

赵国梁,郑新奇,刘飞,等.基于路网分割的京津冀城乡空间识别及特征分析[J].地理科学,2017,37(8):1159-1169.[Zhao Guoliang, Zheng Xinqi, Liu Fei et al. Urban and Rural Spatial Recognition and Analysis Based on Road Networks Segmentation: A Case Study of Beijing-Tianjin-Hebei. Scientia Geographica Sinica,2017,37(8): 1159-1169.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2017.08.005

# 基于路网分割的京津冀城乡空间识别及特征分析

赵国梁,郑新奇,刘飞,刘东亚

(中国地质大学[北京]信息工程学院,北京 100083)

**摘要:**提出一种基于路网分割应用于区域尺度快速识别城乡边界的方法。该方法利用路网与城市空间格局的强耦合联系,通过城乡斑块地理分割与精度计算确定城市斑块的最优解,识别区域城乡空间。以京津冀为例开展方法验证,分析了区域城乡空间格局、路网特征及城市用地经济效率。结果表明,该方法识别精度较高,可用于低成本、快速、高效的区域城乡空间识别;京津冀城市空间格局呈现“大京津、小河北”的差异性,路网密度特征呈现京、津、石3个显著的高密度区域,二者存在高耦合性;2015年该区域城市用地经济效益总体良好,石家庄、保定、和承德3市综合效率值欠佳,需进一步提高土地利用效率。

**关键词:**城乡边界;区域尺度;道路网络;空间分析;京津冀

**中图分类号:**F291

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-0690(2017)08-1159-11

## 引言

城乡空间边界识别是城市地理研究的基础,也是对城市边界和城市扩张进行管控的重要手段<sup>[1]</sup>。在中国快速城镇化背景下,城乡地域复杂性与破碎度不断提高,城市扩张引起大量土地转为建设用地,导致自然环境和开发空间数量减少和空间缩减,对于生态产生了极大的破坏,也加剧了城市空气污染、出行成本和交通压力等问题。城乡边界识别是控制城市扩张的技术前提,但现阶段城乡边界划分工作日益艰难,划定方法较为薄弱。

不同国家根据城乡边界识别方法研究,可主要分为人口规模和人口密度、基础设施完善程度和建筑密度以及人口的就业结构3类<sup>[2]</sup>。这些指标对于统计任务及精度要求较高,传统统计方法耗费了大量的人力物资,而动态性、实时性较差,长期以来中国统计中城乡划分标准与技术尚未成熟<sup>[3]</sup>。随着地理信息科学及相关技术的不断发展,城乡边界划分研究涌现了一系列新成果,包括遥感<sup>[4-6]</sup>、分形方法<sup>[7]</sup>、密度分析<sup>[8]</sup>和改进算法<sup>[9]</sup>等。谭

兴业等提出一种空间邻域融合法,通过改变像元邻域的作用范围得到不同的空间集群数目,并借助搜索范围与集群数目的标度关系确定半径,进而利用GIS技术确定城市边界<sup>[10]</sup>。黄祥将城市扩展方向信息与指数模型相结合提出综合景观指数模型,以成都市为例,根据综合景观指数划分出城乡结合部边界<sup>[11]</sup>。杨振等综合考虑距离和阻力两类因素,采用最小累积阻力模型研究不同情景下城镇用地扩展的边界划分问题,提出一套两级分区体系<sup>[12]</sup>。高晓路等从“点-轴系统”理论出发,强调城市群发育程度作为城市群判别的重要条件,同时通过POI数据的Densi-Graph分析提出了判别城市群发育程度的方法<sup>[13]</sup>。

纵观现有研究,理论上能够准确提取城市边界,但是存在数据获取难、实时性差、对计算机硬件要求高以及工作量较大等问题。道路网络作为社会经济发展的基础设施,与土地利用表现出极强的互动关系<sup>[14-16]</sup>。道路网络是影响土地利用的重要驱动因素,尤其是城市土地利用<sup>[17]</sup>。路网直接影响着人口规模与密度、建筑密度等城乡划分标

**收稿日期:**2016-10-08;**修订日期:**2017-01-04

**基金项目:**国土资源部公益性行业科研专项经费项目(201511010)资助。[Foundation: Non-profit Industry Financial Program of Ministry of Land and Resources of China (201511010).]

**作者简介:**赵国梁(1990-),男,河北邢台人,博士研究生,主要从事土地信息技术与应用、土地评价与规划研究。E-mail: zhaogl@cugb.edu.cn

**通讯作者:**郑新奇,教授。E-mail: zxqsd@126.com

准。城乡的道路依赖度存在显著差异,可以量化这种差异性的空间形态识别城乡边界。

京津冀一体化作为国家战略,协同发展意义重大。京津冀三地已为协同发展正在积极探讨与深度合作。故以该域为研究区,结合GIS与遥感,探索道路网络与城乡用地内在机理,计算城乡最优解以识别京津冀城乡边界,并分析京津冀城市空间格局与路网特征、城市土地利用经济效益,提出相关政策建议,丰富城乡空间识别方法研究。

## 1 基本思路与研究方法

### 1.1 基本思路

道路网络与土地利用存在密切联系<sup>[18,19]</sup>。一方面路网通过改善自身媒介功能促进土地利用功能、形态以及结构变化,另一方面,土地利用变化对路网不断产生新的需求,推动路网功能不断完善,二者综合表现了“源”与“流”的关系<sup>[20,21]</sup>。城市用地和农村用地作为两大土地利用形态,在功能、规模、结构上存在明显差异。城市路网作为城市发展的基础,表现出与农村路网空间形态的显著差异,这种差异性能用于识别城乡边界。

幂律分布(Power Law Distribution)广泛存在于地理学、生态学、人口统计学与社会科学、经济与金融学等众多领域<sup>[22-24]</sup>。包括泊松分布、长尾理论(Long Tail Effect)以及“二八”定律等。通过对北京城乡斑块大小与斑块数量的初步回归分析,发现二者呈现了较强的幂律分布特征,而且出现了“长尾”(图1)。结合城乡斑块分异规律,“尾(Tail)”极可能为乡村斑块,“头”则为城市斑块。斑块类型识别是基于路网分割识别城乡边界方法的核心工作。城市路网与农村路网在景观上的差异性一般表现为:城市路网稠密错综复杂,功能分

区繁多,用地集约度较高,斑块往往偏小而聚集,相对于农村同等面积上的斑块数量较多。与之相反,农村区域则路网多为稀疏,斑块偏大且数量较少。

研究的基本思路是以道路网络与土地利用的强耦合关系为核心,利用道路网络形态的城乡差异性与幂律分布,以京津冀为研究区开展区域城乡空间识别与用地特征综合研究。首先基于道路网络分割京津冀区域,分析区域尺度的城乡空间特征。其次,基于区域土地利用现状,开展精度评价确定路网分割的最优解,划分城乡空间并分析城市空间特征与路网格局。最后,利用路网识别的城市空间结合相关截面数据,计算近期京津冀城市土地利用经济效益。

### 1.2 研究方法与工作流程

本文的研究方法主要包括遥感解译、城乡斑块识别以及数据包络分析等。

定义城乡划分节点为一个相对具体值(单位 $\text{km}^2$ ),该值为城市斑块面积的上限值与乡村斑块面积的下限值,在相当时间段内具有稳定性。首先,对照京津冀土地利用现状图,确定0.45% ( $13.34 \text{ km}^2$ )为节点最大值,故节点值域为(0, 0.45%]。其次,在节点阈值均匀选择十余个样本节点,并开展精度评价。精度评价方法利用栅格计算器(Raster Calculator)计算识别精度。计算生成的精度评价栅格值包括-1, 0与1。分别对应为未识别区域,识别区域以及误识别区域。未识别区域表示通过路网分割没有成功提取的区域,识别区域表示与现状一致区域,误识别区域表示通过路网分割方法提取与现状存在差异的城市用地,即多分的部分。识别精度为识别区域面积占3类区域总面积的比例。拟合精度变化曲线,确定城乡划分最优节点。

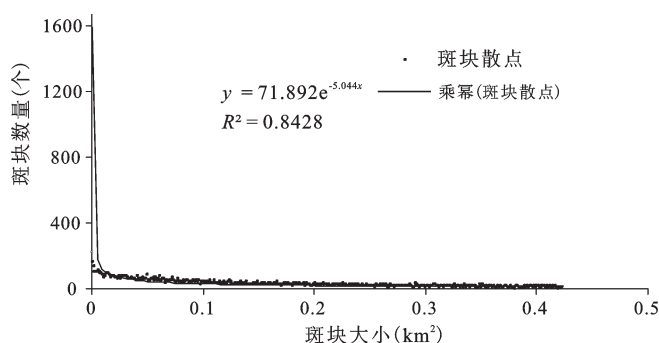


图1 北京城乡斑块面积与数量回归模型

Fig.1 Area and quantitative regression model of urban and rural patch in Beijing

DEA (Data Envelopment Analysis, DEA) 是对决策单元(DMU, Decision Making Unit)进行相对评价时最常用的方法之一,是根据评价对象的各项数据,利用线性规划方法找出效率前沿的投入-产出关系的包络面,通过比较被评价的对象与效率前沿面的投入-产出水平的差异,来测度被评价对象的效率<sup>[25-27]</sup>。CCR (Charnes, Coper, Rhodes, CCR) 模型和 BCC (Banker, Charnes, Cooper) 模型是 DEA 方法中最基本也最常用的模型,基于这两个模型对京津冀地区城市土地利用效益的评价。

$$\begin{cases} \max \theta \\ s.t. \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j + S^- = \theta X_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j - S^+ = Y_0 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \\ S^+ \geq 0; S^- \geq 0 \end{cases}$$

式中,  $\theta$  为 DMU 的效率值;  $x_i$  为对第  $i$  种输入的投影;  $X_0$ 、 $Y_0$  分别为  $j$  为地区的投入和产出总量;  $S^+$ 、 $S^-$  分别表示投入和产出的剩余变量和松弛变量;  $\lambda_j$  相对于 DMU 重新构造一个有效 DMU 组合中  $i$  决策单元 DMU 组合比例。当  $\theta > 1$  时,同时  $S^+$ 、 $S^-$  均为 0 时,称 DMU 为 DEA 有效;当  $\theta = 1$ ,同时  $S^+$ 、 $S^-$  至少有一个大于 0 时,称 DMU 为弱 DEA 有效;当  $\theta < 1$  时,称 DMU 为 DEA 无效。

研究主要流程包括基于路网的地理分割、城乡空间识别及区域城市用地的经济效益分析(图2)。

1) 基于道路网络的地理分割。借助 ArcGIS 平台,基于道路网络对京津冀进行地理分割。计算相

关地块面积属性,统计京津冀面积、数量、平均数等斑块数理特征,分析区域城乡斑块空间分布特征。

2) 城市斑块阈值计算。参考相关土地利用分类标准,结合本文京津冀土地利用分类的研究用途,利用最大似然分类法将研究区土地利用类型划分为耕地、林草地、水域、建设用地和其他用地。通过 Kappa 系数计算,解译精度达到 86.7%,表明解译效果较好,可准确反映土地利用现状。最后将分类结果合并为城镇用地和其他用地两大类。基于城乡斑块面积与城乡分布的空间耦合关系,通过精度评价确定城市斑块阈值的最优解(图3)。首先,对路网分割后的城乡斑块采用自然断裂法进行分级,将土地利用现状图作为参考图,通过修改城乡斑块阈值确定初步最优解。其次,以土地利用现状图为对照,空间统计计算精度,评价边界划分精度,并且不断地修正阈值,拟合曲线计算出最优解。

3) 城市用地经济效益分析。本文遵循实用性、独立性、可测性等原则,选取 DEA 模型投入和产出指标(表1),利用 Deap 2.1 软件对 2015 年京津冀城市的土地利用效率相关数据共 13 个决策单元进行计算,分析京津冀各个城市土地利用经济效率。

### 1.3 数据来源与技术处理

京津冀位于中国东北部环渤海心脏地带,地域范围包括北京市、天津市 2 个直辖市及石家庄、保定、唐山等 11 个地级市。区域面积约 21.6 万  $\text{km}^2$ , 占全国的 2.3%。2014 年人口总数约为 1.1 亿人,占全国的 8.1%;GDP 总量达到 6.6 万亿元,占全国的 10.4%,是全国的政治、文化、国际交往以及科

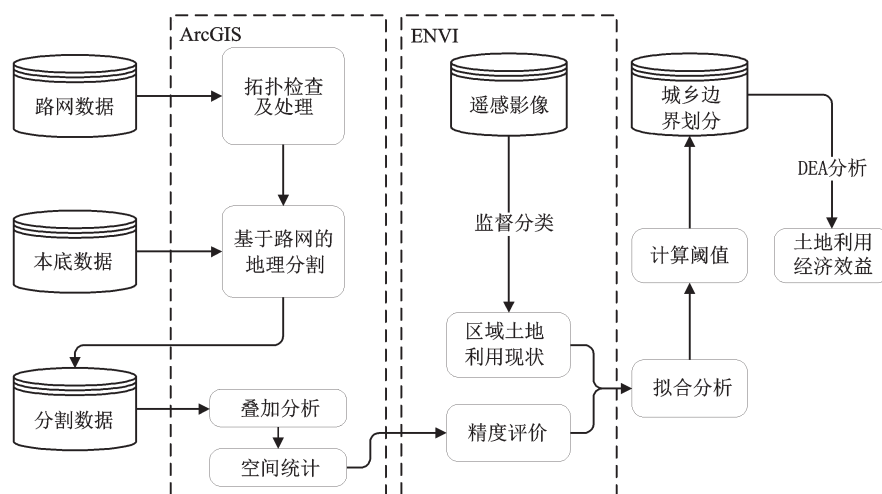
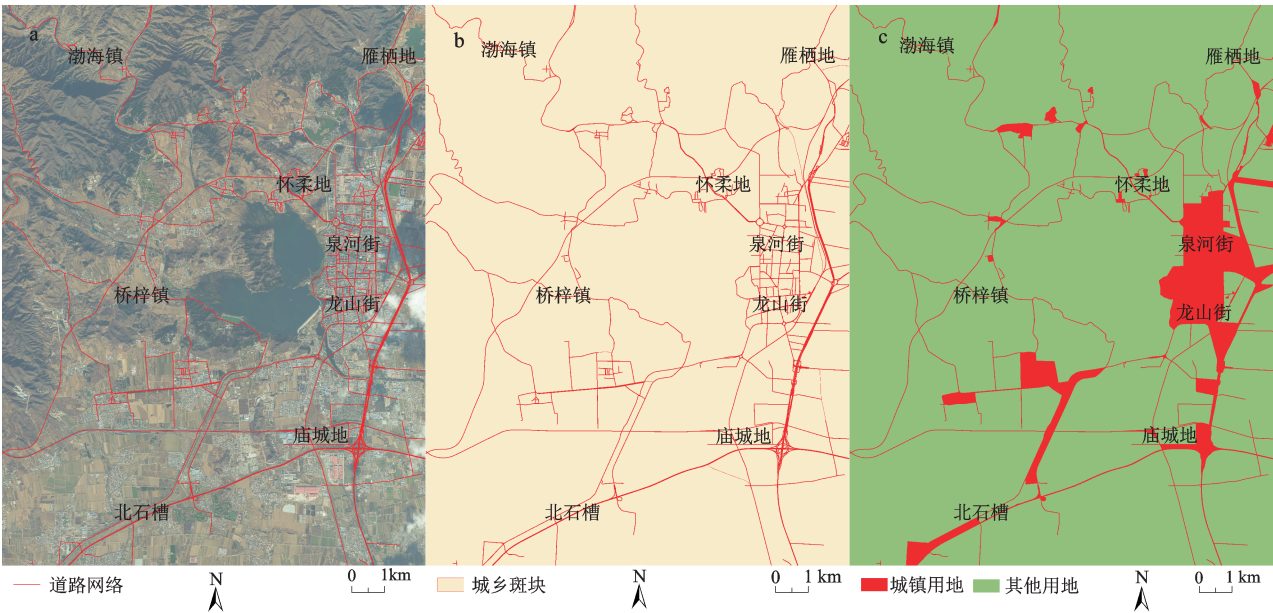


图2 技术路线

Fig.2 Flow chart for extraction of urban and rural area





a. 道路网络; b. 斑块分割; c. 城乡板块识别

图3 北京市怀柔水库附近城乡交错带城市斑块提取流程

Fig.3 The process of urban patch extraction of urban-rural fringe near Huairou Reservoir

表1 京津冀城市土地利用经济效率评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of efficiency of Beijing-Tianjin-Hebei urban land use

目标层	要素层	指标	单位	指标代码
投入	资本	单位土地固定资本额	万元/km <sup>2</sup>	a11
		单位土地财政支出额	万元/km <sup>2</sup>	a12
	劳动	单位土地第二产业从业人数	人/km <sup>2</sup>	b11
		单位土地第三从业人数	人	b12
产出	土地	建成区面积	km <sup>2</sup>	c11
	经济	单位土地第二产业产值	万元/km <sup>2</sup>	d11
		单位土地第三产业产值	万元/km <sup>2</sup>	d12
		单位土地财政收入	万元/km <sup>2</sup>	d13
	生态环境	建成区绿化覆盖率	%	e11

技创新中心(图4)。

本研究所涉及的数据分为空间数据和截面数据。空间数据包括国家基础地理信息数据、道路网络数据及 Landsat 8 遥感影像(数据来源:USGS)。道路网络数据来自近期更新的 OSM 数据库(2016 年 3 月)<sup>[28]</sup>。结合 TM 影像以及 Google 影像开展投影转换与拓扑检查,整理梳理道路类型,最终涵盖区域铁路、国道、县道、乡道以及各主要城市内部的快速路、主干路、次干路、支路等道路类型。京津冀边界提取于国家基础地理信息数据库(<http://ngcc.sbsm.gov.cn/>),并根据近期行政区划

分作适当调整。市辖区空间与年鉴统计口径一致,参照中华人民共和国行政区划代码(截止 2014 年 12 月 31 日)。年鉴数据源于《中国城市统计年鉴》(2015 年)<sup>[29]</sup>、《北京统计年鉴》(2015 年)<sup>[30]</sup>等。

2 结果与分析

2.1 京津冀路网分割空间分析

统计京津冀城乡斑块特征如表 2 所示。斑块数量上,北京最多,其次为河北、天津。从最大斑块面积来看,依次是冀、京、津。相对于京津,河北地域广阔,县乡众多,整体用地集约程度不高,相



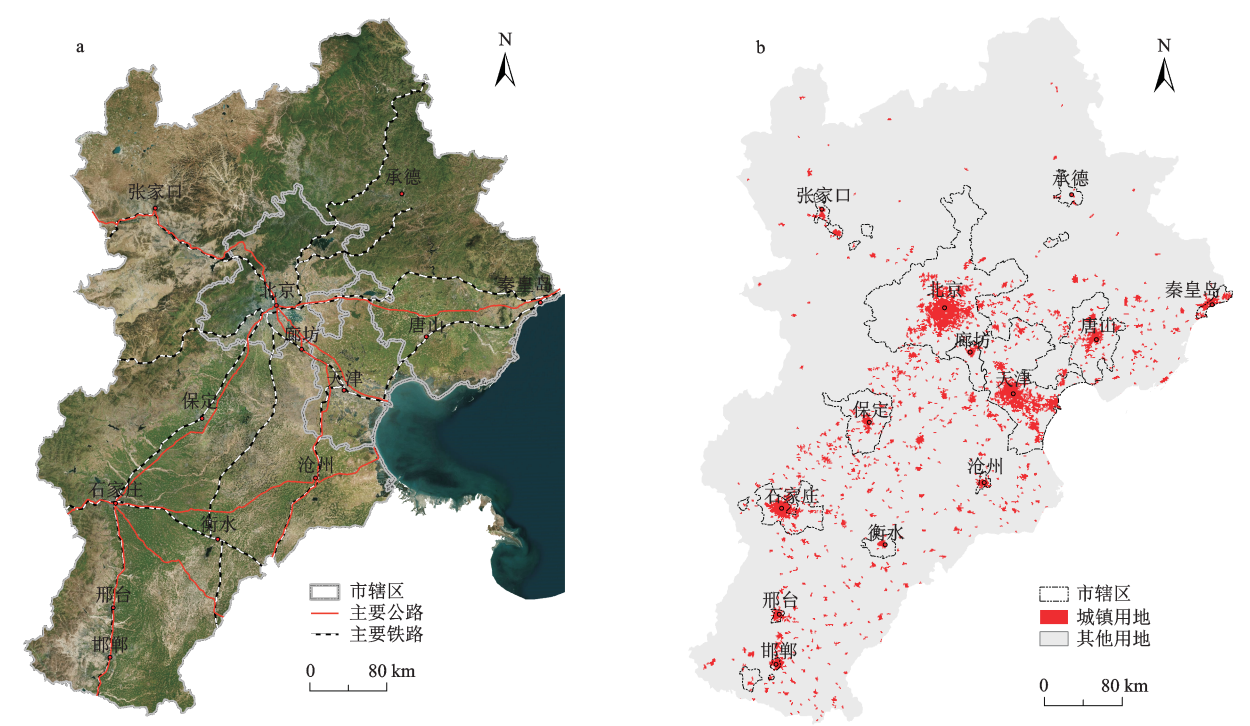


图4 研究区(a)及2016年京津冀土地利用现状(b)  
Fig.4 Study area (a) and Beijing-Tianjin-Hebei land use status in 2016 (b)

表2 京津冀城乡斑块特征

Table 2 Urban and rural patch characteristics in Beijing-Tianjin-Hebei

区域	地块总数	最小面积(km <sup>2</sup> )	最大面积(km <sup>2</sup> )	总面积(km <sup>2</sup> )	平均面积(km <sup>2</sup> )	标准差
北京	53285	1.08E-06	751.949	16377.932	0.307	7.070
天津	19281	1.01E-06	285.244	11611.688	0.602	5.353
河北	26567	1.02E-06	2964.834	187276.661	7.049	70.119
总计	98753	1.02E-06	2964.834	215266.384	2.180	36.933

较于城市化水平较高的京津差距显著。北京整体城市化水平高于天津,但生态涵养用地较多,地貌类型多样,导致最大面积斑块相对较大,区域差异性也较大,如北京城乡斑块的标准差7.070略大于天津5.353。与天津中心城区相比,北京中心城区斑块面积较小,集约程度更高。斑块平均面积也反映了这样的趋势。从城乡用地集约水平来看,依次为京、津、冀。侧面反映了河北土地利用集约程度与城市化水平较低;从标准差来看,河北省内也存在较大差异,区域发展不均衡化现象比较突出。因此,京津冀一体化发展,河北内部的均衡发展是一项重要课题。

2.2 京津冀城乡边界识别

1) 城乡边界划分。计算样本节点相关识别

精度,拟合曲线如图5所示。当节点值为0.025% (0.74 km<sup>2</sup>)时,识别精度达到95.8%,中心城区达到85.5%,非中心城区为97.5%,与土地利用现状最为接近。故将该节点值作为最优解,输出京津冀城乡空间。

为了更精确地计算各设区市的城市用地面积,评价城市土地利用经济效益,本文利用市辖区空间,分别计算各个市辖区最优节点值(图6)。通过各最优节点值提取城市用地,作为城市土地利用空间(图7)。

2) 方法适用性分析。基于路网分割的城乡空间识别方法,城市用地功能丰富完整、地类涵盖全面,例如城市绿地、水体等,相较于单纯利用遥感提取建设用地的方法更加符合用地现状。受社

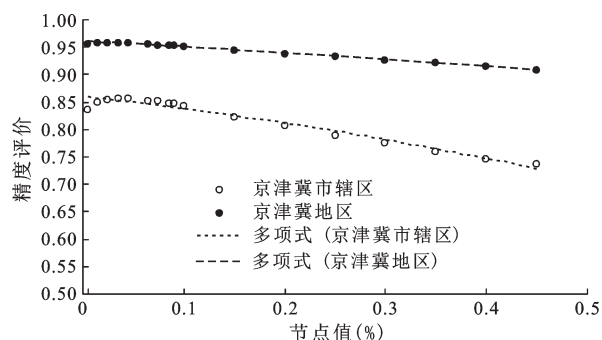


图5 基于路网分割方法的京津冀城乡空间识别精度

Fig.5 Identification accuracy for urban and rural boundary based on road network segmentation method

会经济发展程度和区域路网分布差异影响,不同城市间城乡斑块阈值存在差异,影响整体识别精度。例如北京路网分割后的板块面积大于天津,若按北京城市板块水平划分天津城乡边界,势必造成一些城市用地划为非城市用地。

京津冀整体区域识别精度高于市辖区,一方面凸显城市间社会经济发展差异,另一方面表明了这种差异越大,基于路网分割方法的识别精度越低。故该方法更适用于社会经济一体化发育水平较高区域。京津冀作为国家级城市群,协同发展程度仍处于初期阶段,地区经济效益不平衡状况突出。发育程度显著滞后于长江三角洲与珠江三角洲地区<sup>[31]</sup>,但随着京津冀一体化国家战略不断推进,协同发展逐渐深化,该方法将更加适用。从近期的京津冀发展指数来看,2015年北京的发展水平远高于津冀地区。但从发展指数变化趋势来看,北京的发展指数综合得分略有下降,天津略有上

升,河北起点低、增长快。总体上,三地差距都有缩小趋势<sup>[32]</sup>。

### 2.3 城市空间发展与道路网络格局分析

1) 城市空间发展特征。结合截面数据,京津冀城市用地特征统计如表3所示。从城乡斑块数量来看,斑块数量与城市经济发展水平呈正相关,即城市社会经济越发达,城市破碎化程度越高,京津石破碎程度较为突出。城乡斑块比例为城市斑块与乡村斑块之比,反映了一定区域的土地城市化水平。从城乡斑块比例来看,最高的是秦皇岛、北京、天津,最低的是承德、衡水、沧州。秦皇岛作为旅游城市,城市发展较快,县级行政区较少,城市化率在河北居首,所以城乡斑块比较高。市辖区比例,即市区占该地区的比重一定程度上反映了区域城市繁荣程度,最高的是京津唐,最低的是邢、沧、承、张。与京津高度城市化相比,河北省表现出“大农村”的现象,有4市的市辖区比例不到5%。从市辖区面积、建成区面积和人口来看,京津唐石四市规模明显大于其他城市。石唐规模相近,但与京津差距明显,需进一步提升区域的核心带动作用。邢沧二市城市空间明显较小,与人口规模同等的张、秦、廊等城市相比,人口密度较高,城市后备用地稍显不足,经济产值远低于同类城市平均水平,应该加快城市建设与经济发展,缩减差距。

总体上,京津冀城市空间分布呈现了“大京津、小河北”的差异特征。河北省内出现“443”的分布特征,即石、唐、保、邯4个区域大城市,张、秦、邢、廊4个节点城市以及承、衡、沧3个中小城市。

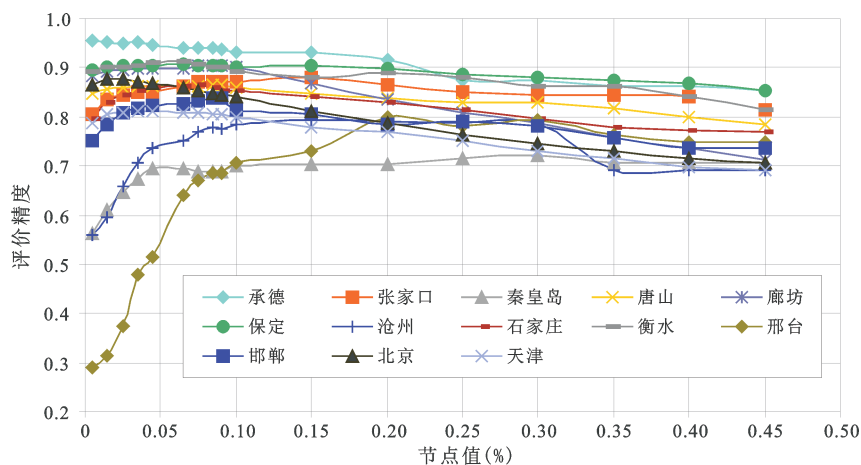


图6 京津冀市辖区城乡节点精度

Fig.6 Identification accuracy of urban and rural areas of 13 municipalities in Beijing-Tianjin-Hebei

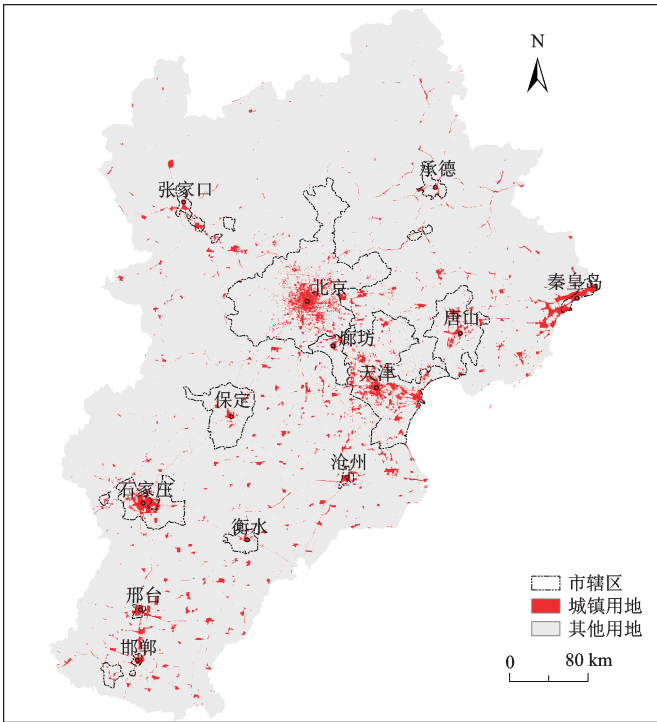


图7 优化后的城乡用地提取  
Fig.7 Optimized extraction of urban and rural land

表3 京津冀城市空间发展特征

Table 3 Characteristics of urban space development in Beijing-Tianjin-Hebei

城市	城市斑块	城乡斑块比	地区面积 (km <sup>2</sup> )	市辖区面积 (km <sup>2</sup> )	市辖区比例 (%)	建成区面积 (km <sup>2</sup> )	市辖区人口 (万人)	人口密度 (万人/km <sup>2</sup> )	GDP(当年价格) (亿元)
承德	941	1.9	39414	659	1.7	115	59	0.52	280
张家口	2208	10.7	36636	602	1.6	105	91	0.87	450
北京	50909	21.2	16376	12177	74.4	1386	2072	1.50	21019
秦皇岛	2305	29.6	7748	396	5.1	103	90	0.87	731
唐山	3158	8.3	13018	3309	25.4	296	330	1.11	3173
廊坊	2498	7.5	6410	979	15.3	101	84	0.83	656
天津	18324	18.7	11613	7118	61.3	738	1278	1.73	14291
保定	2308	6.4	22283	2550	11.4	146	281	1.92	553
沧州	1750	5.8	14104	165	1.2	68	54	0.80	641
石家庄	3993	12.0	14045	2170	15.4	264	408	1.55	2735
衡水	871	4.5	8817	592	6.7	48	54	1.13	260
邢台	1389	7.4	12474	162	1.0	90	88	0.97	274
邯郸	2220	7.4	12035	466	3.9	124	174	1.40	794

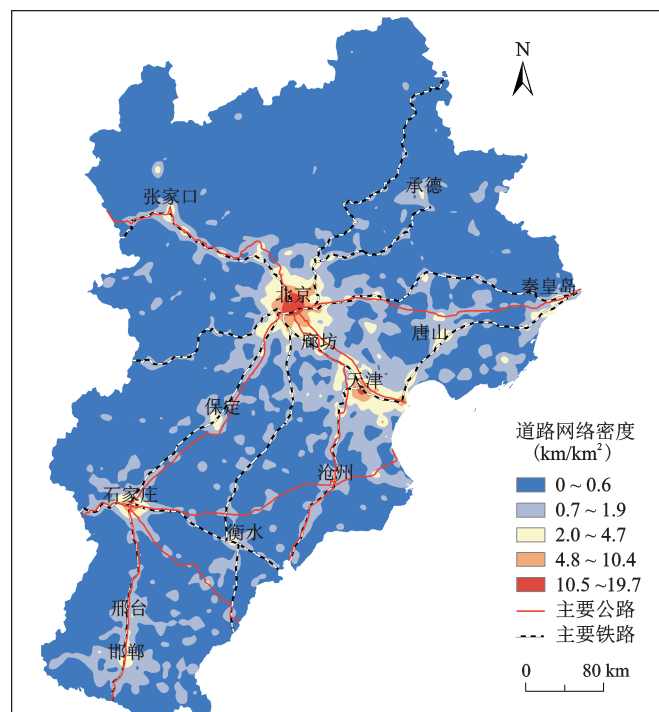
河北区域大城市应该适当缩减与京津的差距,提升作为区域中心城市的辐射带动作用。节点城市中,张廊两市受京津的辐射作用,区位优势明显。邢秦两市距京津较远,应加强自身节点城市建设,增强与区域中心城市联系。

2) 道路网络格局分析。从城市群角度看,世

界级的城市群应该具有完善密切的的城市间产业经济联系<sup>[33]</sup>。随着京津冀一体化的快速发展,城市间互联互通的需求将愈来愈强,认清当前道路网络格局对于优化区域交通体系十分重要。

利用核密度分析,生成京津冀道路网路密度图(图8)。京津冀道路网络格局特征总体上呈现



图8 京津冀道路网络密度 ( $\text{km}/\text{km}^2$ )Fig.8 Beijing-Tianjin-Hebei road network density ( $\text{km}/\text{km}^2$ )

了京、津、石3个较为明显的高密度区域。以北京为主的单中心放射状,初步形成了京、津、石3个中心。保定、唐山、邯郸为较为明显的路网次中心。未来随着京唐城际的建成,唐山的区域路网中心有望进一步提升。受京津两极的辐射带动作用,廊坊城市路网密度远高于河北省平均水平,路网密度分布与北京连为一体,与天津断裂,侧面表明了京廊之间联系的紧密性。张家口市路网特征呈现条带性发展。道路网络格局与城市空间布局特征高度一致,一方面体现了当前道路网络格局对于京津冀发展的支撑作用,另一方面也体现不同等级城市对路网布局的影响程度。

#### 2.4 城市土地利用经济效益分析

城市经济是国民经济发展的核心,而土地利用经济效益是衡量城市用地节约集约水平的重要指标。利用Deap 2.1软件对2015年京津冀城市土地利用效率相关数据共13个决策单元进行计算(表4)。综合效率等于纯技术效益与规模效益的乘积,综合效率为1,表明城市土地利用经济效率达到最优,小于1表明在城市土地利用效益方面存在不足。京津冀综合效率的平均值为0.982,纯技术效率、规模效率的平均值分别为0.990、0.991,说

表4 2015年京津冀城市土地利用经济效益评价参数

Table 4 Evaluation results of economic benefits of land use of Beijing-Tianjin-Hebei in 2015

城市	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模收益
北京市	1	1	1	-
天津市	1	1	1	-
石家庄市	0.855	0.874	0.978	irs
唐山市	1	1	1	-
秦皇岛市	1	1	1	-
邯郸市	1	1	1	-
邢台市	1	1	1	-
保定市	0.996	1	0.996	irs
张家口市	1	1	1	-
承德市	0.913	0.997	0.916	irs
沧州市	1	1	1	-
廊坊市	1	1	1	-
衡水市	1	1	1	-
平均数	0.982	0.990	0.991	

注:“-”为规模报酬不变;irs为规模报酬递增。

明该区域城市土地利用经济效益总体水平为良,但没有达到有效。京津两地综合效率良好,石家庄、保定市、承德市三地综合效率值小于1,表明无

效率。2005年以来,河北各城市大张旗鼓开展新区、开发区或经开区建设,往往容易忽略了对于原有辖区的城市土地利用潜力挖掘。

DEA无效的城市在生产前沿面上的投影是DEA有效的,即通过适当调整无效城市的投入、产出数值使其达到DEA有效。通过对DEA无效的一个样本城市分析发现,石家庄市第一产出(单位土地第二产业产值)、第四产出(建成区绿化覆盖率)均存在产出不足的情况,需要相应增加3.82%,30.54%;投入方面,各类投入均有冗余,需要较大幅度减少单位土地固定资本额,少量减少其他投入要素。保定市纯技术效率为1,而规模效率小于1,这说明就样本单元本身技术效率而言,没有投入要素需要减少以及产出要素增加,而应该适当缩小规模。承德市产出不足要素为产出前3项,需要增加单位土地财政收入26.38%,需要增加单位土地第二产业产值16.44%以及单位土地第三产业产值8.40%。

### 3 结论与讨论

本文基于道路路网分割的城乡斑块面积与数量的定量关系,揭示二者幂律分布规律,并利用该规律对京津冀城乡用地空间开展识别验证研究,分析了京津冀城乡分布格局与道路网络特征以及城市用地经济效益,主要结论如下:

1) 基于路网分割提取城乡边界精度较高,可用于区域低成本、快速、高效地识别城乡边界,预判城市边界更新状况,预警城市蔓延。从方法的适用性来看,区域发展差异越小,该方法识别精度越高。从数据获取性来看,路网数据更新周期短,获取渠道多,包括交通、国土部门以及共享地理数据库。

2) 从京津冀城乡空间格局来看,北京地块破碎度大于天津、河北。京津平均斑块面积差异明显,天津需要重视节约集约用地,提高用地效益。河北与京津存在明显差距,实现京津冀一体化发展,必须先协调省内自身内部的发展,例如加快对邢衡的建设。

3) 从京津冀城市空间特征来看,总体上呈现“大京津、小河北”的差异性特征。河北出现了“443”的分布特征,即石、唐、保、邯4个区域大城市,张、秦、邢、廊4个节点城市以及承、衡、沧3个中小城市。从京津冀路网密度分布来看,呈现以北京为主的单中心放射状,存在京、津、石3个明显

的高密度区,与城市空间特征具有出高耦合性。

4) 通过城市土地利用经济效益分析,2015年该区域城市土地利用经济效益总体水平为良。京津两地综合效率良好,石家庄、保定市、和承德市三地综合效率值小于1,表明无效率,需要进一步提高土地利用效率,增加土地产出。

基于路网分割的方法能够有效快速识别区域尺度的城乡用地,特别适用于一体化程度较高的区域,具有可推广性。由于路网数据的限制,本文未进行多期京津冀城乡空间识别验证,还需进一步探究并完善。

### 参考文献(References):

- [1] C D Storie, J Storie, G Salinas de Salmuni. Urban boundary extraction using 2-component polarimetric SAR decomposition [C]//2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Munich, Germany, IEEE,2012:5741-5744.
- [2] 国务院发展研究中心课题组. 城乡空间边界划分的国际经验及启示[J]. 中国发展观察, 2010,(7):54-57. [Development and Research center of State Department.The international experience and Enlightenment of the division of the urban and rural space boundary. China Development Observation, 2010,(7): 54-57.]
- [3] 王迎. 城乡边界划分标准与技术研究[D]. 北京:北京大学, 2010.[Wang Ying. Research on the standards and techniques of urban and rural boundary demarcation. Beijing: Peking University, 2010.]
- [4] Ahmadi S, Zoj M J V, Ebadi H et al. Automatic urban building boundary extraction from high resolution aerial images using an innovative model of active contours[J]. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation, 2010, 12(3): 150-157.
- [5] 刘沁萍, 杨永春, 付冬暇,等. 基于DMSP\_OLS灯光数据的1992~2010年中国城市空间扩张研究[J]. 地理科学, 2014, 34(2): 129-136. [Liu Qingping, Yang Yongchun, Fu Dongxia et al. Urban Spatial Expansion Based on DMSP\_OLS Nighttime Light Data in China in 1992-2010. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(2): 129-136.]
- [6] 吴小语, 张鹏林. 融合DMSP-OLS和Landsat影像的城区边界提取[J]. 应用科学学报, 2016, 34(1):67-74. [Wu Xiaoyu, Zhang Penglin. Urban Boundary Extraction by Fusing of DMSP-OLS and Landsat Images.Journal of Applied Sciences, 2016, 34(1): 67-74.]
- [7] Tannier C, Thomas I, Vuidel G et al. A Fractal Approach to Identifying Urban Boundaries[J]. Geographical Analysis, 2011, 43(2):211-227.
- [8] 姚君兰, 王红, 胡斌斌. 基于矢量数据的城市建成区范围提取方法[J]. 测绘通报, 2016, (5): 84-87. [Yao Junlan, Wang Hong, Hu Binbin. Urban Built-up Area Extraction Based on Vector

- Data. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2016, (5): 84-87.]
- [9] 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 Haijiang, Liu Yaolin, Tan Ronghui et al. A New Algorithm of Urban Built-up Area Boundary Extraction Based on High-resolution Panchromatic Image. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2015, (7): 36-41.]
- [10] 谭兴业, 陈彦光. 基于邻域扩展量化法的城市边界识别[J]. *地理科学进展*, 2015, 34(10): 1259-1265.[Tan Xingye, Chen Yanguang. Urban boundary identification based on neighborhood dilation. *Progress in Geography*, 2015, 34(10): 1259-1265.]
- [11] 黄祥. 基于综合景观指数的城乡结合部边界划分[J]. *地理空间信息*, 2015, 13(4): 7-9. [Huang Xiang. Urban-rural Fringe Division Based on the Landscape Pattern Index. *Geospatial Information*, 2015, 13(4): 7-9.]
- [12] 杨振, 王晓霞, 刘会敏. 洱海流域城镇用地扩展边界划分研究[J]. *经济地理*, 2015, 35(2): 163-168. [Yang Zhen, Wang Xiaoxia, Liu Huimin. Defining the Boundary of the Urban Land Expansion in Erhai Lake Basin. *Economic Geography*, 2015, 35(2): 163-168.]
- [13] 高晓路, 许泽宁, 牛方曲. 基于“点-轴系统”理论的城市群边界识别[J]. *地理科学进展*, 2015, 34(3): 280-289. [Cao Xiaolu, Xu Zening, Niu Fangqu. Delineating the scope of urban agglomerations based upon the Pole-Axis theory. *Progress in Geography*, 2015, 34(3): 280-289.]
- [14] Barringtonleigh C, Millardball A. A century of sprawl in the United States[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, 112(5): 244-249.
- [15] 范科红, 李阳兵, 冯永丽. 基于GIS的重庆市道路密度的空间分异[J]. *地理科学*, 2011, 31(3): 365-371.[Fan Kehong, Li Yangbing, Feng Yongli. Spatial distribution of road density in Chongqing based on GIS. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(3): 365-371.]
- [16] 赵国梁, 郑新奇, 原智远, 等. 道网密度与城镇扩张时空变化特征及关联性分析[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(12): 220-229. [Zhao Guoliang, Zheng Xinqi, Yuan Zhiyuan et al. Spatial and temporal characteristics and correlation analysis of road networks and urban sprawl. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2015, 31(12): 220-229.]
- [17] 魏伟, 石培基, 脱敏雍, 等. 基于GIS的甘肃省道路网密度分布特征及空间依赖度分析[J]. *地理科学*, 2012, 32(11): 1297-1303.[Wei Wei, Shi Peiji, Tuo Minyong et al. The road network density and its spatial dependence in Gansu Province based on GIS. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(11): 1297-1303.]
- [18] Bin Jiang, Xintao Liu. Scaling of geographic space from the perspective of city and field blocks and using volunteered geographic information[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2013, 26(2): 215-229.
- [19] 李京涛, 周生路, 吴绍华. 道路交通网络与城市土地利用时空耦合关系——以南京市为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(1): 18-25. [Li Jingtao, Zhou Shenglu, Wu Shaohua. Relationship between traffic network and urban landuse in Nanjing with landsat TM/ETM<sup>+</sup> images. *Resources and environment in the Yangtze basin*, 2014, 23(1): 18-25.]
- [20] 李阳兵, 邵景安, 赵岩洁, 等. “二环八射”道路格局对重庆地区建设用地扩展演变特征的驱动[J]. *地理科学*, 2014, 34(3): 288-294.[Li Yangbing, Shao Jing'an, Zhao Yanjie et al. Influence of Road Pattern of “Two Rings and Eight Radial Highway” on the Evolving of Construction Land in Chongqing Area. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(3): 288-294.]
- [21] 刘承良, 余瑞林, 段德忠. 基于空间句法的武汉城市圈城乡道路网通达性演化分析[J]. *地理科学*, 2015, 35(6): 698-707. [Liu Chengliang, Yu Ruilin, Duan Dezhong. The evolution of spatial accessibility of urban-rural road network based on the space syntax in Wuhan Metropolitan Area. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(6): 698-707.]
- [22] Rozenfeld H D, Rybski D, Gabaix X et al. The area and population of cities: New insights from a different perspective on cities [J]. *The American Economic Review*, 2011, 101(5): 2205-2225.
- [23] Lämmer S, Gehlsen B, Helbing D. Scaling laws in the spatial structure of urban road networks[J]. *Physica A Statistical Mechanics & Its Applications*, 2006, 363(1): 89-95.
- [24] 彭代彦, 彭旭辉. 中国城市地价波动的幂律特性[J]. *中国土地科学*, 2016, 30(1): 61-67. [Peng Daiyan, Peng Xuhui. Power Laws Features of Land Price Fluctuation in Chinese Cities. *China Land Science*, 2016, 30(1): 61-67.]
- [25] 魏权龄. 数据包络分析(DEA)[J]. *科学通报*, 2000, 45(17): 1793-1808. [Wei Quanling. Data envelopment analysis (DEA). *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(17): 1793-1808.]
- [26] 郑新奇, 王筱明. 城镇土地利用结构效率的数据包络分析[J]. *中国土地科学*, 2004, 18(2): 34-39. [Zheng Xinqi, Wang Xiaoming. DEA Analysis for the Efficiency of land use structure in Cities and towns. *China Land Science*, 2004, 18(2): 34-39.]
- [27] 陈雪婷, 宋涛, 蔡建明, 等. 基于DEA和Malmquist的中国城市代谢效率研究[J]. *地理科学*, 2015, 35(4): 419-426. [Chen Xueting, Song Tao, Cai Jianming et al. The Chinese Urban Metabolic Efficiencies Based on the DEA and Malmquist. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(4): 419-426.]
- [28] Street Map contributors. Copyright and License[J/OL]. <http://www.openstreetmap.org/copyright>. 2016-08-12.
- [29] 国家统计局. 中国城市统计年鉴(2015)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015. [National Bureau of Statistics of China. *National Bureau of Statistics of China city statistical yearbook (2015)*. Beijing: China Statistics Press, 2015.]
- [30] 北京市统计局, 国家统计局北京调查总队. 北京统计年鉴(2015)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015. [Beijing Municipal Bureau of Statistics, NBS Survey Office in Beijing. *Beijing Statistical Yearbook (2015)*. Beijing: China Statistics Press, 2015.]
- [31] 王丽, 邓羽, 牛文元. 城市群的界定与识别研究[J]. *地理学报*, 2013, 68(8): 1059-1070. [Wang Li, Deng Yu, Niu Wenyan. The



- definition and identification of urban agglomerations. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(8): 1059-1070.]
- [32] 文魁, 祝尔娟, 叶堂林, 等. 京津冀发展报告(2016)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2016.[Wen Kui, Zhu Erjuan, Ye Tanglin et al. *Annual Report on Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region Development*(2016). Beijing: Social Sciences Academic Press(China), 2016.]
- [33] 杨建军, 汤燕, 连城. 交通引导下的城市群空间组织研究——以浙中城市群为例[J]. 浙江大学学报(理学版), 2005, 32(5): 584-587.[Yang Jianjun, Tang Yan, Lian Cheng. Research on urban agglomerations' spatial organization oriented by transportation: The case of mid-Zhejiang urban agglomeration. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 2005, 32(5): 584-587.]

## Urban and Rural Spatial Recognition and Analysis Based on Road Networks Segmentation: A Case Study of Beijing-Tianjin-Hebei

Zhao Guoliang, Zheng Xinqi, Liu Fei, Liu Dongya

(School of Information Engineering, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In recent years, urban expansion is grim with rapid urbanization in China. Border recognition for urban and rural space is the technical prerequisite of urban sprawl control. Existing urban-rural boundary identification methods could accurately extract the city boundaries in theory, but also has some difficulties including data acquisition, poor real-time and heavy workload. Therefore, we proposed an approach based road networks segmentation applied to quickly identify urban border in regional scale. The method was based on strong coupling link between road network and urban spatial structure. Rural patches and urban patches were generated with a geographic division of the road network. By calculating optimal solution of the evaluation accuracy with land use map, rural patches and urban patches were used to identify urban and rural space. Taking Jing-Jin-Ji as an example, the space of urban and rural area was extracted and the related accuracy was verified. Then this article analyzed the spatial pattern of urban and rural, characteristics of road network and economic efficiency of urban land. Results indicated that: 1) The extraction accuracy by this method is high, and it can be used for low-cost, fast and efficient identification for urban-rural space on regional scale; 2) Urban spatial distribution of Jing-Jin-Ji presented a significant differences of “bigger Beijing and Tianjin, smaller Hebei”, and characteristics of road network density presented three remarkable high-density region in Beijing, Tianjin and Shijiazhuang, exhibiting high coupling with urban spatial distribution; 3) The economic efficiency of urban land in Jing-Jin-Ji was generally good in 2015 and overall efficiency value in Shijiazhuang, Baoding and Chengde was poor and needed to further improve the efficiency of land use. In total, spatial identification for urban and rural based on road network data have an advantage from real-time data and relatively high computational efficiency, furtherly enriching the existing urban-rural boundary extraction methods.

**Key words:** urban-rural area; regional scale; road network; spatial analysis; Beijing-Tianjin-Hebei