

ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

Μελέτη πρωτοκόλλων δρομολόγησης OSPF και BGP

Του σπουδαστή

Μεράτσα Λάμπρο

ΑΡΤΑ 2014

Ευχαριστίες

Με την περάτωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, που σηματοδοτεί και το τέλος των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, για τη συνεχή υποστήριξη τους στην εκπαίδευσή και γενικά σε όλους τους τομείς της ζωής μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το θέμα των Πρωτοκόλλων Δρομολόγησης και να αποκτήσω τη βασική γνώση για την μετέπειτα ενασχόλησή μου με αυτό τον τομέα.

Πίνακας Περιεχομένων

Μελέτη πρωτοκόλλων δρομολόγησης OSPF και BGP

Ευχαριστίες.....	2
Πίνακας Περιεχομένων.....	3
Περίληψη.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1. Εισαγωγή στη δρομολόγηση (Routing).....	5
1.1 Ιεραρχική Δρομολόγηση και Αυτόνομα Συστήματα (ΑΣ).....	7
1.2 Πλεονεκτήματα ιεραρχικής δρομολόγησης.....	8
1.3 Κατηγοριοποιήσεις πρωτοκόλλων δρομολόγησης.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ OSPF	
2. Το εσωτερικό πρωτόκολλο πύλης δικτύου OSPF.....	10
2.1 Χαρακτηριστικά των link state πρωτοκόλλων.....	10
2.1.1 Δημιουργία βάσης δεδομένων των γειτόνων.....	11
2.1.2 Δημιουργία της topology database.....	12
2.1.3 Μέτρηση κόστους διαδρομών.....	13
2.2 Το εσωτερικό πρωτόκολλο πύλης δικτύου OSPF.....	15
2.2.1 Βασικά χαρακτηριστικά του OSPF.....	15
2.2.2 Περιγραφή του OSPF.....	16
2.2.3 Ιεραρχία 2 επιπέδων του OSPF.....	16
2.2.4 Τύποι δρομολογητών του OSPF.....	18
2.2.5 Τύποι OSPF πακέτων.....	19
2.2.6 Ενημερώσεις κατάστασης συνδέσμων ή Link State Advertisements (LSAs).....	20
2.2.7 Τύποι OSPF areas.....	22
2.2.8 Τύποι διαδρομών (routes) σε ένα OSPF δίκτυο.....	25
2.2.9 Το Hello protocol και συσχετίσεις δρομολογητών του OSPF.....	27
2.2.10 Δημιουργία σχέσεων ή Adjacencies.....	28
2.2.11 Κανόνες σχεδιασμού ενός OSPF δικτύου.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ BGP	
3 Το εξωτερικό πρωτόκολλο πύλης δικτύου – Border Gateway Protocol (BGP).....	33
3.1 Βασικά χαρακτηριστικά του BGP.....	33
3.2 Πολιτικές δρομολόγησης.....	34
3.3 Πότε χρησιμοποιείται το BGP.....	35
3.4 Λειτουργία του BGP.....	37
3.5 Τύποι πακέτων του BGP.....	38
3.6 Ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης στο BGP.....	38
3.7 Λήψη αποφάσεων στο BGP και ιδιότητες ή attributes του BGP.....	39
3.8 Κριτήρια επιλογής μιας διαδρομής.....	45
Επίλογος.....	47
Πηγές.....	48
Προέλευση εικόνων.....	48

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετώνται τα πρωτόκολλα δρομολόγησης OSPF και BGP. Σκοπός της μελέτης αυτής είναι η παρουσίαση των βασικών αρχών που διέπουν τη δρομολόγηση δεδομένων, η μελέτη των κύριων χαρακτηριστικών των παραπάνω πρωτοκόλλων, καθώς και η παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας τους.

Η εργασία αυτή μπορεί να αποτελέσει ένα αρχικό βοήθημα για τον αναγνώστη που θέλει να ασχοληθεί με τα πρωτόκολλα δρομολόγησης OSPF και BGP αφού περιγράφει το θεωρητικό υπόβαθρο πίσω από τη λειτουργία τους και τα βασικά δομικά τους μέρη. Η απόλυτη κατανόηση των παραπάνω είναι βασική προϋπόθεση για κάποιον που θέλει να ασχοληθεί με τη σχεδίαση OSPF και BGP δικτύων.

Η εργασία είναι χωρισμένη σε τρία κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται κάποιες βασικές έννοιες σχετικά με τη δρομολόγηση και παρουσιάζεται το μοντέλο της ιεραρχικής δρομολόγησης και τα πλεονεκτήματά του. Επίσης γίνεται εισαγωγή στα πρωτόκολλα δρομολόγησης και στις κατηγορίες που χωρίζονται.

Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφεται το OSPF πρωτόκολλο και πώς αυτό διαχειρίζεται τη δρομολόγηση. Παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των link state πρωτοκόλλων, στα οποία ανήκει και περιγράφεται η λειτουργία τους. Σε επόμενες ενότητες του κεφαλαίου περιγράφονται αναλυτικά τα δομικά στοιχεία ενός OSPF δικτύου, όπως οι τύποι των δρομολογητών που το αποτελούν και η χρησιμότητά τους, ο διαχωρισμός του σε areas και σε τι εξυπηρετεί αυτό και οι τοπολογίες που υποστηρίζονται. Αναλύεται ο τρόπος ανταλλαγής πληροφορίας δρομολόγησης μέσα σε ένα OSPF δίκτυο και ο τρόπος σύναψης σχέσεων μεταξύ OSPF δρομολογητών. Τέλος γίνεται μια προσπάθεια να οριστούν κάποιοι βασικοί κανόνες για τον αποδοτικό σχεδιασμό ενός OSPF δικτύου.

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται το BGP πρωτόκολλο. Αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά του και οι περιπτώσεις που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Επίσης αναλύεται η λειτουργία του και τα χαρακτηριστικά ή attributes που καθορίζουν την πολιτική δρομολόγησης μεταξύ BGP δρομολογητών.

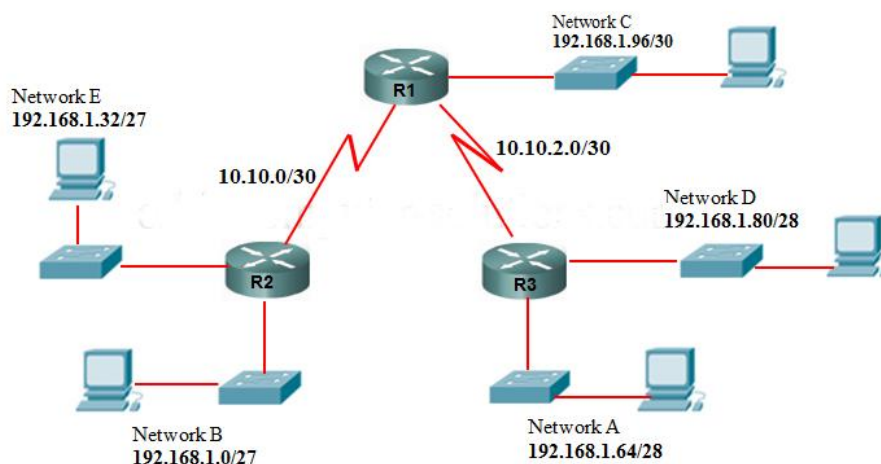
Σε όλα τα κεφάλαια έχουν χρησιμοποιηθεί εικόνες για να κάνουν το περιεχόμενο πιο κατανοητό. Οι περισσότερες από αυτές είναι επεξεργασμένες ψηφιακά ενώ άλλες έχουν παρθεί αυτούσιες από τις τοποθεσίες που αναφέρονται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^Ο ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Εισαγωγή στη δρομολόγηση (Routing)

Η δρομολόγηση είναι η διαδικασία εκμάθησης διαδρομών ανάμεσα στα διασυνδεδεμένα δίκτυα που αποτελούν το διαδίκτυο και στη συνέχεια αποστολή πακέτων δεδομένων μέσα από αυτές. Οι δρομολογητές (routers) συνδέουν τα δίκτυα μεταξύ τους και είναι υπεύθυνοι να φέρουν εις πέρας όσο πιο αποδοτικά γίνεται την παραπάνω διαδικασία. Ένας δρομολογητής από τη στιγμή που θα λάβει ένα πακέτο προς κάποιο προορισμό θα υπολογίσει την βέλτιστη διαδρομή γι αυτό και θα το προωθήσει στον επόμενο δρομολογητή. Η διαδικασία θα συνεχιστεί μέχρι το πακέτο να φτάσει στον τελευταίο δρομολογητή της διαδρομής, ο οποίος και θα το προωθήσει στην μηχανή προορισμού. Με αυτό τον τρόπο ένα πακέτο θα ταξιδέψει μέσα από ένα σύνολο δικτύων μέχρι να φτάσει στο προορισμό του.

Κάθε δρομολογητής δημιουργεί και διατηρεί μια βάση δεδομένων με όλες τις διαθέσιμες διαδρομές προς προορισμούς που μπορεί να φτάσει και τις χρησιμοποιεί για να αποφασίσει ποια είναι η βέλτιστη για ένα εισερχόμενο πακέτο. Οι διαδρομές αυτές αποτελούνται στην ουσία από τις IP διευθύνσεις των άμεσα συνδεδεμένων και κοντινών τμημάτων δικτύου και την διεύθυνση του επόμενου κόμβου (next hop) μέσω του οποίου ο δρομολογητής θα πρέπει να στείλει ένα πακέτο για να φτάσει σε αυτά τα τμήματα δικτύου. Στην παρακάτω εικόνα, αν ο χρήστης από το δίκτυο E θέλει να στείλει ένα πακέτο στον χρήστη του δικτύου C ο δρομολογητής R2 θα πρέπει να γνωρίζει τη διεύθυνση του C καθώς και τη διεύθυνση του επόμενου κόμβου, που είναι ο δρομολογητής R1, μέσω του οποίου θα περάσει το πακέτο για να φτάσει στο C.



Εικόνα 1: Οι δρομολογητές R1, R2 και R3 πρέπει διατηρούν δρομολόγια προς όλα τα επιμέρους τμήματα δικτύου A, B, C, D και E καθώς και τα μεταξύ τους δρομολόγια για να μπορούν να δρομολογήσουν πακέτα από οποιονδήποτε χρήστη σε οποιονδήποτε προορισμό στο παραπάνω δίκτυο.

Την απόφαση για την επιλογή της βέλτιστης διαδρομής αναλαμβάνει ο αλγόριθμος δρομολόγησης (routing algorithm) ο οποίος υλοποιείται από ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης (routing protocol) που τρέχει στο δρομολογητή. Στην ουσία το πρωτόκολλο δρομολόγησης

αποτελείται από ένα σύνολο κανόνων και παραμέτρων που καθορίζουν τον τρόπο που οι δρομολογητές επικοινωνούν μεταξύ τους, ανταλλάσσουν πληροφορίες που τους επιτρέπουν να μαθαίνουν τις τοπολογίες των δικτύων και να επιλέγουν βέλτιστες διαδρομές προς οποιονδήποτε προορισμό στο διαδίκτυο. Για την κατανόηση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν είναι απαραίτητη η κατανόηση των βασικών λειτουργιών των δρομολογητών, των ειδών της δρομολόγησης καθώς και του τρόπου διασύνδεσης των διαφορετικών δικτύων που σχηματίζουν το διαδίκτυο.

Οι βασικές λειτουργίες ενός δρομολογητή είναι οι εξής [1]:

Προώθηση: Είναι η διαδικασία κατά την οποία ο δρομολογητής λαμβάνοντας ένα πακέτο σε μια διεπαφή (interface), ανάλογα με τη διεύθυνση προορισμού που φέρει αναζητά στους πίνακες δρομολόγησης την κατάλληλη διεπαφή εξόδου να το μεταδώσει, έτσι ώστε το πακέτο να συνεχίσει τη διαδρομή του.

Δρομολόγηση: Είναι η διαδικασία εκμάθησης της βέλτιστης διαδρομής ενός πακέτου μεταξύ προέλευσης και προορισμού. Αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι στατική ή δυναμική. Στην πρώτη περίπτωση οι πίνακες δημιουργούνται και ενημερώνονται δυναμικά μέσω ενός αλγόριθμου δρομολόγησης ενώ στη δεύτερη χειροκίνητα από το διαχειριστή.

Πιο συγκεκριμένα τα είδη της δρομολόγησης είναι:

- **Στατική δρομολόγηση:** Η στατική δρομολόγηση χρησιμοποιείται συνήθως σε μικρά, σταθερά δίκτυα με απλές τοπολογίες. Εδώ οι διαδρομές καθορίζονται από πριν, δηλαδή φορτώνονται στον δρομολογητή όταν αυτός μπει σε λειτουργία, και είναι σταθερές. Σε αυτά τα δίκτυα τα δρομολόγια είναι προκαθορισμένα και δεν δημιουργούνται δυναμικά. Το βασικό μειονέκτημα της είναι ότι κάθε φορά που γίνεται κάποια αλλαγή στο δίκτυο θα πρέπει να επαναπροσδιοριστούν χειροκίνητα οι διαδρομές στους πίνακες δρομολόγησης αφού οι δρομολογητές δεν έχουν τη δυνατότητα να προσαρμοστούν από μόνοι τους. Δεν είναι εφικτή για μεσαία ή μεγάλα δίκτυα λόγω της δυσκολίας για τον προσδιορισμό των διαδρομών για μεγάλο αριθμό δρομολογητών.
- **Δυναμική δρομολόγηση:** Η δυναμική δρομολόγηση χρησιμοποιεί αλγόριθμους δρομολόγησης οι οποίοι προσαρμόζονται δυναμικά στις αλλαγές του δικτύου. Αυτοί είναι υπεύθυνοι για την εκμάθηση των διαδρομών και τη δημιουργία ενημερώσεων για οποιαδήποτε αλλαγή συμβαίνει στο δίκτυο. Επιλέγουν τα βέλτιστα μονοπάτια χρησιμοποιώντας τεχνικές όπου αναλύουν τις εισερχόμενες ενημερώσεις και σύμφωνα με αυτές καθορίζουν την βέλτιστη διαδρομή των πακέτων προς κάποιο προορισμό.

Καθώς τα δίκτυα μεγαλώνουν και μεταβάλλουν την τοπολογία τους και τα χαρακτηριστικά τους διαρκώς, η στατική δρομολόγηση έχει αποδειχτεί ανεπαρκής και η δυναμική έχει πλέον επικρατήσει. Δύο βασικοί τύποι αλγόριθμων δυναμικής δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι ο αλγόριθμος διανυσμάτων απόστασης (distance vector algorithm) που υλοποιείται από τα πρωτόκολλα διανυσμάτων απόστασης ή distance vector protocols και ο αλγόριθμος με κατάσταση συνδέσμων (link state algorithm) γνωστός και ως SPF (Shortest path first) ή αλγόριθμος του Dijkstra, που υλοποιείται από τα πρωτόκολλα κατάστασης συνδέσμων ή link state protocols.

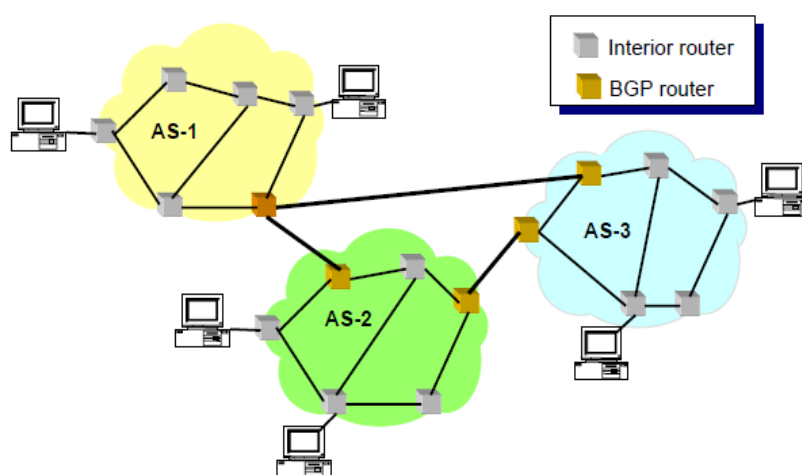
Επίσης η τεράστια και συνεχής επέκταση των δικτύων δημιούργησε την ανάγκη για τον διαχωρισμό τους σε μικρότερα τμήματα. Σκοπός ήταν η αποδοτικότερη διαχείριση της κίνησης από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης. Έτσι το διαδίκτυο χωρίζεται σε τμήματα που ονομάζονται αυτόνομα συστήματα.

1.1 Ιεραρχική Δρομολόγηση και Αυτόνομα Συστήματα (ΑΣ)

Όπως αναφέρεται παραπάνω τα δίκτυα επεκτείνονται και αλλάζουν την τοπολογία τους συνεχώς. Είναι φυσικό ότι σε ένα αχανές δίκτυο θα δημιουργείται πρόβλημα στη σωστή διαχείρισή της κίνησης από τη μια άκρη στην άλλη. Τα σημερινά πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν μπορούν να διαχειριστούν ολόκληρο το διαδίκτυο σαν να ήταν ένα και μόνο τεράστιο δίκτυο. Δημιουργήθηκε έτσι η ανάγκη για τη διαίρεση μεγάλων δικτύων σε μικρότερα τμήματα. Έτσι επικράτησε το μοντέλο της ιεραρχικής δρομολόγησης.

Στο πρώτο επίπεδο, οι δρομολογητές οργανώνονται κατά περιοχές σε Αυτόνομα Συστήματα - ΑΣ (Autonomous Systems). Σε ένα ΑΣ όλοι οι δρομολογητές βρίσκονται κάτω από την ίδια διαχειριστική αρχή και έχουν την ίδια πολιτική δρομολόγησης. Για παράδειγμα το δίκτυο ενός οργανισμού, ενός παρόχου υπηρεσιών internet ή ενός πανεπιστημίου αποτελούν ξεχωριστά ΑΣ. Ολόκληρο το διαδίκτυο στην ουσία αποτελείται από διασυνδεδεμένα ΑΣ.

Το σύνολο των δρομολογητών που ανήκουν σε ένα ΑΣ, χρησιμοποιούν το ίδιο πρωτόκολλο δρομολόγησης που ονομάζεται εσωτερικό πρωτόκολλο πύλης δικτύου (interior gateway protocol-IGP). Κάθε εσωτερικός δρομολογητής (interior router) γνωρίζει την θέση των άλλων δρομολογητών καθώς και τον τρόπο που θα δρομολογηθούν τα πακέτα μέσα στο δικό του ΑΣ χωρίς όμως να γνωρίζει την τοπολογία των άλλων ΑΣ. Κάθε ΑΣ μπορεί να χρησιμοποιεί το δικό του αλγόριθμο δρομολόγησης. Παρόλα αυτά έχουν αναπτυχθεί πρότυπα για τα εσωτερικά πρωτόκολλα πύλης δικτύου όπως το RIP, το IS-IS, το EIGRP και το OSPF[2].



Εικόνα 2: Ιεραρχία 2 επιπέδων ανάμεσα στα ΑΣ.

Στο δεύτερο επίπεδο χρησιμοποιείται το εξωτερικό πρωτόκολλο πύλης δικτύου (exterior gateway protocol-EGP) που επιτρέπει τη δρομολόγηση ανάμεσα στα διαφορετικά ΑΣ. Το BGP (Border gateway protocol) είναι το μοναδικό EGP που χρησιμοποιείται σήμερα. Τα τρία

ΑΣ της Εικόνας 2 μπορούν να χρησιμοποιούν διαφορετικό IGP στους εσωτερικούς δρομολογητές. Στα όρια του καθενός όμως υπάρχει ένας δρομολογητής που χρησιμοποιεί το BGP το οποίο διαχειρίζεται τη δρομολόγηση από το ένα στο άλλο και μεταδίδει την κίνηση ανάμεσά τους. Τα μεγάλα ΑΣ χωρίζονται κι αυτά σε μικρότερα τμήματα ή περιφέρειες όπως θα περιγραφεί σε επόμενες ενότητες.

Σε κάθε ΑΣ δίνεται ένας αριθμός 32 bit που ονομάζεται Autonomous System Number (ASN), ο οποίος το προσδιορίζει μοναδικά στο διαδίκτυο και επιτρέπει την δρομολόγηση της κίνησης με το BGP.

1.2 Πλεονεκτήματα ιεραρχικής δρομολόγησης

Κάποια από τα πλεονεκτήματα της ιεραρχικής δρομολόγησης είναι τα εξής[4]:

- Τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν έχουν τη δυνατότητα να χειριστούν την κίνηση σε ολόκληρο το διαδίκτυο. Έτσι χωρίζοντας το σε ΑΣ γίνεται εφικτή η δρομολόγηση.
- Το κάθε ΑΣ έχει τις δικές του ιδιαιτερότητες και κάθε οργανισμός μπορεί να επιθυμεί διαφορετικές πολιτικές δρομολόγησης μέσα στο δικό του δίκτυο. Η ιεραρχική δρομολόγηση επιτρέπει στο κάθε ΑΣ να ακολουθεί τους δικούς του κανόνες δρομολόγησης σύμφωνα με τις δικές του ανάγκες.
- Η εσωτερική δομή ενός ΑΣ μπορεί να παραμείνει κρυφή στα υπόλοιπα ΑΣ. Δεν χρειάζεται οι εσωτερικοί δρομολογητές ενός ΑΣ να γνωρίζουν την τοπολογία ενός άλλου ΑΣ για να επικοινωνήσουν μαζί του. Το BGP είναι υπεύθυνο για αυτή την επικοινωνία και έτσι δεν υποχρεώνονται οι εσωτερικοί δρομολογητές να αποθηκεύουν μεγάλο αριθμό διαδρομών.
- Επιτρέπει στους οργανισμούς να επιλέγουν την πολιτική δρομολόγησης που επιθυμούν μεταξύ διαφορετικών ΑΣ. Οι πολιτικές αυτές μπορεί να εξυπηρετούν συμφέροντα πολιτικά, οικονομικά, ασφάλειας και άλλα. Για παράδειγμα τα πακέτα που ξεκινάν από το ΑΣ μιας εταιρίας να μη περνάν ποτέ μέσω του ΑΣ των ανταγωνιστών της.
- Γενικά η ιεραρχική δρομολόγηση κάνει ευκολότερο τον υπολογισμό των διαδρομών, πιο ευέλικτη την προσαρμογή σε τυχόν αλλαγές, και παρέχει μεγαλύτερη αυτονομία στα ΑΣ.
- Η ιεράρχηση μέσα στο ίδιο ΑΣ σε περιφέρειες έχει επίσης πλεονεκτήματα που είναι και πάλι η ευκολία στη διαχείριση, ευελιξία και αυτονομία.

1.3 Κατηγοριοποιήσεις πρωτοκόλλων δρομολόγησης

Μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τα πρωτόκολλα δρομολόγησης, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, σε εσωτερικά πρωτόκολλα πύλης δικτύου (IGP), που είναι τα πρωτόκολλα δρομολόγησης μέσα σε ένα ΑΣ και τα εξωτερικά πρωτόκολλα πύλης δικτύου (EGP). Το μοναδικό EGP, που είναι το BGP, ενώνει τα διαφορετικά ΑΣ μεταξύ τους επιτρέποντας τη μεταφορά φορτίου από το ένα στο άλλο χωρίς να γνωρίζει την εσωτερική δομή ή τον τρόπο δρομολόγησης μέσα στα διάφορα ΑΣ.

Ανάλογα με τη μέθοδο δρομολόγησης που χρησιμοποιούν, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης χωρίζονται σε πρωτόκολλα δρομολόγησης με διανύσματα απόστασης (distance vector routing protocols) και σε πρωτόκολλα δρομολόγησης με κατάσταση συνδέσμων (link state protocols). Τα distance vector routing protocols και ειδικότερα το RIP (Routing Information Protocol) είναι από τα πρώτα πρωτόκολλα δρομολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν από τις αρχές του internet. Αργότερα όμως καθώς τα ΑΣ εξαπλωνόταν με γρήγορο ρυθμό η αρχική αυτή σχεδίαση αποδείχτηκε ανεπαρκής για τη διαχείριση της δρομολόγησης μέσω των όλο και μεγαλύτερων και απαιτητικών δικτύων. Τα link state protocols αποτελούν τη νεότερη και πιο βελτιωμένη γενιά πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Αποδείχθηκαν πιο ικανά στη δρομολόγηση μέσα σε μεγάλα και πολύπλοκα δίκτυα και έτσι αντικατέστησαν σε μεγάλο βαθμό τα πρώτα. Κάποια παραδείγματα τέτοιων πρωτοκόλλων είναι το IS-IS, EIGRP και το OSPF που περιγράφεται στις επόμενες ενότητες.

Τέλος, ανάλογα με τον τρόπο που διαχειρίζονται τις IP διευθύνσεις χωρίζονται σε classfull και classless. Τα classfull αναγνωρίζουν μόνο την προκαθορισμένη μάσκα υποδικτύου για κάθε κλάση δικτύου A, B και C. Συνεπώς δεν υποστηρίζουν VLSM (variable length subnet mask). Επειδή όμως οι IP διευθύνσεις IPv4 έπρεπε να διανέμονται με συνέπεια το VLSM έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό. Τα classless πρωτόκολλα δρομολόγησης υποστηρίζουν VLSM και έτσι έχουν επικρατήσει σήμερα.

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης με διανύσματα απόστασης είναι τα πρώτα πρωτόκολλα που είχαν δημιουργηθεί. Είναι σχετικά απλά και δεν καλύπτουν πια τις ανάγκες των σημερινών πολύπλοκων δικτύων. Χρησιμοποιούν αλγορίθμους βασισμένους στον Bellman-Ford distance vector αλγόριθμο. Χρησιμοποιούνται σε μικρό ποσοστό μέχρι σήμερα. Το RIP, το IGRP είναι παραδείγματα πρωτοκόλλων με διανύσματα απόστασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ OSPF

2. Το εσωτερικό πρωτόκολλο πύλης δικτύου OSPF

Το OSPF είναι ένα link state routing protocol και χρησιμοποιείται για τη δρομολόγηση μέσα στα όρια ενός ΑΣ. Για τη μελέτη του πρωτοκόλλου και την καλύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών του, σε αυτή την ενότητα περιγράφεται σε γενικές γραμμές η λειτουργία των link state routing protocols. Τα link state πρωτόκολλα υποχρεώνουν τους δρομολογητές να ενημερώνονται σχετικά με την κατάσταση των συνδέσμων ή διεπαφών (links/ interfaces) μέρους ή όλων των άλλων δρομολογητών σε ένα ΑΣ και να ενημερώνουν τους άλλους για την κατάσταση των δικών τους. Έτσι κάθε δρομολογητής στο ΑΣ γνωρίζει πως συνδέονται οι υπόλοιποι δρομολογητές μεταξύ τους, συναρμολογεί τα επιμέρους κομμάτια δικτύου και αποκτά ολοκληρωμένη γνώση της τοπολογίας του δικτύου. Με αυτή τη γνώση οι δρομολογητές είναι σε θέση να δρομολογούν τα εισερχόμενα πακέτα προς τους προορισμούς μέσω των κατάλληλων διαδρομών.

Συνοπτικά η διαδικασία της δρομολόγησης αποτελείται από τα εξής βήματα:

- Κάθε δρομολογητής ανακαλύπτει τους γείτονές του.
- Μετράει το κόστος της διαδρομής προς αυτούς. Το κόστος είναι μια τιμή με βάση ένα μέτρο σύγκρισης ή metric που δίνεται σε κάθε διαδρομή και βοηθάει στην επιλογή της βέλτιστης διαδρομής προς κάποιο προορισμό. Η τιμή του metric καθορίζει πόσο καλή ή κακή είναι μια σύνδεση (link) και δίνει μια εικόνα για το ποια διαδρομή είναι προτιμότερο να ακολουθηθεί. Τα link state πρωτόκολλα έχουν ως metric ένα κόστος που προσδίδεται σε κάθε link. Η μέτρηση του κόστους των επιμέρους link που σχηματίζουν μια διαδρομή δίνει το συνολικό κόστος της διαδρομής. Όσο μικρότερο το κόστος τόσο καλύτερη η διαδρομή. Κάθε πρωτόκολλο δρομολόγησης έχει το δικό του metric.
- Δημιουργεί ένα πακέτο ενημέρωσης ή link state advertisement (LSA) που περιέχει τις παραπάνω πληροφορίες και το στέλνει σε όλους τους άλλους δρομολογητές στο ΑΣ.
- Λαμβάνοντας αντίστοιχες ενημερώσεις από όλους τους άλλους, ο δρομολογητής χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο SPF (Shortest path first) για να υπολογίσει τη συντομότερη διαδρομή προς κάθε άλλο δρομολογητή. Αυτή θα είναι η πρόσθεση του κόστους των επιμέρους διαδρομών μεταξύ των δρομολογητών.

2.1 Χαρακτηριστικά των link state πρωτοκόλλων[3]

- Βασικό χαρακτηριστικό των link state πρωτοκόλλων είναι ότι οι δρομολογητές γνωρίζουν μέρος ή ολόκληρη την τοπολογία του δικτύου τους. Έτσι γνωρίζοντας τις πολλαπλές διαδρομές προς κάποιο προορισμό επιλέγουν τη βέλτιστη.

- Για κάθε αλλαγή τοπολογίας υπάρχει δυναμική προσαρμογή. Οι ενημερώσεις που ανταλλάσσονται περιέχουν πληροφορία μόνο σχετικά με την αλλαγή που προέκυψε και στέλνονται σε όλους τους άλλους δρομολογητές του δικτύου. Έτσι οι ενημερώσεις είναι μικρές, χωρίς περίσσεια πληροφορία, και δεν καταναλώνονται οι πόροι του δικτύου. Επίσης ο κάθε δρομολογητής λαμβάνει την ενημέρωση κατευθείαν από την πηγή δηλαδή από τον δρομολογητή στον οποίο προέκυψε η αλλαγή.
- Από τα παραπάνω προκύπτει ότι κάθε δρομολογητής πρέπει να διατηρεί καταχωρίσεις για κάθε άλλο δρομολογητή στο δίκτυο. Αυτό σε ένα μεγάλο δίκτυο σημαίνει ότι κάθε δρομολογητής πρέπει να αποθηκεύει και να επεξεργάζεται μεγάλο αριθμό δεδομένων. Το παραπάνω πρόβλημα αντιμετωπίζεται με το διαχωρισμό των ΑΣ σε περιφέρειες που περιγράφονται σε επόμενες ενότητες.
- Τα πρωτόκολλα με κατάσταση συνδέσμων ανήκουν στην κατηγορία classless. Αυτό σημαίνει ότι έχουν τη δυνατότητα να δρομολογούν πακέτα σε δίκτυα που εφαρμόζουν VLSM.

Στα πρωτόκολλα δρομολόγησης κατάστασης συνδέσμων οι δρομολογητές διατηρούν τρεις βάσεις δεδομένων ή πίνακες.

1. Τον πίνακα που περιέχει μια λίστα με τους γειτονικούς δρομολογητές και ονομάζεται **neighbor table**. Με αυτούς ο δρομολογητής θα ανταλλάσσει πληροφορίες δρομολόγησης.
2. Τον πίνακα που περιέχει πληροφορία για όλες τις γνωστές διαδρομές προς όλους τους προορισμούς που ένας δρομολογητής μπορεί να φτάσει και ονομάζεται **link state database** ή **topology database**.
3. Τον πίνακα που περιέχει μόνο τις βέλτιστες διαδρομές για την προώθηση δεδομένων και ονομάζεται **routing table**.

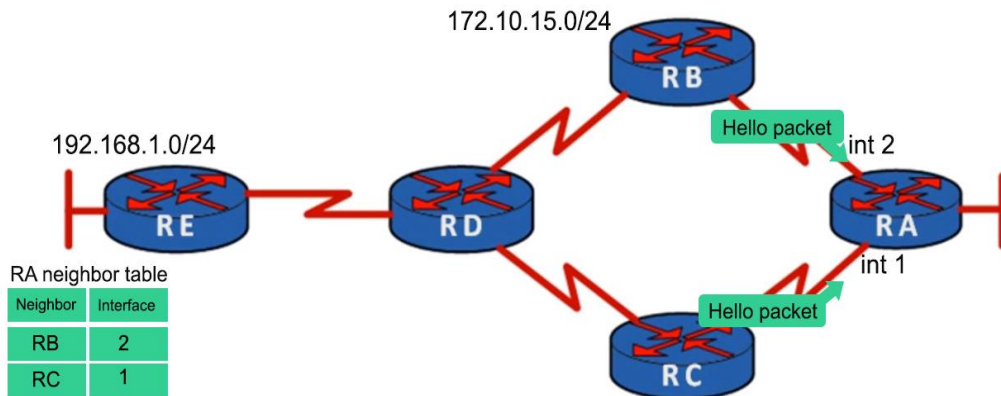
2.1.1 Δημιουργία βάσης δεδομένων των γειτόνων

Το πρώτο πράγμα που κάνει ένας δρομολογητής όταν μπει σε λειτουργία είναι να ανακαλύψει ποιοι είναι οι γείτονές (neighbors) του. Ως γείτονες αναφέρονται οι άμεσα συνδεδεμένοι με αυτόν OSPF δρομολογητές. Για το σκοπό αυτό στέλνει ειδικά αναγνωριστικά πακέτα (hello packets) προς κάθε κατεύθυνση και περιμένει να δει από ποιούς θα πάρει απάντηση. Μια έγκυρη απάντηση θα περιλαμβάνει το όνομα του γειτονικού δρομολογητή και κάποια επιπρόσθετη πληροφορία που τους επιτρέπει να ανακηρυχτούν γείτονες.

Την πληροφορία αυτή θα την αποθηκεύσει ο δρομολογητής στον neighbor table μαζί με τη διαπαφή (interface) μέσω της οποίας συνδέεται με αυτόν. Από κει και πέρα, μέσω των γνωστών γειτόνων θα γίνεται η ανταλλαγή των ενημερώσεων κατάστασης συνδέσμων.

Στην παρακάτω εικόνα ο δρομολογητής RA μέσω των διεπαφών του int1 και int2 συνδέεται στους RC και RB αντίστοιχα. Μετά την ανακάλυψη τους με hello πακέτα σχηματίζει τον

neighbor table. Από αυτούς λαμβάνει LSAs σχετικά με όλες τις γνωστές βέλτιστες διαδρομές προς προορισμούς που τυχαίνει να γνωρίζουν.

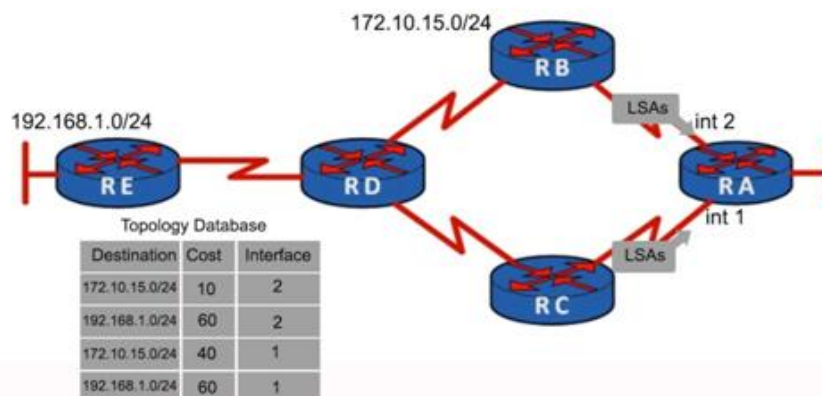


Εικόνα 3: Ο neighbor table του RA όπως διαμορφώνεται μετά από αμοιβαία αποστολή hello packets.

2.1.2 Δημιουργία της topology database

Το επόμενο βήμα που ακολουθεί ένας δρομολογητής είναι να αποθηκεύσει όλες τις διαδρομές προς όλους τους πιθανούς προορισμούς που μπορεί να φτάσει και να δημιουργήσει την topology database. Ο λόγος που ο δρομολογητής διατηρεί όλες τις διαδρομές στην topology database είναι ότι αν η βέλτιστη διαδρομή βγει εκτός λειτουργίας απλά θα επιλέξει την επόμενη καλύτερη χωρίς να περιμένει κάποια ενημέρωση. Αντίθετα με τα distance vector πρωτόκολλα αν ένας δρομολογητής χάσει για κάποιο λόγο τη βέλτιστη διαδρομή του, θα πρέπει να περιμένει να λάβει ενημέρωση εκ νέου από τους γείτονές του και μετά σύμφωνα με αυτές να επιλέξει κάποια άλλη διαδρομή. Επίσης γνωρίζοντας όλα τα μονοπάτια είναι σε θέση να εντοπίζει τυχόν βρόχους.

Η topology database διατηρεί πληροφορίες για τους προορισμούς (destinations), τα κόστη (costs) προς αυτούς και τις διεπαφές που είναι οι έξοδοι που οδηγούν σε αυτούς.



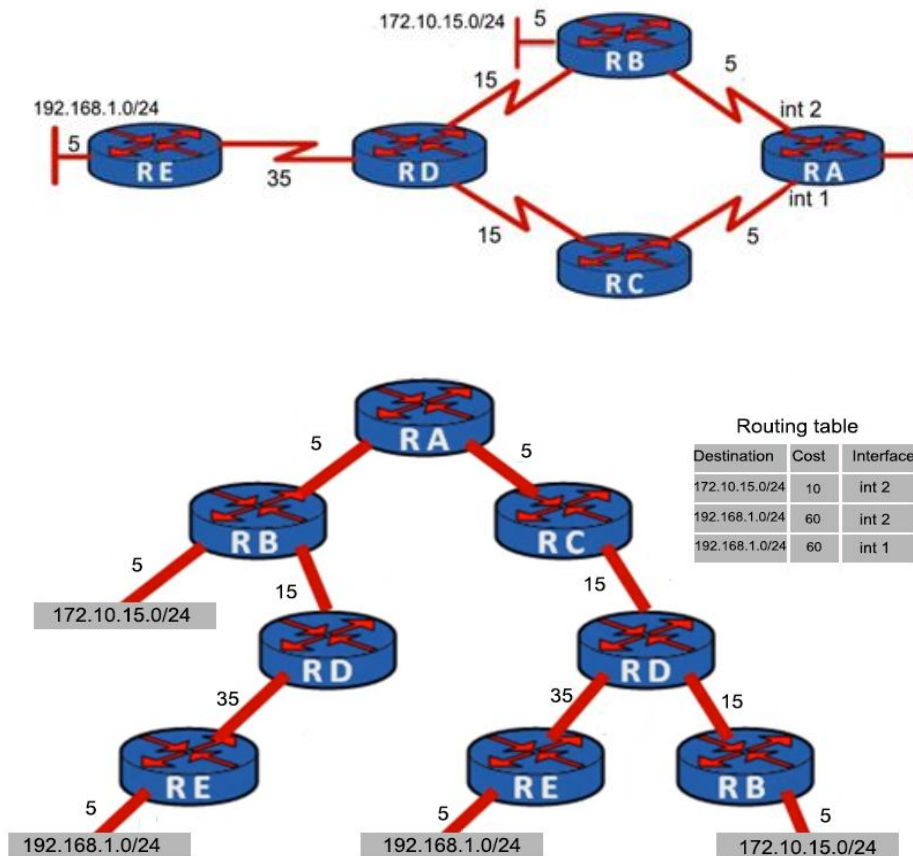
Εικόνα 4: Η topology database του RA όπως διαμορφώνεται μετά από λήψη LSAs.

Στην Εικόνα 4 ο δρομολογητής RA αφού λάβει τα LSAs με τις βέλτιστες διαδρομές από τους RC και RB δημιουργεί την topology database. Για να φτάσει το δίκτυο 172.10.15.0/24 ο RA «έμαθε» μια διαδρομή μέσω της int 2 και του RB με κόστος 10 και μια διαδρομή μέσω της int 1 και του RC με κόστος 40. Επίσης για να φτάσει το δίκτυο 192.168.1.0/24 έμαθε μια διαδρομή μέσω της int 2 και του RB με κόστος 60 και μια διαδρομή μέσω της int 1 και του RC με κόστος πάλι 60. Σε αυτά τα δεδομένα θα εφαρμοστεί ο SPF αλγόριθμος και θα επιλεγούν οι τις βέλτιστες διαδρομές.

2.1.3 Μέτρηση κόστους διαδρομών

Τα link state πρωτόκολλα, χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο SPF (Shortest Path First) ή αλγόριθμο του Dijkstra για τον υπολογισμό των συντομότερων διαδρομών και δημιουργούν τον πίνακα δρομολόγησης (routing table). Αρχικά, από τα δεδομένα της topology database ο αλγόριθμος δημιουργεί το SPF tree. Ξεκινώντας από ένα δρομολογητή επιλέγεται το συντομότερο κομμάτι του SPF tree προς κάποιο προορισμό και τοποθετείται στον routing table ως η βέλτιστη διαδρομή προς αυτόν.

Αφού στους δρομολογητές φτάνουν LSAs από όλους τους άλλους δρομολογητές του δικτύου κάθε ένας γνωρίζει πως όλοι συνδέονται μεταξύ τους και τα επιμέρους κόστη των διαδρομών και αποκτούν πλήρη εικόνα του δικτύου. Έτσι με κορυφή τον RA το SPF tree διαμορφώνεται όπως στην Εικόνα 5.



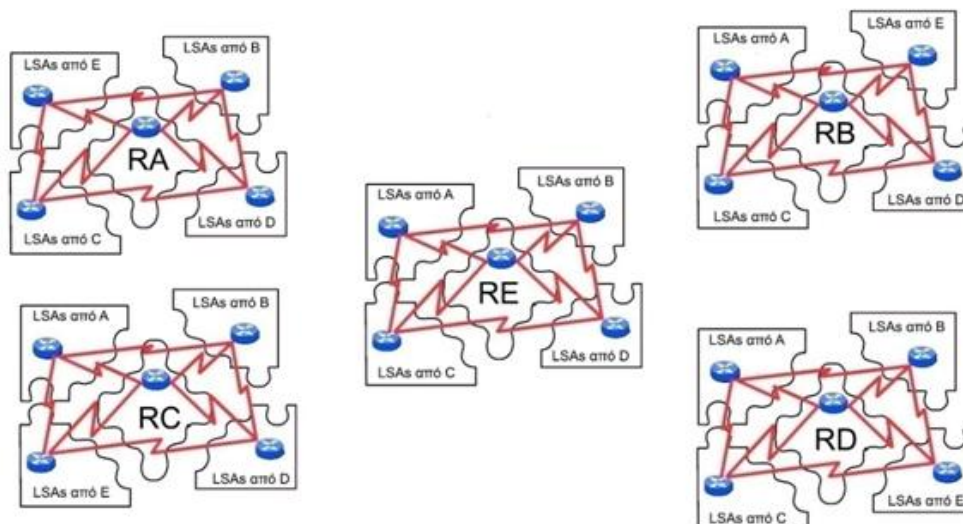
Εικόνα 5: Το SPF tree της τοπολογίας της Εικόνα 4.

Προσθέτοντας τα κόστη των επιμέρους διαδρομών υπολογίζεται το συνολικό κόστος μιας διαδρομής. Για να φτάσει ο RA το δίκτυο 172.10.15.0/24 υπάρχουν 2 διαδρομές η μια, μέσω του RB έχει κόστος 10 ενώ μέσω του RC το κόστος είναι 40. Το link με το μικρότερο κόστος θεωρείται και το πιο γρήγορο οπότε η διαδρομή που προστίθεται στον routing table είναι μέσω του RB.

Παρόμοια από τον RA προς το δίκτυο 192.168.1.0/24 υπολογίζονται δύο διαδρομές, μια μέσω του RB και η άλλη μέσω του RC με ίδιο κόστος ίσο με 60. Διαδρομές με το ίδιο κόστος τοποθετούνται και οι δύο στον πίνακα δρομολόγησης έτσι ώστε το φορτίο να μοιράζεται. Ο routing table του RA διαμορφώνεται όπως στην Εικόνα 5.

Στα link state πρωτόκολλα οι δρομολογητές μπορούν να έχουν τη ίδια topology database αλλά δεν μπορούν να έχουν τον ίδιο routing table αφού αλγόριθμος στον κάθε δρομολογητή υπολογίζει τα συντομότερα δρομολόγια με κορυφή τον ίδιο. Οι διαδρομές από τον routing table του RA στέλνονται ως LSAs με τη μέθοδο της πλημμύρας σε όλους του δρομολογητές έτσι ώστε να τις λάβουν και να ακολουθήσουν και αυτοί με τη σειρά τους την ίδια διαδικασία.

Συνοψίζοντας, στην βασική λειτουργία τους, με τα link state πρωτόκολλα, ο κάθε δρομολογητής στέλνει LSAs για την κατάσταση των δικών του link ή διαδρομών που τους ενώνουν με τους άμεσα συνδεδεμένους γείτονές τους, σε όλους τους άλλους δρομολογητές του δικτύου. Λαμβάνοντας ο κάθε δρομολογητής αυτή τη γνώση, την αποθηκεύει στην topology database. Έτσι είναι σε θέση να συναρμολογήσει τα επιμέρους κομμάτια του δικτύου και να αποκτήσει μια ολοκληρωμένη εικόνα όπως φαίνεται στην Εικόνα 6. Μετά από την παραπάνω διαδικασία όλες οι topology database είναι ίδιες και λέμε ότι οι είναι συγχρονισμένες (synchronized).



Εικόνα 6: Η δρομολογητές λαμβάνοντας τα LSAs συγχρονίζουν τις topology database, συναρμολογούν τα κομμάτια του δικτύου και αποκτούν ολοκληρωμένη εικόνα.

2.2 Το εσωτερικό πρωτόκολλο πύλης δικτύου OSPF [5][6]

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια καθώς τα δίκτυα και οι απαιτήσεις τους μεγάλωναν, τα αρχικά distance vector πρωτόκολλα όπως το RIP δεν μπορούσαν πια να λειτουργούν ικανοποιητικά. Από το 1988 η IETF (Internet Engineering Task Force) ξεκίνησε να εργάζεται σε ένα νέο εσωτερικό πρωτόκολλο πύλης δικτύου το οποίο θα ήταν κατάλληλο για δρομολόγηση σε πολύπλοκα δίκτυα και θα παρείχε πλήρη υποστήριξη στην πλατφόρμα πρωτοκόλλων TCP/IP. Το πρότυπο που θα δημιουργούνταν θα ήταν ανοιχτό (open) και δεν θα ανήκε σε καμιά εταιρία. Το 1991 έγινε πρότυπο το πρωτόκολλο αυτό και ονομάστηκε OSPF (Open Shortest Path First).

Το OSPF βασίζεται στη δρομολόγηση με κατάσταση συνδέσμων. Σήμερα χρησιμοποιούνται 2 εκδόσεις (versions) του πρωτοκόλλου. Η πρώτη OSPF version 2 (OSPFv2) υποστηρίζει τη δρομολόγηση IPv4 πακέτων και περιγράφεται στο RFC2328. Η δεύτερη OSPF version 3 (OSPFv3) υποστηρίζει τη δρομολόγηση πακέτων IPv6 και περιγράφεται στο RFC2740. Το OSPF τρέχει πάνω από το πρωτόκολλο IP. Αυτό σημαίνει ότι τα OSPF πακέτα μεταδίδονται με την IP επικεφαλίδα. Η τιμή του protocol field στην επικεφαλίδα για το OSPF είναι 89.

2.2.1 Βασικά χαρακτηριστικά του OSPF

Ο σχεδιασμός του OSPF αποφεύγει τους περιορισμούς που είχαν τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης το οποία δημιουργούσαν προβλήματα σε μεγάλα δίκτυα. Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- Το OSPF έχει γρήγορη σύγκλιση. Είναι ευέλικτο και προσαρμόζεται γρήγορα στις αλλαγές τοπολογίας. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα μεγάλης κλίμακας χωρίς τον περιορισμό του metric αντίθετα με ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούσαν αλγορίθμους βασισμένους στον Bellman-Ford distance vector αλγόριθμο. Για παράδειγμα το RIP έχει ως metric το hop count με μέγιστη τιμή το 15. Από κει και πέρα το δίκτυα θεωρούνται εκτός εμβέλειας. Το OSPF ξεπερνά αυτόν τον περιορισμό αφού χρησιμοποιεί ως metric το κόστος και μπορεί να χειριστεί δίκτυα με περισσότερους από 15 κόμβους (hops).
- Υποστηρίζει VLSM (classless routing). Συμβάλει έτσι στην εξοικονόμηση IPv4 διευθύνσεων.
- Δεν στέλνει περιοδικά ενημερώσεις ολόκληρου του routing table όπως τα προηγούμενα πρωτόκολλα. Σε μεγάλα δίκτυα αυτό θα κατανάλωνε πολύτιμους πόρους όπως εύρος ζώνης, υπολογιστική ισχύς και μνήμη των δρομολογητών. Ο βασικός σχεδιασμός του είναι να στέλνει μικρές ενημερώσεις (LSAs) κάθε φορά που γίνονται αλλαγές οι οποίες να περιέχουν μόνο τις συγκεκριμένες αλλαγές και όχι ολόκληρο τον routing table.
- Παρέχει ασφάλεια με πιστοποίηση αυθεντικότητας (authentication) όλων των OSPF πακέτων για να αποφύγει σφάλματα και τυχόν προσπάθεια για αλλοίωση τους.
- Υποστηρίζει ιεραρχικά συστήματα ενώ τα προηγούμενα πρωτόκολλα υποστήριζαν μόνο επίπεδους σχεδιασμούς δικτύων. Το OSPF έχει τη δυνατότητα να χωρίσει ένα δίκτυο σε επίπεδα που εξυπηρετεί την καλύτερη διαχείριση του, την αποδοτικότερη δρομολόγηση, την εξοικονόμηση πόρων και την επεκτασιμότητα. Έτσι ένα OSPF δίκτυο χωρίζεται σε περιοχές areas που περιγράφονται σε επόμενες ενότητες.

- Παρέχει ολοκληρωμένη υποστήριξη απλής μετάδοσης και πολλαπλής διανομής (multicast). Σε multicast δίκτυα το OSPF χρησιμοποιεί την IP multicast διεύθυνση για την αποστολή των LSAs.

Με την υποστήριξη όλων των παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι το OSPF είναι σχετικά πολύπλοκο στη διαχείριση και τον καθορισμό των παραμέτρων του. Ακόμα απαιτεί περισσότερη μνήμη και μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ στους επεξεργαστές των δρομολογητών.

2.2.2 Περιγραφή του OSPF

Σε γενικές γραμμές το OSPF υποχρεώνει γειτονικούς δρομολογητές να διατηρούν την ίδια topology database. Ως πρωτόκολλο κατάστασης συνδέσμων εφαρμόζει τον αλγόριθμο SPF ή Dijkstra στα δεδομένα της topology database για τον υπολογισμό του πιο σύντομου μονοπατιού και δημιουργεί τον routing table. Ο αλγόριθμος δημιουργεί το SPF tree με κορυφή τον κάθε δρομολογητή και κόμβους όλους του υπόλοιπους. Ο routing table μπορεί να είναι διαφορετικός σε κάθε δρομολογητή αφού ο υπολογισμός γίνεται με σημείο αναφοράς (κορυφή του δένδρου) τον ίδιο.

Τοπολογίες που υποστηρίζει το OSPF

Το OSPF έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει διαφορετικές ρυθμίσεις ανάλογα με τον τύπο δικτύου στο οποίο λειτουργεί. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως και να καλύψει τις ανάγκες δρομολόγησης μεγάλου αριθμού δικτύων. Πιο συγκεκριμένα το OSPF υποστηρίζει τους παρακάτω τύπους δικτύου:

1. Δίκτυο από σημείο σε σημείο (point to point): Είναι ένα δίκτυο που έχει μόνο δύο δρομολογητές ένα σε κάθε άκρο.
2. Δίκτυο πολλαπλής πρόσβασης με εκπομπή (Multi-access broadcast): Είναι ένα δίκτυο που μπορεί να έχει παραπάνω από δυο δρομολογητές οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να στέλνουν πακέτα με εκπομπή, broadcast ή multicast άμεσα ο καθένας σε όλους τους άλλους. Παράδειγμα τέτοιου δικτύου είναι το Ethernet.
3. Δίκτυο πολλαπλής πρόσβασης χωρίς εκπομπή (Multi-access non-broadcast): Είναι ένα δίκτυο που μπορεί να έχει παραπάνω από δυο δρομολογητές χωρίς μηχανισμό να στέλνουν δεδομένα broadcast ή multicast. Παραδείγματα τέτοιων δικτύων είναι τα X.25 και frame relay. Εκεί τα πακέτα στέλνονται ένα ένα unicast.

Για κάθε ένα από τα παραπάνω δίκτυα το OSPF έχει διαφορετικές ρυθμίσεις (configurations) και ιδιότητες έτσι ώστε να προσαρμόζεται στην ιδιαίτερη τοπολογία του καθενός και να φέρνει εις πέρας τη δρομολόγηση.

2.2.3 Ιεραρχία 2 επιπέδων του OSPF

Όσο μεγαλώνει ένα δίκτυο και αποκτά νέους δρομολογητές τόσο αυξάνονται οι καταχωρίσεις διαδρομών στην topology database. Με τη συνεχή αυτή αύξηση κάποια στιγμή μπορεί να καταλαμβάνουν τόσο χώρο στη μνήμη ώστε να καθιστούν τον χειρισμό τους δύσκολο και χρονοβόρο. Επίσης η επεξεργασία τους από τον SPF αλγόριθμο σε αυτή την περίπτωση θα απαιτούσε μεγάλη υπολογιστική ισχύ που σημαίνει κατανάλωση των πόρων δικτύου. Έτσι σε μεγάλα και πολύπλοκα ΑΣ, για την καλύτερη διαχείριση της κίνησης το OSPF χωρίζει τους δρομολογητές σε αριθμημένες περιφέρειες που ονομάζονται areas. Τα γενικά χαρακτηριστικά μιας OSPF area είναι τα εξής:

- Περιέχει ένα σύνολο από συνεχόμενα συνδεδεμένους δρομολογητές, δίκτυα και hosts.
- Περιέχει μια περιοχή σπονδυλικής στήλης ή backbone area ή area 0 που ενώνει όλες τις areas. Στην backbone area όλοι οι κόμβοι πρέπει να είναι συνεχόμενα συνδεδεμένοι με links.
- Οι δρομολογητές σε μια area έχουν πανομοιότυπη Link State Database.
- Κάθε area πρέπει να είναι συνδεδεμένη στην backbone area.
- Virtual links πρέπει να χρησιμοποιούνται για τη συνεχόμενη σύνδεση των δρομολογητών της backbone area σε περίπτωση που κάποιο φυσικό link βγει εκτός λειτουργίας.

Πλεονεκτήματα διαχωρισμού σε areas

Οι πόροι ενός δικτύου πρέπει να διαχειρίζονται με συνέπεια ώστε να μην γίνεται σπατάλη που οδηγεί στην αστάθεια του δικτύου και την μη αποδοτική δρομολόγηση. Το σκοπό αυτό εξυπηρετεί ο σχεδιασμός του OSPF δικτύου σε areas.

- Οι δρομολογητές σε κάθε area έχουν την ίδια topology database όπου αποθηκεύουν πληροφορία τοπολογίας που αφορούν μόνο την δική τους area. Δεν διατηρούν πληροφορία για ολόκληρη την τοπολογία του ΑΣ. Έτσι η τοπολογία μιας area δεν είναι ορατή στο υπόλοιπο ΑΣ. Με αυτό τον τρόπο οι topology databases είναι πιο μικρές και επεξεργάζονται εύκολα και γρήγορα τις διαδρομές.
- Επίσης κάθε area προσαρμόζεται στις δικές της τυχόν αλλαγές με ανταλλαγή πακέτων LSAs εσωτερικά (intra-area routing), χωρίς να ενημερώνεται ολόκληρο το ΑΣ. Μια τυχόν αλλαγή περιορίζεται στα όρια της περιοχής της, όπου μόνο οι δρομολογητές που ανήκουν σε αυτή κάνουν τους απαραίτητους SPF υπολογισμούς για τον επαναυπολογισμό νέων δρομολογιών και όχι όλοι οι δρομολογητές του ΑΣ μειώνοντας τις απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ.
- Τα LSAs που προκύπτουν από την παραπάνω αλλαγή διανέμονται εσωτερικά της περιοχής, χωρίς να είναι απαραίτητο να πλημμυρίσουν ολόκληρο το ΑΣ, μειώνοντας το φορτίο στις γραμμές.

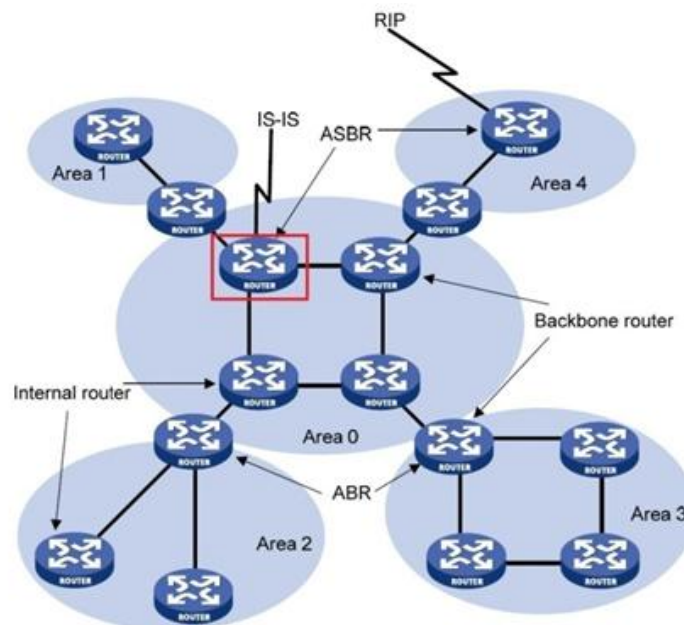
Υλοποιώντας ιεραρχική δρομολόγηση, το OSPF παρέχει μηχανισμούς για την αποδοτική επικοινωνία των διαφορετικών areas μεταξύ τους (inter-area routing). Χωρίζει τις OSPF areas σε διάφορους τύπους, που ο καθένας έχει τα δικά του χαρακτηριστικά όπως και οι δρομολογητές που ανήκουν σε αυτούς. Ανάλογα με τον τύπο της, μια area επιτρέπει μόνο συγκεκριμένο τύπο πληροφορίας δρομολόγησης να εισέρχεται και να εξέρχεται από αυτή ενώ απορρίπτει τους υπόλοιπους.

Οι areas σε ένα ΑΣ ενώνονται μεταξύ τους με μια ειδική περιφέρεια την περιφέρεια δικτύου σπονδυλικής στήλης που αναφέρεται ως area 0 ή backbone area. Πάνω σε αυτή συνδέονται όλες οι areas και μέσω αυτής επικοινωνούν η μια με την άλλη (Εικόνα 7). Κάθε area έχει ένα area ID που την ορίζει μοναδικά. Κάθε link ή διεπαφή ενός δρομολογητή μπορεί να ανήκει μόνο σε μια area.

2.2.4 Τύποι δρομολογητών του OSPF

Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι δρομολογητών που σχετίζονται με τους διαφορετικούς τύπους areas. Τα όρια μεταξύ των areas βάζουν συγκεκριμένου τύπου δρομολογητές που ονομάζονται συνοριακοί δρομολογητές. Πιο συγκεκριμένα οι δρομολογητές ανάλογα με τη θέση τους σε ένα OSPF ΑΣ χωρίζονται στους εξής τύπους:

1. Εσωτερικοί δρομολογητές ή **Internal Routers**: ανήκουν εξολοκλήρου σε μια area που σημαίνει ότι όλες οι διεπαφές τους βρίσκονται σε αυτή. Οι internal routers έχουν πανομοιότυπη topology database.
2. Δρομολογητές δικτύου σπονδυλικής στήλης ή **Backbone Routers**: σε αυτή την κατηγορία ανήκουν όλοι οι δρομολογητές που είναι εξολοκλήρου μέσα στο δίκτυο σπονδυλικής στήλης (area 0) καθώς και αυτοί που έχουν τη μια διεπαφή τους μέσα σε αυτό.
3. Συνοριακοί δρομολογητές περιφέρειας ή **Area Border Routers (ABR)**: ανήκουν σε δύο ή και περισσότερες areas από τις οποίες η μια είναι οπωσδήποτε η backbone area. Είναι αυτοί που επιτρέπουν την δρομολόγηση από τη μια περιφέρεια στην άλλη. Είναι σημεία εξόδου της κάθε area που σημαίνει ότι όλη η κίνηση από και προς αυτή θα περάσει από τον τοπικό ABR. Γνωρίζουν τις topology databases των areas που συνδέουν και εκτελούν τον αλγόριθμο κατάστασης συνδέσμων χωριστά και για τις δυο για τον υπολογισμό των βέλτιστων διαδρομών. Μια area μπορεί να έχει ένα ή περισσότερους ABRs.
4. Συνοριακοί δρομολογητές του Αυτόνομου Συστήματος ή **Autonomous System Boundary Routers (ASBRs)**: έχουν τουλάχιστον μια διεπαφή τους σε ένα άλλο ΑΣ. Μέσω αυτών επικοινωνούν τα διάφορα ΑΣ. Ένας ASBR μπορεί να εισάγει και να εξάγει πληροφορία δρομολόγησης από άλλα ΑΣ τα οποία δεν χρησιμοποιούν απαραίτητα το OSPF. Αυτό γίνεται γιατί ο ASBR μεταφράζει την πληροφορία δρομολόγησης σε μορφή που να μπορούν να επεξεργαστούν οι δρομολογητές στις εσωτερικές areas στο ΑΣ που ανήκει.



Εικόνα 7: Οι OSPF areas και οι τύποι των OSPF δρομολογητών.

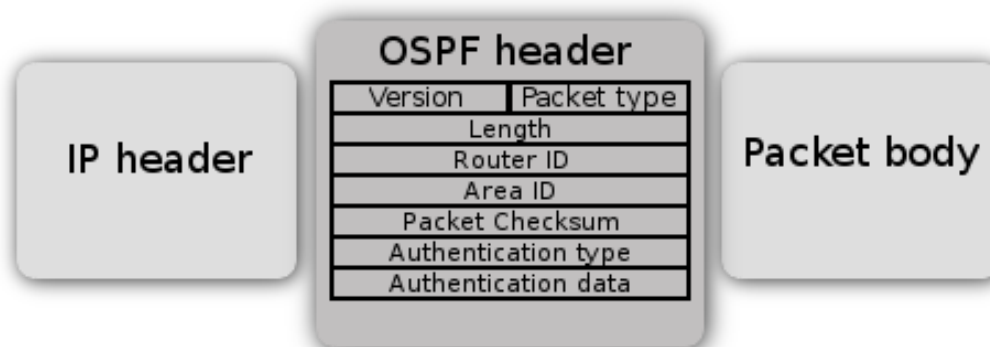
Όπως προκύπτει από τα παραπάνω ένας router μπορεί να ανήκει σε περισσότερους από ένα τύπους. Για παράδειγμα αν ένας router συνδέει την area 1 και την area 0 ενώ ταυτόχρονα συνδέεται με άλλο ΑΣ που χρησιμοποιεί άλλο πρωτόκολλο δρομολόγησης πχ IS-IS όπως στην Εικόνα 7, τότε ότι είναι ABR, ASBR αφού συνδέεται με εξωτερικό ΑΣ και backbone router αφού ανήκει και στην area 0.

2.2.5 Τύποι OSPF πακέτων

Το OSPF υποχρεώνει τους δρομολογητές να στέλνουν πακέτα για να ανακαλύπτουν τους γείτονές τους, να εξασφαλίζουν την σωστή μεταφορά των LSAs και να διατηρούν ενημερωμένες τις topology databases. Τα πακέτα που υποστηρίζονται είναι τα εξής:

1. **Hello packets (type 1):** Στέλνονται περιοδικά για την αναζήτηση και δημιουργία γειτόνων, τη δημιουργία ειδικών σχέσεων ή adjacencies και τη διατήρηση αυτών και την εκλογή Designated router και Backup Designated router. Η διαδικασία περιγράφεται σε επόμενες ενότητες
2. **Database Description packet ή (DDP) (type 2):** Χρησιμοποιούνται μετά τη δημιουργία adjacencies και περιέχουν πληροφορία για το περιεχόμενο της topology database δηλαδή τις διαδρομές που γνωρίζει ο κάθε δρομολογητής. Εξασφαλίζουν τη διατήρηση πανομοιότυπης topology database σε δρομολογητές μιας area.
3. **Link State request ή LSR packet (type 3):** Χρησιμοποιούνται για την αίτηση των πιο ενημερωμένων LSAs από άλλους δρομολογητές. Σε περίπτωση που κάποιος δρομολογητής ανακαλύψει ότι η δική του topology database δεν έχει τις τελευταίες πιο ενημερωμένες διαδρομές στέλνει LSR πακέτο ζητώντας να του σταλούν τα LSAs που λείπουν.
4. **Link State Update ή LSU packet (type 4):** Στέλνεται ως απάντηση στο αίτημα του LSR πακέτου και περιέχει τα ζητούμενα LSAs.
5. **Link State acknowledgement ή LSAck packet (type 5):** Αποτελούν επιβεβαιώσεις (acknowledgements) ότι ελήφθησαν τα παραπάνω πακέτα.

Τα παραπάνω OSPF πακέτα ενθυλακώνονται κατευθείαν στο IP πακέτο. Στην επικεφαλίδα του IP πακέτου (IP header) ένα OSPF πακέτο αναγνωρίζεται από τον αριθμό πρωτοκόλλου (Protocol ID number) που είναι το 89. Ακολουθεί η επικεφαλίδα του OSPF (OSPF header) πακέτου και ανάλογα με τον τύπο του το αντίστοιχο περιεχόμενο (packet body).



Εικόνα 8: Το OSPF πακέτο.

Τα πεδία στην OSPF header είναι τα εξής:

- **Version number:** είναι η έκδοση του OSPF, Version 2 για IPv4 και Version 3 για IPv6
- **Type:** ο αριθμός σε αυτό το πεδίο υποδεικνύει τι τύπος OSPF πακέτου ακολουθεί (1=Hello, 2=DBD, 3=LSR, 4=LSU, 5=LSack).
- **Packet Length:** περιέχει το μέγεθος του OSPF πακέτου μαζί με την επικεφαλίδα σε bytes.
- **Router ID:** Ο αριθμός του δρομολογητή που το δημιούργησε, που τον προσδιορίζει μοναδικά. Έχει μήκος 32 bits.
- **Area ID:** τον αριθμό της OSPF area από την οποία προήλθε που την προσδιορίζει μοναδικά στο ΑΣ. Έχει μήκος 32 bits.
- **Checksum:** χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό τυχόν σφαλμάτων των πακέτων. Αν ο παραλήπτης διαπιστώσει αλλοιώσεις το πακέτο απορρίπτεται.
- **Authentication Type:** περιγράφει την μέθοδο της επιβεβαίωσης των πακέτων αν υπάρχει. Παίρνει τιμές από 0-2 που αντιστοιχούν σε: 1=δεν υπάρχει επιβεβαίωση, 2=απλή επιβεβαίωση, 3=MD5 επιβεβαίωση.
- **Authentication:** περιέχει πληροφορίες που επιβεβαιώνουν την αξιοπιστία του πακέτου.

Το Packet body είναι το περιεχόμενο του OSPF πακέτου. Ανάλογα με τον τύπο του OSPF πακέτου περιέχει την αντίστοιχη πληροφορία. Για παράδειγμα αν το πακέτο είναι τύπου hello τότε περιέχει πληροφορία για δημιουργία γειτόνων και adjacencies. Αν είναι DDP περιέχει LSAs με πληροφορία για το περιεχόμενο της topology database.

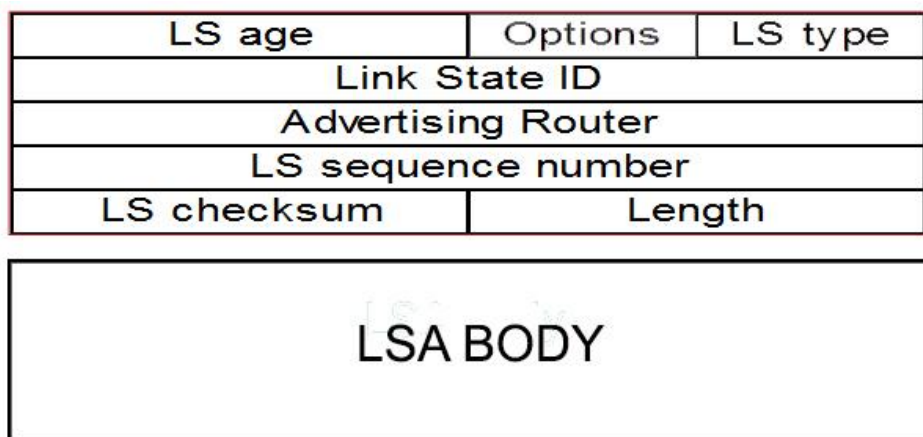
2.2.6 Ενημερώσεις κατάστασης συνδέσμων ή Link State Advertisements (LSAs)

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω τα OSPF πακέτα διανέμουν τις LSAs για την ενημέρωση και τον συγχρονισμό των topology databases. Το OSPF επιτρέπει στους δρομολογητές να δημιουργούν τους εξής τύπους LSAs:

1. **Router LSAs (type 1):** Δημιουργούνται από κάθε router σε μια area. Ένα router LSA περιγράφει τις καταστάσεις όλων των συνδέσμων του router που το δημιούργησε και διανέμεται με πλημμύρα μόνο μέσα στα όρια της δικής του area.
2. **Network LSAs (type 2):** Δημιουργούνται από τους εκλεγμένους δρομολογητές ή designated router στα broadcast ή non-broadcast multi-access δίκτυα. Περιέχουν πληροφορία για τους OSPF routers που είναι συνδεδεμένοι σε αυτούς. Διανέμεται μόνο μέσα στα όρια της area που ανήκουν. Περιγράφουν το συγκεκριμένο τμήμα δικτύου που είναι συνδεδεμένος ο designated router μοναδικά στο ΑΣ περιέχοντας το link ID του.
3. **Network Summary LSAs (type 3):** Δημιουργούνται από τους ABRs και περιγράφουν διαδρομές μεταξύ ενός ABR προς τα διάφορα δίκτυα ανάμεσα στις areas. Διανέμονται με πλημμύρα από έναν ABR μέσω της area 0 στους υπόλοιπους ABRs.

4. **AS summary LSAs (type 4):** Δημιουργούνται από τους ABRs των διάφορων areas και περιγράφουν τις διαδρομές προς τους ASBR. Έτσι γνωρίζουν την έξοδο από το δικό τους ΑΣ. Το Link ID που φέρουν είναι το router ID του ASBR που περιγράφουν.
5. **AS External LSAs (type 5):** Δημιουργούνται από τους ASBRs των ΑΣ και περιγράφουν εξωτερικές διαδρομές προς άλλα ΑΣ.
6. **Multicast LSAs (type 6):** χρησιμοποιούνται για multicast εφαρμογές.
7. **NSSA LSAs (type 7):** είναι ειδικού τύπου LSAs που δημιουργούνται από τους NSSA ASBRs και διανέμονται μόνο μέσα στις Not-So-Stubby Areas (NSSA). Περιγράφουν διαδρομές από εξωτερικά δίκτυα. Για να μεταδοθεί η πληροφορία δρομολόγησης που μεταφέρουν και σε άλλες areas θα πρέπει να μετατραπούν σε AS External (type 5) LSAs.
8. **Type 8 LSAs:** Αρχικά δημιουργήθηκε για τη μετάδοση των attribute των BGP διαδρομών μέσα από transit OSPF v2 αυτόνομα συστήματα ενώ οι ίδιες οι διαδρομές μεταφερόταν με type 5 LSAs. Πλέον χρησιμοποιούνται από το OSPF v3 τοπικά σε κάθε link χωρίς να διανέμονται έξω από αυτό. Περιέχουν πληροφορίες για τους άμεσα συνδεδεμένους δρομολογητές καθώς και τα IPv6 δίκτυα που σχετίζονται με αυτό.
9. **Opaque LSAs (type 9, 10, 11):** Είναι δεσμευμένα για μελλοντική χρήση για ειδικές εφαρμογές.

Τα LSAs ενθυλακώνονται μέσα στο OSPF πακέτο. Κάθε LSA έχει το δικό του περιεχόμενο (LSA body) αλλά όλα έχουν την παρακάτω επικεφαλίδα.



Εικόνα 9: Η δομή του LSA.

Τα πεδία στην LSA header είναι τα εξής:

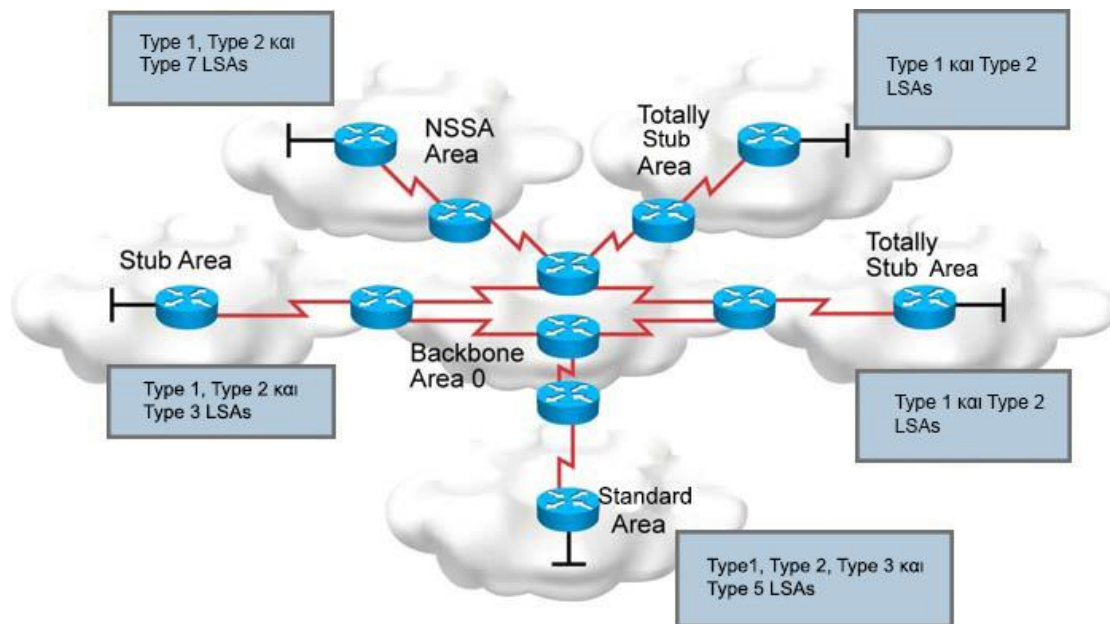
- **LSA type:** περιέχει τον τύπο του κάθε LSA (type 1, type 2 κτλ).

- **Link State ID:** προσδιορίζει μοναδικά το LSA ενός δρομολογητή.
- **Advertising router:** περιέχει το router id του δρομολογητή που δημιούργησε το LSA.
- **LSA sequence number:** είναι ένας αριθμός 32 bit που υπάρχει για ελέγχει την διαδικασία της πλημμύρας των LSA. Επιτρέπει να εντοπίζονται τα «παλιά» LSAs, να σταματά η διανομή τους και απομακρύνονται από τις topology databases. Αν ένας router λάβει ένα LSAs και «αντιληφθεί» ότι προέρχεται από τον ίδιο router (έχουν ίδιο router id) φυσικά θα πρέπει να κρατήσει το πιο ενημερωμένο. Για να το κάνει αυτό αρχικά θα ελέγξει το LSA sequence number. Αν είναι ίδιο στα δύο LSA, θα αγνοήσει το εισερχόμενο LSA. Αν είναι μικρότερο πάλι θα το αγνοήσει και επίσης θα ενημερώσει τον αποστολέα ότι κατέχει ένα παλιό LSA. Αν είναι μεγαλύτερο το LSA sequence number, που σημαίνει ότι είναι και το νεώτερο LSA, θα προσθέσει τις διαδρομές στην δική του topology database και θα στείλει στον αποστολέα LSAck πακέτο για να επιβεβαιώσει τη επιτυχή λήψη του.
- **LSA checksum:** χρησιμοποιείται για να εντοπίζει τυχόν αλλοιώσεις στα LSAs.
- **LSA age:** περιέχει την ηλικία ενός LSA σε δευτερόλεπτα από τη στιγμή που δημιουργήθηκε. Ξεκινάει με την τιμή 0 και μπορεί να φτάσει τα 30 λεπτά (1800 δευτερόλεπτα). Αν η ηλικία ενός LSA φτάσει τα 30 λεπτά ο δρομολογητής που το δημιούργησε διανέμει ένα ίδιο LSA με ηλικία 0 και μεγαλύτερο sequence number. Αν για κάποιο λόγο ο router που το δημιούργησε αποτύχει να το κάνει αυτό η ηλικία του θα συνεχίσει να αυξάνεται μέχρι να φτάσει τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή που είναι MaxAge=60 λεπτά. Τα LSA πακέτα που έχουν φτάσει τη MaxAge διαγράφονται από τις topology database και ταυτόχρονα διανέμονται στους υπόλοιπους δρομολογητές. Η MaxAge σε αυτά τα πακέτα θα ειδοποιήσει όλους τους δρομολογητές ότι πρέπει να τα διαγράψουν.
- **Length:** περιέχει το μέγεθος του LSA μαζί με την header σε bytes. Το μέγιστο που επιτρέπεται να φτάσει είναι τα 65535 bytes, αλλά συνήθως δεν ξεπερνά τις μερικές εκατοντάδες bytes.
- **Options:** η τιμή του αναφέρεται σε κάποιες ιδιαίτερες απαιτήσεις που μπορεί έχει η διανομή ενός LSA.

2.2.7 Τύποι OSPF areas

Στην περίπτωση που ένα ΑΣ είναι αρκετά μεγάλο και πρέπει να επιμεριστεί σε areas, το OSPF ταξινομεί κάθε μια από αυτές σε τύπους με διαφορετικά χαρακτηριστικά και λειτουργία.

Η κάθε area, ανάλογα με τον τύπο που ανήκει, επιτρέπει συγκεκριμένο είδος πληροφορίας δρομολόγησης να εξέλθει και να εισέλθει σε αυτή. Δηλαδή συγκεκριμένου τύπου OSPF πακέτων. Αυτό εξασφαλίζει τη μετάδοση της ελάχιστη δυνατής πληροφορίας που όμως θα εξασφαλίζει αποδοτική δρομολόγηση έτσι ώστε να μην πλημμυρίζει τις γραμμές περίσσεια πληροφορία δρομολόγησης.



Εικόνα 10: Οι τύποι των OSPF areas και τα είδη πακέτων που επιτρέπονται σε αυτές.

Οι τύποι των areas που μπορούν να οριστούν σε ένα OSPF ΑΣ είναι οι εξής:

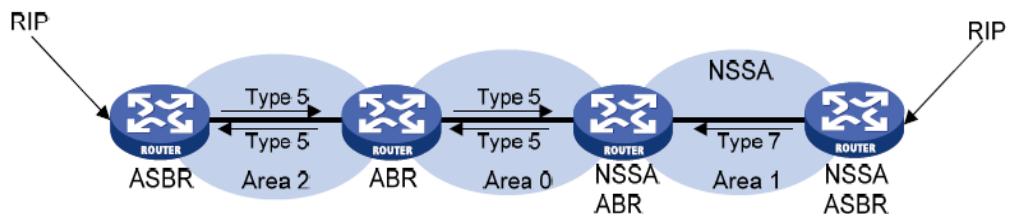
1. **Backbone area:** είναι αυτή που ενώνει τις areas ενός ΑΣ. Όλες οι areas πρέπει να είναι άμεσα συνδεδεμένες με αυτή. Οι πληροφορίες δρομολόγησης περνάει από μια area στην άλλη μέσα από την backbone area. Οι δρομολογητές της πρέπει να είναι όλοι συνδεδεμένοι μεταξύ τους ώστε η backbone area να είναι ενιαία και συνεχόμενη. Αν κάποιο link βγει εκτός λειτουργίας δημιουργείται ένα virtual link (Εικόνα 13) και διορθώνει την τοπολογία.
2. **Standard area:** μέσα σε αυτή διανέμονται τα type 1, και type 2 LSAs με τα οποία κάθε δρομολογητής δημιουργεί το SPF tree της area. Αυτά υπάρχουν σε όλους τους τύπους area και αποτελούν την intra-area δρομολόγηση. Επίσης μπορούν να διανεμηθούν από και προς αυτή type 3 και type 5 LSAs. Τα Type 4 LSAs διανέμονται από τις standard areas που περιέχουν ASBR προς τις υπόλοιπες areas. Αυτό εξασφαλίζει ότι όλες οι areas θα γνωρίζουν την έξοδό τους από το ΑΣ.
3. **Stub area:** μέσα σε αυτή διανέμονται τα type 1, και type 2 LSAs. Δεν δέχεται type 5 LSAs, που μεταφέρουν πληροφορίες για διαδρομές προς εξωτερικά δίκτυα, ούτε type 4 LSAs. Δεδομένου ότι υπάρχει ένας ABR, δεν χρειάζεται να ξέρουν οι εσωτερικοί δρομολογητές της stub area πώς να φτάσουν σε εξωτερικά δίκτυα και να αποθηκεύουν τέτοιου είδους πληροφορίες. Η έξοδος τους θα είναι πάντα μέσα από τον ABR της δικής τους area. Με αυτό τον τρόπο διατηρείται μικρή η topology database στους εσωτερικούς δρομολογητές της. Ο ABR των stub areas διανέμει μέσα σε αυτές με type 3 LSAs μια προκαθορισμένη διαδρομή (default route) ως έξοδο για κάθε εσωτερικό δρομολογητή. Για να οριστεί μια area ως stub θα πρέπει όλοι οι δρομολογητές που ανήκουν σε αυτή να ρυθμιστούν ανάλογα έτσι ώστε η λειτουργία τους να συμφωνεί με τα παραπάνω. Ένας δρομολογητής σε μια stub area δεν μπορεί να δημιουργήσει adjacency με ένα δρομολογητή σε μια άλλου τύπου area.

Μπορούμε να καθορίσουμε μια stub area ώστε να είναι **totally Stub Area** η οποία στο εσωτερικό της δεν αφήνει να περάσουν type 3, type 4 και type 5 LSAs.

Μια stub area δεν μπορεί να είναι backbone area. Επίσης δεν μπορεί να περιέχει κανένα ASBR αφού δεν δέχεται τα AS External LSAs. Τέλος, μέσω αυτής δεν μπορεί να δημιουργηθεί virtual link.

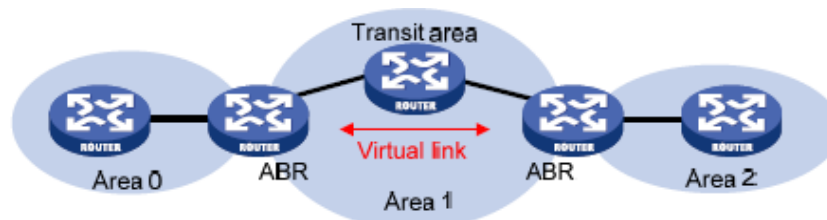
4. **Not-So-Stubby Area (NSSA):** είναι area που περιέχει ASBRs. Δέχεται εξωτερικές διαδρομές από τον ASBR μέσα σε type 7 LSAs έτσι ώστε αυτές να περάσουν στο υπόλοιπο AS. Μπορεί να τις διανείμει προς άλλες areas μέσω του NSSA ABR αφού αυτός τις μεταφράσει από type 7 LSAs σε type 5 LSAs για να μπορούν να αναγνωριστούν από δρομολογητές στους άλλους τύπου areas. Απαγορεύεται όμως η εισαγωγή σε αυτή εξωτερικών διαδρομών (δηλαδή type 5 LSAs) από άλλες areas.

Για παράδειγμα στην παρακάτω εικόνα υπάρχει ένα OSPF AS με τρεις areas 0, 1 και 2, και συνδέεται με άλλα 2 AS που χρησιμοποιούν RIP. Η area 1 είναι μια NSSA area. Ο συνοριακός δρομολογητής του OSPF AS, ο NSSA ASBR από τη δεξιά μεριά ανήκει στην NSSA area οπότε μεταφράζει τις εξωτερικές διαδρομές από το RIP σε type 7 LSAs για να μπορούν να διανεμηθούν μέσα από την NSSA area. Ο ABR της NSSA area πρέπει να μεταφράσει τα type 7 LSAs σε type 5 LSAs και από εκεί να διανεμηθούν στις areas 0 και 2.



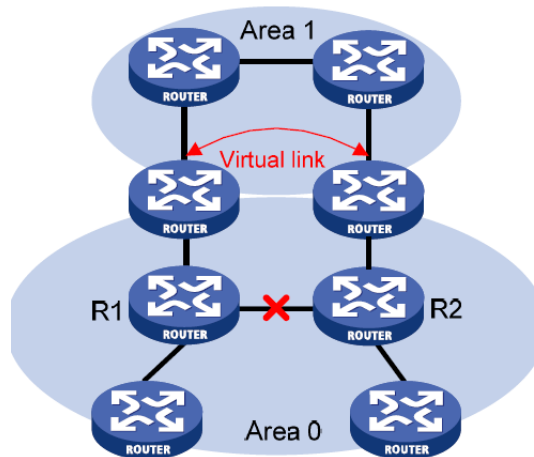
Εικόνα 11: Η λειτουργία των Not-So-Stubby Areas.

5. **Transit areas:** χρησιμοποιείται για να συνδέσει μια area με την backbone area. Όταν η τοπολογία μιας area δεν της επιτρέπει την άμεση σύνδεση με link με την backbone area (area 0) τότε δημιουργείται η transit area που τις συνδέει με virtual link. Το virtual link δημιουργείται μεταξύ δύο border routers και η επικοινωνία με την backbone θα περνάει μέσα από αυτό. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 12 η area 2 δεν έχει άμεση φυσική σύνδεση με link με την area 0. Οπότε το virtual link μεταξύ των δύο ABRs εξασφαλίζει την σύνδεσή τους.



Εικόνα 12: Η λειτουργία της transit area.

Επίσης το virtual link εξασφαλίζει τη συνέχεια της backbone area αν μια σύνδεση βγει εκτός λειτουργίας όπως φαίνεται στην Εικόνα 13.



Εικόνα 13: Ένα virtual link που εξασφαλίζει τη συνέχεια της backbone area ή area 0.

2.2.8 Τύποι διαδρομών (routes) σε ένα OSPF δίκτυο

Στο OSPF οι διαδρομές (routes) ανήκουν στις εξής κατηγορίες:

- **Intra-area routes**
- **Inter-area routes**
- **External routes**

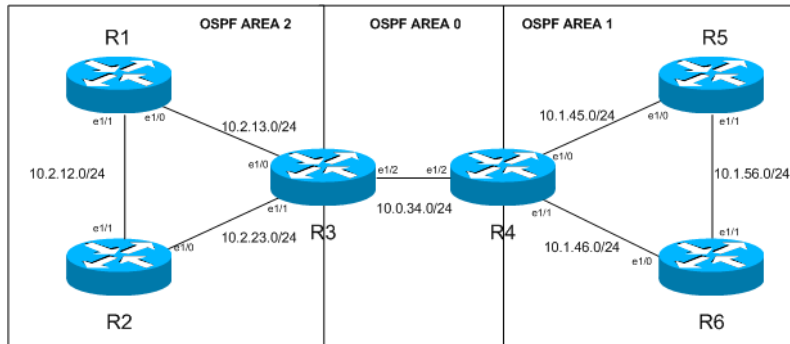
Οι **intra-area routes** είναι διαδρομές προς προορισμούς μέσα στην ίδια area. Οι διαδρομές αυτές περιγράφονται και διανέμονται μέσα στα router (Type 1) και τα network (type 2) LSAs. Μέσα σε ένα OSPF routing table οι intra-area routes έχουν δίπλα την ένδειξη «O» για να ξεχωρίζουν από τις υπόλοιπες.

Οι **inter-area routes** είναι διαδρομές προς προορισμούς σε διαφορετικές areas μέσα στο ίδιο ΑΣ. Οι διαδρομές αυτές περιγράφονται και διανέμονται μέσα στα network (Type 3) summary LSAs. Όπως αναφέρεται σε προηγούμενες ενότητες, για την δρομολόγηση πακέτων από τη μια area στην άλλη χρησιμοποιείται η backbone area. Αυτό σημαίνει ότι μια inter-area διαδρομή περιέχει κομμάτια από intra-area διαδρομές.

Για παράδειγμα στην Εικόνα 14, για να δρομολογηθεί ένα πακέτο από τον δρομολογητή R2 στον R5 έχουμε:

- Μια intra-area διαδρομή από τον R2 στον R3 που είναι ο ABR της area 2.
- Μια διαδρομή μέσω της backbone ή area 0.
- Μια intra-area διαδρομή από τον R4 που είναι ο ABR της area 1 στον R5.

Όλες οι παραπάνω διαδρομές μαζί κάνουν μια inter-area route η οποία σε έναν routing table έχει δίπλα την ένδειξη «O IA» που την ξεχωρίζει.



Εικόνα 14: Intra-area και inter-area διαδρομές σε ένα ΑΣ.

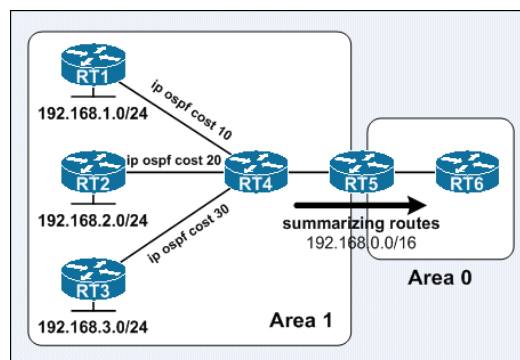
Οι **external routes** περιγράφουν διαδρομές προς προορισμούς έξω από το ΑΣ. Συνήθως ένα ΑΣ αποκτά αυτές τις εξωτερικές διαδρομές από άλλα ΑΣ που χρησιμοποιούν διαφορετικά πρωτόκολλα δρομολόγησης. Για να τις χρησιμοποιήσει, ένα OSPF ΑΣ, θα πρέπει να τις μετατρέψει σε μορφή συμβατή με αυτό. Αυτή τη δουλειά κάνουν οι ASBRs στα σύνορα κάθε OSPF ΑΣ. Μεταφράζουν τα external routes και τα διανέμουν στο ΑΣ. Όλες οι areas μπορούν να τις λάβουν εκτός από τις stub areas.

Υπάρχουν δύο τύποι external routes. Η διαφορά τους βρίσκεται στον τρόπο υπολογισμού του metric. Οι external routes που εισάγονται σε ένα OSPF ΑΣ αποκτούν metric συμβατό με τα metrics του OSPF.

- **E1 external routes (type 1):** Σε αυτές τις διαδρομές όταν εισέλθουν στο OSPF ΑΣ το metric, που είναι το κόστος, συνεχίζει να αυξάνεται κανονικά προσθέτοντας τα επιμέρους κόστη των εσωτερικών διαδρομών. Στους routing tables έχουν την ένδειξη E1.
- **E2 external routes (type 2):** Σε αυτές τις διαδρομές όταν εισέλθουν στο OSPF ΑΣ και αποκτήσουν κάποιο κόστος αυτό δε μεταβάλλεται καθόλου. Στους routing tables έχουν την ένδειξη E2.

1.1 OSPF Route Summarization

Για την εξοικονόμηση πόρων δικτύου συχνά στις διαδρομές εφαρμόζεται summarization. Αυτό σημαίνει τη συγχώνευση πολλαπλών διαδρομών σε ένα μόνο LSA. Summarization κάνουν οι ABRs που συνήθως στέλνουν summarized routes προς την backbone area η οποία τις στέλνει στις υπόλοιπες areas. Μειώνονται έτσι οι διαδρομές που ένας δρομολογητής πρέπει να αποθηκεύει αφού ένα σύνολο από δίκτυα αντιπροσωπεύονται από μια και μόνο summarized route.



Εικόνα 15: Route summarization.

Στην Εικόνα 15 τα δίκτυα 192.168.1.0/24, 192.168.2.0/24 και 192.168.3.0/24 αντιπροσωπεύονται από την 192.168.0.0/24 η οποία δημιουργείται από τον ABR RT5 και διανέμεται μέσω τις area 0 στις υπόλοιπες areas.

2.2.9 Το Hello protocol και συσχετίσεις δρομολογητών του OSPF

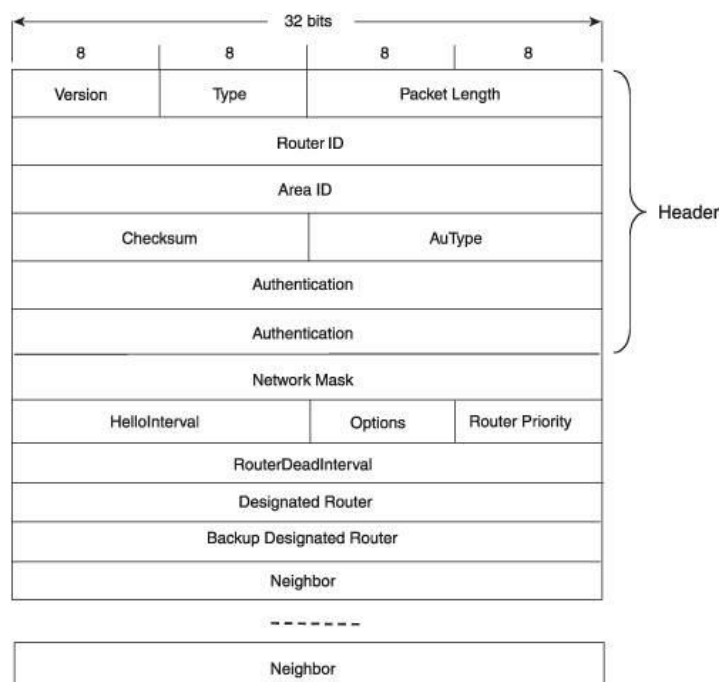
Το Hello protocol είναι υπεύθυνο αρχικά για την ανακάλυψη των γειτόνων και στη συνέχεια την δημιουργία σχέσεων που ονομάζονται adjacencies. Για να ανταλλάξουν πληροφορία δρομολόγησης δύο γείτονες πρέπει να συνδέονται με αυτή τη σχέση. Μέσα σε μια area δεν δημιουργούν όλοι με όλους adjacencies. Για την αποτελεσματική διαχείριση της κίνησης το OSPF προβλέπει την εκλογή ενός δρομολογητή ως designated router (DR).

Στα multicast δίκτυα το hello protocol μπορεί να ανακαλύπτει δυναμικά τους γείτονες και να δημιουργεί adjacencies. Επίσης είναι υπεύθυνο για την εκλογή του designated router. Τα Hello πακέτα στέλνονται από τους OSPF δρομολογητές περιοδικά, σε διάστημα που ονομάζονται HelloInterval, χρησιμοποιώντας την multicast IP διεύθυνση AllSPFRouters (224.0.0.5). Αν ένας δρομολογητής δεν λάβει OSPF Hello πακέτα από κάποιο γείτονα μέσα σε ένα συγκεκριμένο μέγιστο χρονικό διάστημα που ονομάζεται RouterDeadInterval τότε θεωρεί ότι είναι εκτός λειτουργίας και ψάχνει εναλλακτικές διαδρομές.

Για να εκτελεστεί η παραπάνω διαδικασία ακολουθούνται τα εξής βήματα. Ένας δρομολογητής ξεκινάει στέλνοντας hello πακέτο συμπεριλαμβάνοντας το router id του. Όταν το λάβει κάποιος γειτονικός δρομολογητής το αποθηκεύει και στη συνέχεια στέλνει απάντηση με τα router id των γειτόνων του και το router id που έλαβε από τον πρώτο. Βλέποντας ο πρώτος το δικό του router id στην απάντηση σημαίνει ότι το link μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανταλλαγή πακέτων (bi-directional) και οι δύο δρομολογητές μπορούν να ανταλλάξουν περαιτέρω πληροφορία.

Δομή του Hello πακέτου

Η δομή του hello πακέτου μαζί με την OSPF header είναι η εξής:



Εικόνα 16: Το Hello πακέτο.

- **Network mask:** Η network mask που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο interface. Αν δύο δρομολογητές έχουν διαφορετική network mask δεν μπορούν να γίνουν γείτονες.
- **HelloInterval:** Ο χρόνος αναμονής που μεσολαβεί για την αποστολή νέου hello packet. Αν δύο δρομολογητές έχουν διαφορετικό HelloInterval δεν μπορούν να γίνουν γείτονες.
- **Options:** κάποιες προαιρετικές δυνατότητες του δρομολογητή.
- **Router Priority:** Η προτεραιότητα που δίνεται σε κάθε δρομολογητή. Ένας δρομολογητής με Router Priority ίσο με μηδέν δεν μπορεί να γίνει DR.
- **RouterDeadInterval:** χρόνος που περιμένει ένας δρομολογητής πριν να θεωρήσει το γείτονά του εκτός λειτουργίας.
- **Designated Router:** Η διεύθυνση του DR.
- **Backup Designated Router:** Η διεύθυνση του BDR.
- **Neighbor:** Τα router ID των γειτονικών δρομολογητών.

Κατά την ανταλλαγή των Hello πακέτων οι δρομολογητές ελέγχουν αν υπάρχουν σε αυτά και από τις δύο πλευρές, κοινές τιμές σε συγκεκριμένα πεδία. Αν όντως είναι κοινές τότε και μόνο τότε προχωρούν στη δημιουργία γειτονικής σχέσης μεταξύ τους. Τα πεδία που πρέπει να συμφωνούν είναι:

- Στην τιμή του Area id. Οι διεπαφές τους πρέπει να βρίσκονται μέσα στην ίδια area, να ανήκουν στο ίδιο υποδίκτυο και να έχουν κοινή subnet mask.
- Το Authentication password αν χρησιμοποιείται authentication.
- Οι τιμές του HelloInterval και DeadInterval.
- Κάποια Options όπως το Stub area flag.

2.2.10 Δημιουργία σχέσεων ή Adjacencies

Το OSPF δημιουργεί adjacencies μεταξύ επιλεγμένων γειτονικών δρομολογητών και οι εμπλεκόμενοι δρομολογητές ονομάζονται adjacent. Μόνο οι adjacent δρομολογητές μπορούν να ανταλλάξουν πληροφορία δρομολόγησης. Μια adjacency θα ολοκληρωθεί μετά την ανταλλαγή μιας σειράς OSPF πακέτων μεταξύ των δυο δρομολογητών και αφού περάσει από διάφορα στάδια. Στις OSPF areas οι γειτονικοί δρομολογητές δεν είναι απαραίτητα και adjacent. Το ποιοι δρομολογητές θα γίνουν adjacent καθορίζεται από τον τύπο του δικτύου.

Στα broadcast και τα non broadcast multi-access δίκτυα οποιοδήποτε δύο συνδεδεμένοι δρομολογητές έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους. Παρόλα αυτά, αν υπάρχουν n δρομολογητές σε ένα δίκτυο και ο καθένας δημιουργούσε adjacency με τον διπλανό του, ο αριθμός των adjacencies θα ήταν $n(n-1)/2$. Σε περίπτωση κάποιας αλλαγής στο δίκτυο όλοι αυτοί θα πρέπει να ανταλλάξουν πληροφορία δρομολόγησης για το συγχρονισμό των topology databases που σημαίνει σημαντική κατανάλωση πόρων δικτύου. Το πρόβλημα αυτό έρχεται να λύσει η εκλογή ενός δρομολογητή ως designated router. Ο designated router (DR) είναι υπεύθυνος να λαμβάνει την πληροφορία δρομολόγησης από όλους τους δρομολογητές σε μια area και να την διανέμει ο ίδιος στους υπόλοιπους. Μαζί με αυτόν εκλέγεται και ο Backup Designated Router (BDR) σε περίπτωση που ο πρώτος βγει εκτός λειτουργίας.

Ο DR και ο BDR δημιουργούν adjacencies με όλους τους δρομολογητές μιας area για να μπορούν να ανταλλάξουν πληροφορία δρομολόγησης. Ως DR εκλέγεται ο δρομολογητής με τη μεγαλύτερη προτεραιότητα (router priority). Στην περίπτωση που έχουν ίδιο router priority κερδίζει αυτός με το μεγαλύτερο router ID.

OSPF neighbor states [7]

Για τη δημιουργία μιας γειτονικής σχέσης αυτή θα πρέπει να περάσει από έναν αριθμό καταστάσεων και όπου είναι δυνατό θα προχωρήσει ακόμα παρακάτω ώστε να γίνει adjacency. Μέχρι να ολοκληρωθεί η διαδικασία οι δρομολογητές θα περάσουν τα εξής οχτώ στάδια (states):

Down: Είναι η πρώτη κατάσταση που μπορεί να βρίσκεται ένας γειτονικός δρομολογητής και σημαίνει ότι δεν έχει ανταλλαχθεί ακόμα καμία πληροφορία (hello packets) με τον συγκεκριμένο δρομολογητή.

Attempt: Αναφέρεται μόνο στα NBMA δίκτυα και σημαίνει ότι αν δεν έχει ληφθεί πρόσφατα κάποια πληροφορία από κάποιο γείτονα, πρέπει να γίνει προσπάθεια επικοινωνίας με αυτόν με αποστολή unicast hello πακέτων.

Init: Σημαίνει ότι έχει ληφθεί hello πακέτο από κάποιο γείτονα αλλά δεν μπορεί ακόμα να υπάρξει επικοινωνία γιατί αυτή δεν έχει επιβεβαιωθεί ακόμα.

2-Way: Όταν οι διεπαφές είναι σε αυτό το στάδιο σημαίνει ότι μπορεί να υπάρξει επικοινωνία και από τις δύο κατευθύνσεις (bi-directional). Η επικοινωνία έχει επιβεβαιωθεί αφού ο ένας δρομολογητής είδε το δικό του router id στο hello πακέτο του γειτονικού του. Σε αυτό το σημείο οι δρομολογητές αποφασίζουν αν θα προχωρήσουν στη δημιουργία adjacency. Στην περίπτωση που οι δρομολογητές ανήκουν σε broadcast ή non-broadcast multi-access δίκτυα, γίνεται η εκλογή designated router ή backup designated router. Οπότε ο κάθε δρομολογητής θα γίνει adjacent μόνο σε αυτούς και η κατάσταση των διεπαφών προς αυτούς θα προχωρήσει στο επόμενο στάδιο. Με τους υπόλοιπους δρομολογητές της περιοχής θα μείνει στην κατάσταση 2-Way.

Σε point to point δίκτυα ή virtual links οι δρομολογητές δεν χρειάζονται την εκλογή designated router ή backup designated router και θα προχωρήσουν στα επόμενα στάδια για δημιουργία adjacency.

Exstart: Όταν ένας δρομολογητής είναι σε αυτό το στάδιο με τον γειτονικό του τότε είναι adjacent αλλά όχι πλήρως (full). Οι δύο δρομολογητές πρέπει να ανταλλάξουν πακέτα DBD για να δημιουργηθεί μια σχέση master-slave μεταξύ τους. Ο δρομολογητής με το μεγαλύτερο router id επιλέγεται ως master και στη συνέχεια μπαίνουν στην κατάσταση Exchange στην οποία ξεκινάει η ανταλλαγή πληροφορίας δρομολόγησης. Ο master ξεκινά πρώτος την ανταλλαγή, στέλνοντας στον slave αίτηση για πληροφορία δρομολόγησης.

Exchange: Σε αυτό το στάδιο ανταλλάσσονται πακέτα DBD με τη link-state πληροφορία για να ενημερώσουν ο ένας τον άλλο. Περιγράφουν την link-state database ο ένας στον άλλο και συγκρίνουν την εισερχόμενη link-state database πληροφορία με αυτή που ήδη έχουν στην δική τους link-state database. Αν μια εγγραφή τους λείπει για παράδειγμα, κάνουν αίτηση για να σταλεί από τον άλλο πλήρη ενημέρωση.

Loading: Σε αυτό το στάδιο έχουν περιγραφεί οι link-state databases, και μπορεί να ζητηθεί πιο ολοκληρωμένη πληροφόρηση με LSRs. Όταν ένας δρομολογητής λάβει τα LSR θα

απαντήσει με μήνυμα LSU. Τα LSUs στη συνέχεια πρέπει να επιβεβαιωθούν με αποστολή acknowledgements (LSAcks).

Full: Με τη ολοκλήρωση του παραπάνω σταδίου οι εμπλεκόμενοι δρομολογητές είναι πλέον fully adjacent και έχουν ίδια topology database.

2.2.11 Κανόνες σχεδιασμού ενός OSPF δικτύου

Το OSPF δίνει πολλές δυνατότητες στο διαχειριστή ενός δικτύου να αξιοποιήσει αποδοτικά του πόρους του και η κίνηση να δρομολογείται χωρίς προβλήματα. Παρόλο που το OSPF μπορεί να υλοποιηθεί σε πολλές διαφορετικές τοπολογίες και τύπους δικτύων υπάρχουν κάποιοι κανόνες σχεδιασμού που μπορούν να εφαρμοστούν για την καλύτερη λειτουργία του. Μερικοί από αυτούς είναι οι εξής:

Summarization

Στις περισσότερες περιπτώσεις προτείνεται η χρήση summarized διαδρομών που θα μειώσει το πλήθος των διαδρομών που ανταλλάσσονται με τα LSAs. Για τη διευκόλυνση της διαδικασίας σε κάθε area θα πρέπει να δίνεται ένα συνεχόμενο τμήμα IP διευθύνσεων (Range of IP addresses). Summarization κάνουν οι ABRs σε κάθε area. Ένας λογικός αριθμός ABRs είναι από 2-4 ώστε να υπάρχει και εναλλακτική έξοδος από την area αλλά και να μην υπάρχουν πολλά περίσσεια links. Σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότεροι από ένας ABRs σε μια area τότε πρέπει να ρυθμιστούν ώστε να κάνουν όλοι summarization για το συγκεκριμένο τμήμα διευθύνσεων. Μια standard area μπορεί να λαμβάνει μόνο επιλεγμένα summary LSAs από άλλες areas. Αυτό γίνεται με ρύθμιση των ABRs ώστε να φιλτράρουν τα ανεπιθύμητα summary LSAs.

Είναι αποδοτικό να γίνεται summarization στις external routes από τους ASBRs όπου είναι εφικτό, έτσι ώστε να μειωθούν τα external LSAs που κατακλύζουν το OSPF δίκτυο. Αν απαιτείται αναδιανομή (redistribution) των external routes αυτή πρέπει να περιοριστεί σε όσο λιγότερους δρομολογητές γίνεται.

Διαχείριση των Stub Areas

Μια Stub Area μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν είναι σημαντική η δρομολόγηση από αυτή την area προς τις υπόλοιπες OSPF areas αλλά δεν είναι και τόσο σημαντική η δρομολόγηση από την συγκεκριμένη area προς εξωτερικούς προορισμούς δηλαδή δεν χρειάζεται να δέχεται external routes. Για να φτάσουν σε προορισμούς εκτός του AS χρησιμοποιούν μια προκαθορισμένη διαδρομή (default route). Ως Totally Stubby Area μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια area όταν δεν είναι σημαντική η βέλτιστη δρομολόγηση από και προς αυτή. Ως NSSA Area μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια area όταν αυτή πρέπει να διατηρεί τα stub area χαρακτηριστικά της αλλά ταυτόχρονα να περιέχει ASBRs και να πρέπει να εισάγει external routes προς τις υπόλοιπες OSPF areas.

1.1.1 Authentication

Αν η ασφάλεια των πληροφοριών σε μια area είναι σημαντική τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί MD5 authentication στα πακέτα επικοινωνίας μεταξύ neighbor OSPF δρομολογητών.

Λειτουργία της Backbone Area

Για την σωστή λειτουργία και σταθερότητα της backbone area προτείνεται να υπάρχουν αξιόπιστα links, μεγάλου bandwidth και δρομολογητές με γρήγορους επεξεργαστές και αρκετή μνήμη σε σχέση με τους υπόλοιπους δρομολογητές του AS. Τα virtual links πρέπει να

χρησιμοποιούνται μόνο όταν δεν είναι εφικτή η φυσική σύνδεση ενώ θα πρέπει να υπάρχουν περίσσεια links μεταξύ των backbone δρομολογητών ώστε ακόμα και αν ένα από αυτά βγει εκτός λειτουργίας να μην χαθεί η συνέχεια στη συνδεσιμότητα της Backbone Area.

1.1.2 Επεκτασιμότητα

Ο σχεδιασμός ενός OSPF δικτύου πρέπει να επιτρέπει την επεκτασιμότητα. Για παράδειγμα, για την ανάθεση IP διευθύνσεων στις areas θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η μελλοντικές απαιτήσεις τους και να υπάρχει σχεδιασμός που να προβλέπει την μεγέθυνση του δικτύου. Έτσι θα πρέπει να υπάρχει στη διάθεση κάθε διαχειριστή ένα αρκετά μεγάλο τμήμα IP διευθύνσεων για μελλοντικές αναθέσεις.

Σε κάθε area είναι καλό να δίνεται αρκετά μεγαλύτερο block IP διευθύνσεων από τις τρέχουσες απαιτήσεις ώστε να καλύψει αποδοτικά την μελλοντική επέκτασή της. Είναι καλή τακτική να δίνονται συνεχόμενα block IP διευθύνσεων σε κοντινές γεωγραφικές περιοχές που επιτρέπει τη χρήση summarized διαδρομών.

Το πόσο μπορεί να επεκταθεί ένα OSPF δίκτυο είναι δύσκολο να προσδιοριστεί ακριβώς και εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων. Η βασική ιδέα σε κάθε περίπτωση είναι ο αποδοτικός σχεδιασμός. Οι πόροι δικτύου που εξοικονομούνται με έναν καλό σχεδιασμό μπορούν αργότερα να αξιοποιηθούν στην επεκτασιμότητα του. Παράγοντες που προσδιορίζουν τον αποδοτικό σχεδιασμό είναι:

Ο διαχωρισμός του OSPF ΑΣ σε areas

Όπως αναφέρεται σε προηγούμενες ενότητες ο διαχωρισμός σε areas κάνει τη δρομολόγηση πιο αποδοτική. Μειώνει τις απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, μνήμης και υπολογιστικής ισχύος στους δρομολογητές αφού περιορίζει το μέγεθος των topology databases και συνεπώς των SPF υπολογισμών. Μειώνει το μέγεθος των routing table και περιορίζει την πλημμύρα των LSA ενημερώσεων τοπικά σε κάθε area.

Τι τύπους areas επιλέγονται

Η σωστή επιλογή του τύπου των areas συμβάλει στον αποδοτικό σχεδιασμό. Για παράδειγμα οι stub areas δεν λαμβάνουν external routes. Οι ABRs τις αντικαθιστούν με default routes. Έτσι διατηρούν στις topology databases λιγότερες διαδρομές που σημαίνει μικρότερος χρόνος εκτέλεσης των SPF υπολογισμών και μικρότεροι routing tables.

Summarization στις areas

Πρέπει να γίνεται σωστή σχεδίαση και επιλογή τύπου των areas ώστε να επιτρέπεται το summarization από αυτές προς την backbone area με όλα τα πλεονεκτήματα που αυτό συνεπάγεται.

Η αξιοπιστία των συνδέσεων

Τα links θα πρέπει να είναι αξιόπιστα ώστε να συμβάλλουν στην σταθερότητα του δικτύου. Για παράδειγμα links που ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται συχνά προκαλούν συχνή ανταλλαγή ενημερώσεων και εκτέλεση SPF υπολογισμών για την προσαρμογή στη νέα αλλαγή ή σύγκλιση (convergence). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την άσκοπη κατανάλωση υπολογιστικής ισχύος. Επίσης όσο πιο γρήγορα είναι τα links τόσο πιο γρήγορα γίνεται η ανταλλαγή πακέτων για δημιουργία adjacencies ή ενημερώσεων και συνεπώς σύγκλιση.

Η ισχύς και η μνήμη των δρομολογητών

Όσο μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ έχουν οι δρομολογητές τόσο πιο γρήγορα εκτελούν τους SPF υπολογισμούς και γενικά όλες τις λειτουργίες τους. Επίσης όσο μεγαλύτερη μνήμη έχουν τόσο περισσότερες διαδρομές μπορούν να αποθηκεύουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ BGP

3 Το εξωτερικό πρωτόκολλο πύλης δικτύου – Border Gateway Protocol (BGP) [8][9]

Το BGP είναι ένα EGP πρωτόκολλο και είναι το μοναδικό που χρησιμοποιείται σήμερα. Είναι υπεύθυνο για τη δρομολόγηση της κίνησης ανάμεσα στα ΑΣ που απαρτίζουν το internet. Βασίζεται σε πολιτικές δρομολόγησης (policy based protocol) και όχι σε απλά metrics όπως τα ISPs. Το BGP δημιουργήθηκε για να αντικαταστήσει το EGP το οποίο δεν μπορούσε πλέον να καλύψει τις συνεχείς απαιτήσεις της δρομολόγησης παγκοσμίως. Από το 1994 μέχρι σήμερα η έκδοση του BGP πρωτοκόλλου που χρησιμοποιείται είναι η BGP version 4 και περιγράφεται στο RFC4271. Το BGP χρησιμοποιείται κυρίως από τους παρόχους υπηρεσιών internet για την επικοινωνία μεταξύ τους και τη δρομολόγηση της κίνησης μεταξύ των ΑΣ κορμού του internet. Οι απλοί χρήστες δεν χρησιμοποιούν άμεσα το BGP.

3.1 Βασικά χαρακτηριστικά του BGP

Σε γενικές γραμμές το BGP καθορίζει την διαχείριση της πληροφορίας δρομολόγησης διαμέσου των ΑΣ. Έχει μηχανισμούς με τους οποίους ελέγχει την διανομή των διαδρομών καθώς και μηχανισμούς για την επιλογή των βέλτιστων διαδρομών που υπακούουν σε συγκεκριμένες πολιτικές δρομολόγησης. Η επιλογή αυτή βασίζεται σε μια σειρά από παραμέτρους ή attributes που προσδίδει το BGP σε κάθε διαδρομή και καθορίζουν την πολιτική της δρομολόγησης. Οι BGP δρομολογητές δημιουργούν σχέσεις μεταξύ τους και ονομάζονται ομότιμοι ή peers. Μαθαίνουν πολλαπλές διαδρομές, επιλέγουν τα βέλτιστα μονοπάτια και τα αποθηκεύουν στον BGP routing table, και ύστερα τα στέλνουν ως ενημερώσεις στους peers.

Το BGP μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως internal gateway protocol και ονομάζεται IBGP ενώ σε περίπτωση που χρησιμοποιείται ως external gateway protocol αναφέρεται ως EBGP. Το IBGP χρησιμοποιείται κυρίως σε διαβιβαστικά ή transit ΑΣ των παρόχων υπηρεσιών internet ή ISPs. Οι EBGP δρομολογητές είναι στην ουσία οι ASBRs σε κάθε ΑΣ. Οι EBGP σχέσεις δημιουργούνται μεταξύ BGP δρομολογητών που ανήκουν σε διαφορετικά ΑΣ και έτσι οι peers μπορούν να ανταλλάσσουν την πληροφορία δρομολόγησης. Οι BGP δρομολογητές μαθαίνουν διαδρομές από peers, IGP πρωτόκολλα ή στατικά από διαχειριστή.

Το BGP απαιτεί προσεκτική ρύθμιση των παραμέτρων του και προσαρμογή στις ανάγκες του κάθε δικτύου από τους διαχειριστές για να μπορέσει να λειτουργήσει αξιόπιστα. Αν αφήσουμε τις αρχικές προκαθορισμένες ρυθμίσεις του, το BGP θα λειτουργήσει σαν ένα απλό distance vector protocol που θα μετρά hops από ΑΣ σε ΑΣ. Θα υπολογίσει το βέλτιστο μονοπάτι προς κάποιο προορισμό θεωρώντας σαν κόμβους τα ΑΣ που παρεμβάλλονται. Η διαδρομή με τα λιγότερα ΑΣ θα είναι και η βέλτιστη. Φυσικά με αυτόν τον τρόπο λειτουργίας η δρομολόγηση δεν θα ήταν καθόλου αποδοτική αφού δεν λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως το εύρος ζώνης των συνδέσεων, το φορτίο, τη φυσική απόσταση μεταξύ των ΑΣ και ιδιαίτερα την πολιτική δρομολόγησης των ΑΣ.

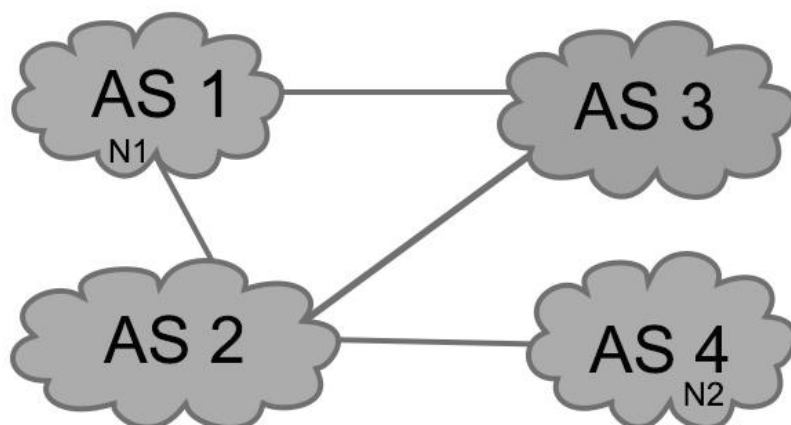
Τρέχει πάνω από το TCP πρωτόκολλο και χρησιμοποιεί το port 179. Βασίζεται στους μηχανισμούς αξιοπιστίας που προσφέρει το TCP και χρησιμοποιεί τους μηχανισμούς επιβεβαίωσης πακέτων του TCP πρωτοκόλλου.

Το πρωτόκολλο αυτό δεν έχει αυτόματους μηχανισμούς για την δημιουργία και διατήρηση σχέσεων μεταξύ γειτονικών router, όπως το OSPF που έχει το hello protocol και πακέτα διατήρησης των neighbors και των adjacencies. Έτσι οι γειτονικές σχέσεις ορίζονται χειροκίνητα στον κάθε BGP δρομολογητή.

Το BGP ορίζει τη δρομολόγηση μόνο από ΑΣ σε ΑΣ. Παρόλα αυτά όταν ένα πακέτο πρέπει να περάσει μέσα από ένα ΑΣ για να φτάσει στον προορισμό του θα ακολουθήσει τους κανόνες δρομολόγησης αυτού του ΑΣ και τη λειτουργία του δικού του IGP. Ο κάθε διαχειριστής ενός ΑΣ θέτει τους δικούς του κανόνες που καθορίζουν την κίνηση μέσα από αυτό.

3.2 Πολιτικές δρομολόγησης

Το BGP επιτρέπει τον καθορισμό πολιτικών δρομολόγησης ή routing policies. Έλεγχος δηλαδή για το που θα μεταδίδεται η πληροφορία δρομολόγησης, που με τη σειρά της θα καθορίζει την κίνηση. Για παράδειγμα κάποιο ΑΣ μπορεί να επιθυμεί να λαμβάνει και να στέλνει πακέτα σε ολόκληρο το internet. Παρόλα αυτά μπορεί να μην επιθυμεί να διέρχεται μέσα από αυτό κίνηση που προορίζεται για το διπλανό του ΑΣ ακόμα κι αν μέσω αυτού είναι η συντομότερη διαδρομή. Με τον ίδιο τρόπο η κίνηση προς το ΑΣ μιας εταιρία μπορεί να ρυθμιστεί με το BGP ώστε να μη περνά ποτέ από το ΑΣ της ανταγωνίστριας εταιρίας. Αυτό σημαίνει ρύθμιση της εξερχόμενης και της εισερχόμενης κίνησης.



Εικόνα 17: Διαχείριση των διαδρομών μεταξύ των ΑΣ

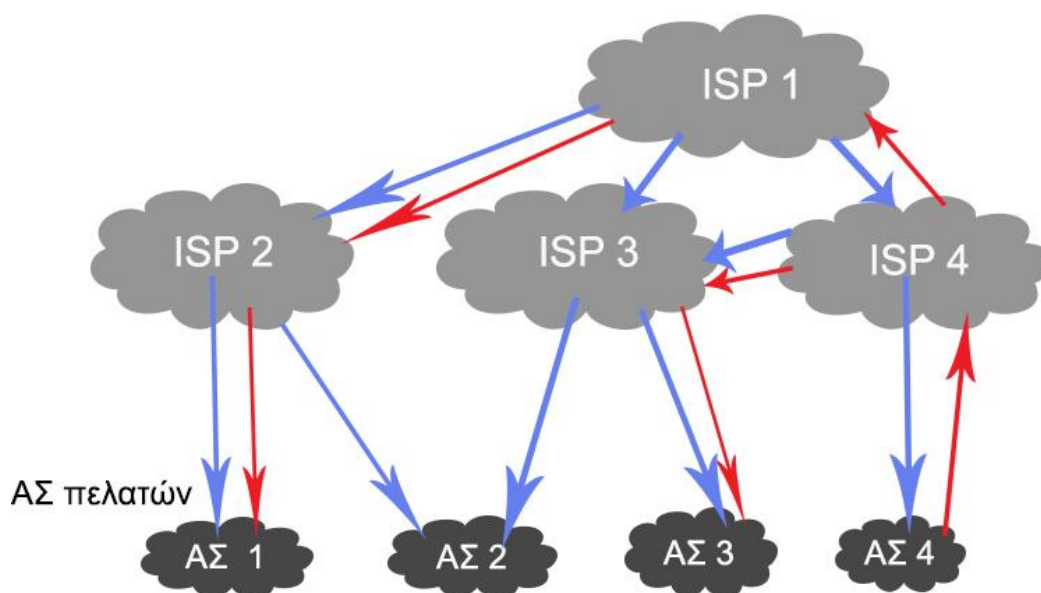
Αν κάποιος δρομολογητής δεν γνωρίζει μια διαδρομή προς κάποιον προορισμό δεν θα μπορέσει να δρομολογήσει την κίνηση διαμέσου αυτής. Αυτός είναι ένας τρόπος ελέγχου της κίνησης δεδομένων. Για παράδειγμα στην παραπάνω εικόνα για να υπάρξει πληροφορία από το δίκτυο N1 στο δίκτυο N2 πρέπει το AS 4 να διαφημίσει το δίκτυο N2 προς το AS 2. Το AS 2 πρέπει να δεχθεί την ενημέρωση και να το αναγγείλει προς το AS 1 ή το AS 3. Το AS 1 πρέπει να αποδεχθεί την ανακοίνωση από το AS 2 ή το AS 3. Έτσι έχουμε αποστολή των ενημερώσεων προς μια κατεύθυνση για να υπάρξει κίνηση δεδομένων προς την αντίθετη

κατεύθυνση. Σε περίπτωση που το AS 1 δεν θέλει να δρομολογεί κίνηση προς το AS 2 θα φιλτράρει την εισερχόμενη πληροφορία δρομολόγησης από αυτό και έτσι δεν θα ενημερωθεί ποτέ για τα δρομολόγια προς το AS 2.

3.3 Πότε χρησιμοποιείται το BGP

Το BGP χρησιμοποιείται κυρίως από τα δίκτυα κορμού των ISPs που αποτελούν ολόκληρο το internet και στα οποία είναι συνδεδεμένα τα AS των χρηστών. Οι ISPs έχουν συνήθως διαβιβαστικά ή transit AS, δηλαδή είναι αυτά που επιτρέπουν την κίνηση η οποία δεν παράγεται ούτε έχει προορισμό αυτά να εισέλθει μέσω αυτών και να φτάσει στα AS προορισμού. Οι πελάτες, όπως ένα εταιρικό δίκτυο μπορούν να έχουν μη διαβιβαστικά ή non-transit AS που σημαίνει ότι επιτρέπουν μόνο την κίνηση η οποία έχει παραχθεί ή έχει προορισμό αυτά να περάσει μέσω αυτών. Φυσικά κάποιο AS μπορεί να επιτρέπει οποιαδήποτε κίνηση να περνά μέσα από αυτό ελεύθερα.

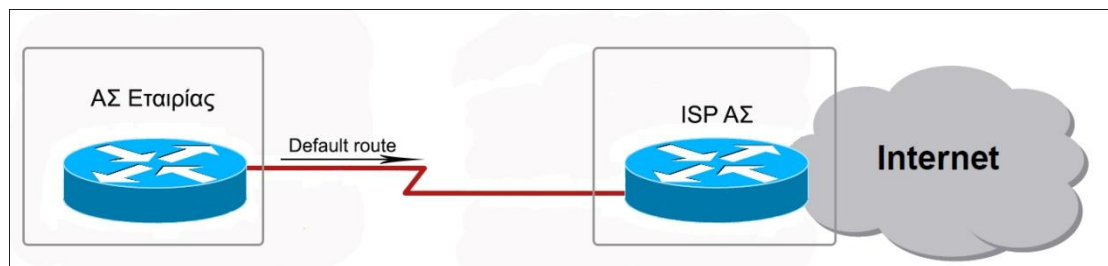
Οι ISPs κάνουν συμβάσεις σχηματίζοντας σχέσεις μεταξύ τους. Δημιουργούνται έτσι διαβάσεις της κίνησης ανάμεσα στους πελάτες και παρέχονται συντομεύσεις διαδρομών. Αυτό συμβάλει στην αποδοτικότερη δρομολόγηση.



Εικόνα 18: Διαβίβαση της κίνησης μέσω των transit AS των ISPs προς τα AS των πελατών.

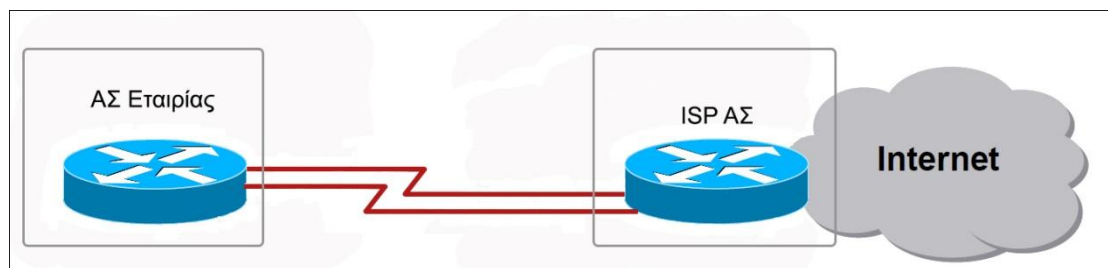
Στην Εικόνα 18 για παράδειγμα η κίνηση από το AS 4 ενός πελάτη για να φτάσει στο AS 1 περνά μέσα από τα transit AS των ISP 4, 1 και 2.

Μια εταιρία που δεν εξαρτάται τόσο από τη σύνδεση στο internet ή ένας απλός χρήστης που έχει ένα router και συνδέεται με μια γραμμή με έναν ISP δεν χρειάζονται το BGP. Αφού έχουν μόνο μια έξοδο προς το internet, όλη η κίνησή τους θα περνά αναγκαστικά από αυτή. Όπως φαίνεται την Εικόνα 19 η εταιρία με τη χρήση της προκαθορισμένης διαδρομής (default route) έχει πρόσβαση στο internet. Αυτή η τοπολογία αναφέρεται ως Single homed.



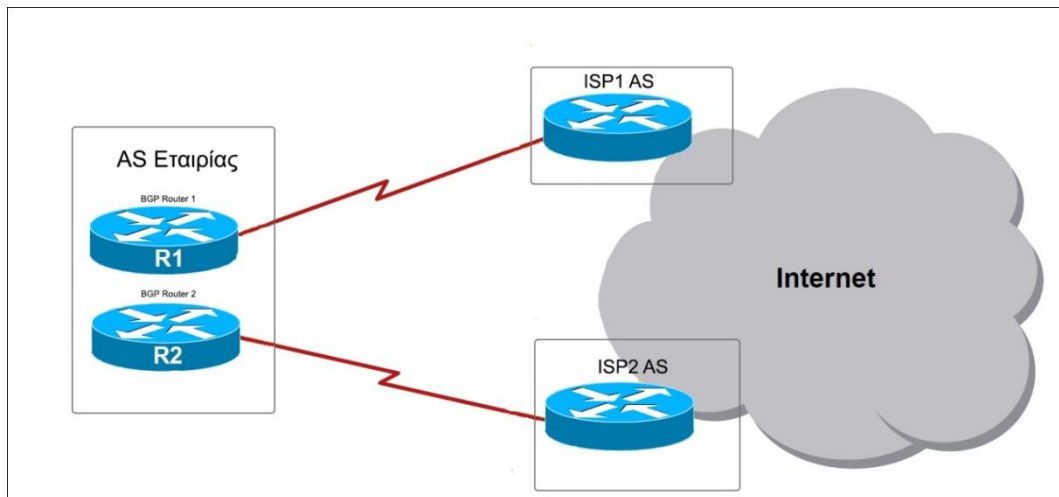
Εικόνα 19: Τοπολογία Single homed.

Αν ένας πελάτης θέλει αξιόπιστη σύνδεση μια εναλλακτική λύση είναι να χρησιμοποιεί πολλαπλές γραμμές προς τον ίδιο ISP, όπου σε περίπτωση που μια βγει εκτός λειτουργίας θα χρησιμοποιείται η άλλη (back up lines). Και πάλι δεν υπάρχει λόγος εδώ να χρησιμοποιηθεί το BGP, αφού θα υπάρχει μόνο μια έξοδος προς το internet κάθε φορά. Ένα τέτοιο παράδειγμα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα και αναφέρεται ως Dual homed.



Εικόνα 20: Τοπολογία Dual homed.

Το BGP μπορεί να χρησιμοποιήσει ένας πελάτης που θέλει συνεχή και αξιόπιστη σύνδεση στο internet. Για παράδειγμα μια εταιρία που δεν πρέπει για κανένα λόγο να χάσει τη σύνδεσή της μπορεί να συνδεθεί με περισσότερους από έναν ISPs. Έτσι όχι μόνο μοιράζεται η κίνηση, αλλά μέσω του BGP μαθαίνει εναλλακτικές βέλτιστες διαδρομές και από τους δύο ISPs. Επίσης σε περίπτωση που η σύνδεση με τον ένα χαθεί θα έχει τον άλλο ως εναλλακτική έξοδο στο internet. Απαραίτητη προϋπόθεση όμως είναι η χρήση δρομολογητών με μεγάλη μνήμη και ισχύ αφού το BGP τυπικά διαχειρίζεται χιλιάδες διαδρομές. Μια τέτοια τοπολογία φαίνεται στην Εικόνα 21 και αναφέρεται ως Multihomed.



Εικόνα 21: Τοπολογία Multihomed.

Η εταιρία συνδέεται με τον ISP1 και τον ISP2. Οι συνδέσεις μπορούν να καταλήγουν σε ένα BGP router ή δύο όπως φαίνεται παραπάνω για ακόμα μεγαλύτερη αξιοπιστία.

3.4 Λειτουργία του BGP

Η βασική λειτουργία του είναι η ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης ανάμεσα στους BGP border routers των ΑΣ για την εύρεση των διαθέσιμων διαδρομών. Για να επικοινωνήσουν δύο BGP δρομολογητές, ανάμεσα τους εγκαθιδρύεται μία TCP σύνδεση (session) μέσω της οποίας γίνεται η ανταλλαγή ειδικών μηνυμάτων για τη δημιουργία γειτονικών σχέσεων μεταξύ τους και στη συνέχεια η ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης. Αφού δημιουργηθεί η σχέση, οι δρομολογητές ονομάζονται **ομότιμοι (peers)** ή **γειτονικοί (neighbors)** και μπορούν να ανταλλάσσουν ενημερώσεις. Οι ομότιμοι δρομολογητές βρίσκονται σε διαφορετικά AS και πρέπει να είναι κατευθείαν συνδεδεμένοι, δηλαδή πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο φυσικό δίκτυο. Για τη διατήρηση της σχέσης στέλνονται περιοδικά ειδικά πακέτα (keep-alive).

Μέσω της ανταλλαγής ενημερώσεων με τους ομότιμους οι BGP δρομολογητές μαθαίνουν πολλαπλές διαδρομές προς διάφορους προορισμούς. Στη συνέχεια επιλέγονται οι βέλτιστες διαδρομές οι οποίες τοποθετούνται στον BGP routing table και στέλνεται στους ομότιμους ως ενημερώσεις. Οι διαδρομές επιλέγονται με βάση πολιτικών δρομολόγησης που εφαρμόζονται σε αυτές.

Τύποι πινάκων του BGP

Οι BGP δρομολογητές διατηρούν τρεις τύπους πινάκων ή βάσεων δεδομένων που είναι οι ακόλουθοι:

Neighbor table: Περιέχει λίστα των γειτόνων.

BGP database ή RIB (Routing Information Base): Περιέχει τις γνωστές διαδρομές.

BGP routing table: Περιέχει τις βέλτιστες διαδρομές.

Όταν ένας BGP peer μπαίνει σε λειτουργία στέλνει ολόκληρο τον routing table στους υπόλοιπους ώστε να τους ενημερώσει για τα δίκτυα που μπορούν να προσεγγίσουν μέσω αυτού. Στη συνέχεια στέλνονται μόνο ενημερώσεις σε περίπτωση αλλαγών.

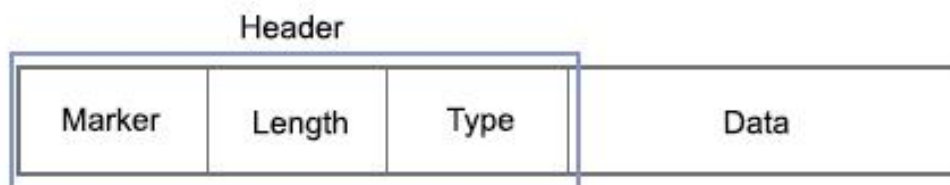
Όλες οι ενημερώσεις διαδρομών διατηρούνται στην RIB η οποία συνήθως αποθηκεύει πολλαπλές διαδρομές προς κάθε προορισμό. Ο routing table διατηρεί μια διαδρομή προς κάθε προορισμό όπως προκύπτει από το μηχανισμό επιλογής της βέλτιστης διαδρομής του BGP. Μόνο οι διαδρομές στον routing table στέλνονται ως ενημερώσεις στους peers.

3.5 Τύποι πακέτων του BGP

Για να εκτελέσει την παραπάνω διαδικασία το BGP χρησιμοποιεί ειδικού τύπου πακέτα τα οποία ανταλλάσσει διαδοχικά με τον συνδιαλεγόμενο δρομολογητή. Υπάρχουν πέντε τύποι πακέτων που είναι οι εξής:

- **Open:** εγκαθίδρυση σχέσης και ανταλλαγή ASN και MD5 τιμών.
- **Update:** ενημερώσεις για τις διαδρομές και τις ιδιότητες (attributes) τους.
- **Notification:** ενημερώνει για σφάλματα στην επικοινωνία και οδηγεί σε επανεκκίνηση (reset) της σχέσης.
- **Keep-alive:** στέλνεται περιοδικά για τη διατήρηση της γειτονικής σχέσης.

Όλα έχουν την παρακάτω επικεφαλίδα (header).



Εικόνα 22: Η επικεφαλίδα των BGP πακέτων.

- **Marker:** είναι ένα πεδίο 16-byte και χρησιμοποιείται για BGP authentication.
- **Length:** είναι το συνολικό μήκος του μηνύματος σε byte με μήκος 2 byte.
- **Type:** περιέχει έναν ακέραιο αριθμό που δείχνει τον τύπο του μηνύματος. Δηλαδή, 1= Open, 2=Update, 3=Notification, 4=Keep-Alive, 5=Route refresh.

3.6 Ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης στο BGP[3]

Αρχικά οι BGP δρομολογητές είναι σε κατάσταση idle. Στη συνέχεια δημιουργείται μια TCP σύνδεση στη θύρα 179. Οι συνδιαλεγόμενοι δρομολογητές στέλνουν μηνύματα Open ο ένας στον άλλο και ξεκινά η διαδικασία της δημιουργίας γειτονικής σχέσης. Υπάρχουν 6 στάδια στα οποία μπορεί να βρίσκεται η σχέση μέχρι να ολοκληρωθεί. Τα στάδια είναι τα εξής:

1. **Idle:** δείχνει ότι μπορεί να υπάρχει κάποιο πρόβλημα ή ο δρομολογητής είναι στην αναμονή για να κάνει πάλι προσπάθεια δημιουργίας TCP συνόδου.
2. **Connect:** αναμονή για την ολοκλήρωση της TCP συνόδου.

3. **Active:** σημαίνει ότι η TCP σύννοδος ολοκληρώθηκε αλλά δεν έχουν σταλεί μηνύματα για να συνεχιστεί η διαδικασία.
4. **Open sent:** σημαίνει ότι η TCP σύννοδος υπάρχει ακόμα αλλά δεν έχει ληφθεί ακόμα πακέτο Open.
5. **Open confirmed:** σε αυτό το στάδιο το πακέτο Open έχει σταλεί και από τις δύο πλευρές και έχει ληφθεί επίσης από τους δύο.
6. **Established:** Οι παράμετροι και στις δύο πλευρές έχουν ελεγχτεί, η σχέση έχει ολοκληρωθεί και οι peers μπορούν πλέον να ανταλλάξουν πακέτα update.

Στην κατάσταση idle γίνεται προσπάθεια για έναρξη TCP συνόδου. Επίσης γίνεται προσπάθεια για ανίχνευση TCP συνόδου από τον συνδιαλεγόμενο δρομολογητή και στη συνέχεια η σχέση μπαίνει σε κατάσταση connect. Αν υπάρξει κάποιο πρόβλημα η σύννοδος τερματίζεται και μπαίνει πάλι σε κατάσταση idle. Πιθανά προβλήματα είναι η TCP θύρα 179 να είναι κλειστή ή η διεύθυνση των συνδιαλεγόμενων δρομολογητή να είναι εσφαλμένη.

Αν δεν υπάρχουν σφάλματα η σχέση μπαίνει σε κατάσταση connect και αναμένεται επικοινωνία με τον peer. Οι συνομιλούντες δρομολογητές στέλνουν Open πακέτο γνωστοποιώντας την ταυτότητά τους, για να αρχικοποιηθούν και να επιβεβαιωθούν οι παράμετροι σύνδεσης και μεταβαίνουν σε κατάσταση Open-sent. Αφού λάβουν τα αντίστοιχα Open πακέτα μπαίνουν στην κατάσταση Open confirmed. Στη συνέχεια επεξεργάζονται τα Open πακέτα και αν κάποιος από τους δύο δεν συμφωνεί με τις παραμέτρους του άλλου στέλνει Notification στο οποίο αναφέρει τους λόγους ασυμφωνίας και η σύννοδος τερματίζεται και μεταβαίνει σε κατάσταση idle.

Στην κατάσταση Active ο BGP δρομολογητής προσπαθεί να ξεκινήσει μια TCP σύννοδο. Αν είναι επιτυχής μεταβαίνει στην κατάσταση Open-sent, αλλιώς στην κατάσταση idle. Όταν ένας δρομολογητής μένει σε αυτή την κατάσταση σημαίνει ότι δεν έχει λάβει απάντηση από τον δρομολογητή που προσπαθεί να συνομιλήσει.

Αν και οι δύο πλευρές συμφωνήσουν η σχέση θα ολοκληρωθεί και θα είναι Established Από εκεί και πέρα μπορούν να ανταλλάσσονται πακέτα Update, Notification και Keepalive με τους ομότιμους. Σε οποιαδήποτε άλλη κατάσταση οι δρομολογητές δεν θεωρούνται ακόμα ομότιμοι και δεν μπορούν να ανταλλάξουν updates.

Οι peers μπορούν να επικοινωνούν με MD5 authentication, και έτσι κάθε πακέτο θα επιβεβαιώνεται και οι πληροφορίες θα είναι κρυπτογραφημένες. Η ασφάλεια στη μετάδοση των BGP πακέτων είναι πολύ σημαντική. Πρέπει να εξασφαλίζεται ότι οι BGP πίνακες δρομολόγησης δεν θα αλλοιωθούν ή δεν θα φτάσουν σε λάθος χέρια αφού οι διαδρομές που περιέχουν είναι πολύτιμες για τη σωστή δρομολόγηση των πακέτων. Κυρίως για τους ISP οι αξιοπιστία στην διανομή των διαδρομών είναι απαραίτητη. Αν για κάποιο λόγο τα πακέτα αυτά αλλοιωθούν οι ISPs θα είναι ανίκανοι να δρομολογήσουν αποδοτικά την κίνηση και η αξιοπιστία τους θα αμφισβητηθεί που σημαίνει μεγάλη οικονομική ζημία.

3.7 Λήψη αποφάσεων στο BGP και ιδιότητες ή attributes του BGP[10]

Για την επιλογή της βέλτιστης διαδρομής προς κάποιο προορισμό σύμφωνα με κάποια πολιτική δρομολόγησης, το BGP υπολογίζει το μέτρο σύγκρισης ή metric με τη βοήθεια μιας σειράς από χαρακτηριστικά ή ιδιότητες (attributes) που υπάρχουν σε κάθε BGP διαδρομή.

Δηλαδή η κάθε διαδρομή μπορεί να θεωρηθεί ως μια μικρή βάση δεδομένων που αποθηκεύει, εκτός από τις διευθύνσεις των προορισμών, ένα σύνολο από attributes. Με τη ρύθμιση των attributes κατάλληλα πετυχαίνεται η επιθυμητή πολιτική δρομολόγησης που θέτει ο κάθε ISP. Στην διαδικασία απόφασης για τη βέλτιστη διαδρομή τα attributes θα ελέγχονται και αν είναι τα επιθυμητά η διαδρομή θα επιλέγεται. Υπάρχουν οι παρακάτω κατηγορίες από attributes:

Γνωστά υποχρεωτικά attributes ή well known mandatory attributes:

- **Origin (Προέλευση)**
- **AS_Path (Μονοπάτι Αυτόνομων Συστημάτων)**
- **Next_hop (Επόμενος βήμα)**

Γνωστά διακριτικά attributes ή well known discretionary attributes

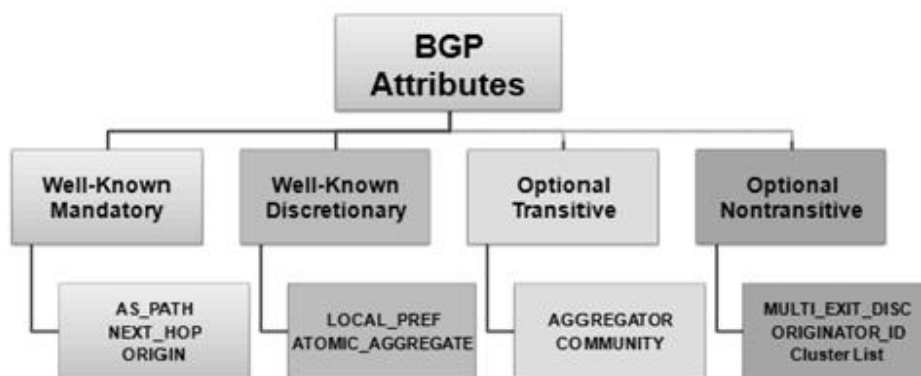
- **Local_Preference (Τοπική προτίμηση)**
- **Atomic_Aggregate**

Προαιρετικά μεταβατικά attributes (Optional transitive attributes)

- **Aggregator**
- **Community (Κοινότητα)**

Προαιρετικά μη μεταβατικά attributes (Optional non-transitive attributes)

- **Multi-Exit discriminator- MED (Διευκρινιστής πολλαπλής εξόδου)**



Εικόνα 23: Συνοπτικά τα BGP attributes.

Τα **γνωστά υποχρεωτικά attributes** πρέπει να αναγνωρίζονται και να υλοποιούνται από οποιονδήποτε BGP δρομολογητή και να συμπεριλαμβάνονται οπωσδήποτε σε κάθε πακέτο ενημέρωσης του BGP.

Τα **γνωστά διακριτικά attributes** πρέπει να αναγνωρίζονται και να υλοποιούνται από οποιονδήποτε BGP δρομολογητή αλλά δεν είναι υποχρεωτικό να περιλαμβάνονται σε όλα τα πακέτα ενημερώσεων.

Τα **προαιρετικά μεταβατικά attributes** δεν είναι υποχρεωτικό να τα αναγνωρίζουν και να τα επεξεργάζονται όλοι οι BGP δρομολογητές. Όμως αν ένας BGP δρομολογητής λάβει ένα πακέτο που μαζί με όλα τα γνωστά attributes συμπεριλαμβάνονται και τα προαιρετικά μεταβατικά πρέπει να μπορεί να τα αναμεταδώσει σε άλλους BGP δρομολογητές αυτούσια κι αν δεν αναγνωρίζει το περιεχόμενο τους.

Τα **προαιρετικά μη μεταβατικά attributes** δεν είναι υποχρεωτικό να αναγνωρίζονται και να υλοποιούνται. Επίσης δεν αναμεταδίδονται (μη μεταβατικά) σε άλλους ομότιμους (peers) αν δεν μπορούν να τα αναγνωρίσουν. Δηλαδή στα πακέτα ενημερώσεων του BGP ένας δρομολογητής που δεν αναγνωρίζει τα προαιρετικά μη μεταβατικά attributes θα τα αφαιρέσει ως πληροφορία μη αναγνωρίσιμη ή πληροφορία που δεν είναι προγραμματισμένος να αναμεταδώσει.

Όσο πιο πολλά attributes έχει μια διαδρομή τόσο μεγαλύτερος είναι και ο έλεγχος στην προτίμηση ή την πολιτική δρομολόγησης της.

Origin

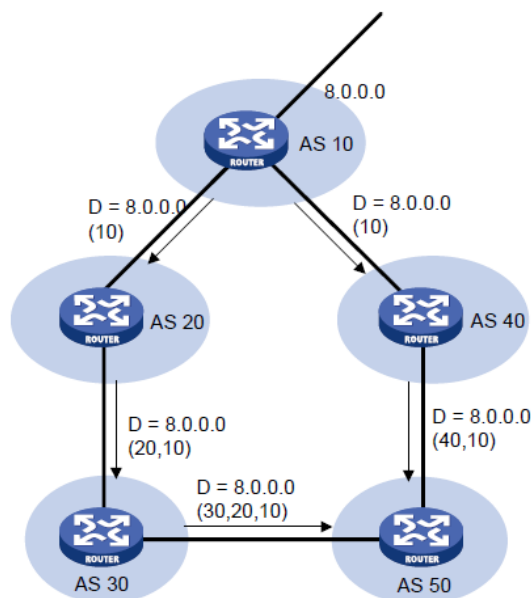
Είναι ένα γνωστό υποχρεωτικό attribute που αναφέρει από πού προήλθε μια διαδρομή. Μπορεί να πάρει τις εξής τιμές:

- **IGP**: Επισημαίνεται με ένα “i” στον BGP table. Προέρχεται από ένα IGP όπως το OSPF. Συνήθως δείχνει ότι η διαδρομή αυτή έχει εγκατασταθεί στον δρομολογητή με την εντολή network ή έχει μαθευτεί από ένα BGP neighbor. Έχουν την υψηλότερη προτεραιότητα.
- **EGP**: σημαίνει ότι η διαδρομή προήλθε από το EGP. Επισημαίνεται με ένα “e”. Πλέον είναι απίθανο να υπάρχει τέτοια διαδρομή αφού το EGP δεν χρησιμοποιείται.
- **Incomplete**: είναι άγνωστη η προέλευσή της και επισημαίνεται με “?” στον BGP table. Σημαίνει ότι η διαδρομή αποκτήθηκε από redistribution από άλλα πρωτόκολλα. Έχουν τη χαμηλότερη προτεραιότητα.

AS-Path

Είναι γνωστό υποχρεωτικό attribute και πρέπει να υπάρχει σε κάθε BGP update. Είναι μια λίστα από ΑΣ μέσα από τα οποία πέρασε μια διαδρομή η οποία διανέμεται ή διαφημίζεται μέσα σε ένα πακέτο update από το ένα ΑΣ στο άλλο. Η αρχική τιμή του είναι 0. Καθώς περνάει μέσα τα ΑΣ στην έξοδό του ο αριθμός του κάθε ΑΣ προστίθεται στο AS_Path της διαδρομής. Με αυτόν το τρόπο το AS_Path παρέχει ένα μηχανισμό ανίχνευσης βρόχων που σχηματίζουν οι διάφορες συνδέσεις των δικτύων μεταξύ τους. Όταν ένα ΑΣ αναγνωρίσει τον αριθμό του στο AS_Path μιας διαδρομής δεν θα τη δεχτεί αφού η διαδρομή έχει ήδη περάσει από αυτό και στην ουσία είναι βρόχος. Αυτός είναι ο μηχανισμός ανίχνευση βρόχων σε ολόκληρο το internet. Αν δεν έχουν οριστεί άλλα attributes η διαδρομή με το μικρότερο ΑΣ προς κάποιο προορισμό προτιμάται.

Για παράδειγμα στην παρακάτω εικόνα αν το AS 50 θέλει να στείλει δεδομένα στον προορισμό 8.0.0.0 θα προτιμήσει τη διαδρομή που περνά από το AS 40 αφού παρεμβάλλονται 2 ΑΣ και όχι στη διαδρομή που περνά από το AS 30 αφού παρεμβάλλονται 3 ΑΣ και συνεπώς το AS_Path είναι μεγαλύτερο.



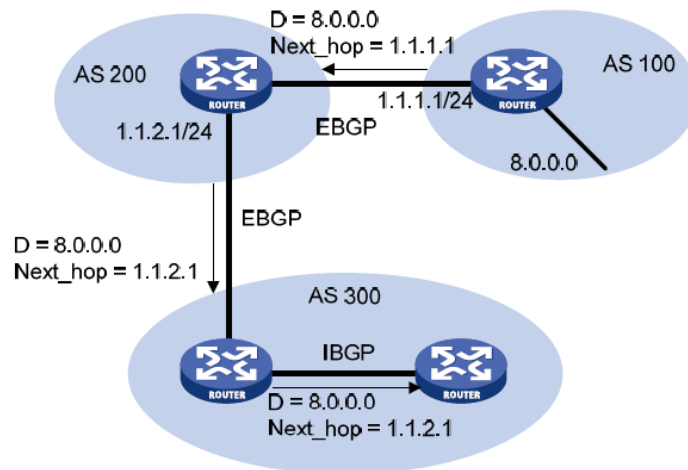
Εικόνα 24: Επιλογή μονοπατιού με το μικρότερο AS_Path.

Next_hop

Είναι γνωστό υποχρεωτικό attribute και πρέπει να υπάρχει σε κάθε BGP update. Είναι η IP διεύθυνση του επόμενου κόμβου που πρέπει να σταλούν τα πακέτα προς κάποιο προορισμό.

Υπάρχουν τρεις περιπτώσεις οι οποίες ορίζουν την τιμή του Next_hop.

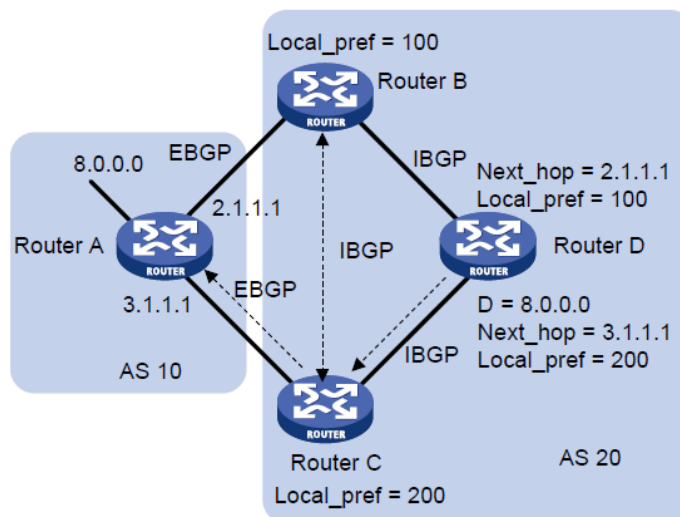
1. Όταν δημιουργείται μια ενημέρωση διαδρομής από έναν BGP peer και στέλνεται σε έναν άλλο BGP peer. Σε αυτή την περίπτωση ο BGP peer που τη δημιούργησε θέτει στο Next_hop τη διεύθυνση της διεπαφής μέσα από την οποία το έστειλε. Για παράδειγμα ο BGP peer στο AS 100 μαθαίνει ότι μπορεί να φτάσει στον προορισμό 8.0.0.0. Έτσι στέλνει ενημέρωση στον BGP peer του AS 200 θέτοντας στο Next_hop την διεύθυνσή της διεπαφής του που είναι 1.1.1.1. Έτσι καταλαβαίνει ο BGP peer του AS 200 ότι αν θέλει να στείλει δεδομένα στον προορισμό 8.0.0.0 ο επόμενος κόμβος θα είναι η διεπαφή με διεύθυνση 1.1.1.1.
2. Όταν στέλνεται μια διαδρομή που έχει ληφθεί από κάποιον άλλο BGP peer. Και σε αυτή την περίπτωση ο BGP peer που την λαμβάνει θέτει στο Next_hop της διαδρομής τη διεύθυνση από την οποία το έλαβε.
3. Όταν στέλνεται μια διαδρομή που έχει ληφθεί από κάποιον IBGP peer δηλαδή ανήκουν στο ίδιο AS, το Next_hop της διαδρομής δεν μεταβάλλεται.



Εικόνα 25: To attribute Next_hop.

Local_Preference (Τοπική προτίμηση)

Ανήκει στα γνωστά υποχρεωτικά attributes. Αναγνωρίζεται από όλους τους BGP peers αλλά δεν υπάρχει σε όλα τα BGP updates. Πιο συγκεκριμένα υπάρχει μόνο στα updates των internal BGP peers και όχι στα EBGP updates. Χρησιμοποιείται για να δρομολογεί την κίνηση έξω από το τοπικό IBGP AS όχι απαραίτητα από τη συντομότερη διαδρομή αλλά σύμφωνα με τις προτιμήσεις του διαχειριστή και σύμφωνα με την πολιτική δρομολόγησης που αυτός επιθυμεί. Ανάλογα με την τιμή του Local_Preference δίνεται προτεραιότητα σε μια διαδρομή αντί μιας άλλης για κάποιο προορισμό. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του τόσο μεγαλύτερη προτεραιότητα δίνουμε σε μια διαδρομή.



Εικόνα 26: To attribute Local_Preference.

Για παράδειγμα στην παραπάνω εικόνα ο δρομολογητής D δέχεται δύο διαδρομές μια από τον IBGP peer B και μια από τον IBGP peer C μέσα από τις οποίες μπορεί να φτάσει τον προορισμό 8.0.0.0. Ο D όμως, αν δεν υπάρχει άλλος περιορισμός, θα επιλέξει την διαδρομή μέσω του C γιατί έχει το μεγαλύτερο Local_Preference=200. Το μεγαλύτερο Local_Preference προτιμάται ανεξάρτητα και από την τιμή του AS_path.

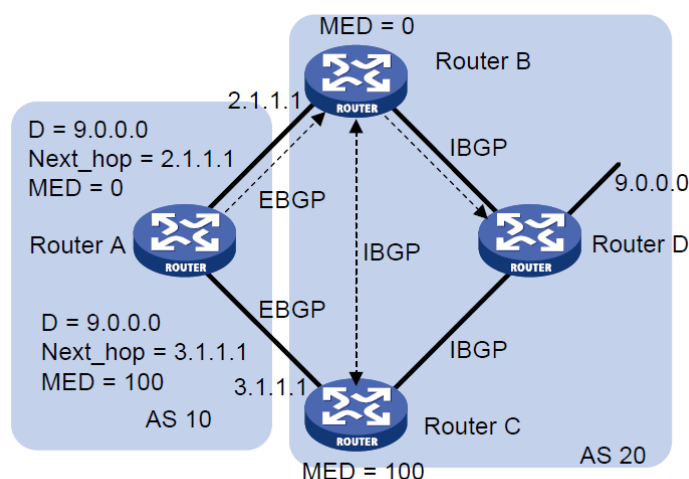
Atomic_Aggregate

Υποδεικνύει ότι μια διαδρομή είναι summarized και δηλαδή οδηγεί σε πολλαπλούς προορισμούς με το ίδιο πρόθεμα.

Multi-Exit discriminator (MED)

Είναι προαιρετικό μη μεταβατικό attribute και ανταλλάσσεται μεταξύ γειτονικών ΑΣ. Χρησιμοποιείται για να προτείνει την καλύτερη διαδρομή για την είσοδο της κίνησης σε ένα ΑΣ από το γειτονικό ΑΣ. Φυσικά δεν μπορούμε να υποχρεώσουμε κανένα ΑΣ να επιλέξει μια συγκεκριμένη διαδρομή γι αυτό το MED λέμε ότι την προτείνει και αν είναι βολικό για το γειτονικό ΑΣ την αποδέχεται.

Όταν ένας BGP δρομολογητής λάβει δύο διαφορετικές διαδρομές (δηλαδή με διαφορετικό next hop) προς τον ίδιο προορισμό θα προτιμήσει τη διαδρομή με το μικρότερο MED σε περίπτωση που οι τιμές των άλλων attribute είναι ίδιες, δηλαδή δεν δίνεται προτεραιότητα σε άλλο attribute να καθορίσει τη διαδρομή. Στην παρακάτω εικόνα η κίνηση από το AS 10 στο AS 20 ταξιδεύει μέσα από τον Router B αφού έχει το μικρότερο MED.



Εικόνα 27: Το attribute Multi-Exit discriminator (MED).

Aggregator

Ανήκει στα προαιρετικά μεταβατικά attributes και σχετίζεται με το Atomic_Aggregate. Δείχνει ποιός δρομολογητής έκανε summarization σε μια διαδρομή. Για παράδειγμα ελέγχοντας τον aggregator ένα ΑΣ μπορεί να απορρίπτει ή να φιλτράρει (route filtering) μια διαδρομή από κάποιον ανεπιθύμητο δρομολογητή.

Community

Ανήκει στα προαιρετικά μεταβατικά attributes και επιτρέπει την τοποθέτηση μιας διαδρομής σε μια συγκεκριμένη ομάδα ή community. Οι διαδρομές που ανήκουν στο ίδιο community έχουν κάποια κοινά attributes. Αυτό βοηθάει στην απλοποίηση των πολιτικών δρομολόγησης και την καλύτερη διαχείρισή των διαδρομών από του BGP δρομολογητές. Κάποια γνωστά communities είναι:

Internet: είναι η προκαθορισμένη community για όλες τις διαδρομές. Διαδρομές που ανήκουν σε αυτή μπορούν να διαφημιστούν σε όλους τους BGP peers.

No_Export: Οι διαδρομές που ανήκουν σε αυτή την community αφού ληφθούν δεν μπορούν να διαφημιστούν έξω από το τοπικό AS.

No_Advertise: Οι διαδρομές που ανήκουν σε αυτή την community αφού ληφθούν δεν μπορούν να διαφημιστούν σε άλλους BGP peers.

No_Export_Subconfed: Οι διαδρομές αυτές αφού ληφθούν δε μπορούν να διαφημιστούν έξω από το τοπικό AS.

3.8 Κριτήρια επιλογής μιας διαδρομής[11]

Για την επιλογή μιας διαδρομής το BGP τηρεί κάποια κριτήρια που είναι η σειρά προτεραιότητας στον έλεγχο των attributes. Κάθε κριτήριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καθοριστικό στην λήψη της απόφασης αν όλα τα παραπάνω κριτήρια είναι ίδια. Η σειρά αυτή είναι η εξής:

- Αρχικά απορρίπτει τις διαδρομές με NEXT_HOPs που δεν ξέρει πώς να προσεγγίσει.
- Αμέσως μετά επιλέγει τη διαδρομή με την υψηλότερη Preferred_value. Αυτό υπερνικάει όλα τα παρακάτω attributes.
- Αν οι Preferred_values είναι πανομοιότυπες το επόμενο κριτήριο είναι η υψηλότερη LOCAL_PREF.
- Ύστερα επιλέγονται διαδρομές που δημιούργησε ο ίδιος ο δρομολογητής. Για παράδειγμα αν υπάρχουν δύο διαδρομές προς τον ίδιο προορισμό μία που δημιουργήθηκε από τον ίδιο και μια που έλαβε ως update από κάποιον BGP peer, αυτός θα προτιμήσει τη δική του διαδρομή.
- Επόμενο κριτήριο είναι το AS_path. Το μικρότερο AS_path κερδίζει.
- Αν πάλι όλα τα παραπάνω είναι ίδια επιλέγονται οι διαδρομές με τον προτιμότερο origin code. Η σειρά προτεραιότητας είναι IGP<EGP<Incomplete.
- Επιλέγεται η διαδρομή με το μικρότερο MED.
- Αν όλα τα παραπάνω είναι ίδια προτιμάται η EBGP εξωτερική διαδρομή από μια εσωτερική internal.
- Αν πάλι όλα τα παραπάνω είναι ίδια, για IBGP διαδρομές προτιμάται ο κοντινότερος IGP neighbor.
- Για EBGP διαδρομές προτιμάται η πιο παλιά διαδρομή που θεωρείται πιο σταθερή (stable).

Είναι βέβαια σπάνιο να λάβει ένας BGP δρομολογητής δύο πανομοιότυπες διαδρομές το ίδιο δευτερόλεπτο αλλά αν γίνει και αυτό προτιμάται η διαδρομή που έχει το μικρότερο BGP

router id. Εδώ η επιλογή δεν εξυπηρετεί κάποιο σκοπό αλλά γίνεται τυχαία απλά για να τελειώσει η διαδικασία.

Επίλογος

Στην παρούσα πτυχιακή έγινε προσπάθεια για την παρουσίαση των βασικών χαρακτηριστικών και των δομικών στοιχείων των πρωτοκόλλων δρομολόγησης OSPF και BGP. Το OSPF είναι ένα ευέλικτο IGP που προσφέρει πολλές δυνατότητες στον διαχειριστή αλλά απαιτεί καλό σχεδιασμό δικτύου για την αποδοτική λειτουργία του. Λόγω των πλεονεκτημάτων του έχει προτιμηθεί και χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη κλίμακα.

Το BGP είναι ένα σχετικά πολύπλοκο στη διαχείριση πρωτόκολλο. Παρόλα αυτά προσφέρει πολλές δυνατότητες ρύθμισης για την πραγματοποίηση οποιασδήποτε πολιτικής δρομολόγησης της κίνησης διαμέσου των ΑΣ. Οι πολιτικές αυτές υπακούουν σε κανόνες που θέτουν τα κράτη για την δρομολόγηση, καθώς και σε πολιτικά, οικονομικά και άλλα συμφέροντα αλλά και σε θέματα ασφάλειας των επικοινωνιών.

Πηγές

- [1] **OSPF network design solutions: Tomas Thomaw M., Cisco, 2003.**
- [2] **Δίκτυα Υπολογιστών: Andrew S. Tanenbaum, Εκδόσεις Κλειδάριθμος 2003.**
- [3] **Routing in the Internet: Huitema Christian, Prentice Hall, 2000.**
- [4] **Cisco Routing Basics** [http://docwiki.cisco.com/wiki/Routing_Basics].
- [5] **RFC2328: OSPF version 2** [<http://www.rfc-base.org/txt/rfc-1583.txt>].
- [6] **Cisco: OSPF Design Guide**
<http://www.cisco.com/en/US/tech/tk365/technologies_white_paper09186a0080094e9e.shtml>
- [7] **OSPF Neighbor States**
<http://www.cisco.com/en/US/tech/tk365/technologies_tech_note09186a0080093f0e.shtml>
- [8] **RFC4271: A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)** <<http://www.ietf.org/rfc/rfc4271.txt>>
- [9] **Cisco: Border Gateway Protocol**
<http://docwiki.cisco.com/wiki/Border_Gateway_Protocol>
- [10] **BGP Introduction.**
<http://www.h3c.com/portal/Products___Solutions/Technology/IP_Routing/Technology_Introduction/200702/201386_57_0.htm>
- [11] **BGP Path Selection**
<http://docwiki.cisco.com/wiki/Border_Gateway_Protocol#BGP_Path_Selection>

Προέλευση εικόνων

Εικόνα 1: Οι δρομολογητές R1, R2 και R3 πρέπει διατηρούν δρομολόγια προς όλα τα επιμέρους τμήματα δικτύου A, B, C, D και E καθώς και τα μεταξύ τους δρομολόγια για να μπορούν να δρομολογήσουν πακέτα από οποιονδήποτε χρήστη σε οποιονδήποτε προορισμό στο παραπάνω δίκτυο:
<<http://www.orbit-computer-solutions.com/IP-Routing---Protocols.php>>

Εικόνα 7: Οι OSPF areas και οι τύποι των OSPF δρομολογητών.
<http://www.h3c.com/portal/Products___Solutions/Technology/IP_Routing/Technology_Introduction/200702/201240_57_0.htm>

Εικόνα 8: Το OSPF πακέτο. <http://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:OSPF_Case_Studies>

Εικόνα 10: Οι τύποι των OSPF areas και τα είδη πακέτων που επιτρέπονται σε αυτές.
<<http://ipsn6tap.blogspot.gr/2010/05/ospf-area-types.html>>

Εικόνα 11: Η λειτουργία των Not-So-Stubby Areas.
<http://www.h3c.com/portal/Products___Solutions/Technology/IP_Routing/Technology_Introduction/200702/201240_57_0.htm>

Εικόνα 12: Η λειτουργία της transit area.

<http://www.h3c.com/portal/Products___Solutions/Technology/IP_Routing/Technology_Introduction/200702/201240_57_0.htm>

Εικόνα 13: Ένα virtual link που εξασφαλίζει τη συνέχεια της backbone area ή area 0.

<http://www.h3c.com/portal/Products___Solutions/Technology/IP_Routing/Technology_Introduction/200702/201240_57_0.htm>

Εικόνα 15: Route summarization.

<<http://www.itcertnotes.com/2011/03/ospf-summary-route-metric-calculation.html>>

Εικόνα 16: Το Hello πακέτο. <<http://fx.damagate.com/part-ii-ospf/>>

Εικόνα 24: Επιλογή μονοπατιού με το μικρότερο AS_Path.

<http://www.h3c.com/portal/Products___Solutions/Technology/IP_Routing/Technology_Introduction/200702/201386_57_0.htm>

Εικόνα 25: Το attribute Next_hop.

<[http://www.h3c.com/portal/Technical_Support___Documents/Technical_Documents/Switches/H3C_S9500_Series_Switches/Configuration/Operation_Manual/H3C_S9500_OM-Release2132\[V2.03\]-03-IP_RV/200806/607488_1285_0.htm](http://www.h3c.com/portal/Technical_Support___Documents/Technical_Documents/Switches/H3C_S9500_Series_Switches/Configuration/Operation_Manual/H3C_S9500_OM-Release2132[V2.03]-03-IP_RV/200806/607488_1285_0.htm)>

Εικόνα 26: Το attribute Local_Preference.

<[http://www.h3c.com/portal/Technical_Support___Documents/Technical_Documents/Switches/H3C_S9500_Series_Switches/Configuration/Operation_Manual/H3C_S9500_OM-Release2132\[V2.03\]-03-IP_RV/200806/607488_1285_0.htm](http://www.h3c.com/portal/Technical_Support___Documents/Technical_Documents/Switches/H3C_S9500_Series_Switches/Configuration/Operation_Manual/H3C_S9500_OM-Release2132[V2.03]-03-IP_RV/200806/607488_1285_0.htm)>

Εικόνα 27: Το attribute Multi-Exit discriminator (MED).

<http://www.h3c.com/portal/Products___Solutions/Technology/IP_Routing/Technology_Introduction/200702/201386_57_0.htm>