

一种带有自修正功能的高精度动态距离模拟器

李真珠, 亓洪兴, 黄庚华, 叶道焕, 舒 嵘

(中国科学院上海技术物理研究所 空间主动光电技术与系统实验室, 上海 200083)

摘要:地面检测星载激光测距体制设备的性能时,需要提供稳定且随机可调的高精度仿真距离光脉冲,于是提出了动态距离模拟技术。介绍了动态距离模拟基本原理、系统自修正基本原理。设计了一套集激光接收、延迟控制、高精度信号延迟、激光器、修正光纤、平衡探测器等单元于一体的动态距离模拟系统,该系统能够模拟出高精度的动态距离信息,并具备系统自修正能力,解决了动态距离模拟器的仪器参数漂移问题。动态距离模拟器的精度检测实验、动态距离模拟器与星载激光测距体制设备实际工作试验,共同证明了该系统的精度、性能稳定性可以满足目前国内绝大多数星载激光测距体制设备地面检测的需求。

关键词:激光测距;动态距离模拟器;自修正;精度

中图分类号:TN249 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.11.016

High-precision adjustable distance simulator with self-correction function

LI Zhen-zhu, QI Hong-xing, HUANG Geng-hua, YE Dao-huan, Shu Rong

(Lab. of Space Active Electro-optical Tech. and Systems, Shanghai Institute of Technical Physics,
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: For the performance test of a satellite-based laser ranging system on ground, high-precision, stable and adjustable simulation distance light pulse are needed, thus the adjustable distance simulation technology has been developed. The basic principles of adjustable distance simulator and system's self-correction are introduced in this paper. An adjustable distance simulation system was designed which consists of laser receiving, delay control, high-precision signal delay, lasers, correction fiber and balanced amplified photodetector etc. Meanwhile a self-correction system was designed to overcome the parameter drift of the adjustable distance simulator. The precision and stability of this simulator satisfy the demands of most domestic satellite-based laser ranging sensors' performance tests. That has been proven by experiments and practical application.

Key words: laser ranging; adjustable distance simulator; self-correction; precision

1 引言

相比于传统的星载激光测距体制设备的地面检测手段,动态距离模拟器具有模拟距离实时可调、受外界环境干扰少等显著优势^[1]。近年来,随着星载激光测距体制设备测距精度的提高^[2-4],对动态距离模拟器的精度、性能稳定性提出了更高的要求。文中高精度动态距离模拟器通过对激光测距体制设备的发射激光主波和接收激光回波间的时间间隔精

确控制,来模拟激光传输的动态距离信息;自修正系统解决了动态距离模拟器性能参数随时间、环境等发生漂移的问题,使得动态距离模拟器的精度和性能稳定性得到了较大的提高。

基金项目:国家重点基础研究发展“973”计划项目课题(No. 2009CB724004)资助。

作者简介:李真珠(1986-),女,硕士生,主要研究方向为机载遥感技术。E-mail: zhenzhu_li@163.com

收稿日期:2012-03-30; **修订日期:**2012-04-18

2 带有自修正功能的高精度动态距离模拟器

2.1 动态距离模拟器基本原理

脉冲式激光测距体制设备探测距离为 L 的远方目标时,如图 1 所示,发射的激光主波经过 $2L$ 的距离,回波信号被望远镜接收。发射激光主波与接收激光回波的时间差为 $t = \frac{2L}{c}$ (c 为光速),脉冲式激光测距体制设备通过测量时间差 t 计算出与目标物的距离值。

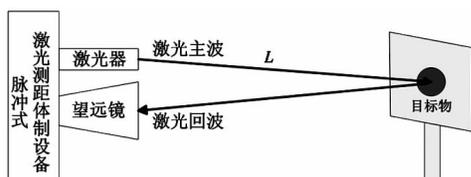


图1 脉冲式激光测距体制设备工作原理图

Fig.1 working diagram of pulsed laser ranging system equipment

如图 2 所示,如果脉冲式激光测距体制设备发射的激光脉冲,被一个设备捕捉,经过电子学延迟 t 时间 ($t = \frac{2L}{c}$) 后,再发出激光脉冲进入到激光测距体制设备的接收望远镜,则等效于脉冲式激光测距体制设备探测了距离为 L 的目标,这就是动态距离模拟器的基本原理。那么精确控制延迟时间 t ,即可实现距离的高精度动态模拟,为脉冲式激光测距体制设备提供实时可调的距离信息,满足其地面检测的需求。

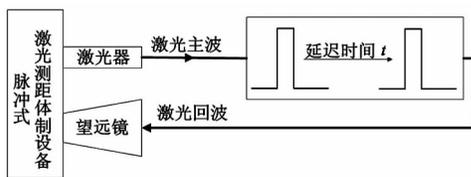


图2 动态距离模拟器基本原理图

Fig.2 basic principles of adjustable distance simulator

2.2 自修正基本原理

动态距离模拟器中元件材料的一些物理性能随时间、外加应力或环境等会发生不可逆变化^[5],从而引起元件参数的变化。任何一个元件的参数如果发生变化,那么该装置的技术参数就会表现为漂移。解决动态距离模拟器的参数漂移问题,对提高模拟距离的精度、仪器性能的稳定性具有重要性的意义。

光纤具有抗干扰能力强、工作性能稳定、传输质量高等优点^[6],因此动态距离模拟器采用定长光纤修正仪器参数漂移,其基本原理如图 3 所示。修正光纤光程为 L_0 ,当动态距离模拟器对激光主波延时

t_0 时, $t_0 = 2L_0/c$,二者功能上具有等价关系。比较激光回波与修正激光脉冲的出射时间差 Δt ,即可检验动态距离模拟器技术参数是否发生漂移。若出现漂移现象,表现为 $\Delta t \neq 0$,可通过动态距离模拟器的软件对其加以修正。

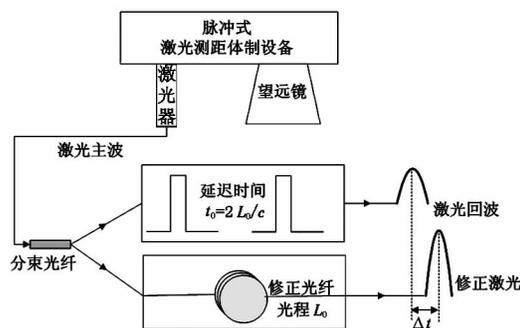


图3 动态距离模拟器自修正基本原理图

Fig.3 basic principles of self-correction of adjustable distance simulator

2.3 系统设计

带有自修正功能的高精度动态距离模拟器的系统结构如图 4 所示。以脉冲式激光测距体制设备为地面检测对象,动态距离模拟器主要包括动态距离模拟模块和自修正模块。

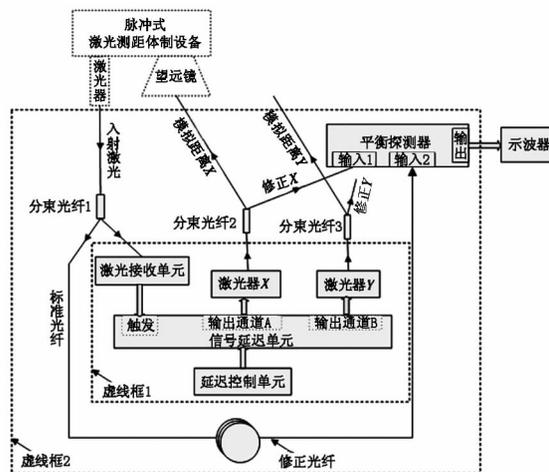


图4 动态距离模拟器的系统结构图

(虚线框 1 内为动态距离模拟模块,
虚线框 1 与虚线框 2 之间部分为自修正模块)

Fig.4 Architecture of adjustable distance simulator

动态距离模拟模块同时模拟两个距离信息,分别将其定义为模拟距离 X 和模拟距离 Y 。动态距离模拟模块的工作过程:激光接收单元对入射激光进行光电转化;延迟控制单元设置信号延迟单元输出通道 A、输出通道 B 的延迟时间;激光器接受入射激光延迟后电信号的触发,输出激光;分束光纤的一支路作为回波信号被脉冲式激光测距体制设备的望远

镜接收,另一支路信号用于自修正。脉冲式激光测距体制设备通过测量发射激光主波和接收激光回波间的时间差,得出 X, Y 两个探测距离。由于延迟控制单元的模拟距离 X, Y 实时可调,故可同时实现两个方向上的动态距离模拟。激光接收单元由 PIN 管、比较电路组成;信号延迟单元为 HIGHLAND TECHNOLOGY 的 P400;激光器 X , 激光器 Y 均为 1064 nm 光纤激光器;延迟控制单元为 Labview 控制界面^[7]。动态距离模拟模块的构建保证了模拟距离的精度。

动态距离模拟器的自修正部分工作过程是,入射激光脉冲经分束光纤 1 后,分别输入给激光接收单元和修正光纤;入射脉冲信号通过修正光纤的光程为定值,即激光脉冲经过修正光纤的延迟时间为定值;对于信号延迟单元,存在一个延迟时间 t_0 ,满足信号经过动态距离模拟模块的总延迟时间与信号经过修正光纤的延迟时间相等;动态距离模拟模块的输出信号先经分束光纤分束再由输入通道 1 进入平衡探测器,而修正光纤内传输的信号经输入通道 2 进入平衡探测器,若两路激光脉冲能同一时刻被平衡探测器接收,则示波器会观测到一个脉冲波形,即仪器初始设置成功。

随着使用时间的加长、周围环境的改变,动态距离模拟器的技术参数可能会发生漂移,导致信号经修正光纤延迟时间与经动态距离模拟模块的延迟时间不再一致,表现为平衡探测器的输出为两个脉冲波形,此时便需要通过延迟控制单元对该仪器进行修正,直至平衡探测器输出重新变为一个脉冲波形。

一般情况下,动态距离模拟器开机前或连续使用一周以上就必须通过示波器鉴定是否需要对其进行修正。修正时,信号延迟单元延迟时间设定为 t_0 ,“修正 X ”和“修正 Y ”光纤先后与平衡探测器“输入 1”通道连接,依次完成对模拟距离 X 通路和模拟距离 Y 通路的修正。自修正模块的构建保证了动态距离模拟器性能的稳定。

2.4 自修正实现

延迟控制单元除了将模拟距离值转化为延迟时间来设定信号延迟单元的延迟外,还完成了对模拟距离的校正和系统技术参数漂移的修正,保证了动态距离模拟器的精度、性能稳定性。

信号延迟单元的延迟时间若仅根据公式 $t = 2L/c$ 设定,那么激光接收单元、信号延迟单元、激光

器带来的固有延迟时间,即系统固有延迟将使得发射激光主波与接收激光回波间的时间间隔有一个较大的偏差。设系统固有延迟时间均值为 \bar{D} ,延迟控制单元通过公式(1)对上述偏差加以校正:

$$t = \frac{2L}{c} + r \quad (1)$$

式中, r 为修正值,最初始时 $r = -\bar{D}$ 。

随着使用时间的加长,周围环境、温度等条件的改变及内部元器件的老化等,仪器的技术参数会发生漂移,公式(1)中的 r 又起到了完成系统自修正的作用。

脉冲信号通过修正光纤的光程 L_0 为定值,并与信号延迟单元设定的延迟时间 t_0 相对应,二者满足关系式:

$$t_0 = \frac{2L_0}{c} + r \quad (r = -\bar{D}) \quad (2)$$

当公式(2)不再成立,说明仪器参数发生了漂移,此时根据示波器的图像信息修正 r ,直至示波器显示为一个脉冲波形的形式,即完成了对动态距离模拟器的修正。

延迟控制单元的模拟距离信息可以通过手动和主控机输入两种方式完成。

3 实验

为了验证动态距离模拟器所提供的模拟距离的精度和仪器性能的稳定性,需要对动态距离模拟器从接收激光主波到发射激光回波的时间间隔进行实际测量。但由于激光脉冲为光信号,接收和发射的具体时刻难以测量,因此实际测量时以电信号检测代替光信号检测。

检测模拟距离精度的实验装置如图 5 所示,首先断开激光接收、信号延迟单元间的连接,然后将激光器和激光接收单元用光纤接通。检测时使用信号发生器产生电脉冲,作为计时开始信号,触发信号延迟单元。信号延迟单元延迟结束后,触发激光器发射激光。激光接收单元通过光纤接收到激光后,将其转化为电信号输出,作为计时结束信号。通过安捷伦 DSO90404A 高性能示波器测量计时开始与计时结束间的时间间隔,这段时间包括信号延迟单元设定的延迟和信号在系统中的固有延迟,等价于动态距离模拟器接收激光主波与发射激光回波间的时间间隔。将实验测得的时间间隔读出,检测动态距离模拟器的模拟距离精度。

行地面检测实验,应用效果良好。

参考文献:

- [1] Lin Yingkan, Guo Ying, Huang Genghua, et al. Distance source of laser range finder and its precision analysis[J]. Infrared and Laser Engineering, 2009, 38 (6): 1089 - 1093. (in Chinese)
林盈侃,郭颖,黄庚华,等.激光测距仪距离模拟源技术研究与精度分析[J].红外与激光工程,2009,38(6):1089-1093.
- [2] Wang Jianyu, Shu Rong, Chen Weibiao, et al. Laser altimeter of CE-1 [J]. SCIENTIA SINICA Physica, Mechanica & Astronomica, 2010, 40(8) : 1063 - 1070. (in Chinese)
王建宇,舒嵘,陈卫标,等.嫦娥一号卫星载激光高度计[J].中国科学:物理学 力学 天文学,2010,40(8):1063-1070.
- [3] Huang Genghua, Wang Binyong, Shu Rong, et al. Ground-based calibration and performance verification of the lunar observation laser altimeter [J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, 35(Sup.) : 375 - 378. (in Chinese)
黄庚华,王斌永,舒嵘,等.月球探测卫星激光高度计地面定标与性能验证技术 [J]. 红外与激光工程, 2006, 35(增刊): 375 - 378.
- [4] Chen Yi, Guo Ying, Yang Jun, et al. Study of high-precision pulsed laser range finding techniques [J]. Infrared, 2010, 31(6) : 35 - 39. (in Chinese)
陈奕,郭颖,杨俊,等.脉冲式高精度激光测距技术研究 [J]. 红外, 2010, 31(6) : 35 - 39.
- [5] Hu Enping, Luo Xingbai, Peng Yonghuai. MΦItoft statistical model for parametric drift of electronic components [J]. Electronic Components & Materials, 2001, 20 (1): 39 - 42. (in Chinese)
胡恩平,罗兴柏,彭永怀.电子元件参数漂移的 MΦItoft 统计模拟分析 [J]. 电子元件与材料, 2001, 20 (1): 39 - 42.
- [6] Zhu Zongjiu, Wang Qin. Application of fiber optic to EMI of computers [J]. Cryogenics and Superconductivity, 2002, 30(2) : 64 - 67. (in Chinese)
朱宗玖,王勤.光纤抗干扰技术在计算机中的应用 [J]. 低温与超导, 2002, 30(2) : 64 - 67.
- [7] Li Zhenzhu, Qi Hongxing, Huang Genghua, et al. Design of a adjustable distance simulator for pulsed laser ranging system equipment [J]. Science Technology and Engineering, 2012, 12(14): 3470 - 3474. (in Chinese)
李真珠,亓洪兴,黄庚华,等.脉冲式激光测距体制设备动态距离模拟器的研究设计 [J]. 科学技术与工程, 2012, 12(14): 3470 - 3474.