



专题：天地一体化信息网络

关于天地一体化信息网络典型应用示范的思考

汪春霆, 翟立君, 李宁, 卢宁宁

(中国电子科技集团公司第五十四研究所, 河北 石家庄 050081)

摘要: 天地一体化信息网络通过多轨道卫星星座将陆基、海基、空基网络连接起来, 构成覆盖全球的一体化通信网络, 可以为我国海洋、航空、航天、信息普惠、商用全球宽带通信等多种应用场景提供全新的解决方案, 为“一带一路”等国家战略实施提供通信应用及服务支撑。在充分汲取国际先进技术、产业和应用服务经验的基础上, 通过开展典型应用示范系统的建设, 可以进一步验证天地一体化信息网络的能力, 牵引出更多应用需求和商业模式, 并就未来天地一体化信息网络典型应用系统的建设提出了一些初步的考虑和设想, 为全球各类用户提供基础公共服务及专业服务。

关键词: 天地一体化信息网络; 卫星通信; 应用技术; 5G; 边缘计算

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017322

General idea of application system for space-ground integrated information network

WANG Chunting, ZHAI Lijun, LI Ning, LU Ningning

The 54th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Shijiazhuang 050081, China

Abstract: The space-ground integrated information network can offer global coverage by connected air, ocean and land networks with hybrid orbit satellite constellation. This infrastructure can provide a new solution for applications of marine, aviation, aerospace, inclusive information system and global commercial broadband communication. It can also support the implementation of national strategies such as B&R with communication applications. On the basis of fully drawing on international advanced technology, industry and application service experience, through the development of a typical application demonstration system, the capability of the world-wide integrated information network was verified and more application requirements and business models were drawn. And some preliminary considerations and ideas were put forward for the construction of a typical application system of the space-ground integrated information network in the future, providing basic public services and professional services to all kinds of users worldwide.

Key words: space-ground integrated information network, satellite communication, application technology, 5G, edge computing

1 引言

天地一体化信息网络与地面网络相比, 具有

广域覆盖的突出特点, 对于实现海上、空中、陆地的全域通信覆盖有明显优势, 成为军事信息应用、民用通信保障和商业通信应用的一个重要发

收稿日期: 2017-11-10; 修回日期: 2017-12-07

展领域。为了抢占天基信息网络这一战略制高点,我国即将启动天地一体化信息网络重大工程的建设工作,拟在 2030 年前后建成覆盖全球的天地一体化信息网络,为陆、海、空、天各类用户提供多样化的网络与信息应用服务。

当前,国际上卫星通信产业呈现平稳增长态势。根据 2017 年美国卫星产业协会(SIA)公布的第 20 版卫星产业状况年度报告^[1],2016 年全球卫星产业规模为 2 605 亿美元,其中与应用紧密相关的大众消费类卫星通信服务规模为 1 077 亿美元,较 2015 年增长 5.1%。除去广播业务,卫星固定和移动通信服务规模约为 210 亿美元。美国依然保持着明显优势,在卫星服务业中收入占比约为 40%。从传输能力上看,目前国际上典型的海事卫星 5 代 GEO 卫星在 L 频段可提供单用户 512 kbit/s 的传输能力,在 Ka 频段则可高达 50 Mbit/s。采用低轨星座的铱星 NEXT 系统,L 频段可达 1.5 Mbit/s,Ka 频段可达 30 Mbit/s。从用户使用成本上看,欧洲运营商 SES 目前提供含 3 GB 流量 Broadband S 包月套餐,月资费仅 10.95 欧元,与目前 4G 资费相当。从传输技术上看,主要面向固定业务 DVB-S2X 标准^[2]进一步提升了带宽利用率,并为未来高频段移动应用提供了甚低信噪比(VLSNR)模式。在卫星移动通信领域,欧洲太空局(European Space Agency, ESA)的“通信系统预先研究计划 ARTES”发布了《新兴 5G 卫星通信商业技术白皮书》,关注 5G 环境下的星地融合问题^[3]。

就国内市场来看,智研咨询公司出具的《卫星通信行业市场运营态势及发展前景预测报告》^[4]显示,2015 年我国卫星通信市场规模约为 715.9 亿元,同比 2014 年的 584.8 亿元增长了 22.42%,其速度远高于国际市场。从传输能力上看,目前我国 S 频段的天通一号卫星可提供 384 kbit/s 的移动通信能力,采用 3GPP-R6 框架。Ka 频段中星 16 卫星的宽带接入能力可达 20 Mbit/s 以上。

天地一体化信息网络应用系统,在充分汲取

国际先进技术、产业和应用服务经验的基础上,通过与用户单位的紧密合作,在设计时充分了解各方需求,通过开展典型应用的示范,迭代推进网络的建设及应用。

2 天地一体化信息网络应用系统总体架构

2.1 应用系统组成

天地一体化信息网络应用示范采用分散建设与统筹规划相结合原则,对应用系统的共性关键技术、标准规范、接口、共用网络基础设施、通用终端、芯片等内容进行统一规划、统一设计。具体应用系统建设将分阶段、分步骤开展,第一阶段结合试验系统建设完成典型应用示范,第二阶段天地一体化网络同步完善服务能力,到 2030 年实现应用推广。

图 1 给出了天地一体化信息网络应用系统组成架构,主要包括共性关键技术,标准和规范,通用终端、模块、芯片和软件中间件,典型应用示范。其中,典型应用示范又拟在战略安全防护通信、全球移动宽带服务、战场联合信息支援、防灾减灾信息服务、反恐维稳信息支持、航空管理信息服务、海洋管理信息服务、信息普惠共享服务、天基设施中继这 10 个领域开展。天地一体化信息网络中作为网络基础设施的部分主要包括天基骨干网、天基接入网和地基节点网,其中,地基节点网又包括信关站、运维管理节点和信息处理服务节点。

应用系统的用户借助手持、载体等多种类型终端,利用 L 频段、Ka 或者激光空中接口接入网络。数据在低轨道接入网星座或者骨干网星座中路由转发,于地基节点网中的信关站落地,然后再经过边界网关进入用户的业务子网内。对于每个典型示范应用,其网络侧网元主要由边界网关、应用专业运维、应用服务组成。典型示范应用的专业运维节点和地基节点网的运维管理节点交互,进行用户管理、业务管理、费用结算,并可根据应用需求从该接口上申请调配资源。地基节点网的信息服务节点为典型示范提供计算能力支

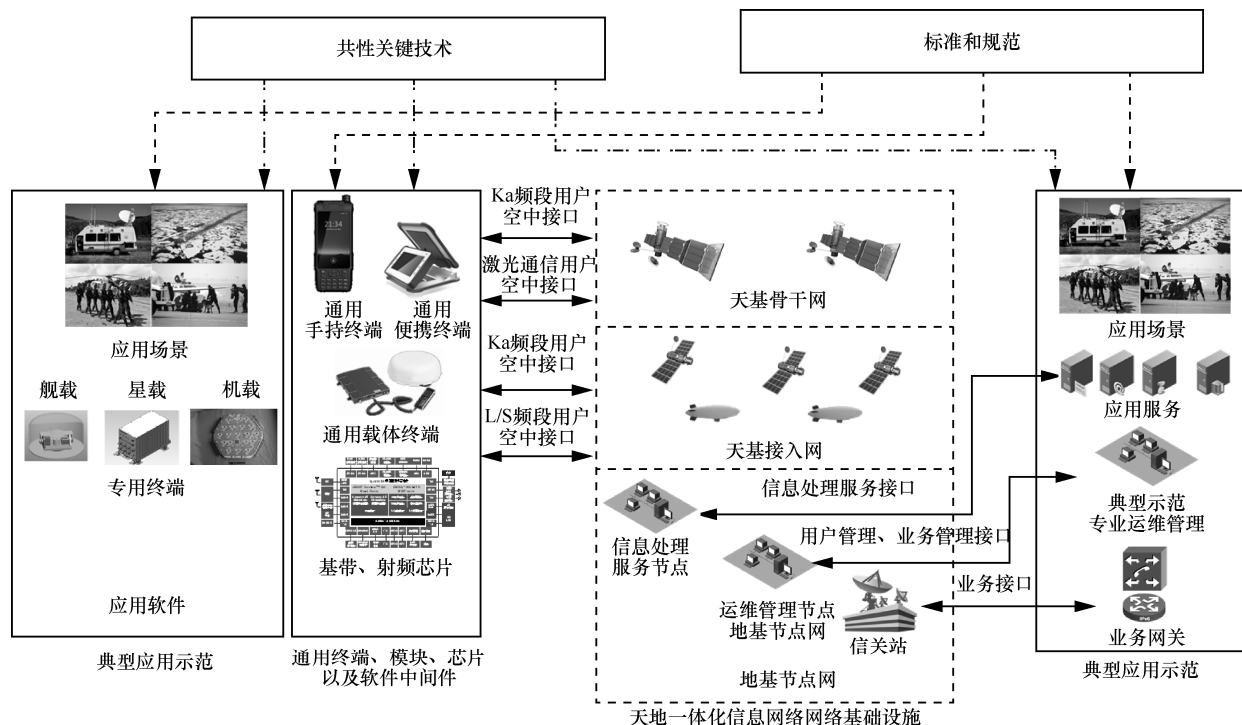


图1 天地一体化信息网络应用系统组成架构

持,典型示范的应用服务可利用其提供的云计算、云存储、大数据分析等功能。

2.2 共性关键技术

(1) 与 5G 融合的空中接口传输技术

5G 在规划之初就考虑把卫星网络纳入整个框架,但目前 3GPP、IMT-2020 等组织工作尚未有实质进展。天地一体化信息网络为了实现星地融合,简化终端和芯片成本,降低网络切换时上下文的开销,并便于星地频谱的部署和干扰协调,首先拟解决空中接口的融合设计问题。

作为 5G 标志性技术的大规模 MIMO^[5,6]在卫星通信应用中面临困难。在单星条件下,天线阵元几何间距有限、收发信号相关性强,MIMO 很难获得增益^[7]。在多星协作条件下,其精确时频同步网络又很难搭建。非正交多址技术(NOMA)^[8]对天基开展物联网应用以及提升系统频谱利用率具有很强的吸引力。目前 NOMA 主要包括功率域^[9]以及码域的 SCMA^[10]、MUSA^[11]两类方案,且趋向融合。在天地一体化信息网络中,功率域方案

不易实施,如采用 GEO 卫星,小区(波束)边缘和波束中心的终端与卫星(基站)距离相差不大,信号功率差别也不大。对于低轨道卫星,存在小倾角、终端传输距离、功率水平具有一定差异的情况。但考虑到多星同时覆盖时,提供小倾角链路的卫星往往是刚进入或者即将离开服务区的,也不宜使用这个卫星节点开展接入。码域方案由于星上处理能力有限,需要进一步降低复杂度。对于新型的波形,由于 R15 阶段仍然主要考虑 OFDM,卫星通信场景中解决峰均比问题仍然是关键^[12],由于覆盖区远大于地面网络,循环前缀、上行随机接入物理信道(RARCH)导频也需要特殊设计^[13]。编码方案则可考虑与地面采用类似的 Polar 码与 LDPC 码组合。

(2) “大时延带宽积”条件下的端到端传输控制和拥塞管理技术

天地一体化网络具有显著的“大时延带宽积”特性,它所提供的对空间用户的微波或激光中继,用户速率可达 2.5 Gbit/s 甚至更高。其次,除却卫

星通信本身就具有大时延的特征之外,星座路由时延随着“跳数”增大不断增加,来自不同区域的业务在落地时的时延上将具有显著的差异。最后,星上用于排队缓冲的存储器相对地面是非常有限的,使每个节点面对突发、拥塞时存在更大的分组丢失风险。由于部分涉及安全的应用数据必须从国内上空卫星落地,使这我国上空节点的链路负载将明显高于平均水平,拥塞可能性进一步加大。

当前主流的端到端传输控制协议(transmission control protocol, TCP)并不能很好地适应上述“大时延带宽积”的场景。采用 AIMD (additive increase multiplication decrease) 模型的 TCP Reno、TCP New Reno^[14]等算法“慢启动”中线性的窗口调整,使其达到网络吞吐量则需要很长时间。当网络出现拥塞时,AIMD 算法窗口下降太快又使其面临下一个漫长的线性恢复过程。采用 MIMD (multiplicative increase multiplicative decrease) 的 HSTCP,虽然能够部分解决大带宽条件下的窗口快速调整问题,但在 RTT 不同时具有严重的不公平性问题^[15]。在天地一体化网络中的星座中,跳数更多业务的 RTT 和分组丢失概率都较大,这导致其具有较低的性能。严重的服务不均衡和用户体验的下降,迫使人们在端到端拥塞控制和节点分组丢失机制上设计差异化的策略。目前有一些基于反馈算法,如 XCP^[16],通过数据分组中某些标识来计算和反馈传输质量信息,但这带来了较大的开销。现有的研究表明,“大时延带宽积”条件下,任何主动队列管理机制都难以控制队列长度的一、二阶矩,而且随着时延或者带宽上升变得更为严重^[17],这又进一步加剧了终端 TCP 窗口的抖动。因此,如何解决这种环境下端到端的传输控制仍然是一个重要问题。

(3) 边缘计算技术

当前世界,数据生产速度是非常迅速的,视频监控、物联网数据采集、科学研究很容易在几天

到几周内产生 TB 量级的数据^[17]。目前规划的天地一体化信息网络的带宽资源相较于应用来说仍然是有限的,如果大量的数据都经过网络回送给后方服务器,其带宽开销、时延和费用都是难以接受的。这一困难在地面网络中也是存在的,只是在卫星网络中这一矛盾则更为突出。

目前,随着智能设备的快速发展,用户正从以数据消费者为主的单一角色过渡到兼顾数据生产者的双重角色。随着万物互联的推进,在网络边缘产生数据、处理数据这一趋势将更为明显。根据思科的预测,到 2018 年,全球物联网产生的数据将有 45% 在网络边缘存储、处理和分析^[18]。业界因此提出了“雾计算”概念^[19],命名源自“雾是更贴近地面的云”。它是一种新的云计算服务模式,又称边缘计算^[20]。数据首先通过身边的“雾节点”进行计算、抽象、存储和压缩,从而减小了向云内传输以及组织云内节点计算带来的开销,同时也减轻了云端处理用户数据带来的安全问题。这一模型对于卫星应用具有强大的吸引力,无论是对于降低未来网络的专业运营公司提供云计算增值服务成本,还是降低用户自主在该网络上部署应用的运营成本。目前,“雾计算”还需要突破的关键技术包括面向多种异构边缘节点复杂环境的应用可编程性、命名规则、数据抽象、服务管理、数据隐私保护以及相关科学理论^[21]。

3 典型应用示范

3.1 全球移动宽带应用

全球移动宽带典型应用示范系统侧重于通过建设统一的运营支撑平台,开通业务国家和区域布设线上、线下营业厅,在全球范围内为大众消费类用户提供基础电信业务以及政企类服务。对于涉及秘密或者高安全要求的数据,可借助空间网络直达国内落地。该网络中政企业务常用 IP VPN 服务架构如图 2 所示,主要基于 IPSec VPN 技术。



3.2 航空管理信息服务

航空典型应用示范系统拟针对大型民用运输类飞机（如 C919、ARJ21）和通用航空特种飞机开展。大型民用运输类需求包括：驾驶舱高安全级别语音及数据通信服务；北斗卫星/GPS 的星基增强定位服务；广播式自动监视 ADS-B；飞机健康管理服务；客舱高速宽带上网，如空中 Wi-Fi。通用航空的需求主要包括：特种任务宽带通信服务，如航拍红外/可见光图像回传；通航语音及数据通信服务。图 3 给出了基于低轨道卫星 Ka 频段开展的航空管理信息服务，主要提供 Internet 访问、空管系统和飞机健康管理以及航空公司提供的 App 增值服务。

3.3 海洋管理信息服务

海洋管理典型应用示范系统提供的应用服务包括：海上观测监测数据回传服务，对海洋生物资源、大气质量、海洋水资源、污染物排放范围等进行实时监测浮标产生的监测数据回传及浮标定位；极地大洋高速数据通信：针对南北极科考站、大洋上科考船的双向高速数据通信；海上日常数据通信服务：渔船渔情预报、维权执法指挥通信服务。图 4(a) 给出了海洋管理信息服务示意，低轨卫星提供 L 和 Ka 两个频段分别用于中低速和高速通信。

3.4 天基信息中继应用服务

由于历史和政治的原因，我国在全球布站困

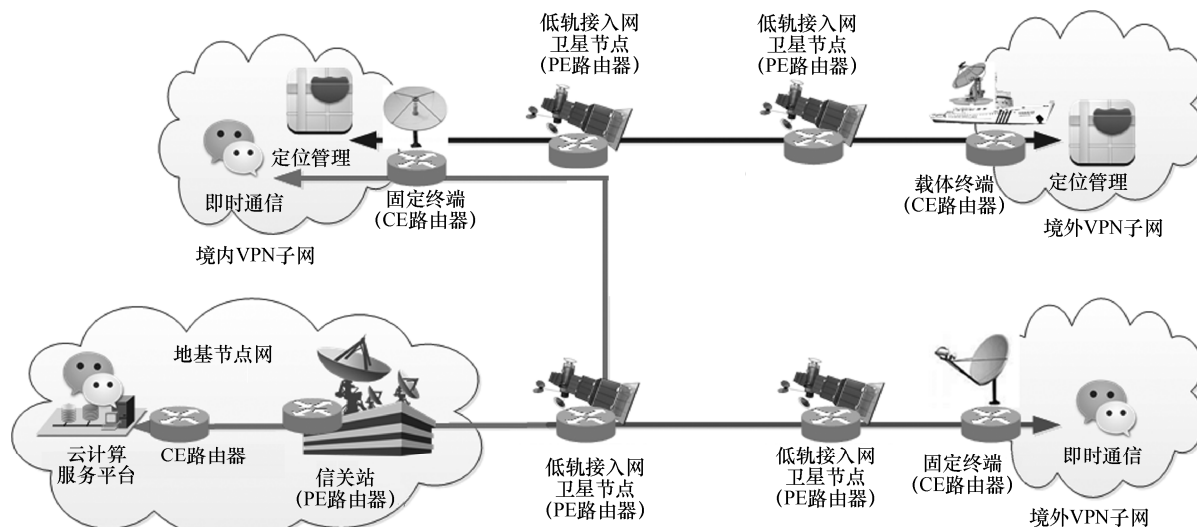


图2 政企业务常用 IP VPN 服务架构

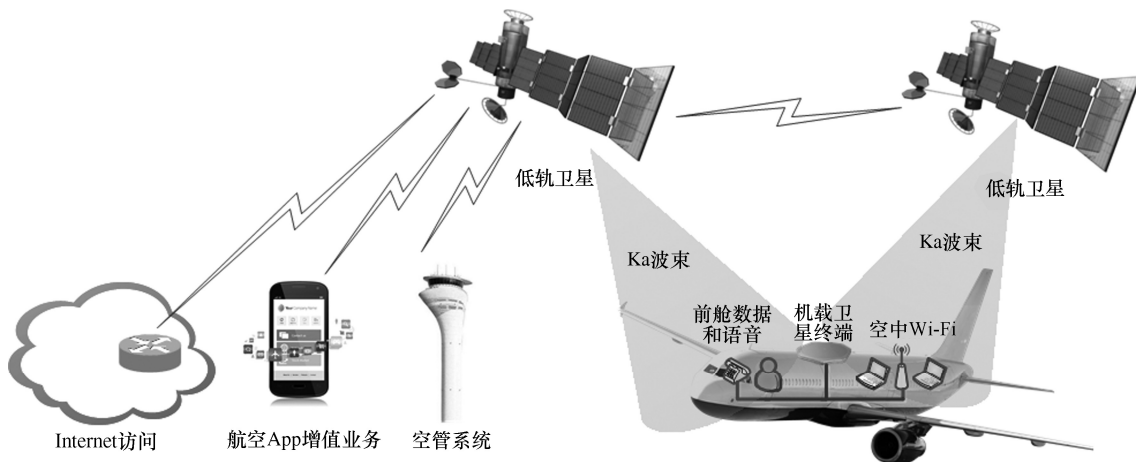
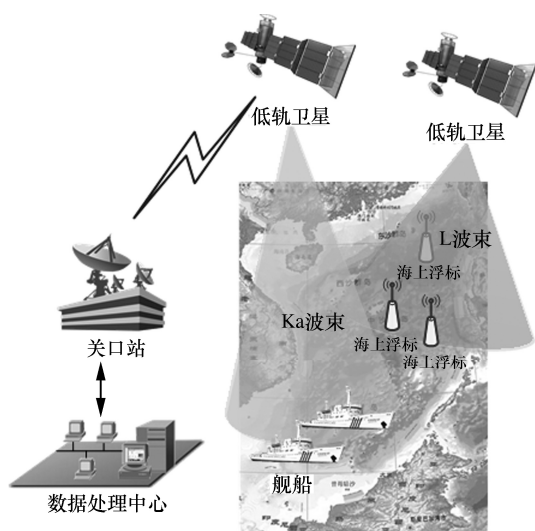
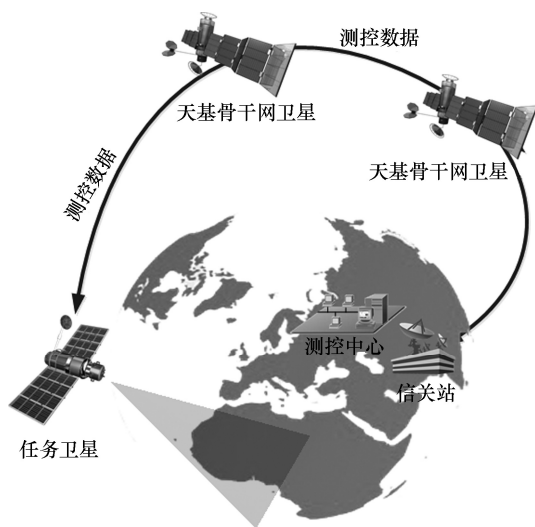


图3 基于低轨道卫星 Ka 频段开展的航空管理信息服务

难较大,陆地测控站和海上远望测量船一直支撑着我国的航天测控任务,其通信覆盖相对较低。随着天链中继卫星的应用,这个情况得到了一定改善。以天舟1号发射为例,测控通信的覆盖率由原来地基为主的20%提高到目前的80%^[22],这充分体现了天基测控对于我国航天事业的重要意义。在现有中继星基础上,天地一体化信息网络通过构建覆盖全球的天基骨干网,可进一步提升我国通信测控服务覆盖率指标,支撑我国航天应用的开展,如图4(b)所示。



(a)海洋管理信息



(b)天基信息中继应用

图4 服务示意

4 结束语

天地一体化信息网络是我国未来重要公共信息基础设施,其着力解决我国政治经济发展过程中迫切的战略性、公益性和商业性需求,为全球各类用户提供基础公共服务及专业服务。通过开展典型应用示范系统的建设,可以进一步验证天地一体化信息网络的能力,并牵引出更多应用需求和商业模式,本文就未来天地一体化信息网络典型应用系统的建设提出了一些初步的考虑和设想,希望能抛砖引玉,进一步完善应用系统的建设方案,更好地发挥系统效能。

参考文献:

- [1] Bryce Space and Technology Corporation. State of the satellite industry report[R]. 2017.
- [2] DVB document A83-2, digital video broadcasting (DVB); second generation framing structure, channel coding and modulation systems for broadcasting, interactive services, news gathering and other broadband satellite applications part II: S2-extensions (DVBS2X): DIN EN 302307-2010 [S]. 2010.
- [3] European Space Agency. Assessing satellite-terrestrial integration opportunities in 5G environment[R]. 2017.
- [4] 北京智研科信咨询有限公司. 卫星通信行业市场运营态势及发展前景预测报告[R]. 2016.
Beijing Zhiyan Kexin Consulting Co., Ltd. Satellite communications industry market trends and development prospects forecast report[R]. 2016.
- [5] 李兴旺. 无线通信系统中的大规模 MIMO 关键理论及技术研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2017.
LI X W. Key theory and technology of massive MIMO in wireless communication system[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2017.
- [6] KING P R, STAVROU S. Capacity improvement for a land mobile single satellite MIMO system[J]. IEEE Antennas Wireless Propagation Letter, 2006(5): 98-100.
- [7] 倪善金, 赵军辉. 5G 无线通信网络物理层关键技术[J]. 电信科学, 2015, 31(12): 48-53.
NI S J, ZHAO J H. Key technologies in physical layer of 5G wireless communications network[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(12): 48-53.
- [8] 毕奇, 梁林, 杨珊, 等. 面向 5G 的非正交多址接入技术[J]. 电信科学, 2015, 31(5): 20-27.
BI Q, LIANG L, YANG S, et al. Non-orthogonal multiple



- access technology for 5G systems[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(5): 20-27.
- [9] HIGUCHI K, BENJEBBOUR A. Non-orthogonal multiple access (NOMA) with successive interference cancellation for future radio access[J]. IEICE transactions on communications, 2015, 98(3): 403-414.
- [10] TAHERZADEH M, NIKOPOUR H, BAYESTEH A, et al. SCMA Codebook Design[C]//Vehicular Technology Conference, Sept 14-17, 2014, Vancouver, Canada. New Jersey: IEEE Press, 2014: 1-5.
- [11] 袁志锋, 郁光辉, 李卫敏. 面向 5G 的 MUSA 多用户共享接入[J]. 电信网技术, 2015(5): 28-31.
YUAN Z F, YU G H, LI W M. Multi-user shared access for 5G[J]. Wireless Networks, 2015(5): 28-31.
- [12] HAN S H, LEE J H. An overview of peak-to-average power ratio reduction techniques for multicarrier transmission[J]. IEEE Wireless Communications, 2005, 12(2): 56-65.
- [13] PAPAEO M, NERI M, VANELLI-CORALLI A. Using LTE in 4G satellite communications: increasing time diversity through forced retransmission[C]//10th International Workshop on Signal Processing for Space Communications, Oct 6-8, 2008, Rhodes Island, Greece. New Jersey: IEEE Press, 2008: 1-4.
- [14] 刘芳. 无线网络中 TCP 拥塞控制的研究[D]. 济南: 山东大学, 2014.
LIU F. Research on TCP congestion control in wireless networks[D]. Jinan: Shandong University, 2014.
- [15] 沈燕, 王绪宛. 一种改进 HSTCP 公平性的拥塞控制算法[J]. 计算机系统应用, 2013, 22(9): 172-175.
SHEN Y, WANG X W. An algorithm of congestion control on improving fairness of HSTCP[J]. Computer Systems & Applications, 2013, 22(9): 172-175.
- [16] 王昆. XCP 协议的稳定性分析及其仿真[J]. 电子技术应用, 2010, 36(5): 133-135.
WANG K. Simulation and stability analysis of XCP protocol[J]. Application of Electronic Technique, 2010, 36(5): 133-135.
- [17] 任丰原, 林闯, 任勇, 等. 大时滞网络中的拥塞控制算法[J]. 软件学报, 2003, 14(3): 503-511.
REN F Y, LIN C, REN Y, et al. Congestion control algorithm in large-delay networks[J]. Journal of Software, 2003, 14(3): 503-511.
- [18] Hewlett-Packard Company. Information optimization: harness the power of big data white paper[R]. 2012.
- [19] Cisco Corporation. Cisco global cloud index: forecast and methodology 2014-2019[R]. 2014.
- [20] 张建敏, 谢伟良, 杨峰义, 等. 移动边缘计算技术及其本地分流方案[J]. 电信科学, 2016, 32(7): 132-139.
ZHANG J M, XIE W L, YANG F Y, et al. Mobile edge computing

and application in traffic offloading[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(7): 132-139.

- [21] 施巍松, 孙辉, 曹杰, 等. 边缘计算: 万物互联时代新型计算模型[J]. 计算机研究与发展, 2017, 54(5): 907-924.

SHI W S, SUN H, CAO J, et al. Edge computing—an emerging computing model for the internet of everything era[J]. Journal of Computer Research and Development, 2017, 54(5): 907-924.

- [22] 天舟一号将择机发射新测控、新技术筑梦天宫[EB/OL]. (2017-04-19) [2017-11-10]. <http://www.qhnews.com/newscenter/system/2017/04/19/012291022.shtml>.

One day the day boat will choose to launch a new measurement and control, new technology dream house[EB/OL]. (2017-04-19) [2017-11-10]. <http://www.qhnews.com/newscenter/system/2017/04/19/012291022.shtml>.

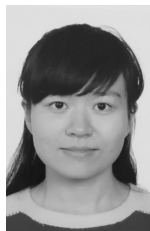
[作者简介]



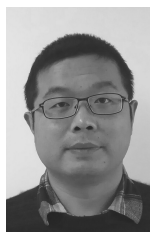
汪春霆 (1965—), 男, 中国电子科技集团公司第五十四研究所副总工程师、研究员级高级工程师、博士生导师, 主要研究方向为卫星通信。



翟立君 (1981—), 男, 博士, 中国电子科技集团公司第五十四研究所高级工程师, 主要研究方向为卫星移动通信、地面移动通信等。



李宁 (1982—), 女, 博士, 中国电子科技集团公司第五十四研究所高级工程师, 主要研究方向为自组织网络、卫星通信等。



卢宁宁 (1982—), 男, 博士, 中国电子科技集团公司第五十四研究所高级工程师, 主要研究方向为通信与信息系统等。