

# 基于多源数据和深度学习的城市边缘区判定

刘星南<sup>1,2</sup>, 吴志峰<sup>1,2</sup>, 骆仁波<sup>1,2</sup>, 吴艳艳<sup>3</sup>

(1. 广州大学地理科学学院, 广州 510006; 2. 广东省地理国情监测与综合分析工程技术研究中心, 广州 510006; 3. 广东财经大学地理与旅游学院, 广州 510320)

**摘要:** 城市边缘区的定量分析及判定, 对城市发展评价和规划, 或是城市空间结构研究都具有重要意义。然而现有研究的边缘区判定指标选择过于单一, 判定结果过于破碎, 城市预设边界、水体及城市绿地对边缘区判定结果干扰大。针对上述问题, 从自然、人口、社会经济的视角出发, 以遥感影像、人口数据、POI大数据为数据基础, 结合深度学习技术, 构建基于多源数据和深度学习的城市边缘区判定方法, 进行广州市城市边缘区判定及城市结构空间分布特征分析。结果表明: ① 此方法能将城市划分为核心区-边缘区-外缘区, 判定结果不会受到预设边界范围的影响, 且消除了城市内部水体和城市绿地所造成的破碎化; ② 城市边缘区与路网耦合良好; ③ 广州市的城市核心区空间分布合理。综上所述, 此方法能有效检测城市边缘地带, 且结果符合实际情况, 能为城市规划、政府决策提供参考。

**关键词:** 城市边缘区判定; POI大数据; 深度学习; 广州

DOI: 10.11821/dljy020181085

## 1 引言

城市化作为一种全球范围内普遍存在的社会现象, 其表征的是一种人类活动影响或者人类社会发展的综合进程。中国的城市化和以美国为首的新技术革命被认为是影响21世纪人类社会发展的两大关键性要素<sup>[1]</sup>, 城市化进程深刻地改变着地球表层系统, 其在地域空间上直观表现为城市建设用地扩张与蔓延, 并导致一系列的土地利用覆盖变化与自然环境扰动<sup>[2]</sup>。特别是致使城乡特征越发相似, 城乡界限越发模糊, 进而引发了城市边缘区理论的提出。目前, 国际上较为公认的城市边缘区概念是指: “位于中心城区的连续建成区与外围几乎没有城市居民住宅、非农土地利用的纯农业腹地之间, 兼有城市与乡村双重特征, 其人口密度低于中心城, 但高于周围农村的地区”<sup>[3]</sup>。城市边缘区作为城市空间和文明扩张的承载地, 也是城市与外部区域物质与能量交换的集散地, 已然成为城市空间中变化量最大、变化最迅速、最敏感的地带<sup>[4]</sup>。其作为城市化的前沿地带, 发挥着高新技术的承载力、现代化农业的先行区、生态环境的调节区等城市重要功能<sup>[5]</sup>, 且具有城市扩张过渡性、空间结构动态性、人文环境多元化等明显特征<sup>[6]</sup>。城市边缘区边界的判定作为边缘区研究的基础性问题, 也是最为重要的问题, 深入研究城市边缘区判定, 精确定位城市边缘区地带, 对于统筹城乡社会经济发展、了解城市发展状况、实现城乡

收稿日期: 2018-10-08; 修订日期: 2019-02-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(41671430, 41801250); 广东省科技创新战略专项资金项目(2018A030310069)

作者简介: 刘星南(1994-), 男, 广东汕尾人, 硕士, 研究方向为城市规划大数据与机器学习。

E-mail: liuxingnan@e.gzhu.edu.cn

通讯作者: 吴志峰(1969-), 男, 湖南湘潭人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为地理学、遥感与GIS、城市

生态与人居环境。E-mail: gzuwzf@163.com

一体化建设、优化城市功能分区、先前规划城市建设等起到积极的指导作用。

如何精准定位城市边缘区地带,对边缘区的内外边界进行快速判定,是当前研究的热点也是难点。国内外学者从不同的角度对城市边缘区判定进行了一系列探讨:Friedman等根据日常通勤范围,将所研究城市周围大约50 km的区域判定为城市边缘区<sup>[7]</sup>;加拿大布里安特(C B Bryant)用城市的非农业人口与农业人口比值作为城市边缘区判定依据<sup>[8]</sup>;顾朝林等采用人口密度梯度法,得到上海市城市核心区的平均人口密度梯度率为21.4%/km、边缘区为46.6%/km、外缘区为2.3%/km<sup>[9]</sup>;陈佑启在统计数据的基础上,先定义一个原点,再计算原点8个方向的DDV值,从而得到北京市城市边缘区<sup>[10]</sup>;程连生等采用景观紊乱度分析法确定北京市城市边缘带,将熵值0.60作为城市边缘区外分割线、0.70作为内分割线<sup>[11]</sup>;章文波等对城市用地比率进行突变检测分析,进而根据突变点确定城市边缘区<sup>[12]</sup>;李世峰等的模糊综合评价指标模型,将特征属性值0.20~0.90间判别为城市边缘区<sup>[13]</sup>;王海鹰等采用基于城市化特征的逻辑回归模型,将城市化特征指数聚类成三类,由此确定城市边缘区<sup>[14]</sup>;周小驰等运用信息熵法和突变检测法,判定西安市城市边缘区<sup>[15]</sup>;Yang等基于DMSP/OLS夜间灯光数据与断点法,从而识别出城市边缘区的内外边界<sup>[16]</sup>等。以上学者已取得大量优秀的研究成果,但部分研究仍存在问题:①采用的统计数据大多记录在预设地理实体范围内,例如行政区域(省、市、县等),导致边缘区识别结果会受到预设边界范围的影响且过于粗糙;②数据过于单一,对城市经济活动及其联系方式考虑不足,不能全面把握城市边缘区的判定问题;③城市边缘区判定结果过于破碎与社会现实状况不符,没有体现城市空间结构的连续性和城市边缘区判定的科学性。为此,寻求新的数据媒介和引入新的方法成为城市边缘区判定研究的热点。

近年来,人、机、物三元世界的快速发展引发了数据规模的爆炸式增长和数据维度的高度复杂化,世界步入了大数据时代<sup>[17]</sup>。大数据时代的到来给地理学研究带来了机遇与挑战,给城市边缘区研究带来了新的思路与方法,使研究者能从一个新的视角去审视城市化进程<sup>[18]</sup>。POI(point of interest)数据,又称作地图兴趣点,是一类重要的地理空间大数据,较遥感图像和统计数据,POI数据有着更新速度快、获取成本低、分辨率精细等特点,因此常常被用来研究人类社会经济活动,例如建成区边界的识别<sup>[19]</sup>,城市功能分区的研究<sup>[20]</sup>等。

随着AlphaGo击败围棋世界冠军,世界再次将目光聚焦于人工智能技术。深度学习是一种利用大量的学习数据对目标对象进行深度表征的智能方法,它是机器学习研究领域的前沿技术,也是最为重要的人工智能技术之一。就本质而言,深度学习就是训练深层结构的人工神经网络,通过构建多个神经元及多层隐藏层来对模型构建等一系列复杂问题进行智能决策。事实证明,深度学习能在高维数据中发现复杂结构并解决问题,随着对深度学习研究的深入,现已广泛运用于图像识别、语音识别、医学辅助诊断、粒子加速器分析、疾病传播预测、情感分析、语义分析等<sup>[21]</sup>。相对于传统机器学习方法,深度学习有着计算精度高、运用范围广的特点,能解决各种复杂的现实生活问题,但是在现有的城市边缘区判定研究中,缺少深度学习技术的运用,在此希望能将深度学习技术运用到城市边缘区判定领域的研究。

在大数据和人工智能时代背景下,本文试图从自然、人口、社会经济的视角出发,在原有的传统遥感数据、人口数据的基础上,引入更能精准刻画人类社会活动的POI大数据作为城市边缘区判定的重要指标,构建一套基于多源数据(遥感数据、人口数据、POI大数据)和深度学习的城市边缘区判定方法,将城市划分为核心区、边缘区、外缘区。同时将城市边缘区判定结果与城市路网进行耦合分析,并研究城市核心区的空间异

质性, 由此验证城市边缘区判定的合理性。此方法科学客观, 能精确定位城市边缘区, 支撑城市边缘区相关的主题研究, 为城市规划和政府决策提供科学参考。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 研究区概况

广州市地处珠江三角洲中心地带, 位于  $112^{\circ}57'E\sim 114^{\circ}3'E$ ,  $22^{\circ}26'N\sim 23^{\circ}56'N$ 。2017年末, 广州市常住人口 1449.84 万人, 城镇化率为 86.14%。根据 2018 年 2 月的最新一期行政区划调整, 广州由越秀区、荔湾区、海珠区、天河区、白云区、黄浦区、番禺区、花都区、南沙区、增城区、从化区共 11 区构成, 总面积达  $7\,434.4\text{ km}^2$  (图 1)。作为广佛都市圈、珠三角都市圈和粤港澳大湾区的核心城市, 广州市地域广阔且历史悠久, 是改革开放的先驱城市, 其经济发展快速, 因而具有国际现代大都市及中国城市发展的典型特征, 且城市扩张现象明显, 在此选作为典型研究区。

### 2.2 数据选取

城市边缘区作为城市化快速发展形势下的一个特殊综合体, 任何单一的因子都难以完全衡量城市边缘区判定。因此需要综合考虑各方面因素, 构建一套普适性强的城市边缘区判定体系。

现代的城市空间结构理论及前人对于城市边缘区判定的研究表明, 土地利用和社会经济特征可作为城市边缘区判定的主要参考因素<sup>[22,23]</sup>。本研究遵循数据选取的主要原则, 引入景观紊乱度来表征土地利用变化, 引入 POI 大数据和人口数据来表征社会经济。其中, 景观紊乱度能够充分表征某一区域内景观的同质性和异质性, 量化区域内的景观混乱程度。城市核心区和城市外缘区的景观斑块类型相对单一, 故景观紊乱度量值低; 而城市边缘区介于核心区和外缘区之间, 既有中心城区的地物类型又充斥了城市外缘地区的乡村特征, 地物斑块较为破碎, 地物类型十分混杂, 故景观紊乱度高; 因此景观紊乱度所表征的土地利用特征可大大作用于城市边缘区的判定。对于用来表征社会经济状况的 POI 数据, 本研究选取了对边缘区判定影响较大的餐饮业、公司企业、酒店、金融服务、科研教育五大类 (所采用的 POI 分类体系沿用高德地图所采用的最新分类体系, 选取了其中五大类与研究高度相关的基础数据)。人口密度是考察城市作为一种聚集现象而存在的较为直观的指标<sup>[24]</sup>, 能够直接地反映人类的聚集与活动。一般来说, 人口密度会从城市核心区-城市边缘区-城市外缘区呈现出一种逐级递减的趋势, 因此本文将人口数据选为城市边缘区判定的一类指标。综上所述, 本研究涉及数据如表 1 所示。

### 2.3 数据准备与处理

研究数据: 广州市 2013 年土地利用数据 (<http://www.gscloud.cn/>)、广州市 2013 年

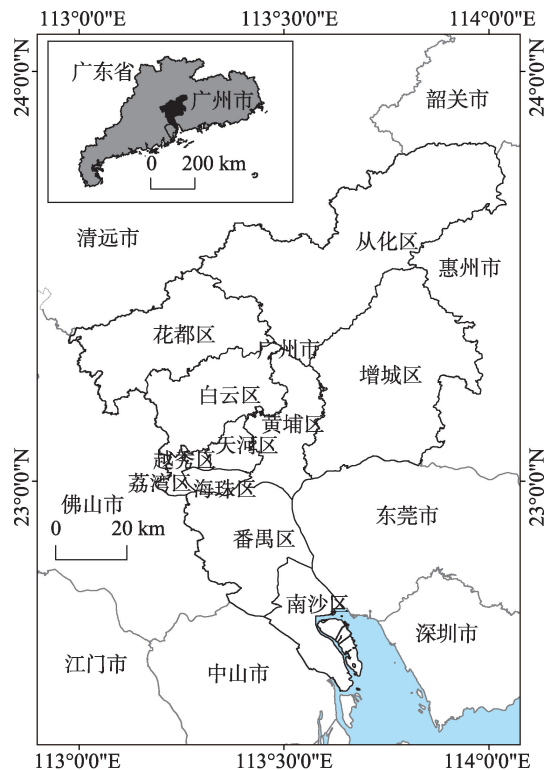


图 1 研究区域

Fig. 1 Research region

POI 数据 (<http://www.poi58.com/>)、广州市 2013 年人口街区数据 (广东省统计年鉴)。各类源数据在同一投影坐标系下进行空间化处理 (图 2)。

**2.3.1 景观紊乱度指标提取** 信息熵是用来测度系统的复杂性与均衡性的物理量, 将其引入土地利用景观格局研究, 建立景观紊乱度公式<sup>[1]</sup>:

$$W = - \sum_{n=1}^N X_n \ln(X_n) \quad (1)$$

式中:  $W$  为景观紊乱度值;  $X_n$  表示单位面积内某类用地占单位格网面积的比率;  $n$  表示单位网格内部土地利用类型斑块的数目。

构建 1000 m×1000 m 的格网作为景观紊乱度的空间计算尺度单位, 基于广州市 2013 年土地利用数据, 结合公式 (1) 计算各个单位格网内的景观紊乱度值, 用克里金插值法将景观紊乱度数据插值为 100 m 分辨率的栅格数据。最后为了使模型的所有因子均处于同一个维度, 需无量纲化景观紊乱度值, 进行 [0, 1] 范围的归一化处理。

**2.3.2 POI 数据处理** 获取广州市 2013 年餐饮业、公司企业、酒店、金融服务、科研教育 POI 点数据, 用 1000 m×1000 m 的单位格网数据作为各类因子特征化计算的尺度单位, 结合 ArcGIS 的空间分析工具, 基于数理统计的方法得到单位格网内的各类 POI 数据特征值, 用克里金插值法将各因子特征值插值为 100 m 分辨率的栅格数据, 并进行 [0, 1] 范围的归一化处理。

表 1 城市边缘区判定的影响因子

Tab. 1 The import factor of urban fringe's definition		
特征表现	影响因子	数据类型
土地利用	景观紊乱度	遥感数据
社会经济	人口	统计数据
	餐饮业	POI
	公司企业	POI
	酒店	POI
	金融服务	POI
	科研教育	POI

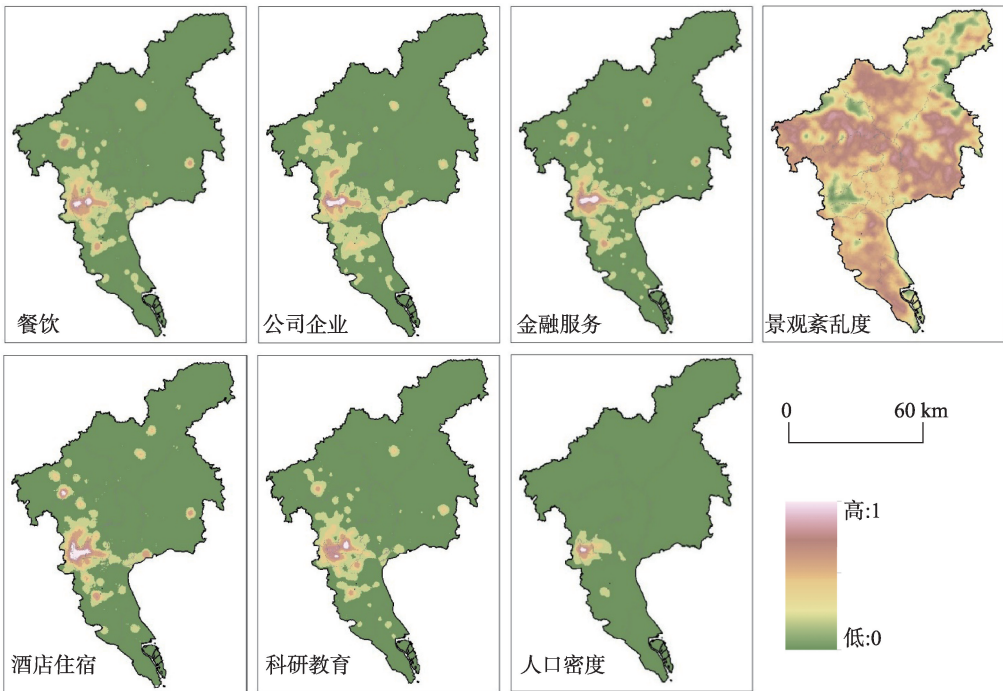


图 2 城市边缘区判定影响因子

Fig. 2 The import factor of urban fringe's definition

**2.3.3 人口统计数据处理** 获取广州市2013年人口街区数据, 为保证所有因子数据尺度的一致性, 用1000 m×1000 m的单位格网数据, 对单位人口数据进行统计, 之后处理方式同POI数据, 得到归一化的100 m分辨率人口栅格数据。

**2.4 深度学习原理及框架构建**

DNN (deep neural networks) 深度神经网络是将神经网络扩展到深度学习里, 它与CNN (convolutional neural networks) 卷积神经网络、RNN (recurrent neural networks) 循环神经网络的区别在于, DNN是全连接的神经元结构, 并不包含卷积单元或是时间上的关联。DNN由输入层、隐含层和输出层三层构成, 每一层都是由一个或者多个人工神经元构成。

**2.4.1 人工神经元** 人工神经网络的目的是为了模仿人类大脑工作, 而人工神经元自然是模仿构成人脑神经网络的大脑神经元。神经元是一个多输入的模型, 可以是线性的, 也可以是非线性的。一个人工神经元(图3a)一般由输入数据、求和结点、激活函数三大要素构成, 其中激活函数的选取将直接影响整个模型的性能, 在大量阅读文献和试验的基础上, 本研究选取了较为接近人类思维模式的ReLU函数(图3b)作为隐藏层的激活函数, 选取了取值为(0, 1)之间的Sigmoid函数(图3b)来约束模型的输出。

两个函数作为神经网络结构最常用的激活函数, 有着各自独特的性能, 以下是两个函数的函数表达式:

$$ReLU(x) = \max(0, x) \tag{2}$$

$$Sigmoid(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \tag{3}$$

**2.4.2 DNN的三层架构** 如图4所示, 输入层、隐藏层、输出层构成DNN的三层架构, 输入层和输出层一般只有一层, 但是隐藏层可以为大于1的任何层数。

输入层接收经过预处理的输入数据, 不进行科学计算, 只是负责将多个输入向量传递给下一层隐藏层。而输入层和第一层隐藏层之间的权重连接, 本质作用是用来对原始输入信息进行特征初提取。

隐藏层主要实现DNN的特征提取功能。根据信息论原则, 数据处理的过程中信息的减少是必然的, 必会有噪声的出现, 这些噪声夹杂于隐藏层提取的特征中<sup>[25]</sup>。隐藏层可以对特征进行升维或降维处理, 若升维处理, 噪声会加剧, 所产生的问题会使特征提取难度增加; 若降维处理, 噪声会减少, 但是会丢失部分特征信息。

输出层是DNN模型的最后模块, 其作用是输出模型对原始输入信息的最终计算结果。输出层一般是专门的机器学习算法分类器或者数据输出的约束算子, 也可以是由一个或者多个神经元构成的普通层, 最

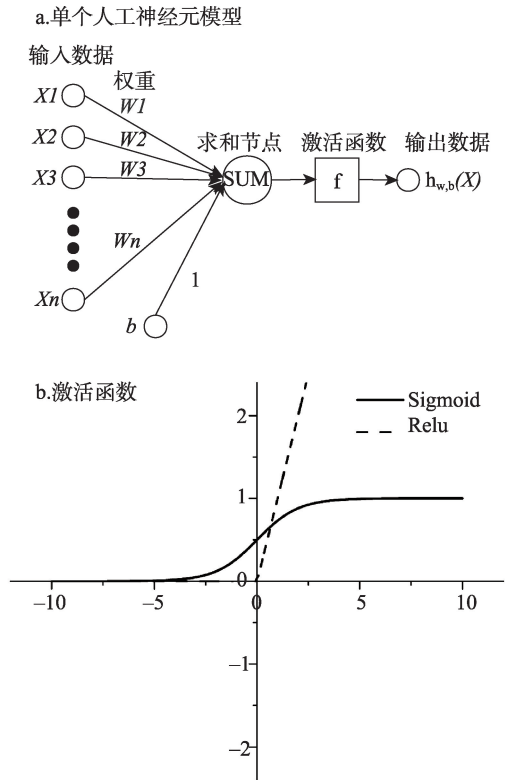


图3 单个人工神经元模型和激活函数  
Fig. 3 Single artificial neuron model and activation function

后一层隐藏层和输出层之间的权重连接是用来对深度学习最后一层隐藏层提取的最高层特征进行计算<sup>[26]</sup>。整个DNN模型输出结果取决于输出层神经元的输出。

**2.4.3 DNN 框架构建** DNN的框架构建决定了模型的性能，输入层的神经元数目一般是输入数据的因子数目，输出层则是与目的和结果息息相关，而隐藏层的复杂与合理性决定了DNN模型性能的优劣。但是，DNN结构框架的设计是一个复杂问题，至今尚未存在一个合理的解析式，现有的经验计算公式效果也达不到要求，目前隐层层数和节点数往往根据前人的经验和自行试验确定。DNN的层数和节点数的确定大致遵循以下原则：① 若待解决的问题非常复杂且样函数变化剧烈、结果波动很大，则要求增加层数和节点数。② 如果所规定的模型精度较高，则对应的层数和节点数目应尽量多。③ 初始化的层数和节点数应从小考虑，再根据往后的学习情况逐渐增加；或一开始便设置足够多的层数和节点数，再通过学习过程，将作用不明显的层数和节点数剔除。

在大量阅读文献和试验的基础上，本研究先初始化一个较低的层数和节点数，随后在程序中逐渐增加层数和节点数目，衡量好训练效率和精度，最终拟采用（7-20-20-10-1）DNN模型（图4）。

### 3 实验及结果

#### 3.1 样本选取

对已经经过归一化处理的所有因子，进行三类城市空间结构样本点标记。核心思路是：充分利用遥感影像及当地的街景照片（图5），结合实地考察，选取城市核心区、边缘区和外缘区特征特别明显的、可以明确确定当地城市类型归属的点作为样本点。为了保证模型输入和输出的合理性，以0.9作为城市核心区的标签，0.5作为城市边缘区的标签，0.1作为城市外缘区的标签，同时建立1000 m×1000 m格网中心点数据作为研究区域的所有实验点。

#### 3.2 实验过程

TensorFlow是用数据流图（data flow graphs）的方式表征深度学习的模型框架和计算的学习过程，是谷歌在其第一代机器学习系统DisBelief的基础上研发形成的谷歌第二代人工智能开源学习系统。本研究基于TensorFlow 1.4构建城市边缘区判定的DNN框架。

将归一化后的人口密度、景观紊乱度、餐饮、酒店、金融服务、科研教育、公司企业作为DNN的7个输入层神经元，中间构建了（20-20-10）的3层隐藏层，前三个连接层之间均采用计算速度快、效果好、较为符合人类思维模式的ReLU激活函数。为了保持输出结果数据的合理性，使用结果输出范围为（0, 1）之间的Sigmoid函数，作为输出连接层的激活函数。如图6所示，随机选取样本数据的80%作为训练数据，20%作为测试

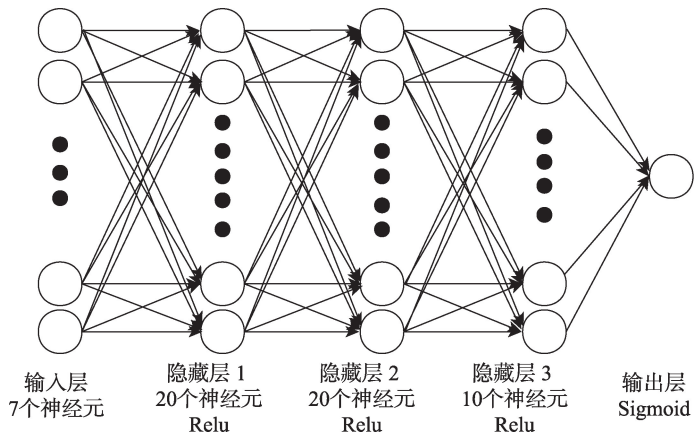


图4 深度神经网络模型框架图  
Fig. 4 Frame diagram of deep neural network model



图5 遥感影像及街景照片

Fig. 5 Remote sensing images and streetscape photos

数据，设置模型的全局误差达到0.001时停止训练，随后拟合测试数据，确保精度达标，将满足精度的模型保存且拟合研究区内的所有网格点数据。

由于本研究训练样本的标签为0.9（核心区）、0.5（边缘区）、0.1（外缘区），模型输出结果是一个（0, 1）范围内的值，通过计算测试样本的输出值与0.9、0.5、0.1的欧式空间距离（公式4）来确定当前测试样本的类别，即将最小欧式距离特征值所对应的标签作为此测试样本的类别。

$$D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2} \quad (4)$$

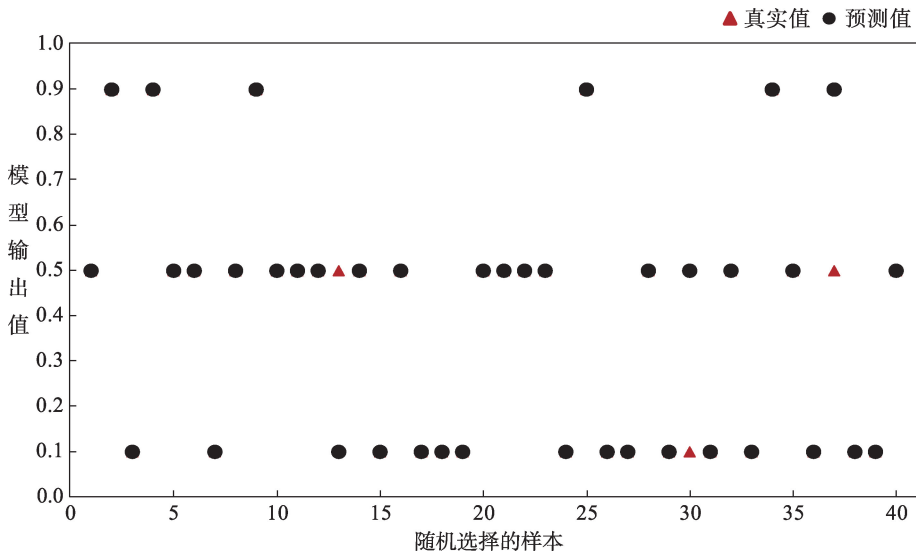


图6 模型精度检验

Fig. 6 The accuracy test of model

模型输出结果离哪个标签的欧式距离特征值小，便将此点归为此标签对应类别，在模型内部对所有点数据进行分类处理，得到所有点的判定结果，最后将结果数据用克里金插值法插值成分辨率为100 m的广州市城市边缘区判定结果。

### 3.3 实验结果定量分析

对广州市城市边缘区判定结果统计分析，得到广州市城市空间结构统计结果（表2）。广州市城市空间结构总体状况如下：城市外缘区占全市总面积比例最大，达到58.54%，城市边缘区占比为36.73%，城市核心区仅占4.73%，总体呈现核心区-边缘区-外缘区的梯度分布趋势。

城市核心区主要分布在白云区（占核心区总面积的24.11%）、天河区（20.49%）、海珠区（14.38%）、番禺区（12.23%）、越秀区（9.86%）、荔湾区（8.09%），共占广州市城市核心区的89.16%。城市边缘区主要分布在增城区（占边缘区总面积的19.03%）、番禺区（18.73%）、白云区（16.68%）、花都区（15.62%）、从化区（9.84%），共占广州市城市边缘区的79.90%。城市外缘区主要分布在从化区（占城市外缘区的40.53%）、增城区（25.89%）、花都区（12.51%），共占广州市城市外缘区总面积的78.93%。

通过观察广州市各区内的三类城市空间结构结果面积占比可知，广州市城市核心区各区百分比较高的是越秀区、海珠区、天河区、荔湾区，特别是越秀区高达99.94%，其原因是越秀区作为广州老城区，相对于其他区，越秀区内部发展比较均衡，城市化水平较高，城市核心区几乎全区分布。城市边缘区各区百分比较高的是白云区、番禺区、荔湾区，其中白云区高达66.79%，主要原因是白云区处在广州中心城区和郊区的过渡地带，具有城市和乡村的双重特征，所以城市边缘区占比较大。城市外缘区各区百分比较高的是从化区、增城区、花都区，例如从化区，地处广州市北部，又称广州市的后花园，受生态保护政策影响，其工业制造和开发被限制，因此大部分区域都是属于城市外缘区。

城市边缘区代表了个城市扩展的可能性、方向性、潜在性，城市边缘区作为城市核心区与城市外缘区的缓冲地带，其内部结构、边界的变化都十分迅速。从城市扩张的



表2 广州市城市空间结构的统计结果

Tab. 2 The statistical result of urban sapce structure in Guangzhou

城市空间结构类型	城市核心区			城市边缘区			城市外缘区			各区总面积 (km <sup>2</sup> )
	面积 (km <sup>2</sup> )	各区百分比 (%)	总百分比 (%)	面积 (km <sup>2</sup> )	各区百分比 (%)	总百分比 (%)	面积 (km <sup>2</sup> )	各区百分比 (%)	总百分比 (%)	
白云区	82.694	12.43	24.11	444.394	66.79	16.68	138.261	20.78	3.26	665.350
从化区	3.256	0.16	0.95	262.243	13.20	9.84	1 720.692	86.63	40.53	1 986.191
番禺区	41.955	5.44	12.23	499.051	64.71	18.73	230.241	29.85	5.42	771.248
海珠区	49.324	53.53	14.38	42.563	46.19	1.60	0.262	0.28	0.01	92.148
花都区	20.724	2.14	6.04	416.250	43.00	15.62	531.120	54.86	12.51	968.094
黄埔区	2.606	0.54	0.76	223.844	46.54	8.40	254.471	52.91	5.99	480.921
荔湾区	27.753	44.11	8.09	34.864	55.41	1.31	0.304	0.48	0.01	62.921
南沙区	0.007	0.00	0.00	173.278	39.48	6.50	265.643	60.52	6.26	438.928
天河区	70.282	51.43	20.49	60.679	44.40	2.28	5.695	4.17	0.13	136.656
越秀区	33.821	99.94	9.86	0.020	0.06	0.00	0.000	0.00	0.00	33.840
增城区	10.517	0.65	3.07	507.153	31.37	19.03	1 099.023	67.98	25.89	1 616.694
总计	342.938		100.00	2 664.341		100.00	4 245.712		100.00	7 252.990

注: ① 各区百分比指行政区划内3个城市空间结构类型的占比; ② 总百分比指3个城市空间结构类型在各区域的分布比例; ③ 由于所选的全广州市行政区划差异的原因, 本次采用的行政区划在南沙等地区没有包括水域部分, 因此本研究的广州市总面积会低于官方统计数据。

宏观角度上分析, 城市核心区会不断侵蚀城市边缘区地带, 不断扩张变大, 而城市边缘区在被城市核心区同化的同时, 也会向城市外缘地带扩张, 致使城市边缘区的动态变化十分活跃; 从数量特征上分析, 城市边缘区主要分布于增城区、番禺区、白云区、花都区、南沙区等地, 这5个区的边缘区总面积占全广州市边缘区总面积的76.56%, 这些地区是往后城市发展及城市核心区扩张的方向和趋势。

以上分析结果符合《广州市总体规划2010—2020》关于“南拓、北优、东进、西联”的城市发展战略规划, 且与广州市发展现状基本一致。

## 4 结果分析

### 4.1 城市空间结构与城市路网耦合关系

耦合关系是由物理学引入的概念, 在地理学中是指两个(或两个以上)事物或者某种地理现象存在的各种相互作用、相互影响的关系。道路网络作为城市景观廊道与城市正常运转的基础, 是决定城市用地格局的重要因素, 与城市扩张之间存在十分复杂的互动关系, 对城市边缘区空间分布有着重要的影响<sup>[27-29]</sup>, 交通因素对城市空间扩展的影响越来越受到研究学者的关注<sup>[30]</sup>。为此, 选取2013年广州市国道和省道与2013年广州市城市边缘区判定结果进行叠加分析(图7)。① 广州市城市核心地区路网建设较为密集, 因为城市的路网建设与经济发展有密切的联系, 城市核心地区的社会经济等发展较好, 因此交通网建设较为完善; ② 广州市城市边缘区大体分布在城市核心区及主要交通干道周边区域, 特别是在靠近广州市中心城区的地区, 城市边缘区分布与交通道路分布有着极大的耦合, 城市边缘区围绕交通干道分布; ③ 在远离城市核心地带的城市外缘区, 由于人少、经济欠发达等诸多原因, 虽然也有少量的路网分布, 但此时的路网更多承载的是城

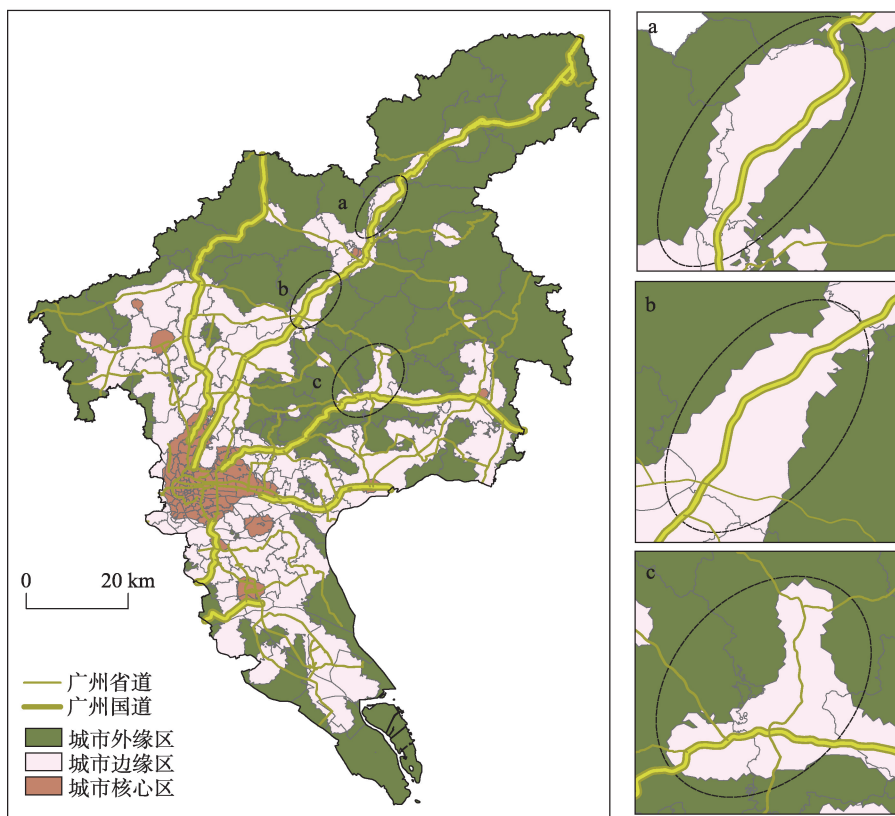


图7 广州市城市空间结构与路网分布

Fig. 7 The distribution of urban space structure and road network in Guangzhou

市与城市、城镇与城镇之间的连接功能，随着城市的发展扩展及城市边缘区的外扩，城市外缘区往后也有发展成为城市边缘区的可能性。以上分析表明，研究结果与实际情况基本吻合。

#### 4.2 城市核心区空间分布分析

城市核心区的分布与地区的社会经济发展水平有着紧密的联系，城市核心区的分布状况直接体现了一个城市的经济状况及发展模式。由表2及图8可知，广州主城区的城市核心区占全广州市核心区总面积的77.69%，此处为广州市越秀区、天河区、海珠区、荔湾区、白云区的中心地带，是广州市社会经济最为发达的地区。同时，广州市核心区还出现在花都花城、从化街口、增城荔城、增城新塘、番禺市桥、大学城等地区，这些次核心区占了广州市核心区总面积的22.31%，除了大学城这个特殊的区域，其他的都是广州6个区中的主城区地区，也都是各区的社会经济发展水平较高地带。分析表明，广州市城市发展模式是以主城区为主、中心城镇为次的“一主多次”模式，符合广州市发展现状。

在此重点介绍广州大学城这一特殊的核心区区域。广州大学城位于广州市番禺区的小谷围岛，面积约19.7 km<sup>2</sup>，作为广州市高校的聚集地，是华南地区高级人才培养、科学研究和交流的中心，集产、学、研一体化发展的大学园区。如图8所示，大学城被判定成广州核心区，这是因为城市边缘区判定DNN模型是由人口密度、景观紊乱度、餐饮、酒店、金融服务、科研教育、公司企业七大类因子（图2）共同决定的。虽然大学

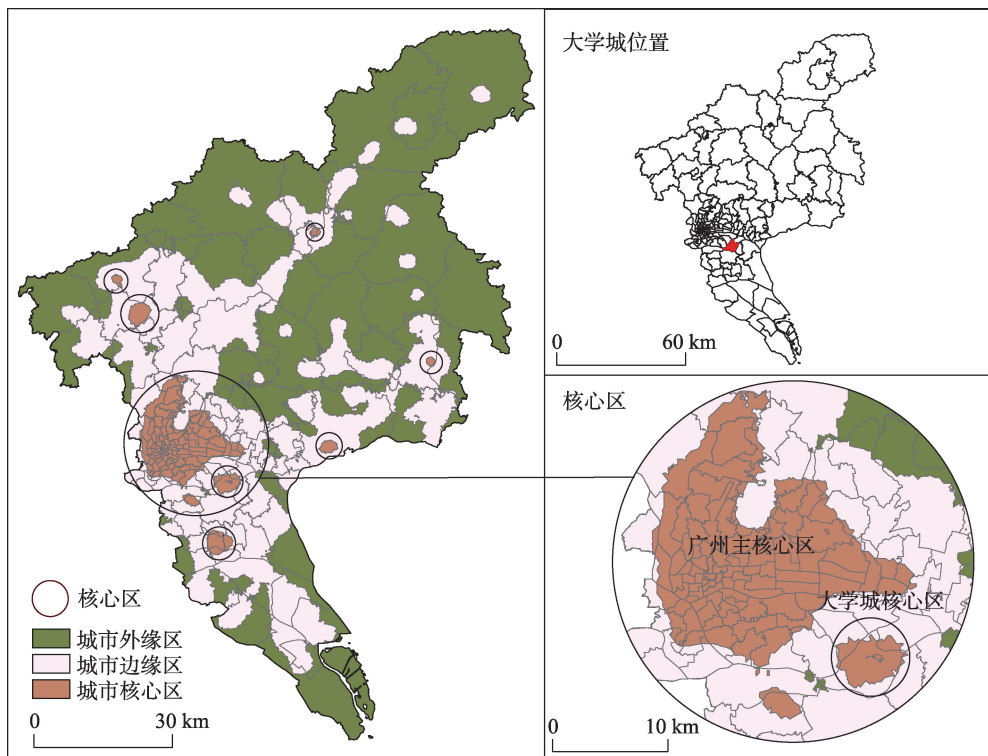


图8 广州市城市核心区空间分布

Fig. 8 The spatial distribution of urban core area in Guangzhou

城的金融服务和公司企业等特征值相较于其他核心区低，但是科研教育特征值非常高、景观紊乱度特征值非常低，在大学城这个区域，模型的判断过程中，科研教育和景观紊乱度对于模型结果的影响程度远比其他五类因子大，所以模型将大学城区域判定为城市核心区。通过大学城这个案例，可以看出本研究的城市边缘区判定模型在考虑全部因子对于结果影响的基础上，还会充分考虑某一特殊区域的特殊因子对于结果的影响，当某一特征值对于边缘区判定的影响远大于其他特征的时候，模型会准确地将此区域归于此特征所反映的城市空间结构，广州大学城作为广州市教育事业的核心地区，因此被判定成广州市城市核心区。

## 5 结论与讨论

本文提出了一种结合遥感、人口、POI大数据与深度学习算法的城市边缘区判定方法，并成功进行了广州市城市边缘区判定及城市空间结构分布特征分析。与以往的边缘区判定方法相比，本方法的创新点在于：① 结合传统遥感数据与POI大数据进行城市边缘区判定数据的选取；② 利用深度学习方法来构建城市边缘区判定DNN模型，对广州市城市边缘区进行了精确的判定；③ 实验结果避免了预设边界范围、水体及城市绿地的影响，解决了判定结果过于破碎的问题，较为客观科学。但仍然在样本点数据的选取过程中存在无法避免的些许人为主观因素的干扰，这个是本研究也是现有各种方法共有的不足之处。

基于现有的研究进展及不足之处,提出今后研究的建议:①手机信令和交通流量数据对于城市边缘区判定研究有较大的补充作用,是今后研究中重点考虑的数据对象;②对于样本点选取存在的不可避免的人为主观因素干扰,采用半监督或者无监督深度学习的方法来进行城市边缘区判定是往后重点的研究方向;③实验所采取的1000 m统计单元存在斑块连通性考虑不足的问题,采用面向对象分割和超像素方法来获取统计斑块,再针对分割斑块进一步判定,将会完善此方法,并优化城市边缘区的结果;④采用相同的指标和方法进行其他城市的城市边缘区判定,分析确定此模型的鲁棒性,进而研究不同地区的城市发展及变化;⑤获取多源的历史数据,用相同的指标和方法进行多年份的城市边缘区判定,进而监测分析城市的发展模式和扩张进程,并由此预测未来城市发展规模和方向。

利用本文所提出的方法可以快速有效地进行城市边缘区的判定,提高识别结果的精度,进而获得整个城市的城市空间结构数量特征及空间分布特征,整体把握城市的社会经济状况和发展方向。往后可用该方法进行城中村、城市CBD、城市功能分区等方面的研究,为城市发展规划和土地利用管理提供科学的支撑。

### 参考文献(References)

- [1] Yang X J. China's rapid urbanization. *Science*, 2013, 342(6156): 310-310.
- [2] Kalnay E, Cai M. Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 2003, 423(6939): 528-531.
- [3] Pryor R J. Defining the rural-urban fringe. *Social Forces*, 1968, 47(2): 202-215.
- [4] 周婕, 谢波. 中外城市边缘区相关概念辨析与学科发展趋势. *国际城市规划*, 2014, 29(4): 14-20. [Zhou Jie, Xie Bo. The related concept discrimination and subject development trend of urban fringe in China and abroad. *Urban Planning International*, 2014, 29(4): 14-20.]
- [5] 姚月. 城市边缘区构成、功能及特征探讨: 以北京市海淀区为例. *北京规划建设*, 2014, (1): 103-107. [Yao Yue. Discussion on composition, function and characteristics of urban fringe: A case study of Haidian district, Beijing. *Beijing Planning and Construction*, 2014, (1): 103-107.]
- [6] 涂人猛. 城市边缘区初探: 以武汉市为例. *地理学与国土研究*, 1990, 6(4): 38-42. [Tu Renmeng. A preliminary study on urban fringe: A case study of Wuhan city. *Geography and Geo-information Science*, 1990, 6(4): 38-42.]
- [7] John Friedmann, John Miller. The urban field. *Journal of the American Planning Association*, 1965, 31(4): 312-320.
- [8] 李世峰. 大城市边缘区的形成演变机理及发展策略研究: 以北京市为例. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2005. [Li Shifeng. Study on evolution mechanism and development strategies of metropolitan fringes: A case study of Beijing city. Beijing: Doctoral Dissertation of China Agricultural University, 2005.]
- [9] 顾朝林, 陈田, 丁金宏, 等. 中国大城市边缘区特性研究. *地理学报*, 1993, 60(4): 317-328. [Gu Chaolin, Chen Tian, Ding Jinhong. Study on the characteristics of metropolitan fringe in China. *Acta Geographica Sinica*, 1993, 60(4): 317-328.]
- [10] 陈佑启. 试论城乡交错带及其特征与功能. *经济地理*, 1996, 16(3): 27-31. [Chen Zuoqi. Discuss urban rural ecotone and its characteristics and functions. *Economic Geography*, 1996, 16(3): 27-31.]
- [11] 程连生, 赵红英. 北京城市边缘带探讨. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 1995, (1): 127-133. [Cheng Liansheng, Zhao Hongying. Discuss the urban fringe of Beijing. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 1995, (1): 127-133.]
- [12] 章文波, 方修琦, 张兰生. 利用遥感影像划分城乡过渡带方法的研究. *遥感学报*, 1999, 3(3): 199-202. [Zhang Wenbo, Fang Xiuqi, Zhang Lansheng. Method to identify the urban rural fringe by TM image. *Journal of Remote Sensing*, 1999, 3(3): 199-202.]
- [13] 李世峰, 白人朴. 基于模糊综合评价的大城市边缘区地域特征属性的界定. *中国农业大学学报*, 2005, (3): 99-104. [Li Shifeng, Bai Renpu. Determination of zone feature in fringe of a big city based on fuzzy overall evaluation. *Journal of China Agricultural University*, 2005, (3): 99-104.]
- [14] 王海鹰, 张新长, 赵元. 基于逻辑回归模型的城市边缘区界定方法研究. *测绘通报*, 2010, (10): 7-10. [Wang Haiying, Zhang Xinchang, Zhao Yuan. On determination methods for urban edge regions based on logistic regression model. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2010, (10): 7-10.]

- [15] 周小驰, 刘咏梅, 杨海娟. 西安市城市边缘区空间识别与边界划分. 地球信息科学学报, 2017, 19(10): 1327-1335. [Zhou Xiaochi, Liu Yongmei, Yang Haijuan. Spatial recognition and boundary region division of urban fringe area in Xi'an city. Journal of Geo-information Science, 2017, 19(10): 1327-1335.]
- [16] Yang Y, Ma M, Tan C, et al. Spatial recognition of the urban-rural fringe of Beijing using DMSP/OLS nighttime light data. Remote Sensing, 2017, 9(11): 1141.
- [17] 李国杰, 程学旗. 大数据研究: 未来科技及经济社会发展的重大战略领域: 大数据的研究现状与科学思考. 中国科学院院刊, 2012, 27(6): 647-657. [Li Guojie, Cheng Xueqi. Big data research: a major strategic area of technology and economic and social development in the future: Research status and scientific thinking of big data. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2012, 27(6): 647-657.]
- [18] 吴志峰, 柴彦威, 党安荣, 等. 地理学碰上“大数据”: 热反应与冷思考. 地理研究, 2015, 34(12): 2207-2221. [Wu Zhifeng, Chai Yanwei, Dang Anrong, et al. Geography interact with big data: Dialogue and reflection. Geographical Research, 2015, 34(12): 2207-2221.]
- [19] 许泽宁, 高晓路. 基于电子地图兴趣点的城市建成区边界识别方法. 地理学报, 2016, 71(6): 928-939. [Xu Zening, Gao Xiaolu. A novel method for identifying the boundary of urban built-up areas with POI data. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(6): 928-939.]
- [20] 李江苏, 梁燕, 王晓蕊. 基于POI数据的郑东新区服务业空间聚类研究. 地理研究, 2018, 37(1): 145-157. [Li Jiangsu, Liang Yan, Wang Xiaorui. Spatial clustering analysis of service industries in Zhengdong new district based on POI data. Geographical Research, 2018, 37(1): 145-157.]
- [21] Lecun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. Nature, 2015, 521(7553): 436-444.
- [22] Gu K. Exploring the fringe belt concept in Auckland: An urban morphological idea and planning practice. New Zealand Geographer, 2010, 66(1): 44-60.
- [23] Sharp J S, Clark J K. Between the country and the concrete: Rediscovering the rural-urban fringe. City & Community, 2008, 7(1): 61-79.
- [24] 国务院发展研究中心课题组. 城乡空间边界划分的国际经验及启示. 中国发展观察, 2010, (7): 54-57. [Research Group of the State Council Development Research Center. International experience and Enlightenment of dividing urban and rural spatial boundaries. China Development Observation, 2010, (7): 54-57.]
- [25] Shannon C E. A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal, 1948, 27(3): 379-423.
- [26] 刘晓瞳. 基于深度学习的分类预测方法研究及应用. 南京: 东南大学硕士学位论文, 2017. [Liu Xiaotong. Research and application of classification prediction method based on deep learning. Nanjing: Master Dissertation of Southeast China University, 2017.]
- [27] 焦朋朋, 陆化普, 王建伟. 基于交通效率的城市道路网络优化. 清华大学学报: 自然科学版, 2005, 45(3): 297-300. [Jiao Pengpeng, Lu Huapu, Wang Jianwei. Optimization of urban road network based on transport efficiency. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2005, 45(3): 297-300.]
- [28] 谢顺平, 冯学智, 王结臣, 等. 基于网络加权Voronoi图分析的南京市商业中心辐射域研究. 地理学报, 2009, 64(12): 1467-1476. [Xie Shunping, Feng Xuezhi, Wang Jiechen, et al. Radiation domain of commercial centers in Nanjing based on analysis of road network weighted Voronoi diagram. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(12): 1467-1476.]
- [29] 杨励雅. 城市交通与土地利用相互关系的基础理论与方法研究. 北京: 北京交通大学博士学位论文, 2007. [Yang Liya. Research on the basic theory and method of the relationship between urban traffic and land use. Beijing: Doctoral Dissertation of Beijing Jiaotong University, 2007.]
- [30] 郭欢欢, 林坚, 孙芬, 等. 桥梁-道路建设对西南山地城市扩展影响机制研究: 以重庆嘉陵江两桥为例. 长江流域资源与环境, 2017, 26(1): 47-54. [Guo Huanhuan, Lin Jian, Sun Fen, et al. Impact mechanism of bridges-road construction on urban growth in mountain cities in southwest China. Resources & Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(1): 47-54.]

## The definition of urban fringe based on multi-source data and deep learning

LIU Xingnan<sup>1,2</sup>, WU Zhifeng<sup>1,2</sup>, LUO Renbo<sup>1,2</sup>, WU Yanyan<sup>3</sup>

(1. School of Geographical Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China; 2. Guangdong Province Engineering Technology Research Center for Geographical Conditions Monitoring and Comprehensive Analysis, Guangzhou 510006, China; 3. School of Geography and Tourism, Guangdong University of Finance and Economic, Guangzhou 510320, China)

**Abstract:** With the development of the economy, most cities will expand continuously to the surrounding areas, thus leading to the emergence of urban fringe areas with both urban and rural characteristics. The urban fringe area, located between urban and rural areas, is the most intense area of urban land use change and one of the most likely areas for urban construction land expansion in the future. How to identify urban fringe accurately and quantitatively is of great significance for urban planning and sustainable land use. However, most existing methods about the delineation of urban fringe area is just based on one or one type of indicators, and the judgment result is too fragmented to reflect the continuity of the urban spatial structure. What's more, the urban preset boundary range, the water body and the urban green space have great interference with the judgment results of urban fringe. In view of the above problems and from multi-perspective of nature, population and social economy, this paper defines urban fringe based on deep learning and multi-source data (remote sensing image, population density and POI big data). Furthermore, the proposed method has been used to detect the urban fringe area of Guangzhou city in our experiments. The results show that: (1) This method can divide the city into urban core area, urban fringe and rural area accurately without the impact of the preset boundary range. Eventually, this way can eliminate the fragmentation caused by the internal water and green space of urban areas. (2) The results of urban fringe area are well coupled with the road network. Network distribution of the urban core area is densest, followed by the urban fringe area. (3) The spatial distribution of urban core area of Guangzhou from the experiments is reasonable and consistent with the actual situation. All in all, the proposed method can consider comprehensively multi-perspective factors and detect urban fringe effectively, thus can provide better guidance for formulation of policies for urban development, such as urban planning, sustainable development, and urban statistical analysis.

**Keywords:** definition of urban fringe area; POI big data; deep learning; Guangzhou