

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2016.01.018



# 城镇化背景下基于时序 TM/NDVI 的 建成区检测方法 ——以福州市为例

马丹<sup>1</sup>, 刘曙光<sup>2</sup>, 陈雯虹<sup>3</sup>

(1. 福建农林大学 资源与环境学院国土系, 福州 350002; 2. 重庆绿色智能  
技术研究院, 重庆 400714; 3. 厦门保障性安居工程建设投资有限公司, 福建 厦门 361008)

**摘要:**对1990—2010年49景福州市TM时间序列影像进行处理,采用MODTRAN4+模型进行大气校正,得到研究区土地覆盖类型的NDVI值的多时相轨迹图。分析城镇化背景下建成区的变化特征和NDVI时间序列数据的季节特征,添加耕地发展为建设用地的地物特征到学习样本,比较不同数据组合对最大似然法、支持向量机、神经网络法、面向对象法对分类和检测城镇化背景下建设用地精度的影响,以及比较添加样本特征后对城镇化进程中建设用地检测方法的影响。结果表明,对于小样本数据集,面向对象法具有最高的分类精度,不同的数据组合与不同季节对面向对象法分类精度的影响分别达3.49%和5.22%,引入NDVI时间序列数据和添加变化地物的学习样本,总体分类精度提高了3.54%,建设用地的制图精度提高了4.24%。

**关键词:**土地覆盖;时序影像;面向对象法;福州

**中图分类号:** TP751.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1674-4764(2016)01-0129-06

## Monitoring land cover change in urban and peri-urban area using dense time of TM/NDVI data: a case study of Fuzhou city

Ma Dan<sup>1</sup>, Liu Shuguang<sup>2</sup>, Chen Wenhong<sup>3</sup>

(1. School of Resources and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, P. R. China;  
2. Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology, Chinese Academy of Sciences, Chongqing 400714, P. R. China;  
3. Xiamen Investment Company of Low-rent Housing Construction Project, Xiamen 361008, Fujian, P. R. China)

**Abstract:** Atmospheric corrections were conducted with the MODTRAN4+ model for 49 TM data from 1990 to 2010 in Fuzhou. Multi-temporal trajectories of major land cover type were derived from NDVI images. The trends of Mean NDVI were analyzed. To investigate the influence of different data combination on the classification and detection accuracy of different methods, including maximum likelihood classification, support vector machine, artificial neural network, and object-oriented methods, and compared the detection methods before and after adding a sample, the areas converted from cropland to

**收稿日期:** 2015-09-20

**基金项目:** 国家自然科学基金(41401399)

**作者简介:** 马丹(1980-),女,主要从事遥感技术与应用研究,(E-mail)madam\_yurou@163.com。

**Received:** 2015-09-20

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China(No. 41401399)

**Author brief:** Ma Dan(1980-), main research interest: remote sensing technology and application, (E-mail)madam\_yurou@163.com.

built-up land were added to the learning sample. The results show that the object-oriented method is the most accurate method compared with other methods for a small sample. By using the method, the classification accuracy improves up to 3.53% and 4.24% for different data combination and different season respectively. Adding NDVI data and the sample of changing features improves 3.54% of the whole classification accuracy and 4.24% of drawing accuracy of the build-up land.

**Keywords:** land cover; time series of images; object-oriented methods; Fuzhou

遥感技术是监测城市发展和变化的主要手段。利用时间域与 NDVI 数据成为城镇化过程中建成区检测的发展趋势<sup>[1-7]</sup>。过去,一般都是利用两到三景遥感图像,较少利用多个时间序列与季节的信息进行监测城镇化发展进程<sup>[8-9]</sup>。城镇化过程中,一般发展为新城区的主要是耕地,其他土地类型比重很小,而且城区一般不太可能被转回为耕地。因此,主要关注耕地与建设用地的混分问题。一年中至少有一个季节会被种上植被的概率较高,通过多个年份和不同季节的数据可以区分城镇化过程中发展的新城区和休耕地。国外采用不同数据源和最大似然法、神经网络、支持向量机法、面向对象法等方法研究建成区的检测方法<sup>[10-13]</sup>,研究表明利用多个时间序列与季节信息可提高建设用地的分类精度<sup>[5-6]</sup>。中国开始出现利用多时相 MODIS 与 NDVI 数据分离土地覆盖分型和简单地物提取<sup>[14-16]</sup>。但未比较不同数据组合对分类结果的影响,也未引入多时相数据前后的分类精度与不同分类方法进行比较,也未针对分类精度进行分析。本文拟使用 49 景 Landsat TM 小样本数据集,研究 1990—2010 年福州市土地覆盖类型的 NDVI 多时相轨迹,研究城镇化背景下基于时序 TM/NDVI 的建成区检测方法,比较不同数据组合和季节对检测新城区的影响,研究添加的变化地物到学习样本对城镇化进程中的新城区检测精度的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

福州市位于北纬  $25^{\circ}15' \sim 26^{\circ}49'$ , 东经  $118^{\circ}08' \sim 120^{\circ}31'$ , 城区主要位于其南部, 土地覆盖类型以林地为主, 耕地较少, 全年冬短夏长<sup>[17]</sup>。自 2002 年来, 福州市政府提出“东扩南进、沿江向海”的发展策略, 城市快速向南部的仓山区、闽侯县和东部的晋安区、马尾方向快速扩张, 耕地面积迅速减少。福州市在中国东南沿海城市中具有一定的代表性。

### 1.2 研究数据与方法

**1.2.1 数据来源** 研究数据为 1T 级 Landsat TM 数据, 经过系统辐射校正和地面控制点几何校正, 且通过 DEM 进行了地形校正。空间分辨率为 30 m, 数据来源于 <http://www.gscloud.cn> 与 <http://glovis.usgs.gov>。图像的大小为  $2\,669 \times 2\,668$ , 共 7 120 892 个像素, 覆盖面积达  $1\,600 \text{ km}^2$ 。

研究区土地覆盖类型包括耕地、林地、建设用地和水体、沙滩。其中, 建设用地包括所有非植被的人工建筑要素, 公园绿化定义为非城区。耕地若一个像元内作物覆盖度超过 60%, 则认为该像元属于耕地类<sup>[6]</sup>。参与分类评价的总样本为 71 202 个像素, 平均每个类别的学习样本数为 250, 测试样本总数为 405, 分别占比例为 0.35% 和 0.57%。其中耕地 91 个, 林地 98 个, 建设用地 93 个, 水体 75 个, 沙滩 48 个。

表 1 福州市 TM 数据源列表

Table 1 Landsat TM list

年份	年(月)	序号
1990—1995	1999(7);1991(8);1994(5);1995(9)	1~4
1996—2000	1996(9,12);1999(9);2000(4,5,6,7)	5~11
2001—2003	2001(3,5,7,10,11);2002(1,3,5,7,11) 2003(1,2,3,5,11,12);	12~27
2004—2006	2004(1,2,4,10,12);2005(7,11); 2006(3,6,9,11)	28~38
2007—2010	2007(5,7,9);2008(12);2009(1,3,6); 2010(3,5,8,11)	39~49

注:年月栏“1999(7)”表示 1999 年 7 月份的数据,序号指图 1 中横坐标值。

**1.2.2 方法** 首先,检查研究区所有数据的几何精度,对卫星数据 1、2、3、4、5、7 波段进行组合和研究区域裁剪。密集时间堆栈 TM 影像不必进行条带数据修复<sup>[6]</sup>。采用 MODTRAN4+模型进行辐射定标与大气纠正<sup>[18]</sup>。其次,抽取 TM4 和 TM3 波段的表

面反射率计算归一化植被指数(NDVI)。将 NDVI 值不在(-1, +1)的值,其最大值赋值为 1,最小赋值为 -1,绘制主要土地类型的 NDVI 多时相轨迹图。接着,借助 Google Earth VHR(2013)与多季节的 TM 数据,选择训练样本进行判读解译,在学习样本中添加耕地发展为建设用地的样本特征。最后,采用最大似然法、面向对象法、支持向量机和神经网络法分别对 3 种不同组合数据进行分类,并采用分层随机抽样法对分类结果进行评价。

## 2 结果与分析

### 2.1 主要土地覆盖类型的时间序列 NDVI

2.1.1 主要地物类型的 NDVI 的时间趋势分析  
 由图 1 可见,随着年际与年内的变化,各类型的 NDVI 具有明显不同的波形特征,幅值和变化趋势。耕地呈现两极化的双峰循环模式,震荡较为明显,有明显的峰值与峰谷,振幅最高,出现震荡的频率较高;建城区随着时间的推移略有变化,振幅小,震荡频率较低;林地随着时间的改变而呈波浪起伏式变化,振幅不大,略高于建设用地,震动频率与耕地相当。

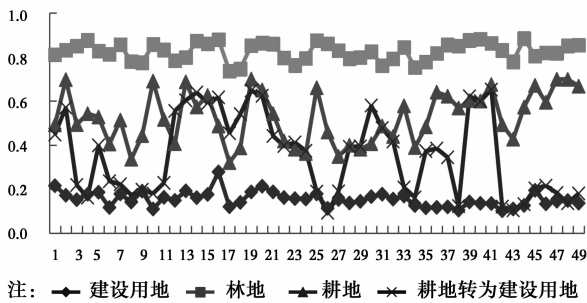


图 1 1990—2010 年福州市土地类型 NDVI 的多时相轨迹  
 Fig. 1 Multi-temporal trajectories of major land cover type spanning 1990 to 2010

2.1.2 耕地发展为建设用地的 NDVI 时间趋势分析  
 随着时间与季节的变化,耕地发展为建设用地在每个阶段内有着明显时间痕迹,随着城市的扩张耕地发展为建设用地的区域具有唯一的时间趋势(表 2)。根据耕地和建设用地 NDVI 值的振幅、时间和频率的不同,可以通过时间将二者进行分离。在耕地发展为新城区之前,与耕地 NDVI 值接近,大体走向与耕地基本一致,呈现耕地两极化的双峰循环特征的时间趋势,但在其发展为新城区后,NDVI 值下降,服从建设用地 NDVI 的时间趋势(图 1)。

表 2 耕地发展为建设用地 NDVI 值出现拐点时间统计

Table 2 Statistics of turning point converted from corpland to urban area

5 个时间段	出现拐点的月份	出现拐点的序列号
1990—1995	1994 年 5 月	4(1~4)
1996—2000	1996 年 12 月	6(5~11)
2001—2003	2003 年 5 月	25(12~27)
2004—2006	2005 年 7 月	33(28-38)
	2006 年 11 月	38(28-38)
2007—2010	2008 年 12 月	42(39-49)

### 2.2 4 种方法分类结果

2.2.1 分类结果总体评价  
 得到研究区 3 种数据组合: TM 经大气纠正后的波段(数据 1)/ NDVI 值(数据 2)/TM 大气纠正后的波段与 NDVI 合成数据(数据 3)的分类结果。以数据 3 作为分类的原始数据得到不同方法的分类结果见表 3 和图 2。面向对象法的尺度分割参数设置为 35;支持向量机采用径向基 RBF 函数,核参数  $\gamma$  值设为 0.048,惩罚参数设为 100;神经网络活化函数选择对数,训练贡献阈值设置为 0.9,权重调节参数设置为 0.2,训练动量参数设置为 0.9,训练中误差退出参数设置为 0.9,隐藏层参数设置为 1。实验表明,面向对象法具有最高的分类精度,达到 84.44%,具有最佳的分类效果,而支持向量机的分类精度次之,最大似然法最低。

表 3 2009 年 6 月 6 日 TM 数据的 4 种分类算法比较

Table 3 Four classification methods comparison of TM data from 6th July, 2009

面向对象法		支持向量机法		神经网络法		最大似然法	
总体精度/%	Kappa	总体精度/%	Kappa	总体精度/%	Kappa	总体精度/%	Kappa
84.44	0.80	79.78	0.74	76.00	0.70	73.33	0.66

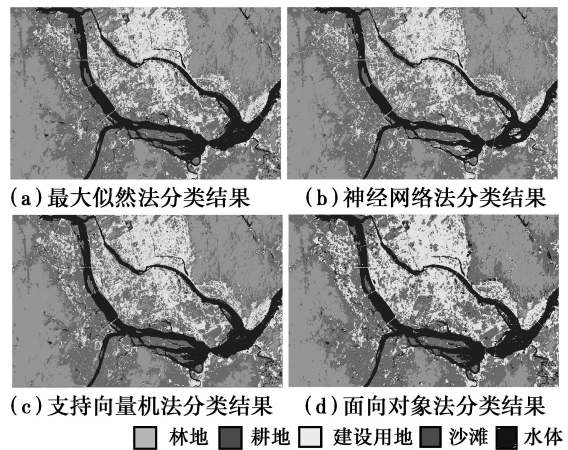


图 2 4 种分类结果图

Fig. 2 Result images from four classification methods

2.2.2 建设用地的精度比较 总体上,面向对象法在各土地类型的综合效果最佳,在各土地覆盖类型都具有较高的精度,且差异较小,其在建设用地分类中具有最高的制图精度和用户精度,见图 3、图 4。

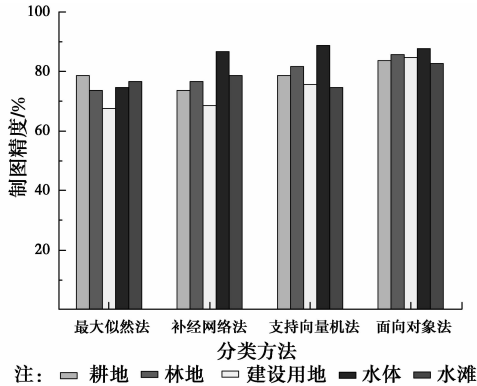


图 3 4 种分类方法的制图精度比较

Fig. 3 Production accuracy comparison with four methods

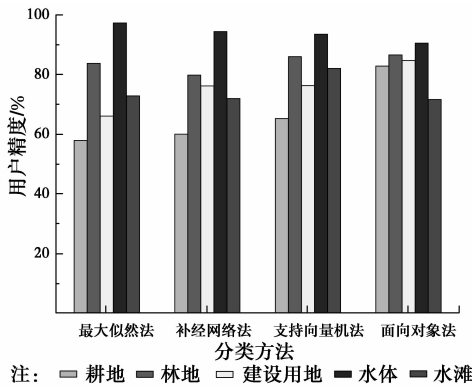


图 4 非 4 种分类方法的用户精度比较

Fig. 4 User accuracy comparison with four methods

各分类方法在各土地类型的制图精度都比较接近,支持向量机法在建设用地的制图精度仅次于面向对象法(见图 3)。除面向对象法外,其他方法在不同土地类型的用户精度差异较大,最大差异值达 40%左右,最大似然法在建设用地的用户精度最低(见图 4)。

2.3 讨论

2.3.1 数据组合对分类方法的影响 通过对多个时段福州市 TM 影像进行多种数据组合,测试多种分类算法的效果,各分类算法的参数通过多次调试,得到每种方法的最佳参数与最佳分类结果。实验表明,多个年份的分类结果显示,无论是采用以上 4 种方法的任一种,数据 3 得到的分类结果都是最佳;以

2009 年 6 月的数据为例,使用 NDVI 数据的分类精度能达 75%,与 TM 原始数据的分类精度略低,不同数据组合的分类精度差值达 3.49%。

表 4 不同数据组合对分类方法的测试结果 (以面向对象法为例)

Table 4 Different combination influence on classification results(object-oriented methods)

数据 1		数据 2		数据 3	
Kappa	总体精度/%	Kappa	总体精度/%	Kappa	总体精度/%
0.78	82.56	0.75	80.95	0.80	84.44

2.3.2 季节对检测新城区的影响 实验表明,2003 年夏季的 TM 影像的分类精度比其他时段的明显要高,不同时间段的选择对面向对象法分类结果影响最高可达 5.22%,见表 5。建设用地和耕地的制图精度和用户精度明显也要比春季与冬季分别高 3.68%与 5.08%,见表 6。总之,同一年不同季节监测建设用地的难度是不同。在春夏季节较易识别建设用地,而在秋冬季节则比较难区分耕地与建设用地。

表 5 不同时间系列总体分类精度 (以面向对象法为例)

Table 5 Total classification accuracy of different time (object-oriented methods)

2003-03		2003-05		2003-12	
总体精度/%	Kappa	总体精度/%	Kappa	总体精度/%	Kappa
84.20	0.8	87.90	0.84	82.72	0.78

表 6 不同时间系列建设用地和耕地的分类精度 (以面向对象法为例)

Table 6 Accuracy of construction and corp land from different time images(object-oriented methods)

月份	建设用地		耕地	
	制图精度/%	用户精度/%	制图精度/%	用户精度/%
2003-03	87.06	74	85.56	82.80
2003-05	88.24	83.33	88.89	85.11
2003-12	76.34	83.53	84.44	87.36

2.3.3 添加地物特征对检测新城区的影响 以 2001—2003 年时间段为例,经过大气纠正后的 2003 年 5 月 TM 影像与 NDVI 合成的数据组合,引入 102 个耕地发展为建设用地的样点到学习样本,占

总学习样本的 40%。

结果表明,添加耕地发展为建成区的样点到学习样本中,总体分类精度提高了 3.54%,建设用地的制图精度提高了 4.24%,见表 7。

表 7 引入地物特征后的面向对象法的分类精度比较  
(以面向对象法为例)

Table 7 Accuracy comparison after added converted features(object-oriented methods)

地物特征	总体		建设用地	
	总体精度	Kappa 系数	制图精度	用户精度
添加地物特征	87.90	0.84	88.24	83.33
未添加地物特征	84.44	0.80	84.00	84.85

2.3.4 其他因素对检测建成区的影响 首先,以上结果都是建立在图像质量较优的基础上,未讨论数据质量(如局部有少量薄云)对分类方法与分类结果的影响。其次,学习样本中引入耕地发展为建设用地的地物特征只选择了一个时间段分类,未能对福州市主要的几个时间段都进行研究,而且未能深入研究添加地物特征的数量对建设用地的分类结果的影响。最后,各种方法的参数设置对分类结果有一定的影响,主要依靠人工多次实践获取理想参数,在最佳参数选择方面有待进一步改进。

### 3 结论

在城镇化背景下基于时序 TM/NDVI 的建成区检测方法研究,以福州市为例,对于小样本的数据集,面向对象法的分类精度最佳,达到 84.44%;不同的数据组合和不同季节对分类精度的最大影响分别达 3.49%和 5.22%;添加城镇化进程中的变化地物特征到学习样本后,分类的总体精度与福州市新城区的制图精度分别提高 3.54%和 4.24%。总之,在城镇化背景下基于时序 TM/NDVI 的建成区检测方法可在一定程度上解决耕地与建设用地的混分问题。

#### 参考文献:

- [1] Ban Y F, Gong P, Gini C. Global land cover mapping using earth observation satellite data: Recent progresses and challenges [J]. ISPRS Journal Photogrammetry and Remote Sensing, 2015, 103: 1-6.
- [2] Li X C, Gong P, Liang L. A 30-year (1984—2013) record of annual urban dynamics of Beijing city derived from Landsat data [J]. Remote Sensing of Environment, 2015, 166: 78-90.
- [3] Rodriguez-Galiano V, Chica-Olmo M. Land cover change analysis of a Mediterranean area in Spain using different sources of data: Multi-seasonal Landsat images, land surface temperature, digital terrain models and texture [J]. Applied Geography, 2012, 35: 208-218.
- [4] Tewkesbury A P, Comber A J, Tate N J, et al. A critical synthesis of remotely sensed optical image change detection techniques [J]. Remote Sensing of Environment, 2015, 160: 1-14.
- [5] Mertes C M, Schneider A, Sulla-Menashe D, et al. Detecting change in urban areas at continental scales with MODIS data [J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 158: 331-347.
- [6] Schneider A. Monitoring land cover change in urban and peri-urban areas using dense time stacks of Landsat satellite data and a data mining approach [J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 124: 689-704.
- [7] 王馨爽, 陈尔学, 李增元, 等. 多时相双极化合成孔径雷达干涉测量土地覆盖分类方法[J]. 测绘学报, 2015(5): 533-540.  
Wang X S, Chen E X, Li Z Y, et al. Multi-temporal and dual-polarization interferometric SAR for land cover type classification [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2015(5): 533-540. (in Chinese)
- [8] 冯晓刚, 李锐, 莫宏伟. 基于 RS 和 GIS 的城市扩展及驱动力研究——以西安市为例[J]. 遥感技术与应用, 2010(2): 202-208.  
Feng X G, Li R, Mo H W. Study of urban expansion and driving factor using RS and GIS—a case study of Xi'an city [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2010(2): 202-208. (in Chinese)
- [9] 王雷, 李丛丛, 应清, 等. 中国 1990—2010 年城市扩张卫星遥感制图[J]. 科学通报, 2012(16): 1388-1399.  
Wang L, Li C C, Ying Q, et al. China's urban expansion from 1990 to 2010 determined with satellite remote sensing [J]. Chinese Science Bulletin, 2012(16): 1388-1399. (in Chinese)
- [10] Stow D A, Shih H C, Coulter L L. Discrete classification approach to land cover and land use change identification based on Landsat image time sequences [J]. Remote Sensing Letters, 2014, 5(10): 922-931.
- [11] Erenner A. Classification method, spectral diversity, band combination and accuracy assessment evaluation for urban feature detection [J]. International Journal of

- Applied Earth Observation and Geoinformation, 2012, 21(1):397-408.
- [12] Paneque-Galvez J, Mas J F, More G, et al. Enhanced land use/cover classification of heterogeneous tropical landscapes using support vector machines and textural homogeneity [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2013, 23:372-383.
- [13] Srivastava P K, Han D, Rico-Ramirez M A, et al. Selection of classification techniques for land use/land cover change investigation [J]. Advances in Space Research, 2012, 50:1250-1265.
- [14] 左玉珊, 王卫, 郝彦莉, 等. 基于 MODIS 影像的土地覆盖分类研究—以京津冀地区为例[J]. 地理科学进展, 2014, 33(11):1556-1665.
- Zuo Y S, Wang W, Hao Y L, et al. Classification study on land cover based on MODIS images—a case of Jing-Jin-Ji area [J]. Progress in Geography, 2014, 33(11): 1556-1665. (in Chinese)
- [15] 刘庆凤, 刘吉平, 宋开山. 基于 MODIS/NDVI 时序数据的土地覆盖分类[J]. 中国科学院研究生院学报, 2010, 27(2):163-168.
- Liu Q F, Liu J P, Song K S. Land cover classification based on MODIS/NDVI times series data [J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2010, 27(2):163-168. (in Chinese)
- [16] 张友水, 原立峰, 姚永慧. 多时相 MODIS 影像水田信息提取研究[J]. 遥感学报, 2007, 11(2):282-284.
- Zhang Y S, Yuan L F, Yao Y H. Study on extraction of paddy rice fields from multi temporal MODIS images [J]. Journal of Remote Sensing, 2007, 11(2):282-284. (in Chinese)
- [17] 《福州年鉴》编纂委员会. 福州年鉴[M]. 北京: 方志出版社, 2014:80-83.
- Fuzhou Statistical Yearbook Committee. Fuzhou statistical yearbook [M]. Beijing: Fangzhi Press, 2014: 80-83. (in Chinese)
- [18] Adler-Colden S M, Matthew M W, Bernstein L S. Atmospheric correction for short-wave spectral MODTRAN4 [C]// SPIE Proceeding, Imaging Spectrometry V, 1999:37-53. (in Chinese)

(编辑 王秀玲)