



电子信息科技专著出版专项资金资助出版

Image Fusion

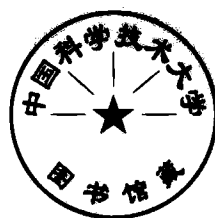
图像融合

郭 雷 李晖晖 鲍永生 编著

电子信息科技专著出版专项资金资助出版

图 像 融 合

郭 雷 李晖晖 鲍永生 编者



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍了图像融合目前的发展状况、融合原理、融合层次、融合方法及其应用,重点集中在图像的像素级融合。全书共分12章,第1章对国内外图像融合的研究情况进行了综述;第2~9章主要介绍了四类图像融合方法,即基于彩色空间的方法、基于数学/统计学的方法、基于多分辨率分析的方法和智能图像融合方法,以及具有应用针对性的、基于遥感图像特征的融合方法;第10~12章结合图像融合的具体应用实例介绍了图像融合的应用,以及当前常用的融合工具箱和作者开发的通用多源图像融合软件。

书中既有对以往经典融合方法的描述,也在目前研究热点的基础上提出了许多新方法,并进行了大量的理论分析和仿真实验,给出了定量评价和性能分析,以及由此得出的一系列具有重要价值的结论。

本书可供从事图像融合研究和应用的科技工作者使用,亦可作为高等院校高年级学生、研究生和教师的教学与科研参考用书。

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

图像融合/郭雷等编著. —北京:电子工业出版社,2008.2

ISBN 978-7-121-05885-1

I. 图… II. 郭… III. 图像处理 IV. TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第011410号

责任编辑:周 琰

印 刷:北京东光印刷厂

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 印张:17.5 字数:416千字

印 次:2008年2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

图像融合是数据融合一个非常重要的分支,是 20 世纪 70 年代后期提出的概念,是综合了传感器、图像处理、信号处理、计算机和人工智能的现代高新技术。图像融合的主要思想是通过采用一定的算法,把工作于不同波长范围、具有不同成像机理的图像传感器对同一个场景的多个成像信息融合成一个新图像,从而使融合的图像可信度更高,模糊较少,可理解性更好,更适合人的视觉及计算机检测、分类、识别、理解等处理。

图像融合不是简单的叠加,它产生新的蕴含更多有价值信息的图像,即达到 $1+1>2$,甚至是远大于 2 的效果。图像融合的优势使其在医学、遥感、计算机视觉、军事应用等领域得到了广泛的应用。在航天、航空多种运载平台上,通过对各种遥感器所获得的大量不同光谱、不同波段或不同时相、不同角度的遥感图像进行融合,为信息的高效提取提供了良好的处理手段,取得了明显的效益。

图像融合的处理通常可在以下三个不同层次上进行:像素级、特征级、决策级。像素级图像融合主要是针对初始图像数据进行的,其目的主要是图像增强、图像分割和图像分类,从而为人工判读图像或进一步的特征级融合提供更佳的输入信息;特征级图像融合是指从各个传感器图像中提取特征信息,并进行综合分析和处理的过程,提取的特征信息是像素信息的充分表示量或充分统计量,典型的特征信息有边缘、形状、轮廓、角、纹理、相似亮度区域等;决策级图像融合是对来自多幅图像的信息进行逻辑推理或统计推理的过程。不同层次的图像融合研究内容均十分广泛,限于篇幅,本书论述的重点是像素级图像融合。

近 20 年来,国内外在图像融合的不同层次上开展了大量的模型和算法的研究,取得了很多宝贵的研究成果,涌现出大量文献,但由于系统介绍图像融合理论、方法和应用的书籍非常少,使很多刚刚踏入这一研究领域的初学者感到学习起来相当困难,这也不利于图像融合研究和应用的进一步普及和深入发展,为此,作者在多年从事图像融合研究的基础上,结合国内外学者的有关研究成果编著成此书。

本书主要介绍了图像融合目前的发展状况、融合原理、融合层次、融合方法及其应用,重点集中在图像的像素级融合。全书共分为 12 章,每一章的具体内容如下:

第 1 章主要介绍图像融合的研究背景、研究意义以及研究现状。

第 2 章介绍了图像融合前的预处理,包括图像校正、图像去噪及图像配准,介绍了各种常用的预处理方法,并针对 SAR (Synthetic Aperture Radar, 合成孔径雷达) 图像的相干斑噪声,提出了一种基于相关邻域模型的最大后验迭代滤波方法,且通过实验验证了方法的有效性。

第 3 章介绍了三种常用的基于彩色空间的图像融合方法的原理和实现,包括 IHS 空

间、Brovey 变换和基于神经视觉生理学的彩色图像融合,给出了部分图像融合的实验和结果,并对融合结果进行了分析,说明了不同算法的融合效果和性能差异。在基于 IHS 空间的经典算法的基础上,针对 SAR 与可见光图像特征,提出了一种改进的基于图像边缘分割信息的 IHS 空间图像融合方法,有效改善了融合图像中光谱信息丢失严重的现象。

第 4 章介绍了基于数学/统计学的融合方法的基本思想和融合原理,并分析了每种算法的应用场合与局限性,这些算法包括比值运算、加法和乘法、PCA (主分量分析)、HPF (高通滤波)、贝叶斯估计、期望最大值方法、非负矩阵分解方法。

第 5 章介绍了基于金字塔变换(拉普拉斯金字塔、比率低通金字塔、对比度金字塔和梯度金字塔)和普通小波变换的图像融合的基本原理和方法。通过对一组实验结果分析,综合融合效果和计算复杂度考虑,建立了适用于 SAR 与可见光图像融合的小波变换形式。根据对融合规则的研究,提出了一种基于梯度特征选取规则的小波变换融合方法以及一种基于边缘检测的小波变换融合方法,并通过实验验证了有效性。

第 6 章介绍了用于小波融合的其他几种小波变换形式,分析了这些小波变换相对于传统的小波变换具有的特点及优势,包括多小波、小波包、双树复小波和提升小波。

第 7 章介绍了基于多尺度几何分析变换的图像融合的基本原理和方法,提出了基于脊波和曲波变换的图像融合方法,并介绍了基于 Contourlet 变换的图像融合方法。

第 8 章介绍了神经网络和模糊理论两种智能图像融合方法。

第 9 章针对遥感图像的特征提出了两种具有针对性的图像融合方法。第一种为基于区域分割的方法,并针对遥感图像融合应用中多光谱图像、全色图像和雷达图像数据分别进行了融合实验;第二种为基于互补信息特征的 SAR 与可见光图像融合方法。

第 10 章介绍了图像融合的主观评价标准和目前常用的客观评价指标,并介绍了三种新的结合主客观因素的评价方法。

第 11 章介绍了图像融合在遥感、军事、医学等各个领域的应用。

第 12 章介绍了当前几个常用的融合工具箱及作者开发的通用多源图像融合软件。

书中既有对以往经典融合方法的描述,也在目前研究热点的基础上提出了许多新方法,例如基于多尺度几何分析变换的图像融合方法以及针对遥感图像特征的图像融合方法等,并进行了大量的理论分析和仿真实验,给出了定量评价和性能分析,以及由此得出的一系列具有重要价值的结论。本书可供从事图像融合研究和应用的科技工作者使用,亦可作为高等院校高年级学生、研究生与教师的教学与科研参考用书。

鉴于作者水平有限,书中难免有疏漏和不足,敬请读者批评、指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 图像融合的研究背景和研究意义	1
1.2 图像融合技术的研究现状	3
1.2.1 图像融合系统的层次划分	3
1.2.2 像素级融合方法综述	4
1.2.3 国内外的研究现状	5
1.2.4 关键技术与发展方向	6
参考文献	7
第 2 章 图像融合前的预处理	12
2.1 引言	12
2.2 图像校正	12
2.2.1 辐射校正	12
2.2.2 几何校正	14
2.3 图像去噪	17
2.3.1 SAR 图像相干斑特性	17
2.3.2 相干斑抑制方法概述	18
2.3.3 基于相关邻域模型的最大后验迭代滤波	26
2.4 图像配准	33
2.4.1 图像配准基本理论	34
2.4.2 图像配准的常用方法	37
2.4.3 基于区域互信息的特征级多光谱图像配准方法	43
2.5 本章小结	50
参考文献	50
第 3 章 基于彩色空间的图像融合方法	53
3.1 引言	53
3.2 基于 IHS 空间的图像融合	53
3.2.1 传统的基于 IHS 空间的融合方法	55
3.2.2 改进的基于 IHS 空间的融合方法	57
3.3 Brovey 变换	64
3.4 基于视觉神经生理学的图像融合	65

3.4.1 伪彩色图像融合方法	65
3.4.2 基于视觉神经动力学的图像融合方法	66
3.5 部分实验结果分析	71
3.6 基于边缘分割信息和 IHS 空间的图像融合方法	72
3.7 本章小结	76
参考文献	77
第 4 章 基于数学/统计学的图像融合方法	79
4.1 引言	79
4.2 比值运算融合	79
4.3 加法与乘法融合	80
4.3.1 加权平均融合	80
4.3.2 乘积运算	80
4.3.3 灰度调制法	81
4.3.4 P+MS 法	82
4.3.5 色彩归一化变换	82
4.4 PCA 融合	83
4.4.1 PCA 基本理论	83
4.4.2 图像主分量分析步骤	87
4.4.3 基于 PCA 的图像融合方法	87
4.5 HPF 融合	89
4.6 贝叶斯估计融合	89
4.6.1 方法原理	89
4.6.2 融合过程实现	90
4.6.3 模型参数估计	91
4.7 期望最大值 (EM) 融合	91
4.7.1 高斯混合模型及 EM 求解	91
4.7.2 EM 融合方法	93
4.8 基于非负矩阵分解的图像融合	94
4.9 本章小结	100
参考文献	100
第 5 章 基于多分辨率分析的图像融合方法 I ——金字塔变换和普通小波变换方法	102
5.1 引言	102
5.2 多分辨率图像融合方法的原理结构	102
5.3 金字塔方法	103
5.3.1 拉普拉斯金字塔变换方法	103

5.3.2 比率低通金字塔变换方法	106
5.3.3 对比度金字塔变换方法	107
5.3.4 梯度金字塔变换方法	109
5.3.5 融合规则	110
5.3.6 实验	111
5.4 普通小波变换方法	112
5.4.1 小波变换与多分辨率分析	113
5.4.2 基于小波变换的图像融合方法研究现状	118
5.4.3 基于不同类型小波变换的 SAR 与可见光图像融合研究	123
5.4.4 基于梯度选取规则的小波变换在图像融合中的应用	129
5.4.5 一种基于边缘检测的小波变换图像融合方法	132
5.5 本章小结	135
参考文献	135
第 6 章 基于多分辨率分析的图像融合方法 II——多小波、小波包、双树复小波、 提升小波方法	142
6.1 引言	142
6.2 多小波变换	143
6.3 小波包变换	146
6.3.1 小波包的定义	146
6.3.2 图像的小波包变换	147
6.4 双树复小波变换	147
6.4.1 双树复小波变换原理	148
6.4.2 Q-Shift 双树复小波变换	149
6.4.3 双树复小波变换的平移不变特性分析	150
6.5 提升小波变换	153
6.5.1 提升小波变换的基本步骤	154
6.5.2 整数变换	155
6.5.3 图像的提升小波分解算法	156
6.6 本章小结	156
参考文献	156
第 7 章 基于多分辨率分析的图像融合方法 III——多尺度几何分析方法	159
7.1 引言	159
7.2 脊波基本理论	160
7.2.1 连续脊波变换	160
7.2.2 离散脊波变换	162
7.2.3 脊波变换的实现	163

7.2.4 单尺度脊波变换	164
7.2.5 小波分析和单尺度脊波分析对图像变换的逼近性能比较	165
7.3 基于脊波变换的图像融合方法	166
7.4 实验与分析	167
7.5 曲波基本理论	170
7.5.1 第一代曲波变换	170
7.5.2 第二代曲波变换	172
7.6 基于第二代曲波变换的图像融合方法	176
7.7 实验与分析	177
7.7.1 多聚焦图像融合	177
7.7.2 SAR 与全色图像融合	179
7.7.3 多光谱与全色图像融合	181
7.7.4 实验小结	182
7.8 Contourlet 变换基本理论	183
7.8.1 金字塔分解	184
7.8.2 方向滤波	184
7.8.3 方向滤波器组	185
7.8.4 Contourlet 变换的分析	187
7.8.5 Contourlet 变换的计算复杂度	189
7.9 基于 Contourlet 变换的图像融合方法	189
7.9.1 Contourlet 变换系数分析	189
7.9.2 图像融合方法	190
7.10 实验与分析	191
7.10.1 多聚焦图像融合实验	191
7.10.2 不同波段遥感图像融合实验	192
7.10.3 不同情况下的可见光图像的融合实验	193
7.11 本章小结	194
参考文献	195
第 8 章 智能图像融合方法	198
8.1 引言	198
8.2 基于神经网络的图像融合方法	199
8.2.1 图像的预处理	200
8.2.2 图像的融合	201
8.3 基于模糊理论的图像融合方法	204
8.3.1 图像模糊融合的基本原理	204
8.3.2 模糊融合算子的分类	206
8.3.3 多传感器多层次图像融合模糊算法的应用	210

8.4 本章小结	212
参考文献	212
第9章 基于遥感图像信息特征的图像融合方法	214
9.1 引言	214
9.2 基于区域分割的遥感图像融合方法	214
9.2.1 图像区域分割	214
9.2.2 基于区域分割的图像融合方法	216
9.2.3 实验与分析	217
9.3 基于互补信息特征的 SAR 与可见光图像融合方法	221
9.3.1 基于像素邻域能量的融合 (一次融合)	222
9.3.2 基于小波变换进行融合 (二次融合)	223
9.3.3 实验与分析	224
9.4 本章小结	226
参考文献	227
第10章 融合结果评价体系	228
10.1 引言	228
10.2 图像融合的性能评价	228
10.3 新的图像融合评价方法	234
10.3.1 一种通用的主观和客观因素相结合的图像融合评价方法	234
10.3.2 基于模糊积分的融合图像评价方法	236
10.3.3 基于相似性的图像融合质量的客观评估方法	241
10.4 本章小结	247
参考文献	248
第11章 图像融合应用	249
11.1 遥感领域	249
11.1.1 地形学绘图和地图更新	249
11.1.2 土地使用状况、农业和森林学	250
11.1.3 洪灾监测	250
11.1.4 冰雪监测	250
11.1.5 地质学	250
11.2 军事应用领域	251
11.2.1 战场侦察图像的融合处理	251
11.2.2 精确制导	252
11.3 医学应用领域	252
11.3.1 多模态医学图像融合	252
11.3.2 医学图像融合的发展现状	254

11.4	工业应用领域	256
11.5	智能机器人领域	256
	参考文献	257
第 12 章	图像融合工具包	258
12.1	国内外现有融合工具介绍	258
12.1.1	Image Fusion Toolbox	258
12.1.2	Image Fusion Toolkit	260
12.1.3	Matlab 中的图像融合工具	262
12.2	通用多源图像融合软件	263

第1章

绪 论

1.1 图像融合的研究背景和研究意义

随着传感器技术的迅猛发展,单一的可见光模式逐渐发展成多种传感器模式,各种传感器具有不同的成像机理、不同的工作波长范围、不同的工作环境与要求,完成不同的功能。由于单一传感器获取的数据信息量有限,往往难以满足实际需要。利用多源数据可以提供对观测目标更加可靠的观察,因此,为了充分利用越来越复杂的多源数据,各种数据融合技术快速发展起来,目的是将多传感器获得的更多信息合并到一个新的数据集中。图像融合是数据融合一个非常重要的分支,是20世纪70年代后期提出的概念,是综合了传感器、图像处理、信号处理、计算机和人工智能的现代高新技术。Pohl和Genderen^[1]对图像融合做了如下定义: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。它的主要思想是采用一定的算法,把工作于不同波长范围、具有不同成像机理的图像传感器对同一个场景的多个成像信息融合成一个新图像,从而使融合的图像可信度更高,模糊较少,可理解性更好,更适合人的视觉及计算机检测、分类、识别、理解等处理。多源图像融合比单源图像具有更多优势,因为多源图像具有冗余性,具有单源图像无法捕捉的信息,即多源图像之间具有互补性,因此多源图像融合能够从多个视点获取信息,扩大时空的传感范围,提高观测的准确性和鲁棒性。对图像进行融合的目的主要有^[1]:

- (1) 图像锐化;
- (2) 提高几何校正精确度;
- (3) 为立体摄影测量提供立体观测能力;
- (4) 增强原单一传感器图像数据源中不明显的某些特征;
- (5) 改善检测、分类、理解、识别性能,获取补充的图像数据信息;
- (6) 利用多时域数据序列检测场景、目标的变化情况;
- (7) 利用来自其他传感器的图像信息,替代、弥补某一传感器图像丢失、故障信息;
- (8) 克服目标提取与识别中图像数据的不完整性等。

从数据来源角度可将多源融合分为多传感器融合和多时相融合。多时相融合是指将同一传感器获得的不同时间段的数据进行融合,例如利用不同时相的 SAR (合成孔径雷达) 图像进行融合,以监测地物的变化情况。多传感器融合可以是对不同传感器得到的数据进行融合,也可以是对同一传感器的不同波段的数据进行融合。

图像传感器种类繁多,表 1-1 列出了常用图像传感器及其性能特点。

表 1-1 常用的图像传感器及其性能特点

传感器类型	主 要 特 点
可见光	可获得丰富的对比度、颜色和形状信息
微光夜视仪	夜视,探测距离一般在 800~1000 米
红外热像仪	昼夜两用,探测距离一般在几千米到十几千米;波段为 3 到 5 μm (中红外波段), 8 到 12 μm (长红外波段)
激光成像雷达	兼有测距、测速和成像三种功能,成像距离 3 到 5 千米,探测分辨能力强,能够探测出架空电缆之类的细小物体
毫米波雷达	天候特性优于可见光及红外,抗干扰能力强,分辨率较高
SAR	天线尺寸小,成像分辨率高,全天时,全天候,对土壤和水有一定的穿透能力
多光谱/超光谱成像仪	多个光谱波段同时、精确测量目标;可用于地形测绘、监测和分析等。

由各种成像传感器的性能特点可见,不同的传感器对于场景的描述是完全不同的,例如多光谱成像仪中的多光谱波段体现的是地物的光谱特性,而全色波段则更好地描述了空间细节信息,将这两类图像进行融合,可以得到既能很好保留原始场景的光谱信息又能提高空间分辨率的融合结果。雷达作为一种主动式遥感系统,对目标的几何特性,无论是微观的(粗糙度和表面效应)还是宏观的(朝向和多次反射)都非常敏感,反映在图像上常常是非常暗或亮的点或区域,而可见光图像对目标的物理和化学属性(如反射率、反照率、颜色)则更为敏感,因此图像主要反映了不同地物的轮廓与光谱信息。在雷达所敏感的属性中,材料的自然属性(如金属目标)或者其状态(如土壤的温度和植被的干燥度)是非常重要的参数,而在可见光图像中这些参数常常是不可感知的。因此,将雷达图像与可见光图像融合,可以充分利用其互补信息,获得地物的多层次特性,进一步揭示地物的本质特征。除了这两种典型的图像融合应用外,多传感器图像融合还包括雷达与红外图像融合、红外与可见光图像融合、雷达与雷达图像的融合(如多频率、多极化、多分辨率 SAR 图像融合)、不同波段的红外图像融合、各种医学成像仪器(如 X 射线断层成像(CT)、正电子发射断层成像(PET)、磁共振(MRI))图像的融合、图像与非图像信息的融合(如前视红外、SAR 图像与电子支援措施(ESM)信息、敌友辨识(IFF)信息、2D 雷达的融合)等。

遥感图像的分析 and 处理是多传感器图像融合最早的应用领域,在测绘、地质、农业、气象等方面得到了广泛的应用,随着 20 世纪 90 年代 LANDSAT-7、SPOT-5、RADARSAT、JERS-1、ERS-1 卫星的发射升空,图像融合更成为目前遥感及其相关学科

领域的研究热点。近年来,多传感器图像融合在许多领域都得到了广泛的应用,在军事领域,图像融合在精确制导、自主式炮弹、微型军用机器人、战场侦察车及侦察设备等系统中发挥了重要的作用,在多模复合制导技术的研究中,图像融合更是其关键技术之一;在民用制造业,图像融合可用于产品的检验、材料探伤、复杂设备诊断、制造过程监视等;在医学上,图像融合可以帮助医生对疾病准确诊断,还可用于计算机辅助显微手术;在图像和信息加密方面,通过图像融合,也可以实现数字图像的隐藏及数字水印的图像植入。另外,图像融合也可用于交通管理和航空管制。随着对多传感器图像融合技术研究的不断深入,图像融合技术必将会得到更为广泛的应用。

1.2 图像融合技术的研究现状

1.2.1 图像融合系统的层次划分

图像融合的处理通常可在以下三个不同层次上进行:像素级、特征级、决策级。

像素级图像融合主要是针对初始图像数据进行的,其目的主要是图像增强、图像分割和图像分类,从而为人工判读图像或进一步的特征级融合提供最佳的输入信息。像素级图像融合属于较低层次的融合,大部分研究集中在该层次上。融合之前首先要对图像进行预处理的工作,包括降噪、几何校正、辐射校正、空间上精确配准等,如果图像具有不同的分辨率,在融合前还需要做相应的映射处理。

特征级图像融合是指从各个传感器图像中提取特征信息,并进行综合分析和处理的过程。提取的特征信息是像素信息的充分表示量或充分统计量,典型的特征信息包括边缘、形状、轮廓、角、纹理、相似亮度区域等。通过特征级融合,可以在原始图像中挖掘相关特征信息,增加特征信息的可信度,排除虚假特征,建立新的复合特征等。经过特征级融合处理后的结果是一个特征空间,数据量相比于原来的图像数据将大为减少,该处理进程将极大地提高数据处理和传输效率,有效地推动数据自动实时处理。特征级图像融合是中间层次上的融合,为决策级融合做准备。特征级融合对传感器对准要求不如像素级严格,因此图像传感器可以分布于不同平台上。特征级融合的优点在于实现了可观的信息压缩,便于实时处理。目前,特征级数据融合的主要方法有聚类分析方法、Dempster-Shafer 推理方法、贝叶斯估计方法、信息熵方法、加权平均方法、表决方法及神经网络方法等。

决策级图像融合是对来自多幅图像的信息进行逻辑推理或统计推理的过程。如果传感器信号表示形式差异很大或者涉及图像的不同区域,那么决策级融合也许是融合多图像信息的唯一方法。用于融合的决策可以是源于系统中传感器提供的信息,也可以是来自环境模型或系统先验信息的决策。从传感器信息导出的决策代表了有关环境某个方面已做出的决策,通常是把传感器信息导出的特征与模型匹配来处理。因而,决策级融合是图像融合的最高层次,其最直接的体现就是经过决策级融合的结果可以直接作为决策要素来做出相

应的行为,可直接为决策者提供决策参考。决策级融合的主要优点可概括为:(1)通信及传输要求低,这是由其数据量少决定的;(2)容错性高,对于一个或若干个传感器的数据干扰,可以通过适当的融合方法予以消除;(3)数据要求低,传感器可以是同质或异质,对传感器的依赖性和要求降低;(4)分析能力强,能全方位有效反映目标及环境的信息,满足不同应用的需要。由于对预处理及特征抽取有较高要求,所以决策级图像融合的代价较高。目前,常用的决策级图像融合的方法主要有贝叶斯估计法、神经网络法、模糊聚类法及专家系统等。

图像融合系统层次结构图如图 1-1 所示。

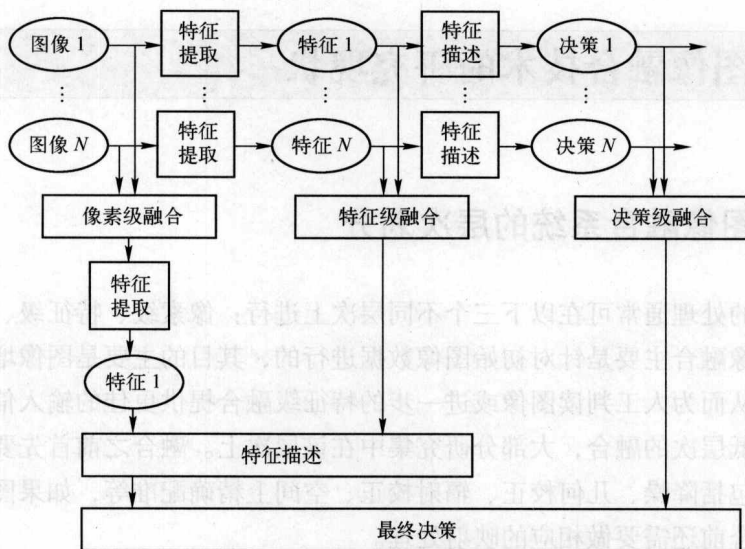


图 1-1 图像融合系统层次结构图

1.2.2 像素级融合方法综述

本书主要对像素级图像融合方法进行了研究。根据近年来国内外在图像融合领域的最新研究成果,图像融合方法大致分为四类:基于彩色空间的方法,如 IHS 空间、基于神经视觉生理学的彩色图像融合方法等^{[2]~[8]};基于数学/统计学的方法,如比值运算、加法和乘法、PCA(主分量分析)、HPF 高通滤波、贝叶斯估计、期望最大值方法、非负矩阵分解方法等^{[9]~[28]};基于多分辨率分析的方法,如金字塔方法^{[29]~[40]}、小波变换^{[41]~[53]}等;智能图像融合方法,如基于神经网络^{[54]~[55]}、模糊理论的融合^[56]等。对融合方法的要求一般为能够最大限度地保留源图像中的重要信息(salient information),在融合过程中尽可能少地引入虚假信息(artifacts),同时方法必须具有可靠性、稳健性,最大限度地抑制噪声或未精确配准带来的干扰^[46]。

从常用方法的实际应用效果来看,加权融合降低了图像对比度;基于彩色空间的方法容易扭曲原始的光谱特性,产生光谱退化现象;PCA 要求被替换和替换的数据之间有较

强的相关性,通常情况下,这种条件并不成立;HPF在对高分辨率波段影像滤波时,滤掉了大部分的纹理信息。智能图像融合方法虽然是图像处理智能化发展的必然趋势,能够较好地解决图像融合过程中各个不同层次上出现的不完整性、不精确性、非结构化及建模困难等问题,但是实现较为复杂。多分辨率分析方法在提高图像分辨率的同时,对源图像光谱信息的保留具有相当好的性能,包括使用相关性、标准偏差等指标评估都能得到较好的效果,因此是目前图像融合处理中研究热点之一,各种新方法不断涌现。具有多分辨率特征的小波变换之所以能在图像融合领域得到广泛的应用,主要因为其具有如下特性:其精确重构能力保证图像分解过程没有信息损失;能够把图像分解到不同尺度下,便于分析源图像的近似信息和细节信息;小波分解过程与人类视觉系统分层次理解的特点非常类似。总的来说,没有一种图像融合方法能够适合于所有图像类型的融合,各有各的优势和不足,所以对图像融合结果的评价与应用目的密切相关。

1.2.3

国内外的研究现状

目前,美国、英国、德国、法国、加拿大、日本等国家都有学者和技术人员在开展图像融合研究,在不同层次上开展了大量的模型和方法研究,相关的研究内容大量出现在美国三军数据融合年会、SPIE(国际光学工程学会)国际年会及IEEE(美国电气电子工程师学会)图像处理会议和相关的期刊中,也研制出了一些实用的处理系统和软件,如GE(美国通用电气)公司研发的产品Discovery LS是世界上最好的PET(正电子发射断层扫描)与最高档的多排螺旋CT的一个完美结合,具有单体PET不能比拟的优势;该公司还开发了Advantage Fusion by GE Medical Systems,该系统具有自动三维配准和融合功能,主要处理CT和MR图像,用于肿瘤和神经类疾病的诊断;飞利浦公司研发的Syntegra软件包具有处理PET、CT和MR数据综合融合的功能;美国国防部高级研究项目署(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)、海军研究实验室(Naval Research Laboratory, NRL)、海军研究生院(Naval Postgraduate School, NPS)与美国夜视和电板光学中心(US Army Center for Night Vision and Electro Optics, CNVEO)合作成立的Lockheed Martin电子和导弹公司(Lockheed Martin Electronics and Missile Division, LME&M)一直致力于研究图像融合和数据融合的所有方面,其研究包括了从多光谱数据收集和建模,到传感器设计、软件 and 处理器设计、显示参数等各个方面。图像和数据融合处理过程的各个方面,包括理解现象学的艺术效果和这些技术的现在及将来的程序化实现,都已通过Quantum Well多光谱传感器的设计得到了实现。Quantum Well多光谱传感器产生精确的空间校对过的图像,然后将这些图像交给高速处理器来将融合后的结果显示给最终用户。英国已经研制出具有图像融合处理功能的双波段热像仪;英、美、德、荷兰和捷克都在积极发展和研制先进的装甲侦察车,如英国和美国联合研制的“追踪者”战术侦察车、捷克的“施由兹卜”侦察车、荷兰和德国联合研制的“芬内克”侦察车等,基本上都是将热像仪、激光测距仪、电视摄像仪等多个传感器进行融合利用。美国陆军司令部计划从2007年开始逐步装备“追踪者”侦察车,以提高现役装甲车辆的指挥、控制、情报、侦察、监

视的综合能力。美国 ROME 实验室设计了一个大型的先进传感器开发实验装置,用于研究战况估计,采用二阶数据融合方法,可完成景象产生、传感器仿真、CI 仿真、数据融合、评估和控制等。1997 年在火星着陆的“火星探路者”(The Mars Sojourner Rover)机器人身上安装了 5 个激光束投影仪、2 个 CCD 摄像机、多个关节传感器和加速度传感器,由于光从地球到火星的时间达 11 分钟,所以在不少时间段内,该机器人必须能够自主工作(无须来自地球的控制),火星探路者是多传感器融合应用的典型例子。

国内对图像融合技术研究虽然起步较晚,但已有不少研究机构和大学正在从事这一领域的研究和探讨,例如中科院遥感所、武汉测绘大学、中科院上海技术物理研究所、上海交通大学等单位。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,这两种航天遥感器之间可进行图像融合,大大扩展了卫星的遥感应用范围。

从目前的发展水平来看,国内的研究水平与世界水平还存在一定差距,有独特思路的创新工作较少,特别是从研究成果来看,大都局限在理论研究的初始阶段,还没有商品化的成熟软件或系统平台推出。

1.2.4

关键技术与发展方向

由于图像数据源的丰富和复杂性,加之各类应用目的的不同,因此很难建立一个统一的图像融合理论和方法系统,每一种融合方法都有各自的局限性。图像融合涉及复杂的融合方法、概念、实时图像数据库技术和高速、大吞吐量数据处理等软、硬件支撑技术。如果神经网络计算机成为可能,神经网络的图像融合方法也可能成为一种最有前途的图像融合方法。目前应该结合实际应用,充分利用相关电子技术成果,利用高速数字信号处理(DSP)来实现图像融合。图像融合有待进一步解决的关键技术问题包括:

- (1) 图像的空间配准在整个图像融合中具有十分关键的地位,还有许多需要解决的问题,配准的一般方法是特征选取、特征配准、建立映射关系、插值等。
- (2) 建立融合的数学模型可能方法是对不同层次的多传感器图像融合建立相应的数学模型,然后综合利用这些模型完成融合任务或者归纳现有方法,建立一个总的空间模型,以简化现有方法的繁杂性。
- (3) 传统的多源数据关联和状态融合方法不仅需要较多的先验知识,而且当传感器和被观测地物目标数目增多时,在计算上会出现 N-P 完全复杂性问题,表现出难以克服的计算组合爆炸现象^[57]。
- (4) 当信息源和目标数目增大时,由于多平台通信网络的带宽限制,网络通信呈现信息阻塞和饱和现象,进而影响到融合系统的全局优化^[57]。
- (5) 在复杂地物干扰下,当背景强烈畸变时,传统的识别方法难以达到较高的识别准确度,且当传感器和被观测地物目标数目增大时,在计算上同样会出现 N-P 完全复杂性计算组合爆炸问题^[57]。
- (6) 利用图像融合得到图像 3D 信息,将图像融合的结果与计算机图形学、多媒体技