

船舶无线光通信技术

杨乾远,徐林,孙晖,安建欣,甘润

(中国电子科技集团公司 第三十四研究所,广西 桂林 541004)

摘要:针对目前船舶无线电通信易受干扰的情况,提出采用无线光通信(FSO)手段,并针对船舶使用环境设计了FSO系统,提出了详细的设计方案。通过船舶实际使用环境的搭载试验,验证了船舶FSO系统的瞄准、捕获、跟踪(APT)和通信性能。试验结果表明:FSO系统可实现最远28 km的通信,扫描捕获时间在5 s以内。

关键词:船舶无线光通信;瞄准捕获跟踪;伺服稳定

中图分类号:TN929.12 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-5561(2019)08-0025-03

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.08.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Ship free space optical communication technology

YANG Qianyuan, XU Lin, SUN Hui, AN Jianxin, GAN Run

(The 34th Research Institute of CETC, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: In view of the current situation that ship radio communication is susceptible to interference, this paper proposes the use of wireless optical communication(FSO) means, and designs a FSO system for ship use environment, and puts forward a detailed design scheme. The aiming, acquisition, tracking(APT) and communication performance of ship FSO system are validated by the loading test of ship's actual operating environment. The experimental results show that the FSO system can achieve communication up to 28 km, and the scan acquisition time is less than 5 s.

Key words: shipborne free space optical communication; acquisition, tracking and pointing; servo stabilization

0 引言

传统的船舶通信存在通信易受干扰、易被截获和通信速率低等缺陷。无线光通信系统具有通信速率高、抗电磁干扰和抗截获能力强等特点^[1]。将无线光通信应用到船舶通信中,可为船舶间提供高带宽、高效、实时和高可靠性的无线通信保障手段,具有很高的应用价值^[2]。船舶无线光通信需要激光束精确自动对准,还需要保证在船舶行驶过程中隔离船舶摇晃和振动,实现激光束的高精度自动跟踪;同时,光学系统还需要对杂散光进行抑制,减小接收光信号的噪声,实现高灵敏度探测。本文针对船舶使用环境设计无线光通信系统,实现船舶高可靠性的无线光通信。

收稿日期:2019-07-12。

作者简介:杨乾远(1980-),男,四川合江人,本科,高级工程师。主要研究方向是无线光通信技术。负责完成和即将完成的省部级、国家级项目10余项;获得省部级科技进步三等奖2项。



1 国内外发展现状

在国外,美国和欧洲国家很早就开始对船舶无线光通信技术开展了研究,并进行了大量的船舶搭载实验。1996年,Thermo Trex公司进行了飞机与船舶的激光通信实验。2003年,AOptix公司在美国海军研究室支持下在切萨皮克海湾进行了激光通信实验,通信距离、速率分别为16 km、2.5 Gb/s。2008年,卡尔蔡司光电子公司进行了陆地基站与海军多用途船舶之间的通信实验,通信距离、速率分别为24 km、100 Mb/s。2011年,美国海军研究室进行了船舶对岸无线光通信试验,通信距离、通信速率分别为25 km、100 Mb/s。美国海军还开展了TALON计划,于2013年7月开始测试,2015年春完成全部试验,已开始列装,通信距离、通信速率分别为48 km、1.25 Gb/s。

目前,国内在船舶无线光通信方面进行研究的主要有中国电科34所、中船717、长春理工大学和武汉大学等,关键技术已经基本突破,多家科研单位均开展了船舶搭载实验。

船舶无线光通信系统实现原理如图 1 所示。由通信处理子系统、光学天线子系统和瞄准捕获跟踪 (PAT) 子系统 3 部分组成。

通信子系统由接口转换电路、信号处理电路、调制驱动电路、激光器、光功率放大器、光电探测器和信号放大电路等组成。主要完成用户业务信号接口转换、信号纠错编解码、激光器调制及驱动、光信号放大和信号探测接收等功能,实现用户数据到空间传输激光信号间的转换。传输的用户业务信号经过接口转换电路后先进行纠错编码,然后进行电/光转换,将信号加载到光载波上。激光器采用直接强度调制方式,调制光信号经光功率放大器后由光学系统准直及扩束,将激光束压缩到设计的发散角发射出去。信号接收端采用雪崩光电二极管(APD)直接探测,将接收的光信号转换为电信号,经放大电路将微弱电信号放大后进行信号判决和解码,再通过接口转换电路将信号还原为与用户接口相匹配的信号,并传输到用户端。

光学天线子系统由信标光发射主镜、信号光收发主镜、信标光接收主镜、次镜、聚焦镜、准直镜、光阑、分光镜和分色镜等组成。主要完成收发光束的缩束、扩束、分色、滤光和分光等处理。光学天线设计时主要

PAT 子系统由全球定位系统+惯性导航系统 (GPS/INS) 模块、扫描捕获 CCD、粗跟踪 CCD、伺服稳定二维转台、扫描捕获及粗跟踪控制器、精跟踪 QD、振镜和精跟踪控制器等组成。主要实现空间光束的初始指向、快速捕获和精确自动跟踪。在链路建立时, PAT 子系统首先通过 GPS/INS 获取本端的位置和姿态信息, 并通过无线数传将位置和姿态信息相互发送给对端, 再根据本端和对端的位置、姿态信息计算出设备指向角度, 控制转台进行初始指向。在扫描捕获阶段, 一端发射信标光并扫描不确定区域, 同时实时探测 CCD 相机接收信号, 准备接收对端返回的信标光。另一端处于凝视接收状态, 扫描端发射的信标光一旦

PAT 子系统采用了高精度的 GPS/INS 模块,目标不确定区域可限定在 mrad 量级,降低了扫描捕获时间,提高了捕获概率。为了实现大视场的扫



表 1 气候条件

时间	天气	温度	相对湿度	能见度	风速	浪高	地点
10:00~17:00	晴,无云	14℃~24℃	35%~75%	10~15 km	偏北风 6~7 级	0.5 m	渤海湾

描捕获,用于扫描捕获的 CCD 相机选择大光敏面,实现大视场接收,以便获取对端位置姿态信息后就能快速捕获对端信标光。粗跟踪 CCD 相机对光斑位置探测精度更高,可保证在粗跟踪完成后信号光能覆盖对端光学天线。初始指向、扫描捕获和粗跟踪的执行机构均为伺服稳定二维转台,其调节角度大,方位角调节范围为 360° ,俯仰角调节范围为 120° ,可隔离船舶航行时的低频、大幅度晃动。由于信号光发散角小,接收视场小,系统要求精跟踪 QD 实现高频、高精度的角度分辨,并采用执行速度快、精度高的压电陶瓷驱动振镜进行补偿,隔离船舶航行时的高频、小幅度震动。

由于船舶在航行过程中会产生颠簸,PAT 子系统设计了伺服稳定控制单元来隔离船舶颠簸,保证激光束的指向稳定性。伺服稳定控制单元由两轴框架、力矩电机、驱动电路、编码器、速率陀螺和伺服控制器等组成。本文采用内部速率稳定控制,并根据外部输入的视轴偏移量信号进行跟踪控制的设计方案,其实现原理如图 2 所示。伺服稳定控制单元内部采用速率陀螺作为闭环控制的姿态误差传感器,速率陀螺感应出外界施加在平台基座上的扰动,通过控制力矩电机驱动两轴框架隔离基座扰动对视轴角位置的影响,并根据外部输入的视轴位置偏移量信息来控制视轴指向角度,实现对目标的闭环跟踪。视轴位置偏移量信息是通过粗跟踪 CCD 探测的目标光斑位置数据解算得出。伺服控制器采用 PID 方法进行设计,通过调整 PID 参数,并通过 GPS/INS 获取的姿态、航速和航向信息进行补偿,提高跟踪速度和跟踪精度。

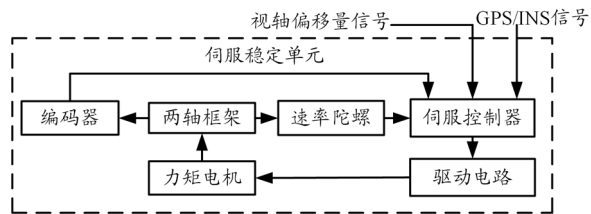


图 2 伺服稳定控制单元实现原理图

3 实验结果分析

为了测试船舶无线光通信设备的性能,我们在某海域进行了试验测试。本次试验在 1 号试验船与 2 号试验船之间进行。1 号试验船抛锚在离港口 2 km 处,位置相对固定,但由于洋流以及大风的影响,船在原地晃动以及转动。2 号试验船从港口出发,逐渐远离 1 号

试验船行驶,在距离为 11~28 km 处分别进行 PAT 和通信测试。由于大气信道对无线激光通信尤为重要,记录实验天气情况如表 1 所示。

2 号试验船分别在 5 个试验点进行测试,采用以太网 ping 包及传送视频的方式进行测试。整个试验过程中,系统全向扫描捕获跟踪正常,响应速度快,在通信链路被遮挡导致通信中断后,一旦通信链路避开障碍物,可在 5 s 以内恢复正常通信,表明设计的多级捕获跟踪方式性能稳定。在通信效果上,实测通信距离 20 km 以下时,通信质量良好,图像、语音清晰可辨,以太网 ping 包、文件传输正常。通信距离为 20~28 km 时,通信质量一般,图像、语音清晰可辨,偶尔会出现卡顿,以太网 ping 包丢包率上升,文件传输速度降低。由于测试时大气湍流属于强湍流,在 11~16 km 的通信距离时,接收光功率波动在 16 dB 以内;在 16~28 km 的通信距离时,通信速率有所下降,随之接收光功率波动也变大,接收灵敏度可达到 -43 dBm。试验结果表明:该无线光通信系统可以实现最远的通信距离、通信速率分别为 28 km、80 Mb/s;采用设置多级光阑的方式可以提高无线光通信系统抑制杂散光的能力;采用多级伺服稳定跟踪可以在船舶海上颠簸振动环境时保证激光束实时自动对准。

4 结束语

本文介绍了船舶无线光通信系统的设计思路、工作原理和试验情况,试验验证了本船舶无线光通信设备的 PAT 和通信性能,为国内船舶无线光通信设备的工程应用收集测试数据,奠定基础。为了实现更远距离、更高速的船舶无线光通信,下一步将考虑如何进一步抑制杂散光和提高接收信号的稳定性,设计更可靠的探测电路和高效的纠错编码方案来提升通信稳定性。同时,本次试验仅仅是在一处海域的海事环境下进行测试,不够全面,因此下一步将针对更多测试地点,验证不同的海面环境下的性能。

参考文献:

- [1] 曾智龙,刘兴,孙晖,等. 空间激光通信最新进展及发展建议[J]. 光通信技术,2017,41(6):1-5.
- [2] 李君波. 舰船激光通信设备的发展与应用:2011 船舶电气及通讯导航技术发展论坛论文集[C]. 北京:[出版者不详],2011:85-92.