

文章编号: 0258-7025(2004)05-0583-05

155/622 Mb/s 多发射器激光通信系统

陈 刚, 董作人, 耿健新, 封惠中, 张位在, 方祖捷

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要 报道一种采用三个发射器、具有自动跟踪功能的无线激光通信系统。描述了系统结构的总体设计、关键的光学、机械和伺服控制单元,包括多个 800 nm 波段激光发射器,980 nm 信标激光发射器,光电接收器,位敏探测器,步进马达和自动跟踪微处理器等。1.3 km 的工作距离下的传输实验结果表明,在 155 Mb/s 的传输速率下,24 h 连续运行情况的无误码秒百分比达到 98% 以上。622 Mb/s 传输速率下 8 h 时统计无误码秒百分比可达 95%,平均误码率低于 10^{-9} 。实验表明多发射器和自动跟踪技术改进了激光无线通信系统的可靠性。

关键词 通信技术;激光通信;155/622 Mb/s;多发射器

中图分类号 TN 929.1 **文献标识码** A

155/622 Mb/s Multiple Transmitter Laser Communication Systems

CHEN Gang, DONG Zuo-ren, GENG Jian-xin,
FENG Hui-zhong, ZHANG Wei-zai, FANG Zu-jie

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract A wireless laser communication system with multiple transmitter and auto-tracking is reported in this paper. The overall design, key optical and mechanical components, and servo-control sub-system are described including three laser transmitters at 800 nm, a beacon laser at 980 nm, optical detector, position sensitive detector, step motor and micro processor for auto-tracking. In experiments over a span distance of 1.3 km, percentages of error-free-second were measured to be more than 98% for 155 Mb/s during 24 hour continuous operation, and 95% for 622 Mb/s in a period of 8 hours, and bit error rate of less than 10^{-9} . It is shown that the scheme of multiple transmitter and auto-tracking will improve the reliability of wireless laser communication systems.

Key words communication technique; laser communication; 155/622 Mb/s; multiple transmitter

1 引 言

在固定的光纤通信和无线的微波通信之外,自由空间激光通信是一种很有发展前途的传输手段。与微波技术相比,它具有调制速率高、频带宽、方向性好等特点。与有线通信相比,它具有机动灵活、对市政建设影响较小、易于应用等优点。在卫星通信方面,激光通信是一个正在发展的重要技术手段。因此无线激光通信是一项既有现实意义,又有长远意义的重要技术。

国际上近几年出现了空间光通信加速发展的新动向,已有一些公司推出无线激光通信系统的产品。

国内市场也已经提出一定的使用需求。在无线激光特性系统的研制方面也已经取得了较好的进展^[1~4]。本文在文献[1]实验工作的基础上,对激光在大气层中的传输特性进行了初步分析,提出了大气湍流对大气传输光通信光脉冲信号传输特性影响的几种因素和可能的机理,设计建立了一种多发射器、带自动跟踪功能的大气传输激光通信系统,在 155 Mb/s 和 622 Mb/s 数据速率、大于 1 km 的工作距离下获得了良好的通信性能。

大气传输激光通信系统设计要解决的关键问题,首先是确定激光器的波长和类型,设计合理的发

收稿日期:2002-12-04;收到修改稿日期:2003-04-17

作者简介:陈 刚(1972—),男,湖北黄冈人,中国科学院上海光学精密机械研究所副研究员,在职博士研究生,从事空间激光通信研究。E-mail:gchen@siom.ac.cn

射和接收光学系统。可供选择的激光器有很多,由于光纤通信的发展,1.3 μm 波段的半导体激光器和探测器很成熟,价格低廉。但是常用的 1.3 μm 激光器输出功率都很小,不能满足远距离空间通信的要求。800 nm 波段是大气窗口之一^[5],大气衰减低于 1.3 μm 波段。本系统确定采用 800 nm 波段的近红外半导体激光器,它的来源比较充足,价格比较低,与可见光波段相比具有保密性。而且该波段有高效、高速、价格较低的 Si-PIN 探测器相匹配。半导体激光器驱动电压低,可以直接电流调制,调制速率高,使用方便,有利于系统的实用化和推广应用。

2 系统设计和主要技术特点

自由空间激光通信中,光束的发散是信号衰减

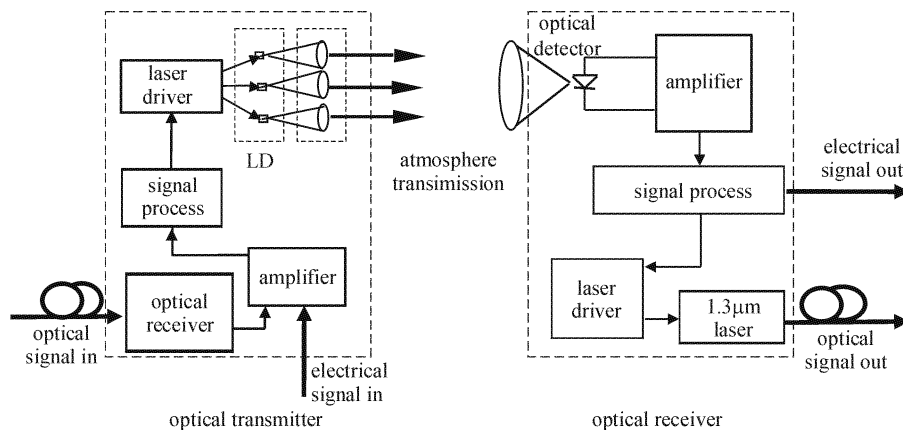


图 1 多发射器激光无线通信系统原理框图

Fig. 1 Multiple transmitter laser communication systems

每台端机包括光发射机端机、光接收端机以及自动跟踪系统,安装于一个机箱之内。发射机的主要组成部件有:(1) 半导体激光器发射光源及其驱动电源;(2) 发射望远镜;(3) 信号输入和处理电路。信号可以从电端口输入,也可以从光纤端口输入;经放大输出到激光器驱动器。接收机的主要组成部件有:(1) Si-PIN 探测器;(2) 接收望远镜;(3) 信号放大和处理电路。探测到的光信号经前置放大、整形放大,输出方式为电信号或 1.3 μm 光信号。每台样机配置一个瞄准望远镜。

本文研制的通信系统电路,采用与光纤通信一致的标准电路和模块。接口可以有多种选择,包括光缆接口、电缆接口和网线接口。标准包括 E1 (2 Mb/s), T1 (1.5 Mb/s), STM1 (155 Mb/s), STM4 (622 Mb/s), 以及 10 M, 100 M 计算机网卡接口。

的主要因素。接收端平面上的光功率密度同光束发散角的平方成反比。与其他类型激光器相比,半导体激光光束的发散角相当大,一般为水平 10° , 竖直 $20^\circ \sim 40^\circ$, 因此要求发射激光的准直透镜有大的相对孔径。

本系统采用非球面透镜,通光孔径为 40 mm。实验表明,可在 $0.5 \sim 2$ mrad 准直输出情况下获得良好的光斑,输出耦合效率达到 70% 以上。在自由空间激光通信系统中,一般采用条宽为 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 的基模激光器。为了提高输出总功率,就需要采用多个发射光源,包括激光器和各自的准直镜头和驱动电路。本系统采用了三个发射器,额定发射功率可达 150 mW。与采用一个三倍输出功率的单个激光器相比,价格低得多,同时还可以平滑大气湍流的影响^[6]。通信系统的基本组成如图 1 所示。

以适合不同情况的使用要求。

大气传输激光通信系统两端机间光束的对准和保持,是系统正常运转的必要条件,这就必须保证稳定可靠的机械安装。端机一般安装在高楼楼顶。实验表明,高楼的晃动是影响系统光学对准的一个因素。实验还发现,由于大气折射率随温度的变化,当大气层中出现温差时,会发生“海市蜃楼”现象。此时激光束发生弯曲,原先对准的光路发生偏移。比如在阳光照射下,接近地面的大气温度较高,因此从地面向上有一个负的温度梯度。空气的折射率温度系数大约为 $-10^{-6}/^\circ\text{C}$ 量级,因此折射率有一个正的梯度。光线按照费马定律将沿一条曲线行进。在接收端观察到的表观光路偏角为 $\theta = \frac{\partial n}{\partial T} \frac{dT}{dh} L$, 式中 h 为纵向坐标, L 为工作距离。这样的偏移会随着天

气条件变化。要克服这一现象的影响,必须采用一定的自动跟踪措施。

本文的自动跟踪系统采用 980 nm 波段大功率脉冲激光器作为信标光源。自动跟踪系统组成部件有:(1) 大功率信标光源及驱动电路。为了避免对通信接收系统的影响,发射镜头调整到信标光束有较大的发散角,以保证较大的跟踪范围;(2) 位敏光电探测器 PSD 及其信号放大电路。(3) 单片机自动控制系统和信号处理电路;(4) 步进电机驱动器及高精度机械微动结构。跟踪的工作过程是,对方端机的信标光到达本机的位置误差探测器;位置误差探测器给出位置误差;信号处理系统根据误差信号控制步进马达,自动调节本机的俯仰、方位角度;直至信标光点回到原先调整时确定的最佳位置,从而保证了本机发射光的方向准确性;二台端机各自独立调整本机的方向。采用自动跟踪技术,不仅有利于克服大气温差和基础晃动引起的光束漂移,而且可以在保证可靠性的情况下缩小发射光束的发散角,提高接收端的功率密度,从而增大工作距离。自动跟踪系统框图如图 2 所示。

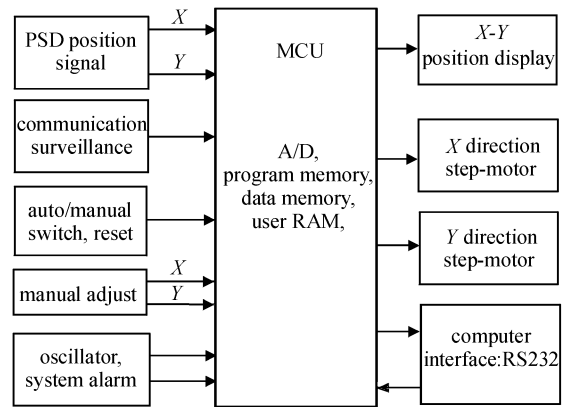


图 2 自动跟踪系统框图

Fig. 2 Auto-tracking system diagram

3 实验结果

激光通信端机在相距 1.3 km 的两大楼之间进行了通信实验,主要实验结果如下:

1) 接收光信号的眼图。眼图是随机码经大气光路传送后接收端获得的电脉冲波形,它是系统传输性能的最基本和最直观的反映。图3是二种速率

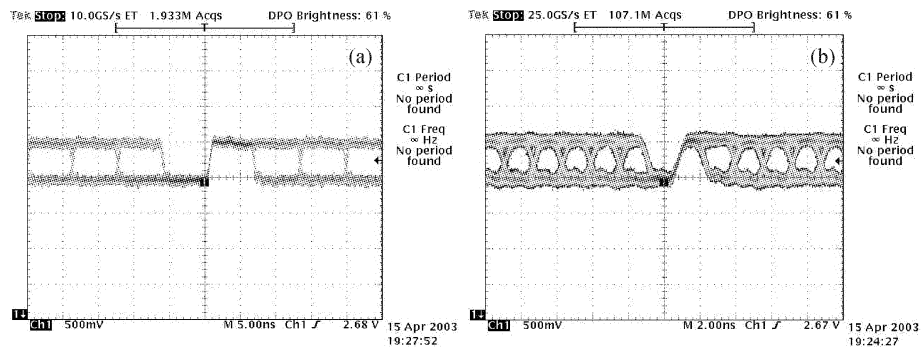


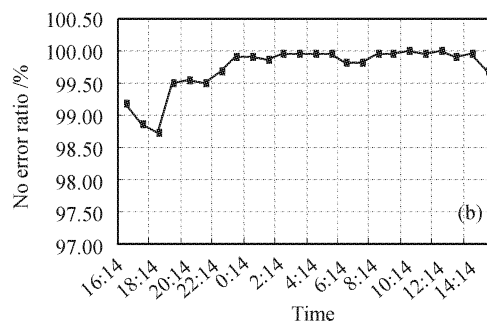
图 3 接收信号眼图

Fig. 3 Received signal eye pattern

(a) 155 Mb/s; (b) 622 Mb/s

G.821: CRC-4	COUNT	RATIO
ES	67	0.07735 %
EFS	86549	99.92265 %
SES	38	0.04387 %
DM	0	0.00000 %
UAS	0	0.00000 %
VERDICT	Accepted	
PATH ALLOCATION	100.00000 %	

(a)



(b)

图 4 (a) 24 h 误码测试记录统计;(b) 无误码秒百分比随时间的变化

Fig. 4 (a) 24 hours error test statistic; (b) No error second ratio's change with the time

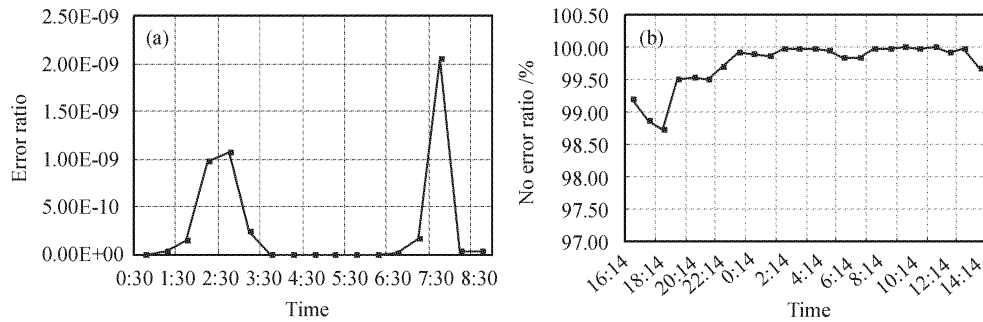


图 5 (a) 622 Mb/s 通信的误码率; (b) 无误码秒测试记录

Fig. 5 (a) 622 Mb/s communication error ratio; (b) no error second test record

传输时测得的眼图。155 Mb/s 信号的眼图十分清晰,信噪比很高。622 Mb/s 的眼图相对来说差得多。其原因同整个系统总体频响有关,包括电路的带宽、接收器的带宽、大气介质对光信号的影响等等。622 Mb/s 的眼图虽然还不够满意,但是经过电路处理可以获得较高的接通率。图 3 的眼图是在良好大气条件下测量的,反映了系统对于 155 Mb/s 还有较大的冗余;而对于 622 Mb/s,冗余比较小。

2) 误码率测试。一台端机以德国 WG 公司的 ANT-20 Advanced Network Tester 为信号,用 ITU 规定的 G. 821 标准进行测试。另一台端机用单芯光缆将输出、输入端口连接起来。155 Mb/s 传输速率下的测试典型结果见图 4 所示,测试时间为连续 24 h。图 4(a)中 ES 为误码秒(1 s 内含有 1 个以上的误码),EFS 为无误码秒,SES 为严重误码秒,DM 为退化分,UAS 为不可用秒。图 4(b)为 EFS 在一天中的变化情况。其中数据点为每半小时的统计数据。可见在 24 h 内无误码秒的百分比达到了 99.9%。图 5 为 622 Mb/s 速率下的通信性能 8 h 时间内的记录,平均误码率也可达到低于 10^{-9} ; 80% 的时间无误码秒的百分比也可达到 95% 以上。但是目前 622 Mb/s 通信系统的冗余比 155 Mb/s 系统小很多,受天气的影响要大得多。

3) 自动跟踪性能。样机的自动跟踪系统的跟踪范围主要决定于所采用的位置敏感探测器(PSD)的尺寸和接收镜的焦距,水平和垂直方向均为 0.9° 。跟踪精度主要决定于 PSD 的分辨率,本文采用的 PSD 分辨率为 $2.5 \mu\text{m}$ 。根据接收镜的焦距可以计算其分辨率优于 0.05 mrad 。跟踪系统的响应时间与 PSD 的响应时间有关,但是主要决定于电路的数据处理时间和机械机构的精度。PSD 能够在微秒量级反映对方端机信标光的角位置,但是从

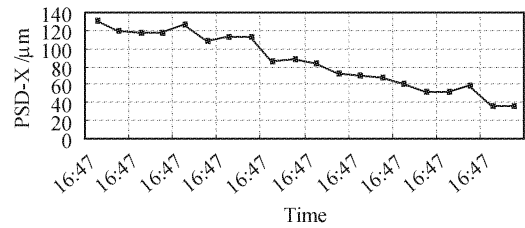


图 6 跟踪位置随时间的变化

Fig. 6 Tracking position's changes with the time

系统稳定性考虑,要对传感数据做多次平均和判断。电机和传动机械的精度是限制响应速度的另一个重要瓶颈。经过实测,样机的响应时间为 0.2 s 。这对于克服大楼晃动、光束缓慢偏移是能够满足需要的。图 6 为跟踪位置信号随时间变化的实时测量记录。

4 讨 论

系统传输实验表明,本文报道的无线激光通信系统,对 155 Mb/s 信号已获得比较满意的传输性能;对于 622 Mb/s 的信号也获得较高的接通率,样机已具备基本的实用性能,还有许多问题还需要研究:

1) 对激光在大气中传输特性的机理,还需要深入研究。大气湍流是空间激光通信的最主要的瓶颈。大气湍流引起光束随机漂移,引起强度闪烁^[7]。随着通信速率的提高,大气湍流的影响越来越严重。文献[5]报道,采用多发射器可以在一定程度上减轻大气闪烁。而且发射器之间的间距越大,效果越好。但是这就同实际应用要求端机小型化发生矛盾。文献[8]指出,采用大的接收口径,可以平滑由于大气湍流引起的光斑抖动和不均匀性,这又要求容忍高的成本。

2) 除了在光学上研究大气湍流特性、探索解决

办法之外,有必要在通信制式上加以研究,探索回避和补救的措施。比如前向码纠错技术、脉位调制技术等。

3) 本文研制的自动跟踪系统,虽然能够稳定工作,具备了自动跟踪的功能,但是响应速度不够快。要在精密分析力学特性基础上改进机械设计,减轻重量,加快响应时间。

参 考 文 献

- 1 Chen Gang, Fang Zujie, Chen Gaoting. 34 Mbit/s atmosphere transmission laser communication system [J]. *Acta Photonica Sinica*, 1999, **28**(Z3):128~130
陈 刚,方祖捷,陈高庭. 34 Mbit/s 大气传输激光通信系统[J]. *光子学报*, 1999, **28**(Z3):128~130
- 2 Cai Yanmin, Chen Gang, Dong Zuoren *et al.*. 155 Mbit/s atmosphere transmission laser communication system and it's tests [J]. *Chinese J. Laser*, 2000, **A27**(11):1040~1044
蔡燕民,陈 刚,董作人 等. 155 Mbit/s 大气传输光通信系统及其测试[J]. *中国激光*, 2000, **A27**(11):1040~1044
- 3 Jiang Lijuan, Zhu Daowei. Fiberless optical communication technology and application [C]. COFC, China, Shanghai, 2001. 276~281
- 4 Xie Weiliang, Jang Junxiang. Analysis on characterization of atmospheric optical wireless communication system based on Turbo code [J]. *Chinese J. Laser*, 2003, **30**(9):835~838
谢伟良,汤俊雄. 基于 Turbo 码的大气无线光通信系统特性分析[J]. *中国激光*, 2003, **30**(9):835~838
- 5 Wireless Company (American). *Electrooptics Handbook* [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1978. 61~67
美国无线电公司. *光学手册*[M]. 北京:国防工业出版社,1978. 61~67
- 6 P. T. Ryan, W. H. Lowrey, I. A. DeLaRue *et al.*. Scintillation characterization for multiple beams [C]. *SPIE*, 1999, **3763**:210~217
- 7 K. Wakamori, T. Hayashi, H. Yamashita *et al.*. 155-Mbps Atmospheric Optical Wireless Network System [C]. Third Optoelectronics and Communications Conference, Technical Digest, Chiba Japan, 1998. 224~225
- 8 Zhang Yixin, Ha Bibo. The reflected light's scintilla average effect in the turbulence [C]. The 15th Whole Nation Optoelectrical Technology Conference, China, Ningbo, 2001. 415~418
张逸新,哈比卜. 湍流大气中反射光闪烁孔径平滑效应[C]. 第十五届全国红外科学技术交流会、全国光电技术学术交流会论文集,中国,宁波,2001. 415~418