



智能港口物流丛书
“十三五”国家重点图书出版规划项目

港口智能控制

嘉红霞 刘海威 杨 阳

——编著——

上海科学技术出版社

内 容 简 介

本书从港口自动化和智能化控制的现状与发展出发,阐述了相关控制理论与方法,包括经典控制理论中的控制系统数学建模方法,时域和频域分析及系统的串联校正;现代控制理论中的线性系统状态空间描述及状态方程的解,线性时不变系统的可观性、可控性及稳定性分析,线性定常系统的综合与设计,几种典型的最优控制方法;智能控制理论中的模糊控制、神经网络及专家系统等控制理论及控制器设计方法;在港口智能控制应用案例中阐述了港口智能控制系统中的关键技术及实现组件,并给出了两个完整的应用实例。

本书可作为机械工程、港口装备控制相关管理、技术人员的参考用书,也可供相关专业的本科生、研究生使用。

图书在版编目(CIP)数据

港口智能控制 / 嘉红霞, 刘海威, 杨阳编著. —上海: 上海科学技术出版社, 2017. 4

(智能港口物流丛书)

ISBN 978-7-5478-3428-2

I. ①港… II. ①嘉… ②刘… ③杨… III. ①港口管理—智能控制 IV. ①U691

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 009141 号

港口智能控制

嘉红霞 刘海威 杨 阳 编著

上海世纪出版股份有限公司 出版
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行

200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.co

印刷

开本 787×1092 1/16 印张: 15.75

字数 350 千字

2017 年 4 月第 1 版 2017 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-3428-2/TP·49

定价: 65.00 元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题, 请向工厂联系调换

智能港口物流丛书序

“天下熙熙皆为利来，天下攘攘皆为利往。”司马迁在《货殖列传》中的描述正切合今天全球化背景下熙熙攘攘之经贸往来。在繁忙的全球经贸活动中，物流无疑是支撑世界经济发展的大动脉。作为一个国家和地区的门户，港口正是这一大动脉的枢纽。进入新世纪以来，港口的功能不断扩展，保税物流、临港产业、自由贸易区等各种创新功能正不断丰富着港口及港口城市的内涵，如今港口已不仅是吐纳、存储货物的核心节点，还是国际商业贸易的重要环节。对于一个受益于全球化的开放经济体，港口物流的重要性不言而喻。

任何一个产业的发展，都离不开科学技术的支撑。在国家创新驱动、转型发展背景下，港口物流发展路在何方？2008年11月，全球金融危机伊始，IBM在美国纽约发布的《智慧地球：下一代领导人议程》主题报告提出“智慧地球”的概念，开启了未来产业升级之路。近年来，为了奠定德国在重要关键技术上的国际顶尖地位，继续加强德国作为技术经济强国的核心竞争力，德国推出了以“智能工厂”及“智能生产”为核心的“工业4.0”概念。“工业4.0”也被称为继机械、电气和信息技术之后的第四次工业革命。

“智能化”在港口不只是概念上的发展，而正是当前发展实践之路。随着劳动力成本的逐年攀高，以及码头整体装备设计制造水平的不断提升和新工艺、新技术的不断完善，国内外自动化码头在经历了一段时间的技术发展期后，再次掀起新一波建设热潮。近期，天津、青岛、上海等港口已经将自动化码头的建设提上议事日程，国内第一个自动化集装箱码头——厦门远海码头已建成并投入运营。智能政务、智能商务、智能管理、自主装卸为核心的智能化发展，正是当前港口物流发展的重要支撑。

在此背景下,《智能港口物流丛书》的推出旨在梳理当前港口物流智能化发展脉络,展示当前及未来一段时间内,支撑港口物流智能化发展的相关关键技术及应用前景。丛书主要包括以下内容:智慧港口概论、集装箱码头数字化营运管理、无水港数字化运营管理、港口物流系统仿真、自动化码头规划设计与仿真、大型港口机械结构稳定性与裂纹控制技术、装卸机器视觉及其应用、港口智能控制、物流可视化等。

丛书所反映的内容是作者及其研究团队长期工作的积累和对相关学术领域的探索,也是对长期大量实践及科研成果的总结。希望丛书的出版能对从事该领域的相关管理、技术人员及感兴趣者有所助益。

宓为建

前言

随着社会经济的不断发展,港口作业效率的不断提升和港口可持续发展的需求不断增强,尤其是“工业 4.0”战略思想已开始全面影响港口物流装备的制造和使用,使得港口物流装备对高度灵活的分布式多功能智能控制技术的需求也越来越高。

同时,控制理论的发展也进入一个全新的阶段,在现代控制理论的基础上又发展出了多种智能控制理论及方法,并在工业生产的各个领域得到了广泛的应用,因而为港口智能化发展提供了极大的理论支撑。

本书以港口装备智能化为切入点,不仅详细讲述了港口智能控制中的基础理论,包括经典控制理论、现代控制理论及智能控制理论,还详细描述了港口装备智能控制中的核心系统、关键技术及实现组件,并以工程实践案例详述了控制理论在港口装备智能控制中的应用,体现了控制理论在港口智能化进程中的巨大作用。

本书共分五章。第 1 章绪论部分介绍了包括散货码头及集装箱码头在内的港口自动化发展现状和设备智能控制发展现状,描述了控制理论在港口智能控制中的重大意义。

第 2 章至第 4 章详细叙述了港口智能控制的理论基础:经典控制理论、现代控制理论及智能控制理论。其中第 2 章主要是经典控制理论相关内容,包括单输入单输出线性系统的数学建模方法、控制系统时域及频域分析方法(包括稳定性分析及误差分析)、系统的串联校正方法。第 3 章是现代控制理论及方法相关内容,包括线性系统的状态空间描述方法、线性定常系统状态方程的解、线性时不变系统的可控性和可观性、系统的李雅普诺夫稳定性分析方法、基于观测器的线性系统综合设计及几种典型的最优控制,包括变分法、极小值原理及线性二次型最优控制。第 4 章讲述了几种典型的智能

控制方法,包括模糊控制中的模糊理论及模糊控制器设计;典型前馈神经网络及反馈神经网络的构成和学习算法;专家系统基本构成、知识表示方法及推理机制,专家控制系统构成及设计。

第5章是港口智能控制典型应用案例,首先分析了以散货码头及集装箱码头为代表的港口智能控制中的核心系统及关键技术,介绍了实现智能控制的关键组件,用两个案例详细描述了控制理论及方法在港口智能控制中的应用。

港口物流设备智能化是港口智能化的重要途径,目前国内外大、中型港口及港机设备制造企业都在对港口物流设备智能化进行深入研究,但是却很难找到相关的参考书籍,与港口智能控制密切相关书籍的出版已经成为这一研究领域研究人员的迫切需求。另外,港口物流设备智能化研究团队在长期的工程实践中积累了大量经验,这些工程经验既可以应用于港口物流设备,又可以为其他机械设备的智能化设计、制造所借鉴。

本书编写过程中参阅了许多同类优秀图书,在此表示衷心的感谢。感谢天津港务集团提供集装箱码头智能控制相关素材。编者水平有限,书中疏漏及不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2016年11月

目 录

第 1 章 绪论 1

- | | | |
|-----|------------|---|
| 1.1 | 港口自动化发展现状 | 3 |
| 1.2 | 港口智能控制发展现状 | 5 |

第 2 章 经典控制理论与方法 11

- | | | |
|-----|-------------|----|
| 2.1 | 概述 | 13 |
| 2.2 | 控制系统的数学描述方法 | 17 |
| 2.3 | 控制系统时域分析方法 | 30 |
| 2.4 | 控制系统的频域分析方法 | 52 |
| 2.5 | 控制系统的综合与校正 | 70 |

第 3 章 现代控制理论及方法 83

- | | | |
|-----|--------------|-----|
| 3.1 | 线性系统状态空间描述 | 85 |
| 3.2 | 线性系统状态方程的解 | 97 |
| 3.3 | 线性系统的能控性与能观性 | 107 |
| 3.4 | 稳定性分析 | 123 |
| 3.5 | 线性定常系统的综合与设计 | 130 |

3.6	最优控制	146
第4章 智能控制理论与方法		169
4.1	模糊控制	171
4.2	神经网络控制	186
4.3	专家系统	204
第5章 港口智能控制典型案例		219
5.1	港口智能控制的系统组件	221
5.2	集装箱龙门起重机增程式混合动力源智能能量控制	229
5.3	全电驱集装箱龙门起重机能源系统健康状态预测	234
参考文献		243

新一代港口智能化建设将基于自动化控制与智能传感器集群技术、实时信息流技术,实现码头作业的智能决策及工艺革新,充分考虑码头装卸工艺要求,以及天气、环境为码头装卸作业过程带来的不利影响,确保装卸设备能在自动化作业的过程中具备自主感知、自主识别、自主决策及自主控制能力,对码头各种作业环境、作业状态、作业对象实现实时感知、识别、决策及控制,从而保证港口始终具备大型化船舶的停靠能力,提高港口大型装卸设备在各种情况下的自动化及智能化、高效化,完善港口装卸作业过程,节约综合运营成本,使未来港口加快摆脱传统劳动密集型企业特性,并朝着资源节约型、环境友好型、创新型港口方向发展。

同时新一代码头建设将在先进环保技术及安全保障技术的支持下,建立先进的码头环保系统、能源检测系统,架设卫星定位系统,对工作机械进行定位及安全防护,在危险作业区域架设人形监控系统防止人形倾入及预警,使得新一代码头向安全、环保、绿色方向发展以符合国家的大政方针。

5.1 港口智能控制的系统组件

港口自动化、智能化建设中,港口设备的自动化操作控制时时处处体现了控制技术、计算机技术、信息融合技术、图像识别技术、网络技术等技术的融合应用。

5.1.1 港口智能控制中的核心系统及关键技术

1. 散货码头无人化自动装卸系统

散货码头(这里主要指煤炭码头)自动装卸系统包括自动装船机、自动卸船机,以及自动堆、取料机控制系统。

通过综合应用当前多源机器视觉融合技术、自主控制技术和人工智能决策等高新技术及创新理念,结合当前国内外散货码头发展的实际状况,搭建基于多源机器视觉及北斗定位系统的自动化装船机、基于多源传感网络及北斗定位系统的自动化取料机、基于预测控制的连续输送系统、作业线智能调度和控制系统及作业线安全防护系统的组合系统,为自动化散货码头如何在各种复杂环境和恶劣工况下安全、高效、准确地完成自主装卸作业问题提供解决方案。

(1) 散货码头自动装船机控制技术

基于物位检测技术的自动化装船系统开发是散货码头自动装船机控制中的关键技术,利用激光雷达与微波雷达相结合的方式检测船舱内物料的形状及高度,通过嵌入式控制系统自动调节装船机的旋臂位置及作业角度,在非结构化和变化环境下实现“高度”无人干预自动控制下的自动装船系统,即使在粉尘环境下也仍然能精确检测船舱内物位的高度,并具有极高的稳定性及运算速度,可以实现自动化条件下的工艺控制,减少人工主观因素导致的装船误差,减少非作业时间占用及减少调水时间,以提高整机工作效率;可以使装船作业表面更加平整,以增加船舱使用效率。

如图5-1所示为自动化装船系统结构图。

在无人化自动装船作业环境下,通过覆盖全码头的通信网络将经过图像识别、三维

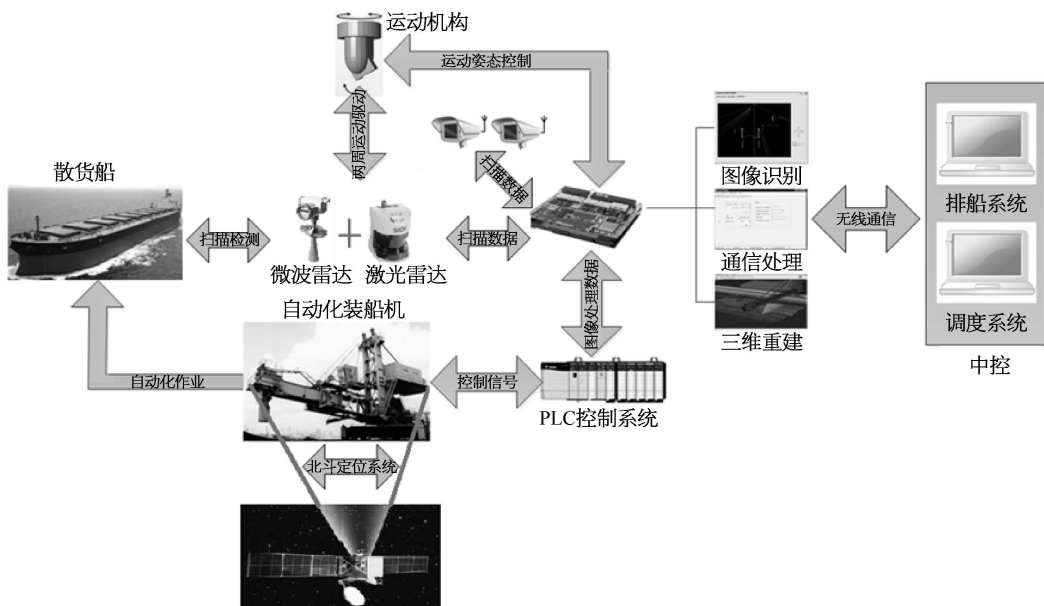


图 5-1 自动化装船系统结构

重建等技术处理后的自动装船工作过程、工作状态数据及作业数据发送至调度中心,通过调度中心监控界面二级界面显示,以实现装船机自动作业过程的实时监控。

(2) 散货码头自动取料机控制技术

基于多源传感网络及北斗定位系统的自动化取料系统是在激光雷达阵列和传统传感器集群的引导下,自动进堆行取料作业的工作系统。自动化取料系统能够实时获取装船机旋臂的工作角度,根据不同煤种及煤灰的不同干湿程度及时调整取料速度,尽可能地在臂架角度允许的最大流量范围内进行取料操作;同时,实时发布当前取料的瞬时流量,以便装船机旋臂及时调整至最佳工作角度。

由于自动化取料机由激光雷达扫描阵列提供作业料堆的完整截面形态,并由后台内置工艺控制的控制器引导其自动进行取料作业,故配合后台操作经验历史数据库(作业知识库),可以提炼出高效自主作业经验规则,自动装船系统与自动取料系统相互配合,形成一体化的自主装卸系统,可以从根本上提高整个装船过程的工作效率。

2. 港口装卸设备的远程操控系统

港口装卸设备的远程操控在自动化港口主要体现在两个方面:一是散货码头的自动装船机、取料机的远程操控,二是集装箱码头中集装箱桥吊的远程操控。

(1) 散货码头自动装船机、取料机的远程操控

由于自动化装船及取料实现的是本地无人操作,如果自动化操作系统出现故障,则正在作业的装船机或取料机可以通过远程操控的方式继续作业。

设备的远程操控台设置在独立的远程操控站或是中控室。操作台配备操作装船机或取料机所需的操控杆和按钮,以及装船机、取料机工作状态监控系统,司机在操作时通过操控杆及按钮发布控制信息,同时还能通过监控系统获取设备的工作状态信息,其

结果与在本地操作相同。

如图 5-2 所示是自动装船机的远程操作系统架构图。远程操控过程中,司机通过操作台发布的指令信息通过码头的无线专网传送给 PLC 控制器,而 PLC 中的装船机工作数据及摄像系统获取的装船机状态也可以由无线专网发送至远程操控室的监控系统。

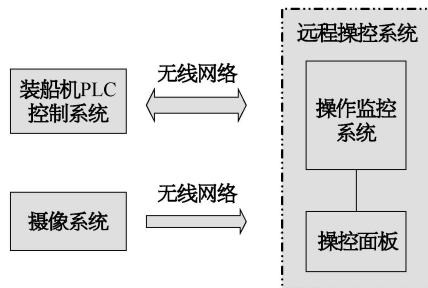


图 5-2 自动装船机的远程操作系统架构

(2) 集装箱码头桥吊的远程控制系统

集装箱码头桥吊的远程控制系统实现司机在操控室,依靠监控画面及手柄、触摸屏对岸桥进行远程操作。对于现存自动化程度较低的岸桥,其远程控制系统是在现有的岸桥电控系统基础上,加装激光扫描仪、监控设备、网络服务器等装置,实现桥吊的自动化运行,只需远程操控室的司机简单辅助操作即可完成整个作业过程。

桥吊的远程操作系统除了与原有桥吊司机室功能相同的司机操作平台之外,还包括实现桥吊远程控制所必需的视频监控系统、远程操控的辅助系统、集卡定位系统及轮船中集装箱轮廓扫描系统等,每个子系统各司其职,协调工作,共同完成对桥吊的远程控制。

① 视频监控系统。视频监控系统的目的是通过数字摄像在远程操控作业时对岸桥的运行机构进行状态监测,设备状态会在远程操控辅助操作系统的监控界面上实时显示。其中监控内容包括:作业集卡是否到达,正在作业集卡的车号,桥吊大车下方车道人员及其他非作业集卡是否处于安全状态;监视吊具下方待作业的集卡和下层集装箱的锁孔位置等信息,以便远程司机根据相关画面实现正确地着箱、闭锁操作;监控起升吊具运行情况及着箱、对箱情况;监视大梁俯仰挂钩情况等。

② 远程操控的辅助操作系统。辅助操作系统(OAS)采用图形化界面(图 5-3)实时显示视频监控系统及其他子系统发送的设备状态和各类监测数据,是司机正确操控桥吊、应对各种紧急情况的事实依据。

辅助操作系统(OAS)与其他子系统的网络连接如图 5-4 所示。系统通过通信光缆分别与集装箱轮廓扫描系统(SCP)、集卡定位系统(CPS)、集装箱箱号识别系统(CNR)及主控 PLC 连接在一起。

OAS 与其他子系统之间的信息交互包括:发送控制指令信息(车道号、开始扫描等)给 CPS,并从 CPS 接收集卡位置信息;接收 SCP 扫描到的轮船中集装箱的轮廓信息,并通过轮廓信息计算轮船上一个贝位的位置;接收起重机主控 PLC 的运行状态等信息;根据不同的作业流程,发送 PLC 的控制指令(例如,进入准备状态、目标地址、箱尺寸等);与集装箱箱号识别系统(CNR)通信,将摄像后经过图像识别的集装箱箱号与生产管理系统中给出的指令作业箱号比对,确保作业正确。

③ 集卡定位系统。集卡定位系统(CPS)的目的是采用 3D 激光扫描系统确定集卡应停的精确位置,并将精确位置由显示屏显示以指示集卡司机正确、高效地停车。

集卡定位系统中包括由旋转平台和 2D 激光测距仪共同组成的 3D 激光扫描仪、集卡定位数据处理系统、集卡指示器等功能构件。集卡定位系统与远程操控辅助操作系

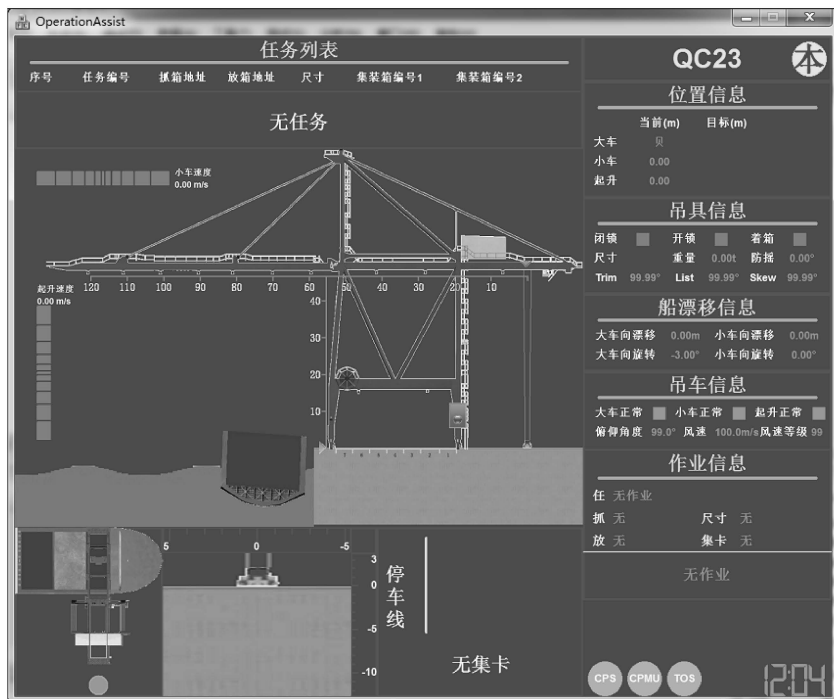


图 5-3 桥吊远程操控辅助操作界面

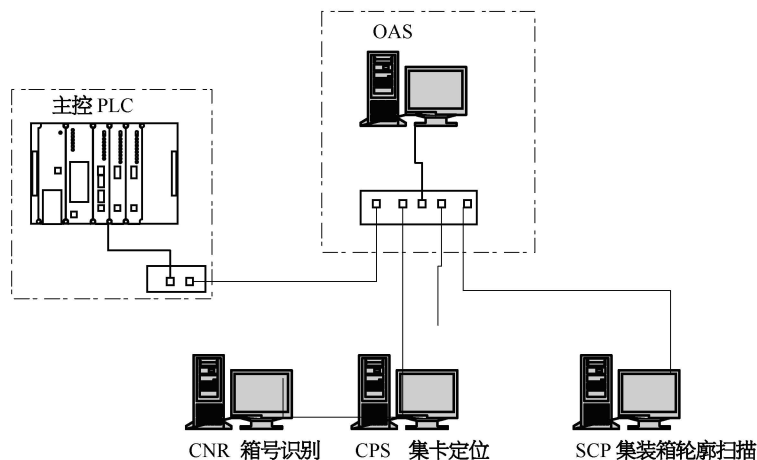


图 5-4 辅助操作系统与其他子系统连接示意图

统 OAS 及主控 PLC 连接在一起,如图 5-5 所示。

系统中旋转平台与 2D 激光测距仪组成 3D 的激光测距系统,实时扫描检测集卡位置,并将数据送入集卡定位数据处理系统进行处理,计算获得集卡的实际位置,传送给操作辅助系统(OAS)及主控 PLC,并经由集卡指示器显示,指导司机正确、高效地停车。

④ 轮船集装箱轮廓扫描系统。轮船集装箱轮廓扫描系统(SCP)采用激光扫描仪对吊具运行范围内区域进行扇面扫描,实时准确地测量小车吊具运动范围内物体的轮廓,包括小车方向物体的轮廓及大车方向物体的轮廓,计算轮船上集装箱的分布,以及计算

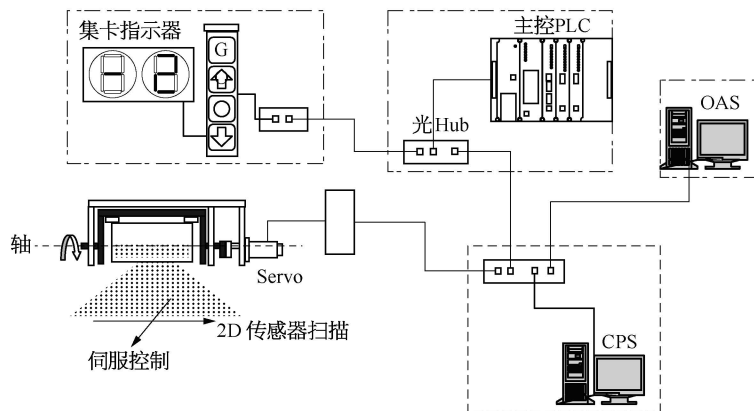


图 5-5 集卡定位系统与其他子系统连接示意图

轮船的倾转角度及导轨高度，以此优化吊具的运动路径，达到精确装船或卸船的目的。同时，采用激光扫描仪对待装卸船舶的漂移量进行检测，以实时调整小车及起升机构的定位目标。

轮船集装箱轮廓扫描系统硬件部分包括安装在小车架上的 2D 及 3D 激光扫描仪、激光扫描仪数据处理用计算机，软件功能主要是实现数据的实时处理及计算，同时处理结果被传送给操作辅助系统(OAS)及主控 PLC，轮船集装箱轮廓扫描系统与其他子系统连接示意图如图 5-6 所示。

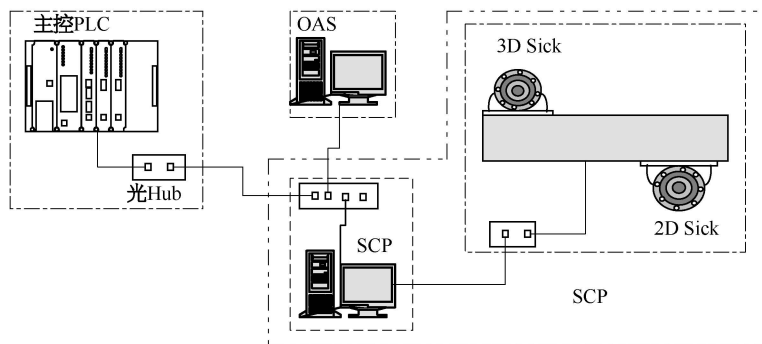


图 5-6 轮船集装箱轮廓扫描系统与其他子系统连接示意图

3. 港口装卸作业过程中的安全防护系统

港口装卸作业中的安全防护包括散货码头作业区域的人员异物入侵防护及码头作业机械之间的碰撞防护。

(1) 机械区间防碰撞安全监控系统及技术

机械区间防碰撞安全监控包括两个方面：一是散货码头作业机械与船舱及舱内物料间的碰撞监控；二是散货码头作业大机或集装箱码头岸桥之间互相防碰撞监控。

散货码头作业机械与船舱及舱内物料间的碰撞监控，采用主动防撞方式，由激光雷达、超声波测距仪、北斗定位系统联合传统传感器实现位置检测。

在自动化装船机上安装超声波、激光雷达等形成主动扫描系统，根据传感器群的实

时扫描信息,对扫描数据进行处理,对旋臂位置、溜筒角度、船舱深度、物料料堆形状等进行实时监测,发出相应的报警、提示或是纠正操作,实现大机和船舱及舱内物料防碰撞监控。

在自动化取料机作业过程中,激光雷达实时对料堆进行扫描并处理数据,通过识别当前料堆最高点的坐标信息,实时反馈给控制系统,起到了防止斗轮机与料堆相碰撞的预警效果。

散货码头作业大机或集装箱码头岸桥大车之间碰撞防护及监控采用一种被动防护方式,主要采用编码器定位及安装北斗定位系统,用于实现对作业机械全天候、全天时、高精度、高可靠地定位、导航、测速等功能,实时监测各作业机械的相对位置,防止同样架设了北斗卫星定位系统的装卸机械间的相互碰撞,提高安全保护。

其结构示意图如图 5-7 所示。

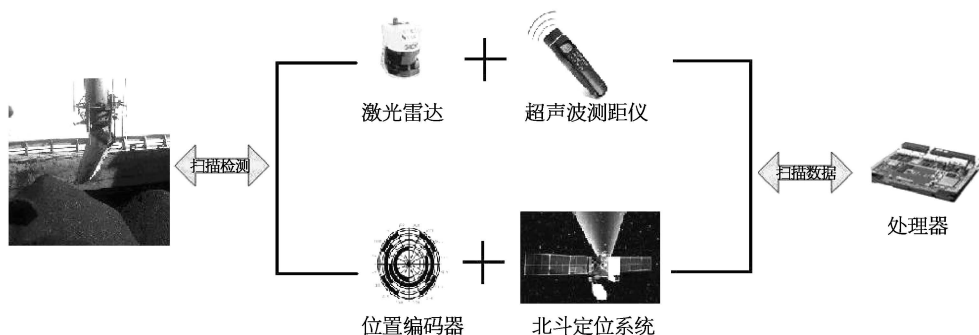


图 5-7 机械区间防碰撞结构示意图

(2) 自动化散货码头的作业区域安全防护系统及技术

散货码头无人作业区人员安全防护监控,主要是在装船机进行自动化作业的过程中,实时对大机周边的危险区域进行监控,实现对人形的早期发现、识别及预警。即一旦发现有人在危险区域出现,便反馈至调度中心监控界面,并提供报警,以便调度中心的操作员能够远程对作业机械上的危险区域进行监控,如有危险情况能够及时处理,降低了监控员的劳动强度。

人员安全防护系统是在装船机大机上架设人形识别软、硬件系统,其关键技术是区分人形和其他障碍物体,对场内活动的人形及障碍物进行收集并提取图像特征,形成面向自主作业的人形与障碍物识别系统和历史图像特征数据库,并以此系统辅助自主作业实现智能安全防护。

4. 港口设备自动化作业中的信息网络传输技术

实时、准确的信息交换是智能化码头的必要条件。在繁忙的无人化散货码头自动作业过程中,各类数据及信息繁多,包括运输车辆进场信息、堆料机堆料信息、堆场利用信息、取料机工作状态及作业信息、皮带输送系统工作状态及作业信息、装船机工作状态及作业信息、船舶作业计划信息、堆场计划信息、中控调度各类作业指令信息等。

覆盖全码头的无线专网,结合有线局域网,可以保证机械设备的工作状态信息、作业信息、外来设备信息及调度中心作业指令信息等各类信息在各职能部门实时、准确地

传递,全面克服现有散货码头信息断链及信息孤岛问题。完善的信息化系统可以形成各类历史数据库及支持决策系统如泊位计划、机械资源计划、堆场计划等,结合信息系统中设备状态监测及业务、作业计划监控实现设备行为分析及故障分析,为智能化散货码头提供信息与决策支持。

如图 5-8 所示是自动化码头无人化自主装卸作业系统中的无线专网通信系统架构示意图。

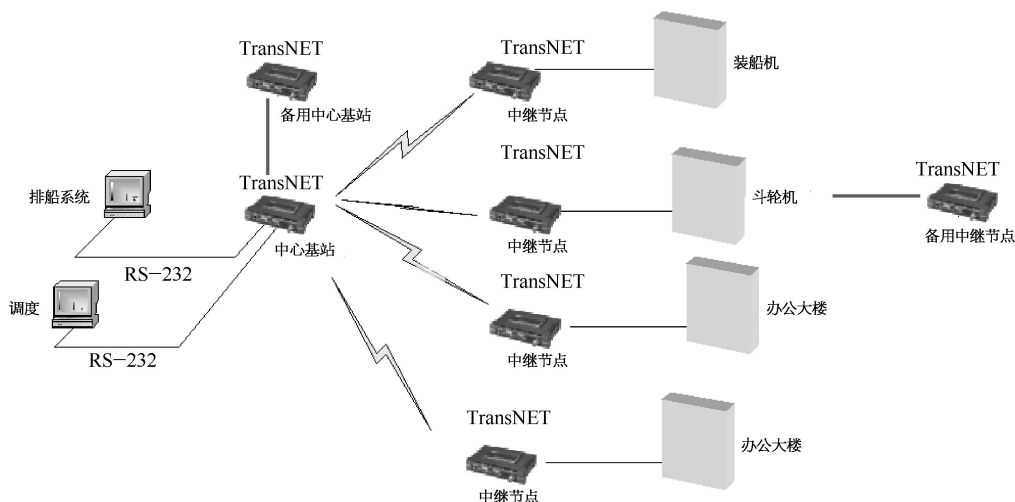


图 5-8 自主装卸系统无线通信系统架构

系统以 TransNET 无线专网中心基站为主体,在装船机、取料机及其他相关设备或建筑物附近各设一台 TransNET 无线中继节点,以扩大无线专网范围,供无线通信专网内设备自动选择最近、强度最好的中继节点互联。

5.1.2 港口智能控制系统中的关键组件

新一代自动化码头是自动化控制技术与智能传感器集群技术、信息融合技术、实时信息流技术等的高度融合的产物,在其多个核心系统中采用了一些关键系统组件,如激光雷达、数字摄像头、北斗-GPS 双模定位系统、嵌入式控制器等,这些组件是港口智能化核心系统的重要硬件支撑,是实现基于多技术融合的港口设备智能控制的基础。

1. 激光式传感器

激光式传感器,尤其是 3D 激光雷达,是港口智能控制中的核心组件之一,主要应用于散货码头无人化自动作业时的堆场物料轮廓检测、船舱内物料轮廓检测、无人作业区作业机械之间防碰撞检测;集装箱码头集装箱装卸操作船舱内集装箱轮廓检测、集装箱远程操控中集卡定位、岸桥大桥防碰撞检测等。

激光式传感器是一种新型测量仪表,可用于测量物体的几何尺寸、振动、位移、速度、加速度、转角、方向、探伤及成分分析等。其优点是能实现无接触远距离测量,速度快,精度高,量程大,抗光、电干扰能力强等。激光式传感器由激光器、激光检测器和测量电路组成。

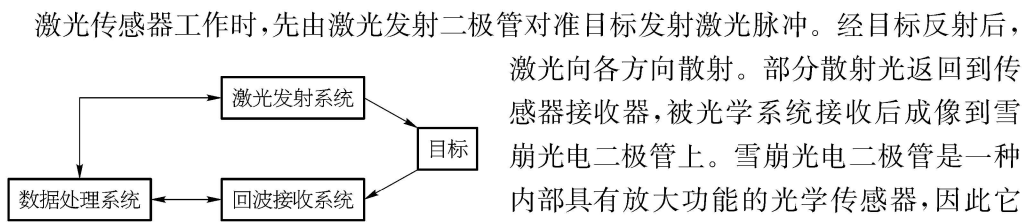


图 5-9 激光测距仪的基本结构

激光传感器工作时,先由激光发射二极管对准目标发射激光脉冲。经目标反射后,激光向各方向散射。部分散射光返回到传感器接收器,被光学系统接收后成像到雪崩光电二极管上。雪崩光电二极管是一种内部具有放大功能的光学传感器,因此它能检测极其微弱的光信号,并将其转化为相应的电信号。常见的激光传感器是激光测距仪,它通过记录并处理从光脉冲发出到返回被接收所经历的时间,即可测定目标距离,其基本结构框架如图 5-9 所示。

港口设备智能控制系统中采用的激光式传感器包括除了无人作业区作业机械之间防碰撞检测、集装箱远程操控中集卡定位系统中的 2D 激光测距仪之外,在散货码头自动作业时的堆场物料轮廓检测、船舱内物料轮廓检测、集装箱装卸操作时船舱内集装箱轮廓检测等使用的都是三维激光雷达。

激光扫描仪是激光雷达的核心,一般由激光发射器、接收器、时间间隔测量装置、传动装置、计算机和软件组成。

三维激光扫描仪基本工作原理是:线激光器发出的光平面扫描物体表面,由面阵探测器(电荷耦合器件 CCD)采集被测物面上激光扫描线的漫反射图像,在计算机中对激光扫描线图像进行处理,依据空间物点与 CCD 面阵像素的对应关系计算物体的景深信息,得到物体表面的三维坐标数据,快速建立原型样件的三维模型。

2. 北斗-GPS 双模定位系统

散货码头自动化装船机、取料机控制系统及其大车防护系统中采用了北斗及 GPS 双模定位系统。

GPS(Global Positioning System)是一个卫星导航系统,是由美国国防部牵头的卫星导航定位联合计划局(JPO)领导,美国海、陆、空三军联合研制的,可以实现全球、全天候、连续、实时、高精度无线电导航的系统;北斗卫星导航系统(BeiDou Navigation Satellite System)则是我国开发的面向民用的卫星导航系统。

北斗-GPS 双模定位系统则是可以接收北斗和 GPS 两个定位系统的信号并进行数据处理的系统。如图 5-10 所示是我国卫星定位科学家提出的双模定位系统的结构框架。

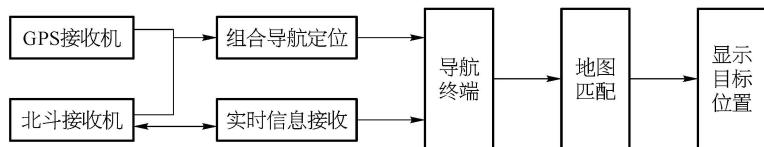


图 5-10 北斗-GPS 双模定位系统框架结构

单一模式的定位导航的接收机系统,因可见卫星数目、系统固定误差等因素可能导致卫星导航定位系统的可用性及系统的完整性监测受到极大限制;双模卫星接收技术能够利用和结合多个卫星导航系统的优点,在定位解算时采用融合技术,可以有效提高

系统的定位精度、可用性、正确性及可靠性等。

具体来说,双模定位系统还具有以下优点:

① 提高了系统的完整性。北斗和 GPS 双模定位明显增加了可见卫星数,为计算提供了可靠性,减少了由错误电文所引起的导航失效的可能性。

② 提高了定位的精度。在足够多卫星的观测条件下,可以通过选择更合理的卫星组合来降低几何精度因子,以此来提高定位精度。

③ 提高了定位的连续性。在高动态场合,若待测体同卫星间存在较大的径向加速度分量,单一接收机难以实现稳定的实时定位,双模系统加大了卫星的可用性,可以选择径向较小的卫星组成定位星座,有效提高定位导航的连续性。

④ 提高了安全性。不依赖某一特定定位导航系统,灵活选择接收机的工作模式,用户既可以选择 GPS 或北斗导航系统单独工作,又可以同时利用两个系统的信号。

⑤ 在接收机采集不到位置及时间信息时,增加可见卫星数可以提高捕捉到卫星的概率,达到减少捕获时间的目的。

3. 嵌入式控制器

为了增加控制系统的稳定性及运算速度,散货码头自动装船系统及自动取料系统中采用了嵌入式控制器。

嵌入式控制器是一种以嵌入式系统技术为基础的工业计算机,以高端微处理器为核心,并以一个多任务的实时操作系统为软件平台,因而与传统的工控机相比,嵌入式控制器具有多任务的处理能力、更高的实时性、更丰富的通信接口功能,并更便于应用程序的开发。

5.2 集装箱龙门起重机增程式混合动力源智能能量控制

现有的混合动力集装箱龙门起重机的能源结构基本上是在直流母线上并联能量存储装置,已有较多成功的工程案例和学术文献报道。原有的大功率柴油发动机需要直接为起重机的运行提供能量,因而其功率的减小受到集装箱龙门起重机整机装机功率的容量条件限制,其能耗和排放问题都未得到完全解决。

5.2.1 集装箱龙门起重机增程式混合动力源系统结构

增程式混合动力集装箱龙门起重机能源系统是在原有集装箱龙门起重机电气系统结构之上构建小功率的柴油发动机及镍氢超级动力电池组替换掉原来的大功率柴油发动机组成。机上所有马达及辅助用电设备均由镍氢超级动力电池组提供能量,动力电池组还可以回收存储起升机构下降时产生的可再生能量;小功率柴油发动机不再直接提供集装箱龙门起重机运行时所需的能量,而仅对动力电池组进行充电。其结构如图 5-11 所示。

增程式混合动力的机械特性和功率特性可以不受集装箱龙门起重机的装机容量和运行功率特性的条件限制,只需要匹配镍氢超级动力电池组的充电特性,可工作于频繁启停模式的小功率柴油发动机则可以促进能耗和排放的进一步降低,是增程式混合动

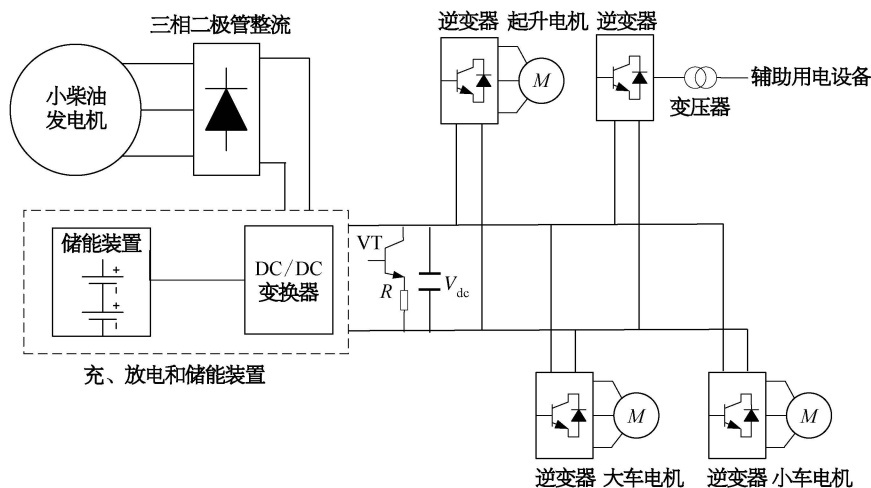


图 5-11 集装箱龙门起重机增程式混合动力源系统结构示意图

力集装箱龙门起重机能源系统区别于传统式混合动力集装箱龙门起重机能源系统的优点。

由于集装箱龙门起重机采用的增程式混合动力能源系统结构,其运行所需的全部能量都来自镍氢超级动力电池组,因此电池组的功率特性需要满足所有瞬时功率的需要,放电电流和能量回收的充电电流都会根据作业工况的不同而波动很大。其容量特性既要考虑系统建造时电池组容量过大购置的经济成本,又要顾及电池组容量过小而频繁深度充、放电对电池组循环寿命的影响。

5.2.2 增程式混合动力集装箱龙门起重机能量的控制需求及模型

增程式混合动力汽车在能量控制策略研究方面已进行了多年,目前已有的针对增程式混合动力能量的控制策略主要采用恒温器式控制模式和功率跟随控制模式。恒温器控制模式是在动力电池的荷电状态(SOC)下降到下限值之后,发动机才启动充电,发动机启动后则工作于最低油耗或者最佳排放点,然后为电池充电至电池 SOC 到上限值,该控制模式对于动力电池组的循环寿命极为不利。而集装箱龙门起重机的运行工况与汽车的运行工况差异很大,集装箱龙门起重机的起升和下降动作切换频繁,动力电池组需满足能频繁切换以大电流进行功率输出和功率输入的条件;在特殊的装船或者卸船工况时,动力电池组又需要满足持续的单向大电流功率输出和功率输入,因此恒温器式的能量控制策略用于增程式混合动力集装箱龙门起重机并不理想。

这里的增程式混合动力集装箱龙门起重机能量控制策略需要考虑到镍氢超级动力电池组的荷电状态、集装箱龙门起重机运行的能量需求及小功率发动机充电的起始时间和充电功率的大小,以满足集装箱龙门起重机运行的功率和容量需求及动力电池组的循环寿命的要求。能量运行控制策略的实时性要求较高,不一定需要找到最优解,而只需找到非劣最优解即最优解。因此采用模糊逻辑的方法研究增程式混合动力集装箱

龙门起重机的能量调度控制策略,并给出镍氢超级动力电池组的充、放电功率的具体参数。

在增程式混合动力集装箱龙门起重机能源系统能量模糊控制模型中以混合动力集装箱龙门起重机运行所需能量大小、镍氢超级动力电池组的当前存储电量(荷电状态)为模糊控制模型的输入变量;小功率发动机对镍氢超级动力电池组的充电功率为模糊控制模型的输出变量。增程式混合动力集装箱龙门起重机能源系统的工作参数模糊控制模型结构如图 5-12 所示。

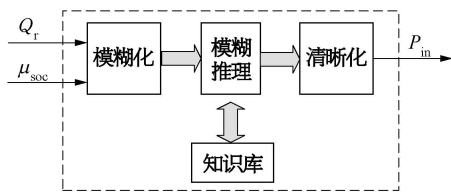


图 5-12 增程式混合动力源系统能量模糊控制模型图

5.2.3 增程式混合动力源系统模糊变量空间划分及隶属度函数

根据典型的起重量为 40 t 的集装箱龙门起重机各机构的电机额定功率及辅助用电设备的额定功率运行组合,将控制模型输入参数集装箱龙门起重机运行的能量需求 Q_r 论域表达为 $A = \{-110, -80, -30, 50, 120, 150, 180, 210, 240\}$,其中各数字表示需求功率的大小,负数值表示产生可再生能量的大小,正数值表示各机构运行所需的功率大小,对应的模糊集合依次表示集装箱龙门起重机运行产生可再生能量从大到小和所需运行能量从小到大的程度。

根据镍氢超级动力电池组的充、放电特性及动力电池组设定的深充深放运行限制条件,将控制模型输入参数镍氢超级动力电池组的荷电状态 μ_{soc} 论域表达为 $B = \{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$,其中各数字分别表示镍氢超级动力电池组的荷电状态为 $[0.2, 1]$ 之间的状态,对应的模糊集合依次表示镍氢超级动力电池组荷电状态从极少到极多的程度。

根据小功率发电机的输出功率,将模型输出参数小功率发动机对动力电池组的充电功率 P_m 的论域表达为 $C = [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]$,数字 0 表示不充电,1~8 分别表达充电功率以 10 为间隔的充电功率大小,其相应的模糊集合依次表示不充电到以额定最大功率进行充电的程度。

结合工程经验和知识,针对 Q_r 、 μ_{soc} 和 P_m 都选择模糊控制中最常用的三角函数作为其隶属度函数(图 5-13),相邻隶属度函数交点的隶属度值较高可以实现控制的高鲁棒性,但控制灵敏度有所下降,通常交点不大于 0.5。

5.2.4 增程式混合动力源系统模糊控制规则及模糊推理

1. 增程式混合动力源系统模糊控制规则

集装箱龙门起重机能量的需求和可再生能量的产生有着随机性高和鲁棒性差的特点,必须根据工艺和工况特征给出明确的控制规则查询表以支持系统的实时运行。针对特殊作业工况,还需要满足可以人工对控制规则进行干预的条件。因此本文给出的是结合现场工程师经验、集装箱龙门起重机运行所需能量区间分级及镍氢超级动力电池组充、放电特性的离线控制规则查询表,根据上述输入、输出变量的模糊空间划分,给