

激光相位成像雷达的研究

贺安之 罗必凯 苗鹏程 闫大鹏
(南京理工大学应用物理系, 南京 210014)

提 要

利用无合作目标漫反射激光相位测距的原理, 对关键单元技术进行分析和设计, 研制成一种用于自主式车辆视觉导引的激光相位成像雷达的原理样机.

关键词 激光雷达, 激光相位测距, 激光三维传感器.

1 引 言

激光相位雷达系统已有报道^[1], 它比脉冲激光雷达的距离测量精度和空间分辨率都高出 1~2 个数量级, 可用作移动式机器人的三维图像传感器^[2], 工业智能机器人的三维雷达传感器^[3]等. 但这些工作尚属原理性样机的设计研究^[4]. 本文在跟踪国外研究技术的基础上, 分析了激光相位雷达的关键技术问题, 采用了发射接收合一的同轴发射接收光学系统, 提高了光能收效率; 设计了单片双面镜二维扫描系统, 实现了线性扫描; 研究了高速数值图像处理办法, 获得了清晰度高、分辨率好的距离图像. 从而研制出了一种能用作自主式车辆视觉导引系统的激光相位雷达原理样机.

2 实验装置及关键单元技术

实验装置的原理方框图如图 1 所示. 由晶振产生的主振频率为 f_0 的信号调制 GaAlAs 连续波半导体激光器产生振幅调制光束, 通过发射系统准直成 1 mrad 光束, 经二维扫描系统发

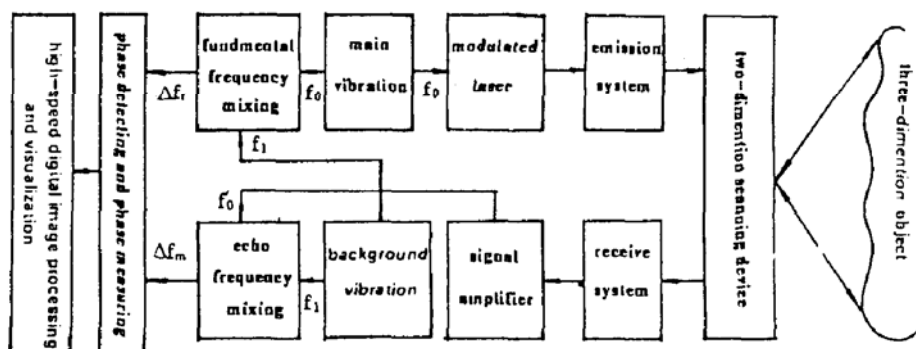


Fig. 1 The Principle block diagram of experimental arrangement

射出去对目标进行跟踪扫描. 由目标漫反射回带有目标距离、速度、方位等信息的光束, 再次经过二维扫描系统进入接收系统. 接收系统为高灵敏度的雪崩二极管, 它把回波光信号转变为电

信号,高放后与频率为 f_1 的本振信号混频产生具有保留目标信息的差频信号 Δf_m

$$\Delta f_m = f_0 - f_1 \quad (1)$$

为保证进入鉴相器的信号振幅保持平稳性,必须对由于各种因素产生的信号振幅的变化进行限幅放大及非线性放大处理,以达到减小幅相误差.带有目标信息的差频信号 Δf_m 与直接由主振和本振信号混频产生的基准差频信号 $\Delta f_r = f_0 - f_1$ 进行相位鉴别.得到对应每个扫描目标测点的相位差

$$\Delta\phi = 2\pi\Delta f_m t \quad (2)$$

式中 t 为时间.通过计算机高速数字处理得到目标的距离、方位、速度等信息.若将距离数值转化为灰度,则可得到层次分明的目标距离图像.激光相位成像雷达的关键技术是主振和本振频率的选择、扫描技术、发射和接收技术、相位检测技术和高速数字图像处理技术.

本研究中根据自主式车辆视觉导引系统的作用距离要求(20 m)以及相位测距的原理,选择主振频率 f_0 为 7.5 MHz.同时根据扫描的空间分辨率和帧频的要求.对 7.5 MHz 的调制波,取差频 $\Delta f_r = 200$ kHz,则本振频率 f_1 选为 $f_1 = f_0 - \Delta f_r = 7.5 \text{ MHz} - 200 \text{ kHz}$.

对于发射和接收系统的设计,国外资料报道的大多是采用分离式,但理论和实验结果表明,分离式的发射接收系统,对近距离的目标,由于反射光斑不能很好落在雪崩管的光敏面上,以致降低接收效率.本文设计了一种发射接收合一的同轴光学系统,如图 2 所示.当适当选择接收透镜的焦距,可使目标像斑始终落在雪崩管光敏面上,提高了接收效率.

关于光束扫描装置的设计,已报道的激光相位雷达是采用多面体转镜和摆镜相结合的机械扫描方式.这种扫描方式中行帧扫描都是非线性的,造成对目标上的采样间隔不均匀,给数据处理带来困难.本文中创新设计了一种单片双面镜的二维扫描装置,如图 3 所示,转镜在旋转的同时作帧摆动,转轴和摆轴交点的镜面处为一保持恒定位置的点.因此,光束通过这一点作行帧扫描,扫描是线性的,保证了采样间隔的均匀性.

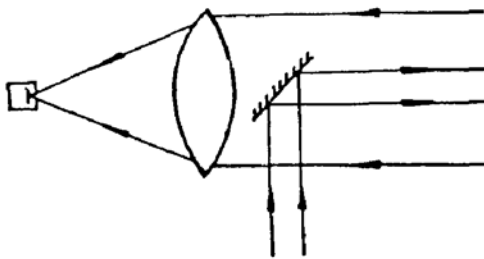


Fig. 2 Emission and receiving system

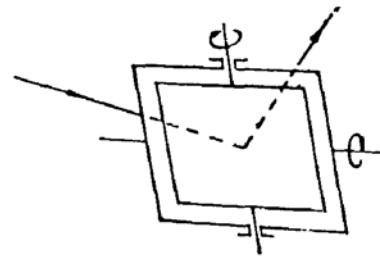


Fig. 3 Two-dimensional scanning system

相位检测系统与一般的相位测距仪要求是一样的.但在放大电路的设计中,考虑到由于目标反射特性、方向等诸因素的急剧变化造成回波信号幅度的涨落引起幅相误差,作者采用了优化设计的限幅放大及其他非线性放大措施,保持检相前信号的平稳,获得了良好的幅相特性.

在激光相位雷达中,采样频率高,数据密度大,要求在几个 μs 内处理一个数据,为此及时存储数据,利用空扫时间在内存中高速处理等可以实现其数据的高速处理.

3 结果与讨论

作者根据图 1 所示的原理方框图及上述各关键单元技术的设计考虑,研制成我国第一台激光相位成像雷达原理实验样机.经有关专家评审认为,该样机的主要技术指标达到 1) 调制频率 7.5 MHz(测尺长 20 m); 2) 水平扫描角 $\pm 40^\circ$,俯仰扫描角 $0 \sim -30^\circ$; 3) 空间

(采样)频率 256×64 ; 4) 帧频 1.5 frame/sec; 5) 仪器静态实测距离分辨率 7 cm; 同时, 利用该原理实验样机对目标进行扫描成像实验, 所得到的目标距离图像是令人满意的. 图 4 表示了室内场景的距离图像, 可清楚地分辨出室内梯子、椅子、桌子、门等的图像. 图 5 为室外场景的距离图像, 扫描目标为树、道路及障碍物.

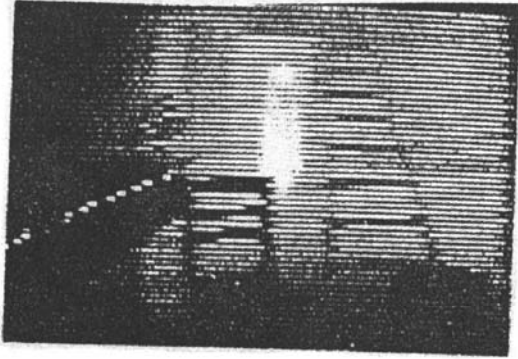


Fig. 4 The range image of field view in room

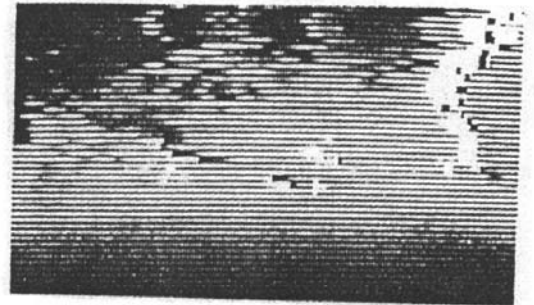


Fig. 5 The range image of field view outdoor

实验结果表明, 激光相位成像雷达的原理性实验样机的设计方案正确, 技术措施可行. 其中单片双面镜二维扫描系统具有扫描线性度好, 惯性小的优点; 同轴发射接收系统, 提高了对不同距离目标的接收效果. 已具备了进一步研制自主式车辆视觉导引系统工程试验样机的条件.

参 考 文 献

- [1] Max E. Bair., Robert Sampson, David Zuk, Three-dimensional imaging and application. *Proc. SPIE, The International Society for Optical Engineering*, 1986, 726:274~279
- [2] M. F. Reiley, D. C. Carmer, W. F. Pont, 3-D laser radar simulation for autonomous spacecraft landing. *Proc. SPIE, The International Society for Optical Engineering*, 1991, 1416:295~303
- [3] Reinhard Grabowski, Werner Schweizer, Joseph molnar *et al.*, Three-dimensional pictures of industrial scenes applying optical radar, *Optics and Laser in Engineering*, 1989, (10):205~226
- [4] R. Baribeau, M. Rioux, G. Godin, Color reflectance modeling using a polychromatic laser range sensor, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1992, 14(2):263~269

Study of laser phase imaging radar

HE Anzhi LUO Bikai MIAO Pengcheng YAN Dapeng

(Department of Applied Physics, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210014)

(Received 30 December 1992)

Abstract

By using the principles of diffuse reflection laser phase ranging with non-cooperation target to analyze and to design the key unit techniques, a prototype of laser phase imaging radar is developed which is suitable for the visual guiding system of autonomous carriage.

Key words laser radar, laser phase ranging, laser three-dimensional picture sensor.