

喷墨数字印刷质量的闭环检测与色彩控制系统设计

王晓红, 吕兆锋, 孙平

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: 以传统印刷质量检测与控制理论为基础, 结合数字印刷技术特点, 提出了基于 CCD 机器视觉技术的喷墨数字印刷质量检测与闭环控制系统及方法, 采用色度颜色偏差理论与方法, 分别从色差、灰平衡、网点扩大、均匀性及色域范围 5 个方面, 对实验和数据进行了对比分析。结果表明, 修正后的颜色偏差波动水平快速达到了目标状态, 补偿后的印刷质量要明显优于未控制前, 验证了系统方法的可行性和有效性, 为高精度喷墨数字印刷质量自动在线检测与控制提供了解决方案。

关键词: 喷墨数字印刷; CCD 机器视觉; 质量检测; 闭环控制

中图分类号: TS807; TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)13-0010-04

Closed Loop Quality Detection and Color Control System Design for Ink-jet Digital Printing

WANG Xiao-hong, LYU Zhao-feng, SUN Ping

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Combined with the technique characteristics of ink-jet digital printing, a quality detection method based on traditional printing quality detection theory and CCD machine vision technology and closed loop color control system was designed. Based on chromaticity deviation theory and method, the grey balance, dot enlargement and uniformity was discussed through the experiment and data analysis. The result showed that the revised color deviation fluctuation quickly reaches to the target state level; the effect after compensation is much better than before. This method is proved to be more effective for high-accuracy automatic on-line detection and control of ink-jet digital printing quality.

Key words: ink-jet digital printing; CCD machine vision; quality detection; closed loop control

目前国内传统印刷质量控制手段已经发展的相当成熟, 伴随数字印刷系统应用的普及和数字印刷品的日趋广泛, 在纺织、印染、造纸、塑料等工业生产中, 受到数字印刷的作业特点和作业幅面的影响, 传统的质量检测和控制方法, 已无法更好满足数字印刷的需求。笔者结合数字印刷技术特点, 提出了基于 CCD 机器视觉技术^[1]的喷墨数字印刷质量检测与闭环控制系统及方法, 侧重从色差、灰平衡、网点扩大、均匀性及色域范围等色彩控制指标出发, 通过对生产过程的自动检测和实时补偿, 有效地控制色彩复现过程的颜色偏差^[2], 有利于更好维持印刷品质量的稳定性和持久性。

1 色彩控制系统原理及过程控制

1.1 系统原理

闭环色彩控制其核心是减少色彩检测与控制中的人为影响因素^[3]。其工作原理为: 系统的 CCD 扫描摄像头在整个印刷过程中不断地测量正在印刷的印张的印刷质量色表^[4-5], 通过中央控制台的计算、分析、比较, 生成调整信号, 即时修改 ICC 特性文件中 RIP 数据信息, 进行实时补偿, 确保印刷质量的稳定性。

结合喷墨数字印刷特点提出了基于 CCD 机器视

收稿日期: 2012-05-08

基金项目: 国家新闻出版总署数字印刷工程研究中心开放基金

作者简介: 王晓红(1971—), 女, 陕西人, 博士, 上海理工大学教授, 主要从事色彩学及数字印刷质量研究。

觉技术的喷墨数字印刷质量检测与闭环控制系统及方法,充分应用了闭环控制思路^[6-7],控制流程见图 1。

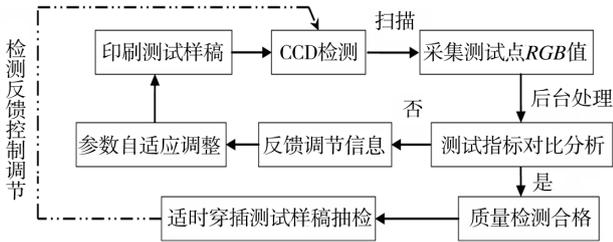


图 1 基于喷墨数字印刷的闭环控制系统设计流程

Fig. 1 Process of closed loop control system based on ink-jet digital printing

1.2 样张抽取与过程控制

针对数字印刷可变数据的特点,设置测试标靶文件和客户文件 2 个活件交替穿插输出,测试样稿输出与印刷文件输出序列样见图 2。

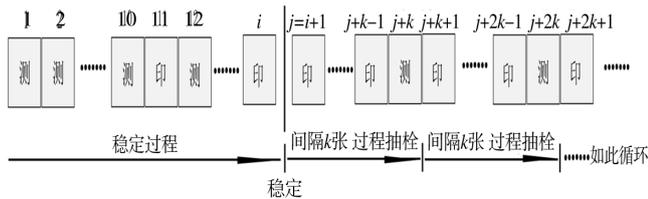


图 2 测试色靶输出序列

Fig. 2 Outputting sequence diagram for test target

2 喷墨数字印刷质量控制指标

影响、评价和控制印刷图像质量的因素有很多^[7],如网点扩大、色差、灰平衡、印刷反差、叠印、墨层厚度、印刷速度及纸张表面特性等。由于数字印刷是图文复制的一种方式,所以对复制品的质量要求与传统一致。因此从色差、灰平衡、网点扩大、均匀性和呈色范围 5 个指标出发,通过颜色偏差来实现对喷墨数字印刷质量的自动在线检测和控制^[8]。其中,对灰平衡过程控制的颜色偏差值来评价,定义:

$$\Delta F^* = [(a^*_{calibrated} - a^*_{reference})^2 + (b^*_{calibrated} - b^*_{reference})^2]^{\frac{1}{2}}$$

式中: $a^*_{calibrated}$ 和 $b^*_{calibrated}$ 是色度数据的测量值; $a^*_{reference}$ 和 $b^*_{reference}$ 是颜色控制纸白参考值。根据人眼视觉对中性灰颜色敏感程度,基于 ΔF 控制指标均值 (average) 应控制在 1.5 以内,最大变化范围应控制在 3.0 以内。

3 实验验证与对比分析

借助 Epson 4800 喷墨打印机和 CCD 数据采集与分析装置,从上述 5 个控制指标出发,采用自行设计的测试文件,对基于 CCD 机器视觉技术的喷墨数字印刷质量检测与闭环控制进行了系统性分析。

3.1 灰平衡偏差对比测试

结合测试文件,借助 CCD 数据采集装置,获取每张测试样稿 3 个不同区域叠印灰平衡色块补偿和补偿后对应的色度 Lab 数据,利用颜色偏差公式计算当前样张下该叠印色的颜色偏差数据,通过颜色偏差来衡量喷墨数字印刷过程中颜色灰平衡随着样张数的稳定性变化情况。部分测试数据见表 1。

表 1 CMY 三色叠印灰补偿前后颜色偏差的变化

Tab. 1 Change of CMY trapping color deviation before and after compensation

样张	20%		25%		50%	
	未补偿	补偿后	未补偿	补偿后	未补偿	补偿后
1	3.920	3.453	3.946	3.868	3.958	3.331
3	4.076	1.416	4.054	1.007	4.165	1.382
5	3.986	0.901	3.972	1.418	4.083	0.920
7	3.969	1.056	4.019	1.448	4.113	1.234
9	3.967	1.461	3.999	0.719	4.026	0.511
11	3.889	1.163	3.918	1.331	3.873	0.611
13	3.901	1.235	3.918	1.480	3.852	2.133
15	3.833	1.143	3.808	1.838	3.654	0.740
17	3.741	1.048	3.807	1.871	3.513	0.848
19	3.816	1.598	3.874	2.670	3.685	1.574
ΔF 均值	3.910	1.447	3.932	1.765	3.892	1.329

由表 1 分析可知,补偿前后基于 CMY 三色叠印灰色的颜色偏差变化明显,20%,25%和 50% 三色颜色偏差数值分别降低了 2.463,2.167 和 2.563,补偿后偏差值分别为 1.447,1.765 和 1.329,完全符合人眼对基于灰平衡的颜色偏差控制要求(3 以内)。

3.2 色差对比测试

补偿前后颜色色差的对比见表 2。

由表 2 知,补偿后比补偿前颜色色差有了明显的改善,色差最大值、均值及波动误差分别由补偿前的 11.34,6.7 及 2.36,降低到了补偿后的 3.87,1.51 和 1.12,已达到了 ISO 对精细产品印刷样颜色偏差的要求。

表 2 实地色补偿前后色差的变化

Tab.2 Change of solid color diffience before and after compensation

样张	Delta E2000 平均值			Sigma			最大值	
	Total	最优 90%	最差 10%	Total	最优 90%	最差 10%	Total	最优 90%
补偿前	6.7	6.14	10.74	2.36	1.91	0.46	11.34	10.1
补偿后	1.51	1.24	3.47	1.12	0.89	0.29	3.87	3.1

3.3 网点扩大偏差变化对比测试

补偿前后的网点扩大对比见图 3。

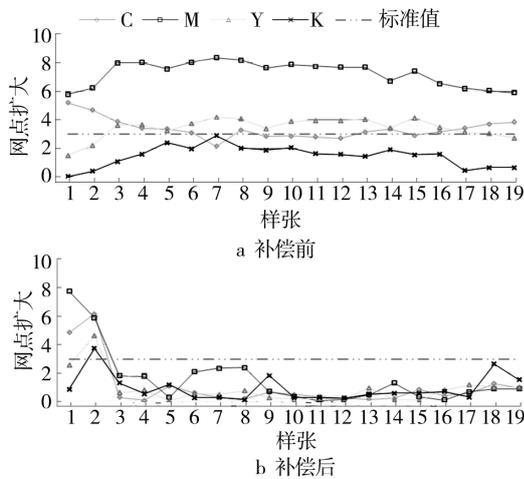


图 3 补偿前后网点扩大的变化

Fig.3 Change of dot gain before and after compensation

由图 3 分析可知,补偿后网点扩大变化呈现一定的规律性,其中补偿前的 M 色颜色偏差变化最大,变化值在 8.5 左右,远高于人眼视觉对颜色偏差不高于 3 的控制范围,同时补偿前的 C 色块颜色偏差也明显超出了人眼的响应范围;而经过闭环系统循环补偿之后,C,M,Y,K 四色颜色偏差基本在第 3 张印张后就快速稳定在了颜色偏差规定的均值 1.5 左右,完全符合人眼视觉对颜色偏差的控制要求。

3.4 均匀性变化

3.4.1 颜色偏差(ΔF)数据一致性分析

选取 50%处灰平衡色块的颜色变化为依据,绘制颜色偏差 ΔF 的变化曲线,见图 4。

由图 4 可以看出,50%处灰平衡色块的颜色偏差,经闭环控制系统补偿后,效果明显优于补偿前。补偿前样张各区域的颜色偏差变化平均变化范围在 3.85 左右;补偿后样张各区域的颜色偏差都控制在 3 以内,变化均值浮动范围都在 1.5 左右,人眼不

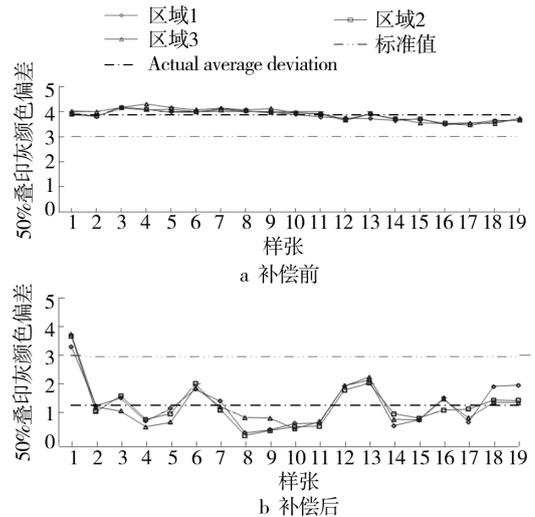


图 4 补偿前后 50%处叠印灰颜色一致性偏差的对比

Fig.4 Uniform deviation of 50% trapping gray color before and after compensation

会观察到印刷质量的波动,补偿效果较好。

3.4.2 颜色偏差(ΔF)重复性分析

从测试文件中每隔选取 2 张测试样对重复精度分析,见表 3。

表 3 测试色靶颜色偏差重复精度分析

Tab.3 Repeat precision analysis of the test target color deviation

样张	颜色	颜色均值	最大值	最小值	
1	25%	补偿前	3.996	4.071	3.921
		补偿后	0.302	0.364	0.24
	50%	补偿前	4.031	4.079	3.991
		补偿后	1.913	2.015	1.811
2	25%	补偿前	3.919	3.982	3.856
		补偿后	2.113	2.322	1.904
	50%	补偿前	3.706	3.752	3.660
		补偿后	1.861	1.939	1.782

由表 3 可知,补偿后的颜色偏差变化趋势均远小于补偿前,其中 25%灰平衡色块处颜色偏差分别由补偿前的 3.996 和 3.919 降到了 0.302 和 2.119,50%处的颜色偏差值也分别由补偿前的 4.031 和 3.706降到了 1.913 和 1.861,补偿后数据均控制在人眼视觉对颜色偏差所要求的标准范围之内。随着印张数目的增加,颜色偏差偏小的趋势基本保持不变,可见该控制系统的颜色还原重复性效果较好。

3.5 色域范围对比测试

以 ECI2002 色表为基准,补偿前后色域范围对比

见图 5。

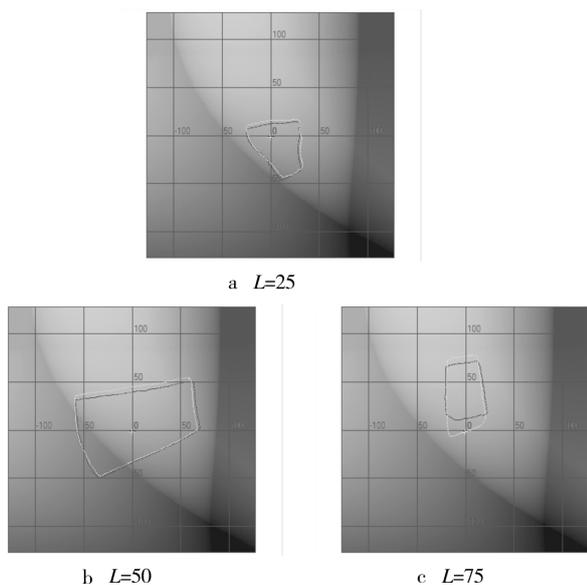


图 5 补偿前后色域范围的对比

Fig. 5 Change of color gamut before and after compensation

由图 5 可知,在 L 分别为 25 和 50 时,色域范围在补偿后,相对而言,在 R 和 G 范围上有一定的扩大; L 为 75 时,对三原色 CMY 在饱和度上的呈现上,有明显的增强。

4 结论

以传统印刷质量检测与控制理论为基础,结合数字印刷技术特点,提出了基于 CCD 机器视觉技术的喷墨数字印刷质量检测与闭环控制系统及方法。经过系统补偿后的颜色偏差变化范围要明显优于补偿前,实现了颜色质量检测和控制快速稳定。补偿后的指标数值,完全符合人眼对颜色偏差质量的控制要求,充分说明了该方法在提升喷墨数字印刷质量检测精度和改善过程控制稳定性方面的可行性和有效性,为实现高精度喷墨数字印刷质量自动在线检测与控制提供了技术手段和解决方案。

参考文献:

- [1] CHAN C S,BOISE I. Method and for Providing Closed Loop Color Control Between a Scanned Color Image and the Output of a Color Printer;United States Patent[P]. 1992-04-21.
- [2] FORREST D J,BRIGGS J C,TSE Ming-kai. Print Quality Analysis as a QC Tool for Manufacturing Inkjet Print Heads[C]. IS&Ts NIP 14,1998;590-594.
- [3] 甘信华,丁兆国,张忠. 闭环供应链管理的内涵、体系结构和实施战略[J]. 包装工程,2010,31(5):82-84.
GAN Xin-hua,DING Zhao-guo,ZHANG Zhong. Connotation, Architecture, and Implementation Strategy of Closed-loop Supply Chain Management [J]. Packaging Engineering,2010,31(5):82-84.
- [4] MAKI Santtu,VARKAUS. System and method for Closed-loop Color Control of Printed Media; United States [P]. 2005-06-23.
- [5] 朱永双. 闭环色彩控制系统在商业轮转机上的应用研究[J]. 包装工程,2009,30(8):61-63.
ZHU Yong-shuang. Application of Closed Loop Color Control System in Web Offset Presses[J]. Packaging Engineering,2009(8):61-63.
- [6] 李不言,曾忠. 基于机器视觉的印刷品质量检测技术[J]. 机械工程师学术交流,2009(6):6-8.
LI Bu-yan,ZENG Zhong. Print Quality Measurement Techniques Based on Machine Vision[J]. Mechanical Engineer, 2009(6):6-8.
- [7] TSE Ming-kai, FORREST D J, BRIGGS J C. Automated Print Quality Analysis for Digital Printing Technologies [C]. Pan-Pacific Imaging Conference/Japan Hardcopy '98, 1998;15-17.
- [8] 王晓红,李树章,周辰人. 基于机器视觉的文字印刷质量检测与评价[J]. 包装工程,2010,31(13):97-99.
WANG Xiao-hong, LI Shu-zhang, ZHOU Chen-ren. Detection and Evaluation of Chinese Character Printing Quality Based on Machine Vision[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(13):97-99.