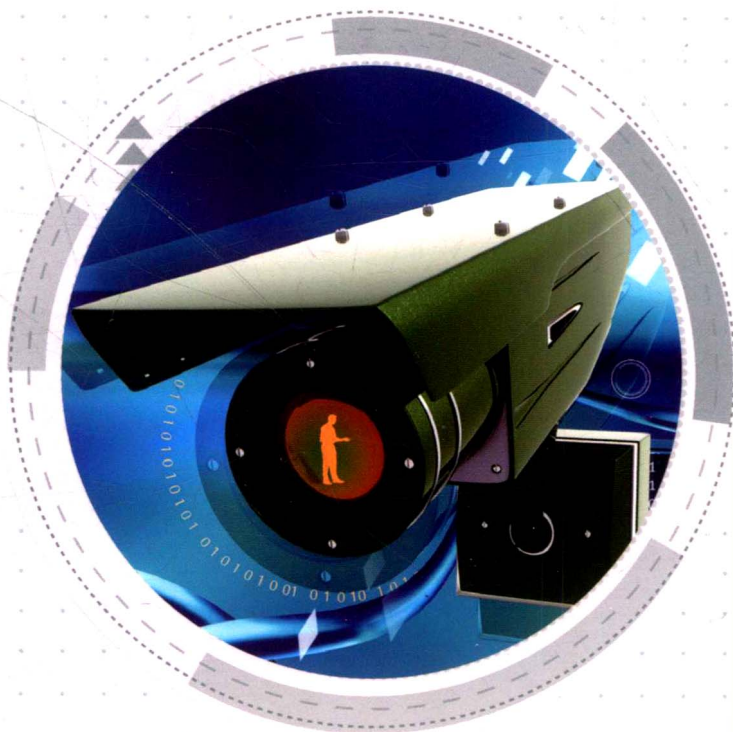


IMAGE TARGET
DETECTION AND APPLICATION

图像目标检测 技术及应用

陈哲 王慧斌 编著



中国工信出版集团

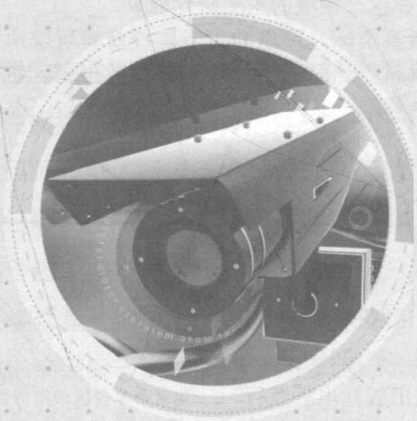


人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

IMAGE TARGET
DETECTION AND APPLICATION

图像目标检测 技术及应用

陈哲 王慧斌 ○ 编著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

图像目标检测技术及应用 / 陈哲, 王慧斌编著. --
北京: 人民邮电出版社, 2016.5
ISBN 978-7-115-41879-1

I. ①图… II. ①陈… ②王… III. ①图象处理—目
标检测 IV. ①TN911.73

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第060611号

内 容 提 要

本书系统阐述了图像目标检测的有关概念、原理和方法,共分10章。第1章简要介绍了图像目标检测的意义和应用,第2章介绍了光学成像过程模型与图像处理,第3章介绍了基于适应性模型的动态环境背景建模方法,第4章介绍了基于非线性降维强散射环境中图像特征提取方法,第5章介绍了基于先验知识的图像目标分割方法,第6章介绍了压缩域图像处理与运动目标分割方法,第7章介绍了仿生视觉模型与图像处理,第8章介绍了仿蛙眼视觉分层机制的强散射环境背景建模方法,第9章介绍了仿螳螂虾视觉正交侧抑制的偏振图像特征提取方法,第10章介绍了仿螳螂虾视觉适应机制的图像目标分割。本书是图像目标检测方面的专著,反映作者近年来在这一领域的主要研究成果。

本书内容新颖,理论联系实际,可作为大专院校及科研院所图像处理、计算机视觉和视频处理等领域的高年级本科生、研究生的教学和参考用书,也可供相关领域的教师、科研人员及工程技术人员作参考。

◆ 编 著 陈 哲 王慧斌

责任编辑 邢建春

执行编辑 肇 丽

责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

固安县铭成印刷有限公司印刷

◆ 开本: 700×1000 1/16 彩插: 4

印张: 14 2016年5月第1版

字数: 240千字 2016年5月河北第1次印刷

定价: 78.00元

读者服务热线: (010) 81055488 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

前言

近年来,随着信息技术的快速发展,图像目标检测技术也已成为计算机视觉研究领域中的一个重要课题,在视频监控中具有广泛的应用。首先,计算机处理能力不断提高,存储及计算成本和复杂度大幅降低,使海量、高分辨率、高实时性的图像采集和存储成为可能;其次,图像目标检测技术极为广阔的市场应用前景也是推动此项研究的主要动力。图像目标检测技术包含图像信息增强与恢复、图像目标特征提取、图像目标分割、分类等研究内容,涉及目标探测、智能交通、人机交互和虚拟现实等领域的应用。

本书将系统阐述图像目标检测的有关概念、原理和方法。在内容上既选择了有代表性的图像目标检测的经典内容,又结合复杂场景中所面临的困难和问题及作者近年来关于图像目标检测关键技术的研究与应用实践,选取了一些新的研究成果,具有一定的针对性、广度、深度和新颖性。

本书共分 10 章,主要包括:图像目标检测的意义和应用、图像成像过程模型与图像处理、基于适应性模型的动态环境背景建模、基于非线性降维的图像特征提取、基于先验知识的图像目标分割、图像压缩域处理与运动目标分割、仿生视觉模型与图像处理、基于仿蛙眼分层模型的强散射环境背景建模、基于仿生视觉分层机制的强散射环境背景建模、基于仿生视觉适应机制的图像目标分割。

第 1 章简要介绍了图像目标检测的意义和应用。首先简单分析了图像目标检测中的不确定性问题及主要的影响因素,进而阐述了图像目标检测的框架及其关键技术,最后介绍了智能视频监控的背景、意义和一些典型的系统。

第 2 章介绍了光学成像过程模型与图像处理。以水下成像场景代表典型复杂成像场景为例,通过对光线的传播特性和目标表面的辐射特性的建模,综合建立光学成像过程模型并实验验证。在此基础上,继续阐述基于该成像过程模型的水下图像恢复方法并实验验证。

第 3 章介绍了基于适应性模型的动态环境背景建模方法。背景建模是图像目标检测中主要的一类技术,为了克服天气、光照、阴影变化以及动态噪声对图像目标检测

的影响,本章分别介绍了基于自适应混合高斯模型及稀疏表征模型的背景建模及更新方法,能够适应动态场景中的背景变化。

第4章介绍了基于非线性降维强散射环境中图像特征提取方法。针对强散射环境中图像临近像素点间的信息冗余严重影响图像特征提取结果的可信性这一问题,介绍了基于非线性降维的图像特征提取方法。以水下成像场景代表典型复杂成像场景为例,实验验证了该类非线性特征在图像目标—图像背景分类及图像目标检测中的性能优势。

第5章介绍了基于先验知识的图像目标分割方法。本章针对复杂的光学环境及复杂的背景下常用的图像目标分割方法常表现出不适应性这一问题,以水下成像场景代表典型复杂成像场景为例,对图像特征进行分析,归纳出目标与背景间在某些特征上的显著差异作为先验知识,并基于此实现图像目标分割。

第6章介绍了压缩域图像处理与运动目标分割方法。压缩域中直接进行视频图像处理操作,能够避免相对耗时的解码操作,有助于降低视频图像处理的计算复杂度。针对这一研究,本章介绍了基于脉冲耦合神经网络(PCNN)的压缩域运动图像目标分割方法并实验验证。

第7章介绍了仿生视觉模型与图像处理方法。生物视觉具有非常优秀的信息处理和数据筛选能力,对其模拟并应用于图像处理是目前研究的热点。本章对该领域中的研究进行了简单的总结,并对目前研究成果较为集中的几种生物视觉系统进行了简要的概述。

第8章介绍了仿蛙眼视觉分层机制的强散射环境背景建模方法。针对强散射环境中影响运动图像目标检测正确率下降的问题,本章借鉴蛙眼视觉感知的相关特性,仅利用图像序列中的灰度信息,结合仿生背景建模方法,阐述了一种仿蛙眼式分层背景建模方法,并以水下光学环境代表典型强散射环境为例实现图像运动目标分割。

第9章介绍了仿螳螂视觉正交侧抑制的偏振图像特征提取方法。针对偏振图像计算时,如何建立偏振特征—目标特性间的对应关系同时抑制冗余信息及噪声这一问题,本章阐述仿螳螂视觉正交侧抑制的偏振计算方法,以提取出用于图像目标检测的偏振特征,并在水下场景中对其进行实验验证。

第10章介绍了仿螳螂视觉适应机制的图像目标分割方法。针对复杂场景中图像目标分割中所存在的问题,受到螳螂视觉适应机制的启发,本章以水下图像目标

分割过程为例，阐述复杂场景中基于仿生视觉适应机制的图像目标分割方法。

本书第 1~8 章、第 10 章由陈哲，王慧斌编写；第 9 章由陈哲、王慧斌、沈洁和徐立中编写；全书由陈哲和王慧斌统稿。

本书是作者在近年来研究工作的基础上写作而成的。在成书之际由衷地感谢作者的导师徐立中教授，感谢他多年来对作者的培养和悉心指导，有幸在他所领导的课题组中参加科研工作并得到锻炼，使作者受益一生。

衷心地感谢王志坚教授提供了优良的博士后研究工作环境，奠定了本书的写作基础。

在研究和写作过程中，课题组张倩、吴正军、包金字、沈俊雷等提供了本书的部分素材，在此向他们表示衷心的感谢。

向所有的参考文献作者及为本书出版付出辛勤劳动的同志们表示感谢。

限于作者的水平，书中难免有缺点和不完善之处，恳请广大读者批评指正。

陈哲于河海大学
2015 年 5 月 11 日

目录

第1章 绪论

1.1 图像目标检测的意义和应用	2
1.2 图像目标检测处理的主要影响因素	3
1.3 图像目标检测框架及关键技术	5
1.4 视频智能监控系统	13
参考文献	16

第2章 光学成像过程模型与图像处理

2.1 引言	26
2.2 光线的传播特性	27
2.3 光线的辐射特性	30
2.4 目标表面辐射及成像模型	33
2.5 对光学成像过程模型的实验与分析	37
2.6 图像处理及原始图像目标信息恢复	41
2.7 光照的非均匀分布与参数估计误差	42
2.8 光学成像过程模型优化及参数估计	43
2.9 区域化图像处理及图像恢复方法	53
2.10 实验与分析	55
参考文献	59

第3章 基于适应性模型的动态环境背景建模

3.1 引言	64
3.2 基于自适应混合高斯模型的背景建模方法	65
3.3 基于稀疏表征的背景建模方法	71
参考文献	87

第4章 基于非线性降维强散射环境中图像特征提取

4.1 引言	90
4.2 强散射光学环境与图像信息冗余	92
4.3 水下图像非线性降维及特征提取	93
4.4 图像非线性特征提取及分类器设计	96
4.5 实验与分析	98
参考文献	100

第5章 基于先验知识的图像目标分割

5.1 引言	104
5.2 先验知识学习	105
5.3 基于显著度阈值的图像目标分割	107
5.4 实验与分析	109
参考文献	114

第6章 压缩域图像处理与运动目标分割

6.1 引言	116
--------	-----



6.2 H.264 压缩域内脉冲耦合神经网络融合方法	117
6.3 压缩域内 PCNN 融合模型	120
6.4 基于 PCNN 融合的压缩域分割算法	123
6.5 实验与分析	125
参考文献	132

第 7 章 仿生视觉模型与图像处理

7.1 生物视觉机理	136
7.2 人眼视觉注意机制	139
7.3 蛙眼视觉分层感知机制	143
7.4 螳螂虾视觉正交侧抑制机制	146
7.5 仿生视觉机制的图像处理	147
参考文献	149

第 8 章 仿蛙眼视觉分层机制的强散射环境背景建模

8.1 引言	156
8.2 蛙眼视觉感知方式和信息处理模式设计	156
8.3 仿蛙眼式分层背景建模的运动目标检测	158
8.4 实验与仿真	166
参考文献	168

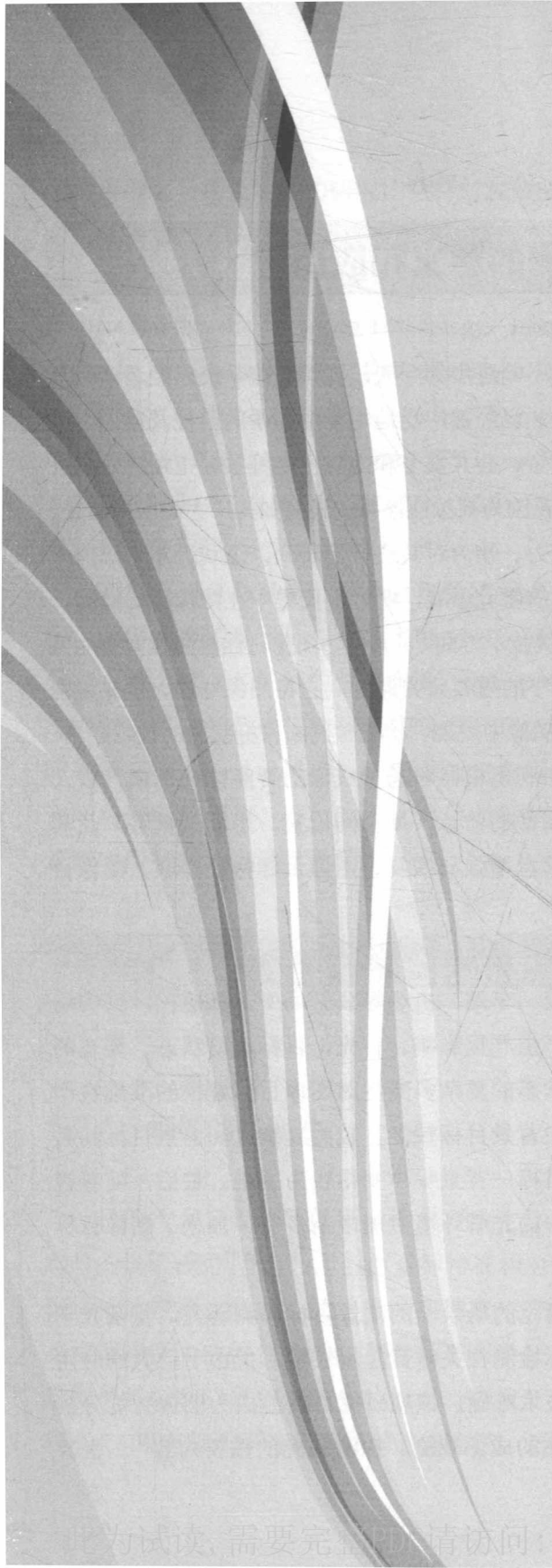
第 9 章 仿螳螂虾视觉正交侧抑制的偏振图像特征提取

9.1 引言	172
--------	-----

9.2 仿螳螂虾视觉正交侧抑制机制模型的偏振信息计算	173
9.3 基于模板及机器学习的偏振正交侧抑制模型参数优化	179
9.4 实验与讨论	181
参考文献	191

第 10 章 仿螳螂虾视觉适应机制的图像目标分割

10.1 引言	194
10.2 水下生物视觉的适应机制	194
10.3 仿生物适应机制建模及参数估计	197
10.4 基于视觉注意机制模型的特征提取及参数 r 估计	200
10.5 水下图像目标分割	202
10.6 实验与分析	204
参考文献	213



第 1 章

绪 论

- 1.1 图像目标检测的意义和应用
- 1.2 图像目标检测处理的主要影响因素
- 1.3 图像目标检测框架及关键技术
- 1.4 视频智能监控系统

1.1

图像目标检测的意义和应用

在社会经济快速发展和科学技术不断进步的今天,视频监控系统已经逐渐融入了人们日常的工作、学习和生活中,已经被广泛地用于对场景的监视及监控。近几年,视频监视、监控系统在商业安全、公共安全和国防安全等领域正发挥着越发重要的作用,市场需求也越来越大。正因为视频监控系统具有如此广泛的应用前景,因此很多国家和科研机构投入大量人力、物力对其进行了研究。纵观近年来国内外科研机构和各大公司对视频监控技术的研究进展,研究主要集中在图像目标检测、图像目标跟踪、运动识别与分析等关键技术方面^[1]。其中,图像目标检测作为智能监控的前端处理过程,已成为机器视觉中的重要研究课题,它将图像处理、模式识别等学科有机结合,形成了一种从视频图像中发现、检测并判断目标状态的技术。

机器视觉中的图像目标检测是指利用机器对场景成像的智能化处理来代替人类视觉感知过程,完成对图像目标属性的估计(如空间位置、运动矢量等)及其基础上的目标分类任务,含有图像信息增强与恢复、图像目标特征提取、图像目标分割与分类等内容。

图像目标检测技术一直都是智能化视频监控领域研究的热点^[2,3],更是难点。在实际应用中,如超市、银行、学校、车站、机场等公共场所,其监控区域的场景常较为复杂,会对图像目标检测产生严重影响。首先,目标运动状态、姿态的多变性以及目标间相互遮挡等目标状态的复杂多变性对图像目标建模的准确性产生严重影响。其次,由于室外场景中背景目标较多、较为复杂且同前景目标间具有很强的相似性,使有效拉伸前景目标—背景噪声变得较为困难。最后,随着视频监控应用场景的不断扩大,场景中的光学环境更加复杂多变,加剧了图像目标检测任务的困难性。

相比光学特性较为简单且背景稳定的场景中的图像目标检测研究,复杂光学环境及复杂背景等场景中的图像目标检测相关研究起步较晚,但由于巨大的应用需求以及复杂场景所形成的固有的技术难题,该项研究目前已成为图像智能分析的前沿和热点,也是国际上备受关注的成像观测、探测研究的重要内容^[4]。世界



上许多国家与视觉相关的研究团队针对视频监控中的图像目标检测及识别等方面做出了大量的工作,并在众多著名国际期刊(如 IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence、IEEE Transactions on Image Processing、IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology、International Journal of Computer Vision、Computer Vision and Image Understanding、Image and Vision Computing、Pattern Recognition、Neurocomputing、Pattern Recognition Letters、Machine Vision and Applications、IET Computer Vision、IET Image Processing 和 IET Signal Processing 等)和重要国际会议(如 ICCV、ECCV、CVPR、BMCV、VS-PETS、ICDSC 和 ICASSP 等)上发表了相关论文。

研究面向复杂场景的图像目标检测技术具有挑战性,涉及图像目标检测过程中的多项关键技术,以使其具备对复杂场景的“适应”和“学习”能力。该研究有赖于综合多学科的研究成果,也需要引入专家经验并模拟生物视觉机制,综合解决复杂场景成像建模及图像预处理、图像目标特征提取、融合、检测及识别等多方面的技术难题。研究面向复杂场景中图像目标检测技术对提高复杂光学场景中的观测、监控水平,并进而推动基于机器视觉智能化场景理解的理论和应用研究具有重要意义。

1.2

图像目标检测处理的主要影响因素

1.2.1 场景的多变性

目前,大多数的图像目标检测方法主要从对背景信息的分析出发,以建立背景的模板模型^[5,6]。利用图像目标特征相对于背景信息的“奇异性”实现对图像目标的检测。然而,随着现今视频监控应用领域的不断扩大,由于包含较多的纹理特征和虚假目标,复杂背景不再满足正态分布特性,同时由于缺乏对前景图像目标和背景信息的先验信息,导致复杂背景描述困难,检测结果虚警率较高。现有算法不论是采用统计学方法,还是采用非线性的、确定性的、几何

的数学方法,以及机器学习的方法试图消除背景非一致性或弱化背景中的主要结构,以解决复杂背景的描述和抑制问题,均存在一定的局限性。具体表现在:(1)构建复杂背景模型所需的概率密度函数估计较为困难;(2)各种背景复杂度抑制算法病态、不适定,无最优解;(3)检测算法计算原理复杂、计算量较大、实时性较差;(4)机器学习的样本甄选困难。

1.2.2 成像环境的复杂性

对于成像检测,水下世界中包含有较为典型且为人们所熟知的复杂光学环境。以水下成像检测为例^[7],介绍复杂环境中图像目标检测所面临的困难。不同于陆地或大气成像环境,水下环境受到辐射光源、水介质的光线传播特性以及波流涌动的影响表现出较为复杂的光学特性。(1)在光线的传播过程中,水介质对光线能量的吸收作用一方面降低光波的振动幅度,限制水下成像的有效视距;另一方面改变目标反射光线的色彩信息,产生色彩畸变。其次,水介质对光线的散射和折射作用会改变光线的传播方向,使图像模糊,形成叠加光幕光噪声。(2)水介质的光学特性还具有随机性。该随机性是指水体的波流涌动作用会显著改变水体折射率、散射率以及衰减系数等水介质光学传播特性,使水下光学环境在不同时刻发生历时变化。(3)水介质的光学特性具有多样性。多样性是指同一时刻相同光照条件下不同水体的水下光学环境会因悬浮颗粒物及有机物含量的变化而变化,并且,同一水体的光学环境也并非均匀的,会随着水深的变化而发生变化。

限于水下光学环境的复杂性。陆地上或大气中的光学成像设备并不能够很好地适用于水下作业,表现为水下图像数据的强衰减、高畸变和高噪声,严重影响机器对水下图像目标检测的准确性^[8]。虽然,通过附加大功率人工光源补光的策略,虽然能够在一定程度上缓解这些问题,但是随之又引入了一些新的问题和噪声,如非均匀光照和强光幕光。对于这些问题的解决,必须有赖于更加顽健的适用于复杂环境的目标检测技术的支持。然而,相比较简单、稳定光学环境中的图像目标检测技术研究,面向复杂环境的图像目标检测技术研究起步较晚,从近年来已取得的研究成果来看,对于水下图像目标检测研究,多是移植、改进适用于陆地或大气中较为简单、稳定环境中的图像目标检测技术,难以很好地适应复杂水下环境。这种“适



应性”较差的瓶颈严重降低机器对水下、雾天等一类复杂环境中图像目标检测的正确率以及计算效率。2000年,国际著名刊物《Computer Vision and Image Understanding》在专刊《Underwater Computer Vision and Pattern Recognition》的序言中写道:“水下世界无疑是一个困难并充满挑战的环境,对该场景的探索需要综合多学科的研究成果。限于水介质所固有的传播特性,仅能够采用有限的几种传感器获取数据,包含有限量的知识。目前,对水下机器视觉的研究热情日益高涨,并在物理学、生物学、地理学、考古学以及工业领域的应用日益突出。此外,随着高性能光学成像传感器的推广及各种数据处理技术的逐渐成熟,点燃了越来越多的学者和机构对水下复杂环境中目标检测与分类的研究热情”。

1.2.3 图像目标的随机性

图像目标对象的多变性是图像目标检测方法所面临的另外一个主要问题。首先,图像目标遮挡会严重影响图像目标信息的完整性,按照遮挡类别的差异,可以分为静止物体遮挡、运动物体遮挡、目标的自遮挡;按照遮挡的程度差异,可以分为部分目标遮挡和全部目标遮挡^[9]。对于遮挡部分的检测和估计是该条件下图像目标检测的关键。其次,目标类别多变,对于图像目标跟踪,会选取不同类别的图像目标作为兴趣目标。对于不同类别的目标,如行人目标、车辆目标或者军事目标,其特征及建模方式均有着明显的差异。因此,难以建立统一的特征及模板模型描述多变类别的目标。最后,即便是统一类别或同一目标,在运动过程中,其外貌和状态会发生明显变化,形成了目标形态的多变性,难以采用统一的特征或模板模型描述同一类别,甚至是同一个图像目标。

1.3

图像目标检测框架及关键技术

1.3.1 图像目标检测框架

机器视觉中的图像目标检测是指利用机器对场景成像的智能化处理来代替人

类视觉感知过程,完成对图像目标属性的估计(如空间位置、运动矢量等)及其基础上的目标分类任务,含有图像信息增强与恢复、图像背景建模、图像目标特征提取、图像目标分割、分类等内容。

图像目标检测是判断视频序列或图像中是否存在兴趣目标,并从视频图像序列中提取出兴趣目标,以估计图像目标的位置、区域、形状、类别等特性。图像目标检测是视频跟踪、图像目标识别等视频监控中的关键技术,检测的结果将直接影响视频监控系统的总体性能。

目前,图像目标检测方法主要采用两种技术策略。第一种是通过建立先验的背景模型,当待测图像输入时,检测出图像中所存在的“奇异”信息,将其作为兴趣图像目标。第二种是通过图像特征提取及识别,以实现对图像的分割,从而提取出兴趣目标。前者较为适用于背景较为稳定但目标信息多变的场景;而后者更加适用于背景复杂或光学环境多变的场景。

1.3.2 图像背景建模

基于背景建模的目标检测算法通过建立背景信息的先验模型,判断图像中可能存在的“奇异”信息,并将其作为兴趣图像目标。按照背景模型的差异可以分为基于局部背景建模的图像目标检测算法和基于全局背景建模的图像目标检测算法。

(1) 基于局部背景建模的图像目标检测算法

1976年,美国亚利桑那大学的 Hunt 和洛斯阿拉莫斯实验室的 Cannon 等^[10]首先提出的背景局部灰度统计特性服从高斯分布的理论,该理论为利用目标与背景的灰度分布差异实现图像目标检测的研究奠定了基础。在该工作的基础上,发展起来基于局部高斯背景模型的图像目标检测算法。由于采用的多是一维高斯模型,算法仅能描述分布状态较为简单、区块面积较小的图像数据。通过将图像的局部区域的信息用高斯模型进行拟合,并判断区域中所可能存在的兴趣目标。目前,该方法实现了单波段遥感影像及灰度图像中的目标检测。此外,基于恒定虚警率的目标检测算法——RX 算法^[11](RXAD, Reed-Xiaoli Anomaly Detection)通过背景高斯模型协方差矩阵的估计获得背景描述,在恒定虚警率条



件下检测图像特征分布异常的目标。由于该算法具有恒定的虚警率,因此也叫做恒虚警率目标检测算法(CFAR, Constant False Alarm Rate)。高斯模型具有原理简单、易于处理等特点,而且在背景可高斯化理论的推动下,基于高斯模型的CFAR算法^[12]被广泛地应用于各类图像中的图像目标检测,如单波段、多波段以及合成孔径雷达影像的目标检测中。然而,背景协方差矩阵的估计与局部采样窗口大小、背景噪声的种类等因素有关。为了保证局部背景特征信息服从高斯分布,通常选择较小的采样窗口以避免背景信息的扰动,然而过小的采样窗口中包含的图像数据较少,导致协方差矩阵呈现严重的病态性,稳定性较差;而较大的采样窗口又容易导致背景包含较多的噪声信息而失去高斯分布特性。除此以外,若采样窗口中包含了目标像素,将会导致算法对于图像目标的敏感性降低。另外,协方差矩阵以及其逆矩阵的估计通常需要较大的计算量,局部窗口对于目标尺寸具有一定的限制性,而且无法区分局部异常目标和全局异常目标。针对以上问题,基于CFAR算法的各种改进算法不断涌现,如双窗口的目标检测算法^[13]、基于CFAR-MAP模型的目标检测算法^[14]、基于分割的CFAR算法^[15,16]和基于准局部的RX的目标检测算法^[17]。

局部背景建模的目标检测算法还广泛地应用在亚像素级目标检测中,通常有广义似然概率算法^[18]、自适应匹配滤波器算法和自适应一致性估计算法等。多通道自回归模型是一种有效描述图像数据的时域相关方法,其中带参数的多通道自回归模型也叫做参数自适应匹配滤波器^[19],是在背景一致性较差情况下有效的图像目标检测算法。基于滑动窗口的非静态多通道自回归模型用以解决亚像素级图像目标检测问题,通过最大似然概率估计获得NS-AR的参数。然而这些算法都是基于背景协方差矩阵的图像目标检测算法,由于背景协方差矩阵的估计往往需要图像信息分布较为一致的区域才可以获得准确的背景估计,因此该类算法存在一定的局限性。

(2) 基于全局背景建模的图像目标检测算法

基于全局背景建模的图像目标检测算法通常采用多元混合高斯模型(GMM, Global Mixture Model)为基础,利用背景、目标间的分类简化背景信息分布特性,实现图像目标检测。基于贝叶斯聚类的图像目标检测算法(CBAD, Cluster-Based Anomaly Detection)通过对场景中复杂背景的分类,将复杂背景的图像特性分为