

文章编号:1000-582X(2007)12-0025-05

# 基于形态学的冷轧薄板板形识别

申志强<sup>1,2</sup>, 陈 韬<sup>2</sup>, 钱基业<sup>1</sup>, 张新宇<sup>1</sup>, 曹长修<sup>1</sup>

(1. 重庆大学自动化学院, 重庆 400030; 2. 重庆钢铁股份有限公司 冷轧薄板厂, 重庆 400080)

**摘 要:**为了解决冷轧薄板板形识别问题,采用基于形态学的图像处理方法。利用高帽变换对板形图像进行增强,对增强后的图像进行二值化,生成缺陷图像,消除二值缺陷图像中的干扰信号,分析二值缺陷图像,判定板形的类别。给出了基于二值形态学的图像消噪算法和基于灰度形态学的图像增强算法。提出了基于高帽变换的板形识别算法和基于对比思想的板形识别算法。根据上述方法进行了板形识别系统的硬件、软件设计,实际应用表明,该方法可以有效地识别出常见的板形。

**关键词:**形态学;图像处理;冷轧薄板;板形识别

**中图分类号:**TP274

**文献标志码:**A

冷轧薄板的板形质量是钢板轧制生产过程中的一个重要控制指标,它直接影响和决定钢板的最终质量。因此,钢板板形识别技术在钢板轧制生产过程中占据非常重要的地位。目前国内外广泛采用板形仪对钢带进行板形缺陷的识别,已经成熟并投入使用的板形仪按其接触关系可划分为接触式和非接触式两大类。接触式板形仪采用的检测方法主要有辊式测张法,特点是测量精度较高,但其造价高,维护费用高。非接触式板形仪采用的检测方法主要有电磁法、光学法、测振法、测扰度法及弹性辊变位测距法等,具有硬件结构简单,易维护,造价及备件相对便宜,安装方便且不会划伤板面的优点。因此,各种非接触式板形识别方法在现代钢铁企业中日益受到重视。

由于图像检测具有非接触性检测、直观、智能性等优点,国内外学者对工业图像检测手段在钢铁行业中的应用作了深入研究<sup>[1]</sup>。板形识别都是利用缺陷表面的光学特性与正常表面的光学特性之间的差异以及缺陷的特征来判断和识别<sup>[2-3]</sup>,徐科等人<sup>[4-5]</sup>提出了几种冷轧带钢表面缺陷检测的改进方法,并在武钢集团进行了应用。但是目前基于图像检测的方法都还存在缺陷的检出率不高,检测速度慢等不足。高精度、实时

的缺陷分类仍是板形识别中有待解决的关键问题。

笔者提出一种基于形态学的图像处理的板形缺陷分类识别方法,首先利用高帽变换对板形图像进行增强,然后对增强后的图像进行二值化,生成缺陷图像,消除二值缺陷图像中的干扰信号,分析二值缺陷图像,判定板形的类别。基于该方法设计的板形识别系统在某冷轧薄板厂板形缺陷检测中取得了很好的应用效果,平均识别率为95%。

## 1 基于形态学的图像处理

实时获得的原始图像,都存在着一一定程度的噪声干扰。由于噪声的干扰,图像质量受到影响,使图像变得模糊,甚至淹没了图像的特征,进行板形缺陷识别时,很可能将噪声误认为板形缺陷,使识别准确率下降。数学形态学方法是图像处理的重要方法,在二值图像和灰度图像的处理中均有广泛的应用。数学形态学具有运算速度快,容易用数字电路实现,成本低等优点,是图像处理和图像分析的重要工具。

### 1.1 二值形态学

膨胀和腐蚀是数学形态的两类基本操作,其它形态学算法大多以这两种原始运算为基础的。二值形态

收稿日期:2007-07-18

基金项目:重庆市自然科学基金资助项目(7369)

作者简介:申志强(1965-),男,高工,博士研究生,主要从事控制理论与控制工程方向研究。曹长修(联系人),男,教授,博士生导师,(Tel)023-65105582;(E-mail)cxcao@cqu.edu.cn。

学是边缘提取<sup>[6]</sup>、区域填充、连通分量的提取、细化和骨架化<sup>[7]</sup>、噪声去除<sup>[8]</sup>等基本算法,在机器视觉<sup>[9]</sup>和模式识别方面应用广泛。

### 1) 二值形态学的基本操作

$A$  和  $B$  是  $Z^2$  中的集合,  $A$  被  $B$  膨胀定义为:

$$A \oplus B = \{z \mid (\hat{B})_z \cap A \neq \Phi\}, \quad (1)$$

对  $Z$  中的集合  $A$  和  $B$ , 使用  $B$  对  $A$  进行腐蚀用  $A \ominus B$  表示, 定义为:

$$A \ominus B = \{z \mid (B)_z \subseteq A\}, \quad (2)$$

膨胀和腐蚀运算对于集合求补运算和反射运算是彼此对偶的, 即:

$$(A \ominus B)^c = A^c \oplus \hat{B}. \quad (3)$$

膨胀使图像扩大而腐蚀使图像缩小。在膨胀和腐蚀运算的基础上, 构造另外 2 个重要的形态学操作: 开操作和闭操作。开操作一般使对象的轮廓变得光滑, 断开狭窄的间断和消除细的突出物。闭操作同样使轮廓线更加光滑, 但与开操作相反的是, 它通常用于消除狭窄的间断和细长的沟, 消除小的孔洞, 并填充轮廓线中的断裂。

### 2) 基于二值形态学的图像消噪算法

由腐蚀运算可知, 腐蚀具有能使图像缩小的性质, 这是二值图像消噪的依据。消除噪声的效果取决于选择的结构元素是否合理。寻找合适的结构元素不是一件容易的事, 如果结构元素过小, 噪声就会去除不干净, 如果结构元素过大, 就会把有用的信息也去除掉。一般情况, 结构元素的原点选择在结构元素的中心。

寻找合理的结构元素的依据是噪声的形状。如果结构元素  $B$  不能被噪声  $N$  完全包含, 则该结构元素可以剔出噪声  $N$ 。式(4)表示了结构元素  $B$  能除去噪声  $N$  的条件。

$$B \not\subseteq N. \quad (4)$$

在去除噪声时, 为了使信息损失最小, 应当选择满足条件式(4)的最小的结构元素  $B$ 。然而, 即使选择了合理的结构元素, 信息的损失也是难以避免, 通常还要用去除噪声时采用的结构元素  $B$  进行膨胀操作恢复部分信息。去除噪声时选则腐蚀操作还是开操作需根据具体情况, 因为开操作可能导致本不应连接在一起的区域连通起来。

如果噪声的形状像差较大, 选择的某一个结构元素只能去除部分噪声, 则可通过选择一系列的不同的结构元素, 分多次逐步去除噪声。

## 1.2 灰度形态学

灰度形态学的主要应用包括图像平滑、形态学图像梯度、高帽变换、纹理分割和粒度测定等。

### 1) 灰度形态学的基本操作

设  $f(x, y)$  表示输入图像,  $b(x, y)$  表示结构元素。用  $b$  对  $f$  进行灰度膨胀表示为  $f \oplus b$ , 定义为:

$$(f \oplus b)(s, t) = \max \{f(s-x, t-y) + b(x, y) \mid (s-x), (t-y) \in D_f; (x, y) \in D_b\}. \quad (5)$$

其中,  $D_f$  和  $D_b$  分别是  $f$  和  $b$  的定义域, 此处  $f$  和  $b$  是函数而不是二值形态学中的集合。  $(s-x)$  和  $(t-y)$  必须在  $f$  的定义域内,  $x$  和  $y$  必须在  $b$  的定义域内。式(5)与二维卷积相似, 此处用最大值运算代替卷积中的求和, 用加法代替卷积中的乘积。

在每个结构元素的位置上, 这一点的膨胀值是跨度在  $b$  的区间内  $f$  与  $b$  之和的最大值。通常对灰度图像进行膨胀的结果是双重的:

①如果所有结构元素的值为正, 则输出的图像会趋向于比输入图像更亮。

②暗的细节减少了还是被消除了取决于膨胀所用的结构元素的值和形状。灰度腐蚀表示为  $f \ominus b$ , 定义为

$$(f \ominus b)(s, t) = \min \{f(s+x, t+y) - b(x, y) \mid (s+x), (t+y) \in D_f; (x, y) \in D_b\}. \quad (6)$$

平移参数  $(s+x)$  和  $(t+y)$  必须在  $f$  的定义域内, 而且  $x$  和  $y$  必须在  $b$  的定义域内。式(6)与二维相关是相似的, 此处用最小值运算代替了相关运算, 用减法代替了相关中的乘积。

式(6)说明了腐蚀操作是以在结构元素形状定义的区间中选取  $(f-b)$  的最小值为基础。通常对灰度图像进行腐蚀的结果是双重的:

①如果所有的结构元素都为正, 输出的图像会趋于比输入图像更暗。

②在输入图像中亮的细节的面积如果比结构元素的面积小, 则亮的效果将被削弱, 削弱的程度取决于环绕于亮细节周围的灰度值和结构元素自身的形状与幅值。

与二值形态学相似, 灰度形态学中的开操作和闭操作定义如式(7)所示。

$$\left. \begin{aligned} f \circ b &= (f \ominus b) \oplus b \\ f \cdot b &= (f \oplus b) \ominus b \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

灰度形态学的开操作和闭操作的对偶性如下

$$(f \cdot b)^c = f^c \circ \hat{b}. \quad (8)$$

在实际应用中, 开操作经常用于去除较小的(相对于结构元素的大小而言)的亮细节, 同时相对地保持整体的灰度级和较大的明亮区域不变。先进行腐蚀操作可以去除小的亮细节, 但这样做会使图像变暗。然后进行膨胀操作又会增强图像的整体亮度, 但不会将腐蚀操作去除的部分重新引入图像中。闭操作常用于去除图像中的暗细节

部分,而相对地保持明亮部分不受影响。先通过膨胀去除图像中的暗细节,同时增加图像的亮度,然后对图像进行腐蚀,但不会将膨胀操作除去的部分重新引入图像中。

## 2) 基于灰度形态学的图像增强算法

由灰度形态学腐蚀的性质可知,腐蚀具有削弱图像亮细节的作用,因此可以用于去除图像中亮度较高的噪声。如果把灰度图像中的前景都当作是“噪声”,采用灰度腐蚀消除掉,就可以得到只含原图像背景的新图像(背景图像)。由此获得背景图像的实质是用前景相邻的背景对前景进行填充(此处认为前景的亮度比背景高),所以该方法保持了图像亮度的局部特性。原图像再减去背景图像,就能消除图像的亮度不均匀性,增强图像。这种方法相当于将前景从图像中分割出来然后放在统一亮度的背景上。因为减法操作会使图像整体亮度偏低,所以最后一般还需要对图像进行灰度级拉伸,提高图像的亮度和对比度。这种图像增强算法用  $h_1$  表示,定义如下

$$h_1 = f - (f \ominus b). \quad (9)$$

与二值形态学类似,寻找合理的结构元素仍然需要参考前景中所有对象的形状。如果结构元素  $B$  不能被前景中对象  $O$  完全包含,则该结构元素可以从图中将该对象抹掉。公式(10)表示了结构元素  $B$  能去除前景中对象  $O$  的条件。

$$B \not\subset O. \quad (10)$$

为使图像增强效果较好,应选择满足条件式(10)的最小的结构元素  $B$ 。如果结构元素太大,不能保持原图像背景的局部特性,达不到增强图像的效果;如果结构元素太小,只能对部分前景增强,并且强制使其余部分前景变为背景,图像将产生扭曲。

当需要提取出前景中部分局部亮细节信号,而不是提取出全部前景时,通过腐蚀获得的背景就不太实用,还需要在腐蚀之后进行再一次膨胀操作。因为开操作能去除图像中较小的亮细节,原图减去开操作后的图像就是图像中的亮细节。这里的亮细节不是针对整个图像而言的,而是与结构元素有关的局部亮细节。这种图像增强算法称为高帽(top-hat)变换,用  $h_2$  表示,定义如下

$$h_2 = f - (f \circ b). \quad (11)$$

高帽变换对增强局部亮细节很有用处,特别是对增强阴影区的亮细节。结构元素的大小由需要增强的局部亮细节的规格决定。

对图 1(a)采用圆形结构元素利用高帽变换进行增强( $R$  表示结构元素的半径)。当  $R=3$  时增强结果如图 1(b)所示,图中部的亮条纹就是板形中存在的缺陷,通过增强,缺陷暴露出来了。当  $R=14$  时增强结

果如图 1(c)所示,此时仍然可以看到明显的缺陷。

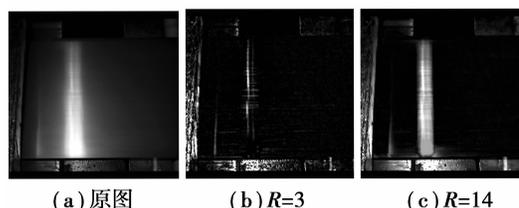


图 1 基于高帽变换的图像增强

综上所述,基于灰度形态学的图像增强算法的主要步骤如下:

- ①选择适当的结构元素对原图进行腐蚀或开操作得到背景图像;
- ②原图减去背景图像即得增强后的图像;
- ③一般还需提高增强后的图像亮度和对比度,改善显示效果;

利用式(9)和式(11)增强图像的主要区别在于式(9)主要用于对所有前景进行增强,而式(11)是对前景中部分感兴趣区域进行增强。一般而言,用式(9)进行增强的图像都能用式(11)进行增强,但是式(9)的计算比式(11)简单。

## 2 板形识别

### 2.1 板形缺陷的定义

冷轧板板形识别系统的目的是识别冷轧板在轧制过程中产生的缺陷,指导操作工及时调整操作,尽量避免轧制缺陷,提高冷轧板板形的合格率。正常的冷轧板表面应当是光滑平坦的,冷轧板缺陷是指出现在冷轧板光滑的表面像波浪一样的纹路,这种缺陷主要是由于冷轧板在轧制过程中轧辊对冷轧板作用力不均衡导致的。冷轧板缺陷识别的意义在于根据板形缺陷的种类改变轧辊对冷轧板的作用力,提高冷轧板成品的合格率。冷轧板的缺陷主要分为边浪、中浪、1/4 浪和斜纹浪,目前系统的主要目的是识别边浪、中浪和 1/4 浪,斜纹浪暂时不予考虑。各种浪纹如图 2 所示。



图 2 板形缺陷示意图

#### 2.1.1 基于高帽变换的板形识别算法

板形存在缺陷则意味着在图 2 所示的各个对应部分存在高频细节信号。可通过提取缺陷的种类。通常情况下,板形的缺陷部分在板形图像中表现为局部亮细节。因此可先利用高帽变换对局部亮细进行增强,然后将局部亮细节分割出来,最后通过分析局部亮细节判定板形缺陷的种类。

## 2) 基于对比思想的板形识别算法

仅仅依靠一幅板形图像利用高帽变换进行板形缺陷识别效果较差。如果板形存在缺陷,则它与正常板形是有差别的,可以通过将待识别的板形与正常板形进行比较的方法识别板形。如果待识别板形与正常板形基本一致,则判定该板形正常;如果待识别板形与正常板形不一致,则根据其差别的不同而判断该板形存在缺陷的类别。根据这一思想进行板形识别的关键是寻找合适的正常板形,也就是寻找一个标准板形,然后用其它板形与该标准板形进行比较,这种方法称之为基于对比思想的板形识别算法。

算法的基本步骤如下:

①产生板形图像,利用高帽变换对板形图像进行增强;

②其它板形图像与标准板形图像相减生成缺陷图像;

③对缺陷图像进行二值化;

④消除二值缺陷图像的干扰信息;

⑤分析二值缺陷图像,判断板形的类别;

虽然图像采集系统采取了一些消除干扰信号的措施,但是采集到的标准板形图像仍然不可避免的存在随机噪声。因此步骤①中消除标准板形图像的噪声必不可少。消除标准板形图像噪声的基本方法有 2 种:第一种方法是对标准板形图像进行平滑操作,另一种方法是将多幅标准板形图像相加求平均。基于该算法的板形缺陷识别如图 3 所示。

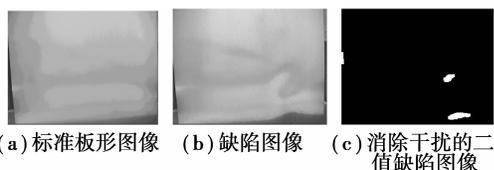


图 3 基于对比思想的板形识别算法(I)

事实上,寻找一个标准板形十分困难。标准板形依赖于所轧制的板形的厚度,现场的光照条件以及干扰信号,而这些量均随时间而改变,因此标准图像需要随时改变,算法的自适应能力不强,这大大加剧了系统的使用复杂度,降低了系统的精度。

对识别算法稍作改进即可得更简单更准确的识别算法。将当前板形图像之前的一幅图像作为“标准板形图像”,并且不需要对该标准板形图像做任何处理。算法的依据是:缺陷是没有规律的,不存在两幅板形图像具有完全相同的缺陷;然而两幅相邻的不存在缺陷的板形图像却非常相似。基于该思想的板形识别算法的基本步骤如下:

①以前一幅图像作为当前图像的“标准板形图像”;

②当前板形图像与标准板形图像相减生成缺陷

图像;

③对缺陷图像进行二值化;

④消除二值缺陷图像的干扰信息;

⑤分析二值缺陷图像,判断板形的类别;

虽然每幅含缺陷的板形图像的缺陷信息各不向同,但是相邻板形图像的缺陷部分对不含缺陷部分的影响却十分相似,这些影响产生的干扰信息形成的伪缺陷在 2 幅图像相减时大多被抵消了,这是该算法显著优于前一种算法的地方。利用该算法进行板形缺陷识别如图 4 所示。根据图 4(c)、(f)易知图 4(b)、(e)的板形分别具有 1/4 浪和中浪。比较两种基于对比思想的板形识别算法可知,算法(II)计算简单,标准板形的选择具有较强的自适应能力且识别精度高。笔者推荐使用算法(II)

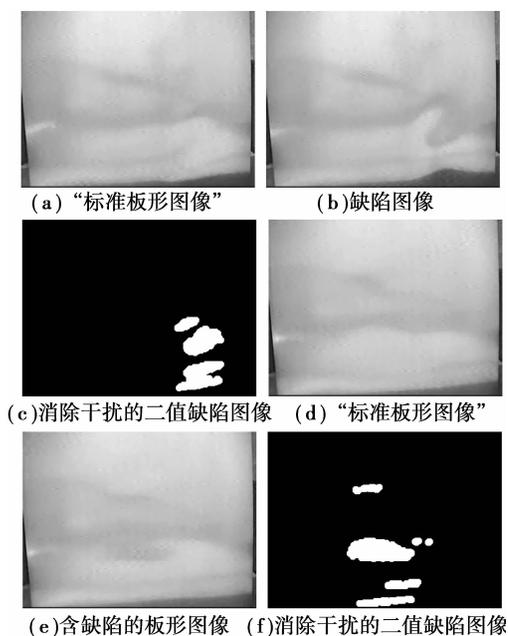


图 4 基于对比思想的板形识别算法(II)

## 3 系统的实现

### 3.1 冷轧薄板板形图像的获取

冷轧薄板板形图像由图 5 所示装置采集获得,该装置直接安装在冷轧生产现场,主要由照明光源、工业摄像机、图形采集卡和工控机组成。

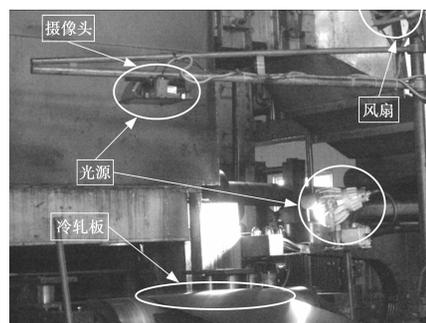


图 5 图像采集系统

图中光源的作用是为了克服光照条件随时间变化而改变,使图像采集系统工作的光照条件基本一致,并且外加光源照射在冷轧板上形成的光带对板形的缺陷有放大作用。风扇的作用是将冷轧板附近的雾气吹散,减少干扰信号。图像采集系统的数据线及图像采集设备都加装了相应的屏蔽罩,尽量将外界的干扰信号屏蔽掉。

板形识别的另一个重要指标是实时性,要求对“正在轧制”的冷轧板板形进行判断。这要求板形识别的计算量不能太大,否则系统的时延不能满足要求。采用图像处理的方法进行板形识别的关键是板形特征提取。特征提取就是从人眼可感知的量中提取一些计算机可计算的量,根据计算结果对板形进行分类。板形识别的计算量主要来源于板形特征提取,所以应选择尽量少的主要特征量,而且每个特征量的计算不能太复杂。

系统以 Visual C++6.0 为软件开发平台,在某冷轧薄板厂的冷轧薄板生产线上由厂方组织专家标定最终识别识别率达到了 95.0%。

#### 4 结 语

基于目前的钢板板形理论,提出了一种基于形态学的图像处理技术的钢板板形识别方法,针对某冷轧薄板厂的冷轧薄板生产线实际情况,设计实现了一套基于计算机图像处理技术的板形识别系统,应用结果

表明这种识别方法新颖,所需的设备结构简单,能满足大部分冷轧薄板生产线的板形识别要求。

#### 参考文献:

- [1] AZHMED R, SUTCLIFFE M PF. Identification of surface features on cold-rolled stainless steel strip[J]. *Wear*, 2000, 244:60-70.
- [2] 吴平川,路同浚,王炎. 机器视觉与钢板表面缺陷的无损检测[J]. *无损检测*, 2000, 22(1): 13-16.
- [3] 何炳林,龙建军,司振军,等. 热轧带钢板形质量可视化研究[J]. *机床与液压*, 2004(10): 62-65.
- [4] 徐科,徐金梧. 基于图象处理的冷轧带钢表面缺陷在线检测技术[J]. *钢铁*, 2002, 37(12): 61-64.
- [5] 徐科,徐金梧,梁治国,等. 冷轧带钢表面质量自动检测系统的在线应用研究[J]. *冶金自动化*, 2003(1): 51-53.
- [6] Le, JSJ Hark, RM LG Sha. Morphologic edge detection[J]. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 1987, 3(2): 142-156.
- [7] Jae, BK Che RT. Analysis of thinning algorithms using mathematical morphology[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1990, 12(6): 541-551.
- [8] Pes. RAIL. A new algorithm for image noise reduction using mathematical morphology[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1995, 4(3): 554-568.
- [9] Roerdink JBTM. Computer vision and mathematical morphology[J]. *Theoretical Foundations of Computer Vision*, 1994: 131-148.

## Cold-rolled Strip Plate-profile Recognition Based on Morphology

SHEN Zhi-qiang<sup>1,2</sup>, CHEN Tao<sup>2</sup>, QIAN Ji-ye<sup>1</sup>, ZHANG Xin-yu<sup>1</sup>, CAO Chang-xiu<sup>1</sup>

(1. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China;

2. Chongqing Iron and Steel Co. Ltd. Cold Rolling Sheet Plant., Chongqing 400080, P. R. China)

**Abstract:** A cold-rolled strip plate-profile recognition method was presented to improve the detection accuracy based on image morphology processing method. The original flatness stri Pimage were increased through top-hat transform. A binarization method was used to build images with defects, and flatness detecting through denoise and analyze the image with defects. An image denoising algorithm based on binary morphology and an image enhancement algorithm based on gray-level morphology associated with proper structuring elements is fulfilled. The flatness detecting algorithm based on top-hat transform and the flatness detecting algorithm based on comparison is put forward. The effectiveness of the proposed method was shown by the application in an iron steel plant, and the hardware and software system in this application were presented.

**Key words:** morphology; image processing; cold-rolled strip; plate-profile recognition