

文章编号: 0258-7025(2007)04-0499-04

空间光通信中平台振动对误码率影响的抑制

丁涛, 许国良, 张旭苹, 陈佐龙

(南京大学光通信工程研究中心, 江苏 南京 210093)

摘要 在自由空间光通信(FSO)中,通信端机所处的平台在各种随机干扰力下发生振动,使正常的通信光路发生偏移,对误码率(BER)产生影响。为了减小振动引起的误码率,提出通过控制接收端光斑形状和大小来抑制误码率,并给出利用像散来获得指定光斑的设计方法和实例。结果表明,在实际通信环境中,通过选取合适的光斑参量可以使振动引起的误码率达到最小,通过调节发射端光学天线参量可以获得指定的光斑参量。对于振动不对称的情况,接收端光斑应该选择为椭圆形。

关键词 光通信;自由空间;误码率;振动;椭圆光斑;高斯光束

中图分类号 TN 929.12 **文献标识码** A

Control of Bit Error Rate Introduced by Platform Vibration for Free Space Optical Communication

DING Tao, XU Guo-liang, ZHANG Xu-ping, CHEN Zuo-long

(Institute of Optical Communication Engineering, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China)

Abstract For free space optical communication (FSO), various stochastic interfering factors make the communication platform oscillate, as a result the original collimated link is broken, and the bit error rate (BER) increases. For the purpose of reducing BER, the method of controlling the optical spot's shape and size on the receiving end is given, also the principle of obtaining a certain optical spot via astigmatism and the design example are presented in this paper. The result indicates that the BER introduced by vibration could be reduced to the minimum while choosing the optical spot parameters on the receiving end via adjusting the transmitting optical antenna. For the situation of dissymmetry oscillation, the optical spot should be ellipse.

Key words optical communication; free space; bit error rate; vibration; elliptical optical spot; Gaussian beam

1 引言

自由空间光通信过程中,必须确保发射端与接收端光路对准,才能进行有效的数据传输^[1]。而在通信链路确定后,由于自然风、地脉动等随机干扰力作用引起的建筑物振动将使对准的光路发生偏移,使得在接收端机入射到光电探测器上的光强变化很大,这将对系统误码率造成很大的影响。当前热点的解决方案是采用捕获、跟踪、瞄准技术^[2],但是技术复杂,成本过高,实现困难。对于短距离的通信环境,可以采用控制接收端光斑来抑制振动对误码率的影响。前人对于振动对误码率影响做了一些理论

工作,如J. D. Barry等^[3]讨论了振动引起的误码率与接收截面上光强分布的关系,但是采用的是平面波衍射模型,没有考虑到激光器出射的是高斯光束;马晶等^[4]给出了各方向等幅度振动模式下误码率的公式,采用的是圆高斯光束模型。自由空间光通信(FSO)在地面的一些应用中(如安放在高楼上的产品),由风力引起的左右偏移和地面自身上下振动幅度是不一致的。本文针对这种非等幅度平台振动的情况,提出在接收端应用椭圆形光斑来降低振动对误码率的影响的设计方案,并提出利用像散椭圆高斯光束获得指定形状光斑的方法。

收稿日期:2006-08-14;收到修改稿日期:2006-12-27

基金项目:江苏省软件和集成电路专项经费和南京市科技人才创新创业资金(200502041)资助项目。

作者简介:丁涛(1982—),男,江苏人,硕士研究生,研究方向为自由空间光通信系统。E-mail:dingtao@nju.org.cn

导师简介:许国良(1972—),男,浙江人,副教授,研究方向为自由空间光通信系统。E-mail:xugl@nju.edu.cn

2 振动对接收端光斑优化的理论分析

理想的自由空间光通信端机通信,通常固定在某一平台上,并预先由捕获、瞄准系统实现发射、接收双方的对准。自由空间光通信端机采用激光作为光源,经发射天线处理后以高斯光束出射,在接收端形成一定大小的光斑,作为接收端的自由空间光通信端机处于发射光斑的中心位置。空间光通信系统常采用通断键控(OOK)编码,自由空间光通信发送端发送“1”码时有光输出,“0”码时无光输出。接收端光电探测器将接收光强转换得到电压值,与系统选定的判别电压进行比较:前者大,则信号判别为“1”,反之为“0”。

实际通信中,由于地震、风力等因素的影响,自由空间光通信端机跟随平台振动。如图1,自由空间光通信端机A作为光发射端,自由空间光通信端机B作为光接收端,传输距离 L ,开始自由空间光通信双方端机对准。光接收端机B的振动对通信的影响较小,一直处于光斑的中心位置附近;光发送端机A的振动则带来对准角度偏差,在接收端光斑发生较大的偏移,端机B的接收光强减小,码元判别产生错误,系统的误码率增加。

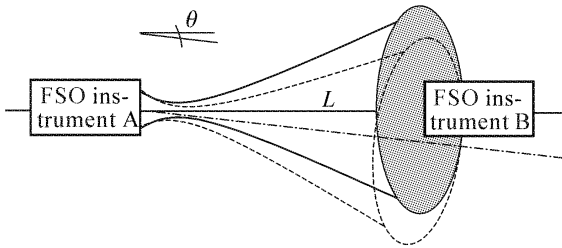


图1 自由空间光通信端机振动引起的光斑偏移
Fig.1 Spot excursion introduced by the vibration of FSO instrument

2.1 一维振动模型的误码率分析

自由空间光通信端机振动可分解成上下、左右方向上独立的随机振动,如图2。每一方向上振动引起的对准偏角 θ 的概率密度可认为符合高斯分布^[4]

$$P(\theta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{\theta^2}{2\sigma^2}\right), \quad (1)$$

其中 σ 为该一维方向上振动的标准偏差角。

设接收端接收光强为 I_a (对应的偏角为 α)时,光电转换后的电压值为码元判别电压。不考虑其他噪声影响,误码率(BER)为^[4]

$$\text{BER} = \frac{1}{2} \left[1 - \text{erf}\left(\frac{\alpha}{\sqrt{2}\sigma}\right) \right], \quad (2)$$

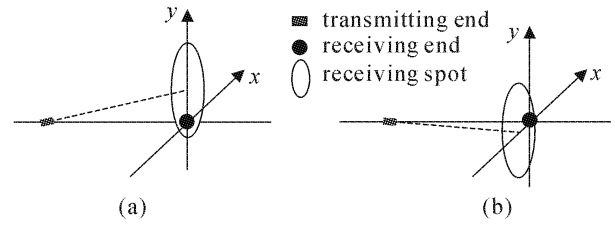


图2 自由空间光通信发射端随机振动分解图
(a) 上下振动;(b) 左右振动

Fig.2 Analysis on different directions of the FSO transmitting instrument vibration
(a) up-down vibration; (b) right-left vibration

erf为误差函数。

2.2 振动因素对接收端光斑形状的优化

自由空间光通信采用激光光源,以高斯光束模式传输数据。接收端光斑的光强密度满足

$$I(x, y) = P_0 \frac{2}{\pi w_x w_y} \exp\left(-\frac{2x^2}{w_x^2} - \frac{2y^2}{w_y^2}\right), \quad (3)$$

式中 w_x, w_y 分别为 x, y 方向上的半径, P_0 为接收端光斑总光强。

发射端机振动过程中,接收端光斑随机偏转,而接收端机位置固定。相对而言,可以看作接收光斑不动,而接收端机到光斑中心的距离随机变化。相对于接收端光斑面积,接收透镜面积 S 很小,可将接收端看作一点。在自由空间光通信的整体设计中,码元判决电压对应的接收光强 I_a 由光电探测器的性能参量决定。设 x 轴(y 轴)方向振动时,接收光强 I_a 对应的对准偏角为 α_x (α_y),接收端机到光斑中心的距离为 $\alpha_x L$ ($\alpha_y L$),如图3,关系为

$$\frac{\alpha_x^2}{w_x^2} = \frac{\alpha_y^2}{w_y^2} = \frac{1}{2L^2} \ln\left(\frac{2P_0 S}{\pi I_a w_x w_y}\right), \quad (4)$$

由式(2),实际通信环境(σ_x, σ_y 已确定)要求

$$\alpha_x / \alpha_y = \sigma_x / \sigma_y, \quad (5)$$

根据式(2),(4),(5)可得

$$\alpha_x \alpha_y = \frac{w_x w_y}{2L^2} \ln\left(\frac{2P_0 S}{\pi I_a w_x w_y}\right), \quad (6)$$

$$\text{BER} = \frac{1}{2} \left[1 - \text{erf}\left(\sqrt{\frac{\alpha_x \alpha_y}{2\sigma_x \sigma_y}}\right) \right], \quad (7)$$

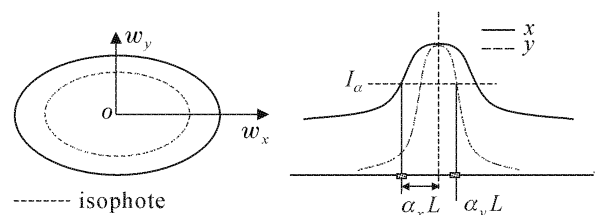


图3 椭圆形光斑的光强分布

Fig.3 Intensity distribution of the elliptical optical spot

表 1 发射透镜的结构参数

Table 1 Structural parameters of the transmitting lens

Lens	Curvature radius /mm	Thickness /mm	Refractive index
1	$r_1 = 111.97$	$d_1 = 14.03$	1.5688
2	$r_2 = -66.07$	$d_2 = 6.0$	1.7282
	$r_3 = -175.08$		

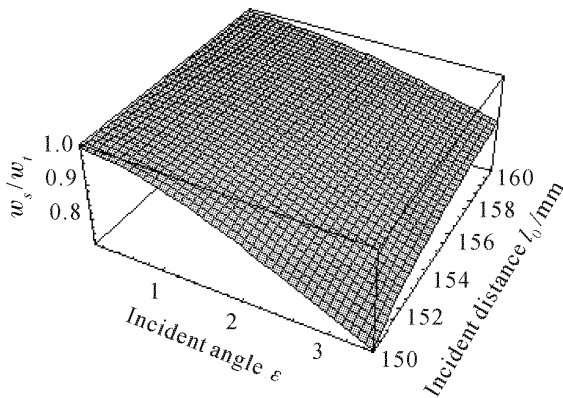


图 7 椭圆形光斑长短轴比与入射角、入射距离的三维曲线

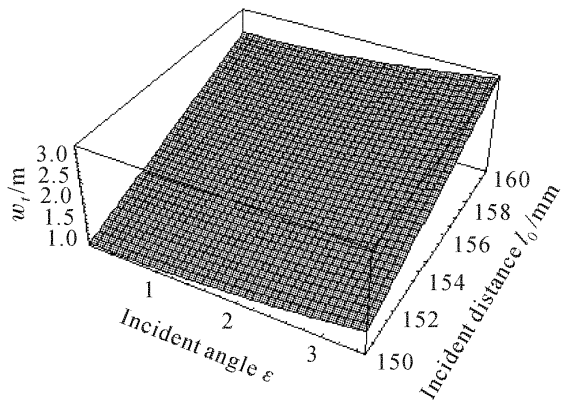
Fig. 7 3D curve of elliptical ratio w_s/w_t versus incident distance l_0 and incident angle ϵ 

图 8 椭圆形光斑子午面截长比与入射角、入射距离的三维曲线

Fig. 8 3D curve of meridional width of the spot w_t versus incident distance l_0 and incident angle ϵ

入射角 ϵ 为参量, 计算得到椭圆长短轴比及椭圆光斑在子午面上截长的函数曲线, 如图 7, 8。

4 结 论

在自由空间光通信的整体设计中, 提出利用一定大小和形状接收端光斑来减弱平台振动引起的系统误码率。讨论了接收端光斑参量与振动引起的误码率的关系, 提出同样的通信环境中, 选取合适的光斑参量可以获得最小误码率。最小误码率与通信距离、振动参量、探测器的码元判别电压的对应接收光强等参量相关。在实际环境中振动不对称的情况下, 接收端光斑选择椭圆形, 光斑参量由式(9)确定。利用像散获取椭圆高斯光束的方法, 以南京大学光通信工程研究中心研制的 Agile 155 发射镜头为例, 给出了通过调节发射端相关参量获得指定椭圆形光斑的设计实例。

参 考 文 献

- Xu Guoliang, Zhang Xuping, Xu Weihong *et al.*. Free space optical communication [J]. *Optoelectronic Technology*, 2002, **22**(4):198~205
许国良, 张旭苹, 徐伟弘 等. 自由空间光通信[J]. *光电子技术*, 2002, **22**(4):198~205
- Yin Daosu, Pi Dezhong, Li Xian *et al.*. Acquisition, tracking, and pointing technology in free space optical communications system [J]. *Chinese J. Lasers*, 1998, **A25**(9):794~798
尹道素, 皮德忠, 李 贤 等. 自由空间光通信系统中 ATP 技术的研究[J]. *中国激光*, 1998, **A25**(9):794~798
- J. D. Barry, G. S. Mecherle. Beam pointing error as a significant design parameter for satellite-borne, free-space optical communication systems [J]. *Opt. Eng.*, 1985, **24**(6):1049~1054
- Ma Jing, Tan Liying, Jin Enpei *et al.*. Analysis of Influence of vibration to bit error rate for a system of space optical communication [J]. *J. Astronautics*, 1999, **20**(3):76~81
马 晶, 谭立英, 金恩培 等. 振动对空间光通信系统误码率影响的分析[J]. *宇航学报*, 1999, **20**(3):76~81
- Weng Kaihua. Astigmatism and field curvature for propagation of Gaussian beam through optical system [J]. *J. Fujian Normal University (Natural Science)*, 1995, **11**(3):49~54
翁开华. 斜细高斯光束经光学系统传播的像散和场曲[J]. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 1995, **11**(3):49~54