

摘要 城市街区检索引擎是一种城市认知智能，通过整合和呈现多源城市数据，建立城市空间检索模型，从而简化城市设计前期的认知和调研。文章通过动态网页提供城市街区检索引擎ArchIndex，在可定期更新的空间关系数据库的基础上，采集街区实例数据，建立形态、功能、活力三个方面的向量化指标，用于城市街区的检索与可视化。最终方案实现了分布式运行部署，可对任意城市建立索引，用云端计算与网页应用，为城市形态学研究提供了易用的工具和新的方法。

关键词 城市街区 检索引擎 空间数据库 形态量化分析 网络应用

ABSTRACT The city block search engine is a type of urban cognitive intelligence. By extracting various sources of city data and establishing a city block retrieval model, it can simplify the cognition of urban design in the early stage. This study introduces ArchIndex, featuring a dynamic web-based city block search engine. Based on a regularly updated spatial relation database, it collects city data and builds indicators of form, function and activity for retrieval and visualization of morphology. The study can establish indexes for any city through distributed cloud computing. Via its web application, it supplies user-friendly tools and pioneering methods conducive to urban morphology research.

KEY WORDS city block; search engine; spatial database; form analysis; web application

DOI 10.12069/j.na.202401015

中图分类号 TU984.11*9 **文献标志码** A **文章编号** 1000-3959 (2024) 01-0015-07

基金项目 江苏省碳达峰碳中和科技创新专项资金（重大科技示范）项目（BE2022606）；国家自然科学基金面上项目（52378008）

本文引用格式

莫怡晨, 霍夫施塔特, 李颺, 等. ArchIndex: 基于多源数据的城市街区检索引擎[J]. 新建筑, 2024 (1): 15-21.

MO Y C, HOVESTADT L, LI B, et al. ArchIndex: A web-based and data-driven retrieval system for city blocks[J]. New Architecture, 2024(1): 15-21.

莫怡晨 卢德格尔·霍夫施塔特 李颺* 唐芄

MO Yichen Ludger HOVESTADT LI Biao TANG Peng

ArchIndex: 基于多源数据的城市街区检索引擎

ArchIndex: A Web-based and Data-driven Retrieval System for City Blocks

1 城市检索引擎

检索引擎 (search engine) 是一种基于关键词的信息检索系统, 通过分析用户输入的关键词, 从数据库中检索出相关的信息。在城市设计领域, 检索引擎的使用可以简化设计前期对城市的认知和调研, 从数据库中检索出相关联的城市形态, 帮助设计师快速获取城市形态的信息, 从而辅助设计决策。然而, 现有的城市数据分布零散, 且严重依赖专用软件, 缺少集中数据的开放平台。既有的城市检索引擎仅通过特征工程实现城市街区的数据表征^[1-3], 缺乏与深度学习的整合应用; 或仅探索算法可行性, 缺少公开用户可使用的应用实例^[4]。

本研究以动态网页为媒介, 提供以城市为单位的城市街区检

索引擎ArchIndex[®], 可用于设计场地环境信息的获取与分析, 为设计师提供城市街区的形态、活力、功能等信息, 辅助设计决策 (图1)。方法流程总体分为3个部分: 首先, 从城市的多源数据建立可定期更新的空间关系数据库, 并从数据库中采集街区实例数据; 继而, 通过统计分析的方法, 建立表征形态、活力和功能的特征向量; 最后, 通过网页端交互式的检索引擎, 实现城市街区的检索与可视化。整个研究方案基于JavaScript、Java和Python的分布式实现, 可对任意城市快速实现应用程序搭建。

该检索引擎在云端部署, 基于可操作、编辑的网页界面, 为城市形态学研究提供了新的工具和方法。对给定地块的设计输入, 使用者可在地块编辑区调整街区形态及建筑分布, 接下来在

[作者单位] 莫怡晨、李颺、唐芄: 东南大学建筑学院 (南京, 210018)

卢德格尔·霍夫施塔特: 苏黎世联邦理工学院 (瑞士)

*通讯作者 (E-mail: jz_studio@seu.edu.cn)

系数调整区调整用地面积、建筑密度、形态、活力、功能的检索权重,按下搜索键后,ArchIndex将返回街区检索结果。街区以卡片按钮形式呈现,光标悬浮在卡片上可显示街区的详细信息,点击卡片可将街区置入城市整体地图中,快速定位检索结果在城市中的地理位置,从而获取城市中既有街区的形态特征。

2 城市量化表征方式的国内外研究现状

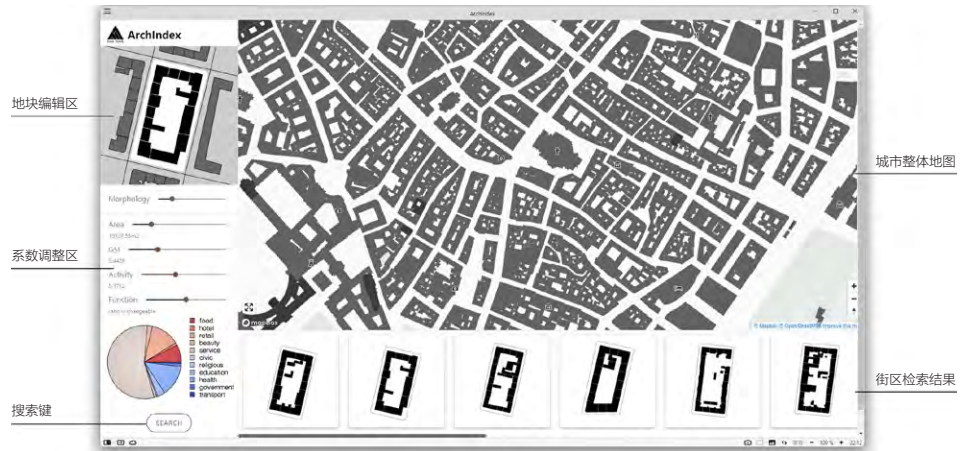
城市检索引擎的实现,需要对城市中既有建筑建立城市数据库,提炼街区形态的规则并寻找量化表征方式。其中,城市的量化表征方式是关键因素,现有研究主要分为两种:一是基于传统分析方法实现的量化方式,它依赖设计师和规划者的经验和直觉来定义和描述城市形态,强调主观的设计思考和审美判断;二是以深度学习为导向的数据分析方法,通过大规模城市数据的挖掘和学习,寻求隐含于街区形态中的模式和规律。

2.1 城市街区表征的特征工程

在机器学习和数据挖掘任务中,特征工程指的是将原始数据预处理和转换,提取关键信息,将其转化为可供数学模型使用的特征。在深度学习兴起之前,人工设计和选择一些在图像中具有特殊意义或代表性的特征,是计算机视觉领域的主要方法。在城市形态学的研究中,研究者对城市中的样本进行调研、采集数据,使用城市建筑的专业知识定义新的特征,捕捉城市结构的模式和关系,也是一种类似特征工程的做法。

建立城市中街区的关联映射,研究者关注科学的量化指标,实现从“形”到“量”的数据化^[5]。庞特(Meta Berghauser Pont)和豪普特(Per Haupt)提出了Spacematrix,建立了容积率(Floor Space Index, FSI)、覆盖率(Ground Space Index, GSI)、开敞度(Open Space Ratio, OSR)等数据指标与街区形态的关系模型^[6]。塞尔日(Salat Serge)则使用地块密度描述建成情况,用街区密度评定街区的疏密程度^[7]。季惠敏等以面积计算为基础,提出了形状率、开敞度和平滑度的街廓空间形态指标^[8]。

在城市开放数据的基础上,亦有研究者通过采集数据提取城市特征,在城市的场地中生成或置入近似的街区实例。阿古吉亚罗(Giorgio Agugiaro)等在《明日城市来自今日数据》(The city of tomorrow from...the data of today)一



1 ArchIndex 交互界面

文中提出了对居住街区定量描述的方式,总结设计参数形成新的设计方案^[9]。迪伦伯格(Benjamin Dillenburger)提出了基于形态与文脉属性的信息检索系统Spaceindex,在交互式的图形界面控制检索过程^{[2]893}。在空间索引的基础上,徐佳楠等通过相似检索与自适应形状匹配,实现空间肌理的自动织补,以罗马中心火车站周边建立数据库,获取传统空间形态的构成规则^{[3]22}。针对街区中的特定建筑类型,张柏洲等研究了街区、道路、建筑形态要素的量化表征,并根据综合的量化指标进行近似实例的检索与匹配^[10]。

街区的活力度、功能复合度亦是研究者的关注的重点。宋亚程提出了以街区为单位的可达性的分析方法^[11]。基于兴趣点数据和全球定位轨迹数据,乐阳(Yue Yang)等提出了基于POI的街区混合功能指标,描述功能的丰富度、有序性和集中度^[12];刘颂等从反映人群活动的稳定性、聚集性与多样性等3个基本特征的视角,提出了城市公共空间活力的评价体系 and 定量计算方法^[13];苏天宇等基于波士顿的公开GPS数据,提出了街道空间活力的时空测度,测量了不同功能区块的活力值^[14]。

2.2 以深度学习为导向的形态分析

随着城市在物理层面上的城市化、抽象层面上的数字化与运算化,城市数据被广泛运用于深度学习导向的形态分析中。相比定性、定量的结构化分析方法,对海量城市的数据进行抽象和简化,基于深度学习的算法形成了让神经网络模型自主提取关键信息的一系列方法^[15]。

当前,研究更多关注形态特征的量化与表

征,穆萨维(Vahid Moosavi)基于开源地图数据用卷积神经网络和自组织映射神经网络(Self-organizing Map, SOM)比较了全球962 639个城镇乡村的总体形态特征^[16],揭示城市形态的主要模式分布。在城市索引化(indexical cities)的研究中,阿尔瓦雷斯-马林(Diana Alvarez-Marín)等基于城市图像的海量数据,用卷积神经网络解析数据中反映的城市特征,如建筑密度、交通设施、绿化等^[17]。城市模式(City Pattern)的项目提取了100个不同城市的建筑轮廓数据,将城市形态与环境编码为固定长度的特征向量,比较城市建筑肌理的相似性^[18]。除了形态的向量化,也有研究者利用生成式网络,生成新的设计,费德洛娃(Stanislava Fedorova)在建立了街区图底关系数据集之后,用生成对抗网络生成空白地块中的形态,同时对比不同城市的形态参数^[19]。

从城市不同尺度层级来看,整合多源数据并解析城市数据表示已经是十分常见的研究方法,这些方法为城市检索引擎的实现提供了可行性背景。为实现城市街区的量化表征,构建可靠的城市检索引擎,本研究中以城市街区为主要研究单位,定义街区的活力度和功能复合度,并用深度学习方法提取以视觉为主的形态特征,搭建了Web端的城市街区检索引擎ArchIndex。

3 数据来源与量化测度

ArchIndex建立在城市尺度的、支持动态更新的空间关系数据库上,该数据库基于Java、PostGIS和开源数据集的Web服务,形成支持城

市街区研究和应用的数据中台。

3.1 多源数据获取

本研究使用了开放的多源数据。综合的数据来源不仅为城市街区提供了多维度的信息，还为后续相似检索引擎的开发提供了基础数据。

多源数据共分为3个部分，包括开放街道地图（OpenStreet Map, OSM）数据、兴趣点（point of interest, POI）数据和全球定位系统轨迹（GPS Exchange Format, GPX）数据，分别对应后续的街区形态、功能和活力方面的分析。为了自动提取城市街区的特征向量，研究通过OSM、谷歌地图（Google Maps）等多个平台的数据接口，获取整体城市数据。研究中使用开源的空间数据库扩展PostGIS存储空间数据，该工具能够高效地查询大规模的地理数据集，支持空间关系查询、几何操作和空间坐标变换等功能，从而能灵活和高效地分析城市的空间特征，为后续开发检索引擎网络平台提供了有力支持。

(1) OSM 数据 OSM是一个开源、自由的地图项目，允许用户共同创建、编辑和使用地图数据，具有动态实时特点。OSM中提供了良好定义的数据结构和优质完善的城市数据^[20]，主要分为节点（nodes）、路径（ways）、关系（relations）、标签（tags）4种要素。可根据标签类型将几何要素（由关系关联的节点和路径等）转译为道路、建筑、绿地、水域、公共空间等城市

要素。其中，道路可按层级从大到小分为快速路（R1）、主干路（R2）、次干路（S1）、支路（S2）、服务道（S3）^[21]。对道路标签过滤得到划分建筑用地的城市街道，形成描述城市网络的图数据结构。

(2) POI 数据 POI数据指的是地图上的特殊位置，如商店、餐馆、景点、银行、公园、医院等。ArchIndex中使用谷歌地图的应用程序编程接口（Application Programming Interface, API）获取POI数据，并将地点名称、地点类型、地理坐标等信息存储在数据库中，用于空间查询与索引。

(3) GPX 数据 GPX是一种用于存储和交换全球定位系统（Global Positioning System, GPS）数据的开放标准文件格式。常用于记录户外活动轨迹，如徒步、骑行、跑步等，以及地理信息系统（Geographic Information System, GIS）中的地理空间数据。在OSM的公开GPS轨迹数据^②中，每个数据文件包含一条或多条轨迹，每条轨迹含有一系列不定数量的轨迹点，每个轨迹点包含经度、纬度、高度、时间戳的四元组数据。

3.2 街区实例采集

街区指的是街道围合而成的区域范围，在城市形态层级中具有承上启下的作用，又是城市系统的最基本构成单元。ArchIndex中将分级为R2—S2的道路界定的多边形定义为城市街区，街区轮廓来自

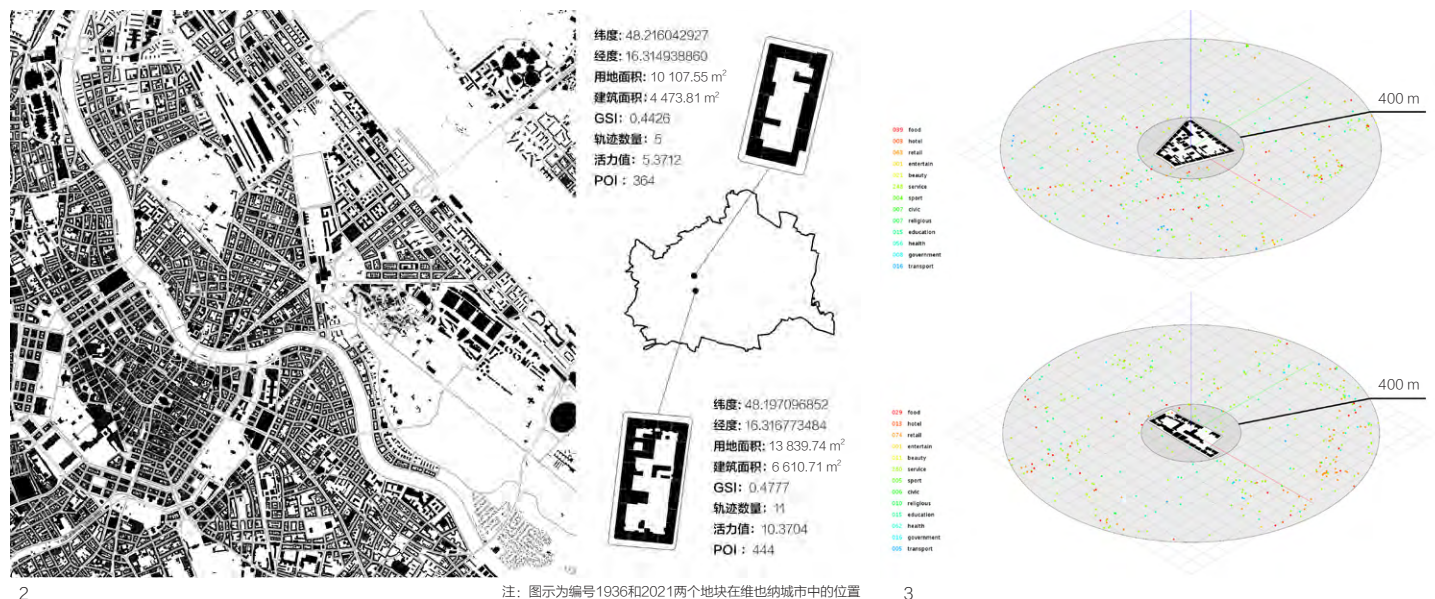
街道路网的拓扑结构，使用JTS Topology Suite几何工具包从道路提取多边形，作为街区样本的来源^{[3]21}。所获得的道路网络、街区、建筑存储在PostGIS空间数据库中，用于空间查询与索引。使用PostGIS中的查询语言，可以快速索引到每个街区多边形内所包含的建筑。以奥地利城市维也纳为例，对基础数据建立建筑密度、用地面积等相关评价指标和评价规则，结合城市历史因素、空间模式及建筑形态设置数值范围，从原始数据中可筛选出满足数值要求且数据完整的街区6 663个（图2）。

为了训练形态模型，研究中使用了不包含维也纳的欧洲城市群作为模型的训练数据，总共处理了33 130个样本。从空间数据库中查询训练数据和测试数据，总计39 793个，经过空间坐标转换后，在500×500像素大小的画布上绘制图片，存储在本地图像数据库以便训练模型和调用。

3.3 街区动态感知

ArchIndex尝试从活力和功能两个方面提供城市的动态感知。POI数据的引入使得测量街区的功能分布成为可能，进而量化和评估街区中的功能混合度。组织良好的混合功能空间能够引发丰富的互动和活动，从而营造出宜人的街区环境。研究中使用谷歌地图接口获取维也纳城市范围内兴趣点，根据预定义的13种功能分类，将原始的细粒度兴趣点标签映射为特定功能类型，统计每个地块5 min步行圈（400 m）范围内功能点的分布情况（图3）。

2 从城市街区的基础数据建立相关评价指标
3 5 min步行圈（400 m）内13种功能点数量及功能标签



2

注：图示为编号1936和2021两个地块在维也纳城市中的位置

3

研究中使用功能向量和希尔数两个指标分别描述街区的功能分布与功能混合度。

功能分布使用一个13维的向量描述：

$$Function = \frac{1}{\sum_{i=1}^{13} n_i} [n_1, n_2, \dots, n_{13}] \quad (1)$$

其中, n_i 表示第*i*种功能类型的数量。所得向量长度为13, 元素总和为1。

希尔数作为衡量一个生态系统中物种多样性的指标, 被引入城市设计用来量化 POI 的多样性³, 其一般形式为:

$${}^qD = \left(\sum_{i=1}^s p_i^q \right)^{1/(1-q)} \quad (2)$$

其中, s 表示物种数量, p_i 表示第*i*个物种在整个群落中的数量。研究中使用 $q=0, 1, 2$ 得到基于POI的功能混合度指标, 分别描述功能的丰富度, 有序性和集中度。当 q 接近1时的数学极限是明确定义的, 即香农熵 (Shannon entropy) 的指数, 通过以下等式计算:

$${}^1D = \exp \left(- \sum_{i=1}^s p_i \ln(p_i) \right) \quad (3)$$

为了探索人群活动的行为特征与时空规律, 量化街区活力指标, ArchIndex使用轨迹数据衡量活

动在特定空间中的总体数量水平, 从定量的角度来分析街区的公共活力。轨迹数据一般来自配备GPS的设备, 这些设备可被视为探测区域活动的移动传感器, 反映人的行为轨迹及时空特征。研究中截取了2008年4月11日至2021年4月11日的轨迹数据, 共计48 154 条, 用于街区活力的分析。由于开放轨迹数据不足, 难以建立一般性的时序分析, 因此采取了轨迹点计数方法。通过轨迹点的空间分布差异分析用户活动的聚集状态, 建立街区活力的定量指标。为了消除不同GPS定位设备采样方式之间的差异, 研究中对每条轨迹进行了重采样。从城市街区的包围矩形内的GPS轨迹数据分析该区域的活动情况, 轨迹被平均分成一定长度, 活动的定量指标表示为:

$$Activity = k \frac{\sum_{i=1}^T L_i}{S} \quad (4)$$

其中, S 为街区的用地面积, T 为轨迹数量, L_i 为第*i*条轨迹的长度, 系数 k 为轨迹上间隔点距离的倒数。

4 街区形态分析与相似检索

在自然语言处理领域, 人类语言需要转换成计算机可以理解的形式, 如将一篇文章或一个段落变

成向量, 这个过程被称为文本向量化。在城市形态学中, 城市街区的形态特征也需要表示成同分布、低维度的向量, 从而赋予城市街区可计算的性质。城市形态向量与活力、功能的指标共同组成街区的向量, 用于相似街区的检索任务中。

4.1 街区形态分析

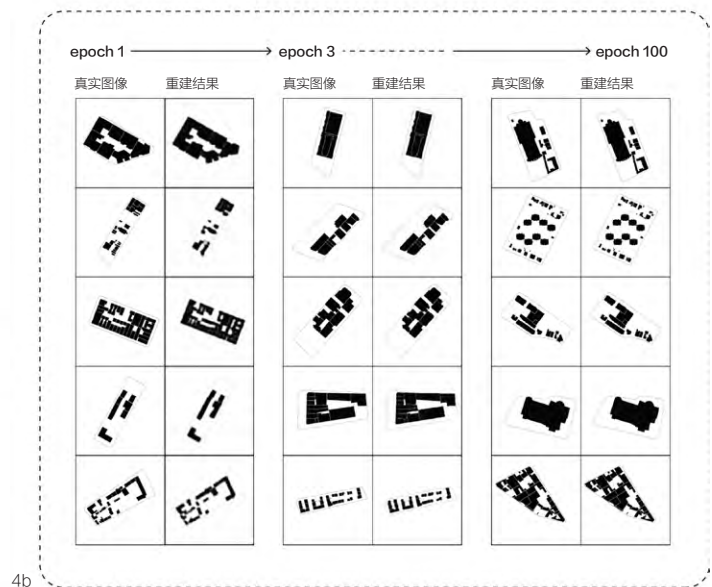
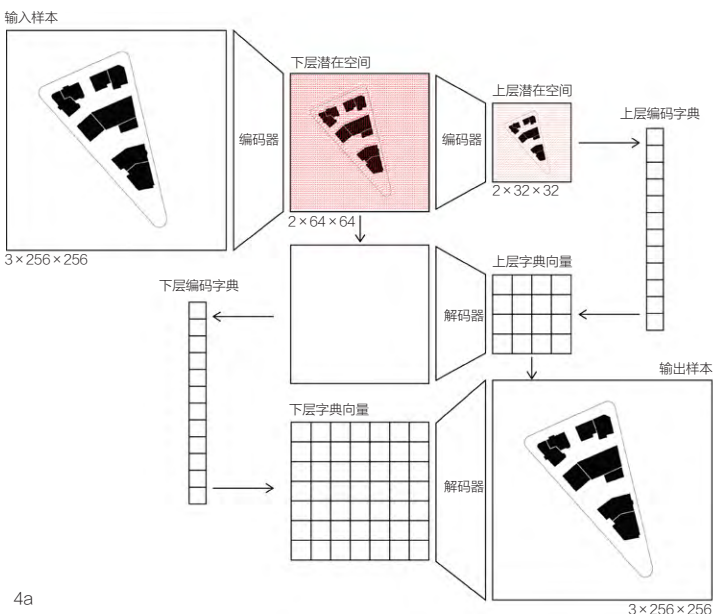
ArchIndex中使用无监督学习方法对城市街区实现量形转化, 用特征向量表示城市形态, 从而建立城市街区类型和现存肌理在城市空间体系中的关联映射。无监督学习可从无标签数据中发现其潜在的价值, 包括有效的特征、类别、结构等^[22]。通过这一方法, 从数据中获得城市街区的信息编码, 将空间形态等视觉信息通过特征映射方法量化为特征向量。本研究使用训练数据训练了矢量向量变分自编码器, 并绘制出作为测试数据的城市的街区光谱, 以相似检索问题为导向, 建立检索引擎的雏形, 增强和支持大数据语境下的城市设计决策。

(1) 城市街区光谱 城市街区的形态使用 500×500 像素大小的图片表示, 每个像素点的RGB值作为特征向量的维度, 即 $500 \times 500 \times 3=750\ 000$ 维。检索这样的高维度特征向量不仅计算量大, 而且难以从中提取城市街区

4 经过100个回合的训练, VQ-VAE-2能精确重建出原始输入的原图像

a VQ-VAE-2网络结构

b 训练过程中在测试数据上的泛化过程



的形态特征。本研究中使用不含维也纳的33 130个样本训练了一个向量量化变分自编码器（Vector Quantized-Variational AutoEncoder 2, VQ-VAE-2）^[23]，其中编码器部分将特征图编码为低维度，拼接为长向量作为城市街区的特征向量（图4）。经过100个回合（epoch）的训练后，可以看到良好的泛化效果。训练好的编码器可被提取出来用于城市街区的编码，将6 663个城市街区的测试数据编码为特征向量，作为城市研究的形态样本库。

ArchIndex使用t-SNE算法，将城市街区的高维隐空间降维为城市街区光谱，展示了城市中既有街区多元且连续变化的图景（图5）。相似的建筑街区在二维平面上呈现不同的层次，新设计的街区也能动态地置入光谱中，便于比较其与城市中既有街区的相似度。

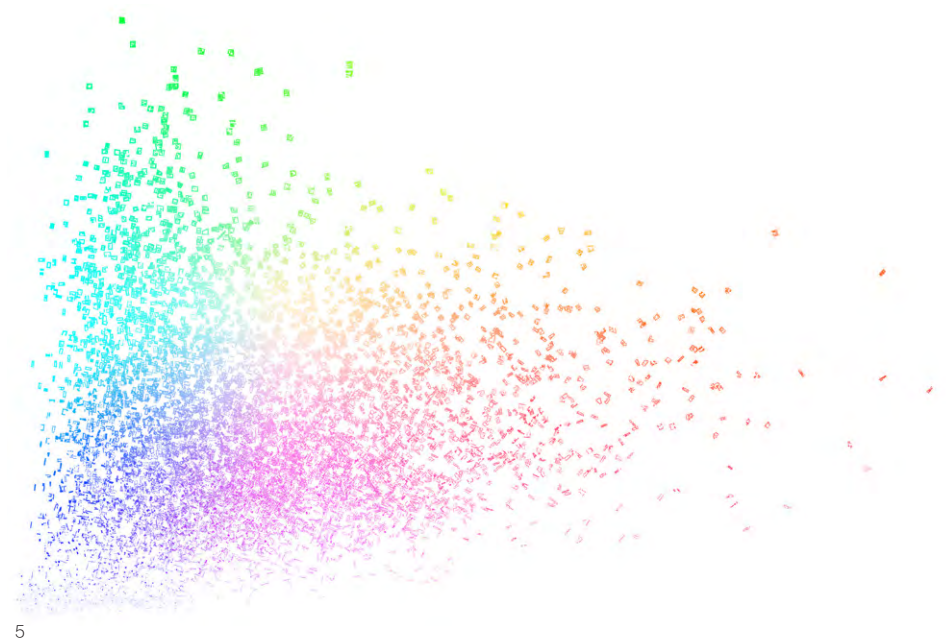
（2）街区原型探究 聚类分析为城市街区提供了有限样本并形成城市空间切片，对每个聚类使用降维方法投影到二维平面上，可获得每种类别在城市中的分布特征。在罗西（Aldo Rossi）所建立的类型学研究中，建筑类型投射出人类心理经验中的集体记忆，从人最基本的生活方式形成典型的建筑内在法则。城市建筑具有有限数量的类型，因此可以通过聚类算法实现聚类个数，从数据中发现基本街区类型。

本研究假定城市街区具有高斯分布，使用高斯混合模型（Gaussian Mixture Model, GMM）对形态特征向量进行聚类，模型确定成分数量为12，即得到12个样本数较为均匀的基本街区类型。单个聚类内样本形态特征体现出一定的相似性，且具有明显类型特征。使用与城市街区光谱相似的t-SNE算法，得出了将聚类编号为7的样本在二维上的分布状态（图6）。

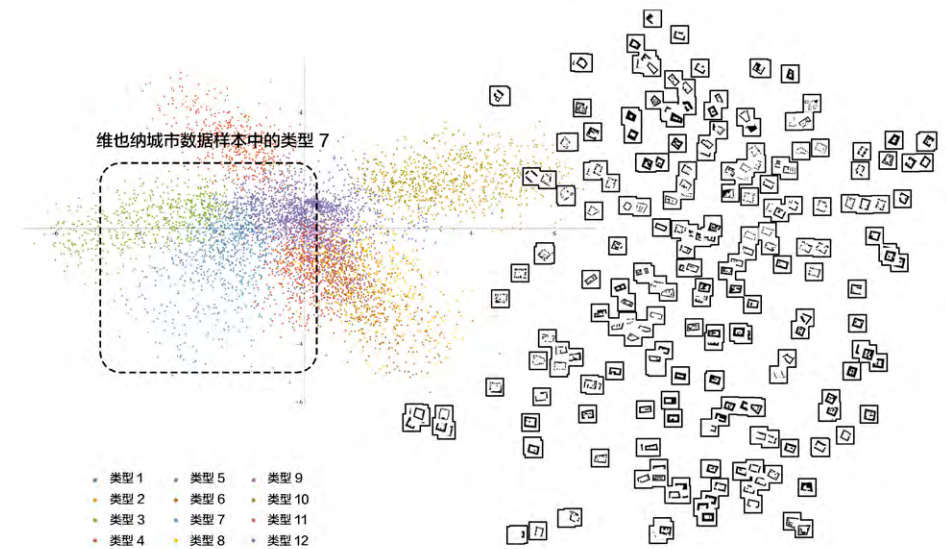
4.2 相似检索问题

相似地块的检索问题可以规约为数学上的最近邻问题（Nearest Neighbor Problem），考虑一个空间中的点集合，最近邻问题的目标是找到距离一个点最近的邻域点。假设有一个空间 X ，其中包含 N 个点 x_1, x_2, \dots, x_N ，每个点 x_i 的坐标可表示为一个 D 维向量，即 $x_i=(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$ 。两个点之间的距离使用距离函数度量，通常采用的是欧式距离（Euclidean Distance）。对于两个点 x_i 和 x_j ，它们之间的距离 d_{ij} 定义为：

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (5)$$



5



6

5 城市街区光谱

6 基于变分高斯混合模型聚类的12个类别

注：图示为聚类编号7内所有样本结果，其中每个点表示一个街区

最近邻关系可表示为一个函数，将一个点映射到其最近的邻域点，令 N_i 表示点 x_i 的最近邻，即：

$$N_i = \underset{j \neq i}{\operatorname{argmin}} d_{ij} \quad (6)$$

其中 argmin 表示使得 d_{ij} 最小的 j ，即与 x_i 最为相似的样本。本文通过计算输入样本与其他样本的距离，找到最近的 K 个样本。

以形态向量表示的街区为例，相似街区的检索从输入图片的处理开始，获得输入图片的形态向

量后，从样本空间检索查询相似的样本（图7）。在后续检索引擎ArchIndex的网页应用中，使用者可修改场地内的建筑分布，交互地获得样本检索结果，在城市更新项目中可依据现有城市肌理完成空间织补。

（1）多指标归一化处理 城市街区的各项指标的数据量级差异巨大，因此首先要对整个城市样本做归一化处理，将前面研究中所计算的城市街区各项指标分别归一化，作为城市街区的向量化表

征，用于检索引擎的加权检索过程当中。归一化的目的是将不同维度的数据统一到同一量纲下，消除数据量级对结果的影响，使不同指标之间具有可比性。因此使用最大最小值归一化方法，将数据线性映射到 [0, 1] 区间内：

$$Normalized_y = (X - X_{min}) / (X_{max} - X_{min}) \quad (7)$$

其中， Y 在本研究中分别指代形态特征向量、活力值、功能向量、功能混合度、用地面积和建筑密度， X 为原始数据， X_{min} 和 X_{max} 分别为原始数据的最小值和最大值。

(2) 多指标相似检索 ArchIndex 中将定义一个街区包括形态、活力、功能三个层级的多个指标，因此在相似检索任务中，需要加权求和计算相似度得分。假设有 n 个指标，每个指标用 s_i 表示，对应的权重为 w_i ，那么相似度得分的公式可以表示为：

$$Similarity = \sum_{i=1}^n w_i s_i \quad (8)$$

在具体的使用中， w_i 为用户控制变量。使用者通过网页端的滑动条调整权重，交互地获得样本检索结

果。通过调整参数系数，对比了分别使用形态特征向量和建筑密度、用地面积指标的不同检索结果 (图8)。

4.3 检索引擎架构

当用户检索相似街区时，网页端首先收集用户输入的街区图像与检索参数，接下来需要调用预训练的神经网络编码器 (Encoder)，将用户输入的图像编码为长向量；随后，程序需要汇总各类检索指标和权重，使用距离函数计算检索样本与城市数据库中样本的匹配程度，向用户返回依据关联程度匹配的结果。这便是用户检索在 ArchIndex 中的工作流程。

ArchIndex 是分布式的云端应用，其网页端使用 WebGL 实现，提供了友好的交互界面。云服务器上运行的 Node 后端使用基于 WebSocket 的数据协议连接不同功能模块，主要功能模块包括 Java 端的城市空间数据库服务和 Python 端的神经网络运算，分别运行在两台不同的服务器上。这种部署方案提供了灵活可变的整体架构，可方便地更改和比

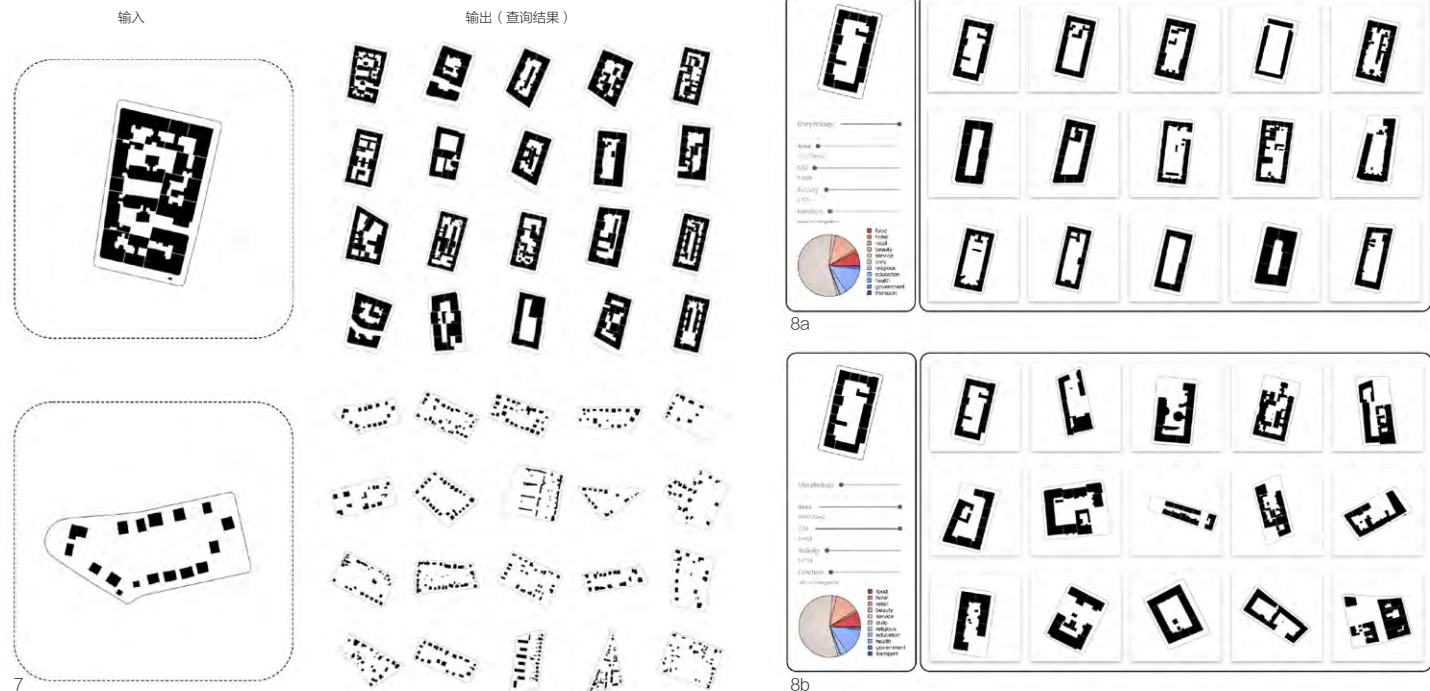
较不同的神经网络模型，并能将应用迁移为其他城市的数据服务 (图9)。

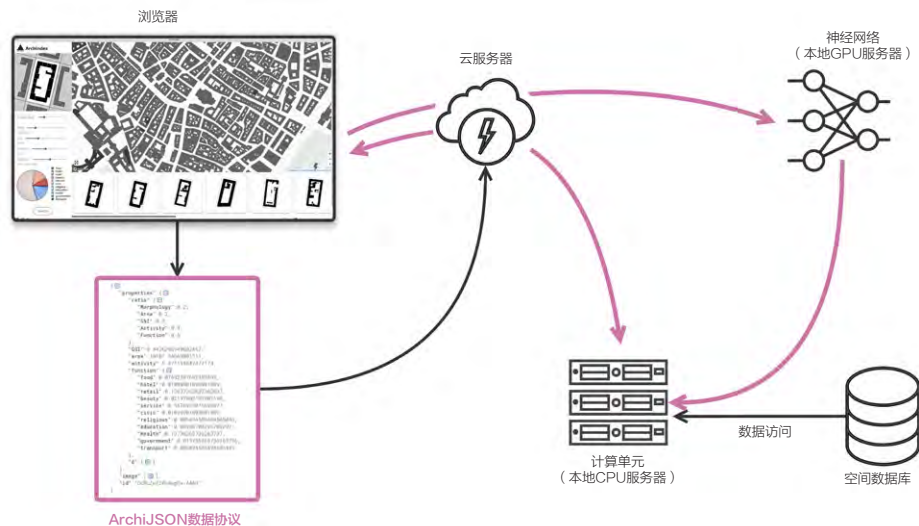
5 结论与展望

设计师和研究者可根据城市中街区的形态、指标等信息，使用 ArchIndex 在设计前期辅助设计决策。这有利于评估历史城市结构形式的价值，重新发现城市文脉的意义。本研究成果以网页形式呈现，使任意用户都能通过交互式的网页平台获取城市的整体特征，进而理解城市历史肌理。同时，研究中所采用的方法和工具链建立了城市街区不同描述性指标的比较机制，可以快速设置和构建适用于不同城市的网页应用程序。基于维也纳的开放数据，本研究试图从中探索并提炼描述性指标，将城市街区向量化。然而，由于研究中使用的开放轨迹数据量偏少，导致了在活力指标测算上的不完善。此外，在空间关系和图形结构的对比上，研究还需验证神经网络模型对城市街区形态认知的准确性。

总体而言，ArchIndex 使用无监督的深度学习

- 7 以实例库中数据作为输入进行测试，查询程序将返回数据库中相似形态的城市街区结果
- 8 基于神经网络提取的形态特征向量和基于建筑密度及用地面积的量化特征提取两种方式
 - a 使用形态特征向量进行检索得到形态相似的结果
 - b 仅使用建筑密度和用地面积两项指标进行检索得到的结果





9 ArchIndex 检索引擎的总体架构

方法对城市街区实现量形转化，用特征向量表征城市形态，为客观理解城市街区类型和现存肌理在城市空间体系中的关联提供了新方法。基于开放数据和深度学习方法，算法模型能隐性转化设计编码，超越人类思维定式的逻辑限制。研究还联动传统的指标计算和量化方法，建立了智能化的数字设计系统和跨学科的城市设计研究平台，为城市索引、设计案例推荐、城市街区光谱提供技术支持，设计师可以从大量城市案例中汲取城市街区设计与更新的灵感。ArchIndex为城市的存量更新和城市设计的前期分析提供了有力工具，对城市形态学在设计前期的应用起到巨大推动作用。□

图片来源：图2中城市轮廓线数据引自OpenStreet Map；图4a根据文献[23]改绘；其余图片均由作者绘制。

注释

- ① ArchIndex网页应用可参见：<https://index.archialgo.com>。
- ② 公开GPS轨迹数据可参见：<https://www.openstreetmap.org/traces>。
- ③ 多样性指数是一种定量度量，反映数据集（例如群落）中有多少种不同类型。

参考文献

- [1] 唐芃, 李鸿渐, 王笑, 等. 基于机器学习的传统建筑聚落历史风貌保护生成设计方法: 以罗马Termini火车站周边地块城市更新设计为例[J]. 建筑师, 2019(1): 100-105.
- [2] DILLENBURGER B. Space index: A retrieval-

system for building-plots[C]//SCHMITT G, HOVESTAD L, VAN GOOL L. eCAADe 2010 Conference: Future Cities: Proceedings of the 28th Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe. Zurich: Vdf Hochschulverlag AG, 2010: 893-899.

- [3] 徐佳楠, 李鸿渐, 李颢. 城市更新中的实例辅助方法探索[J]. 新建筑, 2018(4): 19-23.
- [4] 蔡陈翼, 李颢, 霍夫施塔特. 神经网络导向的形态分析与设计决策支持方法探索[J]. 建筑学报, 2020(10): 102-107.
- [5] 丁沃沃. 基于城市设计的城市形态数据化浅析[J]. 江苏建筑, 2018(1): 3-7.
- [6] PONT M B, HAUPT P. Spacematrix: Space, Density and Urban Form[M]. Rotterdam: nai010 publishers, 2010.
- [7] SERGE S. Cities and Forms: On Sustainable Urbanism[M]. Paris: Hermann, 2011.
- [8] 季惠敏, 丁沃沃. 基于量化的城市街廓空间形态分类研究[J]. 新建筑, 2019(6): 4-8.
- [9] AGUGIARO G, GONZÁLEZ F G G, CAVALLO R. The city of tomorrow from...the data of today[J]. International Journal of Geo-Information, 2020, 9(9): 554.
- [10] 张柏洲, 莫怡晨, 李颢. 城市形态生成设计的案例推理策略研究: 以街区尺度为例[J]. 南方建筑, 2023(1): 9-18.
- [11] SONG Y C, ZHANG Y, HAN D Q. Access structure[J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2021, 48(9): 2808-2826.
- [12] YUE Y, ZHUANG Y, YEH A G O, et al. Measurements of POI-based mixed use and

their relationships with neighbourhood vibrancy[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2017, 31(4): 658-675.

- [13] 刘颂, 赖思琪. 大数据支持下的城市公共空间活力测度研究[J]. 风景园林, 2019, 26(5): 24-28.
- [14] 苏天宇, 孙茂然, 范庄媛, 等. 街道脉搏: 基于GPS数据的街道活力时空特征测度[C]//中国城市规划学会城市规划新技术应用学术委员会, 广州市规划和自然资源自动化中心. 共享与韧性: 数字技术支撑空间治理: 2020年中国城市规划信息化年会论文集. 南宁: 广西科学技术出版社, 2020: 403-412.
- [15] 胡苇, 孙澄宇, 张冬冬. 人工智能参与下的建筑设计框架[J]. 新建筑, 2023(3): 50-56.
- [16] MOOSAVI V. Urban morphology meets deep learning: Exploring urban forms in one million cities, towns, and villages across the planet[M]// CARTA S. Machine Learning and the City: Applications in Architecture and Urban Design. Hoboken: Wiley, 2022: 379-392.
- [17] ALVAREZ-MARIN D, OCHOA K S. Indexical Cities: Articulating Personal Models of Urban Preference with Geotagged Data[EB/OL]. (2020-01-23)[2023-12-01]. <https://arxiv.org/abs/2001.10615>.
- [18] 李颢, 张佳石, 霍夫施塔特, 等. 算法模型解析设计黑箱[J]. 建筑师, 2019(1): 94-99.
- [19] EDOROVA S. GANs for Urban Design[EB/OL]. [2023-12-01]. <http://arxiv.org/abs/2105.01727>.
- [20] HAKLAY M. How good is volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2010, 37(4): 682-703.
- [21] BEIRAO J, MONTENEGRO N, LOPES GIL J, et al. The city as a street system: A street description for a city ontology[C]//SAMPALIO NARDELLI E, VINCENT C. From Modern to Digital: The Challenges of a Transition, Proceedings of the 13th Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics. Sao Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2009: 132-134.
- [22] 邱锡鹏. 神经网络与深度学习[M]. 北京: 机械工业出版社, 2020.
- [23] RAZAVI A, VAN DEN OORD A, VINYALS O. Generating diverse high-fidelity images with VQ-VAE-2[C]//WALLACH H M, LAROCHELLE H, BEYELZIMER A, et al. Proceedings of the 33rd International Conference on Neural Information Processing Systems. New York: Curran Associates Inc., 2019:14866-14876.

收稿日期 2023-12-01

编辑: 朱晨