

42.24 Mbits/s 多业务大气传输光通信系统的研制*

孙 未¹, 艾 勇¹, 黄海波¹, 朱 东²

(1. 武汉大学 电子信息学院, 湖北 武汉 430079; 2. 武汉邮电科学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:在实际应用中为满足对多业务大气传输光通信的要求, 研究并实现了通信速率达 42.24 Mbits/s 的大气传输光通信系统, 该系统能够实现 V. 35、E1、RS-232/485、以太网以及电话语音数据通信等。从光学收发天线、半导体激光器调制驱动电路、光电二极管(PIN)直接检测电路、通信端机等方面阐述了该系统的基本原理、组成结构以及设计思路等。大气传输通信实验表明, 传输距离为 500 m 时, 在晴朗的天气条件下该系统能实现宽带、高速、低误码率的信息传输。

关键词: 光通信; 半导体激光器; 光电探测器; 通信端机

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2004)01-0088-05

42.24 Mbits/s multi-service atmospheric laser communication system*

SUN Wei¹, AI Yong¹, HUANG Hai-bo¹, ZHU Dong²

(1. School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

2. Wuhan Research Institute of Post & Telecommunication, Wuhan 430074, China)

Abstract: A 42.24 Mbits/s atmospheric laser communication system was developed based on the demand for the multi-service atmospheric laser communication in practice. It could achieve the communications of the V. 35, E1, RS-232/485, Ethernet, and phone. Design consideration, basic principle and system architecture of the multi-service atmospheric laser communication system were demonstrated. The atmospheric laser communication experiment shows that the system can implement the communication with broadband, high speed and low bit-error in the cloudless condition, and available distance is 500 m.

Keywords: Optical communication; Semiconductor laser; Photoelectric detector; Communication terminal

0 引言

大气传输光通信是以激光为传输载体、以大气为

传输媒介的通信方式。与传统的通信方式相比, 有以下特点: 不需要无线电频率使用许可、不占用任何公共网线、可快速建立传输网络; 潜在的传输速率高、通信容量大; 光束方向性好、保密性和抗干扰性强; 体

收稿日期: 2003-04-02; 修订日期: 2003-06-05

* 基金项目: 武汉大学科技创新基金项目(212270047)

作者简介: 孙未(1979-), 男, 河南汝南人, 硕士生, 主要从事大气传输光通信的研究。

积小、质量轻、安装简捷、移动便利、成本低。

大气光通信应用范围广,可以作为光纤通信和微波通信紧急后备措施;可用于数据网、电话网、移动通信网及视频传输等不便铺设光缆的地区;在军事设施或其他要害部门及需要严格保密的场合,在临时搭接的数据传输等方面,大气激光通信是一个很好的候选者^[1]。针对市场需求,设计了速率达 42.24 Mbits/s 的多业务大气传输光通信系统。

1 系统工作原理

该系统由两台激光通信机构成,它们相互向对方发射被调制后的激光脉冲信号,接收并解调来自对方的激光脉冲信号,从而实现双工通信。图 1 是多业务大气传输光通信系统原理图。该系统可完成 V.35、E1、RS-232/485、以太网以及电话语音数据的通信。下面以计算机通过 RS-232/485 接口和以太网口的数据通信为例介绍本系统的工作原理。从计算机网卡出来的信号为 MLT-3 码,经过通信端机中 RJ-017 芯片转换为适合大气光通信传输链路的反向不归零码(NRZ 码),并且由通信端机中的晶振为大气光通信传输链路提供相应的 42.24 MHz 时钟信号。来自计算机网卡的 10 MHz 信号与来自 RS-232 串口的信号到通信端机,由通信端机对这些信号进行电平转换和码速调整后,与来自 V.35 接口、E1 接口、公务电话接口的信号等时分复用变成 42.24 Mbits/s 的信号源。该 42.24Mbits/s 的信号经过调制驱动电

路对激光器进行直接强度调制,驱动激光器发光,这样载有信号的激光通过光学天线发射出去;接收端的激光通信机通过光学天线将收集到的光信号聚到 PIN 管上,由 PIN 将这一光信号转换成电信号,再经过接收电路的前置放大、主放大、滤波、整形,用阈值探测方法检测出有用信号并送入通信端机,通信端机完成时钟信号的提取,使之与发射电路一致,经解复用、码速还原、电平转换后到 V.35 接口、E1 接口、RS-232/485 接口、以太网口以及公务电话接口,这样计算机网卡、RS-232 串口就可以获得来自发送端的信号,从而完成整个通信过程。

2 系统组成部分

由上述系统工作原理可知,大气激光通信系统主要由激光发射子系统、光电接收子系统及通信端机子系统组成。

2.1 激光发射子系统

2.1.1 激光器

激光器用于产生激光信号,通过光学天线形成光束射向空间,激光器的好坏直接影响通信质量及通信距离,对系统整体性能的影响很大,因而它的选择是非常重要的。与气体激光器、固体激光器相比,半导体激光器具有体积小、质量轻、效率高、易调整、寿命长等优点。从波段选择来说,可见光缺乏保密性,红外光波长太长,缺乏相应的高速探测器;而近红外波段有高效、高速和价格相对低廉的探测器,同时在近

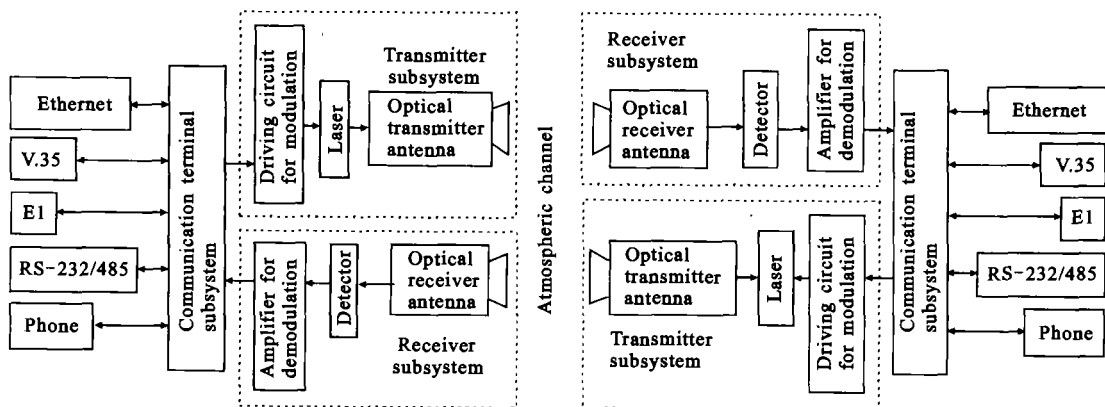


图 1 多业务大气传输光通信系统原理图

Fig.1 Basic principle of multi-service atmospheric optical communication system

红外 790 nm 波段存在大气高透过窗口^[2,3]。因此本系统采用韩国三星 SLD-780 型半导体激光器。

SLD-780 型半导体激光器内部有一个激光器 (LD) 和一个光电接收二极管, 二极管用于监视激光器发光的强弱。LD 的主要参数: 波长为 780 nm; 功率为 10 mW; 工作电流 ≤ 65 mA; 工作温度为 $-50 \sim 70$ °C; 光束发散角: 垂直 $< 25^\circ$, 水平 $< 15^\circ$ 。

2.1.2 激光器驱动调制电路

激光器调制驱动电路主要由芯片 MAX3263 及相关的电路组成。该电路具有差分 PECL 电平输入、单 +5 V 供电、自动功率控制 (APC)、自动温度补偿 (ATC) 和慢启动等功能, 如图 2 所示。图中, R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 组成输入接口网络, 根据输入信号源的不

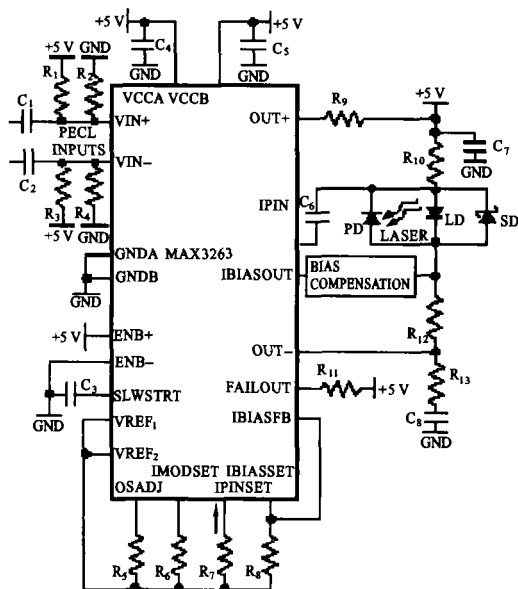


图 2 半导体激光器调制驱动电路

Fig. 2 Driving circuit for modulation of semiconductor laser

同形式, 选用相应的阻值。为提高整个系统的速度, 并与通信端子系统接口相匹配, 故采用差分 PECL 电平输入; C_1 、 C_2 是隔直耦合电容。

参考电源提供温度补偿偏置和参考电压输出 ($VREF_1$ 、 $VREF_2$), 参考电压通过调节电阻 R_5 、 R_6 、 R_7 和 R_8 , 对高速调制驱动电路、激光器、监视二极管的电流进行控制。MAX3263 的输出电流被镜像电流源控制, 这些镜像电流源都有 $2 V_{BE}$ 的结温漂移, 当参考电压设定在 $2 V_{BE}$ 时, 结温漂移就可以被抵消, 当温度在 $-20 \sim 70$ °C 范围内变化时, 可以输出稳

定的电流。温度补偿的这一特性尤其适合于室外大气激光通信。参考电源部分提供了慢启动功能, 初始预置为 50 ns, 增加外部电容 C_3 可以扩展启动时间。偏置电路设置激光器静态工作电流 IBIASOUT。偏置电流 IBIASOUT 是镜像电流源的输出, 调节电位计 R_8 , 改变输入电流 IBIASSET, 使 IBIASOUT 略小于激光器的阈值电流, 以使激光器的输出信号有良好的消光比。为防止激光器工作在饱和状态, 应使偏置电路的输出大于 2.6 V。为提高发射器的整体性能, 设置由 R_{12} 、 R_{13} 和 C_3 组成的滤波网络。在偏置电路输出端增加一个大电感构成偏置补偿电路, 以消除因芯片管脚所具有的寄生电容的影响。激光器内部的监视二极管将激光器的光强变化转换成电流 IPIN, 经比较器、跨阻放大器和镜像电流源, 产生反馈电流 IBIASFB, 将激光器的光强变化转换成偏置电流的一部分, 反馈作用于激光器, 从而保证输出稳定的光功率。调制电路由高速输入缓冲器和共射极差分输出器组成。调制镜像电流源确定输出端的调制电流, 调节 R_6 的大小, 以使激光器有适当的调制电流, 输出足够的光功率和具有良好的消光比。同时应使 OUT+、OUT- 端的电压在 2.2 V 以上, 以防激光器饱和。肖特基二极管 (SD) 的响应速度极高, 在激光器 (LD) 两端并联一只肖特基二极管, 能有效地将负向短脉冲 (即浪涌) 短路, 防止破坏半导体激光器。

2.1.3 光学发射天线

激光通过大气等随机介质的远距离传输会受到非常复杂的信道干扰, 分子吸收、散射、湍流等物理作用会引起激光能量衰减、光束扩散及光波前畸变, 甚至造成激光束随机漂移^[1]。鉴于这些影响, 系统在发射信号时, 通过光学发射天线对信号光进行准直, 以使信号光到达接收端机时能量相对集中, 从而提高接收端机的信噪比。根据实际设计的光学发射天线, 所得的出射光斑直径为 0.038 mm。

2.2 光电接收子系统

2.2.1 光电接收器件

从大气传输光通信系统的原理看, 提高信号接收灵敏度比提高激光器的发射功率更有效。因为 SLD-780 型半导体激光器功率只有 10 mW, 只有提高接收灵敏度, 才不会增加系统的体积、质量和复杂性, 大气传输光通信机的小型化才能得以实现。为降低系

统成本,方便设计,本系统采用的单+5 V 供电的 PIN 管。它具有很高的灵敏度,主要参数如下:探测波长范围 350~1 100 nm,响应率 $0.7 \mu\text{A mW}^{-1} \text{mm}^{-2}$,反向击穿电压在 $10 \mu\text{A}$ 时为 -80 V ,响应时间为 4 ns (典型值),工作温度在 $0\sim 70 \text{ }^\circ\text{C}$,暗电流在 -20 V 时为 1.4 nA 。

2.2.2 光电接收电路

接收系统的电路主要由光电二极管、前置放大器、低噪声限幅自动增益控制、阈值(功率)探测、无光告警、PECL 输出等组成^[5]。本系统中的光电接收电路如图 3 所示。

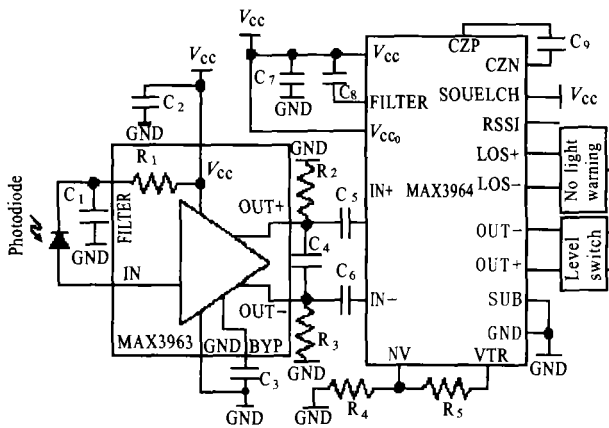


图 3 光电接收电路

Fig. 3 Photoelectric receiving circuit

155 Mbits/s 的低噪声芯片 MAX3963 组成前置放大器,其内部包含一个跨阻前置放大器和一个带射极跟随输出的倒相放大器。在输出端增加由 R_2 、 R_3 和 C_1 组成的滤波电路,以减少噪声。266 Mbits/s 宽带放大器 MAX3964 及其相关器件构成后级放大电路。MAX3964 内部对输入信号大小的检测结果送到 FILTER 端,通过电容 C_8 滤波,并产生模拟信号由 RSSI 输出。实验表明,在无光输出时, V_{RSSI} 比有光输出情况下要降低 120 mV 左右。为提高接收灵敏度和功率检测精度,在限幅放大器上有一个偏置校正环。电阻 R_1 、 R_2 、 1.2 V 带隙电源和无光比较器共同完成阈值设置和噪声抑制功能。当输入信号(包括有用信号和噪声)幅值大于 V_{TR} 时,数据输出端输出幅度恒定的 PECL 电平;当输入信号幅值小于 V_{TR} 时,无光比较器的输出强制数据输出端 $\text{OUT}+$ 为高电平, $\text{OUT}-$ 为低电平,迫使所有的限幅

放大器拒绝接收输入信号,并推动后级放大器输出无光告警信号 PECL 电平 $\text{LOS}+$ 和 $\text{LOS}-$, 这为整个激光通信过程中的跟踪和瞄准提供了直观的指示作用。

根据后续电路的输入要求,可采用不同的电平转换网络,本系统采用如图 2 中 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 组成的电阻网络,将 PECL 电平的数据输出以及无光告警输出和通信端机连接起来。

2.2.3 光学接收天线

与发射部分相对应,接收端机也设计了光学天线。在接收信号时,通过光学接收天线,使得经过大气传输过来的光束大部分能量聚集到光电探测元件的接收面上。实际设计的接收天线口径为 100 mm 。在保证发射接收端正正确对准的情况下,大部分能量能到达接收天线,足以满足探测元件对信号强弱的要求。

2.3 通信端机子系统

通信端机是一个小型多业务通信综合传输系统。它的基本配置能提供 4 个 E1(2.048 Mbits/s)接口、一个公务话机接口和数据接口(RS-232/RS-485),同时可提供 $V.35$ (2.048 Mbits/s)接口和以太网接口等,如图 4 所示。

图 4 中,时分复用过程为: E1 的数据由线路接入单元(LIU)送入,通过数据本身的时钟和分频器时钟信号的比较,由传输码率(码速)调整单元将原数据的码速调整为需要的码速; 4 路 E1 接口的数据通过时分复用单元复接后的信号,以及来自 RS-232/RS-485、 $V.35$ 、以太网、公务电话通过电平转化和码速调整后的信号由插入开销单元复接在一起,通过扰码单元后送入激光发射子系统。其中线路接入单元对变压器耦合进来的信号进行衰减均衡,并保证信号先进先出;码速调整单元将来自 E1 接口 $2.048 \text{ M} \pm 50 \text{ bits/s}$ 的传输码率调整为 2.112 Mbits/s 。

以下为解复用过程,接收端信号由光电接收子系统送入,经过时钟提取单元得到 42.24 MHz 的时钟信号,并相应地控制传输数据与发射的同步。经过解复用完成信号的分接,各路信号经过码率还原、电平转换送到 RS-232/RS-485、 $V.35$ 、以太网、公务电话等,到 4 路 E1 的信号经过解复用、码速还原经 LIU 由耦合变压器输出到各路 E1 接口,从而实现多业务的通信。

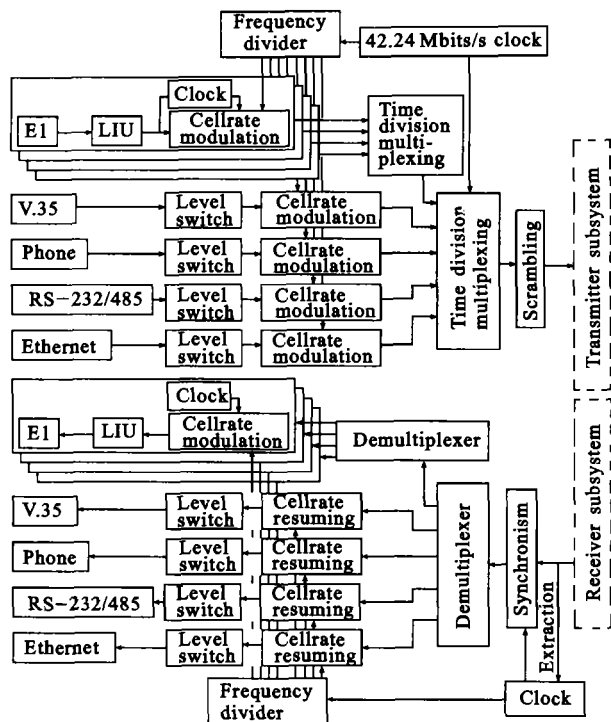


图 4 通信端机子系统

Fig. 4 Communication terminal subsystems

3 实验结果

在不同天气和不同距离的条件下,对 42.24 Mbits/s 大气激光通信系统进行了通信实验。图 5 为在晴朗的天气条件下接收端机输出信号的眼图^[6],传输距离分别为 200,350,500 m。从中可以看出,眼图的线迹非常清晰,传输 500 m 后观察到的眼图仍然轮廓分明,张开得很大。这说明,该系统误码率极低,信噪比很高。

在传输距离为 500 m 时,在原来光无线串口通信装置^[7]的基础上,对接口和控制软件进行了改进,成功地实现了计算机网卡,RS-232 串口以及公务电话的并行双工通信。两台计算机分别在线观看对方的 Rm 视频文件,图像非常流畅;并且从以太网上浏览网页,下载文件时速度可达 2 Mbits/s;公务电话语音清晰,和使用光纤通信的效果一样;因为通信端机采用的是分时复用,单独使用一路接口或两路接口时,其他的接口传输通道就相应被闲置,所以传输效果并不会因为多路并行而受到影响。实验也证明了这一点。

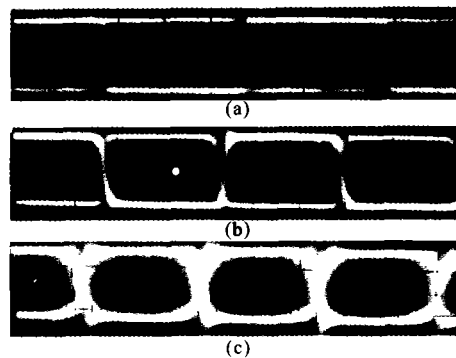


图 5 输出信号眼图

Fig. 5 Eye diagram of output signal

由于大气传输光通信的通信距离依赖于大气能见度。大气能见度则决定于天气状况,也同水平高度有关。当大气有雾、云、雨、雪等现象,或者存在有烟雾、灰尘等悬浮物,激光束会因大气吸收和散射而衰减,大气传输光通信系统的误码率会受到影响。实验证明,当传输距离为 500 m 时,系统在晴天、阴天、雨天、小雪和薄雾的天气条件下能正常工作,误码率低于 1%。在雾很大时系统误码率增加,当能见度小于 500 m 时,通信稳定性下降;只有当能见度小于 100 m 时,系统通信才中断。详细通信质量与天气间的关系有待进一步实验测试和理论分析。

参考文献:

- [1] 陈刚,方祖捷,陈高庭,等. 34 Mbit/s 大气激光通信系统[J]. 光子学报,1999,28(Z3):128-130.
- [2] 信息产业部电子四十五所. 电光手册[M]. 北京:国防工业出版社,1978,61.
- [3] 陈刚,蔡燕民,陈高庭,等. 空间激光通信技术若干问题的讨论[J]. 红外与激光工程,2000,29(3):14-18.
- [4] 何毅. 卫星光通信关键技术与演示系统光学天线[J]. 电子科技大学学报,1998,27(5):482-486.
- [5] 杨祥林. 光纤通信系统[M]. 北京:国防工业出版社,2000. 127-138.
- [6] 樊昌信,詹道庸,徐炳祥,等. 通信原理[M]. 第 4 版. 北京:国防工业出版社,2001. 114-116.
- [7] 胡红梅,韩建中,陆敏江,等. 计算机串口大气激光通信的实现[J]. 半导体光电,2002,23(6):395-397.