ημαθίας	r.ima.sch.gr
17	Ηρακλείου	r.ira.sch.gr
18	Θεσπρωτίας	r.thesp.sch.gr
19	Θεσσαλονίκης	r.thess.sch.gr
20	Ιωαννίνων	r.ioa.sch.gr
21	Καβάλας	r.kav.sch.gr
22	Καρδίτσας	r.kar.sch.gr
23	Καστοριάς	r.kas.sch.gr
24	Κέρκυρας	r.ker.sch.gr
25	Κεφαλληνίας	r.kef.sch.gr
26	Κιλκίς	r.kil.sch.gr
27	Κοζάνης	r.koz.sch.gr
28	Κορινθίας	r.kor.sch.gr
29	Κυκλάδων	r.kyk.sch.gr
30	Λακωνίας	r.lak.sch.gr
31	Λάρισας	r.lar.sch.gr
32	Λασιθίου	r.las.sch.gr
33	Λέσβου	r.les.sch.gr
34	Λευκάδας	r.lef.sch.gr
35	Μαγνησίας	r.mag.sch.gr
36	Μεσσηνίας	r.mes.sch.gr
37	Ξάνθης	r.xan.sch.gr
38	Πέλλας	r.pel.sch.gr
39	Πιερίας	r.pie.sch.gr
40	Πρέβεζας	r.pre.sch.gr
41	Ρεθύμνης	r.reth.sch.gr
42	Ροδόπης	r.rod.sch.gr
43	Σάμου	r.sam.sch.gr
44	Σερρών	r.ser.sch.gr

45	Τρικάλων	r.tri.sch.gr
46	Φθιώτιδας	r.fth.sch.gr
47	Φλωρίνας	r.flo.sch.gr
48	Φωκίδας	r.fok.sch.gr
49	Χαλκιδικής	r.chal.sch.gr
50	Χανίων	r.chan.sch.gr
51	Χίου	r.chi.sch.gr

Πίνακας 4.1-2 Ονοματολογία DNS κόμβων Δικτύου Διανομής ΠΣΔ 2^{ου} επιπέδου

Κάθε δευτερεύων κόμβος του δικτύου διανομής, συνδέεται με έναν πρωτεύων κόμβο είτε άμεσα είτε διαμέσου ενός άλλου δευτερεύοντος κόμβου. Στην Εικόνα απεικονίζεται η διασύνδεση των δευτερεύοντων κόμβων με τον πρωτεύον κόμβο BR.ACH.SCH.GR



Σχήμα 4.1-4 Διασύνδεση Δικτύου Διανομής 1^{ου} επιπέδου ΠΣΔ με Δίκτυο Διανομής 2^{ου} επιπέδου

Με παρόμοιο διασυνδέεται κάθε άλλος δρομολογητής δευτέρου επιπέδου του Δικτύου Διανομής με έναν πρωτεύον κόμβο.

4.1.3 Δίκτυο Πρόσβασης ΠΣΔ:

Το δίκτυο πρόσβασης του ΠΣΔ απαρτίζεται από το σύνολο του υλικού (δικτυακού εξοπλισμού, τηλεπικοινωνιακών κυκλωμάτων κτλ.) και των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την διασύνδεση των σχολικών μονάδων στο δίκτυο διανομής.

Λόγω του μεγάλου πλήθους και της γεωγραφικής διασποράς των σχολικών και διοικητικών μονάδων, το δίκτυο πρόσβασης χρησιμοποιεί ποικίλες τεχνολογίες διασύνδεσης. Πιο συγκεκριμένα, κάθε σχολική μονάδα μπορεί να συνδεθεί με μία από τις παρακάτω τεχνολογίες:

- ISDN/Dial Up κυκλώματα με ταχύτητα σύνδεσης 64-128 Kbps
- VDSL κυκλώματα με ταχύτητα σύνδεσης 4-12 Mbps
- ADSL κυκλώματα (μέσω ΟΤΕ) με ταχύτητα σύνδεσης 2-24 Mbps
- Μισθωμένες γραμμές (leased lines) με ταχύτητα σύνδεσης 512 Kbps – 2 Mbps
- Ασύρματες ζεύξεις με ταχύτητα σύνδεσης 11 – 54 Mbps
- Ethernet με ταχύτητα 100 Mbps - 1 Gbps (Διαμέσου των Μητροπολιτικών Δικτύων Οπτικών Ινών του Δημοσίου Τομέα, τα οποία βρίσκονται σε λειτουργία σε αρκετούς Δήμους της επικράτειας)

Το μεγαλύτερο ποσοστό των χρηστών (περίπου στο 95%) του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου διασυνδέεται σε αυτό με την τεχνολογία ADSL. Η υλοποίηση της τεχνολογίας ADSL από το ΠΣΔ έγκειται σε επίπεδο PPP Sessions. Το φυσικό επίπεδο (Physical Layer) και το επίπεδο Συνδέσμου-Μετάδοσης Δεδομένων (Data-Link Layer) της τεχνολογίας ADSL παρέχεται από τον Οργανισμό Τηλεπικοινωνιών Ελλάδος (ΟΤΕ Α.Ε.).

Τελευταία, υπάρχει σημαντική αύξηση των σχολικών μονάδων οι οποίες διασυνδέονται με την τεχνολογία Ethernet, αποκτώντας πρόσβαση υπέρ-υψηλής ταχύτητας και ελαχιστοποιώντας τα λειτουργικά τέλη. Η ενεργοποίηση της τεχνολογίας Ethernet για την διασύνδεση των σχολικών μονάδων είναι αποτέλεσμα των δράσεων Α1 “ και Α10 του έργου “Στηρίζω” του οποίου δικαιούχος φορέας είναι του Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών και Εκδόσεων “Διόφαντος” και συμπράττοντες φορείς διάφορα ακαδημαϊκά ιδρύματα της χώρας. Στις συγκεκριμένες δράσεις αξιοποιούνται οι υποδομές των Μητροπολιτικών Δικτύων Οπτικών Ινών της Προσκήλισεως 93 του Επιχειρησιακού Προγράμματος “Κοινωνία της Πληροφορίας” [αναφορά]

5 Οδικός Χάρτης Εφαρμογής του πρωτοκόλλου IPv6 στο Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο

Η εφαρμογή του πρωτοκόλλου IPv6 στο Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο προτείνεται ακολουθώντας τον παρακάτω οδικό χάρτη:

1. Ανάπτυξη και ενεργοποίηση του κατάλληλου σχήματος αριθμοδότησης IPv6 στο Δίκτυο Διανομής του και στο Δίκτυο Πρόσβασης του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου. Το σχήμα αριθμοδότησης IPv6 θα λαμβάνει μέριμνα για:
 - Την αριθμοδότηση όλων των δισημειακών/πολυσημειακών συνδέσμων, των διευθύνσεων ανατροφοδότησης των δρομολογητών, των υποδικτύων εξυπηρετητών του δικτύου κορμού του ΠΣΔ καθώς επίσης και για μελλοντικές ανάγκες επεκτασιμότητας.
 - Την αριθμοδότηση όλων των μονάδων χρηστών του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου, με τρόπο επαρκή ώστε να καλύψει όλες τις σημερινές αλλά και τις ενδεχομένως μελλοντικές ανάγκες διασύνδεσης.

Επίσης θα πρέπει να σχεδιαστεί με κατάλληλο τρόπο ώστε να επιτρέπει την συνάθροιση διαδρομών με σκοπό την εφαρμογή πολιτικών. Στο πλαίσιο της ενεργοποίησης του πρωτοκόλλου IPv6 στο Δίκτυο Διανομής του ΠΣΔ θα πρέπει να διερευνηθεί η δυνατότητα υποστήριξης του νέου πρωτοκόλλου από τον υφιστάμενο εξοπλισμό και να εφαρμοστούν οι απαραίτητες αναβαθμίσεις υλικού/λογισμικού.

2. Ενεργοποίηση δρομολόγησης IPv6 πρωτοκόλλου εσωτερικών πυλών. Για την ενεργοποίηση της δρομολόγησης IPv6 εσωτερικού πρωτοκόλλου είναι απαραίτητη η κατάλληλη αριθμοδότηση στον πυρήνα του ΠΣΔ. Στην συνέχεια απαιτείται η μελέτη για την επιλογή και ενεργοποίηση του κατάλληλου IGP (Interior Gateway Protocol) πρωτοκόλλου δρομολόγησης στο εσωτερικό του αυτόνομου συστήματος. Με αυτό τον τρόπο το ΠΣΔ θα έχει την δυνατότητα μεταγωγής πακέτων IPv6 ώστε να μπορεί να εξυπηρετήσει τις σχετικές ανάγκες του δικτύου πρόσβασης.
3. Ενεργοποίηση δρομολόγησης IPv6 πρωτοκόλλου εξωτερικών πυλών. Αντίστοιχα πρέπει να ενεργοποιηθεί το εξωτερικό πρωτόκολλο EGP (Exterior Gateway Protocol) για την διασύνδεση του ΠΣΔ και ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης με τους δρομολογητές

του ΕΔΕΤ, ο οποίος είναι ο upstream πάροχος του ΠΣΔ. Με αυτό τον τρόπο το ΠΣΔ θα έχει την δυνατότητα μεταγωγής πακέτων IPv6 ώστε να μπορεί να εξυπηρετήσει τις σχετικές ανάγκες του δικτύου πρόσβασης. Με αυτόν τον τρόπο το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο θα ανακοινώνει τα routes του στον πάροχό του. Ο πάροχος ΕΔΕΤ στην συνέχεια θα δρομολογεί αναλόγως την κίνηση που προορίζεται για το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο.

4. Ενεργοποίηση υπηρεσίας πρόσβασης IPv6 στους δρομολογητές του Δικτύου Διανομής για την διασύνδεση των σχολικών μονάδων διά μέσου των Μητροπολιτικών Δικτύων Οπτικών Ινών. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας θα πρέπει να αναπτυχθούν μηχανισμοί απόδοσης IPv6 προθεμάτων (prefix delegation) στους τελικούς χρήστες του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου καθώς και μηχανισμοί ανακοίνωσης των routes των διασυνδεδεμένων χρηστών.
5. Ενεργοποίηση υπηρεσίας πρόσβασης IPv6 για την διασύνδεση μονάδων μέσω της τεχνολογίας ADSL. Στα πλαίσια της ανάπτυξης IPv6 πρόσβασης για την υπηρεσία ADSL θα πρέπει να αναπτυχθεί ο μηχανισμός πρόσβασης στους ADSL concentrators του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου και η χρήση των κατάλληλων Radius Attributes για την απόδοση IPv6 προθεμάτων και την ανακοίνωση των routes των χρηστών στον συνοριακό δρομολογητή.
6. Διαμόρφωση των κατάλληλων σχημάτων ασφαλείας χρησιμοποιώντας IPv6 Access Control Lists.

Το παραπάνω πλάνο υλοποίησης καλύπτει σε μεγάλο βαθμό τις απαραίτητες ενέργειες για την ενεργοποίηση και λειτουργία του πρωτοκόλλου IPv6 στο Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο. Στόχος είναι να παρέχει έναν οδικό χάρτη και όχι να καλύψει λεπτομερώς κάθε απαιτούμενη ενέργεια για την ενεργοποίηση.

6 Χάραξη Σχήματος Αριθμοδότησης IPv6 για το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το προτεινόμενο σχήμα αριθμοδότησης για το δίκτυο διανομής και το δίκτυο πρόσβασης του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου. Το σχήμα αριθμοδότησης θα πρέπει να λαμβάνει μέριμνα για τις απόδοση διευθύνσεων στον δικτυακό εξοπλισμό του

Δικτύου Διανομής και στις φιλοξενούμενες σε αυτό υπηρεσίες, καθώς επίσης θα πρέπει να αριθμοδοτεί τους διασυνδεδεμένους χρήστες.

Ο συνολικός IPv6 δημόσιος χώρος που έχει αποδοθεί στο Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο αποτελείται από ένα IPv6 πρόθεμα μήκους /48 για την αριθμοδότηση του Δικτύου Διανομής και ένα δεύτερο IPv6 πρόθεμα μήκους /40 για την αριθμοδότηση των χρηστών του Δικτύου Πρόσβασης, όπως αυτά συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα

Συνολικός Δημόσιος Χώρος IPv6 ΠΣΔ	
2001:648:3400::/40	Δίκτυο Πρόσβασης
2001:648:2302::/48	Δίκτυο Διανομής

Αυτός ο χώρος θα πρέπει να διαιρεθεί και να αποδοθεί με κατάλληλο τρόπο, έτσι ώστε να επιτρέπει:

- **Την εύκολη διαχείριση του δικτύου:** Το σχήμα αριθμοδότησης θα πρέπει να είναι όσον το δυνατό απλό και κατανοητό.
- **Την δυνατότητα εφαρμογής πολιτικών πρόσβασης και ασφαλείας:** Απαιτούνται διαφορετικές πολιτικές ασφαλείας για κάθε τύπου διασυνδεδεμένου χρήστη. Για παράδειγμα, θα πρέπει να εφαρμόσουμε διαφορετική πολιτική πρόσβασης για μία διασυνδεδεμένη μονάδα της κατηγορίας πρωτοβάθμια από ότι για μία διασυνδεδεμένη μονάδα της κατηγορίας δομητική.
- **Την αποτελεσματική δρομολόγηση των IPv6 προθεμάτων:** Θα πρέπει το σχήμα αριθμοδότησης να σχεδιαστεί έτσι ώστε οι δρομολόγηση του να διατηρεί τους πίνακες δρομολόγησης όσον το δυνατό μικρότερους.
- **Την δυνατότητα επεκτασιμότητας του δικτύου:** Θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα για τις μελλοντικές ανάγκες διασύνδεσης. Για παράδειγμα ενδέχεται μελλοντικά η ανάγκες μίας μονάδας να μην περιορίζονται στην αριθμοδότηση ενός μόνο LAN σταθμών εργασίας.

Στην συνέχεια του κεφαλαίου προτείνονται σχήματα αριθμοδότησης για το Δίκτυο Πρόσβασης και το Δίκτυο Διανομής

Παρατηρήσεις: Τα ακόλουθα σχήματα χάραξης της αριθμοδότησης αποτελούν προτάσεις. Υπάρχουν πάρα πολύ τρόποι και πιθανοί συνδιασμοί απόδοσης του εύρους διευθύνσεων. Οι ακόλουθες

6.1 Σχήμα Αριθμοδότησης Δικτύου Διανομής ΠΣΔ

Από το πρόθεμα /48 το οποίο έχει αποδοθεί για το Δίκτυο Διανομής του ΠΣΔ θα πρέπει να αριθμοδοτηθούν:

- Διευθύνσεις ανατροφοδότησης (Loopback Addresses)
- Συνδέσμοι (Point-to-Point Links)
- LAN εξυπηρετητών υπηρεσιών ΠΣΔ

6.1.1 Αριθμόδοτηση Loopback IPv6 Addresses Δρομολογητών Δικτύου Διανομής

Για την αριθμοδότηση των Loopback διευθύνσεων των δρομολογητών του Δικτύου Διανομής θα χρησιμοποιηθεί το πρώτο πρόθεμα μήκους /64 από το συνολικό πρόθεμα μήκους /48. Δηλαδή το:

2001:648:2302::/64

Η αριθμοδότηση των Loopback διευθύνσεων των δρομολογητών του 1ου επιπέδου του Δικτύου Διανομής θα γίνει σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα:

Prefix	Interface ID
2001:648:2302:0:	0:0:0:<XX>00 /128

2001:648:2302::<XX>00/128

Όπου:

<XX>= 8 bit τα οποία θα χαρακτηρίζουν τον κόμβο 1ου επιπέδου του Δικτύου Διανομής, το παρόν σχήμα επιτρέπει τον χαρακτηρισμό μέχρι 256 κόμβων 1ού επιπέδου.

Έτσι με αυτό σχήμα οι loopbackδιευθύνσεις των δρομολογητών πρώτου επιπέδου θα είναι

Δρομολογητής 1ου Επιπέδου	IPv6 Loopback
BR.ATT.SCH.GR (Αθήνα)	2001:648:2302::100/128

BR.KYK.SCH.GR (Κυκλάδες)	2001:648:2302::200/128
BR.ACH.SCH.GR (Πάτρα)	2001:648:2302::300/128
BR.IRA.SCH.GR (Ιράκλειο)	2001:648:2302::400/128
BR.IOA.SCH.GR (Ιωάννινα)	2001:648:2302::500/128
BR.THESS.SCH.GR (Θεσσαλονική)	2001:648:2302::600/128
BR.LAR.SCH.GR (Λάρισα)	2001:648:2302::700/128
BR.XAN.SCH.GR (Ξάνθη)	2001:648:2302::800/128

Πίνακας 6.1-1 Αριθμοδότηση Loopbackδιευθύνσεων κόμβων Δικτύου Διανομής 1^{ου} επιπέδου ΠΣΔ

Και το αντίστοιχο αριθμοδότηση για τους δρομολογητές του 2^{ου} επιπέδου θα γίνει σύμφωνα με το σχήμα:

Prefix	Interface ID
2001:648:2302:0:	0:0:0:<XX><Y Y> /128

2001:648:2302::<XX><YY>/128

Όπου:

<XX> = 8 bit τα οποία θα χαρακτηρίζουν τον κόμβο 1ου επιπέδου του Δικτύου Διανομής

<YY> = 8 bit τα οποία θα χαρακτηρίζουν τον κόμβο 2ου επιπέδου του Δικτύου Διανομής, το παρόν σχήμα επιτρέπει την αριθμοδότηση 256 κόμβων δευτέρου επιπέδου για κάθε έναν κόμβο πρώτου επιπέδου.

Δρομολογητής 1ου Επιπέδου	Δρομολογητής 2ου Επιπέδου	IPv6 Loopback
BR.ATT.SCH.GR (Αθήνα)		2001:648:2302::100/128
	R.ATT.SCH.GR (Αθήνα)	2001:648:2302::101/128
	R.EYV.SCH.GR (Χαλκίδα)	2001:648:2302::102/128
	R.VOI.SCH.GR (Θήβα)	2001:648:2302::103/128

Ακολουθεί ο πλήρης προτεινόμενος πίνακας αριθμοδότησης Loopbackτου Δικτύου Διανομής.

Δρομολογητής 1ου Επιπέδου	Δρομολογητής 2ου Επιπέδου	IPv6 Loopback
---------------------------	---------------------------	---------------

BR.ATT.SCH.GR (Αθήνα)	2001:648:2302::100/128
R.ATT.SCH.GR (Αθήνα)	2001:648:2302::101/128
R.EYV.SCH.GR (Χαλκίδα)	2001:648:2302::102/128
R.VOI.SCH.GR (Θήβα)	2001:648:2302::103/128
BR.KYK.SCH.GR (Κυκλάδες)	2001:648:2303::200/128
R.KYK.SCH.GR (Σύρος)	2001:648:2303::201/128
R.CHI.SCH.GR (Χίος)	2001:648:2303::202/128
R.DOD.SCH.GR (Ρόδος)	2001:648:2303::203/128
R.LES.SCH.GR (Λέσβος)	2001:648:2303::204/128
R.SAM.SCH.GR (Σάμος)	2001:648:2303::205/128
BR.ACH.SCH.GR (Πάτρα)	2001:648:2302::300/128
R.ACH.SCH.GR (Πάτρα)	2001:648:2302::301/128
R.KOR.SCH.GR (Κόρινθος)	2001:648:2302::302/128
R.MES.SCH.GR (Καλαμάτα)	2001:648:2302::303/128
R.ARK.SCH.GR (Τρίπολη)	2001:648:2302::304/128
R.LAK.SCH.GR (Σπάρτη)	2001:648:2302::305/128
R.AIT.SCH.GR (Αγρίνιο)	2001:648:2302::306/128
R.ZAK.SCH.GR (Ζάκυνθος)	2001:648:2302::307/128
R.KEF.SCH.GR (Κεφαλονιά)	2001:648:2302::308/128
R.FOK.SCH.GR (Άμφισσα)	2001:648:2302::309/128
R.ARG.SCH.GR (Άργος)	2001:648:2302::310/128
R.ILEI.SCH.GR (Πύργος)	2001:648:2302::312/128
BR.IRA.SCH.GR (Ιράκλειο)	2001:648:2302::400/128
R.IRA.SCH.GR (Ηράκλειο)	2001:648:2302::401/128
R.LAS.SCH.GR (Λασίθι)	2001:648:2302::402/128
R.CHAN.SCH.GR (Χανιά)	2001:648:2302::403/128
R.RETH.SCH.GR (Ρέθυμνο)	2001:648:2302::404/128
BR.IOA.SCH.GR (Ιωάννινα)	2001:648:2302::500/128

R.IOA.SCH.GR (Ιωάννινα)	2001:648:2302::501/128
R.PRE.SCH.GR (Πρέβεζα)	2001:648:2302::502/128
R.ART.SCH.GR (Άρτα)	2001:648:2302::503/128
R.THESP.SCH.GR (Ηγουμενίτσα)	2001:648:2302::504/128
R.KER.SCH.GR (Κέρκυρα)	2001:648:2302::505/128
BR.THESS.SCH.GR (Θεσ/νίκη)	2001:648:2302::600/128
R.THESS.SCH.GR (Θεσ/νίκη)	2001:648:2302::601/128
R.KAV.SCH.GR (Καβάλα)	2001:648:2302::602/128
R.DRA.SCH.GR (Δράμα)	2001:648:2302::603/128
R.SER.SCH.GR (Σέρρες)	2001:648:2302::604/128
R.KOZ.SCH.GR (Κοζάνη)	2001:648:2302::605/128
R.PEL.SCH.GR (Πέλλα)	2001:648:2302::606/128
R.CHAL.SCH.GR (Χαλκιδική)	2001:648:2302::607/128
R.PIE.SCH.GR (Αικατερίνη)	2001:648:2302::608/128
R.IMA.SCH.GR (Βέροια)	2001:648:2302::609/128
R.KIL.SCH.GR (Κιλκίς)	2001:648:2302::610/128
R.FLO.SCH.GR (Φλώρινα)	2001:648:2302::611/128
R.GRE.SCH.GR (Γρεβενά)	2001:648:2302::612/128
BR.LAR.SCH.GR (Λάρισα)	2001:648:2302::700/128
R.LAR.SCH.GR (Λάρισα)	2001:648:2302::701/128
R.MAG.SCH.GR (Βόλος)	2001:648:2302::702/128
R.FTH.SCH.GR (Λαμία)	2001:648:2302::703/128
R.KAR.SCH.GR (Καρδίτσα)	2001:648:2302::704/128
R.TRI.SCH.GR (Τρίκαλα)	2001:648:2302::705/128
R.EYR.SCH.GR (Καρπενήσι)	2001:648:2302::706/128
BR.XAN.SCH.GR (Ξάνθη)	2001:648:2302::800/128
R.XAN.SCH.GR (Ξάνθη)	2001:648:2302::801/128
R.ROD.SCH.GR (Κομοτηνή)	2001:648:2302::802/128

Πίνακας 6.1-2 Αριθμοδότηση LoopbackInterface του Δικτύου Διανομής

6.1.2 Αριθμόδοτηση LAN και Point-to-Point συνδέσεων

Το πρόθεμα μήκους /48 παρέχει 65536 προθέματα μήκους /64. Θα αποδώσουμε το εύρος διευθύνσεων με την παρακάτω μεθοδολογία:

- Αποδίδουμε /52 στην περιοχή που ορίζει ο κάθε πρωτεύον δρομολογητής του Δικτύου Διανομής του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου.
- Αποδίδουμε /56 σε κάθε δρομολογητή του Δικτύου Διανομής
- Αριθμοδοτούμε όλες τις διευθύνσεις ανατροφοδότης (Loopback) από ένα /64 πρόθεμα. Αποδίδουμε μία διεύθυνση μήκους /128 για κάθε loopback.
- Δεσμεύουμε ένα /64 για κάθε point-to-point σύνδεσμο. Αριθμοδοτούμε κάθε interface του point-to-point συνδέσμου με πρόθεμα /127.
- Αποδίδουμε ένα /64 σε κάθε LAN.

Το σχήμα που θα εφορμόσουμε θα είναι το εξής:

2001:648:2302: **X Y Z Z** ::

Όπου:

- Το X θα δηλώνει την περιοχή που ορίζει κάθε ένας από τους 8 πρωτεύοντες κόμβους του Δικτύου Διανομής του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου.
 - Δεσμεύουμε το X = 0 για την περιοχή NOC (εύρος διευθύνσεων για τις ανάγκες διαχείρισης δικτύου) από όπου αποδίδουμε το πρώτο /64 για τις loopback διευθύνσεις των δρομολογητών του Δικτύου Διανομής.
 - Δεσμεύουμε το X = F για την αριθμοδότηση των υπηρεσιών του Δικτύου Διανομής. Συνολικά προσφέρονται 4096 υποδίκτυα /64 για υπηρεσίες

- Το Y θα δηλώνει τον δρομολογητή του Δικτύου Διανομής της κάθε X περιοχής. Το Y = 0 θα αποδίδεται στον δρομολογητή πρώτου επιπέδου της περιοχής.
- Το Z Z θα δηλώνει τα /64 links και LANs για κάθε δρομολογητή του Δικτύου Διανομής
 - Το ZZ είναι LAN για Z Z από 0 0 έως 0 F
 - Το ZZ είναι Link για Z Z από 1 0 έως FF

Το σχήμα αυτό επιτρέπει συνολικά:

Κατηγορία	Πλήθος
Περιοχές	16
Δρομολογητές ανά περιοχή	16
Links Ανά δρομολογητή	250
LANs ανά δρομολογητή	16
LANs για την φιλοξενία των υπηρεσιών του ΠΣΔ	4096

Πίνακας 6.1-3 Ποσοτικοί δίκτες σχήματος απόδοσης προθέματος του Δικτύου Διανομής

Ακολουθούν ενδεικτικά παραδείγματα για την αριθμοδότηση των περιοχών, των δρομολογητών, των LANs και των Links σύμφωνα με την παραπάνω πρόταση.

Απόδοση προθέματος /52 ανά περιοχή

Σύμφωνα λοιπόν με αυτό το σχήμα η κάθε περιοχή θα αριθμοδοτηθεί όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Περιοχή πρωτεύον κόμβου	/52
NOC	2001:648:2302:0::
BR.ATT.SCH.GR	2001:648:2302:1::
BR.KYK.SCH.GR	2001:648:2302:2::
BR.ACH.SCH.GR	2001:648:2302:3::
BR.IRA.SCH.GR	2001:648:2302:4::
BR.IOA.SCH.GR	2001:648:2302:5::
BR.THESS.SCH.GR	2001:648:2302:6::
BR.LAR.SCH.GR	2001:648:2302:7::

BR.XAN.SCH.GR	2001:648:2302:8::
--	2001:648:2302:9::
--	2001:648:2302:A::
--	2001:648:2302:B::
--	2001:648:2302:C::
--	2001:648:2302:D::
--	2001:648:2302:E::
Υπηρεσίες ΠΣΔ	2001:648:2302:F::

Πίνακας 6.1-4 Απόδοση /52 IPv6 προθεμάτων ανά περιοχή

Απόδοση προθέματος /56 ανά δρομολογητή

Κάθε δρομολογητής θα λάβει ένα πρόθεμα /56 από τον συνολικό χώρο /52 της εκάστοτε περιοχής. Ενδεικτικά παρατείθεται η απόδοση IPv6 προθέματος για τους δρομολογητές της περιοχής του BR.ATT.SCH.GR στον παρακάτω πίνακα.

Περιοχή πρωτεύον κόμβου	Δρομολογητής	/56
BR.ATT.SCH.GR	BR.ATT.SCH.GR	2001:648:2302:10::/56
2001:648:2302:11::/52	R.ATT.SCH.GR	2001:648:2302:11::/56
	R.EYV.SCH.GR	2001:648:2302:12::/56
	R.VOI.SCH.GR	2001:648:2302:13::/56

Πίνακας 6.1-5 Ενδεικτικός πίνακας απόδοσης /56 IPv6 προθέματος ανά κόμβο του Δικτύου Διανομής του ΠΣΔ

Αριθμοδότηση LANs δρομολογητή

Αριθμοδοτούνται ενδεικτικά τα LANs του BR.ATT.SCH.GR όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Κομβος	/56	/64 LAN Prefix	LAN
BR.ATT.SCH.GR	2001:648:2302:10	2001:648:2302:1000::/64	LAN 1

	2001:648:2302:1001::/64	LAN 2
	2001:648:2302:1002::/64	LAN 3
	2001:648:2302:1003::/64	LAN 4
	--	--
	2001:648:2302:100F::/64	LAN 16

Πίνακας 6.1-6 Ενδεικτικός πίνακας αριθμοδότησης /64 LANs

Ομοίως αριθμοδοτούνται τα LANs όλων των άλλων δρομολογητών. Για παράδειγμα το 4^ο LAN του BR.IOA.SCH.GR θα φέρει το πρόθεμα 2001:648:2302:5003.

Αριθμοδότηση Point-toPoint Links δρομολογητή

Αριθμοδοτούνται ενδεικτικά τα Links του BR.ATT.SCH.GR, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα

Link	/64 LAN Prefix	Link Local Address	Link Remote Address
Link 1	2001:648:2302:1010::/64	2001:648:2302:1010::0/127	2001:648:2302:1010::1/127
Link 2	2001:648:2302:1011::/64	2001:648:2302:1011::0/127	2001:648:2302:1011::1/127
Link 3	2001:648:2302:1012::/64	2001:648:2302:1012::0/127	2001:648:2302:1012::1/127
Link 4	2001:648:2302:1013::/64	2001:648:2302:1013::0/127	2001:648:2302:1013::1/127
--	--	2001:648:2302:10---:0/127	2001:648:2302:10---:1/127
Link 250	2001:648:2302:10FF::/64	2001:648:2302:10FF::0/127	2001:648:2302:10FF::1/127

Πίνακας 6.1-7 Ενδεικτικός Πίνακας αριθμοδότησης /64 ανά point-to-point link

6.1.3 Ενεργοποίηση του σχήματος αριθμοδότησης του Δικτύου Διανομής για Cisco Δρομολογητές

Στην παράγραφο αυτή δίνονται οδηγίες ενεργοποίησης και ελέγχου του σχήματος αριθμοδότησης σε δρομολογητές της κατασκευάστριας εταιρίας Cisco.

6.1.3.1 Ενεργοποίηση Loopback Διευθύνσεων

Η τυπική διαδικασία για την ενεργοποίηση των Loopback διευθύνσεων για Cisco δρομολογητές δίνεται με τα βήματα του παρακάτω πίνακα. Θα δοθεί ενδεικτικά η διαδικασία ενεργοποίησης της IPv6 loopback διευθύνσεως για τον δρομολογητή br.att.sch.gr

Εντολή Router Cisco	Περιγραφή λειτουργίας
<i>br.att.sch.gr>enable</i>	Μπαίνουμε σε privileged mode
<i>br.att.sch.gr#config terminal</i>	Μπαίνουμε σε global configuration mode
<i>br.att.sch.gr(config)#int loopback 0</i>	Σε global configuration mode, δημιουργούμε το interface loopback 0
<i>br.att.sch.gr(config-if)#ipv6 enable</i>	Ενεργοποιούμε το IPv6 στο interface loopback 0. Αυτή η εντολή θα αποδώσει αυτόματα μία Link-Local IPv6 διεύθυνση στο interface loopback 0.
<i>br.att.sch.gr(config-if)#ipv6 address 2001:648:2302::100/128</i>	Αναθέτουμε την IPv6 διεύθυνση 2001:648:2302::100/128 στο interface loopback 0.
<i>br.att.sch.gr(config-if)#exit</i>	Έξοδος από interface configuration mode.
<i>br.att.sch.gr(config)#exit</i>	Έξοδος από global configuration mode

Μπορούμε να δούμε τώρα την διάρθρωση του δρομολογητή για το interface loopback 0 με την εντολή: **show running-config interface loopback 0**

```
r.att.sch.gr#show ipv6 interface loopback 0
Loopback0 is up, line protocol is up
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::290:21FF:FE03:D935
No Virtual link-local address(es):
Global unicast address(es):
  2001:648:2302::100, subnet is 2001:648:2302::100/128
Joined group address(es):
  FF02::1
```



```
FF02::1:FF00:100
FF02::1:FF03:D935
MTU is 1500 bytes
ICMP error messages limited to one every 100 milliseconds
ICMP redirects are enabled
ICMP unreachable are sent
ND DAD is not supported
ND reachable time is 30000 milliseconds
Hosts use stateless autoconfig for addresses.
```

Μπορούμε να δούμε αναλυτικά τις πληροφορίες για IPv6 `interfaceloopback 0` δίνοντας σε `priviledgedmode` την εντολή: **showipv6 interfaceloopback 0**

```
br.att.sch.gr#show ipv6 interface brief
GigabitEthernet0/0    [administratively down/down]
GigabitEthernet0/1    [administratively down/down]
GigabitEthernet0/2    [administratively down/down]
Loopback0             [up/up]
FE80::290:21FF:FE03:D935
    2001:648:2302::100
Vlan1                 [administratively down/down]
```

Επίσης μπορούμε να δούμε συνολικά τα IPv6 interfaces δίνοντας σε `priviledgedmode` την εντολή: **showipv6 interfacebrief**

```
br.att.sch.gr#show ipv6 interface brief
GigabitEthernet0/0    [administratively down/down]
GigabitEthernet0/1    [administratively down/down]
GigabitEthernet0/2    [administratively down/down]
Loopback0             [up/up]
FE80::290:21FF:FE03:D935
```

2001:648:2302::100

Vlan1 [administratively down/down]

Ομοίως ενεργοποιούμε την loopbackIPv6 διεύθυνση για όλους τους υπόλοιπους δρομολογητές του δικτύου διανομής.

6.1.3.2 Ενεργοποίηση Point-to-Point διευθύνσεων

Οι Point-to-Point διευθύνσεων πραγματοποιείται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο όπως για τις Loopback. Απλά πρέπει να επιλεγθεί το αντίστοιχο interface του δρομολογητή. Για παράδειγμα για να αριθμοδοτηθεί το Point-to-Point Link από το interface GigabitEthernet 0/0 του BR.ATT.SCH.GR στο interface GigabitEthernet 0/0 του BR.ACH.SCH.GR οι εντολές είναι:

Εντολή Router Cisco	Περιγραφή λειτουργίας
<i>br.att.sch.gr>enable</i>	Είσοδος σε privileged mode
<i>br.att.sch.gr#config terminal</i>	Είσοδος σε global configuration mode
<i>br.att.sch.gr(config)#int gigabitEthernet 0/0</i>	Είσοδος σε interface configuration mode
<i>br.att.sch.gr(config-if)#no shut</i>	Ενεργοποίηση φυσικού interface
<i>br.att.sch.gr(config-if)#ipv6 enable</i>	Ενεργοποίηση IPv6 στο interface
<i>br.att.sch.gr(config-if)#ipv6 address 2001:648:2302:1010::0/127</i>	Απόδοση global unicast διεύθυνσης στο interface
<i>br.att.sch.gr(config-if)#exit</i>	Έξοδος από interface configuration mode
<i>br.att.sch.gr(config)#exit</i>	Έξοδος από global configuration mode

Ακριβώς η ίδια διαδικασία εκτελείται και στον BR.ACH.SCH.GR αλλά αντικαθιστώντας την IPv6 διεύθυνση *2001:648:2302:1010::0/127* με *2001:648:2302:1010::1/127*.

Επιβεβαιώνεται η διάρθρωση του Interface GigabitEthernet 0/0 με την εντολή:
`show running config int GigabitEthernet 0/0:`

```

BR.ATT.SCH.GR#show running-config interface FastEthernet 0/0
Building configuration...
!
interface GigabitEthernet0/0
no ip address
duplex auto
speed auto
ipv6 address 2001:648:2302:1010::/127
ipv6 enable
end

BR.ATT.SCH.GR#

```

6.1.3.3 Ενεργοποίηση των LAN διευθύνσεων

Για την ενεργοποίηση των LAN διευθύνσεων ακολουθείται ακριβώς η ίδια διαδικασία με την παράγραφο 6.1.3.2 με την μόνη διαφορά ότι το πρόθεμα της IPv6 διευθύνσεως που ανατίθεται στο interface του LAN έχει μήκος /64.

Η ενεργοποίηση του LAN επιτρέπει την αυτόματη παραμετροποίηση του interface και των σταθμών με την μέθοδο EUI-64.

Για παράδειγμα, για την ενεργοποίηση του πρώτου /64 LAN του BR.ATT.SCH.GR στο interface GigabitEthernet 1/0, εκτελείται:

<i>Εντολή Router Cisco</i>	<i>Περιγραφή λειτουργίας</i>
<i>br.att.sch.gr>enable</i>	Είσοδος σε privileged mode
<i>br.att.sch.gr#config terminal</i>	Είσοδος σε global configuration mode
<i>br.att.sch.gr(config)#int gigabit Ethernet 1/0</i>	Είσοδος σε interface configuration mode
<i>br.att.sch.gr(config-if)#no shut</i>	Ενεργοποίηση φυσικού interface
<i>br.att.sch.gr(config-if)#ipv6 enable</i>	Ενεργοποίηση IPv6 στο interface

<i>br.att.sch.gr(config-if)#ipv6 address</i> <i>2001:648:2302:1::64 eui-64</i>	Ενεργοποίηση του EUI-64
<i>br.att.sch.gr(config-if)#exit</i>	Έξοδος από interface configuration mode
<i>br.att.sch.gr(config)#exit</i>	Έξοδος από global configuration mode

```
BR.ATT.SCH.GR#show running-config interface FastEthernet 0/0
Building configuration...
!
interface GigabitEthernet1/0
no ip address
duplex auto
speed auto
ipv6 address 2001:648:2302:1::/64 eui-64
ipv6 enable
end

BR.ATT.SCH.GR#
```

6.2 Σχήμα αριθμοδότησης του Δικτύου Πρόσβαση

Για την αριθμοδότηση του Δικτύου Πρόσβασης, σύμφωνα με τις τρέχουσες καλύτερες πρακτικές προτείνεται η απόδοση σε κάθε μονάδα του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου πρόθεμα μήκους /56. Με αυτόν τον τρόπο το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο μπορεί να αριθμοδοτήσει 65536 μονάδες και κάθε μονάδα θα μπορεί να αριθμοδοτήσει 256 υποδίκτυα μήκους /64.

Συνολικός Χώρος ΠΣΔ IPv6	2001:648:3400::/40
Πλήθος /56 για αριθμοδότηση μονάδων	65536
Πλήθος /64 που αντιστοιχούν σε κάθε μονάδα για αριθμοδότηση LAN	256

Πίνακας 6.2-1 Διαθέσιμα /56 προθέματα από τον συνολικό χώρο ΠΣΔ

Το παρόν σχήμα υπερκαλύπτει τις ανάγκες του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου εάν αναλογιστούμε ότι οι μονάδες που εξυπηρετεί είναι περί τις 18000 και σήμερα, στην IPv4 υλοποίηση, διατίθεται σε κάθε μονάδα ένα πρόθεμα μήκους /30 (4 δημόσιες διευθύνσεις).

Σε περίπτωση που μία μονάδα διαθέτει περισσότερους του ενός λογαριασμούς χρηστών τότε προτείνεται η διαίρεση του /56 ανά λογαριασμό.

Για παράδειγμα, αν υποθέσουμε ότι σε μία μονάδα έχει αποδοθεί το πρόθεμα 2001:648:3400:00::/56 και η μονάδα έχει 2 λογαριασμούς χρηστών σύνδεσης, τότε η απόδοση ανά λογαριασμό έχει όπως φαίνεται ακαλούθως:

Συνολικός χώρος μονάδας	Πρόθεμα ανά λογαριασμό	/64 ανά λογαριασμό	
2001:648:3400:00::/56	2001:648:3400:0000::/57	128	Λογαριασμός Χρήστη 1
	2001:648:3400:0080::/57	128	Λογαριασμός Χρήστη 2

Για τον Λογαριασμό Χρήστη 1 το εύρος προθεμάτων /64 θα είναι από 2001:648:3400:0000::/64 έως 2001:648:3400:007F::/64, ενώ για τον Λογαριασμό Χρήστη 2 θα είναι 2001:648:3400:0080::/64 έως 2001:648:3400:00FF.

6.2.1 Πλάνο Απόδοσης Προθεμάτων

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται διαφορετικές προτάσεις για σχεδιασμό πλάνων απόδοσης προθεμάτων στο δίκτυο πρόσβασης.

Η βασική κατηγοριοποίηση που γίνεται στις μονάδες και το πλήθος που θα θεωρήσουμε για κάθε κατηγορία (ή καλύτερα το πλήθος των προθεμάτων που θα δεσμεύσουμε για κάθε μονάδα) είναι τα παρακάτω:

Κατηγορία Μονάδας	Πλήθος Μονάδας
Πρωτοβάθμιες	16384 ή 2^{14}
Δευτεροβάθμιες	8192 ή 2^{13}

Πίνακας 6.2-2 Ποσοτική απόδοση προθεμάτων ανά είδος μονάδας χρήστη ΠΣΔ

Επίσης θα θεωρήσουμε μια κατηγορία τις μονάδες που διασυνδέονται δία μέσου των Μητροπολιτικών Δικτύων Οπτικών Ινών. Σε αυτήν την κατηγορία εφόσον δεν υπάρχει PPP σύνοδος (δεδομένης της τρέχουσας υλοποίησης των MAN), δεν υπάρχει και λογαριασμός χρήστη. Γι αυτό το λόγο τα θεωρούμε μια ξεχωριστή κατηγορία.

Μια δεύτερη κατηγοριοποίηση αφορά την μέθοδο απόδοσης των προθεμάτων βάση του πρωτοκόλλου RADIUS. Αυτές οι δύο κατηγορίες αναλύονται στο κεφάλαιο 10 όπου περιγράφεται η υπηρεσία πρόσβασης ADSL. Θα θεωρήσουμε δύο κατηγορίες προθεμάτων, αυτές είναι:

- Framed-Prefixes
- Delegated-Prefixes

6.2.1.1 Πρόταση 1: Αντληση των Framed και των Delegated από κοινό χώρο

Σε αυτήν την πρόταση τόσο τα framed όσο και τα delegated αντλούνται από κοινό χώρο για κάθε κατηγορία.

Η απόδοση γίνεται βάση του εξής σχήματος:

- Από τον συνολικό χώρο /40 του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου δεσμεύεται το πρώτο /41, ενώ το δεύτερο παραμένει ελεύθερο για μελλοντική χρήση.
- Το κάθε /41 επιτρέπει την απόδοση 32768 προθεμάτων μήκους /56.
- Από κάθε κατηγορία δεσμεύονται τα τελευταία προθέματα μήκους /56 από τον χώρο των delegated για να παράγουν τα απαιτούμενα εις το πλήθος framed προθέματα μήκους /64.
 - ο Το κάθε /56 επιτρέπει την δημιουργία 256 framed προθεμάτων

Συνολικός Χώρος ΠΣΔ	/41
2001:648:3400::/40	2001:648:3400::/41
	2001:648:3480::/41

2001:648:3400::/41								Prefi x
2001:648:3440::/42				2001:648:3400::/42				/42
2001:648:3460::/43		2001:648:3440::/43		2001:648:3420::/43		2001:648:3400::/43		/43
2001:648:3470::/44	2001:648:3460::/44	2001:648:3450::/44	2001:648:3440::/44	2001:648:3430::/44	2001:648:3420::/44	2001:648:3410::/44	2001:648:3400::/44	/44
Ελεύθερο	Διοικητικές	Δευτεροβάθμιες		Πρωτοβάθμιες				Κατη γορία
4096	Framed: 4096 Delegated: 4096 - 16	Framed: 8192 Delegated: 8912 - 32		Framed: 16384 Delegated: 16384 – 64				Πλήθ ος
Μπορεί να χρησιμοποι ηθεί για τα MAN	2001:648:3460:0000::/56	2001:648:3440:0000::/56		2001:648:3400:0000::/56				Αρχή Dele g.
	2001:648:346F:EF00::/56	2001:648:345F:DF00::/56		2001:648:343F:BF00::/56				Τέλο ς Dele g.
	2001:648:3460:F000::/64	2001:648:345F:E000::/64		2001:648:343F:C000::/64				Αρχή Fram ed
	2001:648:346F:FFFF::/64	2001:648:345F:FFF F::/64		2001:648:343F:FFFF::/64				Τέλο ς Fram ed

Πίνακας 6.2-3 Πλάνο προθεμάτων με framed και delegated από κοινούς χώρους

6.2.1.2 Πρόταση 2: Αντληση των Framed και των Delegated προθεμάτων από διαφορετικούς χώρους

Σε αυτήν την πρόταση τα FramedPrefixes αντλούνται από διαφορετικό χώρο από ότι τα DelegatedPrefixes. Σε αυτήν την πρόταση τα Framed αντλούνται από τον χώρο τον ελεύθερο χώρο του /41 που προκύπτει από την πρόταση 1.

2001:648:3400::/41								/41
2001:648:3440::/42				2001:648:3400::/42				/42
2001:648:3460::/43		2001:648:3440::/43		2001:648:3420::/43		2001:648:3400::/43		/43
2001:648:3470::/44	2001:648:3460::/44	2001:648:3450::/44	2001:648:3440::/44	2001:648:3430::/44	2001:648:3420::/44	2001:648:3410::/44	2001:648:3400::/44	/44
MAN & Framed	Διοικητικές	Δευτεροβάθμιες		Πρωτοβάθμιες				Κατηγορία
4096	Delegated: 4096	Delegated: 8912		Delegated: 16384				Πλήθος
Για την απόδοση σε MAN και FramedPrefixes	2001:648:3460:0:0000::/56	2001:648:3440:0000::/56		2001:648:3400:0000::/56				Αρχη Deleg.
	2001:648:346F:FF00::/56	2001:648:345F:FF00::/56		2001:648:343F:FF00::/56				Τέλος Deleg.

Πίνακας 6.2-4 Πλάνο απόδοσης προθεμάτων με Framed και Delegated από διαφορετικούς χώρους

7 Δρομολόγηση IPv6

Ο ρόλος των πρωτοκόλλων δρομολόγησης είναι να μάθουν οι δικτυακές συσκευές τις διαθέσιμες διαδρομές από όπου μπορούν τα μεταβούν τα δεδομένα για να φτάσουν από μία πηγή σε έναν προορισμό σε ένα δίκτυο, να κατασκευάσουν τον πίνακα δρομολόγησης και τελικά βάση αυτού του πίνακα να λάβουν αποφάσεις δρομολόγησης για τα πακέτα που διαμεταγάζουν.

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι τα πρωτόκολλα δρομολόγησης διανύσματος-απόστασης (distance-vector) και η δεύτερη κατηγορία είναι τα πρωτόκολλα κατάστασης-συνδέσμου (link-state).

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης κατάστασης-συνδέσμου (ή εναλλακτικά ShortestPathFirst), τα οποία χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο του Dijkstra, διαχέουν την πληροφορία δρομολόγησης σε όλους τους κόμβους σε ένα διαδίκτυο (internetwork). Όμως ο κάθε δρομολογητής στέλνει μόνο το κομμάτι της πληροφορίας δρομολόγησης που αφορά τους δικούς του συνδέσμους. Με τους αλγορίθμους κατάστασης-συνδέσμου, κάθε δρομολογητής κατασκευάζει την εικόνα ολόκληρου του δικτύου στους πίνακες δρομολόγησης του.

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης διανύσματος-απόστασης (ή εναλλακτικά πρωτόκολλα του αλγορίθμου Bellman-Ford) καλούν τους δρομολογητές να στείλουν όλοκληρο ή μέρος του πίνακα δρομολόγησης τους αλλά μόνον στους γειτονικούς δρομολογητές.

Επί της ουσίας, οι αλγόριθμοι κατάστασης-συνδέσμου αποστέλλουν μικρότερες ενημερώσεις σε όλο το δίκτυο, ενώ οι αλγόριθμοι διανύσματος-απόστασης αποστέλλουν μεγαλύτερες ενημερώσεις μόνο στους γειτονικούς τους κόμβους. Οι αλγόριθμοι διανύσματος-απόστασης έχουν γνώση μόνο για τους γειτονές τους και όχι για όλο το δίκτυο.

Επειδή, λόγω της καθολικής γνώσης του δικτύου, οι αλγόριθμοι κατάστασης-συνδέσμου συγκλίνουν γρηγορότερα είναι λιγότερο ευάλωτοι σε ατέρμονες βρόγχους δρομολόγησης (routingloops) σε σχέση με τους αλγορίθμους διανύσματος-απόστασης. Από την άλλη πλευρά, οι αλγόριθμοι κατάστασης-συνδέσμου απαιτούν περισσότερη χρήση CPU και μνήμης από ότι οι αλγόριθμοι διανύσματος-απόστασης.

Εν κατακλείδι, τα πρωτόκολλα κατάστασης-συνδέσμου έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις να υλοποιηθούν και να υποστηριχθούν σε σχέση με τα πρωτόκολλα διανύσματος-απόστασης. Εν αντιθέσει όμως αυτού τα πρωτόκολλα κατάστασης-συνδέσμου είναι περισσότερο επεκτάσιμα.

7.1 Πρωτόκολλα Εσωτερικών Πυλών (Interior Gateway Protocols – IGP)

Τα πρωτόκολλα εσωτερικών πυλών χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή πληροφορίας διαδρομών μεταξύ των δρομολογητών ενός αυτόνομου συστήματος. Αυτή η πληροφορία

χρησιμοποιείται στην συνέχεια για να δρομολογήσει πρωτόκολλα επιπέδου δικτύου (όπως π.χ. το IP).

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης εσωτερικών πυλών χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι τα πρωτόκολλα διανύσματος-απόστασης (distance-vector)

Τα πλέον διαδεδομένα πρωτόκολλα δρομολόγησης εσωτερικών πυλών είναι τα:

Το OSPF (OpenShortestPathFirst) είναι ένα δυναμικό πρωτόκολλο δρομολόγησης για το IP. Το OSPF είναι πρωτόκολλο κατάστασης συνδέσμου (link-state), εν αντιθέσει των πρωτοκόλλων διανύσματος-απόστασης (distance-vector). Το OSPF έχει δύο βασικά χαρακτηριστικά. Το πρώτο είναι ότι είναι “ανοιχτό” (Open), δηλαδή οι προδιαγραφές του δημιουργήθηκαν δημόσια ως RFC και συγκεκριμένα ως το RFC 1247. Το δεύτερο βασικό χαρακτηριστικό του είναι ότι βασίζεται στον αλγόριθμο SPF (ShortestPathFirst) ή αυτόν που συχνά αποκαλούμε αλγόριθμο του Dijkstra προς τιμήν του Ολλανδού εφευρέτη του EdsgerWybeDijkstra.

Ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης κατάστασης-συνδέσμου εξάγει τις αποφάσεις δρομολόγησης βάσει της κατάστασης των συνδέσμων που διασυνδέουν τα μηχανήματα πηγής με προορισμού. Η κατάσταση ενός συνδέσμου είναι μια περιγραφή του interface που διασυνδέεται σε αυτόν τον σύνδεσμο και της σχέσης του με τον γειτονικό σταθμό. Οι πληροφορίες για το interface περιλαμβάνουν το IPv6 πρόθεμα του συγκεκριμένου interface, την μάσκα δίκτυο, τον τύπο του δικτύου με το οποίο διασυνδέεται το εν λόγω interface, τους δρομολογητές που διασυνδέονται σε αυτό το δίκτυο κτλ. Όλη αυτή η πληροφορία μεταδίδεται με μηνύματα τα οποία ονομάζονται “Link-StateAdvertisements” (LSAs).

Το σύνολο της πληροφορίας την οποία συλλέγει ένας δρομολογητής από τα LinkStateAdvertisements αποθηκεύεται σε μία βάση δεδομένων η οποία καλείται “Link-StateDatabase”. Τα δεδομένα αυτής της βάσης υπόκεινται στον αλγόριθμο του Dijkstra και το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας οδηγεί στην δημιουργία του πίνακα δρομολόγησης OSPF (OSPFroutingtable). Η διαφορά μεταξύ της database και του πίνακα δρομολόγησης είναι ότι η database περιέχει την πλήρη ανεπεξέργαστη/ωμή πληροφορία που έλαβε ο router από τα LSAs, ενώ ο πίνακας δρομολόγησης περιέχει την λίστα των ελάχιστων μονοπατιών (shortestpaths) για γνωστούς προορισμούς διά μέσου συγκεκριμένων διεπαφών του δρομολογητή.

Το OSPFversion 3, το οποίο περιγράφεται στο RFC 5340 “OSPFforIPv6”, υποστηρίζει IPv6 και IPv4 unicastAddressFamilies (AFs).

7.2 Σχεδιασμός Αρχιτεκτονικής OSPF

Όπως αναφέρθηκε το πρωτόκολλο δρομολόγησης που θα χρησιμοποιηθεί για το δίκτυο διανομής είναι το OSPF. Σε αυτήν την ενότητα δίνεται ένας οδηγός σχεδιασμού του OSPF με πολλαπλά areas και παρέχονται οι οδηγίες ενεργοποίησης του σε δρομολογητές Cisco.

7.2.1 Multi-Area OSPF

Ο σχεδιασμός της αρχιτεκτονικής της δρομολόγησης OSPF με πολλαπλά areas επιτρέπει την εφαρμογή μιας ιεραρχικής δομής και την διαίρεση του δικτύου σε περιοχές είτε λογικής είτε γεωγραφικής σημασίας ανάλογα την περίπτωση.

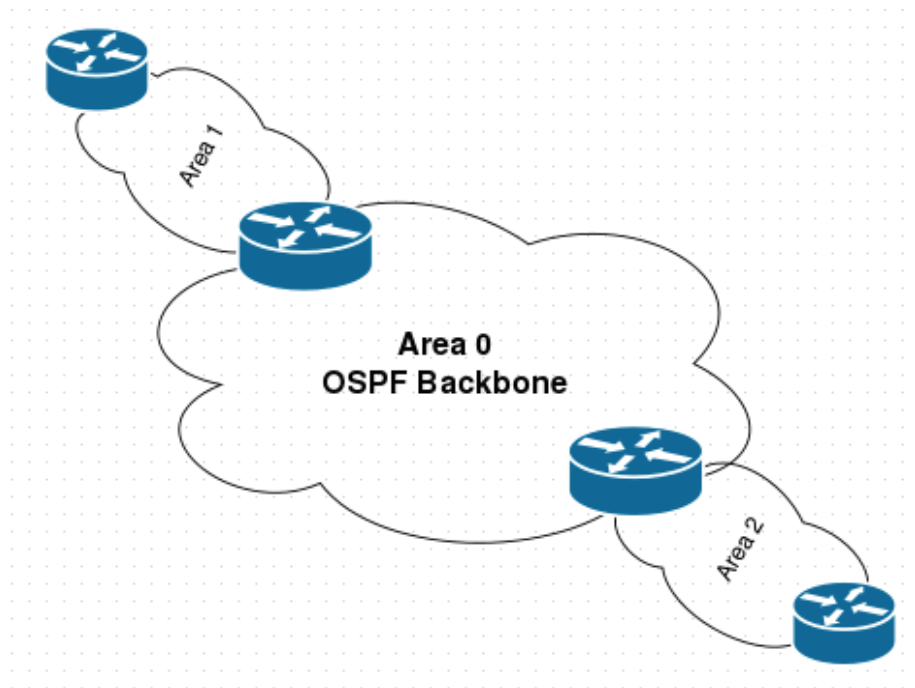
Η διαίρεση σε μικρότερες περιοχές επιφέρει τα παρακάτω ωφέλη:

- Επιταχύνεται η σύγκλιση του αλγορίθμου καθώς τα δεδομένα της τοπολογίας που θα υπολογίσει ο SPF περιορίζονται εντός μίας OSPF area.
- Οι πίνακες δρομολόγησης διατηρούνται μικρότεροι.
- Ελαχιστοποιούνται τα Link-State-Updates (LSU)

Το OSPF έχει τον εξής περιορισμό όταν εμπλέκονται πολλαπλά areas στην λειτουργία του:

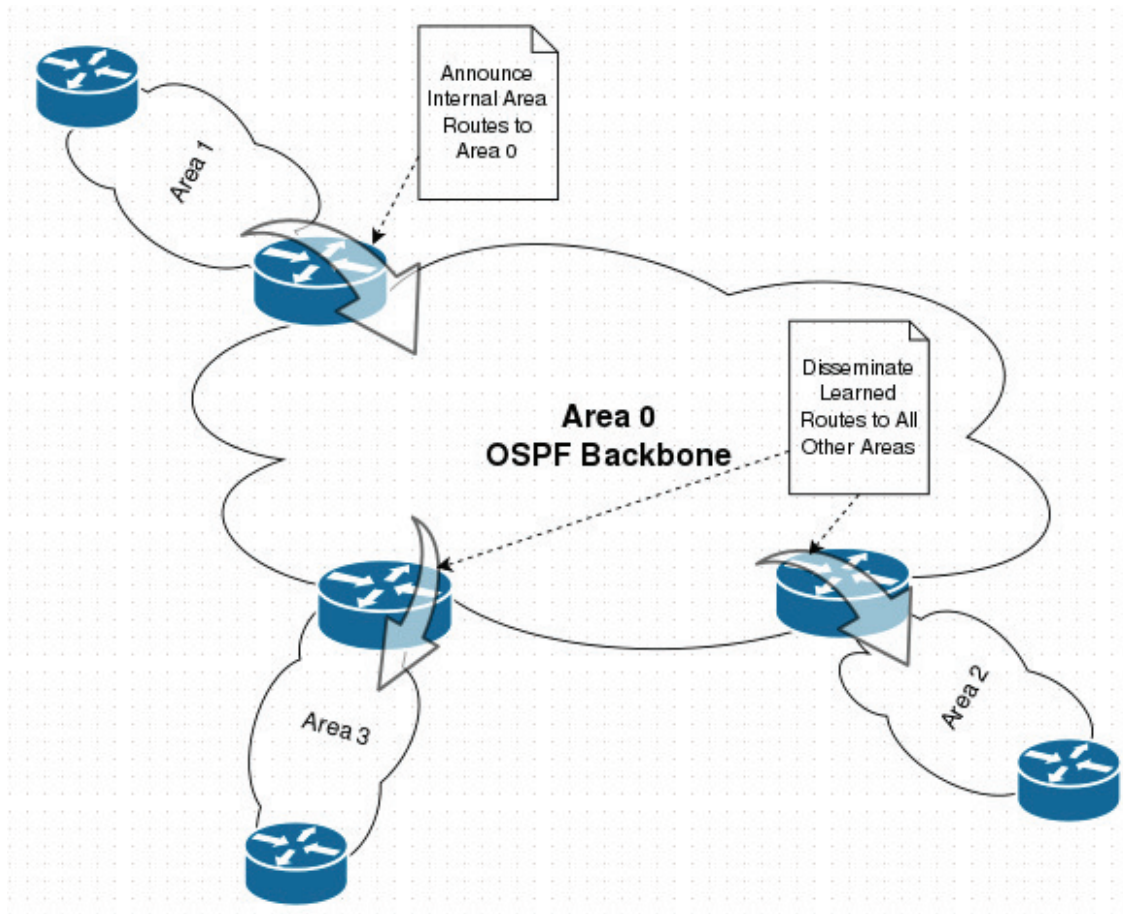
- Εάν δημιουργούνται περισσότερα του ενός areas, τότε ένα από αυτά τα areas πρέπει να είναι το area 0. Αυτό το area καλείται backbone.
- Το backbone πρέπει να βρίσκεται στο κέντρο όλων των areas και όλα τα areas πρέπει να διασυνδέονται φυσικά με το backbone (Εικόνα 7.2).

Όταν σχεδιάζουμε OSPF δίκτυα, μια καλή πρακτική αποτελεί το να σχεδιάσουμε πρώτα το backbone και ύστερα να επεκτείνουμε το δίκτυο σε περισσότερα areas.



Σχήμα 7.2-1 Multi-Area OSPF

Ο λόγος για τον οποίο το OSPF απαιτεί το area 0 να βρίσκεται στο κέντρο όλων των άλλων areas είναι διότι το OSPF στην βασική λειτουργία του θεωρεί ότι το κάθε area θα ανακοινώσει τα routes του στο area 0. Στην συνέχεια το area 0 θα διαφημίσει με την σειρά του τα routes που έμαθε σε όλα τα άλλα areas (Εικόνα X).



Σχήμα 7.2-2 Διαφήμιση διαδρομών στο Multi-Area OSPF

7.3 Σχεδιασμός του Backbone - Area 0

Για τον σχεδιασμό του area 0, θέτονται τα interfaces τα οποία διασυνδέουν τους δρομολογητές πρώτου επιπέδου στο area 0. Αυτοί οι δρομολογητές ονομάζονται AreaBorderRouters καθώς θα διασυνδέουν άλλα areas με το area 0. Ο κεντρικός δρομολογητής ο οποίος διασυνδέει το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο με τον πάροχο του ΕΔΕΤ, ονομάζεται AutonomousSystemBorderRouter (ASBR). Συνεπώς ορίζουμε το backbone βάση του παρακάτω πίνακα:

Δρομολογητής	Area	Ρόλος
BR.ATT.SCH.GR	0	ASBR
BR.KYK.SCH.GR	0	ABR
BR.ACH.SCH.GR	0	ABR

BR.IRA.SCH.GR	0	ABR
BR.IOA.SCH.GR	0	ABR
BR.THESS.SCH.GR	0	ABR
BR.LAR.SCH.GR	0	ABR
BR.XAN.SCH.GR	0	ABR

Πίνακας 7.3-1 Κόμβοι OSPF Backbone Δικτύου Διανομής ΠΣΔ

7.3.1 Ενεργοποίηση του OSPF για το Area 0

Στην παράγραφο αυτή δίνονται οι οδηγίες για την ενεργοποίηση του OSPF στους δρομολογητές του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου οι οποίο αποτελούν το Backbone.

Θα χρησιμοποιηθεί μέθοδος η οποία αναφέρεται στο Internet Draft: **Using Only Link-Local Addressing Inside an IPv6 Network**

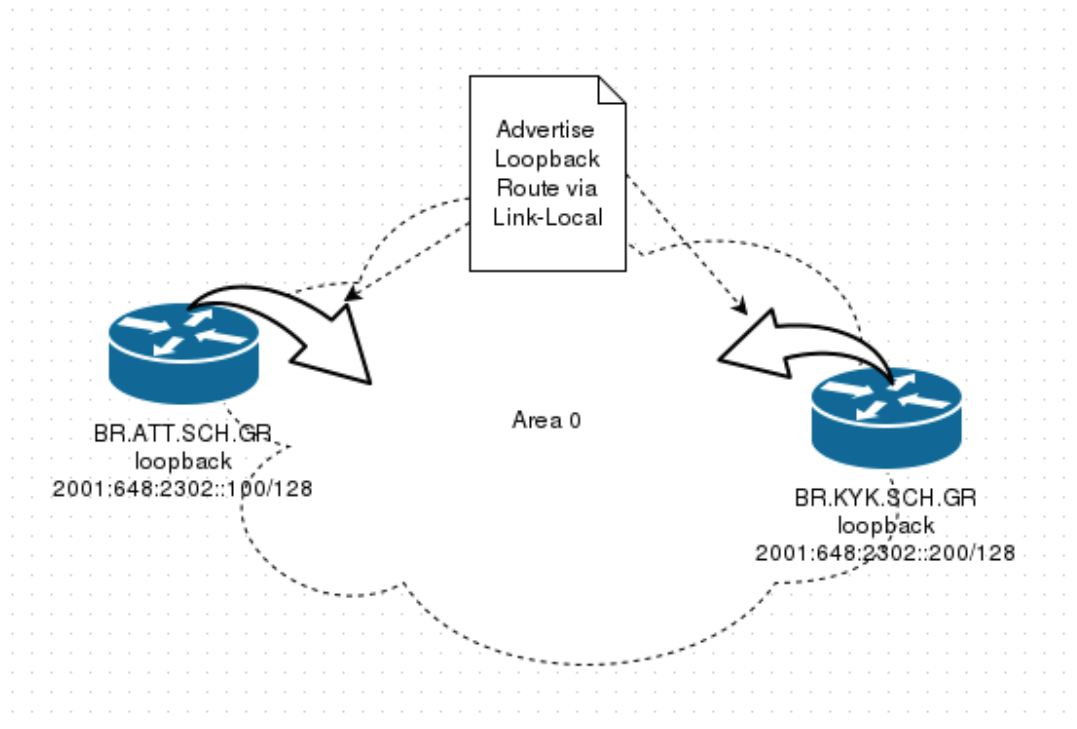
Σύμφωνα με αυτήν την μέθοδο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μόνο link-local διευθύνσεις στο εσωτερικό ενός δικτύου.

Το σχήμα που θα εφαρμόσουμε είναι το εξής:

- Link-Local διευθύνσεις για κάθε Point-to-Point link
- Loopback διεύθυνση σε κάθε δρομολογητή
- Το LAN και οι Loopback ανακοινώνονται στο OSPF σαν external routes.

Διαδικασία ενεργοποίησης σε δρομολογητές Cisco:

Δίνεται παράδειγμα για την δημιουργία OSPF area 0 μεταξύ του BR.ATT.SCH.GR και του BR.KYK.SCH.GR, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.3-1.



Σχήμα 7.3-1 Ανακοίνωση της Loopback στο Area 0

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι οδηγίες για ενεργοποίηση σε CiscoIOS.

Για τον BR.ATT.SCH.GR:

Εντολή Cisco Δρομολογητή	Περιγραφή
BR.ATT.SCH.GR>en	Είσοδος σε privileged mode
BR.ATT.SCH.GR#config terminal	Είσοδος σε global configuration mode
BR.ATT.SCH.GR(config)#int loopback 0	Είσοδος σε interface configuration mode για το interface loopback 0
BR.ATT.SCH.GR(config-if)#ipv6 enable	Ενεργοποίηση του πρωτοκόλλου IPv6 για το interface loopback 0
BR.ATT.SCH.GR(config-if)#ipv6 address 2001:648:2302::100/128	Ανάθεση της loopback διεύθυνσης 2001:648:2302::100/128
BR.ATT.SCH.GR(config-if)#exit	Έξοδος από interface configuration mode
BR.ATT.SCH.GR(config)#ipv6 router ospf 50	Είσοδος σε router configuration mode
BR.ATT.SCH.GR(config-rtr)#router-id 10.0.1.1	Ορίζεται το router-id για την διεργασία OSPF
BR.ATT.SCH.GR(config-rtr)#redistribute connected	Ο δρομολογητής θα ανακοινώνει τα connected δίκτυα που γνωρίζει
BR.ATT.SCH.GR(config-rtr)#exit	Έξοδος από router configuration mode
BR.ATT.SCH.GR(config)#int FastEthernet	Είσοδος σε interface configuration mode

0/0	για το interface FastEthernet 0/0
BR.ATT.SCH.GR(config-if)#ipv6 enable	Ενεργοποίηση του πρωτοκόλλου IPv6 για το interface FastEthernet 0/0
BR.ATT.SCH.GR(config-if)#ipv6 ospf network point-to-point	Ορίζεται ότι το OSPF δίκτυο είναι point-to-point
BR.ATT.SCH.GR(config-if)#ipv6 ospf 50 area 0	Τίθεται το interface FastEthernet 0/0 στο area 0.
BR.ATT.SCH.GR(config-rtr)#exit	Έξοδος από router configuration mode
BR.ATT.SCH.GR(config-rtr)#exit	Έξοδος από global configuration mode

Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο παραμετροποιούμε και τον δρομολογητή BR.KYK.SCH.GR. Η μόνη διαφορά θα είναι ότι ο δρομολογητής BR.ATT.SCH.GR επειδή είναι ο Autonomous System Border Router του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου, θα παράγει πάντα το default route. Αυτό ενεργοποιείται με την εντολή:

```
BR.ATT.SCH.GR(config-rtr)#default-information originate always
```

Η διάρθρωση του δρομολογητή προκύπτει ως εξής:

```
!
ipv6 unicast-routing
!
!
interface Loopback0
no ip address
ipv6 address 2001:648:2302::100/128
ipv6 enable
!
!
interface FastEthernet0/0
no ip address
duplex auto
speed auto
ipv6 enable
```



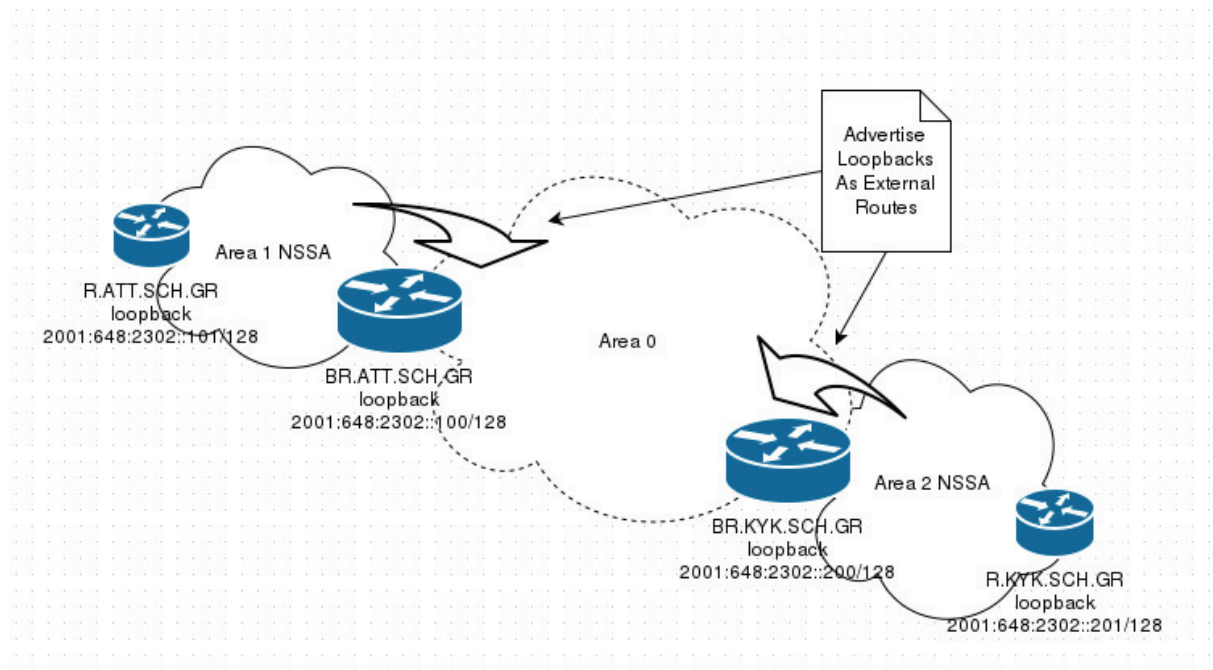
```
ipn6 ospf network point-to-point
ipn6 ospf 50 area 0
!
!
ipn6 router ospf 50
router-id 10.0.1.1
log-adjacency-changes
default-information originate always
redistribute connected
!
```

7.4 Not-So-Stubby-Areas

Οι δρομολογητές του 2^{ου} επιπέδου του Δικτύου Διανομής θα βρίσκονται ο καθένας σε μία δική του area ή οποία θα τον διασυνδέει με ένα δρομολογητή του 1^{ου} επιπέδου του Δικτύου Διανομής. Για αυτήν την διασύνδεση θα χρησιμοποιηθεί ένα άλλος τύπος OSPF area ο οποίος ονομάζεται Not-So-Stubby-Area. Οι Not-So-Stubby-Areas περιγράφονται στο RFC 1587 “*The OSPF NSSA Option*”

Ο λόγος που χρησιμοποιείται αυτό το είδος είναι ότι για να διατηρήσουμε μικρούς τους πίνακες δρομολόγησης θεωρούμε ότι δεν υπάρχει λόγος το OSPF δίκτυο να ανακοινώνει όλα τα routes στους δρομολογητές του 2^{ου} επιπέδου του Δικτύου Διανομής.

Θέτοντας τα areas του 2^{ου} επιπέδου σαν NSSA μπορούμε να παρέχουμε στους δρομολογητές που βρίσκονται εντός αυτών μόνο το default route από τον δρομολογητή που έχει σύνδεση στο area 0. Επίσης μπορούμε να κάνε στο NSSA area ανακοίνωση εξωτερικών routes του OSPF, όπως για παράδειγμα τα connected ή τα static routes.



Σχήμα 7.4-1 Ανακοίνωση Loopbacks στο Area 0 σαν OSPF External Routes

7.4.1 Δημιουργία NSSA areas σε Cisco IOS

Δημιουργούμε το NSSA area για τον BR.ATT.SCH.GR όπως φαίνεται παρακάτω:

Εντολή Cisco Δρομολογητή	Περιγραφή
BR.ATT.SCH.GR>en	Είσοδος σε privileged mode
BR.ATT.SCH.GR#config terminal	Είσοδος σε global configuration mode
BR.ATT.SCH.GR(config)#ipv6 router ospf 50	Είσοδος σε router configuration mode
BR.ATT.SCH.GR(config-rtr)#area 1 nssa no-summary no-redistribution default-information originate	Δημιουργία του Area 1 σαν NSSA Area, ορίζουμε no-redistribution και no-summary στο Area 1. Ο BR.ATT.SCH.GR θα παράγει το default route για το area 1
BR.ATT.SCH.GR(config-rtr)#exit	Έξοδος από router configuration mode
BR.ATT.SCH.GR(config)#int FastEthernet 0/1	Είσοδος σε interface configuration mode
BR.ATT.SCH.GR(config-if)#ipv6 enable	Ενεργοποίηση του πρωτοκόλλου IPv6 στο interface FastEthernet 0/1
BR.ATT.SCH.GR(config-if)#ipv6 ospf network point-to-point	Ορίζεται ότι το ospf δίκτυο είναι point-to-point.
BR.ATT.SCH.GR(config-if)#ipv6 ospf 50 area 1	Τίθεται το interface στην OSPF διεργασία στο Area 1.
BR.ATT.SCH.GR(config-if)#exit	Έξοδος από interface configuration mode.
BR.ATT.SCH.GR(config)#exit	Έξοδος από global configuration mode.

Ομοίως ενεργοποιούμε για τον R.ATT.SCH.GR με την διαφορά ότι ο R.ATT.SCH.GR δεν παράγει το defaultroute.

Εντολή Cisco Δρομολογητή	Περιγραφή
R.ATT.SCH.GR>en	Είσοδος σε privileged mode
R.ATT.SCH.GR#config terminal	Είσοδος σε global configuration mode
R.ATT.SCH.GR(config)#ipv6 router ospf 50	Είσοδος σε router configuration mode
R.ATT.SCH.GR(config-rtr)#area 1 nssa	Δημιουργία του Area 1 σαν NSSA Area
R.ATT.SCH.GR(config-rtr)#redistribute connected	Ο R.ATT.SCH.GR θα ανακοινώνει τα connected δίκτυα του. Με αυτό τον τρόπο θα ανακοινώνεται η Loopback του στο Δίκτυο Διανομής
R.ATT.SCH.GR(config-rtr)#exit	Έξοδος από router configuration mode
R.ATT.SCH.GR(config)#int FastEthernet 0/1	Είσοδος σε interface configuration mode
R.ATT.SCH.GR(config-if)#ipv6 enable	Ενεργοποίηση του πρωτοκόλλου IPv6 στο interface FastEthernet 0/1
R.ATT.SCH.GR(config-if)#ipv6 ospf network point-to-point	Ορίζεται ότι το ospf δίκτυο είναι point-to-point.
R.ATT.SCH.GR(config-if)#ipv6 ospf 50 area 1	Τίθεται το interface στην OSPF διεργασία στο Area 1.
R.ATT.SCH.GR(config-if)#exit	Έξοδος από interface configuration mode.
R.ATT.SCH.GR(config)#exit	Έξοδος από global configuration mode.

Παρομοίως μπορούμε να ενεργοποιήσουμε την δρομολόγηση σε όλο το Δίκτυο Διανομής, προσθέτοντας κάθε δρομολογητή του 2^{ου} επιπέδου σε ένα μοναδικό Area.

8 Δρομολόγηση IPv6 πρωτοκόλλου εξωτερικών πυλών (EGP – Exterior Gateway Protocol)

Το BGP (Border Gateway Protocol) είναι ένα EGP (Exterior Gateway Protocol) το οποίο χρησιμοποιείται για την διασύνδεση ξεχωριστών routing domains. Τα οποία routing domains εφαρμόζουν διαφορετικές πολιτικές και υπόκεινται σε διαφορετικές διαχειριστικές οντότητες, δηλαδή αποτελούν αυτόνομα συστήματα (Autonomous System – AS).

Το Multiprotocol BGP είναι επέκταση του BGP το οποίο έχει την δυνατότητα να φέρει πληροφορία δρομολόγησης για πολλαπλές οικογένειες διευθύνσεων του επιπέδου δικτύου. Για παράδειγμα, IPv6 addressfamily και IPmulticastroutes. Σημειώνεται ότι όλες η εντολές παραμετροποίησης και όλες οι δυνατότητες πολιτικών δρομολόγησης του BGP υποστηρίζονται πλήρως από το Multiprotocol BGP.

8.1 Εφαρμογή MP-BGP για το IPv6 - Διασύνδεση ΠΣΔ με ΕΔΕΤ

Το ΕΔΕΤ, που όπως προαναφέρθηκε είναι ο upstream πάροχος του ΠΣΔ, χρησιμοποιεί αποκλειστικά το πρωτόκολλο συνοριακών πυλών BGP (Border Gateway Protocol) για την ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης με τους διασυνδεδεμένους σε αυτό φορείς. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται ενδεικτικά η διαδικασία ενεργοποίησης του BGP με τους δρομολογητές του ΕΔΕΤ για την οικογένεια IPv6.

8.1.1 Λειτουργία BGP

Η βασική λειτουργία του πρωτοκόλλου BGP αναπαρίσταται στην εικόνα X. Με το πρωτόκολλο BGP αναμένουμε ο συνοριακός δρομολογητής του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου να ανακοινώσει τα IPv6 προθέματα του στον συνοριακό δρομολογητή του ΕΔΕΤ. Με την σειρά του ο συνοριακός δρομολογητής του ΕΔΕΤ θα ανακοινώσει στον συνοριακό δρομολογητή του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου το default route, και όποια άλλα routes ανάλογα την παραμετροποίηση του πρωτοκόλλου.

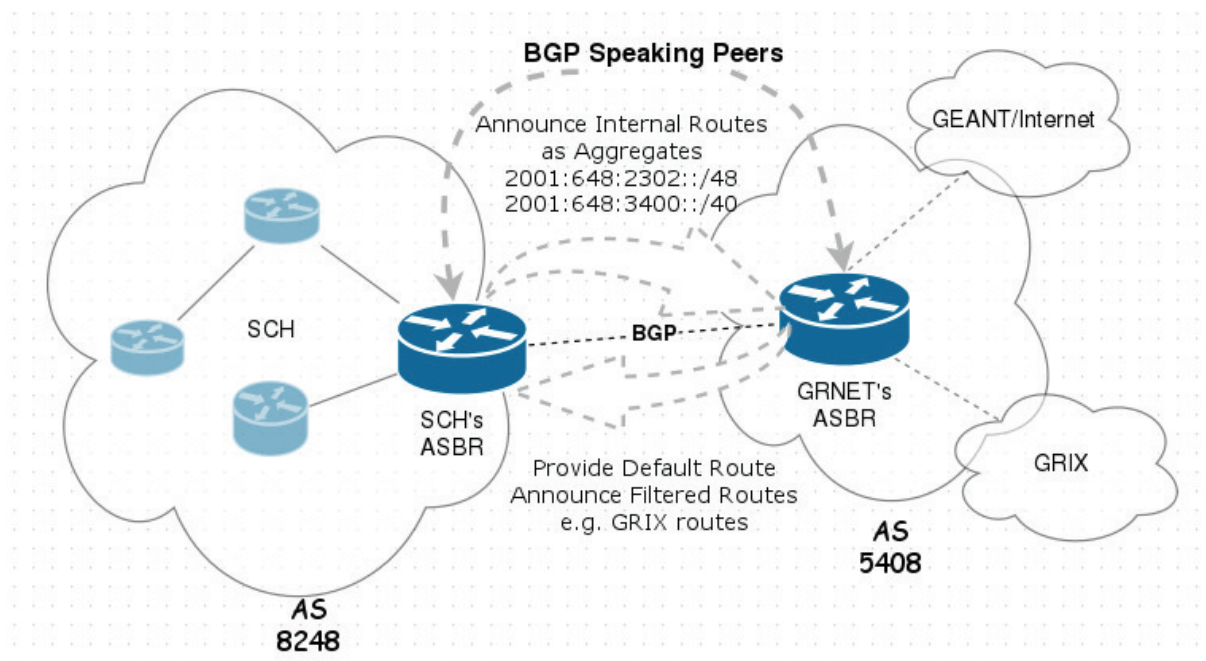
Το BGP επιτρέπει την συνάθροιση διαδρομών (route aggregation). Ο συνοριακός δρομολογητής του ΠΣΔ θα ανακοινώσει τα IPv6 προθέματα του συνολικά ως:

Πρόθεμα προς ανακοίνωση μέσω BGP	Περιγραφή
2001:648:2302::/48	Δίκτυο Διανομής
2001:648:3400::/40	Δίκτυο Πρόσβασης

Πίνακας 8.1-1 BGP προθέματα ΠΣΔ

Με αυτόν τον τρόπο το δίκτυο του ΕΔΕΤ θα δρομολογεί όλη την κίνηση που προορίζεται για τα IPv6 δίκτυα τα οποία ανήκουν στα προθέματα του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου στον αντίστοιχο συνοριακό δρομολογητή του.

Λαμβάνοντας το defaultroute ή όποια άλλα δίκτυα ανακοινώνονται από το BGP, ο συνοριακός δρομολογητής του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου θα δρομολογεί την κίνηση για όλα τα μη-εσωτερικά του αυτόνομου του συστήματος δίκτυα στον συνοριακό δρομολογητή του ΕΔΕΤ. Έτσι το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο θα μπορεί να λάβει πακέτα IPv6 προερχόμενα από το διαδίκτυο ή τα υπόλοιπα μέλη του GRIX, και αντίστοιχα να στείλει πακέτα προς αυτούς τους προορισμούς.



Σχήμα 8.1-1 Ανακοίνωση προθεμάτων με BGP

Εικόνα 10: Ανακοίνωση του IPv6 addressspace του ΠΣΔ στον ΕΔΕΤ και λήψη του default ή/και άλλων routes από το ΕΔΕΤ, μέσω του πρωτοκόλλου BGP

8.1.2 Προυποθέσεις για την διασύνδεση μέσω BGP με τον ΕΔΕΤ

Για την διασύνδεση με τον ΕΔΕΤ μέσω του πρωτοκόλλου BGP, ο κάθε φορέας πρέπει να διαθέτει:

1. Αριθμός Αυτόνομου Συστήματος (AS number).
2. Δημόσιο χώρο IPv6 διευθύνσεων

Ο αριθμός αυτόνομου συστήματος (AS number) αποδίδεται από τον περιφερειακό πάροχο RIPE NCC, όπως επίσης και ο δημόσιος χώρος IPv6 διευθύνσεων

Για την περίπτωση του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου, αυτά είναι:

GSN AS Number	8248
GSN IPv6 Address Space	2001:648:3400::/40 Access Network
	2001:648:2302::/48 Backbone Network

8.1.3 Ανακοίνωση Πινάκων Δρομολόγησης από ΠΣΔ προς ΕΔΕΤ

Τα προθέματα που ανακοινώνουν οι φορείς στον ΕΔΕΤ μέσω του πρωτοκόλλου BGP γίνονται αποδεκτά υπό τις παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Ο χώρος που ανακοινώνει κάθε φορέας πρέπει να έχει αποδοθεί από το RIPE NCC (Réseaux Internet Protocol Européens Network Coordination Centre), όπως αυτό προκύπτει από το αντίστοιχο inet6num object.
2. Στην βάση whois του RIPE NCC θα πρέπει να υπάρχει αντίστοιχη καταχώρηση για το route6 object, το οποίο θα πρέπει να έχει το ίδιο μήκος προθέματος με την ανακοίνωση (π.χ. /48, /40 κτλ) και να έχει επίσης σαν πηγή (origin) το δημόσιο αριθμό αυτόνομου συστήματος (public AS number).

8.1.4 Ενδεικτική Παραμετροποίηση BGP Συνοριακού Δρομολογητή ΠΣΔ

Για την υλοποίηση του BGP peering με το ΕΔΕΤ απαιτείται συνεννόηση με το NOC (Network Operations Centre) του ΕΔΕΤ καθώς η παραμετροποίηση από πλευράς του είναι απαραίτητη για την λειτουργία του πρωτοκόλλου.

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται και εξηγούνται ενδεικτικά τα βήματα που απαιτούνται για την ενεργοποίηση του πρωτοκόλλου BGP στον συνοριακό δρομολογητή αυτόνομου συστήματος του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου.

Εντολή Router Cisco	Περιγραφή λειτουργίας
br.att.sch.gr> enable	Είσοδος σε global configuration mode
br.att.sch.gr# config terminal	
br.att.sch.gr(config)# ipv6 unicast-routing	Ενεργοποίηση της μεταγωγής unicastIPv6

	πακέτων
br.att.sch.gr(config)#ipv6 cef	Ενεργοποίηση ipv6 Cisco Express Forwarding (προαιρετικό, εάν διατίθεται δυνατότητα Express Forwarding)
br.att.sch.gr(config)#router bgp <SCH AS-Number>	Ορισμός της διεργασίας BGP, όπου AS-Number αντικαθιστούμε το publicAS-Number του ΠΣΔ, ητοι “8248”
br.att.sch.gr(config-router)#bgp router-id <A.B.C.D>	Ορισμός του routerID το οποίο θα χρησιμοποιεί η διεργασία BGP. Αντικαθιστούμε το <A.B.C.D> με αντίστοιχο router-id (στην μορφή IPv4 διεύθυνσεως). Το router-id ενδέχεται να είναι ήδη ορισμένο (π.χ. από άλλο πρωτόκολλο), πολύ πιθανόν να μην απαιτείται αυτή η παράμετρος.
br.att.sch.gr(config-router)#no synchronization	Απαραίτητη ρύθμιση σύμφωνα με τις οδηγίες του ΕΔΕΤ. Εάν ένα AS δεν μεταφέρει κίνηση από ένα άλλο AS σε ένα τρίτο AS, μπορούμε να απενεργοποιήσουμε τον συγχρονισμό. Ένας BGP router με ενεργοποιημένο τον συγχρονισμό δεν εγκαθιστά iBGP routes στο routing table μέχρις ότου επιβεβαιώσει ότι το IGP (Interior Gateway Protocol) έχει διαδώσει αυτά τα routes στο εσωτερικό του και τα έχει διαφημίσει στους διασυνδεδεμένους peers του.
br.att.sch.gr(config-router)#neighbor <IPv6 Address> remote-as <GRNET AS-Number>	Ορίζουμε τον γειτονικό BGP κόμβο (τον κόμβο του ΕΔΕΤ δηλαδή). Αντικαθιστούμε το IPv6 Address με την IPv6 διεύθυνση του interface διασύνδεσης και το GRNETAS-Number με τον αριθμό αυτόνομου συστήματος του GRNET, ητοι 5408.
br.att.sch.gr(config-router)#neighbor <IPv6 Address> description GRNETv6	Δίνουμε μια περιγραφή, στον BGP neighbor.
br.att.sch.gr(config-router)#neighbor <IPv6 Address> update-source <Interface>	Ορίζει ότι το TCP connection με τον συγκεκριμένο peering neighbor θα εγκαθιδρυθεί χρησιμοποιώντας την διεύθυνση του <Interface>.
br.att.sch.gr(config-router)#address-family ipv6 [unicast multicast]	Καθορίζει την οικογένεια διεύθυνσεων IPv6 και εισαγάγει τον router στο prompt παραμετροποίησης του address-family
br.att.sch.gr(config-router-af)#neighbor {ipv6-address} activate	Ενεργοποιεί την ανταλλαγή προθεμάτων για την IPv6 address family με τον συγκεκριμένο neighbor
br.att.sch.gr(config-router-af)#network 2001:648:2302::/48	Ορίζει τα προθέματα που θα ανακοινώνει ο br.att.sch.gr στον peer router του ΕΔΕΤ.

Ενδεικτικά η διάρθρωση του BR.ATT.SCH.GR όσον αφορά το πρωτόκολλο BGP θα έχει ως εξής:

```
!  
router bgp 8248  
  bgp router-id 10.0.1.1  
  no bgp default ipv4-unicast  
  bgp log-neighbor-changes  
  neighbor 2001:648:1000::1:1 remote-as 5408  
  no synchronization  
!  
  address-family ipv6  
    neighbor 2001:648:1000::1:1 activate  
    network 2001:648:2302::/48  
    network 2001:648:3400::/40  
  exit-address-family  
!
```

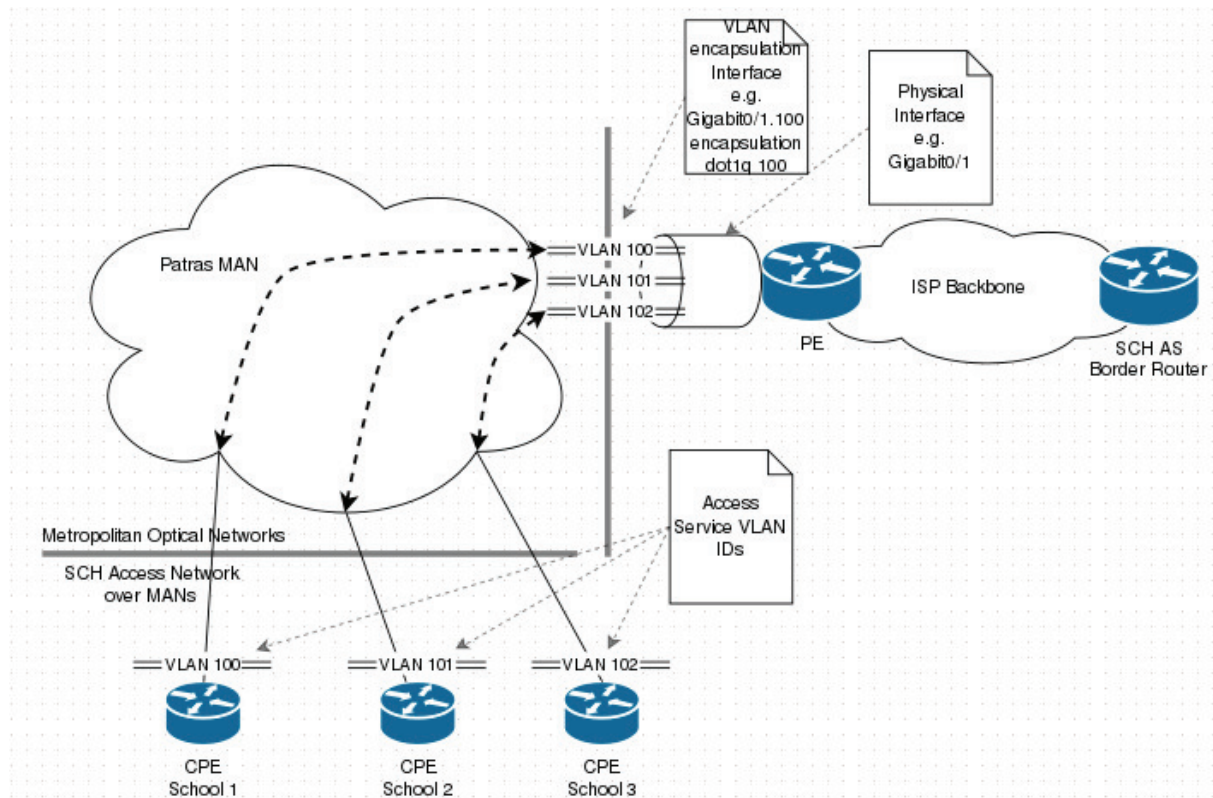
9 Υπηρεσία πρόσβασης IPv6 διά μέσου των Μητροπολιτικών Δικτύων Οπτικών Ινών

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική υλοποίησης των Μητροπολιτικών Δικτύων Οπτικών Ινών και προτείνονται δυο διαφορετικοί μηχανισμοί υλοποίησης υπηρεσίας πρόσβασης για το IPv6. Ο πρώτος μηχανισμός αφορά στατική απόδοση προθεμάτων IPv6, ενώ ο δεύτερος αποδίδει δυναμικά τα IPv6 προθέματα μέσω του πρωτοκόλλου DHCPv6.

9.1 Αρχιτεκτονική MetroEthernet των Μητροπολιτικών Δικτύων Οπτικών Ινών

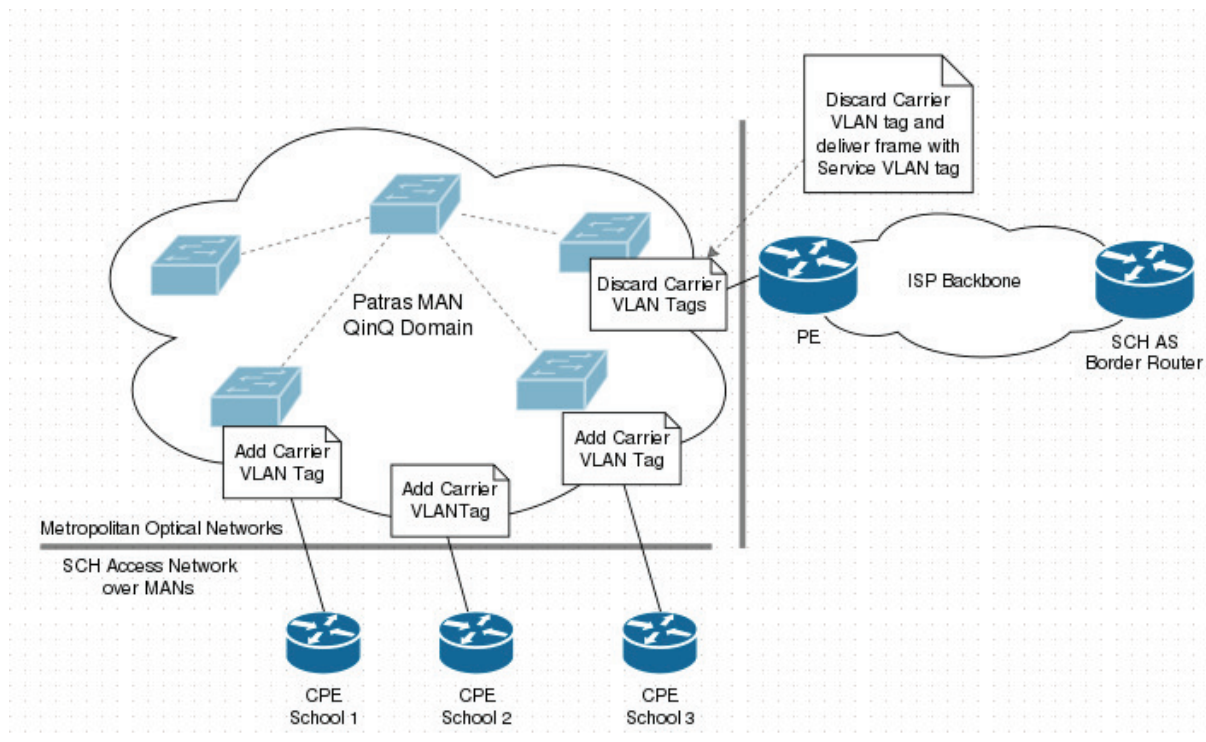
Η υλοποίηση των Μητροπολιτικών Δικτύων Οπτικών Ινών έχει πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας την τεχνολογία IEEE 802.1ad (ή όπως αποκαλείται ανεπίσημα IEEE 802.1QinQ). Η εφαρμογή της τεχνολογίας IEEE 802.1ad είναι αρκετά κοινή για την υλοποίηση

Metro Ethernet δικτύων. Στην συγκεκριμένη υλοποίηση κάθε σταθμός CPE (Customer Premises Equipment) χρησιμοποιεί ένα VLAN ID (Access Service VLAN ID) για να διασυνδεθεί με το δρομολογητή PE (Provider Edge) της υπηρεσίας πρόσβασης του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου.



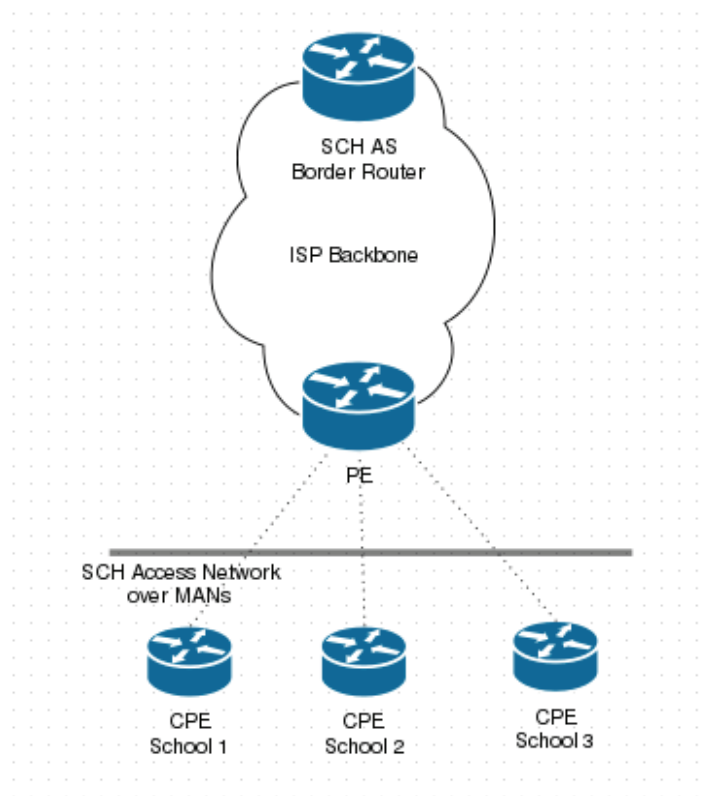
Σχήμα 9.1-1 Αρχιτεκτονική QinQ υλοποίησης των Μητροπολιτικών Δικτύων Οπτικών Ινών

Επίσης κάθε πλαίσιο “μαρκάρεται” με ένα VLANID καθώς εισέρχεται στο MAN. Με αυτό το CarrierVLANID το πλαίσιο δρομολογείται στο MAN. Καθώς το πλαίσιο εξέρχεται από το MAN και πριν παραδοθεί στον PErouter, αφαιρείται από αυτό το CarrierVLANID και παραδίδεται με το ServiceVLANID.



Σχήμα 9.1-2 QinQ VLAN tagging

Αν δούμε την παραπάνω υλοποίηση όσο το περισσότερο δυνατόν αφαιρετικά και όσον αφορά την υλοποίηση της υπηρεσίας IPv6 πρόσβασης, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το κάθε CPE συνδέεται άμεσα με τον PE router (Εικόνα 9.1-3)



Σχήμα 9.1-3 Layer 3 τοπολογία Μητροπολιτικών Δικτύων Οπτικών Ινών

9.2 IPv6 Υπηρεσία Πρόσβασης – Μητροπολιτικά Δίκτυα Οπτικών Ινών

Η ανάπτυξη της υπηρεσίας παροχής IPv6 πρόσβασης απαιτεί την ανάπτυξη των δύο παρακάτω μηχανισμών:

- Την απόδοση προθέματος IPv6 στα CPE των σχολικών μονάδων
- Την ανακοίνωση στο backbone δίκτυο των αποδοθέντων προθεμάτων

Για την απόδοση IPv6 προθέματος προτείνονται δύο μέθοδοι:

1. **Στατική απόδοση προθέματος:** Αυτή η μέθοδος αφορά την στατική απόδοση IPv6 προθέματος σε CPE κάθε σχολικής μονάδας, όπου το IPv6 πρόθεμα αποδίδεται και ενεργοποιείται χειροκίνητα από τον διαχειριστή δικτύου.
2. **Δυναμική απόδοση IPv6 προθέματος:** Η δεύτερη μέθοδος αφορά την αυτόματη απόδοση IPv6 προθέματος μέσω του πρωτοκόλλου DHCPv6.

Για κάθε μία από τις παραπάνω μεθόδους αναπτύσσεται και ο αντίστοιχος μηχανισμός ανακοίνωσης των IPv6 routes.

Για την απόδοση IPv6 προθέματων προτείνεται η δέσμευση ενός προθέματος /44 από τον συνολικό IPv6 χώρο του Δικτύου Πρόσβασης του Πανελληνίου Σχολικού. Το IPv6 πρόθεμα μήκους /44 μπορεί να αριθμοδοτήσει 4096 σχολεία με προθέματα μήκους /56.

Για τις ανάγκες υλοποίησης των μεθόδων που παρουσιάζονται σε αυτήν την ενότητα δεσμεύεται το IPv6 πρόθεμα 2001:648:3470::/44 από την πρόταση 1 του σχήματος αριθμοδότησης του Δικτύου Πρόσβασης από το κεφάλαιο X.

9.2.1 Στατική Απόδοση IPv6 προθέματος στα CPEs

Αριθμοδοτούμε τις σχολικές μονάδες σύμφωνα με το σχήμα του πίνακα X

/44	/56	Μονάδες
2001:648:347::	2001:648:3470:01::/56	Σχολική Μονάδα 1
	2001:648:3470:02::/56	Σχολική Μονάδα 2

	2001:648:347F:FF:/56	Σχολική Μονάδα N

Πίνακας 9.2-1 Στατική απόδοση προθέματων ανά σχολική μονάδα

9.2.1.1 Παραμετροποίηση CPE Σχολικής Μονάδας

Η παραμετροποίηση του CPE της σχολικής μονάδας για την στατική απόδοση IPv6 προθέματος πραγματοποιείται με ταβήματα του Πίνακα.

Δεδομένα Παραμετροποίησης	
IPv6 Prefix	2001:648:3470::/56
Hostame	MAN-SCHOOL1
MAN Interface	FastEthernet0/0
LAN Interface	FastEthernet0/1
Loopback Interface	Loopback 0

9.2.1.2 Απόδοση του IPv6 προθέματος και αριθμοδότηση του Loopback Interface

Εντολή Cisco Δρομολογητή	Περιγραφή
MAN-SCHOOL1>enable	Είσοδος σε privileged mode
MAN-SCHOOL1#configt	Είσοδος σε global configuration mode

MAN-SCHOOL1(config)#ipv6 unicast-routing	Ενεργοποίηση δρομολογησης unicast routing
MAN-SCHOOL1(config)#ipv6 general-prefix static-prefix 2001:648:3470:00::/56	Δημιουργία του general-prefix 2001:648:3470:00::/56
MAN-SCHOOL1(config)#interface loopback 0	Είσοδος σε interface configuration mode για το interface loopback 0
MAN-SCHOOL1(config-if)#ipv6 enable	Ενεργοποίηση του πρωτοκόλλου IPv6 για το interface loopback 0
MAN-SCHOOL1(config-if)#ipv6 address static-prefix ::1/128	Ανάθεση της loopback διεύθυνσης 2001:648:3470::1/128 από το πρώτο /64 subnet, χρησιμοποιώντας το general-prefix
MAN-SCHOOL1(config-if)#exit	Έξοδος από interface configuration mode

Στο σημείο αυτό έχουμε αναθέσει το IPv6 πρόθεμα μήκους /56 στον δρομολογητή της σχολικής μονάδας και χρησιμοποιώντας το πρώτο /64 από αυτό, έχουμε αριθμοδοτήσει το loopback interface.

9.2.1.3 Δημιουργία μηχανισμού IPv6 autoconfiguration για την αριθμοδότηση του LAN της σχολικής μονάδας χρησιμοποιώντας τον μηχανισμό EUI-64 (Extended Unique Identifier)

Εντολή Cisco Δρομολογητή	Περιγραφή
MAN-SCHOOL1(config)#interface FastEthernet0/1	Είσοδος σε interface configuration mode για το interface FastEthernet0/1
MAN-SCHOOL1(config-if)#ipv6 enable	Ενεργοποίηση του πρωτοκόλλου IPv6 για το interface FastEthernet0/1
MAN-SCHOOL1(config-if)#ipv6 address static-prefix 0:0:0:1::/64 eui-64	Αριθμοδότηση του LAN με την χρήση του EUI-64
MAN-SCHOOL1(config-if)#no shutdown	Ενεργοποίηση του interface FastEthernet0/1
MAN-SCHOOL1(config-if)#exit	Έξοδος από interface configuration mode

Στο σημείο αυτό έχουμε αριθμοδοτήσει το LAN Interface καθώς επίσης έχουμε δημιουργήσει μηχανισμό IPv6 autoconfiguration για την αυτόματη παραμετροποίηση των σταθμών εργασίας χρησιμοποιώντας το EUI-64.

Επιβεβαιώνουμε την ορθή αριθμοδότηση των Interfaces με την εντολή: **show ipv6 interface brief**

MAN-SCHOOL1#show ipv6 interface brief	
FastEthernet0/0	[up/up]
FE80::C605:8FF:FE77:0	
FastEthernet0/1	[up/up]

```
FE80::C605:8FF:FE77:1
2001:648:3470:1:C605:8FF:FE77:1
Loopback0      [up/up]
FE80::C605:8FF:FE77:0
2001:648:3470::1
MAN-SCHOOL1#
```

Στον πίνακα Χ συνοψίζεται η διάρθρωση του δρομολογητή της σχολικής μονάδας μετά την εκτέλεση των παραπάνω βημάτων (περιλαμβάνεται μόνο ότι αφορά τα παραπάνω)

Διάρθρωση δρομολογητή Σχολικής Μονάδας

```
!
ipv6 unicast-routing
ipv6 general-prefix static-prefix 2001:648:3470::/56
!
!
interface Loopback0
no ip address
ipv6 address static-prefix ::1/128
ipv6 enable
!
!
interface FastEthernet0/1
no ip address
duplex auto
speed auto
ipv6 address static-prefix 0:0:0:1::/64 eui-64
ipv6 enable
!
```

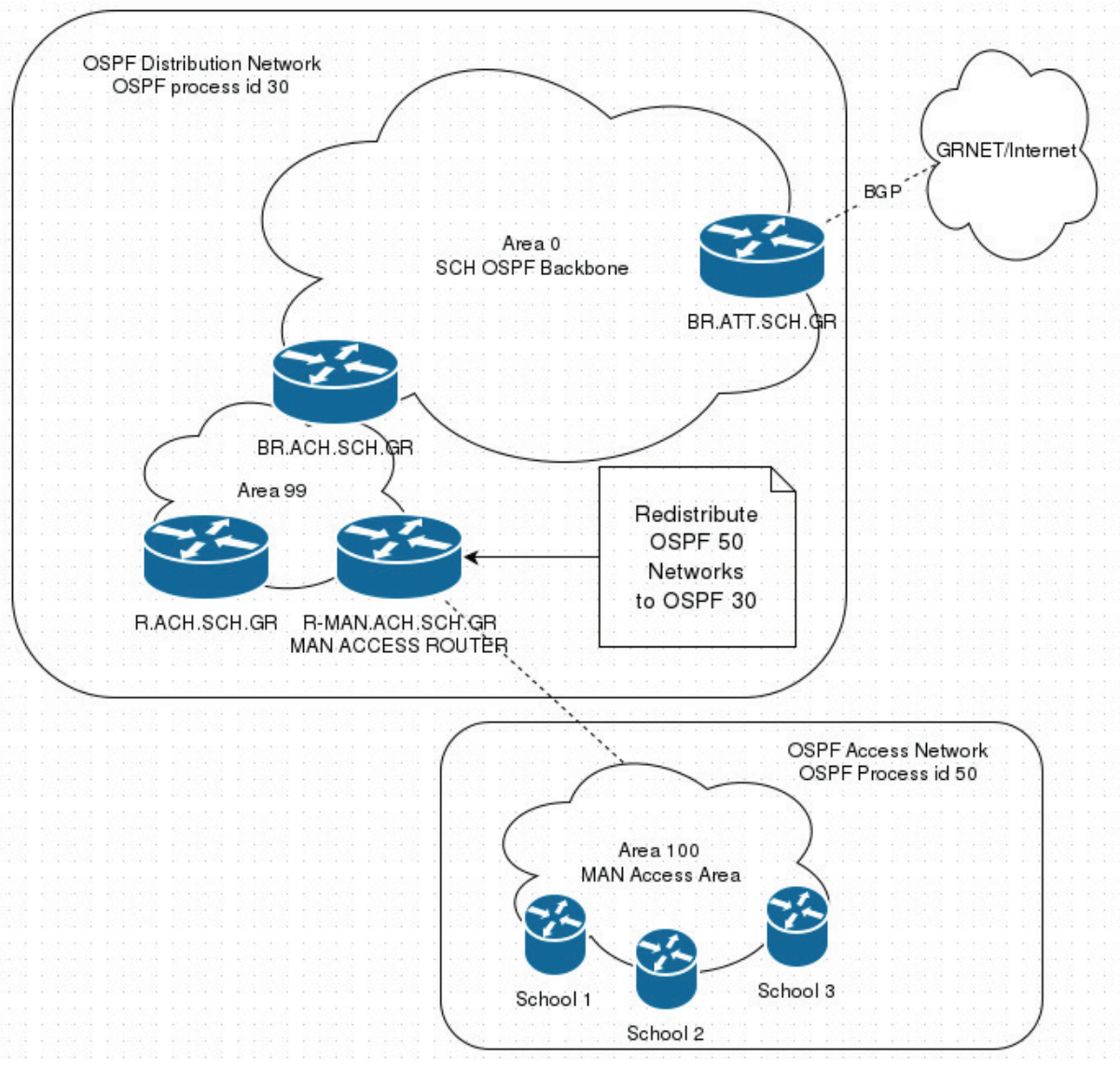
9.2.1.4 Δημιουργία Μηχανισμού Ανακοίνωσης του IPv6 προθέματος της Σχολικής Μονάδας στο Backbone Δίκτυου Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου

Ο μηχανισμός που προτείνεται είναι η ενσωμάτωση μίας δεύτερης OSPF διεργασίας στον δρομολογητή πρόσβασης του MAN, ή οποία θα ανακοινώνει τα routes του δικτύου πρόσβασης στην διεργασία του OSPF του Δικτύου Διανομής.

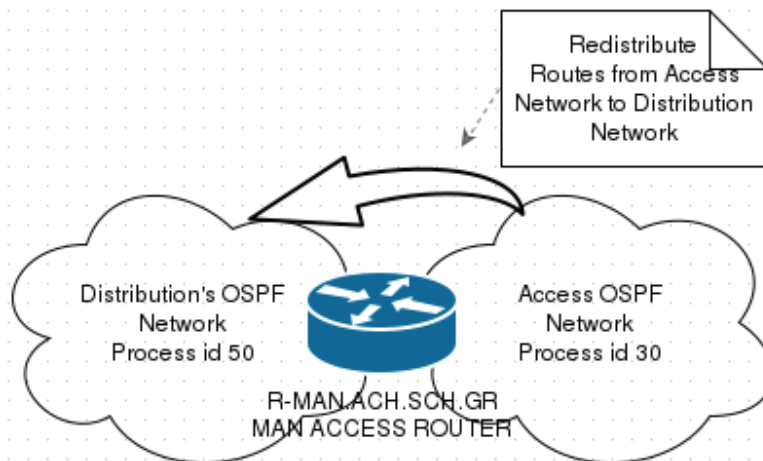
Οι ενέργειες που απαιτούντε είναι:

- Δημιουργία νέας OSPF διεργασίας στον δρομολογητή πρόσβασης του Μητροπολιτικού Δικτύου Οπτικών Ινών R-MAN.ACH.SCH.GR. Αυτή η διεργασία θα χαρακτηριστεί με το processid: 30.
- Διαμουργία OSPF area στον δρομολογητή πρόσβασης του Μητροπολιτικού Δικτύου Οπτικών Ινών για την διασύνδεση των Σχολικών Μονάδων. Θα χρησιμοποιηθεί το area id: 100.
- Διασύνδεση της σχολικής μονάδας και ανακοίνωση του προθέματός στο Area 100. Αυτή η ενέργεια πραγματοποιείται στον δρομολογητή της σχολικής μονάδας.
- Ανακοίνωση των routes της OSPF process 30 του Δικτύου Πρόσβασης στην OSPF process 50 του Δικτύου Διανομής. Με αυτόν τον τρόπο το Δίκτυο Διανομής του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου θα μπορεί να δρομολογήσει πακέτα προς τις σχολικές μονάδες που διασυνδέονται στα MAN.

Επί της ουσίας, με την παραπάνω μέθοδο ο δρομολογητής πρόσβασης του Μητροπολιτικού Δικτύου R-MAN.ACH.SCH.GR θα βρίσκεται σε δύο διαφορετικά OSPF δίκτυα. Το ένα δίκτυο OSPF είναι αυτό που διασυνδέει τον R-MAN.ACH.SCH.GR με το Δίκτυο Διανομής του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου. Το δεύτερο OSPF δίκτυο θα αποτελεί ένα ανεξάρτητο OSPF δίκτυο πρόσβασης, το οποίο θα χρησιμοποιείται για την διασύνδεση των σχολικών μονάδων με μία μοναδική area όπου θα ανακοινώνουν τα routes τους. Ο δρομολογητής πρόσβασης του Μητροπολιτικού Δικτύου Οπτικών Ινών, ο οποίος θα είναι συνδεδεμένος και στα δύο αυτά OSPF θα ανακοινώσει τα routes τα οποία θα μαθαίνει από την OSPF process του Δικτύου Πρόσβασης στην OSPF process του Δικτύου Διανομής. Επίσης θα παράγει το default route για το Δίκτυο Πρόσβασης. Στην εικόνα 9.2-1 και στην εικόνα 9.2-2 αναπαρίσταται η αρχιτεκτονική υλοποίησης.



Σχήμα 9.2-1 Μέθοδος υλοποίησης IPv6 μηχανισμού πρόσβασης στα MAN με στατική απόδοση προθέματος.



Σχήμα 9.2-2 Ανακοίνωση OSPF external routes από το OSPF δίκτυο του MAN στο Δίκτυο Διανομής

9.2.1.5 Παραμετροποίηση Δρομολογητή Πρόσβασης Μητροπολιτικού Δίκτυου Οπτικών Ινών

Εντολή Cisco Δρομολογητή	Περιγραφή
R-MAN.ACH.SCH.GR>en	Είσοδος σε privileged mode
R-MAN.ACH.SCH.GR#config t	Είσοδος σε global configuration mode
R-MAN.ACH.SCH.GR(config)#ipv6 router ospf 30	Είσοδος σε router configuration mode
R-MAN.ACH.SCH.GR(config-rtr)#router-id 10.0.2.11	Ορισμός router id.
R-MAN.ACH.SCH.GR(config-rtr)#area 100 nssa no-redistribution default-information-originate no-summary	Ορίζουμε την area 100 ως nssa με παραμέτρους για no-redistribution, no-summary και το default route να παράγεται από τον r-man
R-MAN.ACH.SCH.GR(config-rtr)#exit	Έξοδος από router configuration mode.
R-MAN.ACH.SCH.GR(config)#interface FastEthernet0/1	Είσοδος σε interface configuration mode
R-MAN.ACH.SCH.GR(config-if)#ipv6 enable	Ενεργοποίηση του IPv6 στο interface.
R-MAN.ACH.SCH.GR(config-if)# ipv6 ospf 30 area 100	Το interface τίθεται σε λειτουργία ospf στην area 100
R-MAN.ACH.SCH.GR(config-if)#exit	Έξοδος από interface configuration mode.
R-MAN.ACH.SCH.GR(config)#ipv6 router ospf 30	Είσοδος σε router configuration mode
R-MAN.ACH.SCH.GR(config-rtr)#redistribute ospf 30	Θέτουμε στην διεργασία OSPF 50 να ανακοινώνει στο OSPF δίκτυο της τα routes του OSPF δικτύου της διεργασίας 30

R-MAN.ACH.SCH.GR(config-rtr)#exit	Έξοδος από router configuration mode.
R-MAN.ACH.SCH.GR(config)#exit	Είσοδος σε global configuration mode

Στο σημείο αυτό δημιουργήσαμε το OSPF δίκτυο πρόσβασης με area id 100 και ορίσαμε στον δρομολογητή πρόσβασης να ανακοινώνει τα routes που μαθαίνει από το Δίκτυο Πρόσβασης του Μητροπολιτικού Δικτύου Οπτικών Ινών στο Δίκτυο Διανομής του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου.

Στον πίνακα X συνοψίζεται η διάρθρωση του δρομολογητή πρόσβασης που προκύπτει από τις παραπάνω ενέργειες παραμετροποίησης.

Διάρθρωση δρομολογητή πρόσβασης Μητροπολιτικού Δικτύου Οπτικών Ινών

```
!
ipv6 unicast-routing
!
!
interface Loopback0
no ip address
ipv6 address 2001:648:2302::2010/128
ipv6 enable
!
interface FastEthernet0/0
no ip address
duplex auto
speed auto
ipv6 enable
ipv6 ospf network point-to-point
ipv6 ospf 50 area 99
!
interface FastEthernet0/1
no ip address
duplex auto
```

```

speed auto
ipv6 enable
ipv6 ospf 30 area 100
!
!
ipv6 router ospf 50
router-id 10.0.2.10
log-adjacency-changes
area 99 nssa
redistribute connected
redistribute ospf 30
!
ipv6 router ospf 30
router-id 10.0.2.11
log-adjacency-changes
area 100 nssa no-redistribution default-information-originate no-summary
!

```

9.2.1.6 Παραμετροποίηση Δρομολογητή Σχολικής Μονάδας για την Ανακοίνωση των προθεμάτων του στο Δίκτυο Πρόσβασης

Εντολή Cisco Δρομολογητή	Περιγραφή
MAN-SCHOOL1 >enable	Είσοδος σε privileged mode
MAN-SCHOOL1 #config	Είσοδος σε global configuration mode
MAN-SCHOOL1(config)# ipv6 route 2001:648:3470::56 Null0	Ορίζεται ένα staticroute στο null 0. Το staticroute αντιστοιχεί στο IPv6 πρόθεμα που αποδόθηκε στην σχολική μονάδα.
MAN-SCHOOL1(config)# ipv6 router ospf 30	Είσοδος σε router configuration mode
MAN-SCHOOL1(config-rtr)#router-id 10.0.2.100	Ορισμός του router id.
MAN-SCHOOL1(config-rtr)#area 100 nssa	Ορισμός της area 100 ως nssa
MAN-SCHOOL1(config-rtr)# redistribute static	Ανακοίνωση των staticroutes στην area 100
MAN-SCHOOL1(config-rtr)#exit	Έξοδος από router configuration mode
MAN-SCHOOL1(config)# interface	Είσοδος σε interface configuration mode.

<i>FastEthernet0/0</i>	
<i>MAN-SCHOOL1(config-if)# ipv6 enable</i>	Ενεργοποίηση του IPv6 στο interface
<i>MAN-SCHOOL1(config-if)#ipv6 ospf 30 area 100</i>	Το interface τίθεται σε λειτουργία ospf στην area 100
<i>MAN-SCHOOL1(config-if)#exit</i>	Έξοδος από router configuration mode.
<i>MAN-SCHOOL1(config)#exit</i>	Είσοδος σε global configuration mode

Στον πίνακα συνοψίζεται η διάρθρωση του Δρομολογητή της Σχολικής Μονάδας που προκύπτει από την παραπάνω ενέργειες.

Διάρθρωση δρομολογητή σχολικής μονάδας για την διασύνδεση και ανακοίνωση routes στο OSPF Δίκτυο Πρόσβασης

```
!
ipv6 unicast-routing
ipv6 general-prefix static-prefix 2001:648:3470::/56
!
!
interface Loopback0
no ip address
ipv6 address static-prefix ::1/128
ipv6 enable
!
interface FastEthernet0/0
no ip address
duplex auto
speed auto
ipv6 enable
ipv6 ospf 30 area 100
!
interface FastEthernet0/1
no ip address
duplex auto
speed auto
```

```

ipv6 address static-prefix 0:0:0:1::/64 eui-64
ipv6 enable
!
!
ipv6 route 2001:648:3470::/56 Null0
ipv6 router ospf 30
router-id 10.0.2.100
log-adjacency-changes
area 100 nssa
redistribute static
!

```

Επιβεβαιώνουμε την γειτνίαση με την εντολή: **showipv6 ospfneighbor**

```
MAN-SCHOOL1#show ipv6 ospf neighbor
```

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Interface ID	Interface
10.0.2.11	1	FULL/BDR	00:00:35	5	FastEthernet0/0

```
MAN-SCHOOL1#
```

Διαβάζοντας τον πίνακα δρομολόγησης της σχολικής μονάδας επιβεβαιώνουμε την λήψη defaultroute από τον δρομολογήτη πρόσβασης του Μητροπολιτικού Δικτύου Οπτικών Ινών με την εντολή:**showipv6 route**

```
MAN-SCHOOL1#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
```

```
ON2 ::/0 [110/1]
```

```
via FE80::C604:8FF:FE67:1, FastEthernet0/0
```

```
S 2001:648:3470::/56 [1/0]
  via ::, Null0
LC 2001:648:3470::1/128 [0/0]
  via ::, Loopback0
C 2001:648:3470:1::/64 [0/0]
  via ::, FastEthernet0/1
L 2001:648:3470:1:C605:8FF:FE77:1/128 [0/0]
  via ::, FastEthernet0/1
L FE80::/10 [0/0]
  via ::, Null0
L FF00::/8 [0/0]
  via ::, Null0
MAN-SCHOOL1#
```

Βλέπουμε ότι έχουμε παραλάβει το defaultroute το οποίο είναι:

```
ON2 ::/0 [110/1]
```

```
via FE80::C604:8FF:FE67:1, FastEthernet0/0
```

Το τελευταίο που θα πρέπει να επιβεβαιώσουμε είναι ότι το route για την σχολική μονάδα ανακοινώθηκε στο Δίκτυο Διανομής του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου και ότι το γνωρίζουν οι συνοριακοί δρομολογητές.

Επιβεβαιώνουμε την ορθή ανακοίνωση του route από τον πίνακα δρομολόγησης του συνοριακού δρομολογητή του αυτόνομου συστήματος του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου BR.ATT.SCH.GR

```
BR.ATT.SCH.GR#show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 7 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
       U - Per-user Static route
```

```
II - 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
LC 2001:648:2302::100/128 [0/0]
  via ::, Loopback0
OE2 2001:648:2302::200/128 [110/20]
  via FE80::C602:8FF:FE47:0, FastEthernet0/0
OE2 2001:648:2302::201/128 [110/20]
  via FE80::C602:8FF:FE47:0, FastEthernet0/0
OE2 2001:648:2302::2010/128 [110/20]
  via FE80::C602:8FF:FE47:0, FastEthernet0/0
OE2 2001:648:3470::56 [110/20]
  via FE80::C602:8FF:FE47:0, FastEthernet0/0
L FE80::/10 [0/0]
  via ::, Null0
L FF00::/8 [0/0]
  via ::, Null0
BR.ATT.SCH.GR#
```

Επιβεβαιώνουμε την συνδεσιμότητα αποστέλλοντας μηνύματα ping και traceroute από τον BR.ATT.SCH.GR προς την loopback διεύθυνση της σχολικής μονάδας

```
BR.ATT.SCH.GR#ping 2001:648:3470::1

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2001:648:3470::1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 40/61/84 ms

BR.ATT.SCH.GR#traceroute 2001:648:3470::1
```

Type escape sequence to abort.

Tracing the route to 2001:648:3470::1

```
1 2001:648:2302::200 16 msec 20 msec 12 msec
2 2001:648:2302::201 52 msec 56 msec 24 msec
3 2001:648:2302::2010 40 msec 64 msec 40 msec
4 2001:648:3470::1 24 msec 64 msec 28 msec
```

BR.ATT.SCH.GR#

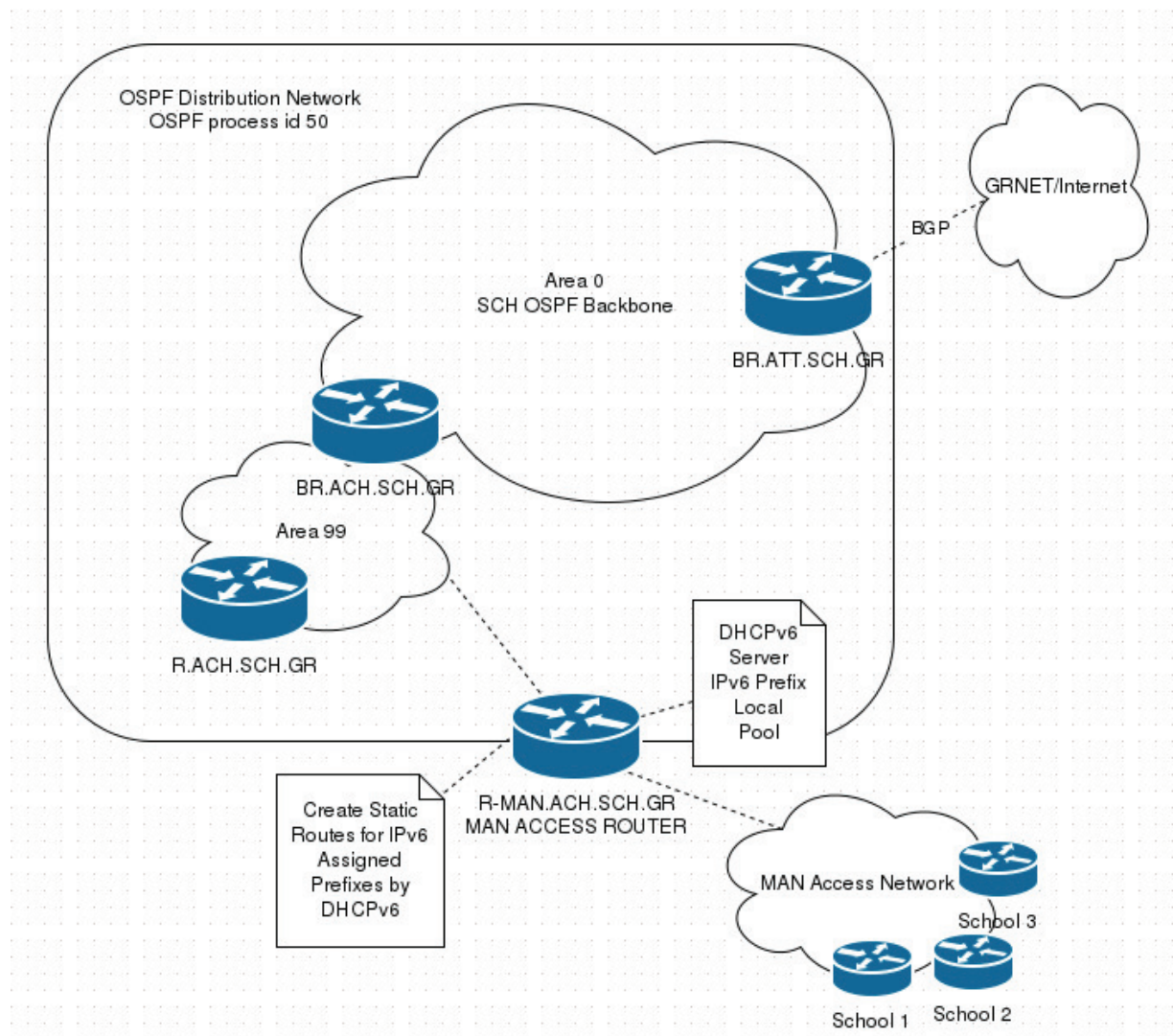
9.2.2 Δυναμική απόδοση IPv6 Προθέματος Στην Σχολική Μονάδα με χρήση του πρωτοκόλλου DHCPv6

Σε αυτήν την μέθοδο χρησιμοποιούμε το πρωτόκολλο DHCPv6 για την δυναμική απόδοση IPv6 προθεμάτων στις σχολικές μονάδες.

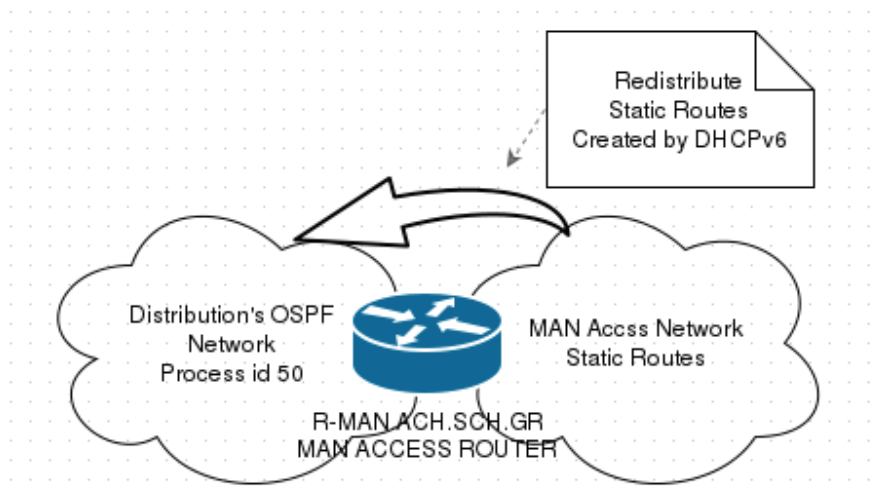
Οι ενέργειες που απαιτούνται για την συγκεκριμένη υλοποίηση είναι οι παρακάτω:

- Δημιουργούμε υπηρεσία DHCPv6 στον δρομολογητή πρόσβασης του Μητροπολιτικού Δικτύου Οπτικών Ινών.
- Δημιουργούμε υπηρεσία DHCPv6 client στον δρομολογητή της σχολικής μονάδας
- Η υπηρεσία DHCPv6 server του δρομολογητή πρόσβασης του Μητροπολιτικού Δικτύου αποδίδει IPv6 προθέματα στις σχολικές μονάδες και ταυτόχρονα δημιουργεί ένα static route για κάθε IPv6 πρόθεμα που απέδωσε.
- Ο δρομολογητής πρόσβασης του Μητροπολιτικού δικτύου στην συνέχεια διαφημίζει τα στατικά routes που δημιουργήθηκαν από την υπηρεσία DHCPv6 στο δίκτυο Διανομής του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου
- Τέλος ο δρομολογητής της σχολικής μονάδας θα χρησιμοποιήσει το IPv6 prefix που παρέλαβε για να αριθμοδοτήσει τα interfaces του και το σχολικό LAN.

Στην εικόνα X αναπαρίσταται η παραπάνω μέθοδος και στην εικόνα 9.2-3 η ανάκοινωση των static routes στο Δίκτυο Διανομής του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου.



Σχήμα 9.2-3 Μέθοδος υλοποίησης IPv6 μηχανισμού πρόσβασης στα ΜΑΝ με δυναμική απόδοση προθέματος μέσω DHCPv6



Σχήμα 9.2-4 Ανακοίνωση των προθεμάτων στο Δίκτυο Διανομής τα οποία δημιουργήθηκαν από τον

Για την υλοποίηση του παραδείγματος παραμετροποίησης χρησιμοποιούνται τα ίδια δεδομένα με το προηγούμενο παράδειγμα στατικής απόδοσης προθέματος. Δεσμεύουμε ένα /44 πρόθεμα από το οποίο αποδίδουμε /56 προθέματα σε κάθε σχολική μονάδα.

/44	/56	Μονάδες
2001:648:347::	2001:648:3470:01::/56	Σχολική Μονάδα 1
	2001:648:3470:02::/56	Σχολική Μονάδα 2

	2001:648:347F:FF:/56	Σχολική Μονάδα N

9.2.3 Παραμετροποίηση Δρομολογητή Πρόσβασης Μητροπολιτικού Δικτύου Οπτικών Ινών

Δίνονται τα απαιτούμενα βήματα παραμετροποίησης του δρομολογητή πρόσβασης του Μητροπολιτικού Δικτύου Οπτικών Ινών για την υλοποίηση της υπηρεσίας DHCPv6 για απόδοση IPv6 προθεμάτων στις σχολικές μονάδες

Εντολή Cisco Δρομολογητή	Περιγραφή
<i>R-MAN.ACH.SCH.GR>en</i>	Είσοδος σε privileged mode
<i>R-MAN.ACH.SCH.GR#config t</i>	Είσοδος σε global configuration mode
<i>R-MAN.ACH.SCH.GR(config)#ipv6 dhcp pool MAN-POOL</i>	Ορισμός ενός IPv6 DHCP pool
<i>R-MAN.ACH.SCH.GR(config-dhcp)#prefix-delegation pool pool1 lifetime 3600 600</i>	Ορίζεται το ροολαπό το οποίο θα αποδίδονται προθέματα και η διάρκεια ισχύος κάθε προθέματος.
<i>R-MAN.ACH.SCH.GR(config-dhcp)#exit</i>	Έξοδος από DHCP configuration mode.

<i>R-MAN.ACH.SCH.GR(config)#int fastEthernet 0/1</i>	Είσοδοςσε interface configuration mode.
<i>R-MAN.ACH.SCH.GR(config-if)#ipv6 enable</i>	Ενεργοποιείται το IPv6 στο Interface
<i>R-MAN.ACH.SCH.GR(config-if)#ipv6 dhcp server MAN-POOL</i>	Ενεργοποιείται ο DHCP Server με το όνομα MAN-POOL στο Interface
<i>R-MAN.ACH.SCH.GR(config-if)#exit</i>	Έξοδος από interface configuration mode
<i>R-MAN.ACH.SCH.GR(config)#ipv6 local pool pool1 2001:648:347::/44 56</i>	Ορίζεται το τοπικό pool με όνομα pool1 και πρόθεμα /44 από το οποίο θα παραδίδονται /56 προθέματα.
<i>R-MAN.ACH.SCH.GR(config)#exit</i>	Έξοδος από global configuration mode

Η διάρθρωση του δρομολογητή πρόσβασης που προκύπτει από την παραπάνω παραμετροποίηση έχει ως εξής:

Διάρθρωση δρομολογητή πρόσβασης Μητροπολιτικού Δικτύου

```

!
ipv6 unicast-routing
ipv6 dhcp pool MAN-POOL
prefix-delegation pool pool1 lifetime 3600 600
!
!
interface Loopback0
no ip address
ipv6 address 2001:648:2302::2010/128
ipv6 enable
!
interface FastEthernet0/0
no ip address
duplex auto
speed auto
ipv6 enable
ipv6 ospf network point-to-point
ipv6 ospf 50 area 99
!

```

```

interface FastEthernet0/1
no ip address
duplex auto
speed auto
ipv6 enable
ipv6 dhcp server MAN-POOL
!
!
ipv6 local pool pool1 2001:648:340::/44 56
ipv6 router ospf 50
router-id 10.0.2.10
log-adjacency-changes
area 99 nssa
redistribute connected
!

```

9.2.4 Παραμετροποίηση Δρομολογητή Σχολικής Μονάδας

Δίνονται τα απαιτούμενα βήματα παραμετροποίησης της σχολικής μονάδας για την λήψη IPv6 Prefix με DHCPv6 client.

Εντολή Cisco Δρομολογητή	Περιγραφή
MAN-SCHOOL1>en	Είσοδος σε privileged mode
MAN-SCHOOL1#conf t	Είσοδος σε global configuration mode
MAN-SCHOOL1(config)#ipv6 unicast-routing	Ενεργοποίηση ipv6 unicast routing
MAN-SCHOOL1(config)#interface FastEthernet0/0	Είσοδος σε interface configuration mode.
MAN-SCHOOL1(config-if)#ipv6 enable	Ενεργοποιείται το IPv6 στο interface
MAN-SCHOOL1(config-if)#ipv6 dhcp client pd PREFIX-FROM-MAN	Ενεργοποιείται η υπηρεσία DHCP client στο interface.
MAN-SCHOOL1(config-if)#exit	Έξοδος από interface configuration mode
MAN-SCHOOL1(config)#exit	Έξοδος από global configuration mode.

Η διάβρωση του δρομολογητή της σχολικής μονάδας που προκύπτει έχει ως εξής:

Διάρθρωση δρομολογητή σχολικής μονάδας

```
!  
ipn6 unicast-routing  
!  
!  
interface FastEthernet0/0  
no ip address  
duplex auto  
speed auto  
ipn6 enable  
ipn6 dhcp client pd PREFIX-FROM-MAN  
!
```

Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε πολύ εύκολα να διασυνδέσουμε μια δεύτερη σχολική μονάδα στο Μητροπολιτικό Δίκτυο Οπτικών Ινών.

9.2.5 Επιβεβαίωση της λειτουργίας του μηχανισμού απόδοσης με προθέματος με το πρωτόκολλο DHCPv6:

Στον δρομολογητή της σχολικής μονάδας εκτελούμε: show ipn6 general-prefix

```
MAN-SCHOOL1#show ipn6 general-prefix  
IPv6 Prefix PREFIX-FROM-MAN, acquired via DHCP PD  
2001:648:340::/56 Valid lifetime 3422, preferred lifetime 422  
MAN-SCHOOL1#
```

Επιβεβαιώνουμε την απόδοση IPv6 προθέματος και στην δεύτερη σχολική μονάδα (εφόσον την προσθέσαμε):

```
MAN-SCHOOL2#show ipn6 general-prefix  
IPv6 Prefix PREFIX-FROM-MAN, acquired via DHCP PD  
2001:648:340:100::/56 Valid lifetime 3498, preferred lifetime 498
```

```
MAN-SCHOOL2#
```

Στον δρομολογητή πρόσβασης εκτελούμε: show ipv6 dhcp pool

```
R-MAN.ACH.SCH.GR#show ipv6 dhcp pool
DHCPv6 pool: MAN-POOL
Prefix pool: pool1
preferred lifetime 600, valid lifetime 3600
Active clients: 2
R-MAN.ACH.SCH.GR#
```

Μπορούμε να δούμε επίσης τα bindings του DHCPv6 server με την εντολή: ipv6 dhcp binding

```
R-MAN.ACH.SCH.GR#show ipv6 dhcp binding
Client: FE80::C605:8FF:FE77:0 (FastEthernet0/1)
DUID: 00030001C40508770000
IA PD: IA ID 0x00040001, T1 300, T2 480
Prefix: 2001:648:340::/56
preferred lifetime 600, valid lifetime 3600
expires at Mar 01 2002 02:33 AM (3438 seconds)
Client: FE80::C606:8FF:FE87:0 (FastEthernet0/1)
DUID: 00030001C40608870000
IA PD: IA ID 0x00040001, T1 300, T2 480
Prefix: 2001:648:340:100::/56
preferred lifetime 600, valid lifetime 3600
expires at Mar 01 2002 02:31 AM (3346 seconds)
R-MAN.ACH.SCH.GR#
```

Στην συνέχεια πρέπει να παραμετροποιήσουμε επιπλέον του δρομολογητή της σχολικής μονάδας ώστε να αριθμοδοτήσει τα Interfaces του και το σχολικό LAN με το prefix που παρέλαβε. Θα πρέπει επίσης να παραμετροποιηθεί ώστε να παράγει το defaultroute. Στην μέχρι στιγμής παραμετροποίηση έχει ένα Staticroute στο interfacenull 0 το οποίο δημιουργήθηκε από το IPv6 prefix που παρέλαβε

```

MAN-SCHOOL1#show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 3 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
S 2001:648:340::/56 [1/0]
  via ::, Null0
L FE80::/10 [0/0]
  via ::, Null0
L FF00::/8 [0/0]
  via ::, Null0
MAN-SCHOOL1#

```

Εντολή Cisco Δρομολογητή	Περιγραφή
MAN-SCHOOL1>en	Είσοδος σε privileged mode
MAN-SCHOOL1#config t	Είσοδος σε global configuration mode
MAN-SCHOOL1(config)#int fastEthernet 0/0	Είσοδος σε interface configuration mode
MAN-SCHOOL1(config-if)#ipv6 address autoconfig default	Εισάγει το default route
MAN-SCHOOL1(config-if)#exit	Έξοδος από interface configuration mode
MAN-SCHOOL1(config)#exit	Έξοδος από global configuration mode.

Η διάρθρωση που προκύπτει είναι:

Διάρθρωση δρομολογητή σχολικής μονάδας

```

!
ipv6 unicast-routing
!
!
interface FastEthernet0/0

```

```

no ip address
duplex auto
speed auto
ipv6 address autoconfig default
ipv6 enable
ipv6 dhcp client pd PREFIX-FROM-MAN
!
interface FastEthernet0/1
no ip address
shutdown
duplex auto
speed auto
!

```

Ελέγχουμε τον πίνακα δρομολόγησης του δρομολογητή της σχολικής μονάδας για να επιβεβαιώσουμε την δημιουργία του defaultroute με την εντολή: **showipv6 route**

```

MAN-SCHOOL1#show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 4 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
S  ::0 [1/0]
   via FE80::C604:8FF:FE67:1, FastEthernet0/0
S  2001:648:340::/56 [1/0]
   via ::, Null0
L  FE80::/10 [0/0]
   via ::, Null0
L  FF00::/8 [0/0]

```



```
via ::, Null0
```

```
MAN-SCHOOL1#
```

Διαπιστώνουμε ότι το defaultroute δημιουργήθηκε. Στην συνέχεια αριθμοδοτούμε τα Interfaces loopback 0 και το interface σύνδεσης στο LAN FastEthernet0/1 χρησιμοποιώντας το IPv6 πρόθεμα που παρέλαβε ο δρομολογητής της σχολικής μονάδας από τον DHCPv6 Server.

Εντολή Cisco Δρομολογητή	Περιγραφή
MAN-SCHOOL1>en	Είσοδος σε privileged mode
MAN-SCHOOL1#config t	Είσοδος σε global configuration mode
MAN-SCHOOL1(config)#int loopback 0	Είσοδος σε interface configuration mode
MAN-SCHOOL1(config-if)#ipv6 address PREFIX-FROM-MAN ::1/128	Ορίζεται η loopback address χρησιμοποιώντας το general-prefix το οποίο παρελήφθει από το MAN.
MAN-SCHOOL1(config-if)#exit	Έξοδος από interface configuration mode
MAN-SCHOOL1(config)#int fastEthernet 0/1	Είσοδος σε interface configuration mode (LAN interface)
MAN-SCHOOL1(config-if)#ipv6 address PREFIX-FROM-MAN ::1:0:0:0:1/64 eui-64	Αριθμοδοτούμε το LAN χρησιμοποιώντας το δεύτερο /64 από το συνολικό /56 prefix, με την μέθοδο EUI-64

Επιβεβαιώνουμε την αριθμοδότηση των Interfaces με την εντολή: **show ipv6 interface brief**

```
MAN-SCHOOL1#show ipv6 interface brief
```

```
FastEthernet0/0 [up/up]
```

```
FE80::C605:8FF:FE77:0
```

```
FastEthernet0/1 [up/up]
```

```
FE80::C605:8FF:FE77:1
```

```
2001:648:340:1:C605:8FF:FE77:1
```

```
Loopback0 [up/up]
```

```
FE80::C605:8FF:FE77:0
```

```
2001:648:340::1
```

```
MAN-SCHOOL1#
```

9.2.6 Διαμόρφωση Δρομολογητή Πρόσβασης για την Ανακοίνωση των Routes των Σχολικών Μονάδων στο Δίκτυο Πρόσβασης

Ο δρομολογητής πρόσβασης του Μητροπολιτικού Δικτύου Οπτικών Ινών δημιουργεί static routes για τα προθέματα που απέδωσε σε κάθε σχολική μονάδα, όπως φαίνεται από τον πίνακα δρομολογήσης του R-MAN.ACH.SCH.GR στον παρακάτω πίνακα:

```
R-MAN.ACH.SCH.GR#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
OI ::/0 [110/21]
   via FE80::C603:8FF:FE57:0, FastEthernet0/0
S  2001:648:340::/56 [1/0]
   via FE80::C605:8FF:FE77:0, FastEthernet0/1
S  2001:648:340:100::/56 [1/0]
   via FE80::C606:8FF:FE87:0, FastEthernet0/1
ON2 2001:648:2302::201/128 [110/20]
   via FE80::C603:8FF:FE57:0, FastEthernet0/0
LC 2001:648:2302::2010/128 [0/0]
   via ::, Loopback0
L  FE80::/10 [0/0]
   via ::, Null0
L  FF00::/8 [0/0]
   via ::, Null0
R-MAN.ACH.SCH.GR#
```

Αυτά τα routes όμως τα γνωρίζει μόνο ο δρομολογητής πρόσβασης και όχι το υπόλοιπο δίκτυο διανομής του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου. Ο συνοριακός δρομολογητής του αυτόνομου συστήματος του

Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου δεν γνωρίζει αυτά τα routes, όπως διαπιστώνεται από τον παρακάτω πίνακα:

```
BR.ATT.SCH.GR#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
LC 2001:648:2302::100/128 [0/0]
   via ::, Loopback0
OE2 2001:648:2302::200/128 [110/20]
   via FE80::C602:8FF:FE47:0, FastEthernet0/0
OE2 2001:648:2302::201/128 [110/20]
   via FE80::C602:8FF:FE47:0, FastEthernet0/0
OE2 2001:648:2302::2010/128 [110/20]
   via FE80::C602:8FF:FE47:0, FastEthernet0/0
L FE80::/10 [0/0]
   via ::, Null0
L FF00::/8 [0/0]
   via ::, Null0
BR.ATT.SCH.GR#
```

Θα πρέπει να αναπτύχθει μέθοδος ανακοίνωσης των routes των διασυνδεδεμένων σχολικών μονάδων στο Δίκτυο Διανομής, έτσι ώστε να μπορούν οι δρομολογητές του Δικτύου Διανομής να δρομολογήσουν πακέτα προς αυτές τις σχολικές μονάδες. Για την ανακοίνωση των routes θα χρησιμοποιήσουμε την OSPFprocess 50 του Δρομολογητή Πρόσβασης.

Στον πίνακα δίνεται η διαμόρφωση του δρομολογητή πρόσβασης για τη ανακοίνωση των routes στο Δίκτυο Διανομής.

Εντολή Cisco Δρομολογητή	Περιγραφή
R-MAN.ACH.SCH.GR>en	Είσοδος σε privileged mode
R-MAN.ACH.SCH.GR#config t	Είσοδος σε global configuration mode
R-MAN.ACH.SCH.GR(config)#ipv6 router ospf 50	Είσοδος σε router configuration mode
R-MAN.ACH.SCH.GR(config-rtr)#redistribute static	Ορίζεται στον δρομολογητή να ανακοινώνει τα staticroutesστο ospfδικτυο.
R-MAN.ACH.SCH.GR(config-rtr)#exit	Έξοδος από router configuration mode.
R-MAN.ACH.SCH.GR(config)#exit	Έξοδος από global configuration mode.

Η διάρθρωση του δρομολογητή πρόσβασης που προκύπτει από την παραπάνω παραμετροποίηση είναι:

Διάρθρωση δρομολογητή πρόσβασης Μητροπολιτικού Δικτύου

```

!
ipv6 unicast-routing
ipv6 dhcp pool MAN-POOL
 prefix-delegation pool pool1 lifetime 3600 600
!
!
interface Loopback0
 no ip address
 ipv6 address 2001:648:2302::2010/128
 ipv6 enable
!
interface FastEthernet0/0
 no ip address
 duplex auto
 speed auto
 ipv6 enable
 ipv6 ospf network point-to-point
 ipv6 ospf 50 area 99
!
interface FastEthernet0/1
 no ip address
 duplex auto
 speed auto
 ipv6 enable
 ipv6 dhcp server MAN-POOL
!
!
ipv6 local pool pool1 2001:648:340::/44 56
ipv6 router ospf 50
 router-id 10.0.2.10

```

```
log-adjacency-changes
area 99 nssa
redistribute connected
redistribute static
!
```

Ελέγχουμε εάν ο συνοριακός δρομολογητής του αυτόνομου συστήματος του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου έλαβε τα routes για τις σχολικές μονάδες:

```
BR.ATT.SCH.GR#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
OE2 2001:648:340::/56 [110/20]
    via FE80::C602:8FF:FE47:0, FastEthernet0/0
OE2 2001:648:340:100::/56 [110/20]
    via FE80::C602:8FF:FE47:0, FastEthernet0/0
LC 2001:648:2302::100/128 [0/0]
    via ::, Loopback0
OE2 2001:648:2302::200/128 [110/20]
    via FE80::C602:8FF:FE47:0, FastEthernet0/0
OE2 2001:648:2302::201/128 [110/20]
    via FE80::C602:8FF:FE47:0, FastEthernet0/0
OE2 2001:648:2302::2010/128 [110/20]
    via FE80::C602:8FF:FE47:0, FastEthernet0/0
L FE80::/10 [0/0]
    via ::, Null0
L FF00::/8 [0/0]
    via ::, Null0
BR.ATT.SCH.GR#
```

Διαπιστώνουμε ότι ο συνοριακός δρομολογητής έμαθε ένα route για κάθε /56 IPv6 πρόθεμα το οποίο απέδωσε ο DHCPv6 Server. Μένει να ελέγξουμε την συνδεσιμότητα της μονάδας με τον συνοριακό δρομολογητή αυτόνομου συστήματος του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου. Επιχειρούμε ping και traceroute από την μονάδα προς τον συνοριακό δρομολογητή ή αντίστροφα.

```
MAN-SCHOOL1#ping 2001:648:2302::100
```

```
Type escape sequence to abort.
```

```
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2001:648:2302::100, timeout is 2 seconds:
```

```
!!!!
```

```
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 48/61/80 ms
```

```
MAN-SCHOOL1#traceroute 2001:648:2302::100
```

```
Type escape sequence to abort.
```

```
Tracing the route to 2001:648:2302::100
```

```
 1 2001:648:2302::2010 28 msec 32 msec 60 msec
```

```
 2 2001:648:2302::201 36 msec 56 msec 32 msec
```

```
 3 2001:648:2302::200 48 msec 64 msec 60 msec
```

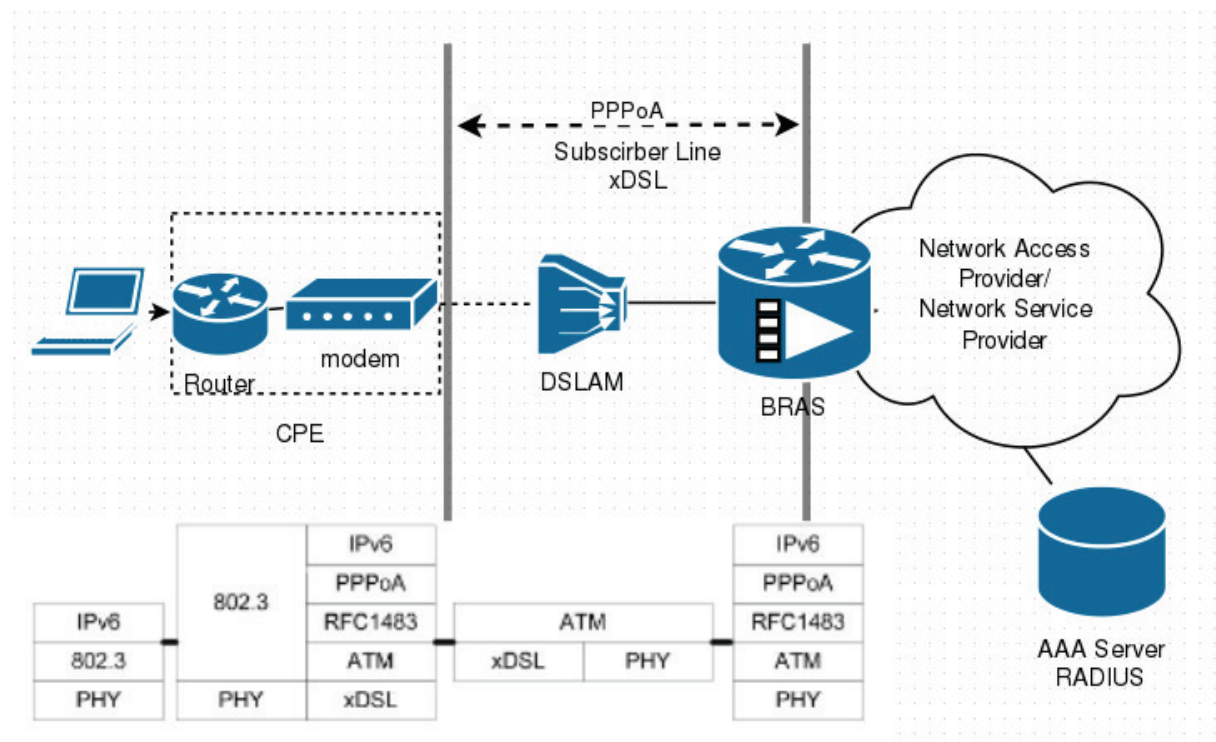
```
 4 2001:648:2302::100 80 msec 76 msec 44 msec
```

```
MAN-SCHOOL1#
```

Διαπιστώνουμε ότι η συνδεσιμότητα είναι επιτυχής και ότι ο μηχανισμός λειτουργεί.

10 Υπηρεσία Πρόσβασης IPv6 ADSL

Η τυπική αρχιτεκτονική της υπηρεσίας ADSL φαίνεται στην εικόνα 9.2-1



Σχήμα 9.2-1 Αρχιτεκτονική υπηρεσίας ADSL πρόσβασης

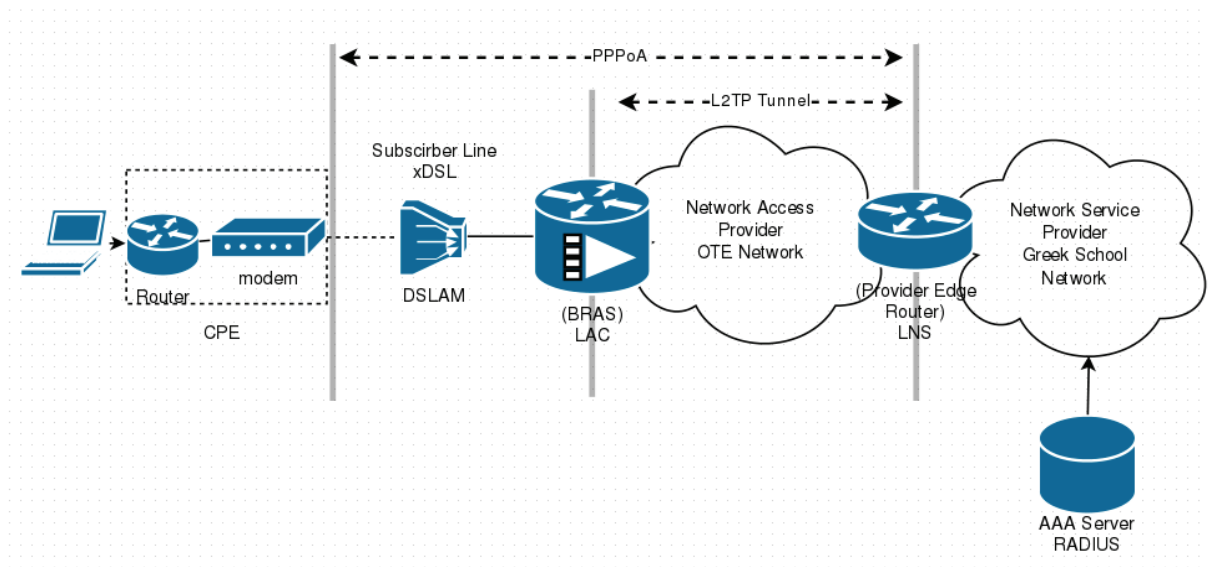
Το CPE αποτελεί τον οικιακό εξοπλισμό του τελικού χρήστη, το οποίο ενθυλακώνει (encapsulates) την κίνηση που παράγει ο χρήστη σε ATM cells. Διαμορφώνει/αποδιαμορφώνει επίσης την πληροφορία σε σήματα.

Το DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) συναθροίζει την κίνηση από ATM links καθώς διαμορφώνει/αποδιαμορφώνει και αυτό επίσης την πληροφορία.

Ο BRAS (Broadband Remote Access Server) δρομολογεί κίνηση από και προς broadband remote access devices (π.χ. DSLAMs), τερματίζει ATM connections, δρομολογεί την κίνηση στο δίκτυο Network Service Provider.

Ο RADIUS Server περιέχει templates παραμετροποίησης του χρήστη και μηχανισμούς AAA.

Στην περίπτωση που το NAP και το NSP δίκτυο είναι διαφορετικά, τότε τα PPP sessions δεν τερματίζουν στον BRAS αλλά στον Edge Router του Network Service Provider δικτύου. Αυτή μάλιστα είναι και η περίπτωση του Πανελληνίου Σχολικού Δίκτυο, όπου Network Access Provider της υπηρεσίας ADSL είναι το δίκτυο του ΟΤΕ, ενώ Network Service Provider είναι το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο (Εικόνα 9.2-1)



Σχήμα 9.2-2 ADSL υπηρεσία με διαφορετικό Network Access Provider και Network Service Provider

Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούμε ορολογία του L2TP (Layer 2 Tunneling Protocol) όπου BRAS καλείται LAC (L2TP Access Concentrator) και Provider Edge Router καλείται LNS (L2TP Network Server).

Η απόδοση διεύθυνσης και οι μηχανισμοί AAA υλοποιούνται με τον ίδιο τρόπο, με την διαφορά ότι ο RADIUS Server βρίσκεται στο δίκτυο NSP.

10.1 IETF Specific RADIUS Attributes για IPv6

Οι ακόλουθες RADIUS attributes υποστηρίζονται για το IPv6, όπως περιγράφονται στο RFC 3162 “RADIUS and IPv6”

- Framed-Interface-Id
- Framed-IPv6-Pool

- Framed-IPv6-Prefix
- Framed-IPv6-Route
- Login-IPv6-Host

Framed-Interface-Id

- Το Framed-Interface-Id υποδικνύει ένα IPv6 interface id προς απόδοση σε κάποιον χρήστη. Αυτό το attribute χρησιμοποιείται κατά την διάρκεια της διαπραγμάτευσης της επιλογής interface-identifier του πρωτοκόλλου IPv6 Control Protocol (IPv6CP). Αν η διαπραγμάτευση είναι επιτυχής ο NAS (Network Access Server) χρησιμοποιεί αυτό το attribute για να μεταδώσει ένα προτιμώμενο IPv6 Interface-Id στον RADIUS server χρησιμοποιώντας Access-Request πακέτα. Αυτό το attribute μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για Access-Accept πακέτα.

Framed-IPv6-Pool

- Το Framed-IPv6-Pool attribute υποδικνύει το όνομα ενός pool προς χρησιμοποίηση για την απόδοση IPv6 προθέματος σε έναν χρήστη. Αυτό το pool μπορεί να είναι ορισμένο είτε τοπικά σε μία συσκευή, είτε να είναι ορισμένο σε έναν RADIUS Server ο οποίος παρέχει pools για κατέβασμα.

Framed-IPv6-Prefix

- Το Framed-IPv6-Prefix attribute υποδεικνύει ένα IPv6 prefix (και ένα αντίστοιχο route) προς απόδοση για κάποιον χρήστη. Αυτό το attribute εκτελεί την ίδια λειτουργία με ένα CISCO VSA (Vendor-Specific Attribute) και χρησιμοποιείται μόνο για εικονική πρόσβαση. Ένας NAS χρησιμοποιεί αυτό το attribute για να μεταδώσει ένα προτιμώμενο IPv6 prefix σε έναν RADIUS server χρησιμοποιώντας access-request πακέτα. Αυτό το attribute μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης σε access-accept πακέτα. Ο NAS δημιουργεί το αντίστοιχο route για το συγκεκριμένο prefix.

Αυτό το attribute χρησιμοποιείται επίσης από έναν χρήστη ώστε να καθορίσει ποιά προθέματα θα ανακοινώνει με τα Router Advertisement Messages του Neighbor Discovery Protocol.

Επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί για DHCPv6 prefix delegation. Σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται η δημιουργία ενός διαφορετικού προφίλ χρήστη στον RADIUS server. Το username το οποίο συσχετίζεται με το νέο προφίλ, πρέπει να φέρει το επίθεμα (suffix) “-dhcpv6”.

Το Framed-IPv6-Prefix attribute υπόκειται σε διαφορετικό χειρισμό στο ξεχωριστό προφίλ χρήστη από ότι στο κανονικό προφίλ. Εάν ο NAS χρειάζεται να στείλει ένα prefix μέσω ενός Router Advertisement Message, το prefix τοποθετείται στο Framed-IPv6-Attribute του κανονικού προφίλ του χρήστη. Εάν ο NAS χρειάζεται να αποδώσει ένα prefix στο δίκτυο ενός απομακρυσμένου χρήστη, το prefix τοποθετείται στο Framed-IPv6-Prefix attribute του ξεχωριστού προφίλ.

Framed IPv6 Route

- Το Framed-IPv6-Route attribute παρέχει πληροφορία δρομολόγησης για την παραμετροποίηση ενός χρήστη στον NetworkAccessServer.

Login-IPv6-Host

- Αυτό το attribute υποδικνύει το σύστημα με το οποίο θα πρέπει να διασυνδεθεί ο χρήστης.

Επίσης υποστηρίζονται τα ακόλουθα Radius Attributes, τα οποία καθορίζονται στα RFC 4818 “*RADIUS Delegated-IPv6-Prefix Attribute*” και RFC 6911 “*RADIUS Attributes for IPv6 Access Networks*”

- Delegated-IPv6-Prefix (RFC 4818)
- Delegated-IPv6-Prefix-Pool (RFC 6911)
- DNS-Server-IPv6-Address (RFC 6911)

- Route-IPv6-Information (RFC 6911)
- Stateful-IPv6-Address-Pool (RFC 6911)

Delegated-IPv6-Prefix

- Το Delegated-IPv6-Prefix attribute καθορίζει ένα IPv6 prefix προσαπόδοση για την χρήση στο δίκτυο ενός χρήστη. Αυτό το attribute χρησιμοποιείται κατά την διάρκεια της διαδικασίας του DHCPv6 prefix delegation μεταξύ ενός delegating device και του RADIUS Server. Ένας Network Access Server (NAS) ο οποίος φιλοξενεί υπηρεσία DHCP Version 6 server μπορεί να λειτουργεί ως ένα delegating device.

Στο παρακάτω παράδειγμα φαίνεται η χρήση του Delegated-IPv6-Prefix attribute:

```
ipv6:delegated-prefix=2001:648:34::/56
```

Delegated-IPv6-Prefix-Pool

- Το Delegated-IPv6-Prefix-Pool attribute υποδικνύει το όνομα ενός pool προθέματων από όπου μπορεί να αντληθεί ένα πρόθεμα και να αποδοθεί σε μία συσκευή. Το prefix delegation είναι μία επιλογή του πρωτοκόλλου DHCPv6 ώστε να αποδίδονται IPv6 προθέματα. Η διαδικασία του prefix εμπλέκει την συμμετοχή μιας συσκευής η οποία επιλέγει προθέματα και το αναθέτει παροδικά σε μία αιτούσα προθέματος συσκευή. Η συσκευή απόδοσης μπορεί να χρησιμοποιεί πολλές μεθόδους ώστε να επιλέξει ένα πρόθεμα. Μία μέθοδος είναι να επιλέξει ένα πρόθεμα από μία prefix pool με ένα τοπικά ορισμένο στην συσκευή όνομα.

Το Delegated-IPv6-Prefix-Pool attribute υποδικνύει το όνομα της αναθετημένης prefix pool. Ένας RADIUS Server χρησιμοποιεί αυτό το attribute για να μεταδώσει το όνομα από ένα prefix pool σε έναν NAS, ο οποίος φιλοξενεί υπηρεσία DHCPv6 Server και λειτουργεί σαν μια delegating device.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί DHCPv6 prefix delegation μαζί με ICMPv6 stateless address autoconfiguration (SLAAC) σε ένα δίκτυο. Σε αυτήν την περίπτωση μπορούν να περιλαμβάνονται από κοινού στο ίδιο πακέτο το Framed-IPv6-Pool attribute μαζί με το Delegated-IPv6-Prefix-Pool

10.2 Τυπική Διαμόρφωση LNS Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζεται η τυπική διαμόρφωση του LNS για την υποστήριξη IPv6. Ενσωματώνονται σχόλια στην διάρθρωση του δρομολογητή.

```
!  
!  
ipv6 unicast-routing  
ipv6 cef  
!  
#Ενεργοποιείται το IPv6 unicast routing και το IPv6 Cisco Express Forwarding  
!  
ipv6 dhcp pool gsn-adsl  
prefix-delegation aaa  
dns-server 2001:648:2302::X  
domain-name sch.gr  
!  
#Δημιουργείται ένα IPv6 DHCP Pool το οποίο θα αποδίδει prefixes μέσω AAA (Radius δλδ.)  
Παραμετροποιείται επίσης το DNSServer τον οποίο θα αποδίδει ο DHCP και το DomainName.  
!  
virtual-profile virtual-template 2  
!  
multilink virtual-template 2  
multilink bundle-name authenticated  
vpdn enable  
vpdn search-order domain  
!  
vpdn-group 1
```

```

description ADSL@OTE
accept-dialin
protocol l2tp
virtual-template 2
terminate-from hostname OTE-SCH
source-ip {BRAS_SOURCE_IP}
local name SCH-OTE
lcp renegotiation on-mismatch
ip pmtu
ip mtu adjust
!
#Διαρθρώνεται ένα κανάλι L2TP με τον BRAS του OTE. Ορίζεται ένα group για κάθε BRAS, το οποίο δέχεται τις PPP συνδέσεις για κάθε χρήστη ADSL. Ορίζεται επίσης το τοπικό όνομα με το οποίο παρουσιάζεται ο LNS στον BRAS (local name), και το αντίστοιχο όνομα με το οποίο συστήνεται ο BRAS στον LNS (terminate-from hostname)
!
interface Loopback0
description Athina-ADSL router id
ip address {IP ADDRESS}
ip pim sparse-mode
ip sap listen
ipv6 address {IPv6 ADDRESS}
ipv6 enable
ipv6 ospf 50 area 53
!
!
interface GigabitEthernet0/1
description [ADSL-BR.ATT] Connection to Border Router - GigE Vlan (1 Gbps)
bandwidth 1000000
ip address {IP ADDRESS}

```

```
ip pim sparse-mode
ip ospf network point-to-point
ip ospf priority 0
duplex auto
speed auto
media-type rj45
no negotiation auto
ipv6 address {IPv6 ADDRESS}
ipv6 enable
ipv6 ospf network point-to-point
ipv6 ospf 50 area 53
!
!
interface Virtual-Template2
bandwidth 256
ip unnumbered Loopback0
ip access-group malic_traffic_from_schools in
ip pim neighbor-filter pim-neighbor-acl
ip pim sparse-mode
no logging event link-status
ipv6 enable
ipv6 traffic-filter malic_traffic6_from_schools in
ipv6 mtu 1460
no ipv6 nd ra suppress
ipv6 dhcp server gsn-adsl
no peer default ip address
ppp authentication pap chap ms-chap-v2 callin
ppp chap hostname Athina-R
!
```

#Εδώ ορίζεται το Virtual Template Interface με το οποίο διασυνδέεται ο κάθε PPP χρήστης.

Κάθε φορά που ένας χρήστης συνδέεται στον LNS, δημιουργείται virtual interface βάση αυτού του template.

#Δημιουργείται ο DHCPv6 Server ο οποίος θα αποδίδει prefixes από το pool gsn-adsl ορίζεται το framed protocol PPP.

```
ipv6 router ospf 50
 log-adjacency-changes
 area {AREA ID} nssa
 redistribute connected metric 100
 redistribute static metric 100
```

!

Γιακάθεδιασυνδεδεμένοχρήστηπαράγεταιένα connected route. Η ipv6 ospf process ανακοινώνει αυτά τα routes στο backbone δίκτυο του ΠΣΔ.

!

```
radius-server attribute 44 include-in-access-req
radius-server attribute 8 include-in-access-req
radius-server host {IP_ADDRESS} auth-port 1812 acct-port 1813 key 7 {PASSWORD}
radius-server host {IP_ADDRESS} auth-port 1812 acct-port 1813 key 7 {PASSWORD}
radius-server deadtime 10
radius-server authorization default Framed-Protocol ppp
radius-server vsa send authentication
```

!

#Ορίζεται ο RADIUS Server από τον οποίο αντλείται η πληροφορία παραμετροποίησης των χρηστών και πραγματοποιείται το authenticatin.

10.3 Τυπική Παραμετροποίηση Cisco CPE

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζεται η τυπική διαμόρφωση του δρομολογητή της σχολικής μονάδας για την ενεργοποίηση IPv6 μέσω της ADSL τεχνολογίας πρόσβασης. Ενσωματώνονται σχόλια στην διάρθρωση του δρομολογητή.

!

```
ipv6 unicast-routing
```

#Ενεργοποιείται το IPv6 unicast routing

```
multilink bundle-name authenticated
```

!

!

```
interface Vlan1
```

```
 description School_LAN 10 Mbps
```

```
ip address 10.10.17.1 255.255.255.0
```

```
ip access-group 110 in
```

```
no ip unreachable
```

```
no ip proxy-arp
```

```
ip pim sparse-dense-mode
```

```
ip nat inside
```

```
ip virtual-reassembly
```

```
ip route-cache flow
```

```
ip tcp adjust-mss 1452
```

```
ip igmp helper-address udl Dialer1
```

```
ipv6 addressschpx ::/64 eui-64
```

#To Interface διασύνδεσης με το σχολικό LAN παραμετροποιείται αυτόματα με την μέθοδο EUI-64 χρησιμοποιώντας το schpx

```
ipv6 enable
```

```
ipv6 traffic-filter LAN6 in
```

```
service-policy input schqos_in
```

```
hold-queue 100 out
```

```
!
```

```
!
```

```
interface Dialer1
```

```
description Connection to Edunet over aDSL
```

```
ip unnumbered Loopback0
```

```
ip access-group only_schoolips out
```

```
ip mtu 1492
```

```
ip pim sparse-dense-mode
```

```
ip nat outside
```

```
ip virtual-reassembly
```

```
encapsulation ppp
```

```
ip igmp unidirectional-link
```

```
dialer pool 1
```

```
dialer-group 1
```



```

ipv6 address autoconfig default
#Παράγεται default IPv6 route
ipv6 enable
ipv6 mtu 1480
ipv6 nd ra interval 180
ipv6 nd ra lifetime 3600
ipv6 dhcpclientpdschpfx
#Δημιουργείται general-prefix schpfx με DHCP client
fair-queue
no cdp enable
ppp authentication chap callin
ppp chap hostname r-2gym-ierap@sch.gr
ppp chap password 7 130013070804053A7A727860
ppp pap refuse
!
```

11 IPv6 Access Control Lists

Οι ACLs (AccessControlLists) καθορίζουν τι κίνηση απορρίπτεται και τι διαμεταγάζεται από έναν δρομολογητή. Η εφαρμογή ACLs αποτελεί τον ποιο κοινό μηχανισμό ασφαλείας για την προστασία των δικτύων από επιθέσεις και από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση. Σε αυτήν την ενότητα δίνεται ένας τυπικός οδηγός ενεργοποίησης IPv6ACL για την ασφάλεια του Πανελληνίου Σχολικό Δικτύου.

Συνοπτικά Βήματα:

<i>r-man.ach.sch.gr>enable</i>	Ενεργοποιείτο privileged EXEC mode.
<i>r-man.ach.sch.gr#configure terminal</i>	Εισαγάγειτο prompt σε global configuration mode
<i>r-man.ach.sch.gr(config)#ipv6 access-list inbound_from_schools</i>	Ορίζει μια IPv6 ACL, και εισαγάγειτο prompt σε IPv6 Access List configuration mode
<i>r-man.ach.sch.gr(config-ipv6-acl)#deny tcp</i>	Απαγορεύεται το telnet

```
any 2001:648:2302::/64 eq telnet
```

```
r-man.ach.sch.gr(config-ipv6-acl)#permit  
ipv6 any any
```

Επιτρέπεται όλο το υπόλοιπο IPv6

Παράδειγμα συγκρότησηςδρομολογητή πρόσβασης

Στο παρακάτω παράδειγμα δίνεται ενδεικτικά η συγκρότηση του δρομολογητή πρόσβασης στο MANγια εφαρμογήλίστας αποτροπής του telnet και του sshαπό τα σχολεία των Μητροπολιτικών Δικτύων Οπτικών Ινών προς το Backbone.

```
!  
  
ipv6 access-list malic_traffic_SCH_to_Backbone  
  
remark #Denies SSH and Telnet From Schools To Backbone over MAN  
  
deny tcp any 2001:648:2302::/64 eq 22  
  
deny tcp any 2001:648:2302::/64 eq telnet  
  
permit ipv6 any any  
  
!
```

12 Σύστημα Διαχείρισης IPv6 AddressSpace

Η τεκμηρίωση κρίνεται απαραίτητη για την σωστή διαχείριση του Δικτύου. Στο κεφάλαιο προτείνεται η χρήση ενός εργαλείου IPAM (IP Address Space Management) για την διαχείριση του IPv6 εύρους διευθύνσεων του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου

Το εργαλείο που προτείνεται είναι το NetDoT (Network Documentation Tool). Το NetDoT είναι ένα open source project το οποίο αναπτύχθηκε αρχικά από την ομάδα Network Service Group του Πανεπιστημίου του Oregon των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής και συνεχίζει να αναπτύσσεται και να διατηρείται από το Network Startup Resources Center του ίδιου Πανεπιστημίου μαζί με την συμβολή εθελοντών.

12.1 NetDoT – Network Documentation Tool

Οι δυνατότητες του NetDoT συνοψίζονται παρακάτω:

- Ανίχνευση συσκευών με SNMP
- Layer 2 ανίχνευση τοπολογίας και παραγωγή γραφημάτων, χρησιμοποιώντας:
 - CDP/LLDP
 - STP (Spanning Tree Protocol)
 - Switch Forwarding Tables
 - Router point-to-point subnets
- IPv4/IPv6 address space management (IPAM)
 - Οπτικοποίηση Address Space
 - DNS/DHCP παραμετροποίηση
 - IP και MAC tracking
 - BGP peers και Autonomous Systems Tracking
- Καλωδιώσεις (Cable Plants: fiber, copper, closets, circuits)
- Επαφές (Τμήματα, πάροχοι, κατασκευαστές εξοπλισμού κτλ.)
- Εξαγωγή script files για διάφορα εργαλεία (Nagios, Sysmon, RANCID, Cacti, SmokePing)
- Πολύ-επίπεδη πρόσβαση (Admin, Operator, User)

Το NetDoT βασίζεται στην γλώσσα προγραμματισμού Perl. Στην συνέχεια θα επικεντρωθούμε στην δυνατότητα IPv6 AddressSpaceManagement, καθώς αυτή είναι που αφορά το αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

12.2 NetDoT IPv4/IPv6 Address Space Management

Το NetDoT διαχειρίζεται πολύ αποτελεσματικά το addressspace. Μερικά από κύρια χαρακτηριστικά αυτής της λειτουργίας είναι:

- Το addressspace δομείται ιεραρχικά μέσω της χρήσης ενός γρήγορου αλγορίθμου δυαδικού δένδρου, με την ίδια τεχνική την οποία οι δρομολογητές εκτελούν τα prefixlookups.
- Νέα subnets μπορούν να δημιουργηθούν αυτομάτως βάσει της παραμετροποίηση των interfaces.
- Οπτικοποίηση του χρησιμοποιημένου έναντι του ελεύθερου AddressSpace.
- Οπτικοποίηση της ιεραρχίας του AddressSpace.
- Διαχείριση υπηρεσίας DNS και DHCP

NetDoT IP block

Τα αντικείμενα IP καλούνται IPblocks. Αυτά τα αντικείμενα μπορούν να αναπαριστούν διευθύνσεις ενός τελικού-σταθμού ή ομάδες διευθύνσεων (για παράδειγμα τις διευθύνσεις ενός LAN). Το χαρακτηριστικό που διαχωρίζει αυτές τον τελικό-σταθμό από την ομάδα διευθύνσεων είναι το πρόθεμα. Ένα IPv6 πρόθεμα μήκους /128 χαρακτηρίζει έναν τελικό σταθμό, ενώ ένα IPv6 πρόθεμα μήκους /64 χαρακτηρίζει ένα υποδίκτυο.

Κάθε διεύθυνση ή block διευθύνσεων χαρακτηρίζεται από μία κατάσταση, έστι ώστε να αναπαρίσταται το είδος του. Ανάλογα αν το IP αντικείμενο είναι διεύθυνση ή block διευθύνσεων ορίζονται διαφορετικές καταστάσεις.

Για μία IP τελικού-σταθμού οι διαθέσιμες καταστάσεις είναι:

- Static: Αυτές οι διευθύνσεις έχουν ανατεθεί στατικά σε κάποια συσκευή ή σε κάποιο interface.
- Dynamic: Αυτές οι διευθύνσεις έχουν αποδοθεί με δυναμικό τρόπο (π.χ. DHCP)

- **Discovered:** Οι διευθύνσεις αυτές δεν έχουν αποδοθεί ούτε στατικά ούτε δυναμικά αλλά με κάποιο τρόπο ανακαλήφθηκαν στο δίκτυο (π.χ. ARPentries)
- **Reserved:** Διευθύνσεις οι οποίες έχουν δεσμευθεί και δεν πρέπει να αποδίδονται.
- **Available:** Διαθέσιμες διευθύνσεις προς απόδοση.

Για κάθε addressblock οι διαθέσιμες καταστάσεις είναι:

- **Container:** Αυτό το είδος block χρησιμοποιείται με σκοπό να περιέχει άλλα blocks, όπως προθέματα υποδικτύων ή άλλα containers. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι το συνολικό addressspace για το δίκτυο διανομής του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου είναι ένα IPv6 πρόθεμα μήκους /48, και διαιρούμε αυτόν τον χώρο σε /49 και αυτά τα /49 περιέχουν /50 subnets, τότε θα είχαμε:

2001:648:2302:0000::/48 → container

 2001:648:2302:0000::/49 → container

 2001:648:2302:0000::/50 → subnet

 2001:648:2302:4000::/50 → subnet

 2001:648:2302:8000::/49 → container

 2001:648:2302:8000::/50 → subnet

 2001:648:2302:C000::/50 → subnet

- **Subnet:** Αυτό το είδος χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει πραγματικά υποδίκτυα τα οποία έχουν αποδοθεί σε κάποιο interface μίας Layer 3 συσκευής.
- **Reserved:** Αυτό το είδος δηλώνει ότι ο χώρος είναι δεσμευμένος και δεν πρέπει να αποδοθεί.

Παρακάτω παρατίθενται εικόνες από την διεπαφή χρήστη του NetDoT.

Device Tasks [new] [hide]

Find Devices

Name/IP/MAC:

Names within:

Εικόνα 12.2-1 Αρχικό menu NetDoT

Address Space Tasks [new] [tree] [hide]

Search

IP[/prefix]:

IP regex:

Keywords:

Root Blocks: (1)

Show Utilization: Version:

Address/Prefix	Status	Owner	Used by	Description
2001:648:2302::/48	Container	IPv6SCH	IPv6SCH-Backbone	Total Backbone

[\[csv\]](#)

Εικόνα 12.2-2 NetDoT – Μενού εργασιών Address Space

[*]: **2001:648:2302::/48** [\[refresh\]](#) [\[edit\]](#) [\[delete\]](#)

Children Sites Zones Access Rights Attributes Comments All

Address: 2001:648:2302::/48 Owner: IPv6SCH [\[edit\]](#)
 Status: **Container** Used by: IPv6SCH-Backbone [\[edit\]](#)
 Description: Total Backbone Netmask: FFFF:FFFF:FFFF:0:0:0:0:0
 First Seen 2014-05-26 00:56:05 Broadcast: n/a
 Last Seen 2014-05-26 00:56:05 Usable 1208925819614629174706176
 RIR: Addresses: (2001:648:2302:0:0:0:0:0 -
 ASN: 2001:648:2302:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF)
 Address
 Utilization: Used: 0 Available: 100%
 Space
 Allocated: Available: >99%

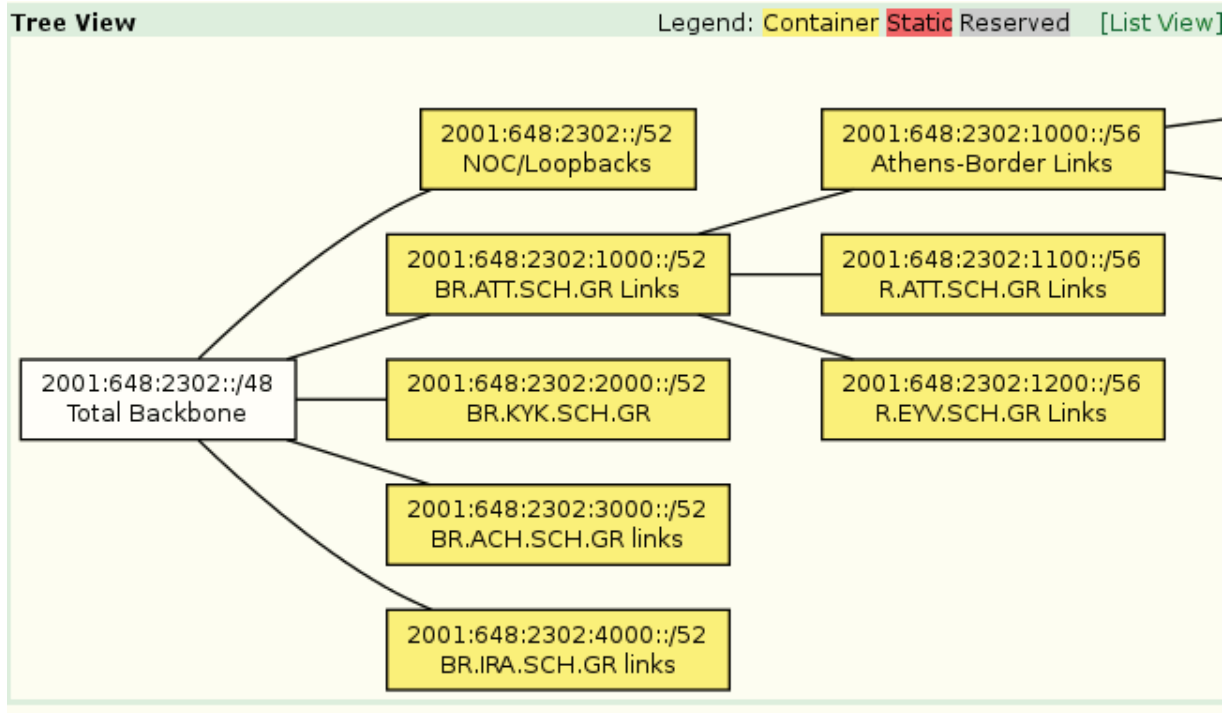
Contained IP blocks [\[edit\]](#) [\[Tree View\]](#)

Address/Prefix	Status	Utilization	Owner	Used by	Description
2001:648:2302::/52	Container	<input type="text"/>	IPv6SCH	IPv6SCH-Backbone	NOC/Loopbacks
2001:648:2302:1000::/52	Container	<input type="text"/>	IPv6SCH	IPv6SCH-Backbone	BR.ATT.SCH.GR Links
2001:648:2302:2000::/52	Container	<input type="text"/>	IPv6SCH	IPv6SCH-Backbone	BR.KYK.SCH.GR
2001:648:2302:3000::/52	Container	<input type="text"/>	IPv6SCH	IPv6SCH-Backbone	BR.ACH.SCH.GR links
2001:648:2302:4000::/52	Container	<input type="text"/>	IPv6SCH	IPv6SCH-Backbone	BR.IRA.SCH.GR links

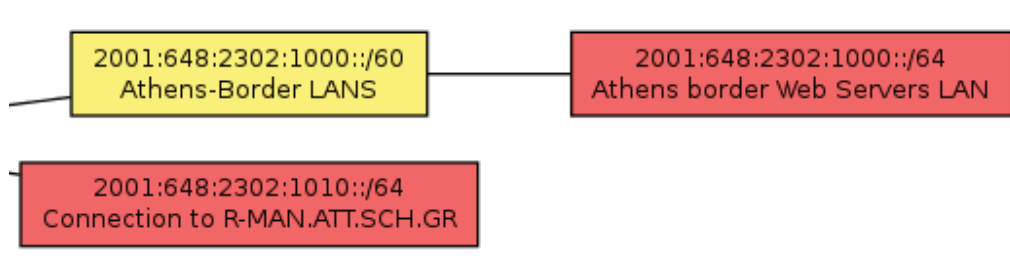
[\[csv\]](#)

© GPL. Netdot: NETwork DOcumentation Tool v.1.0.6

Εικόνα 12.2-3 Διαθέσιμα IPv6 προθέματα



Εικόνα 12.2-4 Δομή δένδρου IPv6 address space



Εικόνα 12.2-5 NetDoT - IPv6 /64 subnets

Address Space Tasks [search] [tree] [hide]

Add IP Block

IP[/prefix]:

Owner: [new]

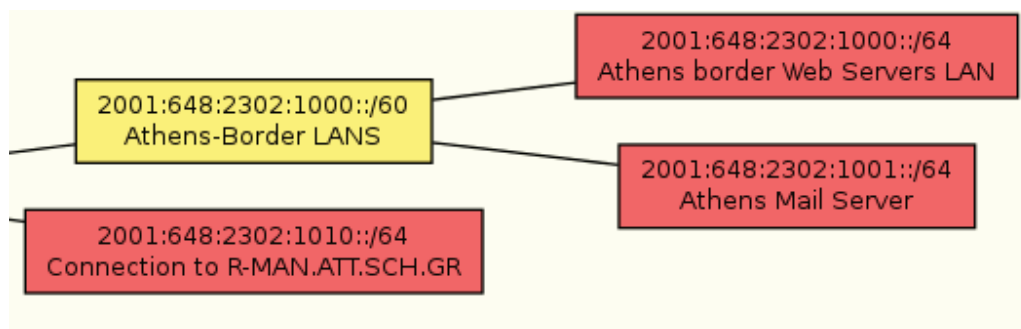
Used By: [new]

Status:

Description:

© GPL. Netdot: NETWORK DOcumentation Tool v.1.0.6

Εικόνα 12.2-6 NetDoT - Δημιουργία νέου IPv6 subnet



Εικόνα 12.2-7 NetDoT - Οπτικοποίηση των /64 subnets

Owner:	IPv6SCH [edit]
Used by:	IPv6SCH-Backbone [edit]
Netmask:	FFFF:FFFF:FFFF:FFF0:0:0:0:0
Broadcast:	n/a
Usable Addresses:	295147905179352825856 (2001:648:2302:1000:0:0:0:0 - 2001:648:2302:100F:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF)
Address Utilization:	<input type="text"/>
	Used: 0 Available: 100%
Space Allocated:	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #808080;"></div>
	Available: 81%

Εικόνα 12.2-8 NetDoT - Address Space Availability

13 Επίλογος

Στην παρούσα εργασία δόθηκε ένας οδικός χάρτης υλοποίησης του πρωτοκόλλου IPv6 στο Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο και αναλυτικές οδηγίες ενεργοποίησης των μεθόδων που αναφέρονται στο λογισμικό Cisco IOS. Φυσικά υπάρχουν πάρα πολλοί εναλλακτικοί τρόποι σχεδιασμού και μεθοδολογίας εφαρμογής του IPv6. Η συγκεκριμένη υλοποίηση προτάθηκε με σκοπό να είναι όσο το δυνατόν απλούστερη και κατανοητή.

Για την πλήρη υλοποίηση του πρωτοκόλλου IPv6 θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα και για τις υπηρεσίες IPv6, όπως για παράδειγμα το Domain Name System του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου θα πρέπει να ενσωματώσει την λειτουργικότητα IPv6.

14 Βιβλιογραφία

[1] Handbook of IPv4 to IPv6 Transition; Methodologies for Institutional and Corporate Networks. John J. Amoss and Daniel Minoli – Auerbach Publications – ISBN: 978-0-8493-8516-2

[2] IPv6 for Enterprise Networks; The practical guide to deploying IPv6 in campus, WAN/branch, data center, and virtualized environments – Shannon McFarland, Muninder Sambi, Nikhil Sharma, Sanjay Hooda – Cisco Press

[3] IPv 6 Essentials - Silvia Hagen - O'Reilly - ISBN 0-596-00125-8

[4] Running IPv6 - Iljitsch van Beijnum - Apress - ISBN: 1-59059-527-0

[5] CCNP ROUTE 642-902 Official Certification Guide - Wendell Odom - ISBN-13: 978-1-58720-253-7

[6] OSPF Network Design Solutions - Second Edition - Thomas M. Thomas II - ISBN-13: 978-1578700462