

天地一体化信息网络天基宽带骨干互联系统初步考虑

The Space Wideband Backbone Interconnected System in the Integrated Space and Terrestrial Information Network

张平/ZHANG Ping
秦智超/QIN Zhichao
陆洲/LU Zhou

(中国电子科技集团公司, 北京 100041)
(China Academy of Electronics and
Information Technology, Beijing 100041,
China)

天地一体化信息网络作为国家信息化重要基础设施,对拓展国家利益,维护国家安全,保障国计民生,促进经济发展具有重大意义,是中国信息网络实现信息全球覆盖、宽带传输、军民融合、自由互联的必由之路。

近年来,中国信息网络建设日新月异,取得了可喜的成绩,互联网和移动通信用户数量处于世界领先地位^[1]。相比地面网络,天基网络具有服务覆盖范围广,受地面因素影响小,布设机动灵活等优势,在空间信息传输、应急救援、航空运输、远洋航行、空间探索等领域发挥不可或缺的作用。但是,中国天基信息网、互联网、移动通信网发展很不平衡,呈现“天弱地强”的特征。

中国航天技术发展取得了巨大成就^[2-3],根据美国忧思科学家联盟

收稿时间: 2016-05-16

网络出版时间: 2016-06-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(91338201); 国家高技术研究发展(“863”)计划(2015AA015701)

中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 04-0024-005

摘要: 认为天基宽带骨干互联系统是天地一体化信息网络(ISTIN)的核心。在分析全球典型系统架构的基础上,结合中国国情提出了一种新的天基宽带骨干互联系统网络架构——天地双骨干。同时,综合考虑天地链路信道特征和星上处理能力约束,提出了激光/微波混合传输、电路和分组混合交换等技术体制,为系统建设提供参考。

关键词: ISTIN; 骨干互联系统; 天地双骨干

Abstract: The space wideband backbone interconnected system is the core of the integrated space and terrestrial information network (ISTIN). In this paper, we compare the major network architectures in the world, and propose a novel space and terrestrial dual backbone architecture for the space wideband backbone interconnected system based on the condition of our country. Furthermore, considering of the space-terrestrial link character and on board processing ability, we propose the scheme of laser/ radio frequency (RF) hybrid transmission and circuit/packet hybrid switching for the system construction.

Keywords: ISTIN; space wideband backbone interconnected system; space and terrestrial dual backbone

(UCS)网站上的统计数据^[4],截至2015年12月底,中国在轨卫星数量已达177颗,预计到2020年在轨卫星数量将超过200颗。天基方面,中国已经初步建成了通信中继、导航定位、对地观测等系统,但各卫星系统独自建设,条块分割十分明显,卫星数量严重不足,卫星类型比较单一,更为突出的是,卫星没有实现空间组网,无法发挥天基信息系统的网络化综合效能。

天基宽带骨干互联系统作为天地一体化信息网络的核心,一方面起到了互联各类天基信息系统的作用,

通过天地双骨干架构实现不同系统在天地两个层面的互联互通和一体化融合;另一方面作为一张全球覆盖的宽带信息网络,为陆、海、空、天等各类重点用户提供宽带接入和数据中继服务。

1 天地一体化信息网络的相关工作

1.1 天地一体化信息网络概述

近年来,随着空间网络技术的快速发展,特别是星间链路的出现,空间信息系统开始向网络化方向发展,

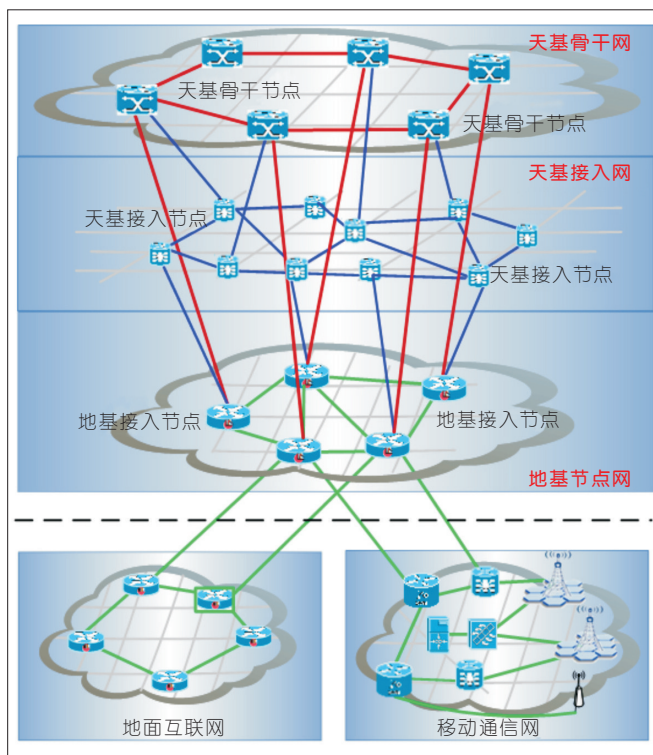
并朝着与地面网络融合成天地一体化信息网络的趋势发展。为此,世界各国都在积极开展总体架构方面的研究,包括组网架构、协议体系和标准规范等。

全球的其他一些国家在天地一体化信息网络研究和系统建设方面具有领先地位,既建成了铱星、先进极高频(AEHF)等空间组网的卫星通信系统,提出了行星际网络(IPN)、转型通信卫星系统(TSAT)等天地一体化网络的设想,又开展了一系列的空间技术试验,包括太空路由器(IRIS)等^[5-8]。

中国天地一体化信息网络相关的研究和讨论已经持续了十多年,目前已经取得了一系列成果。2006年,沈荣骏院士首先提出了中国天地一体化航天互联网的概念^[9]及总体构想;2007年和2012年,中国宇航学会飞行器测控专业委员会先后两次召开学术年会,对航天互联网相关技术进行了专题研讨;2013—2014年,工业和信息化部电子科学技术委员会组织了“天地一体化信息网络体系架构研究”重点课题,从发展战略、总体方案和关键技术等3个方面对天地一体化信息网络开展研究^[10];2013年和2015年,中国先后两次召开了天地一体化信息网络的高峰论坛,对凝聚中国天地一体化信息网络相关研究力量并形成统一的认识发挥了重要作用;2015年,张乃通院士发表了《对建设我国“天地一体化信息网络”的思考》一文^[11],对天地一体化信息网络的定位、边界做了清晰的说明,并提出了网络基本架构的设想和对建设工作的建议。

在综合相关研究工作的基础上,我们提出了对天地一体化信息网络的理 解:天地一体化信息网络是以地面网络为依托、天基网络为拓展,采用统一的技术架构、统一的技术体制、统一的标准规范,由天基信息网、互联网和移动通信网互联互通而成。如图1所示,天基信息网包括天

图1 天地一体化信息网络系统组成



基骨干网、天基接入网、地基节点网3部分。

天基骨干网由布设在地球同步轨道的若干骨干节点联网而成,骨干节点具备宽带接入、数据中继、路由交换、信息存储、处理融合等功能,受卫星平台能力的限制,单颗卫星无法完成上述全部功能,拟采用多颗卫星组成星簇的方式实现多功能综合。一个天基骨干节点由数颗搭载不同功能模块化载荷的卫星组成,包括中继、骨干、宽带、存储、计算等功能模块化卫星,不同卫星之间通过近距离无线通信技术实现组网和信息交互,协同工作完成天基骨干节点的功能。

天基接入网由布设在高轨或低轨的若干接入节点所组成,满足陆、海、空、天多层次海量用户的各种网络接入服务需求,包括语音、数据、宽带多媒体等业务。

地基节点网由多个地面互连的地基骨干节点组成,地基骨干节点由信关站、网络运维管理、信息处理、信息存储及应用服务等部分组成,主要完成网络控制、资源管理、协议

转换、信息处理、融合共享等功能,通过地面高速骨干网络完成组网,并实现与其他地面系统的互联互通。

1.2 典型系统分析

经过多年的发展,全球的其他一些国家已经建成了多个天地一体的信息网络系统,包括同步轨道、中低轨道的各类卫星系统,平流层的气球和无人机、地面信关站等组成部分,如图2所示。

通过调研分析,可以将各类不同的信息系统按照网络架构大致归为三大类:天星地网、天基网络、天网地网,如表1所示。

(1) 天星地网

天星地网是目前普遍采用的一种网络结构,包括 Inmarsat、全球宽带卫星系统(WGS),其特点是天上卫星之间不组网,而是通过全球分布的地面站实现整个系统的全球服务能力。在这种网络结构中卫星只是透明转发通道,大部分的处理在地面完成,所以星上设备比较简单,系统建设的复杂度低,升级维护也比较



▲图2 典型天地一体化信息网络系统

▼表1 不同网络结构比较

网络结构	天星地网	天基网络	天网地网
典型系统	民: Inmarsat、轨道通信系统、全球星系统 军: WGS、MUOS	民: 导航系统 军: AEHF	军: TSAT
地面网络	全球分布地面站网络	系统可不依赖地面网络独立运行	天地配合,地面网络不需要全球布站
星间组网	否	是	是
星上设备	简单	复杂	中等
系统可维护性	好	差	中
技术复杂度	低	高	中
建设成本	低	高	中
	AEHF: 先进极高频 Inmarsat: 国际移动卫星组织	MUOS: 移动用户目标系统 TSAT: 转型通信卫星系统	WGS: 全球宽带卫星系统

方便。

(2)天基网络

天基网络是另一种网络结构,典型的系统有导航、AEHF等,其特点是采用星间组网的方式构成独立的天基网络,整个系统可以不依赖地面网络独立运行。这种网络结构弱化了地面网络的要求,把处理、交换、网络控制等功能都放在星上完成,提高了系统的抗毁能力,但由此也造成了星上设备的复杂化,导致整个系统建设和维护的成本较高。通过调研分析,我们发现这种单纯的天基网络结构从商业上来说并不算成功,主要是基于军事上对网络极端抗毁性的相

关需求。

(3)天网地网

天网地网介于上述两种网络结构之间,以TSAT计划为典型,其特点是天基和地面两张网络相互配合共同构成天地一体化信息网络。在这种网络结构下,天基网络利用其高、远、广的优势实现全球覆盖,地面网络可以不用全球布站,但可以把大部分的网络管理和控制功能在地面完成,简化整个系统的技术复杂度。

3种网络架构总结如下:天星地网架构技术比较成熟,是目前全球一些国家系统建设的主流选择,获得应用广泛,但受中国国情限制,在全球

布站有现实的困难,所以难以采用这种架构;天基网络架构在安全性、抗毁性和独立性等方面有优势,但因为要考虑脱离地面独立运行,加重了对星上处理和星间信息传输能力的要求,导致技术复杂,系统的建设和维护成本高,商业上难以成功;天网地网架构通过天地两张网络的配合,充分利用天基网络的广域覆盖能力和地面丰富的传输和处理能力,大大降低了整个系统的技术复杂度和成本。

综合考虑之后,我们认为天网地网是比较适合中国国情的天地一体化信息网络的网络结构。在该天网地网架构中,空间网络既可作为独立系统存在,直接面向用户提供服务保障,又可以作为地面网络的补充和增强,以弥补地面网络在覆盖范围、抗毁应急保障以及机动保障能力上的不足。

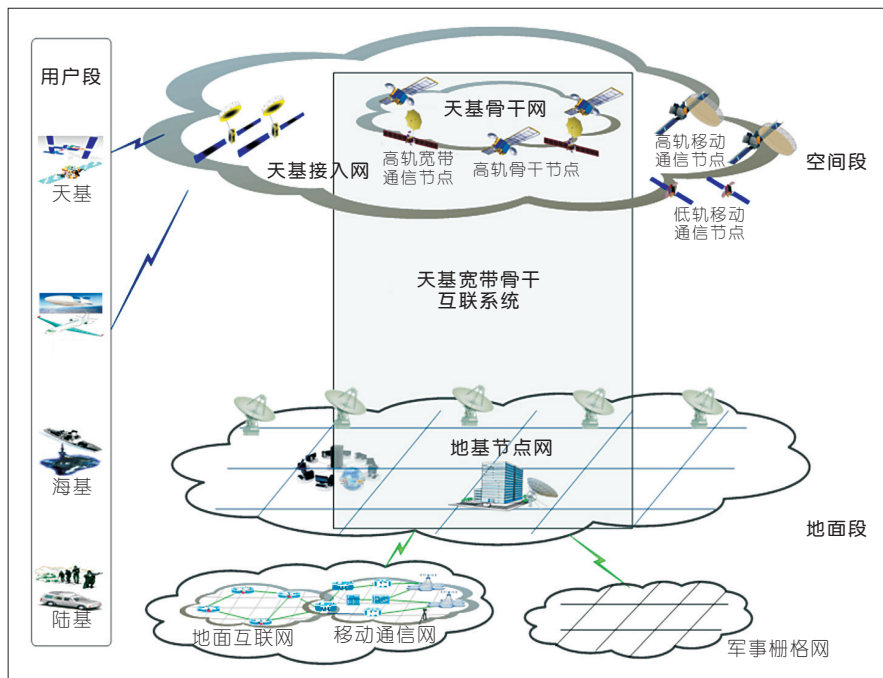
2 天基宽带骨干互联系统设计

2.1 系统架构

在天地一体化信息网络中,天基宽带骨干互联系统起到了核心的作用,具备宽带接入、骨干互连和中继传输等功能,分为空间段、地面段和用户端3部分,如图3所示。

天基宽带骨干互联系统需要保持稳定可靠,所以其空间段一般由比较稳定的同步轨道卫星组成,通过星间和星地高速链路提供高速骨干传输通道^[2]。同步轨道(GEO)卫星距离地面约36 000 km,轨道周期与地球自转周期恰好相同,所以与地面保持相对静止,并且覆盖范围广,是实现空间骨干网络的理想选择。如图3所示,其空间段部分涵盖了天基骨干网和部分天基接入网的设施。

地面段是为了支撑系统运行所必要的一些基础设施,主要包括网络运行中心(NCC)、卫星运行中心(SCC)、地面信关站(GW)等。同时,为了提高整个系统的可靠性,通过地



▲图3 天基宽带骨干互联系统体系架构

面光纤网络将各类地面设施连接起来构成地基节点网,与空间段的天基骨干网构成天地双骨干架构。

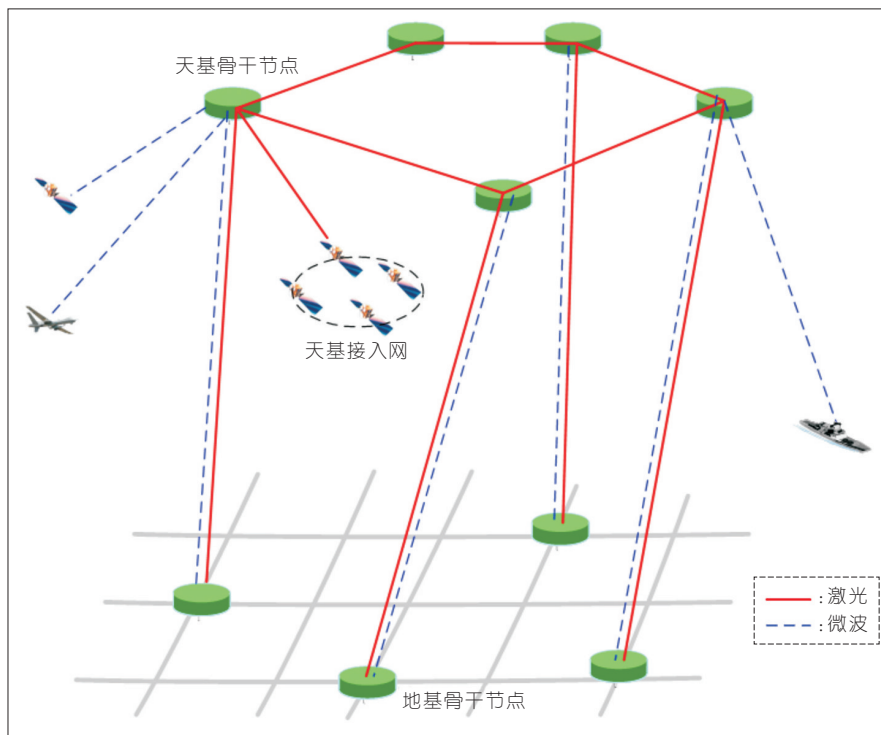
用户段是天基宽带骨干互联系统服务的对象,按照所处位置可以分为天基、空基、海基、路基等,按照服务类型又可分为骨干互连、中继传输、宽带接入等。骨干互连的主要功能是为大型网络节点间提供干线传输服务,服务对象包括地面关口站和大型的网络汇聚节点等;中继传输的主要功能是提供数据中继服务,服务对象是动态性比较强的航天器或航空器;宽带接入的主要功能是为广域范围内的重点用户提供宽带信息服务,服务对象主要包括飞机、高铁、船舶等。

2.2 传输体制

天基宽带骨干互联系统涉及到多种传输链路,包括天基骨干节点之间的骨干链路、天基骨干节点与地基骨干节点之间的骨干链路、天基骨干节点与用户间的星地宽带通信链路、天基骨干节点与低轨星座的星间互联链路等,各种链路传输体制需要针

对其空间距离、信道特征、传输容量等链路特性及平台能力等因素综合考虑设计。天基宽带骨干互联系统传输体制如图4所示。

(1)天基骨干互联链路



▲图4 天基宽带骨干互联系统传输体制

天基骨干节点间距离在29 000~68 000 km内变化,链路空间距离跨度大,带来的空间链路损耗也较大,因此可以考虑采用激光链路,最高传输速率不低于5 Gbit/s。

(2)天地骨干互联链路

天基骨干节点与地基骨干节点间的距离在36 000~42 000 km内变化,传输距离大,并且受大气影响,因此可以考虑采用激光/微波混合传输的体制:在大气环境良好时采用激光传输,当大气环境不适于激光传输时改用微波传输,激光传输的速率不低于5 Gbit/s,微波传输的速率不低于622 Mbit/s。

(3)星地宽带通信链路

星地链路空间的距离一般在40 000 km左右,自由空间损耗大;另外大气层对激光链路影响较大,星地宽带通信链路主要采用Ka、Ku微波链路,根据天线及卫星平台承载能力,星地链路考虑配置多点波束和相控阵跳变点波束。

(4)天基骨干节点与低轨星座的星间互联链路

天基骨干节点与低轨星座的链路主要实现高速的网络互连,传输容量要求高,考虑以激光链路为主,星间最高传输速率不低于5 Gbit/s。

2.3 交换体制

从目前中国的外星上交换方式技术发展来看,目前天基宽带骨干互联系统可以参考借鉴的技术实现方式主要有以下两种:分组交换和电路交换。

(1) 分组交换

分组交换主要是指基于IP的数据包存储转发方式,需要星上具备较强的处理能力。分组交换具有较好的业务接入能力,对网络拓扑结构变化的适应能力强、带宽资源动态复用/利用率高等优点。对于多波束多端口的复杂交换要求而言,因采用数字技术而复杂度大大降低。与电路交换方式相比,其系统资源利用率更高,信息交换的灵活性提高系统上下行链路可以采用不同的技术体制,有助于对系统进行优化设计,改善系统整体性能。另外星上再生处理避免了上行链路的干扰和噪声累积,可以改善系统误码性能。

(2) 电路交换

电路交换主要是指星上透明转发方式,包括微波的信道和子带交换、激光的波长交换等。相比分组交换,电路交换具有交换容量大、格式透明、处理简单、功耗低等优势。随着未来空间激光通信技术的逐渐成熟^[13-15],天基骨干网的传输速率将达到10 Gbit/s,交换容量将可以达到100 Gbit/s量级,光交换技术将是实现大容量交换的理想选择。

从不同交换体制特点来看,单一交换方式难以满足多样化应用的需求,因此可以考虑采用一种折中的方案,在星上同时可以支持两种交换方式共存。

• 光交换主要支持骨干节点之间的互连以及大容量节点(比如高分卫星)的接入,实现高速骨干互联和

中继传输功能;

• 分组交换方式主要支持对星间有通信需求的宽带用户,采用与地面网络兼容的路由协议,实现天地一体的路由组网。

3 结束语

天地一体化信息网络目前正处于技术研究向工程建设的关键时期,天基宽带骨干互联系统作为其核心,承担着构建中国空间信息基础设施的重任。文章中,我们在总结其他一些国家天地一体化网络系统发展经验的基础上,基于中国国情提出了天地一体化信息网络天基宽带骨干互联系统的初步设想,并从体系架构、传输体制、交换体制等方面展开了重点论述,为后续实际系统的建设提供技术支撑和参考。

参考文献

- [1] 中国互联网信息中心. 第37次中国互联网络发展状况统计报告[R]. 北京: CNNIC, 2016
- [2] 张庆伟. 发展中的中国航天[J]. 中国航天, 2007(8): 3-10
- [3] 国务院新闻办公室. 白皮书: 2011年中国的航天[J]. 中国航天, 2012(1): 6-13
- [4] Union of Concerned Scientists. UCS Satellite Database [EB/OL]. [2016-01-01]. http://www.ucsusa.org/nuclear_weapons_and_global_security/solutions/space-weapons/ucs-satellite-database.html
- [5] FLORIO M A, FISHER S J, MITTAL S, et al. Internet Routing in Space: Prospects and Challenges of the IRIS JCTD [C]// in Proceeding of IEEE Military Communications Conference, USA: IEEE, 2007: 1-6. DOI: 10.1109/MILCOM.2007.4455284
- [6] PULLIAM J, ZAMBRE Y, KARMARKAR A, et al. TSAT Network Architecture[C]// in Proceeding of IEEE Military Communications Conference (MILCOM 2008), USA: IEEE, 2008: 1-7. DOI: 10.1109/MILCOM.2008.4753508
- [7] JOHNSON J D, CONNARY J A, THOMPSON J, et al. Internet Routing in Space NMS Architecture[C]// in Proceeding of IEEE Aerospace Conference, USA: IEEE, 2009: 1-11
- [8] ENRIQUE G, CUEVAS H A, ESIEY B H, et al. Assessment of the Internet Protocol Routing in Space—Joint Capability Technology Demonstration [J]. Johns Hopkins APL Technical Digest, 2011, 30(2): 89-102
- [9] 沈荣骏. 我国天地一体化航天互联网构想 [J]. 中国工程科学, 2006(10): 19-30

- [10] 中国计算机协会. CCF 2014—2015中国计算机科学技术发展报告[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015
- [11] 张乃通, 赵康德, 刘功亮. 对建设我国“天地一体化信息网络”的思考 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2015, 10(3): 223-230
- [12] 张平, 秦智超, 陆洲. 面向空间信息传输的骨干网络容量模型 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2016, 11(1): 67-72
- [13] VINCENT W S. Free-Space Optical Communications [J]. Journal of Lightwave Technology, 2006, 24(12): 4750-4762
- [14] HOPMAN P, BOETTCHER P W, CANDELL L M, et al. An End-to-End Demonstration of a Receiver Array Based Free-Space Photon Counting Communications Link[C]// in Proceeding of SPIE 6304, Free-Space Laser Communications VI, IEEE: USA, 2006: 1-13. doi:10.1117/12.682845
- [15] SEEL S, KAMPFNER H, HEINE F, et al. Space-to-Ground Bidirectional Optical Communications Link at 5.6 Gbps and EDRS Connectivity Outlook[C]// in Proceeding of IEEE Aerospace Conference, USA: IEEE, 2011: 5-12

作者简介



张平, 中国电子科技集团公司电子科学研究院博士; 主要研究领域为空间信息网络和天地一体化信息网络体系架构; 先后参与国家自然科学基金、“863”项目、“973”项目、工信部战略咨询课题、工程院院士咨询课题等多个项目; 已发表论文10余篇。



秦智超, 中国电子科技集团公司电子科学研究院博士; 主要研究领域为无线传感网和天地一体化信息网络; 先后参与国家自然科学基金、“863”项目、“973”项目、工信部战略咨询课题等多个项目; 已发表论文10余篇。



陆洲, 中国电子科技集团公司电子科学研究院研究员级高级工程师; 主要研究领域为卫星通信系统和天地一体化信息网络; 先后主持和参加基金项目10余项; 已发表论文10余篇。