

文章编号: 1001-3806(2014)01-0026-04

光束发散角对紫外 LED 散射通信接收能量的影响

何宁, 郭求实, 何志毅

(桂林电子科技大学 信息与通信学院, 桂林 541004)

摘要: 为了更准确地研究紫外光的通信性能, 针对紫外 LED 散射光通信中光能量传输特征, 以及光束发散角对散射链路构成与接收光子能量有一定影响, 采用多个 LED 组成阵列发射的方法, 扩大光束与散射体的作用效应, 分析了光束发散角对不同散射体作用时光子能量的变化关系, 研究了紫外光散射通信脉冲调制方法与提高发射功率措施, 提出了脉冲位置调制驱动阵列 LED 的解决方案, 并进行了紫外 LED 散射通信系统室外传输测试。结果表明, 在短距离通信中, 大的散射角使得光对散射体的作用区域增大, 散射效应明显, 到达光接收端的光子数量增加; 实际通信应用中, 散射光通信具有较高的灵活性和实时性, 可适当进行光学处理来优化光路结构。此结果为进一步增加传输距离和传输效果提供了正确的指导。

关键词: 光通信; 散射通信; 光发射阵列; 光束发散角; 脉冲位置调制; 接收能量

中图分类号: TN929.1 **文献标志码:** A **doi:** 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2014.01.006

Effect of the beam divergence angle on receiving energy of UV-LED scattering communication

HE Ning, GUO Qiushi, HE Zhiyi

(School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: According to transmission characteristics of optical energy in ultraviolet light-emitting diode (LED) scattering communication, the beam divergence angle has a certain influence on scattering link structure and received photon energy. The action effect of the beam and scatterers was strengthened with the transmit array composed by a plurality of LEDs. With the effects of different scattering on the beam divergence angle, the changing of the photon energy was analyzed. In order to study the UV communication performance more accurately, pulse modulation method and measures to increase the transmission power of UV scattering communication were studied, the solution of LED array driving circuit and the pulse position modulation (PPM) were given, scattering communication system transmission of UV-LED was tested outdoor. The experimental results showed that, in the short distance communication, large scattering angle made the light area of scatterers increase and more effective of scattering, the amount of photons arriving at receiving was increased. In the actual communication applications, the scattering optical communication was higher flexibility and real-time, appropriate optical processing can be used to optimize the structure of the optical path for increasing the transmission distance. The result provides a correct guidance for larger transmission distance and better transmission effect.

Key words: optical communication; scatter communication; light emitter array; beam divergence angle; pulse position modulation; received energy

引言

紫外光通信作为一种新兴光通信技术, 具有保密性好^[1]、收发端无需对准、可靠性高、灵活组网等

优点。与红外和可见光相比, 利用日盲区紫外光谱区(200nm~280nm)作为光载波实现大气通信^[2-4], 由于波长短, 大气对紫外光的散射作用强烈, 可以绕开障碍物进行非视距通信^[5], 有利于微弱信号的接收, 避免了由于散射和大气湍流引起的光束漂移对视距光传输带来的影响。本文中结合紫外光散射通信原理, 对光束发散角和有效散射体内光子数量传输变化关系进行理论分析, 设计了一套紫外发光二极管(light-emitting diode, LED)传输系统, 对调制和

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60177036)

作者简介: 何宁(1958-), 男, 研究员, 主要从事光通信和光电探测方面的工作。

E-mail: ofca@163.com

收稿日期: 2013-04-26; 收到修改稿日期: 2013-05-12

光传输技术进行探讨,给出了信号编码、光发散角控制、阵列 LED 驱动等关键技术的解决方案,完成室外环境下的传输实验。

1 光散射通信模型

散射通信即利用大气中传播媒介(如对流层及电离层散射粒子)的不均匀性对电磁波产生散射作用而进行非视距通信^[6]。大气中的散射微粒,都具有将入射的光波向多方向辐射的特性。若发射机发出的光波辐射到这些地方,就会受到大气分子和气溶胶的吸收和散射,并向各方向散乱辐射出去,通过远端的高灵敏度接收机将微弱的光信号进行接收,从而完成通信。光散射链路如图 1 所示,有效散射体为发射端光发散角与接收端的视场角的交叠区^[7],它构成系统与接收机有直接关系的二级点光源。设发射机仰角 β_1 ($0 \leq \beta_1 \leq \pi$),接收机仰角 β_r ($0 \leq \beta_r \leq \pi$),光束发散角 θ_1 ($0 \leq \theta_1 \leq \pi$),接收孔径角 θ_r ($0 \leq \theta_r \leq \pi/2$),发射机和接收机之间的距离为 r 。

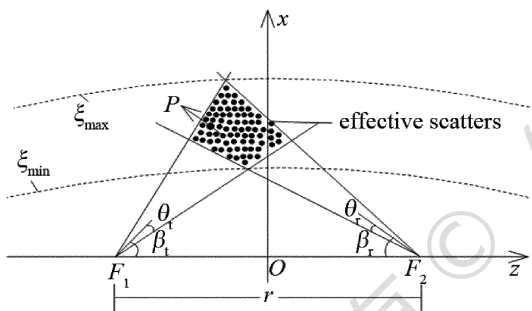


Fig. 1 Link of ultraviolet scattering communication

假设 $T=0$ 时刻, F_1 处发出一束能量为 Q_1 的光脉冲,经过 $t=r_2/c$ (c 为光速) 时间到达距离发射机为 r_2 的二次辐射源 P 点处的能量为^[8-9]:

$$\delta Q_P = \frac{k_s Q_1 \exp(-k_e r_2)}{\Omega_1 (r_2^2)} \delta V \quad (1)$$

式中, $\Omega_1 = 4\pi \sin^2 \theta_1$, k_e 为大气消光系数(等于吸收系数 k_a 和散射系数 k_s 之和)。

信号光脉冲以均匀的圆锥角传输,在有效散射体程 V 内对(1)式积分, F_2 处接收到散射体的能量密度为:

$$E_0(\xi) = \frac{Q_1 c k_s}{2\pi \Omega_1 r^2} \times \int_{\eta_1(\xi)}^{\eta_2(\xi)} \int_{\phi_1}^{\phi_2} \frac{\exp(-k_e r \xi)}{(\xi^2 + \eta^2)} P(\cos \theta_s) d\eta d\phi \quad (2)$$

式中, ξ 表示径向坐标, η 表示角坐标, ϕ 表示方位角, $P(\cos \theta_s)$ 为单次散射的相函数,可用下式表

示^[10]:

$$P(\cos \theta_s) = \frac{k_{s,R}}{k_s} P_R(\cos \theta_s) + \frac{k_{s,M}}{k_s} P_M(\cos \theta_s) \quad (3)$$

式中,下标 R 表示瑞利散射,下标 M 表示米散射,其相函数可由以下两式分别得到:

$$P_R(\cos \theta_s) = \frac{3[1 + 3\gamma + (1 - \gamma) \cos^2 \theta_s]}{4(1 + 2\gamma)} \quad (4)$$

$$P_M(\cos \theta_s) = (1 - g^2) \times \left[\frac{1}{(1 + g^2 - 2g \cos \theta_s)^{3/2}} + f \frac{0.5(3 \cos^2 \theta_s - 1)}{(1 + g^2)^{3/2}} \right] \quad (5)$$

式中, γ, g, f 为模型参量。

从(1)式可以看出,散射传播能量正比于有效散射体积 V ,有效散射体积越小,散射体内散射微粒越少,二次辐射能量小,发射源的能量利用率低,传输损失大。由于散射传输信号覆盖面增大,到达接收端能量密度降低,对接收系统灵敏度要求高。由以上分析可知,云、雨、雾作为散射通信有效介质,它依据地理位置、一天中的时间和天气状况有所不同,因此,在阴天、夜间或晨曦时段对散射通信有利。

2 紫外散射通信 LED 驱动设计

2.1 阵列 LED 驱动

为了提高紫外 LED 发射功率和发散角,系统发射光源采用 2×2 LED 阵列方式,由升压电路、驱动电路和电流检测电路进行恒流控制。升压电路使用双极性三极管,组成了非隔离式的升压式拓扑,该驱动器使 LED 灯串的恒流最优化。恒流驱动芯片采用 NCP3063 集成电路(integrated circuit, IC),该 IC 由内部温度补偿参考、比较器、一个受占空比约束的有源电流限制振荡器电路和一个高输出驱动开关组成,输入直流电压为 $3V \sim 40V$,输出开关电流 $1.5A$,工作频率 $200kHz$,阵列 LED 驱动电路如图 2 所示。脉冲位置调制(pulse position modulation, PPM)信号从 U_{in} 端进入,通过控制开关管 V_1, V_2 的导通和关断,由电感 L_1 完成能量转换,实现对 LED 阵列的发射控制。使用这种方式可以提高转换效率,输出电流恒定,从而提高外部三极管的转换效率,采用阵列发射,散射角可以由单颗的 60° 扩展到 140° 范围,降低了对接收光路位置要求。通过电路中 R_1 电阻的检测压降反馈到 IC 的输出电压检测端,作为 LED 恒流控制参考。

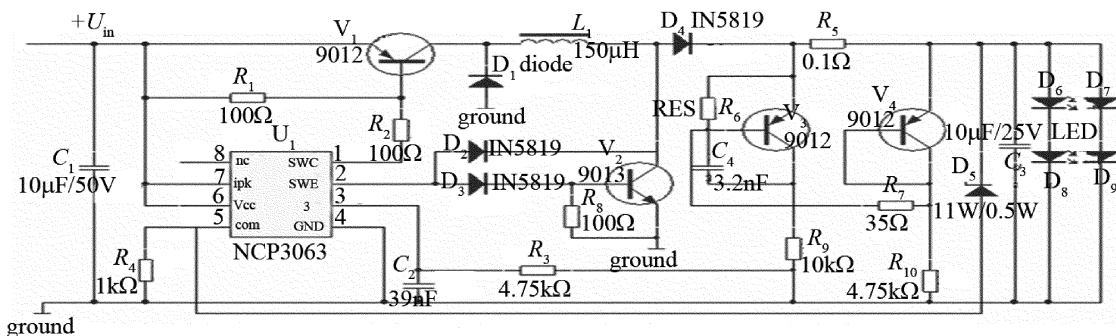


Fig. 2 LED driver circuit

2.2 PPM 调制与软件实现

为提高系统接收能量,LED 驱动信号采用 PPM 脉冲方式,其峰值功率可得到有效保持,平均功率降低有利于系统工作温度特性控制,信号加载及传输误码相对于其它脉冲驱动方式有一定优势。

L-PPM 是一种正交位置调制,由固定的 M 个符号组成,每个符号的持续时间都为 T 秒。假定 M 为 2 的幂,即 $M = 2^l$,则包含在 PPM 中的信息比特位为 $\log_2 M$ 。可以将从信息比特到 PPM 符号的映射看作是各符号一对一分配给 l 各相继信息比特中的每一位。图 3 为 PPM 信号帧格式,数字 PPM 通信中,同步至关重要。发送高、低 4 位数据前,先发送一次同步头,分别为 $20\mu\text{s}$ 和 $30\mu\text{s}$,时隙宽度设为 $10\mu\text{s}$ 。解调时,根据接收到的同步头脉冲时间来判断数据是高 4 位还是低 4 位。

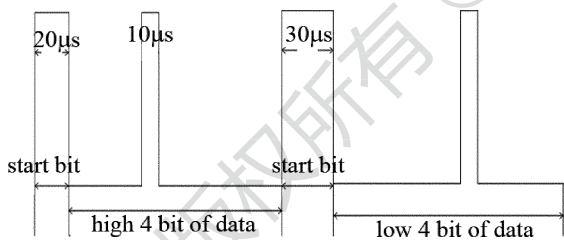


Fig. 3 Frame format of PPM signal

系统应用软件编码方式产生 16-PPM,编码过程相对简单,图 4 为 PPM 软件编码流程图。图中,ADC 为模块名称,AD 表示模数转换(analog to digit-

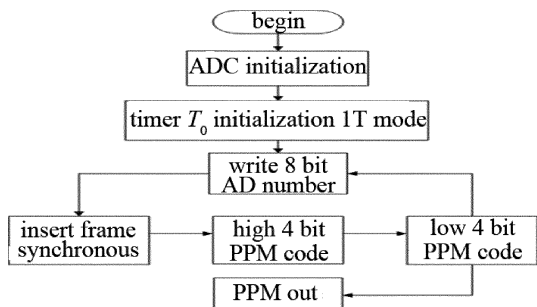


Fig. 4 Flow diagram of PPM code

al,AD),IT 表示单片机工作模式。

3 发散角与接收光子能量分析

针对光散射信号特点,经过大气散射传输后的光子能量降低,光强分布极不均匀,受光接收机的有效光学孔径限制,采用一定口径的光学天线对到达接收端的散射能量进行汇聚,可扩大接收视场角。结合散射模型,对光子数量和光束发散角的关系进行分析。系统选用日本滨松公司生产的光电倍增管(photo multiplier tube, PMT)作为光接收前端,其 V/I 转换因子为 $0.1\text{V}/\mu\text{A}$,光谱响应范围为 $200\text{nm} \sim 850\text{nm}$,峰值响应波长为 380nm ,带宽为 200kHz 。已知每个光子能量为 hc/λ ,接收孔径 $d = 2\text{mm}$,可以得到单位时间入射到 PMT 的平均光子数 N 为:

$$N = \frac{E_0 \pi (d/2)^2}{hc/\lambda} \quad (6)$$

式中, E_0 为单位时间到达接收机的能量密度, c 和 h 分别为光速和普朗克常量。

图 5 为 PMT 接收光子数量随光束发散角的变化趋势,由图中可以看出,随着光束发散角的增加和有效散射体作用区域增大,散射体积的光子数量也随之增加,经二次辐射到达接收机的散射光强增大。

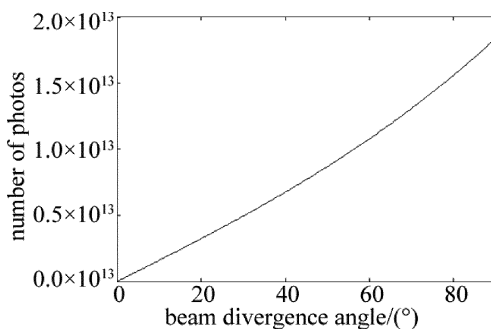


Fig. 5 Number of received photons vs. beam divergence angle

4 系统实验

为了验证光束发散角对通信接收性能的影响,

搭建了室外紫外通信系统,测试环境为夜晚、晴。通过喷雾机喷出烟雾建立散射链路的散射体,模拟大气能见度变化。紫外光通过烟雾散射,设置在一定距离的收发端具有合适的仰角,对 PPM 信号的传输进行测试。

固定发射仰角和 PMT 接收仰角均为 30° ,加入导光装置来调整光束发散角,同时白天可避免强光直接照射光电倍增管。实验中由导光通道限制光束发散角在 $20^\circ \sim 120^\circ$ 调整,图 6 为通信距离为 $8\text{m} \sim 10\text{m}$ 时的接收波形变化趋势。图 6a 图为发散角 120° 的情形,接收光功率为 -60dBm (近似于 3.2×10^9 个光子能量);图 6b 图为 20° 的情形,接收光功率为 -80dBm (近似于 3.2×10^7 个光子能量)。由图可知,在光束发散角较小时,由于到达光接收端的光子数减少,接收的 PPM 脉冲波形边沿有些模糊,接收效果随着光束发散角增加逐渐变好,当发散角大于 120° 时,接收效果改善不明显。

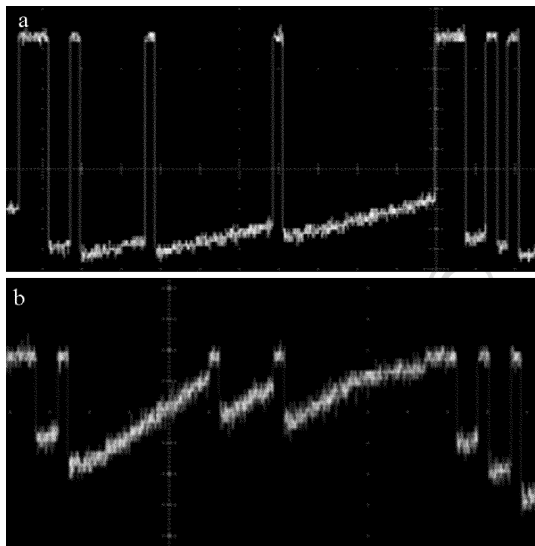


Fig. 6 Amplitude of received signal vs. beam divergence angle
a—beam divergence angle is 120° b—beam divergence angle is 20°

表 1 中给出不同光束发散角变化时,对开关键控 (on-off key, OOK) 和 PPM 两种调制方式下系统接收误比特率 (bit error rate, BER) 的对比,设定接收、发射仰角同为 30° ,通信距离 5m ,两种调制方式调制速率相同。由测试数据分析可知,随着光束发散角增大,PMT 接收光子数量增加,接收信号幅度更大,BER 减小;PPM 调制下的系统性能明显优于

Table 1 BER of system

beam divergence angle/ $(^\circ)$	20	60	90	120
BER of OOK	0.72	0.32	0.15	0.08
BER of PPM	0.53	0.25	0.06	0.01

OOK 调制,说明 PPM 调制方式在无线光通信中具有一定的优势。

5 结 论

通过对紫外光散射原理以及紫外 LED 调制特性进行分析,对系统光阵列 LED 的驱动方式、脉冲调制、光束发散角等关键技术进行传输性能实验。结果表明:紫外通信链路的有效散射体是系统实现散射传输的重要保障,扩大光束发散角是提高接收能量和通信距离的重要途径,在非视距通信有广阔应用前景,这为短距离通信研究提供了参考。

参 考 文 献

- [1] HE H, KE X ZH, ZHAO T F. Research of NLOS ultraviolet single scattering link model with height information[J]. Laser Technology, 2011, 35(4): 465-468 (in Chinese).
- [2] HE H, KE X Zh, ZHAO T F. Research of ultraviolet non-line-of-sight single scattering link model[J]. Acta Optica Sinica, 2010, 30(11): 3148-3152 (in Chinese).
- [3] ZHAO T F, WANG X R, KE X Zh. Design and performance analysis of multi-LEDs UV communication system[J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(6): 1544-1549 (in Chinese).
- [4] WANG K. Research on solar blind ultraviolet ray speed communication system[D]. Chongqing: Chongqing University, 2006: 6-7 (in Chinese).
- [5] DING Y, TONG Sh F, DONG K Y, et al. Study and simulation of atmospheric UV communication performance with vertical transmitter receiver[J]. Acta Optica Sinica, 2010, 32(10): 1851-1856 (in Chinese).
- [6] LIU Sh M, XIE Zh F. The technology of Tropospheric scatter communication system[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1982: 100-110 (in Chinese).
- [7] XU X, WANG P, YAN Y L, et al. Study on ultraviolet NLOS propagation model in low visibility[J]. Laser Technology, 2009, 33(5): 551-554 (in Chinese).
- [8] SHAW G A, SIEGEL A M, MODEL J, et al. Field testing and evaluation of a solar-blind UV communication link for unattended ground sensors[J]. SPIE, 2004, 5417: 250-261.
- [9] SHAW G A, SIEGEL A M, MODEL J, et al. Short-range communication with ultraviolet LEDs[J]. SPIE, 2004, 5530: 182-193.
- [10] ZOU Y, XIAO S L, LI G H, et al. Study on ultraviolet wireless communication system based on LED[J]. Optoelectronic Technology, 2012, 32(3): 145-149 (in Chinese).