

IP IP IP IP

# IP 多点广播技术及应用

天津大学计算机系 丁煜

IP 多点广播是一种新兴技术,它以传统的 TCP/IP 网络为载体,具有一对多和多对多的数据交付能力,为网络实时多媒体传输和批量数据传输提供了解决手段。本文简要介绍了 IP 多点广播技术的产生、发展和应用,重点分析了它的工作机制,包括多点广播地址构造、Internet 组管理协议和路由技术。

## IP 多点广播技术简介

IP 多点广播是当前网络技术中的一个热门话题。不论是在科研领域还是在商业领域,它都吸引了人们极大的注意力。它所使用的一对多和多对多的数据交付技术,成为许多 Internet 服务提供商(ISPs)招徕顾客的手段,很多公司也开始使用这种技术来实现大规模的 Internet 应用与服务。而对于 Internet 工程师们来说,IP 多点广播就现有的网络环境而言,向他们提出了许多技术挑战。

在传统的网络应用中(如浏览器,电子邮件),一个发送者对应一个接收者。而 IP 多点广播则实现了一个发送者对应多个接收者,或多个发送者对应多个接收者。换句话说,IP 多点广播具有一对多和多对多的数据交付能力。这与传统的点到点单播(unicast)相比,可以大大减轻网络负载,提高数据传输效率。同时,这项技术还拓宽了网络应用的范围,使多媒体会议,网上教学等需求成为可能。

## IP 多点广播的工作机制

### 1. IP 多点广播地址

IP 多点广播使用 D 类 IP 地址(地址的最高 4 位是 1110)来标志多点广播主机组。若使用点分十进制格式来描述,则主机组的地址范围是从 224.0.0.0 到 239.255.255.255。IP 多点广播支持两类地址,永久地址和临时地址。永久地址是由 IANA(Internet Assigned Numbers Authority)分配的,例如,224.0.0.1 指的是全部主机组,包括该子网络上所有参与 IP 多点广播的主机和路由器。而地址 224.0.0.2 则指的是 LAN 上的所有路由器。从 224.0.0.0 到 224.0.0.255 的地址范围是保留给路由协议和一些低级拓扑发现与维护协议使用的,其他地址和范围则由应用程序保

留,例如,从 224.0.13.0 到 224.0.13.255 的地址范围是保留级 Net News 的。关于这些已分配的地址可以参照 RFC1700。应该注意的是,IP 多点广播地址仅能用作目的地址,它们决不能出现在某个数据报的源地址字段中,也不能出现在源路由和路由记录选项中。此外,不能针对 IP 多点广播数据报生成 ICMP 差错报文。

要发送 IP 多点广播数据报,只需在 IP 头部设置正确的主机组地址。发送过程与普通 IP 数据报相同。接收过程相对来说则复杂得多。为接收某个 IP 多点广播数据报,应用程序首先应申请加入特定的主机组,成为其中的一员。然后,需要将这种成员关系通知给 LAN 上的路由器和 WAN 上的其他中介路由器。在这个过程中,接收主机也会将自己的网络接口配置为接受来自多点广播地址的数据报。这样,WAN 上的路由器将 IP 多点广播数据报传给 LAN 上的路由器,LAN 上的路由器在进行完格式转换后,将其送到本地局域网上。接收主机会收到这些数据报并送给上层 TCP/IP 协议栈处理。

在 IP 单播技术中,网络层地址与网络接口(MAC 地址)是静态绑定的,具有一一对应的关系。而在 IP 多点广播技术中,主机组地址是动态地与一组网络接口(MAC 地址)绑定的。主机组地址并不是一组 IP 地址的集合,两者实际上处于同一层次,都直接映射到 MAC 地址。用于多点广播的路由器并不需要知道每个主机组的所有成员,它只需知道所管理的子网段上的主机组成员。例如,一个以太网路由器只需为本子网上的每个主机组分配一个以太网多路广播地址,不必考虑其他主机组。

在主机组中成员关系是动态的,主机可以在任何时候加入或退出主机组。一台主机可以同时属于多个主机



组。在接收时,只有主机组的成员才能接收发送给该主机组的多点广播数据报,其他主机不能接收这些数据报;发送时则没有限制,不属于某主机组的主机也能向该主机组发送数据报。

在IP包头部有一个TTL(Time to Live)域,它用来限制多点广播数据报的传播范围。TTL的值表示数据报可以被路由器转发的次数,路由器每进行一次转发,就将TTL的值减1,若TTL值为0,则丢弃该数据报。这样做可以解决数据报在网络上的无限期存活问题。在多点广播路由器中设置了一个TTL的阈值,TTL值小于该阈值的数据报将不被接受。这就提供了一种机制,可以将多点广播限制在一定的范围内,如校园网或企业网中。

一个多点广播地址对应网络上的一个主机组。要使报文能够在网络上传递,除了要有一个地址外,还必须告知路由器哪些主机属于该主机组。这就要使用Internet组管理协议(IGMP)来控制与管理各个主机组。

## 2. Internet 组管理协议 IGMP

跨越网段的多路广播必须由路由器进行中继,而路由器只会转发属于本地主机组的数据报。为了使路由器察觉到本地主机组的存在,就要使用Internet组管理协议IGMP(Internet Group Management Protocol)。

IGMP的工作可以分为两个阶段。第一阶段:当主机加入一个新的主机组时,它发送一个IGMP Host Membership Report 报文给全部主机组(224.0.0.1),宣布这个成员关系。本地多点广播路由器接收到这个报文后,向互联网络上的其他多路广播路由器传播这个关系信息,建立必要的路由。与此同时,在主机的网络接口上将IP主机组地址映射为MAC地址,并重新设置地址过滤器。第二阶段:为了处理动态的成员关系,本地多路广播路由器周期性地轮询本地网络上的主机,以便确定在各个主机组中有哪些主机。这个轮询过程是通过发送IGMP Host Membership Query 报文来实现的。这个报文发送给全部主机组(224.0.0.1),且报文的TTL域设为1,以确保报文不会传播到LAN以外。接收到报文的主机组成员会发送响应报文。如果经过若干个轮询后,某个主机组中始终没有成员响应,多路器就认为该主机组中不再有本网络中的主机,于是停止向其他多点广播路由器通告该主机组的成员关系。当发送轮询报文时,如果所有的主机组成员同时进行响应,就可能造成网络拥塞。IGMP协议采用了随机时延的方法来避免这个问题的出现。主机组的某个成员在发送响应报文前,先等待一段随机时间。在该段时间内,若

主机组中没有其他成员发送响应报文,则将响应报文发送到源路由器和本主机组;否则,停止响应报文的发送。这样做就保证了每个主机组中只有一个成员发送响应报文。

使用IGMP就可使路由器掌握本地主机组的分布情况。对于非本地报文,路由器必须进行转发。由于IP多点广播地址与主机不是一一对应的,因此,所采用的路由算法也有所不同。下面介绍一下IP多点广播中常用的路由技术。

## 3. IP 多点广播中的路由技术

IP多点广播路由是个复杂的问题。与点到点的路由技术不同,IP多点广播中的发送方并不知道接收方的准确地址。发送方将广播数据报传给多点广播路由器,由路由器负责将数据报中的组地址解析为主机地址。路由器与路由器之间的信息交换是多点广播路由技术的基础。IP多点广播路由可分为域内路由和域间路由两种,在此我们只讨论域内路由技术。

在一个有限大小的网段内,路由器存有本网络的连接信息。利用这些信息,可以构造出本地网的拓扑结构。一般来说,这是一个网状结构,节点之间存在循环。从网络拓扑结构图中选取某些链路,构造一棵树,这棵树应覆盖网络上的所有节点,称为“生成树”。

生成树技术是解决IP多点广播路由问题的核心。不同的IP多点广播路由协议使用了不同的生成树构造技术。一旦建好一棵生成树,多点广播分组的传输就变得非常简单。当接收到一个多点广播分组时,节点立即将此分组转发给除输入端链路以外的所有外向链路,这些链路是生成树的一部分。由于生成树中不存在循环,因此分组不会循环传输;又由于生成树覆盖了网络上的所有节点,因此分组可以达到所有的目的地。

根据网络中成员的分布情况,通常可以将多点广播路由协议分为两类。第一类协议假设多点广播组成员密集地分布在整个网络上,且带宽足够用。从数学角度上讲,在网络上任取一块采样区域,如果它包括至少一个组成员的概率很高,就可认为在该网络上组成员是密集分布的。可以将这种网络状态称为“密集模式”。对于“密集模式”的多点广播路由协议,通常采用扩散算法实现数据报的转发。扩散算法简单地讲就是将收到的分组传送给除输入端口以外的所有接口。在实际应用中,采取了几个措施来提高扩散算法的效率。首先,对于接收到的分组,要判断它是否是第一次经过本节点,若不是,则拒绝转发该分组。这就避免了分组的重复散发问题。其次,在转发过



程中,如果第一个分组发现某节点的所有接口都不包含目标主机地址,那么,以后的分组将不会再转发给该节点。由于网络上的用户比较密集,采用扩散算法的效率是可以接受的。目前,密集模式的路由协议主要有距离矢量多点广播路由协议(DVMRP),多点广播最短路径优先(MOSPF)和密集模式协议无关多点广播(PIM-DM)。

第二类协议假设多点广播组成员稀疏地分布在整个网络上,不要求有高的带宽。“稀疏”并不是指组中的成员少,而是指这些成员的分布很广泛。在这种情况下,若仍使用扩散算法,就会造成网络带宽的极大浪费并可能引起严重的性能问题。因此,对于“稀疏模式”的多点广播路由协议,就应该使用更具选择性的算法。目前常用的是有核树算法。这种算法的核心是:在网络中设置一个多点广播组的中心点,要加入某个组的主机向这个中心点发送“加入”命令;所有的中间路由器都会接收到这个命令并记录必要的路由和组信息;任何发往该组的数据报都首先送往中心点,然后分发到各组成员。有核树算法的最大优点在于它限制了多点广播数据报的扩张范围,只将分组送给组成员,这有效地节约了网络带宽。稀疏模式协议无关多点广播(PIM-SM)和有核树(CBT)是第二类协议的主要代表。整个因特网上分布有上万个路由器,并不是所有的路由器都支持多点广播。要让IP多点广播数据报通过这些非多点广播路由器转发,可以采用一种“隧道”技术。隧道的入口和出口处是支持多点广播的路由器,隧道中间的路由器可以是普通路由器。多点广播数据报在隧道入口处被封装为普通IP数据报,然后通过隧道传输,在出口处再解析为多点广播数据报。在MBONE上大量采用了隧道技术来连接局域网与主干网。由于隧道技术所带来的额外开销非常大,因此被视为一种过渡性的解决方案,主要用于实验目的。要实现真正的多点广播传输,需要将大部分的普通路由器改造为支持多点广播路由。

### IP 多点广播技术的实现与应用

IP 多点广播技术从诞生之日起,就受到了学术界的极大关注。Internet 委员会和 IETF 工作小组已开发了許多支持 IP 多点广播的应用协议,软件开发商也在多种系统平台上实现了 IP 多点广播接口 API。

目前,支持 IP 多点广播的协议主要有: RTP 协议,即实时传输协议。它通过点到点或多点传输网络服务,为应用程序提供端到端的实时数据流传输,如语音,图象或模拟数据。RSVP 协议,即预留协议。它增强了目前的因

特网体系结构,为网络上特殊的数据流传输提供服务质量(QoS)的保证。RTSP 协议,即实时流协议。它是一个应用层的协议,通过一系列的控制措施,保证了实时数据流的按需分发。为了克服 IP 多点广播数据报传输不可靠的局限,研究人员开发出了几种可靠的多点广播协议,如 MFTP 协议(多点广播文件传输协议)和 PGM 协议(可靠的多点广播协议),从而扩展了 IP 多点广播的应用范围。

IP 多点广播应用程序与传统的点到点应用程序不同,在传输层,它只使用面向无连接的不可靠的数据报传输,即 UDP。那些使用 TCP 传输的应用程序要改造为支持多点广播,需要做很大的改动。使用 UDP 则相对简单一些。另外,不应使用传统的方法来保证多点广播传输的可靠性。试想,如果每一个 UDP 包都向源节点发送确认信息,那么源节点显然会被来自各自目标节点的确认信息所淹没。因此,要保证传输的可靠性,应使用基于多点广播的传输协议如 PGM 或 MFTP。

软件开发商已经在很多平台上实现了多点广播 API,这些 API 在功能上很相似,都实现了 RFC1112 所要求的基本功能。这些 API 为 IP 多点广播定义了简洁清晰的接口,调用过程非常简单。软件开发人员可以使用这些 API 书写出灵活而又功能强大的多点广播应用程序。目前,在 UNIX, Microsoft Windows 和 Apple Macintosh 上都已实现了多点广播 API。

IP 多点广播技术可以增强应用程序的性能,实现一些传统技术无法实现的功能,特别是在多媒体数据传输方面。例如,在传统的多媒体传输中,即使使用压缩技术,应用程序仍需要很大的带宽。对于一次视频会议,采用点到点传输,网络带宽可能只允许有几十个参加者。而采用 IP 多点广播,则可以让几百人甚至上千人同时参加会议。这在以前是无法想象的。类似的应用还有远程教学,动画模拟等。对于非多媒体数据传输,多点广播技术同样有很大的应用范围。考虑一个跨国公司,每周要向其分布在全球的几百家分公司发布共享数据,这些共享数据可能有几百兆。这种情况下,多点广播是唯一的解决方案。这类应用有共享白板,实时股价发布等。

### IP 多点广播中存在的一些问题

IP 多点广播是一种较新的技术,在许多方面尚不完善。这表现在:

1. 目前的许多协议原形来自 MBONE,实验数据也来自 MBONE。而 MBONE 是一个实验性的多点广播网络,

对于许多问题的处理都理想化了。因此,这些协议能否在真正的因特网上得到推广,还有待观察。

2. 用户的需求是网络发展的主动力。受现有网络环境的限制,例如路由器不支持多点广播或连接带宽不足,IP 多点广播还无法充分满足用户的要求。这就限制了用户的参与,间接地影响了技术的发展。

IP 多点广播技术扩展了网络应用的范围,减少了网络拥塞,降低了服务器的负载。它所拥有的技术和商业潜力引起了学术界和企业界的极大关注。虽然许多标准尚不完善,但研究工作一直在进行。可以相信,IP 多点广播技术的前景是光明的。■