

基于 Mesh 的空间信息网体系结构研究

张登银, 刘升升

(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

摘 要:在高动态的拓扑结构和不连续的链路状况下进行资源的有效配置以及可靠的低延时数据传输, 是进行空间组网通信时面对的两大挑战。在深入分析空间信息网络特点和功能需求的基础上, 提出一种基于 Mesh 结构的空間信息网络体系结构, 对采用 Mesh 结构在空间组网通信中的优势进行了深入的剖析, 并给出了空间信息网络协议架构模型。结合空间信息网络的特点分析了进行空间组网通信亟待解决的关键技术及其解决思路。对空间信息网络的进一步研究有一定的参考价值。

关键词:空间信息网络; Mesh; 体系结构; 协议架构

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)08-0069-05

Research on Mesh - Based Architecture for Space Information Network

ZHANG Deng-yin, LIU Sheng-sheng

(College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: The space communication networking faces two challenges, which are efficient resource allocation in a highly dynamic topology of intermittent link and reliable low-latency data delivery. Based on the thorough analyzing of characteristics and functional requirements of space information network, a new mesh-based architecture for space information network was proposed, and the advantage of space communication networking based on mesh structure was also analyzed. Further more, the protocols structure of space information network was presented. Finally, the key technologies of the space information network were discussed with the structure and characteristics of the space information network, and some possible resolutions are also given. It will provide references for further research on the space information network.

Key words: space information network; Mesh; architecture; protocols structure

0 引 言

随着航天技术的发展,越来越多的卫星被布置到太空中,使得通信的范围得到了极大拓展。然而,传统的以单个卫星作为中继采用星地链路的通信方式已经难以满足实际的应用^[1],以个人通信全球化为特征的民用和军用两方面的需求都推动了卫星通信向网络化方向发展^[2]。同时,近几年对大气层飞行器特别是对平流层飞行器的研究取得了很大的进展并且已经开始投入应用^[3-5]。未来的通信网络涵盖卫星网络、平流层飞行器及地面网络,形成空天地一体的空间信息网络是空间通信网络的发展趋势,也是当前空间通信网络的研究热点^[6]。空间信息网络建立在天基、空基和

地基三层网络的基础上,将空天地网络进行有效的结合,发挥各层网络的优势,拓展网络的覆盖范围,简化信息交换的手段,具有信息容量大、实时性强等特点;同时各层网络协同工作,优势互补,能够很好地实现空天地网络资源的合理配置,达到最大的网络资源利用率。

目前卫星网络的理论研究已非常深入,并且已经有了一些实用的系统,如:INMARSAT、Iridium等。平流层飞行器的关键技术也取得了突破,已开发出接近实用的原型系统。同时,空间数据系统咨询委员会CCSDS(Consultative Committee for Space Data Systems)提出了一整套空间数据通信的技术标准。这些工作奠定了空间信息网络实施的可行性^[7]。

然而CCSDS提出的技术标准侧重于端到端系统的数据通信和处理^[6],所以在空间信息网络的实施的过程中不能全部套用CCSDS的技术标准,必须结合空间信息网络的实际应用和具体特点。文中结合空间信息网络的特点提出一种基于Mesh结构的空間信息网

收稿日期:2008-12-23;修回日期:2009-03-12

基金项目:国家863计划项目(2007AA701302,2008AA701202)

作者简介:张登银(1964-),男,江苏靖江人,研究员,博士,CCF会员,主要研究方向为信号与信息处理、IP网络技术、服务质量与信息安全。

络体系结构模型和协议栈模型,并分析空间信息网络实施过程中涉及到的关键技术及其解决思路。

1 空间信息网络特点

空间信息网络涵盖了天基、空基和地基三层网络,包含了高、中、低轨卫星,平流层飞行器,地面用户及海面船只等众多平台。以下结合空天地三层的具体环境及各平台的特点来分析空间信息网络的特点。

空间信息网络具有复杂性,空间信息网络覆盖了从地球表面到高轨卫星所在轨道的空间,这一庞大网络的组成实体包括了地面上用户终端以及由其组成的各种网络、海面的船只、平流层的飞行器、高中低轨卫星,体现出空间信息网络体系庞大,结构复杂;同时空间信息网络将这些组成实体有效地整合在一起形成一个相互协作的网络系统,突出了空间信息网络的整体性。

空间信息网络具有高动态性,从空间信息网络的组成实体的角度看,一些实体处于高速运动状态,中轨(MEO)和低轨卫星(LEO)绕其轨道高速运动,平流层飞行器如:预警机,地面的移动用户等。这些实体的移动导致整个空间信息网络的拓扑结构不断地变化。

空间信息网络具有不稳定性,空间信息网络所跨越的空间范围广,通信距离远,相应的通信时延较地面网络明显高出很多,如同步卫星(GEO)与地球表面的传输时延约为 250ms。由于通信距离远,通信信号需要穿越多个不同的空间区域,各种气象条件和电离层给微波、激光信号带来极大的干扰,导致信息传输的误码率较高。传输时延长,受环境影响大,高误码率给空间信息网络的信息传输和控制提出了极大的挑战^[7]。

空间信息网络具有异构性,一方面空间信息网络涵盖空天地三个层次,每个层次的组网方式和采用的技术都各不相同;另一个方面,空间信息网络是构建在基于现有的各种终端和通信系统上的,不同时期所设计开发的卫星、飞行器以及地面上的各个终端所采用的通信手段、通信体制和数据格式等都各不相同,这就导致空间信息网络必然是一个异构的网络。要使空间信息网络形成一个相互协作的整体就必须设计开发相应的技术来兼容这些异构性。

未来的空间信息网络要能够发挥空间中各个网络的优势,为用户提供高质量和高速率的数据业务服务,然而空间信息网络的复杂性、高动态性、不稳定性及异构性都为空间信息网络的有效实施提出了挑战^[8]。怎样克服空间信息网络的这些特点的制约来满足用户可靠高效的数据服务的需求,就必须从空间信息网络的体系结构设计和整个网络赖以正常运行的支撑协议着

手,提高空间信息网络运行的可靠性。

在设计合理的网络体系结构和可靠的网络协议的基础上,空间信息网络应具有以下特性:

1)大容量通信。

空间信息网络包含的通信系统决定了其具有大的系统容量,但由于空间信息网络的特定的通信环境,需要采用相应的技术来保证通信容量的可靠运用,为用户提供超高速和超宽带的数据传输。

2)高智能性。

空间信息网络具有高动态性,网络中的通信平台移动性较强,导致空间信息网络的拓扑结构具有较强的时变性。为了保证通信的可靠性,空间信息网络中的平台必须具有自组织组网的能力;同时,空间信息网络是将各通信平台灵活组织在一起的整体,所以空间信息网络中的通信平台应该能够相互沟通,相互协作,新的终端能够快速接入,快速形成通信链路。

3)快速重构能力。

当空间信息网络中的通信平台因损坏而减少或者因新的通信平台的加入而增加时,空间信息网络要求具有较强的重构能力,保证网络的正常运行。

4)高安全性。

一方面,由于空间信息网络的通信环境的影响,存在各种各样对通信信号的干扰,空间信息网络要求具有抗干扰的能力,保证信号的安全可靠传输。另一方面,空间信息网络中的通信平台的造价和布置成本要求空间信息网络能够具有良好的抗毁能力。

5)QOS保障能力。

空间信息网络所提供的服务要求具有一定的QOS,所以空间信息网络要求有提供相应的QOS保障的能力。

6)可扩展能力。

空间信息网络的实施是一个庞大的工程,也是一个循序渐进的过程,可以根据具体的需求来分步骤布局。在这个过程中存在技术的改进和创新,在设计空间信息网络体系结构时要能够考虑到这些因素,在对硬件平台不做大的改动的情况下进行技术的升级改造,这样也能使空间信息网络随着技术的不断创新而升级,同时也减少升级的成本和难度。

2 空间信息网络体系结构

鉴于上面所分析的空间信息网络的特点及其功能要求,必须设计一种结合这些特点和性能的空间信息网络的体系结构。文中提出一种基于 Mesh 结构的空间信息网络体系结构,其结构如图 1 所示。

设计基于 Mesh 结构的空间信息网络体系结构的

主要目标有两个方面,一方面解决在高动态的拓扑结构和不连续的链路状况下如何地对网络资源进行有效配置的问题,另一方面如何进行可靠的低时延数据传输^[9]。文中提出的体系结构根据空间信息网络中节点所处的层次和特点将空间信息网络划分为三个域:骨干网络域、接入网络域、用户域。骨干网络域由高、中、低轨卫星所构成的卫星网络组成,形成核心网络,主要负责信息包的交换和转发;接入网络域由平流层相对静止的飞艇组成,构成接入网,主要负责不同接入终端和不同业务流的接入,具体包括用户认证、呼叫接入控制、信道分配、服务等级和优先级的确定等;用户域由空间信息网络中的各个用户终端组成,主要包括航空层飞行器、地面用户终端及海面集群用户终端。

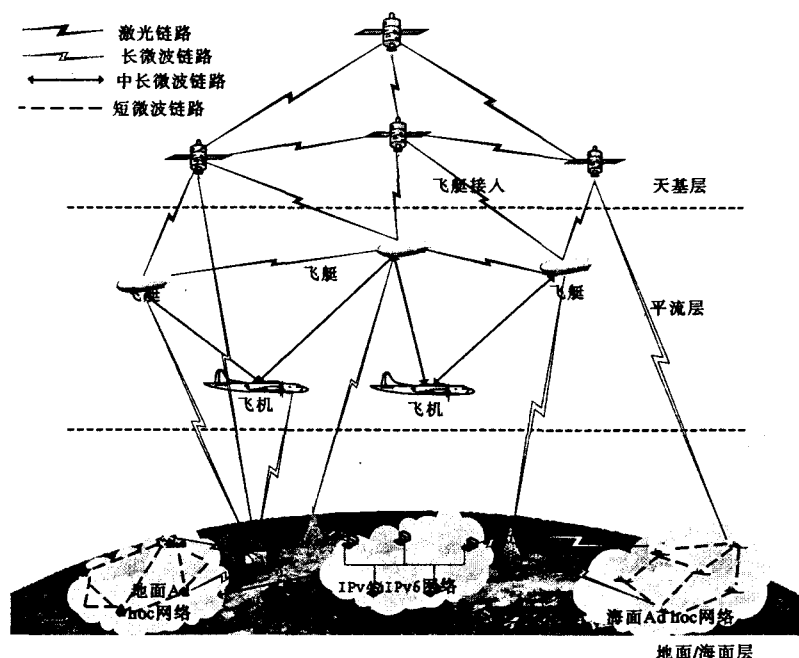


图1 空间信息网络体系结构模型

空间信息网络在逻辑上可以分为三层:用户层、接入层和核心层,分别对应于空间信息网络所划分的三个域。逻辑分层如图2所示。

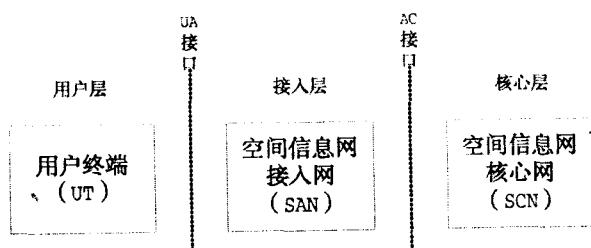


图2 空间信息网络逻辑分层

基于 Mesh 的空间信息网络体系结构的核心思想是:采用分层的思想将空间信息网络分为三个层,将平流层中的飞艇组成的网络作为空间信息网络的接入

网,由于布置在平流层的飞艇具有相对静止的特性,飞艇之间可以有稳定的通信链路,将空间 Mesh 网路由器布置在飞艇上,这些 Mesh 路由器构成 Mesh 网络,作为空间信息网络的接入网,连接用户终端和核心网络,起到承上启下的作用。接入网中的 Mesh 路由器能够自组织和具有一定的管理能力,基于 Mesh 的空间信息网络体系结构能够在一定程度上缓解空间信息网络拓扑结构的时变性和通信链路不稳定性所带来的通信问题。

空间信息网络采用这种基于 Mesh 的结构具有以下优点:

1)网络覆盖范围大,能够合理有效地利用频谱资源,从而增大系统容量。

2)网络兼具稳定性和可扩展性。一方面基于 Mesh 结构的空间信息网络采用分层的思想,网络管理便捷;另一方面体系结构设计时考虑到可扩展性和开放性,随着空间信息网络的发展可以不断对网络进行扩展,同时信道分配技术、智能路由技术及多天线技术能够很好地支持网络的扩展。当用户数目增加的时候不一定需要增加接入点的数目,可以通过其他接入点的转接接入到空间信息网络的核心网络中,网络结构灵活。

3)根据空间信息网中节点的功能和特点将网络划分为骨干网络域、接入网络域及用户域,这样可以使得网络中的节点能够完成相应的功能,减轻网络节点的负担。

4)采用多跳传输的思想,使节点传输数据所需的功率变小,减轻节点之间的相互干扰,从而提高信道的利用率。

5)将平流层中的飞艇所组成的网络作为接入网,由于平流层飞艇相对稳定,易于布置,能够自组网和自管理,通过接入网将不同的异构网络接入到核心网络中,能够提高网络的融合协作能力。同时,平流层飞艇之间相对稳定的链路可以支持多跳转发情况下的高速数据业务。

6)在体系结构设计时考虑到对现有卫星系统的支持,通过升级和改造来满足空间信息网络的组网需要,实现的技术复杂度不高。

7)基于 Mesh 结构的空间信息网络的跳和多路由选择特性提高了网络的柔韧性和可靠性。

提出了基于 Mesh 结构的空间信息网络体系结

构,在此基础上必须要有符合空间信息通信特点的协议架构来维护和管理整个网络,使之能够正常运行。考虑到空间信息网络中各异构网络之间要能兼容互连,同时空间信息网络是陆地 Internet 在空间上的延伸,所以在设计空间信息网络的协议架构时要考虑到和现有协议标准兼容。然而,现有的 TCP/IP 协议栈不符合空间信息网络的特点,不能满足空间信息网络的组网需求;CCSDS 提出的协议栈标准虽然在 TCP/IP 的基础上作了很多改进,但是还是存在很多不足,主要表现在以下几个方面:CCSDS 协议标准不能适应高速移动和动态拓扑变化环境;在长时延、高误码情况下,其传输性能不高,不能适应高突发数据传输需求;如果在空间信息网络中采用 CCSDS 协议标准,网络的吞吐量较低,不满足空间信息网络的需求。

文中在 TCP/IP 协议架构的基础上结合空间信息网络的特点对 TCP/IP 协议架构进行改进,从而提出空间信息网络的协议架构,如图 3 所示。

队列映射。网络层包括网络智能适配控制实体和空间网络子网内部协议和网间协议。传输层包适合空间信息网络的 TCP 和 UDP 协议。应用层提供数据业务、语音业务、视频业务。同时空间信息网络协议架构还应有 QOS 保障机制、时间同步、数据管理和网络安全机制等功能。

3 空间信息网络关键技术

文中提出基于 Mesh 的空间信息网络体系结构,有利于解决空间信息网络通信时延大、拓扑结构的时变性和因此引起的通信链路不连续性问题。然而空间信息网络的实施还需要对很多关键问题和技术进行深入研究。这些关键技术包括:

1) 网络传输技术。

网络传输技术是空间信息网络物理层技术,主要包括用户终端与平流层飞艇之间、平流层飞艇之间、平流层飞艇与卫星网络之间以及卫星之间的无线传输技术。

现有的比较成熟的物理层技术有:(1) 调制解调技术主要包括 nPSK、FSK、QAM、OFDM 等;(2) 信道编解码技术主要包括:FEC、Turbo、LDPC 等。空间信息网络采用微波和激光两种通信链路,要能够提供高速的数据服务,物理层技术的选择至关重要。

2) 网络接入技术。

用户终端若要空间信息网络提供服务,首先必须能够无缝地接入到空间信息网络。空间信息网络的接入技术在物理层的基础上更多地关注数据链路层的技术,主要包括:信道分配与管理、复用与多址接入、差错与流量控制、队列管理与调度、数据包识别与优先级队列映射、多跳接入等,要结合空间信息网络的特点将这些技术落实到数据帧及 MAC 协议的设计上。

3) 网络路由技术。

空间信息网络要为用户提供高速的多业务服务,要使这些业务能够在网络中进行可靠传输,需要设计针对空间信息网络特点的具有 QOS 保障能力的路由算法和协议。作为空间信息网络核心网的卫星网络,其路由协议的设计应充分利用卫星网络运行的周期性和可预知性^[10]。用户终端通过接入网接入到核心网

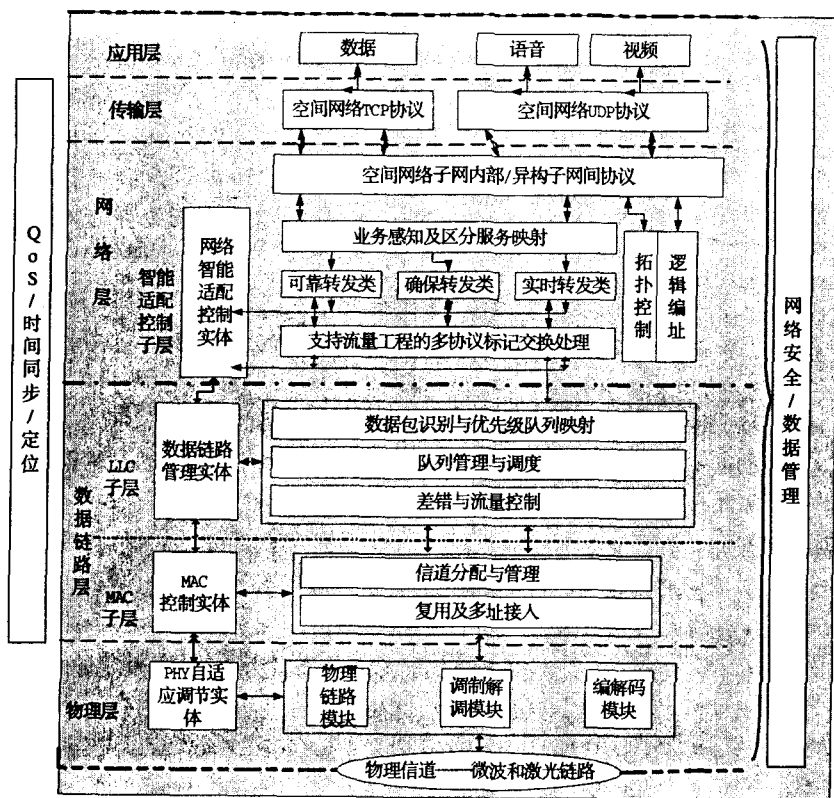


图 3 空间信息网络协议架构

空间信息网络采用微波和激光两种通信链路,在物理层的调制解调模块和编解码模块应结合这两种链路的特点进行设计。数据链路层分为 LLC 子层(逻辑链路控制子层)和 MAC 子层,分别对应于数据链路管理实体和 MAC 控制实体,MAC 子层的功能是信道分配与管理、复用及多址接入,LLC 子层的功能包括差错与流量控制、队列管理与调度、数据包识别与优先级

的路由技术和相关协议,是基于 Mesh 结构的空间信息网络中极其重要的技术,研究和设计这些协议需要考虑到准则有:尽量少的跳数、尽量小的时延、尽量大的数据速率、尽量低的差错率和尽量大的路由稳定性,同时需要考虑到负载均衡,综合考虑这些性能度量指标,综合评估后进行路由协议的设计。对于用户终端其特点类似于 Ad hoc 网络节点的特性,所以可以采用 Ad hoc 网络路由协议,寻求就近接入路由^[11,12]。

4) 网络异构兼容技术。

空间信息网络是由众多不同的节点和系统组成的,这必然带来网络异构的问题,在进行组网通信时必须克服这些异构性。解决异构问题应该包括两个方面:一方面空间信息网络的各个子网内部采用的协议不同,其数据格式、协议格式也不同,在子网之间互联互通时必须要有相应的协议来解决这种网络异构性,将不同的数据格式和协议格式进行转换,从而更好地实现空间信息网络协同合作的目标。另一方面,空间信息网络作为地面 Internet 的延伸,最终要实现地面网络和空间信息网进行无缝连接,因此在网络的高层协议中应采用 TCP/IP 协议或与之兼容的协议,同时,由于空间信息网络采用的通信链路和通信平台所处的环境与地面网络不同导致在物理层和数据链路层采用的技术和协议不同,在地面网络与空间信息网络融合时需要有一个转换机制来消除这些异构性。

5) 网络管理技术。

空间信息网络体系庞大,结构复杂,同时又是一个协同工作的整体,所以必须有一套行之有效的管理系统来维护整个空间信息网络的正常运行。主要包括:故障管理、配置管理、网络状况统计分析、性能管理、安全管理、网络实时状况反馈、网络资源分配、网络策略管理、网络模型的建立、分析和仿真。

4 结束语

发展空间信息网络是在航天、航空技术迅速发展的基础上进行空间组网通信的趋势。国内外对空间信息网络均展开了广泛和深入的研究,但还未就空间信息网络形成一个通用的标准,对空间信息网络的组网通信还有待进一步的研究。文中分析了空间信息网络的特点及其功能需求,在此基础上提出了一种基于

Mesh 结构的空间信息网络的体系结构,给出空间信息网络的协议架构,分析了实施空间信息网络的几大关键技术和可能的解决方法。

参考文献:

- [1] Carlo C, Rosario F. Transport layer protocols and architectures for satellite networks[J]. International Journal of Satellite Communications and Networking, 2006(28):245-264.
- [2] 李斗,王峰,姬冰辉,等.宽带卫星 Mesh 网多址接入信道预测分配方案研究[J].电子与信息学报,2008,30(4):763-767.
- [3] 王哲,郭伟,刘伟.平流层通信平台 MAC 层的调度方案建模及仿真[J].计算机仿真,2008,25(9):139-142.
- [4] 姜永,郑明春,李国强. IEEE802.16 中的无线 Mesh 网络研究[J].计算机技术与发展,2008,18(5):234-237.
- [5] 张勇,王汝传.基于移动 Agent 的双层卫星网动态路由算法[J].计算机技术与发展,2008,18(9):27-29.
- [6] Pizzi, Steven V. A Routing Architecture for the Airborne Network [C]//Military Communications Conference, 2007. MILCOM 2007. [s.l.]:IEEE, 2007:1-7.
- [7] 葛晓虎,刘应状,董燕,等.一种基于 MESH 结构的空天信息网络模型[J].微电子学与计算机,2008,25(5):39-42.
- [8] de Cola T, Ernst H, Marchese P. Performance analysis of CCSDS File Delivery Protocol and erasure coding techniques in deep space environments[J]. Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, 2007,51(14):4032-4049.
- [9] Ibnkahla M, Rahman Q M. High-speed satellite mobile communications: technologies and challenges[J]. IEEE, 2004, 92(2):312-339.
- [10] HQ ESC/NI1. Airborne network architecture System Communications Description & Technical Architecture Profile: report of USAF Airborne Network Special Interest Group[R]. [s.l.]:[s.n.], 2004.
- [11] Schiavone L J. Airborne network approaches and challenges [C]//Military Communications Conference. MILCOM. [s.l.]:[s.n.], 2004:404-408.
- [12] Jukan A, Joang Nam Nguyen, Franzl G. QoS-based routing methods for multi-hop LEO satellite networks[C]//Proceeding of IEEE ICON 2000. Singapore: [s.n.], 2000:339-405.