



罗泾港区自动化集装箱码头 智能闸口设计特点

王小坤¹, 赵广申², 万海霞²

(1. 上海国际港务(集团)股份有限公司, 上海 200080; 2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 针对集装箱闸口系统在码头自动化改造中存在的识别精度不足、人工干预频繁、上磅检测成本过高等突出问题, 依托机器视觉与深度学习技术展开系统性研究。研究通过构建车牌识别双绑定机制强化车号匹配可靠性, 结合视频智能识别技术替代传统地磅装置, 并开发多维度集装箱残损检测算法, 使闸口自动放行率、箱号识别准确率、残损区域定位准确率均突破 98%, 损伤类型识别精度达 92%。同时, 利用特征提取算法精准检测集卡前后轮上磅状态, 将上磅检测作业效率较人工方式提升 230%; 通过手机 APP 实现闸口作业全流程预约, 搭配智能路径引导功能完成自动导航, 有效破解码头场地改造受限的难题。该研究成果为传统码头自动化升级提供了可复制的技术范式, 对全面提升港口智能化水平具有重要实践价值。

关键词: 机器视觉; 深度学习; 智能理货系统

中图分类号: U656.1+35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)S1-0203-06

Design features of intelligent gate for automated container terminal in Luoqing port area

WANG Xiaokun¹, ZHAO Guangshen², WAN Haixia²

(1. Shanghai International Port (Group) Co., Ltd., Shanghai 200080, China;

2. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: To the prominent issues of insufficient recognition accuracy, frequent manual intervention, and excessive weighing detection costs in the container gate system during the automated transformation of terminals, this paper conducts a systematic study based on machine vision and deep learning technologies. The research enhances the reliability of vehicle number matching by constructing a dual-binding mechanism for license plate recognition, replaces traditional weighbridge devices with video intelligent recognition technology, and develops a multi-dimensional container damage detection algorithm. As a result, the automatic release rate of the gate, the accuracy of container number recognition, and the accuracy of damaged area positioning have all exceed 98%, and the accuracy of damaged type recognition has reached 92%. Meanwhile, the feature extraction algorithm is used to accurately detect the weighing status of the front and rear wheels of container trucks, increasing the efficiency of weighing detection operations by 230% compared to manual methods. The full-process appointment of gate operations is realized through a mobile app, combined with an intelligent path guidance function for automatic navigation, the problem of limited wharf site reconstruction can be effectively solved. This research provides a replicable technical paradigm for the automated upgrading of traditional terminals and has important practical value for comprehensively improving the intelligence level of ports.

Keywords: machine vision; deep learning; intelligent tally system

随着全球贸易发展, 集装箱运输成为现代物流重要部分, 港口作为关键节点, 其效率直接影响供

应链运作。传统港口存在信息传递不畅、流程冗长、人工干预多等问题, 导致效率低下, 因此提升

收稿日期: 2025-05-15

作者简介: 王小坤(1980—), 男, 高级工程师, 从事港口工程管理工作。

港口自动化与信息化管理能力成为研究热点。

近年来,随着 OCR(光学字符识别, optical character recognition)、视频图像处理、RFID(射频识别, radio frequency identification)等技术成熟,港口自动化研究不断深入,已有学者探讨自动化码头设计与实施,如基于 OCR 的集装箱识别系统显著提升通行效率^[1]。但现有研究多集中于新建项目,对传统码头自动化改造研究较少。传统码头在空间布局、设备更新、技术集成等方面存在局限,改造中的场地限制、设备兼容性 & 系统集成等问题对自动化升级构成挑战,且当前闸口设计无法实现全预约,导致集卡通行效率低,影响港口整体运作。

该研究旨在提出新的港口集卡上磅检测方法,解决传统码头改造的技术瓶颈与管理难题,通过结合 OCR 技术、视频流处理和现代信息系统,设计高效智能道口系统,实现集装箱箱号、车号自动识别与数据处理,提升作业效率。创新点在于提出系统集成解决方案,强调不同技术协同,以实现港口智能化整体提升。

综上,本文详细探讨智能道口系统的设计思路、关键技术及在传统码头改造中的应用,期望为未来港口的自动化升级提供理论依据和实践指导。

1 智能闸口

1.1 集装箱码头智能道口系统

目前国内外的港口集装箱场站智能闸口系统集成图像采集系统、数据转发系统和人机交互系统^[2]。

1.2 集装箱智能闸口系统流程

智能闸口能实现对集卡及集装箱的信息采集和管理,通常三级闸口应满足进港集卡和出港集卡的作业流程^[3]。

1.2.1 进港集卡的作业流程

第 1 道闸口:初步识别集卡信息。功能包括识别车牌号、箱号、残损信息采集、箱门朝向。

第 2 道闸口:完成信息核对和交接单。功能包括 RFID 刷卡、道口称重、对讲、显示屏提示、

自动打印作业单。存在问题的集卡应进入闸口缓冲区,处理集卡问题,办理相关手续。

闸口缓冲区:集卡问题处理与等候区,对于不适宜进场车辆需要从出港通道放行。

第 3 道闸口:对进场车辆的再验证,不满足要求的车辆不能进场。功能包括识别车牌号、信息验证。

1.2.2 出港集卡的作业流程

第 1 道闸口:初步识别集卡信息,功能包括识别车牌号、箱号。

第 2 道闸口:完成信息核对和交接单,功能包括 RFID 刷卡、自动打印出港凭证、对讲、道口称重、显示屏提示。

集装箱检查区:对问题集卡进行开箱检查。

第 3 道闸口:对出场车辆再验证,包括识别车牌号、信息验证。

2 罗泾自动化集装箱码头智能闸口现状分析

本文主要以罗泾港区集装箱码头的道口智能化设计为例。上海港罗泾港区位于长江口南支河段南岸,原罗泾码头为煤炭码头现改造为自动化集装箱码头,罗泾道口布局为进港 8 车道,其中 7 条标准道,1 条超宽道;出港 6 车道,其中 5 条标准道,1 条超宽道。

由于罗泾码头基于煤炭码头进行改造,其道口区域可供使用的面积有限,无法通过设置多级道口缓冲区的方案来实现车辆的分流和管理;而且因罗泾码头为自动化集装箱码头,对于车辆的规划和调度的要求较高,不能只采用原来道口的传统人机交互设备。

3 智能闸口具体解决方案

智能道口系统主要利用最新的机器视觉图像处理技术和数据采集技术,大大提高道口疏港速度,提高作业效率。针对不同的道口设计定制化方案,充分满足不同道口的实际需求,实现港口精细化、可视化、智能化管理^[4]。系统布局见图 1。

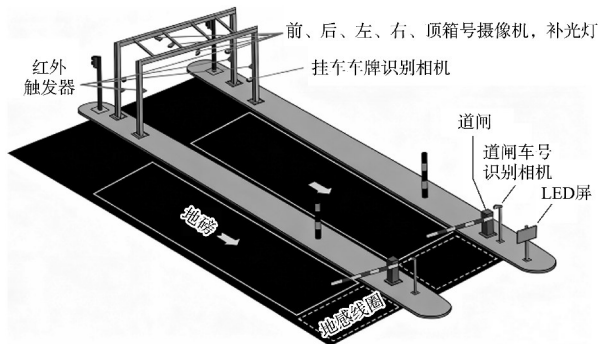


图 1 智能闸口系统布局

Fig. 1 Layout of intelligent gate system

3.1 车号识别子系统

基于百万像素工业网络摄像机在恶劣环境适应性、通信接口标准性, 开发多种车辆特征(颜色、轮廓、纹理)的图像算法。整个车号识别系统具有独立算法、高清分辨率、小体积、高可靠性、易安装等特点。应用人工神经网络技术可以较好地解决“D”“O”“B”“8”等易混淆的字符的识别, 有效提升图像中车牌的定位速度和定位精度^[5], 以及缺损、模糊字符的识别率。

3.2 箱号箱型识别子系统

在闸口集卡停靠位置的前、后、左、右、顶5面安装摄像头, 定位、识别集装箱文本区域和箱号, 通过箱号规则校验后输出最终箱号识别结果^[6]。识别算法分为3种模块。

3.2.1 文字区域检测模块

文字区域检测模块获取待识别集装箱图片或视频, 将对图片(视频)各区域进行扫描, 检测文字区域在图像中的坐标, 将文字区域图像分割出来, 用于接下来的文字检测。箱号箱型识别见图2, 方框为检测出的图像区域。



图 2 箱号箱型识别示意图

Fig. 2 Schematic diagram of container number and type identification

检测模块采用神经网络进行搭建, 模型主要由特征抽取、特征融合、定位坐标检测三部分组成。特征抽取使用卷积神经网络, 特征融合使用反卷积加上采样, 定位坐标检测使用全连接神经网络^[7]。

3.2.2 文字识别模块

通过上一步文字区域检测模型定位到坐标, 可裁剪出待识别文字区域, 最终将输出各图片中对应的文字作为结果。返回结果被规则校验模块校验, 符合集装箱箱号规则的数据将会输出。

识别模型使用 CNN+RNN+CTC 搭建神经网络, 通过端到端训练, 可识别不定长文字内容。

3.2.3 识别结果校验模块

识别结果校验模块需要根据业务规则, 对识别模块输出的结果进行校验, 符合的则输出, 不符合的输出提示信息。

针对集卡停靠位置不固定, 摄像头类型多样(球形)导致箱号图片边缘形变, 弯曲问题, 研发的形变矫正算法着重对拍摄较为完整的箱门侧箱号进行识别。

3.3 残损拼接子系统

视频图像拼接技术可将有重复部分的图像序列拼为清晰无缝图像, 在视频领域应用广泛。道口场景中, 集卡进入时采集的大量箱体图片重叠多, 经拼接能形成完整箱体侧面, 供网页端展示确认, 也为残损识别提供数据。

3.3.1 处理流程

图片拼接具体实现流程见图3。

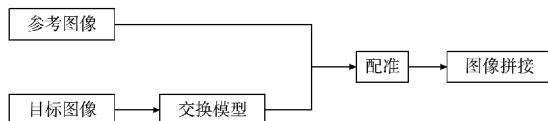


图 3 图片拼接流程

Fig. 3 Picture stitching process

预处理阶段: 因视频序列图像位移小, 先筛选子集以减少计算量, 提升匹配速度, 再校正畸变、去噪。

图像配准阶段: 为核心精准匹配可提速。主要提取并匹配特征点, 计算变换模型参数, 确定

变换关系。

图像融合阶段：主要消除拼缝并融合，实现平滑过渡与视觉一致，以提升图像信息利用率及空间、光谱分辨率，得到无缝清晰的拼接图像。

3.3.2 图像配准

图像配准技术即图像对齐，是图像处理的基本问题，研究如何定位图像间几何位置关系，对相机采集的系列图像做最佳匹配。因拍摄角度、天气、光照等影响，图像存在差异，配准可消除这些不同。

配准技术流程包括：1) 对待配准的两幅或多幅图像进行图像的特征提取，一般是特征点、特征曲线和曲面；2) 根据匹配的特征点确定出一种空间变换，得到图像空间坐标变换参数；3) 使一幅图像经过变换后能够达到所定义的相似性测度，由坐标变换参数进行图像配准。

3.3.3 图像融合

配准后通过数据融合图像，使缝合边界平滑。因光照、亮度等问题，拼接处易有明显拼缝，融合可消除不连续性，使过渡自然、视觉一致。融合策略需满足：不损失原图信息，且让拼缝平滑过渡以达无缝。

3.3.4 合成方式

1) 帧到帧的合成：将相邻有重叠的两幅图像变换到同一坐标系，经配准、融合成较大图像。通过变换模型参数求变换矩阵，对图像做空间变换实现配准。计算精度影响大、误差大时，随帧间隔增大误差会加剧。

2) 帧到镶嵌图像的合成：将当前图像帧与已拼接图像配准，计算变换关系，多用于实时视频传输。以镶嵌图像为基准，无需对当前帧做坐标变换，仅插值变换后融合。

3) 镶嵌图像到镶嵌图像的合成：将已拼接图像相互拼接，类似帧到帧合成。先按规则分段图像并拼接为子图像，再按帧到帧方式拼接。需较多重叠区域，拼接质量精确但耗时大。

该项目提取视频关键帧，综合 3 种合成方式拼接，保证质量，减少匹配时间，提高效率。

3.3.5 工作原理

当集装箱车辆开进车道内，被红外线触发器感应到，触发器产生的电压信号传输到时序逻辑控制器，逻辑控制器按照二组触发器依次生成的信号组合，判断出相应的动作控制信息，然后将这些信息发送给处理服务器。

现场实际拍摄图片经过软件处理的箱面拼接效果见图 4。



图 4 集装箱箱面拼接

Fig. 4 Container surface splicing

3.4 道闸子系统

该系统实现对进出港区集装箱卡车的控制，集卡司机进入闸口或者在停车缓冲段等候^[8]。电子挡杆控制集卡放行。与闸口管理子系统联动，实现车道信号灯和电子挡杆的自动控制或手动控制功能。

3.5 地磅称重子系统

该系统根据码头选择的地磅称重设备，通过接口对接，对进入闸口的集卡进行称重。通过与闸口关联子系统的联动，实现对集装箱卡车质量的自动称重处理。

3.6 自动验残子系统

该系统采用图像拼接技术对集装箱进行全方位智能检测，通过采集箱体顶部、前后端面及两侧面共 5 个面的图像数据，在后端识别服务器进行图像融合与残损分析。部署于机房的识别服务器可实现多道口图像的集中处理，有效提升集装箱入港检验的自动化水平，确保检测过程的安全性、可靠性和作业效率。

集装箱残损类型呈现显著多样性，包括严重磨损、结构变形、凹损凸损、破洞破损及划痕等。不同残损类型间可能存在视觉特征重叠^[9]。港口码头场景下集装箱表面特征易与背景元素混淆；残损程度判定需建立精确的残损分级标准。系统核心功能如下。

1) 多维度残损检测：采用智能标注技术定位

残损区域并自动分类识别。支持七类主要残损类型的精准识别，包括严重磨损、结构变形、凹损、凸损、破洞、破损、划痕。

2) 抗干扰识别引擎：集成深度学习算法有效区分真伪残损特征，特征增强技术提升低对比度区域的识别准确率，多尺度检测机制保障微小残损的可靠捕捉，环境适应性优化降低背景噪声干扰。

3) 智能分级判定：构建残损程度量化评估模型，动态阈值算法区分正常磨损与异常损伤，特征比对技术识别临界状态残损的细微差异，支持损伤等级的连续性评估输出。

3.7 上磅检测子系统

上磅检测子系统主要用于对集卡上磅情况进行检测。在集卡进场过程中，地磅称重是必不可少的一环，当集卡未停到地磅上，且道口人员未发现时，将对码头的生产安全造成潜在的威胁^[10]。本文依托现有设备部署上磅检测子系统，运用图像处理和计算机视觉技术，包括特征提取、分类、识别等算法，检测集卡关键特征与地磅位置，对集卡上磅情况进行判断^[11]，当出现异常情况时，推送图片给道口人员进行人工确认。

系统支持多种工况的识别功能，包括集卡后轮不完全上磅、集卡前轮不完全上磅、集卡正常上磅等多种场景，保证车辆正确上磅。

3.8 集卡自动报道系统

该系统通过与集卡预约系统 APP 和道口管理系统对接，通过比对预约的车号箱号信息与 AI 识别车号箱号信息，对符合条件的集卡自动进行放行。同时，会在道口的 LED 屏幕和集卡预约 APP 上显示集卡需要报道的箱区和路线。摒弃了传统道口的预约报道机柜的方式，实现集装箱智能道口的自动化。

3.9 道口管理子系统

该系统是智能闸口核心子系统，为业务管理平台及码头业务接口，管控数据设备，处理数据转换传递，独立运行保障安全，提供自动处理与人工干预，实现集中管理。闸口智能采集端管理

车道设备，采集交互数据，处理信息转换传递，支持人机交互。

智能闸口监控端的功能：提供监控各车道作业情况的实时监控界面；提供干预闸口作业的功能，例如处理错误箱号、处理错误车号、箱损检测等；提供作业的分析图表，智能闸口监控界面见图 5。

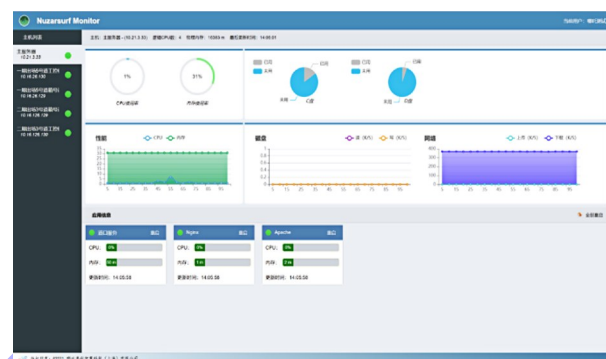


图 5 智能闸口监控界面

Fig. 5 Intelligent gate monitoring interface

4 结语

1) 车牌预约 APP 与智能识别集成，双车牌绑定联动作业信息，实现集卡连续作业，提供便利于司机且提升效率。

2) 建立视频驱动的 AI 上磅自动检测体系，自动放行率达 99.5%。闸口作业效率和称重准确性提升，避免超重集装箱进入港区。

3) 结合图片拼接和智能识别技术的 5 面残损智能检测系统，实现 98.5% 的残损定位准确率和 92% 的类型识别率。形成具有自主知识产权的智能闸口技术体系。

4) 未来可探索提升智能识别抗干扰与精度，研究传统码头智能化改造的提效。

参考文献：

[1] 商春雷,王鑫. 港口集装箱场站智能闸口解决方案[J]. 集装箱化, 2018, 29(9): 19-21.
SHANG C L, WANG X. Intelligent gate solution for port container terminal [J]. Containerization, 2018, 29 (9): 19-21.
[2] 元征,毛浩,邳青岭. 集装箱自动化码头闸口总体布置研究[J]. 港工技术, 2019, 56(5): 27-30.

- YUAN Z, MAO H, PI Q L. Research on general layout of gates at automated container terminal[J]. Port engineering technology, 2019, 56(5): 27-30.
- [3] 杨杰敏, 李永翠, 张显杰, 等. 自动化集装箱码头智能闸口信息采集系统设计[J]. 水运工程, 2019(7): 23-27.
- YANG J M, LI Y C, ZHANG X J, et al. Design of intelligent gate information acquisition system for automated container terminal [J]. Port & waterway engineering, 2019(7): 23-27.
- [4] 杨潇, 鞠进, 曾德君. 自动化集装箱码头智能闸口控制系统应用[J]. 水运工程, 2022(10): 195-198.
- YANG X, JU J, ZENG D J. Application of intelligent gate control system in automated container terminal[J]. Port & waterway engineering, 2022(10): 195-198.
- [5] 刘广红, 程泽坤, 罗勋杰, 等. 洋山四期工程全自动化集装箱码头总体布置[J]. 水运工程, 2016(9): 46-51.
- LIU G H, CHENG Z K, LUO X J, et al. General layout of fully automated container terminal in phase IV of Yangshan project[J]. Port & waterway engineering, 2016(9): 46-51.
- [6] 舒帆, 宓为建, 李勋. 集装箱码头智能闸口功能分析及配置设计[J]. 集装箱化, 2014, 25(12): 23-26.
- SHU F, FU W J, LI X. Functional analysis and configuration design of intelligent gates at container terminals[J]. Containerization, 2014, 25(12): 23-26.
- [7] 张怡帆. 智能识别技术在自动化码头的应用与实践[J]. 中国高新科技, 2020(9): 115-116.
- ZHANG Y F. Application and practice of intelligent identification technology in automated terminals[J]. China high and new technology, 2020(9): 115-116.
- [8] 韩保爽, 罗勋杰, 乔其斌, 等. 自动化集装箱码头智能闸口布置[J]. 水运工程, 2016(9): 40-45.
- HAN B S, LUO X J, QIAO Q B, et al. Intelligent gate layout in fully automated container terminal [J]. Port & waterway engineering, 2016(9): 40-45.
- [9] 李雪琪. Mask-RCNN 网络研究及其在集装箱残损识别上的应用[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2021.
- LI X Q. Research of Mask-RCNN network and its application in container damage identification [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2021.
- [10] 孙志婷, 刘婷婷, 李顺云. 防作弊地磅称重系统的设计与实现[J]. 煤炭技术, 2011, 30(7): 189-191.
- SUN Z T, LIU T T, LI S Y. Design and implementation of an anti-cheating loadometer weighing system [J]. Coal technology, 2011, 30(7): 189-191.
- [11] 吴志强, 张文娟. 码头自动化过磅系统改造方案[J]. 港口装卸, 2022(1): 36-37.
- WU Z Q, ZHANG W J. Transformation scheme of terminal automation weighing system[J]. Port operation, 2022(1): 36-37.
- (本文编辑 赵娟)
- ~~~~~
- (上接第 188 页)
- [8] 王中雨. 南海恶劣海况接岸段海上沉桩改陆上沉桩施工技术探讨[J]. 珠江水运, 2024(11): 107-109.
- WANG Z Y. Exploration on construction technical scheme of converting offshore pile driving to onshore pile driving in shore-connection section under harsh marine conditions in the South China Sea[J]. Pearl River water transport, 2024(11): 107-109.
- [9] 上海市市政工程预算定额: SHA1-31(01)—2016[S]. 上海: 上海市城乡建设和交通委员会, 2016.
- Shanghai municipal engineering budget quota: SHA1-31(01)-2016 [S]. Shanghai: Shanghai Municipal Commission of Urban and Rural Construction and Transportation, 2016.
- [10] 疏浚工程预算定额: JTS/T 278-1—2019[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2019.
- Budget quota for dredging engineering: JTS/T 278-1-2019[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2019.
- [11] 水运工程定额编制规定: JTS/T 111—2024[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2024.
- Stipulations on compiling quota of port and waterway engineering: JTS/T 111-2024 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2024.
- (本文编辑 赵娟)