**分类号 TP391.41 密级 公开**

**重庆邮电大学硕士学位论文**

**论文题目** 复杂条件下的字符识别

**英文题目**  Character Recognition Under Complex

Condition

**硕士研究生**  黄晓明

**指导教师**  高陈强 教授

**学科专业** 信息与通信工程

**论文提交日期 论文答辩日期**

**论文评阅人**

**答辩委员会主席**

# 目 录

[目 录 I](#_Toc408497197)

[第一章 绪论 1](#_Toc408497198)

[1.1 研究背景及意义 1](#_Toc408497199)

[1.2 文本定位国内外研究现状 2](#_Toc408497200)

[1.3 文本识别国内外研究现状 4](#_Toc408497201)

[1.4 本论文的主要工作及组织结构 5](#_Toc408497202)

[第二章 复杂条件下的文本图像预处理 7](#_Toc408497203)

[2.1 引言 7](#_Toc408497204)

[2.2 复杂条件下的文本图像分析 7](#_Toc408497205)

[2.3 颜色空间变换 7](#_Toc408497206)

[2.4 文本图像倾斜校正 7](#_Toc408497207)

[2.5 文本图像去噪 7](#_Toc408497208)

[2.6 文本图像二值化 8](#_Toc408497209)

[2.7 本章小结 8](#_Toc408497210)

[第三章 自然场景条件下的文本区域定位 9](#_Toc408497211)

[3.1 引言 9](#_Toc408497212)

[3.2 文本定位系统设计 9](#_Toc408497213)

[3.3 基于最大极值稳定区域的候选区域提取 9](#_Toc408497214)

[3.4 基于颜色聚类的候选区域提取 9](#_Toc408497215)

[3.5 基于视觉显著性的滤除 9](#_Toc408497216)

[3.6 实验结果与分析 10](#_Toc408497217)

[3.6.1 文本定位的数据集和评价标准 10](#_Toc408497218)

[3.6.2 文本定位结果及分析 10](#_Toc408497219)

[3.7 本章小结 10](#_Toc408497220)

[第四章 复杂条件下的文本识别 11](#_Toc408497221)

[4.1 引言 11](#_Toc408497222)

[4.2 定位和识别的关系探讨 11](#_Toc408497223)

[4.3 文本识别系统设计 11](#_Toc408497224)

[4.4 词图像分割 11](#_Toc408497225)

[4.5 特征提取 11](#_Toc408497226)

[4.5.1 全局特征 11](#_Toc408497227)

[4.5.2 局部特征 12](#_Toc408497228)

[4.6 分类器选择及参数设置 12](#_Toc408497229)

[4.6.1 K最近邻算法 12](#_Toc408497230)

[4.6.2 BP神经网络 12](#_Toc408497231)

[4.6.3 支持向量机 12](#_Toc408497232)

[4.7 特征融合 13](#_Toc408497233)

[4.7.1 前期融合 13](#_Toc408497234)

[4.7.2 后期融合 13](#_Toc408497235)

[4.8 实验与结果分析 13](#_Toc408497236)

[4.9 本章小结 16](#_Toc408497237)

[第五章 总结与展望 17](#_Toc408497238)

[5.1 本文工作总结 17](#_Toc408497239)

[5.2 未来工作展望 18](#_Toc408497240)

[致谢 19](#_Toc408497241)

[参考文献 20](#_Toc408497242)

[附录 作者在攻读硕士学位期间的研究成果 24](#_Toc408497243)

# 第一章 绪论

## 1.1 研究背景及意义

人类受限于眼睛结构，所能看到的图像只占电磁波谱中很窄的一部分。可见光波长范围为390纳米到780纳米，低于390纳米的紫外线、射线与伽马射线和高于780纳米的红外线、微波与无线电波都是看不到的。因此，为了能对人类肉眼看不到的光线进行研究，就需要借助各种成像设备。随着科学技术的发展，人类能将不同波长范围的电磁波进行成像，红外成像就是将其中波长范围为780纳米到1毫米之间电磁波进行成像的技术。红外图像技术是图像处理与红外成像技术结合的产物，在现代生活的很多领域发挥着越来越重要的作用，其中在军事、民事与科研领域中的应用非常普遍。

随着红外图像技术的发展，随之而形成了一门生机勃勃的新研究领域即红外目标检测技术。红外目标检测是综合了信号处理、模式识别与计算机技术的综合交叉性研究项目。目标检测以其被动性、隐蔽性、先进性的特点而备受国内外研究学者的关注。此项技术在各个领域中均有应用，在军事领域，红外目标检测技术非常适合于自动跟踪的精确制导武器中；在民事领域，红外目标检测技术在小区安防与警察监控领域中非常合适；在科研领域，红外目标检测技术在宇宙探测等天文学领域也有广阔的应用前景。

过去，红外成像设备的造价比较昂贵，因此在红外成像技术只应用在科研与国防军事相关的领域，在民事领域中应用很少。科学技术的发展使红外成像系统的造价降低，同时不断改善成像效果，从而使系统性能相比于过去已经大大提高，这就为红外技术在民用领域的普及奠定了基础，如事故救援、飞机的复杂航行环境导航、公安交警的夜间巡逻和车辆车牌识别与跟踪等。因此，对红外图像处理进行研究是很有意义的。

红外图像中的弱小目标检测一直是红外图像处理领域中的研究热点，同时也是研究难点。在红外弱小目标研究领域中，主要有两种方向：第一种是针对红外图像采集设备的研究，主要研究如何提高图像获取质量，这就要求对图像采集设备进行改进，这是从电路与硬件方面进行的研究；另一种是针对红外图像本身进行的研究，主要研究如何对图像中的目标进行增强与检测，这就要求针对红外弱小目标图像改进现有图像算法或提出新算法，这是从算法与软件方面进行的研究。前者提高对目标的探测效率，后者用信号处理方法检测出图像中的目标信号。两种方法相互补充，以提高探测系统的整体性能。

通常而言，红外弱小目标检测与跟踪可以分为三个步骤，第一步是对红外图像进行增强与去噪，此步骤包括经典图像处理算法中的高通滤波，直方图均衡化和专门针对红外图像的几何校正、灰度校正与散焦校正，经过此步处理后的图像能够在第二步中得到更加精确的检测结果；第二步是对红外图像中的目标进行检测，背景与目标有各自遵循的数学模型，采用不同的模型能够将图像中的目标分离出来，再进行非理想目标剔除，就能得到真正需要的结果。第三步是对已经检测到的目标进行跟踪，通常使用卡尔曼滤波或邻近目标搜索等方法在图像序列中保持对目标的准确跟踪。在红外弱小目标检测与跟踪系统中，居于核心位置的是第二步检测步骤，即如何将目标从红外图像中检测出来。因此，对系统中检测步骤进行专门的研究是很有必要和意义的。

## 1.2 文本定位国内外研究现状

关于弱小目标的检测算法研究，国内外已经做出了很多成果卓著的工作，尤其是21世纪以来，红外弱小目标检测技术更是取得了长足的进步。经过近10年的发展，在红外弱小目标检测领域，已经产生了几种比较经典的检测方法。其中有对图像目标进行增强的算法，能够抑制图像的背景与噪声信息，提高目标在图像中的显著性，如常用的中值滤波，不过当时图像背景噪声很大的时候，此种方法将失去作用。高通滤波对于背景起伏平缓的图像能够起较好的作用，不过在图像信噪比很低的情况下，此种方法不适用。此外还有形态学滤波、频域滤波等方法也可以用来检测红外弱小目标，但有些运算较为复杂。随着近年来的发展，小波滤波也逐渐进入了红外弱小目标检测的研究范围，为红外弱小目标检测提供了新的方法。

下面介绍一些近年来常见的红外弱小目标检测算法：

1. 空域的滤波方法

空域滤波是在图像空间中使用模板对图像像素进行邻域操作，处理图像每一个像素的取值都是根据模板对输入像素相应邻域内的像素值进行计算得到的。空域滤波通常基于像素模板，将与图像邻域像素与模板图像进行卷积，卷积后得到的值在赋予原图像邻域的中心像素，依次遍历整个图像所有像素，即得到滤波后的结果。空域滤波器一般对空间邻域像素直接进行操作，是局部性的操作。除此之外，空域滤波的方法还包括形态学滤波。形态学滤波通过设计运算子，对图像进行腐蚀、膨胀与开闭操作，通过一系列的运算，将目标从背景中提取出来。其中Top-Hat算法成为了红外弱小目标检测领域的经典算法。参考文献[1]提出了基于Top-Hat滤波的目标检测算法，并结合遗传算法与神经网络对算法进行了修正。参考文献[2]对经典Top-Hat算法提出了改进，使其能更好地在复杂背景环境下进行目标检测。参考文献[3]结合中值滤波域形态学滤波两种空域方法结合处理，使目标检测的有效性显著提高。参考文献[4]提出了一种结合中值滤波与多向梯度搜索的检测方法，能够有效地在复杂背景条件下进行目标检测。

1. 频域的滤波方法

频域滤波基本上是让图像在频域空间的某个范围的分量受到抑制，同时保证其他分量不变，从而改变输出图像的频率分布，达到增强图像的目的。滤波器的设计常基于傅立叶变换，将原图像像素空间通过傅里叶变换到频域空间，再在频域空间中进行分量抑制处理，然后将频域空间通过IDFT(Inverse Discrete Fourier Transform)变换到空域空间。频域滤波器一般不对空间邻域像素进行直接操作，是全局性的操作。各种频域滤波器根据功能一般分为高通滤波器、带通滤波器和低通滤波器。参考文献[5]结合高阶累积量和高通滤波的方法，在抑制噪声的同时，提高了目标的信噪比。参考文献[6]使用高通滤波去除图像背景及杂波，再用直方图均衡法对目标进行增强，最后使用FPGA(Filed-Programmable Gate Array)在硬件上进行了实现。参考文献[7]使用图像序列并对相邻图像进行差分处理，使低频分量得到抑制，目标得到增强。

1. 小波域的滤波方法

小波滤波能够在多分辨率的尺度上对图像进行分析，从不同频率来分析图像中不同成分的信息，从而使背景等图像的低频成分得到抑制，目标等图像的中频成分得到增强，噪声等图像的高频成分得到去除。与频域变换相比，小波变换能更好地处理时间与频率的关系，从而更好地从图像中提取信息，解决了很多傅里叶变换不能解决的问题。近年来针对小波变换检测红外弱小目标方面提出了大量的算法。参考文献[8]结合小波滤波域高阶统计量联合处理，有效地达到了红外弱小目标检测的目的。参考文献[9]使用小波对图像的低频和噪声进行抑制，然后对图像进行插值分割，能有效地检测和定位弱小目标。参考文献[10]通过小波和Context模型对海面弱小目标进行检测，并使用贝叶斯分类算法对图像进行分割，和高通滤波相比，此种方法更有效。参考文献[11]基于小波和支持向量回归的方法对目标进行检测，使用基于SVR(Support Vector Regression) 的自适应滤波器对高频小波系数进行处理，使图像信噪比大大提高，实现了对远距离弱小目标的检测。参考文献[12]使用小波提升框架和小波能量进行目标检测，在水平和垂直两个方向上分别对小波能量进行阈值分割，再结合相邻图像的相关性，达到了对目标准确跟踪的目的。

1. 其他方法

除了上述空域、频域和小波域的目标检测算法外，还有国内外学者根据不同的数学模型提出很多新的算法。参考文献[13]用粒子滤波的方法改进了先跟踪后检测算法在低信噪比下难以对弱小目标进行检测的问题。参考文献[14]提出了一种基于二维主成分分析的方法对弱小目标图像进行特征融合，使用融合后的多特征图像对原始图像进行检测，从而达到较好的检测性能。参考文献[15]使用Sift(Scale-invariant feature transform)算法对图像进行特征点提取，然后以图像流的方法进行目标跟踪，克服了传统的光流法跟踪目标容易丢失，鲁棒性不强的缺点，是一种红外弱小目标检测的新思路。参考文献[16]使用模糊分类的方法对弱小目标进行检测，定义了类相似系数与类别贴近度，通过类别核对图像进行分类归并，用保留弱小目标类别的方法达到对检测的目的。参考文献[17]使用局部梯度和局部熵的方法对弱小目标进行检测，通过对这两种特质的图像进行融合，再对多帧图像进行特征累积，即能有效地对目标进行检测。除此之外，近年来还有一些新的红外弱小目标检测方法[18][19]。

## 1.3 文本识别国内外研究现状

在过去的十年中，张量分解逐渐应用到了其他领域中，如信号处理、数值线性代数、计算机视觉、数值分析、数据挖掘、图分析和神经科学等很多领域。在其他领域中有很多综述被写出来，而最近在多维分析领域也出版了一本专著。因此可以认为张量分析领域在可见的未来还会有很好的发展。

在张量建模领域，国外已经进行了大量的研究，是机器学习等人工智能领域研究热点之一，国内这方面的研究还刚起步。因此进行这方面的研究，并将其应用在红外弱小目标检测领域有十分重要的意义。在张量模型中，主要使用张量分解算法对已建立的模型进行分解并对分解后的特征值进行处理。当前，人们对向量的矩阵分析方法研究已十分成熟，包括经典的主成分分析[18]，线性判别分析[21]与局部保型映射[22]等方法在图像处理领域已有十分广泛的应用。但是，将图像或视频序列化为向量通常会导致大量完整信息的丢失，而且矩阵分析的方法对图像噪声通常比较敏感。因此，国内外许多学者为了克服上述缺点，提出了将二维矩阵扩展为多维张量的张量分析方法。从而使原本只能应用于矩阵的方法同样能够应用于张量，常见的扩展有张量主成分分析[23]，张量局部保型映射[24]与张量线性判别分析[25]等。

张量分析通常可以分为两大类方法进行处理，分别为两类不同的张量分解模型：第一种是Tucker张量分解[26]方法，其对应的是张量最佳秩的逼近；第二种是PARAFRAC张量分解[27]方法，其对应的是张量最佳秩的逼近[28]。张量分解主要方面的应用简述如下：

Vasilescu等[29]人率先将张量概念应用在人脸识别中，提出了张量脸的概念。将人脸数据组织成张量形式，并使用Tucker张量分解将不同光照、不同角度和不同表情下解释了人脸数据子空间的内在不变性。这一框架后来被应用在包括人脸识别[29]、表情生成[30]和人脸超分辨率[31]等多种领域。

ShaShua等人将PARAFRA张量分解应用在了图像数据领域[32]。这一分解可以用于图像和视频的压缩，该分解能有效降低视觉数据在图像和视频中视觉和空间的冗余度。进而，该方法同样能扩展为非负张量分解[33]，并在目标识别与检测领域中有广泛应用。

国内也有学者对张量分析方法进行研究，并取得了一些研究成果。其中[34]使用了有偏判别式的张量分解进行目标识别。参考文献[35]结合结构张量对图像进行处理，并使用线性和非线性结构张量分别对目标进行识别。论文[36]则提出了一种基于张量投票的彩色超分辨率算法，该算法在HSI彩色空间应用，最终得到张量重建的超分辨率图像，并将张量投票算法与反射投影结合，得到了良好的超分辨率效果。

综上所述，红外弱小目标检测目前在国内外已有广泛的研究，不过张量建模在国内外还都处于刚起步的状态，因此很有必要将张量建模应用在红外弱小目标检测上，提高低信噪比下红外弱小目标检测的性能。

## 1.4 本论文的主要工作及组织结构

本文主要对红外弱小目标检测算法以及张量建模等数学算法进行研究，并将张量模型应用在弱小目标检测上，并对算法设计及原理实现进行深入的探讨。

论文章节安排如下：

第一章，绪论。介绍本课题研究背景及意义，首先介绍红外弱小目标检测研究的国内外动态，然后介绍张量建模的国内外研究动态，并提出目前将两者结合起来方面的研究还比较少。最后对本文工作做简要叙述，并给出论文整体安排。

第二章，红外弱小目标特性分析。主要从目标、背景和噪声三方面对红外图像进行分析。分析红外图像中不同结构的数学模型，对各种模型进行比较，在检测时能针对不同的目标采用不同的数学模型进行处理。最后介绍如何对检测结果进行评价并给出评价标准。

第三章，红外图像背景抑制与分割。本章从红外弱小目标图像处理的基本步骤着手，介绍在红外图像处理领域常用的目标背景抑制与目标分割算法。并针对处理结果，提出合适的评价方法，以便后续研究顺利进行。

第四章，基于奇异值分解的弱小目标检测。文中提出了一种基于奇异值分解的红外弱小目标增强算法。使用多帧的图像序列，将其合并为一个矩阵，使用数学公式对矩阵进行分解从而得到合适的特征值，然后用合适的特征值对图像序列重构，就能使单帧图像得到极好的增强，再使用图像分割算法将目标从背景中提取出来。

第五章，基于张量建模的弱小目标检测。结合张量模型，将具有不同特性的红外图像构造为多维张量模型，对模型进行张量分解，再进行张量重构，重构后的模型在不同特性维度上能对弱小目标的不同特征给予适合的表示。结合多种特性对目标进行检测，并对结果进行比较分析。

第六章，总结与展望。主要介绍本论文所完成的工作与对未来需要完成的工作进行展望。

# 第二章 复杂条件下的文本图像预处理

## 2.1 引言

红外图像系统相对于其他成像系统有很多优点，不过图像依然受系统硬件和热噪声等常见图像生成系统的因素影响，除此之外，图像还受目标、背景和传输路径等因素的影响，大气环境也会将噪声引入图像，为了对红外弱小目标检测有详细的认识，因此有必要对红外图像的成像机理，红外图像的背景模型、噪声模型以及目标模型进行详细分析，这样有助于对红外弱小目标检测有更深层次的认识。此外，本章还给出红外弱小目标检测性能评价指标。

## 2.2 复杂条件下的文本图像分析

红外图像是由红外探测器采集的，其中红外探测器由光学传感器、红外传感器和光机扫描系统这三部分组成。探测器能采集红外影像并传到红外传感器，传感器经过模数转换将信号转换为数字信号，最终在监视器上显示为红外图像。图

针对以上这些红外图像特点，红外弱小目标检测的难度因此提高了。

## 2.3 颜色空间变换

红外图像的背景通常指的是在红外图像中没有目标的区域，如果从红外探测器所拍摄的环境差异来分析，可以把红外图像的背景分为三类，分别为天空背景、地表背景和海面背景。

## 2.4 文本图像倾斜校正

噪声本质上就是在检测目标时起阻碍作用的分量，同时也是不需要的信号，通常可以将其认为是在待检测目标上混叠的一种随机干扰，本质上来说这是一种随机信号。

## 2.5 文本图像去噪

红外弱小目标定义中的“弱”通常是指目标像素灰度与周围背景图像像素灰度的对比度较低，而“小”通常是指目标相对于整个图像而言，几何尺寸较小。因为红外弱小目标检测问题大多应用在军事上，虽然目标的绝对尺寸并不小，但目标距离红外探测器距离较远，所以在图像上形成的目标强度也会较弱，尺寸也会较小。红外弱小目标可以用两种方式进行定义：一种是以目标像素的形式，比如弱小目标为一个像素的亮斑，另一种是目标小到无法用形状表示，仅为一个亮点。

根据上面的分析，可以总结红外弱小目标有下述两点特征：

1. 红外图像中的弱小目标只有几个像素大小，甚至有时候小到只有一个像素点，而且所有信息都集中在这些像素上，缺乏纹理和边缘等高级信息。
2. 红外图像中的弱小目标有些是一些相灰度对独立的点，这些独立的点属于图像的高频成分，在图像信噪比较低的状况下，目标十分容易被强噪声覆盖，结果就是目标同噪声难以分离。

## 2.6 文本图像二值化

本节给出几个用于衡量红外弱小目标检测性的指标。这里使用以下三种标准来进行评价：一是局部信噪比，二是局部对比度，三是检测概率、虚警率和平均虚警率，以方便后续研究。

目标个数；为序列中虚假目标个数；为序列帧数。

## 2.7 本章小结

本章对红外弱小目标图像三个主要组成部分即背景、噪声和目标进行了特性分析，分析可知图像背景灰度比较平稳，处于图像频谱中的低频部分。图像受各种噪声的影响，因此需要对目标检测之前进行预处理。从分析中还知道目标的特性，一般目标没有形状，缺少纹理等信息。最后针对红外弱小目标检测提出了检测结果评价标准，分别是局部信噪比、局部对比度、检测概率、虚警率和平均虚警率，这些指标能将我们的算法与其他算法作对比以证明其有效性。上述对红外图像三个组成部分的介绍和性能评价指标的提出，为后续的研究奠定了基础。

# 第三章 自然场景条件下的文本区域定位

## 3.1 引言

红外图像归根结底属于图像处理研究范围，因此可以使用图像处理的基本方法对红外图像进行处理。对于红外图像弱小目标检测而言，一般通过背景抑制和图像分割就能把目标检测出来。红外弱小目标检测整个算法流程通常会依次使用这两种方法，直到目标被检测出来。本章主要围绕这两类红外图像处理算法进行研究与讨论。

## 3.2 文本定位系统设计

效地检测出图像中的目标，不过当图像中存在强噪声的时候，该算子对背景的抑制就显得力不从心。

## 3.3 基于最大极值稳定区域的候选区域提取

Otsu是最受欢迎的二值分割方法之一，该方法能将图像分割成目标和背景的阈值被最大可能的选择出来。

## 3.4 基于颜色聚类的候选区域提取

对比各个算法对图像增强的效果，并比较各个算法的运算时间。为了形象显示各个算法滤波后结果，使用滤波前图像与滤波后图像做差分，以使弱小目标更加突出，如图3.6所示：

## 3.5 基于视觉显著性的滤除

要实现弱小目标的跟踪，需要对每一幅图像及其之前的图像序列做上述奇异值分解。设当前要处理的图像为，则取前幅图像序列与当前图像构成幅图像序列。

## 3.6 实验结果与分析

### 3.6.1 文本定位的数据集和评价标准

结合上述分析，使用32位Windows 7操作系统，仿真软件用Matlab R2010b对上述图像背景抑制算法进行比较。实验用电脑CPU主频为双核2.6GHz，内存为2G

### 3.6.2 文本定位结果及分析

由结果可以看出，使用Otsu算法分割效果很好，目标能完全分割出来，分析原因是因为弱小目标在图像局部中所占比例较大。

## 3.7 本章小结

红外弱小目标检测中，需要首先对图像进行预处理，使用预处理后的图像与原图像做差分运算就能使目标信息得到极大地增强，然后使用合适的分割算法就能将弱小目标从背景中提取出来。本章在预处理阶段介绍了中值滤波、最大中值滤波、均值滤波、最大均值滤波、自适应中值滤波、高通滤波与Top-Hat滤波，在图像分割阶段介绍了改进的局部Otsu二值图像分割和基于四叉树的图像分裂合并分割算法。并对部分预处理算法和分割算法进行了仿真与实验，实验结果显示均值滤波最能提高目标局部信噪比，Top-Hat滤波最能提高目标局部对比度，而且Top-Hat算法处理时间最短，很适合用来对图像进行背景抑制。而分割算法中基于局部Otsu分割算法和区域分裂合并算法则都能达到很好的分割效果，为以后的研究奠定了基础。

# 第四章 复杂条件下的文本识别

## 4.1 引言

鉴于传统基于单幅图像奇异值分解红外弱小目标检测算法的不足，本章提出一种新的基于图像序列奇异值分解的红外弱小目标检测算法。

## 4.2 定位和识别的关系探讨

设红外图像序列为，则原图像序列可以认为由三部分组成，分别是背景图像序列，目标图像序列和噪声图像序列。

## 4.3 文本识别系统设计

## 4.4 词图像分割

要实现弱小目标的跟踪，需要对每一幅图像及其之前的图像序列做上述奇异值分解。设当前要处理的图像为，则取前幅图像序列与当前图像构成幅图像序列。

## 4.5 特征提取

要实现弱小目标的跟踪，需要对每一幅图像及其之前的图像序列做上述奇异值分解。设当前要处理的图像为，则取前幅图像序列与当前图像构成幅图像序列。

### 4.5.1 全局特征

要实现弱小目标的跟踪，需要对每一幅图像及其之前的图像序列做上述奇异值分解。设当前要处理的图像为，则取前幅图像序列与当前图像构成幅图像序列。

### 4.5.2 局部特征

要实现弱小目标的跟踪，需要对每一幅图像及其之前的图像序列做上述奇异值分解。设当前要处理的图像为，则取前幅图像序列与当前图像构成幅图像序列。

## 4.6 分类器选择及参数设置

要实现弱小目标的跟踪，需要对每一幅图像及其之前的图像序列做上述奇异值分解。设当前要处理的图像为，则取前幅图像序列与当前图像构成幅图像序列。

### 4.6.1 K最近邻算法

要实现弱小目标的跟踪，需要对每一幅图像及其之前的图像序列做上述奇异值分解。设当前要处理的图像为，则取前幅图像序列与当前图像构成幅图像序列。

### 4.6.2 BP神经网络

要实现弱小目标的跟踪，需要对每一幅图像及其之前的图像序列做上述奇异值分解。设当前要处理的图像为，则取前幅图像序列与当前图像构成幅图像序列。

### 4.6.3 支持向量机

要实现弱小目标的跟踪，需要对每一幅图像及其之前的图像序列做上述奇异值分解。设当前要处理的图像为，则取前幅图像序列与当前图像构成幅图像序列。

## 4.7 特征融合

要实现弱小目标的跟踪，需要对每一幅图像及其之前的图像序列做上述奇异值分解。设当前要处理的图像为，则取前幅图像序列与当前图像构成幅图像序列。

### 4.7.1 前期融合

要实现弱小目标的跟踪，需要对每一幅图像及其之前的图像序列做上述奇异值分解。设当前要处理的图像为，则取前幅图像序列与当前图像构成幅图像序列。

### 4.7.2 后期融合

要实现弱小目标的跟踪，需要对每一幅图像及其之前的图像序列做上述奇异值分解。设当前要处理的图像为，则取前幅图像序列与当前图像构成幅图像序列。

## 4.8 实验与结果分析

本章采用第二章所提出的评价准则对算法性能进行分析。

1) 局部信噪比

 (4.6)

其中，、分别是图像的目标平均灰度和目标周围平均灰度。是目标邻域图像与噪声标准差。局部信噪比表现目标与背景噪声的差别的大小，值越大表示目标与噪声的差别越大，目标越明显。图4.6显示了5组序列处理前后平均局部信噪比，虽然有个别帧处理后图像信噪比要低于处理前图像，不过就整体而言，算法确实提高了图像的局部信噪比。

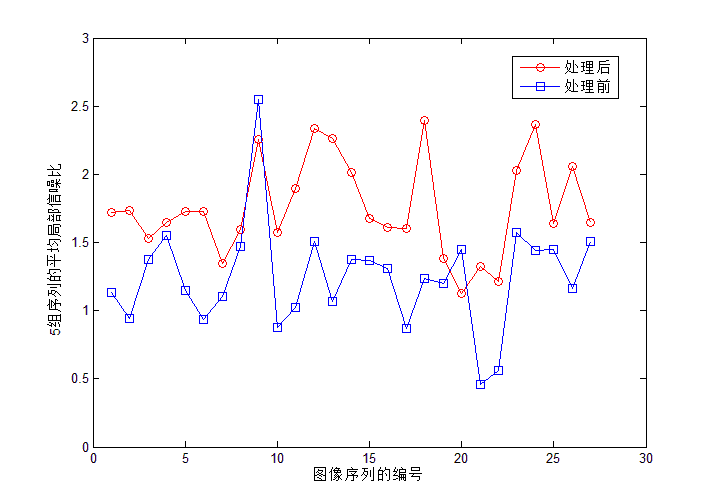


图4.6 图像局部信噪比

2) 局部对比度

 (4.7)

局部对比度表现目标与背景的相对灰度。对比度值越大，则目标越清晰，反之，目标越模糊。图4.7显示了5组序列处理前后平均局对比度，可以看出，处理后每组图像局部目标对比度都要高于处理前的图像，证明算法能够达到增强图像的目的。

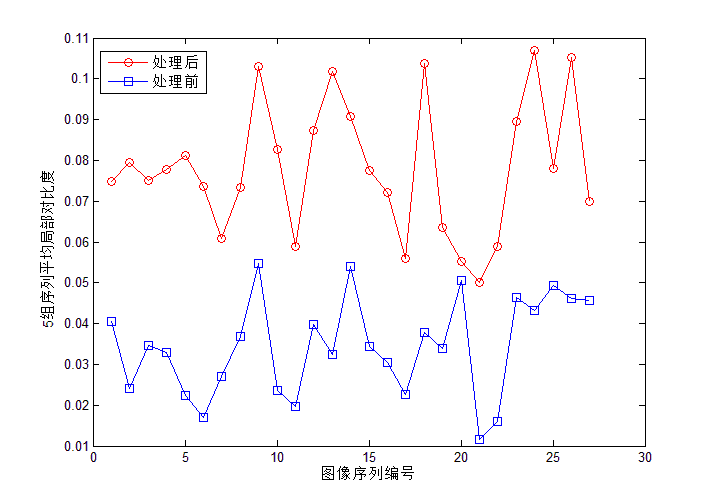


图4.7 图像局部对比度

3) 检测概率及虚警率和平均虚警率

{, #1}检测概率和虚警率和平均虚警率是小目标检测常用评价标准，定义为：

 (4.8)

 (4.9)

 (4.10)

式中：为序列中检测到目标个数；为序列中实际目标个数；为序列中虚假目标个数，为序列帧数。实验用2组图像序列进行分析，分别使用SVD分解、最大中值滤波(MaxMedian)、最大均值滤波(MaxMean)，并对结果进行分析。表4-1和表4-2分别为最大均值与最大中值同文中算法的比较结果：

表4-1 文中算法(SVD)和MaxMean算法的检测结果比较

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | SVD | | | MaxMean | | |
|  |  |  |  |  |  |
| Seq1 | 0.9 | 0.09 | 0.1 | 0.7 | 0.3 | 0.8 |
| Seq2 | 0.95 | 0.04 | 0.05 | 0.5 | 0.32 | 0.95 |

表4-2 文中算法(SVD)和MaxMedian算法的检测结果比较

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | SVD | | | MaxMedian | | |
|  |  |  |  |  |  |
| Seq1 | 0.9 | 0.09 | 0.1 | 0.46 | 0.43 | 1.65 |
| Seq2 | 0.95 | 0.04 | 0.05 | 0.5 | 0.34 | 1.05 |

从实验结果我们可以看出，SVD处理能达到是目标突出的目的，结合帧间与帧内的联合检测能是图像序列的检测率始终保持在90%左右。实验运行软件环境Windows7+Matlab2010，硬件环境CPU主频为2.4G，内存为2G，处理每帧图像平均耗时60ms左右，实验结果显示算法检测率高、鲁棒性高、实时性较好。

## 4.9 本章小结

本文提出的基于奇异值分解的红外弱小目标检测方法，首先将多帧图像进行奇异值分解，再按照合适的特征对图像序列进行重构，即能得到在极微弱信噪比下增强的弱小目标，在采用简单阈值分割就可以自适应的对目标进行检测。同时结合帧间相关与帧内相关的修正算法，实现了对红外弱小目标的准确跟踪。实验效果显示，该算法能够有效在极微弱信噪比下进行目标检测，显示了该算法的有效性。该算法对每帧处理时间很短，显示了该算法的实时性。

# 第五章 总结与展望

## 5.1 本文工作总结

红外弱小目标在特征上来看没有一般可见光图像的纹理等细节特征，因此在检测的时候不能使用传统的图像处理手段。本文通过分析红外弱小目标检测技术的国内外研究现状，并且通过分析红外图像背景噪声和目标模型，提出了两种红外弱小目标检测算法，同时，对算法进行了仿真及实验。

第一章通过分析红外弱小目标的研究背景、图像模型和一般处理方法，对整个研究领域有个整体的把握，为后续的研究打好了基础。通过分析研究背景，得知此项研究的意义，此项研究不仅在军事领域有广泛应用，随着技术的进步，硬件和软件成本的下降，红外弱小目标会更多的在民用领域中进行使用，因此研究的前景是广阔的。

第二章通过分析可知，红外图像模型是由背景模型、噪声模型和目标模型共同构成的。通过对红外成像机制的分析，将背景模型分为复杂背景与平稳背景，把噪声模型分为散粒噪声、热噪声、产生——复合噪声、光子噪声和噪声，这些噪声大多数都是由系统硬件和大气环境所产生的，通常可以抽象为高斯噪声。通过对噪声的分析，可以使用软硬件结合的方法对噪声进行滤除。目标模型由于在整个图像中所占比重较小，而在局部图像中所占比重较大，可以用二维高斯函数进行模拟。对此三类模型的分析有利于后续的目标检测。

第三章说明红外图像作为数字图像的一种，可以使用大多数图像算法进行处理，针对红外图像，通常使用图像滤波和图像分割两类算法进行目标检测。图像滤波一节介绍了中值滤波、最大中值滤波、自适应中值滤波、均值滤波、最大均值滤波、高通滤波和Top-Hat滤波，通过对各种算法的比较，基本可以确定Top-Hat方法是比较理想的。图像分割是实际将目标从背景分离出来的步骤，比较Otsu算法和区域分裂合并算法，局部Otsu是通过邻域像素灰度值进行二值化分割，能够有效地将目标提取出来，不过此种方法在处理极微弱目标的情况下有时会失败。区域分裂合并算法根据图像的局部灰度进行自适应分割，能将目标很好地从背景中分离出来。

第四章提出了一种基于奇异值分解的弱小目标检测算法，该算法通过对序列图像进行奇异值分解，再选择不同的特征值对序列图像进行重构，当选择合适特征值时，重构后的图像中弱小目标的局部对比度和局部信噪比能得到极大的增强，然后对增强后的图像进行简单分割就能将弱小目标检测出来。为了适应图像序列每帧检测的情况，通过帧内修正与帧间修正两种方法对某一检测到弱小目标的相邻图像进行处理，就能将整个图像序列中的弱小目标检测出来。通过实验分析，此种方法比最大中值与最大均值算法效果均要好。

第五章提出了一种基于张量建模的红外弱小目标检测方法。该方法首先需要建立红外弱小目标特征库，首先使用不同目标局部背景特性、目标对比度特性、目标灰度分布特性和目标运动轨迹特性这四个特性建立多模弱小目标张量特征数据库，其次根据张量理论按照不同特征对张量数据库进行展开，然后通过原红外图像对不同特征上投影的强度来对弱小目标进行检测。实验显示，该方法达到了较好的效果，不过时间复杂度较高。

奇异值分解算法虽然速度快，不过不能检测没有运动的目标，有实用价值，不过理论价值不如张量分解强。张量分解算法对于模型的依赖性比较强，不过当模型对待检测算法没有很好的匹配度的时候，效果不如奇异值分解算法，因此，该算法使用的主要难点在于特征的选择与弱小目标库的建立。

最后对全文进行总结并对未来研究进行展望。

## 5.2 未来工作展望

限于作者能力与工作时间等条件限制，还不能将所有算法达到最优化，因此，在未来的工作中，很有必要将各种算法时间和空间的性能再进行优化。其具体工作主要有以下几点：

1. 针对奇异值分解红外弱小目标检测，由于奇异值分解后特征值会根据不同

序列图像之间差别的大小生成不同的特征矩阵，如果弱小目标在相邻帧图像没有进行位移或相邻帧图像完全一样的话，那么重构后的图像会认为目标是背景的一部分而无法得到增强，这就会对后续的将目标检测出来的步骤造成困难。处理方法是可以将多帧图像进行目标累积，因为奇异值分解失效的时候，也正是目标能进行累积求和得到最大值的时候，通过此种改进，就能将任何情况下目标检测出来。

1. 针对张量建模红外弱小目标检测，首先建立目标特征数据库还有能够改进

的地方，可以采用更多的特征，不过随着特征数的上升，处理的时间也随之上升。此种方法最大的缺点是无法达到实时检测的目的，因此在如何进行时间优化上改进就显得特别有意义，这也是未来工作目标之一。

1. 针对张量模型的使用，目前是参考张量脸模型来进行弱小目标识别，将来

可能有新的更适用于弱小目标的张量模型来进行目标检测。

# 致谢

研究生的三年生活马上就要结束了，论文也在此时将要全部完成。此时此刻，我要感谢的人很多，因为我的论文能顺利完成，和众多人的帮助是分不开的。

首先我要感谢我的硕士导师高陈强副教授。能够在他的指导下完成我的硕士论工作，我感到十分骄傲。高老师所具备的渊博的知识、敏捷的思维和严谨的治学态度一直是我学习的榜样。每一次收到高老师给我的指导意见，都会使我感到很大的压力，同时也感到信心百倍。在攻读硕士的几年时间里，我时刻提醒自己不辜负高老师的期望。

同时我要感谢多媒体通信实验室的李强老师，在几年的学习过程中，李老师一丝不苟的工作态度和对科研工作的严谨细致令我获益良多。

感谢寝室兄弟秦亮、苏泽林和万义龙，在过去几年里学习上互相帮助，生活上互相关照。我们一起度过的时光将会成为美好的回忆，寝室友谊天长地久。

感谢多媒体通信实验室各位同学，尤其要感谢余迪虎、苏恒第与阎兵早师兄，感谢陈良、赵明兵、刘伟、张小红、王丽珍和郑秋菊在学习上提供的帮助。在与他们一起学习、生活、工作、共同进步的三年里，我充分的感受到了我们这个集体的温暖。

我要特别感谢我的父母，感谢他们多年来所给予我的一切，感谢他们在我最需要帮助的时候，毫不保留的支持我。

最后，感谢评阅本论文并提出宝贵意见和建议的各位专家，感谢他们的辛勤工作。

谨以此硕士论文献给所有关心、支持和帮助过我的朋友们。

# 参考文献

1. 周洪武，朱兆达，吴一全，周建江. 基于TOP-HAT滤波算子的红外弱小目标检测算法[J]. 南京航空航天大学学报. 2007. 39(2). 213-217.
2. 白相志，周付根，谢永春，金厅. 新型Top-hat变换及其在红外弱小目标中的应用[J]. 数据采集与处理. 2009. 24(5). 643-649.
3. 苏新主，姬红兵，高新波. 一种基于数学形态学的红外弱小目标检测方法[J]. 红外与激光工程. 2004. 33(3). 307-310.
4. 刘帅，魏贤智，高晓梅. 基于中值滤波和多向梯度搜索的目标检测算法[J]. 电光与控制. 2011. 18(2). 81-84.
5. 李晓琼，史彩成，毛二可. 基于高阶累积量的单帧复杂云背景下红外弱小目标检测[J]. 光学技术. 2008. 34(5). 696-698.
6. 严棚，魏宇星. 基于FPGA设计的弱小目标图像增强技术[J]. 激光与红外. 2006. 36(4). 327-329.
7. 钱永浩，吴小俊，罗晓清. 一种基于差帧图像融合的弱小目标增强方法[J]. 弹箭与制导学报. 2010. 30(3). 175-178.
8. 李燕苹，谢维信，裴继红. 基于小波变换的红外弱小目标检测新方法[J]. 红外技术. 2006. 28(7). 419-422.
9. 樊晓兵. 基于小波变换的红外弱小目标检测[J]. 吉首大学学报. 2008. 29(1). 75-78.
10. 孙国栋，吉书鹏，周桢. 基于小波和Context模型的海面红外弱小目标检测[J]. 红外技术. 2010. 32(2). 97-100.
11. 荣健，申金娥，钟晓春. 基于小波和SVR的红外弱小目标检测方法[J]. 西南交通大学学报. 2008. 43(5). 555-561.
12. 徐韶华，李红. 基于小波提升框架及小波能量的红外弱目标检测方法[J].红外技术. 2006. 28(11). 669-672.
13. 李少军，朱振福. 采用粒子滤波的先跟踪后检测算法[J]. 红外与激光工程. 2009. 38(2). 352-357.
14. 魏旭，陶冰洁. 基于2DPCA的特征融合方法及其应用[J]. 计算机工程与应用. 2008. 44(5). 70-72.
15. 牛志彬，周越. 基于SIFT流红外弱小目标的检测和跟踪[J]. 微型计算机. 2010. 26(1). 37-42.
16. 李欣，赵亦工，陈冰，薛晶. 基于模糊分类的弱小目标检测方法[J]. 光学精密工程. 2009. 17(9). 2311-2321.
17. 陈湘凭，王志成，田金文. 基于局部梯度和局部熵的红外小目标融合检测[J]. 计算机与数字工程. 2006. 34(10). 1-4.
18. 薛永宏，安玮，张涛，张寅生. 采用扩展MRF的红外目标自适应检测方法[J]. 红外与激光工程.2013. 42(8). 2288-2293.
19. 穆治亚，魏仲慧，何昕，梁国龙. 采用稀疏表示的红外图像自适应杂波抑制[J]. 光学精密工程. 2013. 21(7). 1850-1857.
20. M. Turk, A. Pentland. Eigenfaces for recognition. Journal of Cognitive Neuroscience[J]. 1991. 3(1). 71-86.
21. P.N. Belhumeur, J.P. Hespanha, D.J. Kriegman. Eigenfaces vs. Fsherfaces: Recognition using class specific linear projection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1997. 19(7). 711-720.
22. X He, P. Niyogi. Locality preserving projections[C]. Advance in Neural Information Processing Systems 18 (NIPS). Vancouver, Canada. 2003.
23. J Yang, D Zhang, Alejandro F. Frangi, JY Yang. Two-Dimensional PCA: A New Approach to Appearance-Based Face Representation and Recognition[J]. IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2004. 26(1). 131-137.
24. X He, D Cai, P. Niyogi. Tensor subspace analysis[C]. Advance in Neural Information Processing Systems 16 (NIPS). Vancouver, Canada. 2005.
25. D Xu, S Yan, L Zhang, HJ Zhang, Z Liu, H.Y Shum. Concurrent subspaces analysis[C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). San Diego, USA. 2005. Washington. IEEE Computer Society. 203-208.
26. F. L. Hitchcock. The expression of a tensor or a polyadic as a sum of products[J]. Journal of Mathematics and Physics. 1927. 6(1). 164-189.
27. J.B. Kruskal. Three-way Arrays: rank and uniqueness of trilinear decompositions, with application to arithmetic complexity and statistics[J]. Linear Algebra and its Applications. 1977. 18(2). 95-138
28. L.D. Lathauwer, B.D. Moor, J. Vandewalle. On the best rank-1 and rank-(R1, R2,…,Rn) approximation of higher-order tensors[J]. SIAM Journal of Matrix Analysis and Applications. 2000. 21(4). 1324–1342.
29. M.A.O. Vasilescu, D. Terzopoulos. Multilinear analysis of image ensembles: Ten-sorfaces[C]. European Conference on Computer Vision (ECCV). Copenhagen, Denmark. 2002. Berlin. Springer-Verlag. 447-460.
30. H Wang, N. Ahuja. Facial expression decomposition[C]. International Conference on Computer Vision (ICCV). Nice, France. 2003. Washington. IEEE Computer Society. 958–965.
31. K Jia, S Gong. Multi-modal tensor face for simultaneous super-resolution and recognition[C]. International Conference on Computer Vision (ICCV). Beijing, China. 2005. Washington. IEEE Computer Society. 1683-1690.
32. A. Shashua, A. Levin. Linear image coding for regression and classification using the tensor-rank principle[C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Kauai, USA. 2001. Washington. IEEE Computer Society. 42-49.
33. A. Shashua, R. Zass, T. Hazan. Multi-way clustering using super-symmetric non-negative tensor factorization[C]. European Conference on Computer Vision (ECCV). Graz, Austria. 2006. Berlin. Springer-Verlag. 595-608.
34. 温静. 基于张量子空间学习的视觉跟踪方法研究[D]. 西安. 西安电子科技大学. 2010. 59-69.
35. 谢成. 结合结构张量的图像去噪及其增强的研究[D]. 武汉. 华中科技大学. 2009. 19-29.
36. 胡水祥. 基于张量投票的彩色图像超分辨率算法研究[D]. 长沙. 中南大学. 2010. 16-27.
37. Paul Horowitz, Winfield Hill. The Art of Electronics, 2nd edition [M]. Cambridge (UK). Cambridge University Press. 1989. 431-432.
38. 崔敦杰. 关于红外探测器与红外焦平面阵列探测器性能参数描述方法的商榷[J]. 光学精密工程. 2003. 11(3). 265-269.
39. J. Barnett. Statistical Analysis of median subtraction filtering with application to point target detection in infrared backgrounds[C]. SPIE. Munich, Federal Republic of Germany. 1989. 10-18.
40. 杨卫平，沈振康，魏急波等. 低信噪比运动红外点目标的检测[J]. 电子学报. 1999. 27(12). 26-29.
41. Suyog D. Deshpande, M.H. Er, V. Ronda, Phillip Chan. Max-Mean and Max-median filters for detection of small-targets[C]. SPIE. Denver, USA. 1999. 74-83.
42. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. 阮秋琦，阮宇智. 冈萨雷斯数字图像处理(第二版)[M]. 北京. 电子工业出版社. 2007. 190-193.
43. C.S. Lee, Y.H. Kuo, P.T. Yu. Weighted fuzzy mean filters for image processing [J]. Fuzzy Sets Syst. 1997. 89(2). 157-180.
44. 徐英. 红外图像序列中运动弱小目标检测的方法研究[J]. 红外技术. 2002. 24(6). 27-30.
45. XZ Bai, FG Zhou, T Jin. Enhancement of dim small target through modified top-hat transformation under the condition of heavy clutter [J]. Signal Processing. 2010. 90(5). 1643-1654.
46. Mark S. Nixon, Alberto S. Aguado. 李实英，杨高波. 特征提取与图像处理(第二版)[M]. 北京. 电子工业出版社. 2010. 61-64.
47. Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle. 艾海舟，苏延超. 图像处理、分析与机器视觉(第3版)[M]. 北京. 清华大学出版社. 2011. 157-163.
48. 尹超，向建勇，韩建栋. 一种基于区域背景预测的红外弱小目标检测方法[J]. 红外技术. 2004. 26(6). 62-65.
49. R. Bro. PARAFAC: Tutorial and applications [J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 1997. 38(2). 149-171.
50. R. Henrion. Body diagonalization of core matrices in three-way principal components analysis: Theoretical bounds and simulation [J]. Journal of Chemometrics. 1993. 7(6). 1-23.
51. M.A.O. Vasilescu. Human motion signatures: analysis, synthesis, recognition [C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Kauai, USA. 2001. Washington. IEEE Computer Society. 456-460.
52. T.G. Kolda. Multilinear Operators for Higher-Order Decompositions[R]. Technical Report SAND 2006-2081. Sandia National Laboratories. Albuquerque, NM and Livermore, CA. 2006.
53. L.R. Tucker. Implications of factor analysis of three-way matrices for measurement of change, in Problems Measuring Change [M]. University of Wisconsin Press. 1963. 122-137.

# 附录 作者在攻读硕士学位期间的研究成果

一、发表的论文：

1. 席海峰，田超. 基于SVR的宽基线图像匹配方法[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版)，2013. 25(2). 197-202.
2. 田超，高陈强. 基于奇异值分解的红外弱小目标检测[J]. 工程数学学报.(已录用).
3. 发明的专利：

专利名称：一种基于张量模型的红外弱小目标检测方法.

申请人：高陈强，田超，李璐星，陈良，曹杰.

专利号：201410020675.2.

1. 参与的项目：
2. 国家自然科学基金项目“基于高阶张量的红外弱小目标多特性建模与检测方法研究”(61102131)，2012.1-2014.12.
3. 重庆科委自然科学基金项目“复杂背景下基于张量代数的红外微弱目标检测方法研究”(CSTC,2010BB2411)，2010.10-2013.10.