

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.01.013

# 基于傅里叶变换和 Hough 变换的 商标图案倾斜校正

胡仁伟<sup>1</sup>, 张希仁<sup>1</sup>, 杨立峰<sup>1</sup>, 林道锋<sup>2</sup>, 成祎珊<sup>1</sup>

(1. 电子科技大学 光电信息学院, 四川 成都 610054; 2. 昆山联滔电子有限公司, 江苏 昆山 215324)

**摘要:** 针织物商标图案加工过程中会产生形变, 影响纺织品等级和质量。针对商标图案形变检测过程中出现倾斜现象而降低形变测量精度的问题, 采用 Hough 变换提取商标图案频谱图的旋转角度, 以实现图案的倾斜校正。应用结果表明该算法能精确提取商标图案的倾斜角度并进行倾斜校正。算法不改变图案的原始形貌, 提高了运行效率。

**关键词:** 针织物商标图案; 傅里叶变换; Hough 变换; 倾斜校正

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1005-2895(2018)01-0062-04

## Trademark Pattern Tilt Correction Based on Fourier and Hough Transform

HU Renwei<sup>1</sup>, ZHANG Xiren<sup>1</sup>, YANG Lifeng<sup>1</sup>, LIN Daofeng<sup>2</sup>, CHENG Yishan<sup>1</sup>

(1. School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China;

2. Lanto Electronic Ltd., Kunshan, Jiangsu 215324, China)

**Abstract:** The appearance and quality of clothing is affected by the deformation of the fabric trademark pattern during manufacturing. But the measurement accuracy of deformation of trademark pattern is decreased due to trademark pattern tilting. In this paper the method based on the Fourier and Hough transform was proposed and used to measure and correct the rotation angle of tilted trademark pattern. The application shows that the method proposed can be used to correct the tilted fabric pattern. The algorithm guarantees the original shape of the pattern and improves the efficiency.

**Keywords:** fabric trademark pattern; Fourier transform; Hough transform; tilt correction

商标是产品的身份证, 具有独特的代表意义。商标是否美观对产品至关重要, 甚至影响消费者和使用者对产品的主观评价, 直接决定产品本身的价值。针织物商标在加工过程中, 由于其连续处于牵引状态容易产生形变。为了提高产品品质, 需在切割之前对商标形变进行测量校正。目前常用的校正方法是人工对商标图案形变进行目视检测<sup>[1-2]</sup>。人工目测的方法存在较大的局限性<sup>[3-4]</sup>。不仅检测速度慢, 效率低, 还存在容易漏检等问题。

为了解决商标形变检测这一实际生产难题, 企业利用机器视觉技术对针织物商标形变进行自动测量, 即通过工业相机获取商标图案, 利用图像处理技术提取图案轮廓线并与模板进行对比分析, 从而获取形变量并进行自动校正<sup>[5]</sup>。但是, 工业相机拍摄的图像会

存在一定程度的倾斜, 这往往会影响到形变量检测的精度, 因此有必要首先对图像进行倾斜校正, 再进行形变测量。在图像处理中, 常用倾斜校正算法主要有基于 Hough 变换的校正算法<sup>[6]</sup>, 基于特征点最小距离拟合的图像倾斜检测<sup>[7]</sup>, 基于交叉关联校正算法<sup>[8]</sup>, 基于投影的图像倾斜校正算法<sup>[9]</sup>, 以及 K-近邻簇校正算法<sup>[10]</sup>等。这些方法尽管在实际应用中都取得一定效果, 但仍存在局限性。例如, 基于投影的图像倾斜校正算法需要计算所有角度的投影, 因此计算量很大; K-近邻簇方法仅适合于类似文档的具有明显的文字与行间分离的图像<sup>[11]</sup>; 另外一种常用的傅里叶变换校正图像算法是将图像从空域转换到频域对频谱图像进行校正, 然后再将校正好的频谱图像转换到空域, 这种校正方案需进行傅里叶正变换和逆变换, 耗时长、效率低且

收稿日期: 2017-06-15; 修回日期: 2017-09-30

基金项目: 中国博士后科学基金 (No. 2016M592658); 四川省科技计划国际合作项目 (2014HH0064)。

第一作者简介: 胡仁伟 (1989), 男, 陕西商洛人, 硕士研究生, 主要研究方向为缺陷检测。E-mail: 670373064@qq.com

实用性不强。

针对傅里叶变换校正图像算法的不足,课题组提出一种改进的图像倾斜校正算法,即基于傅里叶变换和 Hough 变换的倾斜图像校正算法:将图像从空域转换到频域,利用 Hough 变换求出频谱图像中的旋转角,根据旋转角度得到相应的二维变换矩阵,最后用仿射变换对原图像倾斜进行校正。

## 1 图像倾斜类型

通常情况下,商标图案倾斜  $\theta_0$ ,形变有水平倾斜、垂直倾斜及水平垂直倾斜 3 种形式<sup>[12-14]</sup>。水平倾斜是指商标在垂直方向上发生倾斜,如图 1 所示,边框为一个矩形,其中  $\theta_0$  是倾斜角度。

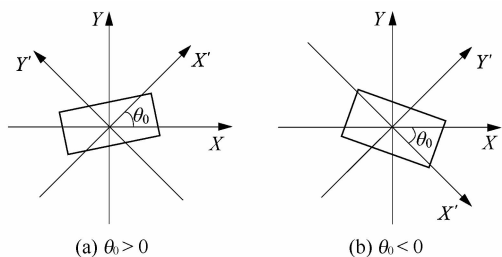


图 1 水平倾斜的 2 种情况

Figure 1 Two cases of horizontal tilt

水平倾斜,图像不存在错位偏移,被检测对象平面的水平轴  $X'$  和图像平面轴  $X$  有一倾斜角度,只要求出水平倾斜角度  $\theta_0$ ,再将整张图片旋转  $-\theta_0$  角度,即实现了图像的水平倾斜校正。其旋转公式为

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_0 & -\sin \theta_0 & 0 \\ \sin \theta_0 & \cos \theta_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

垂直倾斜是由于商标旋转一定的角度,边框为平行四边形,如图 2 所示。

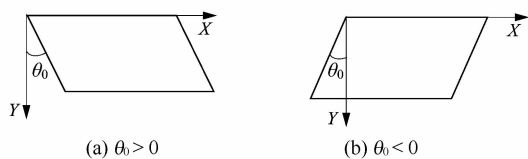


图 2 垂直倾斜的 2 种情况

Figure 2 Two cases of vertical tilt

垂直倾斜,同一行间像素错位偏移,需检测垂直倾斜角度  $\theta_0$ ,再进行错位偏移校正。其转换公式为

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \tan \theta_0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

目前采集的图像大多是混合倾斜的图像,即水平

垂直倾斜,如图 3 所示。在校正过程中,需对 2 个方向上的倾斜同时进行校正。

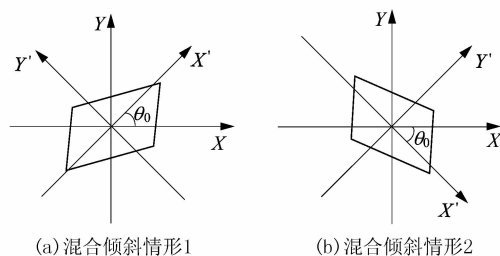


图 3 水平垂直倾斜的 2 种情况

Figure 3 Two cases of horizontal and vertical tilt

## 2 基于傅里叶变换和 Hough 变换的倾斜校正算法

针对商标图案的图像特征,采用傅里叶变换、Hough 变换和仿射变换等数字图像处理算法,对采集的图像进行处理,从而准确有效地获取商标图案的倾斜角度。然后对倾斜图像进行倾斜校正,进而实现对倾斜图像的精确校正。其流程如图 4 所示。

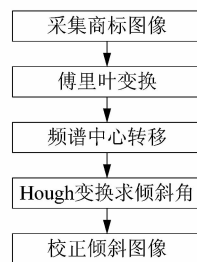


图 4 算法流程图

Figure 4 Algorithm flow chart

### 2.1 傅里叶变换

傅里叶变换是将图像灰度分布函数变换为频谱分布函数<sup>[15]</sup>。大小为  $M \times N$  的图像的离散傅里叶变换表示为<sup>[16]</sup>:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp \left( -i2\pi \left( \frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right) \right), \quad (u = 0, 1, 2, \dots, M-1; v = 0, 1, 2, \dots, N-1). \quad (3)$$

式中:  $f(x, y)$  是原图像每个像素灰度;  $F(u, v)$  是频谱。

为了将频谱图中心平移至频谱图中心,需利用傅里叶变换的平移特性对频谱进行平移,即

$$F(u - u_0, v - v_0) \Leftrightarrow f(x, y) \exp \left( i2\pi \left( \frac{u_0 x}{M} + \frac{v_0 y}{N} \right) \right). \quad (4)$$

通过公式(4)可使频域里的原点由左上角平移至  $(u_0, v_0)$ 。令  $u_0 = M/2, v_0 = N/2$ , 则有

$$\exp \left( i2\pi \left( \frac{u_0 x}{M} + \frac{v_0 y}{N} \right) \right) = \exp (i\pi(x+y)) = (-1)^{(x+y)}. \quad (5)$$

将公式(5)代入公式(4),可得

$$f(x,y)(-1)^{(x+y)} \Leftrightarrow F\left(u - \frac{M}{2}, v - \frac{N}{2}\right). \quad (6)$$

利用 $(-1)^{(x+y)}$ 乘以 $f(x,y)$ 就将频谱图原点移动到 $M \times N$ 频谱图的中心位置 $(M/2, N/2)$ 处。频谱图在中心平移前后的变化如图5所示,将傅里叶变换后的频谱图像分成4等份,通过互相对调位置,则实现频谱图原点平移至中心。傅里叶频谱中心转移并不改变频谱的组成成分,同时有利于提高 Hough 变换检测倾斜角的精度。

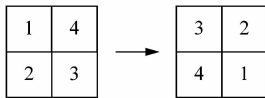


图5 频谱中心转移

Figure 5 Transfer of Spectral center

## 2.2 傅里叶变换的旋转不变性

极坐标下,有:

$$x = r \cos \theta, y = r \sin \theta, u = \omega \cos \varphi, v = \omega \sin \varphi,$$

$$F(u,v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) \exp(-i2\pi(ux + vy)) dx dy,$$

$$F(\omega, \varphi) = \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} f(r, \theta) \exp(-i2\pi\omega r \cos(\varphi - \theta)) r dr d\theta.$$

若 $F(\omega, \varphi)$ 在频域中旋转 $\theta_0$ 角度:

$$F(\omega, \varphi + \theta_0) = \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} f(r, \theta) \exp[-i2\pi\omega r \cos(\varphi - (\theta - \theta_0))] r dr d\theta = \int_0^{\infty} \int_{-\theta_0}^{2\pi - \theta_0} f(r, \theta + \theta_0) \exp[-i2\pi\omega r \cos(\varphi - \theta)] r dr d\theta. \quad (7)$$

又 $f(r, \theta) = f(r, \theta + 2\pi)$ , 故

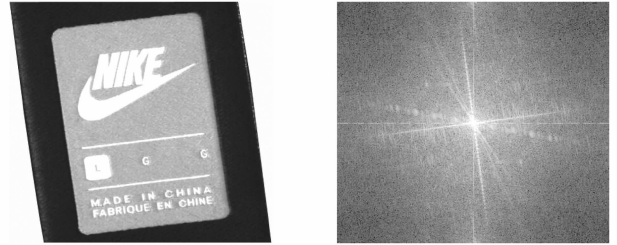
$$F(\omega, \varphi + \theta_0) = \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} f(r, \theta + \theta_0) \exp[-i2\pi\omega r \cos(\varphi - \theta)] r dr d\theta.$$

故可得到

$$f(r, \theta + \theta_0) \Leftrightarrow F(\omega, \varphi + \theta_0). \quad (8)$$

由公式(8)可知, $f(x,y)$ 旋转角度 $\theta_0$ ,则 $f(x,y)$ 的傅里叶变换函数 $F(u,v)$ 在频域中亦将旋转 $\theta_0$ 角度。图6(b)所示为针织物图案图6(a)的频谱图,由图6

(b)可以看出,最亮的直线(能谱最集中区域)与竖直方向存在夹角。由公式(8)可知,此夹角即是输入倾斜图像的倾斜角度。课题组将利用 Hough 变换提取此夹角,获取图像倾斜角度。



(a) 商标图案 I

(b) 商标图案 I 的频谱图



(c) 商标图案 II

(d) 商标图案 II 的频谱图

图6 原始图案和频谱图

Figure 6 Originals and spectrums

## 2.3 基于 Hough 变换图像倾斜角度提取

直线在直角坐标系下用 $y = kx + b$ 表示,其中参数 $k, b$ 分别表示斜率和截距。在 Hough 变换中以固定点 $x, y$ 作为已知量, $k, b$ 作为变量坐标,则将直线变换到对应的参数空间,之间的变换关系表示为:

$$b = -xk + y. \quad (9)$$

由公式(9)可知, $x - y$ 平面经过固定点 $(x_i, y_i)$ 的每条直线对应参数空间上的一点。在极坐标表示下的参数空间表示为:

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta.$$

式中: $r$ 代表原点到直线的垂直距离, $\theta$ 表示 $x$ 轴到直线垂线的角度,如图7(a)所示。从图7中可看出, $x - y$ 平面中经过点 $(x_j, y_j)$ 的所有直线与参数空间 $r - \theta$ 中的一条曲线对应, $x - y$ 空间中经过不同点的所有直线在参数空间中对应不同的曲线,如图7(b)所示。

若参数空间中有2条曲线相交,如图7(b)中 $(r_0, \theta_0)$ 点,则交点对应于 $x - y$ 平面中经过2点(如图7(a)中点 $(x_i, y_i)$ 和 $(x_j, y_j)$ )的直线。若参数空间中有多个曲线交于同一点,则交点对应于 $x - y$ 平面中多点共线。统计相交于同一点的曲线条数,越多曲线交于一点也就意味着检测到 $x - y$ 平面中更多的点共线。通过 Hough 变换,从而把检测直线的问题转化为统计通过交点的曲线数量问题。当曲线数量超过某一阈值,则认为有足够多的图像点位于同一直线上,则该直线为目标直线,记录交点对应的 $(r_0, \theta_0)$ ,将得到的可

能倾斜角度,按照一定条件进行筛选最终得到所求倾斜角  $\theta_0$ 。

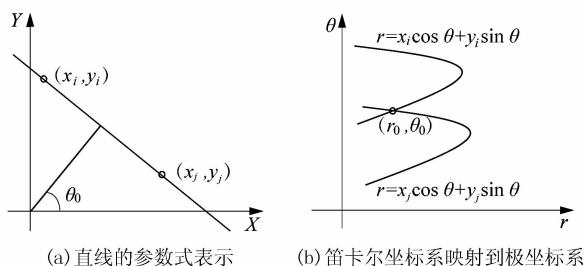


图 7 直线在不同坐标空间的表示

Figure 7 Representation of straight line in different coordinate spaces

## 2.4 针织物图案倾斜校正

为了获取针织物图案倾斜角度,首先对图 6(a) 和 (c) 的针织物图案进行傅里叶变换及频率中心平移,得到图 6(b) 和 (d)。由图 6 的频谱图可知:对频谱图进行边缘检测,检测后的频谱图每一个非零像素点的所属直线,在参数坐标下变换为一条曲线,则在边缘检测后的图像上属于同一条直线的点在参数空间形成多条曲线并相交于一点,如图 7(b) 所示。

按上述算法计算得到:图 6(a) 实际的倾斜角度是  $7.6^\circ$ ,图 6(c) 倾斜角度为  $3.7^\circ$ 。得到倾斜角度  $\theta_0$  后,根据倾斜角度得到二维旋转变换矩阵  $H$ 。

$$H = \begin{bmatrix} \cos \theta_0 & \sin \theta_0 & 1 - x \cos \theta_0 - y \sin \theta_0 \\ -\sin \theta_0 & \cos \theta_0 & x \sin \theta_0 + (1 - y \cos \theta_0) \end{bmatrix} \quad (10)$$

其中  $x$  与  $y$  是旋转点的坐标。再用此旋转变换矩阵进行仿射变换,最终得到校正后的图像,如图 8 所示。

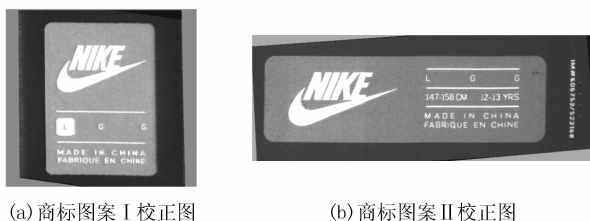


图 8 校正图

Figure 8 Corrections

## 3 结语

课题组提出了傅里叶倾斜校正的改进算法,即基于傅里叶变换和 Hough 变换的倾斜校正算法。传统的傅里叶校正算法要做 2 次域空间的变换,耗时长,效率低,而该改进算法只做 1 次空域到频域的变换,运行

耗时少,提高了算法效率,且该算法能精准地找到图像的倾斜角度,根据此角度能很好地校正倾斜图像,使图像恢复到最接近理想的状态,为形变量的检测打下了很好的基础。实验结果表明本算法对不同倾斜角度的商标图案都能取得很好的校正效果。该算法易于实现,可操作性强,有一定的应用前景和技术指导意义。

## 参考文献:

- [1] SU C S, YANG T, KE C. A neural-network approach for semiconductor wafer post-sawing inspection [J]. IEEE transactions on semiconductor manufacturing, 2002, 15(2): 260 - 266.
- [2] CHANG C Y, CHANG J W, JENG M. An unsupervised self-organizing neural network for automatic semiconductor wafer defect inspection [C]. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Beijing: IEEE, 2005: 3000 - 3005.
- [3] 朱妙贤. 晶片的机器视觉自动检测技术的研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2005: 50 - 55.
- [4] 刘润予. 深亚微米级晶片缺陷检测的机器视觉系统[D]. 广州: 广东工业大学, 2007: 32 - 36.
- [5] 高飞. 服饰图案的机器视觉自动寻边切割技术[J]. 轻工机械, 2014, 32(1): 48 - 53.
- [6] SINGH C, BHATIA N, KAUR A. Hough transform based fast skew detection and accurate skew correction methods [J]. Pattern recognition, 2008, 41(2): 3528 - 3546.
- [7] 吴一全, 谢静. 基于特征点最小距离拟合的文档倾斜校正[J]. 光学技术, 2009, 35(1): 152 - 155.
- [8] 吴飞飞. 图像文本倾斜校正算法的研究与应用[D]. 北京: 北方工业大学, 2014: 9 - 10.
- [9] 张顺利, 李卫斌, 吉军. 基于投影的文档图像倾斜校正方法[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(3): 166 - 168.
- [10] KUMAR V, BANSAL A, TULSIYAN G H, et al. Sparse document image coding for restoration [C]. Proceedings of the 2013 IEEE 12th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). Washington, DC: IEEE, 2013: 56 - 57.
- [11] LU Y, TAN C L. A nearest-neighbor chain based approach to skew estimation in document images [J]. Pattern recognition letters, 2003, 24(14): 2315 - 2323.
- [12] HU H. An algorithm for vehicle license plate tilt correction base on line fitting method [C]. Proceedings of the 2010 IEEE WASE International Conference on Information Engineering. Beidaihe: IEEE, 2010: 162 - 166.
- [13] PAN M S, YAN J B, XIAO Z D. An approach tilt correction of vehicle license plate [C]. Proceeding of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. Harbin: IEEE, 2007: 271 - 275.
- [14] PAN M S, TANG J T, YANG X L. Movement invariants-based algorithm for medical image tilt correction [J]. International journal of automation and computing, 2010, 7(4): 543 - 549.
- [15] XU B G. Identifying fabric structures with fast Fourier transform techniques [J]. Textile research journal, 1996, 66(8): 496 - 506.
- [16] GONZALEZ L C, WOODS R E. 数字图像处理 [M]. 3 版. 阮秋琦, 阮宁智, 译. 北京: 电子工业出版社, 2003: 147 - 148.