

移动 IP 路由优化性能分析及仿真

裴 珂, 李建东, 郭 峰

(西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室信息科学研究所, 陕西西安 710071)

摘 要: 因特网技术的普及, 使得人们实现了网际通信和信息共享, 但基于有线方式的 Internet 受到空间和时间的限制, 无法满足用户随时随地能够接入因特网的要求, 这成为研究移动主机路由协议的驱动力. 移动 IP 是一种简单、可扩展的全球 IP 移动性的解决方案, 但三角路由问题的存在带来了网络花费问题和性能问题. 路由优化移动 IP 协议是解决移动 IP 相关问题的候选协议之一. 本文对两种协议进行了理论分析和仿真. 结果表明, 是否采用路由优化协议, 不能一概而论, 要根据网络及业务到达特征决定. 另外, 两种协议都不能很好地支持将来的微小区带来的频繁切换, 而解决该问题就是我们下一步的研究方向.

关键词: 移动 IP; 路由优化; 移动计算

中图分类号: TN915.04 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 04-0484-04

Performance Analysis and Simulation of Mobile IP with Route Optimization

PEI Ke, LI Jiannong, GUO Feng

(ISN National Key Lab, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract: Recent initiatives to add mobility to the Internet are being considered by emerging mobile service providers as possible candidate solutions for the delivery of IP (Internet protocol) data to mobile users. Mobile IP is thus a solution for mobility on the global Internet which is simple, scalable, but there are some problems necessary to be solved. Route optimization techniques make extensions to the base Mobile IP protocol to improve the network performance. In this paper, both schemes have been analyzed and simulated. The results show that the performances in terms of throughput rate as well as end to end delay largely depend on the offered traffic pattern. Furthermore, both protocols can't support frequent handoff in future micro cell environment.

Key words: mobile IP; route optimization; mobile computing

1 引言

便携式计算机的普及和无线局域网技术、蜂窝网的不断成熟, 使得用户的需求也越来越高. 无线局域网用户要求网络提供全球移动性支持, 同时蜂窝网用户要求网络提供高速数据业务. 伴随 Internet 的普及, 这些移动用户也迫切希望能够随时、随地地接入 Internet. 这样, 移动终端就要频繁的改变它们在网络中的接入点. 在这种环境下, 为了使移动设备在移动中连续通信, 就需要一个通用的网络协议提供网络移动性.

第一个移动主机协议由哥伦比亚大学的 John Ioannidis 设计. 它的主要思想是使用虚拟移动子网和 IP in IP 技术^[1]. 几乎与此同时, Sony 公司的 Fumio Terqoka 设计了另一种移动主机协议, 虚拟 IP (VIP)^[2]. VIP 协议使用了特殊的路由器来记忆移动主机的位置, 并定义了新的 IP 头选项来传递数据. 不久后 IBM 的 C. Perking 和 Y. Reckter 也设计了一种移动主机协议^[3], 这种协议利用了现有 IP 协议中的可选功能——松散源

选径 (Loose Source routing) 来支持主机的移动. 1994 年 A. Myles 和 C. Perking 分析了前三种移动主机协议的优缺点, 重新设计了一种协议 MIP, 并将它提交给互联网学会下属的工程技术委员会 (IETF). MIP 后来发展成为 Mobile IP 协议^[4]. 移动 IP 是一种在全球因特网上提供移动功能的方案, 使节点在切换时可保持正在进行的通信. 它提供了一种 IP 路由机制, 使移动节点可以以一个永久的 IP 地址连接到任何链路上. 与特定主机路由技术和数据链路层方案不同, Mobile IP 还要解决安全性、可靠性问题, 并与传输媒介无关. 本文对标准的移动 IP 协议和路由优化协议进行了理论分析和动态性能仿真. 结果表明, 是否采用路由优化协议, 不能一概而论. 同时, 两种协议对于频繁的快速切换都不能很好地支持, 这还有待于进一步的研究.

2 机制介绍

移动 IP 原理 (MIP) 可以由图 1 说明, 图中 HA (Home

Agent) 为家代理, FA (Foreign Agent) 为外地代理, MN (Mobile Node) 为移动节点. 代理向其网络内周期性的发出代理公告, 当漫游的 MH 移动到一小区时, 就可以通过收听这些公告判断出它在家网还是在外地网. 当 MH 检测出它已经漫游至外地网时, 它将通过外地网从 FA 处获得一个转交地址. 然后 MH 把这个转交地址通过因特网通知它的 HA. 这样, 其它子网发给该 MH 的 IP 数据报仍将发给其家网. HA 通过代理 ARP 机制接收发向 MH 的报文, 然后把 MH 的 IP 数据报通过隧道发送出去. 当 MH 在外地网发送 IP 数据报时, 采用标准 IP 协议路由, 无需 HA、FA 的介入, 这样移动节点就完成了数据收发. MIP 协议使得一个移动用户在从一个子网移动到另一个子网的过程中, 不需要重新配置主机, 更值得注意的是, 用户也不需要重启应用.

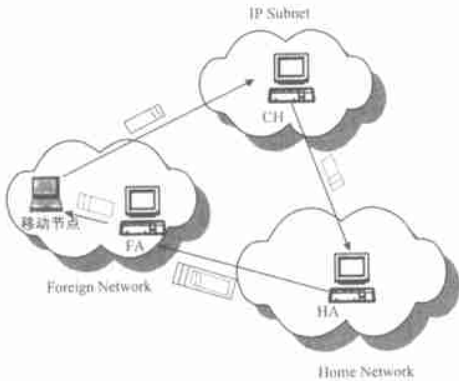


图1 三角路由

然而采用 MIP 协议, 发往移动节点的所有报文直接发往移动节点的家代理, 然后由家代理通过隧道把报文发给移动节点当时的转交地址. 当 MH 通过没有优化路由的 FA 接收报文时, 其接收的报文必须通过 HA 发送. 如果 MH 当前的所在子网离 HA 很远, 发往移动节点的报文就要绕路 (见图 1), 这就是所谓的三角路由. Mobile IP 优化路由 (ROMIP)^[5] 提供了一种解决这个问题的机制. 所有参与通信的主机都有一个绑定缓存器 (binding Cache). 当 HA 截获了一个发往 MH 的报文时, 它会发送绑定更新 BU (binding Update) 消息, 通知报文的发送者 MH 当前的转交地址 (COA). 发送者会更新它的绑定缓存, 并用隧道把剩下的报文直接发送到它的转交地址. FA 还可以利用绑定更新来减少切换中的报文丢失. 作为注册过程的扩展, MH 可以要求新的 FA 给先前的 FA 发送前一外地代理通告 PFAN (Previous Foreign Agent Notification) 消息. 然后先前的 FA 更新它的绑定缓存, 再次利用隧道把所得到的报文发往移动主机的新转交地址.

3 网络花费理论分析

如图 2 所示, 假设用随机变量 X , Y , Z 表示移动主机到家代理, 对端主机到家代理和对端主机到移动主机的网络花费. 网络花费涉及许多因素, 这里假定网络花费只与距离成正比. 同时还假设每个报文的传送路径相互独立, 而且假设通信花费与移动主机的移动无关. 设发往移动主机的源消息报文

为平均到达率为 λ 的泊松流, 而位置的更新为平均到达率为 μ 的泊松流. 定义 $\alpha = \frac{E[X] + E[Y]}{E[Z]} - 1$ 为路由开销因子. 而报文 CMR (Call to mobility Ratio) 为

$$k = \lambda / \mu \quad (1)$$

考虑到源数据报文到达和位置更新为不同的事件, 那么事件到达为 $\lambda + \mu$ 的泊松流, 两个事件的时间间隔的期望为:

$$E[\tau] = \frac{1}{\lambda + \mu} = \frac{1}{\mu} \frac{1}{1 + k} \quad (2)$$

对于该泊松流, 其位置更新事件的概率为

$$\delta = \mu / (\lambda + \mu) = 1 / (1 + k) \quad (3)$$

对于 ROMIP 协议, 由位置更新和数据包到达所引起的花费的期望为 $E[Z]$, 其平均花费的期望为

$$E[C_{ROMIP}] = \delta E[Z] + (1 - \delta) E[Z] = E[Z] \quad (4)$$

而对 MIP, 位置更新并不通知对端, 其平均花费为

$$E[C_{MIP}] = (1 - \delta) (E[X] + E[Y]) \quad (5)$$

如果

$$E[C_{ROMIP}] \leq E[C_{MIP}] \quad (6)$$

则, 采用路由优化可以得到更低的花费. 将式 (4)、(5) 代入式 (6), 得到

$$\mu E[Z] \leq \lambda (E[X] + E[Y] - E[Z]) \quad (7)$$

上式也可用 α 和 CMR k 表示为

$$k \geq 1 / \alpha \quad (8)$$

该式即为判断是否该采用 ROMIP 的尺度.

由式 (7) 可注意到 $\mu E[Z]$ 实际上是向对端主机发送位置更新的花费, 每次位置更新就产生三个主要的花费: $2C_{SF} + 2C_{EM} + 3C_A$. 其中 C_{SF} 为对端主机到外代理的路由花费, C_{EM} 为外代理到移动主机的无线传输的花费, C_A 为每个移动代理的处理花费.

设路由花费和距离成正比, $C_{SF} = d_{SF}\theta$, 其中 d_{SF} 为对端主机到外代理之间的距离, θ 为有线链路的比例常数. 设无线链路单位距离的花费为有线链路的 m 倍, 则有

$$C_{EM} = m\theta \quad (9)$$

这样, 单位时间内 $\mu E[Z] = \mu [2(d_{SF} + m)\theta + 3C_A]$.

4 协议性能仿真

4.1 仿真环境

图 3 给出仿真拓扑, 移动结点从家网出发, 陆续经过 FA1 - FA6, 每小区的驻留时间为相互独立的期望相同的随机变量.

我们采用的仿真工具是 NS 仿真软件包 (ns allinone 2.1b3.tar.gz), 运行在 RH6.1 操作系统之上. NS 软件包源于美国 DARPA 资助的 VINT (虚拟网络实验床) 项目, 以它强大的网络仿真性能得到了广泛应用. NS 采用 C++ 代码书写内核, 外部模块采用 C++ 和面向对象 OTCL 语言相结合的方式来编写.

仿真中有以下两点假设: (1)理想的无错误无线链路; (2)无线小区无重叠, 是理想的无缝覆盖. 移动主机从一个小区到另一个小区不存在同时和两个基站通信的事件.

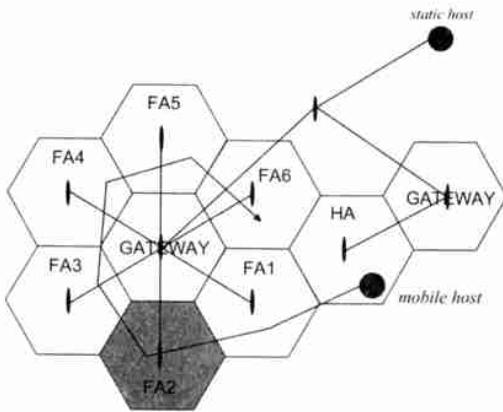


图3 仿真网络模型

4.2 仿真结果分析

下面, 分析端对端性能的各种相关因素^[5]. 令 T_{advert} 为两个相邻公告的时间间隔 (以秒计), 令 T_{cell} 是移动节点在小区内花费的时间. 进入一个小区后, 移动节点必须等待平均 $2.5 * T_{advert}$ 秒以收听到代理广播^[3]. 然后它向家代理注册, 等待 T_{delay} 的轮循延迟 (其中包括无线延迟) 来从家代理得到登录应答, 对于带有路由优化的协议 T_{delay} 为等待对端主机, 家代理或前一代理的绑定应答时间中的最小值 (因此需要 $T_{cell} > T_{delay}$). 那么, 移动节点仅在 $T_{cell} - 2.5 * T_{advert} - T_{delay}$ 期间能收到数据业务. 则切换时延为 $T_{handoff} = 2.5 * T_{advert} + T_{delay}$. 令 β 为基站的下行带宽, U 为带宽利用率. 令 S_{advert} 为广播报文的大小. 那么广播报文的发送速率为 S_{advert} / T_{advert} , 则剩下用于数据业务的速率为

$$\gamma = U\beta - S_{advert} / T_{advert}$$

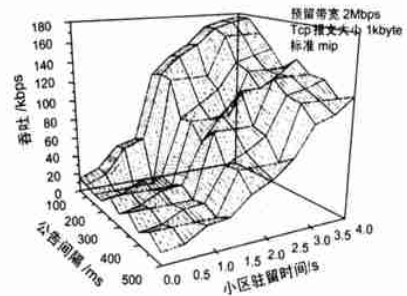
因此, 若 T_{advert} 很大, 那么用于数据业务的带宽会多些. 假设一个移动节点得到可用数据带宽中一部分 f , 移动主机在一个小区内可接收的数据量为

$$D = f(T_{cell} - 2.5T_{advert} - T_{delay})(U\beta - S_{advert} / T_{advert}) \quad (10)$$

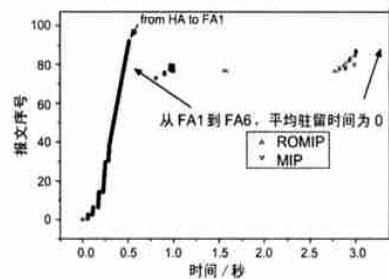
式 (10) 给出了移动主机在某个小区内接受数据量与 T_{advert} 的关系. 下面给出仿真结果.

如图 4(a) 所示, 这里用户可利用带宽设为 2Mbps, TCP 报文大小为 1Kbytes, 吞吐率与公告间隔和小区驻留时间的关系. 应注意在公告间隔小于 100ms 以后, 吞吐率会逐渐下降, 这主要是代理公告占用带宽过多, 使得 D 减小. 从图 4(a) 可见, 随着驻留时间的延长, 吞吐率趋于平稳, 而在驻留时间小于 0.5s 时, 也就是在每秒切换 2 次的情况下, 无论公告间隔如何增大也无法进行通信, 这种现象同样发生在带有路由优化和平滑切换的移动方案, 如图 4(b) 所示. ROMIP 主要解决 MIP 协议的三角路由问题, 我们在 2M 数据带宽的情况下对 TCP 性能进行了仿真. 图 4(c) 是使用 FTP 业务对于不同的小区驻留时间进行了多次模拟的平均结果, 可以看到 ROMIP 协议的吞吐性能明显好于 MIP 协议.

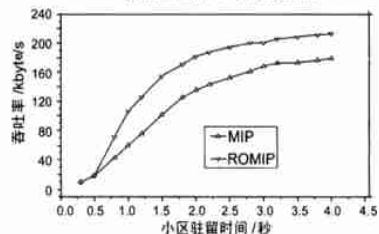
图 4(d) 给出 FTP 中两种协议的端对端时延, 移动主机在家网时, 两种协议所得的端对端时延相同, 当移动到外网后, 在带宽为 2Mbps 的情况下, ROMIP 的端对端时延要小于 MIP 的, 同时, 我们还可以看到在切换过程中, ROMIP 比 MIP 有更小的时延.



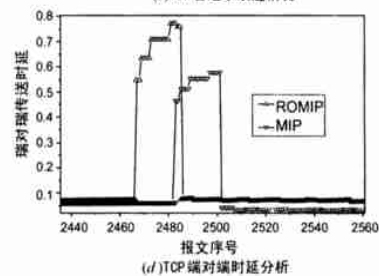
(a) 吞吐率与公告间隔驻留时间的关系



(b) 快速切换下, TCP 动态性能



(c) TCP 吞吐率改进情况



(d) TCP 端对端时延分析

图4 TCP 性能仿真

下面来看 UDP 性能. 考虑到实际网络应用, 有线网传输速率为 128Kbps, 给出不同速率的无线链路下的 UDP 丢包率的变化情况. 从图 5(a), (b) 可以看出丢包率随无线链路速率的变化情况, 当速率为 9.6kbps 时, 无论 MH 切换频率如何, MIP 的 UDP 报文丢失率几乎都在 90% 以上, ROMIP 丢包率性能有所改进, 但 MH 切换速度太快时, 即驻留的均值很小时, 丢包率也非常的大. 当链路速率达到 19.2kbps 和 33.6kbps 时, ROMIP 丢包率比 MIP 小很多. 在无线链路速率为 128kbps, 平均驻留时间大于 2.5 秒的时候, 丢包率基本上趋于稳定, 其报

文的丢失主要与 T_{delay} 的大小有关。

应注意的是网络各参数都一样的情况下, ROMIP 比 MIP 策略会占用更多的无线带宽, 这主要是 ROMIP 另外向 CH 发送位置更新消息, 在低业务到达率和高移动的情况下, 以及低业务量的情况下, 有可能带来更多的网络花费, 使得报文的端到端时延更长。我们仿真了无线链路速率为 33.6Kbps 时, 仿真结果表明, 当切换非常频繁时, ROMIP 与 MIP 有着几乎相同的丢包率, 甚至在驻留时间的均值小于 0.3 秒时, 优化的性能还不如标准协议, 如图 5(c)。这是由于路由优化增加了一些消息报文的发送, 这部分消耗当需要传输的报文比较多, 切换较慢时非常小, 但当传输报文很少, 且切换很快时, 这部分花费就非常明显了, 这也正和第三节的分析结果相吻合。随着 MH 移动速度的减慢, ROMIP 协议的优点越来越明显, 当驻留时间足够大, UDP 报文的丢包率趋于平滑时, ROMIP 的丢包率较 MIP 协议明显改善, 这对于数据的传输是非常可观的。

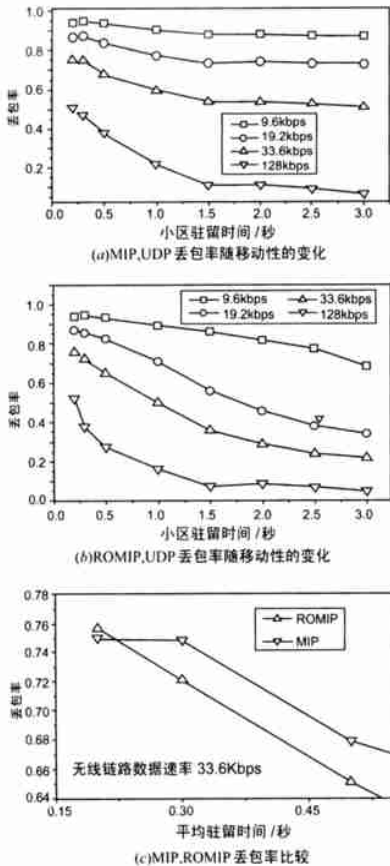


图 5 UDP 性能仿真

5 结论

IP 移动性管理是解决下一代异质网无缝漫游的途径, 本文就现有标准移动 IP 协议以及其路由优化协议 ROMIP 进行了分析研究。从中我们可以看到, 是否采用路由优化协议, 不能一概而论, 要根据网络及业务到达特征决定。另外, 两种协议都不能很好地支持将来的微小区带来的频繁切换, 要解决该问题还有待下一步的研究。

参考文献:

- [1] John Ioannidis, Dan Duchamp. IP based protocols for mobile internet working [A]. In Proceedings of ACM SIGCOMM [C]. 1991. 235-245.
- [2] Fumio Teraoka, Keisuke Uehara. VIP: A protocol providing host mobility [J]. Communications of the ACM, 1994, 37(8): 67-75.
- [3] David B Johnson. Mobile host internetworking using ip loose source routing [R]. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 1993.
- [4] IETF RFC 2002. IP Mobility Support [S].
- [5] David B Johnson, Charles Perkins. draft ietf mobileipr optmtr 09. txt [S].
- [6] H Balakrishnan, S Seshan. Improving reliable transport and handoff performance in cellular wireless networks [J]. ACM Wireless Networks, 1995, 1(4): 469-481.

作者简介:



裴珂男, 1973 年生于陕西礼泉, 1995 年毕业于西安电子科技大学, 获学士学位, 1998 年获硕士学位, 现为西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室博士生, 主要研究领域为, 移动 IP, 高速无线 IP 接入, 下一代无线网络结构等。



李建东男, 1962 年生, 1990 年毕业于西安电子科技大学并获得工学博士学位, 主要从事个人通信、移动通信、分组无线网、自组织网络等方面的研究。