

文章编号:1673-1255(2005)03-0019-03

脉冲激光测距接收技术的研究

赵大龙, 秦来贵, 霍玉晶

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘 要:从脉冲激光测距的光电探测器入手, 构建模型理论分析了漂移误差产生的原因, 进一步给出了 PIN 管的光响应时间及其抖动大小与光照强度的近似函数关系. 为稳定高效的探测反射激光脉冲信号和提高环境抗干扰能力, 提出具有自动增益控制的自触发脉冲激光测距方案, 不但减小脉冲信号上升沿引起的测距误差, 而且也减小由于信号幅度变化带来的漂移误差影响.

关键词 接收技术; 自动增益控制; 脉冲激光测距中图分类号: TN312⁺.5; TN215

文献标识码: A

Study on Pulse Receiver Technology in Pulsed Laser Rang Finding

ZHAO Da-long, Qin Lai-gui, HUO Yu-jing

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Based on the analysis of photodiode in pulsed laser rangfinding, a theory model is setup to describe the reason of drift error, and the approximate relation functions between the photodiode response time, its distortion and the laser pulse power projected on the detector are further obtained respectively. The corresponding self-triggering pulsed laser rangfinding with automatic gain control is proposed, which can not only reduce the measurement tolerance caused by signal rising edge but also reduce the drift error brought by the variable signal amplitude.

Key words: receiver technology; automatic gain control; pulsed laser rangfinding

在脉冲激光测距系统中, 由于激光脉冲在空中传输过程中的衰减和畸变, 导致接收到的光脉冲与发射脉冲在幅度和形状上都有很大不同, 给正确确定脉冲达到时刻带来困难, 由此引起的测量误差被称之为漂移误差^[1]. 本文以 Si PIN 光电二极管作为光电探测器件, 理论上分析了漂移误差的产生机理. 同时提出一种自动增益控制方案, 将光电接收器输出信号的脉冲幅度控制在特定值, 减少了漂移误差的影响, 系统测距精度达到亚毫米精度, 周期稳定度为皮秒量级.

1 理论分析

PIN 光电二极管是利用光生伏特效应进行探测的, 这是一种少数载流子过程. 无光照时,

PN 结处于扩散作用和漂移作用的动态平衡中. 有光照时, 光生载流子的产生打破原有的动态平衡, 随着光生载流子和耗尽层电荷的相互作用, 逐渐再次建立新的动态平衡. 这种状态下的平衡与无光照的情况形成机理不同, 因而其光电参数也是不同^[2].

以 P 区的少数载流子—电子为例 (N 区可以作同样处理). 无光照情况下, 结电容的宽度为 χ_{D0} . 当光照射到 PN 结时, P 区少数载流子 (电子) 在内建电场的作用下向 N 区运动. 部分少数载流子 (电子) 在到达 N 区时与其不可移动的带正电的电离施主作用, 减少了耗尽层的电荷总量, 导致耗尽层的宽度减小为 χ_D . 对于光伏型探测器, 其响应时间 τ_p 大小由外部电路决定 $\tau_p =$

收稿日期: 2005-03-28

作者简介: 赵大龙 (1979-), 男, 研究生在读, 研究方向为光电子技术.

$R_L C$, 进一步得:

$$\tau_p = 3R_L \frac{A\epsilon_r\epsilon_0}{\chi_{D0} - KP} \quad (1)$$

式中, P 是照射光功率; kP 表示由光照导致的结电容宽度减少量; k 是由材料本身性质所决定的比例系数; 定义因子 $\alpha = \frac{kP}{\chi_{D0}}$ 来表示光照对耗尽层宽度的影响大小; A 为 PN 结面积。

当光照引起的结电容宽度的减少量 kP 远小于无光照时的结电容宽度 χ_{D0} 时, 即 $kP \ll \chi_{D0}$, $\alpha \rightarrow 0$:

$$\tau_p \approx \tau_{p0} + KP \quad (2)$$

式中, $\tau_{p0} = 3R_L \frac{A\epsilon_r\epsilon_0}{\chi_{D0}}$, 定义为无光照(光照

趋于零)时的响应时间; $K = \frac{K\tau_{p0}}{\chi_{D0}}$, 为单位光功率敏感度, 即 PN 结接收单位光功率引起结宽度的减小量与 χ_{D0} 的比值, 它的大小由材料本身的固有性质所决定。

$kP \rightarrow \chi_{D0}$, 即 $\alpha \rightarrow 1$ 时, 由式(1)可得:

$$\tau_p = \tau_{p0} \frac{1}{\Delta} \quad (3)$$

式中, $\Delta = 1 - \alpha \rightarrow 0$, 可以看出响应时间 τ_p 以双曲线趋于无穷。

对式(1)以 P 为变量进行微分, 可得:

$$\Delta\tau_p = R_L k \frac{A\epsilon_r\epsilon_0}{(\chi_{D0} - kP)^2} \Delta P \quad (4)$$

式中, $\Delta\tau_p$ 为光照条件下响应时间的抖动量。

在 $kP \ll \chi_{D0}$, 即 $\alpha \rightarrow 0$ 时, 式(4)可以写成

$$\Delta\tau_p \approx \frac{kP}{\chi_{D0}} \Delta\tau_{p0} \quad (5)$$

可以认为光照功率的抖动 ΔP 与光功率 P 的大小成正比, 定义 $\gamma = \Delta P / P$, 对于确定的测距系统而言, 认为 γ 是一常数。其中 $\Delta\tau_{p0} = \gamma\tau_{p0}$, 为单位时间抖动, 同样是材料自身所决定的性质。

当 $\alpha \rightarrow 1$ 时, 式(4)可以简化为:

$$\Delta\tau_p = \Delta\tau_{p0} \frac{1}{\delta^2} \quad (6)$$

$\delta = 1/\alpha - 1 \rightarrow 0$, 即光照功率很强时, 时间抖动将以 $\frac{1}{\delta^2}$ 趋势快速增长。

式(2)、式(5)构成了光电二极管在弱光照射下, PIN 管响应时间及其抖动的表达式, 它们都

和光功率成线性关系。而式(3)、(6)则是在强光照射下, PIN 管响应时间及其抖动的表达式。

2 系统工作原理

自触发脉冲激光测距方法的激光测距脉冲是通过自触发产生: 发射单元向被测目标发射一束激光, 经过 ΔT (光从发射单元到目标, 再返回到接收单元的传输时间) 后, 被接收单元的光电二极管接收, 经过响应时间 τ_p 后发出电触发信号; 再经过电路延时 τ , 该信号触发激光器, 使其停止发射激光。再经过 ΔT 后, 光电二极管从有激光接收状态转变为无激光接收状态; 而后经过同样的延时, 其发出电信号触发激光器, 使之再次发射激光。上述过程构成了自触发脉冲飞行时间激光测距的一个完整周期^[3]。

系统的原理框图如图 1 所示, 它包括测距信号产生电路部分和信号处理单元。测距信号产生电路部分包括光源 LD 及其温控驱动电路、脉冲调制、自触发电路、脉冲信号的時刻鉴别电路、光探测器件 PIN 管和自动增益控制单元。其中自动增益控制单元由四部分组成: 放大电路、信号检测、主信号通道、控制模块和输出检测。信号处理单元主要完成测距信号的周期测量和对测得的周期进行数据处理获得距离值。

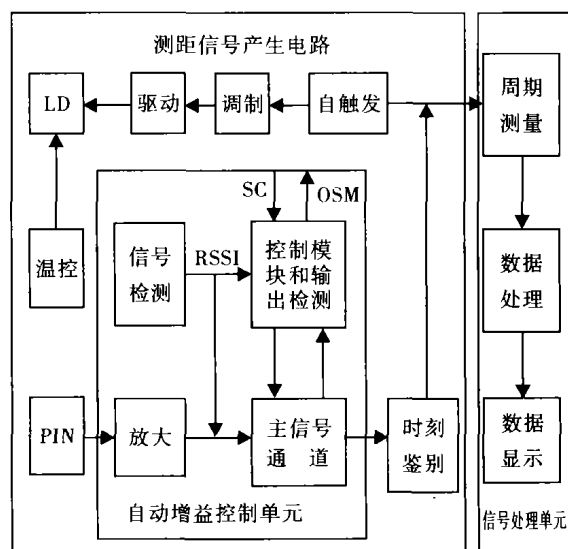


图1 自动增益控制的自触发脉冲测距系统原理图

主信号通道包括多个具有电流模式输出电平的不同增益放大器和偏移消除环路。信号自身存在的脉冲周期抖动和由传输阻抗产生的脉冲

周期抖动都表现为输入端的偏移.其中偏移消除环路可以部分地减少这些附加偏移.这部分性能决定着信号通道的带宽^[4].

信号检测电路产生的 RSSI 信号输入到控制模块和输出检测电路中(图 1).这部分具有 3.4 GHz 的小信号带宽.其中控制模块决定主信号通道的增益,通过对引脚 SC 设置相应的高/低电平,对于从 0~2 V 变化的输入信号可以使其输出电平稳定在 400 mV/920 mV 两个档位.另一方面考虑到将来把激光器的驱动电源进一步整合到自动增益控制回路里,通过调节激光器工作电流而改变激光器发射的光功率,将可以获得额外的调节能力.因此输出检测模块也提供了与输出信号幅度成线性关系的直流电压信号输出(引脚 OSM),该信号可以做为相应的接口.

3 实验结果

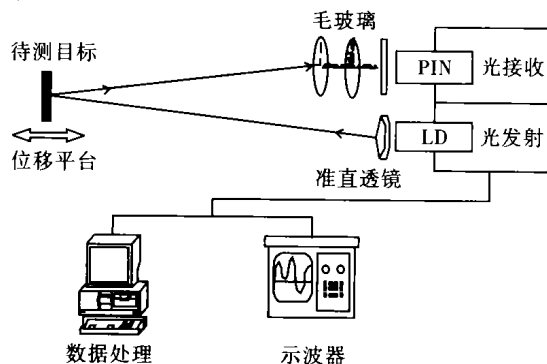


图2 具有自动增益控制的自触发脉冲激光测距实验装置及示意图

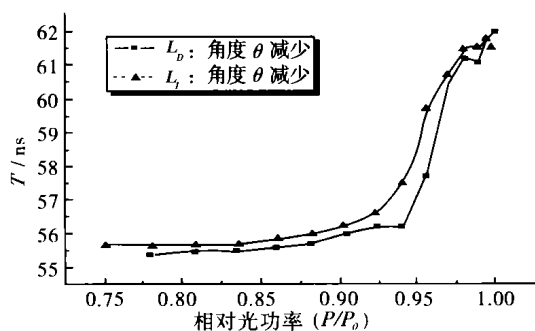
测距系统实验装置如图2所示,主要包括三个部分:①以测距信号产生电路为主的核心功能模块,包括激光器(LD)和光探测器 PIN 管在内的光发射和接收线路板,自动增益控制的核心功

能在这部分得到体现.②测距辅助器件,主要有发射准直透镜,该透镜准直光束发散角至 1 mrad;由 5 维调节架和位移平台构成的被测目标.③测量仪器,观察并输出波形的 Agilent 54622A 示波器,用于接收并处理数据的计算机.其中,在被测目标与 PIN 管接收会聚透镜之间的返回光路上垂直放置一对平行偏振片,反射光从它们的轴心透过.固定其中一片的偏振方向,通过改变另一片的偏振方向角 θ 来调节 PIN 管接收光功率 P ,模拟实际测距过程中反射光脉冲强度的变化过程. $\theta=0$ 时,两偏振片偏振方向相同, $P=P_0$;朝一个方向转动偏振片至 θ ,则 $P=P_0\cos^2\theta$.

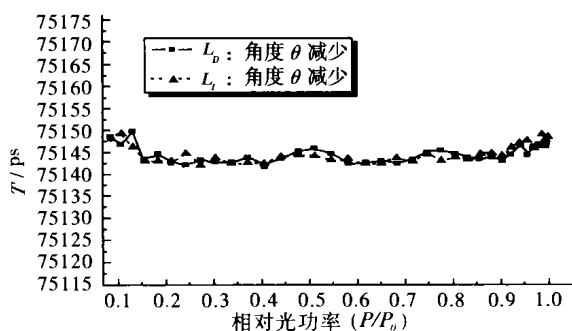
实验开始,朝接收光强减弱的方向调节 θ 至无测距信号产生的位置,再朝接收光强增加(θ 的减小)的方向调节 θ 至测距信号出现,记录 θ 值作为测量起始点;继续减小 θ ,光强逐渐变强,以 2 度为步长逐个记录测距信号周期值;调至 $\theta=0$ 时,光强最强.上述实验数据由 L_D 表示.朝同一方向继续调节偏振片,得到数据 L_I .每次测量周期的同时,进行周期稳定性的测量.

从图3和图4可以看出,具有自动增益控制的自触发脉冲测距系统显著地减小了漂移误差的影响,为进一步提高测距精度提供良好的基础.

脉冲激光测距精度,主要受电路延时抖动,脉冲上升沿,触发阈值电平的大小,信号幅度,光电探测器延时抖动,大气等多个因素影响.空气的折射率变化导致对于相同的空间距离,光程差发生变化,从而产生距离误差.测距实验中,恒温室内温度低于 22℃,大气导致的测距误差为固



(a) 基本系统



(b) 具有自动增益控制的系统

图3 测距信号周期与接收光功率

(下转第 40 页)

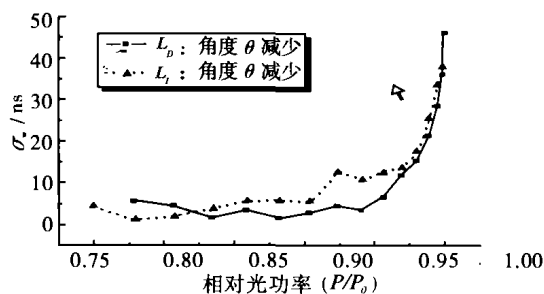
着激光武器向多波段、可调谐的方向发展,而现有的激光吸收材料工作波段固定,且对气候有一定的依赖性,外形隐身设计也存在局限,再加上反隐身探测器的同步发展,又给激光隐身技术带来了严峻的挑战.探索新技术、新方法,积极开展新的隐身机理和新型多功能隐身材料的研究,特别是新型涂敷型多功能、多频谱兼容的隐身材料是新的研究热点和难点.

参 考 文 献

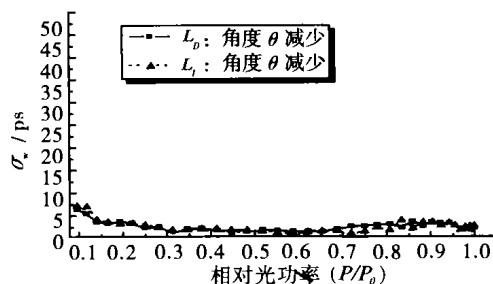
- 1 孙晓泉,吕越广.激光对抗原理与技术[M].北京:解放军出版社,2000

- 2 胡传析.隐身涂层技术[M].北京:化学工业出版社,2004
- 3 朱长纯,邓宁.碳纳米管薄膜对电磁波吸收特性的研究[J].西安交通大学学报,2000,34(12)
- 4 Defuans. Jean-Louis, "Objective lens", U. S. Patent, 4, 525, 039
- 5 王自荣,于大斌.激光与红外复合隐身涂料初步研究[J].激光与红外,2001,31(5)
- 6 王自荣,孙晓泉.毫米波与激光复合隐身涂料研究[J].表面技术,2004,33(2)
- 7 T. G. Roberts, T. E. Honeycutt, CO₂ Laser Weapon Countermeasure[P]. U.S. Patent, 4, 673, 250, 1987
- 8 时杰.国外科技动态[J].2000, (2):30

(上接第21页)



(a)基本系统



(b)具有自动增益控制的系统

图4 测距信号周期抖动与接收光功率

定值.电路的抖动是瞬时的,周期的抖动由两部分组成,一是线路固有抖动,在若干皮秒量级;二是PIN管光电响应时间的抖动,这部分与光强有关.接收信号小功率时,后者也是在若干皮秒量级,与线路固有抖动相当;功率增加时,后者就占主要地位.自触发脉冲激光测距的优势在于周期测量,可以获得准确度非常高的周期值.特点是采取了平均方法,测得的周期值是一段时间内的平均值,这样就消除了电路瞬时抖动等影响,随机误差得到平均消除.所以,测距信号周期抖动量的变化,即脉冲激光测距精度,主要受接收光信号强度变化影响.而通过自动增益控制单元对信号进行的处理,输出脉冲信号的幅度稳定在预设值,减小了脉冲上升沿、触发阈值电平的大小和信号幅度带来的测距误差(图3和图4).

4 结 束 语

对脉冲激光测距实验中出现的漂移误差进

行研究,给出其产生机理的理论分析:PIN管中光生载流子和耗尽层电荷的相互作用导致了耗尽层宽度的改变,从而影响PIN管的响应时间,导致漂移误差的产生.并提出一种具有自动增益控制的自触发测距方案,光电接收器的输出信号稳定在预设值,不但减小脉冲信号上升沿引起的测距误差,而且也减小由于信号幅度变化带来的漂移误差影响.

参 考 文 献

- 1 CHEN Qian-song, YANG Cheng-wei, PAN Zhi-wen et al. A brief introduction on the development of Laser time-of-flight distance measurement technology [J]. Laser & Infrared, 2002, 32(1):7-10
- 2 Nishizawa J. Optical Electronics [M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 1983. 208-209
- 3 陈千颂,赵大龙.自触发脉冲飞行时间激光测距技术研究[J].中国激光,2004,31(6):745-748
- 4 Maxim. Engineering Journal[J]. 52: 3-7