

卫星移动通信现状与未来发展

谷林海

航天恒星科技有限公司

摘要: 卫星移动通信系统具有覆盖范围广, 对地面情况不敏感等优势, 已经成为地面移动通信领域重要的组成部分, 尤其是在空中、海洋、荒漠戈壁等地面无线网络难以覆盖的地方。随着科学技术的不断进步, 我国卫星通信技术也取得了较大成就, 但是与其他发达国家相比还存在一定差距。通过简介介绍卫星通信技术, 以及就目前卫星通信技术发展现状进行描述, 然后提出了其未来发展趋势。

关键词: 卫星通信; 5G 与卫星通信融合; 空天地海一体化; 6G

0 引言

卫星通信定义为以卫星作为中继站进行无线电波发射或转发的一种通信方式, 能够实现两个或多个地面站/手持终端以及航天器和地面站之间的通信。相较于传统地面通信, 卫星通信能够以较低的开销实现较广的无缝覆盖, 同时地理环境不对其产生约束。并且可使用的频谱资源十分丰富, 载波频段可从甚高频 (Very High Frequency, VHF) 到 Ka 频段, 正往更高的频段发展。除此之外, 卫星通信在岛屿、沙漠等低业务地区, 船舶、飞机等地面网络难以覆盖区域得到了普遍的应用。其提供的移动通信服务具有跨度大、距离远、机动性强、通信方式灵活等优点, 是蜂窝移动通信的必要补充和延伸。

按照卫星的通信轨道可分为静止轨道卫星和非静止轨道卫星。静止轨道卫星高度为35786km。非静止轨道卫星又可分为低轨、中轨和高轨卫星。低轨卫星高度一般在500-3000km, 中轨卫星高度在3000-10000km, 高轨卫星属于椭圆轨道, 其距离地球表面最近点为 10000-21000km, 最远点为39500-50600km。

近期, 卫星通信新技术的迅速发展和通信商业市场需求的不断增长, 极大地促进了卫星通信业务和通信模式的创新发展, 使当前成为卫星通信历史上最活跃的时期之一。本文主要通过介绍卫星通信系统的组成及其卫星通信特点, 对卫星通信发展现状从静止轨道卫星通信系统、中轨道卫星通信系统和低轨道卫星通信系统介绍一些典型卫星通信系统, 最后从5G卫星通信融合、空天地海一体化通信及其智能移动通信等讲述未来发展趋势。

1 卫星通信系统

1.1 卫星通信系统组成

卫星通信是指利用卫星作为中继, 转发移动用户间或移动用户与固定用户间用于进行通信的无线电波, 实现两点或多点之间的移动通信。其包括空间段、地面段和用户段。其卫星通信系统组成如下图1所示。

空间段可以是地球静止轨道卫星或中、低轨道卫星, 作为通信中继站, 提供网络用户与信关站之间的连接。

地面段通常包括信关站、网络控制中心和卫星控制中心, 用于将移动用户接入核心网, 以及控制整个通信网络的正常营运。

用户段由各种用户终端组成, 包括手持、车载、舰载、机载终端等。



图1 卫星通信系统图

1.2 卫星通信特点

卫星通信主要具有以下特点:

1) 通信覆盖区域大, 距离远。地球同步轨道 (GEO) 卫星只需一颗卫星中继转发, 就能实现1万多公里的远距离通信, 用3颗GEO卫星就可以覆盖除两极纬度 76° 以上地区以外的全球表面。

2) 机动灵活。卫星通信不受地理条件的限制, 无论是大城市还是边远山区、岛屿, 随地可通信。

3) 通信频带宽、容量大。卫星通信信道处于微波频率范围, 频率资源相当丰富, 并可不断发展。

4) 信道质量好、传输性能稳定。卫星通信链路一般都是自由空间传播的视距通信, 传输损耗很稳定而可准确预算, 多径效应一般都可忽略不计。

5) 灾难容忍性强: 在自然灾害如地震、台风发生时仍能提供稳定的通信。

6) 通信设备的成本不随通信距离增加而增加, 因而特别适于远距离以及人类活动稀少地区的通信。

卫星通信也存在一些缺点和一些应该而且可以逐步改进的方面, 这主要有以下几点:

1) 卫星发射和星上通信载荷的成本高。星上元器件必须采用抗强辐射的宇航级器件, 而且LEO、GEO 卫星的寿命一般分别只有8 年、15年左右。

2) 卫星链路传输衰减很大。这就要求地面和星上的通信设备具有大功率发射机、高灵敏度接收机和高增益天线。

3) 卫星链路传输时延大。GEO 卫星与地面之间往返传输时间为239~278 ms; 在基于中心站的星形网系统中, 小站之间进行话音通信必须经双跳链路, 那么传输时延达到0.5 s, 对话过程就会感到不顺畅。

2 卫星通信发展现状

卫星通信系统各有特点, 按卫星轨道高度可分为低轨、中轨和高轨系统, 卫星通信轨道示意图如下图所示2; 按覆盖范围有区域系统和全球系统等。比较有代表性的系统有以下几个。



图2 卫星通信轨道示意图

2.1 静止轨道卫星通信系统

地球静止轨道通信卫星的优点是只需三颗卫星就可覆盖除两极以外的全球区域, 现已成为全球洲际及远程通信的重要工具。对于区域移动卫星通信系统, 采用静止轨道一般只需要一颗卫星, 建设成

本较低, 因此应用广泛。典型的代表是国际移动卫星系统 (Inmarsat)、亚洲蜂窝卫星系统 (Asian Cellular Satellite, ACeS)、舒拉亚卫星系统(Thuraya) 和天通一号卫星移动通信系统。

2.1.1 国际移动卫星系统

国际移动卫星系统^[1]是世界上第一个全球性的移动业务卫星通信系统, 原为国际海事卫星系统。国际移动卫星通信系统基本由四部分组成, 即空间段、网络协调站 (Network Coordination Station)、卫星地面站 (Land Earth Station) 和卫星船站 (Mobile Earth Station)。自1982 年开始经营以来, 该系统卫星已发展到第4代。现Inmarsat 是世界上唯一能为海、陆、空各行业用户提供全球化、全天候、全方位公众通信和遇险安全通信服务的系统。

2.1.2 ACeS 系统

ACeS 系统^[2]是由印度尼西亚的PSN公司、美国洛克希德- 马丁全球通信公司、菲律宾长途电话公司和泰国Jasmine 公司共同组建的卫星移动通信系统, 由Garuda卫星、卫星控制站、网络控制中心、网关和用户终端组成。覆盖东亚、东南亚和南亚地区, 能够向地面上固定式、移动式、便携式和手持式等各类用户终端提供语音、传真、低速数据以及因特网服务等业务。

2.1.3 Thuraya 系统

Thuraya 系统^[3]是一个由总部设在阿联酋阿布扎比的Thuraya 卫星通信公司建立的区域性静止卫星移动通信系统。其空间段由3颗地球同步轨道卫星组成, 每颗卫星均装配高功率多点波束天线和移动通信有效载荷, 可提供覆盖区域内的蜂窝式语音、短信、数据(上网)、传真和GPS定位业务。

2.1.4 SkyTerra 系统

SkyTerra 公司的SkyTerra 系统^[4]通过结合卫星和地面技术, 在全美国范围内提供3G-LTE无线宽带网络。现有的支持WiFi 的设备, 如PC、笔记本等, 可以通过数据卡、嵌入式Modem 和路由器等连接到卫星网络。系统的另一个特点是采用了辅助地面组件技术(ACT 技术), 通过它的应用, 可以实现卫星网络与地面网络的无缝集成, 用户在卫星网络与地面网络之间可以实现透明的转换。

2.1.5 天通一号卫星通信系统

天通一号^[5]作为我国卫星通信系统的首发星, 于2016 年8月6日发射升空, 系中国卫通集团有限公司所属, 由中国空间技术研究院为主研制, 采用新塑天线、单机集成技术等新设备和新技术, 通信频率设计在S频段, 采用30 MHz 带宽的蜂窝技术, 可形成几百个点波束, 信号传输损耗小, 可有效保证

通信质量。天通一号卫星通信系统由空间段、地面段和用户终端组成，而空间段计划由多颗地球同步轨道通信卫星组成。可为车辆、飞机、船舶和个人等移动用户提供语音、数据、短信等通信服务。

2.2 中轨道卫星通信系统

中轨道卫星（MEO）离地球高度约10000公里左右。轨道高度的降低可减弱高轨道卫星通信的缺点，并能够为用户提供体积、重量、功率较小的移动终端设备。用较少数目的中轨道卫星即可构成全球覆盖的移动通信系统。中轨道移动通信卫星一般采用网状星座，卫星运行轨道为倾斜轨道，典型的有奥德赛（Odyssey）系统和ICO（Inmarsat P）系统。

2.2.1 Odyssey 系统

Odyssey 系统由TRW空间技术集团公司推出。系统的网络结构主要包括空间段、地面段和用户单元三个部分。空间段星座系统采用12颗卫星，分布在倾角 55° 的3个轨道平面上，轨道高度为10354 km，使用L/S/Ka 频段。该系统可以作为陆地蜂窝移动通信系统的扩充和扩展，支持动态、可靠、自动、用户透明的服务。然而，该系统后期由于融资困难而停建。

2.2.2 ICO 系统

ICO系统是国际移动卫星通信组织制定的“Project-21”计划。为了弥补当时的国际移动卫星通信系统仅能提供车载及便携式通信而不能提供手持机个人全球移动通信的不足而提出。ICO系统主要由三部分组成：空间段、地面段和用户终端。空间段由12颗卫星均匀分布在离地球表面10355km高度的两个正交中圆轨道平面上，每个轨道平面上有5颗卫星和1颗备用星，轨道面倾角为 45° 。用户终端包括手机、车载、航空、船舶等终端，以及半固定和固定终端。但是，这种系统由于ICO公司融资失败，经数次转手，于2001年与Ellipso公司达成合作协议，在卫星传输语音、数据业务领域进行合作。目前，两家公司结成战略联盟，并有可能最终进行全面合并。

2.3 低轨道卫星通信系统

在未来空地移动通信中，低轨卫星起着越来越重要的作用。与地面通信系统相比，低轨卫星的覆盖面积更广，更适合在沙漠、深林、高原等无人区进行全球通信；与高轨卫星通信系统相比，低轨卫星具有路径衰耗小、传输时延短、研制周期短、发射成本低等优点。因此在未来的卫星通信系统中，低轨卫星通信系统会占有越来越重要的地位。国外提出的方案很多，但至今真正发射组网并进行运营的只有三个：“铱”（Iridium）卫星、“全球星”

（Globalstar）和“轨道通信”（Orbcomm）系统。

2.3.1 Iridium 系统

铱系统星座^[6,7]由66颗轨道高度为780 km的低轨卫星组成，如图4所示。1998年11月开始商业运营。该系统可实现包括两极地区的全球覆盖。星上采用多点波束相控阵天线并进行再生处理和交换。星间具有星际链路，是最先进的低轨卫星通信系统，如图3所示。Iridium卫星系统也于2017年启动了“下一代铱星”（IridiumNEXT）计划，移动用户的最高数据速率可达128kbps，数据用户可达1.5Mbps，Ka 频段固定站不低于8Mbps，Iridium Next 主要瞄准IP 宽带网络化和载荷能力的可扩展、可升级，这些能力使得它能够适应未来空间信息应用的复杂需求，但对于当前日益增多的移动互联网需求，尤其是5G 通讯时代的来临，铱星二代系统数据传输能力仍显不足。

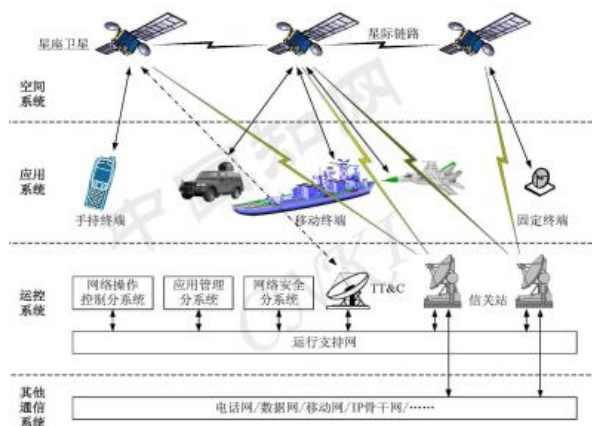


图3 低轨卫星通信系统



图4 Iridium星座图

2.3.2 Globalstar 系统

全球星系统^[6,8]由美国劳拉空间通信公司和高通公司提出，与“铱”星系统提出的时间差不多。全球星系统主要由空间段、地面段和用户段组成。空间段卫星采用倾斜轨道网状星座，包括48颗卫星

和6颗备用卫星,均匀分布在8个倾角 52° 的轨道平面上,轨道高度1414 km,轨道周期113 min,实现了全球南北纬 70° 之间的覆盖。用户同时可视卫星有2~4颗,每颗卫星与用户能保持10~12 min通信,然后经软切换至另一颗星。星上采用透明转发、多波束天线,用户链路采用L/S频段,馈电链路为C/X频段,向用户提供寻呼、传真、短数据和定位等业务。用户终端有手持、车载、机载和船载等移动终端,以及半固定和固定终端。

2.3.3 Orbcomm 系统

Orbcomm-1 卫星组成了目前在轨星座中的大多数卫星,共有43颗卫星,其中发射了35颗,另外1颗FM-29被重新建造为TacSat-1,为美国军方使用。Orbcomm-1 是一个全球无线数据和消息服务的商业系统,利用LEO 星座为世界上任何地方提供廉价的跟踪、监视和消息服务。该系统能够发送和接收双向文字或数字组成的数据包,比如双向寻呼或E-mail,其经济性和短数据特性可以为传统通信系统不能覆盖的地区提供较为经济的数据服务。

2.3.4 OneWeb 系统

OneWeb 卫星^[9]如下图5所示,其第一代低轨星座设计方案,包含648颗在轨卫星与234颗备份卫星,总数达882颗。这些卫星将被均匀放置在不同的极地轨道面上,距离地面1200km左右。卫星高速运动,不同卫星交替出现在上空,保障某区域的信号覆盖。公司正在考虑增加卫星数量,总数达到近2000颗。开始运行后,One Web 星座不仅能覆盖美国,亦能覆盖全球还没有连接互联网的农村边远地区。One Web 的目标是,到2022年初步建成低轨卫星互联网系统,到2027年建立健全的、覆盖全球的低轨卫星通信系统,为每个移动终端提供约50Mbps 速率的互联网接入服务。

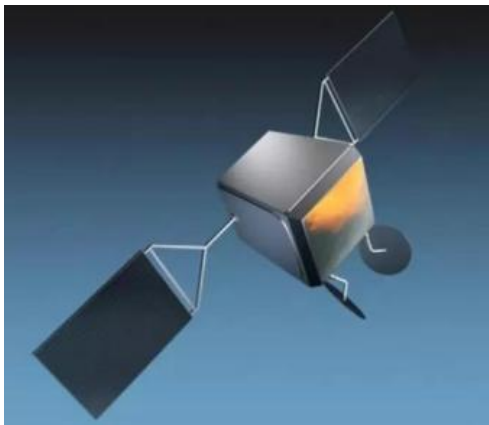


图5 Oneweb卫星图

2.3.5 Starlink 系统

2015年,SpaceX 向美国联邦通信委员会提交“星链”(Starlink)计划,如下图6所示。计划部署12000颗卫星,其中第一阶段发射4425颗轨道高度1100~1300km的中轨道卫星,第二阶段发射7518颗高度不超过346km的低轨道卫星,随着卫星数量的增加,SpaceX 将结合Ku/Ka双波段芯片组和其他支持技术,逐步转向使用Ka波段频谱进行网关通信;随着系统的发展,逐步引入相控阵天线。SpaceX 预计2025年最终完成12000颗卫星的部署,为地球上的用户提供至少1Gbps的宽带服务和最高可达23Gbps的超高速宽带网络,能提供类似光纤的网络速度,且覆盖面积大大提升。此外,整套系统具有很大的弹性,可以针对特定的地区,动态地集中信号到需要的地方,从而提供高质量的网络服务。

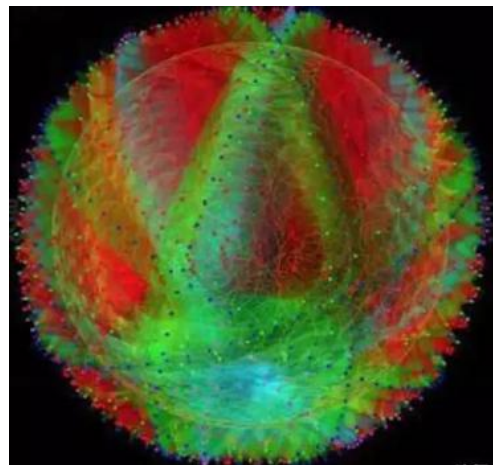


图6 Starlink星座图

2.3.6 “鸿雁”系统

“鸿雁”全球卫星通信系统由中国航天科技集团公司下属东方红卫星通信有限公司提出,该系统将由300颗低轨道小卫星及全球数据业务处理中心组成,具有全天候、全时段及在复杂地形条件下的实时双向通信能力,可为用户提供全球实时数据通信和综合信息服务。2018年12月29日,长征二号丁运载火箭成功将“鸿雁”星座首颗试验星送入预定轨道。首发星是“鸿雁”星座的试验星具有L/Ka频段的通信载荷、导航增强载荷、航空监视载荷,可实现“鸿雁”星座关键技术试验,同时研制了地面系统与终端,卫星入轨后可陆续开展卫星移动通信、物联网、热点信息广播、导航增强、航空监视等功能的试验验证,为后续的“鸿雁”星座的全面建设及运营提供有力支撑。

“鸿雁”星座还有一个重要应用就是提供航空数据业务,可支持飞机前舱的安全通信业务,为航

空器追踪及应急处理提供可靠的通信保障，同时支持后舱宽带互联网接入服务。

2.3.7 “虹云”系统

“虹云”星座是中国航天科工推动商业航天发展的“五云一车”(飞云、快云、行云、虹云、腾云和飞行列车)项目之一，旨在构建覆盖全球的低轨宽带通信卫星系统，计划发射 156 颗卫星，它们在距离地面 1000km 的轨道上组网运行，以天基互联网接入能力为基础，融合低轨导航增强、多样化遥感，实现通、导、遥的信息一体化，构建一个星载宽带全球移动互联网络，实现网络无差别的全球覆盖。

“虹云”工程首星首次将毫米波相控阵技术应用于低轨宽带通信卫星，能够利用动态波束实现更加灵活的业务模式。除通信主载荷外，虹云工程首星还承载了光谱测温仪和 3S (AIS/ADS-B/DCS) 载荷，将实现高层大气温度探测和船舶自动识别系统 (AIS) 信息、飞机广播式自动相关监视 (ADS-B) 信息和传感器数据信息采集 (DCS)，实现通、导、遥的信息一体化，可广泛应用于科学研究、环境、海事、空管等领域。

3 卫星通信未来发展趋势

卫星移动通信具有机动性强、覆盖范围大、可靠性好、传输效率高等特点，已广泛应用于民用领域和军事领域，成为通信领域不可或缺的一种手段。对于未来的发展，可从以下方面着手。

3.1 卫星通信与 5G 融合

随着 5G 技术的日益成熟，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 的融合标准化问题，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^[10]。

针对卫星与地面 5G 融合的问题，国际电信联盟 (ITU, International Telecommunication Union) 提出了星地 5G 融合的 4 种应用场景，包括中继到站、小区回传、动中通及混合多播场景，并提出支持这些场景必须考虑的关键因素，包括多播支持、智能路由支持、动态缓存管理及自适应流支持、延时、一致的服务质量、NFV (Network Function Virtualization, 网络功能虚拟化) / SDN (Software Defined Network, 软件定义网络) 兼容、商业模式的灵活性等。

3GPP 在 2017 年底发布的技术报告 22.822 中，3GPP 工作组 SA1 对与卫星相关的

接入网协议及架构进行了评估，并计划进一步开展基于 5G 的接入研究。在这份报告中，定义了在使用卫星接入的三大类用例，分别是连续服务、泛在服务及扩展服务，并讨论了新的及现有服务的需求，卫星终端特性的建立、配置与维护，以及在卫星网络与地面网络间的切换等问题。

2017 年 6 月，BT、Avanti、SES、University of Surrey 等 16 家企业及研究机构联合成立了 SaT5G (Satellite and Terrestrial Network for 5G) 联盟，计划在 30 个月内完成卫星与 5G 的无缝集成方案，并进行试用。整个项目将完成以下 6 个方面的工作：定义和评估将星地 5G 融合的网络体系结构解决方案；研究星地 5G 融合的商业价值主张；定义和开发星地 5G 融合的相关关键技术；在实验室的测试环境中验证关键技术；对星地 5G 融合的特性和用例进行演示；推进星地 5G 融合在 3GPP 和 ETSI 中的标准化工作。

3.2 空天地海一体化通信

空天地海一体化通信的目标是扩展通信覆盖广度和深度，也即在传统蜂窝网络的基础上分别与卫星通信 (非陆地通信) 和深海远洋通信 (水下通信) 深度融合。空天地海一体化网络是以地面网络为基础、以空间网络为延伸，覆盖太空、空中、陆地、海洋等自然空间，为天基 (卫星通信网络)、空基 (飞机、热气球、无人机等通信网络)、陆基 (地面蜂窝网络)、海基 (海洋水下无线通信+近海沿岸无线网络+远洋船只/悬浮岛屿等构成的网络) 等各类用户的活动提供信息保障的基础设施。从基本的构成上，空天地海一体化通信系统可以包括两个子系统组成：陆地移动通信网络与卫星通信网络结合的天地一体化子系统、陆地移动通信网络与深海远洋通信网络结合的深海远洋 (水下通信) 通信子系统。

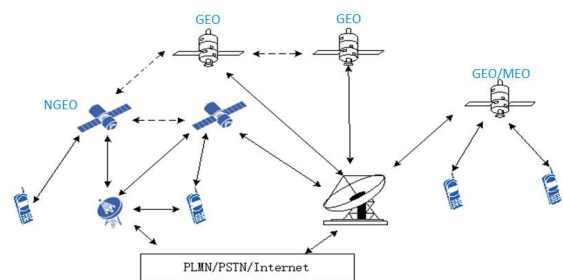


图6 空天地一体化

构建空天地海一体化网络构架，实现空间网络与地面网络互联互通、互为补充、高效协同，是未来通信网络的发展趋势，当然也包括卫星移动通信网络。空天地海一体化组网主要包括体制、终端以及应用等几个层面的融合。体制融合是使网络层协议实现全网互联互通，达成各系统之间的兼容；终

端融合则向着各系统相互兼容，卫星与地面移动通信、移动与固定通信互联互通，从而实现一个终端走遍全球的个人通信目标；应用融合将各类业务和应用集合打包推向市场，通过服务平台融合，将地面移动通信和卫星移动通信有机结合，从而为用户提供更广泛、便捷、实用的服务。

3.3 多种功能融合

目前，卫星移动通信系统主要面向用户提供全球或区域范围的话音、短信、数据等移动通信服务。随着通信的发展需要，卫星移动通信系统将融合融合导航增强、多样化遥感，实现通、导、遥的信息一体化。这样卫星移动通信系统终端可同时支持卫星移动通信、物联网、热点信息广播、导航增强、航空监视等服务。因此，未来的卫星移动通信系统必将扩展它的业务范围，实现多种功能的融合发展。

3.4 更高频段，更宽带宽

未来的卫星通信会向着激光链路的方向发展，这主要是因为用激光进行卫星间通信开辟了全新的通信频道，使卫星间通信容量大为增加，而卫星通信设备的体积和重量却大大减小，同时也增加了卫星通信的保密性。小卫星星座间激光星间链路用来支持大型节点的高速数据或国际干线间的点到点传输。可以预见，卫星光通信将成为超大容量卫星通信的主要途径。

3.5 智能卫星通信

6G 为“人工智能+地面通信+卫星网络”。基于 AI 技术构建 6G 网络将是必然的选择，地面通信与卫星通信之间采用智能动态频谱共享技术可以更好的提高频谱效率，同时采用智能无缝切换技术以及智能干扰消除技术实现真正的天空地海智慧通信。而“智慧”将是 6G 网络的内在特征，即所谓“智慧连接”可以表现为通信系统内在的全智能化：网元与网络架构的智能化、连接对象的智能化（终端设备智能化）、承载的信息支撑智能化业务。

可以预见，若把 6G 定义为智能移动通信 V1.0，那么 7G 将为智能移动通信 V2.0。同时人工智能将对 7G 移动通信发生颠覆式革命。对 OSI（Open System Interconnection，即开放式系统互联）模型把整个通信网络分为 7 层，分别是物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层，为提高各协议兼容（地面和卫星），进而整体建立强大的智能协议体系。基于深度学习的行为分析可以针对每一层通信网的特点，个性化定制相应的神经网络模型，从而提高网络整体的适应性，也就是改善了切身的通信体验。

4 结束语

总体而言，目前全球卫星通信领域的一系列新动作、新变化，都预示着一场深刻的产业、系统与技术变革即将来临。一方面，小卫星降低通信卫星的入门槛，中低轨道星座计划层出不穷，引发卫星制造技术发生颠覆式革命，卫星应用领域与模式拓展创新，全球已经进入人人可以“玩”卫星的时代；另一方面，传统 GEO 通信卫星进入门槛却在升高，不仅卫星越做越大，技术复杂度不断升高，吞吐量指标持续激增，用户对卫星的服务能力要求也变得更加挑剔，具备灵活、综合的服务性能将成为新潮流；此外，卫星通信在与地面网络竞争的同时，也在不断地吸收地面通信网络发展的先进技术，并走向与地面网络的互补和融合，“天空地海一体化”的发展渐成趋势，国内外都已开启“5G+卫星通信”，以及 6G 移动通信的研究。然而，与国外的先进水平相比，我国在卫星通信领域，无论从设计观念还是从技术上都还存在着较大的差距。在关键技术方面，技术先进国家对我们有很多出口限制，立足于自力更生是一条唯一正确的道路。

参考文献

- [1] 何善宝.“国际移动卫星”系统及其最新发展[J]. 国际太空, 2009(09):31-34.
- [2] HE Shan-bao. Inmarsat System and Its New Development[J]. Space International, 2009(09): 31-34.
- [3] Peter J H. Inmarsat Global Xpress: The Design, Implementation, and Activation of a Global Ka-Band Network[C]. International Communications Satellite Systems Conferences(ICSSC), 2015:1-8.
- [4] Dayaratna L, Walshak L, Mahdawi T. ACeS Communication Payload System Overview[C]. 18th International Communications Satellite Systems Conference and Exhibit, 2000:246-251.
- [5] 吕子平, 梁鹏, 陈正君. 卫星移动通信发展现状及趋势[J]. 卫星应用, 2016(01):48-55.
- [6] LUTZ E, WERNER, JAHN A. Satellite Systems for Personal and Broad Communications[M]. Berlin: Springer, 2000.
- [7] STERLING D E, HARLELID E. The Iridium system—a revolutionary satellite communications system developed with innovative applications of

- technology[A]. Proceedings of IEEE Military Satellite Communications Conference[C]. McLean, America, 1991. 436-440.
- [8] Andrew D S, Paul S. Utilizing the Globalstar Network for Satellite Communications in Low Earth Orbit[C]. 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, 2016:1-8.
- [9] 林莉, 左鹏, 张更新. 美国 OneWeb 系统发展现状与分析[J]. 数字通信, 2018(09):22-23.
- [10] 江春霆, 李宁等. 卫星通信与地面 5G 的融合初探[J]. 卫星与网络, 2018(09):15-21.



临菲信息技术港 电脑端



临菲信息技术港 订阅号



临菲少年 订阅号



临菲学堂