

文章编号: 1671-0576(2021)02-0047-04

高低轨通信卫星接入特性浅析

陈 锋¹, 黄 勇², 刘 培¹, 汪伊婕¹, 叶沙琳¹

(1. 上海卫星工程研究所, 上海 200140; 2. 上海无线电设备研究所, 上海 201109)

摘 要: 以航空场景为例, 基于大圆轨迹原则进行航线飞行轨迹模拟。从动态飞行目标和卫星空间关系的角度出发, 对典型高轨高通量通信卫星和低轨通信卫星星座的波束或卫星切换频次、可接入波束或卫星数量、通信距离、终端指向需求、多普勒效应影响以及卫星容量需求等方面进行了仿真分析, 描述两者在通信过程中的差异和特点, 为通信卫星系统设计和优化提供参考。

关键词: 低轨通信卫星; 高轨高通量卫星; 接入特性

中图分类号: TN915.02

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1671-0576.2021.02.010

Access Characteristics of High-orbit and Low-orbit Communication Satellites

CHEN Feng¹, HUANG Yong², LIU Pei¹, WANG Yi-jie¹, YE Sha-lin¹

(1. Shanghai Institute of Satellite Engineer, Shanghai 200140, China;

2. Shanghai Radio Equipment Research Institute, Shanghai 201109, China)

Abstract: Taking the aviation scene as an example, the flight trajectory of airline is simulated based on the principle of large circle trajectory. From the perspective of the spatial relationship between dynamic flight targets and satellites, simulation analysis is made on the beam or satellite switching frequency, number of accessible beams or satellites, communication distance, terminal pointing requirements, Doppler effects and satellite capacity requirements of typical high-orbit high-throughput communication satellites and low-orbit communication satellite constellations. Describe the differences and characteristics between them in the communication process, it provides reference for the design and optimization of communication satellite system.

Key words: low-orbit communication satellite; high-orbit high-throughput satellite; access characteristic

0 引言

卫星通信具有覆盖地域广、组网灵活、通信质量好等优点,是地面通信网的有效补充^[1]。通信卫星多为地球同步轨道(geosynchronous orbit, GEO)卫星,随着技术的发展,新型的地球同步轨道通信卫星多采用高通量技术,通信容量达到了传统通信卫星的数十倍^[2]。这类卫星采取多波束频率复用的方法扩展可用的频率资源;利用窄波束天线提升卫星的有效全向辐射功率(EIRP)和天线增益 G 与接收系统噪声温度 T 的比值(简称 G/T 值),满足小口径终端发送和接收高速数据的需求^[3]。

随着卫星研制技术水平和运载火箭能力的提高,近年来低轨互联网卫星系统发展迅速^[4]。低轨互联网卫星具有电波传播损耗小、传输时延低、系统容量大、可扩展性强等优势,但卫星相对地面高速运动,需要多个卫星对服务区域形成连续的覆盖^[5]。

本文以航空应用为基本场景,对高轨高通量卫星和低轨互联网卫星系统卫星接入数量、波束切换频次、多普勒适应性、服务数量需求等参数及特性进行仿真分析和评估,描述两者在通信过程中的差异和特点,为通信卫星系统设计和优化提供参考。

1 应用场景

1.1 航空场景

卫星通信是航空器实现海洋、荒漠和高空等无地面网络支持场景下随遇通信的必要手段。本文基于某航空公司 24 h 的国内航班数据,进行航空应用场景建模。

航班数据包含飞行始末时间和始末位置的经纬度。考虑时间和空间上对飞行轨迹的近似模拟需求,基于地球表面的大圆轨迹原则进行航线飞行轨迹模拟,以分钟为最小时间间隔,求解各航班的飞行轨迹。全天按小时统计的飞行航班架次分布如图 1 所示。

1.2 高低轨通信卫星技术特点

(1) 高轨通信卫星

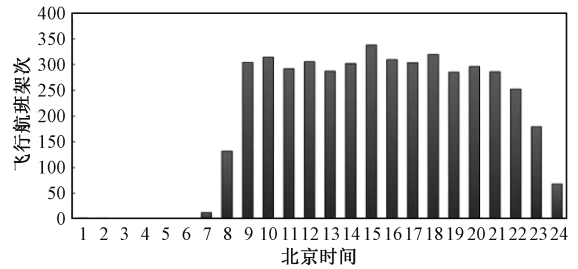


图 1 航班架次的时间分布

以中星 16 号卫星为例,分析高轨高通量卫星的技术特点。中星 16 号卫星位于东经 110.5° 的地球同步轨道上,共有 26 个通信波束,可覆盖我国大部分地区,其轨道及波束特性参数如表 1 所示^[6]。

表 1 中星 16 号高轨通信卫星轨道及波束参数

| 轨道及波束参数 | 指标 |
|-------------------|----------------------|
| 定点位置/ $^\circ$ | 东经 110.5 (GEO) |
| 用户波束数量/个 | 26 |
| 用户上行通信带宽/MHz | 120 |
| 用户下行通信带宽/MHz | 340 |
| 用户波束宽度/ $^\circ$ | 0.8 |
| 通信总容量/Gbps | 20 |
| 卫星 EIRP/dBW | 59.5(前向) 55.0(返向) |
| 卫星 G/T 值/(dB/K) | 13(前向) 13(返向) |

根据表 1 对中星 16 号卫星进行波束分布建模,26 个通信波束的地面投影如图 2 所示。

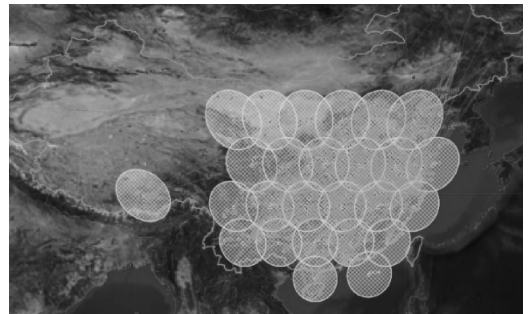


图 2 中星 16 号高轨通信卫星通信波束地面投影示意图

以中星 16 号卫星为基准点,计算各波束中心和飞机与基准点连线之间的夹角,夹角小于 0.4° 时卫星与该波束建立通信链路。如果出现飞机与多个波束的夹角均小于 0.4° 的情况,则选择当前时刻夹角最小的波束建链。

(2) 低轨通信卫星星座

以432颗星的低轨卫星星座为例,432颗卫星分布在24个轨道面上,每轨18颗星,轨道高度1 150 km,轨道倾角 60° ,对地覆盖范围 $\pm 55^\circ$,在中低纬度地区具备全天时多重连续覆盖的能力。

低轨卫星系统在满足卫星与飞机可通信的条件下,按最短距离接入原则进行通信建链。

2 接入特性分析

2.1 多波束及多星接入特性分析

以北京至上海的某航班为例,从多波束及多星切换频次、多波束及多星接入数量、终端天线指向需求、通信距离影响、多普勒频偏影响等方面对比高轨和低轨通信卫星的接入特性差异。

(1) 多波束及多星切换频次分析

京沪航线飞行时间约130 min,飞行过程跨越中星16号卫星的多个波束,高轨卫星服务时京沪航线飞行轨迹如图3所示。按照最短距离接入原则,飞机先后接入波束22、波束21、波束15等3个波束,其中单波束最大通信时长为63 min,切换次数为2次。

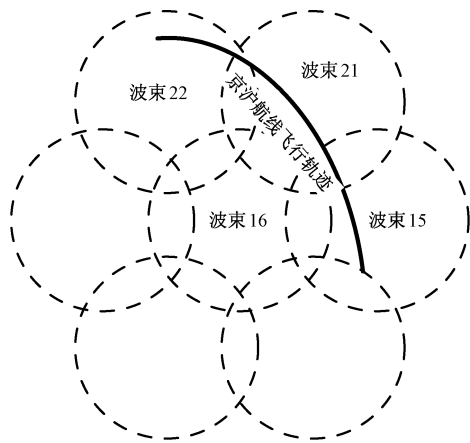


图3 高轨卫星服务时京沪航线飞行轨迹

低轨卫星绕地球飞行,与地面的相对速度较大,地面目标对同一低轨卫星的可视时间较短。以1.2节中的低轨通信卫星星座为例进行分析,同一卫星持续提供服务的最大时长约为4 min。京沪航线飞行过程中,卫星切换次数在50次以上。

与高轨卫星相比,低轨卫星系统的用户链路切换频率大大提高,对于终端接入速度和平稳性的要求也大大提高。

(2) 多波束及多星接入数量分析

由图3可知,中星16号卫星最大可接入波束数量为2个,即在波束重叠区域可实现双重覆盖,但时间很短。如从波束22切换到波束21过程中有15 min的双重覆盖时间。

低轨卫星系统向同一航班提供通信服务时,可接入卫星数量为12颗~22颗,可提供多重覆盖,通信可靠度和灵活度得到提升。对于重点用户,可通过多波束、多频段终端实现高通量扩容服务。京沪飞行过程中低轨卫星系统可接入卫星数量如图4所示。

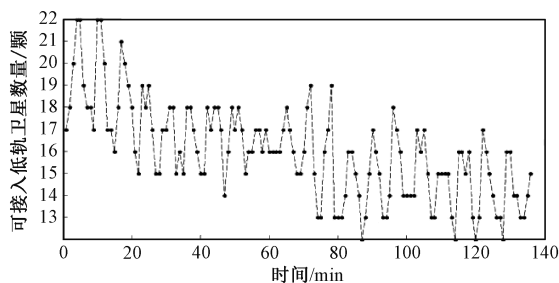


图4 京沪航线可接入低轨卫星数量曲线

(3) 终端天线指向需求分析

京沪飞行过程中,与高轨通信卫星连接的机载通信终端指向变化较慢,最大转动速度为 $0.064^\circ/\text{min}$;指向范围较小,指向角在 $37.85^\circ \sim 46.56^\circ$ 之间变化。低轨通信星座服务时,受低轨卫星高速运动的影响,机载通信终端指向变化快,最大转动速度可达 $19.7^\circ/\text{min}$,指向角变化范围为 $2.88^\circ \sim 45.57^\circ$,因此要求低轨通信卫星终端具备更高的卫星跟踪和指向能力。

(4) 通信距离影响分析

高轨通信卫星服务时,星地通信距离范围为(36 946.24~37 526.44) km,并且距离变化缓慢,最大变化速率为4.27 km/min,对通信链路影响较小。低轨通信星座服务时,受低轨卫星高速运动影响,星地通信距离变化速率大,可达到218 km/min;通信距离范围为(1 150~1 528) km,在功率链路计算时会带来近3 dB的起伏。上述特性对低轨卫星终端的链路适应性提出了较高的要求。

(5) 多普勒频偏影响分析

多普勒频偏主要与两个物体的相对运动速度和运动方向有关。为了更充分地研究多普勒频偏的变化情况,以更长飞行距离的北京至广州航线

为例进行分析。京广航线飞行时长约 205 min, 飞行速度为 (145 ~ 165) m/s, 具有一定的随机性。

高轨卫星通信频率的多普勒频偏在 10 kHz 左右, 相对稳定; 低轨卫星星座系统通信频率的多普勒频偏范围为 (-400 ~ +400) kHz, 多普勒效应明显, 两者相差数十倍。低轨卫星通信频率多普勒频偏较大, 与低轨卫星相对速度较大和速度方向夹角变化较大两个因素有关。

高轨卫星通信频率多普勒频偏变化率在 10 Hz/s 量级, 低轨卫星通信频率多普勒频偏变化率与高轨卫星相比明显偏大。低轨卫星通信频率多普勒频偏变化率与接入卫星切换情况有关, 在卫星切换时, 相对速度、夹角、方向矢量等均存在突变, 频偏变化率可达到 10 kHz/s 以上; 在同一颗星接入期间, 频偏变化率在 2 kHz/s 量级。

2.2 单星或单波束服务数量分析

以某航空公司一天内所有国内航班数据为基础, 对比高轨卫星单一波束和低轨卫星单星覆盖范围内需服务的通信目标数量, 为波束设计、频率规划等提供必要的的数据支撑。

对于高轨通信卫星, 其单波束服务的飞机最大数量为 47 架, 服务飞机数量超过 30 架的波束有 8 个。

对于低轨通信卫星星座系统, 按照最近距离接入原则, 统计各卫星需服务飞机的最大数量和时刻。单星服务飞机数量大于 100 架的情况比较普遍, 其中最大服务飞机数量达到 147 架。在时间分布上看, 低轨通信卫星单星对国内航线的服务时间均比较短暂, 存在短时段、多用户和大需求的特点。

3 结论

本文以航空应用为基本场景, 对比分析了高轨和低轨典型通信卫星系统的特点。低轨通信卫星系统具有通信距离短、链路损耗低、覆盖重数多等优势, 在终端口径、应用能力和灵活性等方面优于高轨通信卫星。但是低轨通信卫星系统存在切星频繁、终端指向跟踪速度要求高等缺点。高轨通信卫星用户接入和通信过程平稳, 低轨通信卫星与高轨卫星相比, 多普勒频偏效应明显, 频偏大、变化快, 对接收端适应性提出了较高要求。同时, 低轨通信卫星用户接入数量方面的要求远高于高轨卫星, 需要在接入和路由等方面开展容量均衡性研究, 进一步提升通信卫星服务的灵活性、可靠性和可用性。

参考文献

- [1] 古月. 实践十三号/中星 16 号卫星[J]. 卫星应用, 2017(4): 74.
- [2] 孙晨华, 章劲松, 赵伟松, 等. 高低轨宽带卫星通信系统特点对比分析[J]. 无线电通信技术, 2020, 46(5): 505-510.
- [3] 李志国, 卫颖. 卫星通信链路计算[J]. 指挥信息系统与技术, 2014, 5(1): 73-76, 82.
- [4] 吕智勇. 高低轨宽带卫星通信系统综合比较分析[J]. 数字通信世界, 2019(1): 19-21.
- [5] 吕子平, 张更新, 梁鹏, 等. 我国高低轨卫星移动通信发展定位思考[J]. 数字通信世界, 2016(7): 26-28.
- [6] 泰伯网. 全球中低轨星座列传[R/OL]. (2018-09-04) [2021-02-23]. <http://dy.163.com/v2/article/detail/DQSP1FSL05119QTF.html>.
- [5] 冯振华. 基于 DBSCAN 聚类算法的研究与应用[D]. 无锡: 江南大学, 2016.
- [6] 白冬杰. 车载毫米波雷达多目标跟踪算法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2019.
- [7] 王晋晶. 雷达目标跟踪算法研究与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2019.
- [8] 闫帅. 77G 车载雷达目标跟踪技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2020.

(上接第 46 页)