



国防科技图书出版基金

Restoration Method and
Application for Multi-spectral
Image in Object Detection

目标探测多谱图像 复原方法与应用

洪汉玉 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press



国防科技图书出版基金

目标探测多谱图像复原 方法与应用

Restoration Method and Application for
Multi-spectral Image in Object Detection

洪汉玉 著



国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

目标探测多谱图像复原方法与应用 / 洪汉玉著. —
北京: 国防工业出版社, 2017. 10
ISBN 978 - 7 - 118 - 11344 - 0

I. ①目… II. ①洪… III. ①航空图象 - 图象恢复法
IV. ①TP75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 234840 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 插页 3 印张 13½ 字数 232 千字

2017 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 88.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

致 读 者

本书由中央军委装备发展部国防科技图书出版基金资助出版。

为了促进国防科技和武器装备发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。这是一项具有深远意义的创举。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在中央军委装备发展部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由中央军委装备发展部国防工业出版社出版发行。

国防科技和武器装备发展已经取得了举世瞩目的成就,国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。开展好评审工作,使有限的基金发挥出巨大的效能,需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第七届评审委员会组成人员

主任委员 潘银喜

副主任委员 吴有生 傅兴男 赵伯桥

秘书长 赵伯桥

副秘书长 邢海鹰 谢晓阳

委员 才鸿年 马伟明 王小谟 王群书
(按姓氏笔画排序)

甘茂治 甘晓华 卢秉恒 巩水利

刘泽金 孙秀冬 芮筱亭 李言荣

李德仁 李德毅 杨伟 肖志力

吴宏鑫 张文栋 张信威 陆军

陈良惠 房建成 赵万生 赵凤起

郭云飞 唐志共 陶西平 韩祖南

傅惠民 魏炳波

前 言

航天探测与目标识别已进入了多光谱时代,人们开始使用不同光谱如可见光、红外、紫外、毫米波、太赫等来探测和监控目标。多谱成像在航天探测及国防工业中已发挥重要作用和获得了广泛应用。同时,随着计算机主动视觉技术的发展,越来越多的多谱传感器安装在动平台上,以便全天候高机动实时探测和跟踪动目标。在航天探测及目标识别过程中,由于会受到大气扰动、口径受限、对焦不准、目标及平台运动、光学衍射及散射等外部复杂因素的影响,多谱图像是模糊的,有时甚至分辨不清,给目标探测带来了很大困难。为了有效检测识别目标,必须进行清晰化复原处理,否则目标检测识别无法进行。基于成像后的图像复原是人们一直致力而还未解决的难题,目前已成为多光谱成像探测领域急需解决的关键技术问题。

带有光学成像探测系统的高速飞行器在大气层内飞行时,其光学头罩与来流之间形成复杂的流场,引起目标图像模糊、偏移及抖动等湍流效应。红外成像未过程伴随着严重的湍流效应,严重影响成像探测系统对目标的探测、精确定位与跟踪精度。为发展我国航天飞行器成像探测技术,必须开展目标探测多谱图像复原方法的研究。

本书内容主要涉及目标探测多谱图像复原的用途、基本原理、发展现状以及处理方法,并重点介绍图像复原基本概念方法及评价;基于频域共轭梯度法的交替迭代复原算法;基于各向异性和非线性规整化的总变分盲复算法;湍流退化复杂背景图像的相邻帧复原算法;湍流退化图像双重内循环交替迭代的最大似然估计复原算法;图像复原算法的并行集群实现;动目标多视点去模糊及三维重建;目标探测多谱图像的统一复原算法。

本书是在作者及团队对目标探测湍流退化图像复原、目标识别多年研究的基础上撰写的。本书力求理论联系实际,奉献该书于读者的目的,是推动国内目标探测多谱图像复原及其应用研究的发展,满足从事相关学科研究、教学和应用的科技工作者和研究生的参考需要。

本书所涉及的研究工作得到了国家自然科学基金重点项目(编号:61433007)及国家自然科学基金面上项目(编号:61671337)、湖北省自然科学基金创新研究群体项目(编号:2012FFA046)及武汉市国际科技合作计划项目(编号:2014030709020310)的支持,在此表示感谢。

作者首先要感谢导师张天序教授长期在学术科研道路上的指导和关怀,同时要感谢在本书文稿准备过程中诸多同事和研究生的贡献,包括富有启发性的讨论和建议,编程,计算,调试。主要有章秀华、时愈、华夏、蔡颖、洪可、王万里、李毅、白浩玉、何成剑、涂娇姣等;其中章秀华参与了第 10 章的部分写作与整理工作,时愈参与了第 2、11 章的部分写作与整理工作,华夏参与了第 6 章的部分写作与整理工作,在此表示感谢。

限于作者水平,书中难免有疏漏和不当之处,恳请读者批评指正。

洪汉玉

2016 年 8 月 28 日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 目标探测多谱图像复原的研究背景	2
1.3 国内外研究现状及发展动态分析	9
1.3.1 Richardson - Lucy 等非盲目图像复原技术不满足实际退化图像复原的首要条件	9
1.3.2 IBD 盲目复原及其正则化方法对航天探测图像的复原存在不可逾越的技术瓶颈	10
1.3.3 不依赖退化模式的统一复原方法的形成	12
1.4 本书内容安排	13
第 2 章 图像复原基本概念、方法及评价	15
2.1 图像退化原因	15
2.2 图像退化模型	16
2.2.1 函数的模型化	16
2.2.2 离散序列的退化模型	17
2.2.3 循环矩阵的特征分解	20
2.2.4 图像复原的频域解	21
2.3 图像复原基本方法	22
2.3.1 无约束恢复	22
2.3.2 有约束恢复	23
2.3.3 非线性复原方法	26
2.4 图像盲目去卷积方法	27
2.5 湍流退化图像的复原方法	29
2.6 图像复原质量评价	31
第 3 章 基于频域共轭梯度法的交替迭代复原算法	34
3.1 概述	34

3.2	基于频域共轭梯度法的优化复原算法原理	36
3.3	算法的稳定性处理	38
3.4	算法的约束条件	39
3.5	算法的实现流程	40
3.6	试验结果与分析	41
第4章	基于各向异性双重正则化的总变分复原算法研究	45
4.1	概述	45
4.2	总变分极小复原算法原理简介	46
4.3	各向异性双重正则化方法	47
4.4	基于交替最小化的算法实现与流程	51
4.5	试验结果与分析	52
第5章	湍流退化复杂背景图像的相邻帧复原算法	55
5.1	概述	55
5.2	部分卷积理论与复杂背景图像相邻帧复原算法	56
5.3	基于各向异性和二阶加权梯度差分的约束优化估计	58
5.4	二阶加权差分的定义	59
5.5	基于滞后迭代极小化的 PSF 求解方法	62
5.6	二阶加权梯度算子矩阵的快速构造	62
5.7	算法流程与复杂背景目标图像的滤波复原	64
5.8	湍流退化图像复原算法集成及系统功能	65
5.9	试验结果与分析	66
第6章	双重循环交替迭代最大似然估计复原算法	74
6.1	概述	74
6.2	多帧最大似然估计复原原理	75
6.3	双重循环最大似然估计复原方法	76
6.4	各向异性正则化的双重循环最大似然估计复原方法	78
6.5	像偏移的计算及像抖动的校正	80
6.6	试验结果与分析	80
第7章	双重循环迭代复原算法的加速技术研究	88
7.1	概述	88
7.2	双重内循环迭代复原算法的原理	89

7.3	基于线性搜索的迭代加速方法	89
7.4	试验结果与分析	91
第8章	湍流退化图像并行集群复原方法研究与实现	94
8.1	概述	94
8.2	空间域迭代计算的数学模型	95
8.3	基于空间域按行分片的并行计算处理方法	98
8.4	基于 MPI 环境的并行计算与实现	100
8.5	试验结果与分析	102
第9章	湍流退化图像复原多 DSP 并行处理方法研究	106
9.1	概述	106
9.2	湍流退化图像复原多 DSP 并行处理方法研究	107
9.3	双重循环多帧复原算法计算分解及数据流图	110
9.4	算法流程及算法计算量分析	114
9.5	试验结果与分析	117
第10章	动目标多视点图像去模糊及三维重建	119
10.1	概述	119
10.2	沿模糊路径去卷积的单视点图像去运动模糊	122
10.2.1	线性运动模糊图像的模型分析	122
10.2.2	沿模糊路径去卷积	123
10.2.3	试验结果与分析	125
10.3	双目两视点图像去模糊方法	131
10.3.1	双目两视点图像运动模糊分析	131
10.3.2	双目两视点模糊核的路径关系	132
10.3.3	基于 MAP 算法的双目两视点图像去模糊过程	135
10.3.4	双目两视点图像去模糊试验分析	138
10.4	动目标多视点图像去模糊	141
10.4.1	多视点成像系统和试验平台	141
10.4.2	动目标多视点图像的模糊分析	142
10.4.3	基于各向异性正则化的模糊核及路径精确估计	144
10.4.4	模糊核路径的精细化提炼方法	146
10.4.5	多视点图像点扩展函数路径关系的建立	149
10.4.6	基于点扩展函数内在关系约束的多视点图像模糊路径的	

求解	153
10.4.7 基于模糊核路径内在关系约束的多视点图像联合 去模糊	153
10.4.8 多视点图像去模糊方法的计算复杂度分析	154
10.4.9 复杂场景条件下动目标的提取方法	155
10.4.10 动目标多视点图像去模糊及三维重建的实验分析	157
10.5 多视点图像去模糊平台	162
10.5.1 基于 ARM 体系结构的多视点图像去模糊平台	162
10.5.2 基于 DSP 的多视点图像去模糊平台	164
第 11 章 目标探测多谱图像统一复原算法	168
11.1 概述	168
11.2 多谱图像过渡区共性分析及零交叉点特征的过渡区 提取方法	169
11.3 多谱图像点扩展函数离散化及其基于信任点选择的统一 计算模型	171
11.4 多谱图像的高清晰化快速复原及关键技术研究	174
11.5 空可变多谱图像统一去模糊方法	177
11.5.1 空可变多谱图像复原模型建立	178
11.5.2 实验分析	180
11.6 试验结果与分析	182
参考文献	192

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Overview	1
1.2 Research background of object detection and multi-spectral image restoration	2
1.3 Analysis of related research and development at home and abroad	9
1.3.1 Non-blind image restorations don't meet real degraded image restoration like RL method	9
1.3.2 IBD and its regularization methods have technological difficulties on astronautic detected image restoration	10
1.3.3 Image restoration method with independent of degraded model	12
1.4 Content arrangement	13
Chapter 2 Basic concepts, method and assessment of image restoration	15
2.1 Reason of image degradation	15
2.2 Image degradation model	16
2.2.1 Functional model	16
2.2.1 Degraded model of discrete series	17
2.2.3 Eigen decomposition of circulant matrix	20
2.2.4 Frequency domain solution of image restoration	21
2.3 Image restoration methods	22
2.3.1 Unconstraint image restoration	22
2.3.2 Constraint image restoration	23
2.3.3 Nonlinear image restoration methods	26
2.4 Image deconvolution methods	27

2.5	Turbulence-degraded image restoration methods	29
2.6	Quality assessment of restored images	31
Chapter 3	Alternating iterative restoration methods based on conjugate gradient method in frequency domain	34
3.1	Overview	34
3.2	Optimized restoration theory based on conjugate gradient method in frequency domain	36
3.3	Stability of algorithm	38
3.4	Constraint condition of algorithm	39
3.5	Implement of algorithm	40
3.6	Experimental results and analysis	41
Chapter 4	Total variation restoration methods based on double anisotropic regularization	45
4.1	Overview	45
4.2	Brief of total variation restoration minimization method theory	46
4.3	Double anisotropic regularization method	47
4.4	Implement of alternating minimization algorithm	51
4.5	Experimental results and analysis	52
Chapter 5	Adjacent frame turbulence-degraded complex background image restoration algorithm	55
5.1	Overview	55
5.2	Convolution theory and complex background adjacent frame images restoration algorithm	56
5.3	Constraint optimized estimation based on anisotropic and second order weighted gradient difference	58
5.4	Definition of second order weighted gradient difference	59
5.5	PSF solving method based on lag iterative minimization	62
5.6	Fast construction of second weight gradient operator matrix	62
5.7	Algorithm process and object images filtering with complex background	64
5.8	Turbulence degraded image restoration algorithms integration and	

system function	65
5.9 Experimental results and analysis	66
Chapter 6 Turbulence degraded image restoration based on double inner loop alternating maximum likelihood estimation	74
6.1 Overview	74
6.2 Multiple frames images restoration principle based on maximum likelihood	75
6.3 Alternating iterations calculation methods based on internal and external double-layer and double cycles	76
6.4 Maximum likelihood estimated restoration methods based on anisotropic regularization with double-layer and double cycles	78
6.5 Correction of pixels shake and calculation of pixels bias	80
6.6 Experimental results and analysis	80
Chapter 7 Research on acceleration technology of double inner loop iterative restoration algorithm	88
7.1 Overview	88
7.2 Principle of double inner loop iterative restoration algorithm	89
7.3 Iterative acceleration method based on linear search	89
7.4 Experimental results and analysis	91
Chapter 8 Turbulence degraded image restoration method with implementation of parallel cluster	94
8.1 Overview	94
8.2 Mathematical model of spatial iterative calculation	95
8.3 Parallel computing method based on space domain by line subdivision	98
8.4 MPI environment parallel computing and implementation	100
8.5 Experimental results and analysis	102
Chapter 9 Research on turbulence degraded image restoration method with multiple DSP parallel processing	106
9.1 Overview	106
9.2 Turbulence degraded image restoration method with multiple DSP parallel processing	107

9.3	Computation decomposition data flow diagram of double loop multiple frame restoration method	110
9.4	Algorithm process and computational analysis	114
9.5	Experimental results and analysis	117

Chapter 10	Moving target multiple viewpoints image deblurring and three dimensional reconstruction	119
10.1	Overview	119
10.2	Single view image motion images deblurring along the blurring path	122
10.2.1	Model analysis of linear motion blur image	122
10.2.2	Deconvolution along the blurring path	123
10.2.3	Experimental result and analysis	125
10.3	Double view image deblurring method	131
10.3.1	Motion blur analysis of double view image	131
10.3.2	Path relationship of motion blur kernel with double view	132
10.3.3	Double view image deblurring based on MAP algorithm	135
10.3.4	Experimental analysis of double view image deblurring	138
10.4	Moving target multiple viewpoints image deblurring	141
10.4.1	Image system and experimental platform with multiple viewpoints	141
10.4.2	Blur analysis of moving target multiple viewpoints image	142
10.4.3	Blur kernel based on anisotropic regularization and path accurate estimation	144
10.4.4	Refinement methods of blur kernel paths	146
10.4.5	Establishment of point spread function path relationship of multiple viewpoints images	149
10.4.6	Resolution of multiple viewpoints image blur path based on intrinsic relationship constraints	153
10.4.7	Multiple viewpoints image deblurring based on intrinsic relationship constraints on blur kernel path	153
10.4.8	Computational complexity analysis of multiple viewpoints image deblurring	154

10.4.9	The extraction methods of moving target under the Condition of complex scenes	155
10.4.10	Moving target multiple viewpoints image deblurring and experimental analysis of three dimensional reconstruction	157
10.5	Platform of multiple viewpoints image deblurring	162
10.5.1	Multiple viewpoints image deblurring based on ARM structure	162
10.5.2	Multiple viewpoints image deblurring based on DSP	164
Chapter 11	Target detection multispectral image universal restoration method	168
11.1	Overview	168
11.2	Transition region analysis of multispectral image and transition extration method based on zero crossing point characteristics	169
11.3	Universal computation model of multispectral image point spread function discretization and trust point selection	171
11.4	Multi-spectral image rapid restoration with high sharpness and key technology research	174
11.5	Universal restoration method for space variant multispectral images	177
11.5.1	Model building of space variant multi-spectrum images	178
11.5.2	Experimental analysis	180
11.6	Experimental results and analysis	182
References		192

第1章 绪 论

1.1 引 言

当飞行器在大气层中高速飞行时,其光学头罩周围将形成复杂且急剧变化的大气流场,并由此产生真实气体效应、激波诱导边界层分离、无黏流与边界层的相互干扰等,从而引起气流密度变化、温度变化、组成成分变化,甚至产生气体分子电离现象等。可见,带有光学成像探测系统的高速飞行器在大气层内飞行时,光学头罩与来流之间形成复杂的高速流场,对光学成像探测系统造成热、热辐射和图像传输干扰,引起目标图像偏移、抖动、模糊,这种效应称为湍流效应^[1]。湍流效应包括高速流场光学传输效应、激波与窗口湍流热辐射效应和光学头罩湍流热效应等。

(1) 光学传输效应。激波流场的气体 and 高速湍流的密度及分布是非均匀的,而且是高频随机变化的。由光学理论知,光线在介质中传播,其传输特性取决于光线入射到介质分界面上的入射方向、介质分界面的曲率半径以及界面两边介电常数和它们的吸收损耗、散射损耗等。由此可见,头罩周围大气的不断变化,势必影响来自目标的红外辐射光线的传输,使得目标的红外辐射通过流场时产生红外光线的折射和抖动,造成导引头位标器中目标图像产生像模糊、像抖动、像偏移和能量衰减,从而影响导引头对目标的探测、跟踪与识别能力,进而影响精度。

(2) 热辐射效应。高温激波流场组分的剧烈分子和离子运动,引起目标信号能量的衰减,流场中的气体产生选择性的气体分子和电离粒子的红外辐射,同时被加热窗口也会产生红外辐射,这些辐射将以噪声的形式出现于红外寻的成像器,导致寻的系统信噪比降低,甚至红外探测器饱和而不能接收来自目标的辐射,从而限制跟踪能力。

(3) 湍流热效应。高温和高压激波流场加热、加压于窗口,可引起红外寻的的光学窗口透过率降低,窗口变形,甚至引起窗口破裂。

在湍流效应校正原理方面,有以下几种研究方向^[2]:

(1) 流场设计校正方法。通过优化窗口结构及安装工艺设计,选择合理的窗口制冷方案,抑制复杂湍流的客观因素的产生,使流场对目标成像的干扰减至最低。

(2) 光学校正方法。应用导引头光学系统的预校正修正流场和窗口带来的稳