

层次化移动管理中的最优路径选择问题^{*})

李智伟 司慧勇 吕卫峰

(北京航空航天大学软件开发环境国家重点实验室 北京 100083)

摘 要 针对层次化移动管理中的路径优化问题,提出了基于路径长度、流量资源、转发节点负载、承载协议、应用类型、用户偏好等因素的最优路径选择方法;使用最优路径选择方法,提出了基于移动 IPv6 的层次化移动管理框架;通过对建议框架地址管理的描述,阐述了最优路径选择的实现过程。针对层次化移动管理的部署和使用问题,描述了建议框架在自治系统中的使用方法;提出了软切换与硬切换相结合、层次化移动管理与非层次化移动管理相结合的集成状态转换模型,为终端系统提供了复杂网络环境下更好的移动性支持。

关键词 移动 IPv6, 层次化移动管理, 最优路径

Optimum-path Selection in Hierarchical Mobile IPv6

LI Zhi-Wei SI Hui-Yong LV Wei-Feng

(National Lab. of Software Development Environment, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

Abstract To solve the path optimization problems in hierarchical mobility management, the optimum-path selection mechanism was proposed, based on "path length, transmission resources, forwarding-nodes' payload, carrying protocols, application types, users' preference, etc.". With the selection mechanism, a hierarchical mobility management framework was proposed for Mobile IPv6. With the description of addresses management, the realization of optimum-path selection was explained in proposed framework. To solve the deployment and implementation problems of hierarchical mobility, the practice of proposed framework was described in Autonomous Systems. The integrated transition model of handovers was proposed, conjoined with soft and hard handovers, hierarchical and non-hierarchical mobility managements. With the proposed model, terminals can obtain better mobility supports in complex networks.

Keywords Mobile IPv6, Hierarchical mobility management, Optimum-path

1 引言

随着高性能便携式设备的出现和终端用户对互联网服务需求的不断增长,基于 IPv6 的移动互联网络和应用服务变得越来越重要,基于 IPv6 的移动性管理技术成为近年来广泛研究的热点。移动 IPv6 (MIPv6; Mobile IPv6^[1]) 是基于 IPv6 的移动性管理协议, MIPv6 允许移动节点 (MN; Mobile Node) 在不同的网络中使用不同的、被称为转交地址 (CoA; Care of Address) 的临时地址进行双向通信,并通过一个被称为绑定更新 (BU; Binding Update) 的地址注册过程,将 CoA 通知给 MN 的家乡代理或通信节点 (HA/CN; Home Agent/Correspondent Node), 实现 MN 在网络切换过程中的持续通信。

如前所述, MIPv6 的绑定更新过程是网络层消息通知过程, MN 的切换过程伴随着注册消息的发送。当 MN 在大范围网络环境下快速移动的时候,频繁的网络切换所引发的大量注册消息将导致带宽利用率的显著下降^[2]。此外,当 MN 在进行远距离通信的时候,长时间的注册过程将导致切换延时的增大并造成网络丢包。关于上述问题的解决,互联网工程任务组 (IETF; Internet Engineering Task Force) 提出了多个层次化移动管理草案^[3~5], 但是这些草案普遍存在数据转发过程中的路径优化问题。

本文针对层次化移动管理中的路径优化问题,提出了基

于路径长度、流量资源、转发节点负载、承载协议、应用类型、用户偏好等因素的最优路径选择方法。使用最优路径选择方法,提出了基于 MIPv6 的层次化移动管理框架 (Optm-HMIPv6; Optimum Hierarchical MIPv6), 讨论了该框架在自治系统 (AS; Autonomous System) 中的使用和移动管理中的集成状态转换问题。类似地,该框架同样适用于具有相似结构的层次化移动 IPv4。

2 层次化移动管理

为了解决由于 MN 的频繁切换而引起的传输质量下降问题,层次化移动管理框架通过向 HA 隐藏 MN 的域内切换过程的方法,来减少发往 HA 的注册消息数量^[6]。已经提出的层次化移动管理框架可根据 MN 所使用的域转交地址 (RCoA) 的不同^[7], 划分为以下 3 类:

(1) 使用网关地址。这类框架将域内的地址管理结构组织成树状,树根作为代理节点 (数量通常只有一个);域内的 MN 使用同一个代理节点,分配相同的 RCoA (代理节点的地址);MN 与外部节点的双向数据传输通过代理节点转发。因为只有一个代理节点作为数据转发的网关节点,所以这种结构容易出现单点故障和处理瓶颈,缺乏鲁棒性和大规模支持能力是其主要问题。属于这一类的框架有 HMIPv4^[3], TeleMIPv6^[8], IDMP^[9], 3G wireless^[10] 和 Cellular IP^[11]。

(2) 使用动态地址。这类框架通过使用动态主机配置协

^{*} 国家自然科学基金项目:移动 IP 无缝切换技术研究 (60473084)。李智伟 博士生;司慧勇 硕士生;吕卫峰 副教授。

议(DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol)为域内的MN分配不同的RCoA;HA能够使用RCoA直接路由到指定的MN,与MN进行端对端的数据通信。因为当MN发生切换的时候,HA与MN之间需要更新动态路由,所以基于这一结构的认证、授权和计费(AAA: authentication, authorization and Accounting)比较困难。属于这一类的框架有HAWAI^[12]。

(3)使用锚点地址。这类框架的域内地址管理非常类似于第一类框架,不同之处在于,它通常可以使用多个代理节点(称为锚点);允许为MN分配不同的RCoA;MN与外部节点的双向数据传输通过锚点转发。属于这一类的框架有Anchor Handoff^[4],HMIPv6^[5]和BCMP^[13]。

在这类框架中,锚点的选择直接决定了MN与外部节点之间的数据传输路径,所以好的选择方法能够优化数据转发路径,提高层次化移动管理的数据传输性能。本文提出的基于最优路径选择的HMIPv6属于这一类。

3 路径优化问题

HMIPv6将彼此临近的多个不同网络划分为一个域,域内增加一个移动锚点(MAP: Mobility Anchor Point)。MN

在域内切换时向MAP注册,在域间切换时向HA/CN注册。同时,MN与CN之间的数据传输经过MAP转发。这种结构能够有效减少MN与HA/CN之间的消息交互数量,并缩短切换时延。但是,随着MN的移动,域内位置不断改变,MN与CN之间的最短通信路径并非总是经过MAP,这就存在路径的优化问题。

针对HMIPv6中的路径优化问题,可供参考的建议框架(以下简称为T-HMIPv6^[14])如图1所示。T-HMIPv6认为HMIPv6中的路径优化问题就是最短路径问题,将路径长度作为路径选择的考核指标。基于这一考虑,T-HMIPv6将HMIPv6中的MAP拆分为临时家乡代理(THA: Temporary Home Agent)和网关边界节点(G-EN: Gateway-Edge Node)两部分,THA负责域内注册管理,G-EN负责对数据包进行截取转发。因为T-HMIPv6要求G-EN是边界网关,所以一定在域内数据转发的最短路径上。然而,T-HMIPv6对G-EN的位置要求,在实现了域内最短路径传输的同时,也限制了G-EN的分布式处理的能力。G-EN对注册消息的处理、转发隧道的管理等操作,增加了边界网关的处理开销。当MN的数量增加,G-EN容易成为处理上的瓶颈,特别是在仅有一个边界网关的情况下。

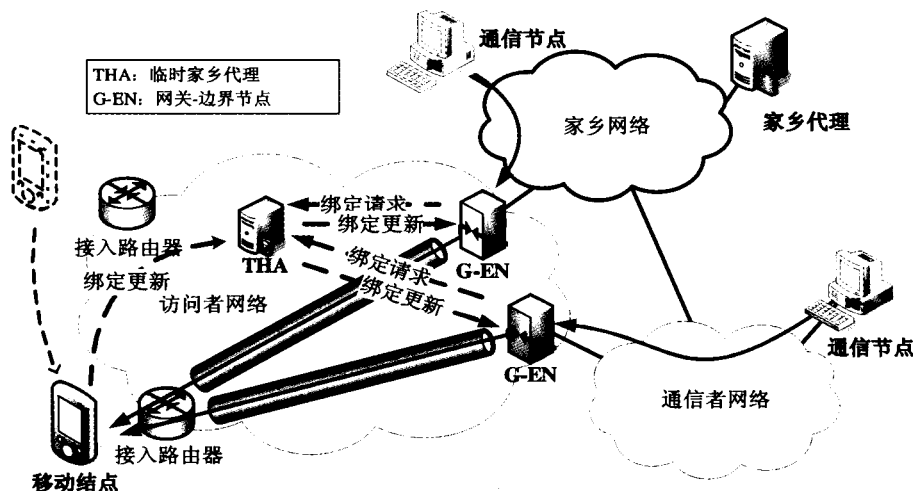


图1 T-HMIPv6 框架结构

本文认为,在解决层次化移动管理中路径优化问题的时候,应该使用多种指标,诸如路径长度、流量资源、转发节点负载、承载协议、应用类型和用户偏好等,而非单一考核指标作为路径选择的依据。与此同时,框架系统应该能够对用于指标考核的资源信息进行收集和使用,为分层移动管理的数据转发过程选择最优的传输路径。

4 Optm-HMIPv6

4.1 框架描述

Optm-HMIPv6通过对路径长度、流量资源、转发节点负载、承载协议、应用类型和用户偏好等资源信息的统一使用,为层次化移动管理的数据转发过程选择最优的传输路径,其结构如图2所示。Optm-HMIPv6提出了两类新的节点,域资源管理单元(DRM: Domain Resource Management)和网关节点(GN: Gateway Node)。DRM除完成域内地址管理外,对域内的资源信息也进行收集和使用。GN作为数据转发的中间节点,对发往MN的数据进行隧道转发。

当MN进入DRM所在域的时候,绑定更新消息首先发

送到DRM,DRM根据域内的当前资源信息,为MN选择一个最优的GN(Optm-GN: Optimum GN),并将绑定更新消息发送给GN和HA/CN。此后,CN发往MN的数据包经过Optm-GN转发。区别于现存的层次化移动管理框架,Optm-HMIPv6具有如下特征:

(1)控制过程与传输过程分离。

DRM负责域内地址管理、资源信息的收集等信令控制过程,GN负责数据的转发等传输过程。这种控制过程与传输过程分离的结构,利于系统的模块化建设和分散式部署。

(2)多维资源信息支持,选路更加合理。

DRM对Optm-GN的选择,综合考虑了路径长度、流量资源、转发节点的负载等多方面因素,能够为数据的转发选择最合适的路径,而不仅仅是最短的路径。

(3)最优路径的动态选择和调整灵活。

MN与CN的通信过程中,最优路径不是一成不变的,是可以动态调整的,即便是在没有发生MN移动切换的情况。DRM可以根据域内资源信息的变化,适时地调整MN与CN之间的数据转发路径。

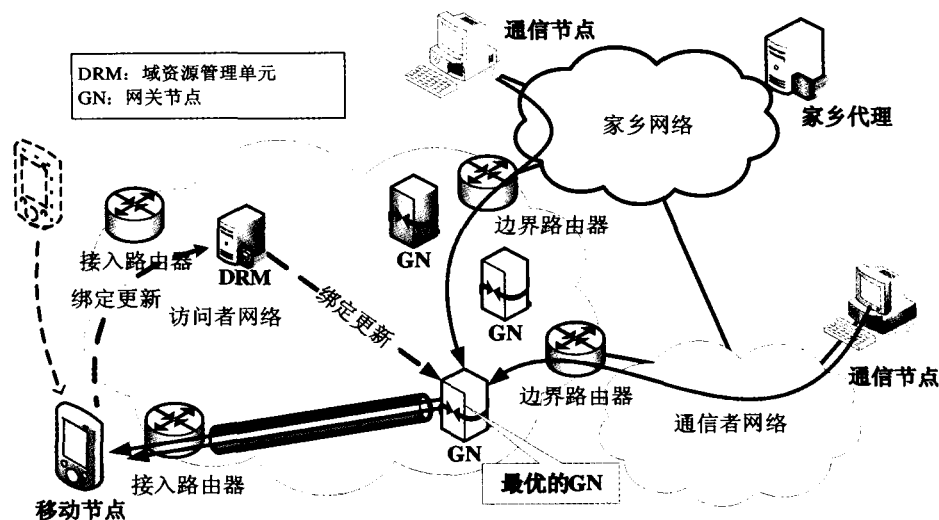


图2 Optm-HMIPv6 框架结构

(4) 分布式处理能力强,部署和使用灵活。

Optm-HMIPv6 中的 GN 没有位置限制,可以放置在域内的任何位置,当然也可以放置在边界网关处。而且 GN 没有数量限制,具有很好的分布式处理能力。在部署和使用上,GN 可以是路由器设备,也可以是主机设备。

综上所述,Optm-HMIPv6 全面描述了基于 IPv6 的层次化移动管理的路径优化方法,并给出了优化框架。该框架涵盖了 HMIPv6 和 T-HMIPv6 对层次化移动管理的支持能力;如果将 DRM 和 GN 合在一起,Optm-HMIPv6 就等同于 HMIPv6;如果 DRM 在做 Optm-GN 选择的时候,限定选择边界网关节点,Optm-HMIPv6 就等同于 T-HMIPv6。

4.2 地址管理

Optm-HMIPv6 的地址管理采用了层次化移动管理的基本思想,但是在域转交地址(RCoA: Region CoA)的使用上存在不同。现存的层次化移动管理框架中,要求 MN 使用与地址管理节点(如 MAP、THA)有相同网络前缀的 RCoA,这保证了发往 MN 的数据能够经过这些地址管理节点进行转发。因为 Optm-HMIPv6 中的 DRM 不参与数据转发,所以要求 MN 使用与其 Optm-GN 有相同网络前缀的 RCoA。这样,发往 MN 的数据是经过其 Optm-GN 转发的。可以这样理解:Optm-HMIPv6 对最优路径的选择,是通过 DRM 对 Optm-GN 的选择实现的;而 Optm-GN 的选择,是通过 DRM 对 RCoA 的注册实现的,图3描述了它的地址管理过程。

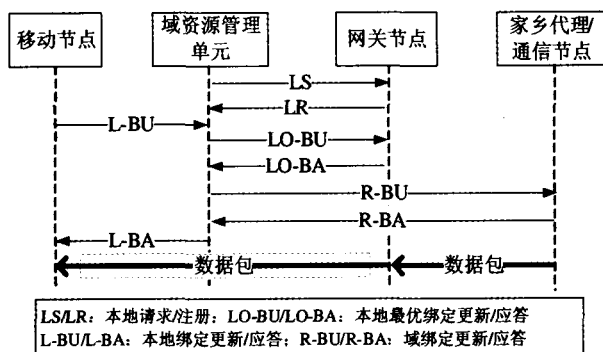


图3 Optm-HMIPv6 地址管理

Optm-HMIPv6 在域内使用多个 GN 来分担数据转发负载,DRM 对 GN 的管理采用主动和被动两种方式。DRM 通

过主动发送本地请求(LS: Local Solicitation)消息或被动接收 GN 的本地注册消息(LR: Local Registration)来完成对 GN 的状态更新和地址注册操作。

当 MN 在域内切换的时候,MN 发送本地绑定更新(L-BU: Local BU)消息到 DRM,注册本地转交地址(LCoA: Local CoA);DRM 收到 L-BU 消息以后,根据当前的资源信息,发送本地最优绑定更新(LO-BU: Local Optimum BU)消息到 Optm-GN;Optm-GN 通过本地最优绑定应答(LO-BA: Local Optimum BA)消息返回 RCoA(要求 RCoA 全网可寻址),并记录(LCoA, RCoA)地址对;DRM 通过本地绑定应答(L-BA: Local BA)消息返回 RCoA,并记录(LCoA, RCoA)地址对。当 MN 在域间切换的时候,DRM 发送域绑定更新(R-BU: Region BU)消息到 HA/CN,注册 RCoA; HA/CN 发送域绑定应答(R-BA: Region BA)消息到 DRM。随后,HA/CN 发送数据包到 Optm-GN,并通过隧道转发到 MN。

前面已提到,DRM 可以根据当前资源信息的变化,对 MN 的 Optm-GN 做动态调整,这是通过重新注册 RCoA 实现的。当 DRM 发现 MN 的 Optm-GN 发生变化的时候,可以通过 LO-BU/LO-BA、R-BU/R-BA 消息,改变 Optm-GN 为选定的 GN,并注销前一个。更进一步地,当 MN 同时与多个 CN 进行通信的时候,可能会出现 MN 与每个 CN 之间的最优路径都不相同。Optm-HMIPv6 允许 DRM 为不同的 CN 选择不同的 Optm-GN。

5 在自治系统中的使用

互联网由大量的 AS 组成,一个企业、一所高校的网络都可以被看作是一个 AS。AS 通过内部的网络连接,组成一个相对独立的自治网络。AS 的自治特性与层次化移动管理框架的域管理特性存在着组织上的相似。研究 Optm-HMIPv6 在 AS 中的使用问题,能够有效指导 Optm-HMIPv6 的设计和部署。图4给出了 Optm-HMIPv6 在 AS 中的使用范例,3 个 AS 通过各自的边界路由器连接在一起,DRM 与 GN 分别部署在各自的 AS 中。

在 AS 中,DRM 对资源信息的收集是非常重要的,本文给出一些可供参考的方法:DRM 可以通过内部网关协议(如 OSPF、RIP 等)获得 AS 内的路由信息,以计算出转发的最短路径;DRM 可以通过网络测量技术或借助质量服务体系,获

得传输资源信息;DRM 可以通过网络管理协议(如 SNMP 等)或自定义消息,获得 GN 的负载信息。

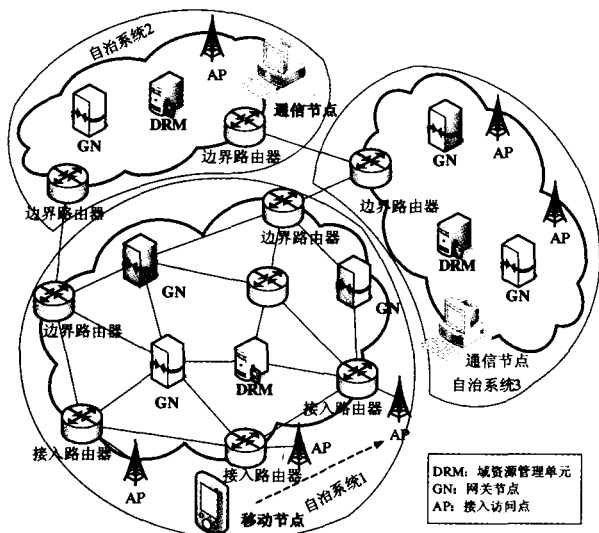


图4 Optm-HMIPv6 在 AS 中的使用范例

HMIPv6)相对于非层次化移动管理框架(如 MIPv6)具有较高的切换效率,但对访问者网络的要求较高,需要使用部分实体(如 MAP、THA/G-EN、DRM/GN)来构建层次化体系。而非层次化移动管理框架具有使用灵活、结构简单的特点,二者在使用上存在互补关系。研究层次化和非层次化移动管理相结合的切换控制方法,能够为终端系统提供更好的移动性支持。结合 Optm-HMIPv6 的框架特点,图5描述了软切换与硬切换相结合、层次化与非层次化移动管理相结合的集成状态转换模型。

集成状态转换模型中的横轴表示的是网络连接,纵轴表示的是切换条件。其中,网络连接划分为5种情况(L3₀:与旧子网连接;L3_N:与新子网连接;[L3₀,L3_N]:与新旧子网同时连接;NH-Reg:非层次化移动管理的地址注册过程;OH-LReg:Optm-HMIPv6 的本地地址注册过程;OH-RRReg:Optm-HMIPv6 的域地址注册过程),切换条件划分为4种情况(初始状态;存在新子网;存在域;存在最优路径)。状态转换从开始状态(S)开始到最终状态(F)结束,H1至H11为中间状态。此外,为了简化表述,状态转换图中没有描绘转换失败的情况。如果出现转换失败,应返回前一状态进行重试或转入最终状态F。集成状态转换模型中的主要状态转换过程如下:

6 集成状态转换

层次化移动管理框架(如 HMIPv6、T-HMIPv6、Optm-

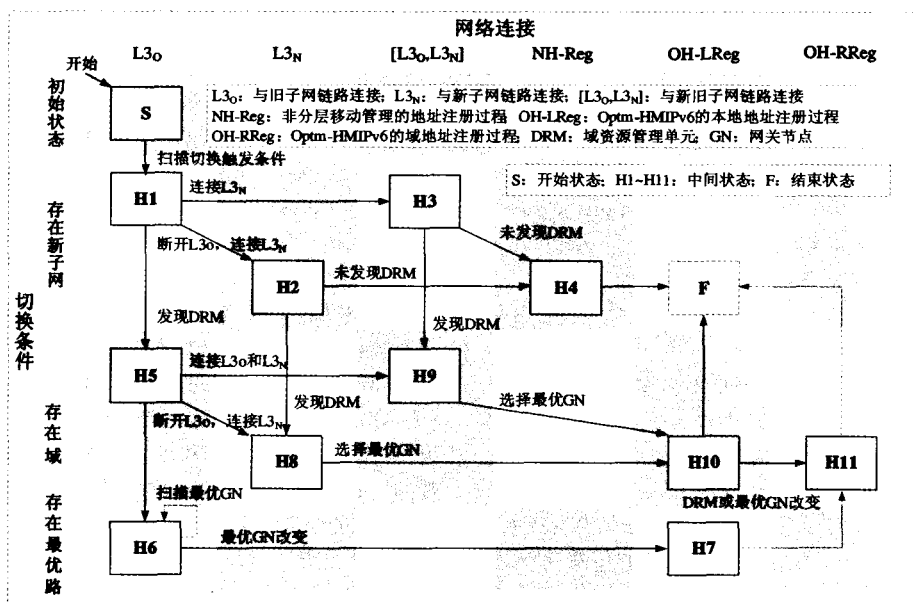


图5 集成状态转换模型

• S-H1;MN 扫描切换触发条件(如链路层触发器、路由广播消息等),检测即将发生的网络切换。根据可能支持的链路连接情况(单链路连接或双链路连接),选择切换模式(硬切换或软切换)。

• H1-H2:在单链路连接支持的情况下,MN 选择硬切换模式。首先断开与旧子网的链路连接,然后建立与新子网的链路连接。

• H1-H3:在双链路连接支持的情况下,MN 选择软切换模式。建立与新子网链路连接的同时,保持与旧子网的链路连接,直到地址注册过程结束。

• H2-H4;MN 未发现 DRM,表明新子网不支持层次化

移动管理,选择非层次化移动管理的地址注册过程(NH-Reg),直接发送 BU 消息到 HA/CN。

• H2-H8-H10-H11;MN 发现 DRM,表明新子网支持层次化移动管理。通过 DRM 选择最优 GN,进入层次化管理的本地地址注册过程(OH-LReg),发送 L-BU 到 DRM、LO-BU 到最优 GN。如果 DRM 或最优 GN 发生改变,则进入层次化管理的域地址注册过程(OH-RRReg)。这里隐含了一个默认规则:DRM 作为域的存在标识,DRM 的改变就表明域的改变。

• H5-H6-H7-H11; DRM 对最优 GN 进行周期扫描

(下转第 53 页)

点的覆盖效用范围 k 覆盖, 并且邻居节点产生的信息有 k' 条不经过该节点的不同路径到达基站, 节点便进入休眠状态。

2) 当节点发现处于工作状态的邻居节点的覆盖效用范围不能够对其覆盖效用范围 k 覆盖, 或存在任一邻居节点产生的信息不能经 k' 条不经过该节点的不同路径到达基站, 节点便进入休眠状态。

结束语 目前已有的传感器网络节点密度控制算法一般需要节点已知自己的精确地理位置信息。节点地理位置信息或是通过 GPS 来得到, 或是预先在已知的几个不同位置部署节点, 然后通过三角测量方式对 TOA、TDOA、RSSI 进行分布式计算得到。前者代价昂贵, 后者计算得到的偏差较大。因此, 开发节点不具备地理位置信息的密度控制算法非常重要, 这也是作者下一步的工作目标。在局部节点实现的分布式密度控制算法, 往往造成不同节点之间的状态转换碰撞, 为了避免这一现象, 节点在状态转换条件判定后有时仍需退避一段时间再进行状态转换。退避时间的选择机制对密度控制算法的性能有重要的影响。节点密度控制协议位于网络层与 MAC 层之间, 密度控制算法的实现往往造成网络拓扑结构频繁变化, 网络路由由更新频率增加。密度控制算法中邻居节点的状态信息有时又要通过路由信息来获取。因此在节点密度控制协议中充分考虑路由协议的影响, 结合路由协议来设计也是十分重要的。

参考文献

- Williams R. The geometrical foundation of natural structure: A source book of design. New York: Dover Pub Inc, 1979
- Garey M R, Johnson D S. Computers and intractability: A guide

(上接第 45 页)

(H6)。如果最优 GN 发生改变, 则进行最优 GN 的动态调整。DRM 发送 LO-BU 到最优 GN、R-BU 到 HA/CN。

• 状态 F: 是虚状态, 用来表示网络切换的结束, 整理和回收预分配的资源, 如断开与旧子网的连接、注销前一个最优 GN 等。

集成状态转换模型描述了层次化与非层次化移动管理相结合的切换控制方法, 同时描述了软切换与硬切换两种切换模式的结合使用。使用集成状态转换模型的切换控制, 能够保障系统在复杂网络环境下的连续、稳定工作。例如, 当网络不支持软切换的时候, 可以使用硬切换完成切换操作; 当网络不支持层次化移动管理的时候, 可以使用非层次化移动管理完成切换操作。

结论 现存的层次化移动管理框架对层次化体系中的地址管理做了比较详细的规划和描述, 但在性能分析和优化方面论述较少, 并且缺乏对使用的一般性论述。本文针对层次化移动管理中的瓶颈问题和最短路径问题, 首先提出了最优路径问题。结合 MIPv6, 提出了具有最优路径选择的层次化移动管理框架, 并给出了最优路径选择的考核指标和控制方法。针对一般性使用问题, 本文对 Optm-HMIPv6 在自治系统中的使用进行了规划和描述, 并给出了结合多种切换模式和管理结构的集成状态转换模型。较现存的层次化移动管理框架, Optm-HMIPv6 具有更好的通用性和更广泛的适用能力。

本文接下来的工作, 将围绕用于指标考核的资源信息统一描述方法和评价体系两方面内容展开。

参考文献

- Perkins C E. Mobile Networking through Mobile IP. IEEE Inter-

- to the theory of NP-Completeness. New York: Freeman, 1979
- Sanli H O, Cam H. Energy Efficient Differentiable Coverage Service Protocols for Wireless Sensor Networks. Pervasive Computing and Communications Workshops, 2005. PerCom 2005 Workshops. In: Third IEEE International Conference on 2005. 406~410
- Tian D, Georganas N D. A coverage-preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks. First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, Georgia, GA, 2002
- Xu Y, Heidemann J, Estrin D. Geography-informed energy conservation for ad hoc routing. Proc of ACM MOBICOM '01, Rome, Italy, July 2001
- Chen B, Jamieson K, Balakrishnan H, et al. Span: An energy-efficient operation in multihop wireless ad hoc networks. Proc of ACM MobiCom '01, 2001
- Zhang Honghai, Hou Jennifer. Maintaining coverage and connectivity in large sensor networks. International Workshop on Theoretical and Algorithmic Aspects of Sensor, Ad hoc Wireless and Peer-to-Peer Networks, Feb 2004
- Sljepcevic S, Potkonjak M. Power efficient organization of wireless sensor networks. ICC 2001, Helsinki, Finland, June 2001
- Chakrabarty K, Iyengar S S, Qi H, et al. Grid coverage for surveillance and target location in distributed sensor networks. IEEE Transactions on Computers, 2002, 51(12): 1448~1453
- Meguerdichian S, Potkonjak M. Low Power 0/1 Coverage and Scheduling Techniques in Sensor Networks: [UCLA Technical Reports]. 030001. 2003
- Zou Yi, Computers C K. A Distributed Coverage- and Connectivity-Centric Technique for Selecting Active Nodes in Wireless Sensor Networks. IEEE Transactions on, 2005, 54(8): 978~991
- Megerian S, Koushanfar F, Potkonjak M, et al. Worst and best-case coverage in sensor networks, Mobile Computing, IEEE Transactions on, 2005, 4(1): 84~92
- Heo Nojeong, Varshney P K. Systems, Man and Cybernetics, Energy-efficient deployment of Intelligent Mobile sensor networks Part A, IEEE Transactions on, 2005, 35(1): 78~92

net Computing, 1998, 2(1): 58~69

- Yi Myung-Kyu, Song Ui-Sung, Hwang Chong-Sun. A lazy update strategy for minimizing signaling cost using the forwarding pointer in mobile IP. Journal of Information Science and Engineering, 2005, 21(2): 259~286
- Jonsson A, Gustafsson E, Perkins C. Mobile IPv4 regional registration. Internet Draft, draft-ietf-mobileip-reg-tunnel-07, 2002
- Dommetty G, Ye T. Local and Indirect Registration for Anchoring Handoff. Internet Draft, draft-dommetty-mobileip-anchor-handoff-03. txt, July 2001
- Soliman H, Castelluccia C, El-Malki K, et al. Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6). Internet RFC 4140, August 2005
- Campbell A T, Gamez J. IP micromobility protocols. ACM SIGMOBILE Mobile Computer and Communication Review, 2001. 45~54
- Li J, Sampalli S. A Load Balancing Hierarchical Micro-mobility Management. In: The 13th Int'l Conf on Computer Communications and Networks (ICCCN 2004), October 2004. 347~351
- Das S, Misra A, Agrawal P. TeleMIP: telecommunications-enhanced mobile IP architecture for fast intradomain mobility. IEEE Wireless Communications, 2000, 7: 50~58
- Das S, Mcauley A, Dutta A, et al. IDMP: an intra-domain mobility management protocol for next generation wireless networks. IEEE Wireless Communications, 2000, 9(3): 38~45
- Xu Y, et al. Mobile IP based micro mobility management protocol in the third generation. Internet Draft, draft-ietf-mobileip-3gwireless-ext-07. txt, June 2000
- Campbell A, Gomez J, Kim S, et al. Design, implementation, and evaluation of cellular IP. IEEE Wireless Communications, 2000, 7(4): 42~49
- Ramjee R, Varadhan K, Salgarelli L, et al. HAWAII: a domain-based approach for supporting mobility in widearea wireless networks. Networking, IEEE/ACM Transactions on, 2002, 10(3): 396~410
- Keszei C, Georganopoulos N, Turanyi Z, et al. Evaluation of the BRAIN Candidate Mobility Management Protocol. IST Summit Barcelona, September 2001
- Kato T, Takechi R, Ono H. A Study on Mobile IPv6 Based Mobility Management Architecture. FUJITSU Sci Tech J, 2001, 37(1): 65~71