

改进的基于最大熵和 Gabor 滤波器的织物疵点检测*

赵波¹, 郑力新²

(1. 华侨大学 计算机科学与技术学院, 福建 厦门 362021;

2. 华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 362021)

摘要: 提出了一种改进的基于最大熵原理和 Gabor 滤波技术的织物疵点检测方法。采用多通道 Gabor 滤波算法, 取模值特征为输出, 利用最大熵分割模值图像, 再进行图像融合, 最后计算轮廓的周长和面积去除孤立点得到最终检测结果。利用 OpenCV 算法库, 选取了四种具有代表的织物疵点图片进行验证, 实验结果表明, 该方法降低了计算复杂度、检测速度快、检测效果好、无须事先学习, 适用于不同疵点类型的各种检测。

关键词: 疵点检测; Gabor 滤波器; 最大熵; OpenCV

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)13-0029-03

Improved method of fabric defects detection based on maximum entropy and Gabor filter

Zhao Bo¹, Zheng Lixin²

(1. College of Computer Science and Technology, Huaqiao University, Xiamen 362021, China;

2. College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 362021, China)

Abstract: An improved design method based on maximum entropy and Gabor filter for fabric defect detection is proposed. This method employs the multi-channel Gabor filter algorithm and takes the amplitude as a output characteristics, uses maximum entropy to segment the amplitude image and then fused the sub-images. The result is achieved by calculating perimeter and area of the contours of removal of isolated points. The experiment selects four types of typical fabric defect images and OpenCV library is used. The experiment result shows that the algorithm can reduce the computational complexity, without prior learning, and also characterized by high testing speed and testing effect, it can be applied to a variety of different types of defect detection.

Key words: defect detection; Gabor filter; maximum entropy; OpenCV

织物疵点检测是近年来国内外学者在图像领域的热门研究课题之一。本文在结合国内外相关参考文献^[1-10]的基础上, 针对从企业获取的疵点图像, 利用最大熵原理和 Gabor 滤波器技术, 提出了一种新的基于最大熵和 Gabor 滤波器的织物疵点检测方法。该方法首先对预处理后的图像采用两个 Gabor 滤波器分别进行水平和垂直方向滤波的模值图像, 然后对模值图像分别利用最大熵阈值分割, 再融合分割后的二值图像并进行形态学处理, 最后通过计算轮廓面积和周长的方法去掉小的孤立点和描绘出最终疵点图像, 从而获得疵点检测结果。实

验表明, 该方法能够很好地检测和分割出绝大多数疵点, 而且速度快、效果好。

1 熵和 Gabor 滤波器原理

1.1 熵数学理论

熵是源于物理学的基本概念, 由 Shannon 引入到信息论中。信息论中, 熵是作为事件出现概率不确定性的量度, 能有效地反映事件包含的信息。图像中, 熵代表图像中信息量的大小, 可以通过定义图像各个像素点分布情况定义图像的局部熵。

一幅 $M \times N$ 大小的图像, 熵的定义为^[11]:

$$H_f = - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{ij} \ln P_{ij}$$

* 基金项目: 福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划(07FJRC01); 福建省产业计划开发项目(25201071)

$$P_{ij} = f(i, j) / \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j) \quad (1)$$

式中, H_f 是 $M \times N$ 大小的局部窗口的熵, 即局部熵; P_{ij} 是点 (i, j) 处灰度分布概率, $P_{ij} < 1$; $f(i, j)$ 是点 (i, j) 处灰度值; M, N 为图像的长和宽。

由于式(1)存在两次二维求和, 程序中会用到四层循环, 因此时间和计算机内存开销都很大。本文根据泰勒级数展开式, 舍去了式(1)中的高次项, 对其进行简化, 将量大的对数运算简化为简单的代数运算, 提高了运算速度^[4]。优化后得到熵的近似公式如下:

$$H_f = - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{ij} (P_{ij} - 1) = 1 - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{ij} \times P_{ij} \quad (2)$$

1.2 Gabor 数学理论

Gabor 滤波器也称 Gabor 变换函数, 由 Dennis Gabor 在 1946 年提出^[3]。1980 年, Daugman 将其扩展至二维并证明其可达空域及频域的最优化, 首次将其用于表征图像^[5]。

二维 Gabor 函数空间表达的一般形式为^[5]:

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \times \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x}{\sigma_x}\right)^2 + \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]\right) \times \exp(j2\pi fx) \quad (3)$$

式中, σ_x, σ_y 为尺度因子, 决定高斯函数的空间扩展; f 为 Gabor 函数的中心频率。

从式(3)可以看出, Gabor 滤波器是一个高斯包络函数所限定的正弦波平面波, 即 $g(x, y)$ 是由尺度参数 σ_x 和 σ_y 决定的高斯函数调制函数。

2 本文方法及算法

2.1 方法改进

在参考文献[3-10]中研究分析了基于 Gabor 滤波器的疵点检测, 大致思路都是先采用不同的方法获取 Gabor 滤波参数从而选取 Gabor 滤波器组, 然后分别对原始图像和疵点图像进行多尺度和多方向滤波, 提取特征(均值和标准差), 再计算差值图像后对图像进行层内、层间融合, 最后通过某种准则进行阈值分割, 最终得到图像疵点。而本文从降低算法复杂度, 保证检测效果的基础上对以上方法进行了以下两点改进并提出了完整算法步骤。

(1) 在 Gabor 滤波中引入最大熵

一幅不含疵点的织物图像, 其纹理特征是确定的。当有疵点出现时, 图像的纹理特征遭到破坏, 其熵值相应地也会发生变化。由于疵点的灰度变化会引起局部熵值的极大变化, 所以很容易检测出疵点的存在。

参考文献 [6-7] 分别对标准图像和疵点图像进行 Gabor 滤波后求均值和标准差, 再通过均值求取偏差图像、通过标准差对偏差图像进行二值化, 再融合, 最后选定阈值对总融合后的标准图像和疵点图像的均值之差(差值图像)进行分割, 从而得到疵点图像。在计算上, 求标准差时涉及二维平方、除法以及开根号等操作, 差值图像进行层内、层间融合时也涉及对图像像素点的多次平方操作, 计算量大。而本文引用最大熵直接对 Gabor

滤波后模值图像进行二值化处理, 只涉及一次乘法运算(如 1.2 节), 降低了算法复杂度, 减少了计算量。

另外, 在参考文献[4, 8, 9]中都分析了疵点检测中熵的应用, 采用的都是局部熵, 涉及了阈值选择, 牵涉到人的因素。本文采用最大熵作为准则, 利用式(4)迭代, 自动获取阈值, 同时结合 Gabor 滤波, 进行最大熵测试。以纬疵和勾丝为例, 如图 1 所示的实验表明, 本文提出的方法能获得很好的检测结果, 能避免阈值等参数的主观经验选择, 排除了人的因素, 降低了算法复杂度。

$$\text{MAX}(H_f) = \text{MAX}\left(1 - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{ij} \times P_{ij}\right) \quad (4)$$



图 1 最大熵测试

(2) 选模值图像作为 Gabor 滤波后的输出特性

基于二维 Gabor 变换所采用的核(Kernels)与哺乳动物视觉皮层简单细胞的二维感受野剖面(Profile)非常相似机理^[3], Gabor 分解可以看作是一个对方向和尺度敏感的有方向性的显微镜, 从而用于织物纹理多层结构的检测。

关于 Gabor 滤波后的输出特征, 在参考文献[3, 10]中, 采用的都是 Gabor 滤波后图像的实部, 在其参数选择中, 比较了实 Gabor 滤波器(RGF)和虚 Gabor 滤波器(IGF)对图像疵点的分辨率影响, 得出在不同径向中心频率和方位角的组合下, RGF 的分辨率都要远远好于 IGF。本文算法中, 以纬疵为例通过如图 2 所示的实验测试, 证明选取 Gabor 滤波后图像的模值比选取实部对最大熵的应用具有更好的效果。

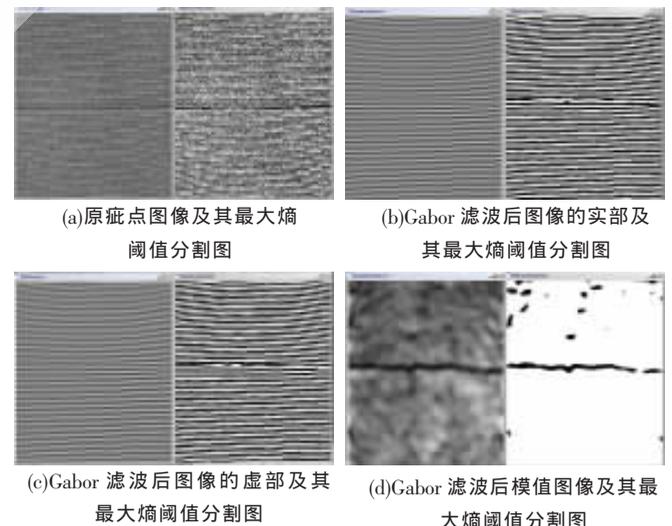


图 2 模值图像测试

2.2 算法步骤

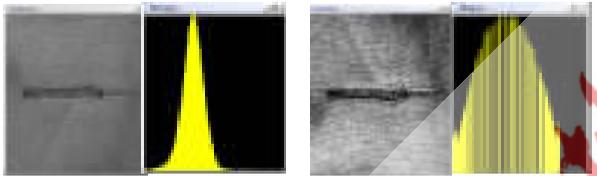
针对本文所获取的疵点图像,其纹理基本上是按经纬方向织成的,在对角方向上没有明显的纹理特性,同时考虑实时性、减少计算量,只采用水平和垂直两个方向进行滤波。即采用一个尺度两个方向的 Gabor 滤波器。具体算法如下:

(1)源图像获取

分别获取大小为 $M \times N$ (本文为 512×512) 的某织物标准图像 $r(x, y)$ 和含疵点图像 $t(x, y)$, 并分别对其进行灰度化,将彩色图像转为灰度图像。

(2)图像预处理

先分别对 $r(x, y)$ 和 $t(x, y)$ 进行直方图均衡化,从而增加图像像素的动态范围,如图 3 所示,减少光照等因素的影响;再对 $r(x, y)$ 和 $t(x, y)$ 分别进行高斯滤波,剔除噪声,获得平滑信号和较好的图像边缘。从图 3(b)中可看出,均衡化后的图像像素动态范围得到了显著增强。



(a)原疵点图像及其直方图 (b)均衡化后的疵点图像及直方图
图 3 图像均衡化测试

(3)Gabor 滤波

设计 Gabor 滤波器 $g_p(x, y)$, 将 $r(x, y)$ 和 $t(x, y)$ 与 Gabor 滤波器分别进行卷积:

$$r_p(x, y) = r(x, y) \times g_p(x, y); t_p(x, y) = t(x, y) \times g_p(x, y) \quad (5)$$

式中, $p=1, 2$, 表示方向 ($0^\circ, 90^\circ$)。取其模作为输出, 得到模值图像:

$$R_p(x, y) = |r_p(x, y)| \quad T_p(x, y) = |t_p(x, y)| \quad (6)$$

(4)最大熵处理

在疵点图像中,对 Gabor 滤波后的模值图像 $T_p(x, y)$ 用最大熵进行分割,求得二值图像 $S_p(x, y)$ 。

(5)图像融合

将不同方向的二值图像进行融合,融合后的图像为:

$$K(x, y) = (S_1(x, y)^2 + S_2(x, y)^2)^{1/2} \quad (7)$$

(6)形态学处理

由于存在一些不相关的冗余细节,也可能疵点的不连续存在,对融合后的图像 $K(x, y)$,采用形态学中的腐蚀和膨胀的方法,得到平滑清晰图像 $P(x, y)$ 。

(7)孤立点处理

采用形态学腐蚀和膨胀方法后的图像 $P(x, y)$, 还可能存在孤立点等非理想结果。为此,本文采用计算二值图像中孤立点的周长和面积的方法,将一些小的孤立点当作噪点处理掉,得到图像 $Q(x, y)$:

$$Q(x, y) = \sum_{n=1}^k P_n(x, y); \text{if}(C_{P_n(x, y)} > T_1 \& \& S_{P_n(x, y)} > T_2)$$

$$Q(x, y) = 0; \text{else} \quad (8)$$

式中, k 表示 $P(x, y)$ 中描绘的闭合曲线的个数, n 表示第 n 个闭合曲线, $C_{P_n(x, y)}$ 、 $S_{P_n(x, y)}$ 分别为第 n 个闭合曲线的周长和面积, T_1 、 T_2 根据实际疵点确定。

(8)疵点轮廓描绘

最后对 $Q(x, y)$ 进行轮廓描绘获得疵点轮廓图像 $Y(x, y)$ 作为结果输出。

3 实验结果

本实验在 OpenCV2.1 + Visual Studio2010 环境下进行。OpenCV 是一个基于 C/C++ 语言的开源图像处理函数库,与 Matlab 等相比,其最大的特点是具有良好的移植性,同时具有低级和高级应用程序接口(API),能提供面向 Intel IPP 高效多媒体函数库的接口,可针对用户使用的 Intel CPU 优化代码,提高程序性能^[12]。

实验分别对断纬、缺经、破洞、勾丝等四类常见的疵点进行了测试,疵点图像的大小为 512×512 , 测试结果分别如图 4~图 7 所示。

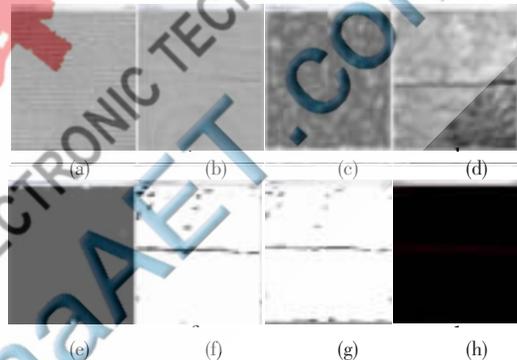


图 4 断纬疵点检测结果

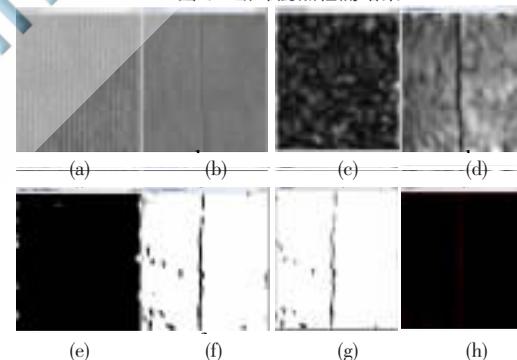


图 5 缺经疵点检测结果

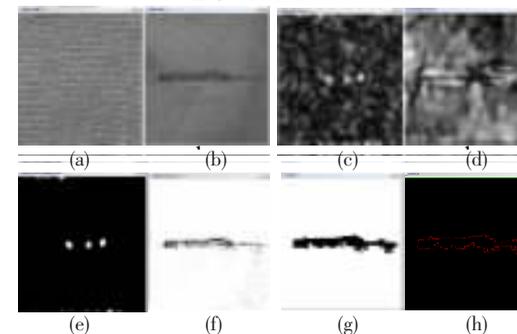


图 6 破洞疵点检测结果

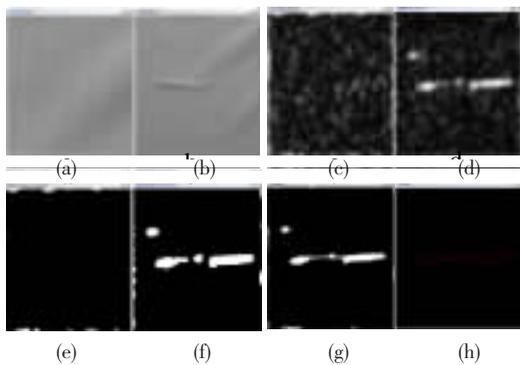


图7 勾丝疵点检测结果

图4~图7中,(a)为标准灰度图像(疵点图像背景),(b)为疵点灰度图像,(c)、(d)分别为(b)经 Gabor 水平和垂直方向滤波后输出的模值图像,(e)、(f)为利用最大熵对(c)、(d)分别进行阈值分割后的疵点图像,(g)为(e)、(f)进行融合并经过形态学处理后的疵点图像,(h)为(g)孤立点处理后最终疵点轮廓图像。

鉴于织物疵点对实时性的要求极高,本文提出的算法避开了传统方法的弊端,在疵点特征提取中只对水平和垂直两个方向进行 Gabor 滤波,并以模值图像作为输出,降低了图像特征的维数和计算的复杂度;然后提出用最大熵方法对模值图像进行阈值分割,再进行二值图像融合,降低了计算量,从而保证了实时性。本文对织物的多种疵点进行了检测,实验结果表明,本文的算法能将织物疵点从背景中较准确地分割出来,证明了该检测算法具有良好的检测效果。

参考文献

- [1] KUMAR A. Computer vision based fabric defect detection: a survey [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008,55(1):348-363.
- [2] ROCKERY A. Automated fabric inspection: assessing the

current state of the art[M]. Technical Specifications,2001.

- [3] KUMAR A, PANG G K H. Defect detection in textured materials using Gabor filters [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2002,38(2):425-440.
- [4] Wang Dongyun,Niu Zhengguang. Improved method of fabric defects inspection based on local entropy [C], Control Conference, 2008.CCC.27th Chinese,2008;208-211.
- [5] Liu Hao, Han Jiuqiang. Defect detection in textiles using optimal Gabor wavelet filter [C]. The Sixth World Congress on Intelligent Control and Automation, 2006;10005-10007.
- [6] Chen Shuyue, Feng Jun, Zou Ling. Study of fabric defects detection through Gabor filter based on scale transformation [J]. Image Analysis and Signal Processing (IASP), 2010(9-11):97-99.
- [7] 韩润萍,孙苏榕,姜玲.基于 Gabor 滤波器组的织物疵点检测方法[J].计算机工程与应用,2007,43(7):211-214.
- [8] 卿湘运,段红,魏俊民.基于局部熵的织物疵点检测与识别的研究[J].纺织学报,2004,25(5):56-57.
- [9] 沈雅芬,刘纯平,王朝晖.基于局部熵的 CMOS 摄像头疵点检测[J].计算机工程与应用,2009,45(20):71-73.
- [10] 邹超,汪秉文,孙志刚.基于 Gabor 滤波器组的实时疵点图像分割[J].计算机工程与应用,2010,46(12):185-187.
- [11] PUN T. Entropic thresholding: a new approach. computer vision[J]. Graphics and Image Processing,1981,16(3):210-239.
- [12] BRADSKI G, KAEHLER A. Learning OpenCV [M]. 于任瑛,刘瑞祯译.南京:东南大学出版社,2009.

(收稿日期:2011-03-12)

作者简介:

赵波,男,1986年生,硕士研究生,主要研究方向:嵌入式图像处理。