

基于空间增量模型的人口与就业岗位分布预测

任智^{1,2}, 钟鸣^{1,2}, 李大顺^{1,2}, 刘少博^{1,2}, 郑猛³, 马晓凤^{1,2}

(1. 武汉理工大学智能交通系统研究中心, 湖北 武汉 430063; 2. 武汉理工大学国家水运安全工程技术研究中心, 湖北 武汉 430063; 3. 武汉市交通发展战略研究院, 湖北 武汉 430017)

摘要: 如何获取并更新城市交通小区人口与就业岗位分布数据是当前交通规划工作面临的难题。首先分析土地利用、可达性、建筑面积与城市人口和就业岗位分布的关系。在空间消费系数的基础上, 考虑可达性对人口和就业岗位分布的影响, 提出人口、就业岗位增量分配权重的概念, 构建基于空间增量模型的人口与就业岗位分布模型。利用遗传算法对模型参数进行标定, 并通过武汉市江岸区交通小区数据对模型精度进行验证。结果表明, 人口与就业岗位分布预测模型具有一定的可靠性, 能够为城市交通规划模型提供基本的输入数据支持。

关键词: 土地利用; 可达性; 人口与就业岗位分布; 空间增量; 遗传算法; 武汉市

Population and Employment Distribution Forecast Based on Spatial Incremental Model

Ren Zhi^{1,2}, Zhong Ming^{1,2}, Li Dashun^{1,2}, Liu Shaobo^{1,2}, Zheng Meng³, Ma Xiaofeng^{1,2}

(1. Intelligent Transport Systems Research Center, Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei 430063, China; 2. National Engineering Research Center for Water Transportation Safety, Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei 430063, China; 3. Wuhan Transportation Development Strategy Research Institute, Wuhan Hubei 430017, China)

Abstract: How to obtain and update the population and employment distribution data of urban traffic zones is a difficult task facing the current transportation planning. This paper first analyzes the relationship between land use, accessibility, building area and the distribution of urban population and employment. On the basis of space consumption coefficient and considering the influence of accessibility on population and employment distribution, the paper proposes a concept of weight of population and employment incremental distribution and develops a population and employment distribution model based on spatial incremental model. The genetic algorithms is used to calibrate the model parameters, and the accuracy of the model is demonstrated through the data of traffic zones in Jiang'an District, Wuhan. The results show that the population and employment distribution forecasting model is highly reliable and can provide data support for urban transportation planning.

Keywords: land use; accessibility; population and employment distribution; spatial increment; genetic algorithms; Wuhan

收稿日期: 2019-11-06

基金项目: 国家重点研发计划“综合交通运输与智能交通”重点专项“城市多模式交通供需平衡机理与仿真系统”项目(2018YFB1600900)、国家自然科学基金项目“交通驱动城市混合土地利用形态演化机理与发展预测研究”(51778510)、世行贷款武汉城市圈交通一体化示范项目武汉智能交通示范子项目(贷款号: NO85890-CN)

作者简介: 任智(1993—), 男, 湖北武汉人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 交通运输。

E-mail: renzhi@whut.edu.cn

通信作者: 钟鸣(1971—), 男, 内蒙古赤峰人, 博士, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 交通规划与管理、土地与交通整体规划等。E-mail: mzhong@whut.edu.cn

0 引言

传统的交通小区人口与就业岗位分布数据获取手段主要是人口、经济普查。然而,

这些普查手段的周期间隔时间较长。因此, 如何获取并更新城市交通小区人口与就业岗位分布数据是当前交通规划工作面临的难题。

随着人工智能算法的热度不断上升和地

理信息系统(GIS)、遥感(RS)技术的愈加成熟,不少学者将目光转向了微观人口、就业岗位分布与土地利用之间的研究。文献[1-6]运用GIS,RS数据和其他数据来估算人口分布。文献[7]以深圳市土地利用和经济普查等数据为基础,对全市783个社区的分类型就业岗位数与土地利用性质进行相关性分析,并对就业岗位与用地进行拟合,发现拟合后得到的就业岗位结果精度更高。文献[8]以2008年南京市第二次经济普查的就业数据和2007年南京市用地图层为基础数据,利用ArcGIS软件对数据进行修正、匹配,得到南京市主城区各街道的服务业、制造业以及总就业密度,并利用就业集聚指数分析法得到南京市主城区制造业和服务业的空间分布规律。文献[9]以上海市企业分街道就业数据为基础,利用计量模型探究制造业就业分布的主要影响因素,研究表明区位、交通、地价和政策因素对就业分布有显著影响。

已有研究对土地利用、可达性、建筑面积与人口和就业岗位的关系鲜有系统的论述。本文在空间消费系数的基础上,提出并构建基于空间增量模型的城市人口与就业岗位分布模型,并以武汉市江岸区65个交通小区为例,对模型进行参数标定和评价。

1 土地利用、可达性、建筑面积与人口和就业岗位的关系

1.1 土地利用与人口和就业岗位的关系

城市发展离不开商业用地、办公用地和工业用地的规划与建设,这些用地将带来大量的人口与就业岗位。另一方面,人民生活满意度的提升离不开教育用地、医疗卫生用地等的规划与建设,这些用地将吸引人们在周边居住,从而对城市的人口分布产生一定影响。

1.2 可达性与人口和就业岗位的关系

国内外学者对可达性概念都有自己的理解。文献[10]将可达性分为个体可达性和地方可达性两类,前者能够反映个人生活质量水平,后者指所有人口易到达的区域或地方所特有的属性。文献[11]按照三大类阐释了可达性的概念,即基于空间阻隔、基于机会累积以及基于空间相互作用。文献[12]认为可达性是指利用交通系统从某区域到活动地点的便利程度。可以看出,不论是哪种可达性的含义,都与出行成本和地点区位特性密

切相关。其中,出行成本又包括出行费用、出行时间等。

一般而言,居民期望通勤时间能够在一个合理范围内,且生活娱乐能够相对方便,这些因素都会对居民的住房选址产生一定影响。因此,可达性与人口和就业岗位分布呈正相关关系。

1.3 建筑面积与人口和就业岗位的关系

在土地-交通整体规划模型——PECAS模型中,建筑面积是一种商品,可被社会经济活动所消费^[13]。区域内就业岗位越多,经济活动量越大,相应类型的建筑面积消耗就越大。同理,人口对应的居住建筑面积也是如此。因此,人口、就业岗位与消费的建筑面积之间存在线性关系。

空间消费系数是区域内人口和就业岗位所消费的平均建筑面积,即人均占有的建筑面积^[14]。因此,在不考虑空置率的情况下,空间消费系数=总建筑面积/人口数(就业岗位数)。

2 基于空间增量模型的人口与就业岗位分布模型构建

根据空间消费系数的概念,在假设一定年份内空间消费系数保持不变的情况下,可以认为人口、就业岗位的变化量与对应的建筑面积变化量保持一定的线性关系。但在城市实际建设发展中,商品住宅小区等存在一定程度的空置,因此在建模过程中需要考虑入住率的影响。

本文以空间消费系数为基础,对规划年相对于基准年建筑面积增加与减少这两种情况进行建模。针对第一种情况,本文提出一种空间增量分配思想,即交通小区新增人口、就业岗位数占整个研究区域内新增人口、就业岗位数的比例取决于该交通小区居住、就业建筑面积增量与对应的空间消费系数的比值占研究区域内各交通小区该比值之和的比例。同时,考虑可达性、入住率对人口和就业岗位分布的影响。第二种情况通常为拆迁所致,因此不考虑可达性和入住率因素,可直接根据居住、就业建筑面积负增量和对应的空间消费系数计算出对应的人口、就业岗位减少量。

基于以上两种交通小区预测年建筑面积变化情况的讨论,本文构建的基于空间增量模型的人口与就业岗位分布模型分别如式(1)

和式(2)所示。

$$POP_i = \begin{cases} POP_i^{bs} + \frac{(A_i)^{a_0} \left(\frac{Ocr_i \times \Delta Q_i^{jc}}{SCR^{jc}} \right)^{a_1} POP_{add}}{\sum_{i=1}^n \left[(A_i)^{a_0} \left(\frac{Ocr_i \times \Delta Q_i^{jc}}{SCR^{jc}} \right)^{a_1} \right]}, & \Delta Q_i^{jc} > 0 \\ POP_i^{bs} + \frac{\Delta Q_i^{jc}}{SCR^{jc}}, & \Delta Q_i^{jc} < 0 \end{cases}, (1)$$

式中： POP_i 为规划年交通小区*i*的人口/人； POP_i^{bs} 为基准年交通小区*i*的人口/人； A_i 为交通小区*i*的可达性； a_0 为可达性调整参数； Ocr_i 为交通小区*i*的入住率； ΔQ_i^{jc} 为规划年相对基准年在交通小区*i*的居住建筑面积变化量/ m^2 ； SCR^{jc} 为居住空间消费系数； a_1 为新增人口调整参数； POP_{add} 为研究区域内规划年相对基准年的总人口增量/人； n 为研究区域内规划年相对于基准年所有居住建筑面积增加的小区数/个。

$$EMP_i = \begin{cases} EMP_i^{bs} + \frac{(A_i)^{b_0} \left(\sum_{j=1}^7 \frac{\Delta Q_{ij}^{ep}}{SCR_j^{ep}} \right)^{b_1} EMP_{add}}{\sum_{i=1}^n \left[(A_i)^{b_0} \left(\sum_{j=1}^7 \frac{\Delta Q_{ij}^{ep}}{SCR_j^{ep}} \right)^{b_1} \right]}, & \sum_{j=1}^7 \frac{\Delta Q_{ij}^{ep}}{SCR_j^{ep}} > 0 \\ EMP_i^{bs} + \sum_{j=1}^7 \left(\frac{\Delta Q_{ij}^{ep}}{SCR_j^{ep}} \right), & \sum_{j=1}^7 \frac{\Delta Q_{ij}^{ep}}{SCR_j^{ep}} < 0 \end{cases}, (2)$$

式中： EMP_i 为规划年交通小区*i*的就业岗位数/个； EMP_i^{bs} 为基准年交通小区*i*的就业岗位数/个； b_0 为可达性调整参数； ΔQ_{ij}^{ep} 为规划年相对基准年在交通小区*i*的第*j*类就业岗位建筑面积的变化量/ m^2 ； SCR_j^{ep} 为第*j*类就业岗位空间消费系数； b_1 为新增就业岗位调整参数； EMP_{add} 为研究区域内规划年相对基准年的总就业岗位增量/个。

以下是对模型的几点说明：

1) 无论是人口分布模型还是就业岗位分布模型，都需要考虑规划年相对基准年的建筑面积变化情况；

2) 与人口分布模型不同的是，就业岗位分布模型需要计算规划年与基准年的七种就业岗位(即居住岗位、工业仓储岗位、行政办公岗位、商业金融岗位、教育科研岗位、其他公建岗位、其他岗位)增减量总和，以便为该交通小区分配就业岗位数；

3) 本文构建的基于空间增量模型的人口与就业岗位分布模型中的可达性调整参数和新增人口就业岗位调整参数，需要利用基准年和规划年的交通小区内相关数据去标定。

3 模型评价

本文以武汉市江岸区为研究对象，对城市人口与就业分布模型进行参数标定并评价。

3.1 数据获取

3.1.1 交通小区划分

交通小区划分的原则是将具有一定交通关联度和交通相似度的区域划分为同一个交通小区。武汉市江岸区65个交通小区划分情况如图1所示。

3.1.2 空间消费系数

文献[15]提出一种利用区域内总建筑面积和已知的人口、就业岗位数据来估算不同种类的空间消费系数的方法，即通过人口、就业岗位数据与各自类别的空间消费系数的乘积之和作为区域内总建筑面积的关系，借助数学规划方法，建立空间消费系数估计模型

$$\text{Min}(x) = \sum_{i=1}^n \left[\left(\sum_{j=1}^2 a_{ij} x_{ij} + \sum_{k=1}^7 c_{ik} x_{ik} \right) - S_{oi} \right]^2, (3)$$

式中： a_{ij} 为交通小区*i*的第*j*类人口/人， $j=1$ 表示城市人口， $j=2$ 表示农村人口； x_{ij} 为交通小区*i*的第*j*类居住空间消费系数； c_{ik} 为交通小区*i*的第*k*类就业岗位数/个，类型包括居住岗位、工业仓储岗位、行政办公岗位、商业金融岗位、教育科研岗位、其他公建岗位、其他岗位； x_{ik} 为交通小区*i*的第*k*类就业空间消费系数； S_{oi} 为交通小区*i*的总建筑面积观测值/ m^2 。

在空间消费系数估计模型的基础上，利用遗传算法求解出武汉市江岸区的居住与就业空间消费系数(见表1)。

3.1.3 建筑面积数据

本文使用的数据是武汉市交通发展战略研究院提供的2008年江岸区65个交通小区人口和就业岗位数据，以及2013年江岸区65个交通小区的建筑物图层及土地利用图层数据。从数据的可获得性而言，人口和就业岗位数据是通过交通调查得到，建筑物图层和土地利用图层数据通过测绘得到。

将2008年作为基准年，通过交通小区人口、就业岗位数据以及对应的空间消费系数，可推算出江岸区基准年的居住、就业建筑面积(见图2a)。将2013年作为规划年，通过ArcGIS软件对建筑物图层、土地利用图层和交通小区图层进行叠加分析，可获取江

岸区规划年的居住、就业建筑面积(见图2b)。

3.1.4 可达性数据

通过对可达性不同定义的分析, 本文将交通小区的可达性表示为从该交通小区到所有交通小区的综合效用, 其中综合效用与各种出行方式的出行时间和出行成本相关^[16]。因此, 本文给出如下可达性公式, 其中效用函数中变量的参数为武汉市交通模型的经验参数, 通过武汉市交通调查后经回归分析得到。

$$u_{ij}^k = -0.02t - 0.039f, \quad (4)$$

$$A_i = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m e^{u_{ij}^k}, \quad (5)$$

式中: u_{ij}^k 为从交通小区 i 到交通小区 j 使用的第 k 种出行方式所产生的综合阻抗; t 为出行时间/min; f 为出行费用/元; A_i 为交通小区 i 的可达性。

根据可达性公式, 可计算出武汉市交通小区的可达性(见图3)。

3.1.5 入住率数据

文献[17]提到土地与交通整体规划模型——PECAS模型中所考虑的空置率与年租金有关, 空置率与入住率的和为1。因此, 通过武汉市某些区域的入住率与年租金的样本调查数据, 对入住率公式进行参数标定, 标定后的入住率

$$Ocr_i = 9.165 \times 10^{-5} P + \frac{0.55(e^{0.0928(p-240)} - 1)}{e^{0.0928(p-240)} + 1} + 0.178, \quad (6)$$

式中: Ocr_i 为交通小区 i 的入住率; P 为交通小区 i 的年租金/(元·m²)。

通过从互联网收集到的2013年武汉市

表1 武汉市江岸区居住与就业空间消费系数

Tab.1 Spatial consumption coefficient of population and employment in Jiang'an District, Wuhan

建筑空间类型	空间消费系数
城市居住	25.1
农村居住	42.1
居住岗位	24.7
工业仓储岗位	116.7
行政办公岗位	21.3
商业金融岗位	32.7
教育科研岗位	110.1
其他公建岗位	32.4
其他岗位	22.4

江岸区具有代表性区域的年租金, 利用ArcGIS中克里金插值法得到各交通小区年租金数据。最后利用上述公式推算出各交通小区入住率(见表2)。

3.2 参数标定

参数标定方法采用遗传算法, 将目标函数编写完毕后, 在MATLAB命令中输入相关命令调用GA函数, 然后设置相关的约束即可。本文将规划年相较于基准年建筑面积增加的交通小区数据随机挑选出40个, 用于标定参数。得到的基于空间增量模型的人口与就业岗位分布模型中的可达性调整参数值和新增人口与就业岗位调整参数值为 $a_0 = 3.15, a_1 = 0.643, b_0 = 1.51, b_1 = 0.894$ 。

3.3 模型评价

基于参数标定后的人口分布模型, 将剩

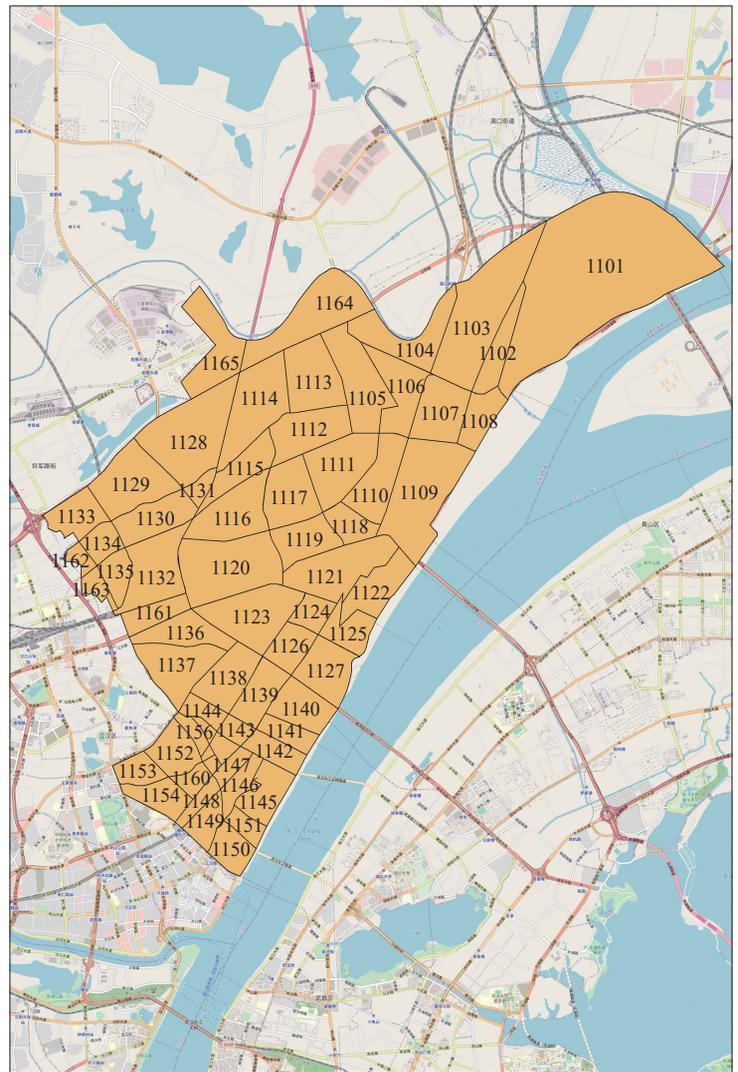


图1 武汉市江岸区交通小区划分

Fig.1 Traffic analysis zones in Jiang'an District, Wuhan

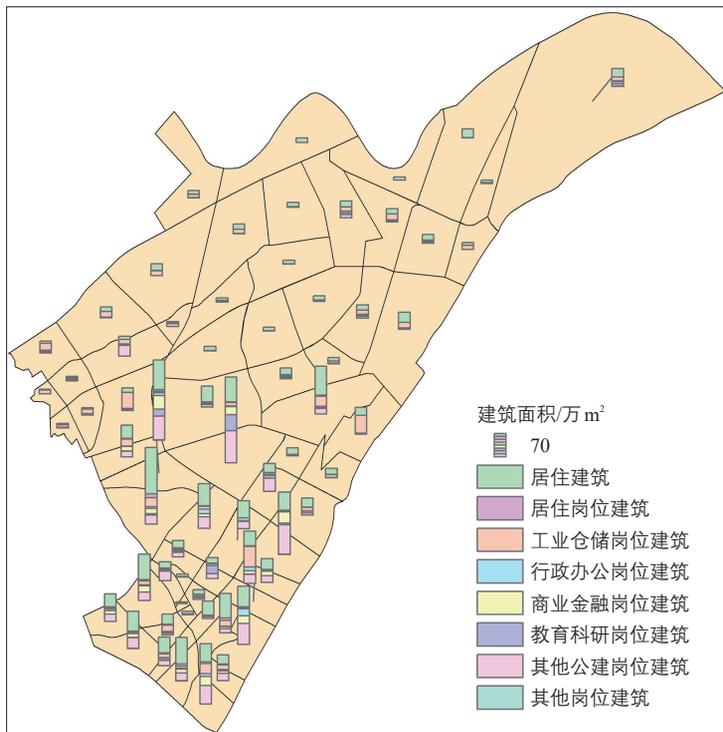
余的25个交通小区数据用于模型验证。其中,居住建筑面积增加的交通小区数量为17个、减少的交通小区数量为8个。得到的人口预测值与观测值的相对误差统计如表3所示。

从表3可看出,在25个交通小区中,人口分布模型预测值与观测值之间的相对误差在30%以下的交通小区数量为18个,占交通

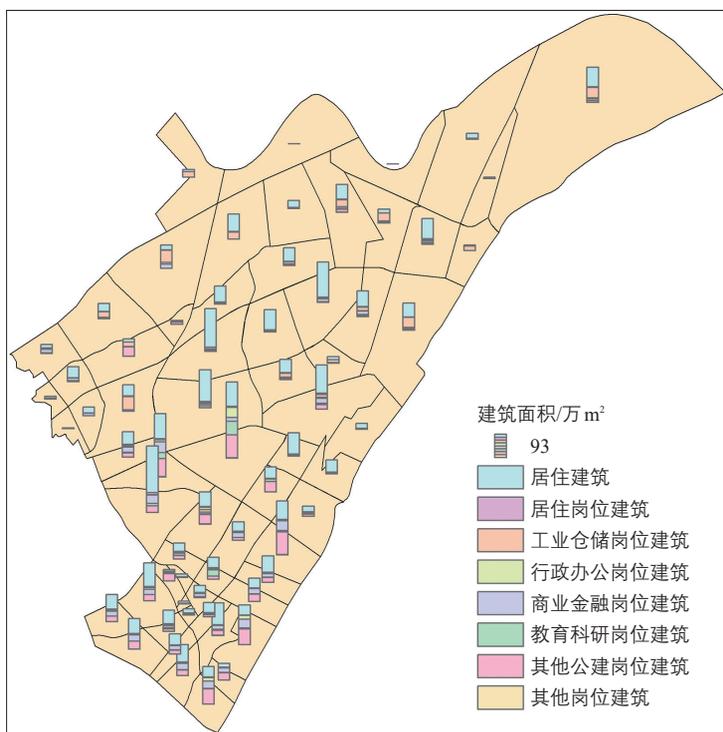
小区总数的72%。但是,也存在极个别交通小区的人口预测结果相对误差较大的情况,其中有一个交通小区的人口预测相对误差达到165.33%,这是因为该交通小区在2013年新建了较多的商品房,导致模型中的人口增量分配权重较大,而现实情况则是新建商品房的入住人口很少,从而造成模型预测出的该交通小区的人口相对误差偏大。总体而言,本文构建的人口分布模型能够保证70%以上的交通小区的人口预测结果相对误差在30%以内,模型具有一定的可靠性。

同样,基于参数标定后的就业岗位分布模型,将剩余的25个交通小区数据用于模型验证。其中,就业建筑面积增加的交通小区数量为20个、减少的交通小区数量为5个。就业岗位分布模型预测值与观测值的相对误差统计如表4所示。

从表4可看出,在25个交通小区中,就业岗位分布模型预测值与观测值之间的相对误差在30%以下的交通小区数量为18个,占交通小区总数的72%。但是,也存在极个别交通小区的就业岗位预测结果相对误差较大的情况,其中有一个交通小区的就业岗位预测相对误差达到80.66%,这是因为武汉市江岸区在“十二五”期间进行了“三旧”改造,部分交通小区的工业建筑被拆除,新建为高楼层的商业建筑或者教育科研建筑,导致模型中的就业岗位增量分配权重较大,而现实情况则是新建的就业建筑还没有形成正式的就业岗位,从而造成模型预测出的该交通小区的就业岗位相对误差偏大。总体而言,本文构建的就业岗位分布模型能够保证70%以上的交通小区就业岗位预测结果的相对误差在30%以内,模型具有一定的可靠性。



a 基准年(2008年)



b 规划年(2013年)

图2 武汉市江岸区建筑面积分布

Fig.2 Distribution of building area in Jiang'an District, Wuhan

4 结语

城市人口与就业岗位分布是城市交通规划及交通需求预测的基础,然而人口与经济普查间隔年限较长,无法持续获取每个年度的城市人口与就业岗位分布。根据文献研究可知,在人口分布方面,国内外学者利用GIS和遥感技术来预测格网人口分布的研究较多,但是格网精度不易保证;在就业岗位分布方面,现有研究方法较少且大多是宏观预测。

本文通过深入分析土地利用、可达性、建筑面积与人口和就业岗位分布的关系,基于空间消费系数,构建了基于空间增量模型

的城市人口与就业岗位分布模型，并以武汉市江岸区65个交通小区为例，收集了建筑面积、可达性、入住率等数据，对模型进行参数标定，最后对模型的精度进行验证。结果表明，基于空间增量模型的人口与就业岗位分布模型具有一定的可靠性。

需要指出的是，本文的入住率是根据经验公式推算得出，存在一定误差。后续需要通过一定量的样本调查，掌握区域内较为精确的建筑空置分布，从而有助于提升模型的预测精度。此外，武汉市需要构建土地利用模型，与交通模型整体规划，从而促进城市经济、土地利用以及交通的协调发展。

参考文献:

References:

[1] Briggs D J, Gulliver J, Fecht D, et al. Dasy-metric Modelling of Small- Area Population Distribution Using Land Cover and Light Emissions Data[J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 108(4): 451-466.

[2] 朱翠霞, 陈阿林, 刘琳. 基于GIS的区域人口统计数据空间化: 以重庆都市区为例[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2013, 30(5): 50-55.

Zhu Cuixia, Chen Alin, Liu Lin. Based on GIS Regional Population Statistic Data of Space: Taking Urban Chongqing as an Example[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2013, 30(5): 50-55.

[3] 王海力, 韩光中, 谢贤健. 基于多源遥感数据和DEM的沱江流域人口分布与地形起伏度关系研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2017, 39(6): 1001-1011.

Wang Haili, Han Guangzhong, Xie Xianjian. Research on Relationship Between Population Distribution and the Relief Degree of Land Surface Based on Multi-Source Remote Data and Dem: A Case Study of Tuojiang River Basin, China[J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 2017, 39(6): 1001-1011.

[4] 董珍珍, 王亮, 仇阿根. 基于特征分区的人口数据格网化研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2017, 40(12): 64-67+72.

Dong Zhenzhen, Wang Liang, Qiu Agen. Research on the Grid Transformation of Population Data Based on the Feature Partition[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2017, 40(12): 64-67+72.

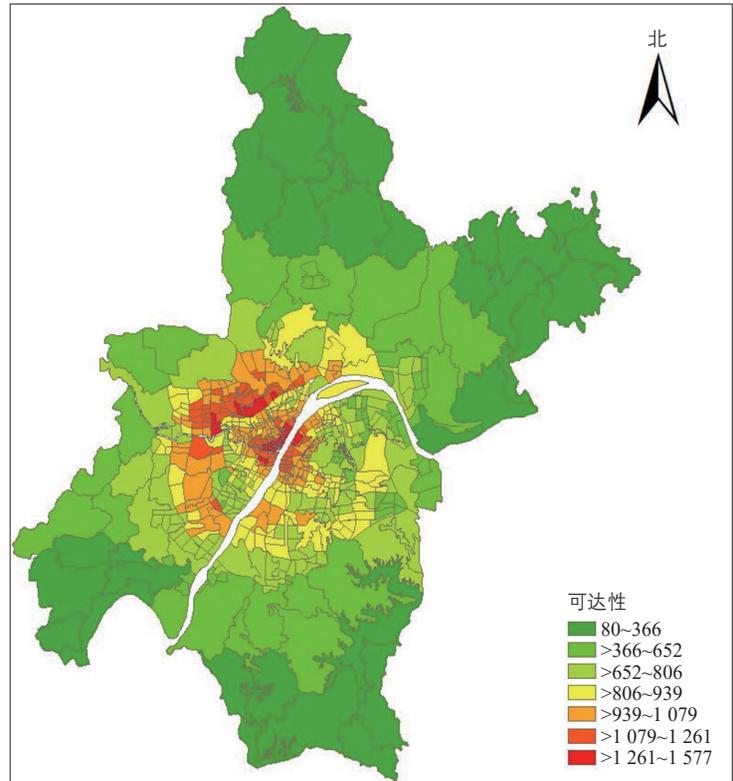


图3 武汉市交通小区可达性分布

Fig.3 Distribution of accessibility of traffic analysis zones in Wuhan

表2 武汉市江岸区交通小区入住率

Tab.2 Occupancy rate of traffic analysis zones in Jiang'an District, Wuhan

小区编号	入住率	小区编号	入住率	小区编号	入住率
1101	0.72	1123	0.76	1145	0.76
1102	0.75	1124	0.73	1146	0.71
1103	0.75	1125	0.76	1147	0.77
1104	0.76	1126	0.76	1148	0.76
1105	0.74	1127	0.77	1149	0.77
1106	0.76	1128	0.76	1150	0.72
1107	0.76	1129	0.76	1151	0.76
1108	0.75	1130	0.75	1152	0.76
1109	0.72	1131	0.76	1153	0.76
1110	0.47	1132	0.65	1154	0.76
1111	0.75	1133	0.57	1155	0.76
1112	0.76	1134	0.68	1156	0.75
1113	0.76	1135	0.75	1157	0.76
1114	0.72	1136	0.76	1158	0.73
1115	0.76	1137	0.72	1159	0.76
1116	0.75	1138	0.76	1160	0.76
1117	0.76	1139	0.77	1161	0.73
1118	0.77	1140	0.74	1162	0.31
1119	0.76	1141	0.77	1163	0.51
1120	0.76	1142	0.77	1164	0.76
1121	0.78	1143	0.76	1165	0.76
1122	0.76	1144	0.76		

[5] 谭敏, 刘凯, 柳林, 等. 基于随机森林模型的珠江三角洲 30 m 格网人口空间化[J]. 地理科学进展, 2017, 36(10): 1304-1312.
Tan Min, Liu Kai, Liu Lin, et al. Spatialization of Population in the Pearl River Delta in 30 m Grids Using Random Forest Model[J]. Progress in Geography, 2017, 36(10): 1304-

表3 人口分布模型预测值与观测值的相对误差

Tab.3 Relative error between forecasting value and observed value of the population distribution model

小区序号	模型预测值	观测值	相对误差/%	小区序号	模型预测值	观测值	相对误差/%
1	19 836	20 285	2.21	14	17 843	15 214	17.28
2	23 599	23 100	2.16	15	17 499	19 460	10.08
3	32 744	38 530	15.02	16	1 308	1 090	20.00
4	25 671	26 638	3.63	17	4 682	5 439	13.92
5	15 093	13 020	15.92	18	7 502	6 055	23.90
6	32 768	37 187	11.88	19	829	959	13.56
7	18 456	19 059	3.16	20	13 041	8 852	47.32
8	23 832	29 038	17.93	21	8 367	7 948	5.27
9	9 174	6 391	43.55	22	528	316	67.09
10	9 687	9 580	1.12	23	749	384	95.05
11	3 197	1 943	64.54	24	6 440	5 240	22.90
12	9 560	3 603	165.33	25	220	162	35.80
13	4 099	3 225	27.10				

表4 就业岗位分布模型预测值与观测值的相对误差

Tab.4 Relative error between the forecasting value and observed value of the employment distribution model

小区序号	模型预测值	观测值	相对误差/%	小区序号	模型预测值	观测值	相对误差/%
1	9 161	10 030	8.66	14	11 140	11 618	4.11
2	5 390	8 548	36.94	15	495	274	80.66
3	38 781	42 048	7.77	16	1 804	1 286	40.28
4	12 639	11 964	5.64	17	748	771	2.98
5	4 840	3 734	29.62	18	7 439	6 302	18.04
6	14 263	10 430	36.75	19	13 680	14 325	4.50
7	17 109	17 167	0.34	20	1 682	1 074	56.61
8	35 402	37 728	6.17	21	49	90	45.56
9	15 091	14 689	2.74	22	432	582	25.77
10	18 441	19 768	6.71	23	339	521	34.93
11	14 882	15 102	1.46	24	20 764	25 422	18.32
12	18 289	18 631	1.84	25	1 339	1 401	4.43
13	5 606	4 373	28.20				

1312.

[6] 刘瑞, 蒋旭, 赵静, 等. 基于 GIS 的深圳市违法建筑居住人口密度空间分布研究[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(1): 233-237.
Liu Rui, Jiang Xu, Zhao Jing, et al. GIS Based Research on the Spatial Distribution of Population Density in Illegal Buildings in Shenzhen City[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2018, 30(1): 233-237.

[7] 郭莉, 李智. 基于土地利用的人口岗位分布预测研究[C]//中国城市交通规划 2012 年年会暨第 26 次学术研讨会, 西湖宾馆, 福州, 2012: 公交优先与缓堵对策.

[8] 王慧, 吴晓, 强欢欢. 南京市主城区就业空间布局初探[J]. 经济地理, 2014, 34(6): 115-123.
Wang Hui, Wu Xiao, Qiang Huanhuan. A Preliminary Analysis of Spatial Distribution of Employment Spatial in Nanjing Main City[J]. Economic Geography, 2014, 34(6): 115-123.

[9] 陈小晔, 孙斌栋. 上海都市区制造业就业格局的演化及影响因素[J]. 人文地理, 2017, 32(4): 95-101.
Chen Xiaoye, Sun Bindong. Spatial Structure and Determinants of Manufacturing Employments in Shanghai Metropolitan Area[J]. Human Geography, 2017, 32(4): 95-101.

[10] Kwan M P, Murray A T, O' Kelly M E, et al. Recent Advances in Accessibility Research: Representation, Methodology and Applications[J]. Journal of Geographical Systems, 2003, 5(1): 129-138.

[11] 刘贤腾. 空间可达性研究综述[J]. 城市交通, 2007, 5(6): 36-43.
Liu Xianteng. General Description of Spatial Accessibility[J]. Urban Transport of China, 2007, 5(6): 36-43.

[12] 张志伟, 母睿, 刘毅. 基于可达性的城市交通与土地利用一体化评价[J]. 城市交通, 2018, 16(2): 19-25.
Zhang Zhiwei, Mu Rui, Liu Yi. Evaluation on the Integration of Urban Transportation and Land Use Based on Reachability[J]. Urban Transport of China, 2018, 16(2): 19-25.

[13] 易汉文, 殷茵. PECAS: 城市用地和交通集成化模型系统[J]. 城市交通, 2006, 4(4): 12-20+59.
Yi Hanwen, Yin Yin. PECAS: An Integrated Land-Use and Transportation Modeling System[J]. Urban Transport of China, 2006, 4

- (4): 12-20+59.
- [14] 余碧琳. 土地—交通整体规划模型空间分布估计与优化方法研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2017.
- Yu Bilin. Estimating and Optimizing Floor-space Data for Intergrated Land Use Transport Model[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2017.
- [15] Zhong M, Yu B L, Liu S B, et al. A Method for Estimating Localised Space-Use Pattern and Its Applications in Integrated Land-Use Transport Modelling[J]. *Urban Studies*, 2018, 55(16): 3708-3724.
- [16] Hunt J D, Abraham J E. Design and Application of the PECAS Land Use Modeling System[EB/OL]. 2006[2019-11-01]. <http://www.ucalgary.ca/~jabraham/Papers/pecas/8094.pdf>.
- [17] Hunt J D, Abraham J E. Design and Implementation of PECAS: A Generalised System for Allocating Economic Production, Exchange and Consumption Quantities[M]// Elsevier. *Integrated Land-Use and Transportation Models*, 2005: 253-274.

(上接第26页)

- [9] 上海统计局. 上海第四次经济普查主要数据公报[EB/OL]. 2020[2020-05-05]. <http://tjj.sh.gov.cn/tjgb/20200330/98f254db81fa405f95147551a548f9d4.html>.
- [10] Liu Xianteng, Zhou Jiangping. Does Employment Distribution Follow Theoretical Models? Visualizing Shanghai's Employment Distribution[J]. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2016, 49(3): 493-495.
- [11] 张天然. 基于手机信令数据的上海市域职住空间分析[J]. *城市交通*, 2016, 14(1): 15-23.
- Zhang Tianran. Job-Housing Spatial Distribution Analysis in Shanghai Metropolitan Area Based on Cellular Signaling Data[J]. *Urban Transport of China*, 2016, 14(1): 15-23.
- [12] 王颖. 上海城市社区实证研究——社区类型、区位结构及变化趋势[J]. *城市规划汇刊*, 2002(6): 33-40+79.
- Wang Ying. A Case Study on Urban Community in Shanghai-Community Classification, Spatial Distribution and Changing Tendencies[J]. *Urban Planning Forum*, 2002(6): 33-40+79.
- [13] 上海国际汽车城门户网站. 上海国际汽车城控详规划[EB/OL]. 2020[2020-05-05]. <http://www.siac-autopark.com/area/list.html>.
- [14] Pan Y. The Influence of Enterprise Location on Jobs/Housing Separation: A Case Study of Shanghai Automotive City[D]. Hong Kong: The University of Hong Kong, 2018.
- [15] 石忆邵, 俞怡文. 郊区化究竟是加重还是缓解了城市病: 基于上海的实证分析[J]. *经济地理*, 2016, 36(8): 47-54.
- Shi Yishao, Yu Yiwen. Whether Suburbanization Exacerbates or Alleviates Urban Diseases: Evidences from Shanghai, China[J]. *Economic Geography*, 2016, 36(8): 47-54.
- [16] 肖艳秋, 杨德刚, 唐宏, 等. 塔里木河流域人口-经济分布不均衡特征分析[J]. *干旱区地理*, 2012, 35(2): 309-317.
- Xiao Yanqiu, Yang Degang, Tang Hong, et al. Imbalanced Distribution Characteristics of Population-Economy of Tarim Basin, Xinjiang[J]. *Journal of Transport Geography*, 2012, 35(2): 309-317.
- [17] Bento A, Cropper M L, Mobarak A M, et al. The Impact of Urban Spatial Structure on Travel Demand in the United States[R]. Washington DC: World Bank, 2007.
- [18] Zhou Jiangping, Long Ying. Losers and Pareto Optimality in Optimizing Commuting Patterns[J]. *Urban Studies*, 2016, 53(12): 2511-2529.
- [19] Knowles R D. Transit Oriented Development in Copenhagen, Denmark: From the Finger Plan to Ørestad[J]. *Journal of Transport Geography*, 2012, 22: 251-261.
- [20] 张天然, 王波. 上海2035年公共交通分担率研究[J]. *交通与港航*, 2018, 5(2): 42-49.
- Zhang Tianran, Wang Bo. Research on Public Traffic Share Ratio of Shanghai Transport in 2035[J]. *Communication & Shipping*, 2018, 5(2): 42-49.