**密级： 保密期限：**

xm 拷贝

**硕士学位论文**



**题目：天地一体化网络支撑平台中移动性管理能力的研究与实现**

**学 号： 2015111598**

**姓 名： 王攀**

**专 业： 计算机科学与技术**

**导 师： 杨放春**

**学 院： 网络技术研究院**

**年 月 日**

独创性（或创新性）声明

本人声明所呈交的论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得北京邮电大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

本人签名：日期：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

关于论文使用授权的说明

学位论文作者完全了解北京邮电大学有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属北京邮电大学。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存、汇编学位论文。（保密的学位论文在解密后遵守此规定）

保密论文注释：本学位论文属于保密在年解密后适用本授权书。

非保密论文注释：本学位论文不属于保密范围，适用本授权书。

本人签名：日期：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

导师签名：日期：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**天地一体化网络共性支撑平台中移动性管理能力的研究与实现**

# 摘要

随着我国综合国力的不断增加，天地一体化网络将扮演着越来越重要的作用。在天地一体化网络中，接入到网络的终端移动，不同轨道上的卫星也会发生移动，因此必须在天地一体化网络中完成移动性管理。天地一体化网络的一个发展趋势是IP化。传统IP网络中的移动性管理只考虑了终端的移动，而没有考虑网络节点的移动，因此不能直接应用在天地一体化网络中。

本文针对天地一体化网络中的移动性管理问题，提出并实现了基于PUB-SUB模型的移动性管理方法。针对天地一体化网络中终端移动接入星也移动的特点，提出了终端和接入星的双重注册。为了提高地址解析的效率，移动性管理提供了带订购的地址解析。针对单个卫星存储和计算能力较弱的问题，提出由骨干卫星组成的网络完成移动性控制。

本论文首先介绍了IP网络中移动性管理的研究背景和现状，分析现有移动性管理方案的缺点以及在天地一体化网络环境中面临的挑战，进而引出天地一体化网络中移动性管理的实现目标。然后，介绍了天地一体化网络移动性管理的总体方案。对天地一体化网络移动性管理进行概述，描述系统中用到的相关技术PUB-SUB模型，提出天地一体化网络移动性管理的设计方案，并对该方案进行了理论上的性能分析。其次，对天地一体化网络移动性管理进行总体设计。设计系统的整体架构，包括MMA和MAG的功能设计；设计系统接口；设计位置管理、地址解析和节点移动的机制；对MMA和MAG进行内部结构设计。再次，论文对基于PUB-SUB模型的天地一体化网络移动性管理进行详细设计与实现。详细定义了接口消息；绘制系统消息的详细交互流程图并进行说明；绘制系统类图和系统模块的设计图并说明。最后，搭建系统测试环境，并与共性支撑平台的其他部分进行联调，完成功能测试，通过系统测试和实际部署验证了基于PUB-SUB模型的移动性管理方法的有效性。论文结尾部分对本课题的核心内容天地一体化网络移动性管理进行工作总结和展望。

**关键词：**天地一体化网络 移动性管理 PUB-SUB模型 终端管理 卫星管理

# RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF MOBILITY MANAGEMENT IN COMMON SERVICE SUPPORTING PLATFORM IN ISTIN

# ABSTRACT

As the overall national power of China increases,ISTIN plays a increasingly important role.In ISTIN, terminal accessed into network moves around satellite,satellites on different orbits movesaround each other,so mobility management is an inevitable problem.One general trend of ISTIN is wide application of IP technology .Mobility management in traditional IP network is only concerned with movement of terminal, movement of network nodes is ignored, so it’s not feasible to apply mobility management solution of traditional IP network directly into ISTIN.

This paper purposes and implements a mobility management method based on pub-sub model. Registration of terminal and access satellite is used to tackle the movement of terminal and satelites. To improve the effiency of address resolution, an address resolution method with subscription semantic is provided. As single satellite does not have enough storage capacity and computing power, a network consisted of backbone satellites is used to achieve the goal of mobility management control.

This paper first introduces the background and current research of mobility management in IP network, analyses defects of current solution and challenges faced in ISTIN, then sets the goal of mobility management in ISTIN. Secondly, the overall scheme of mobility management in ISTIN is described: giving a general description of mobility management in ISTIN; introducing related PUB-SUB model used by mobility management system; purposing the design of mobility management in ISTIN and giving a theoretical performance analysis of this design. Thirdly, this paper introduces the overall design of mobility management in ISTIN: designing the overall architecture of mobility management system, functionality of MMA and MAG is included; designing the interface of the mobility management system; designing the mechanism of location management, address resolution and node movement; designing the internal structure of MMA and MAG. After that, in the chapter of detailed design and implementation of mobility management of ISTIN, this paper introduces the detailed definition of the interface message, detailed interactive flowchars of system messages, design of system class diagram, design and implementation of system modules. Finally, this paper deploys the test environment of mobility management system, and combines with other parts of the common supporting platform to complete the function test and validates the PUB-SUB based mobility management through system test and real-world deployment. The end of this paper summarizes the works in the project and provides the prospects of current work.

**KEY WORDS:** ISTIN Mobility Management PUB-SUB Model Terminal Management Satellite Mangement

# 目录

[摘要 3](#_Toc500277406)

[ABSTRACT 4](#_Toc500277407)

[目录 5](#_Toc500277408)

[第一章 绪论 8](#_Toc500277409)

[1.1 研究背景及现状 9](#_Toc500277410)

[1.1.1 移动IP 9](#_Toc500277411)

[1.1.2 HMIP 10](#_Toc500277412)

[1.1.3 PMIP 11](#_Toc500277413)

[1.2 研究意义与目标 12](#_Toc500277414)

[1.3 论文主要工作 13](#_Toc500277415)

[1.4 论文总体结构 15](#_Toc500277416)

[第二章 天地一体化网络共性支撑平台中移动性管理的总体方案 15](#_Toc500277417)

[2.1 天地一体化网络中移动性管理系统概述 16](#_Toc500277418)

[2.2 Pub/Sub模型 16](#_Toc500277419)

[2.3 移动性管理系统设计方案 17](#_Toc500277420)

[2.3.1 需求分析 17](#_Toc500277421)

[2.3.2 系统设计 20](#_Toc500277422)

[2.3.3 性能分析 22](#_Toc500277423)

[2.4 本章小结 25](#_Toc500277424)

[第三章 天地一体化网络共性支撑平台中移动性管理的总体设计 26](#_Toc500277425)

[3.1 系统架构 26](#_Toc500277426)

[3.2 接口设计 27](#_Toc500277427)

[3.3 相关数据结构设计描述 29](#_Toc500277428)

[3.4 移动性管理的机制 31](#_Toc500277429)

[3.4.1 终端注册 31](#_Toc500277430)

[3.4.2 接入星注册 33](#_Toc500277431)

[3.4.3 接入星IP地址查询 34](#_Toc500277432)

[3.4.4 接入星IP地址订购 35](#_Toc500277433)

[3.4.5 终端移动 37](#_Toc500277434)

[3.4.6 接入星移动 39](#_Toc500277435)

[3.5 移动性管理内部结构设计 40](#_Toc500277436)

[3.5.1 MAG内部结构设计 41](#_Toc500277437)

[3.5.2 MMA内部结构设计 44](#_Toc500277438)

[3.6 本章小结 46](#_Toc500277439)

[第四章 天地一体化网络共性支撑平台中移动性管理的详细设计与实现 46](#_Toc500277440)

[4.1 接口消息详细定义 46](#_Toc500277441)

[4.1.1 外部接口 47](#_Toc500277442)

[4.1.2 内部接口 50](#_Toc500277443)

[4.2 系统消息交互流程图 57](#_Toc500277444)

[4.2.1 终端注册流程 57](#_Toc500277445)

[4.2.2 接入星注册流程 58](#_Toc500277446)

[4.2.3 接入星IP地址查询处理流程 59](#_Toc500277447)

[4.2.4 接入星IP地址订购处理流程 60](#_Toc500277448)

[4.2.5 终端移动流程 62](#_Toc500277449)

[4.2.6 接入星移动流程 63](#_Toc500277450)

[4.3 系统类图设计 65](#_Toc500277451)

[4.3.1 移动性管理的总体类图设计 65](#_Toc500277452)

[4.3.2 MAG总体类图设计 66](#_Toc500277453)

[4.3.3 MMA总体类图设计 67](#_Toc500277454)

[4.4 系统模块的设计与实现 68](#_Toc500277455)

[4.4.1 MAG代理模块 68](#_Toc500277456)

[4.4.2 MAG终端注册模块 70](#_Toc500277457)

[4.4.3 MAG接入星注册模块 72](#_Toc500277458)

[4.4.4 MAG接入星位置解析模块 73](#_Toc500277459)

[4.4.5 MAG接入星IP地址解析模块 75](#_Toc500277460)

[4.4.6 MAG接入星IP地址订购模块 76](#_Toc500277461)

[4.4.7 MMA代理模块 78](#_Toc500277462)

[4.4.8 MMA终端位置订购模块 79](#_Toc500277463)

[4.4.9 MMA接入星位置订购模块 80](#_Toc500277464)

[4.4.10 MMA归属地IP地址解析模块 81](#_Toc500277465)

[4.4.11 MMA终端位置变更通知模块 83](#_Toc500277466)

[4.4.12 MMA接入星位置变更通知模块 85](#_Toc500277467)

[4.5 本章小结 85](#_Toc500277468)

[第五章 系统测试 86](#_Toc500277469)

[5.1 系统搭建与测试环境部署 86](#_Toc500277470)

[5.1.1 测试环境部署 86](#_Toc500277471)

[5.1.2 软件和硬件环境 87](#_Toc500277472)

[5.2 系统测试 88](#_Toc500277473)

[5.2.1 终端注册测试 89](#_Toc500277474)

[5.2.2 接入星注册测试 90](#_Toc500277475)

[5.2.3 终端位置订购测试 91](#_Toc500277476)

[5.2.4 接入星位置订购测试 92](#_Toc500277477)

[5.2.5 接入星IP地址查询与订购测试 93](#_Toc500277478)

[5.2.6 终端移动测试 96](#_Toc500277479)

[5.2.7 接入星移动测试 97](#_Toc500277480)

[5.3 本章小结 98](#_Toc500277481)

[第六章 结束语 98](#_Toc500277482)

[6.1 论文工作总结 98](#_Toc500277483)

[6.2 未来工作展望 99](#_Toc500277484)

[参考文献 99](#_Toc500277485)

[附录 99](#_Toc500277486)

[致谢 100](#_Toc500277487)

[攻读学位期间发布的学位论文 101](#_Toc500277488)

# 绪论

天地一体化信息网络（Integrated Space-Terrestrial Information Network,ISTIN）是由多颗不同轨道上、不同种类、不同性能的卫星形成星座覆盖全球，通过星间、星地链路将地面、海上、空中和深空中的用户、飞行器以及各种通信平台密集联合，以IP为信息承载方式，按照信息资源的最大有效综合利用原则，进行天、空、地多维信息的有效获取、协同、传输的一体化高速宽带大容量信息网络[[[1]](#endnote-1)]。

天地一体化信息网络共性服务支撑平台(Common Service Supporting Platfom)是通过一体化网络架构与协议体系设计，屏蔽天地各类系统在技术体制方面的显著差异，为终端用户提供跨系统的、无需区分天地的各种服务与应用，实现一体化信息共享[[[2]](#endnote-2)]。

随着中国经济力量的增长，世界各国都成为中国经济引擎中的一环，世界各地稳定的政治经济环境、安全的海空交通运输航线，都成为中国经济快速发展的保障。中国经济的发展，使得中国同世界各国的联系更加密切。鉴于中国政治经济关系的全球化发展，传统的地基通信网络已经远远不能支持中国的全球化战略。因此，天地一体化信息网络以其战略性和基础性，成为我国国民经济和国际安全的重大基础设施[[[3]](#endnote-3)]。

天地一体化网络中，由于卫星的性能各不相同，无论具体的组网方式如何，通常的组网方案都采用性能比较弱的微卫星作为接入星，而在性能比较强的骨干卫星部署业务。微卫星和骨干卫星处于不同轨道，相互之间相对移动。此外，接入到天地一体化网络中的终端也是多种多样，一些终端如空基终端和海基终端原本就具有移动性；对于地面上移动速度缓慢、移动范围有限的终端而言，由于接入卫星相对于地面具有高速移动，也会导致终端在接入卫星之间进行切换。微卫星相对骨干卫星的移动，不同类型终端相对于接入星的移动，使得天地一体化网络必须处理移动性的问题，否则难以保证正常的通信需求。由于天地一体化网络中单个卫星的承载能力有限，不能参照地基平台使用集中的管理节点进行终端信息维护与管理，导致天地一体化网络的通信和服务控制具有分布式特点，一定程度上加大了移动性管理的困难[[[4]](#endnote-4)]。

由于在天地一体化网络中终端一般通过计算和存储能力较弱的低轨卫星接入到网络，高轨卫星负责维护网络中的各种数据，因此在本文中低轨卫星与微卫星、接入星表达相同的含义，而高轨卫星、骨干卫星表示同一类卫星。

## 1.1 研究背景及现状

传统IP网络中的移动性管理方案主要以移动IP[[[5]](#endnote-5)]及其衍生方案如HMIP[[[6]](#endnote-6)]、PMIP[[[7]](#endnote-7)]为主,这些方案在一定程度上解决了IP网络中的移动性管理问题，但是仍然存在一些缺陷，有待改进。

### 1.1.1 移动IP

在IP协议中，IP地址同时具有两个作用，即唯一地标识终端和标识终端所处的位置。对于移动IP而言,移动节点有两个IP地址：家乡地址(HOA)和转交地址(COA)。其中，家乡地址是移动节点的全局唯一标识，通信对端通过家乡地址与移动节点进行通信.当移动节点接入到外地网络时，移动节点会获得一个临时的转交地址，移动节点需要通过外地代理(FA)将家乡地址和转交地址的绑定关系注册到家乡代理(HA)[[[8]](#endnote-8)]。当移动节点在家乡网络时，通信对端直接通过家乡地址



图1-1 移动IP网络结构

与其进行通信。当移动节点漫游到外地网络时，通信对端发给移动节点的报文会被家乡代理拦截，家乡代理根据家乡地址和转交地址的绑定关系，同外地代理之间建立隧道，将数据报文发给外地代理，再由外地代理将数据解封后进一步转发给移动节点。

移动IP在很大程度上解决了IP网络中的移动性管理问题，但是仍然存在一些缺陷：

1) 切换时延大。由于移动终端移动到外地网络后需要到本地代理中绑定转交地址和家乡地址的关系,如果MN距离家乡代理较远,而MN主要在局部范围内进行移动，每次发生切换MN都需要到家乡代理更新绑定关系，无疑大大增加了切换时延[[[9]](#endnote-9)]，使得通信中断时间增长，也会导致切换过程中存在较大的丢包率。

2) 集中式移动性管理，存在单点缺陷和可扩展性问题[[[10]](#endnote-10)]。当HA管理的多个移动节点都要进行注册时，会有大量信令涌向HA，增大HA的处理负担。此外，MN移动到外地网络后，CN和MN之间的通信依赖与HA建立的隧道进行转发，容易对HA带来处理压力。

3) 对终端的要求比较高。移动IP的实现需要终端的支持，现有的终端无法在移动IP中进行移动，需要更新终端的协议栈支持移动IP[[[11]](#endnote-11)]，增加了终端实现的复杂度。

### 1.1.2 HMIP

针对微移动中终端切换时延大的问题，IETF进一步提出了HMIP协议。



图1-2 HMIP网络结构

HMIP采用两级HA结构，如图所示。和移动通信网类似，它将整个IP网络划分成一个家乡域和众多个访问域，每个访问域内设置有一个移动锚点(MAP)，无论MN位于访问域中何处，所有与HA或CN之间收发的数据包都必须经由MAP转发。因此，当MN在同一访问域内跨越不同的接入路由器时(AR1🡪AR2)，由于MAP没有变化，HA和CN感觉不到MN发生移动，此时MN只需告知MAP其在新的接入路由器下的CoA，该CoA称为链路转交地址(LCoA)，该过程称之为本地位置更新(LBU)。当MN跨越不同访问域移动时(AR2🡪AR3)，则MN不但要在新的访问域进行本地位置更新，还要想HA和CN进行常规的位置更新(BU)，告知新的MAP地址，该地址称为区域转交地址(RCoA)。在移动通信场景中，可将无线接入网设定为一个MAP域，由于移动用户大多数情况下是在同一接入网范围内切换（微移动），因此只需执行一次LBU过程，可有效减少切换信令的开销。

由上可见，对于MN而言，MAP的作用相当于位于访问域中的本地HA，它和位于原籍地的常规HA构成两级HA结构，当MN在本地移动时只需要向本地HA注册即可，故称此为“分级移动IP”。从数据传送的角度看，MAP和MIP中的FA类似，差别在于FA只管理一个子网，MAP则管理多个子网。

HMIP协议利用在路由器通告消息中设置MAP选项的方法实现MAP的发现。和HA发现类似，MAP选项的内容包含MAP的全局地址、表示其可用性的优先级和有效生命期，除此以外还包含该接入路由器和MAP的距离。通过分析MAP地址，MN可判定是否发生了跨域移动；通过分析MAP距离，MN可判断数据包在域内传送的时延大小。在一般情况下，无论CN位于何处，MN总是经由MAP与其收发数据，但当CN和MN位于同一接入路由器下时，如果该路由器和MAP的距离较大，MN可以选择和CN直接通信，即向CN进行位置更新时告知的是MN的LCoA，而不是MAP的RCoA。

HMIP只解决了MIP中微移动时切换时延大，信令开销大的问题[[[12]](#endnote-12)]，没有对其他问题提出解决方案。终端的协议栈需要支持HMIP，才能在部署了HMIP的网络中移动。此外，当MN在HMIP中移动时，如何选择MAP，避免HA和MAP的负载不均衡，是一个重大问题。

### 1.1.3 PMIP

针对移动IP和HMIP对终端要求较高的问题，IETF提出了PMIP协议。

上述移动IP技术都要求MN支持MIP协议，但是现实情况是许多终端的协议栈并不支持MIP，为此，IETF定义了一种基于网络的移动性管理协议。该协议在网络中设置有一个本地移动锚点(LMA)和多个移动接入网关(MAG)，LMA的作用相当于是本地域中的HA，MAG通常部署在接入路由器上，其作用是作为MN的代理向LMA进行注册登记。由于MN的移动性管理协议功能将由网络中的MAG代理完成，因此称该协议为代理移动IP(PMIP)，LMA覆盖的区域为一个PMIP域[[[13]](#endnote-13)]。

当MN接入时，MAG通过接入认证过程可获知唯一识别移动节点的MN标识，然后代表MN向LMA注册，注册消息中带有MN标识以及MAG 地址。LMA收到注册消息后，为MN分配一个家乡网络前缀(MN-HNP)，并通过注册确认消息告知MAG。后者则通过路由器通告告知MN，MN据此自动配置其家乡地址(MN-HoA)。LMA通过注册过程建立MN-HNP与对应MAG 地址的绑定以及与该MAG之间的双向隧道，LMA将MAG地址视为它代理的MN的转交地址，因此称其为Proxy-CoA。在PMIP域中，每个MN分配的MN-HNP都不相同，且所有MN-HNP的路由锚点均为LMA，即所有目的地址前缀为MN-HNP的数据包均将路由至LMA，然后由LMA通过隧道转发给绑定的MAG， 最后由MAG将数据包转发给MN。MN发送的数据包则通过反向隧道由MAG送交LMA，再由后者进行转发。  
 当MN在PMIP域内从原先MAG迁移至新的MAG时，后者将向LMA发起新的注册登记，更新LMA中的绑定。由于MN标识是固定不变的，因此LMA分配的MN-HNP也维持不变，于是MN通过路由器通告获知相同的网络前缀，感觉不到发生了移动。因此利用PMIP，网络对于不具备MIP协议功能的终端也能提供移动IP服务。目前IETF正在继续进行跨PMIP域的移动性管理过程[[[14]](#endnote-14)]。



图1-3 PMIP网络结构

## 1.2 研究意义与目标

随着我国综合国力的增强，中国的海外利益日益增加，天地一体化网络将扮演更加重要的角色。在天地一体化网络中，由于组成网络的节点本身就相对于地面处于高速运动当中，因此天地一体化网络的拓扑天然就具有高动态性。为了实现当终端和网络节点发生移动时，也能提供不间断的高质量服务，必须对天地一体化网络进行移动性管理。

传统地面IP网络中的移动性管理只考虑了终端的移动，没有对网络节点的移动进行处理。此外传统地面网络的网络节点存储和计算能力强大，可以采用集中式的方式进行各类移动性管理信息的存储[[[15]](#endnote-15)]。天基网络中，接入到网络的终端会发生移动，网络节点之间也存在相对移动[[[16]](#endnote-16)]。组成天基网络的卫星在计算和存储能力上同传统地面网络的节点相比差异显著。由于网络节点的移动，卫星之间的联通关系也会不断发生改变，可能会出现卫星失联的情况，进一步提高了移动性管理的难度。因此传统地面IP网络中的移动性管理方案不能直接应用在天地一体化网络中。

针对当前天地一体化网络中移动性管理所存在的问题，本文提出了天地一体化网络共性支撑平台中移动性管理能力的设计与实现。论文通过终端位置和接入星位置的双重管理，避免了接入星发生移动时大量移动性管理消息的产生。基于PUB/SUB模型，通过提供带有订阅语义的查询，确保当通信节点移动时，通信对端所在的低轨卫星能及时将数据流重定向。通过在高轨卫星上分布式存储移动性管理控制信息，当节点移动时，负责存储节点位置的高轨卫星会将节点最新的位置信息通知此前查询过移动节点位置的网络节点。

## 1.3 论文主要工作

本文主要对在天地一体化网络中进行移动性管理进行研究。针对传统地基移动性管理将移动性管理信息集中式存储，存在单点失效的问题，而组成天基网络的卫星计算存储能力不强，本文提出了由高轨卫星组成的网络负责存储移动性管理信息。接入到天地一体化网络的终端既有传统的地基终端，也有海基终端和空基终端。地基终端的移动速度一般来说相对较慢，海基终端和空间终端具有极高的移动速度，此外天基网络中的网络节点处于不同的运行轨道上，相互之间本身也存在相对位移，给移动性管理提出了巨大考验。本文通过终端和接入星的双重位置管理，并且在查询终端位置时默认订阅终端的位置变更以便在终端位置发生变化时通知通信对端，实现了移动性的管理。

总体而言，本文针对天地一体化网络中的移动性管理主要分为六个方面。

1. 终端的注册管理

接入到天地一体化网络的终端种类复杂多样，有陆基终端、海基终端、空基终端。陆基终端的移动速度相对比较缓慢，海基终端和空基终端的机动性相对较强，天基网络的节点相对于地面高速运动，导致终端在不同接入点之间进行移动[[[17]](#endnote-17)]。当两个终端通过天地一体化网络进行通信时，首先需要进行寻址得到通信对端的接入星地址，一般为IP地址，由于终端可能通过不同的低轨卫星接入网络，由此需要在网络中绑定终端标识和接入星IP地址之间的关系。不过由于接入星也会发生移动，因此在终端注册时，所绑定的是终端标识和接入星标识之间的关系。所有通过天地一体化网络进行通信的终端接入到网络中时首先都必须进行注册，记录终端的当前位置。

1. 接入星的注册管理

由于天地一体化网络中，卫星运行在不同的轨道上，相互之间有位移，因此卫星之间的通信链路不断发生变化。同步地球轨道上的卫星相对于地面静止不动，可以认为是天地一体化网络中的固定点，低轨卫星通过与高轨卫星之间的通信链路获取移动性[[[18]](#endnote-18)]。当低轨卫星从一颗高轨卫星的覆盖范围移动到另一颗高轨卫星的覆盖范围内时，低轨卫星的IP地址会发生变化。当两个终端通过天地一体化网络进行通信时，第一步需要知道通信对端的接入星IP地址才能实现数据包的准确分发。因此，当低轨卫星接入到天地一体化网络中或者发生移动时，需要发送接入星注册消息到网络中，绑定卫星标识和卫星IP地址之间的映射关系。

1. 终端位置的订阅管理

通过天地一体化网络通信的两个终端，第一步需要进行寻址得到通信对端接入星IP地址。由于在天地一体化网络中，终端会发生移动，导致终端接入到不同的低轨卫星，低轨卫星相对于高轨卫星的移动会导致低轨卫星IP地址发生变化，此时为了保证通信的持续性网络需要通知移动终端的通信对端一侧进行数据流的重定向。为了实现这一功能，需要在寻址阶段对关心终端位置的实体进行记录，以便在终端位置变化时及时通知。

1. 接入星位置的订阅管理

在移动性管理系统中所存储的位置信息有两类，其中终端位置信息绑定终端标识和接入星标识之间的关系，接入星位置信息绑定接入星标识和接入星IP地址之间的关系。寻址时需要根据通信对端的标识获取通信对端接入星的IP地址并在这一关系发生变化时通知通信对端一侧。由于接入星相对于高轨卫星有移动，因此在寻址阶段，需要对关心接入星位置的实体进行记录，以便在接入星位置变化时及时通知。

1. 终端的移动性管理

当终端的移动导致其从一颗接入星切换到另一颗接入星时，终端会重新发起注册，更新网络中所存储的终端标识和接入星标识的绑定关系。移动性管理会根据终端标识找到对终端位置进行了订阅的实体，并通知这些实体终端位置发生了变化，需要重定向数据流。

1. 接入星的移动性管理

当接入星移动到新的高轨卫星的覆盖范围中时，接入星会重新发起注册，更新接入星标识和接入星IP地址的绑定关系。高轨卫星上的移动性管理会根据接入星标识找到对应的订阅关系列表，通知对应的实体接入星位置发生变化。

## 1.4 论文总体结构

论文的总体结构和主要内容安排如下。

第一章，绪论。主要介绍论文的研究背景和研究意义；对现有的IP网络移动性管理方案进行了简要介绍；对整个论文的工作进行了概括，并从6个方面对具体的工作进行了简要介绍；对本论文总体的组织结构进行介绍。

第二章，天地一体化网络中移动性管理的总体方案。首先对天地一体化网络共性支撑平台进行了分析说明，介绍移动性管理在其中所处的位置和功能。其次，分析说明了现有移动性管理方案在天地一体化网络中的不足。接下来，对PUB/SUB模型进行了介绍。最后，对移动性管理进行了需求分析，并对移动性管理的方案进行了性能分析，提出了本系统的设计方案。

第三章，天地一体化网络中移动性管理的总体设计。首先，确定移动性管理系统功能和对外的接口，并对低轨卫星移动性管理和高轨卫星移动性管理的功能进行描述。其次，对系统接口进行设计，设计系统的对外接口和各种功能接口。接下来，对终端注册、接入星注册、终端移动、接入星移动性的机制进行了设计。最后对低轨卫星和高轨卫星上的移动性管理进行了内部结构设计。

第四章，天地一体化网络中移动性管理的详细设计与实现。本章在系统总体设计的基础上对本系统进行了详细设计与实现。对系统中各类消息的交互流程进行设计；对系统的类图和接口消息进行详细设计；以模块为单位对系统进行详细设计与实现。

第五章，测试。由于移动性管理系统是天地一体化共性支撑平台的一部分，因此本章对共性支撑平台进行测试。首先根据系统部署测试环境，然后按系统功能分别设计测试用例，将测试用例输入系统，获取测试结果，并对测试结果进行分析。

第六章，结束语。本章主要对论文的工作进行总结，分析工作中存在的问题，基于这些问题的下一步研究方向。

# 天地一体化网络共性支撑平台中移动性管理的总体方案

本章主要介绍天地一体化网络中移动性管理的总体方案。结合天基网络的特点和传统IP网络移动性管理存在的问题，提出本系统的总体方案和思路。

## 2.1 天地一体化网络中移动性管理系统概述

移动性管理的主要功能就是提供移动节点在网络中的的无缝连接[[[19]](#endnote-19)]。移动性管理使得网络可以随时确定移动节点的位置，在节点漫游到外地网络时仍能够通过无线网络保持不间断的服务，正确地转发数据包，保证用户数据的连续性。

移动性管理是指通信路径的建立，更新和维护[[[20]](#endnote-20)]。当移动节点离开家乡网络通过更新网络数据库中的相应信息从而将数据包转发到新的访问接入点，实现数据包的路由。

移动性管理分为位置管理和数据包转发两个阶段。在第一个阶段，移动节点及时将新的访问接入点通知网络，允许网络对其进行认证和更新网络数据库中的位置信息。第二个阶段当有数据要发送到移动节点时，网络通过查询位置注册表，找到节点当前位置，从而将数据包正确发至目的地[[[21]](#endnote-21)]。

天地一体化网络移动性管理属于天地一体化网络共性支撑平台的一部分，需要完成天地一体化网络中移动节点的位置管理，具体来说要完成终端和接入星的位置管理，并在移动节点位置发生改变时及时将相关的数据流重定向，避免节点移动对通信质量造成较大影响。由于接入到天地一体化网络的终端种类繁多，功能各异，因此移动性管理还需要向共性支撑平台的其他部分屏蔽终端的异质性。此外移动性管理需要向业务管理屏蔽天地一体化网络中节点的移动性，并提供地址解析，归属地查询等服务。

## 2.2 Pub/Sub模型



图2-1 Pub/Sub模型结构图

Pub/Sub模型中，消息的发布者（publisher）和消息的接收者（subscriber）之间没有之间的联系，借助于broker通过主题（topic）互相关联起来。一个基本的消息收发场景中，消息接收者首先用Sub方法向broker订阅特定主题的消息，消息发布者用pub方法向broker发送特定类型的消息，当消息接收者Sub的主题和消息发送者pub的主题满足一定的条件时，broker就将消息发送者所发布的消息转发给消息的接收者[[[22]](#endnote-22)]。

作为一种消息模型，同传统的client/server模型相比，pub/sub模型具有以下几个优点[[[23]](#endnote-23)]：

(1) 耦合度低。消息发送者和消息接收者之间没有之间的联系，两者通过主题相互关联，耦合度低，有利于两部分的模块化设计和测试。

(2) 可伸缩性强。Pub/sub模型中支持多个消息发送者生产同一主题的消息并正确转发给消息接收者，同样pub/sub模型中也支持同一主题有多个消息接收者。消息发布者和消息接收者的低耦合使得pub/sub模型的可伸缩性相当强。

在天地一体化网络中，如果把pub/sub模型中的主题当成状态变更，将sub看做状态变更的订阅，那么pub就是状态变更的发布和推送。移动性管理中，可以将终端的位置变化做成一个状态变更，受到终端状态变更影响的实体可以订阅终端的状态变更，以便在终端发生位置变化引起状态变更时能及时得到通知。

在传统的移动性管理中，如果要实现对终端位置高实时的获取，需要在每次发送数据到对端前查询对端位置，这会极大地影响缓存等技术的效果，影响移动性管理的性能。而基于pub/sub模型，受影响的实体只要订阅了相应的状态变更，就能在相应的状态发生变化时得到及时的通知。向终端发送数据时，由于位置变更能及时通知，因此可以将终端位置缓存起来，不必每次都重新获取终端的位置，从而提高系统的性能。

## 2.3 移动性管理系统设计方案

由于传统IP网络中的移动性管理方案是针对传统IP网络的移动性特点而设计的，因此不能直接应用到天基网络中。根据天地一体化网络中天基网络的特点，对在其中进行移动性管理进行需求分析。并根据需求分析，针对性地提出解决方案。

### 2.3.1 需求分析

天地一体化网络共性支撑平台从大的方面来说主要包括三个部分：组网管理，移动性管理和业务管理。其中组网管理是要将天基网络中的各种类型不同，功能各异的卫星组织起来，屏蔽骨干卫星的动态加入和退出,并且负责天地一体化网络中各类数据的具体存储。移动性管理要在组网管理的基础之上，向业务屏蔽天地一体化网络中终端和接入星的移动性。业务管理简单来说就是以一种灵活可扩展的方式管理各类业务。其中移动性管理位于组网管理之上，使用组网管理提供的服务，处于业务管理的下层，向业务屏蔽网络拓扑的动态变化。

一个简单的两个终端通过天地一体化网络进行通信的场景中，终端A通过接入星A接入到天地一体化网络后，希望同终端B发起通信。如果终端A能直接获取到终端B的IP地址，而天基网络是IP网络，天地链路也是IP链路，就跟传统IP网络中两个节点通过IP地址进行通信没有大的差别。但是，在实际当中，现有的天地链路大部分不是IP链路，终端通常没有一个IP地址。此外，由于接入到天地一体化网络的终端种类繁多，相互之间的兼容性差也使得通过IP网络直接进行通信失去了可行性。 终端之间的通信只能通过天地一体化网络进行中转。

图2-2 天地一体化网络通信过程



终端A与终端B的通信过程如下：

(1) 终端A通过天地链路将数据包发送给了接入星A，携带通信对端B的标识。

(2) 接入星A接收到数据后，根据数据包中携带的标识，进行地址解析得到通信对端B所在接入星B的IP地址，构建IP隧道报文，封装数据包。

(3) 接入星B得到隧道报文后，进行解封，得到数据包。根据数据包中携带的标识，转发数据到通信对端B。

在这一简单的场景中，由于天地一体化网络中一个接入星的覆盖范围很广，而通过单个接入星接入到网络的终端数量很多，只能通过终端在接入网络时发起终端注册，绑定终端标识和接入点IP地址之间的关系。不过由于在天地一体化网络中，终端会移动，接入星也会发生移动，从而导致接入星的IP地址发生变化。因此在终端注册时，需要绑定终端标识和接入星标识之间的绑定关系。在终端A和终端B进行通信的场景中，由于通信对端B会发生移动，从而导致其在网络中的接入点发生变化。如果终端A和终端B之间发送的是报文类消息，每次都需要进行重新寻址，解析得到终端B所在的接入星IP地址，只要网络中所维护的终端B和其接入星之间的绑定关系是最新的，就不会发生数据转发错误而导致的丢包。但是，如果终端A和终端B之间发送的是对话类消息，仅仅在对话建立的初始阶段进行了寻址，在对话过程中，终端B发生了移动，改变了其在网络中的接入点，就可能会导致数据转发到了错误的接入星上，从而影响通信和服务的质量。因此，移动性管理必须在终端移动时及时通知相应的接入星进行数据流的重定向。

**2.3.1.1 终端注册管理需求分析**

由于接入到天地一体化网络的终端数量众多，种类各异，终端接入控制协议也有所不同，也就是说天地链路不是IP链路，从而导致两个异质终端不能直接进行数据通信，必须经过天地一体化网络构建的IP隧道进行中转。为了使得数据在经过天地一体化网络中的IP隧道能及时下发到通信对端，必须在天地一体化网络中维护终端和接入星之间的绑定关系。单个卫星的覆盖范围很广，而通过低轨卫星接入到天地一体化网络的终端数量很多，因此只能通过终端在接入网络时主动注册的方式进行。

**2.3.1.2 终端管理需求分析**

由于接入星将隧道报文解封后需要将报文下发，而接入到单个接入星的终端数量巨大，因此必须维护终端标识和通信链路之间的关系，才能避免报文下发错误，影响通信质量。

**2.3.1.3 接入星注册管理需求分析**

由于微卫星的计算和存储能力有限，一般在天地一体化网络中只承担简单的数据转发和终端接入功能。此外卫星相对于地面不断运动，天地链路不稳定，时延较高，将控制网络运行的各类信息存储在地面网络中也变得不可行。天基平台的承载能力有限，如果采用大型卫星平台提供充分的存储和计算能力，则会引起卫星节点造价昂贵，性价比低，研发时间长等问题，在实际运行中还存在单点失效的问题。因此在天地一体化网络中终端信息维护和管理只能交给骨干卫星组成的分布式网络来做。

在天地一体化网络中，微卫星和骨干卫星分别运行在不同的轨道上，导致了绕地运行速度的差异，从而使得卫星之间的通信链路不断变化。当接入星从一颗高轨卫星的覆盖范围进入到另一颗高轨卫星的覆盖范围时，其网络IP地址会发生变化。通过一颗低轨卫星接入到网络的终端数量很多，如果在终端注册时绑定的是终端标识和接入星IP地址之间的关系，当接入星移动时，就需要该接入星下的所有终端重新进行注册，才能维护终端的位置信息。这将会在网络中产生大量终端注册消息，给网络带来极大的负担。因此，需要单独维护接入星标识和接入星IP地址之间的关系，而在终端注册时只需要绑定终端标识和接入星标识的关系，这样即使终端所在的接入星IP地址发生了变化，也只需要接入星更新相应的绑定关系。

**2.3.1.4 终端位置订阅需求分析**

通过天地一体化网络进行通信的两个终端，可能在通信过程中改变其在网络中的接入点，也就是说从一颗接入星的覆盖范围移动到了另一颗接入星的覆盖范围内，这时需要通知移动终端的通信对端所在接入星构建新的IP隧道，将数据封装后再转发。为了实现当移动终端改变接入点时，天地一体化中的相关接入星能及时将数据流重定向，需要在通信起始阶段，也就是在地址解析阶段订阅终端位置的变更。当终端移动时，终端所在的接入星标识发生了变化，就能及时通知订阅方。

**2.3.1.5 接入星位置订阅需求分析**

地址解析阶段是根据终端标识获取终端所在接入星的IP地址。但在天地一体化网络中，为了移动性管理系统的性能考虑，网络中所维护的是终端标识和接入星标识的绑定关系，以及接入星标识与接入星IP地址之间的绑定关系。当接入星连接到新的骨干卫星时，会得到新的IP地址，从而也改变了终端的接入点IP地址，需要通知网络中的订阅方，及时构建新的隧道，重定向数据流。

**2.3.1.6 终端移动需求分析**

在天地一体化网络中，单个卫星的覆盖范围很广，而陆基终端的移动速度同卫星绕地的运行速度相比，一般而言可以忽略不计，如果终端是通过同步地球轨道接入到天地一体化网络中的，其基本上可以认为是固定节点。但是当终端通过低轨卫星接入到网络中时，及时终端相对于地面保持不动，也会由于卫星相对于地面的运动在不同低轨卫星间切换。当发生终端的移动时，需要保证通信对端和移动终端的数据通信能保持较好的持续性。具体来说，需要通知通信对端的接入星构建新的IP隧道。

**2.3.1.7 接入星移动需求分析**

当接入星在高轨卫星间切换时，会造成接入星的IP地址发生变化。由于在地址解析阶段，需要根据终端标识得到终端所在接入星的IP地址，因此当移动终端所在的接入星移动时也需要通知通信对端的接入星构建新的隧道，避免数据包的丢失。

### 2.3.2 系统设计

结合对天地一体化网络移动性管理的需求分析，以及对现有移动性管理方案和PUB-SUB模型的深入研究，提出如下方案在天地一体化网络中进行移动性管理。



图2-3 基于Pub/Sub模型的移动性管理方案

基于PUB/SUB模型的移动性管理方案如图2-3所示，主要由通信对端（CN）、移动节点（MN）、移动接入网关（MAG）、移动性管理代理（MMA）、网关（GW）组成。其中，低轨卫星组成星座，并部署移动接入网关（MAG），完成移动终端的接入控制；高轨卫星组成骨干星网络，并部署移动性管理代理（MMA），完成天基移动终端和接入星的移动性管理；地面站作为天基网络和地基网络的中介，部署网关（GW）。

通信对端（CN）:在天地一体化网络中，通信对端可以是地基终端也可以是天基终端。地基终端通过地面站和天基终端完成通信，天基终端通过天基网络和其他天基终端通信。

移动终端（MN）：在天地一体化网络中，低轨卫星作为接入星，相对于地面高速运动，导致天基终端不断在接入星之间进行切换，在网络拓扑关系上表现为终端的移动。当天基终端移动时，需主动产生注册请求，发送到MAG，并通过MAG注册到MMA上。

移动接入网关（MAG）：部署在低轨卫星组成的接入星上，负责维护MN标识和对应MAG的 IP地址之间的映射关系。在接入星移动时，MAG会注册到MMA中。在MN或MAG移动过程中，MAG会代表MN建立与通信对端所连接的MAG或GW之间的隧道，以完成数据转发。一个典型的天基终端之间通信的场景中，CN的MAG或GW接收来自CN的数据报文后，首先查询本地缓存，如果目标地址不能路由，则向MMA进行目标终端地址查询，获得目标终端绑定的MAG IP地址。之后，构造隧道报文，其中源IP为源MAG/GW的IP地址，目的IP为目的终端对应MAG的IP地址。目的端MAG接收到隧道报文后，将数据报文转发给连接到本MAG上的天基终端MN。当低轨卫星作为接入星移动出一个高轨卫星的覆盖范围，这时产生MAG的切换，即从一个MMA切换到另一个MMA，此时，MMA将完成接入星的移动切换，并完成接入星部署的MAG变更导致的MN注册信息的更新。

移动性管理代理（MMA）：部署在高轨卫星组成的骨干星上，负责维护天基网络移动性管理的各类信息包括终端注册信息和MAG注册信息。与MIP和PMIP方案中的HA和LMA相比，MMA不会建立与MAG和GW之间的隧道，而仅完成MAG之间或MAG与GW之间隧道的构建和维护，从而降低了MMA的负载。在终端移动过程中，终端标识、终端地址、MAG标识、MAG地址的映射关系将被MMA进行管理。当MAG/GW向MMA发起目标地址查询请求时，MMA认为MAG/GW订阅（SUB）了相应的终端位置和接入星位置的状态变更。当终端在接入星之间切换或者接入星在骨干卫星之间进行切换，并导致终端注册信息发生更新时（PUB），MMA将向订阅该终端移动的MAG或GW发送通知，从而保证MAG/GW实时更新终端的地址，完成通信隧道的转接。

此外，由于天地一体化共性支撑平台除了移动性管理模块之外，还包括组网管理和应用管理两个模块。组网管理需要向外界屏蔽骨干卫星网络的拓扑变化，并实际负责终端注册信息和MAG注册信息的存储与维护，用HSS表示组网管理中对终端进行管理的模块，NME表示组网管理部分对MAG进行管理的模块。用RME表示业务管理模块。在实现上，我们将部署在低轨卫星上的移动性管理模块，即MAG，也称为CME-U(Collaboration Management Entity),将MMA称为CME-H。

### 2.3.3 性能分析

由于基于PUB-SUB的移动性管理方法考虑到了网络节点的移动，因此为了使得性能分析具有可比性，我们比较两种方案在终端移动时的性能。由于在性能分析的过程中会涉及MAG和MMA之间的通信，为了讨论的方便，我们认为MMA通过Chord算法组网成环。

**2.4.3.1 数据传输时延分析**

对于MIP而言，初始接入星就是移动节点的家乡代理。当移动节点进入另一接入星的范围内时，新的接入星就相当于外地代理。通信对端需要通过其接入星与移动节点进行通信，因此可以得到MIP的数据传输时延为:

 （2-1）

其中, 表示终端A到终端B的数据传输时延，表示终端A到其接入星之间的时延，表示终端A的接入星A到终端B的家乡代理HB之间的时延， 表示终端B的家乡代理到外地代理（即终端B的接入星B）之间的时延，表示终端B的接入星B到终端B的时延，m表示终端的移动频率。

对于基于PUB-SUB的移动性管理方法而言，MAG没有家乡与非家乡的区别，因此通信对端的MAG在接收到通信对端的数据后，只需要根据移动终端的标识得到移动终端所在的MAG，然后将消息转发给该MAG即可。但是由于MAG中只是通过隧道构建表缓存了终端的位置信息，因此如果MAG在本地找不到，就需要向MMA发起地址解析。可以得到PUB-SUB方法的数据传输时延为:

 （2-2）

其中，表示发起地址查询的概率，表示地址查询的时延，表示接入星A到接入星B的时延，跟具体路径有关。

可以看到两种移动性管理方法的时延中有大量参数，这些参数一般来说跟具体的数据传输过程有关，为了使得两者具有可比性，我们根据这些参数的平均意义并参考文献[[[24]](#endnote-24)]进行取值，具体的取值如下表所示。

表2-1 移动性管理性能分析参数取值表

|  |  |
| --- | --- |
| 参数 | 值 |
| 终端位置更新消息开销Bupdate | 100B |
| 终端位置通知消息的开销Bnotify | 100B |
| 终端对应订阅列表的平均条目k | 10 |
| 会话到达率h | 0.1 |
| 每个会话包含的数据包个数v | 10 |
| MAG之间的平均跳数Hmag-mag | 4 |
| MAG之间的平均时延Tmag-mag | 16ms |
| 查询消息的开销Bquery | 100B |
| 天基终端和对应接入星的平均时延Tterm-micro | 4ms |
| 接入星和直连骨干卫星的平均时延Tmicro-main | 120ms |
| 相邻骨干卫星的平均时延Tmain-main | 28ms |
| 骨干卫星的总数目N | 32 |

根据上述取值得到如下结果：

MIP：

 （2-3）

PUB-SUB:

 （2-4）

两者的大小关系取决于m\*64与p\*520的大小关系。当p/m<8/65时，PUB-SUB方法的数据时延具有优势，这意味着当地址查询频率较低，而移动节点的移动较为频繁时，PUB-SUB在时延方面具有更好的数据传输性能。

**2.4.3.2 单位时间信令开销分析**

对于MIP而言，由于移动终端的位置信息就存储在HA上，不存在查询消息的信令开销，因此唯一的信令开销就是移动终端的位置绑定信令所带来的开销。

 （2-5）

其中，表示单位时间的信令开销，表示终端注册消息的开销，表示本地代理和外地代理之间的跳数。

对于基于PUB-SUB的移动性管理方法而言，信令包括三类：终端注册消息，地址订购消息，终端位置变更通知消息。跟基于MIP的方法不同，基于PUB-SUB的移动性管理中没有家乡代理和非家乡代理的区别，因此即使终端首次连接到MAG所在的接入星也需要发起终端注册，绑定终端位置关系。数据传输的过程中，由于移动终端的位置信息存储在MMA构成的网络中，因此，通信对端所在的MAG需要根据移动终端的标识发起地址解析。具体来说，通信对端的MAG需要在本地维护的隧道构建表中进行查询，如果没有找到，就需要构造网络消息发起实际的地址订购过程。由于MAG的隧道构建表中维护了终端和接入星的绑定关系，因此当终端位置发生变化时，需要更新该绑定关系，避免数据传输的错误，该过程是通过MMA向对应MAG发送终端位置变更通知消息来完成的。因此，可以得到PUB-SUB方法的单位时间信令开销为

 （2-6）

其中表示终端注册消息的总开销，表示地址查询消息的总开销，表示终端位置变更消息的总开销。

对参数取表中的值，化简后得

MIP：

 （2-7）

PUB-SUB:

 （2-8）

其中m表示终端的移动频率,p表示PUB-SUB方法中MAG发起地址查询的概率,k表示终端位置变更通知的接收方数量。显然无论参数m,p,k取何值，MIP的单位时间信令开销都小于PUB-SUB方法。这也符合我们的直观，对于PUB-SUB方法而言，终端只要接入网络就需要进行终端注册。由于接入星的计算存储能力较弱，因此又添加了地址查询的信令开销。为了使得数据流能及时重定向，PUB-SUB方法还带来了终端位置变更通知的开销。

我们可以看出，对于PUB-SUB模型而言其在高移动性环境中的数据传输时延优于MIP，而这是以较高的单位时间信令开销为代价取得的。单纯的时延和信令开销分析不能完全体现出PUB-SUB方法的优势。基于PUB-SUB方法的移动性管理，其优势还体现在如下几个方面：

1. PUB-SUB方法中考虑到了天地一体化网络的实际运行状况，对网络接入点的移动进行了处理

2. 其次，由于单个卫星的存储能力较弱，集中式的存储还存在单点失效等问题，通过骨干卫星组成的MMA存储移动性管理的各类信息，能很好应对这些问题。

## 2.4 本章小结

本章主要介绍天地一体化网络移动性管理的总体方案。首先，对天地一体化网络移动性管理系统进行概述，介绍移动性管理的定义和天地一体化网络中移动性管理的特点和目标。其次，介绍了PUB-SUB模型的工作原理和特点。接着，对天地一体化网络移动性管理系统进行了需求分析，并根据需求分析的结果给出了在天地一体化网络中进行移动性管理的设计方案，提出由高轨卫星组成的MMA负责移动性信息的存储和控制，低轨卫星上部署的MAG负责隧道构建和数据转发，并对该方案进行了性能分析。

# 第三章 天地一体化网络共性支撑平台中移动性管理的总体设计

## 3.1 系统架构



图3-1 移动性管理系统架构图

根据共性支撑平台中移动性管理的需求分析，结合PUB-SUB模型以及传统IP网络中移动性管理方案的机制，提出了一种分层的移动性管理架构，如图3-1所示。其中，MAG负责数据的路由转发，MMA负责对MAG的路由转发进行控制。

MAG部署在接入星上，负责隧道构建表和数据包分发表的维护，并在数据消息到达时，根据隧道构建表构建隧道，封装报文，将控制消息转发给骨干卫星上的MMA,HSS,NME等进行处理。隧道构建表中维护终端标识和接入星IP地址之间的映射关系，用于在接收到普通数据时在MAG间构建隧道。数据包分发表维护终端标识和通信链路之间的关系，用于将解封后的普通数据下发到终端。当MAG接收到来自终端注册消息时，更新数据包分发表。如果MAG接收到普通数据，会根据消息中携带的目的标识构建到目的终端所在MAG的隧道，并将封装后的报文转发。目的终端MAG接收到报文后，将报文解封根据数据包分发表下发到目的终端。如果构建隧道时，不能在本地的隧道构建表中找到对应项，MAG会发起接入星IP地址解析或订购，并在地址解析或订购完成后更新隧道构建表。MAG在接入星连到骨干卫星上时，还负责发起接入星的注册。

MMA部署在骨干卫星上，负责终端位置订阅列表和接入星位置订阅列表的维护。由于在天地一体化网络中终端会移动，接入星也会移动，因此需要对终端位置和接入星位置信息进行管理，并在终端位置和接入星位置发生变化时及时通知移动终端的通信对端重定向数据流，避免通信质量的恶化。MAG在维护隧道构建表时可以发起接入星IP地址的订购，从而更新相应骨干卫星上MMA维护的终端订阅列表和接入星订阅列表。当终端或接入星发生移动，MMA接收到来自组网管理的通知消息，根据订阅列表将通知消息下发。MAG根据通知消息，更新本地维护的隧道构建表，确保后续数据流重定向到新的网络节点上。

## 3.2 接口设计

表3-1 接口消息设计

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 接口名 | URI | 方向 | 含义 |
| GET | /get/satip | 1.RME(业务管理)→MMA  2.MAG→NME  3.MMA→NME | 业务管理通过移动性管理的对外接口得到终端的归属地骨干卫星IP地址;  MAG向默认骨干卫星上的NME发起归属地IP地址解析请求;  MMA向同一骨干卫星上的NME发起归属地IP地址解析请求 |
| GETACK | /getack/satip | 1.MMA→RME(业务管理)  2.NME→MAG  3.NME→MMA | 归属地骨干卫星IP地址解析请求的响应；当请求发给MMA时，最终还是转发给了NME进行具体的归属地IP地址解析过程。 |
| GET | /get/acsip | RME(业务管理)→MMA | 业务管理向移动性管理请求进行接入星IP地址解析，根据终端标识得到对应的接入星IP地址 |
| GETACK | /getack/acsip | MMA→RME(业务管理) | 接入星IP地址解析的响应，包括一个status域，只有当status为1时，其中的数据才是有效的 |
| REG | /reg | 1.终端→MAG  2.MAG→HSS | 终端接入到网络后，向接入星上的MAG发送终端注册消息;  接入星上的MAG转发终端注册消息到归属地骨干卫星上 |
| REGACG | /regack | 1.MAG→终端  2.HSS→MAG | 接入星转发终端注册响应到终端;  HSS构造终端注册响应 |
| CON | /con | MAG→NME | 接入星加入网络后，进行接入星注册，绑定接入星标识和接入星IP地址之间的关系 |
| CONACK | /conack | NME→MAG | 接入星注册消息的响应 |
| GET | /get/uaid | 1.MAG→HSS  2.MMA→HSS | 终端位置查询请求。根据终端标识得到终端所绑定的接入星标识 |
| GETACK | /getack/uaid | 1.HSS→MAG  2.HSS→MMA | 终端位置查询响应。携带status域和接入星标识。当status为1时，接入星标识才是有效的。 |
| GET | /get/uaip | 1.MAG→NME  2.MMA→NME | 接入星位置查询请求。根据接入星标识得到接入星所绑定的IP地址 |
| GETACK | /getack/uaip | 1.NME→MAG  2.NME→MMA | 接入星位置查询响应。携带status域和接入星IP地址。当status为1时，接入星IP地址才是有效的。 |
| SUB | /sub/acsip | RME(业务管理)→MMA | 接入星IP地址订阅请求。根据终端标识得到接入星IP地址，并订阅终端和接入星的位置变更 |
| SUBACK | /suback/acsip | MMA→RME(业务管理) | 接入星IP地址订阅响应 |
| SUB | /sub/uaid | 1.MAG→HSS  2.MMA→HSS | 终端位置订阅请求。根据终端标识得到终端所绑定的接入星标识，并订阅终端的位置变更。 |
| SUBACK | /suback/uaid | 1.HSS→MAG  2.HSS→MMA | 终端位置订阅响应 |
| SUB | /sub/uaip | 1.MAG→NME  2.MMA→NME | 接入星位置订阅请求。根据接入星标识得到接入星所绑定的IP地址，并订阅接入星的位置变更。 |
| SUBACK | /suback/uaip | 1.NME→MAG  2.NME→MMA | 接入星位置订阅响应。携带status域和接入星IP地址。当status为1时，接入星IP地址才是有效的。 |
| NTY | /nty/uaid | MMA→MAG | 终端位置变更通知。携带终端标识和接入星标识，由MMA转发给MAG用于更新隧道构建表。 |
| NTYACK | /ntyack/uaid | MAG→MMA | 终端位置变更响应。 |
| NTY | /nty/uaip | MMA→MAG | 接入星位置变更通知。携带接入星标识和接入星IP地址，由MMA转发给MAG用于更新隧道构建表。 |
| NTYACK | /ntyack/uaip | MAG→MMA | 接入星位置变更响应。 |

## 3.3 相关数据结构设计描述

对于MAG而言，主要有两个数据结构：数据包分发表和隧道构建表。其中数据包分发表维护终端标识和通信连接之间的关系。当MAG从隧道报文中解封得到数据包时需要根据数据包分发表选择正确的通信连接将数据包下发。隧道构建表维护终端标识和对应接入星IP地址之间的绑定关系。对于MAG而言，当接收到的消息不是控制消息，即信令时，MAG根据数据包中的目的终端标识首先在隧道构建表查找得到终端对应接入星的IP地址，如果在隧道构建表中没有找到，则发起接入星IP地址的解析或订阅得到终端标识对应的IP地址，从而构造隧道报文将数据包进行封装。

对于MMA而言，所维护的数据结构有两个：终端位置订阅列表和接入星位置订阅列表。其中终端位置订阅列表维护终端位置的订阅关系，键为终端标识，值为订阅者的标识列表。当MAG根据终端标识进行接入星IP地址解析时，如果发起的是带订阅的地址解析，就需要对终端位置订阅列表和接入星位置订阅列表进行维护。当终端发生位置更新时，组网管理会发送终端位置变更通知给MMA，MMA根据终端位置订阅列表，下发终端位置变更通知到订阅者，更新订阅者的隧道构建表。接入星位置订阅列表维护接入星位置的订阅关系，键为接入星标识，值为订阅者的标识列表。当接入星发生位置移动时，组网管理会发送接入星位置变更通知给MMA，MMA根据接入星位置订阅列表，下发接入星位置变更通知到订阅者，订阅者再进行进一步的处理，更新其隧道构建表。

表3-2 数据包分发表数据结构

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 名称 | 类型 | 说明 |
| termid | int | 终端标识 |
| linkid | int | 终端标识对应的链路标识 |
| createTime | datatime | 数据包分发表中该项的创建时间 |
| duration | int | 该项的有效期 |

表3-3 隧道构建表数据结构

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 名称 | 类型 | 说明 |
| termid | int | 终端标识 |
| acsip | int | 终端标识对应的接入星IP地址 |
| createTime | datatime | 隧道构建表中该项的创建时间 |
| duration | int | 该项的有效期 |

表3-4 终端位置订阅表数据结构

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 名称 | 类型 | 说明 |
| termid | int | 终端标识 |
| sublist | list列表类型 | 特定终端的位置变更订阅列表，每一项是一个订阅者的标识 |

表3-5 接入星位置订阅表数据结构

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 名称 | 类型 | 说明 |
| satid | int | 接入星标识 |
| sublist | list列表类型 | 特定接入星的位置变更订阅列表，每一项是一个订阅者的标识 |

## 3.4 移动性管理的机制

### 3.4.1 终端注册

终端每次接入网络时都需要通过接入星上的MAG向其归属地的MMA发起终端注册，建立终端标识和接入星标识之间的绑定关系；尽管MAG会默认跟一个MMA建立通信连接，但是该MMA不一定负责存储指定终端的位置关系，因此，MAG在将终端注册请求转发之前需要从组网管理处获得终端的归属地骨干卫星IP地址。在实际中，终端要定时向归属地MMA发起刷新注册，以维持其活动状态。在终端离开网络的时候要向归属地MMA发起注销，解除终端标识和接入星标识之间的绑定关系，这样当其他终端或应用访问该终端的时候，就可以知道此终端是否可用的问题。



图3-2 终端注册流程

1. 终端User1在接入天地一体化网络后，首先会构造REG消息，uri为/reg，携带终端User1的标识和对应接入星MAG1的标识，发送到接入星MAG1上。
2. 由于接入到天地一体化网络的终端种类繁多，差异显著，为了实现对这些终端的接入星，天地链路很可能不是IP链路，而与具体的终端类型相关，因此MAG1接收到REG消息后，首先会对数据包进行解析，取出终端User1的标识和接入星MAG1的标识。接着，MAG1会向默认连接的骨干卫星上的HSS1发送GET消息,uri为/get/satip，携带终端User1的标识，请求共性支撑平台中的组网管理获取User1的归属地骨干卫星IP地址。
3. HSS1接收到GET请求后，根据终端User1的标识按照一定的规则得到终端User1的归属地骨干卫星IP地址，并构造GETACK消息，uri为/getack/satip，携带归属地卫星IP地址，作为GET消息的响应。
4. MAG1接收到GETACK消息后，根据数据包中携带的归属地卫星IP地址，构造新的REG消息，uri为/reg，携带终端User1的标识和MAG1所在接入星的标识，将数据包发给User1的归属地骨干卫星上的HSS2。
5. HSS2接收到REG消息后，将终端标识和接入星标识之间的绑定关系进行存储，并根据存储过程的结果构造REGACK消息，uri为/regack，作为REG消息的响应。
6. MAG1接收到REGACK消息，取出状态码，根据终端User1所采用的接入控制协议，构造特定的REGACK消息，uri为/regack，发送给终端User1。

### 3.4.2 接入星注册

接入星注册的过程与终端注册的过程类似，首先都需要向组网管理请求得到归属地骨干卫星的IP地址，接着才会完成接入星注册过程。

1. 当接入星连接到一颗骨干卫星后，会将该骨干卫星作为默认的骨干卫星。当进入多颗骨干卫星的范围时，根据一定的策略选择一颗骨干卫星作为默认的骨干卫星。接入星接入到天地一体化网络后，首先会发起接入星的注册。不过由于接入星的默认骨干卫星不一定是接入星的归属地骨干卫星，因此首先需要构建GET消息，uri为/get/satip，携带接入星标识，发送到默认骨干卫星上的组网管理，获取MAG1的归属地骨干卫星IP地址。
2. 默认骨干卫星上的组网管理接收到GET消息后，根据一定的策略得到接入星标识所对应的归属地骨干卫星IP地址，构造GETACK消息，uri为/getack/satip，携带归属地卫星IP地址，作为GET消息的响应。



图3-3 接入星注册流程

3) MAG1接收到GETACK消息后，根据数据包中携带的归属地卫星IP地址，构造新的接入星注册消息CON，uri为/con，携带MAG1所在接入星的标识和对应的接入星IP地址，将数据包发给MAG1的归属地骨干卫星上的NME2。

4) NME2接收到CON消息后，将接入星标识和接入星IP地址之间的绑定关系进行存储，并根据存储过程的结果构造CONACK消息，uri为/conack，作为CON消息的响应，回复给MAG1。

### 3.4.3 接入星IP地址查询

在天地一体化网络中，地址解析是指根据终端的标识得到终端所属接入星的IP地址。但是由于天地一体化网络中终端移动，接入星也移动的特点，为了减轻节点移动时对网络的负担，需要终端和接入星分别发起注册，维护相应的位置关系。因此，不能直接根据终端标识得到相应接入星的IP地址，需要首先根据终端标识得到接入星的标识，接着才能根据接入星标识得到接入星的IP地址。接入星IP地址查询可以由MAG发起，以便构建IP隧道将报文封装转发，也可以由应用管理发起，进行应用数据的转发。



图3-4 接入星IP地址查询流程

1) 当接入星MAG1从网络上接收到来自终端的数据包不是控制消息，而是普通数据时，接入星需要进行地址解析，以便构建IP隧道将数据进行封装转发。MAG1首先会从数据包中解析得到目的终端的标识。然后MAG1需要根据此终端标识得到负责该终端位置信息存储的卫星IP地址。因此，MAG1构造GET消息，携带目的终端标识，uri为/get/satip，发送给默认骨干卫星上的HSS1，请求获取目的终端的归属地骨干卫星IP地址。

2) HSS1接收到GET消息后，取出目的终端标识，按照一定的规则，得到负责存储目的终端位置信息的骨干卫星的iP地址，并构造GETACK消息，携带归属地骨干卫星的IP地址，uri为/getack/satip，作为GET消息的响应。

3) MAG1接收到GETACK消息后，取出归属地骨干卫星IP地址。接着，MAG1向此IP地址指定的骨干卫星上的HSS2发送GET消息，携带目的终端标识，uri为/get/uaid，请求获取目的终端所绑定的接入星标识。

4) HSS2接收到GET消息后，取出目的终端标识，并根据此标识取出对应的接入星标识。接着，构造GETACK消息，携带查询得到的接入星标识，uri为/getack/uaid，作为GET消息的响应。

5) MAG1接收到来自HSS2的GETACK消息后，取出目的终端的接入星标识。接着，构造GET消息，携带此接入星标识，uri为/get/satip，发送到默认骨干卫星的HSS1上，请求获取目的终端接入星的归属地骨干卫星IP地址。

6) HSS1接收到GET消息后，取出接入星标识，按照一定的规则，得到负责存储接入星位置信息的骨干卫星的iP地址，并构造GETACK消息，携带归属地骨干卫星的IP地址，uri为/getack/satip，作为GET消息的响应。

7) MAG1接收到GETACK消息后，取出归属地骨干卫星IP地址。接着，MAG1向此IP地址指定的骨干卫星上的HSS3发送GET消息，携带目的终端的接入星标识，uri为/get/uaip，请求获取该接入星标识所绑定的接入星IP地址。

8) HSS3接收到GET消息后，取出接入星标识，并根据此标识取出对应的接入星IP地址。如果没有找到，则将状态码设置成0。接着，构造GETACK消息，携带状态码和查询得到的接入星IP地址，uri为/getack/uaip，作为GET消息的响应。

### 3.4.4 接入星IP地址订购

接入星IP地址订购的过程与地址查询的过程类似，只是在根据终端标识得到接入星标识时还对终端的位置变更进行了订阅。此外，当根据接入星标识得到接入星IP地址时也对接入星的位置变更进行了订阅。



图3-5 接入星IP地址订购流程

1) 当接入星MAG1从网络上接收到来自终端的数据包不是控制消息，而是普通数据时，接入星需要进行地址解析，以便构建IP隧道将数据进行封装转发。接入星可以选择发起普通的接入星IP地址查询，也可以发起带订阅语义的接入星IP地址查询。一般来说对于报文类业务，由于数据包是独立的，每次都需要寻址，发起普通的接入星IP地址查询就可以。对于对话类业务，只在对话建立的初始阶段进行寻址，如果在这一过程中通信对端或通信对端所在的接入星发生了移动就需要重新构造IP隧道，重定向数据流，因此需要发起接入星IP地址订购，以便在通信对端或接入星位置发生改变时能及时重定向数据流。具体来说，MAG1首先会从数据包中解析得到目的终端的标识。然后MAG1需要根据此终端标识得到负责该终端位置信息存储的卫星IP地址。因此，MAG1构造GET消息，携带目的终端标识，uri为/get/satip，发送给默认骨干卫星上的HSS1，请求获取目的终端的归属地骨干卫星IP地址。

2) HSS1接收到GET消息后，取出目的终端标识，按照一定的规则，得到负责存储目的终端位置信息的骨干卫星的iP地址，并构造GETACK消息，携带归属地骨干卫星的IP地址，uri为/getack/satip，作为GET消息的响应。

3) MAG1接收到GETACK消息后，取出归属地骨干卫星IP地址。接着，MAG1向此IP地址指定的骨干卫星上的HSS2发送SUB消息，携带目的终端标识，uri为/sub/uaid，请求获取目的终端所绑定的接入星标识并订阅该终端的位置变更。

4) HSS2接收到SUB消息后，取出目的终端标识，并根据此标识取出对应的接入星标识并在目的终端位置的订阅列表中添加MAG1。接着，构造SUBACK消息，携带查询得到的接入星标识，uri为/suback/uaid，作为SUB消息的响应。

5) MAG1接收到来自HSS2的SUBACK消息后，取出目的终端的接入星标识。接着，构造GET消息，携带此接入星标识，uri为/get/satip，发送到默认骨干卫星的HSS1上，请求获取目的终端接入星的归属地骨干卫星IP地址。

6) HSS1接收到GET消息后，取出接入星标识，按照一定的规则，得到负责存储接入星位置信息的骨干卫星的iP地址，并构造GETACK消息，携带归属地骨干卫星的IP地址，uri为/getack/satip，作为GET消息的响应。

7) MAG1接收到GETACK消息后，取出归属地骨干卫星IP地址。接着，MAG1向此IP地址指定的骨干卫星上的HSS3发送SUB消息，携带目的终端的接入星标识，uri为/sub/uaip，请求获取该接入星标识所绑定的接入星IP地址并订阅该接入星的位置变更。

8) HSS3接收到SUB消息后，取出接入星标识，并根据此标识取出对应的接入星IP地址，同时在接入星位置的订阅列表中添加MAG1。如果没有找到，则将状态码设置成0。接着，构造SUBACK消息，携带状态码和查询得到的接入星IP地址，uri为/suback/uaip，作为SUB消息的响应。

### 3.4.5 终端移动

当终端从一个接入星的覆盖范围移动到另一个接入星的覆盖范围后，首先会发起终端的注册，更新终端标识和接入星标识之间的绑定关系。当组网管理更新绑定关系后，会向同一骨干卫星上的MMA发送终端位置变更通知。MMA再根据终端位置订阅列表，将终端位置变更通知下发到订阅方。

图中，user1与user2进行通信。在这一过程中，user2从接入星MAG2移动到了MAG3。具体工作过程如下。

1. 终端user2从MAG2所在的接入星移动到了MAG3所在的接入星后，首先会构造REG消息，uri为/reg，携带终端User2的标识和对应接入星MAG3的标识，发送到接入星MAG3上。

2) MAG3接收到REG消息后，取出终端User2的标识和接入星MAG3的标识。接着，MAG3会向默认连接的骨干卫星上的HSS3发送GET消息,uri为/get/satip，携带终端User2的标识，请求共性支撑平台中的组网管理获取User2的归属地骨干卫星IP地址。

3) HSS3接收到GET请求后，根据终端User2的标识按照一定的规则得到终端User2的归属地骨干卫星IP地址，并构造GETACK消息，uri为/getack/satip，携带归属地卫星IP地址，作为GET消息的响应。

4) MAG3接收到GETACK消息后，根据数据包中携带的归属地卫星IP地址，构造新的REG消息，uri为/reg，携带终端User2的标识和MAG3所在接入星的标识，将数据包发给User2的归属地骨干卫星上的HSS2。

5) HSS2接收到REG消息后，将终端标识和接入星标识之间的绑定关系进行存储，并根据存储过程的结果构造REGACK消息，uri为/regack，作为REG消息的响应。

6) MAG3接收到REGACK消息，取出状态码，根据终端User2所采用的接入控制协议，构造特定的REGACK消息，uri为/regack，发送给终端User2。



图3-6 终端移动流程

7) 在HSS2将终端位置关系存储时,HSS2会发现user2进行的是注册更新，因此会向MMA2发终端位置更新通知，携带user2的终端标识和接入星标识。MMA2接收到通知后，根据消息中的终端标识得到user2的位置订阅列表。由于天地一体化网络中接入星会发生移动，因此订阅列表中存储的是接入星标识。MMA2从订阅列表中取出订阅者的标识，构造GET消息，uri为/get/satip，发送给同一骨干卫星上的HSS2，得到订阅者的归属地骨干卫星IP地址。接下来，MMA2构造GET消息，携带订阅者标识，uri为/get/uaip，发送给归属地骨干卫星上的NME1。

8) NME1接收到GET消息后，取出订阅者标识。由于订阅者一般是接入星，因此会根据订阅者标识得到对应的接入星IP地址，并构造GETACK消息，携带此IP地址，uri为/getack/uaip，作为GET消息的响应。

9) MMA2接收到GETACK消息后，从中取出订阅者IP地址。接着，构造NTY消息，携带终端User2的标识和MAG3的标识，uri为/nty/uaid，发送给订阅者。由于User1通过MAG1向User2发数据时，MAG1订阅了User1的位置变更。因此，此NTY消息会发送给User1的接入星MAG1。

10) MAG1接收到NTY消息后，取出终端标识和接入星标识，更新本地维护的隧道转发表。接着，构造NTYACK消息，uri为/ntyack/uaid，作为NTY消息的响应。

### 3.4.6 接入星移动

当接入星从一个骨干卫星的覆盖范围移动到另一个骨干卫星的覆盖范围后，首先会发起接入星的注册，更新接入星标识和接入星IP地址之间的绑定关系。当组网管理更新绑定关系后，会向同一骨干卫星上的MMA发送接入星位置变更通知。MMA再根据接入星位置订阅列表，将接入星位置变更通知下发到订阅方。



图3-7 接入星移动流程

1) MAG2所在的接入星从一颗骨干卫星的覆盖范围移动到另一颗骨干卫星的覆盖范围，在这一过程中，通过MAG2接入到天地一体化网络的终端User2并没有改变其在网络中的接入点，但是MAG2的IP地址发生了变化。MAG2会构造GET消息，携带MAG2的标识，uri为/get/satip，发送给默认骨干卫星上的HSS3，请求得到MAG2的归属地骨干卫星IP地址。

2) HSS3接收到GET消息后，取出接入星标识，根据特定规则进行消息交互得到MAG2的归属地骨干卫星IP地址，并构造GETACK消息，携带此IP地址，uri为/getack/satip，作为GET消息的响应。

3) MAG2从GETACK消息中得到归属地骨干卫星IP地址，构造CON消息，携带MAG2的标识和MAG2的IP地址，uri为/con，发送到归属地骨干卫星的NME2上。

4) NME2从CON消息中得到接入星标识和IP地址，将两者之间的关系进行存储，并构造CONACK消息，uri为/conack，作为CON消息的响应。

5) NME2将MAG2的位置关系进行存储时会发现MAG2更新了其位置信息，因此会向MMA2发送接入星位置变更通知，携带接入星标识和IP地址。MMA2接收到通知消息后，根据消息中的接入星标识得到MAG2位置变更的订阅者，即MAG1。MMA2会向移动性管理发GET消息，请求得到MAG1的归属地骨干卫星IP地址。之后MMA2会向归属地骨干卫星上的NME1发GET消息，携带MAG1的标识，uri为/get/uaip。

6) NME1从GET消息中取出接入星标识，并根据此标识得到MAG1的IP地址，构造GETACK消息，携带此IP地址，uri为/getack/uaip，作为GET消息的响应。

7) MMA2从GETACK消息中得到MAG1的IP地址，并构造NTY消息，携带MAG2的标识和MAG2的IP地址，uri为/nty/uaip，发送给MAG1。

8) MAG1接收到NTY消息后，更新本地维护的隧道构建表，并构造NTYACK消息，uri为/ntyack/uaip，作为NTY消息的响应。

## 3.5 移动性管理内部结构设计

天地一体化共性支撑平台包括了组网管理、移动性管理和应用管理三个部分。其中，在低轨卫星上只部署了移动性管理，而在一颗高轨卫星上同时部署了组网管理、移动性管理和应用管理。当高轨卫星的通信模块从网络上接收到数据包，将其解析后，会根据消息的类型和消息携带的uri将消息分发到不同的部分。

由于终端位置和接入星位置的数据都是由组网管理负责的，而在移动性管理中没有将终端的首次注册和更新注册进行区分，因此只能由组网管理根据终端位置信息是否发生更新判断终端是否发生了移动。当终端位置发生更新时，组网管理会发送终端位置更新通知给移动性管理进行进一步的操作。对于接入星的位置管理，也遵循类似的行为。由于移动性管理需要向应用管理屏蔽终端和接入星的移动性，因此业务管理只需要携带终端标识通过移动性管理进行地址解析。此外，业务管理还会通过移动性管理向组网管理请求获取特定资源的存储位置，需要根据资源标识得到资源的归属地IP地址。如果业务管理向移动性管理发起的是带订阅的地址解析，那么当移动性管理接收到来自组网管理的终端位置变更或接入星位置变更时，需要通知业务管理以便更新其维护的本地缓存。



图3-8 共性支撑平台高轨卫星内部结构图

### 3.5.1 MAG内部结构设计



图3-9 MAG内部结构图

MAG的代理模块接收来自部署在接入星上的网络通信模块的消息，并根据消息的类型和uri将消息进一步下发到其他模块进行处理，并负责隧道构建表和数据包分发表的维护。接入星上的移动性管理（即MAG）内部结构包括：代理模块、终端注册模块、接入星注册模块、接入星IP地址解析模块、接入星IP地址订购模块、接入星位置解析模块。

**3.5.1.1 代理模块**

MAG代理模块主要完成以下功能：

1. 接收来自网络通信模块的消息，并在内部模块之间进行分发

代理模块并不负责消息的解析，网络通信模块将消息解析完成后下发给代理模块。移动性管理的其他内部模块都实现为一个状态机。代理模块首先根据消息类型判断是否需要交给状态机处理。如果需要，则根据消息的rid在状态机列表中进行查找。如果找到，则直接交给相应的状态机进行处理。否则，根据消息的uri构建新的状态机并添加到状态机列表中，然后再交给状态机进行处理。

1. 维护隧道构建表和数据包分发表

当接收到的消息需要业务进行处理时，代理模块会将消息转发给默认骨干卫星上的业务管理进行处理。对于MAG而言，当接收到数据类消息时，需要根据目的标识构造隧道。如果本地的隧道构建表中不能根据目的标识找到表项，就需要进行地址解析。如果是报文类数据，则发起接入星IP地址解析。如果是对话类数据，则发起接入星IP地址订购。完成地址解析后，需要更新本地维护的隧道构建表，表中的每一项都有有效期。

同样，当代理模块接收到的是隧道报文时，由于连到同一接入星上的终端数量繁多，将报文解封后需要根据数据分发表将报文进行下发。在终端发起注册消息时，代理模块会在数据包分发表中添加对应项，一般该条目会有有效期。终端可以通过和接入星之间的心跳包更新此有效期。

**3.5.1.2 终端注册模块**

MAG终端注册模块的主要功能：

1. 接收来自代理模块的终端注册(REG)消息。
2. 根据注册消息中的终端标识发起归属地IP地址查询。
3. 转发终端注册消息到归属地骨干卫星。
4. 接收到终端注册响应时,调用对应的处理函数。
5. 维护(1)(2)(3)(4)的事件发生顺序，并在这一过程中发生错误时，通过日志进行报错。

**3.5.1.3 接入星注册模块**

MAG接入星注册模块的主要功能：

(1)接收来自代理模块的接入星注册(CON)消息。

(2)根据注册消息中的接入星标识发起归属地IP地址查询。

(3)转发接入星注册消息到归属地骨干卫星。

(4)接收到接入星注册响应时,调用对应的处理函数。

(5)维护(1)(2)(3)(4)的事件发生顺序，并在这一过程中发生错误时，通过日志进行报错。

**3.5.1.4 接入星IP地址解析模块**

MAG接入星IP地址解析模块的主要功能：

(1)接收来自代理模块的接入星IP地址解析消息。

(2)根据消息中的终端标识发起终端归属地IP地址查询。

(3)向终端归属地骨干卫星发起终端位置解析请求。

(4)从终端位置解析响应中取出接入星标识，并发起接入星归属地IP地址查询。

(5)向接入星归属地骨干卫星发起接入星位置解析请求。

(6)接收到接入星位置解析响应时,调用对应的处理函数。

(7)维护(1)(2)(3)(4)(5)(6)的事件发生顺序，并在这一过程中发生错误时，通过日志进行报错。

**3.5.1.5 接入星IP地址订购模块**

MAG接入星IP地址订购模块的主要功能：

(1)接收来自代理模块的接入星IP地址订购消息。

(2)根据消息中的终端标识发起终端归属地IP地址查询。

(3)向终端归属地骨干卫星发起终端位置订购请求。

(4)从终端位置订购响应中取出接入星标识，并发起接入星归属地IP地址查询。

(5)向接入星归属地骨干卫星发起接入星位置订购请求。

(6)接收到接入星位置订购响应时,调用对应的处理函数。

(7)维护(1)(2)(3)(4)(5)(6)的事件发生顺序，并在这一过程中发生错误时，通过日志进行报错。

**3.5.1.6 接入星位置解析模块**

当MAG代理模块接收到终端位置变更通知后，需要更新隧道构建表，因此会根据通知消息中携带的接入星标识发起接入星位置解析。

MAG接入星位置解析模块的主要功能：

(1)接收来自代理模块的接入星位置解析消息。

(2)根据解析消息中的接入星标识发起归属地IP地址查询。

(3)向归属地骨干卫星上的组网管理发起接入星位置解析请求。

(4)接收到接入星位置解析响应时,调用对应的处理函数。

(5)维护(1)(2)(3)(4)的事件发生顺序，并在这一过程中发生错误时，通过日志进行报错。

### 3.5.2 MMA内部结构设计



图3-10

**3.5.2.1 代理模块**

对于MMA上的代理模块而言，从网络通信模块接收到消息后，根据uri将消息进一步下发到各个模块进行具体的处理。与MAG的内部结构类似，MMA的各个模块都实现为一个状态机。代理模块首先根据消息类型判断是否需要交给状态机处理。如果需要，则根据消息的rid在状态机列表中进行查找。如果找到，则直接交给相应的状态机进行处理。否则，根据消息的uri构建新的状态机并添加到状态机列表中，然后再交给状态机进行处理。

**3.5.2.2 接入星IP地址解析和接入星IP地址订购模块**

MMA上的接入星IP地址解析和接入星IP地址订购模块与MAG上的同名模块功能相同，实现上也是类似的，区别在于MMA上的这两个模块所接收到的请求来自于业务管理模块，而MAG上的这两个模块接收来自代理模块的请求。

**3.5.2.3 归属地IP地址解析模块**

MMA归属地IP地址解析模块的主要功能：

(1)接收来自代理模块的归属地IP地址解析消息。

(2)向同一骨干卫星上的组网管理转发归属地IP地址解析消息。

(3)接收到归属地IP地址解析响应后，转发该响应给业务管理。

(4)维护(1)(2)(3)的事件发生顺序，并在这一过程中发生错误时，通过日志进行报错。

**3.5.2.4 终端位置订购模块**

MMA终端位置订购模块的主要功能：

(1)接收来自代理模块的终端位置订购请求。

(2)根据消息中携带的终端标识和订阅者标识，维护终端位置的订阅列表。

(3)构造终端位置查询请求，携带终端标识，并转发给同一骨干卫星上的组网管理。

(4)根据终端位置查询响应，构造终端位置订阅响应，并发送该响应给业务管理。

(5)维护(1)(2)(3)(4)的事件发生顺序，并在这一过程中发生错误时，通过日志进行报错。

**3.5.2.5 接入星位置订购模块**

MMA接入星位置订购模块的主要功能：

(1)接收来自代理模块的接入星位置订购请求。

(2)根据消息中携带的接入星标识和订阅者标识，维护接入星位置的订阅列表。

(3)构造接入星位置查询请求，携带接入星标识，并转发给同一骨干卫星上的组网管理。

(4)根据接入星位置查询响应，构造接入星位置订阅响应，并发送该响应给业务管理。

(5)维护(1)(2)(3)(4)的事件发生顺序，并在这一过程中发生错误时，通过日志进行报错。

**3.5.2.6 终端位置变更通知模块**

MMA终端位置变更通知模块的主要功能：

(1)接收来自代理模块的终端位置变更通知。

(2)根据消息中携带的订阅者标识，发起接入星位置查询。

(3)转发终端位置变更通知到订阅者。

(4)接收来自订阅者的终端位置变更通知响应。

(5)维护(1)(2)(3)(4)的事件发生顺序，并在这一过程中发生错误时，通过日志进行报错。

**3.5.2.7 接入星位置变更通知模块**

MMA接入星位置变更通知模块的主要功能：

(1)接收来自代理模块的接入星位置变更通知。

(2)根据消息中携带的订阅者标识，发起接入星位置查询。

(3)转发接入星位置变更通知到订阅者。

(4)接收来自订阅者的接入星位置变更通知响应。

(5)维护(1)(2)(3)(4)的事件发生顺序，并在这一过程中发生错误时，通过日志进行报错。

## 3.6 本章小结

本章根据天地一体化网络中移动性管理的总体方案进行总体设计。首先，对系统的整个架构进行设计，并描述了MMA和MAG的功能。其次，对系统进行接口设计，设计系统的各种功能接口。再次，对系统中需要维护的数据结构进行描述。接下来，设计位置管理、地址解析和节点移动的各种机制，具体包括终端注册、接入星注册、接入星IP地址查询、接入星IP地址订购、终端移动和接入星移动的机制。最后，对MMA和MAG的内部结构进行设计。

# 第四章 天地一体化网络共性支撑平台中移动性管理的详细设计与实现

## 4.1 接口消息详细定义

对于移动性管理模块而言，其对外需要向业务管理提供接口。业务管理需要根据终端标识得到终端的归属地骨干卫星的IP地址，以便对业务数据进行存储访问。此外，业务不需要关心地址解析的细节，只需要向移动性管理模块提供一个终端标识，就能得到终端所在接入星的IP地址。当终端移动或者接入星移动时，如果业务订阅了终端或者接入星的位置状态，需要通知业务做对应的处理。

MAG与MMA之间，MMA之间的接口都属于移动性管理的内部接口。

本系统采用RSC协议作为承载协议,RSC协议是一个自定义协议,采用UDP进行承载,是天地一体化共性支撑平台各个系统之间通信的协议。具体定义如下：

表4-1 RSC协议结构说明

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 字段 | 类型 | 含义 |
| code | uint | 指定RSC消息的类型 |
| ruri | string | 指定RSC消息的uri |
| consumer | string | RSC消息的接收方标识 |
| producer | string | RSC消息的发送方标识 |
| host | TURI | RSC消息的接收方IP地址等 |
| rid | string | 类似于会话id |
| rsc | string | RSC消息的消息体 |

通过code和uri字段区分不同的功能，承载不同类型的数据。对于移动性管理而言，code的取值定义如下。

表4-2 移动性管理code取值说明1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 操作码 | 操作名 | 操作说明 |
| CON | 0x00000010 | 接入星注册与注销 |
| CONAck | 0x00000020 | 接入星注册与注销确认 |
| REG | 0x00000030 | 用户注册与注销 |
| REGAck | 0x00000040 | 用户注册与注销确认 |
| GET | 0x00000050 | 用户注册信息查询 |
| GETAck | 0x00000060 | 用户注册信息查询确认 |

表4-3 移动性管理code取值说明2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 操作码 | 操作名 | 操作说明 |
| SUB | 0x00000100 | 移动位置更新订购 |
| SUBAck | 0x00000200 | 移动位置更新订购确认 |
| NTY | 0x00000300 | 移动位置更新通知 |
| NTYAck | 0x00000400 | 移动位置更新通知确认 |

### 4.1.1 外部接口

表4-4 归属地查询接口

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 接口名 | URI | 操作 |
| GET | /get/satip | {  “msgType”:GET //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “userid”://终端标识  }  } |
| GETACK | /getack/satip | {  “msgType”:GETACK //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “userid”://用户标识  “status”://查询请求的状态，0标识失败，1表示成功  “satip”://status为1时，表示userid的归属地骨干卫  //IP地址  }  } |

表4-5 接入星IP地址解析接口

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 接口名 | URI | 操作 |
| GET | /get/acsip | {  “msgType”:GET //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “userid”://用户标识  }  } |
| GETACK | /getack/acsip | {  “msgType”:GETACK //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “userid”://用户标识  “status”://查询请求的状态，0表示失败，1表示成功  “acsip”://status为1时，表示userid所在接入星的IP  //地址  }  } |

表4-6 接入星IP地址订购接口

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 接口名 | URI | 操作 |
| SUB | /sub/acsip | {  “msgType”:SUB //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “userid”://用户标识  }  } |
| SUBACK | /suback/acsip | {  “msgType”:SUBACK //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “userid”://用户标识  “status”://订购请求的状态，0表示失败，1表示成功  “acsip”://status为1时，表示userid所在接入星的IP  //地址  }  } |

### 4.1.2 内部接口

表4-7 终端注册接口

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 接口名 | URI | 操作 |
| REG | /reg | {  “msgType”:REG //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “userid”://用户标识  “uaid”: //接入星标识  }  } |
| REGACK | /regack | {  “msgType”:REGACK //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “userid”://用户标识  “status”://用户注册的状态，0标识失败，1表示成功  }  } |

表4-8 接入星注册接口

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 接口名 | URI | 操作 |
| CON | /con | {  “msgType”:CON //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “uaid”://接入星标识  “uaip”: //接入星IP地址  }  } |
| CONACK | /conack | {  “msgType”:CONACK //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “uaid”://接入星标识  “status”://接入星注册的状态，0标识失败，1表示成功  }  } |

表4-9 终端位置解析接口

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 接口名 | URI | 操作 |
| GET | /get/uaid | {  “msgType”:GET //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “userid”://用户标识  }  } |
| GETACK | /getack/uaid | {  “msgType”:GETACK //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “userid”://用户标识  “uaid”://接入星标识  “status”://终端位置解析的状态，0标识失败，1表示成功  }  } |

表4-10 接入星位置解析接口

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 接口名 | URI | 操作 |
| GET | /get/uaip | {  “msgType”:GET //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “uaid”: //接入星标识  }  } |
| GETACK | /getack/uaip | {  “msgType”:GETACK //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “uaid”://接入星标识  “uaip”://接入星IP地址  “status”://接入星位置解析的状态，0标识失败，1表示成功  }  } |

表4-11 终端位置订购接口

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 接口名 | URI | 操作 |
| SUB | /sub/uaid | {  “msgType”:SUB //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “userid”://用户标识  “suberid”://订阅者标识，一般为MAG标识  }  } |
| SUBACK | /suback/uaid | {  “msgType”:SUBACK //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “userid”://用户标识  “uaid”://接入星标识  “status”://终端位置订购的状态，0标识失败，1表示成功  }  } |

表4-12 接入星位置订购接口

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 接口名 | URI | 操作 |
| SUB | /sub/uaip | {  “msgType”:SUB //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “uaid”://接入星标识  “suberid”://订阅者标识，一般为MAG标识  }  } |
| SUBACK | /suback/uaip | {  “msgType”:SUBACK //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “uaid”://接入星标识  “uaip”://接入星IP地址  “status”://接入星位置订购的状态，0标识失败，1表示成功  }  } |

表4-13 终端位置变更通知接口

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 接口名 | URI | 操作 |
| NTY | /nty/uaid | {  “msgType”:NTY //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “userid”: //用户标识  “uaid”: //接入星标识  }  } |
| NTYACK | /ntyack/uaid | {  “msgType”:NTYACK //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “userid”://用户标识  “status”://终端位置变更通知的状态，0标识失败，1表示成功  }  } |

表4-14 接入星位置变更通知接口

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 接口名 | URI | 操作 |
| NTY | /nty/uaip | {  “msgType”:NTY //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “uaid”: //接入星标识  “uaip”: //接入星IP地址  }  } |
| NTYACK | /ntyack/uaip | {  “msgType”:NTYACK //消息类型  “uri”: //uri用来将消息进行分发  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “uaid”://接入星标识  “status”://接入星位置变更通知的状态，0标识失败，1表示成功  }  } |

## 4.2 系统消息交互流程图

### 4.2.1 终端注册流程



图4-1 终端注册流程

终端注册处理流程说明如下：

(1) 终端向接入星A发起终端注册请求，uri为/reg,携带终端标识和接入星A的标识。

(2) 接入星A的代理模块接收到来自网络通信模块分发的终端注册请求后，首先会更新本地维护的数据包分发表。接着会将该消息转发给终端注册模块进行处理。终端注册模块根据请求中携带的终端标识构造归属地IP地址查询请求，uri为/get/satip,发送给骨干卫星A上的NME。

(3) NME按照一定的规则，根据终端标识，得到归属地IP地址，并构造GETACK消息，uri为/getack/satip,返回给接入星A的终端注册模块。

(4) 终端注册模块转发终端注册消息到归属地骨干卫星上的HSS,uri为/reg。

(5) HSS将终端标识和接入星标识之间的绑定关系存储后，构造REGACK消息，uri为/regack，返回给终端注册模块。

(6) 终端注册模块转发REGACK消息给终端,uri为/regack。

### 4.2.2 接入星注册流程



图4-2 接入星注册流程

接入星注册流程说明如下：

(1) 接入星A在接入到天地一体化网络或者移动到另一颗骨干卫星的覆盖范围时，会主动发起接入星的注册。首先，接入星A的接入星注册模块会向默认骨干卫星A上的NME发起归属地IP地址查询，uri为/getack/satip,携带接入星标识。

(2) NME按照一定的规则，根据接入星标识，得到归属地IP地址，并构造GETACK消息，uri为/getack/satip,返回给接入星A的接入星注册模块。

(3) 接入星注册模块构造接入星注册消息，uri为/con,携带接入星标识和接入星IP地址,发送到归属地骨干卫星B上的NME。

(4) NME将接入星位置的信息存储后，构造CONACK消息,uri为/conack,携带接入星注册的状态，返回给接入星注册模块。

### 4.2.3 接入星IP地址查询处理流程



图4-3 接入星IP地址查询处理流程

接入星IP地址查询处理流程说明如下：

(1) 接入星A上的代理模块在接收到网络通信模块分发的数据后，判断出该数据为报文类数据，因此会调用接入星IP地址解析模块。接入星IP地址解析模块首先会根据数据中携带的目的终端标识，发起归属地IP地址查询，uri为/get/satip,发送到骨干卫星A的NME上。

(2) NME按照一定的规则，根据目的终端标识，得到归属地IP地址，并构造GETACK消息，uri为/getack/satip,返回给接入星A的接入星IP地址解析模块。

(3) 接入星IP地址解析模块构造终端位置解析消息，uri为/get/uaid，携带目的终端标识，发送给目的终端的归属地骨干卫星B上的HSS。

(4) HSS根据目的终端标识查找得到接入星标识，构造终端位置解析响应，uri为/getack/uaid,返回给接入星IP地址解析模块。

(5) 接入星IP地址解析模块根据终端位置解析响应携带的接入星标识，发起归属地IP地址查询，uri为/get/satip,发送到骨干卫星A的NME上。

(6) NME按照一定的规则，根据接入星标识，得到归属地IP地址，并构造GETACK消息，uri为/getack/satip,返回给接入星A的接入星IP地址解析模块。

(7) 接入星IP地址解析模块构造接入星位置解析消息，uri为/get/uaip，携带4中得到的接入星标识，发送给目的终端的归属地骨干卫星C上的NME。

(8) NME根据接入星标识查找得到接入星IP地址，构造接入星位置解析响应，uri为/getack/uaip,返回给接入星IP地址解析模块。

### 4.2.4 接入星IP地址订购处理流程



图4-4 接入星IP地址订购处理流程

接入星IP地址订购处理流程说明如下：

(1) 接入星A上的代理模块在接收到网络通信模块分发的数据后，判断出该数据为对话类数据，因此会调用接入星IP地址订购模块。接入星IP地址订购模块首先会根据数据中携带的目的终端标识，发起归属地IP地址查询，uri为/get/satip,发送到骨干卫星A的NME上。

(2) NME按照一定的规则，根据目的终端标识，得到归属地IP地址，并构造GETACK消息，uri为/getack/satip,返回给接入星A的接入星IP地址订购模块。

(3) 接入星IP地址订购模块构造终端位置订购消息，uri为/sub/uaid，携带目的终端标识和接入星A的标识，发送给目的终端的归属地骨干卫星B上的终端位置订购模块。

(4) 终端位置订购模块会将目的终端标识和接入星A标识的关系添加到终端订阅列表中。

(5) 终端位置订购模块构造终端位置解析消息,uri为/get/uaid,携带目的终端标识，发送给骨干卫星B上的HSS。

(6) HSS根据目的终端标识查找得到接入星标识，构造终端位置解析响应，uri为/getack/uaid,返回给终端位置订购模块。

(7) 终端位置订购模块根据终端位置解析响应构造终端位置订购响应,uri为/suback/uaid,返回给接入星IP地址订购模块。

(8) 接入星IP地址订购模块根据终端位置订购响应中携带的接入星标识，发起归属地IP地址查询，uri为/get/satip,发送到骨干卫星A的NME上。

(9) NME按照一定的规则，根据接入星标识，得到归属地IP地址，并构造GETACK消息，uri为/getack/satip,返回给接入星A的接入星IP地址订购模块。

(10) 接入星IP地址订购模块构造接入星位置订购消息，uri为/sub/uaip，携带目的终端的接入星标识和接入星A的标识，发送给归属地骨干卫星C上的接入星位置订购模块。

(11) 接入星位置订购模块会将目的终端的接入星标识和接入星A标识的关系添加到接入星订阅列表中。

(12) 接入星位置订购模块构造接入星位置解析消息,uri为/get/uaip,携带目的终端的接入星标识，发送给骨干卫星C上的NME。

(13) NME根据目的终端的接入星标识查找得到接入星IP地址，构造接入星位置解析响应，uri为/getack/uaip,返回给接入星位置订购模块。

(14) 接入星位置订购模块根据接入星位置解析响应构造接入星位置订购响应,uri为/suback/uaip,返回给接入星IP地址订购模块。

### 4.2.5 终端移动流程



图4-5 终端移动流程

终端移动流程说明如下：

(1) 骨干卫星A上的HSS在终端注册时，发现终端的注册信息发生了更新，因此构造终端位置变更通知,uri为/nty/uaid,携带终端标识和对应的接入星标识,发送到骨干卫星A上的代理模块。

(2) 代理模块构造终端位置变更通知响应，uri为/ntyack/uaid,发送给HSS。

(3) 代理模块根据通知消息中携带的终端标识得到终端的订阅列表。对于列表中的每一项，代理模块调用终端位置变更通知模块进行通知消息的处理。终端位置变更通知模块根据代理模块传入的订阅者，发起归属地IP地址查询,uri为/get/satip,发送到同一骨干卫星上的NME。

(4) NME按照一定的规则，根据订阅者标识，得到归属地IP地址，并构造GETACK消息，uri为/getack/satip,返回给终端位置变更通知模块。

(5) 终端位置变更通知模块向归属地骨干卫星上的NME发起接入星位置解析，uri为/get/uaip，携带订阅者标识。

(6) NME根据订阅者标识查找得到接入星IP地址，构造接入星位置解析响应，uri为/getack/uaip,返回给终端位置变更通知模块。

(7) 终端位置变更通知模块得到订阅者的IP地址，转发终端位置变更通知到订阅者的接入星位置解析模块,uri为/nty/uaid，携带终端标识和接入星标识。

(8) 订阅者的接入星位置解析模块会在接收到通知消息后，做相应的处理并更新隧道构建表。此外，构造NTYACK消息,uri为/ntyack/uaid，返回给骨干卫星B的终端位置变更通知模块。

### 4.2.6 接入星移动流程



图4-6 接入星移动流程

接入星移动流程说明如下：

(1) 骨干卫星A上的NME在接入星注册时，发现接入星的注册信息发生了更新，因此构造接入星位置变更通知,uri为/nty/uaip,携带接入星标识和接入星IP地址，发送到骨干卫星A上的代理模块。

(2) 代理模块构造接入星位置变更通知响应，uri为/ntyack/uaip,发送给NME。

(3) 代理模块根据通知消息中携带的接入星标识得到接入星的订阅列表。对于列表中的每一项，代理模块调用接入星位置变更通知模块进行通知消息的处理。接入星位置变更通知模块根据代理模块传入的订阅者，发起归属地IP地址查询,uri为/get/satip,发送到同一骨干卫星上的NME。

(4) NME按照一定的规则，根据订阅者标识，得到归属地IP地址，并构造GETACK消息，uri为/getack/satip,返回给接入星位置变更通知模块。

(5) 接入星位置变更通知模块向归属地骨干卫星上的NME发起接入星位置解析，uri为/get/uaip，携带订阅者标识。

(6) NME根据订阅者标识查找得到接入星IP地址，构造接入星位置解析响应，uri为/getack/uaip,返回给接入星位置变更通知模块。

(7) 接入星位置变更通知模块得到订阅者的IP地址，转发接入星位置变更通知到订阅者的代理模块,uri为/nty/uaip，携带接入星标识和接入星IP地址。

(8) 订阅者的代理模块会在接收到通知消息后，更新隧道构建表。此外，构造NTYACK消息,uri为/ntyack/uaip，返回给骨干卫星B的接入星位置变更通知模块。

## 4.3 系统类图设计

### 4.3.1 移动性管理的总体类图设计



图4-7 移动性管理总体类图

本系统采用RSC协议作为消息的承载协议，传输层采用UDP协议承载消息，并基于Xframe框架进行实现。系统的总体类图如图4-7所示。

公共基类TAbstractTask是xframe框架中的基础类。在xframe框架中，所有的业务处理模块都实现成一个task，xframe框架会去调度这些task。TAbstractTask对外提供了一些接口，用户可以对这些接口进行重载，实现自定义的功能。onInit接口用于从配置文件中获取配置参数，procMsg接口用于对task接收到的消息进行处理，onTimeOut接口用于实现对定时器事件的处理，reloadTaskEnv和setTaskCfg用于从xclient接收指令，对task进行控制操作。

MicroSatMock是接入星上的移动性管理,即MAG的实现。MicroSatMock类继承自TAbstractTask，负责隧道构建表和数据包分发表的维护，通过onInit方法获取接入星的一些配置（如接入星标识），并通过procMsg方法将从网络通信模块收到的数据分发到MAG的各个内部模块或者转发到其他卫星上。

MainSatMock类继承自TAbstractTask, 负责骨干卫星上的移动性管理，即是MMA的实现。具体来说,MainSatMock需要维护接入星和终端位置的订阅信息，并在接入星和终端位置发生变化时及时将通知下发给订阅方。MainSatMock类通过procMsg方法对来自MAG和业务管理的消息根据uri下发到内部模块进行具体处理。

### 4.3.2 MAG总体类图设计



图4-8 MAG总体类图

MAG和MMA的所有模块，除去代理模块外，都实现为一个状态机。MobStateMachine是所有功能模块的基类，对外提供四个接口。hasDone接口用于判断一个状态机是否完成，对于代理模块而言，如果一个状态机已经完成，需要将其从MAG和MMAG维护的状态机列表中删除。onRecv接口定义状态机在收到一个消息时的处理逻辑,onSend接口定义了状态机在向其他模块发消息时的处理逻辑，析构函数是为了实现多态并及时将资源释放。

MAG上的功能模块都继承自MobStateMachine类，并覆写了onRecv,onSend,hasDone和析构函数用于实现特定的逻辑。AcsIPResolveSm类实现接入星IP地址解析模块,AcsIPSubSm实现接入星IP地址订购模块,UaRegSm类实现接入星注册模块,UserRegSm实现类终端注册模块,UaIPResolveSm类实现接入星IP地址解析模块。

### 4.3.3 MMA总体类图设计



图4-9 MMA总体类图

MMA上的功能模块与MAG类似都继承自MobStateMachine类，并覆写了onRecv,onSend,hasDone和析构函数用于实现特定的逻辑。

具体来说,AcsIPResolveSm类实现接入星IP地址解析模块，处理业务管理发起的接入星IP地址解析请求。AcsIPSubSm类实现接入星IP地址订购模块，处理业务管理发起的接入星IP地址订购请求。这两个模块与MAG上的同名模块功能类似，可以采用相同的实现。SatipResolveSm类实现归属地IP地址查询模块，接收来自业务管理发起的归属地IP地址查询请求，并转发给组网管理进行具体的处理。UaidSubSm类实现终端位置订购模块，接收来自接入星IP地址订购模块发起的请求。UaipSubSm类实现接入星位置订购模块，接收来自接入星IP地址订购模块发起的请求。UaidNotifySm类实现终端位置变更通知模块，接收来自组网管理的终端位置变更通知并将通知下发。UaipNotify类实现接入星位置变更通知模块，接收来自组网管理的接入星位置变更通知并将通知下发。

## 4.4 系统模块的设计与实现

### 4.4.1 MAG代理模块



图4-10 MAG代理模块内部流程图

MAG的代理模块接收到消息后，需要维护隧道构建表和数据包分发表，并根据RSC消息的code和uri将消息下发到不同的内部模块中进行处理。MicroSatMock类实现了代理模块,隧道构建表和数据包分发表由该类维护,procMsg方法负责将消息下发到内部模块。

代理模块的具体处理流程描述如下：

(1)从网络通信模块接收到RSC消息,根据code和uri首先决定是否需要更新隧道构建表和数据包分发表。对于终端注册消息和终端位置变更通知以及接入星位置变更通知消息，需要更新相应的数据结构。

(2)完成上步处理后，需要根据RSC消息的code和uri将消息进一步下发到内部模块。如果code是REG,uri是/reg,说明是终端注册消息,交给终端注册模块进行处理。code为CON,uri为/con时,接入星注册模块负责此类消息的处理。对于数据类消息,即code为PUBLISH时,Proxy模块首先会判断是否需要业务管理的参与。如果需要，则直接将消息转发到默认骨干卫星上的业务管理。否则，根据数据通信类型，调用不同的内部模块进行地址解析，并将消息转发。如果消息是报文类消息，则调用地址解析模块；如果是对话类消息，首先会根据目的终端标识在隧道构建表中进行查找，如果找不到，则会调用地址订购模块并更新隧道构建表。

### 4.4.2 MAG终端注册模块



图4-11 MAG终端注册模块内部流程图

终端注册模块接收来自用户的终端注册消息，并负责将该消息转发到终端的归属地骨干卫星。终端注册模块采用状态机实现,具体来说是UserRegSm类。当终端注册模块接收到下发的消息时，首先会根据状态机的当前状态以及消息的uri决定下一步的处理过程。

MAG终端注册模块的具体处理流程如下:

(1)UserRegSm类的curState记录了当前状态机的状态,会被初始化为INITSTATE。当UserRegSm类接收到REG消息,且uri为/reg，curState为INITSTATE时,UserRegSm类构造GET消息,uri为/get/satip发送给默认骨干卫星上的NME进行归属地IP地址查询，并将curState置为SENDGETSATIP，同时将REG消息中携带的终端标识和接入星标识保存。

(2)UserRegSm类接收到/getack/satip,且curState为SENDGETSATIP时,构造REG消息,uri为/reg，携带(1)中保存的终端标识和接入星标识,发送到归属地骨干卫星，并将curState置为SENDREG。由于MAG可以并发处理多个用户注册消息,需要多个用户注册模块进行这些消息的处理，因此可能有几个用户注册模块的状态相同。为了将消息下发到正确的用户注册模块，代理模块会根据消息中携带的rid得到负责处理该消息的用户注册模块。

(3)UserRegSm类接收到/regack消息，且curState为SENDREG时，会构造REGACK消息,uri为/regack，并根据数据包分发表，转发给终端，并置curState为ENDSTATE。当UserRegSm类不是在(1)(2)(3)中描述的状态中接收到对应的消息时，打印日志，报告错误，并置curState为ENDSTATE。

### 4.4.3 MAG接入星注册模块



图4-12 MAG接入星注册模块内部流程图

接入星注册模块接收接入星注册消息，并负责将该消息转发到接入星的归属地骨干卫星。接入星注册模块采用状态机实现,具体来说是UaRegSm类。当接入星注册模块接收到下发的消息时，首先会根据状态机的当前状态以及消息的uri决定下一步的处理过程。

MAG接入星注册模块的具体处理流程如下:

(1)UaRegSm类的curState记录了当前状态机的状态,会被初始化为INITSTATE。当UaRegSm类接收到CON消息,且uri为/con，curState为INITSTATE时,UaRegSm类构造GET消息,uri为/get/satip发送给默认骨干卫星上的NME进行归属地IP地址查询，并将curState置为SENDGETSATIP，同时将CON消息中携带的接入星标识和接入星IP地址保存。

(2)UaRegSm类接收到/getack/satip,且curState为SENDGETSATIP时,构造CON消息,uri为/con，携带(1)中保存的接入星标识和接入星IP地址,发送到归属地骨干卫星，并将curState置为SENDCON。

(3)UaRegSm类接收到/conack消息，置curState为ENDSTATE。当UaRegSm类不是在(1)(2)(3)中描述的状态中接收到对应的消息时，打印日志，报告错误，并置curState为ENDSTATE。

### 4.4.4 MAG接入星位置解析模块



图4-13 MAG接入星位置解析模块内部流程图

接入星位置解析模块接收接入星位置解析消息，并负责将该消息转发到接入星的归属地骨干卫星。接入星位置解析模块采用状态机实现,具体来说是UaIPResolveSm类。当接入星位置解析模块接收到下发的消息时，首先会根据状态机的当前状态以及消息的uri决定下一步的处理过程。

MAG接入星位置解析模块的具体处理流程如下:

(1)UaIPResolveSm类的curState记录了当前状态机的状态,会被初始化为INITSTATE。当UaIPResolveSm类接收到GET消息,且uri为/get/uaip，curState为INITSTATE时, UaIPResolveSm类构造GET消息,uri为/get/satip发送给默认骨干卫星上的NME进行归属地IP地址查询，并将curState置为SENDGETSATIP，同时将GET消息中携带的接入星标识保存。

(2)UaIPResolveSm类接收到/getack/satip,且curState为SENDGETSATIP时,构造GET消息,uri为/get/uaip，携带(1)中保存的接入星标识,发送到归属地骨干卫星，并将curState置为SENDGETUAIP。

(3) UaIPResolveSm类接收到/getack/uaip消息，置curState为ENDSTATE并更新本地维护的隧道构建表。当UaIPResolveSm类不是在(1)(2)(3)中描述的状态中接收到对应的消息时，打印日志，报告错误，并置curState为ENDSTATE。

### 4.4.5 MAG接入星IP地址解析模块



图4-14 MAG接入星IP地址解析模块内部流程图

接入星IP地址解析模块接收接入星IP地址解析消息，负责根据消息中携带的终端标识得到接入星IP地址。接入星IP地址解析模块采用状态机实现,具体来说是AcsIPResolveSm类。当接入星位置解析模块接收到下发的消息时，首先会根据状态机的当前状态以及消息的uri决定下一步的处理过程。

MAG接入星IP地址解析模块的具体处理流程如下:

(1) AcsIPResolveSm类的curState记录了当前状态机的状态,会被初始化为INITSTATE。当AcsIPResolveSm类接收到GET消息,且uri为/get/acsip，curState为INITSTATE时, AcsIPResolveSm类构造GET消息,uri为/get/satip发送给默认骨干卫星上的NME进行归属地IP地址查询，并将curState置为SENDGETSATIP1，同时将GET消息中携带的终端标识保存。

(2) AcsIPResolveSm类接收到/getack/satip,且curState为SENDGETSATIP1时,构造GET消息,uri为/get/uaid，携带(1)中保存的终端标识,发送到归属地骨干卫星，并将curState置为SENDGETUAID。

(3) AcsIPResolveSm类接收到/getack/uaid消息，且curState为SENDGETUAID时，构造GET消息，uri为/get/satip，携带/getack/uaid中返回的接入星标识，发送给默认骨干卫星上的NME进行归属地IP地址查询，并将curState置为SENDGETSATIP2。

(4) AcsIPResolveSm类接收到/getack/satip,且curState为SENDGETSATIP2时,构造GET消息,uri为/get/uaip，携带(3)中保存的接入星标识,发送到归属地骨干卫星，并将curState置为SENDGETUAIP。

(5) AcsIPResolveSm类接收到/getack/uaip消息，置curState为ENDSTATE,构造GETACK消息,uri为/getack/acsip，携带终端标识和接入星IP标识返回给调用模块。当AcsIPResolveSm类不是在(1)(2)(3)(4)(5)中描述的状态中接收到对应的消息时，打印日志，报告错误，并置curState为ENDSTATE。

### 4.4.6 MAG接入星IP地址订购模块



图4-15 MAG接入星IP地址订购模块内部流程图

接入星IP地址订购模块接收接入星IP地址订购消息，负责根据消息中携带的终端标识得到接入星IP地址并订阅相应的终端和接入星的位置变更。接入星IP地址订购模块采用状态机实现,具体来说是AcsIPSubSm类。当接入星位置订购模块接收到下发的消息时，首先会根据状态机的当前状态以及消息的uri决定下一步的处理过程。

MAG接入星IP地址订购模块的具体处理流程如下:

(1) AcsIPSubSm类的curState记录了当前状态机的状态,会被初始化为INITSTATE。当AcsIPSubSm类接收到SUB消息,且uri为/sub/acsip，curState为INITSTATE时, AcsIPSubSm类构造GET消息,uri为/get/satip发送给默认骨干卫星上的NME进行归属地IP地址查询，并将curState置为SENDGETSATIP1，同时将GET消息中携带的终端标识保存。

(2) AcsIPSubSm类接收到/getack/satip,且curState为SENDGETSATIP1时,构造SUB消息,uri为/sub/uaid，携带(1)中保存的终端标识,发送到归属地骨干卫星，订阅终端的位置变更，并将curState置为SENDSUBUAID。

(3) AcsIPSubSm类接收到/suback/uaid消息，且curState为SENDSUBUAID时，构造GET消息，uri为/get/satip，携带/suback/uaid中返回的接入星标识，发送给默认骨干卫星上的NME进行归属地IP地址查询，并将curState置为SENDGETSATIP2。

(4) AcsIPSubSm类接收到/getack/satip,且curState为SENDGETSATIP2时,构造SUB消息,uri为/sub/uaip，携带(3)中保存的接入星标识,发送到归属地骨干卫星，并将curState置为SENDSUBUAIP。

(5) AcsIPSubSm类接收到/suback/uaip消息，置curState为ENDSTATE,构造SUBACK消息,uri为/suback/acsip，携带终端标识和接入星IP标识返回给调用模块。当AcsIPSubSm类不是在(1)(2)(3)(4)(5)中描述的状态中接收到对应的消息时，打印日志，报告错误，并置curState为ENDSTATE。

### 4.4.7 MMA代理模块



图4-16 MMA代理模块内部流程图

MMA代理模块接收到消息后，根据RSC消息的code和uri将消息下发到不同的内部模块中进行处理。MainSatMock类实现了代理模块, ,procMsg方法负责将消息下发到内部模块。

代理模块的具体处理流程描述如下：

(1)从网络通信模块接收到RSC消息后,从消息中取出code和uri并据此将消息下发到不同的模块进行处理。

(2)具体来说,如果code是GET,uri是/get/satip时，交给归属地IP地址解析模块进行处理。code为SUB，uri为/sub/uaid时,终端位置订购模块负责此类消息的处理。code为SUB,uri为/sub/uaip时，交给接入星位置订购模块处理。接入星IP地址解析模块负责处理code为GET，uri为/get/acsip的消息。接入星IP地址订购模块负责处理code为SUB，uri为/sub/acsip的消息。code为NTY,uri为/nty/uaid时，终端位置变更通知模块负责此类消息的处理。接入星位置变更通知模块负责code为NTY，uri为/nty/uaip类消息的处理。

### 4.4.8 MMA终端位置订购模块



图4-17 MMA终端位置订购模块内部流程图

终端位置订购模块接收终端位置订购消息，更新终端位置订阅列表，构造终端位置解析消息并转发到组网管理。终端位置订购模块采用状态机实现,具体来说是UaidSubSm类。当终端位置订购模块接收到下发的消息时，首先会根据状态机的当前状态以及消息的uri决定下一步的处理过程。

终端位置订购模块的具体处理流程如下:

(1) UaidSubSm类的curState记录了当前状态机的状态,会被初始化为INITSTATE。当UaidSubSm类接收到SUB消息,且uri为/sub/uaid，curState为INITSTATE时,UserRegSm类首先会更新终端位置订阅列表，然后构造GET消息,uri为/get/uaid发送给同一骨干卫星上的HSS进行终端位置解析，并将curState置为SENDGETUAID。

(2) UaidSubSm类接收到/getack/uaid消息，且curState为SENDGETUAID时，会构造SUBACK消息,uri为/suback/uaid，返回给消息的发起方，并置curState为ENDSTATE。当UaidSubSm类不是在(1)(2)中描述的状态中接收到对应的消息时，打印日志，报告错误，并置curState为ENDSTATE。

### 4.4.9 MMA接入星位置订购模块



图4-18 MMA接入星位置订购模块内部流程图

接入星位置订购模块接收接入星位置订购消息，更新接入星位置订阅列表，构造接入星位置解析消息并转发到组网管理。接入星位置订购模块采用状态机实现,具体来说是UaipSubSm类。当接入星位置订购模块接收到下发的消息时，首先会根据状态机的当前状态以及消息的uri决定下一步的处理过程。

接入星位置订购模块的具体处理流程如下:

(1) UaipSubSm类的curState记录了当前状态机的状态,会被初始化为INITSTATE。当UaipSubSm类接收到SUB消息,且uri为/sub/uaip，curState为INITSTATE时, UaipSubSm类首先会更新接入星位置订阅列表，然后构造GET消息,uri为/get/uaip发送给同一骨干卫星上的NME进行接入星位置解析，并将curState置为SENDGETUAIP。

(2) UaipSubSm类接收到/getack/uaip消息，且curState为SENDGETUAIP时，会构造SUBACK消息,uri为/suback/uaip，返回给消息的发起方，并置curState为ENDSTATE。当UaipSubSm类不是在(1)(2)中描述的状态中接收到对应的消息时，打印日志，报告错误，并置curState为ENDSTATE。

### 4.4.10 MMA归属地IP地址解析模块



图4-19 MMA归属地IP地址解析模块内部流程图

归属地IP地址解析模块接收接入星IP地址解析消息，转发该消息到组网管理。归属地IP地址解析模块采用状态机实现,具体来说是SatipResolveSm类。当归属地IP地址解析模块接收到下发的消息时，首先会根据状态机的当前状态以及消息的uri决定下一步的处理过程。

归属地IP地址解析模块的具体处理流程如下:

(1) SatipResolveSm类的curState记录了当前状态机的状态,会被初始化为INITSTATE。当SatipResolveSm类接收到GET消息,且uri为/get/satip，curState为INITSTATE时, SatipResolveSm类首先会构造GET消息,uri为/get/satip发送给同一骨干卫星上的NME，并将curState置为SENDGETSATIP。

(2) SatipResolveSm类接收到/getack/satip消息，且curState为SENDGETSATIP时，会构造GETACK消息,uri为/getack/satip，返回给消息的发起方，并置curState为ENDSTATE。当SatipResolveSm类不是在(1)(2)中描述的状态中接收到对应的消息时，打印日志，报告错误，并置curState为ENDSTATE。

### 4.4.11 MMA终端位置变更通知模块



图4-20 MMA终端位置变更通知模块内部流程图

终端位置变更通知模块接收终端位置变更通知消息，并负责将该消息转发到终端位置变更的订阅者。终端位置变更通知模块采用状态机实现,具体来说是UaidNotifySm类。当终端位置变更通知模块接收到下发的消息时，首先会根据状态机的当前状态以及消息的uri决定下一步的处理过程。



图4-21 MMA接入星位置变更通知模块内部流程图

终端位置变更通知模块的具体处理流程如下:

(1) UaidNotifySm类的curState记录了当前状态机的状态,会被初始化为INITSTATE。当UaidNotifySm类接收到NTY消息,且uri为/nty/uaid，curState为INITSTATE时, UaidNotifySm类构造GET消息,uri为/get/satip，携带从NTY消息中得到的订阅者标识，发送给默认骨干卫星上的NME进行归属地IP地址查询，同时将NTY消息中携带的终端标识和接入星标识保存。之后, 构造GET消息,uri为/get/uaip，携带订阅者标识，发送给归属地骨干卫星并置curState为SENDGETUAIP。

(2) UaidNotifySm类接收到/getack/uaip,且curState为SENDGETUAIP时,构造NTY消息,uri为/nty/uaid，携带(1)中保存的终端标识和接入星标识,发送到订阅方，并将curState置为SENDNTY。

(3) UaidNotifySm类接收到/ntyack/uaid消息，且curState为SENDNTY时，置curState为ENDSTATE。当UaidNotifySm类不是在(1)(2)(3)中描述的状态中接收到对应的消息时，打印日志，报告错误，并置curState为ENDSTATE。

### 4.4.12 MMA接入星位置变更通知模块

接入星位置变更通知模块接收接入星位置变更通知消息，并负责将该消息转发到接入星位置变更的订阅者。接入星位置变更通知模块采用状态机实现,具体来说是UaipNotifySm类。当接入星位置变更通知模块接收到下发的消息时，首先会根据状态机的当前状态以及消息的uri决定下一步的处理过程。

接入星位置变更通知模块的具体处理流程如下:

(1) UaipNotifySm类的curState记录了当前状态机的状态,会被初始化为INITSTATE。当UaipNotifySm类接收到NTY消息,且uri为/nty/uaip，curState为INITSTATE时, UaipNotifySm类构造GET消息,uri为/get/satip，携带从NTY消息中得到的订阅者标识，发送给默认骨干卫星上的NME进行归属地IP地址查询，同时将NTY消息中携带的接入星标识和接入星IP地址保存。之后, 构造GET消息,uri为/get/uaip，携带订阅者标识，发送给归属地骨干卫星并置curState为SENDGETUAIP。

(2) UaipNotifySm类接收到/getack/uaip,且curState为SENDGETUAIP时,构造NTY消息,uri为/nty/uaip，携带(1)中保存的接入星标识和接入星IP地址,发送到订阅方，并将curState置为SENDNTY。

(3) UaipNotifySm类接收到/ntyack/uaip消息，且curState为SENDNTY时，置curState为ENDSTATE。当UaipNotifySm类不是在(1)(2)(3)中描述的状态中接收到对应的消息时，打印日志，报告错误，并置curState为ENDSTATE。

## 4.5 本章小结

在第三章总体设计的基础上，本章对系统进行详细设计与实现。首先，对接口消息进行详细定义。接着，对系统的消息交互流程进行设计，详细描述了消息的转发和传递过程；其次，对系统类图进行设计，并描述了类的功能和类中的成员变量及成员函数。再次，对MAG和MMA的内部模块进行设计与实现，并对各个模块的工作流程进行了描述。

# 第五章 系统测试

## 5.1 系统搭建与测试环境部署

### 5.1.1 测试环境部署

仿真系统的逻辑结构中，三颗骨干星构建成网状网，并通过P2P构建成虚拟骨干星环；三颗接入星分别接入到骨干星形成星型网。接入星在骨干星的控制下完成端到端通信。从程序的角度来说，三颗接入星是三个实现了接入星功能的进程，三颗骨干卫星是三个实现了骨干卫星功能的进程，在逻辑上三颗骨干星组成环状网络。



图5-1 测试环境部署

仿真系统的功能结构中，骨干星部署网络管理（NME）、移动性管理（CME）、用户信息管理（HSS）、资源/业务管理（RME）模块，形成骨干星业务逻辑；接入星部署用户代理（UA），提供移动性管理、用户信息管理、资源管理的客户端。同时，提供三个模拟终端（ME），与接入星的用户代理模块部署在一起，模拟移动终端切换和数据报文收发。



图5-2 测试环境部署

从xframe框架的角度来说，骨干卫星节点上部署了4个task，psatask实现网络消息的收发，mainsatmock实现移动性管理，backbone实现组网管理，servicetask负责业务消息的处理。

接入星节点上部署了3个task，psatask实现网络消息的收发，microsatmock实现接入星上的移动性管理功能，并根据指令实现接入星注册，移动状态订购，termtask根据指令发起终端注册和各种业务类消息。

天地一体化共性支撑平台由于是多进程，可以在单机上运行，也可以在多台电脑上部署不同的仿真卫星节点。为了部署简单起见，此处的测试都是在单机上完成的，进程之间通过不同的端口进行网络通信。对于此处做的测试，也采用多台虚拟机部署不同的仿真卫星节点的方式进行了测试，测试结果与单机版类似。

### 5.1.2 软件和硬件环境

表5-1 环境配置表

|  |  |
| --- | --- |
| CPU型号 | Intel(R)Xeon(R)CPUE5-5506\*4 |
| CPU配置 | 2.13GHZ |
| 物理内存 | 8GB |
| 物理硬盘 | 500GB |
| 系统类型 | CentOS6.4专业64位操作系统 |

## 5.2 系统测试

共性支撑平台移动性管理的功能测试主要包括三个方面的功能：首先是对注册方面进行功能测试，包括终端注册和接入星注册；其次是对注册信息访问进行测试，包括用户位置订购、接入星位置订购、接入星IP地址解析、接入星IP地址订购；最后对移动性进行测试，包括终端移动、接入星移动。系统功能测试总表如图所示，本课题共进行了12次测试，12个通过测试用例，0个为通过。

表5-2 系统功能测试总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 测试用例编号 | 测试功能 | 测试目的 | 预期结果 |
| MobMng\_UserReg\_001 | 终端注册 | 测试用户是否注册成功 | 通过 |
| MobMng\_MicroSatReg\_001 | 接入星注册 | 测试接入星是否注册成功 | 通过 |
| MobMng\_UserSub\_001 | 用户位置订购 | 测试能否正确订购已经注册的用户 | 通过 |
| MobMng\_UserSub\_002 | 测试订购未注册用户的结果 | 通过 |
| MobMng\_MicroSatSub\_001 | 接入星位置订购 | 测试订购接入星位置的结果 | 通过 |
| MobMng\_MicroSatSub\_002 | 测试订购未注册接入星位置的结果 | 通过 |
| MobMng\_AcsIPQuery\_001 | 接入星IP地址查询与订购 | 测试查询已注册用户标识对应的接入星IP地址 | 通过 |
| MobMng\_AcsIPQuery\_002 | 测试查询未注册用户标识对应的接入星IP地址 | 通过 |
| MobMng\_AcsIPSub\_001 | 测试订购已注册用户标识对应的接入星IP地址变更 | 通过 |
| MobMng\_AcsIPSub\_002 | 测试订购未注册用户标识对应的接入星IP地址变更 | 通过 |
| MobMng\_UserMove\_001 | 终端移动 | 测试用户移动后，用户是否注册成功,终端位置的订阅者是否收到通知消息 | 通过 |
| MobMng\_MicroSatMove\_001 | 接入星移动 | 测试接入星移动后，接入星是否注册成功，接入星位置的订阅者是否收到通知消息 | 通过 |

### 5.2.1 终端注册测试

表5-3 终端注册测试用例001

|  |  |
| --- | --- |
| 用例编号 | MobMng\_UserReg\_001 |
| 测试目的 | 测试移动性管理系统能正确处理终端注册消息 |
| 测试依据 | 终端注册功能测试 |
| 预置条件 | 1.天地一体化网络组网成功,各个相关节点都已经启动且正常运行  2.终端向其所连的接入星发送终端注册消息  3终端注册消息中携带终端标识和所连接入星的标识 |
| 操作步骤 | 1.通过xclient1向终端term1发终端注册指令  2.终端term1接收到指令后，构造终端注册消息，携带term1的标识和所在接入星标识,发送到所连接入星上  终端注册消息示例:  JSON：  {“msgType”:REG,”uri”:”/reg”,”from”:1001,”to”:101,”body”:{“userid”:1001,”uaid”:101}} |
| 预期结果 | 接入星转发终端注册成功消息给终端。 |
| 实际结果 | 返回：  {“msgType”:REGACK,”uri”:”/regack”,”from”:101,”to”:1001,”body”:{“userid”:1001,”status”:1}} |
| 测试结果 | 通过 |

### 5.2.2 接入星注册测试

表5-4 接入星注册测试用例001

|  |  |
| --- | --- |
| 用例编号 | MobMng\_MicroSatReg\_001 |
| 测试目的 | 测试移动性管理系统能正确处理接入星注册消息 |
| 测试依据 | 接入星注册功能测试 |
| 预置条件 | 1.天地一体化网络组网成功,各个相关节点都已经启动且正常运行  2.接入星向其所连的骨干卫星发送接入星注册消息  3.接入星注册消息中携带接入星标识和接入星的IP地址 |
| 操作步骤 | 1.通过xclient1向接入星micro1发接入星注册指令  2.终端micro1接收到指令后，构造接入星注册消息，携带term1的标识和接入星IP地址,发送到所连骨干卫星上  接入星注册消息示例:  JSON：  {“msgType”:CON,”uri”:”/con”,”from”:101,”to”:1,”body”:{“uaid”:101,”uaip”:  ”10.109.247.80:5001”}} |
| 预期结果 | 接入星接收到接入星注册成功响应。 |
| 实际结果 | 返回：  {“msgType”:CONACK,”uri”:”/conack”,”from”:1,”to”:101,”body”:{“uaid”:101,  ”status”:1}} |
| 测试结果 | 通过 |

### 5.2.3 终端位置订购测试

表5-5 终端位置订购测试用例001

|  |  |
| --- | --- |
| 用例编号 | MobMng\_UserSub\_001 |
| 测试目的 | 测试能否正确订购已经注册的用户 |
| 测试依据 | 用户位置订购功能测试 |
| 预置条件 | 1.天地一体化网络组网成功,各个相关节点都已经启动且正常运行  2.终端向其所连的接入星发送终端注册消息并且注册成功  3.接入星构造终端位置订购消息,携带终端标识，发送给归属地骨干卫星 |
| 操作步骤 | 接入星构造终端位置订购消息，例如:  {“msgType”:SUB,”uri”:”/sub/uaid”,”from”:102,”to”:1,”body”:{“userid”:1001,  ”suberid”:102}} |
| 预期结果 | 接入星接收到终端位置订购成功响应。 |
| 实际结果 | 响应:  {“msgType”:SUBACK,”uri”:”/suback/uaid”,”from”:1,”to”:102,”body”:{“userid”:  1001,“uaid”:101,”status”:1}} |
| 测试结果 | 通过 |

表5-6 终端位置订购测试用例002

|  |  |
| --- | --- |
| 用例编号 | MobMng\_UserSub\_002 |
| 测试目的 | 测试订购未注册用户的结果 |
| 测试依据 | 用户位置订购功能测试 |
| 预置条件 | 1.天地一体化网络组网成功,各个相关节点都已经启动且正常运行  2.接入星构造终端位置订购消息,携带终端标识（该终端尚未注册），发送给归属地骨干卫星 |
| 操作步骤 | 接入星构造终端位置订购消息，例如:  {“msgType”:SUB,”uri”:”/sub/uaid”,”from”:102,”to”:1,”body”:{“userid”:1004,  ”suberid”:102}} |
| 预期结果 | 接入星接收到终端位置订购失败响应。 |
| 实际结果 | 响应:  {“msgType”:SUBACK,”uri”:”/suback/uaid”,”from”:1,”to”:102,”body”:{“userid”:  1004,“uaid”:0,”status”:0}} |
| 测试结果 | 通过 |

### 5.2.4 接入星位置订购测试

表5-7 接入星位置订购测试用例001

|  |  |
| --- | --- |
| 用例编号 | MobMng\_MicroSatSub\_001 |
| 测试目的 | 测试订购接入星位置的结果 |
| 测试依据 | 接入星位置订购功能测试 |
| 预置条件 | 1.天地一体化网络组网成功,各个相关节点都已经启动且正常运行  2.接入星1向其所连的骨干卫星1发送接入星注册消息并且注册成功  3.接入星2构造接入星位置订购消息,携带接入星1的标识和接入星2的标识，发送给接入星1的归属地骨干卫星 |
| 操作步骤 | 接入星1构造接入星位置订购消息，例如:  {“msgType”:SUB,”uri”:”/sub/uaip”,”from”:101,”to”:2,”body”:{“uaid”:102,  ”suberid”:101}} |
| 预期结果 | 接入1接收到接入星位置订购成功响应。 |
| 实际结果 | 响应:  {“msgType”:SUBACK,”uri”:”/suback/uaip”,”from”:2,”to”:101,”body”:{“uaid”:  102,“uaip”:”10.109.247.80:6001”,”status”:1}} |
| 测试结果 | 通过 |

表5-8 接入星位置订购测试用例002

|  |  |
| --- | --- |
| 用例编号 | MobMng\_MicroSatSub\_002 |
| 测试目的 | 测试订购未注册接入星位置的结果 |
| 测试依据 | 接入星位置订购功能测试 |
| 预置条件 | 1.天地一体化网络组网成功,各个相关节点都已经启动且正常运行  2.接入星1构造接入星位置订购消息, 携带接入星1的标识和接入星4的标识，发送给接入星1的归属地骨干卫星 |
| 操作步骤 | 接入星1构造接入星位置订购消息，例如:  {“msgType”:SUB,”uri”:”/sub/uaip”,”from”:101,”to”:1,”body”:{“uaid”:104,  ”suberid”:101}} |
| 预期结果 | 接入星1接收到接入星位置订购失败响应。 |
| 实际结果 | 响应:  {“msgType”:SUBACK,”uri”:”/suback/uaip”,”from”:1,”to”:101,”body”:{“uaid”:  104,“uaip”:””,”status”:0}} |
| 测试结果 | 通过 |

### 5.2.5 接入星IP地址查询与订购测试

表5-9 接入星IP地址查询测试用例001

|  |  |
| --- | --- |
| 用例编号 | MobMng\_AcsIPQuery\_001 |
| 测试目的 | 测试查询已注册用户标识对应的接入星IP地址 |
| 测试依据 | 接入星IP地址解析功能测试 |
| 预置条件 | 1.天地一体化网络组网成功,各个相关节点都已经启动且正常运行  2.接入星102向其所连的骨干卫星2发送接入星注册消息并且注册成功  3.终端1002向其所连的接入星102发送终端注册消息并且注册成功  4.接入星101接收到接入星IP地址解析消息,携带终端标识 |
| 操作步骤 | 接入星101接收接入星IP地址解析消息，例如:  {“msgType”:GET,”uri”:”/get/acsip”,”from”:0,”to”:101,”body”:{“userid”:1002}} |
| 预期结果 | 接入星101接收到接入星IP地址解析成功响应。 |
| 实际结果 | 响应:  {“msgType”:GETACK,”uri”:”/getack/acsip”,”from”:101,”to”:0,”body”:{“userid”:  1002,“uaip”:”10.109.247.80:6001”,”status”:1}} |
| 测试结果 | 通过 |

表5-10 接入星IP地址查询测试用例002

|  |  |
| --- | --- |
| 用例编号 | MobMng\_AcsIPQuery\_002 |
| 测试目的 | 测试查询未注册用户标识对应的接入星IP地址 |
| 测试依据 | 接入星IP地址解析功能测试 |
| 预置条件 | 1.天地一体化网络组网成功,各个相关节点都已经启动且正常运行  2. 接入星101接收到接入星IP地址解析消息,携带终端标识1004 |
| 操作步骤 | 接入星101接收接入星IP地址解析消息，例如:  {“msgType”:GET,”uri”:”/get/acsip”,”from”:0,”to”:101,”body”:{“userid”:1004}} |
| 预期结果 | 接入星1接收到接入星IP地址解析失败响应。 |
| 实际结果 | 响应:  {“msgType”:GETACK,”uri”:”/getack/acsip”,”from”:101,”to”:0,”body”:{“userid”:  1004,“uaip”:””,”status”:0}} |
| 测试结果 | 通过 |

表5-11 接入星IP地址订购测试用例001

|  |  |
| --- | --- |
| 用例编号 | MobMng\_AcsIPSub\_001 |
| 测试目的 | 测试订购已注册用户标识对应的接入星IP地址变更 |
| 测试依据 | 接入星IP地址订购功能测试 |
| 预置条件 | 1.天地一体化网络组网成功,各个相关节点都已经启动且正常运行  2.接入星102向其所连的骨干卫星2发送接入星注册消息并且注册成功  3.终端1002向其所连的接入星102发送终端注册消息并且注册成功  4.接入星101接收到接入星IP地址订购消息,携带终端标识 |
| 操作步骤 | 接入星101接收接入星IP地址订购消息，例如:  {“msgType”:SUB,”uri”:”/sub/acsip”,”from”:0,”to”:101,”body”:{“userid”:1002}} |
| 预期结果 | 接入星101接收到接入星IP地址订购成功响应。 |
| 实际结果 | 响应:  {“msgType”:SUBACK,”uri”:”/suback/acsip”,”from”:101,”to”:0,”body”:{“userid”:  1002,“uaip”:”10.109.247.80:6001”,”status”:1}} |
| 测试结果 | 通过 |

表5-12 接入星IP地址订购测试用例002

|  |  |
| --- | --- |
| 用例编号 | MobMng\_AcsIPSub\_002 |
| 测试目的 | 测试订购未注册用户标识对应的接入星IP地址变更 |
| 测试依据 | 接入星IP地址订购功能测试 |
| 预置条件 | 1.天地一体化网络组网成功,各个相关节点都已经启动且正常运行  2. 接入星101接收到接入星IP地址订购消息,携带终端标识1004 |
| 操作步骤 | 接入星101接收接入星IP地址订购消息，例如:  {“msgType”:SUB,”uri”:”/sub/acsip”,”from”:0,”to”:101,”body”:{“userid”:1004}} |
| 预期结果 | 接入星1接收到接入星IP地址订购失败响应。 |
| 实际结果 | 响应:  {“msgType”:SUBACK,”uri”:”/suback/acsip”,”from”:101,”to”:0,”body”:{“userid”:  1004,“uaip”:””,”status”:0}} |
| 测试结果 | 通过 |

### 5.2.6 终端移动测试

表5-13 终端移动测试用例001

|  |  |
| --- | --- |
| 用例编号 | MobMng\_UserMove\_001 |
| 测试目的 | 测试用户移动后，用户是否注册成功,终端位置的订阅者是否收到通知消息 |
| 测试依据 | 终端位置变更功能测试 |
| 预置条件 | 1.天地一体化网络组网成功,各个相关节点都已经启动且正常运行  2.终端向其所连的接入星发送终端注册消息并且注册成功  3终端移动后，向新的接入星发送终端注册消息，携带终端标识和接入星标识 |
| 操作步骤 | 终端构造终端注册消息，例如:  {“msgType”:REG,”uri”:”/reg”,”from”:1002,”to”:103,”body”:{“userid”:  1002,”uaid”:103}} |
| 预期结果 | 终端接收到终端注册成功响应，终端位置变更的订阅方接收到终端位置变更通知。 |
| 实际结果 | 终端注册响应:  {“msgType”:REGACK,”uri”:”/regack”,”from”:103,”to”:1002,”body”:{“userid”:  1002,”status”:1}}  终端位置变更通知:  {“msgType”:NTY,”uri”:”/nty/uaid”,”from”:2,”to”:101,”body”:{“userid”:  1002,”uaid”:103}} |
| 测试结果 | 通过 |

### 5.2.7 接入星移动测试

表5-14 接入星移动测试用例001

|  |  |
| --- | --- |
| 用例编号 | MobMng\_MicroSatMove\_001 |
| 测试目的 | 测试接入星移动后，接入星是否注册成功，接入星位置的订阅者是否收到通知消息 |
| 测试依据 | 接入星位置变更功能测试 |
| 预置条件 | 1.天地一体化网络组网成功,各个相关节点都已经启动且正常运行  2.接入星向其所连的骨干卫星发送接入星注册消息并且注册成功  3.接入星移动后，向新的骨干卫星发送接入星注册消息，携带接入星标识和接入星IP地址 |
| 操作步骤 | 接入星构造接入星注册消息，例如:  {“msgType”:CON,”uri”:”/con”,”from”:103,”to”:3,”body”:{“uaid”:103, ”uaip”:”10.109.247.80:6002”}} |
| 预期结果 | 接入星接收到接入星注册成功响应，接入星位置变更的订阅方接收到接入星位置变更通知。 |
| 实际结果 | 终端注册响应:  {“msgType”:CONACK,”uri”:”/conack”,”from”:3,”to”:103,”body”: {“uaid”:103,”status”:1}}  终端位置变更通知:  {“msgType”:NTY,”uri”:”/nty/uaip”,”from”:3,”to”:101,”body”:{“uaid”:  103,”uaip”:”10.109.247.80:6002”}} |
| 测试结果 | 通过 |

## 5.3 本章小结

本章主要对天地一体化网络中的移动性管理进行系统测试。首先对系统测试环境进行部署；接着根据需求分析设计测试用例，对系统进行功能测试，具体包括：终端注册测试、接入星注册测试、终端位置订购测试、接入星位置订购测试、接入星IP地址查询与订购测试、终端移动测试和接入星移动测试，经测试都达到了预期的效果，完成了系统核心功能。

# 第六章 结束语

本章对本课题以及全文的内容进行总结，包括论文解决的问题和存在的不足。基于当前工作的不足之处，进一步展望未来。

## 6.1 论文工作总结

本论文针对当前IP网络中的移动性管理方案工作机制及其存在的问题，结合天地一体化网络中终端移动接入星也移动的特点，参考PUB-SUB模型，提出了基于PUB-SUB模型的天地一体化网络移动性管理方法。针对天地一体化网络中，终端移动，低轨卫星也移动的特点[[[25]](#endnote-25)]，提出由低轨卫星充当天基移动终端的MAG，高轨卫星充当天基移动终端的移动性管理代理（MMA），低轨卫星代理终端注册到高轨卫星组成的MMA上，完成移动终端标识和MAG IP地址之间的绑定。在MMA的控制下，移动终端之间的通信通过MMA协调各个MAG之间建立隧道完成，从而降低了对高轨卫星和地面站的通信压力。同时，论文提出采用PUB/SUB模型管理MMA和MAG之间的移动性管理控制信息，降低数据隧道转发对MMA造成的性能压力。由于低轨卫星的移动可能会导致其覆盖范围内的终端切换接入星，因此本系统中需要对终端和接入星分别进行注册，绑定终端标识和接入星标识以及接入星标识与接入星IP地址之间的关系。当MAG根据终端标识进行地址解析时，可以选择带订购语义的解析，以便能在通信对端发生移动时及时得到通知。

本课题首先对现有的IP网络移动性管理方案进行调研，学习其工作机制和优缺点，然后结合天地一体化网络的特点，分析共性支撑平台中移动性管理的具体需求，接着根据需求分析设计和实现了移动性管理，包括内部结构设计、接口消息详细定义、交互流程、数据结构定义，最后对移动性管理进行了测试和结果分析。

前期调研主要是分析已有的IP网络移动性管理方案，分析其适用范围和存在的问题，基于调研的结果，结合课题需求，充分利用国际、国内的参考文献和研究成果进行理论研究，提出基于PUB-SUB模型的移动性管理方法。

技术实现上，基于xframe框架完成了移动性管理系统，其中MAG和MMA分别实现为一个task，通过procMsg方法将消息下发到不同的内部模块进行处理。每个内部模块都实现为一个状态机，procMsg方法根据消息的类型和uri交给内部模块进行更具体的处理。所有的内部模块都继承自MobStateMachine类，使得MAG和MMA对状态机列表的管理与维护变得简单。

通过在接入星节点上部署MAG，骨干卫星上部署MMA、NME、RME,采用软件工程的测试方法对终端注册、接入星注册、终端移动、接入星移动、普通数据消息发送、业务消息发送等进行了测试。

## 6.2 未来工作展望

在天地一体化网络中，骨干卫星一般处于高轨，相对位置不变，因此骨干卫星网络的拓扑结构比较稳定，适合作为天地一体化网络的骨干网。但是，在实际运行过程中，骨干卫星可能由于各种原因加入或退出天地一体化网络。由于骨干卫星计算和存储能力比较强，存储了移动性管理的相关控制信息。考虑到骨干卫星可能同天地一体化网络失联，需要在天地一体化中网络对移动性管理的控制信息进行备份，并在骨干卫星失联时，根据一定的策略将移动性管理的控制消息进行迁移和备份。

其次，不同接入星上的MAG独立维护了终端标识和接入星IP地址之间的映射关系，不同的MAG所维护的映射关系在一定程度上有所重复，加大了移动性管理的存储资源消耗。由于接入星的存储能力较弱，单个接入星不一定能存储大量的映射关系，因此可以考虑将连接到同一骨干卫星上的接入星组网，存储该映射关系，减轻移动性管理对系统存储资源的使用。

# 参考文献

# 附录

缩略语

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 缩写 | 全称 | 解释 |
| MMA | Mobile Management Agent | 移动性管理代理 |
| MAG | Mobile Management Gateway | 移动性管理网关 |
| NME | Network Management Entity | 网络管理实体 |
| HSS | Home Subscriber Server | 用户信息管理 |
| RME | Resource Management Entity | 资源管理实体 |

# 致谢

时光飞逝，转眼之间，两年半的研究生生活就要结束了。无论是否做好了准备，都要鼓起勇气去面对现实，毕竟人是不可能一直逃避的，总要面对真实的世界。读研的两年半期间，由于自己在很多方面还不够成熟，在生活、学习等各个方面得到了很多人的关心、帮助，借此机会，表达感谢之意。

首先，由衷感谢我的导师杨放春老师，攻读硕士学位期间通过在杨老师科研项目组中的学习、工作，让我的理论水平、实践能力取得了很大进步，综合能力得到了长足发展。

其次，非常感谢项目组的指导老师李静林老师和导师组的刘志晗老师。感谢李老师的耐心指导和帮助。李老师丰富的专业知识、优秀的学术能力和强大的工程实践能力，给项目的最终完成提供了坚实后盾。每当我对项目的一些细节有所疑问，李老师总是能不厌其烦地向我说明。在组会上，李老师会不时根据项目完成工程中的进度和问题，提醒我们不要仅仅从一个coder的角度去考虑问题，而要用更宽广的视角去看待整个项目，确保自身未来更好的职业发展。刘老师幽默风趣，对学生热心帮助，教给了我们很多为人处世的方法，为我们指点迷津，帮助我们成长。

再者，感谢与我共同在天地一体化网络共性支撑平台项目并肩作战程的程学斐、李其昕、田军。正是由于他们与我一起奋斗和拼搏，我们才能顺利完成各项任务。在测试不成功的时候，相互之间没有抱怨，而是根据自己负责模块的日志消息，找到问题来源，最终将问题解决。而在我遇到问题没有很好的想法时，他们根据自己的经验提出一些解决思路，给了我很好的启发。

特别感谢我朝夕相处的室友蔡泽宇、李文浩、李付坤、闫献龙、杨明哲，在学习和生活中我们互相帮助，共同分担，共同进步，谢谢你们，因为你们，我的科研生活才变得快乐，我们的生活才充满欢笑；感谢实验室的其他同学，因为你们，实验室的生活才更加让人回味；感谢家人一直以来的关心和支持，是你们不断地鼓励和支持让我顺利地完成了学业。

最后，感谢各位老师在百忙之余抽出宝贵时间评阅本文。谢谢！

王攀

2018年1月

# 攻读学位期间发布的学位论文

1. [1] 李贺武,吴茜,徐恪,吴建平,杨增印,江卓,朱亮. 天地一体化网络研究进展与趋势[J]. 科技导报,2016,34(14):95-106. [↑](#endnote-ref-1)
2. [2] 徐益平. 天地一体化网络发展趋势与挑战[J]. 现代雷达,2017,39(07):12-16 +38. [↑](#endnote-ref-2)
3. [3] 吴曼青,吴巍,周彬,陆洲,张平,秦智超. 天地一体化信息网络总体架构设想[J]. 卫星与网络,2016,(03):30-36. [↑](#endnote-ref-3)
4. [4] 陆洲. 天地一体化信息网络总体架构设想[A]. 中国通信学会卫星通信委员会、中国宇航学会卫星应用专业委员会.第十二届卫星通信学术年会论文集[C].中国通信学会卫星通信委员会、中国宇航学会卫星应用专业委员会:,2016:11. [↑](#endnote-ref-4)
5. [5] NGUYEN H N, LEPAJA S, SCHURINGA J, et al. Handover management in

   low earth orbit satellite IP networks[C]. IEEE Global Telecommunications Conference Piscataway: IEEE. 2001: 2730-2734. [↑](#endnote-ref-5)
6. [6] SOLIMAN H, BELLIER L, MALKI K E. Hierarchial mobile IPv6 mobility management (HMIPv6), IETF RFC 4140[S]. Reston VA: Internet Soc. 2005 [↑](#endnote-ref-6)
7. [7] KONG K, LEE W, HAN Y, et al. Mobility management for all-IP mobile networks:

   mobile IPv6 vs. proxy mobile IPv6[J]. IEEE Wireless Communications (Special Issue on

   Architectures and Protocols for Mobility Management in All-IP Mobile Networks),

   2008, 15(2), :36-45 [↑](#endnote-ref-7)
8. [8] 王京林，曹志刚. LEO卫星网络中无缝切换管理技术研究[J]. 宇航学报. 2011(3): 660-664 [↑](#endnote-ref-8)
9. [9] 贺达健,游鹏,雍少为. LEO卫星通信网络的移动性管理[J]. 中国空间科术,2016,(03):1-14. [↑](#endnote-ref-9)
10. [10] 杜瑞新. 移动IP技术及其发展趋势分析[J]. 通信技术,2013,46(06):130- 132. [↑](#endnote-ref-10)
11. [11] 孙磊. 移动IP切换技术的研究[D].北京邮电大学,2010. [↑](#endnote-ref-11)
12. [12] KEMPE J. RFC4830: statement for network-based localized mobility management

    (NETLMM) [S]. [S.1.]: [s.n.], 2007 [↑](#endnote-ref-12)
13. [13] 延志伟. 基于MIPv6/PMIPv6的移动性支持关键技术研究[D].北京交通大学,2011. [↑](#endnote-ref-13)
14. [14] 糜正琨. 移动IP技术[J]. 中兴通讯技术,2008,14(06):54-58. [↑](#endnote-ref-14)
15. [15] 王欢. 分布式移动性管理协议研究[J]. 软件,2015,36(02):80-85. [↑](#endnote-ref-15)
16. [16] 冯玉龙,王玮. 基于卫星移动通信的网络移动问题探析[J]. 无线电通信技术,2008,34(06):4-6+24. [↑](#endnote-ref-16)
17. [17] 张竹. IP/LEO卫星网络中的移动性管理技术研究[D].哈尔滨工业大学,2013. [↑](#endnote-ref-17)
18. [18] 张晓天,马东堂,李强. 基于移动性的星座卫星通信网络管理体系结构研究[J]. 现代电子技术,2009,32(15):19-22. [↑](#endnote-ref-18)
19. [19] 黄国盛. 移动IP的切换与移动性管理研究[D].中南大学,2010. [↑](#endnote-ref-19)
20. [20] 陈山枝,时岩,胡博. 移动性管理理论与技术的研究[J]. 通信学报,2007,(10):123-133. [↑](#endnote-ref-20)
21. [21] 任宇森,尚凤军,雷阳. 移动IP移动性管理技术综述[J]. 计算机应用研究,2008,25(12):3556-3560. [↑](#endnote-ref-21)
22. [22] 王广泽. 基于Pub/Sub模式的智能消息中间件研究[J]. 信息技技术术,2009,33(05):171-173. [↑](#endnote-ref-22)
23. [23] 沈燕玉,王泽洪,李国宾. 基于结构化P2P的发布订阅系统[J]. 计算机系统应用,2012,21(02):130-134. [↑](#endnote-ref-23)
24. [24] 张载龙,徐莉. 基于PMIPv6的移动性管理方案研究[J]. 计算机技术与发展,2014,24(11):190-193+198. [↑](#endnote-ref-24)
25. [↑](#endnote-ref-25)