

基于突变信号检测的光学标记识别图像分割方法

马磊^{1,2}, 刘江^{1,2*}, 李晓鹏^{1,2}, 陈霞^{1,2}

(1. 山东省图像采集与处理工程技术研究中心, 济南 250101; 2. 山东山大鸥玛软件有限公司, 济南 250101)

(* 通信作者电子邮箱 mm1979@126.com)

摘要:针对无定位信息的光学标记识别(OMR)图像填涂区的精确定位问题,提出了一种基于小波变换突变信号检测的图像分割方法。该算法首先计算图像的水平投影函数,然后投影函数经过迭代小波变换后检测其突变点,突变点能够精确地反映 OMR 信息的边界位置。检测算法的适应性基于有限次数的小波变换和突变信号检测过程。实验结果表明该算法具有较高的分割精度和稳定性,分割精度均方差可以达到 0.4167 个像素。而且由于算法只使用图像的水平投影信息,因此具有较高的执行效率;投影函数的统计特性和小波变换的多分辨率特性则使得该分割算法对噪声不敏感。

关键词:光学标记识别;小波变换;图像分割;突变点检测;多分辨率分析

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A

OMR image segmentation based on mutation signal detection

MA Lei^{1,2}, LIU Jiang^{1,2*}, LI Xiao-peng^{1,2}, CHEN Xia^{1,2}

(1. Shandong Engineering Research Institute for Image Acquisition and Processing, Jinan, Shandong 250101, China;

2. Shandong Shanda Oumasoft Company Limited, Jinan Shandong 250101, China)

Abstract: Concerning the accurate positioning of Optical Mark Recognition (OMR) images without any position information, an image segmentation approach of mutation signal detection based on wavelet transformation was proposed. Firstly, the horizontal and vertical projective operations were processed, and then these functions were transformed by wavelet to detect mutation points, which can better reflect the boundary of OMR information. This algorithm's adaptability is based on limited times of wavelet transform and mutation signal detection. The experimental results demonstrate that the method possesses high accuracy of segmentation and stability, and the mean square error of segmentation accuracy can be 0.4167 pixels. The processing of this method is efficient because the segmentation only used the horizontal and vertical information. This algorithm is not sensitive to noise because of the statistic characteristic of projection functions and multi-resolution characteristic of wavelet transformation.

Key words: Optical Mark Recognition (OMR); wavelet transformation; image segmentation; singularity detection; multiresolution analysis

0 引言

光学标记识别(Optical Mark Recognition, OMR)技术具有快速简单、识别率高且成本低的特点,被大量应用于考试、票据、报表、普查等领域,具有很高的应用价值。OMR 一般由定位标记和选项识别区两部分构成^[1],早期的 OMR 采集技术使用光学感应设备直接对信息卡上的涂点进行对应采集识别,随着高速图像采集设备的发展,出现了基于图像的 OMR 采集方式,其方法是首先对信息卡进行信息采集,得到数字图像,使用图像处理对涂点进行识别处理,转化为数字信息。传统的 OMR 信息卡都含有对填涂区域分割起到关键作用的定位信息^[2],能够方便地对图像进行分割。然而,随着 2004 年全国高考领域数字化网上阅卷的兴起,基于图像的 OMR 识别关键技术也成为相关人员的研究重点,这些技术不断向中学领域扩展并研发出针对普通学校的 OMR 识别技术,大部分中学领域采用了无标记定位信息的 OMR 识别技术,针对无标记定位信息的自动分割方法的研究却一直处于空白状

态,因此信息卡填涂区的分割定位问题具有重要研究意义。



图1 无定位信息的 OMR 图像

如图 1 所示,OMR 图像中没有定位信息,图像需要借助于信号检测实现填涂区域的精确分割,这种类型的图像被大量用于中学考试领域。

小波变换可用于奇异值的检测和处理^[3],并可消除图像中的噪声从而达到增强图像的目的,也可通过小波变换系数模极大值实现图像的边缘检测和恢复^[4]。小波变换的一个显著特点是能够确定被分析信号的局部奇异性^[5],奇异位置与不同尺度下小波系数模极大值相关,这些模极大值可以汇聚成一条模极大值曲线。奇异值一般是指是各种瞬态信号的主要特征^[6],可以使用李氏指标描述奇异值,Mallat 等已证明通过不同尺度下的小波局部模极大值的衰减特征可求得李氏指标^[7]。奇异值的分析主要是确定奇异值的位置和检测信号奇异程度^[8]。基于小波变换的突变信号分析方法在实际

收稿日期:2011-09-16;修回日期:2011-11-28。基金项:山东省信息产业专项基金资助项目(2009R0056)。

作者简介:马磊(1960-),男,山东济南人,研究员,博士,主要研究方向:数字图像识别、高速数据采集;刘江(1979-),男,山东济南人,工程师,硕士,主要研究方向:文档图像处理算法、海量数据存储;李晓鹏(1982-),男,山东济南人,主要研究方向:海量数据存储与检索;陈霞(1984-),女,山东泰安人,硕士,主要研究方向:基于内容的图像检索、数字水印。

应用领域非常广泛,例如输油管线的泄露检测^[9]、生物工程学中的尖刺信号检测^[10]及人体心电图(Electro Cardio Graph, ECG)处理^[11]。

本文研究基于小波变换奇异值检测方法分割 OMR 图像,确定 OMR 填涂区的边界位置,核心问题是小波母函数的选取和奇异值位置的确定。

1 小波变换与突变信号检测

Mallat 将函数(信号)的局部奇异性与小波变换后的模局部极大值联系起来,通过小波变换后的模极大值在不同的尺度上的衰减速度来衡量信号的局部奇异性。

$$f(t), \psi(t) \in L^2(\mathbf{R}) \quad (1)$$

$$\psi_a(t) = \frac{1}{a} \psi\left(\frac{t}{a}\right); a > 0 \quad (2)$$

$$WT_f(a, \tau) = \frac{1}{a} \int f(x) \psi\left(\frac{x-\tau}{a}\right) dx \quad (3)$$

式(1)两个实函数满足平方可积,并且 $\psi(t)$ 满足式(2)的尺度关系,则称式(3)为 $f(t)$ 的卷积型小波变换。信号的突变性检测原理是对原信号在不同尺度上进行“磨光”,磨光后的信号使用一阶导数或二阶导数计算其极值点或过零点。常用的平滑函数包括 Gauss 函数和 B-样条函数,平滑函数满足下面两个基本条件:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 1 \quad (4)$$

$$\lim_{t \rightarrow \pm\infty} \psi(t) = 0 \quad (5)$$

上式表明 $\psi(0) = 1$,说明平滑函数具有低通特性,记平滑函数的一阶导数和二阶导数为 $\psi^{(1)}(t)$ 和 $\psi^{(2)}(t)$,则根据卷积定理可知:

$$\frac{d}{dt}(f(t) \otimes \psi_{a,\tau}(t)) = f(t) \otimes \psi_{a,\tau}^{(1)}(t) \quad (6)$$

$$\frac{d^2}{dt^2}(f(t) \otimes \psi_{a,\tau}(t)) = f(t) \otimes \psi_{a,\tau}^{(2)}(t) \quad (7)$$

上式表明可以直接使用平滑函数的导数卷积计算原信号的突变点:若 t_0 点是 $f(t)$ 的阶跃奇异值,则式(6)在 t_0 处取非零极大值,若 t_0 点是 $f(t)$ 的极值点,则式(7)在 t_0 处取非零极大值,式(7)可有效避免式(6)的过零点检测。

为了提高奇异值检测的准确度,小波母函数的选取很重要,高斯函数是紧支集、连续可微、具有阶消失矩及对称性,是信号的奇异性分析的有力工具,其二阶导数即为 Marr 小波,文献[12]进一步讨论了高斯函数及其导函数的小波特性。

$$\psi(t) = \frac{1}{(\sigma^2 \pi)^{1/4}} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right) \quad (8)$$

$$\psi^{(1)}(t) = -\frac{t}{\sigma \pi^{1/4}} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right) \quad (9)$$

$$\psi^{(2)}(t) = \frac{1}{\sigma \pi^{1/4}} \left(1 - \frac{t^2}{\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right) \quad (10)$$

简言之,待检测信号与式(8)卷积运算平滑原信号,与式(9)卷积运算检测原信号的阶跃特性,与式(10)卷积运算检测原信号的局部极大值。

图2以高斯函数、高斯函数一阶导数和高斯函数二阶导数(即为 Marr 小波)作为小波基处理信号,达到平滑信号、计算阶跃位置、计算局部极大值的目的。

2 OMR 图像分割算法

2.1 OMR 图像投影函数分析

小波变换常用于信号的突变点检测,OMR 图像有比较明

显的行列特征,每个待识别区域具有明显的对称性,且分割的目的就是要确定识别区域的边界。高斯函数及其导数函数具有对称及反对称性,理论上应该可以较为精确地计算这些识别区域的边界点。为此需要构建分割算法的模型,使用水平及垂直投影函数作为待分析的原信号,使用高斯函数及其导数函数的小波变换分析原信号的突变性质。

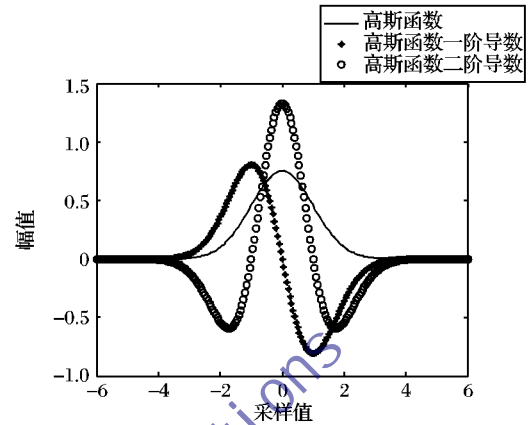


图2 高斯函数及其导数函数

如图3所示,常用的三种 OMR 填涂类型(图3(a))及其垂直投影函数(图3(b)),直观上看填涂区 A 的分割要比填涂区 B、C 的分割更为困难,因为填涂区 A 不是一个封闭的结构,填涂区对应的投影函数值区间具有不连续性,导致多个局部极值点,算法分析、实现比较复杂,普适性非常差,如果考虑到噪声影响,计算边界问题就会更加复杂,因此必须通过一定的信号处理手段加以平滑处理。

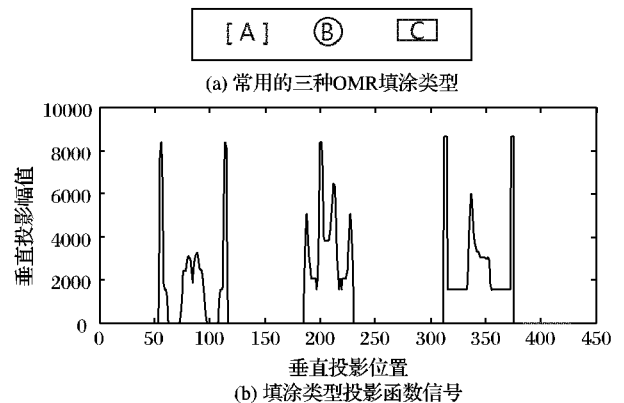
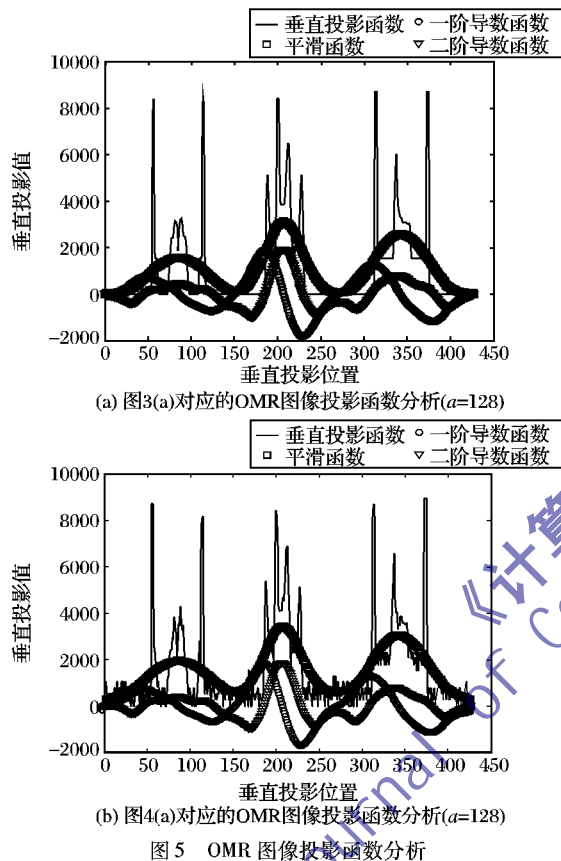
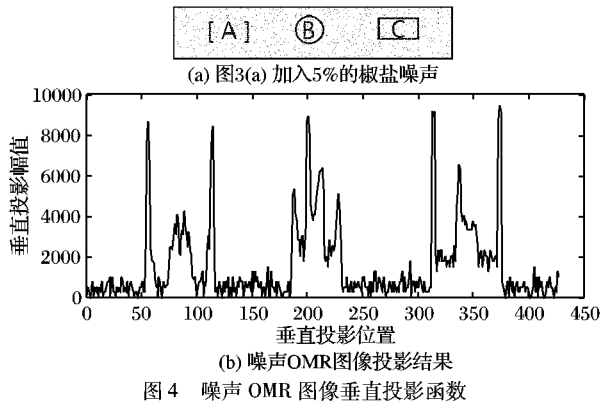


图3 常用的三种 OMR 填涂类型及其投影函数

如图4所示,图3(a)加入5%的噪声后(图4(b)),垂直投影函数出现了更多的尖刺效应,给信号的边界分析带来更大的困难,可以采取一些经典的降噪方法减少尖刺的产生,一方面会增加算法复杂性(降噪本身是复杂性问题),另一方面尖刺问题可能是 OMR 识别区本身所固有的(图3(b)所示),无法从根本上消除尖刺现象。

2.2 突变信号分析

利用高斯函数及其导数函数的平滑特性处理垂直投影函数有两个目的,一是实现有效的噪声过滤,另一方面是确定突变信号的边界点,增加算法普适性。假设 OMR 图像最高不超过5%的椒盐噪声(噪声过大时影响识别结果,识别结果失去意义),使用高斯函数及其导数函数的小波变换处理图3(b)和图4(b),结果如图5所示。



如图5所示,原 OMR 图像加入 5% 的噪声后,经平滑函数、一阶导数函数、二阶导数函数小波变换后,其波形表现出稳定性(对噪声不敏感),投影函数信号经过平滑后(对应□形曲线)其峰值点很容易跟踪和计算,其一阶导数和二阶导数曲线分别对应○形曲线和▽形曲线,○形曲线可计算 OMR 填涂区的边界位置(对应局部极大值和局部极小值)。图5的信号分析表明,在三种 OMR 填涂类型中,中间的填涂类型是最容易分割的,其一阶导数对应的极值点较另外两种类型更为明显。

3 实验结果

3.1 分割算法实现

分割算法基于小波变换的突变信号检测理论,构建了三种常用的 OMR 填涂类型的信号分割模型,该分割模型对噪声不敏感,从而表现出极大的适应能力。基于图像的 OMR 识别往往具有实时的要求,投影函数将二维图像转换为一维信号处理问题,大大降低了时间复杂度。根据实际应用情况,可

选择高斯函数和高斯一阶导数函数作为小波基,选用高斯函数二阶导数时,可以计算填涂区中心点的位置,结合 OMR 填涂块尺寸(一般在分辨率固定的情况下是已知问题)确定边界分割位置;选用高斯一阶导数时,直接计算给出边界分割位置。水平投影函数用于确定垂直方向的分割位置,垂直投影用于确定水平方向的分割位置,假设垂直投影需要确定 N 个分割位置,并且假设使用高斯一阶导数函数作为小波基进行信号处理,则分割结果必须满足下列基本条件:

1) 原信号上升边缘对应小波变换信号的极大值点,下降边缘对应小波变换信号的极小值点,填涂区域具有对称性,极大值数目一定等于极小值数目;

2) 极大值数目等于 N ;

3) 极大值与极小值在分割位置上交替出现;

4) 分割位置之间的方差小于给定的阈值;

5) OMR 填涂区尺寸之间的方差小于给定的阈值。

当分割结果满足上述基本条件时,说明 OMR 图像分割正确,可进行后续图像识别处理。小波变换阶数的确定是算法需要确定的核心内容,该参数直接决定了算法的分割准确性和适应能力,本文通过最小化高斯小波变换阶数提高分割精确性;式(3)中 a 越小,分割精度越高,通过判断是否满足基本条件提高普适性。垂直投影函数分割算法的流程如图6所示。

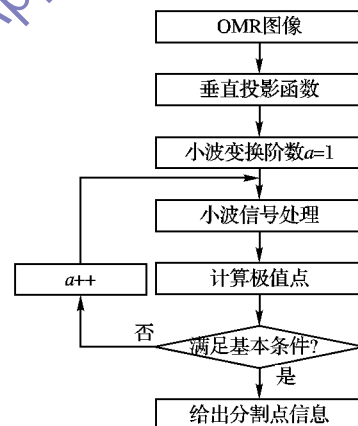


图6 图像分割算法基本流程

如图6所示,初始化小波变换阶数为 $a=1$,从而确保最好的分割精度(相当于对原信号进行突变点分析),通常不会满足分割判决条件,因此降低分辨率,小波变换阶数上限值固定为 256,这个数值与填涂区之间的距离有关,一般不会超过 128 个像素,分辨率太低还会影响分割精度,对识别结果产生误差。

3.2 实验结果

三种类型的 OMR 图像模型及突变信号分析模型是在单个 OMR 填涂区进行的,而且噪声模型中考虑了最高不超过 5% 的椒盐噪声,如果增加 OMR 填涂区个数,统计上更有利于分割,一定会增加算法的稳定性和分割精确性。

如图7所示,(a)为典型的 OMR 灰度图像(648×145 , 100 dpi),单个 OMR 填涂区尺寸(19×8)。图像中含有一些数字信息,垂直投影后具有尖刺效应,直接使用投影结果很难分析出分割点信息,而且不利于算法的普适性,经 61 阶迭代小波信号处理后,具有非常清晰的极值点,图像(c)分割结果表明该方法具有非常高的精度,同时可以将数字有效分割出

来,图像(d)为 OMR 宽度计算结果,平均宽度为 19.5 个像素,与平均值的最大误差计算为 1.5 个像素,计算 OMR 宽度均方差为 0.4167 个像素,经大量的实验证明,该方法是一种非常有效的分割定位方法。

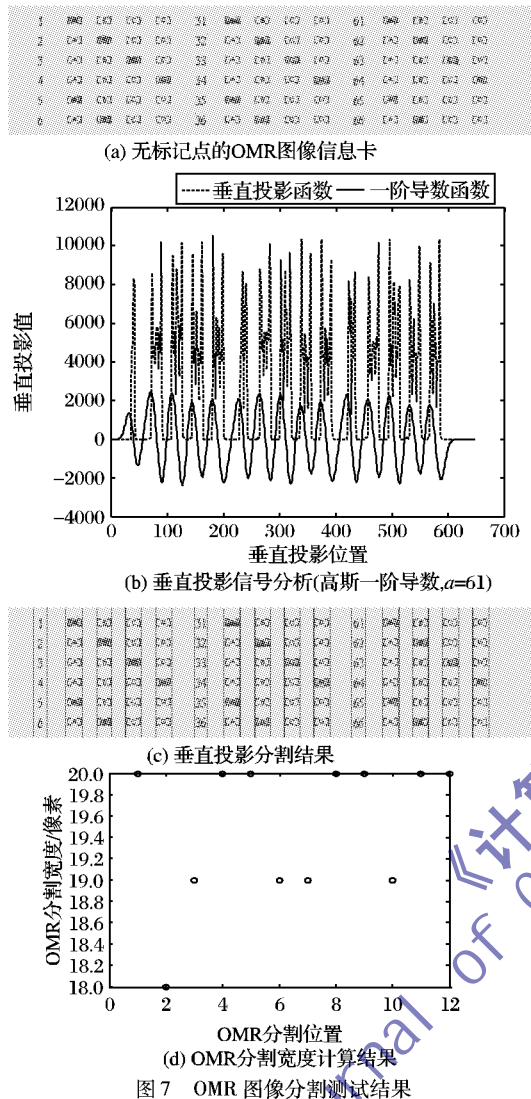


图7 OMR 图像分割测试结果

3.3 算法的稳定性分析实验

算法具有成熟的理论基础,且分割模型中考虑了噪声对分割算法的影响,通过信号分析模型说明了分割稳定性。稳定性分析实验考虑不同分辨率及不同 OMR 填涂类型及少量噪声三种因素下算法的适应能力,分割结果如图 8 所示。

如图 8 所示,使用 100 dpi 和 150 dpi 两种扫描分辨率扫描不同类型的 OMR 信息卡,图像中含有少量的噪声,倾斜角度小于 0.2° ,当使用 100 dpi 扫描图像时(图 8(a)、(b)),填涂区边界信息部分丢失,图 8(c)、(d)使用 150 dpi 扫描图像,投影函数小波变换采用高斯函数一阶导数直接获取填涂区的边界,该实验说明了算法稳定性。

4 结语

本文提出一种基于突变性质分析的 OMR 图像分割定位方法,着重讨论了基于高斯函数及其导数函数小波变换的突变信号检测的原理,建立了常见的 OMR 填涂类型的边界点分割模型,并给出了具体的实现算法,说明了算法的稳定性的原理和普适性,通过仿真实验验证了理论的正确性,最后通过

真实填涂卡分割说明算法的精确性,分割精度均方差达到 0.4167 个像素。

该图像分割方法的稳定性基于两点:一是高斯函数低通性(平滑性),因此对噪声不敏感(图 5 所示);其次是小波变换的多分辨率特性,可在不同分辨率层次进行分割和评价分割效果,表现出一定的适应能力。分割结果的精确性主要是基于小波变换的突变检测能力,同时在分割策略上尽可能使用高分辨率信号进行分割,计算结果也证明了该方法的精确性。该方法具有很高的执行效率,仅通过投影信号即可获取分割信息,避免了图像的预处理过程。本文算法虽然具有一定的抗噪声能力,但对于高噪声环境下(例如椒盐噪声大于 10%)分割表现出不稳定性和不精确性,可使用图像降噪方法,也可使用形态学方法增强填涂区加以解决。

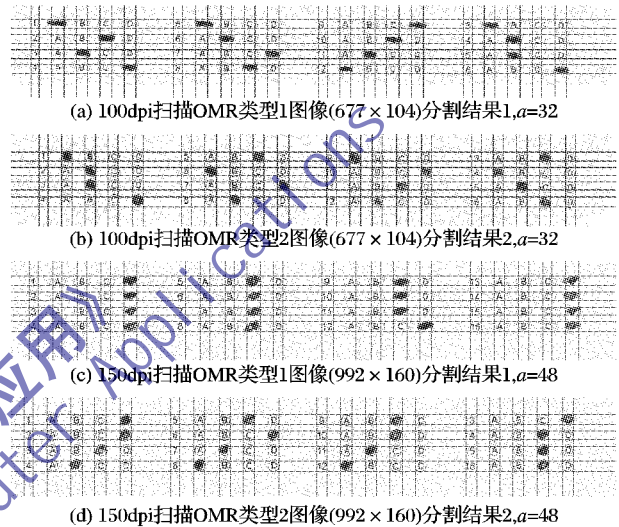


图8 分割算法稳定性分析实验

参考文献:

- [1] 李茜, 克达尔, 王朔中. 一种 OMR 卡片信息的提取和识别方法[J]. 计算机工程, 2007, 33(10): 225 - 226.
- [2] 张凯兵, 黄襄念, 秦岸, 等. OMR 图像像倾斜矫正与分割[J]. 计算机应用, 2005, 25(3): 586 - 588.
- [3] MALLAT S, HWANG W L. Singularity detection and processing with wavelets [EB/OL]. [2011 - 07 - 20]. <http://www.cmap.polytechnique.fr/~mallat/papiers/MallatSingDet92.pdf>.
- [4] STRICKLAND R N, HAHN H I. Wavelet transform methods for object detection and recovery[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(5): 724 - 735.
- [5] 谭善文, 秦树人, 汤宝平. 小波基时频特性及其在分析突变信号中的应用[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2001, 24(2): 12 - 17.
- [6] 龙兴明, 周静. 连续小波变换的一维信号检测[J]. 重庆邮电学院学报, 2004, 16(3): 77 - 80.
- [7] 张德丰. 基于小波的信号突变点检测算法研究[J]. 计算机工程与科学, 2007, 29(12): 98 - 100.
- [8] 张晓春, 刘迈, 尹向宝. 基于小波变换的奇异信号检测研究[J]. 河北大学学报: 自然科学版, 2005, 25(3): 329 - 331.
- [9] 任伟建, 康朝海, 于楠, 等. 小波变换在信号奇异性检测中的应用[J]. 仪器仪表与检测技术, 2004, 24(1): 68 - 69.
- [10] NENADIC Z, BURDICK J W. Spike detection using continuous wavelet transform[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2005, 52(1): 74 - 87.
- [11] 张杨, 蔡建立. 小波分析和 ECG 信号的检测[J]. 南京理工大学学报, 2005, 29(10): 223 - 225.
- [12] 宋洁, 范延滨, 成金勇, 等. 关于高斯函数的小波性质的研究[J]. 计算机科学, 2004, 31(11): 222 - 223.