

分层移动 IP 中最优管理区域规模的研究

李 军 宋 梅 宋俊德
(北京邮电大学电子工程学院 北京 100876)

摘 要: 该文建立了一种分层移动 IP 网络分析模型, 提出了一种最优管理区域的设置方案。通过对切换时延和管理区域大小之间的数学关系进行定量分析, 表明分层移动 IP 存在最优管理区域。通过采用极小化函数迭代的方法, 求出使切换时延达到最小时最优 MAP 管理区域半径。研究结果为分层移动 IP 的网络规划和优化提供了重要的理论指导。

关键词: 分层移动 IP; 绑定更新; 最优管理区域半径; 域间切换; 域内切换

中图分类号: TN915.02

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)08-1985-04

Research on Hierarchical Mobile IP Optimal Regional Size

Li Jun Song Mei Song Jun-de

(School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: A novel hierarchical mobile IP network analysis model is firstly constructed in this paper. And then a scheme is proposed to set hierarchical mobile IP optimal size of regional network. After mathematical relations between handoff latency and the regional size of hierarchical mobile IP are studied, the conclusion can be drawn that there exists optimal size of regional network. Moreover, a minimum iterative function is adopted to deduce optimal MAP regional radius when handoff latency is minimum. Research results will be benefit to hierarchical mobile IP network planning and optimization.

Key words: Hierarchical mobile IP; Binding update; Optimal regional radius; Inter-domain handoff; Intra-domain handoff

1 引言

移动 IP 是 IETF(Internet Engineering Task Force)制定的一种 Internet 移动性管理方案, 可使节点在不同网络间移动时仍能保持通信的连续性^[1]。由于传统移动 IP 缺乏快速切换的支持, 当移动节点(MN)远离家乡代理(HA)的时候, 造成频繁注册和难以容忍的切换延迟, 引起网络性能恶化。为此, 业内研究人员提出层次移动 IP 的概念^[2], 基本思想是把网络划分成不同的管理域, 将移动节点的行为分为宏移动(域间移动)和微移动(域内移动), 分别由传统移动 IP 和微移动性管理协议支持。当 MN 在区域内移动时不必向 HA 注册, 将注册信令过程局部化, 以减小注册信令代价。在现有的分层微移动性管理协议及其改进算法中, 大量的工作集中在通过实验仿真的方法对部分性能指标进行定性分析, 很少在理论上对分层移动 IP 管理域规模进行定量描述。文献[3]的作者虽然提出使分层移动 IP 切换时延达最小的最优管理区域规模的存在, 但未能详细量化二者之间的关系。

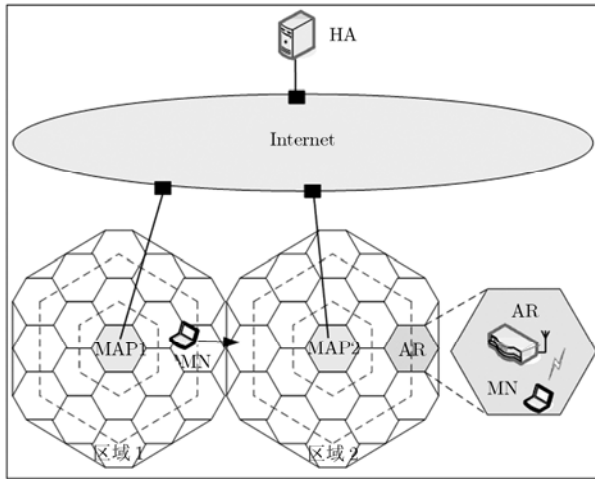
本文首先提出一种新的网络分析模型, 然后详细分析分层移动 IP 的切换时延, 最后导出切换中绑定更新时延和最

优管理区域规模之间的数学关系, 提出了一种最优管理区域的设置方案。研究结果为分层移动 IP 的网络规划和优化提供了重要的参考价值。

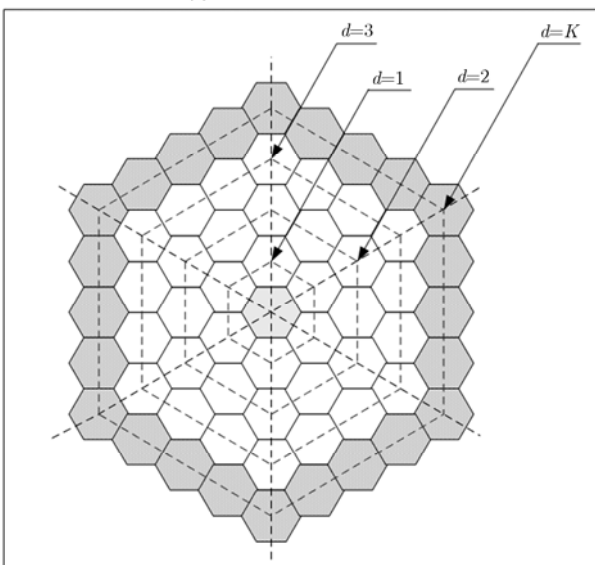
2 网络分析模型

分层移动 IP 网络模型如图 1(a)所示, 整个无线接入网(access network)由许多正六边形的蜂窝组成, 每个蜂窝与周围 6 个蜂窝相邻, 类似移动通信网中的小区结构。每个蜂窝小区中心设置一个 AR(Access Router), 看成是一个个拥有不同网络前缀的小型子网, 每个 AR 通过无线方式与 MN 通信, 相邻 AR 之间通过有线连接, 它们之间的距离设为一跳。在管理域中处于中心位置的蜂窝作为分层移动 IP 的移动锚节点(MAP), 与 Internet 直接相连。网络模型采用最简单的两层网络结构, MAP1 和 MAP2 分别管辖区域 1(area1)和区域 2(area2)。MN 在同一 MAP 域内的不同 AR 之间移动时, 只需向本地的 MAP 进行区域注册。当 MN 移出本地管理域而进入另一个区域时, 才需要通过新的 MAP 向家乡代理进行注册。

针对每个管理域内部, 建立蜂窝模型, 如图 1(b)所描述和规定: 以 MAP 为中心(称为第 0 层蜂窝)向周围发散, 依次为第 1,2,3,⋯层, 分别画出正六边形环型虚线, 第 m 层蜂窝到中心的距离被定义为 m 。第 1 层蜂窝总数为 6 个, 第 2



(a) 两级分层移动IP网络结构



(b) 蜂窝模型

图1 网络分析模型

层蜂窝总数为12个，第 $j+1$ 层蜂窝总数比第 j 层蜂窝总数多6个。设管理域共有 $K+1$ 层蜂窝，最外层是第 K 层，其中 K 代表了MAP管理区域大小，称为管理域半径。第 j 层蜂窝到MAP距离为 j ，则第 j 层蜂窝总数为

$$N(j) = \begin{cases} 1, & j=0 \\ 6j, & j=1,2,\dots,K \end{cases} \quad (1)$$

假设MN的运动服从随机游动模型^[4-6]，每次移动定义为一跳，状态转移如图2所示。MN在蜂窝中停留的概率为 $1-q$ ，则移动的概率为 q ，且向相邻6个蜂窝切换概率相等。从图1(b)中可以看出，除MAP中心外，从第1层开始，在正六边形环型虚线位置上，如果MN在环线对角线上，则可以向外层3个小区，2个同层的小区，1个内层小区移动；如果不在，则它向2个外层小区，2个同层小区，2个内层小区移动。所以，当MN位于环线对角线上时，以 $(3/6)q$ 的概率向外层移动，以 $(2/6)q$ 的概率向同层移动，以 $(1/6)q$ 的概率向内层移动。如果MN不在对角线上，则分别以 $(2/6)q$

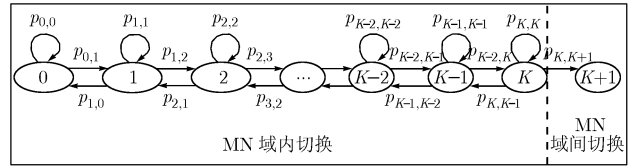


图2 MN的状态转移图

的概率向外层、同层和外层小区移动。当 $m \geq 1$ 时，第 m 层环线上共有蜂窝小区 $6m$ 个，其中在对角线上的小区数为6个，不在对角线上的蜂窝小区数为 $6m-6$ 个，那么MN在第 m 层正六边形环线处于对角线上的概率为 $1/m$ ，处于非对角线上的概率为 $(m-1)/m$ 。处于 m 层的MN经过一次移动，向外层、内层和同层的一步转移概率为

$$p_{m,m+1} = \begin{cases} q, & m=0 \\ q \left(\frac{3}{6} \times \frac{1}{m} + \frac{2}{6} \times \frac{m-1}{m} \right) = q \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{6m} \right), & 1 \leq m \leq K \end{cases}$$

$$p_{m,m-1} = \begin{cases} 0, & m=0 \\ q \left(\frac{1}{6} \times \frac{1}{m} + \frac{2}{6} \times \frac{m-1}{m} \right) = q \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{6m} \right), & 1 \leq m \leq K \end{cases}$$

$$p_{m,m} = \begin{cases} 1-q, & m=0 \\ \frac{1}{3}q, & 1 \leq m \leq K \end{cases} \quad (2)$$

特殊地，上式中当MN从第 K 层移动到第 $K+1$ 层时，被定义为切换到相邻管理域，即发生域间切换。

在网络中经过多次随机游动后，MN处于稳定状。令MN位于第 m 层的稳定状态概率为 P_m ，初始状态概率为 P_0 ，根据状态平衡方程可得

$$P_m = P_0 \prod_{i=0}^{m-1} \frac{p_{i,i+1}}{p_{i+1,i}}, \quad 1 \leq m \leq K \quad (3)$$

根据马尔可夫链性质可知，所有稳态概率之和为1，即 $\sum_{m=0}^K P_m = 1$ 。因此可得：

$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{m=1}^K \prod_{i=0}^{m-1} \frac{p_{i,i+1}}{p_{i+1,i}}} \quad (4)$$

3 性能分析

在分层移动IP中，由于MN位置移动而进入新的子网，网络层的切换过程包括3个部分：移动检测、转交地址配置和绑定更新。在切换时延组成中，移动检测和转交地址配置与协议自身的机制相关，只有绑定更新时延与管理域半径有直接关系。绑定更新时延由报文传输时延和移动支持节点(MAP, AR和HA)对绑定更新的处理时延组成。

首先作如下假设：

(1) 绑定更新报文在管理域内单位距离的传输时延为 T_1 ，包括历经的有线链路和无线链路；

(2) 绑定更新报文经过Internet的单向传输时延为 T_i ，表示MAP与HA之间的距离；

(3)移动支持节点对每条绑定更新报文的处理平均时延为 T_3 。

(4)MN 到 MAP 的距离等于 MN 所在蜂窝的层数。

3.1 绑定更新时延

当 MN 位置移动, 发生域内、域间切换的信令流程是不同的。其中 MN 发生域内切换时, 采用微移动性管理信令流程处理, 绑定更新报文在新 AR 和原 MAP 之间交互, 使注册信令区域化。域间切换按照传统移动 IP 的信令流程处理, 但 MAP 需要对绑定更新报文进行处理。只有当 MN 处于管理域的边界蜂窝(第 K 层)时, 才有可能发生域间切换, 切换后 MN 仍处于新的管理域边界蜂窝中。MN 位置移动发生域间切换的概率为

$$p_{\text{inter}} = p_K \times p_{K,K+1} \quad (5)$$

MN 发生域间切换时绑定更新时延为

$$T_{\text{域间}} = p_{\text{inter}} [2(K+1)T_1 + 2T_i + 5T_3] \quad (6)$$

当 MN 在域内移动时, 且仅在同层之间切换时, 绑定更新时延为

$$T_{\text{域内同层}} = \sum_{i=1}^K p_{i,i} \times P_i \times [2(i+1)T_1 + 3T_3] \quad (7)$$

当 MN 在域内跨层移动时, 包括从内层切换到外层和从外层切换到内层, 此时绑定更新时延为

$$T_{\text{域内跨层}} = \sum_{i=0}^{K-1} \{ p_{i,i+1} \times P_i \times [2(i+2)T_1 + 3T_3] + p_{i+1,i} \times P_{i+1} \times [2(i+1)T_1 + 3T_3] \} \quad (8)$$

MN 在网络移动时, 可能发生域间、域内同层以及域内跨层切换过程, 所以应该全面地考虑分层移动 IP 中 MN 的切换时延。由式(6), 式(7)和式(8)可知, 绑定更新平均总时间为

$$T(T_1, T_3, T_i, K) = T_{\text{域间}} + T_{\text{域内同层}} + T_{\text{域内跨层}} \quad (9)$$

3.2 最优管理区域规模

在绑定更新的平均总时间中 T_1 和 T_3 可看作常数, 那么 $T(T_1, T_3, T_i, K)$ 仅与 K 和 T_i 两个参数有关, 即 $T(T_i, K)$ 是关于 K 和 T_i 二元函数。在规划分层移动 IP 网络时, 为了分析切换时延和管理域半径的关系, 应该首先固定 T_i 值, 不同的 T_i 值对应着不同绑定更新时延函数 $T(T_i, K)$, 从而对应着不同最优管理域半径 K_{opt} , 那么绑定更新时延 $T(T_i, K)$ 转化为关于 K 的一元函数 $T(K)$ 。由于管理域半径的取值必须是正整数, 所以采用文献[7,8]中介绍的极小化函数迭代的方法求 K_{opt} 。

首先定义如下函数:

$$\delta(K) = \begin{cases} 1, & T(K) > T(K-1) \\ 0, & T(K) \leq T(K-1) \end{cases} \quad (10)$$

其次构造函数:

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x \neq 0 \\ 1, & x = 0 \end{cases} \quad (11)$$

由式(10)和式(11)可得:

$$F(\delta(K)) = \begin{cases} 0, & T(K) > T(K-1) \\ 1, & T(K) \leq T(K-1) \end{cases} \quad (12)$$

根据极小化迭代函数的定义可得:

$$K_{\text{opt}} = \sum_{K=1}^{\infty} F(\delta(K)) \quad (13)$$

在式(13)中, 当 K 的取值使 $T(K) > T(K-1)$ 时, 迭代函数停止计算, 最终迭代结果就是 K_{opt} 。将 K_{opt} 和 T_i 代入式(9)中, 就可以求出最小绑定更新时延。

3.3 数值计算结果

利用 Matlab6.0 仿真工具, 对绑定更新时延 $T(T_i, K)$ 进行数值计算。考虑一般情况下, 借鉴参考文献[5]中提供的参数取值: $T_1=0.1$, $T_3=3$ 和 $q=0.5$ 。观察图中数据及其变化趋势, 可以得出如下结论:

(1)从图 3(a)可以看出, 随着 K 和 T_i 取值改变, 函数 $T(T_i, K)$ 曲面首先开始下降, 然后到达最低点, 接着呈现上升趋势, 表明在 K 和 T_i 取值合适的情况下, 的确存在最小绑定时延。

(2)图 3(b)显示了最小绑定更新时延、 T_i 和 K_{opt} 之间的关系。可以看出, 函数图形沿空间阶梯折线上升, 在 T_i 的某取值区间内, K_{opt} 取值一定, 平均绑定更新时延也随之增大。这是因为在极小化函数迭代方法的数值计算中, K_{opt} 的取值必须为正整数。特殊地, 当 $T_i=0$ 时候, 即出现 HA 和 MAP 合设情况, 可得最小的最优管理域半径 $K_{\text{opt}}=5$ 。

(3)观察图 3(c)中图形变化趋势, K_{opt} 随着 T_i 的增加而呈二维阶梯状上升, 而且使得 K_{opt} 值发生跃变的 T_i 区间越来越长, 如当 K_{opt} 值由 5 变到 6 时, T_i 历经大约 0.3 个时间单位; 由 6 变到 7 时, T_i 历经大约 1.2 个时间单位; 由 7 变

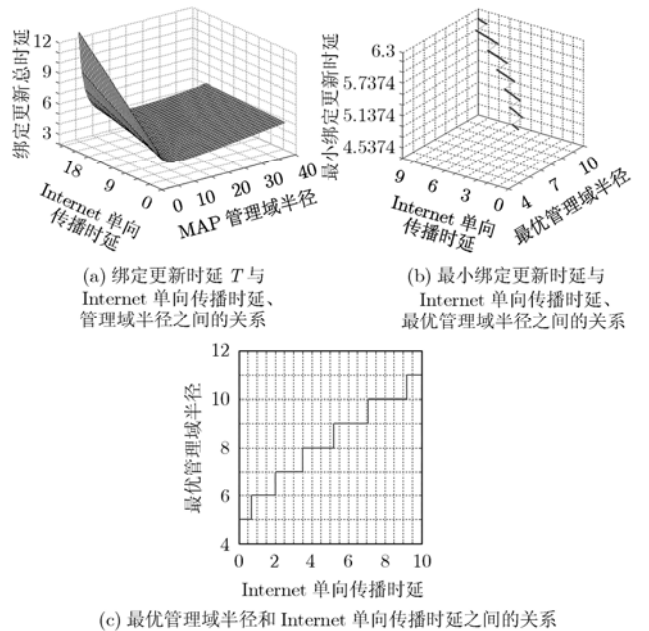


图3 $T_1=0.1, T_3=3$ 时, 绑定更新时延与管理域半径、Internet 单向传播时延的关系

到8时, T_i 历经大约1.5个时间单位; 由8变到9时, T_i 历经大约1.7个时间单位; 由9变到10时, T_i 历经大约1.9个时间单位。递推规律表明: 随着管理域半径 K 和 T_i 值增加, 分层移动 IP 中 MAP 管辖范围不断扩大, 进行域间切换的概率 p_{inter} 减小, 导致域间绑定更新信令负荷减少。相反域内切换概率增加, 整体切换时延增长幅度降低, 从而可以更大程度上容忍绑定更新的切换时延的增加, 允许绑定更新报文经过 Internet 的单向传输时延为 T_i 不断增加, 即允许 MAP 与 HA 距离可以不断增加。所以, 对于能使 K_{opt} 值发生跃变的 T_i 区间呈现不断增加的趋势。

4 结束语

本文通过建立分层移动 IP 网络模型, 对切换时延和与最优管理域半径之间的数学关系进行了定量分析, 并采用极小化函数迭代的方法计算出分层移动 IP 最优化管理区域的半径, 提出了一种最优管理区域的设置方案。研究结果为合理规划分层移动 IP 提供了理论支持, 具有重要的参考价值。

参 考 文 献

- [1] Perkins C E. IP mobility support for IPv4[J/OL]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3344.txt>, 2002-08.
- [2] Ma W and Fang Y. Dynamic hierarchical mobility management strategy for mobile IP networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2004, 22(4): 664-676.
- [3] 赵阿群. 移动支持协议切换性能研究[J]. *软件学报*, 2005, 16(4): 587-594.
Zhao A-qun. Investigation on handoff performance of mobility support protocols[J]. *Journal of Software*, 2005, 16(4): 587-594.
- [4] 朱艺华, 高济, 周根贵, 等. 蜂窝网络中环状搜索移动性管理策略[J]. *电子学报*, 2003, 31(11): 1655-1658.
Zhu Yi-hua, Gao Ji, and Zhou Gen-gui, et al. A mobility management strategy with ring search in cellular networks[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2003, 31(11): 1655-1658.
- [5] Akyildiz I F and Wang W. A dynamic location management scheme for next-generation multiter PCS systems[J]. *IEEE Trans. on Wireless Communications*, 2002, 1(1): 178-189.
- [6] Hossain A K M M and Kanchanasut K. A handover management scheme for mobile IPv6 networks[A]. ICCCN' 2005, California, 2005, 10: 43-48.
- [7] Jiang X and Akyildiz L F. A novel distributed dynamic location management scheme for minimizing signaling costs in mobile IP[J]. *IEEE Trans. on Mobile Computing*, 2002, 1(3): 163-175.
- [8] 王胜灵, 刘国荣, 沈钧毅, 等. 移动 IPV6 中一种分布式动态型微移动管理方案[J]. *软件学报*, 2005, 16(7): 1314-1322.
Wang Sheng-ling, Liu Guo-rong, and Shen Jun-yi, et al. A distributed dynamic micro-mobility management scheme for mobile IPv6[J]. *Journal of Software*, 2005, 16(7): 1314-1322.

- 李 军: 男, 1971 年生, 博士, 主要研究方向为下一代移动通信关键技术.
- 宋 梅: 女, 1960 年生, 教授, 主要研究方向为异构无线网络融合理论.
- 宋俊德: 男, 1938 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为下一代移动通信理论和关键技术.