

紫外光通信收发响应时间校准技术

王少水 孙权社 赵发财 韩 忠

中国电子科技集团公司第四十一研究所, 山东 青岛 266555

摘要 研究了紫外光通信收发端机的工作模式, 定义了“收发响应时间”, 用以衡量接收和发射 2 种工作模式之间的切换效率, 设计并研制了高灵敏度的宽带接收机, 搭建了收发响应时间校准装置。实验结果表明, 紫外光通信收发端机之间的切换时间约 100 ms, 重复性小于 1 ms, 为紫外光通信端机的研制提供了数据支撑。

关键词 光通信; 紫外; 收发响应时间; 校准; 宽带接收机

中图分类号 O436 **文献标识码** A

doi: 10.3788/AOS201535.s206003

Calibration Technology for Transceiver Response Time of Ultraviolet Optical Communication System

Wang Shaoshui Sun Quanshe Zhao Facai Han Zhong

The 41st Research Institute of CETC, Qingdao, Shandong, 266555, China

Abstract The working model of ultraviolet (UV) optical communication transceiver is studied. The transceiver response time (TRT) parameter is defined to evaluate the handover efficiency of transceiver. A highly sensitive broadband receiver is designed and developed to measure this parameter. The experimental results show that the TRT of UV communication transceiver is about 100 ms, and the repeatability is less than 1 ms. The results can provide significant data for the research on UV communication.

Key words optical communications; ultraviolet; transceiver response time; calibration; broadband receiver

OCIS codes 140.3460; 140.3580; 140.3610; 140.7240

1 引 言

由于太阳光中的紫外辐射在通过地球大气层时, 臭氧层对 200~280 nm(日盲区)的紫外光有强烈的吸收作用, 使得这一波段的紫外辐射在海平面附近几乎衰减为零。紫外光通信(UV communication)以日盲区波段的紫外光为载波, 利用发射端机将信号加载到紫外光上并发射出去, 已调制的紫外光载波信号利用大气中粒子、气凝胶、灰尘等微粒对其散射作用到达接收端机, 经光电转换和解调处理提取出有用信号^[1]。与无线电通信和光纤通信相比, 紫外光通信具有低窃听率、全天候工作、非直视传输、保密性强的特点, 随着现代战争特点向局部化转变的到来, 小型化、低成本的紫外光通信已经成为商业和军事的研究热点^[2-4]。

紫外光通信技术组网可弥补紫外光通信系统发射功率低、大气衰减严重、存在大量单向信道等固有缺陷, 近年来, 国内学者研究了分时复用(TDM)技术在紫外光通信中的应用, 赵太飞等^[5-7]基于 TDM 技术研究了紫外光通信组网的主要规则, 包括误码率、大气衰减等, 提出了将无线 Mesh 网络与紫外光通信系统相结合的方案, 目的是克服基于固定时隙分配的 TDM 方法随着节点增加存在等待时延长、网络吞吐量不理想等问题。李济波等^[8]基于紫外光通信垂直收发模型, 通过考虑功率因素的加权算法选取中心节点辐射, 用分段时隙方法给辐射的相邻小区分配不同时隙段, 让相距较远小区内的节点对时隙可以重复使用, 解决了节点增加与时隙有限的矛盾。

以上文献主要研究了 TDM 技术在紫外光通信系统组网中应用, 并没有涉及紫外光通信发射端机工作

收稿日期: 2015-05-30; 收到修改稿日期: 2015-07-10

基金项目: 技术基础科研项目(J312012B002)

作者简介: 王少水(1985—), 男, 硕士, 主要从事光电子计量校准方面研究。E-mail: eiqd@ei41.com

于 TDM 状态下的性能。在紫外光通信局域网中,任一时刻只允许一个设备的发射机发射通信信号,为了满足通信双方可实时双向通信,要求发射和接收的转换时间较短,否则无法真正实现双工通信,因此发射机与接收机之间工作状态的切换速度显得尤为重要。目前国内紫外光通信的研究机构在对收发模块的参数定义、技术指标要求方面尚没有达成一致,紫外光通信收发模块校准测试国内仍处于空白,收发响应时间的测试工作也未开展。为此,本文定义了紫外光通信系统的“收发响应时间(TRT)”,设计并研制了高灵敏的宽带接收机,并对某型号产品进行了测试。

2 实验装置及原理

紫外光通信系统一般处于待机状态,即接收机开启、发射机关闭;当发射信号时,需要先将接收机关闭,然后开启发射机;信号发射完毕后,关闭发射机,开启接收机。因此,将发射机关闭至接收机开始工作的时间间隔定义为“收发响应时间”,记为 Δt ,计算过程可表示为

$$\Delta t = t_2 - t_1, \quad (1)$$

式中, t_2 是指接收机开启时间, t_1 是指发射机关闭时间。

收发响应时间校准原理如图 1 所示,校准装置主要由日盲型紫外光源、宽带接收机、信号采集卡和计算机组成。校准过程中日盲区紫外调制光源和宽带接收机始终处于工作状态,宽带接收机检测到发射机发射的最后一个信号时开始计时,当接收机能够接收到日盲区紫外光源的信号时计时结束。

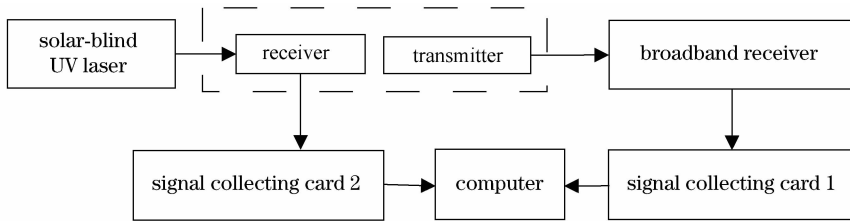


图 1 收发响应时间校准装置原理框图

Fig. 1 Block diagram of calibration device of transceiver response time

2.1 硬件设备研制

2.1.1 宽带接收机

工程化的紫外光通信接收机为了提高信噪比(SNR),通常将信号进行镜像处理;为了避免其他频段电信号的干扰,电路一般为带通的,导致了工程化的接收机无法满足不同型号发射机光信号的检测。

设计了一种定向高增益巴施特(BUSACK)结构接收天线,在传统的定向天线卡塞格林结构的基础上,通过进一步增大视场对这种结构进行了改进,在系统前端增加 1 块透射的镜片,同时将主反射镜镀制在第 2 块透镜的背面。2 块透镜前分离的透镜可以互补实现消像差;同时后 2 块镜子作为补偿实现系统在全视场内像差较小^[9-10],如图 2 所示。电信号处理方面,去除了镜像和带宽等环节,可真实反映发射机光辐射特性。

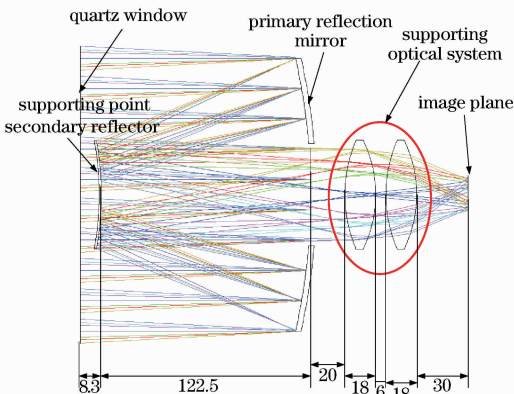


图 2 高灵敏度宽带紫外接收机(a)光路图及(b)实物图

Fig. 2 (a) Optical figure and (b) physical map of highly sensitive broadband UV receiver

2.1.2 日盲区紫外光源

在测试过程中,日盲区紫外光源一直处于开启状态,为接收机提供激励信号,从技术和经济两方面考虑,低压汞灯是比较理想的光源,其能量主要集中在 254 nm,本文选用北京赛凡公司的 71LM3 型号低压汞灯,实物如图 3 所示。



图 3 低压汞灯

Fig. 3 Low pressure mercury lamp

2.1.3 数据采集卡

国内工程化的收发端机工作模式切换时间重复性在 1 ms 量级,数据采集卡的采样时间必须小于 1 ms,选用美国 NI(National Instruments)公司的 9184 四插槽 cDAQ 机箱作为平台,配备 9223 同步采集卡,具有 4 个通道,每个通道的采样率为 1 MS/s,最小采样时间为 1 μ s,满足项目中对数据采集的要求,实物如图 4 所示。

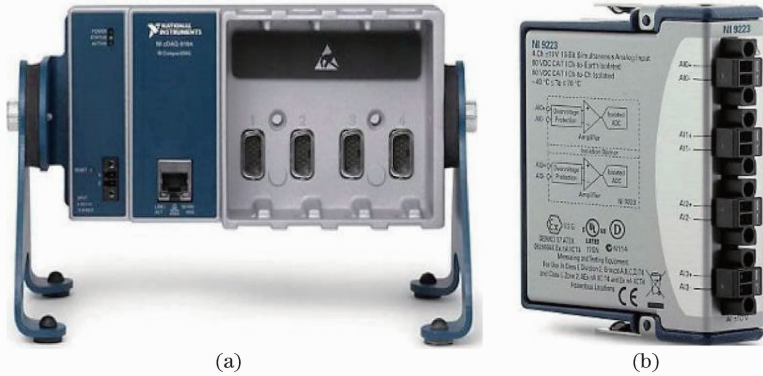


图 4 NI 数据采集卡实物。(a) 9184; (b) 9223

Fig. 4 Physical maps of NI signal collecting card. (a) 9184; (b) 9223

2.2 软件系统研制

软件系统基于 Win7 操作系统,在 Visual Studio 2008 应用程序开发环境,充分利用 NI 提供的示例程序和开发包,完成数据采集卡信号采集和分析功能,实现发射机停止工作时间和接收机开启时间的确定,软件控制流程如图 5 所示。

该部分的关键技术是确定计时开始和结束时间,由于数据采集卡对宽带接收机和待测接收机分别进行信号采集,软件中定义了 2 个数组“vDataSender”和“vDataReceiver”,同时定义了 2 个阈值变量“m_level”和“m_level2”。如果在测试周期内,宽带接收机信号的最大值与最小值之差小于 m_level,则认为发射机已停止工作,开始将 2 路信号写入“vDataSender”和“vDataReceiver”2 个数组,同时开始监测接收机是否开始工作,被测接收机采集到的数据的最大值与最小值之差大于 m_level2 时认为被测接收机开始工作,停止数据采集,最后通过分析“vDataSender”和“vDataReceiver”2 个数组的数据,确定响应时间,并将数据以图形的形式显示出来,如图 6 所示。

3 实验结果分析

实验主要包括两部分,一部分是校准装置性能验证,利用函数发生器产生频率已知的标准方波信号,利用数据采集卡进行监测;另一部分是利用校准装置对国内某工程化产品的收发响应时间进行测试,验证校准

装置的实用性。

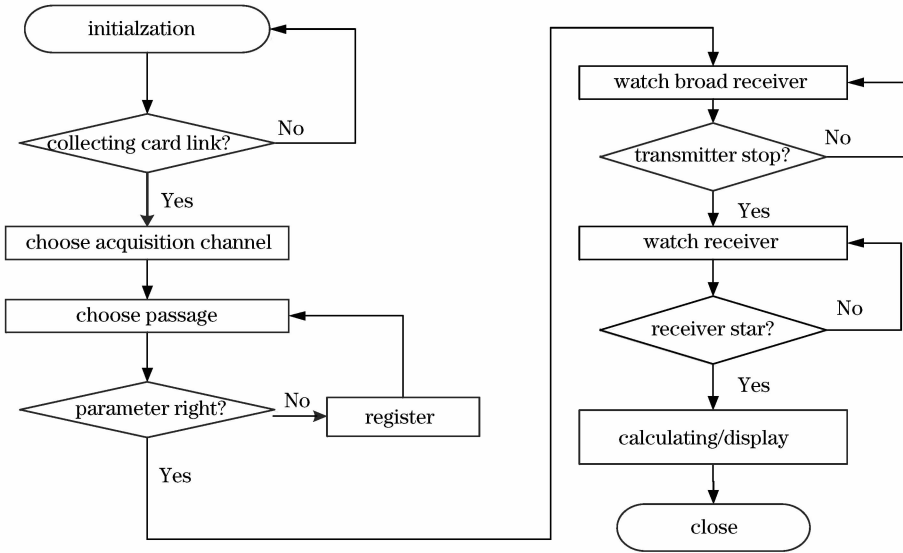


图 5 收发组件响应时间软件流程图

Fig. 5 Software flow pattern of transceiver module response time

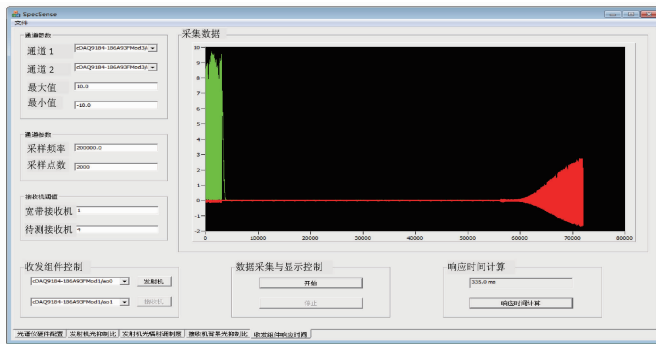


图 6 收发组件响应时间软件界面

Fig. 6 Software interface of transceiver module response time

3.1 校准装置性能验证

校准装置通过分析数据采集卡信号上升沿(或下降沿)确定启示(和终止)时间,从而得到响应时间,测量结果的误差主要来源于数据采集卡,因此需要对数据采集卡的采样速率(采样时间)进行性能验证。

实验过程中,数据采集卡采样率设置为 10 kHz,时间间隔为 0.1 ms,利用函数发生器产生标准方波信号,数据采集卡采样速率为 10 kHz 时,对方波一个周期内的采集样本点数如表 1 所示,没有发生漏点和多点的情况,性能稳定可靠。

表 1 标准方波信号测量结果

Table 1 Measuring results of standard square wave signal

NO.	Square wave signal frequency /Hz		
	10	100	1000
1	1000	100	10
2	1000	100	10
3	1000	100	10
4	1000	100	10
5	1000	100	10
6	1000	100	10
Mean	1000	100	10
Standard deviation	0	0	0

3.2 待测收发组件响应时间测试

选择国内某工程化紫外光通信产品被测件,共进行了6次收发响应时间测试实验,结果如表2所示,收发响应时间是101.4 ms,满足型号项目验收要求。

表2 收发组件响应时间检测结果

Table 2 The results of transceiver module response time

NO.	1	2	3	4	5	6	Mean
Response time /ms	101.5	101.0	101.4	101.7	101.6	101.1	101.4

在实验过程中发现发射机停止工作和接收机开始工作并不是在瞬间完成的,而是有一个变化过程,图7和图8分别是发射机关闭和接收机开启时的信号曲线图,这主要是因为发射机采用低压汞灯作为发光源,断电后汞原子碰撞仍能维持一段时间;而接收机采用的是光电倍增管作为探测器,工作与高压状态,从上电到高压状态需要一定的时间。

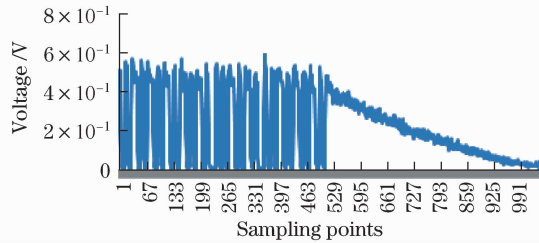


图7 发射机关闭时的信号曲线图

Fig. 7 Signal curve of transmitter closed

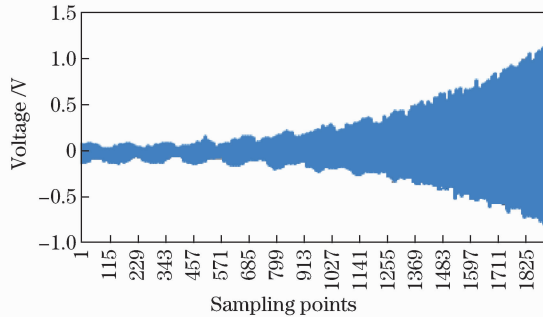


图8 接收机开启时的信号曲线图

Fig. 8 Signal curve of receiver started

4 结 论

以紫外光通信收发响应时间校准技术研究为出发点,重点介绍了校准装置的硬件和软件研制情况,对校准装置的性能进行了验证,同时利用校准装置对国内某工程化产品进行了测试,为后期的产品研发提供了数据参考,对紫外光通信接收端机的研制具有一定的借鉴意义。但是校准装置具有一定的使用局限性,待测接收机必须提供或转接成卡扣配合型连接器(BNC)接口,以便与校准装置接口对应;如果接收机采用光电倍增管作为探测器,会存在通电延迟,需要手动设置工作阈值,人为因素较大,增大了测试结果的不确定性。

参 考 文 献

- Zhao Mingyu. Characteristics of Atmospheric Propagation and Modulation Research for UV Communication[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2013: 92-97.
赵明宇. 紫外光通信大气传输特性和调制技术研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2013: 92-97.
- Guo Wenji, Yan Jiqing, Tangyi, et al.. A high speed UV communication method and system[J]. Optical Technique, 2012, 38(2): 240-243.
郭文记, 闫吉庆, 唐义, 等. 一种低重频高码率紫外光通信方法和系统[J]. 光学技术, 2012, 38(2): 240-243.
- Peng Guanghui, Shi Jun, Lü Fengfei, et al.. UV communication system based on improved FSK modulation [J]. Wireless Optical Communication, 2013, (7): 56-59.
彭光辉, 施军, 吕凤飞, 等. 基于改进型 FSK 调制的紫外激光通信系统[J]. 无线光通信, 2013, (7): 56-59.

- 4 Wang Rongyang, Yuan Yonggang, Li Xiangyang. Design and realization of APD-based UV speech communication system[J]. *Wireless Optical Communication*, 2011, (10): 24–27.
王荣阳, 袁永刚, 李向阳. 基于 APD 的紫外光语音通信系统设计[J]. *无线光通信*, 2011, (10): 24–27.
- 5 Zhao Taifei, Jin Dan, Song Peng. Channel capacity estimation and analysis of wireless ultraviolet non-line-of-sight communication[J]. *Chinese J Lasers*, 2015, 42(6): 0605001.
赵太飞, 金丹, 宋鹏. 无线紫外光非直视通信信道容量估算与分析[J]. *中国激光*, 2015, 42(6): 0605001.
- 6 Zhang Ruoxin, Zhao Shanghong, Wang Xiang, *et al.*. Ultraviolet multipath scattering link model under the influence of high altitude turbulence[J]. *Chinese J Lasers*, 2014, 41(6): 0605002.
张若馨, 赵尚弘, 王翔, 等. 高空湍流影响下紫外多径散射链路模型[J]. *中国激光*, 2014, 41(6): 0605002.
- 7 Zhao Taifei, Wang Xiaorui, Ke Xizheng. Research on multi-channel access technology in wireless UV scattering communication[J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, 32(3): 0306001.
赵太飞, 王小瑞, 柯熙政. 无线紫外光散射通信中多信道接入技术研究[J]. *光学学报*, 2012, 32(3): 0306001.
- 8 Li Jibo, Liu Xiguo, Wang Hongxing, *et al.*. Improved ultraviolet communication time division multiplexing network method[J]. *Chinese J Lasers*, 2014, 41(11): 1105003.
李济波, 刘锡国, 王红星, 等. 改进的紫外光通信时分复用组网方法[J]. *中国激光*, 2014, 41(11): 1105003.
- 9 Gao Jiali, Wang Ke, Yan Weiping. Design of a hand-held UV communication system based on LED and APD[J]. *Optoelectronic Technology*, 2015, 35(1): 49–51.
高家利, 汪科, 阎卫萍. 基于 LED 和 APD 的便携式紫外光通信系统设计[J]. *光电子技术*, 2015, 35(1): 49–51.
- 10 Li Xiaoming, Hua Wenshen, Wu Xianquan. Research on optical antenna of ultraviolet communication based on two-surface reflection[J]. *Optical Instruments*, 2012, 34(2): 21–25.
李晓明, 华文深, 吴先权. 基于双反射面的紫外光通信光学天线的研究[J]. *光学仪器*, 2012, 34(2): 21–25.

栏目编辑: 王晓琰