

智能电表条形码图像分割与增强算法研究

谢 钢,林茂松,代彦辉

(西南科技大学 信息工程学院,四川 绵阳 621010)

摘 要:为了解决智能电表自动化检测系统中的关键技术问题,即在智能电表图像中自动定位条形码区域并识别出条码信息,通过设计维纳滤波器对图像去噪,利用一阶微分 Sobel 算法突出条形码区域达到精确分割条形码区域的目的.针对在实际工业环境中拍摄的图像模糊不清问题,提出了改进的提升小波的多分辨率图像增强算法.试验结果表明,该处理方法能够精确定位条形码,且增强后的图像能很好地保持条码的纹理信息,为识别条形码提供了可靠保证.

关键词:维纳滤波;Sobel 算子;提升小波;多分辨率

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2012.06.005

0 引言

在国家大力发展智能电网(Smart Grid)的背景下,智能电表作为智能电网建设的重要基础元件,加快智能电表产业链整合,促进其产业化,对于电网实现信息化、自动化和互动化具有支撑作用.随着国网公司计量管理方式的转变和科学技术的进步,要求计量中心能够实现智能电表检定的无人化、自动化,然而目前智能电表自动检定技术在电能计量中心尚未有应用.

要实现基于机器视觉的智能电表全自动检测,需要对智能电表身份识别,在此基础上对智能电表上的液晶屏、铭牌区域图像进行精确分割,实现液晶屏和铭牌区域的自动外观检测,这是当前智能电表自动化检定的迫切需求,也是推进电能计量应用技术发展的新课题.实现智能电表自动化检定的关键是自动识别智能电表的一维条码信息.当前一维条形码的识别算法已经很成熟^[1],准确识别条形码信息的关键是条形码的精确分割和条码图像纹理信息的增强,然而当前关于智能电表图像研究还处于一个空白阶段.本文源于国家电网公司研发课题智能电表检定机器人研究,针对目前国家电网公司流通的智能电表提出了一种通用可靠的条形码定位与识别方法.

1 图像去噪

在智能电表检定环境下所采集的图像都是受到噪声干扰的,由于采集的图像信号可近似地看成平稳随机过程,当信号与噪声同时输入时,采用维纳滤波器可以在输出端将信号尽可能精确地重现,且噪声受到最大抑制.维纳滤波器的算法思想是使 $f(x,y)$ 和 $\hat{f}(x,y)$ 之间的均方误差达到最小的准则函数来实现原始图像信号的去噪^[2],即

$$e^2 = \min E \{ [f(x,y) - \hat{f}(x,y)]^2 \}. \quad (1)$$

式中: $E\{\cdot\}$ 代表期望值的计算.因此维纳滤波器是一种最小均方误差滤波器.

设原始图像、退化图像和图像噪声为 $f(x,y)$, $g(x,y)$, $n(x,y)$,维纳滤波图像退化模型如图1所示.

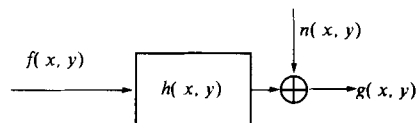


图1 图像退化过程模型

Fig.1 The model of image degradation processing

其一般表达式为:

$$g(x,y) = f(x,y) * h(x,y) + n(x,y). \quad (2)$$

式中: $h(x,y)$ 是退化函数的空间描述,也称为成

收稿日期:2012-07-11;修订日期:2012-09-01

基金项目:国防工业技术发展项目(B3120110005);四川省科技创新苗子工程资助项目(2011-022)

通信作者:林茂松(1964-),男,四川绵阳人,西南科技大学教授,博士,主要从事计算机图形图像处理、科学计算可视化技术等研究,E-mail:lms@swust.edu.cn.

像系统的冲击响应或点扩展函数(PSF);“*”表示卷积.由于空间上的卷积可等同于频域上的乘积,等式(2)具有如下等价形式:

$$G(u, v) = F(u, v)H(u, v) + N(u, v). \quad (3)$$

对原始图像(假设图像大小为 $H \times L$)进行维纳滤波的算法.首先是估计出每个像素点 $M \times N$ 邻域内的平均值和方差值,有如下两个表达式:

$$u = \frac{1}{MN} \sum_{x \in H, y \in L} f(x, y); \quad (4)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{MN} \sum_{x \in H, y \in L} f^2(x, y) - u^2. \quad (5)$$

则维纳滤波估计 $\hat{f}(x, y)$ 表达式为

$$\hat{f}(x, y) = u + \frac{\sigma^2 - v^2}{\sigma^2} (f(x, y) - u). \quad (6)$$

式中: v^2 为噪声方差,将式(6)代入等式(3)中,得其在频域中的表达式如下:

$$\hat{F}(u, v) = \left[\frac{1}{H(u, v)} \cdot \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + S_n(u, v)/S_f(u, v)} \right] \cdot G(u, v). \quad (7)$$

式中: $S_n(u, v) = |N(u, v)|^2$ 表示噪声的功率谱; $S_f(u, v) = |F(u, v)|^2$ 表示未退化图像的功率谱.由于图像噪声一般为白色噪声; $S_n(u, v)/S_f(u, v) = \text{常数}$, 本文取常数为 0.5; $h(x, y)$ 点扩展函数(PSF)为 7×7 常数矩阵,矩阵中元素都为 1:

$$h(x, y) = \frac{1}{49} \begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}.$$

2 锐化图像

为了能够准确分割智能电表上的条形码区域,需要突出条码区域.根据条形码是由黑白相间的矩形长条组成,采用基于一阶微分的 Sobel 算子锐化图像^[3],突出条形码区域. Sobel 算子的基本模板如图 2 所示.

-1	-2	1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

(a) 对水平边缘响应大 (b) 对垂直边缘响应大

图 2 Sobel 算子模板

Fig. 2 Sobel operator template

将图像分别经过两个 3×3 算子的窗口滤波, 所得结果按式(8)给出, 就可得到增强后图像的灰度值.

$$g = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}. \quad (8)$$

式中:

$$S_x = [f(i+1, j-1) + 2f(i+1, j) + f(i+1, j+1)] - [f(i-1, j-1) + 2f(i-1, j) + f(i-1, j+1)]; \quad (9)$$

$$S_y = [f(i-1, j+1) + 2f(i, j+1) + f(i+1, j+1)] - [f(i-1, j-1) + 2f(i, j-1) + f(i+1, j-1)]. \quad (10)$$

式(9)和式(10)分别对应如图 2 所示的两个滤波模板.为了简化计算,也可以用 $g = |S_x| + |S_y|$ 来代替式(8)的计算,从而得到锐化后的图像.

3 智能电表条形码图像增强

由于实际光照环境的影响,采集到的条形码区域图像比较模糊,对条码的细节信息提取增加了难度.常用的图像增强算法有:冥次变换局部增强方法,主要依赖于变换函数和窗口大小的选取,且计算量大^[4];直方图均衡化方法,主要是通过变换函数将原始图像的直方图调整为平坦的直方图,不能很好地保留图像的纹理信息^[5];基于小波变换的增强方法,主要依赖于小波函数的选取,小波变换通常能够较好地保留图像的纹理特征^[6].常用的小波变换方法有 Mallat 小波变换和提升小波变换.提升小波具有结构简单、运算量低、原位运算、存储空间较小、逆变换可以直接反转实现,以及整数到整数变换可逆的特点,但是提升小波变换后低频部分的细节信息被削弱了^[7],在提升小波的基础上,对其变换过程中细节信息进行重新构造.

3.1 改进的提升小波变换

提升算法给出了双正交小波简单而有效的构造方法,它使用基本的多项式插补来获取信号的高频分量,然后通过“保持原信号的均值和高阶矩不变”的限制条件来获取信号的低频分量.提升算法的基本思想是,将现有的小波滤波器分解成基本的构造模块,分步完成小波变换^[8-9].

考虑有 2^n 个样本值的信号 S_n , 通过变换将其分解成一个表示信号全局信息的信号 S_{n-1} 和一个表示细节信息的信号 d_{n-1} , 提升算法方案将通过分裂、预测和更新三步来完成,如图 3 所示.

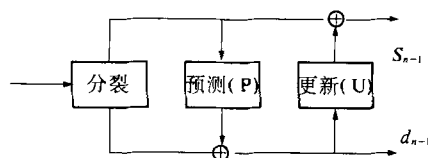


图 3 提升小波变换示意图

Fig. 3 The diagram of lifting wavelet transform

3.1.1 分裂

将输入信号 S_n 分为较小的子集 S_{n-1} 和 d_{n-1} , 根据输入信号 S_n 奇偶性将输入信号分解成偶信号 S_{n-1} 、奇信号 d_{n-1} , 这种分裂所产生的小波称为惰性小波, 分解过程表示为 $F(S_n) = (S_{n-1}, d_{n-1})$, 分解过程如图4所示. 这种分解方法充分利用了信号 S_n 的局部相关性, 为提升方案后面的预测和更新步骤提供了数据基础.

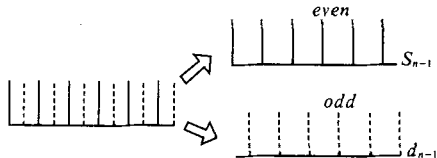


图4 信号分裂

Fig.4 The signal splitting

3.1.2 预测

在基于原始数据相关性的基础上, 用偶数序列 S_{n-1} 的预测值 $P(S_{n-1})$ 去内插奇数序列 d_{n-1} , 即将滤波器 P 对偶数序列作用以后的值作为奇信号的预测值, 奇信号的实际值与预测值相减得到残差信号, 该差值的大小体现了二者之间的逼近程度, 残差越小表明预测越精确, 拟合程度越好. 实际中利用 $P(S_{n-1})$ 和 d_{n-1} 的差来代替原来的 d_{n-1} , 若 $P(S_{n-1})$ 选择合理的话, 新的差值数据集 d_{n-1} 包含的信息量大大少于原始子集中包含的信息量.

采用 Harr 小波进行预测, 偶数序列的样本值用来预测奇数序列的样本值, 细节信息 d_{n-1} 就是奇数序列样本值和预测值之差:

$$d_{n-1} = odd_{n-1} - P(even_{n-1}). \quad (11)$$

在提升过程中, 预测有两个作用: 一是可以分离出信号的高频分量; 二是可以紧凑表示数据. 本文预测算法 $P(\cdot)$ 为信号相邻两个样本的平均. 实验结果表明, 该预测算子能够得到比较好的逼近效果, 对于边缘扩展采用周期延拓处理, 这种处理方式能够很好地保留边缘的细节信息.

3.1.3 更新

为了使原信号某些全局特征信息在其子集 S_{n-1} 中继续保持, 必须进行更新处理, 更新的步骤紧跟在预测之后. 全局信息 S_{n-1} 需要保持原始信号 S_n 的平均信息:

$$S_{n-1} = even_{n-1} + U(d_{n-1}). \quad (12)$$

式中: $U(\cdot)$ 为更新函数; 在 Harr 小波中, S_{n-1} 为奇偶样本对的平均值, 即

$$S_{n-1} = \frac{even_{n-1} + odd_{n-1}}{2}. \quad (13)$$

然后从预测步骤中恢复原始信号的样本值:

$$odd_{n-1} = even_{n-1} + d_{n-1}. \quad (14)$$

将(14)代入(13)中, 得到

$$S_{n-1} = even_{n-1} + \frac{d_{n-1}}{2}. \quad (15)$$

即等式(12)中 $U(d_{n-1}) = \frac{d_{n-1}}{2}$. 为了提高实现过程的内存使用效率, 可以进行原位运算:

$$\begin{cases} (odd_{n-1}, even_{n-1}) = Split(S_n); \\ odd_{n-1} -= P(even_{n-1}); \\ even_{n-1} += U(odd_{n-1}). \end{cases} \quad (16)$$

由上可知, 通过原位运算就不需要前级提升步骤的输出之外的数据, 这样在每个点都可以用新的数据流替换旧的数据流.

3.2 小波多分辨率

利用改进后的提升小波变换对图像进行多分辨率分析, 对一幅图像进行多分辨率分解以后, 会产生四个二维正交小波分解系数, 它们每一个都可以看作一幅图像, 笔者采用三层提升小波算法进行多分辨率分析如图5所示.

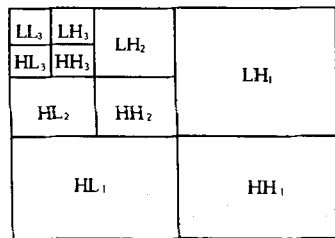


图5 三层提升小波变换示意图

Fig. 5 Three-tier lifting wavelet transform schematic

通过三层改进的提升小波变换得到小波系数 $W_k^l(x, y)$ ($k=1, 2, 3$ 表示小波分解的层数, $l=0, 1, 2, 3$ 表示对应的 LL、LH、HL、HH 频带), (x, y) 为像素点在图像中的位置坐标. 为了增强条形码的纹理特征, 要对小波变换后的系数权重化, 即 $W_k^l(x, y) = K_k^l(x, y) \cdot W_k^l(x, y)$. 笔者采用一种比例萎缩的自适应方法确定系数 $K_k^l(x, y)$:

$$K_k^l(x, y) = \frac{\max(x, y) - \text{med}(x, y)}{\text{med}(x, y) - \min(x, y)}. \quad (17)$$

式中: $\max(x, y)$, $\text{med}(x, y)$, $\min(x, y)$ 分别表示小波系数 $W_k^l(x, y)$ 中的最大值、均值和最小值.

4 实验结果与分析

笔者在 WindowsXP 下, 以 Visual studio 2008 为开发平台, 利用 C++ 编程实现智能电表条形码

的自动定位与身份识别. 图 6(a) 是智能电表的灰度原始图像, 图像噪声信息明显. 图 6(b) 经过维纳滤波器处理后的图像, 有效的消除了噪声, 图像平滑, 整体视觉效果好. 图 6(c) 是利用 Sobel 算子对去噪后的图像进行锐化, 从图中可以看出, 条形码区域明显突出, 之后通过图像二值化和行列扫描便可精确分割出条形码区域, 如图 7(a) 所示. 可以发现条形码区域的图像信息对比度较低, 纹理信息模糊. 图 7(b) 是基于局部增强算法对条形码区域图像增强的结果, 图像整体得到了明显增强, 但是图像信息不太平滑, 出现了一定的振铃现象. 图 7(c) 是基于直方图统计对条形码区域图像增强的结果, 图像的细节和噪声信息都得到了增强, 整体视觉效果不太好. 图 7(d) 是基于传统提升小波多分辨率图像增强的结果, 图像的纹理信息得到了很明显的增强, 但是图像的细节信息被削弱了. 图 7(e) 是基于改进的提升小波多分辨率增强算法对条形码区域图像增强的结果, 该处理方法在增强图像细节的同时, 压缩了噪声, 并对图像进行整体增强, 图像较平滑, 图像的整体视觉效果好.

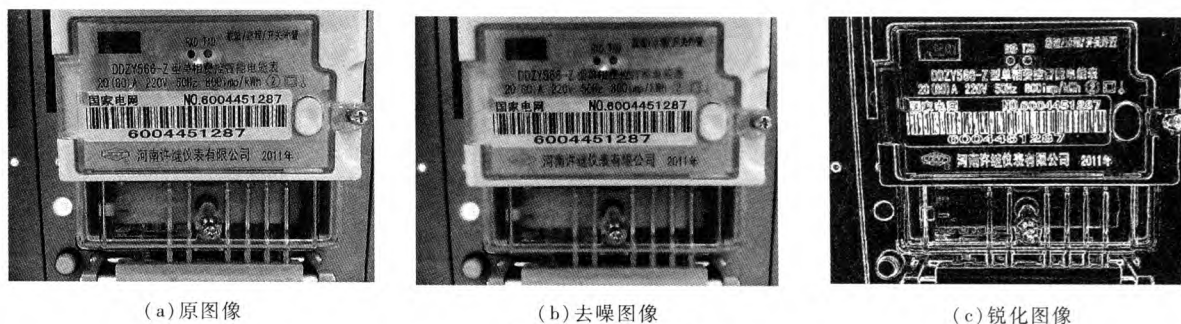


图 6 图像预处理

Fig. 6 The image Pre-protololy

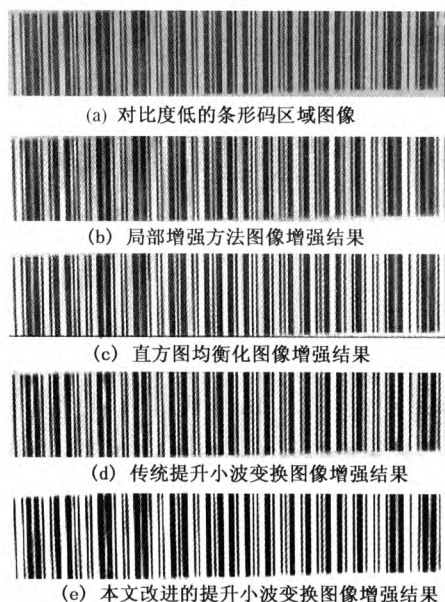


图 7 图像增强后的结果

Fig. 7 The image enhancement results

5 结束语

为了填补基于机器视觉的智能电表自动检测技术在电能计量中心的研究空白, 对智能电表条形码区域图像分割与增强技术研究. 笔者利用维纳滤波去噪效果明显, 通过 Sobel 算子突出条形

码区域, 之后通过图像扫描达到精确分割条形码区域的目的, 该方法在当前流通的智能电表中具有通用性并且条形码区域定位准确. 然而往往实际采集到的条形码区域都比较模糊, 为了能够准确无误地解码出条形码, 需要对条形码区域进行增强, 笔者提出了一种改进的提升小波多分辨率方法, 从整体上增强图像的细节纹理特征, 使增强后的图像较平滑, 图像的整体视觉效果好, 为能够正确识别条码信息提供了可靠保证.

参考文献:

- [1] 谢俊喜. 基于数字图像处理的条形码识别方法与应用研究[D]. 长沙: 中南大学信息工程学院, 2008.
- [2] 张德丰, 张葡青. 维纳滤波图像恢复的理论分析与实现[J]. 中山大学学报, 2006, 45(6): 45-47.
- [3] 朱秀昌, 刘峰, 胡栋. 数字图像处理与图像通信[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2008.
- [4] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 第二版. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [5] BRADSKI G, KAEHLER A. 学习 OpenCV(中文版)[M]. 于仕琪, 刘瑞祯, 译. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [6] 宋娜. 基于小波分析的车牌图像增强与字符识别研究[D]. 重庆: 重庆大学信息工程学院, 2010.

(下转第 58 页)

Low-temperature Viscoelastic Model for Hot-Poured Sealant of Asphalt Pavement

LI Feng, HUANG Song-chang, SHI Xiao-pei

(Key Laboratory of Road Structure & Material, Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 100088, China)

Abstract: In order to describe the constitutive stress-strain relationship of hot-poured bituminous crack sealants at low service temperatures, the mechanical behavior of extension-relaxation process was analyzed by Boltzmann superposition principle based on standard linear model. The extension-relaxation equations of sealants were deduced. The constant strain extension and stress relaxation tests of six sealants were conducted with the bond test of ASTM D5329. Three strains were 2.25 mm, 3.75 mm and 6.90 mm respectively. Standard linear solid model was used to characterize the test results, and the fitting equations of extension and relaxation were developed. The equations displayed agreement with the test results very well both in the extension and relaxation process. It turned out that the mechanical behavior of hot-poured sealants can be accurately described by standard linear solid model, and the fitting accuracy of the model is higher when the strain is smaller.

Key words: road engineering; viscoelasticity; standard linear solid model; hot-poured sealant; strain; stress relaxation

(上接第 22 页)

[7] 倪林. 小波变换与图像处理[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2010.

[8] 韩丽娜, 耿国华. 基于小波变换的真彩图像降噪和增强[J]. 计算机工程, 2010, 36(12): 224 - 228.

[9] CHANG S G, YU B, MARTIN V. Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(9): 1532 - 1546.

The Research on the Smart Meter Barcode Image Segmentation and Enhancement Algorithm

XIE Gang, LIN Mao-song, DAI Yan-hui

(School of Information Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: In order to solve the key technical problem in the smart meter automatic detection system: automatically positioned the barcode region and identified the barcode information, this paper designed the Wiener filter to image de-noising, highlighted the barcode region with first derivative Sobel algorithm to achieve the purpose of the barcode area accurate segmentation. For the blurred image taken in real industrial environment, the image enhancement algorithm based on improved lifting wavelet multi-resolution was put forward. The experimental results show that this method is able to accurately locate the barcode, and the enhanced image maintains the texture information of the barcode well, which provides reliable guarantee for the barcode identification.

Key words: Wiener filter; Sobel operator; lifting wavelet; multi-resolution