

文章编号: 0258-7025(2010)Supplement 1-0110-05

激光三维成像雷达的扫描系统设计与测试

毛闵军 卜弘毅 金辉 舒嵘

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘要 激光三维成像雷达是空间着陆导航中的一个最重要的传感器。开展激光雷达关键技术研究,具有重要的科学价值和应用价值,在国内具有一定的开创性。快速二维扫描系统设计是其中的一项关键技术。采用模拟、数字结合的方法,设计了扫描系统的驱动、控制电路;基于虚拟仪器,采用 NI 的高速数据采集卡,设计了电机的测试和标定系统,测试得到了系统的非线性度和动态特性。结果表明,此扫描系统可以很好地满足激光三维成像雷达的需求。

关键词 成像系统;三维激光雷达;扫描系统;虚拟仪器;测试

中图分类号 TN958.98; V447+.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201037s1.0110

Design and Test Method for Scan System of 3D Lidar

Mao Minjun Bu Hongyi Jin Hui Shu Rong

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract 3D laser scanning radar is one of the most effective sensors in landing guidance, navigation and control. The study of key technologies of lidar are valuable in science and application. A fast 2D scan system is important for 3D lidar. A scheme is proposed for designing the driving and controlling circuit for the scan system by mixing analog and digital method. Based on virtual instrument technology, A test and calibrate system of motor is designed by adopting NI data acquisition (DAQ) board. Through this test system, the non-linear and dynamic performance of scan system is measured. Experimental results show that this scan system can meet the requirement of 3D lidar.

Key words imaging system; 3D lidar; scan system; virtual instrument; measurement

1 引 言

随着人类经济的发展和科技的进步,在世界范围内兴起一股新的深空探测热潮。而自动着陆导航技术在近几年成为了一个重要的研究热点。如何保证探测器安全着陆是摆在人类面前的一个重大技术挑战。针对这一课题,多种探测手段,如可见光相机、微波雷达和激光雷达等研究都正在进行当中。其中激光雷达由于采用主动探测方式,对目标表面的反射率不敏感,可以直接得到距离信息,能提供高空间分辨率,而且在降落后还可以作为一台额外的

高精度三维探测的科学仪器使用,因此脱颖而出,成为了空间着陆导航中的一个最重要的传感器^[1~7]。

美国于 21 世纪初开展了激光雷达自动着陆导航技术的研究,并结合凤凰号火星着陆进行样机研制和大量的实验研究,在美国最近提出的重返月球计划中,已经把激光雷达作为一个标准配置^[4]。我国在这方面尚未开展相关研究。目前我国正在进行的月球探测计划中,第一个阶段绕月探测已成功实施,下一步即将进行落月探测,未来可能还将进行火星探测。因此开展空间自动着陆导航激光雷达关键

收稿日期: 2010-03-23; **收到修改稿日期**: 2010-07-03

基金项目: 国家 863 计划(2007AA12Z105)资助课题。

作者简介: 毛闵军(1982—),男,博士研究生,主要从事光谱成像、激光成像雷达和指向跟踪系统的运动控制技术方面的研究。

E-mail: roymao@ustc.edu

导师简介: 舒嵘(1971—),男,博士生导师,研究员,主要从事航空成像光谱及多维信息获取与处理技术、星载激光主动遥感技术等方面的研究。E-mail: shurong@mail.sitp.ac.cn(通信联系人)

技术研究具有重要的科学价值和应用价值,在国内具有一定的开创性。

另一方面,激光雷达作为一项前沿技术,已经被广泛应用于科学研究、工业生产、地形测绘、灾害评估和林业调查等诸多领域^[8~10]。以空间自动着陆导航为应用目标,深入研究激光雷达技术,将大大提高我国在该领域的研究水平,更好地将这一技术服

务于科学研究和社会生活的方方面面。

2 方案设计

激光雷达主要由激光器及其驱动、二维摆镜及其驱动、激光探测单元、信息处理单元和二次电源等5部分组成,其原理框图如图1所示。

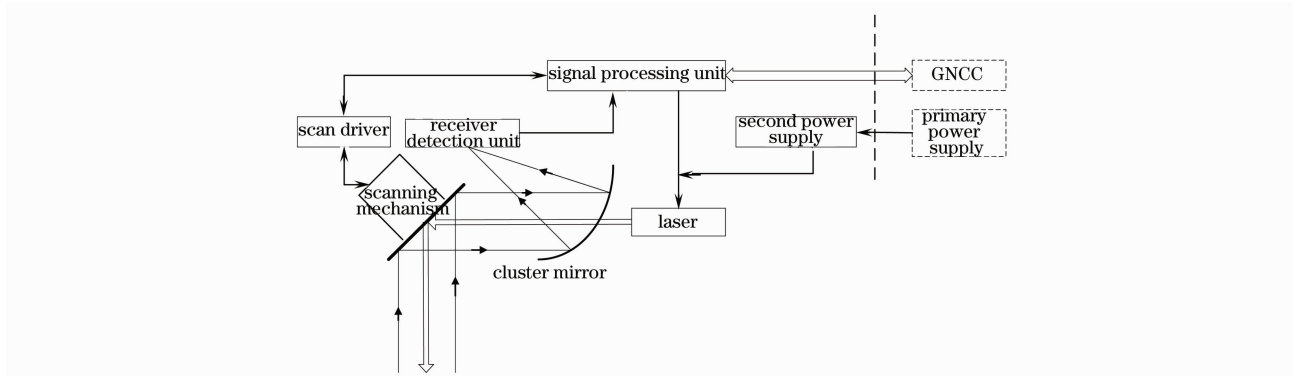


图1 激光雷达系统框图

Fig.1 Sketch map of lidar system

二维摆镜在驱动电子学的控制下,实现一维快速摆扫、一维快速步进的功能。选用某商用电机,自行设计二维驱动控制系统。根据系统要求,要求实现X维以正弦方式55 Hz做摆动双边扫描,Y维以步进方

式与X维配合,在每一条扫描线结束时,完成一次步进,累计一个采样周期进行单向11次步进,每次步进2.75°,最终实现30°×30°视场,如图2所示。

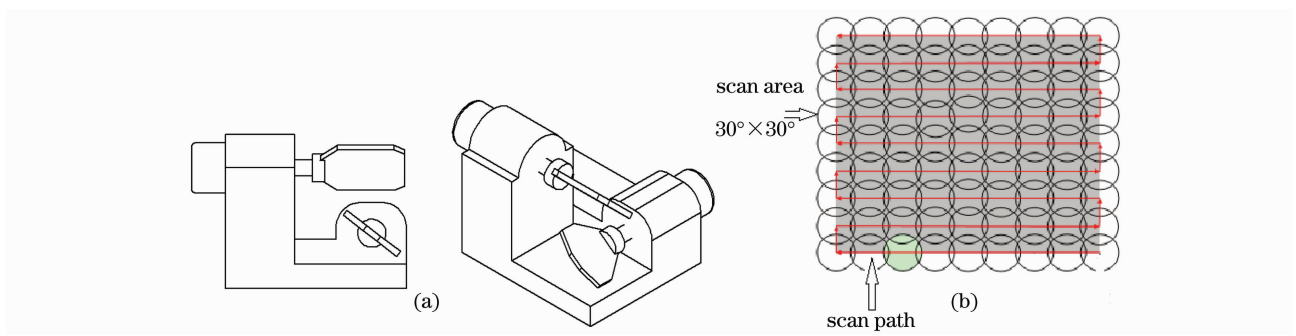


图2 二维扫描结构(a)和(b)扫描区域示意图

Fig.2 Sketch map of structure(a) and (b) 2D scan

扫描控制电路通过高精度D/A转换器生成驱动信号,送入电机驱动电路。扫描控制板主控制器将固定波形存储在电可擦只读存储器(EEPROM)中,现场可编程门阵列(FPGA)接到开始命令后,读取EEPROM中的波形数据,并将其D/A转换后送入电机驱动板。同时电机控制板根据主波信号对电机的位置信号进行采样,得到激光出射时的电机位置,并将其传送到主控板。原理图见图3所示。

电机驱动电路是高精度伺服控制闭环系统,它包含两大部分,一是使电机偏转的驱动电路,二是控

制驱动精度的伺服电路。伺服控制信号取自与电机连在一起的位置传感器。电机驱动电路采用位置环和速度环双闭环控制的结构,辅之以位置环串联校正和转速微分校正的结构,经功率放大后驱动电机高速旋转。驱动电机转动的角度与驱动电流成正比。驱动电路的控制框图如图4所示。伺服控制电路采用模拟PID控制技术,对误差信号进行微积分处理,使电机扫描处于良好的临界阻尼状态。电机上集成的电容式位置传感器,供电机驱动控制和电机角度数据读出使用。

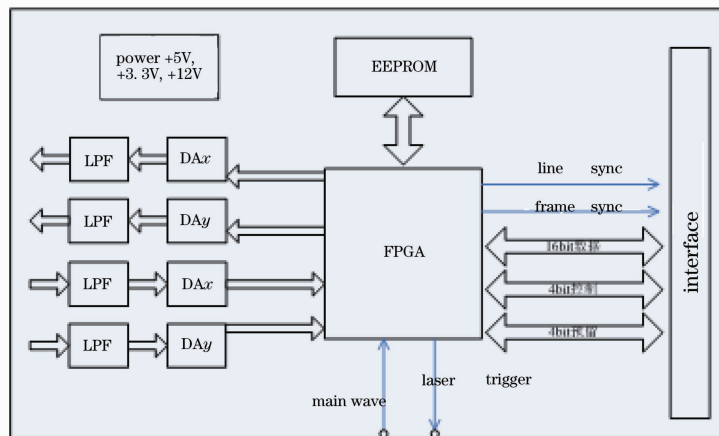


图 3 扫描控制板原理图

Fig. 3 Schematic diagram of scan control board

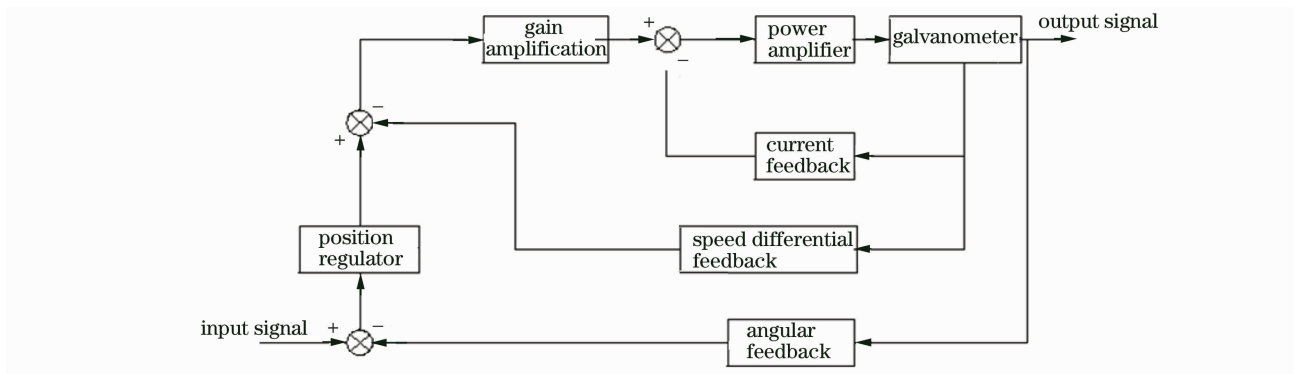


图 4 电机驱动控制框图

Fig. 4 Schematic diagram of motor driving control

3 实验测试

扫描控制系统驱动二维摆镜偏转,并提供位置信息给主控系统。使用前,需要标定位置传感器非线性度,测试动态特性。动态特性包括频率响应和响应时间。

基于美国 NI 公司 PCI 总线数据采集卡 NI6251 和虚拟仪器 Labview 8.0 搭建了电机性能测试和标定平台。NI6251 带有 16 通道 16 位高精度模拟输

入和 2 通道 16 位模拟输出。AD 的采样率最高可达 1.25×10^6 sample/s, DA 输出最高为 2.8×10^6 sample/s, 另外 6251 还有 24 个数字 IO 口,可用作同步触发等功能。

基于虚拟仪器的电机测试与标定系统的系统构成如图 5 所示。上位机通过 NI6251 PCI 多功能数据采集卡将电机波形数据发送到电机伺服驱动板,控制电机按照给定波形运动,电机运动的位置信号通过差分电容式传感器进行测量,测量得到的模拟电压再通过数据采集卡进行模数转换后采集到计算机中,进行显示和存储。通过高精度转台和光电经纬仪可以对电机旋转的位置进行精确的测量。

3.1 传感器非线性度测试

电机传感器采用的是电容传感器,其平板电容器的边缘部分的静电场分布,并不像平板电容的中间部分是均匀场。如果传感器的转子偏角过大时,在电容变小的那一侧这种边缘效应就会是不容

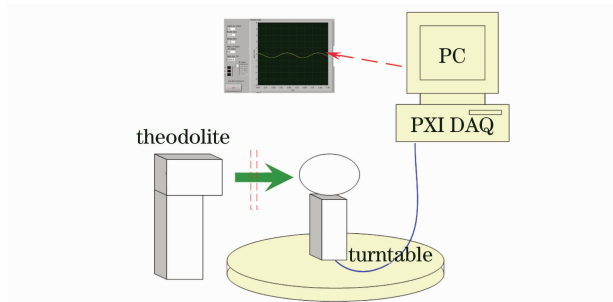


图 5 电机测试与标定系统的组成

Fig. 5 Sketch map of motor performance test system

忽视的,这就使电容量的变化和偏角的线性关系逐渐变坏^[1]。因此需要测量传感器的非线性度。

首先调节光电经纬仪和镜面垂直,使得光电经纬仪的读数为零,由上位机发送指令控制电机旋转一个给定角度,这时光电经纬仪上的读数发生变化,通过旋转转台,使得光电经纬仪上的读数重新为零,则此时转台旋转的角度即为电机实际旋转的角度。通过数据处理,得到输入电压与转角的关系曲线,计算出其线性度为 99.9%。结果如图 6 所示。

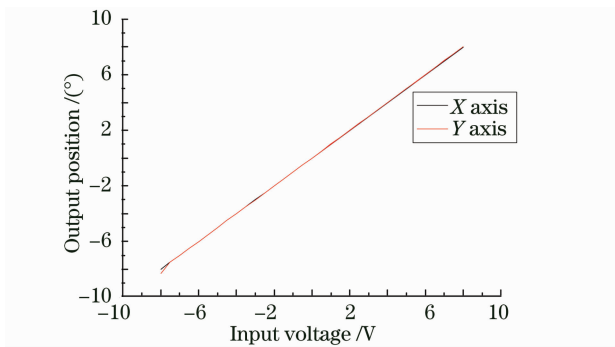


图 6 传感器非线性度测试
Fig. 6 Non-linear of sensor test

3.2 电机带宽响应测试

电机系统的带宽由系统频率响应特性来规定,反映伺服系统跟踪的快速性。带宽越大,快速性越好。带宽响应测试就是测量 3 dB 频率。这是伺服系统的一个重要指标,它表征系统的响应速度、抗扰动的能力,也极大地影响静态指标。

通过虚拟仪器电机测试平台,对 X,Y 电机分别单独输入幅值为 0.1 V,频率自动从低频到高频、步进为 1 的正弦波电压信号,测量幅频响应,并自动进行记录和存储。通过数据处理,就可以测出响应带宽。频率响应如图 7 所示。从图中可以得到,X 电机的 3 dB 带宽大约为 458 Hz,Y 电机的 3 dB 带宽大约为 433 Hz。

3.3 电机响应时间测试

电机的阶跃响应是表征电机动态特性的主要参数。阶跃响应时间指的是电机系统对阶跃输入信号反应的速度。一般将响应时间分为两个部分:上升时间和下降时间,而表示时经常仅考虑上升时间。按照设计的 2.75° 步进角度,测试结果如图 8 所示。图形为电机实际的转轴位置波形。测得 X 电机阶跃响应为 1.8 ms,Y 电机阶跃响应为 2.2 ms。

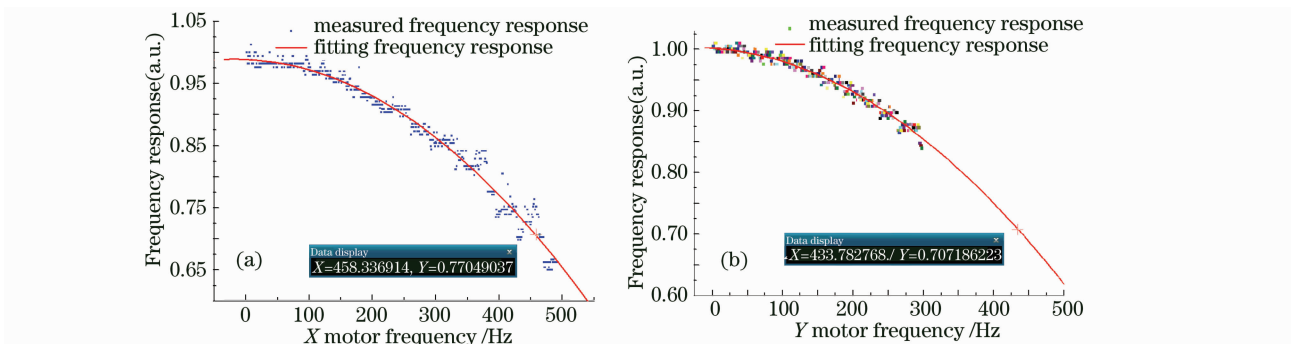


图 7 X 电机(a)和 Y 电机(b)的频率响应
Fig. 7 Frequency response of motor X(a) and Y(b)

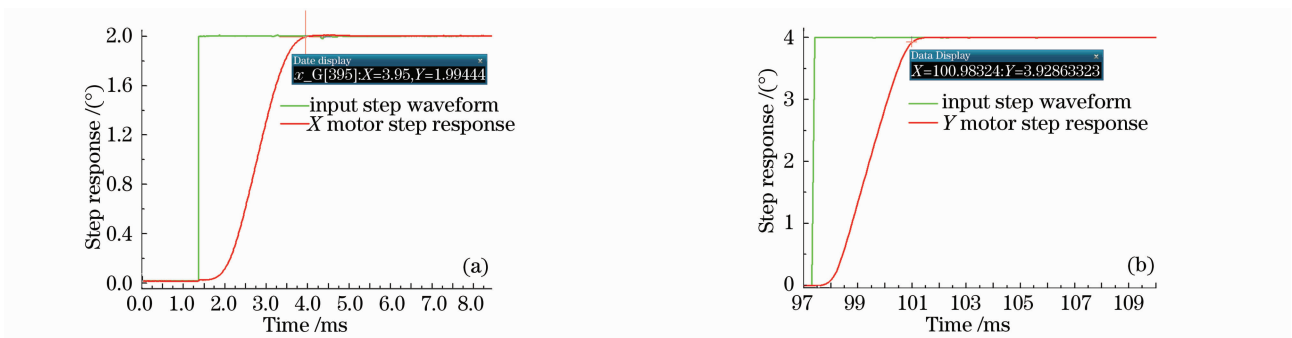


图 8 电机响应波形图。(a) X 电机, (b) Y 电机

Fig. 8 Response time of motor test. (a) motor X, (b) motoer Y

3.4 二维扫描镜扫描波形测试

对 X,Y 电机同时输入要求的设计波形,用数据

采集卡采集位置波形,保存,得到二维电机实际运行波形如图 9 所示。对图 9 进行反演可得到二维视场

分布图如图 10 所示。

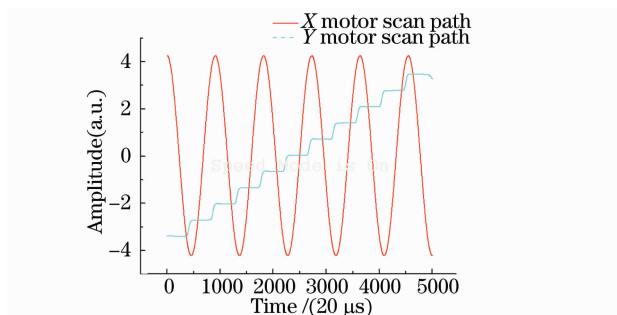


图 9 二维扫描单周期运行实际波形

Fig. 9 2D scan track

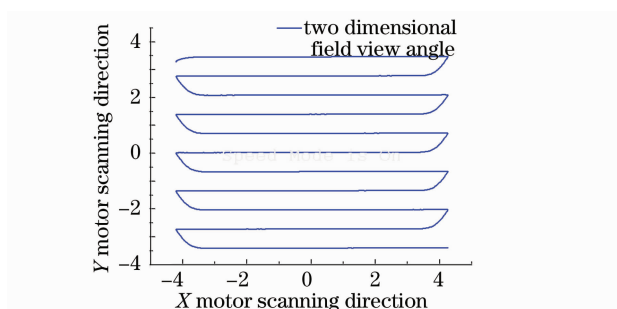


图 10 扫描视场角二维分布

Fig. 10 2D scan track

4 结 论

测试结果表明,电机扫描系统可以按设计的波形轨迹运行,在实际工作时间为 100ms 时能完全覆盖 $30^{\circ} \times 30^{\circ}$ 视场,性能指标符合设计要求,可以用于激光三维成像雷达。

参 考 文 献

- 1 Bu Hongyi, Research of Key Technologies of Lidar for Autonomous Planetary Landing [D]. Shanghai: Shanghai Institute Technical Physics, Chinese Academic of Sciences, 2009
- 2 卜弘毅. 空间自动着陆导航激光雷达关键技术研究[D]. 上海: 中国科学院上海技术物理研究所. 2009
- 3 C. M. Andrew, C. L. Allen, M. Raja *et al.*. Full-scale testing and plat form stabilization of a scanning lidar system for planetary landing [C]. *SPIE*, 2008, **6960**: 696004
- 4 Diego F. Pierrottet, F. Amzaierdian, Byron L. Meadows *et al.*. Characterization of 3-D imaging lidar for hazard avoidance and autonomous landing on the Moon[C]. *SPIE*, 2007, **6550**: 65508
- 5 Andrew C. M. Allen, Christopher Langley, J. W. Tripp *et al.*. Full-scale testing and platform stabilization of a scanning lidar system for planetary landing [C]. *SPIE*, 2008, **6960**: 696004
- 6 B. G. Boone, K. Strohhahn, B. E. Kluga *et al.*. Dual-band spacecraft sensor suite for lunar and small-body landing [C]. *SPIE*, 2007, **6550**: 655007
- 7 M. Nimelman, J. Tripp, G. Bailak *et al.*. Spaceborne scanning lidar system (SSLS) [C]. *SPIE*, 2005, **5798**: 73~82
- 8 M. Nimelman, J. Tripp, A. Allen *et al.*. Spaceborne scanning lidar system (SSLS) upgrade path [C]. *SPIE*, 2006, **6201**: 62011V
- 9 Jia Heping, Shi Yusheng, Xie Jun. Error analysis of laser galvanometer scan system and its geometrical correction arithmetic[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2007, **34** (8): 37~40
- 10 贾和平, 史玉升, 谢 军. 振镜式激光扫描误差分析及几何校正算法[J]. *光电工程*, 2007, **34**: 37~40
- 9 Hu Shaoxing, Zhang Aiwu, Liu Haiyun *et al.*. Designing and developing a 360° continuous scanning portable 3D LIDAR system [J]. *Aata Optica Sinica*, 2008, **28**(S1): 168~171
- 10 胡少兴, 张爱武, 刘海云 等. 360° 连续扫描的便携式三维激光雷达设计与开发[J]. *光学学报*, 2008, **28**(S1): 168~171
- 10 Wang Jianyu, Hong Guanglie, Bu Hongyi *et al.*. Study on airborne scanning lidar[J]. *光学学报*, 2009, **29**(9): 2584~2589
- 王建宇, 洪光烈, 卜弘毅 等. 机载扫描激光雷达的研制[J]. *光学学报*, 2009, **29**(9): 2584~2589