

脉冲半导体激光测距机的研制及应用

刘 锋

(天津航技术物理研究所, 天津 300192)

摘要: 脉冲半导体激光测距机具有结构简单、体积小、质量轻等特点, 在中、近程测距方面有明显优势。目前其作用距离可达 1 km, 精度可达几厘米。脉冲半导体激光测距技术的研究始于 20 世纪 60 年代, 80 年代中期陆续解决了其中的关键技术问题, 研制出各种不同用途的样机, 90 年代中期技术日臻完善, 新产品不断出现。预计近期将是其应用产品大发展的阶段, 应用领域非常广泛。文中介绍了国内外研制及应用情况, 并列举了几项典型应用。

关键词: 脉冲; 半导体; 激光测距机

中图分类号: TN24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2003)02-0118-05

Development and application of the pulsed LD rangefinder

LIU Feng

(Tianjin Jinhang Institute of Technical Physics, Tianjin 300192, China)

Abstract: The pulsed LD rangefinder has many characteristics, such as simple construction, small size, light weight and so on. It has some advantages in applications of short and middle range measurement. At present, the maximum measurement range is about 1 km, and the minimum resolution is about several centimeters. The research on pulsed LD rangefinder started in 1960's and in the middle of 1980's a series of key techniques had been solved. In the middle of 1990's some kinds of product had been developed. It can be expected that in near future the number of the product will increase rapidly in very wide areas. In this paper, the development and application of pulsed LD rangefinder around the world are presented, and several typical applications are demonstrated.

Key words: Pulse; LD; Laser rangefinder

1 引言

半导体激光器具有全固态、体积小、质量轻、寿命长、效率高、可靠性高、可调制、可稳定低压运转等特

点。输出波长范围在 $0.325 \sim 34 \mu\text{m}$ 内, 波长为 $850 \sim 905 \text{ nm}$ 的近红外激光正好与硅光电探测器峰值响应相匹配。其脉冲重复频率可达几千赫甚至几兆赫, 输出激光脉冲宽度可达纳秒级, 波束角经光学系统可压缩到几个毫弧度, 可以精确照射到目标点, 是优良

收稿日期: 2002-08-12; 修订日期: 2002-10-08

作者简介: 刘锋(1964-), 男, 内蒙古集宁市人, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向为激光引信、激光测距、激光雷达与制导系统。

的中、近程激光测距光源。

脉冲半导体激光测距机具有结构简单、体积小、质量轻、效率高、功耗低、可靠性高、价格低廉等特点。与其他测距方式相比,其测距精度要高得多,目前单脉冲的测距精度已达几厘米,对慢动或静止目标多次平均后,测距精度可提高到毫米量级。随着数百瓦甚至上千瓦高功率半导体阵列激光器及光束光学整形压缩技术水平的提高,作用距离可达1 km。加上二维光学扫描机构后,可以对大视场范围进行扫描测距,实现对目标的三维测量。近些年来,随着激光器件、光学器件、微处理器及大规模可编程逻辑器件技术的发展,脉冲激光测距技术日趋成熟,在中、近程测距方面性能更加优越,可广泛应用于工业、农业、建筑、军事等领域。

2 国内外研制情况

脉冲半导体激光测距机的研究起始于20世纪60年代末,到80年代中期陆续解决了激光器件、光学系统及信号处理电路中的关键技术,80年代后期转入应用研究阶段,并研制出了各种不同用途的样机,90年代中期,各种成熟的产品不断出现,预计近期将是其应用产品大发展的阶段,在中、近程激光测距应用方面有取代YAG激光的趋势。

国外有许多大学、研究机构和公司也开展了这方面的研究工作。研究最早的是芬兰奥鲁大学电器工程系和芬兰技术研究中心,从20世纪70年代初至今持续了近30年,研究内容从各分系统到整机及其应用,并且与美国、俄罗斯几家著名公司联合开展了应用研究,其产品涉及工业、航天、海洋及机器人视觉等多方面。美国有多家著名公司开展了这方面的研究, Schwartz Electro-Optics 公司为美国国家数据中心研制了激光海浪测量装置,用于无人看守的海浪测量站;为美国联邦政府高速公路管理局研制了激光自动传感系统,用于车辆速度和高度的测量,从而提高了交通效率;还为军方研制了直升机激光防撞告警装置。EXXON公司研制了脉冲半导体激光角度距离测量系统,用于海上石油勘测,并已有8家用户。1992年美国亚特兰大激光公司为警方专门设计的手持式人眼安全激光二极管测距机,用于对车辆的测距和测速,激光重复频率400 Hz,探测角4 mrad。近期

又有几家美国公司开展这方面研究的报道,1996年下半年,美国 Bushnell 公司推出了测距能力400 m的400型LD激光测距机 Yaddaga400,1997年被评为世界100项重要科技成果之一,同年又推出了测距能力800 m的800型激光测距机。1998年美国 Tasco 公司研制出测距能力800 m的摄像机型 Laser Site LD激光测距机。美国 Leica 公司展出了实用的小型LD测距机,测量距离0.2~30 m。1995年以来,国际上对人眼安全的半导体激光测距技术发展十分迅速,已开展了波长在800~900 nm范围内、峰值功率为10 W、脉冲宽度20~50 ns、重复频率1~10 kHz、测量距离10 m~1 km无合作目标的激光测距机研究。

国内样机的研究始于20世纪80年代,是在原固体、气体激光测距机基础上发展起来的。目前,基础技术已具备,主要是解决工程应用问题,开发各种应用产品。航天科工集团八三五八所研制出测程200 m,精度0.5 m,数据率100 Hz的激光测距机。中科院上海光机所研制出便携式激光测距机,对漫反射水泥墙的测距达100 m,采用300 MHz计数方式,测距精度0.5 m,重复频率1 kHz。中国计量学院信息工程系光电子所与国外合作开发了低价、便携式半导体激光测距机,作用测距1 km,精度 $< \pm 1$ m,采用4 M晶振,线性时间放大技术。常州莱赛公司研制了作用距离200 m、测距精度0.5 m的半导体激光测距机。

3 技术发展情况

脉冲半导体激光测距技术研究的目标是增大作用距离,提高测距精度,并在解决二维光学扫描的基础上,实现对目标的三维测量。经过近30年发展,其中几项关键技术有了很大的进展。

(1) 半导体激光器技术

半导体激光器是在 He-Ne 激光器和红宝石激光器问世两年后于1962年出现的,其波长覆盖范围很宽,从0.325~34 μm 。在激光测距机中,波长0.9 μm 的 GaAs 激光器是半导体激光器中最成熟、应用领域最广的一类器件。

30年来,半导体激光器的研究工作主要是针对提高输出功率、降低阈值电流、扩展工作温度、提高光电效率来进行的。随着基础理论研究、晶体生长技

术、半导体器件制备工艺技术的发展,半导体激光器从同质结、单异质结发展到双异质结、量子阱器件。20 世纪 70 年代以来半导体激光器在多层结构的基础上出现条形结构,使室温阈值电流密度进一步下降,80 年代 100 W 量子阱脉冲激光器,其阈值电流已小于 1 A。目前国内半导体脉冲激光器产品的脉冲峰值功率稳定在 150 W 左右,且已有上千瓦的器件。国外已有千瓦级以上的产品,管芯效率达 70%,温度特性由单异质结的 70% 变化率提高到 10% 左右,阈值电流由单异质结 10 A 降低到 1 A(100 W 器件),这样的激光器可满足中、近距离脉冲激光测距机的要求。

(2) 激光发、收窄脉冲处理技术

脉冲激光测距的基本过程是通过测量接收激光脉冲相对发射脉冲之间的延时,计算在该时间内激光传播的距离。为准确地产生发射及接收激光脉冲基准,要求激光发射脉冲尽可能窄。受激光器及调制器件阻容参数的限制,目前激光脉冲宽度可做到 10~20 ns。

激光发射和接收脉冲呈钟形,波形通过比较器形成基准信号,随着电脉冲幅度的变化,基准信号前沿位置会发生微小变化,尤其是当接收信号幅度变化较大时,基准信号变化更大,造成测距误差大。为提高测距精度,必须在电路上采取措施,以减少幅度变化对时间基准的影响。目前主要有两种方法:1) 半极大法,它将原电信号延时脉冲宽度的一半,与原信号相加,之后送入比较器。2) 幅度校正法,即利用同时采集到的脉冲幅度值对距离进行修正。采用这些方法,脉冲前沿处理精度可做到 1 ns 以下,测距精度为几厘米。

(3) 精密时间测量电路

它是激光测距机的主要组成部分,也是精密时间测量仪器设备的核心。国外许多科研机构、公司和大学也开展了这方面的研究。通过大量实验研究,开发出很多实用电路,可广泛用于不同测量范围、不同精度、不同体积、质量和价格要求的军、民用激光测距机,同时也可用于其他精密时间测量装置。

时间测量电路的实现形式可分为三类:第一类是数字式测量电路,采用晶振产生振荡时钟,由 ECL、TTL 或 EPLD 电路组成的计数电路在测量时间范围内对时钟计数,实现时间测量,也可以采用级联精密

延时电路实现。这类电路工作稳定,测量范围宽,但精度较差。第二类是模拟式测量电路,典型电路有两种:一种是将时间转化成电压,简称 TAC 电路,然后通过模数转换实现时间测量。另一种是将时间线性放大 K 倍后,再经计数式测量电路实现时间测量,从而使用相同的晶振频率,测量精度提高 K 倍。这类电路测量精度高、稳定性较好,但线性范围小,测量范围窄,适用于近距离测距。第三类是模数混和测量电路,典型方法是模拟内插法。它首先采用计数电路对时间进行计数,完成粗测量,再将计数时间误差线性放大 K 倍后以同样频率计数,完成精测量。这种电路综合了数字测量电路测量范围宽和模拟测量电路测量精度高的特点,是比较理想的测量电路,但实现难度较大。

目前,精密时间测量电路的测量精度可达几百甚至几十匹秒。

4 几种典型应用

4.1 船舶和海洋应用

(1) 1984 年,美国 EXXON 公司研制了一种脉冲半导体激光角度距离测量系统,到 1993 年,已有 8 家公司将其应用于离岸海洋石油勘探,其中有墨西哥海湾和新加坡北部海域。该系统采用 30° (垂直) \times 0.5 mrad(水平)扇形激光束,装置安装在船尾。激光束在水平方向进行扫描,扫描范围达 180° 。船后拖着的浮标装有后向反射镜,它将激光束反射到接收机探测器上,实现距离测量。每扫到一个浮标即测出一个距离值,每个浮标的角位置是由轴角编码器确定的。系统测距范围 25~900 m,测距精度 ± 0.5 m,角位置精度 0.02° 。

(2) 20 世纪 90 年代初,美国 Schwartz Electro-Optics 公司研制了一种激光海浪测量装置,提供给美国国家数据中心。将该装置置于远海,在无人看管的情况下,实现对海浪高度和周期的连续测量。这些数据对天气预报机构非常有用,海浪数据还可用于离岸石油平台定位、结构设计。该装置经改进由 Shell Oil 公司安装在墨西哥海湾的石油平台上。装置发射和接收光路采用并行结构,激光束垂直向下照向海面,激光波束角 20 mrad,在 6~50 m 的距离范围内照在海面上的光斑直径为 12~100 cm。为适应船上环

境,全套装置放在一个密封的盒体中,收发窗口使用时要加热,以防结雾和防冻。

4.2 交通管制方面

(1) 汽车速度和高度测量

从20世纪80年代开始,SEO公司为美国联邦政府高速公路管理局研制了一套激光自动传感系统。该系统能探测到运动或静止目标,并适于智能化高速公路的车辆速度和高度的测量。该装置采用脉冲半导体激光测距技术,激光束由上向下照向地面并测距,如发现距离读数减少,表明有车辆。车速测量是通过两束激光返回的时间间隔计算测得的,微处理器可以确定车辆的存在、车速和车辆的种类。初期测试工作是在美国佛罗里达州的奥兰多完成的,测试表明有99.4%的车辆(包括:小轿车、卡车、公共汽车和摩托车)在通过传感器下方时被探测到,在车速为50 m/h时,测速误差为 ± 1 m/h。

(2) 廉价手持式车辆测速用激光测距装置

美国亚特兰大激光公司于20世纪80年代开始研制警用半导体激光测速装置,用于对车辆的测距和测速,克服了以前微波多普勒测速雷达和超声波探测器的一些缺点,比如发射波束角太宽,很难定位指定目标,测速数据有时出错。经过8年研制,截止到1992年,已生产警用“ProLaser”和非警用“Atlas1000”产品。目前已有许多美国执法部门购买了这种装置。

该装置可以精确测定接近或远离车辆的距离和速度,其测距范围可达960 m,精度为0.76 m,测距速率381次/s,测速精度 ± 1.6 km/h,测速速率3次/s。该装置采用收发同轴光学系统,孔径75 mm;采用GaAs激光器,发射频率381 Hz,脉冲宽度20 ns,峰值功率60 W,接收视场4 mrad;采用30 nm窄带滤波片和雪崩光电探测器;测距电路采用8倍线性展宽电路,晶振为25 MHz,其最终测距误差相当于200 MHz晶振计数方式的误差。测距数据经16位单片机80196进行运算,提供速度数据。

4.3 工业应用

(1) 炼钢炉内表面轮廓测量

炼钢炉是大型钢容器,直径大约6 m,内部砌阻热砖,砖厚在50~100 cm范围。在炼钢过程中,砖被磨损,一般50天左右要更换。为节约经费,要尽可能延长使用时间,同时要防止温度过高而烧坏钢容器。

激光测距装置可用来监视磨损过程,选择最佳时间更换隔热砖。要求测量时间尽可能短,最好小于10 min,以防降温太多。测量时砖温大约1 100~1 400 $^{\circ}$ C,从而会使接收机背景噪声增大,要采取滤噪措施。

与奥鲁大学及Noptel Ltd.联合开发的LR-2000,制造商是Rautaruukki New Technology Ltd.。该装置由激光光学头、测距电路及PC机组成,彼此用光纤联接。光学头由步进电机控制,可进行快速扫描,测量过程按预设程序自动完成。测距范围10~15 m,精度是 ± 1 cm,每测一个点大约需要0.5 s。系统质量100 kg(包括热防护层)。

(2) 船舶制造过程的精确控制

这种装置主要用于造船厂对船体某个装配阶段水平度的连续精确测量,可以减少不必要的安装和返工,减少生产周期和成本。该装置由Prometrics Ltd.生产,由三个部分组成:装在三角支架上的光学测量头、测距电路及手持显示装置。光学测量头包括在所测距范围内可自动调焦的同轴光学系统和轴角编码器,可用于三维测量。用手动方式通过装在上方的He-Ne红光指示器把光学测量头对准待测点,电路部分的计算机可以精确地确定所测物体的形状,把它与设计尺寸相比较,以此为依据调整船体位置。对均匀漫反射目标,其测量距离大约30 m,在1 s的测量时间内,距离分辨率可达1 mm。

4.4 军事应用

(1) 直升飞机防撞告警装置

直升飞机失事主要是因螺旋桨在盘旋或着陆时撞击物体。20世纪80年代开始,美国SEO公司开发了一种障碍物接近传感器,该传感器可以在106.7 m距离内为飞行员提供声音和视觉告警,同时为接近直升飞机危险区的人们提供声音告警。告警装置使用一个旋转镜,使激光束在360 $^{\circ}$ 水平面内扫描,完成全方位测距。每旋转一周可连续提供障碍物4 096个距离和角度值,每秒两周。一台微机将数据输出显示在视频显示器上,实验装置已能探测到106.7 m以外低反射率(10%)的目标,甚至探测到了22.9 m外的1 cm直径的铝质电缆。

采用半导体激光扫描装置可防止直升机夜间飞行时与沙丘碰撞,研制这种装置的有美国的Laser Technology公司、Laser Atlanta公司,此外美国的休

斯公司、Schwartz 公司、Sparta 公司、洛雷尔公司及法国的汤姆逊公司等 20 世纪 80 年代末到 90 年代初还分别研制出扫描测距装置,用于飞机战场侦察、低空飞行器下视和防撞以及主动激光制导。

5 结束语

在国外脉冲半导体激光测距技术已进入应用阶段,有几种产品已投放市场。文中列举了几种典型应用,希望对同行及各行业有所启发。

参考文献:

[1] 崔国琪. 低成本武器制导用的二极管激光雷达[J]. 红外与激光技术, 1994, 23(1): 48-54.

- [2] 沈丽青,周复正,竺庆春,等. 人眼安全的半导体激光测距仪[J]. 激光与光电子学进展, 1996, (3): 28-32.
- [3] 张在宜,余向东,陈庆根,等. 小型低价 LD 激光测距仪[J]. 激光与红外, 1999, 29(1): 21-23.
- [4] Koskinen M, Typpö J, Kostamovaara J. A fast time-to-amplitude converter for pulsed time-of-flight laser rangefinding[A]. SPIE Laser Radar V[C]. 1992, 1633. 128-136.
- [5] Juha Kostamovaara, Risto Myllylä. Time-to-digital converter with an analog interpolation circuit[J]. Rev Sci Instrum, 1986, 57(11): 2880-2885.
- [6] Samuels M, Patterson S, Eppstein J, et al. Low cost, handheld lidar system for automotive speed detection and law enforcement [A]. SPIE Laser Radar V[C]. 1992, 1633. 147-159.
- [7] Juha Kostamovaara, Kari Määttä, Risto Myllylä. Pulsed time-of-flight laser range-finding techniques for industrial applications [A]. SPIE Optics, Illumination, and Image Sensing for Machine Vision V[C]. 1991, 1614. 283-295.

《红外与激光工程》英文文摘编写要求(根据 EI 文摘检索要求)

本刊已向国外发行,并已被美国剑桥科学文摘网站(CSA)收录,现正准备进入美国《工程索引》(EI),请投稿作者严格按照要求编写英文文摘。

英文文摘长为 100~200 Words,不得少于 100 Words。文摘主要内容基本与中文文摘对应,英文文摘中应避免或减少背景情况叙述,只表示新情况,新内容。未来计划一般不纳入文摘。具体写文体应注意:

1. 文摘的第一句话切不可与题目(Title)重复;英文题目开头第一个字不得用 The, An, A。
2. 叙述简明,逻辑性强;句子结构严谨,尽量用短句子,避免复合句。
3. 技术术语尽量用工程领域的通用标准。
4. 用过去时态叙述作者工作,用现在时态叙述作者结论。
5. 文摘叙述用第三人称(用被动语态),不得用第一人称作主语。
6. 用事实开头,避免用辅助从句开头;句子的动词尽量靠近主语。
7. 单词拼写采用标准英美拼法,全篇须保持一致。

8. 可用动词的情况尽量避免用动词的名词形式,如用 Thickness of plastic sheets was measured,不用 Measurement of thickness of plastic sheet was made。

9. 删繁从简,尽量简化措辞。用 at 250°C,不用 at a temperature of 250°C; 用 increased 代替 has been found to increase。

例文如下:

Abstract: In an extensive observer experiment, identification and classification performance with a CCD camera system was measured for ship targets. The experiment was specifically designed for target acquisition (TA) model validation and improvement. The observer data were used to validate several basic assumptions in the TA model ACQUIRE and to test whether the recently developed triangle orientation discrimination (TOD) system performance. The results of the study are (1) The TOD curve predicts the effect of target contrast very well, (5) in 95% of the conditions, the ratio between predicted and measured range falls between 0.5 and 2.0 when the MRC is used.