

莫怡晨 李飏*

东南大学建筑学院, 江苏, 南京, 210096; moyichen@seu.edu.cn

Yichen Mo, Li Biao*

School of Architecture, Southeast University; moyichen@seu.edu.cn

基于多数据源的城市空间数据库设计研究

——以意大利普拉托为例*

Implementing Urban Spatial Database

——Case Study of Prato, Italy

摘要: 大数据的应用亟需建立城市抽象的数据表示, 这是数字化方法中最为基础的一环。数字技术运用于城市设计时通常使用地图数据作为数据源, 未经封装的地图数据缺少学科针对性, 相对零散, 且以协作为主的设计流程需要新的工具来运用大量城市数据。本文借普拉托城市设计课题, 以整个城市为研究对象, 提出了基于多数据源建立空间数据库的方法, 为设计分析提供数据基础和数字化工具。该方法应用完全支持 OGC 开放数据规范的 PostGIS, 从多个数据源中聚合并整理具有建筑学意义的数据库; 使用程序自动构建并能与网络数据源同步, 适应城市动态更新的特性; 数据库部署于服务器上, 解决了设计过程中多用户操作同一数据源时的冲突问题。最后, 本文建立普拉托城市空间数据库, 运用数字技术进行前期分析, 其结果证明该数据库可为城市数字模型提供合理抽象表示, 同时建立起具有科学性的分析范式, 运用在数据驱动的设计方法中。

关键词: 空间数据库; 数据模型; 城市设计; 设计支持工具; 城市设计分析

Abstract: The application of big data requires an abstract representation of the city, which is the most fundamental part of the digital approach. Urban design applications of digital technologies often use map data as a data source, which is lack of disciplinary relevance. Based on collaboration, design process requires the development of appropriate design tools to use varieties of urban data. In this paper, we propose a spatial database based on multiple data sources, with the whole city as the research subject, providing a data base and digital tools for design analysis. Our method integrates PostGIS applications which fully support the OGC standard, aggregates and organizes data from multiple sources, which is meaningful to architecture. This digital tool is automated regularly synchronize with online data source, adapting to the dynamic and updated nature of the city. Deployed on a server, it also resolves the conflicts in urban design when multiple users operate the same data. Finally, this paper establishes the Prato Urban Spatial Database, using digital technology for pre-analysis. The results show that the database can be used for Urban numerical models provide a rational abstract representation while establishing a scientifically sound analytical paradigm for data-driven design methods.

Keywords: Spatial databases; Data model; Urban design; Design support tools; Urban design evaluation

1 引言

1.1 城市数据基础

基于数据的数字方法逐步改变了依赖经验的建筑设计工作, 人们越来越多的习惯于用大数据方式来描述城市和建筑^[1]。随着工具的发展, 建筑师使用少量编程就可以实现复杂的机器学习算法进行数据分析。这种分

析方法需要建立在适用于建筑学描述的城市数据结构之上, 对数据来源和数据存储形式提出了挑战。本研究提出基于多数据源自动整合具有建筑学意义的数据库, 建立城市空间数据库的方法, 能够快速检索几何、功能等城市基本信息, 为设计分析提供数据基础和查询工具。在建立数据库后, 只需少量代码就可以获得具体位置的道路建筑等的矢量图元, 以及功能、面积、高度、距离等信息。获得结果以可视化呈现, 能控制视野尺度,

* 自然科学基金面上项目“以特征向量矩阵运算为导向的建筑空间组合与生成系统研究”(编号: 51978139), 国家自然科学基金重点项目“数字建筑设计理论与方法”(编号: 51538006)

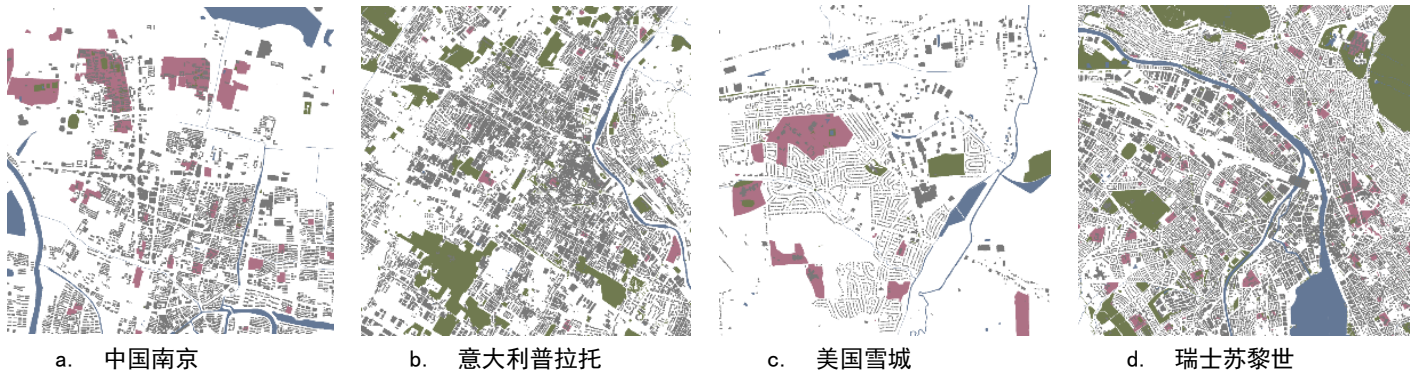


图 1 多个城市同尺度下校园分布图

要素颜色等，用于前期工作中的分析与设计。该方法探究城市抽象的数据表示，目的是为城市设计提供支持作用，称为城市数据基础。

1.2 城市数据基础技术特征与设计要求

城市数据基础以整个城市为建立数据库的对象，具有大数据、自动化、交互性、复合性和生长性五个技术特征^[2]。面向数字化工作流程，可对城市数据基础提出如下要求：

(1) 数据的聚合与整理：现代化城市中每天都在产生大量数据，未经整理的数据无法使用，需要以建筑学的专业视角从数据中提取有用信息。此外，单一数据源存在数据标签不足、侧重点偏差等问题，因此聚合多个数据源数据是必要的。

(2) 适应城市动态更新：城市会随着时间动态更新，数据基础需要能应对这样的动态特性，自动更新一段时间内发生的更改，以避免每次设计重新获取数据的重复劳动。

(3) 满足多人协作模式：建筑设计始终是以协作为主的，城市数据基础要能满足多人同时使用的需求，在多人同时访问或修改时保持数据一致性和正确性，一次有效修改能作用于后续的操作。

1.3 面向算法鲁棒性的实验选址

本研究课题来自中意联合教学，以意大利普拉托为例建立城市空间数据库。普拉托是意大利中部第三大城市，托斯卡纳地区第二大城市，仅次于佛罗伦萨，城市结构特点鲜明；拥有意大利第二多的华人人口，是意大利少数几个经济处于增长状态的城市之一；设计中面临着工业遗产更新改造、中意文化交流融合等机遇与挑战。作为意大利城市，普拉托的在开源地图数据网站上的数据详细，满足分析的粒度，在政府网站上公开有各区域人口年龄、种族、性别、职业等数据，但正如大多数城市，开源数据数据项细节上有明显缺陷，如建筑物功能、高度信息、地块数据上的缺失，具有一定典型性。针对普拉托开展研究，分析具有普遍性的城市要素并进

行抽象，可建立对大多数城市适用且可扩展的算法。具有算法鲁棒性的研究成果可用于任意城市，图 1 为笔者运用本文方法所获得并可视化的其他城市数据。

2 相关技术与研究

2.1 空间数据库与开放地理空间数据规范

为了实现数据共享、同步与更新，城市数据基础需要建立空间数据库，并部署在服务器上。空间数据库以关系数据库为基础，能将图形数据和属性数据无缝融合。图形数据项作为单独的列，加入到关系数据库的表中，与属性同时描述一个对象，形成的集合足够建立复杂的城市数据基础。在此之上，还应使用数据规范以满足数据共享和消息传递的需求。

国际标准化组织开放地理空间协会（OGC）的简单要素标准（SFS）给出了描述客观世界的规范，并包括数据库标准查询语言 SQL 中对简单要素的实现。简单要素定义了点、线、面和多点、多线、多面等几何对象，还涉及基本几何操作和查询^[3]。

开放数据规范的使用可以提高软件的互操作性和前后兼容性，开源应用亦能免于技术上的孤立和受制于单一供应商的风险。本研究因此基于 PostGIS 设计开发城市空间数据库。PostGIS 是基于开源数据库 PostgreSQL 的空间数据引擎，完全支持 OGC 的开放数据规范，能进行空间数据管理、数量测量与几何拓扑分析等。作为广泛应用在地理数据库上的插件，PostGIS 在多数编程环境中集成有易用的数据接口，便于开发相关应用。

2.2 城市数据基础相关研究

近年来，城市问题愈加复杂，人们开始从数字运算与应用研究中寻找新的方法，数据库的思想也运用到了城市设计中。李鸿渐等人^[4]基于网络数据建立建筑实例库，运用于罗马火车站周边区域城市更新。但是该方法使用文件存储的方式进行交互，每次需要将所有数据读

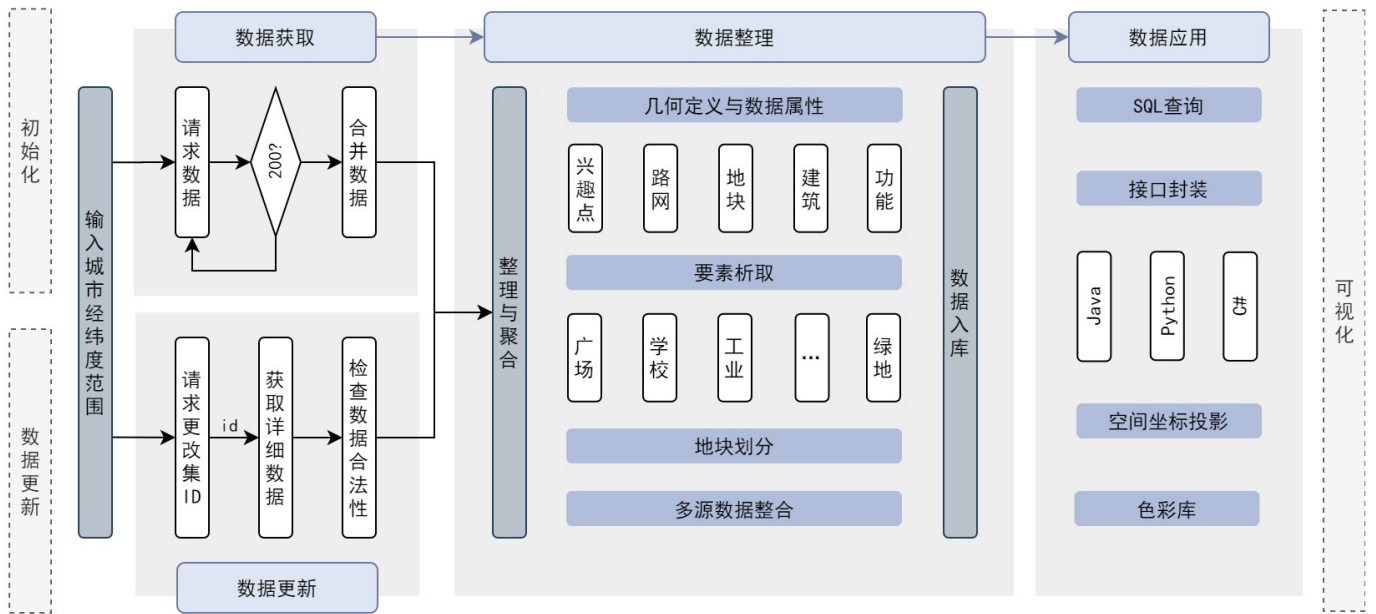


图 2 自动化构建与更新工具工作流程

到内存中，方法只适用于局部地块。应用该方法建立案例库需要每次重新从网络获取数据，且不能应对城市动态更新的情况。Gil 等人^[5]提出城市信息模型（CIM）的概念，将空间数据库用于城市设计中，把城市环境抽象为景观、建成环境、路网、边界、信息系统五个特征组，同时对设计流程进行数据库层面的抽象，可用于多个平台协作。但从城市数据基础的角度看，该研究缺少自动化构建工具，且没有对应到具体能使用的数据。

3 方法

3.1 数据来源

城市是一个复杂综合体，而数字化的城市描述某种程度上来说是意义的缩小。不同数据来源的数据往往为特定目的产生，描述内容是城市的一个侧面。完整描述需要尽可能丰富的数据来源，并要求算法将不同数据来源的数据容纳到同一框架中。

研究中使用 OSM 开源地图数据作为最主要的几何要素的来源，通过解析数据项标签，将城市的地理描述转译为建筑设计中的描述。Google 数据的引入将兴趣点数据从两千余条增加到两万余条。数据的聚合与整理可提高城市数据基础的综合性，尽可能在抽象层面充分描述城市。

3.2 自动化构建工具工作流程

为构建城市的数据基础，本文使用 Java 编程语言开发了自动化的构建与更新工具。整个工作流程可分为四个模块，流程如图 2 所示。初始化阶段从网络接口获取数据（Acquire），并使用数据整理工具（DBWorker）对

数据进行梳理并自动化执行数据入库的操作。数据更新（DBUpdater）则可在未来工作流程中，汇集一段时间 ChangeSet 中的数据操作，并入数据库之中。数据应用模块（DBHelper）则封装了易用的数据库接口和可视化工具。

(1) 数据获取：输入城市行政轮廓的经纬度范围，数据可直接向网络接口请求数据，根据请求返回码确定是否缩小请求范围，递归得到经纬度范围内所有数据。去除请求到数据中的重复元素，数据合并得到原始数据文件作本地储存。

(2) 数据整理：从数据源获取到的数据需要进行整理和聚合，是本文工作的核心，包括几何定义、要素析取、地块划分、多源数据等部分。几何使用地理坐标定义，统一为符合简单要素标准的数据定义；属性以键值对（Key-value pair）标签的形式描述，根据标签表自动构建筛选工具，有目的地筛得道路、建筑、功能等信息。析取得到的建筑要素具有几何描述和空间关系描述，以及其他与该要素相关的基本属性，整理依据与结果在 3.3.1 节中以图示介绍。地块划分用到上一步中分好层级的道路，使用 JTS 几何工具包将道路边界限定的



图 3 城市数据更新状况（2019.12.05-2020.06.05，普拉托）

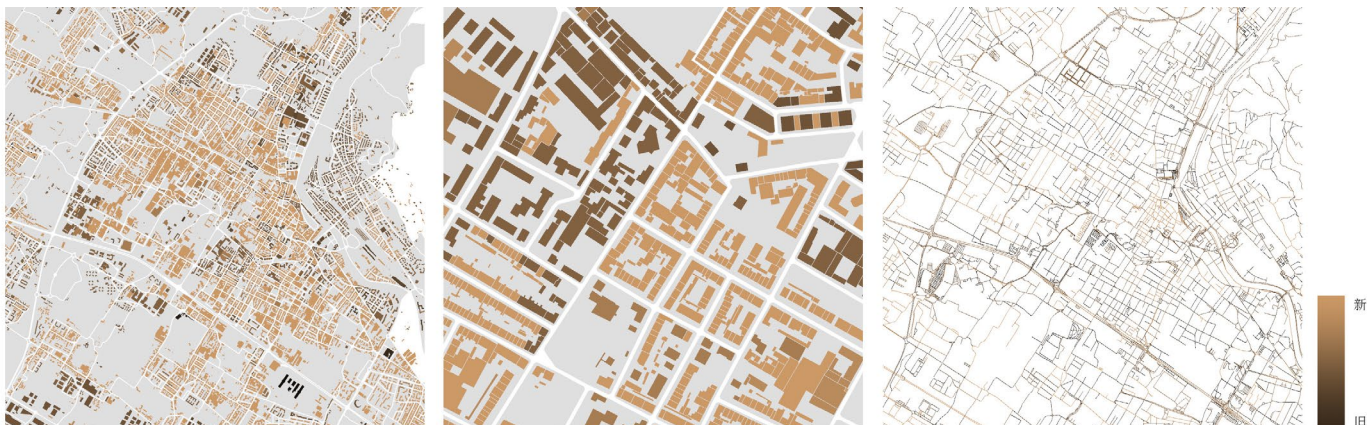


图 4 原始数据记录了每个数据版本的更新时间，从中获取到年份进行数据可视化

多边形作为城市街区。不同来源的数据大致都能采取相类似的工作流程，并在这一步中聚合。网络收集到的裸数据处理完毕才会被存入数据库相应表单中。

(3) 数据更新：与数据获取类似，数据更新同样通过网络请求实现，使用接口获取一定时间范围内的 ChangeSet ID，再根据这些 ID 得到详细数据。数据更新包括增加数据、修改数据、删除数据三种：增加数据使用获使用数据整理中方法，与旧数据聚合到数据库中；修改和删除数据则根据 ID 找到数据项进行更新或删除。图 3 为半年内普拉托城市数据更新情况，包含四千余条记录。

(4) 数据应用：数据库建立后，可以直接使用 SQL 语言进行查询，使用 PostGIS 中的函数可执行按标签获取数据、计算场地面积等操作。对常用的数据查询事务进行封装，开发轻量的可视化工具，简化数据库的使用。可视化部分重写了大地坐标到模型空间内世界坐标的投影，应对地理应用中尺度缺失的问题。查询结果可直接可视化呈现，是符合建筑师实际工作需要的设计。

3.3 城市空间数据库的设计与使用

数据库的设计分为三个步骤：(1) 确定基本数据结构，将现实世界模型化；(2) 给定数据库的物理构造，描述数据在数据库中的存储和存取方式；(3) 从用户和应用的视角观察数据库，以完善数据库的设计^[6]。本节也从这三个方面展开介绍。

3.3.1 数据作为城市的描述

在使用数据描述城市的过程中，不仅要关注形态学层面建筑、城市设计和城市空间的总体关系^[7]，还要对原始数据表达内容有深入了解。本研究根据普拉托城市设计课题的需要，从建筑学的专业学习和认识中提取要素，包括如下几个层面：

(1) 功能：功能点（图 5）是数据库中最主要的点要素，它在一个地段的分布往往可以体现其活力和功能



图 5 功能点



图 6 道路网络



图 7 区域



图 8 肌理

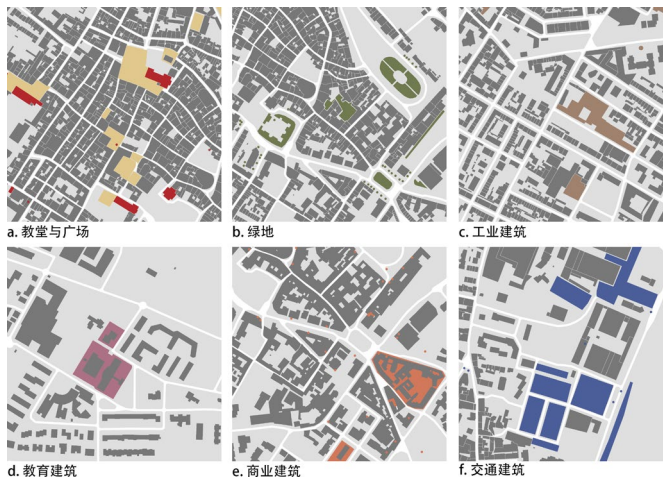


图 9 公共空间——城市集体记忆

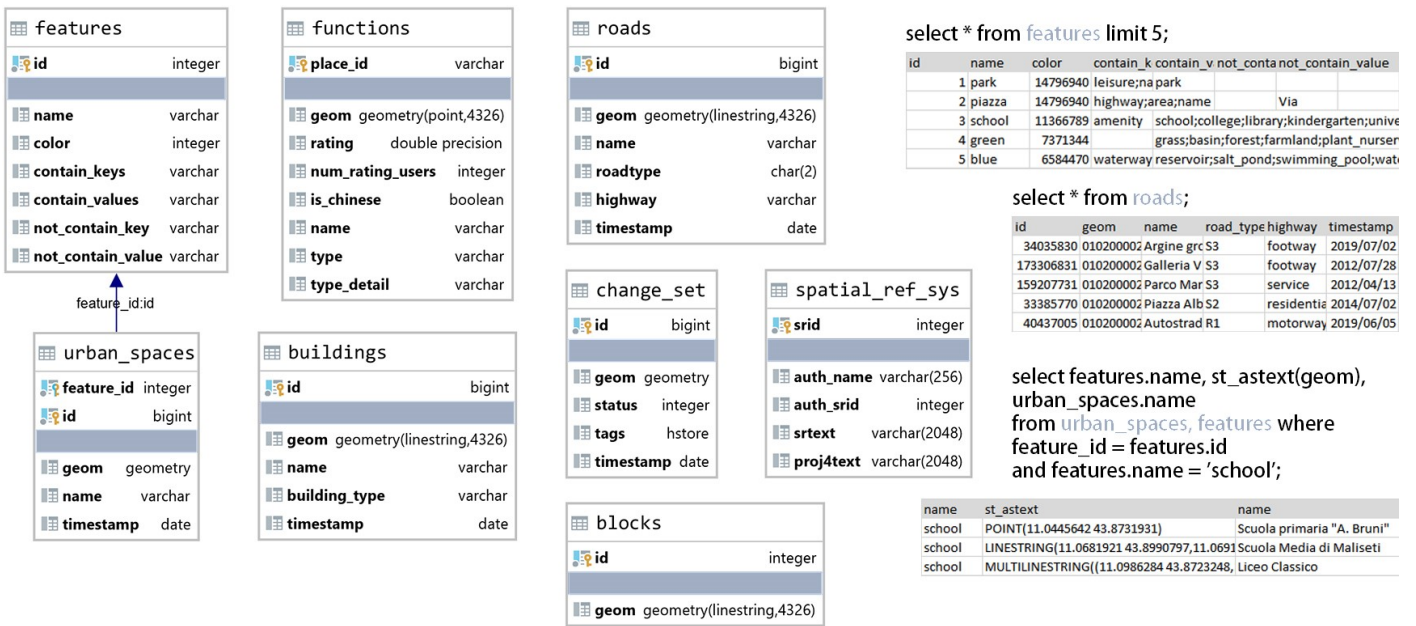


图 10 数据库关系图及部分数据表数据示例

类型，对原始数据标签进行筛选可得。

(2) 层级：城市中的道路具有分层结构（图 6），通过对数据标签归纳，道路网络被分为 R1、R2、S1、S2、S3 五个等级^[8]。在数据库中可快速检索一个建筑周围道路的等级。

(3) 区域：从分层的路网可以得到区域的划分（图 7），去掉了最大的城市间道路和最小的服务性道路两个层级，将道路围合的多边形作为区域^[9]。

(4) 形态：描述目的是得到建筑形态上在城市空间中的分布，存储建筑轮廓的多边形（图 8）。

(5) 意象：筛选出广场、学校以及文化建筑，工业建筑等，从公共空间（图 9）的分布来描绘一个城市的集体记忆^[10]。

(6) 时间：保留原始数据的时间戳（图 4）作为记录，是真实城市物理上的更新在时间维度上留下的标记。本文所提出的城市数据基础一旦建立，就成为城市的数字备份。

3.3.2 数据库关系模式设计及表结构

在将城市抽象为数据模型的过程中，需要提取典型城市要素，相较一次构建就涵盖城市设计所有要素，数据表可设计为能满足添加要素的要求。在具体的设计中，表现为使用 feature 表存储筛选标签，再将 id 作为外键（Foreign Key）用于城市的数据描述中。

数据表 functions, roads, blocks, buildings, urban_spaces 依次对应 3.3.1 中功能、层级、区域、形态、意象五个建筑要素，时间在每个表中以 timestamp 属性存在（图 10）。图 10 中还给出了数据表中数据存储的具体形式以及相应的查询语句。

3.3.3 数据库用于城市设计

通过使用数据库对建筑要素存储，设计师通常用少量代码就能获取到需要的城市数据用于分析。通常来说实现了普遍适用的算法，就可以为所有城市的分析提供范本和框架。在使用数据库的过程中，可以反过来观察数据库设计的不足之处，在实践中逐步完善。

数据库功能可从基础检索、进阶检索、分析单元和交互功能四个方面体现：

(1) **基础检索** 基础检索可用于直接获取基本数据，如获取道路的地理坐标。道路坐标可用于获取该位置点的城市街景，建立街区的立面案例库。图 14 为普拉托随机 98 个街景样本，在数分钟内就可从图像得到城市大致印象。

(2) **进阶检索** 以数据库中的数据为基础可建立建筑案例库，用于进阶检索。在基于案例推理的数字方法中，场地形状是检索的重要组成部分^[4]，通常使用形状指数来保持与其他检索项如容积率、绿地率等在数据类型上的一致。图 11 为使用 Boyce-Clark 形状指数，将二维图形映射到一维实值的一个例子。

(3) **分析单元** 数据库的数据项可作为基本分析单元，如以点为单位分析功能表中兴趣点名称。在普拉托两万多个兴趣点中，使用语言检测工具可以找到 866 个具有明显中文名称的兴趣点（图 13）。这是由于在普拉托，华人人口约占 15%，很多街道亦张挂着中文招牌。

(4) **交互功能** 与数据库的交互指用户对数据的读写。如要给获取每个建筑周围建筑的主要朝向，并作为属性存储在每一个建筑上，由他人考虑如何应用。首先要在 buildings 表中增加列，再将使用主成分分析得到的

向量（图 12）更新到表中，用于后续使用。

4 总结

本文提出了基于多数据源的空间数据库的设计方法，主要成果在如下三点体现：（1）对城市设计中涉及的典型要素进行了归纳和抽象，并以其空间数据和基本属性设计建立空间数据库；（2）实现了自动化的数据库构建与更新工具，该工具已在实际研究中运用，可减少数据获取上的负担；（3）尝试实现普遍适用的城市分析算法，为所有城市的分析提供范本和框架。

城市空间数据库的建立是为大数据在建筑设计上的应用而来，拓展了建筑内涵，提出了设计过程的新模型。本研究对地理开源工具的运用充分证明使用数字工具可以部分去除专业壁垒；在研究方法上符合建筑学以解决问题为导向的特征，能用于以分析为核心的设计方法之中；最终指向是建筑问题合理的数学描述，从而能为建筑设计建立真正的数据基础。

参考文献：

- [1] 李飏,张佳石,卢德格尔·霍夫施塔特,郭梓峰,魏力恺. 算法模型解析设计黑箱[J]. 建筑师,2019(01):94-99.
- [2] 甘惟. 国内外城市智能规划技术类型与特征研究[J]. 国际城市规划,2018,33(03):105-111.
- [3] Herring J. OpenGIS® Implementation Standard for Geographic information-Simple feature access-Part 1: Common architecture [Corrigendum][J]. 2011.
- [4] 唐芑,李鸿渐,王笑,卢德格尔·霍夫施塔特. 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(01):100-105.
- [5] Gil J, Almeida J, Duarte J P. The backbone of a City Information Model (CIM): Implementing a spatial data model for urban design[J]. 2011.
- [6] Silberschatz A, Korth H F, Sudarshan S. Database system concepts[M]. New York: McGraw-Hill, 1997
- [7] (德)格哈德·库德斯著; 秦洛峰, 蔡永洁, 魏薇译.城市结构与城市造型设计[M].北京: 中国建筑工业出版社.2007.
- [8] Noronha Pinto de Oliveira e Sousa M, Duarte J, Celani G. Urban Street Retrofitting-An Application Study on Bottom-Up Design[J]. 2019.
- [9] 徐佳楠,李鸿渐,李飏. 城市更新中的实例辅助方法探索[J]. 新建筑,2018(04):19-23.
- [10] (意)罗西著; 黄士钧译.城市建筑学[M].北京: 中国建筑工业出版社.2006.
- [11] Lo C P. Changes in the shapes of Chinese cities, 1934-1974[J]. The Professional Geographer, 1980, 32(2): 173-183.



图 11 建筑形状指数



图 12 主成分分析计算朝向

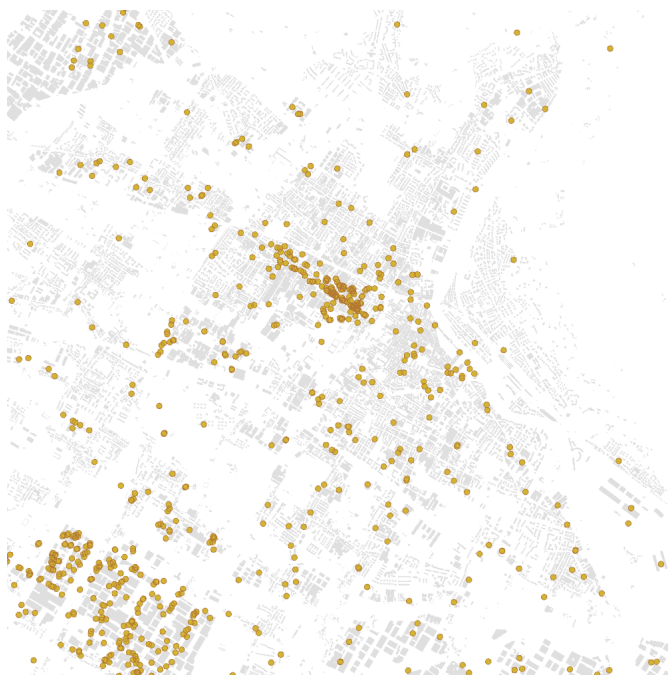


图 13 中文、拼音名称兴趣点分布图



图 14 从道路数据随机获取 98 个街景图像（按图像相似度排序）