

适用于无人机超低空飞行的脉冲激光测高系统

蒙 文, 韩万鹏, 李云霞, 马丽华
(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘 要:为了确保无人机超低空飞行时的精确定位和进入机场时的安全着陆,研制了一种重量轻、功耗低、快速精确的脉冲激光测高仪。系统基于脉冲激光测距原理,利用连续波脉冲测距方法精度高、测速快的特点,集成信号处理、计算机控制仿真、虚拟样机、精密机械、精密光学等先进技术,采用红外半导体激光器、专用激光测距传感器模块、高速 A/D 转换模块和高性能的单片机处理控制芯片等器件最终完成了样机的设计和研制。在实验阶段为了避免计算机建模仿真的复杂性和不准确性,灵活运用半实物仿真技术对整机进行模拟和测量,实验测试结果表明,样机的各项技术性能指标均符合无人机测高系统的使用要求,可以满足无人机在一般环境下超低空飞行的精确定位和安全着陆。

关键词:机载;激光测高仪;单片机;半实物仿真

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2010.05.015

中图分类号: TN927.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)05-0070-05

近年来,激光测距技术(Laser Rangefinding Techniques, LRT)取得了飞跃式发展,现已广泛应用于工业、地质、海洋、军事、航空、天文探测等诸多领域。由于无人机在低空飞行时雷达存在盲区,导致飞行高度及进场着陆不易掌握和控制,因此,安装机载小型激光测高系统是解决实时获取无人机近地面精确高度信息(主要是 50 m 以下)和实现无人机全天候自主精确着陆的有效办法^[1]。本系统根据无人机低空飞行的特点,瞄准高性能测距系统的设计应用目标^[2],为避免传统单脉冲测量精度低和相位式测量频率低的缺点,采用连续波脉冲测距的方法,达到了较好的实时性和可控性。在数据处理方面,采用单片机技术进行收发信号处理,利用多数据加权平均的方法消除了测量数据的抖动以及杂光干扰带来的误差,进一步提高了脉冲测距的精度。

为了让系统避开计算机纯数字化仿真的不确定因素,更好地贴近实际,我们利用实验室的光学仪器和样机模型进行了室内的半实物仿真实验,实验通过选取特殊的材料材料和精准的地面滑动装置,从不同的角度、状态对系统进行了细致地测量,达到了预期的效果。

1 系统结构及工作原理

1.1 系统组成

如图 1 所示,机载激光测高系统^[3]主要包括激光脉冲发射模块及发射光学器件、接收模块及接收光学器件、时刻鉴别单元、信号处理控制模块等。

系统工作时,PC 机或控制器通过串口向控制单元发出测距指令信号,控制单元触发调制器调制发射连续激光脉冲,激光脉冲分内外 2 个光路,内光直接进入系统接收通道 1,经时刻鉴别单元产生一个起始信号(START),计数器开始计数;外光路经目标反射后进入接收通道 2,经时刻鉴别单元产生一个终止信号(STOP),计数器停止计数,处理控制单元再通过数据处理把距离测量结果通过串口传给 PC。处理控制单

* 收稿日期:2010-05-12

作者简介:蒙文(1966-),男,广西桂平人,副教授,博士,主要从事光通信与激光技术应用。

E-mail:mengwen_mw@126.com

元的核心是高性能的单片机(AT89C52),完成激光飞行时间的测量和对激光脉冲收、发信号的控制处理。

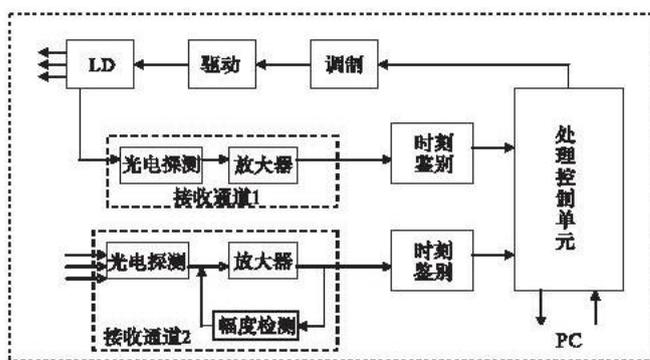


图 1 测高仪结构框图

Fig. 1 Block diagram of altimeter

根据激光在空间以光速传播特性,容易得出距离测量公式为:

$$S = ct/2 = cnf/2 \tag{1}$$

式中: S 为目标距离; t 为光脉冲往返时间; c 为光在空气中传播速度; n 为计数器计数结果; f 为计数时钟频率。对式(1)两端取微分得:

$$dS = S (dc/c) + S (df/f) + S (dn/n) \tag{2}$$

由此可见,影响脉冲法测距精度^[4]主要由于大气折射率变化等原因引起的光速误差、计数频率稳定度和精确度导致的误差、计数精度误差组成。由于本系统测量距离较短,大气折射等环境引起的误差可忽略不计,第 2 项误差可通过选用高精度和稳定度的时钟发生电路来降低,而计数精度很大程度上决定着测距机的测量精度,因此系统选择恒定比值鉴别技术^[5]和脉冲周期测量技术^[6-7]来提高系统的测量精度。

1.2 光机部分

测量光源选用波长为 980 nm 的半导体激光光源,输出功率 5 mW,连续波工作,可直接进行电调制,使用寿命达到 10^5 h。为了使用方便,测量光源右侧安装了瞄准指示光源,采用波长为 670 nm 的红光半导体激光器发光,出射光束与测量光束平行。瞄准指示光源的点亮和熄灭由软件控制,发出的红色光点可以使选择被测目标时更加方便,但光点所在位置与测量光源照到的位置不能完全重合。

激光发射部分,选择了高性能的半导体激光光源驱动模块,发射光学系统采用扩束准直望远系统。其功能是将激光器射出的激光束进行扩束并压缩激光束的发散角,使单位立体角的光能量得到提高,同时提高目标照度。半导体激光器的输出光束经扩束、准直后,其发散角达到 2 mrad,即在距离镜头 15 m 远处,光斑直径小于 30 mm。

激光接收部分,采用了国外进口的专用激光测距传感器模块,可以将测距脉冲的飞行时间转换为直流电平,不同的电平输出对应不同的测量距离。接收光学系统为开普勒式望远系统,具有较好的光敏特性和透射性,能够接收微弱的光脉冲信号。本系统根据作用距离、测距光源的发射功率、光电探测器灵敏度^[8]以及抗杂光干扰等方面的考虑,接收光学系统的通光孔径确定为 20 mm。

1.3 信号处理部分

信号处理单元以高性能的单片机为核心。单片机选择 AT89C52。AT89C52 是一种低电压,高性能 COMS 8 位单片机,片内含 8 KB 可反复擦写的 Flash 只读程序存储器和 256 位的随机存取数据存储器。处理电路采用高密度、非易失性存储技术,对测距传感器输出的电压进行采集和计算处理,其电路原理框图见图 2。

在图 2 中,电源转换电路把 9 V 电压转换成 5 V,以便给单片机等其他器件供电。由于一般的直流电总有纹波,不能满足高精度电路的要求,基准电压电路能提供稳定的高精度的 5 V 基准电压,给 A/D 的基准电

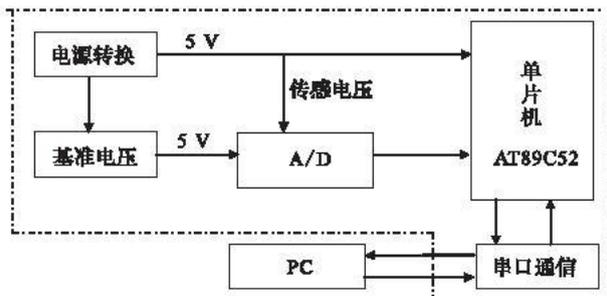


图 2 信号处理控制原理框图

Fig. 2 Block diagram of signal processing control

压供电。接收单元对测距传感器出来的模拟电压进行滤波、锁定然后送入 A/D, 模数转换电路就完成了把模拟电压量转换为数字量的工作, 送给单片机进行运算和处理。单片机处理电路完成距离运算和误差处理后, 通过串口通信电路把距离信息准确无误地发送到计算机, 其时序测量过程见图 3。

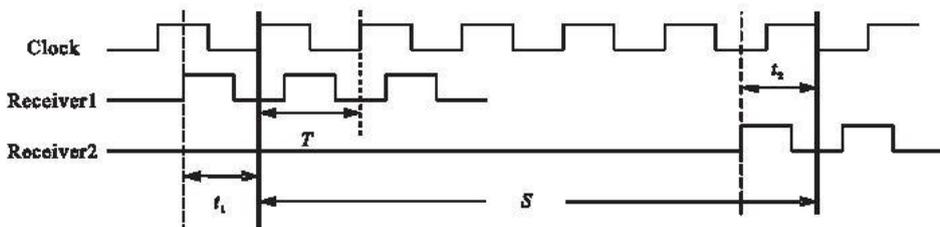


图 3 测时时序图

Fig. 3 Representation of time measurements

如图 3 所示, 时钟脉冲的上升沿与测量开始和终止脉冲的上升沿之间的时间差分别为 t_1 和 t_2 , T 为一个脉冲周期, 测量误差为:

$$T = t_x - t = NT - t = T - t_1 - t_2 \quad (3)$$

式中: t_x 和 t 分别是测量时间和实际时间; N 为测量脉冲的个数, 最大误差为一个 1 个脉冲周期 T 。则实际测量时间为:

$$t = (N - 1) T + t_1 + t_2 \quad (4)$$

结合式(1)可得实际距离表达式:

$$S = [(N - 1) T + t_1 + t_2] c / 2 \quad (5)$$

这里系统采用周期测量技术^[9-10]对数据进行加权平均, 从而得到比较精确的距离测量值。

2 实验过程及整机性能分析

2.1 半实物仿真系统构成及关键技术

为了准确把握测高系统的整机性能和测试结果的可靠性, 实验采用半实物仿真技术, 模拟无人机进场着陆时的飞行状态, 对样机进行了室内静态和动态实验测量。

半实物材料选用了精度较高的闭环控制模拟仿真滑轨, 它主要由机械部分、电控硬件部分和电控软件部分构成。

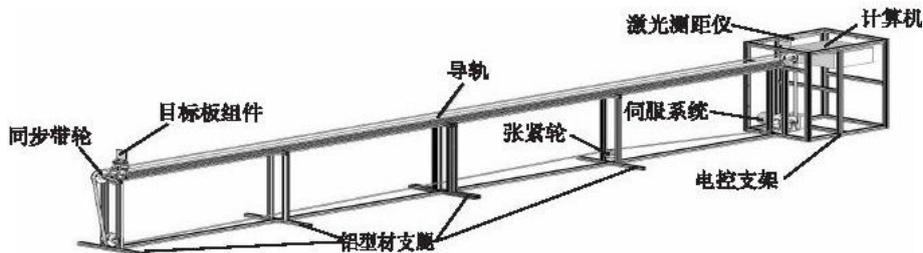


图 4 滑动导轨结构示意图

Fig. 4 Schematic diagram of sliding rail

机械部分主要由导轨转动组件、同步带、齿轮、电控支架及目标板组件构成。基于设计指标和预算成本的考虑, 系统选用精度较高的矩形导轨, 其全长 7.2 m, 可提供预想的加速距离。目标板组件采用双螺杆调节机构, 可实现 $\pm 5^\circ$ 范围内角度的任意调节, 为了达到系统实际测量时的效果, 目标板材料由机场跑道专用的水泥材料制成。另外, 通过对结构的多次调整和优化, 避免了漫反射目标板运动过程中的左右晃动问题。

电控部分主要由运动控制卡、伺服电机、驱动器、计算机及相关的电源等组成。为了满足设计指标, 系统选用了灵敏度和精度较高的器件, 采用半闭环结构, 实时控制运动误差。软件部分主要采用稳定的操作平台和高级的模块化语言, 通过反复调试和系统优化, 最终利用自适应控制算法来解决运动控制的精度和稳定性问题。

系统工作时, 仿真计算机发送数据指令给控制器, 控制器根据位置信息计算运行速度和时间, 通过发送

脉冲信号驱动伺服电机运转,并将信息处理结果反馈至计算机以显示当前执行设备的状态。伺服电机按照计算值控制目标板移动,同时发送反馈信息给控制卡进行 PID 控制。

2.2 测试结果及性能分析

1) 静态测量时,测距机固定在滑动导轨的一端,目标板沿测距机光学发射系统的中心轴线分别放置在导轨同步带上的不同位置,对应不同的距离位置分别进行静态测量,测量试验数据见表 1。从表 1 中的数据可以看出,系统静态测量时精度可以达到 10 mm。

表 1 静态测量数据表

Tab. 1 Data of static measurements

测量距离/mm	数据采样点	最大测量值	最小测量值	平均测量值	均方根误差
7 155	750	7 163.4	7 147.7	7 156.06	7.26
526	750	539	498	518	9.52

2) 动态测量时,将测距机安装在滑轨的一端,仿真计算机利用编好的数据指令通过 RS422 串口控制滑轨进行伺服运动,滑轨上的目标板相对于测距机以不同的速度运动,测距机则把目标板的实时动态位置信息传给仿真计算机。测量距离与实际距离对比结果见表 2。从表中数据可以看出,测距机的动态测量精度可达到 20 mm。

表 2 动态测量数据表

Tab. 2 Data of dynamic measurements

	飞机降落速度/(m·s ⁻¹)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
测量距离与实际	6.0	4.0	4.0	6.0	3.0
距离平均误差/cm	-4.0	-2.0	-3.0	-3.0	0.0
	1.608 7	1.544 8	1.713 9	1.425 2	1.310 4

3) 半实物仿真实时数据图

仿真机将仿真数据、滑动数据和测量数据整合绘图传送给显示器,显示结果见图 5。

在图 5 中,平滑曲线是由仿真机给出的飞机降落轨迹曲线、仿真机控制滑轨目标板位置移动曲线、测高仪的测量距离曲线组合而成,很明显,3 条曲线吻合度较高,测高仪的测量精度符合设计要求。考虑到无人机的起落架高度,系统设计滑轨目标板移动至最后与测高仪有一个 0.5 m 左右的距离间隔。从实验测试可以看出,系统测量误差主要来源于测高仪的测量误差和滑动导轨的精度误差。

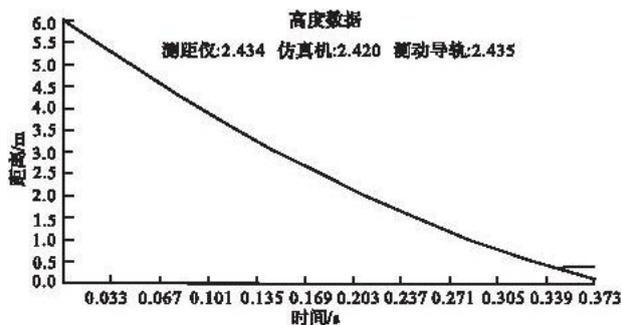


图 5 测高仪、仿真机和滑动导轨的实时数据图

Fig. 5 Real-time data charts from altimeter, simulator and slide rail

3 结束语

本系统根据无人机低空飞行的特点,采用了连续波脉冲激光测距技术,在确保测量精度的同时,大幅度提高了测量频率,具有较好的动态测量优势,实验结果表明整机在精度、速度、可靠性、使用寿命等诸多方面都满足设计要求,同时还具有较小的功耗和体积。在研制过程中,灵活运用半实物仿真技术,大大提高了研制项目的可靠性和投入现实应用的可行性。本项目能为今后无人机使用激光测距积累一些经验和做法。系统在复杂环境条件下的应用效果还需进一步验证。

参考文献:

[1] 鲍星合,陈刚,夏志平,等. 适合于小飞机防撞系统的机载小型激光测距仪[J]. 中国激光,2005,32(11):1549-1553.
BAO Xinghe, CHEN Gang, XIA Zhiping, et al. Airborne Miniature Laser Range Finder[J]. Chinese Journal of Lasers, 2005, 32(11):1549-1553. (in Chinese)

- [2] 吴晗平. 高性能激光测距机总体设计与分析[J]. 现代防御技术, 2005, 33(2): 65 - 68.
WU Hanping. Collectivity Design and Analyzing for Some High Performance Laser Ranger[J]. Modern Defence Technology, 2005, 33(2): 65 - 68. (in Chinese)
- [3] Kilpelä, Ari. Pulsed Time - of - flight Laser Range Finder Techniques for Fast, High Precision Measurement Applications [D]. Finland: University of Oulu, 2004.
- [4] 陈千颂, 杨成伟, 潘志文, 等. 激光飞行时间测距关键技术进展[J]. 激光与红外, 2002, 32(1): 7 - 10.
CHEN Qiansong, YANG Chengwei, PAN Zhiwen, et al. A Brief Introduction on the Development of Laser Time - of - flight Distance Measurement Technology[J]. Laser & Infrared, 2002, 32(1): 7 - 10. (in Chinese)
- [5] Simpson M L, Paulus M J. Discriminator Design Considerations for Time - interval Measurement Circuits in Collider Detector Systems [J]. IEEE Trans Nucl Sci, 1998, 45(1): 98 - 104.
- [6] 张新建, 臧华国, 崔雪梅, 等. 用于机载激光测深系统的时间间隔测量模块[J]. 红外与激光工程, 2005, 34(2): 159 - 163.
ZHANG Xinjian, ZANG Huaguo, CUI Xuemei, et al. Development of A Time Interval Module for An Airborne Laser Bathymetry [J]. Infrared and Laser Engineering, 2005, 34(2): 159 - 163. (in Chinese)
- [7] Jozef Kalisz, Ryszard Pelka. Improved Time - Interval Counting Techniques for Laser Ranging Systems[J]. IEEE Trans Instr and Meas, 1993, 42(2): 301 - 303.
- [8] Hakim Khali, Savaria Y, Houle J L, et al. Improvement of Sensor Accuracy in the Case of A Variable Surface Reflectance Gradient for Active Laser Range Finders[J]. IEEE Transactions on Instrumentation And Measurement, 2003, 52(6): 1799 - 1808.
- [9] 陈千颂, 赵大龙, 杨成伟, 等. 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.
CHEN Qiansong, ZHAO Dalong, YANG Chengwei, et al. Study on Self - riggering Pulsed Time - of - flight Laser Range Finding [J]. Chinese Journal of Lasers, 2004, 31(6): 745 - 748. (in Chinese)
- [10] 黄震, 刘彬. 并行计数法脉冲激光测距的研究[J]. 激光与红外, 2006, 36(6): 431 - 432.
HUANG Zhen, LIU Bin. Research on Parallel Counting Pulsed Laser Ranging[J]. Laser & Infrared, 2006, 36(6): 431 - 432. (in Chinese)

(编辑: 徐楠楠)

Pulse Laser Altimeter Applicable to Low - flying UAV

MENG Wen, HAN Wan - peng, LI Yun - xia, MA Li - hua

(Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: By the purpose of ensuring the precision positioning when the unmanned aerial vehicle (UAV) flies at a low altitude and the safe landing when it is in approaching, a fast and precise laser altimeter with lightweight and low power consumption is developed. Based on the principle of pulsed laser ranging technique, adopted continuous wave with the features of high precision and fast testing, integrated signal processing, computer - controlled simulation, virtual prototyping, precision machinery, precision optics and other advanced technology, the design and development of the device are completed by utilizing the virtue of infrared semiconductor laser, special ranging sensor module, high - speed A / D converter and high - performance SCM etc. In the experimental stage, hardware - in - the - loop simulation technology is flexibly used to avoid the complexity and error of computer modeling and simulation. The test results of the experiment show that all the technical characteristics meet the requirements of unmanned aircraft altimeter system, and the low - flying UAV can be exactly located and can safely land by using the system in the general environment.

Key words: airborne; laser altimeter; SCM; hardware - in - the - loop simulation