

文章编号: 1007-4619 (2003)04-0309-07

# SPOT 卫星影像居民地信息自动提取的决策树方法研究

赵 萍, 冯学智, 林广发

(南京大学 城市与资源学系, 江苏 南京 210093)

**摘 要:** 以南京市江宁县为研究区域, 首先分析了该区域居民地的影像特征, 然后研究了居民地及其背景地物在 SPOT-4(XI) 卫星影像 4 个波段上的光谱特征, 并由此探讨了它们在光谱特征上的可分性。研究发现, 除道路在光谱特征上与居民地差异不大而难以完全分开外, 其它背景地物均可以依据各波段亮度值的大小关系或适当的阈值与居民地分开。但道路和居民地在形状上存在明显差异, 因此可以利用形状指数的差异加以去除。最后分析建立了基于光谱特征和形状特征的简单决策树模型, 对研究区域居民地信息进行了提取并对结果进行了精度评价。结果表明, 该方法的总体提取效果较好, 特别是对于面积大于  $10000\text{m}^2$  的城镇和集村。其提取精度与通常的监督分类方法相比有了很大的提高, 只是在水际交界处和道路两侧有误判现象。因此, 利用该模型可以将背景地物类型复杂的江南地区的城镇和集村居民地自动提取出来, 并且模型受时相影响较小, 只是在阈值大小上会存在一些差异。

**关键词:** SPOT 卫星影像; 居民地信息; 自动提取; 决策树

**中图分类号:** TP79/F301.24 **文献标识码:** A

## 1 引 言

居民地是人类活动的聚居地, 是人们居住、生活和生产的基本场所。因此, 利用遥感技术及时、准确地掌握居民地的空间分布信息具有极其重要的意义。可以为灾害评估<sup>[1]</sup>、城镇扩展和环境变化研究<sup>[2-4]</sup>等提供必要的基础信息。

居民地信息的提取是遥感专题信息提取的难点之一, 因为居民地是由建筑物、道路、绿地及空地等多种地物类型相互延续, 相互交错而构成的复杂的混合体。而且建筑物的材料、结构和形式的不同, 也导致了居民地在遥感影像上的类间差异。此外, 对于不同的遥感影像和研究区域, 居民地在遥感影像上所表现出来的特征和可识别性也不一样。一般说来, NOAA 图像上能识别到县城以上级的居民地; Landsat TM 图像能识别到乡镇级的居民地; 雷达图像上可识别到具有 1000 人以上的居民区<sup>[5]</sup>。目前, 居民地信息提取的方法仍主要以目视判读和分类的

方法为主。目视判读是建立在对居民地影像特征的识别和提取者的经验知识上的, 具有较高的提取精度, 但其效率较低。而大多数分类的方法又都需要对不同类型的地物人工选取训练样地, 因此, 训练样地的选取精度在很大程度上影响了分类的精度。而且当地物类型复杂时, 受其它地物类型的影响而误判的可能性更大。针对这个问题, 周成虎、杨存建等就基于知识的居民地特征提取模型进行了探讨, 分别研究了 NOAA/AVHRR、TM、日本的雷达卫星 JERS-1 SAR 和 Radarsat SAR 影像数据的居民地信息提取方法<sup>[5,6]</sup>。杨存建等从对居民地遥感信息机理分析入手, 分析了福建省福清市的中部地区居民地在 TM 影像上各个波段与其它地类的可分性, 提出了基于谱间关系阈值法的居民地信息提取的简单实用模型, 对以水泥顶房屋和瓦顶房屋为主的居民地进行了提取<sup>[7]</sup>。杨存建等探讨了利用 SAR 图像中的纹理信息增强居民地专题信息进行目视判读的方法<sup>[8]</sup>。Barry N. Haack 等利用航天飞机成像雷达-B 的图像和 TM 图像结合在一起的方法识别苏丹的居

收稿日期: 2002-01-28; 修订日期: 2002-04-22

资助项目: 中德合作“江宁土地利用与可持续发展研究”(SILUP)项目。

作者简介: 赵萍(1975—), 女, 南京大学城市与资源学系地图学与地理信息系统专业在读博士生, 主要研究方向为遥感图像处理、遥感和 GIS 技术应用研究。发表文章 2 篇。

民地,其总体精度达到 94.1%<sup>[9]</sup>。但是,对 SPOT 多波段影像居民地信息提取的研究还不多,大多都是采用 SPOT 的全色影像与 TM 融合的方法增强信息进行目视解译。潘时祥、朱述龙从遥感制图的角度,以模式识别和图像处理的算法为基础,采用人机交互的方式,实现了一个居民地自动识别的系统,在对一幅北京市海淀区 SPOT 的多波段图像的实验中,识别精度达到了 86.7%,该系统主要适用于街区式居民地和大的农村居民地<sup>[10]</sup>。

本文以南京市江宁县为研究区域,针对这样一个江南城市边缘区居民地的影像特征,对 SPOT-4(XI)卫星影像上居民地及其背景地物的光谱特征和形状特征进行了分析,提出了基于居民地与背景地物各波段亮度值大小关系或阈值以及形状指数的 SPOT 影像居民地信息自动提取的简单实用的决策树模型,并取得了较好的应用效果。

## 2 研究区概况及居民地的影像特征

本研究区位于江苏省南京市江宁县,属于典型的江南低山丘陵地区,土地利用类型以灌溉水田、旱地、林地及水域为主,居民地类型主要是城镇和乡村。所使用的影像资料为 1999-01-21 的 SPOT-4(XI),共有 4 个波段,分别为: B1(0.50—0.59 $\mu\text{m}$ ), B2(0.61—0.68 $\mu\text{m}$ ), B3(0.78—0.89 $\mu\text{m}$ )和短波红外波段 SWIR(1.58—1.75 $\mu\text{m}$ )。为了便于目视判读,在对原始影像进行几何纠正和辐射校正等预处理后,选取 SWIR、B3、B1(R、G、B)三个波段进行假彩色合成,在该合成影像上居民地表现为灰紫色(见图版 I 图 4)。SPOT 影像的空间分辨率为 20m,因此,该影像上的居民地像元多为混合像元,纯净像元较少。

遥感影像所记载的是地表物体对电磁波的反射及地表物体自身的辐射信息。一般情况,居民地中以房屋建筑物为主,间杂有其它地物。其亮度值除了因建筑物自身结构和材料的不同而不同外,也因不同区域所包含地物的种类及其比例分配不同而存在差异。城镇居民地主要由房屋、绿地、高层建筑间的阴影和空地等构成。其内部有纵横交错的道路网,在影像上表现为棋盘状。房屋一般较高大,因此会有一些纯净的建筑物像元,建筑结构主要是框架结构、砖混结构,房顶多为水泥顶或沥青顶。乡村居民地多为集村,少数为散村。集村一般由多户人家聚集居住而成,在影像上表现为团块状。它主要由房屋及其周围小面积的空地和零星的树木等组成,内部一般有小路相通。房屋多

为平顶楼房和平房或尖顶瓦房,楼层一般不高,建筑结构多为砖混结构。从乡村居民地的空间分布特点来说,平原地区,居民地较多、较大,相互之间距离较近,四周一般为水田,部分居民地周围有水塘、沟渠。在低山丘陵地带,居民地较稀少,且相距较远,一般沿山脚呈带状、弧状分布,外围有小片的林地。另外,由于秦淮河横贯全境,流域内河网交错,集聚有大面积的灌溉水田,很多的乡村居民地沿着河网呈带状分布。此外,从时相上来说,居民地光谱信息的变化主要是由旱地、树木、绿地等的季相差异所致。在本研究区,居民地中的树木、绿地一般为常绿,只是在冬季叶子相对地减少,夏季则枝繁叶茂。旱地一般为裸露的土壤表面,但部分旱地也会长有一些草和灌木,并且在夏季更加茂盛。房屋、水泥地面、空地等的光谱特征则基本不随时间变化,仅仅会由于太阳的照射条件、降雨等导致其在散射、发射上的微弱变化。因此,对于建筑物密集、植被较稀疏的城镇居民地而言,其影像特征随季节、时间的变化较小,只有小部分居民地的影像特征在夏季会因为植被的茂盛而被掩盖。对于乡村居民地而言,其周围的农田一般一年四季都种有庄稼,5 至 9 月份一般为水稻,11 月至次年 5 月为小麦和油菜。因此除了在换种期间外,整个大地一片绿色,与居民地光谱特征存在明显差异。但对于部分周围有树木的乡村居民地而言,其影像特征在夏季也会因为植被的茂盛而被掩盖。本影像资料取自 1 月下旬,居民地中的植被并不茂盛,对居民地的光谱特征影响较小,而且居民地周围的农田也多种有小麦和油菜,在假彩色合成图像上为绿色,有利于居民地信息的识别。

## 3 居民地与背景地物的光谱特征分析

根据目视判读,将研究区分为水体、水田、林地、旱地、居民地、道路和阴影 7 种典型地物。对每一种地物选取一定的样本,测定各波段的光谱值,进行最大值、最小值、均值和均方差统计,统计结果列于表 1。为了便于分析,根据这些统计值作出各地物的波谱响应曲线及亮度值分布范围图,见图 1 和图 2。

由表 1、图 1 和图 2 可知:

(1) 典型地物的波段响应关系

水体:  $B1 > B2 > B3 > SWIR$ ,  $B3$  和  $SWIR$  亮度值相近,光谱值都较小。这是因为水体在这两个波段上,具有很强的吸收性。

水田:  $B3 > SWIR > B1 > B2$ ,  $B1$  的  $SWIR$  亮度值相近。

林地:  $B3 > SWIR > B1 > B2$ ,  $B1$  的  $SWIR$  亮度值相近。

旱地:  $SWIR > B2 > B1 > B3$ ,  $B1$ 、 $B2$ 、 $B3$  的亮度值相近。

居民地:  $B1 > B2 > SWIR > B3$ ,  $B1$ 、 $B2$ 、 $SWIR$  的亮度值相近。

道路:  $SWIR > B2 > B1 > B3$ ,  $B1$ 、 $B2$ 、 $SWIR$  的亮度值相近。

阴影:  $B1 > B2 > SWIR > B3$ ,  $B2$  和  $SWIR$  亮度值相近。

由此可以看出,①居民地、旱地、道路和阴影的光谱响应曲线的走势大体相似,均有  $SWIR > B3$  且  $B2 > B3$  的特点。②水田和林地的光谱响应曲线的走势大体相似,具有  $B3 > B2$  且  $B3 > SWIR$  的特点。这是因为植被在可见光区受植被绿色素、黄色素特别是叶绿素的影响,是光的强烈吸收区;在近红外区,主要受植物叶片内部结构的作用,强烈反射近红外辐射;在短波红外区主要受植物叶片内部所含水分控制,反射率减小。因此,根据这两点明显的差异,可以首先根据①几乎完全排除水田、林地,同时由于水体具有  $B3 > SWIR$  的特点也可去掉绝大部分的水体。

(2) 典型地物间亮度值关系

在  $B1$  上:道路  $>$  旱地  $>$  居民地  $>$  水田  $>$  水体  $>$  林地  $>$  阴影,居民地与旱地、水田、水体几乎重叠,三者极易混淆,而与林地、阴影差异较大;

在  $B2$  上:道路  $>$  旱地  $>$  居民地  $>$  水田  $>$  水体  $>$  林地  $>$  阴影,居民地与水田、旱地易混淆,而与水

体、林地、阴影差异较大;

在  $B3$  上:水田  $>$  旱地  $>$  道路、林地  $>$  居民地  $>$  阴影  $>$  水体,居民地与各类地物差异均较大;

在  $SWIR$  上:旱地  $>$  道路  $>$  水田  $>$  居民地  $>$  林地  $>$  阴影  $>$  水体,居民地与水田易混淆,而与其它地物的差异均较大。

从图2上可明显看出,在  $B1$ 、 $B2$  上,居民地可以与林地、阴影分开;在  $B3$  上,居民地可以与水体、阴影和水田分开;在  $SWIR$  上,居民地可以与水体、旱地和阴影分开。

表1 典型地物样点亮度值统计表

Table 1 The statistical table of samples' spectral values

地物	水体	水田	林地	旱地	居民地	道路	阴影
B1	最小值	85	95	76	90	103	104
	最大值	131	112	96	130	115	149
	均值	102	106	85	110	108	121
	均方差	10	3	6	8	3	12
B2	最小值	65	84	60	86	96	96
	最大值	132	105	84	135	112	164
	均值	85	96	71	112	102	122
	均方差	13	4	7	10	4	19
B3	最小值	35	111	78	87	69	78
	最大值	73	182	133	130	94	132
	均值	47	136	101	106	79	99
	均方差	7	20	13	9	6	15
SWIR	最小值	29	95	60	140	81	93
	最大值	53	144	130	192	126	188
	均值	42	108	86	166	100	130
	均方差	4	9	17	14	10	26

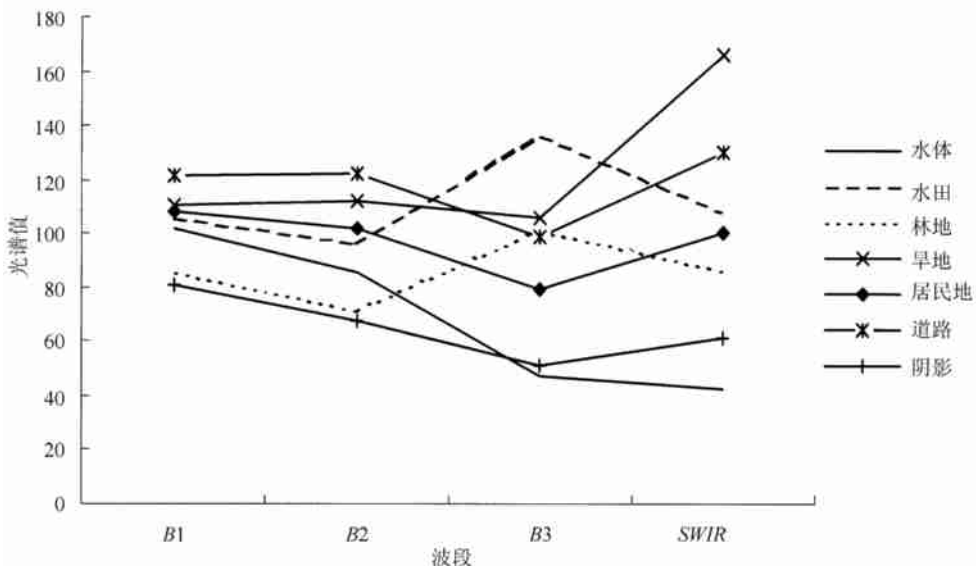


图1 典型地物的波谱响应曲线

Fig.2 The spectral response curves of typical objects

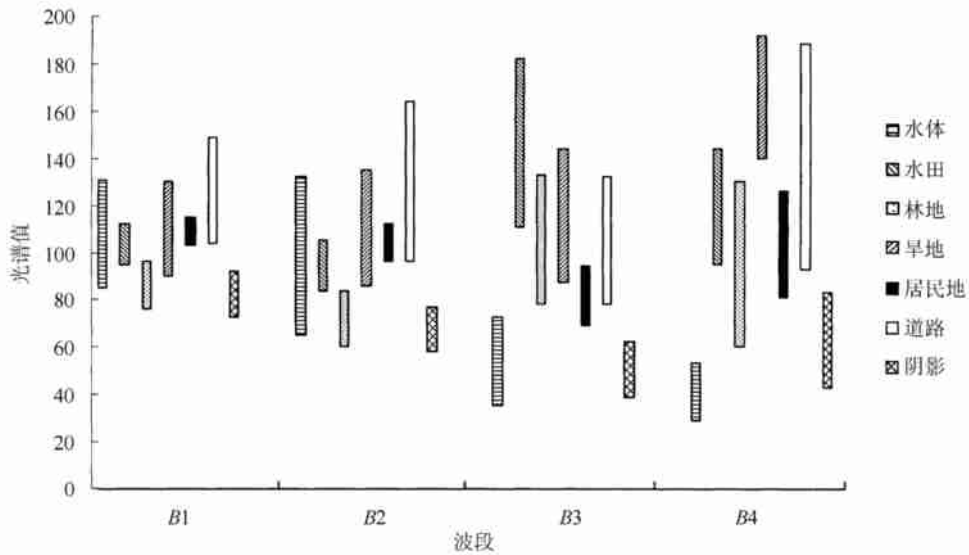


图 2 典型地物亮度值分布范围

Fig. 2 The range of typical objects' spectral values

根据上述分析可知,居民地与道路无论是在各波段的亮度值大小,还是在各波段间大小关系(即光谱曲线形状)上,都很难完全区分开来。但是,居民地与道路在形状上却存在着明显的差异。在 SPOT 影像上,只有城镇和集村向外辐射出的较大的道路才能表示出来,宽度一般为 1—2 个像元,形状为线性。而居民地的形状在影像上多表现为团状、带状。这种形状上的差异可以用形状指数来衡量,一般来说,线性物体的形状指数较小。形状指数  $I$  的定义如下:

$$I = \sqrt{S/P}$$

其中,  $S$  为图斑面积,  $P$  为周长。按照此式计算图斑的形状指数并加以统计,得出一般道路的形状指数  $I < 0.1$ , 因此,可以根据该条件将道路去除<sup>[11]</sup>。

#### 4 自动提取居民地信息的决策树方法

决策树是遥感图像分类中的一种分层处理结构,其基本思想是通过一些判断条件对原始数据集逐步进行二分和细化。其中,每一个分叉点代表一个决策判断条件,每个分叉点下有两个叶节点,分别代表满足和不满足条件的类别。这种方法不仅不需要依赖任何先验的统计假设条件,而且可以方便地利用除亮度值以外的其它知识,所以在遥感影像分类和专题信息提取中已有广泛的应用<sup>[12-14]</sup>。本文根据上述分析,提出以下利用决策树方法进行居民地信息提取的基本思路:

(1) 根据  $SWIR > B3$ , 且  $B2 > B3$  提取居民地、

旱地、道路和阴影,并将提取结果与原始图像进行叠加,发现林地和水田几乎排除,但还混有少量的水体。

(2) 对混入的少量水体进行采样,发现它们主要是一些亮度值较低的水体。根据前面的分析可知,水体在  $SWIR$  波段与其它地物相比亮度值明显较低,因此可以设定阈值  $T1$  加以去除。根据样本统计,水体在  $SWIR$  波段上的亮度值范围为 29—53, 均值为 42; 居民地、旱地、道路均远超出该范围,阴影为 43—83, 与水体、居民地有重叠,其均值为 61。为了不多去除居民地,确定阈值范围  $T1$  在 55—56 左右,然后反复尝试最终确定以  $SWIR < 60$  去除混入的水体,同时由于阴影在  $SWIR$  波段上光谱值与水体相似而有一部分被除去。

(3) 从前面的分析可知,居民地与阴影在  $B1$  和  $B2$  波段上亮度值差异较大,可以通过设定阈值  $T2$ 、 $T3$  分开。观察影像  $B1$  和  $B2$  波段的直方图,发现分别在 96 和 84 附近有谷值。同时根据样本统计,居民地在  $B1$ 、 $B2$  波段上亮度值范围分别为 103—115, 96—112; 而阴影分别为 73—92, 58—77。因此初步确定  $T2$  在 95—100 左右,  $T3$  在 80—95 左右,后经反复尝试确定以  $B1 < 100$  或  $B2 < 85$  去除仍存在的阴影。

(4) 旱地在  $SWIR$  和  $B3$  波段上亮度值要比居民地大得多,因此可以利用阈值  $T4$ 、 $T5$  去除。根据采样统计,在这两个波段上旱地亮度值范围分别为 140—192, 87—130; 居民地分别为 81—126, 69—94,

同时结合其均值情况初步确定  $T4$  和  $T5$  分别为 125—140 左右、90—100 左右,反复尝试后确定以  $SWIR > 130$  或  $B3 > 90$  去除旱地。

(5) 首先将上述影像格式的结果进行综合处理

后转换为矢量层,然后根据形状指数公式计算各图斑的形状指数,再根据  $I < 0.1$  去除道路。

上述居民地信息的提取过程可以用流程图 3 表示,其实质是一种逐步排除的方式。

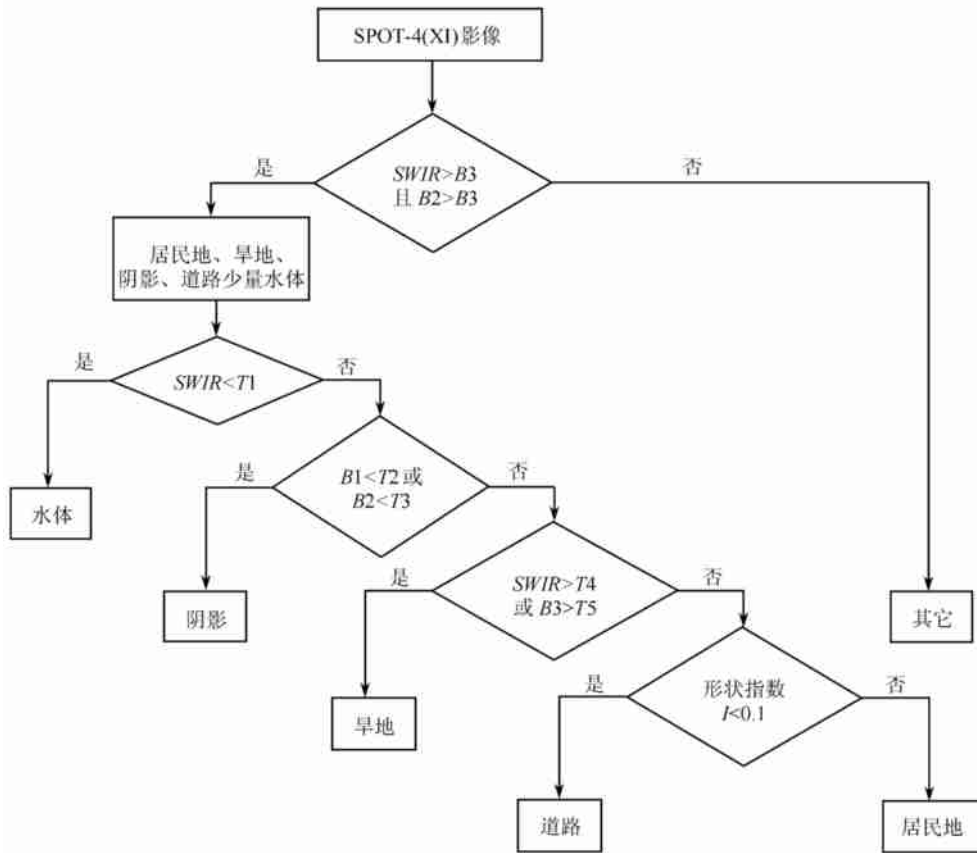


图 3 居民地自动提取流程图

Fig. 3 The flow chart of automatic extraction of residential information

## 5 结果与讨论

将利用上述方法提取的结果与原始影像进行叠加(图 4,图版 I),采用目视判读检验其提取效果,认为该方法的总体提取效果较为令人满意,特别是对于面积在  $10000\text{m}^2$  以上的居民地。为了评价其精度,随机选取了 256 个样本,建立混淆矩阵,计算其生产者精度、用户精度以及 Kappa 系数,并将其与常规的监督分类(见图 5,图版 I)提取精度进行了比较(见表 2)。结果表明,其精度都比监督分类有了很大的提高,生产者精度提高了 23.38%,用户精度提高了 12.27%,Kappa 系数提高了 0.135。并且经检验发现其误判的像元主要是位于水陆交界处和道路两侧的像元。这是因为水陆交界处的混合像元大多由长有稀疏灌木等草类植物的旱地、沙石混合而

成,在光谱特征上与居民地十分相似,因而会被多提。而道路两侧居民地则由于常常沿道路呈窄带状分布,形状上与道路相似,而会被去除。根据这样的情况,下一步的工作可以考虑建立基于空间关系知识的判断规则进一步进行判断处理。

总之,该研究表明,通过简单的基于各波段亮度值大小关系或阈值以及形状指数的决策树模型可以将这种背景地物类型复杂的江南地区的城镇和集村居民地提取出来,并且该模型受时相影响较小,只是在阈值大小上会存在一些差异。

表 2 提取方法的精度评价

提取方法	样本数	生产者精度%	用户精度%	Kappa 系数
监督分类	256	52.00	72.73	0.6768
决策树方法	256	75.38	85	0.8118

## 参 考 文 献 (References)

- [1] Xu Xueren, Wan Qin. Quantitative Study on Spatial Distribution of Rural Settlement in Floodplains and Discussion of Its Application [J]. *Geographical Research*, 1997, **3**: 47-53. [徐雪仁, 万庆. 洪泛平原农村居民地空间分布特征定量研究及应用探讨[J]. 地理研究, 1997, **3**: 47-53.]
- [2] Fang Shibo, et al. Dynamic Monitoring of Town Extension by Using TM and SPOT Remotely Sensed Data [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2000, **23**(3): 49-52 [房世波等. 利用 TM 和 SPOT 遥感影像对南京市城镇用地扩展的监测[J]. 南京农业大学学报, 2000, **23**(3): 49-52.]
- [3] Anthony Gar-On Yeh, Xia Li. An Integrated Remote Sensing and GIS Approach in the Monitoring and Evaluation of Rapid Urban Growth for Sustainable Development in the Pearl River Delta, China [J]. *International Planning Studies*, 1997, **2**(2): 193-210.
- [4] Dai Changda, et al. Research on Using Satellite Remote Sensing to Monitor Urban Expansion and Environment Change [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1995, **10**(1): 1-7. [戴昌达等. 卫星遥感监测城市扩展与环境变化的研究[J]. 环境遥感, 1995, **10**(1): 1-7.]
- [5] Floyd M H, Zong-Guo Xiao. Sar. Application in Human Settlement Detection, Population Estimation and Urban Landuse Pattern Analysis: A Status Report [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing*, 1997, **35**(1): 93-101.
- [5] Zhou Chenghu, et al. Geoscientific Interpretation and Analysis of Remote Sensing Images [M] Beijing: The Science Press, 1999. [周成虎等. 遥感影像地学理解与分析[M]. 北京: 科学出版社, 1999.]
- [6] Yang Cunjian, et al. Extracting Residential Area from TM Image on the Basis of Knowledge Discovered [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2001, **16**(1): 1-6. [杨存建等. 基于知识发现的 TM 图像居民地自动提取研究[J]. 遥感技术与应用, 2001, **16**(1): 1-6.]
- [7] Yang Cunjian, Zhou Chenghu. Extracting Residential Areas on the TM Imagery [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2000, **4**(2): 146-150. [杨存建, 周成虎. TM 影像的居民地信息提取方法研究[J]. 遥感学报, 2000, **4**(2): 146-150.]
- [8] Yang Cunjian. Enhancing the Settlement Information in SAR Imagery [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 1998, **13**(4): 5-8. [杨存建等. 星载 SAR 图像中居民地专题信息增强的方法探讨[J]. 遥感技术与应用, 1998, **13**(4): 5-8.]
- [9] Barry N. haack, E. Terrance Sionedker. Merged Space Borne Radar and Thematic Mapper Digital Data for Locating Village Sudan [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1994, **60**(10): 1253-1257.
- [10] Pan Shixiang, Zhu Shulong. Study on Automatic Extraction of Settlements from Satellite Remote Sensing Images [J]. *Remote Sensing Information*, 1993, **30**(4): 2-4. [潘时祥, 朱述龙. 卫星遥感图像上居民地自动识别的研究[J]. 遥感信息, 1993, **30**(4): 2-4.]
- [11] Li Xia. A New Method to Improve Classification Accuracy with Shape Information [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1995, **10**(4): 279-287. [黎夏. 形状信息的提取与计算机自动分类[J]. 环境遥感, 1995, **10**(4): 279-287.]
- [12] Marc Simard, et al. The Use of Decision Tree and Multiscale Texture for Classification of JERS-1 SAR Data over Tropical Forest [J]. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 2000, **38**(5): 2310-2321.
- [13] Du Jinkang, et al. Study on Water Bodies Extraction and Classification from SPOT Image [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2001, **5**(3): 214-219. [都金康等. SPOT 卫星影像的水体提取方法及分类研究[J]. 遥感学报, 2001, **5**(3): 214-219.]
- [14] Wang Jian, et al. Primary Study on the Multi-Layer Remote Sensing Information Extraction of Desertification Land Types by Using Decision Tree Technology [J]. *Journal of Desert Research*, 2000, **20**(3): 244-247. [王建等. 利用遥感信息决策树方法分层提取荒漠化土地类型的研究探讨[J]. 中国沙漠, 2000, **20**(3): 244-247.]

## The Decision Tree Algorithm of Automatically Extracting Residential Information from SPOT Images

ZHAO Ping, FENG Xue-zhi, LIN Guang-fa

(Urban & Resources Sciences Department in Nanjing University, Nanjing 210093)

**Abstract:** Extracting residential information by remote sensing technology is significant for the loss estimation of natural disaster and the study of urban extension and environmental change. In this paper, taking Jiangning county of Nanjing as a case study area, the extraction of residential information from SPOT images is discussed. Firstly, the characteristics of residential areas in this area on this image are studied, secondly, spectral characteristics of residential areas and other land-use types on SPOT-4(XI) image are analyzed to find the possibility of extracting residential areas from the background according to spectral characteristics. Thirdly, a simple model of decision tree is proposed on the basis of spectral magnitude relations and some proper thresholds of residents and other land-use types. But some roads still cannot be separated from residential areas because their spectral characteristics are similar. Therefore, their shape characteristics are analyzed. The result is generalized and converted to vector coverage. Then the shape indexes of every spots are calculated and categorized choosing a threshold to remove the roads. Finally, the vector coverage of residential areas is overlaid on the original image to check the effectness of this model, and an accuracy assessment is given to the result by random samples. The results suggest that this model is simple and effective, especially for the residential areas over  $10000 \text{ m}^2$ , and the analyzed for is much higher than the supervised classification's, however, some pixels near the water-bodies and the roads are judged by mistakes. This problem can be solved by the rule judgment based on the knowledge of spatial relations. Therefore, the cities, towns and villages in the south of Yangze River where there are various types of land cover can be extracted from the images by this model, and the model is not limited by the time, only the thresholds will be changed.

**Key words:** SPOT images; residential information; automatic extraction; decision tree algorithm

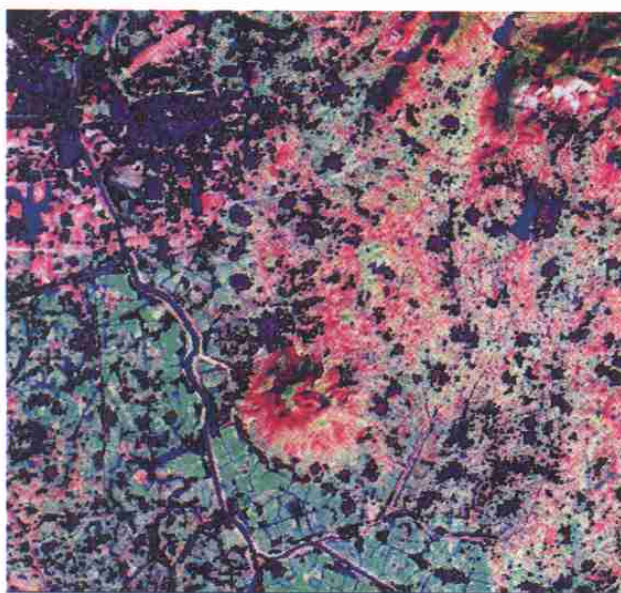


图 4 决策树提取方法的效果图

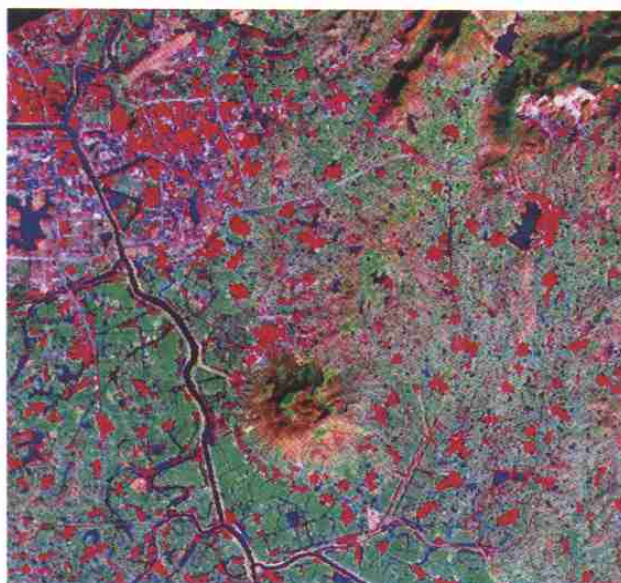


图 5 监督分类结果