

基于移动 IP 的移动组播技术研究

张 斌 张汝云 邬江兴

(国家数字交换系统工程技术研究中心 郑州450002)

Research of Mobile Multicast Based on Mobile IP

ZHANG Bin ZHANG Ru-Yun WU Jiang-Xing

(National Digital Switching System Engineering & Technological Research Center, Zhengzhou 450002, China)

Abstract This paper discusses the method of mobile multicast based on mobile IP protocol proposed by IETF. At first, the paper analyzes the methods of Remote subscription and Home subscription, points out the latent problem in mobile ip protocol, and gives the methods of mobile multicast and multicast agent to solve mobile multicast problem, then compares delivery cost of multicast and delivery delay of multicast packets as well as disruption of multicast service due to mobility in four kinds of methods of mobile multicast.

Keywords Mobile IP, IP multicast, Mobile multicast, Multicast agent

1 引言

IETF 在 RFC2002 中提出了支持主机移动的移动 IP 协议标准,提供了一种可以使移动节点以一个永久的 IP 地址连接到任何网络上的 IP 路由机制^[1]。它是一种在因特网上提供移动功能的方案,具有可扩展性、可靠性和安全性,并使节点在切换链路时仍可保持正在进行的通信。在移动 IP 中有三个功能实体:移动主机 MH、家乡代理 HA 和外地代理 FA。每个 MH 在家乡网络被分配一个长期的 IP 地址称为家乡地址,当离开家乡网络移动到外部网络上时, MH 就获得一个标识其当前位置的转交地址 CoA, CoA 要么是 MH 向其注册的外部代理的 IP 地址,要么是 MH 在外部网络获得的临时 Co-located IP 地址。MH 的家乡代理在 MH 的家乡地址和 CoA 之间维护一个移动绑定,当 MH 移动到另一个 IP 子网时要向其 HA 注册,更新其移动绑定。发往 MH 的所有 IP 报文都要按照标准的 IP 路由首先到达其 HA,然后通过隧道送往其 CoA。

目前,包括多媒体服务、软件分配和分布式交互模拟等的许多网络应用都要求用组播来向网络上的组接收者分发数据,IP 组播为因特网上的组播提供了一个流行的模型。每个组播组有一个组地址,组成员使用因特网组管理协议 IGMP 加入/离开组播组,目的地址为组地址的 IP 报文使用组播树向所有组成员传递,组发送者不需要知道组成员关系,当前的 IP 组播实现有两种方法:一种是源特定组播树,每个组发送者都建立一棵以其为根的组播树,例如 DVMRP、MOSPF 组播路由协议;另一种是组共享树,包括 CBT 和 PIM 组播路由协议(稀疏模式)^[2]。

移动 IP 和组播技术的发展自然提出了移动组播的要求,用户要求在移动中接受组播服务,然而移动对 IP 组播带来了新的问题和挑战。

2 移动组播面临的挑战

在 IP 网络为移动主机提供组播服务是一个挑战性的问

题,有以下三个原因:第一, IETF 的移动 IP 协议主要是集中讨论移动主机的单播传递,为了有效地支持组播传递必须添加附加机制;第二,向主机组模型添加移动支持要求组播路由算法不仅能处理动态组成员关系,还要能处理动态组成员位置;第三,目前的许多组播路由协议当建立组播传递树时,暗含假定使用静态主机。每次当组播源移动时重构组播树并不总是可行选项,然而保持组播树不变将会引起非有效的、不正确的甚至是失败的组播消息传递。根据目前的 IP 组播技术,当想接收组播报文的 MH 移动到一个没有组成员的网络上时,将经历一个附加的延迟。移动发送者可能不能在外部网络发送组播报文,若组播路由使用源特定树的方法,要发送报文的 MH 必须获得一个配置转交地址 CoA,建立以 CoA 为根的组播树,之后才能发送组播报文。频繁地修改组播树将会带来足够的路由开销,不能方便有效地改变组播树。以上这些问题以及无线链路的低带宽和高位传输错误率使得在移动环境中进行有效的 IP 组播是一项富有挑战性的课题。

3 移动组播的设计要求

支持移动组播路由机制应该满足以下设计目标:

- (1) 可放缩性:移动组播设计应该既支持规模小的组播组,又支持规模大的组播组,要适应移动主机数目的变化。
- (2) 强健性:主机从一个子网到另一个子网的移动对组播服务的损害必须最小。
- (3) 独立性:移动组播实现应该独立于不同的组播路由协议,与使用的组播路由协议无关。
- (4) 简单性:移动组播机制应该尽可能地简单,能够组合使用现有的因特网网络协议,支持 IETF 建议的移动 IP 协议,或者说尽量少做修改。
- (5) 有效性:充分利用各种处理资源和通信资源,提高系统性能。

4 IETF 移动组播建议及存在的问题

4.1 移动主机发送组播报文

张 斌 博士生,主要研究方向为计算机网络安全、组播路由协议。邬江兴 教授,博士生导师,主要研究方向为交换理论、通信网、计算机网络安全和高速路由器等。

RFC2002为移动主机发送组播报文提供了两种方法:一种是直接从外部网络发送组播报文,此种方法要求MH必须在外部网络获得配置转交地址作为组播报文的源IP地址,同时要求在外部网络存在一个组播路由器,此方法优点是路由最优,离组播路由器最近,缺点是对外部网络IP地址空间有要求,当MH移动到另一个子网时,导致不能接收到对刚发送报文的响应。另一种是使用永久IP地址即家乡地址作为源IP地址发送组播报文,MH必须使用隧道将报文送至HA,假定HA是一个组播路由器,之后由HA使用IP组播代替MH发送组播报文,这种方法的优点是家乡网络使用标准组播路由协议,不需要额外的地址空间,缺点是MH使用次优路由,对送往HA隧道报文的封装和解封装在HA和MH都有处理开销。

4.2 移动主机接收组播报文

在RFC2002移动IP协议中,说明了两种方法处理组播接收,即远程预定(Remote subscription)和家乡预定(Home subscription)^[1]。

远程预定 移动主机在外部网络加入组播组,假定外部网络存在组播路由器,这是获得组播服务的一种最简单的方法,不需要特殊的封装服务,只需要使用存在的组播路由协议,FA可充当组播路由器收集MH发出的IGMP消息,向MH转发组播数据报。这种方法的主要优点是优化组播路由,FA可和另外的组播路由器合作使用任何组播路由协议,提高传输效率。对于某些需要QoS服务的MH是首选选项,缺点是在移动主机访问的每一个外部网络都需要有组播路由器的存在,每次当MH移动时,都要加入同一个组播组,存在一个加入延迟,可能导致接收报文丢失,当组播组松散分布时,加入延迟和组播路由开销更大。

家乡预定 这是一种让HA处理组播路由的方式,HA必须是组播路由器,当MH离开家乡网络时,在MH和HA之间建立一条双向隧道,用于HA和MH之间的组播数据报的发送和接收。移动主机向它的HA通过隧道发送IGMP消息,HA通过反方向隧道向MH传递组播报文。如果MH使用配置转交地址,HA将通过隧道将组播报文直接送往这个地址,否则将把组播报文首先封装在目的地址为MH家乡地址的单播报文中,然后再通过隧道将封装过的报文传递给MH的转交地址,即嵌套隧道。这种方法的优点是现有网络的互操作性好,组播对MH使用的FA完全透明,MH和HA处于相同的管理控制状态,便于管理。缺点是破坏了组播的链路共享特性,使用了次优路由,不能有效地利用所在外部网络的本地组播功能,对于分属于同一个组播组的多个MH移动到同一个外部网络的情况,会出现隧道聚合问题^[2,3],这是IETF移动IP建议在使用双向隧道组播时的一个潜在问题,如图1所示。重复的组播报文并不会违反IP组播服务,但它们构成了不必要的网络负载,增加了网络拥挤的可能性。

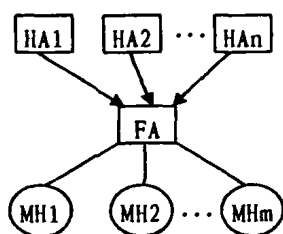


图1 隧道聚合问题原理图

5 移动组播协议 MoM

由于HA不需要为它所服务的每一个MH都转发一个组播报文拷贝,只需要为MH组成员所在的外部网络发送一个拷贝,然后让FA利用链路级组播向本地所有组成员传递组播报文,这就是Tim. G. Harrison等建议的移动组播协议MoM^[4]不同于IETF双向隧道组播方法的关键思想。采用双向隧道方法要求向每一个MH通过单播方式都传递一个组播报文。当在同一个外部网络有多个组成员时,MoM协议可以明显地提高传输性能。

在MoM协议中,MH发送的组播报文被直接通过隧道送往组播家乡代理MHA,外部网络上的所有组播接收者通过组播树接收组播报文。对于MH接收组播报文的情况,分为如下四步:

(1)服务请求:希望接收组播报文的MH通知FA它想加入一个特定的组播组。一般地,一个主机通过发送响应组播路由成员查询的IGMP成员报告加入组播组,因此,修改MH上的IGMP软件来确定MH是否在它的家乡网络上。如果MH不在其家乡网络上,成员报告被直接送往FA。

(2)服务处理:如果FA支持组播服务,它将预定请求传递给MHA。如果MH是在FA所在网络上向组地址G请求服务的第一个移动主机,FA就通知MHA让其作为组G的指定组播服务提供者DMSP。MHA加入组播树,接收发往组G的所有报文,代表MH收发报文。只有作为DMSP的MHA通过移动IP隧道向外部网络转发组播报文,不是DMSP的HA使用消极缓冲阻止组播报文的传递,因此提供了组播报文的最多一次传递,符合IP组播的语义。

(3)服务执行:DMSP通过移动IP隧道转发接收的相应组G的报文来为移动主机提供组播服务。当MH从一个网络移动到另一个网络上时,要通知以前的FA,MH到达新网络后要通过新的FA向MHA重新注册MH当前位置,MHA将MH新的位置信息转发到以前的FA,以前的FA可能建立绑定代理信息,或简单地更新MH访问表。在RFC2002中说明了FA通过超时信息,即在一定的时间间隔内未接收到MH的重新注册信息来判断MH已离开了本网络。如果MH或HA不将MH的位置变化通知FA,FA只能靠超时机制来判断MH已离开。这种机制暗示如果在外部网络只有一个以DMSP为HA的属于组G的MH,当MH移动到另外一个网络,并通过另一个FA向MH发送注册请求后,通往老的FA的隧道将被DMSP放弃,这就使得在以前外部网络的属于同一个组G的其它组成员在短期内没有DMSP为其提供服务。为了阻止此种情况下的报文丢失,可采用冗余DMSP的方法。

(4)服务转接:若FA不能继续充当FA的DMSP,一定要通知此FA。若在外部的MH是组播组的第一个组成员,则相应的MHA就是DMSP,在这个DMSP建立过程中,MHA要向FA发送一个保证回叫,DMSP保持其工作状态,直到本组最后一个以DMSP为HA的MH移动到其它网络。此时,老的DMSP要通过一个中断回叫通知MH原来所在网络的FA它不再为组G提供组播服务,若外部网络仍然有属于组G的组成员,这个事件将触发为组G选择新的DMSP。这个回叫机制最小化了对MH的服务中断影响,因为下一个DMSP将允许转发报文到指定隧道。

6 组播代理方法 MA

Yu Wang 等人提出了试图组合远程预定、双向隧道和链路级组播特性的组播代理方法^[5]。组播代理就是为多个在外部网络上的移动组成员提供组播服务的组播路由器。MA 在其服务区内维护一张有移动组成员的组播组表,对每一个组播组维护一张有移动成员的外部代理表。MA 代表其服务区内的 MH 加入组播组,接收到对一个组的组播报文后,MA 通过隧道将报文发往属于此组的有 MH 的所有 FA,由于不同 MA 的服务区是不相关的,因此避免了隧道聚合问题。FA 负责收集正在访问的 MH 的组播组信息,并将任何变化通知 MA。FA 接收到来自 MA 的发往一个组的组播报文后,使用链路级组播向组中所有组成员传递组播报文。

6.1 组播代理方法中的组管理方法

当 MH 移动到一个新的外部网络,它必须向 FA 告知它的组成员关系。如果外部网络本地支持广播/组播,可使用标准的 IGMP 消息。FA 维护一张在其网络内有组成员的组播组表,FA 向所有主机周期性发送 IGMP 成员查询消息,每个组的 MH 向组播组地址发送 IGMP 成员报告作为响应。否则,MH 直接向 FA 的 IP 地址发送 IGMP 成员报告。FA 不仅要维护一张组播组表,而且要维护一张属于每一个组的正在访问的 MH 表。在成员关系变化时,例如 MH 的注册时间超期时,FA 要从表中删除 MH。当 FA 检测到组播组表中的 MH 的变化,它要将变化信息通知 MA,指示它想要加入/离开组播组。

6.2 组播服务转接

当 MH 从一个 IP 子网移动到另一个 IP 子网,它立即向所属的每一个组传输 IGMP 成员报告,不需要等候来自 FA 的成员查询。有三种可能性:

(1)新的外部网络已经有同属一个组播组的组成员,新的 FA 正在从 MA 接收同一组播组的组播报文,MH 能不间断地接收组播报文。

(2)MH 是新的 FA 所在网络的第一个组成员,MA 已经加入了同一组播组且正在接收报文,MH 要通知 FA 它的组成员关系,接着 FA 通知 MA,以便 MA 隧道组播报文到此 FA。

(3)MH 是所在 MA 服务区内的已加入组的第一个组成员,将组成员信息从 MH 传到 FA,再从 FA 传到 MA,然后 MA 通过组播路由协议加入 MH 所要求的组。

7 四种方法的性能比较

7.1 组播报文传递代价

传递组播报文的代价可通过组播报文从源到所有组成员进行传递所经过的链路总数来测量。这包括组播树中的链路数、隧道中所经过的链路数以及外部代理和 MH 之间的链路数(假定为1)。远程预定方法有最小的传递代价,因为它最大限度地利用了组播树的链路共享特性,每个 MH 通过 FA 直接连向组播骨干网。组播代理方法由于 MH 位于 MA 附近有次优的传递代价,仅次于远程预定方法。家乡预定方法的传递代价最大,随着组大小的增大,传递代价有近似线性增长关系。这是因为此方法对每个 MH 使用不同的隧道。MoM 方法的传递代价比家乡预定方法要小,这是因为对每个组使用了 DMSP,并且在每个外部网络使用了本地组播。MoM 方法比远程预定方法和 MA 方法的代价也要大,这主要是由于从

HA 到当前 MH 位置的长距离隧道。

7.2 组播报文传递延迟

根据以上分析,很明显家乡预定方法和 MoM 方法的传递延迟最大,远程预定方法的延迟最小,而 MA 方法介于它们之间。

7.3 主机移动对组播服务带来的影响

当一个移动组成员从一个子网移动到另一个子网时,可能造成组播服务的暂时中断,这是因为移动组成员移动时丧失了和以前 FA 的联系。由于代理发现时间(从和老的 FA 失去联系到和新的 FA 建立联系之间的时间)对不同的移动组播方法都一样,因此在比较时不予以考虑。对于移动 IP 建议的家乡预定方法,对组播服务的暂时中断时间 T 可计算为来自 MH 的注册消息所经过的路径长度。对于远程预定方法,组成员 MH 移动时会有两种可能情况:一种是 MH 不是新 IP 子网的第一个组成员,MH 能立即接收组播报文;另一种是 MH 是第一个组成员,此时 T 可计算为要添加到组播树的分支的长度加上 MH 到 FA 路径的长度。对于 MoM 方法,有类似远程预定方法的两种情况,对于另一种情况,T 计算为从 MH 的注册信息到达 HA 所经过的路径长度。由于使用了 DMSP,离开子网的 MH 可能会影响到保留在老 IP 子网的其它组成员的组播服务。对每个剩余组成员的 T 可计算为从老的 FA 到新选择的 DMSP 所经过的路径的长度。对于组播代理的方法,当 MH 移动到新的 IP 子网时,有 6.2 节中所述的三种情况:第一种情况不影响组播服务;第二种情况 T 为从新 FA 到 MA 所经过路径长度加上 MH 到新 FA 的路径长度;第三种情况 T 为第二种情况下的 T 加上组播代理加入新组所建分支的长度。

家乡预定和 MoM 方法有较大的 T,这主要是由于 HA 一般远离 MH 的当前位置,MoM 的 T 随着组密度的增加而减小,组密度越高,改变 DMSP 的概率越小。远程预定和 MA 方法有较小的 T,这是因为这两种方法的 MH 更靠近组播骨干网。当组播组的密度较小时,MA 方法的 T 比远程预定方法的 T 要小。随着组密度的增大,当远程预定方法 JOIN 消息的平均长度小于 MA 方法的服务区域,远程预定方法相比 MA 方法有更小的 T。当组密度增大到在 MH 移动到新的 IP 子网找到其它同组成员的概率接近 1 时,两种方法 T 的区别就无关紧要了。

结论 IETF 在 RFC2002 中提出了支持移动组播的家乡预定方法和远程预定方法,表示了移动主机参加组播的两种极端路由情况。在家乡预定方法中,不需要修改组播树,HA 使用单播隧道向所有离开家乡的 MH 发送组播报文,这引起了次优路由问题,破坏了组播路由的链路共享特性。当移动主机远离家乡网络时,延迟了 MH 接受组播服务的时间。对于远程预定方法,有最好的路由效率和链路共享,但是当 MH 移动时,需要频繁地修改组播树,带来大的系统开销。

MoM 方法通过选择 DMSP 隧道组播报文到一个 FA,尝试减少家乡预定方法中的重复隧道,但它仍然有家乡预定方法的缺点,即次优路由和长距离隧道。另外,DMSP 转接可能影响老 FA 所在网络的剩余组成员。MA 方法避免了组播报文的长距离隧道,尽可能地利用 IP 组播的链路共享,组播代理和 MH 的接近性也减少了主机移动时对组播服务的暂时中断影响,同时避免了频繁修改组播树,在组播报文传递代价和延迟方面也有较好的性能,相对来讲 MA 方法在移动组播

(下转第 54 页)

格上以不同的概率随机确定有效节点。不同概率决定了方格图上黑色方块的疏密程度,也就是各条虚电路之间耦合的紧密程度。对每种密度产生五个拓扑进行试验,发现采用 GCA 的方法可以提高连接数量,同时比采用 CNN 的方法有更快的收敛速度。

表1 优化值与平均值的比

(1:实验组数 2:优化值/平均值 3:有效方格的密度)

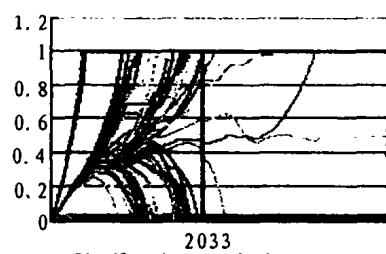
2 \ 3	1	第一组	第二组	第三组	第四组	第五组	平均
1/3		1.28	1.10	1.20	1.25	1.23	1.212
1/5		1.21	1.18	1.12	1.20	1.09	1.160
1/7		1.12	1.07	1.11	1.15	1.16	1.122

图5是有效方格密度为1/5的五组实验结果。我们随机对80条虚电路进行排列,然后依次分配带宽,直到所有带宽分配完,这样就得到随机分配的虚电路数量。对于每组实验我们得到十个随机分配的值,在图中用点表示。用 GCA 优化的得到的值用粗实线指示。可以从图中明显地看出优化效果,即随机分配方案分配的虚电路数量一般比 GCA 分配的虚电路数量少。图中粗虚线是随机分配数量的平均值,比优化的粗实线的

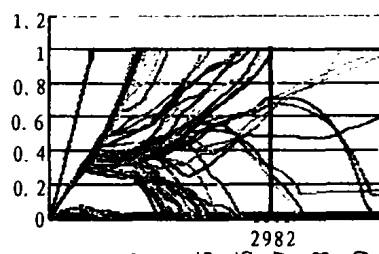
值要少。优化值(粗实线所示值)与平均值(粗虚线所示值)的比值在图中已标示。当有效方格密度为1/3和1/7的时候,也有类似结果,见表1。

从表中我们可以看出,采用 GCA 的优化方法可以让虚电路的连接数量尽量多。随着有效方格密度提高,优化值与平均值的比值也有少许提高,即优化效果更明显了。

上述的实验结果说明了 GCA 的优化效果。我们用 CNN 在同样的网络模型下做同样的实验,发现最终的优化效果基本一致,也就是采纳的虚电路数一样多。但从时间上来看,采用 GCA 的方法可使大部分的虚电路更快地到达带宽要求。我们以最终所有到达带宽要求的90%的虚电路到达时间为参考,比较两种方法的时间差异。图6说明了该差异。图6(a)(b)均是在同样的80*80的方格结构下得到的。有效方格密度为1/5。纵坐标表示当前某虚电路分到的带宽占最小带宽要求的比例,该值到达1就表示该虚电路的要求得到满足。横坐标是模拟的迭代次数,可以看成时间轴。垂直于横坐标的实线所指示的时间是大部分(90%)最终得到满足曲线到达1的时间。从图中可以明显看出,采用 GCA 的曲线更快地到达1。垂直实线的横坐标分别为2033和2982,比值为1.47。在另外四组实验中(有效方格密度为1/5)。该时间比值为:1.35,1.23,1.25,1.18。



(a): 采用 GCA 并归一化后的竞争曲线



(b): 采用 CNN 并归一化后的竞争曲线

图6 80*80规模下的两种方法比较

本文将网络模型映射到 GCA 的底层方格结构,并根据具体问题定义了 GCA 的宏细胞及其动态方程。实验证明采用 GCA 模型的带宽分配方案可以在复杂的网络环境中,达到全局优化的效果,并且其收敛时间优于普通单层的 CNN 方案。GCA 的各个节点不需要知道全部的拓扑结构,只需与邻域交换信息。GCA 不同粒度的层次关系容易与实际网络的不同级别的主体相互映射,同时可以根据不同的全局优化目标确定各层的方程,因此有着广泛的应用及研究前景。

参考文献

- 1 罗万明,林闯,阎保平. TCP/IP 拥塞控制研究. 计算机学报,2001,24(1):1~18
- 2 袁坚,任勇,山秀明. 一种计算机网络的元胞自动机模型及分析. 物理学报,2000,20(1):398~402

- 3 William S. High-speed networks TCP/IP and ATM design principles. Prentice hall,1998
- 4 陈金山,韦岗. 一种新的基于 CNN 调度信元的输入缓冲 ATM 交换结构. 通信学报,2000,21(4):71~74
- 5 Low S H, Lapsley D E. Optimization Flow Control—I: Basic Algorithm and Convergence. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1999,7(6):861~874
- 6 Bandini S, Mauri G. Multilayered Cellular Automata. Theoretical Computer Science,1999,217
- 7 Chua L O, Yang L. Cellular neural networks: theory. IEEE Trans. on Circuits and Systems. 1988, 35(10): 1257~1272
- 8 Chua L O, Roska T. The CNN paradigm. IEEE Trans. on Circuits and Systems,1993, 40(3): 147~156
- 9 李生红,刘泽民,周正. ATM 网上基于蚂蚁算法的 VC?路由选择方法. 通信学报,2000,21(1):23~28
- 10 Benjaafar, Saifallah, et al. Cellular Automata for Traffic Flow Modeling. Univ. of Minnesota, Minneapolis, 1997

(上接第40页)

中更有优势。

参考文献

- 1 Perkins C. IP Mobility Support. RFC2002, IBM, Oct. 1996
- 2 Chikarmane V, Bunt R, Williamson C. Mobile IP-based Multicast as a Service for Mobile Hosts. In: Proc. of the Second Intl. Workshop on Services in Distributed and Networked Envi-

ronments, Whistler, BC, Canada, June 1995. 11~18

- 3 Xylomenos G, Polyzos G. IP Multicast for Mobile Hosts. IEEE Communications, Jan. 1997. 54~58
- 4 Harrison T, Williamson C, Mackrell W, Bunt R. Mobile multicast (MoM) protocol: Multicast support for mobile hosts. In: ACM Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking (Mobicom). Sep. 1997
- 5 Wang Yu, Weidong Chen, Supporting IP Multicast for Mobile Hosts. <http://citeseer.nj.nec.com/wang99supporting.html>