



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

ΔΙΚΤΥΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ

ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

ΣΤΟΓΙΑΝΝΟΥ ΣΤΕΡΓΙΑΝΗ

A.M 4546

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2015

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή

Κεφάλαιο 1- Δρομολόγηση

1.1 Τι είναι δρομολόγηση

1.2 Πρωτόκολλο Δικτύων

1.3 Το μοντέλο TCP-IP

1.4 Αλγόριθμοι Δρομολόγησης

1.5 Αλγόριθμος Εύρεσης Συντομότερων Διαδρομών Dijkstra's algorithm

1.6 Αλγόριθμος Εύρεσης Συντομότερης Διαδρομής Belman-Ford ή Ford-Fulkerson Algorithm

1.7 Πίνακες Δρομολόγησης

1.8 Στατική δρομολόγηση

1.9 Δυναμική Δρομολόγηση

1.10 Δρομολόγηση συντομότερης διαδρομής

1.11 Δρομολόγηση πλυμμήρας (flooding)

1.12 Δρομολόγηση διανυσμάτων απόστασης (Distance vector)

1.13 Δρομολόγηση κατάστασης συνδέσεων (Link State)

Κεφάλαιο 2- Τα κύρια πρωτόκολλα δρομολόγησης

2.1 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

2.2 Η Δρομολόγηση σε Δίκτυα TCP/IP

2.2 Routing Information Protocol (RIP)

2.3 EIGRP πρωτόκολλο

2.4 OSPF (Open Shortest Path First)

2.5 BGP (Open Shortest Path First)

Κεφάλαιο 3 – Ειδικά Πρωτόκολλα δρομολόγησης

3.1 Cluster Based Routing Protocol

3.2 Global State Routing Πρωτόκολλο (GSR)

3.3 Fisheye State Routing protocol

3.4 Zone Routing Protocol

Συμπεράσματα

Βιβλιογραφία

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος της εργασίας μας είναι μια παρουσίαση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Το πρόβλημα της δρομολόγησης είναι ένα από τα βασικότερα προβλήματα στο χώρο των δικτύων που αφορά την αποστολή ενός μηνύματος από ένα κόμβο σε ένα άλλο με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Σαν καλύτερος δυνατός θεωρείται ο τρόπος που ένα μήνυμα θα φτάσει όσο το δυνατόν γρηγορότερα στον προορισμό του και με τον πιο ασφαλή τρόπο δηλαδή με την μικρότερη πιθανότητα να χαθεί στην διαδρομή.

Ένα δίκτυο υπολογιστών περιέχει πολλές συσκευές. Οι συσκευές μπορεί να είναι ενδιάμεσες ή τελικές ,δηλαδή routers, switches , υπολογιστές , tablets, κινητά κ.α.

Οι συσκευές που τελικά ορίζουν την διαδρομή ενός πακέτου είναι οι ενδιάμεσες με πιο σημαντικές τους routers. Οι routers είναι οι συσκευές που ουσιαστικά συνδέουν δίκτυα μεταξύ τους ορίζοντας πίνακες δρομολόγησης που με βάση αυτούς ένα πακέτο κατευθύνεται στον τελικό προορισμό του.

Η δρομολόγηση ουσιαστικά αφορά την δημιουργία των πινάκων δρομολόγησης σε κάθε router.

Στην εργασία αυτή αρχικά ορίζουμε τι είναι δρομολόγηση, τα είδη της καθώς και βασικά χαρακτηριστικά της δρομολόγησης. Στην συνέχεια θα ορίσουμε τι είναι ένας αλγόριθμος δρομολόγησης, τις βασικές στρατηγικές δρομολόγησης, και τις βασικότερες μορφές που εξάγεται ο πίνακας δρομολόγησης .

Στην συνέχεια γίνεται παράθεση των βασικότερων αλγόριθμων δρομολόγησης τους οποίους χρησιμοποιούν τα πρωτόκολλα δρομολόγησης. Παρουσιάζουμε τα βασικότερα πρωτόκολλα δρομολόγησης στα δίκτυα υπολογιστών, δηλαδή τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται περισσότερο στα σύγχρονα δίκτυα.

Στο τέλος παραθέτουμε συμπεράσματα που κυρίως αναφέρονται στην σύγκριση των πρωτοκόλλων και πιο από αυτά είναι πιο κατάλληλο για αντίστοιχα προβλήματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ

1.1 Τι είναι δρομολόγηση

Σε ένα οποιοδήποτε δίκτυο υπολογιστών αυτό που ουσιαστικά γίνεται είναι η μεταφορά μηνυμάτων από ένα κόμβο σε ένα άλλο. Σαν κόμβο ονομάζουμε κάθε συσκευή που βρίσκεται στο δίκτυο μας όπως υπολογιστές, tablets, κινητά, switches, access points, routers κ.α.

Ένα μήνυμα λοιπόν από τον ένα κόμβο στον άλλο θα ακολουθήσει μία διαδρομή που θα ξεκινά από τον κόμβο πηγή και θα καταλήγει στον κόμβο προορισμού. Συνήθως υπάρχουν περισσότερες από μια διαδρομές που μπορεί να ακολουθήσει ένα πακέτο ώστε να φτάσει στον προορισμό του. Έτσι στόχος είναι να βρεθεί η πιο σύντομη διαδρομή και η πιο ασφαλής. Η εξεύρεση του καλύτερου όπως λέμε μονοπατιού καλείται δρομολόγηση.

Η δρομολόγηση πακέτων από ένα κόμβο σε ένα άλλο αποτελεί μια από τις βασικότερες λειτουργίες σε ένα δίκτυο υπολογιστών. Ένα δίκτυο υπολογιστών συνήθως αποτελείται από υποδίκτυα όπου τα πακέτα χρειάζονται πολλά βήματα για τον προορισμό τους. Η μόνη αξιοσημείωτη εξαίρεση είναι τα δίκτυα εκπομπής, αλλά ακόμη και εδώ η δρομολόγηση είναι πρόβλημα εάν η πηγή και ο προορισμός δεν είναι στο ίδιο δίκτυο.

Υπάρχουν αρκετοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται με στόχο να βρεθεί η κατάλληλη διαδρομή.

Σήμερα τα περισσότερα δίκτυα (σχεδόν το 98%) ακολουθούν το μοντέλο TCP-IP. Το μοντέλο αυτό χωρίζει τις λειτουργίες ενός δικτύου σε επίπεδα με βάση τις πληροφορίες που περικλείει ένα πακέτο.

Τα πρωτόκολλα που θα περιγράψουμε αφορούν ακριβώς αυτό το μοντέλο.

1.2 Πρωτόκολλο Δικτύων

Σαν πρωτόκολλο ονομάζουμε ένα σύνολο από συμβάσεις που καθορίζουν το πώς πρέπει να πραγματοποιηθεί κάποια διαδικασία. Έτσι και στα δίκτυα, πρωτόκολλο είναι ένα σύνολο από συμβάσεις που καθορίζουν το πώς ανταλλάσσουν μεταξύ τους δεδομένα οι υπολογιστές του δικτύου.

Ένα πρωτόκολλο δικτύου ουσιαστικά καθορίζει το πώς διακινούνται τα δεδομένα, το πώς γίνεται ο έλεγχος και ο χειρισμός των λαθών, κλπ. Σε ένα δίκτυο μπορεί να έχουμε πολλά υποδίκτυα, όπως π.χ το Internet, και έτσι χρειάζεται ένα σύνολο από συμβάσεις που να καθορίζουν το πώς ανταλλάσσουν μεταξύ τους δεδομένα υπολογιστές που μπορεί να είναι διαφορετικού τύπου και να ανήκουν σε διαφορετικά δίκτυα.

1.3 Το μοντέλο TCP-IP

Το TCP/IP ουσιαστικά καθορίζει το σύνολο των συμβάσεων ώστε όλες οι συσκευές που είναι συνδεδεμένες στα μικρότερα δίκτυα να εκτελούν τις ίδιες συμβάσεις TCP/IP κι έτσι να «μιλούν την ίδια γλώσσα» που τελικά τους επιτρέπει να συνεννοούνται παρά τις διαφορές τους.

Το TCP/IP ουσιαστικά αποτελείται από τα παρακάτω επίπεδα:

- Το φυσικό επίπεδο που καθορίζει τις φυσικές συνδέσεις, δηλαδή το μέσο μεταφοράς των σημάτων επικοινωνίας μεταξύ των υπολογιστών. Σε αυτό το επίπεδο ουσιαστικά το ψηφιακό σήμα μετατρέπεται σε αναλογικό και περνά από το ανάλογο μέσο μέχρι τον επόμενο προορισμό του. Τα μέσα μπορεί να είναι καλώδια, οπτικές ίνες, ασύρματες συνδέσεις, δορυφορικά σήματα κ.α.
- Το επίπεδο Data Link που καθορίζει τις συσκευές μέσα σε ένα τοπικό δίκτυο με κάποια διεύθυνση ώστε να μπορούν να ανταλλάσσουν μηνύματα που αφορούν την επικοινωνία των συσκευών σε χαμηλότερο επίπεδο. Γνωστότερη είναι η περίπτωση του δικτύου Ethernet όπου κάθε συσκευή του δικτύου καθορίζεται από την λεγόμενη MAC Address που ουσιαστικά είναι ένας κωδικός που καθορίζει κάθε διαφορετική συσκευή στο δίκτυο.
- Το επίπεδο Δικτύου που καθορίζει λογικές διευθύνσεις IP που μαζί με την αντίστοιχη μάσκα καθορίζουν ποιες συσκευές ανήκουν στο ίδιο υποδίκτυο.
- Το επίπεδο των εφαρμογών όπου εκεί πλέον , στις τελικές συσκευές, καθορίζεται τι θα γίνουν τα πακέτα για ποιες εφαρμογές απευθύνονται και πως γίνεται η σύνθεση των πακέτων.

Στο τρίτο επίπεδο δηλαδή το επίπεδο δικτύου ουσιαστικά υπάρχει η πληροφορία του προορισμού που με βάση αυτή ο router βρίσκει το επόμενο βήμα που πρέπει να ακολουθήσει το πακέτο ώστε να φτάσει στον προορισμό του.

1.4 Αλγόριθμοι Δρομολόγησης

Όπως είπαμε ο ρόλος της δρομολόγησης είναι να κατευθύνει, προωθεί, το πέρασμα των πακέτων από την πηγή τους προς τον απόλυτο προορισμό τους μέσω ενδιάμεσων κόμβων.

Ένας αλγόριθμος δρομολόγησης είναι ουσιαστικά η διαδικασία μέσω της οποίας θα γίνει η δρομολόγηση με στόχο να βρεθεί η καλύτερη διαδρομή.

Ουσιαστικά ένας αλγόριθμος δρομολόγησης ορίζει τελικά ,με βάση μια μέθοδο ,την κατασκευή των πινάκων δρομολόγησης ώστε να είναι αποτελεσματική η δρομολόγηση.

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία αλγορίθμων δρομολόγησης που ανάλογα το πρόβλημα δίνουν ανάλογους πίνακες δρομολόγησης σε κάθε δρομολογητή.

Σε μικρά δίκτυα οι πίνακες δρομολόγησης μπορούν να συμπληρωθούν και με το χέρι. Σε μεγάλα δίκτυα, όπου εμπλέκονται πολύπλοκες και διαρκώς μεταβαλλόμενες τοπολογίες, η χειροκίνητη κατασκευή των πινάκων δρομολόγησης είναι προβληματική. Εντούτοις, τα περισσότερα δημόσια τηλεφωνικά δίκτυα μεταγωγής (*PSTN*) χρησιμοποιούν προϋπολογισμένους πίνακες δρομολόγησης, με εφεδρικές διαδρομές αν η πιο σύντομη μπλοκαριστεί.

Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης ουσιαστικά αφορούν την λεγόμενη δυναμική δρομολόγηση. Η δυναμική δρομολόγηση προσπαθεί να λύσει αυτό το πρόβλημα κατασκευάζοντας τους πίνακες δρομολόγησης αυτόματα, βασιζόμενη στις πληροφορίες που μεταφέρονται από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης, και αφήνει το δίκτυο να ενεργεί σχεδόν αυτόνομα στο να αποφεύγει βλάβες και μπλοκαρίσματα.

Η δυναμική δρομολόγηση κυριαρχεί σε μεγάλα δίκτυα όπως και στο Ίντερνετ. Εντούτοις , η ρύθμιση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης απαιτεί ικανότητες αφού ακόμα δεν έχει υιοθετηθεί μια διαδικασία αυτοματοποίησης στην επιλογή του κατάλληλου πρωτοκόλλου δρομολόγησης.

Τα δίκτυα μεταγωγής πακέτων όπως το Ίντερνετ, χωρίζουν τα δεδομένα σε πακέτα που το καθένα περιέχει πληροφορίες για τον προορισμό του και δρομολογούνται ξεχωριστά. Τα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος όπως τα τηλεφωνικά δίκτυα, εκτελούν και αυτά δρομολόγηση, με σκοπό να βρουν διαδρομές για κυκλώματα (όπως τηλεφωνικές κλήσεις) πάνω από τις οποίες μπορούν να στείλουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων χωρίς να επαναλαμβάνουν συνεχώς τη διεύθυνση του προορισμού.

Ουσιαστικά η εφαρμογή ενός αλγόριθμου δρομολόγησης γίνεται στο επίπεδο 3 και είναι το τμήμα εκείνο του λογισμικού του στο τρίτο επίπεδο του μοντέλου TCP_IP (επίπεδο δικτύου) που είναι υπεύθυνο να αποφασίσει σε ποια γραμμή εξόδου θα πρέπει να μεταδοθεί ένα εισερχόμενο πακέτο.

Ο κάθε αλγόριθμος καλείται να πάρει αποφάσεις που αφορά το αν ο πίνακαςδρομολόγησης είναι σταθερός ή αλλάζει αφού η βέλτιστη διαδρομή μπορεί να έχει αλλάξει κατά την διάρκεια της ζωής του δικτύου.

Άσχετα με το αν οι διαδρομές επιλέγονται ανεξάρτητα για κάθε πακέτο ή μόνο όταν εγκαθίστανται νέες συνδέσεις, υπάρχουν κάποιες βασικές ιδιότητες που είναι επιθυμητές σε ένα αλγόριθμο δρομολόγησης.

Οι ιδιότητες αυτές είναι

- Ορθότητα
- Απλότητα
- Ανθεκτικότητα
- Σταθερότητα
- Δικαιοσύνη
- Βελτιστοποίηση

Η ορθότητα και η απλότητα αφορά στο να γίνεται σωστά η δρομολόγηση και μάλιστα με τον πιο απλό τρόπο. Η λέξη απλότητα συνεπάγεται μικρούς πίνακες δρομολόγησης γεγονός που δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιούμε routers με μικρότερη μνήμη.

Η ανάγκη γι' ανθεκτικότητα αφορά την δρομολόγηση σε μεγάλα δίκτυα που πιθανά λειτουργούν με τις μικρότερες αστοχίες. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου θα υπάρχουν αστοχίες υλικού και λογισμικού όλων των ειδών.

Ο αλγόριθμος δρομολόγησης πρέπει να είναι σε θέση να αντιμετωπίζει αλλαγές της τοπολογίας και της κίνησης χωρίς να απαιτεί να διακόπτονται οι δρομολογητές και να εφαρμόζουν από την αρχή τις ρυθμίσεις τους.

Η σταθερότητα είναι επίσης ένας σπουδαίος στόχος για τον αλγόριθμο δρομολόγησης. Υπάρχουν αλγόριθμοι δρομολόγησης που δεν συγκλίνουν ποτέ σε κάποιο σημείο ισορροπίας, όσο χρόνο και να τρέξουν.

Η δικαιοσύνη εξασφαλίζει ότι τα πακέτα μοιράζονται ισομερώς σε περιπτώσεις που έχουν ισοδύναμες διαδρομές, ενώ η βελτιστοποίηση αφορά την δυνατότητα ο αλγόριθμος να αναζητά σε κάθε φάση την καλύτερη δυνατή λύση.

1.5 Αλγόριθμος Εύρεσης Συντομότερων Διαδρομών Dijkstra's algorithm

Ο αλγόριθμος του Ντάικστρα (Dijkstra) πήρε το όνομά του από τον Ολλανδό Έντσογκερ Ντάικστρα, ο οποίος τον επινόησε το 1956 και τον δημοσίευσε το 1959. Πρόκειται για έναν αλγόριθμο εύρεσης συντομότερων διαδρομών (single-source shortest path problem) από κοινή αφετηρία σε έναν (κατευθυνόμενο ή μη) γράφο με μη αρνητικά βάρη στις ακμές. Ο αλγόριθμος του Dijkstra είναι άπληστος. Δηλαδή, σε κάθε βήμα επιλέγει την τοπικά βέλτιστη λύση, ώσπου στο τελευταίο βήμα συνθέτει μια συνολικά βέλτιστη λύση.

Αν ο γράφος περιέχει αρνητικά βάρη, ο αλγόριθμος του Ντάικστρα δεν δίνει σωστό αποτέλεσμα. Για γράφους που μπορεί να έχουν αρνητικά βάρη στις ακμές, χρησιμοποιούνται πιο περίπλοκοι αλγόριθμοι, όπως αυτός των Bellman και Ford ή των Floyd-Warshall.

Ο αλγόριθμος του Dijkstra είναι πλέον ευρέως διαδεδομένος και χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές. Χρήση του αλγόριθμου αυτού κάνει το πρωτόκολλο OSPF, το οποίο είναι το εσωτερικό πρωτόκολλο πύλης δικτύου του Διαδικτύου.

Πιο συγκεκριμένα ο αλγόριθμος Dijkstra ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

Βήμα 1. Σημείωσε σε κάθε κόμβο μια ετικέτα απόστασης ($d[*]$) με τιμή 0 στον αρχικό κόμβο και τιμή άπειρο σε όλους τους υπόλοιπους. Επίσης, σημείωσε μια ετικέτα προηγούμενου κόμβου ($prev[*]$) και βάλε της την κενή τιμή για όλους τους κόμβους. Η ετικέτα αυτή χρειάζεται για τον υπολογισμό της ζητούμενης διαδρομής στο τέλος.

Βήμα 2. Σημείωσε όλους τους μη-επεξεργασμένους κόμβους ($S = \emptyset$). Ο τρέχων κόμβος είναι ο αρχικός.

Βήμα 3. Για τον τρέχων κόμβο, εξέτασε όλους τους μη-επεξεργασμένους γείτονές του και υπολόγισε το συνολικό άθροισμα απόστασής τους από τον αρχικό κόμβο. Για παράδειγμα, αν ο τρέχων κόμβος έχει απόσταση 6 από τον αρχικό και ο γείτονας του τρέχοντος κόμβου, που εξετάζει αυτή τη στιγμή ο αλγόριθμος, έχει απόσταση 2 το συνολικό άθροισμα απόστασης του γείτονα από τον αρχικό κόμβο είναι $6+2=8$. Αν αυτή η απόσταση είναι μικρότερη από την ετικέτα απόστασης που είχε σημειωθεί, αντικατάστησέ τη με τη νέα υπολογισμένη τιμή και σημείωσε τον τρέχων κόμβο στην ετικέτα προηγούμενου κόμβου.

Βήμα 4. Όταν τελειώσεις με την εξέταση όλων των γειτόνων του τρέχοντος κόμβου, σημείωσέ τον ως επεξεργασμένο. Ένας επεξεργασμένος κόμβος δεν εξετάζεται ποτέ ξανά από τον αλγόριθμο. Η ετικέτα απόστασής της είναι η ελάχιστη και θα παραμείνει σταθερή.

Βήμα 5. Ο επόμενος τρέχων κόμβος θα είναι ο μη-επεξεργασμένος κόμβος με τη μικρότερη ετικέτα απόστασης.

Βήμα 6. Αν όλοι οι κόμβοι έχουν σημειωθεί ως επεξεργασμένοι, προχώρα στο επόμενο βήμα. Διαφορετικά, συνέχισε από το βήμα 3.

Βήμα 7. Ξεκινώντας από τον κόμβο-προορισμό (ο οποίος είναι ο τελευταίος τρέχων κόμβος) εκτύπωσε τον κόμβο που αναγράφεται στην ετικέτα προηγούμενου κόμβου. Επανάλαβε μέχρι η ετικέτα προηγούμενο κόμβου που θα συναντήσεις να είναι άδεια.

1.6 Αλγόριθμος Εύρεσης Συντομότερης Διαδρομής Belman-Ford ή Ford-Fulkerson Algorithm

Ο αλγόριθμος Bellman- Ford εφαρμόζεται κατά κύριο λόγο σε σταθμισμένους κατευθυνόμενους γράφους, για την επίλυση του προβλήματος εύρεσης συντομότερης διαδρομής από έναν κόμβο αφετηρίας προς έναν κόμβο προορισμού (single- source shortest path), στην περίπτωση που ένας γράφος περιλαμβάνει ακμές που έχουν θετικά και αρνητικά βάρη. Ο αλγόριθμος επιστρέφει μια λογική τιμή (boolean value), η οποία υποδεικνύει εάν υφίσταται ή όχι ένας αρνητικού βάρους κύκλος στο γράφο που είναι προσβάσιμος από τον κόμβο αφετηρίας. Η ύπαρξη ενός τέτοιου κύκλου στο γράφο σημαίνει ότι το πρόβλημα που εξετάζεται δεν έχει λύση.

Εάν δεν υπάρχει κύκλος αρνητικού βάρους, τότε ο αλγόριθμος δίνει ως αποτέλεσμα τις συντομότερες διαδρομές που υφίστανται μεταξύ των κόμβων του γράφου και τα κόστη διάσχισής τους. Η πολυπλοκότητα του αλγόριθμου Bellman – Ford σε ένα γράφο με V κόμβους και E ακμές είναι ίση με $O(V, E)$.

Μία περιγραφή του αλγόριθμου φαίνεται στο παρακάτω ψευδοκώδικα:


```

BELLMAN-FORD (G, W, S)
1  INITIALIZE-SINGLE-SOURCE(G, S)
2  for i ← 1 to |V[G]| - 1
3      do for each edge (u,v) ∈ E[G]
4          do RELAX(u, v, w)
5  for each edge (u,v) ∈ E[G]
6      do if d[v] > d[u] + w(u,v)
7          then return FALSE
8  return TRUE

```

Στην πρώτη γραμμή του ψευδοκώδικα, γίνεται η αρχικοποίηση των μεταβλητών d και π στις οποίες καταχωρούνται η απόσταση που διανύεται κατά τη διάρκεια τρέξιματος του αλγόριθμου και οι προκάτοχοι κόμβοι αντίστοιχα. Ο αλγόριθμος, υλοποιεί $|V| - 1$ περάσματα από τις ακμές του γράφου, κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μια επανάληψη του βρόχου που περιλαμβάνεται στην εντολή `for` στις γραμμές 2-4 του ψευδοκώδικα. Αφού ολοκληρωθούν τα $|V| - 1$ περάσματα από τις ακμές του γράφου, ο αλγόριθμος ελέγχει την ύπαρξη κύκλων με αρνητικά βάρη και επιστρέφει την αντίστοιχη boolean τιμή. Εάν υπάρχει κύκλος με αρνητικό βάρος το τρέξιμο του αλγόριθμου σταματά, σε διαφορετική περίπτωση ο αλγόριθμος δίνει ως αποτέλεσμα τα συντομότερα μονοπάτια και το κόστος τους.

1.7 Πίνακες Δρομολόγησης

Κάθε συσκευή σε ένα δίκτυο διαθέτει ένα πίνακα δρομολόγησης Διαδικτύου (ή αλλιώς πίνακα δρομολόγησης IP στο πρωτόκολλο TCP-IP) όπου αποθηκεύει πληροφορίες σχετικά με πιθανούς προορισμούς. Ο πίνακας αντιστοιχίζει ομάδες διευθύνσεων προορισμού σε κάθε μια από τις διεπαφές εξόδου που διαθέτει και οι οποίες αντιστοιχούν στην διεύθυνση του κόμβου του επόμενου βήματος. Οι διευθύνσεις προορισμού μπορεί να είναι διευθύνσεις δικτύων ή συγκεκριμένων κόμβων ή ακόμα και ψευδών κόμβων ή δικτύων.

Είναι προφανές ότι δεν είναι πρακτικά δυνατόν κάθε πίνακας δρομολόγησης να περιέχει πληροφορία για κάθε δυνατό προορισμό του κόσμου. Αρκεί να σκεφθεί κανείς το ρυθμό αύξησης των υπολογιστών του Διαδικτύου για να αντιληφθεί ότι δεν είναι εφικτή μία κεντρική διαχείριση. Η κατανεμημένη προσέγγιση σε συνδυασμό με την αρχή της απόκρυψης πληροφορίας είναι η μόνη ρεαλιστική προσέγγιση. Δηλαδή η κάθε συσκευή να μην κάνει παρά ένα μέρος της δουλειάς και να χρησιμοποιεί μόνο την τοπικά αναγκαία πληροφορία. Σ'αυτό βοηθά και η ιεραρχική οργάνωση των διευθύνσεων του Διαδικτύου και είδαμε ήδη πως χρησιμοποιείται αυτό για να προσδιορισθεί εάν μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεση δρομολόγηση. Ομοίως η ιεραρχική δομή των διευθύνσεων επιτρέπει να χρησιμοποιούνται στους πίνακες δρομολόγησης μόνο το πρόθεμα (δηλ. το net id) στους πίνακες δρομολόγησης περιορίζοντας δραστικά το μέγεθός τους. Δηλαδή αποφεύγεται η ανάμιξη σε λεπτομέρειες για τις συσκευές κάθε υποδικτύου εκτός από την περίπτωση που οι συσκευές ανήκουν στο ίδιο φυσικό δίκτυο με τη συσκευή που εκτελεί τη δρομολόγηση.

Έτσι, χρειάζεται απλά να τηρούνται μόνο καταχωρίσεις στους πίνακες με τα ζεύγη G, N όπου κάθε πύλη G είναι άμεσα προσπελάσιμη από την παρούσα πύλη (δηλ. που ενώνονται με ζεύξη) και όπου δίνονται όλες οι διευθύνσεις δικτύων N που "κρύβονται" πίσω της, δηλαδή που εξυπηρετούνται μέσω αυτής της πύλης.

Κάθε πύλη κατέχει πληροφορία μόνο για το επόμενο βήμα δρομολόγησης αδιαφορώντας για το ποια άλλα βήματα θα χρειασθούν για να φθάσει το δεδομένογράμμα στον προορισμό του.

Τελικά ο πίνακας δρομολόγησης είναι μια βάση δεδομένων που βρίσκεται αποθηκευμένη σε ένα δρομολογητή ή σε ένα δικτυωμένο υπολογιστή. Οι πίνακες δρομολόγησης χρησιμοποιούνται από τους αλγόριθμους δρομολόγησης, οι οποίοι δίνουν ως αποτέλεσμα τον επόμενο σταθμό στον οποίο πρέπει να μεταφερθεί ένα πακέτο IP στην περίπτωση του TCP/IP πρωτοκόλλου. Τότε ο δρομολογητής δρομολογεί το πακέτο IP στον επόμενο σταθμό. Ο πίνακας δρομολόγησης αποθηκεύει όλες τις διαδρομές (και σε ορισμένες περιπτώσεις, μετρήσεις που σχετίζονται με αυτές τις γραμμές) προς άλλους σταθμούς του δικτύου. Η κατασκευή των πινάκων δρομολόγησης είναι ο πρωταρχικός στόχος των πρωτοκόλλων δρομολόγησης όταν χρησιμοποιούνται στατικές διαδρομές. Χρησιμοποιείται από τις γέφυρες που διασυνδέουν τοπικά δίκτυα τύπου token ring. Οι πίνακες δρομολόγησης σε γενικές γραμμές δεν χρησιμοποιούνται άμεσα για την προώθηση πακέτων όπως γίνεται στους πίνακες προώθησης. Χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πληροφοριών προς τις γέφυρες δρομολόγησης, οι οποίες γέφυρες βάσει των πληροφοριών αυτών δρομολογούν τα πακέτα στο τοπικό δίκτυο του παραλήπτη.

Για κάθε (γνωστό στον δρομολογητή) προορισμό υπάρχει μια εγγραφή στον πίνακα δρομολόγησης, η οποία περιέχει υποχρεωτικά πληροφορίες για τα τρία παρακάτω πεδία:

- Διεύθυνση προορισμού ή διεύθυνση δικτύου του προορισμού
- Κόστος βάσει κάποιου κριτηρίου (άλματα, καθυστέρηση γραμμής, φόρτος γραμμής, μήκος ουρών γραμμής) ή βάσει συνδυασμού κριτηρίων
- Διεύθυνση επόμενου δρομολογητή. Εκεί θα σταλεί το πακέτο IP ώστε από εκεί να αποφασιστεί εκ νέου ποιος θα είναι ο επόμενός του σταθμός, ώσπου να φτάσει στον προορισμό.

Ανάλογα με τον αλγόριθμο δρομολόγησης που υλοποιείται σε κάθε δρομολογητή, οι εγγραφές του πίνακα δρομολόγησης μπορούν να παρέχουν επιπλέον πληροφορίες για κάθε προορισμό, όπως:

- Σημαίες που προσδιορίζουν διάφορες πληροφορίες όπως πχ, αν το μονοπάτι είναι ενεργό (σημαία U), αν το μονοπάτι περνάει μέσω κι άλλων δρομολογητών εκτός από αυτόν και τον δρομολογητή προορισμού (σημαία G), αν η διεύθυνση προορισμού είναι διεύθυνση ενός δρομολογητή ή ενός δικτύου (σημαία H).
- Το πόσα πακέτα έχουν σταλεί μέσω του μονοπατιού αυτού.

Επίσης, για την περίπτωση που ένα πακέτο IP πρέπει να σταλεί σε έναν προορισμό για τον οποίο δεν υπάρχει αντίστοιχη εγγραφή στον πίνακα δρομολόγησης (πρόκειται δηλαδή για άγνωστο προορισμό), υπάρχει πάντα μια εγγραφή για έναν προεπιλεγμένο (default) δρομολογητή, στον οποίο θα σταλεί το πακέτο και εκείνος θα αποφασίσει ποιος θα είναι ο επόμενος σταθμός του πακέτου.

1.8 Στατική δρομολόγηση

Στη στατική δρομολόγηση αποφασίζουμε εξ αρχής το δρομολόγιο που θα ακολουθήσει ένα πακέτο για να πάει στον προορισμό του. Το δρομολόγιο δεν προσαρμόζεται δυναμικά στα διάφορα χαρακτηριστικά αλλά ακολουθεί την διαδρομή όπως του την έχει προκαθορίσει ο διαχειριστής δικτύου.

Η στατική δρομολόγηση χρησιμοποιείται είτε για λόγους ασφαλείας ,όπου ο διαχειριστής έχει προκαθορίσει το δρόμο συγκεκριμένων κρίσιμων πακέτων, είτε σε απλά μικρά δίκτυα ,όπου η πολυπλοκότητα είναι αρκετά μικρή, είτε η δρομολόγηση γίνεται με μια λογική που δεν καθορίζεται από ένα αλγόριθμο αλλά από μια εξειδικευμένη λογική του διαχειριστή ή του οργανισμού στον οποίο ανήκει το δίκτυο.

Όπου έχει υπάρξει και στατική και δυναμική δρομολόγηση η στατική δρομολόγηση έχει προτεραιότητα.

1.9 Δυναμική Δρομολόγηση

Η δυναμική δρομολόγηση αφορά την αυτόματη δημιουργία του πίνακα δρομολόγησης σε κάθε router. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούνται διάφοροι αλγόριθμοι δρομολόγησης που είναι κατάλληλοι να εξερευνήσουν το δίκτυο και να εντοπίσουν τους πιθανούς δρόμους που έχει ένα πακέτο για να ξεκινήσει από ένα σημείο του δικτύου και να φτάσει σε ένα οποιοδήποτε άλλο.

Επίσης αν μια συγκεκριμένη διαδρομή γίνει μη διαθέσιμη, οι υπάρχοντες κόμβοι πρέπει να αποφασίσουν μια εναλλακτική διαδρομή που μπορούν να χρησιμοποιήσουν για να στείλουν τα δεδομένα στον προορισμό τους.

Συχνά το πετυχαίνουν αυτό μέσω της χρήσης προτοκόλλων δρομολόγησης που χρησιμοποιούν μία από τις δυο ευρείες κλάσεις αλγορίθμων δρομολόγησης: αλγορίθμους διανύσματος απόστασης και αλγορίθμους κατάστασης συνδέσμων, οι οποίες περιέχουν σχεδόν κάθε αλγόριθμο δρομολόγησης που χρησιμοποιείται σήμερα στο Ίντερνετ.

1.10 Δρομολόγηση συντομότερης διαδρομής

Ο όρος 'συντομότερη' δεν αφορά απαραίτητα φυσική απόσταση, αλλά οποιοδήποτε κριτήριο το οποίο ποικίλει από υλοποίηση σε υλοποίηση. Σε κάποιο πρωτόκολλο δρομολόγησης μπορεί ένα κριτήριο απόστασης να είναι το πλήθος των αλμάτων από κόμβο σε κόμβο ή η μέση καθυστέρηση μετάδοσης ή το εύρος ζώνης κλπ. Σε κάθε περίπτωση, υπολογίζονται (βάσει ενός κριτηρίου) οι αποστάσεις από κάθε δρομολογητή προς τους γειτονικούς του. Δεδομένων των αποστάσεων μεταξύ γειτονικών δρομολογητών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι αλγόριθμοι για τον υπολογισμό της συντομότερης διαδρομής μεταξύ δύο (όχι απαραίτητα γειτονικών) δρομολογητών. Ο πιο γνωστός αλγόριθμος εύρεσης συντομότερης διαδρομής είναι αυτός του Dijkstra. Έτσι, κάθε δρομολογητής υπολογίζει τη συντομότερη διαδρομή προς κάθε προορισμό και βάσει αυτού αποφασίζει σε ποιον δρομολογητή θα στείλει το πακέτο IP.

1.11 Δρομολόγηση πλυμμύρας (flooding)

Σε έναν τέτοιο αλγόριθμο δρομολόγησης, κάθε εισερχόμενο πακέτο στέλνεται σε κάθε εξερχόμενη γραμμή εκτός από αυτή από την οποία έφτασε. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργούνται άπειρα αντίγραφα του πακέτου και θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για την ανακοπή της πλυμμύρας. Ένα μέτρο είναι να περιέχεται ένας μετρητής αλμάτων στην κεφαλίδα κάθε πακέτου IP. Πρέπει όμως ο μετρητής αλμάτων να μην έχει τιμή μικρότερη από το πλήθος των αλμάτων που χρειάζονται για να φτάσει το πακέτο από την πηγή στον προορισμό. Για κάθε άλμα, ο μετρητής μειώνεται κατά ένα. Όταν μηδενιστεί, το πακέτο δεν θα αναμεταδοθεί, αλλά θα απορριφθεί.

1.12 Δρομολόγηση διανυσμάτων απόστασης (Distance vector)

Οι αλγόριθμοι διανυσμάτων απόστασης χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο Bellman-Ford. Αυτή η διαδικασία αναθέτει έναν αριθμό, το κόστος, σε κάθε μια από τις συνδέσεις μεταξύ των κόμβων σε ένα δίκτυο. Οι κόμβοι θα στέλνουν πληροφορίες από το σημείο A στο σημείο B μέσω της διαδρομής που έχει το μικρότερο συνολικό κόστος (δηλ. το αποτέλεσμα που βγαίνει από την άθροιση του κόστους μεταξύ των κόμβων που χρησιμοποιήθηκαν).

Ο αλγόριθμος λειτουργεί με πολύ απλό τρόπο. Όταν ξεκινάει ένας κόμβος ξέρει μόνο τους άμεσους γείτονές του, και το κόστος που εμπλέκεται ώστε να φτάσει σε αυτούς (αυτές οι πληροφορίες, δηλαδή η λίστα με τους προορισμούς, το εμπλεκόμενο κόστος για να φτάσει κανείς σε αυτόν και στον επόμενο κόμβο (hop), σχηματίζουν τον πίνακα δρομολόγησης ή πίνακα αποστάσεων). Κάθε κόμβος, σε τακτικά χρονικά διαστήματα, στέλνει σε κάθε γείτονά του την δική του αντίληψη για το κόστος που εμπλέκεται μέχρι να φτάσει σε όλους τους προορισμούς που του είναι γνωστοί. Οι γειτονικοί κόμβοι εξετάζουν αυτές τις πληροφορίες και τις συγκρίνουν με αυτές που ήδη 'ξέρουν', ό,τι τους παρουσιάζει μια βελτίωση σε σχέση με αυτά που ήδη έχουν το εισάγουν στον δικό τους πίνακα δρομολόγησης. Με τον καιρό, όλοι οι κόμβοι του δικτύου θα ανακαλύπτουν το καλύτερο επόμενο βήμα (hop) για όλους τους προορισμούς, και το καλύτερο συνολικό κόστος.

Ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί αλγόριθμο διανυσμάτων απόστασης είναι το RIP, το αρχικό εσωτερικό πρωτόκολλο πύλης δικτύου του Internet. Αργότερα, αντικαταστάθηκε από το OSPF, το οποίο αποτελεί υλοποίηση ενός αλγορίθμου κατάστασης συνδέσεων.

1.13 Δρομολόγηση κατάστασης συνδέσεων (Link State)

Όταν εφαρμόζονται αλγόριθμοι κατάστασης συνδέσεων, ο κάθε κόμβος χρησιμοποιεί σαν αρχικά δεδομένα ένα χάρτη του δικτύου με την μορφή γράφου. Για να παραχθεί αυτός, κάθε κόμβος πλημμυρίζει ολόκληρο το δίκτυο με πληροφορίες σχετικά με το με ποιούς άλλους κόμβους μπορεί να συνδεθεί, εν συνεχεία κάθε κόμβος συγκεντρώνει όλες αυτές τις πληροφορίες και σχηματίζει έναν χάρτη. Χρησιμοποιώντας αυτό το χάρτη, κάθε δρομολογητής αποφασίζει ανεξάρτητα την καλύτερη διαδρομή από τον εαυτό του προς κάθε άλλο κόμβο.

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για να επιλεγεί η βέλτιστη διαδρομή συνήθως είναι ο αλγόριθμος του Dijkstra.

Ο αλγόριθμος Dijkstra επιλέγει την πιο σύντομη διαδρομή δημιουργώντας ένα δέντρο, με τον τρέχοντα κόμβο σαν ρίζα του δέντρου, που περιέχει όλους τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου. Ξεκινάει με ένα δέντρο που περιέχει μόνο τον εαυτό του. Μετά, έναν ένα τη φορά, από το σύνολο των κόμβων που δεν έχουν προστεθεί στο δέντρο, προσθέτει τον κόμβο που έχει το μικρότερο κόστος για να φτάσει έναν γειτονικό κόμβο ο οποίος ήδη υπάρχει στο δέντρο. Αυτό συνεχίζεται μέχρις ότου όλοι οι κόμβοι να υπάρχουν στο δέντρο.

Αυτό το δέντρο εξυπηρετεί στην κατασκευή του πίνακα δρομολόγησης του κάθε κόμβου, δείχνοντας το καλύτερο επόμενο βήμα (hop), για να φτάσει από τον εαυτό του σε οποιονδήποτε άλλο κόμβο στο δίκτυο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ

2.1 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

Είδαμε ότι οι διαδρομές σε ένα δίκτυο μπορούν να οριστούν με τη χρήση τεχνικών στατικής δρομολόγησης. Μολονότι η ρύθμιση των δρομολογητών είναι σχετικά απλή απαιτεί αρκετά βήματα, και σε μεγαλύτερα δίκτυα είναι αρκετά σύνθετη και χρονοβόρα εργασία.

Επιπρόσθετα, στην περίπτωση αλλαγών στο δίκτυο (π.χ. προσθήκης ενός νέου δρομολογητή), θα πρέπει να ενημερωθούν χειροκίνητα οι ρυθμίσεις όλων των δρομολογητών.

Προκειμένου να μειωθεί το διαχειριστικό κόστος, ιδιαίτερα για μεγάλα και συχνά μεταβαλλόμενα δίκτυα, χρησιμοποιούνται τεχνικές δυναμικής δρομολόγησης. Με τη χρήση δυναμικών πρωτοκόλλων, οι δρομολογητές μπορούν να ενημερώνονται αυτόματα για αλλαγές στο δίκτυο, ανταλλάσσοντας δεδομένα δρομολόγησης με γειτονικούς δρομολογητές.

Τα δυναμικά πρωτόκολλα δρομολόγησης χωρίζονται γενικά σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τις τεχνικές που χρησιμοποιούν για την εύρεση διαδρομών και την ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ δρομολογητών.

Τα πρωτόκολλα της πρώτης κατηγορίας ονομάζονται πρωτόκολλα διανύσματος απόστασης (distance vector protocols) και σε αυτήν ανήκουν πρωτόκολλα όπως τα RIP/RIPv2 και IGRP.

Η δεύτερη κατηγορία είναι τα πρωτόκολλα κατάστασης συνδέσμου (link state protocols), στην οποία ανήκουν πρωτόκολλα όπως τα OSPF, NLSP.

Στην τρίτη κατηγορία εντάσσονται πρωτόκολλα όπως το EIGRP, που συνδυάζουν στοιχεία από τις δυο προηγούμενες κατηγορίες και ονομάζονται υβριδικά.

Σε σύνθετα δίκτυα, με πολλαπλές διαδρομές μεταξύ των δρομολογητών, εμφανίζεται το πρόβλημα της επιλογής μιας εξ' αυτών προκειμένου να προωθηθεί ένα πακέτο. Ήδη έχουμε δει ένα τρόπο αντιμετώπισης του προβλήματος, με τη χρήση της έννοιας της διαχειριστικής απόστασης. Η διαχειριστική απόσταση, όμως, εφαρμόζεται μεταξύ διαφορετικών πρωτοκόλλων, δηλαδή για παράδειγμα στην περίπτωση που έχουμε τρεις εναλλακτικές διαδρομές μεταξύ των κόμβων A και B και η πρώτη είναι στατική, η δεύτερη έχει γίνει γνωστή μέσω RIP και η τρίτη μέσω IGRP, τότε θα χρησιμοποιηθεί η διαχειριστική απόσταση προκειμένου να επιλεγεί η διαδρομή. Η διαχειριστική απόσταση όμως δεν λύνει το πρόβλημα που προκύπτει όταν υπάρχουν δύο εναλλακτικές τις οποίες έχει μάθει ο δρομολογητής μέσω του ίδιου πρωτοκόλλου.

Για να αντιμετωπιστεί η περίπτωση αυτή, τα δυναμικά πρωτόκολλα δρομολόγησης υιοθετούν ένα ή περισσότερα μεγέθη, τα οποία ονομάζονται μετρικές και χρησιμοποιούνται ως μέτρα αξιολόγησης των διαδρομών ώστε να επιλεγεί η προτιμότερη κατά περίπτωση. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι μετρικές μέθοδοι που χρησιμοποιούν διάφορα πρωτόκολλα σε IP δίκτυα :

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ	ΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙ
IGRP, EIGRP	Εύρος Ζώνης (bandwidth- Χωρητικότητα γραμμής σε Kbps), Καθυστέρηση (delay- Χρόνος που απαιτείται ώστε να φτάσει ένα πακέτο στον προορισμό του), MTU (Maximum Transmission Unit- Η διαδρομή που υποστηρίζει τα μεγαλύτερα μεγέθη frames), Φόρτος (load- Η διαδρομή με το μικρότερο βαθμό χρήσης), Αξιοπιστία (reliability- Η διαδρομή με το μικρότερο αριθμό λαθών ή το μικρότερο χρόνο εκτός λειτουργίας)
RIP (v1,v2)	Αριθμός βημάτων (hop count- Αριθμός routers που πρέπει να περάσει το πακέτο μέχρι να φτάσει στον προορισμό)
OSPF	Κόστος (cost- Παράγωγο μέγεθος βασισμένο στο bandwidth της γραμμής)

2.2 Η Δρομολόγηση σε Δίκτυα TCP/IP

Ένα δίκτυο IP διακινεί μεταξύ των κόμβων του πακέτα IP. Ένα πακέτο IP αποτελείται από την επικεφαλίδα και την ωφέλιμη πληροφορία (payload). Η ωφέλιμη πληροφορία περιέχει τα δεδομένα ανωτέρων επιπέδων. Η επικεφαλίδα που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα περιέχει έναν αριθμό πεδίων (δυναδικών αριθμών) διαφορετικών μηκών που αντιστοιχούν σε πληροφορίες για την «δρομολόγηση» του, δηλαδή τη μεταφορά του μέσω του δικτύου. Η πλέον βασική πληροφορία που περιέχεται στην επικεφαλίδα του πακέτου αφορά τις διευθύνσεις IP της «πηγής» (source) από όπου αυτό έρχεται και του «προορισμού» (destination) στον οποίο πηγαίνει. Η πληροφορία αυτή ελέγχεται σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο κατά μήκος του «δρόμου» (route) στον οποίο κινείται το πακέτο.

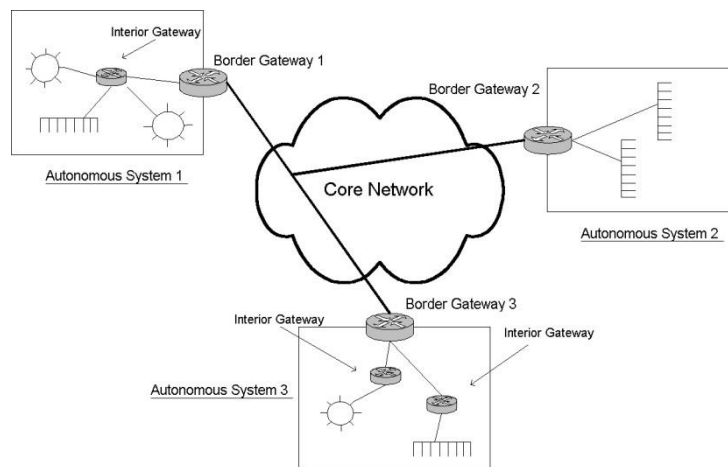
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
Version				IHL				Type of Service								Total Length															
Identification										Flags				Fragment Offset																	
Time to Live						Protocol						Header Checksum																			
Source Address																															
Destination Address																															
Options																								Padding							

Η επικεφαλίδα του πακέτου IP

Κάθε οντότητα IP που βρίσκεται σε κάποιο κόμβο του δικτύου έχει γνώση μόνο της αντιστοιχίας των «τοπικών» (local) IP διευθύνσεων σε διευθύνσεις επιπέδου 2 των διεπαφών του (MAC/hardware address). Όταν θα πρέπει να προωθήσει ένα πακέτο IP σε κάποιο δίκτυο (IP διεύθυνση) που δεν αντιστοιχεί σε κάποια διεπαφή του, είναι απαραίτητη η απόφαση για το που (από ποια διεπαφή) θα πρέπει να φύγει το πακέτο, ορίζοντας τον επόμενο κόμβο (next-hop) του δρόμου. Η απόφαση αυτή λαμβάνεται εξετάζοντας την επικεφαλίδα του πακέτου και ελέγχοντας τη διεύθυνση προορισμού του.

Η δρομολόγηση στο δίκτυο IP γίνεται με βάση τον προορισμό του πακέτου (destination based) και καταλήγει σε μια από κόμβο σε κόμβο (hop-by-hop) προώθηση του πακέτου μέσω ενός αριθμού δρομολογητών που ορίζουν ένα «δρόμο» προς τον τελικό προορισμό του πακέτου. Η απόφαση που λαμβάνεται σε κάθε ενδιάμεσο σταθμό γίνεται με βάση πληροφορία δρομολόγησης που διακινείται μεταξύ των κόμβων IP και καταγράφεται στον πίνακα δρομολόγησης (routing table) του καθενός. Με βάση την πληροφορία αυτή και με ανάλογη επεξεργασία, οι δρομολογητές του δικτύου IP εκτελούν υπολογισμούς προκειμένου να βρεθεί ο βέλτιστος «δρόμος» προς κάθε γνωστό προορισμό. Ο υπολογισμός αυτός βασίζεται σε γνωστούς αλγορίθμους, όπως ο Bellman-Ford ή ο Dijkstra.

Τη λειτουργικότητα αυτή προσφέρουν στο δίκτυο IP τα «πρωτόκολλα δρομολόγησης» που υλοποιούνται στο λογισμικό των κόμβων, τα οποία χωρίζονται σε πρωτόκολλα εσωτερικής πύλης (IGP - Interior Gateway Protocols) και πρωτόκολλα εξωτερικής πύλης (EGP - Exterior Gateway Protocols). Ο διαχωρισμός αυτός βασίζεται στην έννοια του αυτόνομου συστήματος, δηλαδή, ενός δικτύου IP το οποίο θεωρείται ως ανεξάρτητο από άλλα δίκτυα IP. Επιπλέον, πολλά αυτόνομα συστήματα μπορούν να συνδέονται για να δημιουργήσουν «συννομοσπονδίες» (confederacies) αυτόνομων συστημάτων δρομολόγησης ,μεταξύ των οποίων χρησιμοποιείται ένα EGP, όπως το ευρέως διαδεδομένο BGP (Border Gateway Protocol).



Δρομολόγηση μεταξύ Αυτόνομων Συστημάτων (AS)

Εσωτερικά σε ένα αυτόνομο σύστημα, η πληροφορία δρομολόγησης μεταφέρεται με τη βοήθεια ενός IGP πρωτοκόλλου, όπως το OSPF (Open Shortest Path First) ή το IGRP (Interior Gateway Routing Protocol). Ανάλογα με το είδος της πληροφορίας και τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται, τα IGP πρωτόκολλα δρομολόγησης χωρίζονται περαιτέρω σε δυο κατηγορίες, τα πρωτόκολλα που βασίζονται στη γνώση της τοπολογίας (link state) με γνωστότερο εκπρόσωπο το OSPF και τα πρωτόκολλα τα οποία ανακοινώνουν σε τακτά χρονικά διαστήματα τη τοπολογία του δικτύου (distance vector) με γνωστότερο εκπρόσωπο το RIP). Η βασική διαφορά των δυο τύπων είναι ότι ένα link state πρωτόκολλο δρομολόγησης διατηρεί μια βάση δεδομένων με την τοπολογία του δικτύου, πάνω στην οποία εκτελεί τον αλγόριθμο Dijkstra (Shortest Path First) προκειμένου να υπολογίσει τους βέλτιστους δρόμους στον τοπολογικό γράφο του δικτύου. Μετά τον αρχικό υπολογισμό, εκπέμπεται επιπλέον πληροφορία δρομολόγησης προς τους γειτονικούς κόμβους μόνο αν συμβεί κάποια αλλαγή στην τοπολογία τους δικτύου. Αντίθετα ένα πρωτόκολλο distance vector μεταδίδει τα γνωστά σε κάποιο δρομολογητή δίκτυα ανά τακτά χρονικά διαστήματα, καθώς δεν έχει γνώση της πλήρους τοπολογίας του δικτύου, αλλά μόνο των γειτονικών δρομολογητών.

2.3 Routing Information Protocol (RIP)

Το RIP είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης διανύσματος απόστασης. Στέλνει routing-update μηνύματα σε τακτά χρονικά διαστήματα (συνήθως κάθε 30 δευτερόλεπτα) και όταν αλλάζει η τοπολογία του δικτύου και χρησιμοποιεί ως παράμετρο μέτρησης (μετρικό) τον αριθμό αλμάτων ενδοκομβικών αποστάσεων, η οποία μετρά την απόσταση μεταξύ της πηγής και του προορισμού (σε άλματα).

Ο αριθμός των αλμάτων είναι περιορισμένος με μέγιστο το 15.

Αυτό σημαίνει ότι ένα δίκτυο δεν μπορεί να εκτελέσει πάνω από 15 άλματα από την πηγή στον προορισμό. Διαφορετικά ο προορισμός θεωρείται μη προσβάσιμος. Χρησιμοποιεί περιοδικά ένα χρονόμετρο timeout (συνήθως κάθε 30 δευτερόλεπτα) για κάθε γνωστή διαδρομή. Αν ο χρόνος αυτός λήξει τότε σημαίνει ότι το μονοπάτι δεν είναι πλέον διαθέσιμο και ως εκ τούτου ότι η διαδρομή έχει αφαιρεθεί από τους πίνακες δρομολόγησης. Δεν υποστηρίζει VLSM.

Το πρωτόκολλο RIP χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο διανύσματος απόστασης και είναι κατάλληλο για τη λειτουργία μικρών δικτύων. Στους πίνακες δρομολόγησης που προκύπτουν υπάρχουν πληροφορίες για το δρόμο και το κόστος της απόστασης προς τα δίκτυα προορισμού. Ως κόστος χρησιμοποιείται ο αριθμός των ενδιάμεσων δρομολογητών μέχρι να φτάσουμε στο δίκτυο προορισμού (hop count). Ο αριθμός των ενδιάμεσων δρομολογητών μέχρι το δίκτυο προορισμού μπορεί να είναι μέχρι 15. Στο πρωτόκολλο RIP οι δρομολογητές ανακοινώνουν περιοδικά (κάθε 30 δευτερόλεπτα) ολόκληρο το περιεχόμενο του πίνακα δρομολόγησης τους, στους άμεσα γειτονικούς δρομολογητές. Ο πίνακας δρομολόγησης μπορεί να μεταδοθεί κι όταν υπάρξει κάποια αλλαγή στην τοπολογία του δικτύου.

Έτσι επιτρέπεται στο κάθε δρομολογητή να βλέπει το δίκτυο του γειτονικού δρομολογητή και να προσθέτει το ανάλογο κόστος στην απόσταση που έχει ήδη προσθέσει ο δεύτερος. Το μειονέκτημα της προσέγγισης αυτής είναι ότι καθώς το δίκτυο μεγαλώνει, ανταλλάσσεται ένα μεγάλο ποσό πληροφορίας ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ακόμα κι όταν η τοπολογία του δικτύου δεν έχει αλλάξει, με αποτέλεσμα να περιορίζεται το διαθέσιμο εύρος ζώνης και να αυξάνεται ο χρόνος σύγκλισης. Ως χρόνος σύγκλισης (convergence time), ορίζεται ο χρόνος που περνά μέχρι όλοι οι δρομολογητές να συμφωνήσουν σχετικά με την τοπολογία του δικτύου, από τη στιγμή που θα προκύψει μια αλλαγή.

Όταν αλλάζει η τοπολογία του δικτύου εκτελείται ο αλγόριθμος δρομολόγησης και σταματά η κίνηση των δεδομένων που μεταφέρει ο δρομολογητής προς τα διάφορα interfaces του, γιατί δεν γνωρίζει αν το δίκτυο προορισμού είναι διαθέσιμο ή όχι.

Άρα, όσο πιο γρήγορα γίνεται η σύγκλιση τόσο πιο γρήγορα θα μεταφερθούν ,τελικά, τα δεδομένα προς τον προορισμό τους.

Υπάρχουν δυο εκδόσεις του πρωτόκολλου RIP:

- η έκδοση RIP v1, όπου δεν στέλνεται η μάσκα υποδικτύωσης μαζί με τους πίνακες δρομολόγησης (classful routing). Όλα τα δίκτυα πρέπει να έχουν τη default μάσκα.
- η έκδοση RIP v2, όπου μαζί με τους πίνακες δρομολόγησης στέλνεται και η μάσκα υποδικτύωσης (classless routing).

2.4 EIGRP πρωτόκολλο

Το EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης δικτύων υπολογιστών, αναπτυγμένο από την εταιρεία Cisco Systems, και βασισμένο στο παλιότερο πρωτόκολλο IGRP (με το οποίο είναι προς τα πίσω συμβατό).

Ανήκει στην κατηγορία των πρωτοκόλλων Διανύσματος απόστασης (Distance Vector), και είναι βελτιστοποιημένο αφ' ενός προς την ελαχιστοποίηση της αστάθειας που προκύπτει όταν αλλάξει η τοπολογία ενός δικτύου, αφ' ετέρου προς την βέλτιστη αξιοποίηση του εύρους ζώνης και της επεξεργαστικής ισχύος του δρομολογητή.

Οι περισσότερες από αυτές τις δυνατότητες αποτελούν μέρος του αλγόριθμου DUAL, ο οποίος αναπτύχθηκε από το Ινστιτούτο SRI International. Ο αλγόριθμος DUAL εγγυάται την αποτροπή βρόχων στη δρομολόγηση, και την ταχεία εύρεση εναλλακτικών δρομολογίων, τηρώντας αναπληρωματικά δρομολόγια για κάθε δίκτυο.

Το πρωτόκολλο EIGRP ρυθμίζει την ανταλλαγή δρομολογίων, αφού πρώτα επιτευχθεί η άμεση γειτονία μεταξύ δύο τουλάχιστον router. Αυτή την γειτνίαση την αναπτύσσει μέσω των μηνυμάτων του Hello protocol, τα οποία ανταλλάσσονται ανά τακτά διαστήματα τα οποία ορίζονται από τους χρόνους ανταλλαγής αυτών των πακέτων. Οι τεχνικές και οι πληροφορίες του IGRP ισχύουν κατά τη χρήση του EIGRP, αλλά η χρήση του EIGRP είναι πιο αποτελεσματική.

Τα δίκτυα υπολογιστών που συνδέονται με το πρωτόκολλο EIGRP είναι πιο αναπτυγμένα δομικά.

Οι διαφορές μεταξύ του EIGRP και του IGRP είναι:

- Συμβατικότητα
- Metric
- Hop Count
- Αναδόμηση του πρωτοκόλλου
- Route tagging

Έτσι λοιπόν μπορούμε να αναφέρουμε πιο αναλυτικά λίγα στοιχεία για τις σημαντικότερες διαφορές μεταξύ των δυο πρωτοκόλλων.

Το EIGRP υποστηρίζει multiprotocols ενώ το IGRP όχι. Αυτή η λειτουργία στηρίζεται στο γεγονός ότι το EIGRP πρωτόκολλο δεν διακινεί τα πακέτα μέσω του TCP, αλλά μέσω μιας δικιάς του σουίτας του, την RTP.

Το metric του EIGRP έχει άμεση σχέση με το metric του IGRP και είναι κατά 256 φορές υποπολλαπλασία του. Με αυτόν τον τρόπο η επικοινωνία μεταξύ των router που υποστηρίζουν EIGRP και αυτών που υποστηρίζουν IGRP είναι άμεση και ταχύτερη. Η παραπάνω σχέση που αναφέραμε πηγάζει από το γεγονός ότι το metric του EIGRP είναι 32bit long, ενώ του IGRP metric είναι 24bit long.

Το hop count του IGRP είναι 255 ενώ του EIGRP είναι 224. Αρκετά μεγάλος αριθμός που του δίνει την δυνατότητα να εφαρμόζεται και σε πολύ μεγάλα δίκτυα υπολογιστών.

Το EIGRP και το IGRP ανταλλάσσουν πληροφορίες, όμως όταν εφαρμόζονται πάνω στα ίδια Autonomous Systems (AS).

Το EIGRP μαρκάρει όλους τους routers, που μαθαίνει από το Autonomous System που ανήκει, σαν external, ακόμα και τους IGRP router. Το IGRP δεν μπορεί να κάνει αυτόν τον διαχωρισμό. Έτσι λοιπόν κατά τη διαδικασία καταχώρησης των γνωστών router και των Segment (περιοχές δικτύου) που κάνει στο routing table το EIGRP, μαρκάρει με το flag "D" όλους τους EIGRP Router, ενώ με το flag "EX" τους external. Άρα μια καταχώρηση από το routing table της μορφής D EX 192.168.0.0 ..., σημαίνει ότι αυτός ο router είναι EIGRP και external.

Το EIGRP κάνει τις καταχωρήσεις για το υπόλοιπο δίκτυο και την δομή του, σε τρεις λίστες (tables).

Neighbor Table

Topology Table

Routing Table

Τα tables αυτά, το πρωτόκολλο EIGRP, τα καταχωρεί στην μνήμη RAM του router ώστε να μπορεί να έχει γρήγορη και άμεση πρόσβαση σε αυτά.

2.5 OSPF (Open Shortest Path First)

Το open shortest path first (OSPF) είναι ένα ιεραρχικό πρωτόκολλο δρομολόγησης εσωτερικών πυλών (interior gateway protocol (IGP)) με βάση την κατάσταση της σύνδεσης (link-state), για δρομολόγηση σε δίκτυα υπολογιστών. Ο αλγόριθμος του Dijkstra, που εφαρμόζεται για να υπολογιστεί το δέντρο ελάχιστης διαδρομής (shortest path tree), χρησιμοποιεί το κόστος σαν μέτρο για την δρομολόγηση. Κατασκευάζεται μια βάση δεδομένων κατάστασης συνδέσεων της τοπολογίας του δικτύου η οποία είναι η ίδια για όλους τους δρομολογητές.

Το OSPF είναι πιθανώς το πιο διαδεδομένο πρωτόκολλο εσωτερικών πυλών (IGP) σε μεγάλα δίκτυα. Μπορεί να λειτουργήσει με ασφάλεια, χρησιμοποιώντας MD5 για να πιστοποιήσει τους ομότιμους του πριν σχηματίσει γειτνιάσεις και πριν αποδεχτεί διαφημίσεις κατάστασης σύνδεσης (link-state advertisement). Είναι η συνέχεια του RIP, το οποίο είναι ένα πρωτόκολλο που υποστήριζε εξ αρχής διευθυνσιοδότηση χωρίς κλάσεις. Μια νεότερη έκδοση του OSPF, (η OSPFv3), υποστηρίζει επίσης και το IPv6. Επεκτάσεις πολυεκπομπής για το OSPF, όπως τα πρωτόκολλα multipoint open shortest path first (MOSPF) έχουν μεν οριστεί, αλλά δεν χρησιμοποιούνται ευρέως προς το παρόν. Το OSPF μπορεί να βάλει «ετικέτες» στις διαδρομές και να τις μεταδώσει και αυτές μαζί με τις διαδρομές.

Περιοχή Κορμού (backbone area)

Η περιοχή κορμού (επίσης γνωστή και ως περιοχή μηδέν) σχηματίζει τον πυρήνα ενός δικτύου που στηρίζεται στον OSPF. Όλες οι υπόλοιπες περιοχές συνδέονται σε αυτή και η δια-περιοχιακή δρομολόγηση (inter-area routing) γίνεται μέσω ενός δρομολογητή που βρίσκεται στην περιοχή κορμού.

Σημείωση: Όλες οι περιοχές του OSPF θα πρέπει να συνδέονται με την περιοχή κορμού.

Περιοχή στελεχών (Stub Area)

Μια περιοχή στελεχών είναι μια περιοχή η οποία δεν λαμβάνει εξωτερικές διαδρομές (external routes). Οι εξωτερικές διαδρομές ορίζονται ως οι διαδρομές που διανέμονται στο OSPF από ένα άλλο πρωτόκολλο δρομολόγησης. Επομένως οι περιοχές στελεχών, τυπικά, στηρίζονται σε μια προεπιλεγμένη διαδρομή για να στέλνουν την κίνηση σε διαδρομές έξω από την παρούσα περιοχή.

Πλήρως «στελεχωμένη» περιοχή (Totally stubby area – TSA)

Μια πλήρως στελεχωμένη περιοχή είναι παρόμοια με μια περιοχή στελεχών, εντούτοις αυτή η περιοχή δεν επιτρέπει διαδρομές συνοψισμού (summary routes) επιπρόσθετα στις εξωτερικές διαδρομές, αυτό σημαίνει, ότι δια-περιοχιακές διαδρομές δεν συνοψίζονται σε αυτές τις περιοχές. Ο μόνος τρόπος για να δρομολογηθεί η κίνηση έξω από την περιοχή είναι μια προεπιλεγμένη διαδρομή, η οποία είναι και η μόνη Τύπου-3 LSA (Type-3 LSA) που διαφημίζεται στην περιοχή. Όταν υπάρχει μόνο μια διαδρομή έξω από τη περιοχή, λιγότερες αποφάσεις δρομολόγησης πρέπει να ληφθούν από τον επεξεργαστή διαδρομών, γεγονός που μειώνει την χρησιμοποίηση των πόρων του συστήματος.

Όχι-τόσο-στελεχωμένη Περιοχή (Not-so-stubby area – NSSA)

Μια όχι-τόσο-στελεχωμένη περιοχή είναι ένας τύπος περιοχής στελεχών η οποία μπορεί να εισαγάγει διαδρομές από αυτόνομα συστήματα (Autonomous System - AS) και να τις στείλει στην περιοχή κορμού, αλλά δεν μπορεί να λάβει εξωτερικές διαδρομές από την περιοχή κορμού ή άλλες περιοχές. Η Cisco επίσης εφαρμόζει μια ιδιόκτητη έκδοση του NSSA η οποία ονομάζεται NSSA πλήρως στελεχωμένη περιοχή. Κληρονομεί τις ιδιότητες μιας πλήρως στελεχωμένης περιοχής, εννοώντας ότι οι συνοπτικές διαδρομές τύπου 3 και 4 δεν κατακλύζουν μια περιοχή αυτού του τύπου.

Τύποι Δρομολογητών του OSPF

Το OSPF ορίζει διάφορους τύπους δρομολογητών. Αυτοί είναι λογικοί ορισμοί, ένας δρομολογητής που χρησιμοποιεί το OSPF μπορεί να είναι ταξινομημένος σε περισσότερους από τους τύπους που ακολουθούν. Για παράδειγμα, ένας δρομολογητής, ο οποίος είναι συνδεδεμένος σε πάνω από μια περιοχές και λαμβάνει διαδρομές από μια διεργασία BGP που είναι συνδεδεμένη σε ένα άλλο ΑΣ (Αυτόνομο Σύστημα), είναι και ABR (Area Border Router) και ASBR (Autonomous System Boundary Router).

Δρομολογητής Ορίων Περιοχής (Area Border Router – ABR)

Ένας δρομολογητής ορίων περιοχής (ABR) είναι ένας δρομολογητής ο οποίος συνδέει μια ή περισσότερες περιοχές OSPF στο κυρίως δίκτυο κορμού. Λειτουργεί σαν μέλος σε όλες τις περιοχές που είναι συνδεδεμένος. Ένας ABR κρατάει πολλαπλά αντίγραφα της βάσης δεδομένων κατάστασης συνδέσμων (link-state database) στην μνήμη, ένα για κάθε περιοχή.

Δρομολογητής Ορίων Αυτόνομου Συστήματος (Autonomous System Boundary Router - ASBR)

Ένας δρομολογητής ορίων αυτόνομου συστήματος (ASBR) είναι ένας δρομολογητής ο οποίος είναι συνδεδεμένος σε περισσότερα από ένα ΑΣ (Αυτόνομο Σύστημα) και ανταλλάσσει πληροφορίες δρομολόγησης με δρομολογητές σε άλλα ΑΣ. Οι ASBR τυπικά τρέχουν και ένα μη-IGP (Interior Gateway Protocol), όπως το BGP (Border Gateway Protocol). Ένας ASBR χρησιμοποιείται για να διανέμει τις διαδρομές που δέχεται από το ένα ΑΣ σ' όλο το ΑΣ που ανήκει.

Εσωτερικός Δρομολογητής (Internal Router – IR)

Ένας δρομολογητής ονομάζεται εσωτερικός δρομολογητής (IR), αν έχει γείτονες μόνο δρομολογητές που ανήκουν στην ίδια περιοχή με αυτόν.

Δρομολογητής Κορμού (Backbone Router - BR)

Ένας δρομολογητής κορμού (BR) είναι ένας δρομολογητής που μια διεπαφή (interface) του είναι συνδεδεμένη με την περιοχή κορμού. Ένας ABR είναι ένας BR, το αντίθετο μπορεί και να μην ισχύει.

Ορισμένος Δρομολογητής (Designated Router - DR)

Ένας ορισμένος δρομολογητής (DR) είναι ένας δρομολογητής ο οποίος εκλέγεται από το δίκτυο με επιλογές σύμφωνα με τα παρακάτω (προεπιλεγμένα) κριτήρια:

Αν η προτεραιότητα σε έναν δρομολογητή OSPF είναι 0, αυτό σημαίνει πως αυτός ΠΟΤΕ δεν θα εκλεγεί σαν DR ή BDR

Όταν ένας DR παρουσιάσει μια βλάβη και αναλάβει ο BDR, διενεργούνται και άλλες εκλογές για να βρεθεί ο αντικαταστάτης BDR.

Ο δρομολογητής που στέλνει τα «πακέτα χαιρετισμού» ("Hello packets") με την μεγαλύτερη προτεραιότητα.

Αν δύο ή περισσότεροι δρομολογητές στέλνουν με την ίδια, ή μεγαλύτερη προτεραιότητα, τότε ο δρομολογητής που έχει το μεγαλύτερο RID (Router ID - ID Δρομολογητή) κερδίζει.

(Σημείωση) Το RID είναι η μεγαλύτερη λογική (loopback) διεύθυνση που έχει ρυθμιστεί σε έναν δρομολογητή, αν δεν έχει οριστεί καμία loopback/λογική διεύθυνση τότε ο δρομολογητής χρησιμοποιεί την μεγαλύτερη διεύθυνση IP που έχει οριστεί στις διεπαφές του. (π.χ. 192.168.0.1 θα ήταν μεγαλύτερη από την 10.1.1.2).

Συνήθως ο δρομολογητής με την δεύτερη μεγαλύτερη προτεραιότητα γίνεται BDR (Εφεδρικός Ορισμένος Δρομολογητής - Backup Designated Router).

Η προτεραιότητα παίρνει τιμές από 1 έως 255, όσο πιο μεγάλη η τιμή τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα να γίνει ένας δρομολογητής είτε DR είτε BDR.

Αν ένας δρομολογητής με ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ προτεραιότητα συνδεθεί ΜΕΤΑ από την εκλογή, δεν θα γίνει DR ή BDR μέχρι (τουλάχιστον) ο DR και BDR να πάθουν κάποια βλάβη.

Οι ορισμένοι δρομολογητές υπάρχουν με σκοπό να μειώνουν την κίνηση του δικτύου προσφέροντας την πηγή για τις ενημερώσεις της δρομολόγησης, ο DR διατηρεί ένα πλήρες πίνακα με την τοπολογία του δικτύου και στέλνει ενημερώσεις στους υπόλοιπους δρομολογητές μέσω πολυεκπομπής (multicast). Με αυτό τον τρόπο δεν χρειάζεται να ενημερώνουν όλοι οι δρομολογητές ο ένας τον άλλο συνεχώς, και μπορούν να παίρνουν τις ενημερώσεις του από μια πηγή. Η χρήση της πολυεκπομπής (multicasting) περαιτέρω μειώνει το φόρτο του δικτύου. Οι DR και BDR πάντα ρυθμίζονται/εκλέγονται σε δίκτυα εκπομπής (broadcast networks) όπως το Ethernet. Οι DR μπορούν επίσης να εκλεγούν σε NBMA (Non-broadcast Multi-Access) δίκτυα όπως Frame Relay. Οι DR και BDR δεν ρυθμίζουν τις point-to-point συνδέσεις (όπως μια point-to-point WAN σύνδεση) γιατί το εύρος ζώνης μεταξύ δύο host δεν μπορεί να βελτιστοποιηθεί περαιτέρω.

Εφεδρικός Ορισμένος Δρομολογητής (Backup Designated Router - BDR)

Ένας εφεδρικός ορισμένος δρομολογητής (BDR) είναι ένας δρομολογητής ο οποίος γίνεται ορισμένος δρομολογητής αν ο υπάρχων ορισμένος δρομολογητής παρουσιάσει κάποια βλάβη. Ο BDR είναι ο OSPF δρομολογητής με την δεύτερη μεγαλύτερη προτεραιότητα.

2.6 BGP (Open Shortest Path First)

Το Border Gateway Protocol (BGP) είναι το κεντρικό πρωτόκολλο δρομολόγησης του Διαδικτύου. Διατηρεί έναν πίνακα δικτύων IP ή «προθέματα» που ορίζουν την προσβασιμότητα του δικτύου μεταξύ των αυτόνομων συστημάτων (AS). Ανήκει στην κατηγορία των πρωτοκόλλων διανύσματος μονοπατιού και εκτελεί τη δρομολόγηση βασισμένο στο μονοπάτι, τις πολιτικές και τους κανόνες που ισχύουν στο δίκτυο.

Το BGP δημιουργήθηκε για να αντικαταστήσει το EGP και να επιτρέψει πλήρως την αποκεντρωμένη δρομολόγηση. Βασική του διαφορά με τον προγονό του είναι η ικανότητα του να ανιχνεύει βρόχους. Από το 1994 άρχισε να χρησιμοποιείται η 4^η έκδοση του πρωτοκόλλου και μετονομάστηκε σε BGP-4 προσθέτοντας στις λειτουργίες του το Classless Inter-Domain Routing (CIDR) και το Route Aggregation που μείωσαν σημαντικά την αποθηκευμένη πληροφορία στους πίνακες δρομολόγησης.

Οι χρήστες του internet δεν χρησιμοποιούν άμεσα το BGP. Ωστόσο, οι περισσότεροι πάροχοι internet (ISP) το χρησιμοποιούν για να επιτευχθεί η δρομολόγηση. Ένας άλλος λόγος που χρησιμοποιείται το BGP είναι για τη λειτουργία του multihoming του δικτύου ώστε τα σημεία πολλαπλής πρόσβασης να είναι περισσότερο χρόνο διαθέσιμα σε έναν παρόχο internet ή σε πολλαπλούς.

Το BGP σε Αυτόνομα Συστήματα

Ένα αυτόνομο σύστημα είναι μια συλλογή από δίκτυα συνήθως κάτω από κοινή διαχειριστική αρχή και με την ίδια πολιτική δρομολόγησης. Μέσα στο δίκτυο αυτό εφαρμόζονται ένα ή περισσότερα πρωτόκολλα δρομολόγησης IGP για την επικοινωνία μεταξύ των δρομολογητών. Βασική αρχή για τη διαχείριση ενός AS είναι ότι μοιάζει στα άλλα AS στο να έχει ένα συνεχή εσωτερικό σχέδιο δρομολόγησης και στο να παρουσιάζει μια συνεπή εικόνα σχετικά με το ποια δίκτυα είναι προσεγγίσιμα μέσω αυτού.

Ένα αυτόνομο σύστημα προσδιορίζεται από έναν 16bit μοναδικό αριθμό ASN (Autonomous System Number), η ανάθεση και ο έλεγχος του οποίου γίνονται από την IANA, Internet Assigned Numbers Authority. Σήμερα έχουν ανατεθεί περίπου 33000 αριθμοί ASN's στους RIR και περίπου 16000 είναι σε χρήση. Ωστόσο οι αριθμοί ASN εξαντλούνται λόγω της ολοένα και αυξανόμενης διεύρυνσης του διαδικτύου. Σύντομα οι αριθμοί αυτοί θα είναι μήκους 32bit για να αντιμετωπιστεί η μεγάλη ζήτηση. Η μετάβαση σε μεγαλύτερους αριθμούς προϋποθέτει βασικές αλλαγές σε πρωτόκολλα και σημαντικές βελτιώσεις όπως η ανίχνευση σχηματισμού βρόχων.

Μέρη του BGP

1 Ορίζουμε τους παρακάτω όρους του BGP:

BGP speaker : Ένα σύστημα που τρέχει στο BGP.

BGP neighbors: Ένα ζευγάρι από BGP speakers που ανταλλάσσουν πληροφορίες δρομολόγησης. Μπορεί να είναι δύο τύπων:

Εσωτερικοί: Είναι ένα ζευγάρι BGP speakers στο ίδιο αυτόνομο σύστημα. Οι εσωτερικοί BGP γείτονες πρέπει να παρουσιάζουν μια συνεπή εικόνα του AS στους εξωτερικούς γείτονες.

Εξωτερικοί: Είναι ένα ζευγάρι BGP γειτόνων σε διαφορετικά αυτόνομα συστήματα (AS's).

BGP session: Είναι ένα TCP session μεταξύ BGP γειτόνων που ανταλλάσσουν πληροφορίες δρομολόγησης χρησιμοποιώντας το BGP στο port 179. Οι γείτονες ελέγχουν την κατάσταση του session στέλνοντας τακτικά *keepalive* 19-byte μηνύματα. (Το προτεινόμενο χρονικό διάστημα είναι 30 δευτερόλεπτα.)

AS border router (ASBR): Ένα router που έχει σύνδεση σε πολλαπλά αυτόνομα συστήματα. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες.

Εσωτερικοί: Ένα router που βρίσκεται στο επόμενο hop του ίδιου AS με τον BGP speaker.

Εξωτερικοί: Ένα router του επόμενου hop που βρίσκεται σε διαφορετικό AS απ' τον BGP speaker.

AS connection: Το BGP ορίζει δύο τύπους συνδέσεων μεταξύ των AS.

Physical connection: Ένα AS μοιράζεται

Κατά τη διάρκεια του OPEN handshake, ο BGP ομιλητής μπορεί να διαπραγματευθεί προαιρετικές δυνατότητες του session, συμπεριλαμβανομένων επεκτάσεων του πρωτοκόλλου και διαφόρων λειτουργιών ανάνηψης.

Λειτουργία του BGP

Αρχικά οι δρομολογητές ανταλλάσσουν ολόκληρο τον BGP πίνακα δρομολόγησης που έχει ο καθένας, ενημερώνει δηλαδή τον άλλον για τα δίκτυα που μπορούν να προσεγγιστούν μέσω αυτού. Σταδιακές ενημερώσεις στέλνονται σε κάθε αλλαγή του πίνακα δρομολόγησης. Αντίθετα με άλλα πρωτόκολλα δεν γίνεται περιοδική αποστολή όλου του πίνακα. Οι BGP δρομολογητές κρατάνε την πιο ενημερωμένη έκδοση του πίνακα δρομολόγησης του κάθε ομότιμου. Κρατάνε έναν αριθμό έκδοσης του πίνακα ο οποίος πρέπει να είναι ο ίδιος για όλους τους ομότιμους.

Η έκδοση αλλάζει οποτεδήποτε γίνεται ενημέρωση του πίνακα. Ο ρυθμός και ο τρόπος αύξησης του είναι ένδειξη για τη σταθερότητα του δικτύου. Σε ένα πολύ σταθερό δίκτυο πολύ λίγη κίνηση εκτός των KeepAlive μηνυμάτων πρέπει να παρατηρείται.

Παρότι κρατούνται στον πίνακα δρομολόγησης του πρωτοκόλλου όλες οι πιθανές διαδρομές προς ένα προορισμό, μόνο η βέλτιστη και μόνο αυτή προωθείται στον πίνακα προώθησης και διαφημίζεται προς τους άλλους δρομολογητές.

Υπάρχει μόνο μία βέλτιστη διαδρομή για ένα προορισμό και αυτή μπορεί να μην είναι αυτή που εγκαθίσταται στην RIB/FIB. Υπολογίζονται οι βέλτιστες διαδρομές σε σχέση με τις ενημερώσεις και όχι τη συνολική κατάσταση όπως συμβαίνει στο OSPF ή το IS-IS με τους srf υπολογισμούς. Ανταλλάσσεται πληροφορία σχετικά με την προσιτότητα δικτύων, όπου κυρίως είναι μια ένδειξη των AS που πρέπει να ακολουθηθούν για κάποιο προορισμό. Αυτή η πληροφορία θα χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ενός γράφου με όλα τα AS η οποία δεν έχει βρόχους και μπορεί να εφαρμοστεί κάποια τακτική (policy) ώστε να επηρεαστεί η δρομολόγηση.

Μηχανή Πεπερασμένων Καταστάσεων (FSM)

Ορίζεται μία μηχανή καταστάσεων σχετικά με την ίδρυση, τη διατήρηση και την κατάργηση των BGP συνόδων. Αυτή είναι ένα μοντέλο μιας μηχανής που ορίζονται καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί η μηχανή. Γεγονότα όπως μετρητές χρόνου ή εξωτερικοί είσοδοι προκαλούν μεταβάσεις ανάμεσα στις καταστάσεις

Αρχικά η κατάσταση του δικτύου είναι η Idle. Δημιουργείται ανάμεσα στους BGP γείτονες μια TCP σύνδεση στην θύρα 179 (πρέπει να υπάρχει IP συνδεσιμότητα προφανώς είτε λόγω κατευθείαν φυσικής σύνδεσης είτε μέσω κάποιου IGP πρωτοκόλλου). Αυτό εξασφαλίζει την αξιόπιστη επικοινωνία. Περισσότερα του ενός BGP μηνύματα μπορούν να σταλούν στο ίδιο TCP τμήμα. Οι συνομιλούντες δρομολογητές στέλνουν μηνύματα Open ο ένας στο άλλον δίνοντας την ταυτότητα τους, ώστε να αρχικοποιήσουν και να επιβεβαιώσουν τις παραμέτρους σύνδεσης και μεταβαίνουν στην κατάσταση OpenSend.

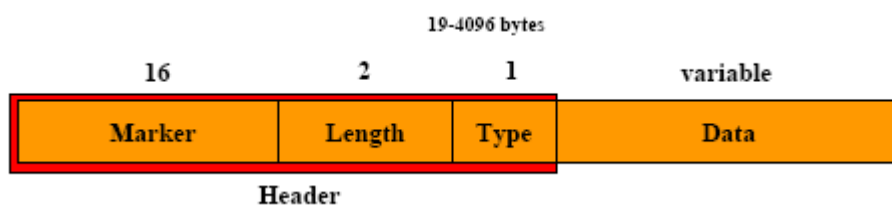
Όταν κάποιος λάβει το Open μήνυμα μεταβαίνει στην κατάσταση OpenConfirm.

Ακολουθεί επεξεργασία των περιεχομένων του Open μηνύματος και αν κάποιος από τους δύο διαφωνήσει στέλνει πίσω ένα Notification μήνυμα εξηγώντας τους λόγους και η σύνοδος τερματίζεται - κατάσταση Idle. Αν δεχτεί τη σύνδεση στέλνει πίσω ένα KeepAlive μήνυμα και μεταβαίνει στην κατάσταση Established. Σε αυτή την κατάσταση λέμε ότι η BGP σύνοδος είναι ανοικτή και οι δύο ομότιμοι μπορούν να ανταλλάξουν μηνύματα Update, KeepAlive, Notification. Οι δύο συνομιλούντες δρομολογητές ονομάζονται τότε ομότιμοι (peers) ή και γείτονες. Οι ομότιμοι πρέπει να οριστούν από την αρχή και αυτό είναι θετικό.

Αν ένα λάθος συμβεί ενώ η σύνδεση είναι ανοικτή ο δρομολογητής στέλνει ένα Notification μήνυμα διευκρινίζοντας το λάθος και τερματίζει την TCP σύνδεση και μεταβαίνει στην Idle κατάσταση. Το ίδιο θα συμβεί αν διακοπεί η φυσική σύνδεση, οπότε τα KeepAlive μηνύματα ή/και η TCP σύνδεση θα εκπνεύσουν. Σε αυτή την κατάσταση ο δρομολογητής σταματά να χρησιμοποιεί όλη την πληροφορία δρομολόγησης που έμαθε από τον ομότιμο του.

1. Όλες οι εγγραφές που έγιναν γνωστές από αυτόν σημαδεύονται σαν μην έγκυρες.
2. Αποσύρονται οι συγκεκριμένες εγγραφές από όλους τους ομότιμους.
3. Διαγράφονται από τον πίνακα.

Μηνύματα



Marker

Περιέχει μια τιμή την οποία ο δέκτης του μηνύματος μπορεί να προβλέψει. Αν το μήνυμα είναι τύπου Open ή αν το Open δεν μεταφέρει πληροφορία αυθεντικοποίησης έχει την τιμή FF, διαφορετικά έχει μια τιμή που μπορεί να υπολογιστεί συναρτήσει της αυθεντικοποίησης που ορίζεται.

Μπορεί να χρησιμεύει για την ανίχνευση απώλειας συγχρονισμού ανάμεσα στους ομοτίμους όπως και στο συγχρονισμό όταν περισσότερα από ένα μηνύματα περιέχονται στο ίδιο TCP segment αλλά και για την αυθεντικοποίηση των εισερχομένων μηνυμάτων.

Length

Το συνολικό μήκος του μηνύματος σε byte. Έτσι μπορούμε να βρούμε το επόμενο μήνυμα σε ένα TCP πακέτο που περιέχει πολλά μηνύματα.

Type

- Ο τύπος του μηνύματος
- Ορίζονται στην RFC1163 τέσσερις τύποι μηνυμάτων

1-Open Ίδρυση μια ομότιμης συνόδου

2-Update Αναγγελία ή απόρριψη διαδρομών

3-Notification Κατάργηση ομότιμης συνόδου

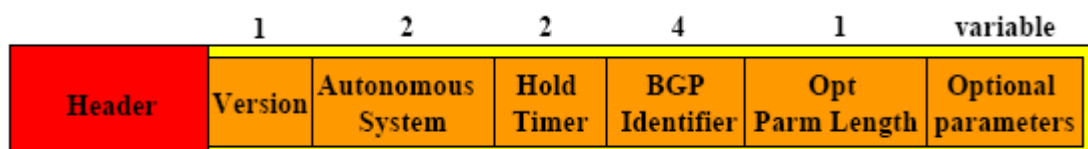
4-KeepAlive Χειραψία σε τακτά διαστήματα

OPEN μήνυμα.

Ανοίγει μια BGP σύνοδο μεταξύ ομοτίμων.

Επιτρέπει στον κάθε ομότιμο να προσδιοριστεί στον άλλον και να συμφωνήσει-διαπραγματευτεί για διάφορες παραμέτρους όπως οι μετρητές χρόνου.

Η επιβεβαίωση τους γίνεται με Keeralive μήνυμα και είναι απαραίτητη για να αρχίσει η ανταλλαγή των ενημερώσεων.



Version

Η έκδοση του BGP πρωτοκόλλου, οι δύο συνομιλητές πρέπει να τρέχουν την ίδια έκδοση του πρωτοκόλλου, εξ'ορισμού το BGP-4.

Autonomous System

Ο αριθμός του AS στο οποίο ανήκει ο αποστολέας

Hold time

Ο ανώτερος χρόνος σε δευτερόλεπτα που ο αποστολέας προτείνει ότι μπορεί να περάσει χωρίς τη λήψη μηνυμάτων Update ή KeepAlive, εξ'ορισμού τα 180', ελάχιστος τα 3', μπορεί να πάρει και την τιμή 0.

Μετά την πάροδο του διαστήματος, ο ομότιμος θεωρείται εκτός λειτουργίας.

Με τη λήψη του Open μηνύματος ο δέκτης θέτει σαν HoldTime την μικρότερη από τις δύο τιμές.

BGP Identifier

Ταυτότητα του αποστολέα BGP δρομολογητή, συνήθως είναι ίδια με την RID, Router Identifier.

Optional Parameter Length

Είναι 0 αν δεν υπάρχουν προαιρετικές παράμετροι.

UPDATE μήνυμα.

Μεταφέρουν πληροφορία δρομολόγησης μεταξύ των ομοτίμων. Μπορούν να ανακοινώσουν ή να απορρίψουν πληροφορία δρομολόγησης. Η ανακοίνωση είναι μια λίστα με προθέματα και μία σειρά από ιδιότητες για αυτά τα προθέματα.

Ένα μήνυμα Update μπορεί να ανακοινώσει διαδρομές που να έχουν πολλές ιδιότητες, να αποσύρει πολλές διαδρομές ή και τα δύο.

Το πρόθεμα είναι το τμήμα της IP διεύθυνσης που δηλώνει το δίκτυο ακολουθούμενο από / και έναν αριθμό 0 ως 32.

Κάθε πρόθεμα αναπαριστά ένα δίκτυο που μπορεί να προσεγγιστεί μέσω της IP διεύθυνσης που δίνεται στην ιδιότητα NextHop.

Η πληροφορία που περιέχεται χρησιμοποιείται για την κατασκευή ενός γράφου που περιγράφει τη σχέση ανάμεσα στα διάφορα AS.

	2	variable	2	variable	variable
Header	Withdrawn Routes Length	Withdrawn Routes	Total Path Attribute Length	Path Attribute	Network Layer Reachability Information

Withdrawn Routes Length

Μήκος του πεδίου με τις απορριφθέντες διαδρομές, 0 σημαίνει ότι δεν υπάρχουν Withdrawn Routes

2-tuple προθέματα διαδρομών που απορρίπτονται , σε μορφή <length, prefix>.

Total Path Attribute Length

Συνολικό μήκος των ιδιοτήτων των διαδρομών, 0 σημαίνει ότι δεν υπάρχουν NLRI Path Attributes.

Ιδιότητες των διαδρομών, παρουσιάζονται σαν μεταβλητού μήκους TLV, type-lengthvalue

NLRI, Network Layer Reachability Information

- 2-tuple προθέματα <length, prefix>
- Περιλαμβάνουν μία διεύθυνση και μία μάσκα (10.26.122.0/24)

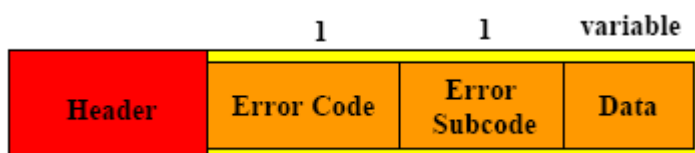
NOTIFICATION μήνυμα.

Χρησιμοποιούνται για να κλείσουν μια ενεργή σύνοδο και να πληροφορήσουν τους συνεδμεμένους δρομολογητές για το λόγο.

Στέλνονται όταν μια κατάσταση λάθους ανιχνευθεί ή και όταν μία σύνοδος τερματιστεί από το διαχειριστή με την κατάλληλη εντολή.

Η TCP σύνδεση τερματίζεται αμέσως μετά την αποστολή ή λήψη του μηνύματος.

Να παρατηρήσουμε ότι μια BGP σύνοδος είναι πολύ ευαίσθητη σε λάθη που μπορεί να συμβούν.



Error Code

1-Message Header Error

Πρόβλημα στην επικεφαλίδα του μηνύματος, όπως μη αποδεκτό μήκος μηνύματος, AS αριθμός, πεδίο marker, πεδίο type.

2-OPEN Message Error

Πρόβλημα με το open μήνυμα, όπως μη υποστηριζόμενη έκδοση πρωτοκόλλου, λάθος στη λίστα με τις ιδιότητες ή μη αποδεκτό next-hop.

3-UPDATE Message Error

Πρόβλημα με το Update μήνυμα.

4-Hold Timer Expired

Ο μετρητής HoldTime εξέπνευσε.

5-Finite State Machine Error

Οποιοδήποτε λάθος στη μηχανή καταστάσεων του BGP.

6-Cease

Ένας ομότιμος μπορεί να επιλέξει, χωρίς να υπάρχουν λάθη, να κλείσει την BGP σύνοδο (για παράδειγμα από τη διαχείριση).

Error subcode

Περισσότερες λεπτομέρειες για το σφάλμα

Κάθε Error Code μπορεί να έχει ένα ή περισσότερα σχετικά Error Subcodes

Αν δεν έχει οριστεί αυτό το πεδίο, χρησιμοποιείται το 0

Error data

Προαιρετικά δεδομένα σχετικά με το σφάλμα.

Χρησιμοποιείται για τη διάγνωση της αιτίας για το Notification μήνυμα.

Τα περιεχόμενα εξαρτώνται από τα πεδία Error Code και Error Subcode.

KEEPALIVE μήνυμα.



Στέλνονται για να αποτρέψουν την εκπνοή του αντίστοιχου μετρητή χρόνου (hold-time).

Στέλνονται αρκετά συχνά από 1 ως 21845'.

Στέλνονται στο 1/3 του χρόνου Hold Time, εξ'ορισμού τιμή τα 60'.

Αν η παράμετρος HoldTime έχει τεθεί σε 0, τότε μηνύματα KeepAlive δεν στέλνονται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΒΑΣΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

3.1 Cluster Based Routing Protocol

Αν έχουμε ασύρματα δίκτυα πολλές φορές χρησιμοποιούμε πρωτόκολλα και αλγόριθμους που χειρίζονται τους κόμβους ανά ομάδες (clusters). Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι έχουμε cluster based πρωτόκολλα.

Στα cluster based πρωτόκολλα οι κόμβοι του δικτύου είναι χωρισμένοι σε ομάδες-clusters. Η μορφή του cluster που χρησιμοποιείται γίνεται συνήθως μέσω του επόμενου αλγόριθμου:

Όταν εμφανίζεται ένας κόμβος, βρίσκεται σε κατάσταση αμφιβολίας, ξεκινάει έναν χρονομετρητή και μεταδίδει ένα μήνυμα Hello. Όταν ο επικεφαλής cluster λαμβάνει αυτό το μήνυμα ανταποκρίνεται με ένα αυτόματο μήνυμα hello.

Όταν ο μη-καθορισμένος κόμβος δέχεται αυτό το μήνυμα από τον επικεφαλή cluster, καθορίζει το καθεστώς του ως «μέλος». Στη περίπτωση που ο χρόνος αναμονής του μη-καθορισμένου κόμβου λήξει, μετατρέπεται σε επικεφαλής cluster εάν διαθέτει διπλής κατεύθυνσης link προς κάποιον γείτονα, αλλιώς παραμένει σε μη-καθορισμένο καθεστώς και επαναλαμβάνει την διαδικασία.

Οι επικεφαλείς cluster αλλάζουν όσο γίνεται σπανιότερα.

Ο κάθε κόμβος περιέχει έναν πίνακα γειτόνων. Για κάθε γείτονα, ο πίνακας γειτόνων περιέχει το καθεστώς της σύνδεσης (εάν είναι μιας ή δύο κατευθύνσεων) και το επίπεδο των γειτόνων (εάν είναι επικεφαλής cluster ή εάν αποτελούν μέλη).

Ο επικεφαλής cluster συλλέγει πληροφορίες για τα μέλη του cluster του και επιπλέον διατηρεί και έναν πίνακα γειτονικών cluster, ο οποίος περιέχει πληροφορίες για τους γειτονικούς cluster. Για κάθε γειτονικό cluster, ο πίνακας αυτός έχει μια εγγραφή που περιέχει το δρομολόγιο με το οποίο ο cluster αυτός μπορεί να εντοπιστεί αλλά και τον επικεφαλής της συγκεκριμένης ομάδας.

Όταν μια πηγή θέλει να στείλει δεδομένα σε κάποιον προορισμό, μεταδίδει αίτημα δρομολόγησης. Λαμβάνοντας την απαίτηση αυτή ο επικεφαλής cluster ελέγχει για να δει εάν ο προορισμός βρίσκεται στην περιοχή του cluster του. Εάν όντως ο προορισμός βρίσκεται μέσα στην περιοχή του, στέλνει την απαίτηση κατευθείαν στον προορισμό που του ζητήθηκε. Στην αντίθετη περίπτωση στέλνει την απαίτηση σε όλους τους διπλανούς του επικεφαλής cluster.

Όταν ο προορισμός λαμβάνει το αίτημα δρομολόγησης, απαντάει πίσω με την διαδρομή που καταγράφηκε μέσα στο πακέτο της απαίτησης. Εάν η πηγή δεν λάβει μια απάντηση μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, στέλνει μια απαίτηση διαδρομής μετά από κάποιο χρονικό διάστημα.

Στα Cluster based πρωτόκολλα η δρομολόγηση πραγματοποιείται με την χρησιμοποίηση της δρομολόγησης της συντομότερης διαδρομής. Δηλαδή, λαμβάνοντας ένα αίτημα δρομολόγησης, ο κόμβος προσπαθεί να βρει τον πιο κοντινό κόμβο στην διαδρομή και στέλνει το πακέτο σ' αυτόν τον κόμβο, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην μείωση της διαδρομής.

Κατά την προώθηση του πακέτου, εάν ένας κόμβος παρατηρήσει την ύπαρξη μίας σπασμένης σύνδεσης, στέλνει ένα μήνυμα σφάλματος στην πηγή και στη συνέχεια χρησιμοποιεί έναν μηχανισμό τοπικής επιδιόρθωσης της σύνδεσης. Σύμφωνα με τον μηχανισμό αυτόν, όταν ένας κόμβος βρει πως ο επόμενος κόμβος δεν μπορεί να εντοπιστεί, ελέγχει για να δει εάν ο επόμενος κόμβος μπορεί να εντοπιστεί μέσω ενός από τους γείτονες του. Εάν λειτουργήσει ένας από τους δύο τρόπους, το πακέτο θα σταλεί μέσω του διορθωμένου μονοπατιού.

3.2 Global State Routing Πρωτόκολλο (GSR)

Το πρωτόκολλο Global-State Routing (GSR) είναι ένα πρωτόκολλο που ουσιαστικά λειτουργεί με βάση την ιδέα του link state routing. Όμως βελτιώνει πολύ την συμπεριφορά με το να αποφεύγει το καταιγισμό από μηνύματα δρομολόγησης.

Σε αυτόν τον αλγόριθμο, ο κάθε κόμβος περιέχει τα εξής στοιχεία: μια λίστα Γειτόνων, έναν πίνακα Τοπολογιών, έναν Next Hop πίνακα και τέλος έναν πίνακα Απόστασης.

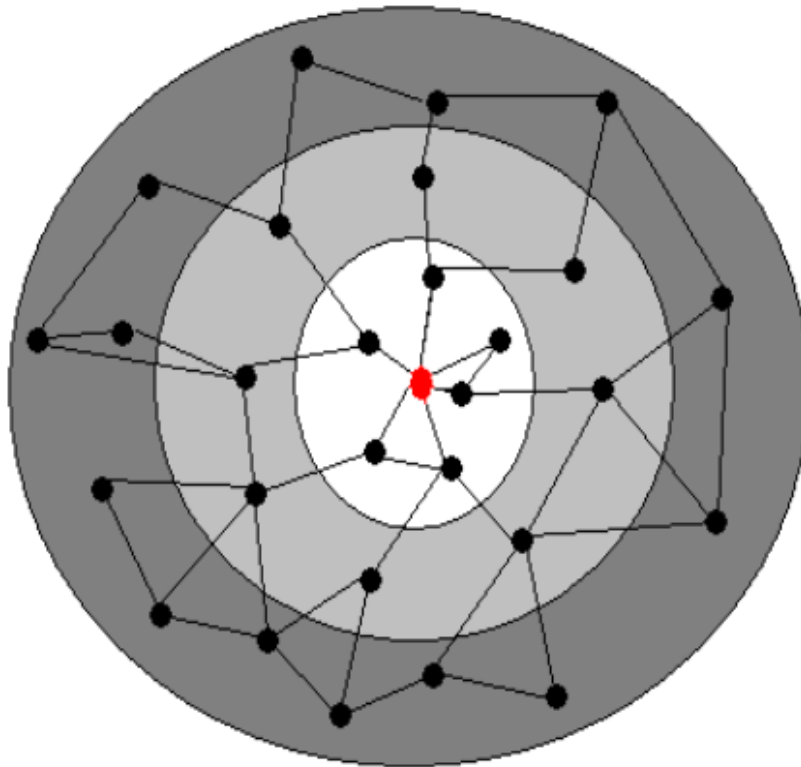
Η λίστα των Γειτόνων περιέχει την λίστα με όλους τους γειτονικούς κόμβους ,με την διαφορά ότι όσοι κόμβοι μπορούν να ακουστούν από έναν κόμβο υποτίθεται ότι είναι και γείτονες του. Για κάθε κόμβο προορισμού, ο πίνακας τοπολογιών περιέχει πληροφορίες για την κατάσταση των γραμμών όπως αναφέρεται από τον προορισμό και την χρονοσφραγίδα της πληροφορίας. Για κάθε προορισμό, ο πίνακας Next Hop περιέχει τον επόμενο κόμβο στον οποίο τα πακέτα πρέπει να προωθηθούν. Ο πίνακας της Απόστασης περιέχει την κοντινότερη απόσταση για κάθε κόμβο προορισμού.

Τα μηνύματα δρομολόγησης παράγονται με την αλλαγή μιας σύνδεσης όπως ακριβώς και στα πρωτόκολλα link state. Όταν παραλαμβάνει ένα μήνυμα δρομολόγησης, ο κόμβος αναβαθμίζει τον πίνακα Τοπολογιών του στην περίπτωση που ο σειριακός αριθμός του μηνύματος είναι πιο πρόσφατος από τον αντίστοιχο αριθμό που είναι αποθηκευμένος στον πίνακα. Μετά από αυτήν την κατάσταση ο κόμβος επαναπροσδιορίζει τον πίνακα δρομολόγησης του και μεταδίδει την πληροφορία στους γειτονικούς του κόμβους

3.3 Fisheye State Routing protocol

Το πρωτόκολλο Fisheye State Routing (FSR) αποτελεί μια διόρθωση του πρωτοκόλλου GSR. Το μεγάλο μέγεθος των μηνυμάτων αναβαθμίσεως στα πρωτόκολλα GSR σπαταλά μια αρκετά μεγάλη ποσότητα από το bandwidth του δικτύου.

Στα πρωτόκολλα FSR, κάθε μήνυμα αναβάθμισης δεν περιέχει πληροφορίες για όλους τους κόμβους. Αντιθέτως, ανταλλάσσει πληροφορίες για κοντινότερους κόμβους πολύ συχνότερα από ότι ανταλλάσσει για πιο μακρινούς κόμβους με αποτέλεσμα να μειώνεται το μέγεθος του μηνύματος αναβάθμισης. Με αυτόν τον τρόπο κάθε κόμβος αποκτά ακριβή πληροφόρηση για τους γείτονες του και αυτή η ακρίβεια στην πληροφόρηση μειώνεται καθώς η απόσταση από τον συγκεκριμένο κόμβο μεγαλώνει. Στο παρακάτω παρουσιάζεται τα πρωτόκολλο FSR. Ο scope καθορίζεται σύμφωνα με τους κόμβους που μπορούν να έρθουν σε επαφή σε έναν συγκεκριμένο αριθμό βημάτων (hops). Ο κεντρικός κόμβος κατέχει την πιο ακριβή πληροφόρηση για όλους τους κόμβους που βρίσκονται στον άσπρο κύκλο του σχήματος και αυτό συνεχίζεται και στους υπόλοιπους κύκλους.

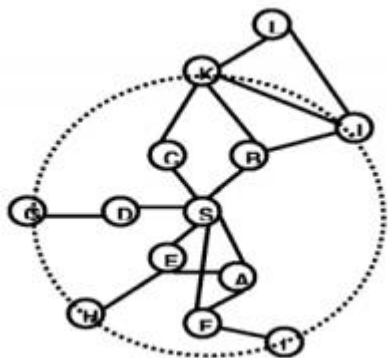


ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΣΕ ΕΝΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ FSR

Αν και στα πρωτόκολλα FSR ένας κόμβος δεν έχει ακριβή πληροφόρηση για τους απομακρυσμένους κόμβους, τα πακέτα δρομολογούνται επακριβώς γιατί η πληροφόρηση του μονοπατιού γίνεται ολοένα και πιο ακριβής καθώς το πακέτο πλησιάζει στον προορισμό.

3.4 Zone Routing Protocol

Το ZRP είναι ένα υβριδικό reactive/proactive πρωτοκόλλου το οποίο βασίζει την λειτουργία του σε μία παράμετρο που ονομάζεται ζώνη δρομολόγησης ή απλά ζώνη (Routing Zone). Μία ζώνη (ακτίνας ρ) καθορίζεται για κάθε κόμβο και περιλαμβάνει όλους τους κόμβους για τους οποίους η απόσταση (σε αριθμό hops) από τον κόμβο που εξετάζεται είναι το πολύ ρ hops. Ένα παράδειγμα μιας ζώνης των δύο hops απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Στο ZRP κάθε κόμβος διατηρεί πληροφορίες δρομολόγησης μόνο για τους κόμβους που ανήκουν στην ζώνη του. Με αυτόν τον τρόπο τα πακέτα ενημέρωσης περιορίζονται σε τοπικό επίπεδο και η επιβάρυνση στο διαθέσιμο εύρος ζώνης λόγω ανταλλαγής πληροφοριών ελέγχου δεν εξαρτάται από τον αριθμό των κόμβων που απαρτίζουν το δίκτυο (ο οποίος μπορεί να είναι αρκετά μεγάλος). Κάθε κόμβος διατηρεί τις απαραίτητες πληροφορίες για την ζώνη του με την βοήθεια ενός πρωτοκόλλου που ενεργεί μέσα στην ζώνη και ονομάζεται “Intrazone Routing Protocol” (IARP).

Το IARP είναι συνήθως ένας καθαρά proactive αλγόριθμος ή ένας reactive αλγόριθμος με πολλά χαρακτηριστικά proactive. Για την δρομολόγηση σε προορισμούς που δεν ανήκουν στην ζώνη του υπό εξέταση κόμβου χρησιμοποιείται το "Interzone Routing Protocol" (IERP) που είναι ένα πρωτόκολλο που ανακαλύπτει με reactive τρόπο διαδρομές εκτός ζώνης. Το IERP διαφοροποιείται από τα κλασσικά reactive πρωτόκολλα που βασίζονται στην μέθοδο πλημμυρίσματος του δικτύου με πακέτα αναζήτησης διαδρομής, καθώς εκμεταλλεύεται την δομή που δημιουργείται από τις ζώνες των κόμβων. Οι ζώνες μειώνουν αισθητά την επιβάρυνση στο διαθέσιμο εύρος ζώνης λόγω ανταλλαγής μηνυμάτων ελέγχου. Αυτό συμβαίνει γιατί η γνώση της τοπολογίας της ζώνης ενός κόμβου επιτρέπει την αποτελεσματικότερη προώθηση των πακέτων αναζήτησης διαδρομής σε όλο το δίκτυο. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση μιας ειδικής υπηρεσίας προώθησης πακέτων που ονομάζεται "Bordercast Routing Protocol" (BRP), η οποία επιτρέπει σε έναν κόμβο να στείλει ένα πακέτο που απευθύνεται στους κόμβους που βρίσκονται στην άκρη της ζώνης του (ονομάζονται περιφερειακοί κόμβοι).

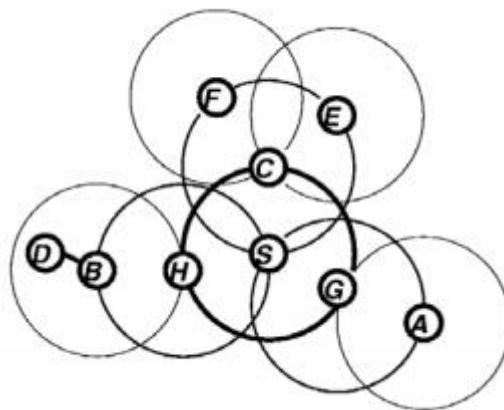
Έτσι οι διαδικασίες περιγράφονται πιο άμεσα παρακάτω:

Αρχικά ο αποστολέας (ο κεντρικός κόμβος της ζώνης που εξετάζουμε) ελέγχει αν ο προορισμός βρίσκεται μέσα στην ζώνη του ή όχι. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με την χρήση του IARP πρωτοκόλλου και των πληροφοριών που του παρέχει. Αν ο τελικός προορισμός βρίσκεται μέσα στην ζώνη τότε η διαδρομή προς αυτόν είναι ήδη γνωστή λόγω του proactive χαρακτήρα του IARP. Αν ο τελικός προορισμός δεν ανήκει στην ζώνη του αποστολέα τότε ενεργοποιείται ο IERP μηχανισμός. Ο αποστολέας μεταδίδει ένα Route Request (RREQ) πακέτο σε όλους τους περιφερειακούς του κόμβους με την βοήθεια του BRP μηχανισμού. Ο κάθε περιφερειακός κόμβος τώρα με την σειρά του εξετάζει αν ο τελικός προορισμός βρίσκεται μέσα στην ζώνη του.

Αν όντως συμβαίνει αυτό τότε μεταδίδει μία θετική απόκριση πίσω στον αρχικό αποστολέα υποδηλώνοντας την διαδρομή που πρέπει να χρησιμοποιηθεί (είναι εφικτή η χρήση είτε hop-by-hop δρομολόγησης είτε source δρομολόγησης). Αν ο τελικός προορισμός δεν βρίσκεται ούτε μέσα στην ζώνη των περιφερειακών κόμβων τότε αυτοί με την σειρά τους χρησιμοποιούν το BRP για να προωθήσουν το πακέτο αναζήτησης της διαδρομής στους δικούς τους περιφερειακούς κόμβους. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να βρεθεί ο τελικός προορισμός.

Η παραπάνω διαδικασία περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα όπου ο αρχικός αποστολέας S επιθυμεί να μεταδώσει ένα πακέτο στο τελικό προορισμό D. Αρχικά ο S ελέγχει εάν ο D βρίσκεται μέσα στην ζώνη του. Διαπιστώνει ότι δεν βρίσκεται μέσα στην ζώνη του και στέλνει ένα RREQ στους περιφερειακούς του κόμβους C,G και H. Με την ίδια διαδικασία καθένας από αυτούς τους κόμβους αφού διαπιστώσει ότι ο τελικός προορισμός D δεν βρίσκεται μέσα στην ζώνη του, προωθεί το πακέτο αναζήτησης διαδρομής στους δικούς του περιφερειακούς κόμβους.

Συγκεκριμένα ο H το προωθεί στον B, ο G στον A και ο C στους F και E. Τελικά ο B διαπιστώνει ότι ο D βρίσκεται μέσα στην ζώνη δρομολόγησης του και αποκρίνεται θετικά στο πακέτο αναζήτησης διαδρομής, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο την διαδρομή S-H-B-D.



Όπως γίνεται εμφανές και από το προηγούμενο σχήμα οι ζώνες των κόμβων επικαλύπτονται σε μεγάλο βαθμό. Είναι πολύ πιθανό, λοιπόν, ένα πακέτο αναζήτησης διαδρομής τελικά να πλημμυρίσει το δίκτυο. Ακόμη πιο αποθαρρυντικό είναι το γεγονός ότι η χρήση του συνδυασμού IERP/BRP μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη επιβάρυνση στο διαθέσιμο εύρος ζώνης από ότι η τεχνική του πλημμυρίσματος. Για να αποφευχθεί αυτό χρησιμοποιούνται τεχνικές ανίχνευσης των RREQs έτσι ώστε να στέλνεται το πακέτο αναζήτησης διαδρομής μόνο προς εκείνη την κατεύθυνση που είναι απαραίτητο.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία μας είδαμε ότι TCP/IP είναι μια συλλογή πρωτοκόλλων επικοινωνίας στα οποία βασίζεται το Διαδίκτυο αλλά και μεγάλο ποσοστό των εμπορικών δικτύων.

Αυτή η συλλογή πρωτοκόλλων, όπως και πολλές άλλες άλλωστε, είναι οργανωμένη σε στρώματα ή επίπεδα (layers). Το καθένα τους απαντά σε συγκεκριμένα προβλήματα μεταφοράς δεδομένων και παρέχει μια καθορισμένη υπηρεσία στα υψηλότερα στρώματα. Τα ανώτερα επίπεδα είναι πιο κοντά στη λογική του χρήστη και εξετάζουν πιο αφηρημένα δεδομένα, στηριζόμενα σε πρωτόκολλα χαμηλότερων στρωμάτων για να μεταφράσουν δεδομένα σε μορφές που μπορούν να διαβιβαστούν με φυσικά μέσα.

Το μοντέλο OSI, το οποίο παραμένει έως σήμερα μόνο θεωρητικό, προτείνει την κατάταξη των πρωτοκόλλων δικτύων σε έναν οργανωμένο σωρό 7 στρωμάτων. Συγκρίσεις ανάμεσα στο μοντέλο OSI και το TCP/IP δείχνουν τη σημασία των πρωτοκόλλων που περιέχονται στη σουίτα IP, από την άλλη πλευρά όμως μπορεί να προκληθεί σύγχυση, καθώς το TCP/IP αποτελείται από μόνο στρώματα.

Στην εργασία μας εξετάσαμε την περίπτωση δρομολόγησης στο TCP/IP και πιο συγκεκριμένα περιγράψαμε τα πιο διαδεδομένα πρωτόκολλα δρομολόγησης.

Η δρομολόγηση ουσιαστικά αφορά την δημιουργία των πινάκων δρομολόγησης σε κάθε router.

Στην εργασία αυτή αρχικά ορίζουμε τι είναι δρομολόγηση, τα είδη της καθώς και βασικά χαρακτηριστικά της δρομολόγησης. Στην συνέχεια θα ορίσουμε τι είναι ένας αλγόριθμος δρομολόγησης, τις βασικές στρατηγικές δρομολόγησης, και τις βασικότερες μορφές που εξάγεται ο πίνακας δρομολόγησης.

Κάθε πρωτόκολλο εφαρμόζει ένα αλγόριθμο δρομολόγησης μέσω του οποίου προκύπτουν οι σωστοί πίνακες δρομολόγησης ανά περίπτωση.

Για το λόγο αυτό παραθέσαμε τους γνωστότερους αλγόριθμους δρομολόγησης και πως εφαρμόζονται αυτοί στα αντίστοιχα πρωτόκολλα.

Επίσης στο κεφάλαιο 2 παρουσιάσαμε τα βασικότερα πρωτόκολλα δρομολόγησης που εφαρμόζονται στους σύγχρονους δρομολογητές ,ενώ στο κεφάλαιο 3 παρουσιάσαμε μια σειρά από άλλα πρωτόκολλα που εφαρμόζονται σε ασύρματα δίκτυα ή σε δίκτυα αισθητήρων.

Γενικά η δρομολόγηση είναι μια πολύπλοκη διαδικασία και η επιλογή του πρωτοκόλλου δρομολόγησης που θα χρησιμοποιήσουμε εξαρτάται από την τοπολογία , την φύση του δικτύου καθώς και τις ανάγκες και απαιτήσεις που τελικά θέλουμε να εξυπηρετήσουμε.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία:

Tanenbaum, Andrew S. [1996] 2000, "Δίκτυα Υπολογιστών", Τρίτη Έκδοση, Πρώτη Ελληνική Έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, ISBN 960-7510-70-4

CCENT ICND1 100-101 Network Simulator, Wendell Odom, Sean Wilkins
Published Oct 16, 2013 by Pearson IT Certification.

CCNA Routing and Switching ICND2 200-101 Network Simulator, Download
Version, Wendell Odom, Sean Wilkins, Published Nov 22, 2013 by Pearson IT
Certification.

CCNA Routing and Switching 200-120 Network Simulator, Wendell Odom, Sean Wilkins
Published Dec 19, 2013 by Pearson IT Certification.

CCNA Routing and Switching 200-120 Official Cert Guide Library, Wendell Odom
Published May 23, 2013 by Cisco Press.

CCNP Routing and Switching ROUTE 300-101 Complete Video Course, Kevin Wallace
Published Oct 27, 2014 by Pearson IT Certification.

CCNP Routing and Switching Foundation Learning Library: (ROUTE 300-101, SWITCH
300-115, TSHOOT 300-135), Diane Teare, Richard Froom, Erum Frahim, Amir Ranjbar,
Rick Graziani, Bob Vachon
Published May 15, 2015 by Cisco Press.