

快速层次移动 IPv6 协议的比较性能评价^{*}

刘楚达^{1,2} 钱德沛¹ 刘 轶¹ 肖凯平¹ 李艳萍¹

(西安交通大学计算机系 西安 710049)¹ (长沙航空职业技术学院 长沙 410124)²

摘要 本文用 ns-2 网络模拟器给出了一种 F-HMIPv6 协议与 MIPv6、HMIPv6、FMIPv6、FHMIPv6 (HMIPv6 与 FMIPv6 的简单结合) 的比较性能分析。通过仿真实验检测了 MN 从一个子网移动到另一子网发生切换时的延时与丢包性能。从实验结果可知, 它们的延时和丢包性能从优到劣的顺序依次为: F-HMIPv6、FHMIPv6、FMIPv6、HMIPv6 和 MIPv6。

关键词 F-HMIPv6, FMIPv6, HMIPv6, 性能评价

A Comparative Performance Evaluation of F-HMIPv6

LIU Chu-Da^{1,2} QIAND De-Pei¹ LIU Yi¹ XIAO Kai-Ping¹ LI Yan-Ping¹

(Department of Computer Science, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)¹

(Changsha Aeronautical Vocation Technical College, Changsha 410124)²

Abstract This paper presents a simulative performance evaluation of the F-HMIPv6 in comparison with MIPv6, HMIPv6, FMIPv6, FHMIPv6 using the network simulator ns-2. The delay and loss rate performance parameters are studied durin the MN moves from one subnet to another. The experimental results shows that the degradation performance order of the protocols are: F-HMIPv6, FHMIPv6, FMIPv6, HMIPv6 and MIPv6.

Keywords F-HMIPv6, HMIPv6, FMIPv6, Performance evaluation

1 引言

未来的 4G 移动通信网络将为异构的无线接入技术, 如无线个人域网(WPAN)、无线局域网(WLAN)、UMTS、陆地无线接入网(UTRAN)和 3G, 提供一种全 IP 服务。随着这种无线电演进系统与 Internet 的融合, 新的服务、无处不在的连通性的需求在不断地增长。这种融合的目的是给基于 IP 的移动/无线主机在异构接入技术中漫游时提供流媒体服务。为支持接入技术的异构性和在 Internet 中给主机提供移动性, 移动 IPv6^[1] (Mobile IPv6, MIPv6) 自然成为新一代移动 Internet 的首选解决方案。

MIPv6 协议从移动 IPv4 协议和 IPv6 的协议的设计和部署以及 IPv6 协议提供的新特征中获益。在 MIPv6 中, 每个移动节点(Mobile Node, MN)被分配两个 IP 地址: 一个静态的家地址(Home Address)用来标识移动节点; 一个动态的转交地址(Care-of Address, CoA) 用来维护移动节点到网络最近一个归属点的可达性。在 MIPv6 中也定义了一个新的网络实体: 家代理(Home Agent, HA) 是 MN 在家网中的一个路由器, 它维护着 MN 的家地址和转交地址之间的映射。当 MN 移到一个新的外网, 它会向家代理注册, 以维护 MN 新的转交地址与家地址间的映射。从一个新的通信节点(Correspondent Node, CN) 发到 MN 的分组先被家代理截获, 然后根据缓存在家代理中的家地址与转交地址的映射, 家代理将分组通过隧道机制转发给 MN。这样通信节点也获取了 MN 的转交地址, 以后通信节点发往 MN 的分组直接转发到 MN 的转交地址。

MIPv6 仅提供一种基本机制来维护移动节点在家网或移出家网时的可达性。它是一种宏移动(Macro-mobility)管理协议, 即主要处理移动节点域间的切换。但在 MN 切换时, 标准的 MIPv6 处理, 如移动检测、新 CoA 配置和绑定更新(Binding Update, BU) 操作, 会产生较大的切换延时; 而且每当 MN 切换, BU 需要发送到通常离其较远的 HA 和通信节点(correspondent node, CN), 从而产生大的信令开销和延时, 这对实时应用是不能接受的。为了克服以上不足, 大量的文献, 如文[2~6], 提出了减少移动 IPv4&IPv6 切换延时的方法, 本质上这些方法通过引入层次结构来减少注册延时, 通过预先配置来降低地址配置时间。典型的方案为层次 MIPv6 (Hierarchical MIPv6 mobility managemen, HMIPv6)^[2] 和快速 MIPv6 (Fast Handovers for MIPv6, FMIPv6)^[3]。而快速层次 MIPv6 (Fast Handover for Hierarchical MIPv6, F-HMIPv6)^[4] 将二者有机地结合起来, 从而可以进一步改善性能。

本文提出了一种 F-HMIPv6 协议与 MIPv6、HMIPv6、FMIPv6、FHMIPv6 (HMIPv6 与 FMIPv6 的简单结合) 的比较性能分析。通过仿真, 检测了 MN 从一个子网线性移动到另一子网发生切换时的延时与丢包性能。

2 协议与相关工作

2.1 快速层次 MIPv6 协议^[4] (F-HMIPv6)

F-HMIPv6 协议旨在将 HMIPv6 协议和 FMIPv6 协议集成, 即在层次移动管理模型中部署快速切换, 因此该协议将具有两个协议所具有的优点, 并且使得 FMIPv6 的整个切换延时还将进一步减少, 因为 HMIPv6 中 MN 发送位置更新到本

^{*} 本课题得到国家 863 计划重点项目(2001AA112120)和湖南省教育厅资助科研项目资助。刘楚达 博士研究生, 副教授, 目前研究方向为移动 IPv6 的服务质量、移动管理等。钱德沛 教授, 博士生导师, 目前研究方向为主动网络、网络管理和性能测量、高性能计算机系统结构和软件等。刘 轶 博士, 副教授, 目前研究方向为计算机网络、嵌入式系统。肖凯平 硕士研究生。李 艳 硕士研究生。

地的 MAP,而不是通常离 MN 较远的 HA 和 CN。

HMIPv6 引入移动锚点 (Mobility Anchor Point, MAP) 功能实体作为本地的 HA,来减少 MN 与 HA 及 CN 之间的信令交换和位置更新延时。当 MN 在一个 MAP 域内移动,其区域转交地址 RCoA(Regional CoA)不会发生改变;而只有链路转交地址 LCoA (on-Link CoA)会发生变化,仅向本地的 MAP 注册,不需跟 HA 注册并通告 CN。只有当 MN 移到另一 MAP 域时,RCoA 才向 HA 注册并通告 CN。

FMIPv6 协议中,一旦新的链路被建立,通过提供快速的 IP 连通性来减少丢包和延时,即利用链路层(Layer 2,L2)的机制,当 MN 仍在先前 AR(Previous AR,PAR)的链路上,提前获取新的接入点的链路层信息,来减少 MN 移动侦测时间;通过必要的消息交换来提前配置 MN 新的转交地址(New CoA,NCoA)来减少 NCoA 的配置时间;通过隧道机制使到达先前转交地址(Previous CoA,PCoA)的分组能经隧道转发到 NCoA,来减少绑定更新时间,从而减少了标准 MIPv6 的切换延时和丢包。

直接将二者结合会存在以下问题:在 FMIPv6 中,隧道建立在 PAR 和新的 AR(New AR,NAR)之间,而 HMIPv6 隧道建立在 MAP 和 MN。PAR 必需先从 MAP 那截获数据流。而在 HMIPv6 中,实际从 PAR 到 NAR 的数据路径可能包含 MAP(如,PAR-MAP-NAR),因此在 PAR 和 NAR 的路径上数据包将经过两次,这样会降低带宽的使用。另外这种绕道的特征会使整个的切换时延和隧道开销在切换期间增加。

在 F-HMIPv6 协议中,用 MAP 来取代 PAR 为快速切换建立隧道。切换期间发自 CN 的数据包被 MAP 经隧道传送到 NAR,协议操作过程和 FMIPv6 相似,只是由 MAP 取代 PAR 进行操作。

2.2 相关工作

文[7]通过在给定拓扑中分别定义 CN 与 MAP、MAP 与 AR 以及 AR 与 AR 间的分组传输延时 T_{CM} 、 T_{MA} 和 T_{AA} ,给出了对 FMIPv6、直接结合 FMIPv6 和 HMIPv6 和 F-HMIPv6 的分组平均传输延时性能分析对比。文[8]通过在给定拓扑中定义各链路的传输延时,分别分析了 MIPv6、HMIPv6、FMIPv6 以及 HMIPv6 与 FMIPv6 的简单结合的切换延时性能。但是这些分析的方法无法考虑协议中不同的信令开销,不同的业务流作用下以及链路在不同的带宽利用率下的延时和丢包性能的差异。

文[9,10]在网络模拟器 ns-2 的 ns-2.1b6 版本使用对 MIPv6 的支持模块 Mobiwan^[11]分别对 HMIPv6 和 FMIPv6 进行了仿真性能分析。仿真场景有 4 个 AR,MN 的个数达 50 个,MN 的移动模式支持直线和随机移动,使用了 CBR、VoIP、Video 和 TCP 等不同的业务源。但文献没有对 F-HMIPv6 和 FHMIPv6 协议进行对比,没有对 F-HMIPv6 协议进行性能分析。文[12]中,Robert Hsieh 在 ns-2 的 ns-2.1b7 下扩充了支持 HMIPv6 和 FMIPv6 的模块,模块是在 ns-2 移动 IP 模块基础上进行的扩充,虽然没有实现完整的 IPv6 特征,但实现了仿真所必需的功能。文献仅对 HMIPv6 和 FMIPv6 直接结合的情形进行仿真,即切换时转发实体仍为 PAR 而不是 MAP,隧道仍建立在 PAR 和 NAR 之间而不是 MAP 和 NAR 之间。

3 仿真建立

网络模拟器 ns-2 是面向研究的离散事件模拟器。CMU Monarch 工作组扩展了 ns 的无线网络模型,SUN 公司在此

基础上扩展了移动 IPv4 模块,使它能支持移动 Ad hoc 网、WLAN 以及移动 IPv4 环境下的模拟。本文采用 ns-2 网络模拟器进行仿真实验。

3.1 实现细节

本节描述了 MIPv6 等协议在 ns-2 的实现细节,协议的实现是 Robert Hsieh 在 ns-2.1b7 版本下对 FHMIPv6 模块^[13]实现的基础上进行修改和扩充。本文采用 ns2-allinone-2.26^[14]版本,为在移动 IP 中支持基站和 MN 直接通信,允许基本的移动 IPv4 操作,扩充了 NS2 无线扩展模块^[15]。

FHMIPv6 模块对于 MIPv6 协议栈,并没有实现 IPv6 的完整特征,未实现的这些特征不会对协议仿真带来影响。也没有完整实现本文中提到的协议的功能,只实现了协议仿真的必须功能。如,为支持 MIPv6 节点的绑定更新机制,在 NS2 无线扩展模块的注册、封装和解封装机制上实现了绑定缓存管理机制,以提供支持 MN 家地址选项的 IPv6 的目的地址选项,但没有实现绑定更新的安全机制。

FHMIPv6 模块通过引入 MAP 代理以提供 MN 的 MAP 注册功能来实现 HMIPv6。MAP 支持将其地址作为 MN 的 RCoA 功能,同时也实现一个简化的 MAP 发现机制,即在 MIP 的路由通告消息 (beacon) 加入了 MAP 通告选项,使 MAP 的 RCoA 能被 MN 发现。为实现 FMIPv6 协议,FHMIPv6 模块对 ns 节点实体做了细微的修改,以方便使用 NS2 无线扩展模块提供的封装和解封装机制,这样使所有类型的 ns 节点,如有线节点、无线节点以及有线无线混和节点都支持隧道机制(IP-in-IP 封装)。也增加了 FMIPv6 所需要的消息,如 RtSolPr,PrRtAdv,HI,HAck,F-BU,FBAck 和 F-NA 消息。ns-2 中的基站节点也做了修改以便能处理这些消息。

本文在此基础上将 Robert Hsieh 在 ns-2.1b7 版本下的 FHMIPv6 模块扩展到 ns-2.26 中,ns-2.2xx 与 ns-2.1xx 相比,出了增加许多功能模块以外,ns-2.2xx 的目录有了很大的改变,ns-2.2xx 对 ns2 下的各构件进行归类,不像 ns-2.1xx 那样所有构件均在同一级目录下。对 FHMIPv6 模块进行修改,即将 FHMIPv6 中转发锚点由 PAR 改变为 MAP,包括 RtSolPr,PrRtAdv,HI,HAck,F-BU,FBAck 消息原先与 PAR 交互改为与 MAP 进行交互,以支持 F-HMIPv6 的协议。

3.2 仿真模型及假设

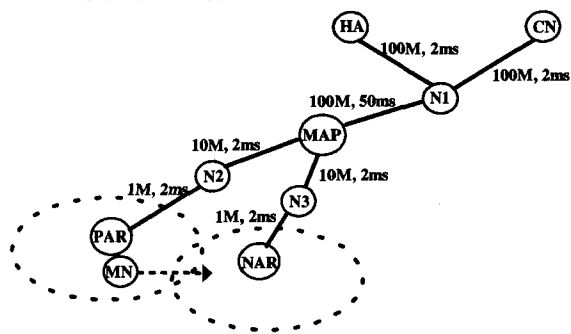


图 1 仿真网络拓扑

图 1 为仿真实验的网络拓扑。链路特征即带宽 (Mbit/s)、延时 (ms) 如图所示,AR 之间的距离设置为 70m,而 AR 的无线覆盖距离约为 40m。一种运行 802.11 的 Lucent WaveLan 无线网卡在 NS2 中仿真实现。仿真中假设 MN 的移动模式为 MN 线性地从图 1 中的 AR2 向 AR3 移动,移动速度为 1m/s。这样可以不计 MN 移动时可能出现的乒乓影响,在 FHMIPv6 模块中用 MN 接收到 PAR 和 NAR 的信号强

度来判断 MN 发生切换。

3.3 仿真实验

本节给出了 F-HMIPv6 与 FHMIPv6、FMIPv6、HMIPv6 以及 MIPv6 的延时与丢包率等性能。在实验中 MN 最初位于 PAR 中,仿真开始后以 1m/s 朝 NAR 移动,单个的仿真运行 50s。我们分别做了 100 多个仿真实验,得到延时和丢包性能参数的平均值。

如图 1 所示,我们在 CN 和 MN 间建立了背景流和被测流。背景流用 pareto 分布 on/off 源叠加起来产生,CN 为发送端,MN 为接收端。Pareto On/Off 流量生成器的参数为:

```
burst_time_ 500ms
idle_time_ 500ms
rate_ 200k
packetSize_ 210
shape_ 1.5
```

为模拟不同的负载条件下的丢包和延时,由于瓶颈链路带宽为 1M,我们分别仿真了 Pareto 流的个数从 1 到 6 个时各协议的丢包(对应以下各图中横轴负载速率 200k 到 1200k)。

被测流为 UDP 的 CBR(Constant Bit Rate)业务源,它提供不变位速的业务流,且接收端无需发送确认包。这种业务流通常由实时应用产生,由于它的不确定性特征,易于对协议性能进行比较和研究。CBR 的位速设为 200k,即当背景 Pareto 流的个数为 4 时(800k),瓶颈链路带宽与总负载带宽相等。

实验分别测量了 CBR 业务源在不同的背景流负载下,各协议在 CN 与 MN 之间端到端的延时和丢包率,由图 2 和图 3 可知,随着负载流量的增加,各协议的延时和丢包率都在不断增加,且:

① HMIPv6 的延时和丢包率比标准 MIPv6 的要小,这是由于在 HMIPv6 中,MAP 作为移动锚点当 MN 在 MAP 域内切换时,RCoA 不会发生变化,不需要跟 HA 注册,包的转发路径和信令开销比 MIPv6。

② FMIPv6 的延时和丢包率比 HMIPv6 的要小,因为采用预先切换,可以加快 MN 获得 NCoA,且由于切换时在 PAR 和 NAR 间建立了隧道机制可以减少丢包。

③ FHMIPv6 的延时和丢包率比 FMIPv6 的要小,由于它结合了 HMIPv6 和 FMIPv6 两者的优点。

④ F-HMIPv6 的延时和丢包率比 FH MIPv6 的要小,原因见 2.1 节。

由图 2 可知,当背景流的速率小于 800k,即被测流和背景流的速率小于瓶颈链路的带宽 1M 时,各协议的端到端延时比较小。而当背景流的速率大于 800k 时,各协议的端到端延时显著增加。

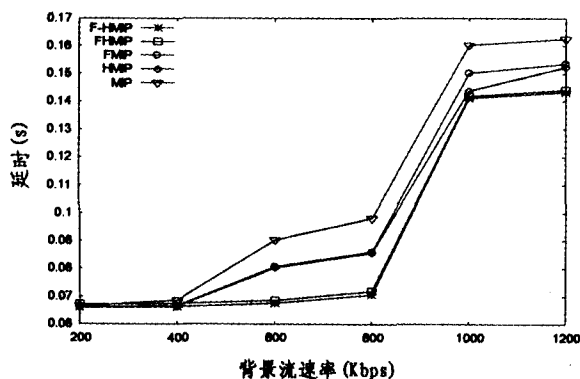


图 2 CBR 业务流的延时

由图 3 可知 CBR 流在带宽足够时的丢包率比较小,如比较流量为 400k,带宽利用率为 80% 时,F-HMIPv6、FH-MIPv6、FMIPv6、HMIPv6 和 MIPv6 的丢包率分别为:6.14%、7.45%、8.02%、8.14% 和 12.28%。当带宽利用率超过 80% 时,各协议的丢包率显著增加。

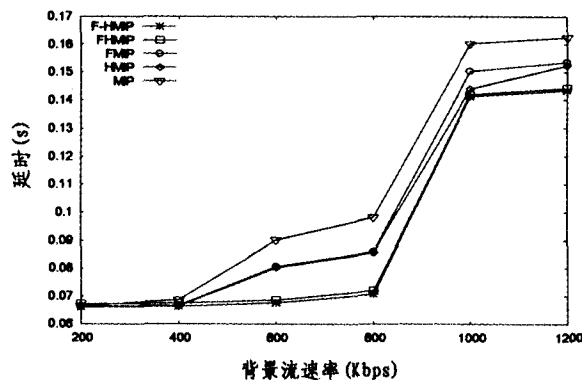


图 3 CBR 业务流的丢包率

结束语 MIPv6 作为基于全 IP 的未来 4G 移动通信网络的基础关键技术,允许用户在不同的无线电接入网自由地移动。当移动/无线主机切换时,较小的延时和较低丢包性能是保障移动/无线主机的流媒体业务能正常运行的关键。为了减小移动/无线主机在切换时的延时和丢包率,IETF 提出了一些增强协议,如 F-HMIPv6、FH MIPv6、FMIPv6 和 HMIPv6。

本文用 ns-2 网络模拟器提出了一种 F-HMIPv6 协议与 MIPv6、HMIPv6、FMIPv6、FH MIPv6 (HMIPv6 与 FMIPv6 的简单结合)的比较性能分析。通过仿真实验检测了 MN 从一个子网移动到另一子网发生切换时的延时与丢包性能。从实验结果可知,它们的延时和丢包性能从优到劣的顺序依次为:F-HMIPv6、FH MIPv6、FMIPv6、HMIPv6 和 MIPv6。

参考文献

- Johnson D, Perkins C, Arkko J. Mobility Support in IPv6. RFC 3775, IETF, June 2004
- Soliman H, Castelluccia C, El-Malki K, Bellier L. Hierarchical Mobile IPv6 mobility management. Internet Draft, IETF, work in progress
- Koodli R. Fast Handovers for Mobile IPv6. Internet Draft, IETF, September 2002, work in progress
- Jung H Y, Koh S J, Soliman H, et al. Fast Handover for Hierarchical MIPv6 (F-HMIPv6). Internet Draft, IETF, work in progress
- Malki K, Soliman H. Simultaneous Bindings for Mobile IPv6 Fast Handoffs. Internet Draft, IETF, June 2002, Work in Progress
- Malki K. Low Latency Handoffs in Mobile IPv4. Internet Draft, IETF, June 2002, Work in Progress
- Jung H Y, Koh S J. Fast Handover Support in Hierarchical Mobile IPv6. The 6th International Conference on Advanced Communication Technology, 2004(2), 551~554
- Perez Costa X, Schmitz R, Hartenstein H, Liebsch M. A MIPv6, FMIPv6, and HMIPv6 handover latency study; analytical approach. IST Mobile & Wireless Telecommunications Summit 2002, Thessaloniki, Griechenland, June 2002
- Perez Costa X, Torrent Moreno M, Hartenstein H A. Simulation Study on the Performance of Hierarchical Mobile IPv6. International Teletraffic Congress (ITC) 2003, August 2003
- Torrent Moreno M, Perez Costa X, Sallent Ribes S. A Performance Study of Fast Handovers for Mobile IPv6. LCN 2003, September 2003
- Mobiwan; ns-2 extensions to study mobility in Wide-Area IPv6 Networks. <http://www.inrialpes.fr/planete/mobiwan>
- Hsieh R, Seneviratne A, Soliman H, et al. Performance analysis on Hierarchical Mobile IPv6 with Fast-handoff over End-to-End TCP. GLOBECOM 2002, November 2002
- <http://mobqos.ee.unsw.edu.au/~robert/nstut.php#beginning>
- Network Simulator (ns), version 2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- NS2 无线扩展模块. <http://icapeople.epfl.ch/widmer/uwb/ns-2/noah/>