

绪 论

1.1 研究背景及意义

科学技术的飞速发展对现代战争的作战模式和策略的不断更新和变革产生了巨大的推动作用，在战争中能否掌握主动权和信息权是制胜的关键因素。未来战争的发展趋势主要有以下几点：①高效强大的信息处理系统：通过更加先进的作战平台和监视手段发现目标、引导己方武器精准打击的能力和更加高效准确的信息交互作战能力，进一步提高对作战情报的采集效率和处理速度。②超视距战斗：利用导弹或无人机在视距之外精确制导摧毁敌方重要军事目标，大大提高己方作战人员的生存率。③空天作战：随着空天作战概念的提出，各国纷纷组建了自己的太空作战力量，其中俄罗斯于 2015 年 8 月 3 日宣布其空天部队组建完毕，该军种统筹负责未来的太空作战和战略预警监视任务；美国于 2019 年 12 月 20 日宣布成立了美国太空部队，该兵种是美国空军下属的一个独立部队，旨在建立具有“统治力”的空间作战力量；而日本也在 2020 年 5 月 8 日宣布将成立“宇宙作战队”，该兵种将与美军、日本宇宙航空研究开发机构共同构建日本的太空监视体系，其他军事发达国家也相继加速发展空间军事力量，从而在太空领域竞争早期占据优势。同时军事发达国家大力研发空天武器，利用卫星平台搭载武器系统实现全球范围快速打击，例如临近空间高超声速目标和动能武器系统。④网络信息安全攻防战：网络空间已经成为战争开展的第五个维度空间，网络安全和黑客技术的博弈是未来战争新的矛与盾之间的较量。基于上述战略需求，世界上很多军事发达的国家相继开展各种先进传感探测系统的研究工作。

早期的目标检测系统主要以雷达系统为代表，雷达通过主动发射电磁波并接

收目标反射的回波,从而实现对目标的检测和跟踪,具有作战距离远、全天候工作的优点,但是由于其具有对外主动辐射的特性,导致雷达容易暴露,生存能力较弱,同时现代的隐身飞机采用吸收辐射的涂料,大大降低了雷达的检测能力。采用被动探测方式的红外探测器逐渐崭露头角,这类探测器通过感应目标的热能辐射探测目标,探测器自身并不产生辐射,隐蔽性强并且不受光照和天气的影响,同时红外线具有极强的穿透能力和抗电磁干扰能力,在目标探测领域发挥了关键作用。

从 20 世纪 60 年代以来,红外检测与跟踪(infrared search and track,IRST)技术逐渐成为军事发达国家竞相开展研究的热点领域。IRST 的定义是指在单帧或者序列红外图像中检测目标以及进一步实现跟踪的过程。IRST 系统的基本工作流程主要包括四个步骤:①红外传感器从视场范围内接收包含目标和背景的辐射热能,生成灰度图像;②采用图像预处理技术抑制图像中的背景杂波,从而提高图像的信噪比;③采用相应的目标检测算法对图像处理后得到疑似目标的备选点;④通过阈值处理和轨迹关联剔除虚假目标点,最后融合输出目标轨迹,预测目标下一时刻位置。IRST 系统的处理流程框图如图 1.1 所示。IRST 技术在红外预警、制导和反导系统中都起着至关重要的作用。在红外预警探测和反导系统研究中,美国依靠其强大的经济和科技实力,逐步建立了较为完善的 IRST 体系和反导技术,研究水平处于全球领先的地位。美国最早于 20 世纪 60 年代开展红外预警探测技术的研究,目前已经获取了大量的红外图像数据,在多次局部冲突和战争中采用该项技术实现了目标的检测和跟踪,同时也不断改进技术水平。从最初“冷战”时期的“国防支援计划”(defense support program,DSP)卫星,到现阶段正在研发部署的天基红外系统(space-based infrared system,SBIRS),该系统作为“DSP”系统的更新替代产品,在最初系统设计时计划部署不同轨道高度的两套子系统,即“SBIRS-High”系统和“SBIRS-Low”系统,但是由于研究进度缓慢和经费问题,该项目最终更名为空间跟踪和监视系统(space tracking and surveillance system,STSS)。因此,现行的“SBIRS”即为原“SBIRS-High”部分,其系统结构如图 1.2(a)所示,该系统主要用于发现和跟踪主动段的导弹目标,与前一代的“DSP”系统相比,目标的估计精度得到了大大提升,同时兼具对辐射较弱的目标的发现能力。而“STSS”系统由 20~30 颗低轨卫星构建而成,其轨道高度可以根据作战需求进行调节从而提高对低辐射强度目标的发现概率,例如处于发射中段的导弹,同时该系统还可以进行真假目标的进一步识别,排除诱饵弹的干扰。另外,该系统还可进行星间通信,通过接力方式实现对目标生命周期的全程跟踪,其星座及星间通信如图 1.2(b)所示。

跟踪结果还可以引导地基雷达和拦截系统,实施拦截后执行毁伤效果评估。同

时,美国着力发展“下一代过顶持续红外”(next-generation overhead persistent infrared, NG-OPIR)系统,以应对高超声速武器等新型威胁。其他国家包括中国、以色列和英国等国家在进入 21 世纪以来也相继倾注大量的资源研究该项技术,我国目前研究水平距离美国先进水平差距还较大,但是该项技术的研究进展对增强我国的战略防御能力以及维护国家国土安全具有十分重大的意义。

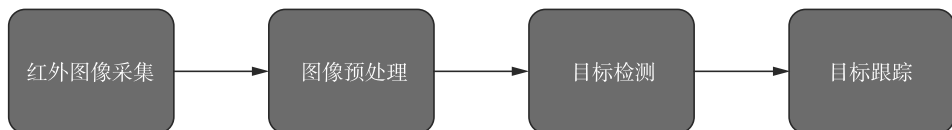


图 1.1 红外目标检测与跟踪系统处理流程

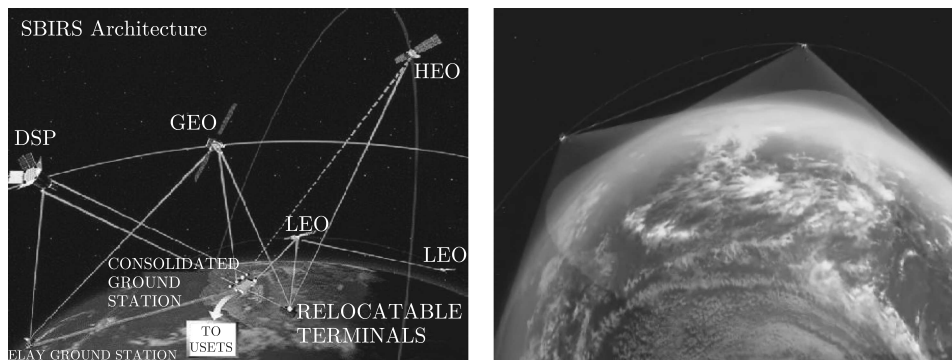


图 1.2 美国红外预警系统示意图

在军事应用背景下,为了掌握战争的主动权和信息权,对红外目标检测与跟踪系统的作战距离和检测准确率都提出了很高的要求。为了尽可能早地对敌袭导弹或者飞机等目标进行预警,需要红外目标检测与跟踪系统的探测距离尽可能远,覆盖范围尽可能大。成像距离越远,目标在像平面所占的像素就越少,例如一般的军用红外成像系统探测距离通常在 10 km 以上,导弹或者飞机目标在像平面仅占 2 像素 $\times$ 2 像素到 9 像素 $\times$ 9 像素,仅仅只有数个到数十个像素(少于图像大小的 0.15%)。另外,地球大气层的热辐射效应会对红外传感器接收到的目标辐射造成干扰,同时传感器本身所带的电子器件的噪声也会带来一定影响,上述因素使得目标对比度或者信杂比(signal-to-clutter ratio, SCR)很低。因此,当感兴趣的目标在像平面所占像元很少同时目标的 SCR 很低时,这一类型的目标就统称为“红外弱小目标”。当目标所处的背景图像中灰度方差较大,而且灰度值较高的成分比较多时,该背景就被称为“复杂背景”。在复杂背景下红外弱小目标检测

的难点主要有以下几点：①弱小目标的特性：目标几何尺寸相对较小，在图像上表现为类似于噪声的“凸点”，缺乏有效的形状和纹理信息，传统光学目标检测方法不再适用，同时目标的信噪比和信杂比均较低，为目标检测增大了难度；②强烈的背景杂波和噪声干扰：由于目标所处环境不同，杂波干扰类型也不同，主要分为云杂波、海杂波和地杂波，一个场景下可能包含多种类型的杂波干扰；除此之外，由于成像器件误差和环境噪声，获取的红外图像通常包含多种类型的噪声；③任务的特殊性：在军事应用背景下由于检测任务的特殊性和实时性，需要保证检测结果的可靠性，以及要求检测算法能够对海量数据进行高效处理。因此，研究复杂背景下可靠高效的红外弱小目标的检测技术一直都是红外目标检测与跟踪技术研究领域的最富有挑战性和研究价值的课题。

本书首先对不同典型场景下红外图像背景的特性进行了分析，然后基于此对弱小目标的检测技术进行深入研究，充分挖掘并且利用背景和目标之间的区别，找到新的特征描述方法，增强弱小目标的同时抑制背景和噪声，提升复杂背景干扰下和噪声情况下的目标检测性能。本书研究了基于稀疏表示理论，多子空间学习等一些新思路的红外弱小目标检测方法，具有较大的理论创新，对红外探测系统核心性能的提升也有很强的实用价值。

1.2 国内外研究现状及发展动态

红外弱小目标检测技术作为红外预警探测系统的核心技术，数十年来，得到了很多国内外专家学者的大量研究。国际光学工程学会（International Society for Optical Engineering, SPIE）自1989年开始，每年都会举办一次主题为“signal and data processing of small targets”的国际会议，会议主题涵盖了弱小目标的检测和识别、跟踪等热点问题；而且每年都会有很多红外弱小目标的相关研究成果发表在 *IEEE Transaction on Image Processing*、*IEEE Transaction on Image Transactions on Geoscience and Remote Sensing*、*IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*、*IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*、*Infrared Physics & Technology* 等国际期刊上。近年来，这项技术在国内也得到了大量关注，目前主要有中国科学院、国防科技大学、哈尔滨工业大学、电子科技大学、西安电子科技大学，以及中国航天工业集团等单位对该项技术进行了广泛和深入的探讨与研究。由图1.1可知，红外弱小目标检测技术主要包括红外图像预处理技术和红外目标检测技术，下面针对这两个方面的技术所对应的国内外研究现状进行综述。

1.2.1 红外图像预处理技术

红外图像预处理技术是指通过对输入图像中的背景杂波和噪声进行抑制,提高目标的信噪比,降低下一步目标检测难度的技术,也称为背景抑制方法。背景抑制方法根据处理域可以分为时域、空域、时空域联合和变换域四类。

1) 时域

基于时域的背景抑制方法主要适用于背景变化缓慢、较为平稳的场景,典型方法包括时域差分法^[1],对相邻连续两帧作差从而抑制背景杂波;武斌^[2]假设相邻帧之间背景无变化,采用高阶统计量对背景进行抑制;Xiong^[3]基于帧间关联信息提出了非线性滤波算法,该算法需要提前选取滤波模板,然后再将模板内与待处理像素点最接近的像素作差作为滤波结果;陈颖^[4]将点估计理论应用于红外图像序列的处理,在对图像进行配准后,将多帧连续图像进行投影叠加从而提高图像的信噪比;Pohlig^[5]利用时间平稳和空间非平稳杂波统计模型,提出了一种检测运动目标的最大似然算法。

2) 空域

基于空域的背景抑制方法主要利用目标灰度的“奇异性”和背景区域的缓变性的差异对背景杂波进行抑制,由于算法计算量小且易于硬件实现,因此在工程中应用十分广泛,这类方法主要包括中值滤波算法^[6-7]、形态学滤波算法^[8]和一些自适应滤波技术^[9-13]。其中,中值滤波算法首先计算待处理像元的邻域内所有像元的灰度均值,然后将该均值设为待处理像元新的灰度值,该方法对单独的噪声点抑制效果较好,但是算法性能对滤波窗口的大小比较敏感,无法有效抑制超出滤波窗口大小的结构化背景干扰或者噪声;形态学滤波算法采用预设的结构元素,利用形态学的腐蚀和膨胀操作组合形成开操作和闭操作对图像进行处理得到背景图像,然后再与原图进行差值处理得到滤波结果,它的性能也与结构元素的选取密切相关。上述两种滤波方法对滤波窗口或者结构元素的参数选取都比较敏感,因此有学者将自适应的概念引入滤波技术,这类方法不需要图像的先验信息和严苛的参数设置,而是利用背景邻域相关性预测背景。通过比较预测背景和原始图像的差异自适应调节参数从而抑制背景,例如二维最小均方(two-dimensional least mean square, TDLMS)滤波方法^[9],该方法在去噪能力上弱于传统的中值滤波算法,但在保留图像边缘和细节能力方面要更强;类似的方法还包括最小均方支持向量机方法^[10]、自适应格形滤波器^[11-12]和卡尔曼滤波^[13]等。近年来,一些学者认为目标是对原始背景区域造成了“灰度扰动”,并基于“灰度奇异性”检测目标,例如基于梯度算子的检测算法^[14-17],但是该类算法对背景的强纹理结构比较敏感,会在目标图像残留很多背景干扰,引起虚警。综上所述,基于空域信息

的方法适用于背景变化平缓的场景,当背景剧烈变化时预测背景的误差较大,从而导致算法性能下降。

3) 时空域联合

由上述分析可知,基于时域和空域的背景抑制方法都有其局限性,近年来,越来越多的学者提出将图像的时域信息和空域信息联合利用以进一步抑制背景杂波。Tzannes^[18]针对云杂波建立空域中的自动回归(auto regressive, AR)模型和时域的马尔科夫(Markov)模型,采用时空域联合的方法进一步抑制背景杂波;Tartakovsky^[19]提出了基于核函数的时空域联合背景抑制方法,该方法对杂波统计特性的变化具有鲁棒性,但是计算量较大,理论模型比较复杂。

4) 变换域

基于变换域的背景抑制方法是指将输入的红外图像从空域映射到变换域,在相应的变换域进行处理后再进行相应的逆变换转化到空域,最后输出检测结果,采用的变换域主要为频域和小波域两类。Porat^[20]等人基于方向滤波器提出了背景抑制算法,但是该算法假设图像背景灰度分布满足白色高斯分布,不符合实际数据中背景的分布特性;Yang^[21]等人提出了基于 Butterworth 滤波器的频域背景抑制算法,首先对背景的复杂程度进行分析,然后设定滤波器的截止频率,但该方法计算量比较大;Thayaparan^[22]等人为了提高算法效率,引入了快速傅里叶变换(fast Fourier transform, FFT)。当目标和背景频域差异较小存在混叠时,基于频域的背景抑制算法性能将会下降。考虑到小波变换^[23]能够实现对图像的多尺度视频分析,Casasent^[24]首次将小波变换和 Gabor 滤波结合起来对红外图像进行预处理,取得了较好的效果;随后更多学者基于小波变换针对不同红外应用场景提出了相应算法,包括双正交小波变换^[25]、针对海天背景的小波变换^[26]等。小波基的选择对这类算法的性能起着至关重要的作用,结构简单的小波基与频域类方法性能差异不大,而结构复杂的小波基会大大提高算法的复杂度,降低处理效率。

1.2.2 红外目标检测技术

经过图像预处理技术对背景杂波抑制后,目标的信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)得到有效提高,方便后续目标检测算法的处理。目前的红外目标检测技术按照检测和跟踪的逻辑关系可以分为两类,分别为:检测前跟踪(track-before-detection, TBD)方法和跟踪前检测(detection-before-track, DBT)方法,下面分别对这两种方法的研究现状进行介绍。

1) TBD 方法

TBD 方法的基本思路是：首先根据目标运动特性和一些先验信息，例如目标速度和方向，对目标所有可能的运动区域和轨迹进行跟踪搜索；然后将目标能量进行累加求得后验概率；最后采用设定的阈值进行判决，判断轨迹是否是属于目标的正确轨迹。TBD 方法进行目标检测的流程如图 1.3 所示。

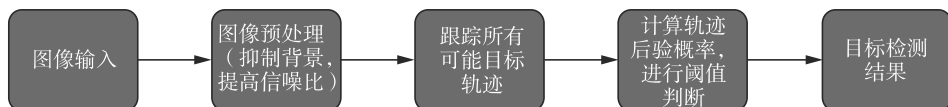


图 1.3 TBD 方法进行目标检测的流程

TBD 方法的典型代表包括 Reed^[27-29] 提出的三维匹配滤波方法，该方法输入目标的先验速度信息，融合空间滤波和时间信息累积的结果有效提高了图像的 SNR，但是当目标实际运动速度与先验速度误差较大时，方法性能会急剧下降，所以该方法只适用于目标速度变化较小的场景。为了解决这一问题，Kendall 等人^[30] 采用多组速度匹配滤波器扩大目标速度的匹配范围；后续也有学者陆续提出了改进方法，主要有 Stocker^[31] 提出的高速滤波器组，Li^[32] 提出的三维双向滤波方法，Zhang^[33] 提出的由粗搜索递进到精搜索的三维双向滤波方法，有效提高了方法效率和鲁棒性，这类方法还可参阅文献 [34-36]。另外，TBD 方法还包含利用双阈值筛选符合要求的目标运动轨迹的多级假设检验（multi-stage hypothesis testing, MSHT）方法^[37-39]、将图像每一个像素建模为状态的动态规划（dynamic-programming, DP）检测方法^[40-45]、利用序列不同帧图像的高阶相关性提取目标运动轨迹的检测方法^[46-48]、基于粒子滤波的目标检测算法^[49-53]等。上述 TBD 方法有一个基本共同点，它们都利用了图像序列的时域信息对红外弱小目标进行检测，对背景变化相对平缓的场景和低信噪比条件下的目标检测性能较好。

2) DBT 方法

与 TBD 方法比较而言，DBT 方法可以在快速变化的背景中目标轨迹不连续的情况下实现弱小目标检测。DBT 检测方法的基本流程是：首先对每一帧图像进行目标检测，得到候选点目标；然后利用目标运动轨迹的连续性，对虚假目标进行排除；最终实现目标跟踪。因此，DBT 方法的性能对单帧目标检测结果的准确性要求较高，运算量相对 TBD 方法而言更小。DBT 方法进行目标检测的通用流程如图 1.4 所示^[54-57]。

DBT 方法又可以分为三类：基于视觉注意机制（human visual system, HVS）的方法、基于模式识别的方法以及基于稀疏性和低秩性重构的方法。

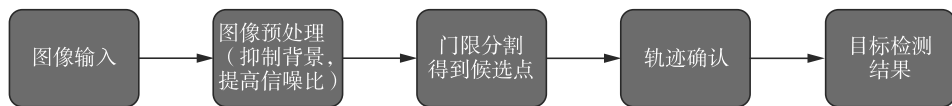


图 1.4 DBT 方法进行目标检测的流程

HVS 方法借鉴人体生物学的机制, 将红外弱小目标假设为人体视觉的感兴趣区域, 与局部背景具有高对比度的显著点, 同时假设背景在纹理上具有自相关性, 在强度上不断变化。这一类方法最早起源于拉普拉斯-高斯 (Laplacian of Gaussian, LoG) 滤波方法^[58], 随后不断有学者在其基础上进行改进, 例如高斯差分 (difference of Gaussians, DoG) 法^[59], 二阶方向导数 (second-order directional derivative, SODD) 滤波器^[60] 等。为了提高算法对背景强边界干扰的鲁棒性, Chen^[61] 利用目标点与其背景邻域的差异性提出了局部对比度测量 (local contrast measure, LCM) 法, Han^[62] 基于此提出了改进的局部对比度测量 (improved local contrast measure, ILCM) 法, 主要是利用了图像灰度最大值和平均灰度值的乘积, 上述方法利用局部差异性对目标的显著性进行衡量, 然后采用阈值法检测目标, 具有易于实现的特点, 在背景复杂程度不高的情况下能够取得较好的效果。但是在复杂背景下, 背景的杂波干扰与目标在显著性差异不大, 无法进行有效区分。为了解决这个问题, 有学者进一步提出基于多尺度分析和熵的方法, 这类方法主要利用目标与背景差异较大且复杂程度要高于局部背景区域的特点, 主要包括基于多尺度区域的对比度测量 (multiscale patch-based contrast measure, MPCM) 法^[63]、多尺度灰度差分加权图像熵法^[64]、局部显著性对比 (local saliency map, LSM) 方法^[65]、加权局部差异测量 (weighted local difference measure, WLDM) 法^[66]、局部差异测量 (local difference measure, LDM) 法^[67] 等。

基于模式识别的方法的思路是: 建立数学模型将目标和背景分离建模为二分类问题, 主要可以分为基于主成分分析的方法和基于分类器训练的方法。Hu 等人^[68] 通过高斯强度函数建立一个小目标字典, 并根据重建误差通过主成分分析 (principal component analysis, PCA) 将目标进行分类检测。基于相同的框架, 概率 PCA^[69]、核 PCA^[70] 和非线性 PCA^[71] 等思想也被应用于小目标检测, 上述方法假设背景是均匀的, 而实际情况中背景总是很复杂的, 另外, 真实目标可以具有与高斯形式不同的各种形状。为克服这两个缺陷, Wang 等人^[72] 通过学习背景字典提出了一种基于稀疏表示的检测方法。将高斯目标词典与背景词典相结合, Li 等人^[73] 提出使用联合字典将目标与背景区分开来。然而这些方法中的目标也可以通过背景词典进行稀疏重建, 从而限制了它们在实际场景中的能力。基于训

训练分类器的方法利用特征向量描述红外图像,然后利用训练好的分类器对待检测的图像进行检测,比较具有代表性的工作主要有基于支持向量机(support vector machine, SVM)的检测方法^[74-75],这类方法的性能比较依赖于训练样本和特征的选择,而现实场景中背景的类型很多,无法保证训练样本能够有效地代表所有类型的场景。

近年来,基于稀疏性和低秩性重构的目标检测方法受到很多学者的关注,它假设缓慢变化的背景具有低秩性,而相较于背景只占据极少像素数的目标具有稀疏性,然后可以利用低秩重构的方法将背景和目标分离,从而达到检测目标的目的。这类方法最早由 Gao 引入稀疏环对目标进行检测^[76],后来其团队又提出了基于红外图像块(infrared patch image, IPI)的目标检测方法^[77],IPI 模型利用滑动窗的方法对原始图像从上至下、从左至右进行取值,其中滑动的步长大小一般小于滑动窗口的大小,这样可以增加背景图像块的冗余性,然后将窗口内的像素以向量形式重组,得到一个新的图像灰度矩阵,其中背景和目标分别具有低秩性和稀疏性,再采用核范数(nuclear norm)和 l_1 范数分别对背景和目标进行约束,最后利用鲁棒主成分分析(robust principal component analysis, RPCA)^[78]进行最优化解。为了进一步提高算法性能,Dai 对重组构成的灰度矩阵的每个列向量都引入权值,提出了加权的 IPI 模型^[79],凸显不同列向量在优化模型中的不同物理意义,然而计算每个列向量的权值极大地增加了算法的复杂度;为了提高算法效率,Dai 等人^[80]又提出了非负约束的 IPI 模型,该模型利用矩阵奇异值的部分和最小化求解低秩矩阵,并对稀疏矩阵采用非负约束,进一步增强了 IPI 模型的性能,然而该模型需要根据图像先验信息设置能量约束比参数,导致其在实际应用中会有较大的局限。Guo 对约束低秩矩阵的核范数引入自适应权值,提出了重加权 IPI (reweighted IPI, ReWIPI) 模型^[81],采用加权核范数最小化(weighted nuclear norm minimization, WNNM)方法^[82]对背景边缘更好地进行抑制,但是该方法仍然效率较低。另外,Dai^[83]通过扩展数据结构的维度将二维的矩阵维度扩展到三维的张量空间,提出了基于红外图像张量块(infrared patch-tensor image, IPT)的目标检测方法,该方法从张量数据的角度同时利用全局和局部的先验信息检测弱小目标,进一步提高了检测性能。但是,当红外图像背景包含大量的非平滑区域时,上述方法都无法有效对背景杂波进行抑制。针对该问题,Wang^[84]提出了基于总变分正则项-主成分追踪(total variation regularization and principal component pursuit, TV-PCP)的目标检测方法^[84],采用总变分项(total variation, TV)^[85]对背景图像中灰度突变的成分进行很好的刻画,从而抑制其在目标图像中的残余干扰;后续,其团队又提出了基于稳定多子空间学习的目标检测方法,该方法针

对包含多个红外辐射源的场景采用多子空间学习的方法分别对它们进行描述,从而提高目标检测性能^[85]。Gao 还针对复杂噪声分布利用混合高斯分布 (mixture of Gaussian, MoG) 模型^[86]对噪声进行建模,将目标视为一种特殊的噪声成分,同时引入连续帧的时域信息和马尔科夫随机场 (Markov random field, MRF) 方法^[87],提出了马尔科夫随机场和混合高斯分布模型 (MRF and MoG, MRF MoG) 的方法以提高噪声干扰下的目标检测性能^[88]。

除了上述的三类方法外,自 2014 年以来,由于人工智能和深度学习技术的兴起和迅速发展,它在传统可见光图像领域的目标检测、目标识别和目标分割都取得了十分突出的成果,而有些学者也开始尝试将这一技术应用于红外弱小目标检测问题,利用深度学习挖掘目标的深层次特征信息。Wang 等人提出用对抗生成网络 (generative adversarial net, GAN)^[89]来进行红外小目标分割^[90],该方法将红外小目标分割任务分解为分别针对降低虚警和降低漏检的两个子任务,用对抗训练的方法,来达到降低虚警和降低漏检的平衡。他们还提出了一个由真实数据和合成数据组成的数据集,该算法在红外小目标分割方面取得了优异的性能。Wang 等人设计了一个用于特征提取的骨干网络^[91],专门用于红外小目标检测,同时为了验证所提骨干网的有效性,他们提出了一个数据集,该数据集是在海边沙滩拍摄的海平面或者天空,将船舶和飞机作为目标。实验结果表明,结合单阶段的 YOLO (you only look once) 检测器^[92],该方法可以在 640 像素 $\times$ 512 像素的红外图像中检测到 2 像素 $\times$ 2 像素的目标,处理速度可以达到 105 帧/s,能够实现实时检测。Zhao 等人提出了一种检测红外小目标的轻量级卷积网络 (TBC-Net)^[93],该网络包括目标提取模块和语义约束模块,语义约束模块在训练过程中为目标提取模块提供语义约束。相比于传统方法,该算法可以减少由复杂背景带来的虚警并且可以达到实时检测,可以用在带有红外传感器的无人机野外搜索等应用中。

随着红外探测系统的布局逐渐完善成熟,算法处理性能和传感器等硬件的水平不断提升,系统针对目标的检测性能得到很大的提高。目前已有许多红外弱小目标检测算法相继提出用于完成各种场景下的检测任务,但这些方法仍然各自都有一些局限性,例如算法对噪声的鲁棒性不够,算法需要过多的先验信息以及场景的假设过于理想化等,同时由于目标的低信噪比和形状纹理特征缺失的影响,在复杂背景下的弱小目标检测问题仍然具有很大的挑战性。因此本书针对这些复杂场景和噪声干扰,研究如何实现性能稳定的红外弱小目标检测方法。