

文章编号: 1671- 637X(2002) 04-0001-07

多传感器图像融合综述

夏明革², 何友¹, 唐小明², 夏仕昌¹

(1 海军航空工程学院电子工程系, 山东 烟台 264001; 2 海军工程大学兵器工程系, 湖北 武汉 430033)

摘 要: 图像融合是在多测度空间综合处理多源图像和图像序列的技术。图像融合分为: 像素层图像融合、特征层图像融合和符号图像层融合。本文讨论了图像融合各层次的融合算法以及红外图像、可见光图像、多谱图像、雷达图像等的融合问题。提出图像融合的结构模型, 并对图像融合的发展方向进行了展望。

关 键 词: 图像融合; 结构模型; 预测

中图分类号: TP 212 TP 391 41 **文献标识码:** A

A survey on multisensor image fusion

XIA Ming ge², HE You¹, TANG Xiao ming², XIA Shi chang¹

(1 *Naval Aeronautical Engineering Institute, Yantai 264001, China;*
2 *Dept. of Weaponry Eng., Naval Univ. of Engineering, Wuhan 430033, China*)

Abstract: Multisensor image fusion is widely recognized as a valuable mechanism for improving overall system performance in image based application areas. The objective of image fusion is to combine information from multiple images of the same scene to achieve inferences that cannot be achieved with a single image or source. This paper surveys pixel, feature, and symbol level image fusion methods and compares the characteristics of different fusion levels. A few image fusion algorithms of each level are presented, problems about fusion of infrared image, VI, SAR, multispectral image are discussed. An image fusion structure model with feedback information and some issues that should be solved in the future are proposed in this paper.

Key Words: image fusion; structure model; perspective

0 引言

光学、电子学、数学、摄影技术、计算机技术等学科的发展, 处理器、存储器和显示设备性能的提高,

价格的不断下降, 使得数字图像处理迅速发展^[1]。军事、医学、自然资源勘探、海洋资源管理、环境和土地利用管理、地形地貌分析、生物学等的应用需求有力地刺激了图像处理和图像融合技术的发展^[2]。医学

收稿日期: 2002-05-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(批准号: 60172033); 高校全国优秀博士学位论文作者专项资金资助项目(编号: 200036)

作者简介: 夏明革(1967), 男, 吉林安图人, 工程师, 博士生, 主要从事图像融合、计算机视觉等方面的学习与研究工作。

上,图像融合技术被用来诊疗和制定手术方案。商业和情报部门用图像融合技术来对旧照片、录像带进行恢复、转换等处理。随着遥感技术的发展,获取遥感数据的手段越来越丰富,各种传感器获得的影像数据在同一地区形成影像金字塔,图像融合技术实现多源数据的优势互补,为提高这些数据的利用效益提供了有效的途径。星载遥感用于地图绘制、多光谱、高光谱分析、数据的可视化处理、数字地球建设等,图像融合是必不可少的技术手段。军事上,图像融合可用于对战场感知和监控等。

传感器技术不断发展,人们获取图像的途径越来越多,使图像融合处理的图像种类也越来越多,如雷达与红外图像融合、红外图像与可见光图像融合、雷达与雷达图像融合、不同波段红外图像融合、CT、PET、MRI 等的图像融合、单传感器多谱图像融合、单传感器图像序列的融合、图像与非图像的融合等。

按数据融合的处理体系,图像数据融合可分为:像素层融合、特征层融合和符号层融合^[2]。图像融合的目的是综合同一个场景的多个图像的信息,其结果是更适合人的视觉和计算机视觉的一幅图像,或更适合进一步图像处理需要的图像。对图像融合来说,融合源图像可能是在同一个时间段,来自多个传感器的图像,也可能是单个传感器在不同时间提供的图像序列。一般来说,图像是在某种意义上对客观实际的一种反映,是一个不完全、不精确的描述。图像融合充分利用多幅图像资源,通过对观测信息合理支配和使用,把多幅图像在空间或时间上的互补信息依据某种准则融合,获得对场景的一致性解释或描述,使融合后的图像具有比参加融合的任意一幅图像更优越的性质,更精确地反映客观实际^[3-5]。

本文概括了现有的图像融合方法,比较了不同层次图像数据融合算法的特点,讨论了进行图像融合效果评价的方法,提出了带反馈信息的图像融合模型,并对图像融合未来的发展方向进行了展望。

1 传感器组合

1.1 雷达与红外图像融合

毫米波(MMW)雷达、LADAR 与红外传感器组合提供主动和被动工作方式。在 LADAR 与前视红外(FLIR)组合中,用 FLIR 搜索和探测可能的目标,结合 FLIR 与 LADAR 的信息用于识别。MMW 雷达有较高的抗衰减能力。美国陆军计划下一代坦克选择 MMW 雷达和热像仪作为图像融合的突破

口,正在由休斯公司进行研究。SAR 与红外图像的融合,目的是充分利用 SAR 可全天候获得图像的特点和红外图像丰富的谱图特点,在遥感遥测的应用上获得空间分辨力和谱分辨力都较高的融合图像。

1.2 红外图像与可见光图像融合

目标内有较大的温度梯度或背景与目标有较大热对比度,低可视目标很容易在红外图像中看到,与热图像相比,可视图像可提供更多的目标细节。如 FLIR 与 TV 图像融合,形成的融合图像保留了由高局部亮度对比表征的重要细节。为了提高美军夜战能力,美国德克萨斯仪器公司研制了具有红外热图像与微光图像融合能力的武器装备。美国还研究了基于可见光与红外图像的自适应数据融合实验床,用图像融合的方法模拟战场环境,并在外场进行了一些试验。

1.3 雷达与雷达图像融合

融合过程可对合成孔径雷达(SAR)互相干处理,用双天线提高对观测场景的匹配,得到同一传感器不同频率或极化图像的融合。这需要电磁测量的校正和多极化、多频率图像融合、图像互对准等。不同分辨力 SAR 图像的融合,可得到比高分辨力图像的噪声低的融合图像。多频率、多极化、多分辨 SAR 图像融合,可利用神经网络、小波变换和多尺度卡尔曼滤波等方法进行图像融合。

1.4 不同波段红外图像融合

采用来自不同电磁波段的两个通道,如:3~5 μm , 8~14 μm 波段的红外传感器,得到的目标背景信息增加了一倍,同时采用融合技术,可提高系统的探测距离和识别能力。在地下探矿、人造目标探测和航空遥感等方面有广泛应用。英国正在研究双波段成像辐射计并进而研究了高性能数字式双波段前视红外系统。两波段红外图像融合后可得到彩色融合图像或单色图像。两波段红外图像融合见图 1。

1.5 图像与非图像信息的融合

前视红外、合成孔径雷达图像与电子支援措施(ESM)信息、敌友辨识(IFF)信息、3D 雷达的融合。图像与非图像信息的融合用于对战场感知和监控。

图像融合的一个研究内容是对声纳的反射谱分析,谱图在某种意义上可看作一种图像。用计算机分析水下图像、对声纳图像融合有很重要的军事价值

和商业价值,如自动水下运输、水下精确地形估计、遥控运输机械、海床地图描绘、自然资源的开采、丢失在海底物品的寻找和海底探矿等。海底图像的获取主要用两种传感器:声纳传感器和可见光传感器。

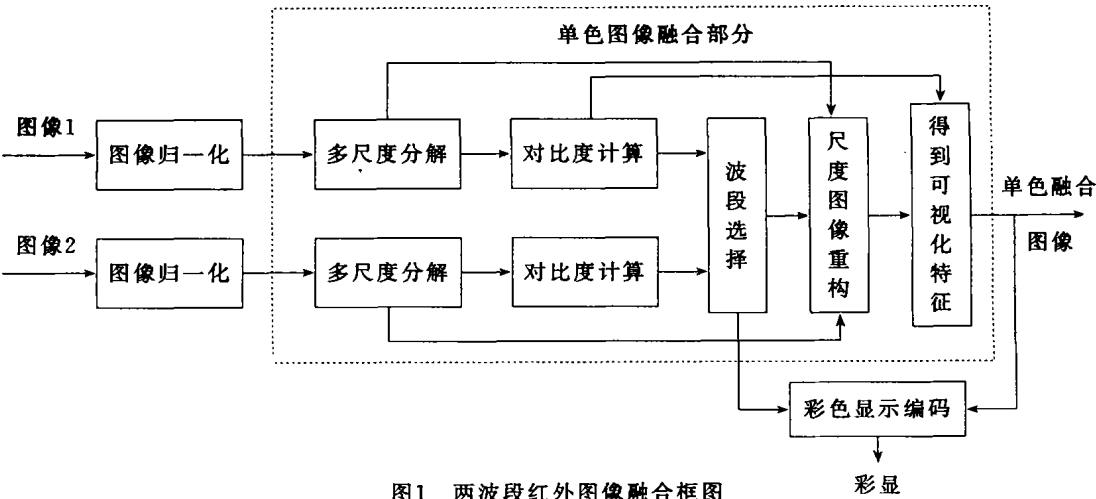


图1 两波段红外图像融合框图

1.6 CT、PET、MRI 等的图像融合

各种医学成像方法的临床应用,使得医学诊断和治疗技术取得了很大的进展,同时将各种成像技术得到的信息进行互补,已成为临床诊疗及生物医学研究的有力武器。如:X 线断层成像(CT)、正电子发射断层成像(PET)、磁共振(MRI)、单光子发射断层成像(SPET)、超声成像(US)、显微成像(MI)等。不同模态的图像提供图像互不覆盖的互补信息。如:CT 提供骨骼信息、MRI 提供软组织、血管等信息。在有骨骼的地方选择 CT 属性,在其他有软组织的地方选择 MRI 属性,融合各信息用于制定手术计划。在未来,基于图像融合的数字可视化与虚拟现实技术相结合,可望创造一个虚拟环境,帮助医生制定最有效、最安全的手术方案。

1.7 单传感器多谱图像融合

多谱图像融合是把多变量信息,即多波段的图像信息综合在一张图像上,而且对于融合图像来说,各波段的信息所做的贡献能最大限度地表现出来。为此可对原图像各波段像素亮度值作加权线性变换,产生新的像素亮度值或将多个波段的信息集中到几个波段上,如红、绿、蓝色波段。多谱图像融合也可通过亮度、色度和饱和度变换(IHS 变换)、主成分分析(PCA)和高通滤波(HPF)等方法进行。为了得到更好的融合结果,可将已提取的目标信息加到变换公式中,根据先验信息对图像的参数进行修正。基于已知特征的融合方法可以针对不同的要求,灵活改变信息特征的提取方法。用微分几何方法将多谱图像变换为可视图像可能会成为有前途的方法。

般来说,多谱图像融合得到的是彩色图像。

1.8 单传感器图像序列的融合

在图像序列融合时,将输入图像依时间序列进行融合,融合方法应保留所有输入图像的相关信息,融合方法不应引入任何不一致信息和人为的虚假信息。融合结果平移不变、旋转不变。图像序列融合要求时间稳定、一致。融合图像与参加融合图像之间进行互信息分析,可对图像序列融合稳定性和一致性进行度量和融合效果评价。

图像序列融合极限情况是对小目标(< 3 像素)的处理。点目标处理的难点体现在:无形状、尺寸、纹理等信息可以利用,需要通过对多帧图像处理来积累目标能量,这时的存储量和处理数据量增大。要想在静态图像中找出一个混在噪声中的小点是不可想象的。正是由于目标的运动为检测提供了必要的信息,因此,充分利用运动信息是运动点目标检测的关键。利用多帧图像序列检测方案基本可分为两类:一类为先检测后跟踪;一类为先跟踪后检测。前者在目标检测阶段,对每帧图像都作出目标存在与否的判决,紧接着的目标跟踪算法是对目标的观测结果与目标轨迹进行关联,并作出相应判决。这种算法的性能代表了任何一个合理的多帧检测算法可能具有的下限。然而,这种先检测后跟踪的算法只在信噪比较高的情况下才可能取得较好的效果。后者则在三维图像中对较多的可能轨迹进行跟踪,但起初并不对这些轨迹是否代表真实目标轨迹作出判决,而是对每条跟踪的轨迹计算其后验概率函数,如果某条轨迹的后验概率函数超过某一门限,就认为该轨迹代

表一个目标。

2 图像融合分类

图像数据融合分为:像素层融合、特征层融合和符号层融合。

像素层图像融合 是对原始图像融合形成一幅新的图像。像素层图像融合可用来增加图像中每一个像素的信息内容,为下一步图像处理提供更多的特性信息,可以更容易识别潜在目标。如果参加融合的图像具有不同分辨率,则需要在图像相应区域作映射处理。像素层图像融合一般要求传感器在空间上精确对准,通常将多个传感器置于同一平台上来达到这一要求。像素层的图像融合方法是一种低层次的融合,保留了尽可能多的信息,精度比较高。

特征层图像融合 是提取各图像主要特征的似然率,然后将特征合成的方法。特征层数据融合,需要对某些数据处理赋予语义,这样才能得到目标原始特征,而且特征层数据融合往往与目标算法相联系。把某类语义含义映射到传感数据的某个空间和/或时间段上,建立“原始”特征,通过组合图像特征来建立“合成”特征。从图像中提取并用于融合的典型特征包括:边界和类似亮度或深度区域等。典型的图像特征提取包括:边界提取、同密度或同景深区域表示等。多个图像传感器在相同位置报告类似特征时,可以增加特征实际出现的似然率并提高测量特征的精度。未收到这样报告的特征可认为是虚假特征而加以删除。通过融合能消除虚假特征来提高特征测量精度(例如,确定一个物体的姿态),建立合成特征,提高有关的性能(如提高目标识别能力)。融合后建立的特征可以是各分量特征的合成,也可以是由各分量特征属性组成的完全新型的特征。一个特征的几何形式、方位、位置以及特征的时间内容是需要表示特征的最重要方面,这些特征可以与其他特征对准和融合。在融合时可用特征的几何变换使其与其他特征或环境模型匹配。在某些情况下,可将某个特征进行几何变换,如图像平面中的平移和旋转等。特征层融合的传感器对准要求不如信号层和像素层要求严格,因此图像传感器可分布于不同平台上。

符号层图像融合 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,那么符号层融合也许是融合多图像信息的唯一方法。用于融合的符号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符号。从传感器信息导出的符号代表了有关环境某个方面已作出的决策,通常是把传感器信息导出的特征与模型匹配来推理。在符号层融合一般不明显考虑传感器对准,因为在符号形成时已明显考虑了作为符号基础的传感器信息的空间和时间内容。如果参加融合的符号没有对准,那么可把空间和时间属性与符号相联系用于它们的对准。在逻辑推理中,参加融合的各个符号代表逻辑表达式中的项,而不确定性度量代表了这些项的真实值。在统计推理中,用条件概率表达式表示参加融合的各个符号,而不确定性度量代表表达式有关的概率度量。符号层融合用推理结果建立的符号真值或概率值的增加量来表示符号层融合品质的改进。符号层融合对于系统性能的改善程度一般体现在融合后的符号具有更大的概率值或更高的真实度。

3 图像融合算法

3.1 不同层次图像融合算法的特点

不同层次图像融合算法的特点见表 1。

3.2 像素层数据融合算法

3.2.1 逻辑滤波器法

最直观的融合方法是两个像素的灰度值进行逻辑运算,如:两个像素的灰度值均大于特定的门限值,进行“与”运算。来自“与”运算的特征被认为是对应了环境的主要方面。同样,“或”滤波用来分割图像,因为所有大于特定的门限值的传感器信息都可用来进行图像分割。两个像素的灰度值均小于特定的门限值时,用“或非”运算。

3.2.2 加权平均法

简单的像素层图像融合方法是源图像之间的对应的每个像素灰度值加权平均。

3.2.3 数学形态法

数学形态学通过使用从基本算子:集合并、集合交、减、条件加推演出来的一套数学形态算子,如膨胀、腐蚀等算法,对图像进行处理。若两个集合互相支持,则通过集合交从两个特征集中提取出高置信

表 1 不同层次图像融合算法的特点

特 点	像素层图像融合	特征层图像融合	符号层图像融合
传感器信息类型	多幅图像	从信号和图像中 提取出的特征	用于决策的 符号系统和模型
信息的表示级别	低级	中级	高级
传感器信息模型	含有多维属性的图像或者 像素上的随机过程	可变的几何图形、方向、位 置以及特征的时域范围	测量值含有不确定 因素的符号
图像数据的空间 对准精度级别	高	中等	低
图像数据的时域 对准精度级别	高	中等	低
数据融合方法	图像估计或像素属性组合	几何上和时域上相互对 应,特征属性组合	逻辑推理和统计推理
图像融合带来的性能改善	使图像处理任务的 效果更好	压缩处理量,增强特征测量 值精度,增加附加特征	提高处理的可靠度或 提高结果正确概率

度的“核”特征集;若两个集合互相对抗,则通过集合差从两个特征集中提取出高置信度的“核”特征集。两个集合互相支持,则通过集合并从两个特征集中提取出高置信度的“潜在”特征集;若两个集合互相对抗,则通过一个集从另一个集中提取出高置信度的“潜在”特征集。用条件膨胀和条件腐蚀的形态运算来融合“核”与“潜在”特征集。条件膨胀用来提取“潜在”特征集的连接分量,可用来抑制杂波;条件腐蚀可用来填入在“核”特征集中丢失的分量边界元素。开运算和闭运算的基本作用是对图像进行平滑处理,开运算可以去掉图像中的孤立子域和毛刺,闭运算可以填平一些小洞并将两个邻近的目标连接起来。

统计形态的引入为图像融合提供了一种新的思路。将统计的思想与形态滤波相结合估计图像包含的有用信息,噪声抑制效果较好。

3.2 4 图像代数法

图像代数是描述图像算法的高级代数语言,完全可以描述多种像素层的融合算法。它有四种基本的图像代数操作数:坐标集、值域、图像和模板。坐标集,可定义为矩形、六角形、环形离散矩阵及多层矩阵数组,用来表示不同方格和分辨率图像的相干关系。若来自多传感器的用于像素层融合的图像有相同的基本坐标系,则坐标集称为齐次的;否则称为非齐次的。“值域”通常对应整数集、实数集、复数集、固

定长度的二进制数集,通常对其定义算术和逻辑运算。若一个值集的所有值都来自同一数集,则称为齐次的,否则称为非齐次的。“图像”是最重要的图像代数算子,定义为从坐标集到值集函数的图。“模板”和模板算子是图像代数强有力的工具,它将模板、掩模、窗口、数学形态的构成元素、定义在邻域像素上的其他函数,统一、概括成数学实体。用于变换实值图像的三种基本的模板操作是:广义卷积、乘积最大、和最大。模板操作可通过在全局和局部卷积来改变维数、大小和图像形状。

3 2.5 模拟退火法

模拟退火法是以张弛为基础的最优化技术。用于图像处理时,相当于把像素值以它们驻留的邻域视为物理系统中的原子或分子的状态。将能量函数分配给物理系统并确定其 Gibbs 分布。因为 Gibbs 分布与马尔可夫随机场等价,所以如果图像可以表示为马尔可夫随机场,则能量函数就决定了图像模型。能量函数的温度降低,将物理系统退火到全局能量最小状态,则对应于加有噪声的初始图像对真实图像的最大后验估计。模拟退火法用来进行像素层的图像融合,就是要找到可恰当地描述对最终融合图像约束的能量函数。

3 2 6 金字塔图像融合法

用金字塔在空间上表示图像是一种简单方便的方法。概括地说金字塔图像融合法就是将参加融合

的每幅源图像作金字塔表示,将所有图像的金字塔表示在各相应层上以一定的融合规则融合,可得到合成的金字塔。将合成的金字塔,用金字塔生成的逆过程重构图像,则可得到融合图像。金字塔可分为:Laplacian 金字塔、Gaussian 金字塔、梯度金字塔、数学形态金字塔等。

3.2.7 小波变换图像融合法

1) 图像的快速小波分解

Mallat 提出了小波的快速分解与重构算法,他利用两个一维滤波器实现对二维图像的快速小波分解,利用两个一维重构滤波器实现图像的重构。

2) 基于小波分解的图像融合

若对二维图像进行 N 层的小波分解,最终将有 $(3N + 1)$ 个不同频带,其中包含 $3N$ 个高频带和一个低频带。对图像分解层数 N 的确定和对具体问题母小波的确定还有一些有待研究的问题。基于小波框架、小波包的图像融合方法在一些情况下融合效果较好。

基于小波分解的图像融合基本步骤如下:

① 对每一源图像分别进行小波分解,建立图像的小波金字塔分解;

② 对各分解层分别进行融合处理,各分解层的不同频率分量采用不同的融合算子进行融合处理,最终得到融合后的小波金字塔;

③ 对融合后小波金字塔进行小波逆变换,得到重构图像。

小波变换的目的是将原始图像分别分解到一系列频率通道中,利用分解后的金字塔结构,对不同分解层、不同频带分别进行融合处理,可有效地将来自不同图像的细节融合在一起。人的视网膜图像是在不同频带上分别以不同算子进行融合的。基于小波分解的图像融合也是在不同的频率通道上进行融合处理的,因而可获得与人的视觉特性更为接近的融合效果。

3.2.8 多尺度卡尔曼滤波

以卡尔曼滤波的形式在空间上将图像分层表示,引入带有噪声的量测模型,以统计图像的方式对图像进行处理,在各不同层次上对图像融合。

3.2.9 基于微分几何的图像融合

对多谱图像进行融合,可借助微分几何作为工具,计算一阶多谱对比度,求出最优灰度值。将图像的多波段构成几何流形,将多波段对比度构成的多维向量投影到图像的灰度区间上,这种方法计算的对比度值比梯度法和零交叉法,能更充分地利用多

谱信息,对噪声抑制效果好。

3.3 特征层图像融合算法

3.3.1 联合统计

当来自多传感器的信息被用于分类和决策时,需要某种类型的判别尺度,需要对感知的环境与已知特征比较。联合统计量可用于快速而有效地分类未知样本的概率密度函数。

3.3.2 带约束的高斯-马尔可夫估计

协方差矩阵用来存储与约束有关的信息,并可作为基本几何推理的数据库。

3.3.3 广义卡尔曼滤波

利用广义卡尔曼滤波能有效地使图像对准,使它们可在特征层融合,并可在出现环境噪声和传感器噪声时减少有关环境中物体位置的不确定性。

3.3.4 神经网络图像融合

人工神经网络的特点是:利用其固有的并行结构和并行处理;知识的分布存储;容错性;自适应性等。网络的知识表示与它的知识获取过程将同时完成,因而执行速度可以加快。在推理过程中,根据需要还可以通过学习对网络参数进行训练和自适应调整,因此,它是一种有自适应能力的推理方式;另外,现实世界中图像噪声总是不可避免地存在,甚至有时信息会有缺失,在这种情况下,神经网络融合方法也能以合理的方式进行推理。在进行图像融合时,神经网络经过训练后把每一幅图像的像素点分割成几类,使每幅图像的像素都有一个隶属度函数矢量组,提取特征,将特征表示作为输入参加融合。目前绝大多数的神经网络是用数字化仿真来实现的,使用软件和数字信号处理芯片来模拟并行计算。

3.4 符号层图像融合算法

3.4.1 贝叶斯估计

贝叶斯估计为多传感器融合提供了按概率理论规则组合传感器信息的方法。贝叶斯估计是以贝叶斯法则为基础的技术。

3.4.2 登普斯特-谢副(D-S)证据推理

证据理论可处理由不知道所引起的不确定性。它采用信任函数而不是概率作为度量,通过对一些事件的概率加以约束以建立信任函数而不必说明精确的难以获得的概率,当约束限制为严格的概率时,它就变成概率论。在证据相关时,可考虑用 D-S 理论推广方法。

3.4.3 带置信度因子的生成规则

多传感器融合的生成规则可表达为:在前提 X 条件下,给出结论 Y 的逻辑含义。用生成规则通过确定性因子与每个命题和规则相联系,来表示系统中的不确定性。

3 4 4 模糊逻辑

模糊逻辑是一类多值逻辑,通过对每个命题以及运算符分配从 0 到 1 的实数值直接表示推理过程中多传感器融合的不确定性。建立融合过程不确定性模型,进行一致性推理。

3 4 5 关系事件代数方法

是一种有应用前景的方法。关系事件代数是条件事件代数的发展,是对不确定性的一种描述。关系事件代数方法是借助随机集理论,以知识分析的方式进行数据融合。

4 图像融合结构模型

图像融合的处理过程一般可以概括为:

- 1) 对图像预处理,如去除噪声、图像对准等;
- 2) 确定图像融合算法;
- 3) 抽取特征、辨识、图像理解等。

将图像融合效果评价的信息加入到融合规则的选取和参数的选择过程中,可以更充分地利用信息来源提供的信息,会得到比开环图像融合过程更好的效果。带反馈信息图像融合的结构模型见图 2。

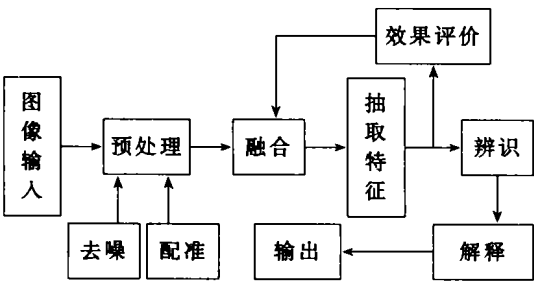


图2 图像融合的结构模型

5 结束语

图像融合技术目前还没有建立起一个统一的理论框架。图像融合涉及到复杂的融合算法、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的方法。目前主要应结合实际应用背景,充分利用相关电子技术成果,利用高速数字信号处理

(DSP) 算法来实现图像融合。在计算方法上,人们试图在尽量不丢失信息的情况下,提高计算效率,降低计算代价。一类算法是在满足一定要求的情况下,对图像压缩,以满足传输等要求。多分辨率图像金字塔的融合方法是具有代表性的一种表示方法。另一类算法是对图像过采样和过完备处理,提高分辨率,突出细节信息,医学上的应用常采用此类算法。在设计具体算法时应尽量考虑融合对象的物理本质特性,这是对图像融合的基本要求。图像融合还有许多有待解决的问题,如:

- 1) 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、多媒体技术、虚拟现实技术相结合对数字信息进行可视化处理。
- 2) 图像的空间配准在整个图像融合中具有十分重要的地位,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。

3) 主观与客观相结合的图像融合质量的评价准则确定方法研究,可能的途径是将人工智能和专家系统的方法用于融合效果评价^[3]等。

目前,我国的图像融合技术基本还处在理论研究阶段,只研制出少量具有初步融合功能的多传感器图像融合系统,与发达国家相比,水平还相差较远。图像融合的理论方法和工程实现的研究是一项很有意义的工作,需要人们付出艰辛的劳动,做有益的探索,并付诸实践。

参考文献:

[1] CASTLEMAN K R 著,朱志刚等译 . 数字图像处理 [M]· 北京:电子科学出版社, 1998

[2] ABIDI M A, GONZALEZ R C· Data fusion in Robotics and Machine intelligence [M]· San Diego: Academic Press, Inc· , 1992

[3] HALL D L, LILINAS J· An introduction to multisensor data fusion [J]· Proc. of the IEEE, 1997, 85 (1) : 6-23

[4] 何友,王国宏,陆大钧,金,彭应宁 . 多传感器信息融合及应用[M]· 北京:电子工业出版社, 2000

[5] ZHANG Z, BLUM R S· A categorization of multiscale decomposition based image fusion schemes with a performance study for a digital camera application[J]· Proceeding of the IEEE, 1999, 87 (8) : 1315-1326.