

引用本文:唐晓,杨志青,蒋蔚,等.基于空间激光通信的离轴盘式无线光滑环设计[J].光通信技术,2023,47(6):57-60.

基于空间激光通信的离轴盘式无线光滑环设计

唐晓¹,杨志青¹,蒋蔚¹,廖海嵘²,欧阳竑¹

(1.中国电子科技集团公司第三十四研究所,广西桂林 541004;2.桂林银行股份有限公司,广西桂林 541199)

摘要:针对传统的滑环存在通信宽带不足、接触磨损寿命低的问题,设计了一种基于空间激光通信的离轴盘式无线光滑环,并完成了样机研制。该光滑环采用光学追迹仿真技术,将4个红外发射器均匀等间距地布置在光滑环的4个角,使接收端旋转时能连续稳定地接收到光功率。光学仿真和性能测试结果表明:在传输距离为20~200 mm时,离轴盘式无线光滑环的接收功率为-28.3~-29.2 dBm,满足探测器灵敏度(约-30 dBm)的要求;在0~500 r/min旋转环境下,其误码率会随着传输距离的增加而增大,但整体误码率均小于 10^{-6} 。

关键词:空间激光通信;离轴盘式;无线光滑环;万兆光传输

中图分类号: TN929.12 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-5561(2023)06-0057-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2023.06.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Design of off-axis disc type wireless smooth ring based on space laser communication

TANG Xiao¹, YANG Zhiqing¹, JIANG Wei¹, LIAO Hairong², OUYANG Hong¹

(1. The 34th Institute of CETC, Guilin Guangxi 541004, China; 2. Guilin Bank Co., Ltd., Guilin Guangxi 541199, China)

Abstract: Aiming at the problems of insufficient communication broadband and low contact wear life of traditional slip ring, an off-axis disc type wireless smooth ring based on space laser communication is designed and a prototype is developed. The smooth ring uses optical tracking simulation technology to arrange four infrared emitters uniformly and equally at four corners of the smooth ring, so that the optical power can be received continuously and stably when the receiving end is rotating. The optical simulation and performance test results show that the receiving power of the off-axis disc type wireless smooth ring is -28.3~-29.2 dBm when the transmission distance is 20~200 mm, which meets the requirement of detector sensitivity (about -30 dBm). In the 0~500 r/min rotation environment, the bit error rate will increase with the increase of transmission distance, but the overall bit error rate is less than 10^{-6} .

Key words: space laser communication, off-axle disc type, wireless smooth ring, ten gigabit optical transmission

0 引言

滑环用于实现2个相对连续转动设备之间的雷达信号、视频信号及通信信号的传输,广泛应用于航天、航空、兵器、航海等军事领域以及电子、风力发电等民用领域^[1]。现有的滑环方式主要有电滑环和光纤滑环2种。电滑环存在接触电阻不稳定、影响通信带

宽、接触磨损导致信号电磁干扰、寿命低等问题;光电滑环存在损耗大、对振动敏感、使用次数受限等问题^[2-3]。而无线光滑环可以通过空间激光实现2个相对转动系统之间的信息传输,解决了电滑环的通信带宽不足和光纤滑环的接触磨损寿命低的问题,实现高带宽、高可靠性、无电磁辐射的相对旋转设备间的通信。因此,根据不同的应用场景,本文设计基于空间光通信的离轴盘式无线光滑环,并进行光学仿真和通信性能测试。

1 总体设计方案

本文设计的离轴盘式无线光滑环主要由光/电/光变换模块、电信号处理模块等组成,如图1所示。

收稿日期:2023-06-26。

作者简介:唐晓(1991—),男,广西桂林人,工程师,主要研究方向是空间激光通信、移动平台激光通信和近场光通信,已完成和正在研究的国家级项目共9项,省部级项目3项,曾荣获集团及所级各类奖项共6项。



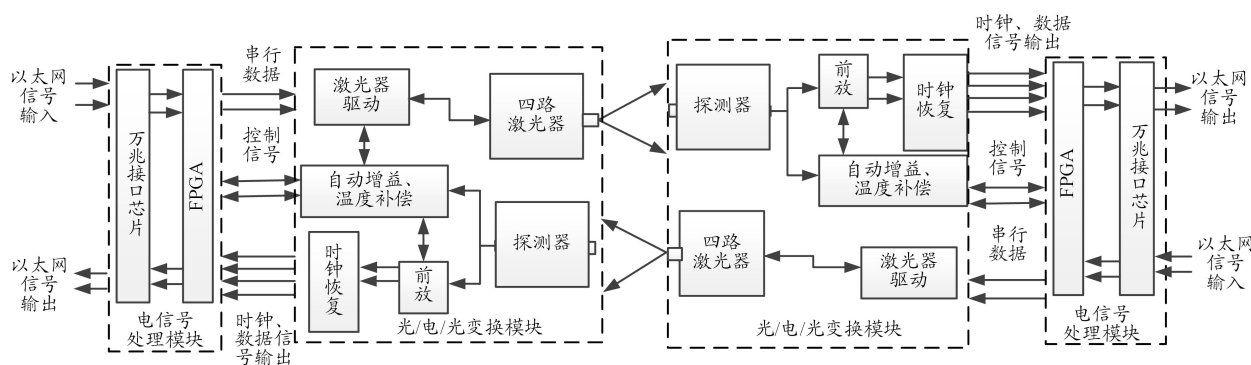


图1 离轴盘式无线光滑环原理框图

光/电/光变换模块完成电信号与光信号的互转换和传输。其中,激光器驱动电路负责把输入的用户业务信号经信道编码后转化为光信号,光信号由激光器发射出去;光电探测器(下文简称探测器)主要完成微弱信号的高灵敏度接收检测,并将光信号转化为电信号,然后再经过放大、滤波、时钟恢复等信号处理后送入解码模块进行解码,最终还原成用户业务信号。在信号收发过程中,自动增益电路和温控补偿电路分别用于保持激光器的输出功率和光波长稳定不变。

电信号处理模块由万兆接口芯片与现场可编程门阵列(FPGA)组成,FPGA完成信号的收发与分接,万兆接口芯片为离轴盘式无线光滑环提供标准的以太网信号收发。

通过上述的光路和电路设计,可使光信号全角度范围覆盖接收端,避免在相邻2束光交汇和切换处出现传输错误,从而实现双向无线光通信链路的功能。在发送端(方向),以太网信号经电信处理模块后,完成串行信号的复接,通过光/电/光变换模块将电信号转换成光信号并发射出去;在接收端(方向),光/电/光变换模块将接收到的光信号转换成电信号,经电信号处理模块后完成信号的分接,最后输出以太网信号。

为了保证收发端在较大角度差的条件下仍然能够进行高速通信,需增加光发射与光接收对准角度偏差的冗余度,保证覆盖区域无线光传输链路可用性、稳定性及可靠性^[4]。同时,在接收端,采用较大接收视场的探测器,即使在旋转过程中与激光器未完全对准,仍能最大限度地收集入射光束的光线并聚焦到探测器的光敏面上,从而保证通信链路在旋转时能够持续稳定连通。为了完成转子端和定子端模块的通信,需要在转轴外进行光信号传送^[5]。本文将光源和探测器以一定角度分布放置于离线盘式无线光滑环圆周(如图2所示),当转子端模块与定子端模块相对转动

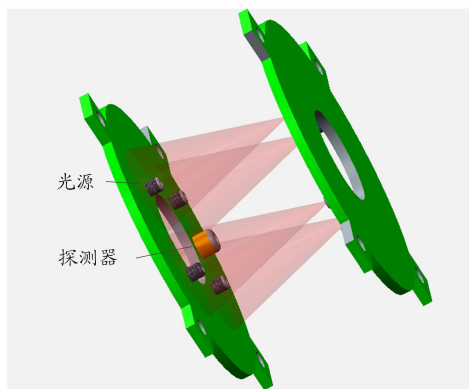


图2 离轴盘式无线光滑环通信示意图

时,探测器均能收到对端光源信号。

分布放置于圆周的光源采用发散角为 140° 、出光功率为70 mW、波长为850 nm的红外发射二极管,其辐射强度随角度变化曲线如图3所示。可以看出,光源在 $\pm 60^\circ$ 方向上具有峰值强度。另外,本文采用了大球透镜管帽封装的Si-PIN光电二极管作为探测器,球帽直径为4 mm,芯片尺寸为 $1.2\text{ mm} \times 1.2\text{ mm}$,具有约 24° 的大接收视场角,能较好地适应旋转过程

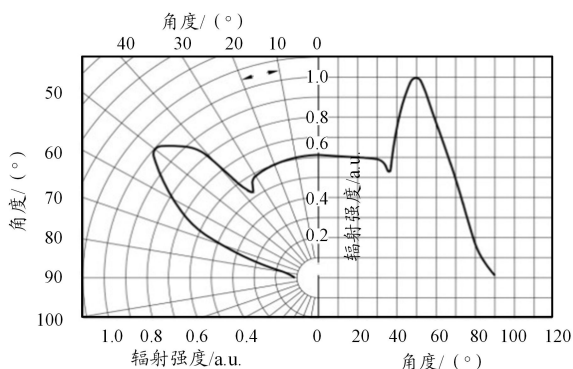


图3 光源辐射强度随角度变化曲线

中由加工或装配公差引起的对准角度抖动环境。

2 光学仿真

本文使用上述器件参数进行光学追迹仿真,4个红外发射二极管作为光源均匀等间距分布于光滑环的4个角,对角间距为26 mm,在距光源20 mm和200 mm处放置探测面探测光强分布,得到离轴旋转通信光线追迹仿真结果如图4所示。为了了解转子端与定子端相对转动时探测器接收功率的波动情况^[9],在探测平面的1/4象限平面内放置4个光敏面直径为1 mm的探测器(编号为1~4)用来接收光功率。1/4象限平面内各探测器位置接收功率如表1所示。可以看出,在距光源20 mm处,接收功率为-10.8~-11.4 dB,最大值与最小值相差1 dB左右;在距光源200 mm处,接收功率为-28.3~-29.2 dBm,大于-30 dBm,均满足探测器灵敏度(约-30 dBm)的要求。因此,该光源及探测器分布方式满足通信要求。探测面距离光源20、200 mm位置平面的光强分布分别如图5、图6所示。从图

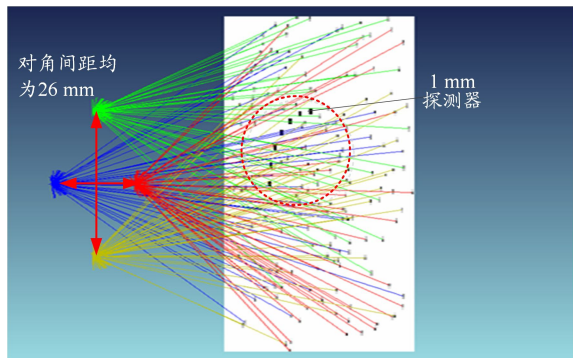


图4 离轴旋转通信光线追迹仿真

表1 1/4象限平面内各探测器位置接收功率统计表

探测器 位置编号	接收功率/ dBm	
	距离光源 20 mm 处	距离光源 200 mm 处
1	-10.8	-28.8
2	-11.2	-28.3
3	-11.4	-29.2
4	-11.3	-29.0

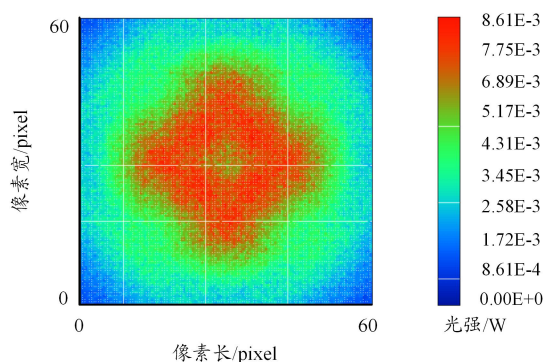


图5 探测面距离光源20 mm处的光强分布图

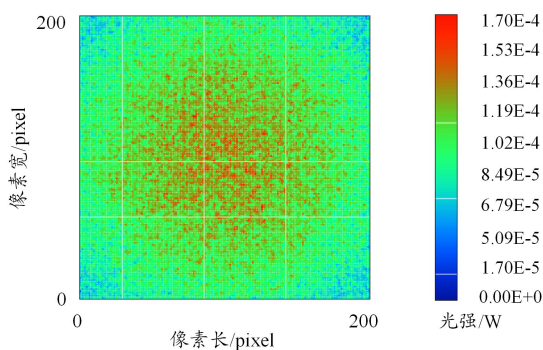


图6 探测面距离光源200 mm处的光强分布图

5可以看出,在该位置平面内,峰值强度主要分布在对角间距为26 mm的方形轮廓线上,这与光源放置位置基本一致,且方形轮廓线上功率分布连续,无断点,表明探测器沿该轮廓旋转时能连续稳定接收到光功率。从图6可以看出,4个光源发射的光束传输发散后叠加的光强分布呈现为高斯分布,峰值强度在中心位置,距离中心越远,光强越低,在距离光源200 mm处,光强下降了50%。当探测器位置在距离光源27 mm处时,由于其十分接近中心峰值位置,因此在旋转时也能连续稳定地接收到光功率。

3 通信性能测试

本文设计了离轴盘式无线光滑环原理样机(样机实物如图7所示),以验证其是否满足实际工程要求,并搭建了0~500 r/min旋转测试平台,测试原理框图如图8所示。当传输速率为10 Gb/s时,测试了该原理样机分别在转速为0、200、350、500 r/min和传输距离为20~200 mm时的误码率,测试结果曲线如图9所示。可以看出,离轴盘式无线光滑环在0~500 r/min旋转环境下,误码率随着传输距离的增加而增大,但整

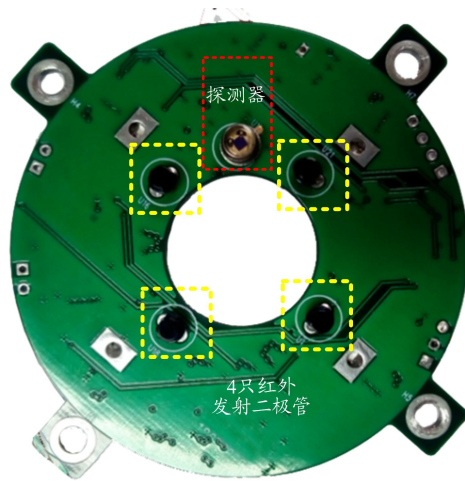


图7 离轴盘式无线光滑环原理样机图

唐晓,杨志青,蒋蔚,等: 基于空间激光通信的离轴盘式无线光滑环设计

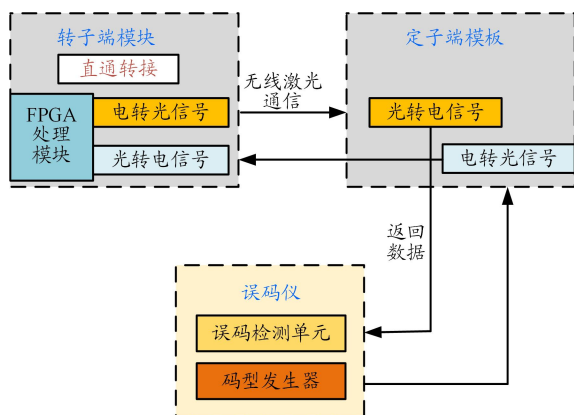


图8 测试原理框图

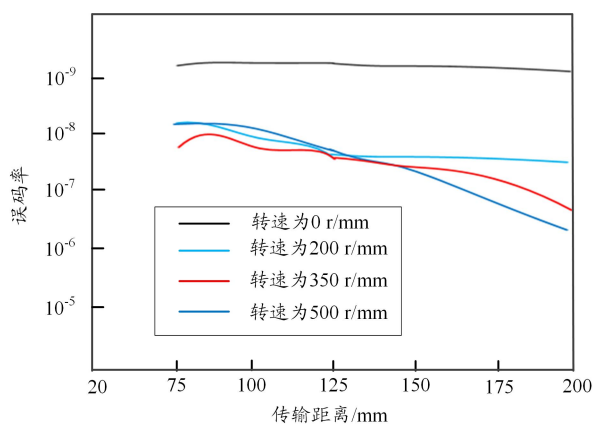


图9 误码率测试曲线

体误码率均小于 10^{-6} ，充分验证了光滑环功能和主要性能满足设计要求,进一步证实其工程实用性和可行性,为产品工程化应用提供设计依据和基础。

4 结束语

本文设计了一种基于空间激光通信的离轴盘式无线光滑环,并对其通信性能进行了测试。该设计有效地解决了电滑环和光纤滑环在通信带宽不足和接触磨损寿命低的问题。随着滑环应用场景的不断拓展,轴心位置成为众多业务希望占用的空间,离轴盘式无线光传输系统因其不占用轴心位置的特性,更加符合滑环技术发展的趋势。本文接下来将针对风电变桨控制机构、高速发动机等潜在应用环境进行测试,并研制工程样机进行推广应用。

参考文献:

- [1] 张逸民,郑四木.传输激光能量的光纤滑环结构设计与试验研究[J].航空精密制造技术,2017,53(3):40-42.
- [2] 徐峰,江伟,俞本立.一种基于光子晶体光纤的光纤旋转连接器设计[J].量子电子学报,2007(4):510-513,518.
- [3] 孙晖,崔新旭,邵丙新.一种双端旋转的光通信系统[J].光通信技术,2020,44(12):29-32.
- [4] 丁杰,李毅,王锋,等.大内径离轴光纤旋转连接器的设计与实现[J].光电子·激光,2013,24(11):2075-2080.
- [5] 贾大功,张以谟,井文才,等.无源多路光纤旋转连接器的设计[J].天津大学学报,2004,37(5):382-385.