

引用格式: 邓刘洋, 沈占锋. 城市建成区遥感影像边界提取与扩张分析[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(7): 996-1003. [Deng L Y, Shen Z F. Built-up area extraction and urban expansion analysis based on remote sensing images[J]. Journal of Geo-information Science, 2018, 20(7): 996-1003.] DOI:10.12082/dqxxkx.2018.170571

城市建成区遥感影像边界提取与扩张分析

邓刘洋^{1,2}, 沈占锋^{1,2*}, 柯映明^{1,2}

1. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049

Built-up Area Extraction and Urban Expansion Analysis Based on Remote Sensing Images

DENG Liuyang^{1,2}, SHEN Zhanfeng^{1,2*}, Ke Yingming^{1,2}

1. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Urban expansion is a complex time-conversion process, in which the different land use types are converted into urban land. The expansion of urban land use affects not only the development of the city itself, but also has a great impact on the ecological environment in urban areas. Taking into account the insufficient accuracy of urban built-up area extraction from a single data source alone, this paper analyzed the urban spatial expansion characteristics of Yucheng County in Henan Province based on the built-up area extracted by the decision tree classification and statistics variable extraction method from remote sensing imagery. In this experiment, the mean shift segmentation algorithm is used to segment the high spatial resolution image (GF1) firstly, then, based on the decision tree classification algorithm, image segmentation blocks were classified into three categories: cultivated land, water and construction land. Finally, the standard deviation information based on the land use type in 0.1 km × 0.1 km window is used to obtain built-up boundary. Taking Yucheng County as an example, the built-up area data is firstly extracted from high-resolution GF1 image (2017) and then, based on this data, we got the built-up area boundary of Yucheng county in 2000, 2009 and 2013 from temporal TM images, and finally analyzed urban expansion characteristic. The results show that the data of built-up area extracted from high spatial resolution imagery is more reliable by mentioned method. In this paper, the boundary of the built-up area has been further improved by the generalized supervised classification extraction method, with an accuracy of 89%. This paper showed a trade-off in the study of urban expansion to solve the problem of the low accuracy caused by only depended on low spatial resolution image and the low efficiency caused by only depended on high spatial resolution imagery to extract built-up area by using one high-resolution image and multiple low-resolution images.

Key words: built-up area extraction; mean shift; remote sensing images segmentation; remote sensing classification; urban expansion

*Corresponding author: SHEN Zhanfeng, E-mail: shenzf@radi.ac.cn

收稿日期 2017-12-28; 修回日期: 2018-02-20.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFB0504204、2016YFB0502502)。[**Foundation items:** National Key Research and Development Program of China, No.2017YFB0504204, 2016YFB0502502.]

作者简介: 邓刘洋(1992-), 男, 硕士生, 研究方向为遥感信息计算。E-mail: dengly@radi.ac.cn

*通讯作者: 沈占锋(1977-), 男, 博士, 研究员, 研究方向为高分辨率遥感影像信息提取。E-mail: shenzf@radi.ac.cn

摘要 针对城市建成区提取过程中,仅依赖单一数据源导致精度不够的问题,本文基于面向对象分类方法和利用土地类型信息标准差统计变量,实现遥感影像中城市建成区边界的提取,并以该建成区为依据对河南省虞城县的城区空间扩张特征作了分析。实验中首先采用均值漂移分割算法对高分一号遥感影像实现分割,然后利用决策树分类算法实现土地利用类型分类,最后基于 $0.1\text{ km} \times 0.1\text{ km}$ 窗口统计土地利用类型标准差信息,获取建成区边界。面向实际应用,以河南省虞城县为例,采用高分一号影像获得虞城县2017年建成区数据,并基于该数据采用多个TM影像提取城区其他年份的建成区边界,实现河南省虞城县城区空间扩张特征分析。结果表明,本文方法获取的建成区边界精度较一般的监督分类提取边界有进一步的提高,精度达到89%。进而说明结合高分辨率影像提取多个年份的建成区数据的可靠性,在城市扩张研究中,对仅利用低空间分辨率提取精度不够问题和仅利用高分影像提取效率低等问题提供了较好的解决方案。

关键词 建成区提取;均值漂移;遥感影像分割;影像分类;城市扩张

1 引言

目前关于建成区范围的概念还没有统一的标准,不同的学者对建成区的理解也存在差异^[1-5]。总体来说建成区是指城市行政区范围内,建设分布相对集中的建筑物、市内公共设施及城市道路等所在地区。本文所述的建成区是基于遥感影像提取的城市建成区边界信息。建城区的外围通常是农村地区,在遥感影像上对应呈现的是大面积耕地、林地等区域;在建成区内部通常为聚集的城市建筑物用地,公共基础设施等。

城市扩张是城市在发展过程中的一种地域空间的向外推进与扩展,受城市中心的经济、社会政治和文化、等人文内部作用因素,以及地质地貌、土地利用等自然外部因素的影响。城市的空间扩张是城市化的一种基本特征。随着全球城市化进程的加快,中国的城镇化速度惊人,城市空间扩展过快,造成城市用地浪费,并侵占大量耕地,加剧了“人多地少”的矛盾。对城市扩展的研究能较好的分析城市用地扩展的模式,从而合理的运用土地资源。基于遥感GIS技术,结合相应的综合软件系统,快速、智能化的生成建筑物矢量图,并在此基础上实现城市扩张、准确把握城市的建设规模和发展趋势、评估城市经济发展水平等一系列研究。在城市建筑物提取方面,国内外学者提出了大量的方法和模型,主要为:①结合遥感影像地物的光谱、形状、边缘结构、几何结构以及基于屋顶建筑物材料等底层特征实现建筑物提取;②利用阴影信息,结合计算机视觉、模式识别和机器学习等学科领域辅助建筑物提取;③基于区域分割的方法,利用面向对象的影像分析技术,实现图像分割与目标提取。图像分割是面向对象遥感图像分析的前提和基础,图像分割的质量很大程度上决定了影像目标地物的提取精度。在已有的实际试验分割操作中,商业

化软件eCognition提出的多分辨率分割算法模型使用率较高,它常常被用于实验分割的某一步骤,或者作为比较对象出现^[6-9]。均值漂移分割算法是一种基于梯度的优化算法,在效果方面较多分辨率分割算法呈现出一定的优势,能够满足高分辨率影像分割的对象化需要^[10]。综上,对城市建成区提取的重点为单一数据源算法的研究。遥感数据具有大规模、快速、获取地面信息的特征,充分利用遥感影像中的光谱、时间信息,以及高空间分辨率影像的空间特征,综合多源遥感数据实现建成区的提取与城市扩张特征分析。

建成区区域内部建筑物均匀排列分布、道路纵横交错穿插其中,其中道路和建筑物有着明显的几何轮廓,与其周边的其他地物色彩区别度大。基于面向对象的分类方法,很好地避免由基于像元分类产生的“椒盐”现象,在进一步以土地利用类型为统计变量提取建成区边界时更稳定。结合上述分析,本文建立了基于高分遥感影像实现建成区边界提取与城市扩张分析的方法:①实现对高分一号影像(融合后 2 m 空间分辨率)分割与分类,获得土地利用分类结果;②构建土地类型标准差统计变量提取建成区边界;③基于高分建成区范围得到有效样本,获取多个年份建成区数据;④从建成区的数量特征、趋势特征分析研究区空间扩张过程。

2 研究方法

本文利用面向对象分类方法和土地利用类型信息实现建城区边界的提取。实验中利用均值漂移分割算法实现高分遥感影像(GF1)分割,采用决策树实现土地利用类型分类,以及土地利用信息统计变量实现建成区边界提取。最后,基于提取的建成区边界实现城市扩张的空间特征分析。本文方法和分析的具体流程如图1所示。首先基于高分一号

融合后空间分辨率2 m影像,实现面向对象影像分类,包括影像分割与决策树分类,见2.1小节;在分类影像基础上,通过构建类型标准差统计信息获取城市建成区边界,见2.2小节;最后通过多时相建成区数据获取,分析河南省虞城县城区扩张特征。

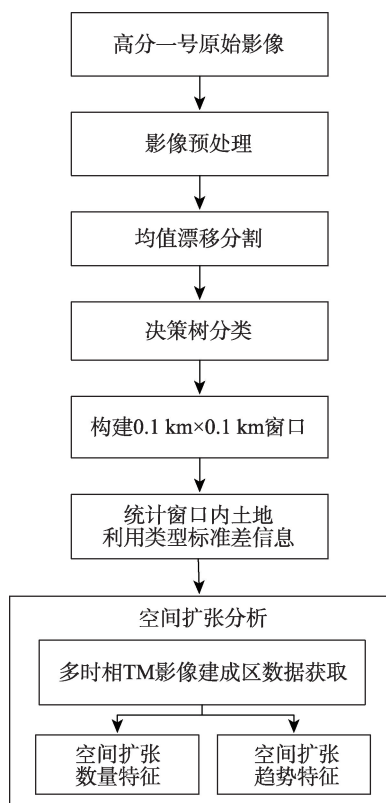


图1 建成区提取技术路线图

Fig. 1 Built-up area extraction method

2.1 影像分类

基于面向对象分类是建立在影像分割对象基础上的,因此在进行影像分类前采用面向对象分割操作。针对高空间分辨率影像特点,采用均值漂移分割算法实现高分辨率影像的对象分割。

(1) 均值漂移分割算法

均值漂移分割是一种基于梯度的优化算法,实现在特征空间中自动聚类,它是一种非参数估计密度函数的方法。该算法完全依靠训练数据进行估计,对先验知识要求不高,不需要事先确定类别数目,能使特征空间中每一个点通过有效的统计迭代“漂移到”密度函数的局部极大值点。多尺度分割方法,基于空间和颜色域的均值滤波,在区域的标记下建立不同的合并尺度M进行聚类^[11-12]。一幅遥感影像由二维网格构成,同时又分为灰度图像和彩

色图像以及多光谱图像,因此可定义 $P=1$ 时为黑白图像, $P=3$ 代表彩色图像, $P>3$ 即代表多光谱图像。当影像的颜色向量与空间位置向量一起合成为“空间颜色域”时,维数为 $P+2$,作为辐射对称核和欧几里德多元核表示(式(1))。

$$K_{h_s, h_r}(x) = \frac{C}{h_s^2 h_r^2} K\left[\frac{x^s}{h_s}\right]^2 K\left[\frac{x^r}{h_r}\right]^2 \quad (1)$$

式中: x^s 为特征矢量的空间部分; x^r 为特征矢量的颜色部分; $K(x)$ 在空间和颜色域中都使用相同的核; h_s 、 h_r 分别为空间带宽与色度带宽; C 为相应的归一化常数。因此,带宽参数(h_s , h_r)就成为均值漂移分割过程中的重要参数^[13-14]。

(2) 决策树分类

遥感影像分类是利用遥感手段提取地物信息类型的一个重要环节。传统的仅基于遥感影像像元光谱特征的计算机自动分类方法受多种要素的影响,很难满足用户的需求。决策树分类具有强健、清晰以及运算效率高等优势特点。决策树算法基本思想是每次选取能最大程度划分无序数据集,即划分后信息增益最大的特征属性来对数据集进行划分,对划分后的数据集递归上述过程,以每次选择的特征作为结点,自顶向下生成决策树,直到某一数据集中所有样本均为同一类别或者没有可供分类的特征为止,从而得到可用于分类的分类规则^[15-16]。

数据的无序性越大,表示无序程度的熵值越大。样本集合 S 的信息熵定义为式(2)。

$$H(S) = - \sum_{r=1}^{k(s)} \frac{N(r, s)}{N(s)} \log_2 \left(\frac{N(r, s)}{N(s)} \right) \quad (2)$$

式中: $k(s)$ 为 s 所包含的样本类别数目; $N(s)$ 为 s 的全部样本数目; $N(r, s)$ 为 s 中分类类别为第 r 类的样本数目。

对于属性变量 T 的 M 个分类,数据集 S 被划分为 T_1, T_2, T_3, \dots, M 个子集,则该信息增益为式(3)。

$$R(S_T) = H(S) - \sum_{r=1}^{k(s)} \frac{N(T_r)}{N(S_T)} H(T_r) \quad (3)$$

2.2 边界信息提取

土地利用类型中的信息熵模型,是通过利用土地类型的数量及该类型所占面积比表达信息的丰富程度和有序性大小。基于此,本文利用唯一的简单统计变量标准差(S)来说明信息的丰富程度,并且所采用的面向对象的分类结果能较好避免“椒

盐”现象,更利于标准差统计分析,计算公式如式(4)所示。

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - u)^2} \quad (4)$$

式中: S 为标准差; N 为土地类型数量; x_i 为某用地类型面积所占百分比; u 为单元内用地类型面积均值。文中采用 $0.1 \text{ km} \times 0.1 \text{ km}$ 窗口分割决策树分类结果,当窗口内为单一土地类型时, S 为0; S 不为0时为混合类型。根据这一特征可设定标准差阈值,识别出城市建成区与其周边耕地类型的边界,从而获得建成区边界信息。

2.3 精度验证与扩张分析

遥感影像目标提取精度是指获得的一幅分类图像与参考真值图像之间的吻合程度。本文根据随机验证点的方法,获得验证点分布图,通过与基于像元的一般监督分类方法获得分类结果,进而提取建成区边界作为比较,直接目视验证该方法获取的建成区提取精度。

从获取高分建成区数据中,建立样本辐射归一方法。在已有样本库的基础上,参照高分建成区范围,建立样本训练区,逐步映射到其他年份的影像数据,获得最终的有效样本,从而提取其他年份的建成区数据,进行扩张分析。城市扩张的研究主要包括城市空间扩展动力机制、城市空间扩展模式、城市空间扩展的研究技术及城市空间扩展对策。本文在城市空间扩张分析中主要进行两个方面的特征分析:空间扩张的数量特征、空间扩张的趋势特征。通过构建扩张速度指标、扩张强度指标以及紧凑度3个指标定量分析城市扩张特征。

3 实验与分析

3.1 数据收集与预处理

虞城县位于河南省东部,豫鲁皖三省交界处,地处 $34^{\circ}00' \sim 34^{\circ}37' \text{ N}$, $115^{\circ}40' \sim 116^{\circ}11' \text{ E}$,西距商丘仅20 km,郑州220多km。面积 1158 km^2 ,耕地面积 $92\,000.46 \text{ hm}^2$,总人口108万。虞城县拥有多个交通要道,其中陇海铁路、连霍高速公路、京九铁路、310国道纵贯南北,105国道在县西擦边而过。县乡公路四通八达,依托商丘大交通优势,是内陆走向沿海,沿海伸进内陆的桥头堡。地处黄淮平原中部,地势平坦。虞城县近年来经济发展迅速,城区扩展加快,特别是“商虞一体化”的提出,大大促进

虞城县城区的发展,对虞城城区向西发展起了决定性的作用。

试验使用的数据是2017年2月27日获取的高分一号PMS 8 m多光谱和2 m全色影像。利用ENVI软件对获取的数据进行了预处理,包括对多光谱和全色影像进行辐射纠正和几何纠正与配准(包括多源数据间的相互配准),然后对其进行了融合处理,得到该区域的空间分辨率为2 m的融合影像。对于其他年份的数据本文使用30 m分辨率的TM多光谱数据。由于虞城县的发展主要集中在中心城区(包含城市大量建筑物、道路等信息),因此实验中主要选择虞城县城区为研究区域(影像尺寸大小为 $4537 \text{ 像元} \times 2759 \text{ 像元}$)。虞城县中心城区研究区域如图2所示。

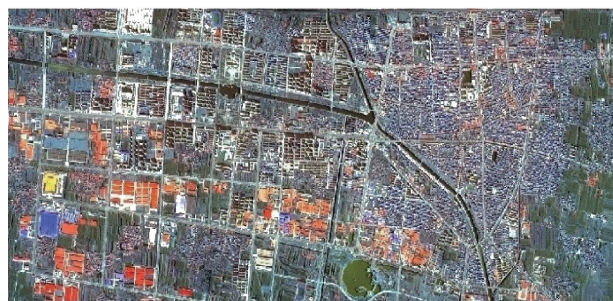


图2 2017年虞城县中心城区研究区域影像图

Fig. 2 Remote sensing image of central city of study zone

3.2 建成区提取

首先利用上述的均值漂移分割方法实现虞城县2017年中心城区研究区域影像分割,由于建成区内部主要是分布着大量建筑物、道路等地物,因此影像分割尺度主要参考城区建筑物的分类效果,面向需要进行不同尺度的建筑物分割和边界提取。经过多次试验比较,最终确定分割尺度为500达到相对较好的分割效果。

基于遥感影像,利用GIS软件人工选取地物分类样本。根据人工勾绘的样本以及影像分割结果,基于地理位置属性,匹配样本标签,采用决策树进行分类。将影像中的土地类型分为耕地、水体和建设用地3大类,如图3所示。

从分类结果中可以看出,城市的边界时较为明显的,边界的两侧分别为建设用地和耕地用地类型。将分类结果利用 $0.1 \text{ km} \times 0.1 \text{ km}$ 窗口进行分割,并统计每个窗口内的标准差。各个窗口内,由于土地类型数量不同,标准差结果不同,表现出不同的城市化程度。在城市边界两侧用地类型单一,

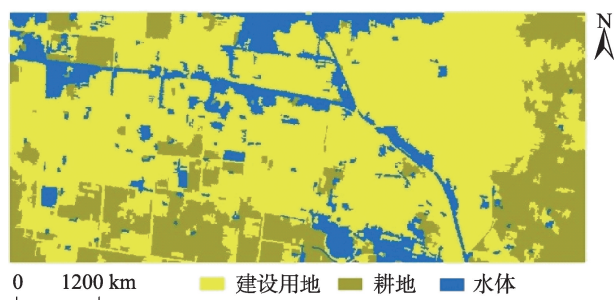


图3 2017年虞城县中心城区分类结果图
Fig. 3 Image classification result of study area in 2017

标准差为0;由城市建成区到城乡结合处,再到农村区域,标准差是一个0到非0,再到0的突变过程,并且城乡结合处标准差为0.3–0.4。以此区间为阈值,提取被此区间包围的区域即为城市建成区范围,如图4(a)所示。

3.3 精度评价

对提取的结果基于随机点进行验证。为了验证基于本文方法提取的建成区有效性,采用基于像素的一般监督分类方法(基于同一样本数据)获得分类结果;同样基于标准差统计变量提取建成区边界。采用的数据同样为2017年2月27日高分一号影像。实验中,经过多次验证,在0.1 km×0.1 km窗口内标准差统计变量的阈值设定为0.25–0.35获得如图4(b)建成区边界。

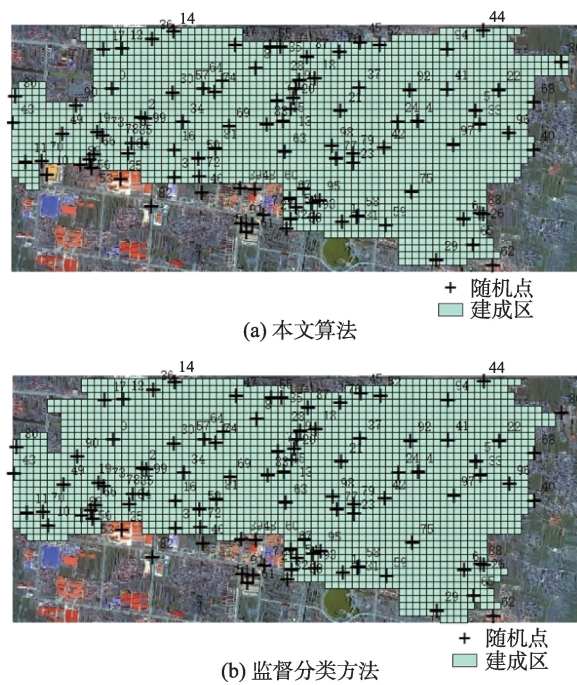


图4 虞城县中心城区建成区边界结果与对比
Fig. 4 The comparison map of built-up region

分别在2种方法提取的建成区范围内随机生成100个验证点并编号,结合高分影像查看验证点所在区域是否为城市建成区范围。经验证计算,获得精度验证表(表1)。数据表明,本文方法建成区提取精度为89%,基于像元的分类提取方法精度为80%。由于,基于像元的分类方法,分类结果“椒盐”现象严重,导致土地类型结果相互穿插交错,对于采用土地类型统计变量的统计不利,对建成区边界的提取影响较大。

表1 精度对比
Tab. 1 Accuracy assessment

算法	验证点个数	落在建成区 验证点	非建成区 验证点	正确率/%
监督分类	100	89	11	89
本文算法	100	80	20	80

3.4 空间扩张分析

(1)城市扩张数据获取

本文在前期获取的2017年虞城县高分率影像建成区数据基础上,分别获取虞城县2000、2009和2013年的建成区范围。鉴于对数据来源以及运行速率的考虑,其他年份数据采用Landsat TM影像。为了保证建城区提取结果具有可比性,本文提出利用一种样本辐射归一方法,具体方法如下。

首先参照前期获取的样本库(基于高分一号卫星建立的包括建筑物、耕地、林地、裸地和水体等多种地物类型样本集合),在2017年高分一号融合影像上建立样本训练区,获得800个样本,参照2017年建成区提取结果,将样本辐射到2017年TM影像上,通过样本有效性检验,保留了其中的600个训练样本。然后以此为参考,对照2017年TM影像逐步辐射2013、2009、2000年影像,最终获取约300个有效样本。此方法获取的是时间序列内公共的样本区,建立了辐射归一样本,从而保证了不同年份建成区数据的可比性。流程示意图如图5所示。

得到的有效训练样本,结合了高分与中分数据的集成应用,实现数据间的衔接,将获得的有效样本通过监督分类获取建成区范围。通过比较,在获取最佳有效样本的前提下,采用最大似然监督分类方法和人工修复获得其他年份建成区数据最为有效。将全部时相的建成区矢量数据叠加,可以直观地看到虞城县城区近年来的空间城区扩张过程(图6)。

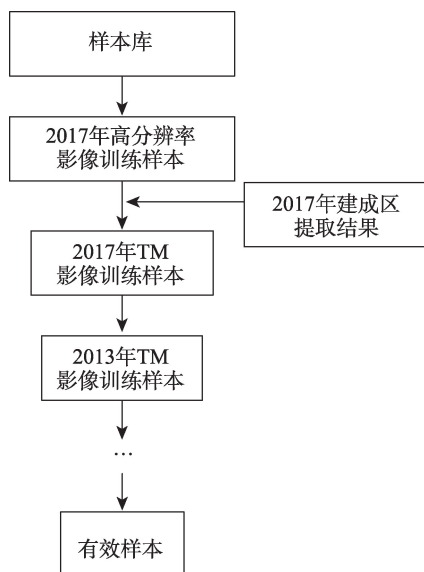


图5 有效样本获取流程

Fig. 5 The method of obtaining valid sample

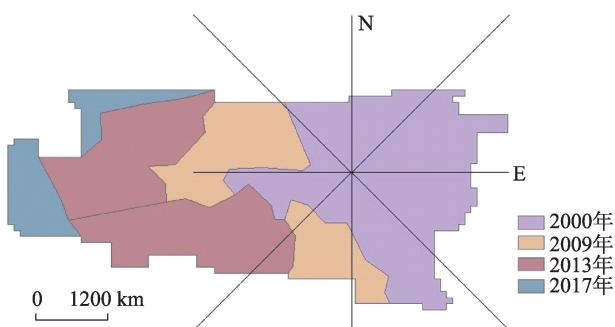


图6 虞城县中心城区扩张八方向分析图

Fig. 6 Eight-orientation analysis of built-up area expansion for Yucheng county

(2) 空间扩张的数量特征

借助 ArcGIS 10.2 软件,在软件中算出 2000 年虞城县城区的重心,以该点为原点,以东西南北方向为坐标轴,把 2009、2013、2017 年的城区矢量图层叠加,分成 8 个象限来比较建成区的扩展方向(图 6)。基于四时相的虞城城区边界扩张图对城区面积进行统计,并计算城市扩张的数量特征。统计得出虞城县中心城区 2000 年建成区面积为 5.64 km²,2009 年城区面积扩张了 3.58 km²,到 2013 年城区面积达到

表2 各年份城区面积及扩张百分比

Tab. 2 The area and expansion percentage of built-up area

	2000 年	2009 年	2013 年	2017 年
城区面积/km ²	5.64	9.22	19.63	21.66
扩张面积/km ²	—	3.58	10.41	2.03
扩张速率/%	—	53.90	112.90	10.30

19.63 km²,相比于 2009 年扩张了 10.41 km²,2017 年相比 2013 年扩张了 2.03 km²(表 2)。其中扩张面积和扩张速率均是与上一个时间段相比较。从表 2 可以直观地看出虞城县城区扩张在 2009–2013 年最明显,扩张面积是 2009 年前的一倍多。2013 年以后扩张强度变弱,县城区逐渐进入饱和状态。在数量特征上本文引入城区扩张速度和扩张强度 2 个指标,如式(5)和(6)所示。

扩张速度指标(M_i):

$$M_i = \frac{\nabla U_i}{\nabla t \times UL_{Ai}} \times 100\% \quad (5)$$

扩张强度指标(L_i):

$$L_i = \frac{\nabla U_i}{\nabla t \times TL_{Ai}} \times 100\% \quad (6)$$

式中: ∇U_i 为某一时段城区扩展面积; ∇t 为某一时段的时间间隔; UL_{Ai} 为某一年初期的城区面积; TL_{Ai} 为研究区域某一年末期的总土地面积。

经过城区扩张速度和扩张强度公式,得出扩展速度指数(M_i)和扩展强度指数(L_i),结果如表 3 所示。从表 3 可以看出,虞城县城区面积 2000–2017 年以来不断扩张,其中 2009–2013 年这 4 年内扩张最明显,扩张速度和强度分别达到 28.22% 和 13.25%,呈现了大面积的扩张。

表3 虞城县城区扩展速度和强度(%)

Tab. 3 Expansion speed and intensity of built-up area for

Yucheng county

时段	扩展速度指数(M_i)	扩展强度指数(L_i)
2000–2009	7.12	4.31
2009–2013	28.22	13.25
2013–2017	2.59	2.34

(3) 空间扩张的趋势特征

城市实体指有一定的连续分布、及其地域特征能够反映当地地貌地形特征的地域实体,包含了研究区域建成区和一些城乡结合部等^[19]。本文结合以上内容,以及虞城县城区建成区数据可作为城市实体的基础上,进一步对虞城县城区的形状扩展进行分析。城市建成区是一个宏观性的概念,其范围在一定意义上可以反映城市的宏观变化特征,即城市的扩展表现为城区面积、设施现状及其规模都会发生一定的变化。城市实体的空间扩张趋势特征主要体现在城区的紧凑度。紧凑度是反映地物形状的参数,它的变化可表示城市用地扩展的空间特征,表达式如式(7)所示。

$$C = 2 \frac{\sqrt{\pi A}}{P} \quad (7)$$

式中: A 为建成区面积; P 为建成区轮廓的周长; C 为城市紧凑度指标, 其值在 0-1 之间, 值越大, 形状就越紧凑, 越接近于圆形, 反之形状的紧凑性就越差。紧凑度反映了一个城市的功能布局 and 空间形态, 以节约用地为最终目标, 防止城市摊大饼蔓延式发展^[20]。紧凑度越高的城市越能节约运输成本和时间成本, 越能获得因合理而科学的劳动地域分工所创造的高额经济效益。计算得到以上 4 个时间段虞城县城区紧凑度指标结果(表 4)。

表 4 虞城县城区各年份紧凑度

Tab. 4 Compactness of built-up area for Yucheng county

	2000 年	2009 年	2013 年	2017 年
C	0.31	0.29	0.31	0.25

由表 4 可以看出, 2000-2009 年紧凑度下降, 土地利用效率低。到 2013 年紧凑度为 0.31, 出现了小幅度上升, 这是由于 2009-2013 年城区出现大面积的扩张, 土地的利用率增加, 同时较 2009 年的 0.29 仅增加了 0.02, 到 2017 年又下降到 0.25。城市的紧凑下降可能出现在城区建设过程中出现摊大饼式发展, 应注意通过促进城市结构合理化、控制城市“郊区化”速度等措施, 推动紧凑型城市的发展。

由图 6 可看出, 2000-2017 年虞城县城区的扩展以老城城区为核心, 向四周均有扩展, 但城区向西部和南部扩展的趋势最为明显, 且有逐渐向西向南扩展的趋势, 其他方向变化不显著。采用遥感影像数据处理与 GIS 空间分析相结合的技术处理多时相遥感影像数据, 能在宏观上把握城市发展方向, 进而为政府规划、建设部门提供宏观管理信息和科学决策依据。

4 结论

本文在对多源遥感影像不同空间分辨率特征分析的基础上, 分别采用面向对象均值漂移分割方法、构建决策树分类方法和基于土地利用类型的标准差变量信息实现高空间分辨影像建成区提取, 通过基于地理信息科学的时空分析手段, 结合历史数据, 集中探讨了虞城县 2000-2017 年城区扩张过程。

本文将高空间分辨影像数据引入到建成区提取研究中, 实现多源遥感数据的城市建成区提取与

空间特征扩张分析, 相比于传统的监督分类在保证提取率的同时降低了误提取率, 有较好的提取精度。在空间扩张分析中, 对建成区扩张数据的获取, 基于高分辨影像建成区边界提取多个年份的建成区范围, 提高了建成区提取精度, 使得空间扩张分析更可靠。在样本的获取过程中, 本文采用了样本辐射归一方法, 基于团队样本库逐步映射不同时间段影像获取有效样本, 从而达到训练样本辐射可比性和基于高分辨率数据获取的建成区范围的很好衔接, 获得城区扩张数据, 增加了时间序列影像间样本的通用性。最后, 基于实验数据, 尝试通过从城市扩张的数量角度和趋势角度分析虞城县城区扩张的特征。

在上述已有的工作基础上, 还可考虑引入遥感影像的指数、纹理等其他特征进行更深入的建成区提取分析, 提高影像分类的精度, 并尝试不同分割窗口大小分析比较建成区的提取精度, 以尝试进一步提高建成区数据获取的精度和方法的可实用性。在今后的研究分析中, 需要进一步的完善其提取技术流程, 提高算法的稳定性, 并逐步应用到更大区域的城市建成区提取过程中。

参考文献(References):

- [1] 牟风云, 张曾详, 迟耀斌, 等. 基于多源遥感数据的北京市 1973-2005 年间城市建成区的动态监测与驱动力分析[J]. 遥感学报, 2007, 11(2): 257-268. [Mou F Y, Zhang Z X, Chi Y B, et al. Dynamic monitoring of built-up area in Beijing during 1973-2005 based on multi-original remote sensed images[J]. Journal of Remote Sensing, 2007, 11(2): 257-268.]
- [2] 陈淑兴, 韩波, 柯长青, 等. 济南市建成区扩展的时空特征及驱动力分析[J]. 地理空间信息, 2009, 7(5): 117-120. [Chen S X, Han B, Ke C Q, et al. Spatial-temporal characteristics and driving force analysis in built-up areas expansion of Jinan[J]. Geospatial Information, 2009, 7(5): 117-120.]
- [3] 张雪峰, 杨晏立, 何政伟, 等. 苏、锡、常建成区遥感方法提取及城市扩展分析[J]. 测绘科学, 2011, 36(2): 113-115. [Zhang X F, Yang Y L, He Z W, et al. Built-up area extraction by RS and urban expansion analysis of Suzhou, Wuxi, and Changzhou[J]. Science of Surveying and Mapping, 2011, 36(2): 113-115.]
- [4] 杨小芳, 代侦勇, 李瑞敏, 等. 基于 GIS 城市建成区范围界定方法实证研究——以奉化建成区为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2017(11): 103-104. [Yang X F, Dai Z Y, Li R M, et al. Empirical study on the method of defining urban

- built-up area based on GIS: Take Fenghua built-up area as an example[J]. *Geomatics and Spatial Information Technology*, 2017(11):103-104.]
- [5] 李天华,马玲,杨武年,等.应用遥感和GIS技术提取城市建成区及驱动力分析——以南京市为例[J].*测绘科学*, 2007,32(4):124-125. [Li T H, Ma L, Yang W N, et al. The analysis on urban expansion based on Remote Sensing and GIS: A case of Nanjing city[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2007,32(4):124-125.]
- [6] Liu J, Li P, Wang X. A new segmentation method for very high-resolution imagery using spectral and morphological information[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2015,101(6):145-162.
- [7] Wang C, Shi A Y, Wang X, et al. A novel multi-scale segmentation algorithm for high resolution remote sensing images based on wavelet transform and improved JSEG algorithm[J]. *Optik- International Journal for Light and Electron Optics*, 2014,125(19):5588-5595.
- [8] Zhang X, Xiao P, Feng X, et al. Hybrid region merging method for segmentation of high-resolution remote sensing images[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2014,98:19-28.
- [9] 邓富亮,杨崇俊,曹春香,等.高分辨率影像分割的分形网络演化改进方法[J].*地球信息科学学报*,2014,16(1):95-101. [Deng F L, Yang C J, Cao C X, et al. An improved method of FNEA for high resolution remote sensing image segmentation[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2014,16(1):95-101.]
- [10] 沈占锋,骆剑承,胡晓东,等.高分辨率遥感影像多尺度均值漂移分割算法研究[J].*武汉大学学报·信息科学版*, 2010,35(3):313-317. [Shen Z F, Luo J C, Hu X D, et al. A mean shift multi-scale segmentation for high-resolution remote sensing images[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2010,35(3):313-317.]
- [11] 李艳灵,沈轶.基于KNN的均值漂移图像分割算法[J].*华中科技大学学报·自然科学版*,2009,37(10):68-71. [Li Y L, Shen Y. KNN based mean shift algorithm for image segmentation[J]. *Huazhong University of Science and Technology*, 2009,37(10):68-71.]
- [12] 周芳芳,樊晓平,叶榛.均值漂移算法的研究与应用[J].*控制与决策*,2007,22(8):841-847. [Zhou F F, Fan X P, Ye Z. Mean shift research and applications[J]. *Control and Decision*, 2007,22(8):841-847.]
- [13] 林辉,莫登奎,熊育久,等.高分辨率遥感图像均值调整法分割技术研究[J].*中南林业科技大学学报*,2006,26(4):85-88. [Lin H, Mo D K, Xiong Y J, et al. The Method of Segmenting High- resolution Remote Sensing Images Based on Mean-shift[J]. *Journal of Central South Forestry University*, 2006,26(4):85-88.]
- [14] Bankers-Fulbright J L, Kita H, et al. A remote sensing image segmentation method based on spectral and texture information fusion[C]. *International Conference on Information Technology: New Generations*, 2009.
- [15] Wu X D, Kumar V, Quinlan J R, et al. Top 10 algorithms in data mining[J]. *Knowledge and Information Systems*, 2008,14(1):1-37.
- [16] 张剑清,段艳.一种结合分水岭与决策树C5.0的极化SAR分类方法[J].*武汉大学学报·信息科学版*,2014,39(8):891-896. [Zhang J Q, Duan Y. A supervised classification method of polarimetric synthetic aperture radar data using watershed segmentation and decision tree C5.0[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2014,39(8):891-896.]
- [17] 李海江,刘耀林,谭荣辉,等.一种新的基于高分辨率全色影像的城市建成区边界提取算法[J].*测绘通报*,2015(7):36-41. [Li H J, Liu Y L, Tan R H, et al. A new algorithm of urban built-up area boundary extraction based on high-resolution panchromatic image[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2015(7):36-41.]
- [18] 范作江.遥感与地理信息系统相结合的城市扩展研究——以北京市十年城市扩展为例[D].北京:北京大学, 1996. [Fan Z J. Study of urban expansion based on remote sensing and geography information system[D]. Beijing: Beijing University, 1996.]
- [19] 魏斌.基于GIS和RS的城市空间扩展研究分析[D].烟台:鲁东大学,2014. [Wei B. Extended research and analysis of the GIS and RS based on city space: A case of study of Qingdao[D]. Yantai: Ludong University, 2014.]
- [20] 刘纯,洪亮,周光海.基于TM影像的衡阳市城区扩展趋势研究[J].*昆明冶金高等专科学校学报*,2013,29(5):15-19. [Liu C, Hong L, Zhou G H. A study on urban sprawl in Hengyang city based on TM image[J]. *Journal of Kunming Metallurgy College*, 2013,29(5):15-19.]