

移动支持协议切换性能研究*

赵阿群^{1,2+}

¹(东南大学 计算机科学与工程系,江苏 南京 210096)

²(北京交通大学 计算机与信息技术学院,北京 100044)

Investigation on Handoff Performance of Mobility Support Protocols

ZHAO A-Qun^{1,2+}

¹(Department of Computer Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

²(School of Computer and Information Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-10-51688223, E-mail: zaq@computer.njtu.edu.cn, <http://www.njtu.edu.cn>

Received 2003-08-21; Accepted 2004-01-14

Zhao AQ. Investigation on handoff performance of mobility support protocols. *Journal of Software*, 2005,16(4):587–594. DOI: 10.1360/jos160587

Abstract: Handoff is an important research topic of mobility support protocols. It has great effects on the performance and quality-of-service of mobile networks. Based on appropriate network model and handoff model, the handoff performance of various mobility support protocols is deeply studied and compared through theoretical analysis and numerical simulation. The comparisons are made between mobile IP and micro-mobility protocol, and between different micro-mobility protocols. The results show that wireless network parameters and route update algorithms of mobility support protocols affect the handoff performance. The handoff performance when applying micro-mobility protocols is better than when only using Mobile IP. In all micro-mobility protocols, the route update algorithm of MIP-RR and MMP has the optimal performance.

Key words: mobility support protocol; handoff; handoff delay; movement detection; route update

摘要: 切换是移动支持协议研究的重要内容,其性能好坏对移动网络的性能和服务质量提供具有至关重要的影响。在合适的网络模型和切换模型的基础上,通过理论分析和数值仿真的方法对各类移动支持协议(包括移动 IP 与微观移动协议以及不同的微观移动协议)的切换性能进行了深入的研究和比较。结果表明,切换性能受无线网络参数和移动支持协议的路径更新算法两个因素影响;采用微观移动协议时的切换性能好于只使用移动 IP 时的情形;在所有微观移动协议中,MIP-RR 和 MMP 协议中的路径更新算法切换性能最佳。

关键词: 移动支持协议;切换;切换时延;移动检测;路径更新

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

因特网中采用移动 IP 协议^[1]支持主机的移动,但移动 IP 缺乏快速的切换支持,切换时会引起较多的分组丢

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.90104009 (国家自然科学基金); the Science and Technology Foundation of Beijing Jiaotong University under Grant No.2004RC017 (北京交通大学科技基金)

作者简介: 赵阿群(1974—),男,江苏泰州人,博士,讲师,主要研究领域为计算机网络,移动无线网络,网络应用。

失,难以满足未来移动网络蜂窝小、切换频繁、支持大量用户和多媒体应用的需求.为此,研究者提出了层次移动的概念,将MH(mobile host,移动主机)的移动行为分为宏观移动(MH在域间的移动)和微观移动(域内的移动),分别由移动IP和微观移动协议支持.目前提出的微观移动协议有基于层次隧道的移动IP区域性注册协议(MIP-RR)^[2],基于组播的MMP协议^[3]以及基于特定路由的蜂窝IP协议(CIP)^[4]和HAWAII协议^[5]等.

切换是移动支持协议研究的重要内容,它是当MH的位置发生改变时,与其他主机间的当前连接从一个接入点转移到另一个接入点的机制和过程,切换性能的好坏对移动网络的性能和服务质量提供具有至关重要的影响.目前对移动支持协议切换性能的研究,大量工作集中在通过仿真的方法对移动支持协议的各项性能指标如切换时延、切换时的分组丢失和切换对应用层吞吐量的影响等方面进行比较^[6,7].我们认为,网络仿真固然重要,但在较为复杂的情形下对仿真结果造成影响的因素难以作出准确的判断,因此仿真需要与理论分析相结合.在移动支持协议切换性能的理论研究方面,文献[8,9]分别对移动IP路由优化协议和改进的移动IP协议的切换性能进行了分析.本文的研究思路是首先提出合适的网络模型和切换模型,分析切换性能的影响因素,再从理论上比较各移动支持协议的切换性能.

1 分析模型

1.1 网络模型

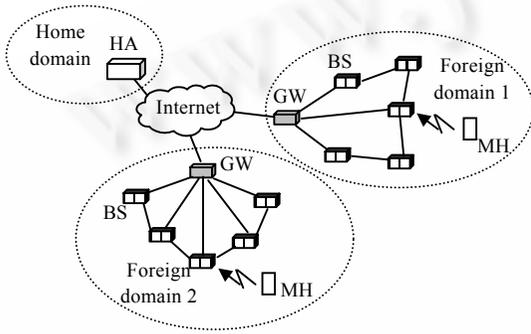


Fig.1 Network model
图1 网络模型

本文的研究基于如图1所示的网络模型.无线访问网络分成一个一个的管理域,每个管理域通过GW(gateway,网关)与因特网相连.对于MH在管理域之间的移动,采用标准的移动IP处理.对于MH在管理域内部的移动,分为两种方式,引入微观移动协议和不引入微观移动协议.对于前一种方式,MH在域内的移动采用某种微观移动协议处理;对于后一种方式,MH在域内的移动仍然采用移动IP协议处理.

在每个管理域内部,假设具有如图2所示的蜂窝结构(为简化计算未采用常用的六边形结构),该结构以一个蜂窝(称为第0层蜂窝)为中心向四周发散,依次为第1,2,3,...层蜂窝,第1层蜂窝数目为5,第*i*+1层(*i*=1,2,3,...)蜂窝数目是第*i*层蜂窝数目的2倍;每个蜂窝与5个蜂窝相邻,第0层蜂窝与5个第1层蜂窝相邻,第*i*层(*i*=1,2,3,...)蜂窝分别与1个第*i*-1层、2个第*i*层和2个第*i*+1层蜂窝相邻.在每个蜂窝中设置一个BS(base station,基站),它同时具有MRA(mobile routing agent,移动路由代理)的功能,其中处于第0层蜂窝的BS作为整个管理域的GW,所有相邻的BS之间通过有线链路连接,它们之间的距离为一跳.管理域内部的网络结构如图3所示.

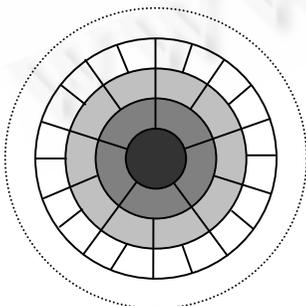


Fig.2 Cellular structure
图2 蜂窝结构

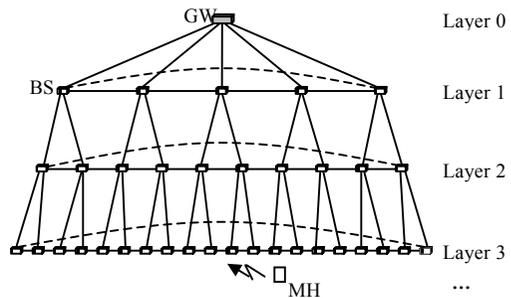


Fig.3 Network structure of administrator domain
图3 管理域网络结构

设一个管理域有 $R+1$ 层蜂窝(最外层为第 R 层蜂窝),这里 R 代表了管理域的大小,我们将它定义为管理域的半径.第 i 层蜂窝到 GW 的距离为 i ,其数目为

$$N_i = \begin{cases} 1, & i = 0 \\ 5 \times 2^{i-1}, & i = 1, 2, 3, \dots, R \end{cases} \quad (1)$$

因此,管理域中蜂窝的总数为

$$N = \sum_{i=0}^R N_i = 5 \times 2^R - 4 \quad (2)$$

设 MH 等概率地分布在管理域的各个蜂窝中,则 MH 处于第 i 层蜂窝范围内的概率为

$$p_i = N_i / N \quad (i = 0, 1, 2, \dots, R) \quad (3)$$

于是,可以计算出 MH 所在蜂窝与 GW 之间的平均距离为

$$D = E[i] = \sum_{i=0}^R i \times p_i = 5[(R-1)2^R + 1] / N \quad (4)$$

设 MH 处于随机移动模式,它向相邻的 5 个蜂窝的切换概率相等,则 MH 从第 i 层($i=1, 2, 3, \dots, R$)蜂窝切换到第 j 层蜂窝的概率为

$$P_{i,j} = \begin{cases} 1/5, & j = i - 1 \\ 2/5, & j = i \\ 2/5, & j = i + 1 \\ 0, & \text{others} \end{cases} \quad (5)$$

当 $i=R$ 时, $j=i+1$ 表示 MH 切换到相邻的管理域.

1.2 切换模型

本文的研究基于如图 4 所示的切换模型,相邻的 BS 工作在不同频率的信道,每个 MH 在任意时刻只能连接到一个 BS 并通过它接收和发送数据,MH 通过 BS 周期性广播的公告报文触发网络层切换.切换前,MH 通过旧 BS 发送和接收数据,在 t_0 时刻,MH 进入新 BS 的信号范围(图中 MH 与 BS 间的阴影区域表示 MH 处于该 BS 的信号范围内),MH 处于新旧 BS 共同信号范围内的区域称为蜂窝重叠区域(t_0 到 t_2 时刻);当 MH 处于蜂窝重叠区域内时根据链路特性判断是否需要链路层切换(假定 MH 处于蜂窝重叠区域内的时间足够长,能够允许 MH 完成判断),链路层切换使用类似于 GSM 系统中的硬切换技术(即先中断与旧 BS 连接,再建立与新 BS 的连接), t_1 时刻和 t_3 时刻分别为链路层切换的开始时刻和完成时刻;链路层切换完成后,MH 就可以收到新 BS 周期性广播的公告报文,当 MH 接收到新 BS 广播的第 1 个公告报文时(t_4 时刻),发出路径更新报文更新 LDB(location data base,位置数据库),路径更新完成后(t_5 时刻),MH 就可以通过新 BS 接收和发送数据.

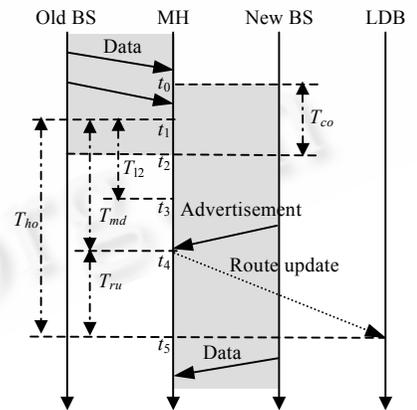


Fig.4 Handoff model
图 4 切换模型

2 切换性能研究

本文研究移动支持协议的切换性能,其中最基本的性能指标是切换延时,它反映了切换的快慢.切换的其他性能指标,如切换时的分组丢失和切换时应用吞吐量的下降都与切换时延有关.因此,我们主要以切换时延作为衡量移动支持协议切换性能指标.

定义 1(网络层切换时延 T_{ho}). 从 MH 断开与旧 BS 的连接到 MH 能够通过新 BS 接收数据所需时间为网络层切换时延,简称切换时延.

定义 2(网络层移动检测时间 T_{md}). 从 MH 断开与旧 BS 连接到接收到新 BS 广播的第 1 个公告报文所经过

的时间为网络层移动检测时间,简称移动检测时间.

定义 3(网络层路径更新时间 T_{ru}). MH 发出路径更新报文更新 LDB 的时间称为网络层路径更新时间,简称路径更新时间.

显然,在我们的切换模型下,有

$$T_{ho} = T_{md} + T_{ru} \quad (6)$$

下面分别分析组成切换时延的两个要素.

2.1 移动检测时间

由切换模型可知,移动检测时间 T_{md} 由两部分组成,一是链路层切换时间 T_{l2} ,另一个是等待新 BS 公告报文的时间.设 MH 等待新 BS 公告报文的时间为 x ,则

$$T_{md}(x) = T_{l2} + x \quad (7)$$

假设 T_a 为公告报文的广播周期,以 t_2 时刻为零时刻, x 在 $[0, T_a]$ 时间段内均匀分布,则 x 的概率密度函数为

$$p(x) = \begin{cases} 1/T_a, & 0 \leq x \leq T_a \\ 0, & \text{others} \end{cases} \quad (8)$$

根据式(7)和式(8),可以求出 T_{md} 的平均值为

$$E[T_{md}] = \int_{-\infty}^{+\infty} T_{md}(x) p(x) dx = T_{l2} + T_a / 2 \quad (9)$$

由式(9)可以看出,平均移动检测时间由链路层切换时间 T_{l2} 和 BS 广播公告报文的周期 T_a 决定, T_{l2} 可以看成是一个常数,而 T_a 越小,平均移动检测时间就越小,因此可以通过降低 T_a 的方法来减小移动检测时间.但是, T_a 越小就意味着 BS 需要频繁地广播公告报文,会占用大量的无线链路资源,甚至影响正常数据分组的传输,所以需要进行折衷.通常情况下, T_a 的取值为 50ms~200ms.

2.2 路径更新时间

路径更新时间 T_{ru} 与所采用的移动支持协议的路径更新算法相关,它由两部分组成:一个是路径更新报文的传输时延,另一个是移动支持节点对路径更新报文的处理时延.我们首先比较采用微观移动协议和只使用移动 IP 的路径更新时间,然后比较采用不同的微观移动协议的路径更新时间.

我们作如下假设:

- 路径更新报文在管理域内单位距离的传输时延为 T_t ,包括有线链路和无线链路;
- 路径更新报文在因特网上的单向总传输时延为 T_w ;
- 移动支持节点对每条路径更新报文的处理时延为 T_p .

2.2.1 移动 IP 与微观移动协议的比较

在只使用移动 IP 的情况下, MH 切换时路径更新报文由 MH 通过新 BS(相当于移动 IP 的外地代理)经过 GW 发往本地代理,应答报文沿相反路径返回 MH.

新 BS 与 GW 之间的平均距离可以根据式(4)和式(5)求出:

$$D_1 = \sum_{i,j} (D + j - i) \times p_{i,j} = D + 1/5 \quad (10)$$

于是,只使用移动 IP 时的路径更新时间为

$$T_{MIP} = 2(D_1 + 1)T_t + 2T_w + 3T_p \quad (11)$$

在采用微观移动协议的情况下(以两层移动为例),域间切换与域内切换的路径更新算法不同.对于域间切换按照移动 IP 处理,但是 GW 需要对路径更新报文进行处理.只有当 MH 处于管理域的边界蜂窝(第 R 层)时,才有可能发生域间切换,并且切换后仍处于新管理域的边界蜂窝中.发生域间切换时的路径更新时间为

$$T_{macro} = 2(R + 1)T_t + 2T_w + 5T_p \quad (12)$$

根据式(3)和式(5)可以求出 MH 发生域间切换的概率为

$$p_{macro} = p_R \times p_{R,R+1} = 2^R / N \quad (13)$$

对于域内切换采用微观移动协议处理,路径更新报文由 MH 通过新 BS 发送到 GW 并沿相反路径应答(最坏情况),于是可以求出域内切换时的路径更新时间为

$$T_{\text{micro}} = 2(D_1 + 1)T_i + 3T_p \tag{14}$$

由式(12)~式(14)可以求出采用微观移动协议时的平均路径更新时间为

$$T_{\text{HM}} = p_{\text{macro}} \times T_{\text{macro}} + (1 - p_{\text{macro}}) \times T_{\text{micro}} \tag{15}$$

为了比较只使用移动 IP 与采用微观移动协议情况的路径更新时间,我们计算两者的比值如下

$$T = T_{\text{HM}} / T_{\text{MIP}} \tag{16}$$

若 $T > 1$ 表示采用微观移动协议比只使用移动 IP 具有相对大的路径更新时间,若 $T < 1$ 则相反,并且 T 的值越小,表示采用微观移动协议的优势越大。

我们分别计算路径更新报文的传输时延小于处理时延($T_i=1, T_p=5$)、等于处理时延($T_i=T_p=1$)和大于处理时延($T_i=1, T_p=0.2$)的情况下,不同的 T_w 值和 R 值对路径更新时间比值的影响.计算结果如图 5 所示。

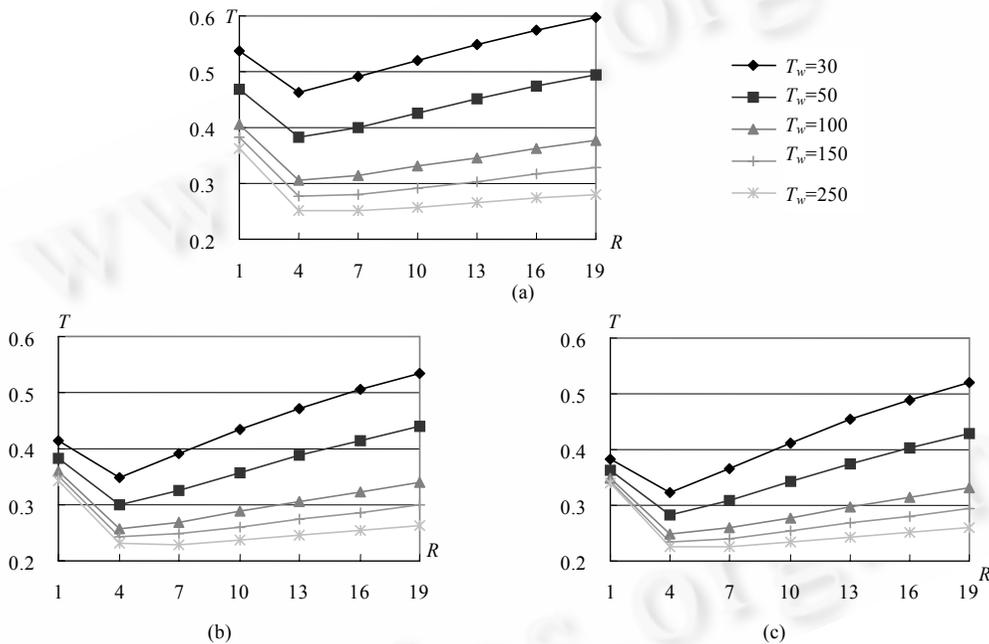


Fig.5 Route-Update-Time ratio between micro-mobility protocols and mobile IP

图 5 微观移动协议与移动 IP 路径更新时间的比值

观察图中数据及其变化趋势,可以得出如下结论:

- 在任何情况下都有 $T < 1$ (在我们的取值范围内, T 值在 0.2~0.6 之间变化), 这表明在任何情况下, 采用微观移动协议的平均路径更新时间与只使用移动 IP 相比具有较大的优势. 这说明了引入层次移动和微观移动协议的必要性。

- 观察 T 值随着管理域半径 R 的变化趋势可见, 当 R 很小时, T 值处于中等水平, 引入微观移动协议的优势并不明显, 随着 R 的增大, T 值迅速减小并且很快达到最小值, 然后随着 R 的进一步增大, T 值逐渐缓慢地增大. 这表明, 引入微观移动协议的优势与管理域的大小有关系, 存在一个最优的 R , 使得引入微观移动协议的优势达到最大, 在实际环境中可以作为确定管理域大小范围的考虑因素之一。

- 再观察 T 值随因特网上的传输时延 T_w 的变化情况可见, 随着 T_w 的增大, T 值不断减少, T_w 越大, 表明 MH 越远离本地网络, 所以 MH 越远离本地网络, 就越能体现引入微观移动协议的优势。

- 最后观察 T 值随路径更新报文处理时延 T_p 的变化情况 (固定路径更新报文的单位距离传输时延 $T_i=1$), 随着 T_p 的减小, 引入微观移动协议的优势增大, 这是因为引入微观移动协议后, 处理路径更新报文的节点增多,

而这种处理时延越小,越能体现引入微观移动协议的整体性能优势.当然,随着 T_w 的增大, T_p 对 T 值的影响将减小(这时 T_w 对 T 值的影响占主导地位).

2.2.2 各微观移动协议的比较

我们比较 MIP-RR, MMP, CIP 和 HAWAII 协议切换时的路径更新时间,由于域间切换均采用移动 IP 协议,我们只比较域内切换的情况.

假设切换前 MH 处于管理域的第 i 层蜂窝($i=1,2,3,\dots,R-1$),MH 的域内分组转发路径为 GW 到当前 BS 的最佳路径.MH 可能发生的切换的 3 种情况如图 6 所示,各种情况的切换概率由式(5)描述.

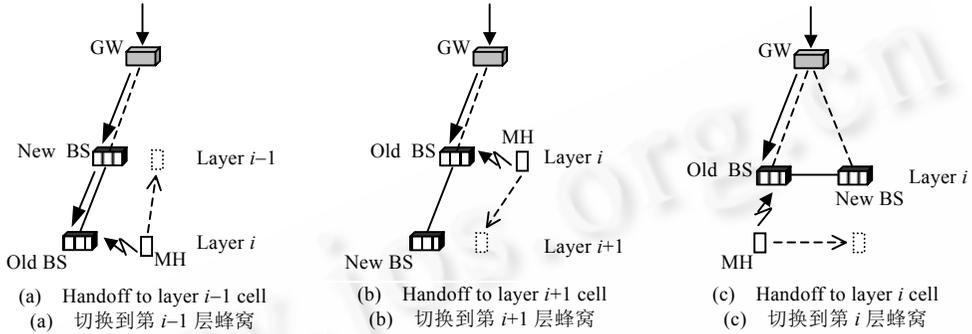


Fig.6 Three handoff cases of MH
图 6 MH 的 3 种切换情况

对于 MIP-RR 和 MMP 协议,切换时由 MH 通过新 BS 向 GW 方向发送路径更新报文,路径更新报文终止于交叉 MRA(MH 新旧路径上的最低层公共 MRA),应答报文沿相反路径发往 MH.在 MH 由第 i 层蜂窝向第 $i-1$ 层蜂窝切换的情况下,交叉 MRA 为新 BS,路径更新报文从 MH 发往新 BS,新 BS 进行路径更新,然后向 MH 发回应答报文,于是该情况下的路径更新时间为

$$T_{MIP-RR(i,i-1)} = T_{MMP(i,i-1)} = 2T_t + T_p \tag{17}$$

在 MH 由第 i 层蜂窝向第 $i+1$ 层蜂窝切换的情况下,交叉 MRA 为旧 BS,路径更新报文从 MH 通过新 BS 发往旧 BS,旧 BS 处理后沿相反路径向 MH 发回应答报文,故这种情况下的路径更新时间为

$$T_{MIP-RR(i,i+1)} = T_{MMP(i,i+1)} = 4T_t + 3T_p \tag{18}$$

MH 由第 i 层蜂窝向第 i 层蜂窝切换的情况较为复杂,设交叉 MRA 为处于第 j 层($j=i-1, i-2, \dots, 0$)蜂窝的 BS,则路径更新报文经过的链路数为 $2(i-j+1)$,需要处理的节点数为 $[2(i-j)+1]$,故交叉 MRA 处于第 j 层蜂窝时该情况下的路径更新时间为

$$T_{(i,j)} = 2(i-j+1)T_t + [2(i-j)+1]T_p \tag{19}$$

由管理域的网络结构可以求出交叉 MRA 处于第 j 层蜂窝的概率为

$$P_{(i,j)} = \begin{cases} 1/2^{i-1}, & j = 0 \\ 1/2^{i-j}, & j = 1, 2, \dots, i-1 \end{cases} \tag{20}$$

由式(19)和式(20)可以求出 MH 由第 i 层蜂窝向第 i 层蜂窝切换的情况下,MIP-RR 和 MMP 协议的路径更新时间为

$$T_{MIP-RR(i,i)} = T_{MMP(i,i)} = \sum_{j=0}^{i-1} T_{(i,j)} \times P_{(i,j)} = (6-4/2^i)T_t + (5-4/2^i)T_p \tag{21}$$

由式(17),(18),(21)和式(5)可以求出当 MN 处于管理域的第 i 层蜂窝切换时,MIP-RR 和 MMP 协议的路径更新时间为

$$\begin{aligned} T_{MIP-RR(i)} &= T_{MMP(i)} = \frac{1}{5}T_{MIP-RR(i,i-1)} + \frac{2}{5}T_{MIP-RR(i,i+1)} + \frac{2}{5}T_{MIP-RR(i,i)} \\ &= [22/5 - 8/(5 \cdot 2^i)]T_t + [17/5 - 8/(5 \cdot 2^i)]T_p \end{aligned} \tag{22}$$

对于 CIP 协议,切换时由 MH 通过新 BS 向 GW 发送路径更新报文,并且不需要返回应答报文,故切换时的

路径更新时间只与新 BS 与 GW 之间的距离有关.在 MH 由第 i 层蜂窝向第 $i-1$ 层,第 $i+1$ 层和第 i 层蜂窝切换情况下的路径更新时间分别计算如下:

$$T_{CIP(i,i-1)} = iT_t + iT_p \tag{23}$$

$$T_{CIP(i,i+1)} = (i+2)T_t + (i+2)T_p \tag{24}$$

$$T_{CIP(i,i)} = (i+1)T_t + (i+1)T_p \tag{25}$$

类似地,由式(23)~(25)和式(5)可以求出当 MN 处于管理域的第 i 层蜂窝切换时,CIP 协议的路径更新时间为

$$T_{CIP(i)} = \frac{1}{5}T_{CIP(i,i-1)} + \frac{2}{5}T_{CIP(i,i+1)} + \frac{2}{5}T_{CIP(i,i)} = (i+6/5)T_t + (i+6/5)T_p \tag{26}$$

对于 HAWAII 协议(采用非转发方案),切换时由 MH 通过新 BS 向旧 BS 发送路径更新报文并沿相反路径发送应答报文,由于使用的网络模型中新 BS 与旧 BS 之间总是直接相连的,故 HAWAII 协议切换时的路径更新时间与 MH 所处的蜂窝位置无关,为

$$T_{HAWAII} = 4T_t + 3T_p \tag{27}$$

我们忽略 MH 处于管理域第 0 层和第 R 层蜂窝时对结果的影响,将式(22)和式(26)中的 i 用 MH 所在蜂窝与 GW 之间的平均距离 D 取代就得到 MIP-RR 和 MMP 协议以及 CIP 协议切换时的平均路径更新时间,如下

$$T_{MIP-RR} = T_{MMP} = [22/5 - 8/(5 \times 2^D)]T_t + [17/5 - 8/(5 \times 2^D)]T_p \tag{28}$$

$$T_{CIP} = (D+6/5)T_t + (D+6/5)T_p \tag{29}$$

我们定义 $p=T_p/T_t$,并设 $T_t=1$,根据式(27)~(29)分别计算在不同的 R 值和不同的 p 值情况下各微观移动协议的路径更新时间 T_{ru} ,计算结果如图 7 所示.

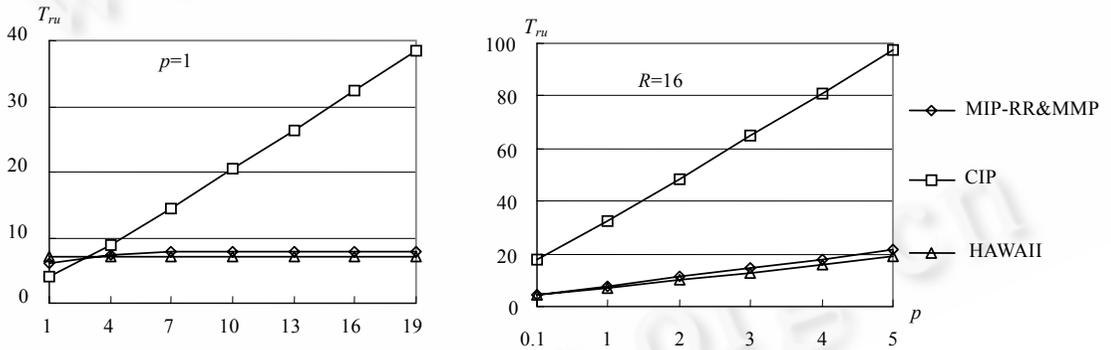


Fig.7 Comparison of route-update-time between various micro-mobility protocols

图 7 微观移动协议路径更新时间比较

观察图 7 中各协议的路径更新时间及其变化趋势,可以得出如下结论:

- 观察路径更新时间随着管理域半径 R 的变化趋势可见,随着 R 的增大,CIP 协议的路径更新时间急剧增大,MIP-RR 和 MMP 协议的路径更新时间缓慢增大并收敛于一个固定值($p=1$ 的情况下该值为 7.8),HAWAII 协议的路径更新时间保持不变.

- 再观察路径更新时间随 p 的变化情况,随着 p 的增大,各微观移动协议的路径更新时间均呈线性增长,但 CIP 协议的斜率较大(与 R 有较大关系, R 越大斜率越大),MIP-RR,MMP 和 HAWAII 协议的斜率较小并且受 R 的影响较小或者不受影响.

- 在大部分情况下,CIP 协议的路径更新时间均远大于 MIP-RR,MMP 和 CIP 协议,这是因为 CIP 协议中路径更新报文需要一直发送到 GW,尽管 CIP 采用非应答方式减少了一半的时延,但情况仍然很严重,所以这种路径更新算法是不可取的.

- 我们的计算中,HAWAII 协议的路径更新时间最短,但通过进一步分析发现,之所以出现这种情况,是由于我们的网络模型采用了相邻 BS 全互连的结构,使 HAWAII 协议工作在最佳情况(切换前后的新旧 BS 直接相连).

对于其他的网络结构(如严格的树型结构),HAWAII 协议的路径更新时间会增大。

• 从图 7 中观察到 MIP-RR 和 MMP 协议的路径更新时间非常接近于 HAWAII 协议的最佳值,并且具有明确的上界,这是一个非常好的特性,它可以保证切换的最大时延,因此,MIP-RR 和 MMP 协议中使用的通过新 BS 向 GW 方向发送路径更新报文并终止于交叉 MRA 节点的路径更新算法代表了微观移动协议的发展方向。

3 结束语

通过本文研究可知,移动支持协议的切换时延由移动检测时间和路径更新时间两部分组成,移动检测时间受链路层切换时间和 BS 广播公告报文的周期影响,而路径更新时间与所采用的移动支持协议的路径更新算法相关.采用微观移动协议时的路径更新时间远小于只使用移动 IP 协议时的情形.在不同的微观移动协议中,采用 CIP 协议的路径更新时间较大,采用 MIP-RR 和 MMP 协议的路径更新时间较小,采用 HAWAII 协议的路径更新时间受网络结构影响较大。

本文的研究不仅比较了各移动支持协议的切换性能,还讨论了影响移动支持协议切换性能的因素(如 BS 广播公告报文的周期、管理域的半径和协议的路径更新算法等),我们的工作对于无线网络的设计和移动支持协议的发展具有一定的指导意义。

References:

- [1] Perkins CE. IP mobility support. RFC 2002, Internet Engineering Task Force, 1996. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2002.txt>
- [2] Gustafsson E, Jonsson A, Perkins CE. Mobile IPv4 regional registration. Internet draft, Internet Engineering Task Force, 2003. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mobileip-reg-tunnel-08.txt>
- [3] Mihailovic A, Shabeer M, Aghvami AH. Multicast for mobility protocol (MMP) for emerging internet networks. In: Proc. of the IEEE Int'l Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC 2000. London: IEEE Press, 2000. 327–333. <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/7069/19062/00881442.pdf>
- [4] Valko AG. Cellular IP: A new approach to Internet host mobility. Computer Communication Review, 1999,29(1):50–65.
- [5] Ramjee R, La Porta TF, Salgarelli L, Thuel S, Varadhan K, Li L. IP-Based access network infrastructure for next-generation wireless data networks. IEEE Personal Communications, 2000,7(4):34–41.
- [6] Wong KD, Hung YW, Dutta A, Young K. Performance of IP micro-mobility management schemes using host based routing. In: Proc. of the Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC) 2001. 2001. 773–789. <http://www.cs.columbia.edu/~dutta/research/wpmc.pdf>
- [7] Campbell AT, Gomez J, Kim S, Wan CY, Turanyi ZR, Valko AG. Comparison of IP micromobility protocols. IEEE Wireless Communications, 2002,9(1):72–82.
- [8] Pei K, Li JD, Guo F. Performance analysis and simulation of mobile IP with Route Optimization. Acta Electronica Sinica, 2002,30(4):484–487 (in Chinese with English abstract).
- [9] Tang H, Xiong SM, Wu ZF, Zhao J. Registration performance analysis of novel mobile IP. Journal of China Institute of Communications, 2002,23(6):116–121 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献:

- [8] 裴珂,李建东,郭峰.移动 IP 路由优化性能分析及仿真.电子学报,2002,30(4):484–487.
- [9] 唐宏,熊思民,吴中福,赵军.改进的移动 IP 的注册性能分析.通信学报,2002,23(6):116–121.