

新一代超低轨可变模态遥感小卫星研究现状与展望

传统航空摄影测量技术已从二维时代迈向了三维时代。实景三维中国建设的顺利开展,使得测绘地理信息行业获得自新中国成立以来前所未有的巨额投资。到2025年,50%以上的政府决策、生产调度和生活规划可通过线上实景三维空间完成,实景三维中国建设无疑将推动测绘地理信息行业迈向新的高度,为国家的经济建设与发展提供更加精准、全面的地理信息支撑。航空摄影测量与超低轨卫星遥感,二者分辨率较为相近,超低轨卫星是卫星遥感从二维走向三维的重要的突破口。

1 超低轨卫星国内外研究现状

通常而言,遥感卫星一般在距离地面500~600 km的高度运行,我国正在建设的低轨宽带通信卫星一般在距离地面1000 km的轨道高度运行,中国空间站则位于距离地面400 km的轨道,美国“星链”互联网卫星星座的主要运行高度在550 km左右,而未来中国超低轨星座的运行高度计划将在150~300 km之间。

2017年,日本发射了超低轨技术试验卫星“燕子”,正常运行轨道设定在180~268 km的范围内,最低曾经达到167.4 km,并且运行了7天时间,是公开卫星中的最低世界纪录。该卫星采用了类似于飞机的外形,使用离子推力器、化学推力器来抵抗空气阻力造成的影响,初步验证了超低轨卫星的理念。

美国初创公司 Albedo 则致力于打

造具有10厘米分辨率的高精度对地观测卫星,并选择在250~450 km的超低轨道部署其卫星。该公司已完成多轮融资,计划2025年上半年发射首颗商业卫星,未来还计划发射6颗卫星实现单日全球覆盖,并最终构建由24颗卫星组成的星座,实现每日5次重访。

2023年中国首颗超低轨道试验卫星是由浙江民企赛思倍斯发射成功,它先被火箭送入500 km高轨道,之后根据

需要逐步降低轨道,最终将到达200 km以下的轨道,以挑战太空极低轨道高度并完成短期飞行业务试验。同年7月,中国航天科工集团空间工程总体部也宣布启动“楚天”超低轨通遥一体星座建设。

从国内外的情况来看,目前针对超低轨卫星的研究,只开展过一些科学应用试验。超低轨卫星的轨道高度上仍存在稀薄的大气,对卫星的运行产生阻力,因此需要消耗更多的燃料。相较于传统轨道,超低轨的动力学环境复杂,稀薄大气阻力、原子氧通量随轨道降低以近指数规律增长,维持卫星长期稳定可靠运行需要面对诸多技术挑战。超低轨卫星虽然目前尚未规模化应用开发,但其投资价值巨大,美国、日本以及一些欧洲国家均已启动相关商业或科学探索活动。

此外,三维AI的推广应用,极大地提升了航天遥感服务的效率和质量,使其能更好地服务于各行各业,服务大众,实现高速增长,产生巨大社会经济



刘先林

摄影测量与遥感专家
中国工程院院士
中国测绘科学研究院
名誉院长、研究员

研究方向为摄影测量
和航测仪器的研究。

中国测绘科学研究院,
北京 100036

效益。随着传感器和后处理技术的智能化,我国正朝着2030年成为全球AI高地的目标稳步前进。这一发展趋势有望彻底改变我国在卫星领域“卫星发射强、卫星制造中、卫星应用弱”的局面,推动我国向世界卫星应用强国迈进。相比马斯克的只关注通讯、定位的星链计划,我们将开辟一个新的超低轨卫星遥感竞争领域。

2 超低轨卫星优势与研究成果

超低轨卫星星座的优势主要体现在以下几个方面。

1) 更高的观测分辨率和更低的成本。由于距离地面更近,超低轨卫星能够提供更高的观测分辨率,同时实现同等分辨率下光学载荷重量、成本降低50%。

2) 更低的通信时延。超低轨卫星的通信时延更小,可以实现分钟级实时传输,让用户看得更快。

3) 用户终端小型化。超低轨卫星星座可以实现用户终端的小型化,便于更广泛的应用和部署。

4) 全域覆盖。超低轨卫星星座通过在近地轨道上部署密集的卫星阵列,实现全球范围内的无缝通信覆盖。

5) 星地联动。与地面通信设施深度融合,提升了网络的自主性和智能化水平。

6) 快速响应。超低轨卫星星座可以实现分米级精准感知、分钟级实时传输,让用户看得更清、更快、更懂。

总体来看,超低轨卫星具有

超高地面分辨率(优于0.2 m)、超短重访周期(1.5 h)、超高时间特性、传感器重量超轻等优势,我们计划将航空级传感器搬到超低轨卫星上,可大幅降低传感器的制造难度,设计的超低轨卫星主要技术指标如表1所示。

表1 超低轨卫星主要技术指标

指标名称	指标内容
轨道类型	倾斜圆轨道
轨道倾角	55°
轨道高度	100 km
偏心率	0°
线速度	7.8482 km/s
重访时间(中国)	1 h 30 min
重访次数	9~10次
平均覆盖时间	13 min
设计寿命	3 a
维持3年轨道高度时的负载	40 kg(0.2 m)

关于超低轨卫星的设计方案,我们论证了近3年的时间,并且对各种方案成功进行了校飞,取得了如下研究成果。

(1) 曝光时间从1/1000 s提升为1/30000 s;(2) ISO(International Organization for Standardization)感光度提高至25600;(3) 焦平面的全局电子快门使传感器各类参数都大大提高,实现从量变到质变。

卫星上所用的可见光传感器从线阵可以改成面阵,从而回避了制造复杂的TDI(Time Delayed and Integration)传感器,能够以极低的成本把地面分辨率提高到0.2 m,大幅降低发射商业超低轨卫星的所需费用,适合进行大规模部署。

3 超低轨卫星应用前景与未来展望

超低轨卫星对地高频、高精度实时航天遥感的应用,考验着人类的想象力。

超低轨道卫星因其高精度、高频率和低成本等优势,在多个

领域展现出巨大潜力。通过采用二维/三维AI(人工智能)自动分类提取算法替代传统的遥感监督分类方法,可以显著提升以下应用的性能和功能指标:如重大灾害现场的遥感协同感知、水环境的动态监测、交通流量的实时监测、移动目标的实时监测、雪崩预报等等,甚至在将来可以进行重大活动的免费实时卫星转播。

未来的超低轨卫星除了对外发售可见光数据,也可定制超低轨卫星及航空平台上的专业传感器(如扫描激光、合成孔径雷达、多光谱……),以及定制各类星上处理软件和地面私有云平台等。