

Design of Velocimetry System Base on Laser Doppler Effect

Suiyan Tan, Chudong Xu

College of Electronic Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou Guangdong

Email: tansuiyan@scau.edu.cn

Received: May 25th, 2015; accepted: Jun. 8th, 2015; published: Jun. 12th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

A velocimetry system based on laser Doppler Effect is designed. The system works through building Michelson interferometer with discrete optical elements. The movable object of system is implemented by gear motor and doesn't need to change the structure of experiment equipment; therefore, the system is simple, convenient and low cost. Building the Michelson interferometer and measurement system by students themselves not only deepens students' understanding of Doppler Effect and its application, but also it is good for developing comprehensive and designed experiment, which can extend optic specialty undergraduate course experiment teaching content. Function of the velocimetry system is successfully achieved, and average error is 2.38%; errors are lower 5%.

Keywords

Laser Doppler Effect, Velocimetry System, Michelson Interferometer, Frequency Difference Method

基于激光多普勒效应测速系统的设计

谭穗妍, 徐初东

华南农业大学电子工程学院, 广东 广州

Email: tansuiyan@scau.edu.cn

收稿日期: 2015年5月25日; 录用日期: 2015年6月8日; 发布日期: 2015年6月12日

摘要

利用分立光学元件在光学平台上搭建迈克尔逊干涉光路，本文设计并实现基于激光多普勒效应的测速系统。系统通过增加减速电机实现运动载体，不需对现有实验教学仪器进行改装，结构简单使用方便，制作难度小，系统成本低，利用Matlab2010软件开发测量系统的应用软件界面友好，操作简易。学生动手搭建光路和测量系统，可加深对激光多普勒效应原理及其应用的理解，有利于开展综合性或设计性实验，扩充本科光学相关专业实验教学内容。系统较好地实现了测速的功能，平均误差为2.38%，误差在5%以内。

关键词

激光多普勒效应，测速系统，迈克尔逊干涉，差频法

1. 引言

1964年，Yeh和Cummins首次观察到液体中粒子的散射光频移[1]，并测得流体的层流管流分布，这标志着激光多普勒测速技术的开端。至今，激光多普勒测速技术已有了近50年的发展历史。激光多普勒测速技术具有非接触、精度高、空间分辨率高、测速范围广、动态响应快等优点[2]-[7]，但是在高等学校中，甚至在光学相关专业的实验课程中，都缺少开展综合性或设计性的激光多普勒效应的实验。北京航空航天大学张淼、唐芳[8][9]等人通过对迈克尔逊干涉仪动镜的改装和机械加工，实现激光多普勒实验的演示，但需要对现有教学仪器结构的改装。

本文设计利用分立的光学器件搭建迈克尔逊干涉光路，采用差频法，当被测物体发生位移，光电探测器接收光拍信号，通过测量光拍频率计算出物体的运动速度，利用MATLAB开发基于激光多普勒效应测速系统的软件。测速系统成本低，结构简单，原理清晰，更直观有效地帮助学生掌握激光多普勒测速技术，扩充本科光学相关专业实验内容。

2. 迈克尔逊干涉型的多普勒测速技术

一定频率 f_0 、波长 λ 的光波在传播过程中，对于接收器有相对运动 v 时，接收器接收到的反射波的频率 f' 随相对运动的速度 v 而变化，这种现象叫激光多普勒频移效应[10][11]。

$$f' = (1 \pm v/v_c) f_0$$

v_c 为光在空气中传播速度，由于激光频率极高，如果从传统思路入手，直接观察激光多普勒频移，需要光源具有极高而且稳定的速度，这样的速度在普通实验室装置中很难获得，而利用差频法在低速条件下可以较好地实现激光多普勒效应，如图1系统光路图，光束 y_1 、 y_2 经平面镜反射后相对于光电探测器其频率分别为 f_0 和 f' ，在光电探测器处干涉光 y 表达式如下，

$$y_1 = a \sin 2\pi f_0 t, \quad y_2 = a \sin 2\pi f' t$$

$$y = y_1 + y_2 = 2a \sin 2\pi f_0 t \cos \pi \Delta f t$$

$$\Delta f = f' - f_0 = \frac{2v}{\lambda}$$

根据振动叠加原理，干涉光形成的拍就是光拍。由于光电探测器的响应频率限制[12]，探测器只能够

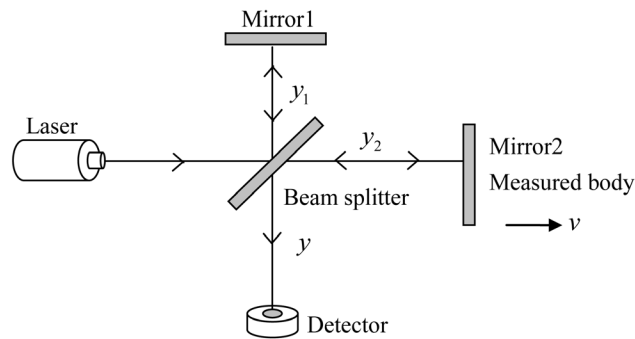


Figure 1. Optical system

图 1. 系统光路图

响应干涉光光强 Δf 的变化频率，通过测量光拍的频率 Δf ，即可计算出运动物体的运动速度。

$$v = \lambda \Delta f / 2$$

3. 测速系统框架

3.1. 系统总体框架

如图 2、图 3 所示，测量系统主要分为四大模块，系统光路、MCU 控制模块、信号采集模块以及信号处理模块[13] [14]。

1) 系统光路由分立的光学元件搭建，能充分培养学生动手能力，深入理解激光多普勒的原理，其中运动载体由一块平面镜、三维底座和减速电机组成，减速电机以一定的速度带动底座的微调旋钮扭转，平面镜作低速的平移运动。电机不同的供电电压，镜子运动速度线性地增减。

2) 使用硅光电池结合数字示波器进行信号采集。利用硅光电池将光拍信号转化为电信号，然后使用数字示波器进行采集。

3) 信号处理模块，使用计算机对采集的光拍信号进行滤波和傅里叶变换，获取信号的频率，自动测量运动物体的速度。

4) MCU 控制模块包括单片机主控电路、电源电路、LCD1602 电路和光电门电路。在单片机控制下利用光电门测量减速电机的转速，主控电路根据转速计算出运动物体实际的平移速度，由液晶屏 LCD1602 显示，与计算机测量的速度作比较，分析测量误差，电源电路为各工作电路提供稳定的电源，系统电路如图 4。

3.2. 测速系统软件

利用 Matlab2010 软件开发测量系统的应用软件界面，界面友好，操作简易，软件的功能主要包括两个部分：一是通过 USB 接口实时接收数字存储示波器传来的采样数据，二是根据实验原理，对采样数据即光拍信号进行分析处理，包括：对信号进行滤波，快速傅里叶变换，获取光拍信号频谱图，实现速度的自动测量，软件界面如图 5。

4. 实验结果与讨论

4.1. 测量数据

根据设计搭建系统，使用系统测量 10 组不同速度的数据进行分析。本系统的测量结果与单片机和光电门测量的数据比较如表 1 所示。由表 1 可以看出，系统测得的速度在可接受范围内，误差在 5% 以内。

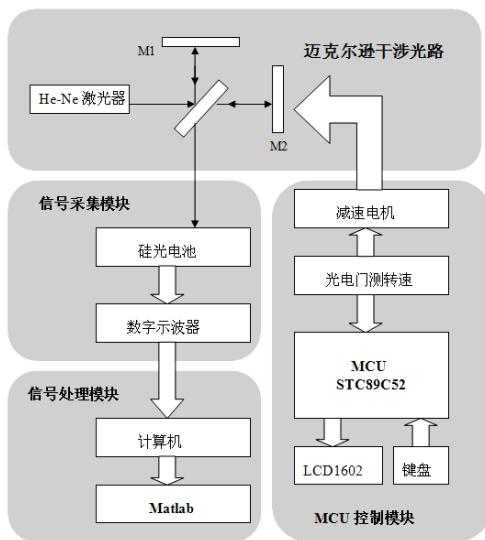


Figure 2. Diagram of system
图 2. 系统总体框架

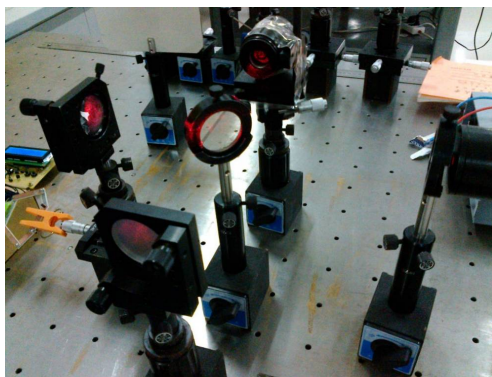


Figure 3. Physical system
图 3. 系统实物图

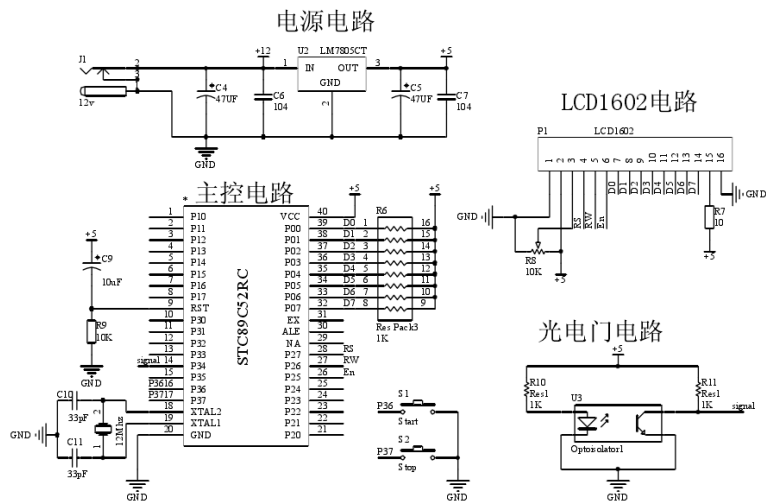


Figure 4. System circuit diagram
图 4. 系统总电路图

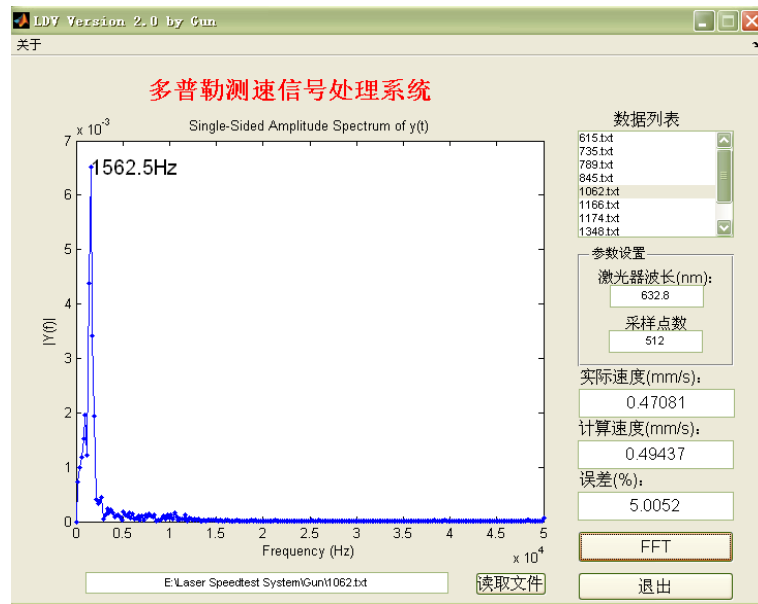


Figure 5. Application software interface of measurement system

图 5. 测量系统的应用软件界面

Table 1. Experimental data of laser Doppler velocimetry system

表 1. 激光多普勒测速系统实验数据

序号	光电门测量速度(mm/s)	系统测量速度(mm/s)	误差
1	0.813	0.846	4.06%
2	0.680	0.658	3.2%
3	0.634	0.630	0.6%
4	0.592	0.618	4.44%
5	0.471	0.494	5.00%
6	0.429	0.433	0.88%
7	0.426	0.433	1.57%
8	0.371	0.370	0.03%
9	0.191	0.185	2.81%
10	0.125	0.123	1.22%
平均误差:			2.38%

4.2. 结论

本文研究利用分立光学元件在光学平台上搭建迈克尔逊干涉光路实现激光多普勒测速系统，成功并比较好的实现了测速的功能，平均误差为 2.38%，误差在 5% 以内。学生动手搭建光路和测量系统，可加深对激光多普勒效应原理及其应用的理解。相比使用迈克尔逊干涉仪改装而成的系统，本系统通过增加减速电机实现运动载体，结构简单使用方便，制作难度大大减小，降低了系统的成本，有利于开展综合性或设计性实验，扩充本科光学相关专业实验教学内容。

基金项目

国家青年基金项目 61308038。

参考文献 (References)

- [1] Yeh, Y.C. and Localized, H.Z. (1964) Flow Measurements with a He-Ne laser spectrometer. *Applied Physics Letters*, **4**, 176-178.
- [2] 杜卫明 (2000) 迈克尔逊干涉测速方法. *天津轻工业学院学报*, **3**, 65-68.
- [3] 刘飞 (2006) 激光多普勒测速仪的研究. 长春理工大学, 长春.
- [4] 王素红 (2008) 激光多普勒测速技术. *现代物理知识*, **4**, 31-33.
- [5] 张艳艳, 巩轲, 何淑芳 (2010) 激光多普勒测速技术进展. *激光与红外*, **11**, 57-62.
- [6] 汪源源 (1996) 多普勒信号分析技术的比较研究. *复旦学报(自然科学版)*, **1**, 53-58.
- [7] 桑波, 赵宏, 王学礼, 谭玉山 (2001) 2-D 激光多普勒振动测试仪的研究. *光子学报*, **5**, 614-617.
- [8] 张淼, 唐芳, 李华 (2007) 基于迈克耳孙干涉仪的激光多普勒实验仪及其实验. *物理实验*, **4**, 9-12.
- [9] 张淼, 包一鸣, 李华, 等 (2008) 低速/微振动测量试验中的激光多普勒频移计算机测量方法. *物理实验*, **5**, 27-29.
- [10] 马文蔚, 解希顺, 周雨青 (2008) 物理学. 高等教育出版社, 北京, 70-72.
- [11] 周炳琨, 高以智, 陈倜嵘, 等 (2009) 激光原理. 国防工业出版社, 北京, 278-281.
- [12] 江月松 (2011) 光电技术与实验. 北京理工大学出版社, 北京, 129-130.
- [13] 李朝青 (2009) 单片机原理及接口技术. 北京航空航天大学出版社, 北京, 17-24.
- [14] 程佩青 (2007) 数字信号处理教程. 清华大学出版社, 北京, 143-150.