

光通信中的功率计算与通信距离等效验证

刘智颖 胡 源 张 磊 高天元 王志坚

(长春理工大学光电工程学院, 吉林 长春 130022)

摘要 光通信具有设备体积小、重量轻等优点,为了保证长距离通信的顺畅进行,需要对发射功率进行安全系数较高的计算。分析了发射功率、光束发散角和接收灵敏度对系统通信距离与性能的限制。针对光通信中发射功率计算提出了一种安全系数更高的计算公式,计算公式表明要求出最小探测功率,当通信所要求的误码率确定时,探测器所需最小探测功率可以通过信噪比与接收器所需最小探测功率的关系计算得出,在实际通信系统中,探测灵敏度可以测出,实际通信系统的透过率也可以测出,探测器所需最小探测功率也可以通过检测得出,通过实践验证两者结果吻合,从而验证了发射功率计算公式的可行性。通过计算公式对安全系数最大情况下所能达到的通信距离进行了模拟验证。

关键词 光通信;发射功率;最小探测功率;安全系数;通信距离

中图分类号 TN929.13 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS200828s2.0188

Power Calculation and Communication Distance Equivalent Demonstration for Optical Communication

Liu Zhiying Hu Yuan Zhang Lei Gao Tianyuan Wang Zhijian

(Department of Opto-Electronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China)

Abstract There are advantages of small volume and light weight in optical communications. For the smooth communication of long distance, the transmitting power should be calculated with higher security efficiency. The constraints of transmitting power, beam divergence and the detecting sensitivity on the communication distance and performance is analyzed. A calculation equation with higher security efficiency is proposed. When the error rate is determined, the minimum detecting power could be calculated by the relationship with signal-to-noise ratio (SNR). In the real communication system, the minimum detecting power could be tested by the relationship with the detecting sensitivity. The calculated equation is verified through the agreement of above two results. The communication distance demonstration is realized by the calculation equation with higher security efficiency.

Key words optical communications; transmitting power; minimum detecting power; security efficiency; communication distance

1 引 言

空间光通信具有设备体积小、重量轻等特点^[1]。在通信过程中,光功率的损耗大,对光功率提出了较高的要求^[2]。激光器发射功率的计算需要考虑很多因素^[3],在分析激光光束发散角、探测器灵敏度与通信距离对激光发射功率计算影响的基础上^[4],针对无线电通信发射功率计算公式^[5]进行了改进,以光斑均匀分布方式推导了安全系数更高的发射功率计算公式。论述了发射功率、光束发散角和接收灵敏度如何对系统通信距离与性能进行的限制。由于光

束发散角减小,能够有效地利用激光能量,降低对系统发射功率和接收灵敏度等方面的要求,实现长距离的保密通信,所以进行微小角度的精确测量也十分重要^[6],也可以在地面条件下实现长距离空间通信的模拟,所以进行了近场模拟远场的检测实验。

2 由通信距离、速率、误码率计算发射功率

由通信距离与所需要传输的速率和误码率可以计算发射功率^[3],光通信中对于近红外波段的光波,

基金项目:国家 863 计划资助项目。

作者简介:刘智颖(1981—),女,硕士,讲师,主要从事光通信方面的研究。E-mail:lzy@cust.edu.cn

导师简介:王志坚(1941—),男,教授,主要从事光学设计方面的研究。E-mail:lzyccccc@126.com

接收器可以选用具有良好接收性能的雪崩光电二极管(APD)。

2.1 噪声等效功率 NEP

表示信噪比 $k_p = 1$, 传输速率 $B = 1$ bit/s 时接收器件暗电流噪声的等价功率, 它表征光电接收器件本身固有特性。

2.2 最小探测功率 P_r

$$P_r = P_{NEP} \sqrt{B}, \quad (1)$$

表示在信噪比 $k_p = 1$, 传输速率为 B 时光电接收器件所能探测的最小功率。传输速率越高, APD 上所需接收功率越大。

2.3 误码率、信噪比 k_p 及探测灵敏度

接收器本身特性决定其信噪比可以表示为

$$k_p = M^2 R_0^2 P_r^2 / [2e(R_0 P_r + I_{db} + I_B) M^2 F(m) B + 2eI_{ds} B + 4K_B B t F_t / R_L]^{-1}, \quad (2)$$

式中 $M = 100$ 为 APD 的增益因子; $R_0 = 0.45$ 为 APD 的响应率; $e = 1.6 \times 10^{-19}$ 为电子电荷; I_{db} 为暗电流噪声; I_B 为背景噪声电流; I_{ds} 为 APD 表面泄露电流; B 为传输速率; $F(m) = 5$ 为 APD 附加噪声因子; $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ 为玻尔兹曼常数; $t = 300$ K 为绝对温度; $F_t = 1.2$ 为放大器噪声系数; $R_L = 50 \Omega$ 为电路负载电阻; P_r 为接收器所需最小探测功率。

由(1)式可以看出, 功率信噪比 k_p 和诸多因素有关, 而 k_p 由要求的误码率决定。当误码率为 10^{-7} 时, 要求 $k_p = 113$ 。这样便可由(2)式计算出接收器件上所需最小探测功率 P_r 。

2.4 激光器在发射系统入瞳功率 P_t

$$P_t = \frac{L^2 \omega^2}{T_0 T_t T_r D_r^2} P_r = \frac{L^2 \varphi^2}{T_0 T_t D_r^2} P_r, \quad (3)$$

式中 L 为通信距离; φ 为发射系统激光光束发散角(全角); T_0 为通信空间介质透过率; T_t 为发射光学系统透过率; T_r 为接收光学系统透过率。由(3)式可以看出, 根据测得的 P_r 可以求出激光器所需进入发射光学系统入瞳功率, 在 T_0, T_t, D_r 和 L 一定的条件下, P_t 和 φ^2 成正比, 因此应尽量缩小通信光光束发散角, 经实验可控制在 $10 \sim 20 \mu\text{rad}$ 范围。(2)~(4)式是按光斑能量均匀分布推导出来的。

3 探测灵敏度的检测

接收系统能够保证通信误码率时所接收到的最小功率为 P_R , 称为探测灵敏度。探测灵敏度 P_R 与接收器最小探测功率 P_r 关系为

$$P_r = P_R T_r, \quad (4)$$

式中 T_r 为接收光学系统透过率。

测出探测灵敏度 P_R , 由 P_R 可推出激光器进入发射光学系统的功率。但是所测得的探测灵敏度是否正确需要进行验证。首先信号源由平行光管发给通信光端机, 逐渐降低信号源功率直至达到通信接收器误码率告警阶段, 如图 1 所示。然后将离轴聚光镜放入, 把入瞳光束引入光功率计进行检测, 从而可以得到探测灵敏度, 如图 2 所示。

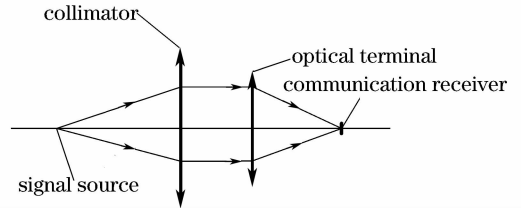


图 1 临界通信告警检测

Fig. 1 Testing of the critical communication warning

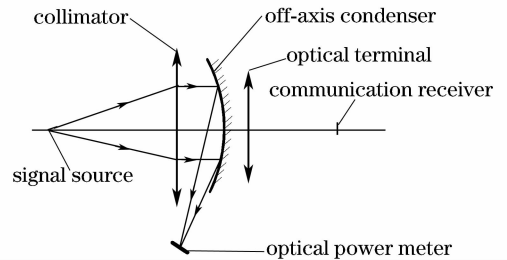


图 2 探测灵敏度检测

Fig. 2 Testing of detective sensitivity

通过上述过程, 可以实现对探测灵敏度的检测, 接收光学系统透过率也可测出。根据(4)式可以将接收器所需的最小探测功率间接检测出。将检测出的探测器最小探测功率与应用探测器性能参数计算出的最小探测功率进行比较。理论计算的接收器所需的最小探测功率为 115 nW , 而实验室应用探测灵敏度检测出的接收器所需最小功率为 120 nW 。可以得出所检测出的探测灵敏度是可信的。

4 光束发散角的检测

可以应用焦斑法进行光束发散角测量。图 3 中由通信光端机发射的光束发散角大小用 φ_t 表示, 可见这束并不平行的光束经过大口径、长焦距的平行光管时, 相当于物点不在无限远, 按照几何光学理论在平行光管的焦平面上将形成一个弥散斑, 测得的光斑尺寸由所使用的平行光管的焦距可以计算出发射光束的发散角大小。所使用的平行光管焦距为 5 m , 接收 CCD 像元尺寸为 $6.25 \mu\text{m}$, 得到焦斑法测量精度可以达到 $1.25 \mu\text{rad}$ 。

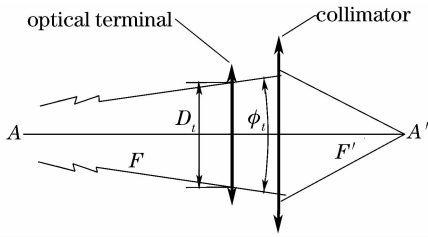


图 3 光束发散角检测装置

Fig. 3 Divergence of beam testing device

5 通信距离的模拟验证

应用实例通信空间介质透过率为 0.95,发射光学系统透过率为 0.6,接收系统透过率为 0.5,接收口径为 380,经过焦斑法所实测的发散角为 $18 \mu\text{rad}$,探测灵敏度 P_R 为 246 nW,可供选择的激光器发射功率为 1.5 W,则应用(3)式得出可以实现的通信距离 L 为 38896 km。

6 结 论

由(2)式计算所得出的探测器的最小探测功率与通过(4)式实验室测出的探测灵敏度所得出的最小探测功率结果相比基本吻合。

由实验室检测的探测灵敏度结果表明应用(2)式所计算的通信接收器的最小探测功率考虑到器件本身的暗电流、热噪声等影响具有很高的安全系数。通过(3)式的应用,按照光斑均匀分布的方式计算,考虑到通信介质与发射接收透过率的影响,可以计

算出能够保证安全通信所需的发射功率。同时也可以选择在可激光器基础上模拟出可以实现的最大通信距离。

参 考 文 献

- 1 Wang Xin, Cheng Zhixiang, Xu Rongqing. Research on laser launch power in free space optics system [J]. *Journal of East China Shipbuilding Institute*, 2005, **19**(15):53~56
王 欣,陈志祥,徐荣青. 自由空间光通信系统的激光器发射功率的研究[J]. *华东船舶工业学院学报*, 2005, **19**(15):53~56
- 2 R. M. Gagliardi, S. Karp. *Optical Telecommunications* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1998. 166~175
- 3 Xu Xiaojing, Yuan Xiuhua, Huang Dexiu. Analysis of the parameters influencing the distance of freespace laser communication [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, **10**(5):493~496
徐晓静,元秀华,黄德修. 影响激光大气通信距离的诸因素分析[J]. *光学精密工程*, 2002, **10**(5):493~496
- 4 Zhang Jie, Song Chengjie, Zhang Changlei *et al.*. Analyzing the loss factors of atmosphere laser communication and modeling the signal channel [J]. *Electron Device*, 2004, **127**(1):202~205
张 杰,宋成杰,张昌雷 等. 大气激光通信影响因素分析及信道建模[J]. *电子器件*, 2004, **27**(1):202~205
- 5 Li Lin, Yuan Xiuhua, Huang dexiu. Laser emission technology for optical wireless communication system [J]. *Opto-Electronic Technology & Information*, 2003, **16**(1):29~31
李 林,元秀华,黄德修. 光无线通信系统中的激光发射技术[J]. *光电子技术与信息*, 2003, **16**(1):29~31
- 6 Guo Rui, Yang Huajun, Hu Yu *et al.*. Far-field focus facula measurement method concerning small-angle of laser divergence in optical communication [J]. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, 2006, **35**(4):437~439
郭 瑞,杨华军,胡 渝 等. 光通信中激光发散小角度远场焦斑测量法[J]. *电子科技大学学报*, 2006, **35**(4):437~439