

12-12-2019

Multi-Agent Simulation Model of Urban Safety Livability Change

Lihu Pan

1. School of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China; ;2. Institute of Geographic Science and Natural Resource Research, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China;

Xiaowen Li

1. School of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China; ;

Shipeng Qin

1. School of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China; ;

Yingjun Zhang

1. School of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China; ;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Multi-Agent Simulation Model of Urban Safety Livability Change

Abstract

Abstract: Urban livability is an important factor for the decision of modern urban construction. *Based on the multi-agent modeling theory, a model for the change of urban livability is proposed*, so as to analyze the present situation and changing trend of urban livability in complex urban system. Taking safety as an example, five environmental indicators of public security, fire protection, traffic, emergency response and residence are given. The interactive dynamic feedback mechanism between residents' decision-making behavior and urban safety livability under the influence of the five indicators and policies is provided, *and the residents' decision-making simulation of urban safety livability change is implemented*. The results show that the multi-agent modeling method is effective in analyzing the urban safety livability and can provide decision support for urban development planning.

Keywords

urban livability, urban safety livability index, complex urban system, multi-agent modeling, resident decision

Authors

Lihu Pan, Xiaowen Li, Shipeng Qin, Yingjun Zhang, and Huimin Yan

Recommended Citation

Pan Lihu, Li Xiaowen, Qin Shipeng, Zhang Yingjun, Yan Huimin. Multi-Agent Simulation Model of Urban Safety Livability Change[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(7): 1321-1333.

城市安全宜居度变化多智能体仿真模型

潘理虎^{1,2}, 李晓文¹, 秦世鹏¹, 张英俊¹, 闫慧敏²

(1. 太原科技大学 计算机科学与技术学院, 山西 太原 030024; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 城市宜居度是影响现代城市建设决策的重要因素, 据此提出运用多智能体建模理论创建城市宜居度变化模型, 以分析复杂城市系统中城市宜居度状况及其变化趋势。以安全性为例, 给出了治安、消防、交通、应急和居住五项环境指标和政策影响下居民的决策行为与城市安全宜居度间的交互动态反馈机理, 实现了城市安全宜居度变化的居民决策仿真。实例结果证明了多智能体建模方法对于分析城市安全宜居度的有效性, 可为城市发展规划提供决策支持。

关键词: 城市宜居度; 城市宜居安全性指标; 复杂城市系统; 多智能体建模; 居民决策

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2019) 07-1321-13

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.18-0833

Multi-Agent Simulation Model of Urban Safety Livability Change

Pan Lihu^{1,2}, Li Xiaowen¹, Qin Shipeng¹, Zhang Yingjun¹, Yan Huimin²

(1. School of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China;

2. Institute of Geographic Science and Natural Resource Research, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China)

Abstract: Urban livability is an important factor for the decision of modern urban construction. Based on the multi-agent modeling theory, a model for the change of urban livability is proposed, so as to analyze the present situation and changing trend of urban livability in complex urban system. Taking safety as an example, five environmental indicators of public security, fire protection, traffic, emergency response and residence are given. The interactive dynamic feedback mechanism between residents' decision-making behavior and urban safety livability under the influence of the five indicators and policies is provided, and the residents' decision-making simulation of urban safety livability change is implemented. The results show that the multi-agent modeling method is effective in analyzing the urban safety livability and can provide decision support for urban development planning.

Keywords: urban livability; urban safety livability index; complex urban system; multi-agent modeling; resident decision

引言

我国城市正面临城市规模快速增长、公共资源紧张、人口拥挤、环境恶化、生态质量下降等一系

列城市问题的严峻挑战, 建设具有良好居住空间环境、人文社会环境、生态自然环境和清洁高效生产环境的宜居城市已成为政府、社会和居民的共识^[1]。2016年10月, 第三届联合国住房和城市可持续发展大会举办, 发布了《新城市议程》, 在城市化进程中, 人类居住区(人居环境)的提升成为全球共同的追求。城市宜居度已经成为评价城市的一个综合性指标, 涵盖城市安全性、公共服务设施方



收稿日期: 2018-12-14 修回日期: 2019-03-01;
基金项目: 深圳市战略新兴产业发展专项资金 (JSGG20170413173425899), 山西省-中科院科技合作重大项目(20151101001);
作者简介: 潘理虎(1974-), 男, 河南上蔡, 博士生, 副教授, 研究方向为人工智能、软件工程。

<http://www.china-simulation.com>

• 1321 •

便性、人文环境舒适性、社会城市包容性、环境健康性等各个方面^[2-4]。

城市宜居性是一个复杂问题,涉及多方面的影响因素,包括居民决策行为、环境设施配置和政府的规划与政策,是一个多功能、多层次、多目标、多因子的评价对象^[5]。目前对于城市宜居度的研究方法主要有两个方面^[6]。一是从定性的角度研究宜居城市,如 Sofeska E^[7]等, Okulicz-Kozaryn A^[8]等分别以斯科普里市和欧洲多个城市为背景对城市宜居度概念和定义进行了分析和研究;考虑了较为全面的宜居城市的含义和衡量指标,但研究只限于概念的认知和解释,并未考虑多种因素影响下城市宜居度的变化情况。二是从定量的角度评价城市的宜居性,方法多采用因子分析法和系统动力学方法(SD-system dynamics),如 Li Pengyan 等重建了城市生活环境评价指标体系,运用主成分分析法,以我国 35 个典型的大中城市为例进行分析^[9]; Yu Danlin 等利用主成分分析法对上海公共安全的评估^[10]。该类研究关注静态空间均衡,侧重考虑在定量的指标变量下城市宜居度的估算,难以反映城市空间系统的复杂性。Mai T 等以越南凯巴岛为例,利用系统动态模型进行基于场景的旅游开发规划,根据城市内部组成要素互为因果的反馈特点,从城市内部结构来寻找社会现象发生的根源^[11],但明显忽视了复杂的人为因素和个体决策行为。而对城市宜居度而言,复杂的人为因素和居民决策行为是影响宜居度变化不可忽视的核心要素,也是最难以分析的复杂影响因素。因此,利用计算机技术采用合适建模方法研究城市诸多环境要素与居民的决策行为的相互作用对于研究城市宜居度具有重要意义。

基于多智能体的建模仿真是研究复杂系统的有效途径^[12]。把复杂系统中的基本元素看作仿真实体,根据仿真实体的自然描述特性,在一定粒度上对复杂系统进行自然分类,然后对各个仿真实体用智能体的方式描述,建立一个与现实世界对应的智能体模型(Agent-Based Model, ABM)^[13-16]。本研

究采用基于多智能体模型的计算机建模方法,针对复杂城市系统的安全宜居度变化进行研究,探索环境和政策影响下居民主体的决策行为、模型中主体间的交互关系、信息传递以及居民的决策行为和城市安全宜居度间的交互动态反馈机理。围绕治安安全、消防安全、交通安全、应急安全和居住安全 5 项安全指标^[17-18],构建多智能体仿真模型。并以深圳福田区为例,进行分析与验证。进而论证模型对各类环境变化、不同政策措施实施和居民决策的影响下城市安全宜居度的变化情况和发展趋势进行仿真分析的准确性和有效性,从而为城市的发展规划提供合理科学的建议和决策支持。

1 基于多智能体的城市安全宜居度变化模型构建

1.1 模型概述

城市安全宜居度变化模型是一个虚拟仿真系统,系统中社会环境的改变、城市居民的行为决策和城市安全宜居度的变化,是一个交互影响的复杂过程,此过程与时间紧密结合在一起,具有复杂的动态性。城市社会系统中各种资源环境的分布和各类建筑的位置是影响宜居度的主要因素,不同地理位置因其所处资源环境的不同和建筑类型、规模的差异而呈现出不同的安全宜居度。居民会因其年龄层次和家庭结构的不同具有不同的安全环境偏爱。基于居民和家庭所处的环境,城市居民和家庭安全偏爱的差异将导致其具有不同的满意度,同时该满意度还受到周围居民和家庭满意度的交互影响。居民的家庭满意度是家庭决策的重要依据,在一定范围内,家庭满意度越高,则该家庭的搬迁意愿越低,反之,搬迁意愿越高。家庭搬迁导致不同地理位置人口密度的动态变化又会反过来作用于环境,从而产生一个多因素影响的随时间迭代演化的城市安全宜居度变化系统。

基于多智能体技术,搭建城市安全宜居度变化模型的主要思路为:将现实城市社会系统进行抽象

建模, 模拟城市居民智能体的搬迁决策行为, 通过智能体之间的空间协作分析人口流动对环境的影响, 从而进一步分析城市安全宜居度并预测其一般规律和发展趋势。搭建城市安全宜居度变化模型的一般步骤包括: (1) 将真实系统中的主要模型元素进行提取和概括, 确定城市安全宜居度变化系统中的主要异构实体; (2) 根据实体对象的特征和作用, 确定每类智能体具有的属性和行为; (3) 确定各类智能体之间的交互关系, 建立起一个多智能体系统; (4) 基于构建的多智能体模型进行仿真实验。

1.2 智能体定义

本文构建了一个具有居民、家庭、政府和安全设施管理机构四类智能体的城市安全宜居度变化模型, 每一类智能体都具有各自的属性和行为。

居民智能体的属性包括居民 ID(类似于身份证)、性别、年龄、文化程度、婚否、职业、收入、居民所在栅格编号、居民所在网格编号、居民偏爱、居民满意度; 家庭智能体的属性包括家庭 ID、家庭所在栅格编号、家庭所在网格编号、家庭成员结构、家庭存款、家庭年收入、家庭偏爱、家庭满意度, 家庭智能体是根据血缘伦理关系由若干个居民智能体组合而成的组合智能体; 政府智能体的属性包括政府名称、政府坐标、政府管辖区域; 安全设施管理机构智能体的属性包括安全设施管理机构名称、安全设施管理机构所在网格编号、管理的设施类型、安全设施管辖区域。此类智能体为现实城市社会系统中的安全管理者, 可对各类安全类设施进行一系列的管理工作, 例如安全类设施的修建、改善和拆除等。为了模型的可实现, 此模型将安全设施进行简化, 划分成几个有限的类型, 具体包括: 治安、消防、交通、应急和居住, 即 5 项安全指标类型。设施因其类型的不同而对不同年龄阶段、不同需求的居民和家庭产生吸引力。

本模型结合实际抽象定义了各类智能体的主要活动和主要状态, 如表 1、表 2 所示。

表 1 智能体活动表

Tab. 1 Agent activities table

智能体种类	智能体活动
	搬迁
家庭智能体	家庭结构调整 获取满意度信息
居民智能体	待业居民找工作 生老病死、婚丧嫁娶 获取信息计算满意度
政府智能体	政策调整 政策发布
安全设施管理机构智能体	获取政策信息 安全设施管理

表 2 智能体状态表

Tab. 2 Agent status table

智能体种类	智能体状态
	满意度高不想搬迁
家庭智能体	满意度低想搬迁但经济不足 满意度低想搬迁且经济满足
居民智能体	学习 待业找工作 工作 退休
政府智能体	正常服务状态
安全设施管理机构智能体	正常服务状态

1.3 智能体交互与信息传递设计

智能体之间的信息交互及智能体与空间环境的相互作用是城市安全宜居度变化模型的核心部分。智能体之间的相互影响是通过信息传递来实现的, 不同类型智能体之间、不同个体智能体之间通过信息传递联系起来, 遵循其运行规则, 进而实现智能体的自组织和自学习机制。而智能体在每一个时序所做的决策也同该时序中所获得的信息有关。根据现实世界的客观事实, 有多种因素直接、或间接、或交互地影响城市相应地块的安全宜居度, 造成城市安全宜居度变化的复杂性。但在实际的仿真建模中, 不可能对每一种因素一一考虑, 因此模型尽可能的还原现实, 选取了几个影响较大的因素。

考察的影响因素之间存在多种类型的交互和关系, 如图 1 所示。

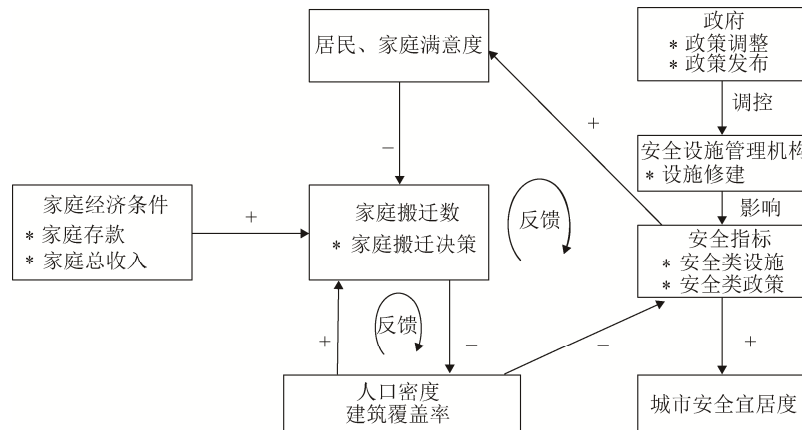


图 1 影响城市宜居度因素的交互和反馈

Fig. 1 Interaction and feedback on factors affecting city livability

图 1 中“+”表示 2 个影响因素之间存在正相关关系，而“-”表示 2 个影响因素之间存在负相关关系。在建模考察影响因素时发现，智能体与空间环境的相互作用既是城市安全宜居度变化的推动因素，也是城市安全宜居度变化的结果，智能体与空间环境的相互作用导致了相应地块的城市安全宜居度的变化。并在影响因素之间识别出 2 个反馈环，一个是由家庭搬迁行为导致的搬迁家庭数和人口密度的交互反馈；另一个是由各类环境设施资源、家庭满意度与人口密度变化而产生的交互反馈。

1.4 行为规则设计

1.4.1 居民和家庭计算满意度行为规则

居民满意度(Inhabitant Satisfaction)记为 S_i ，计算时需要考虑居住地情况，同时受到周围居民满意度的影响，分别定义为未考虑智能体交互的满意度，记为 S_i^a ，和考虑智能体交互的满意度，记为 S_i^b 。 S_i 的计算公式为：

$$S_i = S_i^a + S_i^b \quad (1)$$

其中，未考虑智能体交互的满意度 S_i^a 按照个人的安全偏爱指标 $Quota_j$ 和周围环境来计算，计算公式如下所示。第 1 项为居民按照自身偏爱对自身居住地的满意度；第 2 项为居民按照自身偏爱受到周围环境(周围 8 个栅格居民各项偏爱指标的均值)影响而导致的满意度变化。

$$S_i^a = \sum_{j=1}^n \beta_j Quota_j + \sum_{j=1}^n \beta_j (Quota_j - \overline{Quota_j}) \quad (2)$$

考虑智能体交互的满意度 S_i^b 根据该居民的满意度在周围居民中处于的位置，该居民的满意度会有所增加或减少。具体表现为：处于底层会降低，处于中等水平则不变，处于高层会降低，各情况的具体变化概率和范围如式(3)所示：

$$S_i^b = \begin{cases} C & \text{排名前10\%} \\ -0.2 & \text{排名后10\%} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

式中： $\beta_j = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n\}$ 为家庭偏爱指标的权重， n 为居民偏爱指标的个数，且 $0 \leq n \leq 5$ ， β_j 累加和为 1； $Quota_j = \{Quota_1, Quota_2, \dots, Quota_n\}$ 为家庭的偏爱指标数组， n 为家庭偏爱指标的个数，且 $0 \leq n \leq 5$ ； $\overline{Quota_j}$ 为以家庭所在栅格为中心的摩尔邻域内的 8 个栅格的偏爱项 j 类型的均值，类型包括：治安、消防、交通、应急和居住； C 为一个常量，其值在 $[-0.1, 0)$ 内等概率随机选取。

一个家庭根据家庭成员的结构确定其家庭满意度(Family Satisfaction)，记为 S_f 。家庭的偏爱根据其家庭成员需求最迫切者决定，即家庭偏爱的决策人。老人(60 岁以上)和孩子(18 岁以下)优先，之后则为户主。家庭的满意度由家庭偏爱决定，故家庭满意度为决策人的满意度(Decision Satisfaction)，记为 S_d 。因此家庭满意度 S_f 和决策人的满意度 S_d 的关系如式(4)所示：

$$S_f = S_d \quad (4)$$

1.4.2 家庭搬迁的行为规则

基于现实和文献分析^[19-21], 总结出以下几条影响家庭搬迁行为的客观事实:

事实 1: 家庭的经济条件限制了家庭的搬迁行为, 部分满意度低的家庭可能由于经济条件不足而无法搬迁;

事实 2: 家庭的经济条件基本由家庭存款和家庭年收入决定;

事实 3: 城市每年都会有一定的比例的人口迁入, 且以家庭为单位, 迁入地往往符合迁入家庭偏爱, 但也会受到空房资源的限制。

基于这些客观事实, 设计模型中家庭的搬迁行为遵循以下规则。

决定家庭搬迁的规则: 该规则表示 1 个家庭如何根据家庭满意度 S_f 计算家庭的搬迁欲望(Move Desire), 记为 MD , 并结合家庭经济条件和空房资源确定家庭是否搬迁。另外, 系统中待业居民每年找 1 次工作, 找到工作则该居民按照工作岗位信息获得工资; 迁入通过考虑每年增加的外来人口数和迁入比来决定。

$$MD = 1 - S_f \quad (5)$$

当搬迁欲望大于模型中设置的搬迁欲望最小阈值时, 家庭产生搬迁意愿; 产生搬迁意愿的家庭根据其经济条件是否达到模型中设置的搬迁最低经济条件决定是否能够顺利搬迁。本模型中搬迁欲望最小阈值和搬迁最低经济条件都是可调整的参数, 可根据城市差异、时间差异进行调整。

1.4.3 安全设施服务能力调整的行为规则

安全设施服务能力的调整主要依靠政府的政策和安全设施管理机构的管理来完成。政府以每年各栅格、网格、街道以及整个区域的安全宜居度统计数据为参考, 合理实行政策, 并将政策发布给安全设施管理机构。安全设施管理机构按照接收到的政策信息对安全设施进行相应管理。在本模型中政府的行为规则包括各层安全宜居度、满意度的统计、政策的调整与发布等; 安全设施管理机构的行为规则包括安全设施的最优位置选取和安全设施

的修建。各层安全宜居度, 满意度计算规则、政府行为规则和安全设施管理机构行为规则的具体设计如下:

(1) 各层安全宜居度和满意度的计算规则

基于现实分析, 人口密度会影响环境、设施的资源水平, 人口数量越多, 则人均资源越少, 从而导致人口数量与评价指标呈负相关关系。本模型中, 安全宜居度评价指标(交通、应急和居住) $Quota_i$ 会随着时间的发展根据人口密度的变化进行动态更新。具体的设计规则为:

$$Quota_i = \frac{Quota_last_i * Population_last_{cell}}{Population_{cell}} \quad (6)$$

式中: $Population_last_{cell}$, $Population_{cell}$ 分别为上一年和当前栅格内的人口数量(包括常住人口和流动人口); $Quota_last_i$ 为上一年度的指标值。

根据栅格、网格、街道、区域的递进关系, 定义了各层安全宜居度(Safety Livability), 分别记为 SL_{cell} , SL_{grid} , SL_{street} , SL_{futian} 。其中栅格安全宜居度通过各项指标覆盖率加权平均来计算, 各层的安全宜居度通过本层包含上一层的所有安全宜居度的平均值来表示, 例如, 网络安全宜居度为该网格内所有栅格的栅格安全宜居度平均值, 街道安全宜居度为该街道内所有网格的网络安全宜居度平均值, 以此类推。具体公式如下:

$$SL_{cell} = \sum_{i=1}^5 \alpha_i Quota_i \quad (7)$$

$$SL_{grid_i} = \frac{\sum_{i=1}^{Amount_{cell_i}} SL_{cell_i}}{Amount_{cell_i}} \quad (8)$$

$$SL_{street_i} = \frac{\sum_{i=1}^{Amount_{grid_i}} SL_{grid_i}}{Amount_{grid_i}} \quad (9)$$

$$SL_{futian} = \frac{\sum_{i=1}^{Amount_{street_i}} SL_{street_i}}{Amount_{street_i}} \quad (10)$$

式中: α_i 为 $Quota_i$ 的权重, 且 $1 \leq i \leq 5$, α_i 累加和为 1; $Amount$ 代表栅格、网格、街道的数量; $cell_i$, $grid_i$, $street_i$ 依次为编号为 i 的栅格、网格、街道。

同理栅格安全满意度 S_{cell} 为栅格内所有家庭的家庭安全满意度的平均值, 网络安全满意度 S_{grid} 为网格内栅格安全满意度的平均值, 以此类推。

(2) 政府行为规则

本模型中,政府在每年结束时可以获取各层城市安全宜居度信息,并按照对应层次为其排序,找到城市安全宜居度最低的栅格、网格、街道。之后政府在安全宜居度最低的网格内识别出覆盖率最低的安全指标,并将信息传递给负责该网格的安全设施管理机构,令其对网格中的该类安全设施进行投资建设。

(3) 安全设施管理机构行为规则

本模型中安全设施管理机构可根据政府传递的信息对其所管辖网格内的安全设施进行相应调整。具体表现为:安全设施管理机构在网格内选取最优位置并按照政府政策对安全设施进行修建。其中,安全设施修建位置的选取,遵循以下规则:在满足建筑覆盖率介于 0.2~0.8 之间的条件下,选取网格几何中心点所在的栅格作为安全设施的最优修建位置。网格的几何中心点坐标(x, y)的计算如下所示:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{Amount_{cell}} cell_x}{Amount_{cell}} \quad (11)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^{Amount_{cell}} cell_y}{Amount_{cell}} \quad (12)$$

式中: $cell_x, cell_y$ 分别代表栅格的横坐标和纵坐标; $Amount_{cell}$ 表示网格内的栅格总数。

若网格几何中心点所在的栅格不满足建筑覆盖率条件,则对以栅格为中心,50 m 为半径的范围内进行搜索并随机选取满足条件的栅格作为安全设施的修建位置,若 50 m 范围内的栅格均不能满足条件,则以 50 m 为增量扩大搜索范围,直到找到满足条件的栅格为止。当安全设施的修建位置确定后,安全设施管理机构在该位置修建相应的安全设施,并在来年投入使用。

2 基于多智能体的城市安全宜居度变化仿真

2.1 仿真系统的运行流程

利用计算机建模与仿真技术建立一个与城市社会系统具有必要相似度的模型对于分析复杂的城市安全宜居度变化具有重要意义。本文中城市安全宜居度变化仿真模型在结构上可分为 3 个阶段,分别为仿真准备阶段、仿真运行阶段和仿真数据管理阶段。城市安全宜居度变化仿真模型的运行流程如图 2 所示。

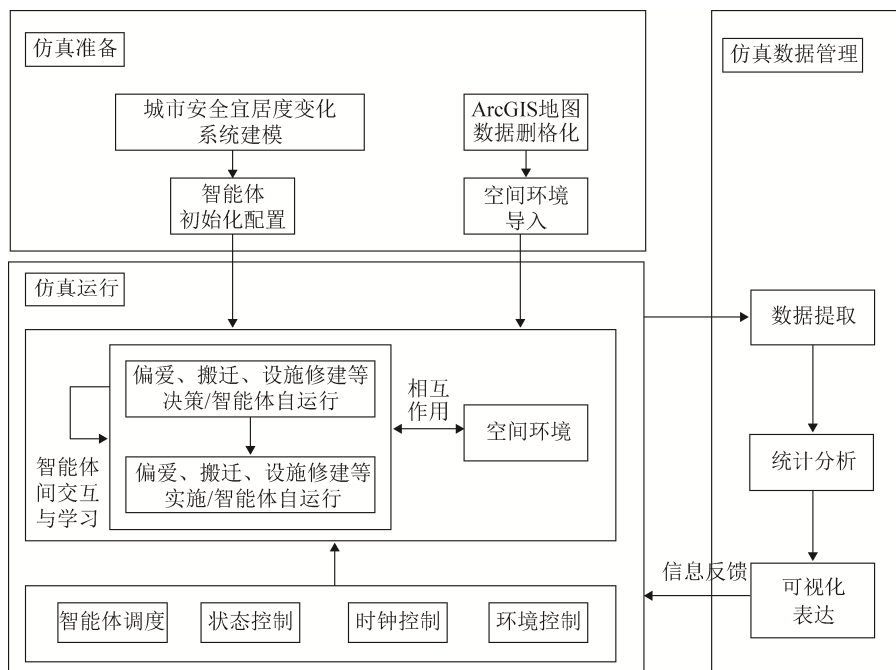


图 2 城市宜居度变化仿真系统的运行流程

Fig. 2 Operation process of city livability change simulation system

仿真准备阶段包含了智能体的初始配置和空间环境导入。具体包括: 将智能体的一系列属性按照相应数据进行配置, 同时把 ArcGIS 地图数据转化为二维数组数据后引入模型中作为智能体的运行环境。城市宜居度变化模型会将真实地图的相应地理数据, 如应急安全、消防安全等指标的安全水平在模型中表现出来。

智能体之间的信息交互及智能体与空间环境的相互作用是模型的核心部分。智能体通过信息传递联系起来, 并相互影响, 相互学习。不同智能体依照模型中的运行规则实现智能体的自组织和自学习机制, 并根据其从空间环境和其他智能体获取的不同信息产生相应的决策和行为。智能体之间的相互作用及智能体与空间环境的相互作用共同构成了复杂的时空演化系统。

模块控制单元的设计保证了系统的正常运转, 控制各类型智能体的运行次序、智能体的状态变化、环境的状态变化以及数据的传递和记录。模型运行的数据结果通过数据分析和处理部分进行合理提取, 并通过图表的形式进行统计分析。

2.2 Repast 与 GIS 集成

Repast (Recursive Porous Agent Simulation Toolkit) 是一种在 Java 语言环境下, 基于智能体的开源计算机可视化建模仿真平台, 最新版本是由 Repast J 发展而来的 Repast Symphony-2.0 (Repast S)^[22]。具有简单易学, 环境配置简单, 仿真模拟功能强大等特点。Repast 可以对由多个异质的智能体组成的模型进行创建、分析和实验, 这些智能体能够在人为设定的环境中进行交互, 从而模拟复杂的社会行为, 找出各种事物发展的规律。单独由 Repast 平台构建的智能体模型缺乏空间特性, 而本文所研究的城市安全宜居度变化模型具有明显的空间特征, 如城市设施的位置和城市人口的空间分布等。地理信息系统(GIS)是用于采集、存储、查询、分析和显示地理空间数据的计算机系统, 具有强大的空间数据输入、属性数据管理、数据显示、数据探查、

空间分析和三维可视化功能, 正好可以弥补 Repast 这一缺陷。本文通过 GIS 与智能体模型的集成^[23-25], 将智能体模型的智能性和 GIS 的强大空间分析功能集成在一起, 从而能够很好地模拟城市安全宜居度变化中居民自身的选择或决策行为, 综合分析自然环境因素、社会体制及政府政策等对城市安全宜居度的影响作用, 并随着时间的推移能够在宏观尺度上得到城市安全宜居度发展的趋势和规律。

本文采用松散的 Repast 与 GIS 的集成方式, 主要实现了系统之间通过文件形式进行数据交互, 以及通过适配器对各类文件进行存取, 如图 3 所示。本模型中, 利用 GIS 软件把智能体模型所需要的地理环境图层转化成 ASCII 格式, 然后由 Repast 读取该栅格数据进行模拟, 模拟过程中不断地修改 ASCII 文件的数据, 模拟的结果可由 GIS 软件进行可视化分析。

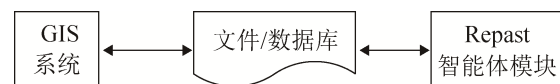


图 3 GIS 与 Repast 的松散集成
Fig. 3 Loose integration of GIS and Repast

2.3 模型设计原则与实现

城市宜居度变化多智能体仿真模型是应用 Repast 仿真建模工具, 在 Eclipse 开发平台采用 Java 语言编写完成的。Repast 提供了一系列用来生成、运行、显示和收集数据的类库, 而且对运行中的模型进行“快照”, 记录模型在某一时刻中的实时状态, 并且可以把仿真模型运行过程中智能体状态的动态演化过程生成视频资料。基于模型规模巨大, 智能体数量众多的特点, 采用合适的机制建立一个运行时间高效, 内存空间优化的模型十分必要。模型主要采用的技术和机制包括: 多线程技术、智能体隔离机制、Repast 优先级等。

Java 语言支持多线程从而模型可实现各类智能体的自主运行。采用的优先级技术和智能体隔离技术保证了模型的高效正确运行, 模型中居民智能体, 家庭智能体、栅格、优先级依次降低, 以年为

周期, 在每个周期内按照优先级大小依次运行, 运行时产生的大量数据(人口密度、各层宜居度、满意度、指标覆盖率)可实时更新, 并在 Excel 表格中进行存储。模型首先运行居民属性变化和为行为活动, 包括年龄的增长、工作和收入的变化、教育水平变化、满意度计算等; 其次运行家庭属性变化和为行为活动, 包括家庭成员的变化、家庭收入和支出的计算、家庭满意度的计算和家庭搬迁欲望计算; 最后运行栅格中属性的变化, 包括栅格内人口密度的计算、栅格内家庭的搬迁行为等。

遵循以上设计规则并在 Repast 类库资源的基础上, 我们开发了本系统, 功能包含了 Agent 活动的空间环境(5 项安全指标数据)的数字化和导入, 关键数据(智能体的状态, 宜居度)的输出并以合适的文件形式(Excel 表格, Txt 文本, Mov 视频)保存; 空间环境的自动生成, 地形的识别和记录等。模型的运行界面如图 4 所示。

界面上方是 Repast 工具条, 提供运行控制功能; 界面左部的第列是视图栏, 包含所有可以查看

的视图及数据参数控制栏; 界面左部第 2 栏上部的第 1 个窗口是参数设置工具, 调整模型的环境变量, 下半部分的第 2 个窗口是模型运行速度调节器, 控制运行次数和运行时间; 界面右部的上半部分为地理环境视图, 可以实时同步观测多个指标的变化; 界面右部的下半部分为统计图表, 统计模型运行时的智能体数量、状态等一系列数据, 并以折线统计图的形式加以展示。

3 仿真场景及结果分析

3.1 仿真场景

本研究以深圳市福田区城市安全宜居度变化为例, 探求不同城市政策条件下城市的迁入、迁出和城市安全宜居度的变化情况。在实例中考虑了两种情况, 一种是无政府干预下外来人口增减导致的城市安全宜居度变化, 另一种是政府干预设施修建导致的城市宜居度变化。通过一段时间(20 年)运行, 比较城市宜居度的变化趋势, 从而分析城市宜居度变化的主要影响因素。

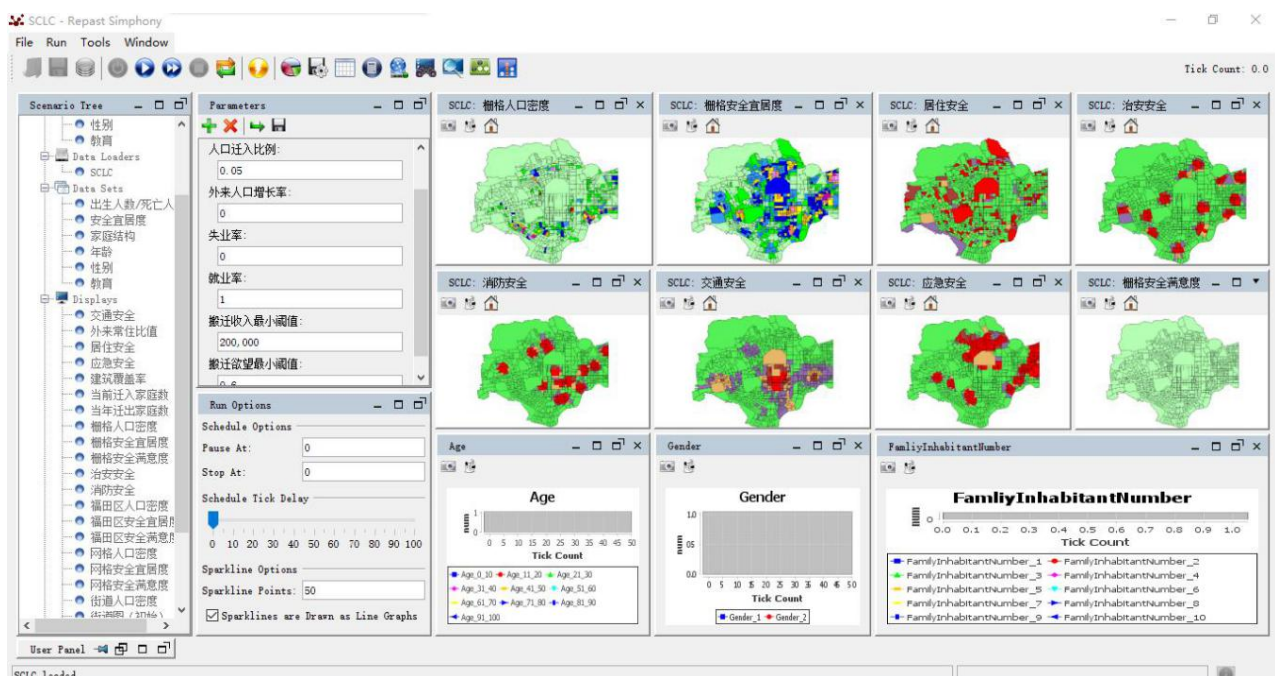


图 4 运行界面图

Fig. 4 Operation interface diagram

要保证模型运行结果和现实的一致性, 首先要取得现实基础数据。研究组于 2018 年 8 月对福田区 10 个街道中的 5 个街道进行了问卷调查和机构调研, 收集了 12 000 多份问卷, 同时查阅深圳市统计年鉴, 对福田区的居民的生产生活状况有了细致的了解, 并获取了较为完备的城市居民生产生活的数据资料。

本研究以深圳福田区为研究区域, 依据调查数据建立了一个具体的城市安全宜居度变化模型。模型对福田区 150 多万人口进行模拟仿真, 为了模型的正常运转, 模型中定义了 30 多万个居民智能体, 一个居民智能体代表现实中的 5 个人。按照调查数据的统计分析, 制定模型运行的主要规则为:

(1) 以年为运行单元, 程序运行一个时间段表示一年。所有人口变化、收入和支出、满意度、宜居度都按年来计算, 对应的数据统计也在每年年底的时候进行输出并保存在表格中;

(2) 模型实例中按照调查数据初始化居民的教育水平、家庭人数, 并按照一定的规则变化, 其中在读居民的教育水平按照 1~18 岁为读书, 18 岁以后为本科学历, 家庭人数根据家庭成员的出生和死亡进行相应变化;

(3) 模型实例中按照深圳统计年鉴初始化居民出生率/死亡率、外来人口比例, 其中居民的出生率/死亡率固定不变, 外来人口比例根据参数外来人口增长率的变化而变化;

(4) 模型实例中按照深圳市建设科学研究院股份有限公司提供数据初始化人口密度、5 项安全类指标安全值; 其中人口密度随人口的流动和自然增长进行变化, 五项安全类指标根据政府投资建设规则和人口密度影响规则进行变化;

(5) 对于某安全类设施, 政府每投资建设一年, 该项安全类指标安全值增加 0.1;

(6) 模型实例中按照从 58 同城和深圳猎聘网爬取的数据初始化空房信息和工作岗位信息, 且每年的空房数和工作岗位数按一定比例增加或减少,

具体的比例值在 5%~10% 之间随机产生;

(7) 本实例中家庭搬迁的最小经济条件设置为 20 万元, 搬迁欲望最小阈值设置为 0.8;

(8) 5 项安全指标权重按照调查数据设置, 且固定不变, 具体数值如表 3 所示;

(9) 安全宜居度、满意度、人口密度、建筑覆盖率等统计数据的不同水平通过归一化的值来表示, 并将其按照 0-0.1, 0.1-0.2, ...0.9-1.0 划分为十级, 用不同的颜色加以区分。模型中其他数据均采用相同表示机制。

表 3 安全指标权重
Tab. 3 Safety indicator weights

指标	含义	权重
SecuritySafety	治安安全	0.257 1
FireSafety	消防安全	0.226 3
TrafficSafety	交通安全	0.243 3
EmergencySafety	应急安全	0.157 4
ResidentialSafety	居住安全	0.115 9

3.2 仿真结果与分析

本研究共选择 4 种城市变化场景, 前 3 种为政府不干预安全设施的修建, 分别设置外来人口增长率为 -0.05, 0, 0.05; 第 4 种为政府干预安全设施的修建, 选择研究区域最需要修建设施的地点进行投资建设。在这 4 种场景下, 利用模型模拟从当前到之后的 20 年期间城市安全宜居度的变化情况。

模型模拟过程中城市宜居度、满意度、人口密度变化的如图 5~7 所示, 体现了大量智能体的个体活动在总体上“涌现”出的规律性, 并且可直接表现出福田区内的各项属性并记录各项属性的变化过程。可以把真实地块和具体的居民联系起来, 生动地表现出了由居民活动、政府政策调整等因素而产生的环境和居民的互动过程。

模型模拟过程中记录的福田区的宜居度、满意度、人口密度变化的统计数据依次如图 8~9 所示。

分析图例及数据统计图可以清楚地发现调节外来人口增长率, 能够在一定范围内影响人口的增

加和减少,但影响较小,未发生人口的大幅度变化如图 7~8 所示。宜居度、满意度变化基本一致,如图 5、图 6、图 9 所示。深圳市福田区的人口已经达到饱和,外来人口迁入率在 $-0.05\sim 0.05$ 之间变动,正常情况下不会出现人口的急剧增涨或急剧下降,而小范围的人口变化对于城市安全宜居度的影响较小,使得福田区整体的安全宜居度和满意度趋势基本不变。而对于政府干预的情况,由图 5(d)、图 6(d)和图 9(d)可以清楚地看到宜居度和满意度呈

现整体稳定并有一定的上升趋势。可以分析出政府对于安全设施的投资建设对于提高城市安全宜居度具有明显的作用。政府投资可以弥补社会分配失灵,协调全社会的重大投资比例关系,进而推动经济发展和结构优化,在城市建设中起到了关键性作用。但要注意应对每个网格的情况进行精确的比较,确保能在最需要的地方进行投资建设,从而使福田区实现稳定发展。

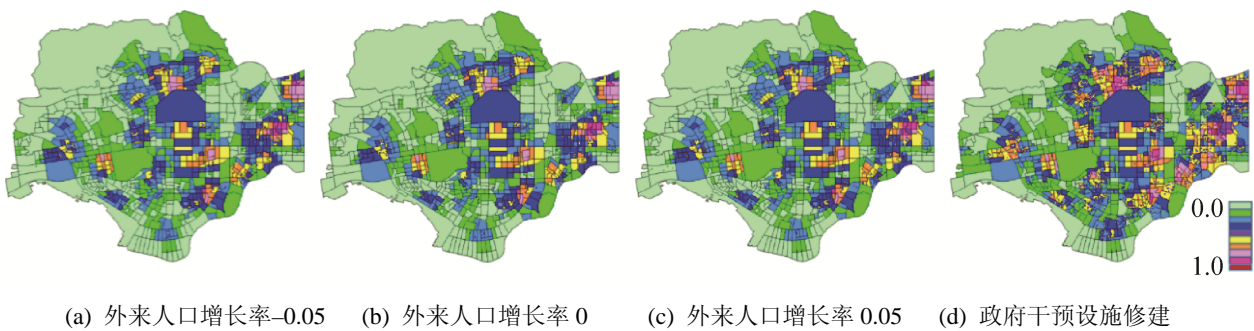


图 5 福田区城市安全宜居度变化

Fig. 5 Changes in urban safety and livability in Futian district

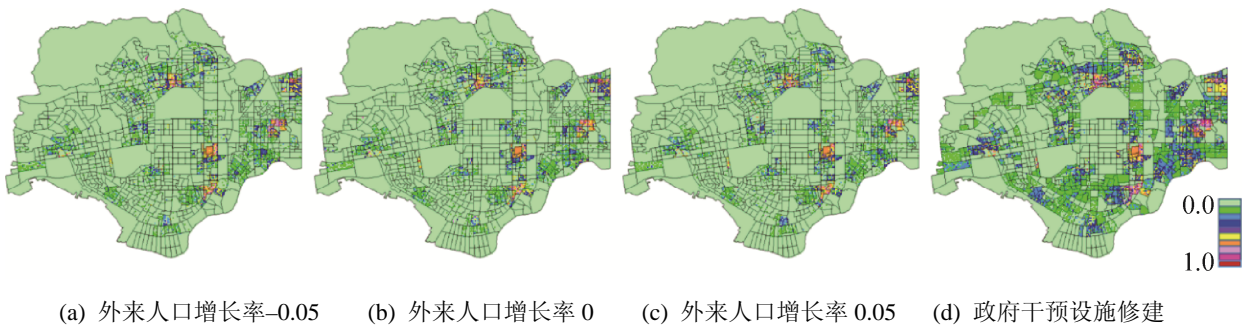


图 6 福田区城市安全满意度变化

Fig. 6 Changes in urban safety satisfaction in Futian district

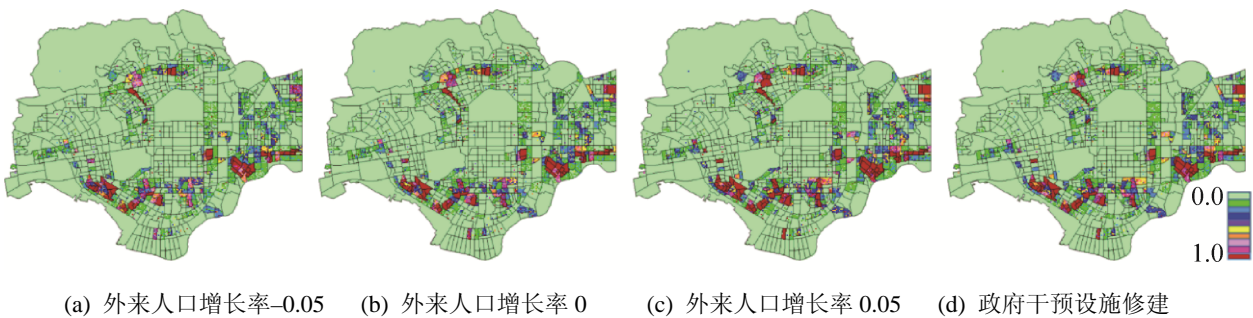


图 7 福田区人口密度变化

Fig. 7 Population density change in Futian district

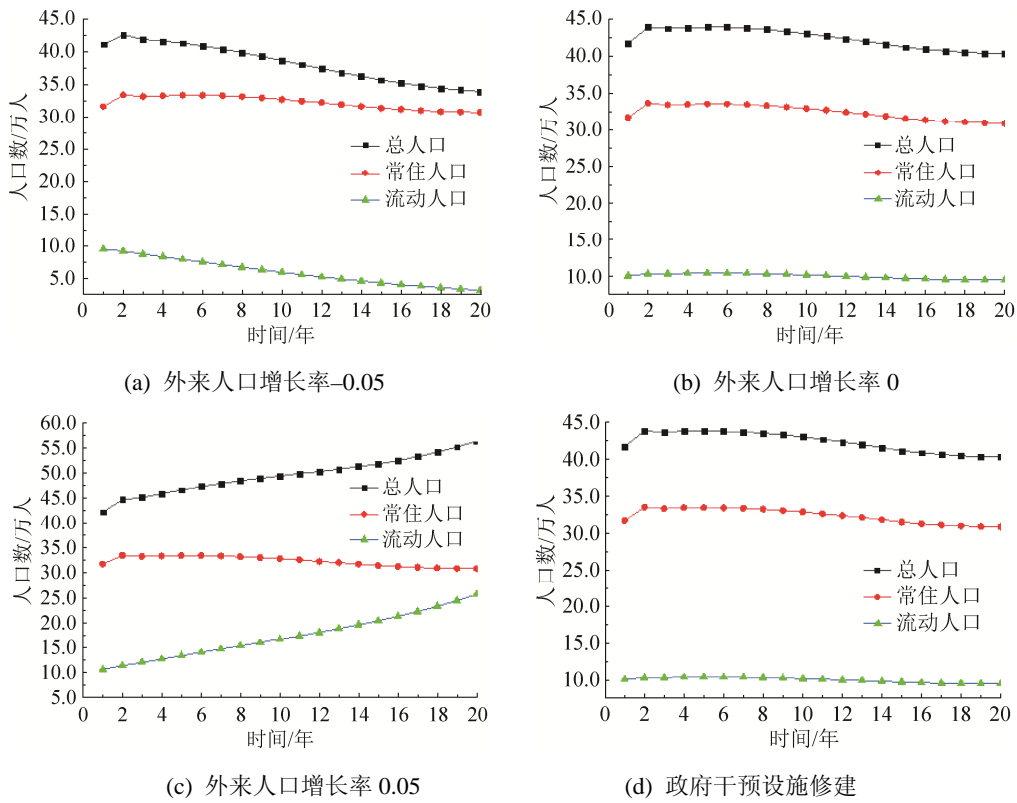


图 8 福田区人口数据统计
Fig. 8 Demographic statistics in Futian district

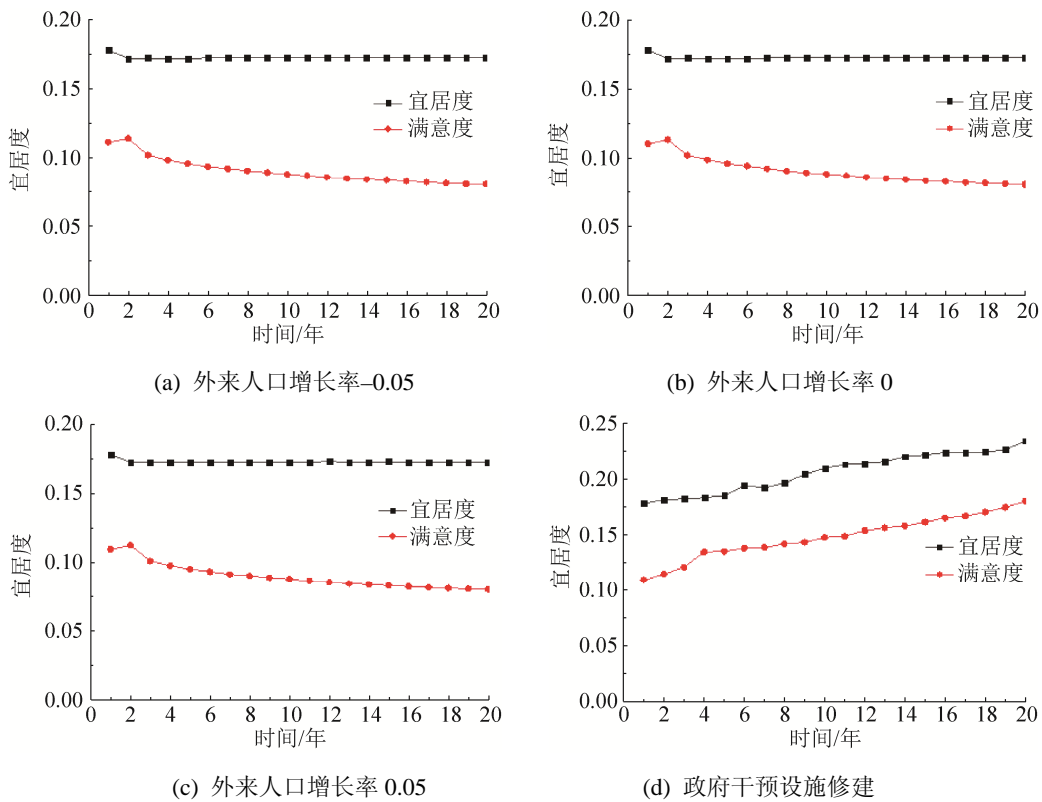


图 9 福田区安全宜居度、满意度统计
Fig. 9 Safety livability and satisfaction statistics in Futian district

4 结论

从城市安全宜居度的角度构建了基于多智能体的城市宜居度变化智能体仿真模型,利用该模型模拟城市系统中居民智能体和家庭智能体根据城市安全环境和政府相关政策产生的适应行为,通过居民智能体和家庭智能体的行为分析城市安全宜居度的变化,从而将政策的调控结果涌现到宏观社会的复杂系统中。根据模型实例结果可知,人口的小范围变化,并不会对城市安全宜居度的整体水平造成明显影响;而政府对于安全设施的干预,对城市安全宜居度的提高具有明显作用。由于数据有限,本次研究只对安全性的相关数据进行了模拟仿真,这也为未来城市宜居度的研究内容提供了方向,城市的便捷性、舒适性等是进一步研究的主要内容,并将各方面进行综合分析,最终建立一个涵盖各个方面特性的城市宜居度变化模型。

参考文献:

- [1] Zanella A, Camanho A S, Dias T G. The assessment of cities' livability integrating human wellbeing and environmental impact[J]. *Annals of Operations Research* (S0254-5330), 2015, 226(1): 695-726.
- [2] 张文忠. 城市内部居住环境评价的指标体系和方法[J]. *地理科学*, 2007, 27(1): 17-23.
Zhang Wenzhong. Index system and method of urban interior residential environment evaluation[J]. *Geographical Science*, 2007, 27(1): 17-23.
- [3] 龙瀛, 李苗裔, 李晶. 基于新数据的中国人人居环境质量监测: 指标体系与典型案例[J]. *城市发展研究*, 2018, 25(4): 86-96.
Long Ying, Li Miaoyi, Li Jing. Human settlement quality monitoring in China based on new data: indicator system and typical cases[J]. *Urban Development Research*, 2018, 25(4): 86-96.
- [4] Deng M, Hua-Rong T U. Construction and Management of Livable Regional Central City[J]. *Transportation Standardization* (S2095-9931), 2011, 31(10): 1769-1778.
- [5] Khorasani M, Zarghamfard M. Analyzing the Impacts of Spatial Factors on Livability of Peri-Urban Villages[J]. *Social Indicators Research: An International and Interdisciplinary Journal for Quality-of-Life Measurement* (S0303-8300), 2018, 136(2): 693-717.
- [6] 张星星, 刘勇, 岳文泽. ABM 模型支持下的城市增长边界划定研究——以重庆为例[J]. *现代城市研究*, 2018, 33(3): 123-131.
Zhang Xingxing, Liu Yong, Yue Wenzhe. Research on demarcation of urban growth boundary supported by ABM model—a case study of Chongqing[J]. *Modern Urban Research*, 2018, 33(3): 123-131.
- [7] Sofeska E. Understanding the Livability in a City Through Smart Solutions and Urban Planning Toward Developing Sustainable Livable Future of the City of Skopje[J]. *Procedia Environmental Sciences* (S1878-0296), 2017, 37(3): 442-453.
- [8] Okulicz-Kozaryn A, Valente R. Livability and Subjective Well-Being Across European Cities[J]. *Applied Research in Quality of Life* (S1871-2584), 2017, 14(3): 1-24.
- [9] Li P, Hu Y. Comprehensive Evaluation of Chinese Urban Living Environments[C]// ICCREM 2014@sSmart Construction and Management in the Context of New Technology. American: American Society of Civil Engineers, 2015: 1547-1554.
- [10] Yu D, Fang C, Xue D, et al. Assessing Urban Public Safety via Indicator-Based Evaluating Method: A Systemic View of Shanghai[J]. *Social Indicators Research* (S0303-8300), 2014, 117(1): 89-104.
- [11] Mai T, Smith C. Scenario-based planning for tourism development using system dynamic modelling: A case study of Cat Ba Island, Vietnam[J]. *Tourism Management* (S0261-5177), 2018, 68(4): 336-354.
- [12] 廖守亿, 戴金海. 复杂适应系统及基于Agent的建模与仿真方法[J]. *系统仿真学报*, 2004, 16(1): 113-117.
Liao Shouyi, Dai Jinhai. Complex adaptive system and agent-based modeling and simulation method[J]. *Journal of system simulation*, 2004, 16(1): 113-117.
- [13] Liu X, Zhang K, Xie W C. Consensus seeking in multi-agent systems via hybrid protocols with impulse delays[J]. *Nonlinear Analysis Hybrid Systems* (S1751-570X), 2017, 25(3): 90-98.
- [14] Singh D, Lin P, Logan B. Integrating BDI Agents with Agent-Based Simulation Platforms[J]. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* (S1387-2532), 2016, 30(6): 1050-1071.
- [15] 陈鹏, 陈建国, 袁宏永. 群体性暴力行为的多主体建模研究综述与思考[J]. *系统仿真学报*, 2015, 27(3): 439-447.
Chen Peng, Chen Jianguo, Yuan Hongyong. Review and reflection on multi-agent modeling of mass violence[J]. *Journal of system simulation*, 2015, 27(3): 439-447.

- [16] 朱一凡, 梅珊, 郑涛, 等. 基于 AGENT 建模的重大疾病传染仿真系统分析[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(11): 2505-2511.
Zhu Yifan, Mei Shan, Zheng Tao, et al. Analysis of simulation system for severe disease transmission based on AGENT modeling[J]. Journal of System Simulation, 2011, 23(11): 2505-2511.
- [17] Rastyapina O A, Korosteleva N V. Urban Safety Development Methods[J]. Procedia Engineering (S1877-7058), 2016, 150(7): 2042-2048.
- [18] 李嘉菲, 李雪铭. 城市宜居性居民满意度评价—以大连市为例[J]. 云南地理环境研究, 2008(4): 77-83.
Li Jiafei, Li Xueming. Evaluation of residents' satisfaction with livable city—a case study of dalian city[J]. Yunnan Geographical Environment Research, 2008(4): 77-83.
- [19] Insch A. Auckland, New Zealand's super city[J]. Cities (S0264-2751), 2017, 80(8): 38-44.
- [20] Saitluanga B L. Spatial Pattern of Urban Livability in Himalayan Region: A Case of Aizawl City, India[J]. Social Indicators Research (S0303-8300), 2014, 117(2): 541-559.
- [21] 何丹, 陈小兵, 邵宁宁. 流动人口家庭迁移及家庭居留的影响因素[J]. 城市问题, 2016, 35(12): 94-103.
He Dan, Chen Xiaobing, Shao Ningning. The Factors affecting family migration and family residency of floating population[J]. Urban issues, 2016, 35(12): 94-103.
- [22] Jiang C H, Wei H, You-Hua H U. REPAST-A Multi-Agent Simulation Platform[J]. Journal of System Simulation (S1747-7778), 2006, 18(8): 2319-2322.
- [23] Bateman I J, Jones A P, Lovett A, et al. Applying Geographical Information Systems (GIS) to Environmental and Resource Economics[J]. Environmental & Resource Economics (S0924-6460), 2002, 22(1/2): 219-269.
- [24] Olafsson A S, Skov-Petersen H. The use of GIS-based support of recreational trail planning by local governments[J]. Applied Spatial Analysis & Policy (S1874-463X), 2014, 7(2): 149-168.
- [25] Zhang X, Fang C, Wang Z, et al. Urban construction land suitability evaluation based on improved multi-criteria evaluation based on GIS (MCE-GIS): Case of New Hefei City, China[J]. Chinese Geographical Science (S1002-0063), 2013, 23(6): 740-753.