

基于 ANN-CA 的中小城市空间拓展分析

——以福建平和县为例

丁美辰¹, 蔡卓²

(1. 厦门大学嘉庚学院建筑学院, 福建 漳州 363105; 2. 漳州市城市规划设计有限公司, 福建 漳州 363005)

摘要:以福建平和县中心城区城市空间为研究对象,采用耦合神经网络(ANN)和元胞自动机模型(CA),依据2003年、2009年、2017年平和县城市土地利用数据,选取地形坡度、交通设施、规划政策作为城市扩张驱动主因子,对2030年城市空间拓展进行模拟预测。结果表明:三因子对城市土地利用变化量及形态发展有着积极影响,以政府部门为主导的规划政策因子影响力显著;2033年平和县空间扩张形态预测结果与城市未来发展趋势相符合,计算两者的KAPPA系数,一致度达72.82%;ANN-CA耦合模型对于中心城区未开发利用的真空地带有预算效用,并能够实现城市骨干道路蔓延预测。

关键词:中小城市;城镇化;城市空间拓展;ANN-CA;平和县

中图分类号:TU984 **文献标志码:**A

2018年我国城镇化率达到59.58%,预计到2030年将达到70%,我国正步入城镇化中期阶段^[1]。自2011年以来,我国开始系统检讨传统的城镇化模式,它带来了超大城市的快速膨胀和大量中小城市、小城镇日渐凋敝的问题。伴随着中央提出的“构建科学合理的城市格局,大中小城市和小城镇、城市群要科学布局”等重大决策,中小城镇的发展出现了崭新的机遇和广阔的空间^[2]。中小城市城镇化的健康发展,需要管理者更加科学地对城市土地资源进行规划和开发建设。

科学划定城市开发边界不仅能够集约利用空间资源,控制城市无序蔓延,更在保护自然生态环境的同时助力城市社会经济可持续发展。近年来,不少学者利用ANN-CA

(artificial neural network-cellular automata)耦合模型动态模拟城市时空演变规律,预测未来土地利用变化,用以辅助城市用地动态模拟、城市开发边界、生态红线保护等城市规划工作,并取得了众多具有意义的研究成果。例如,刘荣增等^[3]利用耦合模型探索了郑州市城市空间拓展变化特征;雷云等^[4]针对珠海市永久性基本农田保护区进行了划定分析;刘明皓等^[5]、孟飞等^[6]、余娜等^[7]、刘建华等^[8]、黎夏等^[9]、赵莉等^[10]等对各类城市进行了生态用地演变模拟;林伊琳等^[11]、黄康等^[12]、招晖等^[13]利用FLUS模型对城镇用地增长边界划定的方法进行了探索。但是,关于中小城市的城市空间扩展的相关学术研究较为匮乏。

平和县隶属于福建省漳州市,是典型的

收稿日期:2020-08-11
基金项目:福建省住房和城乡建设厅科技计划项目(2017-K-99);厦门大学嘉庚学院预研项目(YY2019L04)
作者简介:丁美辰(1991—),女,湖北武汉人,硕士。

闽东南中小城市。近年来,平和县地区生产总值、城镇化水平以及规模工业总产值位居漳州市11个县(市、区)的第10位左右,农业产值稳居漳州市第1位。平和县中心城区以“特色农业强县、文化旅游名县、生态工贸大县”为总体发展目标。面对其各项产业发展对于城市空间资源的影响,如何在保持平和县优良生态资源的同时,均衡发展城市边界开发空间,成为平和县城市总体规划布局的重要步骤。

鉴于此,笔者选取福建省平和县中心城区为研究对象,采用耦合神经网络和元胞自动机模型,模型的训练数据采用2009年、2013年和2017年中心城区土地利用现状图,通过选取适当的训练参数和模拟参数,以预测平和县中心城区2030年城市国土空间布局,并依据预测结果分析平和县中心城区未来城市空间的变化,试图发掘我国中小城市空间拓展的规划思考。

一、研究区域、方法及数据选取

1. 研究区域概况

笔者选取的研究区为福建省平和县中心城区,它是平和县的政治、经济、文化中心。市域总面积为205.23 km²,行政区划包括小溪镇以及山格镇大部。其中,建成区面积为19.75 km²,主要集中分布于花山溪、牛头溪两岸的原县城中心片、高南片、溪南片和山格老镇区,其他零星分布于外围村庄农居点(见图1)。

2. 研究方法

本研究以模拟预测平和县城市空间拓展为目的,主要采用耦合神经网络(ANN)与元胞自动机模型(CA)两种算法结合进行,统称ANN-CA。首先,模拟耦合神经网络算法用于寻找基准年份的土地利用现状与各类驱动力因子(自然、经济、交通、区位、GDP、人类活动等)的关系,计算出研究范围内每种土地利用类型在每个像元上的出现概率,从而得出具有发展潜力的地区。其次,基于元胞自动机模型的自适应惯性机制,将其用于模拟未来城市用地演变。将多种土地现状分类数据作为初

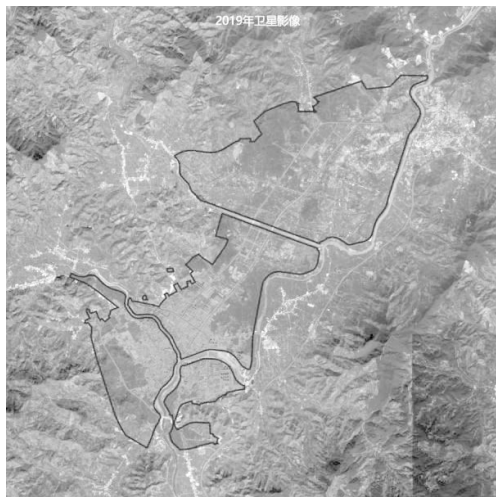


图1 2019年平和县中心城区建成区范围

始输入数据,并预设各土地利用类型变化数量的目标。最终在不同土地类型的相互转化成本、适宜性概率数据、约束性条件(永久基本农田、生态保护红线等)等因素影响下,为城镇建设用地未来演变提供情景模拟。

3. 数据选取

(1) 文本资料

研究数据来源于《福建省陆域生态保护红线划定成果调整初步建议方案(征求意见稿)》《福建省林地保护利用规划(2010—2020)》《平和县国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》《平和县城乡总体规划(2015—2030)》《平和县土地利用总体规划(2006—2020)》《平和县花山溪河道岸线及河岸生态保护蓝线规划报告》等经依法批准的相关规划。

(2) 图形资料

首先,收集2009年、2013年、2017年平和县中心城区的土地利用现状图,在ArcGIS平台上建立平和县基准年份土地利用空间分布数据库。其次,在地理空间数据云中收集平和县中心城区30 m×30 m的DEM数据,并将以上数据进行归一化处理以及统一坐标系。

空间影响因子数据包括与城市中心、高速公路、普通公路的距离等。行政区划矢量数据包括小溪、山格等生态保护红线区、水利生态保护蓝线数据和永久基本农田保护区的行政边界。

二、平和县空间现状及驱动因子分析

1. 平和县土地利用现状

根据国土二调数据可获取平和县 2009 年、2013 年和 2017 年的土地利用现状(见图

2)。参考《平和县中心城区城市开发边界划定(2018—2030)》的分析,中心城区现状建设用地、耕地和林地占比达研究范围的 97.4%,因此,这三大类用地变化在整体用地结构中起决定性作用。

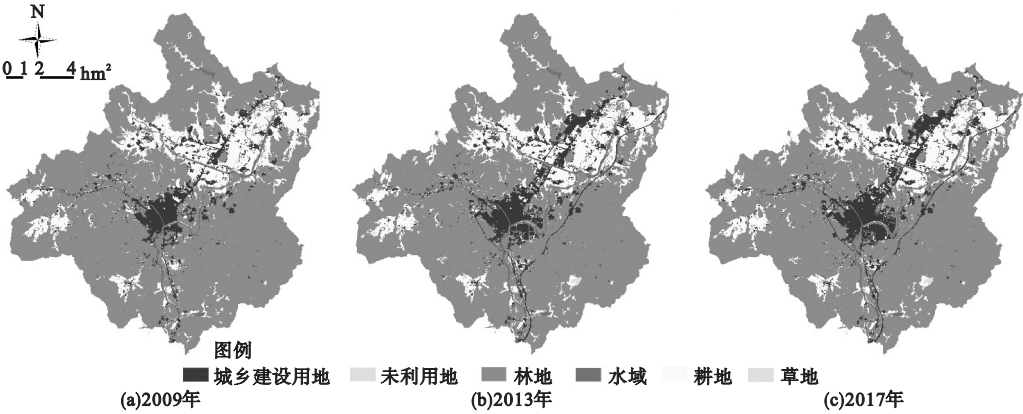


图 2 平和县中心城区基准年份土地利用现状

(1)数量方面
通过对 2009 年和 2017 年平和县中心城区土地利用现状的数据进行对比发现,建设用地规模从 1 424.76 hm² 增长至 1 974.73 hm²,增长了 549.97 hm²。水体和未利用面积基

本保持平稳状态,而林地的面积缩小较大,从 15 560.80 hm² 缩减至 14 925.91 hm²,减少了 634.89 hm²(见表 1)。从基本趋势来看,平和县中心城区建设用地增势明显,其变化情况与林地的变化具有较强相关性。

表 1 平和县中心城区土地利用面积的变化情况

年份	城乡建设用地	林地	水域	草地	耕地	未利用地
2009	1 424.76	15 560.80	389.66	28.60	3 055.03	65.00
2013	1 867.80	15 556.16	379.43	100.01	3 057.97	62.47
2017	1 947.73	14 925.91	395.43	85.74	3 080.97	61.06

(2)转移方向方面
2009—2017 年,平和县城乡建设用地的增量主要表现为耕地(195.81 hm²)和林地(344.33 hm²)向建设用地的转入,占建设用地增量的 98.21%。按耕地占补平衡政策的要求,耕地的变化呈现平稳微增的趋势,其中,转入量为 236.89 hm²,转出量为 210.95 hm²,表现为耕地向建设用地、林地向耕地的转入。林地则主要向耕地和城乡建设用地转出,其他用地总量变化平稳。

2. 驱动因子分析

驱动因子是影响神经网络适宜性概率计算的重要因素,考虑本研究主要研究对象为城市建设用地及城市开发边界,因此,驱动因子选取具有代表性的地形坡度因素(高程因

子、坡度因子)、规划因素(规划政策因子)、交通设施因素(与城市中心距离因子、与铁路距离因子、与高速公路距离因子)。最终,通过元胞自动机模型(CA)拟合结果与目标年份对比真实数据的因子参数的优劣性,提高预测年份的成果准确率。

(1)地形坡度因素

地形坡度因子包括一定高程以上的山体以及坡度比 25% 以上的区域。为更好地保护中心城区周边的山体环境,将中心城区周边高程 100 m 以上的山体划入刚性边界控制要素。中心城区整体地形地貌呈现两边高、中间低的特点;岭尾、大屏前、大昆尾等外三山限制了城市向东、向西的蔓延,开发建设难度较大(见图 3)。

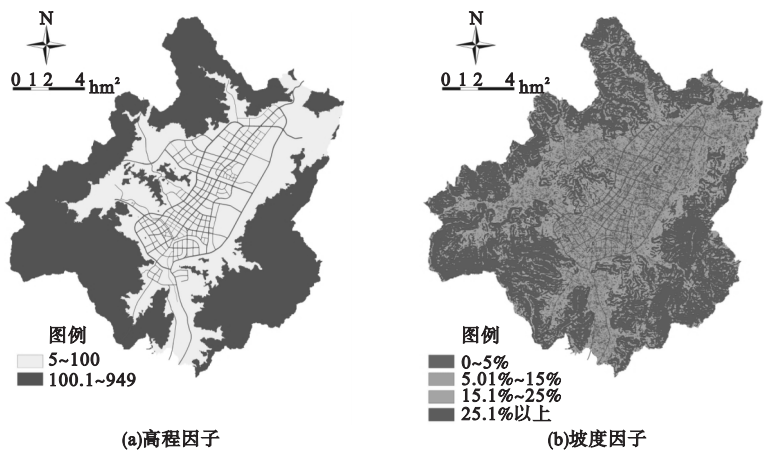


图3 平和县地形坡度单因子

(2) 规划因素

政府的规划策略是人为影响城市空间发展的主要因素之一。在平和县十三五规划、最新的城市总体规划等政策中,平和县中心城区都是承载县域产业、生活的主要功能区域。此外,永久基本农田保护边界、生态保护红线边界和河道保护蓝线等空间管制政策工具对城市扩张都有着严格的限制要求(见图4)。

(3) 交通设施因素

城市交通基础设施是城市扩张发展的重要影响因素,交通布局在很大程度上决定了城市空间扩展的方向。根据距离高速公路出入口、铁路客货站出口以及距国道、省道等交通干线的远近,不仅可以对城市交通的可达

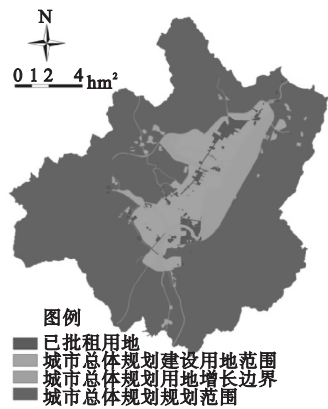


图4 平和县规划政策单因子

性进行分析,还能计算其交通网络的时间成本,以此推算城市发展趋势的优势和劣势(见图5)。

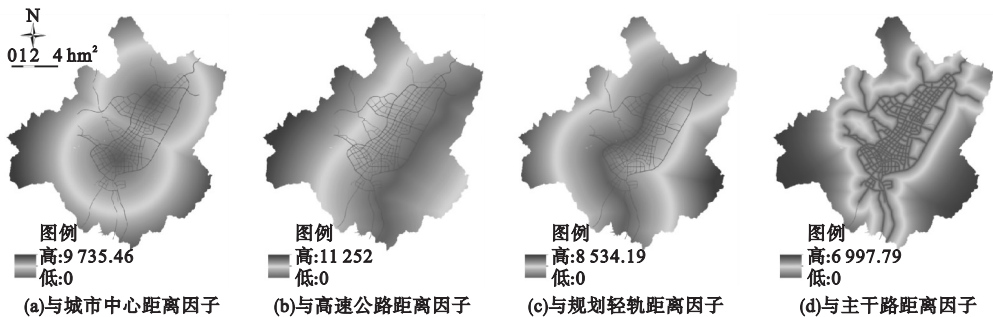


图5 平和县交通设施单因子

三、ANN – CA 模拟预测

1. 平和县土地利用现状

首先将2009年、2013年、2017年土地利用数据重新分为建设用地面积和非建设用地面积两类,分别作为土地利用输入验证数据,采用地形坡度单因子和交通设施单因子,分

别计算3个年份的耦合神经网络的适宜性概率数据。进而,将模拟精度验证模块与真实年份数据进行对比,以比较相应年份的土地利用输入图层的优劣。从制图精度误差来看,第一,模拟的土地利用精度情况有所改善,但改善程度并不理想。2009—2017年的建设用地重合率为67.79%,3个年份的预测

结果显示建设用地重合率从 6.58% 提高至 8.15%, 意味着从 2009—2017 年有 4/5 的新增建设用地没有被模型预测到, 其主要原因可能与驱动因子的选择有关。如前文所述, 自然地理环境等因素对空间拓展的约束影响较小, 所生成的神经网络的适宜性概率准确度不高。2017 年, 平和县中心城区现状建设用地仅占中心城区 6° 以下区域的 14%, 当相近的适宜性概率作用于 6° 以下的开发条件优良的区域后, 模拟结果与真实情况差异较大。第二, 较近的基准年份土地利用输入数据模拟结果显示精度略有上升, 这可能与较近年份的土地利用数据与交通设施单因子契合度较好有关。较早年份的数据由于其建设用地空间分布与目前规划的交通设施关联度不高, 计算出的道路两侧空间的适宜性概率相对较低。

2. 驱动因子的对比

由于地形坡度单因子和交通设施单因子得出的适宜性概率数据分析结果的准确度不

显著, 可以在驱动因子中引入规划政策单因子, 并采用较近年份的土地利用输入验证数据, 检验是否会对模型模拟结果有改进作用。规划政策单因子由近年来已批租用地、城市总体规划建设用地范围和城市总体规划规划范围等规划数据叠加组成, 基本反映了政府政策管制下建设用地适宜性概率从高到低的趋势。

从 2009 年和 2013 年输入验证数据的制图精度误差来看, 无论是地形坡度单因子还是交通设施单因子与对照值的准确度提升关系并不显著, 但加入规划政策单因子后改进较大(见表 2)。基于 2009 年输入验证数据模拟结果显示, 地形坡度单因子和交通设施单因子平均精度提高了 1.8%, 而规划政策单因子提高了 8.38%(见图 6); 基于 2013 年输入验证数据模拟结果显示, 地形坡度单因子和交通设施单因子平均精度提高了 0.62%, 而规划政策单因子提高了 2.23%。由此可见, 规划政策单因子的精度提高是另外两种因子的精度提高的 4~5 倍。

表 2 基于 2009、2013 年输入验证数据模拟的驱动因子制图精度对照表

						%
年份	用地类型	对照值	规划政策单因子	地形坡度单因子	交通设施单因子	三因子组合
2009	非建设用地	96.67	97.57	99.95	96.89	97.65
	建设用地	67.79	76.17	69.06	70.12	77.00
2013	非建设用地	99.19	99.50	99.96	99.28	99.52
	建设用地	92.86	95.09	93.82	93.14	96.66

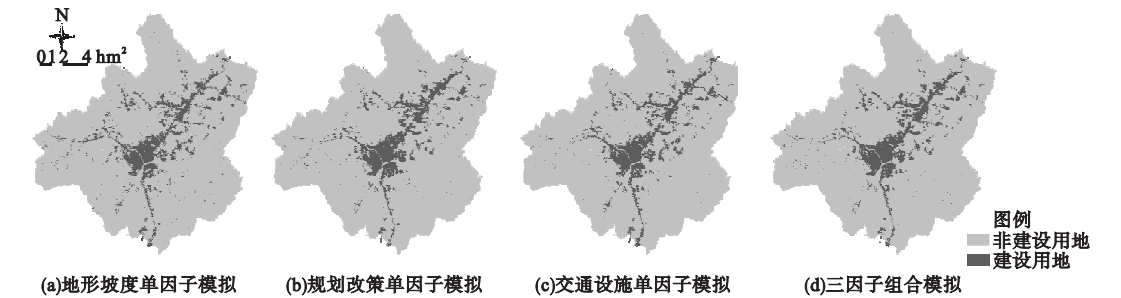


图 6 2009 年 3 类单因子及其组合模拟结果

3. 马尔科夫链数量结构预测及其与城市总体规划建设用地的验证

通过马尔科夫链预测模块, 基于 2009 年、2013 年、2017 年土地利用数据对平和县 2025 年、2033 年未来土地利用数据结构进行预测, 发现平和县城市总体规划设定的中心城区(24.97 km²)、外围村庄及道路(6.07 km²)等建设用地值与其预测值相近(见表 3)。

表 3 马尔科夫链数量结构预测 m²

年份	非建设用地	建设用地
2009	1 945 051	143 738
2017	1 890 039	198 700
2025	1 836 871	251 900
2033	1 785 485	303 300

实际上, 平和县作为典型的中小规模城市, 其区域经济条件有限, 无论是人口规模还

是产业规模的扩大对于城市空间扩张的影响程度都难与大城市相比。然而,从模拟结果来看,2009—2017 年,平和县中心城区的建设用地规模扩张约 40%,预测到 2033 年扩张约 111%。城市空间结构从单核中心式显著演变为双核带状组团式。无论是土地利用的数量结构还是空间布局均变化剧烈。

通过数据对比发现,地形坡度、交通设施等因素对平和县城市未来土地利用变化量及形态发展有着积极影响,而以政府部门为主导的规划政策单因子对城市空间拓展的影响显著且超过地形坡度单因子和交通设施单因子。这一现象说明,以平和县为代表的中小城市空间扩展较为依赖政府部门的投资拉动。

笔者对 2033 年平和县土地利用形态预测图与现实城市总体规划底图进行 KAPPA 系数计算,结果显示一致度达 72.82%,位于高度一致性(60%~80%)区间(见图 7)。预测结果基本与平和县未来土地空间发展趋势相符合,进一步验证了 ANN-CA 耦合模型应用于此类城市未来用地发展的可靠性。此外,预测数据与现实状况的差异主要集中在高示溪以南、花山溪以西的区域。这些区域作为城市未来的行政文体中心区,现状仍以非建设用地为主,预测模型难以实现完全拟合。

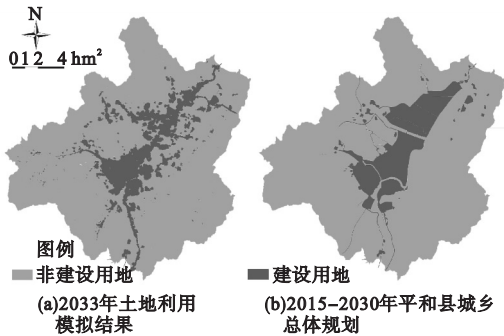


图 7 2033 年平和县土地利用形态预测结果与 2015—2030 年城乡总规的对比

四、结论与展望

基于 ANN-CA 耦合模型,利用既有年份的土地利用现状特征进行的城市空间扩张分析多运用于大尺度区域或城镇化程度中后

期阶段。此外,城镇空间扩张是一个持续且受到诸多因素(生态资源、自然灾害、城市规划、经济定位、交通基建等)影响的复杂的时空动态过程。

平和县中心城区约 200 km²,是典型的中小城市,且至 2017 年城镇化率仅为 36.5%。面对研究区域小、城镇化率较低、影响因子多的现实情况,笔者偏重选取地形坡度、交通设施、规划政策作为影响城市扩张的主要驱动因子,并以 2009 年、2013 年城市土地利用数据作为模型演练依据,对标 2017 年数据予以优化调整。结论证明,在三因子相互作用下预测的平和县中心城区 2033 年城市国土空间扩张结果与现实发展趋势一致。通过对中小城市的城市空间扩展进行分析,发现 ANN-CA 耦合模型与驱动三因子的结合运用具备一定的可靠性。

此外,近年来平和县土地利用变化呈现出林地和耕地向建设用地转入的现状,说明其空间扩张受制于城市自身的资源环境承载力和开发适宜性的影响。最终的预测结果出现近 1/4 形态拟合的误差,均来源于对城市非建设用地的提前转入和城市主干道周边建设的测算。这说明 ANN-CA 耦合模型对于中心城区现状未利用开发的真空地带具有预算效用,并能够实现城市骨干道路蔓延预测。

由于城镇化进程的加快,国内中小城市的空间结构变化显著,预测可靠且精准的城市空间扩展趋势,进而制定有效且有序的城市开发边界,将助力中小城市科学布局、精准管理。

本研究也有不足之处:一是研究中所使用的参考数据主要反映的是 2009—2017 年的城市土地利用变化;二是模型应用于中小尺度区域时需廓清城镇空间拓展的底线,例如,剔除与生态保护红线、永久基本农田保护红线等冲突的空间,以提高形态边界拟合的准确性。后续研究将增加预测城市数量,进而横向比较模型算法的结论的可靠性。

参考文献:

[1] 潘家华,单菁菁,武占云. 城市蓝皮书:中国城

市发展报告[M]. 北京:社会科学文献出版社,2019.

[2] 中小城市发展战略研究院,国信中小城市指数研究院. 中国中小城市发展报告[M]. 北京:社会科学文献出版社,2019.

[3] 刘荣增,陆文涛,杜力卿. 基于 ANN – CA 模型的郑州市空间拓展研究[J]. 城市发展研究,2019,12(26):77 – 85.

[4] 雷云,刘天清,吴大放,等. 基于 CA 模型的珠海市永久性基本农田保护区划定分析[J]. 国土资源导刊,2017,12(14):66 – 72.

[5] 刘明皓,李东鸿. ANN – CA 模型改进及城市用地动态模拟[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版),2014,26(5):720 – 726.

[6] 孟飞,孟祥金,陈有川,等. 基于 ANN – CA 的城市用地扩张模拟优化:以潍坊市城区为例[J]. 山东建筑大学学报,2019,34(3):9 – 15.

[7] 余娜,李淑杰,王灵芝,等. 基于 ANN – CA 及 AgentLA 模型的农用地整治研究:以吉林省敦化市为例[J]. 地域研究与开发,2019,38(6):137 – 140.

[8] 刘建华,张启斌,YANG D,等. 基于 MCR – ANN – CA 模型的包头市生态用地演变模拟[J]. 农业机械学报,2019,38(6):137 – 140.

[9] 黎夏,李丹,刘小平. 地理模拟优化系统(GeoSOS)及其在地理国情分析中的应用[J]. 测绘学报,2017,46(10):1598 – 1608.

[10] 赵莉,杨俊,李闯,等. 地理元胞自动机模型研究进展[J]. 地理科学,2016,36(8):1190 – 1196.

[11] 林伊琳,赵俊三,张萌,等. 基于 FLUS 模型的昆明市建设用地扩张模拟及景观效应分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2019,55(6):716 – 726.

[12] 黄康,戴文远,黄万里,等. 基于 FLUS 模型与动能定理的城镇用地增长边界划定[J]. 地球信息科学,2020(3):557 – 567.

[13] 招晖,陈昌勇. FLUS 模型对佛山城镇建设适宜性评价的验证与修正分析[J]. 规划师,2020(2):86 – 92.

Urban Expansion Analysis of Small and Medium – Sized Cities Based on ANN – CA: a Case Study of Pinghe County, Fujian Province

DING Meichen¹, CAI Zhou²

(1. School of Architecture, Xiamen University Tan Kah Kee College, Zhangzhou 363105, China; 2. Zhangzhou City Planning and Design Co., Ltd, Zhangzhou 363005, China.)

Abstract: This paper takes central city space of Pinghe county of Fujian province as the research object, and uses ANN – CA as a research model to predict its urban expansion. Firstly, it chooses the urban land use data of Pinghe county in 2003, 2009 and 2017 that can be used as model fundamental data. Then, by selecting the terrain slope, transport facilities, the government policy as main factors for urban expansion drive, ANN – CA prediction model can be established. Finally, the paper could simulate and predict the urban land expansion status of the study area in 2030. The results show that, the above three factors have a positive influence on the urban space expansion, and especially been affected by the government policy factor. The predicted result of spatial expansion of Pinhe central area in 2033 is in line with the urban master planning, during which has KAPPA coefficient 72. 82%. In addition, ANN – CA model also has prediction effectiveness in urban unexploited vacuum zone, and can realize the urban backbone road sprawl forecasting.

Key words: small and medium – sized cities; urbanization; urban space expansion; ANN – CA; Pinghe county

(责任编辑:何旷怡 英文审校:林 昊)