

干涉条纹计数实验软件设计^①

罗志灶, 周赢武, 郑忠楷

(闽江学院 物理与电子信息工程系, 福州 350108)

摘要: 干涉条纹计数实验软件可自动完成光学实验中干涉条纹的自动采集和移动条纹计数。该系统利用 PCI 高速的数据采集与传输特性, 实现干涉图像的采集, 运用图像的处理算法实现条纹的识别和定位。本系统融合了图像处理不同阶段的多种算法, 取得较好的效果。克服了光学实验中依靠人眼直接判读干涉条纹的种种缺陷, 实时跟踪移动的条纹及自动计数, 便于学生完成干涉条纹进行测量物理量的实验。

关键字: 数字图像; 干涉条纹; 计数

Project of Experimental Software for Counting Interference Fringes

LUO Zhi-Zao, ZHUO Ying-Wu, ZHENG Zhong-Kai

(Department of Physics & Electronic Information Engineering, Minjiang University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: The experimental software for counting interference fringes could accomplish the auto-sampling and counting moving fringes. The software accomplishes sampling interference video through PCI high-speed capacity of data sampling and transmitting, and exerts the digital image algorithms to identify and locate the fringes. The software combines with many algorithms in various stages, achieves better effect. It could overcome many disadvantages which survive in manual watching and measuring interference fringes in optical experiments, and could trace moving fringes in real time and auto-count the fringes, could facilitate students to accomplish experiments that measure some physical quantities by the laser interference fringes.

Key words: digital image; interference fringe; counting

1 引言

干涉条纹的提取和检测^[1]是光学干涉的关键实验, 平行等距干涉条纹^[2]是干涉测量中比较常见的实验。目前光学干涉实验中, 主要是依靠人眼直接判读干涉条纹, 因此会带来视觉疲劳及计数错误等缺陷。

计算机图像采集和处理可改进光学干涉实验装置, 无需人眼直接观察干涉条纹成像, 避免激光器等光源对人眼长时间直视所引起视觉疲劳、视力损害等问题, 并且可避免视觉疲劳导致计数错误^[3]。基于 CCD 的干涉测量系统, 可广泛应用于迈克尔逊干涉实验、牛顿环等各种物理光学实验中。目前对干涉条纹的采集和处理主要集中于对单幅图像而不是对视频实时处理, 且算法过于复杂, 不适宜实时处理, 难于实时完

成整个实验^[4,5]; 或利用 FPGA 实现对干涉图像的实时处理^[6], 直接转换结果, 但无法观察采集的图像, 对学生调节实验仪器, 观测实验结果非常不利, 也无法判断数据的准确性。

本文采用基于 PCI 总线的 CCD 图像采集系统, 实现计算机对干涉图像的自动连续采集、单幅采集、保存和处理等功能; 实时处理图像, 自动计数经过某坐标点的条纹数量和实时跟踪标记条纹; 提供多种参数设置, 以适应复杂的实验环境; 可手工选择处理的图像区域, 减少背景光的干扰。

2 系统简介

本系统由干涉条纹自动计数软件和图像采集系统

① 收稿时间:2011-05-26;收到修改稿时间:2011-09-20

(硬件部分)组成,其中硬件由 PCI 视频采集卡 SDK2000 和 CCD 摄像头组成。软件由干涉条纹自动计数软件及视频采集卡的驱动程序组成。驱动程序采用厂家提供的 PCI 采集卡的驱动程序 SDK2000 及其 API 封包 DSSStream.lib, DSSStream.h; 干涉条纹自动计数软件负责实时处理图像和计算实验结果;并提供保存实时图像、转录视频;提供原始图像、平滑图像、二值图像和条纹标号的功能;提供相关参数的设置功能。本系统的结构如图 1 所示。

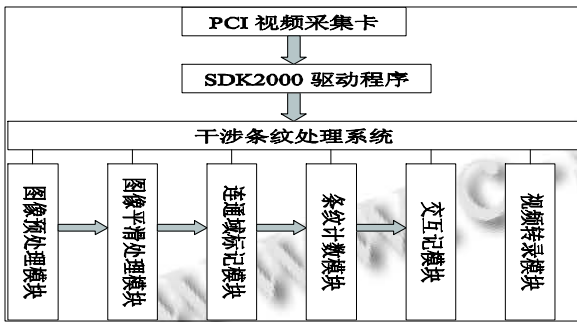


图 1 干涉条纹数字分析实验系

VFW(Video for Windows)^[7]是 Microsoft 推出的关于数字视频的软件开发包,VFW 的核心是 AVI 文件标准。AVI(Audio Video Interleave)文件中的音、视频数据帧交错存放。围绕 AVI 文件,VFW 提供一整套完整的视频采集、压缩、解压缩、回放和编辑的应用程序接口(API)。本系统的视频的转录模块是基于 VFW 的,系统必需包含 Vfw.h、Vfw32.lib 文件。

3 干涉条纹图像处理过程

3.1 图像处理过程

图像处理的步骤如图 2 所示。首先获取图像的属性 BITMAPINFOHEADER,主要是图像的宽 biWidth 和高 biHeight,及每个像素点的位数 biBitCount 等;图像灰度化,按式(1)将彩色图像转换成灰度图像^[8]。图像灰度后,图像以 biWidth×biHeight×3 格式存储,且 R、G、B 分量的灰度级值相等。

$$gray = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B \quad (1)$$

式(1)中,R、G、B 分别表示图像的红、绿、蓝分量的灰度级 gray,表示图像后的灰度图像的灰度级。

图像直方图均衡化^[8]的目的是将图像的灰度级均匀地扩展 0~255 级灰度级,消除图像过度曝光或曝光不足对图像的影响。直方图均衡化原理如下:

对于灰度图像任一灰度级 r_k 出现的概率为:

$$p_r(r_k) = n_k / n \quad k = 0,1,2,\dots,L-1 \quad (2)$$

式(2) n_k 表示图像中灰度级 r_k 的像素点数量, n 表示图像所有像素点的数量, $p_r(r_k)$ 表示灰度级 r_k 出现的概率。变换函数的离散形式为

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} \quad (3)$$

r_k 是原始图像某一灰度级, s_k 是灰度级 r_k 均衡化后图像对应的灰度级。

图像平滑处理用 3×3 模板均值滤波^[8]。原始图像的颗粒噪声非常严重,其主要原因是光源和背景光的干扰。图像需平滑处理即降低颗粒噪声对图像二值化的影响,若图像不平滑处理,则二值图像会存在大量的颗粒目标。系统的实时性,要求图像平滑的时间尽可能少。尽管中值滤波^[8]、高斯滤波^[8]等算法,效果优于均值算法,但均值算法运行时间最短,本系统选择均值滤波算法。

图像二值化^[8],以某个阈值将图像中的灰度条纹分割成明暗条纹。以 0 表示暗的条纹,255 表示亮条纹。理想的图像是由明暗相间的条纹组成,但噪声干扰,及实验条件的限制,可能条纹并不完全规则,且会出现沾粘现象。因此,选择最佳的阈值,可最大地减少条纹的沾粘现象。本系统提供阈值选择功能,在调整阈值时,实时显示图像二值化的结果。

条纹骨化是将条纹的每行目标点用一个像素点表示。通常图像用膨胀和腐蚀算法^[8],本系统采用每行连通域的中心点,作为细化条纹的每行的像素点。

连通域标记和帧间条纹移动在 3.2 和 3.3 节介绍。

3.2 连通域标记算法

二值图像连通域标记^[9],即将属于同一目标的连通域用相同标号表示。连通域标记算法有区域增长连通域标记算法^[10]、轮廓跟踪标记算法^[11]、多次扫描算法^[12]、基于共同连通域标记算法^[13]等。本系统采用基于共同连通域标记算法。

本算法思路是：对二值图像进行扫描，按 8-邻域或 4-邻域规则，用临时标号矩阵标记所有像素点。此时，会有大量的等价标号存在，即不同的临时标号标记属于同一目标的子连通域，将此类连通域标号称为等价标号。解决等价标号的方法是：用共同连通域数组存储每个子连通域所属的共同连通域标号，共同连通域数组的下标表示子连通域的标号，其值则是目标共同连通域的唯一标号。当遇到等价标号时，则扫描共同连通域数组，将等价标号的共同连通域标号改成一致。

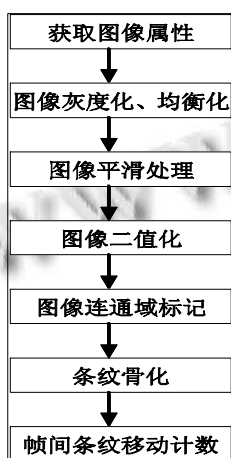


图 2 视频帧处理过程

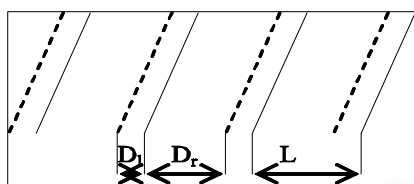


图 3 帧间干涉条纹示意图

以 4 邻域为例，算法运行分为两个阶段：

第一阶段：

1) 提取图像参数，如图像的尺寸等。

2) 从左向右、自上向下扫描图像并按如下规则处理：

a) 若当前目标点的上邻域和左邻域是背景，则用新的标号标记，增加共同连通域数组的元素，元素的下标和值均是该新标号。

b) 若当前目标点的上邻域和左邻域仅有一个是目标点，则用上邻域或左邻域的标号标记当前目标点。

c) 若当前目标点的上邻域和左邻域均是目标点，且它们的标号相同，则用它们的标号标记当前目标点。

d) 若当前目标点的上邻域和左邻域均是目标点，且它们的标号不同，则用它们的标号标记当前目标点。则遍历共同连通域标号数组，将数组中值等于上邻域标号的元素的值修改为左邻域标号。

第二阶段，扫描临时连通域标号矩阵，对每个像素点的临时连通域标号用最终确定的、唯一的共同连通域标号替换，即实现连通域的合并。在连通域合并前，按共同连通域标号出现的次序，重新定序，确保目标连通域标号有效。合并后，标号矩阵中的像素点连通域标号即是最终所得的目标连通域标号。

3.3 帧间条纹移动算法

帧间条纹移动计算，是通过定位条纹在图像中的位置，并比较同一条纹在两帧的坐标，计算条纹移动的距离，并累计条纹在帧间移动距离。图像经过上述处理，可获取条纹在图像中的每行的中心位置。由于干涉条纹是规则的且特征是无差别的。因此不可能通过定位特定的条纹，达到计算条纹的位移。如图 3 所示，虚线表示前一帧条纹，实线表示当前帧条纹。若采样的频率足够大，则条纹在帧间的移动距离应小于 $1/2$ 波长 L 。若条纹在帧间的移动距离大于 $1/2$ 波长 L 时，则已产生跳帧现象，会出现计数错误。

由于实验平台调节时，会出现抖动现象，此时条纹会出现左右摆动，通常的处理方法是用迟滞回归方法，消除抖动，但若抖动幅度过大，则会出现跳帧现象，即将后退的条纹当作前进的条纹，造成判断失误。为防止出现类似问题，本算法按如下规则跟踪条纹：若当前帧的条纹更靠近前一帧的左侧条纹，则认为条纹左移；若更靠近前一帧的右侧条纹，则认为条纹右移。

条纹移动的计算过程如图 4 所示。首先获取图像帧，按 3.1 节计算每个条纹的中心坐标，将条纹从左向右按升序标号标记条纹；若是首帧，则继续获取下一帧，若不是首帧，则比较当前帧和前一帧图像中的条纹的坐标，找到两帧图像中的坐标间距最小的两条纹，并计算两条纹的标号差值。用条纹标号差值修改当前帧条纹的标号，即当前帧条纹的标号加上帧间条纹的标号差值。重复获取图像帧，计算图像中的每个条纹的中心坐标，根据前一帧条纹中心坐标及标号，修正当前帧的条纹的标号，直到结束。

本算法可跟踪干涉条纹的左移和右移的变化，并且可准确计算条纹的标号。但干涉条纹计数的速度受制于图像采样的频率，例如，若图像采样频率为 60 帧/秒时，则允许干涉条纹的移动速度 < 30 条/秒，否则会出现计数错误。

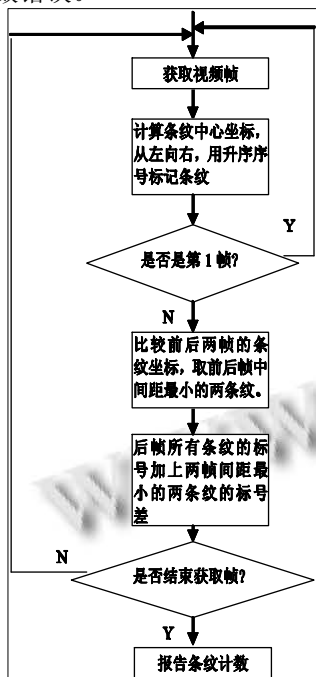


图 4 条纹计数流程

位于图像的中心位置，且随条纹移动，下方状态栏显示条纹向左右移动的数量，向左为负，向右为正。由于实验环境复杂，背景光源的干扰等原因，本系统增加人工选择视频处理窗口，保证所处理的图像是符合要求的。

本系统在迈克尔逊干涉实验中进行测试，光源采用波长 $\lambda = 632.8$ 纳米，表 1 的理论计数栏是通过 $N_i = 2(d_i - d_{i-1}) / \lambda$ 计算得到。 d_i 、 d_{i-1} 、是每移动 100 个条纹后，动镜位置的测量值。实验结果如表 1 所示。分别对移动条纹进行人工测量和系统自动测量，结果表明本系统具有相当的准确性，其计数产生误差主要是背景光源干扰和调节速度不平稳造成的。实验数据表明，本系统的条纹移动距离的计数是可靠的，其与人工计数的误差 < 2%。

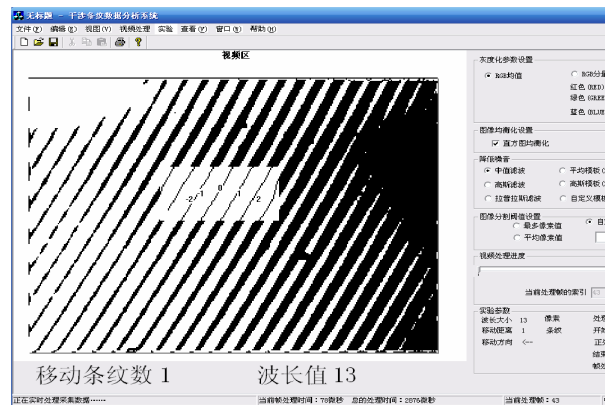


图 5 系统运行效果图

4 实验分析

本系统运行效果如图 5 所示，在视频区显示图像处理的结果，并用标号标记各干涉条纹的标号，标号

表 1 实验自动计数与手工计数的比较

实验次数	1	2	3	4	5	6
$y_i = d_i$	34.45323	34.48558	34.51714	34.54979	34.58206	34.6147
理论计数 N_i	0	102	202	305	407	510
手工计数	0	100	200	300	400	500
自动计数	0	101	199	302	402	504
自动计数误差	0%	1.00%	0.50%	0.67%	0.50%	0.80%
实验次数	7	8	9	10	11	
$y_i = d_i$	34.64659	34.67853	34.71085	34.74252	34.77486	
理论计数 N_i	611	712	814	914	1017	
手工计数	600	700	800	900	1000	
自动计数	607	704	801	899	998	
自动计数误差	1.17%	0.57%	0.13%	0.11%	0.2%	

(下转第 29 页)

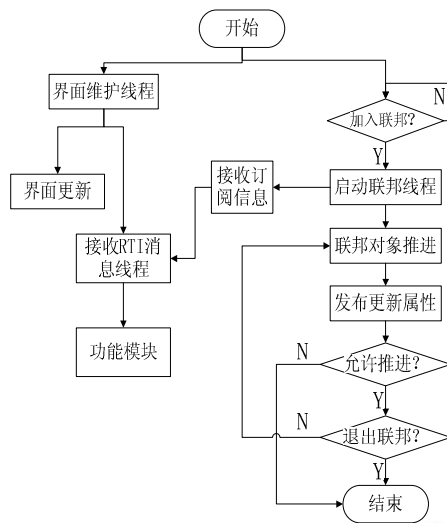


图5 联邦成员运行流程图

5 结论

空中无人机编队飞行对于表演和战争都是十分重要的内容之一,本文提出并设计了基于HLA的无人机编飞行仿真系统结构框架,设计出了一个具有良好互操作性以及开放性的仿真平台原型系统,实现了多机编队飞行。

(上接第80页)

5 结语

干涉条纹计数实验软件可完成条纹移动计数功能,并能动态跟踪移动条纹的位置,有利于实验中突发的故障处理。实验效果表明该系统完全可应用于光学干涉实验的数据采集和处理。

参考文献

- 1 邹伟金.高精度激光干涉条纹中心及半径提取的方法研究.电光与控制,2010,12(17):53-56.
- 2 陈凤超.干涉直条纹周期测量及其在位相检测中的应用.激光技术,2008,2(32):105-108.
- 3 曾金根.CCD等厚干涉实验仪的研究.实验室研究与探索,2003,6(22):55-57.
- 4 刘廷禹.等厚干涉条纹的数据处理.上海理工大学学报,199,1(21):77-80.
- 5 吴东楼.干涉条纹的处理方法研究.光学学报,199,1(1):45-49.
- 6 基于FPGA的重力仪干涉条纹和时间间隔计数.计量学报,2010,31(6):530-532.
- 7 Microsoft Corporation. Msdn Library http://msdn.microsoft.com,2002-06.

参考文献

- 1 刘璟,郑建华,张皓.基于HLA的小卫星编队飞行分布式仿真.计算机仿真,2010,27(5):66-70.
- 2 夏丰领,赵育善.基于HLA的航天任务仿真系统.系统仿真学报,2007,19(24):5710-5714.
- 3 贺涛,谢军,王文娟,李月娟.基于Multigen的无人机任务飞行仿真系统.计算机工程,2010,36(1):248-250.
- 4 马胜辉,杨艾军,张勇.基于HLA/RTI的无人机作战仿真系统框架设计.电脑知识与技术,2009,10(5):267-270.
- 5 郝江波,宋星.基于HLA的分布交互仿真应用系统开发研究.系统仿真学报,2000,12(5):481-483.
- 6 朱战霞,袁建平.无人机编队飞行问题初探.飞行力学,2003,21(2):5-7.
- 7 邹庆元,宋晗,陈宗基.多机多编队飞行仿真系统研究和设计.系统工程与电子技术,2008,30(4):677-681.
- 8 夏丰领,赵育善.基于HLA的航天任务仿真系统.系统仿真学报,2007,19(24):5710-5714.
- 9 High Level Architecture Run-Time Infrastructure Programmer's Guide RTI 1.3,Version 6.Defense Modeling and Simulation Office,12 March 1999.
- 10 Multigen-Paradigm Inc.Vega Prime Programmer's Guide Version2.0.2000.

- 8 Gonzalez RC, Woods RE.Digital Image Processing.2nd ed.北京:电子工业出版社,2006.
- 9 Grana C, Borghesani D, Cucchiara R. Connected Component Labeling Techniques on Modern Architectures. Image Analysis and Processing,2009,5716:816-824.
- 10 AbuBakerl A, Qahwajil R, Ipsonl S, Saleh M. One Scan Connected Component Labeling Technique. 2007 IEEE International Conference on Signal Processing and Communications (ICSPC 2007), 2007:1283-1286.
- 11 Chang F, Chen CJ. A component-labeling algorithm using contour tracing technique 7th International Conference on Document Analysis and Recognition, 2003:741-745.
- 12 Suzuki K, Horiba I, Sugie N. Linear-time connected-component labeling based on sequential local operations. Computer Vision and Image Understanding, 2003,(89)1: 1-23.
- 13 Kesheng Wu, Ekow Otoo, Kenji. Suzuki. Optimizing two-pass connected-component labeling algorithms.Pattern Anal Applic(2009)12:117-135.