

# 利用遥感影像划分城乡过渡带方法的研究<sup>\*</sup>

章文波 方修琦 张兰生

(北京师范大学资源与环境科学系 北京 100875)

**摘 要** 提出了一个将TM影像与突变检测方法结合划分城乡过渡带的方法。首先采用二级结构分类方法从TM影像中提取城市用地信息;其次以城市用地比率进行窗口平滑处理,突出城市用地比率的圈层变化特征;最后用均值突变检验中的滑动 $t$ -检验方法对各方向的城乡断面上的城市用地比率进行突变检测,进而根据突变点的空间分布划分出城乡过渡带内、外边界的位置。利用北京1984年和1996年的TM影像进行验证,结果证明上述方法是可行的。

**关键词** 城乡过渡带,突变检测,城市用地比率,TM影像

处于城市与乡村结合部位的城乡过渡带是土地利用/土地覆盖变化最快、最显著的地方之一,二战以后,随着各国城市化过程的加速,城乡过渡带的研究成为诸多领域研究热点。城乡过渡带的划分是研究的基础,同时也是尚未解决的问题。在国内,部分学者曾尝试利用综合社会经济指标或交通可达性划分城乡过渡带<sup>[1,2]</sup>,但由于统计资料多以行政单元为统计单位,高精度、高空间分辨率的统计资料难以获取,且行政界线与实际地物分布常常并不吻合等诸多因素的限制,难以到达很高的精度。TM遥感影像具有较高的空间分辨率,利用TM影像划分城乡过渡带位置较之社会经济指标更客观、更具有优势,但到目前为止,有关城市扩展的遥感应用研究多集中在土地利用分类和专题信息提取的方法和应用方面<sup>[3-6]</sup>,尚未见到有关利用遥感影像进行城乡过渡带的划带研究。

现代城市区域结构可分为城市核心区、城乡过渡带和乡村腹地。从土地利用的角度看,城市核心区总的特征是基本没有农业用地、完全城市化的地区,城乡过渡带是指城市用地与农业用地交错分布、城市发展指向性因素集中渗透地带,乡村腹地是以农业用地为主、基本没有城市用地的地区,城乡断面上城市用地比率由内向外不断降低。划分城乡过渡带就是要确定城乡过渡带与城市核心区以及与乡村腹地分界处的城市土地利用的临界值。

自1972年Thom首次提出了突变理论以来,该理论已被广泛地应用于社会、经济、生态、气候气象、

地理等多个领域的研究<sup>[7]</sup>。突变理论所关心的是系统状态变量 $x$ 在其控制变量 $u$ 连续变化时,状态变量不连续的跳跃现象。突变在统计上的表现为,如果表征某一系统的统计特征量在某点前后的概率分布具有一定信度水平上的差异,则认为在该点发生了突变,突变可分为均值突变、变率突变、翘翘板突变和转折突变4种类型<sup>[8]</sup>。

在地理学中,突变检测已广泛应用于时间序列分析中,但尚未见其在空间分析的应用,本文试图以北京为例,把突变检测方法引入遥感影像的空间分析,用以划分城乡过渡带的空间位置。即首先利用TM影像提取城市用地空间变化信息,再用突变检测方法对城市用地的空间变化进行检验,最后根据突变点的空间分布确定城乡过渡带位置。

## 1 城乡断面上城市土地利用信息提取

### 1.1 城市用地信息提取

以1984年和1996年两个时相的北京幅TM影像为例进行研究。两幅TM影像的成像时间分别为1984年10月2日和1996年4月11日,同时收集了北京市的航片、地形图、行政区划图及有关统计数据等作为背景资料。图像解译前以1:50000地形图作参考底图,采用3次多项式对影像进行几何纠正配准,平均误差0.5个像元,最大误差0.8个像元,使不同时相影像精确匹配。

根据 TM 影像各波段的信息特征分析,选择 TM1+TM4+TM5+TM7 作为欲分类的原始影像,分类的目的是提取城市用地。为减少混合像元以及同物异谱和异物同谱等因素对分类造成的不确定性影响,设计采用二级结构分类方法进行分类。

第一级采用概率松弛的结构分类方法<sup>[5]</sup>,用四邻域像元属于各类别的概率来调整中心像元的概率:

$$p_i^{(k+1)}(X) = \frac{p_i^{(k)}(X) \sum_{r=1}^4 p_i(X_r)}{\sum_j [p_j^{(k)}(X) \sum_{r=1}^4 p_j(X_r)]} \quad (1)$$

式中,  $k$  为迭代次数 ( $k \geq 0$ ),  $X_r$  为中心像元  $X$  的邻域像元,  $r$  为邻域像元编号 ( $4 \geq r \geq 1$ ),  $p_i^{(k+1)}(X)$  为迭代  $k$  次后像元  $X$  属于  $i$  类的概率, 当  $k=0$  时  $p_i^{(0)}(X)$  为最大似然分类后像元  $X$  属于  $i$  类的概率,  $i, j$  为土地利用类别编号, 重复迭代直到两次相近的  $p_i^{(k+1)}(X)$  变化小于给定的阈值或者有变动的像元个数小于给定的阈值。训练区分为城市用地、水体、植被和裸地 4 大类 14 小类, 分类后进行类别合并, 最后分为城市用地、水体及非城市用地 3 类, 城市公园用地作为城市建设的一部分归于城市用地类型。与此同时, 以 TM1, TM4 进行比值运算提取城镇建设用地的专题信息。

第二级以提取的城市用地专题信息对分类结果进行类别校核, 如果某像元在分类结果及提取的专题信息中均属城市用地, 则认为该像元分类正确; 如果某像元在分类结果与提取的专题信息中一方属城市用地, 另一方为非城市用地, 则认为对该像元分类存在问题, 对这类像元重新进行最大似然分类或直接依据专家知识修改, 最后形成城市用地分布图。

根据对 1984 年和 1996 年的影像的分类结果, 得到 1984 年的城市用地及从 1984 年到 1996 年扩展的城市用地分布图(封四图版 I 图 1)。

### 1.2 城市用地比率的平滑处理

从城市核心区经城乡过渡带到乡村, 城市用地比率逐渐减少而农业用地逐渐增加, 为剔除随机变化的影响, 突出城市用地比率圈层变化的总体特征, 在城市用地分布图上开一定大小的窗口, 统计该窗口内城市用地面积占整个窗口面积的比率, 并将该统计窗口在城市用地分布图上按行滑动。滑动比率窗口计算式如下:

$$D(i, j) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N g(i, j)}{N \times N} \quad (2)$$

式中  $N$  为统计窗口大小,  $g(i, j)$  为城市用地分布图上某像元的灰度值,  $i, j$  为相应行、列数, 若该像元为城市用地, 则  $g(i, j)=1$ , 否则  $g(i, j)=0$ 。窗口尺寸  $N$  的选择与城市用地与农业用地斑块大小、分布有关。  $N$  值太小, 难以剔除随机变化的影响;  $N$  值太大, 又可能造成边缘的模糊。一般通过调试选用适当大小的  $N$  值窗口, 以保证窗口在图像上滑动时, 既能剔除随机干扰又不至损失过多的边缘信息。城乡过渡带内侧城市用地图斑分布较密集, 城乡过渡带内界的划分也要求有较高的精度, 而外侧相对稀疏很多, 城市用地比率相对变化较大, 因此平滑处理时对城乡过渡带内界和外界划分采用了不同的  $N$  值, 内界  $N=19$ , 外界  $N=59$ , 生成 2 幅平滑图像。

分别对 1984 年和 1996 年的城市用地分布图进行平滑处理, 经上述处理后生成的城市用地比率分布突出了由城市核心区到乡村腹地不断降低的变化特点。从故宫沿不同方向城市到乡村的城乡断面显示, 这种变化并不是逐渐过渡的, 而是出现了明显的转折(图 2), 具有突变的特征。

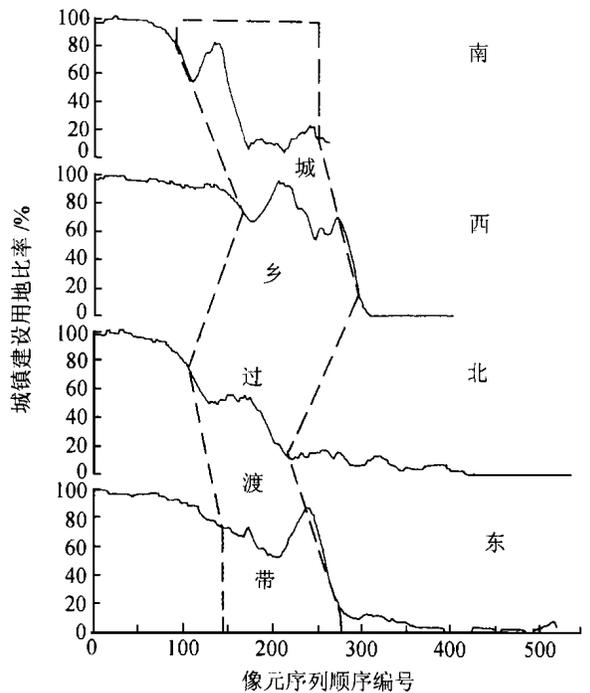


图 2 1996 年北京城市用地比率变化断面图

Fig. 2 Changes of the proportion of urban land use in different directions of Beijing City in 1996

## 2 突变检测与城乡过渡带的划分

城乡断面上城市用地比率的突变, 从整体上分

析属于均值突变或转折突变。均值突变表征系统状态某一特征量从一个平均值到另一个平均值的急剧变化,本文引入均值突变检验方法中的滑动  $t$ -检验方法检测城市用地比率变化转折点的空间位置,进而根据突变点的空间分布确定城乡过渡带内、边外界的位置。

滑动  $t$ -检验是一种用检验两组样本平均值的差异是否显著的方法来检测突变。设有一个序列  $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ , 人为设置某一点为基准点, 基准点前后两段子序列  $x_1$  和  $x_2$  的样本长度分别为  $n_1$  和  $n_2$ , 两段子序列的平均值分别为  $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ 。定义统计量:

$$t = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \left[ \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2)}{2} \right]^{-\frac{1}{2}} (n_1 + n_2 - 2)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left( \sum_{i=1}^{n_1} (x_1(i) - \bar{x}_1)^2 + \sum_{j=1}^{n_2} (x_2(j) - \bar{x}_2)^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

应用时两段子序列长度可取为相同 ( $n_1 = n_2$ ), 在给定信度  $\alpha$  条件下, 查表得出临界值  $t_\alpha$ , 如果  $|t| > t_\alpha$ , 则认为在  $x_i$  处发生了突变。由于  $n$  的选择带有任意性, 具体应用时应结合实际选择恰当的  $n$  值, 并变动  $n$ , 以增加结果可靠性。具体操作方法步骤如下:

(1) 在平滑图像上以城市核心区中心为原点, 向四周每隔  $1^\circ$  向外拉出一条断面线, 每条断面线依次经过的空间像元点值构成一个数据序列  $x$ , 对城乡过渡带内界检测采用  $N=19$  的平滑图像, 外界检测采用  $N=59$  的平滑图像。对序列  $x$  进行突变检测,

检测城乡过渡带内界时子序列长度  $n_1, n_2$  取 20, 外界取 60, 信度水平都取在 99.9% 以上。在生成的突变检测图像上, 使通过信度检验的像元点值为  $|t|$ , 没有通过信度检验的和断面线未经过的像元点值为 0。

总的来看突变检测结果对原点位置选择的变动并不敏感, 只是由于城市形状不规则的干扰, 使得原点位置的选取对突变检测结果在个别方向上产生一定影响, 这主要是因城市用地比率的圈层变化在个别方向上与突变检测序列的方向垂直或近似垂直而检测不到突变特征, 为此可选择多个原点对这些方向分别进行突变检测, 再作图像的叠合运算。城乡过渡带内侧城市用地图斑分布较密集而外侧相对稀疏很多, 城市用地比率相对起伏较大, 使得检测城乡过渡带内、外界时子序列长度取不同的值。

(2) 在滑动比率窗口图像上生成等值线文件, 并叠加在突变检测生成的图像上。

(3) 把突变点依次连接, 局部缺乏突变点的区域以等值线和彩色合成影像为参照, 描绘出城乡过渡带内外边界的位置。描绘时必须保持区域空间上的连续性、完整性, 对一些小城市用地斑块或农用地区做一定的取舍综合。

按以上步骤对 1984 年和 1996 年城市用地比率图像进行突变检测, 并根据检测出来的突变点划分城乡过渡带的内外边界, 结果如图 3。

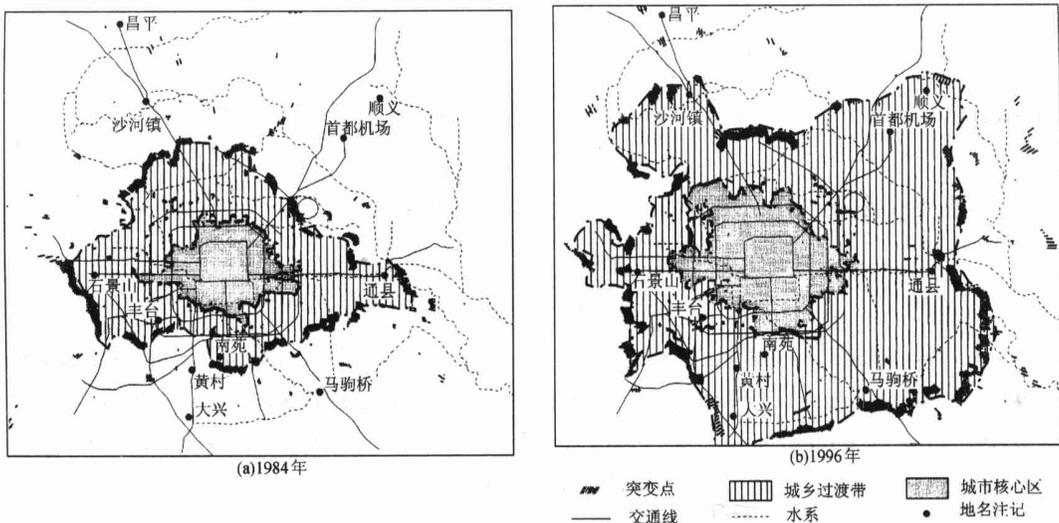


图3 1984年和1996年城市用地比率边界突变检测结果及城乡过渡带的位置

Fig. 3 MT test result of abrupt change of the proportion of urban land use, and the location of the inner and outer boundaries of the urban rural fringe in Beijing City, 1984 and 1996 respectively

### 3 结 论

在遥感分类提取城市用地信息的基础上,把通常用于时间序列分析的均值突变检测方法引入遥感影像的空间分析,划分城乡过渡带的位置,与已有成果相对照,发现 1984 年内界划分结果与范作江等<sup>[9]</sup>划分的城市实体边界十分近似,面积相对误差不到 2%。研究表明,此方法是可行的,在城乡断面上城乡过渡带内界、外界处的城市用地比率均存在均值突变,为客观划分城乡过渡带和利用遥感影像监测城乡过渡带动态变化提供了一个新的途径。

统计结果表明,1984 年和 1996 年两个年份城乡过渡带内、外边界处城市用地的平均比率相近,外边界分别为 14.2%, 12.9%, 内边界分别为 70.6%, 76.3%。至于两者之间的细微差别,可能是突变检测本身的误差所致,也可能是由于城市发展,城乡过渡带被不断填充、扩大,使得城乡断面上土地利用检测出的突变点值发生变化,突变点值具有一定范围宽度。对此有待用更多时相资料作进一步分析验证。

### 参 考 文 献 (References)

- 1 Chen Youqi. On the crisscross zone of city-country and its features and function. *Economic Geography*, 1996, 16(3): 26-31. [陈佑启. 试论城乡交错带及其特征与功能. 经济地理, 1996, 16(3): 26-31.]
- 2 Liang Yunbin, Zhang Wenxin. An analysis for space structure and its evolution in the unite areas between city proper and its countryside in Beijing. *Beijing City Planning & Construction Review*, 1993(1): 32-36. [梁运斌, 张文新. 北京城乡结合部空间结构及其演变分析(上). 北京城市规划建设, 1993(1): 32-36.]
- 3 Li Xia, Anthony Gar-On Yeh. Accuracy improvement of land use change detection using principal components analysis: a case study in

the Pearl River Delta. *Journal of Remote Sensing*, 1997, 1(4): 282-289. [黎夏, 叶嘉安. 利用主成分分析改善土地利用变化的遥感监测精度——以珠江三角洲城市用地扩张为例. 遥感学报, 1997, 1(4): 282-289.]

- 4 Li Xuwen. The combined use of principal component transform and IHS color transform for special signature extraction from TM data. *Remote Sensing of Environment China*, 1992, 7(4): 251-259. [李旭文. 主成分变换和彩色变换在 TM 图像信息提取中的应用——以苏州市为例. 环境遥感, 1992, 7(4): 251-259.]
- 5 Zheng Xingnian, Hu Baoxin, Cui Weihong. Remote sensing experimental study on landuse dynamic analysis in big urban edge area. *Scientia Geographica Sinica*, 1995, 15(1): 47-54. [郑兴年, 胡宝新, 崔伟宏. 大城市边缘区土地利用动态遥感试验研究——以北京市朝阳区为例. 地理科学, 1995, 15(1): 47-54.]
- 6 Dai Changda, Tang Lingli, Chen Gang et al. Monitoring of urban expansion and environment change using satellite remote sensing data. *Remote Sensing of Environment China*, 1995, 10(1): 1-7. [戴昌达, 唐伶俐, 陈刚等. 卫星遥感监测城市扩展与环境变化的研究. 环境遥感, 1995, 10(1): 1-7.]
- 7 Wilson A G. Catastrophe Theory and Bifurcation. Applications to Regioned Systems. Groom Helm London. Univ. of California Press, Berkeley and Los Angeles, 1981.
- 8 Fu Congbin, Wang Qiang. The definition and detection of the abrupt climate change. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1992, 16(4): 482-493. [符淙斌, 王强. 气候突变的定义与检测方法. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493.]
- 9 Fang Zuojiang, Cheng Jicheng, Li Qi. Urban development study: an integrated usage of RS and GIS. *Remote Sensing Information*, 1997, (3): 12-16. [范作江, 承继成, 李琦. 遥感与地理信息系统相结合的城市扩展研究. 遥感信息, 1997, (3): 12-16.]

### 作 者 简 介

章文波,男,1971 年生,博士生。1995 年毕业于陕西师范大学地理系,现在北京师范大学攻读博士。主要从事土地利用、土壤侵蚀及自然灾害等方面的研究。

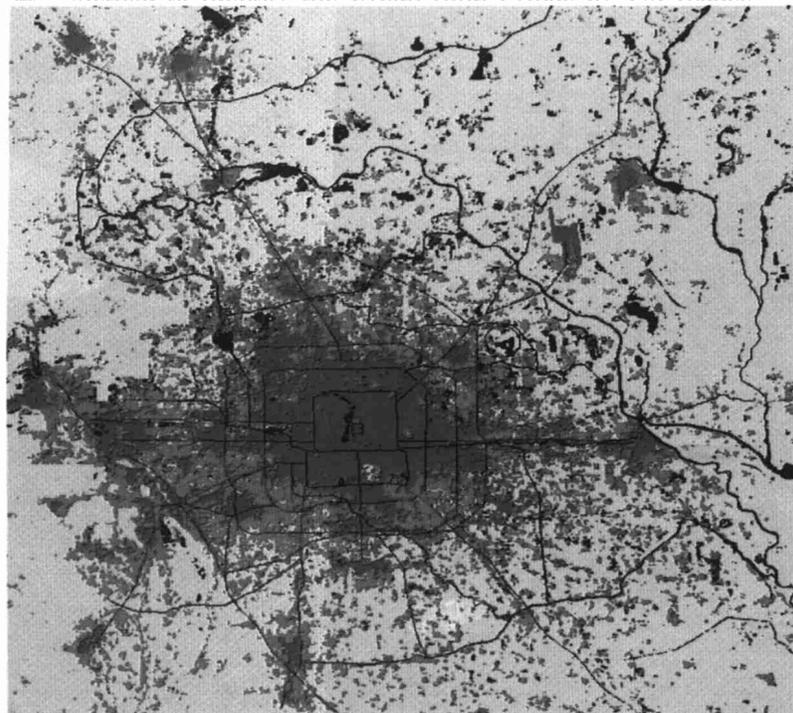
## Method to Identify the Urban-rural Fringe by TM Images

ZHANG Wen-Bo FANG Xiu-Qi ZHANG Lan-Sheng

(Department of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875)

**Abstract** A method is designed in this paper to identify the urban-rural fringe by combining digitally processed remote sensing images and abrupt change test. Firstly, the urban and use information is extracted from the TM images, then it is to calculate the proportion of the urban land use in a given size window on the map of urban land use, and moving the window to smooth the proportion. Finally the moving  $t$ -test of abrupt change is used to detect the abrupt changes for the proportion of the urban land use in the urban-rural sections in all directions, and to identify the position of the inner boundary and outer boundary of the rural-urban fringe between the city and county. Using the TM images of Beijing City in 1984 and 1996, a case study is made to identify the urban-rural fringe with the method mentioned above. The result indicates that the method is practicable.

**Key words** Rural-urban fringe, Proportion of the urban land use, Abrupt change test, TM



1984年城市用地      1984-1996年间扩展的城市用地  
水体      交通线

图1 1984年和1996年城市用地分布图

# 遥感学报

(季刊 1997年创刊)

1999年8月 第3卷 第3期

## JOURNAL OF REMOTE SENSING

(Quarterly, Started in 1997)

Vol. 3 No. 3 Aug. 1999

编辑 《遥感学报》编辑委员会  
北京市安外大屯路中科院遥感所  
邮政编码 100101

主编 徐冠华  
出版 科学出版社  
北京东黄城根北街16号  
邮政编码: 100717

印刷装订 中国科学院印刷厂  
总发行处 北京报刊发行局  
订购处 全国各邮电局  
国外总发行 中国国际图书贸易总公司  
(中国国际书店)  
北京 399 信箱

Editor: Editorial Board of Journal of  
Remote Sensing  
P. O. Box 9718, Beijing 100101, China  
<http://www.irsa.ac.cn>; E-mail: [kxs@irsa.irsa.ac.cn](mailto:kxs@irsa.irsa.ac.cn)

Chief Editor: Xu Guanhua

Publisher: Science Press  
16, Donghuangchenggenbeijie Street  
Beijing 100717, China

Distributed Abroad: China International  
Book Trading Corporation  
(Guoji Shudian)  
P. O. Box 399 Beijing, China

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>