



国家自然科学基金项目资助

湖北省学术著作出版专项资金资助项目

现代航运与物流:安全·绿色·智能技术研究丛书



内河航运 船舶视觉跟踪算法

Ship Visual Tracking Algorithms for Inland
Waterway Surveillance

滕 飞 刘 清 著



武汉理工大学出版社

WUTP Wuhan University of Technology Press



国家自然科学基金项目资助

湖北省学术著作出版专项资金资助项目

现代航运与物流：安全·绿色·智能技术研究丛书

内河航运 船舶视觉跟踪算法

滕 飞 刘 清 著

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 提 要

随着网络和计算机技术的飞速发展,内河航道信息化成为航运安全监管的一种有效途径,航运视频监控系统在海事监管中发挥着越来越重要的作用。为了进一步提高航运视频监控的智能化水平,本书重点研究了基于视觉的内河船舶动态自动跟踪的算法。为了使读者系统地了解船舶动态跟踪领域的理论及算法,本书分析了船舶动态跟踪的国内外研究现状,讨论了内河船舶视觉跟踪的特点和难点,详细介绍了基于 Mean Shift、TLD(Tracking Learning Detection)、MIL(Multiple Instance Learning)、粒子滤波和压缩跟踪(Compressive Tracking)等理论构建适合内河特定场景下船舶跟踪系统的算法设计的全部研究成果。

本书的特点是将算法理论分析与仿真实验相结合,可以让读者清晰地掌握算法原理和应用中存在的问题以及解决问题的方向。本书内容涉及信息处理、计算机视觉、智能视频监控等领域。本书可作为计算机、自动化、信息处理和交通工程等专业高年级本科生和研究生的学习用书,也可以作为从事视频处理和智能视频分析的研发人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

内河航运船舶视觉跟踪算法/滕飞,刘清著. —武汉:武汉理工大学出版社, 2017. 9
ISBN 978-7-5629-5494-1

I. ①内… II. ①滕… ②刘… III. ①内河运输-运输船-视觉跟踪-算法-研究 IV. ①U697.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 046159 号

项目负责人:陈军东 陈 硕

责 任 编 辑:余晓亮

责 任 校 对:张 晨

封 面 设 计:兴和设计

出 版 发 行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:8.5

字 数:157 千字

版 次:2017 年 9 月第 1 版

印 次:2017 年 9 月第 1 次印刷

定 价:58.00 元(精装)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87394412 87383695 87384729 87397097(传真)

• 版权所有 盗版必究 •

现代航运与物流:安全·绿色·智能技术研究丛书

编审委员会

主任委员:严新平

航运物流与交通规划技术系列主任委员:张培林

内河航运技术系列主任委员:黄立文

船港设备绿色制造技术系列主任委员:袁成清

交通智能化与安全技术系列主任委员:吴超仲

委员(按姓氏笔画为序)

邓 健	甘浪雄	田 高	白秀琴	刘正林
刘明俊	刘敬贤	刘 清	牟军敏	杨亚东
杨学忠	肖汉斌	吴建华	吴超仲	初秀民
张矢宇	张培林	陈 宁	周新聪	袁成清
钟 鸣	黄立文	黄 珍	蒋惠园	蔡 薇

秘 书 长:杨学忠

总责任编辑:陈军东

出版说明

航运与物流作为国家交通运输事业的重要组成部分,在国民经济尤其是沿海及内陆沿河沿江省份的区域经济发展中起着举足轻重的作用。我国是一个航运大国,航运事业在经济社会发展中扮演着重要的角色。然而,我国航运事业的管理水平和技术水平还不高,离建设航运强国的发展目标还有一定的差距。为了研究我国航运交通事业发展中的安全生产、交通运输规划、设备绿色节能设计等技术与管理方面的问题,立足于安全生产这一基础前提,从航运物流与社会经济、航运物流与生态环境、航运物流与信息技术等角度用环境生态学、信息学的知识来解决我国水运交通事业绿色化和智能化发展的问题,促进我国航运事业管理水平与技术水平的提升,加快航运强国的建设。因此,武汉理工大学出版社组织了国内外一批从事现代水运交通与物流研究的专家学者编纂了《现代航运与物流:安全·绿色·智能技术研究丛书》。

本丛书第一期拟出版二十多种图书,分为船港设备绿色制造技术、交通智能化与安全技术、航运物流与交通规划技术、内河航运技术等四个系列。本丛书中很多著作的研究对象集中于内河航运物流,尤其是长江水系的内河航运物流。作为我国第一大内河航运水系的长江水系的航运物流,对长江经济带经济发展的促进作用十分明显。2011年年初,国务院发布《关于加快长江等内河水运发展的意见》,提出了内河水运发展目标,即利用10年左右的时间,建成畅通、高效、平安、绿色的现代化内河水运体系,2020年全国内河水路货运量将达到30亿吨以上,拟建成1.9万千米的国家高等级航道。2014年,国家确定加强长江黄金水道建设和发展,正式提出开发长江经济带的战略构想,这是继“西部大开发”、“中部崛起”之后的又一个面向中西部地区发展的重要战略。围绕航运与物流开展深层次、全方位的科学研究,加强科研成果的传播与转化,是实现国家中西部发展战略的必然要求。我们也冀望丛书的出版能够提升我国现代航运与物流的技术和管理水平,促进社会经济的发展。

组织一套大型的学术著作丛书的出版是一项艰巨复杂的任务,不可能一蹴而就。我们自2012年开始组织策划这套丛书的编写与出版工作,期间多次组织专门的研讨会对选题进行优化,首期确定的四个系列二十余种图书,将于2017年年底之前出版发行。本丛书的出版工作得到了湖北省学术著作出版

专项资金项目的资助。本丛书涉猎的研究领域广泛,在这方面的研究成果众多,首期出版的项目不能完全包含所有的研究成果,难免挂一漏万。有鉴于此,我们将丛书设计成一个开放的体系,择机推出后续的出版项目,与读者分享更多的我国现代航运与物流业的优秀学术研究成果,以促进我国交通运输行业的专家学者在这个学术平台上的交流。

现代航运与物流:安全·绿色·智能技术研究丛书编委会
2015年8月

前 言

电子巡航系统通过高度整合传统的船舶交通管理系统(VTS)、船舶自动识别系统(AIS)、无线甚高频(VHF)、闭路电视监控系统(CCTV)等先进监管手段,建立了对船舶实施动态跟踪,对通航秩序进行动态管理,对重要水域实行电子化监控和全方位覆盖的统一指挥平台。其具有巡航密度高、工作强度小、反应能力强的特点,可有效提升海事监管和应急救助能力,减少船舶碰撞、搁浅等事故险情的发生。“十一五”期间,长江海事局、广东海事局、山东海事局、浙江海事局等在各内河重点水域、重点港区、重点桥区等纷纷布局了电子巡航系统,实时监控船舶航行、停泊及作业秩序,实现对船舶的航迹跟踪、安全预警、违法处置、信息服务等功能。

但目前国内的内河视频监控系统在推广应用中仍然存在一些不足的地方,最为突出的是其智能化程度还不高,仅作为场景观察、记录的工具,操控复杂,不能自动筛选信息、智能分析。需要依赖值班人员监看视频,容易产生疲劳,疏漏险情信息。而且随着监控点的不断增多,一般都有几十只甚至更多的摄像机在同时工作,有着海量的视频监控信息需要进行检索,仅靠人力显然已经无法满足实际需求。同时,船舶流量数据是海事安全监管的基础性数据,但传统的视频监控系统无法自动识别船舶,不能实现船舶流量自动统计的功能,更无法实现对重点船舶或严管航段船舶的轨迹进行自动跟踪,判断船舶是否存在违章行为。随着人工智能和大数据技术的迅猛发展,计算机视觉应用不断成熟和扩大,研究内河航运视频智能分析成为重要的研究方向。本课题组在国家自然科学基金项目的支持下,专门针对内河航运视频监控系统的船舶视觉检测和跟踪技术进行了深入的研究,将研究成果撰写成《内河航运中运动船舶视觉检测算法》和《内河航运船舶视觉跟踪算法》两本著作。

《内河航运船舶视觉跟踪算法》这本著作共8章,专门针对内河环境,从船舶特征和船舶运动特性入手,研究经典和热门的跟踪算法在内河航运中的应用,经过算法的理论分析和大量的对比试验分析,提出了适合于内河航运的船

舶视觉跟踪算法。本书从理论和实验两个方面详细介绍了 5 种典型的视觉跟踪算法,既是一本研究内河船舶视觉跟踪算法的专门著作,也是计算机视觉方向的读者学习视觉跟踪算法的参考书。本书的主要内容如下:

第 1 章简述了内河航运中船舶视觉跟踪的重要意义和作用,阐述了内河船舶视觉跟踪系统的组成、特点和难点以及视觉跟踪算法性能的评价指标,重点分析了视觉跟踪算法的分类和国内外发展现状,以及内河船舶视觉跟踪算法的国内外研究现状。最后介绍了笔者及其团队为内河航运船舶视觉跟踪算法研究所建立的跟踪标准库,详细介绍了该跟踪库的内容及其库视频的特性,这一工作填补了内河航运船舶视觉分析没有标准库的空白。

第 2 章介绍应用经典的滤波理论——卡尔曼滤波和粒子滤波来研究船舶视觉跟踪算法,主要是让读者了解视觉跟踪算法的基本思路和框架。

第 3 章介绍应用目标跟踪算法中最为成熟的 Mean Shift 跟踪算法来实现内河船舶跟踪。通过对基本 Mean Shift 算法原理分析和扩展的 Mean Shift 算法介绍,全面分析了 Mean Shift 算法的原理和性能。最后设计了基于 Mean Shift 的内河船舶视觉跟踪算法。

在第 4 章中,受目标检测算法中 MIL (Multiple Instance Learning) 算法启发,设计了一种在线加权 MIL 内河船舶视觉跟踪算法。详细分析了算法的基本原理和算法的性能。

第 5 章基于 CT (Compressive Tracking) 算法,提出了一种基于随机投影的内河船舶视觉跟踪算法。详细介绍了随机投影理论和视觉跟踪算法的原理,重点从理论上分析了随机投影内河船舶视觉跟踪算法的性能。

第 6 章针对船舶运动过程中包含尺度变化的外观变化时,提出正交粒子滤波低秩约束随机投影(简称 LRCT)内河船舶跟踪算法,解决船舶外观变化或遮挡情况下导致跟踪失败的问题。详细介绍了该算法的原理,对算法性能进行了理论分析。

第 7 章针对内河航运环境中背景杂乱、光照变化干扰下正交粒子滤波低秩约束随机投影(LRCT)算法不能实现鲁棒跟踪的问题,受 TLD 算法启发,提出跟踪监测协同(LSTLD)的内河船舶视觉跟踪算法。本章详细介绍了算法原理和算法性能的理论分析。

第 8 章是前面第 3~7 章介绍的 5 种算法的船舶跟踪实验分析。作者在由

400 段不同背景、不同尺度变化、不同光照等干扰的 CCTV 视频序列构成的内河船舶跟踪数据库上进行了跟踪算法的对比实验,并进行了实验分析。

本书由滕飞博士和刘清教授编著,课题组郭建明教授,武汉理工大学自动化学院硕士研究生梅浪奇、路萍萍、周雅琪、熊燕帆、叶玲利、江源远、黄明晶、朱琳、高雪瑛、贾磊、陈志华等也参与了相关资料收集、视频采集、整理校对、实验样本的标记加工等工作。本书的算法实验中需要采集大量的内河航运监控视频,得到了长江海事局、广东海事局等的大力支持和协助,同时也得到了武汉理工大学航运学院文元桥教授和郝勇副教授的支持和协助,在此表示衷心感谢。

本书内附内河船舶视频跟踪标准库的光盘。

本书的出版得到了国家自然科学基金项目“面向电子巡航的内河视频智能分析算法研究”(编号为 51279152)资助。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正!

作 者

2017 年 7 月

目 录

1 概论	1
1.1 引言	1
1.2 国内外研究现状	5
1.2.1 内河船舶视觉跟踪研究现状分析	7
1.2.2 视觉跟踪算法现状分析	9
1.3 内河船舶视觉跟踪系统分析	14
1.3.1 内河船舶视觉跟踪系统的特点	14
1.3.2 内河船舶视觉跟踪难点	15
1.3.3 内河船舶视觉跟踪算法性能评价指标	16
1.4 内河船舶视觉跟踪标准库建设	18
1.4.1 标准库建设的必要性	18
1.4.2 标准库内容分析	19
本章参考文献	24
2 基于滤波理论的内河船舶视觉跟踪	30
2.1 Kalman 滤波器	30
2.2 粒子滤波理论	31
2.2.1 贝叶斯估计	32
2.2.2 蒙特卡洛方法	33
2.3 粒子滤波器	34
2.3.1 粒子滤波器原理	34
2.3.2 粒子滤波器算法描述	38
2.4 基于粒子滤波算法的目标跟踪	38
2.5 基于滤波理论的船舶跟踪实验及算法分析	40
2.5.1 基于卡尔曼滤波的船舶跟踪实验及分析	40
2.5.2 基于粒子滤波的船舶跟踪实验及分析	41
本章参考文献	44
3 Mean Shift 内河船舶跟踪算法	46
3.1 基本 Mean Shift 算法	46

3.2	扩展 Mean Shift 算法	47
3.3	Mean Shift 算法物理学含义	49
3.4	Mean Shift 船舶跟踪算法	50
3.4.1	算法原理	50
3.4.2	跟踪流程图	52
3.4.3	程序设计步骤	53
3.4.4	算法分析	54
	本章参考文献	54
4	MIL 内河船舶跟踪算法	56
4.1	算法原理	56
4.1.1	图像的表达	56
4.1.2	运动模型	58
4.1.3	外观模型	58
4.2	算法分析	62
	本章参考文献	65
5	随机投影内河船舶跟踪算法	66
5.1	随机投影理论	66
5.2	算法原理	67
5.3	算法分析	70
5.3.1	原始信号属性	70
5.3.2	随机观测矩阵	71
5.3.3	尺度跟踪	72
5.3.4	遮挡跟踪	72
	本章参考文献	73
6	正交粒子滤波低秩约束随机投影内河船舶跟踪算法	74
6.1	贝叶斯状态估计	74
6.2	状态转移密度设计	76
6.3	建议分布选择	77
6.4	正交实验原理	77
6.5	正交实验设计	78
6.6	正交粒子滤波	79
6.7	观测似然概率密度设计	80
6.7.1	随机观测矩阵	80

6.7.2 目标判定准则	81
6.8 算法分析	84
本章参考文献	85
7 跟踪检测协同内河船舶跟踪算法	87
7.1 算法原理	87
7.1.1 跟踪模块	88
7.1.2 检测模块	93
7.1.3 位置估计	102
7.1.4 学习模块	102
7.2 算法分析	103
本章参考文献	104
8 实验对比及分析	105
8.1 参数设置	106
8.2 评价指标	106
8.3 定性实验结果及分析	106
8.4 定量实验结果及分析	112

1 概 论

1.1 引言

水路运输具有运量大、成本低、能耗小、投资省、污染少等优点,在国家综合运输体系中有着举足轻重的地位^[1,2]。我国属于 IMO(International Maritime Organization)A 类理事国,水运资源极其丰富,总共包括 1.8 万 km 海岸线及 13.51 万 km 内河航道。内河航道横跨 21 省,通航总里程达到 12.31 万 km,形成“两横一纵两网十八线”的内河水运格局:最北部的黑龙江水系境内全长超过 3420km,流域面积大约为 25.48 万 km²,通航里程达到 0.85 万 km,径流总量超过 2709 亿 m³。其最大支流松花江水系全长达 1927km,流域总面积超过 54.5 万 km²,占东北地区总面积的 60%以上,为东北地区的经济大动脉。干流流经江苏、安徽、河南三省的淮河是我国第三大河,全长 1000km,总落差 200m,淮河流域分成淮河和沂沭泗河两大水系,流域面积分别为 19 万 km² 和 8 万 km²,淮河水系的通航里程超过 1.88 万 km。珠江水系为我国第三长河流,全长 2320km,年流量位居全国第二,年平均径流量约 3492 亿 m³,流域面积约 44 万 km²,通航里程超过 1.82 万 km^[2]。长江是我国第一长河(位居世界第三),横跨我国东、中、西部三大经济区,总共 19 个省、自治区、直辖市,流域总面积达到 180 万 km²,约占我国国土面积 1/5(18.8%),通航里程达到 6.64 万 km,其巨大运能和区位优势有力地促进了沿江经济带朝着外向型经济方向迅猛发展。自 2009 年以来,长江干线航道年运输量均超过 6 亿 t。与此同时,三峡工程的兴建显著改善了长江干线的通航条件,单向运输能力提升 4 倍,运营成本降低 1/3,使长江在我国水上交通运输事业上真正发挥“大运量-低成本”黄金水道的作用,这对加强东西部物资流动以促进经济交流、加快西部经济发展以改善工业格局具有深远的意义^[3-6]。

我国非常重视内河航运的发展,2009—2015 年全国水路货运量和内河建设投入情况见表 1-1,每年对内河建设投入大幅度增加。交通运输部综合规划司发布的《2015 年公路水路交通运输行业发展统计公报》将加速内河航运发展作为提升国家综合运输产业的重点内容,同时规划了“十三五”内河航运

发展纲要以提升内河航道运输的作用和地位。

表 1-1 2009—2015 年全国水路货运量及内河建设投资额

	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
全国水路货运量 (亿 t)	31.90	37.89	42.60	45.87	55.98	59.83	61.36
全国内河建设投资额 (亿元)	301.57	334.53	397.89	489.68	545.97	508.12	546.54

随着内河航运事业的迅猛发展,为了满足日益增长的内河航运运力需求,一方面内河航道等级逐渐提高,另外一方面船舶也朝着大型化高速化方向发展。但是因为自然条件的差异,有些内河航段狭窄、弯曲、险浅,内河航行船舶也十分杂乱,不仅数量多、尺度差别大,而且船型种类有 3000 多种,通航环境复杂。随着我国经济快速发展,巨大的运输需求使内河航道的通航流量不断增加,船舶密集范围迅速扩大,跨境长距离运输船舶增多。运输船舶拥挤和大船进入低等级航道,导致内河航运事故时有发生,造成巨大的人力财力损失^[16]。显然日益增长的航运量与维护航道通畅有序的矛盾日益突出,许多区域内河航道以巡逻艇和执法车为主的管理模式受到了极大的挑战。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》中明确提出,为促进内河航运事业安全、快速、协调、绿色、和谐发展,将重点研究水上安全监管系统关键技术、船舶航行安全监控关键技术、危险品运输船舶监控关键技术、船舶避碰关键技术以实现对在航船舶主动避碰、交通安全监控及航行安全规划。时任国务院副总理张德江同志在长江海事局调研时强调,要制定更有力的政策措施建设集事故预防、安全监管、决策支持、现场指挥于一体的现代化内河航运安全监管体系,促使内河航运安全监管朝网络化、信息化、智能化、集成化的方向快速发展以满足内河航运安全监管全方位覆盖、全天候运行、效率提升的需求。中国海事局 2015 年也下发了《取消船舶进出港签证及海事监管模式改革实施方案的通知》,明确规定:2015 年内取消船舶进出港签证制度,通过科技手段强化对船舶动态的全程监控。

国际上比较成熟的内河航运安全监管体系包括美国的内河智能系统(Intelligent Waterway System, IWS)、欧盟的内河信息服务系统(River Information Service, RIS)及英国的运河自动观测系统(Automatic Remote Grand canal Observation System, ARGOS)^[7-11]。IWS 系统开发了船舶类型自动识别及多源信息实时共享功能,并基于运输信息网络搭载先进导航设备实现内河

航运实时监管并提供其他综合信息服务^[7,9]。RIS 系统将 VTS、AIS、CCTV、GIS、GPS 系统无缝集成与协同共享,为在航船舶提供河海直达、联运信息服务^[7-9]。ARGOS 系统能够检测和跟踪运动船舶,估计船舶位置、速度及航向等动态信息;将不同摄像头获取的图像动态重建出真实 3D 场景;自动检测及分析船舶异常行为,自动激活最近邻摄像头对可疑船舶重点跟踪^[8]。ARGOS 系统超高的信息化、智能化水平代表了当今世界内河航运安全监管科技的最高水平^[12]。

在我国,长江海事局自 2006 年起投入运营了由“重点港口 VTS 系统,重点水域 CCTV 系统,重点船舶 GPS 系统”构成的长江水上交通管理信息系统,在一定程度上提高了航运监管的准确性和自动化水平,航道交通拥堵压力得到有效缓解。从 2011 年 7 月 1 日起,长江海事局在长江干线武汉、芜湖等区段实施电子巡航系统试点。与 ARGOS 系统类似,电子巡航系统有效集成了 GIS、VTS、AIS、GPS、CCTV 等子系统。此外,还配套了由长江海事信息网络、长江海事数据中心共同构建的现代化巡航、监控、预警平台。电子巡航系统通过对船舶航迹动态跟踪实现对船舶航行状况、停泊情况及作业秩序的实时监控,提供信息服务、安全预警、违法处置等功能。长江干线电子巡航试点区域船舶违章情况显著下降,违章纠正率显著提高,安全监管效率显著提升,监管成本显著降低,电子巡航是长江海事安全监管的一次变革^[13-15]。

在 ARGOS、电子巡航等系统中,实现船舶动态监控的主要技术手段是雷达、AIS 和 CCTV 系统,表 1-2 将这三种动态监控方式进行了对比。从表 1-2 不难发现,各种监控系统都有其局限性,但整体而言,基于 CCTV 系统的内河船舶监控表现出明显的优势和更广阔的发展前景,主要体现在以下几个方面:

表 1-2 各种监控系统比较

监控系统	雷达	AIS	CCTV
工作原理	利用目标对电磁波反射探测目标位置	船与船、船与岸语音、文本等交互通信实现信息共享	可见光摄像头传感器监控
使用环境	被监控水域建立雷达站,联网	被监控水域建立 AIS 基站,配备船台设备	配置 CCTV 监控摄像头,联网
功能	持续扫描探测目标位置,将探测结果反映在电子海图上	连续提供船舶船名、呼号等静态信息及船速、航向等动态信息	监控录制、备份、回放和刻录等

续表 1-2

监控系统	雷达	AIS	CCTV
优点	空旷场景下能够精确定位目标位置	船舶位置、速度测量结果精确可靠,不受气象及其他航况干扰	准确、直观,监控范围自由切换,投资收益比高
缺点	①无法确定探测目标是否为船舶; ②易受杂波及其他电磁干扰; ③存在探测盲区	①仅 300t 以上船舶强制安装 AIS; ②来源于 GPS 的船舶身份信息易受临近波段干扰造成丢包现象	①完全依赖人工观察、判断和决策; ②易受光照和气象环境的影响

(1) 从作用范围来说,由于只有总吨位在 300t 以上的船舶强制安装 AIS,所以无法对没有安装 AIS 的船舶进行实时动态监控。同理,当 AIS 出现故障或船员故意关闭 AIS 时,船舶也将脱离监控系统的指挥和控制。雷达以固定俯仰角对航道区域进行扫描,受最小作用距离限制,靠近雷达站水域将出现探测盲区,与此同时,航道河岸、岸边建筑物、群山、峡谷对雷达电磁波信号干扰严重,雷达几乎无法正常工作。在重点水域布置的 CCTV 系统通过调整前端摄像头云台能够自由切换监控范围,实现对在航船舶全方位、无盲区的动态追踪及监管。

(2) 就投资效益比而言,中小型船舶难以承受价格昂贵的 AIS 系统,采用建立雷达子站互相覆盖彼此盲区的方式会使投资成本显著增加。CCTV 系统仅需在岸边或者桥上布置一定数量的摄像头传感器就能实现对重点水域船舶动态及现场交通态势的有效监控。

(3) 雷达和 AIS 系统探测出的目标船舶在电子海图上成像为光点,不形象直观。CCTV 摄像头虽易受光照和气象环境的影响,但采集的目标船舶特征信息远比雷达和 AIS 系统丰富,因此更有利于实现对目标船舶的动态监控。

(4) 80% 以上的船舶互撞、船桥相撞事故与人为因素有关,而人类通过视觉系统能获取 70% 以上的感知信息。CCTV 系统能够为工作人员提供大量可靠、直观的信息,减小发现及追踪船舶过程中失误的概率,尤其是提升工作人员在恶劣天气条件下的工作效率。

(5) 图像处理、模式识别、计算机视觉、机器学习、人工智能等领域的迅猛发展,促进了基于视觉的运动目标分析在内河航运安全监管智能化领域的深入应用,压缩感知、深度学习等新技术在船舶检测、识别等领域应用取得了巨

大的成功,为基于视觉手段实现内河船舶动态监控带来很多启示。

船舶跟踪系统是实现内河航运安全监管系统的核心,主要体现在两个方面:一是船舶是内河航运安全监管系统的最重要目标,鲁棒的船舶跟踪是实现对内河全方位、全天候、无盲区、无漏洞的动态监管的重中之重。二是鲁棒的船舶跟踪也是实现对船舶逆行、追越、违章停靠等异常行为进行分析的前提,为最终实现对船舶行为的理解和决策奠定基础。

基于视觉的运动目标分析系统通常包含三种层次的视觉任务:一是在数据流中检测运动目标;二是对感兴趣的运动目标进行实时动态跟踪;三是识别、分析及理解感兴趣目标的行为。其中,检测运动目标属于底层视觉任务,跟踪感兴趣运动目标属于中层视觉任务,分析和理解感兴趣运动目标的行为属于高层视觉任务。本书重点分析和阐述的内容为构建基于视觉的内河船舶跟踪系统,它是构建智能化内河航运安全监管体系的核心,也是 IWS 系统、RIS 系统、ARGOS 系统、长江水上交通管理信息系统、电子巡航系统的重点难点问题。动态分析船舶航行轨迹便于统计重点水域交通流信息,提前预警禁航、限航及事故多发危险区域,也能对船舶逆行、追越、违章停靠、在安全航道外航行等违规行为进行实时评估。与被广泛研究的天空、海洋和地面场景相比,内河场景极为复杂,既包括前景目标船舶,还包括天空、河面、群山、峡谷、沿岸建筑物等背景,因此本书介绍的内河船舶跟踪系统研究成果也可以为其他简单场景提供有效借鉴。

1.2 国内外研究现状

基于视觉的内河船舶监控系统的一般流程如图 1-1 所示。在内河航道两岸或者桥上布置一定数量的 CCTV 可见光摄像头,实时采集内河航道视频流数据,经过网络传输至水上交通指挥中心或海事局等管理部门,在设备终端执行船舶跟踪算法实时获取船舶运动轨迹以实现对目标船舶的实时监控。长江水上交通管理信息系统和电子巡航系统自实施运营以来,在全国重点水域已陆续建立全方位覆盖的 CCTV 监控系统^[13-14]。以江苏省为例,截至 2015 年 8 月已在南通、苏州等航段累计建设 CCTV 监控点 4000 多个,监控范围超过 1000km^[17]。

因此内河船舶自动跟踪系统需要回答以下两个方面的问题:第一,What to track? (即确定跟踪什么目标);第二,Where do they act? (即判断目标在当前时刻处于何处)。第一个问题对应于船舶跟踪算法的初始化步骤,在本