

UNIVERSITY OF MACEDONIA
MASTER IN INFORMATION SYSTEMS

NETWORKING TECHNOLOGIES

Professor: A. A. Economides

<mailto:economid@uom.gr>

A survey of Multicasting Technologies and Protocols

Konstantinos G. Kouskouras

Thessaloniki, 11-02-2002

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΜΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ & ΔΙΚΤΥΩΝ
Υπεύθυνος Καθηγητής: Α. Α. Οικονομίδης

<mailto:economid@uom.gr>

*Μια Επισκόπηση των Τεχνολογιών και
Πρωτοκόλλων Multicasting*

Κούσκουρας Γ. Κωνσταντίνος

Θεσσαλονίκη, 11-02-2002

Περίληψη

Το multicasting παρέχει έναν αποτελεσματικό τρόπο για αποστολή δεδομένων σε μια ομάδα από παραλήπτες. Αντί να μεταδίδεται ένα ξεχωριστό αντίγραφο των δεδομένων σε κάθε παραλήπτη, ο αποστολέας στέλνει ένα μόνο αντίγραφο σε όλους τους παραλήπτες. Ένα δένδρο διανομής (multicast tree) σχηματίζεται στο δίκτυο, με φύλλα τους παραλήπτες, και τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω αυτού, διατρέχοντας κάθε κλαδί του δένδρου μια φορά. Η εργασία αυτή παρουσιάζει τις βασικές τεχνολογίες και τα πρωτόκολλα που υπάρχουν αυτή τη στιγμή για την υποστήριξη του multicasting. Στην αρχή παρουσιάζονται οι βασικές αρχές του IP Multicasting, η έννοια της ομάδας και το πρωτόκολλο IGMP, με το οποίο γνωστοποιούν οι σταθμοί την επιθυμία τους να ανήκουν σε μια ομάδα. Στη συνέχεια, περιγράφονται συνοπτικά οι κυρίαρχοι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των δένδρων διανομής, καθώς και τα σημαντικότερα πρωτόκολλα δρομολόγησης IP Multicasting σε ενδο-πεδιακό (intra-domain) επίπεδο. Ακολουθεί μια αναφορά στα πρωτόκολλα που λειτουργούν σε δια-πεδιακό (inter-domain), όταν τα μέλη της ομάδας δεν ανήκουν στην ίδια διαχειριστική περιοχή. Έπειτα, εξετάζονται πρωτόκολλα που εξασφαλίζουν αξιόπιστη μεταφορά σε υψηλότερο επίπεδο. Επίσης αναφέρονται οι σημαντικότερες τεχνικές που έχουν προταθεί για την υποστήριξη του IP Multicasting πάνω από ένα ATM δίκτυο. Τέλος, αναφέρονται ενδεικτικά πρωτόκολλα που αντιπροσωπεύουν νέες τάσεις στο multicasting.

Abstract

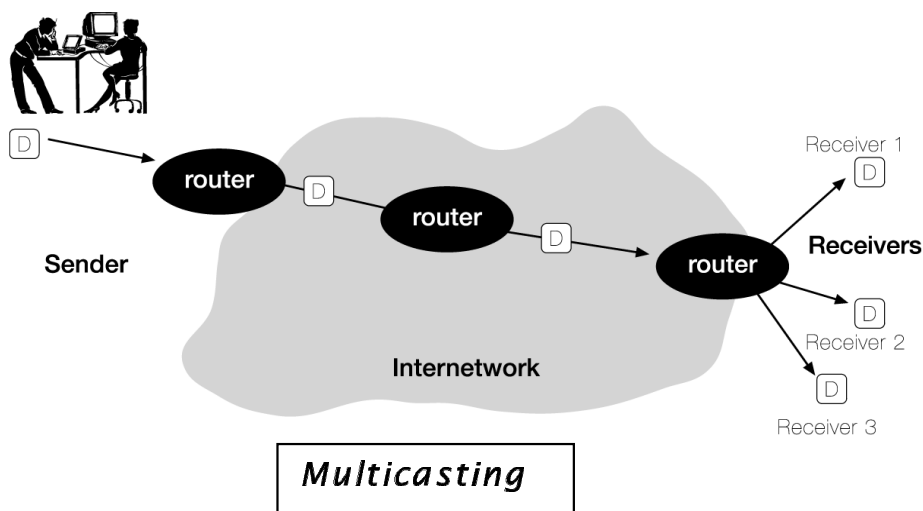
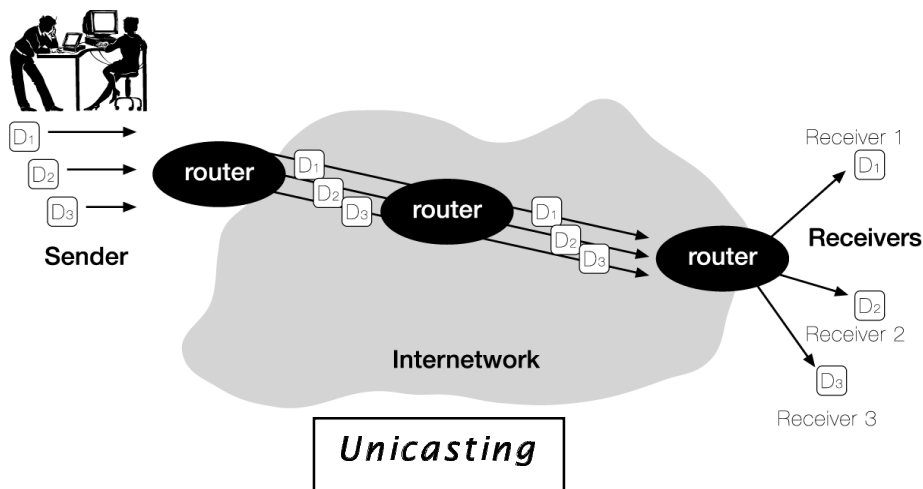
Multicasting provides an efficient way of disseminating data to a group of receivers. Instead of sending a separate copy of the data to each individual receiver, the sender just sends a single copy to all the receivers. A multicast tree is set up in the network with the receivers as leaf nodes. Data flows through the multicast tree, traversing each tree edge exactly once. This paper presents the basic technologies and protocols currently available for the support of multicasting. First the basic concepts of IP Multicasting are presenting, including the group concept and the IGMP, a protocol which hosts use to join or leave a group. Next, the various algorithms used to set up the multicast delivery trees are briefly presented, along with the most important IP Multicasting routing protocols on an intra-domain level. A reference to the inter-domain multicast routing protocols follows, for groups having members in different domains. Also, protocols ensuring reliable transport of multicast packets are examined. Then, the support of IP Multicasting over an ATM network is discussed. Finally, there is a brief reference to some future trends in multicasting and relevant protocols.

<i>Εισαγωγή - Introduction</i>	3
<i>IP multicasting</i>	5
<i>Πρωτόκολλο διαχείρισης ομάδων στο διαδίκτυο (Internet Group Management Protocol – IGMP)</i>	6
<i>Αλγόριθμοι δρομολόγησης multicast – Multicast routing algorithms</i>	7
Flooding	7
Reverse Path Forwarding και Broadcasting (RPF-RPB)	7
Truncated Reverse Path Broadcasting (TRPB)	8
Reverse Path Multicasting (RPM)	8
Core Based Trees (CBT)	9
<i>Πρωτόκολλα δρομολόγησης IP multicasting – IP multicasting routing protocols</i>	11
Dense-mode πρωτόκολλα – Dense Mode protocols	11
Distance Vector Multicast Routing Protocol (DVMRP)	11
Multicast Open Shortest Path First (MOSPF)	13
Protocol Independent Multicast – Dense Mode (PIM-DM)	14
Sparse-Mode πρωτόκολλα – Sparse-Mode protocols	15
Core Based Tree (CBT)	15
Protocol Independent Multicast – Sparse Mode	16
Tunneling	17
<i>Inter-domain Multicast Routing</i>	18
MBGP/MSDP	19
MASC/BGMP	22
<i>Αξιόπιστα πρωτόκολλα μεταφοράς multicasting – Reliable multicast transport protocols</i>	25
Reliable Multicast Transport Protocol – RMTP	26
Reliable Adaptive Multicast Protocol (RAMP)	27
Pretty Good (or Pragmatic General) Multicast (PGM)	27
Reliable Multicast Framework Protocol (RMFP)	28
Real-time Transport Protocol & Real-time Transport Control Protocol (RTP & RTCP)	28
<i>IP multicasting σε ATM δίκτυα – IP multicasting over ATM networks</i>	30
MARS-based ATM multicasting	30
<i>Νέες τάσεις στη multicast δρομολόγηση – New trends in multicast routing</i>	34
Explicitly Requested Single Source (EXPRESS) Multicast	34
Simple Multicast	34
<i>Συμπεράσματα - Conclusions</i>	36
<i>Βιβλιογραφία-Αναφορές – Bibliography-References</i>	37

Εισαγωγή - Introduction

Multicasting σε ένα datagram ή μη συνεκτικό (connectionless) δίκτυο είναι η μετάδοση πακέτων σε ένα υποσύνολο των σταθμών (hosts) του δικτύου [1] οι οποίοι στα πλαίσια της μετάδοσης αυτής απαρτίζουν μια ομάδα (group). Είναι μια σημαντική υπηρεσία που βελτιώνει την αποτελεσματικότητα κατανεμημένων συστημάτων και εφαρμογών.

Το ίδιο αποτέλεσμα θα μπορούσε φυσικά να επιτευχθεί και με τη χρήση unicasting μετάδοσης απευθείας στον κάθε ενδιαφερόμενο σταθμό ή broadcasting σε συνδυασμό με μια τεχνική φιλτραρίσματος για τους μη ενδιαφερόμενους, ωστόσο κάτι τέτοιο θα επιβάρυνε το φόρτο του δικτύου. Η χρήση multicasting τεχνικών συμβάλλει στη μείωση αυτού του φόρτου του δικτύου, καθώς ο αποστολέας μεταδίδει μόνο μια φορά το πακέτο, το οποίο αναλαμβάνουν οι κατάλληλοι δρομολογητές (multicast-enabled routers) να προωθήσουν στα μέλη της ομάδας. Στην πραγματικότητα η χρήση τεχνικών multicasting είναι η μόνη ορατή λύση αυτή τη στιγμή για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας (σε επίπεδο διαδικτύου) με πολλούς παραλήπτες.



Εκτός από την καλύτερη χρήση του διαθέσιμου εύρους μετάδοσης, η τεχνική multicasting είναι επίσης χρήσιμη στην ανακάλυψη πηγών (resource discovery), όταν δηλαδή ένας σταθμός θέλει να μάθει αν μια συγκεκριμένη υπηρεσία είναι διαθέσιμη, όπως π.χ. στο πρωτόκολλο OSPF [2]. Επίσης η τεχνική του multicasting είναι χρήσιμη σε εφαρμογές datacasting (όπως για παράδειγμα πολυμεσικές εφαρμογές, audio-cast, video-cast) όπου οι παραλήπτες μπορούν να «συντονιστούν» στη μετάδοση ή να αποχωρήσουν οποιαδήποτε στιγμή, καθώς επίσης και σε περιπτώσεις που οι διευθύνσεις των παραληπτών δεν είναι γνωστές στον αποστολέα [3].

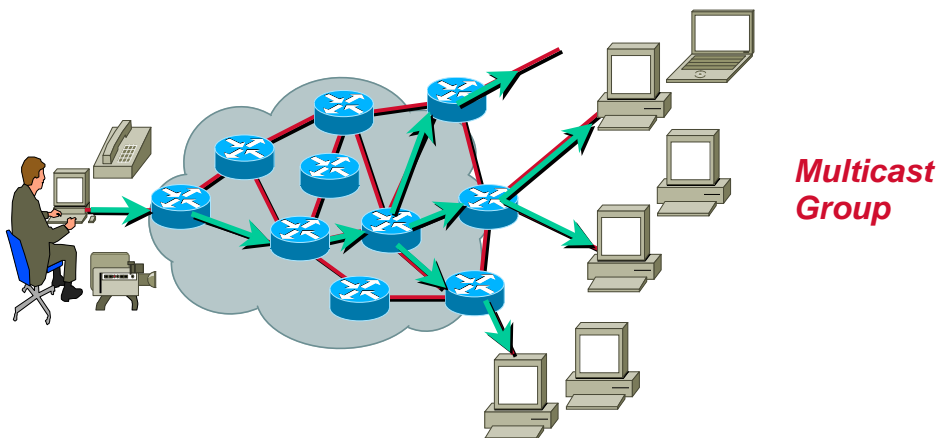
Η ιδέα του multicasting υφίσταται σε δύο επίπεδα, με βάση την έκταση την οποία καλύπτει [4]. Σε επίπεδο τοπικού δικτύου, το multicasting εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες που παρέχει το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης. Για παράδειγμα σε δίκτυα Ethernet ένα μέρος των MAC διευθύνσεων είναι δεσμευμένο για τις ανάγκες του multicasting. Καθώς η αντιστοίχιση των multicast διευθύνσεων ανωτέρων επιπέδων (IP διευθύνσεων) σε MAC διευθύνσεις δεν είναι ένα προς ένα, για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας χρησιμοποιούνται multicast filtering διακόπτες (switches). Ένας τέτοιος διακόπτης μπορεί να δημιουργεί κατάλληλα φίλτρα έτσι ώστε η multicast κίνηση να πηγαίνει μόνο στους ενδιαφερόμενους τελικούς σταθμούς [5]. Σε επίπεδο δικτύων ευρείας περιοχής ωστόσο, η μετάδοση multicasting πληροφορίας έχει τελείως διαφορετικές απαιτήσεις. Στηρίζεται στη χρήση multicast δρομολογητών οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν και να συντηρούν το πλέγμα των συνδέσεων (πιο συγκεκριμένα το δένδρο όπως θα φανεί παρακάτω) μέσω του οποίου διανέμονται τα πακέτα. Ανάλογα με το αν ο multicast δρομολογητής βρίσκεται σε ένα δίκτυο-φύλλο (δηλαδή με τελικούς χρήστες-μέλη της ομάδας) ή όχι επιτελεί διαφορετικές λειτουργίες. Στην πρώτη περίπτωση ο δρομολογητής ανακαλύπτει την ύπαρξη τοπικών παραληπτών ενώ στη δεύτερη περίπτωση συμμετέχει στην διαχείριση του δένδρου διανομής και στην προώθηση των multicasting πακέτων.

IP multicasting

Η θεμελίωση του IP multicasting ξεκίνησε ουσιαστικά το 1989, με την εργασια-ορόσημο του Stephen Deering [6]. Σύμφωνα λοιπόν μ' αυτή, IP multicasting είναι η μετάδοση ενός IP datagram σε ένα σύνολο σταθμών (group hosts) οι οποίοι διακρίνονται μέσω μιας IP διεύθυνσης. Ένα multicast datagram μεταφέρεται σε όλα τα μέλη της ομάδας με το ίδιο επίπεδο αξιοπιστίας της “καλύτερης προσπάθειας” (best-effort), όπως και τα κανονικά unicast datagrams. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει εγγύηση ότι το πακέτο θα φθάσει σωστά όσον αφορά τη σειρά και το περιεχόμενό του σε όλα τα μέλη. Όπως θα φανεί παρακάτω, το εγγενές αυτό μειονέκτημα των πρωτοκόλλων multicasting σε επίπεδο δικτύου (network layer) δημιούργησε την ανάγκη για ανάπτυξη πρωτοκόλλων σε επίπεδο μεταφοράς (transport layer) που να διασφαλίζουν την απαιτούμενη αξιοπιστία για κάθε multicast εφαρμογή.

Όπως ειπώθηκε, σημαντική είναι η έννοια της ομάδας. Η ομάδα είναι ένα ανοιχτό μοντέλο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά [4], [6]:

- Κάθε κόμβος του δικτύου μπορεί να ανήκει στην ομάδα
- Ένας κόμβος μπορεί να ανήκει σε περισσότερες από μια ομάδες
- Ένας κόμβος (πηγή) μπορεί να μεταδώσει πακέτα σε μία ομάδα, ανεξάρτητα αν είναι μέλος της
- Η ομάδα είναι δυναμική και οποιοσδήποτε μπορεί να ενταχθεί ή να αποχωρήσει απ' αυτή όποια στιγμή το επιθυμεί
- Ο αριθμός και οι ταυτότητες των μελών της δεν είναι γνωστά, ούτε στην πηγή ούτε στους παραλήπτες

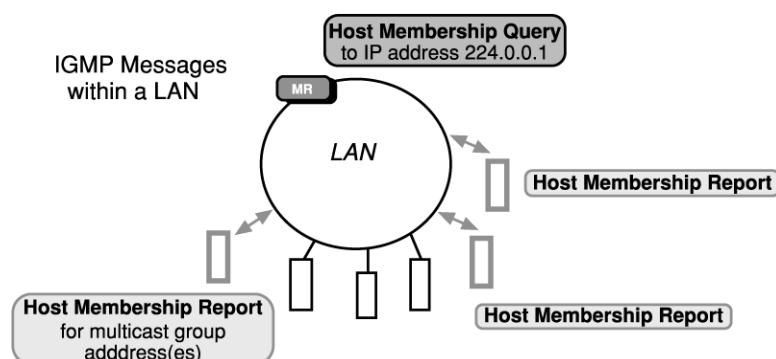


Πρωτόκολλο διαχείρισης ομάδων στο διαδίκτυο (Internet Group Management Protocol – IGMP)

Κάθε ομάδα αναγνωρίζεται από μια IP(v4 ή v6) διεύθυνση κλάσης D, όπου δηλαδή τα τέσσερα υψηλότερης τάξης bit έχουν την τιμή 1110. Σταθμοί οι οποίοι επιθυμούν να λαμβάνουν multicast μηνύματα πρέπει να πληροφορηθούν έναν άμεσα γειτονικό τους δρομολογητή (στο LAN στο οποίο είναι συνδεδεμένοι) ότι επιθυμούν να ενταχθούν (join) σε μια ομάδα. Ο δρομολογητής αυτός θα πρέπει να είναι ικανός να χειριστεί multicast μηνύματα (multicast enabled router). Το πρωτόκολλο με το οποίο γίνεται αυτή η διαδικασία ονομάζεται IGMP. Η λειτουργία του (IGMPv1) περιγράφεται στο rfc1112 [6] το οποίο αποτελεί πλέον πρότυπο του διαδικτύου (internet standard).

Το IGMP είναι ένα πρωτόκολλο στο επίπεδο δικτύου (network layer). Συνεπώς, ένα μήνυμα IGMP περιέχεται (encapsulated) πάντα σε ένα IP datagram [4]. Σύμφωνα με την πρώτη έκδοση του IGMP, ένας σταθμός στέλνει ένα συγκεκριμένο μήνυμα στον multicast δρομολογητή για να δηλώσει ότι θέλει να γίνει μέλος μιας ομάδας, ενώ για να αποχωρήσει από την ομάδα δεν στέλνει κανένα μήνυμα. Ο multicast δρομολογητής ελέγχει περιοδικά αν υπάρχουν μέλη μιας ομάδας στο υποδίκτυό του, στέλνοντας ένα ειδικό μήνυμα (query). Αν δεν πάρει καμία απάντηση συμμετοχής μετά από έναν αριθμό queries, θεωρεί ότι δεν υπάρχουν μέλη αυτής της ομάδας στο υποδίκτυό του. Βασισμένος σ' αυτή την πληροφορία που συλλέγει, ο δρομολογητής προωθεί ή όχι multicast πακέτα στο υποδίκτυό του, αλλιώς τα αγνοεί.

Το IGMPv2 υλοποιεί κάποιες βελτιώσεις ανάμεσα στις οποίες είναι η δυνατότητα ένας σταθμός να στείλει ειδικό μήνυμα για την αποχώρησή του από την ομάδα καθώς και ένας μηχανισμός εκλογής υπεύθυνου δρομολογητή (querier) για ένα υποδίκτυο, στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότεροι από έναν multicast δρομολογητές στο ίδιο τοπικό υποδίκτυο. Υπάρχει τέλος σε εξέλιξη και σε πρωταρχικό στάδιο το IGMPv3, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα σε έναν σταθμό να δηλώσει συγκεκριμένες πηγές σε μια ομάδα από τις οποίες επιθυμεί να παραλαμβάνει ή όχι μηνύματα (per-source filtering).



Αλγόριθμοι δρομολόγησης multicast – Multicast routing algorithms

Η δρομολόγηση multicast πακέτων, όπου οι παραλήπτες εκτός του ότι είναι περισσότεροι είναι και άγνωστοι, είναι πιο πολύπλοκη από αυτή των unicast πακέτων, όπου ο παραλήπτης είναι ένας και γνωστός. Τα IP multicast πρωτόκολλα δρομολόγησης μεταδίδουν τα multicast πακέτα για ένα ζευγάρι πηγής-ομάδας μέσω ενός ζευγνύοντος δένδρου (spanning tree) που ενώνει τους multicast δρομολογητές στο υποδίκτυο των οποίων υπάρχουν μέλη της συγκεκριμένης ομάδας. Ο αλγόριθμος σύμφωνα με τον οποίο χτίζεται αυτό το δένδρο διαφέρει στα διάφορα πρωτόκολλα. Μερικοί από αυτούς τους αλγορίθμους περιγράφονται παρακάτω [7] [2] [1] [4].

Flooding

Είναι ο πιο απλός και εύκολος αλγόριθμος. Ένας δρομολογητής λαμβάνοντας ένα multicast πακέτο ελέγχει αν είναι η πρώτη φορά που το έλαβε. Αν ναι, το προωθεί σε όλους τους δρομολογητές με τους οποίους έχει σύνδεση (εκτός φυσικά σε αυτόν από τον οποίο το παρέλαβε), αλλιώς απλώς το αγνοεί.

Το πλεονέκτημα της απλότητας του αλγορίθμου, δεν μπορεί να υπερκαλύψει τα σοβαρά μειονεκτήματά του. Αν και δεν απαιτεί από τους δρομολογητές να κρατούν πίνακες δρομολόγησης, ωστόσο πρέπει με κάποιο τρόπο να κρατούν στοιχεία για τα πακέτα τα οποία έχουν λάβει, έτσι ώστε να τα αγνοούν αν χρειάζεται. Το σημαντικότερο όμως μειονέκτημα είναι ότι δεν δίνει τη δυνατότητα κλιμάκωσης (scaling) καθώς δημιουργεί μεγάλο αριθμό πακέτων που μπορεί να οδηγήσει το δίκτυο σε συμφόρηση (congestion). Επίσης, τα multicast πακέτα μεταδίδονται σε όλους τους δρομολογητές, χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψη το αν έχουν στο υποδίκτυό τους μέλη της ομάδας ή όχι. Ας σημειωθεί τέλος ότι ο αλγόριθμος αυτός στην ουσία δεν δημιουργεί δένδρο (αφού μπορεί να οδηγήσει σε ανακυκλώσεις) αλλά απλώς εξασφαλίζει την αποστολή των multicast πακέτων σε όλα τα μέλη της ομάδας.

Reverse Path Forwarding και Broadcasting (RPF-RPB)

Ο αλγόριθμος **RPF** δημιουργεί ένα δένδρο για κάθε ένα από τα ζευγάρια πηγής-ομάδας. Η ρίζα του δένδρου είναι ο δρομολογητής του υποδικτύου στο οποίο ανήκει η πηγή. Η λειτουργία του είναι επίσης απλή. "Όταν ένας δρομολογητής παραλαμβάνει ένα multicast πακέτο, ελέγχει αν ο δρομολογητής από τον οποίο το παρέλαβε βρίσκεται στο συντομότερο μονοπάτι που συνδέει τον ίδιο με την πηγή. Αν όχι, αγνοεί το πακέτο, αλλιώς το προωθεί σε όλους τους γειτονικούς του δρομολογητές, εκτός από αυτόν από τον οποίο το παρέλαβε.

Μία παραλλαγή αυτού του αλγορίθμου είναι ο δρομολογητής να μην προωθεί το πακέτο σε έναν γειτονικό δρομολογητή αν ο ίδιος δεν βρίσκεται στο συντομότερο μονοπάτι που συνδέει τον γειτονικό δρομολογητή με την πηγή. Η παραλλαγή αυτή ονομάζεται **Reverse Path Broadcasting (RPB)**. Αξίζει να σημειωθεί ότι την πληροφορία αυτή καθώς και την πληροφορία του συντομότερου μονοπατιού την αντλεί ο κάθε δρομολογητής από το πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί για την απλή (unicast) δρομολόγηση.

Ο αλγόριθμος αυτός έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως το ότι τα δένδρα διανομής που σχηματίζονται είναι διαφορετικά για κάθε πηγή, κατανέμοντας έτσι καλύτερα το φορτίο στις διάφορες συνδέσεις, καθώς επίσης ότι εξασφαλίζει την γρηγορότερη δυνατή μετάδοση, αφού χρησιμοποιεί τις συντομότερες διαδρομές. Το σημαντικότερο μειονέκτημά του όμως είναι ότι προωθεί τα multicast πακέτα σε όλους τους δρομολογητές, χωρίς να λαμβάνει υπ' όψη του το αν έχουν μέλη της ομάδας στο υποδίκτυό τους.

Truncated Reverse Path Broadcasting (TRPB)

Μια βελτίωση του RPB αλγορίθμου είναι ο **TRPB**. Σύμφωνα μ' αυτόν, ένας δρομολογητής δεν προωθεί multicast πακέτα σ' εκείνους τους γειτονικούς του δρομολογητές που βρίσκονται σε ένα υποδίκτυο-φύλλο (δηλαδή είναι οι τελευταίοι δρομολογητές στο συντομότερο μονοπάτι που οδηγεί στην πηγή) για τους οποίους γνωρίζει, μέσω της πληροφορίας που έχει από το IGMP πρωτόκολλο, ότι δεν υπάρχουν στο υποδίκτυό τους μέλη της ομάδας.

Αν και αποτελεί μια σημαντική βελτίωση, περικόπτοντας από το ζευγνύον δένδρο (spanning tree) τα υποδίκτυα-φύλλα στα οποία δεν βρίσκονται μέλη της ομάδας, ωστόσο δεν εξαλείφει τη μετάδοση σε υποδίκτυα-μη-φύλλα στα οποία δεν υπάρχουν μέλη.

Reverse Path Multicasting (RPM)

Ο αλγόριθμος αυτός είναι μια επιπλέον βελτίωση του TRPB, έτσι ώστε η multicast κίνηση (traffic) να περιορίζεται σ' εκείνους τους δρομολογητές που έχουν μέλη στο υποδίκτυό τους. Αρχικά, μέσω του TRPB σχηματίζεται το multicast δένδρο από το οποίο περικόπτονται οι δρομολογητές σε υποδίκτυα-φύλλα. Η αλλαγή έγκειται στο γεγονός ότι η περικοπή συνεχίζεται και προς τους παραπάνω (upstream) δρομολογητές. Ένας τέτοιος δρομολογητής θυμάται από ποιους δρομολογητές-παιδιά έχει πάρει μηνύματα περικοπής (prune). Αν πάρει τέτοια μηνύματα από όλους τους δρομολογητές-παιδιά, και ο ίδιος δεν έχει επίσης μέλη της ομάδας στο υποδίκτυό του, περικόπτει με τη σειρά του τον εαυτό του, στέλνοντας ένα μήνυμα prune στον παραπάνω. Μ' αυτό τον τρόπο τελικά το multicast δένδρο περιέχει μόνο δρομολογητές με μέλη στο υποδίκτυό τους.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του αλγορίθμου είναι εμφανή. Ωστόσο έχει ένα σοβαρό μειονέκτημα. Λόγω της δυναμικής φύσης των ομάδων, πρέπει κάθε τόσο να εφαρμόζει ένα flooding, στέλνοντας multicast πακέτα ξανά σε όλους τους δρομολογητές, για να ανανεώσει την πληροφορία τού πού βρίσκονται πιθανόν νέα μέλη ή ποια έχουν αποχωρήσει. Σε συνδυασμό με το γεγονός ότι κάθε δρομολογητής χρειάζεται να κρατά πολλή πληροφορία, ανάλογη με τον αριθμό του συνόλου των δρομολογητών, ο RPM δεν ενδείκνυται για χρήση σε μεγάλα διαδίκτυα.

Core Based Trees (CBT)

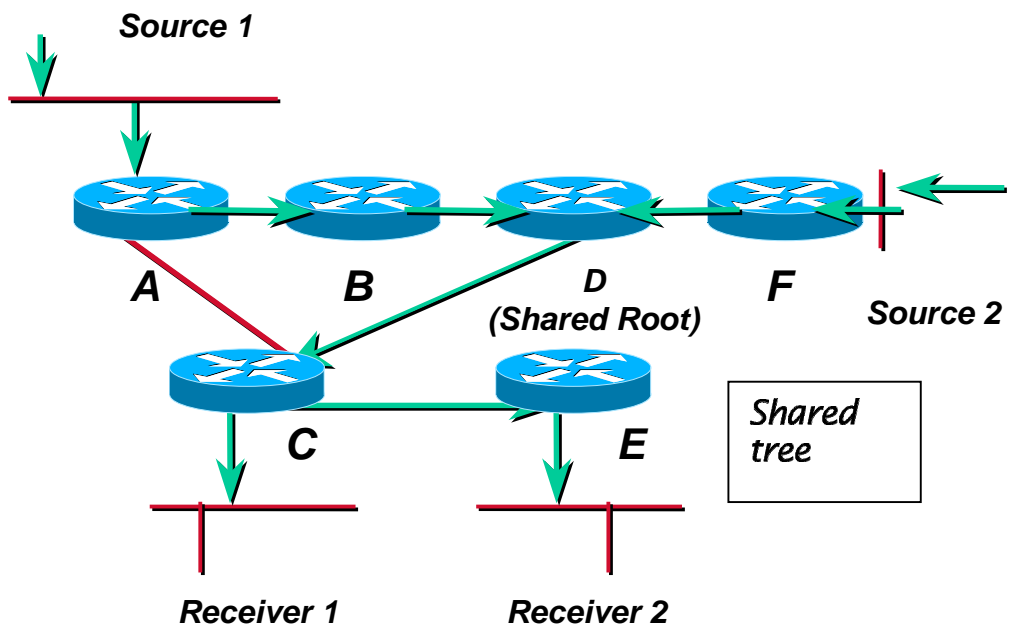
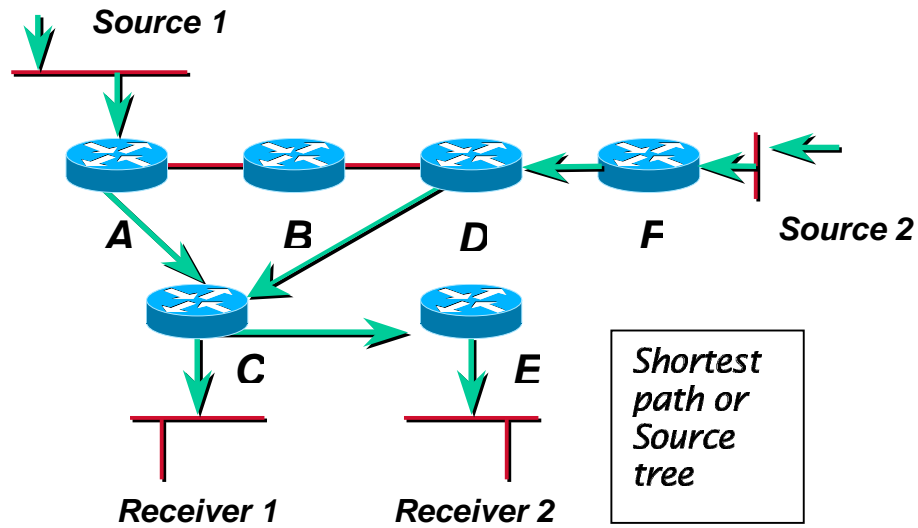
Οι αλγόριθμοι που παρουσιάστηκαν μέχρι τώρα δημιουργούν ένα δένδρο διανομής για κάθε ζεύγος πηγής-ομάδας. Τα δένδρα αυτά λέγονται source-trees, και η λειτουργία τους βασίζεται γενικά στην ιδέα ότι όλοι οι δρομολογητές θεωρούνται αρχικά ότι έχουν μέλη στην ομάδα και προοδευτικά (ανάλογα με τον αλγόριθμο φυσικά) περικλύονται κάποιιοι απ' αυτούς. Η λειτουργία τους είναι αποδοτική σε μικρά διαδίκτυα, και κυρίως στην περίπτωση που υπάρχει μια πυκνή (dense) συγκέντρωση των μελών.

Υπάρχουν τρία βασικά προβλήματα αυτού του είδους των αλγορίθμων, στην περίπτωση που τα μέλη της ομάδας μπορεί να εκτείνονται σε ένα μεγάλο διαδίκτυο, με μία πιθανόν αραιή (sparse) κατανομή [8]. Καταρχήν απαιτούν από τους δρομολογητές να αποθηκεύουν πολλή πληροφορία. Επίσης, εξαρτώνται από το συγκεκριμένο unicast πρωτόκολλο δρομολόγησης, από το οποίο όπως αναφέρθηκε αντλούν πληροφορία προκειμένου να χτίσουν τα δένδρα διανομής. Αυτό σημαίνει ότι όλοι οι δρομολογητές θα πρέπει να χρησιμοποιούν το ίδιο unicast πρωτόκολλο, περιορίζοντας έτσι πολύ το ποια υποδίκτυα μπορούν να έχουν μέλη σε μια ομάδα. Τέλος, επιβάλλουν ένα επιπλέον κόστος επεξεργασίας σε όλους τους δρομολογητές, ακόμα κι αν αυτοί δεν έχουν μέλη στην ομάδα, αφού είναι αναγκασμένοι να συμμετέχουν στο χτίσιμο των δένδρων.

Προς απάντηση αυτών των προβλημάτων αναπτύχθηκε η ιδέα των core based trees. Αντί να δημιουργείται ένα multicast δένδρο για κάθε ζεύγος πηγής-ομάδας, δημιουργείται ένα μόνο δένδρο για κάθε ομάδα, το οποίο μοιράζονται όλα τα μέλη της (shared tree). Ένας δρομολογητής επιλέγεται ως πυρήνας (core) του δένδρου. Τα κλαδιά του δένδρου είναι τα συντομότερα μονοπάτια από τον κάθε δρομολογητή (που έχει μέλη της ομάδας στο υποδίκτυό του) προς τον πυρήνα. Η βασική ιδέα είναι αντίστροφη από αυτή των source trees. Κανένας δρομολογητής δεν θεωρείται αρχικά μέλος. Αν κάποιος αποφασίσει ότι θέλει να ενταχθεί στην ομάδα, στέλνει ένα μήνυμα (join request) προς τον πυρήνα (χρησιμοποιώντας unicast). Το μήνυμα αυτό δημιουργεί μια μεταβατική κατάσταση στους (πιθανούς) ενδιαμέσους δρομολογητές. Η μεταβατική αυτή κατάσταση επιτρέπει τους δρομολογητές να χειριστούν το acknowledgment που στέλνει ο πυρήνας, έτσι ώστε να σχηματιστεί τελικά το κλαδί διανομής, για την συγκεκριμένη ομάδα, που συνδέει τον πυρήνα με τον δρομολογητή που έστειλε το join. Από την άλλη μεριά, οι πηγές στέλνουν τα multicast datagrams απευθείας στον πυρήνα, μέσω unicast, ο οποίος έχοντας την πληροφορία ποιιοι γειτονικοί του δρομολογητές ανήκουν σε έναν κλάδο που οδηγεί σε μέλη της ομάδας, τα προωθεί κατάλληλα.

Ο αλγόριθμος CBT επιλύει τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Προσφέρει καλύτερες δυνατότητες κλιμάκωσης (scaling), καθώς χτίζει ένα μόνο δένδρο για κάθε ομάδα. Έτσι η πληροφορία που πρέπει να αποθηκεύει ο κάθε δρομολογητής είναι πολύ λιγότερη. Οι ενδιαμέσοι κόμβοι επιβαρύνονται λιγότερο στην δημιουργία των δένδρων διανομής. Προσφέρει επίσης ανεξαρτησία από το συγκεκριμένο πρωτόκολλο unicast δρομολόγησης, αφού κάθε δρομολογητής βασίζεται μόνο στη δική του πληροφορία. Ωστόσο έχει κι αυτός κάποια μειονεκτήματα. Δημιουργεί κατ' αρχήν ένα σημαντικό θέμα, όσον αφορά την επιλογή του δρομολογητή-πυρήνα. Όποιος κι αν είναι αυτός, δεν εξασφαλίζει ότι η μετάδοση θα γίνεται μέσω των συντομότερων διαδρομών από την πηγή στο κάθε μέλος. Επίσης

είναι φανερό ότι επιβαρύνεται πολύ ο δρομολογητής-πυρήνας, κάτι που μπορεί να τον οδηγήσει σε bottleneck. Αυξάνοντας την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου, δίνεται η δυνατότητα να οριστούν περισσότεροι από έναν πυρήνες [8].



Πρωτόκολλα δρομολόγησης IP multicasting – IP multicasting routing protocols

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης IP multicast κίνησης (traffic) λειτουργούν στο τρίτο επίπεδο (network), όπως και τα συνηθισμένα πρωτόκολλα unicast κίνησης, και αναλαμβάνουν να μεταδώσουν τα multicast IP datagrams από την πηγή σε όλα τα μέλη της ομάδας (για την ακρίβεια σε όλους τους δρομολογητές που έχουν μέλη της ομάδας στο υποδίκτυό τους) μέσω ενός ζευγνύοντος δένδρου διανομής. Τα διάφορα IP multicast πρωτόκολλα δρομολόγησης χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνικές και αλγορίθμους (από τους βασικούς που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο) για να χτίζουν αυτά τα δένδρα.

Σε γενικές γραμμές τα πρωτόκολλα δρομολόγησης IP multicasting ακολουθούν δυο βασικές προσεγγίσεις [7][9], ανάλογα με την αναμενόμενη διασπορά των μελών των ομάδων. Η πρώτη, υποθέτει ότι πολλά υποδίκτυα έχουν μέλη (δηλαδή υπάρχει μια πυκνή διασπορά των μελών) και ότι το διαθέσιμο εύρος ζώνης (bandwidth) είναι αρκετά μεγάλο. Τα πρωτόκολλα αυτά λέγονται dense-mode και βασίζονται σε αλγορίθμους που εφαρμόζουν μια τακτική που «πλημμυρίζει» το δίκτυο (flooding) προκειμένου να βρεθούν σιγά-σιγά οι δρομολογητές με μέλη της ομάδας (βλ. παραπάνω κεφάλαιο όπου περιγράφονται οι αλγόριθμοι). Τα πρωτόκολλα αυτά χτίζουν όπως έχει ήδη αναφερθεί δένδρα-πηγής, ένα για κάθε ζευγάρι πηγής-ομάδας.

Η δεύτερη υποθέτει ότι υπάρχει μια αραιή διασπορά των μελών, σε υποδίκτυα τα οποία δεν είναι άμεσα συνδεδεμένα το ένα με το άλλο ενώ το διαθέσιμο εύρος ζώνης δεν είναι απαραίτητα μεγάλο, ιδίως στην περίπτωση που τα μονοπάτια χρειάζεται να προσπελάσουν πολλές και ανόμοιες περιοχές του διαδικτύου. Η αραιή (sparse) διασπορά δε σημαίνει φυσικά ότι τα μέλη της ομάδας είναι λίγα. Σ' αυτή την περίπτωση η τακτική του flooding θα σπαταλούσε άσκοπα τους πόρους του δικτύου. Γι' αυτό τα πρωτόκολλα αυτά (sparse-mode) εφαρμόζουν αλγορίθμους που είναι κατευθυνόμενοι από τα μέλη της ομάδας, τα οποία πρέπει να δηλώσουν τα ίδια ότι θέλουν να ενταχθούν σ' αυτή. Τα πρωτόκολλα αυτά χτίζουν διαμοιραζόμενα-δένδρα (shared-trees), ένα για κάθε ομάδα.

Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται συνοπτικά διάφορα πρωτόκολλα δρομολόγησης IP multicast για κάθε μια από τις δυο μεγάλες κατηγορίες.

Dense-mode πρωτόκολλα – Dense Mode protocols

Distance Vector Multicast Routing Protocol (DVMRP)

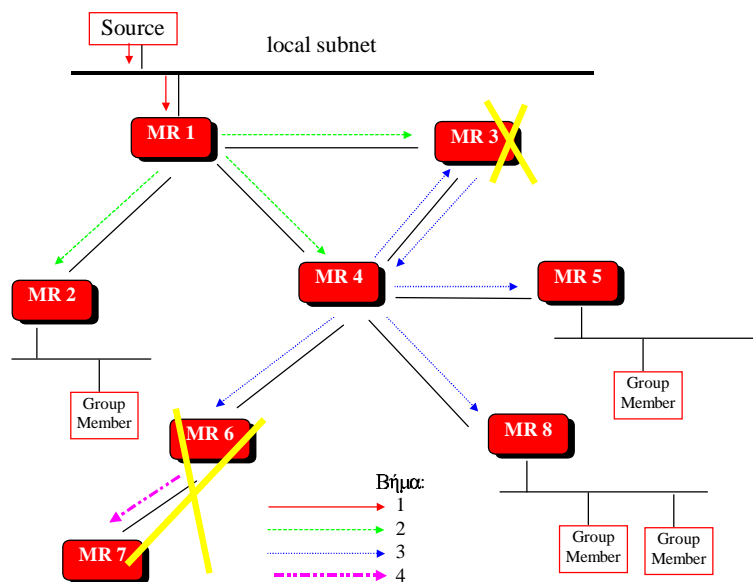
Το DVMRP ήταν το πρώτο πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε για IP multicasting. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται ευρέως στο MBONE (Multicast backbone), το οποίο αποτελεί την πρώτη πειραματική (αρχικά) υλοποίηση του multicasting σε διαδικτυακό επίπεδο.

Το DVMRP περιγράφεται στο rfc1075 [10], ενώ σήμερα στην πράξη χρησιμοποιείται μια αναβαθμισμένη έκδοσή του βάσει ενός Internet Draft [11]. Το DVMRP βασίζεται στο unicast ανάλογό του Routing Information Protocol (RIP), με τη διαφορά ότι ενώ

το RIP προωθεί τα unicast πακέτα βασισμένο στην πληροφορία που έχει ο δρομολογητής για τον επόμενο δρομολογητή (next-hop) προς έναν προορισμό, το DVMRP χτίζει τα δένδρα διανομής βασισμένο στην πληροφορία για τον προηγούμενο δρομολογητή (previous-hop) προς την πηγή.

Η λειτουργία του πρωτοκόλλου (της αρχικής έκδοσης του DVMRP) βασίζεται στον αλγόριθμο TRPB. Όταν ληφθεί το πρώτο multicast datagram, ο δρομολογητής ελέγχει αν η σύνδεση από την οποία παρελήφθη βρίσκεται (με τα κριτήρια του unicast πρωτοκόλλου του) στο συντομότερο μονοπάτι προς την πηγή. Αν ναι, το προωθεί σε εκείνους τους γειτονικούς του δρομολογητές που γνωρίζει (πάλι από το unicast πρωτόκολλο) ότι το συντομότερο μονοπάτι τους προς την πηγή περνάει από τους ίδιους, αλλιώς το αγνοεί. Στην αναβαθμισμένη έκδοσή του το DVMRP χρησιμοποιεί τον RPM αλγόριθμο, περικοπώντας σταδιακά τους δρομολογητές που δεν οδηγούν σε υποδίκτυα με μέλη στην ομάδα. Επίσης, ένα νέο μήνυμα (graft) προστέθηκε που δίνει τη δυνατότητα στους δρομολογητές που προηγουμένως είχαν στείλει μήνυμα περικοπής (prune) να το αναιρέσουν (σε σύντομο χρόνο μετά το prune). Φυσικά, για να υπάρχει αξιόπιστη πληροφορία για νέα μέλη ή για μέλη που έχουν αποχωρήσει, το DVMRP εφαρμόζει το flooding περιοδικά.

Το αρχικό DVMRPv1 στην ουσία δεν χρησιμοποιείται. Αυτό που χρησιμοποιείται στο MBONE είναι το αναβαθμισμένο DVMRPv3, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Η λύση του DVMRP ταιριάζει σε περιπτώσεις όπου ένας μεγάλος αριθμός μελών βρίσκονται σε πυκνή διασπορά κοντά στην πηγή. Έχει όμως σοβαρά προβλήματα, όπως την αργή του σύγκλιση και τη σημαντικά υψηλή σε ποσότητα πληροφορία που πρέπει να κρατά ο κάθε δρομολογητής, που το εμποδίζουν από το να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλης κλίμακας διαδίκτυα.



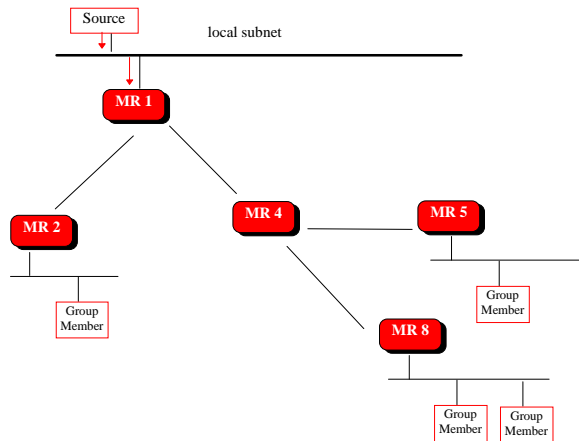
Βήμα 1: Το multicast μήνυμα φτάνει στον router 1

Βήμα 2: Το μήνυμα φτάνει στους 2,3 και 4

Βήμα 3: Οι 3 και 4 ανταλλάσσουν μηνύματα. Ο καθένας απορρίπτει το μήνυμα γιατί δεν έφτασε από το κοντινότερο μονοπάτι προς την πηγή (αυτή η ανταλλαγή δεν θα συνέβαινε καθόλου στο DVMRP v3).

Βήμα 4: Το μήνυμα φτάνει στον 7, ο οποίος είναι δρομολογητής-φύλλο χωρίς μέλη στο υποδίκτυό του, και έτσι στέλνει ένα prune μήνυμα στον 6, που στέλνει επίσης ένα prune στον 4. Επίσης, ο 3 στέλνει ένα prune στον 1.

Το ζευγνύον δένδρο που δημιουργείται τελικά



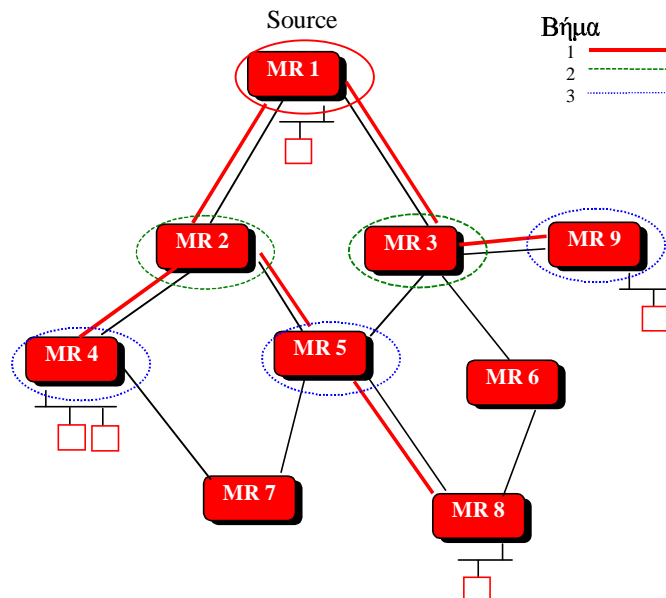
Multicast Open Shortest Path First (MOSPF)

Το MOSPF είναι η επέκταση του OSPF πρωτοκόλλου για τις ανάγκες δρομολόγησης multicast IP datagrams. Το OSPF είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης unicast IP datagrams το οποίο βασίζεται στην τεχνική της δρομολόγησης κατάστασης συνδέσεων (link state routing). Το βασικό στοιχείο ενός τέτοιου πρωτοκόλλου είναι ότι οι δρομολογητές συντηρούν ένα αντίγραφο μιας κατανεμημένης βάσης δεδομένων, η οποία ουσιαστικά αποτελεί έναν δυναμικό χάρτη των συστατικών μερών ενός διαδικτύου (internetwork) και των διασυνδέσεών τους. Η βάση αυτή ενημερώνεται με τη χρήση των λεγόμενων ανακοινώσεων κατάστασης συνδέσεων (link state advertisement – LSA). Κάθε LSA περιγράφει μία συγκεκριμένη περιοχή (area) του αυτόνομου συστήματος (Autonomous System – AS), όπως λέγεται το σύνολο των δρομολογητών που ανήκουν σε ένα συγκεκριμένο διαχειριστικό πεδίο και «τρέχουν» το ίδιο πρωτόκολλο δρομολόγησης (OSPF στην περίπτωση μας). Μέσω των στοιχείων αυτής της βάσης δεδομένων, οι δρομολογητές υπολογίζουν χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο του Dijkstra ένα δένδρο του οποίου οι κλάδοι είναι τα συντομότερα (το κριτήριο μπορεί να ποικίλει) μονοπάτια από τον συγκεκριμένο δρομολογητή σε κάθε προορισμό. Το MOSPF επεκτείνει το OSPF προσθέτοντας νέους τύπους LSAs [12].

Κάθε δρομολογητής συλλέγει πληροφορία (μέσω του IGMP) σχετικά με μέλη ομάδων στο υποδίκτυό του. Την πληροφορία αυτή τη διαχέει (flooding) στους άλλους δρομολογητές της περιοχής του περιοδικά, χρησιμοποιώντας ένα νέο είδος LSA, το LSA-συμμετοχής-σε-ομάδες (Group Membership-LSA), όπως κάθε άλλο OSPF LSA. Έτσι κάθε δρομολογητής στην περιοχή, εφόσον μέσω της βάσης δεδομένων αντιλαμβάνεται το σύνολο της τοπολογίας του δικτύου του και τη θέση των μελών των ομάδων, μπορεί να υπολογίσει, λαμβάνοντας ένα multicast datagram, το δένδρο συντομότερων μονοπατιών από την πηγή σε όλα τα μέλη της ομάδας. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο κάθε δρομολογητής υπολογίζει το ίδιο δένδρο και ότι η διαδικασία είναι data-driven, δηλαδή ο υπολογισμός του δένδρου γίνεται όταν λαμβάνεται το πρώτο multicast πακέτο για την ομάδα. Το MOSPF, προκειμένου να γλιτώσει μερικούς από τους πολύ χρονοβόρους υπολογισμούς Dijkstra, χρησιμοποιεί μια τακτική caching, με την οποία ο κάθε δρομολογητής θυμάται από ποιο σύνδεσμο παρέλαβε το πρώτο πακέτο από μια πηγή προς μια ομάδα και σε ποιους συνδέσμους το προώθησε.

Προκειμένου να μεταφέρονται τα multicast πακέτα από περιοχή σε περιοχή, το MOSPF ορίζει τους δρομολογητές ορίων περιοχών (Area Border Routers), οι οποίοι λειτουργούν έτσι ώστε να περνούν στην περιοχή τους όλα τα πακέτα, ανεξαρτήτως ομάδας. Επίσης, χρησιμοποιείται ένα ακόμα LSA, το LSA περίληψης (Summary Membership LSA). Το LSA αυτό διαχέεται στην περιοχή-ραχοκοκαλιά (backbone area), με την οποία συνδέονται όλοι οι δρομολογητές ορίων περιοχών. Έτσι οι δρομολογητές της backbone περιοχής μπορούν να υπολογίσουν τα δικά τους δένδρα διανομής. Με παρόμοιο τρόπο γίνεται και η μεταφορά multicast πακέτων μεταξύ αυτόνομων συστημάτων (όπου χρησιμοποιείται ο όρος δρομολογητής ορίου αυτόνομου συστήματος).

Το MOSPF είναι καταλληλότερο για χρήση μέσα σε ένα μόνο αυτόνομο σύστημα. Έχει σαν προαπαιτήση οι δρομολογητές να χρησιμοποιούν το OSPF για τη unicast δρομολόγηση, ενώ παρουσιάζει προβλήματα κλιμάκωσης καθώς, αν και δεν χρειάζεται να χρησιμοποιήσει το flooding στην αρχική φάση της multicast μετάδοσης όπως ο DVMRP, ωστόσο εκτελεί πολλούς Dijkstra αλγορίθμους, που είναι ιδιαίτερα απαιτητικοί.



- Βήμα 1:* Ο δρομολογητής 1 υπολογίζει το δένδρο – γνωρίζει τα μέλη της ομάδας από το IGMP και συνεπώς γνωρίζει ότι το μονοπάτι προς τον 4 είναι μέσω του 2, το μονοπάτι προς τον 8 είναι μέσω του 5, κ.ο.κ.
- Βήμα 2:* Ο 2 υπολογίζει το δένδρο – αποφασίζει ότι το μονοπάτι προς τον 4 είναι απευθείας, το μονοπάτι προς τον 8 είναι μέσω του 5. Επίσης ο 3 υπολογίζει το δένδρο – αποφασίζει ότι το μονοπάτι στον 9 είναι απευθείας.
- Βήμα 3 :* Ο 5 υπολογίζει το δένδρο – αποφασίζει ότι το μονοπάτι προς τον 8 είναι απευθείας.
- Σημείωση:* Ο κάθε δρομολογητής υπολογίζει το ίδιο ακριβώς δένδρο με τους προηγούμενούς του.

Protocol Independent Multicast – Dense Mode (PIM-DM)

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης Protocol Independent Multicast, αποτελεί αντικείμενο ανάπτυξης της ομάδας εργασίας Inter-Domain Multicast Routing του Internet Engineering Task Force. Ο στόχος αυτής της ομάδας είναι να αναπτύξει ένα πρότυπο πρωτόκολλο για δρομολόγηση multicast σε όλο το Internet, το οποίο να είναι

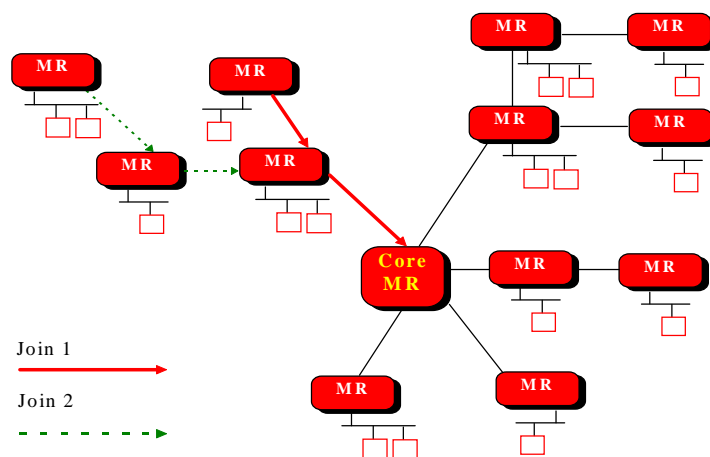
ανεξάρτητο από οποιοδήποτε συγκεκριμένο πρωτόκολλο unicast δρομολόγησης. Αναγνωρίζοντας τη διαφορετική προσέγγιση που απαιτείται, ανάλογα με το αν τα μέλη είναι σε πυκνή ή αραιή διασπορά, ανέπτυξε δύο μορφές του πρωτοκόλλου, το PIM-DM και το PIM-SM (Sparse Mode) (το οποίο παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο).

Το PIM-DM είναι παρόμοιο με το DVMRP στη γενική του φιλοσοφία. Και τα δύο πρωτόκολλα χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο RPM, με τη διαφορά ότι το PIM-DM στο αρχικό στάδιο αποδέχεται το κόστος του να «πλημμυρίσει» (flood) το δίκτυο μεταδίδοντας το multicast πακέτο που έφτασε από τη σύνδεση που ανήκει στο συντομότερο μονοπάτι προς την πηγή προς όλους τους γειτονικούς δρομολογητές. Στη συνέχεια εφαρμόζεται η διαδικασία διαδοχικής περικοπής (prune) των δρομολογητών που δεν είναι απαραίτητοι. Υπενθυμίζεται ότι το DVMRP στο πρώτο στάδιο χρησιμοποιεί την πληροφορία που του παρέχει το unicast πρωτόκολλο προκειμένου να μην προωθήσει το πακέτο σε όλους τους δρομολογητές. Το PIM-DM δεν το κάνει αυτό, κερδίζοντας έτσι την ανεξαρτησία από το unicast πρωτόκολλο. Η φιλοσοφία που ακολουθεί το PIM-DM έχει σαν στόχο την απλότητα και την ανεξαρτησία αυτή, αν και είναι πιθανόν να παρουσιαστεί κάποιο κόστος λόγω λήψης διπλών πακέτων. Φυσικά, εφόσον χρησιμοποιεί pruning, δεν αποφεύγει και το περιοδικό flooding για να ανανεώσει την πληροφορία για τα μέλη της ομάδας.

Sparse-Mode πρωτόκολλα – Sparse-Mode protocols

Core Based Tree (CBT)

Το CBT παρουσιάστηκε ήδη παραπάνω σαν ένας αλγόριθμος για την κατασκευή διαμοιραζόμενου δένδρου (shared tree). Στην ουσία το CBT είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης IP multicast. Η multicast κίνηση μεταφέρεται πάνω στο ίδιο δένδρο για μια ομάδα, ανεξάρτητα από την πηγή. Χρησιμοποιείται ένας (ή περισσότεροι) δρομολογητής πυρήνας (core) ο οποίος θα αποτελεί τη ρίζα του διαμοιραζόμενου δένδρου προς τα μέλη. Τα μέλη στέλνουν join μηνύματα προς τον πυρήνα, ο οποίος απαντά με acknowledgment, σχηματίζοντας έτσι ένα κλαδί. Αν ένας ενδιαμέσος δρομολογητής (μέχρι να φθάσει το join στον πυρήνα) είναι ήδη μέλος του δένδρου, απαντά αυτός με acknowledgement. Μια πηγή, για να στείλει ένα multicast μήνυμα, χρησιμοποιεί unicast προς τον πυρήνα, ο οποίος στη συνέχεια το προωθεί στα κλαδιά του διαμοιραζόμενου δένδρου.

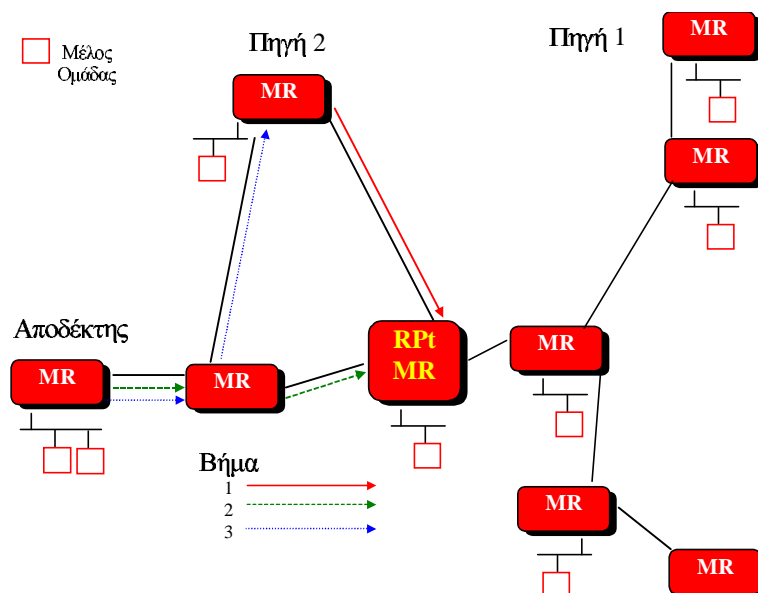


Protocol Independent Multicast – Sparse Mode

Όπως και το CBT, το PIM-SM είναι κατευθυνόμενο από τους παραλήπτες (receiver-initiated). Υποθέτει αρχικά ότι κανένας δεν είναι μέλος μιας ομάδας μέχρι να το ζητήσουν κάποιοι δρομολογητές συγκεκριμένα. Στο PIM-SM κατασκευάζεται το multicast δένδρο με ρίζα έναν δρομολογητή που λέγεται Rendezvous Point (RP), ο οποίος έχει την ίδια λειτουργία όπως και ο δρομολογητής core του CBT. Το PIM-SM είναι όμως πιο ευέλικτο, καθώς επιτρέπει σε έναν συγκεκριμένο αποδέκτη μέλος της ομάδας, να χρησιμοποιήσει το συντομότερο μονοπάτι προς την πηγή, παρακάμπτοντας τον RP και το διαμοιραζόμενο δένδρο.

Αρχικά κατασκευάζεται το διαμοιραζόμενο δένδρο με ρίζα το RP. Στη συνέχεια ο δρομολογητής που είναι υπεύθυνος (designated router) για κάποιο μέλος της ομάδας, έχει τη δυνατότητα να στείλει ένα join μήνυμα απ' ευθείας στην πηγή και να λαμβάνει τα μηνύματα μέσω του συντομότερου μονοπατιού που τον συνδέει μ' αυτή αντί μέσω του διαμοιραζόμενου δένδρου. Όταν δημιουργηθεί αυτή η σύνδεση, ο κλάδος προς τον αποδέκτη αυτόν περικόπτεται από το διαμοιραζόμενο δένδρο μέσω ενός ειδικού μηνύματος prune. Η τακτική αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση που απαιτείται μικρή καθυστέρηση (latency) στη μετάδοση, ή αν τα δεδομένα που λαμβάνει ο αποδέκτης ξεπεράσουν κάποιο κατώφλι.

Λόγω της προσαρμοζόμενης αυτής συμπεριφοράς του, αλλά και της χρήσης του ως υπόβαθρο στα inter-domain multicast πρωτόκολλα (που θα παρουσιαστούν παρακάτω) το PIM-SM είναι ουσιαστικά το IP multicast πρωτόκολλο που έχει τη μεγαλύτερη υποστήριξη, τουλάχιστον όπου απαιτείται η δυνατότητα κλιμάκωσης (scaling).



Βήμα 1. Η πηγή 2 δηλώνει την παρουσία της στον δρομολογητή Rendezvous Point

Βήμα 2. Ένας αποδέκτης ενώνεται (join) με τον RPt Multicast Router

Βήμα 3. Ο αποδέκτης λαμβάνει πολλά δεδομένα από την πηγή 2, γι' αυτό στέλνει ένα ξεχωριστό join στην Πηγή 2 για να κατασκευάσει το συντομότερο μονοπάτι

Tunneling

Στην περίπτωση που πρέπει να σταλεί multicast πληροφορία μεταξύ δυο διαφορετικών δικτύων που υποστηρίζουν multicasting αλλά δεν είναι άμεσα συνδεδεμένα μεταξύ τους, χρησιμοποιείται (στη σημερινή υλοποίηση τη MBONE που είναι η δομή που παρέχει αυτή την υπηρεσία σε επίπεδο διαδικτύου) η τεχνική του tunneling. Σύμφωνα μ' αυτήν, το multicast πακέτο πλαισιώνεται (encapsulated) από ένα κανονικό IP datagram, και διασχίζει τα ενδιάμεσα δίκτυα χρησιμοποιώντας unicasting. Η τακτική αυτή είναι χρήσιμη σε πρώτη φάση, ως μια στρατηγική μετάβασης [9]. Ωστόσο, στα πλαίσια της νέας δομής του Internet2, η τακτική αυτή δεν επιτρέπεται, και έχει διατυπωθεί η ανάγκη για αναζήτηση νέων λύσεων (βλ. επόμενο κεφάλαιο), καθώς έχει αρκετά μειονεκτήματα, κυρίως επειδή απαιτεί τον πολλαπλασιασμό των multicast πακέτων όταν αυτά διέρχονται περιοχές που δεν υποστηρίζουν multicasting.

Inter-domain Multicast Routing

Η τεχνική του tunneling ως μέσο για την μετάδοση multicast πακέτων μεταξύ δύο δικτύων που υποστηρίζουν multicasting αλλά δεν συνδέονται άμεσα, δεν είναι η ενδεδειγμένη λύση για εφαρμογή σε μεγάλη κλίμακα. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί νέες τεχνικές και πρωτόκολλα, τα οποία παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια.

Το Internet είναι μια διασύνδεση δικτύων που τα διαχειρίζονται διαφορετικοί οργανισμοί. Το σύνολο των δικτύων που βρίσκεται κάτω από τον διαχειριστικό έλεγχο ενός οργανισμού λέγεται Αυτόνομο Σύστημα (AS) ή domain. Ένα AS έχει ένα εσωτερικό (interior) πρωτόκολλο πύλων (gateway protocol) που χρησιμοποιείται για τη δρομολόγηση μέσα στο AS, και ένα εξωτερικό (exterior) gateway πρωτόκολλο, για δρομολόγηση πακέτων εκτός των ορίων του AS.

Αρχικά, αξίζει να αναφερθούν οι βασικές απαιτήσεις που θα πρέπει να ικανοποιεί μια λύση για δια-πεδιακά (inter-domain) πρωτόκολλα δρομολόγησης multicast [13].

- *Scaling (κλιμάκωση)*. Η ποσότητα της πληροφορίας που χρειάζεται να διανέμεται, κυρίως εκεί όπου δεν υπάρχουν μέλη της ομάδας, για να επιτευχθεί το multicasting σε επίπεδο Internet θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερη και να μην αυξάνει πολύ καθώς αυτό θα εξαπλώνεται. Επίσης, η πολιτική ανάθεσης διευθύνσεων στις ομάδες θα πρέπει να είναι τέτοια που να επιτρέπει την κλιμάκωση, υπό την έννοια ότι θα πρέπει να μειώνει την πιθανότητα να δοθεί η ίδια διεύθυνση σε πολλές ομάδες. Σε μια τέτοια περίπτωση θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα να ανιχνευθεί και να ξεπεραστεί μια τέτοια σύγκρουση.
- *Μη εξάρτηση από τρίτα μέρη (third-party independency)*. Όσο είναι δυνατόν, θα πρέπει η επικοινωνία μεταξύ domains να μη βασίζεται στην ποιότητα των συνδέσεων ενός τρίτου domain, αν αυτό το τρίτο domain δεν βρίσκεται μέσα στο μονοπάτι που τα συνδέει. Τέτοιες εξαρτήσεις είναι πιθανές στα πρωτόκολλα που χτίζουν διαμοιραζόμενα δένδρα και όπου επιλέγεται ένας δρομολογητής πυρήνας που ανήκει σε ένα τρίτο domain. Το multicast πρωτόκολλο δρομολόγησης θα πρέπει να δουλεύει ακόμα κι αν οι τοπολογία του σε σχέση με το unicast πρωτόκολλο είναι διαφορετική.
- *Σταθερότητα (stability)*. Τα δένδρα διανομής είναι επιθυμητό να μην αλλάζουν συχνά, καθώς κάτι τέτοιο αυξάνει την κίνηση πληροφορίας ελέγχου και μπορεί να οδηγήσει σε χάσιμο πακέτων για εφαρμογές που τρέχουν. Η αίσθηση είναι ότι η μείωση του κόστους (overhead) του πρωτοκόλλου είναι προτιμότερη από τη συντήρηση ενός βελτιστοποιημένου δένδρου διανομής.
- *Μη εξάρτηση από το ενδο-πεδιακό (intra-domain) multicast πρωτόκολλο*. Κάτι τέτοιο επιτρέπει το κάθε domain να επιλέξει εσωτερικά όποιο multicast πρωτόκολλο καλύπτει τις ανάγκες του καλύτερα. Επίσης, σε περίπτωση που κάποιο domain θελήσει να αναβαθμίσει το πρωτόκολλό του, οι επιπτώσεις στα υπόλοιπα domains θα είναι όσο γίνεται λιγότερες.

Στα επόμενα κεφάλαια εξετάζονται ορισμένες λύσεις, που υπάρχουν μέχρι στιγμής, στο ζήτημα του inter-domain multicast routing. Αρχικά δίνεται η λύση που αναφέρεται σαν βραχυπρόθεσμη, και η οποία είναι σε εφαρμογή με σχετική επιτυχία.

Η λύση αυτή βασίζεται στο συνδυασμό του PIM-SM σαν το intra-domain πρωτόκολλο, του Multiprotocol Border Gateway Protocol (MBGP) σαν εξωτερικό πρωτόκολλο μεταξύ των AS και το Multicast Source Discovery Protocol (MSDP) για να μπορούν να ανακαλύπτονται πηγές που ανήκουν σε άλλα AS. Στη συνέχεια περιγράφεται η λύση που αναφέρεται σαν πιο μακροπρόθεσμη και η οποία ακόμα βρίσκεται σε ερευνητικό στάδιο. Η λύση αυτή χρησιμοποιεί ένα ιεραρχικό σχήμα διευθυνσιοδότησης, το Multiple Address Set-Claim (MASC) και το Border Gateway Multicast Protocol (BGMP).

MBGP/MSDP

Το Border Gateway Protocol (BGP) είναι το εξωτερικό gateway πρωτόκολλο για unicast δρομολόγηση που χρησιμοποιείται αυτή τη στιγμή στο Internet. Είναι ένα μονοπατιού-διανύσματος (path-vector) πρωτόκολλο, και η διαφορά του από ένα distance-vector είναι ότι το BGP χρησιμοποιεί τα μονοπάτια ως μέσο μέτρησης της «απόστασης» από έναν προορισμό. Τα μονοπάτια αυτά αποτελούνται από μια σειρά από AS νούμερα και χαρακτηρίζονται από διάφορες ιδιότητες (attributes). Δυο δρομολογητές που επικοινωνούν με BGP ονομάζονται BGP peers και μαζί συγκροτούν ένα BGP session. Για λόγους αξιοπιστίας, το BGP χρησιμοποιεί το TCP σαν πρωτόκολλο μεταγωγής. Οι BGP peers ανταλλάσσουν αρχικά πλήρη αντίγραφα των πινάκων δρομολόγησής τους, και για όσο διάστημα διαρκεί το BGP session η πληροφορία για τις διαδρομές (routes) ανανεώνεται μέσω ειδικών μηνυμάτων (update), τα οποία ανανεώνουν τα στοιχεία διαφόρων ιδιοτήτων.

Ένα multicast εξωτερικό gateway πρωτόκολλο θα πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργήσει λαμβάνοντας υπ' όψη ότι το multicast δίκτυο μπορεί να μην είναι το ίδιο με το unicast, δηλαδή οι τοπολογίες τους μπορεί να διαφέρουν. Επίσης, το multicast εξωτερικό gateway πρωτόκολλο πρέπει να χρησιμοποιεί ένα γνωστό μοντέλο όσον αφορά την ορολογία, το configuration και τη λειτουργία, καθώς επίσης θα πρέπει να έχει ένα ισχυρό σύνολο μηχανισμών ελέγχου.

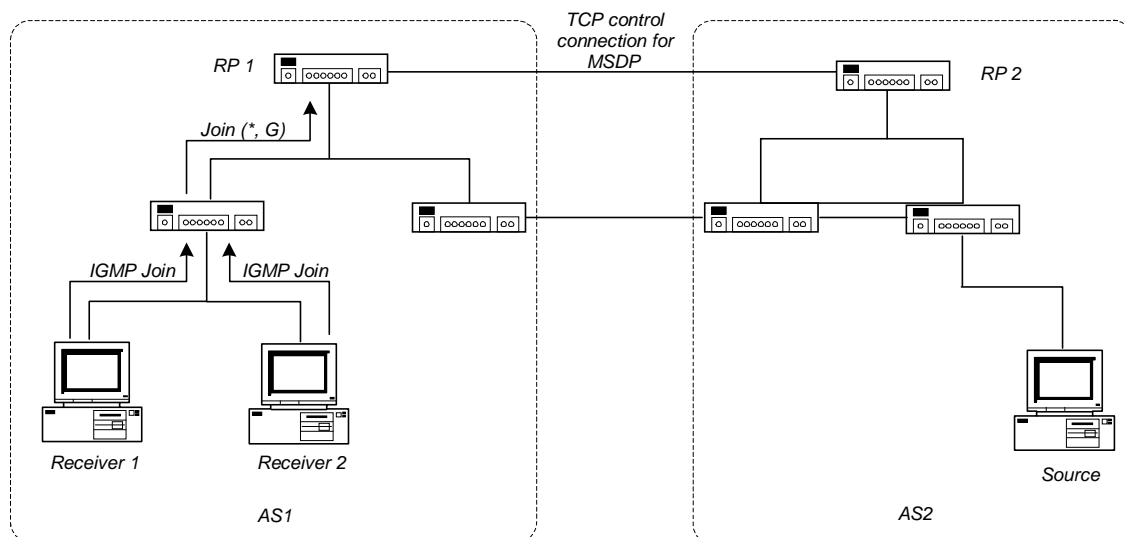
Επειδή το BGP ήδη καλύπτει αυτές τις ανάγκες, εκτός από την πρώτη, δημιουργήθηκε το Multiprotocol Border Gateway Protocol (MBGP). Το MBGP είναι σε γενικές γραμμές μια επέκταση του BGP-4 που του επιτρέπει να μεταφέρει πληροφορίες δρομολόγησης για πρωτόκολλα επιπέδου δικτύου άλλα εκτός από το IP. Η multicast πληροφορία είναι μια από τις πιθανές αυτές επεκτάσεις.

Με το MBGP οι unicast και οι multicast διαδρομές τηρούνται από το ίδιο session αλλά σε διαφορετικούς πίνακες δρομολόγησης. Για τις mutlicast διαδρομές έχουν προστεθεί δυο νέες ιδιότητες, οι οποίες αφορούν τους προσβάσιμους ή μη προορισμούς, και οι οποίες γνωστοποιούνται μέσω των update μηνυμάτων. Οι διαδρομές αυτές χρησιμοποιούνται για να χτιστεί το multicast δένδρο διανομής.

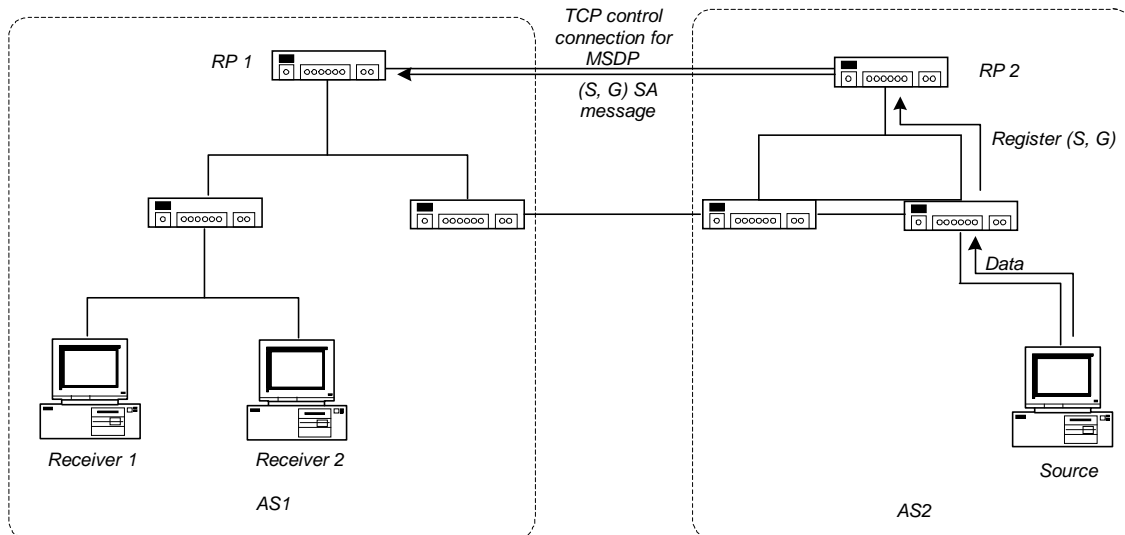
Το μειονέκτημα του MBGP είναι ότι, αν και επιλύει το θέμα του διαχωρισμού της unicast πληροφορίας από τη multicast, αυξάνει το μέγεθος των πινάκων δρομολόγησης, αλλά κυρίως ότι η εφαρμογή του σημαίνει ότι κάποιοι δρομολογητές, οι οποίοι πιθανότητα είναι ήδη σημαντικοί, πρέπει να αναβαθμισθούν για να συμπεριλάβουν την καινούργια αυτή πληροφορία.

Το MBGP επίσης δεν αντιμετωπίζει το πρόβλημα της μη εξάρτησης από τρίτα μέρη ή της ευελιξίας στην επιλογή των δρομολογητών RP. Για να επιτευχθεί αυτό χρειάζεται ένας τρόπος οι δρομολογητές RP μιας περιοχής (domain) να μπορούν να μαθαίνουν την ύπαρξη multicast πηγών σε άλλες περιοχές. Έτσι, αναπτύχθηκε το Multicast Source Discovery Protocol (MSDP), το οποίο είναι ένας μηχανισμός που συνδέει PIM-SM περιοχές και επιτρέπει τους δρομολογητές RP ανταλλάσσουν πληροφορίες για ενεργές πηγές στις περιοχές τους [15]. Το MSDP χρησιμοποιεί δια-πεδιακά (inter-domain) δένδρα πηγής, που σημαίνει ότι οι δρομολογητές RP χρειάζονται μόνο τα μονοπάτια προς τις ενεργές πηγές των άλλων περιοχών.

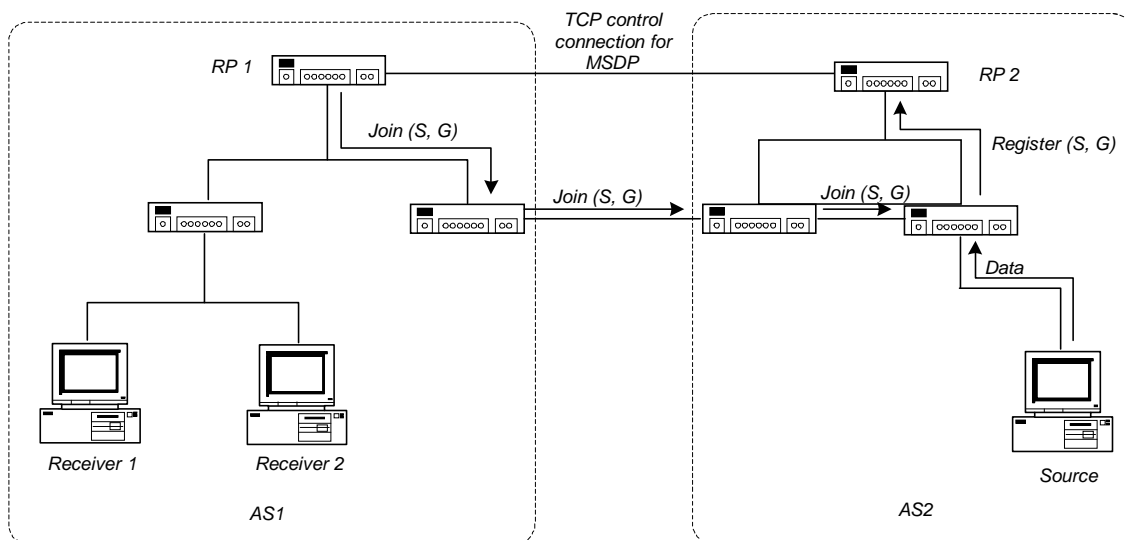
Η λειτουργία του MSDP έχει συνοπτικά ως εξής. Μέσω TCP συνδέσεων, οι δρομολογητές RP εγκαθιστούν επικοινωνία μεταξύ τους (MSDP peers), η οποία χρησιμοποιείται για να ανακοινώνουν την ύπαρξη πηγών. Όταν μια πηγή αρχίζει να μεταδίδει, ο δρομολογητής στον οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένη στέλνει ένα μήνυμα δήλωσης (register) στον δρομολογητή RP της περιοχής της, μέσω του PIM-SM πρωτοκόλλου. Ο RP στέλνει ένα μήνυμα ενεργής πηγής (Source Active – SA) στους MSDP peers, το οποίο περιέχει την IP διεύθυνση της πηγής, του ίδιου (δηλ. του RP) και τη διεύθυνση της multicast ομάδας. Τέτοια μηνύματα στέλνονται περιοδικά, για όσο διάστημα η πηγή είναι ενεργή. Η διάχυση των μηνυμάτων αυτών από τους peers γίνεται μέσω των διαδικασιών του MBGP και των πληροφοριών που παρέχονται από τα update μηνύματα. Ένας δρομολογητής RP που έχει παραλήπτες στην περιοχή του, στέλνει ένα PIM-SM μήνυμα σύνδεσης (join) κατευθείαν στην πηγή και όχι στον εξωτερικό RP. Αφού εγκατασταθεί αυτή η σύνδεση, τα διάφορα μέλη της ομάδας έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν και να λαμβάνουν τα δεδομένα μέσω του συντομότερου μονοπατιού προς την πηγή, βάσει των συνηθισμένων διαδικασιών του PIM-SM.



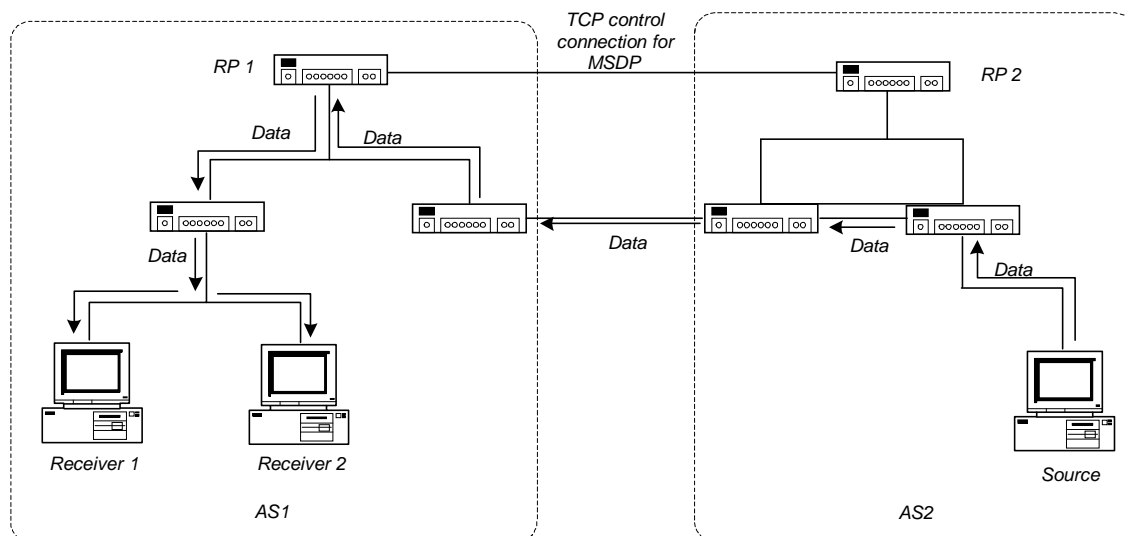
Οι παραλήπτες ενώνονται σε μια multicast ομάδα



Η multicast πηγή αρχίζει να μεταδίδει δεδομένα



Ο RP στέλνει ένα μήνυμα join στην inter-domain πηγή



Τα δεδομένα πηγαίνουν από την πηγή στον RP

Το MSDP έχει κάποια σημαντικά μειονεκτήματα, τα οποία το καθιστούν μια βραχυπρόθεσμη λύση όπως αναφέρθηκε ήδη, στην περίπτωση που το multicasting ακολουθήσει μια αυξητική πορεία ως μέθοδος μετάδοσης. Ένα μειονέκτημα είναι η καθυστέρηση σύνδεσης με την ομάδα (join latency). Αυτό εμφανίζεται για παράδειγμα στην περίπτωση που ο RP λάβει ένα μήνυμα SA ενώ οι ενδιαφερόμενοι παραλήπτες στην περιοχή του δεν έχουν ακόμα προλάβει να στείλουν το join μήνυμα. Το πρόβλημα γίνεται εντονότερο στην περίπτωση που οι πηγές είναι bursty. Ένας τρόπος αντιμετώπισης είναι ένας MSDP peer να χρησιμοποιεί τεχνικές caching για να κρατάει κάποια SA μηνύματα, κάτι όμως που αυξάνει τις απαιτήσεις σε χώρο αποθήκευσης. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι δεν προσφέρεται για κλιμάκωση (scaling) λόγω της διάχυσης (flood) των SA μηνυμάτων σε όλο το δίκτυο, πρόβλημα που επιτείνεται με την ύπαρξη πολλών δυναμικών ομάδων.

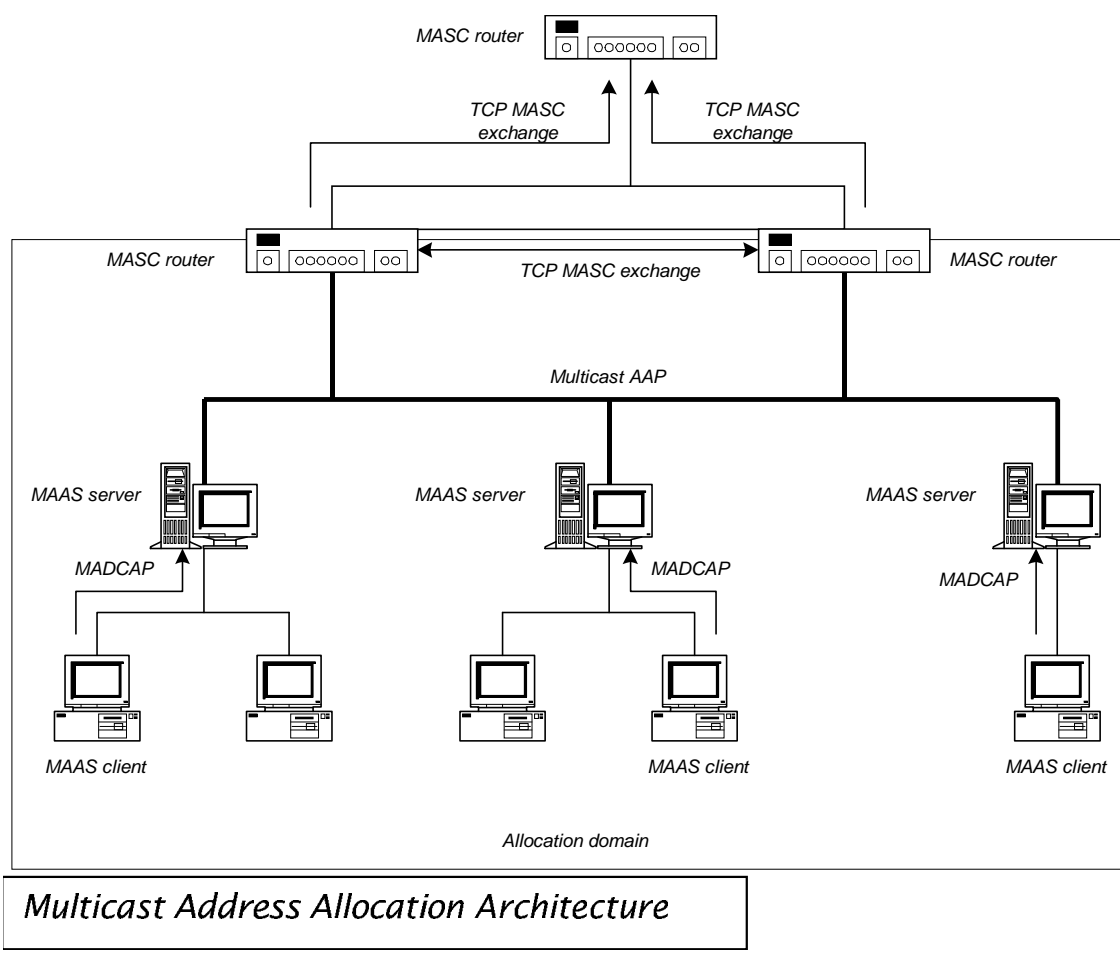
MASC/BGMP

Η γενικότερα αποδεκτή αυτή τη στιγμή λύση για την υλοποίηση του δια-πεδιακού multicasting είναι αυτή του Border Gateway Multicast Protocol, σε συνδυασμό με το πρωτόκολλο Multicast Address Set Claim για ανάθεση multicast διευθύνσεων καθώς επίσης και σε συνεργασία με το MBGP και ένα οποιοδήποτε εσωτερικό multicast πρωτόκολλο. Πρέπει να σημειωθεί ότι το BGMP δεν είναι άμεσα εξαρτώμενο από το MASC, απλώς το MASC είναι το επικρατέστερο αυτή τη στιγμή.

Καθώς ο αριθμός των multicast εφαρμογών σε επίπεδο internet αυξάνει, υπάρχει η ανάγκη για ένα καταναμημένο μηχανισμό ανάθεσης διευθύνσεων σε ομάδες, με τρόπο ώστε να αποφεύγονται το δυνατόν οι συγκρούσεις (επιλογή της ίδιας διεύθυνσης από πολλές ομάδες). Ο μηχανισμός αυτός θα πρέπει να αναθέτει multicast IP διευθύνσεις δυναμικά και όχι στατικά (εκτός από ειδικές περιπτώσεις) μέσα στα διαχειριστικά όρια μιας περιοχής. Τέτοιες διαχειριστικά ελεγχόμενες IP διευθύνσεις (administratively scoped) έχουν το χαρακτηριστικό ότι τα πακέτα που προορίζονται γι' αυτές δεν ξεπερνούν τα όρια αυτής της περιοχής και, συνεπώς, δεν χρειάζεται να

είναι μοναδικές εκτός των ορίων αυτών. Την απομόνωση μιας περιοχής από μηνύματα που δεν ανήκουν στο διαχειριστικό της πεδίο αναλαμβάνουν οι δρομολογητές που βρίσκονται στα όριά της. Επίσης, ο μηχανισμός αυτός θα πρέπει να υποστηρίζει ομαδοποίηση των διευθύνσεων ώστε να μειώνεται ο αριθμός των καταχωρήσεων στους πίνακες δρομολόγησης και θα πρέπει να λειτουργεί με ιεραρχικό τρόπο ώστε να ομαδοποιούνται ιεραρχικά και τα AS.

Ένας τέτοιος μηχανισμός είναι το Multicast Address Allocation Architecture (MALLOC), που αποτελείται από τρία επιμέρους πρωτόκολλα: το MASC το οποίο λειτουργεί μεταξύ των περιοχών (domains), το Address Allocation Protocol (AAP) το οποίο αναθέτει διευθύνσεις εντός μιας περιοχής και το Multicast Address Dynamic Client Allocation Protocol (MADCAP) το οποίο χρησιμοποιούν οι σταθμοί για να ζητήσουν δυναμικά διευθύνσεις από τον Multicast Address Allocation Server (MAAS).



Το MASC είναι η βάση του MALLOC. Οι περιοχές που «τρέχουν» MASC σχηματίζουν μια ιεραρχία βασισμένες στη δομή της υπάρχουσας ενδο-πεδιακής τοπολογίας. Στη συνέχεια το MASC αναθέτει δυναμικά διαστήματα διευθύνσεων στις περιοχές χρησιμοποιώντας την τακτική που ονομάζεται ακρόαση και ζήτηση με ανίχνευση σύγκρουσης (listen and claim with collision detection). Σύμφωνα μ' αυτή, οι περιοχές-παιδιά «ακούν» στα διαστήματα multicast διευθύνσεων που έχουν επιλεγεί από τους γονείς τους, ζητούν υποδιαστήματα από αυτά και μεταβιβάζουν τις

επιλογές αυτές στα αδέρφια τους. Στη συνέχεια περιμένουν για ένα χρονικό διάστημα για να ανιχνεύσουν πιθανές συγκρούσεις, πριν ανακοινώσουν τελικά το διάστημα διευθύνσεων που απέκτησαν στους MAAS της περιοχής τους και σε άλλες περιοχές. Έτσι οι MAAS μπορούν μετά να αναθέτουν multicast διευθύνσεις στις ομάδες των περιοχών τους. Τα διαστήματα διευθύνσεων ανακοινώνονται στους MAAS μιας περιοχής μέσω του AAP και στις άλλες περιοχές μέσω του MBGP. Στα πλαίσια του MBGP, τα διαστήματα αυτά ονομάζονται διαδρομές ομάδων (group routes).

Το BGMP, που υλοποιείται από τους δρομολογητές που βρίσκονται στα όρια των περιοχών, χρησιμοποιεί αυτά τα group routes για να χτίσει ένα δια-πεδιακό διαμοιραζόμενο δένδρο μιας ενεργής multicast ομάδας. Το δένδρο αυτό (που είναι διπλής κατεύθυνσης) αποτελείται από τους BGMP δρομολογητές που βρίσκονται στο μονοπάτι από την περιοχή αποστολέα/παραλήπτη στην περιοχή-ρίζα της ομάδας. Η ρίζα του δένδρου βρίσκεται στην περιοχή της οποίας το διάστημα των διευθύνσεων (που της έχει ανατεθεί) περιλαμβάνει τη διεύθυνση της ομάδας. Δηλαδή, είναι η περιοχή η οποία ανακοίνωσε μέσω του MBGP αυτό το διάστημα διευθύνσεων. Αυτός είναι και ο λόγος που το BGMP βασίζεται σε ένα πρωτόκολλο ανάθεσης διευθύνσεων, όπως είναι το MASC. Για τη ροή των multicast πακέτων, ένα εσωτερικό στην περιοχή πρωτόκολλο σαν το PIM-SM ή το DVMRP τα προωθεί σε όλα τα μέλη της περιοχής, και στους δρομολογητές που βρίσκονται στα όριά της (και οι οποίοι υποστηρίζουν και το BGMP). Αυτοί οι δρομολογητές στη συνέχεια προωθούν τα πακέτα στις άλλες περιοχές, μέσω του διαμοιραζόμενου δένδρου που χτίζει το BGMP.

Αξιόπιστα πρωτόκολλα μεταφοράς multicasting – Reliable multicast transport protocols

Μέχρι στιγμής παρουσιάστηκαν διάφορες λύσεις που αφορούν τη δρομολόγηση των multicast datagrams. Στο επίπεδο του δικτύου (network) η μετάδοση των multicast datagrams, όπως και των unicast δεν είναι αξιόπιστη, καθώς η σύνδεση είναι μη συνεκτική και δεν εγγυάται την σωστή, σε περιεχόμενο και σειρά, μετάδοση [16], [4]. Έτσι χρειάζεται κάποιο άλλο πρωτόκολλο, σε επίπεδο μεταφοράς (transport) για να προσφέρει την αξιοπιστία που ζητούν πολλές εφαρμογές.

Σε επίπεδο μεταφοράς, ένα πρωτόκολλο που να προσφέρει αξιοπιστία θα πρέπει να έχει μηχανισμούς για ανίχνευση και διόρθωση λαθών καθώς και για έλεγχο ροής έτσι ώστε να αποφεύγονται οι συμφορήσεις. Για τις ανάγκες του unicasting, το TCP αποτελεί μια πολύ καλή και δοκιμασμένη λύση. Ωστόσο, ένα γενικό (generic) πρωτόκολλο όπως το TCP, δεν μπορεί να αποτελέσει τη λύση για το multicasting, όπου οι εφαρμογές έχουν μια πολύ μεγαλύτερη γκάμα απαιτήσεων [17]. Υποθέτοντας ότι με κάποιο τρόπο προσαρμοζόταν το TCP ώστε να δέχεται σαν έγκυρη μια διεύθυνση Κλάσης D, δεν θα είχε τρόπο να αποφασίσει το ρυθμό με τον οποίο θα έπρεπε να στέλνει datagrams σ' αυτή τη διεύθυνση, αφού ο κάθε παραλήπτης της ομάδας μπορεί να λαμβάνει με διαφορετικό ρυθμό, ανάλογα με τη θέση του στο δένδρο διανομής. Ακόμα κι αν αυτό μπορούσε με κάποιο τρόπο να λυθεί, θα υπήρχε μεγάλο πρόβλημα στο θέμα της αναγνώρισης (acknowledgement) των πακέτων, καθώς δεν υπάρχει τρόπος να οριστεί μια «σχεδόν» σωστή μετάδοση, όπου κάποια αλλά όχι όλα τα μέλη μιας ομάδας έχουν παραλάβει τα πακέτα [16].

Ένα αξιόπιστο πρωτόκολλο μεταφοράς multicast δεν θα πρέπει να εφαρμόζει μια λύση του τύπου «στείλε το πακέτο n φορές» για όσους δεν το παρέλαβαν. Κάτι τέτοιο θα εκμηδένιζε το αρχικό κίνητρο για την ανάπτυξη του multicasting. Έτσι, ένα τέτοιο πρωτόκολλο:

- Θα πρέπει να μην επιβαρύνει πολύ την πηγή
- Να μπορεί να μεταφέρει τα πακέτα στις ομάδες με παραλήπτες διαφορετικών χαρακτηριστικών με δίκαιο και αποτελεσματικό τρόπο (αξίζει να σημειωθεί ότι φυσικά ο ρυθμός μετάδοσης καθορίζεται από τον αργότερο παραλήπτη)
- Να μπορεί να χειριστεί πολυπληθής ομάδες, με το λιγότερο δυνατό κόστος σε πληροφορία «ελέγχου» (μηνύματα επιβεβαίωσης και επανεκπομπή χαμένων πακέτων)
- Είναι επιθυμητό να μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονα αξιόπιστο ή όχι τρόπο λειτουργίας στην ίδια ομάδα
- Είναι επίσης επιθυμητό να δέχεται παραλήπτες που δεν είχαν συνδεθεί από την αρχή της μετάδοσης, και να μπορεί να τους δίνει την ευκαιρία να «απρολάβουν» τους υπόλοιπους.

Όπως αναφέρθηκε, δυο από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά ενός αξιόπιστου πρωτοκόλλου είναι οι μηχανισμοί ανίχνευσης και διόρθωσης λαθών. Τα διάφορα πρωτόκολλα αξιόπιστου multicast ακολουθούν μια από τις ακόλουθες λύσεις στον τομέα αυτό [4].

Η **ARQ (Automatic Repeat request)** λύση μεταδίδει ξανά ένα μήνυμα αν αυτό χαθεί από έναν τουλάχιστον παραλήπτη. Ανάλογα με το αν η ανίχνευση του λάθους γίνεται από τον αποστολέα ή τον παραλήπτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί θετική (ACK) ή αρνητική επιβεβαίωση (NACK). Στην πρώτη περίπτωση, ο αποστολέας μεταδίδει ξανά μέχρι να πάρει ACK από όλους τους παραλήπτες. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, η λύση αυτή δεν είναι γενικά αποδεκτή, γιατί δεν προσφέρει δυνατότητες κλιμάκωσης (πρόβλημα ACK implosion) ενώ επιβάλλει την ακριβή γνώση της σύνθεσης της ομάδας. Με τη χρήση NACK, το πρόβλημα μετριαάζεται και η ευθύνη ανίχνευσης μετατίθεται στους παραλήπτες, οι οποίοι στέλνουν NACK όταν δεν λάβουν ένα πακέτο.

Η **FEC (Forward Error Correction)** λύση βασίζεται στην αποστολή επιπλέον (εκτός από τα πακέτα που περιέχουν πραγματικά δεδομένα) πακέτων ισοτιμίας (parity) τα οποία χρησιμοποιούνται από τους παραλήπτες για να διορθώσουν έναν αριθμό λαθών. Η λύση αυτή μειώνει την καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, σε σχέση με την ARQ, καθώς ο παραλήπτης δεν χρειάζεται να ζητήσει την επανεκπομπή ενός λανθασμένου πακέτου. Ωστόσο, καταναλώνεται πολύ περισσότερο εύρος μετάδοσης.

Υπάρχουν, τέλος, και οι υβριδικές (**Hybrid**) λύσεις, γιατί μια FEC λύση από τη φύση της δεν μπορεί να είναι απόλυτα αξιόπιστη. Ένας τρόπος συνδυασμού των δύο λύσεων είναι ο βαθμιδωτός (layered), με το FEC να λειτουργεί ανεξάρτητα κάτω από το ARQ. Έχει το πλεονέκτημα ότι προσφέρει διαφάνεια (transparency) που επιτρέπει ακόμα και τη χρήση μόνο του FEC αν κάποια εφαρμογή δεν επιθυμεί τόσο υψηλό βαθμό αξιοπιστίας. Ο δεύτερος τρόπος συνδυάζει τις δύο λύσεις στο ίδιο επίπεδο, όπου η πηγή μεταδίδει ξανά τον αριθμό των FEC πακέτων που «έχασε» ο χειρότερος παραλήπτης. Αυτός ο συνδυασμός είναι καλύτερος από τον βαθμιδωτό, ιδιαίτερα για μεγάλες ομάδες.

Τα περισσότερα από τα υπάρχοντα πρωτόκολλα μεταφοράς για αξιόπιστο multicasting σχεδιάστηκαν για τις ανάγκες μιας συγκεκριμένης εφαρμογής. Σήμερα, φαίνεται ότι δεν είναι δυνατόν να αναπτυχθεί ένα τέτοιο πρωτόκολλο που να καλύπτει με βέλτιστο τρόπο τις απαιτήσεις όλων των εφαρμογών [18]. Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται κάποιες από τις λύσεις.

Reliable Multicast Transport Protocol – RMTP

Το RMTP [19] παρέχει μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων από έναν αποστολέα σε πολλούς παραλήπτες, χωρίς απώλειες και διατηρώντας τη σειρά. Είναι αρκετά γενικό, με την έννοια ότι η μόνη του απαίτηση από τα παρακάτω επίπεδα είναι να δημιουργούν ένα multicast δένδρο διανομής.

Το πρωτόκολλο υποθέτει ότι οι παραλήπτες μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τοπικές περιοχές, με βάση τη συνάφειά τους (proximity) στο δίκτυο (για παράδειγμα με τη χρήση του πεδίου χρόνου ζωής – Time To Live (TTL) του IP datagram). Έτσι το γενικό (global) δένδρο διανομής που περιλαμβάνει όλους τους παραλήπτες μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από τοπικά (local) δένδρα διανομής, που περιλαμβάνουν τέτοιους κοντινούς παραλήπτες.

Η βασική ιδέα του RMTP είναι αυτή η κατάτμηση σε περιοχές των παραληπτών μιας ομάδας και η χρήση ενός υπεύθυνου παραλήπτη (Designated Receiver - DR) σαν

αντιπρόσωπο της κάθε περιοχής. Η πηγή μεταδίδει αρχικά έναν αριθμό πακέτων μέσω του global multicast δένδρου. Κάθε DR στέλνει περιοδικά μια αναφορά στην πηγή, όπου υποδεικνύει ποια πακέτα παρέλαβε σωστά. Αν ο αριθμός των DR που ζητούν επαναμετάδοση ενός πακέτου ξεπερνά ένα όριο, η πηγή το ξαναστέλνει στο global multicast δένδρο., αλλιώς το στέλνει χρησιμοποιώντας unicasting στους DR που το ζήτησαν. Με τον ίδιο τρόπο, κάθε άλλος παραλήπτης στέλνει παρόμοιες αναφορές στον DR της περιοχής του, και ο DR αναλαμβάνει να ξαναστείλει το πακέτο, είτε στο local multicast δένδρο είτε με unicasting στους σταθμούς που δεν το παρέλαβαν. Έτσι μειώνεται δραστικά η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, ενώ με την επεξεργασία των ACK σε τοπικό επίπεδο αντιμετωπίζεται και το πρόβλημα του ACK implosion.

Το RMTP επιτρέπει την ύπαρξη αργοπορημένων παραληπτών. Σ' αυτή την περίπτωση, ο παραλήπτης αναγνωρίζει από τον αριθμό (sequence number) του πρώτου πακέτου που παραλαμβάνει ποια του λείπουν και τα ζητά από τον DR, ο οποίος του τα στέλνει με unicasting. Αυτό φυσικά προϋποθέτει ότι ο DR αποθηκεύει (cache) όλο το αρχείο που μεταδίδεται.

Το RMTP πετυχαίνει την απαιτούμενη αξιόπιστη μεταφορά χωρίς να γνωρίζει τη σύνθεση της ομάδας. Η ιεραρχική δομή του επιτρέπει την κλιμάκωση, με το κόστος βέβαια του caching. Ένα πρόβλημα είναι ότι το TTL δεν είναι αρκετά αποδοτικός και δίκαιος τρόπος για να αποφασιστεί η συνάφεια των παραληπτών, με αποτέλεσμα να μην ισορροπείται το φορτίο στο δίκτυο.

Reliable Adaptive Multicast Protocol (RAMP)

Το RAMP [20] χρησιμοποιεί άμεση ειδοποίηση λάθους μέσω NACK από τον παραλήπτη, σε συνδυασμό με unicast επαναμετάδοση από τον αποστολέα. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου για το οποίο αναπτύχθηκε (TBONE) που διασφαλίζουν ελάχιστο αριθμό λαθών, οπότε αναμένεται ότι ο αριθμός των NACK θα είναι μικρός.

Το RAMP παρέχει τη δυνατότητα γρήγορης σύνδεσης και αποχώρησης από την ομάδα, σε οποιαδήποτε στιγμή. Επίσης, απαιτεί ο αποστολέας να γνωρίζει τα μέλη της ομάδας, κάτι που, όπως υποστηρίζουν οι σχεδιαστές του, τού επιτρέπει να σταματάει αμέσως τη μετάδοση όταν αποχωρήσει ο τελευταίος παραλήπτης. Δίνει τη δυνατότητα συνδυασμένης αξιόπιστης ή μη μεταφοράς, ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής. Η ροή των πακέτων αποτελείται από τμήματα, τα οποία είναι αριθμημένα. Η αξιοπιστία επιτυγχάνεται με την αποστολή ενός NACK αμέσως μόλις ένας παραλήπτης αντιληφθεί κενό στους αριθμούς των τμημάτων. Ο έλεγχος ροής επιτυγχάνεται με την ισοστάθμιση του ρυθμού μετάδοσης με βάση το ρυθμό των NACK.

Pretty Good (or Pragmatic General) Multicast (PGM)

Στο PGM [21] η πηγή στέλνει περιοδικά στα μέλη της ομάδας κάποια ειδικά μηνύματα – Source Path Messages (SPM) – ανάμεσα στα κανονικά πακέτα δεδομένων. Τα SPM δημιουργούν ένα μονοπάτι προς τα πάνω (upstream) από τους παραλήπτες στην πηγή. Αν ανιχνευθεί κάποια απώλεια στα δεδομένα, ο παραλήπτης στέλνει μέσω unicast ένα NACK στον αμέσως επόμενο προς τα πάνω δρομολογητή,

του οποίου η διεύθυνση είναι γνωστή από την πληροφορία των SPM. Ο δρομολογητής αυτός στέλνει μέσω multicast (περιορισμένης εμβέλειας με τη χρήση κατάλληλου TTL) ένα μήνυμα επιβεβαίωσης παραλαβής του NACK (NCF), έτσι ώστε άλλοι παραλήπτες που θα ήθελαν επίσης να στείλουν NCAK να μην το κάνουν. Μια άλλη χρησιμότητα των NCF είναι ότι ενημερώνουν τους γειτονικούς παραλήπτες για το ότι έχουν χαθεί πακέτα, έτσι ώστε να τα ξαναμεταδώσει αν είναι δυνατόν κάποιος από αυτούς. Αν βρεθεί τέτοιος παραλήπτης, αναλαμβάνει το ρόλο του τοπικού αναμεταδότη, και στη συνέχεια τα NACK κατευθύνονται σ' αυτόν αντί στον αμέσως επόμενο προς τα πάνω δρομολογητή. Αλλιώς, τα NACK φτάνουν πηγαίνοντας κάθε φορά προς τα πάνω μέχρι την πηγή, η οποία ξαναμεταδίδει το πακέτο σε όλη την ομάδα.

Reliable Multicast Framework Protocol (RMFP)

Το RMFP [18] είναι στην πραγματικότητα ένα πλαίσιο για πρωτόκολλα. Ο σκοπός του είναι να δώσει στους κατασκευαστές εφαρμογών μια υλοποίηση διαφόρων αξιόπιστων πρωτοκόλλων μεταφοράς multicast, παρέχοντάς τους την ευελιξία να χρησιμοποιήσουν διάφορες λειτουργίες, ανάλογα με τις ανάγκες τους. Βασίζεται στην αρχιτεκτονική σχεδιασμού πρωτοκόλλων Application Level Framing (ALF), η οποία συμπεριλαμβάνει στο σχεδιασμό του πρωτοκόλλου για μια εφαρμογή τη σημειολογία αυτής της εφαρμογής.

Real-time Transport Protocol & Real-time Transport Control Protocol (RTP & RTCP)

Διάφορες πολυμεσικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου παρουσιάζουν απαιτήσεις που, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, δεν ταιριάζουν στις υπηρεσίες που προσφέρει το TCP, ειδικότερα όταν τα δεδομένα πρέπει να γίνουν multicast σε πολλούς παραλήπτες. Επιπλέον, οι περισσότερες εφαρμογές αυτού του είδους μπορούν να ανεχτούν κάποιες απώλειες σε δεδομένα, και έτσι μπορούν να χρησιμοποιήσουν κάποιο πρωτόκολλο μεταφοράς πιο απλό από το TCP. Έτσι, διάφορα πρωτόκολλα έχουν αναπτυχθεί, ανάμεσά τους και τα RTP/RTCP, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν πάνω από ένα επίπεδο δικτύου (network layer) το οποίο παρέχει υπηρεσίες unicasting ή multicasting. Τα διάφορα χαρακτηριστικά του IP multicast, όπως κλιμάκωση, δρομολόγηση και υποστήριξη πολλών ετερογενών παραληπτών, τα οποία μπορούν να βοηθήσουν τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου να εξοικονομήσουν τους πόρους του δικτύου, έχουν ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό αυτών των πρωτοκόλλων.

Το RTP δεν είναι ένα πρωτόκολλο αξιόπιστου multicasting με την ακριβή έννοια του όρου, αλλά ένα πρωτόκολλο μεταφοράς (transport) πραγματικού χρόνου, που παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς από άκρο σε άκρο (end-to-end) για την υποστήριξη εφαρμογών που εκπέμπουν δεδομένα πραγματικού χρόνου, π.χ. δια-δραστικό (interactive) audio και video, πάνω από unicast ή multicast υπηρεσίες δικτύου [16] [22]. Εφαρμογές που απαιτούν αξιοπιστία, όπως για παράδειγμα του τύπου διαμοιραζόμενου ασπροπίνακα (shared whiteboard), θα μπορούσαν επίσης να λειτουργήσουν σε RTP, αλλά πρέπει να σημειωθεί ότι το RTP δεν υποστηρίζει αξιόπιστη μεταφορά. Η περιγραφή του RTP είναι σκοπίμως ελλιπής, καθώς συνήθως συμπεριλαμβάνεται στην υλοποίηση μιας εφαρμογής, και τροποποιείται κατάλληλα ανάλογα με τις απαιτήσεις της.

Στις υπηρεσίες που παρέχει το RTP περιλαμβάνονται η αναγνώριση του τύπου του φορτίου που μεταδίδεται, αρίθμηση των πακέτων και χρονική επισήμανση (time stamping). Η μεταφορά ελέγχεται από ένα άλλο πρωτόκολλο, το RTCP, του οποίου η υλοποίηση είναι στενά συνδεδεμένη με το RTP. Αν και δεν υπάρχει περιορισμός, το RTP λειτουργεί συνήθως πάνω από UDP/IP, εκμεταλλευόμενο τις υπηρεσίες ελέγχου λαθών (checksum) και πολυπλεξίας (multiplexing) που αυτό παρέχει.

Η επικεφαλίδα (header) του RTP παρέχει την απαραίτητη πληροφορία έτσι ώστε η εφαρμογή να μπορεί να συγχρονίσει τα δεδομένα και να αντιληφθεί αν έχουν χαθεί πακέτα ή έχουν παραληφθεί εκτός σειράς. Η πληροφορία για τον τύπο του φορτίου που επίσης παρέχει, δίνει τη δυνατότητα για μεταφορά πολλαπλών ειδών δεδομένων και για διαφορετικούς τύπους συμπίεσης.

Μαζί με μία διαδικασία (session) RTP, εγκαθίσταται και μια διαδικασία RTCP. Το RTCP είναι το πρωτόκολλο ελέγχου που λειτουργεί σε συνδυασμό με το RTP. Τα RTCP πακέτα μεταδίδονται περιοδικά από κάθε συμμετέχοντα σε μια διαδικασία RTP σε όλους τους υπόλοιπους συμμετέχοντες. Η πληροφορία που παρέχει αναδραστικά (feedback), μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την εφαρμογή για έλεγχο της απόδοσης και για διαγνωστικούς σκοπούς.

Το RTCP επιτελεί τις εξής λειτουργίες. Ο πρωταρχικός του σκοπός είναι να παρέχει πληροφορία στην εφαρμογή όσον αφορά στην ποιότητα της διανομής των δεδομένων. Η πληροφορία αυτή περιλαμβάνει στατιστικά στοιχεία όπως αριθμό πακέτων που στάλθηκαν, που χάθηκαν, χάσμα μεταξύ των αφίξεων (interarrival jitter). Επίσης, το RTCP παρέχει πληροφορία για την αναγνώριση μιας πηγής RTP. Τέλος, επιβάλλει ένα όριο στο ποσοστό της πληροφορίας ελέγχου που μεταδίδεται κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας, επιτρέποντας έτσι την κλιμάκωση σε μεγάλο αριθμό συμμετεχόντων.

IP multicasting σε ATM δίκτυα – IP multicasting over ATM networks

Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια προσπάθεια στο IETF (Internet Engineering Task Force) να αναπτυχθούν μέθοδοι για την υποστήριξη των υπηρεσιών IP από ένα ATM δίκτυο. Ανάμεσα στα υπόλοιπα θέματα, η δυνατότητα υποστήριξης του IP multicasting θεωρείται ένα από τα σημεία που θα κρίνουν σε μεγάλο βαθμό την καταλληλότητα του ATM ως μέσο μεταφοράς IP κίνησης (traffic) [23].

Πολλές multicasting εφαρμογές παρουσιάζουν μεγάλες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, κάτι που καθιστά το ATM δίκτυο ένα ελκυστικό μέσο [7]. Ωστόσο, το ATM είναι ένα συνεκτικό (connection oriented) δίκτυο, κάτι που δεν ταιριάζει με το συνηθισμένο IP multicasting. Η υποστήριξη IP multicasting πάνω σε ATM δίκτυο είναι ένας χώρος πολλής έρευνας, καθώς το σημερινό ATM User Network Interface (UNI 3.0/3.1 αλλά και UNI 4.0) παρέχει περιορισμένες δυνατότητες για συνδέσεις με πολλούς αποδέκτες (multipoint) [24].

MARS-based ATM multicasting

Δυο βασικές τεχνικές υπάρχουν για multicasting IP πακέτων σε ένα υποδίκτυο ATM. Και οι δυο βασίζονται στη χρήση ενός Εξυπηρετητή Ανάλυσης Multicast Διευθύνσεων (Multicast Address Resolution Server – MARS). Η πρώτη χρησιμοποιεί ένα σύνολο από νοητά κυκλώματα ενός σημείου προς πολλά (mesh of point-to-multipoint Virtual Circuits), καθένα από τα οποία έχει τη ρίζα του σε μια πηγή multicast, ενώ η άλλη χρησιμοποιεί ένα διαμοιραζόμενο δένδρο ενός σημείου προς πολλά που έχει τη ρίζα του σε έναν Multicast Server (MCS) [25].

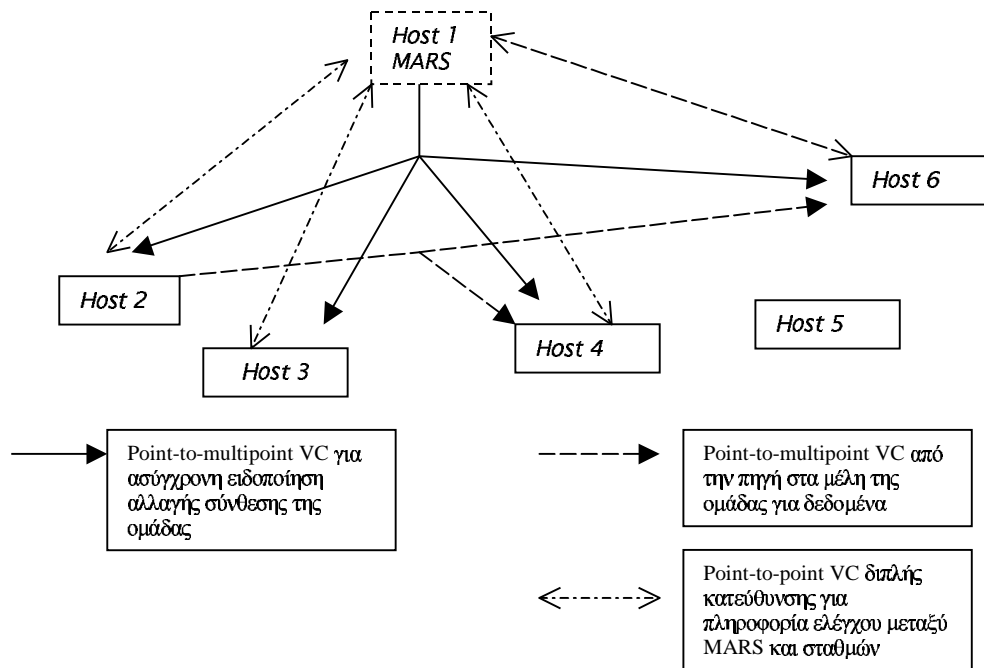
Το Asynchronous Transfer Mode (ATM) είναι μια τεχνολογία συνεκτική (connection oriented), στην οποία ένα νοητό κύκλωμα (VC) πρέπει να εγκατασταθεί μεταξύ δυο σταθμών για να επικοινωνήσουν. Η unicast επικοινωνία γίνεται μέσω ενός VC (μιας ή δυο κατευθύνσεων) ένα προς ένα σημείων (point to point), ενώ η multicast επικοινωνία γίνεται μέσω ενός VC μιας κατεύθυνσης ενός προς πολλά σημείων (point to multipoint) με αρχή την πηγή και φύλλα τα μέλη της ομάδας.

Η απουσία, από τις προδιαγραφές για το ATM, διευθύνσεων multicast, δημιουργεί την ανάγκη για ένα μηχανισμό μετατροπής μιας IP multicast διεύθυνσης (δηλ. επιπέδου 3) σε ένα αντίστοιχο σύνολο ATM διευθύνσεων των μελών της ομάδας. Το MARS πρωτόκολλο αποτελεί μια λύση για το πρόβλημα αυτό. Ο εξυπηρετητής MARS διατηρεί την αντιστοιχία μεταξύ IP διευθύνσεων multicast ομάδων και ATM διευθύνσεων των μελών.

Η αρχιτεκτονική MARS βασίζεται στο μοντέλο πελάτη/εξυπηρετητή. Διαχειρίζεται ένα σύνολο (cluster) από ATM συνδέσεις οι οποίες επιλέγουν να χρησιμοποιήσουν τον ίδιο MARS. Κάθε μια από τις συνδέσεις αυτές των σταθμών παίρνει μια μοναδική IP διεύθυνση, με αποτέλεσμα οι σταθμοί να συνθέτουν ένα τοπικό IP υποδίκτυο (Logical IP Subnet – LIS). Η διανομή της πληροφορίας για τη σύνθεση των multicast ομάδων γίνεται μέσω μηνυμάτων MARS μεταξύ των «πελατών» και του

MARS. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι δυο τεχνικές, η VC Mesh και η MCS.

Στην τεχνική *VC Mesh*, όταν κάποιος σταθμός στο cluster θέλει να συμμετάσχει ή να αποχωρήσει από μια ομάδα, το δηλώνει στον MARS. Έτσι ο MARS έχει την αντιστοιχία των IP διευθύνσεων των μελών της ομάδας με τις ATM διευθύνσεις τους. Μια πηγή στο LIS που θέλει να μεταδώσει στην ομάδα στέλνει μια ανάλογη αίτηση στον MARS, ο οποίος απαντά στέλνοντάς της τις ATM διευθύνσεις των μελών. Στη συνέχεια η πηγή εγκαθιστά ένα point-to-multipoint VC μιας κατεύθυνσης προς τα μέλη και μεταδίδει μέσω αυτού τα δεδομένα. Όταν αλλάζει η σύνθεση της ομάδας, ο MARS ενημερώνει την πηγή, η οποία ανάλογα προσθέτει ή αφαιρεί παραλήπτες από το VC. Το VC σταματά όταν δεν υπάρχει πλέον κίνηση. Στο παρακάτω σχήμα ο σταθμός 5 δεν είναι multicast enabled, έτσι δεν ανήκει στο cluster. Οι 4 και 5 είναι μέλη της ομάδας στην οποία στέλνει multicast δεδομένα ο 2. Στον 3, καθώς δεν είναι μέλος της ομάδας, δεν τερματίζει το point-to-multipoint VC από τον 2.



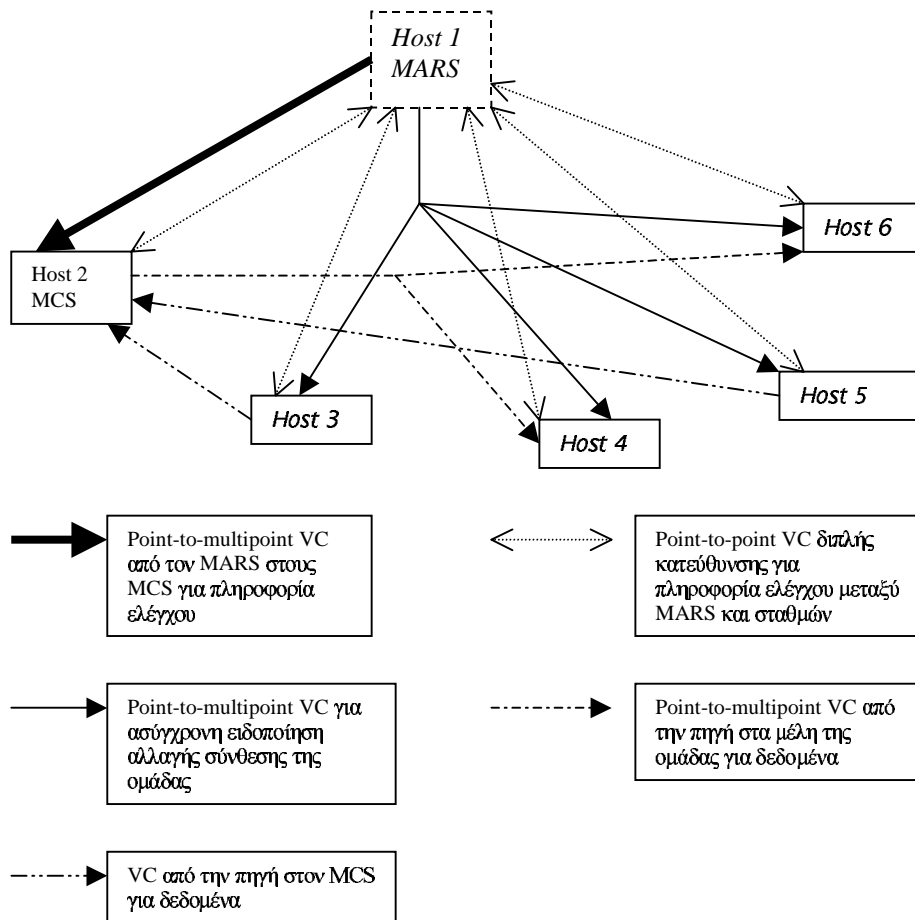
Στην τεχνική *MCS*, ο MCS δρά ως εξυπηρετητής proxy, αναμεταδίδοντας τα δεδομένα που λαμβάνει από την πηγή στα μέλη της ομάδας. Ο MCS μπορεί να εξυπηρετεί μία μόνο ομάδα ή, προσθέτοντας μια μικρή επεξεργασία στα μηνύματα που παίρνει, να διακρίνει σε ποια ομάδα απευθύνονται, και έτσι να εξυπηρετεί περισσότερες ομάδες εξοικονομώντας πόρους.

Αρχικά ο MCS εγκαθιστά ένα point-to-point VC διπλής κατεύθυνσης με τον MARS που χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή πληροφοριών ελέγχου μεταξύ τους. Όταν ο MCS δηλώνεται στον MARS, αυτός τον προσθέτει σε ένα point-to-multipoint VC απλής κατεύθυνσης που διατηρεί προς όλους τους MCS του cluster, μέσω του οποίου στέλνει μηνύματα γενικού περιεχομένου για το cluster σε όλους τους MCS. Αφού δηλώσει τον εαυτό του στον MARS ως MCS, ο σταθμός μπορεί να δηλώσει επίσης στον MARS ότι θα υποστηρίζει κάποια multicast ομάδα, και έτσι να πάρει τις ATM

διευθύνσεις των μελών της από τον MARS και να εγκαταστήσει ένα point-to-multipoint VC απλής κατεύθυνσης προς αυτά.

Με τη σειρά του ο MARS όταν γνωρίζει ότι ένας MCS υποστηρίζει μια multicast ομάδα, γνωστοποιεί στις πηγές της ομάδας τη διεύθυνση του MCS, και όχι τις διευθύνσεις όλων των μελών. Έτσι, οι πηγές μεταδίδουν τα δεδομένα στον MCS μέσω ενός point-to-point VC, ο οποίος τα προωθεί στο point-to-multipoint VC που έχει προηγουμένως εγκαταστήσει. Αλλαγές στη σύνθεση των ομάδων γνωστοποιούνται στους MCS από τον MARS μέσω του point-to-multipoint VC που αναφέρθηκε παραπάνω.

Σε περίπτωση που μια multicast ομάδα είναι ενεργή χωρίς κάποιος MCS να έχει δηλώσει ότι την υποστηρίζει, ο MARS στέλνει την πληροφορία για τα μέλη στην πηγή, η οποία εγκαθιστά ένα point-to-multipoint VC απευθείας προς αυτά.



Σε γενικές γραμμές, η τεχνική VC Mesh είναι καταλληλότερη για μικρές ομάδες, αλλά δεν προσφέρει δυνατότητα κλιμάκωσης [23]. Η τεχνική MCS είναι καλύτερη όσον αφορά την κατανάλωση VC και το φόρτο σηματοδοσίας, κάτι που την κάνει πιο αποδοτική κυρίως σε μεγάλες ομάδες [25]. Σε συνδυασμό επίσης με την τελευταία προδιαγραφή (UNI 4.0) που παρέχει καλύτερη υποστήριξη σε θέματα multicasting, η τεχνική MCS επιτρέπει τη λειτουργία του IP multicasting πάνω από ATM με τρόπο περισσότερο όμοιο με το κλασικό IP multicasting, αφού η πηγή χρειάζεται να ξέρει μόνο τα τη διεύθυνση του MCS και όχι τις διευθύνσεις όλων των μελών της ομάδας. Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγεται το γεγονός ότι ο MCS μπορεί να αποτελέσει σημείο συμφόρησης ή κεντρικό σημείο αστοχίας, κάτι που αντιμετωπίζεται με μια

παραλλαγή που επιτρέπει πολλούς MCS για μια ομάδα. Επίσης είναι φανερό ότι χρησιμοποιείται ένα επιπλέον ενδιάμεσο στάδιο ανακατεύθυνσης των δεδομένων, αυξάνοντας έτσι την καθυστέρηση.

Νέες τάσεις στη multicast δρομολόγηση – New trends in multicast routing

Όπως φάνηκε παραπάνω, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης multicasting σε Δίκτυα Ευρείας Περιοχής έχουν κάποιους περιορισμούς. Πρόσφατα, διάφορες νέες προτάσεις έκαναν την εμφάνισή τους, οι οποίες αμφισβητούν την «παραδοσιακή» προσέγγιση στο multicasting. Μερικές απ' αυτές προτείνουν απλούστερες υπηρεσίες ενώ άλλες αφαιρούν την ανάγκη για δια-πεδιακή multicast δρομολόγηση [4]. Στη συνέχεια παρουσιάζονται δυο από τις νέες αυτές προσεγγίσεις.

Explicitly Requested Single Source (EXPRESS) Multicast

Το Express [26] είναι ένα πρωτόκολλο απλής-πηγής που προτάθηκε πρόσφατα και που επεκτείνει το IP Multicasting ώστε να υποστηρίξει το μοντέλο καναλιού. Ένα multicast κανάλι (channel) είναι μια υπηρεσία διανομής datagrams η οποία διακρίνεται από το ζευγάρι (S,E), όπου S είναι η διεύθυνση της πηγής και E είναι η διεύθυνση του καναλιού προορισμού. Μόνο η πηγή S έχει το δικαίωμα να στέλνει στο ζευγάρι (S,E), ενώ όταν ένα νέο μέλος εγγράφεται στο κανάλι λαμβάνει μόνο τα πακέτα που στέλνει η S στο E. Έτσι δυο κανάλια (S,E) και (S',E) είναι διαφορετικά, αν και έχουν την ίδια διεύθυνση προορισμού. Ένα πρωτόκολλο χρησιμοποιείται για να υποστηρίξει τόσο την εγγραφή σε ένα κανάλι όσο και την απαρίθμηση των συνδρομητών αυτών. Αυτό είναι κάτι πολύ σημαντικό για εφαρμογές οι οποίες ενδιαφέρονται να γνωρίζουν τον αριθμό των χρηστών τους, είτε για να προσελκύουν έσοδα από διαφημίσεις είτε για να χρεώνουν ανάλογα τους χρήστες. Πρέπει να σημειωθεί ότι το δένδρο διανομής που χτίζεται από τη μοναδική πηγή στους παραλήπτες είναι μονής κατεύθυνσης, κάτι που πιθανόν είναι πρόβλημα για ορισμένα πρωτόκολλα αξιόπιστης multicast μεταφοράς που απαιτούν κάποιο είδος επιβεβαίωσης (ACK, NACK) από τους παραλήπτες.

Όπως είναι φανερό, το Express είναι σχεδιασμένο ειδικά για συνδρομητικές εφαρμογές όπου η πηγή είναι μόνο μια, οι οποίες χρησιμοποιούν λογικά κανάλια, όπως για παράδειγμα Internet TV και διανομή αρχείων. Εφαρμόζοντας ωστόσο κάποιες τεχνικές, όπως η χρήση πολλαπλών καναλιών (ένα για κάθε πηγή) ή η αποστολή όλων των πακέτων αρχικά στην μια πηγή και από κει στους συνδρομητές, μπορεί να υποστηριχθούν και ομάδες με πολλαπλές πηγές.

Simple Multicast

Το Simple Multicast είναι αρκετά όμοιο με το Express. Μια σημαντική διαφορά του είναι ότι το δένδρο που χτίζει είναι διπλής κατεύθυνσης. Η βασική του ιδέα είναι η αναγνώριση μιας multicast ομάδας με βάση το ζευγάρι (C,M), όπου C είναι ο δρομολογητής-πυρήνας και M είναι η multicast διεύθυνση. Το Simple Multicast χρησιμοποιεί διευθύνσεις των 8 bytes, τα 4 αντιστοιχούν στη διεύθυνση του πυρήνα (RP) και τα άλλα 4 στην multicast διεύθυνση Κλάσης D. Σύμφωνα με τους υποστηρικτές του Simple Multicast, αυτό σημαίνει ότι οι δρομολογητές δεν χρειάζεται να ανακαλύπτουν τη διεύθυνση του RP με βάση τη multicast διεύθυνση, αφού αυτή είναι πλέον μέρος της ταυτότητας της ομάδας, λύνοντας έτσι το θέμα του δια-πεδιακού multicasting. Επίσης, η διεύθυνση της ομάδας δεν χρειάζεται να είναι

μοναδική, κάτι που σημαίνει ότι δεν υπάρχει η ανάγκη για ένα σχήμα ανάθεσης multicast διευθύνσεων.

Συμπεράσματα - Conclusions

Με τη ραγδαία αύξηση των τηλεπικοινωνιακών αναγκών και εφαρμογών, οι οποίες έχουν όλο και περισσότερες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, η ανάγκη για λύσεις οι οποίες θα εξοικονομούν όσο γίνεται τους πόρους του διαδικτύου γίνεται επιτακτική. Η χρήση τεχνικών multicasting, όπου οι εφαρμογές απευθύνονται σε περισσότερους από έναν αποδέκτες, αποτελεί ένα σημαντικό βήμα στην κατεύθυνση αυτή. Αυτό έγινε αμέσως αντιληπτό από τη διεθνή ερευνητική κοινότητα, όταν στα τέλη της δεκαετίας του '80 και στις αρχές του '90 η εκρηκτική ανάπτυξη του διαδικτύου και η αύξηση των χρηστών του έκανε εμφανή τα παραπάνω προβλήματα. Σε απάντηση αυτών των προκλήσεων δημιουργήθηκαν αμέσως ομάδες εργασίας, οι οποίες και ασχολήθηκαν ενεργά με την ανάπτυξη των κατάλληλων λύσεων. Ταυτόχρονα, πολλές εταιρίες κυρίαρχες στο χώρο, προσαρμοσαν τα προϊόντα τους και συνέβαλαν με τη σειρά τους στην προσπάθεια αυτή. Στις μέρες μας, το multicasting εξακολουθεί να είναι μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για τις διαδικτυακές τεχνολογίες και εφαρμογές. Ωστόσο, οι περισσότερες από τις λύσεις που έχουν προταθεί μένει ακόμα να δοκιμασθούν σε πραγματικές συνθήκες, στις πραγματικές διαστάσεις του διαδικτύου. Με το Internet2, δίνεται η δυνατότητα να προσφερθεί εκείνο το πεδίο δοκιμής υψηλών ταχυτήτων που χρειάζονται εφαρμογές όπως τηλεσυνεδριάσεις πραγματικού χρόνου, οι οποίες θα χρησιμοποιούν τεχνικές multicasting. Ήδη από την εμφάνιση της επόμενης γενιάς του Internet υπάρχει η πεποίθηση ότι το IP multicasting θα πρέπει να αποτελέσει ένα αναπόσπαστο κομμάτι του. Η άποψη που επικρατεί είναι ότι η απόφαση για αναβάθμιση των προϊόντων ώστε να υποστηρίξουν multicasting δεν μπορεί να καθυστερήσει για πολύ ακόμα [27].

Βιβλιογραφία-Αναφορές – Bibliography-References

1. Stephen E. Deering and David R. Cheriton, *Multicast routing in Datagram Internetworks and Extended LANs*, ACM Transactions on Computer Systems, May 1990
2. Mohammad Banikazemi, *IP Multicasting: Concepts, Algorithms and Protocols*, http://www.cis.ohio.edu/~jain/cis788-97/ip_multicast/index.htm
3. *Cisco IP Multicast Training Material*, <ftp://ftpeng.cisco.com/ipmulticast/training/index.html> Στη διεύθυνση αυτή υπάρχει αρκετό υλικό, σε κείμενο και παρουσιάσεις, όσον αφορά στις τεχνολογίες και τα πρωτόκολλα για multicasting, αλλά και στα αντίστοιχα προϊόντα (δρομολογητές) της Cisco στον τομέα αυτό.
4. Vincent Roca, Luis Costa, Rolland Vida, Anca Dracinschi and Serge Fdida, *A Survey of Multicast Technologies*, διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://www-rp.lip6.fr/publications/files/sf>
5. Vicki Johnson and Marjory Johnson, *How IP Multicast Works*, διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://www.ipmulticast.com/community/whitepapers/>. Είναι η σελίδα του IP Multicast Initiative, ενός forum υποστηριζόμενου από πολλούς προμηθευτές, με σκοπό την προώθηση του IP multicast.
6. Stephen E. Deering, *RFC 1112, Host Extensions for IP Multicasting*, August 1989. Η εργασία αυτή (Request For Comments), όπως και άλλα RFCs για το multicasting, μπορεί να βρεθεί σε πάρα πολλές πηγές στο διαδίκτυο. Ωστόσο, ο οργανισμός στον οποίο αρχικά κατατέθηκε είναι το Internet Engineering Task Force (IETF), διεύθυνση του οποίου είναι <http://www.ietf.org/>
7. Marcus Concalves & Kitty Niles, *IP Multicasting Concepts and Applications*, McGraw Hill, 1999
8. Tony Ballardie, Paul Francis, Jon Crowcroft, *Core Based Trees (CBT), An Architecture for Scalable Inter-domain Multicast Routing*, ACM SIGCOMM '93
9. Vicki Johnson and Marjory Johnson, *Introduction to IP Multicasting*, διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://www.ipmulticast.com/community/whitepapers/>, όπως παραπάνω.
10. D. Waitzman, C. Partridge, S. Deering, *RFC 1075, Distance Vector Multicast Routing Protocol*, διαθέσιμο όπως παραπάνω στο <http://www.ietf.org/>
11. T. Pusateri, *draft-ietf-idmr-dvmrp-v3-10, Distance Vector Multicast Routing Protocol (Version 3)*, διαθέσιμο όπως παραπάνω στο <http://www.ietf.org/>
12. John Moy, *Multicast Routing Extensions for OSPF*, Communications of the ACM, August 1994
13. Satish Kumar, Pavlin Radoslavov, Dave Thaler, Cengiz Alaetinoglu, *The MASC/BGMP Architecture for Inter-domain, Multicast Routing*
14. *An overview of Inter-domain Multicast Routing*, διαθέσιμο μαζί με διάφορα άλλα white papers για το multicasting στο site της Microsoft, <http://www.microsoft.com/windows2000/docs/intrdomain.doc>
15. *Internet Protocol (IP) Multicast Technology Overview (September 2000)*, άλλο ένα whitepaper εκπαιδευτικού χαρακτήρα διαθέσιμο από το ftp site της Cisco, ftp://ftpeng.cisco.com/ipmulticast/whitepapers/technology_overview/index.html
16. Thomas A. Maufer, *Deploying IP Multicast in the Enterprise*, Prentice Hall, 1998
17. Katia Obraczka, *Multicast Transport Protocols: A Survey and Taxonomy*, IEEE Communications Magazine, January 1998

18. Michael Fuchs, Christophe Diot, Thierry Turlitti and Markus Hofmann, *A Framework for Reliable Multicast in the Internet*
19. Sanjoy Paul, Krishan K. Sabnani, John C. Lin and Supratik Bhattacharyya, *Reliable Multicast Transport Protocol (RMTP)*
20. Alex Koifman, Stephen Zabele, *RAMP: A Reliable Adaptive Multicast Protocol*
21. *Reliable IP Multicast – PGM Overview*, άλλο ένα white paper διαθέσιμο από το site του IP Multicast Initiative,
<http://www.ipmulticast.com/community/whitepapers/>
22. *Higher Level Protocols used with IP Multicast*, Stardust.com 1997. Στο site του Stardust.com υπάρχει πολύ υλικό για τις τεχνολογίες του Internet γενικά. Δραστηριοποιείται σε διάφορα θέματα με αντίστοιχα Forums, ανάμεσα στα οποία και το IP Multicast Initiative. Το παραπάνω white paper βρίσκεται στη διεύθυνση http://www.stardust.com/multicast/whitepapers/HigherProt_01.htm
23. Mark McCutcheon, Mabo Roberto Ito, Gerald W. Neufeld, *Video and Audio Streams over an IP/ATM Wide Area Network*, ένα report που μπορεί να βρεθεί στη διεύθυνση <http://www.cs.ubc.ca/cgi-bin/tr/1997/TR-97-03.pdf>
24. Sonia Fahmy, Raj Jain, Shivkumar Kalyanaraman, Rohit Goyal, Bobby Vancalore and Xiangrong Cai, *Protocols and Open Issues in ATM Multipoint Communications*
25. Rajesh R. Talpade, Mostafa H. Ammar, *Multicast Server Architectures for Supporting IP Multicast over ATM*
26. Hugh W. Holbrook and David R. Cheriton, *IP Multicast Channels: EXPRESS support for Large-Scale Single-Source Applications*
27. Larry Lange, *The Internet*, IEEE Spectrum, January 1999