

基于分数阶微积分的食品质量防伪检测方法研究

纪素娟

(郑州财经学院信息工程学院, 河南郑州 450000)

摘要: 本文以江中猴姑早餐米稀、乐事薯片、港荣奶香蒸蛋糕、豪士乳酸菌酸奶小口袋面包作为食品样品研究对象, 并选取相对应造假样品, 通过分数阶微积分方法对食品质量进行防伪检测。在市场上获取真伪样品各 90 个, 采用分数阶微积分获取食品能量信号的分数阶微分算子及函数分数阶导数, 加强食品二维码原图灰度值改变较大的高频边缘信息, 同时保持其灰度直方图分布包络, 保证了食品二维码图像纹理细节信息的基本完整性, 以实现分析不同食品真伪二维码分数阶微积分的差异。经实验结果发现, 采用分数阶微积分方法在初始分类检测时, 总初始准确检测率高达 95.56%; 在交叉验证中, 总检测准确率为 88.89%, 能够为食品质量防伪检测提供技术支持, 为维护食品质量的市场秩序奠定理论基础。

关键词: 分数阶微积分; 食品质量; 防伪

文章编号: 1673-9078(2019)07-296-300

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.7.042

Research on Food Quality Anti-counterfeiting Detection Method Based on Fractional Calculus

Ji Su-juan

(Zhengzhou Institute of Finance and Economics, Institute of Information Engineering, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: In this work, the food samples of the functional food (Jiangzhong Hou Gu Mi Xi), Leshi potato chips, steamed cake (Gang Rong), small bread (Haushi Lactobacillus yoghurt) were studied, and the corresponding counterfeit samples were selected. The anti-counterfeiting detection of food quality was carried out by fractional calculus method. Ninety true and false samples were obtained in the market. The fractional differential operators and fractional derivatives of the functions were obtained by fractional calculus. The high frequency edge information of the original gray value of the two-dimensional food code was enhanced, while the distribution envelope of the gray histogram was maintained. The basic integrity of the texture details of the two-dimensional food code image was guaranteed so as to realize different analysis. The difference of fractional calculus between true and false two-dimensional codes of food. The results showed that the total initial detection accuracy of the fractional calculus method was as high as 95.56% in the initial classification detection and 88.89% in the cross-validation, which can provide technical support for anti-counterfeiting detection of food quality and provide a theoretical foundation for maintaining the market order of food quality.

Key words: fractional calculus; food quality; anti-counterfeiting;

食品安全对人们的生命安全与社会发展有直接影响, 保证食品安全的关键为对食品质量进行防伪检测, 利用获取食品安全信息, 对食品质量指标进行监控, 防止出现食品质量问题^[1,2]。为了保护消费者权益, 对防伪检测方法进行了大量工作, 然而对制假造假者还是无法有效防御^[3]。传统食品质量防伪检测方法有很多缺陷, 为了令消费者购买质量过关的食品, 当前通常采用二维码技术对食品进行标识, 使得消费者了解食品的质量安全信息。也就是在对食品进行生产时, 生产厂家利用企业客户端针对某批次产品, 对其生产

收稿日期: 2019-03-12

基金项目: 河南省社科联项目 (SKL-2016-3688)

作者简介: 纪素娟 (1978-), 女, 讲师, 研究方向: 应用数学

不同阶段的信息进行填写, 同时申请订单, 在不同信息均完备后认为审核通过, 再对各食品二维码进行打印, 利用粘贴或喷印的方式和生产食品结合在一起, 同时随食品功能出售^[4,5]。

消费者购买食品时, 可利用手机或电脑摄像头, 通过相关软件对食品二维码图像进行扫描, 获取食品有关信息, 利用分数阶微积分二维码抗复制与防伪能力, 对食品质量进行防伪检测。该技术真正实现了食品质量防伪的实时检测, 实现过程简单快捷, 在食品领域防伪检测技术中处于领先水平, 提高消费者的消费信息, 是一种有效的食品质量防伪检测方法。

本文对基于分数阶微积分的食品质量防伪检测方法进行研究, 所提方法具抗复制能力与防伪能力, 为

食品适量防伪检测的关键技术,其核心为把分数阶微积分二维码标签当成信息载体,该技术成本较低,不会对食品生产厂家产生经济与成本压力,对消费者来说,可利用手机对食品进行质量防伪检测,容易推广。

表1 样品详细信息

Table 1 Sample details

样品名称	正品 数量/个	造假 数量/个	正品生产单位
江中猴姑 早餐米稀	24	24	江西共青江中食疗 科技有限公司
乐事薯片	16	16	北京三保利嘉经贸 有限责任公司
港荣奶香 蒸蛋糕	20	20	成都港荣食品 有限公司
豪士乳酸菌 酸奶小口袋面包	30	30	郑州市人人利 食品有限公司

$$E_{G-L}^{\nu} s(x) = \frac{d^{\nu}}{[d(x-c)]^{\nu}} s(x)|_{G-L} = \lim \left\{ \left(\frac{x-c}{N} \right)^{-\nu} \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\Gamma(k-\nu)}{\Gamma(-\nu)} \times s \left[x - k \left(\frac{x-c}{N} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

式中: 信号 $s(x)$ 的持续期是 $[c, x]$, E_{G-L}^{ν} 用于描述 Grumwald-Letnikov 定义的分阶微分算子, Γ 用于描述 Gamma 函数。

由上式可以看出, Grumwald-Letnikov 定义在欧式测度下把整数解微积分的整数步长推广至分数步长。并且, 分数阶微积分的 Grumwald-Letnikov 定义便于实现, 获取和信号 $s(x)$ 相关的 $s \left[x - k \left(\frac{x-c}{N} \right) \right]$ 离散值即可, 无需信号 $s(x)$ 的导数和微积分值。

依据 Riemann-liouville 定义信号 $s(x)$ 的 ν 阶微积分^[8], 则有:

$$E_{R-L}^{\nu} s(x) = \frac{d^{\nu}}{[d(x-c)]^{\nu}} s(x)|_{R-L} = \frac{1}{\Gamma(-\nu)} \int_c^x (x-\delta)^{-\nu-1} s(\delta) d\delta \quad (2)$$

式中: E_{R-L}^{ν} 用于描述依据 Riemann-liouville 定义的分阶微分算子。

针对任意平方可积的能量型信号 $s(x)$, 其 ν 阶分阶微分的弗罗里达转换可描述成:

$$E^{\nu} s(x) = \frac{d^{\nu} s(x)}{dt^{\nu}} \Leftrightarrow (E^{\nu} s)(\omega) = (i\omega)^{\nu} \cdot \hat{s}(\omega) = \hat{d}^{\nu}(\omega) \hat{s}(\omega) \quad (3)$$

式中: ν 阶微分算子 $D_{\nu} = D^{\nu}$ 为 ν 阶微分乘子函数 $\hat{d}(\omega) = (i\omega)^{\nu}$ 的乘性算子。

信号 $s(x)$ 的 ν 阶差分可描述成:

$$\Delta^{\nu} s = \frac{1}{\Gamma(-\nu)} \sum_{r=0}^{n-1} \frac{\Gamma(r-\nu)}{\Gamma(r+1)} s \left(t - \frac{r(t-a)}{n} \right) \quad (4)$$

1 材料与方法

1.1 材料

为检验本方法的有效性,选取江中猴姑早餐米稀、乐事薯片、港荣奶香蒸蛋糕、豪士乳酸菌酸奶小口袋面包为食品样品研究对象,并在市场、超市或私人烘焙店中购买对应散装薯片、蛋糕等样品作为“造假样品”。详细样品信息用表1进行描述。

1.2 研究方法

研究方法选用分数阶微积分,在欧式测度下,分数阶微积分最常用的为 Grumwald-Letnikov 定义、Riemann-liouville 定义与 Caputo 定义^[6,7],其中 Grumwald-Letnikov 定义信号 $s(x)$ 的 ν 阶微积分可描述成:

可以看出, ν 阶差分为差分的一般形式,为广义差分^[9]。整数阶差分公式可被添加至上式,整数阶差分为分数阶差分的差分阶次取整的特例,其中分数阶斜率就是函数分数阶导数。

从动力学的角度分析,分数阶导数为广义导数,可以推论分数阶导数的物理意义为分数阶流或分数阶速度。广义加速度为 $[0,1]$ 阶分数阶,为零阶位移矢量和一阶速度矢量间的分数阶时间连续内插,可有效体现瞬时平衡状态的低阶 $[0,1]$ 阶速度^[10],通过分析分数阶微积分可体现不同图像的差异,为食品质量防伪检测提供依据。

1.3 数据分析

把样本数据当成基础数据,划分成训练集与测试集^[11],其中训练集与测试集各占总样品数据量的一半,通过分数阶微积分法获取食品质量真伪鉴别结果。

2 结果与讨论

2.1 食品二维码分数阶微积分分析

通过不同食品二维码图像的垂直灰度投影曲线可以发现食品二维码图像所在区域垂直灰度投影曲线形成具宽度的凸峰,该凸峰的左右边界代表食品二维码图像的左右边界。当食品二维码图像的左右边界确定

后,取左右边界间的食品二维码图像区域作为研究对象,作该图像的水平灰度投影曲线,通过投影曲线可判断加强原图灰度值改变较大的高频边缘信息,确定食品二维码分数阶微积分灰度值纵向投影图,并最终根据分数阶微积分灰度值纵向投影图检测食品真贋。

本节将江中猴姑早餐米稀、乐事薯片、港荣奶香蒸蛋糕、豪士乳酸菌酸奶小口袋面包,以及四种食品相应的造假样品作为研究对象,分析不同食品真偽二维码分数阶微积分的差异。图1所示的是不同正品食品二维码分数阶微积分灰度值纵向投影图,图2所示是不同造假食品二维码分数阶微积分灰度值纵向投影图。

由图1可知江中猴姑早餐米稀、乐事薯片、港荣奶香蒸蛋糕、豪士乳酸菌酸奶小口袋面包食品二维码分数阶微积分灰度值纵向投影图的能量信号波动幅值约为64,普遍波动幅度较低,即波动平稳的图像为正品食品。

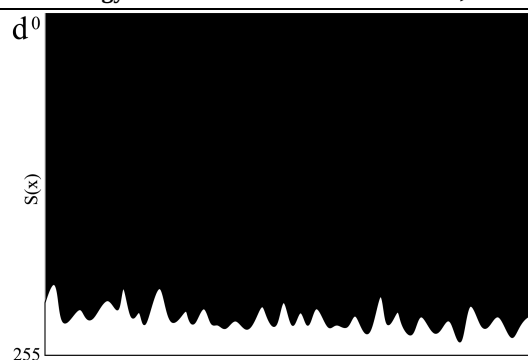
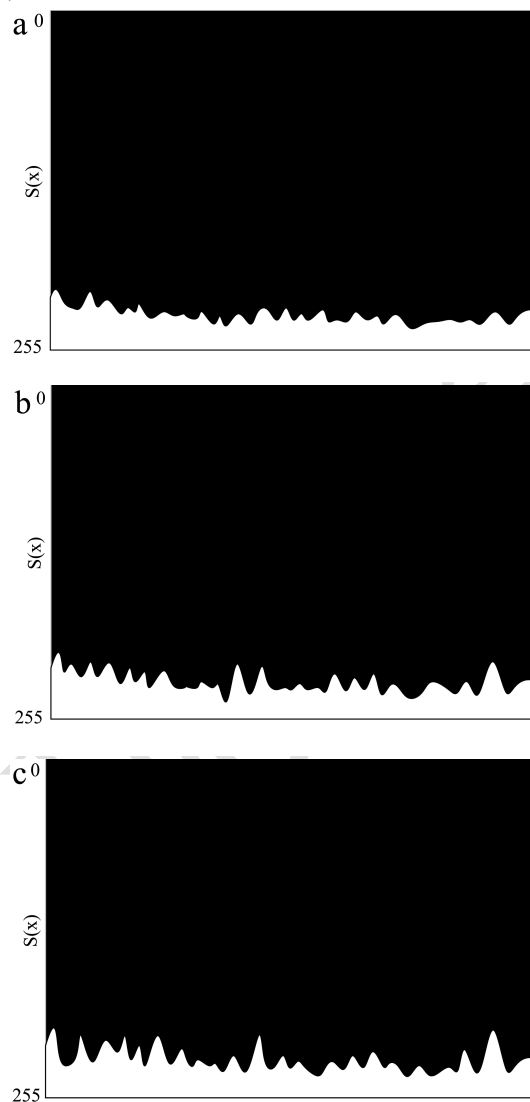


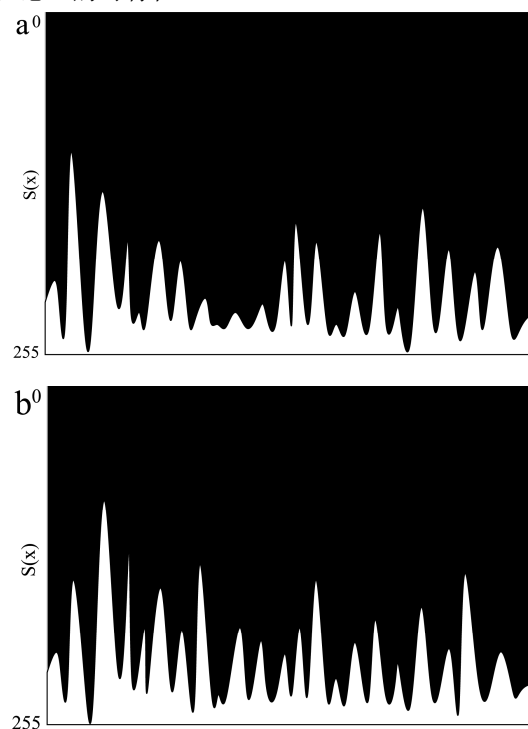
图1 正品食品二维码分数阶微积分灰度值纵向投影图

Fig.1 Longitudinal projection of gray value of two-dimensional code fractional calculus for authentic food

注: a: 江中猴姑早餐米稀; b: 乐事薯片; c: 港荣奶香蒸蛋糕; d: 豪士乳酸菌酸奶小口袋面包。图2同。

分数阶微积分既可加强原图灰度变值较大的高频边缘信息,还可保持其灰度直方图分布包络,保证了图像纹理细节信息的基本完整性,便于有效实现食品质量防伪检测。

由图1和图2可以看出,正品食品二维码分数阶微积分灰度值纵向投影图波动变化平稳,而造假食品二维码分数阶微积分灰度值纵向投影图波动普遍较大,因此,为判断食品质量真偽,可将食品二维码分数阶微积分灰度值纵向投影图的波动值作为评断依据,使得分数阶微积分方法在食品质量防伪检测方面有理论上的可行性。



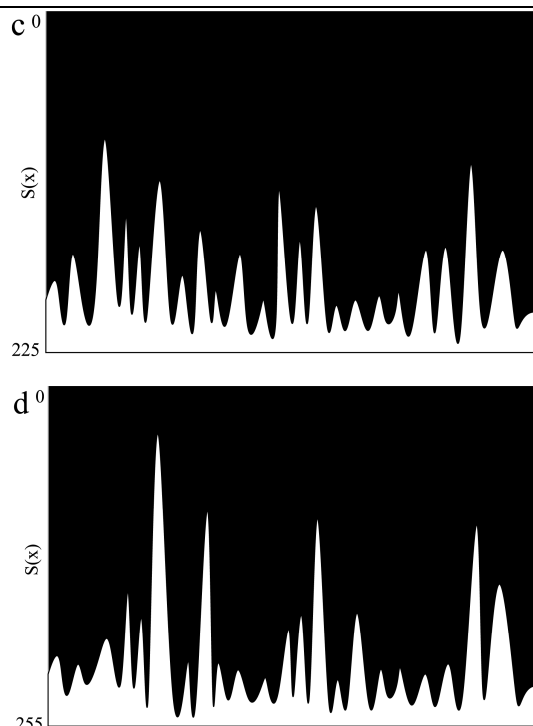


图2 造假食品二维码分数阶微积分灰度值纵向投影图

Fig.2 Longitudinal projection of gray value of fractional calculus of two-dimensional code for fake food

稳定系数 κ 为检测食品二维码图像纹理细节特征的主要依据,公式如下:

$$\kappa = \begin{cases} 1 - v, \delta = 1 \\ v, \delta = -1 \end{cases} \quad (5)$$

某点分数阶稳定性系数 κ 越趋近于单位1,则认为该点稳定性越高,越趋近于单位0,则认为该点稳定性越低。可以看出分数阶稳定性系数是对某点瞬时稳定状态分数阶的衡量。

下面分析如何通过稳定性系数 κ 对食品二维码图像纹理细节特征进行检测。二维码图像灰度值在[0,255]区间内改变, $s(x,y)$ 灰度值是非负值,二维码数字图像 $s(x,y)$ 灰度值纵向投影与横向投影的包络曲线相应稳定系数依次用 $\kappa(y)$ 与 $\kappa(x)$ 进行描述。综合分析四种正品食品二维码图像,获取的 $s(x,y)$ 灰度值横向投影及其 $\kappa(x)$ 用图3进行描述。

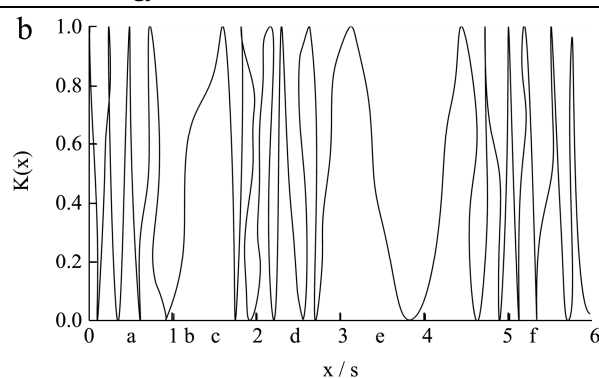
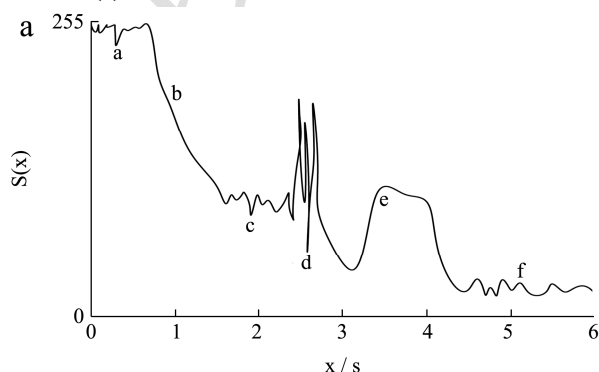


图3 正品食品二维码图像横向投影及其稳定性系数

Fig.3 Transverse projection and stability coefficient of two-dimensional food code for authentic food

注: a: 二维码图像的横向投影; b: 相应稳定系数。

由图3可以看出,在 x 正方向,如果 $\kappa(x)$ 处于上升阶段,那么食品二维码图像的横向灰度值投影包络曲线从极大峰值转变成极小谷值,邻域像素变暗。 $\kappa(x)$ 在a、c、d与f段相应 $\kappa(x)$ 振荡频率大,图像横向灰度值投影包络曲线波纹密集,且 $\kappa(x)$ 振荡频率在a、c、d段最大,也就是图像在a、c、d段灰度值改变频繁,图像纹理细节密集,而f段图像纹理细节相对较为稀疏。并且 $s(x,y)$ 在a、c、f段的灰度值波动幅度相对较小,有很小的波纹,在d段灰度值波动较大,也就是在a、c、f段食品二维码图像纹理细节明暗对比比较低,在d段明暗对比比较高。 $\kappa(x)$ 在b段与e段低频振荡,和食品二维码图像横向灰度值投影包络曲线相应的位置波动跨度较大,变化幅度较小,也就是食品二维码图像在b段呈灰度值改变不大的图像平滑过渡轮廓,在e段呈跨度较宽的图像边缘。食品二维码图像横向灰度值投影包络曲线在a段的平均幅值最高,在c段与d段的平均幅值次之,在f段平均幅值最小,说明食品二维码图像在a段、c段与d段、f段的纹理细节依次在白色、灰色和黑色平滑背景中。将符合上述 $\kappa(x)$ 特征的二维码图像相应食品当成正品食品,将不符合上述 $\kappa(x)$ 特征的二维码图像相应食品当成造假食品,实现食品质量防伪检测。

2.2 食品质量防伪检测结果验证

针对实验测试集样品数据,采用基于分数阶微积分的食品质量防伪检测方法,得到的食品质量防伪检测结果用表2进行描述。

分析表2可知,在初始分类时,43个正品样品被准确检测,2个正品样品被误检测。在造假样品中,44个样品被准确检测,1个样品被误检测,总初始准确检测率高达95.56%。在交叉验证中,只有5个造假样品被误检测,交叉验证总检测准确率为88.89%。由

于分数阶微积分能够加强原图灰度值改变较大的高频边缘信息, 正品食品二维码分数阶微积分灰度值纵向投影图波动普遍较为平稳, 而造假食品二维码分数阶微积分灰度值纵向投影图波动普遍较大, 不同食品真伪二维码图像分数阶微积分存在差异, 因此分数阶微积分方法的防伪检测准确率高。

表2 分数阶微积分方法食品质量防伪检测结果

Table 2 Detection results of food quality anti-counterfeiting by fractional calculus method

类别		检测为正品	检测为造假	总计
初始	计数/个	正品 43	2	45
		造假 1	44	45
	准确	正品 95.56	4.44	100
	性/%	造假 2.22	97.78	100
交叉验证	计数/个	正品 45	0	45
		造假 5	40	45
	准确	正品 100	0	100
	性/%	造假 11.11	88.89	100

表3 红外光谱一阶导数方法食品质量防伪检测结果

Table 3 Infrared spectroscopy first derivative method for food quality anti-counterfeiting test results

类别		检测为正品	检测为造假	总计
初始	计数/个	正品 40	5	45
		造假 6	39	45
	准确	正品 88.89	11.11	100
	性/%	造假 13.33	86.67	100
交叉验证	计数/个	正品 43	2	45
		造假 10	35	45
	准确	正品 95.56	4.44	100
	性/%	造假 22.22	77.78	100

当前常采用一阶导数谱增强原始光谱特征。文章通过 OMNIC 软件将研究样品外光谱图转换成一阶导数谱图, 通过数据分析方法构造基于红外光谱一阶导数光谱数据的食品质量防伪检测模型, 该模型对研究食品样品防伪检测结果用表3 进行描述。

分析表3 可知, 在初始分类时, 40 个正品样品被准确检测, 5 个正品样品被误检测。在造假样品中, 39 个样品被准确检测, 6 个样品被误检测, 总初始准确检测率高达 88.89%。在交叉验证中, 有 10 个造假样品被误检测, 有 2 个正品被误检测, 78.2%交叉验证总检测准确率为 78.2%, 检测准确率相对较低。这是由于红外光谱一阶导数方法在区分食品二维码分数阶微积分灰度值时, 无法对灰度值改变较大的高频边

缘信息进行准确提取, 导致部分边缘特征选择错误, 导致检测准确率低的现象。

3 结论

本文提出一种基于分数阶微积分的食品质量防伪检测方法, 通过分数阶微积分函数获取能量信号值, 并根据能量信号值划分食品二维码原图的高频边缘信息, 对原图灰度值改变大的高频边缘信息采用分数阶微积分进行加强, 实现分析不同食品真伪二维码分数阶微积分的差异, 最终可依据数值图像差异完成食品质量防伪检测。实验结果发现正品食品二维码分数阶微积分灰度值纵向投影图波动普遍较为平稳, 而造假食品二维码分数阶微积分灰度值纵向投影图波动普遍较大。比较了本文分数阶微积分方法和红外光谱一阶导数方法对食品质量防伪的检测效果, 发现采用本文分数阶微积分方法的检测准确率比红外光谱一阶导数方法更高, 本文分数阶微积分方法能够为食品质量防伪检测提供技术支持。

参考文献

- [1] 梁俊发, 吴文林, 陈代伟, 等. 基于 FT-IR 结合 PCA-LDA 的白酒真伪鉴别方法[J]. 食品工业科技, 2016, 37(15): 309-312
LIANG Jun-fa, WU Wen-lin, CHEN Dai-wei, et al. Identification of liquor authenticity based on FT-IR with PCA-LDA [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(15): 309-312
- [2] Vishnuvardhan C, Srinivas R, Satheeshkumar N. Development and validation of a UPLC method for screening potentially counterfeit anti-hypertensive drugs using design of experiment [J]. Analytical Methods, 2014, 6(13): 4610-4616
- [3] 郑祥权, 廖鑫, 徐溢, 等. 基于非接触式拉曼光谱分析人血与犬血的 PCA-LDA 鉴别方法[J]. 高等学校化学学报, 2017, 38(4): 575-582
ZHENG Xiang-quan, LIAO Xin, XU Yi, et al. PCA-LDA analysis of human and canine blood based on non-contact raman spectroscopy [J]. Chemical Journal of Chinese Universities, 2017, 38(4): 575-582
- [4] 杨柱中, 周激流, 郎方年. 基于分数阶微积分的噪声检测和图像去噪[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(10): 1418-1429
YANG Zhu-zhong, ZHOU Ji-liu, LANG Fang-nian. Noise detection and image de-noising based on fractional calculus [J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(10): 1418-1429

(下转第 260 页)