

基于最小噪声分离变换的遥感影像融合方法

顾海燕^{1,2}, 李海涛¹, 杨景辉¹

(1. 中国测绘科学研究院, 北京 100039; 2. 辽宁工程技术大学, 阜新 123000)

摘要: 针对主成分分析(PCA)融合算法的不足和最小噪声分离(MNF)变换的优势,以 IKONOS 新型高分辨率观测卫星提供的全色和多光谱数据为实验数据,提出了基于最小噪声分离变换的遥感影像融合方法,并与其它融合方法进行定量和视觉比较,结果表明该方法能得到更好的融合效果。

关键词: 影像融合; 主成分分析变换; 最小噪声分离变换; HIS 变换

中图分类号: TP 75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2007)02-0053-03

0 引言

遥感数据具有不同的空间分辨率、波谱分辨率和时间分辨率,如果能将它们各自的优势综合起来,便可以弥补单一图像上信息的不足,这样不仅扩大了信息的应用范围,也大大提高了遥感影像分析的精度。目前,比较成熟的融合算法有基于像素级的比值法、HIS、主成分分析(PCA)和小波融合法等^[1,3]。以 PCA 融合为例,其关键技术是主成分分析,对融合区域比较敏感,只能在近似情况下起到降噪的作用^[2,3]。为了解决此类问题,Green 等人利用信噪比作为指标,得到了理论上比较完备的成分分解方法——最小噪声分离(MNF)变换,该变换考虑了噪声和区域对图像的影响,通常用于确定影像数据内在维数,隔离数据中的噪声等^[4,6],还没有应用于影像融合。为此,本文针对 PCA 融合算法的不足和 MNF 变换的优势,考虑噪声对图像的影响,以 IKONOS 的多光谱和全色影像为数据源,进行了基于最小噪声分离变换的遥感影像融合研究。

1 PCA 变换与 MNF 变换

主成分分析(PCA)是遥感数字图像处理中运用比较广泛的一种算法,是在统计特征基础上的多维(多波段)正交线性变换。通过 PCA 变换,可以把多波段图像中的有用信息集中到数量尽可能少的新的主成分图像中,并使这些主成分图像之间互不相关,从而大大减少总的的数据量。但 PCA 变换对噪声比较敏感,即信息量大的主成分分量,信噪比不一定

高,当某个信息量大的主成分中包含的噪声的方差大于信号的方差时,该主成分分量形成的图像质量就差^[4,5],PCA 变换用于融合处理并不是为了减少噪声,而是通过该变换,使得多光谱影像在各个波段具有统计独立性,便于分别采用相应的融合策略。

针对 PCA 变换的不足,Green 等曾经提出最小噪声分离(MNF)变换,随后,又对 MNF 变换进行了修改^[4,5],它本质上是含有两次叠置处理的主成分分析。

第一步,利用高通滤波器模板对整幅影像或具有同一性质的影像数据块进行滤波处理,得到噪声协方差矩阵 C_N ,将其对角化为矩阵 D_N ,即

$$D_N = U^T C_N U \quad (1)$$

式中, D_N 为 C_N 的特征值按照降序排列的对角矩阵; U 为由特征向量组成的正交矩阵。进一步变换公式(1)可得

$$I = P^T C_N P \quad (2)$$

式中, I 为单位矩阵; P 为变换矩阵, $P = U D_N^{-1/2}$ 。当 P 应用于影像数据 X 时,通过 $Y = P X$ 变换,将原始影像投影到新的空间,产生的变换数据中的噪声具有单位方差,且波段间不相关。

第二步,对噪声数据进行标准主成分变换。公式为

$$C_{D-\text{adj}} = P^T C_D P \quad (3)$$

式中, C_D 为影像 X 的协方差矩阵; $C_{D-\text{adj}}$ 为经过 P 变换后的矩阵,进一步将其对角化为矩阵 $D_{D-\text{adj}}$

$$D_{D-\text{adj}} = V^T C_{D-\text{adj}} V \quad (4)$$

式中, $D_{D-\text{adj}}$ 为 $C_{D-\text{adj}}$ 的特征值按照降序排列的

对角矩阵; V 为由特征向量组成的正交矩阵。通过以上 2 个步骤得到 MNF 的变换矩阵 T_{MNF} , $T_{MNF} = PV$ 。

由此可知, MNF 变换具有 PCA 变换的性质, 是一种正交变换, 变换后得到的向量中的各元素互不相关, 第一分量集中了大量的信息, 随着维数的增加, 影像质量逐渐下降, 按照信噪比从大到小排列, 而不像 PCA 变换按照方差由大到小排列, 从而克服了噪声对影像质量的影响。正因为变换过程中的噪声具有单位方差, 且波段间不相关, 所以它比 PCA 变换更加优越^[4]。

2 基于 MNF 变换的融合方法

2.1 融合流程

高空间分辨率全色影像和低空间分辨率多光谱影像进行 MNF 变换融合的过程如图 1 所示。

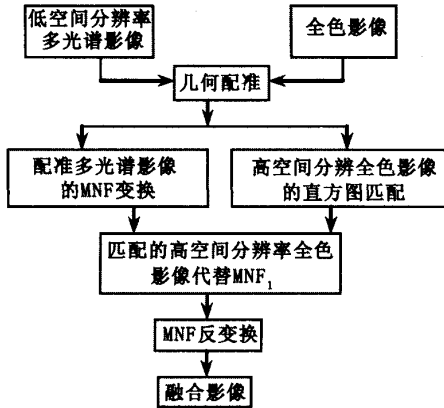


图 1 MNF 变换融合流程

由图 1 可知, 整个 MNF 融合算法和 PCA 融合算法的替换法相似, 经过以下 5 步完成。

(1) 将多光谱影像和带有地理坐标的全色影像进行几何配准, 得到与全色影像有相同地理坐标和尺寸的多光谱影像;

(2) 对多光谱影像进行 MNF 正变换。此时关键是噪声区域的选择, 选择区域的不同会带来融合效果的差异, 通常选择性质相似的平面小区域, 将小区域统计的噪声运用到整景影像中去;

(3) 进行全色影像与 MNF 变换的第一分量 (MNF_1) 的直方图匹配, 使之与第一分量有相同的均值与方差;

(4) 用匹配后的高分辨率影像代替第一分量 (MNF_1)。该分量包含了所有波段的共有空间信息, 而每个波段的光谱信息是独特的;

(5) 最后对匹配后的高分辨率影像和 MNF 变换的其它分量 (MNF_2, MNF_3 等) 进行 MNF 反变换, 得到分辨率提高了的融合影像。

2.2 试验结果

本文以 2005 年 6 月获取的河北省衡水市, IKONOS 全色影像 (空间分辨率为 1 m) 和多光谱影像 (空间分辨率为 4 m) 为数据源 (带有地理坐标), 将多光谱影像用最近邻方法采样为与全色影像相同尺度和相同空间分辨率的影像。由于 PCA 变换对噪声和区域比较敏感, IHS 变换要求参与融合的 2 组数据源的光谱响应范围要一致或相近^[7], 所以, 为了客观地比较融合结果, 最后选择大小为 890 像元 $\times$ 1 514 像元的 R、G、B 3 个波段子影像作为试验区。利用 MNF 融合算法进行融合试验, 同时进行 PCA 变换融合和 HIS 变换融合。取 313 像元 $\times$ 331 像元的子图进行分析, 得到融合图像元 (插页彩片 5)。

2.3 效果评价

从视觉上可以得出, HIS 融合影像局部出现了严重的噪声现象, 由于不同波段数据具有不同的光谱特性曲线, 该方法扭曲了原始的光谱特性, 产生了光谱退化现象。PCA 融合影像的空间分辨率和光谱分辨率不如 MNF 融合影像, 由此可知, MNF 融合算法在提高影像空间分辨率的同时, 还较好地保留了图像的光谱信息。进一步采用熵 (Entropy) 和均方根信噪比 (SNR_{rms}), 从保真角度对 MNF 融合影像和 PCA 融合影像进行定量比较^[8], 根据仙农信息论原理, 一幅 256 色灰度影像 x 的熵为

$$H(x) = - \sum_{i=0}^{255} P_i \lg_2 P_i \quad (5)$$

式中, P_i 为影像出现灰度值为 i 的像素概率。融合图像的熵值越大, 说明融合图像携带的信息量越大。均方根信噪比的公式为

$$SNR_{rms}(k) = \sqrt{\frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} g(x, y, k)^2}{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [g(x, y, k) - f(x, y, k)]^2}} \quad (6)$$

式中, $f(x, y, k)$ 为多光谱影像第 k 波段经过重采样后, 与全色尺寸一样的影像; $g(x, y, k)$ 为融合后的影像; $p(x, y)$ 为原始全色影像。 $SNR_{rms}(k)$ 值越大, 保真度越高。定量评价的 IKONOS 融合影像的结果如表 1 所示。

表 1 IKONOS 全色与多光谱影像融合效果定量评价

融合方法	波段	SNR_{rms}	熵	融合方法	波段	SNR_{rms}	熵
MNF	1	2.20	7.48	PCA	1	2.13	7.32
	2	1.90	7.58		2	1.89	7.36
	3	1.93	7.48		3	1.92	7.32

结合评价指标理论, 分析表 1 中的结果可知,

MNF 融合影像所有波段的熵都比 PCA 融合影像的大,表明 MNF 融合影像的信息更丰富; MNF 融合影像的 SNR_{m} 值比 PCA 融合影像的大,表明 MNF 融合影像的保真度高。综合以上分析可以得出, MNF 融合方法具有可行性,其信息量和信噪比均优于 PCA 融合算法。

3 结论

本文探讨了基于最小噪声分离变换的融合方法,并对其融合图像进行了分析。结果表明, MNF 融合在提高影像空间分辨率的同时,还较好地保留了多光谱图像的光谱信息,远远优于 HIS 融合方法;从信息量和均方根信噪比角度看,此融合方法优于 PCA 融合方法,并且克服了 PCA 融合不考虑噪声的不足。如果结合小波等热门方法,可能会得到更好的融合效果;再者,考虑到高光谱和雷达影像中存在大量的噪声,此方法可望在这些数据的融合中得到应用。

参考文献

- [1] 牟凤云,朱博勤,贺华中. 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,(4):30-34.
- [2] 杜鹏,赵慧洁. 基于抗噪声 ICA 的高光谱数据特征提取方法[J]. 北京航空航天大学学报,2005,31(10):1101-1105.
- [3] Pohl C, van Genderen J L. Multisensor Image Fusion in Remote Sensing: Concepts, Methods and Applications[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998,19(5):823-854.
- [4] Green A A, Berman M, Switzer P, et al. A Transformation for Ordering Multispectral Data in Terms of Image Quality with Implications for Noise Removal[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1988,26(1):65-74.
- [5] Lee J B, Woodyatt A S, Berman M. Enhancement of High Spectral Resolution Remote Sensing Data by a Noise-adjusted Principal Components Transform[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1990,28(3):295-304.
- [6] Chen C M. Comparison of Principal Components Analysis and Minimum Noise Fraction Transformation for Reducing the Dimensionality of Hyperspectral Imagery[J]. Geographical Research, 2000,33(1):163-178.
- [7] 吴连喜. 一种保持光谱特征的图像融合方法[J]. 国土资源遥感,2003,(4):26-29.
- [8] Wald L, Ranchin T, Mangolini M. Fusion of Satellite Images of Different Resolutions: Assessing the Quality of Resulting Images[J]. PE&RS,1997,63:691-699.

THE REMOTE SENSING IMAGE FUSION METHOD BASED ON MINIMUM NOISE FRACTION

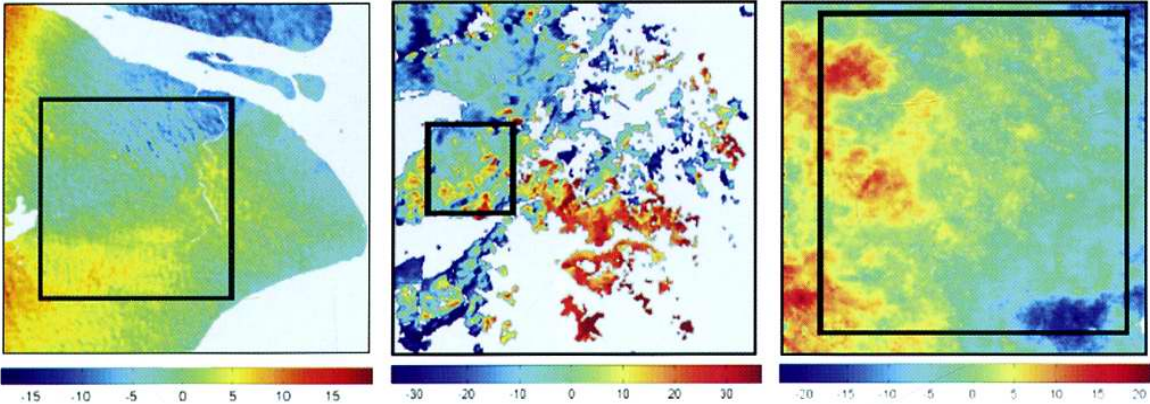
GU Hai-yan^{1,2}, LI Hai-tao¹, YANG Jing-hui¹

(1. Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100039, China; 2. Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

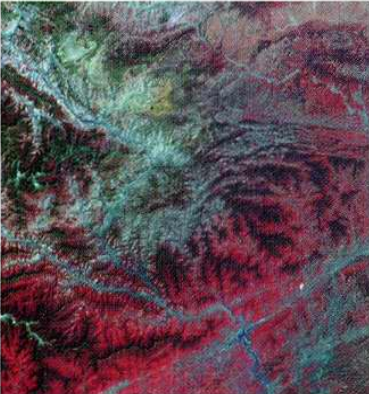
Abstract: The Principal Component Analysis (PCA) image fusion method has been used widely in recent years. However, without considering the effects of noise on the fusion image, its application is only limited to the fusion region. The Minimum Noise Fraction (MNF) transform is a self-contained component analysis method which considers the effects of noise on the fusion image. This technique is employed in such fields as the determination of the inherent dimensionality of image data and segregation of noise in the data; nevertheless, it is not applied to image fusion nowadays. Therefore, in view of the defectiveness of the PCA image fusion method and the superiority of the MNF transformation, the authors put forward a new MNF transform Remote Sensing fusion method in which both IKONOS multi-spectral image and panchromatic image are used. Visual and quantitative comparison demonstrates that this technique is better than other fusion methods.

Key words: Image fusion; PCA (Principal Component Analysis); MNF (Minimum Noise Fraction); HIS (Hue Intensity Saturate)

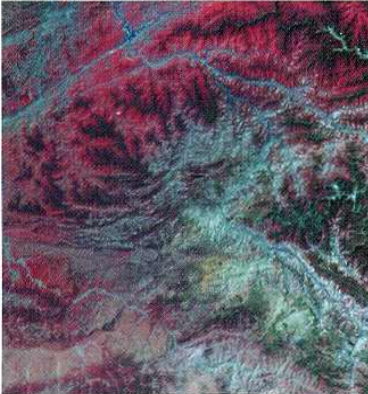
第一作者简介: 顾海燕(1982-),女,硕士研究生,主要从事遥感影像处理方面的研究。



彩片1 只含有大气相位的SAR干涉图示例 (丁晓利等, 2004)
(左: 上海; 中: 香港; 右: New South Wales)



彩片2 TM4 TM3 TM2波段合成图像
(反立体现象非常明显)



彩片3 彩片2旋转180° 后的图像
(反立体现象已得到纠正)



彩片4 由IHS反变换得到的
反立体纠正图像



(a) 原始IKONOS多光谱影像



(b) 原始IKONOS全色影像



(c) HIS融合影像



(d) PCA融合影像



(e) MNF融合影像

彩片5 IKONOS影像的融合效果



彩片6 研究区SPOT 5融合影像(432波段)