

# 水下激光通讯发射接收系统<sup>\*</sup>

黄晓圣 王汝霖 徐仁声 刘金涛

(青岛海洋大学国家教委海洋遥感开放实验室, 青岛, 266003)

**摘 要** 报导了可用于水下激光通讯的由 89c51 单片机控制的全双工水下激光通讯系统实验装置。系统能有效的消除水下背景光的影响, 并具有 3~4 个数量级动态范围的自动增益放大能力以更有效地接收水下激光通讯信号。能在水下以较高的数据传输率传递信息, 数据传输率可以用软件调整, 最大数据传输率为 19.2kBits/s。

**关键词** 水下激光通讯; 自动增益控制; 背景光辐射; 数据传输率

**中图法分类号** TN929.1

水下激光通讯是近年来发展起来的一门高新技术, 与其它传统的水下通讯方式(如声波通讯、无线电波通讯等)相比较, 具有两个突出特点:(1) 空间定向性好, 因而保密性和抗干扰能力都较好;(2) 数据传输率高。根据国外已经发表的资料, 海洋水体对光信号的信道带宽可以达到 MBits/s 甚至 10MBits/s 以上<sup>[1]</sup>(因水质及传输距离而异)。随着固体激光器件与光电接收器件技术工艺水平的提高, 水下激光通讯的技术指标还有望进一步提高。

但是水下激光通讯也有明显的技术上的限制。海水水体光学性质的特点决定了激光光束在海水中传播时将受到海水水体的吸收, 水体及水体中悬浮粒子的多次散射, 这就造成了激光光束在传输过程中的衰减, 这种衰减比激光光束在大气中传输时的衰减剧烈得多。同时, 海水中还存在变化范围颇大的背景光辐射。这些因素的存在都将严重地影响水下激光通讯信号的信噪比, 因此, 必须在通讯装置的电路设计上予以充分考虑。

水体的衰减使接收信号的强度随接收距离按负指数下降, 接收距离的不同可以造成几个数量级的接收信号的强度变化; 因发射/接收装置的空间定位和空间取向而造成的对准状态的不同, 也可以造成接收信号强弱的很大变化; 海水中的浮游生物体甚至可能造成暂时的信号脱落。因而, 实用的水下激光通讯装置应该具有自动增益控制(AGC)的能力, 以在不同的通讯条件下都能正常的接收信号。它还必须与自动控制系统联机使用, 从而可以根据接收信号的特点, 自动地判断水下平台的相对位置、姿态、发射/接收装置的空间取向, 及时判断信号是否完整和是否存在误码, 并与通讯对方及时交流有关信息。

除此之外, 水下背景光辐射随着水下激光通讯装置使用条件不同可以有很大的差异: 白天与夜间、晴天与阴天、平静海面与风浪海况的水下背景光辐射差别很大; 在不同的水深工作时或接收装置的俯仰角度不同, 背景光辐射的强度也有很大的不同。其强度可以有几个数量级的差别。

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金课题(4948600) 和国防科工委重大预研项目“蓝—绿激光海中光信息传输”资助

收稿日期: 1998-04-16; 修订日期: 1998-06-12

黄晓圣, 男, 1947年9月出生, 副教授。

考虑到以上诸因素,我们设计并研制了一个水下激光通讯的实验装置,它可针对性地解决实用水下激光通讯装置可能遇到的主要问题。

1 系统概述

本装置是一个可以适应水下通讯条件的由单片机控制的全双工激光通讯系统。它可作为船载计算机的下位机,也可作为其它水下自动走航仪器控制中心的下位机,不同的水下平台可通过它以较高的数据传输率在水下交换信息。在我们的系统中,可用软件根据实际情况调整数据传输率。

图 1 为实验装置系统框图,在实验室中模拟水下通讯条件,通过光衰减器模拟不同程长水体对光信号的吸收。图 2 为激光通讯装置硬件框图。

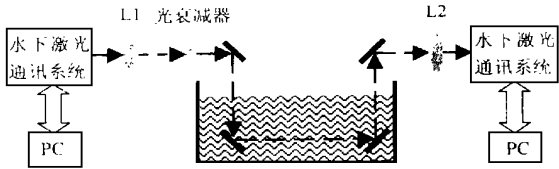


图 1 实验装置系统框图  
Fig.1 Diagram of the setup used for laser communication experiment

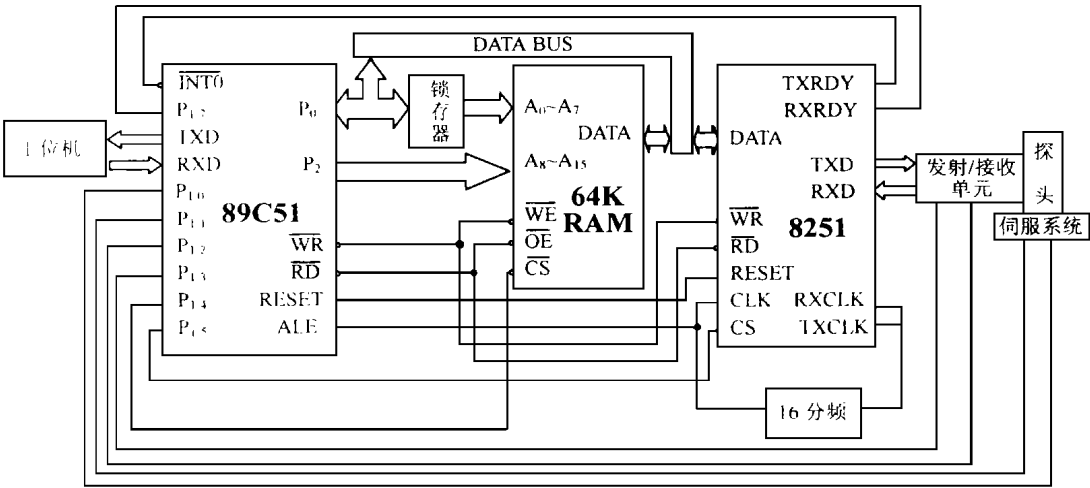


图 2 激光通讯装置硬件框图  
Fig.2 Hardware structure of the laser communication system

系统的核心是 89C51 单片机,其功能与目前已经广泛使用的单片机 8031 的功能全部兼容,与 8031 相比在内部多了一个 EPROM( 2KB)。因此可以内部编程,简化了硬件电路设计。89C51 通过一个扩展的全双工串行通讯接口 8251 与激光通讯发射/接收单元相联结,并且通过自己的一对全双工串行通讯口与上位机联机,完成水下激光通讯的任务。

系统带有一个 64KB RAM,用以储存待收发的通讯数据。因为 64KB RAM 已经占满所有的地址空间,所以不采用地址译码的工作方式,而是使用 89C51 P<sub>1</sub> 口的一个端口作为片选。

89C51 通过 P<sub>0</sub> 口和 P<sub>2</sub> 口及一个外加的地址锁存器与 RAM 交换数据,RAM 中的数据通过 8251 及发射/接收单元发送出去;来自发射/接收单元的数据通过 8251 接收。89C51 的 P<sub>3</sub> 口的 RxD、TxD 用于与上位机通讯;INT<sub>0</sub> 用于接收来自 8251 RxDY 的中断申请,这样在 8251 收到数据时可以实时响应,节省 CPU 工作时间;89C51 的 P<sub>1</sub> 各口用于接收系统各单元

的状态信息,或向各单元发出控制命令。比如 8251 的 TxRDY 状态信息,接收信号的强度信息、8251 和 RAM 的片选信号,发射/接收头空间取向伺服系统的步进脉冲等。

8251 为全双工串行通讯口,它可将来自发射/接收单元的串行数据转换为并行数据送往 89C51,或将来自 RAM 的并行数据转换为串行数据送往发射/接收单元,传输方式采用异步方式。传输过程中自动产生或去除异步通讯所需要的各种附加位,并具有误差检测功能。一个附加的分频器提供 8251 接收和发射数据所需要的时钟。由于采用 8251 芯片,最大数据传输率可达 19.2KBits/s,实际使用时采用 9.6KBits/s,可以满足通常情况下的使用要求。

2 发射/接收单元

发射/接收单元分为主电路板和发射/接收头。后者可通过水密的光学窗口发射或接收水下激光通讯信号,伺服系统可以根据上位机的指示调整它的角度,进行目标搜索和保证在通讯过程中的光学对准。水下的目标搜索和光学对准是一个复杂的问题,需要必要的象限检测单元和在上位机执行一个功能很强的程序<sup>[2]</sup>。目前的实验系统中并没有包括这一部分内容,但是预留了必要的信号线和控制线。以下分别叙述发射和接收部分的光、电设计。

2.1 发射部分 由 8251 的 TxD 口输出的数字电压信号经反相后被专门的驱动电路放大,驱动半导体激光器发出数字光信号。反相的目的是使休闲信号的光强为“0”而起始信号的光强为“1”。驱动电路具有自动调整信号光强的能力。图 3 为发射部分简图。

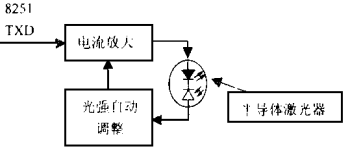


图 3 发射部分简图  
Fig.3 Schematic drawing of the transmitting part

2.2 接收部分 接收部分是决定水下激光通讯系统性能的关键。需要解决的两个主要的技术问题是:1) 去除背景光的干扰;2) 能适应不同强度信号的自动增益控制。其系统框图见图 4。

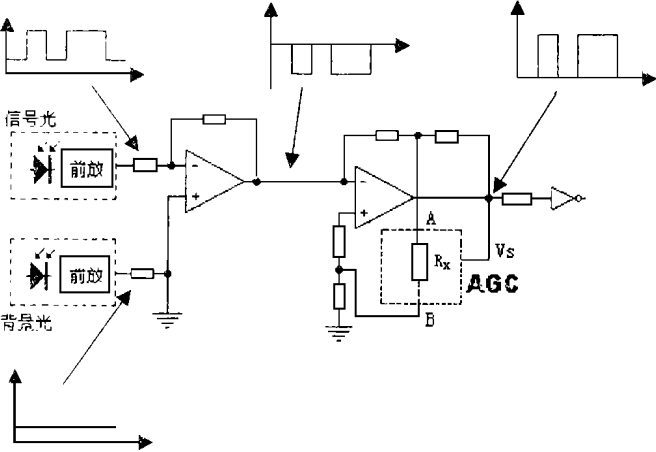


图 4 接收部分框图  
Fig.4 Diagram of the receiving part

用 2 个特性相同的光二极管 PD<sub>1</sub>、PD<sub>2</sub> 分别接收经干涉滤光片滤光后的信号光和背景光。由于激光的频带很窄,只要滤光片的通频带与之匹配,大部分的背景光即被滤除。光二极管将光信号转换为电流信号,再经前置放大器变为放大的电压信号。前置放大器采用反馈式放大电路,具有阻抗高、噪声低的特点,它们的特性必须一致。因前置放大器的输出中仍有残余的背景光,为避免它们与信号光一起被主放大器放大,我们将前置放大器输出的信号先进行相减预处理。相减后的输出基本只有通讯信号而无背景噪声,然后再送入主放大器进行放大。

为适应水下激光通讯信号可以具有很大动态范围强弱变化的特点,主放大器应该具有根据信号强弱自动改变增益的能力。采用 T 形反馈网络的接法,其特点是:可以在较小范围内改变增益电阻 P<sub>x</sub> 的阻值而获得较大范围的增益变化。增益电阻 R<sub>x</sub> 由自动增益控制回路 AGC 根据主放大器输出信号的幅度分四档自动调整。

主放大器的输出再经整形反相,送往 89C51 的 RxD 口。自动增益放大控制回路(图 5)的主要原理和功能如下:

由主放大器输出端引出控制信号 V<sub>s</sub>,进行信号幅度甄别。一个用电阻构成的分压链提供了 4 个参考电平,它们分别为 V<sub>0</sub><V<sub>1</sub><V<sub>2</sub><V<sub>3</sub>,提供给各个电平比较器。各比较器的输出用于增益电阻 R<sub>x</sub> 的选择。

V<sub>0</sub> 为信号有效甄别电平。这是一个很小的参考电平,在实验中根据实际情况通过调整可变电阻 R<sub>0</sub> 确定。当 V<sub>s</sub><V<sub>0</sub> 时,我们认为此时的 V<sub>s</sub> 为噪声信号,其对应的位为数字“0”;当 V<sub>s</sub>>V<sub>0</sub> 时,其对应的位为数字“1”,认为此时 V<sub>s</sub> 的幅度才代表信号幅度。这个电平比较器的输出决定此次信号幅度甄别是否有效,并用它控制锁存器的使能端,决定此次比较结果的取舍。

其余 3 个参考电平用于信号幅度甄别。根据 V<sub>s</sub> 不同的大小,3 个带有不同甄别电平的比较器其输出分别为“0, 0, 0”、“0, 0, 1”、“0, 1, 1”和“1, 1, 1”,分别代表 4 个不同档次的信号幅度。它们分别需要 4 种不同的放大增益。为避免当 V<sub>s</sub> 与某一甄别电平相接近时,因信号幅度的起伏引起不必要的输出跳变。这 3 个比较器选用“滞回比较器”,可保证一定范围内的信号幅度起伏不会影响输出。

如果信号有效,3 路电平甄别的结果将被锁存器锁存。锁存器的输出经编码器编码构成一个 2 位的数字信号。该信号被送入一个 4 选 1 多路模拟开关,用以选择不同的增益电阻 R<sub>x</sub>。它提供给放大电路,就可根据信号幅度自动调整增益。这个 2 位的信号同时也被送入 89C51 的 P<sub>1</sub> 口,使 CPU 或上位机随时监视信号的强弱,这个信息为目标搜索和光学对准的决策提供部分依据。

3 实验结果

我们在实验室水槽中进行水下激光通讯模拟实验(图 1),实验水体长度 3m。为模拟不同通讯距离时水体的吸收,我们用光衰减器改变信号的强弱,信号强度变化达 3 个数量级,数据

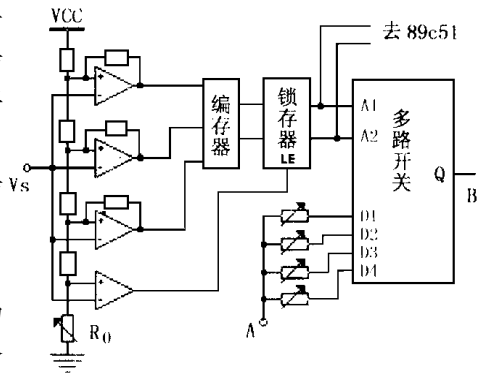


图 5 自动增益放大控制回路框图

Fig.5 AGC (automatic gain control) amplifier circuit

传输率为 9.6KBits/s。实验中控制了不同的背景光,激光传输的信息为一幅在 PC 机中储存的数字化图象。在此条件下图象传输效果良好,可以达到零误码。图 6 是在实验中传输与接收的图象。

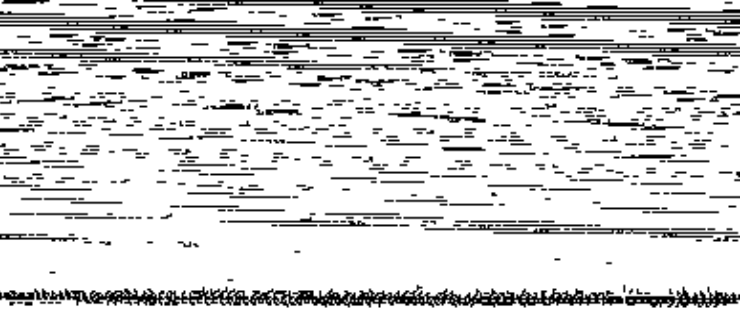
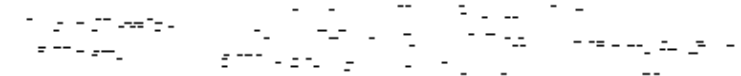


图 6 实验传输图图象  
Fig.6 Images transmitted and received in the experiment



4 结论

所设计并研制的水下激光通讯的实验装置,具有中心控制单元和扩展的 RAM,通过扩展的串行通讯接口与光电发射/接收单元进行水下激光通讯,并可以与上位机联机。它针对性地解决了实用水下激光通讯时可能遇到的主要问题,可有效地消除背景光对通讯信号的影响和对具有大动态范围强弱变化的水下激光通讯信号进行自动增益放大,同时为实施水下激光通讯时所必需的目标搜索和光学对准提供了必要的信息和预留了信号线和控制线。经实验室实验,结果良好。

参考文献

1 Snow J B, et al. Underwater propagation of high data rate laser communications pulses· Ocean Optics ( XI, SPIE) , 1992,1750,419~427  
2 Longacre J R, et al. High data rate underwater laser communications· Ocean Optics ( X, SPIE) , 1990,1302,433~439

# The Transmitting and Receiving System for Underwater Laser Communication

Huang Xiaosheng Wang Rulin Xu Rensheng Liu Jintao  
(Ocean Remote Sensing Laboratory of the Ministry of Education of China,  
Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003)

**Abstract** In this paper, a full duplex system for underwater laser communication controlled by  $89c51$  CPU is presented. In this system a special circuit is designed to remove the effect of the background light field, also an AGC (automatic gain control) amplifier with a dynamic range of  $3\sim 4$  orders of magnitude is in the system for more efficient detection. The transmission rate is high and can be easily adjusted by software.

**Key words** underwater laser communication; AGC; background irradiation; data rate

## 海 洋 人 物

**廷德耳, J.** (John Tyndall, 1820-08-21~1893-12-04) 英国物理学家。1820年8月21日出生于爱尔兰长洛郡。1893年12月4日逝世于萨里。中学毕业后于1840~1843年从事测绘工作。曾师从化学家R·本森(von Bunsen R W)学习。历任皇家研究院自然哲学教授(1853)、院长(1867)。1852年当选为伦敦皇家学会会员。早期研究晶体的磁性、大气声学。1859年后研究各种气体、蒸汽对热和辐射的吸收,以及光在不透明介质中的散射。在大气声学上,研究大气温度结构对声波的折射作用、大气风场对声波的折射效应、以及气象要素(温度等)脉动对声波的散射效应等大气声波的传播问题。在气象学上主要贡献有三:(1)研究大气分子和尘埃对光的漫射,称廷德耳效应(即光速行经含有悬浮的小微粒的介质和所产生的散射现象),这是超显微镜的工作原理;(2)确定了湿空气容易吸热,湿空气吸热后温度变化缓慢;(3)在基于瑞利散射实验的基础上,论证了天空呈蓝色的原因,指出这是由于天空中的尘埃散射太阳光线所致。在地理学上,与T·H·赫胥黎(Huxley T H)一起研究瑞士的冰河问题。在生物学上,他实验证明无菌空气不会使食物腐败,从而推翻了长期存在的“自然发生说”。在确立能量守恒定律上也有他的一份功绩,当能量守恒定律发现者之一,德国物理学家J·R·迈尔(Mayer J R)提出该定律后,长期得不到社会的承认,甚至遭受攻击,以致于迫使迈尔跳楼自杀,幸未致死。由于廷德耳的力争,使迈尔的成就在英国得到承认。廷德耳的著作文笔流畅,善于把科学问题通俗化。共有著述16部,论文145篇。主著有《作为运动形态的热》(Heat considered as a mode of motion, 1862);《光学六讲》(Six lectures on light, 1873);《水的形态》(Forms of water, 1872)。

(刘安国)