

海洋平台建造中基于 3D 视觉的甲板板定位技术可行性研究

石东东¹, 刘玉玺¹, 贾学庆¹, 李天翔¹, 赵 渊^{2*}

(1. 海洋石油工程股份有限公司天津智能制造分公司, 天津 300456; 2. 天津大学建筑工程学院, 天津 300350)

摘要: 车间自动化改造是当前工业领域的重要课题, 针对甲板片预制车间, 同样需要实现工作内容的自动化。甲板板自动化吊运是甲板片预制车间自动化改造的一个重要部分, 为了实现甲板板自动吊运, 关键是实现甲板板的自动定位。本文通过广泛调研相关定位技术, 结合甲板片预制作业发展现状, 研究了如何将 3D 相机应用到甲板板定位作业, 给出了线阵相机扫描定位的方案, 并进一步验证了其可行性。通过该方案实现甲板板的自动定位, 将很好地提高甲板片预制车间的整体自动化水平、作业的连续性, 有效提高工作效率。除却甲板板定位, 本研究也将为自动化车间大尺寸工件的定位作业, 提供可参考的思路。

关键词: 自动化; 海洋工程; 视觉定位; 3D 视觉

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

1 引言

视觉方法是当今数字化、信息化时代的一种较为普遍的应用技术, 也是工业领域自动化改造的关键技术之一。无论是视觉方法的硬件产品还是软件产品, 都是当前自动化生产各个环节的重要组成部分。具体到甲板片预制作业中, 随着甲板片制造工艺的发展, 建造过程的自动化、连贯性、精确度及完工状态越来越受到重视。如何进一步提高整体自动化水平, 是长期困扰行业的一个关键技术难题。甲板板是制造甲板片的主要材料, 如

果能够实现甲板板的自动化定位, 将极大地提高甲板片制造作业整体的连贯性, 提高生产效率。目前, 国内的甲板板吊运, 拼接作业主要依赖人工操作, 并辅以龙门架、支架等简单的机械设备进行吊运和支撑, 由人工进行定位作业。这种定位方式, 无法对被吊运的甲板板位姿给出量化的评估, 工作强度大, 定位质量严重依赖工人的个人经验与技能, 此外由工人牵引被吊运着的甲板板也存在着一定的安全隐患。而随着自动化技术的发展, 尤其是视觉方法在工业领域的大范围应用, 为甲板板定位作业提供了新的思路。如果能够将视觉方法充分的应用到甲板板定位作业, 将能够很好地解决以上问题^[1]。

* 通信作者: 赵渊

2 技术现状

从二十世纪五十年代末,计算机视觉的研究起步,到今天七十多年的时间,视觉技术的研究和应用一直得到广泛的关注,并取得了飞速发展。国际上,机器人3D视觉技术应用显著进展,常见系统包括Bin-picking系统,利用3D相机获取目标三维信息进行识别与定位,如Fanuc公司的3D iRVision系统和德国Sick公司的PLB-500系统等。3D视觉传感器分为主动视觉和被动视觉两类,分别通过外部设备投射光线和环境照明获取点云信息^[2-3]。在国内,3D视觉技术受到“工业4.0”概念和“中国制造2025”计划的推动,广泛应用于智能制造领域,通过推广机器人抓取装配技术和开发高精度视觉传感器与算法,提升系统精度和效率,促进了生产线的柔性 and 效率提升,解决了复杂工件摆放不整齐的问题^[4]。总体而言,3D视觉技术如今已经广泛应用到了工业、农业、军事、医疗和航天等诸多领域^[5-7]。尤其是工业领域,在第四次工业革命的背景下,制造业都在积极的向自动化转型。我国作为制造业大国,存在大批量的工业生产流水线,其中很多场景下需要即时对产品进行检测、识别、分类和装配等^[8-9]。在过去,这些工作往往由人力完成,不仅耗费大量人力成本,而且效率和准确度常常受到限制,特别是在强噪声、危险恶劣等环境下,工人的身心健康也会受到严重伤害。面对这些工作内容,视觉技术的应用势在必行。

视觉在感知外界环境中起着至关重要的作用,它涵盖了超过80%的信息。为了实现车间制造作业的自动化,需要将工作信息和环境信息量化,这就需要视觉技术的支持。视觉技术利用机器代替人工完成测量和判断的功能,实现机器像人类一样通过视觉观察世界,并具有自主适应环境的能力。在一些危险环境或人工难以完成的场合,机器视觉可以代替人工视觉。同时,在大规模和高度重复性的工业生产过程中,利用机器视觉检测方法可以大大提高生产的自动化程度,提高效率并降低人力成本。

3 甲板板视觉自动定位方案

甲板片是海洋平台的重要组成部分,主要由甲板板与型材有序组合焊接而成,制造甲板片的作业中一个关键内容就是将甲板板吊运到指定位置进行拼接。当前甲板板自动化铺设作业相关内容较为空缺,本文充分了解甲板板铺设作业发展现状后,提出一种甲板板自动化铺设工艺流程,如图1所示。

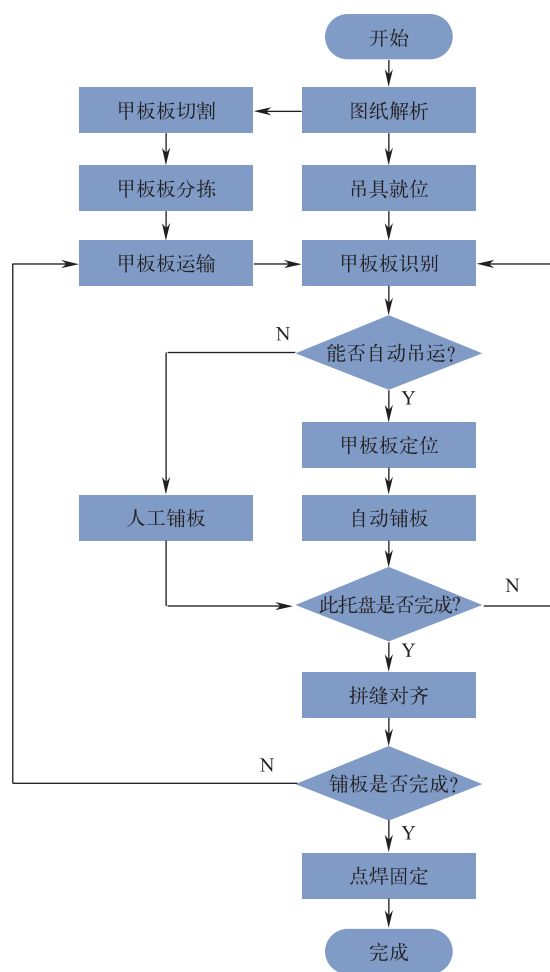


图1 甲板板自动化铺设工艺流程

上述流程中涉及的主要设备包括生产管理系统(MES)、自动导引运输车(AGV)、自动化吊具等。MES作为预制车间的数据与控制中枢,与车间的自动化吊具和AGV等设备进行数据交互;AGV是指装备有电磁或光学等自动导引装置,能够沿规定的导引路径行驶,具有安全保护及各种移栽功能的运输车;自动化吊具主要由门架结构(包括主梁和两侧支腿)、智能小车、自动吊具、运行机构、轨道和驱动、电控及警示系统等组成,可实现对甲板板的识别、寻位、抓取、提升、旋转和定位等整个过程的自动化无人操作。

整个流程从获取图纸信息开始,接着由MES下发指令,一方面进行物料准备,将板材切割分拣好后,由AGV运输到指定位置;另一方面自动化吊具收到指令,移动到携带着甲板板的AGV上方。紧接着便由自动化吊具去实现对甲板板的定位,获取甲板板的准确位姿信息,进一步计算抓取点并吊运甲板板,开始自动铺板。自动

铺板结束后进行后续的点焊定位。点焊定位结束，意味着甲板板的自动化吊运、拼接作业的完成。

从该工艺流程不难看出，整个甲板板自动化铺设作业的一个关键环节便是实现甲板板定位。为了实现甲板板自动化定位，本文结合视觉技术，提出通过视觉定位的方案来实现自动化定位。视觉定位是指通过测量和分析对象的外部特征和几何形状来确定其在空间中的位置和方向。这种定位方法通常涉及使用传感器或相机来捕获对象的外部特征，并利用图像处理或计算机视觉技术来识别和分析这些特征，从而确定对象的位置和方向。

3.1 甲板板视觉定位技术分析

想要对甲板板实现视觉定位，可以借助视觉手段，扫描得到甲板板的整个轮廓。而甲板板的尺寸通常在 $2\text{m} \times 12\text{m}$ ，这对用来拍摄的3D相机提出了要在大幅幅下同时满足高精度的挑战。当前小尺寸工件都已经很好地实现了视觉定位^[1]，但是像甲板板这样的大尺寸工件受到相机画幅与精度的限制，无法通过简单的拍摄实现定位，想要通过视觉定位就必须要进行多次拍摄，接着对图像进行拼接处理，来定位甲板板。视觉定位流程如图2所示。

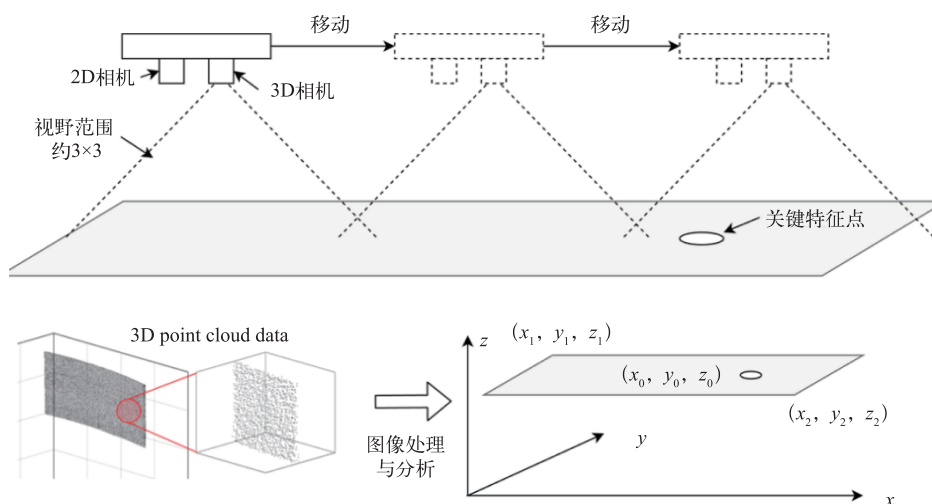


图2 视觉定位流程

实现视觉定位，需要装配着相机的自动化吊具，在甲板板上方多次移动、停止、拍摄，来获取甲板板的轮廓，这种方案确实可以实现对甲板板的视觉定位，但是考虑到拍摄效率，以及自动化吊具多次移动、停止的机械损伤，需要进一步优化，提高定位效率。

应用线阵相机能够很好的解决这个问题。线阵相机，

是采用线阵图像传感器的相机。线阵相机的画面呈现出线状，虽然也是二维图像，但是长度可以达到上万像素，而宽度就只有4个像素左右，通常会在两种情况下使用这种相机：一是被测视野为细长的带状，多用于滚筒上检测的问题。二是需要极大的视野和极高的精度。面阵、线阵相机视觉定位作业如图3所示。线阵与面阵相机对比见表1。

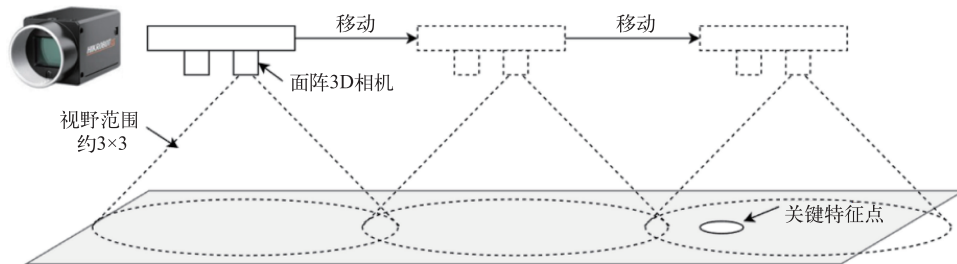


图3 面阵、线阵相机视觉定位作业示意图

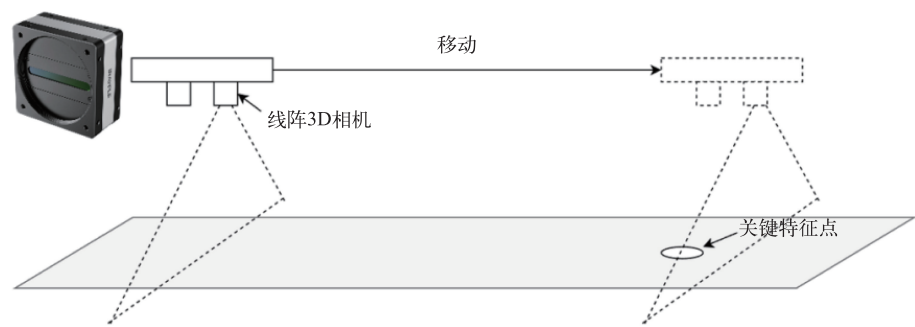


图3 面阵、线阵相机视觉定位作业示意图（续）

综合考虑，在甲板板定位的应用场景下，利用线阵相机进行定位，效果较为理想，能够很好的满足画幅以及精度的要求，同时也避免了多次拍摄的繁琐操作，扫描时间由具体工作条件决定。

表1 线阵相机与面阵相机对比		
对比项目	线阵相机	面阵相机
图像获取方式	扫描获取	多次拍摄获取
适用范围	视野为细长带状	应用广泛
特点	只有一行感光元素，因此可以用高速扫描和高分辨率。可以对图片逐行处理，或者组成多张进行处理	面阵相机可以方便的读取更多的信息，包括测量面积和形状、尺寸、位置，甚至温度

3.2 甲板板视觉定位方案设计

本项目设计了利用线阵相机的甲板板定位方案。甲板板识别过程从MES发出指令开始，AGV及自动化吊具收到指令之后，AGV会根据MES的指令，运送甲板板到达指定位置，接着由自动化吊具携带线阵相机，沿板材长度方向进行扫描。线阵相机完整的扫描板材后，便可以对板材进行精确的定位，将板材的位姿数据信息化，便于后续展开进一步自动化作业。流程如图4所示。

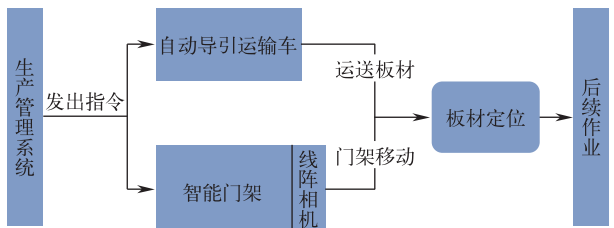


图4 线阵相机视觉定位作业流程示意图

4 方案可行性研究

按照线阵相机扫描来定位甲板板的方案，理论上可行，为了确保其定位效果的准确性与效率，以及当前相机水平是否能满足工作要求，本文结合具体工作内容及相机参数进行进一步的可行性研究。在甲板板的定位作业中，甲板板宽度通常为3m，长度通常为12m，定位过程需要扫描板材轮廓，为了保证轮廓的完整性，需要将视野放大，要求线阵相机拍摄范围达到4m，扫描行程为13m。在此条件下，对甲板板定位过程误差，相机移动速度及完成单次甲板板定位所需时间进行研究。用于定位的相机参数见表2。

表2 相机参数	
相机	参数
光学分辨率 / (μm/ 像素)	200
视野 /mm	1 400
像素数	7 000
高度分辨率 /μm	60
高度范围 /mm	400
工作距离 /m	1.65
最大速率 / (mm/s)	5 940
行频 /kHz	29.7
尺寸 (长/mm) × (宽/mm) × (高/mm)	220 × 99 × 463
3DPIXA dual	DUAL HR CP000520 -D02-200-1400

该产品在1.65m的工作高度下，拥有1.4m的视野范围，并能控制水平方向误差在0.20mm，垂直方向误差在0.06mm，能够很好地满足精度需求；水平方向最大扫描速度为5.94m/s，能够很好地保证工作效率。为了在现有

的工作高度下实现高质量的扫描定位，需要在门架上主梁中心，沿吊具副梁方向加装悬臂，间隔 1.3m 并排布置三台该相机，中相机安装在主梁一侧，左右两台相机则装在悬臂上，保证相机扫描范围能够覆盖 4m 的扫描范围。如图 5 所示。

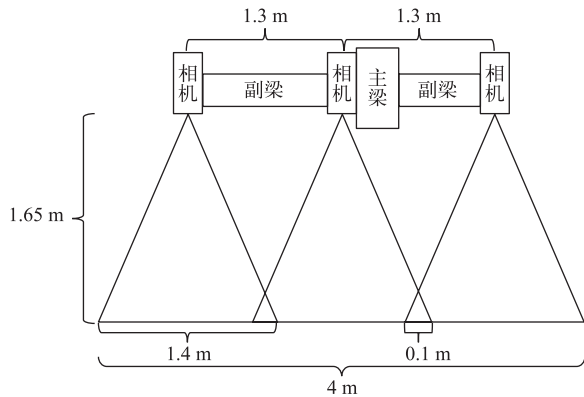


图 5 相机布置示意图

该相机接口可以选择基础、中等和完整 Camera Link。Camera Link 是一种国际图像采集标准，尤其适用于需要高吞吐量的应用。相机扫描数据需要在中控室的计算机中下载对应软件，用于 NVIDIA GPU 主板上的实时 3D 数据计算。不同 Camera Link 配置之间的一些基本差异见表 3。

表 3 不同配置接口对比

配置	数据位数	最大可能吞吐量 / (MB/s)	所需的电缆数量
基本	24	255	1
中等	48	510	2
完整	64	680	2

根据调研得出，当前线阵相机应用到甲板板定位作业中，误差可以控制在毫米级，满足精度要求；扫描速度可以达到 5.94m/s，完成单次扫描只需要 2.19s，扫描效率高，具体扫描定位作业时间，更多考虑机械结构移动速度的影响。总的来说，通过线阵相机扫描定位甲板板的方案可行，能够很好地提高工作效率、精确度及自动化程度。

5 结束语

本文针对 3D 视觉方法在甲板板定位作业中的应用，进行了可行性研究，设计了自动化定位甲板板的方案，并通过研究得出，应用 3D 线阵相机对甲板板定位，能够满足定位作业对精度及画幅的要求，能够在保证作业效率的基础上，很好地提高整个甲板片预制作业的自动化程度。除却甲板板定位作业，其他需要结合视觉技术定位大尺寸工件的制造工艺，也可以参考本文。

参考文献

- [1] 欧阳斌, 陶晔, 周庆, 等. 板材加工自动化制造系统中零件定位方法的研究 [J]. 机械工程师, 2016 (3): 93-94.
- [2] WANG H, WANG C, LIU Q, et al. A data and knowledge driven autonomous intelligent manufacturing system for intelligent factories[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2024 (74): 512-526.
- [3] GODINHO R E, QUEIROZ M R, VALDIR G J. Real-time deep learning approach to visual servo control and grasp detection for autonomous robotic manipulation [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2021, 139 (1): 40-63.
- [4] 刘攀. 机器人 3D 视觉系统标定及目标识别技术研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2018.
- [5] 王连庆. 基于 2D 和 3D 视觉的工业机器人高精度对位系统研究 [D]. 上海: 上海工程技术大学, 2021.
- [6] 刘德儿, 朱磊, 冀炜臻, 等. 基于 RGB-D 相机的脐橙实时识别定位与分级方法 [J]. 农业工程学报, 2022, 38 (14): 154-165.
- [7] 田森, 莫威, 刘顺, 等. 面向高精度航天仪器自动化装配的视觉定位导引系统 [J]. 机械设计与研究, 2022, 38 (3): 122-126.
- [8] 孙姝丽. 面向自动化生产线的工业机器人视觉引导系统的研究与应用 [D]. 西安: 陕西科技大学, 2020.
- [9] 周治国, 马文浩. 一种多层多模态融合 3D 目标检测方法 [J]. 电子学报, 2024, 52 (3): 696-708.

收稿日期: 2024-07-08