

一种针对印刷稿的图像质量评价应用流程

张桢杰¹, 刘真¹, 吴明光², 于惠¹

(1. 上海理工大学, 上海 200093; 2. 南京师范大学 虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 200046)

摘要: 以印刷稿中的图像为研究对象, 印刷稿的图像质量评价为研究目标, 建立了图像质量评价指标的应用流程。该流程首先扫描印刷稿, 再对扫描稿进行图像配准处理, 然后嵌入特殊的扫描仪特性文件, 再用图像评价指标计算出该图像与原稿之间相应的图像质量指数, 从而评价印刷稿中的图像质量。验证实验表明, 提出的应用流程具有相当的合理性和可行性。

关键词: 图像质量评价指标; 印刷图像; 图像配准; 控制点

中图分类号: TS807; TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)05-0090-05

Application Process for Printed Image Quality Evaluation

ZHANG Zhen-jie¹, LIU Zhen¹, WU Ming-guang², YU Hui¹

(1. University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment of the Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 200046, China)

Abstract: Printed images were taken as research object and image quality evaluation as the research motivation. An application process for printed image quality evaluation was established. The printed images were scanned firstly; image registration followed; scanner's special ICC profile was assigned into the scanned image; the quality index of the image we get and the original one was calculated at last. The index was used to evaluate the printed image quality. Verification experiment showed that the process is reasonable and feasible.

Key words: image quality evaluation index; printed image; image registration; control point

使用图像质量评价指标计算图像质量指数, 是为了通过客观比较 2 幅图像之间的差别来评价图像的质量。如今在出版印刷行业, 主要通过主观评价方法来反映印刷图像的质量特征, 但是这种方法受到观察者知识背景、观察目的和环境等影响, 具有很大的不固定性; 同时这种方法耗时耗力, 所以对印刷稿进行客观评价是非常有意义的。

目前用于客观评价数字图像质量的指标有很多, 如常用的均方误差(MSE)、峰值信噪比(PSNR)和结构相似度(SSIM)等。同时也有研究者提出, 将这些图像质量指标应用于评价印刷图像质量^[1], 但主要目的是验证图像质量指标用于评价印刷图像质量的可行性, 而忽略了整个应用流程, 显然这是一个被忽视的关键点, 因为在计算图像质量指数之前, 首先要面临的问题就是怎样将印刷稿图像变为数字图像, 从而

计算其与原图像之间的图像质量指数。一般来说, 采用扫描仪将印刷稿数字化, 但是这一过程存在一个难题: 不能保证扫描过程中不产生物理偏差, 比如图像倾斜、图像大小变化^[2]; 数字化后的印刷稿图像的色空间是否与印刷稿色空间保持一致等等^[3]。为了将图像质量评价指标更好地应用于评价印刷稿图像质量, 笔者提出一个统一的应用框架。

1 图像质量评价指标应用流程

提出的应用于印刷稿的图像质量评价框架是在数字图像处理和色彩管理的基础上建立起来的, 保持打印稿与数字稿的色差尽量小^[4]。主要步骤见图 1, 包括: 给图像添加控制点, 得到标有控制点的图像 A; 给图像配置打印机的 ICC 特性文件, 然后打印出图

收稿日期: 2012-12-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41271446); 苏州市科技支撑计划(SG201102)

作者简介: 张桢杰(1989-), 男, 江苏人, 上海理工大学硕士生, 主攻色彩再现理论与应用。

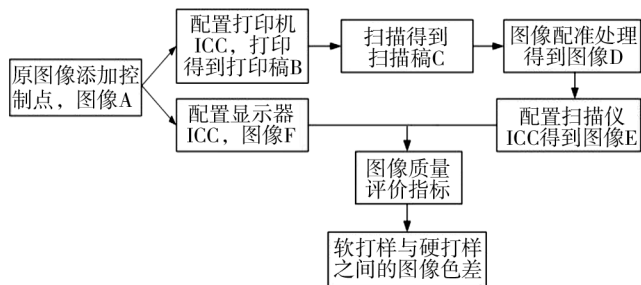


图1 应用框架流程

Fig. 1 The application framework process

像,得到打印稿 B;扫描仪扫描打印稿 B,得到扫描稿 C,对扫描稿 C 进行图像配准处理,得到与图像 A 相同大小,相同物理位置状态下的图像 D;给扫描稿 D 配置扫描仪的 ICC 特性文件,得到图像 E;将添加过控制点的图像 A 配置上当前观察下显示器的 ICC 特性文件,得到图像 F(如果要比较印刷稿与原稿之间的质量差别,这步可以省略);最后,用图像质量评价指标计算图像质量评价指数。

在提出的应用于印刷过程中的框架流程中,需要注意的是图像配准技术和扫描仪 ICC 制作技术,下面就从这两个关键技术着手分析整个框架流程。

2 图像配准技术

提出对扫描后的数字印刷稿图像进行图像配准处理,从而保证计算图像质量指数时各个图像的大小、像素都保持一致。图像配准是通过数字处理图像,将 2 幅或者多幅图像进行匹配、校准的过程^[5]。在这个过程中需要根据图像选择合适的变换方式和插值方式,变换是指将图像中的一个点与对应图像中的一个点联系起来从而进行几何映射,是一种空间变换;而在空间坐标变换后得到的像素坐标位置可能不在整数像素上,因此需要用灰度插值的方式对像素值进行估计。为了保证图像配准处理的效果,提出在原稿中添加控制点,控制点主要是作为匹配扫描图像与原图像的基准,从而得到更加精确的数字印刷稿图像。

给图像添加控制点是整个应用框架中的第一步,一般控制点分为内部控制点和外部控制点 2 种。选择外部控制点,因为当图像对象是均匀色块时,内部控制点就不易选择了。选择的外部控制点一共有 4

个,为黑色方块,分别分布在图像的 4 个角,见图 2。



图2 带有控制点的原稿

Fig. 2 The original image with control points

在图像配准过程中,通过定位控制点的坐标能够定位整个图像的坐标。

添加过控制点后,打印机打印出图像,然后再用扫描仪扫描打印稿,得到扫描稿,见图 3。经过扫描



图3 打印图像的扫描稿

Fig. 3 The scanned image of the printed image

得到的图像不可避免会存在旋转、平移及图像大小改变等变形,不能直接用于图像质量评价指标计算 2 个图像之间的图像质量差,必须对数字扫描图像进行图像配准。

选取 Matlab 图像转换工具包中 5 种常用变换方式以及 3 种插值方法进行比较,5 种变换方式为非反射相似性、相似性、仿射、投影和分段线性,3 种插值方式分别为双三次插值、双线性插值及最邻近插值。

2.1 变换方式

2.1.1 非反射相似性

当待配准图像与参考图像之间存在平移、缩放、旋转或者三者结合时,选择这种配准方式。非反射相似变换方法需要 2 对控制点。

2.1.2 相似性

相似性变换与非反射变换相似,但是变换时还需要反射系数。

2.1.3 仿射

仿射转换方式将直线映射为直线,并保持平行性,适用于当待配准图像与参考图像之间存在切变现象时。仿射变换方法需要 3 对控制点。

2.1.4 投影

投影变换与仿射变换相似,也将直线映射为直线,但是不保持平行性。这种方法需要 4 对控制点,适用于当待配准图像存在倾斜现象时。

2.1.5 分段线性

分段线性变换方法最适用于当待配准图像的不同部分存在不同失真方式的情况下,在变换时对图像中不同三角区域分别进行放射变换处理,这种方法至少需要 4 对控制点。

2.2 插值方式

2.2.1 最邻近插值

最近邻插值是图像插值中最简单的一种插值方法。它是通过计算得到“点” (i',j') ,通常这个点会落在 4 个坐标为整数的点之间,见图 4。假设这 4 个点的坐标分别为 (i,j) , $(i+1,j)$, $(i,j+1)$, $(i+1,j+1)$,则点 (i',j') 的坐标则选取与它最邻近点的坐标。这种算法简单、计算量小、速度快,但是如果点 (i',j') 落在相邻灰度差异很大的 4 个点之间,这种插值算法会产生较大的误差,会影响图像质量。同时因为最邻近插值算法实际上没有使用数学插值运算,所以会导致运算后得到的图像有不连续性,尤其在放大图像时,会有明显的块状效应。

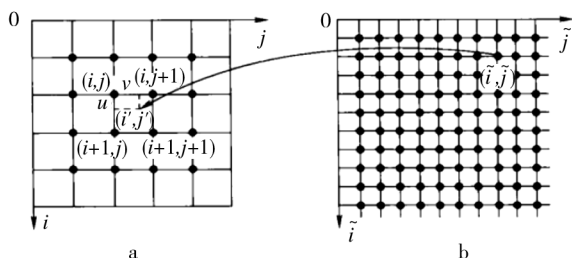


图 4 图像插值示意图

Fig. 4 The demonstration of image interpolation

2.2.2 双线性插值

双线性插值是一种连续的插值算法,效果要明显优于最邻近插值,因为在双线性插值中通过数学插值计算解决了最邻近插值算法的明显块状效应。

双线性插值见图 5, (x,y) 是要插值的位置, (i,j) , $(i+1,j)$, $(i,j+1)$ 和 $(i+1,j+1)$ 是插值点周围的 4

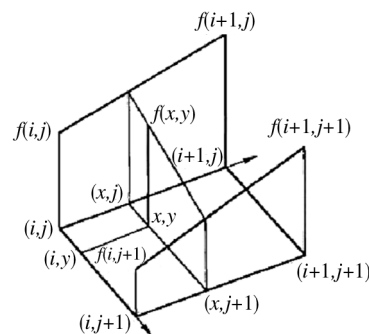


图 5 双线性插值

Fig. 5 The demonstration of bilinear interpolation

个点。首先,在值 $f(i,j)$ 和 $f(i+1,j)$ 之间进行线性插值,得到:

$$f(x,j)=f(i,j)+x[f(i+1,j)-f(i,j)]$$

然后在值 $f(i,j+1)$ 与 $f(i+1,j+1)$ 之间进行线性插值,得到:

$$f(x,j+1)=f(i,j+1)+x[f(i+1,j+1)-f(i,j+1)]$$

最后,在值 $f(x,j)$ 和 $f(x,j+1)$ 之间进行线性插值,得到:

$$f(x,y)=f(x,j)+y[f(x,j+1)-f(x,j)]$$

双线性插值算法的计算量较大,但是插值后的图像不会出现像素值不连续的情况,即最邻近插值后出现的块状效应。因为双线性插值算法具有低通滤波器的作用,因此插值后图像的高频部分会受损,图像轮廓在一定程度上会变得模糊。

2.2.3 双三次插值

在最邻近插值和双线性插值中,都是利用插值点 $(x,y)=(i+u,j+v)$ 周围的 4 个点 (i,j) , $(i+1,j)$, $(i,j+1)$ 和 $(i+1,j+1)$ 的像素值,而双三次插值为了得到更加精确的像素值,考虑了插值点周围的 16 个点的影响,见图 4a 中的 16 个实心黑点。

尽管三次差值的计算量大,但是内插的效果较好,精度比最邻近插值、双线性插值更高,插值处理后的质量比最邻近插值与双线性插值处理后的质量要有明显提高。

2.3 变换方式及插值方式的比较与选择

为了保证对印刷稿进行图像配准后的数字图像质量,比较了以上 5 种变换方式及 3 种插值方式,即一共为 15 种变换方式与插值方式的结合组合。整个比较实验过程如下。

1) 选择 2 幅代表性图像,见图 6,第 1 幅图像中具有大块均一色背景,而第 2 幅图像的细节比较多。

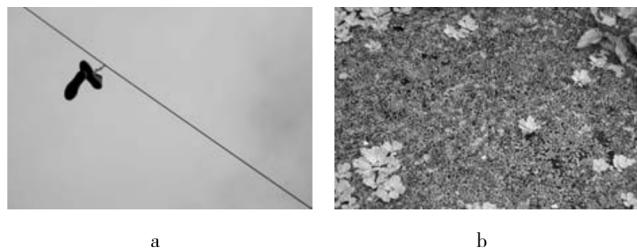


图6 配准测试图像

Fig. 6 The test images for image regression

2) 为了模拟扫描过程给图像带来的失真,对图像进行旋转、调整大小操作。

3) 用不同的变换方法与插值方法组合处理调整后的图像,得到配准图像。

4) 计算配准图像与原图像之间的均方误差 MSE,比较并选择。

将不同的变换方法与插值方式组合应用于 2 幅测试图像后,配准图像与原稿之间的均一化后的均方误差见图 7。

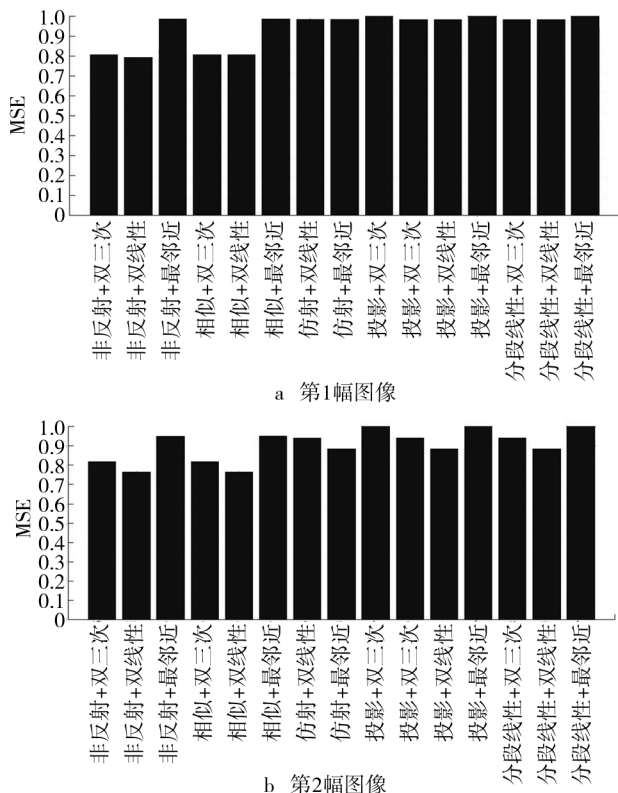


图7 图像的均方误差

Fig. 7 MSE between scanned image and the original image

由图 7 可知,相似变换与双线性插值方法的结合对 2 种不同的图像配准效果都是比较好的;同时,这种组合的运算时间合理,没有双三次方法的运算时间

长,因此经过综合比较,选择相似变换与双线性插值方法的结合组合。

3 扫描仪特性文件制作

为了将扫描后得到的数字稿的色彩空间保持在打印机的色域中,即保证扫描仪的 ICC Profile 与当前打印设置保持相关性^[6],在制作扫描仪 ICC 时,将测量得到的色靶数值(CIELAB 空间)作为参考数据,与扫描图像中的 RGB 值进行映射,建立扫描仪的特性文件,流程见图 8。在这种情况下,每一种打印机和

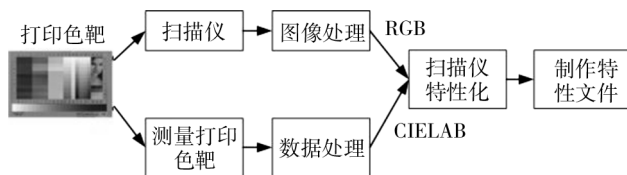


图8 扫描仪特性文件的制作流程

Fig. 8 The workflow of making ICC profile for scanners

不同纸张的组合都要做不同的扫描仪特性文件,如此得到的扫描仪的特性文件与该状态下的设备配置是相关的^[7]。

4 应用流程可行性验证

为了验证提出的应用流程的可行性,选择 9 幅图像作测试,见图 9,选择相似变换与双线性插值方法的结合做图像配准处理,图像质量评价指标选择结构相似度指标(SSIM)。使用 Epson Pro 7800 打印机打印出测试图像,承印纸张为 70 g/m² 的胶版纸。然后根据提出的应用流程,使用 Epson V500 扫描仪扫描打印稿,并用 Matlab 配准扫描图像,最后使用 SSIM 计算数字图像与原图像之间的质量差别指数。

为了验证该方法的合理性,选择 15 名视觉正常观察者进行视觉评价(10 名有印刷相关知识,5 名无印刷相关知识),通过比较客观计算结果与视觉评价结果是否一致来验证可行性。原图像显示在 EIZO Color Edge CG224 显示器上,色温为 6500 K,亮度为 80 cd/m²,环境照明也采用 6500 K 的色温。原数字图像与打印稿同时向观察者展示,采用类别判断的实验方法,评判等级分为非常差、差、一般、好、非常好 5 个等级,分别用 1~5 分表示。视觉评价后的 Z-Score



图9 测试图像
Fig. 9 Test images

值见表1。

表1 视觉评价的 Z-Score
Tab.1 The Z-score of visual evaluation

	a	b	c	d	e
Z-score	-0.0354	0.3792	-0.1006	1.0133	-0.1690
	f	g	h	i	
Z-score	-0.7588	0.2446	-0.6399	0.0667	

Z-Score 值越大,说明该图像与原图像越接近,从视觉观察的结果来看,该幅图像的印刷效果越好。最后,比较视觉观察结果与 SSIM 计算结果,见图10。由图10可知,计算值只有第6幅图像没有体现出视

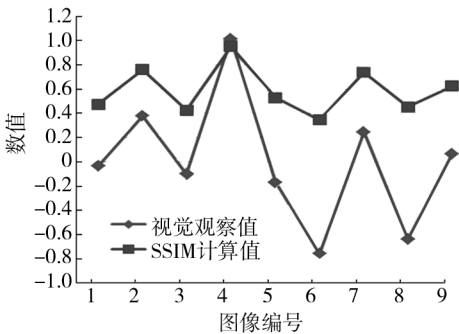


图10 视觉观察值与 SSIM 计算值的对比
Fig. 10 The comparison between visual inspection results and SSIM calculation

觉观察中的强烈差距,但总体来说,计算结果基本与视觉观察结果一致。

5 结论

为客观评价印刷稿图像质量,一般会通过扫描来数字化印刷稿,但是这一过程会不可避免地带来几何误差及色彩误差,因此将图像配准技术及色彩管理技术应用到印刷稿图像的客观质量评价中,同时还提出了通用的图像质量评价流程。最后通过选择双线性插值与相似变换的配准方法、SSIM 图像质量评价指标进行实验,实验结果验证了这一评价流程具有较好的性能,有相当的可行性与合理性,能给印刷品在线检测及相关科研提供一定的借鉴。

参考文献:

[1] 徐敏,郑元林. 基于 SSIM 的印刷图像质量评价研究[J]. 包装工程,2012,33(5):98-101.
XU Min, ZHENG Yuan-lin. Research of Printed Images Quality Based on SSIM[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5):98-101.

[2] 陈万军,陈亚军,何怡. 基于兴趣点特征匹配的印刷图像缺陷监测[J]. 包装工程, 2007,28(3):22-23.
CHEN Wan-jun, CHEN Ya-jun, HE Yi. Defect Detecting of Printing Matter Based on Interest Points Feature Matching [J]. Packaging Engineering, 2007, 28(3):22-23.

[3] LEE Bong-Sun, BALA Raja, SHARMA Gaurav. Scanner Characterization for Color Measurement and Diagnostics[J]. Journal of Electronic Imaging, 2007, 16(4). (余不详)

[4] EAROLA Tuomas, KAMARAINEN Joni-Kristian, LENSU Lasse. Framework for Applying Full Reference Digital Image Quality Measures to Printed Images[C]. SCIA, 2009: 99-108.

[5] 冯珂,彭曙蓉,陈立福,等. 基于 MATLAB 图像配准方法的相关研究[J]. 电子测试,2012(11):18-22.
FENG Ke, PENG Shu-rong, CHEN Li-fu, et al. Image Registration Method Research Based on MATLAB[J]. Electronic Test, 2012. 11: 18-22

[6] 黄小乔,石俊生,姚军财,等. 一种基于 S-CIELAB 的图像质量评价模型[J]. 云南师范大学学报,2006,26(5):48-51.
HUANG Xiao-qiao, SHI Jun-sheng, YAO Jun-cai, et al. A Study of Image Quality Evaluation Based on the S-CIELAB Model[J]. Journal of Yunnan Normal University, 2006, 26(5):48-51.

[7] ZHANG X M, WANDELL B A. Color Image Fidelity Metrics Evaluated Using Image Distortion Maps[J]. Signal Processing, 1998, 70(3):201-214.