

## 使用轨迹大数据基于时空图神经网络识别建筑物混合功能

Building mixed-use classification based on multi-source spatiotemporal big data

### 1. 摘要

关键词：轨迹大数据，图神经网络，建筑物功能分类，mixed-use buildings

### 2. 引言

【he 2020】由于城市的快速发展和普遍的城市更新项目，特别是在超大型城市中，单一的土地利用方式已无法满足人们日益增长的多样化需求，因此，混合土地利用逐渐成为保持城市宜居性的理想选择（13, 21）。【ma 2024 (20)】在日本，国家和地方政府采用“紧凑型城市”的概念，在有限单独区域内整合住宅、医疗、商业等功能，即土地的混合用途开发（21），以同时为不同群体提供服务（14）。虽然土地混合使用可以减少通勤距离、促进社区活力（15, 16, 20），然而，土地混合使用也会给城市发展带来一些问题，例如，将商业区和住宅区结合在一起可能会引起噪音污染、交通拥堵的问题（17, 18）。因此，识别混合用地的成分以及空间分布是评估现有规划和设计以及规划未来城市发展战略的重要基础。

【liu 2017】土地的混合用途开发在多个尺度进行，按精细程度排序为：社区层面的混合用途分区、街区层面的大型商业综合体以及多功能建筑物（19）。城市建筑物作为组成城市空间的重要成分（？），有着居住、工作和商业等多种功能（？）。【he】在当代城市规划中，建筑物尺度的混合功能的空间分布在了解城市空间格局（1）、景观设计以及构建城市数字孪生（3）等方面有着重要意义，是城市规划者必不可少的工具。然而，在大空间范围内收集建筑物尺度的土地利用信息涉及大量的实地调查，通常需要消耗大量资源（11）。【he】特别是当建筑物具有混合功能时，人工方法的实施就更具有挑战性。因此，城市建筑物尺度混合土地利用制图引起了城市规划者的广泛关注。这使得设计能自动生成准确和最新的建筑物的混合功能的模型是必要的。

【da he 2025】遥感影像可以提供高分辨率与高覆盖范围的地物物理特征，因此被广泛用于土地利用分类任务中。例如，【da he 2025】Gong 等人（22）使用随机森林算法以及POI、夜间灯光和其他遥感数据对中国各地城市进行土地利用分类。Du 等人发布了 31 个城市分辨率为 2.4 米的 12 种类型的土地利用数据集。Guzder Williams 等人为全球 200 个城市创建了 5 米分辨率的土地利用数据集。通常情况下，土地利用分类在地块尺度上进行。使用路网将卫星影像分割为地块，然后利用地块内的光谱特征或空间特征进行分类。然而，地块尺度的土地利用分类可能会导致遗漏或分类错误，例如，某些幼儿园和社区诊所可能位于住宅地块内，而基于地块的分类可能会简单地将其分类为住宅区。因此，目前的地块尺度的土地利用分类往往缺乏在建筑物层面区分人类活动所需的粒度。将【地块-》建筑物，人群轨迹数据】（说静态社会经济数据的问题，虽然有动态的（出租车、社媒），但还是不够精细【看 liuxiaoping 的文章】）

遥感影像主要集中于对地物的自然特征的观测，尽管近年来夜光遥感等数据为度量社会

经济提供了有力支撑，但其对于人类活动的感知能力仍较为缺乏（）。然而，城市中建筑物的功能与城市内的人类活动关系密切（26，27）。例如，liu 等人（23）认为不同类型的城市用地功能对应着不同的人类活动量时谱曲线，利用连续 7 天的 150 万条出租车出行数据对土地利用进行了分类。tu 等人（24）从社交媒体和手机定位数据中提取人类活动信息，并以此推断城市功能。wu 等人（25）基于亚像元分解技术，使用社交媒体签到数据，对城市内部用地的混合情况进行了评估。因此，人类活动数据能弥补遥感的局限，为土地利用分类任务提供有力支撑。虽然。。。。。

不同功能的建筑具有不同的几何特征。例如工业建筑比住宅建筑占据更大的面积，而 CBD 内的商业设施往往高于工业建筑。为了在建筑物功能分类任务中考虑建筑物几何信息，研究人员提出了基于形状的指标体系，例如长宽比、面积、紧凑度以及建筑物高度等（6）。这些方法由人工手动选择并构建指标，易受到主观影响，并且无法表征建筑物的整体几何特征。此外，这些方法很少考虑建筑物的空间上下文信息。然而，构建建筑的空间上下文信息对建筑物功能分类很重要。例如，住宅建筑周围往往聚集，而工业建筑通常远离住宅建筑等等。

虽然现有研究付出了很多努力【1】开发了很多土地利用分类模型，但到目前为止有以下问题尚未解决：

- 1) 目前的土地利用分类研究主要以像素、网格、对象以及地块作为基本单元，而较少关注建筑物尺度的土地利用分类。并且，在建筑物尺度上也存在多种土地利用混合的现象，而目前研究通常仅以主导功能为建筑物分配类别，忽视了建筑物尺度的混合使用。
- 2) 目前的土地利用分类研究中使用的社会经济数据主要是 POI、夜间灯光、街景以及社交媒体等数据，这些数据是静态的，且时空分辨率不够精细，只能反映部分的人群活动信息，无法支撑建筑物尺度混合利用分类的精细土地利用分类需求。
- 3) 现有土地利用分类研究在考虑建筑物几何特征时，往往需要手动构建一个庞大的指标体系。这种方法易受到主观因素影响，且在实际应用中难以实施。

为了减轻上述缺点，考虑到建筑物的光谱特征、几何特征、社会经济特征以及与临近建筑的功能相关性，基于图神经网络 GraphSAGA 建模建筑物与建筑物之间的关系，并使用 TimesNet 融合建筑物中人群活动的时序特征。此外，本研究还提出了一种从建筑物三维模型中自动提取特征的方法。本研究的主要贡献如下：

- 1) 本研究在建筑物层面进行土地利用混合使用分类，提升了土地利用分类的空间粒度和属性粒度，丰富了建筑物属性的语义信息，提供了更精细的城市空间表示，能够更全面地了解其功能属性。
- 2) 融合了建筑物的光谱、几何和社会经济特征，并使用 GraphSAGA 建模建筑物之间的关系，提升了土地利用分类模型的性能。
- 3) 提出了基于卷积神经网络和 LSTM 的从建筑物三维模型中自动提取几何特征的方法。

在人工只能算法的帮助下，结合遥感影像和人群活动信息在人工智能算法的帮助下可以实现土地利用分类。（出租车轨迹的弱点）（三维建筑物）

目前，大部分研究往往使用主导功能为建筑物分配单一的类型（4，5，6），而忽视了建筑物的混合功能（7）。建筑物混合功能指的是单个建筑中集成了多种用途，其是紧凑型城市（compact development）（8）、可持续发展（9）以及公共交通导向发展（10）的重要策略。

### 3. 研究区与数据

东京作为日本的政治、经济和文化中心，面积为 2194 平方公里，拥有 1400 万人口和 250 万左右建筑。如图 1 所示，本研究选择东京 23 区作为研究区，这里是东京的核心 23 个区，有着密集的建筑物和稠密的人口。并且由于日本采用“紧凑型城市”的发展策略，东京 23 区的建筑物有着明显的混合使用特点。因此，东京 23 区提供了一个理想的场景，用于混合土地利用分类研究。

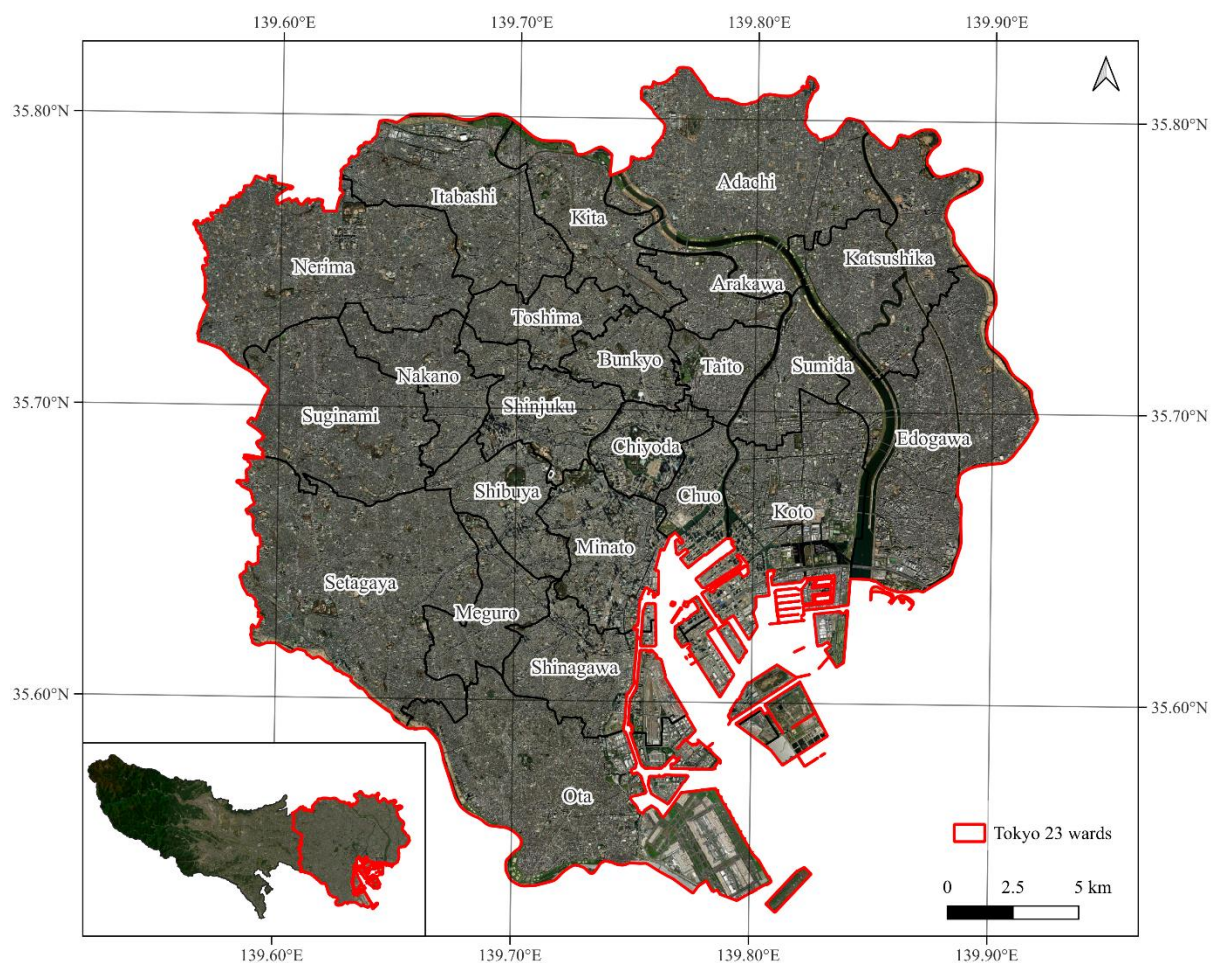


Fig. 1. Study area

本研究使用的数据如表 1 所示。高空间分辨率（0.2m）的 Orthophoto 提供了建筑物的物

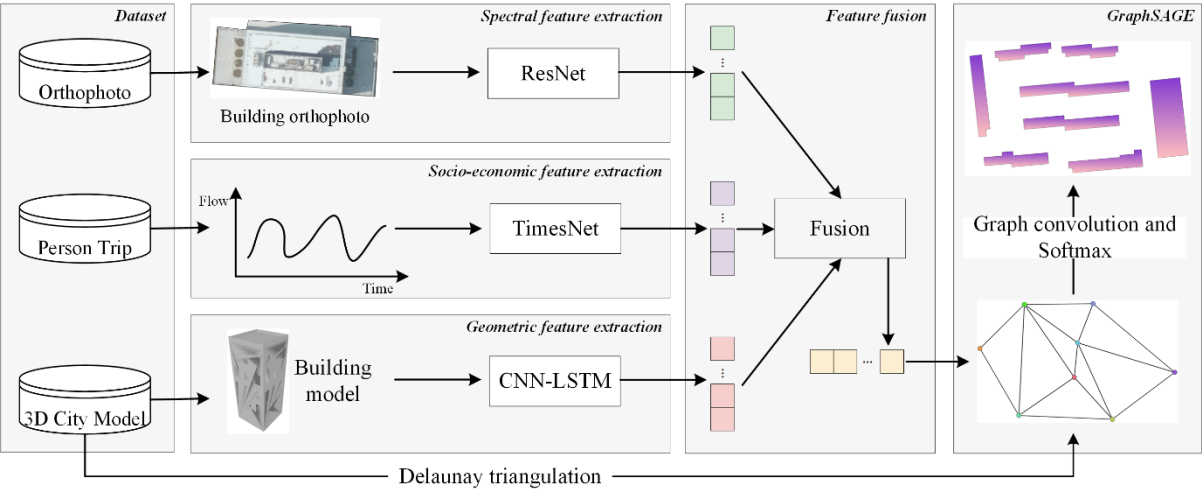
理信息；3D City Model 提供了建筑物的几何信息，同时也用于裁剪正射影像；Person Trip 用于提取建筑的社会经济特征，该数据提供了每人每天的详细移动信息，包括出发时间、出发位置、目的地位置、交通手段以及移动目的信息；POI 用于训练土地利用分类模型，其有 39 个一级分类和 2209 个二级分类，类别丰富，适用于构建混合利用土地利用分类模型。

**Table 1.** Data used in this study.

Data	Source	Format
Orthophoto	<a href="#">Geospatial Information Authority of Japan</a>	Raster (0.2m)
3D City Model	<a href="#">PLATEAU by MLIT</a>	Vector
Person Trip	<a href="#">People Flow Project</a>	Vector
POI	<a href="#">Telepoint Pack DB by ZENRIN</a>	Vector

#### 4. 研究方法

本研究在建筑物尺度进行土地利用分类，识别建筑物的混合使用。如图 2 所示，本研究融合了建筑物的光谱、时空社会经济以及三维几何特征，将融合后的特征向量作为 GraphSAGE 的节点，构建图神经网络。



#### 5. 规划与预期成果

	1st ~ 2nd months	3rd ~ 4th months	5th ~ 6th months	7th ~ 8th months	9th ~ 10th months	11th ~ 12th months
Data collection and preprocessing						
Trip data cleaning and transformation						
Feature extraction from 3D models						
Construction and training of GraphSAGE						
Accuracy evaluation and result analysis						
Finalizing report and academic publication						