

多源遥感数据融合应用研究

袁金国, 王 卫

(河北师范大学资源与环境科学学院, 石家庄 050016)

摘要:多源遥感数据融合是遥感技术向纵深发展的必然趋势。本文对多源遥感数据融合算法的应用特点,从基于像元的融合、特征的融合以及决策级融合3个层次上进行了详细的分析,并以河北丰宁县为例,说明遥感数据融合方法在遥感信息提取中的具体应用:对所用数据进行预处理,然后对1999年Landsat TM数据进行主成分变换,前3个主成分占总信息量的97.8%,主成分逆变换后的结果影像更清晰,层次更丰富。信息提取时选择TM全色和主成分变换后的多光谱数据融合后的影像,波段4、3、2和波段5、4、3的彩色合成方案,并对植被指数和归一化植被指数进行了分析,遥感影像与DEM以及与GIS空间数据的信息融合也可以提高遥感信息提取的精度。最后分析了多源遥感数据融合尚待解决的问题及努力方向。

关键词:多源数据; 遥感; 信息融合

中图分类号:P23

1 引言

遥感技术的发展趋势是多平台、多时相、多传感器、多光谱和高空间分辨率,利用光学、热红外、雷达等对地观测卫星遥感系统,可不断地获得大范围、高精度、准实时的地物信息。近年来随着对地表土地利用/覆盖的分类和环境监测等领域的研究,高光谱和高空间分辨率卫星图像也随之大量涌现。与单源遥感数据相比,多源遥感数据所提供的信息具有冗余性、互补性和合作性,因此为了提高土地利用/覆盖的分类精度,可利用遥感图像数字处理技术,进行不同光谱与空间分辨率的遥感图像的融合(Image Information Fusion或Resolution Merge),或称遥感图像空间增强。多源遥感数据融合是指多种空间分辨率、辐射分辨率、波谱分辨率和时间分辨率的遥感数据之间以及遥感数据与非遥感空间数据之间的信息进行多层次有机组合匹配的技术,包括空间几何配准和数据融合两个方面,融合后的数据是一组新的空间信息和合成图像。它以特征信息优化为原则,目的是将单一传感器的多波段信息或不同类别传感器所提供的信息加以综合,提高遥感数据的可应用性和对地物的识别能力。该方法可

更好地发挥不同遥感数据源的优势互补,弥补某一种遥感数据的不足,减少不确定性,提高解译、分类的精度及动态监测能力^[1,2]。遥感数据融合是解决多源海量数据集成表示的有效途径,是遥感技术应用于土地利用/覆盖动态监测向纵深发展的必然趋势,是遥感研究的热点和前沿。

传统的土地利用/覆盖分类和动态监测的研究如人工目视解译,基于像元波谱特性的数字影像处理等,往往受到“同物异谱、异物同谱”的干扰,而多源信息融合技术显示出其独特的优越性。美国学者于20世纪80年代最早提出基于多传感器的多源遥感影像信息融合概念,国内对此技术的研究起步较晚,涉及的对象是合成孔径雷达(SAR)、Landsat的MSS或TM以及SPOT等遥感数据,没有进行星载遥感与机载遥感图像之间的融合。

2 多源遥感数据融合算法应用分析

多源遥感数据融合从层次上可分为:基于像元的融合、特征的融合以及决策融合^[3]。

(1)基于像元的融合。先进行像元之间的直接代数运算,经处理分析后再提取出地物的特征信

收稿日期:2004-02-19; 修回日期:2005-02-29.

资助项目:国家自然科学基金项目(40171001);河北师范大学科学研究基金项目(L2003Q13)

作者简介:袁金国(1972-),女,讲师。主要从事遥感图像处理与GIS应用研究。1998年毕业于东北师范大学城市与环境科学学院遥感与GIS专业,获硕士学位。2001年1月至2002年1月在美国东密歇根大学环境信息技术与应用中心做访问学者。1998年至今在河北师大资源与环境学院进行教学与研究工作。E-mail:yuanjingguo8@163.com

息。其优点是能较好地保留图像原有的细微信息;但处理信息量大,较费时。

差值运算简单快速,但对图像的时相要求较高,最好是同一季节成像;由于存在同谱异物和异谱同物现象,差值图像一般存在大量的假变化信息和噪声;当地物类型较单一,色调纹理较均匀,变化特征较明显时还是有效的,可与其他方法配合使用。比值运算可以消除或抑制地形或云影的影响,用一个波段和两个比值图像的彩色合成可以突出某些地物。但它丢失了地物总的反射强度信息和纹理细节信息。根据光谱、纹理特征的差异可进行土地利用的动态监测^[9],当差值为零或比值接近1时,表示土地利用类型未发生任何变化;土地利用类型发生变化区域的比值会显著地大于或小于1,差值为正值或负值。

乘积或加权变换融合的数值等于多波段图像的单波段数值分别乘以高分辨率遥感数据,或两种空间分辨率遥感数据乘以对应相关系数后再相加。将一定亮度的图像进行变换处理时,只有乘法变换可以使其颜色保持不变。孙家柄等根据不同的应用需要,分别将TM与侧视雷达、TM与航片进行了加权融合^[9],这种融合中,要注意选择合适的权重,以改善融合图像的光谱特征和纹理特征。

植被指数是由强吸收的可见光红波段和高反射的近红外波段,经过线性和非线性组合构成的对植被有指示意义的各种数值。它与植被的活力、叶面积指数、叶绿素含量、绿色生物量等高度相关。植被指数有多种^[9],各有不同的特点和缺点,应用时选择合适的植被指数。

(2)基于特征的融合。先分别对原始数据进行各类处理,提取特征信息(统计量),按各图像上相同类型的特征进行融合处理。它能够以较高的置信度生成新的图像,实现信息压缩,但由于它不是基于原始图像数据而是特征,特征提取过程中不可避免地会出现信息的部分丢失,并难以提供细微信息。

它们主要是具有不同空间和时间分辨率的传感器,如Landsat TM、MSS、SPOT、气象卫星(如NOAA AVHRR)、雷达影像等的融合。遥感图像融合前,需要对所融合的多光谱数据和全色数据进行必要预处理,以获得最佳融合效果。潘耀忠等利用不同时相的多光谱TM影像和SPOT全色影像进行四种融合^[7],融合后所有不变的特征信息的结果是

一种优势互补融合;而地物发生变化的部分信息是一种集中在光谱、空间、时间上的变化特征,称之为“变异特征”。再如研究洪水监测,可选择的遥感信息源有TM图像、侧视雷达图像、气象卫星图像等,复合后的图像实用性大大增强。因为TM图像光谱信息丰富,空间分辨率高,有利于分析洪水信息;多时相的NOAA-AVHRR气象卫星图像地面分辨率低(1.1km),但时相分辨率高,有利于动态监测;侧视雷达图像对地表物质的粗糙度、地物内部结构和介电常数十分敏感,对地表有一定的穿透能力,较易观察水体和线性地物,并且可全天时、全天候获取信息,有利于实地监测洪峰。将TM与雷达图像融合,既可获得洪水、水田、旱地情况,也可获得大堤、水渠等线性地物情况^[9];将TM与气象卫星图像融合,可以克服云层影响和气象卫星分辨率低的不足。

IHS变换融合,一是将高空间分辨率图像替换多波段遥感图像从RGB空间变换到IHS空间的I,构成新的IHS空间,再反变换回RGB空间^[9,10];二是以非遥感图像(如地貌类型单元)代替多波段遥感图像IHS变换后的H分量,经过适当直方图调整后,再反变换回RGB空间^[11],既反映出TM图像波谱信息,又可清晰看出以不同色彩表示的地貌类型单元。IHS变换可用于地质特征增强、色彩增强;但融合得到的多光谱影像灰度值同原多光谱影像有较大差异,所以要保证融合影像同多光谱影像的光谱特征相似,前提是经直方图匹配生成的高光谱分辨率的光谱响应范围与多光谱影像的光谱范围基本一致^[9]。

主成分(K-L)变换是建立在图像统计特征基础上的线性变换,具有方差信息浓缩、数据量压缩的作用,可以更确切地揭示多波段数据结构内部的遥感信息,各主成分是由各波段协方差矩阵的特征向量加权系数的线性组合而成。融合时,一是采用经灰度拉伸的高分辨率数据代替多波段数据主成分变换后的第一主成分,再进行主成分逆变换;二是把非遥感信息(如地貌类型图)作为一个通道,对非遥感图像的方差和均值进行适当调整,参与TM各波段的K-L变换^[11]。一是对不同时相的数据做主成分变换,再对主成分进行差值处理;二是先对影像作差值处理取绝对值,再对差值影像做主成分变换。

穗帽(K-T)变换融合是针对植物学家所关心的

植被图像特征,在植被研究中将原始图像数据结构轴进行旋转,优化图像数据显示效果。植被信息可以通过亮度、绿度、湿度 3 个数据轴来确定,而这 3 个轴的信息可以通过线性计算和数据空间旋转获得。但是它依赖于传感器,其转换系数对不同波段是不同的。对 K-T 变换后的特征组分之一绿度分量进行差值运算,利于研究土地利用/覆盖动态变化。

Brovey 变换中,融合以后的波段数值等于波段数值占红、绿、蓝三波段数值和的百分比乘以高分辨率遥感数据。这种融合显著特点是几乎保持了原始图像的色调信息。

小波变换可将图像分解为一些具有不同空间特性、频率特性和方向特性的图像。图像被分解为低频信息图像和高频细节/纹理信息。本质是在一定的分解水平对低分辨率图像的相应小波系数按某种算法结合高分辨率图像的对应系数,构成融合图像的小波系数,再反变换生成新图像,以获取所需的光谱与空间分辨率信息^[12,13]。小波变换融合使图像获得高空间分辨率的同时,光谱信息损失最低,它具有变焦性、信息保持性等优点。

(3)决策融合。对图像信息进行专业化的识别、分类或目标检测,在获得有关区域特征、目标状态等决策信息后,再对所获得的专题图像进行融合处理。

专家系统通过建立包含大量相应的领域知识库和推理来模拟专家解决问题的能力,现在均采用分布式专家系统来完成复杂的信息融合问题。神经网络将输入信息综合处理为一个整体输入函数,并将此函数映射定义为相关单元的映射函数,通过神经网络与环境的交互作用把环境的统计规律反映到网络本身的结构中来,并对传感器信息进行学习、理解,确定权值的分配,完成知识获取、信息融合,进而对输入模式做出解释,将输入数据转换成

高层逻辑概念。监督分类利用最大似然法、最小距离法、平行六面体法等方法,从图像中已知类别的有代表性的训练区中采样,提取训练数据,使计算机在训练区图像上训练,取得统计特征参数,并以此作为识别分类的统计度量,计算机利用这些来自于训练区的统计标准,按照选定的判别规则将像元进行光谱、纹理特征的测定,然后把图像中各个像元点归化到给定类别中。

3 应用实例分析

在河北丰宁县的应用中,我们主要利用 1987 年和 1999 年 Landsat-5 和 Landsat-7 TM 的遥感数据。在 ERDAS 软件中,利用地形图地面控制点 GCP 由 1987 年影像校正 1999 年影像,校正误差在亚像元(30m)之内。镶嵌研究区三景遥感影像(围场幅、北京幅和沽源幅),并用矢量图裁切得到丰宁县遥感影像。将 100m ASCII 码格式的高程数据转化为 DEM。生成的遥感影像的分辨率均为 30m。在 ARC/INFO 8.2 中,将 1:25 万 E00 格式的专题图(包括交通、水体、居民点等)转化为 Coverage。其他专题图,包括土壤、地质、土壤侵蚀以及 1:10 万土地利用现状图等,通过 ARCVIEW 3.2 数字化到 GIS 中。

研究区 1999 年 Landsat TM 7 个波段主成分变换结果见表 1,第一主成分(PC1)的信息占 TM 7 个波段总信息量的 86.68%,前 3 个主成分占总信息量的 97.8%。构成第一主成分的向量中, TM6 贡献最大(占 69%),其次是 TM7, TM3。选取主成分变换的前 3 个分量,可以在一定程度上消除由地形起伏造成的阴影影响,再将主成分变换后的图像进行主成分逆变换,恢复到 7 个波段(图 1),结果表明,影像的层次更丰富,影像更清晰,所以以此作为遥感信息提取的信息源。

表 1 Landsat TM 影像主成分变换结果

Tab.1 Result of Landsat TM image principal component transformation

主成分	方差百		特征向量						
	占比 (%)		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM7
第一	86.68		0.151	-0.030	-0.385	-0.275	0.314	0.690	-0.420
第二	7.703		0.206	0.053	-0.389	-0.258	0.159	0.076	0.840
第三	3.434		0.403	0.002	-0.552	-0.218	-0.245	-0.567	-0.323
第四	1.687		-0.094	0.924	0.080	-0.259	-0.234	0.083	-0.040

为了充分挖掘 Landsat-7 数据的潜在资源价值,提取遥感信息,采用 1999 年全色波段 Pan 与主成分变换后的多光谱波段进行融合,融合后影像具有 15m 的高空间分辨率,又具有丰富的彩色多光谱信息,增强了影像判读的准确性,如图 2 所示。

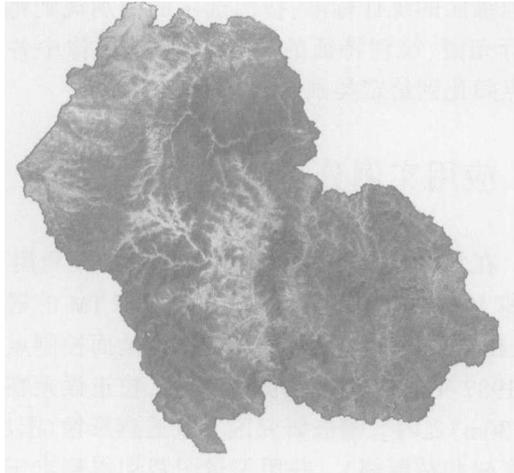


图 1 1999 年 Landsat TM 主成分变换后的影像
Fig.1 Landsat TM principal component transformation image in 1999

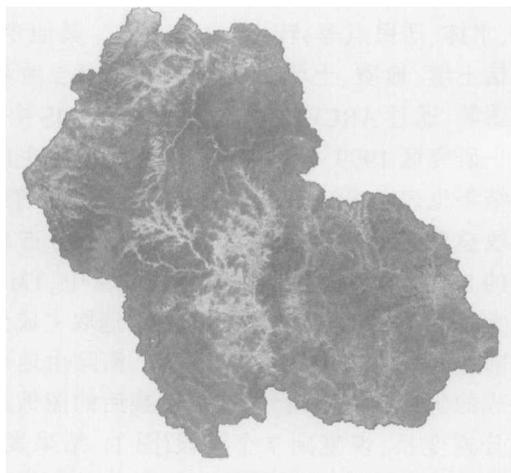


图 2 1999 年 Landsat TM 多光谱与 Pan 波段融合影像
Fig.2 Landsat TM merge image from pan and multi-spectral bands in 1999

在进行遥感解译时,为了提取某一特定专题信息,需要选取最佳的波段组合方案进行融合处理(表 2),因为 Landsat TM 7 个波段之间存在相关性^[14]:可见光波段的 TM1、2、3 相关系数比较高,信息量有很大的重复性,可分为一组;TM4 与其他波段的相关系数比较小,信息独立性大,能获取植物强烈反射近红外的信息,是植被覆盖和土地利用监测不可缺少的波段;TM6 属于热红外波段,用于植

被水热分析和土壤水分状况分析的有用波段;TM5 和 TM7 相关系数也较高,分为一组。

表 2 各种地物的影像特征

Tab.2 Image characteristics of each target

土地利用类型	红、绿、蓝彩色合成方案	
	波段 4、3、2	波段 5、4、3
耕地	蓝灰色、草绿色、灰绿色, 规则的纹理	品红色, 亮品红色
针叶林	暗红色	深绿色
阔叶林	鲜红色	亮黄绿色
草地	均匀粉红色或粉白色	绿色, 或深浅不同的品红色
水域	浅蓝、蓝灰色	深蓝色
城乡、工矿、居民地	灰白色或蓝灰色	紫色
裸露岩石、沙地、盐碱地等	灰白色	灰白色

研究区 1999 年 NDVI 值如表 3 所示,NDVI 分布影像图 3 可见,植被指数在 0.3~0.64 范围内的区域占了几乎一半,说明坝下区域的植被很好,尤其是森林。而在坝上高原,植被指数在-0.13~0.1 之间的区域较多,沙化较严重。对研究区遥感图像进行了穗帽变换,变换后的绿度分量可反映植被的情况,图像上色调越深(黑),表明绿度越大,植被也就越好,如图 4 所示,这与 NDVI 反映植被的状况相一致。

表 3 不同地物的 NDVI 值

Tab.3 NDVI values of different targets

NDVI 值	0.30~0.64	0.20~0.30	0.10~0.20	-0.13~0.1
地表景观	密林、灌木林地、农田	疏林地、中覆盖草地	低覆盖草地	水体、居民点、裸地、沙地、裸岩

对于因地形起伏引起的图像畸变(图 5.a),我们通过遥感影像与 DEM 的融合作了纠正,因为 DEM 可产生高程、坡度和坡向(图 5.b,c,d),植被与高程、坡向有一定的关系,如表 4。根据坡耕地标准,将研究区坡度分为平坡(1~7°)、缓坡(7~15°)、斜坡(15~25°)、陡坡(>25°)(图 5.c)。

关于数据层辅助分类或辅助分类后处理,采用交通图、水系图、居民地图、土壤图、地质图等作为辅助数据,基于 GIS 的信息融合以提高分类精度和数据的信息表现能力。

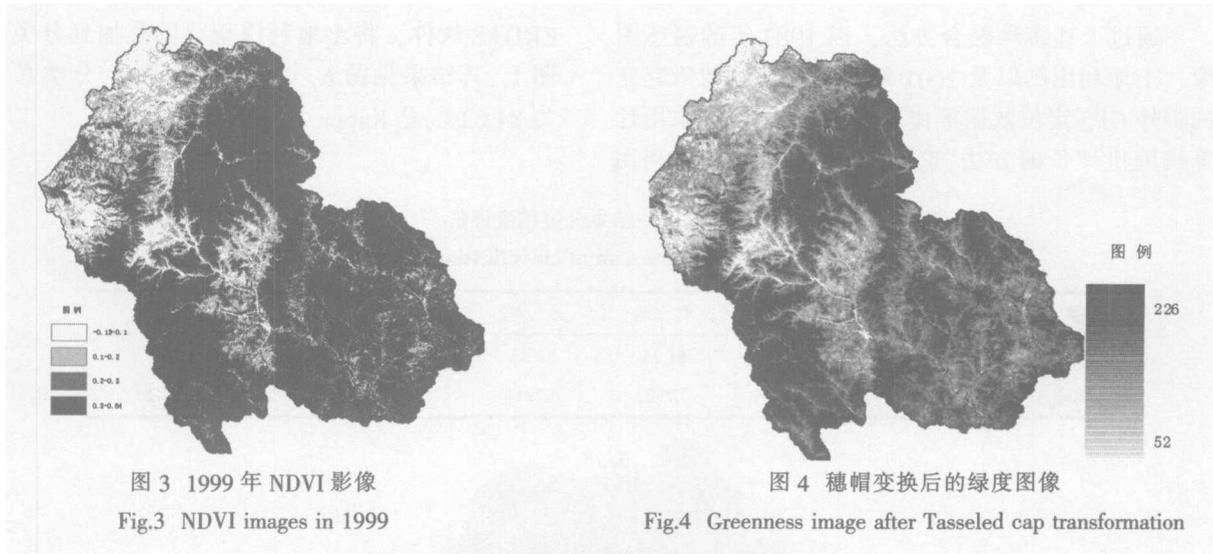


表 4 研究区植被垂直带谱及分布坡向^[4]

Tab.4 Altitudinal vegetation zone and distribution aspect

高程 (m)	主要植被	主要坡向	地貌类型
1000~1600	草甸草原：以羊草为代表，下层植物以绣线菊占优势	—	坝上高原
>2000	草甸	—	
1600~2000	落叶松、云杉为主的针叶林	阴坡	
1400~1600	白桦林，少量山杨	阴坡	坝缘山地
1200~1400	油松林、蒙古栎	阴坡、半阴坡	
1000~1200	蒙古栎，与山杨、白桦、油松混交	阳坡、半阳坡	
	灌丛—酸枣、荆条、榛等		
300~1000	草地—黄脂草、白羊草等为主，还有蒙古栎、辽东栎等	阴坡、半阴坡	低山丘陵、宽谷地以及坝上

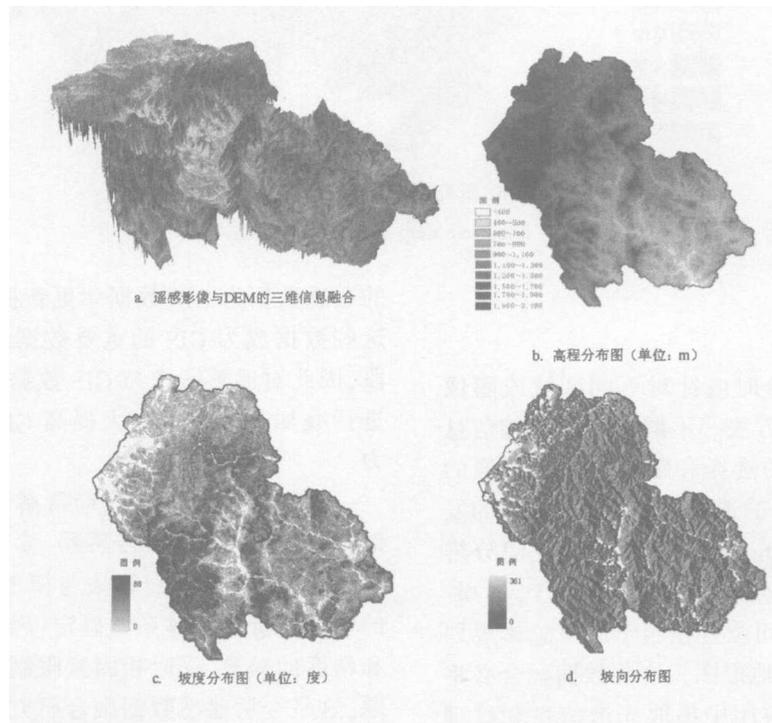


图 5 研究区 DEM 和高程、坡度、坡向分布

Fig.5 DEM, elevation, slope and aspect distribution of the study area

通过上述多种融合方法,以1987年的遥感图像、土地利用图以及2001年8月课题组到研究区的野外GPS定位数据等作为辅助参考信息,采用计算机随机评价的方法,选取300个随机样点,利用

ERDAS软件,将土地利用现状图叠加到分类结果图上,其结果见图6,分类精度如表5,分类总精度为84.62%,总Kappa为0.8026。

表5 结果分类精度评价

Tab.5 The precision of classification result

类别	耕地	林地	草地	水域	城乡、工矿、居民地	其他用地
分类精度 (%)	80	93.33	81.25	82.35	75	85.29
Kappa	0.7753	0.9157	0.7725	0.7914	0.7415	0.7842

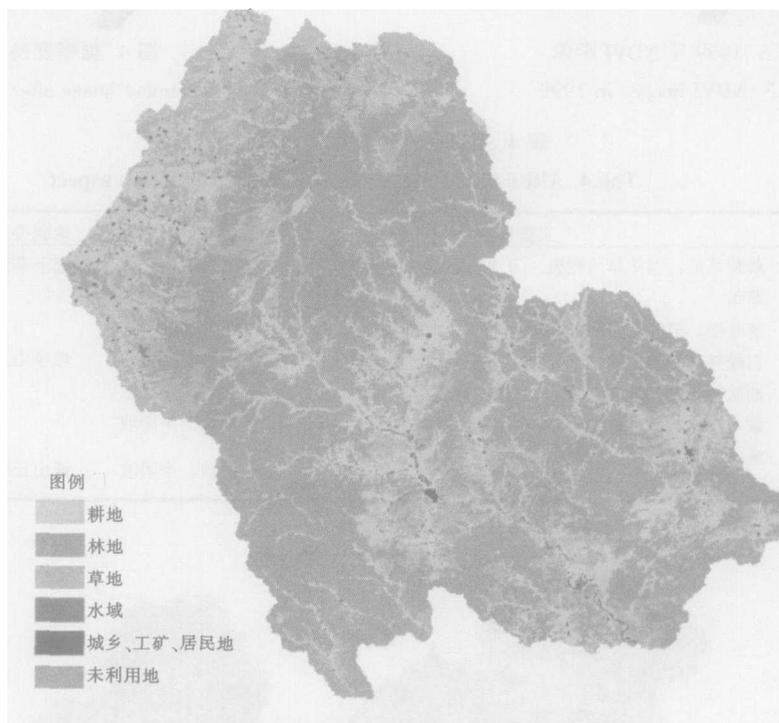


图6 研究区土地利用图

Fig.6 Land use map of the study area

4 结语

各种遥感数据融合时应针对不同区域或图像的特点,选择最优融合方法。不同传感器遥感信息融合的关键是传感器的选择和融合前两幅图像的精确配准以及融合方法的选择。随着遥感技术的发展,遥感影像现在有 Quickbird 0.61m 的空间分辨率、CASI 1.8nm 的光谱分辨率和 NOAA 0.5 天的时间分辨率,所提供的空间位置相当于城市总体规划常用的 1:1 万比例尺的地形图,这些数据融合必将提高遥感数据在城市应用中提取光谱信息和纹理信息的能力^[6]。多时相、多平台、多分辨率、多传感器

的遥感数据为 GIS 数据库更新提供了实时信息源,这些数据成为 GIS 的重要数据源和数据更新的手段,因此对遥感图像与 GIS 数据库的大量背景数据进行叠加分析,可大大提高 GIS 中的模式识别能力。

多源遥感数据融合尚待解决的问题是不同光谱与空间分辨率、多传感器、多尺度下遥感影像信息的融合理论框架、算法与模型的研究,融合影像的性能评价指标体系的确定,融合理论的实际应用和精度的提高,受时相因素限制以及自动提取等问题,这是今后遥感数据融合研究的努力方向。利用 GIS 数据库所提供的大量数据,将专家知识引入到遥感图像处理中,以实现实时动态融合,用于资源

和环境的监测。

参考文献

- [1] J Zhou. Wavelet transform method to merge landsat TM and SPOT panchromatic data. *INT.J.Remote Sensing*, 1998,19(4): 743~757.
- [2] 贾永红. 遥感多光谱影像空间分辨力增强的融合方法. *遥感技术与应用*, 1997, 12(1): 19~23.
- [3] 周前祥, 敬忠良, 姜世忠. 不同光谱与空间分辨率遥感图像融合方法的理论研究. *遥感技术与应用*, 2003, 18(1): 41~45.
- [4] 王 萍, 张继贤, 林宗坚, 李春霞. 基于多源遥感数据融合的土地利用/土地覆被变化信息提取试验. *测绘通报*, 2003, 4:14~17.
- [5] 贾永红, 孙家柄. 遥感多光谱影像数据与航片数字化影像融合方法的研究. *测绘通报*, 1997, (5): 10~12.
- [6] 袁金国. 森林植被遥感分类研究. *河北师范大学学报(自然科学版)*, 1999, 23(2):274~277.
- [7] 潘耀忠, 陈志军, 聂 娟, 王秀山. 基于多源遥感的土地利用动态变化信息综合监测方法研究. *地球科学进展*, 2002, 17(2): 182~187.
- [8] 陈 萍, 刘宝银, 张 杰. 航天遥感多源数据的复合信息及其应用研究—以黄河口为例. *黄渤海海洋*, 2000, 18(2): 29~35.
- [9] W Josepg Carper. The use of intensity-hue-saturation transformation for merging SPOT and multispectral image data. *PE&RS*, 1990, 56(4):459~467.
- [10] 孙家柄, 刘继林. 多源遥感影像融合. *遥感学报*, 1998, 2(1): 47~50.
- [11] 江 涛. GIS 支持下的多源信息复合研究. *矿山测量*, 1999, 3:16~18.
- [12] Yesou H. Merging SEASAT and SPOT imagery for the study of geologic structure in a temperate agricultural region. *Remote Sensing and Environment*, 1993, 43: 265~280.
- [13] 朱长青, 王 倩. 基于多进制小波的 SPOT 全色影像和多光谱遥感影像融合. *测绘学报*, 2000, 29(2): 132~136.
- [14] 戴昌达, 雷莉萍. TM 图像的光谱信息特征与最佳波段组合. *环境遥感*, 1989, 4(4): 282~292.
- [15] 河北植被编辑委员会、河北省农业区划委员会办公室. *河北植被*. 北京: 科学出版社, 1996: 214~222.
- [16] 王祖伟, 秦其明. 多源遥感数据融合及其在城市研究中的应用. *测绘通报*, 2002, 3:22~24.

Research on Multi-source Remote Sensing Information Fusion Application

YUAN Jinguo, WANG Wei

(College of Resource and Environmental Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, China)

Abstract: Multi-source remote sensing data fusion is the development trend of remote sensing technology in depth. This paper analyzes in detail algorithmic application characteristics of multi-source remote sensing data from three levels of pixel-based, feature-based and decision-based fusion processings. Take Fengning County for example, specific applications of remote sensing data fusion methods in information extraction are illuminated. The data used in this study is firstly pre-processed, then the principal components of Landsat TM data in 1999 are analyzed, the first three principal components account for 97.8% of the total information, the resulted image of inversed principal components transformation is clearer and has more abundant levels. To extract information from remote sensing image, we select the fusion image from Landsat TM pan and multi-spectral bands after principal components transformation, color composition scheme of bands 4, 3, 2 and bands 5, 4, 3, and vegetation index and greenness index after tasseled cap transformation are analyzed, the remote sensing image information fusion with DEM and spatial data of GIS database can also improve the accuracy of remote sensing information extraction. Problems to be resolved and future direction of multi-source remote sensing data fusion are put forward.

Key words: multi-source data; remote sensing; information fusion