

平行港口：智慧绿色时代下港口工业物联网新形态与体系结构

吴宇震¹, 张俊², 高天露², 孙玉健¹, 刘金旭¹

(1. 山东渤海湾港口集团有限公司, 山东 潍坊 261000;

2. 武汉大学电气与自动化学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 旨在讨论智能绿色时代下港口工业的现状需求、体系结构、新形态和其关键平台技术等问题。首先介绍了智慧绿色时代下港口工业的现状和需求, 并详细描述了平行港口工业体系结构与新形态; 然后讨论了智慧绿色时代下港口工业中的工业物联网、知识自动化和人机混合增强智能等新一代技术; 最后讨论了平行港口在智慧绿色时代中的具体应用场景和案例, 重点围绕港口船舶管理系统进行分析。

关键词: 智慧绿色港口; ACP 方法; 平行系统; 物联网; 人机混合增强智能

中图分类号: TP311

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-6652.202123

Parallel port: new formation and system architecture of port industry Internet of minds in smart and green era

WU Yuzhen¹, ZHANG Jun², GAO Tianlu², SUN Yujian¹, LIU Jinxu¹

1. Shandong Bohai Bay Port Group Co., Ltd, Weifang 261000, China

2. School of Electrical Engineering and Automation, Wuhan University, Wuhan 430072, China

Abstract: The background, demand, new formation, system architecture, and platform technology of port industry in smart and green era were analyzed. Firstly, the background and demand of port industry in smart and green era were introduced. Then the new formation and system architecture of parallel port industry were demonstrated. Next, the novel platform technology of port industry in smart and green era was discussed, including the Internet of minds, knowledge automation, hybrid-augmented intelligence and so on. Finally, an application case study of parallel systems in smart and green port was presented, i.e., port ship management system.

Key words: smart and green port, ACP method, parallel system, Internet of minds, hybrid-augmented intelligence

1 引言

我国经济的快速发展和远期“双碳”目标的提出对建设智慧绿色时代的港口工业提出了严峻而又相互矛盾的挑战。一方面, 港口是一个多功能的交通枢纽, 是社会战略资源和社会经济发展的重要支撑; 另一方面, 2019年11月, 在关于建设世界一流港口的会议上, 交通运输部、国家发展和改革委员会、财政部等九大部门指出实施交通强国纲要要统一目标, 其意义是建设强大的国家运输体系和世界一流港口。因此, 以提升港口综合服务能力、

加快绿色港口建设和加快智慧港口建设为主要目标的世界一流港口规划和建设随之兴起^[1]。

《中国港口高质量发展报告(2020)(海港篇)》显示, 预计“十四五”期间我国港口货物吞吐量增速将维持在2%~3%。在国际方面, 美国纽约-新泽西、美国休斯顿和日本东京等多个国际港口已经将智慧和绿色理念运用到日常运作和未来的建设中。因此, 中国港口未来的发展还拥有巨大的空间。为了实现《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中设定的雄心勃勃的目标, 通过实施中国港口的

收稿日期: 2021-05-07; 修回日期: 2021-06-03

通信作者: 张俊, jun.zhang.ee@whu.edu.cn

智慧、绿色发展和引入港口工业中的低碳技术, 大大提高港口行业的效率和环境保护, 成为一项紧迫任务。

此外, 多年来规划建设智慧绿色港口的顶层系统设计挑战主要在于如何提高港口服务模式的灵活性、智慧港口建设的系统性、与其他港口的协同性; 如何减小智慧港口建设环境与体系完备性、创新能力等方面的区别。

根据美国、日本、新加坡、韩国等国家的智慧绿色港口规划和建设案例^[2-3], 总结出以下经验: 虚拟数字港口应该与物理港口同步规划、同步建设; 顶层架构设计是智慧港口有效推进的关键; 需要超前布局基础设施; 同时建设基础设施与应用、分步实施; 合适的政策和机制是持续发展的保障。

因此, 根据港口工业的发展目标和全球智慧绿色港口的建设现状, 其规划和设计应遵循以下核心理念。

(1) 建设全球领先的智慧绿色港口网络信息基础设施, 涵盖超宽的港口全光网、融合的无线宽带网、可视的水下监测网、端到端下一代互联网、泛在的广域物联网、主动连接的全域智联网、绿色的云数据中心和智能化的决策中心/港口运营中心等。

(2) 建设基于大数据和人工智能的超算平台或“港口操作系统”, 以港口运营中心为载体, 构建港口智慧决策平台和应用平台/生态, 服务于政府、市场和社会三大客户主体。

(3) “虚拟的数字港口”与“运行的物理港口”同步规划设计和建设实施, 确保两重世界深度融合、同步呈现、互相驱动。

因此, 运用 5G、北斗、工业互联网、智联网和人机混合增强智能等新一代信息技术来提供智慧绿色港口管控的智能化理论基础, 以平行系统(parallel system)为架构建立智慧绿色港口的决策平台和易扩展的港口应用平台, 成为当前智慧绿色港口的研究要点。基于新一代信息技术, 分步骤分阶段建设智慧管理、智慧装卸、智慧能源、智慧交通等平台和应用^[4-7]。本文讨论的内容是: 在智慧绿色时代港口行业将发生什么变化, 以及这种变化将造成哪种形态的港口行业系统体系结构。本文以山东渤海湾港口集团有限公司的智能绿色港口规划设计为例, 研究分析了智能绿色平行技术时代下港口行业的新形式和体系结构。

2 港口行业新形态和体系结构

港口行业的现有系统基于设备层、数据层和应用层, 以更准确和更高效的方式实现货主和港口企业的监视服务、港口管理和其他社会服务之间大量及时的信息交换和交互。在本地完成生产和交易活动, 例如进出船舶、装卸、提货和分配、交易、付款等, 使用现代信息和通信技术协调港口的信息资源, 并使用通关、检验检疫、海上事务、边境管制、港口管理和引航服务, 在港口平台的基础上创建一个综合的信息服务、管理服务、技术服务和交易服务系统, 以进行公共信息服务和港口内关键商品的电子交易。该应用程序主要包括货物管理系统、集装箱生产管理系统、散货生产管理系统和无人门禁系统等组件。现有的港口系统架构如图 1 所示。本节讨论基于平行系统理论的港口管理和控制系统的新形态和体系结构, 其在港口行业中占有重要地位。

2.1 新形态: 平行智慧绿色港口

管理港口集装箱码头的特点是组织与港口企业的生产关系、优化生产结构和提高管理水平, 并且装卸作业都是基于客户、车辆、轮船、货物、仓库、人力和机械等的。作为核心, 港口集装箱码头管理系统以终端企业为节点, 整个终端企业的运营流程已集成到业务管理中, 并且通过严格控制运营流程, 帮助生产指挥官随时捕获现场动态, 调整作业计划, 发布作业指导, 加快货物轮换, 跟踪港口疏散货物的数量、状况、位置和情况, 并管理实施计划和跟踪运营流程。

港口集装箱码头管理系统的各个组件及子系统相互连接并相互作用, 从而形成一个由“人、机、事”组成的极其复杂的系统, 其管理、计划和操作等方面显示出足够的复杂性。平行系统指由物理现实系统和一个或多个虚拟或理想的人工系统组成的社会物理信息系统(cyber physical social system, CPSS)。由于系统复杂性的提高以及计算技术和分析方法的进一步发展, 其形式演变为一个由计算机不断进行仿真的控制系统。

通过人工系统、计算实验和平行执行的有机结合, 应用基于人工系统+计算实验+平行执行(artificial systems, computational experiments, parallel execution, ACP)方法的平行系统理论, 解决复杂系统中缺乏精确建模及缺失有效实验管理和控制方法的问题^[8-10]。基于平行系统的港口工业新形态如图 2 所示。

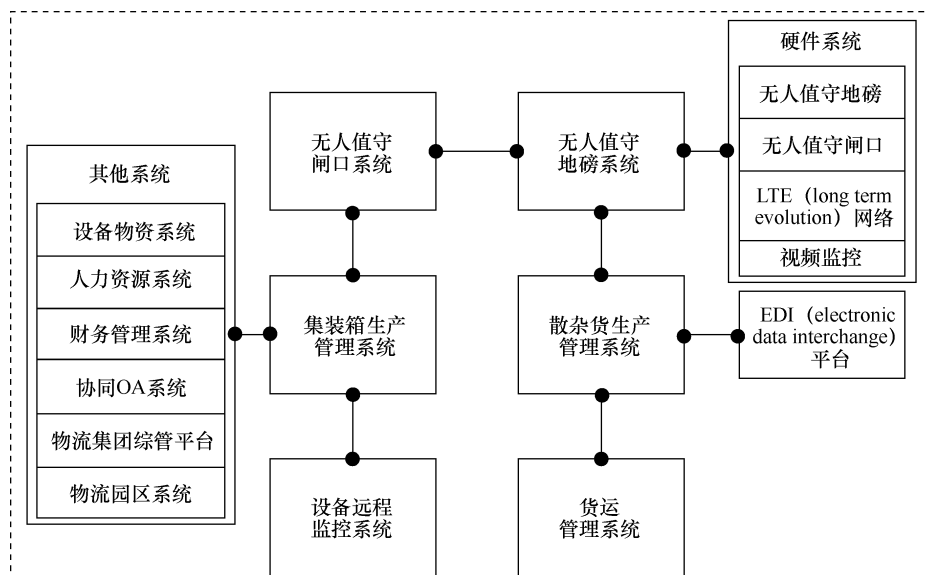


图1 现有的港口系统结构

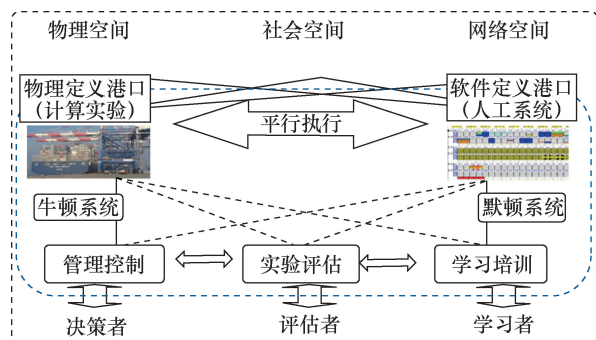


图2 基于平行系统的港口工业新形态

2.2 平行智慧绿色港口体系结构

针对构建平行智慧绿色港口平台的基本问题和总体目标,本文提出了虚拟和现实共同驱动构建的混合增强智能开放创新平台的方案,其体系结构如图3所示^[11-12]。

在需求驱动下,可通过物理智慧绿色港口系统将相关数据提供给混合增强智能开放式创新平台,从而得到业务的最优解决方案,其中数据来自分布式控制系统(distributed control system, DCS)、制造执行系统(manufacturing execution system, MES)和公司资源规划管理(enterprise resource planning, ERP)系统等。混合增强智能开放创新平台由一个组合单元构建而成,该组合单元包括基础层、数据层、算法层、模型层、应用层以及人工虚拟智慧绿色港口系统。组合单元提供混合智能研究所需的基本软件和硬件以及数据和算法等资源,从而支撑构建初始的虚拟系统。根据相关资源目标的研究单位或企业形成港口的 CPSS,并使用虚拟系统、知识

自动化、物联网框架和 ACP 方法分析对应场景下适合的描述、预测和引导(description prediction prescription, DPP)信息^[13-15]。一方面,量身定制成功案例,并应用于实际领域,以实现工业数据到解决方案链的闭环;另一方面,在混合增强智能开放创新平台的保证和激励下,数据得到了扩展,算法得到了丰富,模型得到了优化,这激发了平台后续设计的灵感,同时促进了平台的平稳发展。在整个过程中,通过真实系统控制平台数据,从而帮助建立目标业务领域的虚拟系统。虚拟系统为解决方案提供了一个现实的测试环境^[16-18],提高了程序在真实系统中的适用性,并实现了虚拟系统和真实系统之间的相互驱动。最后,在现有港口工业系统的基础上,使用虚拟绿色港口智能系统实现闭环,并有效地控制和管理实际的物理智慧绿色港口系统。

(1) 基础层是整个系统的基础,主要为上层提供硬件支撑和数据库。该层主要包括3个模块:多源异构数据模块、人机交互接口模块和高性能计算模块。数据主要来源于各个领域行业和应用,如图3中提及的智慧管理、智慧商务、智慧物流、智慧装卸、智慧能源和智慧交通,更具体地说,由视频监控系统、门禁系统、巡更对讲、各种环境探测器等构成。

(2) 数据层包含3个模块:数据标记模块、数据脱敏模块和标准计算模块。其主要工作是对基础层中的数据进行数据特征提取、敏感数据隐藏和标准化的计算显式创建。

(3) 算法层包含3个模块:通用算法库模块、

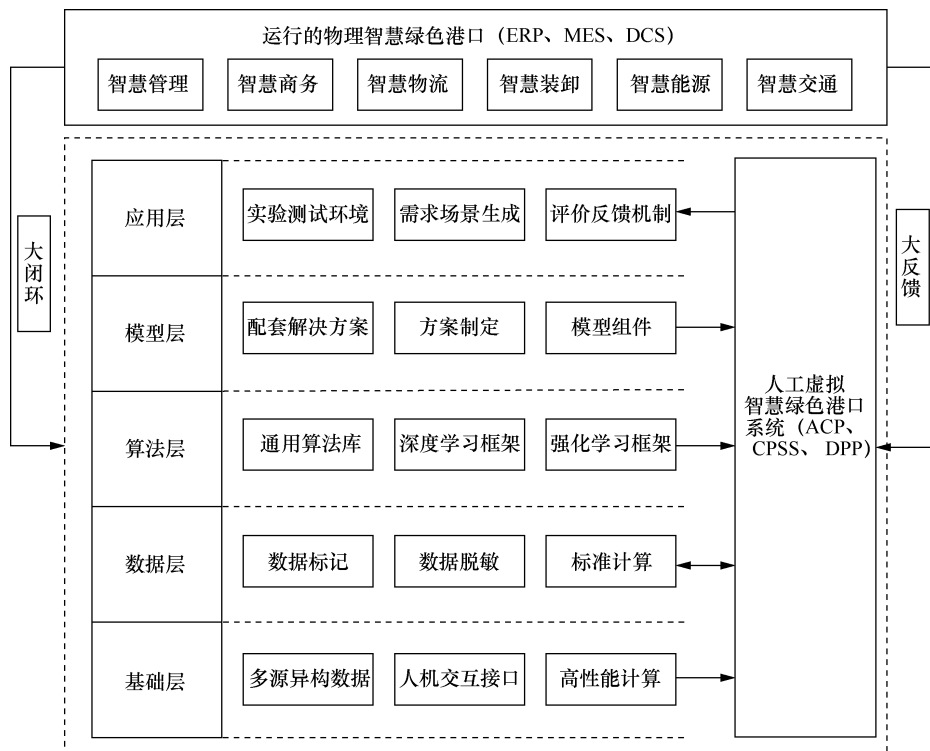


图3 基于混合增强智能开放创新平台的平行智慧绿色港口体系结构

深度学习框架模块和强化学习框架模块。其主要工作是收集和选择算法框架，支撑后续系统的建模和模型的测试。

(4) 模型层包含3个模块：配套解决方案模块、方案制定模块和模型组件模块。其主要工作是制定任务或解决方案，通过数据输入和相应的通用算法完成模型的构建。

(5) 应用层包含3个模块：实验测试环境模块、需求场景生成模块和评价反馈机制模块。其主要工作是实现方案提出和模型构建的仿真验证与应用。

2.3 平行智慧绿色港口的节能管理应用

基于人机混合增强智能技术的平行智慧绿色港口体系结构包括基础层、数据层、算法层、模型层、应用层以及领域的人工虚拟系统，从而构建人工虚拟数字化与物理平行共生的智慧绿色港口。然而，在庞大的港口业务下打造智慧绿色港口，节能是必不可少的应用环节。基于平行智慧绿色港口体系结构的主要节能应用如图4所示。完善智慧体系之后，从3个方面考虑节能应用模块，分别是技术节能模块、规划节能模块和运营节能模块。通过技术、规划和运营的手段，提供智慧港口的节能应用，最终实现平行智慧绿色港口的建设。

(1) 技术节能模块主要通过储能技术和一些节

能新技术达到节能的目的，同时也为系统运营和系统规划提供技术基础。储能技术包括飞轮储能技术和氢气储能技术，节能新技术包括油改电技术、永电磁技术、无动力抑尘技术和智能照明技术等。

(2) 规划节能模块包括港口装卸规划子系统和港口物流规划子系统。该模块的作用是加强运输结构和集疏运规划的优化（包括业务办理、电子闸口、数据交互和信息查询等），同时有序提高运输车辆和流动机械的使用率，实现安全、高效、智能完成作业规划。

(3) 运营节能模块包括港口智能调度子系统和港口智能计划子系统。通过之前设计的智慧平台，将港口生产任务各个环节的信息资源进行充分监管、交互、融合与共享，使各个节点的业务在系统间的协同合作成为可能，提高大宗货物的绿色运输比例。

3 平行智慧绿色港口关键平台技术

3.1 知识自动化

高度耦合和相互作用是大多数工业系统过程中的特征。知识自动化可用于管理工业流程，例如获取、认知、分析、预测及引导。对于更具体的对象，得益于广域传感器、通信、感官控制、设备或执行器和控制系统，可以快速获取和分析信息，并且可

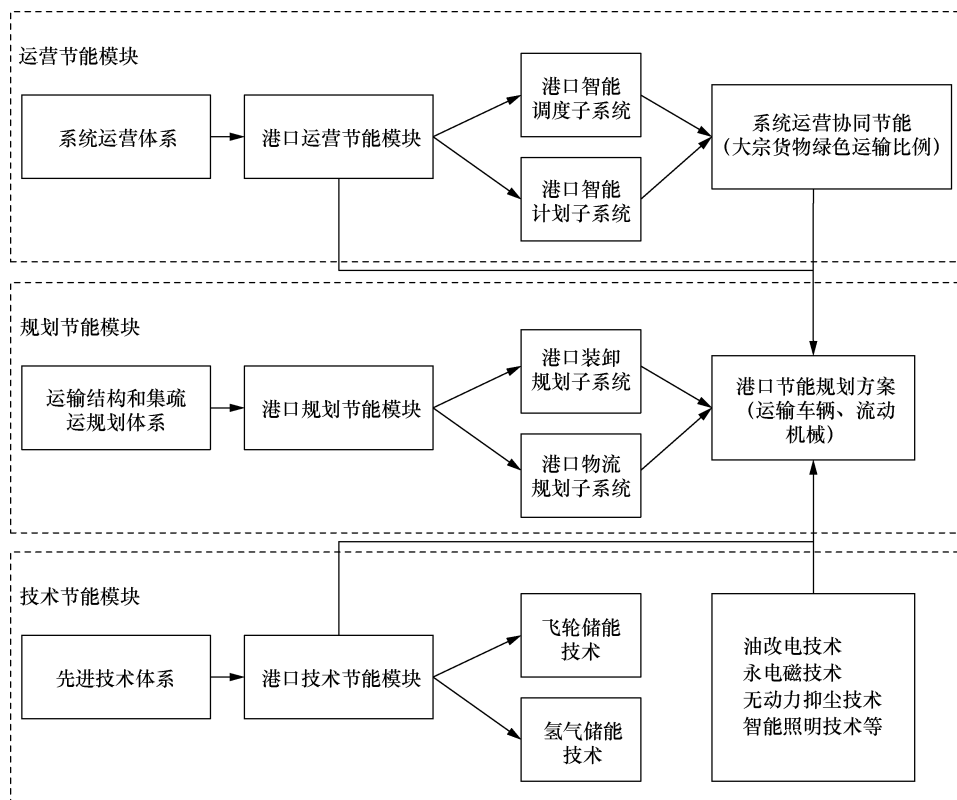


图 4 基于平行智慧绿色港口体系结构的主要节能应用

以实时对社会和经济等类型的数据进行收集、融合处理以及统计分析。另外，基于 ACP 方法，利用基于 Python 的网络数据挖掘、基于深度学习的自然语言处理和信息抽取及基于强化学习的优化和控制等新一代人工智能技术，通过结构和语义分析对工业的“人、事、物”等进行深入分析，以实时获取系统和全面的知识，从而解决特定问题。

3.2 物联网框架

以传感和感知终端、执行和控制终端、互联网及物联网等装置与技术为基本框架，形成了一种含有领域性知识的服务于产品与系统的物联网。知识自动化是物联网的核心，也是一项重要的任务，包括知识获取、知识表征、知识融合与知识互联。在智能实体之间建立语义上的联系，可实现每个智能实体信息的互联、交流和共享。物联网旨在支撑复杂的大型系统内知识服务的社区协同功能。它的本质是使整个过程自动化，首先主动收集“生数据”，其次通过知识获取和知识融合实现知识之间的相互联系，再以协商的方法对企业中的人员及其他资源进行管理等。因此，物联网是一种直接面向复杂智能的新型协作式知识自动化系统。智慧绿色港口的物联网架构如图 5 所示。

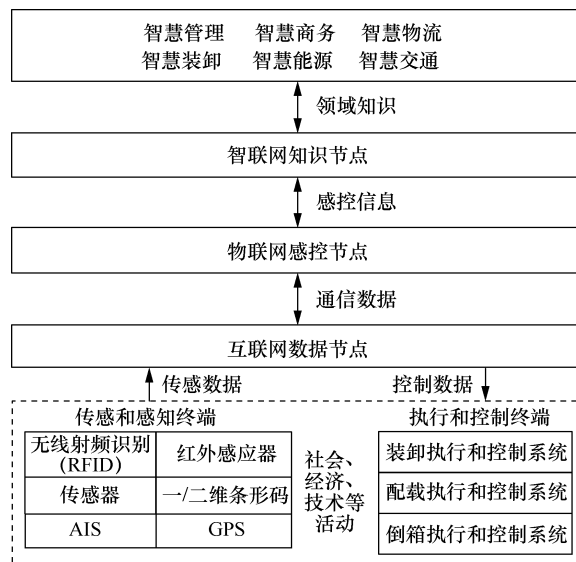


图 5 智慧绿色港口的物联网架构

工业物联网中最主要的一个应用便是创造出由软件定义的工业系统。在现代的工业系统中，越来越多的系统打破了旧例，并且可以通过自己开发的软件来定义系统接口，实现灵活的系统功能重新配置，使未来的系统成为由智能实体组成的联合体，从而极大地提高系统的扩展性和灵活性。其软件定义流程与系统的核心是知识自动化技术和智

联网架构, 它们结合了知识表示工程, 连接了智能实体, 构造和支持了针对各种特定领域和问题的软件定义的流程和系统。通过以上过程, 人们的常识、经验和猜测得以形式化和实质化, 并且可以对它们的过程、组织和功能进行编程, 真正将其转换为可工作、可计算和可测试的过程和系统, 以进一步加深复杂知识自动化系统的概念、设计、实现、操作、管理和控制^[19-21]。

3.3 人机混合增强智能平台

结合典型工业系统中的应用程序, 为工业系统中不同结构和类型的数据构建快速、多样化的混合、改进的智能人机计算实验平台。首先, 建立一个分布式、自适应、动态的真实系统发现机制, 以确保它可以实时准确地从真实系统中接收多源信息; 然后, 在人工系统的基础上, 以目标工业控制系统的传感器数据为输入, 研究人工系统因素的动态标定方法, 并结合宏观特征、推理的决策参数和系统性能的演变, 完成所有兼容操作系统下分布式参数的校准; 最后, 在对智能体参数进行标定的基础上, 科学地设计每个参数的分布范围, 实现单变量到多元变量的多智能体协同以及博弈与对抗等计算实验, 并分析影响目标行业的可变因素(包括正、负因素, 主要和次要因素), 使用统计分析方法评估当前环境下参数的工业运行的风险点和其管控手段^[14]。

4 平行智慧绿色港口场景实例

管理港口集装箱码头的特点是组织与港口企业的生产关系、优化生产结构和提高管理水平, 并且装卸作业都是基于客户、车辆、轮船、货物、仓库、人力和机械等的。作为核心, 以终端企业为节点, 整个终端企业的运营流程已集成到业务管理中, 并且通过严格控制运营流程, 可以帮助生产指挥官随时捕获现场动态, 调整计划作业, 发布作业指导, 加快货物轮换, 跟踪港口疏散货物的数量、状况、位置和情况, 并管理实施计划和跟踪业务流程, 同时考虑留有自动化作业接口。

以山东渤海湾港口集团有限公司为例, 港口集装箱码头管理系统的功能包括系统管理、泊位计划、船舶计划、堆场计划、堆场管理、作业控制、作业受理、闸口管理、杂项作业、EDI、无线调度、商务收费、集装箱货运站(container freight station, CFS)管理、集装箱管理、统计分析查询等。船舶管理系统可实现对船舶的统一管理, 支持码头集

箱船舶来港作业管理。该系统主要用于对船舶的月度计划(旬度、五日、一日)、航次计划进行记录, 并向有关口岸管理单位汇报, 对吞吐量进行预测跟踪核准以及对进出口船舶单证进行录入。另外, 计划员还负责天气、潮汐的预报工作, 供生产人员参考; 通过船舶在港示意图展示在港船舶靠泊作业的具体位置(包括桩位号、泊位号、左右舷)以及船舶载货情况, 其船舶靠泊流程如图6所示。基于平行理论的山东渤海湾港口集团有限公司的智能绿色港口系统可进行基于计算实验的港口船舶管理策略的分析与研究, 从而实现对船舶的统一管理和支持码头集装箱船舶来港作业管理。使用有关港口和船舶的实时信息设计各种实验方案, 并使用计算机进行各种“软”实验计算。针对不同策略设计多种计算实验, 研究和挖掘其规律及常态和紧急态的管理策略, 对船舶班期表和动态过程进行监控、分析与预测。通过平行系统对口岸船舶管控和装卸船作业管控系统进行仿真建模和计算实验, 然后通过对真实场景进行评估, 实现虚实结合的自我探索学习, 持续提升系统的智能水平。基于平行理论的智慧绿色港口应用框架如图7所示。

在停泊流程中, 受作业现场的作业环境复杂、作业危险系数高和作业效率低等因素的影响, 集装箱码头中的门座式起重机自动化成为智慧绿色港口建设的重点。一般来说, 门机自动化包含单机控制模块、回转防摇模块、系统控制模块、远程操作模块和视频安防模块。它通过连接用户信息化系统获取作业任务信息, 分配设备执行指令, 并回传实时设备的作业状态。在平行理论的智能绿色港口应用框架下, 建立基于ACP方法的平行门机系统。

- 数据采集和功能层: 基于平行系统的门机自动化系统引入三维激光扫描仪, 对船舱口和舱内的物料进行扫描, 形成三维信息数据库。数据采集控制器可采集船型、天气等数据, 分析相关因素对设备作业的影响, 持续优化控制算法。图8为三维激光扫描仪下的单船舱和多船舱扫描示意图。

- 学习培训、实验评估和管理控制: 操作时, 可由物理世界的操作员通过虚拟世界中的料堆三维立体图形选定抓斗抓料点, 也可由智能三维数据采集和处理软件自动计算最佳抓料点, 操作员根据现场实际情况选择定点抓料或自动抓料方式。平行系统中数字化方法的定点抓料和自动抓料分别如图9、图10所示。

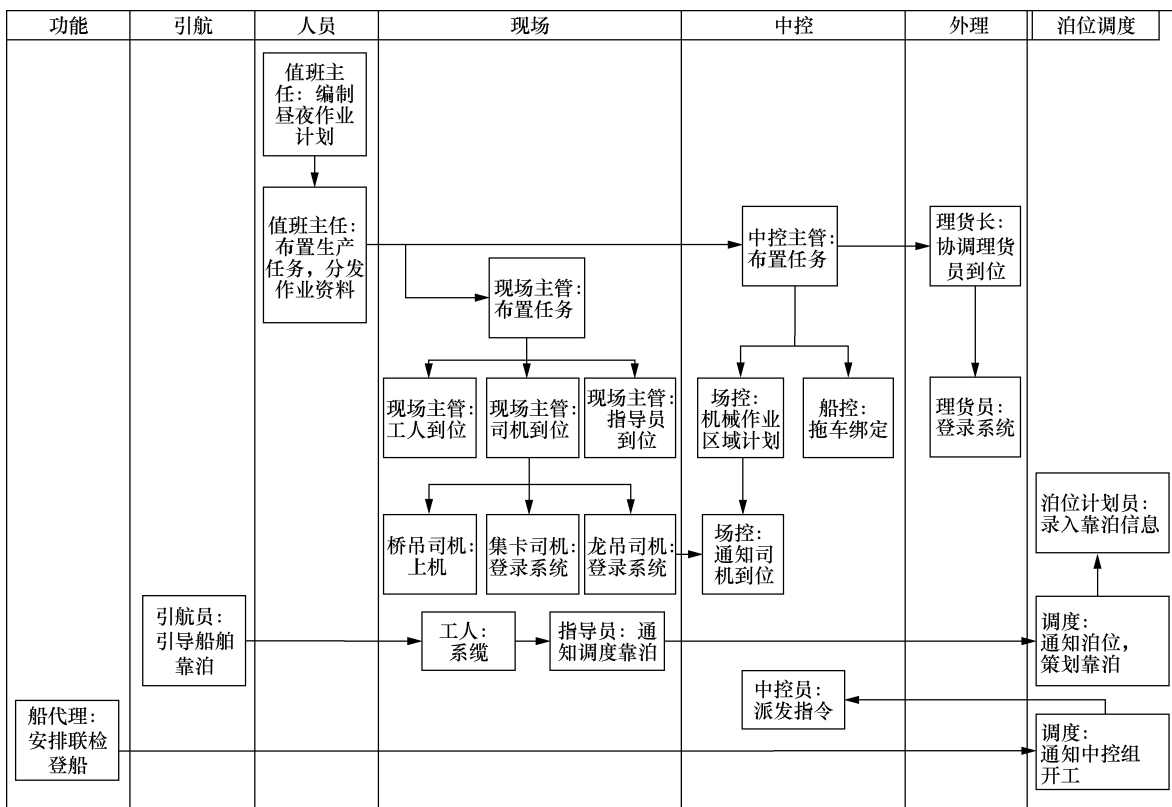


图 6 船舶靠泊流程



图 7 基于平行理论的智慧绿色港口应用框架

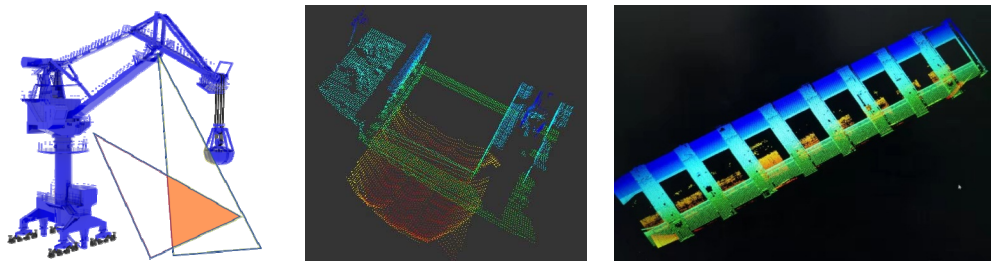


图 8 三维激光扫描仪下的单船舱和多船舱扫描示意图

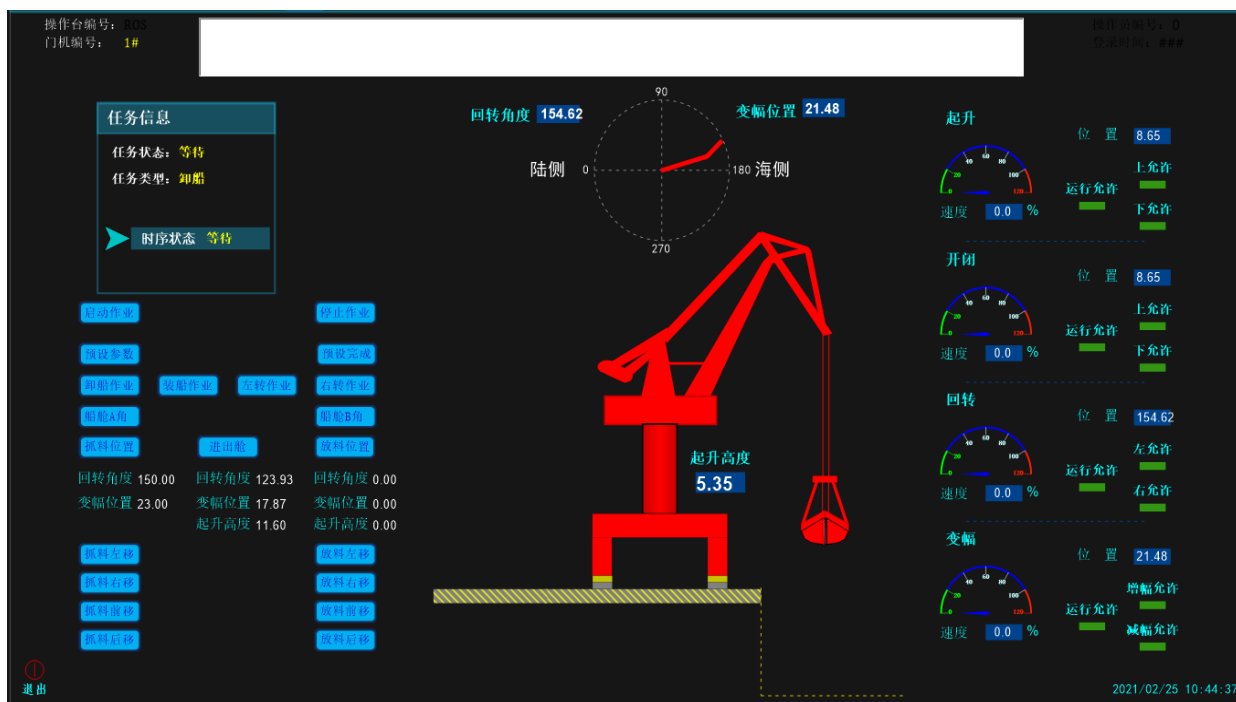


图9 平行系统中数字化方法的定点抓料

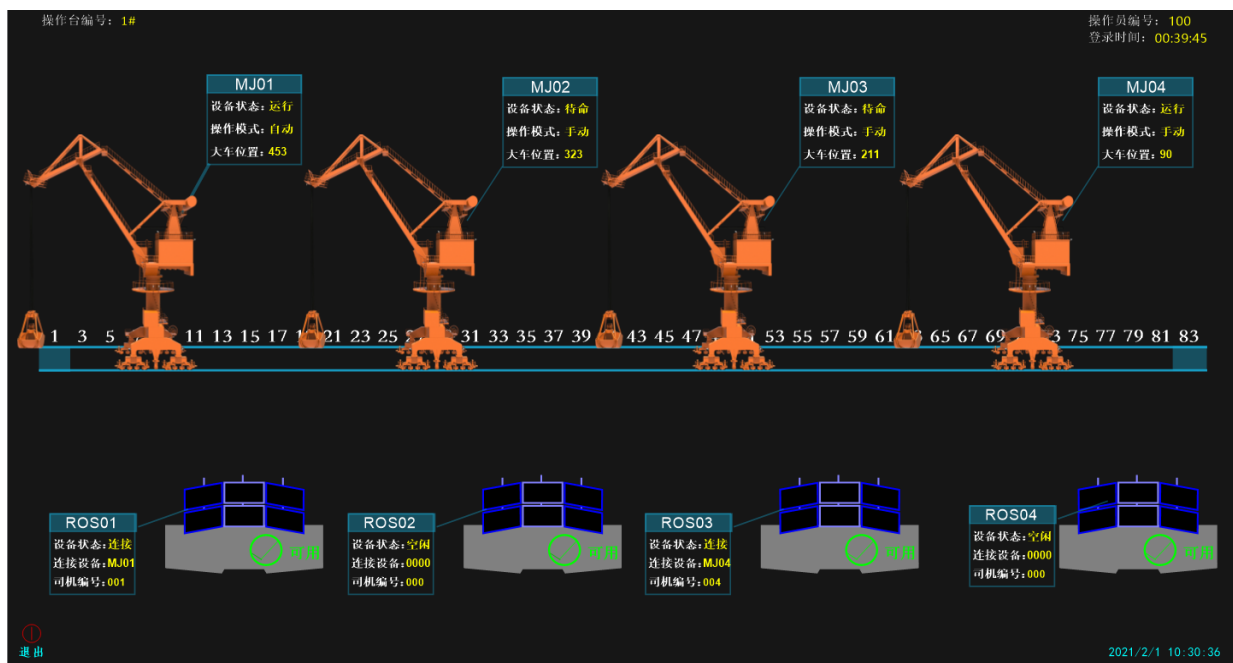


图10 平行系统中数字化方法的自动抓料

• 平台应用层：操作员可以连接现场任意一台门机上的可编程控制器（programming logical controller, PLC），并进行监控。远程操作人员在远程操作某一台门机时，此系统可以为操作人员提供与现场司机室内相同的操作功能。系统可将所有门机的设备信号通过以太网和 5G 收集到上位机中的软件进行统

一管理，通过主画面的功能按钮可进行各大机之间的切换。系统也具备本地起重机监控系统（local crane monitor system, LCMS）的同等功能，实时显示设备 I/O 点状态和故障信号。操作及管理人员可以通过远程操作界面查看设备的实时及历史报警。以门机监控系统为例，中控平台智能 ACP 系统界面如图 11 所示。



图 11 中控平台智能 ACP 系统界面

5 结束语

本文首先讨论了智能绿色时代下港口工业的现状和需求;然后详细叙述了港口工业的新形态与体系结构,即基于平行系统技术的平行港口工业的新形态和体系结构;接着讨论了智慧绿色时代下港口工业中的工业物联网、知识自动化和人机混合增强智能等新一代技术;最后讨论了平行港口在智慧绿色时代中的具体应用场景和案例,重点围绕港口船舶管理系统进行分析。随着新的智能时代的到来,目前的工业体系已逐渐过渡到以虚拟数字工业发展为标志的工业体系。因此,本文介绍了将虚拟和现实互相驱动、互相结合的港口行业的新形态和体系结构,提出了先进数字化概念、参考模型和技术框架,并对未来港口工业的发展进行了描述。可以预见,数字化与物理平行共生、数据共享融合和智能决策的智慧绿色港口体系结构将逐步建设完善。

参考文献:

- [1] 交通运输部等九部门联合印发指导意见加快建设世界一流港口[J]. 世界海运, 2019, 42(12): 5.
Nine departments including the Ministry of Transport jointly issued guidelines to accelerate the construction of a world-class port[J]. World Shipping, 2019, 42(12): 5.
- [2] 《AI 赋能全局化智慧港口》蓝皮书发布[J]. 中国港口, 2019(6): 9.
AI empowers globalized smart port blue book released[J]. China Ports,

2019(6): 9.

- [3] 张学利. 交通运输行业相关物流标准规划及标准研究[Z]. 2015.
ZHANG X L. Planning and standard research on logistics standards related to the transportation industry[Z]. 2015.
- [4] 王海建, 闻君, 宓为建, 等. 港口危险货物集装箱监控管理信息化框架设计[J]. 集装箱化, 2017, 28(5): 21-23.
WANG H J, WEN J, MI W J, et al. The design of the information framework for the monitoring and management of dangerous cargo containers in ports[J]. Containerization, 2017, 28(5): 21-23.
- [5] 宓为建, 王郡娴, 张晓华, 等. 基于多目标遗传算法的煤码头泊位与机械联合调度[J]. 上海海事大学学报, 2016, 37(2): 46-52.
MI W J, WANG J X, ZHANG X H, et al. Coal terminal berth and machinery joint scheduling based on multi-objective genetic algorithm[J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2016, 37(2): 46-52.
- [6] 边志成, 章学民, 叶军, 等. 面向装卸系统的自动化集装箱码头单船作业计划评价方法[J]. 集装箱化, 2018, 29(2): 15-23.
BIAN Z C, ZHANG X M, YE J, et al. Evaluation method for single ship operation plan of automated container terminal oriented to loading and unloading system[J]. Containerization, 2018, 29(2): 15-23.
- [7] 吴小荣. 集装箱码头操作系统移动化改造及应用——以海盈码头为例[J]. 中国港口, 2021(2): 60-62.
WU X R. Mobile transformation and application of container terminal operating system-taking Haiying terminal as an example[J]. China Ports, 2021(2): 60-62.
- [8] 王飞跃, 张俊, 王晓. 知识计算和知识自动化: 新轴心时代的核心需求[J]. 张江科技评论, 2017(4): 25-27.
WANG F Y, ZHANG J, WANG X. Knowledge computing and knowledge automation: the core needs of the new axis era[J]. Zhangjiang Technology Review, 2017(4): 25-27.
- [9] WANG F Y. The emergence of intelligent enterprises: from CPS to CPSS[J]. IEEE Intelligent Systems, 2010, 25(4): 85-88.
- [10] 王飞跃. 软件定义的系统与知识自动化: 从牛顿到默顿的平行升

- 华[J]. 自动化学报, 2015, 41(1): 1-8.
- WANG F Y. Software-defined systems and knowledge automation: a parallel paradigm shift from Newton to Merton[J]. Acta Automatica Sinica, 2015, 41(1): 1-8.
- [11] 郑南宁. “混合增强智能”是人工智能的发展趋向[N]. 新华日报, 2017-11-29.
- ZHENG N N. “Hybrid augmented intelligence” is the development trend of artificial intelligence[N]. Xinhua Daily, 2017-11-29.
- [12] 张俊, 李灵犀, 林懿伦, 等. 虚实系统互驱的混合增强智能开放创新平台的架构与方案[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(4): 379-391.
- ZHANG J, LI L X, LIN Y L, et al. The architecture and scheme of the hybrid-augmented intelligence open innovation platform based on the virtual and real systems[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(4): 379-391.
- [13] 王飞跃. 平行控制：数据驱动的计算控制方法[J]. 自动化学报, 2013, 39(4): 293-302.
- WANG F Y. Parallel control: a method for data-driven and computational control[J]. Acta Automatica Sinica, 2013, 39(4): 293-302.
- [14] 熊刚, 董西松, 王兆魁, 等. 平行控制与管理的研究及应用进展综述[C]//第二届中国空天安全会议论文集, 出版地不详: 出版者不详, 2017.
- XIONG G, DONG X S, WANG Z K, et al. Overview of research and application progress of parallel control and management[C]// Proceedings of the 2nd China Aerospace Safety Conference, [S.l.:s.n.], 2017.
- [15] 王飞跃. 平行系统方法与复杂系统的管理和控制[J]. 控制与决策, 2004, 19(5): 485-489, 514.
- WANG F Y. Parallel system approach and management and control of complex systems[J]. Control and Decision, 2004, 19(5): 485-489, 514.
- [16] 秦广军, 肖利民, 张广艳, 等. 面向国家高性能计算环境的虚拟数据空间系统[J]. 大数据, 2021, 7(2): 101-122.
- QIN G J, XIAO L M, ZHANG G Y, et al. Virtual data space system for national high-performance computing environment[J]. Big Data Research, 2021, 7(2): 101-122.
- [17] 何小雨, 邓笋根, 栾海晶, 等. 国家高性能计算环境的虚拟数据空间运行支撑技术研究[J]. 大数据, 2021, 7(2): 158-171.
- HE X Y, DENG S G, LUAN H J, et al. Study of technique support on the operation of virtual data space in national high performance computing environment[J]. Big Data Research, 2021, 7(2): 158-171.
- [18] 肖利民, 宋尧, 秦广军, 等. GVDS: 面向广域高性能计算环境的虚拟数据空间[J]. 大数据, 2021, 7(2): 123-146.
- XIAO L M, SONG Y, QIN G J, et al. GVDS: a global virtual data space for wide-area high-performance computing environments[J]. Big Data Research, 2021, 7(2): 123-146.
- [19] 王飞跃, 张俊. 智联网：概念、问题和平台[J]. 自动化学报, 2017, 43(12): 2061-2070.
- WANG F Y, ZHANG J. Internet of minds: the concept, issues and platforms[J]. Acta Automatica Sinica, 2017, 43(12): 2061-2070.
- [20] 王飞跃. 打造新一代人工智能开放创新平台[J]. 时事报告, 2019(11): 42-43.
- WANG F Y. Building a new generation of artificial intelligence open innovation platform[J]. Current Affairs Report, 2019(11): 42-43.
- [21] 王飞跃, 邱晓刚, 曾大军, 等. 基于平行系统的非常规突发事件计算实验平台研究[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2010, 7(4): 1-10.
- WANG F Y, QIU X G, ZENG D J, et al. A computational experimental

platform for emergency response based on parallel systems[J]. Complex Systems and Complexity Science, 2010, 7(4): 1-10.

[作者简介]



吴宇震（1973—），男，山东渤海湾港口集团有限公司副总经理，主要研究方向为卸船机、门机等码头设备的自动化、智能化、港口信息化、数字化、绿色环保体系建设等。



张俊（1981—），男，武汉大学电气与自动化学院教授、博士生导师，中国自动化学会副秘书长，IEEE 射频识别理事会（IEEE CRFID）副主席。主要研究方向为大数据、人工智能、物联网等新一代信息技术及其在电力能源等复杂系统中的应用。担任 *IEEE Transactions on Computational Social Systems*、*IEEE Internet of Things Magazine*、*IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*、《自动化学报》《智能科学与技术学报》等高水平学术期刊编委。2019 年获得杨嘉墀科技奖二等奖。



高天露（1994—），男，武汉大学电气与自动化学院工程师，主要研究方向为人工智能、自然语言处理和区块链等。



孙玉健（1983—），男，注册安全工程师，山东渤海湾港口集团有限公司安全环保科技部副部长，主要研究方向为安全环保管理、绿色环保体系建设、码头设备在安全环保和新能源领域的推广应用等。



刘金旭（1988—），男，山东渤海湾港口集团有限公司科技信息主管，主要研究方向为码头设备自动化、港口信息化、数字化、智能化建设等。