

移动 IP 的移动性管理研究^{*}

Study of Mobility Management in Mobile IP

唐 宏^{1,2,3} 吴中福¹ 聂 能³ 赵 军^{1,3} 熊思民³

(重庆大学计算机科学与工程学院 重庆 400044)¹ (移动通信国家重点实验室 南京 210096)²

(重庆移动通信工程研究中心 重庆 400065)³

Abstract The IETF Mobile IP standard is intended to solve the general problem of host mobility in the global Internet. When mobile devices crossing cell boundaries frequently (micro mobility), the standard mobility management scheme of mobile IP will result in frequent location updates and degradation of network performance, the latency involved in the re-routing of the packets, and the loss of packets. Therefore the standard mobility management scheme of mobile IP must be improved to adaptive this situation, i.e. micro mobility. In this paper three typical improved registration schemes are introduced and deeply analyzed and it will be helpful for the further solution of this problem.

Keywords Mobile IP, Mobility management, Hierarchical model, Multicast of DFA routing agent

1 引言

为了支持全球的 IP 网络互通和设备的漫游, IETF 提出了 IP 移动性支持的规范——移动 IP^[1]。该规范在移动 IP 网络结构中定义了三种功能实体(如图 1): 移动节点(MH)、归属代理(HA)和外地代理(FA)。每一个 MH 在归属网络获得一个永久的 IP 地址(home address), 称为归属地址, 当 MH 离开归属网络后, 进入外地网络, 将获得一个转交地址(care-of address), 该 IP 地址可以是 MH 注册的 FA 的一个 IP 地址, 也可以是外地网络临时分配给 MH 的 IP 地址。MH 的 HA 维护 MH 的归属地址和转交地址之间的移动性绑定, 所有发送到 MH 的 IP 包都通过常规的 IP 路由方式传递到 HA, HA 再通过隧道方式发送到 MH 的转交地址。

移动 IP 规定: 只要 MH 移动到另外一个 IP 子网, 它就会

获得另外的转交地址, 从而启动如图 1 所示的注册过程, 该过程要求 MH 必须通过 FA 向 HA 进行注册, MH 的任何移动都必须报告给 HA, 由 HA 来维护 MH 的移动绑定。这种简单的移动性支持方案可以与现有网络兼容, 并且只需要在移动代理(包括 HA、FA)和 MH 上根据终端的移动性要求进行改进即可实现移动 IP 功能。当应用于“宏移动”时, 这是必要的和充分的, 而当应用于“微移动”和“快速移动”(high mobility)的环境时, 则存在许多不足, 突出表现在以下三点: 1) 在网络中将引发大量的注册报文的传输从而严重影响网络性能; 2) 造成较大的切换延迟, 特别是当 MH 远离其归属网络时, 将引起严重的包丢失和通信吞吐量的下降; 3) 采用优化路由时, 由于要正确地通过隧道传输 IP 包, 因而必须保存精确的位置信息, 将需要大量的缓存, 频繁的位置更新则会引起这项费用的急剧增加。

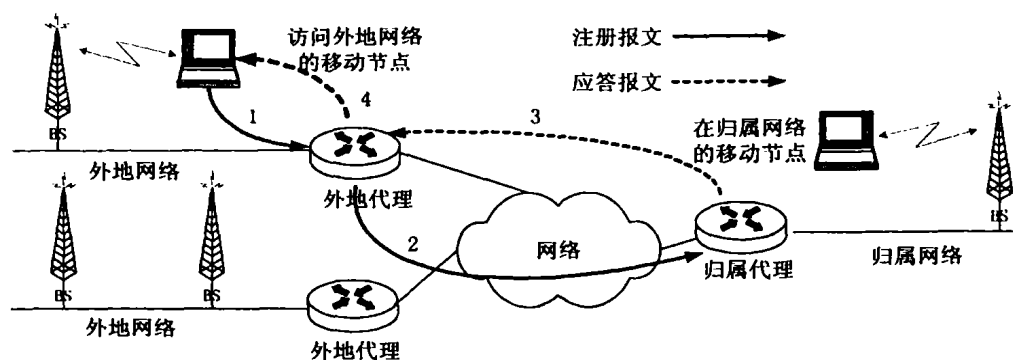


图 1 移动 IP 实体及注册报文流向

为了解决上述问题, 人们对现有的移动 IP 规范的移动性管理进行了详细研究并且提出了多种改进的管理方案, 这些改进的移动性管理方案可以分为两类, 其一是分级的管理方案, 要么把节点的移动方式分级, 要么把外地代理分级, 尽可能地使注册报文局限在较小的范围; 其二是采用组播的方式, 给 MH 分配临时的或固定的组播地址, HA 对 MH 的具体位置可以不必知道, 只需要按照组播的方式转发目的地址为

MH 的数据包即可。本文将对这些注册方式进行详细的介绍和分析。

2 分级的移动性管理

C. Perkins 提出了分级代理树的移动性管理方式^[2], FA 按照网络拓扑组成一个树状结构, HA 作为其根节点, MH 当前接入的 FA 作为一个叶节点。当 MH 改变接入点时, 注册报

^{*} 本文得到重庆科委基金资助。

文只需要传送到在切换后仍在新的 HA—MH 路径中的最低一级的 FA 即可,发往 MH 的数据包先发送到 HA,再通过隧道方式沿着外地代理树发送到 MH。

Cho G. 和 Marshall L F. 提出了重定向代理的管理方式^[3],为每个 MH 定义一个由它经常访问的子网组成的本地区域,发给在该区域的移动节点的 IP 包由重定向代理接收并转发给相应的 MH。MH 在本地区域的移动不用通知该区域外的节点,区域外的通信对端节点可以用并不很精确的位置信息给 MH 发送 IP 包,该数据包由重定向代理接收并用隧道方式转发到 MH 的当前位置。

Ramon Caceres, Venkata N 和 Padmanabhan 提出了一种把 MH 的移动方式分级的三级模型^[4],Chen W.、Lin E. 和 Wei H. 提出了 RA (routing agent) 的概念^[5],这两种分级移动性管理方案比较具有代表性,下面详细介绍。

2.1 三级模型

在一个管理域 (administrative domain)^[6] 中设置一个 DFA (domain foreign agent)^[4],每一个子网也分别设置 FA,各个 FA 发送的代理公告报文中的外地代理的地址都是 DFA 的地址,进入管理域的 MH 接收到代理公告报文后,可以把该地址作为自己的转交地址,该地址在 MH 访问管理域的整个时间段内保持不变。处于一个管理域中的 MH 发生移动时,有三种可能:1)在同一子网的不同基站之间的移动,称为当地移动,如图 2 中的 MH1 由 BS1 小区移向 BS2 小区的移动;2)在管理域中不同子网的基站之间的移动称为域内移动,如图 2 中 MH2 由 BS3 小区移向 BS4 小区的移动;3)移动到另外一个管理域,这种移动称为全球移动。对应于不同级别的移动,三级模型要分别进行处理。

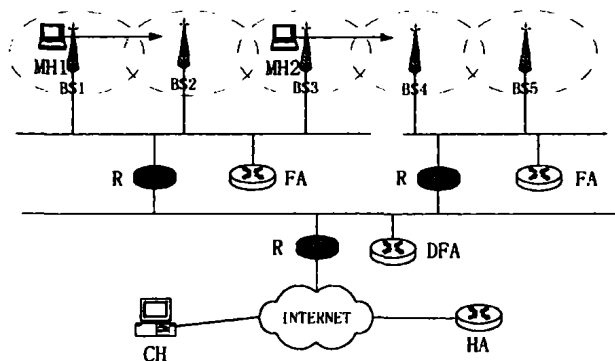


图2 分级移动模型

• 当地移动 在子网上的每个 BS 通过无线链路发出广播,每个广播报文携带有 BS 的地址,处于两个(或多个)小区交叠区域的 MH 可以接收到两个或多个 BS 的广播报文,通过测量信号强度,MH 确定是否要进行切换,若要切换,执行如下过程:

1)MH 向新 BS 发出 GREET 报文,该报文中包括 MH 的当前的地址也就是旧 BS 的地址,同时 MH 设定新 BS 为其缺省的网关;

2)新 BS 建立 MH 的路由表,发出 GREET ACK 报文给 MH,MH 接收到该报文后,如果在重传缓冲区中还有要发给旧 BS 的数据包,则发给新 BS;

3)新 BS 发出 NOTIFY 报文给旧 BS,其中包括自己的地址;

4)旧 BS 删除 MH 的路由表,如果在重传缓冲区中还有

要发给 MH 的数据包,则发给新 BS;

5)新 BS 广播 REDIRECT 报文,子网上的 ROUTER (包括 FA)和 CH 接收该报文,并且修改与 MH 相关的 ARP 缓存。

这样,发生当地移动时,相关的切换报文都局限在同一子网中,这种情况不需要 DFA 以及 HA 的参与。

• 域内移动 发生域内移动时,新旧基站除了要执行当地移动时要进行的切换过程之外,还要进行下面的两个步骤:

1)旧 BS 发出重定向报文,通知子网上的路由器(包括 FA)和 CH 更新 MH 的路由;

2)新 BS 通过其所在子网的 FA 通知 DFA 更新 MH 的路由。

DFA 负责维护每个 MH 的路由信息,只在 MH 发生域内移动时更新记录,这种情况下,MH 的位置信息仍然不需要通知 HA。

• 全球移动 当 MH 发生了管理域之间的移动时,出于安全、费用等方面的考虑,MH 的更新信息必须通知 HA,此时归属域和 MH 正在访问的管理域之间的接口以及归属域和 CH 所在管理域的接口在 RFC2002 中有准确的描述,因此全球移动情况下,就采用未加修改的移动 IP 移动性管理方案。

2.2 RA 方式

该方式设想的应用环境与三级模型有所区别,主要是:1)每一个小区都设置有一个 FA,每一次小区切换必然要改变 FA;2)没有管理域的概念,引入的移动代理是 RA (routing agent)而不是 DFA。

RA 位于 HA 和 FA 之间,可以由任何一个 FA 充当,包括 MH 当前注册的 FA。当发生宏移动时,HA 维护的是 MH 的归属地址与其 RA 地址之间的绑定;当发生微移动时,没有任何数据需要 HA 处理,而只需要 RA 维护 MH 的归属地址和转交地址之间的绑定。因此,MH 的注册就分成了归属注册和当地注册。图 3 示意了该方式注册时的报文流向,其中带括号的数字表示当地注册的注册过程,未带括号的数字则表示归属注册的注册过程。

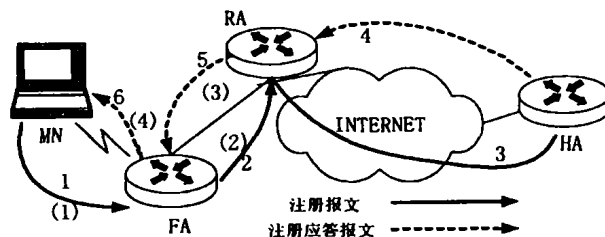


图3 RA 移动 IP 中注册报文流向图

• 归属注册 当 MH 需要将当前位置通知 HA 或者需要更新一个 RA 时,就要进行归属注册,其注册过程描述如下:

1)MH 发送归属注册请求报文给 FA,该报文中有一个标志,指明是更新一个 RA 或者是在当前的 FA 上新建一个 RA;

2)FA 转发归属注册请求报文给当前的 RA;

3)RA 向 HA 转发归属注册请求报文;

4)HA 处理归属注册请求报文确定是接受或者拒绝,然后向 RA 发出归属注册应答报文;

5)RA 向 FA 转发归属注册应答报文;

6) FA 向 MH 转发归属注册应答报文。

• 当地注册 当 MH 在外地网络中发生了小区切换或者当前的当地注册要到期了时,就要进行当地注册,其注册过程描述如下:

1) MH 发送当地注册请求报文给 FA;

2) FA 转发当地注册请求报文给 RA;

3) RA 处理当地注册请求报文,并且向 FA 发送当地注册应答报文;

4) FA 转发当地注册应答报文给 MH。

通常情况下,当 MH 在外地网络中发生了小区切换时,总是先在当前注册的 RA 上进行当地注册,将其接入点由旧的 FA 改变到新的 FA;如果 MH 希望改变 RA 到新的 FA 并且该 FA 可以充当 RA,那么紧接着就要进行归属注册。

3 组播方式的移动性管理

S. Seshan, H. Balakrishnan 和 R. H. Katz 提出临时组播地址的移动性管理方案,每个 MN 都由 HA 分配一个临时的组播地址,HA 把发给 MN 的数据包封装后转发到 MN 的组播组中。在同一时间,只有 MN 接入的基站向 MN 转发数据包,其他的有可能成为 MN 的接入目标的基站在 MN 的请求下加入组播组,这些基站缓存收到的最近的一些数据包以便当 MN 切换到其上时可以尽快进行数据传输,这样可以使得 HA 不用追踪 MN 的具体位置,其缺点是要在广域网上进行组播地址的维护,并且存在着可能的组播地址冲突。

J. Mysore 和 V. Bharghavan 提出固定组播地址的移动性管理方案,每个 MN 都分配一个唯一的组播地址,用该地址定位 MN,发送给 MN 的数据就采用通常的组播方式,该方法可以同时支持组播和移动性,特别是当 MN 发生切换时可以做到无缝的移动(连接)。但是,由于兼容性的问题,比如 ARP 响应处理和通过 IP 组播支持 TCP 等,使得其广泛的应用不大可能。

Cheng Lun Tan, Stephen Pink, Kin Mun Lye 提出了 DFA 组播的移动性管理方案,该方案利用了三级模型中的 DFA,同时又使用组播的方法解决在管理域内的移动性管理,效果比较理想,下面进行详细介绍。

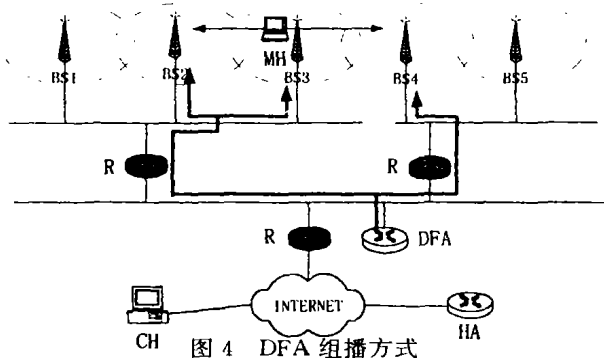


图4 DFA组播方式

如图4所示,该方法也引入了 DFA 的概念,不过和三级模型中有所不同,在管理域中设置了一个 DFA,而在管理域的各个子网中不再设置 FA,所有进入管理域的 MH 都由 DFA 进行管理。在本方法中还引入了 DVM (Dynamic Virtual Macro-cell) 的概念,一个 DVM 由一个中心 BS 以及其相邻的 BS 组成,每一个 BS 都可以作为中心组成一个 DVM,因此同一个 BS 可以隶属于不止一个的 DVM,但以之为中心的

DVM 只有一个。如图5所示,BS2 是 DVM-A 的中心,但同时又隶属于以 BS3 为中心的 DVM-B。当 MH 切换到某个 BS 时,该 BS 就会通知以该 BS 为中心的 DVM 中的每个成员预订分配给 MH 的组播组,每个 DVM 都有自己的组播地址,中心 BS 发送控制报文时也使用组播的方式,这样就显著地减少了 MH 切换时 DVM 成员之间的通信量。

在各个子网上由各 BS 定期广播的代理广播报文中外地代理的地址就是 DFA 的地址,初次进入管理域的 MH 将该地址作为转交地址通过 DFA 向其 HA 注册,在注册过程的最后阶段,即 DFA 把 HA 发来的注册应答报文中继给 MH 时,将会在该报文的扩展部分加上分配给 MH 在管理域中的唯一组播地址,MH 通知其接入的 BS 预订该组播组,接着该 BS 通知以之为中心的 DVM 中的所有 BS 也预订该组播组,当 DFA 转发给 MH 的报文时,将使用组播的方式进行,而不用知道 MH 在管理域中的具体位置,在组播组的各个 BS 中,只有 MH 接入的 BS 向 MH 发送数据,其它的 BS 只是接收并且存储最近收到的数据,而一旦发生 MH 的切换,由于新接入的 BS 已经存储有最新数据,通信可以立即进行,时延将显著减少。

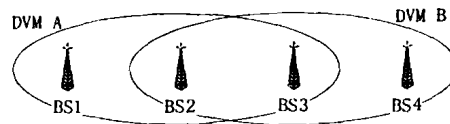


图5 DVM示意图

结论 在宏移动的情况下,标准移动 IP 的注册机制还是目前的唯一选择,它提供了对移动节点在全球 INTERNET 上的移动支持,并且实现简单,安全性较高,与现有网络之间具有很好的兼容性;在微移动的情况下,标准移动 IP 的注册机制存在着很大的不足,则应进行改进。

在三级模型和 DFA 组播方式中,都引入了 DFA 这样的代理,在管理域内,无论 MH 是在同一个子网中不同的基站之间切换还是在不同子网之间切换,MH 的位置更新信息最多只需要由 DFA 进行处理,而不用通知移动节点的归属代理,从而使得网络各种传输报文局限在管理域内,减少了广域网上的额外负载,同时也保证了切换的平滑和减少了数据丢失,从模拟试验结果知道,这两种微移动应用环境下的移动管理方案,对于交互式的语音通信可以保证较好的服务质量。

在 RA 方式中,在 HA 和 FA 之间引入了一个 RA,这样,当 MH 进行当地切换时,MH 的位置更新信息只需要在 RA 上处理即可,这样的移动管理方案使得注册代价、切换时延以及切换过程中的数据包丢失都大大降低。与三级模型和 DFA 组播方式相比,RA 方式具有较大的灵活性,首先,任何一个 FA 都可以充当 RA;其次,RA 所管理的 FA 也并不要求都位于同一个管理域;第三,通常情况下,进行 N 次当地注册后要进行一次归属注册,在不同的应用环境中可以设置不同的 N 值,也可以采用动态调整的办法,在网络环境改变时自动配置合适的 N 值,从而使得注册效率进一步提高。

一个效率高的移动管理方案将会使得各种多媒体服务成为可能,比如实时图像、语音通信等,这样就会极大地促进移动 IP 应用的发展,因此,如何提高移动 IP 的注册效率在移动 IP 的研究中占有很重要的地位,研究的重点将是本地化的移

(下转第 29 页)

此算法的优点是实现简单,大多数网络可行;缺点是发现周期长,对主干网交叉点识别不够。

5.2 域拓扑发现

传统的域拓扑发现算法大都是基于 SNMP 协议的^[11]。SNMP 实现分为 NMS(管理者)和 Agent(代理)两部分,Agent 存在于各网络设备中,用以响应管理者的请求,对 MIB 库进行访问和设置。NMS 与 Agent 间有 5 种通信原语,拓扑发现算法使用其中 Getrequest 和 GetNextrequest 等原语,采用图论中的深度优先或广度优先遍历法搜索路由器 MIB 库中路由表变量 ipRouteNextHop、ipRouteDest 的信息,生成域内路由器-路由器、路由器-子网间拓扑结构图。

由于网络 IP 化趋势和 SNMP 的广泛应用,该算法可适用于大多数环境;另外由于路由表信息是动态刷新的,因此可实时获取当前网络的拓扑信息;第三个优点是该算法实现简单速度快。对于那些不支持 IP 的网络,可以在网络边界采用代理机制,转化为 Over IP 网,再实现此种技术。此算法的主要缺点是它只能搜索域内 IP 层路由信息,而不能析取更为复杂的链路层、物理层拓扑信息,并且对于那些拒绝访问其 SNMP 的网管域是无能为力的。

5.3 子网的拓扑发现

一种子网拓扑发现是根据 MIB 变量 iftype 值确定相应子网的拓扑结构;如总线型、星型、环型等。它也是对 5.2 节域拓扑算法的补充,是基于 ARP 和 SNMP 结合起来的^[5]。ARP 属于网络接口层,它提供 IP 层到物理层网卡 MAC 地址之间的动态映射,利用路由器上 ARP 表中的 MIB 变量 ipToMediaNet Address,可以逐一取得所有与它相连终端设备的 IP 地址。将这些 IP 地址与给定子网地址进行模式匹配,如果成功则证明该 IP 地址对应的主机在子网内。主机的 MAC 地址可由 MIB 变量 ipNetToMediaPhyAddress 获得。

此算法的优点是迅速简捷、网络开销小;缺点是更新 ARP cache 间隔时间是静态的,所以实时性较差,可用程序通过 Telnet 仿真修改轮询时间。

另一种子网拓扑算法主要是利用 TCP/IP 中的 ICMP 协议^[12],算法描述如下:

1. 确定该子网的网关、子网地址和子网掩码
2. 通过网关地址获得子网类型
3. 通过子网地址和子网掩码获得该子网的主机数

4. 在该网中,对 IP 地址进行 ping 操作,析取有 ICMP 报文回应的 IP 地址

5. 根据 Socket 的请求,可以获取存活主机的其他信息

此算法简单易行,但 ping 网络会增加开销,另外发现速度较慢。

结束语 近年来我们在开发园区网络拓扑发现系统中积累了一定的经验,但大型 IP 异构网络与园区网的拓扑发现有很大区别。本文在指出 IP 网络特性基础上广泛探讨了其拓扑发现理论与关键技术,构造并分析了一些发现算法,指出了其性能利弊。下一步应深入研究 IP 网络物理层/链路层和虚网的拓扑发现、探索组播拓扑发现技术,进一步从理论上定量分析算法的性能,设计出好的高效拓扑发现算法来。

参考文献

- 1 Siamwalla R, et al. Discovering Internet Topology. IEEE INFOCOM 1999
- 2 Govindan R, et al. Heuristics for Internet Map Discovery. IEEE INFOCOM 2000
- 3 Breitbhart Y, et al. Toplogy Discovery in Heterogeneous IP Networks. IEEE INFOCOM 2000
- 4 白英彩,等. 计算机网络管理系统设计与应用. 北京:清华大学出版社,1998
- 5 李佳,石冰心,等. 网络管理系统中的自动拓扑发现算法. 华中理工大学报,1998(1)
- 6 张勇,张德运,等. 网络拓扑发现的主动探测技术的研究和实现. 小型微型计算机系统, 2000. 8
- 7 Calvert K, et al. Modeling Internet Topology. <http://www.cc.gatech.edu/projects/gtutm>
- 8 Xu Junming. Topological Structure and Analysis of Interconnection Networks. New York. Kluwer Academic Publishers. October 2001
- 9 Stevens W R. Tcp/Ip Illustrated, Volume 1: The Protocols. Boston, MA. Addison Wesley. 1994
- 10 Qasem A, Melendez E A. Internet Topology Discovery. <http://www.cs.fsu.edu/>
- 11 Case J. A Simple Network Management Protocol (SNMP). RFC 1157. 1990
- 12 Deering S. ICMP Router Discovery Messages. RFC1256. Sept. 1991
- 5 Chen W, Lin E, Wei H. Dynamic location control for mobile nodes. [Technical Report 97-CSE-10]. Department of Computer Science and Engineering, Southern Methodist University, 1997
- 6 Yavatkar R, Pendarakis D, Guerin R. A Framework for Policy-based Admission Control. RFC2753, Jan. 2000
- 7 Seshan S, Balakrishnan H, Katz R H. Handoffs in cellular wireless networks: The daedalus implementation and experience. Kluwer International Journal on Wireless Personal Communications, Jan. 1997. 8
- 8 Mysore J, Bharghavan V. A new multicasting-based architecture for internet host mobility. In: Proc. of ACM/IEEE MobiCom, Budapest, Hungary, Sept. 1997. 161~172
- 9 Cheng Lin Tan, et al. A Fast Handoff Scheme for Wireless Networks. The Second ACM International Workshop on Wireless Mobile Multimedia (WoWMoM'99), Seattle, Washington. 1999
- 10 Williams C. Localized Mobility Management Requirements. Internet Engineering Task Force. draft-williams-mobileip-lmm-requirements-00.txt

(上接第 32 页)

动管理方案^[10],更好的移动管理方案必须具有网络开销更低、切换时延更小、数据丢失更少、安全程度更高、实现更容易以及应用范围更广等特点。

参考文献

- 1 Perkins C. IP Mobility Support. Network Working Group, Oct. 1996. RFC 2002
- 2 Perkins C. Mobile-IP Local Registration with Hierarchical Foreign Agents. Mobile-IP Working Group, Internet Engineering Task Force, Feb. 1996
- 3 Cho G, Marshall L F. An efficient location and routing scheme for mobilw computing environments. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1995, 13(5): 868~879
- 4 Caceres R, Padmanabhan V N. Fast and Scalable Handoffs for Wireless Internetworks. In: Proc. of ACM MobiCom'96, Nov. 1996