**密级： 保密期限：**

xm 拷贝

**硕士学位论文**



**题目：北京邮电大学硕士论文模板**

**学 号：**

**姓 名：**

**专 业：**

**导 师：**

**学 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

生成目录页用

摘要

ABSTRACT

第一章 绪论

研究背景及现状

研究意义和目标

论文主要工作

论文总体结构

本章小结

第二章 天地一体化网络中移动性管理系统设计

2.1 天地一体化网络中移动性管理系统概述

2.2 现有移动性管理方案及其不足

2.3 Pub/Sub模型

2.4 移动性管理系统设计方案

2.4.1 需求分析

2.4.2 性能分析（最好能够和更多的移动性管理方式进行比较）

2.4.2 系统设计

2.5 本章小结

第三章 总体设计

3.1 系统架构

3.1.1 接入星移动性管理功能

3.1.2 骨干卫星移动性管理功能

3.2 接口设计

3.3 移动性管理的机制

3.3.1 终端注册

3.3.2 接入星注册

3.3.3 终端移动

3.3.4 接入星移动

3.4 移动性管理内部结构设计

3.4.1 接入星移动性管理内部结构设计

3.4.2 骨干卫星移动性管理内部结构设计

3.5 本章小结

第四章 详细设计与实现

4.1 接口消息详细定义

4.2 系统消息交互流程图

4.2.1

4.3 系统类图设计

4.4 系统模块的设计与实现

4.5 本章小结

第五章 系统测试

5.1 测试环境部署

5.2 系统测试

5.2.1 终端注册测试

5.2.2 接入星注册测试

5.2.3 终端移动测试

5.2.4 接入星移动测试

5.3 本章小结

第六章 结束语

6.1 论文工作总结

6.2 未来工作展望

6.3 本章小结

参考文献

附录

致谢

攻读学位期间发布的学位论文

# 摘要

# ABSTRACT

# 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。

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。

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。

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。

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。

## 研究背景及现状

目前，传统IP网络中的移动性管理方案主要以移动IP及其衍生方案如HMIP，PMIP为主。

1.1.1移动IP

在移动IP中，移动节点有两个IP地址：家乡地址和转交地址(HOA)。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将家乡地址和转交地址的绑定关系注册到家乡代理。当移动节点在家乡网络时，通信对端直接通过家乡地址与其进行通信。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，再由外地代理进一步转发给移动节点。

1.1.2 HMIP

1.1.3 PMIP

## 研究意义和目标

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。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。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。

## 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。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。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。

## 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。

## 本章小结

# 天地一体化网络中移动性管理系统设计

本章主要介绍天一体化网络中移动性管理的总体方案。针对传统IP网络中的移动性管理方案进行分析，并针对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

## 2.2 现有移动性管理方案及其不足

（详细描述现有的移动性管理方案及其工作过程）

传统IP网络中的移动性管理方案主要以移动IP及其衍生方案如HMIP,PMIP为主。移动IP中将家乡IP地址当成移动节点的标识，转交地址(HoA)当成移动节点的位置，实现了标识与位置的分离。当移动节点在家乡网络中时，通信对端可以直接通过家乡IP地址与移动节点进行通信

## 2.3 Pub/Sub模型

（对PUB/SUB模型进行介绍，添加图片进行说明）

基于Pub/Sub的移动性管理模型的研究

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。

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：

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。

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。

## 2.4 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。

## 2.4.1 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。



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。

**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。

**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。

**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。

**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。

**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。

**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。

**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。

## 2.4.2 性能分析（最好能够和更多的移动性管理方式进行比较）

终端移动性管理过程中，终端需要更新位置信息到骨干卫星组成的MMA中。此外MMA还需要根据终端的位置更新消息下发终端位置更新通知到相应的MAG中。终端进行位置更新时，终端首先将位置更新消息交给接入星，接入星在将终端位置更新消息转发给骨干卫星组成的MMA。进行数据传输时，终端把数据交给MAG后，MAG根据本地缓存的绑定关系，构造到对端MAG的隧道。在这一过程中，MAG中可能没有缓存目的终端标识、对端MAG标识、对端MAG IP地址之间的关系，需要到MMA中进行查询。

因此，单位时间的信令开销为

Cupdate=r\*(Supdate\*(Hterm-mag+Hmag-mma)+k\*Snotify\*(Hmma-mag))+h\*v\*( Sencap-data\*Hmag-mag+p\* Squery\*Hquery) **(1)**

其中，Cupdate 表示单位时间的信令开销，r表示切换发生率，Supdate表示终端位置更新消息开销，Hterm-mag表示从终端到对应MAG的跳数，Hmag-mma表示从MAG到MMA的跳数，k表示LMA需要通知的MAG的数量，Snotify表示终端位置通知消息的开销。h表示会话到达率，v表示每个会话包含的数据包个数，Sencap-data表示隧道报文的开销，Hmag-mag表示MAG之间的平均跳数，p表示查询发生率，Squery表示查询消息的开销，Hquery表示查询请求所需要的跳数。

数据传输的时延为

Ttransport=Tterm-mag+Tmag-mag+Tmag-term+m\*Tquery **(2)**

其中，Ttransport表示数据传输的时延，Tterm-mag表示从终端到MAG的时延， Tmag-mag表示从MAG到MAG的时延，Tquery表示地址查询的时延。由于源端MAG在本地缓存中不一定能找到目的终端对应的接入星IP地址，因此可能需要到MMA中进行查询， m表示天基网络中的数据传输需要进行地址查询的概率。

## 2.4.2 系统设计

## 2.5 本章小结

# 第三章 总体设计

## 3.1 系统架构

## 3.1.1 接入星移动性管理功能

## 3.1.2 骨干卫星移动性管理功能



图1

基于PUB/SUB模型的移动性管理架构如图1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。

3.2 性能分析

## 3.2 接口设计

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 接口名 | URI | 方向 | 含义 |
| GET | /get/satip | RME(业务管理)→MMA | 业务管理通过移动性管理的对外接口得到终端标识的归属地骨干卫星IP地址 |
| GETACK | /getack/satip | MMA→RME(业务管理) | 归属地骨干卫星IP地址请求的响应 |
| GET | /get/acsip |  |  |
| GETACK | /getack/acsip |  |  |
| REG | /reg |  |  |
| REGACG | /regack |  |  |
| CON |  |  |  |
| CONACK |  |  |  |
| GET | /get/uaid |  |  |
| GETACK |  |  |  |
| GET | /get/uaip |  |  |
| GETACK |  |  |  |
| SUB | /sub/acsip |  |  |
|  |  |  |  |
| SUB | /sub/uaid |  |  |
|  |  |  |  |
| SUB | /sub/uaip |  |  |
|  |  |  |  |
| NTY | /nty/uaid |  |  |
|  |  |  |  |
| NTY | /nty/uaip |  |  |
|  |  |  |  |

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。

3.2.1 外部接口

属于详细接口设计。

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  }  } |

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标识失败，1表示成功  “acsip”://status为1时，表示userid所在接入星的IP  //地址  }  } |

3.2.2 内部接口

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  }  } |

接入星注册接口

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 接口名 | URI | 操作 |
| CON | /con | {  “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  “uaid”://接入星标识  “uaip”: //接入星IP地址  }  } |
| CONACK | /conack | {  “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  “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  }  } |

接入星IP变更订购接口

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 接口名 | URI | 操作 |
| SUB | /sub/acsip | {  “msgType”:SUB //消息类型  “uri”: //uri区分不同类型的位置订购  “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区分不同类型的位置订购  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “userid”://用户标识  “status”://订阅状态，0标识失败，1表示成功  “uaip”://status为1时，表示userid所绑定的接入星  //地址  }  } |

接入星IP变更通知接口

终端移动位置更新订购接口

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 接口名 | URI | 操作 |
| SUB | /uaid/(userid) | {  “msgType”:SUB //消息类型  “uri”: //uri区分不同类型的位置订购  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “userid”://用户标识  }  } |
| SUBACK | /uaid/(userid) | {  “msgType”:SUBACK //消息类型  “uri”: //uri区分不同类型的位置订购  “from”://源标识  “to”: //目的标识  “body”:{ //消息体  “userId”://用户标识  “status”://订阅状态，0标识失败，1表示成功  “uaid”://status为1时，表示userId所绑定的UAId  }  } |

终端移动位置更新通知接口

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 消息名 | 消息方向 | URI | 操作 |
| NFY | MAG ←MMA | /nty/uaid | 消息头：  Msg：Reg //消息名标识  Type：“UAID”（通知用户所属UA发生改变）  From：//消息发送方地址  To：//消息接收方地址host：协议+ip+port  消息内容：  {  UID:”” //资源关键字的（Userid）  VALUE:”” //注册更新的新绑定值（UAid）  } |
| NFY Ack | MAG →MMA | /ntyack/uaid | 消息头：  Msg：RegAck //消息名标识  Type：“UAID”（通知用户所属UA发生改变）  From：//消息发送方地址  To：//消息接收方地址host：协议+ip+port  Code：200 //状态码 200标识成功 404标识失败  消息体：  NULL |

接入星移动位置更新订购接口

接入星移动位置更新通知接口

## 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。

数据包分发表数据结构

隧道构建表数据结构

终端位置订阅列表数据结构

接入星位置订阅列表数据

## 3.3 移动性管理的机制

## 3.3.1 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。



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。

## 3.3.2 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。



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。

## 3.3.3 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。



## 3.3.4 接入星IP地址订购



## 3.3.3 终端移动



## 3.3.4 接入星移动



## 3.4 移动性管理内部结构设计

## 3.4.1 接入星移动性管理内部结构设计



## 3.4.2 骨干卫星移动性管理内部结构设计



## 3.5 本章小结

# 第四章 详细设计与实现

## 4.1 接口消息详细定义

## 4.2 系统消息交互流程图

4.2.1 终端注册流程

4.2.2接入星注册流程

4.2.3终端地址查询处理流程

4.2.4 终端地址订购处理流程

4.2.3终端移动流程

4.2.4接入星移动流程

## 4.3 系统类图设计

## 4.4 系统模块的设计与实现

## 4.5 本章小结

# 第五章 系统测试

## 5.1 测试环境部署

## 5.2 系统测试

## 5.2.1 终端注册测试

## 5.2.2 接入星注册测试

## 5.2.3 终端移动测试

## 5.2.4 接入星移动测试

## 5.3 本章小结

# 第六章 结束语

## 6.1 论文工作总结

## 6.2 未来工作展望

## 6.3 本章小结

# 参考文献

# 附录

# 致谢

# 攻读学位期间发布的学位论文