Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 87 (1996)

Heft: 17

Artikel: Multicast-Routing : Grundlage des Multimedia-Conferencing im Internet : Teil 1 : Einführung

Autor: Hodel, Horst

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902343

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Echtzeit-Multimedia-Conferencing über das Internet ist eine neue, rasch wachsende Dienstleistung. Dank dem verbindungslosen Netzbetrieb des Internet lässt sich der Aufwand von Gruppenverteildiensten und Teleconferencing – insbesondere der Bandbreitebedarf – in Grenzen halten. Dass das heutige Internet die gewünschten Echtzeit-Dienstgüten nicht zu garantieren vermag, hat dessen Erfolg bei diesen neuen Aufgaben kaum beeinträchtigt. Der erste Teil dieses zweiteiligen Beitrages führt in das Multicast-Routing ein. Ein in Heft 19/96 folgender zweiter Teil wird die derzeitigen Routing-Protokolle für das Multicasting im Internet vorstellen und einen allgemeinen Ausblick auf zukünftige Konzepte geben, welche der Forderung nach Mehrpunktverbindungen mit Betriebsmittelreservierung und Dienstgütegarantien auf effiziente Weise nachkommen.

Multicast-Routing – Grundlage des Multimedia-Conferencing im Internet

Teil 1: Einführung

■ Horst Hodel

Teleconferencing ist ein Teilgebiet der Mehrpunkt-Kommunikation (Gruppenkommunikation): Ein oder mehrere Sender liefern ihre Daten an eine beliebige Gruppe von Empfängern ab. Immer mehr werden Rechnernetze mit solchen Aufgaben konfrontiert, nicht nur von seiten der Teilnehmerkommunikation, sondern zum Beispiel auch im Rahmen von Verteilten Systemen, Management von Routing-Information, Netzverwaltung und Mitteilungsdiensten. Die für die enge Zusammenarbeit verschiedener Kommunikationsteilnehmer, Anwendungsprotokollinstanzen oder Prozesse zur Erbringung eines gemeinsamen Dienstes eingesetzten Protokolle beruhen zu einem wesentlichen Teil auf Punkt-zu-Mehrpunkt-Kommunikation, dem Multicasting. Auf dem Gebiet der Teilnehmerkommunikation sind Gruppenverteilungsdienste und Teleconferencing zwei wichtige Beispiele dafür. Bei letzterem sind in der Regel mehrere Sender beteiligt; es handelt sich also eigentlich um eine Mehrpunkt-zu-Mehrpunkt-Kommunikation. Offensichtlich lässt sie sich jedoch in eine Abfolge von Multicast-Sessionen einzelner Sender auflösen, die darüber hinaus überlagert werden können.

Grundlagen

Dienstgüteforderungen

Gruppenkommunikation, insbesondere solche für Echtzeitanwendungen, ruft nach neuen Dienstklassen und stellt hohe Forderungen an die Dienstgüte. Beim Multimedia-Conferencing steht dabei im Vordergrund, dass Audio- und Videosequenzen nur kurze Verzögerungen mit geringer Varianz erfahren und über garantierte Mindestbandbreiten verfügen dürfen. Überdies soll die Lippensynchronisation gewährleistet sein. Die Gewährung und Sicherstellung solcher Dienstgüten mit einer effizienten Netzbewirtschaftung zusammenzubringen, ruft nach Möglichkeiten der Betriebsmittelreservierung. Je nach Anwendung geht dabei die Initiative von den Sendern oder den Empfängern aus.

Multicast-Routing und Adressierung

Ein Multicasting kann grundsätzlich in eine Folge von Punkt-zu-Punkt-Übertragungen (z.B. mit ATM-Multicast-Servern) aufgelöst werden. Der Nachteil einer solchen Lösung ist jedoch, dass dieses Vorgehen sehr viel Netzbandbreite benö-

Adresse des Autors
Horst Hodel, M. S. (UCLA), Professor
am Neu-Technikum Buchs
Werdenbergstrasse 4, 9470 Buchs

tigt und darüber hinaus nicht für das typische Konferenz-Szenarium geeignet ist, das durch wechselnde Sender und eine sich ständig ändernde Empfängerschaft gekennzeichnet ist. Für eine Reihe von Multicasting-Anwendungen ist daher ein eigentliches Multicast-Routing notwendig, das den Netzverkehr reduziert und unbeteiligte oder inaktive Netzknoten entlastet. Dazu sind neuartige Spezifikationen und Algorithmen notwendig, da die existierenden Routing-Verfahren grundsätzlich ohne Hinblick auf Multicast-Fähigkeit realisiert wurden. Grundlage dafür sind Adressierungskonzepte, die erlauben, Gruppen anhand einer einzigen Zieladresse zu beliefern. Dazu gehört auch eine entsprechende Adressverwaltung.

Verbindungsorientierter Netzbetrieb

Netze, welche auf virtuellen Verbindungen basieren, eignen sich inhärent für die Betriebsmittelreservierung und bieten immer häufiger Mechanismen für die Dienstgüteselektion an. Hingegen ist für die Mehrpunktkommunikation eine globale Koordination nötig, wenn virtuelle Verbindungen allein mittels lokal gültigen Kennungen auf den Teilstrecken (Links) identifiziert werden (wie z.B. bei ATM). Bis jetzt haben die meisten Ansätze für das verbindungsorientierte Conferencing aus einer Reihe von Gründen nicht zu zufriedenstellenden Lösungen geführt. Den Benutzern wird zuviel aufgebürdet, die Geschwindigkeit ist durch den langsamsten Teilnehmer diktiert, die Konferenz bricht mit dem Versagen einer einzelnen Verbindung ab, die Anpassungen an eine sich ändernde Teilnehmerpopulation ist schwierig, und die grosse Anzahl benötigter Verbindungen führt zu einer geringen Skalierfähigkeit. Ein anschauliches Beispiel ist die Quittungspaketimplosion, mit der Sender konfrontiert werden können!

Verbindungsloser Netzbetrieb

Die verbindungslose Vermittlung, also die «bestmögliche», unzuverlässige Ablieferung von Datenpaketen, ist typisch zum Beispiel für das Internet. Hier müssen die Router keine Ende-zu-Ende-Zustände kennen. Die Datenpakete (Datagramme genannt) sind global gekennzeichnet, so dass Routing-Entscheidungen lokal in den einzelnen Routern getroffen werden können. Damit ist beim Multicast-Routing eine dynamische Verkehrsaggregation möglich: Router können autonom Pfade zu Mitgliedern der gleichen Gruppe zusammenfassen, um Replikate von Datenpaketen auf dem gleichen Link zu vermeiden. Auch wenn das Routing allenfalls eine Dienstgüteselektion anbietet, gibt es aber auf dieser Ebene keine Möglichkeit der Betriebsmittelreservierung. Zu Bedenken Anlass gibt vor allem, dass durch die «bestmögliche» Ablieferung von Datenpaketen die Transitzeiten für einen Echtzeitbetrieb zu stark variieren.

Multimedia-Conferencing im Internet

Dass Multimedia-Conferencing auch mit der unzuverlässigen Ablieferung von Datagrammen und ohne Betriebsmittelreservierung zufriedenstellend betrieben werden kann, zeigt der grosse Erfolg entsprechender Anwendungen im heutigen Internet. Dazu gehören zum Beispiel CU-SeeMe und Network-Video (nv). Die Verbreitung besonders gefördert haben attraktive Angebote wie zum Beispiel das Video-Broadcasting von Space Shuttle Missions durch Nasa TV.

CU-SeeMe [1] ist ein recht einfaches Konzept, das im wesentlichen darauf beruht, dass Verteilknoten (Reflektoren) unabhängige Pfade zu angemeldeten Teilnehmern errichten. Entsprechend gross ist der Bandbreiteverbrauch.

Das wegweisende Multicast-Konzept auf dem Internet ist der MBone. Er stützt auf Multicast-Routing ab und ist entsprechend effizient. MBone basiert auf Unix-Maschinen. Die Tatsache, dass nur eine beschränkte Anzahl von Routern die entsprechende Funktionalität aufweist, führt zu einem dem Internet überlagerten virtuellen Multicast-Netz. Eingeführt wurde MBone im Jahre 1992 als experimentelles Netz. Es war gedacht als temporäre Lösung bis zur Verfügbarkeit ausgereifter entsprechender Protokolle und einer genügenden Verbreitung zugehöriger Router. Doch ist inzwischen die Zahl der Anwender des Multimedia-Conferencing derart stark angestiegen, dass bereits seit längerem Konflikte zwischen Experimentierern und Benützern bestehen, die einen regulären Dienst erwarten. Jedenfalls setzt sich bereits heute ein substantieller Teil des Internet-Verkehrs aus Multicasting (Konferenzen, Seminare, Workshops und dergleichen) und aus Multimedia-Broadcasting bis zur kommerziellen Informationszustellung durch Datenbanken zusammen. Immer mehr sind bei gewissen Applikationen die Gruppenmitglieder über das ganze Internet verteilt [2].

Multicast-Routing im Internet dient nicht nur der Teilnehmerkommunikation; es eignet sich auch für die Betriebsmittelermittlung [2]. Dazu kommt das Expanding-ring-Verfahren zur Anwendung: Für eine Applikation wird der nächstliegende dienliche Server gefunden, indem hintereinander Multicast-Datagramme mit steigender «Time to live» (TTL) ausgesendet

Abkürzungen

AMTP	Adaptive multicast transfer protocol
ATM	Asynchronous transfer mode
CBT	Core-based tree
DV-Methode	Distanz-Vektor-Methode (Routing)
DVMRP	Distance vector multicast routing protocol
FDDI	Fiber-distributed data interface
IGMP	Internet group management protocol
IP	Internet-Protokoll
IPv6	Kommende Generation des Internet-Protokolls
LAN	Local area network
LS-Methode	Link-Status-Methode (Routing)
MOSPF	Multicast-Erweiterung von OSPF
NBMA	Non-broadcast multi-access
OSPF	Open shortest path first (Routing-Protokoll)
OSPF, IS-IS und IDPR	Protokoll-Beispiele für die LS-Methode
PIM	Protocol independent multicast (Routing-Protokoll)
PIM-DM	PIM dense mode
PIM-SM	PIM sparse mode
RIP und IGRP	Protokoll-Beispiele für die Distanz-Vektor-Methode
RP	Rendezvous-Punkt
RPF	Reverse-path forwarding
SP-Tree	Shortest-path tree
TCP/IP	Transmission control protocol/Internet protocol (Name der Internet-Protokoll-Familie)
TTL	Time to live
XTP	Xpress transfer protocol

werden. (In der üblichen Handhabung gibt der TTL-Eintrag an, wie viele Router ein Datagramm maximal durchlaufen darf, bevor es verworfen wird.) Der erste antwortende Server wird dann in der Regel um die kürzeste Hop-Zahl (Anzahl durchlaufener Router) entfernt sein.

IP-Multicasting

Die ursprüngliche Form von Mehrpunkt-Kommunikation ist das Broadcasting in entsprechenden physikalischen Netzen (Medium). Sein Nachteil ist, dass es alle Hosts belastet, auch wenn Datenpakete nicht für sie bestimmt sind. Daher wurden, um Hosts gruppenweise gezielt ansprechen zu können, spezielle Medienadressen (Multicast-Adressen) eingeführt. Ein typisches Beispiel für das Medium-Multicasting findet sich im Ethernet. Dabei wird in den Ethernet-Adressen (8 Oktette) das niedrigstwertige Bit des höchstwertigen Oktetts benützt, um Unicast- von Multicast-Adressen zu unterscheiden. Damit ein Host Teilnehmer einer bestimmten Gruppe wird, muss sein Interface für die entsprechende Multicast-Medium-Adresse konfiguriert werden.

IP-Multicasting ist die TCP/IP-Abstraktion des Medium-Multicasting. Es erlaubt die Übertragung von IP-Multicast-Datagrammen (Multicast-Paketen) zu denjenigen Hosts, die zu einer bestimmten Multicast-Gruppe gehören. Dabei kann die Gruppenmitgliedschaft dynamisch und ein Host Mitglied beliebig vieler Gruppen sein. Ob der Multicast-Sender selber auch Gruppenmitglied ist, ist unwesentlich.

Jede Multicast-Gruppe hat eine eindeutige IP-Adresse in der speziell dafür vorgesehenen Adress-Klasse (Klasse D) [3]. Solche Adressen können fest an permanente Gruppen vergeben sein (sie sind dann allenfalls vorübergehend leer). Andere werden einer bestimmten Gruppe transient zugeordnet und nach Gebrauch wieder freigegeben. Die Bekanntmachung geschieht auf administrativer Ebene.

Ein Multicast-Paket wird zu allen Gruppenmitgliedern im Internet (bzw. in der Domäne) geliefert, vorausgesetzt, dass sie mittels Multicast-Routern mit der Quelle durchgehend verbunden sind. Das Routing läuft analog zur bekannten Hop-to-hop-Methode des Unicast-Routings ab, das heisst die Multicast-Pakete werden aufgrund ihrer Zieladresse von den Routern weitervermittelt. Der einzige Unterschied zwischen einem Unicast- und einem Multicast-IP-Paket besteht darin, dass die Zieladresse eine Gruppenadresse ist. Die notwendigen Replizierungen von Multicast-Paketen werden entweder durch die Multicast-Router vorgenommen, oder es wird, falls vorhanden, die Broadcast-Fähigkeit des Mediums dazu benutzt. Lokal werden Multicast-Pakete mit Medium-Multicasting übertragen. Wenn dabei auch Multicast-Router angesprochen werden, so führen diese bei Bedarf die Pakete anderen IP-Netzwerken zu. Damit ein Host Teilnehmer einer bestimmten Gruppe wird, muss sein Interface für die entsprechende Multicast-Medium-Adresse konfiguriert werden.

IGMP: Vom lokalen zum globalen Multicast

Die notwendigen Erweiterungen, damit ein TCP/IP-Host bestimmten Multicast-Gruppen beitreten oder sie wieder verlassen kann, wurden schon vor etlichen Jahren mit IGMP (Internet group management protocol) definiert [4]. IGMP basiert auf Broadcast-Medien, die eine Multicast-Adressierung miteinschliessen wie Ethernet und FDDI. NBMA-Netze (Non-broadcast multi-access networks, zum Beispiel X.25 und ATM) können wohl Multicast-Pakete befördern, aber direkt angeschlossene Gruppenmitglieder mit IGMP nicht bedienen.

IGMP geht nicht generell auf die Medium-Hardware ein, legt aber die Adressenzuordnung für Ethernet fest: Die IP-Multicast-Adresse wird in die Ethernet-Multicast-Adresse eingebettet. Allerdings werden in der heutigen IP-Version innerhalb des Ethernet-Multicast-Adressraums für die benötigten 28 Stellen der IP-Gruppenadressen nur 23 Bit zur Verfügung gestellt. Weil somit nicht die vollständige IP-Gruppenadresse abgebildet wird, muss in Kauf genommen werden, dass in einem Ethernet unter Umständen Hosts auch Multicast-Pakete erhalten, die sie gar nicht wünschen.

IGMP ist darauf ausgelegt, Verkehrsstaus im lokalen Medium zu vermeiden: IGMP-Steuernachrichten (für die Mitgliedererfassung) sind IP-Multicast-Pakete an alle lokalen Multicast-Knoten (reservierte Gruppenadresse «All Systems», TTL = 1). Für die Vertretung der lokalen Mitgliedschaften gegen aussen ist ein einzelner Router (Designated Router) zuständig. Er fragt regelmässig auf dem lokalen Medium alle gewünschten Gruppenmitgliedschaften ab. Ist einmal eine Mitgliedschaft erkannt, so wird, wenn möglich, weiterer Abfrageverkehr dazu unterbunden. Zu diesem Zwecke dürfen Hosts in jeder Antwort nur eine einzige Gruppenmitgliedschaft melden. Zur Vermeidung von Verkehrsspitzen werden die Antworten überdies statistisch verstreut.

Im nachhinein wurde die Anzahl der IGMP-Nachrichtentypen erweitert, um die Steuernachrichten der unterdessen entwickelten Multicast-Protokolle unterbringen zu können.

Methoden des Multicast-Routing

Vom Multicast-Routing werden niedriger Bearbeitungsaufwand und kleiner Speicherbedarf für die Router, ein niedriger Bandbreitebedarf im Netz und eine grösstmögliche Entlastung der Quellen gefordert. All dies soll gewährleistet sein, unabhängig von der Grösse des Netzes, vom Verkehrsaufkommen, von der Zahl und der Streuung der Gruppenmitglieder, von der Dynamik der Gruppen und von der Senderpopulation. Zudem soll das Multicast-Routing über Domänengrenzen hinweg unsichtbar bleiben und sich nicht auf das darunterliegende Unicast-Routing abstützen, damit es sich unabhängig entwickeln kann.

Multicast-Bäume

Es sind eine ganze Reihe von Multicast-Routing-Mechanismen für Verbundnetze bekannt [5]. Praktische Bedeutung erlangt haben aber nur einige wenige. Zweckdienliche Routing-Konzepte müssen dafür sorgen, dass die einzelnen Multicast-Pakete im Sinne der Verkehrsaggregation nur wenn nötig vermehrt werden und dass ihre Verbreitung möglichst auf die Region der Gruppenmitglieder eingeschränkt bleibt. Daraus ergibt sich der typische Multicast-Baum, ein gruppenspezifischer Ablieferungsbaum, mit der Quelle als Wurzel und vorzugsweise endend bei Gruppenmitgliedern. Um den Bandbreiteverbrauch zu reduzieren, aber auch um die Ablieferung von duplikaten Multicast-Paketen zu verhindern, soll er frei sein von parallelen Pfaden oder gar Schlaufen. Er wird als Source tree oder, weil er aus den kürzestmöglichen Pfaden besteht, als Shortest-path tree (SP-Tree) bezeichnet. Im Gegensatz zum Unicast-Routing ist das Multicast-Routing auch abhängig von der Quelle, was grundsätzlich zu einer erheblich grösseren Komplexität führt.

Initiierung

Geht die Konstruktion eines Multicast-Baumes von der Quelle aus, so besteht das grundsätzliche Problem, dass diese im allgemeinen die Gruppenmitglieder a priori gar nicht kennt. Deswegen ist das Skalierungspotential solcher Konzepte generell eher klein. Eine Methode, die dieses Problem mit dem Routing selbst löst, besteht darin, die Multicast-Pakete allen Routern im Netz zuzustellen. Sie eignet

sich jedoch offensichtlich nur in Umgebungen, in denen Multicast-Gruppen dicht vertreten sind und überdies genügend Bandbreite zur Verfügung steht.

Sind die Gruppenmitglieder spärlich verteilt, so drängt sich ein Vorgehen auf, bei dem sich potentielle Empfänger bei der Quelle anmelden; also ein empfängerinitiiertes Konzept. Voraussetzung ist allerdings, dass den Gruppenmitgliedern die jeweilige Quelle bekannt ist. Dies kann allenfalls im Punkt-zu-Multipunkt-Betrieb mit einem einzelnen Sender sichergestellt sein, wie etwa bei einem Multimedia-Gruppenverteildienst. Es ist jedoch beim Conferencing mit seinen vielen potentiellen Quellen kaum machbar. Wenn die Empfänger einen Multicast-Baum selbst initiieren, können sie allerdings ihre individuellen Dienstgüteansprüche leichter ins Routing einbringen.

Flooding

Flooding ist ein einfaches Routing-Konzept, das darauf beruht, dass die angesprochenen Router ein Datenpaket darauf prüfen, ob sie es zum ersten Mal empfangen. Ist dies der Fall, so senden sie je eine Kopie des Pakets auf allen ihren Links – mit Ausnahme des Eingangs-Links – weiter. Somit kommt Flooding ohne Routing-Tabelle aus, verlangt aber für jedes empfangene Paket einen Eintrag in den Routern. Flooding wird im Unicasting eingesetzt, wenn vom Routing eine grosse Robustheit verlangt ist, zum Beispiel für die Verteilung von Nachführinformationen in LS-Routing-Protokollen (Link-Status-Methode, siehe Kasten), oder wenn die schnellste Route gefunden werden muss. Flooding kann aber offensichtlich auch als Verteilungstechnik im Rahmen eines quelleninitiierten Multicast-Routings verwendet werden. Flooding stellt sehr grosse Bandbreiteanforderungen. Aus Effizienzgründen werden daher Vorkehrungen zur lokalen Begrenzung getroffen, aber auch zur Verhinderung paralleler Pfade und Schlaufen.

Spannende Bäume

Ein effizienterer Ansatz als das Flooding ist die Errichtung Spannender Bäume, wie das vom Bridging (IEEE-802 MAC Bridge) her bekannt ist [6]. Hier wird durch die Ausmerzung von Schlaufen in der logischen Netztopologie grundsätzlich sichergestellt, dass in jedem Netzknoten ein Paket nur einmal ankommt. Man könnte diese Technik leicht für die Ablieferung von Multicast-Paketen benützen; sie ist robust und verlangt wenig Speicherplatz. Bei der Konstruktion Spannender Bäume ist es jedoch schwierig, eine Gruppenmitgliedschaft miteinzubeziehen. Ausserdem konzentriert sich der vollständige Datenverkehr auf einen kleinen Teil der zur Verfügung stehenden physikalischen Links. Daher bevorzugt man die Erstellung von gruppenspezifischen Ablieferungsbäumen.

Reverse-path forwarding

Dem Multicasting zum Durchbruch verholfen hat das sogenannte Reverse-path forwarding (RPF), ein Konzept, das implizit für jede Quelle einen Spannenden Baum zu den Gruppenmitgliedern ermittelt. In ihrer einfachsten Form lautet die RPF-Strategie: Wenn ein Router ein Multicast-Paket auf dem gleichen Link empfängt, auf dem er selber ein (Unicast-) Paket an diese Quelle senden würde, so vermittelt er es auf allen seinen anderen Links weiter. Wenn aber ein Multicast-Paket auf einem anderen Link eintrifft, so verwirft er es [2]. Damit benötigt RPF nicht mehr Betriebsmittel als ein Unicast-Routing. Tatsächlich besteht sogar die Möglichkeit, dessen Routing-Tabelle für das Multicast-Routing mitzubenützen.

RPF wird in quelleninitiierten Konzepten eingesetzt, wobei die Wirkung ein Flooding entlang der RPF-Pfade ist. Es kommt aber auch zur Anwendung bei der empfängerinitiierten Konstruktion von Multicast-Bäumen.

Internet-Routing

Das Internet ist ein virtueller Verbund physikalischer Netze (Medien). Seine Architektur besteht aus Vermittlungsknoten (Router), die durch Links verbunden sind. Letztere werden durch das jeweilige Medium erbracht. Im einfachsten Fall sind die Links physikalische Punkt-zu-Punkt-Verbindungen. Das Routing (Wegewahl) wird für jedes Internet-Datenpaket einzeln durchgeführt. Es beruht auf adaptivem Shortest-path-Routing mit verteilter Steuerung. Für die Art, wie Routing-Tabellen erstellt und konsultiert werden, kommen zwei grundsätzlich alternative Algorithmen zur Anwendung [11].

Distanz-Vektor-Methode

Bei der DV-Methode verlässt sich jeder Router auf seine Nachbarn. Jeder Router merkt sich für alle Ziele denjenigen Nachbarn, über den sich die niedrigsten Pfadkosten ergeben. So entsteht eine Routing-Tabelle, die sich aus Ziel/Metrik-Paaren zusammensetzt. Zur Aufbereitung tauschen Nachbar-Router ihre Routing-Tabellen aus. Die Einfachheit der Methode hat zu einer weiten Verbreitung geführt: Protokoll-Beispiele sind RIP und IGRP. Die DV-Methode hat Mühe mit der Konsistenz der Routing-Information, was zu Routing-Schleifen führen kann. Dieses Problem kann wesentlich reduziert werden, wenn Router in ihren DV-Nachrichten auf einem gegebenen Link für den Pfad zu einem Ziel einen vereinbarten, unreellen Kostenwert melden, wenn der Pfad selber über diesen Link führt (Split horizon, Poison reverse).

Link-Status-Methode

Beim LS-Routing unterhält jeder Router die identische Kopie einer Datenbank, welche dynamisch die Konnektivität des ganzen Verbundnetzes beschreibt. Dazu tauschen alle Router des Netzes Zustandsinformationen über ihre lokalen Links aus. Aus den gesammelten Link/Metrik-Paaren berechnet sich jeder Router (mit dem Dijkstra-Algorithmus) übereinstimmend die kürzesten Pfadlängen zu allen Zielen. Patt-Situationen müssen einheitlich aufgelöst werden. Die Synchronisation der Datenbanken geschieht mittels eines Flooding-Mechanismus. Er bewirkt, dass alle Router sofort die entsprechende (identische) Nachführinformation erhalten, wenn irgendwo im Netz eine Link/Metrik-Information ändert. Weil alle Router Netzänderungen unmittelbar in ihre Routenermittlung aufnehmen können, ist die Konvergenz schneller und die Gefahr von Schleifen kleiner. Allerdings bedingt der LS-Algorithmus im einzelnen Router eine grössere Prozessor-Zeit und mehr Speicherplatz. Weil jeder Router über vollständige Netzinformation verfügt und damit autonom Routen ermitteln kann, ist der LS-Algorithmus die geeignete Wahl für Routing-Konzepte, die auch die Anliegen der Netzbenützer mit einbeziehen (Source demand routing). Typische Anwendung des LS-Algorithmus sind Protokolle wie OSPF, IS-IS und IDPR.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass LS-Algorithmen kurze Nachführ-Informationen überall hin ins Netz senden, während DV-Algorithmen umfangreichere Informationen absetzen, aber nur zu Nachbar-Routern.

Der RPF-Multicast-Baum ist insofern speziell, als er sich auf die Link-Parameter in umgekehrter Richtung abstützt, als die Multicast-Pakete tatsächlich fliessen. Dies ist von Bedeutung, wenn die Kriterien für die Pfadselektion nicht symmetrisch sind. Solche Situationen können durch unsymmetrische Link-Kosten oder gar unsymmetrische Topologien entstehen, aber auch durch Unsymmetrien in den in Link-Parametern ausgedrückten Policy- oder Dienstgüte-Forderungen (z. B. bei einer Transit policy). Da ein RPF-Pfad im allgemeinen eine grössere als die minimal mögliche Paketverzögerungszeit aufweist, kann dies zu den Laufzeitproblemen beitragen. Von Bedeutung ist aber auch, dass allenfalls Policy-Auflagen verletzt oder Dienstgüte-Forderungen nicht eingehalten werden [7].

Netzbewirtschaftung

Wohl ermittelt die RPF-Strategie die schnellsten (Rückwärts-)Pfade zu den Gruppenmitgliedern; sie geht jedoch nicht ein auf die grösstmögliche Paket-Aggregation, also auf die Minimierung der benützten Netzressourcen. Eine Strategie, die auf letzteres ausgerichtet ist (auf Kosten der Pfadlänge), führt zu sogenannten Steiner-Bäumen [8]. Diese sind jedoch sehr schwierig zu berechnen und ändern ihre Gestalt bei variierender Mitgliederverteilung drastisch. Daher hat der Einsatz dieser Methode keine praktische Bedeutung erlangt.

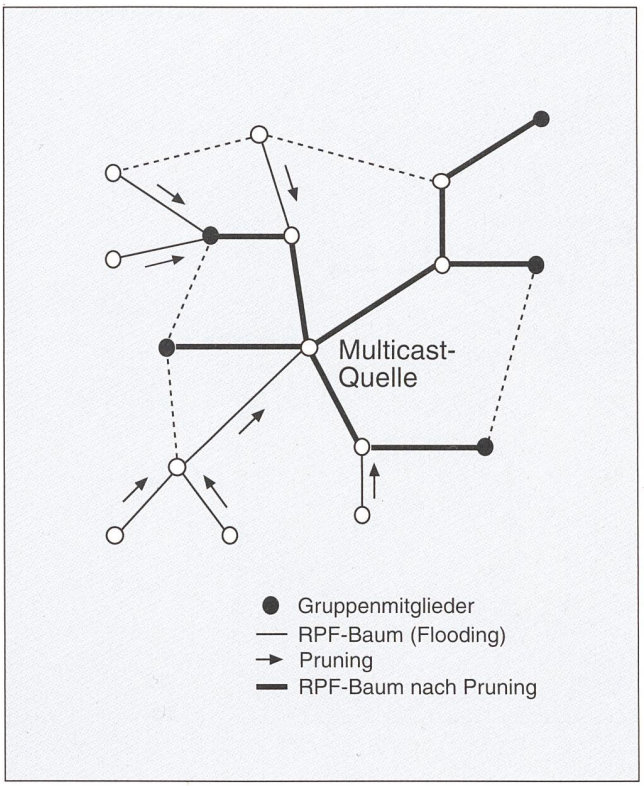


Bild 1 Source-tree-Konstruktion mit Flood and prune

Konstruktion von RPF-Bäumen

Flood and prune (Source trees)

Quelleninitiiertes RPF stellt allen Routern eines Netzes die Pakete einer Multicast-Quelle effizient und schlaufenfrei zu. Ohne viel Aufwand kann eine Verbesserung erreicht werden, wenn Endnetzen Multicast-Pakete nur zugeführt werden, wenn sie Mitglieder der betreffenden Gruppe enthalten (was sich durch IGMP-Antworten ausdrückt). Diese Methode wird als Truncated reverse-path broadcast klassifiziert [5]. Die mit RPF-Flooding verbundene Bandbreitebelastung des Netzes kann jedoch erheblich verringert werden, wenn der Multicast-Baum weiter zurückgestutzt wird bis zu Routern, die tatsächlich Mitglieder der angesprochenen Gruppe zu beliefern haben (Pruning). Wenn also an einen End-Router (Leaf-Router) im RPF-Baum keine Gruppenmitglieder angeschlossen sind, so sendet er eine Pruning-Nachricht zu seinem Vorgänger. Dieser merkt sich, dass er auf dem empfangenden Link keine Multicast-Nachrichten mehr senden soll. Hat er auf allen seinen Ausgangs-Links eine Pruning-Nachricht erhalten und hat er keine direkt angeschlossenen Gruppenmitglieder, so sendet er seinerseits eine Pruning-Nachricht in Richtung Quelle. Wenn der Pruning-Vorgang abgeschlossen ist, besteht der Multicast-Baum nur noch aus Ästen, die zu Gruppenmitgliedern führen (Bild 1). Um auf Änderungen in der Topologie und in der Gruppenzusammensetzung eingehen zu können, löschen alle Router ihre Pruning-Einträge nach einer bestimmten Zeit wieder (z. B. nach 3 Min.). In der Folge werden die Multicast Pakete wieder allen Routern zugeführt, und der Pruning-Prozess beginnt von neuem [2].

Wenn Äste eines Multicast-Baumes in einem LAN wieder zusammenführen, so entstehen parallele Pfade, die neben dem erhöhten Bandbreiteanspruch zu mehrfach empfangenen Datenpaketen führen. Dies kann verhindert werden, wenn alle auf das LAN führenden Router ausser derjenige mit dem kürzesten RPF-Pfad zur gegebenen Quelle das Flooding sperren. Bei dieser Methode müssen sich die Router diejenigen Netzwerke (Child networks) merken, die sie zu beliefern haben (Parent-Router). Diese Liste wird gegebenenfalls durch das Pruning weiter eingeschränkt.

Um den Abstand zwischen den Flooding-Phasen zu spreizen, ohne Abstriche bei der Erfassung der Gruppenzusammensetzung zu machen, kann mit einem zusätzlichen Mechanismus dafür gesorgt werden, dass sich Gruppenmitglieder an einen bereits bestehenden Multicast-Baum anschliessen können (Grafting). Im wesentlichen hebt eine dafür geschaffene Graft-Nachricht eine Prune-Nachricht auf dem gleichen Link auf.

Das Pruning wird von End-Routern ausgelöst, an die keine Gruppenmitglieder angeschlossen sind. Auf einem LAN ist jedoch nicht offensichtlich, ob ein Router Endknoten ist oder ob noch weitere Router von ihm bedient werden wollen (d. h. ob er Parent-Router ist). Die Art, wie sich Router auf einem LAN als Endknoten erkennen, wird protokollspezifisch gelöst.

Shared trees

Bei quelleninitiierten Konzepten kann das Problem, dass dem Empfänger die aktiven Sender nicht bekannt sind, gelöst werden, indem für jede Multicast-Gruppe administrativ ein spezieller Router (Core-Router) bestimmt wird, der sowohl den Gruppenteilnehmern als auch potentiellen Quellen bekannt ist. (Aus Redundanzgründen sind auch mehrere Core-Router möglich). Die Gruppenmitglieder bauen einen Multicast-Baum zum Core-Router auf (Join): Router mit angeschlossenen Gruppenmitgliedern auf dem RPF-Baum senden eine Join-Nachricht in Richtung Core. Alle Router dazwischen merken sich den Link, auf dem die Join-Nachricht eingetroffen ist, als zum Multicast-Baum gehörig. Router, die selber noch nicht in den Baum eingebunden sind, senden die Join-Nach-

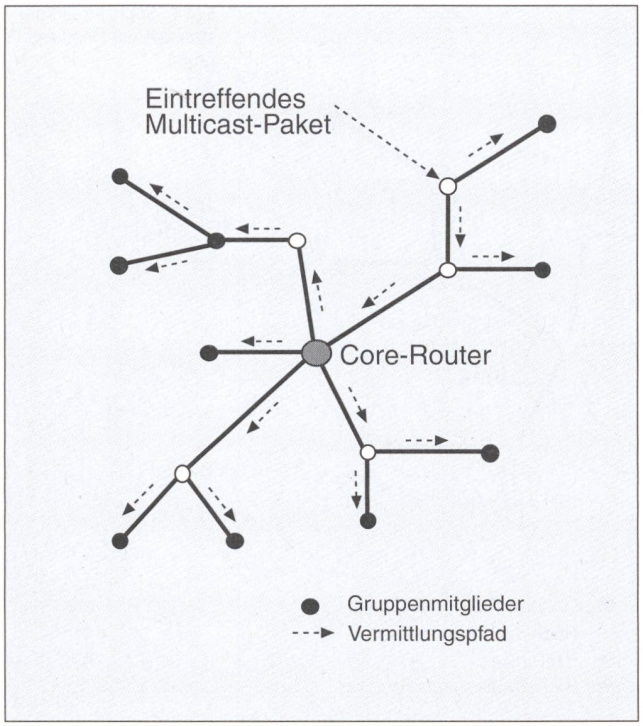


Bild 2 Core-based tree

richt weiter in Richtung Core-Router. Das Resultat ist ein Spannender Baum per Gruppe, Shared tree genannt, der von den Quellen gemeinsam genutzt wird [2].

Multicast-Quellen, die in den Shared tree der anzusprechenden Gruppe eingebunden sind, versenden ihre Pakete wie bei einem Spanning-tree-Konzept, Core-based tree (CBT [9]) genannt, üblich. (Pfade, die zum Core-Router hinführen, sind Vorwärts-Pfade.) Verglichen mit einzelnen Multicast-Bäumen bis zu den Quellen hin kann so möglicherweise auch eine Reduktion des Datenverkehrs erreicht werden. Im ursprünglichen Shared-tree-Konzept, Core-based tree (CBT [9]) genannt, senden Quellen ausserhalb des Baumes ihre Multicast-Pakete eingepackt in ein speziell gekennzeichnetes IP-Paket zum Core (Bild 2). Innerhalb des Paketes wird die Gruppenadresse mitgeführt. Wenn ein solches Paket zu einem Router kommt, der Teil des angezielten CBT-Baumes ist, so wird es zum Multicast-Paket umgeformt, das heisst die eingeschlossene Gruppenadresse wird ausgepackt und an die Stelle der Core-Adresse gesetzt.

Vergleich

Flood-and-prune-Algorithmen sind sehr einfach und mit kleinem Aufwand einzurichten. Sie weisen aber nicht nur den Nachteil des periodischen Floodings auf, sondern verlangen noch zusätzlich, dass alle Router im Netz per Quellen/Gruppenpaar einen Zustand speichern. Von Vorteil ist, dass die Methode verkehrsgetrieben arbeitet, das heisst, sobald ein Sender ausfällt, wird auch das Flooding ausgesetzt und die Netzbelastung zurückgenommen.

Bei einem Shared tree müssen nur die tatsächlich benötigten Router miteinbezogen werden. Diese brauchen darüber hinaus pro Gruppe bloss einen einzigen Eintrag, da ja die Wurzel des Shared tree gemeinsam und bekannt ist. Das Shared-tree-Konzept führt zu einer Verkehrskonzentration, und Multicast-Pakete nehmen nicht den kürzesten Weg. Schliesslich sind Shared-tree-Protokolle nicht datengetrieben; das heisst, der Multicast-Baum muss unterhalten werden, auch wenn keine Quelle sendet.

Beide Konzepte haben bei der Anwendung ihre Vor- und Nachteile und sind in bestimmten Situationen mehr oder weniger geeignet. Vom Verkehrshaushalt her sind Shared trees vorteilhaft bei einer grossen Zahl spärlich sendender Quellen wie zum Beispiel bei der Betriebsmittel-Ermittlung. Source-based trees hingegen eignen sich bei Quellen mit hoher Datenrate wie zum Beispiel im Echtzeit-Teleconferencing. Ein weiteres kritisches Entscheidungsmerkmal ist die Verteilung der Gruppenmitglieder im Netz. Flood-and-prune-Routing ist angebracht bei einer grossen Ansammlung von Empfängern (Dense). Ist die grosse Dichte allerdings netzüberspannend, so fällt der Bandbreitebedarf der Flooding-Komponente ins Gewicht. Center-based trees sind vorteilhaft bei einer dünnen Besiedelung mit Gruppenteilnehmern (Sparse) [10].

Literatur

[1] *M. Sattler:* Internet-TV mit CU-SeeMe. Sams.net-Verlag, Indianapolis, 1995.

[2] *C. Huitema*: Routing in the Internet. Prentice-Hall-Verlag, Englewood Cliffs, 1995.

[3] *D. E. Comer:* Internetworking with TCP/IP. 3. Auflage, Prentice-Hall-Verlag, Englewood Cliffs, 1995.

[4] *S. Deering:* Host Extensions for IP Multicasting. RFC-1112.1989.

[5] S. *Deering:* Multicast Routing in a Datagram Internetwork. Dissertationsarbeit. Stanford University, 1991.

[6] *R. Perlman:* Interconnections. Bridges and Routers. Addison-Wesley-Verlag, Reading, Mass. 1992.

[7] *H. Hodel:* Policy Route Reverse Path Forwarding: An Extension to Sparse Mode Multicasting. Erscheint demnächst. ACM-Journal, 1996.

[8] *P. Winter:* Steiner-Problem in Networks: A Survey. Networks 17(2), 1987.

[9] *A. J. Ballardie* et al.: Core Based Trees (CBT). Proceedings of the ACM SIGCOMM, San Francisco, 1993.

[10] *D. Estrin* et al.: Protocol Independent Multicast (PIM): Motivation and Architecture. IETF-IDMR Draft. 1995.

[11] *H. Hodel:* Routing in Weitraum-Rechnernetzen. vdf-Verlag, Zürich, 1996.

(Teil 2 folgt in Bulletin Nr. 19/96)

Multicast-Routing – base de la conférence multimédia sur Internet

1re partie: introduction

La conférence multimédia en temps réel sur Internet est une nouvelle prestation en grande croissance. Grâce au fonctionnement en réseau sans liaison de l'Internet, on arrive à contenir le coût des services de routage collectif et de téléconférence, surtout les besoins en largeur de bande. Que l'actuel Internet ne soit pas en mesure de garantir les qualités de service désirées n'a guère nuit à son succès dans ces nouvelles tâches. La première partie de cet article introduit dans le Multicast-Routing. Une deuxième partie qui suivra dans le Bulletin 19/96 présentera les protocoles de Routing actuels d'Internet et donnera un aperçu général de futurs concepts qui répondent de manière efficace à l'exigence de liaisons multipoints avec réservation des matériels et garanties de qualité du service.

PKG

PKG-versicherte Firmen haben gut lachen

PKG Der GAV-konforme Branchenkenner

PKG Die Krankenversicherung mit den stabilen Prämien

PKG Auch für Ihre Firma! **Vergleichen kostet nichts...**

...kann Ihrer Firma aber sehr viel bringen!
Wir beraten Sie gerne.

PKG
Paritätische Krankenversicherung
für Branchen der Gebäudetechnik
Postfach 272
3000 Bern 15

Telefon 031 / 350 24 24
Telefax 031 / 350 22 33

PS: PKG – die Krankenversicherung der Verbände SSIV, VSEI, VSHL und SMUV mit mehr als 900 angeschlossenen Firmen.

Kabel-verschraubungen

robust – sicher
schnell montiert

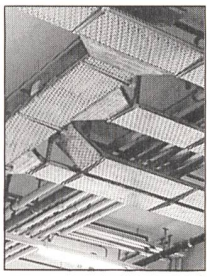
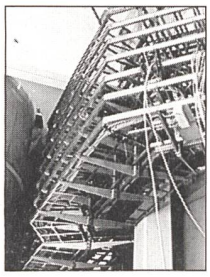
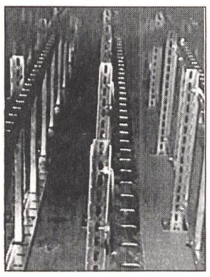
S+K

Schärer + Kunz AG
Postfach 757
CH-**8010 Zürich**
Tel. 01-434 80 87
Fax 01-434 80 90

Bureau romand:
Rue Louis Favre 7
CH-**2017 Boudry**
Tél. 038-42 57 64

- Alle Grössen
- Viele Ausführungen: EMV, INOX, Ex
- Umfangreiches Zubehör

Fordern Sie den Katalog an – das unbezahlbare Nachschlagewerk der Branche

Chemins de câbles Echelles à câbles Colonnes montantes en exécution zinguée au feu

Le système de supports de câbles de qualité suisse livrable en exécution zinguée au feu selon DIN 50976.

- **Chemins de câbles et échelles à câbles zinguées au feu livrables en longueurs de 3 ou 6 m pour de plus grands écarts de suspension et un montage plus rapide**
- **poutrelles plafonnières et consoles renforcées en profilés C robustes**
- **colonnes montantes standard et renforcées pour un montage encore plus agréable.**

Conseil, offre, livraison rapide et avantageuse par votre électricien-grossiste ou
lanz oensingen sa 062/388 21 21 Fax 062/388 24 24

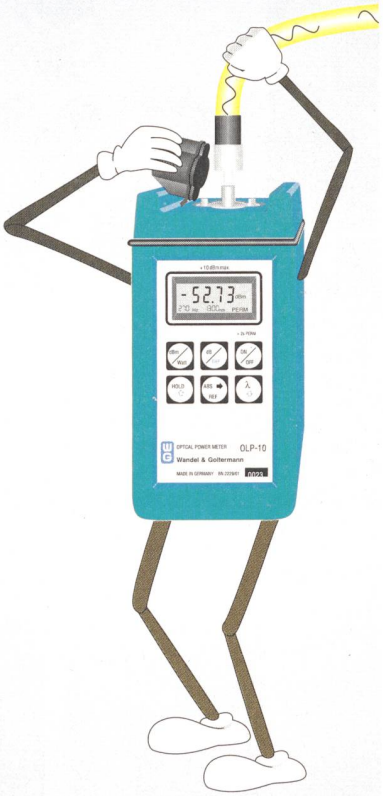
☐ **Les chemins de câbles, échelles à câbles et colonnes montantes de LANZ** m'intéressent. Veuillez me faire parvenir votre documentation.

☐ Pourriez-vous me/nous rendre visite, avec préavis s.v.p.?
Nom/adresse: _____

11f

lanz oensingen sa
CH-4702 Oensingen · Téléphone 062 388 21 21

Kleine Helfer für schnelle und präzise LWL-Messungen



Anschließen, Einschalten, Messen mit den neuen preiswerten Pegelsendern und Pegelmessern von Wandel & Goltermann. Grünes Licht für schnelle Messungen, von Datacom bis Telecom.

- für Single- und Multimodefasern
- Adapter für jeden Stecker
- automatische Faseridentification
- robust gegen Wasser und Schmutz
- Komplette Meßlösungen

Fragen Sie nach der neuen OLP/OLS-Familie.

Wandel & Goltermann (Schweiz) AG
Postfach 779 · Morgenstrasse 83
CH-3018 Bern 18
Telefon 031/9 91 77 81
Fax 031/9 91 47 07

D3.94/WGCH/103/4c

Wandel & Goltermann
Elektronische Meßtechnik

Mit Automation Visionen realisieren.

Industrielle Steuerungs- und Regelungssysteme

Industrielle Software und Services

Sensorik

Antriebstechnik (elektrisch und mechanisch)

Robotik

Forschung, Bildung und Fachwissen

Fluidtechnik (Ölhydraulik und Pneumatik)

17.–20. Sept. 1996

S.A.W.
SWISS AUTOMATION WEEK
Messe Basel.

Nur an der Swiss Automation Week erwarten Sie die führenden Anbieter aus allen Bereichen der industriellen Automation. Unter einem Dach haben Sie die komplette Marktübersicht: 420 Aussteller präsentieren Neuheiten von 1000 Unternehmen aus Europa, den USA und Asien. Und viele Schnittstellen-, System- und Branchenlösungen. Dazu das «Forum Software und Services», die Sonderpräsentationen «Forschung und Bildung» und «Industrielle Kommunikation. Mit welchem Bus-System?». Vom 17. bis 20. Sept. 96, täglich von 9 bis 17 Uhr in der Messe Basel. Weitere Informationen und Unterlagen: Messe Basel, Swiss Automation Week, CH-4021 Basel, Tel. +41/61 686 20 20, Fax +41/61 686 21 89, e-mail: saw@messebasel.ch