

书籍扫描图像的纠正*

钟晓刚, 李新友, 唐泽圣

(清华大学 计算机科学与技术系 CAD 中心, 北京 100080)

E-mail: zhongxg@263.net

http://www.tsinghua.edu.cn

摘要: 扫描书籍时,因为书脊部分远离扫描平面,扫描得到的图像会有变形、明暗不均、模糊等缺点,针对这个问题,在分析书籍空间形状模型的基础上,提出了基于图像边缘提取、线性图像变换和分片直方图修正的综合解决方法.实验结果表明,该方法能够快速、准确地解决书籍扫描图像存在的变形和明暗不均问题.

关键词: 图像处理;图像变形;边缘提取;直方图修正

中图法分类号: TP391 文献标识码: A

在现代办公室中,扫描仪发挥着极其重要的作用.它凭借其高速、高质量扫描文档的能力,成为办公室工作人员手中的利器.但是它也有其局限性,例如,它只能扫描平坦的纸张,当要扫描书籍时,由于书脊部位的变形,扫描得到的图像会不可避免地出现变形、明暗不均、模糊等问题.显然,如图 1 所示的图像无法让人满意.针对图像变形问题,我们分析了扫描图像变形的几何模型,提出了基于边缘提取和线性变换的图像纠正计算公式.而对明暗不均问题,我们采用分片直方图修正的方法,取得了较好的效果.

本文第 1 节和第 2 节分别介绍了纠正变形和明暗不均的算法.因为纠正图像模糊的算法正在研究之中,所以在本文中未作介绍.

1 纠正图像变形

图像变形的纠正,一般采用如下方法来解决^[1]:首先确定变形物体在空间中的形状,然后根据具体情况将原始图像分割为形状简单、容易恢复的区域,在这些小区域中选择一些点作为参考点,设法求出这些参考点转换到目标图像后的位置,然后根据区域的形状利用变形方程求出其他点的位置,从而得到整个目标图像.分割区域的原则是:(1) 分割得到的小区域能够找到容易求解的参考点;(2) 根据这些参考点能够确定区域内其他点在目标图像中的位置.

本文所述算法以平行于书脊、端点位于书籍边缘的线段为基本的复原单位,参考点为线段的端点.

书籍的变形如图 2 所示.图 2(a)~(c)是放在扫描平面上的书籍的三视图,依次为主视图、左视图和俯视图.图 2(d)为书籍的目标形状(即把书籍沿中线分开,平放在扫描平面上)的俯视图,目标形状的主视图和左视图都是一条直线,此处没有画出.图 2(e)为扫描得到的原始图像,图 2(f)为处理的目标图像.图中的 B 为书籍变形部分和未变形部分的分界线.在原始图像中,复原单位用 l_i 表示,它的端点用 p_{i0}, p_{i1} 表示,其上的任意一点用 p_{ik} 表示,它们在目标图像中的对应部分加一撇来表示,点的坐标用 x'_{ikm}, y'_{ikm} 表示,其中 ik 为点号, m 为图号,例如 x'_{jkc} 表示 p_{jk} 在图 2(c)中的 x 坐标.

拆开的书籍如何放在扫描平面上是计算模型的一个参数,可以随意进行设置,为计算方便,我们使书籍的左

* 收稿日期: 2001-03-12; 修改日期: 2001-09-05

作者简介: 钟晓刚(1974 -),男,四川宜宾人,博士,主要研究领域为图像处理技术;李新友(1962 -),男,安徽桐城人,博士,研究员,主要研究领域为计算机图形学,图纸输入与处理;唐泽圣(1932 -),男,重庆人,教授,博士生导师,主要研究领域为计算机图形学,科学计算可视化.

边在目标图像和原始图像中重合.同时,我们假设书籍是横平竖直放置的,如果不是这样,可以通过简单的图像旋转算法将其纠正,书籍轮廓线的上、下两个拐点位置可以作为求旋转角度的依据.



Fig.1
图 1

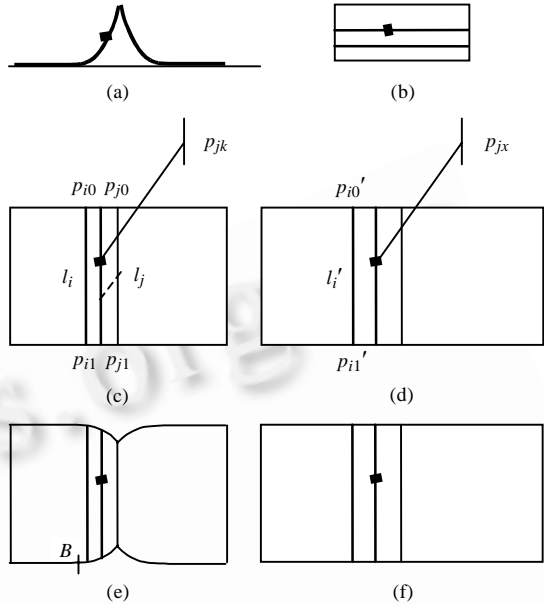


Fig.2
图 2

下面我们分别叙述定位参考点、求参考点的对应点以及根据参考点复原图像的方法.

1.1 定位参考点

扫描仪工作时,在有纸张覆盖的地方,传感器能接收到纸张反射的扫描仪发出的强光,而在没有纸张覆盖的扫描平面上,它只能接收到环境光,二者之间存在较大的亮度差,如前所述,参考点位于纸张的边缘,因此我们可以利用边缘检测的方法来定位参考点.

书籍中的文字或图画部分与背景同样会有比较大的亮度差,在它们的交界处形成边缘点,为了避免这些边缘点影响参考点的定位,我们需要选取大尺寸的边缘检测算子.这是因为页眉页脚处的空白以及书籍未覆盖部分的灰暗区域都具有在大尺度内均匀的特性,而文字和图画则不具有这个特征,因此先大尺度平滑再求差分的边缘检测算子对后者而言只能得到较微弱的反应,而对前者则可以得到与小尺寸算子相近的反应强度.

在得到图像上各点的边缘强度值以后,由于噪音的存在,还不能简单地将在每一列像素上边缘强度最大的两个点当作参考点使用.我们采用先统计最大值出现频率最高的位置,确定种子点,再跟踪的方法来得到纸张的边界.

1.2 求参考点的对应点

我们现在的的问题是,已知 x_{ike}, y_{ike} , 求 x_{ikf} 和 y_{ikf} ($k=0,1$).

根据前面所作的书籍左侧在原始图像和目标图像中重合的设置,对书籍左侧的未变形部分,各点的坐标在两个图像中是相同的,即 $x_{ikf} = x_{ike}, y_{ikf} = y_{ike}, i < B$.

对于 B 点右侧的部分,由书籍放置横平竖直的假设,书籍的上、下边沿应是水平线,即书籍变形部分的参考点的对应点的 y 坐标与未变形部分的相同,即 $y_{jkf} = y_{ikf}$ ($i < B$).

下面我们来求解参考点的对应点的 x 坐标.图 2 中两相邻复原单位 l_i, l_j 之间的部分放大以后的主视图和左视图如图 3 所示.

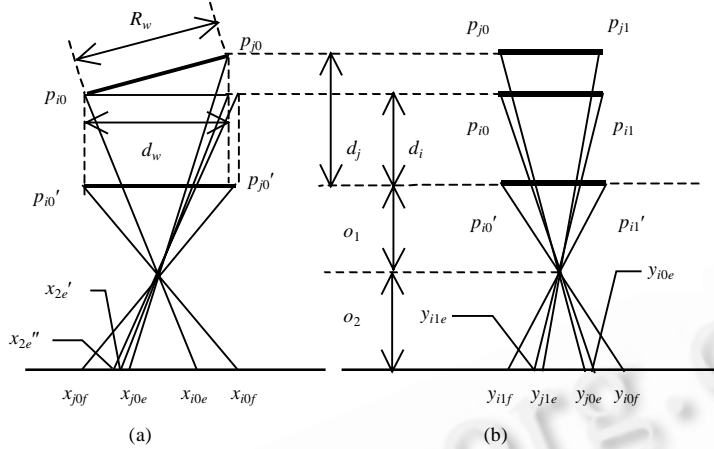


Fig.3
图 3

首先定义放大系数 $k_i = \frac{\text{len}(l'_i)}{\text{len}(l_i)} = \frac{y_{i1f} - y_{i0f}}{y_{i1e} - y_{i0e}}$, 其中 $\text{len}(x)$ 表示线段 x 的长度, k_i 的含义为一个基本复原单位复

原以后的长度与复原以前长度的比, 显然它容易求得.

参考图 2, 我们可以得到以下递推公式:

$$\frac{d_i + o_1}{o_1} = k_i \Rightarrow d_i = (k_i - 1)o_1,$$

$$\left. \begin{aligned} R_w &= \sqrt{d_w^2 + (d_i - d_j)^2} \\ x_{j0f} - x_{i0f} &= k_i(x'_{2e} - x_{i0e}) \\ x'_{2e} - x_{i0e} &= \frac{R_w}{d_w}(x'_{2e} - x_{i0e}) \\ x'_{2e} - x_{i0e} &\approx x_{j0e} - x_{i0e} \end{aligned} \right\} \Rightarrow x_{j0f} = x_{i0f} + \frac{k_i \sqrt{d_w^2 + (d_i - d_j)^2}}{d_w} (x_{j0e} - x_{i0e}).$$

根据上式, 只要确定了参数 o_1 , 我们就可以从 B 点开始, 依次求得各参考点之对应点的 x 坐标. 由于参数 o_1 只与成像系统有关而与图像无关, 因此可以预先通过实验或查阅相关资料确定, 在进行图像复原操作时, 可以看作是一个常数.

下面我们来证明*式的合理性, 令 l_1 为将 p_{j0} 垂直降到与 p_{i0} 同一水平线上以后, $p_{i0}p_{j0}$ 连线的投影长度; l_2 为将 p_{i0} 垂直升到与 p_{j0} 同一水平线上以后, $p_{i0}p_{j0}$ 连线的投影长度.

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= \frac{o_2 d_w}{o_1 + d_i} \\ l_2 &= \frac{o_2 d_w}{o_1 + d_j} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{l_1 - l_2}{l_1} = \frac{d_j - d_i}{o_1 + d_j},$$

$$l_1 = x'_{2e} - x_{i0e},$$

$$l_2 < x_{j0e} - x_{i0e}.$$

o_1 是成像系统的一个参数, 一般在 10 厘米以上, 只要在进行计算时选取较小的 $p_{i0}p_{j0}$ 距离(例如只有 1 个像素的距离, 在 300dpi 下, 不到 0.01 厘米), 就可以得到

$$x'_{2e} - x_{i0e} \approx x_{j0e} - x_{i0e}.$$

1.3 根据参考点复原图像

本文所选择的基本复原单位是平行与书脊的直线段. 它具有如下的性质: 在书籍变形前和变形后都是直线

段,而直线段在投影变换后依然是直线段,因此我们可以根据变换前、后两个参考点的坐标来确定直线段上其他点在变换后的坐标,公式如下:

$$\begin{aligned}x_{j'kf} &= x_{j0f}, \\y_{j'kf} &= y_{j0f} - k_j(y_{j0e} - y_{jke}).\end{aligned}$$

2 纠正明暗不均

如图 1 所示,因为书籍的书脊部分远离扫描平面,并且有一定的倾斜角度,所以无法完全反射扫描仪发出的光,会出现扫描图像对应部分亮度下降的问题,为了解决这个问题,需要进行直方图修正,以使整个图像亮度均匀。

直方图修正的原理是:给定两幅图,其中之一(以后简称 A)具有标准的明暗分布,另一幅(以后简称 B)为待修正的图像,通过调整 B 的亮度,使两幅图的亮度直方图近似相同,可以达到不改变图像结构而使两者亮度相同的目的.直方图修正的算法如下:

设两幅图的亮度分布函数分别为 $f_A(x)$ 和 $f_B(x)$,图像的最大亮度为 I_{\max} .

$S_A=0, S_B=0, J=0$

FOR $I=0$ TO I_{\max}

$S_A=S_A+f_A(I)$

WHILE $S_B \leq S_A$

$T(J)=I$

$J=J+1$

$S_B=S_B+f_B(J)$

END

NEXT I

对图像 B 中的每个点 x , 设其亮度为 I_x , 将其亮度更改为 $T(I_x)$.

考虑位于一个平行于书脊的竖条内的像素,它们由于距离扫描平面的距离相同,纸面的倾斜角度也相同,因此亮度受影响的程度也是相同的,可以被当作一个整体看待.基于这个原因,我们将图像划分为多个平行于书脊的条形区域进行直方图修正,划分的原则如下:(1) 每个区域内的像素点足够多,以使统计直方图有意义;(2) 区域不要太大,区域内明暗应是基本均匀的.根据这两条原则,作者选择了 10 个像素宽的区域.划分好区域以后,选择书籍远离书脊的条形区域图像作为标准图像,靠近书脊的条形区域为待修正图像,运用上述的直方图修正算法,即可得到明暗均匀的图像.

3 实验结果与小结

本文所述算法在配置为 Pentium III CPU、64MB 内存的微机上运行时,处理大小为 2000×2000 像素点,256 级灰度的实验用图需用时约为 5 秒.

图 1 的处理结果如图 4 所示,图像变形和明暗不均的问题得到了较好的解决.从而证明了简单而稳定的边缘抽取、图像几何变换和直方图修正对解决上述问题是行之有效的.书脊部分图像模糊的问题涉及到对比度和信噪比下降、非线性降质系统等复杂的因素^[2],现在还没有找到有效的解决方法,我们正在研究这个问题,希望在不久的将来可以解决这个问题.

由于复印机与扫描仪的工作原理基本相同,本文的研究成果也完全可以应用在复印机中.



Fig.4

图 4

References:

- [1] Tang, Y.Y., Suen, C.Y. Image transformation approach to nonlinear shape restoration. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1993,23(1):155~172.
- [2] Chen, Ting-biao, Xia, Liang-zheng. *Digital Image Processing*. Beijing: People's Posts and Telecommunications Publishing House, 1990 (in Chinese).

附中文参考文献:

- [2] 陈廷标,夏良正. *数字图像处理*.北京:人民邮电出版社,1990.

Correction of the Scanned Image of the Book*

ZHONG Xiao-gang, LI Xin-you, TANG Ze-sheng

(CAD Center, Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

E-mail: zhongxg@263.net

<http://www.tsinghua.edu.cn>

Abstract: Due to its spine the book can not be set as close to the flat bed of the scanner as a paper. As a result, the obtained image will suffer from distortion, variant brightness and blurring. In this article a method based on edge extraction, linear image transformation and histogram modification is proposed to address the mentioned problem. Experimental results show that the proposed method can correct the image distortion and brightness variance problems quickly and precisely.

Key words: image processing; image distortion; edge extraction; histogram modification

* Received March 12, 2001; accepted September 5, 2001