

带钢图像灰度补偿算法研究

彭铁根¹, 何永辉¹, 宗德祥¹, 盛君龙²

(1. 宝钢研究院, 上海 201900 2. 宝信软件股份有限公司, 上海 201203)

摘要: 在应用 CCD 作为图像传感器进行带钢表面缺陷视觉检测时, 经常由于现场条件限制或材料平面度误差的影响而无法得到理想效果的带钢图像。当用线阵 CCD 进行带钢表面缺陷检测时, 往往由于传感器尺寸较大而镜头到带钢的距离有限, 获得的带钢图像呈现出中间偏亮、两侧偏暗的成像效果。针对此类图像应用最小二乘法拟合二次曲线方程, 得到曲线参数, 并对带钢图像进行了灰度补偿, 获得了较为满意的灰度均衡效果。

关键词: 线阵 CCD; 灰度补偿; 最小二乘法

中图分类号: TP391 **文献标识码:** B **文章编号:** 1008-0716(2008)03-0078-03

Research on Algorithm of Grey Scale Compensation for Steel Strip Images

Peng Tiegen¹, He Yonghui¹, Zong Dexiang¹, Sheng Junlong²

(1. Baosteel Research Institute, Shanghai 201900, China;

2. Baosight Software Co., Ltd., Shanghai 201203, China)

Abstract When CCD is used as the image sensor to detect steel strip's surface defects, it is very often that no satisfactory image can be obtained for the field restriction and the error of the material's surface smoothness. When the linear CCD was applied to the detection of the strip surface defects, because the size of the sensor was comparatively larger and the distance between the sensor and the steel strip was limited, the image got by the sensor would be brighter in the middle and darker at both sides. For these images, a method using least square principle fitting quadratic curve was adopted and some curve parameters were obtained. In this way, the pixel grey scale was compensated and the experimental results were satisfactory.

Key words linear CCD; grey scale compensation; least square principle

0 前言

表面缺陷是影响带钢质量最为重要的因素之一, 近年来国内外的一些研究机构都致力于带钢表面质量在线检测技术的研究。表面缺陷的检测和控制, 对于剔除废品、减少原料浪费、提高成材率、改善工人劳动条件都有重要意义^[1]。而如何在生产过程中检测出带钢的表面缺陷, 从而控制和提高带钢产品的质量, 一直是钢铁生产企业非常关注的问题。

带钢表面缺陷检测涉及计算机技术、模式识别、图像处理、光学工程等多个领域的专业知识, 而缺陷图像的分割和缺陷类型的识别是检测系统的核心部分。在缺陷图像的分割阶段, 有效的图

像预处理算法, 将有助于缺陷图像的准确分割和精确识别。由于带钢横向幅度较大, 成像时一般采用像素点较多的线阵 CCD, 这样将导致传感器的长度较长。实际应用中, 即使采用了 F-MOUNT 镜头, 还是会由于传感器尺寸及现场环境等因素, 影响传感器的正常影像感光, 从而产生显著的暗淡、灰阶不均匀的不良成像效果。文献[2]采用了二维高斯退化模型对灰度图像进行补偿, 该算法首先需要建立退化模型, 而造成图像灰度失真的原因很多, 因而很难得到真实的退化模型; 另外, 在退化模型建立后还需估计模型参数, 而参数的估计过程非常复杂, 所以该算法并不适合在实际系统中的应用。本文针对这类图像, 在图像纵向将其像素灰度进行投影, 并采用最小二乘法对纵向灰度均值曲线进行拟合。该算法所需的参数可以直接通过查表的方式获得, 因此更为简单、有效。

彭铁根 博士 1977年生 2006年毕业于上海交通大学

现从事带钢表面缺陷检测研究 电话 26649949

E-mail pengtieger@yahoo.com.cn

1 灰度投影曲线拟合

理想情况下,无缺陷的带钢图像纵向灰度值投影应该完全相同,灰度值投影曲线表现为一条水平直线。从图像横向进行观察时,由于成像不良,可以看到图像中间偏亮,两侧偏暗,图像纵向灰度值投影呈现出一条开口向下的曲线。为了对两侧的图像像素进行灰度补偿,假设灰度曲线服从二次曲线方程,并应用最小方差的原理进行曲线拟合^[3]。采用二次曲线而不是三次或者更高次的曲线拟合,是为了尽量减少与感光模型之间的误差,并使拟合曲线更接近理想情况下的曲线函数。

设带钢表面图像为 $I_{m \times n}$, 纵向灰度值投影数据为 $(x_i, y_i) (i=1, 2, \dots, n)$, 其中 x_i 表示像素横向坐标, y_i 为图像像素纵向灰度投影均值。设灰度值拟合曲线方程为 $f(x) = ax^2 + bx + c$, 曲线拟合误差平方和为:

$$S(a, b, c) = \sum_{i=1}^n Q_i^2 = \sum_{i=1}^n [f(x_i) - y_i]^2 \tag{1}$$

为使误差平方和最小, 分别对参数 a, b, c 求偏导, 并令

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + bx_i + c - y_i)x_i^2 = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + bx_i + c - y_i)x_i = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial c} = 2 \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + bx_i + c - y_i) = 0 \end{cases} \tag{2}$$

整理后可以得到:

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^4 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i & n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i \\ \sum_{i=1}^n y_i \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\text{令 } X = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^4 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i & n \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i \\ \sum_{i=1}^n y_i \end{bmatrix}, \text{ 可}$$

知 X 为对称正定阵。因此得到参数 a, b, c 的解:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = X^{-1} Y \tag{4}$$

2 灰度补偿测试

因为带钢图像较大, 可以先应用双线性插值

算法缩小图像。本例中, 为了节省计算时间, 将带钢图像缩小到其原始大小的 $1/4$ 。由公式 (3) 可以看出, 如果图像幅面大小一定, 则可事先计算出矩阵 X 中各元素的值及 X 的逆。这样, 进行曲线拟合时, 只需计算 Y 向量中的 3 个值, 即 $\sum_{i=1}^n y_i x_i^2, \sum_{i=1}^n y_i x_i$ 和 $\sum_{i=1}^n y_i$ 。如果希望将图像像素补偿到一个期望灰度值, 则可以根据拟合曲线计算每一列上像素需要补偿的灰度值。试验先选取一张没有缺陷的图像进行测试, 图像像素为 $1\,007 \times 1\,514$ 双线性插值之后的图像像素为 503×757 , 由此可以得到矩阵 X 各元素的值以及 X 的逆。另外, 可以事先算出图像幅度从 $1 \sim 2\,048$ 像素所对应的矩阵及其逆, 从而简化曲线拟合过程中的矩阵计算。

如果将带钢图像的灰度均值调整到 128, 则试验图像纵向投影灰度值曲线、拟合曲线及灰度补偿曲线如图 1 所示。

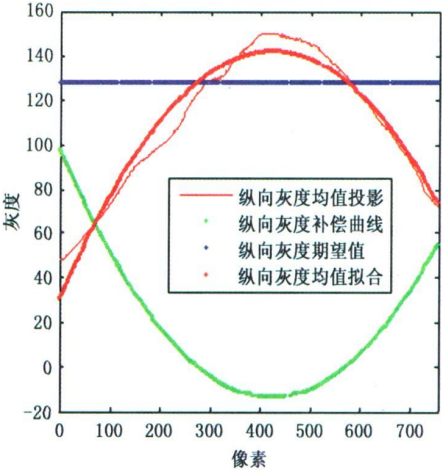


图 1 灰度拟合及补偿曲线

Fig 1 Grey scale fitting and compensation curves

试验使用的图像及其补偿之后的效果如图 2 所示。从效果图可以看出, 经过灰度补偿之后, 图像灰度较为均匀, 较好地修正了成像过程的感光不均。灰度补偿之后的图像再进行梯度和二值化运算, 可以较为准确地确定缺陷存在的区域, 同时, 也有利于提取缺陷区域的特征参数, 从而提高缺陷识别的准确率。

为了确定相邻及不相邻图像帧之间各拟合参数的变化情况, 针对两组图像进行了测试。测试得到图像像素为 $1\,007 \times 1\,514$ 的各参数如表 1 所示。从表 1 可以看出, 相邻两帧图像的参数变化非常小。

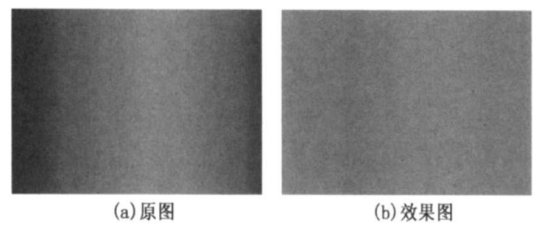


图 2 灰度补偿
Fig 2 Grey scale compensation

表 1 试验数据

Table 1 Experimental data

序列	图像名称	$a/10^{-4}$	b	c
1	Image_01_00005.tif	- 1 612 8	0 274 70	28.931
	Image_01_00009.tif	- 1 609 7	0 273 90	29.283
	Image_01_00010.tif	- 1 610 8	0 275 09	28.755
	Image_01_00011.tif	- 1 609 4	0 274 78	28.512
	Image_01_00012.tif	- 1 600 1	0 272 70	29.067
	Image_01_00013.tif	- 1 600 2	0 272 70	29.195
2	Image_01_00020.tif	- 1 591 1	0 270 97	29.671
	Image_02_04727.tif	- 1 12 25	0 177 06	34.279
	Image_02_05259.tif	- 1 11 02	0 175 87	36.065

另外,还必须考虑边界处的图像,如图 3 所示的带钢图像。在进行拟合曲线之前,必须先确定

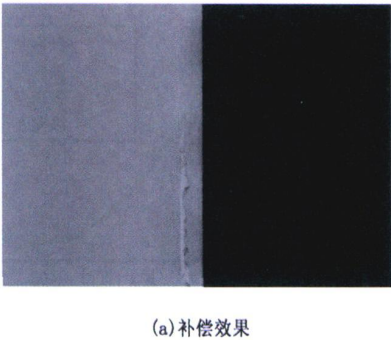


图 4 边界处的带钢图像灰度补偿

Fig 4 Grey scale compensation for the steel strip image on the border

对于线阵 CCD 输出的图像,从试验可以看出,应用最小二乘法进行的曲线拟合及由此实现的灰度补偿,得到了较为满意的灰度修正效果。另外,由于可以先计算出矩阵 X 及其逆的所有可能的取值,在进行灰度补偿运算时,通过查表的方法获得矩阵中各元素的值。这样,可以快速地实现灰度补偿运算,满足实时检测的需要。

参 考 文 献

[1] 韩琦. 冷轧带钢表面缺陷检测若干关键技术研究[D]. 成都

边界的位置。
图 4(a)为图 3(b)中带钢图像的补偿效果,拟合曲线如图 4(b)所示。在图 3(b)中,先判断边界所在的位置,然后针对左侧的带钢图像区域进行灰度补偿,而右侧的边界区域则不予考虑。从图 4(a)中可以看出,经过补偿后的带钢图像区域灰度得到了较好的校正。

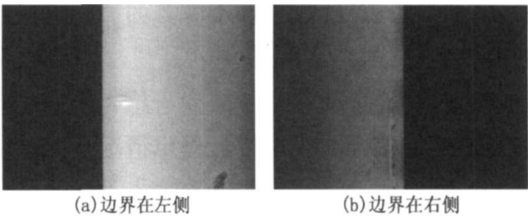
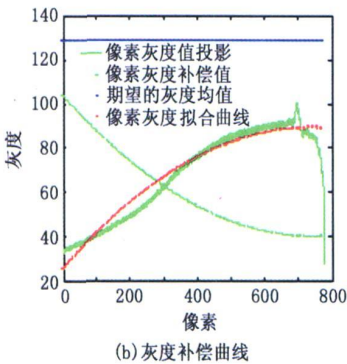


图 3 边界处带钢图像

Fig 3 Steel strip images on the border

3 结论

试验结果表明,相邻两帧的曲线拟合参数变化很小。计算后发现,相邻两帧图像的参数变化情况对灰度补偿结果的影响非常小。这样,可以考虑每 10 帧或更大间隔帧数做一次曲线拟合,以节约像素灰度值补偿的时间。



电子科技大学硕士学位论文, 2006: 2-3
[2] 李炜, 黄心汉, 王敏, 等. 基于二维高斯曲面拟合的图像灰度补偿算法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(2): 43-45.
[3] 陈光, 任志良, 孙海柱. 最小二乘法曲线拟合及 Matlab 实现[J]. 兵工自动化, 2005, 24(3): 107-108

(收稿日期: 2007- 09- 20)
(改稿日期: 2008- 02- 28)