

# 一种基于改进 HMIPv6 的移动网络路由优化方案

高天寒<sup>1</sup>, 郭楠<sup>2</sup>

(1. 东北大学 软件学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

**摘 要:** 以支持 NBS 协议(NEMO basic support protocol) 的移动网络为研究对象, 针对移动性管理和路由优化问题, 提出基于改进 HMIPv6 的移动网络路由优化方案. 将 HMIPv6 与 NBS 整合并构建层次化网络架构, 利用 HMIPv6 的区域化管理机制降低移动网络内的移动节点注册开销. 对 HMIPv6 进行改进, 设计全新移动网络路由优化方案, 消除移动网络内部节点通信过程中所存在的冗余路由. 分析结果表明, 同 NBS 对比, 本方案在额外数据包开销和移动管理开销方面具有显著优势.

**关 键 词:** 移动网络; 网络移动性; 层次化移动 IPv6; 移动锚点; 路由优化

中图分类号: TP 393

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2012)01-0069-04

## A Route Optimization Scheme for Mobile Network Based on Improved HMIPv6

GAO Tian-han<sup>1</sup>, GUO Nan<sup>2</sup>

(1. School of Software, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: GAO Tian-han, E-mail: gaotianhan@mail.neu.edu.cn)

**Abstract:** Taking the NBS (NEMO basic support) protocol mobile network as the research subject, a route optimization scheme based on improved HMIPv6 mobile network was proposed to solve mobility management and route optimization problems. HMIPv6 and NBS were integrated to construct hierarchical mobile network architecture. Utilizing the regional mobility management mechanism, the registration costs of mobile nodes are reduced. Moreover, a novel route optimization scheme was also introduced through improving HMIPv6 to eliminate pinball routing of mobile network node. The analytical results show that the proposed scheme outperforms NBS in both additional packet overhead and mobility management overhead.

**Key words:** mobile network; NEMO; HMIPv6; mobile anchor point; route optimization

随着 VAN, PAN<sup>[1]</sup> 等移动网络应用的出现, 对网络移动性(NEMO<sup>[2]</sup>)的需求变得越来越迫切. 与单个节点不同, 移动网络能够整体产生移动并通过移动路由器(MR)接入外地网络. IETF 对移动 IPv6 协议(MIPv6<sup>[3]</sup>)进行改进, 提出了 NEMO 基本支持协议(NBS<sup>[4]</sup>), 允许移动网络在改变因特网接入点的情况下仍保持与其他节点的通信, 但同时也带来了冗余路由和额外封装开销等问题<sup>[5]</sup>. 而且当移动网络内部的移动节点(MN)频繁移动时, 将产生大量移动管理消息, 降低移动网络工作效率. 针对上述问题, 目前的解决方案包

括: 文献[6]提出了反向路由包头, 在移动路由器和家乡代理(HA)间建立一条优化通信路径并减少了数据封装开销; 文献[7]利用路径控制包头携带移动路由器当前地址, 解决移动网络路由优化问题; 文献[8]引入分级机制管理移动网络, 降低注册开销, 通过对绑定更新消息的修改实现路由优化. 以上方案主要通过提出新的 IPv6 包头<sup>[9]</sup>或对现有 MIPv6 机制改进来解决移动网络所存在的问题, 要求路由中间节点进行相应改进和调整, 在适用性方面存在局限性.

本文以支持 NBS 的移动网络为研究对象, 针

收稿日期: 2011-05-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60602061); 国家高技术研究发展计划项目(2006A A01Z413); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(N100417002).

作者简介: 高天寒(1978-), 男, 辽宁沈阳人, 东北大学副教授.

对移动性管理和路由优化问题,提出基于改进层次化移动 IPv6 的移动网络路由优化机制,并对机制的性能进行了测试和分析.

1 层次化移动网络架构

将层次化移动 IPv6 (HMIPv6<sup>[10]</sup>) 与移动网络相结合,构建层次化移动网络架构.采用 HMIPv6 增强模式<sup>[10]</sup>,使得移动节点的移动管理过程及移动管理消息局限于移动网络内部,节约网络资源,提高移动网络在处理大量频繁移动节点时的工作效率.

HMIPv6 在外地访问网络中设置了移动锚点 (MAP),用于对移动节点实施区域化移动管理.如图 1 所示,把整个移动网络视为 MAP 域,将移动路由器与 MAP 合并,所有 MAP 功能均实现在移动路由器中,域内节点包括本地固定节点 (LFN)、本地移动节点 (LMN) 和访问移动节点 (VMN).移动路由器定期向域内的移动节点传递 MAP 选项 (MAP option),其中包含移动路由器家乡地址 (HoAMR) 等信息.移动节点基于 MAP 增强模式向家乡代理注册,发送绑定更新消息绑定移动节点家乡地址 (HoAMN) 和移动路由器家乡地址.当移动节点在 MAP 域内产生移动时,将获得新的链路关照地址 (LCoAMN),但移动节点不需要向家乡代理注册,而是向移动路由器发送绑定更新消息,绑定移动节点家乡地址和新获得的链路关照地址.移动节点在 MAP 域内的移动管理由移动路由器完成,所有移动管理消息仅在移动节点与移动路由器间传输,只有移动节点产生跨越不同 MAP 域的移动时,才重新向家乡代理进行注册.

理的两次中转才能到达目的地,带来了通信延迟.同时,中间节点的封装增加了数据包的传输负担.

2 移动网络路由优化方案

2.1 改进的 HMIPv6

为实现层次化架构下的移动网络路由优化,需要对 HMIPv6 协议进行改进.设计了全新的数据结构 (MNN - CN 列表) 和移动管理消息,辅助移动网络节点 (MNN) 完成路由优化操作.

MNN - CN 列表 (MNN - CN list) 存储在移动路由器内,动态维护移动网络节点与其通信伙伴间的对应关系,列表包括以下内容.

- 1) MNN: 移动网络节点的家乡地址.
- 2) Type: 移动网络节点的类型,包括本地固定节点、本地移动节点和访问移动节点.
- 3) CN: 移动网络节点的通信伙伴地址.

通信伙伴与移动网络节点的所有通信都经由移动路由器中转,移动路由器在转发数据包的过程中将移动网络节点与通信伙伴的对应关系存储在 MNN - CN list 中并标识移动网络节点类型. MNN - CN list 的维护操作定义如下:

Add (MNN < > CN) to MNN - CN list // 增加移动网络节点与通信伙伴的对应关系 (用 “< >” 标识) 及相关属性至 MNN - CN list;

Del (MNN || CN) from MNN - CN list // 从 MNN - CN list 中删除特定移动网络节点或 (用 “||” 标识) 通信伙伴所对应的记录项.

在维护 MNN - CN list 时,对于访问移动节点需要特殊处理.访问移动节点进入移动网络前自身也维护一个通信伙伴列表<sup>[10]</sup> (CN list),为实现此列表中通信伙伴与访问移动节点通信的路由优化,移动路由器主动向访问移动节点发送请求,将 CN list 中的通信伙伴同步到 MNN - CN list 中.在移动路由器和访问移动节点间定义一对消息支持上述操作.

定义 1 CN 请求消息 (CNR, CN request) 是用于获取 CN list 中的通信伙伴,表示为 CNR (Sour, Dest), Sour 为请求源, Dest 为请求目标.

定义 2 CN 应答消息 (CNA, CN advertisement) 是对 CNR 消息的响应,返回 CN list,表示为 CNA (Sour', Dest', CN list), Sour' 为应答源, Dest' 为应答目标.

2.2 路由优化方案

在层次化网络架构的基础上,提出支持改进 HMIPv6 的移动网络路由优化方案 (HROS),实现移动网络节点与通信伙伴间的路由优化.

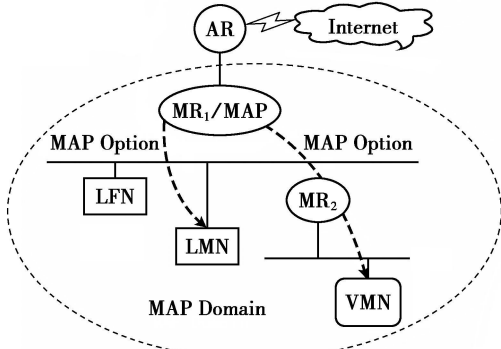


图 1 层次化网络架构

Fig. 1 Hierarchical network architecture

层次化网络架构能够降低移动网络中移动节点的注册开销,但冗余路由仍然存在.当通信伙伴 (CN) 与移动网络内的访问移动节点通信时,数据包需经过移动节点家乡代理和移动路由器家乡代

如图 2 所示, HROS 实现于移动网络整个移动过程中. 当移动网络从家乡网络移出并接入外地网络 1 后, 针对不同类型的移动网络节点, HROS 实现移动网络节点与通信伙伴间的路由优化; 移动网络继续移动并接入外地网络 2, 方案将更新移动网络节点与通信伙伴间的优化路由路径; 当移动网络返回家乡网络时, HROS 恢复移动网络原有操作. HROS 具体工作过程如下.

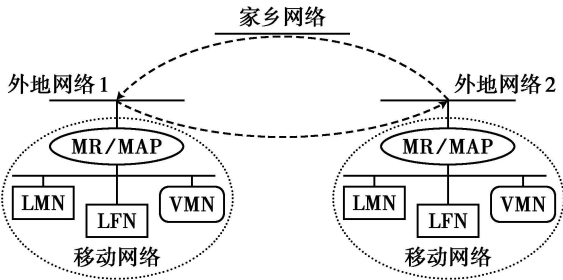


图 2 移动网络完整移动过程  
Fig.2 Moving procedure of mobile network

1) 移动网络从家乡网络移动至外地网络 1.

①通信伙伴与本地固定节点或本地移动节点(统称 LN)通信, 经由移动路由器中转:

If (LN <> CN not in MNN- CN list)

MR Add (LN <> CN) to MNN- CN list;

MR SendBU (HoA<sub>LN</sub> ← CoA<sub>MR</sub>) to CN // MR 代替 LN 向通信伙伴发送绑定(用“←”标识绑定关系)更新, 绑定 HoA<sub>LN</sub>和 CoA<sub>MR</sub>.

②访问移动节点进入移动网络:

CNR (MR, VMN);

CNA (VMN, MR, CN list);

MR Add (VMN <> CN list) to MNN- CN list;

MR SendBU (HoA<sub>VMN</sub> ← CoA<sub>MR</sub>) to CN.

③通信伙伴与访问移动节点通信, 经由移动路由器中转:

If (VMN <> CN not in MNN- CN list)

MR Add (VMN <> CN) to MNN- CN list;

MR SendBU (HoA<sub>VMN</sub> ← CoA<sub>MR</sub>) to CN.

2) 移动网络移动并接入外地网络 2. 移动路由器获得新的关照地址( New CoA<sub>MR</sub>); CN list= Select unique CN from MNN- CN list; MR SendBU (HoA<sub>MMN</sub> ← NewCoA<sub>MR</sub>) to CN list.

3) 移动网络返回家乡链路. Del (All CN) from MNN- CN list.

HROS 动态维护 MNN- CN list, 通信伙伴携带 HoA<sub>MMN</sub>作为家乡地址选项<sup>[9]</sup>, 使得数据包能够经移动路由器最终路由至移动网络节点, 节约了网络资源.

### 3 性能分析

将 HROS 与 NBS 进行对比, 分析二者在移动性管理和路由优化方面的性能差异.

#### 3.1 额外数据包开销

额外数据包开销(AO)是通信伙伴与访问移动节点通信过程中产生的, 包括数据包封装开销和扩展包头携带开销.

对于 NBS, 通信伙伴发往访问移动节点的第一个数据包需经过中间家乡代理的两次封装中转, 随后的数据包经过 MIPv6 路由优化处理后, 只需经过移动节点家乡代理的封装中转即可到达目的地, 但需要挟带家乡地址选项. NBS 的额外数据包开销(AO<sub>NBS</sub>)为

$$AO_{NBS} = (80 \text{ bytes} + 64 \text{ bytes} \times (j - 1)) \times k. \quad (1)$$

其中:  $j$  为通信伙伴与访问移动节点间的数据包个数;  $k$  为访问移动节点个数.

在 HROS 中, 由于采用了路由优化处理, 通信伙伴发往访问移动节点的数据包中, 只有第一个数据包需经过中间家乡代理的两次封装中转, 其余数据包将直接发送至访问移动节点所处的移动网络, 同样需要挟带家乡地址选项. HROS 的额外数据包开销(AO<sub>HROS</sub>)为

$$AO_{HROS} = (80 \text{ bytes} + 24 \text{ bytes} \times (j - 1)) \times k. \quad (2)$$

图 3 显示了  $k = 10$  的情况下, AO 与  $j$  的关系曲线. 从分析结果可以看出, 当访问移动节点与通信伙伴间通信较为频繁时, HROS 能够明显降低额外数据包开销.

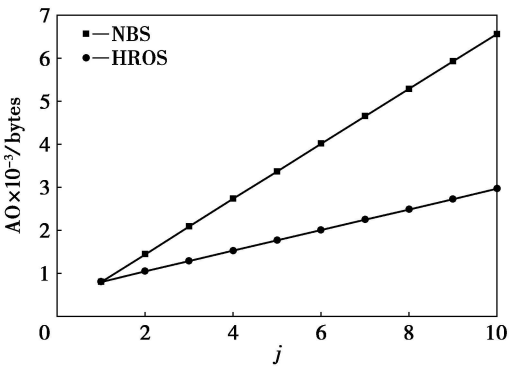


图 3 AO 与  $j$  关系曲线  
Fig.3 Relationship between AO and  $j$

#### 3.2 移动管理开销

移动管理开销(MMO)为访问移动节点进入移动网络以及在移动网络内移动时, 为完成与家乡代理间的一个完整移动注册过程所产生的通信延迟.

在 NBS 中, 当访问移动节点进入移动网络或

在移动网络内移动时,需向家乡代理发送绑定更新消息,同时要等待家乡代理回送绑定确认消息(BA).假设访问移动节点在移动网络内的移动概率为  $p$ ,NBS 的移动管理开销(MM O<sub>NBS</sub>)为

$$\text{MMO}_{\text{NBS}} = k(1 + p)d_{\text{BU}} + k(1 + p)d_{\text{BA}}.$$

(3)

其中:  $d_{\text{BU}}$  为访问移动节点与家乡代理间绑定更新通信延迟;  $d_{\text{BA}}$  为访问移动节点与家乡代理间绑定确认消息通信延迟;  $k$  为访问移动节点个数.

HROS 采用区域化移动管理机制,当访问移动节点进入移动网络时需要完成与家乡代理的移动注册,而当访问移动节点在移动网络内产生移动时,只需要完成与移动路由器间的移动注册.

HROS 的移动管理开销(MM O<sub>HROS</sub>)为

$$\text{MMO}_{\text{HROS}} = kd_{\text{BU}} + kd_{\text{BA}} + kpd'_{\text{BU}} + kpd'_{\text{BA}}.$$

(4)

其中:  $d'_{\text{BU}}$  为访问移动节点与移动路由器间绑定更新通信延迟;  $d'_{\text{BA}}$  为访问移动节点与移动路由器间绑定确认通信延迟;  $k$  为访问移动节点个数.

为在式(3)和式(4)间进行直观对比分析,搭建了实际的测试环境以获取相关参数值,经过 20 次测试得到相关参数的平均值,如表 1 所示.

表 1 MMO 相关参数  
Table 1 Parameters of MMO

通信延迟	平均值/ms	最小值/ms	最大值/ms
$d_{\text{BU}}$	55.602	54.211	56.309
$d_{\text{BA}}$	55.117	53.823	55.969
$d'_{\text{BU}}$	0.231	0.215	0.363
$d'_{\text{BA}}$	0.212	0.206	0.354

基于上述参数并选择  $p = 0.5$ ,对式(3)和式(4)进行对比分析,结果见图 4.当移动网络内存在大量访问移动节点时,HROS 的移动管理开销得到显著降低.

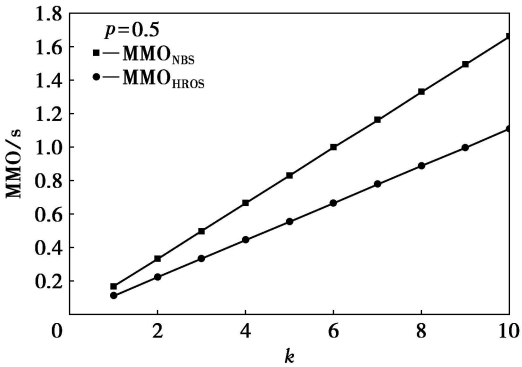


图 4 MMO 与 k 关系曲线  
Fig. 4 Relationship between MMO and k

4 结 论

本文设计了层次化移动网络架构,将 HMIPv6 与 NBS 相结合,降低了移动网络内移动节点的管理开销,提高了移动网络的工作效率.在此基础上,通过对 HMIPv6 进行改进并设计全新移动网络路由优化方案,消除了移动网络节点与通信伙伴间的冗余路由,节约了网络资源.路由优化过程中所涉及的安全性问题和如何构造移动网络实验系统将作为下一步的研究内容.

参考文献:

[ 1 ] Perera E, Sivaraman V, Seneviratne A. Survey on network mobility support [ J]. *ACM Mobile Computing and Communication*, 2004, 8( 2): 7- 19.

[ 2 ] Ernst T, Lach H. Network mobility support terminology [ EB/ OL]. [ 2007- 07- 15]. [http:// datatracker. ietf. org/ doc/ rfc4885/](http://datatracker.ietf.org/doc/rfc4885/).

[ 3 ] Johnson D, Perkins C. Mobility support in IPv6[ EB/ OL]. [ 2004 - 06 - 01 ]. <http:// datatracker. ietf. org/ doc/ rfc3775/>.

[ 4 ] Devarapalli V, Wakikawa R, Petrescu A, *et al.* Network mobility (NEMO) basic support protocol[ EB/ OL]. [ 2005- 01- 15]. <http:// datatracker. ietf. org/ doc/ rfc3963/>.

[ 5 ] Ng C, Thubert P, Watani M, *et al.* Network mobility route optimization problem statement [ EB/ OL]. [ 2007- 07 - 01]. <http:// datatracker. ietf. org/ doc/ rfc4888/>.

[ 6 ] Thubert P, Molteni M. IPv6 reverse routing header and its application to mobile networks[ EB/ OL]. [ 2007- 02- 15]. [http:// tools. ietf. org/ html/ draft-reverse-routing-header-07](http://tools.ietf.org/html/draft-reverse-routing-header-07).

[ 7 ] Na J, Choi J. A unified route optimization scheme for network mobility[ J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2004, 3260: 29- 38.

[ 8 ] Park J, Lee T J, Choo H. Route optimization with MAP-based enhancement in mobile networks[ J]. *International Conference on Computational Science*, 2007, 4490: 336 - 343.

[ 9 ] Deering S, Hinden R. Internet protocol, version 6 (IPv6) specification [ EB/ OL]. [ 1998 - 12 - 15]. <http:// datatracker. ietf. org/ doc/ rfc2460/>.

[ 10 ] Soliman H, Castelluccia C, El Malki K, *et al.* Hierarchical mobile IPv6 mobility management [ EB/ OL]. [ 2005 - 08 - 01]. <http:// datatracker. ietf. org/ doc/ rfc4140/>.