

4. Η ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΠΡΟΟΡΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

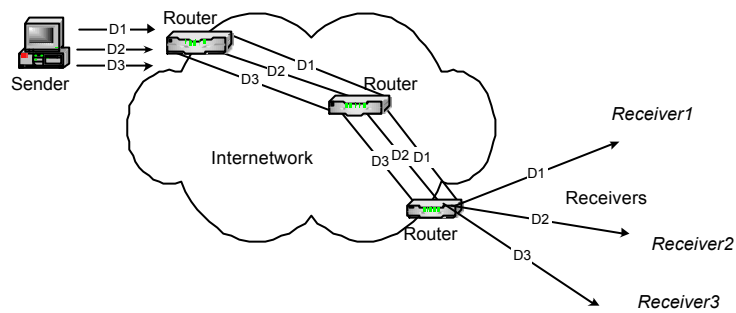
4.1 Εισαγωγή

Οι περισσότερες από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες παραδοσιακές εφαρμογές του Διαδικτύου, όπως π.χ. οι web browser και το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mail), λειτουργούν ανάμεσα σε ένα αποστολέα (sender) και ένα παραλήπτη (receiver). Σε πολλές όμως εφαρμογές, ένας αποστολέας απαιτείται να μεταδώσει την πληροφορία του ταυτόχρονα σε μια ομάδα παραληπτών. Είναι αυτονόητο ότι η ταυτόχρονη διανομή της πληροφορίας σε πολλαπλούς παραλήπτες βοηθά να αυξηθεί η ικανότητα ενός οργανισμού ή μιας εταιρείας να επικοινωνεί και να συνεργάζεται και παράλληλα να μεγιστοποιεί τα κέρδη της από την επένδυση που είχε γίνει για το δίκτυο. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι η μετάδοση εταιρικών μηνυμάτων στους υπαλλήλους, τηλεοπτικές και ακουστικές συνδιασκέψεις για την επιτέλεση απομακρυσμένων συναντήσεων, πιστή αντιγραφή βάσεων δεδομένων και πληροφοριών από διάφορες ιστοσελίδες, ζωντανή μετάδοση εκπαιδευτικών ή πανεπιστημιακών προγραμμάτων με πολυμέσα, διαβίβαση των τιμών προσφερόμενων μετοχών σε χρηματιστές, διαρκώς νέα και ενημερωμένα αποτελέσματα κατά τη διεξαγωγή εκλογών, συνεργατικός προγραμματισμός, μετάδοση ζωντανών προγραμμάτων τηλεοπτικών δικτύων ή ραδιοφωνικών και ειδησιογραφικών εκπομπών, κ.λ.π..

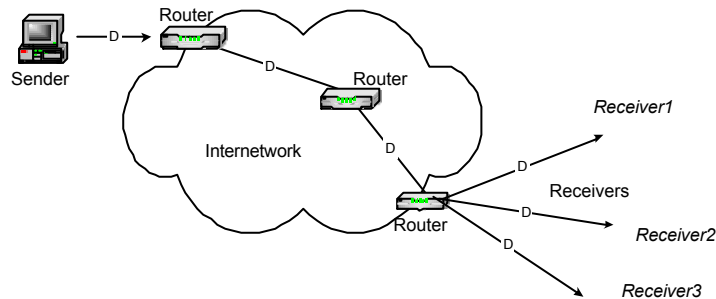
Αυτού του είδους οι εφαρμογές επιτείνουν την ανάγκη βελτιώσεων στον τρόπο χειρισμού της κίνησης, έτσι ώστε να εκλείψουν πιθανά προβλήματα κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η υπηρεσία πολλαπλών προορισμών στο Διαδίκτυο (Multicasting) είναι μία αποδοτική λύση, βασισμένη σε αναγνωρισμένους κανόνες, με μεγάλη υποστήριξη από τις σύγχρονες βιομηχανίες. Η υπηρεσία πολλαπλών προορισμών βασίζεται σε μία επέκταση του πρωτοκόλλου του διαδικτύου (Internet Protocol, IP). Με τους πολλαπλούς προορισμούς οι εφαρμογές στέλνουν την πληροφορία στη διεύθυνση μιας ομάδας και με αυτό τον τρόπο η πληροφορία φτάνει τελικά σε όλους τους παραλήπτες που πρέπει να την λάβουν. Χωρίς την υπηρεσία πολλαπλών προορισμών, η ίδια πληροφορία θα έπρεπε να μεταδοθεί στο δίκτυο πολλές φορές (μία για κάθε παραλήπτη), ή να δημοσιοποιηθεί στον οποιονδήποτε στο δίκτυο, καταναλώνοντας άσκοπα με τον τρόπο αυτό εύρος ζώνης και επεξεργαστική ισχύ και πιθανότατα οδηγώντας σε αναγκαστική μείωση του αριθμού των συμμετεχόντων. Η υπηρεσία πολλαπλών προορισμών στο IP εμπλέκει ομάδες παραληπτών που μετέχουν σε συνόδους (sessions) πολλαπλών προορισμών (multicasting). Τα μέλη της ομάδας είναι οι μόνοι που λαμβάνουν την κίνηση μιας συγκεκριμένης συνόδου πολλαπλών προορισμών. Οι τεχνολογίες για την επίτευξη της υπηρεσίας πολλαπλών προορισμών που αναπτύσσονται διαρκώς από το 1990 λόγω της εξαιρετικά μεγάλης πρακτικής σημασίας της, περιλαμβάνουν μηχανισμούς σε διάφορα επίπεδα εντός της δικτυακής και διαδικτυακής υποδομής, οι οποίοι είναι σχεδιασμένοι με απώτερο σκοπό να εξασφαλίζουν υψηλή επίδοση.

4.2 Πλεονεκτήματα της Υπηρεσίας Πολλαπλών Προορισμών

Η υπηρεσία πολλαπλών προορισμών (multicast ή point-to-multipoint) είναι ένας τρόπος επικοινωνίας στον οποίο το τερματικό που αποτελεί την πηγή των δεδομένων στέλνει την πληροφορία σε μία ομάδα (group) από τερματικά που αποτελούν τον προορισμό (destination). Παρά το γεγονός ότι η ίδια εφαρμογή θα μπορούσε να υλοποιηθεί με αποστολή ξεχωριστών μηνυμάτων (unicast, point-to-point) σε κάθε ένα από τα τερματικά προορισμού, υπάρχουν πολλοί λόγοι που καθιστούν την υπηρεσία πολλαπλών προορισμών ιδιαίτερα ελκυστική.



Σχήμα 4.1
Εκπομπή Unicast



Σχήμα 4.2
Multicast μετάδοση δεδομένων

Στο Σχήμα 4.1 τρία αντίγραφα των ίδιων δεδομένων (D) στέλνονται από σημείο-προς-σημείο σαν D1, D2, D3 στους παραλήπτες 1, 2 και 3 σε μια κοινή εφαρμογή τηλεδιάσκεψης. Αυτές είναι unicast μεταδόσεις που στέλνονται σημείο-προς-σημείο από έναν αποστολέα σε έναν παραλήπτη.

Στο Σχήμα 4.2 ένα αντίγραφο δεδομένων (D) στέλνεται στους πολλαπλούς παραλήπτες 1, 2 και 3 με multicast σε μια κοινή εφαρμογή

ηλεδιάσκεψης. Μπορεί κανείς να προσέξει την οικονομία σε εύρος ζώνης τοπικά αλλά και κατά μήκος των δικτύων, ιδιαίτερα αν στην περίπτωση που θα είχαμε 100 παραλήπτες.

Ο πρώτος λοιπόν και βασικός παράγοντας για την χρήση των πολλαπλών προορισμών είναι η μείωση του φορτίου, δηλαδή του όγκου πληροφορίας που διαρρέει το δίκτυο. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα χρηματιστηριακές εφαρμογές, οι οποίες απαιτούν να αποστέλλονται πακέτα δεδομένων σε εκατοντάδες σταθμούς. Τα πακέτα που στέλνονται σε αυτούς τους σταθμούς μοιράζονται μία ομάδα ζεύξεων (group of links) κατά μήκος των διαδρομών που ακολουθούν για να φθάσουν στους προορισμούς τους. Εφόσον οι πολλαπλοί προορισμοί απαιτούν την εκπομπή ενός και μοναδικού πακέτου από την πηγή και δημιουργούν πανομοιότυπα αντίγραφα αυτού του πακέτου (αν είναι απαραίτητο και μόνο στα σημεία διακλάδωσης ενός δένδρου διανομής πολλαπλών προορισμών – multicast delivery tree-), η εκπομπή σε πολλαπλούς προορισμούς μπορεί να μειώσει το εύρος ζώνης του δικτύου σε σχέση με αυτό που χρησιμοποιείται για πολλές unicast μεταδόσεις. Υπάρχουν επομένως οικονομικά οφέλη από την εξοικονόμηση των πόρων του δικτύου, αλλά και από την προστιθέμενη αξία από τα καινούργια είδη εφαρμογών των οποίων η ανάπτυξη επιτρέπεται μέσω της υπηρεσίας πολλαπλών προορισμών, πράγμα αδύνατο όταν η μετάδοση στηρίζεται σε unicast.

Επιπλέον το συγκεκριμένο πρωτόκολλο IP για υπηρεσία πολλαπλών προορισμών (IP Multicast) μπορεί να συνεργάζεται και με άλλα πρωτόκολλα διαδικτύου και υπηρεσίες, όπως π.χ. αιτήσεις για ποιότητα υπηρεσίας για την υποστήριξη εφαρμογών πολυμέσων πραγματικού χρόνου. Ένα άλλο πεδίο στο οποίο η υπηρεσία πολλαπλών προορισμών μπορεί να αποδειχτεί ιδιαίτερα χρήσιμη είναι η ανακάλυψη πηγών πληροφορίας (resource discovery). Υπάρχουν πολλές εφαρμογές στις οποίες ένα τερματικό χρειάζεται να ανακαλύψει αν ένα συγκεκριμένο είδος υπηρεσιών είναι διαθέσιμο ή όχι. Πρωτόκολλα του Internet όπως το Bootstrap Protocol (BOOTP) και το Open Shortest Path First (OSPF) αποτελούν εφαρμογές αυτού του είδους. Η χρήση μηνυμάτων πολλαπλών προορισμών και η αποστολή ερωτήσεων σε εκείνα τα τερματικά, που δυνητικά είναι σε θέση να παράσχουν το ζητούμενο είδος υπηρεσιών, αποτελεί ισχυρό εργαλείο για τέτοιου είδους εφαρμογές. Παρά το γεγονός ότι μερικές εφαρμογές χρησιμοποιούν μηνύματα πολλαπλών προορισμών για να μεταδώσουν ένα πακέτο σε μία ομάδα από τερματικά που συνυπάρχουν στο ίδιο δίκτυο, δεν υπάρχει πάντοτε λόγος να επιβάλλεται αυτός ο τρόπος διανομής μηνυμάτων τοπικά. Ιδιαίτερα σε απομακρυσμένα δίκτυα, και στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότεροι από ένας εξυπηρετητές ανά δίκτυο, απλά πρέπει να ανακαλύπτεται ποιος είναι ο τοπικός domain-name εξυπηρετητής, και τα μηνύματα πολλαπλών προορισμών να προωθούνται μέχρι εκεί. Η εμβέλεια των μηνυμάτων πολλαπλών προορισμών μπορεί να περιορισθεί χρησιμοποιώντας το χαρακτηριστικό πεδίο «Time-To-Live» (TTL) αυτών των πακέτων.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό των πολλαπλών προορισμών αποτελεί το γεγονός ότι υποστηρίζει εφαρμογές datacasting. Τα τελευταία χρόνια, η εκπομπή πολυμέσων είναι και συνεχίζει να γίνεται ιδιαίτερα δημοφιλής. Τα οπτικά και ακουστικά σήματα (video & audio signals) αιχμαλωτίζονται, συμπιέζονται και μεταδίδονται σε ομάδες σταθμών που λαμβάνουν. Αντί να χρησιμοποιείται ένα σύνολο συνδέσεων σημείο-προς-σημείο (point-to-point connections) ανάμεσα στους συμμετέχοντες κόμβους, οι πολλαπλοί προορισμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατανομή των δεδομένων πολυμέσων στους παραλήπτες. Ένας σταθμός μπορεί να συμμετάσχει ή να αποχωρήσει (join or leave) σε ένα audio-cast ή video-cast οποιαδήποτε στιγμή. Η ευελιξία συμμετοχής/ αποχώρησης σε/από μία ομάδα, που παρέχεται από την υπηρεσία πολλαπλών προορισμών, μπορεί να κάνει το χειρισμό της μεταβαλλόμενης συμμετοχής (membership) πιο εύκολη.

Η έννοια της Ομάδας είναι σημαντική για την αρχή των πολλαπλών προορισμών. Εξ ορισμού ένα μήνυμα πολλαπλών προορισμών αποστέλλεται από μία πηγή σε μία ομάδα από τερματικά προορισμού. Στο IP Multicasting, οι ομάδες πολλαπλών προορισμών έχουν ένα κωδικό αναγνώρισης ID, γνωστό ως multicast group ID. Οποτεδήποτε στέλνεται ένα μήνυμα πολλαπλών προορισμών, ένα multicast group ID προσδιορίζει την ομάδα προορισμού. Αυτά τα IDs των ομάδων δεν είναι ουσιαστικά τίποτε άλλο από ένα σύνολο διευθύνσεων IP, γνωστές ως "CLASS D". Ως εκ τούτου, αν ένα τερματικό (μία διαδικασία σε ένα τερματικό) επιθυμεί να λάβει ένα μήνυμα πολλαπλών προορισμών που στέλνεται σε μία συγκεκριμένη ομάδα, χρειάζεται με κάποιον τρόπο να ακούσει όλα τα μηνύματα που προορίζονται για τη συγκεκριμένη ομάδα. Αν η πηγή και οι προορισμοί ενός μηνύματος πολλαπλών προορισμών μοιράζονται έναν κοινό δίαυλο (π.χ. το Ethernet Bus), κάθε τερματικό χρειάζεται τότε μόνο να ξέρει ποιες ομάδες έχουν μέλη ανάμεσα στις διαδικασίες αυτού του τερματικού. Ωστόσο, αν η πηγή και οι προορισμοί δεν ανήκουν στο ίδιο τοπικό δίκτυο, η προώθηση των μηνυμάτων πολλαπλών προορισμών γίνεται πιο πολύπλοκη. Για να επιλυθεί το πρόβλημα της δρομολόγησης μηνυμάτων πολλαπλών προορισμών σε ένα διαδίκτυο ευρείας περιοχής (internet-wide), τα τερματικά πρέπει να συμμετέχουν σε μία ομάδα ενημερώνοντας το δρομολογητή πολλαπλών προορισμών του υποδικτύου τους. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται το Πρωτόκολλο Διαχείρισης Ομάδων Διαδικτύου (Internet Group Management Protocol, IGMP) (βλέπε §4.3.2). Η αποχώρηση ενός τερματικού από μία ομάδα γίνεται πάλι μέσω του IGMP. Με αυτόν τον τρόπο οι δρομολογητές πολλαπλών προορισμών γνωρίζουν τα μέλη των ομάδων πολλαπλών προορισμών και μπορούν να αποφασίσουν αν θα προωθήσουν ένα μήνυμα πολλαπλών προορισμών στο υποδίκτυο του ή όχι. Οποτεδήποτε ένας δρομολογητής πολλαπλών προορισμών λαμβάνει ένα πακέτο πολλαπλών προορισμών, ελέγχει το ID της ομάδας παραλαβής του μηνύματος και προωθεί το πακέτο μόνο εάν υπάρχει κάποιο μέλος της ομάδας παραλαβής στα υποδίκτυα που είναι προσαρτημένα (συνδεδεμένα) σε αυτόν. Το IGMP παρέχει τις πληροφορίες που απαιτούνται στο τελευταίο στάδιο της προώθησης ενός

μηνύματος πολλαπλών προορισμών προς τους προορισμούς του. Ωστόσο, για την παράδοση ενός πακέτου πολλαπλών προορισμών από την πηγή στους κόμβους προορισμού στα άλλα υποδίκτυα, οι δρομολογητές πολλαπλών προορισμών πρέπει να ανταλλάσσουν τις πληροφορίες που έχουν συλλέξει από τις συμμετοχές των τερματικών (που άμεσα βρίσκονται συνδεδεμένοι πάνω τους) στις διάφορες ομάδες. Υπάρχουν πολλοί και διαφορετικοί μεταξύ τους αλγόριθμοι, όπως ο αλγόριθμος Πλημμύρας (Flooding) flooding (βλέπε §4.4.1), ο αλγόριθμος Εκτεινόμενου Δένδρου (Spanning Tree) (βλέπε §4.4.2), ο αλγόριθμος Καθολικών Προορισμών Αντίστροφης Διαδρομής (Reverse Path Broadcasting, RPB), (βλέπε §4.4.3) και ο αλγόριθμος Πολλαπλών Προορισμών Αντίστροφης Διαδρομής (Reverse Path Multicasting, RPM) (βλέπε §4.4.5), για την ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης ανάμεσα στους δρομολογητές. Μερικοί από αυτούς τους αλγόριθμους έχουν χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση δυναμικών πρωτοκόλλων δρομολόγησης πολλαπλών προορισμών, όπως του Πρωτοκόλλου Διανυσματικής Απόστασης Πολλαπλών Προορισμών (Distance-Vector Multicast Protocol) (βλέπε §4.5.1), της Επέκτασης του OSPF για Πολλαπλούς Προορισμούς (Multicast extension of Open Shortest Path First, MOSPF) (βλέπε §4.5.2) και της Δρομολόγησης Πολλαπλών Προορισμών Ανεξαρτήτως του Πρωτοκόλλου (Protocol Independent Multicast, PIM) (βλέπε §4.5.3). Βασισμένοι στις πληροφορίες δρομολόγησης που αποκτώνται μέσω αυτών των πρωτοκόλλων, οποτεδήποτε ένα πακέτο πολλαπλών προορισμών αποστέλλεται σε μία ομάδα πολλαπλών προορισμών, οι δρομολογητές πολλαπλών προορισμών θα αποφασίσουν αν θα προωθήσουν αυτό το πακέτο στα υποδίκτυα τους ή όχι. Τελικά ο δρομολογητής που βρίσκεται σε φύλλα του δένδρου (leaf router) θα δει αν υπάρχουν μέλη-τερματικά της συγκεκριμένης ομάδας παραλαβής στα φυσικά προσαρτημένα (συνδεδεμένα) υποδίκτυα του και βασιζόμενος στις πληροφορίες IGMP θα αποφασίσει αν θα προωθήσει το πακέτο σε τελικό προορισμό ή όχι.

4.3 Ομάδες Πολλαπλών Προορισμών

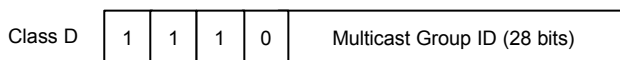
Υπάρχουν τρεις τύποι IPv4 διευθύνσεων:

1. Unicast address, οι διευθύνσεις αυτές χρησιμοποιούνται για την αποστολή μηνύματος σε ένα και μοναδικό κόμβο προορισμού
2. Broadcast address, χρησιμοποιούνται όταν ένα μήνυμα υποτίθεται ότι πρέπει να αποσταλεί σε όλους τους κόμβους ενός υποδικτύου
3. Multicast address, χρησιμοποιούνται για την παράδοση ενός μηνύματος σε μία ομάδα κόμβων προορισμού που όμως δεν είναι απαραίτητο να ανήκουν όλοι στο ίδιο υποδίκτυο.

Οι κλάσεις A, B και C χρησιμοποιούνται ως διευθύνσεις IP για μετάδοση unicast μηνυμάτων, ενώ η κλάση D (δηλαδή διευθύνσεις από 224.0.0.0 ως 239.255.255.255) χρησιμοποιείται από μηνύματα πολλαπλών προορισμών.

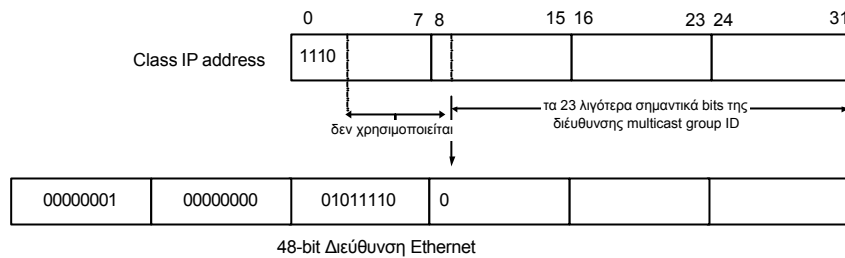
4.3.1 Διευθύνσεις πολλαπλών προορισμών

Μία διεύθυνση IP κλάσης D εκχωρείται σε μία ομάδα κόμβων ορίζοντας έτσι μία Ομάδα Multicast. Τα τέσσερα πιο σημαντικά σημεία των διευθύνσεων της κλάσης D είναι «1110». Ο 28-bit αριθμός που ακολουθεί καλείται Multicast Group ID. Μερικές από τις διευθύνσεις κλάσης D έχουν καταγραφεί από την Αρχή Εκχωρημένων Αριθμών του Internet (Internet Assigned Number Authority, IANA) για ειδικούς λόγους. Οι διευθύνσεις από 224.0.0.1 ως 224.0.0.255 έχουν κρατηθεί για χρήση από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης και κάποια άλλα χαμηλού-επιπέδου πρωτόκολλα τοπολογικής ανεύρεσης ή συντήρησης. Διευθύνσεις από 239.0.0.0 ως 239.255.255.255 έχουν κρατηθεί για να χρησιμοποιηθούν για τοπικές διαχειριστικού χαρακτήρα εφαρμογές (site-local “administratively scoped” applications), και όχι ευρέως για εφαρμογές διαδικτύου. Υπάρχουν κάποιες άλλες διευθύνσεις της κλάσης D που έχουν ήδη κρατηθεί για πασίγνωστες ομάδες, όπως οι all routers on this subnet, all DVMRP routers και all OSPF routers. Η μορφή μιας διεύθυνσης IP πολλαπλών προορισμών φαίνεται στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3
Μορφή μιας διεύθυνσης IP

Ένα πακέτο πολλαπλών προορισμών παραδίδεται στα μέλη της ομάδας με την ίδια υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (best effort service) όπως κάθε πακέτο unicast. Απώλεια του πακέτου ή παράδοση άνευ παραγγελίας είναι δυστυχώς πιθανή. Όπως και στα unicast πακέτα, πρέπει να υπάρχει μία διεύθυνση του επιπέδου MAC στην οποία να αντιστοιχίζεται η διεύθυνση IP multicast. Η IANA έχει κρατήσει ένα σύνολο διευθύνσεων MAC (κατά IEEE-802) για πακέτα πολλαπλών προορισμών, οι οποίες εκτείνονται από την 01:00:5E:00:00:00 ως την 01:00:5E:FF:FF:FF (στο δεκαεξαδικό σύστημα). Μία διεύθυνση IP multicast αντιστοιχίζεται με μία IEEE-802 διεύθυνση τοποθετώντας τα 23 λιγότερο σημαντικά bits της διεύθυνσης IP multicast στη θέση των 23 λιγότερο σημαντικών bits της διεύθυνσης πολλαπλών προορισμών επιπέδου MAC. Η αντιστοίχιση μιας διεύθυνσης IP πολλαπλών προορισμών σε μια διεύθυνση IEEE-802 επιπέδου MAC, φαίνεται στο Σχήμα 4.4:



Σχήμα 4.4
Αντιστοίχιση Διεύθυνσης Πολλαπλών Προορισμών σε διεύθυνση MAC

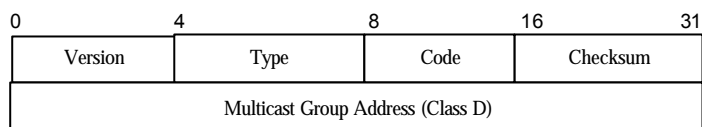
Είναι φανερό ότι από τη διαδικασία αντιστοίχισης θα υπάρχουν 32 διαφορετικές διευθύνσεις IP multicast που θα αντιστοιχούν στην ίδια διεύθυνση MAC.

4.3.2 Το Πρωτόκολλο Διαχείρισης Ομάδων Διαδικτύου (IGMP)

Τα τερματικά που επιθυμούν να λάβουν μηνύματα πολλαπλών προορισμών πρέπει να ενημερώσουν τους άμεσα-γειτονικούς δρομολογητές ότι ενδιαφέρονται να λάβουν πακέτα, τα οποία στέλνονται σε συγκεκριμένες ομάδες. Με αυτόν τον τρόπο, κάθε κόμβος μπορεί να γίνει μέλος σε μία ή περισσότερες ομάδες πολλαπλών προορισμών και να λαμβάνει τα πακέτα που στέλνονται σε αυτές. Το πρωτόκολλο μέσω του οποίου τα τερματικά επικοινωνούν με τους τοπικούς και άμεσα με αυτούς συνδεδεμένους δρομολογητές για να ανταλλάξουν τέτοιου είδους πληροφορίες είναι το Πρωτόκολλο Διαχείρισης Ομάδων Διαδικτύου (Internet Group Management Protocol, IGMP). Το IGMP επίσης χρησιμοποιείται από τους δρομολογητές για να ελέγξει περιοδικά αν τα μέλη μιας συγκεκριμένης κάθε φορά ομάδας είναι ακόμη ενεργά. Αυτό το κάνει στέλνοντας ερωτήσεις IGMP (queries) και έχοντας τα τερματικά IP να αναφέρουν για τη συμμετοχή τους στην ομάδα. Βασισμένος στην πληροφορία που έχει λάβει από το IGMP, ο δρομολογητής μπορεί να αποφασίσει για το αν θα προωθήσει τα μηνύματα πολλαπλών προορισμών που λαμβάνει στα υποδίκτυο(α) στα οποία ανήκει ή όχι. Αφού λάβει ένα πακέτο πολλαπλών προορισμών μιας συγκεκριμένης ομάδας πολλαπλών προορισμών, ο δρομολογητής θα ελέγξει εάν υπάρχει τουλάχιστον ένα μέλος αυτής της ομάδας στο υποδίκτυό του. Εάν ναι, θα προωθήσει το πακέτο σε αυτό το υποδίκτυο, διαφορετικά θα απορρίψει το πακέτο. Η πρώτη έκδοση του IGMP (IGMPv1), εμφανίστηκε το 1988 και αποτελεί πλέον ένα πρότυπο του Internet, το οποίο περιγράφεται στο [RFC1112]. Η δεύτερη έκδοση, το IGMPv2 περιγράφεται στο [RFC2236].

Συνεπώς το IGMP παρέχει έναν τρόπο ώστε ένα τερματικό να μπορεί να προσχωρεί ή να αποχωρεί από μια ομάδα πολλαπλών προορισμών. Το IGMP θεωρείται μέρος του επιπέδου IP και έχει ένα συγκεκριμένο μήκος μηνύματος, το οποίο δεν περιέχει προαιρετικά δεδομένα. Τα

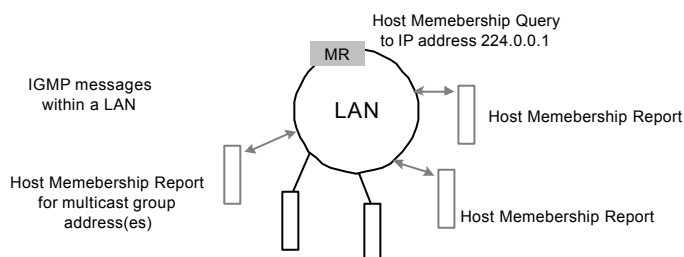
μηνύματα IGMP είναι ενθυλακωμένα σε IP datagrams και φαίνονται στο Σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.5
Μηνύματα IGMP

Το IGMP έχει μόνο δυο είδη μηνυμάτων: το Host Membership Query και το Host Membership Report, τα οποία έχουν την ίδια απλή μορφή.

Για να καθοριστεί εάν κάποια τερματικά ανήκουν σε μια ομάδα πολλαπλών προορισμών, ένας δρομολογητής πολλαπλών προορισμών (Multicast Router, MR) από το κάθε υποδίκτυο στέλνει περιοδικά μια IGMP Membership Query σε όλους τους τελικούς κόμβους IP του LAN που ανήκει, ζητώντας τους να αναφέρουν για συμμετοχή τους σε μία ή περισσότερες ομάδες. Αυτό το query στέλνεται σε όλες τις ομάδες πολλαπλών προορισμών των τερματικών και κάθε τερματικό στέλνει πίσω ένα μήνυμα IGMP Host Membership Report για κάθε ομάδα, στην διεύθυνση της ομάδας, έτσι ώστε όλα τα μέλη της ομάδας να το δουν. Με αυτό τον τρόπο μόνο ένα μέλος αναφέρει για τη συμμετοχή του. Επιπλέον ένα τερματικό δεν θα στείλει ποτέ μια αναφορά σε περίπτωση που θέλει να αποχωρήσει από μια ομάδα.



Σχήμα 4.6
Host Membership Query

4.4 Οι Αλγόριθμοι Δρομολόγησης Πολλαπλών Προορισμών

Το πρωτόκολλο IGMP δεν ασχολείται με την παράδοση των μηνυμάτων πολλαπλών προορισμών μεταξύ των γειτονικών δρομολογητών ή κατά μήκος του διαδικτύου. Για την παροχή μιας υπηρεσίας παράδοσης μηνυμάτων πολλαπλών προορισμών στο διαδίκτυο είναι απαραίτητο να

προσδιοριστούν κάποια πρωτόκολλα δρομολόγησης πολλαπλών προορισμών.

Η δρομολόγηση πολλαπλών προορισμών αποτελεί ένα πολύπλοκο πρόβλημα. Εφόσον ο αριθμός των παραληπτών μιας συνόδου πολλαπλών προορισμών μπορεί να είναι αρκετά μεγάλος, η πηγή δεν πρέπει να ξέρει όλες τις σχετικές διευθύνσεις. Αντίθετα οι δρομολογητές του δικτύου πρέπει με κάποιον τρόπο να μπορούν να μεταφράζουν διευθύνσεις πολλαπλών προορισμών σε διευθύνσεις των τερματικών. Η βασική αρχή που περιέχεται στην δρομολόγηση πολλαπλών προορισμών είναι ότι οι δρομολογητές αλληλεπιδρούν ώστε να ανταλλάξουν πληροφορία για τους γειτονικούς τους δρομολογητές. Για την αποφυγή διπλής προσπάθειας, ένας δρομολογητής επιλέγεται σαν τον αφιερωμένο (designated) δρομολογητή για κάθε φυσικό δίκτυο.

Για την αποδοτική μετάδοση, οι αφιερωμένοι δρομολογητές κατασκευάζουν ένα δένδρο το οποίο συνδέει όλα τα μέλη μιας ομάδας IP Πολλαπλών Προορισμών (IP Multicast Group). Διάφοροι αλγόριθμοι έχουν προταθεί για τη δημιουργία των δένδρων πολλαπλών προορισμών μέσω των οποίων τα μηνύματα πολλαπλών προορισμών θα παραδοθούν στους κόμβους προορισμού τους. Κάθε πρωτόκολλο δρομολόγησης πολλαπλών προορισμών είναι υπεύθυνο να δημιουργεί δένδρα διανομής μηνυμάτων πολλαπλών διαδρομών και να προωθεί μηνύματα πολλαπλών προορισμών. Στην συνέχεια αναφέρονται οι διάφοροι αλγόριθμοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης πολλαπλών προορισμών.

4.4.1 Ο αλγόριθμος Πλημμύρας (Flooding)

Ο αλγόριθμος Πλημμύρας (Flooding), που ήδη έχει χρησιμοποιηθεί σε πρωτόκολλα όπως το OSPF, είναι η απλούστερη τεχνική για την παράδοση πακέτων πολλαπλών προορισμών στους δρομολογητές ενός διαδικτύου. Σε αυτόν τον αλγόριθμο, όταν ένας δρομολογητής λάβει ένα μήνυμα πολλαπλών προορισμών, αρχικά θα ελέγξει αν έχει δει το συγκεκριμένο μήνυμα και νωρίτερα ή αν είναι η πρώτη φορά που αυτό το μήνυμα φθάνει στον δρομολογητή. Αν αυτή είναι η πρώτη φορά, ο δρομολογητής θα προωθήσει το μήνυμα σε όλα τα σημεία προσαρμογής (interfaces), εκτός από εκείνο από το οποίο προήλθε. Διαφορετικά, απλά ο δρομολογητής θα απορρίψει το μήνυμα. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται ότι όλοι οι δρομολογητές στο διαδίκτυο θα λάβουν τουλάχιστον ένα αντίγραφο του μηνύματος.

Παρότι αυτός ο αλγόριθμος είναι ιδιαίτερα απλός, έχει ορισμένα πολύ μεγάλα μειονεκτήματα. Ο αλγόριθμος Πλημμύρας δημιουργεί ένα μεγάλο αριθμό αντιγράφων του μηνύματος και αναλώνει άσκοπα συνήθως το εύρος ζώνης του δικτύου. Ακόμη, επειδή κάθε δρομολογητής πρέπει να γνωρίζει τα μηνύματα που έχει λάβει, εφόσον είναι ανάγκη να ξέρει αν είναι ή όχι η πρώτη φορά που το μήνυμα εμφανίζεται σε αυτόν, απαιτείται να διατηρεί μία ξεχωριστή είσοδο στον πίνακα του για κάθε πρόσφατα

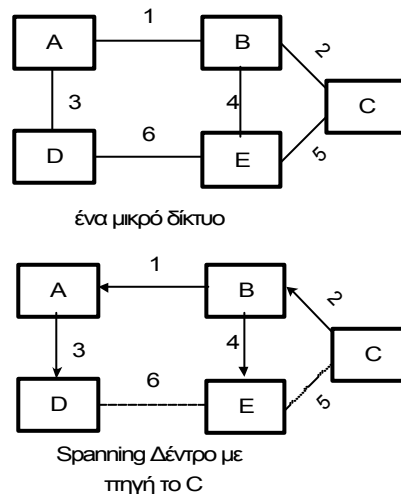
αφίχθέν μήνυμα . Ως εκ τούτου, ο εν λόγω αλγόριθμος κάνει αναποτελεσματική χρήση των πόρων του δρομολογητή.

4.4.2 Ο αλγόριθμος Εκτεινόμενου Δένδρου (Spanning Tree)

Ένας αλγόριθμος καλύτερος από τον αλγόριθμο Πλημμύρας είναι ο αλγόριθμος Εκτεινόμενου Δένδρου (Spanning Tree). Αυτός ο αλγόριθμος που ήδη χρησιμοποιείται από IEEE-802 MAC bridges είναι αποτελεσματικός και εύκολος στην υλοποίηση. Σε αυτόν ένα σύνολο από ζεύξεις (internetwork links) επιλέγεται για να ορισθεί η δομή ενός δένδρου (χωρίς βρόχους), έτσι ώστε να υπάρχει μόνο ένα ενεργό μονοπάτι μεταξύ δύο οποιονδήποτε δρομολογητών στο διαδίκτυο.

Εφόσον αυτό το δένδρο εκτείνεται (span) προς όλους τους κόμβους του διαδικτύου καλείται Spanning Tree (ST). Οποτεδήποτε ένας δρομολογητής λάβει ένα πακέτο πολλαπλών προορισμών (multicasting), το προωθεί προς όλους τις ζεύξεις (links) που ανήκουν στο ST, εκτός από αυτή από την οποία αφίχθη το πακέτο, δίδοντας την εγγύηση ότι όλοι οι δρομολογητές του διαδικτύου θα λάβουν το πακέτο. Είναι φανερό ότι η μόνη πληροφορία που χρειάζεται να κρατά ο δρομολογητής είναι μία boolean μεταβλητή ανά σημείο προσαρμογής του δικτύου που να υποδεικνύει εάν η ζεύξη αυτή ανήκει ή όχι στο ST.

Στο Σχήμα 4.7 χρησιμοποιείται ένα μικρό δίκτυο με 5 κόμβους και 6 ζεύξεις. Υποθέτουμε ότι οι συνδέσεις είναι συμμετρικές και τα βάρη τους δίνονται δίπλα στις συνδέσεις. Το spanning tree από τον κόμβο πηγή (C) φαίνεται στο Σχήμα 4.7.



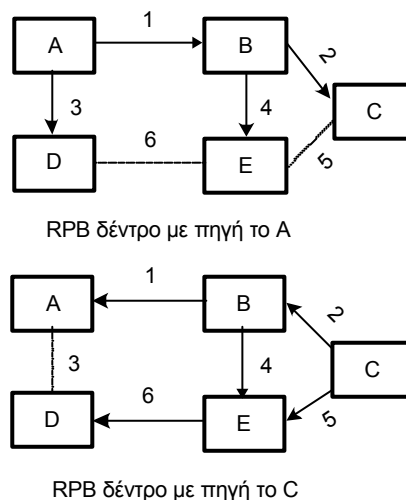
Σχήμα 4.7
Δένδρο Spanning

Ο αλγόριθμος του Spanning Tree έχει βασικά δύο μειονεκτήματα:

1. Συγκεντρώνει όλη την κίνηση (traffic) σε ένα μικρό αριθμό ζεύξεων
2. Δεν λαμβάνει υπόψη τη συμμετοχή ενός κόμβου στην ομάδα παραλαβής.

4.4.3 Ο αλγόριθμος Καθολικών Προορισμών Αντίστροφης Διαδρομής (Reverse Path Broadcasting, RPB)

Ο αλγόριθμος Καθολικών Προορισμών Αντίστροφης Διαδρομής (Reverse Path Broadcasting, RPB), που τώρα χρησιμοποιείται από το Mbone (Multicast Backbone), αποτελεί μία τροποποίηση του αλγορίθμου Εκτεινόμενου Δένδρου. Σε αυτόν τον αλγόριθμο, αντί να κατασκευαστεί ένα spanning-tree για όλο το δίκτυο, κατασκευάζεται ένα ενδεχόμενο spanning-tree για κάθε πηγή. Βασιζόμενοι σε αυτόν τον αλγόριθμο, οποτεδήποτε ο δρομολογητής λάβει ένα πακέτο πολλαπλών προορισμών στη ζεύξη "L" και από την πηγή "S", ο δρομολογητής θα ελέγξει αν η ζεύξη "L" ανήκει στο συντομότερο μονοπάτι προς την πηγή "S". Αν αυτό συμβαίνει, τότε το πακέτο προωθείται προς όλους τους συνδέσμους εκτός από τον "L". Διαφορετικά, το πακέτο απορρίπτεται. Δέντρα πολλαπλών διαδρομών από δυο πηγές του μικρού δικτύου που χρησιμοποιήσαμε και για το spanning tree φαίνεται στο Σχήμα 4.8.



Σχήμα 4.8
Δένδρο RPB

Ο αλγόριθμος RPB μπορεί εύκολα να βελτιωθεί θεωρώντας ως γεγονός ότι ο τοπικός δρομολογητής δεν είναι στο συντομότερο μονοπάτι μεταξύ της πηγής και ενός άμεσα γειτονικού του δρομολογητή, οπότε το πακέτο θα απορριφθεί στον γειτονικό δρομολογητή. Ως εκ τούτου, αν αυτό συμβαίνει δεν υπάρχει λόγος να προωθηθεί το πακέτο σε εκείνο το

γείτονα. Αυτή η πληροφορία μπορεί να αποκτηθεί πολύ εύκολα, αν χρησιμοποιηθεί ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που να εξετάζει πρώτα την κατάσταση των ζεύξεων (link-state routing protocol).

Ο αλγόριθμος είναι αποδοτικός και εύκολος στην υλοποίηση. Κατά συνέπεια, εφόσον τα πακέτα προωθούνται μέσω του συντομότερου μονοπατιού από την πηγή μέχρι τους κόμβους προορισμού, η διαδικασία είναι πολύ γρήγορη. Ο αλγόριθμος RPB δε χρειάζεται κάποιον ιδιαίτερο μηχανισμό για να σταματήσει τη διαδικασία προώθησης. Οι δρομολογητές δεν είναι ανάγκη να γνωρίζουν ολόκληρο το spanning tree, και εφόσον τα πακέτα παραδίδονται μέσω διαφορετικών spanning trees (και όχι ενός και μοναδικού), η κίνηση κατανέμεται ανάμεσα σε πολλαπλές διόδους και το δίκτυο αξιοποιείται καλύτερα. Παρά ταύτα, ο αλγόριθμος υποφέρει από μία μεγάλη ανεπάρκεια: δε λαμβάνει υπόψη του τις πληροφορίες για την κατάσταση των μελών στις ομάδες πολλαπλών προορισμών κατά την κατασκευή των δένδρων διανομής.

4.4.4 Ο αλγόριθμος Καθολικών Περικεκομμένων Προορισμών Αντίστροφης Διαδρομής (Truncated Reverse Path Broadcasting, TRPB)

Ο αλγόριθμος Καθολικών Περικεκομμένων Προορισμών Αντίστροφης Διαδρομής (Truncated Reverse Path Broadcasting, TRPB) έχει προταθεί για να ξεπεραστούν μερικοί από τους περιορισμούς του αλγορίθμου RPB. Σε προηγούμενη παράγραφο αναφέρθηκε ότι χρησιμοποιώντας το IGMP, ο δρομολογητής μπορεί να αποφασίσει αν μέλη μιας συγκεκριμένης ομάδας πολλαπλών προορισμών είναι παρόντα στο υποδίκτυο ενός δρομολογητή ή όχι. Αν αυτό το υποδίκτυο είναι ένα υποδίκτυο-φύλλο του δένδρου (δηλαδή δεν έχει κάποιον άλλο δρομολογητή προσαρτημένο (συνδεδεμένο) επάνω του), τότε ο δρομολογητής θα περικόψει (truncate) το spanning tree. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο αλγόριθμος TRPB, με τρόπο παρόμοιο με τον αλγόριθμο RPB, δε θα προωθήσει ένα πακέτο σε ένα γειτονικό δρομολογητή αν ο τοπικός δρομολογητής δεν ανήκει στο συντομότερο μονοπάτι που συνδέει το γειτονικό αυτόν δρομολογητή και την πηγή.

Μολονότι, η συμμετοχή σε μία ομάδα πολλαπλών προορισμών λαμβάνεται υπόψη από τον αλγόριθμο TRPB και τα υποδίκτυα-φύλλα περικόπτονται από το spanning tree, δεν περιορίζονται μη-αναγκαίες κινήσεις σε υποδίκτυα που δεν είναι φύλλα του δένδρου και τα οποία δεν είναι μέλη της ομάδας.

4.4.5 Ο αλγόριθμος Πολλαπλών Προορισμών Αντίστροφης Διαδρομής (Reverse Path Multicasting, RPM)

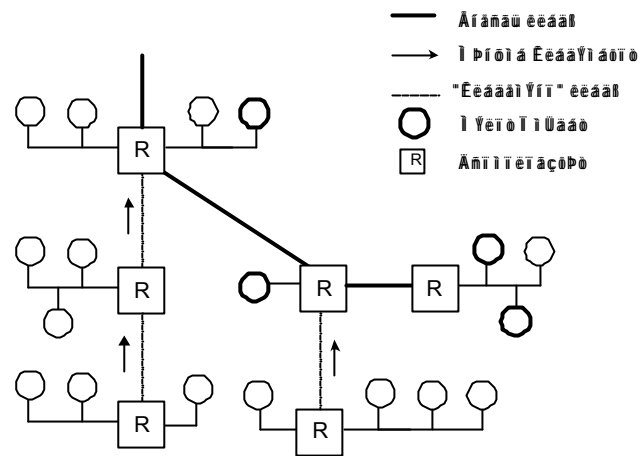
Ο αλγόριθμος Πολλαπλών Προορισμών Αντίστροφης Διαδρομής (Reverse Path Multicasting, RPM), γνωστός και ως RPB with prunes, αποτελεί έναν εμπλουτισμό των αλγορίθμων RPB και TRPB. Ο αλγόριθμος RPM

κατασκευάζει ένα δένδρο διανομής μηνυμάτων (delivery tree) που εκτείνεται μόνο σε υποδίκτυα με ενεργά μέλη στις ομάδες καθώς και σε δρομολογητές και υποδίκτυα, που βρίσκονται κατά μήκος του συντομότερου μονοπατιού ανάμεσα στην πηγή και στα υποδίκτυα με ενεργά μέλη στις ομάδες.

Το δένδρο RPM μπορεί να «κλαδεύεται» (be pruned) καθώς τα πακέτα πολλαπλών προορισμών προωθούνται μέσω των ζεύξεων που οδηγούν σε μέλη των ομάδων προορισμού.

Για δεδομένη δυάδα (πηγή, ομάδα) το πρώτο πακέτο πολλαπλών προορισμών προωθείται με βάση τον αλγόριθμο TRPB. Οι δρομολογητές που δεν έχουν άλλο δρομολογητή προς τα κάτω (downstream router) στο δένδρο TRPB, ονομάζονται δρομολογητές-φύλλα. Αν ένας δρομολογητής-φύλλο λάβει ένα πακέτο πολλαπλών προορισμών για ένα ζεύγος (πηγή, ομάδα) και δεν έχει κανένα ενεργό μέλος της ομάδας αυτής στα υποδίκτυα του, θα στείλει ένα μήνυμα κλαδέματος (prune message) στον δρομολογητή από τον οποίο έλαβε το πακέτο. Το μήνυμα κλαδέματος υποδεικνύει ότι τα πακέτα πολλαπλών προορισμών αυτού του συγκεκριμένου ζεύγους (πηγή, ομάδα) δε πρέπει να προωθηθούν προς τη ζεύξη από την οποία προήλθε το μήνυμα κλαδέματος. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι μηνύματα κλαδέματος του δένδρου στέλνονται μόνο από ένα κόμβο προς τα πίσω στην πηγή. Ο δρομολογητής προς τα πάνω (upstream, δηλαδή ο δρομολογητής που λαμβάνει το μήνυμα κλαδέματος) οφείλει να αποθηκεύσει την πληροφορία κλαδέματος στη μνήμη του. Από την άλλη μεριά, αν ο δρομολογητής upstream δεν έχει κανένα τοπικό αποδέκτη και έχει λάβει μηνύματα κλαδέματος από όλα τα παιδιά του στο δένδρο TRPB, τότε ο δρομολογητής upstream στέλνει ο ίδιος ένα μήνυμα κλαδέματος στο δρομολογητή-πατέρα του, γνωστοποιώντας ότι τα μηνύματα πολλαπλών προορισμών για τη δεδομένη δυάδα (πηγή, ομάδα) δεν πρέπει να προωθούνται προς αυτόν. Μια σειρά από μηνύματα κλαδέματος θα περικόψουν το αρχικό δένδρο TRPB, έτσι ώστε τα μηνύματα πολλαπλών προορισμών να προωθούνται μόνο σε εκείνους τις ζεύξεις που οδηγούν σε κόμβο προορισμού (δηλαδή μέλος της ομάδας παραλαβής των μηνυμάτων).

Το Σχήμα 4.9 δείχνει την διαδικασία του κλαδέματος και το προκύπτον δένδρο RPM.

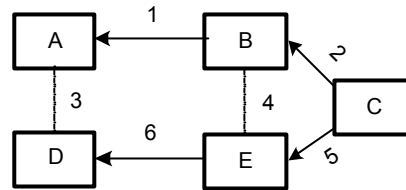


Σχήμα 4.9
Δένδρο TRPB

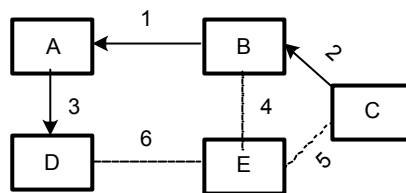
Η συμμετοχή σε ομάδα (Group Membership) και η τοπολογία του δικτύου μπορεί να αλλάξει δυναμικά, οπότε και η κατάσταση μετά το κλάδεμα των δένδρων θα πρέπει να ανανεώνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Ως εκ τούτου, στον αλγόριθμο RPM οι πληροφορίες κλαδέματος σβήνονται περιοδικά από τη μνήμη των δρομολογητών, και το επόμενο πακέτο για μία δυάδα (πηγή, ομάδα) προωθείται σε όλους τους δρομολογητές-φύλλα. Αυτό αποτελεί και το βασικότερο μειονέκτημα του αλγορίθμου RPM. Ένα άλλο πρόβλημα που παρατηρείται είναι η σχετικά μεγάλη μνήμη που απαιτείται για να συντηρούνται οι πληροφορίες κατάστασης για όλα τα ζεύγη (πηγή, ομάδα). Αυτό ακριβώς στερεί από τον αλγόριθμο το χαρακτηριστικό της κλιμάκωσης, και κατά συνέπεια δεν κρίνεται κατάλληλος για πολύ μεγάλα δίκτυα.

4.4.6 Ο αλγόριθμος Δένδρου Steiner (Steiner Tree, ST)

Στην οικογένεια των αλγορίθμων RPB (RPB, TRPB και RPM) χρησιμοποιείται το συντομότερο μονοπάτι ανάμεσα στον κόμβο-πηγή και σε κάθε κόμβο προορισμού για την παράδοση των πακέτων πολλαπλών προορισμών, δίνοντας την εγγύηση ότι τα μηνύματα πολλαπλών προορισμών θα παραδοθούν το συντομότερο δυνατό. Ωστόσο, κανένας από αυτούς τους αλγορίθμους δε προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει τη χρήση των πόρων του δικτύου. Στο Σχήμα 4.10 φαίνεται το δένδρο RPB και το δένδρο ST, υποθέτοντας ότι ο κόμβος C είναι η πηγή και οι κόμβοι A και D είναι οι παραλήπτες.



RPB δέντρο με πηγή το C



ST δέντρο με πηγή το C

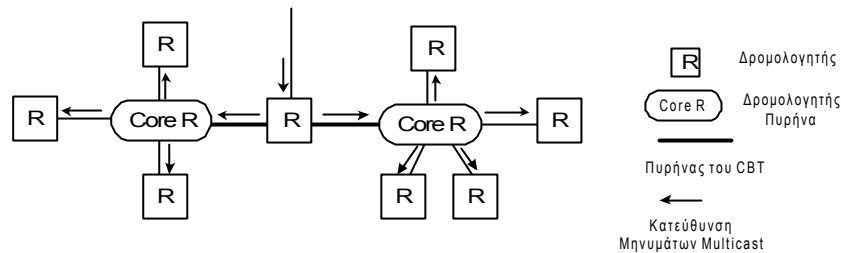
Σχήμα 4.10
Δένδρο ST

Το δένδρο ST χρησιμοποιεί μικρότερο αριθμό ζεύξεων από τα άλλα δένδρα της οικογένειας. Παρά το γεγονός ότι αυτό το δένδρο είναι πιο αργό από το δένδρο RPB (επειδή τα πακέτα πρέπει να κάνουν 3 βήματα για να φτάσουν στο D αντί 2 βήματα που χρειάζονται στο δένδρο RPB), χρησιμοποιεί λιγότερες ζεύξεις. Αυτό το είδος του δένδρου ονομάζεται δένδρο Steiner. Μολονότι τα δένδρα Steiner μειώνουν τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων ζεύξεων, οι δυσκολίες που προκύπτουν κατά τον υπολογισμό αυτών των δένδρων καθιστούν αυτά μικρής πρακτικής αξίας. Δεδομένου μάλιστα ότι η μορφή των ST μπορεί να αλλάξει σημαντικά με την προσθήκη ή την αποχώρηση ενός κόμβου από την ομάδα πολλαπλών προορισμών, τα δένδρα Steiner χαρακτηρίζονται ιδιαίτερα ασταθή.

4.4.7 Ο αλγόριθμος Δένδρου βασιζόμενου σε Πυρήνα (Core-Based Tree, CBT)

Ο τελευταίος αλγόριθμος που προτάθηκε για την κατασκευή δένδρων πολλαπλών προορισμών διανομής ονομάζεται Δένδρο βασιζόμενο σε Πυρήνα (Core-Based Tree, CBT). Σε αντίθεση με τους άλλους αλγόριθμους, ο CBT δημιουργεί ένα και μοναδικό δένδρο διανομής για έκαστη ομάδα παραλαβής. Με άλλα λόγια, το δένδρο που χρησιμοποιείται για την προώθηση μηνυμάτων πολλαπλών προορισμών προς μία συγκεκριμένη ομάδα είναι ένα δένδρο ανεξάρτητο από τη θέση του κόμβου πηγή. Ένας δρομολογητής ή ένα σύνολο δρομολογητών επιλέγεται να είναι ο δρομολογητής πυρήνας (core) του δένδρου διανομής. Όλα τα μηνύματα προς μία συγκεκριμένη ομάδα προωθούνται σαν μηνύματα unicast προς τον δρομολογητή πυρήνα μέχρι να συναντήσουν έναν

δρομολογητή που να ανήκει στο αντίστοιχο δένδρο διανομής της εν λόγω ομάδας. Τότε το μήνυμα πολλαπλών προορισμών προωθείται προς όλα τα απερχόμενα σημεία προσαρμογής (interfaces) που αποτελούν μέρη του δένδρου διανομής, εκτός από το σημείο προσαρμογής μέσω του οποίου το μήνυμα εισήλθε στο δρομολογητή. Το δένδρο CBT φαίνεται στο Σχήμα 4.11.



Σχήμα 4.11
Δένδρο CBT

Εφόσον ο αλγόριθμος CBT κατασκευάζει μόνο ένα δένδρο διανομής για κάθε ομάδα πολλαπλών προορισμών, οι δρομολογητές πολλαπλών προορισμών απαιτείται να διατηρούν λιγότερες πληροφορίες σε σύγκριση με τις απαιτήσεις που υπάρχουν για άλλους αλγορίθμους. Ο CBT επίσης, δεν καταναλώνει αλόγιστα το εύρος ζώνης του δικτύου, επειδή δεν απαιτεί πλημμύρισμα του δικτύου με κάθε μήνυμα πολλαπλών προορισμών. Ωστόσο, χρησιμοποιώντας ένα μόνο δένδρο για κάθε ομάδα μπορεί να οδηγήσει σε εστίαση της κίνησης και κυκλοφοριακή συμφόρηση γύρω από τους δρομολογητές πυρήνα. Ακόμη, έχοντας μόνο ένα δένδρο διανομής μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μη-βέλτιστες διαδρομές για τα μηνύματα, και κατά συνέπεια καθυστέρηση στην παράδοση των μηνυμάτων.

4.5 Πρωτόκολλα Δρομολόγησης Πολλαπλών Προορισμών

Οι αλγόριθμοι που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο χρησιμοποιούνται για να αναπτυχθούν πρωτόκολλα δρομολόγησης πολλαπλών προορισμών. Κάθε ένας από τους αλγορίθμους αυτούς έχει, όπως αναλυτικά σημειώθηκε, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του σε σχέση με άλλους, και αυτό τον καθιστά άλλες φορές πιο αποτελεσματικό και άλλες πάλι λιγότερο αποδοτικό και πρακτικό. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα παρουσιασθούν τα πρωτόκολλα δρομολόγησης, τα οποία χρησιμοποιούν τους παραπάνω αλγορίθμους.

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης πολλαπλών προορισμών γενικά ακολουθούν μια από τις δυο βασικές προσεγγίσεις, βάσει της αναμενόμενης διανομής των μελών μιας ομάδας πολλαπλών προορισμών σε όλο το δίκτυο. Η πρώτη προσέγγιση βασίζεται στην υπόθεση ότι τα μέλη μιας ομάδας πολλαπλών προορισμών είναι πυκνά διασκορπισμένα σε όλο το δίκτυο (π.χ. πολλά υποδίκτυα περιέχουν τουλάχιστον ένα μέλος

ομάδας) και ότι το εύρος ζώνης είναι άφθονο. Τα επονομαζόμενα πυκνού τρόπου (dense-mode) πρωτόκολλα βασίζονται στην τεχνική του πλημμυρίσματος (flooding) για την μετάδοση πληροφοριών στους δρομολογητές του δικτύου. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης πυκνού τρόπου περιλαμβάνουν το Πρωτόκολλο Διανυσματικής Απόστασης Πολλαπλών Προορισμών (Distance-Vector Multicast Protocol, DVMRP), την Επέκταση του OSPF για Πολλαπλούς Προορισμούς (Multicast extension of Open Shortest Path First, MOSPF), και της Δρομολόγησης Πολλαπλών Προορισμών Ανεξαρτήτως του Πρωτοκόλλου – Πυκνού Τρόπου (Protocol Independent Multicast - Dense Mode PIM-DM).

Η δεύτερη προσέγγιση υποθέτει βασικά ότι τα μέλη μιας ομάδας πολλαπλών προορισμών είναι αραιά διασκορπισμένα σε όλο το δίκτυο και ότι το εύρος ζώνης δεν είναι απαραίτητα ευρέως διαθέσιμο, για παράδειγμα κατά μήκος πολλών περιοχών στο διαδίκτυο ή οι χρήστες συνδέονται μέσω γραμμών ISDN. Ο αραιός τρόπος (sparse-mode) δεν υπονοεί ότι η ομάδα έχει λίγα μέλη, απλά ότι είναι ευρέως διασκορπισμένα. Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμος πλημμύρας θα σπαταλούσε χωρίς λόγο εύρος ζώνης και θα προκαλούσε σοβαρά προβλήματα επίδοσης. Ως εκ τούτου τα πρωτόκολλα δρομολόγησης αραιού τρόπου πρέπει να βασίζονται σε πιο επιλεκτικές τεχνικές για να δημιουργούν και να διατηρούν δέντρα πολλαπλών προορισμών. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης αραιού τρόπου περιλαμβάνουν το Δένδρο βασιζόμενο σε Πυρήνα (Core-Based Tree, CBT) και τη Δρομολόγηση Πολλαπλών Προορισμών Ανεξαρτήτως του Πρωτοκόλλου – Αραιού Τρόπου (Protocol Independent Multicast - Sparse Mode, PIM-SM).

4.5.1 Πρωτόκολλο Διανυσματικής Απόστασης Πολλαπλών Προορισμών (Distance-Vector Multicast Protocol)

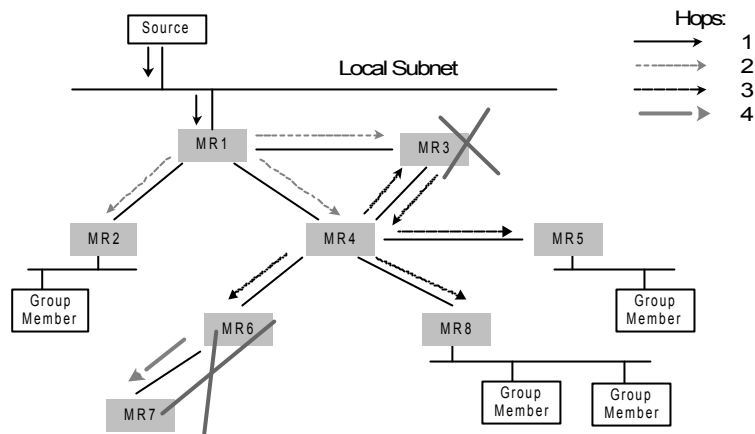
Το πρώτο πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε για να υποστηρίξει δρομολόγηση πολλαπλών διαδρομών ήταν Πρωτόκολλο Διανυσματικής Απόστασης Πολλαπλών Προορισμών (Distance Vector Multicast Routing Protocol, DVMRP), το οποίο περιγράφεται στο RFC1075 και χρησιμοποιείται ευρέως από το Mbone.

Το DVMRP κατασκευάζει μια διαφορετική κατανομή δένδρου για κάθε πηγή και ομάδα προορισμού. Κάθε δένδρο είναι ένα ελάχιστο εκτεινόμενο (spanning) δένδρο από την πηγή πολλαπλών προορισμών, τη ρίζα του δένδρου, έως όλους τους παραλήπτες πολλαπλών προορισμών, τα φύλλα του δένδρου. Το δένδρο διανομής παρέχει τη μικρότερη διαδρομή μεταξύ της πηγής και κάθε παραλήπτη πολλαπλών προορισμών μιας ομάδας, βασισμένο στον αριθμό των βημάτων μιας διαδρομής, ο οποίος αποτελεί το μέτρο του DVMRP. Το δένδρο κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας μια τεχνική καθολικής εκπομπής και κλαδέματος (broadcast και prune), όταν μια πηγή αρχίζει να μεταδίδει μηνύματα σε μια ομάδα πολλαπλών προορισμών. Η τεχνική αυτή περιγράφεται ως ακολούθως.

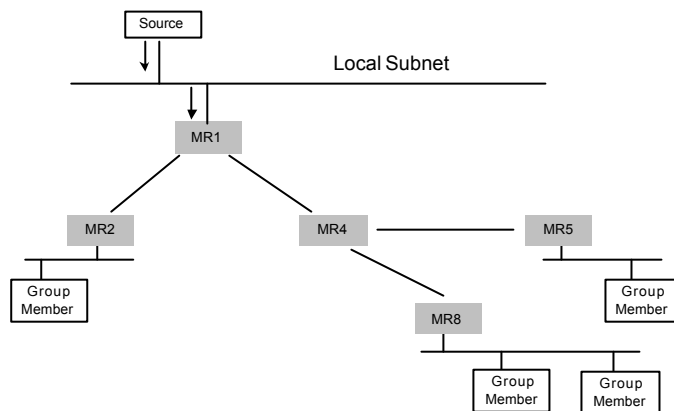
Όταν ένας δρομολογητής πολλαπλών προορισμών λαμβάνει ένα πακέτο δεδομένων πολλαπλών προορισμών, ελέγχει τον πίνακα unicast δρομολόγησης του για να καθορίσει το σημείο προσαρμογής (interface) που παρέχει τη συντομότερη διαδρομή προς την πηγή. Εάν αυτό ήταν το σημείο προσαρμογής από το οποίο έφτασε το πακέτο, τότε ο δρομολογητής αναγνωρίζει την ομάδα πολλαπλών προορισμών και το προωθεί προς όλα τα απερχόμενα σημεία προσαρμογής, εκτός από αυτό που έστειλε το πακέτο. Διαφορετικά το πακέτο απορρίπτεται. Αυτός ο μηχανισμός λέγεται Προώθηση Αντιστρόφου Δένδρου (Reverse Path Forwarding) και εξασφαλίζει ότι δεν θα υπάρχουν βρόχοι σε ένα δένδρο και ότι το δένδρο θα περιέχει τις κοντινότερες διαδρομές από την πηγή σε κάθε παραλήπτη.

Με την τεχνική αυτή δηλαδή, όταν ένα πακέτο δεδομένων φθάνει σε έναν δρομολογητή, ο οποίος δεν έχει καμιά καταγραφή μέλους για κάποιο από τα άμεσα συνδεδεμένα υποδίκτυα του, τότε ο δρομολογητής στέλνει ένα μήνυμα κλαδέματος / αποκοπής ένα βήμα πίσω προς την πηγή του πακέτου. Γενικά λοιπόν, ο δρομολογητής που λαμβάνει ένα πακέτο ελέγχει κατά βάση δύο πράγματα: (α) αν στα άμεσα προσαρτημένα υποδίκτυα-φύλλα του δένδρου, υπάρχει κάποιο μέλος της ομάδας παραλαβής του μηνύματος, και (β) εάν δεν έχει λάβει κάποιο μήνυμα κλαδέματος από όλους τους δρομολογητές που ακολουθούν παρακάτω (με ροή από την πηγή προς τους παραλήπτες, εάν υπάρχουν). Εάν δεν ισχύει τίποτα από τα δύο, τότε ο ίδιος στέλνει ένα μήνυμα κλαδέματος (rune message) προς τα πάνω, δηλαδή προς το σημείο προσαρμογής που οδηγεί στην πηγή του πακέτου.

Η κατασκευή ενός DVMRP εκτεινόμενου δένδρου φαίνεται στο Σχήμα 4.12, ενώ στο Σχήμα 4.13 φαίνεται το προκύπτον δένδρο. Αφού το εκτεινόμενο δένδρο κατασκευαστεί, χρησιμοποιείται για την μετάδοση μηνυμάτων πολλαπλών προορισμών από την πηγή στα μέλη μιας ομάδας πολλαπλών προορισμών. Κάθε δρομολογητής στο μονοπάτι προωθεί τα μηνύματα μόνο στα σημεία προσαρμογής που οδηγούν σε μέλη της ομάδας. Εφόσον καινούργια μέλη μπορούν να συμμετέχουν οποιαδήποτε στιγμή στην ομάδα, και εφόσον αυτά τα νέα μέλη μπορούν να εξαρτώνται από κάποια κλαδεμένα κλαδιά για να λάβουν την μετάδοση πολλαπλών προορισμών, ο DVMRP περιοδικά αρχικοποιεί ξανά το κατασκευασμένο εκτεινόμενο δένδρο.



Σχήμα 4.12
Κατασκευή ενός δένδρου DVMRP



Σχήμα 4.13
Το προκύπτον εκτεινόμενο δένδρο

Ο DVMRP δουλεύει καλά για μια ομάδα πολλαπλών προορισμών που αναπαριστάται πυκνά σε ένα υποδίκτυο. Ωστόσο για ομάδες που είναι αραιά κατανομημένες σε ένα δίκτυο, η περιοδική συμπεριφορά εκπομπής θα προξενούσε σημαντικά προβλήματα επίδοσης. Ένα άλλο πρόβλημα με τον DVMRP είναι ο όγκος της πληροφορίας κατάστασης δρομολόγησης που πρέπει να είναι αποθηκευμένη τους δρομολογητές πολλαπλών προορισμών. Όλοι οι δρομολογητές πολλαπλών προορισμών πρέπει να περιέχουν πληροφορία κατάστασης για κάθε ζευγάρι (πηγή, ομάδα), είτε πληροφορία που να υποδεικνύει το σημείο προσαρμογής που θα χρησιμοποιηθεί για να προωθούνται τα πακέτα πολλαπλών προορισμών είτε πληροφορία κατάστασης-κλαδέματος. Για αυτούς του λόγους το DVMRP δεν μπορεί να κλιμακωθεί καλά για να υποστηρίξει ομάδες

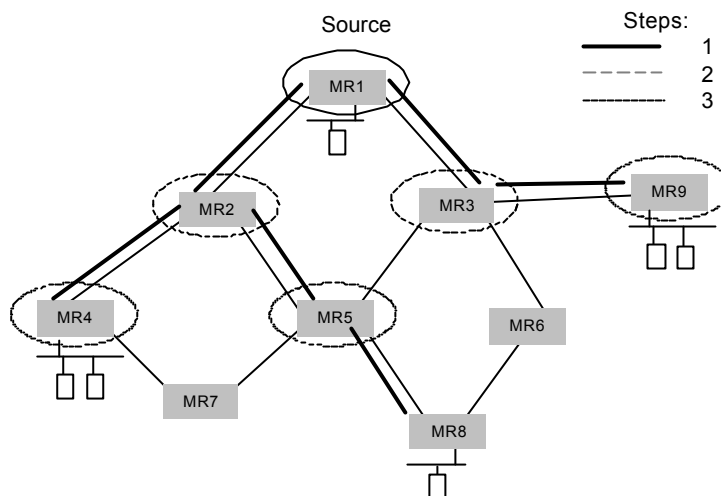
πολλαπλών προορισμών που είναι αραιά κατανεμημένες σε ένα μεγάλο δίκτυο.

4.5.2 Επέκταση του OSPF για Πολλαπλούς Προορισμούς (Multicast extension of Open Shortest Path First, MOSPF)

Η επέκταση των πολλαπλών προορισμών σε OSPF (MOSPF) ορίζονται στο RFC 1584 και κατασκευάστηκαν πάνω από το Open Shortest Path First (OSPF) Version2. Το MOSPF σχεδιάστηκε για χρήση σε μια περιοχική δρομολόγησης, π.χ. ένα δίκτυο που ελέγχεται από κάποιο οργανισμό. Το MOSPF εξαρτάται από τη χρήση του OSPF σαν το συνοδευόμενο πρωτόκολλο δρομολόγησης unicast, όπως ακριβώς και το DVMRP περιλαμβάνει το δικό του πρωτόκολλο unicast. Σε ένα δίκτυο με OSPF/MOSPF κάθε δρομολογητής διατηρεί μια ενημερωμένη εικόνα της τοπολογίας ολόκληρου του δικτύου. Αυτή η πληροφορία για την κατάσταση των ζεύξεων χρησιμοποιείται για την κατασκευή δένδρων κατανομής πολλαπλών προορισμών.

Κάθε δρομολογητής MOSPF συλλέγει περιοδικά πληροφορίες για συμμετοχές σε ομάδες πολλαπλών προορισμών μέσω IGMP. Αυτή η πληροφορία, μαζί με την πληροφορία για την κατάσταση των ζεύξεων μοιράζεται σε όλους τους δρομολογητές στην περιοχική δρομολόγησης. Οι δρομολογητές θα ενημερώσουν με την δική τους πληροφορία για τις ζεύξεις βασισμένοι στην πληροφορία που έλαβαν από τους γειτονικούς τους δρομολογητές. Κάθε δρομολογητής, αφού καταλαβαίνει την τοπολογία ολόκληρου του δικτύου, μπορεί τότε ανεξάρτητα να υπολογίσει ένα εκτεινόμενο δένδρο με τα λιγότερα βάρη, με την πηγή πολλαπλών προορισμών σαν τη ρίζα του δένδρου και τα μέλη της ομάδας σαν τα φύλλα. Το δένδρο αυτό αποτελεί τη διαδρομή που χρησιμοποιείται για την δρομολόγηση της κίνησης πολλαπλών προορισμών από την πηγή σε κάθε μέλος της ομάδας. Σημειώνεται ότι όλοι οι δρομολογητές θα υπολογίσουν ακριβώς το ίδιο δένδρο, αφού περιοδικά μοιράζονται την ίδια πληροφορία για την κατάσταση των ζεύξεων. Ωστόσο το MOSPF δεν κλιμακώνεται καλά λόγω του περιοδικού πλημμυρίσματος του δικτύου με πληροφορία για την κατάσταση των ζεύξεων μεταξύ των δρομολογητών.

Το MOSPF χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο του Dijkstra για τον υπολογισμό του συντομότερου μονοπατιού. Για κάθε ζευγάρι (πηγή, ομάδα) απαιτείται ένας ξεχωριστός υπολογισμός. Για να μειωθεί ο αριθμός των υπολογισμών και για να διαδοθούν με κάποιο τρόπο οι υπολογισμοί, ένας δρομολογητής κάνει τους υπολογισμούς μόνο αφού λάβει το πρώτο datagram από μια ροή. Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 4.14.



Σχήμα 4.14
Κατασκευή δένδρου με MOSPF

Τα βήματα είναι τα εξής:

1. Ο MR1 υπολογίζει το δένδρο – ξέρει τα μέλη της ομάδας μέσω IGMP και ως εκ τούτου γνωρίζει ότι η διαδρομή για το MR4 είναι μέσω του MR2, η διαδρομή για το MR8 είναι μέσω 5, κτλ.
2. Ο MR2 υπολογίζει το δένδρο – καθορίζει ότι η διαδρομή για το MR4 είναι απευθείας, η διαδρομή για το MR8 είναι μέσω του MR5, και το MR3 υπολογίζει το δένδρο – καθορίζει ότι η διαδρομή για το MR9 είναι απευθείας
3. Ο MR5 υπολογίζει το δένδρο – καθορίζει ότι η διαδρομή για το MR8 είναι απευθείας

Ας σημειώσουμε ότι η μετάδοση πολλαπλών προορισμών προκαλεί αυτή την διαδικασία (π.χ. data driven process) και κάθε δρομολογητής όταν λάβει ένα μήνυμα υπολογίζει ακριβώς την ίδια διανομή δένδρου όπως και οι προκάτοχοί του και το χρησιμοποιεί για να προωθήσει το μήνυμα.

4.5.3 Δρομολόγηση Πολλαπλών προορισμών ανεξαρτήτως του Πρωτοκόλλου (Protocol-Independent Multicast, PIM)

Τα πρωτόκολλα PIM έχουν αναπτυχθεί από την ομάδα εργασίας Inter-Domain Multicast Routing (IDMR) της IETF. Η IDMR οργανώθηκε για να αναπτύξει ένα σύνολο πρωτοκόλλων δρομολόγησης πολλαπλών προορισμών που όντας ανεξάρτητα από οποιοδήποτε πρωτόκολλο δρομολόγησης unicast θα μπορούσαν να παρέχουν τη δυνατότητα της κλιμάκωσης που απαιτεί το διαδίκτυο. Φυσικά τα PIMs απαιτούν την

ύπαρξη ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης unicast. Τα προταθέντα πρωτόκολλα πολλαπλών προορισμών λειτουργούν καλά αν τα μέλη της ομάδας είναι πυκνά κατανεμημένα και αν το απαιτούμενο εύρος ζώνης δε δημιουργεί προβλήματα. Ωστόσο, το γεγονός ότι το DVMRP περιοδικά πλημμυρίζει το δίκτυο και το MOSPF στέλνει μηνύματα στις ζεύξεις που σχετίζονται με τη συμμετοχή στην ομάδα (group membership), καθιστά αυτά τα δύο πρωτόκολλα μη-αποτελεσματικά για περιπτώσεις κατά τις οποίες τα μέλη μιας ομάδας είναι αραιά κατανεμημένα στις διάφορες περιοχές και το εύρος ζώνης δεν είναι άφθονο.

Για να διευθετηθούν αυτά τα θέματα, το πρωτόκολλο PIM περιέχει δύο επιμέρους πρωτόκολλα:

- Το PIM Πυκνού Τρόπου (PIM- Dense Mode, PIM-DM), το οποίο είναι πιο αποτελεσματικό όταν τα μέλη της ομάδας έχουν πυκνή γεωγραφική διασπορά,
- και το PIM Αραιού Τρόπου (PIM- Sparse Mode, PIM-SM), που είναι πιο αποδοτικό σε περιπτώσεις που τα μέλη μιας ομάδας είναι αραιά κατανεμημένα.

Παρά το γεγονός ότι αυτοί οι δύο αλγόριθμοι ανήκουν στο PIM και έχουν παρόμοια μηνύματα έλεγχου, ουσιαστικά αποτελούν δύο εντελώς διαφορετικά πρωτόκολλα τα οποία θα παρουσιασθούν στη συνέχεια.

4.5.3.1 Δρομολόγηση Πολλαπλών Προορισμών Ανεξαρτήτως του Πρωτοκόλλου – Πυκνού Τρόπου (Protocol Independent Multicast - Dense Mode, PIM-DM)

Το PIM-DM μοιάζει πολύ με το DVMRP αφού και τα δυο πρωτόκολλα χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο RPM για να δημιουργήσουν τα δένδρα διανομής. Ωστόσο, υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους δύο αλγόριθμους. Μολονότι το PIM-DM απαιτεί την παρουσία ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης unicast για την ανεύρεση των διαδρομών πίσω προς τον κόμβο της πηγής, το PIM-DM είναι ανεξάρτητο από τους μηχανισμούς που μετέρχονται τα πρωτόκολλα δρομολόγησης unicast. Αντίθετα, το DVMRP περιέχει ένα ενσωματωμένο πρωτόκολλο δρομολόγησης με τα δικά του μηνύματα, τα οποία είναι παρόμοια με του RIP, για να υπολογίσει την απαιτούμενη πληροφορία δρομολόγησης unicast. Το MOSPF βασίζεται στην βάση δεδομένων του OSPF (που κρατά στοιχεία για την κατάσταση των συνδέσμων).

Η άλλη διαφορά ανάμεσα στο PIM-DM και στο DVMRP είναι ότι ενώ το PIM-DM απλά προωθεί τα μηνύματα πολλαπλών προορισμών προς όλα τα προς τα κάτω σημεία προσαρμογής μέχρι να λάβει ο δρομολογητής κάποιο μήνυμα κλαδέματος, το DVMRP προωθεί την κίνηση πολλαπλών προορισμών μόνο στους κόμβους-παιδιά στο δένδρο διανομής. Κατά συνέπεια, είναι φανερό ότι το PIM-DM χρειάζεται να χειρίζεται και αντίγραφα των μηνυμάτων. Παρά ταύτα, αυτή η μέθοδος επιλέγεται για να μειώσει τις εξαρτήσεις ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης και να αποφευχθεί το κόστος που προκαλείται από τον υπολογισμό των σημείων προσαρμογής σε κάθε δρομολογητή που αποτελούν παιδιά του στο

δένδρο. Η φιλοσοφία που ακολουθεί τους σχεδιαστές του PIM-DM είναι η απλότητα και η ανεξαρτησία του πρωτοκόλλου, αν και είναι πιθανό να υπάρξει επιπλέον φορτίο λόγω κάποιων αντιγράφων των πακέτων.

4.5.3.2 Δρομολόγηση Πολλαπλών Προορισμών Ανεξαρτήτως του Πρωτοκόλλου – Αραιού Τρόπου (Protocol Independent Multicast - Sparse Mode, PIM-SM)

Το PIM-SM έχει δύο πολύ σημαντικές διαφορές με τα υπάρχοντα πρωτόκολλα πυκνού τρόπου (δηλαδή με τα DVMRP, MOSPF και PIM-DM). Στο PIM-SM οι δρομολογητές πρέπει με ρητό και σαφή τρόπο να αναγγέλλουν την επιθυμία τους να λάβουν μηνύματα πολλαπλών προορισμών που προορίζονται σε ομάδες πολλαπλών προορισμών, ενώ τα πρωτόκολλα πυκνού τρόπου υποθέτουν ότι όλοι οι δρομολογητές πρέπει να λαμβάνουν μηνύματα πολλαπλών προορισμών, εκτός και αν έχουν στείλει ρητά μηνύματα κλαδέματος. Η άλλη διαφορά-κλειδί εντοπίζεται στην ιδέα του πυρήνα ή του σημείου συνάντησης (rendezvous point, RP) που εμφανίζεται στο πρωτόκολλο PIM-SM.

Κάθε περιοχή αραιού τρόπου έχει ένα σύνολο από δρομολογητές που λειτουργούν ως σημεία συνάντησης (RP-set). Επιπροσθέτως, κάθε ομάδα έχει ένα μοναδικό RP για κάθε δεδομένη χρονική στιγμή. Κάθε δρομολογητής που επιθυμεί να λάβει μηνύματα πολλαπλών προορισμών από μία συγκεκριμένη ομάδα πρέπει να αποστείλει ένα μήνυμα συμμετοχής (join message) στο RP της ομάδας. Κάθε τερματικό διαθέτει ένα αφιερωμένο δρομολογητή (designated-router, DR) που είναι ο δρομολογητής που συνδέεται στο ίδιο υποδίκτυο με την υψηλότερη διεύθυνση IP. Όταν ο DR λάβει ένα μήνυμα IGMP, που θα υποδεικνύει τη συμμετοχή ενός τερματικού σε μία συγκεκριμένη ομάδα, τότε ο DR βρίσκει το RP αυτής της ομάδας εκτελώντας μία ντετερμινιστική διαδικασία στην αραιού τρόπου περιοχή του συνόλου RP και προωθεί ένα μήνυμα unicast PIM-Join προς το RP. Ο DR και οι ενδιάμεσοι δρομολογητές δημιουργούν μία είσοδο στον πίνακα προώθησης πολλαπλών προορισμών για το ζεύγος (*, ομάδα) με το * να σημαίνει οποιαδήποτε πηγή, τέτοια ώστε να γνωρίζουν πως να προωθούν μηνύματα πολλαπλών προορισμών που προέρχονται από το RP αυτής της ομάδας πολλαπλών προορισμών προς το DR και τα μέλη της ομάδας.

Όταν μία πηγή στέλνει ένα μήνυμα σε μία συγκεκριμένη ομάδα, τότε ο DR της πηγής ενθυλακώνει το πρώτο μήνυμα σε μήνυμα PIM-SM-Register και το αποστέλλει στο RP της ομάδας ως μήνυμα unicast. Μετά τη λήψη αυτού του μηνύματος, ο RP στέλνει πίσω ένα μήνυμα PIM-Join στο DR της πηγής. Ενώ αυτό το μήνυμα προωθείται στο DR, όλοι οι ενδιάμεσοι δρομολογητές προσθέτουν μία νέα είσοδο στους πίνακες δρομολόγησης πολλαπλών προορισμών για κάθε νέο ζεύγος (πηγή, ομάδα). Με αυτόν τον τρόπο, τα επόμενα μηνύματα πολλαπλών προορισμών αυτής της πηγής μπορεί να προωθηθούν προς τον RP εύκολα. Είναι φανερό, ότι ο RP είναι υπεύθυνος για την προώθηση αυτών των μηνυμάτων πολλαπλών προορισμών στα μέλη της ομάδας. Πρέπει επίσης να

σημειωθεί ότι μέχρι αυτές οι εισοδοί να προστεθούν στους πίνακες των ενδιάμεσων δρομολογητών, όλα τα μηνύματα πολλαπλών προορισμών θα προωθούνται ως ενθυλακωμένα μηνύματα unicast.

Παρά όμως το γεγονός ότι η προώθηση μηνυμάτων πολλαπλών προορισμών μέσω ενός κοινού RP δένδρου είναι ικανοποιητική, αν ο αριθμός των συμμετεχόντων (ή των μηνυμάτων που έχουν μεταδοθεί μέσω αυτού του κοινού δένδρου) αυξάνει, η χρησιμοποίηση του ίδιου κοινού δένδρου δεν είναι πολύ επιθυμητή. Το PIM-SM παρέχει μία μέθοδο για τη χρήση δένδρων συντομότερου –μονοπατιού για μερικούς ή για όλους τους παραλήπτες. Οι δρομολογητές PIM-SM μπορεί να συνεχίσουν να χρησιμοποιούν το δένδρο RP, αλλά και να έχουν την επιλογή χρήσης δένδρων συντομότερης διαδρομής βάσει της πηγής εκ μέρους των παραληπτών. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο PIM-SM δρομολογητής στέλνει ένα μήνυμα συμμετοχής στον κόμβο της πηγής. Μετά την κατασκευή του δένδρου συντομότερης διαδρομής βάσει της πηγής, ο δρομολογητής μπορεί να στείλει ένα μήνυμα κλαδέματος στον RP, απομακρύνοντας τον δρομολογητή από το δένδρο RP.