

文章编号: 1001-3806(2004)05-0521-03

汽车自适应巡航装置中的红外激光测距

谢兴盛¹, 方勇文¹, 吴云峰¹, 叶玉堂¹, 陈昌彬², 李长成², 王兵学²

(1. 电子科技大学 光电信息学院, 成都 610054; 2. 重庆 1541 信箱, 重庆 400700)

摘要: 红外激光测距给汽车自适应巡航装置中的单片机提供主车和目标车辆之间的距离数据。测距精度和激光波长的选择将直接影响装置工作的可靠性。在讨论影响测距误差的各种因素后, 提出采用数字插入时间间隔测量法来提高测距精度。介绍了激光器驱动电路和探测器放大电路。结果表明, 该方法可大大减小由于计数盲区带来的测距误差。在分析大气吸收、典型目标对不同波长的反射率、系统成本以及人眼安全等多种因素后, 确定 1.6 μm 左右波长的半导体激光器是红外激光测距的最佳选择。

关键词: 红外; 红外激光测距; 测距精度; 汽车自适应巡航装置

中图分类号: P225.2 **文献标识码:** A

Infrared laser ranging in auto adaptive cruise control system

XIE Xing-sheng¹, FANG Yong-wen¹, WU Yun-feng¹, YE Yu-tang¹,
CHEN Chang-bin², LI Chang-cheng², WANG Bing-xue

(1. School of Optic-Electronic, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China; 2. P. O. Box 1541, Chongqing 400700, China)

Abstract: In the designed auto adaptive cruise control system, infrared laser ranging measures the distance between the main and the objective vehicles. The wavelength of the laser and the precision of the distance are very important to the reliability of the system. The factors affecting the accuracy of laser ranging are analyzed. Then the digital interpolating time counting method has been proposed to produce the high precision of distance measuring. Considering factors such as attenuation, reflectivity, system cost and eye safety, a 1.6 μm infrared laser wavelength is suggested as optimum. And the laser driving circuits and the detect-amplifying circuits are introduced.

Key words: infrared; infrared laser ranging; precision of distance measuring; auto adaptive cruise control system

引 言

汽车自适应巡航装置可以对前方路面情况进行持续监视, 在有险情发生前, 及时发出报警信号, 让司机有足够的时间采取措施避免汽车碰撞事故。目前, 随着各项技术的进步和对汽车行驶安全性要求的日益提高, 世界各国对汽车自适应巡航装置进行了广泛的研究^[1~3], 已有一些产品进入市场。但由于成本原因, 汽车自适应巡航装置一般只限于装备豪华轿车。

红外激光探测和测距 (LIDAR) 具有低成本的

优势, 因此, 采用 LIDAR 技术的汽车自适应巡航装置适合在汽车中大规模应用。作者开展了该装置的研究。其基本工作原理是: 首先利用红外激光测距实时测得主车和目标车辆之间的距离, 然后装置中的单片机系统根据测得的距离值计算出主车和目标车辆之间的相对速度等参数, 进而判断是否应报警以及报警等级等。因此, 在出现险情时, 司机可根据报警信号作出反应, 以避免碰撞事故的发生。

由上述工作原理可以看出, 红外激光测距是装置中的关键部件, 测距的精度直接影响装置能否正常工作。本文中首先介绍红外激光测距的原理以及采用一般数字法测量激光脉冲在待测距离上的飞行时间所带来的测距误差, 然后提出采用延时线插入的数字插入时间间隔测量法来提高测距精度。还讨论了选择激光波长所需考虑的因素, 最后给出了半导体激光器驱动电路和探测器放大电路的实例。

基金项目: 四川省科技厅资助项目 (02ZX028-046)

作者简介: 谢兴盛 (1945-), 男, 教授, 研究方向为汽车自适应巡航装置、单片 OEICs 的激光微细加工技术等。

E-mail: yfwu-72@163.com

收稿日期: 2003-10-09; 收到修改稿日期: 2003-12-08

1 红外激光测距的原理及测距误差分析

红外激光测距的原理如图1所示。单片机控制激光器定时发出激光脉冲,通过二维扫描装置搜索

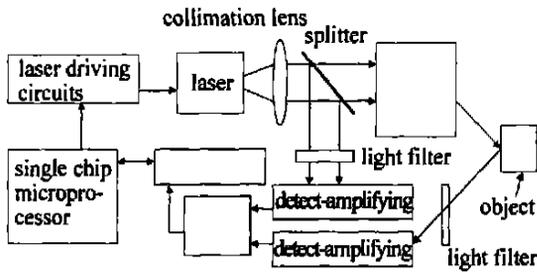


Fig. 1 The schematic construction of infrared laser ranging

目标。由主、回波探测通道对主、回波信号进行探测、放大。计数触发电路产生相应于主回波信号的计数门信号。时间间隔测量电路根据计数门信号对激光脉冲在待测距离上的飞行时间 t 进行测量。单片机根据下式计算得到待测距离 s :

$$s = ct/2 \quad (1)$$

式中, c 是光速。

用数字法来测量 t 。如果时标振荡器振荡频率为 f , 在时间 t 内包含的时标脉冲个数为 n , 则有:

$$t = n/f \quad (2)$$

结合(1)式和(2)式, 得待测距离为:

$$s = cn/(2f) \quad (3)$$

从(3)式中可以看出, 光速、计数值及时标频率的误差都会带来测距误差。在下面的分析中, 可合理地假定待测距离为 150m。

光速 c 由于受介质、气压、温度、湿度等的影响会有一些的变化, 但对于 150m 的测距范围来说, 其影响可以忽略^[4]。

在待测距离一定时, 由(3)式可得由于时标振荡频率的变化引起的计数误差:

$$\Delta n = \frac{s}{c} \cdot 2\Delta f \quad (4)$$

因为时标振荡器的频率稳定度容易达到:

$$\Delta f/f < 1 \times 10^{-4} \quad (5)$$

在笔者研制的装置中, 取时标振荡频率 $f = 100\text{MHz}$, 由(3)式、(4)式可计算得到由于时标振荡频率变化引起的测距误差为 $\Delta s_0 \leq \pm 0.015 \text{ m}$ 。

由上述数字时间间隔测量法中可看到, 由于主(回)波信号在开启(关闭)计数门时, 并不与时标频率信号同步, 因而存在计数盲区, 由此带来的计数误差 $\Delta n = \pm 1$, 相应的测距误差为 $\Delta s_c = \pm 1.5 \text{ m}$ 。

由上述分析可知, 由于计数盲区带来的误差是系统中主要的误差来源。虽然可以通过进一步提高

时标振荡频率来减小 Δs_c , 但由于受电路参数等的影响, 时标频率不可能做到很高, 因此, 效果也有限。为此, 提出采用数字插入法来减小由于计数盲区带来的测距误差。

由于计数盲区带来的时间间隔测量误差可表示为:

$$\Delta T = nT - t_m = t_b - t_a \quad (6)$$

式中, nT 为测得的时间间隔, t_m 为实际时间间隔, t_a 和 t_b 分别是时钟脉冲的上升沿与开始和终止脉冲的上升沿(对应于主、回波信号时刻)之间的时间差。

数字插入法就是在数字法的基础上, 通过插入法提高测量精度。运用插入法的目的就是通过信号开始处与信号结束处使用插入法高精度测量 t_a 和 t_b , 从而求出 ΔT , 对测量结果进行修正:

$$t_m = nT - t_b + t_a \quad (7)$$

可以使用不同的插入法^[5~7], 本文中使用的延迟线插入法, 该方法的原理如图2所示。时标信号和起/止

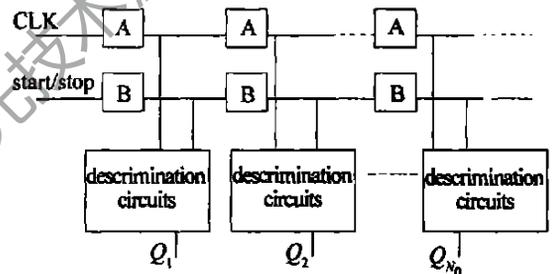


Fig. 2 The schematic construction of delay line interpolating

信号分别输入两路延迟线, 每路延迟线由 N 个相同的延迟单元组成。一路延迟线中的延迟单元 A 与另一路延迟线中延迟单元 B 的延迟时间相差 τ 。假定在开始进入延迟线时, 时标信号上升沿和起/止信号上升沿时间间隔为 T_0 。显然, 随着在延时线中的传输, 时间间隔会不断减小, 如果在传输 N_0 个延时单元后, 两者相差最小, 则有:

$$T_0 = N_0 \tau \quad (8)$$

因此, 只要知道 N_0 的值, 就可以根据(8)式测出 t_a 和 t_b 。采用这种方法后, 时间间隔的测量误差为 $\pm \tau$, 相应测距误差:

$$\Delta s \leq \pm \frac{c}{2} \cdot \tau \quad (9)$$

如果延时单元 A 和 B 之间的时间差 $\tau = 0.2 \text{ ns}$, 由(9)式得相应的测距误差 $\Delta s_1 \leq \pm 0.03 \text{ m}$ 。比使用插入法前的误差减小了 50 倍。

由于延时线包含的延时单元一般较多, 这种延时线插入法如果采用分离元件实现, 会有系统复杂、体积大以及精度难以达到设计要求等缺点。但目前由于 FPGA(现场可编程门阵列)的广泛使用, 以及

其性价比日益提高,采用 FPGA 来实现这种数字插入法较容易,而且成本低、精度高^[7]。

2 红外激光波长的选用

红外激光探测和测距系统在恶劣天气环境,特别是大雾时性能会下降,因此,大气的吸收是选择激光波长需首先考虑的问题。此外,汽车对不同波长的反射率、系统成本以及人眼安全保障都是影响波长选用的重要因素。下面从这几个方面进行讨论,以得出最佳波长的值^[3]。

在室温下,25%相对湿度的海平面进行 200m 传输实验的透过率曲线显示,在 $0.8\mu\text{m} \sim 8\mu\text{m}$ 波长范围内有 7 个窗口,中心波长分别是 $0.85\mu\text{m}$, $1.1\mu\text{m}$, $1.3\mu\text{m}$, $1.6\mu\text{m}$, $2.2\mu\text{m}$, $3.9\mu\text{m}$ 和 $8\mu\text{m}$ 。在雨天和下雪天,各个波长的透过率相差不大。在雾天,长波长的透过率更高,因为对于长波而言,散射更小。

实验表明,目标车辆对红外激光的反射包括镜面反射、漫反射及定向反射。镜面反射与波长的关系不大,但漫反射和定向反射部分在中远红外波段时衰减很快,原因是塑料部件和油漆层中的有机材料对这部分波长的激光吸收较强。对于 $850\text{nm} \sim 1560\text{nm}$ 的激光,这 3 种反射均可容易的探测到。

在中远红外范围,玻璃和塑料吸收很强,系统中的光学系统必须用昂贵的材料来制造,比如 BaF_2 , CaF_2 , 或 Ge 。而 $2\mu\text{m}$ 以下短波长可以使用更便宜的光学元件。在室温条件下工作的短波长探测器也比长波长的性能好而且价格便宜。

测试表明,选用大于 $1.4\mu\text{m}$ 的波长时,就可以保证眼睛的安全。

综合考虑以上因素, $1.6\mu\text{m}$ 左右波长的半导体激光器是最佳选择。

3 激光器驱动电路和探测器放大电路

雪崩晶体管开关速度很快,可方便的产生具有纳秒和亚纳秒上升时间的脉冲,同时产生很大的峰值功率。因此,半导体激光器的驱动电路采用雪崩晶体管电路,如图 3 所示。单片机 P1.0 脚输出一低电平信号,经过反相器变为高电平后控制电子开关 MAX4516 闭合产生正触发信号,该信号加到 T_1 基极时, T_1 雪崩导通,于是 C_1 经 T_1 , LD 迅速放电,从而产生大电流脉冲流过半导体激光二极管,使其发出功率较大的激光脉冲。

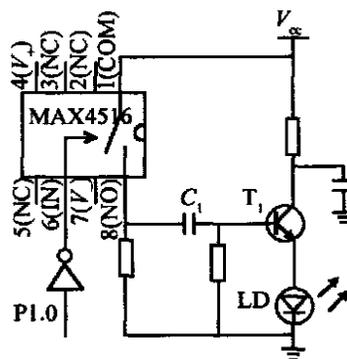


Fig. 3 Laser driving circuits

探测器放大电路如图 4 所示,其主要功能把光电探测器接收到的微弱光电信号放大。图 4 中, -2.5V 基准电压通过两个电阻分压后给光电探测器加上恒定的直流负偏压,以提高探测器对微弱光信号的探测能力。运放 OP_1 构成射极跟随器,它们的输出分别用作抵消探测器两端加上的负偏压及放大电路的失调电流、失调电压,使无光信号输入时,探测放大电路的输出为 0V 。为了使放大电路调零更加准确,用 WZ_1 作粗调零电位器,用 WZ_2 作精调零电位器。运放 OP_2 和 OP_3 组成两级放大电路,对信号进行放大。放大电路的增益通过 WS_1 来调节。图 4 中的运放均采用 MAX448。

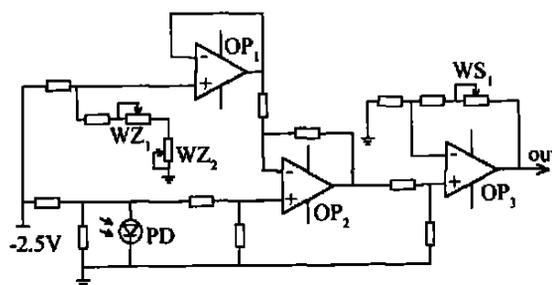


Fig. 4 Detection-amplifying circuits

4 结论

汽车自适应弛控装置的一项关键技术是实时测量主车和目标车辆之间的距离。本文中设计的红外激光测距系统可满足这一要求。该系统通过测量激光脉冲在待测距离的飞行时间来测得距离值。在讨论了一般数字法测量激光脉冲飞行时间带来的测距误差后,提出了采用数字插入法来提高测距精度,该方法可大幅度减小因计数盲区带来的测距误差。文中还介绍了选择激光波长所需考虑的因素,结果表明, $1.6\mu\text{m}$ 波长的激光是最佳选择。最后给出了激光器驱动电路和探测器放大电路的实例。该项工作为研制实用化的汽车自适应弛控装置打下了基础。

(下转第 530 页)

的信噪比是不断增强的。激光雷达在什么距离上截获目标,每次都是不同的。目标的截获距离是一个随机变量,所以,存在一个平均截获距离的概率函数 $P_R(R)$ 。因此,也存在平均截获距离:

$$R = \int_0^{\infty} RP(R) dR \quad (13)$$

式中, $P(R)$ 为截获距离的概率函数; R 为平均截获距离。

由前面的讨论可以看出, M 的选择可以影响到平均截获距离。 M 过大会降低目标的平均截获距离,这意味着激光雷达的迎面作用距离的减小。如果 M 过小,又可能使激光雷达的虚警概率过大。所以 M 的选择,需要在这两者之间折中。

3 实验结果

激光雷达的模拟信号处理器只能进行简单信号处理,对于利用多个激光脉冲之间的相关信息这样的复杂算法,模拟信号处理器是无能为力的。而数字信号处理技术,可以克服这样的不足。在采用数字信号处理器后,系统目标检测能力得到显著的改善。图3是激光测距机在采用数字信号处理器后,

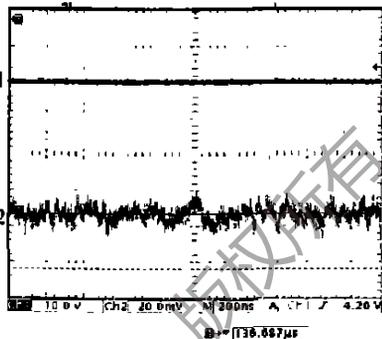


Fig. 3 The result of the experiment

在系统目标检测能力的临界状态时,500MHz示波器采集的回波信号。被检测目标是20.5km处的一座楼房,显示在显示器中央的是目标回波信号,经过了136.687μs的延迟。

对某型飞机进行了运动目标的飞行测试。共进行了5个进入和5个远离飞行。测试现场的低空能见度为8km,测试结果为:迎头截获距离为16km,尾追距离为20km。最好的数据是迎头截获距离为18km,尾追距离为23km。采用模拟信号处理器的激光测距机的测试结果为:迎头截获距离和尾追距离都大约为12km。并且,在测试过程中没有出现虚警。系统性能的提高是显而易见的。

4 结论

讨论了目标的匹配和跟踪算法的原理,以及采用该算法的目的。为了提高检测目标的能力,将检测阈值降低,从而使目标检测的虚警概率很高。在本文中通过目标的匹配和跟踪,抑制了目标检测的虚警概率。但是,付出的代价是检测目标所花费的时间。最后,对系统的检测概率和虚警概率进行理论分析和推导,并且提出了平均捕获时间和平均截获距离的概念。最后,对现场实验结果进行了介绍。实验结果也证实目标匹配和跟踪算法,的确大大改善了激光测距机的测距性能。

参考文献

- [1] 阎吉祥,龚顺生,刘智深. 环境监测激光雷达 [M]. 北京:科学出版社,2001. 17~41.
- [2] 巴克曼 C G. 激光雷达系统与技术 [M]. 北京:国防工业出版社,1982. 6~19.
- [3] 潘承毅,何迎晖. 数理统计的原理与方法 [M]. 上海:同济大学出版社,1993. 453~454.
- [4] 戴柄明,张 维,李东石. 脉冲激光测距机的测距误差分析 [J]. 激光技术,1999,23(1):50~52.
- [5] 霍玉晶,陈千颂,潘志文. 脉冲激光雷达的时间间隔测量综述 [J]. 激光与红外,2001,31(3):136~139.
- [6] 杨成伟,陈千颂,林 彦 *et al.* 脉冲激光测距时间间隔测量及误差分析 [J]. 红外与激光工程,2003,32(2):123~126.
- [7] KALISZ J, SZPLET R, PELKA R *et al.* Single-chip interpolating time counter with 200ps resolution and 43s range [J]. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, 1997, 46(4): 851~856.

(上接第523页)

参考文献

- [1] 张景波,刘昭度,齐志权 *et al.* 汽车自适应巡航控制系统的发展 [J]. 车辆与动力技术,2003,90(2):44~49.
- [2] 卢 红,沈顺成,张新宝 *et al.* 汽车防撞的激光监控系统设计 [J]. 武汉汽车工业大学学报,1997,19(3):5~7.
- [3] SAMMAN A, RIMAI L, McBRIDE J R *et al.* Potential use of near, mid and far infrared laser diodes in automotives LIDAR applications [A]. IEEE Vehicular Technology Conference [C].