

文献标识码: B 文章编号: 1003-0492 (2024) 05-075-05 中图分类号: TP29

# 机器视觉技术在RTG大车自动纠偏系统中的研究与应用

Research and Application of Machine Vision Technology in RTG Automatic Gantry Steering System

★ 徐健 (西门子 (中国) 有限公司上海分公司, 上海 200082)

**摘要:** 机器视觉技术, 在轮胎式龙门起重机行进过程中, 实现了对大车的实时偏移量与偏移角度进行的高精度定位检测, 进而实现了预测性大车自动纠偏, 提高了大车纠偏控制精度。

**关键词:** RTG; 轮胎式龙门起重机; 车道图像识别; SINAMICS S120; 自动纠偏

**Abstract:** Utilizing machine vision technology, high-precision positioning detection of the real-time position deviation and Angle deviation of the RTG gantry in the process of traveling was realized. This enabled predictive automatic correction of the gantry, thereby improving the accuracy of the gantry's alignment control.

**Key words:** RTG; Wheeled gantry crane; Lane image recognition; SINAMICS S120; Automatic deviation correction.

轮胎式龙门起重机, 简称RTG (Rubber Tyred Gantry Crane), 是集装箱码头堆场上的一种重要起重设备。轮胎吊一般横跨整个箱区和紧临该箱区相沿的一条集卡车道, 大车必须严格保持直线行驶。但由于胎压变化、地面不平等因素的影响, RTG在大车行进过程中不可避免地会出现前后两侧不同步的现象, 所以需要实时调整两边大车运行的速度差, 进而保持直线运行。目前, 一般由位于高空驾驶室的司机目测RTG与地面导向色带的平行度加以判断, 然后通过操作纠偏手柄, 进行手动调整大车行走电机的速度差。

本文主要介绍了一套基于机器视觉技术的RTG大车纠偏系统, 并重点介绍了此系统在前期研究中遇到的技术障碍和后期调试中遇到的技术难点问题, 还介绍了作者在

此过程中的解决思路和处理办法, 希望可以给做相关RTG自动纠偏系统开发的读者提供一定的借鉴和参考。

## 1 技术背景

大车纠偏一直是困扰RTG自动化作业的一大难题, 也是一热门课题。国内外也有一些尝试, 主要解决方案有: 高精度GPS纠偏、双一维激光测距仪纠偏、码头地面埋磁钉方案测距等, 每种纠偏方案都具有各自的优缺点。现如今, 机器视觉技术已逐步成熟, 但视频图像处理在RTG纠偏的应用却几乎处于空白, 其原因主要有两方面: 一方面是图像处理技术属于定制化解决方案, 而RTG设备应用量较少, 没被软件行业重视开发; 另一方面是RTG设备的控制系统为安全型可编程控制器PLC, 其特点是稳定性、实时性和安全性较高, 且大型港机设备的高精度控制, 不仅对检测精度有较高要求, 对笨重的港机设备的控制执行单元也有很高的要求。

本文主要介绍的是作者在RTG自动纠偏试点项目的开发研究过程和应用实践, 并重点介绍了此系统在前期设计中遇到的技术瓶颈和后期调试中遇到的难点问题, 以及作者本人在此过程中的解决思路和处理办法。

## 2 基本原理

基于机器视觉技术的RTG自动纠偏系统的结构,

如图1所示,网络高清摄像头安装在RTG大车四个角,拍摄大车车轮所在行车道的实时视频。视频数据通过工业以太网传送至工业计算机IPC(Industrial Personal Computer),从摄像头获取到视频图像后,系统分析和处理图像中大车路径两侧的导航颜色色标,提取出特征标定中心线,根据原始标定判断出当前大车所在位置,和大车即将行进的方向,计算出位置偏移量和角度偏移量,然后将四个角的偏移量,通过工业以太网总线实时发送给RTG中央控制系统PLC,PLC接收到偏移信息后,结合当前设备大车运行速度、手柄给定、大车所在堆场的位置等信息,利用PID模块依照数据模型计算出大车运行机构所需要的调速调整量,最终由驱动系统调整两侧大车给定速差,闭环系统控制纠偏响应,进而使RTG大车运行在标定线±50mm的可控区域。

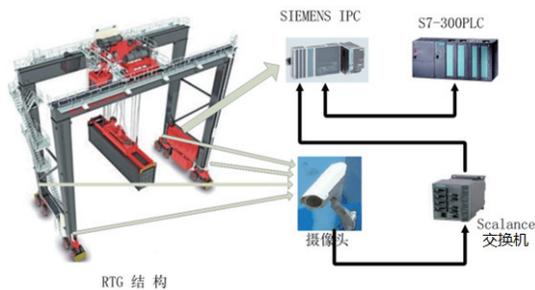


图1 纠偏系统硬件分布

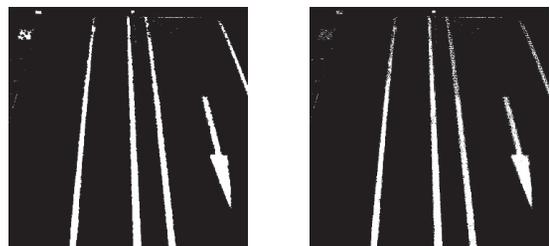
在RTG的前底梁两侧安装1#、2#摄像头,后底梁两侧安装3#、4#摄像头,摄像头均由安装在电气房内的POE(Power Over Ethernet)交换机进行48V直流供电,西门子工业计算机IPC通过POE交换机读取到摄像头数据,同时IPC的另一IE端口,连接到西门子PLC的PROFINET总线交换机,实现ProfiNet高速通讯。图像处理及数据计算由IPC中运行的纠偏处理软件系统AGSS(Auto Gantry Steering System)完成,该系统的使能控制、模式控制、标定控制由PLC指令控制输出,以实现PLC对AGSS的自由控制。

### 3 图像数据处理

AGSS系统通过IPC的以太网IE接口实时读取摄像头采集到的视频数据流。系统中的数据采集模块采集

到每一帧图像画面后,再由图像处理系统进行分析、处理、计算。将原来为RGB格式的静态图像处理为H(S\V三成分灰度图。然后对H(色调)、S(饱和度)矩阵进行处理,各选取一个合适阈值,将二者转换为表征黄色标志线区域的二值图;对两个二值图进行逻辑与运算,得到更准确的标志线区域。

在算法选取的过程中,我们遇到了太多的困难,主要是在图像去噪和颜色提取。因为经验不足,我们开始选取的算法是车道线边缘颜色直接提取方式,可实际中车道颜色的分布不均会导致边缘根本无法提取到。经过各种方法的尝试、查找资料、不断深入、反复试验和修改算法,我们最终选取了HSV颜色空间的转换,在对其图像进行膨胀、腐蚀算法后进行霍夫变换<sup>[1]</sup>和引导滤波实现稳定的车道提取,最后再将提取出来的特征线绘制再现于视频图像上。图2(a)~(d)所示为通过opencv-python<sup>[2]</sup>仿真的效果。



图(a) H(Hue)二值图像图

(b) 通过形态学处理



图(c) 边缘提取处理



图(d) 直线提取效果

图2 通过opencv-python仿真的效果图

其中图片转换和直线提取的关键算法如下:

```
def FindLines(pic, m)
# 将图片转换到HSV空间
inimg_hsv = cv2.cvtColor(inimg,cv2.COLOR_
BGR2HSV) # 将rgb转换为hsv
inimg_h = inimg_hsv [...,0] # 提取其中H
(Hue)部分
```

```

# 提取轨道线区域
bw_h = cv2.threshold(inimg_h, 100, 255, cv2.
THRESH_BINARY_INV) # 选取轨道线颜色对应的阈值
# 形态学降噪
kernel = cv2.getStructuringElement(cv2.
MORPH_ELLIPSE, (5, 5))
bw_s_bin = cv2.dilate(bw_s, kernel, 3)
bw_s_bin = cv2.erode(bw_s_bin, kernel, 3)
# 边缘提取
bw_s_bin_canny = cv2.Canny(bw_s_bin, 20,
150, apertureSize=3)
# 霍夫变换用于直线提取
plines = cv2.HoughLinesP(bw_s_bin_canny,
1, 3.14/180., 100, lines=0, minLineLength=30,
maxLineGap=5)
return plines

```

## 4 纠偏控制逻辑

要实现稳定可靠的数据接口对接，首先必须对RTG纠偏的控制逻辑进行规范，以便RTG可实时接收到偏移值，并执行纠偏控制逻辑。在RTG大车运行时，PLC系统发送启动AGSS指令，并接通摄像头POE电源接触器，AGSS系统启动通信接口，通过摄像头读取视频流数据，处理分析数据后给出偏移量。PLC会同时接收到4个角度偏移量和4个位置偏移量，首先判断每一个偏移量是否在可控范围，任意一个不得高于设定阈值，并计算角度差值是否超过有效角度的阈值，如超过则系统提示故障信息并输出停止运行信号，由司机切到手动纠偏模式，才可进一步操作。如图3纠偏控制逻辑图所示，PLC接收到4个角度偏移量 $\Delta\theta_1 : \Delta\theta_4$ 和4个位置偏移量 $\Delta P_1 : \Delta P_4$ ，首先判断每一个偏移量是否在可控范围，任意一个不得高于设定故障值，并计算 $\Delta\theta_{\max} : \Delta\theta_{\min}$ 的角度差值是否超过最大差故障，如超过则系统提示故障并停止运行，必须由司机切到手动纠偏模式，才可进一步操作。如正常，则进入自动纠偏控制，取检测到的最大角度偏移量 $\Delta\theta_{\max}$ 与最大位置偏

移量 $\Delta P_{\max}$ 为运算反馈值，以微调偏移量 $\theta_i$ 、 $P_i$ 作为输入量，构建双闭环控制逻辑。控制算法在PLC中实现，主要针对偏移量进行PI调节，调节参数值由经验值给出，再在实际调试中进行优化，最终将RTG大车运行的位置偏移量控制在稳定的范围。

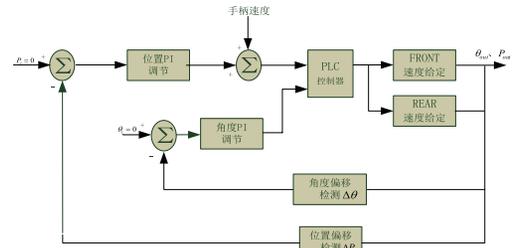


图3 RTG纠偏控制逻辑

## 5 数据控制流程

要实现稳定的通信，接口数据处理是比较关键的环节，因采集数据与控制数据为不同数量级的数据。传统的纠偏控制均基于数据量较小的通信参与控制，传统的控制接口也不能直接使用，要想完成高标准、实用性较好的控制，接口逻辑必须完善。在接口方面，前期为了与原PLC控制系统对接，需尽可能少改动原接口内容，但最终试验的结果是，自动纠偏应用后RTG工作效率变低，频繁报警大车自动减速运行，虽然控制精度得以保证，但效率受到影响。经过现场长时间的检测和驱动器波形记录，我们发现多数的问题在于数据拥堵和PLC控制逻辑响应过快，而AGSS指令变化频繁，所以接口设计需要更加合理，必须设计出能避免数据拥堵和响应问题的逻辑方式，以避免无效控制对控制结果的影响。

接口改进后的控制流程如图4所示，RTG启动后，自动启动IPC电源、网络电源，自动运行AGSS系统，等通信初始化完成后，PLC自动发送AGSS准备请求命令，AGSS收到请求后，如AGSS初始化正常、系统运行无故障，报警则发送准备好反馈信号给PLC，在此期间RTG设备可以正常地手动操作，设备在运行至车道正中心时，可停机进入标定模式（如设备已标定，可以直接进入运行模式）。如处于未标定状态，PLC发送标定请求信号，AGSS等待用户HMI接口操作确认，确认后

AGSS提取静态图像数据，并进行分析提取标志线，绘制标定线和预警线，完成后系统会提示标定完成，并发送标定完成信号给PLC，起重机此时才能自动纠偏运行模式。在大车运行前，AGSS系统始终处于准备状态，图像提取并显示在主界面中，但不做图像处理和纠偏计算，直至大车使能。在自动纠偏模式中，当大车运行开始时，PLC发送自动纠偏反馈信号、设备工况、纠偏模式信息给AGSS，AGSS系统实时判断命令后，如正常情况，则继续读取图像数据，并优先处理提取特征线和纠偏逻辑计算，将计算结果实时发送给PLC，在保证此线程实时运行的情况下，最终可将处理后的图像显示至系统主控界面。

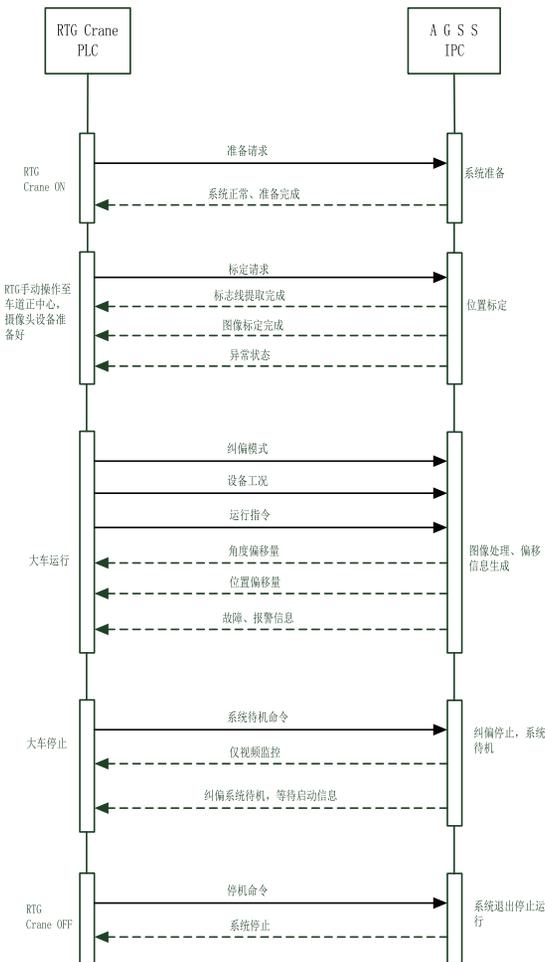


图4 纠偏系统接口流程

在原设备的控制系统中，控制指令由PLC实现，驱动响应由SINAMICS S120实现。由于不同RTG设备的机械结构、堆场分布、车道线外观均有差异，所以一套标准化的系统应该满足不同环境的应用场景。在实际应用中，可通过初始化标定方式，实现应用场景的变更。如图5所示，在RTG上电并进入堆场后，首先系统默认为手动纠偏模式，需由驾驶者将设备运行至工作区，并停止在导航标示线的中心位置。如AGSS状态正常可申请标定模式，标定完成后，在司机室人机界面HMI中可以看到已有的标定线，需改进相关的控制流程以配合AGSS系统。在纠偏系统输出执行中，西门子SINAMICS S120可以在控制单元中对4台大车变频器实施精准控制，其中1#、2#为前底梁大车驱动器，3#、4#为后底梁大车驱动器。在纠偏过程中，前后底梁分别由两台大车电机进行运转，由PLC控制器的PID模块输

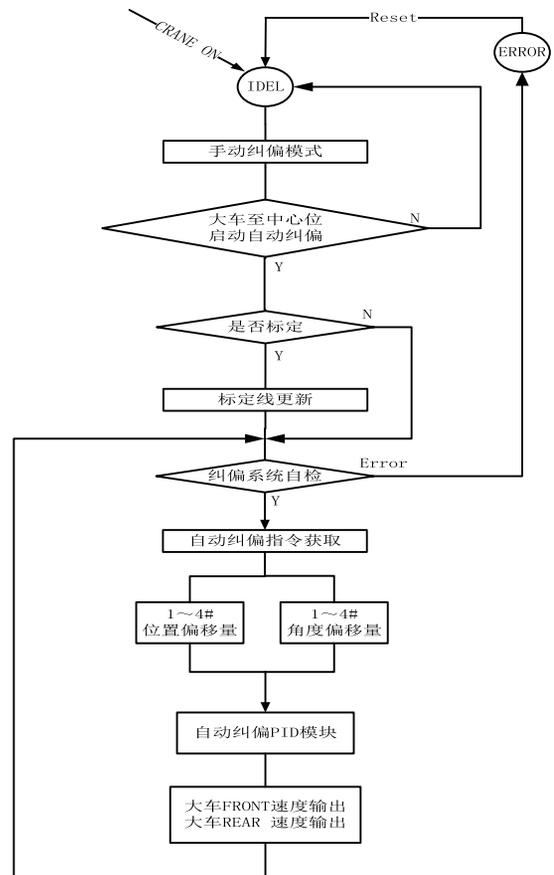


图5 PLC控制流程

出偏差量后，驱动器执行控制转速输出，1#、3#变频器驱动，在接收到PLC的Setpoint给定量后进行闭环速度矢量控制，2#、4#作为从变频器，在获取到1#、3#的转矩数据后，将转矩数据转换为控制信号，输出给2#、4#变频器，进而控制2#、4#大车电机，并对电机进行速度限幅，最终实现RTG的精准速度差输出。

## 6 测试结果记录

### (1) 原手动纠偏数据统计

在完全由司机手动控制纠偏的情况下，对手动纠偏拨杆与偏移量进行大量统计记录，得出结果是，对于旧机器，司机的手动纠偏频率非常高，且纠偏因为是脉冲固定值输出，控制偏移量范围较大，在 $\pm 10\text{cm} \sim \pm 20\text{cm}$ 之间。统计数据曲线如图6所示。

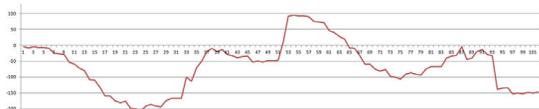


图6 原手动纠偏数据统计曲线

### (2) 全自动纠偏数据统计记录

通过测试并改进纠偏PID算法，最终的自动纠偏控制精度效果较好，能在各种速度情况下控制在 $\pm 3\text{cm}$ 内，在各种复杂工况下可完全稳定控制在 $\pm 5\text{cm}$ 内。数据曲线如图7所示。



图7 全自动纠偏数据统计曲线

## 7 结论

通过结合机器视觉系统的软件特性、RTG设备控制工况的需求以及西门子SINAMICS S120驱动的特性，我们不断改进接口方式和控制逻辑，克服了诸多的技术难点，最终实现了RTG自动纠偏的稳定控制，并经过了多种设备、多种场景的反复测试，实现了标准产品的上线。

通过本系统的应用研究，我们不难发现，基于图像处理的机器视觉技术、工业通讯技术、人工智能应用已经逐步成熟，其检测精度、检测时效性已远高于传统机械式传感器，并且在非接触的情况下，可高速检测目标物的精确位置与姿态，这将为诸多传统行业难题提供一种可行的解决方案。**AP**

### 作者简介：

徐健（1986-），男，新疆奇台人，中级工程师，学士，现就职于西门子（中国）有限公司上海分公司，研究方向为港口起重机自动化系统开发。

### 参考文献：

- [1] Wei Song, Pei Li, Man Wang. Transmission Line Detection based on Improved Hough Transform[J]. CVPR, 2024.  
[2] I uljak, et al. A Brief Introduction to OpenCV[J]. MIPRO, 2021.