

像素级图像

融合方法与应用

李玲玲 著

甘肃人民出版社

李玲玲 著

像素级图像 融合方法与应用

江苏工业学院图书馆
藏书章

甘肃人民出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

像素级图像融合方法与应用 / 李玲玲著. —兰州: 甘肃人民出版社, 2006. 6
ISBN 7-226-03425-5

I. 像... II. 李... III. 数字图像处理
IV. TN911.73

中国版本图书馆CIP数据核字 (2006) 第059321号

责任编辑: 宋学娟

封面设计: 王林强

像素级图像融合方法与应用

李玲玲 著

甘肃人民出版社出版发行

(730000 兰州市南滨河东路520号)

甘肃荣祥印刷有限公司印刷

开本 850 1168 毫米 1/32 印张 7.5 插页 2 字数 175 千

2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1—200

ISBN 7-226-03425-5 定价: 18.00 元

前 言

在经历了农业时代和工业时代之后,人类目前已经全面进入了信息时代。信息时代的显著特征之一是信息爆炸。面向各种复杂应用的军用和民用传感器信息系统的大量涌现,信息表现形式多样性,信息容量、处理速度等要求都大大超出了人脑的信息综合能力。为了应对这种局面,在二十世纪七八十年代产生了一个称为“信息融合”的全新概念。简单地说,信息融合是指对多种传感器获得的信息进行综合、处理,获得比任何单一传感器所获得信息更多的有用信息。信息融合涉及面极为广泛。图像融合,是信息融合中可视信息部分的融合,是多传感器信息融合的重要分支。它综合来自不同传感器的多源图像信息,通过对多幅图像信息的提取与综合,从而获得对同一场景/目标的更为准确、全面、可靠的图像描述。在图像融合的信号级、像素级、特征级和决策级四个级别中,像素级图像融合直接在采集到的原始图像上进行,在各种传感器原始数据未经预处理前就进行数据综合与分析,它尽可能多地保留了场景的原始信息,检测性能最好,提供其他融合层次所不能提供的丰富、精确、可靠的信息,有利于图像的进一步分析、处理与理解,进而提供最优的决策和识别性能。它在自动目标识别、战场监视、夜间导航等军事领域,以及智能机器人、遥感、医学图像处理、制造业、交通管制、安检系统、环境监控等非军事领域有广泛的应用前景。

本书系统地论述了像素级图像融合的理论、方法、技术与应用问题,总结了作者攻读博士学位期间所做的部分研究工作。该书既有理论又有实践,理论和实践相结合;内容丰富,技术

新颖、全面。

随着信息技术深入到各个领域而得到广泛的应用，图像融合技术也作为前沿技术而发生着重大的变化。本书在写作过程中，也正是为了反映这种变化，为了进一步推动这一领域的发展，力求内容能反映图像融合技术的前沿内容，使其具有较高的学术意义与应用价值。

作为一名图像融合领域的研究人员，多年来作者一直致力于该领域的科研工作，在研究过程中，深感图像融合缺乏完整的理论体系，虽然过去几年国内外有关该领域的研究和开发工作大有进展，但有很多不足之处，主要表现在科研工作缺乏广度和深度，原创性和较高质量的研究成果不多。作者希望更多地介绍这一领域的理论和应用实例，促进这一学科的发展。不仅能为有志于从事图像融合的国内读者提供这方面的研究成果，同时有助于国内的研究开发人员在本文的研究基础上，进行更深入的研究。希望本书在科学体系方面真正成为一本有价值的专著，而且也能为广大读者提供比较详尽的参考资料。鉴于此，作者参阅了国内外大量的文献资料，汇集了近几年的研究成果以及作者的研究成果，将本书呈献给广大读者。希望本书能起到抛砖引玉之效，如果能对研究者和实际工作有所参考或借鉴，并对图像融合技术在我国的发展起到积极的推动作用，作者将万分荣幸。

本书是作者在华中科技大学攻读博士学位时所撰写的博士论文的基础上完成的。本书初稿还承蒙作者的博士导师、华中科技大学图像所的丁明跃教授的仔细审阅，并提出了许多有价值的修改意见，在此深表感谢。在相关研究的过程中，得到蒋煜硕士的合作和帮助，在此也衷心感谢，同时也感谢所有关心本书出版的各位专家学者。当然，也要感谢本书的责任编辑，

在设计本书的结构、内容时，她提供了许多宝贵的建议。

本书理论体系完整，材料取舍得当，适合从事图像融合理论研究和工程应用的专业技术人员参考，也可供对该领域感兴趣的大学本科高年级学生和研究生学习参考。图像融合技术是崭新的技术，在我国的应用还刚刚起步，本人对图像融合技术的了解和认识毕竟有限，尽管做出了最大的努力，但错误和不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

从历史来看，真正影响着生活的是不断增长的知识与技术的积累和经反复探索所形成的观念。相信此书的出版，会增加正在成长中的图像融合的理论与技术积累，而它对生活的作用则是显而易见的。

最后，衷心希望读者能够从本书中真正体会到学习的乐趣。

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 多传感器图像融合技术	(2)
1.3 像素级多传感器图像融合	(6)
1.4 像素级多传感器图像融合方法综述	(9)
1.5 本章小结	(14)
第二章 多传感器图像配准	(18)
2.1 引言	(18)
2.2 图像配准定义	(18)
2.3 图像配准的应用	(19)
2.4 空间变换模型	(21)
2.5 图像畸变	(23)
2.6 多传感器图像配准方法概述	(25)
2.7 基于 Harris 角点特征的多传感器图像 自动配准方法	(34)
2.8 本章小结	(63)
第三章 基于金字塔变换的图像融合	(67)
3.1 引言	(67)
3.2 图像的拉普拉斯金字塔变换	(67)
3.3 图像的对比度金字塔变换和比率金字 塔变换	(73)
3.4 图像的梯度金字塔变换	(75)
3.5 基于金字塔变换的图像融合	(77)

3.6 实验结果与分析	(83)
3.7 本章小结	(86)
第四章 基于离散小波变换的图像融合	(88)
4.1 引言	(88)
4.2 多分辨率分析与滤波器组	(89)
4.3 小波变换	(92)
4.4 基于离散小波变换的图像融合	(99)
4.5 实验结果与分析	(100)
4.6 本章小结	(102)
第五章 基于离散小波框架的图像融合	(104)
5.1 引言	(104)
5.2 小波框架	(104)
5.3 基于离散小波框架的图像融合算法	(112)
5.4 实验结果与分析	(124)
5.5 本章小结	(139)
第六章 基于可操纵方向金字塔变换的图像融合	(141)
6.1 引言	(141)
6.2 可操纵方向金字塔变换	(141)
6.3 基于可操纵方向金字塔变换的 图像融合算法	(145)
6.4 实验结果与分析	(147)
6.5 本章小结	(165)
第七章 基于双树复小波变换的图像融合	(167)
7.1 引言	(167)
7.2 双树复小波变换原理	(167)
7.3 基于双树复小波变换的图像融合算法	(176)
7.4 实验结果与分析	(177)

7.5 本章小结.....	(188)
第八章 基于提升小波变换的图像融合.....	(190)
8.1 引言.....	(190)
8.2 提升小波变换.....	(190)
8.3 基于提升小波的图像融合算法.....	(200)
8.4 实验结果与分析.....	(202)
8.5 本章小结.....	(204)
第九章 图像融合方法的评价与实验.....	(206)
9.1 引言.....	(206)
9.2 图像融合质量的评价方法概述.....	(206)
9.3 具有平移不变性的图像融合算法的评价 与实验	(214)
9.4 本章小结.....	(231)

第一章 绪 论

1.1 引言

近 20 年来, 由于超大规模集成电路 (VLSI) 和超高速集成电路 (VHSIC) 的出现, 特别是伴随着传感器性能的不不断提高, 面向各种复杂应用的军用和民用传感器信息系统大量涌现。在这些多传感器系统中, 信息表现形式多样性, 信息容量、处理速度等要求都大大超出了人脑的信息综合能力。于是, 一门被称之为信息融合的新技术便应运而生^[1]。多传感器信息融合 (亦称多传感器数据融合) 是指对来自多个传感器的信息进行多级别、多层次、多方面的处理与综合, 从而获得更丰富、更精确、更可靠的有用信息。

多传感器图像融合 (简称图像融合), 即多传感器信息融合中可视信息部分的融合, 是多传感器信息融合的重要分支。它综合来自不同传感器的多源图像信息, 通过对多幅图像信息的提取与综合, 从而获得对同一场景/目标的更为准确、全面、可靠的图像描述。在图像融合的信号级融合、像素级融合、特征级融合和决策级融合四个级别中, 像素级图像融合尽可能多地保留了场景的原始信息, 提供其他融合层次所不能提供的丰富、精确、可靠的信息, 有利于图像的进一步分析、处理与理解, 进而提供最优的决策和识别性能。

本章首先介绍了多传感器图像融合技术, 在此基础上讨论了像素级多传感器图像融合的概念、研究意义和应用。最后, 对像素级多传感器图像融合方法进行综述。

1.2 多传感器图像融合技术

1.2.1 图像传感器

在实际应用中，由于受照明、环境条件（如噪声、云、烟雾、雨等）、目标状态（例如运动、密集目标、伪装目标等）、目标位置（如远近、障碍物等）以及传感器特性等因素的影响，单一传感器所获得的图像信息不足以用来对目标或场景进行正确的检测、分析和理解，使用多传感器图像融合能有效地解决这些问题。

从多个传感器获得的图像包含了冗余和互补信息。以两个传感器为例，其信息构成示意图如图 1-1 所示。

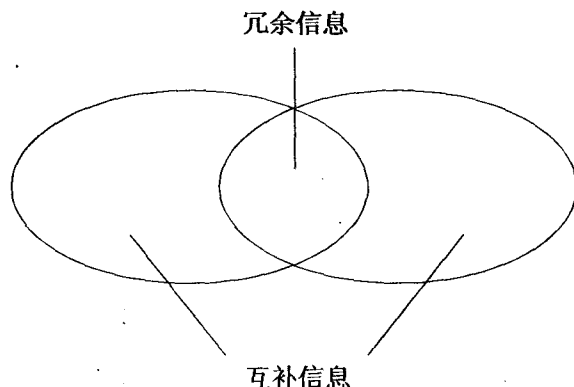


图 1-1 传感器信息构成

多传感器图像融合能充分利用冗余信息改善信噪比、提高系统的可靠性，利用不同图像的互补信息获得细节更丰富、信息更全面的融合图像，从而提高了系统的识别能力。

目前，常用的军用图像传感器及其主要性能特点如表 1-1

所示。除此之外, 还有其他图像传感器如紫外光成像仪、X 射线成像仪、超声波成像仪等。

表 1-1 常用传感器及其主要性能特点

传感器类型	主要特点
可见光 CCD	波段: $0.4\mu\text{m}\sim 1.0\mu\text{m}$; 工作方式: 被动; 成像分辨率高, 隐蔽性好, 可获得丰富的对比度、颜色和形状信息; 受环境照度影响, 不能夜间工作, 无伪装识别能力。
红外热像仪	波段: $8\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ (长红外波段), $3\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ (中红外波段); 工作方式: 被动; 昼夜两用, 具有一定穿透烟、雾、雪等的的能力, 隐蔽性好, 成像分辨率较高, 探测距离一般在几 km ~十几 km; 受气候影响, 作用距离较远时图像不够稳定。
毫米波雷达	波段: $1\text{mm}\sim 7.5\text{mm}$; 工作方式: 主动; 准全天候工作, 距离分辨率高, 频带宽, 电磁兼容性、隐蔽性和抗干扰性能较其他雷达好; 目标特征不够充分直观, 易暴露, 一定程度受气候和电子对抗措施影响。
合成孔径雷达 (SAR)	波段: $2.5\text{cm}\sim 30\text{cm}$; 工作方式: 主动; 全天候, 全天时, 高空间分辨, 高灵敏度大面积成像, 作用距离远, 由于对植被、土壤和水有一定穿透能力, 因此可以探测浅层地下和水下目标; 易暴露, 成像分辨率较可见光、红外低, 受电子对抗措施影响。
激光成像雷达	兼有测距、测速和成像功能, 成像距离 $3\text{km}\sim 5\text{km}$; 由于激光束很细(小于 10mm), 探测分辨能力强, 能够探测出架空电缆之类的细小物体。
多光谱/超光谱成仪 (遥感成像传感器)	多个光谱谱段同时、精确测量目标; 可用于地形测绘、检测和分析等。

1.2.2 图像融合层次

根据融合处理所处的不同阶段，图像融合处理通常可在四个不同层次上进行^[2,3,4]：信号级融合、像素级融合、特征级融合、决策级融合（见图 1-2）。也有人将其分为三级，像素级融合、特征级融合和决策级融合。

- 信号级融合。合成一组传感器的信号，目的是提供与原始信号形式相同但品质更高的信号。

- 像素级融合。合并关于同一目标多个传感器的图像，生成复合图像。生成的复合图像能够对目标进行更为准确、全面、可靠的描述。它是直接在原始数据层上进行的融合。有的文献中提到的图像融合往往特指像素级图像融合。

- 特征级融合。先从原始多传感器图像中提取有用特征，然后对特征信息进行综合分析和处理。它是中间层次上的融合。典型的特征信息有线型、边缘、纹理、光谱、相似亮度区域、相似景深区域等。

- 决策级融合。在进行融合处理前，要先对从各个传感器获得的源图像分别进行预处理、特征提取、识别或判决，建立对同一目标的初步判决结论；然后，对来自不同传感器的决策进行融合处理，最终获得联合判决。是在信息表示最高层次上进行的融合。

图像融合四个层次不仅能够独立进行，相反，它们有着密切相关性，还可以作为一个整体同时进行分层次融合。前一级的融合结果作为后一级的输入（见图 1-2）。

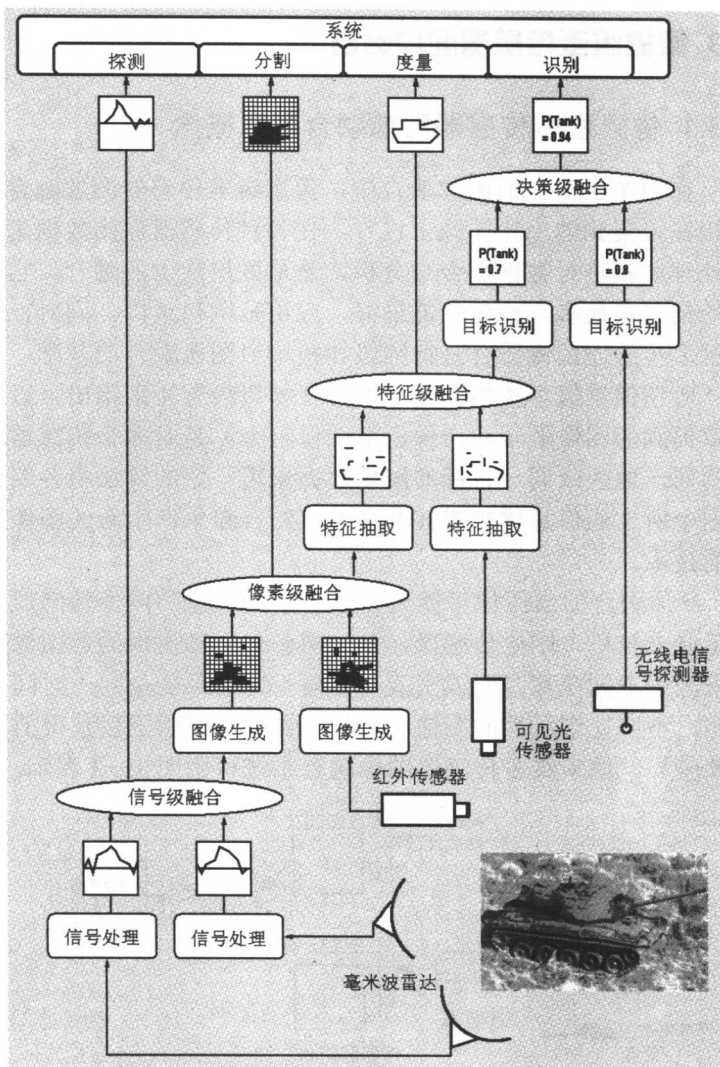


图 1-2 图像融合的不同层次

1.3 像素级多传感器图像融合

1.3.1 像素级多传感器图像融合基本概念

在四个层次上的图像融合中，像素级多传感器图像融合是直接采集到的原始图像上进行，在各种传感器原始数据未经预处理前就进行数据综合与分析，是最低层次上的融合。它获取的信息量最多，检测性能最好，应用范围也最广。同时，像素级多传感器图像融合是特征级和决策级图像融合的基础。

所谓像素级多传感器图像融合（如果没有特别指出，以后各章提到的图像融合均指像素级图像融合）是对多个传感器获取的同一地区或同一目标的图像数据采用一定的算法将各图像数据中所含的信息优势或互补性有机结合起来产生新的图像数据的技术。

参加融合的诸图像可能来自多个不同类型的图像传感器，也可能来自单一图像传感器。单一图像传感器提供的各图像可能来源于不同观测时间或空间（视角），也可能是同一时间、空间、不同光谱特性的图像（譬如来自同一遥感卫星获得的不同波段）。像素级多传感器图像融合系统可用图 1-3 表示。

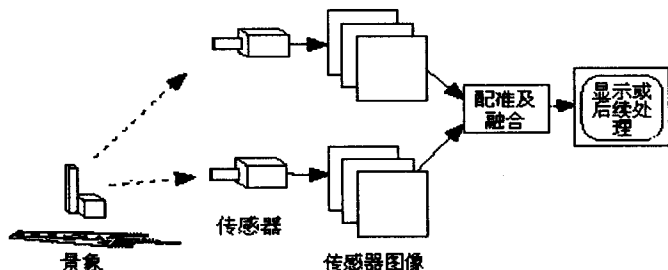


图 1-3 多传感器融合系统

像素级多传感器图像融合通过互补信息的有机集成,可以减少或抑制单一信息对被感知对象或环境解释中可能存在的多义性、不完整性、不确定性和误差,最大限度地利用各种信息来源提供的信息,从而大大提高在特征提取、分类、目标识别等方面的有效性^[5]。另外,利用多传感器图像的冗余信息,进一步改善信噪比、提高系统的可靠性,降低了对单个传感器的性能要求^[6]。图像融合不是简单的叠加,它产生新的包含更多有价值的信息,即达到 $1+1>2$,甚至远大于 2 的效果。目前,像素级多传感器图像融合主要用于生成特征增强的、更符合人或机器视觉特性的图像。这些图像可用于人眼感知或计算机后续处理,如图像分割、目标的检测、识别与跟踪等。

1.3.2 像素级多传感器图像融合研究意义

随着新型传感器的不断涌现,人们获取图像的能力迅速提高,不同物理特性的传感器所产生的图像也不断增多。由于不同图像传感器获取的图像数据在几何、光谱、时间和空间分辨率等方面存在明显的局限性和差异性,所以仅仅利用一种图像数据难以满足实际需求。为了对观测目标有一个更全面、清晰、准确的理解和认识,人们迫切希望寻求一种综合利用各类图像数据的技术方法。因此,把不同图像数据的各自优势和互补性综合起来加以利用就显得非常重要和实用^[7]。

与单传感器图像数据相比,多传感器图像数据所提供的信息具有冗余性、互补性。多传感器图像数据的冗余性是指它们对环境或目标的表示、描述或解译的结果相同。冗余信息是一组由系统中相同或不同类型的传感器所提供的对环境同一目标的感知数据。尽管这些数据的表达形式可能存在着差异,但通过变换,可以将它们映射到同一个数据空间。

这些变换的结果反映了目标某方面的特征，合理地利用这些冗余信息，可以降低误差和减少整体决策的不确定性，提高识别率和精确度。互补性是指信息来自不同自由度且相互独立、由多个传感器提供的对同一个目标的感知数据。一般来讲，这些数据无论是表现形式还是所表达的含义都存在较大差异，反映了目标的不同特性。对这些互补信息的利用可以提高系统的准确性和结果的可信度。因此把多传感器图像数据各自的优势结合起来加以利用，获得对环境或对象正确解释是十分重要的。像素级多传感器图像融合则是融合这些多种传感器信息的最有效途径之一，为多传感器图像数据的处理、分析与应用提供了新的途径，被认为是现代多传感器图像处理和分析中非常重要的一步。如何把从各种不同传感器得到的图像融合起来，以便更充分地利用这些信息成为图像处理领域重要的研究课题之一。

另外，图像的获取已从最初单一可见光传感器发展到现在的多通道光谱、红外、雷达、高光谱等多种不同传感器，相应获取的图像数据量也急剧增加。越来越多的图像数据信息不断地困扰着研究人员，使图像数据的处理滞后于图像数据获取，成为信息处理过程中的薄弱环节。人们对图像信息的分析和利用远远落后于数据源增加的速度，直接影响到图像数据的使用效益。如何充分利用大量的多传感器图像数据成为目前人们所面临的一大难题。由于数据量庞大，人们不可能用低效率的人工作业方式来处理。总之，由于人们对高质量图像的迫切需求、对海量数据实时处理的需要，以及在平台上对目标观测数据自主处理系统智能化要求，将不同类型图像数据进行融合就成为一个迫切需要解决的问题。