

织物图像的倾斜检测与纬纱密度识别

吴海虹 张明敏 潘志庚

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要 根据织物表面图像来自动识别组织结构参数是纺织 CAD 的一个重要研究内容。为解决在扫描过程中织物图像不可避免的倾斜现象,提出了一种快速的基于 Hough 变换的织物图像倾斜检测算法。为减少运算量,此算法首先提取图像梯度作为纬纱走向信息;然后运用层次 Hough 变换来检测倾斜角度,并获得了满意的检测精度;最后根据倾斜检测结果,采用一种新的与倾斜无关的纬密识别算法,通过提取倾斜角处的投影轮廓线来得到纬密排列规律,并计算出纬纱密度。实验结果表明,该算法用于结构图像倾斜检测和纬纱密度识别,可获得大于 88% 的检测准确率,纬度识别倾斜误差可控制在 2° 以内,可见具有较高的准确率和较好的实用性。

关键词 倾斜检测 Hough 变换 织物组织 纬纱密度

中图分类号: TP391.4 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2006)05-0640-06

Skew Detection and Weft Density Identification for Fabric Images

WU Hai-hong, ZHANG Ming-min, PAN Zhi-geng

(State Key Laboratory of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract Automatic identification of structural characteristics is an important research area for computer aided design of woven fabric. Since the skew is inevitable during fabric scanning, a fast skew detection algorithm based on Hough transform for the fabric surface image is proposed. In order to reduce compute complexity, the information of weft direction is extracted from the gradient of fabric image firstly. Then, hierarchical Hough transform is used to estimate the skew angle of fabric image with satisfactory precision. Finally, based upon the skew detection process, a novel algorithm to identifying the weft density is introduced, which is independent of the image skew. The projection profile on skew angle is used to determine the arrangement of weft yarns, and the density of weft is easily computed. The experimental results show the practicability and efficiency of our method.

Keywords skew detection, Hough transform, weave pattern, weft density

1 引言

随着 CAD 技术的发展,提高纺织生产的自动化程度正在成为纺织工业发展的必然趋势。目前,织物的计算机辅助组织设计技术较为成熟,国内外已有不少成熟软件投入生产使用,但织物样本的组织分析却仍处于研究探索阶段,如何运用计算机图像处理技术,从织物图像中提取结构参数来自动生成织物组织,已经成为新的研究热点。运用扫描仪录

入织物图像时,由于试样的摆放等原因,图像的倾斜通常是不可避免的,即使事先经过人工手动调整,也无法绝对地保证纬纱水平和经纱竖直的状态,而且由于现有的大部分织物组织分析算法都对图像倾斜较为敏感,倾斜角度的存在会给识别结果造成较大误差,因此,有必要寻求一种更具普适性的倾斜织物图像组织分析方法。

倾斜检测问题常出现在文档处理与理解的研究领域,根据文档图像的特点,检测算法主要分为以下几大类^[1]:(1)投影轮廓方法;(2)Hough 变换方法;

基金项目:浙江省科技厅 2005 年度重大科技攻关项目(2005-15)

收稿日期:2005-05-08;**改回日期**:2005-07-19

第一作者简介:吴海虹(1974~),女,2001 年获浙江大学控制理论与工程硕士学位,现为浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室博士研究生。主要研究方向为数字图像处理。E-mail:hhwu@cad.zju.edu.cn

(3)最近邻域方法等等。其中投影轮廓方法是最常用的倾斜检测校正方法,它可首先通过直接计算图像在各个角度上的投影来求得投影轮廓曲线的统计特性,然后在所有统计特征值中求最佳,以获得倾斜角度^[2],由于投影轮廓方法需要计算所有角度的投影,因此计算量很大,而且它只适合于小角度的情况;Hough 变换是一种有效的直线检测方法,它具有较高的准确度,但由于对整图进行 Hough 变换的计算量太大,因此人们引入了各种预处理分析方法,以便针对有效像素进行变换,这就有效地减少了数据量,常见的分析方法有:游长平滑(run-length smoothing)分析^[3]、连通元素(connected component, CC)分析^[4]、BAG(block adjacent graph)^[5]等;最近邻域聚类方法是首先确定图像中的所有连通元素,然后计算这些连通元素与其最近邻域的方向角,并统计生成直方图,其直方图的峰值则对应了图像的倾斜角度^[6],显然,连通元素的划分仅适合于类似文档这种具有明显的文字与行间分离的图像。

与文档图像相比,织物图像不仅具有更加丰富的色彩和纹理信息,而且在织物图像中,理想的纬纱走向表现为一组间隔固定的平行线。为了取得较好的检测精度,结合织物图像的特点,本文提出了一种新的图像倾斜检测算法,即在图像梯度信息的基础上运用 Hough 变换,通过统计变换结果的均方差来确定倾斜角度。另外由于本文采用了层次 Hough 变换,从而有效地减少了运算量。

纬纱密度是布样织造的重要结构参数,而织物花样则主要依靠不同的纬纱密度以及色彩来体现。与经纱相比,纬纱的变化更加多样,而不同的花样组织往往选择不同的纬纱密度,可见纬纱识别是组织分析的首要条件,只有在获得组织结构参数的基础上,才能进一步地确定组织图。Fourier 变换及其快速算法是早期较为常用的方法^[7,8],它是在织物图

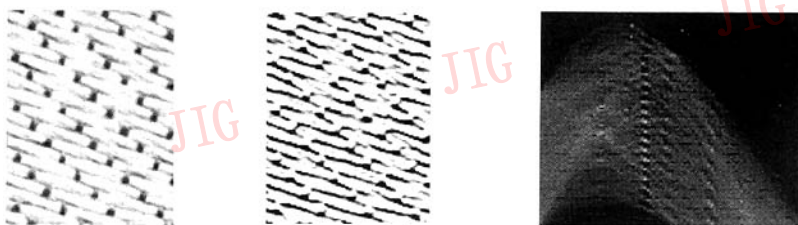
像的 2 维频谱图中,通过选取合适的峰值来获得纱线密度等结构参数。由于它是对整图进行分析,因此频谱中的主要频率不仅对应着纱线的排列规律,而且还对应着组织点的分布规律。但对于倾斜图像而言,尤其是倾角较大的图像,则很难根据峰值位置来确定某个主要频率到底是属于纬纱排列规律,还是具有组织点分布规律。另一种进行纬密识别的主要方法是投影轮廓法^[9~11],它是运用图像水平方向的投影轮廓来获得纬纱排列,进而计算纬纱密度,很显然,投影方法对图像的倾斜非常敏感,需要事先调整图像方向,才能保证纬纱呈水平走向;再者,对于某类特定组织而言,由于投影曲线并不能呈现理想的峰谷形态,因而算法误差较大。本文在倾斜检测的基础上,提出了一种新的与倾斜无关的纬密识别算法,由于它是运用纬纱走向信息来获得纬密,因此能独立于组织分布类型,实验结果验证,该算法具有较高的识别精度。

2 图像倾斜检测

2.1 纬纱走向的提取

用于组织分析的织物图像是一类特殊的纹理图像,其经纬纱线紧密排列,并以指定的组织规律相互交织,而且在实际织物织造过程中,纬纱是逐根织入的,其在织物中的排列相对均匀、间隔清晰。对于典型的纬面组织织物,由于纬纱呈现为一组间隔固定的平行线,而纬纱的倾斜则表征了织物图像的倾斜,因此可以通过分析纬纱走向的信息来确定织物图像的倾斜角度。

当光源位于织物的正上方时,浮于表面的经纬组织点在其纱线轴线方向有最大的亮度,而在纱线的间隙处亮度为最小(如图 1(a)所示)。显然,与纱线的内部区域相比,纱线间隙处的亮度表现出更



(a) 织物样图

(b) 纬纱走向信息

(c) Hough 变换结果

图 1 纬纱走向信息及其 Hough 变换结果示意图

Fig. 1 Weft direction indication and the result of Hough transform

为明显的梯度变化。一般而言,在扫描织物样本时,由于其倾斜角度基本上处于 $-80^\circ \sim +80^\circ$ 的范围之内,因此可以利用织物图像在垂直方向上的梯度来提取纬纱走向信息,本文选用 Sobel 垂直方向梯度算子来获得纬纱走向信息。梯度方法简单高效,它不仅在数值上能有效地增强纬纱边界,而且由于能够有效地略去那些位于纱线内部的像素信息(见图 1(b)),从而极大地减少了 Hough 变换的运算量。

2.2 Hough 变换

Hough 变换是最常用的检测倾斜角方法,其提取直线的原理是^[12]:对于图像空间的任意一点 (x, y) ,可利用以下变换式:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (1)$$

将其变换为参数空间 (ρ, θ) 中的一条曲线,若 n 个点同处于一条直线上,则参数空间中的 n 条直线必定经过同一点。在参数空间中建立累加器矩阵 $A(\rho, \theta)$,若图像空间存在直线 l ,则累加器矩阵必定存在局部极大值,这样找到该极值,即可得到图像空间中的对应直线 l 。

由 Hough 变换原理可知,如果图像中存在一系列平行直线,那么在倾角 θ_{skew} 附近必有一些局部极大值。通用的 Hough 检测算法是:先利用设定的阈值 T 来对矩阵 $A(\rho, \theta)$ 中所有元素值 $A(\rho, \theta)$ 进行筛选,并令 $T = \gamma \max A(\rho, \theta)$,其中 $\gamma < 1$,若 $A(\rho, \theta) \leq T$,则取 $A(\rho, \theta) = 0$;然后通过对每个角度进行累加来得到累加值 $A_1(\theta)$,而选取与其中最大 $A_1(\theta)$ 值对应的角度,即为倾斜角度 θ_{skew} 。尽管织物图像不存在真正的直线,但纬纱走向却具有很强的方向性,若对提取的纬纱走向信息进行 Hough 变换,则其得到的矩阵 $A(\rho, \theta)$ 仍表现出明显的极值特性(如图 1(c)所示)。

2.3 倾斜检测算法

对于不同类型的图像,由于其矩阵 $A(\rho, \theta)$ 的极值分布特点各不相同,因此通用的检测算法对织物图像的检测效果不尽理想。本文结合织物图像的特点,采用了另一种统计特征来作为倾斜角检测的依据。为了叙述方便,可在矩阵 $A(\rho, \theta)$ 上将某个 θ 值的投影轮廓定义为位于该 θ 上的由所有矩阵的元素值 $A(\rho, \theta)$ 所构成的曲线 $A_2(\rho)$ 。由图 1(c)可以看出,由于纬纱间隔固定,因此矩阵 $A(\rho, \theta)$ 的局部极值分布均匀,并且在倾斜角 θ_{skew} 处的投影轮廓曲线呈现很明显的峰谷效应,即波峰波谷分布均匀,而且阶跃显著(见图(2))。

在随机变量统计中,常用均方差来衡量数据集

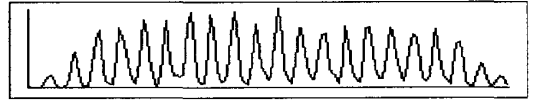


图 2 Hough 变换 θ_{skew} 处的投影轮廓曲线示意图

Fig. 2 The projection profile of θ_{skew} in the Hough transform result

中和离散程度,若均方差越大,则数据的离散程度越大。由于可以将投影轮廓上的值看作是一组样本数据,而且峰谷效应越明显,等价于数据的离散程度越大,因此可以利用均方差作为统计特征量来判断倾斜角位置。这样,通过提取每个角度 θ 的投影轮廓,并统计其均方差,则其中与最大统计值对应的 θ 即为倾斜角度,其计算公式为

$$\theta_{skew} = \arg \max \left(\frac{1}{n} \sum_{\rho} (A(\rho, \theta) - \bar{A}_2(\theta))^2 \right) \quad (2)$$

式中, $\bar{A}_2(\theta)$ 为某个 θ 的轮廓曲线 $A_2(\rho)$ 的均值。

Hough 变换的优点是抗噪声能力强,而且受直线不连续的影响很小,但其基本算法需要很大的运算量。因为变换的运算量与参与变换的像素数量、选取的角度步长 θ_{step} 以及角度检测范围 $(\theta_{max}, \theta_{min})$ 有关,所以当角度步长 θ_{step} 越小,即精度越高时,算法所需要的运算量就越大。现以 $0^\circ \sim 180^\circ$ 为例,若要达到 0.1° 的精度,则运算复杂度为 $O(1800N)$,其中 N 为原图像的像素总数。由于本文预先提取了纬纱走向信息,而且这部分像素的数目远小于图像像素,因此可以有效地减少运算量。为了进一步在运算量和精度之间达到权衡,本文采用层次 Hough 变换^[13]来分步达到系统所需要的精确度,即首先选用低分辨率角度进行 Hough 变换来得到可能的角度范围;然后再提高分辨率,以便在该角度范围内进一步确定倾斜角度。本文采用的低分辨率为 2° ,高分辨率为 0.1° ,相应的运算复杂度降低至 $O(130\hat{N})$,其中 \hat{N} 远小于原图的像素总数 N 。针对织物图像的组织分析而言, 0.1° 的精度已经能够较好地满足系统要求。图 3 示出了纬纱信息的分级 Hough 变换结果。

综上所述,织物图像的倾斜检测算法可以概括为如下步骤:

(1) 利用 Sobel 垂直方向梯度算子,生成梯度图像 S_{grad} ;

(2) 选取 $\theta_{step} = 2^\circ$,在 $(-80^\circ, +80^\circ)$ 范围内,对 S_{grad} 进行第 1 级 Hough 变换,即可得到矩阵 $A^{(1)}(\rho, \theta)$,

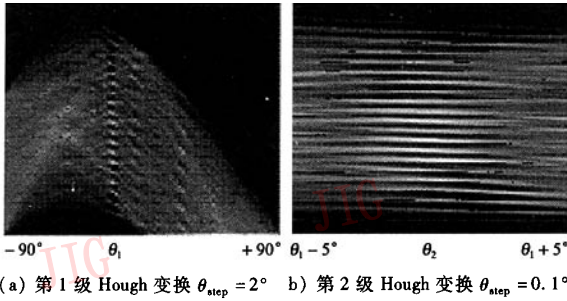


图 3 纬纱走向的 2 级 Hough 变换结果图

Fig. 3 The result of two level Hough transform for weft direction

由式(2)可求得倾斜角 θ_1^{skew} ;

(3) 选取 $\theta_2^{step} = 0.1^\circ$, 在 $(\theta_1^{skew} - 5^\circ, \theta_1^{skew} + 5^\circ)$ 范围内, 对 S_{grad} 进行第 2 级 Hough 变换, 即可得到矩阵

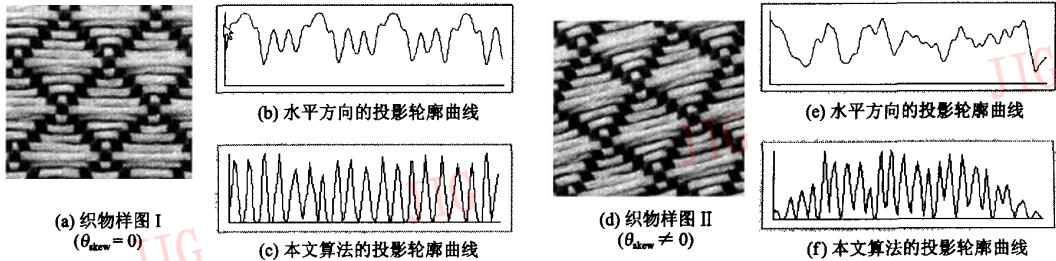


图 4 两种不同织物图像纬纱分割算法对比示意图

Fig. 4 Results comparison between the two weft segmentation algorithms

本文在检测图像倾斜的基础上, 提出了一种新的纬密识别算法, 它既适用于倾斜图像, 也适用于非倾斜图像。基于前述的倾斜检测算法, 本文利用 θ_{skew} 处的投影轮廓曲线来分割纬纱边界, 即在 θ_{skew} 处的投影轮廓曲线上, 使所有纬纱边界都能与曲线波谷一一对应(如图 4(c)与图 4(f)所示)。其优点主要在于:(1)首先它利用了垂直方向的梯度, 由于这些梯度信息受组织以及纬纱浮长的影响较少, 因此能够独立地反应纬纱的间隔;(2)其次由于梯度信息能有效地消除噪声干扰, 因此可增强纬纱走向信息;(3)运用 Hough 变换检测倾斜角, 就可以得到任意倾斜角度下的纬纱间隔, 可见本算法与图像倾斜无关。

若将 θ_{skew} 处的投影轮廓曲线记为 $f(\rho)$, 而将曲线所有波峰的位置记作 $\rho_i, i = 0, \dots, M - 1, M$ 为波峰总数, 则纬密 D_{weft} 的计算公式如下:

$$D_{weft} = \frac{r \times (M - 1)}{2.54 \times (\rho_{M-1} - \rho_0)} \quad (3)$$

$A^{(2)}(\rho, \theta)$, 由式(2)可求得倾斜角 θ_2^{skew} , 而 $\theta_{skew} = \theta_2^{skew}$ 即为所求。

3 纬纱密度识别

传统的纬纱密度识别算法都是针对无倾斜的织物图像, 如文献[8]中用于灰度图像检测的水平方向投影轮廓方法, 它认为曲线中的波谷与图像中的纬纱边界相对应, 很显然, 这种算法并不适用于倾斜图像, 因为水平方向的投影轮廓曲线无法体现纬纱排列(如图 4(e)所示)。再则, 即使是无倾斜图像, 此方法处理某些组织的效果也不理想, 例如图 4(a)的方格斜纹组织, 由于相邻纬纱上的经向组织点数量增减均匀, 因此在投影轮廓曲线上就很难得到预期的波谷(见图 4(b))。

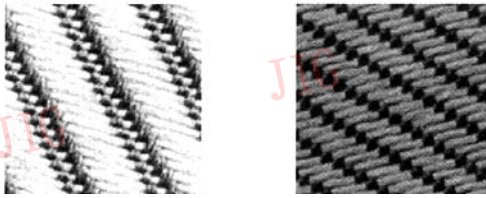
式中, r 为图像的扫描分辨率, D_{weft} 的单位为根/cm。纬密识别算法步骤概括如下:

- (1) 利用前述的倾斜检测算法得到织物的倾斜角 θ_{skew} ;
- (2) 在第 2 级 Hough 变换得到的矩阵 $A^{(2)}(\rho, \theta)$ 中, 提取 θ_{skew} 处的投影轮廓曲线 $f(\rho)$;
- (3) 通过对 $f(\rho)$ 进行平滑来求得曲线的所有波峰 $\rho_i (i = 0, \dots, M - 1)$, 以及与波峰对应的 ρ_i ;
- (4) 根据式(3)求得纬密。

4 实验结果分析

为验证本文算法的效果, 本文首先以 600dpi 的分辨率扫描织物样品, 然后通过选取合适的扫描窗口来得到样图, 最后以这些样图为初始对象进行了实验。为了验证算法准确率, 对该标准图像进行了指定角度的旋转, 并以该角度作为误差衡量的基准, 本实验采用 3° 作为角度步长, 利用图像处理软件对

原始样图进行多个角度的旋转来得到一系列不同倾斜角度的实验样图。考虑到扫描样品的实际情况,实验给出的测试范围为 $[-75^\circ, +75^\circ]$, 每种织物样本各 51 幅图像。图 5 为两幅斜纹组织实验样图。



(a) 斜纹 1

(b) 斜纹 2

图 5 实验样图(斜纹组织)

Fig. 5 The sample images(twill)

实验时,首先是进行倾斜检测算法的试验,即针对不同的组织样图分别进行两项试验对比:一项是直接对灰度图像上的 Hough 变换检测,另一项是本文所提出的在提取纬纱走向的基础上进行 Hough 变换检测。表 1 给出了对比试验的误差分布数据,表格中的值为落在不同误差区间的百分比。由表 1 可以看出,直接检测的方法适用性较差,它不仅受限于织物组织的类型,还受限于纱线的灰度信息,例如实验中的斜纹 2 和方格组织,由于灰度图像中的斜纹信息比纬纱间隙的灰度信息明显,因此容易造成算法失败;另一方面,即使是理想的组织类型和灰

度分布,其得到的误差率也不甚理想,如锻纹组织只有 61.5% 的误差小于 0.3° 。相比之下,本文算法则具有较好的通用性,由于它能有效地提取各种组织类型下的纬纱走向,从而成功地减少了斜纹信息对直线检测的影响,其获得的检测准确率也较高。表 1 还给出了所有样本检测误差小于 0.3° 的比例统计,由表 1 可以看到,本文算法的检测准确率均大于 88%,即使是误差最大的方格组织,也能将误差有效地控制在 0.4° 之内。

根据倾斜检测得到的 θ_{skew} , 在第 2 级 Hough 变换结果中,通过提取 θ_{skew} 处的投影轮廓曲线,即可进一步计算得到纬纱密度。表 2 为纬纱密度识别的实验结果,表中给出了无倾斜情况下的准确纬密,以及在 $[-75^\circ, +75^\circ]$ 的之间各个倾斜角度下识别到的纬密误差分布。由实验结果(表 2)可以看出,本文的纬密识别算法能很好地适用于织物倾斜图像。对于基本组织而言,即使是大角度倾斜的织物图像,也能将误差控制在 2% 之内;对于方格组织而言,较大误差发生在倾斜角度大于 60° 的情况下,而在实际应用中,完全可以忽略这种大倾角的情况。

在实际的生产织造过程中,由于受纱线材料、组织类型等因素的影响,致使织物表面的纱线走向不可能完全呈现理想的交织状态,这是造成系统误差的一个主要原因。例如方格组织,由于纬浮长较大,纬纱之间挤压和偏移现象比较严重,因此方格组织

表 1 倾斜检测误差落在不同区间范围内的百分率统计

Tab. 1 Distribution percentage in different error ranges for skew detection

样图	未提取纬纱走向的检测算法检测误差在不同区间的百分率(%)					本文倾斜检测算法检测误差在不同区间的百分率(%)				
	[0.0°,0.1°]	[0.2°,0.3°]	0.4°	0.5°	≤0.3°	[0.0°,0.1°]	[0.2°,0.3°]	0.4°	0.5°	≤0.3°
斜纹 1(图 5(a))	64.7	23.5	7.8	3.9	88.2	96.1	3.9	0	0	100
斜纹 2(图 5(b))	—	—	—	—	—	80.4	15.7	3.9	0	96.1
锻纹(图 1(a))	49.0	39.2	7.8	3.9	61.5	84.4	7.8	7.8	0	92.2
方格(图 4(a))	—	—	—	—	—	56.9	31.4	11.7	0	88.3

表 2 倾斜情况下纬纱密度识别的误差落在不同区间范围内的百分率统计

Tab. 2 Distribution percentage in different error ranges for weft density recognition in the skew case

样图	无倾斜时的纬密(根/cm)	本文倾斜情况下的纬密识别算法误差的百分率(%)					
		[0.0,0.2)	[0.2,0.4)	[0.4,0.6)	[0.6,0.8)	[0.8,1.0)	≥1.0
斜纹 1(图 5(a))	36.6	80.0	20.0	0	0	0	0
斜纹 2(图 5(b))	37.8	29.2	50.0	20.8	0	0	0
锻纹(图 1(a))	35.6	36.0	28.0	32.0	4.0	0	0
方格(图 4(a))	37.8	41.7	16.7	16.7	0.4	0	25.5

的检测误差要稍大于其他基本组织。试验表明: 通过预提取纬纱走向, 本文算法能将该项误差控制在允许范围之内, 以满足实际应用的需要。

5 结 论

根据织物表面图像来自动分析与识别组织结构参数是纺织 CAD 的一个重要研究内容。本文根据织物图像的特点, 得出了一种有效的倾斜检测算法, 即首先利用图像的竖直方向梯度分量来提取纬纱走向信息, 然后运用 Hough 变换拟合纬纱走向, 同时采用均方差作为统计特征量, 并运用层次 Hough 变换来达到所需的检测精度。区别于传统的纬纱密度识别, 本文还提出了一种与织物图像倾斜无关的纬密识别算法, 由于它不仅解决某些特殊组织的识别精度差的问题, 而且还避免了对倾斜布样图像的预先调整, 因而具有更好的实用性。实验结果表明, 本文算法对大角度倾斜的织物图像仍具有较好的检测与识别效果。未来的工作将继续研究与倾斜无关的织物组织识别方法。

参考文献 (References)

- Hull Jonathan J. Document image skew detection: survey and annotated bibliography[A]. In: Hull J J, Taylor S L (editors), Document Analysis System II[M], Singapore: World Scientific, 1998: 40 ~ 64.
- Ishitani Y. Document skew detection based on local region complexity [A]. In: Processing of 2nd International Conference on Document Analysis and Recognition[C], Tsukuba Science City, Japan, 1993, 49 ~ 52.
- Hinds S C, Fisher J L, Amato D P D'. A document skew detection method using run-length encoding and the Hough transform[A]. In: Proceedings of the 10th International Conference on Pattern Recognition[C], Atlantic City, NJ, USA, 1990: 464 ~ 468.
- Amin A, Fischer S. A document skew detection method using the Hough transform[J]. Pattern Analysis & Applications, 2000, 3(3): 243 ~ 253.
- Kwag H K, Kim S H, Jeong S H, et al. Efficient skew estimation and correction algorithm for document images[J]. Image and Vision Computing, 2002, 20(1): 25 ~ 35.
- Lu Yue, Tan Chew Lim. A nearest-neighbor chain based approach to skew estimation in document images[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(14): 2315 ~ 2323.
- Avandi S A H, Toriumi K, Matsumoto Y. Fourier transform analysis of plain weave fabric appearance [J]. Textile Research Journal, 1995, 65(11): 676 ~ 683.
- Xu B. Identifying fabric structures with fast Fourier transform techniques[J]. Textile Research Journal, 1996, 66(8): 496 ~ 506.
- Kang Tea Jin, Kim Chang Hoon. Automatic recognition of fabric weave pattern by digital image analysis[J]. Textile Research Journal, 1999, 69(2): 77 ~ 83.
- Gao Wei-dong, Liu Ji-hong, Xu Bai-jun, et al. Automatic identification of weft arrangement parameters in fabric [J]. Cotton Textile Technology, 2002, 30(1): 28 ~ 31. [高卫东, 刘基宏, 徐伯俊等. 织物中纬纱排列参数的自动识别[J]. 棉纺织技术, 2002, 30(1): 28 ~ 31.]
- Kuo C F, Shih C Y, Lee J Y. Automatic recognition of fabric weave patterns by a fuzzy C-means clustering Method[J]. Textile Research Journal, 2004, 74(2): 107 ~ 111.
- Qu Yang, Yang Li-ping. Hough transform OCR image slant correction method [J]. Journal of Image and Graphics, 2001, 6(2): 178 ~ 181. [瞿洋, 杨利平. Hough 变换 OCR 图象倾斜矫正方法 [J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(2): 178 ~ 181.]
- Yu Bin, Jain Anil K. A robust and fast detection algorithm for generic documents[J]. Pattern Recognition, 1996, 29(10): 1599 ~ 1629.