

一种基于层次结构的移动组播算法*

孙利民⁺, 廖勇, 郑健平, 吴志美

(中国科学院 软件研究所, 北京 100080)

A Mobile Multicast Algorithm Based on Hierarchical Architecture

SUN Li-Min⁺, LIAO Yong, ZHENG Jian-Ping, WU Zhi-Mei

(Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

+Corresponding author: Phn: 86-10-62567838, Fax: 86-10-62645410, E-mail: slm@iscas.ac.cn

<http://www.iscas.ac.cn>

Received 2002-09-06; Accepted 2002-11-20

Sun LM, Liao Y, Zheng JP, Wu ZM. A mobile multicast algorithm based on hierarchical architecture. *Journal of Software*, 2003,14(9):1608~1614.

<http://www.jos.org.cn/1000-9825/14/1608.htm>

Abstract: Mobile IPv6 offers two methods of multicast services for mobile host called remote subscription and home subscription, which have complementary advantages and shortcomings. An efficient mobile multicast protocol provided in this paper integrates remote subscription and home subscription. It uses a hierarchical route architecture, which reduces the frequency of rebuilding multicast tree because of hosts' mobility. The results of analysis and simulation are also given.

Key words: mobile multicast; remote subscription; home subscription; hierarchical route architecture

摘要: 移动 IPv6 协议给出了支持主机移动的远程签署和家乡签署两种组播方法,它们具有互补的优缺点.提出的移动组播算法综合了这两种基本方法,同时采用区域的层次型结构的路由思想,减少因主机移动而重构组播树的频率,并对模拟结果进行了分析和比较.

关键词: 移动组播;远程签署;家乡签署;层次路由结构

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

移动计算使得移动用户在任何地点和时间都能连接到 Internet 上,允许移动主机移动到 Internet 的任何区域都能保持与其他节点的通信.移动 IP 作为支持移动主机 MH(mobile host)无缝接入 Internet 的 IP 协议扩展,IETF 基于 IPv4 协议已经提出 RFC2002^[1]-2006,RFC3220^[2]等支持移动 IP 的标准,并在下一代互联网协议 IPv6 基础上,提出了相关移动 IPv6 的 RFC 草案^[3],移动 IP 已成为 IPv6 协议的不可缺少的组成部分.

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60272078 (国家自然科学基金); the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2001AA112051 (国家高技术研究发展计划(863)); the Fundamental Research of Institute of Software of the Chinese Academy of Sciences under Grant No.CXK15348 (中国科学院软件研究所基础研究课题)

第一作者简介: 孙利民(1966—),男,河南淮阳人,博士,研究员,主要研究领域为无线移动网络,宽带接入网.

互联网许多新兴的多媒体应用,如远程学习、IP 电视、视频会议等都需要网络支持组播通信,组播通信能够高效地使用网络带宽.支持移动主机的组播通信不仅要处理组播中动态的组成员关系,而且要处理移动主机位置的动态改变.主机位置的动态变化引起组播数据传输路径的改变,从而会引起组播树的重构,影响组播通信的服务质量,带来组播协议开销的增加.当前 Internet 上提出的 DVMRP, MOSPF, CBT 和 PIM 等组播协议,它们在构建组播树时都假设主机是固定的,这些组播协议不适合主机移动的环境.

IETF 移动 IP 工作组在移动 IPv6 中提出了远程签署 RS(remote subscription)和家乡签署 HS(home subscription)两种支持主机移动的基本组播方法.在远程签署中,移动主机进入外地子网时,通过外地子网上的组播路由器申请加入组播组,直接从外地子网接收组播数据包,它的组播路径是优化的,但会带来频繁的组播树重构,在外地子网上从开始申请加入组播组到收到组播数据的加入延迟较大,还需要外地子网存在组播路由器.在家乡签署中,当移动主机移动到外地子网时,与家乡代理 HA(home Agent)之间建立双向隧道,家乡代理代替移动主机加入组播组,移动主机通过隧道经家乡代理收发组播数据.其组播树无须因移动主机位置的改变而重构,但长隧道带来大的传输延迟,家乡代理负担加重而可能成为通信的瓶颈.

我们提出了一种新的基于层次结构的 IPv6 环境下的移动组播算法.本文第 1 节综述已有的支持移动主机的组播算法.第 2 节详细描述提出的移动组播算法.第 3 节对性能模拟结果进行了分析和比较.第 4 节总结全文.

1 已有的移动组播算法

在 IPv4 协议对移动支持的 RFC2002/3220 以及移动 IPv6 的 RFC 草案中都提到了支持组播的方法,用两段文字简单说明了远程签署和家乡签署的思想.在家乡签署中,当属于同一组播组但不属于同一家乡代理的移动主机移动到同一外地代理 FA(foreign Agent)时,会建立终点都是 FA 的多个隧道,FA 将多次收到同一个组播包,这就是隧道聚合(tunnel convergence)问题.移动组播协议 MoM^[4](mobile multicast protocol)在家乡签署基础上,选择一个家乡代理作为指定组播服务提供者 DMSP(designated multicast service provider),只有 DMSP 转发组播包给 FA,解决了隧道聚合问题,同时 FA 使用链路级组播传递组播包来提高网络利用率,但引入了 DMSP 切换问题.

基于范围的移动组播 RBMoM^[5](range-based mobile multicast)算法引入了组播家乡代理 MHA(multicast home Agent)和服务范围的概念.MHA 是一个组播路由器,代表移动主机加入组播树,通过隧道将组播包转发给 FA.MHA 仅对在其服务范围内的移动主机提供服务,其服务范围 R 一般用 MHA 到 FA 的跳数来表示,当 $R=\infty$ 时, RBMoM 等同于家乡签署,移动主机的家乡代理就是它的 MHA;当 $R=0$ 时, RBMoM 等同于远程签署,移动主机的 FA 就是它的 MHA.因此, RBMoM 是家乡签署和远程签署的一般化描述. RBMoM 通过限制组播家乡代理的服务范围来控制重构组播树的频率,在最短传输路径和重构组播树带来的开销之间达到折衷,但它要求 FA 支持组播,因此同样也存在 DMSP 切换问题.

在组播代理 MA^[6](multicast Agent)算法中,组播代理是一个组播路由器,作为移动主机通过 FA 到组播骨干网的接入点,其服务区域覆盖多个外地子网,代表服务范围内的移动成员加入组播组.组播代理算法使用移动主机-FA-MA 三级层次结构,减少了频繁的组播树重构;通过限制组播代理服务范围,移动主机可以保持相对靠近组播骨干网的接入点;不同组播代理服务区域互不重叠,避免了隧道聚合问题.但是在需要重构组播树时,其组播服务中断的时间较长.

移动组播代理^[7](mobile multicast Agent)协议定义了组播代理 MA 和组播转发者 MF(multicast forwarder)这两个概念.MA 为移动主机提供组播服务,每个 MA 的每个组在给定时刻对应惟一的 MF, MF 向 MA 转发组播数据.如果移动主机访问网络的 MA 已经加入了组播树,这个 MA 的 MF 就是它自己;如果还没有,那么就由 MA 在附近几个网络的 MA 中选择一个已经加入组播组的 MA 作为自己的 MF.由于 MF 就近选择, MF 到 MA 的隧道较短,组播服务的中断时间也比较短.但是,它的组播路径不够优化,如果每个 MA 都加入组播树,会引起组播树的频繁重构.

前面介绍的移动组播算法都基于 IPv4 协议,涉及到外地代理的概念,而 IPv6 中已经没有外地代理,因此这些协议不适用于 IPv6.文献[8]讨论了移动 IPv6 与 PIM-DM 的互操作,分析了在 PIM-DM(protocol independent

multicast-dense mode)组播路由情况下,通过外地子网直接发送或/和接收组播数据,以及通过隧道发送或/和接收组播数据的 4 种组合方式的性能.Jelger^[9]基于 IPv6 提出了 FHSR(first home-Agent second remote-subscription)算法,当移动主机到达外地子网时,首先通过与家乡代理建立隧道接收组播数据,同时在本地申请加入组播组;在加入到组播组并接收到组播数据后,家乡代理停止转发组播数据给移动主机.这种方法要求家乡代理在移动主机离开家乡网络时代替移动主机保持接收组播数据,并根据移动主机的信令转发/停止转发组播数据给移动主机.

2 基于区域的层次型的移动组播算法

2.1 家乡签署和远程签署的结合

在 Jelger 提出的 FHSR 算法中,当移动主机远离家乡网络时,家乡代理和移动主机之间的隧道可能很长,会导致组播服务中断的时间也很长;在移动主机通过外地子网接收组播数据分组时,家乡代理仍然一直接收组播数据分组,这样会带来额外的网络带宽浪费;家乡代理在给所有移动主机提供单播通信服务的同时,又通过隧道提供给它们组播通信服务,容易造成网络负载的不平衡,家乡代理容易成为整个系统的瓶颈.

在我们提出的算法中,除了从家乡网络移动到第 1 个外地子网之外,移动主机每次到达新的外地子网时,不是与家乡网络建立传送组播流的隧道,而是与前一个外地子网间建立隧道,这就无须要求家乡代理是组成员.由于主机移动轨迹的连续性,前一个外地子网和新的外地子网是相邻的两个子网,它们之间的距离较短,因此通过隧道的传输延迟相对家乡网络而言有所减少.同时,采用区域的层次型的结构,每个区域只有一个组播接入点-组播区域代理 MRA(multicast region Agent),子网内只有一个组播服务提供者-组播子网代理 MSA(multicast subnet Agent).MSA 只为子网组内第 1 个组成员建立到该移动主机前一个子网的隧道,同时申请通过 MRA 接收组播数据,后来的移动主机就可以直接从 MSA 接收组播分组.MRA 在加入组播组并转发收到的组播数据给 MSA 之后,MSA 就撤销建立的隧道.我们的算法克服了上述 FHSR 算法的缺点,图 1 是移动主机的组播数据流的路由图示.

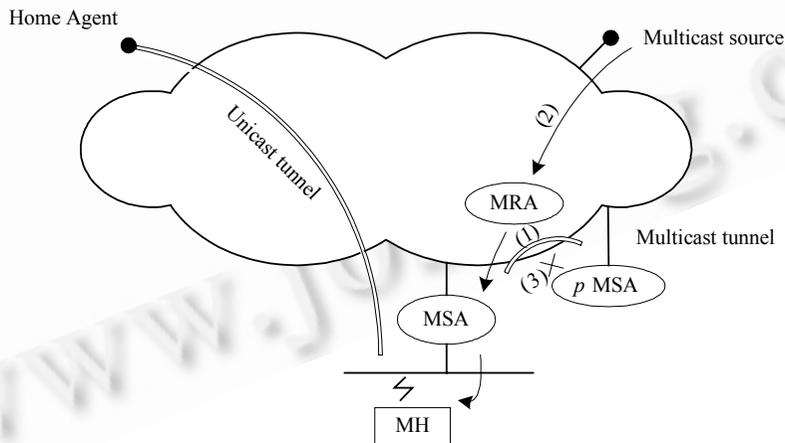


Fig.1 Multicast data delivery path for mobile hosts

图 1 移动主机的组播数据流的路由示意图

2.2 区域的层次型结构

有线 IP 网络上的组播模型使用两级结构向固定主机提供组播服务.在局域网级,主机必须连接到本地网的组播路由器,通过组播侦听发现 MLD(multicast listener discovery)协议与本地组播路由器交互组成员信息,组播路由器使用组播方式转发组播数据到本地的所有组成员,同时发送来自本地组播源的所有组播数据到互联网上的其他组成员.在互联网级,组播路由器通过组播路由协议交换组信息,通过建立组播树传输组播数据.局域网

网的组播路由器是本地主机到组播骨干网的接入点。

在移动 IP 网络中,我们扩展固定 IP 网的两级结构来支持移动组播服务。每个子网内的组播子网代理 MSA 负责子网内的组播服务,它可能是接入路由器或另外一台服务器。MSA 可以是组播路由器或不是,这比较符合实际的网络情况。每个区域包含多个子网,区域内的组播区域代理 MRA 是参与互联网组播路由的组播路由器,为整个区域内的移动主机提供组播服务,是移动主机到组播骨干网的访问接入点。

当移动主机在新的外地子网获得新的转交地址,并向家乡代理注册的同时,它立刻向新的 MSA 发送 MLD 组成员报告消息,以及前一个外地子网的 MSA,即 pMSA(previous MSA)的 IP 地址等。如果外地子网中已经有主机加入了该组,则本地 MSA 无须与移动主机的 pMSA 之间建立隧道,也无须向 MRA 发送组成员报告消息;如果移动主机是子网内第 1 个该组成员,本地 MSA 需要与移动主机的 pMSA 之间建立隧道来传输组播数据,同时向 MRA 发送组成员报告消息。如果 MRA 已经在该组的组播树上,则只需记录相关的 MSA 信息;如果 MRA 没有加入该组播组,则还需要申请加入该组播组。当 MSA 收到 MRA 发送来的组播数据时,撤销与 pMSA 之间建立的隧道。

这种支持移动主机组播的方法有以下显著的优点:(1) 外地子网通过到邻近子网的隧道接收组播数据包,减少组播服务的中断时间,使网络负载趋向于平衡;(2) 减少因主机移动产生的组播树重构。由于引入了区域的概念,MRA 为多个子网内的主机提供组播服务,当移动主机进入一个区域内,最多引起组播树的一次重构,在区域内的多个子网间移动都不会引起组播树重构。(3) 每个区域中只有一个 MRA,避免了类似 MoM 协议中的隧道聚合问题。(4) 通过限制 MRA 和 MSA 之间的距离,组播数据的传输路径接近于优化路径。

2.3 组成员管理

当移动主机进入新的外地子网时,它不仅向家乡代理注册新的转交地址,还要向外地子网的 MSA 发送组成员报告消息。

如果 MSA 支持组播,它通过 MLD 协议记录本子网内所有组成员的组播组,通过周期性发送组查询信息来维护组列表。移动主机在进入外地子网时发送 MLD 组报告消息,并响应 MSA 的查询消息,但当离开该外地子网时无法发送离开消息,可能会造成网络带宽浪费。如果其他 MSA 需要通过本 MSA 接收组播数据,它们之间建立隧道就表示相应的组成员存在,通过隧道转发查询和组报告消息;当 MSA 之间的隧道拆除时,对于前一个网络的 MSA 而言,表明有移动主机离开相应的组。当 MSA 接收到组播数据时,通过本地组播方式转发给所有组成员,根据需要通过隧道转发给其他 MSA。

如果 MSA 不支持组播,它需要实现 MLD 代理功能,记录子网内的组播组列表和每个组内的移动主机列表,通过周期性地分别向每个移动主机发送组查询消息来更新记录的信息。当 MSA 接收到组播数据包时,逐个转发给本地的所有组成员,或通过隧道转发给其他 MSA。

当 MSA 通过 MLD 组成员报告消息知道组列表有变化时,它通告给 MRA,表明它希望加入/退出某个组。MRA 维持区域内组列表以及每个组包含的 MSA 列表。当接收到组播数据后,它转发送给组内每个 MSA。

2.4 数据结构

在提出的区域性层次结构中,我们考虑 MSA 不支持组播,MSA 和 MRA 之间采用隧道通信方式的情况,需要维持的数据结构如图 2 所示。在 MSA 组列表中,隧道末端 MSA 列表包含由本 MSA 转发组播数据的隧道末端的 MSA,隧道源端 MSA 是转发组播数据的隧道源端 MSA,组成员列表包含在该子网内的组成员。

移动主机对所属的每个组记录有 pMSA,在进入新的外地子网获得转交地址后,向外地子网 MSA 报告组成员消息和 pMSA,然后将其 pMSA 改为新的外地子网 MSA。MSA 的操作受事件驱动,事件包括收到 MLD 组报告消息和查询消息、收到从 MRA 来的组播数据包、收到从隧道来的组播数据包、组定时器溢出、收到建立隧道信息和拆除隧道信息等。MRA 记录每个组的 MSA 列表,在组查询定时器超时,通过隧道向组内每个 MSA 发送查询消息;将收到的组播数据通过隧道发送给组内每个 MSA。由于篇幅有限,这里不再介绍详细过程。

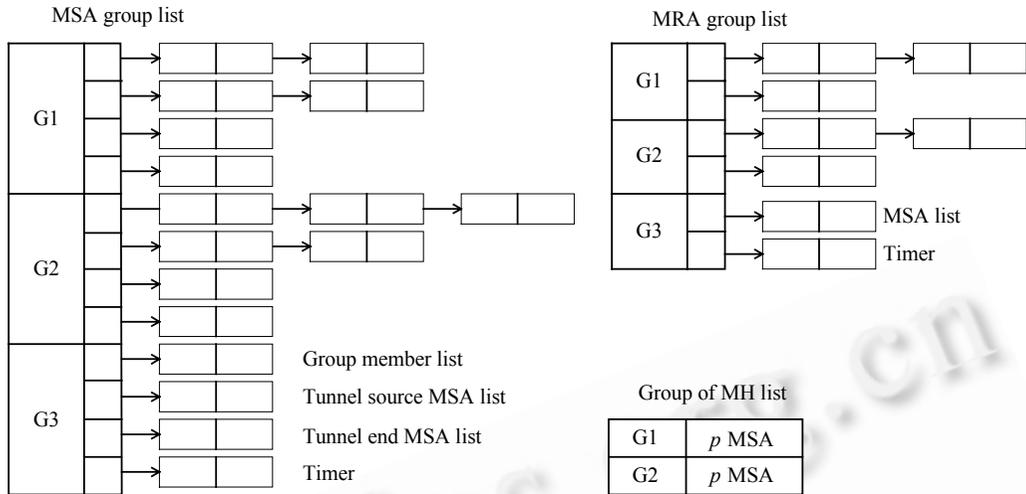


Fig.2 Data structures for mobile multicast

图2 移动组播中的数据结构

3 性能分析

3.1 模拟模型

使用一个 12×12 的网格模型,每个交叉点表示一个 LAN,包含一个固定的 HA 和 MSA,MSA 在链路级没有组播能力;MRA 的服务范围是 $N \times N$ (不特殊说明时 $N=2$),位于管理子网中间,与 MSA 通过隧道连接.模拟一个所有组成员都是移动的组播组,固定组播源位于网络的中心;组播树构造使用源根树方法;初始时组成员个数是随机的,组成员的分布也是随机的,在仿真过程中,组成员的关系保持不变;组播源以恒定速率发送组播包.移动主机向各个方向移动的概率相等.在 C 语言的模拟实现中,组的大小为 30~300,组密度为 0.21~2.08.时间是 5 千时间单位.

3.2 模拟结果分析

为叙述方便,称我们的算法为 FMSR(first MSA second remote-subscription),并与家乡签署、远程签署、FHSR 算法进行性能比较.

(1) 组播树的重构频率:组播树重构会增加网络协议的开销,家乡签署没有组播树的重构,图 3 给出了其他算法每次主机移动带来的组播树重构的概率,FMSR 的重构率最小,FHSR 稍小于 RS 的原因是 FHSR 中家乡代理组播分枝始终不变,而 RS 在家乡的组播分枝在移动主机移进/出家乡网络时会加以改变.

(2) 组播服务中断时间:是从移动主机在前一个子网终止接收组播数据到在新的子网重新接收到组播数据之间的时间.它通常用加入延迟来表示,即从移动主机到达新的子网开始,一直到通过该子网接收到组播数据,其中包括从移动到新的子网到获得转交地址的时间 t_1 ,以及从获得转交地址到接收到组播数据的时间 t_2 .由于 t_1 对所有的组播算法都是相同的,在性能分析时,只需考虑 t_2 .从图 4 可以看到,FMSR 的加入延迟最小,FHSR 在 FMSR 和 RS 之间,HS 因为长的隧道而最大.

(3) 传输延迟:组播数据从组播源到每个组成员的传输延迟,包括在组播树上的延迟和经过隧道的延迟,通常考虑平均延迟和最大延迟.图 5 和图 6 显示出 SR 的平均传输延迟最短,FMSR 传输延迟稍大的原因是,MRA 和 MSA 之间通过隧道传送组播数据,当移动主机距离 MRA 很近的情况下,仍然需要通过 MRA-MSA-移动主机的路径.FMSR 和 RS 的最大传输延迟最小,FHSR 和 HS 的最大传输延迟基本相同.

(4) 传输开销:是组播包到所有组成员所经过的链路个数之和,包括在组播树上和经过隧道的传输开销.由于需要经过 HA 到移动主机间较长的隧道,HS 的传输开销最大.为了 Y 坐标轴的取值范围足够小,以显示其他算

法的区别,图7没有给出HS的传输开销.从图中可以看出,RS的传输开销最小,FHSR在组成员个数少的情况下,因到家乡代理浪费带宽而开销稍大,当组成员个数多时就不存在浪费.FMSR传输开销稍大的主要原因是MSA不支持组播以及MSA与之间通过隧道通信.

(5) MRA管理区域对组播性能的影响:当MRA管理区域增大时,组播树重构的频率就小,但传输延迟就增大(如图8所示),传输开销也增大(如图9所示).

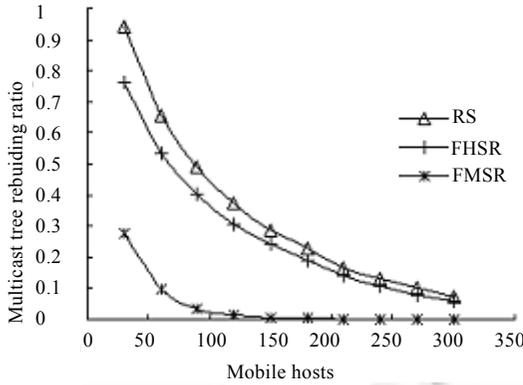


Fig.3 Rebuilding ratio of multicast tree
图3 组播树重构率

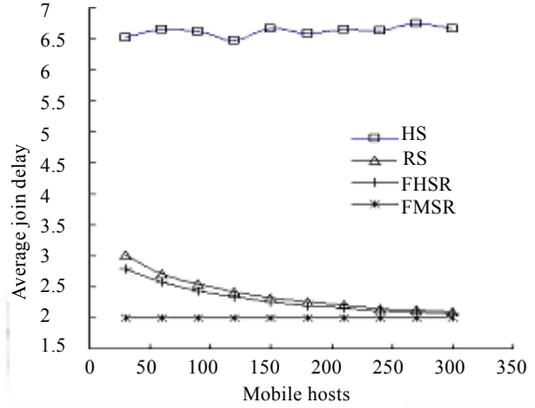


Fig.4 Average join delay for multicast packets
图4 组播服务的平均加入延迟

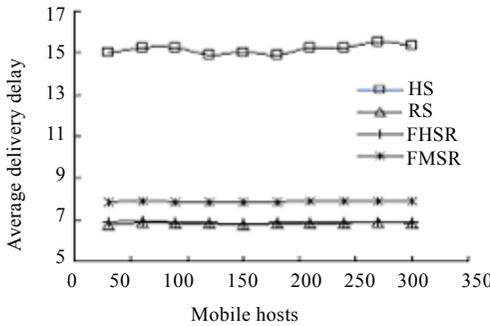


Fig.5 Average delivery delay per packet
图5 平均传输延迟

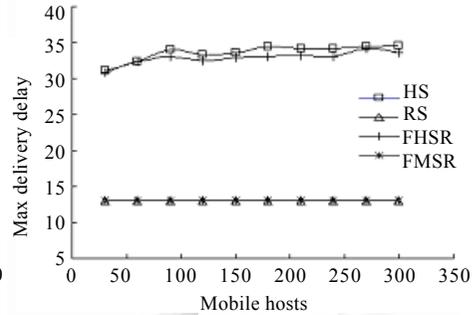


Fig.6 Max delivery delay per packet
图6 最大传输延迟

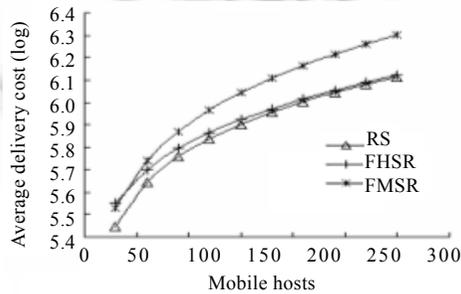
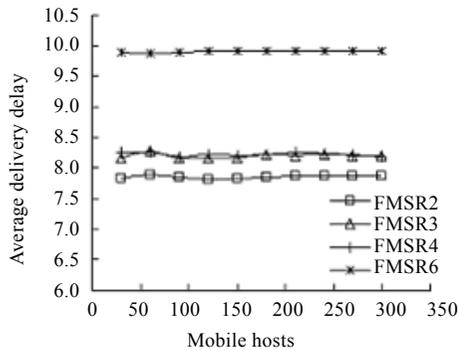
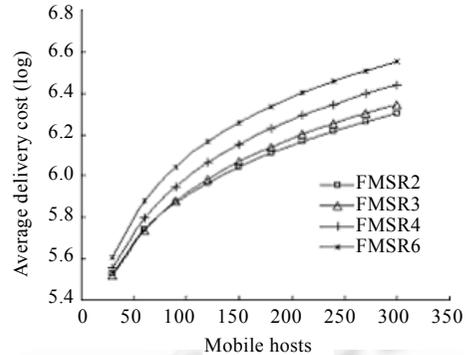


Fig.7 Average delivery cost per packet MRA
图7 组播传输开销

Fig.8 Average delivery delay per packet ($N=2,3,4,6$)图 8 MRA 在 $N=2,3,4,6$ 时的传输延迟Fig.9 Average delivery cost per packet ($N=2,3,4,6$)图 9 MRA 在 $N=2,3,4,6$ 时的传输流量

4 结 语

本文提出的 FMSR 移动组播算法结合了 HS 和 RS 两种基本算法,在当前 MSA 和 p MSA 之间建立隧道,同时,当前 MSA 申请加入组播组,减少了组播服务中断的时间,也优化了组播数据的传输路径;通过采用区域的层次型的路由结构,减少组播树重构的开销,对网络结构没有特出的要求.模拟结果显示,FMSR 移动组播算法在组播树重构开销、服务中断时间、传输延迟和组播流传输开销等方面,综合性能是优化的,是一种新的基于 IPv6 的高性能的支持移动主机的组播算法.

References:

- [1] Perkins C. IP mobility support. RFC2002, 1996.
- [2] Perkins C. IP mobility support for IPv4. RFC3220, 2002.
- [3] Johnson DB, Perkins CE, Arkko J. Mobility support in IPv6. draft-ietf-mobileip-ipv6-21.txt. 2003.
- [4] Harrison T, Williamson C, Mackrell W, Bunt R. Mobile multicast (MoM) protocol: multicast support for mobile hosts. In: Proceedings of the ACM Mobile'97. Budapest: IEEE Computer Society Press, 1997. 151~160.
- [5] Lin CR, Wang KM. Mobile multicast support in IP networks. In: Proceedings of the InfoCom 2000. Tel Aviv: IEEE Computer Society Press, 2000. 1664~1672.
- [6] Wang Y, Chen W. Supporting multicast for mobile hosts. Mobile Networks and Applications, 2001,5(6):57~66.
- [7] Suh Y, Shin H, Kwon D. An efficient multicast routing protocol in wireless mobile networks. Wireless Networks, 2001,7(5): 443~453.
- [8] Bettstetter C, Riedl A, Gebler G. Interoperation of mobile IPv6 and protocol independent multicast dense mode. In: Proceedings of the Workshop on Wireless Networks and Mobile Computing. Toronto: IEEE Computer Society Press, 2000. 531~539.
- [9] Jelger C, Noel T. Multicast for mobile hosts in IP networks: Progress and challenges. IEEE Wireless Communications, 2002, 9(5):58~64.