

# 基于图像配准的食品包装印刷缺陷检测与实现

杨祖彬<sup>1</sup> 代小红<sup>2</sup>

(重庆工商大学机械工程学院 重庆 400067)<sup>1</sup> (重庆工商大学计算机科学与信息工程学院 重庆 400067)<sup>2</sup>

**摘要** 传统食品包装印刷缺陷检测系统采集的实时图像和标准图像在空间上存在着较大的差异,在缺陷检测前首先要将实时图像与标准图像配准,再进行图像缺陷检测与识别。针对传统检测方法检测时间长、分拣效率低、漏检率高和对人视觉要求高等缺点,在图像增强处理的基础上,提出了一种适用于食品包装印刷缺陷检测的图像配准算法。该算法利用小波变换改进算法对图像边缘进行检测,有效地解决了噪声所产生的误检问题。实验仿真结果表明,该算法具有较高的稳定性和可靠性,能够精确检测出小于0.1 mm的刀丝和拉条等细微缺陷,实现了食品包装印刷品的无损检测。

**关键词** 图像增强,小波变换,边缘检测,食品包装,印刷缺陷

**中图分类号** TP391,TS271 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.8.065

## Printing Defects Detection and Realization in Food Packaging Based on Image Registration

YANG Zu-bin<sup>1</sup> DAI Xiao-hong<sup>2</sup>

(School of Mechanical Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)<sup>1</sup>

(School of Computer Science and Information Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)<sup>2</sup>

**Abstract** There is a big difference in space between the real-time image collected by traditional printing defects detection system in food packaging and standard image. Before defects detection, the real-time image is registered with the standard image, and then image defects are detected and identified. In view of such defects with long time detection, low sorting efficiency, high missing rate and high requirements for human vision of traditional detection methods, an image registration algorithm for printing defects detection in food packaging based on image enhancement processing was proposed. And the application of improved algorithm of wavelet transformation to image edge detection has effectively solved the problems of error detection caused by noises. The experimental simulation results indicate that this system is highly stable, and reliable and can precisely detect such micro-defects as knife fuse and braces less than 0.1 mm, which realizes non-destructive detection in food packaging printings.

**Keywords** Image enhancement, Wavelet transformation, Edge detection, Food packaging, Printing defects

## 1 引言

近年来,我国食品包装印刷品的种类和质量得到了极大的丰富和提高,但印刷生产中的各种因素,导致进入使用及流通环节的食品包装印刷品仍然不可避免地存在各种印刷缺陷或瑕疵<sup>[1,2]</sup>。目前,为了避免有印刷缺陷或瑕疵的产品进入使用及流通环节,主要采取抽样检测加印后逐个进行目测分拣缺陷品的人工质量检测控制方法。该方法易受目测分拣不精确等主客观因素影响<sup>[2]</sup>,检测精度不高、效率较低;同时,特别是近年来大量的软包装材料广泛应用于食品(药品)包装,由于其主要采用卷筒型高速轮转印刷,导致利用传统方法已无法检测控制其印刷缺陷。因此,近些年来利用计算机视觉技术检测方法替代“人眼识别”受到了诸多学者及相关企业的高度关注。“机器眼睛”检测能提高印刷缺陷或瑕疵检测的准

确率和效率,已在食品及烟酒包装等精细印刷品领域有较多的应用,相关研究也不断深入<sup>[3,4]</sup>,但仍存在着无法很好满足系统实时性、高精度检测要求等问题<sup>[5]</sup>,特别是针对食品包装等印刷产品的高精度、高质量检测要求,还存在误检率大等问题。对于食品软包装材料,在印刷过程中材料的轻微变形和机械抖动的影响,都可能造成检测系统的“误判”。对此,有关学者做了大量研究并提出了基于各种检测算法。章毓晋<sup>[6]</sup>提出了分区域与逐像素的融合检测算法,该算法提高了系统检测速度,降低了误码率,但无法满足高速计算条件下的实时性需求;王晓黎等<sup>[7]</sup>提出了色度测量法的检测与识别方法,其避免了人眼识别因颜色问题的影响而形成的误差,但需要在待测对象上加信号条,不能满足无损检测要求,且只能检测10 mm<sup>2</sup>大小的区域。目前,相关的检测算法除了各具优缺点外,特别是对于检测对象为小于0.1 mm的刀丝、拉条、套印偏

到稿日期:2015-01-13 返修日期:2015-03-31 本文受重庆市教委科研项目(KJ120714),重庆市社会科学规划项目(2012YBCB055),重庆市教委重点研究项目(112081)资助。

杨祖彬(1967—),男,副教授,主要研究方向为计算机图像模式识别、包装印刷及检测技术, E-mail: yzb@ctbu.edu.cn; 代小红(1969—),男,硕士,教授,主要研究方向为系统控制、模式识别和图像处理。

差等细微缺陷仍无法很好检测,不能很好地满足高精度、高质量食品包装印刷品要求的缺陷检测。在此,针对食品包装印刷品更加精细化、更高质量的发展要求,提出了一种基于图像配准的食品包装印刷缺陷检测系统。通过实验仿真表明,该系统能够实现精确检测,能有效地识别小于 0.1 mm 的刀丝类和拉条类等细微缺陷,且有较高的稳定性和可靠性,检测率达到了 100%。

## 2 检测系统设计

### 2.1 检测处理流程

设计的食品包装印刷图像缺陷检测流程见图 1。在系统检测与识别之前,系统管理人员需要采集待检测食品包装的标准图像,用此标准图像建立标准图像数据库,其可以根据企业或用户的需要增加与删减,以满足企业产品缺陷检测的多元化需求。待测产品进入检测系统后,系统首先利用具有高清晰度的高速摄像头拍摄标准图像,以此标准图像建立图像模板并将其存入模板数据库,然后再拍摄待检测品的图像,将待检测品图像与模板数据库的标准图像进行对比分析<sup>[8]</sup>。对比分析是将 2 幅图像的灰度值进行匹配,一旦发现待检测图像与标准图像的灰度值存在差异,系统再根据算法找出待检测图像缺陷的大小、位置和类型,同时发出提示信息,并将残次品归类存放,以确保准确分拣。

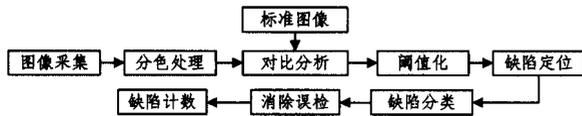


图 1 系统检测算法流程

### 2.2 检测原理分析

计算机处理是系统缺陷检测的核心,通过算法设计控制识别系统的 CCD 摄像头,获取标准对比图像,将此标准图像存入数据库,缺陷检测过程中以此标准图像作为比对模板。当系统的线阵 CCD 采集的原始图像进入系统后,与系统数据库中的标准图像进行对比与匹配,从而判断输入的待检图像与标准图像是否存在差别,如果存在差别即为印刷缺陷或瑕疵<sup>[9,10]</sup>。缺陷的检测是基于灰度图像的检测,在此设数据库标准图像为  $Q_{\text{标}}$ ,待测输入图像为  $Q_{\text{原}}$ ,系统检测的目的在于测定其差值,即  $P = |Q_{\text{标}} - Q_{\text{原}}|$ , $P$  值中包含了图像的 RGB 三色分量信息,再将差值图像  $P$  阈值化,记为  $T_1$ 。当  $P > T_1$  时,系统根据算法设计对图像的缺陷分布的像素计数,记为  $S$ 。当  $S$  大于系统设定的阈值  $T_2$  时,判定此包装图像存在缺陷。

从实际应用来看,上述原理主要针对食品包装存在的较为明显的印刷缺陷,如漏白缺陷、飞墨缺陷等;而图像中小污点或污迹缺陷较难识别,如十分细小的刀丝、尘埃、背面蹭脏、脏污、花版和糊版等缺陷。为此,对上述检测算法进行改进,当图像检测过程中系统阈值  $T_1$  确定后,缺陷定位要求对图像缺陷部分的邻近域像素采取对比分析,一旦发现比较过程中的色差值比系统起初设定的阈值大,则邻域内有细微的缺陷存在,因此图像中的细小缺陷如刀丝、细小墨点或尘埃缺陷等就能被识别与检测。

## 3 检测系统识别算法分析

### 3.1 待测图像增强

待测图像增强是指按一定的特殊需求,必须突出待测图像中的部分信息,图像增强时也将削弱或去除图像中一些不需要的信息。图像增强的目的是使处理后的图像比原始图像更适用于计算机视觉处理。待测图像增强,一是为了改善图像的视觉效果,实现图像的高清晰程度,强调或突出图像中的某些敏感特征,对图像中不同的信息特征进行放大,以满足研究者某些特殊分析的需求;二是通过对待测图像的增强处理,计算机视觉处理系统的处理能力得到明显提升,图像锐化处理后突出了图像的边缘轮廓,便于系统的目标识别与检测,图像增强突出了待测图像中感兴趣的目标图像部分<sup>[11]</sup>。图像增强算法包括空间域法和频率域法。基于空间域的算法的原理是直接对图像灰度级分析运算,去除或减弱图像中的噪声,同时进行灰度变换、灰度级校正与直方图修正处理,实现图像的均匀成像,或扩大图像的动态范围和对比度。令  $G(x, y)$ 、 $f(x, y)$  分别为增强处理后和增强处理前的图像,影射函数为  $T(x, y, z)$ ,则:

$$G(x, y) = f(x, y) \cdot T(x, y, z) \quad (1)$$

式中, $z$  的取值取决于图像增强的目的,即  $z$  随图像增强的目的的而改变。图像处理中若去除图像中的噪声,那么  $z$  应选取滤波函数进行处理;图像处理中若要将图像的轮廓边缘进行突出和强化,则式(1)中  $z$  应为锐化因子。频率域算法是通过二维正交变换处理图像  $f(x, y)$ ,实现图像增强的目的。图像  $f(x, y)$  通过二维正交变换后得到频率域  $f(m, n)$ ,则有:

$$G(m, n) = Q(m, n) \cdot f(m, n) \quad (2)$$

空间域图像是在频率域算法的基础上实现的,即通过对式(2)的反变换,获得了图像增强处理后的空间域图像。即:

$$G(x, y) = f^{-1} G(m, n) \quad (3)$$

### 3.2 图像边缘检测

图像的边缘像素准确地表达图像的基本特征,而图像的边缘是其灰度不连续的集合,图像周围像素灰度呈阶跃性变化。图像的边缘信息(图像的结构特征)是由图像颜色分量(BRG 分量)和图像纹理结构的突变引起的。一般情况下,某一个物体的图像边缘灰度值呈较平缓的分布规律,而图像边缘两侧的灰度值呈明显的阶跃式变化趋势。图像阶跃性边缘是指图像两边的像素灰度值相差过大,而屋顶状边缘是在图像灰度值从增加到减少的变化转折处形成<sup>[12,13]</sup>。边缘提取法是针对构成图像的每一像素在给定邻域范围内的灰度变换,利用边缘邻近一阶或二阶导数检测局部的方法。图像边缘是图像构成中的稳定特征,在此利用图像这一稳定特征设计印刷品缺陷检测算法,以确定图像中的缺陷大小与位置。

传统边缘检测算法需要微分运算,而这一运算会使图像对噪声较敏感,因此图像边缘检测时会将这些噪声点误认为图像的边缘点,形成图像边缘检测的错误。在此,运用小波变换改进算法进行图像边缘检测,能够有效地避免此类现象的出现<sup>[14]</sup>。小波变换检测算法能够检测图像局部的突变(图像中阶跃式变化趋势部分),也能够对图像的噪声进行有效的控制,同时也对边缘图像部分进行了较好的保护。

系统算法设计与实现利用小波变换的多尺度边缘检测算

法,  $P(x, y)$  为二维平滑函数, 其对  $x, y$  的偏导为:

$$G^x(x, y) = \frac{\partial P(x, y)}{\partial x} \quad (4)$$

$$G^y(x, y) = \frac{\partial P(x, y)}{\partial y} \quad (5)$$

对式(4)、式(5)通过小波变换, 得到了图像在尺度为  $2^i$  时  $x, y$  方向的小波变换:

$$Q_{2^i}^x F(x, y) = F(x, y) * G_{2^i}^x(x, y) \quad (6)$$

$$Q_{2^i}^y F(x, y) = F(x, y) * G_{2^i}^y(x, y) \quad (7)$$

系统算法设计中利用卷积运算处理得到了式(6)、式(7), 而该点处的边缘强度模值在此采用了二进小波变换模极大值法, 见式(8)。水平高频分量与垂直分量确定相角见式(9)。

$$u_{2^i} F(x, y) = \sqrt{|Q_{2^i}^x F(x, y)|^2 + |Q_{2^i}^y F(x, y)|^2} \quad (8)$$

$$S_{2^i} F(x, y) = \arctan\left(\frac{Q_{2^i}^y F(x, y)}{Q_{2^i}^x F(x, y)}\right) \quad (9)$$

系统在进行图像边缘检测处理时, 首先要确定相角的取值(相角在一定范围内取值), 再将中心点与其对应邻接点的模值进行大小比较。如果选取的相角对应邻接点的模值比系统初始设定的模值小, 则此部分为边缘点, 并对其进行标记; 如果选取的相角对应邻接点的模值比系统初始设定的模值大, 则去除此部分, 同时系统将其模值进行归零处理。

### 3.3 消除误检

图像轮廓是由一系列边界点所组成的。对于较小尺度物体图像的边界点能够准确定位, 但是小尺度下误检率较高; 对于较大尺度物体图像的边界点难于定位, 但是在较大尺度下能够准确定位图像的边界点, 从而有效地消除误检<sup>[15, 16]</sup>。因此, 结合各自的优点, 首先在较大尺度下检测图像的边界点, 再在较小尺度下对边界点进行准确定位。小波变换在图像算法设计中是一种多尺度和多通道的处理工具, 在此边缘检测时利用其多尺度特性。在食品包装印刷, 特别是大量食品软包装材料的印刷过程中, 由于张力的作用, 容易造成印品的变形, 致使系统检测出现对轮廓部分的误检。在此, 首先对图像的纹理图案进行轮廓部分提取, 其次对提取的轮廓部分确定阈值, 最后根据印品的变形情况统计此部分的像素, 从而实现了轮廓部分误检的消除。

## 4 实验仿真与结果分析

### 4.1 实验仿真测试

缺陷的精度可达 0.01~2.0 mm, 其中横向检测精度为 0.12 mm, 纵向检测精度为 0.26 mm; 系统生产线最大速度为 4 m/s, 检测系统在宽度与行进方向的检测精度分别为 0.15 mm/像素和 0.35 mm/像素。系统的有效性测试通过其识别率来反映, 而通用性测试在于系统处理与识别样品类别的多样性。为了验证此改进算法设计的有效性和通用性, 实验仿真测试时特别选取了涉及纸质、塑料、复合材料等 24 件产品外包装检测样品并编号, 这 24 件产品外包装检测样品取自牛奶包装、糖果包装、奶粉包装、月饼包装、香烟包装和白酒包装。同时, 这些检测样品中部分无缺陷(正品), 部分有明显的缺陷(次品), 而另外一部分样品的缺陷通过人的视觉已无法辨别, 样品中实际存在细微缺陷(伪正品)。系统处理时将这 24 件样品分别送入平台, 采用彩色相机 CCD 线阵对样品印

刷表面进行逐行拍摄与扫描, 再将得到的原图像作为系统的采集样本, 利用提出的改进算法进行处理与识别。

### 4.2 结果分析

(1) 缺陷计数。24 件检测样品的缺陷统计如图 2 所示。由图 2 可见, 样品 1、样品 4—样品 6、样品 9—样品 11、样品 13—样品 16、样品 18—样品 20、样品 22 无缺陷, 与实际食品包装样品完全符合, 属于正品; 样品 2 和样品 17 的缺陷统计数均为 1, 样品 12 和样品 24 的缺陷统计数均为 2, 样品 3 和样品 21 的缺陷统计数均为 3, 样品 8 的缺陷统计数为 4。包含了缺陷的样品属于次品, 所有样品的缺陷检测与真实情况完全符合, 准确率达到了 100%, 验证了此系统的算法设计在食品包装印刷缺陷检测中的正确性和有效性。

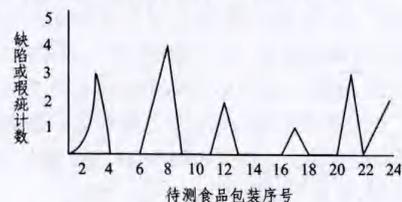


图2 印刷缺陷或瑕疵检测与识别曲线

同时, 样品 8 的 4 个缺陷中含有刀丝缺陷, 而用传统检测方法只能识别其他 3 个缺陷, 无法识别出刀丝类缺陷; 样品 2 的缺陷为 1 个尘埃缺陷(次品), 传统识别与检测方法处理后缺陷为 0。对于刀丝、尘埃类细小缺陷和较难识别的拉条类缺陷, 由于样品背景为深色, 传统人工目测面临视觉分辨困难等问题, 无法进行缺陷识别, 而所提出的改进识别算法能够对此类缺陷进行检测。

(2) 缺陷归类与大小判定。从图 2 中可以得出 24 件样品中有 7 件样品存在共计 16 个缺陷, 这些缺陷分别属于刀丝、尘埃、漏白、飞墨、蹭版和脏污等 6 类缺陷, 其缺陷检测图像见图 3。有的样品包含了多种缺陷, 如样品 8 中包含 3 种 4 个缺陷, 分别是 1 个刀丝缺陷、2 个漏白缺陷、1 个蹭版缺陷, 后 2 种缺陷也可以利用传统方法进行识别, 而细微的刀丝缺陷却无法检测, 这也是传统检测与识别方法产生漏检的原因。

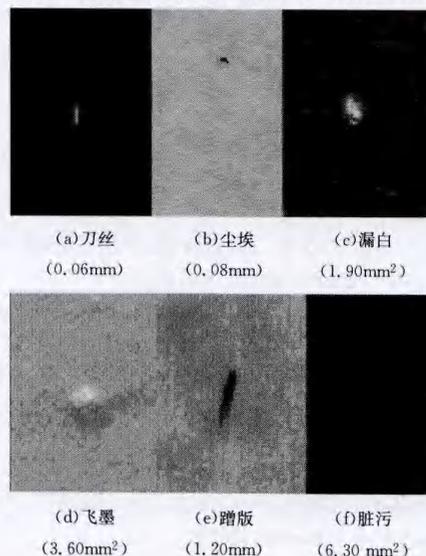


图3 食品包装印刷缺陷检测结果图像

含有印刷缺陷的印刷样品进行处理和识别后, 还可以进

行缺陷大小的判定。经该系统处理识别的缺陷大小检测见图3,图3(a)的刀丝缺陷为0.06mm;图3(b)的尘埃缺陷为0.08mm;图3(c)的漏白缺陷为1.90mm<sup>2</sup>;图3(d)的飞墨缺陷为3.60mm<sup>2</sup>;图3(e)的蹭版缺陷为1.20mm;图3(f)的脏污缺陷为6.30mm<sup>2</sup>。从检测结果可以看出,系统能够准确地检测和识别出各类缺陷。

**结束语** 食品包装与人们的生活密切相关,食品包装的装潢印刷质量是食品企业产品走向市场的关键环节,对食品产品的推介与销售及食品生产企业的品牌发展等都将产生巨大的影响。随着市场经济的发展和竞争的日趋激烈以及人们生活水平的提高,食品包装的外观质量越来越重要。计算机视觉技术的引入克服了传统检测方法的高成本、低效率和难检测等问题。通过实践证明,利用计算机视觉系统的缺陷检测方法,能够有效地避免传统印刷缺陷检测存在的问题,能够满足食品包装精细化、高质量的印刷缺陷检测要求。从样本抽取来看,本文涉及了食品包装等6类包装印品的检测与识别,抽取样品是相关企业特别提供的,样品数量为24件,检测率达到100%,实现了印刷缺陷的完全检测。

### 参考文献

[1] 薛延学,张二虎,吴学毅.基于计算机视觉的印刷包装品缺陷检测系统[J].包装工程,2004,25(5):185  
Xue Yan-xue,Zhang Er-hu,Wu Xue-yi. The Defects of Printed Matters System on the Basis of Computer Vision[J]. Packaging Engineering,2004,25(5):185

[2] 张立凡.基于机器视觉的图文印刷缺陷检测研究[D].北京:北京印刷学院,2010:2-3  
Zhang Li-fan. Study on the defect detection of graphic printing based on machine vision[D]. Beijing:Beijing Institute of Graphic Communication,2010:2-3

[3] An Meng,Jiang Zhi-guo,Zhao Dan-pei. High speed robust image registration and localization using optimized algorithm and its performances evaluation[J]. Systems Engineering and Electronics,2010,21(3):520-526

[4] Plinio M, Alexandre B, Jose S. Improving The Sift Descriptor With Smooth Derivative Filters [J]. Pattern Recognition Letters,2009,30(1):18-26

[5] 马兰.质量检测系统引领烟包印刷行业竞技新风貌[J].印刷技术,2011(4):7-10  
Ma Lan. Quality inspection system will lead the new competition wave of cigarette packaging printing industry [J]. Printing Technology,2011(4):7-10

[6] 章毓晋,黄翔宇,李睿.自动检测精细印刷品缺陷的初步方案[J].中国体视学与图像分析,2001,6(2):109-113  
Zhang Yu-jin,Huang Xiang-yu,Li Rui. A preliminary scheme for automatic detection of fine presswork defect [J]. Chinese Journal of Stereology and Image Analysis,2001,6(2):109-113

[7] 王晓黎.基于色偏检测的印品呈色特性统计分析[D].西安:西安理工大学,2010  
Wang Xiao-li. Statistical analysis of the color features of printings based on measurement of color deviation[D]. Xi'an:Xi'an University of Technology,2010

[8] 梁彬,侯看看,石文昌,等.一种基于安全状态跟踪检查的漏洞静态检测方法[J].计算机学报,2009,32(5):899-909  
Liang Bin,Hou Kan-kan,Shi Wen-chang,et al. A static vulnera-

bilities detection method based on security state tracing and checking[J]. Chinese Journal of Computers,2009,32(5):899-909

[9] 边攀,梁彬,石文昌.一种基于CIL静态分析的C#程序缺陷检测方法[J].计算机科学,2014,41(1):220-224  
Bian Pan,Liang Bin,Shi Wen-chang. CIL Static Analysis Method for C# Program Defect Detection[J]. Computer Science,2014,41(1):220-224

[10] 余永维,殷国富,蒋红海,等.磁瓦表面图像的自适应形态学滤波缺陷提取方法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2012,24(3):351-356  
Yu Yong-wei,Yin Guo-fu,Jiang Hong-mei,et al. Defect extraction method of arc magnet surface images based on adaptive morphological filtering [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics,2012,24(3):351-356

[11] 代小红.模糊模式的手写数字识别技术研究及实现[J].重庆大学学报(自然科学版),2011,34(6):117-122  
Dai Xiao-hong. Research and implementation on handwritten numeral recognition technique based on fuzzy mode[J]. Journal of Chongqing University(Natural Science Edition),2011,34(6):117-122

[12] 刘清,林土胜.数学形态学的边缘检测算法研究[J].计算机工程与应用,2008,44(35):188-189  
Liu Qing,Lin Tu-sheng. Edge detection algorithm based on multi-structure element multi-scale mathematical morphological [J]. Computer Engineering and Applications,2008,44(35):188-189

[13] 杨祖彬,曾莉红.脐橙分选包装表面损伤识别算法设计研究[J].食品工业科技,2014,35(1):264-269  
Yang Zu-bin,Zeng Li-hong. Navel orange sorting and packaging surface damage detection algorithm design based on computer vision and image processing[J]. Science and Technology of Food Industry,2014,35(1):264-269

[14] 于春睿,汪泽浩,李培玉.基于复域Contourlet特征向量的连铸板坯表面特征分类方法[J].计算机应用,2014(12):3660-3664  
Yu Ji-rui,Wang Ze-hao,Li Pei-yu. Continuous casting slab surface feature classification method based on complex Contourlet feature vectors [J]. Journal of Computer Applications,2014(12):3660-3664

[15] 汪成亮,兰利彬,周尚波.自适应分数阶微分在图像纹理增强中的应用[J].重庆大学学报(自然科学版),2011,34(2):32-37  
Wang Cheng-liang,Lan Li-bin,Zhou Shang-bo. Adaptive fractional differential and its application to image texture enhancement[J]. Journal of Chongqing University(Natural Science Edition),2011,34(2):32-37

[16] 徐宏平,万晓霞.利用小波包变换和误差扩散的打印扫描图像水印算法[J].武汉大学学报(信息科学版),2011,36(8):978-981  
Xu Hong-ping,Wan Xiao-xia. Watermarking Algorithm for Print Scan Based on Wavelet-Packet Transform and Error Diffusion[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University,2011,36(8):978-981

[17] 杨立.基于改进小波阈值函数的图像去噪[J].重庆理工大学学报(自然科学版),2013,27(2):93-95  
Yang Li. Image De-noising Based on Improved Wavelet Threshold Function[J]. Journal of Chongqing University of Technology(Natural Science),2013,27(2):93-95