

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0128-03

激光扫描技术在水下光通信中的应用

何宁, 周田华

(桂林电子工业学院通信与信息工程系, 广西 桂林 541004)

摘要 利用激光扫描技术实现水下和空间的双向通信。对二维振镜激光扫描系统组成和原理进行了理论描述, 讨论了在视距范围内采用扩束装置和振镜系统对激光束实施可靠控制的方案, 并在水下光通信系统中有效地完成了对水下和空中运动目标所在区域的扫描。主要对扫描方式、扫描范围和速率间的关系进行了分析, 通过系统模拟实验, 给出其实现方法和相关的实验数据。依据光线反射原理, 着重分析了机械角度和光学角度间的数学关系, 经实验推算, 得出了矩形扫描和矩形扫描面积的近似计算公式。实验证明了这种通信方式和扫描技术的可行性, 为后续研究和实际应用奠定了良好基础。

关键词 光通信; 激光扫描; 扩束; 振镜

中图分类号 TN929.1 **文献标识码** A

Application of Laser Scanning in the Underwater Optical Communication

HE Ning, ZHOU Tian-hua

(Department of Communication and Information Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract The underwater and aerial inter-communication is realized with laser scanning technology. The construction and the principle of the two-dimensional galvanometric scanner laser scanning system are theoretically described. The methods to effectively control the laser beam with bunch expanding devices and the galvanometric scanner system in the visible range and finish the scanning of the area of the goal underwater and in the air in the underwater optical communication system. And the relation among the scanning way, the scanning range and the speed of scanning is referred mainly. With the systematical simulated experiment, the realizing way and the related experimental data are obtained. Based on the light reflection principle, the mathematical relation of the mechanical angle and the optical angle is emphasized. With the experiment, the approximate calculation formulas about the rectangular scanning and the rectangular scanning area are derived. The experiment proves the feasibility of the communication method and the scanning technology, which establish the foundation for the forthcoming research and practical application.

Key words optical communication; laser scanning; bunch expanding; galvanometric scanner

1 引言

激光的问世使电子信息技术发生了巨大变化, 激光加工、激光照排、激光打标、激光探潜、激光测量、激光医疗、激光成像等新技术不断涌现^[1], 这些技术充分利用了激光的单色性、高亮度、光斑小等优点, 某些技术与机电结合, 对激光束实施控制, 使得激光的潜力得到进一步挖掘。本文主要对激光扫描技术在空间和光通信中的应用进行系统介绍。

2 水下光通信系统构成

水下光通信是利用海水对蓝绿激光(波长为

470~570 nm)的低损耗特性, 使得激光在水中能穿透一定深度实现通信。据报道, 蓝绿激光可穿透海水 600 m 深处。这种通信方式具有波束隐蔽、接收天线小、通信速率高等优点, 其通信体制包括陆基、天基和空基三种, 比较容易实现的是空基系统, 它主要实现飞机与水下目标的通信。

空基方式是将大功率激光器置于飞机上, 当飞机飞越预定海域时, 激光束以一定形状的波束(如 15 km×1 km 的矩形)扫过目标海域, 在视距范围完成对水下目标的广播式通信。这种方法实现起来较为容易, 在条件成熟时, 很容易升级为天基系统。

本文主要介绍对激光束的扫描控制方式, 为了

基金项目: 国防预研项目(41001050201)资助课题。

作者简介: 何宁(1958—), 男, 桂林电子工业学院高级工程师, 主要从事光通信的教学与科研工作。

E-mail: eicnhe@gliet.edu.cn

更有效、更快捷地实现通信,使光探测器可靠地接收信号,系统采用扩束装置将激光器发出的光斑进行一定的扩束,这样激光就以面光斑在飞机飞过的区域进行扫描。

3 振镜扫描系统原理

振镜扫描在激光加工业有着广泛应用,而在通信领域中对光斑的要求与在激光加工领域不同。为了实现有效通信,激光要经扩束后应用,通过扫描方式可在一个平面上得到所需图形。振镜扫描有一维扫描和二维扫描,二维振镜扫描由两个相互垂直的直流电机带动,分别沿俯仰方位方向扫描^[2],其原理结构如图 1 所示。

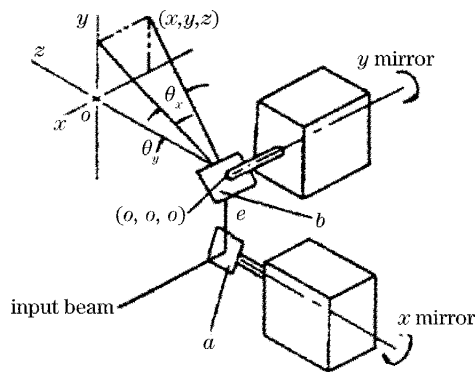


图 1 二维振镜扫描系统结构图

Fig. 1 System structure of two-dimensional galvanometric scanner

振镜是一种优良的矢量扫描器件,它是一种特殊的摆动电机,通电线圈在磁场中产生力矩,但与旋转电机不同,其转子上通过机械扭簧或电子方法加有复位力矩,大小与转子偏离平衡位置的角度成正比。当线圈有一定电流且转子发生偏转到一定角度时,电磁力矩与回复力矩大小相等,故不能像普通电机那样旋转,只能偏转,偏转角与电流成正比,原理与电流计类似,故振镜又叫电流计扫描器^[2]。

xy 扫描镜分别沿 x 和 y 轴扫描,在计算机协调控制下,可以扫描出任何二维图形来,设 x 轴和 y 轴反射镜之间的距离为 e , y 振镜的轴线到视场平面坐标原点的距离为 d ,当 x, y 轴的光学偏转角分别为 θ_x 和 θ_y 时,视场平面上相应光点坐标为 (x, y) ,且当 $x=y=0$ 时, $\theta_x=\theta_y=0$,则

$$\begin{cases} x = \left| \sqrt{d^2 + y^2} + e \right| \tan \theta_x, \\ y = d \tan \theta_y, \end{cases} \quad (1)$$

或

$$\begin{cases} \theta_x = \arctan \left| x / (\sqrt{d^2 + y^2} + e) \right|, \\ \theta_y = \arctan |y/d|. \end{cases} \quad (2)$$

4 扫描方案

扫描方式和扫描速度的确定直接关系捕获目标的能力,本系统采用在 xy 平面上进行矩形和圆形扫描方式。

系统采用波分的双向信道,这要求上下行信道的激光器、接收机和滤光器的波长必需分别匹配。当飞机在海面上空 5~10 km 的高度飞行时,以广播方式向下发射经扩束后的光束,在海面上可形成一个 $1 \times 10 \text{ km}^2$ 的矩形光斑,激光穿透海水,照射在一定深处水下接收装置的光学接收天线上,完成了下行信息传输。当水下目标收到信息后,立即对在行进中的飞机发送应答信号,以实现上行信号传输。这就要求上行通信扫描的速度和范围必须在飞机离开水下目标所在的区域之前完成,水下目标的位置相对固定,所以二维振镜扫描方案是在上行信道实现的,而下行信道的光束是由飞机的飞行完成的一维扫描。

水下接收装置上光学接收天线直径为 20 cm,通信时间可达 3 s(飞机飞行速度约为 300 m/s)。在矩形扫描时,如果每秒扫描相应空域一次,即光束在 1~2 s 内扫完 $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ 的面积,在此时间内,至少可以照射飞机上接收天线一次,飞机即可收到水下接收装置上的应答或通信信息。

对于圆形扫描,即当水下目标收到飞机发送的信息时,水下激光器的光束向其正上方的天空进行圆锥扫描,这样非常容易地就可以把发送信息的飞机圈在所形成的圆形内,当飞机穿出这个圆形时,光斑总要照射到飞机上而完成应答任务。

5 实验方法及数据

图 2 为双向通信实验测试框图,下行激光器 I 波长为 532 nm,经激光扩束后,通过水下信道传输,由光阵列探测器接收光信号,并启动上行激光器和扫描系统,上行激光器 II 波长为 527 nm,光束穿过 2 m 深的水池,信号返回空中接收装置,完成一次通信应答过程。在实验中还采用相应的滤光技术,以保证上下行信号的正常传输。

实验中采用两只步进电机构成扫描系统,由计算机完成对扫描方式、扫描角度和扫描速度的控制。根据光线反射原理,当入射光线与反射镜的转轴垂直

时,光束转动的光学角度 θ_0 始终为反射镜转动的机械角度 θ_m 的两倍^[3]。图 3 给出了它们之间的关系。

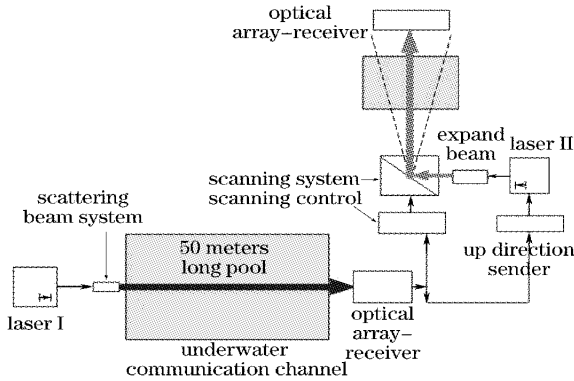


图 2 实验框图

Fig. 2 Experimental diagram

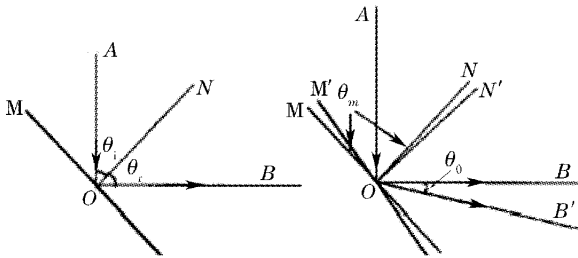


图 3 光扫描角度关系

Fig. 3 Relations of optical scanning angle

图中 M 为反射镜, ON 为其法线, 法线 ON 垂直于反射镜 M。光线入射角为 θ_i , 反射角为 θ_r , 根据光线反射原理, 入射角等于反射角。当反射镜 M 旋转一定的角度 θ_m , 到达 OM' 位置时, 其法线 ON 也旋转同样角度到达 ON' 位置。反射光线扫过角度为: $\theta_0 = \angle BOB'$, 因反射角等于入射角, 则 $\angle N'OB = \angle AON'$, 即 $\theta_i + \theta_m = \angle N'OB + \theta_0$ 。又因为 $\angle N'OB = \theta_r - \theta_m = \theta_i - \theta_m$, 所以 $\theta_0 = 2\theta_m$, 由此得到, 反射光线扫描角度始终是反射镜旋转角度的两倍。

激光扫描中在某一高度 h 的两种扫描方式的扫描面积与扫描角的关系可按下面公式计算:

矩形

$$S = 4 \tan(\alpha/2) \tan(\beta/2) h^2,$$

式中 α 为 x 轴偏转角, β 为 y 轴偏转角;

圆形

$$S = \pi \tan(\alpha/2) h^2,$$

式中 α 为扫描角。

本系统步进电机的步进量为 0.9° , 则光束扫描角为 $\alpha = 1.8^\circ$, 在矩形扫描中, 以最快速度完成最大面积扫描所花时间为 $1680 \text{ 点} \times 1 \text{ ms} = 1680 \text{ ms} = 1.68 \text{ s}$, 在圆形扫描中, 完成最大半径扫描所花时间为 $128 \text{ 点} \times 20 \text{ 圈} \times 1 \text{ ms} = 2560 \text{ ms} = 2.56 \text{ s}$, 这个时间完全能满足在 10 km 高空的飞机与在水下 100 m 深的水下目标通信时间的要求。

6 结 论

水下通信的光信道极其复杂, 激光经扩束后能量会减弱, 在系统中采用了光阵列探测技术, 扩大提高接收机的受光面积, 可改善光接收机的灵敏度。在激光扫描中, 当入射光线与反射镜的转轴不垂直时会引入非线性, 这是由光学扫描角度与机械扫描角度的关系而引起的^[4]。另外, 扫描振镜是以角度转动的, 而接收端是一个面, 实际上扫描得到的图形并非理想的, 这对于应用于加工领域时要加以改善, 而应用于通信领域要求就没那么高, 只要光信号能扫描到接收装置就能实现通信。实验证明, 这种通信方式和技术是可行的, 具有较好的应用前景。

参 考 文 献

- 1 Guang Lu, M. Tomizuka. A laser scanning radar based autonomous lateral vehicle following control scheme for automated highways [C]. *Proc. American Control Conference*, 2003, **1**: 30~35
- 2 Feng Jiyuan, Huang Jing, Liao Jihai *et al.*. Two-dimensional optomechanic and acousto-optic laser scanning system [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2002, **23**(5): 341~343
冯金垣, 黄 静, 廖继海等. 声光-光机二维激光扫描系统 [J]. *半导体光电*, 2002, **23**(5): 341~343
- 3 G. P. Anagnostopoulos, B. Wagner, P. G. Papageorgas *et al.*. The electronics of a control system for micromirrors in a laser-scanning device [C]. *Electronics, Circuits and Systems*, 2002, **3**: 1207~1210
- 4 Zhao Yi, Lu Bingheng. Pillow-shaped distortion correction algorithm of galvanometric scanning system [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(3): 216~218
赵 毅, 卢秉恒. 振镜扫描系统的枕形畸变校正算法 [J]. *中国激光*, 2003, **30**(3): 216~218