

## 低轨卫星互联网发展与展望

王子剑, 杜欣军, 尹家伟, 宣志祥

(中国电子科技集团公司第三十二研究所, 上海 201808)

**摘要:** 就卫星互联网的由来、发展以及趋势进行梳理, 阐述国内外卫星互联网发展的典型项目及其特点, 指出卫星互联网与地面 5G 融合以及普通个人移动手机直接与卫星互联网链接是未来发展趋势。据此, 指出我国应加快建设覆盖全球的卫星互联网系统, 并提出建设卫星互联网的相关建议与思考。

**关键词:** 卫星互联网; 5G; 发展; 趋势

中图分类号: TN915

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200344

中文引用格式: 王子剑, 杜欣军, 尹家伟, 等. 低轨卫星互联网发展与展望[J]. 电子技术应用, 2020, 46(7): 49-52.

英文引用格式: Wang Zijian, Du Xinjun, Yin Jiawei, et al. Development and prospect of LEO satellite Internet[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(7): 49-52.

### Development and prospect of LEO satellite Internet

Wang Zijian, Du Xinjun, Yin Jiawei, Xuan Zhixiang

(The 32nd Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Shanghai 201808, China)

**Abstract:** This article combs the origin, development and trends of satellite Internet, expounds the typical representatives and characteristics of satellite Internet development at home and abroad, and points out that the integration of satellite Internet with terrestrial 5G and the direct connection of ordinary personal mobile phones with satellite Internet are the future development trends. Accordingly, it points out that China should speed up the construction of a satellite Internet system covering the whole world, and puts forward relevant suggestions and considerations for the construction of satellite Internet.

**Key word:** satellite Internet; 5G; development; trend

#### 0 引言

互联网自诞生之日起, 作为基础设施一直不断改变人们, 特别是由 4G 时代的“人与人”互联进入 5G 时代的“人与人、人与物和物与物”互联, 愈发渗透并影响人们的生活, 通过改变人们的生活状态和生活方式, 带来巨大的经济、政治与军事影响。目前, 因为建设成本和市场消费能力等原因, 世界上仍有超过一半的人无法享受到互联网。发展低轨卫星互联网, 为全球每个人提供互联网公共基础设施, 对国家发展和人类发展具有重要战略意义和普惠意义<sup>[1]</sup>。

#### 1 卫星互联网概念

互联网发展至今基本形成了地面光纤网络、移动无线网以及卫星互联网三种形态, 其中卫星互联网系统主要由空间部分、地面部分和用户部分三部分组成。

##### 1.1 空间部分

空间部分主要是指卫星星座。卫星星座是指具有相似功能的卫星分布在同一轨道或者互补轨道上, 按照共同约束规则运行, 协作形成逻辑上统一的网络系统, 各个卫星通过相关路由技术(星间、星地)实现数据传输, 常用星座包括极轨道星座、倾斜圆轨道星座、混合轨道

星座等。卫星按照所处轨道可划分为高轨卫星(GEO)、中轨卫星(MEO)和低轨卫星(LEO), 卫星互联网的发展趋势之一是低轨星座<sup>[2]</sup>。卫星按构成一般分为平台和载荷, 平台具有通用性, 载荷可根据需要进行配置, 实现不同功能, 目前我国新型卫星公用平台为东方红五号, 已于今年 1 月通过实践二十号卫星发射入轨。

##### 1.2 地面部分

地面部分包括运营中心、关口站、测控站(移动式与固定式)等, 主要实现卫星互联网的管理与运营。运营中心是整个卫星互联网系统的大脑, 实现整个系统的管理。关口站为卫星互联网接入所在国因特网的入口, 可以为所在国进行互联网监管提供切入点。测控站主要用于卫星跟踪测量, 确定其轨道和位置状态等。

##### 1.3 用户部分

用户部分主要包括接入网及接入终端, 接入网形式包括机载、船载、车载以及便捷式等, 接入终端包括移动手机、电脑等。

#### 2 国内外卫星互联网发展情况

卫星通信于 20 世纪 90 年代伴随着地面移动通信技术发展而出现, 先后诞生了 2 个著名的全球通信卫星

## 综述与评论 Review and Comment

系统——铱星和全球星,目前这两个系统主要服务少数特殊用户,处于相对边缘角色。进入 21 世纪第二个十年,随着小卫星技术的发展与成熟,助推低轨互联网星座进入蓬勃发展阶段,目前全球正在部署和计划部署的星座数量已超过十余个,并不断有新的初创公司加入,已然成为继 5G 之后最热门的通信基础设施。

### 2.1 卫星互联网的产生

#### 2.1.1 铱星计划

第一代铱星星座由摩托罗拉公司发起,包括 66 颗卫星,分布在 11 个轨道上,每个轨道部署 6 颗卫星。铱星星座具备星间通信能力,可以越过卫星电话所在国的通信网络直接与国外进行通信。但是,由于其设计主要面向语音通信、承载能力有限等问题使得用户群严重受限,无法进行大规模市场推广,不得不于 2000 年以 2 500 万美元价格出售给美国军方<sup>[3]</sup>。2019 年 1 月铱星二代完成 66 颗卫星组网,相比一代铱星系统,新一代铱星采取了降低建设成本和提高数据传输吞吐量等措施,但仍然与新型低轨卫星互联网星座存在差距,很难满足未来人们日益增长的带宽需求。

#### 2.1.2 全球星计划

全球星(Globalstar)系统由美国 LQSS 公司发起,由 48 颗低轨卫星组成,分布在 6 个卫星轨道,每个轨道 8 颗卫星。与铱星计划不同,全球星主要完成卫星电话与地面站的中继转接,最终依靠地面通信系统完成信息通信。因此,全球星的通信资费相对铱星系统更低,当然仍然高于地面移动电话资费。目前全球星已能对外提供电信服务。

### 2.2 国外卫星互联网发展现状

据统计,目前全球至少有 16 家公司对外公布了覆盖全球低轨星座计划,其中,中国 5 家、美国 5 家、俄罗斯 1 家、英国 1 家、加拿大 1 家、韩国 1 家、卢森堡 1 家、印度 1 家,全部建成后预计将有超过 50 000 颗卫星,是目前在轨运行卫星数量的 20 余倍。排头雁为 SpaceX 公司的 Starlink 项目和 Oneweb 公司项目。

#### 2.2.1 Starlink 星座

Starlink 星座是由美国 SpaceX 公司推出的一项低轨卫星星座建设计划,预发射 42 000 颗卫星,提供覆盖全球的高带宽、低延时移动互联网系统。SpaceX 公司颠覆了地面移动网络建设运营与系统供给分离的常规模式,集技术研发、生产制造、管理运营为一体,形成全链条闭环。其卫星重约 227 kg,并有鲜明技术特色:一是具备防撞能力,卫星能够自动跟踪轨道附近的太空碎片及卫星,避免产生碰撞;二是星间链路采用激光通信技术,每个卫星将包含 5 个单独的激光器,通过光脉冲进行星间高速数据传输;三是采用相控阵天线技术,可产生非常窄的无线电波束,同时与多地面设备通信,而无需转动,可保持卫星姿态相对稳定。

另外,SpaceX 公司具备未来商业航天的特点与优势。一是生产和发射成本低,采用卫星工厂化生产和火箭重复利用等策略,使得每颗卫星的生产和发射成本已经低于 50 万美元<sup>[4]</sup>。二是自主发射能力,自研的猎鹰火箭保证了对卫星发射的自主控制,从而建立了强大的竞争优势。三是受到资本市场瞩目,多方市场资金注入,SpaceX 经过多轮融资,现已估值 333 亿美元。四是受到政府支持,SpaceX 公司受到美国政府和军方的支持,不仅包括监管部门对其支持,更包括科研投入、政府与军方订单等,例如美国联邦通信委员会(FCC)已批准其建造 100 万个“用户终端”的申请,美国国家航天局(NASA)已与其合作进行了 16 次国际空间站补给任务的合作,美空军在 2019 年向其赞助近 2 800 万美元,寻求通过资金支持将其应用场景拓宽到军事应用<sup>[5-6]</sup>。

#### 2.2.2 OneWeb 星座

OneWeb 公司成立于 2012 年,计划发射 648 颗低轨卫星,目前在轨卫星数量已达 74 颗,并于 2019 年 8 月进行了高清视频流测试,证明其卫星可提供 40 ms 以内的低延迟高带宽服务。公司自成立以来已获得 34 亿美元融资,主要投资方日本软银公司为其融资 20 亿美金,其他投资方包括维珍集团、高通、可口可乐等<sup>[7]</sup>。由于面临卫星成本控制不力和资金储备告急等棘手问题,OneWeb 公司于 2020 年 3 月 28 日宣布申请破产保护,进入破产保护司法程序,分析原因不难看出,OneWeb 公司采用资源整合的发展策略相比 SpaceX 采用重大技术创新和建立全链条策略存在巨大差距,导致其很难有效控制成本并获得市场青睐。

#### 2.2.3 O3b

O3b 星座于 2007 年创立,与 OneWeb 公司为同一创始人,现已被欧洲卫星公司 SES 公司收购,是第一个成功的非地球静止轨道宽带系统。O3b 第一代星座采用中轨(MEO)卫星,共计 16 颗,已完成部署,正在推进部署第二代高通量中轨卫星,预计部署 22 颗,可成为一个全球性系统。另外,O3b 星座无星间链路,需要在全多地部署地面站,目前已对外提供服务,主要面向运营商,政府机构和美军方也是是重点客户<sup>[6,8]</sup>。

### 2.3 国内卫星互联网发展现状

我国低轨卫星互联网星座呈现百花齐放的态势,既包括大型央企亦包括民营初创型公司。目前,从事商业航天的初创型公司有近 20 个。另外,根据公开消息,我国卫星互联网国家队——中国卫星网络通信集团公司正在筹备中。

#### 2.3.1 天地一体化新信息网络

天地一体化信息网络项目由科技部牵头负责,中国电科集团负责实施,是国家“科技创新 2030 重大项目”<sup>[8]</sup>。天地一体化信息网络建设分三个阶段,预计 2030 年建设完成。2019 年 6 月完成试验 1 星、2 星发射。星座采用

## 综述与评论 Review and Comment

星间链路和星间路由技术,可实现少量地面站支持下的全球数据服务。

### 2.3.2 虹云星座

虹云星座由中国航天科工集团发起,计划发射 156 颗卫星实现全球组网,2018 年 12 月完成技术验证星发射入轨。整个“虹云工程”分三步完成,第一步计划在 2018 年前,发射第一颗技术验证星,实现单星关键技术验证,现已完成;第二步发射 4 颗业务试验星,组建一个小星座,让用户进行初步业务体验;第三步到 2025 年左右,实现全部 156 颗部署,完成星座构建<sup>[9-10]</sup>。

### 2.3.3 鸿雁星座

鸿雁星座由中国航天科技集团于 2016 年底发起,并在重庆成立东方红卫星移动通信有限公司负责运营<sup>[11]</sup>,在 2018 年 12 月完成技术验证星发射入轨,标志着该星座建设全面启动。按照规划,鸿雁一期由 60 颗卫星组成,预计在 2022 年建成并投入运营;鸿雁二期预计 2025 年建设完成。整个系统由 300 颗卫星组成,可实现覆盖全球的互联网接入<sup>[10,12]</sup>。

### 2.3.4 银河航天

银河航天成立于 2018 年,是一家民营初创型公司,该公司计划发射上千颗低轨 5G 通信卫星,在 1 200 km 的近地轨道组成星座网络,让用户可以高速灵活地接入 5G 网络。2020 年 1 月完成首颗 200 kg 量级卫星发射并进入预定轨道,为我国首颗低轨宽带 5G 卫星。其公司研发人员由航天、互联网、通信或电信以及工业生产等四大块组成,与 Starlink 项目人员结构安排类似。

## 3 低轨卫星互联网发展趋势

### 3.1 卫星互联网与 5G 融合

各方都在尽力推动卫星互联网与 5G 网络融合发展。在标准层面,低轨卫星互联网的卫星是 5G 网络的一个节点,这意味着卫星互联网可以与地面 5G 网络融为一体,形成天地一张网。在市场和需求层面,用户需要在地面 5G 网络覆盖区和偏远地区都能够接入 5G 网络,因此低轨卫星互联网与地面 5G 网络融合、优势互补是必然选择。在国际组织层面,随着 5G 的商用部署,包括 3GPP、ITU 在内的国际标准化组织成立了专门工作组着手研究卫星与 5G 的融合问题,业内的部分企业与研究组织也投入到星地一体化的研究工作当中,2018 年 11 月,国际电信联盟(ITU)正式成立 Network2030 研究组,该机构旨在探索面向 2030 年及以后的网络技术发展问题,其中天地一体化、全球覆盖便是其中重要一项互联网愿景<sup>[13]</sup>。

### 3.2 普通用户直接通过卫星互联网

目前,普通移动手机尚不能直接使用卫星互联网进行大容量数据服务,需要借助特制的接收天线。随着电子信息技术的发展进步,未来普通个人移动终端与卫星网络直接相连,实现通话、高速数据服务是必然趋势。

2020 年 2 月 24 日,太空初创公司——Lynk 公司使用“太空蜂窝发射塔”技术,实现低轨卫星与普通手机链接,并成功向其发送一条短信,这是人类历史上首次成功从太空向地球上的普通移动电话直接发送短信,具有里程碑意义,为普通移动手机与卫星互联网直接互联提供了想象的空间。可预见,未来携带普通移动手机的用户在全球任何位置都可以实现语音、视频高带宽数据等服务。

## 4 对我国发展卫星互联网的思考与建议

卫星互联网系统涉及制造、发射、运营管理等环节,俄罗斯受限经济条件、欧盟受限政治结构条件,未来首批全球性卫星互联网公司预计将在中国和美国产生,因此,我国应拥抱机遇迎接挑战,以应用促创新、以规模助迭代、以集群建生态,抢占卫星互联网发展机遇。

一是以市场化思维发展低轨卫星互联网。我国航天与卫星产业主要集中在航天科技集团、航天科工集团、中科院、电科集团等传统国有集团公司与研究院所,其对成本的敏感度弱于现代商业航天。低轨卫星互联网在投入方面具有前期投入大、卫星更换需持续投入等特点,在使用方面具有直接面向用户、资费敏感等特点,而我国商业航天尚处于起步阶段,因此,我国建设低轨卫星互联网星座时,应在顶层设计上采用市场化思维,区别于传统的“探月”、“载人航天”等工程,最终实现卫星互联网建设与运营自我造血能力。

二是统筹管理卫星互联网发展。在由 4G 到 5G 的演进过程中,我国运营商虽然由 3 家扩展到了 4 家,但是由于建设成本高昂等因素,目前实际推进 2 套系统建设,其中联通与电信合建一套。对比卫星互联网建设,目前我国已有超过 5 个致力于发展全球卫星互联网系统的计划。短期内,我国卫星互联网建设受限于制造、发射等因素,基础能力不可能同时支持数个具备全球服务能力的低轨星座建设,因此需要统筹考虑,既保证建设效率,又保持有序竞争。

三是加强卫星互联网自主可控发展。OneWeb 公司进入破产保护程序,其中一个原因是其不能有效控制制造、发射等环节,卫星主要由空客负责,发射由阿丽亚娜、联盟号等火箭发射,空中接口、终端等由高通负责,相比 SpaceX 公司的制造、发射、运营一条龙存在较大差距。因此,我国卫星互联网发展应坚持创新发展,通过自主技术创新寻求效率和成本的最优解。

## 5 结束语

在低轨移动卫星互联网建设方面,以 SpaceX 为代表的美国公司已走在世界前列,进行了非常有意义的探索,其组织形式和效率与传统航天计划截然不同,并通过技术优势形成成本优势和速度优势,试图在未来几年利用低轨卫星与地面 5G 融合实现全球网络覆盖,从而在 5G 和未来网络竞赛中获取优势。因此,我国应快速稳健推进低轨卫星互联网系统建设,充分结合我国在 5G 技术



## 综述与评论 Review and Comment

与部署方面取得的相对优势,形成服务全球并具普惠意义的低轨卫星互联网系统。

### 参考文献

- [1] 尚志.全球低轨空间互联网发展与展望[J].太空探索, 2019(6): 14-17.
- [2] 尹志忠,张龙,周贤伟.LEO/HEO/GEO 三层卫星网络层间 ISL 性能分析[J].计算机工程, 2010, 46(12): 9-13.
- [3] 高瓔园,王妮炜,陆洲.卫星互联网星座发展研究与方案构想[J].中国电子科学研究院学报, 2019, 14(8): 875-881.
- [4] 刘悦.新兴卫星互联网星座对传统卫星制造发展的启示[J].国际太空, 2016(11): 51-58.
- [5] 刘洁,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.
- [6] 姜文华,王学磊,曾志毅.国内外卫星互联网发展现状、风险及对策分析[J].信息通信, 2016(11): 11-12.
- [7] 翟继强,李雄飞.OneWeb 卫星系统及国内低轨互联网卫星系统发展思考[J].空间电子技术, 2017(6): 1-7.
- [8] 姜燕丽.低轨卫星互联网发展问题研究[J].数字通信世界, 2018(8): 21-22.

(上接第 43 页)

佳行业解决方案的同时尽显最优性价比,与运营商及产业生态链达到价值共赢。

### 参考文献

- [1] 郭希蕊,张涛,李福昌,等.中国联通 5G 数字化室分演进方案探讨[J].邮电设计技术, 2019(8): 7-11.
- [2] 周一青,李国杰.未来移动通信系统中的通信与计算融合[J].电信科学, 2018, 34(3): 1-7.
- [3] 方绍湖,李馨,卜斌龙.基于开放平台小基站的 5G 数字化室分解决方案[J].电信科学, 2019, 35(7): 69-77.
- [4] 方绍湖,杨波,向伟.一种微小区基站系统、相关设备及数据处理方法:中国:201410391064.9[P].2017-12-26.

(上接第 48 页)

- [21] OLDHAM T R, SUHAIL M, FRIENDLICH M R, et al. TID and SEE response of advanced 4G NAND flash memories[C]. Radiation Effects Data Workshop. IEEE, 2008.
- [22] 殷亚楠. Flash 存储器单粒子效应及与总剂量的协同效应研究[D]. 兰州:中国科学院大学(中国科学院近代物理研究所), 2018.
- [23] 曹洲,薛玉雄,高欣,等. NAND Flash 存储器单粒子效应试验研究[J].空间电子技术, 2019(3): 81-86.
- [24] BAGATIN M, GERARDIN S, PACCAGNELLA A, et al. SEE tests of the NAND flash radiation tolerant intelligent memory stack[C]. 2015 IEEE Radiation Effects Data

- [9] 付毅飞. 156 颗小卫星构建天基互联网[N]. 科技日报, 2017-8-31(3).
- [10] 左赛春. 全球低地球轨道互联网卫星星座竞争格局与面临的挑战[J]. 中国航天, 2018(2): 42-45.
- [11] 全球低轨卫星移动通信与空间互联网项目落户重庆[J]. 卫星与网络, 2018(12): 74-75.
- [12] 沈永言. 5G 时代卫星通信的发展态势[J]. 国际太空, 2020(1): 48-52.
- [13] “鸿雁”星座谱写我国低轨卫星互联网建设新篇章[J]. 中国航天, 2019(2): 6-9.

(收稿日期: 2020-04-28)

### 作者简介:

王子剑(1987-),男,硕士,工程师,主要研究方向:网络通信技术。

杜欣军(1974-),男,博士,研究员,主要研究方向:软件无线电技术、软件化雷达、开放体系架构。

尹家伟(1987-),男,硕士,工程师,主要研究方向:计算机设计。

- [5] 中国移动边缘计算开放实验室. 中国移动边缘计算技术白皮书[R]. 2019.

- [6] 3GPP TS 23.501 V15.3.0(2018-09). Technical specification group services and system aspects; system architecture for the 5G system[S]. 2018.

(收稿日期: 2020-06-11)

### 作者简介:

方绍湖(1982-),男,本科,工程师,主要研究方向:移动通信小基站相关技术和产品。

罗漫江(1979-),男,硕士,工程师,主要研究方向:移动通信系统相关技术和产品。

康冬(1976-),男,本科,工程师,主要研究方向:移动通信系统网络覆盖解决方案。

Workshop(REDW), 2015.

- [25] JORDAN A, FARRIS T, HAFFER C, et al. SEE test results on a commercially designed and manufactured NOR flash[C]. European Conference on Radiation & Its Effects on Components & Systems, IEEE, 2011.

(收稿日期: 2020-03-21)

### 作者简介:

黄姣英(1977-),女,博士,高级工程师,主要研究方向:电子元器件可靠性试验、分析与评价。

王乐群(1996-),通信作者,男,硕士研究生,主要研究方向:元器件测试与可靠性评价, E-mail: wanglq@buaa.edu.cn.

高成(1972-),男,博士,研究员,主要研究方向:电子元器件可靠性评价、大规模集成电路测试。

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所