

# 空间互联网协议技术及应用

## Technologies and Applications of Space Network

杨志华/YANG Zhihua

袁鹏/YUAN Peng

张钦宇/ZHANG Qinyu

(哈尔滨工业大学深圳研究生院, 广东深圳 518000)  
(Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518000, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 04-0046-003

**摘要:** 认为空间互联网作为地面互联网向临近空间、地球轨道空间甚至深空空间的拓展,在通信中继、对地观测和导航定位等多领域发挥了重要作用。介绍了典型空间互联网的体系结构,针对链路差异、拓扑动态和网络异构的特点,提出了空间互联网中协议体系、路由技术、网络安全和网络仿真等关键技术。

**关键词:** 空间互联网; 协议体系; 路由; 网络安全

**Abstract:** Space network, which plays an important role in communications relay, earth observation and navigation, is regarded as the extension of Internet to near space, earth's orbit space and even deep space. In this paper, the typical system architecture of space network is introduced. Moreover, according to the difference of links, dynamic topology and heterogeneous structure characteristics of space network, the key technologies such as protocol architecture, routing, network security and network simulator are pointed out.

**Keywords:** space network; protocol architecture; routing; network security

### 1 空间互联网

无线通信和控制技术的快速发展与未来信息全球化和宇宙探测的迫切需求,促使传统地面互连网络向临近空间、地球轨道空间甚至深空空间拓展<sup>[1]</sup>。通过空间无线通信和地面有线通信技术,将在轨卫星、空间飞行器和地面设施等构成互联互通的空间互联网,在通信中继、对地观测和导航定位等领域发挥重要作用。

#### 1.1 网络结构

典型的空间互联网包含卫星通信系统、临近空间通信系统和地面通信系统<sup>[2]</sup>,如图1所示。卫星通信系统由地球轨道卫星构成,包括地球同步轨道卫星、中轨卫星和低轨卫星等,节点间通过星间链路(ISLs)互联,与临近空间和地面节点通过星地链路(SGLs)连接。卫星通信系统能够提供空间互联网中其他节点广泛稳定的通信接入中继服务,并能为更远距离深空探测器提供通信支持。临近空间通信系统包括亚轨道区

飞行器,如处于准静止状态的高空飞艇、气球和高速飞行的无人机等。地面通信系统包括地面接收站、车辆、船只和人员等,通过有线网、无线移动和自组织网络等方式互联组网。

#### 1.2 网络特点

空间互联网由在轨卫星、临近空间飞行器和地面网络构成,与传统地面通信网络相比,具有3个特点<sup>[3]</sup>。

(1)链路差异:空间互联网中链路模型方面包含卫星和临近空间无

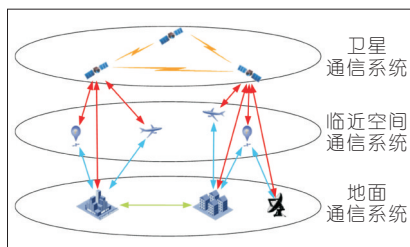
线连接,地面无线和有线连接等。其中卫星和临近空间无线连接链路传输时延大、误码率高、上下行传输速率不对称,与地面无线和有线连接环境存在显著差异。

(2)拓扑动态:空间互联网中拓扑结构包含周期运动的卫星,固定的地面接收,准静止的高空飞艇、气球和动态的无人机、地面车辆、船只和人员等。不同节点间连接中断频繁,导致网络拓扑高度动态。

(3)网络异构:空间互联网中不同通信子网通信环境不同,存在单播、组播和广播的传输模式,面向连接和非连接的传输协议,直接通信和中继通信方式,网络高度异构。

### 2 空间互联网应用

空间互联网将临近空间、地球轨道空间甚至深空空间的飞行器、卫星



▲ 图1 空间互联网组成示意

收稿时间:2016-05-02

网络出版时间:2016-06-16

和探测器组网,集成兼容了卫星通信系统、临近空间通信系统和地面通信系统,支撑全球范围通信覆盖需求,部署灵活多样,在通信中继、对地观测和导航定位等领域发挥重要作用。

### 2.1 通信中继

空间互联网覆盖范围广,在轨卫星、临近空间飞行器和地面通信设备互联,不仅能够与现有通信系统配合,为全球任意地区特别是远洋、山区等基础设施匮乏的区域提供通信中继支持,而且能够在地震和海啸等灾后或战争期间现有通信系统遭到破坏的场景下,提供应急通信服务。

### 2.2 对地观测

对地观测卫星搭载多种成像载荷飞行器和地面监测平台相互配合,能够实现对地球热点区域快速、全方位精确观测,并通过空间互联网将数据传输至地面监测中心处理。

### 2.3 导航定位

导航卫星通过发送导航信号,能够为陆地、海上和空中用户提供导航、定位和授时等服务,同时临近空间飞行器和地面设施能够提供辅助增强定位,并在卫星导航功能失效或收到干扰为用户提供替代服务。

## 3 空间互联网关键技术

空间互联网是地面互联网向空间方向的扩展。然而链路差异大、拓扑动态和集成异构等特点,对空间互联网应用提出了挑战,因此亟需在协议体系、路由技术、网络安全和网络仿真等关键技术领域开展研究。

### 3.1 协议体系

为完成通信任务,网络中各节点在收发数据时应遵守相应准则,即网络协议。网络协议体系是针对网络各层环境和需求而形成的网络协议集合,是网络节点互联互通的必要条件。目前空间互联网使用的协议体

系可分为3类:传输控制协议(TCP)/IP协议及改进,空间数据系统咨询委员会(CCSDS)协议及容迟/容断网络(DTN)协议<sup>[4]</sup>。

#### 3.1.1 TCP/IP 协议及改进

传统TCP/IP协议针对地面网络设计,假定了网络中链路传播时延短、误码率低且存在端到端的连接。而空间互联网长传播时延、高误码率特性降低了TCP/IP协议效率,甚至无法完成数据传输。对此研究人员提出了改进协议,包括基于参数的改进协议,基于端到端的改进协议和基于分割的改进协议<sup>[5]</sup>。基于参数的改进协议优化了参数配置;基于端到端的改进协议修改了传统协议中拥塞控制和差错检测方案,如TP-Planet和TCP-Westwood协议;基于分割的改进协议根据具体网络环境,分割数据传输链路并分别对应处理,如空间通信协议标准-传输协议(SCPS-TP)和比例显式控制协议(P-XCP)。TCP/IP协议及改进技术成熟,和地面网络互联简便,然而空间互联网不同子网对其适应程度不同,因此效率较低。

#### 3.1.2 CCSDS 协议

CCSDS协议是空间数据系统咨询委员会提出的针对空间通信的协议体系,包括数据链路层至传输应用层一系列协议,如CCSDS文件传输协议(CFDP),空间通信协议网络规范协议(SCPS-NP),高级在轨系统(AOS)协议等<sup>[6]</sup>。CCSDS协议虽然较为完善,但是不适于移动接入情况,不能直接与传统地面网络互联。

#### 3.1.3 DTN 协议

DTN协议是由Fall等于2003年提出针对空间互联网提出的协议体系。为实现不同子网间异构互联,DTN协议体系在应用层与传输层之间引入覆盖层,使子网底层协议能够与子网环境相匹配,包含Bundle协议,Licklider传输协议(LTP)和

Saratoga协议等<sup>[7]</sup>。DTN采用存储转发的方式,应对网络断续连接的特性。DTN协议将连接分为两类:永久连接和间断连接(包括安排、机会和预测连接),定义了3种数据传输优先级和8种传输选项,实现数据在异构动态网络中的传输,为空间互联网建设提供可行方案。

### 3.2 路由技术

数据在网络中传输路径规划需要路由技术的支持。高效、可靠的路由技术可以提高网络吞吐量,减少网络拥塞,减少端到端的时延。而链路差异、动态拓扑和网络异构特点使得传统地面路由技术不适用于空间互联网。空间互联网的路由技术亟需深入研究。

#### 3.2.1 卫星通信系统路由技术

卫星网络拓扑周期性变化,经典的卫星通信系统路由设计都采用了离散化的方法,包括虚拟拓扑路由、区域划分路由和按需驱动路由。

虚拟拓扑路由采用时间离散,根据卫星运动周期性规律,将网络周期划分为时隙,在时隙内网络拓扑保持不变,将动态的网络映射为时间离散的网络快照<sup>[8]</sup>。该类路由借鉴了静态路由计算方案,但对于突发状况适用性不强,对节点存储需求较高。区域划分路由采用空间离散,将地球表面划分成不同的逻辑区域,卫星逻辑地址为星下点对应区域编号<sup>[9]</sup>,在路由计算时依据逻辑地址进行规划。该类路由屏蔽了卫星节点的移动,但只适用于规则拓扑结构网络,计算出的路径未必最优。按需驱动路由根据数据传输的需求更新网络拓扑,无数据发送时保持拓扑结构不变<sup>[10]</sup>。该类路由在网络节点数和传输数据量较小的场景中能减小网络离散数目,但是对复杂网络适应性不强。

#### 3.2.2 临近空间通信系统路由技术

临近空间通信系统包含准静止

的高空飞艇、气球和高速飞行的无人机,主要通过节点移动和链路状态预测<sup>[11]</sup>,或针对卫星-临近空间飞行器-地面站多层次的网络结构,设计负载均衡或最小跳数的路由方案。

### 3.3 网络安全

空间互联网中开放式的通信环境和异构的网络结构,易受到不同层次不同程度的干扰和攻击,带来网络安全威胁<sup>[12]</sup>。网络安全与网络建设和应用息息相关,针对空间互联网的安全问题需要进一步研究。

#### 3.3.1 安全协议体系

空间互联网具有多层次的协议体系,针对不同层位置和功能设计相应的安全机制<sup>[13]</sup>。安全协议体系应遵守上层安全机制不能违反底层安全机制和各层安全机制相互关联等要求。具体而言,物理层安全服务指数据流机密完整性,数据链路层安全服务指连接机密性和认证,网络层和传输层安全指认证、访问控制,应用层安全指机密完整性、认证和访问控制等。同时针对空间互联网动态拓扑特性,跨层设计的安全协议引起广大学者关注。

#### 3.3.2 安全机制

空间互联网安全需要相应的安全服务机制,如加密、认证和访问控制等<sup>[14]</sup>。加密是指为保证机密性,通过对称或非对称的密码算法,对数据进行加密,防止非授权用户获取信息的技术。认证是指通过密码等方式获取接入或访问网络的权限,防止伪装用户攻击的技术,可细分为身份、数据源认证和密钥交换等。访问控制是指限制访问和使用网络资源的技术。主要有3种方式,即主动性、执行性和基于角色的访问控制。

### 3.4 网络仿真

空间互联网的建设具有高投入、高风险特点。因此,通过搭建仿真平

台,对拟建设的通信系统进行评估,确定其具体性能指标,并对数据的网络传输过程进行直观的显示显得尤为重要<sup>[15]</sup>。现有的仿真平台主要有NS2、OPNET、ION等。此外,中国的一些高校和科研院所也自主开发了相应的仿真平台。其中,西安电子科技大学在物理层仿真方面成果显著,哈尔滨工业大学提出并设计了基于高层体系结构的分布式仿真平台。

## 4 结束语

空间互联网是地面互联网络向临近空间、地球轨道空间甚至深空空间的拓展。在轨卫星、空间飞行器和地面设施互联互通,满足全球范围的通信覆盖,部署灵活多样,在通信中继、对地观测和导航定位等领域发挥重要作用。空间互联网具有链路差异、拓扑动态和网络异构的特点,对空间互联网的应用提出了挑战,因此亟需对协议体系、路由技术、网络安全和网络仿真等关键技术开展研究。

### 致谢

本研究得到中国工程院咨询研究项目“空间信息技术领域发展战略研究”资助,谨致谢意!

### 参考文献

- [1] 李纪舟,路璐,郭利民.空间互联网技术发展现状及趋势[J].通信技术,2015,48(1):1-7. DOI:10.3969/j.issn.1002-0802.2015.01.001
- [2] 吴伟强.面向空天信息网络的数据传输策略研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012
- [3] MUKHERJEE J, RAMAMURTHY B. Communication Technologies and Architectures for Space Network and Interplanetary Internet[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013, 15(2):881-897. DOI:10.1109/SURV.2012.062612.00134
- [4] WANG R H, TALEB T, JAMALIPOUR A, et al. Protocols for Reliable Data Transport in Space Internet[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2009, 11(2):21-32. DOI:10.1109/SURV.2009.090203
- [5] 刘洋.空间通信网络中可靠传输协议研究[D].西安:西安电子科技大学,2011
- [6] JIAO J, ZHANG Q Y, LI H. An Optimal ARQ Timer Design of File Delivery Time in CFDP NAK Model[C]//2009 5th International Conference on Wireless Communications, NETWORKING and Mobile Computing. USA, IEEE:1-5, 2009. DOI:10.1109/WICOM.2009.5302912

- [7] CAINI C, CORNICE P, FIRRINCELI R, et al. A DTN Approach to Satellite Communications [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2008, 26(5):820-827. DOI:10.1109/JSAC.2008.080608
- [8] GOUNDER V V, PRAKASH R, ABU-AMARA H. Routing in LEO-based Satellite Networks [C]//Proceedings of IEEE Emerging Technologies Symp: Wireless Communications and Systems. USA, IEEE: 221-226, 1999. DOI:10.1109/ETWCS.1999.897340
- [9] CHAN T H. A Localized Routing Scheme for LEO Satellite Networks[C]// ICSSC 2003. Yokohama, AIAA:2357-2364, 2003
- [10] PAPAPETROU E. Distributed on-demand Routing for LEO Satellite Systems [J]. Computer Networks, 2007, 51(15): 4356-4376. DOI:10.1016/j.comnet.2007.05.008
- [11] 徐世权.临近空间平台的路由技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010
- [12] 彭长艳.空间网络安全关键技术研究[D].长沙:国防科学技术大学,2010
- [13] 黄展.宽带卫星网络安全协议研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009
- [14] QI L, ZHI L. Authentication and Access Control in Satellite Network[C]// Electronic Commerce and Security (ISECS), 2010 Third International Symposium on. USA, IEEE: 17-20, 2010. DOI:10.1109/ISECS.2010.12
- [15] 张利强,郑昌文,胡晓惠,等.一种基于HLA的卫星仿真系统的设计与实现[J].系统仿真学报,2009,21(20):6487-6491

## 作者简介



杨志华,哈尔滨工业大学深圳研究生院副教授;现从事空间通信、LTE技术、车联网与DTN等领域的研究;曾承担包括国家自然科学基金、国家科技重大专项、中国工程院咨询项目、广东省自然科学基金、深圳市基础研究计划项目等在内的多项课题;发表SCI及EI检索文章27篇,申请专利38项,已授权10项,参与编著学术专著1部。



袁鹏,哈尔滨工业大学深圳研究生院工学在读博士;现从事于空间网络、DTN网络等领域研究;曾参与多项国家自然科学基金项目,发表论文3篇,申请专利5项。



张钦宇,哈尔滨工业大学深圳研究生院教授、博士生导师,电子与信息工程学院院长;现从事深空通信、认知无线电及其网络、空天网络一体化、脉冲超宽带、生物医学电子等领域的研究;主持和承担国家自然科学基金重点项目、面上项目、青年基金等项目;近5年来发表期刊及会议论文154篇,获得国家杰出青年科学基金。