

喷墨质量自动检测系统的设计与实现

张林, 刘志红, 陈峰

ZHANG Lin, LIU Zhi-hong, CHEN Feng

北京大学 计算机科学技术研究所, 北京 100871

Institute of Computer Science & Technology, Peking University, Beijing 100871, China

E-mail: zhl_xscc@sina.com

ZHANG Lin, LIU Zhi-hong, CHEN Feng. Design and implementation of ink-jet quality automatic detection system. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(26): 224-226.

Abstract: This paper proposes a new method to automatically detect the quality of ink-jet, describes architecture of the system, and represents design of the software. The system is based on high speed video capture device and image processing techniques. A microscope and a CCD camera are used to magnify and capture the flying ink drop images, a frequency generator and a two axis motor stage are applied as controlling unit. The system accomplishes automatic and real time capture of ink drop images. In the process of grasping images, the camera can be positioned accurately to each nozzle of the print-head. The captured images are analyzed with machine vision techniques, thus the visualization of ink-jet drops and the automatic detection of ink-jet quality are realized.

Key words: ink-jet quality detection; virtual instrument; visualization of drops

摘要:提出了一种自动检测喷墨质量的方法,说明了系统组成结构,并给出了软件设计要点。系统基于高速视频采集设备和图像处理技术,以显微镜和 CCD 相机作为飞行墨滴的放大和图像获取部件,以频率发生器和两轴运动平台作为控制部件,完成了对墨滴图像的自动和实时采集。在采集过程中能够对喷头的每个喷嘴进行自动精确定位。对采集到的图像使用机器视觉方法进行分析,实现了喷墨液滴的可视化和喷墨质量的自动检测。

关键词:喷墨质量检测;虚拟仪器;液滴可视化

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2008.26.068 **文章编号:**1002-8331(2008)26-0224-03 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP274

1 前言

随着数字喷印技术的高速发展,喷墨质量的自动和精确检测日益重要。在同种承印物和墨水的条件下,不同的喷头点火电压、墨水温度以及供墨系统负压等参数决定了喷头喷出墨滴的大小、形状、飞行方向等物理特征,这些墨滴特征是喷印质量的最直接反映。在喷墨质量检测中,一个重要的方法是对喷头喷出的墨滴直接观察,以判断喷射效果。但由于墨滴喷射速度高达 1~20 m/s,体积为 15~80 pL,以 1~20 kHz 的频率喷射,人眼无法直接观测。传统的方法是借助显微镜和带刻度的标尺进行人工检测,这种方法能够检测到少量喷嘴喷射墨滴的过程,但检测结果难以直接量化。目前实际喷印中使用的喷头喷嘴数一般在 128 个以上,经常需要对全部喷嘴进行质量检测,人工检测难以实现喷嘴的精确定位,也不易得到统计性数据。此外,人工检测过程包含个人经验、疲劳程度等多种不稳定因素,这些因素经常导致检测结果的不准确。

Kripfgans^[1]等人提出了一种使用显微镜对单个液滴喷射进行图像采集的方案,该方案中的喷嘴和采集设备位置相对固

定,没有进行采集结果的识别和分析。ITI 公司的 DropWatcher 系统^[2]实现了对喷墨墨滴的实时观测和图像获取,该系统中相机和喷头可以相对移动,但没有实现喷嘴的自动定位,也没有进行墨滴图像的进一步分析检测。

本文提出一种喷墨质量自动检测系统的实现方法,系统以高速视频采集设备为基础,使用显微镜对喷墨墨滴放大,用频率发生器和运动控制部件控制工业 CCD 相机采集不同时间点和不同位置的墨滴图像,用图像处理方法完成对采集图像数据的处理,实现了喷墨墨滴的自动采集和质量检测。在采集过程中,结合墨滴识别技术,实现了对喷头的精确定位。

2 系统组成

系统由喷墨控制、图像采集、运动控制 3 个子系统和主控计算机组成,总体结构见图 1。

系统以一台工控计算机作为主控机,主控机运行应用软件,对各个子系统进行控制,并与各个子系统进行通信以完成数据采集。主控机通过编码器信号驱动喷墨子系统喷墨,在墨

作者简介:张林(1975-),男,硕士研究生,主要研究领域为数字图像处理;刘志红(1967-),男,副教授,主要研究领域为数字图像处理、嵌入式系统;陈峰(1968-),男,高级工程师,主要研究领域为数字图像处理、嵌入式系统。

收稿日期:2007-11-05

修回日期:2008-01-16

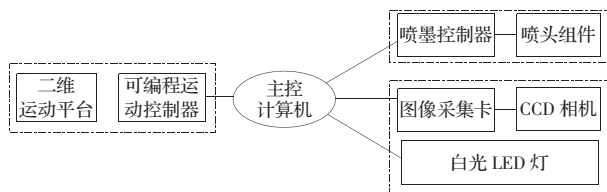


图1 系统组成结构

滴喷出后控制图像采集子系统对飞行的墨滴进行图像采集, 然后对结果图像进行分析, 实现喷墨质量检测。CCD相机固定在运动平台上, 使用平台控制相机相对于喷头的位置移动。下面分别说明各个子系统。

2.1 喷墨控制

喷墨控制子系统用于控制喷头喷墨, 包括喷墨控制器和喷头组件。喷墨控制器采用 Spectra 公司的 Apollo 喷头试验系统^[1], 该控制器对喷头进行负压和供墨控制, 并控制喷头的点火脉冲电压、加热、工作模式、启动和停止等。喷头组件采用 Spectra S-Class, 组件上的控制芯片实现对喷嘴墨滴喷射的控制。

主控机向喷墨控制子系统提供一个编码器信号, 作为一个像素时钟输入。该编码器信号是一个 2 通道正交编码器(通道 A 与通道 B 有 90° 相位差), 编码器接口为 Molex 连接器。主控机采用 NI 公司的计数器/定时器卡 PCI-6602 产生频率信号作为编码器信号。PCI-6602 最大时基是 80 MHz, 在“触发”模式下能获得的最大输出频率为 20 MHz, 在“脉冲”模式下最大输出频率为 40 MHz。为防止编码器信号被干扰, 采用 NI SCB-68 作为屏蔽式 I/O 接线盒, 该接线盒使用 68 针连接器和 PCI-6602 进行通信, 将输入的编码器信号输出到喷墨控制器。

2.2 图像采集

图像采集子系统包括图像采集卡、CCD相机和白光LED灯, 主要完成对墨滴图像的实时和自动采集。图像采集卡采用 NI 公司的 IMAQ PCI-1407, 该卡为 640×480 单色视频采集卡, 像素深度为 8 位。采集中使用 RS-170 模式, 最大采集频率为 30 帧/s^[4]。CCD相机采用 SONY XC-ST50 单反相机, 该相机有效像素为 768(H)×494(V), 电子快门时间为 1/100~1/10 000 s。由于墨滴体积太小, 并以高速从喷嘴射出, 外部环境的光线对于成像效果影响很大, 在数据采集时导致图像干扰太大, 因此使用白光 LED 进行采集时的照明, 并在相机前加上显微镜对墨滴进行放大后再采集。

墨滴喷射的频率高达 1 kHz 以上, 而图像采集卡的采集频率最大为 30 帧/s, 无法对单个墨滴的运动进行全程多次采集。但在实验环境相对确定的情况下, 可以认为一个喷嘴连续喷出的墨滴具有行为同一性和连续性。根据上述原因, 对同一个喷嘴在一段时间 t 内喷射的墨滴进行采样, 并调整采样时间点相对于墨滴喷出起始时间点的相对位置, 可以得到该喷嘴同一墨滴在不同飞行阶段的图像。图 2 是采集原理示意图。

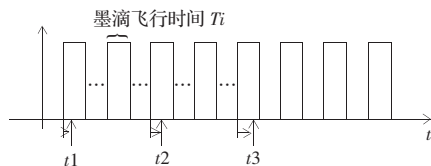


图2 墨滴图像采集

图中 T_i 为一个墨滴的飞行时间, t_1, t_2, t_3 为图像采集开始的时间点, 调整相对于墨滴喷出起始时间的位置, 可以采集到一

个墨滴从飞出喷嘴到落到承印物的不同阶段图像。 t_1, t_2 和 t_3 所在的墨滴飞行时间段的间隔可以是 T_i 的不同倍数。

2.3 运动控制

运动控制子系统由二维运动平台和可编程运动控制器组成。相机固定在运动平台上, 平台控制相机向平面上各个方向移动, 喷头支架可以在垂直方向用手工调节移动, 因此相机可以相对喷头进行一定范围内的任意空间移动, 以采集到不同位置的喷嘴墨滴图像。

运动平台由 X 方向和 Y 方向两个轨道组成, X 轴为相机拍摄方向, 即镜头方向。Y 轴对应喷头的喷嘴排列方向。X 轴采用 Sigma SGSP26-50, 定位精度为 0.005 mm, 最大速度为 30 mm/s, 行程为 50 mm; Y 轴采用 SGSP26-150, 定位精度为 0.015 mm, 最大速度为 30 mm/s, 行程为 150 mm。

运动控制器采用 Sigma SHOT-102。该控制器内含 2 个驱动器, 具有 MANUAL 和 HOST 两种工作模式, 可以实现手动控制和计算机控制^[5]。SHOT-102 为各种控制提供了字符串命令, 使用时由计算机通过 RS232C 接口发送到控制器。本系统采用两种工作模式结合的方法: 在系统工作前的机械校准阶段使用手动控制; 在采集过程中, 根据需要由计算机发送控制命令进行自动控制。

3 软件设计

系统软件在 LabVIEW 8.0 平台上开发, 主要分为运动控制、图像采集和图像处理 3 个模块。系统的软件结构见图 3。

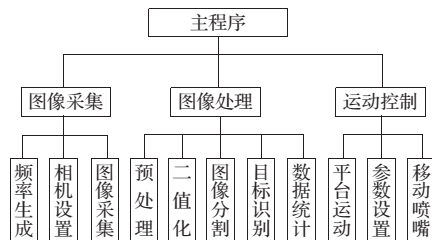


图3 系统软件结构

软件设计中充分利用 NI 虚拟仪器技术对采集硬件驱动的操作简易性, 使用了多个开发平台提供的硬件通信 VI。另外, 在图像处理中, 使用了 LabVIEW 的机器视觉模块。以下叙述各个模块的实现要点。

3.1 运动控制

运动控制模块的功能是对运动平台进行自动控制, 并设置平台参数, 主要控制有上下左右移动、返回起始位置、移动相机到指定喷嘴等功能。在移动时, 可以指定步进长度和步进速度。模块采用虚拟仪器技术, 模拟人工操作, 完成对平台的控制。该模块还为图像采集模块提供子程序接口。图 4 是该模块的操作面板。



图4 运动平台控制界面

面板中的“当前喷嘴”为系统自动检测出的当前相机所在视觉范围内的第一个完整喷嘴编号, 该值也可以根据测试需要

进行人工设置;“目标喷嘴”为需要移动到目标喷嘴号。从当前喷嘴 $N1$ 到目标喷嘴 $N2$ 需要移动的距离为:

$$L=(N2-N1)*S*M$$

式中 S 为相邻两个喷嘴中心的物理间距,对于固定的喷头类型,该值是确定的; M 为当前相机的放大系数; L 的符号表示需要移动的方向,根据喷头喷嘴的编号方向取 Y 轴的正向或负向。

3.2 图像采集

图像采集模块主要进行墨滴图像数据的实时采集。采集时首先利用 LabVIEW 建立基于 PCI-6602 的频率源,基于该频率源对各个测试部件进行驱动。根据用户设置的参数,在相应的时间点自动采集墨滴图像,并实现图像数据的存储。

图像自动采集的关键技术是实现喷嘴的精确位置控制,其基础是初始喷嘴位置的识别。初始喷嘴位置可以由用户指定,也可由系统自动识别定位。系统采用类似软件“二分法查找”的算法,实现对当前相机所在喷嘴的快速自动定位。自动定位前相机镜头必须位于喷头宽度范围内,即至少能够在相机视觉范围内观察到一个喷嘴喷出的墨滴。设每个喷头有 N 个喷嘴,算法首先检测当前区域的所有墨滴,并记录任一墨滴的位置;然后控制所有喷嘴中的 $1/2$ 喷墨,同时进行图像采集,此时再次在记录墨滴的位置进行检测,如果检测到墨滴,则说明当前喷嘴号在已喷墨的 $1/2$ 中,否则在未喷墨的 $1/2$ 中,这样当前喷嘴编号范围缩小一半;持续此过程,直到确定当前墨滴对应的喷嘴编号。记录当前的运动平台位置和喷嘴编号,就完成了对喷嘴的精确定位。该算法需要调用墨滴检测功能。算法描述如下:

//喷嘴定位算法

// $[n]$:对 n 进行上取整。

1)控制所有喷嘴喷墨,采集图像;

2)在当前图像中进行墨滴识别,记录第一个识别到的墨滴位置 P ;

3) $nBegin=1$; $nEnd=N$;

4)IF $nBegin=nEnd$

THEN

RETURN $nBegin$;

END IF

5)控制第 $nBegin$ 号到第 $[nEnd/2]$ 号喷嘴同时喷墨;

6)采集图像,并在图像中的位置 P 进行墨滴检测;

7)IF 检测到墨滴

THEN

$nEnd=[nEnd/2]$;

ELSE

$nBegin=[nEnd/2]+1$;

END IF

GOTO 4);

//算法结束。

算法结束后,返回的值即为当前的喷嘴编号。该算法最多进行 $\lg N+1$ 次采集就可以确定当前喷嘴编号,对于有 256 个喷嘴的喷头,定位所需采集次数为 8。使用该算法,结合运动控制功能,可以实现对一个喷头的所有喷嘴喷墨图像的自动采集和墨滴数据统计。

3.3 图像处理

图像处理模块对采集到的图像进行分析和识别。在采集过程中,由于外部光线等原因,图像会出现一些噪声,需要使用图像增强的方法进行去除噪声处理。采集到的原始图像为灰度图,需要进行二值化,然后对墨滴进行自动分割和识别。采用

LabVIEW 的视觉和运动模块“Vision and Motion”完成基本的图像处理功能。

汤连春等^[6]提出了用二值图像投影的方法识别和计算人脸的眼部区域。在墨滴对象的识别和大小计算中,对于规则的墨滴对象,使用 LabVIEW 的 Particle Analysis 模块。但很多墨滴飞行的形状不规则,且在飞行过程中分离出卫星点,因此直接检测到的是多个区域,由于区域的个数不确定,导致难以直接识别和计算。对于这种情况,在二值化后将图像投影到 X 方向(墨滴飞行方向),并计算投影直方图,则属于同一个墨滴的所有像素点被投影在了一个长度为墨滴宽度的区域中,通过简单的区间检测就可判断墨滴对象是否存在,组成墨滴对象的区间内像素个数之和就是该墨滴的相对大小。检测出墨滴在飞行方向上的分布区间后,在此区间内垂直于飞行方向对原图进行二次投影,就可得到墨滴对象的分布范围矩形,实现了墨滴位置检测。图 5 说明了该方法的原理,图 5(a)是不规则墨滴的原始图像,可以看到某些墨滴是由多个区域组成的,图 5(b)是经二值化并投影到水平方向的直方图,利用该直方图可以方便地检测到各个墨滴并进行进一步的相关计算。

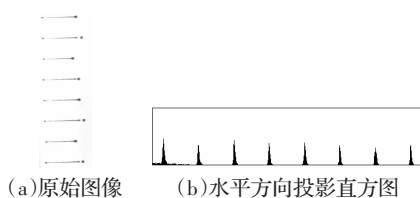


图 5 使用投影方法识别不规则墨滴

4 运行结果

运行中设置不同的采集时间点,采集到了不同时刻墨滴的运动图像,并进行了墨滴对象的识别和面积计算。系统能够采集到较高质量的墨滴图像,并能有效识别。部分结果如图 6,图 7 所示。

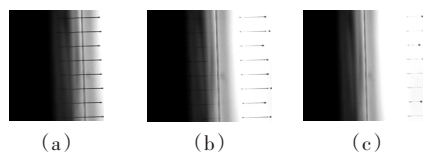


图 6 不同飞行阶段墨滴图像

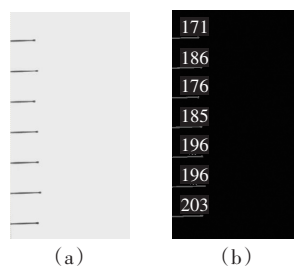


图 7 墨滴识别结果

图 6(a), (b), (c)分别是在喷嘴开始喷射的 $1/3, 2/3, 3/4$ 飞行周期后采集到的墨滴图像。图中左侧黑色部分为喷头壁,右侧为墨滴飞行方向。

图 7(a)是采集到的去除喷头壁后的原始图像,图 7(b)是经处理并识别后的图像,每个墨滴上方标示的是该墨滴以像素为单位的面积大小。结果表明,所有的墨滴都能够被正确识别。

(下转 229 页)