



同济大学 1907-2017
Tongji University



同济博士论丛
TONGJI Dissertation Series

总主编 伍江 副总主编 雷星晖

李大威 徐立鸿 著

智能视频监控系统中的 目标监测与跟踪算法研究

On the Object Detection and Tracking
Algorithms for Intelligent Video
Surveillance Systems



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

 同济博士论丛
TONGJI Dissertation Series

总主编 伍江 副总主编 雷星晖

李大威 徐立鸿 著

智能视频监控系统中的 目标监测与跟踪算法研究

On the Object Detection and Tracking
Algorithms for Intelligent Video
Surveillance Systems

 同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

智能视频监控作为一个涉及图像处理、计算机视觉、模式识别等学科的新兴技术领域,吸引了各界广泛的关注,具有很大的应用价值。本书以固定摄像机的视频监控系统为对象,围绕着目标检测与跟踪这两大关键技术展开了研究,主要有四个方面的创新点:(1)提出了一种基于 srgb 色彩空间的核密度估计目标检测算法;(2)设计了一种对光照变化具有鲁棒性的背景-前景目标检测算法 spkmeansEM;(3)在使用 spkmeansEM 对 GMM 进行参数估计的研究中,发现了寻找多元高斯混合模型最大似然估计的一般规律,进而取得到理论上的突破口;(4)提出了可以应对目标遮挡的智能多假设目标跟踪算法。

本书可作为智能视频监控领域研究人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

智能视频监控系统中的目标监测与跟踪算法研究 /
李大威,徐立鸿著. —上海:同济大学出版社,2018.9
(同济博士论丛 / 伍江总主编)
ISBN 978-7-5608-6987-2

I. ①智… II. ①李… ②徐… III. ①视频系统-监控系统-
目标跟踪-算法分析 IV. ①TN948.65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 093799 号

智能视频监控系统中的目标监测与跟踪算法研究

李大威 徐立鸿 著

出品人 华春荣 责任编辑 卢元姍 助理编辑 翁 晗
责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

排版制作 南京展望文化发展有限公司

印 刷 浙江广育爱多印务有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 11.25

字 数 225 000

版 次 2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-6987-2



定 价 78.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

“同济博士论丛”编写领导小组

组 长：杨贤金 钟志华

副 组 长：伍 江 江 波

成 员：方守恩 蔡达峰 马锦明 姜富明 吴志强
徐建平 吕培明 顾祥林 雷星晖

办公室成员：李 兰 华春荣 段存广 姚建中

“同济博士论丛”编辑委员会

总 主 编：伍 江

副 总 主 编：雷星晖

编委会委员：（按姓氏笔画顺序排列）

丁晓强	万 钢	马卫民	马在田	马秋武	马建新
王 磊	王占山	王华忠	王国建	王洪伟	王雪峰
尤建新	甘礼华	左曙光	石来德	卢永毅	田 阳
白云霞	冯 俊	吕西林	朱合华	朱经浩	任 杰
任 浩	刘 春	刘玉擎	刘滨谊	闫 冰	关侗红
江景波	孙立军	孙继涛	严国泰	严海东	苏 强
李 杰	李 斌	李风亭	李光耀	李宏强	李国正
李国强	李前裕	李振宇	李爱平	李理光	李新贵
李德华	杨 敏	杨东援	杨守业	杨晓光	肖汝诚
吴广明	吴长福	吴庆生	吴志强	吴承照	何晶晶
何敏娟	何清华	汪世龙	汪光焘	沈明荣	宋小冬
张 旭	张亚雷	张庆贺	陈 鸿	陈小鸿	陈义汉
陈飞翔	陈以一	陈世鸣	陈艾荣	陈伟忠	陈志华
邵嘉裕	苗夺谦	林建平	周 苏	周 琪	郑军华
郑时龄	赵 民	赵由才	荆志成	钟再敏	施 骞
施卫星	施建刚	施惠生	祝 建	姚 熹	姚连璧

袁万城 莫天伟 夏四清 顾 明 顾祥林 钱梦騷
徐 政 徐 鉴 徐立鸿 徐亚伟 凌建明 高乃云
郭忠印 唐子来 閻耀保 黄一如 黄宏伟 黄茂松
戚正武 彭正龙 葛耀君 董德存 蒋昌俊 韩传峰
童小华 曾国荪 楼梦麟 路秉杰 蔡永洁 蔡克峰
薛 雷 霍佳震

秘书组成员：谢永生 赵泽毓 熊磊丽 胡晗欣 卢元姍 蒋卓文

总序

在同济大学 110 周年华诞之际，喜闻“同济博士论丛”将正式出版发行，倍感欣慰。记得在 100 周年校庆时，我曾以《百年同济，大学对社会的承诺》为题作了演讲，如今看到付梓的“同济博士论丛”，我想这就是大学对社会承诺的一种体现。这 110 部学术著作不仅包含了同济大学近 10 年 100 多位优秀博士研究生的学术科研成果，也展现了同济大学围绕国家战略开展学科建设、发展自我特色，向建设世界一流大学的目标迈出的坚实步伐。

坐落于东海之滨的同济大学，历经 110 年历史风云，承古续今、汇聚东西，秉持“与祖国同行、以科教济世”的理念，发扬自强不息、追求卓越的精神，在复兴中华的征程中同舟共济、砥砺前行，谱写了一幅幅辉煌壮美的篇章。创校至今，同济大学培养了数十万工作在祖国各条战线上的人才，包括人们常提到的贝时璋、李国豪、裘法祖、吴孟超等一批著名教授。正是这些专家学者培养了一代又一代的博士研究生，薪火相传，将同济大学的科学研究和学科建设一步步推向高峰。

大学有其社会责任，她的社会责任就是融入国家的创新体系之中，成为国家创新战略的实践者。党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央高度重视科技创新，对实施创新驱动发展战略作出一系列重大决策部署。党的十八届五中全会把创新发展作为五大发展理念之首，强调创新是引领发展的第一动力，要求充分发挥科技创新在全面创新中的引领作用。要把创新驱动发展作为国家的优先战略，以科技创新为核心带动全面创新，以体制机制改

革激发创新活力,以高效率的创新体系支撑高水平的创新型国家建设。作为人才培养和科技创新的重要平台,大学是国家创新体系的重要组成部分。同济大学理当围绕国家战略目标的实现,作出更大的贡献。

大学的根本任务是培养人才,同济大学走出了一条特色鲜明的道路。无论是本科教育、研究生教育,还是这些年摸索总结出的导师制、人才培养特区,“卓越人才培养”的做法取得了很好的成绩。聚焦创新驱动转型发展战略,同济大学推进科研管理体系改革和重大科研基地平台建设。以贯穿人才培养全过程的一流创新创业教育助力创新驱动发展战略,实现创新创业教育的全覆盖,培养具有一流创新力、组织力和行动力的卓越人才。“同济博士论丛”的出版不仅是对同济大学人才培养成果的集中展示,更将进一步推动同济大学围绕国家战略开展学科建设、发展自我特色、明确大学定位、培养创新人才。

面对新形势、新任务、新挑战,我们必须增强忧患意识,扎根中国大地,朝着建设世界一流大学的目标,深化改革,勠力前行!

万 钢

2017年5月

论丛前言

承古续今,汇聚东西,百年同济秉持“与祖国同行、以科教济世”的理念,注重人才培养、科学研究、社会服务、文化传承创新和国际合作交流,自强不息,追求卓越。特别是近20年来,同济大学坚持把论文写在祖国的大地上,各学科都培养了一大批博士优秀人才,发表了数以千计的学术研究论文。这些论文不但反映了同济大学培养人才能力和学术研究的水平,而且也促进了学科的发展和国家的建设。多年来,我一直希望能有机会将我们同济大学的优秀博士论文集中整理,分类出版,让更多的读者获得分享。值此同济大学110周年校庆之际,在学校的支持下,“同济博士论丛”得以顺利出版。

“同济博士论丛”的出版组织工作启动于2016年9月,计划在同济大学110周年校庆之际出版110部同济大学的优秀博士论文。我们在数千篇博士论文中,聚焦于2005—2016年十多年间的优秀博士学位论文430余篇,经各院系征询,导师和博士积极响应并同意,遴选出近170篇,涵盖了同济的大部分学科:土木工程、城乡规划学(含建筑、风景园林)、海洋科学、交通运输工程、车辆工程、环境科学与工程、数学、材料工程、测绘科学与工程、机械工程、计算机科学与技术、医学、工程管理、哲学等。作为“同济博士论丛”出版工程的开端,在校庆之际首批集中出版110余部,其余也将陆续出版。

博士学位论文是反映博士研究生培养质量的重要方面。同济大学一直将立德树人作为根本任务,把培养高素质人才摆在首位,认真探索全面提高博士研究生质量的有效途径和机制。因此,“同济博士论丛”的出版集中展示同济大

学博士研究生培养与科研成果,体现对同济大学学术文化的传承。

“同济博士论丛”作为重要的科研文献资源,系统、全面、具体地反映了同济大学各学科专业前沿领域的科研成果和发展状况。它的出版是扩大传播同济科研成果和学术影响力的重要途径。博士论文的研究对象中不少是“国家自然科学基金”等科研基金资助的项目,具有明确的创新性和学术性,具有极高的学术价值,对我国的经济、文化、社会发展具有一定的理论和实践指导意义。

“同济博士论丛”的出版,将会调动同济广大科研人员的积极性,促进多学科学术交流、加速人才的发掘和人才的成长,有助于提高同济在国内外的竞争力,为实现同济大学扎根中国大地,建设世界一流大学的目标愿景做好基础性工作。

虽然同济已经发展成为一所特色鲜明、具有国际影响力的综合性、研究型大学,但与世界一流大学之间仍然存在一定差距。“同济博士论丛”所反映的学术水平需要不断提高,同时在很短的时间内编辑出版 110 余部著作,必然存在一些不足之处,恳请广大学者,特别是有关专家提出批评,为提高同济人才培养质量和同济的学科建设提供宝贵意见。

最后感谢研究生院、出版社以及各院系的协作与支持。希望“同济博士论丛”能持续出版,并借助新媒体以电子书、知识库等多种方式呈现,以期成为展现同济学术成果、服务社会的一个可持续的出版品牌。为继续扎根中国大地,培育卓越英才,建设世界一流大学服务。

伍 江

2017年5月

前言

随着现代科学技术的发展和人们对自身安全关注度的提高,视频监控技术在社会生活和生产中得到了广泛的普及和应用。然而,传统的视频监控技术存在着智能化和自动化程度低下,需要人员长期值守,对特定监控内容检索困难等问题。智能视频监控作为一个涉及图像处理、计算机视觉、模式识别等学科的新兴技术领域,其研究意义和重要性与日俱增,已经得到了学术界、产业界和相关部门的高度重视。运动目标检测与跟踪不仅是智能视频系统中的核心组成部分,也是后续高级视频处理技术的基础。本书以固定摄像机的视频监控系统为对象,围绕着目标检测与跟踪这两大关键技术展开研究和应用,提出了两种目标检测算法和一种多目标跟踪算法。本书的贡献总结如下:

(1) 提出了一种基于 srgb 色彩空间的核密度估计目标检测算法。这种方法能够在一定程度上抵抗光照变化的扰动,并利用了计算出的核密度估计值和马尔科夫随机场在贝叶斯框架下进行精细迭代决策改进检测结果。

(2) 设计了一种对光照变化具有鲁棒性的背景-前景目标检测算法 spkmeansEM,它具有两个主要优点:第一,spkmeansEM 不仅能够抵消

阴影对检测过程的干扰,还能排除高亮区域的不良影响。第二,不同于大部分其他算法,spkmeansEM不需要设计额外的抗光照环节。通过建立在混合高斯模型 GMM 上的迭代贝叶斯决策,我们消除了大部分散布的检测噪声并增强了前景轮廓。

(3) 在使用 spkmeansEM 对 GMM 进行参数估计的研究中,我们发现了寻找多元高斯混合模型最大似然估计的一般规律,进而得到了理论上的突破口。我们首先验证了 Titterington 型和充分统计量型的两种在线 EM 算法,可以对多元高斯混合模型进行在线参数更新,随后推导了各自的参数更新公式。这两种在线 EM 算法不仅能够用于智能监控系统的背景-前景检测任务,还能在其他领域发挥重要作用。

(4) 提出了可以应对目标遮挡的智能多假设目标跟踪算法。我们首先细化并完善了多假设跟踪的理论支持和模型,然后使用基于 K 均值聚类的机器学习方法解决目标在遮挡中产生的分裂和合并问题。通过与卡尔曼滤波器的结合,得到了令人满意的多目标跟踪效果。

目 录

总序

丛书前言

前言

第 1 章 引言	1
1.1 概述	1
1.2 智能视频监控的研究背景与现状	4
1.3 智能视频监控的两项关键技术——目标检测和目标跟踪	6
1.4 智能视频监控面临的难题和挑战	8
1.5 研究的创新点和本书章节内容安排	9
1.5.1 创新点	9
1.5.2 章节安排	10
第 2 章 视频目标检测技术概述	12
2.1 目标(前景)检测方法	12
2.2 目标检测算法的性能评价	14
2.3 目标检测所采用的视频图像基准数据集与实验平台	15

第 3 章	基于 srgb 色彩空间的核密度估计目标检测算法	17
3.1	核密度估计	18
3.1.1	基本原理	18
3.1.2	基于核密度估计的初步前景检测	19
3.1.3	带宽选择	22
3.2	在 srgb 色彩空间的核密度估计目标检测	24
3.3	迭代式的噪声去除和目标轮廓增强	25
3.3.1	基于贝叶斯后验概率的精细决策	26
3.3.2	马尔科夫随机场和模拟退火	27
3.4	仿真实验	30
3.4.1	检测效果	30
3.4.2	复杂度分析和实时性	34
3.5	本章小结	35
第 4 章	一种对光照变化具有鲁棒性的背景-前景检测算法	37
4.1	文献综述	38
4.2	混合高斯模型与参数估计	40
4.2.1	混合高斯模型简介	40
4.2.2	用基本期望最大化算法来估计混合高斯模型的参数	42
4.2.3	用在线 EM 算法对混合高斯模型参数进行估计	44
4.2.4	光照变化时在 RGB 色彩空间中呈现的特性	47
4.2.5	光谱反射理论与所观察到的线性特征	48
4.2.6	球面 K 均值聚类算法(Spkmeans)	52
4.3	一种自组织(Self-organizing)的机制	56
4.4	基于统计方法的初步前景检测	58
4.5	噪声抑制和前景轮廓增强	60

4.6	实验与仿真	62
4.6.1	背景建模与前景检测	64
4.6.2	初步前景检测的最优参数调整	72
4.6.3	迭代式去噪与前景增强实验	76
4.6.4	计算量与实用性	79
4.7	算法小结和展望	80
第5章	最大似然估计、多元高斯混合模型及在线 EM 算法	82
5.1	多元高斯混合模型的最大似然估计	83
5.1.1	一些常见的最大似然估计方法	83
5.1.2	用基本 EM 算法估计多元高斯混合模型	87
5.2	两种在线 EM 算法	88
5.2.1	用 Titterington 的在线 EM 算法更新多元高斯 混合模型	89
5.2.2	Titterington 型在线 EM 算法与梯度上升 EM 算法的关系	91
5.2.3	用基于充分统计量的在线 EM 算法更新多元高斯 混合模型	93
5.3	实验仿真	95
第6章	多假设目标跟踪	104
6.1	目标跟踪技术概述和研究背景	104
6.2	多假设跟踪技术概述	106
6.2.1	概念准备	106
6.2.2	基于多假设的多目标跟踪技术	109
6.3	目标测量和跟踪器的关联——一种图论方法	110
6.3.1	代价矩阵(Cost Matrix)	110

6.3.2	相关的图论基础	112
6.3.3	通过求最小权值边覆盖求最优跟踪假设	114
6.4	次优跟踪假设的获取	117
6.5	应对目标分裂和合并	120
6.6	用卡尔曼滤波器刷新跟踪器状态	122
6.6.1	适用于跟踪器的卡尔曼滤波运动模型	123
6.6.2	卡尔曼滤波器对跟踪器状态的预测和更新	126
6.7	实验结果	127
第7章	结束语	129
7.1	工作小结	129
7.2	工作展望	130
	参考文献	132
	附录 A score 函数的条件期望	143
	附录 B 定理 5.1 的证明	144
	附录 C 定理 5.3 的证明	145
	附录 D 定理 5.4 的证明	147
	附录 E 定理 5.5 的证明	154
	附录 F 定理 6.2 的证明	157
	后记	160

第 1 章

引 言

1.1 概 述

随着现代科学技术的发展和人们对自身安全关注度的提高,视频监控技术得到了广泛的普及和应用,在社会生活和生产上发挥着重大作用。那么,什么是视频监控?顾名思义,视频,就是通过摄像机采集视频图像的数据;而监控则是利用其传回的数据对环境进行监视和控制,并且能够对特定的事件和行为作出响应。视频监控系统是一种具有防范和报警能力的综合系统。

视频监控系统可以说是当今发展最为迅猛的系统之一,其原因是多方面的:首先,视频监控系统的制造技术已趋于成熟,生产成本越来越低廉,这使得大规模的应用成为可能;其次,得益于计算机与网络技术的进步,视频监控系统的运行速度不断提升,其功能也不断增强,能够胜任在各种各样环境下的监控工作;第三,由于当今世界形势的动荡和恐怖主义的威胁,许多国家都在安防领域提出了更高的要求,而视频监控作为安防系统的重要组成部分,引起了国家和个人高度的重视。事实上,视频监控技术已经走入寻常百姓家,我们的身边遍布着以摄像机为前端的视频监控系统,它