

基于小波变换的带钢表面缺陷图像增强算法

孙秀明¹, 吴贵芳¹, 徐金梧², 徐 科²

(1. 河南科技大学电子信息工程学院, 洛阳 471003; 2. 北京科技大学高效轧制国家工程研究中心, 北京 100083)

摘 要: 针对传统图像增强算法在处理有大量噪声、光照不足或不均匀的图像, 尤其是实际现场的带钢表面图像时效果较差的问题, 提出基于小波变换的图像增强算法, 将其应用于冷轧带钢表面缺陷图像的增强中。对比实验结果表明, 该方法的增强效果和抗噪性能明显优于传统算法。

关键词: 冷轧带钢; 表面缺陷图像; 小波变换; 图像增强

Image Enhancement Algorithm for Strips Surface Defect Image Based on Wavelet Transform

SUN Xiu-ming¹, WU Gui-fang¹, XU Jin-wu², XU Ke²

(1. Electronic Information Engineering College, Henan University of Science & Technology, Luoyang 471003;

2. National Engineering Research Center of Advanced Rolling Technology, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083)

【Abstract】 Traditional image enhancement algorithms can not get ideal effect when processing the images with lots of noises and insufficient or non-symmetric light, especially for surface images of cold rolled strips on industrial site. To settle the problem, this paper proposes a wavelet-based algorithm for image enhancement and applies it to enhance strips surface defect images. Experiments show that the algorithm excels traditional ones in image enhancement effects and anti-noise capabilities.

【Key words】 cold rolled strips; surface defect image; wavelet transform; image enhancement

1 概述

在带钢生产过程中, 为了达到对表面质量的实时监控, 需要利用 CCD 摄像头采集生产线上高速运行的带钢表面图像。图 1 展示了一套冷轧带钢表面质量在线监测系统的总结构图^[1]。该系统能自动对正在生产的冷轧带钢表面图像进行实时监控, 并自动保存具有缺陷的图像, 记录缺陷的准确位置、几何形状、大小以及类型等信息, 由此确定带钢质量等级, 供生产管理人员参考。

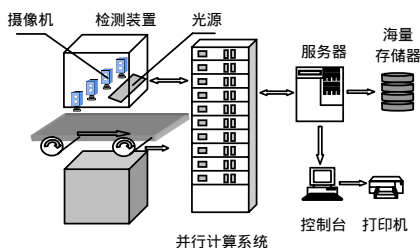


图 1 系统总体结构

由于现场工作环境恶劣, 缺陷往往伴随着许多噪声混杂在图像中, 同时带钢在辊道上的抖动及环境光的影响会造成带钢表面光照不均, 因此采集到的图像光照不均明显, 有些缺陷与背景之间没有明显的灰度变化, 缺陷形态复杂, 缺陷灰度与背景灰度有交叉^[2]。因此, 对缺陷图像进行处理的过程中, 必须进行图像增强处理, 以更准确地提取缺陷区域。

传统的图像增强算法在改善图像对比度和增强图像细节的同时放大了噪声, 且只能从图像整体角度修正光照不均匀的图像, 虽能较好地保持图像的原始概貌, 但局部对比度的增强效果不佳^[3]。而小波变换具有良好的空间(时间)和频率局

部特性, 能检测到信号的局部突变, 被誉为“数学显微镜”^[4]。因此, 本文提出一种基于小波变换的图像增强算法, 实验表明, 其增强效果和抗噪性能优于传统算法。

2 基于小波变换的图像增强算法

2.1 小波变换

小波分析方法具有良好的时频局部化及“变焦距”特性, 有利于信号的精细分析。对函数 $f(x)$ 进行多级小波变换, 能够得到一个低频分量 C_j 和高频分量 D_j , 对低频分量 C_j 继续分解可以得到 $f(x)$ 的多级小波, 表示为

$$W_j(f(x)) = \{C_j = W_{j+1}(f(x), D_j)\} \quad (1)$$

其中, $1 \leq j \leq Scale$; j 为小波层; $Scale$ 为小波分解的尺度数。

本文采用基于 $\hat{\alpha}$ trous 算法的小波变换^[5]对图像进行多级小波分解。 $\{C_0(k)\}$ 为信号 $f(x)$ 和尺度函数 $\phi(x)$ 的标量积。假设图像系数数据 $\{C_0(k)\}$ 经过 $\phi(x)$ 的一次滤波后所得的数据为 $\{C_1(k)\}$ (k 对应位移), 则 $\{C_0(k) - C_1(k)\}$ 包含 2 尺度低频的信息差, 即高频细节信号, 也是对应尺度函数小波变换的结果。而小波函数 $\varphi(x)$ 与尺度函数 $\phi(x)$ 有如下关系:

$$\frac{1}{2}\varphi\left(\frac{x}{2}\right) = \phi(x) - \frac{1}{2}\phi\left(\frac{x}{2}\right) \quad (2)$$

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50074010); 国家“863”计划基金资助项目(2003AA331080); 河南科技大学人才科学研究基金资助项目(09001121)

作者简介: 孙秀明(1982-), 女, 硕士研究生, 主研方向: 图像处理, 模式识别; 吴贵芳, 副教授、博士; 徐金梧, 教授、博士; 徐 科, 研究员、博士

收稿日期: 2008-04-10 **E-mail:** weigarg1982@126.com

尺度函数实际上是一个低通滤波器。在 j 次滤波后所得的低频信号数据可以表示为

$$C_j(k) = \frac{1}{2^j} \left\langle f(x), \phi\left(\frac{x-k}{2^j}\right) \right\rangle = \sum_l h(l) C_{j-1}(k+2^{j-1}l) \quad (3)$$

其中, $h(l)$ 为低通滤波算子; 小波系数为

$$w_j(k) = \{C_{j-1}(k) - C_j(k)\}$$

2.2 算法原理

经小波分解后, 图像由一系列倍频程划分的频带时的多个高频带数据和一个低频带数据组成, 图像细节和噪声都表现为高频的小波系数, 因此, 在增强小波系数的同时, 噪声也得到了加强。根据信号和噪声在小波域内的不同相关特性将信号与噪声分离, 即信号在尺度间相应位置上的小波系数具有很强的相关性, 而噪声的小波系数则表现为弱相关或根本不相关。这样就可以判断不同尺度的高频分量中, 哪些小波系数由图像中的细节特征产生, 哪些由噪声产生。另外, 照明光光强不均匀, 其光强分布将随空间坐标缓慢变化而表现为低频分量。因此, 根据尺度间高频小波系数同一位置小波系数相关性的大小, 可以有效区分噪声信号和图像细节信号, 并且针对不同原因造成的高频小波系数进行不同的处理。对低频信息进行压缩也可以减小光照不均造成的图像降质。图 2 为整个算法的处理流程。

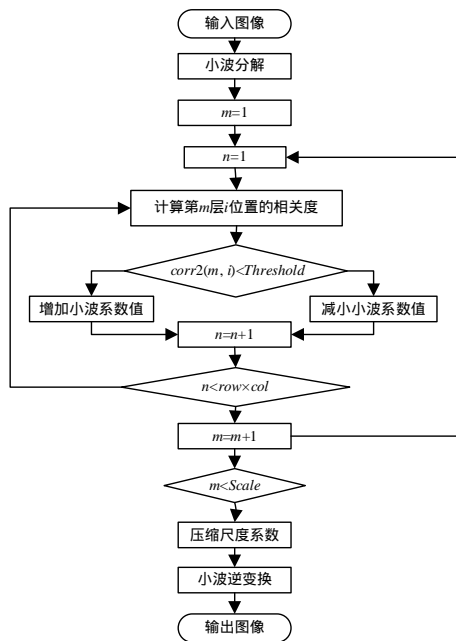


图 2 算法处理流程

2.3 尺度间相关降噪增强细节

利用小波域尺度间相关量的大小可以将噪声和边缘细节分开, 相关量就是相邻尺度同一位置上系数的乘积, 其相关系数为

$$\text{Corr}_j(k) = w_j(x, y, k) w_{j+1}(x, y, k) \quad (4)$$

其中, (x, y) 为任意位置; k 为相对 (x, y) 的偏移量; w_j 尺度为 j 的小波系数。但随着尺度的增加, 细节越来越少, 小波系数值会减小。为了保持图像能量级不变, 必须对小波相关算子进行归一化, 以得到归一化小波相关量。

如果小波系数是由噪声产生的, 则可以通过收缩函数收缩此系数。如式(5)所示:

$$w_{out} = \begin{cases} \text{sign}(w_m) \times (|w_m| - T_1) & |w_m| > T_1 \\ 0 & |w_m| \leq T_1 \end{cases} \quad (5)$$

对有图像细节产生的小波系数进行如下扩大增强处理:

$$w_{out} = \begin{cases} D_{in} & D_{in} > T_2 \\ w(T_1) + G \times (D_{in} - T_1) & T_1 < D_{in} < T_2 \\ \text{sign}(D_{in}) \times |D_{in}|^\gamma & |D_{in}| < T_1 \\ -w(T_1) + G \times (D_{in} + T_1) & -T_2 < D_{in} < -T_1 \\ D_{in} & D_{in} < -T_2 \end{cases} \quad (6)$$

其中, $T_n = \sqrt{2 \lg(N) \sigma} / \sqrt{N}$, N 为信号的长度, σ 为小波系数标准差; $T_2 = A \times \max(D_{in})$, $0 < A < 1$; $w(T_1) = (T_1)^\gamma$ 。

2.4 尺度系数的压缩

图像的光照不均和不足造成图像中包含的“最亮”和“最暗”的比值较高, 根据人的视觉特性, 在太高或太低的亮度下, 增强细节信息意义不大, 所以, 要调整图像亮度压缩动态范围, 具体的处理方法如下:

$$C' = \sum_{n=1}^N W_n C_n \quad (7)$$

其中, W_n 为权重, 且满足 $\sum_{n=1}^N W_n = 1$; C_n 是尺度为 n 的尺度系数; C' 为尺度压缩后的尺度量。

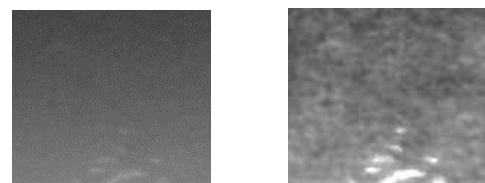
3 实验与结果分析

为了验证本算法的有效性, 采用了一些从现场在线采集的低对比度缺陷以及光照不均的样本图像。由于边缘轮廓等特征在不同尺度上的空间位置可能发生一定的偏移, 因此根据实验计算复杂度以及整体性能的需要, 相关系数计算公式中的计算乘积尺度个数为 3, 这样不仅可以去除噪声、保持边缘的准确性, 而且在减弱光照不均的同时保留了图像本身的低频信息, 得到的结果接近最优。对于尺度系数采用多尺度压缩处理, 选用了 3 个尺度, C_n 的取值分别为 15, 70, 210, 权重的取值均为 1/3。小波系数有 3 个参数, 分别是 2 个小波阈值 T_1, T_2 和一个最大增益值 $MaxG$, 其设置如表 1 所示。

表 1 最优参数设置

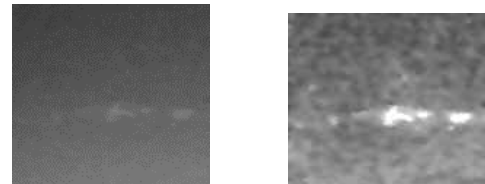
小波层	MaxG	T_1	T_2
1	15	2	35
2	20	2	43
3	13	1.7	35

可以看出, 图 3(a) 中的缺陷轮廓模糊, 视觉效果不明显, 光照影响使图像上下亮度不均。经处理后, 较模糊的细节得到了增强, 图 3(a) 下方无法目测到的一小块缺陷在图 3(b) 中可以清楚地显示。图 3(c) 经过本文算法处理后如图 3(d) 所示, 光照不均引起的动态范围得到了压缩, 光照不均得到了改善, 图像细节部分清晰, 层次感强, 增强效果良好。



(a) 低对比度粘结缺陷

(b) 图 3(a) 的增强效果



(c) 低对比度辊印缺陷

(d) 图 3(c) 的增强效果

图 3 典型缺陷图像的增强效果

4 与传统图像增强算法的性能比较

本文还设计了一个对比实验,将本算法的处理效果与直方图均衡化算法、同态滤波的算法进行对比,以验证其抗噪性能和图像增强效果。

表 2 为不同算法图像增强指标的对比,可以看出,经过直方图均衡化算法、同态滤波和小波增强算法处理后的图像与原图像相比,标准差和对比度增强这 2 个性能指标有了很大的提高,但是经本文算法处理后的图像其系数改善最大,说明本文的算法对于光照不足或不均匀图像的增强效果最显著。

表 2 不同算法图像增强指标的对比

指标	处理方法			
	原图像	直方图均衡化	同态滤波	本文算法
均值	92	102	125	114
均方差	27.64	65.70	35.40	61.30
改善指数	1.0	1.46	1.28	1.68

为了验证算法的抗噪性,采用了信噪比作为对比的标准,从表 3 可以看出,经本文算法处理后的图像其信噪比明显高于原图像以及其他 2 种算法处理后的图像,主要是因为本算法将信号和噪声分开处理,在增强信号的同时使噪声得到抑制,有效提高了信噪比。

表 3 不同算法的图像信噪比对比 dB

图像样本	原图像	直方图均衡化	同态滤波	本文算法
图 3(a)	45.672	56.693	50.438	61.259
图 3(c)	50.173	60.361	53.167	63.431

(上接第 207 页)

出现大类的调节因子比小类的低的情况。随后的若干次分类精度比较接近它,中间也有大类的调节因子比小类的低的情况,但分类精度都没有超过它。

实验 3 为了检验算法的稳定性,又从网上下载了二十多天的、讨论房价的帖子,分 6 组进行了测试,测试结果如图 2 所示。

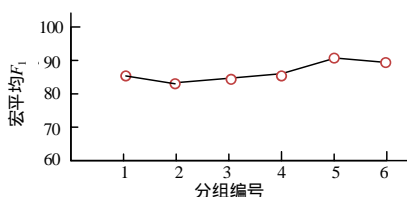


图 2 算法稳定性测试结果

从实验结果看,6 组测试中,宏平均 F_1 的值最低为 83.95%,最高为 91.31%,可见本文提出的基于反馈信息的特征权重调整分类方法的稳定性较好。

4 结束语

本文针对两类分类中常见的数据偏斜问题,提出了基于反馈信息的特征权重调整方法,其基本思想是利用上一轮分类的反馈信息,计算调节因子,降低分类算法对大类的偏重,平衡大类和小类。实验表明:该方法可以有效地解决数据偏斜问题,显著提高分类效果。

5 结束语

本文利用小波不同尺度的噪声和细节系数表现出不同相关性的原理,分别采用不同的处理方法,不仅使不同尺度下的图像细节信号得到了增强,而且使不同尺度下的噪声信号得到了有效的消除和抑制。同时研究了多尺度灰度范围压缩方法,较好地消除了光照不均和不足的低频尺度系数给整个图像带来的影响。

实验表明,在抗噪性能和图像增强效果 2 个方面,基于小波的图像增强算法明显优于传统算法,并能较好地应用于带钢表面缺陷图像的预处理中,从而更准确地提取表面缺陷以及相应缺陷的特征,具有较高的应用价值。

参考文献

- [1] 徐科,徐金梧,鹿守理,等. 冷轧带钢表面自动监测系统研究[J]. 钢铁, 2000, 35(10): 63-66.
- [2] 王成明,颜云辉. 一种新的冷轧带钢表面缺陷图像模式[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(13): 209-210.
- [3] 张春梅. 一种能保留图像边缘信息的去噪新方法. 中国图像图形学报, 2006, 11(10): 1464-1467.
- [4] Lian Jing. Research of Spline Wavelet Adaptive Thresholds Multi-scale Edge Detection Image Analysis Techniques[J]. Journal of System Simulation, 2005, 18(6): 1473-1477.
- [5] Shensa M J. Discrete Wavelet Transforms Wedding the à trous and Mallat Algorithms[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1992, 40(10): 2464-2482.

参考文献

- [1] 苏金树,张博峰,徐昕. 基于机器学习的文本分类技术研究进展[J]. 软件学报, 2006, 17(9): 1848-1859.
- [2] Chawla N V, Japkowicz N, Kotcz A. Editorial: Special Issue on Learning from Imbalanced Data Sets[J]. Sigkdd Explorations Newsletters, 2004, 6(1): 1-6.
- [3] Brank J, Grobelnik M. Training Text Classifiers with SVM on Very Few Positive Examples[R]. Microsoft Research, Tech. Rep.: MSR-TR-2003-34, 2003.
- [4] Tan S. Neighbor-weighted K-nearest Neighbor for Unbalanced Text Corpus[J]. Expert Systems with Application, 2005, 28(4): 667-671.
- [5] 李艳玲,戴冠中,朱焯行. 基于类别空间模型的文本倾向性分类方法[J]. 计算机应用, 2007, 27(9): 2194-2196.
- [6] 黄冉,郭嵩山. 基于类别空间模型的文本分类系统的设计与实现[J]. 计算机应用研究, 2005, 22(8): 60-63.
- [7] 代六玲,黄河燕,陈肇雄. 中文文本分类特征抽取方法的比较研究[J]. 中文信息学报, 2004, 18(1): 26-32.
- [8] 陈治纲,何丕廉,孙越恒,等. 基于向量空间模型的文本分类系统的研究与实现[J]. 中文信息学报, 2005, 19(1): 36-41.
- [9] 樊兴华,孙茂松. 一种高性能的两类中文文本分类方法[J]. 计算机学报, 2006, 29(1): 124-126.
- [10] 张启蕊,张凌,董守斌,等. 训练集类别分布对文本分类的影响[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2005, 45(1): 1802-1805.