

# 基于视觉识别的钢结构螺栓自动化安装方法研究

黄青隆 白洁 韩立芳 杨燕 申雨 唐伟耀

中国建筑第八工程局有限公司 上海 200122

**摘要:** 为提升钢结构施工中螺栓安装的自动化程度,提出一种基于视觉识别的钢结构螺栓自动化安装方法。首先,基于摄像机成像原理,提出螺孔定位的视觉识别方法。然后,结合机械臂的手眼标定原理,建立机械臂末端装载摄像头的手眼标定定位体系。最后结合二者,采用机械臂实现螺栓的自动拾取、对孔和安装。建立试验对所提方法进行了验证,结果表明,本文方法可以准确识别螺栓和螺孔,能完成钢结构螺栓的自动化安装,效果稳定。

**关键词:** 钢结构螺栓连接; 机械臂; 视觉识别; 自动化安装

## Research on Automatic Installation Method of Steel Structure Bolts Based on Visual Recognition

Huang Qinglong, Bai Jie, Han Lifang, Yang Yan, Shen Yu, Tang Weiyao

China Construction Eighth Engineering Division Corp., LTD Shanghai Municipality, 200122

**Abstract:** In order to improve the automation of bolt installation in steel structure construction, an automatic bolt installation method based on visual recognition was proposed. Firstly, based on the camera imaging principle, the visual recognition method of screw hole positioning is proposed. Then, combining with the hand-eye calibration principle of the manipulator, the hand-eye calibration and positioning system of the manipulator with the camera installed at the end was established. Finally, combining the two, the mechanical arm is used to realize the automatic picking, hole matching and installation of bolts. The proposed method is verified by experiments. The results show that the proposed method can accurately identify bolts and screw holes, and complete automatic installation of steel structure bolts with stable quality.

**Keywords:** Steel structure bolt; Mechanical arm; Visual recognition; Automatic installation

### 引言

钢结构的现场施工中,节点连接是重要的施工工序。目前,钢结构的节点一般有焊接连接和螺栓连接两种形式。钢结构节点施工往往依赖人工在高空进行作业,施工危险系数高、施工质量难以控制。结合当前方兴未艾的智能技术和机器人技术代替人工进行钢结构施工的高空作业,可以改变这一现状<sup>[1]</sup>。现阶段,针对钢结构焊接的焊接机器人研究已逐步开展<sup>[2-3]</sup>,并有产品进入工程现场测试应用。而针对螺栓节点,相关的自动化升级研究较少。

这是由于螺栓节点施工对螺孔定位、螺栓拧紧和质量检测的要求较高,实现螺栓自动化安装的技术难度大。随着人工智能技术的兴起,图像识别、视觉识别等技术已逐渐在传统制造工业中发挥作用。基于视觉识别的螺栓自动化安装技术发展成为可能<sup>[4]</sup>。然而,应用视觉识别技术时,需对螺栓零件特征、螺孔特征等识别物进行采样提取。由于特征提取的复杂性和现场环境的不确定性等因素影响,需对视觉识别技术是否适用于螺栓连接机器人进行测试验证。

鉴于此,为解决螺栓节点施工的自动化安装问题,提出一种基于视觉识别的钢结构螺栓自动化安装方法,通过螺孔识别定位技术和执行器手眼标定技术,实现针对钢结构螺栓节点的自动化安装,并通过试验进行验证。

### 一、螺孔识别定位技术

#### (一) 技术原理

实际环境中,存在各种因素影响摄像机的成像效果,因而摄像机拍摄的图片会受到各种环境噪声的影响,如光线、灰尘、噪点等。这些不利因素将直接造成系统识别误差增大,因此,在提取螺孔识别定位特征之前,应对图像进行预处理,将不利因素予以去除。预处理主要有颜色空间选取、掩膜建立、平滑、锐化和边界处理相关操作。

为更好地分离出目标信息,通常需将摄像机的背景设置得比较干净且与目标差别较大,这样就可以通过图像二值化的方法将目标提取出来。提取前需要将背景和进行灰度处理,再给定一个阈值 $t$ ,将灰度高于阈值的像素赋予一个新值(如255),将灰度低于阈值的像素赋予另一个新值(如0),如此便可得到一幅二值化图像。在阈值分

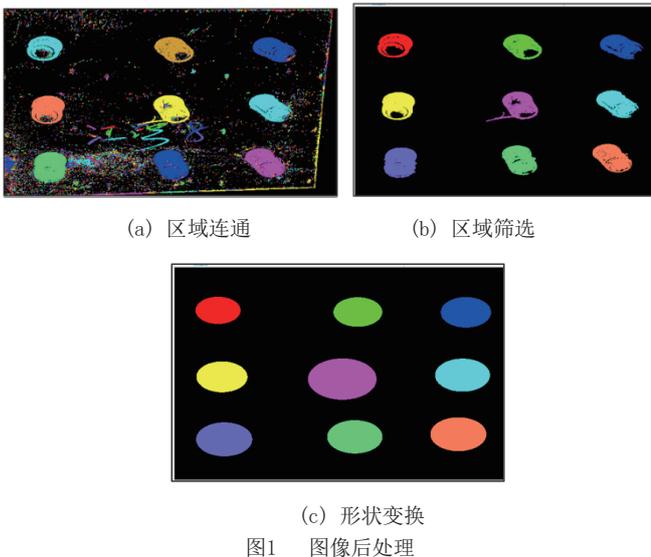
割中，常见方法有简单阈值、自适应阈值和Otsu's 二值化等。

经二值化处理的图像虽为后续图像处理减轻了不少计算量，但是由于光线、拍摄环境等因素，目标物体表面的二值化效果仍难以理想，这边需要采用数学手段对目标区域中的白色噪点、黑色斑点等干扰像素进行处理。常用的处理方法包括腐蚀和膨胀等。

## (二) 实现步骤

视觉识别的特征提取按如下步骤进行：

①将图像转换为RGB-HSV分量。对比不同分量图像质量，选取饱和度、区分度均较高的S分量图做后续处理。②对选取的图像进行二值化、腐蚀和膨胀处理。该处理可突出螺栓、螺母位置，消除图像中的噪点，同时将不连续的区域连通。③将处理后的图像通过聚类连通成闭合区域，再基于面积、圆度等特征筛选出待识别螺栓和螺母所在的区域，最后将选择的区域变换为该区域的最小外接多边形，处理结果如图1所示。计算形状的几何特征，可得到估计的螺孔坐标。



## 二、执行器手眼标定技术

### (一) 技术原理

机器人的视觉系统分为固定场景视觉系统和运动的「手-眼」视觉系统。摄像机与机器人的手部末端，构成手眼视觉系统。根据摄像机与机器人相互位置的不同，手眼视觉系统分为Eye-in-Hand系统和Eye-to-Hand系统。Eye-in-Hand系统的摄像机安装在机器人手部末端(end-effector)，在机器人工作过程中随机器人一起运动。Eye-to-Hand系统的摄像机安装在机器人本体外的固定位置，在机器人工作工程中不随机器人一起运动。

典型的Eye-in-Hand系统如图2所示。在该系统中，相机固定在机械臂末端，会随着机械臂的运动而运动。在对目标点的空间三维坐标进行变换的过程中，首先遇到的问题是机器人末端关节坐标系与摄像机坐标系之间的位置变换关系，也就是机器人的手眼位置关系，该关系用符号X表

示，具体可以用方程 $AX=XB$ 求解。其中A表示相邻两次运动时机器人末端关节的变换关系；B表示相邻两次运动时摄像机坐标的相对运动。

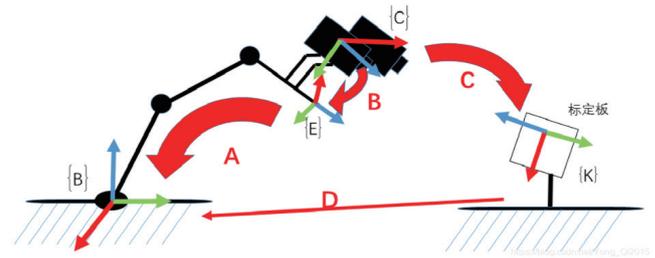


图2 典型Eye-in-Hand系统示意

### (二) 实现步骤

对于给定的标定板试件，可参照以下步骤对相机进行手眼标定：

①将标定板放到相机识别区域内；②拍摄不同位置的标定板照片，约30张左右；③将照片按照第2节所述技术进行处理，导入Halcon软件分析计算得到相机内参；④将获取的相机内参导入程序，编辑相机的矫正代码；⑤输出标定结果，完成标定。

## 三、技术测试实验

### (一) 实验方案

为验证技术路线的可实施性，在实验室中进行实验验证。实验采用Eye-in-Hand系统，将视觉相机和末端执行器安装在机械臂末端，利用视觉相机对摆放在操作台上的螺母依次定位拾取，将螺母依次安装在螺栓上并执行拧紧操作。

### (二) 测试结果

测试中机械臂执行任务过程可知，采用视觉识别技术进行螺栓和螺母的识别和拾取，并执行螺栓紧固的操作是切实可行的。

## 四、总结

基于本文研究和试验结果，可得出以下结论：

(1) 螺孔识别定位技术可采用图像识别的方式进行自动化识别；(2) 将摄像头装于执行器末端，可借助手眼标定技术实现对机械臂末端的准确定位；(3) 基于视觉识别的钢结构螺栓自动化安装技术路线可行，且自动化安装效果稳定。

### 参考文献：

- [1] 吕志珍. 建筑钢结构行业智能机器人应用展望[J]. 金属加工(热加工), 2015(22): 17-20.
- [2] 刘重洋. 一种四自由度螺栓拧紧机器人的研制[D]. 西安理工大学, 2020.
- [3] 杨阳. 整体螺栓拉伸机自动测量机器人系统设计与实现[D]. 北京理工大学, 2015.
- [4] 樊绍胜, 杨迪, 邹德华, 严宇. 输电线路螺栓紧固带电作业机器人的视觉搜索、识别与定位方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 31(09): 1514-1523.