

长江学者论丛

图像融合 ——理论与应用

敬忠良 肖刚 李振华 著

Image Fusion:
Theory and Applications



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

TP391.41/1608

2007

长江学者论丛

图像融合 ——理论与应用

敬忠良 肖刚 李振华 著

Image Fusion:
Theory and Applications



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容简介

本书评述了图像融合研究领域的最新动态,以图像融合体系——像素级、特征级、决策级融合为主线,系统介绍图像融合的基本概念、基本理论、最新研究成果及应用实例。全书共10章,上篇为理论研究篇,主要内容有:图像融合概念、基本原理和结构;图像融合预处理;多源图像像素级、特征级、决策级融合方法;多源图像优化融合;多源动态图像融合;多源图像融合评价方法。下篇为应用实践篇,主要内容有:多源图像融合实例Ⅰ——合成孔径雷达与前视红外图像融合系统;多源图像融合实例Ⅱ——空间信息处理开发平台。本书是作者在近些年致力于图像融合研究工作的基础上撰写而成的,集中反映了作者及其研究团队的最新研究成果,也在一定程度上反映了国内外在图像融合领域的最新研究进展。

本书可作为高等学校高年级本科生、研究生学习图像融合的教材和教学参考书,也可作为从事图像融合研究和应用的科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

图像融合:理论与应用/敬忠良,肖刚,李振华著. —北京:
高等教育出版社, 2007.10
ISBN 978-7-04-022256-2

I. 图… II. ①敬…②肖…③李… III. 图像处理-高等
学校-教材 IV. TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第115578号

策划编辑 刘 英 责任编辑 李葛平 封面设计 张 楠 责任绘图 尹 莉
版式设计 王艳红 责任校对 朱惠芳 责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100011

总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司

印 刷 北京奥鑫印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 17

字 数 310 000

购书热线 010-58581118

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

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

网上订购 <http://www.landaco.com>

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

畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007年10月第1版

印 次 2007年10月第1次印刷

定 价 36.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 22256-00

序 言

图像融合是将两个或者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具体场景的图像或者图像序列信息加以综合,以生成一个新的有关此场景解释的信息处理过程,而这个解释是从单一传感器获取的信息中无法得到的。图像融合的目的是减少不确定性。

20 世纪 90 年代以来,图像融合技术的研究呈不断上升趋势,应用的领域也遍及对地观测、机场导航、安全监控、智能交通、医学成像与诊断、人类视觉辅助、地理信息系统、智能交通、智能制造、工业过程以及军事领域,并日益为众多的研究者所关注。但是,图像融合方法仍有许多问题值得进一步研究。主要包括图像融合的理论体系、图像噪声对图像融合的影响、图像融合的客观评价方法等。此外,多源动态图像的融合处理以及图像优化融合已逐步成为新的研究热点和难点。

近些年来,国内外研究者在图像融合领域取得了丰硕的研究成果。然而,迄今为止尚没有一本系统介绍图像融合理论、方法和应用的书籍,使得很多初学者感到入门困难,这一现象不利于推动图像融合研究和应用的进一步深入和普及。有鉴于此,我们将近几年的最新研究成果总结于此,与读者共勉。

本书仅就多源图像融合中的若干理论方法问题进行探讨,许多工作还有待今后进一步研究和完善。

本书共分 10 章。第 1 章为绪论,第 2 章介绍图像融合预处理方法,第 3 章论述多源图像像素级融合,第 4 章研究多源图像特征级融合,第 5 章阐述多源图像决策级融合,第 6 章研究多源图像优化融合方法,第 7 章论述多源动态图像融合方法,第 8 章给出多源图像融合评价方法,第 9 章为多源图像融合实例 I——合成孔径雷达与前视红外图像融合系统,第 10 章为多源图像融合实例 II——空间信息处理开发平台。全书由敬忠良、肖刚、李振华统稿。

本书研究工作得到国家自然科学基金、国家科技攻关计划重点项目、国家高新技术研究发展计划(863 计划)项目、上海市科技发展基金重大项目、航空科学基金、航天支撑基金、教育部高等学校博士学科点专项科研基金、上海 - NRC -

IRA 国际合作计划等项目的资助;参加研究工作的还有李建勋教授、博士后周前祥研究员、胡士强教授、孙韶媛副教授以及刘刚博士、王宏博士、张世俊博士、虞红娅博士、杨旭红博士、胡洪涛博士、田宏伟博士、陈雪荣博士、李安平博士、陈江林博士、黄伟博士、杨波博士、刘磊硕士、刘从义硕士等,在此一并致谢!

还要特别致谢美国 University of New Orleans 李晓榕教授、加拿大 University of Calgary Henry Leung 教授、上海交通大学刘允才教授,感谢他们在智能信息处理领域与作者建立的长期融洽合作关系以及在学术上的指导。

本书可作为高等学校高年级本科生、研究生学习图像融合的教材和教学参考书,也可作为从事图像融合研究和应用的科技人员的参考书。

由于受撰写时间和作者水平之限,全书难免存在缺点和错误,敬请读者批评指正。

作 者

2007.3.5

于上海交通大学

作者简介



敬忠良 国家教育部第二批“长江学者奖励计划”特聘教授，博士生导师。1997-1998和1999年分别在美国加州大学伯克利分校和南伊利诺大学作高级访问学者和访问教授，现任上海交通大学空天科学技术研究院常务副院长。长期从事智能信息处理与控制理论及应用研究，先后主持和承担多项国家重点和重大项目；出版专著2部，发表论文150多篇，获授权国家发明专利20余项，软件著作权2项。论著被SCI、EI等国际权威索引刊物收录100余次。先后荣获国家科技进步奖1项，全国优秀科技图书二等奖1项，部委级科技进步一等奖2项、二等奖6项，国家和省部级荣誉奖9项，其中1994年获第四届“中国青年科技奖”，1995年获国务院政府特殊津贴，1999年获“中国航空工业突出贡献中青年专家”称号，2000年入选国家“百千万人才工程”第一、二层次。

目 录

上篇 理论研究篇

第1章 绪论	3
引言	3
1.1 图像融合的基本概念	3
1.2 图像融合的基本原理和结构	5
1.3 图像融合的发展现状和研究 热点	8
1.4 本书内容概要	10
参考文献	10
第2章 图像融合预处理	16
引言	16
2.1 图像增强	16
2.1.1 空间域增强	16
2.1.2 频率域增强	20
2.1.3 彩色增强	20
2.1.4 图像运算	21
2.1.5 多光谱增强	22
2.2 图像校正	23
2.3 图像配准	24
2.3.1 基于灰度信息的图像配 准方法	25
2.3.2 基于变换域的图像配准 方法	28
2.3.3 基于特征的图像配准	

方法	29
2.4 图像的插值与重采样算法	32
2.4.1 主要插值算法	33
2.4.2 加权拉格朗日插值算法 及其对比	40
本章小结	43
参考文献	43
第3章 多源图像像素级 融合	47
引言	47
3.1 多源图像像素级融合常用 算法	47
3.2 多源图像融合中的多尺度 分解方法	52
3.2.1 拉普拉斯金字塔变换	52
3.2.2 对比度金字塔变换	54
3.2.3 梯度金字塔变换	54
3.2.4 离散小波变换	55
3.2.5 离散小波框架变换	56
3.2.6 改进的多尺度分解 方法	57
3.2.7 实验结果及评价	67
3.3 基于多尺度分解的传统多源	

图像像素级融合算法	70	融合	139
3.4 基于多尺度分解的改进多源		引言	139
图像像素级融合算法	73	5.1 基于表决法的决策级融合	
3.4.1 多传感器图像融合		算法	139
算法	74	5.2 基于 D-S 证据理论的决策	
3.4.2 多聚焦图像融合算法 ...	83	级融合算法	140
3.4.3 遥感图像融合算法	87	5.3 基于贝叶斯推理的决策级	
本章小结	96	融合算法	141
参考文献	96	5.4 基于求和规则的决策级融	
第 4 章 多源图像特征级		合算法	142
融合	105	5.5 基于极大、极小值规则的	
引言	105	决策级融合算法	142
4.1 基于梯度特征的多尺度图像		5.5.1 最大值规则	143
融合方法	107	5.5.2 最小值规则	143
4.1.1 基于梯度特征的多尺度		5.6 基于模糊积分的决策级融	
变换方法	107	合算法	143
4.1.2 基于梯度特征的多尺度		5.7 决策级图像融合算法实现	
变换方法融合策略	109	结果	144
4.2 联合纹理和梯度特征的多		本章小结	146
尺度图像融合方法	110	参考文献	146
4.2.1 联合纹理和梯度特征的		第 6 章 多源图像优化	
多尺度变换方法	110	融合	148
4.2.2 基于梯度特征的多尺度		引言	148
图像融合方法	114	6.1 基于 IHS 变换的图像融合彩	
4.3 基于模糊区域特征的多尺度		色畸变分析	148
图像融合方法	123	6.2 改进的 IHS 融合方法研究 ...	152
4.3.1 基于区域的图像融合		6.3 基于像素和特征的联合最优	
算法	124	融合研究	159
4.3.2 基于模糊区域特征的图		6.3.1 多分辨率图像的分解与	
像融合方法	125	重构	159
4.3.3 基于模糊区域特征的图		6.3.2 多分辨率图像小波分解	
像融合方法	129	后的统计特性	160
本章小结	134	6.3.3 基于小波统计特性的联合	
参考文献	135	最优融合方法(UOF) ...	161
第 5 章 多源图像决策级		6.4 基于模糊积分的最优融合	

研究	166	7.3 实验结果及评价	188
6.4.1 UOF 算法的简化	166	本章小结	190
6.4.2 模糊积分及其综合单因 素指标的应用	167	参考文献	191
6.4.3 基于模糊积分的最优融 合(FOF)	168	第 8 章 多源图像融合评价	
本章小结	174	方法	194
参考文献	174	引言	194
第 7 章 多源动态图像		8.1 多源图像融合评价方法研究 的必要性	194
融合	177	8.2 多源图像融合评价方法 研究	196
引言	177	8.2.1 图像融合的定性评价	196
7.1 多传感器动态图像融合 体系	177	8.2.2 图像融合的定量评价 指标	196
7.2 多传感器动态图像融合 算法	179	8.3 高光谱数据信噪比估算 研究	208
7.2.1 序列图像超分辨率 复原	180	8.3.1 高光谱数据信噪比估算 研究的必要性	208
7.2.2 运动目标检测	183	8.3.2 信噪比估算方法	209
7.2.3 基于超分辨率复原和运动 目标检测的动态图像融合 规则	185	本章小结	215
		参考文献	215

下篇 应用实践篇

第 9 章 多源图像融合实例		9.2.2 图像配准模块	226
I ——合成孔径雷		9.2.3 图像融合模块	228
达与前视红外图像		9.3 机载多传感器图像融合 实例	232
融合系统	221	9.3.1 机载前视红外与可见光 图像融合	232
引言	221	9.3.2 机载前视红外与微光夜 视图像融合	238
9.1 软件系统功能及整体设计	222	本章小结	241
9.1.1 软件系统功能	222	参考文献	242
9.1.2 软件整体设计	224		
9.2 软件模块介绍	225		
9.2.1 图像增强模块	225		

第 10 章 多源图像融合实例**II ——空间信息处****理开发平台 244****引言 244****10.1 构建数字城市空间信息处
理开发平台的必要性 245****10.2 空间信息处理开发平台的
体系结构设计和模块功能
实现 248****10.2.1 空间信息处理开发平****台的总体设计 248****10.2.2 空间信息处理开发平
台各功能模块设计和
实现 251****10.3 卫星多源遥感图像的典型
应用 255****10.4 机载多源遥感图像的典型
应用 259****本章小结 262****参考文献 262**

上篇

理论研究篇

第1章 绪 论

引 言

本章介绍图像融合的基本概念、基本原理和结构、发展现状和研究热点,最后给出本书内容概要。

1.1 图像融合的基本概念

随着传感器技术的飞速发展,越来越多的传感器应用于各领域。系统中传感器数量的不断增加,系统获得信息呈现出的多样性以及信息量的急剧增加,使得以往的信息处理方法已无法满足这种情况,不能很好地适用于多传感器组合使用所带来的新问题,必须发展新的方法和技术去解决我们所面临的新问题。信息融合(Information Fusion)正是为了满足这种需求而发展起来的一种新方法。所谓信息融合,是指对来自多个传感器获得的多源信息进行多级别、多方面和多层次的处理与综合,从而获得更丰富、更精确、更可靠的有用信息。J. Llinas和 W. Edward 对信息融合给出了如下定义:信息融合是一种多层次、多方面的处理过程,这个过程对多源信息进行检测、结合、相关、估计和组合,以达到精确的状态估计和身份估计以及完整、及时的态势评估和威胁估计。来自多个传感器的信号所提供的信息具有冗余性和互补性,信息融合可以最大限度地获取对目标或场景的完整信息描述。

图像融合是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具体场景的图像或图像序列信息加以综合,以生成新的有关此场景解释的信息处理过程。

图像融合(Image Fusion)是信息融合范畴内主要以图像为对象的研究领域,它所处理的数据主要是各种图像,通过综合提取各输入图像的信息,形成统一的

图像或数据来控制其他系统或指导决策。在许多应用中,观察员需要同时监视多种信息源的图像,从中获取信息并做出判断。在这种情况下,信息融合的任务是由观察员的视觉系统和大脑完成的,观察员的劳动负荷大,一名观察员很难从多幅独立的、连续变化的图像中得到可靠的合成视觉信息;通过多名观察员的协同工作获得合成图像信息要么是不可能的,要么代价太大。多源图像融合技术可以解决这个问题,它可使信息具有高度集成性,便于存储和传输。从 20 世纪 80 年代初至今,多源图像融合已引发了世界范围的研究热潮,它在计算机视觉、遥感、机器人、医学图像处理以及军事等领域有着广泛的应用前景。尽管人们已经研制出了能获取高质量图像的各种传感器(如前视红外、激光成像雷达、合成孔径雷达等),但它们的性能极大地依赖于使用环境,任何一个独立的图像传感器都有其功能上的局限性,例如在低亮度、降雨等条件下,某些传感器的性能可能下降。融合多个传感器获得的图像信息可明显改善单一传感器的不足。多源图像融合就是利用各种成像传感器获得的不同图像或同种成像传感器以不同成像方式或在不同成像时间获得的不同图像,综合各图像的互补信息和冗余信息,扩大传感器的工作范围,增加置信度,改善系统的可靠性和可维护性,降低对单一传感器的性能要求,可更为准确、可靠、全面地获取对目标或场景的信息描述,以供观察或进一步处理。例如,前视红外图像和可见光图像的融合可以更好地帮助直升机飞行员进行导航;CT(Computed Tomography,计算机断层成像)和 MRI(Magnetic Resonance Imaging,核磁共振成像)图像的融合处理有利于对疾病进行准确的诊断。

总体而言,多源图像融合具有以下优点:

(1) 扩大系统工作范围——由各种适用于不同工作环境的传感器组成的多传感器系统能够扩大系统的工作范围。例如,昼夜 24 小时监视的系统可以通过多种传感器的图像融合而达到目的。

(2) 提高系统的可靠性——从多传感器获取的联合信息能够减少图像中的噪声影响,从而提高图像的质量,减少决策过程中的不确定性因素。多传感器的冗余结构使得在一个或多个传感器失灵时,系统仍能依赖于其他传感器工作,从而提高了系统的鲁棒性。

(3) 获取信息的更高效表示形式——图像融合能够获取信息的更高效表示形式。例如,在遥感系统中,仅需存储融合后的图像信息,这比存储各波段的光谱图像更能节省存储空间。

(4) 提高系统的性价比——没有一种独立的传感器可以完成系统所要求的全部功能,即使能将这些要求都施加于一个独立的传感器上,其结果也将是不可接受的性价比。多源图像融合技术可在基本满足系统整体性能要求的情况下降低系统造价。

因为图像融合是信息融合中的一个具体研究领域,因而它具有信息融合的特点,并能够提高传感器系统的有效性和信息的使用效益。同时,由于图像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,由于多源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;由于多源图像融合具有很强的图像处理因素,因而可在图像数据层上开展大量的算法研究。

目前,图像融合不仅在目标检测、跟踪和识别以及情景感知等军事领域有了广泛应用,而且在对地观测、机场导航、安全监控、智能交通、医学成像与诊断、人类视觉辅助、地理信息系统、智能交通、智能制造、工业过程等民用领域也得到了广泛应用。随着多源图像融合技术的发展,其在军事和民用领域的应用会更为深入,且对于国民经济的发展和国防事业的建设均具有非常重要的意义。近20年来,人们在多源图像融合的不同层次上开展了大量的理论与应用研究。但是,至今为止在各层次图像融合研究领域内尚未有公认的完整的理论和方法,还存在许多理论和技术问题有待解决。多源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,目前还处于落后状态,因此迫切需要开展广泛深入的基础理论和工程技术的研究工作。

1.2 图像融合的基本原理和结构

图像融合是以图像为研究对象的信息融合,它把对同一目标或场景的用不同传感器获得的不同图像,或用同种传感器以不同成像方式或在不同成像时间获得的不同图像,融合为一幅图像,在这一幅融合图像中能反映多重原始图像的信息,以达到对目标和场景的综合描述,使之更适合视觉感知或计算机处理。它是一门综合了传感器、信号处理、图像处理和人工智能等技术的新兴学科。

在论述图像融合的基本原理和结构之前,本书先对目前所研究的图像融合中的图像源进行归纳分类,如图1.1所示,即将多源图像大致分为多传感器图像、遥感多源图像、多聚焦图像、时间序列(动态)图像。本书主要针对这些图像的融合进行深入研究,并讨论适合各类图像特点的融合算法。

多传感器图像是由多个成像机理不同的独立传感器获得的图像(不包括遥感图像),比如前视红外(Forward Looking Infrared, FLIR)图像和可见光图像、CT图像和MRI图像、前视红外图像和毫米波(Millimeter Waves)雷达图像。前视红外图像是采用红外探测器获取目标的红外辐射,记录的是目标自身的红外辐射信息,因而又称“热图像”,而可见光图像是采用光学传感器记录的目标对可见光的反射信息。

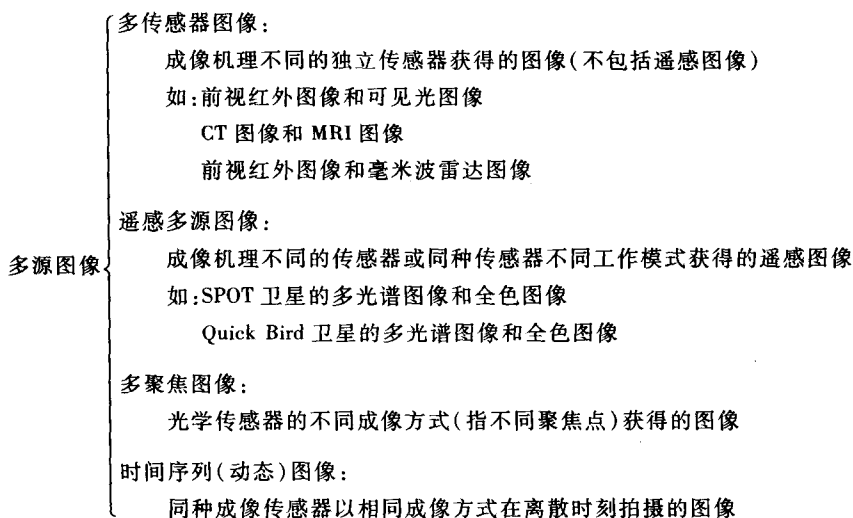


图 1.1 多源图像融合中的图像源分类

遥感多源图像是远距离高空成像,可以是同种成像传感器的不同成像机理的工作模式获得的图像,如 Landsat TM (Thematic Mapper) 多光谱图像和全色图像;也可以是由不同成像仪获得的图像,如 Landsat TM (Thematic Mapper) 多光谱图像和 SPOT (System Pour l'Observation de la Terre) 全色图像。Landsat TM 的成像仪器为专题制图仪 (Thematic Mapper), 该成像仪器所成图像由 7 个波段组成,其多光谱波段地面分辨率为 30 m,全色波段地面分辨率为 15 m。此外,各类航空遥感成像仪器获得的图像数据也是本书的研究对象之一。

多聚焦图像和时间序列图像都是采用同种传感器的不同成像方式或在不同成像时间获得的。多聚焦图像是由同种传感器采用不同的成像方式(聚焦点的不同)获得的。时间序列图像是采用同一种成像传感器、同一种成像方式在离散时刻对目标成像所获得的多幅图像。

人们对多源图像融合的研究发现,很难设计出一种能够适应各类图像源的图像融合算法,因此实际应用中一般针对不同的图像源开发不同的图像融合算法。根据图像源的不同,多源图像融合可大致分为:多传感器图像融合、遥感多源图像融合、多聚焦图像融合以及时间序列图像融合。当然,这些图像融合算法并不是孤立的,它们之间有区别,也有联系。

一般多源图像融合应用系统的处理流程主要有:图像配准、图像融合、特征提取以及识别与决策。依据融合在处理流程中所处的阶段,按信息抽象的程度,从目标识别层上,即从属性分类或者身份估计层次上划分,多源图像融合一般可分为三个层次:

(1) 像素级图像融合:其结构如图 1.2(a)所示,即在严格的配准条件下,对多源图像直接进行信息的综合分析。像素级图像融合是在基础数据层面上进行的信息融合,其主要完成的任务是对多源图像中的目标和背景等信息直接进行融合处理。像素级图像融合是最低层次的图像融合,该层次的融合准确性最高,能够提供其他层次上的融合处理所不具有的细节信息。但需处理的信息量最大,对设备的要求较高。

(2) 特征级图像融合:其结构如图 1.2(b)所示,即对预处理和特征提取后获取的景物信息如边缘、形状、纹理和区域等信息进行综合与处理。特征级融合是在中间层次上进行的信息融合,它既保留了足够数量的重要信息,又可对信息进行压缩,有利于实时处理。

(3) 决策级图像融合:其结构如图 1.2(c)所示,即根据一定的准则以及每个决策的可信度做出最优决策。决策级融合是最高层次的信息融合。在每个传感器已完成目标提取与分类之后,融合系统根据一定的准则以及每个决策的可

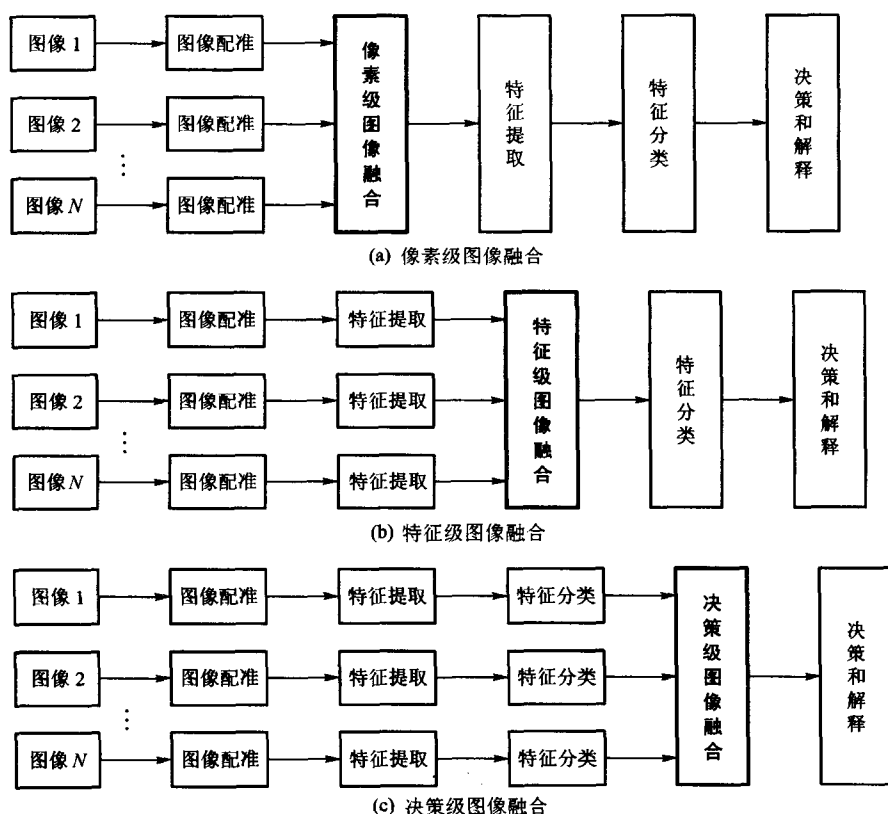


图 1.2 多源图像融合结构