

多源多时相遥感数据融合在煤矿塌陷地中应用研究^{*}

许长辉,高井祥,王 坚,孙久运

(中国矿业大学 环测学院,江苏 徐州 221008)

摘 要:因地下煤炭开采导致的矿区塌陷是目前矿区的主要问题之一,这些塌陷造成土地资源破坏,在高水位甚至出现积水。为此,需要掌握塌陷地随开采活动的扩展规律、塌陷区面积、破坏程度和积水区范围等数据资料。对于这些资料的采集,常规的技术方法已无法满足需要,而通过遥感数据融合能快速、准确地反映相关信息。因此采用 HIS,PCA 等几种不同增强信息的遥感融合方法对山东省某矿区的塌陷地进行试验研究,并对实验结果从定性和定量 2 个方面进行融合评价。结果表明: HIS 变换融合不仅能增大影像信息量和提高空间分辨率,减少模糊性,还能很好地保持光谱特征,提高影像数据的利用率。

关键词: HIS 变换;数据融合;融合评价;塌陷地

中图分类号: PT79;F301

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)01-0092-04

Application of RS Data Fusion of Multi-source and
Multi-temporal in Coal Mine Subsidence

XU Chang-hui,GAO Jing-xiang,WANG Jian,SUN Jiu-yun

(School of Environment and Spatial Informatics,China University of Mining and
Technology,Xuzhou,Jiangsu 221008,China)

Abstract: It is a significant problem of mining area subsidence resulting from underground coal mine mining,which resulted in soil resources destruction,even a lot of waterlogging in the high water level. Thus it is necessary to obtain the data such as propagation law with the action of mining,the areas of subsidence areas,destroying degree and excess water section and so on. However,traditional surveying methods were not sufficient to collect these data while the data could be rapidly and accurately exhibited by RS data fusion. Meanwhile,dynamic propagation can also be analyzed by superposition of multi-temporal image. So four kinds of RS fusion methods were adopted for case study about subsidence areas of some mining area in Shandong province,then the results were evaluated by some qualitative and quantitative assessment index. HIS transform is proved that not only improving imagery information and spatial resolution,removing ambiguity,but effectively obtaining spectrum characteristics,and finally increasing the utilization rate of imagery data.

Key words: HIS transform;data fusion;assessment of image fusion;subsidence areas

1 引 言

随着遥感和空间技术的发展,深度开发利用超高分辨率卫星与航空遥感信息已日趋成熟^[1]。多时相、多光谱、多传感器、多平台和多分辨率的遥感数据越来越多,使同一地区的数据呈现多元化的发展趋势。同时,非遥感数据已走上了数字化的道路,并已建成了可用的数据库。这些遥感数据如果仅利用其中的一种数据通常不能提取足够的信息来满足应用的需要。而上述各种数据的融合能互补信息,降低不确定性,减少模糊性,以增强影像中信息的透明性,提高影像数据的利用率。因此如何将这些不同的遥感数据或遥感与非遥感数据融合起来进行应用,已成为遥感技术应用向纵深发展的必然趋势。

近几年,PCA,Brovey 变换和 Multiplicative 变换已广泛应用于遥感影像融合中,并可在 Erdas 里直接实现,而 HIS 变换是当前比较流行的融合算法之一。另外,其他的方法还有如徐建达、王洪华提出基于 HIS 变换和小波变换的遥感

影像融合^[2],魏俊、李弼程用 HIS 变换增强空间细节信息,小波变换增强光谱信息和高通滤波融合遥感影像的低通滤波^[3],赵大一等提出将离散余弦变换与聚类算法相结合的遥感图像融合^[4]。在国外,Maria 采用小波理论结合 HIS 等其它变换算法有效地增强影像的特征信息^[5],Kawamura 认为基于小波理论的多尺度融合算法可被用于增强滑坡体的特征信息^[6],Emerson 将平稳不变小波用于融合 TM 影像的 5,4,3 波段与全色波段,并有效地增强了滑坡碎石带信息^[7]。虽然遥感影像融合的方法不断发展,但是由于遥感数据的多样性,目前仍难以找到一种适合于各种类型数据之间、各种应用需要的通用融合算法,而都是根据特定图像、特定地表覆盖状况和特定应用的需要来选择合适的融合模型。

目前,由于遥感的实时、快速和准确等优越性,遥感技术已广泛应用到矿业领域,如丁建华和肖克炎将遥感技术作为有效的辅助手段应用于矿产资源预测,并进行了展望^[8],而白朝军等将其应用到矿产资源信息提取中并取得了良好效

^{*} 收稿日期:2006-04-26

作者简介:许长辉(1982-),男,河北省秦皇岛人,硕士生,主要从事环境遥感、数字城市研究。

果^[9]。但是关于将遥应用到塌陷地研究领域还较少,也没有很好的通用融合方法。地下煤炭资源的大规模开采,导致地表的下沉、塌陷,这些地表塌陷造成了大面积土地资源的破坏,在高潜水位地区甚至出现大量积水。为此,需要掌握塌陷地随开采活动的扩展规律,塌陷区面积、破坏程度,积水区范围和深度,水污染状况等数据资料。对于这些资料的采集,采用常规的测量技术是难以胜任的,特别是对于积水塌陷区来说更是如此。而遥感图像则能快速、周期性地提供塌陷区的大量有关信息,为矿区土地复垦工程服务。对于地表塌陷区的动态扩展研究,还可以利用矿区的多时相航空遥感图像,进行叠加分析。因此该文采用 4 种方法探索对山东省某煤矿的塌陷地进行融合处理,并给出了融合后的评价。

2 数据预处理

多源遥感数据融合的实质是对从单一或多个传感器数据源获得的数据和信息进行关联、相关和合成,从而得到更精确的位置和特征估计。因此,在进行融合前必须对来自多个传感器数据源的数据和信息根据工作要求进行裁剪、空间配准等预处理。

对于遥感影像,首先要进行影像的空间配准,消除图像的几何畸变,它是遥感影像数据融合的前提。对两幅影像的空间配准,一般把其中一幅称为参考影像,以它为准,对畸变图像进行校正,其过程一般可分为特征选择、特征匹配、空间变化、插值等几步;然后根据影像融合的区域范围裁剪影像,以便减少融合运算像元个数、提高运算速度。

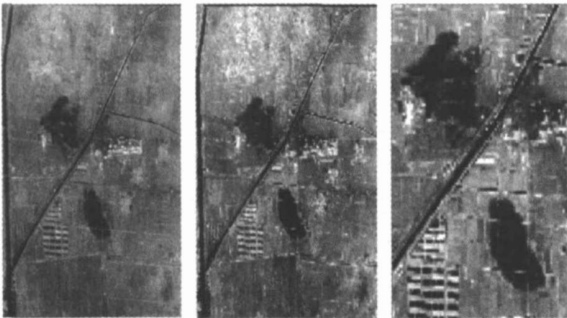


图 1 实验区原始 3,2,1 波段原始影像,校正后影像和剪切后影像

3 多源数据融合方法

目前,国内外已发展了很多数据融合的算法,包括 HIS, PCA, Brovey, Multiplicative 等。该文采用这些方法进行实验对比,从而获得适于塌陷地特征增强的融合方法。

Brovey 变换融合是一种特殊的数学运算组合,通过变换将 RGB 空间的多光谱波段归一化后,按照数学运算将其与高分辨率影像融合,融合的计算公式可用下式表示^[10-12]。

$$\begin{cases} R_{new} = PAN \times R / (R + G + B) \\ G_{new} = PAN \times G / (R + G + B) \\ B_{new} = PAN \times B / (R + G + B) \end{cases}$$

乘积变换融合是应用最基本的乘积组合算法直接对 2 种空间分辨率的遥感数据进行合成,即 $B_{i_{new}} = B_{i_m} \times B_{i_h}$,式中 i ——波段数值。它是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色彩保持不变。

在图像处理中通常有 2 种彩色坐标系统,一种是以 R, G, B 原色组成的彩色空间,另一种是 HIS 彩色空间,即透明

度 I,色调 H 和饱和度 S。在遥感影像融合中,常常把 RGB 空间转换为 HIS 空间来复合不同分辨率的数据,即基于 HIS 变换的遥感影像融合技术。HIS 变换首先将 RGB 变换为 HIS,可用如下公式进行变换。

$$\begin{bmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$
$$H = \tan^{-1} [\frac{V_2}{V_1}]$$
$$S = [(V_1)^2 + (V_2)^2]^{1/2}$$

采用高空间分辨率的波段 r 代替 I 部分,然后进行反变换,获得融合后的 $R_{new}, G_{new}, B_{new}$ 波段影像,采用的反变换公式为

$$\begin{bmatrix} R_{new} \\ G_{new} \\ B_{new} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 3 & 6 & 2 \\ 1 & 1 & -1 \\ 3 & 6 & 2 \\ 1 & -2 & 0 \\ 3 & 6 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

主成分变换融合算法通过对多光谱影像进行主成分变换,使得第一主成分含有最多的空间信息,其他分量的信息量逐渐减少,而光谱信息在其余的各主成分中表达。其变换过程与 HIS 类似,将高空间分辨率影像代替第一主成分影像,然后通过 PCA 逆变换来获得融合后各波段的 RGB 影像。这样就达到既保持了光谱特征,又提高了空间分辨率的目的。

利用 Erdas 中的空间建模工具可以实现上述融合,图形模型的流程图(图 2)。

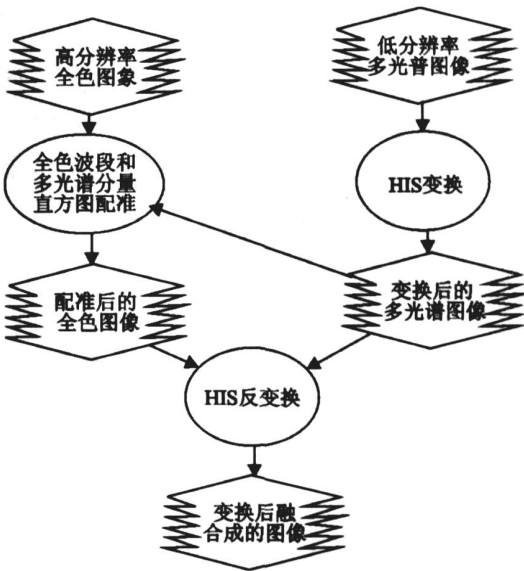


图 2 变换融合算法流程

4 结果与分析

取山东省某煤矿塌陷地附近 2 152 × 2 334 pixels 的 QuickBird 为实验影像,其多光谱分辨率 30 m,全色波段分辨率 0.6 m,区内主要覆盖矿区、草地、塌陷地。

4.1 定性分析

融合后的融合方法评价是遥感影像融合的一个重要步骤,它保证所采用的方法是否适合于所研究的问题。为了更好地对融合后的影像进行有效评价,首先对融合后的影像进行定性分析,然后在此基础上进行定量分析,以实现对所研究问题的融合方法进行整体评价。

在定性分析中,首先根据典型特征来对融合后的影像进行目视解译评价,然后进行纹理分析,并对融合后的影像纹理效果进行评价。

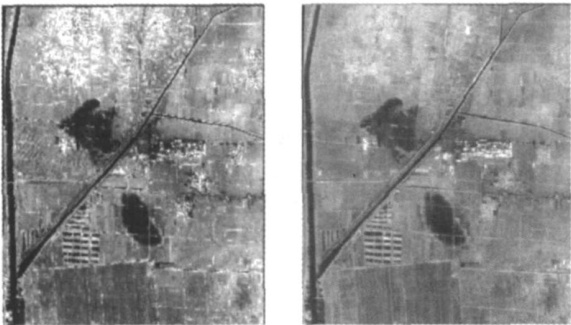
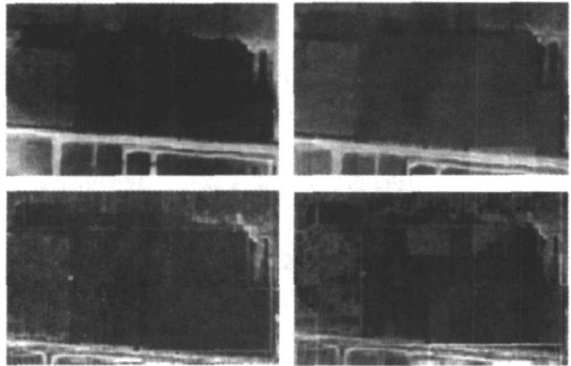


图3 实验区原始全色波段与多光谱 3,2,1 波段

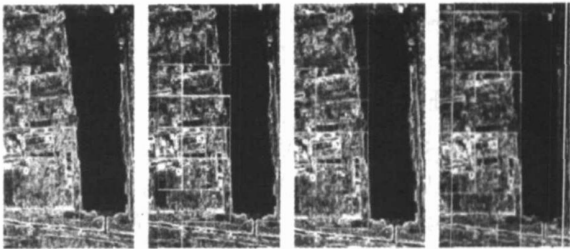


左至右: HIS, PCA, Brovey, Multiplicative

图4 融合后的典型特征放大对比

不同方法的融合结果都明显提高了影像空间分辨率与光谱特征,更便于目视解译。以山东省某矿区塌陷地特征区

域来对比不同融合结果,各种融合方法都增强了空间分辨率。从典型特征对比来看,HIS 和 PCA 具有较好的光滑性,但 HIS 与 PCA 相比具有较好的清晰度,而 PCA 清晰度不太好,说明 HIS 变换在保持空间信息的同时,表现出更好的光滑性(图 4),而 PCA 只表现较好的光滑性。另外,从纹理特征(图 5)对比来看,HIS 较 PCA 具有明显的优势,纹理清晰可辨。而 Brovey 和 Multiplicative 虽然纹理特征比 PCA 较好,但是明显不如 HIS,而且其典型特征表现不太好。另外, Brovey 虽然保持一定的空间信息,但是光滑性不够。Multiplicative 不太理想,空间信息和光滑性都不令人满意。



左至右: HIS, PCA, Brovey, Multiplicative

图5 融合后的纹理特征对比

4.2 定量分析

在塌陷地增强识别中,空间分辨率很重要,因此所采用的光谱特征量化指标为平均值、标准差和信息熵。平均值是像素的灰度平均值,对人眼反映为平均亮度;标准差在某种程度上可用来评价图像反差大小。若标准差大,则图像灰度级分布分散,图像的反差大,可以看出更多的信息。信息熵是衡量图像信息丰富程度的一个指标,其大小反映影像所携带的信息量的多少。其值越大,说明携带的信息越丰富,融合效果越好^[13-14]。从表 1 中可以看出,HIS 变换融合方法具有最大的标准差和信息熵,平均值略低于 PCA 变换融合,因此 HIS 变换融合比其他几种方法反映了更多的信息。而 Brovey 变换融合和 Multiplicative 变换融合具有较小的标准差、平均值和信息熵,融合效果不太理想。由于只采用 3 个波段进行 PCA 变换融合,因此 PCA 虽然具有较好的平均

表 1 不同融合结果的特征量化评价结果

指标	波段	原始图像	HIS	PCA	Brovey	Multiplicative
标准差	Band 1	14. 0818	11. 1817	10. 3739	16. 6393	7. 1687
	Band 2	16. 8667	18. 2068	11. 8803	12. 4024	6. 8954
	Band 3	25. 3622	16. 7747	12. 0575	8. 2188	9. 0153
平均值	Band 1	34. 2068	23. 6542	43. 2792	39. 7897	15. 9577
	Band 2	37. 4623	40. 5180	60. 2614	31. 7615	13. 9735
	Band 3	60. 1271	36. 8195	55. 7563	25. 2656	18. 1337
信息熵	Band 1	1. 0202	1. 0238	0. 0067	0. 0065	0. 0015
	Band 2	1. 0076	1. 0076	0. 0095	0. 0057	0. 0014
	Band 3	1. 0046	0. 0064	0. 0065	0. 0034	0. 0013
相关系数	Band 1		0. 9235	0. 9333	0. 6962	0. 9143
	Band 2		0. 8976	0. 5757	0. 8055	0. 7807
	Band 3		0. 9989	0. 9814	0. 8101	0. 9071
偏差指数	Band 1		0. 0256	0. 6172	0. 4793	0. 1523
	Band 2		0. 0279	0. 4774	0. 1398	0. 3286
	Band 3		0. 0234	0. 4836	0. 2005	0. 2520
扭曲度	Band 1		2. 1874	9. 8058	9. 1149	3. 6540
	Band 2		2. 5262	10. 4877	6. 0658	13. 924
	Band 3		2. 0938	9. 6398	6. 9431	9. 3011

值,标准差好于 Multiplicative,信息熵好于 Brovey 和 Multiplicative,但是由于只选用 3 个波段进行融合,故与 HIS 相比效果不太理想。

对于光谱特征,采用相关系数、偏差指数和扭曲度来进行评价。相关系数反映融合影像与原影像的相似程度,其值越大,说明融合效果越好。而偏差指数(融合影像与原影像的偏差程度)和扭曲度(融合影像与原影像的变形情况)是表示融合后影像与原影像的差异程度,因此偏差指数和扭曲度越大,说明融合效果越差。从表 1 中可以看出,HIS 变换融合方法具有最大的相关系数,最小的偏差指数和扭曲度,说明 HIS 变换融合方法对光谱特征的保持要好于其他 3 种方法。而 PCA 融合方法虽然相关性较好,但是与原影像的偏差和变形程度较大。总体来看,PCA 融合方法虽然保持了更多的空间信息,提高了空间分辨率,但是由于只选用 3 个波段,因此光谱特征保持的不太理想。而 Brovey 和 Multiplicative 方法虽然得到了较好的光谱特征信息,但是空间分辨率却不太理想。

5 结 论

采用了 HIS、PCA 等 4 种方法进行影像融合,并进行对比分析。各种方法都提高了影像的空间分辨率和光谱特征,但 HIS 变换融合与其他 3 种方法相比,无论定性分析,还是定量分析,在保持较多的信息量和光谱特征的同时,具有更好的光滑性和更高的空间分辨率。遥感影像融合是遥感图像处理技术向纵深发展的趋势,目前在许多领域得到了广泛应用,同时发展了很多融合方法。但由于遥感数据的多样性还没有通用的融合算法。基于对几种融合方法的研究,结果表明 HIS 变换融合方法是塌陷地信息增强的有效方法。

参考文献:

[1] 陈述彭. 不放过对每一块土地的监管[R]. 昆明:国土资源部,2005.

[2] 徐建达,王洪华. 基于 HIS 变换和小波变换的遥感影像融合[J]. 测绘学院学报,2002,19(3):198-200.

[3] 魏俊,李弼程. 基于 HIS 变换、小波变换与高通滤波的遥

感影像融合[J]. 信息工程大学学报,2003,4(2):46-50.

[4] 赵大一,刘雪峰,霍丙全,等. 基于离散余弦变换和聚类算法的遥感图像融合[J]. 微计算机信息,2006,22(5):234-236.

[5] Maria G A, José S, Raquel G C. Fusion of Multispectral and panchromatic images using improved HIS and PCA mergers based on Wavelet decomposition[J]. IEEE Transactionson Geoscience and remote sensing, 2004,42(6):1291-1299.

[6] Kawamura M, Tsujino K and Tsujiko Y. Morphological slope failure detection using multi sensor data merged by wavelett ransform [J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000,33 (B7/4):1544-1550.

[7] Emerson V M, Leila M G F, Fernando V, et al. Evaluation of HIS, PCA and Wavelet Transform fusion techniques for the indentification of landslide scars using satellite data[J]. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-01 aBril, INPE, 2003, 487-494.

[8] 丁建华,肖克炎. 遥感技术在我国矿产资源预测评价中的应用[J]. 地球物理学进展,2006,21(2):588-593.

[9] 白朝军,王跃峰,武萍. 西藏自治区盐湖矿产资源遥感信息提取方法[J]. 国土资源遥感,2004(2):35-38.

[10] 王坚. 滑坡灾害遥感遥测预警理论及方法[D]. 徐州:中国矿业大学,2006.

[11] 赵书河,张新明,曲鸿建. 多光谱遥感影像与高分辨率全色影像融合研究[J]. 测绘信息与工程,2004,29(5):4-5.

[12] 王祖伟,秦其明. 多源遥感数据融合及在城市研究中的应用[J]. 测绘通报,2002(3):22-25.

[13] 边辉,严卫东,张平. 多源遥感图像融合效果评价研究[J]. 电脑开发与应用,2005(2):6-8.

[14] 王海晖,彭嘉雄,吴巍,等. 多源遥感图像融合效果评价方法研究[J]. 计算机工程与应用,2003(25):33-37.