

全光纤激光相干探测实现远距离目标测速

眭晓林, 周寿桓, 赵 鸿, 刘 波, 颜子恒, 熊文龙
(固体激光技术重点实验室, 北京 100015)

摘要:采用全光纤结构进行相干探测,使用输出功率 100 mW 窄线宽激光作发射源,利用多普勒效应,可对 0.1 m ~ 3 km 目标进行测速。该系统探测灵敏度可达 10^{-13} W,具有功耗小、环境适应性好、可靠性高等优点,适用于飞船着陆器安全软着陆等应用。

关键词:相干探测;多普勒效应;激光测速;高灵敏度

中图分类号:TN247 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1001-5078.2013.03.006

All fiber coherent detection system for far target velocity measurement

SUI Xiao-lin, ZHOU Shou-huan, ZHAO Hong, LIU Bo
YAN Zi-heng, XIONG Wen-long

(Science and Technology on Solid-state Laser Laboratory, Beijing 100015, China)

Abstract:An all fiber coherent detection system is developed for target velocity measurement. The narrow line width laser output power is 100 mW. It's based on Doppler effect. The operation distance is from 0.1 m to 3 km. The system's sensitivity achieves 10^{-13} W, It has advantage of low power consumption, stable and reliable performance, good spatial adaptability. The system can be used for spacecraft landing which needs to measure velocity.

Key words:coherent detection; Doppler effect; laser velocity measurement; high sensitivity

1 引言

1964年, Yeh 和 Cummins 首次采用双光束相干技术通过测量激光多普勒频移量来获得流体的运动速度^[1]。利用激光相干测速方法在测量范围、精度、实时性等方面均优于传统方法^[2]。但作用距离一般在数百米之内^[3-4]。在对于诸如月球、火星之类的外星球进行探索时,飞船着陆器需要安全软着陆。软着陆过程中激光技术在着陆器速度感知方面发挥重要的作用^[5]。

2 系统组成及原理

本研究采用全光纤相干探测方案,成功实现了对最小功率 10^{-13} W 回波光的多普勒频移进行探测。实验方案如图 1 所示。

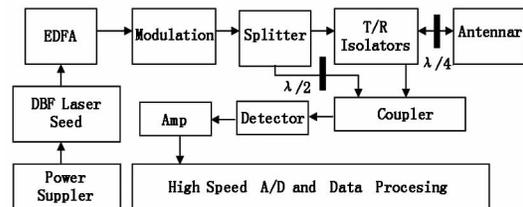


图 1 全光纤相干探测系统原理

Fig. 1 scheme of all fiber coherent detection system

经过调制后的光纤单频激光分为本振光和照射光。本振光经过 $\lambda/2$ 波片到达探测器。目标照射

基金项目: 固体激光技术重点实验室基金项目 (No. 9140C040204110C0404; No. 9140C040201130C04002); 中国电子科技集团公司创新基金课题资助。

作者简介: 眭晓林 (1975 -), 男, 博士研究生, 主要从事光电技术探测方面的研究。E-mail: pcb550@126.com

收稿日期: 2012-10-06

光经反射后进入接收支路在探测器上与本振光混频。收发隔离器前加 $\lambda/4$ 波片是使反射光与本振光在偏振方向上一致。该系统所有光路连接均采用光纤。探测器输出的信号携带有相对运动速度信息,数据采集及处理系统对该信号处理后得到飞船速度。

对于着陆行星表面,在作用距离最远处接收回波功率 P_{\min} 由下式计算^[6]:

$$P_{\min} = \frac{P_t \cdot \rho \cdot k \cdot A_c}{\pi R_{\max}^2} \quad (1)$$

式中, P_{\min} 为作用距离最远处接收功率; P_t 为激光发射功率; A_c 为接收有效口径面积; ρ 为目标反射率; k 为光学系统透过率; R_{\max} 为最远距离。

系统中采用的参数如下:激光发射功率 $P_t = 100 \text{ mW}$, 光学透过率 $k = 0.3$, 接收有效口径面积 $A_c = 0.0035 \text{ m}^2$, 目标反射率 $\rho = 6\%$ 。系统达到的作用距离为 $R_{\max} = 3 \text{ km}$ 。代入公式,得到最小接收功率: $P_{\min} = 2.2 \times 10^{-13} \text{ W}$ 。普通激光探测系统的最小接收功率一般在 10^{-8} W 数量级。该全光纤相干探测系统灵敏度较普通探测系统提高 5 个数量级。

3 实验结果

本系统实验采用直升飞机作为载体,将系统固定在直升机驾驶舱侧下方,如图 2 所示。



图 2 相干探测系统安装于直升机上

Fig. 2 coherent detection system is mounted on the helicopter

在距地面 3 km 飞行进行速度测量,测试数据如图 3 所示,粗线为激光测速雷达测试数据,细线为 GPS 测试数据。在 GPS 测量随机误差的 $\delta = 0.25 \text{ m/s}$ 情况下,测量数据与 GPS 最大误差为 $\delta = 0.45 \text{ m/s}$ 。目前该系统的作用距离主要受限于发射功率,再采取更大的发射功率将达到更远的距离^[7]。

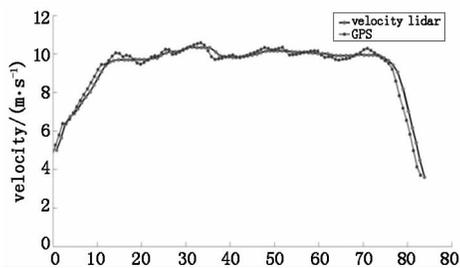


图 3 相干探测系统与 GPS 测试数据对比

Fig. 3 coherent detection system test data vs GPS data

参考文献:

- [1] Yeh Y, Cummins H Z. Localized fluid flow measurements with an He - Ne laser spectrometer [J]. Applied Physics Letters, 1964, 4(10): 173 - 178.
- [2] Zhang Yanyan, Gong Ke, He Shufang, et al. Progress in laser Doppler velocity measurement techniques [J]. Laser & Infrared, 2010, 40(11): 1157 - 1162. (in Chinese)
张艳艳, 巩轲, 何淑芳, 等. 激光多普勒测速技术进展 [J]. 激光与红外, 2010, 40(11): 1157 - 1162.
- [3] Cai Xiping, Zhao Yuan, Dai Yongjiang, et al. CO₂ coherent laser doppler velocimetry [J]. Infrared Millim. Waves, 1996, 15(6): 465 - 468. (in Chinese)
蔡喜平, 赵远, 戴永江, 等. CO₂ 相干激光多普勒测速的研究 [J]. 红外与毫米波学报, 1996, 15(6): 465 - 468.
- [4] Zhang Yanyan, Huo Yujin, He Shufang, et al. A new dual frequency laser Doppler velocity measurement method [J]. Laser & Infrared, 2010, 40(7): 694 - 696. (in Chinese)
张艳艳, 霍玉晶, 何淑芳, 等. 一种新的双频激光多普勒测速方法的实验研究 [J]. 激光与红外, 2010, 40(7): 694 - 696.
- [5] Aron Wolf, Jeff Tooley, et al. Performance trades for mars pinpoint landing [J]. Proc. of IEEE Aerospace Conference, 2006: 1661.
- [6] A L Duff, G Plantier, J - C Valière, et al. Analog sensor design proposal for laser Doppler velocimetry [J]. IEEE Sensors J., 2004, 4(2): 257 - 261.
- [7] R M Huffaker, R M Hardesty. Remote sensing of atmospheric wind velocities using solid-state and CO₂ coherent laser systems [J]. Proc. IEEE, 1996, 84: 181 - 204.