

基于CCD的金属薄板印刷墨层厚度在线检测研究

马赛, 曹春平, 孙宇

(南京理工大学, 南京 210094)

摘要: **目的** 根据金属薄板印刷质量控制的发展趋势和金属薄板印刷的特点,提出了基于CCD机器视觉的金属薄板印刷机墨层厚度在线检测系统。**方法** 通过实验获取信号条的墨层厚度 d 与实时图片的RGB值,分析由RGB值得到的亮度 L^* 、饱和度 C_{ab}^* 和色调角 h_{ab} 与墨层厚度间的对应关系;通过极限学习机(ELM)对亮度、饱和度、色调角与墨层厚度数据进行回归拟合,建立墨层厚度预测模型。**结果** 墨层厚度 d 与 L^* 、 C_{ab}^* 和 h_{ab} 之间存在显著的对应关系。拟合的平均相对误差为2.27%,最大相对误差为7.33%,测量误差低于8%。**结论** 较好地实现了在线墨层厚度检测,具有很好的实际应用价值。

关键词: CCD机器视觉;金属薄板;墨层厚度;极限学习机

中图分类号: TS802.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)23-0120-06

Online Detection of the Ink Film Thickness of Metal Sheet Printing Based on CCD Method

MA Sai, CAO Chun-ping, SUN Yu

(Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

ABSTRACT: Objective The detection of ink film thickness of metal sheet printing is one of the key technologies in the printing quality control field. According to the development trend and the characteristics of metal sheet printing, an online detection system was proposed for the ink film thickness of metal sheet printing. **Methods** First, the ink film thickness d and real-time image's RGB values of the signal bars were obtained through experiments. Then, the relationships of the basic attributes of colors (lightness (L^*), saturation (C_{ab}^*) and hue (h_{ab})) calculated from the RGB values and the thickness of the ink film were analyzed and the significant corresponding relationships among them were found. Last, an ink film thickness prediction model was established using Extreme Learning Machine (ELM). **Results** The simulation results showed that the accuracy of the ELM method was much higher than BP and RBF methods with the average relative error of 2.27%, and the maximum relative error of 7.33%. **Conclusion** It was proved that this detection system could well realize the function of ink film thickness detection and could be applied to the actual testing process.

KEY WORDS: CCD machine vision; metal sheet printing; ink film thickness; Extreme Learning Machine

金属薄板印刷是一种在金属包装表面印刷文字、彩色图案的多色印刷技术。与纸质材料印刷工艺不同,金属印刷需要经过多次印刷和烘干工艺才能完成^[1]。目前,金属印刷已达到7000张/h、十字线套印误差达 ± 0.05 mm的先进水平。随着速度、精度的

不断提高,印刷质量的监控变得越来越重要。开发实时在线印品质量检测和控制系统,是保证金属薄板印刷质量的根本所在,而金属印刷墨层厚度的实时在线检测是其不可或缺的环节。

在印刷领域,墨层厚度的检测主要有2种方法:采

收稿日期: 2014-06-11

基金项目: 江苏省前瞻性联合研究项目(BY20140004-03)

作者简介: 马赛(1989—),男,江苏宿迁人,南京理工大学硕士生,主攻机械系统智能化与灵巧化。

用密度计对墨层的实地密度进行检测,再推算出墨层的实际厚度;采用色度式图像检测方法对墨层的色度值进行检测,然后再转变为厚度值。康建山^[2]根据朗伯-比尔定律及实验数据确定墨层厚度与实地密度的模型,实现实地密度到墨层厚度的映射,为印刷质量监控提供了依据;J.Lundstrom等人^[3]利用随机森林技术开发了印刷质量的自动检测技术。其通过数据挖掘和图片分析技术,找到包括油墨密度偏差在内的 N 个客观印刷特性,并基于客观印刷特性的参数值评估印刷质量;Antanas Verikas等人^[4]针对印刷机墨量监控问题,提出了内核脊回归和支持向量机回归相结合的理论,建立光电耦合器(CCD)的RGB(Lab)值与各色油墨密度之间的对应关系,进而确定油墨量;唐万有等人^[5]以纸质材料印刷为对象,利用CCD相机获取不同墨层厚度样张的数字图像,建立起与墨层厚度相对应的CIELAB色彩空间值数据库,通过归类的方法实现基于CCD的墨层厚度检测。

目前,印刷质量在线检测^[6-7]的研究主要集中在纸制品印刷领域,对金属薄板印刷质量在线监控研究较少。结合前人研究成果及金属薄板印刷工艺特点,设计了一种基于CCD机器视觉的墨量厚度在线检测系统。通过墨量厚度的在线检测,为生产中墨量的实际控制提供依据,从而进一步提高金属薄板的印刷质量。首先通过实验方法获得墨层实际厚度,然后根据色度测量法,采用CIELAB色彩空间,利用CCD相机在线检测墨层色度值,最后通过极限学习机对CIELAB的 L^* , C_{ab}^* , h_{ab} 值与墨层厚度数据进行回归拟合,构建二者之间的对应关系,实现印刷墨量的在线检测。

1 金属印刷墨层厚度、色度值检测实验

1.1 实验设计思路

实验流程见图1。金属印刷墨层厚度在线检测首先需要选择信号条,然后将其设置在印版咬口或拖梢的空白处,制作不同墨层厚度的样张。样张制作完毕后,一方面通过称重法测得每个样张厚度,另一方面通过CCD相机进行样张墨层色度的在线检测,得到其RGB值。在此基础上,进行色彩空间转换,计算CIELAB空间的亮度(L^*)、饱和度(C_{ab}^*)和色调角(h_{ab})。利用极限学习机建立厚度值 d 和CIELAB色空间的 L^* , C_{ab}^* 和 h_{ab}

之间的关系,从而可以实时地根据CCD相机检测到的RGB值获得金属印刷薄板的墨层厚度值。

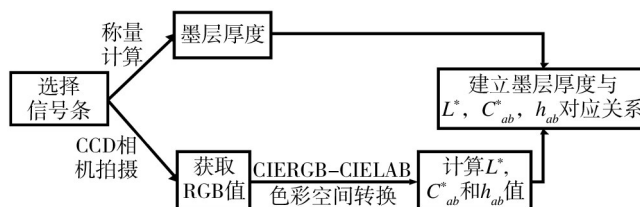


图1 实验流程

Fig.1 The flowchart of the experiment

1.2 信号条选择

目前,常用的信号条有实地色块信号条和双灰度信号条等2种^[8],见图2。

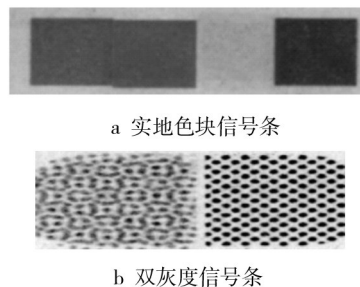


图2 常用信号条

Fig.2 The common signal bars

双灰度条被广泛应用于纸张的印刷。而金属印刷1次只印刷1种颜色油墨,故1次只需监测1种颜色油墨的墨层厚度,双灰度条不能很好地适应金属印刷的墨量监测,因而,使用实地色块进行墨量检测。

1.3 测试样张制备及墨层厚度确定

根据《平版印刷品质量要求及检验方法》的相关标准,制备4组测试样张,油墨颜色分别为青(C)、品红(M)、黄(Y)和黑(K)等4色。油墨墨层厚度 d 控制在 $0.1\sim 3.5\ \mu\text{m}$ 之间。

实验仪器及环境:IGT/C1型印刷适性仪,印刷压力400 N,印刷速度0.3 m/s;电子天平,精度0.1 mg;实验室温度 $(22\pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$;马口铁,涂有底层清漆和白色底层;吉美青(C)、品红(M)、黄(Y)、黑(K)等4色油墨。

墨层厚度通过称重法测得。以品红油墨印刷为例,首先在无油墨的情况下对印刷辊筒进行称重,然后利用移液器将油墨转移到适性仪上,使油墨均布在印刷辊筒上,并称量带有油墨的印刷辊筒质量,记为

m_1 。在 0.3 m/s 和 400 N 的压力下进行印刷,印刷完成后对印刷辊筒进行再次称重,记为 m_2 。由于墨层厚度监测是在金属印刷品烘干前进行,且金属薄板对油墨溶剂不具有吸收性,故根据 2 次称重结果可由式(1)计算每张样张的墨层厚度。通过改变输送到适性仪上墨量的大小,改变墨层的厚度,重复上述过程,得到了 82 组数据。

$$d = \frac{m_1 - m_2}{S\rho} \cdot 10\ 000 \quad (1)$$

式中, d 为墨层厚度(μm); m_1 为印刷前带有油墨的印版辊质量(g); m_2 为印刷后的印版辊质量(g); S 为印刷面积(cm^2); ρ 为印刷油墨密度。

1.4 基于 CCD 相机的数据采集与处理

基于 CCD 相机的墨层厚度数据采集装置见图 3。主要设备:2 个带灯罩的 LED 照明灯、数码相机(1280 Pixel $\times$ 1024 Pixel)、微距变焦镜头(放大倍率 0.3 ~ 1.0)、计算机(HP 4416S)和线性传输单元等。

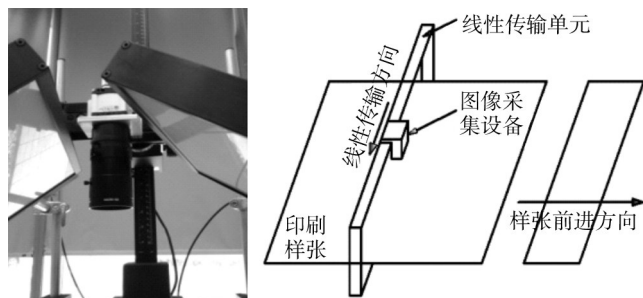


图3 图像采集系统

Fig.3 The image acquisition system

线性传输单元使数字图像采集设备沿线性传输方向运动采集沿印张分布的 32 个墨区的信号条,得到样张信号条的 RGB 值。但文献[9]认为 RGB 值与墨层厚度之间的关系不显著。为此,采用色彩空间几乎均匀的 CIELAB 色彩空间^[10],探讨颜色的基本属性,即 L^* , C_{ab}^* 和 h_{ab} 与墨层厚度之间的对应关系。亮度、饱和度和色调角需要由 RGB 值转换得到^[11]。

由 RGB 值得到 CIEXYZ 色彩空间的三刺激值 X , Y 和 Z , 计算过程为:

$$X = a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B \quad (2)$$

$$Y = a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B \quad (3)$$

$$Z = a_{31}R + a_{32}G + a_{33}B \quad (4)$$

式中, a_{ij} 由硬件特性决定。

由 X , Y , Z 值到 CIELBA 色彩空间的 L^* , a^* , b^* 值的计算过程为:

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16 \text{ if } \frac{Y}{Y_n} > 0.008\ 856$$

$$L^* = 903.3 \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \text{ if } \frac{Y}{Y_n} \leq 0.008\ 856 \quad (5)$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right] \quad (6)$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right] \quad (7)$$

其中, X_n , Y_n , Z_n 是 CIELAB 色彩空间的标准值。如果 X/X_n , Y/Y_n 或 Z/Z_n 小于或等于 0.008 856, 那么将被 $7.7877f + (16/116)$ 所替代, 其中 f 是 X/X_n , Y/Y_n 或 Z/Z_n 。

由 L^* , a^* , b^* 值得到 L^* , C_{ab}^* , h_{ab} 值:

$$L^* = L^* \quad (8)$$

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (9)$$

$$h_{ab} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (10)$$

其中,

$$0^\circ \leq h_{ab} < 90^\circ \quad (a^* > 0, b^* \geq 0)$$

$$90^\circ \leq h_{ab} < 180^\circ \quad (a^* \leq 0, b^* > 0)$$

$$180^\circ \leq h_{ab} < 270^\circ \quad (a^* < 0, b^* \leq 0)$$

$$270^\circ \leq h_{ab} < 360^\circ \quad (a^* \geq 0, b^* < 0)$$

根据 CCD 相机采集到的数据,利用公式(2)~(10),对其进行数据处理,得到与 d 对应的 L^* , C_{ab}^* 和 h_{ab} 值。给出品红(M)油墨的部分实验数据见表 1。

为更加直观地观察墨层厚度与亮度、饱和度和色调角之间的关系,将实验数据绘制成见图 4 的形式。

从图 4 中可以看出, L^* , C_{ab}^* 与墨层厚度 d 之间存在显著的关系。而 h_{ab} 与墨层厚度 d 的关系不显著,这是由于 h_{ab} 存在 360° 翻转问题。将图 4c 中 $0^\circ \sim 100^\circ$ 之间的数据加上 360° 可得图 4d。由图 4d 可见, h_{ab} 与墨层厚度 d 之间也存在显著的对应关系,因此,通过亮度、饱和度和色调角来研究墨层厚度的方案是合理的。

2 基于极限学习机的 L^* , C_{ab}^* 和 h_{ab} 与油墨厚度的数据回归拟合分析

为了能利用 CCD 相机实时检测墨层厚度,需要对现有实验数据进行回归拟合,建立由 CCD 相机的 RGB

表1 实验数据
Tab. 1 The experimental data

质量 m_1/g	质量 m_2/g	亮度 L^*	饱和度 C_{ab}^*	色调角 h_{ab}	墨层厚度 $d/\mu m$
121.8415	121.8403	80.98	25.61	336.27	0.139
121.8424	121.8404	63.53	42.63	344.39	0.237
121.8435	121.8408	52.71	51.23	348.69	0.310
121.8433	121.8405	45.55	55.97	350.66	0.331
121.8443	121.8409	40.14	62.28	349.18	0.399
...	...	...	...	...	...
121.8685	121.8413	2.79	83.51	24.96	3.148
121.8687	121.8414	2.27	83.86	25.57	3.175
121.8702	121.8423	1.75	83.68	25.57	3.240
121.8698	121.8417	2.09	84.39	26.07	3.267

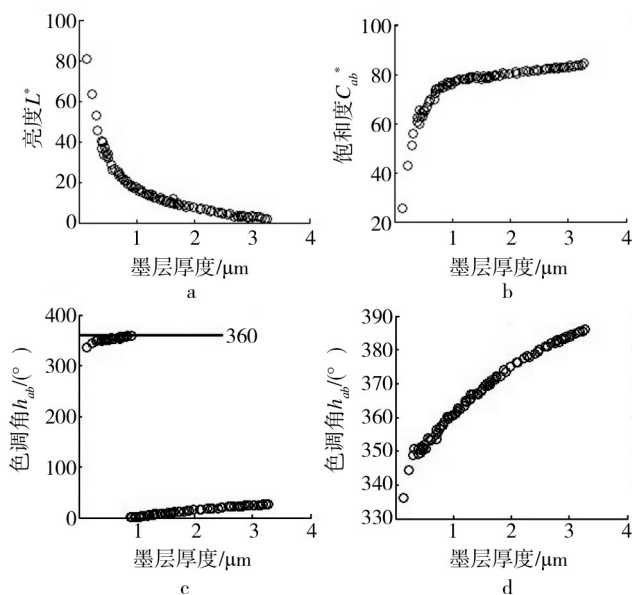


图4 墨层厚度与亮度、饱和度和色调角的关系

Fig.4 Dependence of the lightness, saturation and hue of color of the obtained prints on the thickness of the ink film

值推得的 L^* , C_{ab}^* 和 h_{ab} 值与油墨厚度 d 之间的对应关系。王慧芳等人^[12]利用多元线性回归法建立了墨层厚度 d 与 L^* , a^* , b^* 值之间的映射关系,但受多项式拟合精度的影响,实验结果并不理想;Shoji Tominaga^[13]和 Ribes 等人^[14]提出采用神经网络来建立这种映射关系,然而神经网络的学习率 η 较难确定,网络易于陷入局部最优解,且网络的训练速度和泛化性能都不够理想。极限学习机(Extreme Learning Machine, ELM)能够随机产生输入层与隐含层间的连接权值及隐含层神经元的阈值,且在训练过程中无需调整,只需设置隐含层神经元的个数,便可以获得唯一的最优解。其

学习速度快、泛化性能好^[15-16],因此,采用极限学习机对数据进行回归拟合。

2.1 极限学习机的回归拟合分析

极限学习机采用单隐层的神经网络结构,见图5。

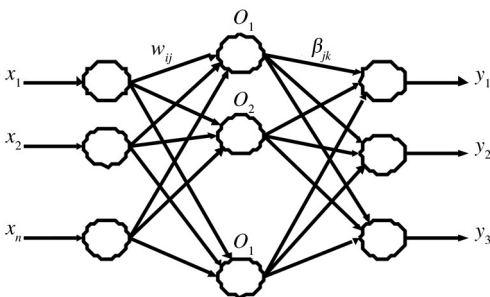


图5 极限学习机网络结构

Fig.5 The network construction of ELM

其输入层第 i 个神经元与隐含层第 j 个神经元间的连接权值为 w_{ij} ;隐含层第 j 个神经元与输出层第 k 个神经元间的连接权为 β_{jk} ;隐含层神经元的阈值为 b 。

设含有 Q 个样本的训练集输入矩阵为 $\mathbf{X}$,输出矩阵为 $\mathbf{Y}$,隐含层神经元的激活函数为 $g(x)$,则网络的输出 $\mathbf{T}$ (即 $\mathbf{Y}$)为:

$$\mathbf{T} = [t_1, t_2, \dots, t_Q],$$

$$t_j = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^l \beta_{i1} g(w_i x_j + b_i) \\ \sum_{i=1}^l \beta_{i2} g(w_i x_j + b_i) \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^l \beta_{im} g(w_i x_j + b_i) \end{bmatrix}, j=1, 2, \dots, Q \quad (11)$$

式中, $w_i = [w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}]$, $x_j = [x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}]$ 。

式(11)可表示为:

$$\mathbf{H}\beta = \mathbf{T}' \quad (12)$$

式中, $\mathbf{T}'$ 为矩阵 $\mathbf{T}$ 的转置; $\mathbf{H}$ 称为神经网络的隐含层输出矩阵, 形式如下:

$$\mathbf{H}(w_1, w_2, \dots, w_l, b_1, b_2, \dots, b_l, x_1, x_2, \dots, x_l) = \begin{bmatrix} g(w_1x_1 + b_1) & \dots & g(w_lx_1 + b_l) \\ \vdots & & \vdots \\ g(w_1x_l + b_1) & \dots & g(w_lx_l + b_l) \end{bmatrix} \quad (13)$$

由于极限学习机的输入权值 w 和隐含层偏差 b 是随机赋值的, 故网络的训练也就等价于寻找线性系统 $\mathbf{H}\beta = \mathbf{Y}$ 的一个最小范数最小二乘解 β , 即:

$$\begin{aligned} & \|\mathbf{H}(w_1, w_2, \dots, w_l, b_1, b_2, \dots, b_l)\beta - \mathbf{Y}\| = \\ & \min_w \|\mathbf{H}(w_1, w_2, \dots, w_l, b_1, b_2, \dots, b_l)\beta - \mathbf{Y}\| \\ & \text{上式的最小范数最小二乘解为:} \\ & \beta = \mathbf{H}^+ \mathbf{Y} \end{aligned} \quad (14)$$

式中, $\mathbf{H}^+$ 为隐含层输出矩阵 $\mathbf{H}$ 的 Moore-Penrose 伪逆。

采用极限学习机对 L^* , C_{ab}^* 和 h_{ab} 与油墨厚度 d 数据的回归拟合步骤见图6。

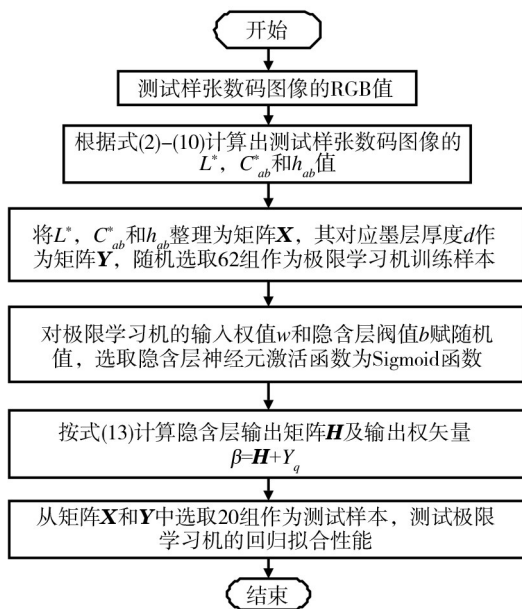


图6 极限学习机回归拟合步骤

Fig.6 The regression fitting step of ELM

3 仿真结果及分析

以品红油墨印刷的墨层厚度为对象, 研究极限学

习机回归拟合的精度。与BP神经网络和RBF神经网络回归拟合的结果进行比较, 并选用相对误差和决定系数作为评价指标。其中, 决定系数(R^2)的计算公式见式(15), 其值在[0-1]内, 值愈接近于1, 表明模型的性能愈好; BP神经网络采用 $3 \times 9 \times 1$ 的网络结构, 训练目标为0.001, 最大训练次数为2000, 学习速率为0.35; RBF神经网络的径向基函数的扩展速度为1.0。

$$R^2 = \frac{(n \sum_{i=1}^n \dot{y}_i y_i - \sum_{i=1}^n \dot{y}_i \sum_{i=1}^n y_i)^2}{(n \sum_{i=1}^n \dot{y}_i^2 - (\sum_{i=1}^n \dot{y}_i)^2)(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2)} \quad (15)$$

式中, $\dot{y}_i$ ($i=1, 2, \dots, n$) 为第 i 个样本的预测值; y_i ($i=1, 2, \dots, n$) 为第 i 个样本的真实值; n 为样本数。

品红(M)油墨数据组的拟合结果见图7和表2。

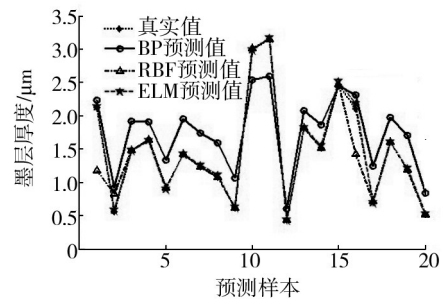


图7 墨层厚度预测结果

Fig.7 The predictions of the thickness of the ink film

表2 墨层厚度预测结果

Tab.2 The predictions of the thickness of the ink film

	平均相对误差	最大相对误差
BP神经网络	0.3424	0.7498
RBF神经网络	0.0625	0.4820
极限学习机(ELM)	0.0227	0.0733

从图7和表2可以发现, BP神经网络误差较大, 不能满足要求, RBF和ELM网络可以较好地进行回归拟合, 但RBF网络存在个别点的波动, 稳定性差。ELM神经网络不仅有最好的模型性能和最低的相对误差, 而且最大相对误差低于10%, 满足工业生产要求。

同理, 对青(C)、黄(Y)和黑(K)等3色油墨的墨层厚度进行上述试验和分析, 4种印刷油墨的实际墨层厚度与基于机器视觉测量的墨层厚度间的对应关系见图8, 可见拟合效果较优, 平均相对误差在3%以内, 最大误差均在8%以内。

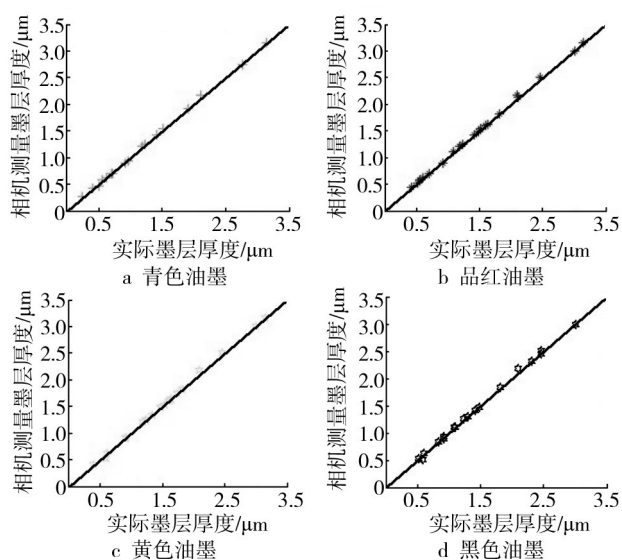


图8 测量墨层厚度与实际墨层厚度对比

Fig.8 Camera measurements as a function of the cyan, magenta, yellow and black ink

4 结语

根据金属薄板的印刷特点,建立了基于CCD机器视觉的墨量检测方法,从而能够实时在线检测金属薄板墨层厚度。通过实验发现,墨层厚度与亮度、饱和度和色调角之间存在显著的对应关系。通过极限学习机对 L^* , C_{ab}^* 和 h_{ab} 与墨层厚度 d 数据进行回归拟合,建立了墨层厚度预测模型。仿真结果表明,建立的模型对墨层厚度预测的平均相对误差为2.27%,最大相对误差为7.33%,较好地实现了在线墨量检测,具有很好的实际应用价值,同时该系统的实现为金属薄板墨量的实时控制提供了依据。

参考文献:

- [1] 刘真.印刷概论[M].北京:印刷工业出版社,2008.
LIU Zhen. An Introduction to Printing[M]. Beijing: Graphic Communications Press, 2008.
- [2] 康建山.基于色墨控制模型的印刷色彩质量控制研究[D].北京:北京工业大学,2011.
KANG Jian-shan. Research on Quality Control of Printing Color Based on the Control Model of Color and Ink[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2011.
- [3] LUNDSTROM J, VERIKAS A. Assessing Print Quality by Machine in Offset Colour Printing[J]. Knowledge-based Systems, 2013, 37: 70—79.

- [4] VERIKAS A, BACAUSKIENE M. Estimating the Amount of Cyan, Magenta, Yellow, and Black Inks in Arbitrary Colour Pictures[J]. Neural Comput & Applic, 2007, 16: 187—195.
- [5] 天津科技大学.一种印刷品墨层厚度检测方法:中国, 102221338A [P]. 2011—10—19.
Tianjin University of Science & Technology. A Method to Detect Ink Film Thickness of the Print: China, 102221338A [P]. 2011—10—19.
- [6] EEROLA T, ENSU L. Bayesian Network Model of Overall Print Quality: Construction and Structure Optimization[J]. Pattern Recognition Letter, 2011, 32: 1558—1566.
- [7] SHANKAR N G, RAVI N, ZHONG Z W. A Real-time Print-defect Detection System for Web Offset Printing[J]. Measurement, 2009, 42: 645—652.
- [8] ENGLUND C, VERIKAS A. Ink Flow Control by Multiple Models in an Offset Lithographic Printing Process[J]. Computer & Industrial Engineering. 2008, 55: 592—605.
- [9] 张玉好.柔版印刷墨量直接检测方法的探讨[D].西安:西安理工大学,2004.
ZHANG Yu-hao. Direct-test of Ink Amount on Flexography [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2004.
- [10] VERIKAS A, BACAUSKIENE M. Estimating Ink Density from Colour Camera RGB Values by the Local Kernel Ridge Regression[J]. Engineering Application of Artificial Intelligent, 2008, 21: 35—42.
- [11] WYSZECKI G, STILES, W S. Color Science, Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae[R]. New York: Wiley, 1982.
- [12] 王慧芳,唐万有.多元线性回归法在墨层厚度检测中的应用研究[J].包装工程,2012,33(5):90—92.
WANG Hui-fang, TANG Wan-you. Application Research of Multiple Linear Regression Method in Ink Thickness Detection [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 90—92
- [13] TOMINAGA S. Color Control of Printer by Neural Networks [J]. Journal of Electronic Imaging, 1998, 7(3): 664—671.
- [14] RIBES A, SCHMITT F. A Fully Automatic Method for the Re-construction of Spectral Reflectance Curves by Using Mixture Density Networks[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24 (11): 1691—1701.
- [15] ZHU Q Y, QIN A K, et al. Evolutionary Extreme Learning Machine[J]. Pattern Recognition, 2005, 38: 1759—1763.
- [16] GUO R F, HUANG G B. Error Minimized Extreme Learning Machine with Growth of Hidden Nodes and Incremental Learning[J]. IEEE Transaction on Neural Networks, 2009, 20 (8): 1352—1355.