

基于中继系统的极地激光通信研究

张哲宁,张鹏*,于皓泽

(航天工程大学,北京 101416)

摘要:极地区域通信一直是卫星通信领域的难点,为了满足极地区域通信需求,设计一种基于极轨激光通信卫星和地球同步轨道激光中继卫星的极地激光通信系统,分析了卫星通信窗口计算分析模型,描述了系统通信链路的应用与应用场景,对极地通信窗口进行仿真计算并给出了窗口分布列表,经计算日均通信窗口可达 3.4~3.96 h。

关键词:极地通信;激光通信;卫星通信;通信中继;激光中继

中图分类号:TN914 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-5561(2021)07-0056-03

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2021.07.013

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on polar laser communication based on relay system

ZHANG Zhening, ZHANG Peng*, YU Haoze

(Space Engineering University, Beijing 101416, China)

Abstract: Polar regional communication has always been a difficulty in the field of satellite communication. In order to meet the needs of polar regional communication, a polar laser communication system based on polar orbit laser communication satellite and geosynchronous orbit laser relay satellite is designed. This paper analyzes the calculation and analysis model of satellite communication window, describes the application and application scenarios of the system communication link, simulates the polar communication window, and gives the window distribution list. The results show that the average daily communication window can reach 3.4–3.96 h.

Key words: polar communication; laser communication; satellite communication; communication relay; laser relay

0 引言

随着太空科技的不断发展,越来越多的航天器发射入轨,太空变得越来越“拥挤”,紧缺的轨频资源使得通信信道拥堵不堪,微波信号在空间传输时很容易受到干扰。激光通信以光为信息载体,具有传输速度高、信息容量大和抗干扰能力强等特点,被认为是绝佳的航天通信手段,被广泛应用于军、民航天领域,不失为一种缓解轨频资源紧缺的技术方案,世界航天大国纷纷开展相关实验,将激光通信技术用于太空信息传输。

激光中继系统可使激光光束传播方向发生改变,

收稿日期:2021-05-01。

作者简介:张哲宁(1999—),男,本科,黑龙江省佳木斯人,现就读于航天工程大学指挥信息工程专业,主要研究方向为激光通信、激光传输领域相关技术。参与了国家某课题项目,曾多次获得优秀学员表彰奖励。

***通信作者:**张鹏(1986—),男,博士研究生,讲师,主要从事激光通信技术研究工作。



在激光通信领域有很大的应用价值。目前,激光通信卫星搭配中继卫星实现空间激光通信的相关技术实验已有一定成果。激光在真空中传输时,虽不必考虑大气影响,但真空衍射极限所导致的光束发散对激光的跟踪、瞄准和捕获造成很大困难。假定中继卫星位于地球同步轨道,激光光束在中继卫星处形成的光斑面积可达几十平方米,导致目标处的功率密度较低。由于地球曲率对激光通信的影响,现已成功实验的激光通信中继实验地面站主要设置在低纬区域,高纬度区域考虑较少。随着两极冰川融化特别是北极的开发利用,两极地区已成为世界大国新的竞争舞台,但就现有激光通信卫星而言,即使与中继卫星配合使用仍无法满足两极区域激光通信的需求。

为此,本文设计一种基于极轨激光通信卫星和地球同步轨道激光中继卫星的极地激光通信系统,以满足极地区域激光通信需求。

1 极轨激光通信卫星中继系统模型设计及窗口计算分析

1.1 极轨激光通信卫星中继系统模型设计

美国宇航局(NASA)的激光通信中继演示(LCRD)项目成功验证了以卫星为中继平台,中继地对地激光通信的相关技术,证明了通过中继卫星实现较远距离地对地激光通信的可行性。为满足极地通信需求,本文将极轨卫星作为卫星平台设计卫星通信系统。极轨卫星中轨道倾角接近 90° ,卫星近乎通过极地,故称为“近极地太阳同步轨道卫星”,也叫极轨卫星^[1]。这类卫星一般用于气象水文监测等用途。

基于极轨激光通信卫星和地球同步轨道激光中继卫星为核心,本文设计的极地激光通信系统如图1所示。图中极轨激光通信卫星与两极极点地面站为通信上行传输链路,极轨激光通信卫星至地球同步轨道中继卫星为信号中继链路,地球同步轨道中继卫星至某地面站为信号传输下行链路。使用极轨卫星平台来搭载激光通信有效载荷,卫星可周期性重访两极区域。系统模型设计时,将地面站1设置在北纬 90° 的北极点,地面站2设置在南纬 90° 的南极点,验证高纬度区域极端情况激光通信的可行性。通信卫星轨道高度为1000 km,轨道倾角 90° 的极地通信卫星,其地面通信总站设置于某地(东经 116.2° 、北纬 B°)。为更好地发挥激光通信中继卫星的中继作用,将中继卫星部署在地球同步轨道,定点经度为东经 120° ,可实现对某地面站的实时通信传输。

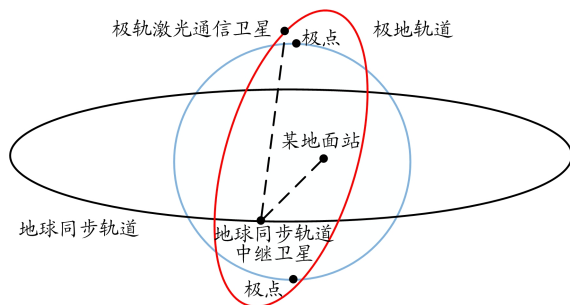


图1 极地激光通信系统

1.2 窗口计算模型

窗口计算模型主要采用坐标系转换方法,将卫星、地面站点统一转换至惯性系下,通过惯性系下的空间位置比对,分析判断过境窗口。

1.2.1 地面站在地心赤道坐标系下的坐标计算模型

地面站相较于卫星位置较为固定,通过已知的地面站经度 L 、纬度 B 和海拔高度 H ,可求得地面站在地心赤道坐标系下的坐标,地心赤道坐标系的基准面为

地球赤道平面, x 轴指向格林尼治子午线与地球赤道的交点, z 轴指向北极极点, y 轴由右手法则确定^[2]。假定地面站在地心赤道坐标系下的坐标为 (X,Y,Z) ,则:

$$\begin{cases} X=(N+H)\cos B\cos L \\ Y=(N+H)\cos B\sin L \\ Z=[N(1-e_1^2)+H]\sin B \end{cases} \quad (1)$$

其中, e_1 为大地子午圈偏心率, $e_1=\sqrt{\frac{a_e^2-b_e^2}{a_e^2}}$, a_e 、 b_e 分别为大地椭圆长半轴距离和短半轴距离, N 为地球椭圆法线与椭圆面交点的卯酉半径($N=\frac{a_e}{\sqrt{1-e_1^2\sin^2 B}}$)^[3]。

1.2.2 卫星星下点计算模型

轨道六要素公式和坐标系转换关系可求得真近点角 f 和距离 r ,采用地心轨道坐标系可知:航天器坐标为 $(r,0,0)$,可利用变换矩阵将这组坐标转换到地心赤道坐标系,最后可得地心赤道坐标系下卫星坐标 (x_e, y_e, z_e) 为^[4]:

$$\begin{cases} x_e=r\cos u\cos\lambda_B-r\sin u\sin\lambda_B \\ y_e=r\cos u\sin\lambda_B+r\sin u\cos\lambda_B \\ z_e=r\sin u \end{cases} \quad (2)$$

其中, e 为地心赤道坐标系下卫星坐标, i 代表卫星轨道倾角, u 是纬度幅角($u=\omega+f$), λ_B 是当前时刻的升交点经度($\lambda_B=\Omega-\alpha_C(t)$),可求得星下点的经度 λ 和地心纬度 φ :

$$\begin{cases} \sin\varphi=\frac{z_e}{r} \\ \tan\lambda=\frac{y_e}{x_e} \end{cases} \quad (3)$$

将所求星下点的经度、地心纬度与地面站所在地理位置的经纬度相对应,即 $\lambda=\lambda_e$ 、 $\varphi_i=\varphi$,可判断航天器是否过境。

2 窗口仿真分析

2.1 仿真实验参数

通过窗口计算模型,根据卫星位置与测站位置,经过坐标系转化与星下点投影,本文计算极地极轨通信卫星、地球同步轨道中继卫星与极点、北京地面站之间的通信窗口。当星下点的经度、地心纬度与观测点所在地理位置的经纬度相等时,即可认定为通信窗口,场景初始时间设定为2021年3月39日12:00,以24 h为周期,计算通信链路互联互通窗口。

已知两极极点和北京地面站的地理经纬度,基于1.2.1节地心赤道坐标系坐标计算模型计算其坐标。根据极地激光通信卫星和地球同步轨道中继卫星星历确定卫星轨道六要素以及真近点角 f 和距离 r ,基于1.2.2节卫星星下点,计算模型计算卫星星下点并判断卫星是否过境,确定互联互通窗口。

2.2 仿真实验结果

根据通信链路分析,当通信信号发射端位于极点时,受地球曲率和地影区影响,无法实现互通互联。通过极轨激光通信卫星可实现激光通信信号的远距离传输,基于窗口计算模型,分析北极极点和南极极点通过极轨激光通信卫星与某地面通信站的互联窗口,北极极点与某地南站互联窗口如图2所示,而南极极点经仿真计算无法实现互通互联。

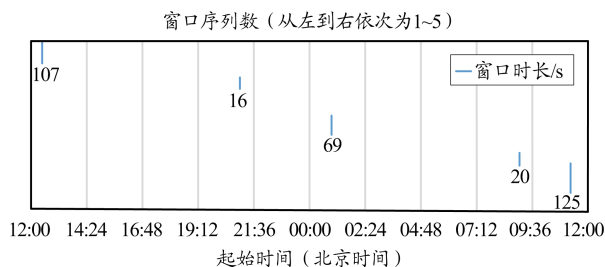


图2 北极极点经极轨激光通信卫星与某地面站互联窗口

在不使用中继卫星时,极地激光通信系统窗口较短,无法满足任务繁重的极地通信业务。为实现极地区域激光通信的互通互联,本文使用地球同步轨道中继卫星作为激光通信的中继平台。北极、南极两地通信互联窗口如图3和图4所示。可以看出,通过采用

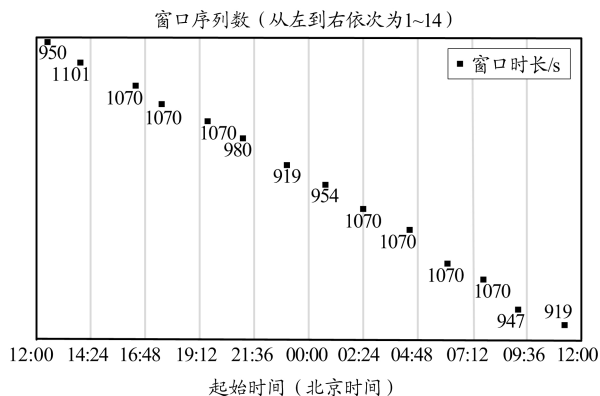


图3 北极极点经地球同步轨道激光中继卫星中继后与某地面站互联窗口

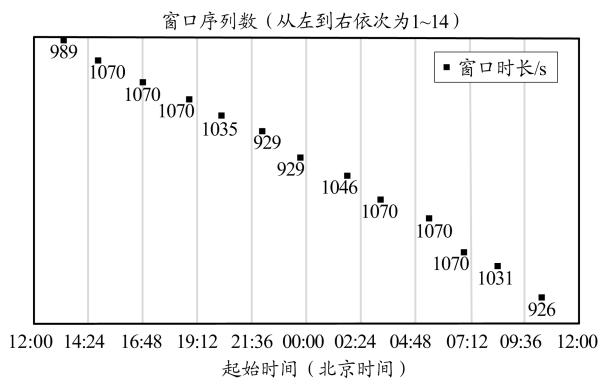


图4 南极极点经地球同步轨道激光中继卫星中继后与某地面站互联窗口

地球同步轨道激光通信中继卫星作为中继平台,本文所设计的极地激光通信系统可实现两极极点与某地面站的激光通信需求,日均通信窗口累计时长可达3.4~3.96 h,平均通信窗口时长可达1000 s左右,窗口覆盖时段较广。

3 结束语

本文采用激光通信中继卫星与极轨激光通信卫星配合,可为北极点附近相关区域每日提供约4 h时长的激光通信窗口,为南极点附近相关区域每日提供约3.5 h时长的激光通信窗口,有效弥补了高纬度区域(纬度大于 60°)的卫星通信问题。但是,激光通信受天气等影响较大,实际通信窗口仍充满不确定性。随着未来通信卫星相关技术发展,若可实现极点通信发射端发射电磁信号至极轨激光通信卫星,卫星处理电磁信号将其转换为激光信号,再进行空间传输,将有效避免天气等不确定因素对通信窗口的影响,充分发挥微波通信和激光通信的优势,将通信系统性能发挥到极致。

参考文献:

- [1] 宋珍妮. 基于网络的CI预警方法研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [2] 黄林生. 基于北斗的武汉港区航标监控系统方案的研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006.
- [3] 姚刚. 高层及超高层建筑工程的GPS定位控制研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2002.
- [4] 刘述民. 基于网络的民用卫星过境查询系统设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2008.