

基于缨帽变换的 IKONOS 数据融合

费鲜芸¹, 张志国², 高祥伟^{1,3}

FEI Xian-yun¹, ZHANG Zhi-guo², GAO Xiang-wei^{1,3}

1. 山东农业大学 信息科学与工程学院, 山东 泰安 271018

2. 上海应用技术学院 生态学院, 上海 200235

3. 中国矿业大学 土地复垦与生态重建研究所, 北京 100083

1. College of Information Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China

2. College of Ecology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200235, China

3. Institute of Land Reclamation and Ecological Reconstruction, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China

E-mail: sdaufxy@163.com

FEI Xian-yun, ZHANG Zhi-guo, GAO Xiang-wei. Study on IKONOS data fusion based on Tasseled Cap transformation. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(2): 233-235.

Abstract: The IKONOS data of Beijing Yuanmingyuan is fused with Tasseled Cap(KT) and PCA methods. The fusion results are analyzed and compared with full image and vegetation subset. The result shows that, in study area, the KT fusion method is better than PCA in full image and vegetation subset. The fusion results are differential with different KT transformation matrix, and the method of fusion should be chosen according to study area, data, and classification methods.

Key words: IKONOS; data fusion; Tasseled Cap transformation; PCA; urban vegetation mapping

摘要:应用缨帽变换(KT)和主成分分析(PCA)方法,对北京圆明园周围的 IKONOS 全色波段和多光谱波段进行融合,并分别对整景影像和植被区的融合结果进行对比研究,结果表明:在该实验区,整景影像和植被区缨帽变换融合结果都优于主成分分析结果,不同的缨帽变换系数矩阵在整景影像和植被区融合质量会有差别,应根据具体地点、时相,分类方法做适当的选择。

关键词: IKONOS; 数据融合; 缨帽变换; 主成分分析; 城市植被制图

文章编号: 1002-8331(2008)02-0233-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

1 引言

影像融合方法,一方面要根据其保持光谱信息能力选择确定,另一方面要依据不同的地表覆盖状况、不同的研究目标确定^[1,2]。目前比较成熟的遥感影像融合方法有主成分变换(PCA)、HIS 变换、高通滤波、BROVERY 等^[3,4]。由于其存在不同程度的光谱扭曲,研究者又提出了基于小波变换的融合方法,基于小波改进的 PCA 融合方法, HIS 变换融合方法等。这些融合方法的目的是提高分辨率,保持多光谱信息,并没有针对明确的研究目标进行融合^[5-9]。为了研究 IKONOS 数据在城市植被制图中的应用,本文提出了基于缨帽变换的融合方法,为评价融合结果,同时利用主成分分析方法对影像进行融合,分别在整景影像和植被区对融合结果进行对比研究。

2 缨帽变换(KT)原理与方法

缨帽变换是针对植被信息提取的影像增强方法。缨帽变换系数矩阵最初由 Kauth 和 Thomas 在 1976 年针对 MSS 数据提出^[10], 1984 年, Crist 和 Cicone 提出了 Landsat4 TM 数据 KT 变换的系数矩阵^[11]。

缨帽变换是一种特殊的线性变换方法,可以视为一种固定系数的主成分变换,通过多维旋转产生新的主分量,并达到降维目的。与主成分变换不同之处,是经变换后尚留有残余的相关,并将光谱特征与自然景观属性联系起来。

2003 年 James H. Home 选取了 195 幅 IKONOS 多光谱图像,涵盖了世界各地的大部分地物类型,计算提出与 MSS 缨帽变换相似的 4×4 变换矩阵^[12]。对多光谱数据进行缨帽变换,结果表明能有效地提高植被(如乔、灌、草、和农业用地)分类类型,以及区分植被与非植被区域的分类精度。

由于整景影像的总体协方差阵对太阳光强反射和云等噪声反应敏感,不是一个稳定的统计量,所以应通过选择适当的子区水平,去除噪声求出其稳定值。假设整景影像象元数为 M ,则按一个固定的小数 α 截取影像,所得影像象元数为 $h=M\alpha$ 。在不同 α 水平通过迭代方法求其最小协方差阵,其实质就是该水平消除了光反射和云覆盖等噪声的稳定协方差阵,是一个稳定的统计量。当 $\alpha=1$ 时,影像为整景影像。求每一 α 水平影像的最小协方差阵 $C(\alpha)$ 和特征向量 $R(\alpha)$ 。利用最小二乘拟合法,求出缨帽变换的变换矩阵 R_α 。以下是不同水平 α 的缨帽变

换的系数转换矩阵 R , 分别为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.326 & -0.311 & -0.612 & -0.650 \\ 0.509 & -0.356 & -0.312 & 0.719 \\ 0.560 & -0.325 & 0.722 & -0.243 \\ 0.567 & 0.819 & -0.081 & -0.031 \end{bmatrix}$$

$$R_{0.990} = \begin{bmatrix} 0.337 & -0.278 & -0.599 & -0.671 \\ 0.534 & -0.313 & -0.345 & 0.706 \\ 0.594 & -0.284 & 0.718 & -0.224 \\ 0.498 & 0.862 & -0.082 & -0.034 \end{bmatrix}$$

$$R_{0.875} = \begin{bmatrix} 0.357 & -0.193 & -0.590 & -0.698 \\ 0.580 & -0.199 & -0.394 & 0.685 \\ 0.661 & -0.171 & 0.701 & -0.207 \\ 0.314 & 0.946 & -0.076 & -0.036 \end{bmatrix}$$

$$R_{0.750} = \begin{bmatrix} 0.351 & -0.201 & -0.589 & -0.700 \\ 0.584 & -0.215 & -0.387 & 0.681 \\ 0.660 & -0.157 & 0.703 & -0.215 \\ 0.318 & 0.943 & -0.097 & -0.030 \end{bmatrix}$$

3 IKONOS 数据融合实现

3.1 基于主成分分析(PCA)的融合

将 IKONOS 多光谱的 4 个波段做主成分变换, 得到 4 个相互独立的主成分。用公式表示:

$$Y=TX$$

其中: X 为原图像 p 个波段像元值向量, Y 为变换后产生的 q 个主成分像元值向量, $q \leq p$, T 为实现这一正交线性变换的变换矩阵。其中第一主成分 PC1 表达了影像的空间结构信息, 而各波段的光谱信息则反映在其他各主成分中; 将高分辨率全色图像与 PC1 进行直方图匹配, 使其灰度的均值和方差与 PC1 图像一致; 然后用拉伸过的高分辨率全色图像代替第一分量, 经过逆变换还原到 RGB 空间, 得到空间分辨率提高的多光谱融合影像^[4,13]。

3.2 基于缨帽变换(KT)的融合

缨帽变换通过以下公式求得: 其中 R 是缨帽变换系数, x 代表不同波段的灰度值, r 表示常数偏移量, 是为避免在变换过程中出现负值。 u 表示缨帽变换后不同的波段^[2]。

$$u=R^T x+r$$

这里 R 共有四组转换系数矩阵, 经缨帽变换后, 新分量中的前三个分量与地面景物的关系密切。第一特征为亮度, 反映了总体反射率的综合效果, 第二特征为绿度, 它与地面植被覆盖、叶面积指数及生物量有很大关系。第三特征是湿度, 它反映了地面水分条件, 特别是土壤的湿度状态。将高分辨率全色图像与第一特征分量进行直方图匹配, 使其灰度的均值和方差与第一分量图像一致; 用拉伸过的高分辨率全色图像代替第一分量, 然后与其它分量一起经过逆变换还原到 RGB 空间, 得到空间分辨率提高的多光谱融合影像。

4 效果评价

本文选取北京圆明园周围 25 km² 的 IKONOS 全色波段和多光谱数据作为实验数据, 数据时相为 2005 年 10 月, 图像质量良好。研究区内植被结构较好, 乔、灌、草各种植被类型丰富且有较好的规模, 有利于融合结果的评价。经图像校正、配准后分别利用主成分分析和四种缨帽变换系数矩阵进行影像融合。分

别从目视解译、定量指标两个方面进行评价, 定量评价选择标准差和信息熵两个指标。

4.1 目视比较

利用主成分和不同缨帽变换系数矩阵融合产生空间分辨率增强的影像, 通过 3, 2, 1 波段合成彩色图。从整景影像中取出 400×300 像素的子区, 以 1:1 的比例尺显示, 分别如图 1~图 5。从图中可看出 $R_{0.875}$ 和 $R_{0.750}$ 的融合影像, 目视效果明显优于其它几种融合影像, 表现为图像亮度较好, 并能一定程度地去除高大乔木之间阴影。植被的边界清晰。不同植被结构之间, 植被与建筑物之间的纹理和色调的对比度都好于其它几种融合结果, 其中主成分变换得到的结果目视效果最差。



图1 主成分分析融合结果



图2 R_1 转换系数矩阵缨帽变换融合结果



图3 $R_{0.990}$ 转换系数矩阵缨帽变换融合结果

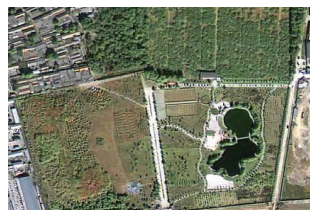


图4 $R_{0.875}$ 转换系数矩阵缨帽变换融合结果

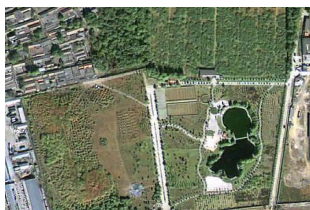


图5 $R_{0.750}$ 转换系数矩阵缨帽变换融合结果

4.2 定量比较

在高分辨率影像中植被与非植被区的可分性较好, 错分主要是植被类型之间的错分^[14]。为比较城市植被区域缨帽变换和主成分分析融合结果的质量, 从整景影像截取植被覆盖较好, 具有乔、灌、草复合结构的植被子区, 分别计算整景影像、植被

子区标准差和信息熵两个量化指标。

4.2.1 标准差

标准差反映了图像像素灰度相对于灰度平均值的离散情况。在某种程度上, 标准差也可用来评价图像反差的大小^[16, 17]。当标准差较大时, 则图像灰度级分布分散, 图像的反差大。

标准差是监督分类依据的重要统计特征, 所以标准差大反映地物的可分性较好^[15]。其定义如下式, 其中, $Z(i, j)$ 表示图像的灰度值, \bar{Z} 表示灰度值的均值。结果如表 1、表 2。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (Z(i, j) - \bar{Z})^2}{M \times N}}$$

表 1 整景影像融合后标准差

	主成分分析	R_1 转换矩阵	$R_{0.990}$ 转换矩阵	$R_{0.875}$ 转换矩阵	$R_{0.750}$ 转换矩阵
Band1	11.80	12.89	12.1	11.98	11.94
Band2	10.62	11.99	9.37	9.03	8.95
Band3	11.71	11.98	12.23	11.58	11.61
Band4	15.77	14.98	16.23	23.32	23.18

表 2 植被区影像融合后标准差

	主成分分析	R_1 转换矩阵	$R_{0.990}$ 转换矩阵	$R_{0.875}$ 转换矩阵	$R_{0.750}$ 转换矩阵
Band1	4.32	4.44	4.27	4.51	4.43
Band2	4.43	4.46	4.43	4.62	4.57
Band3	5.09	5.06	5.20	5.26	5.25
Band4	9.37	8.82	9.66	13.80	13.71

4.2.2 信息熵

图像的信息熵是衡量图像信息丰富程度的一个重要指标, 表示图像所包含的平均信息量的多少^[16, 17]。融合图像的熵值越大, 说明融合图像携带的信息量越大, 信息就越丰富, 融合效果越好, 计算公式如下, 其中 P_i 为图像像素灰度值等于 i 的概率。结果如表 3 和表 4。

$$E = - \sum P_i \lg P_i$$

表 3 整景影像融合后信息熵

	主成分分析	R_1 转换矩阵	$R_{0.990}$ 转换矩阵	$R_{0.875}$ 转换矩阵	$R_{0.750}$ 转换矩阵
Band1	5.377	5.690	5.237	5.251	5.251
Band2	5.290	5.826	5.067	5.323	5.323
Band3	5.430	5.553	5.400	5.331	5.331
Band4	5.950	5.873	5.915	6.274	6.274

表 4 植被区影像融合后信息熵

	主成分分析	R_1 转换矩阵	$R_{0.990}$ 转换矩阵	$R_{0.875}$ 转换矩阵	$R_{0.750}$ 转换矩阵
Band1	4.14	4.38	3.94	4.52	4.54
Band2	4.10	4.38	4.21	4.66	4.74
Band3	4.38	4.36	4.32	4.54	4.65
Band4	5.25	5.16	5.22	5.55	5.55

从标准差显示, 对整景影像, 利用 R_1 缨帽转换系数融合结果除第四波段外均好于主成分分析融合结果, 其中, 反映植被信息的第二波段明显优于其它几种缨帽转换系数结果; 植被区域融合结果区别于整景影像, $R_{0.875}$ 和 $R_{0.750}$ 两种融合结果相似, 各波段标准差均大于主成分分析结果和另外两种缨帽变换融

合结果。通过降维, 光谱信息主要集中在前三个波段, 所以对整景影像用 R_1 转换系数矩阵, 可分性最好, 对植被区域, 用 $R_{0.875}$ 和 $R_{0.750}$ 在植被覆盖区标准差最大, 可分性最好。

信息熵显示, 对整景影像, R_1 转换系数矩阵融合影像前三个波段的信息熵, 优于主成分分析融合结果, 优于其它几种转换矩阵, 融合效果最好。对植被区域各种缨帽变换融合结果第二波段都优于主成分分析方法, $R_{0.875}$ 和 $R_{0.750}$ 转换系数的融合结果相似, 各波段均优于其主成分分析结果, 优于其它几种缨帽变换结果。由于缨帽变换得到融合结果第二波段反映植被的绿色, 而主成分分析并无特定的景观属性意义, 所以缨帽变换比主成分分析能更好地反映植被信息。

5 结论

由以上分析可以得出: (1) 目视效果分析, $R_{0.875}$ 和 $R_{0.750}$ 转换系数缨帽变换融合结果, 植被的边界清晰, 不同植被结构之间, 植被与建筑物之间的纹理和色调的对比度都好于其它几种融合结果, 目视效果最好。(2) 标准差显示, 整景影像 R_1 转换系数融合结果最好; 植被区 $R_{0.875}$ 和 $R_{0.750}$ 融合结果相似, 各波段标准差最大, 效果最好。(3) 信息熵显示, 整景影像 R_1 转换系数融合结果最好, 优于主成分分析融合方法和其它几种转换系数融合结果; 在植被区, 从植被提取目的评价, 缨帽变换融合结果都优于主成分分析结果, 其中 $R_{0.875}$ 和 $R_{0.750}$ 转换系数缨帽变换融合结果最优, 优于其它所有方法。(4) 在该实验区, 整景影像和植被区域缨帽变换融合结果都优于主成分分析结果, 不同的缨帽变换系数矩阵在整景影像和植被区融合质量会有差别, 应根据具体地点、时相, 分类方法适当选择。

(收稿日期: 2007 年 8 月)

参考文献:

- [1] Su Y, Huang P S, Linc F, et al. Target-cluster fusion approach for classifying high resolution IKONOS imagery [J]. Vision, Image and Signal Processing, 2004, 151(4): 241-249.
- [2] 钱永兰, 杨邦杰, 雷廷武. 用基于 IHS 变换的 SPOT-5 遥感图像融合进行作物识别 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 102-105.
- [3] 翁永玲, 田庆久, 惠凤鸣. IKONOS 高分辨率遥感影像自身融合效果分析 [J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2004, 34(2): 274-277.
- [4] 孙丹峰. IKONOS 全色与多光谱数据融合方法的比较研究 [J]. 遥感技术与应用, 2002, 17(1): 42-45.
- [5] 刘春, 陈能. 基于小波变换的快鸟遥感影像数据融合 [J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2004, 32(10): 1371-1375.
- [6] 李平湘, 王智均. 高空间分辨率影像和多光谱影像融合的研究 [J]. 武汉大学学报: 信息科学科学版, 2003, 28(1): 14-17.
- [7] 王文君, 秦其明, 陈思锦, 等. 一种基于特征的遥感影像融合新方法 [J]. 遥感技术与应用, 2004, 19(2): 98-101.
- [8] 王智均, 李德仁, 李清泉. 基于小波理论的 IKONO 卫星全色影像和多光谱影像的融合 [J]. 测绘学报, 2001, 30(2): 112-116.
- [9] 李军, 周月琴, 李德仁. 小波变换用于高分辨率全色影像与多光谱影像的融合研究 [J]. 遥感学报, 1999, 3(2): 116-121.
- [10] Crist E P, Cicone R C. A physically-based transformation of the-matic mapper data-the TM Tasseled Cap [J]. IEEE Trans on Geosciences and Remote Sensing, 1984, GE-22: 256-263.