

文章编号: 1004-4574(2008) 06- 0082- 05

面向灾害应用的遥感影像融合统一理论体系设计

陈云浩¹, 窦 闻², 孙洪泉¹

(1 北京师范大学资源学院, 北京 100875 2 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 由于缺乏统一的理论体系指导, 目前遥感影像融合研究相对比较混乱。针对像素级融合统一理论框架的思想, 指出了遥感影像融合研究的方向和思路, 将像素级融合统一理论框架逐步向特征级和决策级推广, 着重发展了一套遥感影像融合统一理论体系。在统一体系下, 面向灾害监测应用, 按照理论研究、方法研究和应用研究的 3 个层次进行该理论体系的设计。

关键词: 影像融合; 统一理论; 像素级; 特征级; 灾害

中图分类号: TP 79 X 43 **文献标识码:** A

Disaster monitoring application-oriented design of universal theoretical system for remote sensing image fusion

CHEN Yun-hao¹, DOU Wen², SUN Hong-quan¹

(1. College of Resource Science & Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China 2. Transportation College, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract As the absence of the guidance of universal theoretical system, the remote sensing data fusion study is comparatively confused. This paper figured the ideas and core contents of remote sensing data fusion based on the universal theoretical framework for pixel-level remotely sensed data fusion, which would extend the pixel-level framework to feature-level and then decision-level step by step, focusing on the development of a new Universal theoretical system for remotely sensed data fusion. The theoretical system would be designed by theory study, method study and application study hierarchies based on the natural disaster monitoring application.

Key Words image fusion; universal theory; pixel-level; feature-level; disaster

随着对地观测技术的发展, 光学、红外和微波等大量不同传感器对地观测的应用, 获取的同地区的多种遥感影像数据越来越多。单一传感器影像在空间、光谱和时间分辨率等方面存在很大的局限性和差异性, 通过多源、多尺度、多角度、多时相遥感信息的融合, 可以克服这些缺点, 提高影像质量, 从而有利于对物理现象和事件进行定位、识别、监测、解释和决策等。

当前信息融合的方法与种类繁多, 一般可分为像素级融合、特征级融合和决策级融合 3 个层次。由于理论的成熟度和操作的可行性, 导致已有的融合研究主要集中在像素级, 而对特征级, 尤其是决策级的研究还在不断探索阶段。

早期的影像融合从像素级发展起来, 主要以影像视觉增强为目的, 采用代数运算法^[1] (如 Brovey 法)、彩色空间法^[2] 等方法。高通滤波方法^[3] 被认为是影像融合领域发展的一个转变, 其基本思想是向低分辨率数

收稿日期: 2008- 07- 23 修订日期: 2008- 10- 13

基金项目: 霍英东教育基金会资助项目 (111017); 国家自然科学基金资助项目 (40671130); 北京市自然科学基金资助项目 (4072016); 国际科技合作计划项目 (2007DFA20640)

作者简介: 陈云浩 (1974-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事环境遥感和灾害研究, E-mail: cyl@ires.cn

据中注入细节信息,因而可以在很大程度上提高融合结果的光谱保持能力。与此同时,分量替换法得到进一步的完善(包括GS法^[4]、PCA法^[2]等)。随着遥感数据源的丰富和应用的发展,从理论基础和研究工具来看,新的数学理论和计算智能理论,如小波和小波包^[5]、模糊数学^[6]、数学形态学^[7]、支持向量机^[8]等,被广泛应用,更加重视影像融合的数学意义,向更专业的信号处理方向发展;从研究手段来看,影像融合的研究思路在逐步拓宽,组合、集成已有方法,如HS法和小波法相结合、PCA和小波法相结合,小波法和金字塔法相结合等^[9-10],结合不同融合方法的优点,从而达到更好的效果。

特征级融合是一种中等层次的信息融合,利用从各个传感器图像的原始信息中提取的特征信息,进行综合分析及融合处理,不仅增加从图像中提取特征信息的可能性,还可能获取一些有用的复合特征,尤其是边缘、角、纹理、相似亮度区域、相似景深区等。常用的技术有模糊方法^[11]、神经网络技术^[12]、聚类方法^[13]、Kahn滤波^[12]等。决策级图像融合是一种更高层次的信息融合,其结果将为各种控制或决策提供依据。常用的方法有贝叶斯估计法^[14]、Dempster-Shafer法^[14]、神经网络法、模糊聚类法等。

从影像融合领域的理论研究来看,现有研究最主要的问题是缺乏统一的多源遥感影像融合数学模型,即如何建立统一的影像融合数学模型以指导影像融合理论研究。解决这一问题需要多源遥感信息机理的支持,其结果能带动和促进其他几个问题的相应解决,在较大程度上避免影像融合过程中的随意性与主观性。

1 像素级融合统一理论框架研究

图像融合的统一理论框架研究已经受到许多学者的关注,并且已经开始有零星的文献报道。除了文献[15-16]对图像融合算法分类进行的思考外(与此同时,文献报道的影像融合方法的分类体系也有很多,但没有一种能够得到公认,这表明当前的影像融合领域的研究还处于比较低的层次,缺乏统一的理论体系。),Tu^[17]对快速HS方法的探索也可以认为蕴含了这样的思想,但最终仍未能上升到理论高度,而是通过统计方法以大量的实例研究取代了理论思考。Baronti^[18]提出了一种通用的拉普拉斯金字塔方法,可以融合任意分辨率比例的图像;Otazu^[19]第一次比较严格的从观测对象光谱特性、传感器特性出发,以概率为测度表现不同传感器获取信息之间的数学关联,并得到了一个比较通用的小波融合模型,为图像融合理论框架的研究提供了一个很好的模式;Wang^[20]从遥感图像成像过程出发,对建立通用图像融合模型作出了一定的探索,这是查阅到的文献中第一次公开提出通用模型研究的文章,然而模型建立过程中仍未能很好的重视主观性与随意性的问题。因此,目前亟需建立统一的对地观测信息融合的基本理论和广义融合模型及算法,为融合方法的研制和应用提供理论指导。

窦闻^[21-22]从遥感机理、物理模型和数学推理出发,提出以数学推导建立通用的数学模型,以实际应用结合物理解释进行模型实现的基本思想,在此基础上,对分量替换融合法的通用数学模型进行改进,得到像素级图像融合的通用数学模型,即像素级融合统一理论框架(以下简称“像素级框架”),对模型的物理意义进行解释,进而提出融合图像的构象原理,即融合图像实质上是数据集的冗余信息与细节信息及其调制参数构成的。

像素级框架明确了物理意义的理论模型,提出了系统的融合理论,能够对现有方法进行统一、合理的解释,将遥感数据的像素级融合问题转化为在统一理论框架下的细节信息估计和调制参数设计两个子问题的研究,并能够从理论上分析其隐含的假设条件、可能的融合效果。

从近半年来《IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing》发表的一些文献报道来看^[23-24],在融合理论框架上的研究方法和内容仍不够明确,缺乏较为系统的研究,仍然停留在相对较低的像素级层次上。同时,像素级、特征级、决策级数据融合之间仍存在着巨大的语义鸿沟。如何将像素级框架进一步推广,是未来研究发展的重要方向。

2 遥感影像融合研究思路与核心内容

根据目前的研究现状,基于像素级框架,提出遥感影像融合研究的思路 and 核心,分为理论研究、方法研究和应用研究3个层次。理论研究主要针对像素级、特征级两个层次,研究遥感影像融合统一理论体系(以下简称“统一体系”);方法研究主要指在统一体系指导下,开展面向应用和特征级/决策级融合方法的研究。

应用研究主要指在统一体系下研发融合算法应用于特征提取、变化检测、分类和灾害预警与监测等,解决遥感技术在实际应用中遇到的问题。图 1 提出了遥感影像融合研究的详细思路与核心研究问题。

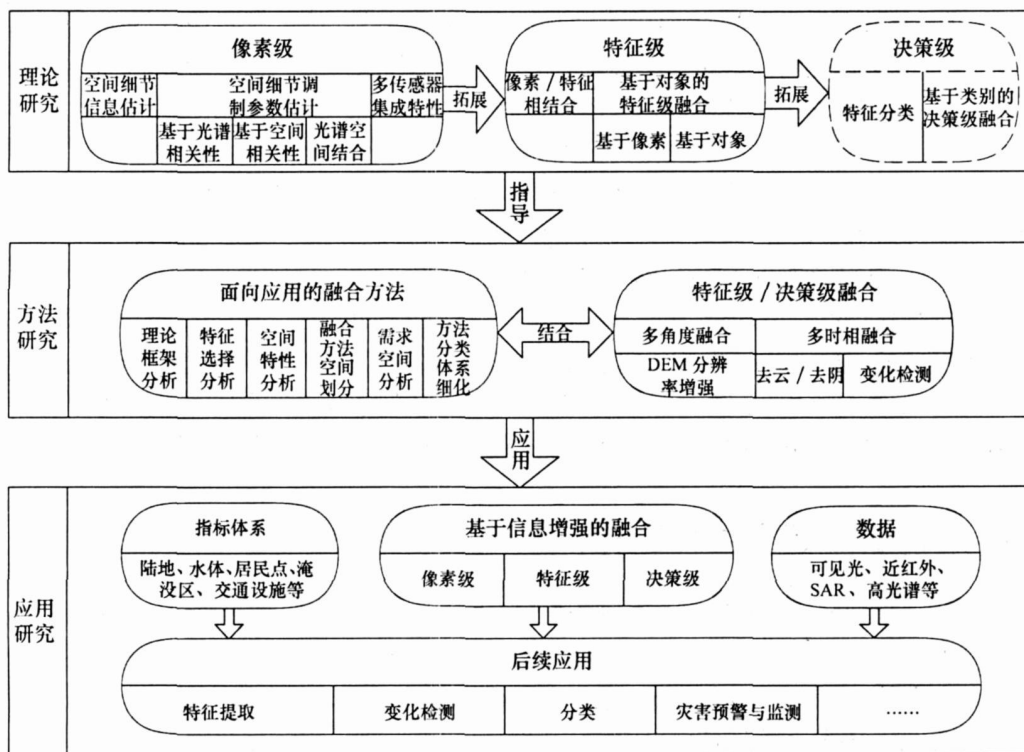


图 1 遥感影像融合研究思路与核心内容

Fig 1 Ideas and core contents of study on remote sensing image fusion

2 1 遥感影像融合统一理论体系研究

从哲学层面来看,对像素级融合的表达同样适用于特征级和决策级融合,其中冗余信息是不同源数据可以共同表达的信息,细节信息是各数据源独有的信息,调制方法体现数据源之间的关系。因此,立足于像素级框架,建立合理的映射(现实世界空间和测量空间)关系,是研究统一体系的合理思路。

像素级框架将融合问题分解为冗余信息提取、空间细节提取和空间细节调制参数估计 3 个子问题^[21]。在遥感影像中,由于不存在多聚焦问题,冗余信息无须提取,可以直接采用低分辨率多光谱数据,因此研究关键转化为空间细节提取和调制参数估计两部分。其中空间细节提取须关注基于图像的传感器点扩散函数估计和正交滤波器组优化问题。而调制参数估计主要包括 3 方面:(1)基于光谱相关性的参数估计:主要包括基于传感器特性的参数估计和基于图像内容与地物光谱特性的参数估计;(2)基于空间相关性的参数估计:主要包括基于空间自相关特性的模型方法研究;(3)空间相关性与光谱相关性相结合的参数估计。此外,多源遥感影像像素级融合的结果,可以看作多传感器集成为一个复合的虚拟传感器对同一对象探测结果的估计^[21]。现有的融合方法基本上没有考虑传感器特性,如何充分利用数据的元数据获得模型化的多源数据之间的关系,是实现高效稳定的融合算法的关键,其结论对于新型传感器设计也有很大的启发价值。

在解决上述像素级框架的几个问题后,再结合特征级和决策级融合研究的特点,将统一体系推广到其他两个层次上。

2 2 统一体系下的特征级融合理论研究

如上所述,统一体系的建立需从像素级框架向特征级和决策级推广,这也符合融合的层次逻辑,因此,首先是解决从像素级向特征级的推广,即如何将空间域/频率域的融合方法推广到特征空间中。当前,面向对象的遥感影像分析方法是研究热点之一,将面向对象技术与融合技术相结合,可以有效的解决像素级融合中的配准、虚边等问题。面向对象方法和像素级框架相结合,一方面便于进行像素和特征相结合的融合方法的研究,如在图像对象的基础上进行空间相关性与光谱相关性相结合的调制参数构建;另一方面,为目前的像素级融合理论框架向特征级融合的拓展提供思路。

2.3 统一体系下的遥感影像融合方法研究

遥感影像融合研究的核心除了上述理论研究外,还需进一步进行遥感影像融合方法研究,在统一体系下,对多源、多模式、多角度、多时相遥感影像融合方法进行基于真实数据的融合方法研究与试验,由于目前像素级融合方法已达到一个发展极限,决策级融合方法研究还呈发散状态,因此接下来的研究应主要集中在:(1)面向应用的遥感数据像素级融合方法研究;(2)多时相/多角度数据特征级融合研究。

3 面向灾害监测的应用研究

目前遥感影像融合的研究存在理论方法和应用研究脱节的现象,理论方法研究没有考虑应用的回馈效应,应用研究也没有考虑理论方法的物理解释,即使是结合应用的影像融合研究也存在很大的局限性,大多情况仅仅把融合作为提高图像解译能力的手段,缺乏信息量的保真度。这种局面形成的重要因素之一是融合研究缺乏统一的理论体系。因此,需要将应用研究和理论研究相结合,在统一体系下,开展面向应用的遥感数据融合方法研究(第2.3节所述),并在应用研究中发挥融合理论方法的指导作用,进行物理解释,满足应用需求。

为了更具普适性,将主要的应用目标,如特征提取、变化检测、分类、灾害预警与监测等,视作系统输出,将数据、指标体系、融合方法视作系统输入,如图1,融合的处理过程实际上是应用目标对光谱信息需求和空间信息需求的系统响应。由于不同的应用研究具有很大的差异性,需要具体应用的研究者结合统一体系进行融合方法的设计。考虑到灾害预警与监测应用的复杂性和对光谱信息与空间信息的较高需求水平,这里以灾害预警与监测为例来阐述遥感影像融合应用研究,为其他应用研究提供借鉴。灾害预警与监测指导融合研究的契合点主要体现在如下两方面:

(1)统一体系下基于像素级融合的危害特征参数信息增强

在统一体系指导下,以像素级融合为核心,采用多源、多模式遥感影像融合方法,针对受灾范围、农作物、居民地、交通设施等灾害特征参数,研究灾害特征信息增强的融合技术,实现红外数据、CCD数据、SAR数据、高光谱、高空间分辨率、高时间分辨率数据之间的相互融合,强化灾害信息、弱化干扰信息。

(2)统一体系下基于特征级融合的危害特征参数信息识别与提取

在多源、多尺度遥感数据、融合数据及其他辅助数据支持下,针对不同灾害类型,以特征级融合为主,建立灾害的特征参数信息识别与提取模型,提取受灾范围,灾区中的农作物、居民地与重要交通设施等信息。

4 结语

本文首先对遥感影像融合方法的发展和分类进行了扼要介绍并指出现有遥感融合研究的问题。针对像素级融合统一理论框架的思想提出未来遥感影像融合研究的方向和思路,主要集中在如何开展遥感影像融合统一理论体系的研究,统一体系下的特征级融合理论研究和统一体系下的遥感影像融合方法研究等方面,并讨论面向灾害应用的遥感融合研究。笔者期望该工作可以为遥感研究者提供一定的借鉴和参考作用,达到推动遥感融合的理论、方法和应用研究的目的。

参考文献:

- [1] Cliche G, Bonn F, Teillet P. Integration of the SPOT panchromatic channel into its multispectral mode for image sharpness enhancement [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1985, 51(3): 311-316
- [2] Chavez Jr P S, Siles S C, Anderson J A. Comparison of three different methods to merge multisatellite and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1991, 57(3): 295-303
- [3] Shettigara V. A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data set [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1992, 58(5): 561-567.
- [4] Li C, Liu L, Wang J et al. Comparison of two methods of the fusion of remote sensing images with fidelity of spectral information [C] // Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS, 2004
- [5] Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets[M]. SIAM, 1992

- [6] Tsoa B, Olsen R C. A contextual classification scheme based on MRF model with improved parameter estimation and multiscale fuzzy line process [J]. *Remote Sensing of Environment* 2005, 97(1): 127– 136
- [7] Matsopoulos G K, Marshalls S, Brunt J N H. Multiresolution morphological fusion of MR and CT images of the human brain [J]. *Vision Image and Signal Processing - EE Proceedings* 1994, 141(3): 137– 142
- [8] Li S, Kwok J T Y, Tsang I W H, et al. Fusing images with different focuses using support vector machines [J]. *IEEE Transactions on Neural Networks* 2004, 15(6): 1555– 1561.
- [9] Chibani Y, Houacine A. The joint use of IHS transform and redundant wavelet decomposition for fusing multispectral and panchromatic images [J]. *International Journal of Remote Sensing* 2002, 23(18): 3821– 3833.
- [10] Garzelli A, Nencini F, Laparone L, et al. Pan-sharpening of multispectral images: A critical review and comparison. [C] // *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2004. IGARSS apos 2004.
- [11] Benz U C, Hofmann P, Willhauck G, et al. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 2004, 58(3– 4): 239– 258
- [12] Bonnafon R, Dhert P, Desachy J. Geographic information system updating using remote sensing images [J]. *Pattern Recognition Letters* 2002, 23(9): 1073– 1083
- [13] Sveinsson J R, Ulfarsson M, Benediktsson J A. Cluster-based feature extraction and data fusion in the wavelet domain [C] // *Proceedings of IGARSS 2001*, CD Rom, Sydney Australia, July 9– 13 2001
- [14] Challa S, Koks D. Bayesian and Dempster-Shafer fusion [J]. *Sadhana* 2004, 29(2): 145– 176.
- [15] Ranchin T, Wald L. Fusion of high spatial and spectral resolution images: the ARSIS concept and its implementation [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 2000, 66(1): 49– 61
- [16] Tu T, Su S, Shyu H, et al. A new look at HS-like image fusion methods [J]. *Information Fusion* 2001, 2(3): 177– 186
- [17] Tu T, Huang P, Hung C, et al. A fast intensity-hue-saturation fusion technique with spectral adjustment for KONOS imagery [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 2004, 1(4): 309– 312
- [18] Baronti S, Aiazzi B, Laparone L. Pan-sharpening of very high-resolution multispectral images via generalised Laplacian pyramid fusion [J]. *Bulletin-Societe Francaise de Photogrametrie et de Teledetection*, 2002(169): 17– 25
- [19] Otsu X, Gonzalez-Cana M, Fors O, et al. Introduction of sensor spectral response into image fusion methods: Application to wavelet-based methods [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 2005, 43(10): 2376– 2385.
- [20] Wang Z, Zou D, Amenakis C, et al. A comparative analysis of image fusion methods [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 2005, 43(6): 1391– 1402
- [21] Dou W, Chen Y, Li X, et al. A general framework for component substitution image fusion: An implementation using the fast image fusion method [J]. *Computers and Geosciences* 2007, 33(2): 219– 228.
- [22] 窦 闻. 多源遥感数据像素级融合统一理论框架研究 [D]. 北京: 北京师范大学, 2005.
- [23] Aiazzi B, Baronti S, Selva M. Improving component substitution pan-sharpening through multivariate regression of MS& Pan data [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 2007, 45(10): 3230– 3239.
- [24] Garzelli A, Nencini F, Capobianco L. Optimal MMSE pan-sharpening of very high resolution multispectral images [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 2008, 46(1): 228– 236