

一种双端旋转的光通信系统

孙晖¹,崔新旭¹,邵丙新^{2*}

(1.中国电子科技集团公司第三十四研究所,广西 桂林 541004;2.吉林工程技术师范学院 信息工程学院,长春 130052)

摘要:为使两旋转部件之间实现高速通信,设计了一种适用于双端旋转条件下的无线光通信系统。通过设计非球面准直镜,选用适当的二向分色片,使光信号沿旋转轴中心通过,可将某一旋转部件发射出的激光信号传递至另一旋转部件中的光探测模块。在2个旋转端之间的距离从10 mm变化到550 mm、相对转速从10 r/min变化到120 r/min的过程中,系统的最小接收功率依然能满足通信要求,误码率为0。

关键词:通信系统;激光通信;非接触;旋转;共轴

中图分类号:TN929.11 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-5561(2020)12-0029-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.12.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Optical communication system with double-end rotation

SUN Hui¹, CUI Xinxu¹, SHAO Bingxin^{2*}

(1. The 34th Research Institute of CETC, Guilin Guangxi 541004, China;

2. School of Information Engineering, Jilin Engineering Normal University, Changchun 130052, China)

Abstract: In order to realize high-speed communication between two rotating parts, a free space optical communication system suitable for double-end rotation is designed. By designing an aspheric collimator and selecting proper two-way color splitter, the optical signal can pass through the center of rotation axis, and the laser signal emitted from one rotating part can be transmitted to the light detection module in another rotating part. When the distance between the two rotating ends changes from 10 mm to 550 mm, and the relative speed changes from 10 r/min to 120 r/min, the minimum received power of the system can still meet the communication requirements, and the bit error rate is 0.

Key words: communication system; laser communication; non-contact; rotation; coaxial

0 引言

滑环具备将某一旋转端的信息传递到另一旋转端的能力,已被广泛应用于雷达、微波天线及其它需旋转通信的仪器和设备中。传统滑环主要有电滑环和光纤滑环^[1]。其中,电滑环主要用于传输电信号,采用接触式的旋转连接方法,电滑环环体与电滑环触点接触,这种连接方法由于接触摩擦的作用,随着工作时间的积累,相互接触的电滑环环体与电滑环触点的磨损破坏情况日益严重,通信性能随之降低。光纤滑环^[2]

虽然传输容量很大,但其对安装条件和安装精度的要求高^[3](如轴向偏差要求不得超过几十微米),且其成本也高^[4-13]。

为了弥补电滑环和光纤滑环的缺点和不足,本文提出在2个高速旋转的机械结构之间设计一种非接触式旋转光通信系统,使两旋转端之间在进行信息交换的过程中不受转动机构转速的影响。

1 系统原理与设计

1.1 双端旋转光通信系统结构与原理

此次设计的双端旋转光通信系统,可使两旋转部件之间实现双工通信^[9],它的系统结构如图1所示。它由结构相同的A旋转端部分和B旋转端部分组成,2个旋转端之间采用激光作为传递信息的载体。A、B旋转端均包括电路板(1、①)、结构件(2、②)、雪崩式光电二极管(APD)探测器(3、③)、二向分色片(4、④)、准

收稿日期:2020-07-06。

作者简介:孙晖(1981—),男,河北保定人,高级工程师。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,已完成和在研的国家级项目7项、省部级项目5项,获省部级技术发明一等奖1项、科技进步一等奖1项和科技进步三等奖1项。

*通信作者:邵丙新(E-mail: bingxinsh@163.com)。



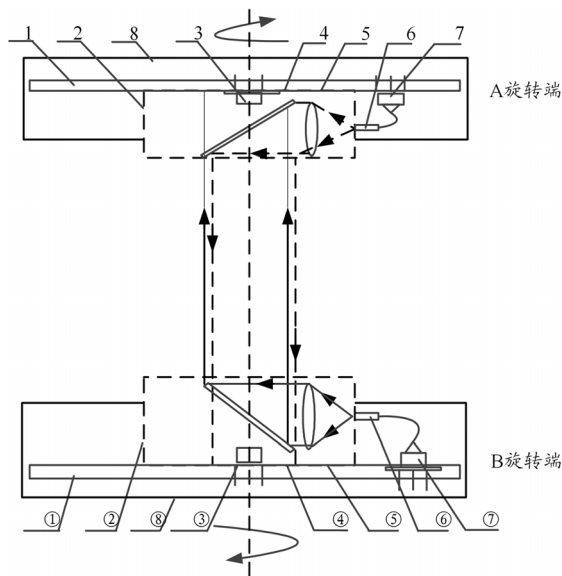


图1 双端旋转条件下的无线光通信系统

直透镜(5、⑤)、耦合光纤(6、⑥)、激光器(7、⑦)和外壳(8、⑧),其剖面图如图1所示。

双端旋转光通信系统工作原理如下:A旋转端部件的电路板产生的调制信号激励激光器产生相应的光信号,光信号耦合进光纤后,经过准直透镜变为平行光。平行光束入射到相应的二向分色片后被反射,被反射后的平行信号光束沿旋转轴方向入射到B旋转端部件的雪崩光电二极管(APD)探测器上,APD探测器将光信号转换成电信号^[6],电信号将被传送至对应的电路板中处理。B旋转端部件上的系统结构和工作原理大致相同,仅仅是激光器的波长和二向分色片的型号略有不同。双端旋转条件下的无线光通信系统的三维模型图如图2所示。

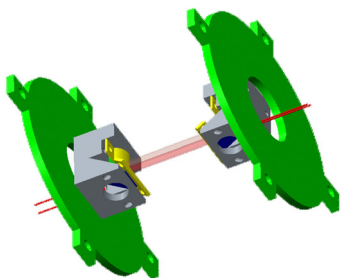


图2 双端旋转条件下的无线光通信系统模型图

A旋转端激光器选择发射1550 nm波长的信号光,B旋转端激光器选择发射1310 nm的信号光。A旋转端旋转部件选用的二向分色片分别反射、透射1550 nm、1310 nm波长的信号光;B旋转端旋转部件使用的二向分色片分别反射、透射1310 nm、1550 nm波长的信号光。二向分色片的中心与旋转轴重合、表面法线与旋转轴中心成45°角。选用单模光纤耦合激光器发出的信号光从陶瓷插芯的一端出射,且激光出射端的陶瓷插芯位于准直透镜的焦平面处。

1.2 准直透镜要求与设计

设计准直透镜、二向分色片等器件对发射光束进行处理,使某一端发射出的信号光束和接收到的信号光束都是平行光束,且发射出的信号光束和接收到的信号光束的中心光轴都与旋转轴的中心重合。

准直透镜的焦距和直径决定着结构件的体积和平行信号光束的横截圆面积,由于非球面透镜具有较好的光学特性^[7],所以采用经过特殊设计的非球面透镜作为准直透镜,这样可以实现体积小巧、光束准直效果好等优点。

此系统主要应用于通信,且要求信号光为平行光束,光斑中心的能量和光斑边缘的能量相差要尽量小,所以应该使激光器发射出的信号光经过准直透镜后的发散角尽量小,且中心能量和边缘能量差别不大,这样才能使两旋转部件在距离很近或者很远的情况下都能满足通信要求;并且当两旋转部件之间存在较大离轴偏差的情况下,光学系统仍能够实现信息传递。因此,准直透镜的各项参数就显得非常重要。它不仅要保证将陶瓷插芯发射出的信号激光经过光学准直透镜的折射之后发散角尽量接近零毫弧度^[8],还要保证准直光束的中心能量和边缘能量相差尽量小。

由于偶次非球面模型用径向坐标值、半径值、相关系数和偶次幂等参数来描述,本文将各项技术指标参数输入到光学设计软件ZEMAX中,设置相关变量和优化函数,优化光学透镜的材料和曲率半径以及偶次非球面系数等参数,同时针对1550 nm和1310 nm的信号光进行优化,最终得到偶次非球面透镜。

2 系统结构组件的实现

根据以上设计的无线光通信系统,本文计算各个器件的实际尺寸,并设计出相应的结构件。系统中使用的各种主要的元器件,其各项尺寸参数如表1所示。

2.1 旋转端电路板

无线通信系统的电路板实现多种电路的集成,包括激光器驱动电路、光信号探测模块的信号处理电路和其它数据交换电路,且包含RS232接口、以太网接口和RS485接口等数据接口。由于两旋转端之间采用非接触的方式进行信息传输,避免了接触摩擦所带来的各种不良影响^[9],因此使用寿命更长;且在高速旋转的条件下,旋转端仍能够正常工作,抗干扰能力强,这使得无线光通信系统具有环境适应能力强、维护成本较低、工作寿命长、灵活性强、保密性好和通信容量大等优点。

表 1 旋转光通信系统器件指标参数

器件名称	参数 1	参数 2	参数 3
准直透镜	直径 $D=\pm 25$ mm	焦距 $f=50$ mm	厚度 $d=5$ mm
APD 探测器	灵敏度: -37 dBm	直径 $D=0.2$ mm	接收 350~1770 nm 信号光
A 旋转端二向分色片	尺寸: 1 mm $\times$ 1 mm	反射 1310 nm 光波	透射 1550 nm 光波
B 旋转端二向分色片	尺寸: 1 mm $\times$ 1 mm	反射 1550 nm 光波	透射 1310 nm 光波
A 旋转端激光器	发射 1310 nm 信号光	发散角 $\pm 8^\circ$	—
B 旋转端激光器	发射 1550 nm 信号光	发散角 $\pm 8^\circ$	—
A 旋转端尺寸	电路板直径: 60 mm	旋转端厚度: 20 mm	—
B 旋转端尺寸	电路板直径: 60 mm	旋转端厚度: 20 mm	—
分束/合束件尺寸	22 mm $\times$ 14 mm $\times$ 12 mm	—	—

2.2 激光器

激光发射模块固定于电路板上,激光器发射出的激光从光纤的一端耦合进光纤后,从光纤的另一端输出。选用单模光纤作为耦合光纤,光纤输出端端面通过法兰盘固定在准直透镜的焦平面上。可根据实际的应用条件,选用不同发射功率的激光器。

2.3 光信号探测模块

光信号探测模块中所使用的 APD 探测器,要保证器件 APD 的光敏面表面与旋转轴中心垂直,且旋转轴的中心穿过光敏面的几何中心^[10]。

某一旋转端经准直透镜出射的信号光束和信号探测模块接收到的另一旋转端发射来的信号光束都是平行光束,这些平行光束的光轴与中空旋转轴的旋转中心重合。2 个旋转端发射出的准直信号光共同利用中空信道,这就使得整个无线光通信系统的空间得到充分利用,有利于系统的小型化。

光信号探测模块的中心与平行信号光的光轴重合,且平行信号光垂直入射到光信号探测模块的光敏面上,使得两旋转端之间在进行信息交换的过程中不受转动机构转速的影响,光斑在光信号探测模块上的光强度趋于稳定不变。

信号光以平行光束入射到光信号探测模块上,信号的传输介质是空气,所以在满足阈值条件下,即使两旋转端之间的距离在较大范围内变化时,此光通信系统在不做任何改变的情况下仍可使两旋转端之间实现高速通信。

光信号探测模块具有较宽的光束接收视场,可以解决由于旋转、加工及安装精度导致的某一旋转端的信号光发射与另一旋转端的信号接收位置偏移等问题。所以,其安装具有较大的灵活性^[11],对安装精度要求不高,总成本较低。

2.4 准直透镜

在旋转端,两准直透镜的中心轴线垂直于旋转轴母线,以保证平行光束的光轴与旋转轴母线垂直,且准直后的平行光束沿水平方向出射。平行光束经过二向分色片反射后,平行光束的中心光轴与旋转轴中心重合,而且与光信号探测模块中所使用的 APD 探测器的光敏面表面垂直,并穿过光敏面的中心。

3 系统性能测试

为了验证所设计的双端旋转光通信器件的主要

性能,本文搭建了一套旋转测试平台,如图 3 所示。通过上位机控制伺服电机的转动,带动双端旋转光通信器件转动,从而测试双端旋转通信器的旋转通信性能^[12]。该测试平台可对旋转速度和通信距离进行调节^[13]。本文每个测量点的测试时间为 15 min,系统传输速率为 1 Gb/s。在 2 个旋转端之间的距离从 10 mm 变化到 550 mm、相对转速从 10 r/min 变化到 120 r/min 的过程中,系统的最小接收功率依然能满足通信要求,误码率为 0。当两旋转端面相距为 200 mm 固定不变时,测量两旋转部件的转速(从 120 r/min 到 1000 r/min)与接收功率的变化情况,测量结果表明随着转速增大接收功率基本保持不变。

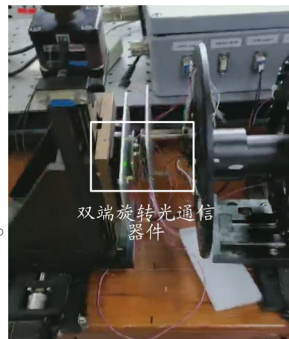


图 3 双端旋转光通信器件测试平台

4 结束语

本文设计了双端旋转无线光通信系统,并验证了其可行性,实现了双旋转端共同利用中心信道空间进

孙晖,崔新旭,邵丙新:一种双端旋转的光通信系统

行大容量数据的传输;搭建试验验证平台,测试了两旋转无线光通信系统的主要性能指标,测试结果表明该系统已基本能满足主要应用需求。基于双端旋转无线光通信系统的滑环采用非接触的通信方式,避免了接触所带来的磨损等不利情况,大大提高了使用寿命,且具备保密性强、抗电磁干扰性强和通信容量大等优点^[4],未来必将得到广泛应用。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 徐林,蒋祖运,杨乾远,等. 移动激光通信设备伺服稳定系统动态性能优化设计[J]. 光通信技术,2020,44(8):38-42.
- [3] IN-KUI C, JUNG-TAK H, SEONG-MIN K, et al. Fiber-optic rotary joint and optical link for RF-antenna measurement [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2010, 22(7): 447-449.
- [4] MI Lei, YAO Sheng-Li, SUN Chuan-dong, et al. A single-channel fiber optic rotary joint on the basic of TEC fiber collimators[C]/9th International Conference on Optical Communications and Networks, Oct. 24-27, 2010, Nanjing, China. Nanjing: IEEE, 2010. DOI: 10.1049/cp.2010.1245.
- [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.
- [6] 徐明,李超. 四通道单模光纤旋转连接器的研制 [J]. 光电工程, 2013,40(1):90-93.
- [7] CHANG Shoude, ERROLL M, MAO Youxin, et al. Stationary-fiber rotary probe with unobstructed 360° view for optical coherence tomography [J]. Optics Letters, 2011, 36(22): 4392-4394.
- [8] 郑秋新,李毅,沈雨剪,等. 离轴旋转光通信系统的设计与实现[J]. 光电子·激光,2012,23(12):2310-2315.
- [9] 徐海峰,刘贤德. 国外无线红外数字通信的研究 [J]. 红外技术, 1998,20(3):31-35.
- [10] 刘飞,李毅,郝如龙,等. 离轴旋转光纤传输系统的设计与实现[J]. 中国激光,2015,42(9):0905001-1-0905003-7.
- [11] 殷樱,李毅,丁杰,等. 离轴光纤旋转连接器的设计与实验[J]. 光学技术,2013,39(2):188-192.
- [12] 严后选,张天宏,孙健国. 近距离红外无线数据通信技术研究[J]. 应用基础与工程科学学报,2004,12(4):407-415.
- [13] 严后选,张天宏,孙健国. 旋转部件数据采集的无线数据传输技术研究[J]. 传感器与微系统,2006,25(8):32-37.
- [14] 杨文浚,胡渝. 高码率无线红外室内传输系统的通信性能[J]. 光电子·激光,2003,10(13):42-45.