

# 基于 Landsat 数据沈阳城市建成区动态监测研究

王井利<sup>1</sup>,张 宁<sup>1</sup>,杨成杰<sup>1</sup>,赵 鑫<sup>2</sup>

(1. 沈阳建筑大学交通工程学院,辽宁 沈阳 110168;2. 中铁十九局集团矿业投资有限公司,北京 100071)

**摘要** 目的 研究城市建成区扩展的时空特征,加深对城市化理论的理解,为城市未来的城市化进程提供有效的时空决策依据. 方法 基于辽宁省沈阳市2000—2015年 Landsat-7 遥感影像数据,首先对原始遥感图像进行几何校正;接着对精纠的遥感图像,进行图像的拼接和裁剪;然后通过监督分类和非监督分类,把裁剪后的图像按建设用地、耕地、林地、水域以及未利用土地进行分类;利用 ENVI5.3 的 Confusion Matrix 功能,计算了两种分类精度的总体精度和 Kappa 系数. 结果 计算得到监督分类总体精度为 92.36%、Kappa 系数为 0.88,非监督分类总体精度为 77.32%、Kappa 系数为 0.65;2000—2015 年沈阳市建成区扩展先后表现为急剧的扩展和逐渐趋于稳定这两类特征;建成区紧凑度不断下降,分行维数呈上升态势. 结论 2000—2015 年沈阳市建成区总体处于快速扩展的时期,主要以外部分散式延伸扩展为主,在空间上的离散程度很大;GDP 因素、人口因素和全运会举办所带来的影响是沈阳建成区扩展的驱动因素.

**关键词** 遥感解译;动态监测;建成区;城市扩张

中图分类号 TU984;TP75 文献标志码 A

## Dynamic Monitoring Research on Built-up Area in Shenyang Based on Landsat Data

WANG Jingli<sup>1</sup>, ZHANG Ning<sup>1</sup>, YANG Chengjie<sup>1</sup>, ZHAO Xin<sup>2</sup>

(1. School of Transportation Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. China Railway 19<sup>th</sup> Bureau Group Mining Investment, Beijing, China, 100071)

**Abstract:** Time-space expansion of built-up area in city is one of the important measure index of urbanization process. Studying the spatio-temporal characteristics of the expansion of urban built-up areas can deepen the understanding of urbanization theory and provide effective spatio-temporal basis for decision-making in future urbanization process in city. Based on the Landsat-7 remote sensing images of Shenyang City, Liaoning Province from 2000 to 2015, this paper firstly performs geometric correction on original data, then performs image stitching and cropping on the well corrected images, then through supervised classification and unsupervised classification, the cropped

收稿日期:2018-10-16

基金项目:国家自然科学基金项目(517742204)

作者简介:王井利(1971—),男,教授,主要从事测绘工程方面研究.

images are classified according to construction land, cultivated land, woodland, waters, and unused land, finally overall accuracy and Kappa coefficients in these two classification methods are calculated in ENVI 5.3 Confusion Matrix. The overall accuracy of the supervised classification is 92.36%, the Kappa coefficient is 0.88, the overall accuracy of the unsupervised classification is 77.32%, and the Kappa coefficient is 0.65. From 2000 to 2015, the expansion of the built-up area in Shenyang has shown a sharp expansion and gradually stabilized. Two types of characteristics; the compactness of the built-up area continues to decline, and the branch dimension is on the rise. From 2000 to 2015, the built-up area of Shenyang City was in a period of rapid expansion, mainly based on external divergence extension and expansion, and the spatial dispersion was very large. The GDP factor, the population factor and the impact of the National Games are the driving factors for the expansion of Shenyang's built-up area.

**Key words:** remote sensing interpretation; dynamic monitoring; built-up area; urban expansion

我国对城市土地利用扩展规律的研究十分薄弱。随着改革开放的深入,城市土地利用制度的实施,房地产等第三产业的快速发展,以及城市土地的快速扩张,逐渐暴露出土地、环境、资源等各种问题。城市土地利用研究<sup>[1]</sup>,如形态<sup>[2]</sup>、动态模型<sup>[3]</sup>、扩展模型<sup>[4]</sup>和空间结构<sup>[5]</sup>等逐渐成为城市领域的研究热点。对城市空间发展驱动力的讨论,历来被诸多学者以不同的理论学说加以阐释,通过不同角度和方法对这一问题进行了深入的研究。

近30多年来,在改革开放政策的驱动下,沈阳市经历了一个城市建设用地和城市人口快速增长的过程。市区迅速扩大,使得城市化进程明显,出现了一个大规模的土地利用覆盖变化。在城市区域规划研究方面,马晓勇等<sup>[6]</sup>以太原市近15年Landsat数据为基础,分析了太原市城市景观格局的时空变化特征;王宁涛等<sup>[7]</sup>提取武汉市1987—2009年Landsat数据,分析了武汉城市发展的驱动力因素;胡长慧<sup>[8]</sup>基于1989年、1995年、2004年和2010年四个时相的开封市Landsat数据,得出开封用地扩张的为“摊大饼”式的时空特征。但目前遥感领域,长时间序列中多为隔年数据采样,连续采样进行时空序列建模的较少。反观沈阳市,近年来缺少从空间和时间上对建成区扩展的驱动力进行系统的研究和分析,这使得对于沈阳市建成区变化过程的了解受到了限制。因此,笔者试图通过对长

时间序列的连续采样,提取2000—2015年Landsat-7遥感数据进行处理和分析,认识和了解近15年来沈阳市建成区扩展的基本过程。结果表明:2000—2015年沈阳市建成区总体处于快速扩展的时期,主要以外部发散式延伸扩展为主,在空间上的离散程度很大;GDP因素、人口因素和全运会举办所带来的影响是沈阳建成区扩展的驱动因素。

## 1 沈阳市建成区动态监测流程

沈阳市建成区动态监测总体流程如图1所示。

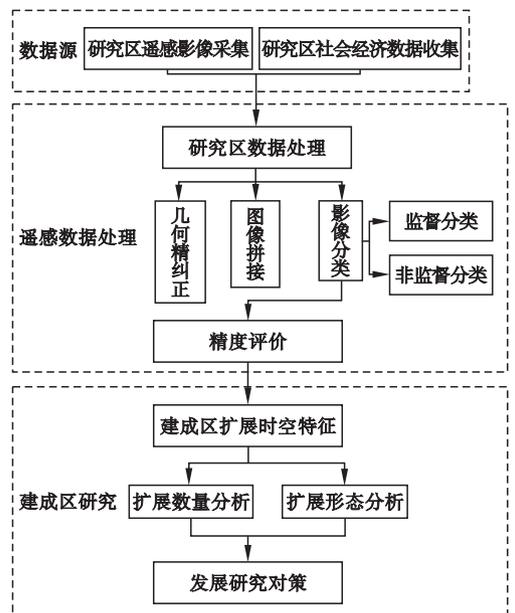


图1 建成区动态监测流程

Fig. 1 Dynamic monitoring process for built-up area

笔者选取沈阳中部地区作为研究区域,采用 LANDSAT-7 ETM + 卫星影像以及参考社会经济数据,通过几何精纠正、图像拼接、影像分类的方式,对 TM 多光谱数据进行处理,提取更为清晰准确的遥感影像数据。

## 2 遥感数据处理与信息提取

### 2.1 影像几何精纠正

将图像数据投影到几何平面,使其契合地图投影的系统进程,被称为影像的几何纠正<sup>[8]</sup>。选取道路和水体的拐角、交叉口、交汇处这些易识别的标志,作为研究区地形图的地面控制点。通过空间位置精计算和内插亮度值,构建连续的内插函数,求解图像几何畸变的过程。

### 2.2 图像拼接裁剪

若研究区域不在同一幅影像上,则遥感影像需要进行影像的拼接工作,以方便图像的统一处理和解释<sup>[9]</sup>。遥感影像的拼接,就是将具有地理信息数据的诸多相邻遥感图像,整合成一幅统一新图像的过程<sup>[10]</sup>。笔者以沈阳市中心城区的行政区作为研究区数据,利用 ENVI 5.3 进行图像的拼接裁剪,得出所需数据。

### 2.3 影像分类

#### 2.3.1 非监督分类

非监督分类是对遥感图像中光谱信息特征集中的像元进行分类,不需要人工选取感兴趣区域(Region of Interest, ROI)的一种分类方法。所有多光谱信息的原始图像都参与像元的分类操作,分类结果以各种类像元数等比例分配为主。由于较少的操作员干扰,非监督分类是个高度自动化的过程<sup>[11]</sup>。通过 ENVI 5.3 软件,将 IsoData 算法应用于沈阳市建成区面积的非监督分类(见图 2)。以 2014 年沈阳 Landsat7-ETM 遥感影像为例,分类的结果中 Kappa 系数为 0.65,分类的精度为 77.32%。

#### 2.3.2 监督分类

监督分类采用人工目视解译的方式选择

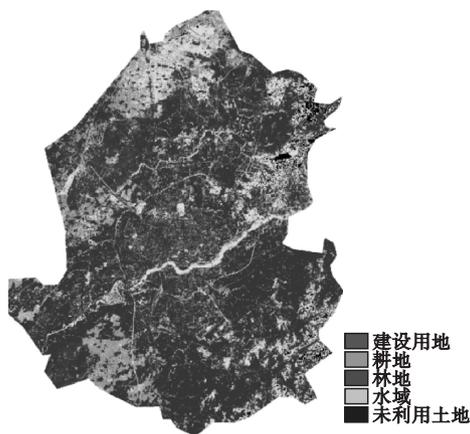


图 2 非监督分类

Fig. 2 Unsupervised classification

训练样本,通过人机交互对遥感图像进行分类。笔者分析沈阳市研究区的卫星影像,定义了 5 类训练集:建设用地、耕地、林地、未利用土地和水域,作为本次试验的地物样本。利用 ENVI 5.3 的 Confusion Matrix 功能,计算出分类精度的混淆矩阵,以 2014 年沈阳 Landsat7-ETM 遥感影像为例(见图 3),该监督分类的 Kappa 系数为 0.88,总体精度为 92.36%。

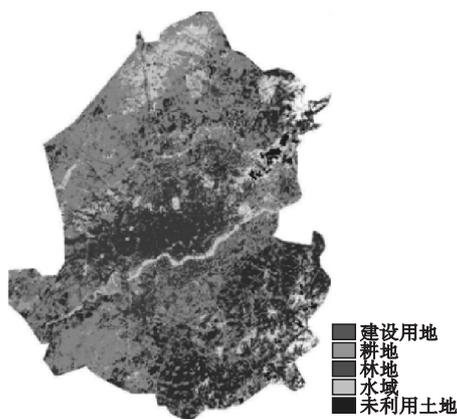


图 3 监督分类

Fig. 3 Supervised classification

### 2.4 影响分类精度评价

以 2014 年沈阳 Landsat7-ETM 遥感影像为例。在此次分类结果中,非监督分类的 Kappa 系数为 0.65,总体精度为 77.32%,较高的自动化程度,带来的是各类训练样本分类效果差的结果。尤其是把建设用地与耕地

的像元混同,这会导致遥感图像提取后,产生建成区范围显著扩大的误差,严重影响试验精度. 监督分类的 Kappa 系数为 0.88, 总体精度为 92.36%. 由此可见, 监督分类能够将城市建成区很好地提取出来, 在两种分类法中精度较高, 分类图中建成区相对准确. 相比于非监督分类, 监督分类能实现把建成区与耕地的像元很好地分离出来, 达到试验的预期分类效果.

表 1 两种分类方法的对比

Table 1 Comparison of two classification methods

分类方法	总体精度/%	Kappa 系数
监督分类	92.36	0.88
非监督分类	77.32	0.65

### 3 沈阳建成区监测及扩展分析

#### 3.1 监测结果与统计年鉴对比

本试验将监测的数据分别与中国城市统计年鉴和辽宁城市统计年鉴进行比较(见表 2、表 3), 以确保本试验监测结果的准确性.

表 2 2000—2015 年沈阳市城市统计年鉴记录与监测结果对比

Table 2 Comparison of statistical yearbook records and monitoring results of Shenyang from 2000 to 2015

年份	沈阳市城市面积/km <sup>2</sup>		
	辽宁城市统计年鉴记录结果	中国城市统计年鉴记录结果	实际监测结果
2000	202.00	217.00	210.75
2001	238.00	238.00	240.51
2002	249.00	249.00	247.56
2003	261.00	261.00	264.34
2004	291.00	305.50	300.57
2005	310.00	310.00	318.32
2006	325.00	325.00	320.98
2007	347.00	347.00	349.87
2008	370.00	370.00	367.95
2009	395.00	395.00	400.87
2010	412.00	412.00	410.54
2011	430.00	430.00	434.12
2012	455.00	455.00	458.46
2013	455.00	455.00	452.42
2014	465.00	465.00	469.75
2015	465.00	465.00	470.56

表 3 2001—2015 年中国城市年鉴与监测结果的绝对误差与相对误差

Table 3 Absolute error and relative error of China city yearbook and monitoring results from 2001 to 2015

年份	城市年鉴与监测结果面积误差	
	绝对误差/km <sup>2</sup>	相对误差/%
2001	2.51	-1.05
2002	1.44	0.57
2003	3.34	1.27
2005	8.32	2.68
2006	4.02	1.24
2007	2.87	0.83
2008	2.05	0.55
2009	5.87	1.49
2010	1.45	0.35
2011	4.12	0.96
2012	3.46	0.76
2013	2.58	0.56
2014	4.75	1.02
2015	5.56	1.20

由表 2 可以看出, 2000 年和 2004 年辽宁城市统计年鉴与中国城市统计年鉴有出入, 是因为面积相差较大, 对建筑面积的扩展分析影响较大, 因而本试验剔除了 2000 年和 2004 年这两年的数据比较<sup>[12]</sup>. 本试验比较方法采用的是, 计算监测结果与两部城市统计年鉴的绝对误差和相对误差<sup>[13]</sup>, 以此来判断两者间的差异.

本试验中遥感监测结果与城市年鉴对比所产生误差的原因, 总结为以下两点. 其一, 除实际开发建设中的城市行政区域和非农业生产区、建设用地被征用的土地外<sup>[14]</sup>, 笔者还把面积较大的浑河、湖进行了单独分类. 其二, 笔者认为最主要的差别来源于统计时所采用的方法上. 统计年鉴对城市建成区面积的统计采用土地累积法, 此法的局限在于其较大的滞后性和不包含未经政府审批的违建用地, 但是遥感监测时不会对此进行区分, 会

直接包含这些建筑用地面积。

### 3.2 沈阳市建成区扩展分析

#### 3.2.1 扩展速度分析

研究建成区绝对扩展速度,定量分析了不同时期建筑面积的扩张速度.建成区相对扩展速度,该速度描述了某时间段内研究区内的某种土地类型面积动态变化的情况.

$$V = (U_b - U_a) / \Delta T, \quad (1)$$

$$V' = \frac{U_b - U_a}{U_a} \cdot \frac{1}{\Delta T} 100\%. \quad (2)$$

式中: $V$ 为建成区面积的年平均扩展速度; $V'$ 为城市建成区相对扩展速度; $U_b$ 和 $U_a$ 分别为研究时间段中最后一年和最开始年的城市建成区面积; $\Delta T$ 为计算建成区扩展面积时的某时间段,以年为单位.

沈阳市建成区面积近些年变化情况如图4所示.笔者以3年作为研究的时间段,由公式(1)、(2)计算可得出数据,如表4所示.

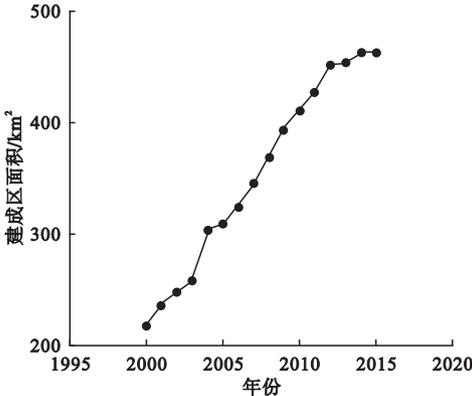


图4 2000—2015年沈阳市建成区面积

Fig. 4 Built-up area in Shenyang from 2000 to 2015

表4 沈阳建成区面积扩展速度

Table 4 Expansion speed of built-up area in Shenyang

时间段	绝对扩展速度/ ( $\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ )	相对扩展 速度/%
2001—2003年	7.67	3.22
2004—2006年	6.50	2.13
2007—2009年	16.00	4.61
2010—2012年	14.33	3.48
2013—2015年	3.33	0.73

综上所述,2001—2015年间沈阳市建成区面积总体处于快速扩展的时期.扩展趋势表现为剧烈扩展和逐渐稳定这两大特征.从大体趋势上看,沈阳市建成区在2007—2012年间,受经济开发影响较大,城市化进程加快,城市土地扩张极为猛烈.而2012—2015年,建成区扩展则较为缓慢,受限于自然地理条件的原因,城市的发展空间逐渐不足,最后趋于稳定.

#### 3.2.2 扩展形态分析

研究紧凑度<sup>[15]</sup>和分形维数<sup>[16]</sup>,可以从空间上客观把握城市建成区的扩张状况.

紧凑度能够反应地物的形状.紧凑度的变化能够体现出,城市在不同发展时间段内地理空间的形态特征.

$$C = 2\sqrt{\pi A}/P. \quad (3)$$

式中: $C$ 为紧凑度,取值范围为0~1; $A$ 为建成区面积, $\text{km}^2$ ; $P$ 为建成区轮廓周长, $\text{km}$ .圆被认为是形态最紧凑的图形,其紧凑度等于1<sup>[17]</sup>.

对于建成区而言,分形维数反映的该城市的发展模式,以沿边缘扩张抑或是内部填充式发展.城市发展到一定阶段的时候分形维数必然会增大.

$$S = \frac{2\ln\left(\frac{P}{4}\right)}{\ln A}. \quad (4)$$

式中: $S$ 为城市建成区分形维数; $A$ 为建成区面积, $\text{km}^2$ ; $P$ 为建成区轮廓周长, $\text{km}$ <sup>[18]</sup>;分形维数的取值范围为1~2,维数越大,图形的形状就越为复杂.

用 ArcGIS 10.1 按不同年份分别提取研究区边界,再由式(3)、式(4),可计算得出数据,如表5所示.由表5可以看出,2001年沈阳市虽然建成区规模较小,但也开始以块状形态为中心<sup>[19]</sup>,沿城市的边缘以发散式或不规则的形状向外不断扩展,并于2015年后这种形态特征趋于稳定.2001—2015年,沈阳市建成区紧凑度不断下降,而分形维数总体上

呈上升态势.这说明了沈阳市建成区的扩展主要以外部分散式延伸扩展为主,在空间上的离散程度很大.

表5 沈阳建成区扩展形态

Table 5 Expansion form of the built-up area in Shenyang

年份	紧凑度	分形维数
2001	0.17	1.57
2005	0.15	1.58
2010	0.13	1.63
2015	0.12	1.65

## 4 沈阳市建成区扩展驱动力分析

### 4.1 经济总量增长

经济总量的增长变化,是一座城市城市化发展的主要驱动力之一.而城市的生产总值,即GDP,更是能够反映出城市地区经济发展活动的重要一环.2001—2015年沈阳市的GDP情况如图5所示.由图5可知,通过对沈阳市GDP与建成区面积的比较分析,得出沈阳市GDP与建成区面积之间存在着较强的相关性.城市建成区面积与该地区生产总值成正比.

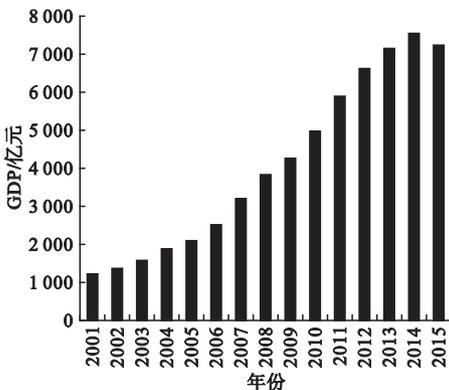


图5 2001—2015年沈阳GDP总量

Fig. 5 Total GDP in Shenyang from 2001 to 2015

### 4.2 人口增长

2001—2015年沈阳市人口总量的变化情况如图6所示.由图可知,由于人口的大量聚集于一定的区域范围内,才形成了现如今人们所居住的城市.城市人口的总量直接影响着城市的住房供应,人口的增长直接刺激

作用于城市建成区面积的扩张.

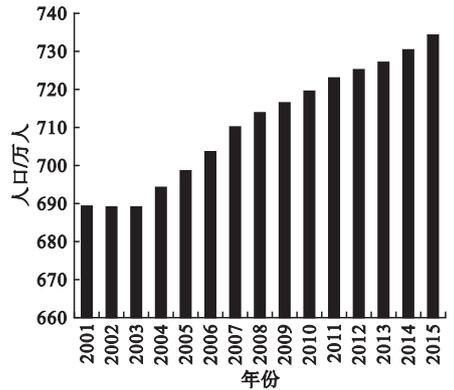


图6 2001—2015年沈阳人口总量

Fig. 6 Total population of Shenyang from 2001 to 2015

### 4.3 全运会举办

第十二届全运会在沈阳市的成功举办,标志着沈阳市在2013年之后的几年进入空前的发展阶段.全运会的筹备阶段,基础设施的完善、交通道路的维护以及各种体育场馆的修建工作,大量资金的流入,各类建设人才的涌入,无一不在刺激着沈阳市城市化的进程.全运会期间以及结束之后,所带动的各种消费,也都在拉动着沈阳经济的发展,并在一定的程度上促进着建成区面积的增加.

## 5 结论

(1)通过试验提取了Landsat-7 ETM+数据,计算出监督分类总体精度为92.36%、Kappa系数为0.88,非监督分类总体精度为77.32%、Kappa系数为0.65,印证了监督分类优于非监督分类.

(2)采用实际监测结果与年鉴记载结果的比对,证明了分类方法的有效性与分类结果的准确性.

(3)沈阳市建成区面积与扩展速度,反映出2001—2015年间沈阳市建成区面积总体处于快速扩展的时期,并且扩展趋势表现为剧烈扩展和逐渐稳定这两大特征;而建成区紧凑度不断下降,分行维数总体上呈上升态势,表现出沈阳市建成区的扩展主要以外部分散式延伸扩展为主,在空间上的离散程

度很大。

## 参考文献

- [1] 牟凤云,张增祥,刘斌,等.济南市近二十五年城市建成区的空间扩展遥感监测[J].山东农业大学学报(自然科学版),2008,39(1):73-79.  
(MU Fengyun,ZHANG Zengxiang,LIU Bin, et al. Remote sensed monitoring of Jinan city in 25 years and driving forces analysis [J]. Journal of Shandong agricultural university, 2008,39(1):73-79.)
- [2] FLORES R, GAGLIARDI P, ASENSIO C, et al. A case study of the influence of urban morphology on aircraft noise [J]. Acoustics Australia,2017,45(10):1-13.
- [3] SHEN L, SHUAI C, JIAO L, et al. Dynamic sustainability performance during urbanization process between BRICS countries [J]. Habitat international,2017,60:19-33.
- [4] YAN Y, LIU X, WANG F, et al. Assessing the impacts of urban sprawl on net primary productivity using fusion of Landsat and MODIS data [J]. Science of the total environment,2018,613:1417-1429.
- [5] PITERA K, POKORNY P, KRISTENSEN T, et al. The complexity of planning for goods delivery in a shared urban space: a case study involving cyclists and trucks [J]. European transport research review,2017,9(3):46.
- [6] 马晓勇,赵娜.太原市近15年城市景观格局时空变化及驱动力[J].水土保持通报,2018,38(4):314-322.  
(MA Xiaoyong,ZHAO Na. Spatial temporal changes and driving forces of urban landscape pattern in Taiyuan in the last 15 years [J]. Bulletin of soil and water conservation,2018,38(4):314-322.)
- [7] 王宁涛,崔放,陈植华,等.武汉市1987—2009年城市发展及其驱动力分析[J].安全与环境工程,2012,19(4):1-7.  
(WANG Ningtao,CUI Fang,CHEN Zhihua, et al. Analysis on the urban development and driving force in Wuhan city during 1987—2009 [J]. Safety and environmental engineering, 2012,19(4):1-7.)
- [8] 胡长慧.开封城市用地扩张时空特征及驱动力分析[D].郑州:河南大学,2014.  
(HU Changhui. Study on spatio-temporal characteristics and driving forces of urban land expansion in Kaifeng [D]. Zhengzhou: He'nan University,2014.)
- [9] 吴婷婷.基于遥感和GIS的土地利用/覆盖变化分析[D].北京:中国地质大学(北京),2012.  
(WU Tingting. Research on the LUCC by remote sensing and GIS [D]. Beijing: China University of Geosciences,2012.)
- [10] YANG Y,GAO Y,LI H,et al. An algorithm for remote sensing image mosaic based on valid area [C]. International symposium on image and data fusion. [S. l.]:IEEE,2011:1-4.
- [11] 李爱民.基于遥感影像的城市建成区扩张与用地规模研究[D].郑州:解放军信息工程大学,2009.  
(LI Aimin. Research on urban built-up area expansion & land use scale based on remote sensing images [D]. Zhengzhou: Information Engineering University,2009.)
- [12] 关伟,王宁.沈阳经济区经济与环境耦合关联分析[J].地域研究与开发,2014,33(3):43-48.  
(GUAN Wei,WANG Ning. A correlative analysis of the economic and environmental coupling in Shenyang economic zone [J]. Areal research and development,2014,33(3):43-48.)
- [13] 杨晨.摄像机标定算法的研究[D].沈阳:东北大学,2014.  
(YANG Chen. Research on the camera calibration algorithm [D]. Shenyang: Northeastern University,2014.)
- [14] 金城.基于紧凑城市视角的技术效率研究[D].杭州:浙江工商大学,2012.  
(JIN Cheng. The research on urban technical efficiency based on compact city [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University,2012.)
- [15] SANIROYCHANSYAH M,FARMAWATI A, ANINDYAH D S, et al. Urban compactness effects on the distributions of healthy houses in Yogyakarta city [J]. Procedia-social and behavioral sciences,2016,227:168-173.
- [16] 李江.城市空间形态的分形维数及应用[J].武汉大学学报(工学版),2005,38(3):99-103.  
(LI Jiang. Fractal dimension of urban spatial morphology and its application [J]. Engineering journal of Wuhan university, 2005,38(3):99-103.)
- [17] 乌云嘎,冬梅.锡林浩特市城市扩展特征及驱动力分析[J].阴山学刊(自然科学版),2015(1):37-40.  
(WU Yunga,DONG Mei. Characteristics of urban expansion in Xilinhot city analysis [J]. Yinshan academic journal,2015(1):37-40.)
- [18] 李一曼.长春城市蔓延测度、机理与治理对策研究[D].长春:东北师范大学,2011.  
(LI Yiman. A research to the measurement, mechanism and countermeasure of urban sprawl of Changchun [D]. Changchun: Northeast Normal University,2011.)
- [19] 高雁鹏,徐筱菲,修春亮.基于GIS的沈阳旧城区叙事空间研究[J].人文地理,2018(3):52-60.  
(GAO Yanpeng,XU Xiaofei,XIU Chunliang. Research on the narrative space of old district in Shenyang based on GIS [J]. Human geography,2018(3):52-60.)  
(责任编辑:刘春光 英文审校:范丽婷)