

基于 Landsat7 ETM⁺ 全色数据纹理和结构信息复合的城市建筑信息提取

何春阳¹ 曹 鑫¹ 史培军¹ 李 京¹

(1 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京市新街口外大街 19 号, 100875)

摘 要: 提出了利用主成分分析方法有效地复合纹理和结构信息, 从 Landsat7 ETM⁺ 全色数据中直接提取区域尺度的城市建筑信息的新方法, 并在此基础上评估了 Landsat7 ETM⁺ 全色数据和 SPOT 全色数据在城市建筑信息提取上的相互替代性。

关键词: Landsat7 ETM⁺; 全色图像; 纹理信息; 结构信息; 城市建筑

中图法分类号: TP751

目前众多的遥感卫星如 SPOT、Landsat7 和 IKONOS 等, 在获取多光谱图像数据的同时, 也可以获取全色图像数据。相对于同一传感器的多光谱通道数据而言, 全色数据空间分辨率更高, 纹理和结构信息更加丰富, 可以提供更加详细的城市地表覆盖信息^[1]。但是, 由于全色图像光谱分辨率较低, 常规的多光谱分类器难以直接应用, 因而目前还只是更多地用于目视解译和与多光谱图像的信息融合处理中, 直接从全色图像中提取高分辨率地表信息的研究还相对较少, 使这一类高分辨率卫星数据还没有得到更加充分的应用^[2]。近年来, 研究者开始重视在分类过程中加入纹理和结构信息, 进行全色遥感数据的处理和信息发掘工作, 如 Zhang 等人利用图像纹理和结构信息, 从 10m 分辨率 SPOT 全色数据上提取了较为准确的城市建筑物信息^[3]; Xu 等直接从 1m 分辨率的 IKONOS 全色数据上提取土地利用/覆盖信息等^[3]。但由于目前计算纹理和结构信息的方法较多, 如何把最佳的纹理和结构信息加入到分类过程中以得到最优的分类结果, 仍需要进一步的研究。

与 Landsat4、5 相比, Landsat7 ETM⁺ 在提供空间分辨率为 30m 的多光谱通道数据的同时, 还可以同时提供波长范围为 0.520~0.920 μm 、空间分

辨率为 15m 的全色数据。目前, 尽管 Landsat7 ETM⁺ 数据已经成为使用最多的遥感数据源之一, 但还主要集中在多光谱数据的使用上, 对具有较高空间分辨率和丰富纹理与结构信息的 Landsat7 ETM⁺ 全色数据的开发利用还相对比较薄弱, 主要集中在与多光谱数据的融合和 DEM (数字高程模型) 的产生等方面^[4,5]。同时, 随着遥感技术的进步, 在同一个城市区域往往能同时获得不同分辨率的多种遥感数据, 如何依据研究目的、条件和数据的价格, 选择合适的遥感数据源, 取得最佳的数据使用效果就显得十分重要^[1]。相对于目前较广泛使用的 10m 分辨率的 SPOT 全色数据而言, Landsat7 ETM⁺ 全色数据更加廉价, 并且具有与其相近的空间分辨率和时间分辨率。

鉴于此, 本文利用 2001 年 5 月同时获取的北京城区 Landsat7 ETM⁺ 全色数据和 SPOT 全色数据, 结合主成分分析方法, 探讨在分类过程中有效复合纹理和结构信息, 直接从 Landsat7 ETM⁺ 全色数据中获取城市建筑物信息的基本方法, 并在此基础上进一步评价 Landsat7 ETM⁺ 全色数据与 SPOT 全色数据在使用上的相互替代性。

为了进行 Landsat7 ETM⁺ 全色图像和 SPOT 全色数据结果的比较, 以 Landsat7 ETM⁺ 全色图像为标准, 选取典型控制点, 采用一次多项式和最邻近

插值法对两景图像进行了严格的图像间的配准处理, 配准后两景图像的位置误差低于 0.3 个像元。

1 计算方法

1.1 计算纹理和结构信息

在目前的图像纹理特征计算方法中, Haralick 等提出的灰度共生矩阵计算方法应用最为广泛^[4]。灰度共生矩阵(空间灰度相关方法)通过对图像灰度级之间联合条件概率密度 $p(i, j/d, \theta)$ 的计算表示纹理特征, $p(i, j/d, \theta)$ 表示在给定空间距离 d 和方向 θ 时, 灰度 i (为始点) 出现灰度级为 j 的概率(频数)。如果用矩阵形式表示, 就为灰度共生矩阵, 通常 θ 的方向为 0° 、 45° 、 90° 和 135° 。如果 d 相对纹理的粗糙度来说很小, 共生矩阵的元素值就集结在对角线附近; 反之, 如果 d 较大, 共生矩阵的元素值将离开主对角线向外散开分布^[7]。Haralick 等一共定义了 14 种纹理特征的计算方法, 本文主要选用了其中平均值、方差、均一性、反差、相异性、熵、角二阶矩、灰度相关等 8 种最常用的方法来计算图像纹理特征^[4]。具体计算过程在 ENVI3.5 软件中完成, 在 d 和 θ 均取 ENVI 软件默认值(d 为 1 个像元距离, θ 方向为 135°) 的情况下, 依据研究需要计算出不同窗口大小的 ETM⁺ 和 SPOT 全色图像的 8 种纹理特征。

对于结构信息, 本文主要选用了最常用的图像边缘密度特征(edge density, ED), 并用 Gong 等提出的方法计算^[8]。首先使用 Laplacian 高通滤波对图像进行滤波, 生成灰度值在 0~255 之间的灰度图像; 然后分析图像直方图特征, 确定 ETM⁺ 图像的阈值为 11, SPOT 图像的阈值为 13, 提取边缘信息, 产生由 255(边缘像元)和 0(非边缘像元)标识的二值化图像; 最后进行图像处理, 生成边缘密度图像^[8]。

1.2 处理流程

本研究的基本处理流程见图 1。

1.2.1 相关预处理

进行相关预处理的基本目的是确定两种图像统一的分类体系、训练样区和精度验证方法。在辅助信息和目视分析的基础上, 把建筑物定为低层建筑(1~2 层)和高层建筑(3 层以上)两类, 对于道路、植被、农田、水体和未利用地等地表类型, 由于研究重点不在于此, 则归并为非建筑物一类。

在此基础上, 进一步选择统一的训练样区, 并确定精度验证方法。其中精度验证方法采用目前遥感分类精度评估中最常用的误差矩阵方法进

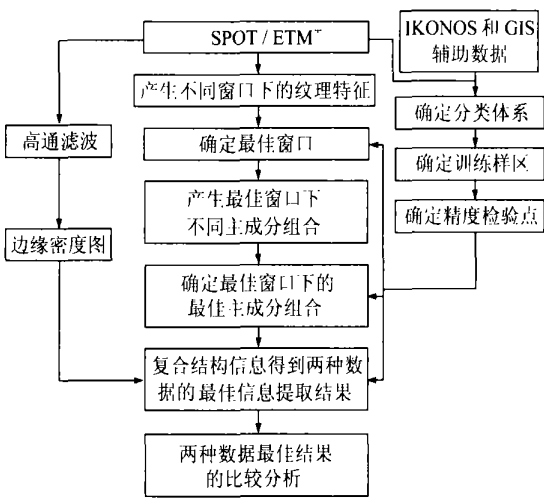


图 1 利用 ETM⁺ 全色数据和 SPOT 全色数据提取空间信息进行建筑物分类研究的流程图

Fig. 1 Flow Chart of Urban Structure Extraction with Spatial Information Derived from ETM⁺ and SPOT Pan Data

行。在 150 个随机检验点的基础上, 通过产生误差矩阵, 并分别计算总精度和 Kappa 系数 K_{hat} 来评估分类结果^[9]。

1.2.2 确定纹理信息复合的最佳窗口

研究表明, 在 SPOT 全色数据的基于灰度共生矩阵的多种纹理信息组合分类中, MEAN+ENT+SM+COR+DIS 的组合效果最好^[2]。因此, 以 MEAN+ENT+SM+COR+DIS 为基础, 分别提取 ETM⁺ 全色数据和 SPOT 全色数据不同窗口下(3×3、5×5、7×7、9×9、11×11、13×13、15×15)的 5 种纹理信息, 然后以此为基础, 进行最大似然分类, 以评价窗口大小对纹理信息分类精度的影响, 确定提取纹理信息的最佳窗口。

1.2.3 确定纹理信息和结构信息复合的最佳组合类型

如何有效地加入纹理信息是全色数据信息提取中必须面对的问题。目前主要通过对各种纹理信息进行不同组合, 来寻找最佳的组合结果, 但该方法最大的问题是需要进行反复的实验求证, 费时费力^[10]。本文首先提取 ETM⁺ 和 SPOT 全色数据最佳窗口下的 8 种常用纹理特征信息并进行主成分分析, 然后对各主成分按照第 1 主成分(PCA1)~第 8 主成分(PCA8)的顺序进行叠加组合, 再进行最大似然分类并评价分类结果, 以便快速有效地得到利用纹理信息的最佳分类结果。

在得到最佳窗口下的最佳主成分组合后, 加入结构信息 ED, 同时复合纹理和结构信息并进行分类, 以得到最优的城市建筑信息提取结果。

1.3.4 ETM⁺ 全色数据和 SPOT 全色数据比较评估

在得到 ETM⁺ 和 SPOT 全色数据最佳信息提取结果后, 在全图像点对点比较的基础上, 以 ETM⁺ 结果为准, 作出 ETM⁺ 结果和 SPOT 结果两者比较的误差矩阵, 同样通过计算总精度和 Kappa 系数 K_{hat} 来评价两个结果的一致性。

2 结果分析

2.1 窗口大小对纹理特征组合分类精度的影响

从表 1 可以看出, ETM⁺ 全色数据纹理信息 (MEAN+ENT+SM+COR+DIS) 组合分类精度随窗口大小的增加而降低 (图 2), 在 3×3 窗口时, 分类精度最高; 而 SPOT 全色数据在 5×5 窗口时, 分类精度最高。因此, 初步确定 ETM⁺ 全色数据的最佳纹理信息提取的窗口是 3×3, 而 SPOT 全色数据的最佳纹理信息提取的窗口是 5×5。

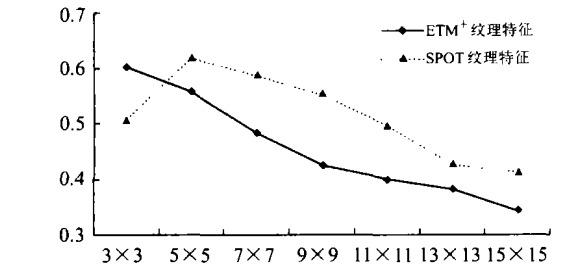


图 2 窗口大小对纹理特征组合分类精度的影响
Fig. 2 Influence of Window Size of Texture Information on Classification Accuracy

2.2 最佳窗口下 PCA 成分组合对分类精度的影响

首先在 3×3 窗口和 5×5 窗口下分别提取出 ETM⁺ 全色数据和 SPOT 全色数据的均值、熵等 8 个纹理特征进行主成分分析, 参考各成分方差贡献率的结果 (表 2), 按照第 1 主成分 (PCA1) ~ 第 8 主成分 (PCA8) 的顺序进行叠加组合, 然后采用最大似然分类得到图 3 和表 3。可以看出, 无论是 ETM⁺ 还是 SPOT 全色数据, 组合的前 5 个主成分分类的总精度最高, 分别达到了 72% 和 78%, Kappa 系数分别达到了 0.60 与 0.61。

2.3 最佳纹理和结构信息复合下的信息提取结果

首先利用 ETM⁺ 和 SPOT 全色数据, 依据上述方法生成各自的边缘密度信息; 然后分别将其与 3×3 窗口下 ETM⁺ 纹理信息的前 5 个主成分和 5×5 窗口下 SPOT 纹理信息的前 5 个主成分

Tab. 1 Influences of Window Size of Texture Information on Classification Accuracy				
窗口大小	ETM ⁺ 全色数据		SPOT 全色数据	
	总精度/ %	Kappa 系数	总精度/ %	Kappa 系数
3×3	75.33	0.603 2	63.33	0.508 1
5×5	73.33	0.558 6	78.67	0.619 8
7×7	69.33	0.484 3	74.00	0.587 1
9×9	61.33	0.425 1	70.00	0.553 4
11×11	60.00	0.399 8	62.00	0.496 2
13×13	61.33	0.382 5	58.67	0.427 8
15×15	60.00	0.341 6	58.67	0.414 4

表 2 各主成分的方差贡献率/ %		
Tab. 2 Variance Contribution in Principle Components Analysis		
	ETM ⁺ 纹理特征	SPOT 纹理特征
PCA1	45.9	50.3
PCA2	17.7	19.8
PCA3	11.1	12.0
PCA4	9.1	8.2
PCA5	7.2	6.3
PCA6	4.5	1.4
PCA7	2.4	1.6
PCA8	2.1	0.4

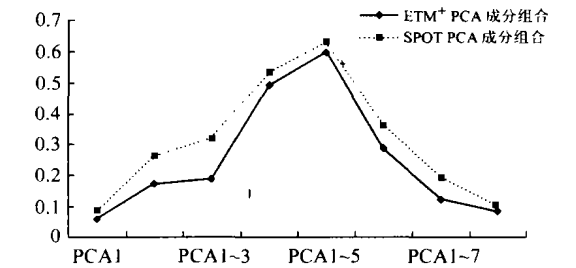


图 3 最佳窗口下 PCA 成分组合对分类精度的影响
Fig. 3 Influences of Combination of PCA Components on Classification Accuracy

表 3 最佳窗口下 PCA 成分组合对分类精度的影响
Tab. 3 Influences of Combination of PCA Components on Classification Accuracy

主成分组合	ETM ⁺ 全色数据		SPOT 全色数据	
	总精度 / %	Kappa 系数	总精度 / %	Kappa 系数
PCA1	30.00	0.061 4	40.00	0.086 9
PCA1 ~ PCA2	45.33	0.174 5	51.33	0.267 2
PCA1 ~ PCA3	49.33	0.191 2	54.67	0.315 5
PCA1 ~ PCA4	65.00	0.492 1	69.33	0.538 4
PCA1 ~ PCA5	72.00	0.600 8	78.00	0.613 6
PCA1 ~ PCA6	46.00	0.287 3	57.33	0.358 4
PCA1 ~ PCA7	44.67	0.123 6	50.67	0.189 1
PCA1 ~ PCA8	37.33	0.086 6	45.67	0.105 3

复合进行最后分类。结果表明, 复合结构信息后, 分类精度都得到提高, 两者的分类总精度分别达到了 81.33% 和 84.00%, Kappa 系数分别为 0.74

表 1 窗口大小对纹理特征组合分类精度的影响

和 0.84 (见表 4、表 5 和封三彩图 1、彩图 2), 信息提取效果较好。

表 4 基于 ETM⁺ 全色数据提取的建筑物信息精度评价

Tab. 4 Accuracy Assessment of Building Information Extraction Based on ETM ⁺ Panchromatic Image						
	参考结果			行总计	行精度/ %	
	低层建筑	高层建筑	非建筑			
	分类结果					
低层建筑	20	1	2	23	86.96	
高层建筑	4	64	12	80	80.00	
非建筑	0	8	38	46	82.61	
列总计	24	73	53	150	—	
列精度/ %	83.33	87.67	71.70	—	—	
总精度: 81.33%; Kappa 系数: 0.74						

表 5 基于 SPOT 全色数据提取的建筑物信息精度评价

Tab. 5 Accuracy Assessment of Building Information Extraction Based on SPOT Panchromatic Image						
	参考结果			行总计	行精度/ %	
	低层建筑	高层建筑	非建筑			
	分类结果					
低层建筑	21	2	1	24	87.50	
高层建筑	2	65	11	78	83.33	
非建筑	1	6	40	47	85.11	
列总计	24	73	53	150	—	
列精度/ %	87.50	89.04	75.47	—	—	
总精度: 84.00%; Kappa 系数: 0.84						

2.4 ETM⁺ 和 SPOT 全色数据比较分析结果

为了定量地比较 ETM⁺ 和 SPOT 图像分类的结果, 将 SPOT 全色图像的最优分类结果图重采

表 6 ETM⁺ 和 SPOT 全色数据建筑信息提取结果比较

Tab. 6 Comparison Between Extraction Results of ETM⁺ and SPOT Panchromatic Images

SPOT	ETM ⁺				
	低层建筑	高层建筑	非建筑	行总计	行精度/ %
低层建筑	868 764	34 945	88 711	992 420	87.54
高层建筑	51 141	1 089 548	27 154	1 167 843	93.30
非建筑	37 564	81 781	756 084	875 429	86.34
列总计	957 469	1 206 274	871 949	3 035 692	—
列精度/ %	90.74	90.32	86.71	—	—
总精度: 89.42%; Kappa 系数: 0.84					

样为空间分辨率为 15m 的图像, 计算结果见表 6。从表 6 可见, 两种图像提取信息相比较, 一致性总精度达到了 89.42%, 一致性 Kappa 系数达到了 0.84, 表明 ETM⁺ 全色波段和 SPOT 全色数据具有一定程度上使用的可替代性。

参 考 文 献

1 Jensen J R, Cowen D C. Remote Sensing of Urban/Suburban Infrastructure and Socio-economic Attributes. PE&RS, 1999, 65(5): 611~622

2 Zhang Q, Wang J, Gong P, et al. Study of Urban Spatial Patterns from SPOT Panchromatic Imagery Using Textural Analysis. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(21): 4 137~4 160

3 Xu B, Gong P, Spear R, et al. Comparison of Different Gray Level Reduction Schemes for a Revised Texture Spectrum Method for Land-Use Classification Using IKONOS Imagery. PE&RS, 2003, 69(5): 529~536

4 Luke P F, Andrew J L, Robert W. Improved Identification of Volcanic Features Using Landsat7 ETM⁺. Remote Sensing of Environment, 2001, 78: 180~193

5 Liu J G. Evaluation of Landsat7 ETM⁺ Panchromatic Band for Image Fusion with Multispectral Bands. Natural Resources Research, 2000, 9(4): 269~276

6 何春阳, 史培军, 陈晋, 等. 北京地区城市化过程与机制分析. 地理学报, 2002, 57(3): 363~371

7 Haralick R M. Statistical and Structural Approaches to Texture. Proceedings of the IEEE, 1973, 67: 786~804

8 Gong P, Howarth P J. The Use of Structural Information for Improving Land-Cover Classification Accuracies at the Rural-Urban Fringe. PE&RS, 1990, 56(1): 67~73

9 Jensen J R. Introductory Digital Image Processing, a Remote Sensing Perspective. New Jersey: Prentice Hall, 1996

10 Shaban M A, Dikshit O. Improvement of Classification in Urban Areas by the Use of Textural Features: the Case Study of Lucknow City, Uttar Pradesh. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22: 565~593

第一作者简介: 何春阳, 博士。主要从事遥感应用与土地利用/覆盖变化研究。
E-mail: hcy@irs.bnu.edu.cn

Incorporation of Texture and Structure Information for Urban Building Detection by Using Landsat7 ETM⁺ Panchromatic Image

HE Chunyang¹ CAO Xin¹ SHI Peijun¹ LI Jing¹

(1 Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disasters Ministry of Education of China, Beijing Normal University, 19 Waidajie Road, Xijiekou, Beijing 100875, China)

Abstract: With the principle component analysis (PCA), this paper presents a new approach to effectively incorporating texture and structure information into the classification procedure to detect urban building in Beijing by using Landsat7 ETM⁺ panchromatic image. The results indicates that the texture and structure information are effectively incorporated into the classification procedure with PCA and are helpful to detect urban building to achieve the accuracy of 81.33%. Besides, the results show that Landsat7 ETM⁺ panchromatic image can be regarded as a good alternative of spot panchromatic image in urban building detection with the identical ratio of the two results reaching 89.42%.

Key words: Landsat7 ETM⁺ panchromatic data; texture; structure; urban building

About the first author: HE Chunyang, Ph. D. engaged in the research on remote sensing of ecology, land use/cover change and urbanization.
E-mail: hcy@irs.bnu.edu.cn

(责任编辑: 涓涓)

(上接第 790 页)

10

Danaher T, Wu X L, Campbell N. Bi-directional Reflectance Distribution Function Approaches to Radiometric Calibration of Landsat ETM⁺ Imagery. IEEE, 2001; 2 654 ~ 2 657

11

Li X W, Strahler A. A Knowledge-based Inversion of Physical BRDF Model and Three Example. IEEE, 1996; 2 173 ~ 2 176

12

Meister G, Lucht W, Rothkirch A, et al. Large Scale Multispectral BRDF of an Urban Area. IEEE, 1999; 821 ~ 823

第一作者简介: 闫利, 教授, 博士生导师。现主要从事遥感信息处理、图像理解与分析等方面的教学和研究工作。
E-mail: liyan@sgg.wtusm.edu.cn

An Improved MODIS BRDF Radiometric Calibration Approach

YAN Li¹ WANG Ying¹ XU Yaming¹

(1 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: Bi-directional reflectance characteristic is one of the most important factors of radiance distortion. This paper discusses the radiance distortion caused by ground bi-directional reflectance character and puts forward an improved bi-directional reflectance distribution function (BRDF) model based on kernel-driven model. The experiment of MODIS radiometric calibration shows that the improved approach is effective for MODIS radiance distortion.

Key words: bi-directional reflectance characteristic; BRDF; MODIS; radiance calibration

About the first author: YAN Li, professor, Ph. D supervisor. He is concentrated on the research and education in remote sensing information processing, image understanding and analysis.
E-mail: liyan@sgg.wtusm.edu.cn

(责任编辑: 洪远)

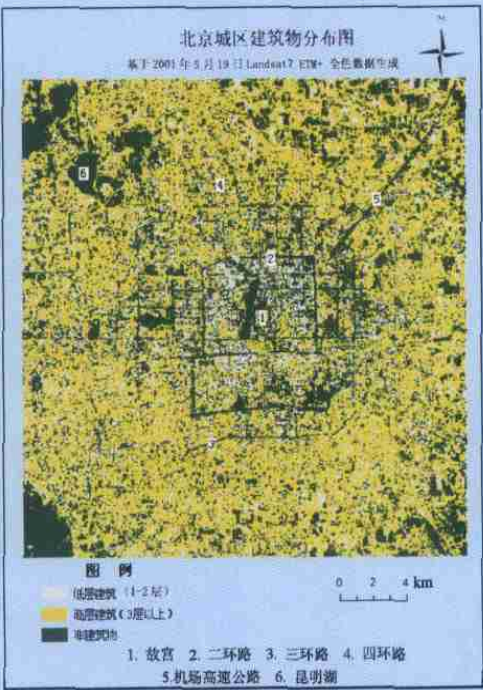


图1 基于Landsat 7 ETM⁺全色数据提取的北京城区建筑物信息图
Fig.1 Building Information of Beijing City Based on Landsat 7 ETM⁺ Panchromatic Image

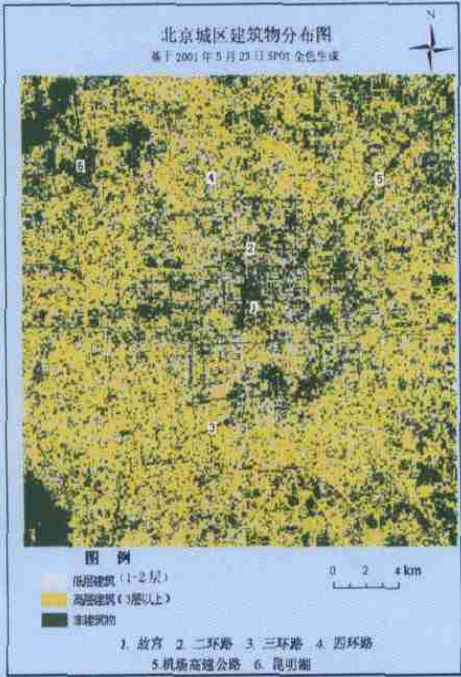


图2 基于SPOT 全色数据提取的北京城区建筑物信息图
Fig.2 Building Information of Beijing City Based on SPOT Panchromatic Image