

复杂环境下的鲁棒目标检测与跟踪

Robust Object Detection and Tracking in Complex Scenes

姚 睿 著

3

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

复杂环境下的鲁棒目标检测与跟踪

Robust Object Detection and Tracking in Complex Scenes

姚 睿 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了目前广泛采用的一些目标检测与跟踪方法,对各类弱小目标、有纹理目标的有效检测与跟踪方法的基本思想、动机和改进进行了比较全面的总结。本书内容包括基于小波变换的帧转移型 CCD 传感器 Smear 效应消除方法;基于迭代最优化距离分类与轨迹关联的时空域多帧联合弱小目标检测方法;基于变换域的弱小目标检测方法;加权在线学习理论及基于加权结构化在线学习的多目标跟踪方法;以及基于部件及隐结构化在线学习的目标跟踪方法。书中介绍了这些算法的基本原理、核心步骤以及实验验证等。

本书可供从事图像信息处理的工程技术人员、高等学校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

复杂环境下的鲁棒目标检测与跟踪 / 姚睿著. — 徐州:中国矿业大学出版社,2015.5

ISBN 978-7-5646-2624-2

I. ①复… II. ①姚… III. ①鲁棒控制—研究 IV
①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 031547 号

书 名 复杂环境下的鲁棒目标检测与跟踪

著 者 姚 睿

责任编辑 仓小金

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 江苏徐州新华印刷厂

开 本 787×960 1/16 印张 11 字数 210 千字

版次印次 2015 年 5 月第 1 版 2015 年 5 月第 1 次印刷

定 价 26.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

目标检测与跟踪是数字图像和视频处理研究的一个重要分支,是众多图像分析、视频处理和机器视觉应用的基础。然而,由于序列图像成像场景复杂,加之光照、摄像机抖动、物体遮挡等的影响,导致背景变化剧烈;而且目标类型常常较为庞杂并且形态各异。这些原因使得复杂场景图像序列中的目标检测与跟踪一直是图像及视频处理领域的一大难题。

针对这一难题,本书对目前广泛采用的一些目标检测与跟踪方法进行了认真的研究,对各类方法的基本思想、动机和改进进行了比较全面的总结。基于对现有方法所针对的目标类型的分析并结合目标特性,本书按目标的尺寸把目标分为弱小目标和有纹理目标,分别进行处理。弱小目标在图像中只占几个像素,没有纹理、形状信息可以利用,信噪比较低,难以提取,因此针对弱小目标,本书重点研究如何对其进行有效的检测。有纹理目标包含颜色、形状及纹理信息,这些信息有利于对目标进行检测,但同时增加了目标外观的变化,使鲁棒跟踪变得困难,因此针对有纹理目标,本书则重点关注对其进行鲁棒的跟踪。本书对以上两个方面进行了较为深入的研究,完成了以下几项创新性工作:

① 针对帧转移型 CCD 传感器 Smear 效应严重影响弱小目标检测性能的问题,提出了基于小波变换的 Smear 效应消除方法,对弱小目标图像进行预处理。从 Smear 效应产生的物理机理角度出发,结合小波变换的特性,分别在小波域不同尺度的垂直、水平和对角分量对 Smear 效应的亮线进行消除,克服了传统方法在消除 Smear 效应时减弱亮线区域弱小目标信噪比的问题。实验表明本书方法可有效去除 Smear 效应,且不会引入新的虚假目标点,同时增强了 Smear 效应区域弱小目标的信噪比。

② 针对弱小目标信噪比较低、无太多纹理及形状信息可利用的问题,提出了基于迭代最优化距离分类与轨迹关联的时空域多帧联合弱小目标检测方法。首先把 CFAR 方法引入到弱小目标图像分割中,分割弱小目标;然后构造目标、恒星距离特征空间及分类准则函数,并使用迭代最优化思想进行分类,提取任意运动方向、速度的候选目标;最后提出目标轨迹关联、合并以及虚假目标轨迹删除规则,剔除虚假目标、填补丢失的弱小目标。实验表明本书方法可在低信噪比条件下有效分离目标和背景,在目标信噪比小于 3 时,序列检测率可达到

96.02%以上,且序列虚警率达到4.4%以下。

③ 针对在原始图像域中难以提取目标可分离特征的问题,研究了基于变换域的弱小目标检测方法。首先提出了基于2D-1D各向同性非抽取小波变换(IUWT)的弱小目标检测方法。使用IUWT把原始图像变换到新的特征空间中,增加目标与背景信号的可分离性。变换后的图像与原始图像大小相同,不存在插值及下采样操作,可实现高精度目标定位,实验表明目标定位精度的均值优于0.4像素。针对弱小目标检测的实时性要求及数据传输带宽的限制,结合空间图像本身具有的稀疏性,提出了基于压缩感知的空间弱小目标检测方法。实验显示,基于压缩感知的目标检测与定位方法可以取得与传统方式媲美的检测性能,在占用原有数据50%存储空间的情况下,弱小目标检测率可达95.7%。

④ 针对有纹理目标外观的快速变换,提出了加权在线学习理论及基于加权结构化在线学习的多目标跟踪方法。本书首先提出加权在线学习理论,不同于传统方法,加权在线学习方法对重要性不同的训练样本区别对待,更好地体现样本的特性。实验表明本书提出的加权蓄水池重采样方法在求解加权在线学习问题时获得了最好的性能,可使加权分类错误率平均降低50%。为了实现对多目标进行高效的跟踪,提出了一个可直接对多目标分类的结构化SVM,并推导出可以在线更新的对偶形式,可有效地使用非线性核函数。把加权在线学习方法应用于这个新的结构化SVM中,构建了一个鲁棒的多目标跟踪器,即使在很严重的外观改变的情况下,也可有效和准确地跟踪目标。在20组图像序列上的实验表明,本书提出的目标跟踪方法取得了比目前其他9种主流方法更好的性能。

⑤ 针对有纹理目标的非刚体变化及遮挡问题,提出了基于部件及隐结构化在线学习的目标跟踪方法。不同于已有的物体检测中使用的离线隐变量SVM,本书提出了一个可用于目标跟踪的在线隐结构化SVM,并提出了两阶段训练方法:在第1阶段跟踪部件并估计部件参数,在第2阶段跟踪目标及估计目标参数和关联参数;最后本书设计了一个基于未知部件的线性核目标跟踪器,可获得比使用非线性核更好的跟踪性能。在13组包含目标变形及严重遮挡情况的序列上进行了实验验证,同时对比了9种目前主流的目标跟踪方法,结果显示本书方法在其中10组序列上取得了更优的跟踪性能。

目 录

第一章 绪论	1
1.1 选题背景及研究意义	1
1.2 研究现状	2
1.2.1 弱小目标检测方法研究现状	2
1.2.2 有纹理目标跟踪方法研究现状	7
1.3 研究难点	14
1.4 研究成果及创新点	15
1.5 本书结构安排	16
第二章 图像预处理及时空域的弱小目标检测	18
2.1 引言	18
2.2 小波域帧转移型 CCD 传感器 Smear 效应消除方法	19
2.2.1 帧转移 Smear 效应分析	20
2.2.2 小波变换及 Haar 小波	21
2.2.3 Smear 效应消除算法	23
2.2.4 实验及结果分析	25
2.3 基于迭代最优化距离分类与轨迹关联的弱小目标检测方法	27
2.3.1 空间光学图像模型	27
2.3.2 单帧图像分割	28
2.3.3 星点连通区及特征提取	29
2.3.4 基于迭代最优化距离分类的候选目标检测	30
2.3.5 轨迹关联及虚假目标去除	32
2.3.6 实验及结果分析	34
2.4 小结	39
第三章 基于变换域的弱小目标检测	40
3.1 引言	40
3.2 基于 2D-1D 各向同性非抽取小波变换的弱小目标检测	41

3.2.1	正交小波变换与非抽取小波变换	41
3.2.2	基于 2D-1D IUWT 检测弱小目标	43
3.2.3	实验及结果分析	47
3.3	基于压缩感知的空间弱小目标检测	50
3.3.1	压缩感知与空间图像	51
3.3.2	前景的稀疏测量	55
3.3.3	目标检测算法	56
3.3.4	重建与精确定位	57
3.3.5	实验及结果分析	58
3.4	小结	61
第四章	基于加权在线结构化学习的目标跟踪	63
4.1	引言	63
4.2	具有结构化输出的基于检测的目标跟踪	64
4.2.1	结构化最大间隔学习	64
4.2.2	LaRank 算法训练结构化 SVM	67
4.2.3	基于结构化输出的目标跟踪	73
4.3	加权在线学习	75
4.3.1	WOL 问题	75
4.3.2	单例加权算法	76
4.3.3	小型批量加权桥接算法	77
4.3.4	加权蓄水池采样算法	79
4.3.5	实验及结果分析	81
4.4	基于加权结构化在线学习的多目标跟踪	86
4.4.1	结构化多目标跟踪框架	88
4.4.2	在线优化结构化多目标分类器	89
4.4.3	贪心推理	96
4.4.4	加权的目标跟踪	97
4.4.5	实验及结果分析	98
4.5	小结	116
第五章	基于部件及隐结构化在线学习的目标跟踪	118
5.1	引言	118
5.2	判决式学习部件模型	119

5.2.1	部件模型	119
5.2.2	包含隐变量的结构化学习	124
5.3	基于未知部件的鲁棒目标跟踪	125
5.3.1	目标表示建模	125
5.3.2	隐变量 Pegasos 在线学习	127
5.3.3	两阶段优化	129
5.3.4	目标跟踪算法	131
5.4	实验及结果分析	131
5.4.1	实验设置	132
5.4.2	两种学习模型结果对比	133
5.4.3	有无部件的跟踪结果对比	134
5.4.4	不同初始化方法结果对比	137
5.4.5	与其他跟踪算法结果对比	138
5.5	小结	143
第六章 总结与展望		145
6.1	本书工作总结	145
6.2	研究展望	147
参考文献		149

第一章 绪 论

1.1 选题背景及研究意义

目前广泛应用的天文观测、远程预警、生物分析、医疗诊断、视频监控与检索、视频编码、智能交通、人机交互等主要是利用图像处理、模式识别、自动控制、数据挖掘以及多媒体检索等学科的技术,对采集到的图像序列进行自动分析处理,发现监控场景中存在的可疑目标或者异常行为,并对这些目标和行为进行提前预警、实时报警以及事后检索^[1]。其处理过程主要包括:图像预处理、目标检测、目标跟踪、事件分类及识别、模式及行为的理解与分析等。其中,目标检测与跟踪是最为核心的部分,是更高级别图像序列分析与处理的基础,因而具有极其重要的理论价值及实用意义。

在实际目标检测与跟踪情况中,一方面序列中图像的成像场景复杂,同时由于光照、摄像机抖动、物体遮挡等的影响,背景变化剧烈;另一方面目标类型庞杂、形态各异。这两方面因素增加了目标检测与跟踪的难度。现有方法所针对的目标类型按目标大小可分为弱小目标(只占几个像素,且没有任何形状及纹理特征)和有纹理目标。由于这两类目标的成像场景、成像特征、应用领域等差别较大,针对这两类目标的检测与跟踪算法也不尽相同。总体上可以分为两种思路:① 针对弱小目标,由于目标无更多的形状及纹理特征,因此基本没有可依赖的先验知识,主要是直接从图像序列中检测到运动目标,最终跟踪感兴趣目标。它的主要难点在于如何从复杂背景中检测出微弱目标,并保持较低的虚警率,即弱小目标检测。② 针对有纹理目标,主要是利用目标的形状、纹理等先验知识,选择合适的目标表示模型,在图像序列中实时进行目标匹配。它的主要难点在于如何构造鲁棒的目标表示模型以及进行有效的目标匹配,即有纹理目标跟踪。

复杂场景图像序列中弱小目标检测时,由于弱小目标无形状及纹理等先验知识利用,目标难以提取,因此针对弱小目标,本书主要关注于在较低虚警率下对其进行有效检测。基于序列图像的弱小目标检测是天文观测、远程预警、生物分析、医疗诊断等领域研究的热点问题之一。特别是近年来,随着现代卫星技术的发展,全球太空资源开发热潮的进一步高涨,凸显了目标检测系统的基础性和

关键性作用。国际光学工程学会(The International Society for Optical Engineering, SPIE)组织每年举行一次“小目标的信号与数字处理(Signal and Data Processing of Small Targets)”会议。由于目标距离探测设备的距离较远或者其本身的弱小特性,目标在成像图像中仅占据一个或几个像素,且由于环境、探测设备自身的运动以及探测设备引入的噪声等因素的影响,使得目标检测难度很大,检测效率亟待提高。

复杂场景图像序列中有纹理目标跟踪时,由于有纹理目标可以利用其形状、纹理等先验信息进行检测提取,因此本书重点关注对其进行鲁棒的目标表示建模,进而有效地匹配跟踪。复杂场景下针对有纹理目标的实时鲁棒跟踪一直是国内外争相研究的热点问题,众多国际顶级视觉会议每年都有专门讨论目标跟踪技术的分会,例如,IEEE 计算机视觉与模式识别会议(CVPR)、IEEE 计算机视觉国际会议(ICCV)、欧洲计算机视觉会议(ECCV)等。除了国际会议,当前国际上一些权威的期刊每年都有关于有纹理目标跟踪技术的文章发表。但由于目标的类型和数量未知、目标形变、光照变化等因素的存在,实现对任意场景下任意多个类型的有纹理目标的实时鲁棒跟踪仍是目前的研究难点所在。

综上所述,复杂场景图像序列中的目标检测与跟踪技术具有重要的科学意义和巨大的应用价值,受到国内外学术界和工业界的广泛关注。近年来,众多研究者在弱小目标检测和有纹理目标跟踪方面做了大量的工作,但是目标检测与跟踪算法的鲁棒性、准确性及实时性等方面离实际应用还有差距,相关技术还远未成熟。为了较好地解决这些难题,作者主要针对弱小目标与有纹理目标检测与跟踪的难点进行了深入的研究,以期得到一些具有创新性和实用性的成果,实现高效率和高性能的目标检测与跟踪。

1.2 研究现状

迄今为止,国内外大量的研究机构和科研院校对目标检测与跟踪开展了广泛和深入的研究,已发表的目标检测与跟踪算法有数百种之多,由于针对弱小目标和有纹理目标,处理方法差别很大,本节将分别对复杂场景图像序列中弱小目标检测和有纹理目标跟踪的研究现状加以分析与总结。

1.2.1 弱小目标检测方法研究现状

所谓弱小目标,是指当成像系统和目标的相对位置较远时,虽然目标本身可能有几米甚至十几米的直径,但是在成像平面内仅表现为一个或几个像素的面积;或者目标本身就很弱小,如生物工程或者医学分析图像中的亮点,它们通常

又被称为点目标(Point Target)。衡量弱小目标的一个重要特性就是信噪比(Signal-to-Noise Ratio, SNR)。其定义为:

$$SNR = \frac{s - \mu}{\sigma} \quad (1-1)$$

式中, s 为图像中目标的平均灰度(有时也可以是目标灰度的峰值); μ 为背景的平均灰度; σ 为背景灰度的标准方差。信噪比的概念表明了点目标的幅值与噪声的“距离”。所谓低信噪比, 一般为 $SNR \leq 3$, 即噪声与信号的幅值非常接近, 两者的分布有较多的相覆; 显然, 低信噪比条件下, 用单次检测存在着检测概率和虚警概率不可调和的矛盾, 既然单帧图像检测不能满足所需要的检测概率和虚警概率, 只能利用图像序列累积原理来检测弱小目标。

序列图像弱小目标检测与跟踪的流程(图 1-1)大致为: 由图像传感器从场景中接收目标和背景的信号并生成图像, 对实时图像进行适当的图像预处理, 抑制背景并得到较高信噪比的图像。然后, 通过弱小目标检测算法对预处理结果图像实施目标检测。由于可能会得到较多的候选目标, 其中一些是虚假目标, 所以需要将候选目标与已得到的检测结果进行关联以便验证当前目标检测的正确性; 把经过验证正确的目标加入到已有的目标运动轨迹中, 以便后续处理。最后, 使用目标跟踪算法对目标进行跟踪和预测。

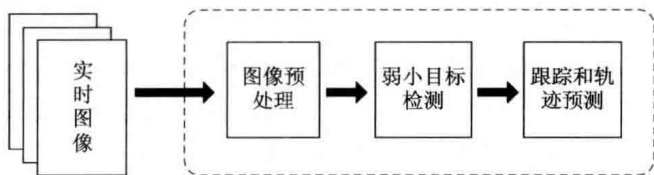


图 1-1 序列图像弱小目标检测与跟踪流程图

目标检测与跟踪算法的任务是选择合适的分离特性, 提高目标与背景特性的可分性, 把目标从图像背景中分离出来, 解决多目标的检测与跟踪问题, 注意这里的分离既包括目标与虚假目标的分离, 也包括目标之间的分离。

对于多帧序列图像中的弱小目标, 在整个序列中可能存在着很多的不确定因素, 但在短时间内点目标强度及运动速度变化不大, 具有一些平稳特性。从利用序列图像目标及其运动的短时平稳特性的方式出发, 可将多帧弱小目标检测技术分为两大类: 先检测后跟踪技术(Detection-before-Track, DBT)和先跟踪后检测技术(Track-before-Detection, TBD)。两种技术都是利用多帧中的目标自身信息及帧间运动信息进行弱小目标检测, 它们主要的区别在于利用多帧信息的时机有所不同。

1.2.1.1 先检测后跟踪

DBT 算法与单帧目标检测算法具有一定相似性,两者主要区别在于 DBT 算法明确利用图像序列帧间信息来提高检测性能。图 1-2 给出了 DBT 算法的流程。

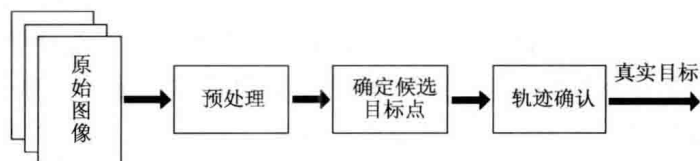


图 1-2 DBT 算法流程

在得到原始图像序列后,对其中的图像进行预处理,处理后图像中目标的信噪比会得到比较大的提升,此时选择合适的分类方法,把潜在的目标点从图像背景中分割出来。然后利用目标的短时运动速度平稳特性,即利用目标运动的连续性和轨迹的一致性,对单帧的检测结果进行验证,以剔除虚假目标点并得到弱小目标的运动轨迹,以上就是所谓“先单帧检测再多帧确认”的策略。在多帧确认目标之后,即得到目标的相关特性及运动参数,可方便地实现目标跟踪功能。

(1) 利用目标的短时帧间运动一致性特征

正如上节中分析的一样,弱小目标检测的主要难点在于弱小目标只占几个像素,自身没有几何形状或纹理等特征信息可以利用,为了对弱小目标进行有效地检测,必须利用多帧图像的运动信息或者目标的相对运动信息,将弱小目标的运动特征和运动轨迹的一致性、连续性结合起来考虑。

文献[2]给出了光流运动约束方程,之后的所有光流法及其应用研究都是基于这一约束方程。文献[3-5]提出了几种应用光流法检测运动目标的方法。文献[6]首先由两步分离法筛选出候选运动目标,再由图像流(Image Flow)分析方法实现对运动小目标的检测。

(2) 利用目标的短时帧间灰度相似性特征

在相对较短的序列内,弱小目标的灰度在帧间具有连续一致性,因此,采用多帧图像的累加,可以增强目标的能量,使目标与背景的可分性更强。但是对快速机动的目标而言,能量积累区域选取存在较大的困难,因此该方法对于运动缓慢目标的检测性能更好。积累帧数增加可以使像素值的方差减小而均值不变,根据公式(1-1)的定义,这种积累的结果使得目标信噪比得到提高。文献[7]提出了一种膨胀累加的检测算法,主要用于解决低信噪比条件下抖动红外弱小目标的检测问题,该算法运用膨胀累加方法能够消除抖动对多帧累加算法的不利影响,使目标能量实现有效的积累。尽管这种算法取得了一定的性能提升,但在

实际应用中积累的帧数还是一个影响性能的重要因素,要根据系统抖动、目标运动速度以及目标尺寸等进行选取。

(3) 利用目标本身固有的规律性特征

从图像分析的观点来看,检测图像中的弱小目标即是确定图像中的孤立奇异点。文献[8]基于数学形态学运算提取单帧目标,再由帧间关系判别目标。文献[9]用灰度分割方法首先完成对可能的运动目标的检测和标记,然后由后续图像帧来对标记目标做出确定。文献[10]把小波理论引入到目标检测中,文献[11]采用小波变换实现增强图像、抑制噪声,然后检测目标;文献[12]采用小波滤波器对每帧图像滤波,提高目标的信噪比,剔除部分噪声点,降低了算法的运算量。在运用小波变换进行弱小目标检测时,往往需要在效果和复杂度上进行折中:若选用简单的小波基,其结果与高通滤波器的效果非常相似,若选用复杂的小波基,则运算过于复杂。基于各单帧检测、多帧目标运动轨迹分析^[13-15]的检测方法是一类最简单而实用的 DBT 算法;在序列图像中目标的空间位置上构造空间管道,实现管道滤波^[16,17]是另一种与上述多帧累加运算概念近似的 DBT 目标检测算法。

1.2.1.2 先跟踪后检测

为了提高弱小目标检测的性能,最大限度不丢失潜在目标,研究者提出了新的解决思路,即“先跟踪后检测”^[18]。这类算法先进行目标运动轨迹搜索和目标能量累积,再进行目标检测和判决,减少单帧信息检测对检测率和虚警率的负面影响。这类算法的处理流程是:先对图像进行适当的预处理;而后根据目标运动特性,对所有可能的目标点构造运动轨迹;随着序列中图像的增加,创建或合并这些目标运动轨迹;当序列中的图像达到一定数量之后,利用目标的灰度、运动的连续性和一致性特征,选取合适的函数对这些目标运动轨迹进行判决,对于验证正确的目标轨迹,可确认为真实的弱小目标,具体过程如图 1-3 所示。

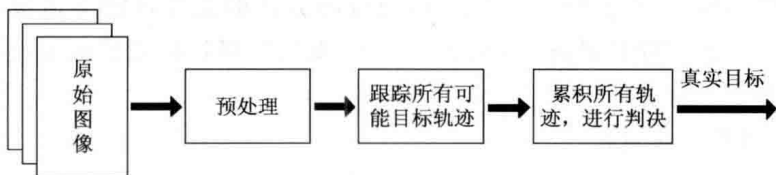


图 1-3 TBD 算法流程

(1) 基于三维匹配滤波器(Matching Filter)的运动轨迹检测方法^[19-22]

三维匹配滤波器首先用一个匹配滤波器对候选目标的频域信号进行滤波,然后对滤波后数据进行傅立叶逆变换,最后将输出值与一个固定门限进行比较,

从而判断出目标是否为真实目标。理论上,匹配滤波器可以检测出任何速度及航向下的目标运动,但在速度和航向未知的条件下,需采用多组滤波器对所有可能的速度和轨迹进行穷尽搜索,这在实际应用中是不可能实现的。

(2) 基于多级假设检验(Multistage Hypothesis Testing)的方法^[23-26]

多级假设检验方法假设目标作局部匀速直线运动,根据限定的速度及方向,构造图像序列中所有可能的航迹树图,并计算每条航迹的序贯似然比。根据序贯似然比剔除虚假的轨迹,获得目标轨迹确认或对参选轨迹做进一步的检验。如此继续下去,最终获得真实目标的轨迹判决。

(3) 基于动态规划(Dynamic Programming Algorithm)的方法^[27-30]

动态规划方法将分级决策方法和最优化原理相结合,通过将多变量最优问题进行分级处理,转换为多个单变量的最优问题,简化了问题的求解,并可获得全局最优值。动态规划方法的缺点在于需多个匹配滤波器对目标进行检测,以获得目标的“软判决”,从而对“软判决”的轨迹进行动态规划。匹配滤波器的运算强度限制了其应用范围。

(4) 基于高阶相关(High Order Correlation Method)的方法^[31,32]

高阶相关方法利用目标轨迹上点的时空相关性,通过计算序列图像帧之间的高阶相关性,在三维图像中检测出目标的直线轨迹或曲线轨迹,从而实现目标的检测。该方法类似于多轨迹条件下的轨迹跟踪,当待选轨迹达到一定长度时,即确认为目标轨迹。基于高阶相关的目标航迹检测方法,其缺点在于计算高阶相关性时,需首先对灰度图像做目标的二值“硬判决”,而二值判决的优劣,直接影响到高阶相关方法的有效性。

(5) 基于投影变换的方法^[33-35]

最早,Hough变换被应用到红外小目标运动轨迹的检测中。Hough变换方法的优点是计算量小,可检测出做直线运动的小目标轨迹,缺点是由于变换前需预先将三维图像序列投影到二维平面,而投影方法的选择可能会造成信噪比的损失。所以在低信噪比情况下,基于Hough变换的目标检测算法的性能将可能会出现明显的下降。

1.2.1.3 两种方法对比

在介绍了DBT和TBD算法的研究现状之后,下面从算法的复杂度、检测性能等方面总结两者的优缺点,最后给出算法各自的适用范围。① 算法复杂度。DBT算法计算量少,实时性好,因此适合于实时处理,应用比较广泛;TBD算法由于需要长时间跟踪所有的轨迹,复杂度较高。② 检测性能。DBT算法过度依赖于目标提取算法,对于低信噪比目标效果并不好,会影响后继处理,因此预处理算法对于DBT算法来说非常重要;相比而言,TBD算法一般是在全时空进

行搜索并累加,对低信噪比目标效果较好,但累积时间越长,越可能会增加目标跟踪时间的延迟,即与实际运动目标失去了同步^[36]。③ 适用性。DBT 算法更适合一些实时性要求较高的场合,而 TBD 算法更多的是注重新的理论方法的研究和应用,但由于它在低信噪比目标检测性能上的优势,随着新技术的发展,必将会发挥更重要的作用。

1.2.2 有纹理目标跟踪方法研究现状

对于有纹理的目标,它所占区域的像素数比较多,因此可以利用目标的颜色、形状以及基于这些像素提取出的特征提高目标检测与跟踪的性能,但同时这些纹理信息也增加了目标检测与跟踪的难度,比如目标会发生旋转、形变、平移等变化,同时随着观察角度和距离以及外部自然条件变化(如光照)等的变化,目标的外观将会变得更加复杂,因此针对弱小目标的方法就不能很好地解决有纹理目标的检测与跟踪问题。图 1-4 显示了几种目标外观变化的情况。

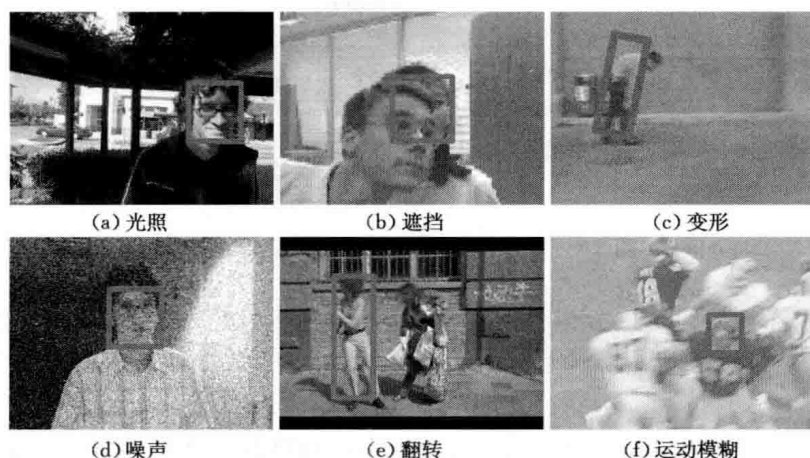


图 1-4 有纹理目标复杂的外观变化^[37]

一个有纹理目标跟踪系统首先要解决的问题是要跟踪的目标是什么,它与弱小目标不同的是,目标并非一个点,图 1-5 给出了几种常用的有纹理目标表示形式,包括边界框、椭圆、外形、关节块、感兴趣点和轮廓等。确定了目标之后,就要根据目标信息进行跟踪,图 1-6 给出一个典型的有纹理目标跟踪系统的流程图,主要包括目标初始化、目标外观建模、运动估计与数据关联以及目标定位等^[1]。

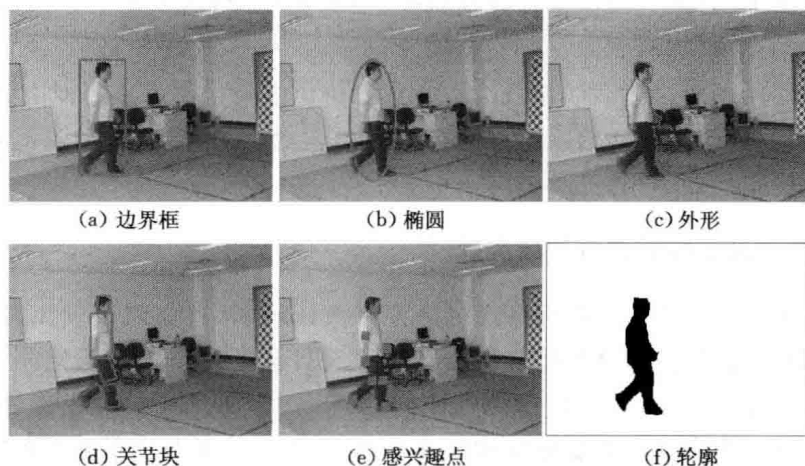


图 1-5 有纹理目标跟踪形式^[37]

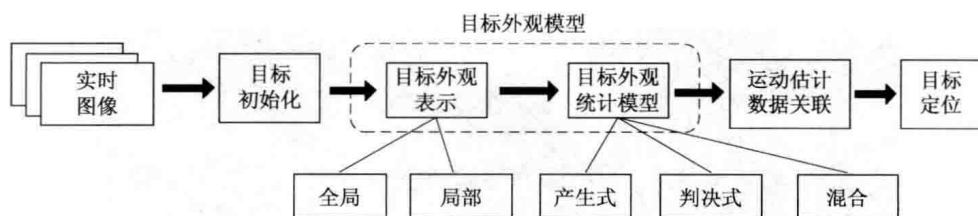


图 1-6 序列图像有纹理目标跟踪流程图

① 目标初始化可以分为自动和手动形式,自动形式是在第一帧通过预先检测到序列后继帧中要跟踪的目标,手动形式即由用户手动标出序列中要跟踪的目标。

② 目标外观建模主要有两部分,目标表示与目标统计模型。目标表示可分为全局与局部的目标特征表示;统计模型主要是建立有效的区分目标与背景的目标数学模型。

③ 运动估计与数据关联主要是用动态状态估计模型预测目标可能的运动状态与位置。

④ 目标定位即基于目标运动估计的结果搜索定位目标位置。

在接下来的内容中,将对目标的外观表示模型、目标的外观统计模型以及目标运动模型及数据关联进行综述,介绍并分析目前常用的方法。

1.2.2.1 目标外观表示模型

目标外观表示的主要目的是构造一个鲁棒的可以描述目标的外观特征,它

通过捕获不同尺度上目标的视觉信息来增强目标的跟踪性能,主要可以分为全局和局部的目标外观表示。

(1) 全局的目标外观表示

全局的目标外观表示反映了目标外观的全局统计特性。主要有以下的形式:原始像素表示、光流表示、直方图表示、活动轮廓表示等。下面对这几种形式进行详细解释:

① 原始像素表示

由于简单和计算复杂度低,原始像素值被广泛地用于计算机视觉领域中。原始像素表示直接使用图像目标区域中原始的颜色或者灰度值,主要包括两种常见的组织像素特征的方式:向量形式^[38,39]和矩阵形式^[40,41]。但是只使用原始像素特征往往不能获得良好的性能^[42]。

② 光流表示

一般而言,光流图像中所有像素点构成了一种二维瞬时速度场,其中的二维速度矢量是景物中可见点的三维速度矢量在成像表面的投影^[43,44]。光流在目标对象分割、识别、跟踪、机器人导航以及形状信息恢复等方面都有非常重要的应用。

③ 直方图表示

在目标跟踪中,直方图可有效地捕获目标区域的分布特征,因此它的应用很广泛。目前常用的直方图有两种类型:单信息直方图和多信息融合直方图。单信息直方图主要有颜色直方图^[45]、加权颜色直方图^[46]等。多信息融合直方图包括空间-颜色融合直方图^[47]、空间-纹理融合直方图^[48]和形状-纹理直方图^[49]等。

④ 活动轮廓表示

为了跟踪非刚体目标,活动轮廓近几年来被广泛使用^[50-52]。一个活动轮廓表示有三个能量函数,分别与目标区域内、外以及目标轮廓的形状相关联,并在这三者中寻求折中。

(2) 局部的目标外观表示

基于局部特征的目标外观表示主要是对感兴趣的点或者显著检测的信息进行编码以表示目标外观。常用的局部目标外观表示类型有基于局部模板、基于SIFT、基于MSER、基于SURF、基于显著检测等。下面对这几种形式进行详细解释:

① 基于局部模板

基于局部模板的目标外观表示通过一个局部模板的集合来近似表示目标区域。与全局模板相比,它可以很好地处理局部遮挡和形状的变形。如 Lin 等^[53]