

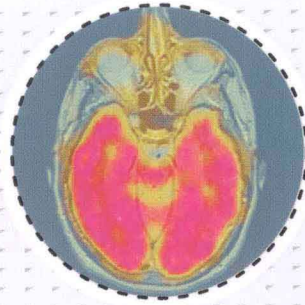
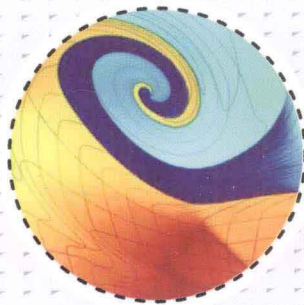
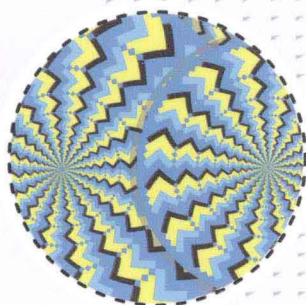
◎ 才 溪 著

多尺度

图像融合

理论与方法

Multiscale image fusion



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

多尺度图像融合 理论与方法

才 溪 著

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统深入地阐述了多尺度图像融合的理论与方法,总结了国内外多尺度图像融合技术的最新成果和最新进展,其中涵盖了作者多年来在该领域所取得的科研成果。

全书共 10 章,内容包括图像融合基础,像素级图像融合概述,多尺度图像融合的基本框架和研究现状,基于金字塔变换、小波变换、多小波变换、Curvelet 变换、Contourlet 变换、多尺度边缘的图像融合方法,以及多尺度图像融合的发展趋势。

本书可供从事图像处理、信号处理研究工作的专业技术人员、科研工作者,以及从事相关领域研究的高校教师、研究生阅读参考。

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

多尺度图像融合理论与方法/才溪著. —北京:电子工业出版社, 2014. 1
ISBN 978-7-121-21914-6

I. ①多… II. ①才… III. ①数字图像处理 IV. ①TP391.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 274724 号



策划编辑: 柴 燕(chaiy@phei.com.cn)

责任编辑: 毕军志

印 刷: 北京天宇星印刷厂

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

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 × 1092 1/16 印张: 13 字数: 332.8 千字

印 次: 2014 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 48.00 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 zlts@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

图像融合是综合了传感器、图像与信号处理、人工智能、统计估计等理论技术的交叉型研究领域,其概念最早提出于20世纪70年代后期。图像融合是将来自同一场景、不同(或同一)传感器的多幅源图像中的重要信息保留、合并成一幅融合图像,这幅图像包含比单幅源图像更全面、更准确的场景信息,更利于对场景的进一步分析和处理。目前,图像融合技术已广泛应用于战场监控、医学诊断、数码成像、遥感等领域。

多尺度图像融合是图像融合中的一类主流融合技术,它考虑到人眼视觉系统是在不同尺度上处理接收到的视觉信号,并且对细节信息非常敏感,于是将源图像分解到多个尺度上,并且对低频能量信息和高频细节信息分别进行融合处理,能够达到很好的融合效果。尽管近三十年来国内外研究学者已经对多尺度图像融合理论和方法做了大量研究工作,目前仍有许多理论和技术上的关键问题有待进一步解决。

作者在总结近年来于多尺度图像融合领域中取得研究成果的基础上,进一步系统深入地研究了多尺度图像融合理论的最新成果和最新方法,分析了多尺度图像融合技术现存的关键问题,并开展了大量研究工作以力图解决上述问题。作为研究工作的阶段总结,作者将近年来的相关研究成果汇总成册,构成了本书的主要内容,期望为从事图像处理、信号处理研究工作的同仁在理论分析方法上提供一些有益的帮助。

全书共分十章,第1章简要介绍了图像融合的基本概念和研究现状,第2章给出了像素级图像融合的方法综述和质量评价标准,第3章着重介绍多尺度图像融合的基本框架和研究现状,第4章到第9章分别对基于金字塔变换、小波变换、多小波变换、Curvelet变换、Contourlet变换、多尺度边缘的图像融合方法展开讨论,第10章是对未来研究方向和问题的展望。

本书由才溪执笔,韩光完成了第4章到第9章实验部分的数据整理和内容编写工作。在编写过程中,参阅和借鉴了大量国内外文献资料,受到了中央高校基本科研业务费专项资金资助(N110323004)、河北省自然科学基金资助(F2012501001)和东北大学秦皇岛分校校内科研基金资助(XNK201403),在此一并表示衷心的感谢!

本书素材来自于作者在北京航空航天大学就读博士期间和在东北大学秦皇岛分校工作期间的研究工作和研究成果。要特别感谢导师杨晨阳教授和赵巍副教授,感谢她们对作者在读博期间的严格要求和无私帮助。还特别感谢东北大学秦皇岛分校在研究设备和研究资金上的资助,特别感谢汪晋宽教授、才书训教授、宋昕教授、韩英华副教授等在作者研究工作和本书编写过程中给予的学术指导和建议。

由于多尺度图像融合技术正在飞速发展,加之作者水平有限,书中难免有疏漏和不足,敬请读者批评、指正。

著者

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，本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；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

《多尺度图像融合理论与方法》

读者调查表

尊敬的读者:

欢迎您参加读者调查活动,对我们的图书提出真诚的意见,您的建议将是我们创造精品的动力源泉。为方便大家,我们提供了两种填写调查表的方式:

1. 您可以登录 <http://yydz.phei.com.cn>,进入“读者调查表”栏目,下载并填好本调查表后反馈给我们。
2. 您可以填写下表后寄给我们(北京市海淀区万寿路 173 信箱电子技术分社 邮编:100036)。

姓名: _____ 性别: ☐ 男 ☐ 女 年龄: _____ 职业: _____
电话: _____ 移动电话: _____
传真: _____ E-mail: _____
邮编: _____ 通信地址: _____

1. 影响您购买本书的因素(可多选):

☐封面、封底 ☐价格 ☐内容简介 ☐前言和目录 ☐正文内容
☐出版物名声 ☐作者名声 ☐书评广告 ☐其他 _____

2. 您对本书的满意度:

从技术角度	☐ 很满意	☐ 比较满意	☐ 一般	☐ 较不满意	☐ 不满意
从文字角度	☐ 很满意	☐ 比较满意	☐ 一般	☐ 较不满意	☐ 不满意
从版式角度	☐ 很满意	☐ 比较满意	☐ 一般	☐ 较不满意	☐ 不满意
从封面角度	☐ 很满意	☐ 比较满意	☐ 一般	☐ 较不满意	☐ 不满意

3. 您最喜欢书中的哪篇(或章、节)? 请说明理由。

4. 您最不喜欢书中的哪篇(或章、节)? 请说明理由。

5. 您希望本书在哪些方面进行改进?

6. 您感兴趣或希望增加的图书选题有:

邮寄地址:北京市海淀区万寿路 173 信箱电子技术分社 柴燕 收 邮编:100036
电 话:(010)88254456 E-mail:chaiy@phei.com.cn

目 录

第1章 图像融合基础	1
1.1 图像融合的概念及研究意义	3
1.2 图像融合技术的发展及研究现状	4
1.3 图像融合的应用	6
1.4 图像融合的分类	7
1.4.1 按信息表征层次分类	7
1.4.2 按图像源分类	8
1.4.3 按融合方法分类	9
本章小结	9
参考文献	9
第2章 像素级图像融合概述	13
2.1 像素级图像融合的预处理	15
2.1.1 图像配准	15
2.1.2 图像去噪	16
2.2 像素级图像融合方法综述	17
2.2.1 加权平均图像融合方法	17
2.2.2 IHS 空间图像融合方法	17
2.2.3 主成分分析图像融合方法	18
2.2.4 伪彩色图像融合方法	19
2.2.5 基于统计估计的图像融合方法	20
2.3 像素级图像融合性能评价	20
2.3.1 主观评价	20
2.3.2 客观评价	21
本章小结	26
参考文献	26
第3章 多尺度图像融合基本框架及研究现状	29
3.1 多尺度图像融合的产生	31
3.2 多尺度图像融合的基本框架	31
3.2.1 多尺度分解方法	32
3.2.2 融合准则	33

3.3 多尺度图像融合的研究现状	34
3.4 多尺度图像融合的研究难点	35
本章小结	36
参考文献	36
第4章 基于金字塔变换的图像融合	39
4.1 金字塔变换	41
4.1.1 高斯金字塔	41
4.1.2 拉普拉斯金字塔	42
4.1.3 对比度金字塔	44
4.1.4 梯度金字塔	45
4.2 基于金字塔变换的图像融合传统方法	46
4.2.1 基于拉普拉斯金字塔的图像融合方法 (LPT)	47
4.2.2 基于对比度金字塔的图像融合方法 (CPT)	47
4.2.3 基于梯度金字塔的图像融合方法 (GPT)	47
4.3 实验结果及分析	48
本章小结	50
参考文献	50
第5章 基于小波变换的图像融合	53
5.1 小波变换	55
5.1.1 一维小波变换	55
5.1.2 二维小波变换	63
5.2 基于小波变换的图像融合传统方法	70
5.2.1 选取系数绝对值最大的融合方法 (w - Max)	71
5.2.2 选取对比度绝对值最大的融合方法 (w - Ctr)	71
5.2.3 基于匹配度的融合方法 (w - Match)	72
5.3 一种基于小波域隐马尔可夫树模型的多聚焦图像融合方法	73
5.3.1 隐马尔可夫模型	74
5.3.2 小波域隐马尔可夫树模型	78
5.3.3 基于小波变换的多聚焦图像融合方法	84
5.4 实验结果及分析	85
本章小结	90
参考文献	90
第6章 基于多小波变换的图像融合	93
6.1 多小波变换	95
6.1.1 一维离散多小波变换	95

6.1.2 二维离散多小波变换	97
6.2 基于多小波变换的图像融合传统方法	98
6.2.1 选取跨方向子带贡献最大的融合方法 (DMWT - Kumar)	98
6.2.2 基于 Canny 边缘检测的多聚焦图像融合方法 (DMWT - Canny)	99
6.2.3 基于范数的多光谱图像矢量融合方法 (DMWT - Norm)	99
6.3 一种基于多小波域双变量 Alpha 稳定分布的矢量图像融合方法	100
6.3.1 Alpha 稳定分布	101
6.3.2 多小波系数矢量统计特性分析	105
6.3.3 矢量融合方法具体步骤	107
6.4 实验结果及分析	108
本章小结	113
参考文献	113
第 7 章 基于 Curvelet 变换的图像融合	115
7.1 Curvelet 变换	117
7.1.1 连续时间 Curvelet 变换	117
7.1.2 离散 Curvelet 变换	119
7.2 基于 Curvelet 变换的图像融合传统方法	121
7.2.1 选取系数绝对值最大的融合方法 (CT - Max)	121
7.2.2 选取区域能量最大的融合方法 (CT - Emax)	122
7.2.3 基于脉冲耦合神经网络的融合方法 (CT - PCNN)	122
7.3 一种基于 Curvelet 域自适应脉冲耦合神经网络的图像融合方法	123
7.3.1 脉冲耦合神经网络 (PCNN) 模型	123
7.3.2 基于 Curvelet 域自适应脉冲耦合神经网络的图像融合方法	128
7.4 实验结果及分析	132
本章小结	137
参考文献	137
第 8 章 基于 Contourlet 变换的图像融合	139
8.1 Contourlet 变换	141
8.1.1 LP 变换	142
8.1.2 方向滤波器组	143
8.1.3 Contourlet 变换及其特点	145
8.2 基于 Contourlet 变换的图像融合传统方法	146
8.3 Contourlet 变换低通滤波器对融合算法性能的影响	148
8.4 Contourlet 变换低通滤波器对融合图像中伪轮廓的影响	153
8.5 Contourlet 变换低通滤波器对融合算法中分解层数选取的影响	157

本章小结.....	158
参考文献.....	158
第9章 基于多尺度边缘的图像融合	161
9.1 图像多尺度边缘表示理论	163
9.1.1 信号的多尺度边缘检测	163
9.1.2 信号的多尺度边缘重构	165
9.2 基于多尺度边缘的图像融合传统方法	168
9.2.1 合并多尺度边缘的融合方法 (MER-IF)	168
9.2.2 基于多尺度边缘的去噪融合方法 (MER-IFNR)	169
9.3 一种基于多尺度边缘对失配/噪声鲁棒的图像融合方法.....	170
9.3.1 算法框架构成	170
9.3.2 多尺度边缘的处理	171
9.3.3 关键度量的定义——边缘相关性.....	173
9.3.4 多尺度边缘的配准过程	175
9.3.5 多尺度边缘的融合准则	175
9.3.6 多尺度边缘的重构	177
9.4 实验结果及分析	177
9.4.1 全局边缘相关性的单峰特性	178
9.4.2 无噪声失配情况下融合结果分析.....	181
9.4.3 有噪声失配情况下融合结果分析.....	186
本章小结.....	190
参考文献.....	190
第10章 多尺度图像融合的发展趋势	193
10.1 多尺度图像融合理论与技术的发展方向	195
10.2 理论技术发展对器件与系统发展的影响.....	196
本章小结.....	196



第 1 章

图像融合基础

- 图像融合的概念及研究意义
- 图像融合技术的发展及研究现状
- 图像融合的应用
- 图像融合的分类

1.1 图像融合的概念及研究意义

近年来,随着科学技术的发展,出现了多种图像传感器。这些传感器根据不同的成像机理,在不同的工作环境下具有不同的功能,它们可以提供形式多样、信息容量各不相同的图像数据。由于单一的图像传感器只能在特定工作条件和工作范围内提供有限的信息量,因此,为了能更充分地利用多样化的数据来源,需要对那些具有不同特性的传感器进行有效结合,获得信息更加完整详细的图像,使得该图像能够反映更全面的特征并提供更强的信息解译能力。例如,性能先进的光电成像探测系统通常由可见光、微光、中红外和热红外等多个成像传感器组成,这些传感器使得该系统具有优势互补、超灵敏、全天时、全天候、高识别率等特点^[1]。

随着多传感器系统的不断涌现,图像融合技术已经成为多传感器系统能够广泛应用的关键技术之一。图像融合的概念最早出现在20世纪70年代后期,是综合了传感器、图像处理、计算机和人工智能理论的交叉型研究领域。

Pohl等人对图像融合定义如下:图像融合就是通过一种特定算法将两幅或多幅图像合成为一幅新图像^[2]。利用多传感器图像之间信息的冗余性和互补性,图像融合技术可以将两个或两个以上的传感器在同一时间或不同时间获取的关于某个场景的图像或图像序列的信息加以综合,从而生成一幅新的对该场景描述更全面、更精确的图像^[3]。如图1.1所示为图像融合的一个实例。其中,图1.1(a)、(b)是夜间对一个营地拍摄得到的红外图像和可见光图像,两幅图像之间存在有很多的互补信息:可见光图像中包含着场景的背景信息,如栅栏、树木、草地等;红外图像则可以清晰看到热目标的存在并能确定其相应位置。图1.1(a)、(b)经过融合后得到一幅融合图像,如图1.1(c)所示,这一幅图像同时包含了可见光图像中的场景背景信息及红外图像中存在的热目标,这既有利于对场景环境的分析、理解,又能提高对热目标的侦测、定位能力。

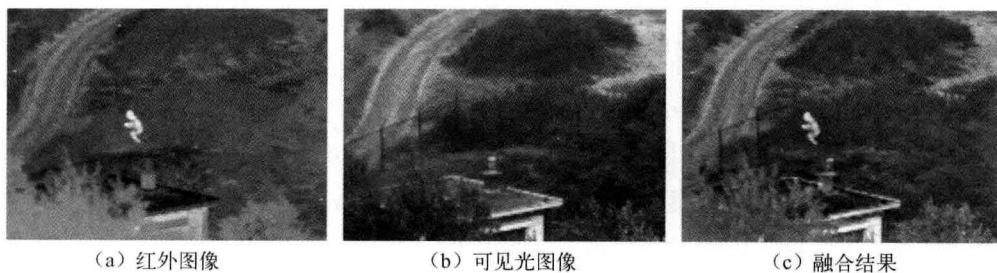


图1.1 图像融合实例

从上述实例可以看出,通过对多传感器系统的图像进行融合,可以克服单一传感器图像在几何、光谱、空间分辨率等方面存在的局限性和差异性,并利用各传感器图像的互补信息得到单一传感器所不能获得的特征信息,扩大了多传感器系统的工作范围,改善了系统的可靠性和可维护性,也可降低对单一传感器性能的要求,并且可以更加准确、可靠、全面地获

取对目标或者场景的信息描述,提高了图像的空间感知能力,增强了图像检测和识别的精度,有利于进一步对图像分析处理,将会更加适合于人类视觉和计算机监测、分类及识别和理解。

图像融合属于信息融合范畴,因而具有信息融合的特点。同时由于图像信号本身所具有的特殊性,图像融合还具备一些自己的特点。例如,由于图像融合的输入数据是图像,因而对图像配准等预处理有更严格的要求^[4]。

图像融合技术发展的最初牵引力来自于其在军事安全领域的应用^[5],用以提高战场监控和指挥系统的稳定性。目前,美、英等军事强国都致力于研发新一代适用于战场复杂环境下的全天候多源图像融合系统^[6]。在美、欧的多套大型战区传感器信息融合演示验证系统中,相当重要的组成部分是武器平台上的或分布式的图像融合装置^[7]。

随着计算机和电子数码技术的发展,图像融合技术已经不仅应用于目标检测、跟踪、识别及战场态势感知等军事领域,而且在气象预报、医学成像与诊断、机器视觉、数码成像、安全监控、智能制造等民用领域也得到了极为广泛的应用。随着对图像融合技术研究的不断深入,图像融合技术的应用前景也必将日益广阔,其对国民经济的发展和国防事业的建设也将有更加重要的意义。

1.2 图像融合技术的发展及研究现状

图像融合是指将不同传感器获得的同一场景图像,或者同一传感器以不同工作模式或不同成像时间下获得的同一场景图像,运用融合技术合并成一幅综合了之前多幅图像优点的、内容更为丰富的图像。图像融合技术产生于20世纪70年代末,并在近三十年里得到了迅猛的发展。

1979年,美国的Daily等人首次对雷达图像和陆地资源卫星的多光谱图像(Landsat - MSS)进行合成处理后用于地质解释^[8]。1981年,Laner等人对Landsat - RBV图像和Landsat - MSS图像数据进行了融合实验^[9]。1987年,Welch等人将不同分辨率的Landsat - TM多光谱遥感图像与SPOT卫星的高分辨率图像进行融合^[10]。这些早期融合实验中所采用的融合算法主要包括加权平均法^[1]、主成分分析法^[11,12]、IHS(Intensity - Hue - Saturation,亮度 - 色调 - 饱和度)变换法^[13,14]等空间域的图像融合算法。其中,加权平均法就是对源图像的对应像素直接采用平均权值相加的方法合成一幅融合图像。主成分分析法和IHS变换法主要用于遥感图像融合,前者通过主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)将多光谱图像变换为几个彼此无关的分量,由高分辨率的全色图像代替第一主分量,再经PCA逆变换即可得到具有高分辨率的多波段融合图像;后者通过彩色空间RGB到IHS的变换,由多光谱图像得到三个独立分量I(亮度)、H(色调)、S(饱和度),将全色图像与亮度分量融合作为新的亮度,最后使用IHS逆变换得到融合图像。

图像融合在军事、遥感等应用领域中的需求推动了其理论的发展。Burt等人于1983年提出拉普拉斯(Laplace)金字塔分解算法^[15]之后,人们开始尝试将源图像进行多尺度分解并在变换域内进行图像融合。首先,1985年,Burt等人提出了基于Laplace金字塔变换的图像融合算法^[16],在变换后对各尺度上的子带图像分别进行融合。1989年,Toet等

人根据人类视觉对图像对比度信息敏感的特点,提出了基于对比度金字塔的融合算法^[17,18]。1993年,Burt等人为了减少对比度金字塔融合算法对噪声的敏感性,又提出了基于梯度金字塔分解的图像融合算法^[19]。1995年,Li等人将基于对比度金字塔的图像融合算法应用于合成孔径雷达和前视红外图像的融合中^[20]。2000年5月,美国波音公司航空电子飞行实验室成功地演示并验证了联合攻击机航空电子综合系统的多源信息融合技术和功能,该综合系统中的合成孔径雷达和前视红外子系统,就是采用基于对比度金字塔变换的融合算法对多源图像进行处理,其融合结果有助于快速确定目标位置并对目标进行识别^[21]。

20世纪90年代开始,随着小波理论的产生和不断完善,这种具有良好时频定位特性的方法在图像融合领域得到了极为广泛的应用,从而开启了多尺度分解应用于图像融合的大门。早期基于小波变换的图像融合算法^[22~24]一般采用Mallat的标准离散小波变换^[25]。随后,人们通过不断改变小波变换方式和融合准则来改进融合算法。例如,基于小波包变换^[26]的图像融合算法^[27],由于该变换对图像的高频子带也进行多尺度分解,充分利用了图像所有频段的信息,因而可以获得较好的融合效果。由于标准离散小波变换、小波包变换等在分解过程中都存在二抽取的下采样,这使得它们均不具有平移不变性,Rockinger^[28,29]和Aiazzi^[30]利用无抽取离散小波变换对图像序列、遥感图像分别进行了融合实验。针对基于多尺度分解的图像融合方法,Blum和Piella分别在文献[31]和[32]中进行了较全面的归纳和总结。近年来,随着多尺度分解理论的不断发展和逐步完善,Ridgelet^[33]、Curvelet^[34]、Bandelet^[35]、Contourlet^[36]等变换不断涌现,这些变换具有比小波变换更好的方向辨识和稀疏表示图像的能力,目前都被应用于图像融合方法之中^[1,37,38]。与此同时,对融合准则的研究也在不断进行,对显著性度量的定义已经不只局限于简单的变换系数(例如,智能神经网络也被应用于变换域的图像融合方法中^[39,40])。本书将从第3章开始详细介绍基于多尺度分解的图像融合技术。

图像融合理论研究的迅速发展进一步促进了图像融合技术的广泛应用。在军事方面,美国休斯公司对热像仪和毫米波雷达两种传感器图像的融合进行了研究,并将其应用于美国陆军坦克中。同时,美国德克萨斯仪器公司也研究对红外热像与微光图像的融合,用来提高夜战能力^[41]。英国和美国联合研制的“追踪者”战术侦察车、荷兰和德国联合研制的“芬内克”侦察车等,都将红外成像仪、可见光摄像及激光测距仪等多个传感器的信息进行融合利用,美国陆军从2007年起逐步装备“追踪者”侦察车,用来提高现役装甲车辆的指挥、控制、侦查、监视等能力^[42]。此外,法国汤姆逊无线电公司与澳大利亚的阿贝尔视觉系统公司合作研制的“猛禽”智能战斗警戒系统,美国集成孔径雷达与光电摄像装置为一体的“全球鹰”无人机都是具有代表性的多传感器武器系统。美军新一代增强型夜视镜可以将红外和可见光传感器的图像数据进行融合,使士兵在烟雾等能见度很低的情况下依然能有效地执行任务。2007年8月,英国BAE系统公司开始替美军设计并开发单兵头盔式数字增强型夜视镜,这种夜视镜可以融合来自于长波红外传感器和微光传感器的视频图像,并呈现在士兵眼前的彩色显示屏上,同时还可以实现多个士兵间的图像资源共享^[43]。在安全监控领域,美国Lehigh大学研发了用于武器检测的红外和彩色可见光图像融合系统,能够产生具有自然效果的彩色融合图像^[44]。英国Octec

公司和 Waterfall Solution 公司联合开发了用于警用直升机上的图像融合系统,可将红外和彩色可见光视频图像融合,输出图像具有近似可见光图像的自然彩色效果^[45,46]。在医学方面,通用、西门子等公司研发了能够配准并融合 CT 和 MRI 图像的软件与医学成像设备,目前也得到了广泛应用。在遥感图像应用领域,由法国 SPOT 卫星、美国 IKONOS 商用遥感卫星及加拿大的合成孔径雷达卫星等为人们提供了大量的高分辨率全色图像、多光谱图像及 SAR 图像,对这些图像的有效融合可以进一步分析和解释地物目标,这一应用已经产生了巨大的社会效益与经济效益。

图像融合技术在国内所进行的研究相对于国际上的研究工作起步较晚,大多数为高等院校和研究所进行的图像融合理论的研究。例如,北京理工大学^[7,47,48]最早对伪彩色图像融合方法及遥感图像融合方法做了深入研究,西安电子科技大学^[1,21,49]也很早便开始了对医学图像、多聚焦图像和遥感图像融合的研究,上海交通大学^[4,50,51]在研究图像融合理论的同时还开发了图像融合系统实验平台,湖南大学^[52,53]在多聚焦图像融合等领域也有较大研究贡献。近年来,国内在图像融合的应用方面也有了一定的发展。1999 年 10 月 4 日,由我国和巴西联合研制的“资源一号”卫星发射升空,卫星上安装了我国自行研制的 CCD 相机和红外多光谱扫描仪,并对这两种航天遥感器图像进行融合,大大扩展了卫星遥感的应用范围。中科院遥感应用研究所开发的图像数据融合软件系统,也已成功地应用在卫星地面站的图像分类与识别中^[21]。

1.3 图像融合的应用

图像融合技术可以通过综合来自不同传感器或不同时间的多幅图像来提供比任何单一源图像更全面、更精确可靠的信息,因此具有很大的实际应用价值。随着传感器技术和计算机数据处理能力的提高,图像融合技术已经越来越广泛地应用在军事、遥感、医疗成像、数码成像等领域。

在军事领域,随着具有图像侦查获取能力的传感器的种类和数量不断增多,来自战场的图像情报数据源越来越多,这就需要在大量不同类型的图像情报中快速、准确地综合、提取关于战场态势的有用信息,从而形成有价值的情报。因此,以多传感器图像融合为核心内容的战场态势感知技术成为了现代战争中最具影响力的军事技术,这在美、英等技术发达国家已受到高度重视并取得了相当的进展。

在遥感领域,随着遥感技术的迅速发展,对于同一地区可保存有越来越多的使用不同传感器、拍摄于不同时间的多源遥感图像数据,这些数据从不同角度反映了所拍地区的地质、地貌等特点。通过对同一场景的大量多源遥感图像的融合处理能够更准确、全面地认识和了解该场景的环境和自然资源情况。多源遥感图像融合技术目前已广泛应用于大地测绘、国土规划、植被分类、冰雪监测、天气预报、灾情监测等方面。

在医学应用领域,随着医学影像设备的发展和各类医学成像模式的出现,多模医学图像融合技术成为医学成像的重要技术,并逐渐应用于诊断和治疗中。由于不同影像设备的成像机理不同,它们所成医学图像反映出的人体特征各有不同。例如,计算机断层成像(Computed Tomography, CT)图像密度分辨率高,能清晰显示骨质等硬组织结构;核磁共振成像

(Magnetic Resonance Imaging, MRI) 图像软组织分辨率高, 可显示血管等软组织结构信息; 正电子发射计算机断层显像 (Positron Emission Computed Tomography, PET) 图像主要用来显示人体器官和肿瘤组织的生理和病理的功能及代谢情况。多模医学图像融合技术可将多种模式的医学图像信息有机结合, 实现优势互补, 弥补由于单一模式医学图像成像机理不同造成的信息缺失, 有助于医生对疾病准确、快速地诊断和治疗。

在数码成像领域, 由于光学成像系统聚焦范围有限, 同一场景中位于不同距离的物体不能同时清晰成像, 因此需利用多聚焦图像融合技术将源于同一场景、聚焦目标各不相同的图像进行融合处理, 以使不同成像距离的物体清晰地呈现于一幅图像中, 从而提高数码相机的成像质量。

此外, 图像融合技术还可在工业生产中用于产品检验、材料探伤, 在安保检查中用于隐匿武器检测, 等等。随着图像融合技术研究的不断发展和深入, 这项崭新的技术一定还将应用到更多领域。

1.4 图像融合的分类

一般来说, 图像融合的目的就是提取源图像中的有用信息, 并将其结合、保留到融合图像中。针对不同的应用场合、不同的图像源, 对融合的具体要求及融合的具体目的并不完全相同。下面介绍从不同角度对图像融合进行的分类。

1.4.1 按信息表征层次分类

图像融合技术按照信息表征层次不同, 由低到高可分为像素级图像融合、特征级图像融合和决策级图像融合。

(1) 像素级图像融合: 在严格配准的条件下, 依据某个融合规则直接对各幅源图像的像素进行信息融合。在图像融合的三个层次中, 像素级图像融合是最低层次的融合技术, 它保留了尽可能多的场景信息, 精度比较高, 可用来提高信号的灵敏度与信噪比, 以利于目标观测和特征提取。但是它对源图像之间的配准精度要求也比较高, 一般应该达到像素级配准。所以, 在像素级图像融合前, 必须将待融合的各源图像进行精确配准。此外, 像素级图像融合处理的数据量大, 处理速度较慢, 实时性较差。

(2) 特征级图像融合: 从各源图像中提取特征信息 (例如, 边缘、形状、轮廓、角、纹理、相似亮度区域等信息), 并对其进行综合分析和处理。特征级图像融合属于中间层次上的信息融合。在这一层次的融合过程中, 首先对各幅源图像进行特征提取, 然后对图像在特征域中的表述进行融合, 最后在一张总的特征图上合并这些特征。特征级图像融合既保留了图像中足够的重要信息, 又可以对信息进行压缩, 有利于实时处理, 并且由于所提取的特征直接与决策分析有关, 因而融合结果能最大限度地给出决策分析所需要的特征信息, 从而提高系统的目标检测能力, 更有利于系统的判决。但是相对于像素级图像融合, 特征级图像融合的信息丢失较多。

(3) 决策级图像融合: 从各源图像中获取决策, 按一定的准则及各个决策的可信度, 将它们合并成一个全局性最优决策。决策级图像融合是最高层次的信息融合, 其结果为指挥控