

学术动态 (Planning Reviews)

城乡规划分类领域索引:

01 区域和城市空间发展

02 城市开发与土地经济

03 城市设计与详细规划

04 城乡交通与市政基础设施

05 城乡发展历史与遗产保护

06 城乡社区发展与住房建设

07 城乡规划管理与政策

08 城乡规划方法与技术

09 城乡可持续发展

10 智能城镇化

01 区域和城市空间发展 (王兰, 同济大学建筑与城市规划学院教授)

基于人工智能的谷歌街景建筑环境评估和冠心病患病率

建成环境对心血管疾病的发生起着重要作用,但利用机器视觉和信息技术评估建成环境的工具仍然有限。该研究旨在探讨基于机器视觉的建成环境与美国城市心脏病代谢疾病发病率之间的关联。研究利用53万张来自美国7个城市789个普查区的谷歌街景图像,提取建成环境特征,并通过卷积神经网络、线性混合效应模型和激活图技术,分析这些特征与冠心病患病率之间的关系。结果表明,街景图像提取的建成环境特征不仅能独立解释63%的普查区冠心病患病率变化,还优化了仅包含人口统计学因素、社会经济因素及健康社会决定因素的模型效果。机器视觉支持的建成环境评估方法,有望更精准地识别高风险社区,从而为减少城市中的心血管健康社区差异提供有效路径。

1. 研究背景

冠心病在美国导致了超过50%的心脏病死亡,而证据显示非常规风险因素的影响被严重低估。这些因素包括种族、收入、教育和文化等社会决定因素,噪音、温度和空气污染等外部环境因素,以及建成环境因素三类。然而,对建成环境的大规模综合评价由于成本高、耗时长而受限。谷歌街景图像(Google Street View, GSV)提供了一种与实地评估效果相当的虚拟邻里审计方法,可通过机器视觉和信息技术对建成环境进行评估。

2. 研究方法

(1) 研究数据

① 冠心病数据

普查区的冠心病患病率数据来源于2018年美国疾病控制与预防中心的“人口水平分析和社区估算”(Population Level Analysis and Community Estimates, PLACES)项目。该项目基于2015年和2016年行为风险因素监测系统的数据,调查了18岁及以上的人群是否被诊断为心绞痛或冠心病。研究收集了7个城市(华盛顿州贝尔维尔、得克萨斯州布朗斯维尔、俄亥俄州克利夫兰、科罗拉多州丹佛、密歇根州底特

律、加利福尼亚州弗里蒙特、堪萨斯州堪萨斯城)789个普查区的冠心病患病率数据。

② 谷歌街景数据

环境信息来源于2020至2021年间通过谷歌街景图像静态API下载的约53万张覆盖7个城市的谷歌街景图像。每个普查区按100 m间隔的网格模式获取四个方向(东、南、西、北)的全景视图。图像处理使用了预训练的Places365卷积神经网络(convolutional neural networks, CNN)模型,模型训练集包含超过400个独特场景类别的1000多万张图像。研究提取了4096个深层特征,用于描述每个普查区的平均建成环境情况。

③ 人口统计、社会经济因素和健康社会决定因素综合指数

研究收集了2018年美国社区调查五年估计中的人口统计和社会经济因素(demographic and socioeconomic, DSE),包括年龄、性别、种族、收入和教育程度;还获取了三项常用的健康社会决定因素综合指数(social determinants of health, SDOH),包括2018年社会贫困指数、2015年区域贫困指数和2018年社会脆弱性指数。

(2) 统计分析

① 利用卷积神经网络提取特征的机器学习模型

研究采用极限树回归器、随机森林回归器和轻梯度提升机回归器三种机器学习模型来预测街景图像环境特征与冠心病患病率之间的关联。所有模型均采用10折交叉验证法进行评估以确保结果稳健性。 R^2 值被用于评估模型拟合程度,平均绝对误差和均方根误差用于衡量模型性能。

② 基于传统人口统计学、社会经济因素及健康社会决定因素的多层次模型

研究采用两步监督建模策略来分析人口统计、社会经济因素,以及谷歌街景图像特征对冠心病患病率的影响。首先,应用多元稀疏偏最小二乘(sparse partial least squares, SPLS)回归处理卷积神经网络特征的高维度和噪声问题;然后,构建多层次回归模型,比较卷积神经网络特征与已知因素的影响,同时考虑固定效应和随机效应。

研究比较了两组模型的拟合优度:第一组包括仅包含人口统计和社会经济因素的模型(DSE)、仅包含谷歌街景图像特征的模型(GSV),以及两者结合的模型(DSE + GSV);第二组包括仅包含健康社会决定因素的模型(SDOH)、仅包含谷歌街景图像特征的模型(GSV),以及两者结合的模型(SDOH + GSV)。

3. 研究结果

三个机器学习模型中,极限树回归器的模型效果最佳,其 R^2 值最高、平均绝对误差与均方根误差最低。从谷歌街景图像中提取的4096个卷积神经网络特征能够解释七个城市普查区冠心病患病率中超过63%的方差。

多元稀疏偏最小二乘生成了一个包含883个卷积神经网络特征的最佳模型,该模型能够解释普查区冠心病患病率的64.8%以上方差。基于人口统计学和社会经济因素的多层次建模结果表明,DSE变量依然是比GSV特征更好的冠心病患病率预测因子。相比于简化模型,DSE + GSV模型以及GSV + SPLS模型表现出

更好的拟合优度,例如更低的AIC/BIC值和更高的 R^2 ,而且DSE + GSV模型性能优于GSV + SPLS模型。结果表明,将谷歌街景图像特征与人口统计学和社会经济因素变量相结合,能够有效提升冠心病患病率的预测结果。

使用Grad-CAM技术进行特征可视化,可以在原始谷歌街景图像中突出显示与冠心病患病率相关的重要环境特征。Grad-CAM生成的激活图显示,破旧建筑物和道路裂缝与冠心病患病率呈正相关,而道路两旁的树木和建造良好的房屋则呈负相关。

4. 讨论

从谷歌街景图像中提取的原始卷积神经网络特征能够有效捕捉与心血管健康相关的邻里特征。然而,在底特律和克利夫兰的部分地区,冠心病患病率被低估,可能是由于极端值的样本数量有限,或者其他非建成环境变量在这些环境中影响效应更强。传统的人口统计学和社会经济因素对冠心病患病率的解释能力仍然优于谷歌街景图像特征,可能是因为建成环境特征无法充分传递某些稀有风险因素。

破败的房屋和道路反映出社区缺乏体力活动空间、获取健康食物困难以及医疗服务匮乏等问题,可能导致了更高的冠心病患病率。与以往研究一致,街道绿化与心血管健康改善密切相关。需要强调的是,这些相关性并不意味着因果关系。社会经济地位等潜在因素可能通过影响生活条件 and 健康行为在其中发挥作用。未来研究也应扩展至个体层面,为定制化健康干预提供支持。

5. 结论

建成环境对心血管健康有显著影响。该研究通过谷歌街景和预训练的卷积神经网络评估建成环境,发现提取的图像特征在普查区层面显著解释了很大一部分的冠心病患病率。与传统的人口统计、社会经济因素或健康社会决定因素指数相比,谷歌街景图像提供了独特的建成环境信息,有效提升了冠心病患病率的预测结果。该研究为机器视觉快速识别城市网络风险特征以及制定针对性干预措施提供了概念验证。

来源: CHEN Z, DAZARD J E, KHALIFA Y, et al. Artificial intelligence - based assessment of built environment from Google Street View and coronary artery disease prevalence[J]. European Heart Journal, 2024, 45 (17): 1540-1549.

(供稿:陶佳,同济大学建筑与城市规划学院硕士研究生)

利用可解释的机器学习方法解释积极出行行为:来自中国北京的见解

1. 研究背景及目的

随着城市化进程的加快,交通拥堵、环境污染和能源消耗等问题日益严重。在该背景下,积极出行(即步行和骑行)相比于机动车出行,具有灵活性、成本效益、健康和环保等多重优势。然而现有研究主要依赖于小规模调查数据和线性模型,难以全面捕捉积极出行行为中的复杂非线性因素和动态变化。为填补这一研究空白,本研究以北京市为例,利用解释性机器学习方法(explainable machine learning),

通过整合大规模的出行数据和数据驱动模型，全面分析积极出行行为的驱动因素及其非线性关系，为优化可持续交通规划提供科学依据。

2. 研究方法

(1) 研究对象

研究选取了中国北京市的东城区和西城区作为研究区域。两个城区位于北京市的核心地带，面积合计约92.54km²，常住人口约180万。研究区域内公共交通网络发达，居民出行方式多样，尤其是在短途通勤中，步行和骑行等积极出行方式的使用比例较高。因此，这两个城区的出行行为模式为深入研究城市居民的积极出行行为提供了理想的样本和重要的参考依据。

(2) 研究数据

本研究的通勤数据来源于中国最大的电子地图服务商“高德地图”，数据涵盖了2019年1月至6月期间研究区域内的通勤数据。研究利用基站定位服务(Location-Based Services, LBS)记录居民的通勤轨迹，同时通过随机森林模型推断出通勤者的家庭和工作地点。研究数据的空间分辨率为500m，记录了总计122047对包含起讫点的出行数据，总计超过130万名通勤者。每条出行记录中包括了出行方式(如步行、骑行、公共交通、私家车等)和出行路线的详细信息。

数据处理过程中，研究重点关注四大维度影响因素：①出行特征，包括直线距离和路网距离，分别表示从起点到终点的最短直线距离和沿实际路网的行驶距离；②社会经济特征，包括人口密度、平均房价和兴趣点(POI)密度，POI主要保留了商业设施，以反映当地的经济水平；③基础设施特征，包括到最近公交站、地铁站的距离，停车场数量和建筑面积，这些特征衡量了公共交通和私家车的可达性；④自然环境特征，包括绿地覆盖率(NDVI)和家庭与工作地点之间的地形起伏。

(3) 统计分析

为了揭示不同因素对积极出行行为的影响，本研究采用了四种常见的机器学习模型用于预测出行流量和概率，包括线性回归(linear regression, LR)、决策树(decision tree, DT)、随机森林(random forest, RF)和梯度提升决策树(gradient boosting decision tree, GBDT)。数据集被分为训练集(70%)和测试集(30%)，以确保模型的稳健性和准确性。为避免过度拟合，又通过对训练集的十倍交叉验证，对模型参数进行调优。在结果解释中，研究采用Shapley加法解释(shapley additive explanation, SHAP)来分析不同特征之间的交互效应和非线性关系。

3. 研究结果及讨论

基于模型比较，GBDT模型在所有模型中表现最优，其R²值分别达到了0.72(出行流量预测)和0.73(出行概率预测)，表明该模型在捕捉复杂的出行行为模式方面具有较高的准确性。通过模型预测和分析，研究揭示了影响积极出行行为的关键因素。出行距离被确定为最重要的决定性因素，直线距离和路网距离的影响最大，贡献率超过了50%。当出行距离较短时(如小于2km)，居民更倾向于选择步行或骑行，表明积极出行在短距离出行中的优势非常显著。随着距离的增加，选择积极出行的概率则明显下降，这与已有的相关研究结果一致。

除距离外，社会经济因素如房价和POI密度也对积极出行行为有重要影响。研究发现，在房价较高的区域，居民更倾向于选择积极出行，这可能与高收入人群的健康意识和环保意识较强有关。同时，工作地点附近的POI密度与出行流量呈正相关，即工作区POI越密集，选择步行或骑行的通勤者越多。然而，过高的POI密度也会降低积极出行的概率，表明在商业区内复杂的交通环境可能会促使居民选择其他更便捷的交通方式(如地铁或公交车)。

自然环境因素同样在积极出行行为中发挥了重要作用。研究发现，绿地覆盖率(NDVI)对积极出行有显著的正向影响，尤其是在NDVI值超过0.35的区域，居民选择步行或骑行的可能性更大。绿地不仅提供了更好的环境条件，也为居民创造了更加舒适和愉悦的出行体验，从而促进了积极出行。

SHAP分析进一步揭示了各特征的非线性和交互效应。例如，虽然较长的道路网距离会降低居民选择积极出行的意愿，但在绿地覆盖率较高的区域，这一负面影响可以得到部分缓解。此外，地铁站的可达性对积极出行的影响较为复杂。当居民住地距离地铁站较近时，居民更倾向于选择公共交通；而当地铁站距离较远时，步行或骑行反而成为更具吸引力的选择。

4. 总结与展望

本研究通过大规模的出行大数据和机器学习模型，系统分析了影响北京市居民积极出行行为的关键因素。研究表明，出行距离是决定积极出行的最重要因素，而社会经济、基础设施和自然环境因素也在其中扮演着重要角色。基于这些发现，研究提出了一系列政策建议，例如优化步行和骑行的基础设施，增加城市绿地覆盖，改善公共交通与积极出行方式的衔接，进而提高居民的积极出行意愿，促进城市交通的可持续发展。

本研究仍存在一些局限性，未来的研究可以进一步探索更多影响积极出行的因素，如出行成本、消费水平和步行/骑行道的分布等。此外，研究可以在更大范围内进行，以验证模型的普适性，为其他城市的交通规划提供参考。总的来说，本研究不仅为理解居民积极出行行为提供了新的视角，也为制定更有效的交通政策提供了数据支持。

来源：YIN G, HUANG Z, FU C, et al. Examining active travel behavior through explainable machine learning: insights from Beijing, China[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2024, 127, 104038.

(供稿：徐廷佳，同济大学建筑与城市规划学院硕士生)

02 城市开发与土地经济 (刘冰，同济大学建筑与城市规划学院教授)

公共交通导向型走廊 (Transit-Oriented Corridor) 的环境与经济影响——以韩国安养市为例

1. 研究背景

全球变暖对人类生存构成严重威胁，韩国政府为

此提出了“低碳绿色增长”的国家战略，并将TOD模式的交通和用地作为最优先考虑的空间措施。该研究旨在探讨如何有效结合城市空间布局、公共交通系统升级与区域综合发展规划，提出以公共交通为导向的走廊(transit-oriented corridor, 简称TOC)作为绿色城市发展的策略。公交导向型走廊(TOC)是对小汽车依赖型城市空间结构的一种替代方案，但不同于站点地区的公交导向开发(TOD)。它致力于基础设施的升级，以现状主要公交线路为中心，将公共汽车和轨道系统集成起来，并使这些系统与中高密度混合用途建筑、步行道和自行车道相结合，从而减少公交站附近的换乘阻力，以及促进更多的步行出行。TOC在区分每个站点地区角色和功能的同时，还能通过公交线路的连接与整合功能，优化和最大化站点地区的发展潜力。

2. 理论框架

作者系统梳理了TOD与TOC的理论框架。总结TOD在优化城市土地使用、空间、设计上的成效，并认为规划细节如站点周边的汽车友好等会削弱这些成效。相比之下TOC在连接交通与用地、促进商业、集成或区别各开发簇群并产生协同效应等方面更加有效。Caballero和Tsukamoto指出东京的公交型城市中心(TUCs)的中心性是由人流和大容量公共交通形成的，公共空间沿着街道分布，其边界呈线形或非点状的模糊地域，之中布局了大小不同的建筑以及商业、居住、公共服务等混合功能。可见，在站点附近布置大型商业设施的点状高强度TOD开发，可被视为以大容量公交为中心、将通道和功能集成起来的一种实用的空间结构，但这种结构没有在韩国体现出来。相反，TOC强调沿公交线路和步行通道的线形公共空间，更适合中等密度混合功能的走廊构建，而且TOC开发将地理上分散的某些城市活动集中为特定簇群，提高了空间利用的强度和效率，有利于推动走廊内相关机构经济活动的协同。在街区层面上，TOC沿线小街区和混合用途建筑能提高流动人口的驻留时间，增加步行量并促进商业复兴。为此，在TOC开发中对于连接公交线路的街道进行更新时，需要仔细考虑街景设计、美学和建筑高度限制等，还要考虑不同类型的建筑和年代，使新的开发活动进一步增强地方感并提升历史文化的品牌认同。

3. 研究方法

该研究首先对城市形态与居民出行行为进行了分析，随后构建了TOC规划模型，并将其应用于首尔的卫星城市——安养市，从中全面评估了TOC模式对安养市公交可达性、步行友好性、土地利用效率及居民出行方式选择的影响，并进一步探讨了其对城市环境改善与经济影响的潜在贡献。为分析TOC规划模型的环境与经济影响，作者测度了TOC规划因素与公交方式分担率之间的关系，并估算了公交可达性对出行方式选择的影响。进一步假设公交乘客量增加，将伴随着步行流量的提高，由此探讨这种变化对零售业乃至更广泛的环境与经济影响。具体包括：①TOC规划因素与公交方式分担率；②可达性对公交方式选择的影响；③步行流量对零售销售的影响；④TOC规划情景下公交出行的环境经济效应估测。

4. 数据收集

为了从宏观层面探究城市形态与出行行为之间的关系,作者构建了基于首尔大都市区71个城市和地区的数据集,并选择安养市作为模型研究地点。主要分析的因素包括净人口、商业与住宅混合度、产业混合度、通行小汽车的道路比率以及出行方式分担率。此外,对一条长约9km的主要公交走廊沿线5个站点地区进行了单独的现场调查,详细考察了31个独立地块的配置、用途和形态特征。

原始数据来源于相关地方政府统计数据 and “2006年首尔大都市区交通状况调查”。作者深入研究了来自安养市的7 222个出行样本,这些样本记录了出行目的(通勤、购物或休闲)及所选交通方式(步行、自驾或公共交通)。在现场调查中,对5个站点地区89名通勤者就交通设施和步行可达性进行了问卷调查;同时在周边街道上的12个点位调查工作日和周末早晚高峰时段的行人流量及附近店铺零售额,共收集到72 613名行人和4 431名零售顾客的样本数据。平均消费者规模数据取自韩国便利店协会发布的“2011年便利店运营趋势”报告。

5. 研究结果

5.1 估测模型分析

(1) TOC规划要素与公交出行量之间关系的影响估测模型

基于安养市的数据构建了一个净人口密度、通行小汽车道路比率、零售和服务业混合程度与公交出行比例关系的多元回归模型。结果表明,当道路比例较低时,公交出行比例可能更高。在已建成地区,通行小汽车道路比率每增加1%,公交出行比例就减少0.457%。

该研究还探讨了单位面积内街区数量与公交出行比例之间的关系。使用安养市31个行政区数据,构建了每单位面积内街区数量和公交出行比例的一个回归模型。结果表明单位面积内街区数量越多(即街区更小、更紧凑),公交出行比例往往越高。每公顷内城市街区数量每增加 Δ ,公共交通出行比例就会增加 $0.117\ln(\Delta)$ 。

(2) 基于可达性的概率出行方式选择模型

利用多项式逻辑回归模型得到公交方式选择估计结果,结合通勤者的公交设施可达性、步行到公交站距离等数据,构建了一个出行方式选择概率模型。

出行耗时和出行成本的系数为负,且其显著性水平为1%–5%,表明出行时耗减少会降低相应方式出行成本的估计也具有统计显著性。步行到站时间系数为负值,显著性水平低于1%,表明较短的步行到站时间会产生更优的公交选择结果。

(3) 步行量对零售额的影响估测模型

现场调查发现,在72 613名行人中,有4431名顾客进入商店,相当于每100名行人中,有6.2人会进入安养市的社区零售店。如果按2009年调查中顾客的平均消费额为3 572韩元,那么行人数量增加100人,零售额将相应增加22 146韩元。

5.2 实证分析

该研究是TOC规划模型在安养市的一个实际应用。安养市TOC影响区的规模适中,1.5至2.5 hm^2 的大街区被划分为面积小于1.5 hm^2 的小街区。在TOC轴线200m半径范围内,通过公共和商住建筑为主的混合用地进

行了功能强化,住宅被安置在TOC轴线200至400 m半径范围内的地块上,一部分再开发的居住用地为采用12层住宅形式,还有容积率更高的多户住宅地块。为了修建有轨电车,在与走廊平行的道路上减少了1条车道,并拓宽了每侧人行道,这样小汽车专用车道的总数减少到两条或三条。以TOC为中心的公交系统贯穿9km长的路段,每400至500m设置一个站点,每个站点与现有的公交车站相连,共创建17个通勤接驳点。

采用TOC开发模式将产生两种潜在情景。第一种情景中,目标区域的人口密度增加7%,产业混合度增加2.8%,通行小汽车道路比率降低1.1%,街区数量将从0.448个/ hm^2 增加到0.777个/ hm^2 。第二种情景保持了第一种情景的相同规划要素,但扩大了居住规模、加强了住宅和商业混合地区的功能,使净人口密度比现状增加了15%、产业混合度增加了6.7%。

进一步分析每个TOC情景的环境和经济影响。产业混合用途和单位地块数量的规划要素有助于提高公交分担率,分析显示产业混合度增加2.8%至6.7%,将导致公交分担率提高0.8%至1.9%。在安养市TOC影响区的15个行政区中,预计公交分担率将上升7.4%至12.1%,TOC附近平均每日步行者的数量也将增加28 526至52 724人。

要估算从市中心联系新市镇的这条TOC产生的环境和经济影响,在公交分担率将增加3.5%至5.9%的预计下,下降的道路交通量将会减少15.6至27.5万千升的交通能源消耗,并减少391至686千吨的二氧化碳排放。年度二氧化碳排放量减少而产生的经济效益,估计在2.26亿至3.97亿美元之间。同时,考虑随着这一地区步行可达性提高,为更多居民提供了额外的住房供应,社区零售年收入也将增加740万至1 360万美元。

6. 结论

该研究通过创新规划理念与技术手段,旨在为韩国乃至全球其他城市的绿色转型与可持续发展提供科学依据与实践参考。作者建立了TOC规划模型概念,研究了TOC规划因素与交通方式分担率之间的关系、公交可达性对出行方式选择的影响,并估算了引入TOC后的潜在环境与经济影响。形成了三大结论:

一是为促进公交使用量的增加,需要在公交覆盖地区配置更多混合用途空间,以此凸显居住与商业特色,同时还要降低通行小汽车道路的比例。这一发现与Lim在首尔177个TOD型社区中的调查结果相一致。

二是公交方式选择分析的结果表明,公交可达性是决定其使用的重要因素。在安养市,居住在步行距公交站5至15min范围内的居民大部分使用公交出行。因而为低收入群体在公交走廊内提供公共住房的政策是有效的,这符合Handy所阐明的精明增长基本原则。

三是对于“建设有轨电车+小汽车车道瘦身+高密度混合开发+步行友好”的情景模拟表明,TOC策略能够显著提升交通和环境效益,包括提高公交分担率、减少碳排放量,而伴随环境改善和商业振兴带来的经济效益估算年收益可达2.3亿至4.1亿美元。对于实施TOD策略但未能有效实现碳排放和车辆减少的城市,建议考虑将上述整合土地使用与交通发展的TOC策略作为替代方案,以构建沿公交走廊的步行友好型和公交友好型城市环境。当然,TOC实施还要考虑不同利益

主体之间的冲突,需开展后续研究来考察治理相关问题以带来可能的最佳结果。

来源: SEO M, KIM A, KIM S. Environmental and economic impacts of transit-oriented corridors in Korea[J]. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2013, 12(2): 213–220.

(供稿: 许婧, 同济大学建筑与城市规划学院硕士研究生)

建成环境对京津之间城际通勤的非线性时空影响

1. 背景

自21世纪初以来,中国的高速交通基础设施得到了快速发展。高速铁路网建设极大地缩短了旅行时间,提高了个人工作机会的灵活性,推动了对长途通勤的需求。这种趋势扩展了传统的城市通勤范围,进一步改变了大型城市群的结构。在欧美,城际通勤的比例日益增加,促进了城市间联系,也带来了新的交通挑战。

传统观点认为,建成环境如地区间经济发展水平、房价和就业规模是导致通勤的关键因素,并从全局视角进行了论证。而基于“相近事物关联更紧密”的地理学第一定律表明,通勤与建成环境的关系在不同空间区域上存在差异,因此局部回归模型比全局回归模型更能反映现实世界中的空间异质性。此外,传统研究通常假设建成环境与通勤出行之间为线性关系,但最近研究发现这一关系是非线性的,尤其是在通勤数据偏离普通最小二乘(OLS)假设的情况下。

论文利用天津至北京的城际通勤数据,探讨建成环境对城际通勤行为的影响以及其中的非线性和空间异质性问题,旨在为优化城际通勤和制定交通规划政策提供决策依据。

2. 方法与数据

2.1 研究区域

研究区域包括北京和天津,分别有1081个和633个交通分析区(TAZ),覆盖了两个城市的大部分建成区。北京市的人口为2180万,总面积12187 km^2 ;天津市的人口为1370万,总面积为4334 km^2 。这两个城市共同构成了中国北方最大的城市化地区,截至2019年,两市通过1条城际高铁和6条高速公路相连,进一步促进了区域融合。

2.2 数据准备

(1) 因变量

由于市内和城际交通系统独立运作,无法直接获取城际通勤者的居住和工作精确位置,中国目前没有官方的城际通勤统计数据。随着信息通信技术的发展,手机信令数据提供了获取城际通勤者居住和工作地点的可能性。结合手机记录、基站信息记录和脱敏用户信息记录,可以获得移动电话用户的坐标数据。

从手机信令数据中推断城际通勤行程的过程,包括4个步骤:生成出行链、提取城际旅行信息、识别居住和工作地点、计算每个TAZ的城际通勤起点和终点。该研究使用了2019年5月的4周手机信令数据,识别了50 060位在天津居住、在北京工作的城际通勤者,他们产生了761 030次通勤出行。

城际通勤者的性别和年龄组成显示,男性比例高于女性,主要年龄分布在25至45岁之间。城际通勤的出行时耗大多在1.5至3.5 h,而产生高城际通勤出行的TAZ位于天津高铁站周围,表明高铁在城际通勤中发挥着重要的作用。因此,在分析交通属性的建成环境时,需要考虑高铁站的可达性。

(2) 解释变量

解释变量包括每个TAZ的建成环境,分为三个部分:社会经济属性、土地使用属性和交通属性。社会经济属性的数据多样,包含了经济发展、商业运营和房价数据,其中:网格化经济数据来自地理科学和自然资源研究所发布的数据集;各企业的行业归属、就业人数通过Qcc.com的应用程序编程接口(API)收集,并使用香农多样性指数衡量行业多样性;原始住房信息数据来自中国房地产业协会(www.creprice.cn),但考虑城际通勤者的出行时耗集中在90-150 min,作者引入了“90-150 min房价”变量来衡量就业城市的住房成本。土地使用属性中的人口和空间矢量数据分别来源于WorldPop和OpenStreetMap,土地使用混合程度通过6种用地类型(居住、工业、商业、公共设施、绿化和开放空间)占比的混合熵值进行评估,反映不同建筑类型POI数据由2019年百度地图的API获取。交通属性对城际通勤有显著影响,该研究考虑了TAZ中道路、交叉口、公交站点、公交线路、地铁站等设施的密度,并用可TAZ与最近城际铁路站的距离来衡量TAZ到铁路站的可达性。所有变量经过相关性分析和方差膨胀因子(VIF)计算,以解决多重共线性问题,并通过Moran's I指数分析各变量的空间自相关程度。

2.3 地理加权随机森林回归(GWRFR)

为揭示建成环境对城际通勤的非线性影响,该研究采用了基于树的机器学习模型。基于树的模型如决策树、随机森林、梯度增强树等,能够捕获变量之间的非线性关系而受到青睐,其层次结构还能相对直接地解释模型预测。随机森林是一种由多个“分类和回归树(CART)”组成的集成算法,其中CART可以模拟分层决策过程中输入数据的复杂非线性关系。随机森林模型通过聚合多个CART模型的预测,解决了单一CART模型的过拟合问题,并能产生比单个树更准确的预测结果。考虑到随机森林模型仍属于一个全局回归算法,需采用地理加权回归(GWR)的思想,将一个全局随机森林回归(RFR)模型扩展为多个局部子模型。为此,该研究构建了地理加权随机森林回归(GWRFR)模型,为每个TAZ建立一个相应的局部RFR模型,每个局部模型使用的数据只包含该TAZ和附近多个TAZ的变量。

GWRFR模型构建的过程包括以下四个步骤:①获取空间权重矩阵;②抽样训练子集;③构建决策树模型;④树模型的集成。

2.4 解释变量的相对重要性和部分依赖性

为分析各解释变量对城际通勤的影响,该研究使用了“平均不纯度减少(mean decreased impurity, MDI)”方法来评估变量特征的重要性。其核心思想是,排列不重要的某些特征对模型不纯度的影响较小,而排列重要的特征会显著降低模型不纯度。MDI值越高,表示该特征与城际通勤出行之间的关联越强。

“部分依赖图(partial dependency plot)”也用于进一步探讨建成环境与城际通勤出行的复杂关系。它可以量化某个特征对通勤行为的边际效应,通过可视化的方式揭示其非线性影响。重点变量的部分依赖图有助于直观理解这些变量对城际通勤的影响力。

3. 分析结果

3.1 模型规格和性能

选择最佳带宽和树的数量对于地理加权随机森林回归(GWRFR)模型的性能至关重要。最佳带宽反映了建立局部随机森林模型适当的空间尺度,而树的最佳数量反映了模型可用于获得稳定预测结果的决策树的数量。通过计算每组参数的组合,发现当北京(天津)的带宽为154(137)、树的数量为260(310)时,模型的预测性能最佳。

为了展示考虑空间异质性和非线性效应对建模的优势,对在建成环境研究中常用的几种模型进行对比,结果进一步证实,空间异质性和非线性在建成环境与城际通勤出行关系中的作用显著,由此强调了在回归建模中考虑空间异质性和非线性的重要性。

3.2 解释变量的相对重要性

在北京和天津,局部R²的分布呈现出不均匀性,某些区域的值相对较高,如北京的海淀区、西城区和朝阳区,天津的和平区、河东区、南开区和西青区,表明模型在这些区域对城际通勤出行的需求预测性能更好。

每个建成环境属性在城际通勤的出行吸引和出行产生中扮演不同角色。具体来说,土地使用属性是对城际通勤出行吸引最有影响的因素,每个变量的平均相对重要性为8.64%;其次是社会经济属性,平均相对重要性为6.09%;交通属性的影响最小,平均相对重要性为4.98%。然而,在城际通勤出行产生方面,交通属性的贡献最大,平均相对重要性为10.09%,其次是土地使用属性(7.54%)和社会经济属性(1.74%)。

与其它变量相比,住宅比例(4.85%)、购物服务(3.01%)、土地使用混合度(2.22%)、房价(1.74%)和地铁站密度(1.62%)的相对重要性较低,表明这些因素对通勤者居住地选择的影响较小。

3.3 城际通勤出行的非线性效应

分析相对重要性可以确定每个建成环境对城际通勤出行的贡献。然而,这些变量与城际通勤出行之间的关系仍然不明确,有必要进一步探索它们与通勤出行吸引和产生之间的复杂关系,为规划和政策发展提供基础。基于地理加权随机森林回归(GWRFR)的结果,选择了对城际通勤出行吸引和产生贡献最大的前6个建成环境变量。通过GWRFR模型的部分依赖图,可以揭示这些变量的非线性效应及其对通勤出行的影响阈值。

从城际通勤出行吸引来看,当就业密度超过5000个岗位/km²时,出行吸引量急剧上升,显示了就业密度对通勤的正面影响。企业密度对通勤出行的影响与就业密度相类似,但是当企业密度达到每平方公里150个企业后,对通勤出行的影响趋于稳定,说明在低密度地区提高企业和就业岗位密度有利于提高通勤出行的吸引力。公交线路密度从0增长到90条/km²时,城际通勤出行吸引量翻倍;而在达到100条/km²后,对城际通勤的促进效应有所减弱,表明公交覆盖率增长

对城际通勤的影响存在上限。此外,房价超过70 000元/m²后,城际通勤出行数量急剧增加,反映了高房价对跨城通勤的推动作用;当人口密度小于25 000人/km²时,城际通勤出行量迅速增加,表明在一定阈值范围内,人口密度增加对城际通勤有正向影响,这与之前的研究结果一致;土地使用多样性在一定阈值范围内也对通勤出行有较明显的影响。

从通勤出行产生来看,教育服务与城际通勤生成显著正相关,表明家长倾向于选择靠近学校的居住地。这一发现不仅证实了城际通勤中高铁站的有效需求范围,而且为适当增加通勤铁路站的数量提供了启示。

4. 讨论与结论

随着城际出行便利性和可达性的提升,城际通勤的规模显著增加,这深刻反映了居民在工作地点和居住地点上的重新选择,从而影响了区域的空间结构。因此,理解城际通勤的空间分布特征及其与建成环境的关系对于相关规划政策制定至关重要。该研究通过利用多源数据定量分析建成环境对城际通勤出行的影响,主要做出了三方面贡献:一是提出了基于手机信令数据、精确获取城际通勤出行链的新方法;二是建立了考虑空间异质性和非线性效应的分析框架,提高了模型预测的精度;三是考察了不同建成环境要素对通勤出行吸引和产生的具体影响,通过计算各特征的重要性并绘制部分依赖图,能够直观展示建成环境对城际通勤出行的影响。

天津到北京的城际通勤案例研究表明,不同建成环境要素对城际通勤的影响存在不同的非线性效应。在通勤出行吸引方面,社会经济属性显示出较高的影响力,尤其是就业密度的贡献最大,这一发现证实了中小企业活力对城际通勤的重要性;此外,公交线路密度的显著贡献强调了公交系统在城际通勤中的作用。对于城际通勤出行的产生,尽管交通属性的相对重要性较高,但小学和中学教育服务的影响最为突出,表明教育资源的不足和对人口入学政策对城际通勤有显著影响,这对于在大城市工作但希望子女接受较好教育的家庭尤其明显。

该研究还揭示了多个解释变量对城际通勤的影响存在阈值效应,提出了不同变量的有效范围,以帮助主管部门制定更有针对性的政策。建议在城际铁路规划和运营中更多地考虑通勤需求,增加高峰时段的服务频率并探索专用通勤服务。同时,应加强公交服务容量、调整运营计划以适应通勤者的空间分布。此外,应推广一体化的城际通勤解决方案,如引入“出行即服务”模式,提供无缝的点到门服务,提升通勤体验。

后续可扩展到更多城市群的比较研究,并结合调查数据进一步探讨通勤者的出行偏好和交通方式转变机制,还可以研究其他类型城际出行人群与建成环境的关系,以丰富对城际通勤的理解。

来源:LI Y, YAO E, LIU S, et al. Spatiotemporal influence of built environment on intercity commuting trips considering nonlinear effects[J]. Journal of Transport Geography, 2024, 114: 103744.

(供稿:陈黄海,同济大学建筑与城市规划学院硕士研究生)

06 城乡社区发展与住房建设 (杨辰, 同济大学建筑与城市规划学院副教授)

基于马尔科夫链模拟和狄利克雷回归的社区时间—活动轨迹建模

个体的“时间—活动轨迹”是指其在一日周期内的有序移动,包含时间与地点两种属性信息,反映个体的需求、义务、偏好以及社会制度给予的影响,“时间—活动轨迹”的准确建模对于社区韧性规划、社区能源规划至关重要。获取“时间—活动轨迹”数据的方法包含以下三种:其一通过电话访谈询问24 h的个人活动,其二对含有GPS信息的社交媒体数据进行清洗与挖掘,其三通过嵌入车辆或智能手机的电子设备实现实时地理位置捕获。基于以上数据构建“时间—活动轨迹仿真模型”,有助于弥补数据直接应用所造成的代表性偏差问题。本研究基于马尔科夫链(Markov chain)生成活动轨迹模型,并采用狄利克雷回归方法(Dirichlet regression)探究社会环境因素与建成环境因素对活动轨迹的影响。

研究以纽约市的五个区为对象,采用“美国人时间使用调查”(American time use survey)结果作为活动数据(共1284人次),将人的日常活动分为基本健康活动、生理活动(吃饭、睡觉)、工作活动、教育活动、家务活动、个人义务活动(购物、育儿等)、个人偏好活动(休闲活动)和其他活动(旅游等)八种类型进行记录。

首先,研究按照15 min一个间隔将一日24 h平均划分为96个时间单元,与8种活动类型构成96×8的基础矩阵,矩阵中的值为该地区某一类活动在此时间段内发生的实际概率。考虑到基础矩阵受到调查样本数量的限制,难以充分描述个体行为的随机性,研究运用马尔科夫链构建随机模型,基于不同活动之间的转移概率和持续时间生成96×8的模拟活动矩阵,后者能够更加准确地反映研究单元的总体情况。矩阵结果显示,上述五区的受访者夜间以生理活动为主,日间则以生理活动、工作活动、个人偏好活动为主。通过比较不同地区工作活动的一日概率曲线,曼哈顿区工作活动概率自早上5:00激增、至下午4:00急剧下降,日间最高峰达0.55,布朗克斯区日间工作活动概率处于0.2—0.3之间,但一直持续到晚上7:00左右。

在马尔科夫链模型的基础上,研究采用狄利克雷回归方法分析社会环境因素与建成环境因素对活动轨迹分布概率(模拟活动矩阵)的影响,将时间点作为预测变量,社会环境因素与建成环境因素为调节变量。其中,社会环境因素包括年龄中位数、男女比例、残疾人比例、家庭收入中位数、年失业率、受教育程度、人口密度、种族多样性、种族隔离指数;建成环境因素包括建筑类型与通勤时间。

在社会环境因素中,“种族多样性”对于“生理活动”和“教育活动”发生概率的增加具有显著的正向作用,高度异质性促生了更加多样化的活动模式,种族多样性可以促进个人甚至社会整体的教育程度。

在建成环境因素中,“通勤时间”的增加导致“生理活动”的减少与“工作活动”的增加,其生理活动以睡眠为主;“住宅建筑占比”几乎对所有的活动类型

发生概率都存在影响,随着住宅建筑的增加,人们花费在“家务活动”与“工作活动”上的时间减少,有更多的时间进行休闲、运动等“个人偏好活动”,这与高密度住宅能够高效利用基础设施、提高住房负担能力、提升能源效率以及街区活力等方面有关。

研究构建的“社区时间—活动轨迹模型”验证了建成环境对居民行为轨迹的影响,有助于为基于居民活动轨迹数据的相关研究提供更深刻、更准确的基础。该模型可以通过理解突发事件(例如自然灾害、停电、火灾和人为事件)的初始影响来提高社区复原力,人群活动分布可以帮助相关组织评估潜在的损害制度,进而制定响应策略。此外,该模型还可以用于日常能源规划,基于各地区的实时社区活动分布,以最小的经济代价和安全风险进行日常负荷管理和调度。研究所揭示的各地建成环境和基础设施对人类活动的影响也可以供管理者用来提升社区福祉。

研究仍存在一定的局限性:由于部分活动类型在全部轨迹模型中占比较小,预测准确性有限,而这些活动往往与弱势群体有关,未来可通过社交媒体或机构数据平台对这部分信息进行收集与整合;在时间维度上可以将研究拓展到非工作日,同时也可以探索更多的建成环境因素对轨迹的影响作用。

来源: XIA C, HU Y, CHEN J. Community time-activity trajectory modeling based on Markov chain simulation and Dirichlet regression[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2023, 100: 101933.

(供稿:连千慧, 同济大学建筑与城市规划学院硕士生; 辛蕾, 同济大学建筑与城市规划学院博士生)

能源转型中的共创力量——市民能源社区项目中的DART模型

“共创”最初是来源于商业公司管理运营的概念,近年来逐步进入公共部门的话语体系,成为能源绿色转型过程中的重要概念。当今的欧洲越来越意识到赋予市民自下而上的权利对于推动民主立法进程和能源立法模式转变的重要性,并提出能源社区的概念。相比于欧盟其他国家,波兰的能源结构中可再生能源占比较低,能源社区的发展相对滞后。本文基于DART模型,以南弗罗茨瓦夫住房合作社光伏项目(波兰首例大规模投资的创新光伏项目)为例,详细研究住房合作社在实现共创过程中应具备的关键条件,进而推动可再生能源项目的成功实施。

1. 共创与DART模型

本文的“共创”指通过行为改变,使社区居民从被动的绿色产品消费者转变为主动的可持续价值共创者,尤其依赖于居民贡献的非专业知识或本地经验。实现共创的前提是建立一个可供各方平等交流的平台,管理者化身社区经纪人,利用自己的能力和社交网络来推动市民倡议,或提供公共空间供市民、社会企业家、艺术家和其他城市行动者使用。DART模型指共创过程分析的四个维度,包括对话(dialogue)、权限(access)、风险评估(risk)和透明度(transparency),最早是针对企业环境开发的,后来应用于对住房合作社等共创组织的分析。

2. 研究内容

南弗罗茨瓦夫住房合作社(HCWS)是弗罗茨瓦夫市最大的住房合作社之一,以多年来持续开展的降低运营成本活动而著称。2018年,合作社启动了弗罗茨瓦夫光伏项目(WSP),这是目前波兰最大的屋顶光伏系统,由居民参与开发,每年可减少614 tCO₂排放。文章针对可再生能源项目中的共创过程,提出了三个研究问题:①在弗罗茨瓦夫光伏项目中,共创存在于哪些阶段、起到了多大程度的影响?②该光伏项目在多大程度上契合DART模型中的四个维度?③除DART模型的四个维度外,共创过程中是否有其他重要的影响因素?

研究采用了定量与定性结合的研究方法。定量方面采用计算机辅助电话访谈(CATI)技术,共收集30份有效问卷;定性方面包括深入访谈和文案分析,前者包括10次个人深度访谈(IDIs),后者包括相关出版物、当地过去三年的新闻材料和小组会议记录等。

3. DART模型分析

对话——项目委员会首先在活跃居民中组成一个倡议小组并展开磋商,由小组成员与他们的邻居单独会面并宣传。委员会和居民之间通过定期召开会议和互联网联系实现持续和直接的沟通。

权限——项目过程中提供了多种信息获取渠道和与利益相关者的沟通渠道,居民对项目的参与有助于提升居民对项目的赋权感,能够更好地根据居民需求调整项目,并缩短项目实施时间。

风险——合作社法将某栋建筑所面临的风险分散到合作社的所有成员身上,同时使用合作社的总资产而非居民房产进行贷款抵押。虽然光伏技术也具备一定安全风险,但居民对风险管理方面的评价是积极的,认为管理层的高效行动降低了风险并带来了收益。

透明度——为启动该项目,管理委员会必须获得监事会和合作社大会的正式同意,监事会由民主选举出的居民组成,合作社所有成员均可自己或委托他人参与合作社大会。透明度主要体现在项目实施的决策阶段和实施阶段,在决策过程中尤为重要。

尽管项目中并未刻意使用共创方法,但共创已成为该项目的特色。回应之前所提到的问题:①共创存在于所有阶段,尤其是决策阶段,而项目实施者和居民之间的合作是共创最为密集领域;②共创行动与DART模型的四个维度相契合,但在各个维度的应用程度不同,在这一项目中“对话”维度的应用更加深入;③除了上述四个维度以外,社会资本、组织领导力和项目动机也会对共创效果造成影响。

4. 结论

南弗罗茨瓦夫住房合作社项目作为一种社会创新,获得了地方当局、其他住房合作社和政策制定者的极大关注,引导政府制定了新的货币和非货币激励措施。

本文也对DART模型的应用提出了建议:在“对话”方面,建议项目方综合应用传统与现代通讯工具实现与住户的定期沟通,使用简单清晰的语言使住户理解项目内容与项目进展;在“权限”方面,应强调参与交流的积极影响,包括提高居民赋权感、需求匹配度和项目执行力,重视用户对项目的接受程度;在“风险”方面,尊重居民对项目风险及运营故障的知情权,提供设备的安全证书、专家设计和审核结果、消

防部门批准证明,定期向所有居民、尤其是深入参与项目的人提供相关信息,寻找大多数利益相关者可以接受的项目融资来源;在“透明度”方面,项目实施应对所有居民完全透明,包括项目决策阶段和实施阶段。在DART的四个维度之外,“社会资本”方面,项目实施者应当接受项目中一般只有少数居民参与,但这一部分活跃居民是利用共创机制完成项目实施的重要保障;在“项目动机”方面,需要在利益相关者中逐步建立赋权感从而增加他们的参与度,并将住户效益纳入评价项目效益考量中;在“组织领导力”方面,行动实施者应获得公众高度信任,并创造平等交流空间,促进利益相关方作为合作伙伴参与决策。

来源: RYSZAWSKA B, ROZWADOWSKA M, ULATOWSKA R, et al. The power of co-creation in the energy transition: DART model in citizen energy communities projects[J]. Energies, 2021, 14(17): 5266.

(供稿: 吴诺菲, 同济大学建筑与城市规划学院硕士研究生)

07 城乡规划管理与政策 (赵蔚, 同济大学建筑与城市规划学院副教授)

数字孪生如何为利益相关者参与土地使用规划提供支持

该研究基于慕尼黑黑科技大学(TUM)的一项研究。土地使用规划(land-use planning, LUP)中包含的利益相关者有助于加强规划过程,确保响应地使用规划,并在发展需求和社会生活之间找到平衡。让利益相关者参与是重新分配决策权和确保社会正义的规划管理干预措施的一种方式。然而,由于社会政治和经济关系的日益复杂以及相互竞争的土地数量的增加,动态土地利用的选择变得更加复杂。这些现实要求形成一种更可协商、自下而上、审慎和负责任的方法。地理空间产业领域声称,数字孪生技术(DT)是提高利益相关者参与程度和影响土地利用规划的潜在促进因素。研究显示,数字孪生为识别土地使用问题、评估拟建土地使用影响提供了虚拟可视化的可能。这些措施议程制定阶段为改善利益相关方在LUP中的影响,推进合作提供了机会。在这个阶段,土地利用问题可以被确定并列入LUP议程。

研究在方法论上采用了综述,通过检索土地使用规划、利益相关者参与和数字孪生技术的相关文献,并补充了其他次要研究领域的成果,试图回答以下问题:

(1) 新技术,特别是DT技术,能否从根本上改变利益相关者的参与程度,以及利益相关者在土地使用规划过程中对一个或多个阶段的影响,如果是,怎么做?

(2) 与常规地理空间技术相比,DT技术的哪些能力可以提高利益相关者土地使用规划的决策空间?

实际规划中,LUP过程涉及对各个维度的全面分析,包括在迭代或连续过程中的社会、经济、环境、物理和政治维度,因此所有的利益相关者都应纳入参与决策过程。DeVries和Chigbu(2017)确定了8个R指标:即响应性、尊重性、可靠性、弹性、鲁棒性、

自反性、重新追溯和识别,用来描述如何干预才被认为是有效的,以保证土地的最佳利用来响应利益相关者的需求和利益,从而达成与社会相一致的要求,加强可持续发展倡议,改善人民生活。

技术的社会建构(social construction of technology, SCOT)的倡导者认为技术发展的范围、形式、实践和结果是由人类和某些社会领域决定的。从这层意义上说,技术不应被视为具有固定结果的自主工具。SCOT有四个主要要素:相关的社会群体、解释的灵活性、封闭或稳定,以及更广泛的背景。

数字孪生模型的基本概念是所有物理资产、人员、设备、流程、地点和系统都是双重的——物理自然和它的虚拟版本。DT模型可以表示特定的对象,如建筑、地块、绿地、公用事业、道路、铁路、风车和桥梁,或者表示大型现实和抽象性。城市级数字孪生意味着物理资产来自于一组无关分类的资产,例如,一个城市数字孪生包括建筑(如住宅、商业、工业)、运输系统(如道路、铁路)和公用事业线路(如污水、能源)等。然而,在城市规模的数字孪生中是否包含特定资产,取决于给定项目的对象和范围。DT利用传感器生成实时数据,建立物理资产与数字版本之间的联系。

在土地利用规划过程中纳入利益相关者,有助于更好地理解并积极塑造整个过程的环境战略和局部动态,增加项目被利益相关者接受的机会,同时授权和加强他们在土地使用规划过程中的信任。研究将“决策空间”定义为利益相关者能够贡献、提供反馈和参与土地使用决策的程度。“决策”是“从许多替代方案中做出选择以达到预期结果的过程”。因此,决策是一个基于目标的选择过程。所有这些要素对于做出将导致最优化的决策都很重要。在决策过程中纳入利益相关者提供了寻求与社会、经济和环境维度相关的各种可能的替代方案。土地利用规划力求全面地评估每个维度,并在这些维度中找到一个平衡,以体现社会公正、环境可持续、经济健全、物理适应性和政治上可接受。

数字孪生技术不仅受到学术界的关注,在全世界许多政府机构、政策制定者和私人组织中也受欢迎。比如数字孪生用于城市规划和规划干预,一些是为了收集城市的空间数据或将城市基础设施可视化,另一些则是为了实现规划当局和利益相关者之间的参与和合作。例如Shahat等人分析了城市水平的数字孪生;Abdeen和塞帕斯gozar展示了智能城市数字孪生如何提高社区参与;Dembski等人认为,社区可以使用数字孪生模型参与空间规划。这些研究表明,DT可以提高利益相关者的参与,但在具体规划步骤上仍难以逐一实现。

研究还总结归纳了DT的土地利用规划参与应用场景,包括:建构展示可持续发展大都市的社会利益结构;增加规划的开放透明平等包容性;用于商业和计划干预的自主数字孪生;虚拟新加坡协作数据平台;不同利益相关者的数据访问可视化、增强规划和决策制定;太阳能生产潜力与零碳;可持续发展和清洁的城市概念;遗产修复;提高城市弹性综合运作能力;视觉沟通与共同协作;创建城市规划场景;详细规划和可视化的建筑项目;利益相关者之间的协作;城市规模的数字孪生和集成空间数据;利益相关者知情应

用的城市数据收集。

研究认为当前数字孪生面临的挑战和局限性表现在数字和物理之间的相互整合。数字孪生的设计架构是如何将其与外部世界相连,以供公民、地方当局、政府机构和所有其他利益相关者使用。与许多新技术一样,由于DT使用的复杂性,它目前还只能被少数社区精英使用。

数字孪生的出现还引发了这样的疑问,即DT是否仅仅是一种并不实用的空间技术,它们是否能显著改善合作和利益相关方在规划问题上的影响。Wright和Davidson的研究表明,数字孪生有三个重要的部分:现有物理对象的数字模型,保持分割的物理对象的数据,可以动态更新和调整虚拟模型。Howard也认为,这些变化应该是实时的自我更新,应该可以做到提供交互式和分析,让利益相关者可以执行复杂分析,数据可以从不同的点、角度和视角或在沉浸式环境中进行可视化交互。与传统的地理空间工具相比,这些特性为更好地虚拟创造了途径,这将提高利益相关者对土地使用规划的影响和协作。

正如Batty所指出的,在DT概念中似乎被忽视的另一个方面是,人、社会和经济系统应该如何被合并到建筑环境中以形成一个完整的生态复制品。Batty认为,永远无法实现一个城市的完整复制品,显示人、环境、社会因素和经济因素之间的互动。因为这些社会因素不能在数字孪生系统中捕捉到。尽管如此,DT模拟和预测在特定的用途中是有用的,如噪声、空气和洪水传播分析。

基于SCOT的社会建构原则,研究提出了数字孪生的“技术修复”,即为特定用途或目的进行适应、修改或调整的过程。SCOT认为技术学是一种由某些社会领域塑造的社会结构。SCOT的方法意味着技术具有多种功能和潜力,根据SCOT的原则,一个由某些社会目标构建的数字孪生,当它基本条件确定时,它才能以一定的方式运作。因此,为了实现对LUP的积极参与,DT的重点应该更多地放在利益相关者之间的影响和协作上。

来源: ADADE D, DE VRIES WT. Digital twin for active stakeholder participation in land-use planning [J]. Land, 2023, 12(3):538.

(供稿: 高蕾, 莱比锡大学经济学硕士研究生)

迈向可持续的未来: 面向城乡社区的多层数字孪生方法

城乡社区作为社会治理的基本单元,其精细化治理和可持续发展是当前研究的重要议题。随着信息技术的飞速发展,数字孪生(digital twin, DT)作为一种革命性技术,通过融合多源数据和复杂算法,不仅可以实时监测社区内的动态变化,提供对现有系统的全面理解,还能对未来的发展趋势进行预测,优化资源配置,提高治理效率,已成为探索城乡可持续解决方案的新工具。

1. 数字孪生的概念和应用潜力

数字孪生是指物理实体、过程或系统的虚拟表示。它通过结合实时数据、模型和算法,提供了对实际对象的动态映射,使得用户能够实时监控、分析和预测

其性能和行为。典型的数字孪生概念包括物理实体、数字模型以及物理实体与数字模型之间的连接。

DT技术最初应用于制造业,通过创建虚拟模型来实时反映物理对象的状态。随着技术的发展,其应用领域不断扩展,包括城市规划、交通管理、环境监测和土地利用优化等。DT技术通过集成多源数据,创建虚拟模型,帮助分析和预测复杂系统的行为,为决策提供支持。

2. 面向城乡社区的数字孪生研究

研究指出,社区场景下的数字孪生技术应同时考虑空间、个体和社会因素,以更全面地理解影响主体行为的因素。现有文献中,空间层面研究主要包括评估个人与其偏好地点的距离、计算人口密度和划分居民自组织的空间单位,研究的关键因素在于区域表示的粒度(如区、街区或单栋建筑)、选定细粒度对应的代表结构(如建筑类型、人口数量或通勤线路始末点)和DT中需要表示的内容(如POI点、植被或地形)。个体层面研究则聚焦人的行为决策过程,大量采用基于代理的模型(ABM)模拟宏观层面的群体行为,如老年人步行路径选择和交通工具决策。社会层面的研究强调个体间的潜在互动及其涌现效应对行为的影响,利用社交网络分析人类行为的传播,将社会行为视作人们在特定点进行简单接触的结果。

DT通过实时数据和仿真模型,提供了对复杂系统的动态理解,目前已在城市环境中得到广泛应用,但在乡村地区的研究相对较少。

3. 多层数字孪生框架在城乡社区的应用

为实现城乡社区的数字孪生,需对来自不同粒度的多源数据进行整合。现有研究常将城乡社区视作一个复杂系统,采用多层框架对其复杂结构进行解析,并通过多智能体系统(MAS)和基于代理的模型(ABM)探究其复杂关系。常用框架包括三个主要层次:空间层、个体层和社会层。

空间层是DT框架的基础,主要提供对物理环境的详细描述,通过集成地理信息系统(GIS)和遥感数据,捕捉和模拟城市和乡村地区的地理、物理特征,包括地形、土地利用和基础设施等。

个体层涵盖个体行为及其对系统的影响,在此框架中,代理人的行为建模分为两个方面:一是代理人具备反映其日常生活的现实时间表,包括其所花时间的具体地理位置和出行方式;二是代理人具有在特定情景中指向特定行为的审议组件。这些行为可能受到多种因素的影响,如生活习惯、偏好及社交网络的群体动态。相关研究利用计划行为理论(TPB)和belief-desire-intention(BDI)模型,模拟个体的复杂决策过程,并通过心理学理论解释行为干预的设计。城乡居民的代理模型反映了个体的社会经济特征、环境态度和行为偏好。

社会层连接前两者,是DT框架中最复杂但也是最关键的部分。它通过分析社会网络和群体互动,揭示个体行为和社会动态之间的关系。文献表明,社区利益相关者的物理邻近性并不一定意味着社会邻近性。社会网络由在地图上无法识别的连接和关系组成。因此,社会层的建构应包含与地理位置相关的本地网络和不受地理限制的社会网络,代理通过直接观察或从他人传播的知识和观点中获取信息。通过将这些社会

方面整合到多代理系统(MAS)中,我们能够更好地理解模拟社会结构对个体行为的影响,以探索不同场景和社会概念。

多层数字孪生框架通过整合空间、个体和社会层面的数据和模型能够有效地模拟和预测城乡社区中个体和集体行为对空间环境的影响,全面捕捉和分析城市和乡村地区的复杂动态,以提供对城乡环境和社会系统的全面理解,为制定可持续发展策略提供科学依据。然而,尽管DT技术潜力巨大,目前仍有几个挑战限制了它的充分利用。首先是数字孪生与物理孪生之间的相互整合,目前已能实现从物理实体到其虚拟版本的数据传输,但从虚拟平台到物理实体的反向信息通信目前仍具有挑战性。其次,数字孪生的构建需要大量数据以及大量的数据存储容量,数据的获取和处理仍然是一个挑战,特别是在资源有限的乡村地区。此外,多层DT框架的精确性和适用性需要在更多的实际案例中进行进一步验证。未来的研究可以进一步优化和扩展这一框架,探索更多的应用场景和策略,促进数字孪生技术在城乡社区治理中的应用。

来源:RODERMUND S C, JANZSO A, BAE Y E, et al. Driving towards a sustainable future: a multi-layered agent-based digital twin approach for rural areas [C]// Proceedings of the 16th International Conference on Agents and Artificial Intelligence: 2024: 386-395. <https://doi.org/10.5220/0012460100003636>.

(供稿:高文琳,同济大学建筑与城市规划学院博士研究生)

10 城乡可持续发展(干靓, 同济大学建筑与城市规划学院副教授)

滨海湿地防洪能力及对城市未来发展影响评估——以智利为例

1. 研究背景

由于气候变化,滨海地区的洪水风险增加。发展中国家缺乏工程措施来应对极端洪水,对极端水文气候事件的脆弱性很高。因此,有必要采用基于自然的解决方案(NbS)来提高滨海地区抵御洪水侵袭的能力。但同时,发展中国家正在经历城市化进程,滨海湿地退化严重,导致了城市地区的洪水脆弱性增加,亟需对滨海湿地进行保护以抵御洪水。

智利位于南美洲,是洪水发生频繁、湿地退化最严重的国家之一。2000年以来智利的城市建设加快,预计湿地面积将减少1/3,导致湿地防洪潜力下降。本文对智利中部滨海湿地的防洪生态系统服务进行分析评估,以支持滨海湿地的恢复和保护。

2. 研究方法

本文选择位于智利康塞普奇大都市区的Rocuant-Andali'en滨海湿地作为研究对象,该湿地是智利最大的湿地之一。

研究采用情景分析法对滨海湿地的防洪能力进行评估。首先,设定当前情景(当前城市化规模和湿地面积)以及未来情景(规划远期城市化规模以及相应的湿地面积)两个情景。其次,基于水文和地形测深数据,采用HEC-RAS和ArcGIS对洪水灾害进行水动力

建模,模拟5年一遇、50年一遇、100年一遇、200年一遇、500年一遇共5个等级的洪水灾害。最后,选取湿地淹没面积和湿地蓄水量两个自然物理指标来评估湿地的防洪潜力;选取受灾人口、受灾房屋和受灾土地价值三个社会经济指标来评估洪水造成的影响。

3. 研究结果

自然物理指标显示,城市扩张、湿地减少会造成湿地的防洪能力下降。当前情景下5个等级洪水的湿地淹没面积最低为1810hm²,最高至2079 hm²;而在未来情景下5个等级洪水的湿地淹没面积最低为737 hm²,最高至1760 hm²,降幅可达30.5%到59.8%,而湿地蓄水量降幅则在38.9%至54.1%。同时,在5年一遇的洪水发生时,未来情景的高风险区(水淹深度大于1m)较当前情景有所增加,在500年一遇洪水发生时,未来情景的低风险区(水淹深度在0.1至0.5m)、中风险区(水淹深度在0.5至1m)面积较当前情景有所增加。同时,湿地防洪能力下降区域主要集中在卡里尔苏尔机场以北地区和塔尔卡瓦诺市区以东地区,这与沼泽填土工程的增加有关。

社会经济指标显示,大型洪水和极端洪水对城市的影响更明显。受灾人口方面,在5年一遇洪水发生时,未来情景受灾人口较当前情景受灾人口减少了4.6%;而在50年一遇、100年一遇、200年一遇和500年一遇洪水发生时,未来情景受灾人口较当前情景受灾人口则分别增加了7.1%、2.9%、5.1%、6.7%。受灾房屋方面,5年一遇洪水发生时,未来情景受灾房屋较当前情景受灾房屋减少了4.6%;而100年一遇、200年一遇和500年一遇洪水发生时,未来情景受灾房屋较当前情景受灾房屋则分别增加了6.3%、2.3%、4.8%、8.8%。受灾土地价值方面,5年一遇和50年一遇洪水发生时,未来情景受灾土地价值比当前情景受灾土地价值分别减少了6000万美元、300万美元;而在100年一遇、200年一遇和500年一遇洪水发生时,未来情景受灾土地价值比当前情景受灾土地价值分别增加了3000万美元、4600万美元、5500万美元。

4. 结论

研究结果表明,随着城市扩张,Rocuant-Andali'en湿地面积持续减少,导致其在应对50年一遇、100年一遇、200年一遇和500年一遇洪水时的防洪能力下降。同时,研究也支持了基于自然的解决方案(NbS)可以显著降低城市洪水风险的假设。但目前城市化模式导致湿地面积减少、生态系统破碎化和退化,削弱湿地的防洪能力。因此,本文提出了将环境影响评估纳入城市建设项目、将生态系统的防洪功能纳入城市治理的范畴、将防洪能力纳入土地价值核算三方面的建议。

来源:ROJAS O, SOTO E, ROJAS C, et al. Assessment of the flood mitigation ecosystem service in a coastal wetland and potential impact of future urban development in Chile[J]. Habitat International, 2022, 123: 102554. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2022.102554>.

(供稿:凌云,同济大学建筑与城市规划学院博士研究生)

城市住宅区院落的生物多样性和碳汇协同效益优化研究

作为城市绿色基础设施的重要组成部分，城市住宅区景观在提供城市生态系统服务方面的作用在很大程度上仍被低估。该研究通过综合文献综述和定性分析，归纳出城市绿色空间碳汇潜力或生物多样性促进潜力分别的驱动因素，并对驱动因素进行交叉检查，确定可能同时实现碳汇和生物多样性效益的城市绿色空间的特质。

本研究中的城市住宅区景观指城市建成区中城市街区和多层公寓楼的院落。这类住宅区景观是碳封存(carbon sequestration and storage, 简称CSS)以及生物多样性的中心，是城市绿色基础设施的重要组成部分。城市绿色空间可封存高达7%的城市年度排放量，其中的一半来自于包括城市住宅区景观在内的建成环境中的绿色空间。城市住宅区景观同样被证明能够支持维管植物、甲虫等昆虫、鸟类的生物多样性。目前，城市碳库的估算方法多种多样，但各种估算方法在土地利用类别的分辨率和定义方面以及碳储量的计算口径方面存在差异，难以进行有效的比较。

1. 研究方法

本研究采用四步综合文献综述法：首先，编写了研究问题并确定了指导综述的范围；其次，对文献进行了检索和筛选；第三，进行了专题数据分析，第四，综合评估了CSS和生物多样性的共同效益。“驱动因素”指的是在城市绿色空间中增强CSS和生物多样性的特征。

由于文献数量不足，综述的文献来源范围并未仅限于城市住宅区。综述中包含了与城市建成环境中常见的植被类型相关的研究文献，如庭院、花园、菜园或其他小规模城市绿色空间，这些绿色空间与城市住宅区景观的植被类型和自然条件基本相似。在植被类型方面，研究基于规划和设计中使用的绿化因子方法，将植被分为树木、灌木和藤萝、多年生植物、城市草地、草坪、绿色屋顶和城市农场地块。

本研究聚焦于小尺度，排除了关注大型城市绿地类型（如城市森林）的场地以及景观生态学角度（如栖息地连通性）的文献。本研究还排除了在北欧气候区应用尚不充分的垂直绿化。研究还排除了生物多样性保护的小规模干预措施，如提供鸟食器等，因为这些措施并不直接依赖于植被。

明确检索范围后，本研究对2000年至2023年初发表的英文期刊文章进行检索筛选，最终选择了32篇与CSS相关的文章和34篇与生物多样性相关的文章进行专题分析。研究交叉检查了结果，以找到生物多样性和碳汇共同效益最大化的潜在驱动因素。

2. 关键发现与结论

文献综述确定了不同植被类型城市住宅区院落的CSS和生物多样性潜力的关键驱动因素。交叉检查确定了可能对碳封存和生物多样性同时产生积极影响的驱动因素。据此可知，通过城市植被的规划和管理决策，有多种方法可以同时提高碳封存和生物多样性。驱动因素可分为3类，分别是：①植物物种相关驱动因素，包括植物物种多样性、树木的寿命、植物群落的复杂性；②与植被生长条件相关的驱动因素，包括充足的

生长空间、树冠覆盖、雨水供应、绿色屋顶类型；③与植被维护管理相关的驱动因素，包括植物凋落物投入、堆肥和覆盖、年龄多样性。

研究填补了规划设计领域对城市树木碳效益的常见认知空白。如：有研究指出，对于行道树，树木从碳源转变为碳汇的补偿点是种植后14年。在城市住宅区院落中的植物可以更快地达到这一补偿点，然而树木在住宅区和公园种植后的几年内也可能仍然是二氧化碳的来源。城市树木的寿命和长期定植是实现碳汇效益的重要因素，因为只有成熟的树木才是碳汇。确保不同年龄的树木的存在也很重要，这样年轻的树木可以取代腐烂的老树。城市绿色空间的主要气候效益在于长期的土壤碳储存，碳水平稳定的时间大致为30至50年，较旧的公园和住宅区可能含有更高的土壤碳水平。

植物物种的多样性对碳-生物多样性关系有许多积极影响，但也存在诸多不确定性，引入非本地植物物种对碳封存和生物多样性的长远影响尚不明确。目前的实证研究文献中，植物物种多样性与碳汇最明显的相互联系是通过土壤动物多样性实现的，该多样性随着植物物种多样性的增加而增加，并对土壤碳积累产生积极影响。模仿自然生态系统的多层复杂植被经常被认为是城市地区实行生物多样性保护的有效方法，多层植被还促进了有效的根系和生物量生产，从而可以增强碳汇。此外，大型古树成为碳-生物多样性共同效益的最突出指标之一，它们是生物多样性的热点，在地上和地下都提供了宝贵的长期碳储存。通过为城市树木提供最佳生长条件，包括充足的生长空间和水源，可以增强碳汇和生物多样性的共同效益。

基于自然的雨水解决方案对城市生物多样性保护以及碳循环有益。将雨水应用于植物可以提高生态系统的生产力，并对无脊椎动物群落产生潜在的积极影响。草地和多年生植被的潮湿栖息地在提供生物多样性和碳汇协同效益方面特别有效。轻质绿色屋顶系统的植被固碳能力与生物多样性益处已被证实，但其全生命周期碳效益仍因建设和拆除阶段的施工排放存在不确定性，可能比地面植被的碳储存能力要有限得多。植物凋落物、堆肥和覆盖物的应用能够培育丰富的土壤动物群，支持所有植被类型的碳积累。

3. 建议与启示

城市住宅区景观的类型和大小可能不同，但通常由相对较小的植被覆盖空间和多种功能空间组成（如游乐场、停车场等），住宅区景观的这种空间构成限制了连续植被的可用面积。本研究对城市住宅区的规划、设计和管理主要提出3条建议，以增强碳-生物多样性协同作用：①创建富含木本和草本物种的复杂种植区；②提供最佳生长条件，优化空间利用；③加强植被维护管理。研究特别提出，草坪可以令人惊讶地很好地固碳，但其维护造成的碳排放可能超过其碳汇效益。在城市住宅区景观中应首选物种丰富的半自然多年生植物。通过精心挑选并维护植物以支持物种的丰富性，半自然多层次植被可能比典型的天然草地更有价值。永久性的雨水花园和池塘，可以创造丰富的栖息地并增强碳汇。

4. 研究展望

本研究指出，尽管许多可持续发展工具都涉及生

物多样性，但评估方法差异很大。同样，城市环境的碳核算侧重于建筑行业，而不是城市绿色空间。大量文献承认绿色基础设施中存在碳-生物多样性协同效益，但研究往往停留在理论层面，缺乏实证证据。改善生物多样性和城市碳汇有赖于构建更全面更有效的评估工具，重点关注不同行动的整体质量和协同作用。欧盟的《自然恢复法》提案(2024)提出基于GIS的城市生态系统冠层和绿地覆盖监测，作为确保生物多样性和提供生态系统服务的手段。学界需要进一步开展以实践为导向的研究，为规划和设计提供信息。

来源：ARILUOMA M, KINNUNEN A, LAMPINEN J, et al. Optimizing the co-benefits of biodiversity and carbon sinks in urban residential yards [J]. *Frontiers in Sustainable Cities*, 2024, 6: 1327614.

(供稿：鲁雪茗，同济大学建筑与城市规划学院硕士研究生)

规划信息 (李凌月，同济大学建筑与城市规划学院副教授)

会议信息

1. "The 20th SACRPH National Conference on Planning History" 于2024年10月25-26日在美国圣地亚哥 (San Diego, America) 举行。详见：<https://sacrh.org/>

2. "The LTA-UITP Singapore International Transport Congress and Exhibition (SITCE)" 将于2024年11月6-8日在新加坡新达城 (Suntec Singapore) 举行。详见：<https://www.sitce.org/website/7302/about-sitce-2024/>

3. "The Association of Collegiate Schools of Planning (ACSP) Annual Conference" 将于2024年11月7-9日在美国西雅图 (Seattle, America) 举行。详见：<https://www.acsp.org/page/ConfFuture>

4. "The International Conference on Sustainable City Planning and Green Energy" 将于2024年12月9-10日在美国纽约 (New York, United States) 举行。详见：<https://waset.org/city-planning-conferences-in-december-2024-in-new-york>

5. "The 22st IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA 2025)" 将于2025年6月8-12日在丹麦欧登塞 (Odense Denmark) 举行。详见：<https://icc2025.ieee-icc.org/>

6. "The International Society of City and Regional Planner's annual World Planning Congresses" 将于2025年9月10-13日在菲律宾 (New Clark City, Philippines) 举行。详见：<https://iso-carp.org>

(供稿：曹胤禧，同济大学建筑与城市规划学院本科生)