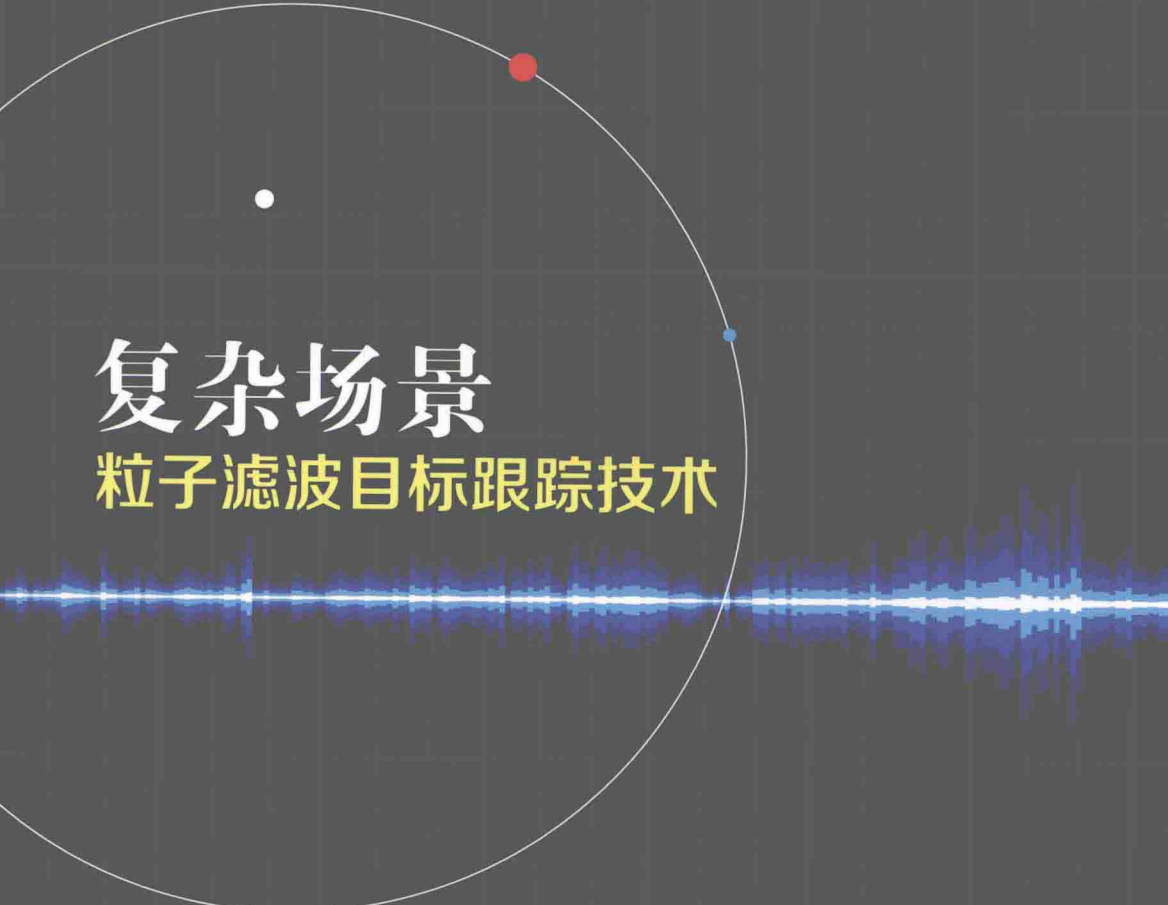


国家自然科学基金面上项目 (项目编号: 61173184, 61271399, 51175535)

中国博士后基金项目 (项目编号: 20100480665) 支持出版

重庆市科委科技平台与基地建设项目 (项目编号: cstc2014gjh0038)

闫 河 刘 婕 杨德红 金 炜 刘 宇 / 著



复杂场景

粒子滤波目标跟踪技术



科学出版社

国家自然科学基金面上项目(项目编号:61173184,61271399,51175535)

中国博士后基金项目(项目编号:20100480665)

支持出版

重庆市科委科技平台与基地建设项目(项目编号:cstc2014gihz0038)

复杂场景粒子滤波目标跟踪技术

闫 河 刘 婕 杨德红 金 炜 刘 宇 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

鉴于粒子滤波目标跟踪的应用前景,本书对复杂场景下粒子滤波单目标跟踪和多目标跟踪的一些关键技术进行了研究。在参考国内外学者研究方法的基础上,根据近几年的研究成果,较系统地论述了传统粒子滤波目标跟踪算法存在的缺陷;对噪声干扰、光照变化、目标与背景色彩相近、姿态变化、遮挡、相机抖动、多目标等视频场景的复杂性进行了分析,研究了不同场景下采用不同目标特征模型对粒子滤波单目标跟踪性能的影响;提出了自动感知和捕捉运动目标的自适应检测算法,以及基于多特征融合的粒子滤波多目标跟踪方面的理论及应用技术。

本书可供光电信息类、电子信息类、计算机应用等专业高年级本科生、研究生、教师和科研人员阅读,也可作为相关专业机器视觉相关课程的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

复杂场景粒子滤波目标跟踪技术 / 闫河等著. — 北京: 科学出版社, 2015.12

ISBN 978-7-03-046916-8

I. ①复… II. ①闫… III. ①粒子-滤波技术-目标跟踪-研究 IV. ①TN953

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 318766 号

责任编辑: 杨 岭 黄明冀 / 责任校对: 杨悦蕾

责任印制: 余少力 / 封面设计: 墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年12月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2015年12月第一次印刷 印张: 6.25

字数: 130千字

定价: 45.00元

前 言

目标跟踪技术就是对视频图像中的运动目标进行检测,以捕捉目标对象的实时位置、运动趋势、轨迹等运动状态信息,广泛应用于智能监控、视觉导航、智能交通、人机交互、国防侦察等领域;粒子滤波算法是一种基于蒙特卡罗与递推贝叶斯估计的统计滤波方法,在非线性、非高斯系统中处理参数估计和状态滤波方面具有独特优势;近年来,基于粒子滤波的目标跟踪技术已成为机器视觉领域的研究热点之一,但由于受到跟踪初始阶段目标模板获取不准确、噪声干扰、光照变化、目标与背景色彩相近、姿态变化、遮挡、相机抖动、多目标跟踪等复杂场景因素的影响,实际应用中,基于粒子滤波的目标跟踪技术尚存在无法自动感知和捕捉运动目标、目标易丢失、跟踪准确性、稳定性差等问题。因此对复杂场景粒子滤波目标跟踪技术进行研究具有重要意义。

本书致力于利用粒子滤波框架理论,在保留粒子滤波目标跟踪算法流程的同时,分别针对光照变化明显、目标与背景色彩相近、姿态变化、遮挡、相机抖动、多目标等不同复杂场景,深入研究颜色特征、纹理特征、角点特征等概率模型对粒子滤波目标跟踪性能的影响情况,并根据实际场景的特点,提出目标特征概率模型的具体改进方法;对于复杂场景目标跟踪任务,重点研究不同特征概率模型的融合规则;对多目标跟踪任务,重点研究多目标的自适应检测技术,从而构建出适应复杂场景的粒子滤波目标跟踪新方法。

在本书出版过程中,得到了科学出版社的大力支持与帮助,在此表示衷心感谢。同时还要感谢国家自然科学基金面上项目(移不变抗混叠多尺度几何分析基础理论研究,项目编号:61173184;面向卫星云图纹理分析的对偶轮廓波及模糊SVM理论与算法研究,项目编号:61271399;光脉冲驱动与全光纤检测的哥氏振动微陀螺关键技术研究,项目编号:51175535)、中国博士后基金项目(基于非接触测量技术的尾矿坝安全预警系统,项目编号:20100480665)、重庆市科委科技平台与基地建设(国际科技合作基地建设项目 MEMS 振动传感与微姿态组合测井技术国际联合研究中心,项目编号:cstc2014gjhz0038)、重庆理工大学科研创新团队建设项目(多尺度压缩感知网络目标跟踪与辨识)对本书出版的资助。由于本书引用的参考文献较多,难以一一列出,在此向原作者致敬。

鉴于作者学识水平和视野所限,加之本书成书时间仓促,书中不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 课题研究背景、目标及意义	1
1.2 国内外研究现状	3
1.2.1 目标跟踪方法	3
1.2.2 粒子滤波目标跟踪研究现状及存在的问题	5
1.3 本书主要工作及结构	8
1.3.1 本书主要工作	8
1.3.2 本书结构	10
第2章 粒子滤波理论基础	11
2.1 引言	11
2.2 状态空间模型	11
2.3 贝叶斯估计理论	12
2.4 蒙特卡罗方法	13
2.5 重采样	14
2.6 相似性度量	15
2.7 粒子滤波目标跟踪框架	15
2.7.1 粒子滤波算法	15
2.7.2 算法步骤	17
2.8 本章小结	18
第3章 不同场景下不同特征模型粒子滤波目标跟踪性能分析	19
3.1 引言	19
3.2 复杂场景描述	20
3.3 特征描述与提取	21
3.3.1 颜色特征	22
3.3.2 纹理特征	24
3.3.3 角点提取	29
3.3.4 特征描述方法	31
3.4 不同场景下不同特征模型粒子滤波目标跟踪性能分析	32
3.5 实验结果分析	33
3.6 本章小结	53

第4章 复杂场景多特征融合粒子滤波单目标跟踪	55
4.1 引言	55
4.2 SMBP 纹理模型	56
4.2.1 MBP 纹理模型	56
4.2.2 SMBP 纹理模型	57
4.2.3 目标跟踪性能分析	58
4.3 复杂场景多特征融合粒子滤波单目标跟踪	59
4.3.1 目标模型	60
4.3.2 多特征融合	60
4.3.3 算法步骤	61
4.4 实验结果分析	63
4.5 本章小结	70
第5章 复杂场景多特征融合粒子滤波多目标跟踪	72
5.1 引言	72
5.2 常用目标检测方法	73
5.2.1 帧间差分法	73
5.2.2 对称差分法	73
5.2.3 背景差分法	74
5.3 一种改进的目标检测方法	75
5.4 复杂场景多特征融合粒子滤波多目标跟踪	79
5.5 实验结果分析	80
5.6 本章小结	84
第6章 总结与展望	85
6.1 总结	85
6.2 展望	86
参考文献	88
索引	93

第1章 绪 论

1.1 课题研究背景、目标及意义

目标跟踪技术就是对视频图像中的运动目标进行检测,以捕捉目标对象的实时位置、运动趋势、轨迹等运动状态信息。它融合了传感器技术、图像处理、模式识别、人工智能、自动控制等先进技术,已广泛应用于视频监控、智能交通、视觉导航、人机交互、国防侦察等民用和军事领域,其科学研究意义突出、工程应用前景广泛^[1]。

在视频监控应用领域,目标跟踪技术能自动捕捉视频监控区域中运动目标的出现,反馈目标在监控区域的停留时间和运动轨迹,并预判目标离开监控区域的运动趋势^[2]。根据安防等级需要,系统可预设目标在监控区域的停留时间阈值和危险轨迹,当系统自动判断出目标在监控区域中的停留时间大于阈值或其运动轨迹为危险轨迹时,系统会自动报警并锁定当前目标为危险目标,并依靠目标识别技术能自动完成对危险目标的识别。对安防级别要求高的大范围监控应用,通过联网(有线或无线)相机反馈的目标运动趋势指令,可实现对已锁定危险目标的大范围智能跟踪。在火车站、汽车站等人员密集的公共场所,目标跟踪技术对视频监控区域的活动目标进行轨迹分析,能预判并锁定人群中的单个或多个违法嫌疑对象,从而丰富和提升了视频监控安防手段^[3]。

在智能交通监控应用领域,目标跟踪技术在无人监督的情况下,系统结合交通信号灯时间点,预设红灯虚拟线、停车等候区虚拟线圈,以及车辆通行速度等阈值信息,能实时捕捉和锁定违章车辆。联网的摄像机能及时反馈被锁定的嫌疑车辆在其监控区域的运动速度、运动轨迹和运动趋势,并自动提醒嫌疑车辆逃逸方向的下一个相机启动跟踪命令,从而能实现对嫌疑车辆的全网络连续跟踪。目标跟踪技术还可以实现对重点交通路口车流进行统计计数,从而为交通疏导提供

决策依据^[4]。

在人机交互应用领域,目标跟踪技术能捕捉人的姿态、动作、手势等运动特征或轨迹,再通过人工智能技术对这些人体信息进行识别和解译并作出判断响应,从而实现人机交互,其中,目标跟踪技术应用于人机交互的一个有趣的例子是麻省理工学院(MIT)媒体实验室开发的幼儿室^[5],它可以为小朋友提供具有交互、叙述性能的剧情空间,并利用计算机视觉跟踪技术来判别小朋友的位置状态和人体活动特征,及时给监护人反馈信息。

在军事应用领域,目标跟踪技术广泛应用于无人机、野战侦察车、精确制导武器系统等。美国已于1983年将目标跟踪技术列入其战略研究防御计划中,我国陆军大量应用目标跟踪技术于相控阵雷达,并广泛应用于无人机、野战车侦察任务;结合寻北仪惯导技术,目标跟踪技术广泛应用于军事测绘、炮弹制导等^[6]。

粒子滤波算法是一种基于蒙特卡罗和递推贝叶斯估计的统计滤波方法。在非线性、非高斯随机系统中处理参数估计和状态滤波方面具有独特优势^[7],近年来广受诸多学者青睐,已成为目标跟踪领域中的研究热点之一。但由于受到跟踪初始阶段目标模板获取不准确、目标与背景色彩相近、姿态变化、遮挡、相机抖动、多目标跟踪等复杂场景因素的影响,实际应用中,基于粒子滤波的目标跟踪技术尚存在无法自动感知和捕捉运动目标、目标易丢失、跟踪准确性和稳定性差等问题^[8]。

因此,本书致力于利用粒子滤波框架理论,在保留粒子滤波目标跟踪算法流程的同时,分别针对光照变化明显、目标与背景色彩相近、姿态变化、遮挡、相机抖动、多目标等不同复杂场景,深入研究了颜色特征、纹理特征、角点特征等概率模型对粒子滤波目标跟踪性能的影响情况,并根据实际场景的特点,提出目标特征概率模型的具体改进方法;对于复杂场景目标跟踪任务,重点研究不同特征概率模型的融合规则;对多目标跟踪任务,重点研究多目标的自适应检测技术,从而构建出适应复杂场景的粒子滤波目标跟踪新方法。新的方法无疑对进一步提升和改进粒子滤波目标跟踪性能以及推动目标跟踪技术的发展和具有非常重要的意义。

1.2 国内外研究现状

目前,国内外诸多研究学者对目标跟踪技术进行了分析探讨,已有大量的研究成果及其应用。国外很多大学,如斯坦福大学、剑桥大学、卡内基梅隆大学、多伦多大学等,均对视频序列图像跟踪技术的研究设立了专门探讨研究小组。1996~1999年,美国的国防部先进研究项目计划署(defense advanced research projects agency, DARPA)资助了几家重要的研究机构(如卡内基梅隆大学及戴维沙诺夫研究中心等)进行相互协作,并研发出了视频监控系统^[9],着重研究在民用和军事场景中的自动视频理解技术。2000年,DARPA又资助了一个重大项目——远程人类识别^[10]。美国波士顿大学和马里兰大学共同研制出一种选取颜色特征、边缘特征和运动特征对车道和人行道边界处及其他运行汽车等车辆信息进行识别判断及跟踪的实时视觉系统,并已应用于高速公路^[11];马里兰大学研发的W4(what, where, when, who)监控系统是一个对人体及其肢体运动提供实时辨识和跟踪的系统^[12]。同时,权威国际期刊和重要国际会议收录了许多有关视频目标跟踪领域最新的研究成果,提供给研究者一个交流探讨的机会。

我国在目标跟踪技术研究方面发展相对较晚,然而诸多大学(如复旦大学、华中科技大学、上海交通大学、中国科学院、西安交通大学等)和研究所在视频跟踪技术的研究上花费了大量精力并获得了众多研究成果^[13,14]。例如,在人脸和唇形跟踪、姿势识别等方面获得了大量科研成果的研究所——清华大学人机交互与媒体集成研究所,在交通监控、行人跟踪、手势导航等领域有着深切专研的研究所——中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室,在遥感图像处理与分析、人脸和语音融合的身份识别、目标跟踪等领域进行深刻研究的实验室——复旦大学电子工程系图像与智能实验室^[13,14],同时,我国许多学术期刊,如《计算机学报》《软件学报》《自动化学报》等,也收录了大量与目标跟踪相关的论文。

1.2.1 目标跟踪方法

根据目标跟踪过程中是否依赖视频目标的先验知识,一般把目标跟踪分为依

赖目标先验知识和不依赖目标先验知识的两种算法。不依赖目标先验知识的目标跟踪又称为基于运动检测的目标跟踪,它直接从序列图像中检测、识别和跟踪运动目标,主要算法有光流法^[15]、背景差分法^[16,17]、帧间差分法^[18,19]等;依赖目标先验知识的目标跟踪又分为基于核方法和基于滤波理论的目标跟踪,它们均首先对目标进行建模,然后再从后续序列图像中找到相匹配的运动目标,从而实现运动目标跟踪;基于核方法的目标跟踪主要有均值偏移(mean shift, MS)算法^[20,21]、基于滤波理论的目标跟踪主要有卡尔曼滤波(kalman filter, KF)算法^[22,23]、粒子滤波(particle filter, PF)算法^[24-31]等。

1.2.1.1 基于运动检测的目标跟踪算法

基于运动检测的目标跟踪算法是指通过检测视频图像中目标与背景的不同运动来发现目标区域以实现跟踪。常用的有光流法^[15]、背景差分法^[16,17]、帧间差分法^[18,19]。其中,光流法是一种估计序列图像的像素点在连续帧间的运动情况的方法,由于该方法只关心图像的像素点,并没有把像素点与运动目标关联起来,对轮廓不规则目标很难做到准确定位,且运算复杂,不适用于实时性较高的场合^[15];背景差分法是利用当前帧减去静止背景以获得运动目标区域,该算法在背景静止且理想场景的情况下,其目标识别、跟踪效果较佳,但由于天气变化、光照变化、背景扰动和摄像头与目标相对运动等因素,易导致运动目标检测不准确,影响跟踪准确性^[16,17];帧间差分法对场景变化的适用性较好,尤其是光照变化的场景,但对环境噪声较为敏锐,所提取目标区域是目标在前后两帧中位置的“或”区域,比实际目标区域大,若跟踪场景中没有显著运动趋势,则两帧之间目标重叠部分将检测不出,或检测出来的目标区域存在较大空洞,无法完整地提取运动目标^[18,19]。

1.2.1.2 基于核方法的目标跟踪算法

基于核方法的目标跟踪算法是对后验概率密度采用直接连续估计。首先,对感兴趣的目標进行建模,然后,利用相似性度量函数计算参考目标模型和当前帧候选目标模型间的相似程度,最后,通过匹配算法来实现目标跟踪。基于核方法的目标跟踪算法最先是 Comaniciu 等^[32]提出的,其典型代表是 MS 算法,该算法是一种无参数核密度估计方法,具有实时性、鲁棒性且易于实现的优势,但在光照变化、遮挡、目标与背景色彩相近等外界因素干扰的情况下,该类方法容易收敛到局部极值点导致跟踪鲁棒性不佳^[33]。

1.2.1.3 基于滤波理论的目标跟踪算法

基于滤波理论的目标跟踪算法是指对视频图像中的目标状态进行估计来实现跟踪。首先构建目标运动模型,其次通过该模型预测目标的实时运动情况,最后通过对目标观测的假设进行估计和校正来实现目标跟踪。这类方法以 Bar-Shalom 的目标跟踪与关联思想最具代表性^[34], Bar-Shalom 将目标跟踪问题转换为在已知目标表示和初始状态等目标先验知识的条件下,依据目标运动模型预测目标当前状态,然后通过求解目标状态最大后验概率来获取目标最优预测状态位置,即将目标跟踪问题转换为贝叶斯框架下的最优估计问题。常用方法有 KF 算法^[22,23]、不敏感卡尔曼滤波(unscented Kalman filter, UKF)算法^[35]、扩展卡尔曼滤波(extended Kalman filter, EKF)算法^[36]、粒子滤波算法^[24-31]等,虽然这些算法较 MS 方法计算量大,但其鲁棒性好,且是目前目标跟踪领域的研究热点。

其中, KF 是最早成功应用于目标跟踪的贝叶斯滤波算法,但当目标本身或者摄像机抖动而造成目标运动状态突然改变时,目标运动不再符合线性、高斯模型要求,从而导致 KF 预测跟踪失效^[37]。针对非线性情况,文献 [36] 在 KF 的基础上提出了 EKF 算法,在实际应用中,由于目标属性、背景、环境信息等的不确定性,使得目标跟踪状态估计通常是非线性、非高斯过程,所以, KF 算法和 EKF 算法仍存在易导致目标丢失等局限性。粒子滤波算法是一种基于蒙特卡罗和递推贝叶斯估计的统计滤波方法,其基本思想是指目标传播的后验概率密度能够采用若干个粒子表示,粒子是指尺度极小的滤波器,每个粒子代表目标状态的一种可能性;滤波意指“滤出”目标当前的位置状态。粒子滤波算法主要包含四个过程:①粒子采样,就是在观测目标区域附近随机产生多个候选区域窗口,即粒子样本;②粒子权值计算,就是根据观测概率分布和贝叶斯公式计算出每个粒子的权值,并进行归一化处理;③重采样,为了解决粒子退化现象,需要对归一化粒子权值进行重采样调整;④目标状态估计,根据每个粒子的状态以及所对应权值的加权和以近似估计表示目标的最终状态位置。

1.2.2 粒子滤波目标跟踪研究现状及存在的问题

2000 年, Doucet 等^[39]提出了顺序重要采样粒子滤波理论,并验证了当采样粒子数较多时,粒子滤波算法是收敛的,其状态维数不影响收敛速率^[40],粒子滤波理论由此逐渐趋于完善和成熟。由于粒子滤波算法在非线性、非高斯系统中

在处理参数估计和状态滤波方面具有独特优势^[7],近年来,粒子滤波算法已广泛应用于军事雷达跟踪、智能交通监控、机器人定位等目标跟踪领域。

传统粒子滤波目标跟踪算法采用单一 RGB(red, green, blue)颜色直方图模型作为概率模型,利用巴塔恰里亚(Bhattacharyya)距离计算参考目标概率模型与候选目标概率模型的相似程度,并用其相似程度值更新粒子权值,最后,通过粒子权值重采样和加权准则以估计目标跟踪状态位置信息。文献 [24]、[41] 和 [42] 指出目标的颜色特征在目标旋转和尺度变换时具有不变性,在目标和背景颜色差异明显的理想场景下,采用颜色特征模型的粒子滤波目标跟踪算法具有较好的稳定性。但在实际应用中,目标场景并非都满足这一理想条件,往往存在目标与背景颜色相近、光照变化明显、目标被遮挡、相机抖动等多种复杂性;由于 RGB 颜色空间的三基色成分不独立,在光线变化明显、目标与背景色彩相近的情况下,易导致目标跟踪丢失^[43];同时,单一 RGB 颜色特征不具备表达目标几何结构的信息,在目标被部分遮挡或相机运动成像等复杂场景情况下,也易导致目标跟踪丢失。因此,在复杂场景下,采用单一颜色特征模型的粒子滤波算法存在跟踪误差大、易导致目标跟踪丢失的缺陷^[44,45]。文献 [46] 指出,根据目标场景的特点合理选择视觉特征将直接影响目标跟踪的准确性和稳定性。近年来,诸多学者针对不同场景下粒子滤波目标跟踪的应用需求,提出了许多新的目标特征选取方法和特征融合规则,以提升目标跟踪的准确性和稳定性^[47-56]。文献 [47] 利用灰度共生矩阵(gray level co-occurrence matrices, GLCM)提取纹理特征,并与颜色、边缘和运动信息进行融合,在目标形变和部分遮挡的场景下,改善了传统粒子滤波目标跟踪算法鲁棒性差的缺陷。文献 [48] 先对视频图像进行控向金字塔变换(steerable pyramid transform, SPT),并建立 8 个方向子图的目标纹理特征,然后在粒子滤波算法框架中融合该纹理、颜色和边缘方向特征,提出了一种多特征融合粒子滤波目标跟踪方法。文献 [49] 通过平移不变小波变换获取纹理特征,并融合了边缘强度来突显图像纹理特征,提高了目标跟踪性能;Serby 等^[50]通过 Harris 探测器采集局部纹理特征,并融合目标角点与边缘特征,在目标部分遮挡和背景杂波干扰的场景下,该算法具有较好的跟踪性能;但文献 [49]、[50] 没有考虑目标的颜色特征,仅适用于目标在视频场景中不发生旋转或尺寸改变等情况,具有一定局限性。文献 [47] ~ [50] 的纹理特征提取方法均存在计算量大的缺陷,为此,文献 [51] 提出一种新的、称为局部二值模式(local binary pattern, LBP)的纹理特征算子,该算子是一种点样本估计方法,因为具有旋转不变性、光照不敏感和计算简单等特点^[51,52],已广泛应用于分类、

识别、目标跟踪等领域。文献 [53] 和文献 [54] 把 LBP 纹理特征与 RGB 颜色特征相融合应用于粒子滤波目标跟踪,在一定程度上克服了光照变化带来的影响,取得了较好的跟踪稳定性;文献 [55] 针对复杂场景中的光照变化问题,利用稀疏结构来表达纹理特征,嵌入粒子滤波目标跟踪框架中实现目标跟踪任务,该算法能够有效避免光照变化带来的跟踪鲁棒性不佳的缺陷,但要求算法初始化粒子数目必须足够多,过多的粒子数目易降低算法的时效性;文献 [56] 和文献 [57] 考虑到不同目标特征描述的差异性,在粒子滤波目标跟踪框架中对颜色和边缘进行特征融合,获得了较好的跟踪效果,但由于颜色和边缘特征抗遮挡能力均不强,当目标存在较大程度的遮挡时,容易丢失跟踪目标^[57]。文献 [58] 将随机微分方程与粒子滤波算法相结合应用于多目标跟踪,跟踪性能有所提高,但观测概率模型描述较复杂;在文献 [59] ~ [61] 中,采用 MS 算法与粒子滤波算法相结合的策略,但场景中多目标颜色相近时,该算法往往导致跟踪目标失效;文献 [62] 提出一种多目标自适应检测和目标跟踪算法,该算法先对视频图像进行二值化处理,然后利用帧间差分法自适应检测出二值图像中的运动目标,最后利用粒子滤波算法实现多目标跟踪,该算法比较适用于目标背景颜色单一、目标尺寸弱小的场景;文献 [63] 采用前景检测算法实现多目标自动检测,再利用粒子滤波对检测的目标进行跟踪,当目标与背景颜色相近时,文献 [62] 和文献 [63] 所提的多目标自动检测准确性不高,加之,所采用的传统粒子滤波算法本身也存在目标与背景颜色相近时易导致目标跟踪丢失的缺陷,从而导致整体多目标跟踪性能明显下降,因此文献 [62] 和文献 [63] 所提的多目标跟踪方法对场景约束条件较多;文献 [64] 采用 AdaBoost 检测算法实现多目标的自动检测,然后利用传统粒子滤波算法实现多目标跟踪,该算法具有一定的抗背景干扰性;文献 [65] 先利用 AdaBoost 算法对目标的 MB-LBP(multiscale block local binary patterns)纹理特征进行训练,构建目标分类器,然后利用该目标分类器实现目标自动检测,最后再利用粒子滤波算法完成多目标跟踪任务。文献 [64] 和文献 [65] 相同,都没有对粒子滤波算法进行改进,实际多目标跟踪的整体性能完全依赖于所用多目标检测算法的有效性,同时文献 [65] 的多目标自动检测算法的准确性依赖于人工凭经验选择合理的训练样本集,受人为因素影响大,不具有普适性;文献 [58] ~ 文献 [65] 均对多目标自动检测方法进行了一定研究,但没有完全、全面地考虑实际应用场景存在目标与背景颜色相近、光照变化明显、目标被遮挡、相机抖动等复杂性因素,没有根据视频目标场景的复杂性特点合理地构建目标特征概率模型,以确保多目标自动检测算法的有效性及粒子滤波多目标

跟踪的准确性和稳定性。

综上所述,在实际应用中,要提升粒子滤波目标跟踪的准确性和稳定性,需从以下三个方面因素进行整体考虑。第一,视频目标场景的复杂性,在实验室研究阶段,要先对视频中目标的场景进行分析,判断被跟踪目标场景是否存在光照变化、目标与背景色彩相近、姿态变化、遮挡、相机抖动等情况;在实际应用时,要预先判断架设的相机是否也存在以上的场景复杂性。第二,依据视频场景特点,选择合理的特征概率模型和特征融合规则;大量文献研究表明,颜色特征模型对目标姿态改变或几何形变不敏感,具有较好的跟踪鲁棒性;纹理特征能反映目标区域像元的结构信息,具有较好的光照不变性,在目标与背景色彩相近、目标部分遮挡或相机运动成像场景下,采用纹理特征模型具有较好的跟踪鲁棒性;角点是目标轮廓的显著特征点,不受目标形变影响,具有旋转、平移、缩放不变性,在目标与背景色彩相近、目标形变、部分遮挡等场景下具有一定的跟踪鲁棒性;因此,对于存在光照变化、目标与背景色彩相近、姿态变化、遮挡、相机抖动等复杂场景,需要合理选择多特征概率模型并确定正确的多特征融合规则,通过多特征融合策略来提升粒子滤波复杂场景目标跟踪的准确性和稳定性。第三,自适应多目标跟踪技术,传统滤波目标跟踪算法依赖人工锁定第一帧视频运动目标,无法实时、自动感知和捕捉场景中出现的运动目标,特别对多目标跟踪任务,场景中不断有新目标出现、目标被遮挡或目标在场景中消失等多种情况出现,若不能有效感知和捕捉目标对象就不能实现多目标跟踪任务。

1.3 本书主要工作及结构

1.3.1 本书主要工作

本书的研究工作主要集中在四个方面:第一,传统粒子滤波目标跟踪算法存在的缺陷研究;第二,对视频场景的复杂性进行分析,研究不同场景下采用不同目标特征模型对粒子滤波目标跟踪性能的影响;第三,针对目标与背景色彩相近、目标部分遮挡、相机运动成像、光照变化明显等复杂场景,研究颜色特征与纹理特征融合的粒子滤波目标跟踪算法;第四,研究多目标自动检测算法和复杂

场景粒子滤波多目标跟踪算法。

(1)传统粒子滤波目标跟踪算法存在的缺陷研究。如上所述,传统粒子滤波算法在目标跟踪中存在两个主要缺陷:第一,通过手动方式锁定第一帧视频目标,无法实时、自动感知和捕捉场景中出现的运动目标;第二,传统粒子滤波算法采用单一 RGB 颜色直方图作为参考目标概率模型和候选目标概率模型,由于 RGB 颜色空间的三个成分不独立,在光线变化明显、目标与背景色彩相近的情况下,易导致目标跟踪丢失;同时,单一 RGB 颜色特征不具备表达目标几何结构的信息,在目标被部分遮挡或相机运动成像等复杂场景情况下,也易导致目标跟踪丢失。

(2)对视频场景的复杂性进行分析,研究不同场景下采用不同目标特征模型对粒子滤波目标跟踪性能的影响。粒子滤波目标跟踪的有效性和准确性依赖于如何根据目标场景的特点合理建立目标特征概率模型。本书首先对光照变化、目标与背景色彩相近、姿态变化、遮挡、相机抖动、多目标等视频场景的复杂性进行分析;然后拟通过分组对比实验,分别研究不同场景下颜色特征、纹理特征、角点特征对粒子滤波目标跟踪性能的影响,为复杂场景粒子滤波目标跟踪如何合理选择特征概率模型建立具有指导意义的理论性结论。

(3)利用所形成的根据不同场景特点合理选择特征概率模型的研究结论,结合纹理特征在目标与背景色彩相近、目标部分遮挡或相机运动成像场景下具有较好的跟踪鲁棒性的特点,重点研究能捕捉目标区域纹理、边缘信息且具有抗噪性能的新的纹理特征描述算子;在此基础上,结合颜色特征模型对目标姿态改变或几何形变不敏感的优势,针对光照变化、目标与背景色彩相近、姿态变化、遮挡、相机抖动等复杂场景目标跟踪的任务,研究新的纹理特征概率模型与颜色特征概率模型的融合规则,从而提出一种新的复杂场景多特征融合粒子滤波目标跟踪算法,并通过对比实验验证所提算法目标跟踪的准确性和稳定性。

(4)针对传统粒子滤波目标跟踪算法无法自动捕捉视频中运动目标的缺陷,结合多目标跟踪的实际应用需求,在详细研究现有目标自适应检测技术的基础上,重点研究可以自动感知和捕捉运动对象的多目标自适应检测算法,并通过对比实验验证所提算法的有效性。在此基础上,利用已取得的复杂场景多特征融合粒子滤波目标跟踪研究成果,提出基于自动检测技术的复杂场景多目标多特征融合粒子滤波目标跟踪算法,并通过对比实验验证所提算法目标跟踪的准确性和稳定性。

1.3.2 本书结构

第1章为绪论。首先给出本书的研究背景、目标及意义,然后介绍目标跟踪方法、分析粒子滤波目标跟踪技术的国内外研究现状,并指出传统粒子滤波目标跟踪存在的主要问题,在此基础上,进一步确定本书的研究内容。

第2章为粒子滤波理论基础介绍。先介绍粒子滤波算法的基本思想和目标状态空间模型;然后介绍贝叶斯估计、蒙特卡罗方法、重采样和相似性度量等基本理论;最后阐述粒子滤波目标跟踪算法的具体步骤。

第3章研究不同场景下采用不同特征模型对粒子滤波目标跟踪性能的影响。先对实际应用中目标场景的复杂性进行分析,针对目标与背景色彩相近、姿态变化、目标遮挡、相机抖动、多目标跟踪等几种典型场景,分别采用颜色特征模型、纹理特征模型、角点特征模型进行对比实验,通过对比实验为后续复杂场景目标跟踪所需的特征模型选取方法和特征融合策略建立指导性理论依据。

第4章研究有效的复杂场景多特征融合粒子滤波单目标跟踪方法。依据第3章的研究结论,结合纹理特征在目标与背景色彩相近、目标部分遮挡或相机运动成像场景下具有较好的跟踪鲁棒性的特点,重点研究能捕捉目标区域纹理、边缘信息且具有抗噪性能的新的纹理特征描述算子;在此基础上,结合颜色特征模型对目标姿态改变或几何形变不敏感的优势,针对光照变化、目标与背景色彩相近、姿态变化、遮挡、相机抖动等复杂场景目标跟踪的任务,研究新的纹理特征概率模型与颜色特征概率模型的融合规则,从而提出一种新的复杂场景多特征融合粒子滤波目标跟踪算法,并通过对比实验验证所提算法目标跟踪的准确性和稳定性。

第5章研究复杂场景多特征融合粒子滤波多目标跟踪算法。针对传统粒子滤波目标跟踪算法无法自动捕捉视频中运动目标的缺陷,结合多目标跟踪的实际应用需求,在详细研究现有目标自适应检测技术的基础上,重点研究可以自动感知和捕捉运动对象的多目标自适应检测算法,并通过对比实验验证所提算法的有效性。在此基础上,利用已取得的复杂场景多特征融合粒子滤波目标跟踪研究成果,提出基于自动检测技术的复杂场景多目标多特征融合粒子滤波目标跟踪算法,并通过对比实验验证所提算法目标跟踪的准确性和稳定性。

第6章对本书主要研究工作和创新性成果进行简要总结,分析本书研究过程中存在的不足,并展望今后的研究方向。

第2章 粒子滤波理论基础

2.1 引言

粒子滤波算法是一种基于蒙特卡罗(Monte Carlo, MC)^[66]和递推贝叶斯估计(recursive Bayesian estimation)的统计滤波方法,其基本原理是:在状态空间中,首先根据一组随机样本来近似表达系统状态的概率分布,并将随机样本称为粒子,然后通过量测值不断修正每个粒子权重和位置状态信息,最后采用新的信息近似实际概率分布。粒子滤波在非线性和非高斯系统中,在处理参数估计和状态滤波方面具有独特优势^[7],在目标跟踪领域得到了诸多学者的青睐。本章从贝叶斯估计理论着手,介绍状态空间模型、贝叶斯估计理论、蒙特卡罗方法、重采样和相似性度量等粒子滤波目标跟踪相关理论知识,并给出粒子滤波算法。

2.2 状态空间模型

目标跟踪问题往往可转化为状态估计问题,一般采用由状态转移模型 $p(x_t|x_{t-1})$ 和量测模型 $p(z_t|x_t)$ 所构成的动态状态空间模型,其中, $p(x_t|x_{t-1})$ 是对系统状态随时间变化情况的描述, $p(z_t|x_t)$ 是对系统状态量测情况的描述, $x_t \in \mathbf{R}^{n_x}$ 和 $z_t \in \mathbf{R}^{n_z}$ 分别表示系统在时间 t 的状态变量和量测值, x_t 满足隐马尔可夫过程,那么在非线性、非高斯系统中,其状态空间模型表示为

$$x_t = f(x_{t-1}, v_{t-1}) \quad (2.1)$$

$$z_t = h(x_t, n_t) \quad (2.2)$$

式中, v_t 和 n_t 分别是独立的状态噪声和量测噪声,均满足独立同分布离散噪声;