

数字强国

我们不但要满足需求,更要创造需求、引领需求。我觉得是时候提“中国创造,上海创造”了。



11月26日下午,文汇讲堂“数字强国”系列163-5“卫星互联网:让天地一网来到身边”举办。中国科学院微小卫星创新研究院资深研究员、北斗三号卫星总设计师林宝军担任主讲;中国电信上海公司总工程师助理许浩应邀就通信话题展开深入对话。17位听友参与互动。

50位现场听友幸运获得本期NFT数字藏品。讲座由文汇报社和上海树图区块链研究院联合主办。文汇报视频号 and 喜马拉雅·听两个渠道同步视频直播。上报集团融媒运营团队技术支持。

整理:李念 摄影:周文强 版式:李洁

# 卫星互联网:中国与世界共同攻克制高点

## 林宝军描绘理想的卫星互联网及“通导遥科”卫星的融合应用,分析全球态势与中国应对

### 嘉宾主讲

“卫星互联网”近年来是个热词,就在讲座举办前三天,马斯克的SpaceX(美国太空探索技术公司)发射了23颗小卫星,我国文昌卫星站成功发射了中国科学院微小卫星创新研究院研制的互联网卫星技术试验卫星,同名卫星在7月22日也发射过。

今天来和大家聊一聊什么是卫星互联网,它为何在这几年火起来,它如何造福人类,中国在此领域内的坐标和挑战。

### 何为卫星互联网?

我不习惯用特别学术的语言,因为大家听起来费劲。什么是卫星互联网?与大家熟悉的地面光纤网来看,卫星互联网就是以强大的计算机加光纤网络把全世界连起来。

展开讲就是,卫星通过空间中的无线通信链路相互连接,并与地面站点配合,形成高效的通信网络,把地面光纤网络覆盖不到的地区,如海洋、空中、沙漠都连起来,组成了天地一体的网络,这就是我们理想的卫星互联网。

建立卫星互联网不仅仅只是连接,它有几个特点。覆盖广,就是解决无处不在的问题,突破了传统网络覆盖的局限性。

带宽大,指用户不仅能发信息、通话、看电影,还能迅速访问大量的数据,比如从纽约图书馆里直接检索与访问大量的图像、视频资料等。

时延低,卫星和卫星之间通信是在真空中的,距离600公里的卫星之间通信约2毫秒时延,从上海到纽约相距半个地球,约1.5万公里,就有约50毫秒时延。光纤网络通信比星际传播速度大约慢1.67倍,因为信号要通过地面的核心网传输,这个过程需要绕路。相反,在理想的卫星互联网

通信过程中,可以直接在美国上空的卫星上进行加密、合法性验证、计费等处理,从而使通信过程更加高效和迅速。

现在低轨卫星互联网火热原因之一就是“时延小”。地球同步轨道3.6万公里就是高轨轨道,时延是120毫秒,距离远、带宽小,无法满足高密度地区如上海2500万人口的需求,但三颗卫星就可以覆盖全球;中轨是距地1万至2万公里,比如我的北斗三号卫星大多在此距离,要6-7颗才能覆盖全球;低轨是距地163公里至1100公里,一般距地五六百公里的轨道,需要几百颗小卫星才能全面覆盖,好处是能实现大带宽即通信量大,实现低时延即速度快。

现在高轨卫星居多,包括电视卫星、通信卫星等。“嫦娥”探月工程下一步要实施载人登月了,地月通信甚至到火星的通信也在同步研究。深空探测范围会不断往外拓展,整个人类的视野会越来越宽广。不远的某一天,花上十天来回至月球、至火星就会实现。

### 卫星互联网为何火起来?

先回顾卫星发展史来看小卫星的出现和繁荣。

#### 卫星发展四阶段,2003年中国发射第一颗微小卫星

1957年10月,前苏联发射了第一颗人造卫星“卫星1号”。我1990年代访俄时还参观过该卫星模型,俄科学家骄傲地说,当时世界上有40个“第一”,俄占32个。卫星发展第一阶段就是美苏争霸的结果。

第二阶段是1990年代至2010年代。最早是1981年英国商业大学发射了“UOSSET-1”小卫星,虽然不太好但造价特别低,开辟了微小卫星概念先河,它的接续是在1990年代末。1998年有了铱星星座和全球星星座;2003年中国首艘载人航天飞船“神舟五号”上天后,中国科学院上海微小卫星工程中心成立,中国发射了“创新一号”微小卫星,仅100公斤重。

从2010年至2020年是第三阶段,马斯克的SpaceX起了带动作用。原先航天是很贵的事业,马斯克引入了商业机制,依靠原先专业队垄断才能实现的技术成果,最终实现低轨卫星的低成本研发、生产和应用。在中国,像传统的五院(中国航天科技集团公司五院,即中国空间技术研究院)、八院(中国航天科技集团八院,即上海航天技术研究院)、中国科学院微小卫星创新研究院、中国航天科工集团等国家院之外,随着政策的开放,2014年起银海、天仪、微纳星空这些商业公司像雨后春笋般起来了,整体带动了国内外技术的发展。

从2020年至2030年,将是一个新的阶段,低轨卫星在内的航天一定是规模化、智能化、网络化。不久的将来,大家使用卫星互联网或像用Internet一样方便好用。

#### 全球态势:SpaceX, OneWeb, 俄“球体”, 中国“星网”

马斯克的“星链”计划,距地300至1100公里,第一代星已发射了5000多颗,没有星间链路,第二代星计划约3万颗,目前国际电信联盟(ITU)批准7000颗,加上第三代,最后要组成4.2万颗通信卫星星链。英国的OneWeb是由几百颗卫星组成的卫星通信网,其特点也是星和星之间没有链路。

一般来说,早期的卫星都是透明转发式或存储转发卫星,贡献在于以极低的成本做卫星。UOSSET-1是存储转发式卫星,OneWeb是透明转发式卫星;俄罗斯的“球体”卫星、中国国内的“星网”早期也如此。

“星网”公司成立于2021年,是一个以商业模式为主的国家互联网公司,它将各机构的探索计划统筹起来,这是中国团结起来干大事的做法。它参考统筹了虹云、鸿雁等已有的低轨卫星方案,计划10年内发射约1.3万颗。民营的独角兽企业银河公司已招标成功,计划2025年前发射1000颗。上海市也有很多计划。23日我们单位成功发射的就是“星网”的试验星之一,目前已经发射几颗星了,明年、后年还会提速。

#### 星和星之间连网技术,中国与世界同一起点

目前中国的“星网”还在试验性阶段。从发展角度来说,关键技术、核心技术都已解决,制约发展的因素是运载能力。马斯克的SpaceX是一箭60星,我们的同类卫星可达20颗左右。待试验成功整个体制成熟之后,很快会批量发射。

从思路上讲,马斯克的“星链”(卫星互联网服务业务),英国的OneWeb,都还是弯管式转发器,即透明转发,星和星之间还没有通信,要想连成网,星和星之间必须能够通信。我经常举例,最后中国的“星网”,相当于把地面强大的计算机搬到卫星上,每个卫星就是一个强大的计算机系统,用激光通信把星和星连起来,激光相当于地面的光纤,把整个天上连成一个网,同时地面和天上也有效地连起来,组成一个天地互连的强大网络。

从这一点来讲,中国和美国、英国的起步都差不多,我们正在试验星间激光通信,比微波难在哪儿?距离长,像北斗组网中星和星之间要7万公里,星间激光通信终端对指向精度的要求非常高。天上有高能粒子,有太阳风暴产生的宇宙射线,一旦打到光纤上,就会发生性能下降等负面效果。只有突破这一系列技术难点后,才能真正实现理想的天地一网。

#### 轨道、频率资源不可再生,各国存在竞争和创新

各国在技术上争相攻关,一个客观原因还在于轨道资源、频谱资源都是有限的,即为不可再生资源。轨道分低、中、高,必定有布满之时,轨道运行过满要防止碰撞。频率划分上,因为都是电磁波,相互之间有干扰。比如北斗、GPS、格洛纳斯包括后来的伽利略。目前ITU规定,轨道、频谱是先申请先获得,申请之后如7年不用,须让给第二家。

从通信角度来说,有L.S.Ka,Ku,C等频段。一开始3.6万公里高轨以C频段居多,后来Ku和C几乎都占满了,开始启用Ka等频段了。中轨、低轨也是一样,频段和轨位自然非常拥挤,一方面要用各种形式把频率分得更开,另一方面,要研发更高的频段,比如Ka频段就是新开发的。现在原则是“低让高”。比如低轨卫星飞到赤道附近,如果它播的信号与高轨卫星播的信号一样,低轨就关闭让给高轨。

#### 通、导、遥、科的下一步?

对于卫星分类,通常用“通、导、遥、科”来概括,融合发展是趋势。

#### 通导遥三结合,在日常生活发挥更大作用

“通”,就是平时的打电话、信息交互。“导”,是时间和空间的属性,与我们生活息息相关的85%信息,都与时间和空间有关。以大数据为例,如没有时间、位置属性,这个数据等于乱数据、无用数据。因此,通导结合会非常有用。

“遥”,某国森林着火了,遥感卫星立刻能捕捉到。但光有一颗遥感卫星,一般还不能及时完成星地遥感信息数传和图像解译,地震等灾难信息要16-17小时才发送回国内,如果结合卫星互联网技术,把遥感信息通过卫星网络传输,绕地球一圈传输才几百毫秒,一秒之内就知晓何时何地出事、如何应对。

遥感卫星分很多种,按光谱划分有可见光卫星,像相机照一样;而可见光只占频谱的很小一部分,因此就有夜间使用的高光谱卫星,它能把电磁波分成几段,不同物品对不同的波段敏感度不同。比如红外相机,可以在漆黑的夜里把人和物都看清楚;另一种是微波遥感卫星,白天、黑夜、雨天也可以看得见,甚至可以穿透地下。因为不同的东西有不同光谱,据此可以做农业估产,寻海洋污染物,探某海域鱼量多寡,观测大气碳排放量,这些都属于遥感卫星范围,能看到的确实很多。

如通、导、遥功能合起来,会有更多作用。

#### 科学卫星探索黑洞、暗物质,为人类离开地球做准备

“科”,就是科学实验卫星。“悟空号”卫星就是专门探测90%多我们所不知道的暗物质,“墨子号”就是量子通信卫星,目前手机通信都采用传统的数字加密手段,而量子通信是未来的理想加密手段,理论上破解不开。

中国马上就要发射的ET(地球2.0)卫星,是为了寻找第二个适合人类生活的地球;已经发射的“太极一号”卫星是为探测引力波;还有卫星观测黑洞、瞬变天体。终有一天,我们要离开地球而生活,所以,很多宇宙、天文现象都在通过发射天文卫星进行探索,在中国科学院都属于先导计划。

未来通信卫星一定最多,其次是遥感卫星,导航卫星最少,科学卫星数量会随着国力增强而越来越多。

#### 依托三颗高通量卫星的全球网福泽“一带一路”沿线

中国是一个大国,更是一个负责任大国,不能只为自己做事,要站在人类高度考虑问题。“一带一路”沿线国家的很多地方尚无互联网,中国的“星网”建设就可为他们提供方便。

实践表明,使用北斗卫星的200多个国家很多在“一带一路”沿线。“全球网”是中国依托中星16号、中星19号、中星26号(2023年2月发射,6月试用)三颗高通量卫星形成的我国首颗完整覆盖国土全境以及“一带一路”重点地区的卫星互联网。作为我国首个“走出去”的卫星宽带通信服务系统,“全球网”已成为给“一带一路”沿线用户提供卫星通信服务的基础平台。

依托全球网的“海星通”也在福泽“一带一路”沿线国家,可以实现高速网络服务、语音通话、高清视频监控等功能。

从这点来讲,中国航天人非常自豪,我们不但为了自己,也为人类提供更多实实在在的中国服务,这是一个负责任大国在全世界应有的作为。

#### 上下游产业还有哪些挑战?

卫星互联网产业链很长,上游包括卫星和火箭的制造,中游基本是卫星发射、运营管理,下游主要是应用端的应用等。

#### 创造未来需求最重要:地球飞到月球手机导航功能不变

卫星互联网、北斗组网、载人航天,都涉及一个国家的综合实力。

如果没有微电子技术这样的元器件发展,就没有天上这些卫星的存在。北斗导航的厘米级、毫米级甚至亚毫米级的精度之所以成立,是因为有了像氢原子钟的高精度,氢钟已经做到300万年中只差一秒的量子级误差,而钟差乘以光束就是距离,所以能达到亚毫米级精度。

我经常呼吁,我们不但要满足需求,更要创造需求、引领需求。我给团队提了一个要求,拿一个手机,从地球往月球去的整个过程中,手机功能都不能改变,随时都可以导航和通信。借这个机会提一个概念,我觉得是时候提“中国创造,上海创造”了,希望在各个行业里把“中国创造”这个词发扬光大。

#### 上海在载人航天等贡献颇多:目前卫星产能一天一颗

从卫星研发角度来讲,我们单位在上海有多条生产线,一天可以生产一颗卫星。对于长寿命、高可靠业务型中轨的北斗卫星,美国GPS一年最多发射过6颗,伽利略一年最多也发射过6颗,我们北斗81人的团队,实现了一年发射8颗业务星的纪录,创造了中国的北斗速度,也是世界的航天奇迹。所以,有时候不能仅仅以发射数量来判断水平高低,卫星的类型及功能也是评价发射水平高低的综合因素。

微小卫星创新研究院,除了制造北斗导航卫星,也制造“星网”里的各类通信卫星,研发科学卫星则以我们为主;上海技物所在研制遥感设备等;上海八院在载人航天的推进舱、对接机构等有更大贡献。其他如多媒体通信卫星、碳排放卫星、遥感卫星、几公斤的微纳卫星,都有人在做。

上海在卫星互联网、遥感卫星、载人航天和卫星导航上做了很多出色的工作。

#### 降低成本,更多是通过观念改变来推动技术创新

降低成本是目前的挑战之一。在上中游产业链中,力学试验、热试验、真空罐等耗资巨大,要想降低成本,必须简化、优化工艺保证和生产过程,优化试验和运行手段,提高可靠性和性能。要像生产汽车一样,即便不经试验发射也不出问题。

一方面,节省元器件和材料制造过程的成本,另一方面,应该通过观念创新来推动技术创新。

做北斗时,我就提出了功能链的理念,以此大幅降低卫星的可靠性、重量、体积和成本。原来一个卫星需要24台计算机,其中任何一个计算机崩溃,整个星就报废了。现在计算机发展了,1台可以代替24台。我现在在用3个,重量减到1/8,体积减到1/8,功耗降到1/8,成本降到1/8,而可靠性提高N倍,这就是效果。我还要加一句,创新非常重要,大家通常做法是画延长线,这种创新很难有大的亮点,我希望真正从需求入手,瞄准需求才能做到颠覆性创新。

以减轻重量为例,上海微系统所用集成电路芯片实现了氢钟减重这一目标。现在我们的导航卫星正因为有了它,从理论上讲,时频精度比美国GPS高一两个量级,因为时频是导航卫星的制高点,从达到的效果看,就属于颠覆性创新。

照片说明  
①林宝军讲解深入浅出,金句频出  
②提问环节,听友非常踊跃  
③讲座首次以侧屏为主屏,曲面屏为辅助,100人的全场颇有围炉夜话的温馨感  
④听友施玲对后座提问深有共鸣

