

DOI:10.11992/tis.201605007
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/23.1538.TP.20170111.1705.032.html>

智能航运系统的发展现状与趋势

严新平^{1,2,3}, 柳晨光^{1,2,3}

(1.武汉理工大学 智能交通系统研究中心,湖北 武汉 430063; 2.武汉理工大学 国家水运安全工程技术研究中心,湖北 武汉 430063; 3.武汉理工大学 能源与动力工程学院,湖北 武汉 430063)

摘 要:智能航运系统是一种应用于水路环境的智能运输系统。交通感知、通信、信息处理、人工智能等相关理论和技术的发展,以及航运信息化系统的不断完善为智能航运的逐步实现提供了重要支撑。首先,分析了智能航运系统的功能和体系框架,综述了智能航运涉及的关键技术,具体包括大数据技术、船联网技术、云计算技术和智能航行技术;其次,从智能航道、智能港口、智能船舶和智慧海事等 4 个方面分别阐述了其发展现状以及对智能航运发展的作用;描述了现有或正在研发的典型智能航运系统;最后,展望了未来智能航运系统的技术发展方向。
关键词:航运;智能系统;船联网;智能航行;大数据;云计算;信息物理系统
中图分类号: TP18,U6 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-4785(2016)06-0807-11

中文引用格式:严新平,柳晨光. 智能航运系统的发展现状与趋势[J]. 智能系统学报, 2016, 11(6): 807-817.
英文引用格式:YAN Xinping, LIU Chenguang. Review and prospect for intelligent waterway transportation system[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2016, 11(6): 807-817.

Review and prospect for intelligent waterway transportation system

YAN Xinping^{1,2,3}, LIU Chenguang^{1,2,3}

(1. Intelligent Transport System Research Center, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China; 2. National Engineering Research Center for Water Transport Safety, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China; 3. School of Energy and Power Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

Abstract: An intelligent waterway transportation system, i.e., a system used for intelligent waterway transportation, has been rapidly developed in recent years because technologies and theories related to the system, namely, transportation perception, communication, data processing, artificial intelligence, and information systems, have matured. In this paper, first, the main functions and architecture of the system were analyzed. Second, the state of the art technologies related to the system, e.g., big data, internet of vessels, cloud computing and intelligent navigation, were introduced. Third, components comprising the system, i.e., intelligent waterway, intelligent port, intelligent ship and intelligent maritime, were analyzed. Fourth, several representative intelligent waterway systems were presented. Finally, the future technology development of the system was forecasted.
Keywords: shipping; intelligent system; internet of vessels; intelligent navigation; big data; cloud computing; cyber-physical system

航运 (shipping) 是指通过水路运输来运送人或货物的运输方式。航运由于运量大、能耗小、成本低、环保等突出优点,在国际贸易和我国国民运输中占有重要地位^[1]。航运系统由 3 个最基本的要素——航道、船舶和港口,以及各种支持保障系统构成^[1]。航运的发展必然是航运系统中各要素共同发展的结果,只有航运系统各要素有机地协调发展,

收稿日期:2016-05-10.
基金项目:国家科技支撑计划(2015BAG20B05).
通信作者:严新平. E-mail: xpyan@ whut.edu.cn.

整个航运系统才能真正得到可持续发展^[2]。

智能运输最早起源于陆上交通,后被引用到水上交通,从而产生了“智能航运”的概念。文献[2]对智能航运系统(intelligent waterway transportation system)有如下定义:智能航运系统是在系统工程思想指导下,将先进的信息处理技术、通信技术、传感器技术、控制技术、运筹学、人工智能等学科成果综合运用于水上交通运输管理体系,通过对各种运输信息的实时采集、传输和处理,实现各种运输情况的协调和处理,建立一种在大范围内实时、准确、高效、全方位发挥作用的水上运输综合管理体系,从而使水路交通设施、信息资源得以充分利用,提高船舶航行效率 and 安全性,最终实现水路交通运输服务社会化和智能化管理。智能航运的发展将会在以下几方面产生重要意义:1)提高了航运运输能力;2)由于运输效率的提高和绿色技术的应用,能够有效减少温室气体、污染物排放以及节约能源;3)提高了航运的安全性;4)随着智能车辆、智能交通、人工智能的快速发展和物联网体系的逐步完善,构建空、陆、水联合的运输体系成为可能,智能航运作为其中重要组成部分,其发展已刻不容缓。

1 智能航运系统的框架体系

1.1 智能航运系统功能分析

从 1994 年在巴黎召开的第一届世界智能交通大会正式提出“智能运输系统”概念开始,许多国家先后投入了巨大的人力物力来发展智能运输系统,目前无人驾驶车、智能交通管理、船岸协同等方面的先进技术已被成功应用。智能航运系统相比于智能道路系统起步较晚,两者在系统功能方面既有相似也有不同之处,智能航运系统主要功能总结如下:

- 1) 能够实现对航运过程中运输网络的运输信息、与运输相关的信息实时采集和分析;
- 2) 能够实现航运系统中航道、船舶、港口、船公司等不同对象间的信息实时与高效交换;
- 3) 能够应用人工智能等理论以及大数据等高新技术手段提高航运效率,降低运营成本以及降低风险;
- 4) 能够为智能航运系统用户提供数据、决策、风险评估等服务;
- 5) 能够使航运系统涉及的船舶营运、航道服务和港口服务的配员减少。

随着通信、感知、人工智能、自动化、船联网、计算机、大数据、云计算等技术的快速发展,未来智能航运系统的功能将会更加丰富和完善。总体来说,新一代的智能航运系统将是一个庞大的具有非线性、不确定

性、多样化和混沌等特征的复杂系统,在实现各种功能的前提下也应保证系统的抗干扰性和鲁棒性。

1.2 智能航运系统体系框架分析

文献[1]定义,本文所指的体系框架是指确定并描述为实现用户服务所需的系统组件、各组件的功能、组件之间及其与外部环境之间的关系和连接形式。智能航运系统作为一个复杂的大系统,是大量功能、技术、信息的集成,且系统内部通信复杂、数据结构各异,因此有必要设计一个体系框架以建立高效、灵活和安全的智能航运系统。目前,关于智能航运系统体系架构的研究较少,且都以内河航运研究为主。何新华^[1]将智能化引入内河航运中,提出了内河智能航运系统(shipping intelligent transportation system, SITS)集成体系总体结构,如图 1 所示。此外,赵丽宁^[2]提出了基于多 Agent 系统(multi-agent system, MAS)技术的适合长江环境的智能航运系统体系框架。

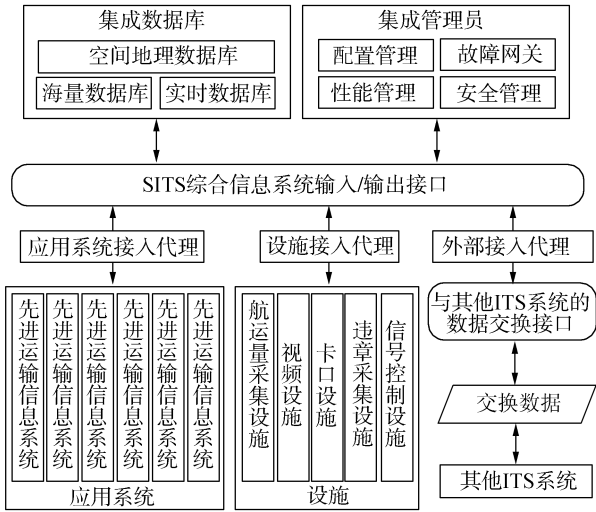


图 1 SITS 集成体系总体结构^[1]

Fig.1 The structure of SITS

对于智能航运这一复杂的系统,其体系框架设计通常有基于结构化和面向对象两种方法。结构化方法以功能的抽象与分解为主要手段,按功能之间的连线关系组织数据;面向对象方法首先确定对象或实体及其对象之间的关系,然后确定每个对象执行的功能,围绕数据对象或实体组织功能,形成单一互联的视图^[1]。面向对象方法借鉴了软件开发系统的思路,但其可读性不强,操作起来较难,因此结构化方法因具有可读性强、操作简便等优势较适用于智能航运系统的体系框架设计。

2 智能航运系统的关键技术

2.1 大数据技术

随着信息、通信技术的进步,建立覆盖全球的航

运数据中心已成为可能。目前,中国远洋运输集团等国际航运公司已实现在全球范围内监控所属船舶的营运状态;我国内河船舶已在尝试全程远程监控船舶航行状态、机舱设备状态、驾驶员状态等。欧洲内河信息服务(harmonized river information services, RIS)是欧洲为支持内河航运、交通管理、运输管理以及多式联运而提出的信息协同服务理念,为用户提供了电子江图、法律法规、船舶登记等静态信息以及船舶位置、货物信息、预计到达时间等动态信息^[3]。文献[4]利用船载自动识别系统(automatic identification system, AIS)收集的大数据来评估船舶在港区航行时船舶间的最优距离。只要航运系统在运行,就意味着每时每刻都在“生产”大量的数据,且这些数据都能通过计算机保存下来。

航运系统产生的数据满足大数据具有的 4 个“V”特征,即 Volume(体量浩大)、Variety(模式繁多)、Velocity(生成快速)和 Value(价值巨大但密度低)。如何高效地挖掘这些数据,是智能航运系统当前需要解决的重要问题。目前,已有多种针对大数据的处理方法,大致可分为两类:一是依靠机器的超强计算能力和人工智能,通过机器学习和数据挖掘等方式实现大数据分析;二是依靠人所具备的、机器并不擅长的认知能力,通过可视分析等方法实现大数据分析^[5]。这两种方式均适用于智能航运系统,现阶段可视分析由于实现难度较低更为合适。通过对航运系统内大数据的处理和分析,至少可产生以下价值:1)通过分析某航段所有船舶的历史轨迹,可为设立助航设施提供参考;2)通过统计一段时间内的历史船舶交通流数据,找出交通流规律,实现水上交通的高效控制。

“船联网”是物联网在航运领域的一种具体化发展形式,以航运管理精细化、行业服务全面化、出行体验人性化为目的,以企业、船员、船舶、货物为对象,覆盖航道、船闸、桥梁、港口和码头,综合运用物联网技术实现人—船—货信息互联互通的智能航运信息服务网络^[6]。文献[6]提出了一种融合物联网核心技术,以数据为中心,实现人船互联、船舶互联、船货互联及船岸互联的内河智能航运信息综合服务网络,其结构如图 2。文献[7]基于无线传感网络和物联网等技术设计了内河信息管理系统。

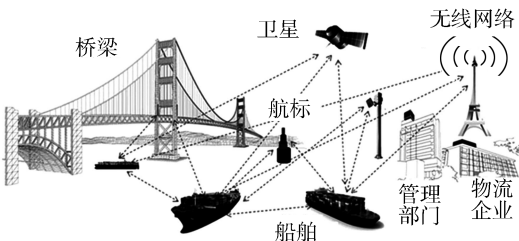


图 2 内河智能航运信息综合服务网络结构^[5]
Fig.2 The network of inland-waterway intelligent ship-
ping information service

船联网的发展将大大促进航运信息服务水平的提升,典型的航运信息服务流程如图 3 所示^[8]。文献[9]利用 3G、RFID 和 ZigBee 等无线技术构建了内河船舶管理系统,以提升内河船舶管理效率和服务质量;文献[10]讨论了如何利用物联网技术实现内河航道流量统计、航道数据采集和应用位置服务;文献[11]基于物联网设计了一套智能化的船舶电子签证管理系统,实现了不停船签证;文献[8]指出目前我国内河船联网发展过程中存在航运信息服务标准体系不健全、标准内容重复交叉等问题。

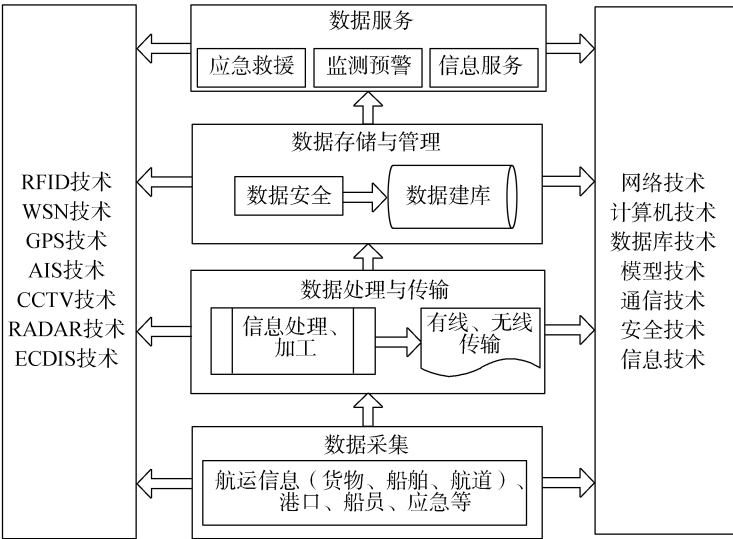


图 3 典型航运信息服务流程
Fig.3 Classical procedures for shipping information service

2.3 云计算技术

云计算是分布式计算、并行计算和网格计算的发展^[12]。用户可以在不了解提供服务的技术、知识和设备的情况下通过网络获取云计算提供的各种服务。实时、动态地分析智能航运系统中数以兆计的传感设备在不同时间采集的海量信息,并对这些信息进行汇总、拆分、统计、备份,这需要具有弹性增长存储资源 and 大规模并行计算能力的云计算作为支撑^[13]。为了减少船舶事故的发生,文献[14]提出了基于移动互联设备、大数据、岸基站、传感网络构建了基于云平台的智能船舶系统,云平台在这个系统中起到了关键的数据存储、计算和分享作用。智能航运的最终目的是为用户提供更好的服务,云计算技术能够避免用户花费大量的时间、金钱和精力去构建平台、分析数据,而只需要通过网络浏览器等方式去获取个性化服务^[12]。航运管理部门和航运企业可以借助云计算平台为客户提供如船期查询、电子订舱、运价查询、货物跟踪等服务。同时,云计算平台能够搜集航运相关的气象、水文、交通流等各种信息,再结合船舶自身性能特点,最终实现船舶航线、配载、船期等的最优化设计。

云计算是基于软件 (software)、平台 (platform) 和基础设施 (infrastructure) 模型,为用户提供服务的一种信息技术手段^[12]。以航运为对象,云计算服务模式可总结为以下 3 种:1) SaaS (cloud software as a service, 云应用服务),是指航运部门或公司能够直接应用航运云基础设施中的已有应用资源;2) IaaS (cloud infrastructure as a service, 云设施服务),是指航运部门或公司能够应用航运云基础设施中的计算资源,节约了购买电脑、硬盘等硬件设备的费用;3) PaaS (cloud platform as a service, 云平台服务),是指航运部门或公司能够基于云基础设施中的所有资源来开发自身的特定应用程序,比如基于电子海图或航道图平台来开发地图应用程序等^[15]。

2.4 智能航行技术

计算机技术、传感器技术、通信技术、信息技术的进步推动了船舶导航设备、自动化设备、环境感知设备的更新与升级,物联网技术、信息物理系统和大数据技术的应用加快了船舶、船岸之间信息交互的发展,这些都为船舶未来实现智能航行提供了重要的支持。智能航行系统利用通导设备自动地感知并获取各种航行相关信息,能实时地接收岸基云服务平台提供的各种信息,通过数据的运算与处理,使船舶能在开阔水域、狭窄水道、复杂环境下自动避碰,实现自主航行^[16-17]。文献[18]基于二维位置坐标

和三维立体视觉传感器提出了无人水面艇跟踪目标船舶的导航方法,并取得了较好的实验结果。文献[19]认为自主航行船舶在与其它船舶或障碍物相遇时应保证其避碰行为与国际海上避碰规则 (COLREGs) 一致,并提出了基于视距和 PID 控制的自动避碰方法。

通常来说,智能航行系统由环境感知子系统、路径自主规划子系统和控制子系统组成。环境感知子系统利用 X 波段雷达、激光雷达、视觉传感器、水深仪、AIS、电子航道图等手段来感知船舶周围环境障碍物 (包括岸线、桥梁、岛屿、航标船、其他航行船舶等) 信息,实时获取船舶周围障碍物的位置和速度。路径规划子系统根据船舶预设航线和船舶周围环境障碍物信息,实时自主规划出船舶的运动航线。3 个子系统之间的关系如图 4 所示。

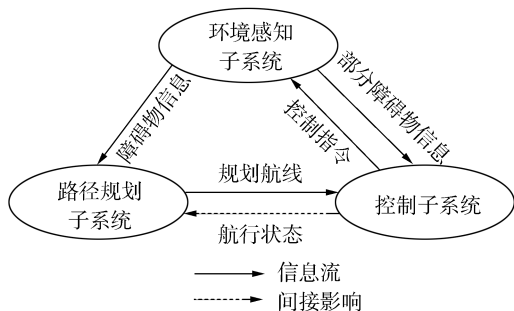


图 4 智能航行 3 个子系统的相互关系

Fig.4 The links among three subsystems of intelligent navigation systems

3 智能航运系统的发展现状

智能航运系统涵盖智能航道、智能港口、智能船舶和智慧海事等部分,以下分别介绍其最新进展。

3.1 智能航道

文献[20]对智能航道有如下定义:智能航道是指在数字航道基础上,利用智能传感器、物联网、自动控制、人工智能等技术,自动获取航道系统要素信息,通过融合处理与深度挖掘,动态发布航道有关信息,实现航道规划科学化、建养智能化、管理现代化,为航运企业运输决策、船舶航行安全、海事监管、政府水上应急等提供全方位、实时、精确、便捷的服务。智能航道的发展对提升内河航运安全性及航行效率具有重要的促进意义。

欧盟早在 20 世纪 90 年代后期就提出了欧洲内河航运信息服务概念,其旨在统一和提升欧盟各国的内河航运服务水平,并为用户提供了电子航道图、法律法规、船舶登记等静态信息以及船舶位置、货物信息、预计到达时间等动态信息^[5]。我国长江航道

建设也正在从数字航道逐步向智能航道转变。文献[21]认为长江智能航道的关键技术体系包括航道变化监测与动态感知、航道智能融合与演变模拟和航道信息智能服务与综合应用。这些技术或功能的实现离不开船联网、大数据、云计算等理论和技术方法的支持。文献[22]提出了长江智能航道全面感知概念设计,具体是在数字航道基础上,利用智能传感器、物联网、自动控制、人工智能等技术,自动获取航道系统要素信息,借助高空、水面、水下传感设备,实现水位、气象、助航设施、桥梁净空等信息的动态采集,实时地为航道维护管理、船舶航行提供可靠的航道信息,如图 5^[22]所示。

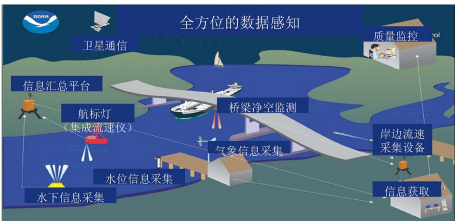


图 5 长江智能航道全面感知概念设计

Fig.5 Comprehensive perception design for intelligent waterway of Yangtze River

3.2 智能港口

随着全球经济一体化的趋势日渐明显,港口日益成为全球综合运输网络的神经中枢^[23]。通常来说,港口发展可分为运输中心、运输与服务中心、国际物流中心和绿色供应链物流据点 4 个阶段^[24]。港口信息化、自动化的快速发展推动了港口智能化的步伐。智能港口是将互联网技术(WEB)、全球定位系统(GPS)、移动通信技术(GMS)、无线通信技术(WAP)、地理信息系统(GIS)、无线射频识别技术(RFID)、实时监控系统、自动化装卸设备、物流搬运机器人等先进的信息技术和自动化技术综合应用于整个港口物流作业、运输服务及港口管理等各个方面,建立一种在港口服务范围内全方位发挥作用的,实时、准确、高效、优质的港口物流服务体系^[25]。比如,基于 RFID 的智能闸口系统能够将集装箱从堆场闸口摆放到指定位置的时间从原来的 2 min 缩减为 30 s,且降低了放置错误的问题^[26]。智能航口的发展一方面加快了航运过程中货物的装卸和周转速度,另一方面也实现了对货物的智能化管理。目前智能港口发展中涉及的关键技术主要包括^[25]:1)智能化的货物识别技术;2)实时监控与可视化技术;3)大型装卸设备的智能化运行技术;4)自动引导车辆的智能化运行技术;5)港口工艺流程智能控制技术;6)港口通用设备智能化运行改造技术。

3.3 智能船舶

智能船舶是指利用传感器、通信、物联网、互联网等技术手段,自动感知和获得船舶自身、海洋环境、物流、港口等方面的信息和数据,并基于计算机技术、自动控制技术和大数据处理和分析技术,在船舶航行、管理、维护保养、货物运输等方面实现智能化运行的船舶,以使船舶更加安全、更加环保、更加经济和更加可靠^[16]。中国船级社基于国内外智能船舶的应用经验和未来船舶智能化的发展方向于 2015 年制定了《智能船舶规范》,将智能船舶划分为智能航行、智能船体、智能机舱、智能能效管理、智能货物管理和智能集成平台等六大功能模块^[16]。

综合船桥系统(integrated bridge system, IBS)的快速发展为实现智能船舶提供了必要的理论和技术支持。IBS 具有完善的导航、驾控、避碰、信息集中显示、报警监控、通信、岸站支持、航行管理和控制自动化等多种功能,便于驾驶员及岸基人员的观测和操纵,同时将各设备的信息进行优化处理,从而使综合船桥系统比各设备单独使用时在保障船舶安全航行和降低人员成本方面发挥更大的作用^[27]。新一代 IBS 应至少具备以下特性:1)先进的体系架构,可考虑应用 CPS 架构;2)强大的系统集成能力,融合不同设备间的信息;3)最优航线设计能力;4)精确和可靠的航迹控制技术;5)多目标避碰辅助决策系统;6)雷达、电子海图、AIS 间的融合处理^[28]。全球最大的船舶设备供应商之一的英国罗尔斯·罗伊斯公司已经开展了无人驾驶货船项目的研究,预计 10 年内将有第一艘无人驾驶货船投入使用^[29]。其提出的智能航行框架包括远程控制、设备环境监控、决策支持、优化操作、船舶自动化等功能模块,如图 6^[30]。

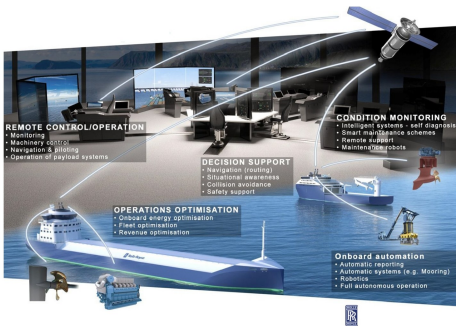


图 6 智能航行框架

Fig.6 The architecture of intelligent navigation

3.4 智慧海事

海事监管对提高航运效率具有重要的意义。智慧海事监管是用信息化的手段全面打造海事监管的新格局,在海事监管领域全面深入地利用信息技术,

开发利用监管资源,促进安全信息的整合和共享,提高海事监管的质量和效能^[31]。智慧海事监管的核心是信息化,具体是利用 AIS、闭路监控电视(CCTV)、射频识别(RFID)、船舶远程识别与跟踪(LRIT)、船舶交通服务(VTS)等系统,以及大数据、船联网和云计算技术手段,实现对航运船舶的远程、实时、全程监管与服务。

近年来,国内外学者在智能海事相关的架构设计、智能决策等方面做了大量的研究工作。文献[31]提出了一种基于面向服务的体系结构(SOA)的分布式“智慧海事云”架构;针对 VTS 系统交管雷达对船舶目标自动识别问题;文献[32]提出了一种改进的模糊 C-Mean 方法来实现雷达自动雷达标绘仪(ARPA)目标的自动提取,有效降低了人工识别船舶目标的难度;文献[33]基于天气信息系统构建了一种海事智能管理工作站,既能够为船舶交通管理者提供决策支持,也能够为船舶本身提供服务;文献[34]为提高船舶交通管理的安全性,提出利用人工神经网络机理同时监控多条船舶的状态,并将获取的信息与现有的船舶交通管理和信息系统(vessel traffic monitoring and information systems, VTMISS)进行融合,同时还提出利用扩展卡尔曼滤波实现单条船舶状态轨迹的预测;文献[35]基于模糊推理系统研发一种智能化的实时多船避碰风险评估系统,保障船舶航行安全。

4 典型智能航运系统

目前智能航运系统仍处于发展和完善阶段,以鹿特丹港和新一代智能船舶为例介绍已有智能航运系统的现状。

4.1 世界领先港口——鹿特丹港

鹿特丹港位于莱茵河与马斯河河口,是欧洲最大也是全球最先进的港口,被誉为“欧洲门户”^[36]。作为首个使用自动引导车(automated guided vehicles, AGV)和首个建成全自动化集装箱码头的港口,鹿特丹港除了巨大的吞吐量外,更让人熟知的是其对先进运营理念和技术的不断追求。以下简要从自动引导车和联运系统来分析鹿特丹港的先进性。

1) 自动引导车

码头 AGV 是一种用于船舶与堆场之间运输集装箱的交通工具,是实现全自动集装箱码头的关键装备^[37]。AGV 经历了卡车、柴油-液压车、油电混合车的发展后,鹿特丹港在 2013 年就开始应用无人电池-电力 AGV,该 AGV 首次将集装箱的运输和存

约 50%,同时还具有零排放、噪声小的优点^[38]。鹿特丹港混合动力和电池-电力 AGV 原型如图 7。

2) 联运系统

鹿特丹港具有发达的联合运输网络(intermodal transportation,简称联运),包括内河、道路、近海、管道运输等,这使得鹿特丹港能够将货物在 24 h 内运输到欧洲各个重要的目的地^[39]。联运系统最重要的特点是能够充分发挥每个运输方式的优势,从宏观(交通拥堵、排放等)和微观(某一货物达到时间等)两个层面综合考虑,最终设计一个最优的运输方案。鹿特丹港充分发挥了联运系统的优势,在提高运输效率的同时还节约了能源、降低了排放。



图 7 鹿特丹港混合动力 AGV 和电池-电力 AGV 原型
Fig.7 Prototypes of hybrid and battery-electric AGV in port of rotterdam

4.2 新一代智能船舶

罗尔斯·罗伊斯(Rolls Royce)公司致力于研发具有无人驾驶和全球航行能力的新一代商用智能船舶,能够有效提高运营效率、降低成本、减少排放甚至降低风险。新一代智能船舶或许是航运业历史上的一次重要变革,已经引起了全世界广泛的关注^[40]。

2015 年,罗尔斯·罗伊斯公司联合芬兰船舶设计公司 Deltamarin、国际海事卫星组织、芬兰图尔库大学等近 10 家机构共同承担了由芬兰政府资助的 AAWA (advanced autonomous waterborne applica-

tions)项目,旨在为实现新一代智能船舶提供前期设计方案以及开展关键技术研究。AAWA 项目共分为 3 个阶段:第 1 阶段(2015 年)为概念设计阶段;第 2 阶段(2016—2017 年)为关键解决方案和关键技术研究阶段;第 3 阶段(2018 年)为验证阶段^[41]。目前公开的资料显示,该项目涉及的研究包括:1) 远程操控技术;2) 离港解缆和机动操控技术;3) 开阔水域操控技术;4) 自主航行技术;5) 态势感知技术;6) 远程通信技术;7) 远程和自主航行合法性;8) 自主航行的安全性保障;9) 对航运业格局的影响。

该项目提出的自主导航流程和结构分别如图 8a) 和 8b) 所示。该项目是从经济、社会、法律、管理、技术等多个方面来探讨智能船舶的可行性方案,对下一代智能船舶的实现提供了重要参考和支持。

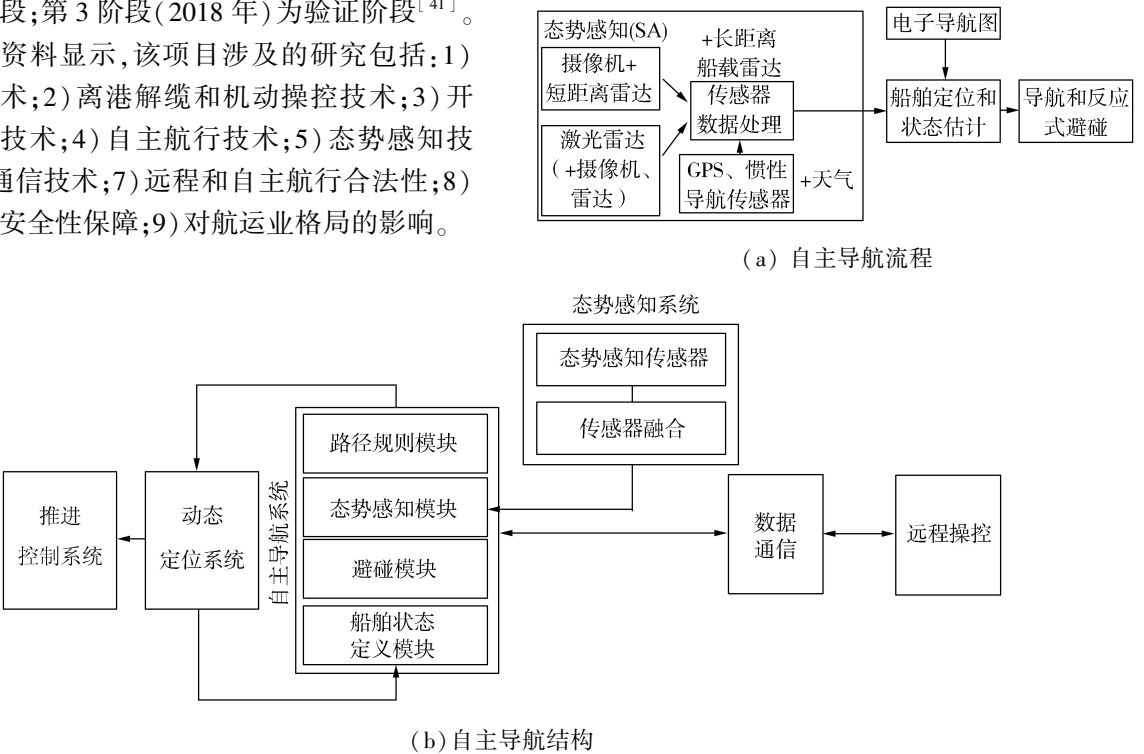


图 8 自主导航系统原理

Fig.8 The autonomous navigation system (ANS) principle

5 智能航运系统的技术展望

经过对智能航运系统涉及的关键技术和发展现状的分析可知,当前航运正处于自动化、信息化时代向智能化时代过渡的阶段。随着船联网的建设不断完善以及云计算、大数据在航运领域的逐步应用,构建智能化的航运系统已经成为了未来几年、十几年内可能实现的目标。从谷歌围棋机器人 AlphaGo 能够战胜最顶尖围棋棋手的结果来看,在某些方面目前机器智能水平已经能够达到甚至超过人类。对于航运系统也是如此,随着计算机、通信、传感技术的飞速发展,人工智能算法尤其是人工神经网络算法的逐步完善,以及大数据分析、云计算平台的成功应用,使得未来的航运系统对人的依赖越来越少,船舶交通管理的效率越来越高。

从 2011 年提出“工业 4.0”以来,智能制造迅速成为了工业界未来重要的发展方向,我国也于 2015 年发布了《中国制造 2025》,旨在加快中国向制造强国迈进。作为航运大国,中国航运工业也应尽快进

入智能时代。在技术层面,除了船联网、大数据、云计算外,信息物理系统 (cyber-physical systems, CPS)、无人化技术在智能航运系统中将起到至关重要的作用。

5.1 CPS

CPS 是一种计算进程与物理进程的集成和相互影响的复杂系统,即通过嵌入式计算机和网络实现对物理进程的检测和控制,并通过反馈循环实现物理进程对计算进程影响的系统^[42]。CPS 不同于传统的有关计算系统和物理系统的观念,其将信息世界 (cyber space) 与物理世界 (physical world) 通过自主适应、反馈闭环控制方式紧密地结合起来,具有实时、安全、可靠、高性能等特点。CPS 是当今最前沿的交叉研究领域之一,被认为是计算机信息处理技术史上的下一次信息浪潮,将会改变人与显示物理世界之间的交互方式^[43]。目前 CPS 在交通领域尤其是船舶交通领域的研究还多处于探索阶段。借鉴文献[44]对道路交通信息物理系统 (T-CPS) 设计的架构,提出水路交通信息物理系统架构,如图 9。

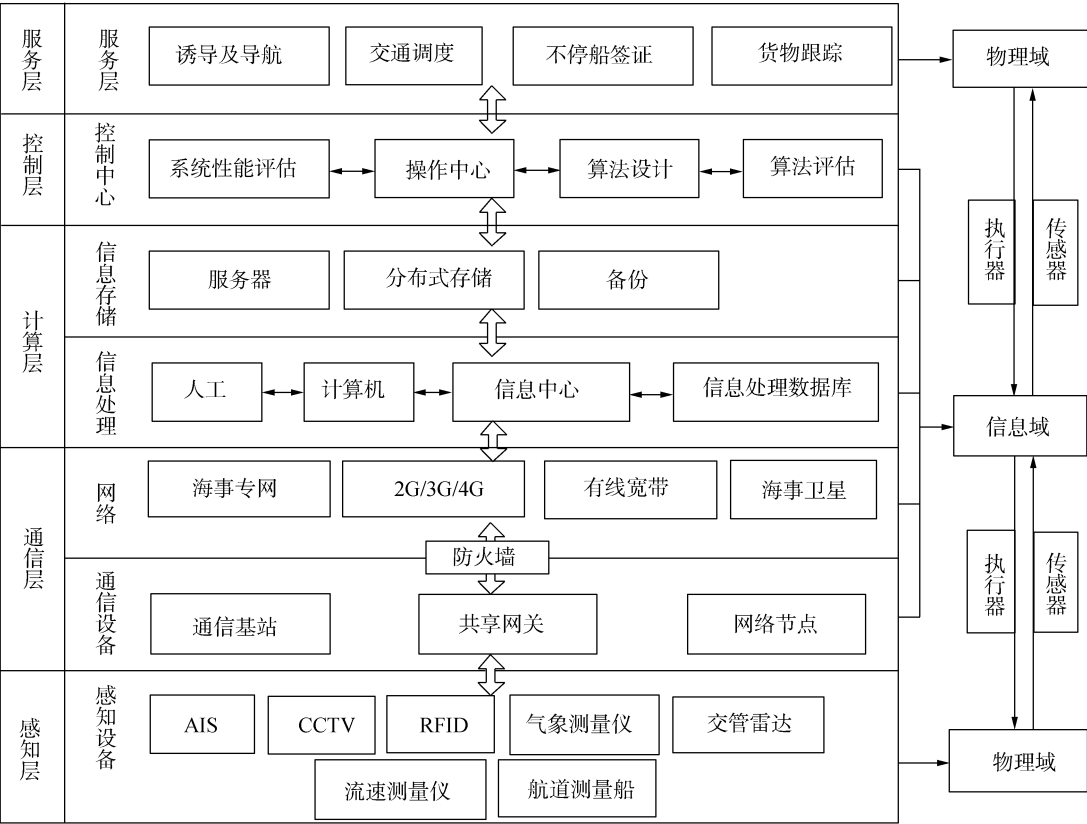


图 9 水路交通信息物理系统架构

Fig.9 CPS Structure of waterway transportation

5.2 无人驾驶技术

无人机、无人车和无人水下航行器的成功应用和推广使载运工具无人化技术在航运系统的应用受到了很大的关注。无人船 (unmanned surface vessels, USVs) 和自动引导车是航运系统中具有代表性的无人驾驶运输工具。如能实现船舶的无人驾驶,将会有效降低航运的人工成本,降低人为因素带来的事故风险,以及提升船舶运输能力(将原有船员生活空间用来装载货物)等^[45]。在港口集装箱搬运时,AGV 能够在港口不同的码头间按照预设的路径自动驾驶,使货物托运过程能够完全在无人化的情况下进行,提升了装卸货的效率。考虑到当前 AGV 主要在地面行驶的局限性,文献[46]还提出了基于水面 AGV 的自动路径跟踪控制方法。

无人驾驶可认为是未来智能航行的一种表现形式。目前还未有成熟的船舶无人驾驶技术能够应用于航运船舶,尤其是针对远洋航线的货船,因为这对无人驾驶的可靠性、安全性、自动避碰性能要求较高。此外,USV 的航行合法性也是限制其在航运中实际应用的重要障碍,目前国际海事组织还未出台针对 USV 航行的规则。但是,目前针对小型艇的无人驾驶研究较多,尤其是美国、以色列等军事强国以

及英国、德国、法国等海洋强国,文献[45]对国内外无人艇的相关研究作了较为详细的介绍和分析。

6 结束语

航运系统是一个较为复杂和庞大的运输系统,航运系统智能化是提升航运系统效率、安全和节能环保的必然选择。限于篇幅本文很难从各个方面完整概述智能航运系统涉及的各个方面,仅从体系结构、研究现状、关键技术等方面对当前智能航运作了简要的阐述和分析,以鹿特丹港和新一代智能船舶作为示例描述了智能航运系统的特点,最后展望了未来智能航运的发展趋势,并将 CPS 和无人驾驶技术作为未来智能航运发展重要的技术趋势。

参考文献:

[1]何新华. 内河航运系统体系框架设计的关键问题研究 [D]. 上海: 同济大学, 2007.
HE Xinhua. Research of structure frame designing of ship-ping intelligent transportation system[D]. Shanghai: Tongji University, 2007.

[2]赵丽宁. 基于多 AGENT 的智能航运信息系统关键技术研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2010.
ZHAO Lining. Research on key technology of intelligent wa-

- terway transportation information system based on multi-agent[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2010.
- [3] 严忠贞, 严新平, 马枫, 等. 绿色长江航运智能化信息服务系统及其关键技术研究[J]. 交通信息与安全, 2010, 28(6): 76-81.
- YAN Zhongzhen, YAN Xinping, MA Feng, et al. Green Yangtze river intelligent shipping information system and its key technologies[J]. Journal of transportation information and safety, 2010, 28(6): 76-81.
- [4] ZHANG Liye, WANG Hua, MENG Qiang. Big data-based estimation for ship safety distance distribution in port waters[J]. Transportation research record: journal of the transportation research board, 2015, 2479: 16-24.
- [5] 任磊, 杜一, 马帅, 等. 大数据可视分析综述[J]. 软件学报, 2014, 25(9): 1909-1936.
- REN Lei, DU Yi, MA Shuai, et al. Visual analytics towards big data[J]. Journal of software, 2014, 25(9): 1909-1936.
- [6] 董耀华, 孙伟, 董丽华, 等. 我国内河“船联网”建设研究[J]. 水运工程, 2012(8): 145-149.
- DONG Yaohua, SUN Wei, DONG Lihua, et al. On construction of internet of ships[J]. Port & waterway engineering, 2012(8): 145-149.
- [7] WU Huafeng, CHEN Xinqiang, HU Qinyou, et al. Novel design of inland shipping management information system based on WSN and Internet-of-things[J]. International journal on marine navigation and safety of sea transportation, 2012, 6(3): 307-313.
- [8] 刘克中, 占真, 韩海航, 等. 基于航运信息服务的船联网标准体系框架[J]. 中国航海, 2014, 37(1): 6-10.
- LIU Kezhong, ZHAN Zhen, HAN Haihang, et al. Standard system framework of internet of ships oriented to shipping information services[J]. Navigation of China, 2014(1): 6-10.
- [9] ZHUANG Yuan, SONG Shaoqiao. Use of internet of things for ship management of inland rivers[C]// Proceedings of ICTIS 2013: Improving Multimodal Transportation Systems-Information, Safety, and Integration. Wuhan: ASCE, 2013: 2425-2431.
- [10] 曹芳平. 物联网关键技术在内河航道的应用探讨[J]. 物联网技术, 2013(4): 76-78.
- CAO Fangping. Application of internet of things key technology in inland waterway[J]. Intelligent processing and application, 2013(4): 76-78.
- [11] 李文然, 曹文胜. 基于物联网的智能化船舶签证系统[J]. 交通建设与管理, 2014(6): 184-187.
- LI Wenran, CAO Wensheng. Intelligent ship visa system based on internet of things[J]. Transportation construction & management, 2014(6): 184-187.
- [12] 高林, 宋相倩, 王洁萍. 云计算及其关键技术研究[J]. 微型机与应用, 2011, 30(10): 5-7, 11.
- GAO Lin, SONG Xiangqian, WANG Jieping. Research on cloud computing and key technologies[J]. Microcomputer & its applications, 2011, 30(10): 5-7.
- [13] 赵学洋, 李海红, 储凌剑. 基于船联网的内河智能航行体系探讨研究[J]. 新技术新工艺, 2013(6): 117-121.
- ZHAO Xueyang, LI Haihong, CHU Lingjian. Reserch on inland intelligent navigation system based on intelligent of vessels[J]. New technology & new process, 2013(6): 117-121.
- [14] GARCÍA-DOMÍNGUEZ A. Mobile applications, cloud and bigdata on ships and shore stations for increased safety on marine traffic; a smart ship project[C]// Proceedings of International Conference on Industrial Technology. Seville, Spain: IEEE, 2015: 1532-1537.
- [15] RISTOV P, PERIĆ M, TOMAS V. The implemetation of cloud computing in shipping companies[J]. Pomorstvo, scientific journal of maritime research, 2014, 28(1): 80-87.
- [16] 王起超, 王笑琳, 马春超, 等. 内河船舶智能航行系统设计 with 实现[J]. 世界海运, 2015, 38(6): 29-32, 41.
- WANG Qichao, WANG Xiaolin, MA Chunchao, et al. Design and realization of inland ship intelligent navigation system[J]. World shipping, 2015(6): 29-32.
- [17] 中国船级社. 智能船舶规范 2015[OL]. [2016-04-11]. <http://www.moc.gov.cn/zizhan/zhishuJG/chuanjishe/guifanzhinan/201512/P020151202371212558498.pdf>.
- [18] SINISTERRA A J, DHANAK M R, VON ELLENRIEDER K. Stereo vision-based target tracking system for an USV[C]// Proceedings of 2014 Oceans. Canada, NL: IEEE, 2014: 1-7.
- [19] NAEEM W, IRWIN G W, YANG Aolei. COLREGs-based collision avoidance strategies for unmanned surface vehicles[J]. Mechatronics, 2012, 22(6): 669-678.
- [20] 郭涛, 刘怀汉, 万大斌, 等. 长江“智能航道”系统架构与关键技术[J]. 水运工程, 2012(6): 140-145.
- GUO Tao, LIU Huaihan, WAN Dabin, et al. System architecture and key technology research of Yangtze River intelligent waterway[J]. Port & waterway engineering, 2012(6): 140-145.
- [21] 刘怀汉, 李学祥, 杨品福, 等. 长江智能航道关键技术体系研究[J]. 水运工程, 2014(12): 6-9.
- LIU Huaihan, LI Xuexiang, YANG Pinfu, et al. System of key technology of Yangtze River intelligent waterway[J]. Port & waterway engineering, 2014(12): 6-9.
- [22] 吕永祥, 何乐, 陈琳, 等. 长江数字航道和智能航道的分析与思考[J]. 交通科技, 2013(2): 161-164.
- LV Yongxiang, HE Le, CHEN Lin, et al. Analytics and thoughts on Yangtze River digital and intelligent waterway[J]. Transportation science & technology, 2013(2): 161

- 164.
- [23] 刘杨, 王晓明. 中国智能港口的建设框架设想[J]. 水运工程, 2014(5): 121-126, 142.
- LIU Yang, WANG Xiaoming. Imagination on construction frame of intelligent port of China[J]. Port & waterway engineering, 2014(5): 121-126.
- [24] 高楠, 张宇, 张杰. 新时代港口的发展趋势及特点[J]. 经营管理者, 2013(13): 245.
- GAO Nan, ZHANG Yu, Zhang Jie. Trends and features for new era ports[J]. Manager's journal, 2013(13): 245-245.
- [25] 谢文宁, 郑见粹. 我国第四代港口智能化发展对策[J]. 中国港口, 2011(8): 58-60.
- XIE Wenning, ZHENG Jiancui. Intelligent development countermeasures for China fourth generation ports[J]. China ports, 2011(8): 58-60.
- [26] 罗强. 智能化让港口更“聪明”[EB/OL]. 中国水运报, (2014-10-27) [2016-04-11]. http://epaper.zgsyb.com/html/2014-10/27/content_103196.htm.
- [27] 柳晨光, 初秀民, 谢朔, 等. 船舶智能化研究现状与展望[J]. 船舶工程, 2015, 38(3): 77-84, 92.
- LIU Chenguang, CHU Xiumin, XIE Shuo, et al. Review and prospect of ship intelligence[J]. Ship engineering, 2015(3): 77-84, 92.
- [28] 曲全福, 陈志刚, 高洪宇. 新型综合船桥系统[J]. 中国惯性技术学报, 2011, 19(3): 325-328.
- QU Quanfu, CHEN Zhigang, GAO Hongyu. New integrated bridge system[J]. Journal of Chinese inertial technology, 2011, 19(3): 325-328.
- [29] 中国科技网. 无人驾驶船舶: 来日可期 10 年内将在全球航行[EB/OL]. (2014-08-29) [2016-04-11]. http://www.wokeji.com/military/3/201408/t20140829_804956.shtml.
- [30] NORMAN J. A vision of the intelligent ship [R/OL]. [2016-04-11]. <http://www.thedigitalship.com/conferences/presentations/2015hamburg/14-Justin-Norman.pdf>.
- [31] 李树庆. 关于智慧海事监管的实践及发展趋势的思考[J]. 中国水运, 2013, 13(11): 61-62.
- LI Shuqing. Thoughts for the practice and development on intelligent maritime supervision[J]. China water transport, 2013(11): 61-62.
- [32] MA Feng, WU Qing, YAN Xinping, et al. Classification of automatic radar plotting aid targets based on improved fuzzy C-Means[J]. Transportation research part c: emerging technologies, 2015, 51: 180-195.
- [33] GOURGOULIS D, YAKINTHOS C. An intelligent maritime workplace using IT technologies [C]// Proceedings of Third International Conference on Dependability of Computer Systems. Washington D C: IEEE, 2008: 383-389.
- [34] PERERA L P, OLIVEIRA P, SOARES C C. Maritime traffic monitoring based on vessel detection, tracking, state estimation, and trajectory prediction [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2012, 13(3): 1188-1200.
- [35] BUKHARI A C, TUSSEYEVA I, LEE B G, et al. An intelligent real-time multi-vessel collision risk assessment system from VTS view point based on fuzzy inference system[J]. Expert systems with applications, 2012, 40(4): 1220-1230.
- [36] 李红兵, 佟东. 荷兰鹿特丹港城一体化发展的思考[J]. 中国国情国力, 2014(11): 70-72.
- LI Hongbing, TONG dong. Thoughts on the integration development of port and city in Rotterdam, the Netherlands [J]. China national conditions and strength, 2014(11): 70-72.
- [37] XIN Jianbin, NEGENBORN R R, LODEWIJKS G. Energy-aware control for automated container terminals using integrated flow shop scheduling and optimal control [J]. Transportation research part C: emerging technologies, 2014, 44: 214-230.
- [38] Port of Rotterdam. Celebration of 20 years AGV's [EB/OL]. (2012-12-21) [2016-09-03]. <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/celebration-of-20-years-agv%E2%80%99s>.
- [39] Port of Rotterdam. Intermodal transportation [EB/OL]. [2016-09-03]. <https://www.portofrotterdam.com/en/connections-logistics/intermodal-transportation>.
- [40] ROLLS-ROYCE. Autonomous ships-The next step [EB/OL]. 2016[2016-09-03]. <http://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/rr-ship-intel-aawa-8pg.pdf>.
- [41] ROLLS-ROYCE. Advanced autonomous waterborne applications initiative[EB/OL]. [2016-09-03]. <http://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/12%20-%20AAWA%20Coordinator.pdf>.
- [42] LEE E A. Cyber physical systems: design challenges [C]// Proceedings of 11th IEEE International Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing. Piscataway: IEEE, 2008: 363-369.
- [43] 罗俊海, 肖志辉, 仲昌平. 信息物理系统的发展趋势分析[J]. 电信科学, 2012, 28(2): 127-132.
- LUO Junhai, XIAO Zhihui, ZHONG Changping. Analysis on development trends of cyber physical systems[J]. Telecommunications science, 2012, 28(2): 127-132.
- [44] 孙棣华, 李永福, 刘卫宁, 等. 交通信息物理系统及其关键技术研究综述[J]. 中国公路学报, 2013, 26(1): 144-155.
- SUN Dihua, LI Yongfu, LIU Weining, et al. Research summary on Transportation cyber physical systems and the

challenging technologies[J]. China journal of highway and transport, 2013,26(1): 144-155.

[45]柳晨光, 初秀民, 吴青, 等. USV 发展现状及展望[J]. 中国造船, 2014, 55(4): 194-205.

LIU Chenguang, CHU Xiumin, WU Qing, et al. A review and prospect of USV research [J]. China shipbuilding, 2014(4): 194-205.

[46] ZHENG Huarong, NEGENBORN R R, LODEWIJKS G. Predictive path following with arrival time awareness for waterborne AGVs[J]. Transportation research part C: e-merging technologies, 2015, 70: 214-237.

作者简介:



严新平,男,1959 年生,交通运输工程学科首席教授,博士生导师。中国交通运输协会常务理事,教育部科技委能源与交通学部副主任,中国人工智能学会常务理事、中国人工智能学会智能交通专业委员会主任。主要研究方向为船舶机械运用工程、水运智能化及运输安全。



柳晨光,男,1988 年生,博士研究生,主要研究方向为船舶智能化和船舶智能运动控制。

2017 年第 10 届智能机器人与应用国际会议

The 10th International Conference on Intelligent Robotics and Applications

The 2017 International Conference on Intelligent Robotics and Applications (ICIRA 2017) will be held in Wuhan, China, from August 15 to 18, 2017. The conference offers a unique and interesting platform for scientists, engineers and practitioners throughout the world to present and share their recent research and innovative ideas in the areas of robotics, automation and mechatronics.

The topics of interest include, but are not limited to; Robotics Collective and social robots; human-robot interaction; Mobile robots and intelligent autonomous systems; Robotic vision, recognition and reconstruction; Multi-agent systems and distributed control; Robot intelligence, learning and linguistics; Robot design, development and control; Robot motion analysis and planning; Medical robot; Robot actuators and sensors; Robot cooperation; Robot legged locomotion; Robot mechanism and design; Perception and awareness; Space and underwater robots; Virtual and augmented reality; Navigation/LocalizationAutomation Adaptive and learning control system; Advanced control and informatics; Computer integrated manufacturing; Embedded sensors and actuators; Estimation and identification; Factory modeling and automation; Fault detection, testing and diagnosis; Flexible manufacturing systems; Fuzzy and neural systems; Man-machine interactions; Modeling of complex systems; Process control and instrumentation; Motion control; Micro and nano systems; Nonlinear systems and control; Optimal control; Rotating system dynamics and control; Sensors and transducers; Smart structures & materials hybrid; Stability and stabilizationMechatronics Advanced measurement and machine vision system; Flexible electronics/sensors; Smart/Electrical skin; Drives and actuators’ modeling; Education in mechatronics engineering; Micro-electro-mechanical systems; Multi-sensor data fusion algorithms; Mechatronics in energy systems; Motion vibration and noise control; Real-time and hardware-in-the-loop simulation; Sensing of small quantities; Aerospace engineering; Automotive systems; Data storage systems; Electronic packaging; Micro/nano technology; Opto-electronic systems; PrototypingEspecially, the harmony of robot with human, environment and robot is critical for the ultimate nature of Coexisting-Cooperative-Cognitive Robot (Tri-Co Robot). It becomes one of the main topic of ICIRA 2017.

Website: <http://www.icira2017.org/>