

# 天基宽带互联网发展现状与展望

## Status and Development Trend of Space Broadband Internet

梁宗闯/LIANG Zongchuang  
陶滢/TAO Ying  
高梓贺/GAO Zihe

(中国空间技术研究院, 北京 100094)  
(China Academy of Space Technology,  
Beijing 100094, China)

随着信息通信技术和产品的逐渐成熟,人们“无处不在”的通信理想正在变成现实。以多媒体通信为代表的网络新技术和新业务的出现及爆炸式增长,对互联网接入传输能力提出了更高的要求,宽带互联网已成为人类文明进步和社会发展的最有力平台<sup>[1]</sup>。在此背景下,中国有必要建设天基宽带互联网,与地面宽带网络、第5代移动通信(5G)系统等互联融合,从而形成空天地一体化信息网络,进一步满足用户对全球无缝覆盖的宽带服务和移动保障的相关需求。

建立天基信息网络的概念由来已久,美国早在19世纪90年代就提出了天基综合信息网的基本概念。不过,由于美国具有全球布站能力并拥有强大的地面网络和天基资源,因此该概念并没有在现实中广泛应用,这从美国转型卫星计划(TSAT)下马可见一斑<sup>[2]</sup>。欧洲也提出了构建“面向全球通信的综合空间基础设施(ISICOM)”<sup>[3]</sup>的设想,不过也没有进一

收稿时间: 2016-05-15

网络出版时间: 2016-06-29

基金项目: 国家自然科学基金  
(61271281); 国家自然科学基金  
(91438205)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 04-0014-005

**摘要:** 从天基宽带互联网的概念出发,在详细研究了全球天基宽带互联网发展现状与研究进展的基础上,提出中国天基宽带互联网应依据国家现实需求,遵循近期、中远期渐进的路线演进。同时认为在天基宽带互联网发展过程中,必须解决网络体系架构、卫星星座、空间与星地一体化组网、传输、网络管理与安全等关键技术问题。

**关键词:** 天基宽带互联网; 现状; 发展趋势

**Abstract:** In this paper, we firstly describe the concept of space broadband internet. Then after studying the status and development trend of space broadband internet both in abroad and domestic, we propose that the space broadband internet of our country should be developed according to the road map of the near future to medium/long-term in order to meet the country's actual demands. Finally, we consider that key technologies such as network architecture, satellite constellation, integrated networking of space and terrestrial, transmission, network management and safety should be solved during the construction of space broadband internet.

**Keywords:** space broadband internet; status; development trend

步设计实施<sup>[4]</sup>。

而对中国而言,由于不具备全球建站的能力,因此只能在空间卫星节点间具备宽带互联能力的基础上,构建空间信息传输高速公路,通过天基网络来实现空间信息系统的网络化,促进空间信息系统的功能升级,实现体系化、融合化发展。因此,在19世纪90年代,中国也提出了研究和建设中国天基综合信息网的设想,并在此后进行了一系列相关的专项研究,并且取得了一些显著成果,为建立中国天基综合信息网提供了一定的理论基础<sup>[4]</sup>。

与天基综合信息网类似,天基宽带互联网将不同轨道、多种类型卫星以及地面应用终端等进行宽带的互联互通,有机构成系统优化、功能完备的互联网络,并与新一代互联网、

地面移动通信网等互联互通,为陆、海、空、天各类用户提供广域覆盖、高速传输、异构互联、综合应用以及移动和固定接入等信息服务。不过,从网络构建的角度,通信中继类卫星将是天基宽带互联网的核心与基础,其他各类卫星(如导航、遥感等)可独立组网,并作为数据与业务提供方按需接入天基宽带互联网,因此从某种意义上讲,天基宽带互联网是一个创新的概念。

文章中,我们首先分析国际上与天基宽带互联网建设直接相关的卫星通信网络的发展现状,然后详细介绍中国当前卫星通信中继系统发展现状以及与天基宽带互联网相关项目的规划与研究进展。在此基础上,提出天基宽带互联网的发展路线与发展构想以及网络建设中有待发展

的核心技术问题。

## 1 全球天基宽带互联网发展现状

根据业务划分,与天基宽带互联网直接相关的卫星通信系统总体上包括卫星固定通信系统、卫星移动通信系统和数据中继系统三大类。

卫星固定通信系统包括宽带系统、固定/直播卫星系统等,一般采用C、Ku、Ka等频段,提供宽带通信、固定通信、电视直播等服务。当前,卫星宽带通信的需求最为旺盛,在轨、在研数量快速增长。美国卫讯公司计划于2016年搭载SpaceX公司重型猎鹰火箭发射的下一代大容量宽带卫星ViaSat-2,整星的容量大概为350 Gbit/s,可为250万用户提供最高可达25 Mbit/s的宽带服务。同时,Viasat-3的“三星”计划也已经公布,单星容量将达1 Tbit/s。此外,中轨卫星宽带通信星座发展平稳,作为世界第一个中圆轨道通信星座,目前由12星构成的O3b系统到2018年星座卫星数量将达到20颗,其单星容量也达到12 Gbit/s<sup>[5]</sup>。

卫星移动通信系统包括移动通信系统和移动多媒体广播系统,一般采用L、S等频段,提供移动通信、移动多媒体广播和移动数据采集等服务。目前,高轨移动通信宽带化发展趋势明显:2015年8月发射的Inmarsat-5 F3卫星可面向陆地、海洋和航空的小口径的一些终端提供下行50 Mbit/s的传输速率;未来,Inmarsat公司基于Ka波段的第5代宽带移动通信卫星系统,将实现移动通信向大容量、高带宽方向发展;低轨通信卫星星座更是百花齐放:一网公司的Onweb系统计划发展由648颗卫星组成的低轨卫星星座,工作频段为Ku频段,单星吞吐量大于8 Gbit/s,系统总吞吐量5~10 Tbit/s,系统建成后,可向偏远地区用户提供50 Mbit/s的互联网宽带接入服务,时延仅为20~30 ms;下一代铱星系统也在快

速推进<sup>[6-8]</sup>。

数据中继系统卫星主要为航天器等空间用户、飞机等特殊空基用户提供测控、大容量数据中继传输等服务。目前,各国的数据中继通信系统开始更新换代。美国跟踪与数据中继卫星(TDRS)数据中继系统已经发展至第3代,通过Ka频段提供更高的数据传输速率和更好的系统灵活性。欧洲也在发展独立的数据中继卫星系统,采用激光通信新技术提供更高的传输能力<sup>[9]</sup>。

根据上述分析,虽然更多是采用星地网络构建的方式,全球的卫星通信系统总体上都在朝着宽带互联的方向发展。而具有星间链路的下一代铱星系统、可为遥感类卫星提供数据传输服务的数据中继系统以及Cisco公司路由器搭载等系统与试验则对中国天基宽带互联网建设提供了有益的借鉴<sup>[10-12]</sup>。

### 1.1 下一代铱星系统

下一代铱星系统由泰雷兹-阿莱尼亚航天公司研制,计划采购72颗卫星和9颗备份星,预计首飞时间为2016年。系统将采用星上IP交换技术,构建更高传输速率和灵活分配带宽的宽带网络,L频段下行速率可达1.5 Mbit/s,而Ka频段下行速率可达8 Mbit/s,同时星座卫星将搭载COM DEV和Harris公司的自动识别系统(AIS)有效载荷,以及一系列来自美国国家科学基金会(NSF)的科学有效载荷(GEOScan)。

### 1.2 数据中继系统

美国TDRS-K、L两颗星分别于2013年和2014年发射,另外两颗TDRS-M、N星计划于2017年开始部署,新一代卫星增强了卫星通信能力和灵活性,并允许更高的数据速率,可同时提供S频段、C频段、Ku频段和Ka频段服务能力,最高数据传输速率为300 Mbit/s。此外,美航宇局还利用“月球大气与尘埃环境探测

器”探月卫星开展的激光通信试验,为包括激光通信在内的下一代数据中继系统开发提供技术储备。

2016年,欧洲数据中继卫星系统(EDRSS)计划的首颗激光通信卫星EDRS-A由俄罗斯“质子”火箭发射升空,采用激光通信技术,通过两颗地球静止轨道(GEO)卫星为近地轨道航天器与地面控制中心进行实时数据中继,通信速率达1.8 Gbit/s,第二颗卫星EDRS-C计划于2017年中期发射。

### 1.3 NASA的IRIS计划

美国于2009年发射卫星的Intelsat-14上搭载了Cisco公司的18400路由器,用于开展太空互联网路由器(IRIS)计划,测试空间IP路由技术,验证Web、网络电话(VoIP)和其他基于IP应用的用户是否可直接通过空间路由器进行通信。该路由器连接了星上一个C波段和两个Ku波段波束,组成IP空间路由系统,真正实现了星上的“全IP”化。

Cisco 18400空间路由器包括了路由处理器(RPE)和调制解调器接口(MIC)两个部分,其中,MIC采用软件无线电(SDR)结构,支持多个射频(RF)接口,使得地面终端可以配置更小的天线;RPE支持完全的Cisco IOS软件服务,采用与地面因特网相同的IPv4/v6互联协议及开放式最短路径优先(OSPF)(改进)/边界网关协议(BGP)路由协议,实现与地面Internet路由器完全对等的功能,并可以通过更新星上软件来增加网络的灵活性,支持VoIP、IP安全(IPsec)等业务。此外,2011年5月,美国空军的GEO-1卫星也搭载了IRIS路由器。

## 2 中国天基宽带互联网研究进展

在卫星通信方面,目前中国在轨10颗通信卫星频率多集中于C、Ku频段,覆盖集中于中国国土及亚太地区,主要满足民商用通信、广播电视、

数据传输等业务需求。研制的中星16、中星18将搭载Ka频段通信载荷,满足“一带一路”沿线国家和地区覆盖;S频段移动通信卫星将满足更广泛的需求。在数据中继卫星方面,中国已经建成一代数据中继卫星系统,实现了对地球表面覆盖率为78%,对300 km以上高度的空间飞行器覆盖率100%;第二代数据中继卫星会有更上乘的表现。

为了推动中国天基宽带互联网的发展,中国《民用空间基础设施中长期发展规划》明确提出:2020年通信卫星将在轨20余颗,2025年通信卫星将实现轨道25颗左右,满足全球覆盖需求。而在2016年国务院提出推进的《中国制造2025》中,在航天装备方面也明确提出了“发展新型卫星等空间平台与有效载荷、空天地宽带互联网系统,形成长期持续稳定的卫星遥感、通信、导航等空间信息服务能力”<sup>[13-14]</sup>。

在上述大背景下,国家自然科学基金委、科技部、中国工程院等也均开展了与天基宽带互联网相关的工作。

### 2.1 国家自然科学基金委

面向中国服务远洋航行、应急救援、导航定位、航空运输、航天测控等重大应用,基金委于2012年启动《空间信息网络基础理论与关键技术》重大研究计划,开展空间信息网络基础理论与关键技术研究,通过新理论、新方法探索,从根本上解决现有信息网络全域覆盖能力有限、网络扩展和协同应用能力弱的问题,向下支持对地观测的高动态、宽带实时传输,向上支持深空探测的超远程、大时延可靠传输。

### 2.2 天地一体化信息网络工程

国家“十三五”规划中启动“天地一体化信息网络工程”科技创新重大工程,整合各方建议,涵盖了天基系统、5G、芯片等电子与信息类内容,

并以空间装备为主体,弥补重要不足和短板。航天科技集团公司提出了天基骨干网加天基接入网的空间段总体发展构想,其中天基骨干网作为国家空间基础设施,构建空间信息高速公路;天基接入网中高轨移动通信聚焦中国国民经济国家安全重点区域,通过多用途融合范例实现移动接入;低轨移动通过采用商业运营,满足符合国家利益的全球覆盖,并通过柔性构架支持商业利益拓展。

### 2.3 空间信息技术领域发展战略研究

2016年,中国工程院启动了空间信息技术发展总体战略研究,着眼于构建中国新一代空间信息网络,以网络化、一体化为指导,以天基互联网为核心,以各类资源共享应用为目的,在不用在全球建专用地面站网条件的支持下,实现不间断的广域天基信息获取、处理、融合和传输。通过谋划、明确空间信息技术发展路线图,分析关键技术及重大应用,为推动战略新兴技术的系统创新和重大实践,促进中国工程科技更好地服务于经济社会发展,加快转变经济增长方式、服务国家宏观决策、推动创新型国家建设做出贡献。

## 3 天基宽带互联网发展展望

### 3.1 天基宽带互联网演进路线

随着技术推动和需求牵引的双重作用,作为未来天基系统信息流转的核心,天基宽带互联网将得到迅猛发展。而为了支持多系统融合,面向用户提供综合性服务,天基宽带互联网将在多个独立建设的天基系统基础上逐渐发展起来,并将经历从分立系统到体系综合的复杂过程,因此必须依据中国实际情况按步骤循序渐进发展。

预计天基信息网络发展路线将按照近期、中远期渐进的路线演进:

(1)近期(2025年)。立足现状,面向网络化发展趋势,针对国家发展

战略中明确的建设需求,通过构建必要的星间链路,推进卫星通信、中继系统的网络化建设,补齐短板,建设初级天基宽带互联网;

(2)中远期(2025年- )。随着天基通信、获取、导航等功能系统逐步完善,利用星间与星地网络,实现天基信息网络的空间贯通。在大多数卫星具备星上智能化处理和自主化能力的基础上,建设与地面网络完全融合的天基宽带互联网,提供全球化、标准化、智能灵活和安全可靠的服务。实现全球覆盖、随遇服务、机动灵活、差异化、安全可靠、管理协调,并实现网络化、综合化、一体化。

### 3.2 天基宽带互联网发展构想

与地面网络类似,目前业界普遍认为天基宽带互联网将由天基骨干网络和天基接入网络共同构成。其中,前者作为天基宽带互联网的骨干,主要负责包括宽带数据通信、遥感信息传输等在内的高速宽带的信息交换和转发,具备数据分发和一定数据处理能力,具有宽带高速、自主运行、全球覆盖、高可靠性等特点;后者负责各类地基、空基等移动用户的接入与组网传输。因此在各发展阶段,需要密切围绕“骨干接入结合”的方式推进。

(1)构建星间链路,推进卫星通信、中继系统网络化建设

由于未来的天基骨干网络将主要由当前的数据中继卫星、宽带通信卫星等发展而成,因此近期需要推动面向全球覆盖、具备星间组网能力的宽带卫星网络建设以及具备星间高速传输链路的数据中继卫星网络建设;对于天基接入网络,需要以高轨、中/低轨卫星通信星座网络为基础构建,满足用户覆盖和移动性接入需求。此外,为保障天基宽带互联网的有效应用、管理与安全,需要同时研发卫星网络智能融合应用终端,实现功能完备的网络管理和网络安全。

对于近期阶段建设的天基宽带

互联网,需要开展空间节点互联、信息实时回传、信息广域分发等通用服务示范以及陆、海、空、天各类用户随域接入、无感切换、按需服务等功能示范,全面验证网络的体系架构、技术体制、服务能力。

(2)天基信息网络空间贯通,建成天基宽带互联网

在中远期,随着天基通信、获取、导航等功能系统逐步完善以及关键技术问题的攻克与应用,一方面,需要在推进与丰富网络体系与标准规范的基础上完善天基骨干网络与接入网络建设,即在立足宽带卫星系统与中继卫星系统融合的前提下建设功能完备的天基骨干节点网络与面向全球无缝覆盖的高/中/低轨星座网络;另一方面,在为获取类卫星预留充足组网资源的基础上实现获取卫星数据的按需实时网络接入,在拥有导航接收能力的同时为导航定位精度提升等提供支持。此外,为支持更广泛的商业、民用、专业等各类应用,需要优化地面基础设施部署,将天基信息获取节点、地面数据中心、地面专业处理与服务节点、综合应用节点以及用户终端节点虚拟整合,实现基础数据、信息产品及软件、存储、计算等资源有序共享,实现天基宽带互联网与新一代互联网、地面移动通信网络无缝连接,开发型谱化的智能融合应用终端,保证异构网络的有效管理与安全。

在实现天基信息网络的空间贯通与地面有效服务的前提下,对于中远期阶段的天基宽带互联网,需要进一步开展全球移动宽带通信、遥感信息快速获取等多种按需服务,全面推广应用服务,达到为各类用户提供全球、全域的天基信息服务能力。

## 4 天基宽带互联网发展关键技术

为推动天基宽带互联网发展,根据天基宽带互联网演进路线与发展设想分析,需要考虑攻克网络体系架

构、星座轨道设计、组网技术、传输技术、网络管理与安全技术等5个主要方向的关键技术,形成系列化的标准协议。

### 4.1 网络体系架构

天基宽带互联网体系架构指对天基宽带互联网的总体设计,包括物理和信息两个层次。对于物理层面,主要设计组成三维动态拓扑的卫星节点数量、分布、位置、功能规划及其相互关系,以及网络拓扑结构的扩展能力和拓扑重构的可能范围等内容。考虑到天基宽带互连网络的空间分布所带来的多尺度特性,网络结构取决于网络规模、网络对地/对空覆盖、工作频段等多方面的指标要求。对于信息层面,需要在明确天基宽带互联网的服务模式与服务支持能力的基础上,确定信息传输类型与需求以及各类信息流程。天基宽带互联网体系设计既要继承已有空间功能系统,又要面向未来有所创新,以此来满足全球覆盖、宽带高速、灵活接入、自主运行、天地一体等能力需求。

### 4.2 星座轨道设计

星座轨道设计是对天基宽带互联网星座构型、卫星节点频率/轨道、星间/星地互联链路等的总体设计。在设计中,既要面向功能系统的服务范围和服务对象做“设计”,又需要结合频率、轨位等实际的一些情况做“安置”优化。

从网络节点所处轨道位置来看,由于GEO卫星对地静止,卫星间的网络拓扑相对固定,往往成为构建天基宽带互联网骨干网络的首要选择;而在天基接入网方面,由于不同轨道的接入网提供不同覆盖范围、传输速率、业务支持等功能,因此其星座轨道需要按需设计。

### 4.3 组网技术

组网技术是实现天基宽带互联

网异构互联的基础,为使信息在天基宽带互联网的异构网络间多跳传输,组网技术必须具备高效、灵活、可扩展、智能化等特点。

组网技术具体又包括了接入管理、空间路由、高速交换、组网协议、天地互联、资源管理调度等技术。以接入管理为例,由于天基宽带互联网为不同用户提供服务,不同终端、不同业务,以及不同服务等级对基宽带互联网的接入能力要求不同,因此,应根据实际应用场景,研究按需宽带接入、随遇移动接入等技术。

### 4.4 传输技术

传输链路是实现天基宽带互联网信息交互的桥梁,更高速率、高带宽、更高效是永恒追求。星间、星地的高速数据传输链路目前可通过微波、激光等多频段实现。其中,在高速微波传输技术方面,为实现数Gbit/s的高速传输,核心技术主要包括超高速高频谱效率传输体制、多载波超高速调制解调算法、空间信息网络协作传输技术等;在高速激光传输及多址技术方面,核心技术主要包括相干激光调制、多制式数字解调、兼容有/无信标光的快速捕获与高精度跟踪、基于光学相控阵的光多址接入技术等。另外,随着传输理论、材料、工艺等不断进步,新型传输技术亦将为传输技术带来重大变革。

### 4.5 网络管理与安全技术

针对天基宽带互联网节点动态变化,服务对象复杂,用户需求多样,服务质量分级等特点,实现安全、可靠、稳定、高效的网络管理与安全保障即是网络高效运行的基础,也是基本要求。因此,必须面向空天地网络融合,在地面管控系统实施全网集中管控的背景下,按照卫星组网模式,实现星载网络星上自主管控以补充地面区域地面站不足。同时,考虑到天基宽带互联网面临的开放性的卫星链路、不稳定的信号传输、移动的

网络节点等带来的更多的安全威胁,需要深入研究和解决网络中所传输信息的机密性、完整性,提升网络本身的抗攻击能力。

## 5 结束语

文章从天基宽带互联网的概念出发,在详细分析全球天基宽带互联网发展现状与研究进展的基础上,提出中国天基宽带互联网演进路线与发展构想,并明确提出网络建设过程中必须解决的五大技术问题。

天基宽带互联网的建设是一个长期的过程。在推进过程中,需要结合用户需求、现有能力以及已有重大工程论证成果,在分析中国天基宽带互联网发展基本条件的基础上,在技术攻关成果的推动下,统筹军队、部委、行业等应用需求,循序推进实施。

### 参考文献

- [1] 李克强. 政府工作报告[R]. 北京:第十二届全国人民代表大会第三次会议, 2015  
[2] PARIKH B, FRITZ D. Network Centric

- Operations Over Transponded SATCOM [C]// 2004 Military Communications Conference MILCOM 2005. USA: IEEE, 2004:517-520  
[3] ISICOM Overview Document (draft version 1) [EB/OL]. [2009-04-10]. <http://www.isi-initiative.org/>  
[4] 闵士权. 我国天基综合信息网构想[J]. 航天器工程, 2013, 22(5):1-14  
[5] 陈文胜, 王丽君, 徐平, 等. Ka宽带多媒体系统运营模式浅析[J]. 卫星应用, 2014(2):44-47  
[6] 朱贵伟. Inmarsat-5 卫星[J]. 卫星应用, 2015(5):1  
[7] 迟惑. 格里格·维勒与他的全球互联梦想[J]. 太空探索, 2015(7):30-33  
[8] 刘浩, 潘坚, 曹世博. 低轨互联网星座业务发展趋势分析[J]. 中国航天, 2015(7):17-21  
[9] 杨飞, 周亚萍, 李晴飞. 国内外中继星的现状及发展趋势[J]. 数字通信世界, 2015(7):343-345  
[10] 郭丽红, 张靓, 杜中伟, 等. NASA月球激光通信演示验证试验[J]. 飞行器测控学报, 2015, 34(1):1-4  
[11] ENRIQUE G. CUEVAS, ANDREW P, et al. Internet Routing in Space: Prospects and Challenges of the IRIS JCTD[C]//2007 Military Communications Conference, MILCOM 2007. USA: IEEE, 2007:1-6  
[12] HSU J, PHEIFFER B, HAO P, et al. Analyzing Routing Protocol Convergence in Routed Satellite Networks[C]//Military Communications Conference, MILCOM 2005. USA: IEEE, 2007:1-7  
[13] 国家发展改革委, 财政部, 国防科工局. 国家民用空间基础设施中长期发展规划(2015—2025年)[R]. 2015  
[14] 国务院. 中国制造 2025 [R]. 2015

### ← 上接第 13 页

复杂系统,系统中的核心节点在空间上暴露在外,容易受到非法用户的恶意攻击,因此必须开展安全机制和安全协议研究,提高系统和网络的抗扰、抗毁能力。此外,随着数据传输速率的提高和波束成型等技术的使用,对天基网络节点的测距精度和同步精度提出了更高的要求,有必要进行高精度的毫米波或激光测距算法和全网定时同步算法研究;为提高核心节点的信号处理、传输和交换能力,还需要同步开展低复杂度信号处理技术和星载高速信号处理元器件研制等。

## 5 结束语

针对中国发展空间信息网络空间频率轨位资源匮乏、卫星平台能力较弱、空间系统高可靠性要求等现状与需求,深入分析了分布式星群的应用需求,提出了基于分布式星群的空间信息网络体系架构,通过多星共

轨、星间协同、资源虚拟化等技术,实现空间系统服务能力的增强以及与任务的高度匹配,可为中国未来空间信息网络研制建设提供借鉴。

### 参考文献

- [1] 于全, 王敬超. 空间信息网络体系结构与关键技术[J]. 中国计算机学会通信, 2016, 12(3): 21-25  
[2] 史西斌, 高坚, 寇保华. 欧洲数据中继卫星系统的未来发展[J]. 中国航天, 2009(10): 29-33  
[3] NASA Tracking and Data Relay Satellite System [EB/OL]. [2010.8.26]. <http://www.spacecomm.nasa.gov/spacecomm/tdrss/>  
[4] 盘点:“十三五”期间中国要上的 100 个大项目 [EB/OL]. [2016.3.6] <http://news.china.com/2016h/news/11176754/20160306/21713059.html>  
[5] 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, 8(10): 19-30  
[6] 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): 223-230  
[7] 闵士权. 我国天基综合信息网构想[J]. 航天器工程, 2013, 22(5):1-14  
[8] 黄惠明, 常呈武. 天地一体化天基骨干网络体系架构研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2015, 10(5):460-491  
[9] UCS Satellite Database [EB/OL]. [2016.1.1]. <http://www.ucusa.org>  
[10] 刘豪, 梁巍. 美国国防高级研究计划局 F6 项目发展研究[J]. 航天器工程, 2010, 19(2):92-98  
[11] BROWN O, EREMENKO P. Value-Centric

### 作者简介



表论文 40 余篇。

梁宗闯, 中国空间技术研究院通信卫星事业部研究员、硕士生导师, 中国通信学会卫星通信委员会委员, 航天科技集团公司科技委通信系统组和卫星应用组委员, 中国空间技术研究院院科技委有效载荷专业组委员; 先后主持和参加各类国家级科研项目 20 多项; 已发



陶澐, 中国空间技术研究院通信卫星事业部研究员、硕士生导师; 主要从事宽带/移动卫星通信、天基网络等方面的研究; 先后主持和参加国家科技部“863”计划、自然科学基金项目 20 余项; 已发表论文 30 余篇。



高梓贺, 中国空间技术研究院通信卫星事业部工程师; 主要从事宽带卫星通信、天基网络、卫星星座等方面的研究; 参与多项国防“863”计划、自然科学基金项目研究; 已发表论文 10 余篇。

- Design Methodologies for Fractionated Spacecraft: Progress Summary from Phase 1 of the DARPA System F6 Program[C]// AAIA Reinventing Space Conference, 2009 (6540):1-15  
[12] 潘清, 胡欣杰, 张晓清. 网络中心战装备体系 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2010

### 作者简介



国防发明专利授权 4 项, 发表论文 30 余篇。

王敬超, 中国电子设备系统工程公司研究所高级工程师; 主要研究领域为空间信息网络、卫星通信系统顶层设计及关键技术研究; 先后主持和参加国家自然科学基金、国家高技术研究发展计划等项目 10 余项; 获省部级科技进步一等奖 2 项; 获国家发明专利授权 2 项、



科技进步一等奖 4 项、二等奖 2 项; 申请发明专利 14 项, 出版学术专著 7 部, 发表论文 50 余篇。

于全, 中国工程院院士, 中国电子设备系统工程公司研究所研究员; 主要研究领域包括软件定义无线电、移动 Ad hoc 网络、认知无线网络、下一代无线通信网络、空间信息网络、网络跨层设计、网络效能分析与仿真等; 获国家科技进步一等奖 1 项、二等奖 1 项, 军队