

之江实验室“三体计算星座”上天满月 太空算网，如何织造



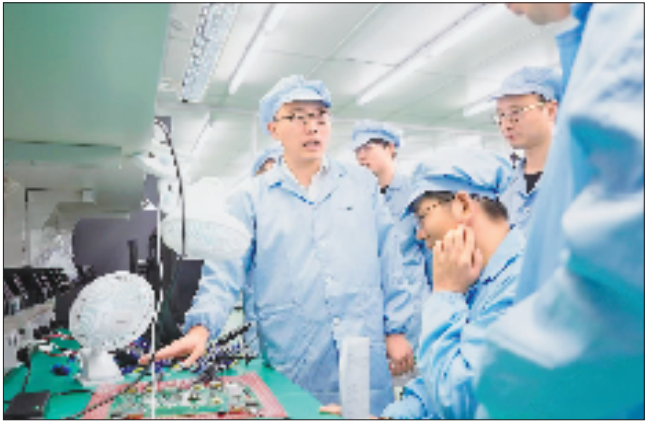
来自全国各个卫星平台的相关负责人在嘉兴总装基地见面。

之江实验室供图



宫禄奇(右三)与团队成员讨论技术问题。

之江实验室供图



李超(左一)指导团队进行技术攻关。

之江实验室供图

■ 本报记者 何冬健 通讯员 盛汪森苾

杭州的梅雨天,深夜微凉。晚上10时,之江实验室科研楼旁,约5米高的卫星基站在黑夜中矗立。旁边,几位科研人员望着基站的圆盘形天线,紧张地等待着。

突然,天线动了,而后朝着天空缓缓转动。这意味着“三体计算星座”中的某颗星,与基站开始通信。不到10分钟后,转动停了下来。

“卫星围绕地球转一圈,仅有不到10分钟能与地球基站通信。这段有限的时间是科研人员仅有的测试机会。‘三体计算星座’上天满月,卫星互相基本稳定,我们正进行单星业务在轨测试。”之江实验室天基计算系统研究中心副主任、计算星座科研任务总体部技术总师李超说。

5月14日,之江实验室“三体计算星座”团队与国内兄弟团队合作,把首批12颗计算卫星送上天,标志着我国首个整轨互联的太空计算星座正式进入组网阶段。

“三体计算星座”是个什么星座?它能为我们带来怎样的算力革命?

打破卫星“孤岛”

在浩瀚的宇宙中,每一颗计算卫星都只是一个普通的人造星点。12颗卫星组成的网,却能像人一样在太空中学会“思考”。

通常,卫星需先将数据传回地面,再由地面数据处理中心对其进行解析,即“天感地算”。但受限于地面站资源、带宽等因素,仅有不到十分之一的有效数据能传回地面,且存在数据时效差等问题。

“三体计算星座”做的,是让卫星采集的信息在太空进行在轨计算,直接向地面发送处理好的结果。通过100Gbps(千兆比特/秒)激光链路互联,这12颗卫星将初步形成总计5POPS(每秒5千万亿次计算)的太空计算能力和30TB(太字节)的轨道存储容量。

打个不恰当的比方,它就像是一个在太空轨道上工作的分布式超级计算机系统。李超说,从“天感地算”到“在轨组网、天地协同”,“三体计算星座”解决了传统卫星通信“孤岛化”问题。

首个,意味着几无经验可借鉴,一切需要摸索。

今年的春节假期,每到夜深,之江实验室7号楼总有几间办公室灯火通明。李超带领的这支团队仍留在天基计算系统研究中心,埋头进行计算卫星的整星测试。

这是一场“第四类”卫星技术的突进——有别于通信、导航、遥感等传统卫星,计算卫星被称之为“第四类”卫星。

时间回到2024年世界互联网大会·乌镇峰会。中国工程院院士、之江实验室主任王坚首次对外发布“三体计算星座计划”。他意气风发地向人们描绘:“我们希望像互联网将不同电脑连接在一起一样,实现卫星之间的互联互通。”

“星上90%都是新研内容。”天基计算系统中心专家张鹏举例,如卫星采用的新颖的平板式构型,更加紧凑的部件组装,让卫星可像平板一样堆叠,实现“一箭十星”甚至“数十星”发射;首次搭

载由广西大学和中国科学院国家天文台自主研制的宇宙X射线偏振探测器,对伽马射线暴等各类瞬变源进行在轨快速探测、证认、分类;激光通信载荷从10Gbps升级为100Gbps,在相距千里的太空中能实现每秒100G(千兆比特)的数据传输……

那是焦灼枯燥的一段时间。宫禄齐、张鹏等项目骨干无数次在杭州、嘉兴卫星总装基地和上海卫星研发基地之间来回奔波,每天进行十几个小时的测试工作。

张鹏留着一张难得的合影,拍摄于今年2月27日晚上9时08分。地点位于嘉兴卫星总装基地。

他介绍:“右侧是编号为08的计算卫星,正准备吊装到振动台上,开展力学试验。左侧远处的热真空罐口,银白色金属架上固定的是编号为01的计算卫星,刚刚做完了为期5天的热真空试验。”

这是两种构型卫星完成总装后的第一次交会,也是紧密合作的卫星平台各分系统负责人第一次见面。机会十分难得。因为,他们大部分时间都分散在全国各地,很多人可能只是一起在线上开过会。

功夫不负苦心人。今年4月底,12颗计算卫星相继封装上箭,其中单星的最高算力达744TOPS(每秒744万亿次计算),突破性地实现了星载智能计算机算力近百倍的提升,“与国际同行相比处于领先地位”。

“人工智能、航空航天等很多领域目前存在的发展瓶颈,都是算力受限造成的。”在王坚看来,率先尝试构建太空计算星座,是一件“非常需要探索精神的事情”。“有了太空计算星座,太空应用的边界大大拓宽,很多原先不可能的事情都可以做了。”

关关难过关关过

按照“三步走”的战略,之江实验室第一步要在太空中做智能计算,然后做云计算,最终在天上形成计算的基础设施,建设一个太空计算星座。

很多人担心:前两步还算好走,第三步会很艰难。

用时不到9个月,“三体计算星座”团队完成了一项“不可能完成”的任务。“把12颗卫星连成一个系统,涉及到100多个硬件、200多个软件、近百万行代码,每颗卫星光线连就有1000多根……这是一项极其复杂的系统工程。”李超言语中难掩骄傲。

天基计算系统研究中心主任助理王志,一直记得12颗计算卫星联调期间的一次惊心动魄。由于前期经验不足,有一次操作失误直接导致一台智算机和一台路由器短路故障,中心研究专家李旭和颜迪颖二话不说,带着团队俯身蹲在地板上,动手修理起来。千根线缆全部重新接,其中还有不少是光纤,稍一用力就会断损。最累的时候,一天要弯腰俯身好几个小时。

那些日子,他们每天都在重复相似的工作:组装设备、接线、写代码……“最难的科研就是由无数看似最基础的工作构成的。”王志说。

“星地链路协议”是“三体计算星座”中的一块“硬骨头”。

“简单说,就是把卫星和地面的‘专线电话’,改成能‘自由聊天’的‘互联网’。”天基计算系统中心高级研究专员颜迪颖打了个比方。

颜迪颖说,刚接手任务时,团队的每个人都几乎两眼发黑:卫星、通信设备、地面站……每个节点设备都要实现互联网的链路协议。“在所有设备集成调试的过程中,总会出现很多的问题,必须从众多数据中找到出错的字节,才能顺藤摸瓜找到问题的原因。”颜迪颖表示,在实际操作中,常遇到要从几百兆的数据里找出一个错误字节(注:1兆=1048576字节)的情况。团队一度觉得简直是大海捞针。

更棘手的是,国内没人用过“星地链路协议”,国外少有案例参考,这群年轻人只能摸着石头过河。后来,颜迪颖想了个办法:将链路分成微波、地面、星上三段,锁定6个数据节点,把测试拆成8步共500多个项目,这样能极大优化测试链路和测试流程。

一场“攻坚战”就此打响。所有人像上了发条的机器,项目的7个合作伙伴各带团队赶到杭州,彼此支援,每天都聚在一块儿讨论解决方案,“大家经常为了一个数据争得面红耳赤。”颜迪颖说。

当地面第一次与卫星设备互联,信号在电脑屏幕上跳跃时,颜迪颖激动地跳了起来,然后呆呆地在原地坐了很久——那是来自太空世界的“新希望”。有了第一次的经验,这群年轻人仅花了半个月就完成了12颗卫星和2个地面站之间的30种连接拓扑测试。

“星地”的互联,仅仅是“第一关”。攻克星间链路技术堪称航天通信领域的“珠峰挑战”——在7公里每秒的飞行速度下,让1500公里外的激光束

精准锁定另一颗卫星仅茶杯口径大小的通信终端,其难度不亚于在万米高空穿针引线。

提及如此苛刻的要求,激光通信机专项总师李旭一口气用了好几个词汇来形容:超高精度、超高稳定度、超大动态……

“我们攻克的最大难点在于,要求每台激光通信终端都实时在线,建立高速传输通信。”团队合作伙伴、氦星光联创始人谭俊表示,这意味着需要同时在12颗卫星之间建立激光通信链路,并进行校准和测试,以确保其稳定性和可靠性。

虽然GPS等卫星导航系统也曾尝试应用星间链路技术,但那只是建设一些“羊肠小道”。李旭说:“星间链路好比是在卫星星群之间架设的‘天路’,让卫星互相‘加好友’。这样它们既能独立运行,又能瞬间组队,形成覆盖全球的‘计算云’。”

团队大胆推翻原有追求极致速度的方案,在“可靠性、成本、进度”间寻求平衡,验证多种速率多种体制的星间激光通信,为后续大规模星间组网提供数据支撑。

新方案极大提升了资源利用率,终端设备的灵敏度提高了数十倍。

“三体计算星座”中的“三体”代指太阳、月亮、地球。它们彼此之间协同良好,又有极其复杂的关系。与之相似的,这张算网正持续汇聚不同创新主体的力量,一群梦想家在同一个目标的引领下,正共同完成太空计算的宏伟愿景。

与“星链”差异化竞争

按照规划,“三体计算星座”将在2035年前扩展至千颗卫星,形成覆盖全球的天基智能计算网络。

这一奇妙构思,让人不禁联想到美国太空探索技术公司的低轨道卫星互联网星座项目——“星链”。该项目旨在通过大规模部署近地轨道卫星群,为全球提供高速、低延迟的宽带互联网服务,尤其是覆盖传统地面网络难以到达的偏远地区。根据最新数据,“星链”卫星数量已超1.2万颗,并计划扩展至4.2万颗。

“三体计算星座”展现出差异化竞争优势。星链本质上是“太空中的信号基站”,主要功能集中在通信领域,缺乏在轨计算能力。“三体计算星座”更注重计算赋能——未来千星组网后,其总算力可达1000POPS(每秒百亿亿次计算),加上其搭载的80亿参数的天基模型,能实现数据采集(L0级原始信号)到决策生成(L4级应用指令)的实时在轨处理。

这相当于把一座城市级的算力基础设施装在千颗卫星里,将足以支撑在太空运行和地面相当量级的人工智能技术。

届时,“三体计算星座”将成为人类的得力助手:在气象预测领域,可实现台风路径分钟级更新;在监测森林火灾时,能实时识别火焰光谱特征,分钟级甚至秒级生成火场三维模型并自动触发多部门预警,无需人工介入或地面算力支持;执行深空探测任务时,可跨卫星编队转发探测器数据,延迟较传统中继卫星降低一半以上;在城市治理场景,可构建全息数字孪生城市,实现交通、能源、环境的动态优化,让“城市大脑”更智慧。

在计算星座指挥大厅,李超对着大屏幕上的对话框询问:“之江实验室附近有没有水域?”几秒内,天基模型不仅提供了精准数据,还推送出高光谱湖泊河流影像。

这种从“信息管道”到“智能节点”的转变,正在重构全球太空产业格局。王坚说,他特别希望看到,未来星座达到一定规模后,老百姓也能便捷地享受计算卫星、遥感卫星等带来的服务。

国外同行对“三体计算星座”高度评价。据参考消息网报道,西班牙媒体指出,中国已经开始打造世界首台太空超级计算机。这一项目有望在全球范围内彻底改变人工智能和数据处理。这项雄心勃勃的计划不仅已将太空超级计算机的首批部件送入轨道,还为人工智能、数据主权和全球力量平衡的新时代奠定了基础。

在太空织一张算网不是一条轻松的路。但之江实验室“三体计算星座”团队毫不犹豫地选择矢志创新。

“我们见过凌晨3点实验室的灯光,钻过冰冷的试验箱,也在泡面和咖啡中迎接过无数个黎明。但每当想起卫星升空的那一刻,所有的坚持都有了意义。”颜迪颖说。

新发现

“超级地球” 人类新家园?

■ 本报记者 何冬健

近日,由中国科学院云南天文台(以下简称“云南天文台”)牵头的国际研究团队,在一颗类太阳恒星周围发现了一颗“超级地球”Kepler-725c。这颗行星的质量是地球的10倍,位于其恒星的宜居带内,为生命的存在提供了可能。

一颗行星能否成为孕育生命的摇篮?

科学家指出三大关键要素:类太阳恒星提供稳定光照、宜居带保证适宜温度、可能的岩石质地与磁场保护。

浙江省天文学会科普讲师徐煜华表示,“超级地球”Kepler-725c之所以令科学家振奋,在于其得天独厚的地理条件——围绕一颗名为Kepler-725的类太阳恒星运行,其公转周期为207.5天,与地球相近。更关键的是,它恰好位于恒星的宜居带内,允许液态水稳定存在。

换句话说,它有可能存在类似于地球上的碳基生命。

当然,我们也要换个角度看。首先,“超级地球”Kepler-725c距离地球2472光年,离我们非常远,远到有将近1.6亿个地球到太阳之间的距离。对于尚未掌握星际旅行技术的人类来说,这是一趟穷尽一生都无法抵达的旅途。

其次,它围绕的类太阳恒星Kepler-725年龄仅为16亿岁,比46亿岁的太阳要年轻得多,表面的磁场活动也比太阳活动更为剧烈。根据科学家的推断,地球之所以适合人类生存,是因为它远离太阳辐射,且星球内部有液态核,形成一个磁场,从而保护人类的生命。对于行星来说,年轻的恒星既可能带来强烈恒星风,也可能提供额外的辐射防护,一切还是个未知数。

再者,它的质量约为地球的十倍,意味着可能导致更强的重力。

这就是为什么科学家已发现了近6000颗太阳系外行星,但适合类地生命生存的行星仍然寥寥无几。

在科幻电影《流浪地球》中,人们提供了一种想象:在不久的将来,太阳即将膨胀并吞噬地球,全人类开启“流浪地球”计划,试图带着地球一起逃离太阳系,寻找新家园。

“寻找地球2.0”计划早就被列入科学家的日程——人类不可能永远生活在地球摇篮中,我们需要为未来做打算。

徐煜华告诉记者,云南天文台创新使用了一种叫“凌星中间时刻变化”的技术,相较于此前探测类太阳恒星宜居带低质量行星所使用的凌星法和视向速度法,该技术能够较为精确地测得一颗位于温带区域、质量类似地球的行星的性质。这也被认为开辟了发现类太阳恒星宜居带内“地球2.0”的新通道。

我们已经行动起来。不久前,行星探测工程天问二号探测器升空。它将花上十年的时间,对小行星2016HO3探测、取样、返回地球,并对主带彗星311P进行伴飞探测。

“尽管任务本身不直接寻找2.0版地球,但它在揭示类地行星普遍性、构建宜居性判断标准方面发挥着基础性作用,是实现地外生命探索与类地行星识别的重要前奏。”徐煜华说,小行星和彗星作为原始太阳系物质的保存体,记录了有机分子与水的演化轨迹,有助于理解地球类行星的形成条件与生命前体物质的分布。该任务还推动了深空轨道控制、样本采集与返回等关键技术,为未来对系外行星的精细探测奠定基础。

最后,回到一开始提到的问题:人类为什么要探索宇宙?

我们探索宇宙的目标,是寻找另外一个宜居的类地行星,寻找我们另外的家园。当然,这不是一蹴而就的事,可能需要几代人的努力。

从伽利略第一次将望远镜对准星空,到今日发现2472光年外的“可能家园”,人类探索的脚步从未停歇。尽管旅途迢迢,但就像云南天文台顾盛宏研究员说的那样:“就像太阳系存在从水星到海王星的多样性,Kepler-725c展示了宇宙创造宜居环境的另一种可能。”

至少我们看到了希望。或许在不远的将来,我们终将解答那个永恒的问题:在无垠宇宙中,我们是否真的孤独?

5月14日12时12分,长征三号丁运载火箭搭载着“三体计算星座”首批12颗计算卫星,在酒泉卫星发射中心点火起飞。

通讯员 汪江波 摄