

基于Otsu算子和Canny算子的热轧镰刀弯边缘检测

柏俊杰 高帅 周涛琪 廖旭

重庆科技学院 电气工程学院

[摘要] 为了满足热轧生产过程中对镰刀弯现象的检测需求, 本文针对其生产过程中因复杂工况等客观因素所导致的镰刀弯现象展开研究, 通过对热轧板材图像进行预处理, 使用灰度化与Otsu算子对热轧镰刀弯图像进行分割与增强。利用Canny算子对图像进行滤波降噪、非极大值抑制、阈值边缘筛选的处理, 实现镰刀弯图像的边缘检测, 最终采取累计概率霍夫变换与斜率法对镰刀弯生成情况进行判定。实验结果表明本文的方法对热轧镰刀弯边缘检测有较好的效果, 检测效率高。

[关键词] 镰刀弯; Canny算子; Otsu算子; 边缘检测

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.10.1188

现如今, 热轧带钢生产过程中的四项精度已稳定在较高水平, 热轧板材的质量极大程度上决定了热轧钢品的质量, 而热轧镰刀弯在热轧板材废品数量中所占比例较大^[1], 镰刀弯现象必然影响热轧板材成形的质量。通过查阅相关文献发现国内镰刀弯研究主要停留在对镰刀弯产生机理的定性定量描述, 文献^[2]建立了动态热力耦合模型, 通过仿真实验, 对板坯镰刀弯的产生机理以及产生原因进行研究。文献^[3]通过对海钢1580热轧生产线镰刀弯现状进行评估, 开发了热轧镰刀弯评判系统, 但并未对镰刀弯检测有深入研究。

在热轧板材生产过程中, 由于坯体温度高, 生产节奏快, 环境工况复杂等客观条件, 以人眼为主的传统检测方法呈现失误率高、效率低的特点。近年来, 随着机器视觉技术的发展, 运用机器视觉技术实现对图像的边缘检测已成主流, 文献^[4]根据镰刀弯现象开发了一种基于机器视觉的镰刀弯在线检测系统, 通过系统内部测量, 得到完整的热轧中间坯图像与镰刀弯数值。但其视角局限于系统的图像获取与镰刀弯数值测量, 没有对镰刀弯图像的边缘检测有具体的概述, 基于此本文针对热轧镰刀弯边缘现象, 利用Otsu算子、Canny算子实现镰刀弯边缘检测, 使用累计概率霍夫变换判定镰刀弯的生成情况。

一. 热轧镰刀弯检测方法与原理

由于热轧镰刀弯现象只出现在工业生产实际中, 在对热轧镰刀弯图像进行边缘检测分析的过程中, 图像质量的高低, 直接影响算法的识别率与实现效果对于工业现场热轧镰刀弯采集视频^[5], 本实验采用工业级别CCD相机获取热轧板材生产全过程, 工业生产相机常采用固定视角, 对采集的热轧镰刀弯图像进行视频的预处理, 长视频图像进行预处理后得

到非动态目标背景图像, 使用OpenCV中的read函数读取原视频文件, 循环读取视频帧, 按照时间定格, 生成热轧镰刀弯帧图, 去除只含有工业现场背景无板材通过的图像, 实现对视频图像的预处理。视频预处理4阶段图像如图1所示。

(一) 热轧图像预处理

在计算机中, 将彩色图像通过技术处理转换成灰度图像的过程为灰度化处理减轻图像像素计算量。通过灰度处理后的图像与彩色图像一样, 仍共同反映图像的整体布局效果与色彩完整度等特征。图像通过灰度处理后, 通过大津法Otsu对图像进行二值化分割, 由于算子的特性, 分割的图像前景背景图像类间方差最大^[6], Otsu算法的核心就是假设存在阈值T将图像所有的像素点进行分类, 具体上大类分为两类C₁ (小于阈值T) 和C₂ (大于T), 两类像素点各自的像素均值就为m₁、m₂, 图像全局均值为mG。同时像素被分为C₁和C₂类的概率分别为p₁和p₂, 公式如1~7所示。

$$p_i = \frac{n_i}{M \times N}, i = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (1)$$

$$p_1 = \sum_{i=0}^k p_i \quad (2)$$

$$p_2 = 1 - \sum_{i=T+1}^{L-1} p_i \quad (3)$$

$$p_1 + p_2 = 1 \quad (4)$$

$$m_1 = \frac{1}{p_1} \sum_{i=0}^k \dot{p}_i \quad (5)$$

$$m_2 = \frac{1}{p_2} \sum_{i=k+1}^{L-1} \dot{p}_i \quad (6)$$

总体灰度值为:

$$p_1 \times m_1 + p_2 \times m_2 = mG \quad (7)$$

两类像素的方差如公式8所示:

$$\sigma_1^2 = \frac{1}{p_1} \sum_{i=0}^k p_i (i - m_1)^2 \quad (8)$$

$$\sigma_2^2 = \frac{1}{p_2} \sum_{i=k+1}^{L-1} p_i (i - m_2)^2 \quad (9)$$

根据方差相关概念, 类间方差的表达式为

$$\sigma^2 = p_1(m_1 - mG)^2 + p_2(m_2 - mG)^2 \quad (10)$$

令T从0~L-1变化, 计算不同阈值下的类间方差, 使得类

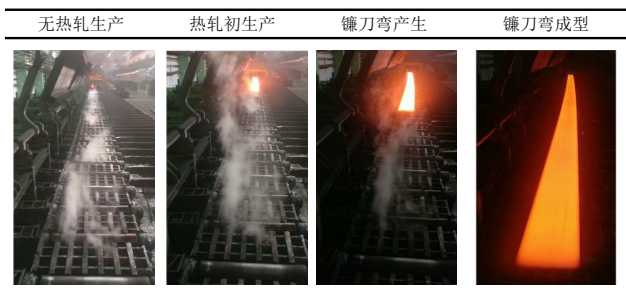


图1 视频预处理热轧图像生成

间方差最大的那T即为所求阈值。即能得上式最大化的灰度值K就是Otsu的阈值TH值，再使用Otsu法获得阈值来代替人工阈值的选择。通过Otsu算法将热轧待分割的图像中大面积的背景图去除留下热轧核心区域，在之后的边缘提取时只需要分割出热轧板材的区域边缘即可实现图像的分割。

(二) Canny边缘检测

Canny边缘检测算法最早被提出是在1986年由John. F发表的，是目前最常用的边缘检测算法之一，它的优异性能主要是能够通过控制边缘检测参数和阈值来调整输出图像质量^[7]，Canny算子求边缘点具体算法步骤如下，实现流程图如图2所示。

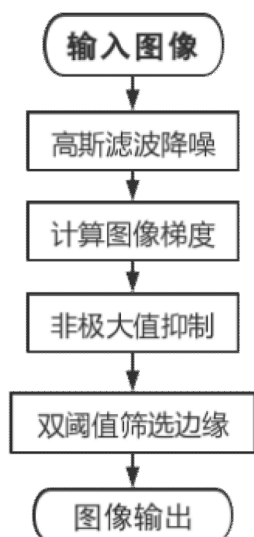


图2 Canny算法流程图

通过使用高斯平滑滤波器进行图像卷积降噪处理^[8]，使用均值为0的二维高斯函数，其中 σ 为标注差，标准差关系着图像的离散程度，二维高斯函数如公式11所示。

$$H(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (12)$$

假设 $f(x, y)$ 是图像大小为 $M \times N$ 的输入图像，通过高斯滤波器处理过后的图像为 $g(x, y)$ 公式如图11所示，则使用高斯滤波的整体过程可以表现为：

$$g(x, y) = \sum_{r=-k}^k \sum_{s=-l}^l f(x-r, y-s) H(x, y) \quad (13)$$

其中 $x=0,1,\dots,M-1, y=0,1,\dots,N-1, k, l$ 是根据所选区域大小决定的。

(三) 峰值信噪比

由于人眼的分辨率及其的有限，对于视觉上对比不太明显的图片来说，直观上不会看出很大的差异，因此本文使用峰值信噪比 (PSNR) 的评判标准。峰值信噪比是一种图像质量评价标准，具体是指其最大信号量与背景噪声之间的比值，其计算公式如14所示：

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (14)$$

公式中 MAX_I^2 为当前图像像素最大值， MSE 为图像均方误差，公式如15所示：

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \|I(i, j) - K(i, j)\|^2 \quad (15)$$

其中 m 和 n 分别为像素图像的行列数和 I 和 J 为两像素图像的第 i 行和 j 列。对处理后的图像与原始图像二者关联性进行量化分析，通过数值化处理判定其图像是否与原图有关联性，PSNR范围与图像关系如表1所示

表1 PSNR范围与图像关系

PSNR值	图像质量
40db <= PSNR	图像质量趋近原图
30db <= PSNR < 40db	表示图像质量较好 (存在失真情况但仍能接受)
20db <= PSNR < 30	图像质量较差
PSNR < 20	图像与原图差异较大, 难以接受

(四) 累计概率Hough变换检测直线

Hough变换是一种常见的图像形状检测方法，霍夫变换的核心是将图像空间中的每一个点映射在参数空间上形成一条正弦曲线，对于直线而言，其中 θ 指的是 r 与 x 轴之间的夹角， r 为坐标原点到直线的垂直距离，在直线上任意的点都可以通过 x 与 y 表示，表示过程中 r 与 θ 都是常量^[9]，公式图像如图2所示

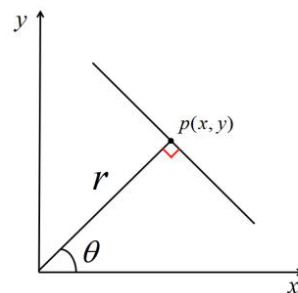


图2 点到支线距离

通过利用霍夫变换在极坐标系与平面坐标系之间的相互转换，把一个图像空间内刷有相同形状的像素时候直接映射到另一个坐标空间内，形成一个像素点的峰值，将检测任意形状的问题转换成统计峰值的问题，这就是累计概率霍夫变换。

当累计概率霍夫变换开始时，直线上的每个像素坐标点 $p(x, y)$ 转换到 (r, θ) 像素点上面，通过数据的累加，累加到相应的格子数据点，当一个数据波峰出现时，说明直线产生。

二. 实验分析与验证

针对中冶赛迪工程技术股份有限公司提供的热轧工业生产图像视频，对热轧生产图像进行处理与分析，使用Python3.6搭配OpenCV、Numpy工具库，在PycharmIDLE软件上进行仿真试验，对热轧图像进行预处理，通过使用峰值信噪比 (psnr) 进行图像评价，通过使用累计概率Hough变换检测直线，通过斜率法比较热轧板材的弯曲程度，实现对热轧镰

刀弯的边缘检测与判定。其方法流程如图3所示。

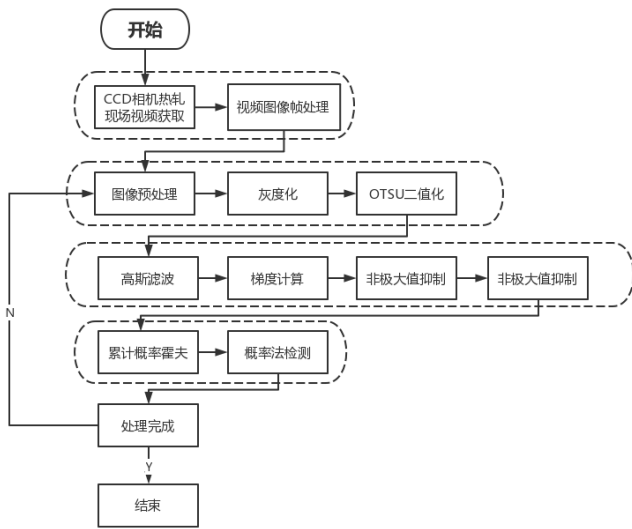


图3 镰刀弯检测流程

(一) 图像预处理

在完成视频预处理后得到一张热轧生产图像，首先对图像进行灰度化处理，其结果如图4所示，将彩色图像在OpenCV中调用cv2.cvtColor函数，将原始三通道R、G、B彩色图像转换成灰度图。

对灰度处理过后的图像，对每个灰度的图层进行遍历，通过调用Numpy直接对灰度图层所构建的数字进行计算，得到其最大类间方差，完成Otsu二值化处理，并且最终将数组的数据类型转换成float32，方便后续Canny边缘检测实现。

图4的图像处理对比可得灰度化处理的图像相比彩色图像更加有利于图像的后期处理，并且极大的增强了热轧生产过程中轧板与背景区域的对比度，通过使用Otsu算法对图像进行二值化分割处理过后的图像，将热轧现场所生成的烟气、粉尘等不良影响进行了降噪消除，有效保护了热轧图像的边缘区域信息。

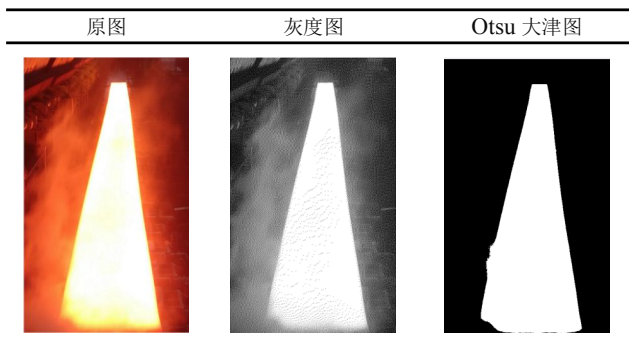


图4 图像预处理

(二) 图像边缘检测

对Otsu处理过后的图像使用高斯平滑滤波，完成图像的一阶有限差分的计算，计算图像各个像素点的梯度值大小与方向，其中图像大小与原图相同，方向矩阵大小与原图大小

相同。生产非极大值抑制图像矩阵，通过Canny双阈值检测实现图像边缘连接，其中Canny算法低阈值固定为50，高阈值固定为150，步长为10，图像结果如图5所示

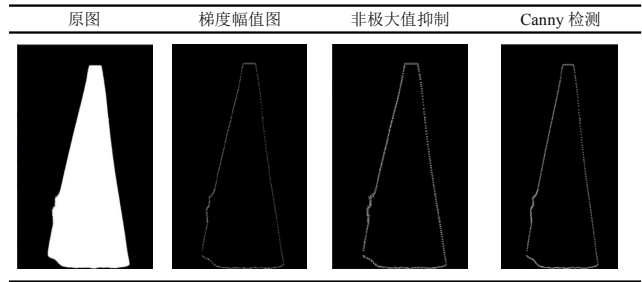


图5 Canny边缘检测

处理后的图像通过PSNR评判其图像质量高低，由于在图像预处理过程中图像经历了灰度变化与二值化，图像色域发生较大的变化，因此PSNR原图由彩色图像调整为灰度变化图，其图像相比尺寸与原图保持一致。各类图像处理与其PSNR的数值大小如表2所示。通过PSNR公式与上述表格数据，其数值越大说明图像边缘处理效果越好。

表2 处理图像PSNR数值

图像处理方法	PSNR数值
OTSU大津法	32.43715
梯度增幅	26.58436
非极大值抑制	29.67554
Canny检测最终效果	33.67843

(三) 累积概率霍夫变换直线检测

使用Canny边缘检测算法处理过后的热轧镰刀弯图像边缘清晰，通过使用OpenCV计算机视觉库与Canny边缘检测图结合实现检测可视化，经过多次仿真实验，霍夫变换累加器阈值设定为80，阈值设定过大会导致镰刀弯边缘检测出现漏检的现象，阈值设定过小会造成重复检测且干扰较大，其原始霍夫变换检测效果图与设置阈值的概率霍夫检测效果图如6所示。

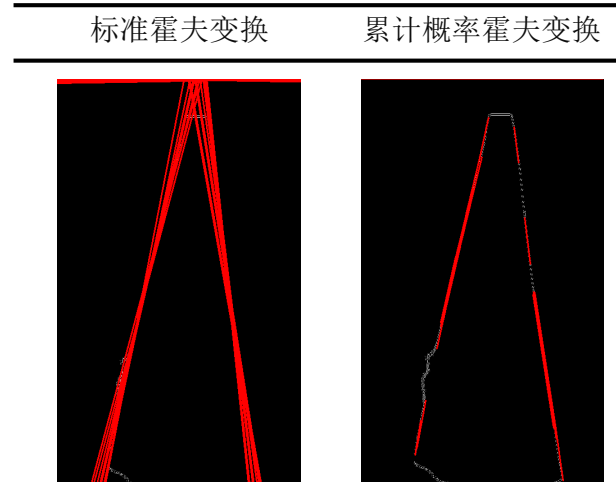


图6 累积概率霍夫变换与传统霍夫变换

表3 斜率统计表

内容	各点坐标			$ k_1 $	$ k_2 $	$ k_3 $	是否产生弯曲
	1号	2号	3号				
A组	A1 (199, 238)	A2 (190, 271)	A3 (179, 312)	3.67	3.72	3.7	否
B组	B1 (141, 480)	B2 (121, 529)	B3 (117, 592)	2.45	15.75	4.66	是
C组	C1 (298, 255)	C2 (305, 305)	C3 (310, 358)	7.14	10.6	8.58	否
D组	D1 (324, 467)	D2 (336, 519)	D3 (340, 584)	4.3	16.25	7.3	是

注： k_1 、 k_2 、 k_3 分别为各组1号与2号、2号与3号、1号与3号构成的斜率

由上图明显可看出，对于热轧镰刀弯边缘检测而言，标准霍夫检测直线会重复检测并且图像整体有较大的干扰，概率霍夫就很好的解决了标准霍夫所出现的复检干扰问题。

(四) 镰刀弯斜率法判定

对于任意直线其 x 轴的倾斜角 α 的正切值 $\tan \alpha$ 为所对应任意直线的斜率，记为 k ，其公式如下16所示，对于任意三点，如若其斜率的发生了明显变化，则说明三点不在一条直线上，可能图像出现了弯曲。

$$\tan \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (16)$$

由于图像处理过程中，坐标系的标定与正常情况下的笛卡尔坐标系 y 轴方向相反，因此在计算三点斜率过程中，其数值取其绝对值。

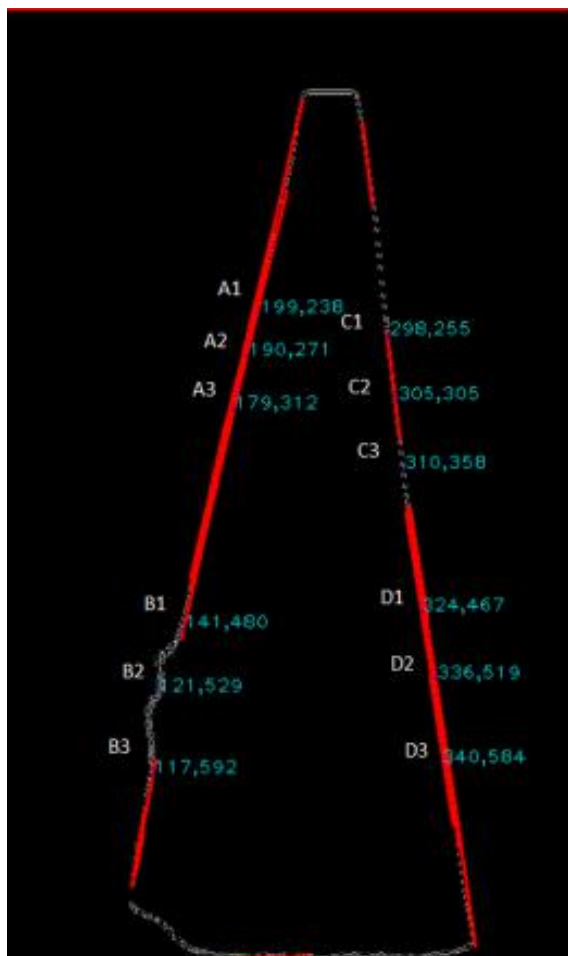


图7 霍夫热轧标定

通过使用OpenCV库中circle控件与putText控件，实现对Canny边缘检测图像边缘的坐标标记，通过斜率计算公式，计算三点的斜率变换差异度，判断镰刀弯是否产生。热轧霍夫检测标定图像如图7所示，表3统计其坐标值与斜率大小。

根据表3数值，B组数据与D组数据，斜率变化明显，判定为热轧板材弯曲，即标定其为镰刀弯。

三. 结语

通过本文算法处理，结果表明，在图像预处理阶段使用OTSU算子对图像进行分割，为后续边缘检测提供了质量较高的图像，利用Canny算子提取图像边缘，其图像峰值信噪比有一定程度的提高，可以得到较为明显的图像边缘，清晰的图像边缘为后续镰刀弯检测与判别奠定了基础，相比于传统的霍夫变换，累计概率霍夫变换具备高效、精准等特点，使用其对边缘图像线段进行判别，为后续斜率法判定镰刀弯产生提供了条件。

参考文献

- [1] 尹宝良. 热轧板带表面质量缺陷分析[J]. 冶金管理, 2020 (5): 2.
- [2] 付文鹏, 谢向群, 李维刚, 等. 粗轧板坯镰刀弯评价系统及因素分析[J]. 冶金自动化, 2019 (4): 6.
- [3] 娄亚彬, 朱彪. 1580mm热轧机组中间坯镰刀弯分析及控制实践[J]. 安徽冶金科技职业学院学报, 2019, 29 (3): 3.

2019 (2): 4.

作者简介:

柏俊杰 (1976-), 男, 湖北襄阳人, 重庆科技学院电气工程学院副教授, 主要研究方向智能感知与图像识别;

高帅 (1996-), 男, 陕西人, 重庆科技学院电气工程学院2020级在读研究生, 主要研究方向人脸识别、图像识别;

周涛琪 (1996-), 男, 重庆人, 重庆科技学院电气工程学院2020级在读研究生, 主要研究方向图像识别;

廖旭 (1997-), 男, 江西人, 重庆科技学院电气工程学院2021级在读研究生, 主要研究方向人脸识别。

基金项目: 重庆科技学院硕士研究生创新计划项目 “基于自适应 γ 算法和OTUS算法的热轧镰刀弯边缘检测技术研究” (编号: YKJXC2020414)

重庆科技学院硕士研究生创新计划项目 “基于图像处理的热轧板带位置偏移检测” (编号: YKJXC2020420)