

[illegible]

中国工信出版集团



電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

核方法和线性子空间方法 及其在图像目标检测中的应用

刘瑞明 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书主要阐述红外小目标检测的模式识别算法,以提高目标检测概率,系统地提出了基于子空间(包括线性子空间和非线性子空间)的红外点目标检测算法。此外,如何提高红外目标的跟踪精度也是本书的重要内容之一。全书共7章:红外目标检测基础,线性子空间方法检测红外点目标,支持向量机简介,非线性子空间算法检测红外点目标,子空间目标检测和Kalman预测相结合的红外点目标跟踪方法,基于多特征伪彩色图像和均值漂移算法的红外面目标跟踪,总结与展望。

本书可作为高等学校相关专业本科及研究生的指导书,也可供相关领域的工程技术人员学习、参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

核方法和线性子空间方法及其在图像目标检测中的应用/刘瑞明著.—北京:电子工业出版社,2015.10

ISBN 978-7-121-27066-6

I. ①核… II. ①刘… III. ①线性子空间—应用 ②图像处理—研究 IV. TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第270666号



策划编辑:王晓庆

责任编辑:王晓庆

印刷:北京京师印务有限公司

装订:北京京师印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开本:787×980 1/16 印张:10.25 字数:262千字

版次:2015年10月第1版

印次:2015年10月第1次印刷

定价:58.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

目标检测是早期预警、安全监控、目标搜索跟踪、导弹制导等军事和民用领域中一项非常关键的技术，许多科研机构的大批科研工作者致力于该项技术的研究。现代战争是高技术条件下的激烈对抗，这就要求武器系统具有远距离检测和跟踪目标的能力，以赢得更多的应对时间，从而在战场中取得主动。在各种目标中，红外点目标的检测是实际应用较多，也是技术难度较大的一种目标检测技术。当目标距离红外探测器较远时，红外目标在图像中的面积很小，对比度很低，没有明显的纹理、结构等特征，使目标的检测和跟踪非常困难。此外，通常情况下，由于目标所处的背景极其复杂，目标被大量出现的杂波和噪声所污染，使红外目标的处理更加困难。目前国内、外学者已经提出了一些红外目标的检测和跟踪算法。传统的红外目标检测方法主要是基于高通或低通滤波和统计学滤波，后来又出现了基于二维最小二乘的检测方法。值得注意的是，随着模式识别技术的发展，基于该技术的检测方法正逐渐成为一个新的研究热点。

本书主要阐述红外小目标检测的模式识别算法，以提高目标检测概率，系统地提出了基于子空间（包括线性子空间和非线性子空间）的红外点目标检测算法。此外，如何提高红外目标的跟踪精度也是本书的重要内容之一。一幅包含目标的数字图像可以被视为包含目标数据和背景数据的数据集，目标检测任务就是将目标数据从数据集中挑选出来。因此，目标检测问题可以被转化为一个两类模式的识别问题，任何一种模式识别的分类算法都可以用来完成目标检测任务。本书的着眼点是用于子空间方法来完成红外目标的检测，阐述如何通过子空间方法检测红外目标，并验证其性能，就此我们利用线性子空间理论提出了 Eigentargets 和 Fishertarget 的概念，并与另一种子空间方法 Fukunaga-Koontz 变换一起用于红外点目标的检测。线性子空间方法只能提取目标的二阶统计特性，为了能挖掘目标的高阶统计特性，线性子空间检测方法被推广到高维特征空间，给出基于核方法的目标检测算法。因为原始红外目标的特征很弱（或很少），为了能使跟踪算法的精度更高，我们提出多特征图像的概念，首先提取图像的 Gabor 特征和熵特征，然后将这些特征生成的图像和灰度图像合成多特征图像，均值漂移算法在多特征图像上的跟踪精度远高于在原灰度图像上的跟踪精度。

本书的编写参考了大量近年来出版的相关技术资料和发表的学术论文，吸取了许多专家和同仁的宝贵经验，在此向他们深表谢意。特别感谢中国矿业大学 2014 级研究生张珍同学对本书资料整理所做的辛勤工作！

由于本人学术水平所限，书中误漏之处难免，望广大读者批评指正。

作 者

2015 年 9 月

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市海淀区万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 红外目标检测基础	1
1.1 引言	1
1.2 红外图像基础	1
1.2.1 图像及数字图像	1
1.2.2 红外图像	2
1.3 研究背景	5
1.3.1 目标检测技术	5
1.3.2 目标跟踪	8
1.4 目标检测和目标跟踪的性能评价指标	12
1.4.1 目标检测评价指标	12
1.4.2 目标跟踪评价方法	13
1.5 内容概况	13
第 2 章 线性子空间方法检测红外点目标	16
2.1 引言	16
2.2 几种常见的红外点目标检测方法	17
2.2.1 二维最小二乘法	18
2.2.2 最大均值滤波和最大中值滤波法	19
2.2.3 基于形态滤波的方法	23
2.2.4 小波分析法	24
2.3 线性子空间概述	25
2.4 基于 Eigentargets 的红外点目标检测方法	26
2.4.1 主成分分析基础	26
2.4.2 Eigentargets 的概念和红外点目标检测	28
2.5 基于 Fishertarget 的红外点目标的检测方法	33
2.5.1 Fishertarget 的定义和计算方法	34
2.5.2 用 Fishertarget 检测红外点目标	35
2.5.3 实验验证	37
2.6 Fukunaga-Koontz 变换检测红外点目标	38

2.6.1	Fukunaga-Koontz 变换	38
2.6.2	用 Fukunaga-Koontz 变换进行分类	39
2.6.3	用 Fukunaga-Koontz 变换检测红外点目标	40
2.6.4	实验验证	41
2.7	几种子空间算法的讨论和实验比较	42
2.7.1	几种线性子空间算法检测红外点目标的讨论	42
2.7.2	对高斯灰度模型 (GIM) 的修正	43
2.7.3	几种子空间检测算法的实验比较	47
2.8	小结	56
第 3 章	支持向量机简介	58
3.1	引言	58
3.2	支持向量机的起源及模式识别基础	58
3.3	支持向量机的数学模型	61
3.3.1	线性支持向量机	61
3.3.2	非线性支持向量机	63
3.4	超参数的优化	64
3.4.1	超参数及其分布特征	65
3.4.2	进化策略和网格搜索	66
3.4.3	ES-GS 方法的超参数优化	67
3.5	实验结果和讨论	68
3.5.1	实验数据和程序	68
3.5.2	结果与讨论	68
3.6	小结	69
第 4 章	非线性子空间算法检测红外点目标	70
4.1	引言	70
4.2	核方法基础	70
4.2.1	核方法的基本思想	71
4.2.2	常用的核函数	72
4.2.3	核方法的发展及应用	73
4.3	核 PCA 检测红外点目标	73
4.3.1	核 PCA	74
4.3.2	核 PCA 检测红外点目标	75

4.3.3 核 PCA 和 Eigentargets 目标检测性能的比较	77
4.4 核 FLD 检测红外点目标	80
4.4.1 核 FLD	81
4.4.2 用核 FLD 检测红外点目标	83
4.4.3 核 FLD 和 Fishertarget 目标检测性能的比较	84
4.5 核 FKT 检测红外点目标	87
4.5.1 核 FKT 的理论	87
4.5.2 用核 FKT 进行分类	89
4.5.3 基于核 FKT 的红外点目标检测方法	91
4.5.4 核 FKT 和线性 FKT 目标检测性能的比较	92
4.6 几种核方法的讨论和实验比较	94
4.6.1 几种核方法的实验比较	95
4.6.2 线性子空间检测和核方法检测的时间指标比较	99
4.7 基于线性子空间和核方法的人眼检测	99
4.7.1 利用 PCA 提取人眼特征	100
4.7.2 非线性相关系数	100
4.7.3 人眼检测	101
4.7.4 实验结果与讨论	102
4.8 小结	104
第 5 章 子空间目标检测和 Kalman 预测相结合的红外点目标跟踪方法	105
5.1 引言	105
5.2 状态估计理论基础	106
5.2.1 最优状态估计及其准则	106
5.2.2 基于贝叶斯的最优状态估计	109
5.2.3 离散系统的状态估计	110
5.2.4 基于贝叶斯的最优状态估计与递推贝叶斯滤波	110
5.3 卡尔曼系滤波器	112
5.4 子空间检测和 Kalman 预测相结合实现红外点目标跟踪	113
5.4.1 Kalman 滤波的动态方程	114
5.4.2 红外点目标的跟踪框架	115
5.5 实验及结果分析	116
5.6 小结	123
第 6 章 基于多特征伪彩色图像和均值漂移算法的红外面目标跟踪	124

6.1	引言	124
6.2	基于均值漂移的目标跟踪方法	125
6.2.1	目标的描述	125
6.2.2	相似性函数	126
6.2.3	目标的定位	127
6.3	红外目标跟踪的问题及多特征伪彩色图像概念的提出	128
6.4	多特征伪彩色图像的生成及红外目标的跟踪方法	129
6.4.1	初步探索的两种可用特征	129
6.4.2	基于 MFPCI 和均值漂移算法的红外目标跟踪	130
6.4.3	跟踪实验及结果讨论	132
6.5	小结	136
第 7 章	总结与展望	137
7.1	全书工作回顾与总结	137
7.2	未来工作展望	139
参考文献		140

第1章 红外目标检测基础

1.1 引言

红外成像技术自诞生之日起,就一直是军用和民用领域的研究热点。尤其是在军用领域,由于红外探测是无源被动探测,具有良好的隐蔽性和抗干扰能力,探测距离较远,且能昼夜工作,使红外技术被广泛应用于战区预警、目标搜索和精确制导。在现代战争中,作战武器都是各种高新技术集成的结果,具有体积小、速度快、威力大等特点,为了使我方系统有足够的应对时间,要求指控系统能在越远的距离上探测到目标越好,但在该条件下,目标在成像器上呈现为斑点状小目标(通常即指点目标),对其进行检测和跟踪具有较大难度。作为红外制导、目标搜索、目标跟踪和战区预警的一项关键技术,红外目标的检测与跟踪一直是红外图像处理领域的关注焦点之一。国内、外一些刊物经常发表一些关于红外目标检测和跟踪的文章,如 IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems、IEEE Transactions on Signal Processing、IEEE Transactions on Image Processing、IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics、Optical Engineering 等。还有一些专门针对红外技术的期刊,如 The Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves、Infrared Physics & Technology、红外与激光工程、红外与毫米波等国际或国内刊物。此外,自 1989 年开始,国际光学工程学会(the International Society for Optical Engineering, SPIE)每年都会举办一次名为“Signal and Data Processing of Small Targets”的国际性会议,专门就红外目标(特别是红外弱小目标)处理的软、硬件实现问题展开研讨。综合国内、外的研究现状及军民两用领域的技术需求,不夸张地说,红外目标的检测和跟踪问题是关系到一个国家军事安全的大事,探索新的目标检测和跟踪方法,提高目标检测性能和目标跟踪精度,是一项必需且十分紧迫的技术任务。

1.2 红外图像基础

1.2.1 图像及数字图像

图像是图形和影像的总称,是通过照相机、摄像机和手机等设备,对自然界的景物或

现象的一种记录。早期对图像的记录是通过模拟量来实现的,以某种物理量,如光或电信号的强弱来描述图像的亮度信息。由于模拟图像在采集、传输、存储、计算和显示时都不太方便,在计算机技术发展的推动下,模拟图像已广泛地被数字图像所代替。数字图像可分为二维图像(本书的后续内容中简称为图像)和三维图像,三维图像可以用二维图像来构成。二维数字图像以方阵的形式存在,其最小单位为像素(Pixel),可以用矩阵来进行表达,图像的采集、计算和显示都非常方便。如果将模拟图像网格化,并对每个像素进行量化,可转换成数字图像。数字图像的每个像素用数值来表示,数值的大小具有不同的物理意义。常用的图像有二值图像、灰度图像和彩色图像等。二值图像中的每个像素仅有两个取值:0或1,常被用来表示意义相反的两种状态:如是否有边缘,有边缘的地方为1(亮区),不存在边缘的地方为0(暗区);是否有目标存在,目标存在为1,不存在为0。灰度图像和彩色图像通常使用二进制数来描述,按照二进制的位数可分为8位、16位、24位等。以8位二进制灰度图像为例,每个像素被划分为 2^8 个亮度等级,0表示亮度最小,255表示亮度最大。不同于二值图像,灰度图像具有较好的层次感,可以记录除颜色以外的大部分景物特征,以前的黑白照片和电影可以视为灰度图像。彩色图像的每个像素包含颜色信息,每个像素包含三个值,分别对应三种不同颜色的强度,如红(R)、绿(G)、蓝(B)。随着计算机科学的发展,数字图像处理技术得到了极大的推动,常用的技术包括:降噪、分割、图像增强、配准、边缘检测、目标检测及目标跟踪等,其应用范围十分广泛。

1.2.2 红外图像

1800年,英国天文学家威·赫谢耳(W. Herschel)在研究太阳光谱的热效应时发现,产生最大热效应的是在可见光谱的红端以外的射线,后来人们就称它为红外线。红外线就是波长介于 $0.75\sim 1000\mu\text{m}$ 之间的电磁辐射。在红外技术领域,由于不同波长的红外辐射在地球大气层中传输特性的不同,通常又把整个红外辐射分成下列几个波段,分别称为:近红外(波长范围 $0.75\sim 3\mu\text{m}$);中红外(波长范围 $3\sim 6\mu\text{m}$);远红外(波长范围 $6\sim 15\mu\text{m}$);极远红外(波长范围 $15\sim 1000\mu\text{m}$)。20世纪初,科学工作者开创了红外学谱和精密辐射学的应用,对恒星和行星的温度进行了辐射测量,并把红外光源用于医疗工程。1920—1950年间,出现了红外探测、保密通信、防盗预警、温度遥测等专利技术。第二次世界大战期间,红外探测、红外夜视等军用红外技术相继出现,具有夜视能力的美国部队占据了极大的战场优势,美国武装力量因此基本上控制了夜间的战局。最初的夜视器件要用加冷却的探测器,以便获得探测热辐射所要求的灵敏度。先进的前视红外系统(Forward Looking Infrared System, FLIR)设备使用碲镉汞材料做传感器,可以探测红外谱的不同区段。为了提高信噪比,加冷却的探测器得到能够在芯片上进行处理的优质信号,然后通过量化,用常规方法显示影像。

所有物体都产生红外辐射(红外波段的光线),且物体温度越高,其辐射越强,红外探测就是根据这一特性而产生的技术。不同物体发出的红外辐射不同,绝大部分攻击性武器,如飞机、导弹、坦克、战车、舰艇及人员的活动都有明显的红外特性。图 1.1 所示为几幅红外图像的例子。由于红外探测技术以被动方式工作,具有良好的隐蔽性,且可以昼夜工作,这些有利特性使红外成像技术被广泛地应用于战场搜索、导弹制导和防空武器中。随着科技的进步,探测系统的灵敏度得到了大幅度的提高,飞机和直升飞机也开始靠前视红外系统来搜索靶标和导航。低成本的前视红外系统的出现,使士兵能在夜间单独驾车行驶。自 20 世纪中期开始,红外成像制导技术被大量地应用到了各类武器系统中,各种红外成像寻的制导导弹纷纷被西方发达国家开发出来并已投入使用,如前苏联的“SAM-13”、美国的“尾刺”、“Hellfire(地狱火)”和“Block”系列导弹等。红外成像制导武器已经在现代战争中扮演着非常重要的角色,如两次伊拉克战争、阿富汗战争、利比亚战争等。

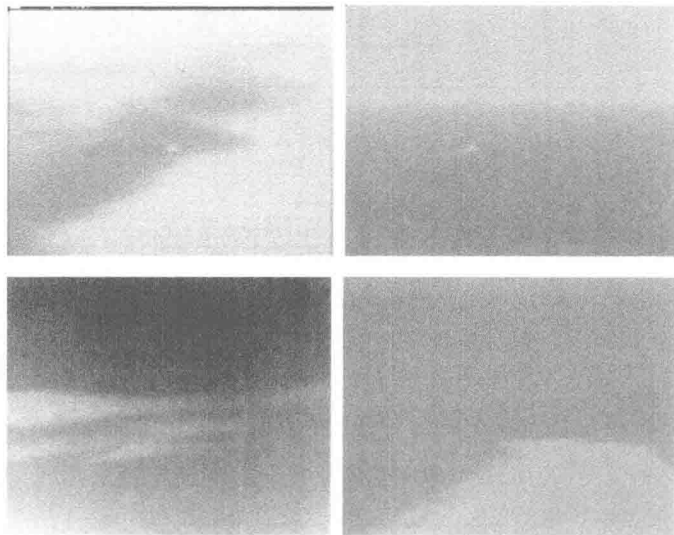


图 1.1 红外图像

目标检测和跟踪一直是计算机视觉领域中两个非常重要的研究课题,是包括图像处理、模式识别、人工智能、信号处理、电子、材料等多学科交叉的前沿科学,具有很强的复杂性。而对于红外目标的检测和跟踪,由于其与可见光图像相比,具有纹理少、边缘弱和对比度低等特点,其实现难度更大。我国一直对红外图像的研究十分重视,已经完成了多项研究项目,积累了丰富的理论和实践经验,并且在项目的支持下,许多科研机构为开展红外成像技术的深入研究提供了必要的硬件和软件条件。此外,我国的研究一直保持着良好的继承性,近年来,由于技术的不断发展,对目标检测和跟踪的性能要求越来越高,这就

要求我们提出新的理论或方法，以期提高目标的检测性能和跟踪精度。

红外目标的检测与跟踪的基本概念是指从红外图像中提取感兴趣的目标对象，并跟踪和预测目标运动轨迹或路径的过程。一个典型的红外目标检测跟踪系统如图 1.2 所示。首先由红外摄像系统采集视场中的红外图像序列，然后通过图像预处理过程，抑制图像背景，提高目标的信噪比（或信杂比）；目标检测算法将目标从背景中检测出来，给出目标的初始位置坐标，作为目标跟踪算法的初始条件；最后目标跟踪算法锁定目标，计算出目标每一时刻的位置坐标，或预测目标的下一时刻的位置坐标、目标的运动速度和加速度，给出目标的完整运动轨迹。如何能在较远距离上检测到敌方目标并进行实时稳健跟踪，是在对抗中取得优势的关键，西方发达国家在红外目标检测搜索和红外成像制导方面较为领先，我国虽然在这一领域的研究起步较晚，但起点较高、发展速度很快。

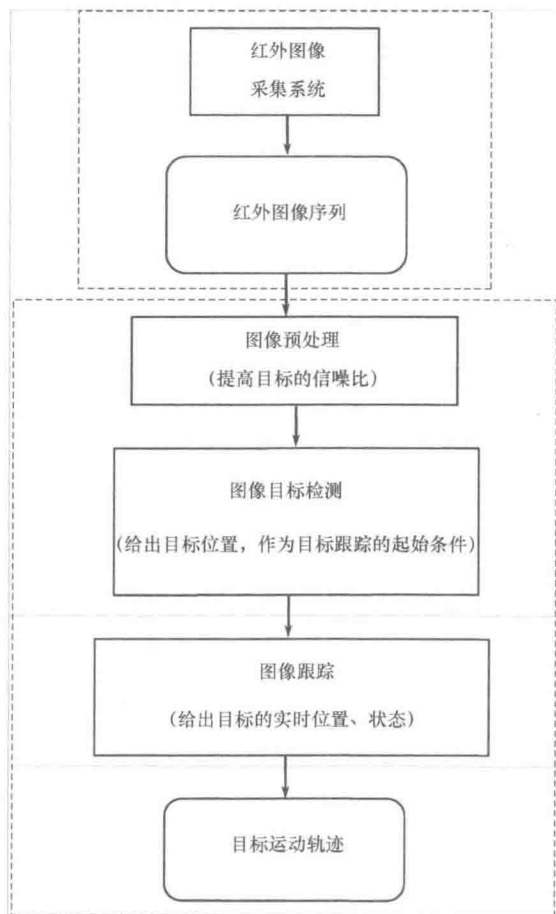


图 1.2 红外目标检测跟踪系统

1.3 研究背景

由图 1.2 可知,在一个实际的红外目标检测和跟踪系统中,红外图像的预处理技术、红外小目标的检测技术和红外目标的跟踪技术是三项主要技术。其中,红外图像的预处理技术不是本书的主要内容。此外,由于在红外目标的检测阶段,目标呈现为点状小目标,一般小于 100 个像素,甚至有时是 1 个像素。图像预处理的目的是去掉图像背景中的噪声或杂波,在图像预处理过程中,小目标可能被作为噪声像素剔除掉,或使目标的特性减弱,给目标的检测带来极大的困难。本书的研究重点主要是红外小目标的检测和跟踪问题。

1.3.1 目标检测技术

红外自动寻的末制导和红外目标搜索跟踪是现代武器系统升级和更新换代的重要技术,被广泛地用于弹道导弹、巡航导弹、战区预警系统等武器系统平台。其中,红外目标检测是红外武器系统对目标做出反应的第一步,是后续其他处理过程的基础,目标检测效果的优劣直接影响着目标跟踪的成败。所以,目标检测技术在红外制导和预警系统中的作用非常重要。

作为红外成像检测系统中的一项关键技术,红外小目标检测的研究一直受到国内、外学者的关注。战场上出现一个目标,从红外成像器上形成的过程来看,从远距离上的一个微弱的点状小目标,发展到一个比较明亮、稳定的斑点,最后形成一个较大的面目标。显然,从远距离上发现目标,对赢得战场上的主动性具有决定意义。但目标距离越远,其亮度越弱,面积越小,特征越不明显,检测的难度就越大。因此,红外目标检测的关键是红外弱小目标的检测。通常来讲,按照检测和跟踪的顺序关系,目标检测可以分为检测前跟踪(Detect Before Track, DBT)和检测后跟踪(Track Before Detect, TBD)两类,这种分类方法是被大多数学者所认可的。具体来说,可按所用的检测理论和方法划分,常见的目标检测可以分为以下几类。

1. 基于模型的目标检测

显然,如果找到一个能描述目标的数学模型,对目标的精确检测意义重大,但由于成像过程的复杂性,找到精确的数学模型并不容易,现有的模型都是简化的或近似的模型。场景在成像器上的灰度可视为图像场景辐射强度和点扩散函数(Point Spread Function, PSF)的卷积,Reed I. S.等提出一种基于光学原理的数学模型^{[157][158][231]}:

$$I_t(x, y, t) = I_r(x, y, t) * p(x, y) \quad (1-1)$$

式中, $I_t(x,y,t)$ 为图像灰度, $I_l(x,y,t)$ 为光源辐射强度, $p(x,y)$ 为成像设备的点扩散函数 (Point Spread Function, PSF)。一个离散图像 $I_t(x,y,t)$ 是在焦平面上入射的光辐射经过采样和量化后的结果, 因此可以用以下模型来描述数字图像的产生过程:

$$I_t(x,y,t) = q(d(I_l(x,y,t)) + n_{SN}(d(I_l(x,y,t))) + n_{WB}(x,y)) \quad (1-2)$$

式中, $q(\bullet)$ 是传感器的量化函数, $d(\bullet)$ 是光检测响应函数, $n_{SN}(\bullet)$ 是服从泊松分布的噪声过程, $n_{WB}(\bullet)$ 是服从高斯分布的宽带噪声过程。基于模型式 (1-2), 通过假设检验, 就可以实现点源目标的检测。

高斯灰度模型 (Gaussian Intensity Model, GIM) 是另一个可以描述点源目标的简单的数学模型, 是由 Maybeck 等在文献[135][136]中首先提出的。在文献[32]中, 作者用 GIM 和匹配滤波实现了红外小目标检测; 在文献[119]中, 作者用 GIM 训练有监督的学习方法检测红外小目标。高斯灰度模型的形式为:

$$I(i,j) = I_{\max} \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\frac{(i-x_0)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(j-y_0)^2}{\sigma_y^2}\right]\right) \quad (1-3)$$

式中, $I_{\max}$ 是灰度的最大值 (目标中心像素值); σ_x 是目标的水平散布参数, σ_y 是垂直散布参数, 控制着目标的扩散特性; (x,y) 为目标图像的中心坐标; (i,j) 为目标图像的其他像素坐标。除了以上两种模型外, 还有其他基于模型的目标检测方法, 如 Huddleston 等在文献[78]中, 提出一种基于统计学模型的目标检测, 在长波红外图像的杂波场景中, 成功地实现了红外图像的检测。

2. 基于滤波方法的目标检测

在一幅图像中, 比较平缓的部分, 如无云天空、高空拍摄的海面, 在较大范围内像素值相等, 比较平缓, 属于低频区, 而图像中的边缘或孤立点, 如噪声点, 变化剧烈, 属于高频区。红外图像中的小目标通常是处在平缓区的孤立点, 处于高频段。因此, 从红外图像中检测红外点目标的问题, 可以被转换成滤波问题来解决。目前, 基于滤波法的检测方法有以下几类。

(1) 匹配滤波法

匹配滤波是一种经典的目标检测方法, 比较简单。Theiler 等在文献[182]中用匹配滤波器实现了强杂波背景中目标的检测; Reed 等将二维匹配滤波理论推广到三维图像序列中, 构造了一类三维匹配滤波器 (3-D Matched Filter) [97][156][157]。

(2) 频域滤波法

如果将图像用频域法进行分析, 则图像的背景较为平缓, 没有太大变化, 处在低频段; 而小目标周围的像素灰度变化较大, 处在高频段。利用这一特性, 可以用高通滤波器 (High-Pass Filters, HPF) 直接检测小目标, 也可以先让图像通过低通滤波器 (Low-Pass Filters, LPF), 再用原始图像减去低通滤波所得的图像, 就可以实现小目标检测, 在文献[237]

中,作者用多级低通滤波器成功地实现了舰船目标的检测。

(3) 统计滤波法

Deshpande 等在文献[51]中提出了基于 Max Median 和 Max Mean 滤波的红外小目标检测方法,原图像经过 Max Median 和 Max Mean 滤波后,图像的背景没有太大变化,而小目标经滤波处理被从图像中抹去,这样把滤波图像从原图像中减去,在得到的差值图像中,目标就会显得很明显而背景区域很暗,从而实现检测。

(4) 管道(Pipeline)滤波法

管道滤波^{[189][52][98]}是一种多帧累加运算的 DBT 目标检测算法。在序列图像目标的空间位置上构造空间管道,然后通过多帧累加实现目标检测。

(5) 二维最小二乘滤波法

二维最小二乘法(Two Dimensional Least Mean Square, TDLMS)是 Longmire 和 Takken 最早提出的^{[180][127]},但真正用于图像处理的是在文献[67]中,是一种非常实用的目标检测方法,不需要图像的任何先验知识、噪声统计和相关特性等。有许多学者对 TDLMS 进行了进一步的研究和讨论,比如文献[144][176]。

(6) 格(Lattice)滤波法

格滤波曾经是一个图像处理领域的研究热点,目前仍然方兴未艾。Ffrench 等在文献[57]中用两维自适应格滤波(2-D Adaptive Lattice Filtering, 2D-ALF)成功地去除了相关性杂波,增强了小目标的可检测性。实验证明,其去除相关杂波的效果可与 TDLMS 相媲美。

(7) 二次相关滤波法

二次相关滤波是从线性相关滤波器发展而来的^[131],线性相关具有平移不变的优点,但需要处理大量的变量,计算量较大。为了克服这一缺点,把线性相关滤波推广到二次相关滤波^[131],尽管计算量被大大减少,但仍然保留了原有的平移不变的优点,而且不需要复杂的后处理过程,被成功地应用于小目标检测^{[204][130][131][159]}。

3. 基于图像分割方法的目标检测

如果能用图像分割的方法把目标从背景中分割出来,那么这种分割方法就能完成目标检测的任务。如文献[66]中的基于模糊理论和遗传算法的目标分割方法,基于数学形态学运算的目标分割^[129],基于红外图像局部熵的目标分割方法^[191]等都在一些实际应用中表现出了良好的目标检测性能。最大类间方差法^[145]是一种只需要图像灰度直方图进行统计运算的无先验知识、无监督的经典分类方法。当红外小目标图像满足灰度级可分割条件时,最大类间方差法可以实现目标与背景的快速分割,进而实现目标检测。Wang 等利用小面模型(Cubic Facet Model)来拟合红外小目标图像中潜在目标区域,再通过对应的阈值条件来实现对小目标对象的分割^[198],此方法具有良好的实时性能。

4. 基于模式识别方法的目标检测

模式识别方法是 20 世纪 20 年代诞生的,随着计算机的出现,20 世纪 60 年代初,模式识别迅速发展成为一门新兴学科,并在很多方面得到成功应用。Roth 等在文献[162]中应用神经网络成功地实现了强杂波环境中做直线运动的小目标的检测,是较早的将识别方法应用于目标检测的学者。在文献[92]中,作者用概率神经网络抑制背景杂波,提高目标的可检测性。随着模式识别方法的发展,出现了一些新的模式识别目标检测的新方法,在文献[119]中,作者用高斯灰度模型训练非线性主成分分析神经网络(Nonlinear Principal Component Analysis Neural Network, NPCANN),然后将图像作为背景和目标两个模式类来识别,实现目标的检测。

5. 基于多帧关联的目标检测

多帧小目标检测算法主要利用序列图像中目标运动的连续性和航迹的关联性来实施目标检测任务,或可以将多帧检测的结果累加来增强检测性能,这些算法也属于检测前跟踪算法。廖斌等在文献[108][223][245]中,用能量累积方法实现目标检测。Lee 等首先用灰度分割的方法对可能的运动目标进行检测^[100],然后通过后续图像帧来对标记目标做出最后确认。

Hough 变换是一种具有代表性的基于多帧的目标检测方法,其核心思想是首先将三维图像序列投影到二维平面^[40],然后通过 Hough 变换利用红外小目标运动轨迹完成目标检测。虽然 Hough 变换法的运算量较小,但对于目标对比度较低的图像,其检测效果不太理想。另一种较好的基于多帧的小目标检测方法是序贯假设检验法(Sequential Hypothesis Testing, SHT),序贯假设检验是一种模型阶数选择的过程,该方法检验一系列相互排斥的假设和备选假设,如果前一个假设被拒绝,就继续进行下一个假设检验,直到目标数达到要求。Blostein 等用序贯假设检验法成功地检测和跟踪了低可见且机动的图像数据中的点目标^{[23][24]},检测效果较好。此外,李朝伟等对序贯假设检验进行了改进,实现了雷达数据目标的检测^[107]。动态规划法(Dynamic Programming)也是较常用的一种基于多帧的目标检测方法,主要思想是将每帧图像中的每个像素视为一个状态,用动态规划算法来对目标的运动轨迹做出估计^{[5][6][13][14]},该方法存在运算量大的缺陷。

另外还有其他目标检测方法,如小波分析法(Wavelet Analysis, WA)^{[222][25][206]}、分形法^{[219][177]}、独立主元分析法(Independent Component Analysis, ICA)^[163]等,在这里不再赘述。

1.3.2 目标跟踪

自从计算机视觉(Computer Vision)技术诞生以来,目标跟踪(Target Tracking)一直是该领域中的一个关键技术和研究热点,与目标检测不同的是,目标跟踪不仅能给出目标的位置信息,而且能计算出目标的速度、边缘和面积等信息。红外目标跟踪是视觉跟踪中