

Management and Architectures for Multicasting

1. Εισαγωγή

Η ραγδαία εξέλιξη του Διαδικτύου (Internet) επέφερε την ανακάλυψη μιας σειράς εφαρμογών οι οποίες περιλαμβάνουν και εκτεταμένη χρήση πολυμέσων όπως τηλεδιάσκεψη (teleconferencing), μεταφορά φωνής και εικόνας (voice-video phone), interactive games, real-time multimedia playing κ.τ.λ. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των παραπάνω εφαρμογών είναι η αλληλεπίδραση (interaction) μεταξύ των πολλαπλών μελών μιας συνόδου (session) στο δίκτυο. Σε αντίθεση με τον παραδοσιακό τρόπο μετάδοσης μηνύματος ένας-προς-έναν (**unicasting**) απαιτείται ένας άλλος τρόπος μετάδοσης ενός ή και πολλών προς πολλούς (**multicasting**). Για παράδειγμα η μετάδοση της εικόνας και της φωνής ενός ομιλητή από απόσταση προς πολλούς προορισμούς ταυτόχρονα και κατά απαίτηση. Αυτού του είδους οι **real-time** αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μελών απαιτούν υποστήριξη από τα υποκείμενα δίκτυα, που σημαίνει ότι τα πρωτοκόλλα των επιπέδων των δικτύων πρέπει να είναι σε θέση να υποστηρίξουν τη λειτουργία της πολλαπλής αποστολής (multicasting).

Εν γένει, η πολλαπλή αποστολή αφορά τη μετάδοση ενός πακέτου δεδομένων από κάποιο πομπό σε ένα σύνολο δεκτών που είναι μέλη κάποιας ομάδας (**multicast group**). Διαφορετικό από την ένας-προς-έναν αποστολή (unicasting) και την ένας-προς-όλους (broadcasting), το multicasting είναι ο πιο γενικός τρόπος αποστολής: **πολλοί-προς-πολλούς**. Τα μέλη ενός multicast group μπορεί να είναι διασκορπισμένα σε ένα μεγάλο δίκτυο και οποιαδήποτε χρονική στιγμή το κάθε ένα από αυτά μπορεί να ενταχθεί ή να αποχωρήσει δυναμικά, ενώ διάφοροι κόμβοι του δικτύου είναι δυνατό να αποτελούν μέλη διαφορετικών ομάδων ταυτόχρονα. Όπως λογικά συνάγεται, σε τέτοιες καταστάσεις ο χειρισμός των μελών γίνεται με τη χρήση μιας μοναδικής διεύθυνσης. Τα αυτοδύναμα πακέτα που ορίζονται για αποστολή προς τη συγκεκριμένη διεύθυνση ενός group αποστέλλονται σε όλα τα μέλη. Προκειμένου λοιπόν να αποφευχθεί η κατανάλωση εύρους ζώνης, προωθώντας κατ'επανάληψη αυτοδύναμα πακέτα προς κάθε διεύθυνση χωριστά με τεχνική unicasting, καθώς και η πρόκληση μεγάλης και

ανεπιθύμητης κυκλοφορίας εκπέμποντας προς όλους τους κόμβους του δικτύου με τεχνική broadcasting, η τεχνική multicasting στηρίζεται στη λογική δομή ενός εκτεταμένου δέντρου αναζήτησης προωθώντας και αντιγράφοντας αυτοδύναμα πακέτα μόνο σε κλάδους που απαιτείται, προσφέροντας έτσι βελτίωση του φορτίου του δικτύου καθώς και της χρήσης των πόρων του.

2. Multicasting στο επίπεδο δικτύου (Network layer)

Η πολλαπλή αποστολή σε τοπικά δίκτυα είναι μια εύκολη διαδικασία: Στη τοπολογία του Ethernet για παράδειγμα κάποιος υπολογιστής (host) μεταδίδει απευθείας σε οποιοδήποτε άλλο συνδεδεμένο υπολογιστή πακέτα δεδομένων χαρτογραφώντας τη διεύθυνση του multicast group σε δεσμευμένα τμήματα του πρωτοκόλλου του υποεπιπέδου MAC του IEEE-802. Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, το υψηλότερης τάξης bit της διεύθυνσης προορισμού είναι 0 για τις συνήθεις διευθύνσεις και 1 για τις ομαδικές, έτσι, όταν ένα πλαίσιο στέλνεται στη διεύθυνση μιας ομάδας το λαμβάνουν όλοι οι σταθμοί της ομάδας. Αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία είναι ο χειρισμός της χαρτογράφησης των διευθύνσεων μεταξύ των διαφόρων ομάδων καθώς και του ορισμού της συμμετοχής κάποιου σταθμού σε μια ομάδα. Πιο συγκεκριμένα, το IP πρωτόκολλο υποστηρίζει το multicasting με χρήση διευθύνσεων κλάσης D. Κάθε τέτοια διεύθυνση αντιστοιχεί σε μια ομάδα σταθμών (hosts) έχοντας διαθέσιμα 28 bits για τη διευθυνσιοδότηση της, πράγμα που σημαίνει ότι ταυτόχρονα μπορούν να υπάρχουν 250 εκατομμύρια διαφορετικές ομάδες, ενώ υποστηρίζονται δυο κατηγορίες τέτοιων διευθύνσεων: οι μόνιμες και οι προσωρινές. Μια μόνιμη ομάδα υπάρχει πάντα και δεν απαιτείται η εγκατάσταση της κάθε φορά, για παράδειγμα η διεύθυνση 244.0.0.1 αφορά όλα τα συστήματα ενός δικτύου LAN, ενώ η 244.0.0.2 όλους τους δρομολογητές του. Οι προσωρινές ομάδες πρέπει, σε αντιδιαστολή με τις μόνιμες, να δημιουργηθούν πριν από τη χρήση τους. Αυτό γίνεται μέσω μιας διαδικασίας κατά την οποία ο κάθε host ρωτάται αν θέλει να εισχωρήσει ή να αποχωρήσει από κάποια ομάδα. Το multicasting υλοποιείται από ειδικούς δρομολογητές (multicast routers) οι οποίοι σε τακτά χρονικά διαστήματα στέλνουν μηνύματα στο κάθε σταθμό, μέσω του **επιπέδου σύνδεσης δεδομένων** (data link layer), ζητώντας αναφορά σχετικά με όλες τις κλάσεις D διευθύνσεις που τον ενδιαφέρουν. Αυτά τα

πακέτα ερωτήσεων-απαντήσεων χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο **IGMP** (Internet Group Management Protocol) που είναι και το πιο γνωστό πρωτόκολλο χειρισμού που υποστηρίζεται από το πρωτόκολλο του Internet και το οποίο λειτουργεί μεταξύ των σταθμών ενός δικτύου και των multicast δρομολογητών (routers) που ανήκουν στο **ίδιο** υποδίκτυο[1]. Προκειμένου όμως να επιτευχθεί multicasting πέρα από τα όρια ενός τοπικού δικτύου, θα πρέπει το πρωτόκολλο δρομολόγησης να συνθέσει λογικά δένδρα διευθύνσεων με τη χρήση των οποίων θα είναι εφικτός ο εντοπισμός κάποιου σταθμού που συμμετέχει σε μια ομάδα. Επιπρόσθετα θα πρέπει τα δένδρα αυτά να συντηρούνται με δυναμικό τρόπο ώστε να εντοπίζονται και να επιτρέπονται οι αλλαγές μελών στην ομάδα. Η εξέταση των διαφόρων πρωτοκόλλων που έχουν αναπτυχθεί γίνεται με βάση τις παρακάτω λειτουργίες[2][3]:

A. Αναζήτηση «γειτόνων»: Λόγω της ύπαρξης πολλών δρομολογητών με διαφορετικές δυνατότητες (κάποιοι δεν υποστηρίζουν το multicasting ενώ άλλοι το υποστηρίζουν, αλλά δέχονται διαφορετικά πρωτόκολλα) θα πρέπει να υπάρχει κάποιος μηχανισμός ο οποίος θα επιτρέπει στους πολλαπλούς δρομολογητές να εντοπίζουν και να επιλέγουν «γείτονες» με τις ίδιες δυνατότητες πολλαπλής αποστολής, ώστε να αποφεύγεται η προώθηση πακέτων σε δρομολογητές που τα αγνοούν και τα απορρίπτουν. Έτσι, με βάση την πληροφορία της κατανομής των «γειτονικών» δρομολογητών, τα μηνύματα ελέγχου πολλαπλής αποστολής επικεντρώνονται προς συγκεκριμένους δρομολογητές.

B. Συντήρηση ομάδας συμμετοχής: Όταν κάποιος σταθμός θέλει να εισχωρήσει ή να αποχωρήσει από μια ομάδα multicasting θα πρέπει να λάβει χώρα ανταλλαγή μιας σειράς μηνυμάτων ώστε να λάβουν την πληροφορία οι πολλαπλοί δρομολογητές. Έτσι ο καθένας από αυτούς γνωρίζει προς ποιον να προωθήσει κάποιο πακέτο προκειμένου να φτάσει στον προορισμό του. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σε τοπικά δίκτυα το πρωτόκολλο IGMP είναι υπεύθυνο για αυτή τη διαδικασία, ωστόσο προκειμένου να επιτευχθεί πολλαπλή αποστολή στο διαδικτυακό χώρο θα πρέπει η πληροφορία να κατανέμεται.

Γ. Κατασκευή και συντήρηση δένδρου πολλαπλής αποστολής (multicast tree): Προκειμένου να καταλήξουν τα πακέτα στα μέλη κάποιας ομάδας θα πρέπει

να δημιουργηθεί ένα δένδρο αναζήτησης διευθύνσεων του οποίου μια από τις απολήξεις θα καταλήγει στο δρομολογητή της εν λόγω ομάδας. Υπάρχουν διαφορετικές τεχνικές ανάπτυξης τέτοιων δένδρων. Ωστόσο δύο είναι οι κλασσικοί τύποι που χρησιμοποιούνται από τα υπάρχοντα πρωτόκολλα, το διαμοιραζόμενο δένδρο (**shared tree**) και το βασισμένο στη πηγή δένδρο (**source-based tree**). Το πρώτο ενδεχομένως να δημιουργεί συγκέντρωση κυκλοφορίας αλλά επιφέρει καλύτερη χρήση των πόρων του δικτύου, ενώ το δεύτερο μπορεί ευκολότερα να δημιουργήσει ένα δένδρο μικρότερης διαδρομής (*shortest path delivery tree*), μειώνοντας το χρόνο αποστολής. Όσον αφορά τη συντήρηση του δένδρου πολλαπλής αποστολής, αυτή εμπλέκει την αλλαγή των κλάδων του (αφαίρεση ή πρόσθεση νέων) προκειμένου να παρακολουθούνται δυναμικά οι αλλαγές των μελών του multicast group.

Πέρα από τα παραπάνω χαρακτηριστικά **υπάρχουν** φυσικά και άλλα που θα μπορούσαν να επηρεάσουν στο σχεδιασμό πρωτοκόλλων όπως η ασφάλεια, η συμβατότητα κ.τ.λ.

2.1. Αρχιτεκτονικές δρομολόγησης multicasting στο Internet

Επειδή η πολυμεσική κυκλοφορία στο διαδίκτυο έχει ιδιαίτερη σημασία σήμερα, παρουσιάζονται τα τέσσερα δεσπόζοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης που έχουν αναπτυχθεί για τον συγκεκριμένο λόγο, κατανεμημένα με βάση τις παραπάνω αρχές, αφού όμως πρώτα περιγραφούν ως προς τα δένδρα δρομολόγησης που χρησιμοποιούν. Αν και θα γίνει απόπειρα μετάφρασης της ορολογίας που χρησιμοποιείται διεθνώς, σε ορισμένες περιπτώσεις στο υπόλοιπο κείμενο κρίνεται σκόπιμη η χρήση της διεθνούς ορολογίας προς αποφυγή αδόκιμων όρων. Έτσι τα πλέον γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης πολλαπλής αποστολής είναι τα εξής: **1.** Πρωτόκολλο πολλαπλής δρομολόγησης με χρήση διανύσματος απόστασης, **Distance Vector Multicast Routing Protocol (DVMRP)**[4], **2.** Η επέκταση για πολλαπλή αποστολή του αλγορίθμου δρομολόγησης με ανεύρεση του συντομότερου δρόμου **Open Shortest Path First (OSPF)**[1][5], που ήδη χρησιμοποιείται στο Internet, **3.** Δένδρο βασισμένο στο πυρήνα **Core-Based Tree (CBT)**[6],

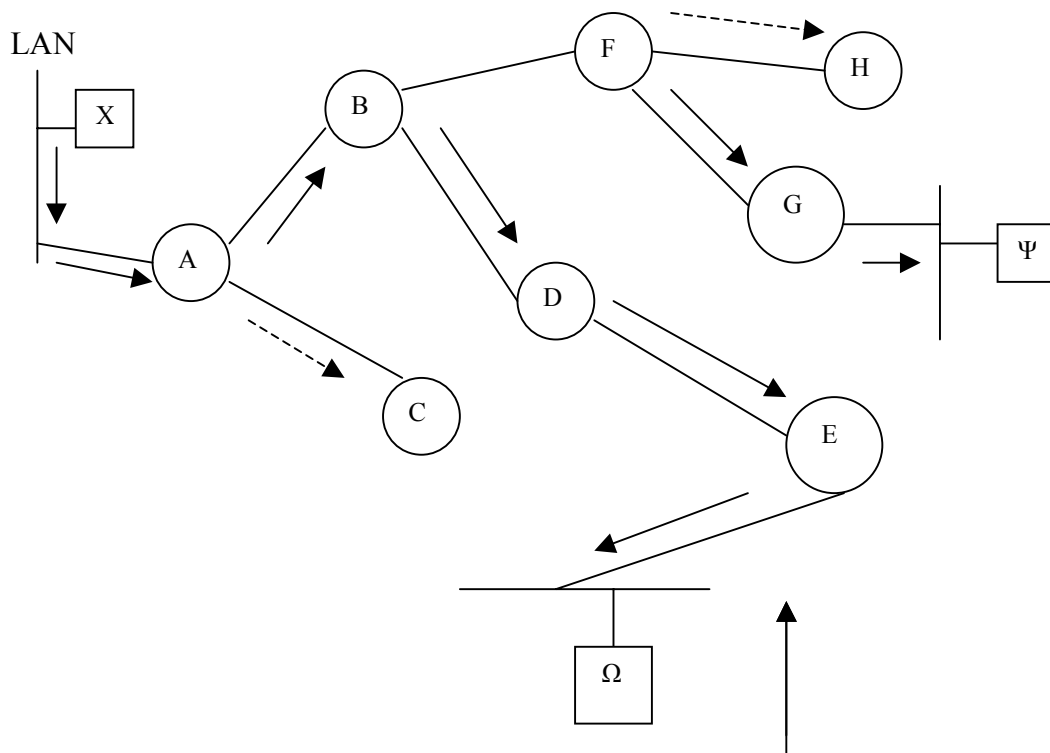
και 4. Πολλαπλή αποστολή ανεξάρτητη από πρωτόκολλο **Protocol-Independent Multicast (PIM)**[7].

2.1.1. Πρωτόκολλα με τεχνικές **source-based-tree**

Στην κατηγορία αυτή η πολλαπλή αποστολή γίνεται με δημιουργία δένδρου από τον αποστολέα, που είναι η πηγή προς, τα μέλη της ομάδας. Έτσι, από κάθε κόμβο αποστολής που συμμετέχει σε πολλές διαφορετικές ομάδες ξεκινούν πολλά διαφορετικά δένδρα (όσα οι ομάδες στις οποίες ανήκει) που καταλήγουν σε όλους τους δέκτες, και αν μια ομάδα έχει πολλούς αποστολείς τότε πολλοί κλάδοι δένδρων καταλήγουν στον κάθε δέκτη. Οι αρχιτεκτονικές που στηρίζονται στην τεχνική αυτή χρησιμοποιούν τα πρωτόκολλα **DVMRP** και **MOSPF**.

Στην πρώτη κατηγορία το πρωτόκολλο δρομολόγησης χρησιμοποιεί την τεχνική της εκπομπής και «κλαδέματος» (pruning) για την κατασκευή του δένδρου προώθησης για τη διανομή των αυτοδύναμων πακέτων που αποστέλλονται πολλαπλά[4][8]. Με χρήση της μεθόδου **Reverse Path Forwarding**[8][9] ένας δρομολογητής που λαμβάνει κάποιο πακέτο που προορίζεται για πολλαπλή αποστολή σε μια ομάδα προωθεί προς όλες τις διασυνδέσεις του δικτύου του εκτός από αυτή από όπου προήλθε το πακέτο μήνυμα αποστολής. Οι νέοι δρομολογητές που το λαμβάνουν αν δεν έχουν «καταγεγραμμένα» μέλη στέλνουν πίσω στον αρχικό δρομολογητή ένα μήνυμα αποκλεισμού τους (prune message), διαφορετικά επαναλαμβάνουν κι αυτοί με τη σειρά τους την ίδια διαδικασία μέχρι να δημιουργηθεί το δένδρο που θα έχει σαν φύλλα τα μέλη της ομάδας προς τα οποία προορίζεται το πακέτο. Επειδή η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη μέθοδο απλής δρομολόγησης **DVRP (Distance Vector Routing Protocol)** που στηρίχθηκε στον αλγόριθμο των Bellman και Ford[1], στο τέλος οι κλάδοι που θα επιλεγούν θα αντιστοιχούν και στις συντομότερες διαδρομές, αφού οι μακρύτερες διαδρομές θα αποκλειστούν. Στο σχήμα 1 φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας αυτής της μεθόδου. Συμβολίζοντας με τετράγωνα τους υπολογιστές (hosts) που επικοινωνούν μεταξύ τους και με κύκλους τους δρομολογητές, έστω ότι ο υπολογιστής X αποστέλλει μήνυμα προς τους Ψ και Ω, χρησιμοποιώντας την διεύθυνση του multicast group μέσα στο LAN, τότε ο δρομολογητής A το λαμβάνει και επειδή δεν έχει καμία πληροφορία για τη διεύθυνση αυτή

αποστέλλει το μήνυμα προς όλες τις κατευθύνσεις εκτός από εκείνη που προέρχεται το μήνυμα. Όλοι οι ενδιαμέσοι δρομολογητές αντιδρούν με τον ίδιο τρόπο, ενώ αυτοί που βρίσκονται στα φύλλα του δένδρου και δεν οδηγούν σε μέλη του multicast group όπως οι C και H στέλνουν μήνυμα αποκλεισμού τους από το δένδρο σε αντίθεση με τους E και G οι οποίοι διαβιβάζουν το μήνυμα στους υπολογιστές Ψ και Ω που βρίσκονται μέσα στα LAN που εξυπηρετούν. Έτσι οι δρόμοι οι οποίοι δεν «κλαδεύονται» αποτελούν τους κλάδους του δένδρου.



Σχήμα 1 - DVMRP

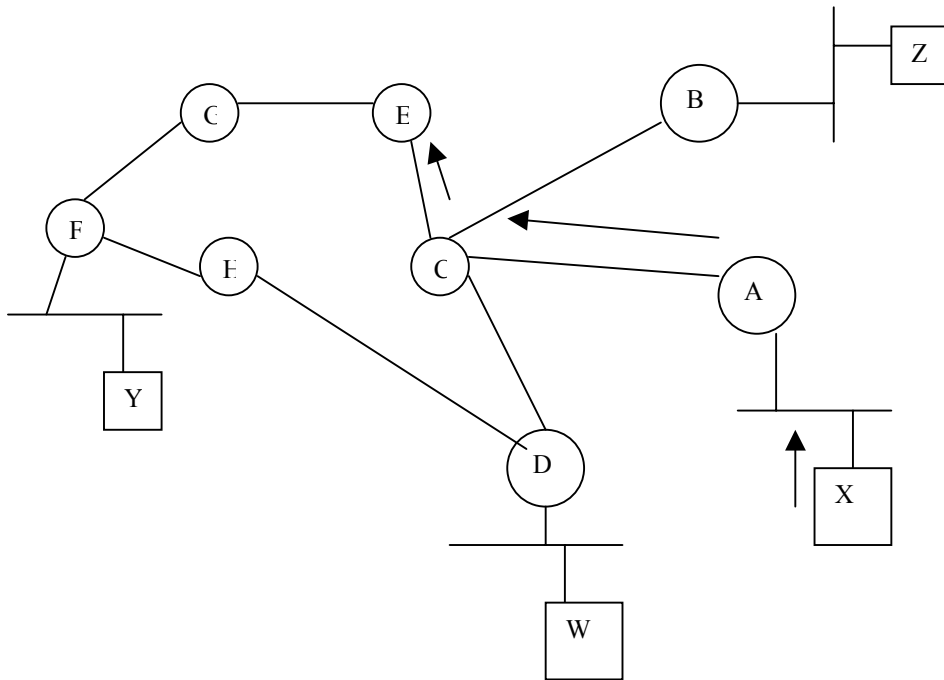
Οι τεχνικές που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο **MOSPF** ουσιαστικά στηρίζονται σε πρωτόκολλο που σχεδιάστηκε πάνω στο υπάρχον πρωτόκολλο απλής δρομολόγησης που χρησιμοποιείται από το Internet, το **OSPF**. Με τρόπο παρόμοιο με τον πρόγονο του, αυτό που ουσιαστικά συμβαίνει είναι να παρουσιάζεται το δίκτυο υπό μορφή γραφήματος σε μια βάση δεδομένων δίνοντας σε κάθε διαδρομή από δρομολογητή σε δρομολογητή μια συγκεκριμένη αξία που σχετίζεται με την «απόσταση», αυτό όμως που ενδιαφέρει είναι ουσιαστικά ο χρόνος από κόμβο σε κόμβο. Έτσι σε κάθε ακμή του δικτύου δίνεται μια ετικέτα με τις μέσες καθυστερήσεις αναμονής και μετάδοσης για ένα τυπικό δοκιμαστικό πακέτο όπως προκύπτει

από δοκιμές. Η συντομότερη διαδρομή είναι η γρηγορότερη και όχι αυτή με τις λιγότερες ακμές ή τη μικρότερη γεωγραφική απόσταση[1][5]. Ο κάθε δρομολογητής συλλέγει αυτή την πληροφορία και διατηρεί μια βάση δεδομένων προς απομνημόνευση τόσο των μελών του multicast group, όσο και της γενικότερης τοπολογίας του δικτύου. Στη συνέχεια με τη λήψη ενός πακέτου πολλαπλής αποστολής το δένδρο προώθησης του δημιουργείται σύμφωνα με τη παραπάνω βάση δεδομένων. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται τμήμα-τμήμα μέχρι να γίνει αποστολή σε όλα τα μέλη του group.

2.1.2 Πρωτόκολλα multicasting με χρήση τοπολογίας διαμοιραζόμενου δένδρου (shared tree)

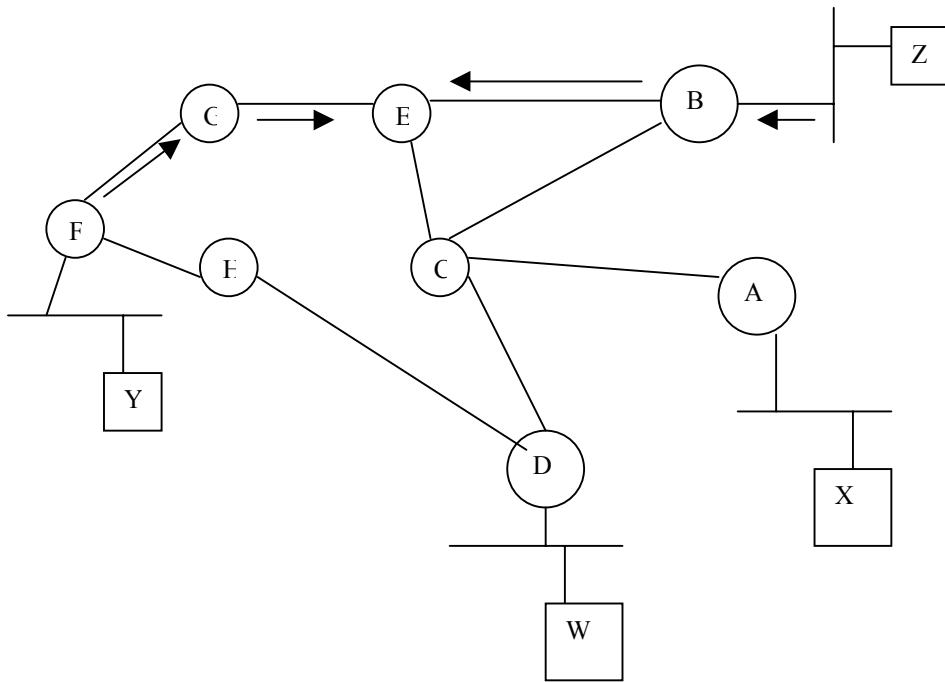
Στην προηγούμενη κατηγορία πρωτοκόλλων για κάθε πομπό μηνύματος δημιουργείται ένα ξεχωριστό δένδρο, με αποτέλεσμα πολυπλοκότητα ανάλογη προς τον αριθμό των πομπών μηνυμάτων και τον αριθμό των ομάδων (multicast groups) που υπάρχουν. Έτσι μια τεχνική που στηρίζεται στην παραπάνω κατηγορία δεν μπορεί να επεκταθεί ικανοποιητικά και για την περίπτωση πολλαπλής αποστολής ευρείας περιοχής η οποία ενδεχομένως απαιτεί την υποστήριξη αρκετών χιλιάδων ενεργών ομάδων ευρέως κατανεμημένων. Η εύρεση του βέλτιστου δένδρου είναι γνωστή σαν αλγόριθμος δένδρου **Steiner**[10][11]. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το χρησιμοποιούμενο εύρος, θεωρητικά τουλάχιστον, είναι καλύτερη η χρήση ενός κοινού διαμοιραζόμενου δένδρου. Μια απλούστερη προσέγγιση είναι η κατασκευή δένδρου με **συγκεκριμένο κέντρο**[2]. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, κάποιος από τους κόμβους του δικτύου ορίζεται ως το κέντρο του δένδρου και καθίσταται υπεύθυνος τόσο για την επέκταση / συρρίκνωση του δένδρου, όταν αλλάζουν τα μέλη ή οι αποστολείς μηνυμάτων, όσο και για τη συγκέντρωση των μηνυμάτων από τους αποστολείς και την πολλαπλή μετάδοση τους στα υπόλοιπα μέλη, αφού το δένδρο είναι ταυτόχρονα και το δένδρο της πλησιέστερης διαδρομής (shortest path) που έχει τη ρίζα του στον συγκεκριμένο κόμβο[12]. Πρόσφατα, έχουν αναπτυχθεί και άλλες τεχνικές δημιουργίας δένδρων που βασίζονται στο δένδρο Steiner αλλά παρουσιάζουν βελτίωση στη χρήση του εύρους ζώνης καθώς και του χρόνου επιτρέποντας την πολυμεσική κυκλοφορία στο δίκτυο .

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης **CBT** σε αντίθεση με τα DVMRP και MOSPF κατασκευάζει ένα κεντρικό δένδρο ανά ομάδα στο οποίο κάθε τοπικός δρομολογητής κατατάσσεται μέσω μιας διαδικασίας αίτησης στην ομάδα του κεντρικού δρομολογητή που βρίσκεται στον πυρήνα του δένδρου, μόλις λάβει μήνυμα ένταξης από κάποιο υποψήφιο μέλος μέσω του πρωτοκόλλου IGMP που αναφέρθηκε προηγουμένως. Ο κεντρικός δρομολογητής του δένδρου επιλέγεται είτε με manual χειρισμό, είτε σύμφωνα με κάποιο πρωτόκολλο, και λειτουργεί σαν σταυροδρόμι κυκλοφορίας των πολλαπλών μηνυμάτων. Τα αυτοδύναμα πακέτα από τον αρχικό αποστολέα φτάνουν πρώτα στον κεντρικό δρομολογητή και από εκεί κατανέμονται στους υπόλοιπους κλάδους του δένδρου.



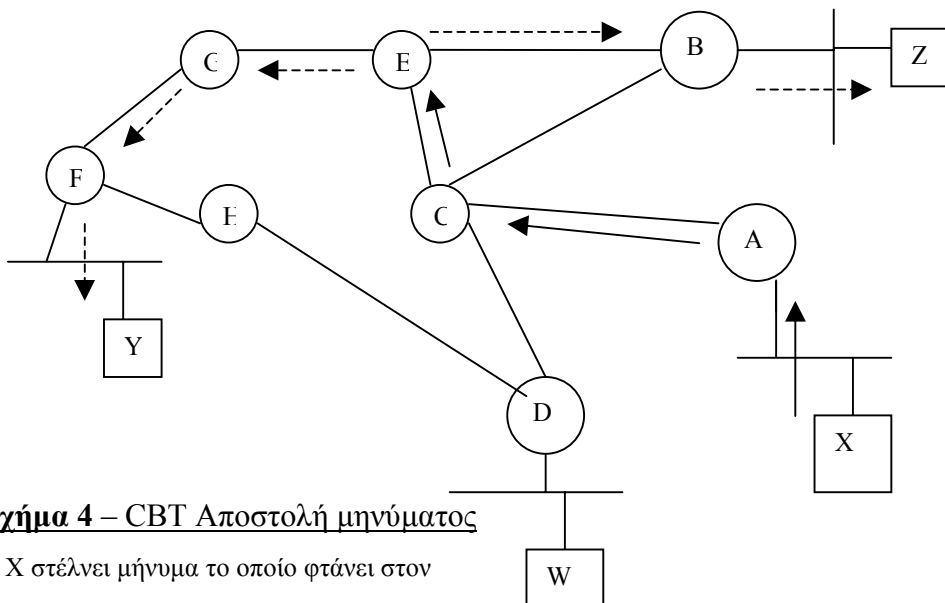
Σχήμα 2 – Λειτουργία CBT όταν δεν υπάρχουν μέλη

Ο υπολογιστής X στέλνει το πακέτο για πολλαπλή αποστολή στον κεντρικό δρομολογητή αλλά ελλείψει άλλων μελών το πακέτο χάνεται



Σχήμα 3 – CBT ένταξη μελών σε ομάδα

Οι υπολογιστές Y και Z στέλνουν μια αναφορά πρωτοκόλλου IGMP στους τοπικούς δρομολογητές των LAN τους οι οποίοι στη συνέχεια προωθούν τις αναφορές στον κεντρικό δρομολογητή E προκειμένου να κατασκευάσει το δρομολόγιο



Σχήμα 4 – CBT Αποστολή μηνύματος

Ο X στέλνει μήνυμα το οποίο φτάνει στον κεντρικό δρομολογητή E που το προωθεί μέσω των ενδιάμεσων δρομολογητών στα μέλη Y και Z

2.1.3. Πρωτόκολλα με συνδυασμένες τεχνικές

Το κίνητρο για τη χρήση της παραπάνω τεχνικής είναι ότι απαιτείται λιγότερη επιτήρηση για την κατασκευή και διαχείριση ενός δένδρου για κάθε σύνοδο πολλαπλής αποστολής, σε αντίθεση με τη δημιουργία και συντήρηση δένδρου για κάθε πηγή αποστολής μηνύματος. Έτσι, ενώ η πολυπλοκότητα των τεχνικών **source based tree** εξαρτάται και από τον αριθμό των δεκτών αλλά και των αποστολών των μηνυμάτων, στις τεχνικές **shared tree** η πολυπλοκότητα εξαρτάται μόνο από τον αριθμό των δεκτών, αφού για τον κάθε αποστολέα δε δημιουργείται ένα νέο δένδρο, πράγμα απαραίτητο σε εφαρμογές όπως η τηλεδιάσκεψη. Ωστόσο, και σ' αυτή την κατηγορία υπάρχει το μειονέκτημα της συγκέντρωσης της κυκλοφορίας στον κεντρικό δρομολογητή που είναι η ρίζα του δένδρου καθώς και στους κόμβους που βρίσκονται κοντά του. Έτσι μια ενδιάμεση προσέγγιση αφορά τον τρόπο που χειρίζεται το πρόβλημα το πρωτόκολλο **PIM** (Protocol Independent Multicasting)[2]. Το εν λόγω πρωτόκολλο επιτρέπει στις διάφορες εφαρμογές να επιλέγουν αυτές είτε τον αλγόριθμο πλησιέστερης διαδρομής είτε διαμοιραζόμενου δένδρου (shared tree). Ο κάθε σταθμός αρχικά εντάσσεται στο group με παρόμοιο τρόπο με την τεχνική CBT. Εάν ο ρυθμός μετάδοσης δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις του ο συγκεκριμένος δέκτης μπορεί να στείλει ένα μήνυμα αίτησης για ένταξη σε δένδρο που θα κατασκευαστεί με βάση τον αλγόριθμο εύρεσης της πλησιέστερης διαδρομής. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η εξυπηρέτηση πολλών διαφορετικών εφαρμογών.

2.2. Ανάλυση πρωτοκόλλων δρομολόγησης

Στις προηγούμενες παραγράφους παρουσιάστηκαν οι τεχνικές με βάση τη δημιουργία και το χειρισμό των δένδρων δρομολόγησης, προκειμένου να δοθεί έμφαση σε αυτά. Εδώ θα επιχειρηθεί να γίνει η παρουσίαση τους πιο σφαιρικά και με βάση και τα τρία κριτήρια που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 2.

2.2.1. Distance Vector Multicast Routing Protocol

Κατά τη χρήση του πρωτοκόλλου δρομολόγησης με χρήση διανύσματος απόστασης ο κάθε δρομολογητής στέλνει περιοδικά μηνύματα σε όλες τις διασυνδέσεις περιλαμβάνοντας μια λίστα από τους γνωστούς “γειτονικούς”

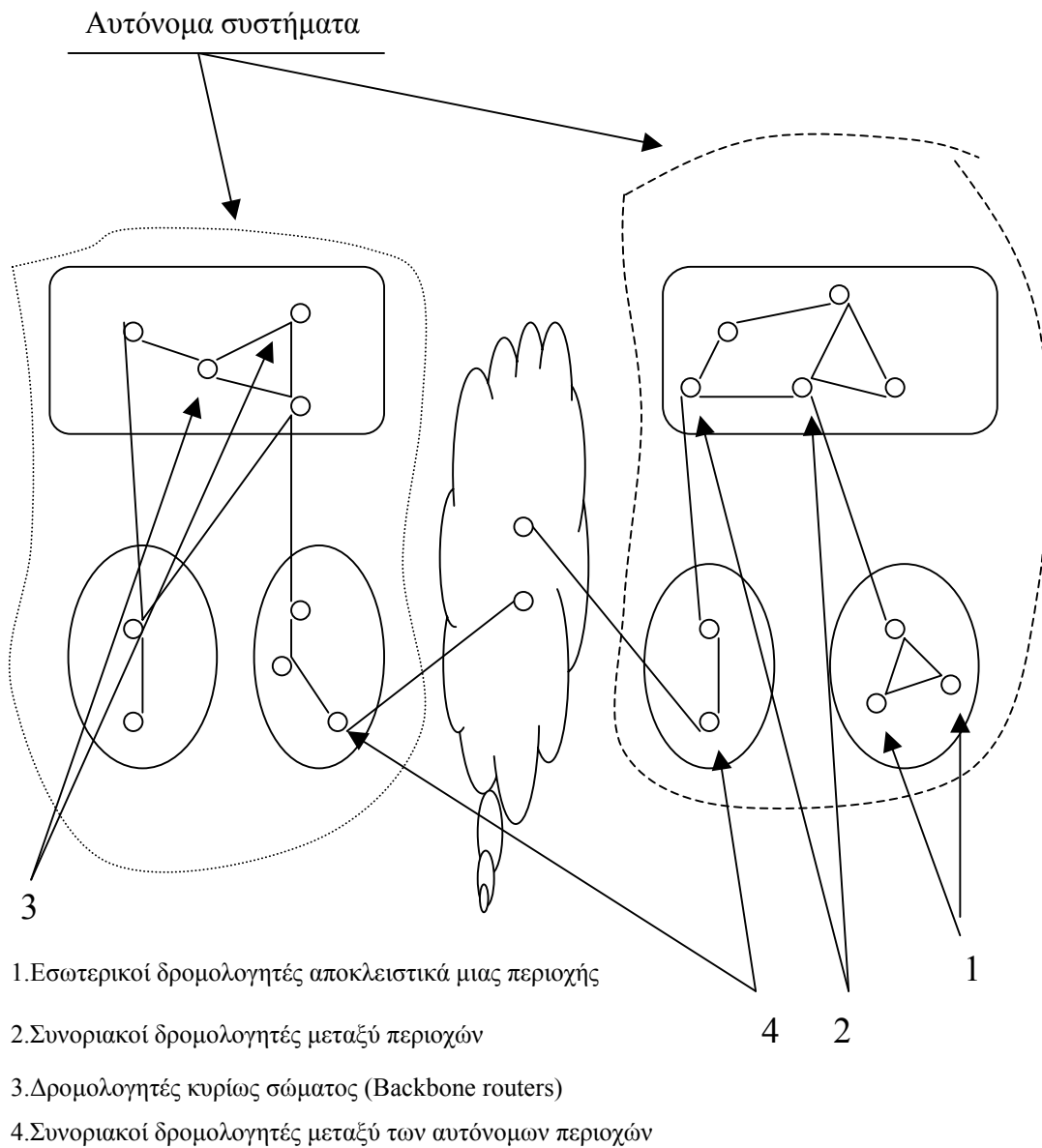
δρομολογητές. Αρχικά οι DVMRP δρομολογητές δεν γνωρίζουν κανένα από τους «γείτονες» τους, έτσι η πρώτη λίστα που εκπέμπουν περιλαμβάνει μόνο τον εαυτό τους. Λαμβάνοντας την αρχική λίστα ο κάθε δρομολογητής, που τη λαμβάνει, προσθέτει και τη δική του διεύθυνση, και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να συμπληρωθεί ο κατάλογος που θα περιλαμβάνει όλους τους δρομολογητές. Έτσι, με το πέρας της διαδικασίας αναζήτησης της «γειτονιάς» οι δρομολογητές θα έχουν αποθηκευμένη τη γνώση της τοπολογίας του προς αυτούς δικτύου που περιλαμβάνει εκείνους τους δρομολογητές που είναι συμβατοί ως προς το πρωτόκολλο δρομολόγησης και τη δυνατότητα πολλαπλής αποστολής. Η συμμετοχή των διαφόρων μελών στο multicast γίνεται group με παρόμοιο τρόπο. Τα αρχικά μηνύματα του πρωτοκόλλου IGMP μετατρέπονται σε μηνύματα από τους δρομολογητές, που τα προωθούν στο δίκτυο προσθέτοντας επιπλέον πληροφορίες σχετικά με την απόσταση της κάθε διαδρομής, προκειμένου να κατασκευαστεί το δένδρο δρομολόγησης για την προώθηση των multicast μηνυμάτων.

Όταν κάποιος δρομολογητής λάβει ένα πακέτο για πολλαπλή αποστολή χρησιμοποιεί τη λίστα της «γειτονιάς» του και αρχίζει η διαδικασία της προώθησης του πακέτου με σκοπό τη δημιουργία των δρομολογίων που οδηγούν από τους τελικούς δέκτες στην πηγή του μηνύματος. Αν κάποιος κόμβος δε λάβει το μήνυμα απορρίπτεται, όπως επίσης και αν ο δρομολογητής του κόμβου αυτού δεν έχει μέλη του συγκεκριμένου group για να εξυπηρετήσει. Επειδή τα μηνύματα που ανταλλάζουν μεταξύ τους περιοδικά οι δρομολογητές περιέχουν και στοιχεία μετρητικά για τον κάθε δρόμο το δένδρο δρομολόγησης μπορεί να μεταβάλλεται **δυναμικά** σύμφωνα με την κατάσταση του δικτύου. Η δρομολόγηση σύμφωνα με αυτή την αρχιτεκτονική είναι εξαρτώμενη από τα μηνύματα ελέγχου που ανταλλάζουν οι «γειτονικοί» δρομολογητές, με αποτέλεσμα εάν κάποιο από αυτά για οποιοδήποτε λόγο χαθεί, ο αρμόδιος δρομολογητής να πάρει λανθασμένες αποφάσεις κατά την προώθηση των αποστελλόμενων πακέτων. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται κάποιες χρονικές παράμετροι που δείχνουν για πόσο ισχύει η συμμετοχή σε κάποιο group. Όταν ο χρόνος ισχύος συμμετοχής λήξει, ο αρμόδιος δρομολογητής εκπέμπει την πληροφορία όπως γίνεται και κατά την εισαγωγή κάποιου νέου μέλους στο group.

2.2.2. Multicast Open Shortest Path First

Με τη χρήση αυτής της αρχιτεκτονικής η οποία στηρίζεται στο πρωτόκολλο OSPF ο κάθε δρομολογητής συλλέγει στοιχεία αναφορικά με την εγγύτητα του δικτύου που τον περιβάλλει και διαδίδει την πληροφορία περιοδικά στο δίκτυο για ενημέρωση. Οι δρομολογητές που χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο πρωτόκολλο στέλνουν μια σημαία αναγνώρισης της συμβατότητας του κάθε δρομολογητή ώστε να είναι επιπλέον γνωστό το ποιοι υποστηρίζουν τις λειτουργίες του πρωτοκόλλου. Λόγω ότι η διαδικασία αυτή γίνεται με κατεύθυνση προς τα πίσω είναι δυνατή η συνεργασία απλών δρομολογητών που υποστηρίζουν το πρωτόκολλο OSPF με τους δρομολογητές πολλαπλής αποστολής MOSPF όταν πρόκειται για μετάδοση μηνυμάτων unicast. Η συμμετοχή των μελών μιας ομάδας γίνεται με περιοδικές αναφορές οι οποίες διαδίδονται σε όλο το δίκτυο. Σε αντίθεση με την προηγούμενη αρχιτεκτονική το δένδρο δρομολόγησης αν και είναι παρόμοιας δομής (source-based tree) δεν μεταβάλλεται δυναμικά, λόγω της ύπαρξης βάσης δεδομένων με την τοπολογία του δικτύου, η οποία κατασκευάζεται από τον αλγόριθμο αναζήτησης συντομότερου δρόμου. Όταν κάποιο πακέτο φτάνει για πολλαπλή αποστολή ο δρομολογητής επιλέγει την συντομότερη διαδρομή και το αποστέλλει. Η είσοδος σε κάποιο group γίνεται με ανταλλαγή μηνυμάτων πρωτοκόλλου IGMP. Οι δρομολογητές διατηρούν για το κάθε μέλος στοιχεία σχετικά με την θέση του σε πίνακα και ανταλλάζουν μηνύματα ελέγχου μεταξύ τους, κατά περιόδους. Έχοντας κληρονομήσει χαρακτηριστικά από το πρωτόκολλο OSPF το MOSPF επιτρέπει στο δίκτυο να χωρίζεται σε διαφορετικές λογικές περιοχές, μέσα στις οποίες γίνεται η διάδοση των τοπικών μηνυμάτων ελέγχου και συμμετοχής. Η κάθε περιοχή λειτουργεί διαφορετικά και επικοινωνεί με τις γειτονικές μέσω των «συνοριακών» δρομολογητών. Στο σχήμα 5[1] φαίνεται το πως κατατάσσονται οι δρομολογητές στη τοπολογία της αρχιτεκτονικής MOSPF. Λόγω της κατανομής του δικτύου σε επιμέρους αυτόνομα δίκτυα και επιμέρους περιοχές μέσα σε καθένα από αυτά υπάρχουν δρομολογητές με ελλιπή γνώση της γενικότερης τοπολογίας. Προκειμένου λοιπόν να αποφευχθούν τυχόν

προβλήματα δρομολόγησης κυρίως μεταξύ των επιμέρους αυτόνομων συστημάτων ή και επιμέρους περιοχών ορίζει μια κατηγορία δρομολογητών υπεύθυνους για την εξυπηρέτηση της μεταξύ τους κυκλοφορίας. Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι η αρχιτεκτονική αυτή κατασκευάζει το δένδρο προώθησης ακόμη και μεταξύ των επιμέρους περιοχών και αυτόνομων συστημάτων γίνεται πάντα με σκοπό την εύρεση της μικρότερης διαδρομής.



Σχήμα 5 – Αρχιτεκτονική MOSPF/OSPF

2.2.3. Core-based tree (CBT)

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες αρχιτεκτονικές το πρωτόκολλο CBT δεν απαιτεί την ύπαρξη επιπλέον μηχανισμών αναζήτησης «γειτονικών» μελών και δρομολογητών γιατί ενσωματώνει την τεχνική της ένας προς ένα αποστολής (unicast) προκειμένου να γίνει ανταλλαγή μηνυμάτων ελέγχου. Τα προς πολλαπλή αποστολή πακέτα προ της αποστολής τους ενσωματώνονται στην ίδια τεχνική IP προς IP. Έτσι, **δεν υπάρχει η ανησυχία της απόρριψης** τους από δρομολογητές που δεν υποστηρίζουν την πολλαπλή αποστολή[6].

Η θέση του πυρήνα (core) του δικτύου και η κατανομή της πληροφορίας γύρω από την τοποθεσία του πυρήνα είναι πολύ μεγάλης σημασίας για το δίκτυο και τη λειτουργία της διαδικασίας όσον αφορά την κυκλοφορία και την χρονική καθυστέρηση στη παράδοση του μηνύματος. Η επιλογή της γίνεται είτε με manual επιλογή είτε με ειδικό μηχανισμό ο οποίος υπάρχει και στο πρωτόκολλο PIM.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω δεν υπάρχει μηχανισμός κατανομής της πληροφορίας των μελών της συνόδου. Αυτά εντοπίζονται με τη μέθοδο της «συνάντησης»(**rendez-vous**). Ο τοπικός CBT δρομολογητής αφού επιλέξει τον κεντρικό (**core**) δρομολογητή του στέλνει μήνυμα αίτησης για ένταξη στη σύνοδο το οποίο μεταδίδεται βήμα προς βήμα με τεχνικές unicast. Μόλις φτάσει στον κεντρικό δρομολογητή ή κάποιον άλλο που ανήκει στο δένδρο της συνόδου, εκπέμπεται προς τα πίσω απαντητικό μήνυμα επιβεβαίωσης. Η πορεία που περνά τόσο το μήνυμα ένταξης, όσο και το μήνυμα επιβεβαίωσης, ουσιαστικά χαράζει την πορεία του δρομολογίου δηλαδή του κλάδου του δένδρου που δημιουργείται. Αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι η κυκλοφορία των πακέτων είναι αμφίδρομη, και προς τα πάνω και προς τα κάτω (από και προς τους δρομολογητές).

Η ύπαρξη του πυρήνα είναι εξαιρετικής σημασίας για την ορθή λειτουργία του πρωτοκόλλου, γι'αυτό το λόγο αν αυτός αποτύχει θα πρέπει το πρωτόκολλο να είναι σε θέση να το αντιληφθεί και να ξεκινήσει τη διαδικασία επιλογής νέου και δημιουργίας δένδρου γύρω από αυτόν. Για να επιτευχθεί ο έλεγχος της κατάστασης ο κάθε δρομολογητής στέλνει μέσα στο δένδρο στον δρομολογητή που βρίσκεται ένα επίπεδο πιο πάνω από αυτόν (γονέας)

μήνυμα ελέγχου. Αν δεν υπάρξει απάντηση τότε ο δρομολογητής συμπεραίνει ότι ο «γονέας» του δεν λειτουργεί και ξεκινά διαδικασία εύρεσης νέας σύνδεσης.

2.2.4. Protocol Independent Multicast (PIM)

Χαρακτηριστικό αυτής της αρχιτεκτονικής σε αντίθεση με την προηγούμενη είναι ότι οι αποστολείς έχουν τη δυνατότητα να στείλουν μηνύματα απευθείας στα μέλη της συνόδου και όχι απαραίτητα μέσω του πυρήνα του δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται με την επιλογή της χρήσης του αλγορίθμου εύρεσης αντίστροφης διαδρομής (**reverse path discovery**) ο οποίος έτσι καθίσταται ο κεντρικός αναμεταδότης των πακέτων από τους αποστολείς στους δέκτες. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο παρέχεται και η δυνατότητα της επιλογής αποστολής με χρήση δένδρου **source based**.

Το ουσιαστικό πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο PIM είναι ότι προσφέρει τα πλεονεκτήματα δύο διαφορετικών τεχνικών : δένδρο μικρότερης διαδρομής (**shortest path tree**) και διαμοιραζόμενου δένδρου (**shared based tree**). Τα μηνύματα ελέγχου μεταδίδονται με το πρωτόκολλο IP unicast ενώ τα πακέτα αποστέλλονται πολλαπλά μόνο μεταξύ των PIM δρομολογητών. Όπως και η προηγούμενη τεχνική και το συγκεκριμένο πρωτόκολλο χρησιμοποιεί τη μέθοδο της «συνάντησης»: Όταν ένας δρομολογητής λάβει κάποιο μήνυμα ένταξης στη σύνοδο από κάποιο σταθμό τότε ξεκινά την περιοδική αποστολή παρόμοιων μηνυμάτων με την τεχνική της αντίστροφης διαδρομής για την συγκεκριμένη ομάδα. Όλοι οι ενδιάμεσοι δρομολογητές που λαμβάνουν τα μηνύματα αυτά εγκαθιστούν τον κλάδο του δένδρου ο οποίος πηγάζει από τον σταθμό που υπέβαλε την αίτηση ένταξης στη σύνοδο. Όταν στη συνέχεια κάποιος αποστολέας στείλει πακέτα στην multicast ομάδα ο τελευταίος στη σειρά διαδρομής δρομολογητής ενσωματώνει το πακέτο σε ένα μήνυμα ένταξης στο πρωτόκολλο RP για τη δημιουργία κλάδου αποστολής μηνυμάτων συνδέοντας απευθείας τους αποστολείς με τους δέκτες.

Όπως τονίστηκε προηγουμένως, είναι δυνατή η κατ'επίκληση χρήση δένδρου source based. Αυτό επιτυγχάνεται με την εκπομπή μηνύματος αίτησης από τον τελευταίο στη διαδρομή δέκτη-αποστολέα δρομολογητή. Η

επεξεργασία των μηνυμάτων αυτών από τους ενδιάμεσους δρομολογητές οδηγεί στη δημιουργία δένδρου μικρότερης διαδρομής με ρίζα στον αποστολέα και απολήξεις στους δέκτες.

Αυτή η τεχνική παρέχει αποδοτική δρομολόγηση σε group ευρέως κατανομημένα, με εξοικονόμηση εύρους ζώνης. Το γεγονός ότι παρέχει τη δυνατότητα επιλογής αλγορίθμου δρομολόγησης την καθιστά ιδιαίτερα ευέλικτη στην υποστήριξη διαφορετικών εφαρμογών.

2.3. Σύγκριση τεχνικών

Στον παρακάτω πίνακα επιχειρείται μια συνοπτική παρουσίαση των τεχνικών που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους με βάση τις λειτουργίες που υποστηρίζουν, τα δένδρα δρομολόγησης που χρησιμοποιούν και μειονεκτήματα που παρουσιάζουν.

<u>Λειτουργία</u>	<u>DVMRP</u>	<u>MOSPF</u>	<u>CBT</u>	<u>PIM</u>
Αναζήτηση γειτόνων	Με ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των δρομολογητών	Με ανακοινώσεις Κατάστασης κόμβων πρωτοκόλλου OSPF	Δεν υπάρχει επιπλέον μηχανισμός	Δεν υπάρχει επιπλέον μηχανισμός
Συνεργασία με το unicasting	Οι δρομολογητές συμβουλευονται τους πίνακες unicast δρομολόγησης			Μετάδοση πακέτων και μηνυμάτων ελέγχου όπως στο unicasting
Καταλληλότητα	Όπου υπάρχει αρκετό εύρος ζώνης		Όπου δεν υπάρχει αρκετό εύρος	
Δένδρο	Source based tree		Shared tree	Συνδυασμός
Έναρξη κατασκευής δένδρου	Όταν αποστολέας στέλνει Πακέτο για αποστολή	Πριν την αποστολή multicast	Όταν ένας δέκτης κατατάσσεται στην ομάδα	Όταν αποστολέας στέλνει πακέτο ή δέκτης κατατάσσεται σε ομάδα
Κατασκευή δένδρου	Δυναμική	Στατική	Στατική	Στατική
Δρομολογητές μηνυμάτων	Στέλνουν πακέτα απευθείας	Στέλνουν πακέτα αφού υπολογιστεί το δένδρο	Στέλνουν πακέτα στον κεντρικό δρομολογητή	Στέλνουν Πακέτα στο σημείο της «συνάντησης»
Μειονέκτημα	Κατανάλωση πόρων συστήματος		Χρόνος καθυστέρησης	Πολυπλοκότητα

3. Multicasting στο επίπεδο μεταφοράς (Transport layer)

Παράλληλα με τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που αφορούν το επίπεδο του δικτύου και περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους θα πρέπει να παρουσιαστούν και τα διάφορα πρωτόκολλα που κυριαρχούν στο επίπεδο μεταφοράς. Η αναζήτηση και περιγραφή περιορίζεται κυρίως σε εκείνα που υποστηρίζουν πολυμεσική κυκλοφορία[13][14]. Μιας και η αναλυτική περιγραφή των διαφόρων πρωτοκόλλων είναι πολύ δύσκολη θα επιχειρηθεί η παρουσίαση τους ως προς τα βασικά σημεία που τα διαφοροποιούν μεταξύ τους. Αυτό που χαρακτηρίζει και κατηγοριοποιεί τα πρωτόκολλα είναι ο τρόπος που μεταδίδουν τα δεδομένα, ο μηχανισμός ανάκτησης δεδομένων που έχουν απολεστεί, η μετάδοση δεδομένων που πρέπει να αναμεταδοθούν, ο τρόπος διαχείρισης του multicast group, ο μηχανισμός ελέγχου των πόρων του συστήματος (ώστε να μην υπερχειλίζουν με δεδομένα δέκτες πιο αργοί από τους μεταδότες των μηνυμάτων), εφαρμογή για την οποία αρχικά σχεδιάστηκαν (πολυμέσα) κτλ.

3.1. RTP (Real-time Transport Protocol)

Ο στόχος ανάπτυξης του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου ήταν η υποστήριξη υπηρεσιών πολυμεσικής συνόδου πολλαπλών μερών στο Internet. Η μετάδοση των δεδομένων γίνεται μονόδρομα και βασίζεται στο RTCP (Real Time Control Protocol)[15] για την υποστήριξη αμφίδρομου καναλιού για μετάδοση πληροφορίας ελέγχου. Σαν πρωτόκολλο πραγματικού χρόνου δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην αποφυγή απώλειας πακέτων κατά την μετάδοση αφού η επαναμετάδοσή τους είναι δεν χρησιμεύει σε τέτοιες εφαρμογές. Σύμφωνα με τον προτεινόμενο μηχανισμό ελέγχου οι πηγές μετάδοσης video επιλέγουν πιθανοκρατικά την ομάδα δεκτών που θα χρησιμοποιηθούν για σήματα ανάδρασης στα οποία βασίζεται η πηγή των μηνυμάτων για να προσαρμόσει το ρυθμό μετάδοσης τους. Με αυτό τον τρόπο οι μεταδότες αποστέλλουν τα block από το πακέτο που χάθηκαν στην ομάδα των δεκτών που δεν τα έλαβαν και συνεπώς έστειλαν σήμα μη λήψης(NACK).

3.2. SRM (Scalable Reliable Multicast)

Οι συμμετέχοντες με αυτό το πρωτόκολλο μεταδίδουν ένα σήμα μη λήψης προκειμένου να ζητήσουν την επαναμετάδοση των χαμένων δεδομένων[16].

Το σήμα αυτό μπορεί να απαντηθεί από οποιοδήποτε μέλος έχει την πληροφορία. Για να αποφευχθεί τόσο η αυξημένη κυκλοφορία όσο και η άσκοπη δημιουργία αντιγράφων του απολεσθέντος πακέτου το κάθε τερματικό περιμένει ένα τυχαίο χρόνο πριν την μετάδοση ενός σήματος μη λήψης ή την αναμετάδοση απολεσθέντων δεδομένων και την αναστέλλει αν «ακούσει» κάποιο άλλο τερματικό να κάνει το ίδιο πράγμα.

3.3. LBRM (Log Based Receiver reliable Protocol)

Το πρωτόκολλο[17] αυτό χρησιμοποιεί έναν ενδιάμεσο log-server για αποθήκευση όλων των πακέτων που εκπέμπει η πηγή και αναμετάδοση των απολεσθέντων. Ενδεχομένως, όμως να υπάρχουν παραπάνω από έναν server οπότε σ'αυτή την περίπτωση οι servers μπορεί να είναι ιεραρχημένοι σε πρωτεύοντα και δευτερεύοντες, οι οποίοι δρουν σαν πληρεξούσιοι proxy servers ανάμεσα στους πελάτες τους και τον πρωτεύοντα log-server. Ο έλεγχος της αποστολής γίνεται με χρήση μηνυμάτων μη λήψης (NACK) μεταξύ των δεκτών και του ενδιάμεσου server και μηνυμάτων επιβεβαίωσης λήψης (ACK) ανάμεσα στον ενδιάμεσο server και την πηγή της μετάδοσης. Αν υπάρχουν πολλοί ιεραρχημένοι servers τότε είναι δυνατό κάποιος από αυτούς να αποστείλει τα δεδομένα που έχουν χαθεί στην ομάδα που εξυπηρετεί, αν τα έχει ήδη αποθηκευμένα, διαφορετικά τα ζητά από τον πρωτεύοντα. Επίσης ανάλογα με τα σήματα μη λήψης που λαμβάνουν οι server αυτοί επιλέγουν αν θα μεταδώσουν απλά ή πολλαπλά τα δεδομένα που έχουν χαθεί.

3.4. RAMP(Reliable Adaptive Multicast Protocol)

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει πολλαπλή αποστολή σε περιβάλλοντα δικτύων gigabit, οπτικών ινών, και μεταγωγής κυκλώματος[18]. Το πρωτόκολλο αυτό εγκαθίσταται πάνω από οποιοδήποτε πρωτόκολλο του επιπέδου του δικτύου όπως το IP-multicast και παρέχει αξιόπιστη διανομή πακέτων με χρήση σημάτων μη λήψης. Τα δεδομένα μεταδίδονται περιέχοντας μια αυξανόμενη σειρά αριθμών που ορίζουν τη σειρά τους κι έτσι μόλις ένας δέκτης αντιληφθεί κάποιο κενό στη μετάδοση στέλνει σήμα μη λήψης προς την πηγή των δεδομένων. Ανάλογα με την εφαρμογή επιλέγεται η απλή μετάδοση ή η πολλαπλή για τα δεδομένα που έχουν χαθεί. Ένας μεταδότης που χρησιμοποιεί αυτό το πρωτόκολλο έχει δυο

επιλογές λειτουργίας burst ή idle, στις οποίες μπορεί να εναλλάσσεται κατά τη διάρκεια της σύνδεσης ανάλογα με τον όγκο των προς μετάδοση δεδομένων και τον αριθμό των δεκτών. Στην πρώτη περίπτωση (burst) ο μεταδότης αποστέλλει αδιάκοπα το μήνυμα και αναμένει με την λήξη της αποστολής σήμα επιβεβαίωσης από τον δέκτη. Αν δεν το λάβει προσπαθεί ξανά και τελικά αν δεν συμβεί το ίδιο απορρίπτει τον δέκτη από τη ομάδα που εξυπηρετεί. Στην δεύτερη περίπτωση (idle) ο μεταδότης στέλνει ένα μήνυμα ελέγχου αμέσως μόλις λάβει από τους δέκτες μήνυμα αποδοχής μηνύματος και όταν δεν έχει δεδομένα προς αποστολή περιμένοντας απάντηση από τους δέκτες. Αν κάποιος δέκτης δεν λάβει τέτοιο μήνυμα το αντιλαμβάνεται σαν απώλεια δεδομένων και ζητά επανάληψη μετάδοσης.

Το πρωτόκολλο αυτό έχει τη δυνατότητα να προσαρμόσει ο μεταδότης τον ρυθμό του με βάση τον πιο αργό δέκτη.

3.5. TRM(Transport protocol for Reliable Multicast)

Η χρήση αυτού του πρωτοκόλλου[13][14] υποστηρίζει την αξιόπιστη επικοινωνία πολλαπλών σημείων επιτρέποντας αλληλοεπιδρώμενες πολυμεσικές εφαρμογές. Με βάση το πρωτόκολλο η πηγή των δεδομένων δεν έχει γνώση των μελών και η διαχείριση γίνεται από την εφαρμογή, μπορεί δε το κάθε μέλος να εισχωρεί ή να αποχωρεί από την ομάδα όποτε επιθυμεί. Η πηγή μεταδίδει δεδομένα ή, όταν δεν έχει δεδομένα για μετάδοση, σήματα με τον σειριακό αριθμό του τελευταίου πακέτου που μεταδόθηκε. Αν κάποιος δέκτης αντιληφθεί κενό στους αριθμούς αυτούς στέλνει σήμα μη λήψης ζητώντας έτσι επανάληψη. Προκειμένου να μην στέλνονται από πολλούς δέκτες σήματα που αφορούν το ίδιο πακέτο, ο κάθε δέκτης «ακούει» για τυχαίο χρόνο αν άλλοι δέκτες στέλνουν μηνύματα που αφορούν το ίδιο πακέτο και αν ναι τότε αναστέλλει το δικό του σήμα. Η επανάληψη της μετάδοσης μπορεί να γίνει από οποιοδήποτε μέλος της ομάδας και για να αποφευχθούν πολλές αναμεταδόσεις χρησιμοποιούνται πιθανοκρατικοί αλγόριθμοι αναστολής τους.

3.6. STORM(Structure Oriented Resilient Multicast)

Το πρωτόκολλο αυτό κάνει ανάκτηση λαθών οργανώνοντας τα μέλη του με χρήση δυναμικών γραφημάτων διανομής(όχι απαραίτητα δένδρα)[13][14]. Το

κάθε μέλος κρατά μία λίστα με όλους τους κόμβους των γονέων του και μόλις χαθεί κάποιο πακέτο αποστέλλει απλά(unicast) προς τον γονέα του σήμα μη λήψης. Αν δεν υπάρχει ανταπόκριση στέλνει το ίδιο σήμα σε άλλο γονέα του μέχρι να λάβει το πακέτο που έχασε. Μόλις με τη σειρά του ένας γονέας λάβει ένα σήμα μη λήψης από κάποιο θυγατρικό κόμβο, εξετάζει αν έχει αποθηκευμένο το συγκεκριμένο πακέτο οπότε και του το αποστέλλει. Τα γραφήματα ανάκτησης λαθών αλλάζουν ανάλογα με τις αλλαγές που γίνονται στα μέλη. Όταν κάποιος κόμβος επιθυμεί να εισχωρήσει στην ομάδα με χρήση κατάλληλου αλγορίθμου ψάχνει για κόμβους γονέων. Έτσι μόλις κάποιο μέλος της ομάδας λάβει σήμα αναζήτησης γονέα από κάποιο κόμβο, ανταποκρίνεται στέλνοντας ένα μήνυμα στο οποίο περιέχεται πληροφορία για την ενδιάμεση μνήμη του(buffer). Ο νέος κόμβος μπορεί έτσι να επιλέξει τον γονέα του με βάση τις δυνατότητες του. Όσο πιο μεγάλη είναι η μνήμη αυτή τόσο πιο μικρός είναι ο χρόνος ανάκτησης λαθών. Προκειμένου να είναι πιο αποτελεσματική η λειτουργία όλου του συστήματος οι κόμβοι σε τακτά χρονικά διαστήματα μετρούν την επίδοση των γονέων τους, και αν χρειάζεται κάποιοι από αυτούς απορρίπτονται και αντικαθίστανται από άλλους, ακολουθώντας διαδικασία αναζήτησης γονέα όπως κατά την εισχώρηση ενός κόμβου στην ομάδα.

4. Επίλογος

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής επιχειρήθηκε η συνοπτική παρουσίαση αρχιτεκτονικών και πρωτοκόλλων διαχείρισης πολλαπλής αποστολής μηνυμάτων (multicasting) πολυμεσικών εφαρμογών. Η κύρια προσπάθεια αφορά το περιβάλλον του Internet και εστιάστηκε στα επίπεδα μεταφοράς και δικτύου, τα οποία και είναι υπεύθυνα για τον χειρισμό της παραπάνω λειτουργίας. Για περαιτέρω εμβάθυνση στο αντικείμενο ο αναγνώστης παραπέμπεται στην χρησιμοποιηθείσα βιβλιογραφία. Ωστόσο, για το συγκεκριμένο αντικείμενο υπάρχει συνεχής έρευνα, προς ανάπτυξη αποδοτικών τεχνικών, με αποτέλεσμα την ύπαρξη πλούσιου υλικού. Αν και εντοπίστηκαν άρθρα που αφορούν την ανάπτυξη τέτοιων τεχνικών, λόγω του ότι αυτά στην ουσία στηρίζονται σε παραλλαγές των τεχνικών που παρουσιάστηκαν παραπάνω, δεν αναφέρονται στην συγκεκριμένη εργασία γιατί κρίθηκε ότι εντάσσονται στα πλαίσια αυτών, άλλωστε η παρουσίαση των

αποτελεσμάτων της έρευνας διαφόρων ερευνητικών ομάδων που έχουν σαν σκοπό την βελτιστοποίηση των διαφόρων μεθόδων δύσκολα μπορεί να παρακολουθηθεί και να παρουσιαστεί. Παρόλα αυτά, ορισμένα παρατίθενται ως επιπλέον βιβλιογραφία.

Βιβλιογραφία

- [1] A.Tanenbaum, Computer Networks 3rd Edition.
- [2] Jhyda Lin, Ruay-Shing Chang, A Comparison of the Internet Multicast Routing Protocols, Computer Communications 22 (1999).
- [3] G.Xylomenos, G.Polyzos, IP Multicast Group Management for point to point Local Distribution, Computer Communications 21 (1998).
- [4] S.Deering, C.Partridge, D.Waitzman, Distance Vector Multicast Routing Protocol, RFC 1075, Nov 1988.
- [5] J.Moy, Multicast Extensions to OSPF, RFC 1584, March 1994.
- [6] Seng Hyun Hwang, Multicast Connection Management in the Binding Architecture Framework, <http://comet.ctr.columbia.edu>.
- [7] S.Deering, D.Estin, D.Fariancci, M.Handley, A.Helmy, U.Jacobson, C. Liu, P.Shouma, D.Thaler, L.Wei, Protocol Independent Multicast-Spare Mode (PIM-SM), protocol specification RFC 2117, June 1997.
- [8] S.Deering, D.P.Cherton, Multicast Routing in Datagram Internetworks and Extended LAN's, ACM Trans.Computer Systems, May 1990.
- [9] O.Hermanns, M.Schuba, Performance Investigation of the IP Multicast Architecture, Computer Networks and ISDN Systems 28 (1996).
- [10] V.P.Kompella, J.C.Pasquale, G.C.Polyzos, Multicast Routing for Multimedia Communication, IEEE/ACM Transactions on Networking 1 (3) (1993).
- [11] Chor Ping Low, Loop-free Multicast Routing with End-to-End Delay Constraint, Computer Communications 22 (1999).
- [12] B.Simov, S.Trinandapani, M.Borella, Approximate Bounds and Expressions for the Link Utilization of Shortest Path Multicast Network Traffic, Perf. Evaluation 35 (1999).
- [13] K.Obraczka, Multicast Transport Protocols: A survey and taxonomy, IEEE Communications Magazine, Jan.1998.
- [14] <http://www.tascnets.com/mist/doc/mcpCompare.html#Protocols>

[15] H.Schulzrinne et al, RTP: A Transport Protocol for Real Time Applications, RFC 18889, Jan.1996.,

[16] S.Floyd, A Reliable Multicast Framework for Lightweight Sessions and Application Level Framing, ACM SIGCOMM '95, Oct.1995.,

[17] H.W.Holbrook,S.K.Singhal,D.R.Cherton, Log-based Receiver Reliable Multicast for Distributed Interactive Simulation, ACM SIGCOMM'95, Oct.1995.,

[18] A.Kaufman, S.Rabele, RAMP: A Reliable Adaptive Multicast Protocol, Proc.Infocom'96, March 1996.

Επιπλέον Βιβλιογραφία

1. Chu-Fu Wang, Bo-Rong Lai, Rong-Hong Jan, Optimum Multicast of Multimedia Streams, Computers & Operations Research 26 (1999),

(Αναφέρεται στους περιορισμένους πόρους όπως το εύρος ζώνης και σε προβλήματα που εισάγονται σε συστήματα VOD (Video On Demand) πολλαπλών συνόδων με σκοπό τη βελτίωση των μεθόδων κατανομής σε πολυμεσικά δίκτυα)

2. C.P. Ravikumar, R.Bajpai, Source-based Delay-bounded Multicasting in Multimedia Networks, Computer Communications 21 (1998),

(Παρουσίαση ενός νέου αλγορίθμου για την λύση στο πρόβλημα του περιορισμού από χρονική καθυστέρηση πολλαπλής αποστολής στα πολυμεσικά δίκτυα που στηρίζονται σε τεχνικές source based)

3. C.M. Huang, H.Y. Kung, P.C. Liu, EFSM-based Continuous Media Synchronization in Multicast Networks, Computer Communications 20 (1997).

(Παρουσιάζεται μια συγκεκριμένη πρόταση για πολυμεσικά δίκτυα πολλαπλών σημείων που αφορά την αντιμετώπιση του συγχρονισμού πηγής και δεκτών με χρήση κατάλληλων servers)

4. G.Poo, J.Tang, Measuring the performance of OrbixTalk: a reliable multicast messaging system, Computer Communications 23 (2000).

(Παραλήφθηκε γιατί δεν αναφέρεται σε πολυμεσικά δίκτυα. Παρουσιάζει την επίδοση του συστήματος OrbixTalk με εφαρμογές C++ και Java)