

文章编号: 1006-4710(2013)02-0159-06

基于机器视觉的印刷图像色彩在线检测系统设计

李文育, 张二虎, 于佳, 陈亚军

(西安理工大学 印刷包装工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 对印刷图像色彩质量进行在线检测, 可以克服人工检测速度慢、检测质量不够稳定的缺陷。针对印刷生产实际过程的需求, 首先研究了检测系统的硬件平台设计并对硬件系统的参数选择进行了分析, 然后对系统中的图像配准、标准模板建立及色彩空间转换等方法进行了研究。从减少检测时间的角度, 提出了粗检与细检相结合的检测策略及基于边缘特征的小邻域多区域模板配准方法。实验结果表明, 所设计的检测系统可以达到在线检测系统的要求。

关键词: 印刷色彩; 机器视觉; 图像配准; 色彩空间

中图分类号: TS807 **文献标志码:** A

The Design of Online Detection System for Printing Image Color Based on Machine Vision

LI Wenyu, ZHANG Erhu, YU Jia, CHEN Yajun

(Faculty of Printing and Packaging Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Detecting the quality of the printing image color online can overcome such defects as the low speed of manual detecting, the instability of the detecting quality. Firstly, the hardware platform design of detection system is studied according to the actual printing production process requirements, and parameters of hardware system are analyzed. Then several methods have been researched including image registration, the standard template establishment and color space conversion. From the point of reducing the detection time, the detection strategies about combination of coarse detection and closely screening, as well as the edge feature template registration. Experimental results showed that the designed detecting system can meet the requirement of online detecting system based on the small area are suggested in this paper.

Key words: printing color; machine vision; image registration; color space

在印刷生产过程中, 由于受到印刷设备、印刷材料及印刷工艺等因素的影响, 印刷图像的色彩常会出现偏差^[1], 依靠传统的人工监控方法已经越来越难以满足生产实际的需求, 急需研制基于机器视觉的印刷图像色彩在线检测系统。

采用机器视觉技术对印刷图像色彩进行在线检测, 就是通过在在线采集待检测的印张的彩色图像, 利用颜色空间转换模型计算印张图像在标准颜色空间中的颜色值, 并与标准印张的颜色值进行比较, 用色差来评价待检印张的偏色情况并进行颜色质量控制。

近年来, 越来越多的学者致力于用图像处理的方法对印刷品的质量进行研究^[2-3], 以期能够自动发现印刷缺陷。

文献[4]将印刷缺陷分为形状缺陷和色彩缺陷两大类, 目前的研究多是对形状缺陷的检测^[5-7], 针对色彩缺陷检测的研究非常少。

在检测方法方面, 章毓晋等^[1]提出了一种利用图像技术实现缺陷自动检测的初步方案, 但并没有应用于在线检测。

王锋等^[5]提出了一种动态阈值确定方法和分层检测的思想, 对缺陷检测具有一定的灵活性和适

收稿日期: 2013-01-12

基金项目: 陕西省科技发展计划基金资助项目(2008K07-20)。

作者简介: 李文育, 女, 博士生, 研究方向为图像处理与印刷技术。E-mail: liwenyu2007@yahoo.com.cn。

张二虎, 男, 教授, 博导, 研究方向为图像处理、模式识别与智能信息处理。E-mail: eh-zhang@xaut.edu.cn。

应性,但其检测用时随着缺陷点数目的增加而增加。

Tanimizu 等^[7]提出了一种用于自动检测印刷品表面缺陷的索引空间法,该方法虽然能检测复杂图像,但是算法复杂。

针对彩色印刷图像色彩的偏差,文献[4]采用简单的方法将图像颜色从 RGB 空间转换到 CMYK 空间,计算颜色在 CMYK 空间的差异,这种方法简单但不够精确。

本文针对印刷生产实际过程的需求,首先研究了如何设计在线检测系统硬件平台,然后对检测系统中涉及到的图像配准、标准模板图像的建立、色彩空间转换等一些关键方法进行了研究。在检测策略方面,考虑到色彩空间转换所需的时间,提出了粗检与细检相结合的检测策略。在图像配准方面,提出了基于边缘特征的小邻域多区域模板配准方法,减少了配准所需要的时间。在色彩空间转换方面,通过实验研究的方法,提出采用多项式线性回归的色彩空间转换方法,用于将图像色彩从 RGB 空间转换到 CIE Lab 色彩空间。

1 检测系统硬件设计

1.1 硬件组成及工作原理

本文所设计的在线检测系统的硬件组成原理如图 1 所示,主要由工业用线阵 CCD 彩色相机、光源、旋转编码器、图像采集卡等组成。

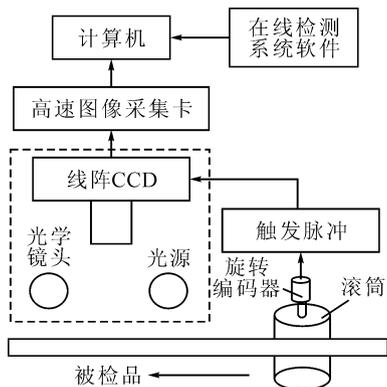


图 1 检测系统硬件组成原理图

Fig. 1 Principle of the hardware system

在多色印刷中,每一色的图像都由在滚筒上的印版转移到纸张等承印物上,各色依次采用叠印的方式形成彩色印刷图像。因此,设计时需将相机安置在最后一色的滚筒出纸口,这时各色图像已经全部印刷完毕,同时在靠近滚筒出纸口处纸张相对平整,使采集的图像受纸张变形影响最小。

由于印刷是连续的运动过程,滚筒每旋转一周形成一幅连续的图像,所以采用线阵 CCD 相机,每

次沿滚筒的轴向方向采集一行图像。

同时,采用旋转编码器沿滚筒的圆周方向对图像进行纵向方向的采样。

为了使采集的图像与滚筒旋转同步起来,要求旋转编码器与滚筒装配在同一轴上。

用编码器发出的方波脉冲来触发相机进行扫描和曝光,编码器每发出一个脉冲,就控制相机曝光一次,完成一次行扫描。编码器有一个零位置,每旋转一周到达零位置时,就发出一个索引脉冲,控制相机完成一幅图像的扫描,所以,编码器的分辨率决定了图像的纵向分辨率。

1.2 相机的选择

对于硬件系统参数的选择,首先需要知道检测的幅面、印刷的速度及检测要求的分辨率等参数,然后就可根据这些参数进行硬件系统的选择。

例如在笔者设计的模拟印刷平台上,检测印刷品幅宽 $w = 400 \text{ mm}$,滚筒的周长 $c = 600 \text{ mm}$,印刷的速度最高可以达到 $v = 3 \text{ m/s}$,检测的精度要求为 $r = 0.3 \text{ mm/pixel}$,则要求所选择的相机的像元数目 $N \geq w/r = 400/0.3 \approx 1333 \text{ pixel}$,旋转编码器的分辨率 $L \geq c/r = 600/0.3 = 2000 \text{ P/R}$ 。

根据最高的印刷速度、滚筒的周长及旋转编码器的分辨率,要求相机的行频满足下式:

$$F \geq \frac{v}{c} L = \frac{3000}{600} \times 2000 = 10 \text{ kHz}$$

根据以上分析,选择加拿大 Dalsa 公司的 PC30-02K60 线阵 CCD,旋转编码器选择欧姆龙的 E6B2-CWZ6C,可以满足以上计算参数的要求。

1.3 镜头的选择

选择好相机后,需要对镜头进行选择。在印刷过程中经常会有振动,所以一般选用定焦镜头。

对于焦距的选择,依据三角形成像原理进行计算。设 h 为 CCD 靶面水平宽度,由 CCD 的像元数目和像元尺寸确定, w 为检测幅面的宽度, D 为相机镜头至检测对象间的距离,根据实际确定,例如笔者设计的系统中设定为 350 mm ,则计算的焦距为:

$$f = (h/w) \times D = (2048 \times 14 \mu\text{m}/400 \text{ mm}) \times 350 \text{ mm} = 25.1 \text{ mm}$$

在选择镜头时,若没有对应焦距的镜头,一般选择比计算值小的焦距,这样视角会大一些。

镜头的另一个参数是光圈系数,考虑到高速印刷时曝光时间较短,一般需要选择较大的光圈。

综合以上考虑,选择的焦距为 $f = 24 \text{ mm}$,最大光圈系数为 F2.8 的 F 口镜头。

1.4 光源的选择

在机器视觉应用系统中,好的光源与照明方案往往是整个系统成败的关键。

针对高速印刷过程中线阵 CCD 具有较高的行频,要求所选择的光源亮度高,无频闪,照射时间长,本系统选择了高频荧光灯。采用两根 T8 荧光灯管,由于荧光灯正常工作时,是由交流电供电的,频率较低,采集图像时会产生明暗条纹,因此给荧光灯接上高频电子镇流器,使功率波动周期缩短。

1.5 图像采集卡

图像采集卡的主要功能是对相机所输出的视频数据进行实时的采集,并提供与 PC 的高速接口。在机器视觉系统中,图像卡必须与相机协调工作,才能完成特定的图像采集任务。

系统使用的是 Matrox 公司的 Solios XCL 数字图像采集卡,它是一款新的标准高性能 CameraLink 信号图像采集卡,适用于绝大多数摄像头,能够采集工业上和科研领域最流行的面阵和线阵摄像头数据,包括从多头摄像头中传出的完整图像重建。

2 检测方法

2.1 检测系统整体方案设计

检测系统的基本原理是:首先通过 CCD 摄像机采集标准样张,并制作好模板保存在计算机中,然后在线采集待检印刷品图像,经过预处理和配准等环节后,将待检图像和标准图像的色彩进行比对,计算颜色偏差并进行报警等。

在计算颜色偏差时,为了节省在线检测的计算时间,提出先在 RGB 颜色空间粗检一次,如果粗检出的偏差较大,则直接报警而不再检测细节;对粗检没有问题的图像再进行细检的策略。同时,将系统划分为离线部分和在线部分,减少在线部分的工作量,提高检测速度。

整个检测系统的方案如图 2 所示,其中核心的部分包括图像配准、标准模板的建立及色彩空间转换等方法。

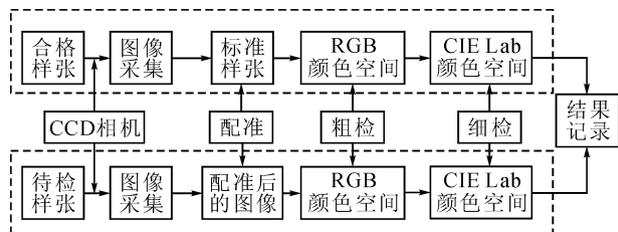


图 2 检测系统方案

Fig. 2 Scheme of the detection system

2.2 图像配准

图像配准就是将采集的待检测的图像和标准样张图像在空间位置上对齐,以便计算对应像素位置上的色差。图像配准是一个相当耗时的过程,面对高速运行的印刷生产设备,如何做到速度与精度都满足要求是印刷质量在线检测系统设计的一个难题。

图像配准涉及到特征选择、相似性度量、搜索空间及搜索策略的选择等问题。综合考虑配准精度、速度及印刷过程的特点,提出一种基于边缘特征的小邻域多区域模板配准方法。其基本思想如下。

1) 纸张由于受到油墨及牵引过程的影响,往往并不总是平整的,因此各区域图像的空间位置平移并不总是相同的。针对此种情况,文献[8]提出了一种基于光流的不相似性测度计算方法,但该方法计算较复杂。为解决该问题,笔者提出一种简单的思想,采用将整幅图像划分为不同的区域,在每个区域选择一个较小的模板,用于计算对应区域的配准参数。

2) 为了减少计算时间,笔者在标准模板图像的每个区域内,选择边缘区域比较明显的一小块子区域作为配准的参考区域,然后在待检图像的相应位置及邻域范围内也取同样大小的一小块子区域,采用边缘特征作为搜索匹配的依据进行搜索匹配。考虑到印刷中已经有套准控制,因此图像一般只会水平和垂直方向上有较小的偏移,因此笔者将配准的搜索范围限定在从 -10 到 +10 个像素这样较小的邻域内。

边缘提取的方法有利用 Sobel 算子、Robert 算子、Prewitt 算子等梯度算子进行微分运算的方法和利用灰度形态学提取边缘的方法等。

考虑到计算速度,笔者采用基于灰度形态学的边缘提取方法。

对于输入图像 $f(x,y)$,选择大小为 3 的十字型的结构元素 $b(x,y)$,则提取边缘后的图像为:

$$g(x,y) = f(x,y) - b(x,y) \tag{1}$$

对 $g(x,y)$ 采用固定阈值的方法进行二值化,可得到二值化后的边缘图像。

然后依此为特征,采用模板匹配的方法,在小邻域内进行搜索匹配。

如图 3 所示,设 $W(i,j)$ 是大小为 $W_x \times W_y$ 的配准模板图像 W 在位置 (i,j) 处的像素值, $f(i+l,j+k)$ 是搜索空间中的位置为 $(i+l,j+k)$ 的像素值, $W(i,j)$ 与 $f(i+l,j+k)$ 的取值为 0 或 1。

令 $C(l,k)$ 为位置 (l,k) 的相似性测度,其计算公式为:

$$C(l, k) = \text{Count}(W(i, j) = f(i + l, j + k))$$

$$\begin{cases} 0 \leq i \leq W_y, & 0 \leq j \leq W_x \\ -10 \leq l \leq 10, & -10 \leq k \leq 10 \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中,算子 $\text{Count}(\cdot)$ 表示统计满足条件的像素点数目。

由于是在小邻域空间的搜索,所以采用逐位置的搜索方法,计算 $C(l, k)$ 的值。

当 $C(l, k)$ 的值为最大时即是最匹配的位置,此时 (l, k) 就为求出的最佳配准偏移参数。

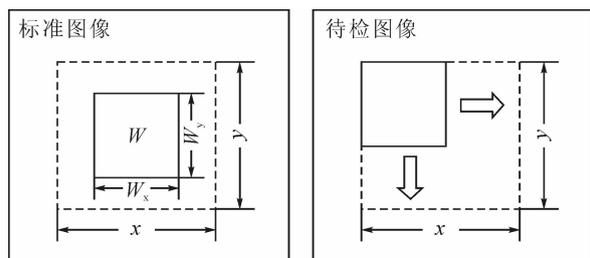


图3 图像配准搜索示意图

Fig. 3 Searching method for image registration

2.3 标准模板图像的建立

印刷图像在线检测的核心是比较待检图像与标准模板图像的差异,因此标准模板图像的建立非常重要。

标准模板图像是从实际采集到的合格图像中运算产生的,常用的建立方法有统计平均法和阈值法^[1]。

本文采用阈值法,其计算过程如下:

1) 将采集的合格图像按照 2.2 节介绍的方法进行配准;

2) 计算配准后的图像各点的平均值及方差,然后选择与平均值之差的绝对值小于方差的像素值做统计平均,作为标准模板图像的像素值。

2.4 色彩空间转换模型的建立

相机采集到的彩色图像是 RGB 色彩模式,用 RGB 数值可以粗略地判断两张图像的差异,但 RGB 空间是与设备相关的颜色空间,所以在细检阶段需要将图像转换到一个与设备无关的颜色空间,然后再计算图像的色差。

目前国际上普遍采用 CIE Lab 均匀颜色空间计算颜色色差,所以需要建立相机 RGB 色彩空间到 CIE Lab 色彩空间的转换模型。

色彩空间转换模型通常可分为多项式回归、三维查找表、神经网络和模糊逻辑这几类,考虑到转换精度和转换时间的要求,笔者通过实验比较,选择了 14 项多项式(式(3))作为色彩空间转换模型。

$$\begin{cases} L = a_0 + a_1R + a_2G + a_3B + a_4RG + a_5GB + \\ \quad a_6BR + a_7R^2 + a_8G^2 + a_9B^2 + a_{10}RGB + \\ \quad a_{11}R^3 + a_{12}G^3 + a_{13}B^3 \\ a = b_0 + b_1R + b_2G + b_3B + b_4RG + b_5GB + \\ \quad b_6BR + b_7R^2 + b_8G^2 + b_9B^2 + b_{10}RGB + \\ \quad b_{11}R^3 + b_{12}G^3 + b_{13}B^3 \\ b = c_0 + c_1R + c_2G + c_3B + c_4RG + c_5GB + \\ \quad c_6BR + c_7R^2 + c_8G^2 + c_9B^2 + c_{10}RGB + \\ \quad c_{11}R^3 + c_{12}G^3 + c_{13}B^3 \end{cases} \quad (3)$$

3 结果分析与讨论

3.1 检测系统设计结果

所设计的在线检测系统是利用 VC++ 开发工具基于对话框界面进行开发的,设计结果见图 4。

图中 A 区是设置信息的区域,这部分是离线操作的,分为印品信息、图像来源、选择模板、等级区域设置四个模块。

B 区是显示区,可以观察到在线采集的图像。

C 区的当前信息,表示正在检测的图像的信息;检测状态中的方块显示为绿色表示当前检测的印品是合格的,如果不合格,会有红灯报警;缺陷信息表示了检测区域的颜色信息,“R”、“G”、“B”表示当前印刷品与模板的整体的 RGB 数值差异,红、蓝、绿三个方块对应的列表示高、中、低三个等级区域的检测信息。

D 区自动记录了检测图像的详细信息。

E 区是控制模块,包括“开始检测”按钮、“停止检测”按钮、“退出”按钮。

F 区显示的是软件的运行状态,显示了摄像头的型号、滚筒的转速、已检测数量、检测用时和操作状态。

3.2 色彩空间转换模型结果分析

实验采用 KODAK Q-60R2 色卡,通过相机采集色卡中每个色块的 RGB 值。为克服噪声影响,在每个色块中随机选取 5 个点进行测量,求取平均值作为此色块的 RGB 颜色值。同时提取色卡自带文件上的各色块的 Lab 值,作为建模使用。

KODAK Q-60R2 色卡有 264 个色块,选择其中 198 个用于建立模型,其余 66 个用以测试。

在众多的色彩空间转换模型中,一般公认查找表和多项式模型具有较好的转换精度和较快的转换时间,所以实验选择了三维查找表和多项式回归进行色彩空间转换。在多项式模型中采用项数为 6、9、14、20 的多项式进行实验,在三维查找表方法中选择了三线性插值、三棱柱插值、金字塔插值、四面体插值等方法,实验结果如表 1、表 2 所示。

表1 不同项数的多项式回归的比较

Tab.1 Comparison of various items of polynomial regression

多项式项数	不同色差范围样本数占总样本数比例/%					平均色差
	0~5	6~10	11~15	16~20	>20	
6	17	39	15	16	12	12
9	18	53	15	6	8	9
14	56	26	11	7	0	6
20	61	24	9	6	0	6

表2 采用不同几何体的查表法比较

Tab.2 Comparison of various geometry of look-up table

查找表方法	不同色差范围样本数占总样本数比例/%					平均色差
	0~5	6~10	11~15	16~20	>20	
三线性插值	38	44	10	4	4	7
三棱柱插值	38	44	12	3	3	7
金字塔插值	38	45	11	3	3	7
四面体插值	39	44	11	3	3	7

从表1和表2可以看出,14项多项式的形式和基于四面体插值的三维表方法取得了相对较好的转换精度。虽然20项多项式转换精度稍高于14项多项式,但考虑到期计算时间要大于14项多项式,故本文选用14项多项式回归的形式作为色彩空间转换模型。

3.3 检测时间分析

对大小为2098×1700的图像进行检测,选中配准区域的大小是132×110,颜色检测时的等级区域共663166个像素,采用Inter Core 2 Duo CPU, E7300,主频为2.66 GHz,内存为2 GB的PC机。在线检测时图像配准需要62 ms,色彩转换及色差计算需要125 ms,总的检测速度可达到3幅/s,基本能满足实时检测的要求。



图4 检测系统界面
Fig.4 Interface of the detection system

4 结语

本文以印刷图像色彩在线检测为研究主线,分析了硬件系统的组成及工作原理,给出了硬件系统

参数选择的计算方法。

针对印刷图像配准需要解决快速计算的问题,提出了一种基于边缘特征的小邻域多区域模板配准方法,具有毫秒级的计算速度。

在标准模板图像建立方面,设计了基于图像配

准的阈值法方法,可以剔除干扰的影响。

在色彩空间模型转换方面,通过实验的方法,提出采用14项多项式模型转换方法,在转换精度和转换速度方面取得了较好的平衡。

实验结果表明,本文所设计的系统结构合理,能满足在线检测的要求。

今后需要进一步对核心算法进行优化,以使检测系统能够满足更高检测速度的要求。

参考文献:

- [1] 章毓晋,黄翔宇,李睿. 自动检测精细印刷品缺陷的初步方案[J]. 中国体视学与图像分析,2001,6(2):109-112.
Zhang Yujin, Huang Xiangyu, Li Rui. A preliminary scheme for automatic detection of fine presswork defect [J]. Chinese Journal of Stereology and Image Analysis, 2001, 6(2):109-112.
- [2] Verikas A, Lundstrom J, Bacauskiene M, et al. Advances in computational intelligence-based print quality assessment and control in offset colour printing[J]. Expert Systems with Applications, 2011,38(10):13441-13447.
- [3] Lundstrom J, Verikas A. Assessing print quality by machine in offset colour printing[J]. Knowledge-Based Systems, 2013, 37:70-79.

- [4] Ishimaru I, Hata S, Hirokari M. Color-defect classification for printed-matter visual inspection system [C] //The 4th World Congress on Intelligent Control and Automation, Shanghai, China, 2002:3261-3265.
- [5] 王锋,阮秋琦,徐金强. 基于动态阈值和分层检测的图像缺陷识别算法的研究与应用[J]. 北方交通大学学报,2002,26(1):19-22.
Wang Feng, Ruan Qiuqi, Xu Jinqiang. Research and application of image defect recognition algorithm based on dynamic threshold and storied inspect [J]. Journal of Northern Jiaotong University, 2002, 26(1):19-22.
- [6] 官燕燕,刘昕. 基于统计阈值法的印品缺陷检测[J]. 西安理工大学学报,2007,23(4):410-413.
Guan Yanyan, Liu Xin. Printing defects inspection based on the statistical threshold method[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2007, 23(4):410-413.
- [7] Tanimizu K, Meguro S, Ishii A. High-speed defect detection method for color printed matter [C] //16th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society. Pacific Grove, California, 1990: 653-658.
- [8] Tsai D, Chiang I, Tsai Y. A shift-tolerant dissimilarity measure for surface defect detection [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2012, 8(1): 128-137.

(责任编辑 王卫勋)