

## 移动性管理理论与技术的研究

陈山枝<sup>1</sup>, 时岩<sup>2</sup>, 胡博<sup>3</sup>

(1. 电信科学技术研究院, 北京 100083; 2. 北京邮电大学 电信工程学院, 北京 100876;  
3. 北京邮电大学 网络与交换国家重点实验室, 北京 100876)

**摘 要:** 针对未来的多种接入网络共存、大量移动性终端接入需求的情况下, 分析了移动性管理面临的全新挑战, 指出将其作为信息通信网中的单独一门技术进行研究的必要性, 阐述了移动性管理的定义和分类。在此基础上, 提出了移动性管理的网络参考模型和协议参考模型, 对指导 4G 和未来的移动性管理技术发展具有十分重要的意义。进而, 按此模型分析和比较了国内外已有的各种移动性管理技术。最后, 指出了未来泛在、异构网络环境下移动性管理所面临的挑战与新课题。

**关键词:** 移动性管理; 参考模型; 注册管理; 位置管理; 切换控制; 异构接入

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-436X(2007)10-0123-11

## Survey on the mobility management theory and technology

CHEN Shan-zhi<sup>1</sup>, SHI Yan<sup>2</sup>, HU Bo<sup>3</sup>

(1. China Academy of Telecommunications Technology, Beijing 100083, China;

2. School of Telecommunication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;

3. State Key Laboratory of Networking and Switching, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** The mobility management was considered as a special technology. The newcoming requirements on mobility management brought by the coexistence of heterogeneous access networks and large numbers of mobile terminal were analyzed. Based on the analysis of the definitions and classifications of mobility management, the protocol and network reference models of mobility management were proposed. After discussion and comparison of the existing mobility management technologies according to those models, several challenges to the future mobility management were brought forward.

**Key words:** mobility management; reference model; registration management; locations management; handover/handoff control; heterogeneous access

### 1 引言

未来的信息社会中, 移动性的目标就是要实现“5W”通信, 即任何人可在任何时候、任何地方、与任何人以及相关的物进行任何形式的通信, 这就

需要移动性管理技术来实现。当今正从 PC 向移动计算(如笔记本电脑、PDA、智能手机等)和网络嵌入式设备(如无线传感器、无线远程遥控和遥测设备等)的历史性转型中。2005 年, 全球约有超过 20 亿部手机(其中有 4 亿部有上网功能, 且还在快

收稿日期: 2007-03-08; 修回日期: 2007-07-02

基金项目: 国家高技术研究发展计划(“863”计划)基金资助项目(2006AA01Z229, 2007AA01Z222)

**Foundation Item:** The National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (2006AA01Z229, 2007AA01Z222)

速增长)、5 亿台与互联网相连的 PC/服务器; 估计到 2010 年, 全球与互联网相连的有超过 10 亿部笔记本电脑、PDA、智能手机和传感器等以及 7.5 亿台 PC/服务器; 到 2015 年, 互联网上的传感器将达到 50~100 亿个<sup>[1]</sup>, 而其中的大量终端都有潜在的移动性需求, 因此, 移动性管理技术是未来无线移动通信和移动计算中最重要也最具有挑战性的问题之一。ITU-T、IETF、3GPP、ETSI、MWIF、IST 等诸多国际标准化组织都将移动性管理作为非常重要的一个方面进行研究。

移动性管理技术源自蜂窝移动通信网。未来无线个域网 (WPAN), 如 IEEE 802.15; 无线局域网 (WLAN), 如 HiperLAN、IEEE 802.11; 无线城域网 (WMAN), 如 IEEE 802.16; 无线广域网 (WWAN), 如 2G、3G 等多种异构接入网络的并存, ad hoc 网络以及以此为基础的无线 Mesh 网络、无线传感器网络的出现及其与蜂窝网、因特网的结合, 新业务与应用需求的出现以及数量庞大的移动终端的接入, 都给移动性管理技术带来了全新的挑战, 而现有技术都不能满足未来需求, 尤其是个人移动性和会话移动性的需求。移动性管理已经不再是特定网络技术的一个侧面, 而是跨越各种异构接入网络, 同时涵盖网络、业务、终端各个层面的综合技术。因此, 有必要将移动性管理技术作为一门单独的技术来研究。

## 2 移动性的定义与分类

ITU-T、IETF、3GPP、ETSI、MWIF 等诸多国际标准化组织都基于各自的领域、从不同角度定义了移动性相关的术语和需求<sup>[2~8]</sup>。

移动性是指移动目标 (用户或终端) 在网络覆盖范围内的移动过程中, 网络能持续提供通信服务能力。指用户的通信和业务访问不受位置变化和接入技术变化的影响, 即独立于网络服务接入点 (简称接入点) 的变化。

根据不同原则, 移动性可以有多种不同分类。

1) 根据支持程度, 可分为: 无缝移动性和游牧移动性。

无缝移动性指当用户移动导致接入点改变时, 不会中断当前的通信, 仍能与网络保持连接。而在游牧移动性中, 当改变接入点时, 不需要与网络保持连接, 用户的业务会话将被完全终止, 然后重新开始。可见, 二者本质区别在于网络接

入点的变化是否影响当前通信与会话的连续性, 即是否支持切换。

还有一个与游牧接近的概念——漫游, 指用户在移出了其归属网络之后, 仍然可以根据其用户和业务属性, 使用拜访网络提供的接入和通信能力。游牧与漫游在很大程度上是相同的, 但定义的角度、关注点不同, 游牧从技术角度侧重研究移动引起的接入点变化对会话的影响, 漫游则从业务运营角度侧重研究移动引起的网络和业务环境的变化对通信和业务的影响。

2) 根据移动性支持的目标, 可分为: 终端移动性、个人移动性、会话移动性、业务移动性和网络移动性。

终端移动性、个人移动性、会话移动性和业务移动性反映了与用户相关的移动性的不同侧面和需求目标。其中, 终端移动性是指当移动节点改变网络接入点时, 仍然能够进行通信的能力。而根据实现中移动性的主要支持方, 终端移动性又可分为: 边缘移动性 (edge mobility) 和主机移动性 (host mobility)。边缘移动性是指当移动节点发生移动时, 由网络负责将数据流路由至移动节点的当前接入点。主机移动性则是指当移动节点发生移动时, 由移动节点自己负责将数据流路由至当前位置, 而不需要网络的协助。蜂窝移动通信网络 (下文简称“蜂窝网”) 中的域内移动性管理和 NetLMM<sup>[9]</sup>

(network-based localized mobility management) 是边缘移动性的典型技术, 移动 IP 和 HIP<sup>[10]</sup> (host identity protocol) 是主机移动性的典型技术。个人移动性包含通信可达性与业务个性化。实现通信可达性的关键是将用户, 而不是终端作为通信的端点, 为每个用户设立惟一标识, 并与通信过程中特定域或特定终端的标识进行动态映射。实现业务个性化使得用户信息、用户偏好、业务属性等信息能够跟随用户移动, 从而获得始终如一、个性化业务环境, 一般采用代理技术。会话移动性重点研究垂直切换 (即异构网络环境中切换) 以及针对多接口终端的连接管理。业务移动性可以看作个人移动性研究中业务个性化的部分。网络移动性是指一组互相联网的固定或移动节点作为一个整体改变其接入点仍能与网络其他节点通信, 如航行中的轮船、汽车和火车等上的网络。

3) 根据移动性涉及的范围大小, 可分为: 接入网内移动性、接入网间移动性和网络间移动性。

类似的分类<sup>[11]</sup>是：微移动性、宏移动性和全局移动性，分别指子网内、同一管理域内的子网间及穿越不同管理域的移动性。

4) 根据无线移动网络类型的不同，可分为：有基础设施的无线移动网络中的移动性管理和无基础设施的无线移动网络中的移动性管理。

有基础设施无线移动网络的典型代表是蜂窝移动通信网络及 WLAN，具有相对成熟的移动性管理技术。无基础设施的无线移动网络以 ad hoc 网络（移动自组织网络）为典型代表和基础，其中，移动性管理往往与拓扑管理、路由管理等技术密不可分，目前还没有令人满意的移动性管理技术。

### 3 移动性管理参考模型

本文提出的移动性管理参考模型包括协议参考模型及关键功能、网络参考模型及功能实体分布等。

#### 3.1 移动性管理协议参考模型及基本功能

针对现有的移动性管理技术、未来需求与技术发展的分析，本文提出了移动性管理协议参考模型，如图 1 所示。协议参考模型包含 3 个平面：传送平面(数据平面)、控制平面和管理平面。传送平面从协议层次上分，涉及物理层、链路层、网络层、传输层和应用层。控制平面从功能上分，包括：安全机制、位置管理、切换控制和互操作控制。而管理平面从功能上分，包括：配置管理、故障管理、性能管理、账务管理和安全管理。

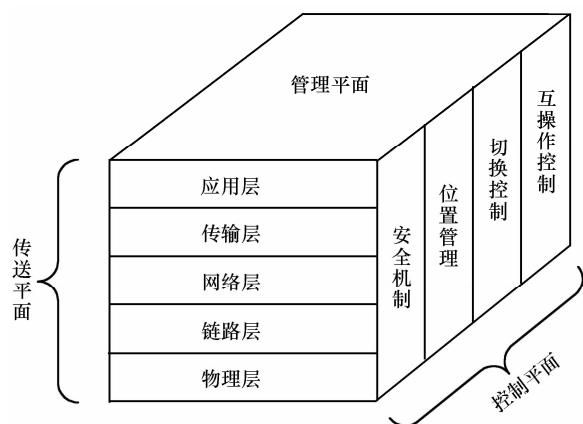


图 1 移动性管理的协议参考模型

#### 3.1.1 传送平面的基本功能

移动性管理的传送平面划分与传统协议层次相同，自下而上，包括物理层、链路层、网络层、传输层和应用层。

物理层主要支持移动性管理相关的物理信号检测，用于对移动性管理进行功能和性能的优化。其他各层均有支持移动性的典型协议，链路层提供子网范围内的终端移动性，网络层技术提供独立于下层协议和物理传输介质的终端移动性和网络移动性，传输层提供不依赖于网络基础设施的、端到端的移动性支持，而应用层技术除了支持终端移动性外，还具有一定的个人移动性、会话移动性和业务移动性支持<sup>[12,13]</sup>。图 2 所示为各层的移动性支持协议及其作用范围。本文第 4 节将分别选取各层典型技术，根据协议参考模型进行分析介绍。

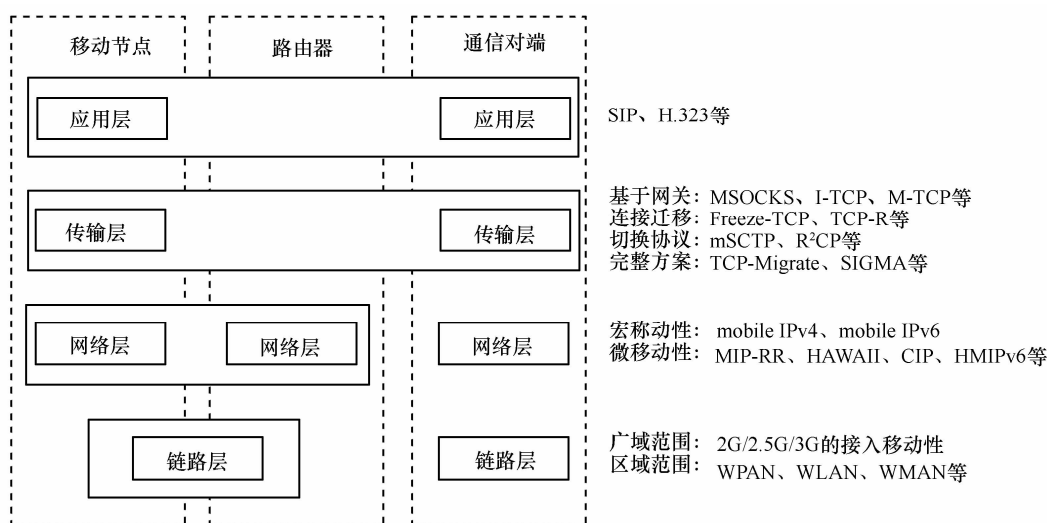


图 2 各协议层的移动性管理技术

### 3.1.2 控制平面的基本功能

移动性管理控制平面的基本功能包括：安全机制、位置管理、切换控制和互操作控制。

#### 1) 安全机制

移动性管理技术中涉及到的安全机制包括 4 个主要功能：关键数据保密性、注册认证管理、信令消息完整性、移动服务不可否认性。现有的移动性管理技术大多只提供注册认证管理，负责认证授权管理和业务属性管理。认证授权功能又分为：接入网络时的用户/终端认证授权、使用业务时的业务认证授权，涉及移动安全关联问题。认证负责验证确认移动目标的身份，授权功能负责检查确认移动目标是否有权限使用其所请求的接入或业务等。另外，还有记账功能，用于记录用户使用的资源、进行的操作，以便进行分析、审记和计费。三者合起来即通常的 AAA 功能。业务属性管理实现对业务属性的注册、更新、查找、注销等功能。

#### 2) 位置管理

位置管理实现跟踪、存储、查找和更新移动目标的位置信息，包括 2 个重要功能：位置更新（或称位置注册）和位置查找（或称寻呼）。其中，位置更新由移动目标向系统报告其位置的变更，位置查找则是系统查找移动目标所在位置的过程。位置管理需要位置数据库支撑，例如第二代蜂窝网（2G）中的访问位置寄存器（VLR）和归属位置寄存器（HLR）以及 MIP 的家乡代理（HA）或 SIP 位置服务器等。位置数据库可采用层次型、树型和中心数据库结构。位置管理的性能评价参数主要有更新消息开销、更新时延、寻呼信令开销、寻呼时延、系统效率等。位置更新与位置查找在占用系统资源方面是矛盾的，同时优化两者是一个 NP 问题，各种位置管理方案就是在两者的开销之间寻找平衡，以降低总的位置管理开销。两者的比较如表 1 所示。

表 1 位置更新与位置查找的比较

| 位置管理功能 | 发起方  | 开销                                | 开销与位置区大小的关系                 |
|--------|------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 位置更新   | 移动目标 | 更新消息的开销，信道资源占用、增加系统和位置数据库的负载和处理时延 | 位置区设置越大，开销越小                |
| 位置查找   | 网络   | 寻呼信令的开销                           | 位置区设置越小，信令开销越小，寻呼成功率越高，时延越小 |

#### 3) 切换控制

切换控制实现移动过程中接入点变化时的通信会话连续性，即实现当前的接入点提供的通信接入由另一个新的接入点提供，包括 3 个功能：切换准则（何时何种条件下切换）、切换控制方式、切换时相关资源分配（如蜂窝网中的信道分配，MIP 的转交地址分配及 IP 地址绑定等）。切换控制的性能评价参数主要包括切换成功率、掉话率、新呼叫阻塞率、平均切换次数、切换时延、强制中断率等。

切换控制历来都是移动性管理中的重要研究内容，目前最成熟是蜂窝网的切换控制技术。未来泛在、异构网络环境中，除各个网络内部的切换控制外，还应包括跨越网络边界、跨运营商以及跨终端漫游时的切换控制，切换具有了一些新的特征，也出现了多种不同的分类方法<sup>[4]</sup>。根据涉及的网络范围，可以分为网内切换和网间切换。根据涉及的接入技术是否同类，可以分为水平切换（或称系统内切换）和垂直切换（或称系统间切换）。从性能角度，分为快速切换、平滑切换和无缝切换。根据切换前后所涉及的无线频率，分为同频切换和异频切换。根据切换的必要性，可分为强制切换和非强制切换。根据切换中是否允许用户控制，分为主动切换和被动切换。

#### 4) 互操作控制

互操作控制是未来的移动性管理技术中所特有的、并且与控制平面中其他功能相关的控制功能。互操作控制包括 2 个方面：一是处理由接入技术异构性带来的差异，例如，接入认证技术中的安全上下文映射、垂直切换中的端到端 QoS 映射、业务上下文映射及终端能力适配等。二是跨层设计思想在移动性管理中的应用，包括不同层移动性支持方案间的设计耦合以实现功能优化以及通过跨层信息交互实现性能优化。

### 3.1.3 管理平面的基本功能

管理平面的功能包括网络管理的传统 5 种基本功能，包括：故障管理、配置管理、计费管理、性能管理和安全管理，即 FCAPS 功能。网管协议通常采用 SNMP 或 CMIP，并且涉及具体的管理信息库（MIB）定义。在此不再赘述。

### 3.2 移动性管理的网络参考模型及功能实体

移动性管理的网络参考模型及其功能实体如图 3 所示。根据移动目标（用户）的归属，将通信网分成一个归属（家乡）网络和多个拜访（外地）网络。不

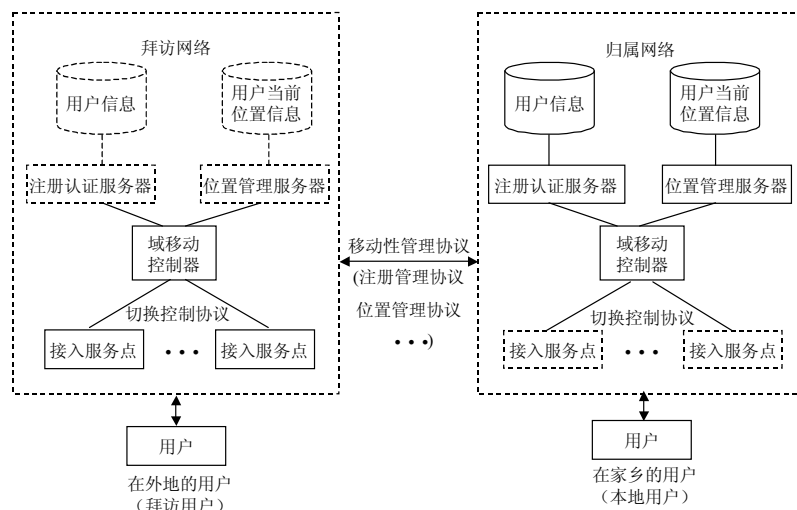


图3 移动性管理的网络参考模型及其功能实体

同的移动性管理技术还可能将归属网络、拜访网络进一步划分成位置区（LA）和寻呼区（PA）。移动性管理涉及的功能实体有四类：移动性管理服务器（含数据库）、网络服务接入点（简称接入点）、域移动控制器，以及相应的移动性管理协议。

#### 1) 移动性管理服务器

移动性管理服务器提供相应的移动性管理功能，包括两类：注册认证服务器(简称注册服务器)、位置管理服务器(简称位置服务器)。注册服务器负责管理用户的接入鉴权信息（包括网络接入鉴权和业务接入鉴权）和业务属性信息等，具体实现可能分开。位置服务器负责记录、更新、查找、注销用户当前位置信息。拜访网络的注册服务器、位置服务器只存储漫游到该网络的拜访用户临时信息，即当用户离开后，其信息是要删除的。归属网络的注册服务器存储其用户的（半）永久信息，用户的归属网络位置服务器与其拜访网络位置服务器通信，以及时更新该用户的位置信息。

#### 2) 接入点

接入点负责提供用户通信需要的接入连接、号码/地址适配及相关的切换控制功能，如蜂窝网中的基站子系统、WALN 的接入点（AP）、WiMAX 的基站等。当用户移动引起接入点服务区域的变化时，就发生切换控制。

#### 3) 域移动控制器

域移动控制器如蜂窝网的 MSC/GMSC、MIP 的家乡代理和外地代理，主要负责：①切换控制，如域内(同一拜访网络)接入点间的切换和域间(不同拜访网络)的切换控制；②域间网关功能，如拜访

网络和归属网络间有关移动性的注册管理信息和位置信息的通信。

#### 4) 移动性管理协议

移动性管理协议实现功能实体间的相互通信，以实现认证、信息交换（如用户信息和位置信息等）、控制等功能，分为四类：注册管理协议、位置管理协议、切换控制协议和互操作控制协议。

### 4 典型移动性管理技术的分析

#### 4.1 链路层移动性管理技术

链路层的移动性管理技术包括：WPAN、WLAN、WMAN（本文将 WMAN 中的 IEEE 802.16d 归入到简单的链路层移动性管理技术，因为其没有位置管理和切换控制等功能，而 IEEE 802.16e 即移动 WiMAX，实质上是一种移动通信系统技术）和 WWAN（即电信网的移动接入技术，典型是蜂窝移动通信系统）。

WPAN、WLAN 只在很小区域内（分别在 10m 左右和在 300m 范围内）提供十分有限的移动通信能力，WMAN(如 802.16d)能在城域范围内（如在 1~50km 范围内）提供区域覆盖、游牧接入的移动通信，是一种功能简单、成本低廉的移动性管理技术。WWAN 能提供广域范围内（如几个城市、一个国家、甚至全球）的移动通信，特别是蜂窝移动通信系统强调无缝覆盖和用户高速移动下的连续通信能力，是功能比较强大且复杂的移动性管理技术。

蜂窝移动通信网是移动性管理参考模型的典型代表，属于一种链路层移动性管理技术。蜂窝移动通信系统的功能分层模型如图 4 所示。从协议栈层面上

看,包括:接入层(AS, access stratum)和非接入层(NAS, non-access stratum)。接入层是指需要无线接入设备参与处理的部分功能,非接入层是指主要由移动终端和核心网处理的部分功能,不需要无线接入设备参与。移动性管理层由移动性管理(MM)和 GPRS 移动性管理(GMM)两部分组成。MM 负责对电路域的移动性进行管理,例如位置区更新等。GMM 则负责管理分组域的移动性功能,例如路由区更新等。移动性管理功能的实现主要涉及移动台(SIM 卡)、MSC/VLR、SGSN 和 HLR/AUC 等网元。

|       | 电路交换            |           | 分组交换     |                |
|-------|-----------------|-----------|----------|----------------|
|       | 连接管理(CM)        | 移动性管理(MM) | 会话管理(SM) | GPRS移动性管理(GMM) |
| 非接入层  |                 |           |          |                |
| <hr/> |                 |           |          |                |
| 接入层   | L3, 无线资源控制(RRC) |           |          |                |
|       | L2, 无线链路控制(RLC) |           |          |                |
|       | L2, 媒体接入控制(MAC) |           |          |                |
|       | L1, 物理层(PHY)    |           |          |                |

图 4 蜂窝移动通信系统的功能分层模型

蜂窝移动通信网络分为归属网络和拜访网络,对应网络参考模型,BSS 是接入点, MSC/GMSC 是域移动控制器,HLR/AUC 和 EIR 构成注册服务器,HLR 和 VLR 构成位置服务器,采用两层位置数据库结构。对应协议参考模型,蜂窝移动通信系统在传送平面对移动性管理的支持主要在物理层(主要是无线信号的测量)和链路层实现,在控制平面具有安全机制、位置管理和切换控制功能,如表 2 所示。

表 2 蜂窝网支持控制功能技术要点

| 控制功能 | 技术要点  |
|------|---|
| 安全机制 | 通过移动台中的 SIM 卡和 AUC 之间信令交互,实现用户的鉴权,确定用户是否合法;还具有加密功能。鉴权过程主要涉及到 MS(SIM)、HLR/AUC 和 MSC/VLR, SIM 卡存储用户鉴权和加密信息, AUC 存储用户鉴权信息和加密密钥。  |
| 位置管理 | 采用 HLR 和 VLR 两层位置数据库结构,实现移动台位置信息的管理。移动台(SIM 卡)中也存储移动用户的位置信息。具有位置更新和寻呼功能。  |
| 切换控制 | 也称自动链路转移(ALT, automatic link transfer)。根据切换发生的原因,切换类型包括:救援切换、边缘切换、业务量切换。根据切换过程涉及的网络覆盖范围,切换类型包括:小区内切换、BSC(RNC)内切换、MSC/VLR 内(BSC 间)切换及 MSC/VLR 间切换。根据切换过程中是否先断开信道,切换类型包括:硬切换(Hard handoff)、软切换(soft handoff)和更软切换(softer handoff)。TD-SCDMA 系统中采用接力切换。 |

目前,蜂窝移动通信系统已经经历了从 1G、2G、2.5G 到 3G 的发展变化,移动性管理作为支持用户移动性的关键技术也得到了不断的完善。以 3G 网络为例,随着网络结构的逐步演进,移动性管理的实现方式略有差异,管理能力得到了增强。在 3GPP 标准中,各版本网络结构和移动性管理的主要特征如图 5 所示。

| 3GPP R99  | 3GPP R4                                | 3GPP R5   | 3GPP R6  |
|---|--|---|--|
| <b>核心网络</b><br>电路域采用集中 MSC 和原 MAP 信令协议;分组域为 GPRS 增强版  | <b>核心网络</b><br>电路域演进为分布式 MSC 的软交换技术    | <b>核心网络</b><br>增加 IMS 应用域;IMS 的呼叫控制协议为 SIP        | <b>核心网络</b><br>制定 IMS 消息业务相关规范;完善网络互通和安全,引入 MBMS 业务                |
| <b>接入网络</b><br>集中式 RNC; ATM 传输                        | <b>接入网络</b><br>RNC 增加管理 TD-SCDMA 的功能   | <b>接入网络</b><br>RNC 和基站支持 IP 传输能力,增加 Iu-Flex 功能    | <b>接入网络</b><br>IP 和 ATM 互操作;UTRAN 传输,支持网络共享                        |
| <b>空中接口</b><br>WCDMA FDD                              | <b>空中接口</b><br>在 R99 的基础上新增支持 TD-SCDMA | <b>空中接口</b><br>新增高速数据分组接入技术 HSDPA                 | <b>空中接口</b><br>研究其他工作频段;引入 MIMO 等                                  |
| <b>移动性管理</b><br>增加 RNC 重定位信令流程,以支持切换功能;增加鉴权五元组及双向鉴权功能 | <b>移动性管理</b><br>相对于 R99 无实质性变化         | <b>移动性管理</b><br>引入 HSS;增加 IMS 的移动性管理,主要是位置管理和鉴权功能 | <b>移动性管理</b><br>支持 WLAN 与 3GPP 互通时,由 3GPP AAA Server 完成对 UE 的鉴权与认证 |
| 1999年12月  | 2001年3月                                | 2002年3月   | 2005年3月  |

图 5 3GPP 标准各版本网络结构和移动性管理的主要特征

## 4.2 网络层移动性管理技术

移动 IP(MIP)是在 IP 网络中支持节点移动的技术,基本协议包括 MIPv4<sup>[15]</sup>和 MIPv6<sup>[16]</sup>,移动节点(MN)改变接入点时,不必改变其 IP 地址,仍能实现通信,即实现了跨越不同网段的漫游功能。以移动 IPv4 协议为例,新定义了 MN、HA(家乡代理)和 FA(外地代理)3 个功能实体。对应网络参考模型,HA 具有域移动控制器、注册服务器和位置服务器的功能,FA 是域移动控制器。HA 和 FA 都要维持有关 MN 的相关记录,类似于蜂窝网中 HLR 的本地数据库和 VLR 的访问数据库。

从传送平面角度分析,MIP 是在网络层上支持节点移动性管理的技术,与数据链路层协议和物理传输介质无关,并提供对上层协议和用户透明的移动性。从控制平面角度来看,MIP 具有部分注册管理、位置管理(有位置更新功能,但没有寻呼功能)、有限的切换控制等功能,具体分析描述如表 3 所示。在 MIP 中位置更新涉及移动代理发现、移动性检测、转交地址形成和绑定更新等过程。

为减少 MIP 与链路层协议独立性引起的注册和切换时延(连接中断时间),人们提出各种改进的切换技术,如:MIPv4 的低时延切换技术<sup>[17]</sup>(预先注册方法、过后注册方法等),MIPv6 的快速切换技术<sup>[18]</sup>(预先切换、基于隧道切换)、平滑切换

技术<sup>[19]</sup>等。

表 3 MIP 的移动性控制功能技术要点

| 控制功能 | 技术要点   |
|------|--|
| 安全机制 | 提供网络节点间的安全连接（SA），如：MN 与 HA 间，MN 与 FA 间，FA 与 HA 间等。   |
| 位置管理 | 家乡代理负责缓存移动节点家乡地址（HoA）和转交地址（CoA）的绑定信息，维护移动节点的位置信息。移动 IP 协议的位置管理主要通过移动节点的位置注册（location registration）或绑定更新（binding update）机制实现，即具有位置更新功能。<br>标准移动 IP 协议没有定义寻呼功能，移动 IP 协议的扩展方案可以支持 IP 寻呼，实现位置查找功能。 |
| 切换控制 | 移动节点在 2 个不同子网之间移动时发生切换，主要切换方式包括：快速切换、平滑切换和无缝切换。  |

MIP 适用于对移动目标大范围宏观移动性的管理（称宏观移动性管理技术），但存在切换时延大、分组丢失率高等缺点。为此，引入蜂窝移动通信系统中区域位置管理和寻呼的思想，提高移动性管理效率，提出了微观移动性管理技术<sup>[11,20]</sup>，包括分级 MIP(HMIP)、蜂窝 IP、HAWAII 等方案。可见：宏观移动性管理采用标准 MIP，以保证全局漫游的兼容性；而微观移动性管理视具体情况可采用不同的技术，以达到局部优化。

为实现 MPLS 支持 MIP 及性能优化，业界提出了 MIPoMPLS<sup>[21,22]</sup>。另外，IETF 的 NEMO 工作组定义了网络移动性协议<sup>[23]</sup>。

4.3 传输层移动性管理技术

SCTP 是 IETF 在 RFC 2960<sup>[24]</sup>中新定义的一种数据分组通用传输协议，继承了 TCP 的拥塞控制和流量控制机制，并具有多家乡性、多流性、面向消息传输、选择性确认等新特性，为上层提供可靠的传输服务。MSCTP(mobile SCTP)<sup>[25]</sup>是带有 DAR (dynamic address reconfiguration)扩展<sup>[26]</sup>的 SCTP 协议，因其多家乡性和动态地址重配置扩展成为传输层移动性支持的典型协议。基于 mSCTP 的移动性支持完全体现端到端的概念，其中的移动性功能实体只有通信端点，不需要任何网络基础设施和服务器的支持。

从移动性管理协议参考模型的控制平面分析，mSCTP 具有一定的安全机制，无位置管理功能，通过多家乡性和 DAR 扩展提供切换控制，如表 4 所示。mSCTP 需要与 SIP、MIP、DDNS 和 RSerPool 等技术结合以提供位置管理功能。SIP、MIP 等用来确定移动终端的位置并建立通信对端与移动终端之间的 SCTP 关联。在 SCTP 关联成功建立后，

mSCTP 则用来为提供无缝切换功能。

表 4 mSCTP 的移动性控制功能技术要点

| 控制功能 | 技术要点   |
|------|--|
| 安全机制 | 通过 TLS/SCTP <sup>[27]</sup> 、SCTP/IPSec <sup>[28]</sup> 、S-SCTP <sup>[29]</sup> 等安全机制，能够在一定程度上提供对关键数据保密性、注册认证管理和信令消息完整性的支持。                |
| 位置管理 | 无，需要与 SIP、MIP、DDNS、RSerPool 等技术结合才能实现位置管理功能。<br><br>多家乡性，即 mSCTP 端点可以有多个 IP 地址，mSCTP 选择一个地址为主地址。<br>动态地址重配置扩展，是指在关联建立以后仍具有动态增加、删和改变主地址的能力。 |
| 切换控制 | 移动中，先将新获得的 IP 地址添加作为备用地址，并随着进一步的移动将该地址改为主地址，之后，动态删除不可用的旧地址，从而实现无缝切换。   |

4.4 应用层移动性管理技术

SIP 协议<sup>[30]</sup>最初提出是作为多媒体会话的应用层控制协议，负责控制会话的建立、终止和能力的协商等。SIP 由用户代理（UA）和 SIP 服务器（包括：代理服务器、重定向服务器、位置服务器、注册服务器等）构成。其中代理服务器是域移动控制器，位置服务器和注册服务器功能是显然的。移动性管理协议主要是 SIP 协议的扩展。

SIP 能够建立用户的公共身份标识(SIP URI)与当前 IP 地址之间的绑定关系，用户可以通过支持 SIP 的任何终端（如个人电脑、手机、PDA 等）进行注册，这样 SIP 就能支持用户的移动性和发现功能。当移动目标到一个新网络后，通过 SIP 注册消息向注册服务器更新其位置信息，继而注册服务器会向位置服务器更新。位置服务器存储并且向用户返回可能的位置信息。当移动目标发起呼叫时，代理服务器使用更新后的位置信息。依据前述的移动性管理协议参考模型，SIP 在传送平面上处于应用层，从控制平面角度分析，具有注册管理、位置管理和非常有限的切换控制功能，如表 5 所示。SIP 可以通过与 mSCTP 和蜂窝 MIP 结合，实现更加完善的切换控制功能。

SIP 通过扩展后，可以在一定程度上实现个人移动性、会话移动性和业务移动性等，使其成为应用层移动性管理协议的典型代表。

另外，在 3GPP 所提出的（IMS, IP multimedia subsystem）架构中，也应用了 SIP 的移动性支持能力。IMS 采用基于 SIP 的注册和会话控制。其中的网络实体 CSCF 提供 SIP 代理服务器和注册服务器的功能，实现位置管理。对于 IMS 业务的切换，由

SIP 基于消息的切换方式在应用层实现。

表 5 SIP 的移动性控制功能技术要点

| 控制功能 | 技术要点   |
|------|--|
| 安全机制 | 注册服务器负责注册认证。终端通过 REGISTER 消息中携带的信息进行注册和鉴权, 鉴权采用 HTTP 的摘要、无状态、Challenge 的认证方式、并采用 TLS 进行安全传输。   |
| 位置管理 | 采用位置注册的方式管理用户位置信息, 位置服务器负责存储、更新用户位置信息。重定向服务器和代理服务器采用外来的位置服务用来定位被叫用户当前的可能位置。<br>基础协议无寻呼功能, 然而采用一定的机制将二层的寻呼与应用层的技术相结合, 可以实现 SIP 的寻呼功能。 |
| 切换控制 | 有限, SIP 可以通过 re-INVITE 消息支持切换, 只支持基于 UDP 的单方切换。  |

需要指出的是, 根据本文提出的移动性管理参考模型, 上述移动性管理技术处在不同协议层上, 但不一定具有控制平面的所有功能。例如, mSCTP 在传输层就只具有安全机制和切换控制功能, 而无位置管理功能; 而 SIP 在应用层具有安全机制和位置管理功能, 但只有非常有限切换控制功能。因此, 现有移动性管理技术可以通过优势互补实现更完善的功能和更优的性能。

## 5 移动性管理新需求和面临的挑战

现有的移动性管理技术, 大多局限于特定的网络环境, 局限于实现终端移动性, 性能方面也有待提高。随着异构接入技术的长期并存、多接口智能终端的发展, 要求未来的移动性管理应该独立于各种接入技术独立演进, 实现控制功能和数据传输功能相分离, 且能与 IP 核心网配合, 这都向移动性管理提出了新的挑战。目前的移动性管理技术在支持多种移动性目标、支持泛在和异构的网络环境、自组织性和自适应性等方面离实际的需求还有很大的差距, 移动性管理各个关键技术仍面临新的挑战, 各种无基础设施网络的广泛应用也带来了移动性管理中新的研究内容。

### 5.1 未来移动性管理技术的新需求

1) 支持泛在、异构的自组织、自适应移动性管理  
多种无线接入技术共同构成泛在、异构的网络环境。异构性体现在网络结构、接口协议、AAA 和 QoS 等控制技术, 覆盖范围、数据速率、移动性支持能力等各种特性, 以及业务提供方式和能力等。泛在性不仅是指无处不在的多种接入方式, 更需要这些异类技术间的融合与协同, 体现在接入方式、

终端、业务等各个层面。从网络体系结构层面, 各种异构网络之间的关系将由融合发展为协同; 从业务层面, 以用户为中心的、注重融合与协同的、组件化的、开放的、分布式体系结构正在成为主流的业务生成和提供模式; 从终端接入层面, 以感知无线电技术为基础的、具有感知和重配置能力的可重构终端技术成为新的研究热点, 以应对复杂的异构无线环境的变化<sup>[31]</sup>。

支持泛在、异构的移动性管理技术应独立于底层接入技术, 并具有可扩展性, 能够兼容现有的及未来可能出现的新型无线接入技术, 支持用户跨接入技术、跨运营商、跨服务提供商的移动和漫游。

为了提供这种通用性和兼容性, 移动性管理技术必须具有自组织、自适应的特性, 并结合主动、可感知、可重构等泛在网络的关键特征, 针对异构性的各个侧面, 从安全机制、位置管理、切换控制、互操作控制等各个关键技术角度进行有效的感知、控制、映射和适配, 从而成为泛在网络中必不可少的有机组成部分, 为用户提供真正的泛在服务。

#### 2) 多目标、多维度、多粒度移动性的有机结合

未来的移动性管理技术需要支持的移动性目标是多样化的。目前, 支持终端移动性、子网移动性等低层移动性的技术相对比较成熟, 支持个人移动性、会话移动性、业务移动性等高层移动性的技术研究尚处于初期。同时, 支持不同移动性目标的技术方案常常就某种移动性目标的某个局部侧面寻求解决方案, 缺乏对多种移动性目标的全面理解和总体把握。因此, 在未来的移动性管理技术研究中, 还需要进一步深入展开对高层移动性支持技术的研究, 同时, 寻求各种移动性目标的有机结合, 避免局部、片面的解决方案。

同时, 移动性也将是多维度的。无论在因特网研究领域还是电信网研究领域, 均有根据不同支持范围所划分的多维度的移动性, 例如, IETF 所定义微移动性/宏移动性、链路内移动性/局部移动性/全局移动性、ITU-T 所定义的接入网内移动性/接入网间移动性/网络间移动性等, 并且, 分别有不同的技术用于支持不同维度的移动性。而未来支持泛在、异构的移动性管理技术, 需要将多维度的移动性支持有机结合, 以实现移动性管理效率与可扩展性的统一。

另外, 移动性还会是多粒度的, 例如, 垂直切换的研究中, 其切换粒度是网络接口级的, 局限于



同一时刻只能使用惟一的网络接口,不利于网络资源,尤其是有限的无线网络资源的有效利用。因此,可以将应用的数据拆分成多个数据流,允许同时使用多个可用的网络接口进行数据传输。这样,垂直切换管理变成了连接管理<sup>[32]</sup>,切换的粒度由网络接口级变成了更加细化的数据流级。因此,未来支持泛在、异构的移动性管理技术应能实现对多粒度移动性的自适应支持。

## 5.2 移动性管理关键技术面临的挑战

### 1) 安全机制

无线信道的开放性、用户或终端的移动性、全 IP 结构核心网具有的一定的开放性是移动性管理中安全机制面临的主要问题。未来移动性管理技术需要可重构、自适应、轻量级的安全机制,面临的挑战主要包括:①需要融合、高效的认证技术,降低用户跨接入技术、跨运营商漫游时多次、双向认证带来的巨大的运营和维护成本,提高终端移动接入和切换过程的效率,最大限度地降低切换时延,提高服务质量。②无线自组织网络技术及其与蜂窝网的结合使得任何一个移动用户都能够成为服务提供者,因此需要用户终端之间的相互认证机制,包括认证密钥、加密算法的分发和管理等。③合理应用公钥密码技术,实现网络安全访问、移动用户身份完善保密性和服务不可否认特性,从根本上解决移动通信网络中移动用户与网络端之间的密钥管理问题。④需要提供有效的防火墙穿越体制,避免用户跨管理域的移动过程中,由于防火墙的阻隔导致通信中断的现象。在用户移动到有防火墙部署的网络情况下,防火墙穿越机制应能防止通信的数据或者信令不被防火墙丢弃,保持和对端通信节点通信的连续性。

### 2) 位置管理

未来位置管理技术的发展面临的挑战主要包括:①提出支持泛在、异构的移动性管理中的通用位置管理框架,并定义各个位置管理的功能实体以及它们之间的信令交互、协同工作策略,以在各个异构网络中实现高效和可行的位置管理功能。②分布式位置管理及其与集中式位置管理的结合。③结合不同的位置数据库层次结构、不同的用户移动模型,提出高效、高可靠性的位置更新和位置查找策略算法,达到位置管理的总开销最小化。

### 3) 切换控制

泛在、异构网络中的切换技术研究重点是异构接入技术间的垂直切换。无缝的垂直切换应尽量使

切换可靠性和切换性能最大化,使干扰和切换次数最小化,而应尽量保持切换的无缝性和小区间的负载均衡,其面临的挑战主要包括:①高效、可行的垂直切换决策机制。垂直切换决策需综合考虑应用、网络和终端等各个层面的特性和需求<sup>[33]</sup>,因此,需选择可测量的、能客观定义的决策属性集、确定恰当的决策目标函数,并设计高效的决策算法。②垂直切换控制方式。垂直切换可由网络根据自身负载或性能因素发起、用户根据偏好或 QoS 因素发起,或者二者共同发起。因此,需要综合考虑各种应用场景和终端能力等因素,设计恰当、实用的垂直切换控制方式。③垂直切换的通用性与优良性能的统一。为了保证与底层接入技术的无关性,垂直切换常常采用高层(网络层及以上)技术实现,如 MIP<sup>[34-36]</sup>、mSCTP<sup>[37]</sup>和 SIP<sup>[38]</sup>等。但会因此带来切换性能的损失,突出表现为切换时延比较大。因此,需要应用跨层设计技术,变被动切换控制为主动切换控制<sup>[39]</sup>,达到通用性与优良性能的矛盾统一。同时,还要在性能优化与跨层增加的系统复杂性之间寻求良好的平衡。

### 4) 互操作控制

互操作控制是异构网络间移动性管理所特有的关键控制功能,是与安全机制、位置管理、切换控制等其他关键技术、与会话移动性、业务移动性等各种移动性目标相关的、用于处理异构网络中不同实现机制差异带来的问题。例如:①融合的接入认证机制研究中,存在安全上下文映射的问题。异构的网络中使用不同的安全加密算法与机制,如何在二者之间进行安全上下文的映射与反映射,是极有挑战性的问题。②垂直切换中,需要解决异构网络间的端到端 QoS 映射问题。垂直切换跨越异构网络系统,而这些异构系统分别使用不同的 QoS 体系结构与控制方式。异构系统间有效的 QoS 映射机制是保证服务质量和切换无缝性的重要过程和手段。③另外,在会话移动性中,需要进行会话上下文的映射。业务移动性中,存在个人业务环境的迁移、业务上下文的映射以及终端能力适配等问题。

另外,移动性管理技术还与无线资源管理、无线接入控制、会话控制、QoS、服务发现与协同、自适应终端技术等其他技术密切相关,互相交织,共同为用户提供无处不在、无时不在的泛在服务及最佳服务体验。

### 5.3 无基础设施网络的移动性管理

无基础设施的无线通信网络中,除了移动节点本身,没有任何基础设施,常见的技术包括移动 ad hoc 网络(MANET, mobile ad hoc network)以及以之为基础的无线传感器网络(WSN, wireless sensor network)、无线 Mesh 网络(WMN, wireless mesh network)等。它们都具有无中心、网络拓扑动态变化和自组织的特性,同时也具有各自不同的特点和应用。

在移动 ad hoc 网络中,移动节点间的对等特性给移动 ad hoc 网络的移动性管理提出了新的挑战:由于缺乏集中式实体,现有的一些成熟的、但依赖于集中式实体的移动性管理技术都不适用<sup>[40]</sup>。因此,移动 ad hoc 网络中的移动性管理技术具有其相应的特殊性,主要包括:跟踪网络中移动节点位置的位置管理,对高速变化的网络拓扑具有快速反应能力和自适应能力的拓扑管理以及基于动态变化的拓扑实现路由发现、维护和优化的路由管理功能。

在无线传感器网络中,移动性场景包括普通节点的移动和代理节点移动 2 种,这种移动会带来延长整个网络的生存周期、提高网络的容量以及降低时延等性能改善。移动无线传感器网络的移动性管理需解决:充分考虑节点移动性和能量受限特性的拓扑管理与路由管理,移动性场景中的节点定位问题以及切换和切换后的数据融合问题等。

在无线 Mesh 网络中,包括客户节点、Mesh 路由器节点和网关节点 3 种节点类型,分别具有不同的移动性特征,总体来看为弱移动拓扑。无线 Mesh 网络的移动性管理需解决:考虑不同类型节点的不同特性并相对弱化移动性影响的路由算法<sup>[41]</sup>,分布式、自组织的无线资源管理,分布式的位置管理以及移动终端通信方式的选择和切换等。

另外,这些无基础设施网络还将与其他网络相结合,例如,移动 ad hoc 网络与蜂窝移动通信网的结合,移动传感器网络与 IPv6 网络、蜂窝网络、WLAN 的结合等。这又对移动性管理技术提出了新的挑战。

## 6 结束语

随着人类进步对移动计算、移动商务的新需求,在异构接入网络将长期并存和网络融合、业务融合、终端融合的环境下,移动性管理技术的地位

日渐凸现,本文提出了移动性管理的网络和协议参考模型,并据此分析了移动性管理技术的研究现状和面临的挑战,对于指导研究 4G 和未来的移动性管理技术具有重要的意义。

### 参考文献:

- [1] SESHAN S. Implications of emerging mobile wireless network technologies on the future Internet[EB/OL]. [http://find.isi.edu/presentation\\_files/Seshan\\_Wireless-Mobile.pdf](http://find.isi.edu/presentation_files/Seshan_Wireless-Mobile.pdf).
- [2] ITU-T. Mobility Management Updates for Y. NGN-MOB[S]. 2004.
- [3] ITU-T. Service and Network Capabilities Framework of Network Aspects for Systems Beyond IMT-2000[S]. Q.1703, 2004.
- [4] ITU-T. Principles and Requirements for Convergence of Fixed and Existing IMT-2000 Systems[S]. Q.1761, 2004.
- [5] 3GPP. Technical Specification Group Services and Systems Aspects, All-IP Network (AIPN) Feasibility Study (Release 7)[S]. TR 22.978 V7.1.0, 2005.
- [6] Mobility Related Terminology[S]. IETF RFC 3753, 2004.
- [7] ETSI. Draft ETSI TR 00001 V0.4.2, TISPAN\_NGN Release 1: Release Definition[S]. 2005.
- [8] ETSI. Draft ETSI TR 00004 v0.0.6, TISPAN-NGN NGN Terminology[S]. 2005.
- [9] LEVKOWETZ H, GIARETTA G, LEUNG K, *et al.* The NetLMM protocol[EB/OL]. <http://draft-giaretta-netlmm-dt-protocol-02>, 2006.
- [10] MOSKOWITI R, NIKANDER P. Host Identity Protocol(HIP) Architecture[S]. RFC 4424, 2006.
- [11] SAHA D. Mobility support in IP: a survey of related protocols[J]. IEEE Network, 2004, 18(6):40-44.
- [12] BANERJEE N. Mobility support in wireless Internet[J]. IEEE Wireless Communications, 2003, 10(5): 54-61.
- [13] AKYILDIZ I F, XIE J, MOHANTY S. A survey of mobility management in next-generation all-IP-based wireless systems[J]. IEEE Wireless Communications, 2004, 4(11): 16-28.
- [14] NASSER N. Handoffs in fourth generation heterogeneous networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2006, 44(10): 96-103.
- [15] PERKINS C. IP Mobility Support for IPv4[S]. IETF RFC 3344, 2002.
- [16] JOHNSON D. Mobility Support in IPv6[S]. IETF RFC 3775, 2004.
- [17] MALKI K E. Low latency handoffs in mobile IPv4[EB/OL]. <http://draft-ietf-mobileip-lowlatency-handoffs-v4-11.txt>, 2005.
- [18] KOODLI R. Fast Handovers for Mobile IPv6[S]. IETF RFC 4068, 2005.
- [19] BLONDIA C. Performance analysis of optimized smooth handoff in mobile IP[A]. International Workshop on Modeling Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems[C]. 2002. 22-29.
- [20] CAMPBELL A T. Comparison of IP micromobile protocols[A]. IEEE Wireless Commun[C]. 2002. 72-82.
- [21] ITU-T Y.1281, Mobile IP Services over MPLS[S]. 2003.

- [22] 胡博, 金跃辉, 陈山枝. MPLS 支持移动 IPv6 的网络体系结构及其认证机制的研究[J]. 电信科学, 2005, 21(2): 54-58.
- HU B, JIN Y H, CHEN S Z. Architecture and authentication mechanism for mobile IPv6 MPLS network[J]. Telecommunications Science, 2005, 21(2): 54-58.
- [23] DEVARAPALLI V. Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol[S]. IETF RFC 3963, 2005.
- [24] STEWART R, XIE Q. Stream Control Transmission Protocol[S]. RFC 2960, 2000.
- [25] RIEGEL M, TUENXEN M. Mobile SCTP[EB/OL]. [http:// draft-riegel-tuexen-mobile-sctp- 06](http://draft-riegel-tuexen-mobile-sctp-06), 2006.
- [26] STEWART R, XIE Q, TUENXEN M, *et al* Stream control transmission protocol (SCTP) dynamic address reconfiguration[EB/OL]. [http:// draft-ietf-tsvwg-addip-sctp-17](http://draft-ietf-tsvwg-addip-sctp-17), 2006.
- [27] JUNGMAIER A, RESCORLA E, TUENXEN M. Transport Layer Security over Stream Control Transmission Protocol[S]. RFC 3426, 2002.
- [28] BELLOVIN S, IOANNIDIS J, KEROMYTIS A, *et al*. On the Use of Stream Control Transmission Protocol (SCTP) with IPsec[S]. RFC 3554, 2003.
- [29] HOHENDORF C, UNURKHAAN E, DREIBHOLZ T. Secure SCTP[EB/OL]. <http://draft-hohendorf-secure-sctp-02>, 2006.
- [30] ROSENBERG J, SCHULZRINNE H, CAMANILO G. SIP: Session Initiation Protocol[S]. IETF RFC 3261, 2002.
- [31] 张平, 纪阳. 移动泛在业务环境及其体系架构设计的挑战[J]. 北京邮电大学学报, 2005, 28(5): 1-3, 37.
- ZHANG P, JI Y. The vision of mobile ubiquitous service environment and several challenges for the architecture design[J]. Beijing University of Posts and Telecommunications, 2005, 28(5): 1-3, 37.
- [32] SUN J Z. From mobility management to connectivity management[A]. Proceedings of the 10<sup>th</sup> IEEE Symposium on Computers and Communications[C]. 2005. 307-312.
- [33] GIZAWI A. Interoperability criteria, mechanisms, and evaluation of system performance for transparently interoperating WLAN and UWTs-HSDAP networks[J]. IEEE Networks, 2005, (914): 66-72.
- [34] CHOI H H, SONG O, CHO D H. A seamless handoff scheme for UMTS -WLAN interworking[A]. Proceedings of IEEE GlobeCom 2004[C]. 2004. 1559-1564.
- [35] BERNASCHI M, CACACE F. Vertical handoff performance in heterogeneous networks[A]. Proceedings of ICPPW 2004[C]. 2004. 100-107.
- [36] LEE C W, CHEN L M, CHEN M C. A framework of handoffs in wireless overlay networks based on mobile IPv6[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(11): 2118-2128.
- [37] MA L, YU F. A new method to support UMTS/WLAN vertical handover Using SCTP[A]. IEEE Wireless Communications[C]. 2004. 44-51.
- [38] WU W, BANERJEE N, BASU K, *et al*. SIP-based vertical handoff between WWAN and WLAN[A]. IEEE Wireless Communications[C]. 2005.
- [39] VOGT C, ZITTERBART M. End-to-end mobility support for reactive and proactive handoffs in IPv6[J]. IEEE Communications Magazine, 2006, 44(6) 74-82.
- [40] 陈林星, 曾曦, 曹毅. 移动 ad hoc 网络[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- CHEN L X, ZENG X, CAO Y. Mobile ad hoc Networks[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006.
- [41] AKYILDIZ I F, WANG X D. A survey on wireless mesh networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2005, 43(9) 23-30.

#### 作者简介:



陈山枝 (1969-), 男, 浙江台州人, 博士, 电信科学技术研究院副总工程师, 教授级高级工程师、博士生导师, 主要研究方向为宽带交换技术、移动通信网络。



时岩 (1975-), 女, 河南南阳人, 博士, 北京邮电大学讲师, 主要研究方向为移动互联网、移动性管理技术。



胡博 (1978-), 男, 安徽桐城人, 博士, 北京邮电大学讲师, 主要研究方向为移动互联网、移动性管理技术。