

## 多线扫描相机系统一致性成像方法研究

宗德祥,何永辉,杨水山

(宝山钢铁股份有限公司研究院,上海 201900)

**摘要:** 输入图像是否满足一致性,将严重影响多线扫描相机带钢表面质量在线检测系统对缺陷的检出和分析。分析影响多线扫描相机输入一致性的因素,给出了针对性的解决措施,最终形成一个包括软件和硬件在内的解决方案,能够非常直观高效地提高系统的一致性输入水平。

**关键词:** 线扫描相机; 一致性输入; 带钢表面检测系统

中图分类号: TB852.1 文献标志码: B 文章编号: 1008-0716(2014)01-0035-05

doi: 10.3969/j.issn.1008-0716.2014.01.007

### A method for calibrating uniform of multiple CCD imaging

ZONG Dexiang, HE Yonghui and YANG Shuishan

(Research Institute, Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 201900, China)

**Abstract:** The uniform of multiple CCD imaging is a key factor for surface inspection system's performance, with non-uniform input image, which will bring difficulties to the defect detection and analysis. There are many factors that make in terms of uniform imaging systems is difficult. By analyzing the impact of multi-line scan camera input uniform image factor, a targeted solution has been proposed. Eventually, a solution including software and hardware component has been formed. After applying the solution, which can be very intuitive and efficient way to improve the uniform input image level of the system. The method provides an efficient way for multi-camera imaging system in actual applications.

**Key words:** line scan camera; consistency of input; surface inspection system for strip

随着钢铁行业同质化竞争时代的到来,钢铁产品生产者在注重产品物理化学性能的同时,对产品外观质量的投入也提高到了一个前所未有的高度<sup>[1]</sup>。这种钢铁产品生产者的行为,也得到了市场的良性互动,带钢产品外观质量对提高产品附加值、增强产品市场竞争力有着非常显著的效果。对于连续型生产的带钢产品生产而言,传统的人工目视抽检早已不能满足生产的需求,因此,近年来,研制和应用带钢表面质量自动检测系统以实现带钢表面缺陷连续、在线和全幅面自动检测,在业内已达成共识。

带钢表面质量在线检测系统通常由成像系统、数据处理和分析系统构成。成像系统犹如带

钢表面质量在线检测系统的眼睛,将给系统提供海量的待处理原始数据。原始数据同实物的一致性程度将会直接影响检测系统后续的处理结果以及对带钢表面质量最终的判断<sup>[2]</sup>。

因此,确保带钢表面质量在线检测系统获得可靠的原始数据输入成为影响基于视觉处理技术的带钢表面质量在线检测系统性能的关键因素之一。由于线扫描相机具有适合高速图像采集、感光性能好、分辨率稳定等优点,因此被广泛应用于连续带材表面质量检测系统中。但线扫描相机在使用过程中,由于其感光面小,只有 $7 \sim 14 \mu\text{m}$ ,如何调整相机与照明用光源配合来获取清晰成像一直是其在实际应用中的难点。

### 1 一致性成像概述

带钢表面质量在线检测系统通常根据要检测带钢的幅面宽度和需要检出的缺陷最小尺寸来决

宗德祥 工程师 1980 年生 2005 年毕业于哈尔滨工业大学  
现从事带钢表面检测研究 电话 26649756  
E-mail zongdexiang@baosteel.com

定使用一个或多个线扫描相机协同工作。当多个线扫描相机协同工作时,系统为了获得一致的图像输入,必须确保每个相机的工作状态完全一致,否则,各个相机拍摄到的图像代表的实际意义存在差别,将对后续数据的分析和处理带来很大困扰。

一致性成像,指的是在相机成像面上,每个像素在拍摄过程中具有一致的分辨率、相机的镜头具有一致的焦距以及相机靶面同光源光线中心法线具有一致的夹角和相机靶面扫描在同一条光源中心线上。当所有线扫描相机均能保证相同的参数对带钢表面进行扫描成像时,系统将获得亮度一致、分辨率一致的图像输入。在此情况下,系统将对缺陷尺寸和形态做精确定量描述。

## 2 影响一致性成像因素

图 1 描述了相机坐标系  $O-xyz$  与带钢坐标系  $O'-x'y'z'$ ,相机扫描线在  $zOy$  构成的平面内,平面  $zOy$  与平面  $x'O'y'$  的交线即为相机扫描线。根据光带的照度分布特点,如图 2 所示,光源光带图像在宽度方向上存在显著的中间亮两边暗的趋势,灰度分布曲线如图 3 所示。由此可见,相机工作在最佳状态时,扫描线应在光带中心线上,或在接近中心线处,但与中心线保持平行。

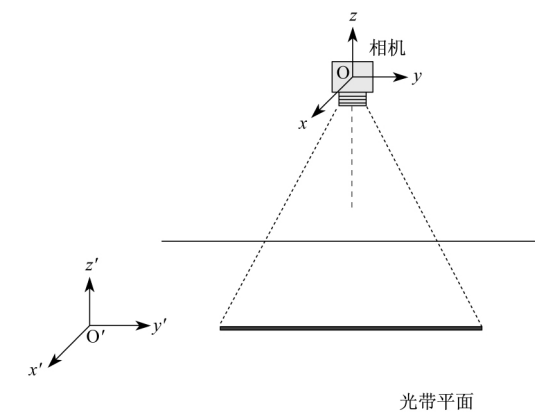


图 1 相机与光带坐标系示意图

Fig. 1 Illustration of coordinate system for camera and light

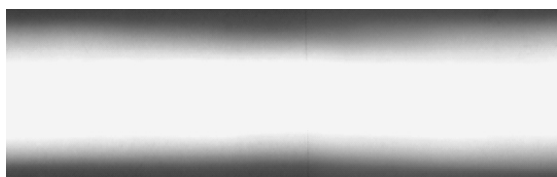


图 2 光源光带图像

Fig. 2 Image of light

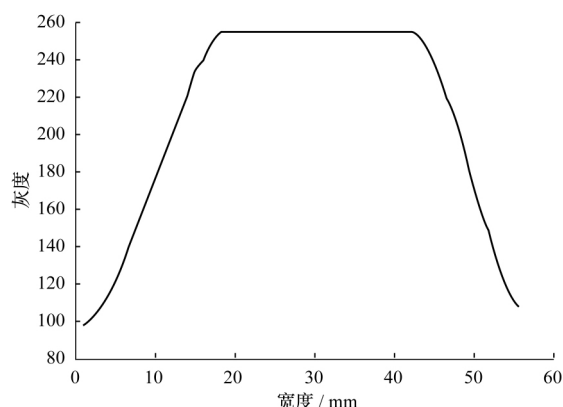


图 3 光带宽度方向灰度分布曲线图

Fig. 3 Gray-scale distribution cross light width

影响系统一致性成像的因素较多,大致可以分为如下几种情况,均假设左侧相机完全达到设计要求。

(1) 如图 4 所示,相机靶面与带钢表面距离不同,表现为相机之间扫描分辨率不一致,从而使使得相机视野不同。

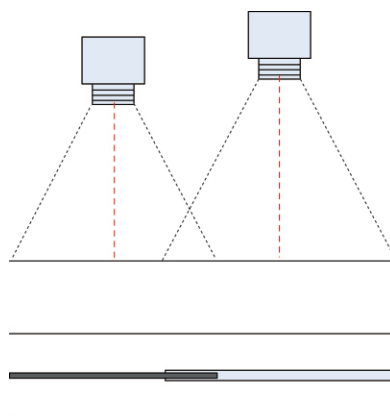


图 4 成像不一致状态(一)

Fig. 4 Image of non-uniform state ( I )

(2) 如图 5 所示,相机靶面与扫描线构成的夹角不一致,使得在相机内部,单个像素所获取到的带钢图像实际代表的尺寸不一致,存在左右宽窄不一致的情况。

(3) 如图 6 所示,相机扫描线不在同一条直线上,但扫描线相互平行,表现为相机所获取的图像整体亮度存在偏差,且缺陷在带钢运动方向上存在位置偏差。

(4) 如图 7 所示,相机扫描线之间存在夹角,且相机扫描线与光带中心线存在夹角,使得相机所获取的带钢图像表现为中间亮、两边暗的现象。

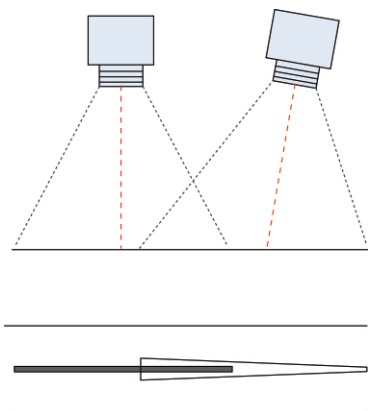


图 5 成像不一致状态(二)  
Fig. 5 Image of non-uniform state( II)

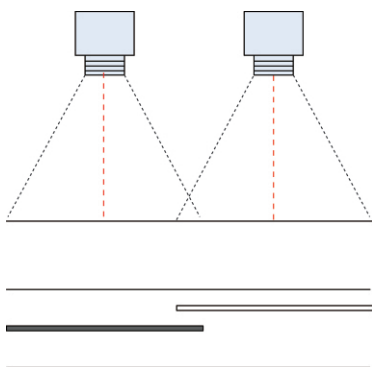


图 6 成像不一致状态(三)  
Fig. 6 Image of non-uniform state( III)

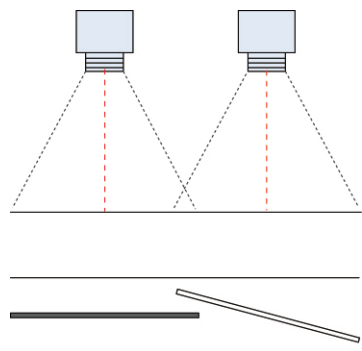


图 7 成像不一致状态(四)  
Fig. 7 Image of non-uniform state( IV)

图 4、5 描述的不一致成像状态使得系统分辨率不一致 图 6 描述的不一致状态是各相机之间扫描线平行但不重叠,图 7 描述的不一致状态是各相机之间扫描线既不平行也不重叠。

### 3 一致性成像标定方法及工具研究

通过上述分析,得到了影响系统成像一致性的关键因素,为了克服这些因素对系统产生的不

良影响,本节尝试给出一种针对性的解决方案,来实现多扫描相机的一致性成像。

在系统一致性成像标定时,带钢通常尚未布置到检测位置处,为了更好地模拟带钢,需要制作类似于带钢的标定用窄条,窄条宽度比光源光带略宽即可,如图 8 所示的带有交叉线的窄条。基于对光源亮度均匀性的考虑,通常希望线扫描相机扫描在光带的中心。应用线扫描相机的成像特点,在其扫描对象处于静止的状态下,其采集到的图像实际为一条线的累积。当线扫描相机并未扫描到交叉线交点上时,产生的图像如图 9 所示,将出现多条纵条纹;当扫描线与交点构成的线完全重合时,将得到一组等间隔的纵线,如图 10 所示。图 9、10 中虚线为相机扫描线所在的实际位置。

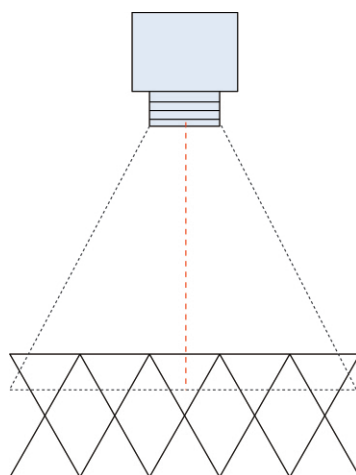


图 8 带有交叉线的窄条  
Fig. 8 Strip with cross line

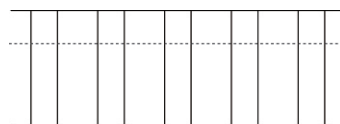


图 9 未扫描在交叉点的图像  
Fig. 9 Image of non scanning at the intersection point

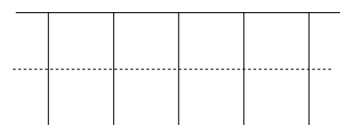


图 10 扫描在交叉点的图像  
Fig. 10 Image of scan line at the intersection point

图 11 展示了相机扫描线与光线中心线平行但与交叉点不重合时的状态,图 12 为图 11 所示状态的模型。图 12 中  $l$  表示交叉线上边框两点间的距离  $\alpha$  表示交叉线之间的夹角  $d$  表示相机扫描线与

两条交叉线之间的交点距离,均为已知值,则扫描线与交叉点的距离( $h$ )可通过公式(1)给出:

$$h = \frac{d}{2} \tan\left(\frac{\pi - \alpha}{2}\right) \quad (1)$$

相机欲与交叉点重合,需要绕  $Y$  轴调整的角度( $\gamma$ )通过公式(2)给出:

$$\gamma = \beta - \arctan\left(\frac{w_d \sin\beta - h}{w_d \cos\beta}\right) \quad (2)$$

式中  $w_d$  为相机工作距离;  $\beta$  为相机与法线的夹角,均为设计值。

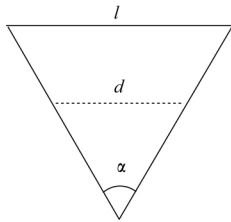


图 11 扫描线与交叉点的关系示意图

Fig. 11 Illustration of scan line and intersection point

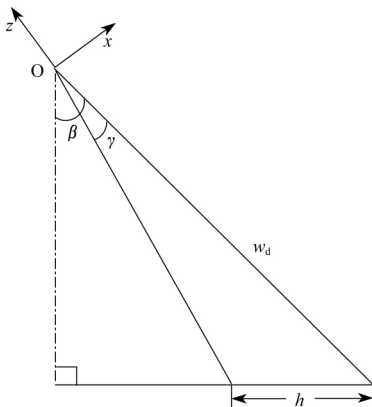


图 12 相机绕  $Y$  轴调整角度的模型图

Fig. 12 The model of camera adjust angle around  $Y$ -axis

当出现图 10 所示的图像时,表明多相机系统均扫描到了交叉线的交叉点所构成的直线上,且扫描方向平行,避免了图 6 所示的多相机扫描线平行但不重合状态的出现。

在窄带上添加等宽度等间隔的竖线,如图 13 所示。当相机扫描线与相机靶面不平行时,在相机中取得的图像如图 14 所示,出现宽窄间隔不一致的竖直线。将此种情况简化为图 15 所示的模型,根据单个像素分辨率差异,计算出相机靶面像元与带钢的距离。

设相机像元尺寸为  $c$ ,镜头焦距为  $f$ , $A$  点的分辨率为  $P_A$  则:

$$l_{OA} = \frac{f}{c} P_A \quad (3)$$

同理:

$$l_{OB} = \frac{f}{c} P_B \quad (4)$$

代入公式(3)、(4),可计算  $AB$  的长度:

$$l_{AB} = \sqrt{l_{OA}^2 + l_{OB}^2 - 2l_{OA}l_{OB}\cos\theta} \quad (5)$$

则相机绕  $X$  轴需要调整的角度为:

$$\varphi = 90 - \frac{\theta}{2} - \arccos\left(\frac{l_{OB} - l_{OA}\cos\theta}{l_{AB}}\right) \quad (6)$$

通过调整角度  $\varphi$ ,可以克服图 5 所示的相机分辨率不同的异常状态。

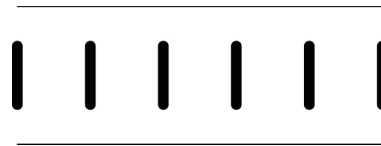


图 13 等间隔等宽度竖直线

Fig. 13 Vertical lines with equally space



图 14 宽窄不一的竖直线

Fig. 14 Vertical lines with varying width

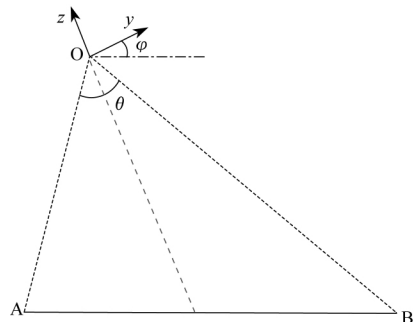


图 15 相机绕  $X$  轴调整角度的模型图

Fig. 15 The model of camera adjust angle around  $X$ -axis

对于图 4 所示的状态,可根据公式(3)、(4)来计算获得相机需要沿  $Z$  轴移动的距离。

当相机出现图 7 所示的状态时,所拍摄的图像如图 16 所示。根据这一现象,建立如图 17 所示的模型,模型中  $a$  为相机拍摄到的竖直线宽度,  $b$  为实际竖直线宽度,根据该模型,计算出相机需要调整的角度,如式(7)所示。

$$\lambda = \arccos\left(\frac{b}{a}\right) \quad (7)$$

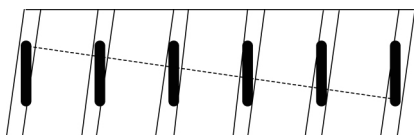


图 16 相机扫描线与光带中心线关系示意图

Fig. 16 Illustration of scan line and the center line of the light

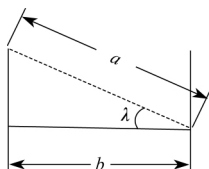


图 17 相机绕 Z 轴调整角度的模型图

Fig. 17 The model of camera adjust angle around Z-axis

综上所述,最终形成制作如图 18 所示形状的工具,宽度与光带宽度大致相同。该工具由一组等间隔分布的交叉线和竖直线构成。根据相机拍摄到的标定尺图像,通过上述公式,形成了标定专用的软件工具。该软件工具能够根据标定尺在相机中所成的图像,给出当前相机在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴上分别需要调整的角度以及沿  $z$  轴需要调整的距离。

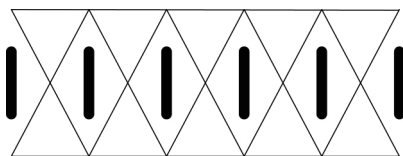


图 18 标定尺

Fig. 18 Calibration ruler

## 4 效果

图 19 为未经一致性标定的图像数据,图 20 为经过一致性标定的图像数据。由图可知:经过一致性标定的图像质量及一致性具有明显的改善,图像灰度分布更加均匀。

## 5 结论

应用一致性标定工具,能够有效保证输入到带钢表面质量在线检测系统的图像数据的一致性。在标定软件和标定尺的协同工作下,多线扫

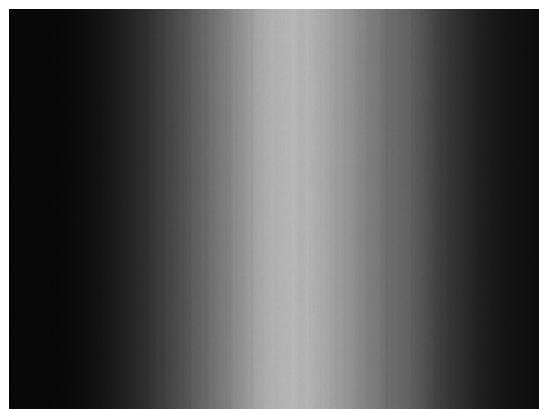


图 19 标定前图像

Fig. 19 The image before calibration

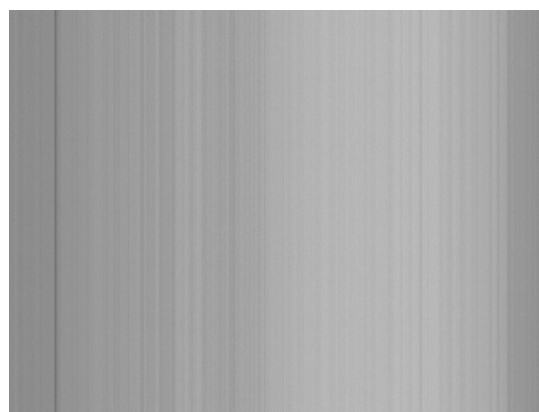


图 20 标定后图像

Fig. 20 The image after calibration

描相机一致性标定工作的效率大大提高,使带钢表面质量在线检测系统能够得到一致的图像输入,提高了系统检测分析缺陷的准确性和可靠性。

## 参 考 文 献

- [1] 杨水山,何永辉,王振龙,等.带钢视觉检测系统的研究现状及展望[J].冶金自动化,2008,32(2):5-9.
- [2] 何永辉,苗润涛,陈云,等.基于LED光源的热轧带钢表面质量在线检测系统的开发与应用[J].宝钢技术,2011(3):1-5.

(收稿日期:2013-02-26)