

文章编号:1672-058X(2012)07-0073-05

紫外无线光通信系统研究*

邹宇, 肖沙里, 李冠华, 霍畅, 王兆浪

(重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400030)

摘要:紫外光通信是一种极具潜力的近距离通信方式,分析了紫外光大气传输特性和系统信道模型,利用紫外光的散射特性来有实现抗干扰非视距近距离通信这一难题;以紫外 LED 和光电倍增管分别作为通信系统光源、光电探测器,采用脉冲编码调制和循环冗余编码方式,设计并研制了一套紫外无线光通信系统样机,实现了小角度的实时数据通信,通信速率为 9.6 kbps,误码率 1% 以内,通信距离为 5 m 以内。

关键词:紫外无线光通信;非视距通信;紫外 LED;光电倍增管;

中图分类号:TN929.12

文献标志码:A

军事通信系统是现代和未来战争指挥控制的重要神经系统,而无线通信是战争中首要攻击、破坏的目标。“制电磁频谱权”已成为现代战争中敌我双方除海、陆、空、天外争夺的第五维战场空间^[1]。为了克服现有通信方式移动性差、抗干扰能力弱等不足,各国军事部门都在寻求新的通信途径,以应付复杂的战时环境。紫外光通信是通过发射携带通信信息的紫外光,以大气为传输信道,利用紫外光在大气中传输的散射特性来进行自由空间近距离通信的一种新兴的光通信手段,很难被探测、截获和干扰,使用于各种近距离通信环境,可以跨越障碍物进行非视距通信,能够满足战时通信需求^[2]。

1 系统总体结构

1.1 工作原理

基于 LED 的紫外无线光通信主要由信号调制编码模块、紫外光源及光源驱动电路、光电探测器、预处理单元和信号解调解码单元组成,其工作原理如图 1 所示。基带信号经过 FPGA 后完成信号的调制与信道编码,加载到紫外 LED 光源上,以自由空间和大气作为信道传输信息。接收端采用光电探测器对微弱信号进行探测放大,经过预处理电路对其滤波、二次放大和脉冲成形,再由 FPGA 完成信号的解调和信道解码功能,对传输数据进行检错和纠错,恢复出原始的发送信息。

1.2 紫外光传输特性及系统信道模型

紫外光在大气中传播时,收到大气分子、悬浮颗粒等的吸收、反射和散射,信号能量按指数衰减损失,大气瑞利散射造成的光能量损失是红外线的 1 000 倍以上^[3]。因此,能够探测到发送的紫外信号的距离被限

收稿日期:2011-10-12;修回日期:2011-12-21.

* 基金项目:中央高校基本科研业务费资助(CDJXS11120009).

作者简介:邹宇(1987-),男,重庆酉阳人,硕士研究生,从事紫外光通信研究.

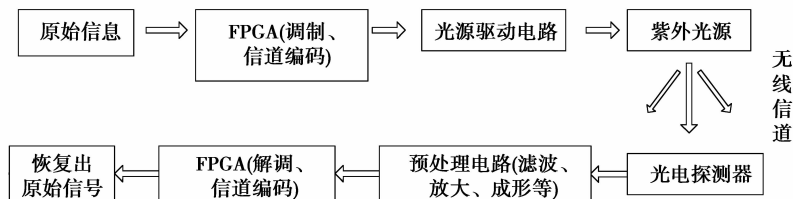


图 1 紫外无线光通信系统工作原理

制在几千米之内,超过此区域根本无法进行侦查、截获和干扰,具有很强的保密性和抗干扰性。同时,由于波长较短,紫外光在大气中传播时一个典型的特征就是极强的散射特性,可以有效地实现“非直视”(Non Line of Sight, NLOS)通信,克服了其他自由空间光通信系统必须工作在视线方式的缺点。紫外无线光系统非视距通信模型如图 2 所示, r 表示紫外光源与探测器间的直视距离(一般距离很短), α_1 和 β_1 分别表示紫外光源的顶角和发散角, α_2 和 β_2 表示探测器的顶角和接受角, V 表示视场的大小。

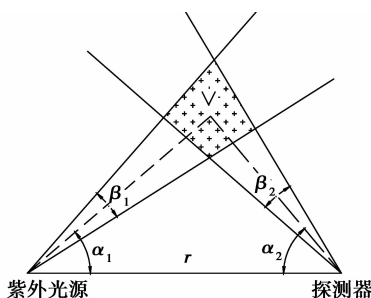


图 2 紫外无线光通信非视距信道模型

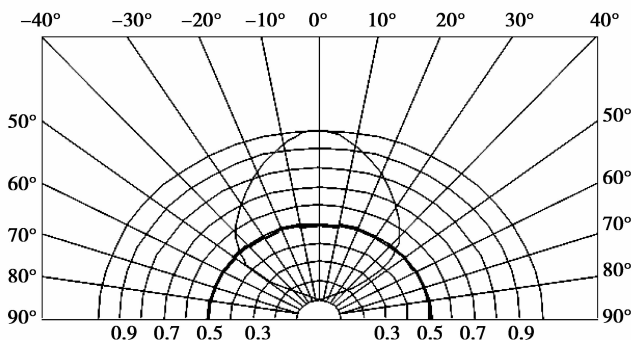


图 3 LED 光谱空间分布

2 系统关键器件

2.1 紫外光源

紫外通信领域的研究起源于上世纪 30 年代,由于受到器件材料的限制,早期的紫外系统样机都采用汞弧灯作为系统发送设备,汞弧灯寿命短,附加谱线多,调制速率低,同时紫外转换效率低,目前已经弃之不用。后来的紫外光通信系统采用能够发射出 254 nm 窄频带光谱的低压汞灯作为光源,使用这种光源需要高压镇流器和反射镜来引导紫外光的传播方向,电光转化效率不高、体积大,同时由于“余辉效应”的影响,两个频率之间的交替变化不能高速进行,严重制约了通信速率,传输速率一般为几 kHz 到几十 kHz,适用于小型基站式的通信架构^[4-6]。

2000 年林肯实验室以紫外激光器作为光源,设计了一套便携式测试平台。紫外激光器相比于气体光源而言,坚固耐用,但其成本高、功耗大、不易低压高速驱动^[7]。随着 LED 器件材料工艺的提高,出现了毫瓦级输出功率的紫外 LED。紫外 LED 克服了前面几类光源的缺点,功耗小、寿命长、稳定性高,其响应时间为纳米级,为高速通信提供了必要条件,缺点是输出功率偏小。系统采用的 LED 光源光谱空间分布如图 3 所示,驱动电流为 0.7 A。驱动电路采用 LED 专用驱动芯片 DD311,该芯片最大输出电流为 1 A,通过偏置电压和外接电阻的设置来调节输出恒定的驱动电流。

2.2 光电探测器

对于紫外无线光通信系统而言,紫外探测器是接收端的核心器件,完成对紫外光信号到电信号的转换,比较理想的光电探测器应该对紫外波段具有良好的频谱特性、大面积的探测区域和极低的暗电流。常用的紫外探测器有光电二极管、雪崩光电二极管和光电倍增管(photomultiplier tube, PMT)。在此选用的光源发光功率小,在一定距离内信号非常微弱,一般采用光电倍增管进行探测。光电倍增管是一种具有极高灵敏度和超快响应时间的真空器件,由光阴极、聚焦电极、电子倍增极和电子收集极等组成。由于采用了二次发射倍增系统,具有很高的电流增益。窗材料和光阴极材料决定了光电倍增管响应波长。同时可以在光电倍增管的前端加紫外滤光片来消除可见光和红外光的影响,降低系统噪声。

3 系统调制解调和信道编码技术

3.1 PPM 调制解调技术

在无线光通信系统中,目前主要应用3种调制技术:开关键控OOK(On Off Key)、脉冲位置调制PPM(Pulse Position Modulation)和数字脉冲间隔调制DPIM(Digital Pulse Interval Modulation)。PPM是一种具有信道抗干扰能力的正交调制方式,调制信号控制载波,脉冲时隙的位置表示不同的信息。与通常的OOK相比,PPM可降低光辐射平均功率的要求,小辐射功率可以延长紫外LED光源的工作寿命,具有较高的功率利用率和抗干扰能力,特别适合于紫外光通信系统、对潜通信和室内计算机红外无线通信等要求低平均功率传输信息的场合,在无线局域网标准IEEE802.11中,已规定IR物理层采用PPM^[8,9]。

3.2 循环冗余校验码

为了保证通信系统的有效性,就需要对通信过程进行差错控制。循环冗余校验(CRC:Cyclic Redundancy Check)码是一种重要的线性分组码,不但具有极强的检测能力,而且编解码器采用硬件实现比较简单,特别适合于检测错误,同时还能纠正单比特错误,在通信系统中得到广泛应用^[9]。在此采用CCITT定义的CRC16生成多项式 $G(x):x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ 。

3.3 FPGA 实现

3.3.1 发射端模块

发射端FPGA仿真实现如图4所示。在串行异步通信方式中,任何一个字符的传送均以起始位(逻辑0电平)开始,空闲状态时其保持高电平。在有效数据位段,每4bit数据通过查找表法实现PPM调制和CRC校验,并拼接8位帧头“11011101”,最后并串转换,移位输出后送入紫外LED光源控制端,控制光源的亮和灭,传递不同的信息。

3.3.2 接收端模块

发射端的调制编码信号经自由空气和大气信道,变得十分微弱,采用光电倍增管对其探测并放大。经过预处理电路滤波、整形和二次放大后送入FPGA。FPGA不断采集电路信号,检测到帧头序列时,读取后面的32位数据信息,对其进行CRC校验。当出现单比特错误时,如果错误出现在后16个校验位,则无需进行纠错;如果错误出现在前16位数据位,则对出现错误的位置进行取反。将得到的16位数据进行解调后发生至串口,即完成对原始发送信号的恢复。当检查到多比特数据位出错时,对该组数据丢弃,或者进行其他的数据复原纠错处理,也可以反馈至发射端,请求发射端重新发送数据,直到接收正确数据为止。整个流程如图5所示。

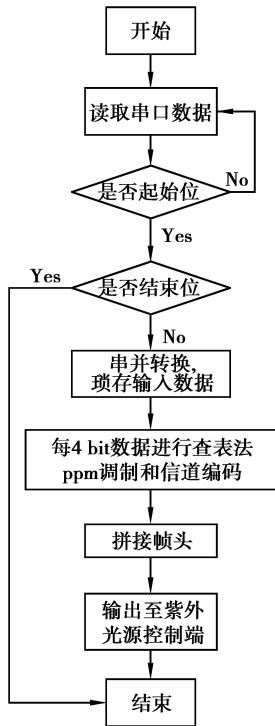


图 4 发射端 FPGA 仿真图

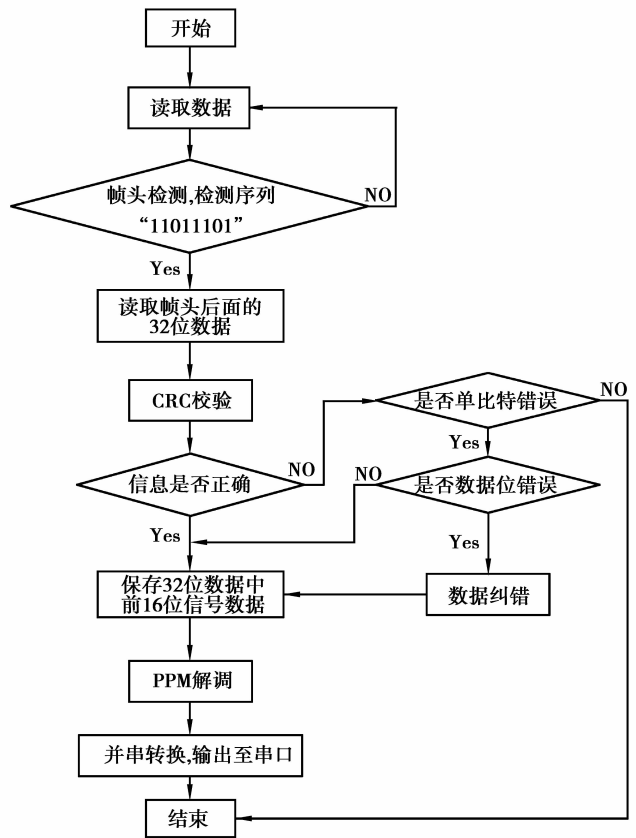


图 5 接收端模块流程图

4 实验结果分析

为了验证紫外无线通信系统的传输性能,实验搭建了一台紫外 LED 无线通信系统样机,紫外光电探测器采用滨松公司的 R212 型号光电倍增管。在室内完成了近距离的数据无线通信,实验详细参数如表 1 所示。

表 1 实验参数

参 数	参数值
(α_1, α_2)	$(15^\circ, 20^\circ)$
波长 λ	380 ~ 385 nm
平均发射功率 P_t	130 mW
PMT 响应范围	185 ~ 385 nm
PMT 阳极脉冲上升时间	2.2 ns
波特率	9.6 kbps

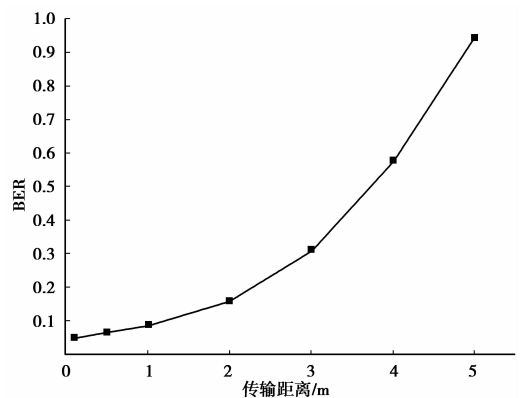


图 6 传输距离对误码率的影响

实验结果如图 6 所示,当传输距离小时,误码率很低,随着传输距离的增加,误码率随着指数形式上升,无线通信系统整体性能下降很快。当传输距离增大到 5 m 以上,整个系统失效,无法接受到有效信号。这是由于 LED 平均发射功率低,信号能量比较微弱,再加上大气分子对紫外光的吸收作用,超过一定距离后将探测不到发射信号,这也验证了紫外光无线通信系统抗干扰能力强。同时,如果要提高系统的通信距离,可以将多只 LED 组合做成阵列光源,提高系统的发射功率。

5 结 语

紫外光通讯系统由于其特殊的传输特性和应用范围,成为各国研究的热点。在此设计并实现了基于LED的新型紫外无线光通信系统,该样机体积小,误码率低,实现了高速率的数据实时通信,通信距离为5 m以内。试验结果显示了紫外光通信系统的抗干扰性好,验证了紫外光通信系统能够应用于军事通信的可操作性,适用于战时的短距离保密通信。

参考文献:

- [1] 郭锐,闫建峰,梁亮. 军事智能抗干扰无线通信发展要求及分析[J]. 舰船科学技术,2011,33(6):19-21
- [2] 姚丽,李霁野. 大气紫外光近距离通信的研究[J]. 大气与环境光学学报,2006,1(2):135-139
- [3] 马冬冬,刘宗福,金虎. 雾对“日盲”紫外光传输的影响[J]. 四川兵工学报,2010,31(5):95-97
- [4] XU Z, BRIAN M. Sadler. Ultraviolet Communications: Potential and State-of-the-Art [J]. IEEE Communications Magazine, 2008(5):67-73
- [5] 李霁野,邱柯妮,王云帆. 自由大气紫外通信中几类光源的比较和研究[J]. 无线光通信,2006,30(9):56-57
- [6] 倪国强,钟生东,刘榴缙. 自由大气紫外光学通信的研究[J]. 光电技术,2000,26(4):297-303
- [7] GARY A, ANDREW M, JOSHUA M, etc. Recent Progress in Short-Range Ultraviolet Communication [J]. Proceedings of SPIE, 2005,57:214-225
- [8] 邹传云. 光 PPM 的传输效率[J]. 桂林电子工业学院学报,2000,20(4):53-59
- [9] ZHANG J. Modulation Analysis for Outdoors Applications of Optical Wireless Communications [J]. Communication Technology Proceedings. 2000. WCC-ICC 2000. International Conference,2002(2):1483-1487

Research on Ultraviolet Wireless Optical Communication System

ZOU Yu, XIAO Sha-li, LI Guan-hua, HUO Chang, WANG Zhao-lang

(Key Lab for Optoelectronic Technology and System of Ministry of Education,
Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Ultraviolet wireless optical communication is a short-distance communication method with great potential. This paper analyzes ultraviolet air transmission features and system signal path model, uses ultraviolet scattering property to realize anti-intervention non-line-of-sight communication, chooses ultraviolet LED and electron-multiplier phototube as light source and optoelectronic detector of communication system respectively and applies pulse coding modulation and cyclic redundancy encoding method to design and make a set of ultraviolet wireless optical communication system prototype so that small angle real-time data communication is achieved, transmit rate is 9.6 kbps, deviation is 1 percent, communication distance is inside 5 meters.

Key words: ultraviolet wireless optical communication; non-line-of-sight communication; ultraviolet LED; electron-multiplier phototube