

中图法分类号: TP751-1 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)03-0413-07

论文索引信息: 刘东昌, 王欣刚, 李锐. 基于纹理分析的张数检测算法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(3): 413-419

# 基于纹理分析的张数检测算法

刘东昌, 王欣刚, 李锐

(中国科学院自动化研究所, 北京 100190)

**摘要:** 针对印刷行业中产品张数检测问题, 提出一种基于纹理分析的印刷品张数检测算法。该方法通过对印刷品的侧面图像进行分析得到张数值。主要处理过程分为4步: 首先对输入图像进行预处理, 即构造一个 Gabor 滤波器对图像纹理进行增强; 其次把预处理后图像沿某一方向分段投影转化为一连串的1维投影信号; 再次利用经验模式分解(EMD), 从含有复杂噪声的信号中抽取周期性的张数估计值; 最后统计上述估计值并用求众数的方法确定最终的张数结果。接下来设计了两个实验来测试该算法的稳定性和精度, 并证明了算法的有效性。

**关键词:** 纹理分析; 张数检测; 经验模式分解; Gabor 滤波器

## Number detection of layered structures based on texture analysis

Liu Dongchang, Wang Xingang, Li Rui

(Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190 China)

**Abstract:** In order to detect the sheet number of layered structures in print industry, a texture analysis based method is proposed. This method detects pages of print by analyzing side image of the target. The main process has four steps: At first, a Gabor filter is designed to enhance the texture in input image. Then, a serial of one-dimensional signals are extracted from the enhanced image using projection method. Third, empirical mode decomposition (EMD) is used to analyze these signals, which contain complex noise, to obtain the corresponding estimate of sheet number. Finally, the result is determined by the mode of all estimates. We designed two experiments to test stability and accuracy of the algorithm and proved its effectiveness.

**Keywords:** texture analysis; detection of the number of sheets; empirical mode decomposition (EMD); Gabor filter

## 0 引言

在印刷品质量检测中, 印刷品的张数是一个重要的指标。目前, 张数检测比较成熟的方法有两种: 一种是人工抽检的方法, 此方法从大量的印刷品中抽取少量的样本进行人工张数检测, 然后根据检测结果做出相应决策来保证产品质量。该方法被大量的应用于印刷行业, 但是该方法采用纯人工检测, 检测效率很低(约5张/s), 容易产生视觉疲劳和误检,

而且抽样检测存在大量漏检。另一种是电磁检测方法, 该方法利用电磁方法检测产品上面的磁性物质或者通过厚度传感器获取张数的电信号波形进行计数<sup>[1]</sup>。此类方法已经成功应用于点钞机<sup>[2]</sup>、自动取款机等精度要求高, 不计成本的场合。显然, 电磁法检测张数的优势是准确率高, 效率也较高(约15张/s), 但它需要在检测目标上添加磁性标签或者使用精密的厚度传感器来获取电信号, 结果系统造价高, 且维护成本相当高, 但不适于在普通的印刷行业中推广。

收稿日期: 2009-11-05; 修回日期: 2009-12-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(60873160); 国家高技术研究发展计划(863)项目(2009AA01Z320)。

第一作者简介: 刘东昌(1984—), 男, 中科院自动化所计算机应用技术专业硕士研究生, 研究方向为模式识别、图像处理、智能感知。E-mail: dongchang.liu@ia.ac.cn。

随着计算机软、硬件技术的迅速发展,图像处理技术逐渐成熟,计算机视觉技术快速崛起。该技术是利用图像采集处理技术结合人工智能,来模拟人类的视觉,从而利用机器代替人眼来做测量和判断<sup>[3]</sup>。在现代自动化生产过程中,人们将机器视觉系统广泛地用于工况监视、成品检验和质量控制等领域。目前,已有基于机器视觉的全自动印刷品质量检测系统<sup>[4]</sup>,但该系统偏重于印刷品的单张印刷质量检测,其张数检测功能仅是简单的累加计数,与真正的视觉张数检测有很大的不同。

根据实际需求,结合机器视觉技术,我们提出了基于侧面图像纹理分析的张数检测方法。首先,简单介绍了检测方案与拟解决的技术问题;然后,论述了纹理分析算法,重点描述了纹理增强、分段投影策略以及经验模式分解技术在本算法中的应用,并通过两个实验检验了算法的性能。

## 1 方法概述

### 1.1 总体检测方案

将待检测的层状目标依次通过工业相机成像系统,利用相机对目标侧面进行成像得到侧面纹理图像。将采集到的图像传入计算机主机进行分析,得到目标张数。计算机根据张数值做出决策,控制相应的机械结构进行动作。

### 1.2 源图像 3 个假设

为了提高算法的性能,我们对待处理图像(如图 1 所示)做出 3 个假设:

1) 所检测的纹理是条纹状,是由许多排列紧密的层堆砌而成,每一层的宽度变化不大且灰度组成呈周期性变化。

2) 图中的纹理是直线延伸的,并且延伸的方向在一定范围内(本文中此方向为 $90^\circ \pm 5^\circ$ )。

3) 为了简化图像分割,图像背景为纯黑色,前景和背景之间的灰度差比较明显。

### 1.3 检测面临的问题

虽然上述假设大大简化了图像分割过程,但是实际检测中仍有要解决的问题:

1) 被检目标外的塑料薄膜会产生反光(如图 2 所示),这会造成边界不是一条直线,更为严重的是产生伪张数信息影响检测。

2) 由于光线和成像等原因,图像可能产生模糊、对比度不足(如图 3 所示),进而影响检测精度。

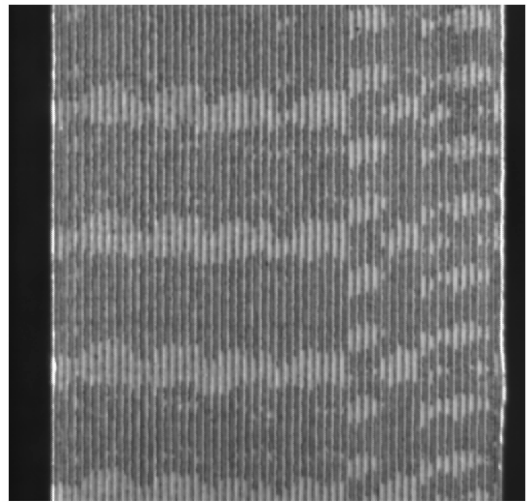


图 1 典型层状纹理侧面图  
Fig. 1 Typical profile of target

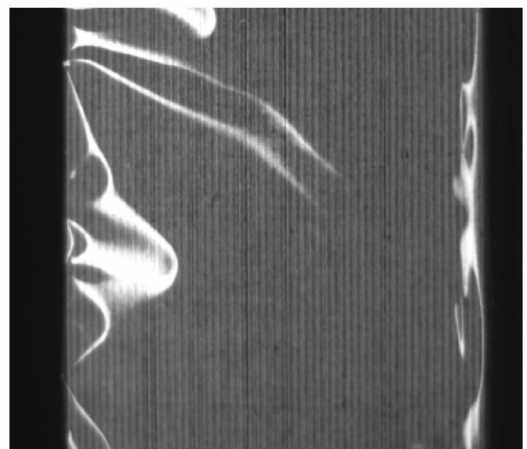


图 2 反光的纹理侧面图  
Fig. 2 Profile with reflect light



图 3 模糊的侧面纹理图  
Fig. 3 Blurred image of object

3)目标是印刷品,在侧面的层状堆砌中,可能存在各种印刷斑纹(如图4所示),使检测产生错误。

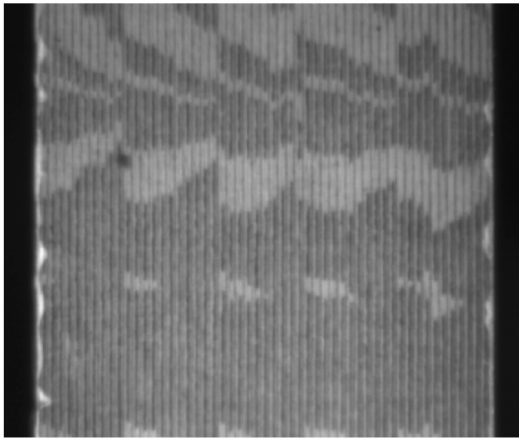


图4 有斑纹的侧面纹理图

Fig.4 Typical profile with speckles

## 2 纹理分析算法

### 2.1 算法流程

针对1.3节叙述的3个问题,本文提出3个应对策略,叙述如下。

1)纹理模糊。可进行纹理增强,本文采用的是Gabor滤波器。

2)反光失真。引入图像分段投影的策略。

3)干扰斑纹。经验模式分解(EMD)抽取张数信息。

该算法的流程如下:1)对原图像做预处理,突出张数纹理。然后将图像沿纵向切割为许多小图像段。2)对每一段进行图像分割和纵向投影,得到1维投影数组。3)对投影后的数组进行分析,估计出每段纹理的张数。4)统计投票的方法(求众数)来确定最终结果。

处理流程图如图5所示。

### 2.2 纹理增强

由于光线、机械振动以及其他成像因素的影响,采集到的原始图像纹理会出现模糊或者对比度不足,严重影响检测精度,所以要对图像进行纹理增强,即增强有用的张数纹理,减弱其他无关的纹理(表面斑纹等)。原图像上的纹理有很强的方向性与周期性,因此可以利用这些特性来进行纹理增强。

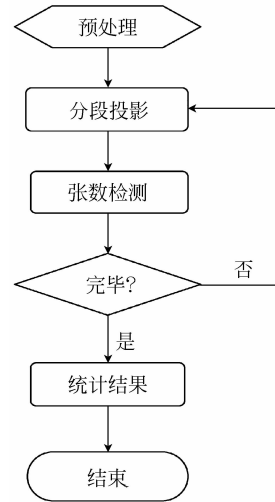


图5 处理流程图

Fig.5 Flow chart of the process

Gabor滤波器是一种有效的纹理分析工具,它是能够取得空域和频域联合测不准原理下界的唯一函数,也就是在空域和频域上均有最佳的分辨率<sup>[5]</sup>。考虑到Gabor滤波器的方向和频率选择性,以及其在空域和频域取得最佳分辨率的特性,Hong等人将Gabor滤波器引入指纹图像增强中,成功解决了指纹图像的增强问题<sup>[6]</sup>。

Gabor函数是2维高斯函数在空间频率域的平移函数,它的2维表示如下:

$$Q(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}) + j(\sigma_x x + \sigma_y y)} \quad (1)$$

式中, $\sigma_x, \sigma_y$ 为 $x$ 方向与 $y$ 方向角频率平移参数。2维Gabor函数的实部和虚部可以各自表示为一个函数,分别称为偶Gabor函数和奇Gabor函数,偶Gabor函数适于增强目标物体,奇Gabor函数适于增强目标边缘。本文所用的是偶对称Gabor滤波器,其一般形式如下:

$$G(x, y, \theta, f) = e^{-\frac{1}{2}(\frac{x_\theta^2}{\sigma_x^2} + \frac{y_\theta^2}{\sigma_y^2})} \cos(2\pi f x_\theta) \quad (2)$$

式中, $\theta$ 为Gabor滤波器的方向, $f$ 为纹理变换频率, $\sigma_x, \sigma_y$ 表示在 $x$ 轴与 $y$ 轴方向上的高斯常量, $x_\theta, y_\theta$ 是 $x, y$ 坐标轴逆时针旋转 $\theta$ 后的结果,变换如下

$$\begin{bmatrix} x_\theta \\ y_\theta \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \sin\theta & \cos\theta \\ -\cos\theta & \sin\theta \end{pmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (3)$$

偶对称Gabor滤波器可以看作正弦调制后的2维高斯函数,使用Gabor滤波需要确定4个参数:

- 1)Gabor滤波器的窗口宽度 $w$ 。
- 2)Gabor滤波器的方向 $\theta$ 。

3) 正弦调制的频率  $f$ 。

4) 高斯函数的标准差  $\sigma_x, \sigma_y$ 。

由于本算法处理的纹理方向单一(本文中为  $90^\circ$ )，滤波器的方向可以固定为  $90^\circ$ 。滤波器窗口宽度  $w$  与调制频率  $f$  可以通过图像的局部投影曲线(见图 6)估计出来。从图 6 中看出每个周期  $14 \sim 16$  个像素，滤波器必须覆盖一个周期以上，否则会出现虚假纹路，则  $w$  值应该为 17。一个窗口内，纹线大约变化两次，所以频率  $f$  取值为 2(本文中取  $\pi/1.4$ )。 $\sigma_x$  和  $\sigma_y$  的取值会对滤波结果产生影响，取值越大，滤波器的去噪能力越强，同时产生伪细节的可能性也越大。取值越小，则反之。基于实验和经验，本算法中高斯常量取值为  $\pi/2$ 。因此，Gabor 滤波器的参数确定如下：

- 1) 窗口的大小为  $17 \times 17$ 。
- 2) Gabor 滤波器的方向是  $90^\circ$ 。
- 3) 正弦调制波频率为  $\pi/1.4$ 。
- 4) 高斯函数标准差  $\pi/2$ 。

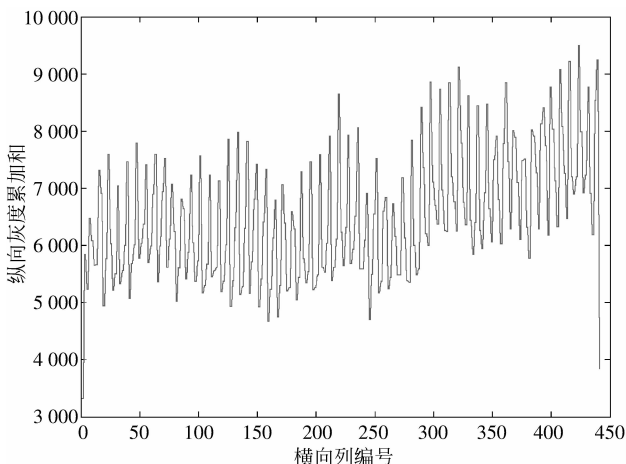


图 6 局部投影曲线

Fig. 6 Project curve of local area

将上述参数代入  $G(x, y, \theta, f)$  中，得到相应的 Gabor 滤波器。图 7 展示了本文选用的 Gabor 滤波器的频率响应。源图像与 Gabor 滤波器进行卷积，就可以得到纹理增强后的图像(如图 8 所示)。与滤波前的图像(如图 3)相比较，滤波后纹理图像得到增强，层与层之间的缝隙被凸显。同时，表面的无关斑纹被淡化。

### 2.3 分段投影

分段投影是非常自然的想法，分段不仅可以通

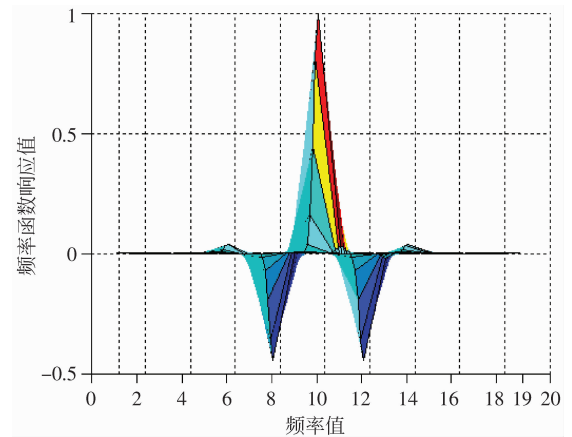


图 7 Gabor 滤波器的空间域响应

Fig. 7 Response of Gabor filter in spatial domain

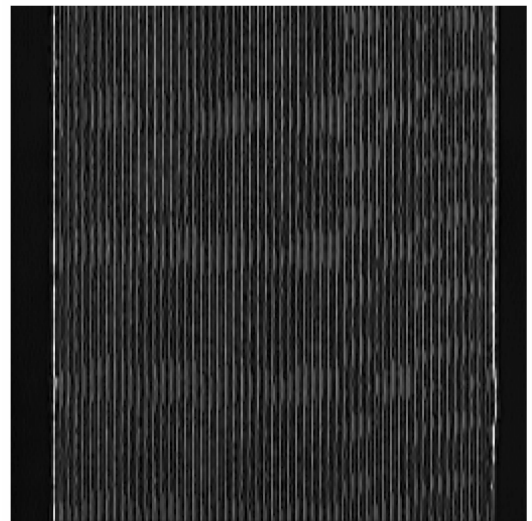


图 8 Gabor 滤波后的纹理图像

Fig. 8 Filtering result with Gabor filter

干扰，其还有以下 3 个优势：

1) 图像纹理边缘不可能是理想的竖直直线，通过分段可以将每一小段纹理的边缘近似为一条竖直的直线，从而避免纹理倾斜角度的计算以及图像的角度校正，简化图像分割。

2) 通过分段处理，从源图像中得到许多子图像，每一子图像都含有纹理的张数信息。经过多次分析可以得到每一段的分析结果。这样最大程度的利用了图像中的纹理信息。最后所有子段的张数结果进行投票，可以尽可能的避免单次分析中的偶然性，增加最终结果的准确性和算法的稳定性。

3) 每一小段图像的纵向投影可以消除表面比较小的噪声干扰，增强图像的鲁棒性。同时，将 2 维

信号(图像)转化为 1 维信号(投影曲线)进行处理,从而大幅提高处理速度。

分段投影具体操作如下:

- 1) 将图像沿横向切割成等高的若干小段。
- 2) 对每一段通过边缘进行图像分割,去掉黑色背景。
- 3) 将分割后的图像纵向投影,即沿纵向的每一列像素灰度值累加。最后得到一个 1 维的投影曲线(如图 9 所示)。

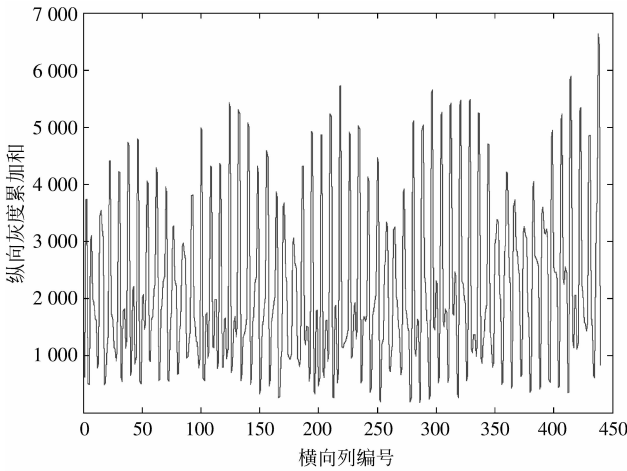


图 9 子图像投影曲线  
Fig. 9 Project curve of profile

侧面纹理图像中的斑纹使投影曲线中含有许多干扰信息(如图 10 所示),直接进行波峰或波谷计数会出现错误。另外,很难找出一个合适的低通滤波器,使投影曲线既去除噪声干扰,又很好的保留张数信息。为此引入经验模式分解(EMD),利用 EMD

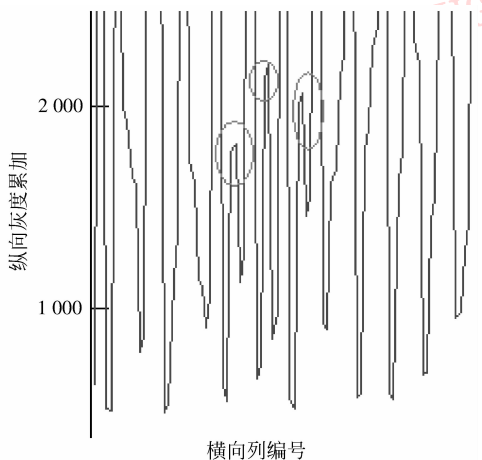


图 10 含干扰的部分投影曲线  
Fig. 10 Part of project curve with noise

抽取具有张数信息的周期性信号,然后进行张数检测。

### 2.4 EMD 分析

EMD 又称为 Hibert-Huang 变换,是 Huang 等人 1998 年提出的一种处理非线性、非平稳信号的处理方法。这种变换工具将信号分解为满足以下条件的成分<sup>[7]</sup>:

- 1) 零点数目与极值点数目相同或至多相差 1;
- 2) 函数关于局部平均对称。

满足这些条件的函数称为内蕴模态函数 IMF (intrinsic mode function) 以及残差函数。这种分解方法也就是所谓的“筛”法。关于 1 维信号  $x(t)$  的 EMD 分解可以表示为

$$x(t) = \sum_{i=1}^n imf_i(t) + r_n(t) \quad (4)$$

式中,  $imf_i(t)$  是所得的 IMF 函数,而  $r_n(t)$  是单调的残差函数。

EMD 的具体分解过程叙述如下<sup>[8-9]</sup>:

- 1) 初始化,  $r_0 = x$  (剩余分量), 令  $i = 1$  ( $i$  表示内蕴模式分量的标号)。
- 2) 求取第  $i$  个内蕴模式分量,分为以下步骤:
  - (1) 初始化  $h_0 = r_{i-1}, j = 1$ ;
  - (2) 求  $h_{j-1}$  的局部最大值与局部最小值;
  - (3) 通过 3 次样条内插  $h_{j-1}$  的局部极值,计算上包络函数  $e_{j-1}^{up}$  与下包络函数  $e_{j-1}^{down}$ ;
  - (4) 计算包络均值  $m_{j-1} = (e_{j-1}^{up} + e_{j-1}^{down})/2$ ;
  - (5) 更新  $h_j = h_{j-1} - m_{j-1}, j = j + 1$ ;
  - (6) 计算结束准则函数:

$$SD_j = \sum_{k=0}^K \frac{|h_{j-1}(k) - h_j(k)|^2}{h_{j-1}(k)^2} \quad (5)$$

式中,  $k$  表示对信号取样  $K + 1$  次;

- (7) 若  $SD_j > \varepsilon$ , 则跳转到 b), 否则  $imf_i = h_j, imf_i$  表示第  $i$  个内蕴模式分量,  $\varepsilon$  在区间  $(0.2, 0.3)$  中。

- 3) 更新  $r_i = r_{i-1} - imf_i, i = i + 1$ 。

- 4) 判断是否分解完毕,若未完毕则跳转到 2), 否则分解结束。

根据 EMD 理论分析以及大量的实验可知,经验模式分解的结果是符合物理意义的,EMD 分解抽取的是不同时间尺度上的近似周期成分。由于张数纹理图像中每一张的厚度基本一致,所以投影曲线也有空间的近似周期性。分解之后周期性的张数信号被抽取出来。

具体的操作过程为:把原始的投影曲线加上时

间标签,将投影信息序列转化为时间序列。然后对这个时间序列进行 EMD 分解,分解结果为 8 条曲线(图 11(a)所示)。图 9 中的 8 条曲线是原始曲线按照不同的频率周期逐层剥离出来的。可以看出,每个 IMF 函数都是这种近似周期性函数。图 11(a)的曲线从上到下时间尺度逐渐变大。分别计算分解前后曲线的相邻极大值距离的平均值(可理解为曲线的平均周期)。设分解前此平均值为  $T$ ,分解后第  $i$  个 IMF 函数的平均值为  $T_i$ 。通过对比上述平均周期,可以在 IMF 函数中找到一个匹配的 IMF,它同原始曲线差别最小(见图 11(b))。按下列步骤分析选定的 IMF 可以得到最终张数估计值:

- 1) 计算出该曲线中所有波峰、波谷的距离。
- 2) 舍去其中偏大与偏小的距离,其余求均值。
- 3) 分割后的图像宽度除以上述均值得张数估计值。

计值。

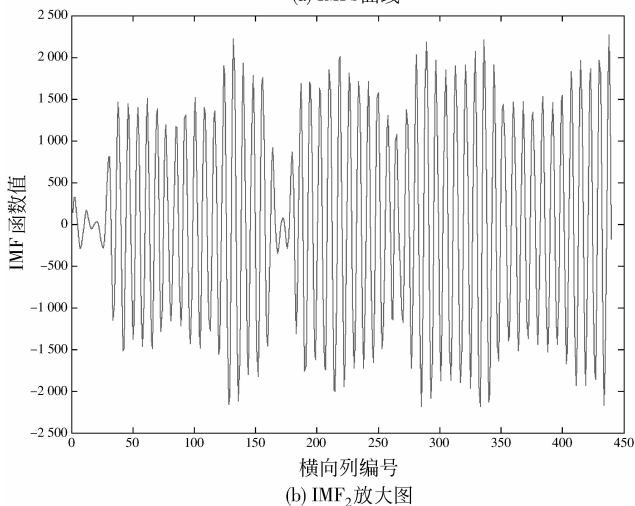
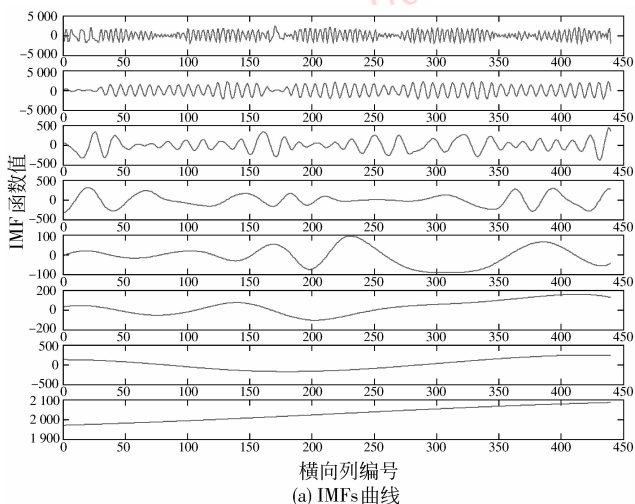


图 11 投影曲线的 EMD 分解  
Fig. 11 IMFs of the project curve

## 2.5 统计决策

通过分析所有子图像,可得到一系列张数估计值。求出这组张数值的众数,便可以确定目标的最终张数值。

## 3 实验结果与分析

### 3.1 算法性能检验

将本文算法应用到一个张数检测系统中,并将该系统同扑克牌生产线相连接,其检测速度达 70 副/min。为了检验算法的检测性能,测试阶段共设计了两个实验:稳定性实验和精度实验。

稳定性实验是检验算法的稳定性,并初步估计算法检测性能。实验采取在线检测的方法,即和扑克牌生产线连接,然后不间断地检测大量的产品。所检测的扑克牌以 55 张(54 张扑克牌加 1 张广告牌)为正品,非 55 张的为次品。检测中出现非 55 张时予以剔除,保留剔除的扑克牌。在检测足够数量产品后,手工核对所保留的扑克牌中的次品数和误检数。根据上面的实验数据,可以对算法的性能做出初步估计。此实验的结果如表 1 所示。

表 1 稳定性实验

Tab. 1 Test of stability

检测总数	未剔除数	剔除数	次品数	误检数
90 018	89 830	188	128	60

注:未剔除数为检测结果为正品扑克牌数量,剔除数为被系统剔除的扑克牌数量,次品数为剔除的 188 副扑克牌中的次品数量,误检数为剔除的 188 副中的正品数量。

通过表 1 中的实验数据可以发现,本算法可以长时间连续运行,有较强的鲁棒性。另外,从检测结果来看,算法具有区分不同张数的能力,但由于实验成本等各种条件限制,无法手工核对通过的 89 830 副扑克牌的具体张数。因此算法的精度无法通过此实验得出。为了定量检验算法精度,我们设计了精度实验。

精度实验是为了检验本算法的检测精度而设计的实验。出于成本考虑,本实验选取 9 种共 300 副扑克牌作为测试样本。这些样本都是刻意的多张或少张以模拟实际次品产生过程,并在检测前记录下它们的具体张数,检测后将检测结果与记录结果进行对比。表 2 记录了精度实验的结果。

表2 精度实验结果  
Tab.2 Test of precision

样本张数	实际样本数	检测正确数	检测错误数
54 张	146	143	3
55 张	9	8	1
56 张	130	130	0
57 张	7	7	0
其他	8	8	0

表2中的最后一行的其他是指张数范围大于57小于54的样本。由上表数据可知,实验中实际检测总数为300副,错误数为4副,检测错误率约为1.33%,正确率约为98.67%。

### 3.2 方法比较

该方法通过一次侧面层状纹理分析完成检测,比电磁法和人工抽检的逐张计数效率高。在检测精度方面,目前的准确率已经可以满足印刷行业的需求。同时,视觉检测机构简单、维护成本适中,适合大面积推广。3种方法的比较如表3所示。

表3 不同检测法比较  
Tab.3 Contrast of different methods

方法	速度/(张/s)	准确率	成本
人工检测	5	低	低
电磁检测	15	高	高
视觉检测	—	中	中

注:视觉检测法仅用一次侧面纹理分析即完成检测,单次检测时间小于0.9s。

## 4 结论

通过对第3部分实验结果的分析与讨论,可以发现基于侧面纹理分析的张数检测方法,可以解决印刷品的张数检测问题。该算法既可以满足一般印刷厂商的检测精度需求,又有相对较低的硬件成本,适合在印刷行业内推广。

目前本算法还存在一些问题:一是图像分割中边缘的定位不准确,影响检测精度;二是图像的Gabor滤波、信号EMD分析时间和资源消耗比较大,不利于移植到DSP系统中。针对上述问题,进

一步的工作有两部分:

- 1)改进图像分割,实现边缘准确定位。
- 2)进一步研究EMD和Gabor理论,优化目前的张数检测方法。

### 参考文献 (References)

- [1] Valley T. Counting Devices of Paper and Their Transaction Processing Unit: China, 02142462.4 [P], 2002-09-19. [石谷常彦. 纸张类计数装置及其交易处理装置:中国,02142462.4 [P], 2002-09-19.]
- [2] Baidu Wikipedia. The Basic Principle of Counter and Its Applications in the Financial Sector [EB/OL]. (2009-09-16) [2009-10-13] <http://zhidao.baidu.com/question/10597846.html>. [百度百科. 关于点钞机的基本工作原理及在金融行业的应用 [EB/OL]. (2009-09-16) [2009-10-13] <http://zhidao.baidu.com/question/10597846.html>.]
- [3] Black mug. Basic Concepts of Machine Vision and its Technical Advantages [EB/OL]. (2009-10-30) [2006-08-02] <http://baike.baidu.com/view/407688.htm>. [黑色马克杯. 关于机器视觉的基本概念与其技术优势 [EB/OL]. (2006-08-02) [2009-10-30] <http://baike.baidu.com/view/407688.htm>.]
- [4] Dongguan Screen Network. The Condition of On-line Print Quality Control Technology [EB/OL]. (2009-09-10) [2009-10-30] <http://www.ccmeida.cn/siyin3/sy1823.htm>. [东莞丝网印. 联机印刷品质量检测技术的现状 [EB/OL]. (2009-09-10) [2009-10-30] <http://www.ccmeida.cn/siyin3/sy1823.htm>.]
- [5] Yang Jianwei, Liu Lifeng, Jiang Tianzi. A modified Gabor filter design method for fingerprint image enhancement [J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(12): 1805-1817.
- [6] Hong Lin, Wan Yifei, Jain A. Fingerprint image enhancement: Algorithm and performance evaluation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(8): 777-789.
- [7] Norden E H, Shen Zheng, Steven R L. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. [J]. Proceedings of the Royal Society A, 1998, Mathematical (454): 903-995.
- [8] Éric D, Jean-Claude N, Jacques L. Empirical mode decomposition synthesis of fractional processes in 1D- and 2D-space [J]. Image and Vision Computing, 2005, 23(9): 799-806.
- [9] Liang Hualou, Bressler S L, Desimone R. Empirical mode decomposition: a method for analyzing neural data [J]. Neurocomputing, 2005, 65-66: 801-807.