

移动支持协议移动管理代价研究*

赵阿群⁺

(北京交通大学 计算机与信息技术学院,北京 100044)

Study on Mobility Management Cost of Mobility Support Protocols

ZHAO A-Qun⁺

(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>

Zhao AQ. Study on mobility management cost of mobility support protocols. *Journal of Software*, 2006,17(4): 925-931. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/925.htm>

Abstract: The mobility management cost of mobility support protocols is studied. Firstly a suitable network model is proposed and the signaling overhead brought to network in order to support MHs' (mobile host) mobility using various mobility support protocols is analyzed theoretically. On this base, a numerical simulation method is applied to compare the signaling overhead when only using mobile IP with introducing hierarchical mobility and when applying different micro-mobility protocols such as MIP-RR, CIP and HAWAII. The results show that introducing hierarchical mobility decreases the network signaling overhead observably comparing with only using mobile IP. In different micro-mobility protocols, the route maintenance strategy of deleting old routes explicitly brings less signaling overhead than frequently sending refresh messages periodically, and the route update method of sending route update messages to crossover MRA (mobile routing Agent) brings less signaling overhead than sending messages to GW (gateway).

Key words: mobility support protocol; mobility management cost; signaling overhead; hierarchical mobility; micro-mobility protocol

摘要: 针对移动支持协议的移动管理代价进行了研究,提出了一种合适的网络模型.在此网络模型的基础上,采用理论分析的方法分析了使用各移动支持协议时,为支持 MH(mobile host)移动给网络带来的信令开销,并采用数值仿真的方法,对只使用移动 IP 协议和引入层次移动时的信令开销以及采用 MIP-RR,CIP 和 HAWAII 等不同微移动协议时的信令开销进行了比较.结果表明:引入层次移动与只使用移动 IP 相比,显著减少了网络的信令开销;在不同的微移动协议中,使用显式删除旧路径的路径维护策略与频繁发送周期性的刷新报文相比,给网络带来的信令开销较小;使用路径更新报文发送到交叉 MRA(mobile routing Agent)的路径更新方法与路径更新报文发送到 GW(gateway)相比,具有较小的网络信令开销.

关键词: 移动支持协议;移动管理代价;信令开销;层次移动;微移动协议

中图法分类号: TP393 **文献标识码:** A

* Supported by the Science and Technology Foundation of Beijing Jiaotong University of China under Grant No.2004RC017 (北京交通大学科技基金)

Received 2004-11-30; Accepted 2005-06-02

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,提出了层次移动的概念,将移动主机(mobile host,简称 MH)的移动行为分为宏移动(域间的移动)和微移动(域内的移动),分别由移动 IP 和微移动协议支持.目前提出的微移动协议有:移动 IP 区域性注册协议(MIP-RR)^[2]、蜂窝 IP 协议(CIP)^[3]、HAWAII 协议^[4]等.

移动支持协议的性能好坏,对移动网络的性能具有至关重要的影响.目前,移动支持协议的性能评价工作主要集中在切换性能方面^[5-8].我们认为切换性能固然重要,但为了保证移动支持协议在实际环境中的实现,其另一性能指标——移动管理代价同样不可忽视.文献[9,10]对移动支持协议的移动管理代价进行了研究,其中,文献[9]从理论上研究了分组到达间隔时间对微移动协议移动管理代价的影响,指出影响其性能的因素是分组到达的平均间隔时间,而非间隔时间的分布类型;文献[10]主要通过仿真的方法比较了移动 IP 协议与微移动协议的移动管理代价.

在进行移动支持协议切换性能研究时,我们首先提出一种合适的网络模型,在此网络模型的基础上分析切换性能的影响因素,并从理论上比较各移动支持协议的切换性能^[8].本文着重研究移动支持协议的移动管理代价,在先前提出的网络模型基础上,对各移动支持协议的移动管理代价进行分析和比较.

1 网络模型

本文中,无线访问网络由多个管理域构成,每个管理域通过网关(gateway,简称 GW)与因特网相连.管理域内部具有如图 1 所示的蜂窝模型,该模型以一个蜂窝(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($i=1,2,3,\dots$)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($i=1,2,3,\dots$)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基站(base station,简称 BS),它同时具有移动路由代理(mobile routing agent,简称 MRA)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 1 跳.管理域的网络结构如图 2 所示.

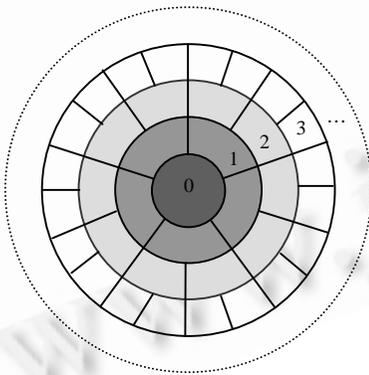


Fig.1 Cellular model of administrator domain
图 1 管理域的蜂窝模型

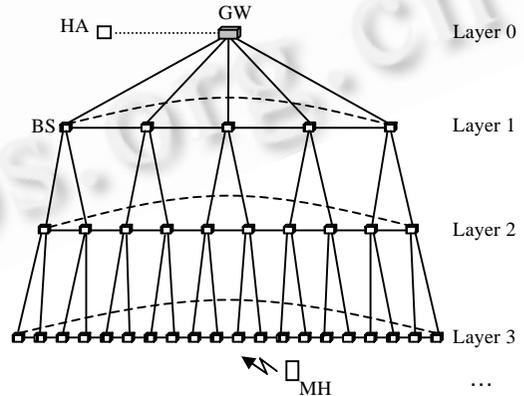


Fig.2 Network structure of administrator domain
图 2 管理域的网络结构

设管理域的半径为 R (即最外层为第 R 层蜂窝),第 i 层蜂窝到 GW 的距离为 i ,其数目为

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

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

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

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.

2 移动管理代价研究

从广义上讲,移动管理代价是指为支持 MH 的移动所付出的一切开销,包括终端和移动支持节点的处理开销、网络的带宽开销以及位置数据库的存储开销等.本文主要考虑为支持 MH 的移动给网络带来的信令开销,它是衡量移动支持协议性能的一个重要指标.

下文首先比较只使用移动 IP 和引入层次移动时的信令开销,然后比较采用不同的微移动协议时的信令开销.先作如下定义:

- 路径更新报文在管理域内有链路上传输产生的信令开销为:报文大小与链路距离(以跳数为单位)之乘积,单位为“跳×byte”.
- 由于无线链路的带宽资源有限,所以路径更新报文在无线链路上传输产生的信令开销为报文大小与链路距离之乘积的 α 倍.
- 同样,由于广域网的带宽较为昂贵,所以路径更新报文在因特网上传输产生的信令开销为报文大小与链路距离之乘积的 β 倍,并设管理域的 GW 到 MH 的本地代理(home agent,简称 HA)的距离为 w 跳.
- MH 的切换频率为 F_{HO} .

2.1 移动IP与层次移动的比较

首先比较只使用移动 IP 和引入层次移动时的信令开销.在只使用移动 IP 的情况下,MH 每次切换时路径更新报文由 MH 经过 GW 发往 HA,应答报文沿相反路径返回 MH.为了维护路径信息,MH 还需要周期性地向 HA 发送刷新报文(利用路径更新报文进行刷新).假设刷新报文的发送频率为 F_{RN} ,路径更新报文和应答报文大小分别为 R_{update} 和 R_{reply} ,则在只使用移动 IP 的情况下,单位时间内为支持 MH 的移动给网络带来的信令开销为

$$C_{MIP} = (\alpha + D' + \beta w)(R_{update} + R_{reply})(F_{HO} + F_{RN}) \quad (6)$$

其中 D' 为新 BS 与 GW 之间的平均距离,由式(4)和式(5)可以求出

$$D' = \sum_{i,j} (D + j - i) \times P_{i,j} = D + 1/5 \quad (7)$$

在引入层次移动的情况下,当 MH 发生域间切换时,路径更新报文从 MH 发往 HA,给网络带来的信令开销与移动 IP 协议相同;当 MH 发生域内切换时,在最坏情况下,路径更新报文从 MH 发送到管理域的 GW,应答报文沿相反路径返回 MH.同样,为了维护路径信息,MH 需要周期性地向 HA 发送刷新报文.MH 发生一次域间切换和域内切换给网络带来的信令开销分别为

$$C_{inter} = (\alpha + D' + \beta w)(R_{update} + R_{reply}) \quad (8)$$

$$C_{intra}=(\alpha+D')(R_{update}+R_{reply}) \tag{9}$$

由式(3)和式(5)可以求出 MH 发生域间切换的概率为

$$p_{inter}=p_R \times p_{R,R+1}=2^R/(5 \times 2^R-4) \tag{10}$$

故在引入层次移动的情况下,单位时间内为支持 MH 的移动给网络带来的信令开销为

$$C_{HM}=[p_{inter} \times C_{inter}+(1-p_{inter}) \times C_{intra}] \times F_{HO}+C_{inter}F_{RN} \\ =[(\alpha+D'+\beta w p_{inter})F_{HO}+(\alpha+D'+\beta w)F_{RN}](R_{update}+R_{reply}) \tag{11}$$

为了比较只使用移动 IP 和引入层次移动情况下,为支持 MH 的移动给网络带来的信令开销,我们计算两者的差值如下

$$C=C_{MIP}-C_{HM}=(1-p_{inter})\beta w F_{HO}(R_{update}+R_{reply}) \tag{12}$$

由于 $p_{inter}<1$,故 $C>0$.这表示在任何情况下只使用移动 IP,为支持 MH 的移动给网络带来的信令开销都大于引入层次移动的情况.这表明了引入层次移动和微移动协议的必要性.为了了解这种优势的程度,我们取 $\beta=2, F_{HO}=0.25$ 次/s, $R_{update}=R_{reply}=60$ bytes,分别计算在不同 w 值和不同 R 值情况下的 C 值,计算结果如图 3 所示.

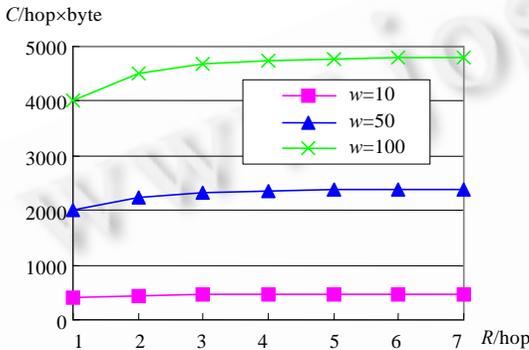


Fig.3 Comparison between mobile IP and hierarchical mobility

图 3 移动 IP 与层次移动的比较

从图中观察到,随着管理域半径 R 的增大,只使用移动 IP 协议与引入层次移动,为支持 MH 的移动给网络带来的信令开销的差值 C 也随之增大,但增大幅度逐渐减小,最后收敛于一个固定值 ($w=10,50,100$ 的情况下,该固定值分别为 480,2400,4800).就网络带来的信令开销而言,在管理域范围不大的情况下,管理域范围越大,引入层次移动的优势越大;但在管理域范围较大的情况下,并不能通过增大管理域的范围来提高引入层次移动的优势.另外,从图中还可以观察到:随着管理域 GW 与 HA 之间距离 w 的增大, C 值呈线性增长.这表明:就给网络带来的信令开销而言,MH 越远离本地网络,就越能体现引入层次移动的优势.

2.2 各微移动协议的比较

接下来我们来比较 MIP-RR,CIP 和 HAWAII 协议为支持 MH 的移动给网络带来的信令开销.由于域间切换均采用移动 IP 协议,因此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 可能发生的切换有 3 种情况(如图 4 所示),各种情况的切换概率由式(5)来描述.

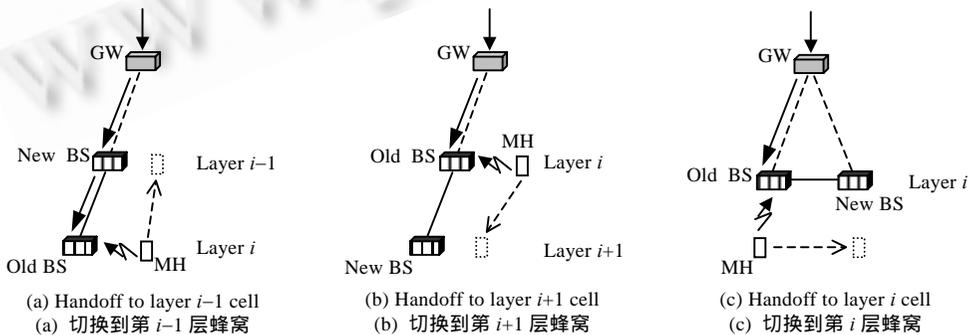


Fig.4 Three handoff cases of MH

图 4 MH 的 3 种切换情况

对于 MIP-RR 协议,为支持 MH 的移动给网络带来的信令开销由两部分组成:一部分是用于建立新路径的移动 IP 区域性注册请求和应答报文,请求报文由 MH 通过新 BS 向 GW 方向发送,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;另一部分是用于删除旧路径的绑定更新和应答报文,绑定更新报文由新 BS 发往旧 BS,然后由旧 BS 向 GW 方向发送并使用应答报文逐层应答,直至交叉 MRA,最后由交叉 MRA 向 MH 发出应答报文.设区域性注册请求和应答、绑定更新和应答报文的大小分别为 R_{RR} 、 R_{RP} 、 R_{BU} 和 R_{BA} .

在 MH 由第 i 层蜂窝向第 $i-1$ 层蜂窝切换的情况下(如图 4(a)所示),交叉 MRA 为新 BS,新旧 BS 直接相连,切换时给网络带来的信令开销为

$$C_{MIP-RR(i,i-1)} = \alpha(R_{RR} + R_{RP})F_{HO} + [2R_{BU} + (\alpha+1)R_{BA}]F_{HO} \quad (13)$$

在 MH 由第 i 层蜂窝向第 $i+1$ 层蜂窝切换的情况下(如图 4(b)所示),交叉 MRA 为旧 BS,新旧 BS 同样直接相连,切换时给网络带来的信令开销为

$$C_{MIP-RR(i,i+1)} = (\alpha+1)(R_{RR} + R_{RP})F_{HO} + [R_{BU} + (\alpha+1)R_{BA}]F_{HO} \quad (14)$$

在 MH 由第 i 层蜂窝向第 i 层蜂窝切换的情况下(如图 4(c)所示),设交叉 MRA 为处于第 j 层($j=i-1, i-2, \dots, 0$)蜂窝的 BS,切换时给网络带来的信令开销为

$$C_{MIP-RR(i,i)} = (\alpha+i-j)(R_{RR} + R_{RP})F_{HO} + [(i-j+1)R_{BU} + (\alpha+2(i-j))R_{BA}]F_{HO} \quad (15)$$

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

$$P_{(i,i)j} = \begin{cases} 1/2^{i-1}, & j=0 \\ 1/2^{i-j}, & j=1, 2, \dots, i-1 \end{cases} \quad (16)$$

由式(15)和式(16)可以求出 MH 由第 i 层蜂窝向第 i 层蜂窝切换的情况下,给网络带来的信令开销如下:

$$C_{MIP-RR(i,i)} = \sum_{j=0}^{i-1} C_{MIP-RR(i,i)j} \times P_{(i,i)j} \quad (17)$$

由式(5)、式(13)、式(14)和式(17)可以求出当 MH 处于管理域的第 i 层蜂窝情况下使用 MIP-RR 协议切换时给网络带来的信令开销为

$$C_{MIP-RR(i)} = \frac{1}{5}C_{MIP-RR(i,i-1)} + \frac{2}{5}C_{MIP-RR(i,i+1)} + \frac{2}{5}C_{MIP-RR(i,i)} \quad (18)$$

MIP-RR 协议切换时发送旧路径删除报文显式地删除旧路径;而 CIP 协议使用了不同的路径维护策略,它不显式地删除旧路径,而是让旧路径由于超时被自动删除.这样,在未发生切换的情况下,为了维护路径信息不会由于超时而被删除, MH 必须周期性地发送刷新报文. CIP 中, MH 每次切换时发出的更新报文和周期性发送的刷新报文都要发送到 GW,但协议在 MH 有数据发送的情况下,以数据分组代替更新报文和刷新报文进行路径更新和刷新,以减少网络的信令负载.设需要发送更新报文和刷新报文进行路径更新和刷新的概率为 p ,路径更新报文的大小为 R_{RU} ,下行分组速率为 v ,路径信息超时时间与刷新周期的比值为 γ ,文献[11]中经过计算得出最佳刷新周期为

$$T_{RU} = \sqrt{pR_{RU} / (\gamma - 1/2)vF_{HO}} \quad (19)$$

由于路径更新报文总是从 MH 经过新 BS 向 GW 发送,并且不需要返回应答报文, CIP 协议为支持 MH 的移动给网络带来的信令开销只与新 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 层蜂窝切换情况下以及周期性刷新给网络带来的信令开销分别计算如下:

$$C_{CIP(i,i-1)} = p(\alpha+i-1)R_{RU}F_{HO} \quad (20)$$

$$C_{CIP(i,i+1)} = p(\alpha+i+1)R_{RU}F_{HO} \quad (21)$$

$$C_{CIP(i,i)} = p(\alpha+i)R_{RU}F_{HO} \quad (22)$$

$$C_{CIP(i)刷新} = p(\alpha+i)R_{RU}/T_{RU} \quad (23)$$

由式(5)和式(20)~式(23)可以求出使用 CIP 协议情况下,当 MH 处于管理域的第 i 层蜂窝切换时,给网络带来的信令开销为

$$C_{CIP(i)} = \frac{1}{5}C_{CIP(i,i-1)} + \frac{2}{5}C_{CIP(i,i+1)} + \frac{2}{5}C_{CIP(i,i)} + C_{CIP(i)刷新} \quad (24)$$

对于 HAWAII 协议(采用非转发方案),切换时由 MH 通过新 BS 向旧 BS 发送路径建立报文,并沿相反路径返回 MH 作为应答.这一过程同时完成了新路径信息的建立和旧路径信息的删除.设路径建立报文的大小分别为 R_{PS} .由于新旧 BS 之间总是直接相连的,故给网络带来的信令开销与 MH 所处的蜂窝位置无关,为

$$C_{HAWAII} = 2(\alpha+1)R_{PS}F_{HO} \quad (25)$$

在上面的公式中,我们将 i 用 MH 所在蜂窝与 GW 之间的平均距离 D 取代,并取 $\alpha=2, F_{HO}=0.25$ 次/s, $p=0.1, \gamma=3, v=64$ kbps,所有的路径更新报文(包括应答报文)大小均为 60bytes,分别计算各微移动协议为支持 MH 的移动给网络带来的信令开销随着管理域半径 R 的变化,计算结果如图 5 所示.

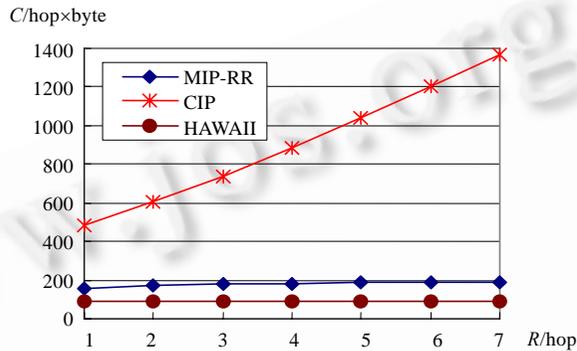


Fig.5 Comparison among different micro-mobility protocols

图 5 不同微移动协议的比较

从图中可以观察到:在 CIP 协议中,为支持 MH 的移动给网络带来的信令开销,随管理域半径 R 的增大呈线性增长,并且远大于其他协议.究其原因,这是由 CIP 协议的路径维护策略(频繁发送周期性的刷新报文)和路径更新方法(路径更新报文发送到 GW 而非交叉 MRA)所决定的.尽管协议中通过尽量用数据分组来代替路径更新报文进行路径更新或刷新的方法来减少给网络带来的信令开销,但是,即使 90%的路径更新报文都可以用数据分组替代($p=0.1$),余下的信令开销仍然是相当大的,特别是在管理域范围较大的情况下.所以,CIP 协议中的路径维护策略和路径更新方法是不可取的.

从图中还可以观察到:在 MIP-RR 协议中,为支持 MH 移动给网络带来的信令开销,随着管理域半径 R 的增大而略微增大,但具有明确的上界;在 HAWAII 协议中,为支持 MH 移动给网络带来的信令开销不随 R 的变化而变化.在相同管理域大小的情况下,MIP-RR 协议中的信令开销大于 HAWAII 协议中的信令开销,但两者相差不大.分析原因,MIP-RR 和 HAWAII 协议使用了相同的路径维护策略(显式地删除旧路径):MIP-RR 协议中使用了通过新 BS 向 GW 方向发送路径更新报文并终止于交叉 MRA 的路径更新方法;HAWAII 协议中使用通过新 BS 向旧 BS 发送路径报文的的路径更新方法.后者虽然给网络带来的信令开销略小,但会造成非最优路由.因此,MIP-RR 协议中的路径更新方法更值得借鉴.

3 结束语

本文针对移动支持协议的移动管理代价进行研究.首先提出了一个合适的网络模型,在此基础上,采用理论分析的方法分析了使用各移动支持协议时为支持 MH 移动给网络带来的信令开销,并通过数值仿真的方法对只使用移动 IP 协议和引入层次移动时的信令开销以及采用 MIP-RR,CIP 和 HAWAII 等不同的微移动协议时的信令开销进行了比较.结果表明:引入层次移动与只使用移动 IP 相比,显著减少了网络的信令开销.在不同的微移动协议中,使用显式删除旧路径的路径维护策略与频繁发送周期性的刷新报文相比,给网络带来的信令开销较小;使用路径更新报文发送到交叉 MRA 的路径更新方法与路径更新报文发送到 GW 相比,具有较小的网络信

令开销.我们的研究结论对于移动支持协议的发展和工程实现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 Engineering Task Force, 2003. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mobileip-reg-tunnel-08.txt>
- [3] Valko AG. Cellular IP: A new approach to Internet host mobility. *Computer Communication Review*, 1999,29(1):50–65.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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).
- [7] 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).
- [8] Zhao AQ. Research on handoff performance of mobility support protocols. *Journal of Software*, 2005,16(4):587–594 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/16/587.htm>
- [9] Pirooska L, Ronai MA, Turanyi ZR, Valko AG. Cost of location maintenance related signaling in IP micro mobility networks. In: *Proc. of the Transcom Conf. Zilina*, 2001. http://www.ronai.hu/doc/cost_of_loc_main_sig-pirooska_ronai_turanyi_valko.pdf
- [10] Pagtzis T, Perkins CE. Performance issues for localised IP mobility management. In: *Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Networks (ICON)*. Singapore, 2002. 211–216. http://www.cs.ucl.ac.uk/staff/t.pagtzis/papers/papers/icon02_LMMsigPerf.pdf
- [11] Valko AG. Design and analysis of cellular mobile data networks [Ph.D. Thesis]. New York: Columbia University, 1999.

附中文参考文献:

- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 赵阿群.移动支持协议切换性能研究. *软件学报*,2005,16(4):587–594. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/16/587.htm>



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,网络应用系统.