

ASTER 多光谱影像与资源二号全色影像融合研究

董张玉¹, 赵 萍², 胡文亮¹

(1. 安徽师范大学国土资源与旅游学院, 安徽 芜湖 241000;

2. 合肥工业大学资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要:随着遥感获取数据手段的日益增多, 遥感影像的融合技术备受关注。针对 ASTER 多光谱影像光谱信息丰富、分辨率小, 资源二号全色影像分辨率高、纹理信息丰富的特点, 以安徽省马鞍山市当涂县的 ASTER 多光谱影像与资源二号全色影像为例, 分别采用基于主成分分析、小波变换以及主成分分析与小波变换相结合的 3 种融合方法进行融合实验, 并对融合后的影像进行对比, 探讨 ASTER 多光谱影像与资源二号全色影像融合的方法和效果。结果表明: 采用主成分分析与小波变换相结合的方法对两幅影像融合的效果最好, 极大地改善了两种单一方法的缺点, 提高了原始影像的目视效果和光谱信息, 从而为区域研究提供了更精确的数据资料。

关 键 词:小波变换; 主成分变换; 影像融合; 资源二号; ASTER 多光谱影像

中图分类号: TP 751 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2010)01-0143-06

1 引 言

随着遥感及相关技术的不断发展, 遥感获取数据手段的高效性、快速性进一步改善, 为用户提供了大量的对地观测数据源, 但由于各种自然因素和技术条件的限制, 任何单一遥感器所获取的遥感影像数据很难同时具有高空间分辨率和光谱分辨率的特征。为解决这一问题, 遥感影像融合技术应运而生, 结合不同数据的优点, 可以获得一幅高分辨率的多光谱影像, 为遥感影像的用户和研究者提供更丰富有用的信息, 是目前遥感影像处理领域一个重要的研究课题。

遥感影像融合技术是一种通过高级影像处理来复合不同传感器或同一传感器不同尺度的同一场景的两幅或多幅影像的技术, 并用特定的算法将两个或多个不同影像合并起来, 生成一组新的信息或合成影像^[1,2]。遥感影像融合技术的发展经历了最初简单方法的像素级影像融合(例如: 基于主成分变换 PCA、HIS 变换的融合方法等); 之后是通过一些数学模型来实现的融合(例如: 基于塔式算法的融

合)^[3]; 进入 20 世纪 90 年代, 随着小波分析技术的迅速发展, 以其多尺度分析特征被应用到影像融合领域, 取得了很好的融合效果。如高文涛^[4]等采用双正交小波变换实现了雷达与光学影像的融合; 张登荣^[5]等应用小波变换实现了 ETM 全色波段与多波段之间的融合等等, 均获得了理想的结果。近年来, 随着应用的需求, 学者们在此基础上提出了新的改进方案, 如董毓敏^[6]应用主成分分析与小波变换相结合的融合方法实现了 JERSISAR 影像和 3 帧 MESSR 影像的融合; 林卉^[7]等也用该方法实现了 QuickBird 多光谱与全色影像的融合, 结果表明主成分分析与小波变换相结合的融合方法很好地结合了两种单一融合方法的优点, 是一种有效的影像融合方法。

ASTER 多光谱影像有 14 个波段, 具有丰富的光谱信息, 但分辨率相对较低。资源二号全色影像具有较高的空间分辨率, 影像较清晰, 但其为单波段影像, 光谱信息量少, 难以满足应用的需求。若把以上两种影像进行融合, 结合各自的优点, 可以获得一幅高分辨率的多光谱影像。目前, 对 ASTER 多光

收稿日期: 2008-12-03; 修订日期: 2009-12-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(40771207); 安徽省教育厅自然科学基金项目(KJ2007B219); 安徽省教育厅教学项目(2007JYXM208); 合肥工业大学博士学位专项资助基金和合肥工业大学科学研究发展基金(GDBJ2009-044)。

作者简介: 董张玉(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为遥感数字影像处理。E-mail: dzyhh1988@126.com。

通讯作者: 赵萍(1975—), 女, 副教授, 主要研究方向为遥感数字影像处理和应用研究。E-mail: njuzhp@sina.com。

谱影像和资源二号全色影像融合的研究还较少,首都师范大学赵文慧^[8]等采用主成分变换法对两者进行融合用于土地利用变化研究,结果表明:两者的融合为土地利用变化研究提供了更高精度的数据。

本文在前人研究的基础之上,通过基于主成分分析、小波变换以及主成分分析与小波变换相结合的 3 种融合方法的实验与分析比较,探讨了 ASTER 多光谱影像与资源二号全色影像的融合。

2 研究区域与研究数据

本文选取安徽省马鞍山市当涂县的 ASTER 多光谱与资源二号全色影像进行融合实验,其中,ASTER 多光谱影像是 2003 年 5 月获取的,影像大小为 3301×3372 ,采用 321 波段进行合成,分辨率为 15 m;资源二号全色影像是 2004 年 9 月获取的,影像范围与 ASTER 多光谱影像相同,分辨率为 3 m。该研究区域地势平坦,主要的地物类型有道路、居民点、水域、林地、耕地。在 ASTER 合成影像中植被、水体比较容易识别,但居民点、道路却难以分辨,而资源二号全色影像的分辨率高,居民点和道路比较清晰。原始 ASTER 多光谱与资源二号全色影像如图 1、图 2 所示。



图 1 ASTER 多光谱影像
Fig. 1 ASTER multi-spectral image

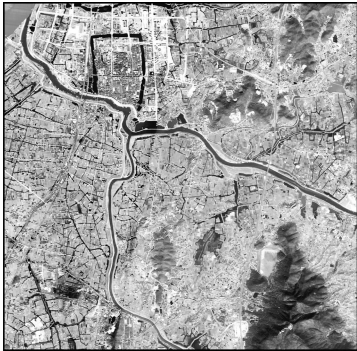


图 2 资源二号全色影像
Fig. 2 Resources-2 panchromatic image

3 方法

3.1 基于主成分变换的影像融合

主成分变换 PCA 是一种常用的数据压缩方法,在影像压缩和随机噪声信号的去除等方面均有广泛的应用,是建立在影像统计特征基础上的多维线性变换,可以将具有相关性的多波段数据压缩到完全独立的较少的几个波段上,具有方差信息浓缩、数据量压缩的作用^[9]。基于主成分变换的影像融合基本原理是先对多光谱影像进行主成分变换,由于第一主分量包含了多个波段的信息,与全色波段的数据信息相似,因此用高分辨率的全色影像替换第一主分量,再进行主成分逆变换得到融合影像。融合后的影像既保持了多光谱影像丰富光谱信息的特征,也提高了影像的分辨率。利用主成分变换法对 ASTER 多光谱影像和资源二号全色影像融合的具体流程如图 3 所示:

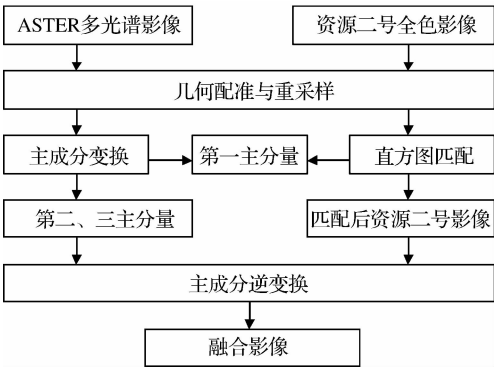


图 3 主成分变换法的影像融合流程
Fig. 3 The fusion process based on PCA

3.2 二维离散小波变换的影像融合

小波变换是介于时间域与空间域的局部化分析,可以通过伸缩和平移运算对信号逐步进行多尺度细化,最终达到高频处时间细分,低频处频率细分,从而可以聚焦到信号的任意细节,能够将一信号分解为低频信息和高频细节/纹理信息,又不丢失原信号所包含的信息,改善了传统的傅立叶变换^[10-12]。

二维离散小波变换是将二维影像在不同尺度上进行分解,把一幅影像分解成不同分辨率尺度的子影像。为获取一个具有正交不变性的影像小波分解,本文采用 Daubechies 小波作为小波基,因其具有很好的可扩展性,且能灵活地改善小波变换带来的边界问题^[13],避免了 Haar 小波基的斑块效应,适合应用于影像的融合处理,分解和重构的小波基长度均选择 2,二维离散小波变换函数如下所示:

$[A,H,V,D]=\text{dwt2}(f(x,y),\text{'wname'})$
小波逆变换为：
 $f(x,y)=\text{idwt2}(A,H,V,D,\text{'wname'})$
每分解一次，即可获得 4 个子影像；其中： A 为分解后的低频信息， H 、 V 、 D 为 3 个方向的高频信息， $f(x,y)$ 为原始待小波分解的二维影像， wname 为 Daubechies 小波分解滤波器。

由于同一地区不同传感器的遥感影像的区别不在低频部分，而是高频部分，也就是说，不同的遥感波段，其低频部分是相似的，而有明显区别的是高频部分^[6]。因此利用小波变换具有的分频特性，可以更好地实现 ASTER 多光谱影像与资源二号全色影像的融合，其融合的具体流程如图 4 所示。

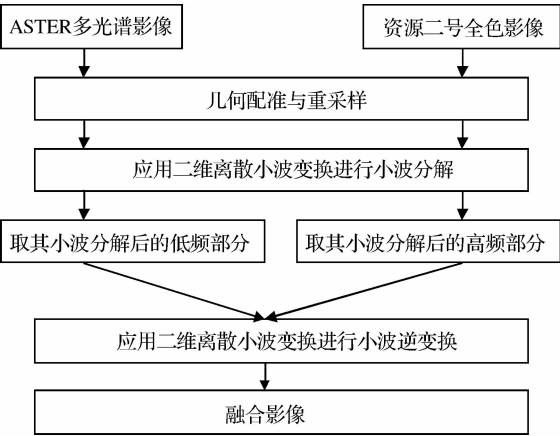


图 4 小波变换的影像融合流程图
Fig. 4 The fusion process based on wavelet transform

3.3 基于主成分分析与小波变换相结合的影像融合

基于主成分分析与小波变换相结合的影像融合是将主成分分析的数据压缩的优点应用到小波变换中实现影像融合的一种新方法。由于 ASTER 多光谱数据的信息量大，对其进行主成分变换后第一主成分包含了影像的大部分信息，因此选取第一主成分与资源二号全色影像进行小波变换融合处理，这样既减少了小波变换的数据量，也改善了小波变换的高、低频信息替换时出现的信息丢失，其融合的具体步骤如图 5 所示。

4 实验及结果分析

利用 ERDAS 和 MATLAB 软件，分别按照上述过程采用 PCA、小波变换以及主成分与小波变换相结合的融合方法对 ASTER 多光谱影像与资源二号全色影像进行融合处理，所获取的融合影像见图 6、图 7、图 8 所示。结合实验结果，分别采用基于视觉效果的定性分析和基于数理统计的定量分析对 3

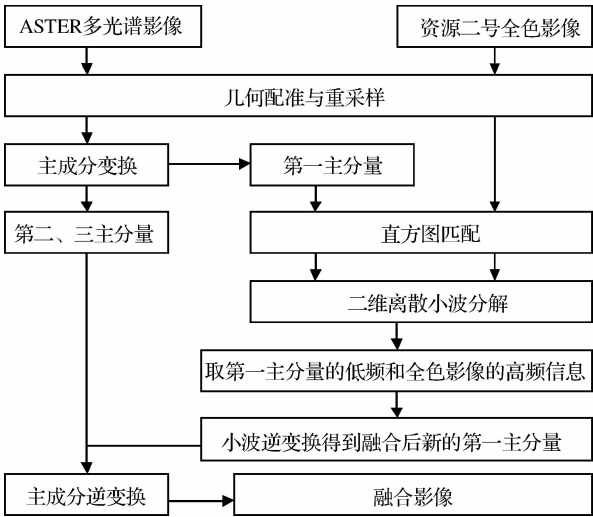


图 5 主成分分析与小波变换相结合的影像融合流程图
Fig. 5 The fusion process based on PCA combination with wavelet transform

种方法融合后影像的质量进行综合评价。
虽然两幅实验影像由于获取时相不同，存在一定的光谱和空间信息的差异，会对各种方法融合结果与原始 ASTER 影像的信息量评价产生一定的影响，但本文旨在对 3 种融合方法进行相互比较，其参照对象均是原始影像，所以原始影像的信息差异对



图 6 主成分变换融合
Fig. 6 The fused image by PCA



图 7 小波变换融合
Fig. 7 The fused image by wavelet transform



图 8 主成分与小波相结合融合

Fig. 8 The fused image by PCA combination with wavelet transform

3 种融合方法相互间的对比分析并不存在影响。

4.1 基于视觉效果定性分析

从影像中不难看出,3 种方法融合后的影像视觉效果与融合前的影像相比均有较大的提高。融合后的影像既具有 ASTER 多光谱影像丰富的光谱信息,又具有资源二号全色影像的高分辨率的特点,影像比融合前的影像清晰。其中,基于主成分分析与小波变换相结合的融合方法效果最好,克服了两种单一融合方法的缺点,影像更清晰,达到了突出主要信息的目的。

4.2 基于数理统计的定量分析

目前定量分析只是目视分析的一种辅助手段,为了更好地比较上述 3 种方法的融合效果,采用以下 4 个定量评价指标:

(1)方差: 方差用来衡量信息量的大小;方差越大,影像的信息越分散,信息量越大,其计算公式为:

Var = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X_{i,j} - Aver)^2 \tag{1}

其中: $X_{i,j}$ 为第 i 行 j 列的像元亮度值, $M \times N$ 为像元总数, $Aver$ 为亮度均值^[14]。

(2)信息熵:信息熵是衡量影像信息丰富程度的一个重要标志;熵值越大,影像所包含的信息量越多。根据 Shannon 的信息论原理,一幅 8bit 表示的影像 x 熵的计算公式如下:

H(x) = - \sum_{i=0}^{255} P_i \log_2 P_i \tag{2}

其中: x 为输入的影像变量; $P_i = \frac{f_i}{N}$ 为影像像元灰度值为 i 的概率, f_i 表示灰度 i 的频数, N 为像元总数^[13]。

(3)相关系数:相关系数反映融合后影像与原始影像的相关性程度;相关系数越接近 1,两幅影像的相关性越好,相关系数计算如公式(3)所示:

Corr\left(\frac{A}{B}\right) = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X_{i,j} - \bar{X})(X'_{i,j} - \bar{X}')}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X_{i,j} - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X'_{i,j} - \bar{X}')^2}} \tag{3}

其中: A 、 B 表示两幅影像, $X_{i,j}$ 和 $X'_{i,j}$ 表示两幅影像的像元值, \bar{X} 和 \bar{X}' 表示像元灰度均值^[13]。

(4)扭曲度:扭曲度是反映融合后的影像相对于原始多光谱影像的变形情况;扭曲度值越小,变形越小,融合效果越好,其计算公式如下:

W = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |X_{i,j} - X'_{i,j}| \tag{4}

其中: $X_{i,j}$ 和 $X'_{i,j}$ 为两幅影像的像元亮度值, $M \times N$ 为像元总数^[14]。

根据式(4)计算的结果见表 1。方差和信息熵是衡量影像信息量大小的指标。整体上,3种融

表 1 ASTER 多光谱影像与资源二号全色影像融合效果评价

Table 1 Evaluation on the effect of ASTER multi-spectral image and Resources-2 panchromatic image fusion

		资源二号	ASTER	主成分融合(PCA)	小波融合(WT)	PCA 与 WT 相结合融合
方差	Band1	10.695	8.561	11.282	16.252	18.584
	Band2	—	8.775	11.565	16.786	19.010
	Band3	—	9.863	11.218	15.124	16.012
信息熵	Band1	5.369	4.825	5.446	6.000	6.147
	Band2	—	4.949	5.495	6.047	6.729
	Band3	—	5.318	5.514	5.865	5.946
相关性	Band1	—	—	0.762	0.862	0.813
	Band2	—	—	0.654	0.749	0.905
	Band3	—	—	0.325	0.857	0.927
扭曲度	Band1	—	—	10.167	4.978	6.972
	Band2	—	—	10.453	8.971	7.679
	Band3	—	—	5.325	6.908	3.258

合方法均提高了原始影像的信息量。其中,主成分分析与小波变换相结合的融合方法信息熵和方差值最大,信息量提高效果最好,主成分分析融合方法计算值最小,效果最差。相关系数和扭曲度是两个重要的衡量融合前后影像光谱扭曲程度的参数。从这两个参数来看,主成分分析与小波变换相结合方法的相关系数比 PCA 和小波变换要大得多,最接近 1,而扭曲度明显要小,这说明主成分分析与小波变换相结合的融合方法的光谱扭曲程度最小。综上所述:无论从方差、信息熵、相关系数还是扭曲度来看,主成分分析与小波变换相结合的方法对 ASTER 多光谱影像与资源二号全色影像融合效果最好。

5 结 语

遥感影像融合的目的是为了更好地使不同遥感数据源实现优势互补。本文以 ASTER 多光谱影像与资源二号全色影像为例,采用主成分分析、小波变换以及主成分分析与小波变换相结合的 3 种方法进行了融合实验,得出以下结论:

(1)两种不同传感器、不同分辨率的数据源,在融合前必须对原始数据源进行预处理,主要是几何配准,保证其对应像元的一致性,这一步是影像融合的前提和基础,其处理的精度直接影响融合后影像的效果。

(2)通过对 ASTER 多光谱影像与资源二号全色影像的融合,可以获得一幅高分辨率的多光谱影像,更好地满足了应用需求。3 种融合方法均增强了原始影像的信息,达到了影像增强的目的。从融合结果来看,主成分变换方法虽然提高了原多光谱影像的分辨率,但由于第一主成分包含了影像的大部分信息,所以在替换时存在严重的信息丢失;小波变换利用其分频的特点,改善了主成分变换的信息丢失的现象,但由于原始的 ASTER 多光谱影像信息量大,因此在小波分解计算时速度慢,且高、低频信息替换时也存在一定的信息丢失现象;主成分与小波变换相结合的融合方法,既结合了主成分变换的信息量压缩的优点,又结合了小波变换方法分频的特点,无论从空间纹理信息还是光谱信息的增强来讲,其融合效果最好,比两种单一融合方法的融合效果均有极大的改善,而且运行速度快,是一种高效的信息融合方法。

(3)ASTER 多光谱影像与资源二号全色影像均具有鲜明的特点,本文仅采用主成分分析、小波变换以及主成分分析与小波变换相结合的融合方法进

行实验,存在一定的局限性,还不能全面地描述两幅影像融合的效果,尤其是在小波基的选择上还需进一步改善,以此来获得融合效果最好的小波基函数。另外,对于采用一些新的融合方法(例如:基于模糊变换法、神经网络法、特征提取的融合方法等)对两幅影像进行深层次的融合研究还有待进一步的探索。

参考文献:

- [1] Jensen J R. Introductory Digital Image Processing a Remote Sensing Perspective[J]. Pearson Education, 2005, 3: 151-172.
- [2] Zhao Yingshi. Principles and Methods of Remote Sensing Application Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2002. [赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002.]
- [3] Mou Fengyun, Zhu Boqin. Research on the Fusion of Multi-source Remotely Sensed Data Based on Wavelet Transform [J]. Remote Sensing of Land and Resources, 2003, 10(4): 30-33. [牟风云, 朱博勤. 基于小波变换的多源遥感数据融合方法研究[J]. 国土资源遥感, 2003, 10(4): 30-33.]
- [4] Gao Wentao, Wang Xiaoqin. Study for SAR and Optical Images Based on Wavelet Transform[J]. Earth Information Science, 2007, 9(4): 129-132. [高文涛, 汪小钦. 雷达与光学影像小波融合方法研究[J]. 地球信息科学, 2007, 9(4): 129-132.]
- [5] Zhang Dengrong, Yu Le. A Fusion Algorithm of Image Based on Wavelet Package and Different Frequencies Processing[J]. Remote Sensing Information, 2007, 23(1): 7-9. [张登荣, 俞乐. 基于小波包变换的分频影像融合方法[J]. 遥感信息, 2007, 23(1): 7-9.]
- [6] Dong Yumin. The Study of RS Data Fusion Based on Principal Component Transform with Additive Wavelet[J]. Northeast Geomatics, 2002, 25(3): 10-11. [董毓敏. 基于小波叠加的主成分变换遥感数据融合方法的研究[J]. 东北测绘, 2002, 25(3): 10-11.]
- [7] Lin Hui, Jing Haitao, Zhang Lianpeng. Remote Sensing Images Fusion Based on a' Trous Wavelet and PCA Transformation[J]. Earth Information Science, 2008, 10(2): 269-271. [林卉, 景海涛, 张连蓬. a' Trous 小波变换与 PCA 变换相结合的遥感影像融合分析[J]. 地球信息科学, 2008, 10(2): 269-271.]
- [8] Zhao Wenhui, Zhao Wenji. Research on the Change of Land Use Types in Guyang Based on RS&GIS[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2008, 31(1): 52-57. [赵文慧, 赵文吉. 基于 RS 与 GIS 的固阳县土地利用变化研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2008, 31(1): 52-57.]
- [9] Mei Anxin, Qin Qiming, Liu Huiping, et al. An Introduction Remote Sensing[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001, 196-237. [梅安新, 秦其明, 刘慧平, 等. 遥感导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001, 196-237.]
- [10] Zhou Qianxiang, Jing Zhongliang. The Design and Application of Object-oriented Remote Sensing Image Fusion System[J].

Remote Sensing Technology and Application,2004,19(1):15-17. [周前祥,敬忠良. 面向对象的遥感影像融合处理系统的设计与应用[J]. 遥感技术与应用,2004,19(1):15-17.]

[11] Xu Lihua, Yue Wenze. A Study on the TM Classification of Vegetation Feature Based on Two-dimensional Wavelet Transformation [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2003, 18(5): 317-320. [徐丽华,岳文泽. 基于二维小波变换的遥感分类研究[J]. 遥感技术与应用,2003,18(5):317-320.]

[12] Wang Qi, Li Xingchao, Li Junjie, *et al.* Evaluation on Fusion of CBERS-02B CCD and HR Images [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 23(4): 467-470. [王奇,李杏朝,李俊杰,等. CBERS-02B 星 HR 与 CCD 影像融合研究[J]. 遥感技术与应用,2008,23(4):467-470.]

[13] Yao Min. Digital Image Processing [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2006, 199-200. [姚敏. 数字影像处理[M]. 北京:机械工业出版社,2006,199-200.]

[14] Wang Jian, Zhang Jixian. Image Merger Based on Wavelet Transform Theory and Its Evaluation [J]. Remote Sensing Information, 2006, 17-19. [王坚,张继贤. 基于小波变换理论的影像融合及评价[J]. 遥感信息,2006,17-19.]

Research on Fusion of ASTER Multi-spectral Image
and Resources-2 Panchromatic Image

DONG Zhang-yu¹, ZHAO Ping², HU Wen-liang¹

(1. *Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China;*
2. *College of Resources and Environmental Engineerng, Hefei University
of Technology, Hefei 230009, China*)

Abstract: Remote sensing image fusion technology is concerned as the ways to obtain the RS data are growing. Aiming at the characteristics of multi-spectral imaging with more spectral information, Low-resolution and Resource-2 panchromatic images with high-resolution, rich texture information, this article, taking the ASTER multi-spectral image and Resources-2 panchromatic image of Dangtu County in Ma'anshan, Anhui Province as a case, discusses the fusion methods and effects of two kinds of images using three fusion methods based on principal component transformation, wavelet transform as well as principal component transformation combination with wavelet transform respectively, and comparing three fused images. The results show that the method based on principal component transformation combination with wavelet transform owns the best integration effect. It greatly overcomes the shortcoming of the fusion methods based on single transformation, and improves the visual effects and spectral information of the original image to provide more precise data for regional research.

Key words: Wavelet transform; PCA; Image fusion; Resources-2 panchromatic image; ASTER multi-spectral image