

分级移动 IPv6 中一种新的自适应 MAP 选择算法*

胡 晓, 宋俊德, 宋 梅

(北京邮电大学 电子工程学院, 北京 100876)

摘 要: 分级移动 IPv6 中存在单点故障和负荷集中问题。提出一种基于分布式 MAP 结构的自适应 MAP 选择算法, 综合考虑移动节点的当前速度、会话到达率、MAP 负荷及距离等因素, 以 MN 注册后将产生的移动性管理信令开销最小为依据进行选择。仿真结果表明, 自适应 MAP 选择算法能够根据移动节点和网络的当前特性优化地选择不同的 MAP 进行注册, 使移动性管理信令开销最小, 具有较好的负荷分担效果, 并一定程度上增强了分级结构的鲁棒性。与最远/近 MAP 选择方案相比, 自适应 MAP 选择算法能够提高网络的吞吐量及减少平均切换时延。

关键词: 分级移动 IPv6; 移动锚节点; 分布式; 负荷分担

中图法分类号: TN915. 04; TP393 文献标识码: A 文章编号: 1001-3695(2006)10-0229-03

Novel Adaptive MAP Selection Algorithm for Hierarchical Mobile IPv6

HU Xiao, SONG Jun-de, SONG Mei

(College of Electronic Engineering, Beijing University of Posts & Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: There exist the problems of the single point of failure and load convergence in hierarchical mobile IPv6. An adaptive MAP selection algorithm is proposed based on the distributed MAP architecture, which takes multiple factors into consideration such as MNs up-to-date velocity and session arrival rate, MAP's load and distance. This algorithm selects the proper MAP according to the criteria of minimizing the signaling cost associated with mobility management. The simulation results show that the adaptive MAP selection algorithm can optimally select the MAP for different mobile nodes, balance the MAP's loads and increase the robustness of hierarchical structure at some extent. When compared with the furthest/nearest MAP selection schemes, the adaptive MAP selection algorithm can reduce the average handover latency and increase the throughput of the visited network.

Key words: Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6); Mobility Anchor Point (MAP); Distributed; Load Balancing

移动 IP 是目前被普遍接受的解决移动终端在异种网络间漫游的移动性管理技术^[1]。但是, 随着小区范围的缩小, 用户数量的增多, 切换次数会大量增加, 基本移动 IP 中用于移动性管理的信令开销将急剧上升, 而且切换时延增大, 丢包率上升, 使得系统性能严重下降。研究人员通过引入微移动性概念和分级结构来改善基本移动 IP 的性能, 如分级移动 IPv6 (Hierarchical Mobile IPv6), 蜂窝 IP (Cellular IP) 和区域注册 (Regional Registration) 等^[2]。但是, 当前提出的分级结构存在两个严重问题: 分级结构的鲁棒性差^[3]。其网关代理 (如 MAP, GFA 等) 是单点故障点, 一旦网关代理失效, 其服务域内的所有移动访问节点将失去与网络的连接。网关代理是信令和业务的集中点。若没有负荷分担机制, 容易造成节点负荷过重, 从而影响整个网络的性能。

1 相关研究

(1) 分级移动 IPv6 (HMIPv6)

HMIPv6^[4] 是分级移动性管理中的一种典型方案, 通过引入 MAP (Mobility Anchor Point) 节点将移动节点 (MN) 的位置更新

过程本地化, 并支持路由优化和快速切换。HMIPv6 的分级 MAP 结构如图 1 所示, MAP₀ 为根 MAP。当 MN 进入新的访问域时, 它会收到 AR 发出的路由器广播消息 (RA)。如果该访问域包含多个 MAP, 则 RA 中含有多个 MAP OPTION, 每个 MAP OPTION 中包含相应 MAP 的优先级 (可以根据 MAP 的负荷和工作情况调整) 和 MAP 与 AR 的距离 (跳数)。在 MN 需要进行注册或位置更新时, 首先要判断向哪个 MAP 进行注册。简单的 MAP 选择算法是选择优先级不为零, 且距离最远的 MAP 进行注册, 以减少位置更新的次数^[4]。以图 1 为例, 所有进入访问域的 MN 都将选择 MAP₀ 进行注册, 故 MAP₀ 节点的负荷会很重, 并且其失效将使所有移动访问节点均失去网络连接。

(2) MAP 选择算法

文献 [4] 中除提出基本的最远 MAP 选择算法外, 也建议对优化的 MAP 选择算法进行研究。相继有基于速度和基于移动性^[5] 的 MAP 选择算法被提出, 这些算法考虑了移动节点的运动特性, 更能合理地、动态地选择 MAP。但这些算法也存在两个问题: 算法中没有考虑移动节点的业务特性和 MAP 负荷这两个因素, 而实际上这两个因素对 MAP 的选择也很重要。例如业务量高的 MN 应该注册到距离较近的 MAP, 以减少切换时延。这些算法中均采用了固定的阈值来区分速度和移动性的等级, 但是在不同的业务特性和网络条件下, 如何合理

地设定这些阈值是比较困难的。

2 自适应 MAP 选择算法

针对分级移动 IPv6 的单点故障和负荷集中问题, 本文提出一种基于分布式 MAP 结构的自适应 MAP 选择算法, 使 MN 可以动态地选择 MAP 进行位置更新, 这在一定程度上可以达到负荷分担和增强分级结构鲁棒性的效果。该算法综合考虑了 MN 的当前速度、会话到达率 (Session Arrival Rate)、MAP 负荷及距离因素, 最优地选择 MAP, 并无须设置固定的阈值来进行判断。

(1) 分布式 MAP 结构

在 MAP 部署上, 采取一个访问域内放置多个 MAP, MAP 与 MAP 之间没有固定的分级关系, 形成分布式 MAP 结构, 如图 2 所示。通常情况下, 由一个 MAP 覆盖整个访问域, 如 MAP₀, 其余 MAP 覆盖区域较小的热点地区, 如 MAP_{1.1} 和 MAP_{1.2}。一般地, MAP₀ 与 AR 的距离要远一些, MAP 域之间可以部分或全部重叠。MAP 与 AR 之间仍然是分级结构, AR 通过广播该 MAP 的 MAP OPTION 表明 AR 属于该 MAP 域, 一个 AR 可以属于多个 MAP 域。

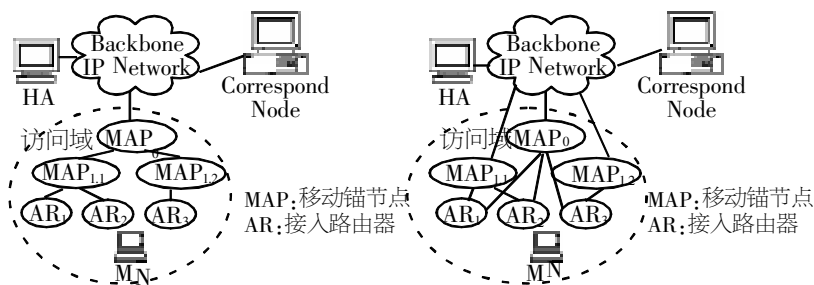


图 1 分级 MAP 结构

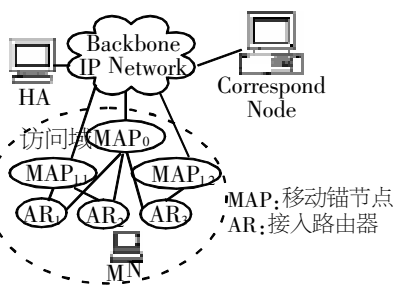


图 2 分布式 MAP 结构

(2) 自适应 MAP 选择算法

自适应 MAP 选择算法综合考虑了 MN 的当前速度、会话到达率、MAP 负荷及距离等因素, 以 MN 注册后将产生的移动性管理信令开销最小为依据进行选择。如 MN 注册到 MAP₀ 将产生信令开销为 C₀, MN 注册到 MAP₁ 将产生信令开销为 C₁, 若 C₁ < C₀, 则 MN 选择向 MAP₁ 进行注册。可以看出, 本算法的关键是要推导出 MN 注册到不同 MAP 下的移动性管理信令开销。

(3) 移动性管理信令开销

移动性管理信令开销 (信令开销) 的公式如式 (1), 包括两部分: C_{LU} 为 MN 的位置更新 (Location Update) 开销, 即 MN 在位置变化后或周期性地向 HA 或 MAP 进行注册时的信令开销; C_{PD} 为分组传递 (Packet Delivery) 开销, 即发往 MN 的分组要经过一定的处理和传送才能最终到达 MN。

$$C = C_{LU} + C_{PD} \quad (1)$$

为了详细推导信令开销公式, 我们作如下假设: AR 域与 MAP 域均是正方形, 一个 MAP 域内包含 $k \times k$ 个 AR, AR 域的边长为 l , 则 MAP 域的周长为 $L = 4kl$ 。移动节点以密度 ρ 在 MAP 域内均匀分布, 平均速度为 v , 运动方向在 $[0, 2\pi]$ 内均匀分布。根据文献 [6], 移动节点跨 AR 域的切换速率为 $r_l = [\frac{\rho(4l)}{\pi}] / [\rho(4l)^2] = \frac{4v}{k^2 l \pi}$ (updates/s/terminal); 跨 MAP 域的切换速率为 $r_h = \frac{4v}{kl \pi}$ (updates/s/terminal)。我们在 MAP

OPTION 的保留区域添加了 MAP 当前已经注册的 MN 个数, 作为衡量节点负荷的一个因素。

位置更新开销

这里忽略 MN 的周期性位置更新开销, 因为这个开销对于任何一种位置更新算法都是一样的。简化的位置更新开销公式如下:

$$C_{LU} = r_h C_{uh} + (k^2 r_l - r_h) C_{ul} \quad (2)$$

C_{uh}/C_{ul} 是 MN 进行家乡注册/区域注册时位置更新信令的处理和传输开销。对照分级移动 IPv6 的家乡注册和区域注册过程, 它们分别为式 (3) 和式 (4):

$$C_{uh} = 2a_f + 2a_g + a_h + 2C_{hg} + 2C_{gf} + 2C_{fm} = 2a_f + 2a_g + a_h + 2(l_{hg} + l_{gf} + \omega) \delta_U \quad (3)$$

$$C_{ul} = 2a_f + a_g + 2C_{gf} + 2C_{fm} = 2a_f + a_g + 2(l_{gf} + \omega) \delta_U \quad (4)$$

其中, $C_{hg}/C_{gf}/C_{fm}$ 为位置更新信令在 HA、MAP/MAP、AR/AR 和 MN 之间的传输开销; $a_h/a_g/a_f$ 为 HA/MAP/AR 上位置更新信令的处理开销; δ_U 为上行传输开销与距离的比例常数; l_{hg}/l_{gf} 为 HA 与 MAP/MAP、AR 之间的平均跳数; ω 为单位距离上无线链路传输开销为有线链路的倍数。

分组传递开销

如文献 [7] 中定义, 总分组传递开销为 HA、MAP 和 AR 上的分组传递开销之和, 其公式如下:

$$C_{PD} = C_{PD}^{CN-MAP} + C_{PD}^{MAP-AR} + C_{PD}^{AR-MN} \quad (5)$$

因为 HMIPv6 支持路由优化, 即只有 CN 发送的第一个分组经由 HA 转发, 其余分组均直接路由给 MAP, 则从 CN 到 MAP 的分组传递开销为

$$C_{PD}^{CN-MAP} = \lambda_{in} \delta_D (l_{ch} + l_{hg}) + \lambda_{in} (E - 1) \delta_D \times l_{cg} + \lambda_{in} \eta \quad (6)$$

其中, λ_{in} 为 MN 的会话到达率; E 为每个会话的平均分组个数; δ_D 为下行传输开销与距离的比例常数; l_{ch}/l_{cg} 为 CN 与 HA/CN、MAP 之间的平均跳数; η 为 HA 上单个分组的处理开销。

从 MAP 到 AR 的分组传递开销为

$$C_{PD}^{MAP-AR} = \lambda_{in} E (\delta_D l_{gf} + P_{MAP}) = \lambda_{in} E [\delta_D l_{gf} + (\alpha n + \beta \log k) + \phi] \quad (7)$$

其中, n 为 MAP 上已注册的 MN 个数; α/β 为访问列表和路由表查询的权重因子; k 为 MAP 域内 AR 的个数; ϕ 为 MAP 上单个分组的封装/解封装开销。

无线链路上, 从 AR 到 MN 的分组传递开销为

$$C_{PD}^{AR-MN} = \lambda_{in} E \omega \delta_D \quad (8)$$

(4) 会话到达率和速度的获取

在计算 MN 的信令开销时, 需要获得 MN 当前的移动速度和会话到达率。MN 的移动速度可以通过统计 MN 在本次位置更新之前经过一个或 n 个小区所需时间 T , 利用已知的小区边长估计 MN 经过的距离, 以此来估计其速度。MN 的会话到达率可以采用文献 [8] 中的方法进行估计, 当会话到来过程符合泊松分布时, 该迭代方法得到的结果为会话到达率的无偏估计。

3 仿真结果

我们采用 NS2 作为仿真平台, 实现了分级移动 IPv6 和自适应 MAP 选择算法。使用综合的仿真场景 (包括多种用户移动模型^[9]) 来测试自适应 MAP 选择 (A-MAP) 方案的性能, 并与最远 MAP 选择 (F-MAP) 方案和最近 MAP 选择 (N-MAP) 方案进行比较。F-MAP 方案如前所述, 可以减少切换次数; N-

MAP 方案即 MN 总是选择可用 MAP 中距离最近的一个注册, 如果 MN 总是在同一 MAP 域中移动, 那么该方案的切换时延较小。仿真拓扑结构类似图 2, MAP_0 域中共有 12 个 AR, $MAP_{1.1}$ 和 $MAP_{1.2}$ 域中各包含四个 AR。各 AR 之间重叠覆盖, 整个访问域为无缝覆盖。仿真场景中共 30 个 MN, 其中, 16 个 MN 符合热点运动模型^[9], 分布于 $MAP_{1.1}$ 域和 $MAP_{1.2}$ 域; 14 个 MN 为车道运动模型和随机运动模型^[9], 分布于 MAP_0 域。

(1) 信令开销

图 3 中, F-MAP 方案的总信令开销最小, 而 N-MAP 方案的总信令开销最大, 其原因是 F-MAP 方案下 MN 跨 MAP 域的切换次数最少。A-MAP 方案的信令开销与 F-MAP 方案非常接近, 因为在 A-MAP 方案中, MN 综合多种因素选择合适的 MAP, 如速度快的 MN 将选择 MAP_0 注册, 速度慢的 MN 将选择 $MAP_{1.1}/MAP_{1.2}$ 注册, 所以 MN 跨 MAP 域的切换次数也是很少的。

(2) 负荷分担

定义每个 MAP 上注册的 MN 个数为该 MAP 的负荷。从图 4 中可以看出, F-MAP 方案不能分担负荷, 而 N-MAP 和 A-MAP 方案能够在一定程度上进行负荷分担。在 N-MAP 方案中, MAP_0 的负荷在五个 MN 上下波动, 而 $MAP_{1.1}/MAP_{1.2}$ 的负荷在 12 个 MN 上下波动。其原因是符合车道运动模型和随机运动模型的 MN 会经常更换 MAP, 而这种情况在 A-MAP 方案中不存在, 因为只要 MAP 和 MN 的特性参数变化不大, 那么 MN 不会经常更换 MAP。所以, 经过一段时间, MAP_0 的负荷稳定在 14 个 MN, 而 $MAP_{1.1}/MAP_{1.2}$ 的负荷稳定在八个 MN。

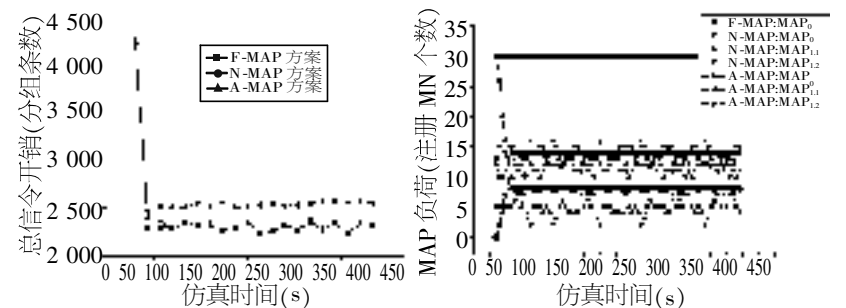


图 3 信令开销比较

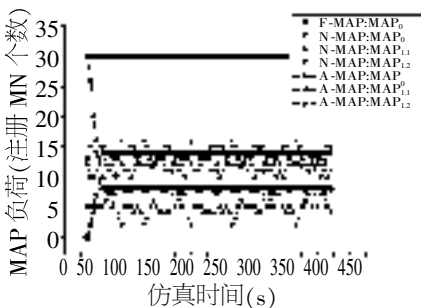


图 4 MAP 负荷分担性能比较

(3) 切换时延

切换时延为切换前最后一个分组到达时间与切换后第一个分组到达时间的间隔。这里, 采用所有 MN 的平均切换时延作为衡量指标, 每 20s 统计一次。图 5 中, A-MAP 方案的平均切换时延最小, F-MAP 方案次之, N-MAP 方案最大。A-MAP 方案与 F-MAP 方案相比, 由于部分 MN 向距离较近的 $MAP_{1.1}/MAP_{1.2}$ 注册, 故 A-MAP 方案的平均切换时延更小; 而 N-MAP 方案中 MN 跨 MAP 域的切换次数较多, 因此导致其平均切换时延增大。

(4) 吞吐量

这里的吞吐量指整个访问域的吞吐量, 即通过三个 MAP 的总分组业务量。通信对端节点 (Correspond Node) 每隔 50s 增加 200Kbps 的数据带宽。从图 6 可以看出, F-MAP 方案的吞吐量在 350s 后趋于饱和 (此时, 每个通信对端节点发送的数据为 1.2Mbps, 总共 $1.2\text{Mbps} \times 30 = 36\text{Mbps}$), 这是因为 MAP_0 与中心路由器之间的链路带宽为 40Mbps, 而 F-MAP 方案中的所有分组均经过 MAP_0 , 接近该链路的容量。在 N-MAP 和 A-MAP 方案中, 由于进行了负荷分担, 故整个访问域的吞吐量没

有饱和的趋势, 并且两者的吞吐量是相同的。

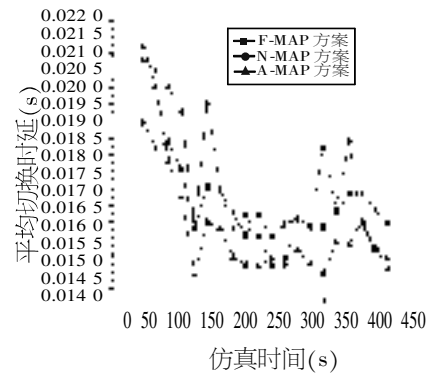


图 5 平均切换时延比较

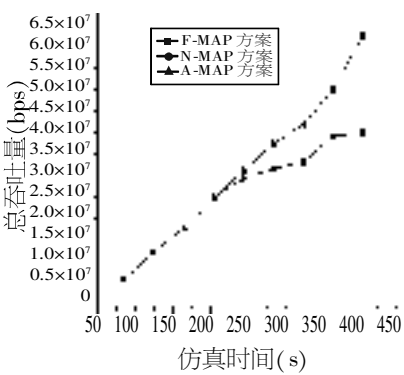


图 6 总吞吐量比较

4 结束语

基于分布式 MAP 结构, 本文提出了一种自适应 MAP 选择算法, 该算法综合考虑了 MN 的速度、会话到达率、MAP 的负荷和距离因素, 为 MN 选择最优的 MAP。自适应 MAP 选择算法能够进行 MAP 负荷分担, 并一定程度上增强了分级结构的鲁棒性。仿真结果显示, 在三种 MAP 选择方案中, 综合考虑信令开销、负荷分担, 切换时延和吞吐量这几个指标, 自适应 MAP 选择方案是最优的, 并且, 该算法不需要事先设置阈值进行判断, 使其可以适用于不同的应用场合。

参考文献:

[1] Perkins C. IP Mobility Support[S] . RFC2002, IETF, 1996.

[2] Campbell A T, Gomez J, Sanghyo Kim, et al. Comparison of IP Micro-mobility Protocols[J] . IEEE Wireless Commun. , 2002, 9(1) : 72-82.

[3] Omar H, Saadawi T, Lee M. Supporting Reduced Location Management Overhead and Fault Tolerance in Mobile-IP Systems[C] . Proc. of IEEE Symposium on Computer and Communications, 1999. 347-353.

[4] Soliman H, Castelluccia C, El-Malki K, et al. Hierarchical MIPv6 Mobility Management[Z] . draft-ietf-mobileip-hmipv6-08. txt, IETF Draft, 2003.

[5] Natalizio E, Scicchitano A, Marano S. Mobility Anchor Point Selection Based on User Mobility in HMIPv6 Integrated with Fast Handover Mechanism[C] . IEEE Communication Society/ WCNC, 2005. 1434-1439.

[6] Thomas R, Gilbert H, Mazziotto G. Influence of the Moving of the Mobile Stations on the Performance of a Radio Mobile Cellular Network[C] . Proc. of the 3rd Mordic Seminar on Digital Land Mobile Radio Communication, 1988.

[7] Sangheon Pack, Minji Nam, Yanghee Choi. A Study on Optimal Hierarchy in Multi-Level Hierarchical Mobile IPv6 Networks[C] . IEEE Communications Society/ GLOBECOM, 2004. 290-294.

[8] Xie H, Tabbane S, Goodman D J. Dynamic Location Area Management and Performance Analysis[C] . Proc. of the 43rd IEEE VTC, 1993. 536-539.

[9] Hu Xiao, Song Junde, Ni John, et al. An User Profile Based Adaptive Paging Scheme for Mobile IP[C] . Proceedings of 2004 Global Mobile Congress, 2004. 514-519.

作者简介:

胡晓(1972-), 女, 博士研究生, 主要研究方向为移动互联网、移动 IP 相关技术; 宋俊德(1938-), 男, 教授, 博导, 主要研究方向为下一代通信网、网络融合等; 宋梅(1960-), 女, 教授, 主要研究方向为下一代通信网、移动性管理等。