

教育部产学研合作协同育人项目
智慧城市系列课程项目案例库建设课件成果

全域全要素的数字孪生城市案例

新工科、新医科、新农科、新文科建设项目
(2022-2023)

沈尧

同济大学
建筑与城市规划学院
城市规划系

2024年4月15日



一、数字孪生概念与历史沿革

二、数字孪生城市系统架构

三、数字孪生城市关键技术

四、中外数字孪生城市特点比较

五、项目成果：20条核心关键词

六、项目成果：20篇核心文献

七、项目成果：20项核心案例

八、项目成果：20张讲座记录

一、数字孪生概念与历史沿革

数字孪生概念

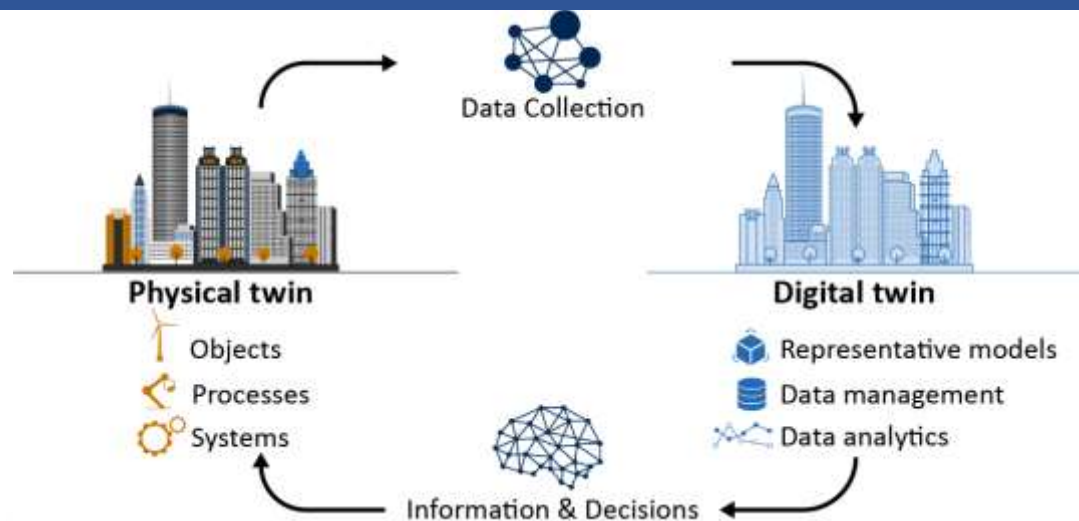
- 数字孪生是物体或系统的虚拟呈现，旨在准确反映实物对象。它跨越对象的生命周期，根据实时数据进行更新，并利用模拟、机器学习和推理来帮助决策。（IBM）
- 数字孪生是一个预期的或实际的真实世界产品、系统或流程（物理实体）的数字模型，作为其在模拟、集成、测试、监控和维护等实际用途中有效的无差别数字对应物。
（wikipedia）
- 数字孪生是现实世界的虚拟呈现，包括物理对象、流程、关系和行为。数字孪生可以改善业务流程、降低风险、优化运营效率，并通过自动化预测结果来加强决策。数字孪生通过创建关系和简化工作流程，为解决业务挑战提供了更大的背景。（esri UK）

来源：

<https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin>

https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_twin

<https://www.esriuk.com/en-gb/digital-twin/overview>



一、数字孪生概念与历史沿革

数字孪生特征

数字孪生概念由三个不同的部分组成：物理对象或过程及其物理环境 (the physical object or process and its physical environment)、对象或过程的数字表示 (digital representation of the object or process)，以及物理和虚拟表示之间的联系渠道 (the communication channel between the physical and virtual representations.)。



实时系统real-time system

数字孪生是信息双向流动的实时系统，能够执行实时应用功能，并能在课预测的特定时间内做出响应。

全生命周期lifecycle

数字孪生能有效管理产品和项目的全生命周期，包括产品从诞生、设计、制造、服务到报废。

连通性connectivity

数字孪生的基础是物理组件和对应数字组件之间的连接；数字孪生还可增强产品与客户的连通性。

同质性homogenization

数字孪生使得任何类型的信息都可以以相同的数字形式存储和传输，使产品能够数字化存储。

智能化smart

通过传感器、人工智能和预测分析等技术，数字孪生使实体对象的数字化系统能够重新编程，进行有效调整。

模块化modularity

数字孪生利用数字模型复制系统的各种过程，通过模块化各个系统组件获得调整模型和系统的能力。

一、数字孪生概念与历史沿革

数字孪生要素



数据采集和集成

Data capture and integration

数字孪生正在使各项目进一步获取数据、可视化数据、整合网络和分析信息的方式现代化。

- 数据建模
- 系统集成和管理
- 现实捕捉
- 创建和提取特征
- 工作流程和业务系统

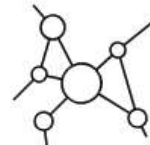


实时和可视化

Real time and visualisation

利用实时信息和权威网络做出正确决策、发现新模式并释放数据潜力。

- 数据集合和报告
- 实时物联网 (IoT) 集成
- 洞察和分析
- 高级可视化

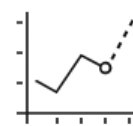


共享与合作

Share and collaborate

通过改善信息共享、消除数据孤岛以及提高内部和外部参与度，为智能组织和社区提供支持。

- 动态视觉传播
- 参与和协作
- 高效的数据访问
- 信息透明度
- 项目交付



分析与预测

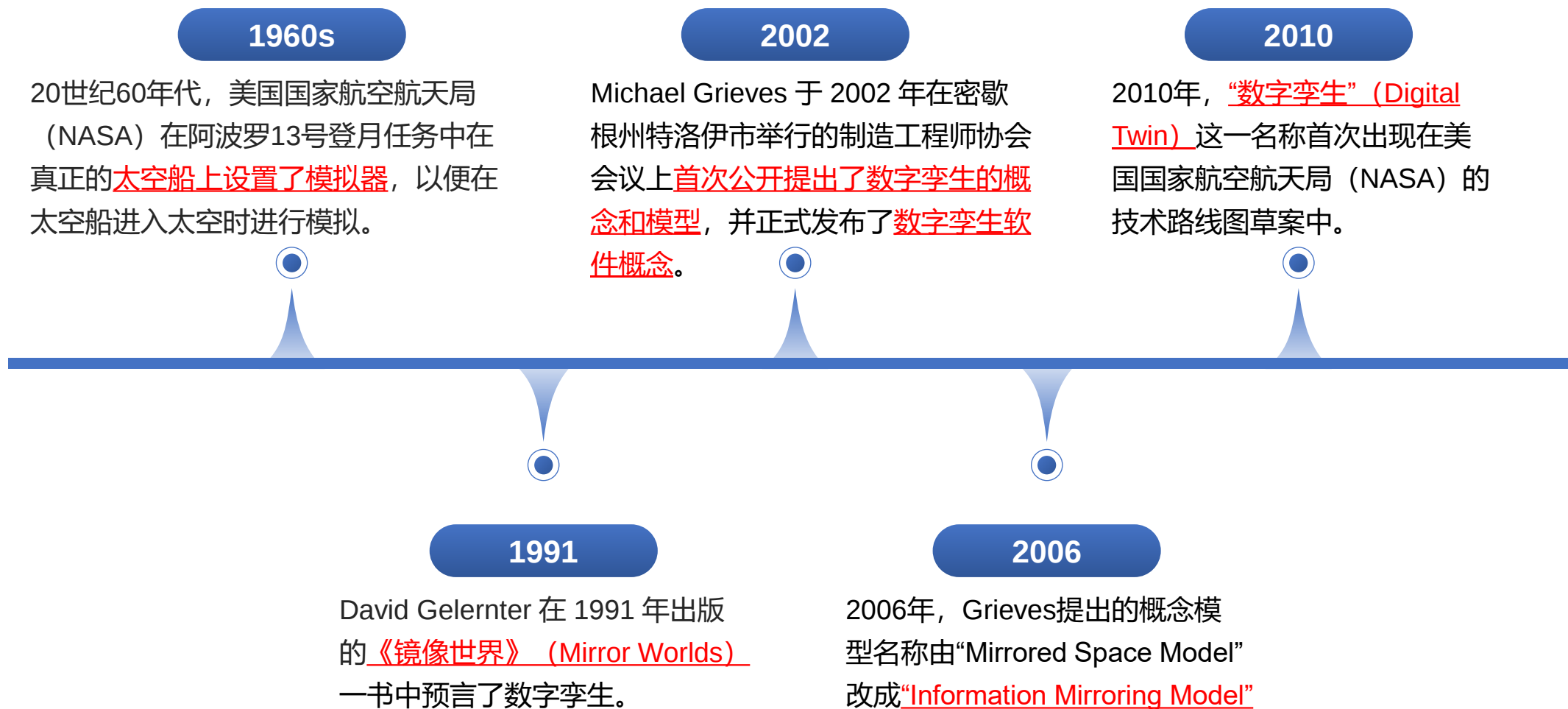
Analyse and predict

使用强大的统计、机器学习 (ML)、深度学习 (DL) 和人工智能 (AI) 方法进行分析并做出准确预测。

- 自动化 (人工智能/ML/DL)
- 记录和建模
- 场景模拟和情景建模
- 预测

一、数字孪生概念与历史沿革

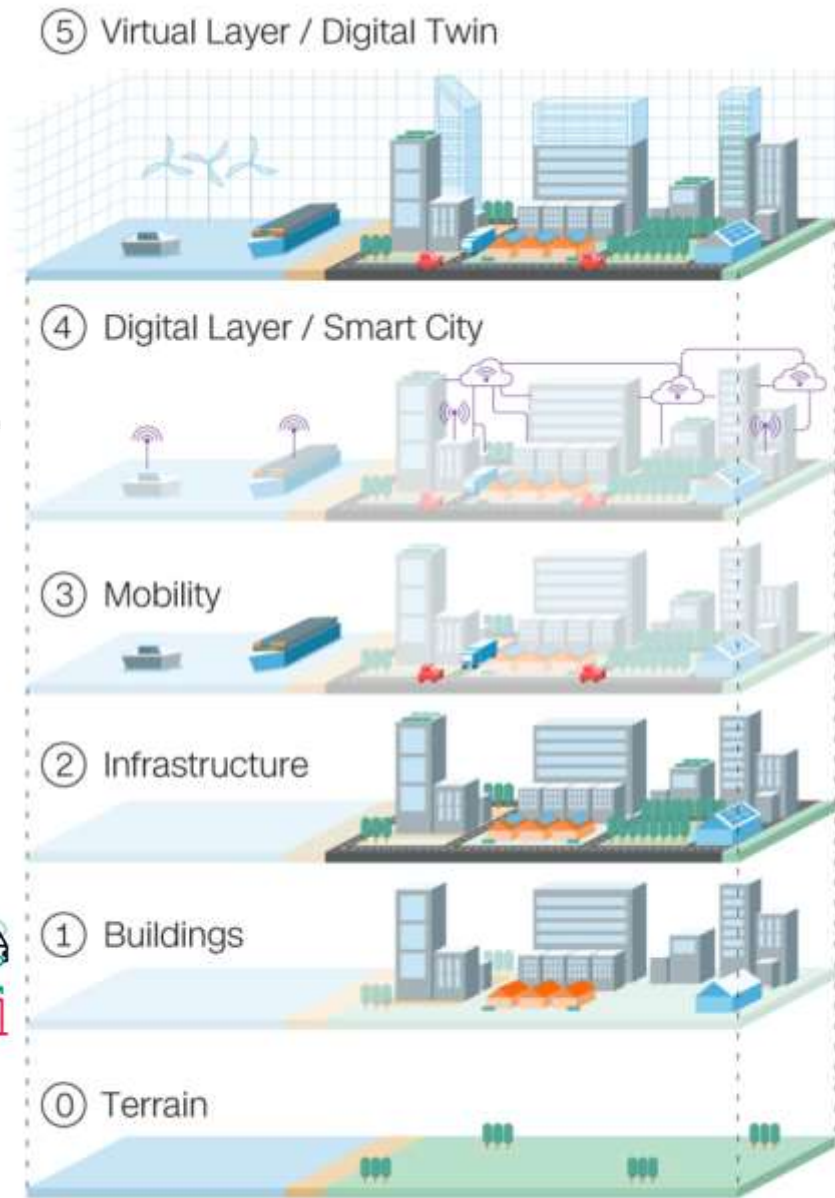
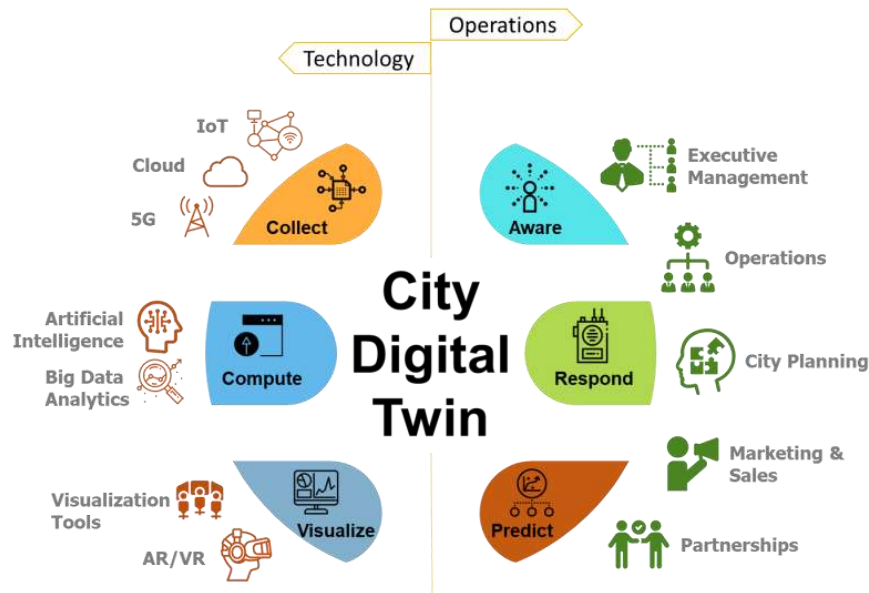
数字孪生历史沿革



一、数字孪生概念与历史沿革

数字孪生与智慧城市

- 数字孪生多应用与智慧城市中，将城市的物理实体与数字世界相结合，通过数据采集、模拟和分析，建立城市的数字化镜像，以实现对城市运行状态、环境变化和市民行为等方面的实时监测、分析和预测。



Source: G. White et al. (2021)
Graphic: Woojin Lee, CNN

一、数字孪生概念与历史沿革

二、数字孪生城市系统架构

三、数字孪生城市关键技术

四、中外数字孪生城市特点比较

五、项目成果：20条核心关键词

六、项目成果：20篇核心文献

七、项目成果：20项核心案例

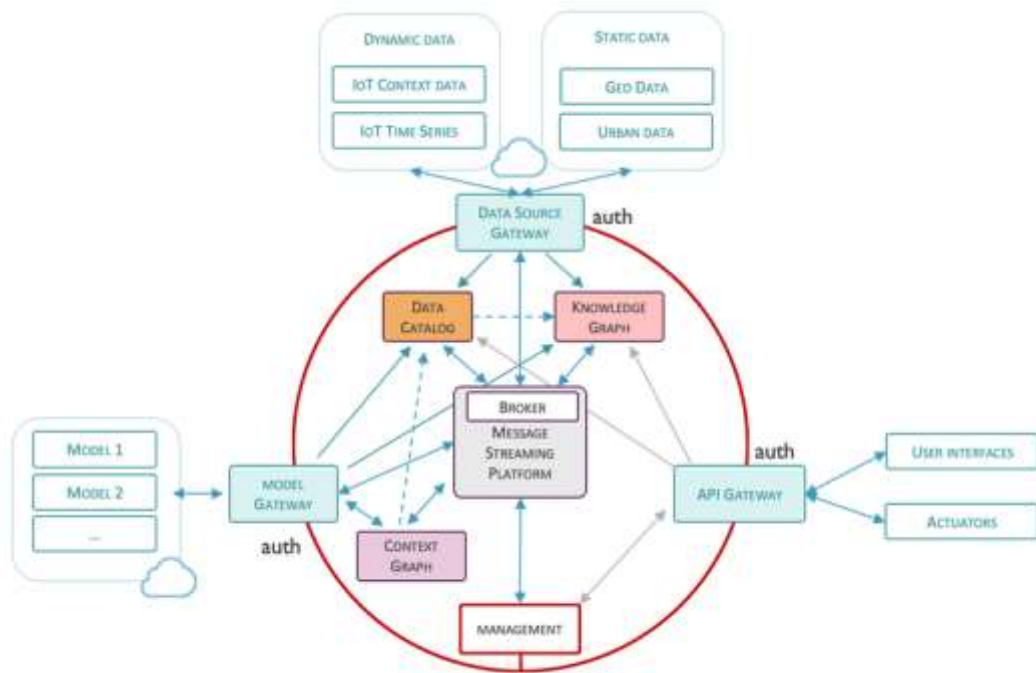
八、项目成果：20张讲座记录

二、数字孪生城市系统架构

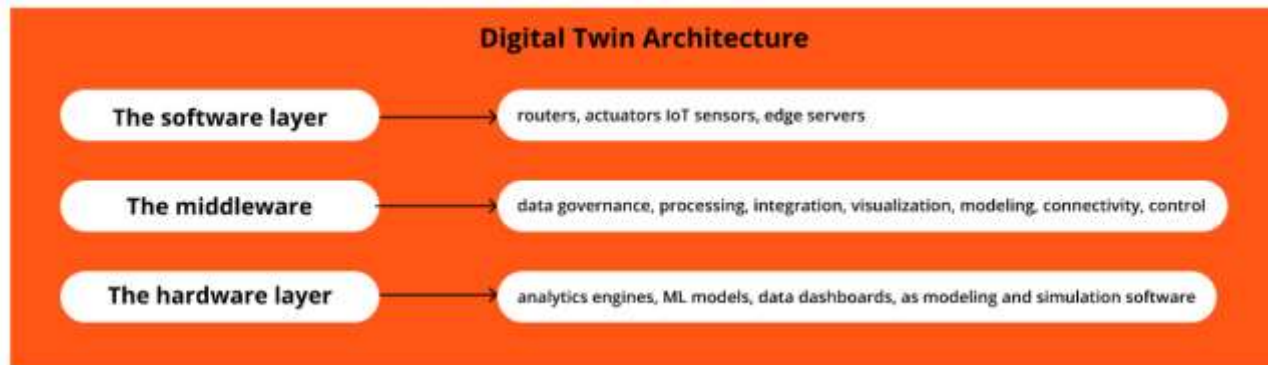
数字孪生系统组成

数字孪生系统结构本质上既是实体的也是数字的。它包括三层：

- ❑ **硬件层**包括数字孪生的物理组件。这些是路由器、执行器、物联网传感器和边缘服务器。
- ❑ **中间件**是数据处理层。它包括数据治理、集成、可视化、建模、连接和控制。
- ❑ **软件层**提供分析引擎、ML模型和数据面板。



来源：<https://www.imeccityofthings.be/en/blog/open-urban-digital-twins>



来源：<https://www.visartech.com/blog/digital-twin-architecture-guide/>

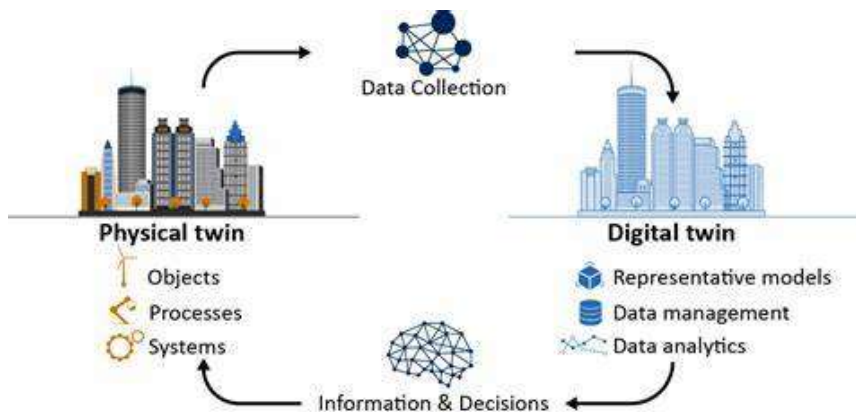
二、数字孪生城市系统架构

数字孪生城市运行机制和技术特征

数字孪生城市的运行机制：

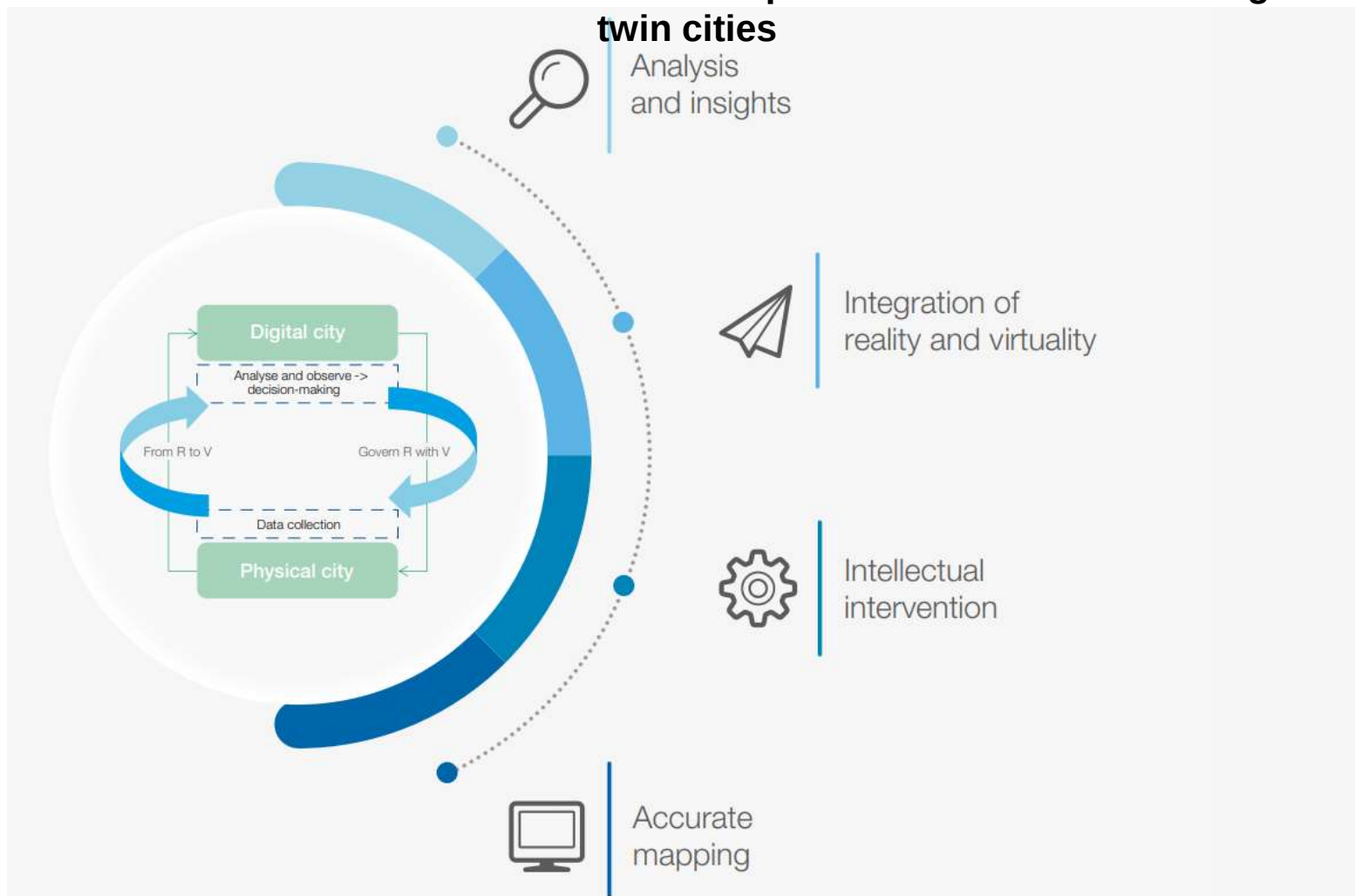
从实入虚的连接映射——城市运行规律知识图谱和大数据分析——通过物联网远程控制和交互界面实现以虚控实。

具备四个典型特征：**物理城市与数字城市的精准映射；数字城市的深度洞察；数字城市与物理城市的虚实交互；数字城市对物理城市的智能干预。**



来源：GAO; ladoga/stock.adobe.com.GA0-23-106453

Technical characteristics based on the operational mechanism of digital twin cities



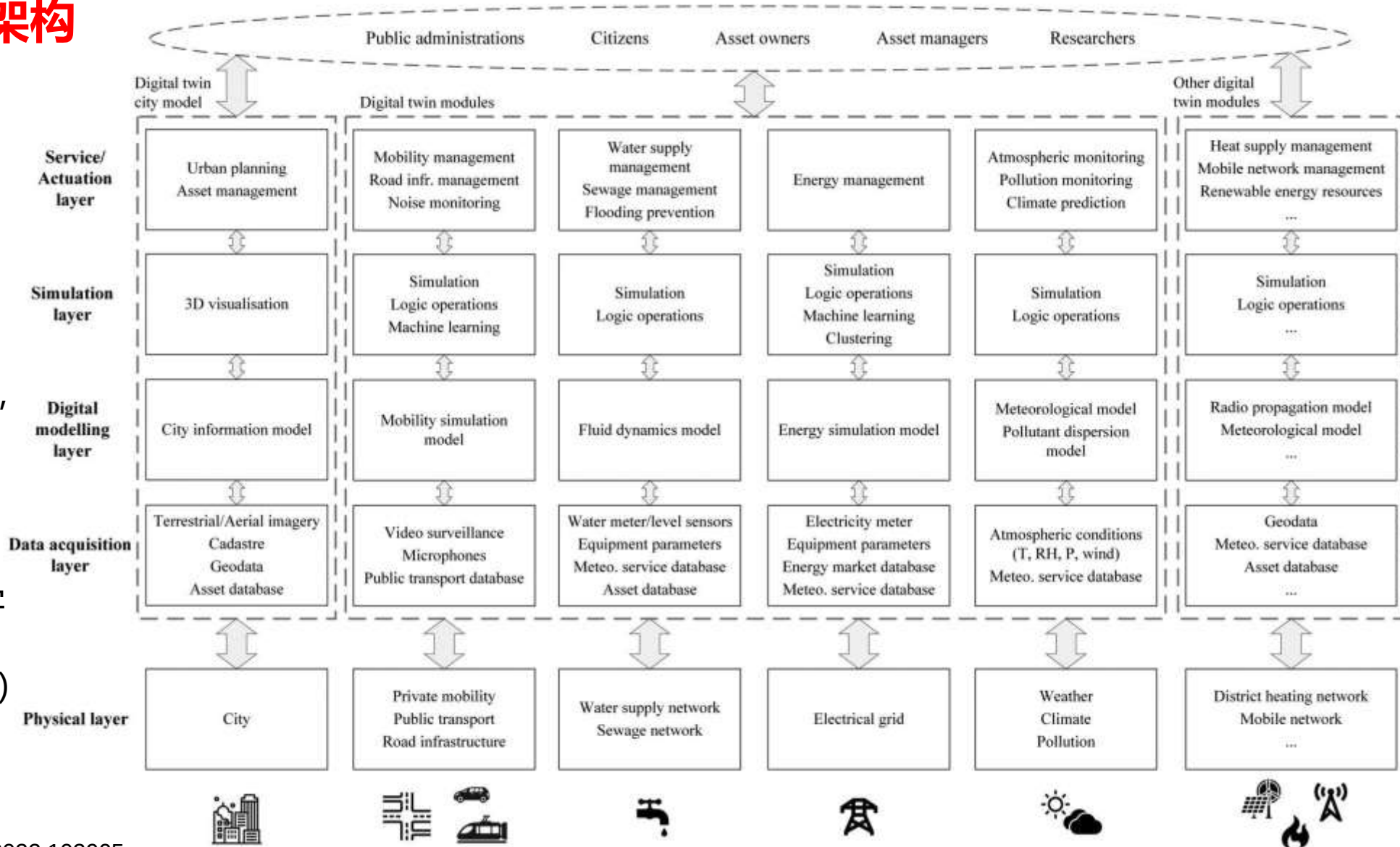
来源：CAICT

二、数字孪生城市系统架构

数字孪生城市系统架构

- 服务/驱动层
- 模拟层
- 数据建模层
- 数据采集层
- 物理层

根据采集层负责**自动数据捕获并传输**到数字建模层，在数字建模层中不断**更新真实系统的数字副本**。然后，模拟层**处理模型中包含的数据**，并将结果发送到服务/驱动层，其中数字孪生通过直接驱动（以及通过向用户提供数据间接）**与真实系统交互**。



二、数字孪生城市系统架构

数字孪生城市建设要素

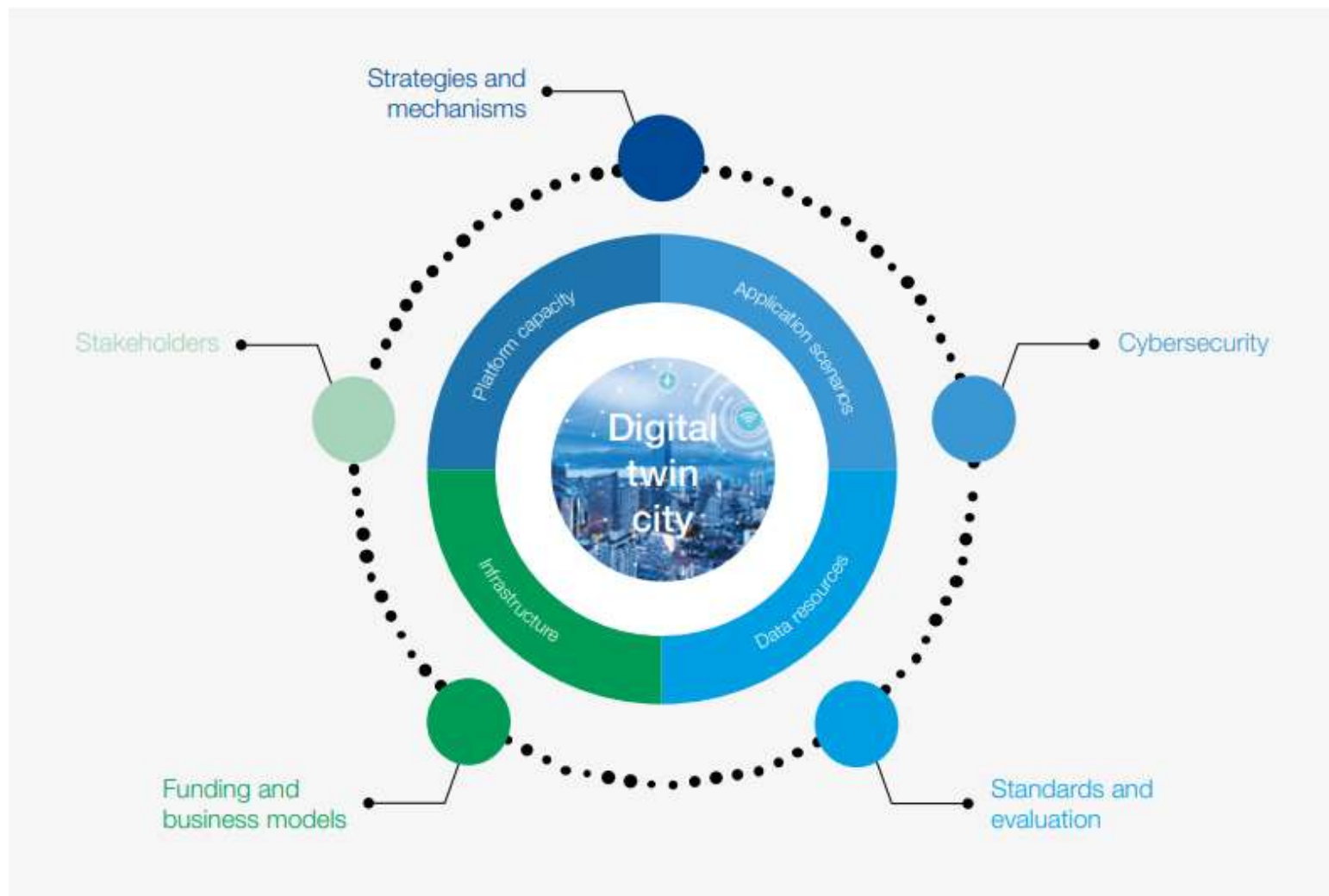
结合全球数字孪生研究观点和数字孪生城市案例实际，数字孪生城市建设主要涵盖9大要素，呈现“4+5”要素框架。

4大内部要素：

基础设施、数据资源、平台能力、应用场景。

5大外部要素：

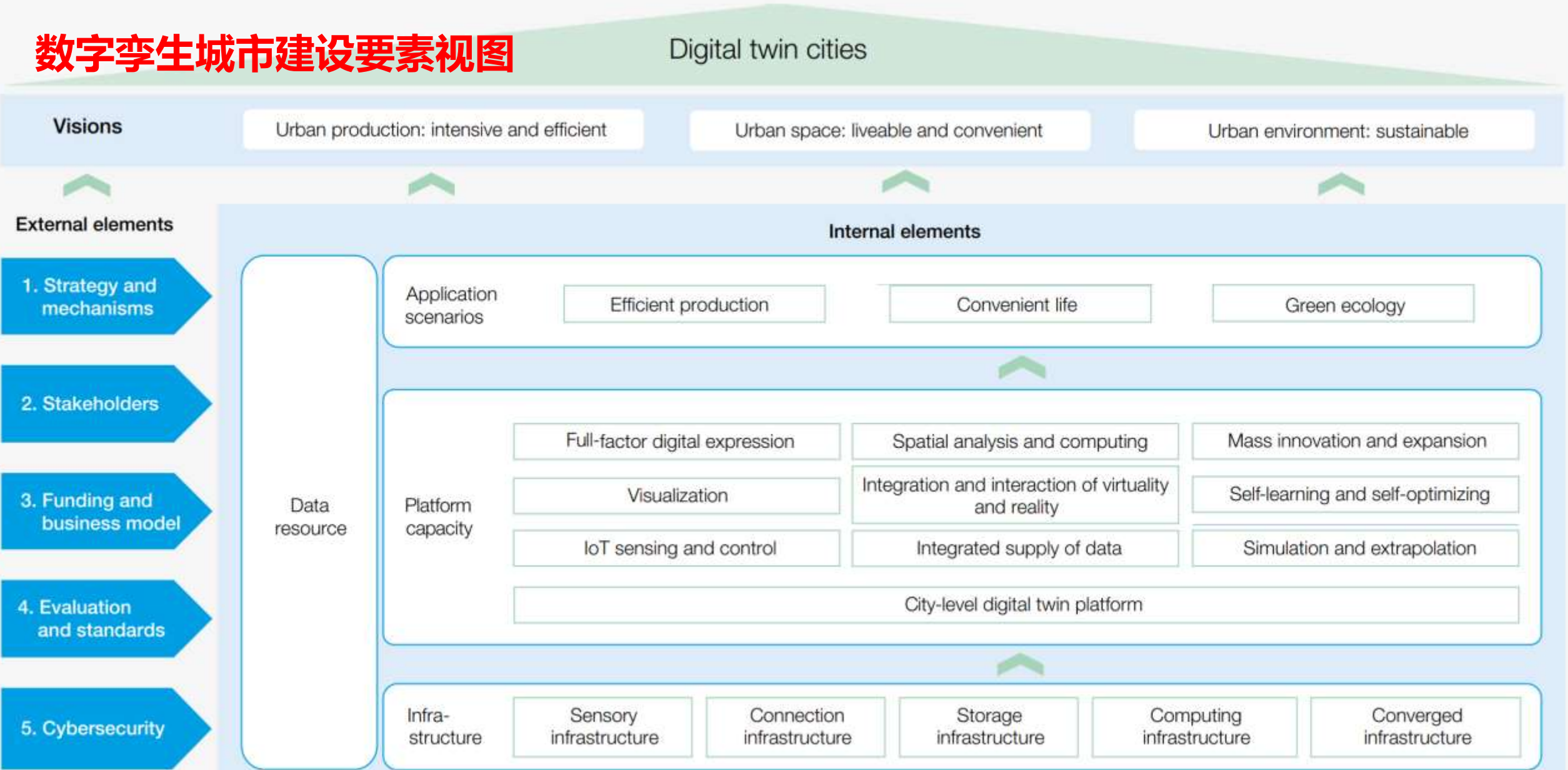
战略与机制、利益相关方、资金与商业模式、标准与评估、网络安全。



来源：CAICT

二、数字孪生城市系统架构

数字孪生城市建设要素视图



来源：Digital Twin Cities: Framework and Global Practices——World Economic Forum

一、数字孪生概念与历史沿革

二、数字孪生城市系统架构

三、数字孪生城市关键技术

四、中外数字孪生城市特点比较

五、项目成果：20条核心关键词

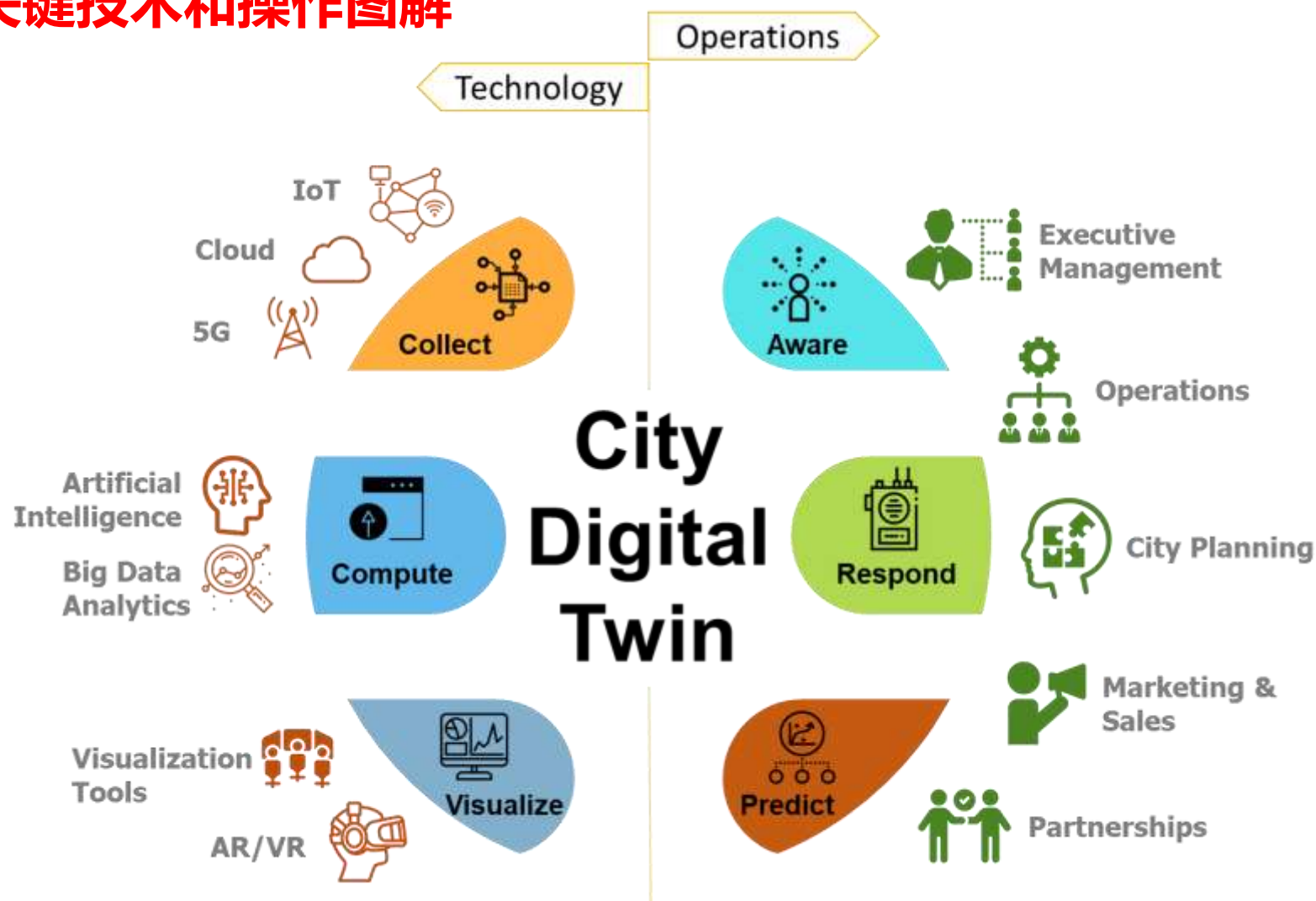
六、项目成果：20篇核心文献

七、项目成果：20项核心案例

八、项目成果：20张讲座记录

三、数字孪生城市关键技术

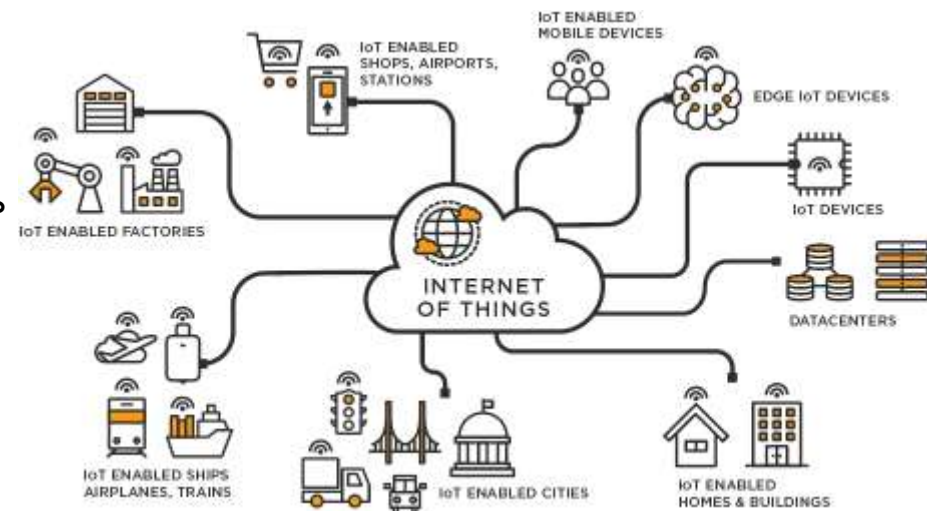
数字孪生城市关键技术和操作图解



三、数字孪生城市关键技术

物联网——智能设备互联网络，收集共享城市信息

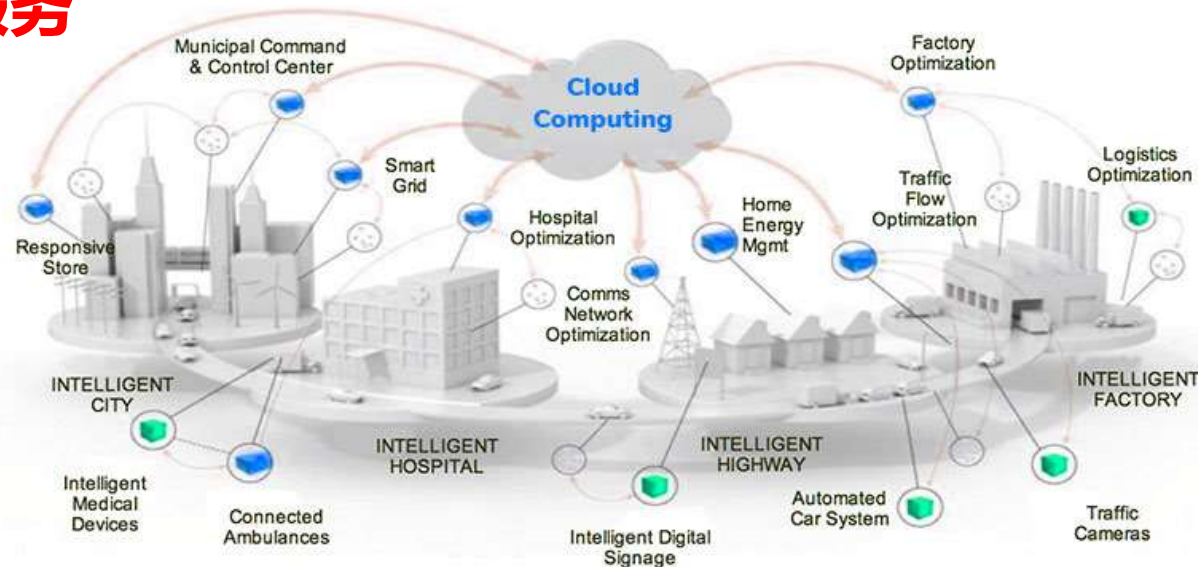
- 物联网（IoT）是由嵌入了传感器、软件和网络连接的物理设备（车辆、电器和其他物理对象）组成的网络，使它们能够收集和共享数据。
- 物联网使城市中传感器等各个智能设备相互通信连接，彼此交换数据并自主执行各种任务。技术有效广泛地为数字孪生城市收集数据。数字孪生即是通过使用来自连接自物联网传感器的数据来创建现实世界实体的实时数字虚拟模型。



三、数字孪生城市关键技术

云计算——大数据时代云端数据存储计算服务

- 云计算是通过互联网（“云”）提供计算服务，包括服务器、存储、数据库、网络、软件、分析和智能，依靠资源共享实现一致性，以提供更快的创新、灵活的资源；通过随时随地访问数据 and 应用程序实现远程工作；创建无缝全渠道客户参与框架；提供巨大的计算能力和其他资源以利用生成式人工智能和量子计算等尖端技术。
- 云计算具有多种优势和特点，非常适合支持数字孪生城市：



可扩展性

云计算的可扩展性使城市能够高效处理海量增加的数据量,并满足其智慧城市应用不断增长的需求。

灵活性和敏捷性

云计算提供了一个灵活敏捷的环境,可以快速开发和部署新服务使城市能够有效地适应不断变化的要求和技术。

节约成本

云计算使城市无需投资和维护昂贵的本地基础设施,即用即付。具有成本效益的方法使城市能够优化预算分配

数据存储和处理

数字孪生城市能够以集中、安全的方式存储和处理系统产生的大量数据

可靠性

云提供商通常会将数据和应用分布在多个数据中心,提高整体可靠性复原力

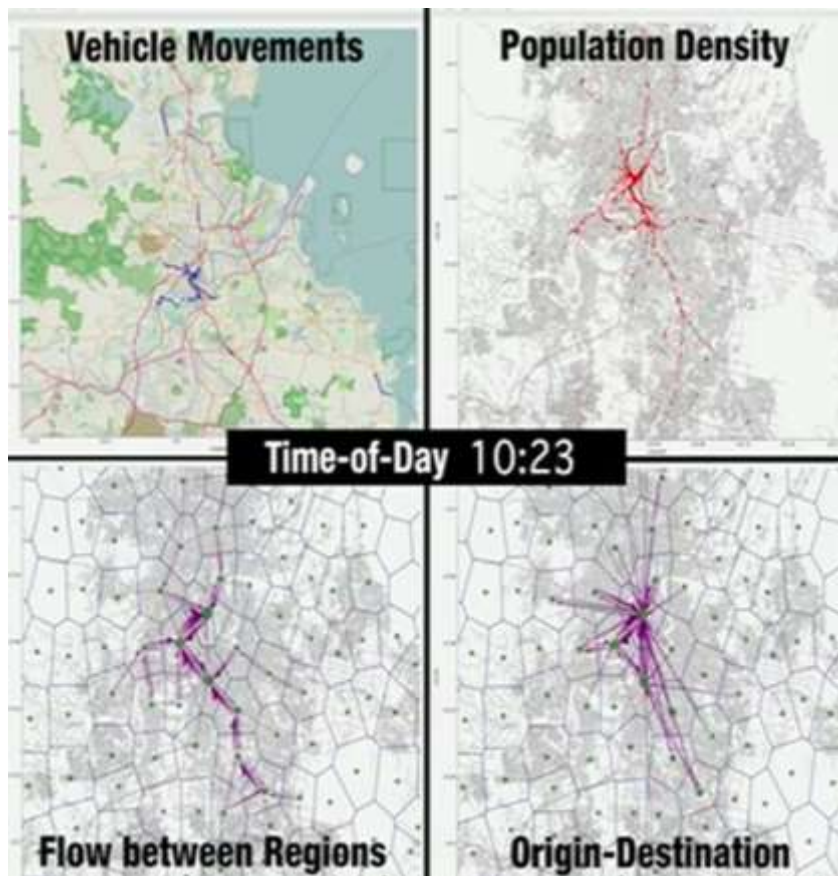
安全与隐私

云计算通过提供管理数据隐私等工具,帮助数字孪生城市遵守隐私法规。

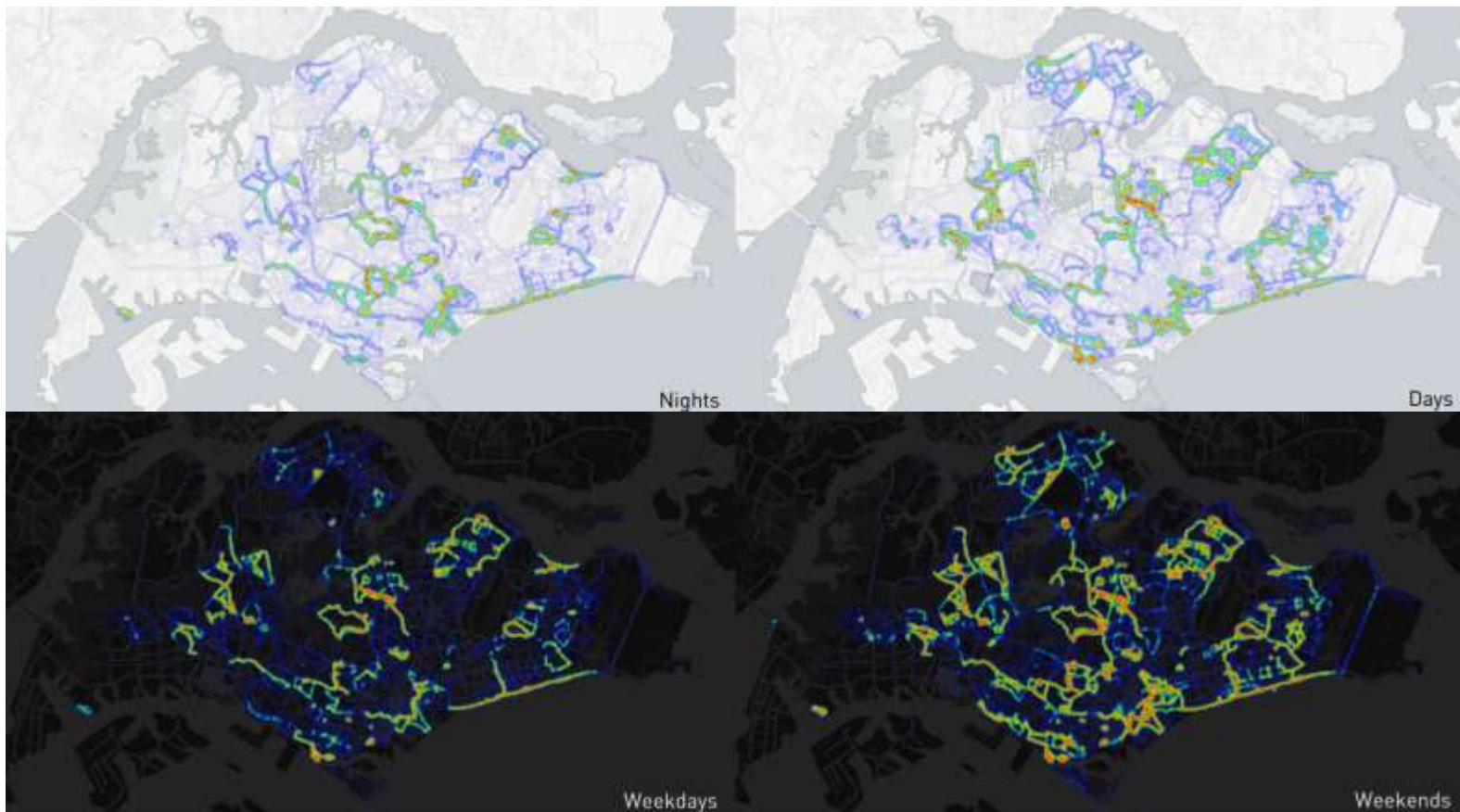
三、数字孪生城市关键技术

AI——助力城市大数据分析

作为计算机科学的一门学科，人工智能试图创造一种新的智能机器，能像人与人之间的智能那样做出反应。AI领域包含机器人、图像识别和语言识别、神经网络、机器学习、深度学习等。使用AI可以**处理、分析和解释大量城市数据，将其转化为城市规划者和政策制定者可操作的见解**。例如，通过分析交通数据，人工智能可以深入了解拥堵模式，帮助设计更高效的交通系统。



来源: <https://www.jiwonkim.co/trajectory-mining/>

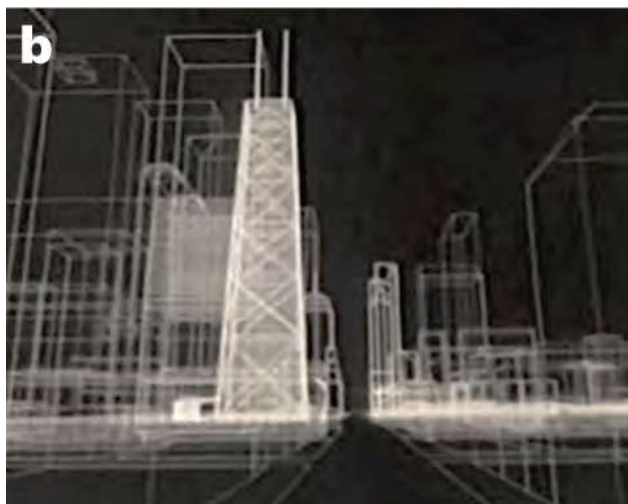
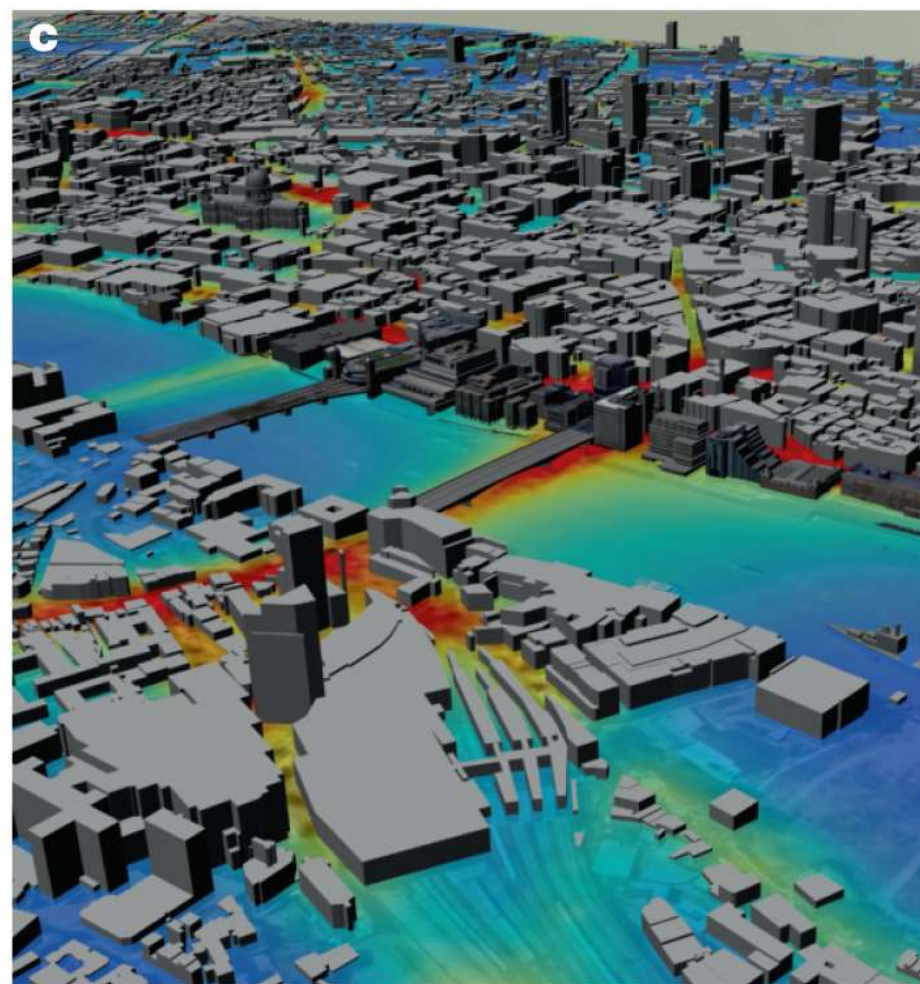
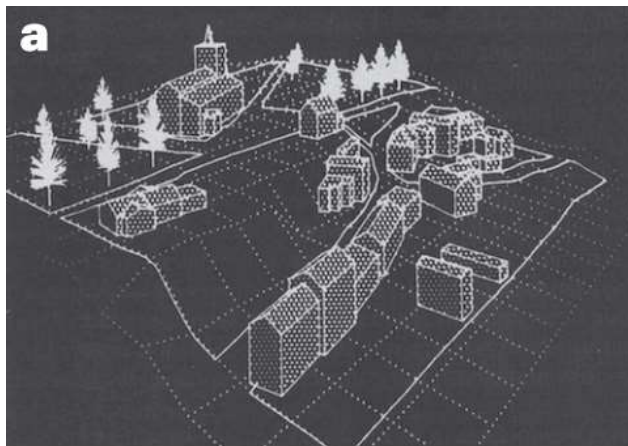


来源: https://www.thegpsc.org/sites/gpsc/files/partnerdocs/bige_tuncer_v3.pdf

三、数字孪生城市关键技术

3D建模——数据整合、可视化与管理平台

3D建模依赖于大数据、物联网、云计算、人工智能、游戏技术等成熟技术的开发和支撑能力，是一个全面的、数据丰富的、交互式的虚拟模型。它不仅提供视觉呈现，还包含实时数据，使其成为城市规划、开发和管理的核心工具。



一、数字孪生概念与历史沿革

二、数字孪生城市系统架构

三、数字孪生城市关键技术

四、中外数字孪生城市特点比较

五、项目成果：20条核心关键词

六、项目成果：20篇核心文献

七、项目成果：20项核心案例

八、项目成果：20张讲座记录

四、中外数字孪生城市特点比较

上海数字孪生实践

北京开发商51World和上海合作实现了上海城市的数字孪生，在上海城市最小管理单元一期试点，选取了上海南京路上著名历史建筑南京大楼，华为合作51World基于数字孪生PaaS平台能力打造了一个**城市精细化治理的创新场景**。

- **项目主导：**51World和上海市政府
- **提出背景：**2021年上海发布《上海市全面推进城市数字化转型“十四五”规划》，提出“面向数字时代的城市功能定位，加强软硬协同的数字化公共供给，加快推动城市形态向数字孪生演进，构筑城市数字化转型‘新底座’”。
- **技术方法：**
 - 51World使用来自**卫星、无人机和传感器**的数据，通过一种算法生成了建筑、道路、河道和绿地的数字化版本。
 - 在虚幻引擎中优化上海模型照片般真实的**实时渲染**，整个模拟被分成许多两平方千米的模块，根据摄像机视角加载。
 - 结合**多源异构数据融合技术，通过空间地理数据、大楼设计图纸、实景照片等**相关资料，对城市与建筑环境进行了超精细建模。
 - 对南京大楼的数字建模中，各类传感器数据和告警信息数据会实时回传到数字孪生系统，并反应到大楼孪生模型，实现物理世界和虚拟世界的**实时孪生同步**。



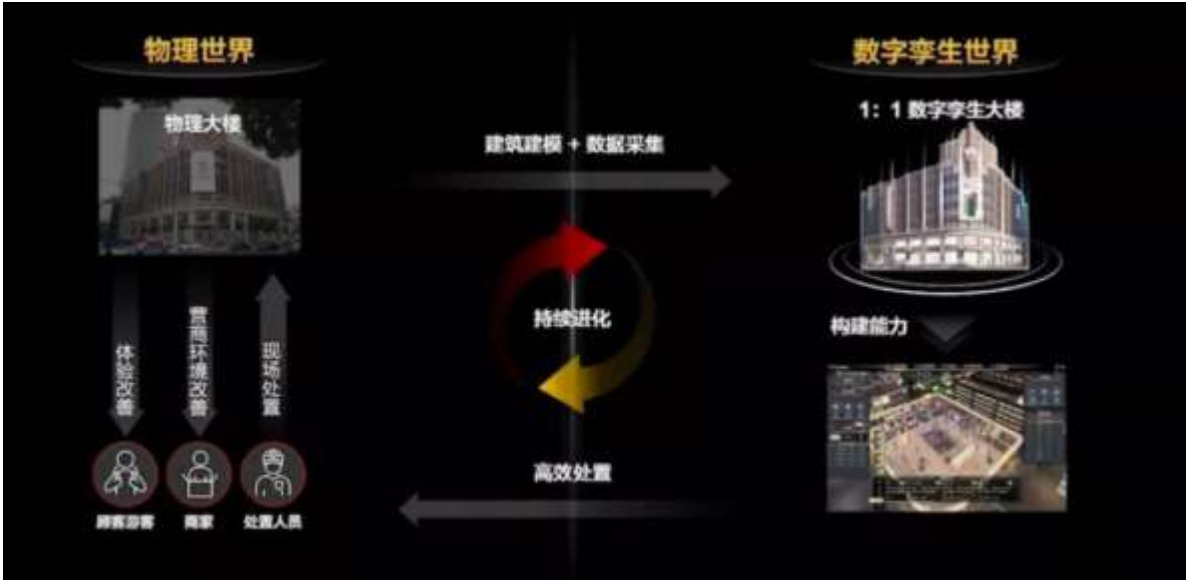
四、中外数字孪生城市特点比较

上海数字孪生实践

应用场景：数字孪生支撑上海城市最小管理单元

- 历史建筑保护：数字孪生系统为南京大楼这栋历史建筑建立了信息联络网和信息普查制度，严格管理大楼修缮记录，及时同步保护要求，并且进行历史沿革和修缮管理建档，在日常监督中按照相关规定进行建筑内外结构的使用和管理。周边环境对大楼结构带来的影响都会同步到数字孪生系统中，对地下管线和地面建筑物的安全产生影响的因素进行全面管理。
- 大客流管理：51World结合动态仿真技术，为最小管理单元提供人流仿真服务，模拟各类场景、多种状况下的人员流动情况。同时，可结51WORLD视频识别技术，通过摄像头监控的AI识别，获取真实人流数据，作为仿真参数配置的参考。
- 经营场所管理
- 数字体征

模式创新：试点通过与市级、区级城运中心的数据共享，系统实现了多级主体之间上下贯通、相互联动的协同工作模式。



来源: https://www.sohu.com/a/512664429_508890

四、中外数字孪生城市特点比较

新加坡数字孪生城市项目Virtual Singapore

新加坡数字孪生项目“Virtual Singapore”是一个基于地形和实时动态数据的、具有丰富数据环境和可视化技术的协作平台，可用于模拟和虚拟测试城市规划问题的新解决方案。



- **项目主导：**由国家研究基金会、新加坡土地管理局（SLA）和政府科技局共同领导
- **提出背景：**新加坡国土面积小，土地稀缺，人口稠密，多发山洪灾害。新加坡正在寻求最大限度地利用土地，并进行全面的洪水风险评估。

项目演进：

2012

新加坡土地管理局SLA
绘制新加坡的三维地图

GPS Lands Singapore提
出了开发虚拟新加坡的计
划，使用 Bentley
Systems 提供的软件开发
数字孪生地图

2014

首次推出“Virtual
Singapore”

- **技术方法：**测绘团队使用激光扫描飞机和车载传感器以 1 厘米的分辨率记录地形和地表信息以及街道测绘，共使用了 16 万多张图片 and 25TB 的数据，然后将这些数据整合到一个平台中，并整合各公共机构收集的图像和数据，传统和实时数据来丰富数据库，包括几何、地理空间和拓扑，以及气候、人口、能源消耗、建筑高度，甚至树木的位置，以创建一个数字化的城市空间。后续还将纳入来自市民的数据，例如来自汽车和健身追踪器的信息

四、中外数字孪生城市特点比较

新加坡数字孪生城市项目Virtual Singapore

应用场景：

- 数字孪生系统以高度精细的三维形式显示了新加坡全境，并输出和共享给各政府科研机构或公众企业，以帮助进行资产管理和规划决策。“Virtual Singapore”常应用于土地管理、公共服务设施选址、环境治理与灾害管理（模拟疏散场景和人群分散的影响）、交通分析预测、开发优化物流、以及建筑的能耗管理等场景，涵盖城市社区建筑各个方面。

特征：

- 开放性和协同性：新加坡数字孪生数据集可通过在线门户网站向公众提供和开放，使开发人员能够轻松地共同创建数字解决方案
- 跨境合作：“Virtual Singapore”通过成立东盟智慧城市网络（ASCN）探索合作，为东盟城市提供了一个交流思想和解决方案的平台，以促进智慧城市项目的发展。



四、中外数字孪生城市特点比较

上海数字孪生

相同点：

- **注重顶层设计，优化数字孪生城市建设的政策环境。**上海发布数字化转型政策文件提出建设国际数字之都；新加坡数字孪生由国家研究基金会、新加坡土地管理局和政府科技局共同领导建立国家级平台。
- **打造数据底座，构建融合统一的信息基础平台。**上海管理单元项目中整合多源数据打造实体空间的数字孪生；新加坡以测绘手段同样整合多种数据建立城市数据库。
- **强调应用突破，丰富拓展数字孪生技术应用场景。**上海南京大楼面向多样化应用场景支撑超大城市精细化治理；虚拟新加坡能支持面向城市社区建筑的多尺度多领域应用。
- **推动多方参与，加强政府、社会共建与合作交流。**

不同点：

- **驱动因素：**政策驱动
- **系统要素：**主要为城市环境，建筑单体等城市物质空间要素
- **面向对象：**面向政府组织、社会企业、公众群体等
- **核心场景：**依托城市运行管理服务平台推动实现城市精细化治理

新加坡数字孪生

不同点：

- **驱动因素：**现实城市建设问题与政策驱动
- **系统要素：**气候、人口、能源消耗、树木等自然要素与城市要素结合
- **使用群体：**公众、私营企业、政府和研究部门等
- **核心场景：**用于城市治理过程中的规划设计、管理决策、环境模拟、精准服务及科学研究等领域

- 一、数字孪生概念与历史沿革
- 二、数字孪生城市系统架构
- 三、数字孪生城市关键技术
- 四、中外数字孪生城市特点比较
- 五、项目成果：20条核心关键词**
- 六、项目成果：20篇核心文献
- 七、项目成果：20项核心案例
- 八、项目成果：20张讲座记录

五、项目成果：20条核心关键词

1.三维地理信息系统|3d Geographic Information System

三维地理信息系统是在二维平面的基础上模拟并处理现实世界上所遇到的三维现象和问题。地理信息三维可视化系统是对具有三维地理参考坐标的空间信息进行输入、存储、编辑、查询、空间分析和模拟的计算机系统。

功能和特点

- **三维地图显示**：提供高质量的三维地图显示功能，使用户可以直观地理解地理空间关系和地形地貌。
- **数据模型**：支持三维空间数据的存储和管理，包括地形数据、建筑物模型、植被覆盖、地下管网等多种数据类型。
- **空间分析**：提供丰富的空间分析功能，例如视线分析、可视域分析、阴影分析等，以使用户能够深入了解地理空间的特征和相互关系。
- **模拟和仿真**：支持模拟和仿真功能，例如城市规划、自然灾害模拟等，帮助用户预测和评估不同场景下的可能影响。
- **数据集成**：能够集成不同来源的地理数据，包括卫星遥感数据、地理测量数据、建筑CAD数据等，实现全方位的地理信息展示和分析。
- **用户界面**：提供友好的用户界面，使用户能够方便地进行操作和交互，并支持定制化的功能扩展。



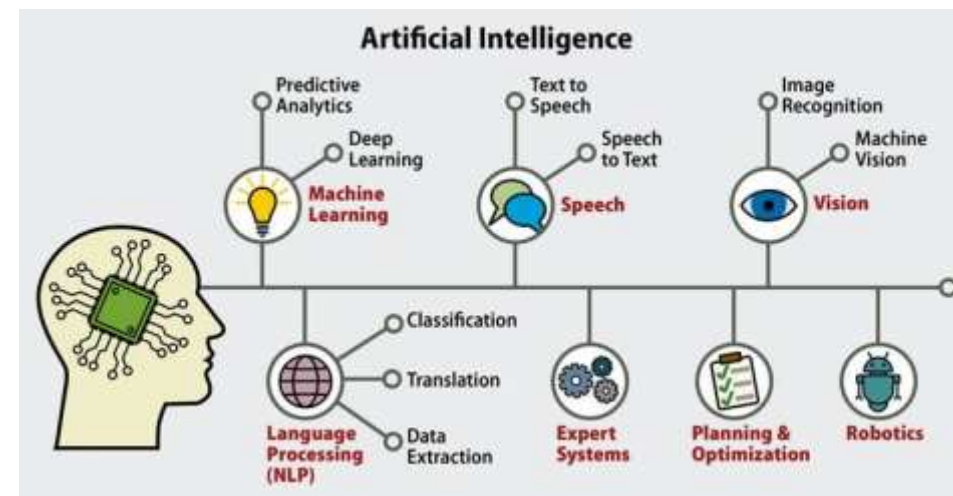
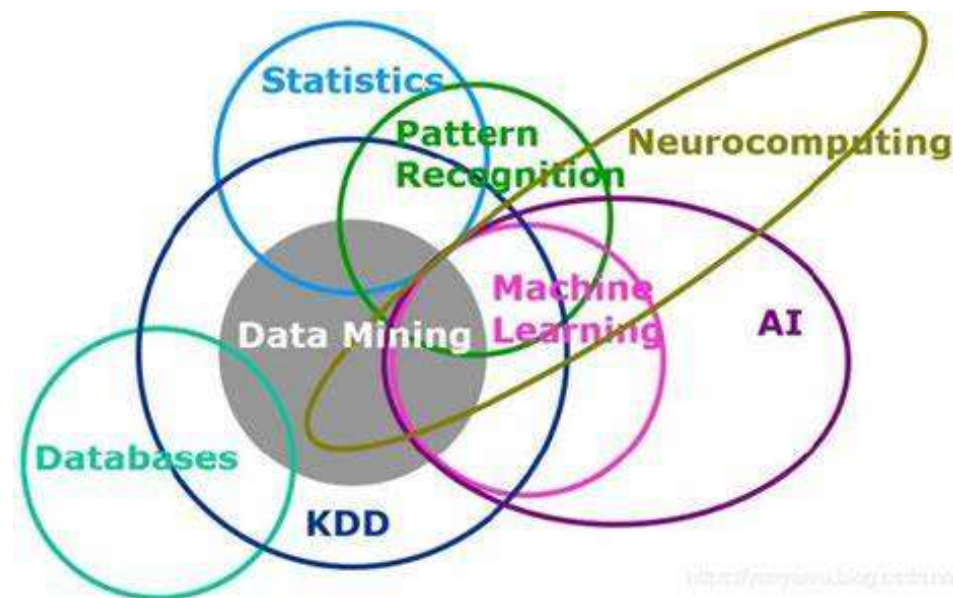
五、项目成果：20条核心关键词

2.人工智能|Artificial Intelligence

人工智能（AI）是一种模拟人类智能的计算机系统。它能够执行类似于人类的思维、学习、推理、解决问题和适应环境等任务。人工智能的目标是使计算机系统能够表现出智能行为，以解决复杂的问题，甚至是超越人类智能的水平。

技术和方法

- **机器学习**：一种通过训练算法来识别模式和构建预测模型的方法，其核心是从数据中学习而不需要显式地进行编程。
- **深度学习**：机器学习的一个分支，利用人工神经网络模拟人类大脑的结构和功能，用于处理大规模复杂数据。
- **专家系统**：基于专家知识和规则的系统，能够模拟专家的决策过程，并提供问题解决方案。
- **自然语言处理**：一种处理和理解自然语言的技术，使计算机能够与人类进行自然语言交互。
- **计算机视觉**：使计算机能够理解和分析图像和视频的技术，用于对象识别、场景理解等任务。
- **强化学习**：一种通过试错来学习最优行为策略的方法，通常用于智能体与环境交互的场景中。



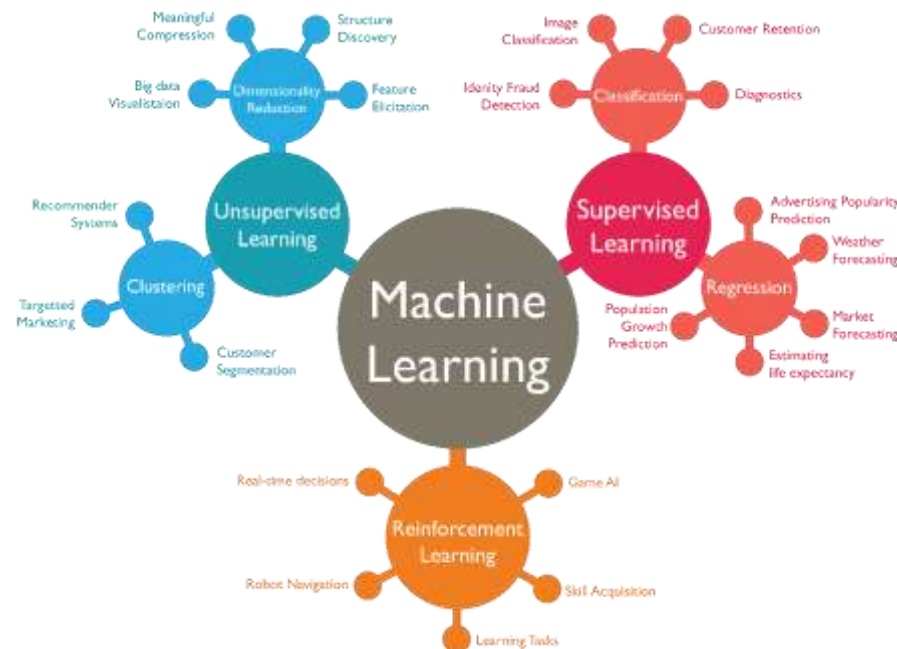
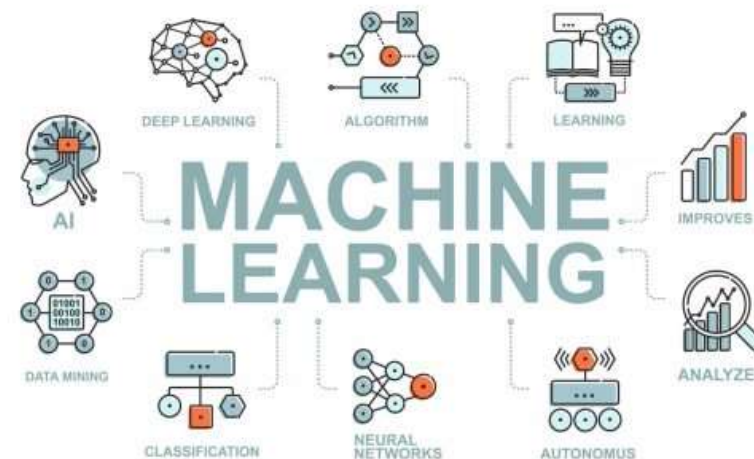
五、项目成果：20条核心关键词

3.机器学习|Machine Learning

机器学习是一种人工智能的分支领域，它涉及构建和训练能够从数据中学习模式和规律的算法和模型，从而使计算机系统能够做出预测和决策，而无需明确编程指令。机器学习的核心思想是让计算机通过数据学习，并利用学到的知识来做出预测或决策。

机器学习方法

- **监督学习**：在监督学习中，算法接收带有标签的训练数据，通过学习输入与输出之间的关系来构建模型。常见的监督学习任务包括分类（如垃圾邮件识别、图像分类）和回归（如房价预测）。
- **无监督学习**：在无监督学习中，算法接收不带标签的训练数据，从中发现数据的结构和模式。无监督学习的应用包括聚类（如市场细分、社交网络分析）和降维（如主成分分析）等。
- **半监督学习**：半监督学习结合了监督学习和无监督学习的特点，使用带有标签和不带标签的数据进行训练。这种方法通常用于数据标记成本高昂的情况下。
- **强化学习**：强化学习是一种通过与环境的交互学习的方式，智能体（Agent）根据环境的反馈来调整自己的行为，以获得最大的奖励。强化学习常用于游戏玩法、自动驾驶和机器人控制等领域。

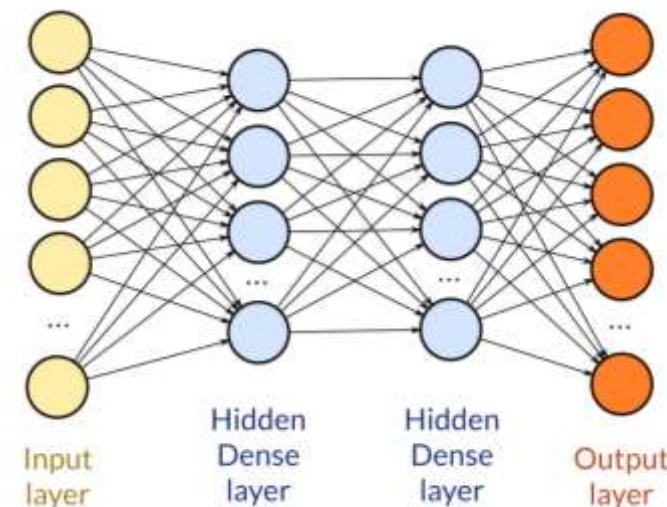
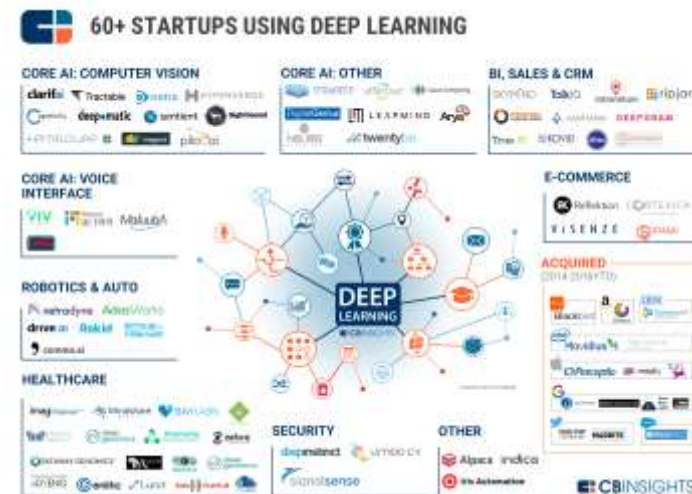


五、项目成果：20条核心关键词

4.深度学习|Deep Learning

机器学习的一个分支，其核心思想是通过多层神经网络模拟人脑的神经元结构，从而实现对数据的特征学习和抽象表示。深度学习的目标是通过大规模数据的训练，自动学习到数据中的规律和模式，并能够用于预测、分类、识别等任务。

- **多层神经网络**：通常包含多个隐藏层，每个隐藏层由多个神经元组成，层与层之间通过权重连接。
- **端到端学习**：深度学习模型能够从原始数据中直接学习到特征表示，而无需人工设计特征提取器。
- **大规模数据**：需要大量标记数据进行训练，以获取更好的泛化能力和性能。
- **反向传播算法**：通过反向传播算法来更新模型参数，从而最小化损失函数，提高模型的准确性。
- **自适应学习率**：通常采用自适应学习率的优化算法，如Adam、RMSprop等，能够更有效地更新模型参数。
- **卷积神经网络 (CNN)**：用于处理图像数据的深度学习模型，通过卷积层和池化层来提取图像的特征。
- **循环神经网络 (RNN)**：用于处理序列数据的深度学习模型，具有记忆能力，能够处理不定长的序列数据。
- **递归神经网络 (Recursive Neural Network)**：用于处理树形数据或具有递归结构的数据，如自然语言处理中的句法分析。



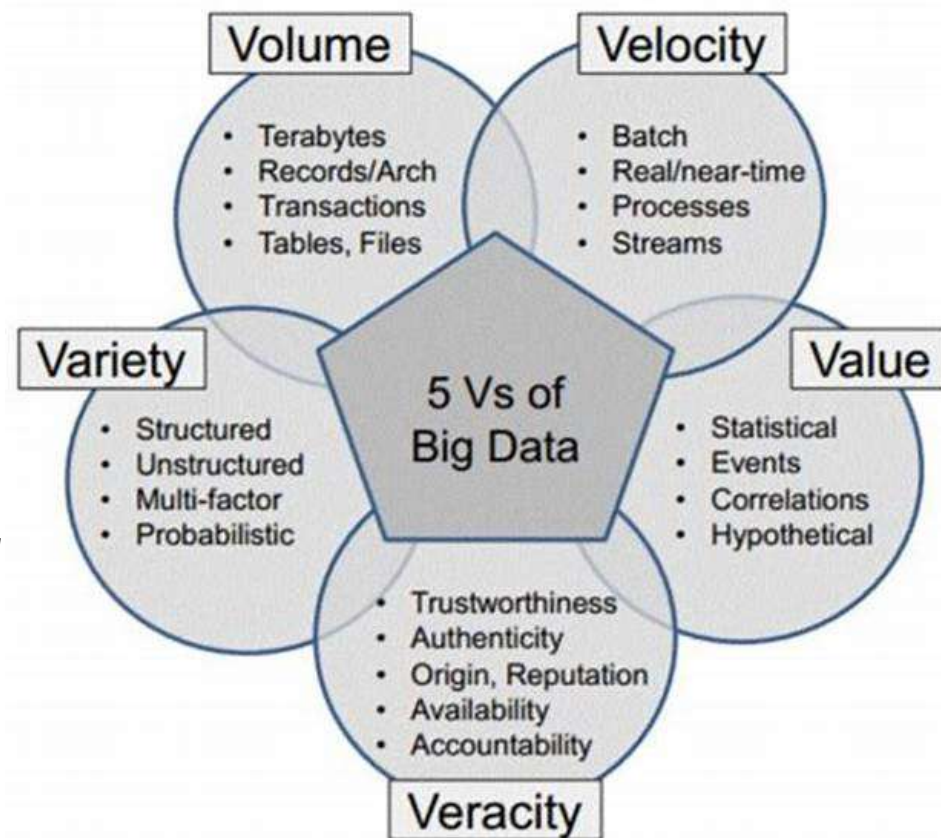
五、项目成果：20条核心关键词

5.大数据|Big Data

指的是规模巨大、类型多样的数据集合，通常由传统的数据处理工具难以处理。这些数据集合通常包括结构化数据（如数据库中的表格数据）、半结构化数据（如XML、JSON格式数据）和非结构化数据（如文本、图像、音频、视频等）。

大数据的特征通常可以概括为五个“V”

- **数据量大 (Volume)**：大数据集合通常拥有海量数据，远远超过了传统数据处理工具的处理能力。
- **数据多样性 (Variety)**：大数据集合中包含多种类型的数据，包括结构化数据、半结构化数据和非结构化数据。
- **数据速度快 (Velocity)**：大数据集合的产生速度非常快，需要实时或近实时地处理和分析数据。
- **数据真实性 (Veracity)**：大数据集合中的数据可能存在质量不一的问题，包括不准确、不完整、重复等。
- **数据价值 (Value)**：大数据集合中蕴含着大量的信息和价值，需要通过分析和挖掘来发现其中的价值。



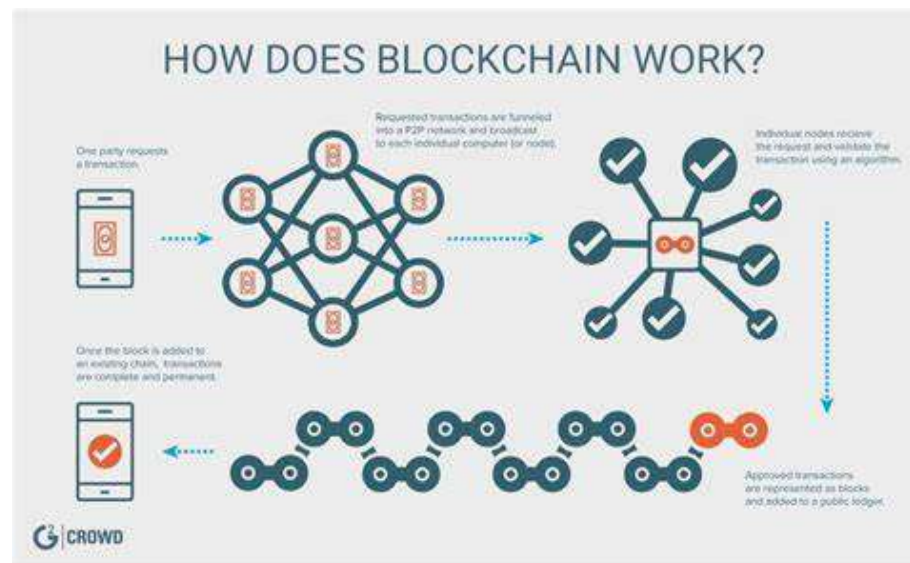
五、项目成果：20条核心关键词

6.区块链|Blockchain

区块链是一种分布式数据库技术，它将数据以区块的形式链接在一起，形成一个不可篡改的、透明的、去中心化的记录系统。每个区块都包含了一定数量的交易数据，并通过密码学方法与前一个区块相连，形成一个不断增长的链式结构。

主要特点

- **去中心化**：区块链网络中的数据存储在网络中的多个节点上，而不是集中在单一的中心服务器上，从而避免了单点故障和中心化风险。
- **不可篡改性**：区块链中的每个区块都包含了前一个区块的哈希值，任何尝试篡改数据的行为都会破坏整个链的完整性，因此数据一旦被记录在区块链上，就很难被篡改。
- **透明性**：区块链中的交易和数据都是公开可查的，任何人都可以查看区块链上的数据记录，从而增加了数据的透明度和可信度。
- **安全性**：区块链通过密码学方法保障数据的安全性，每个区块都使用哈希算法进行加密，并且需要大多数节点的共识来验证和确认交易的有效性。
- **智能合约**：区块链平台上可以部署智能合约，这是一种以代码形式编写的自动化合约，能够在特定条件下执行预先定义的操作。



五、项目成果：20条核心关键词

7.城市大脑|City Brain

是一种智能城市管理系统，旨在利用先进的信息技术和数据分析方法，对城市各种数据进行收集、整合、分析和应用，以优化城市运行管理，提升城市的智能化水平和综合服务能力。

特点和功能

- **数据整合和共享**：城市大脑系统能够整合来自城市各个部门和来源的数据，包括交通、能源、环境、治安、市民服务等方面的数据，并支持数据共享和开放。
- **智能分析和预测**：城市大脑系统利用大数据分析和人工智能技术，对城市数据进行智能分析和预测，发现问题、预测趋势，并提供决策支持。
- **实时监控和调度**：城市大脑系统可以实时监控城市各种设施和服务的运行情况，如交通拥堵、环境污染、能源消耗等，并进行智能调度和优化。
- **智慧城市服务**：城市大脑系统通过手机App、网站等渠道，为市民提供智慧城市服务，包括交通导航、环境监测、社区服务等。
- **智慧交通管理**：城市大脑系统可以优化交通信号控制、路况监测、停车管理等，提高交通运行效率和交通安全。
- **智慧能源管理**：城市大脑系统可以监测能源消耗情况，优化能源分配和利用，推动可再生能源的应用。



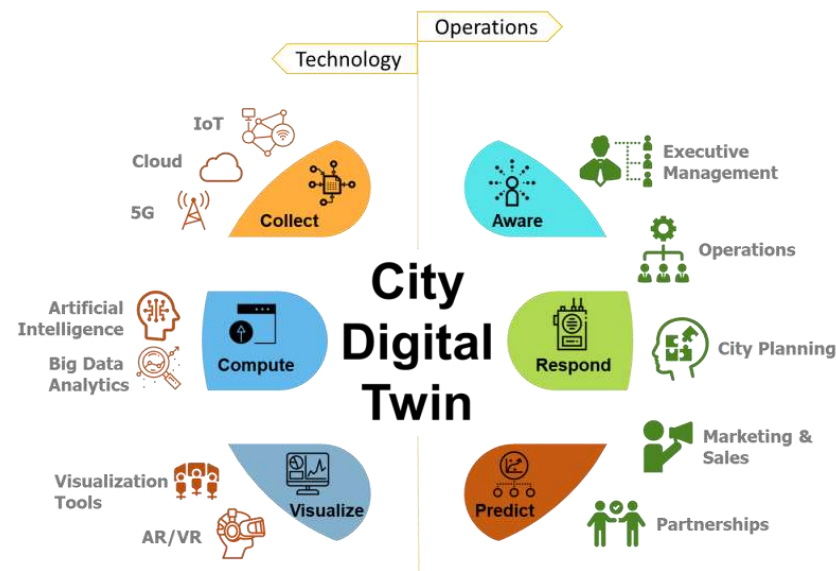
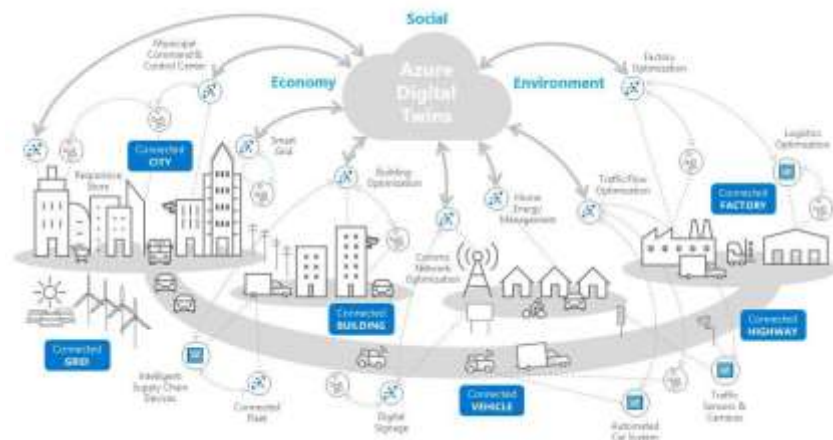
五、项目成果：20条核心关键词

8.数字孪生城市|Digital Twin City

将数字技术创新与城市运行机制有效结合，为未来可持续发展的城市规划建设提供了典范，为城市升级提供了可行路径。通过实体城市和数字城市的精准测绘、虚实融合和智能反馈，促进更安全、更高效的城市活动和更便捷、普惠的日常服务，帮助创造更加低碳、可持续的环境。

特点和功能

- **综合数据集成**：将城市各类数据进行整合，包括地理信息、气象数据、交通数据、人口数据、能源数据等，构建城市综合数据模型。
- **高度仿真和模拟**：利用先进的计算技术和模拟算法，对城市的各种系统进行高度仿真和模拟，包括城市规划、交通运输、能源消耗等。
- **实时监测和预测**：基于数字孪生城市模型，实时监测城市各种指标和参数的变化，利用数据分析和机器学习技术进行趋势预测和预警。
- **智能优化和决策支持**：根据模拟结果和预测数据，提供智能优化和决策支持，帮助城市管理者制定政策、规划城市发展、优化资源配置等。
- **虚拟实验和场景模拟**：提供虚拟实验和场景模拟功能，可以模拟不同的城市发展方案、灾害事件、交通拥堵等场景，评估其影响和风险。
- **开放数据接口和服务**：提供开放数据接口和服务，允许第三方开发者和机构利用数字孪生城市模型进行应用开发和创新实践。



五、项目成果：20条核心关键词

9.建筑信息平台|Building Information Model

建筑信息平台是一个综合性的系统，旨在整合和管理建筑相关的信息和数据，以支持建筑项目的规划、设计、建设、运营和维护。这样的平台可以整合各种类型的数据和信息，包括建筑设计、工程施工、设备维护、能源管理、安全监控等方面的数据，从而提高建筑项目的效率、质量和可持续性。

功能和特点

- **数据整合和管理**：平台能够整合和管理来自多个来源的建筑相关数据，包括设计文件、工程图纸、施工计划、设备信息、能源数据等。
- **可视化展示**：将建筑数据以可视化的方式呈现，例如三维建模、虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术，帮助用户更直观地理解建筑项目的各个方面。
- **协作和沟通**：平台提供协作和沟通工具，支持项目团队成员之间的实时交流和合作，促进信息共享和决策协调。
- **智能分析和优化**：平台可以对建筑数据进行智能分析和优化，例如能源消耗分析、设备运行状态监测、施工进度预测等，提高建筑项目的效率和可持续性。
- **安全监控和风险管理**：平台可以集成安全监控系统，实时监测建筑工地和设施的安全情况，提供风险评估和预警功能，保障建筑项目的安全。
- **维护和运营管理**：平台支持建筑设备的维护和运营管理，包括计划维护、故障诊断、备件管理等功能，帮助延长设备的使用寿命和降低运营成本。



五、项目成果：20条核心关键词

10.城市信息平台|City Information Model

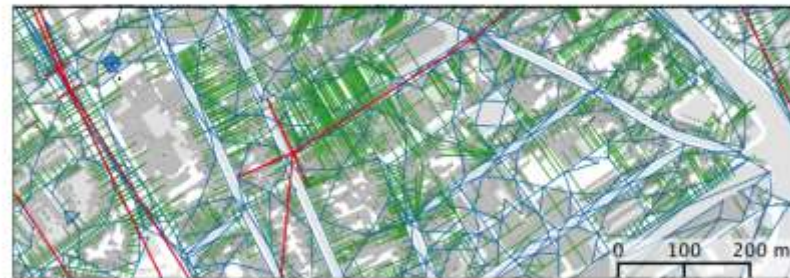
以工程建设项目业务协同平台（“多规合一”业务协同平台）等为基础，融合二三维空间信息、建筑信息模型（BIM）、物联网感知信息，提供三维可视化表达和服务引擎、工程建设项目各阶段信息模型汇聚管理、审查与分析等核心功能，提供从建筑单体、社区到城市级别的模拟仿真能力，支撑智慧城市应用的信息平台。

特点和功能

- **数据整合和管理**：平台能够整合来自各个部门和来源的城市数据，包括结构化、半结构化和非结构化数据，并进行有效管理和存储。
- **数据可视化和展示**：平台提供数据可视化工具，将城市数据以图表、地图等形式进行直观展示，帮助用户快速理解城市的状况和趋势。
- **数据分析和挖掘**：平台提供数据分析和挖掘功能，支持对城市数据进行统计分析、空间分析、关联分析等，发现数据中的规律和价值。
- **决策支持**：平台为城市管理者 and 决策者提供决策支持工具，基于数据和分析结果，提供决策建议和方案，优化城市规划、管理和服务。
- **数据共享和开放**：平台支持城市数据的共享和开放，通过开放API接口和数据集，促进数据的共享和创新应用，推动城市数字化转型。

City Information Modelling (CIM)

Jorge Gil
Department of Urbanism, TU Delft



Towards an extended network-based description for BIM and Smart Cities
Workshop – 17th of March 2015
Space Syntax Ltd, London



五、项目成果：20条核心关键词

11.智慧服务|Intelligent Sevice

指利用先进的信息技术和智能化系统提供的服务，这些服务可以根据用户的需求和行为习惯进行智能化的个性化推荐、预测和优化。智慧服务整合城市各个领域的数据和信息，通过分析大数据、人工智能和物联网技术，提供个性化、高效率的解决方案，以提升城市居民的生活质量和城市的整体运行效率。

智慧服务的特点

- **个性化定制**：根据用户的需求、偏好和行为历史，为用户提供量身定制的服务，满足用户个性化需求。
- **智能推荐**：基于用户历史行为和数据分析，向用户推荐符合其兴趣和偏好的产品、服务或信息，提高用户体验和满意度。
- **实时响应**：利用实时数据分析和处理技术，实现对用户需求的即时感知和响应，提供及时有效的服务支持。
- **跨平台互通**：通过互联网技术，实现跨平台、跨设备的智慧服务，用户可以随时随地享受服务。
- **智慧决策**：基于数据分析和人工智能技术，为企业和组织提供智慧决策支持，优化决策流程，提升决策效率和准确性。



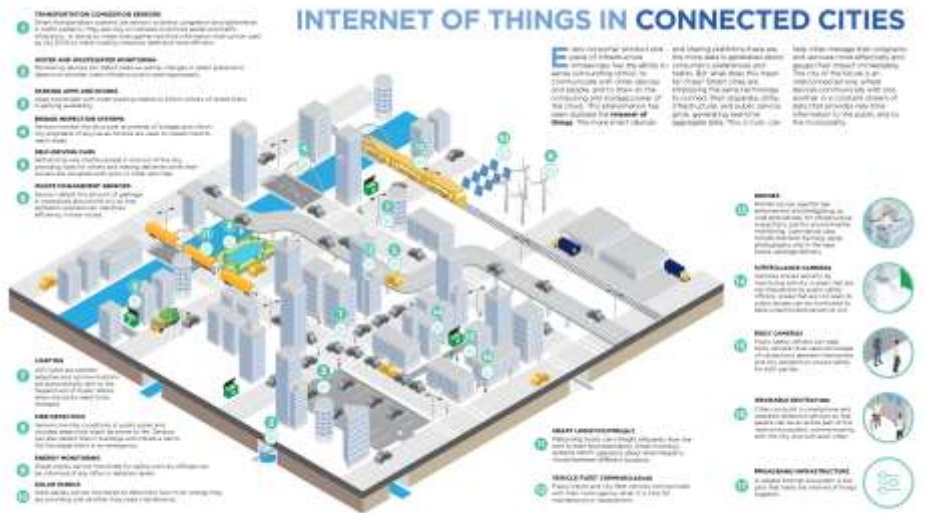
五、项目成果：20条核心关键词

12.智慧城市|Smart City

韧性是指一个系统或组织在面对挑战、压力或变化时，能够迅速适应、恢复并保持正常运作的能力。这种能力使得系统能够在不断变化的环境中保持稳定性和持续性。

韧性的特点包括

- **数字化基础设施**：智慧城市依赖数字化基础设施，如高速宽带网络、物联网、云计算等，实现信息的快速获取、传输和处理。
- **数据驱动决策**：智慧城市以数据为基础，通过各种传感器和监测设备收集大量城市数据，利用数据分析和挖掘技术进行智能决策和优化。
- **智能化服务**：智慧城市通过智能交通、智能能源、智能环保等系统，提供高效、智能、个性化的公共服务，提升居民生活品质。
- **可持续发展**：智慧城市注重资源的合理利用和环境的保护，推动城市的可持续发展，实现经济、社会和环境的协调发展。



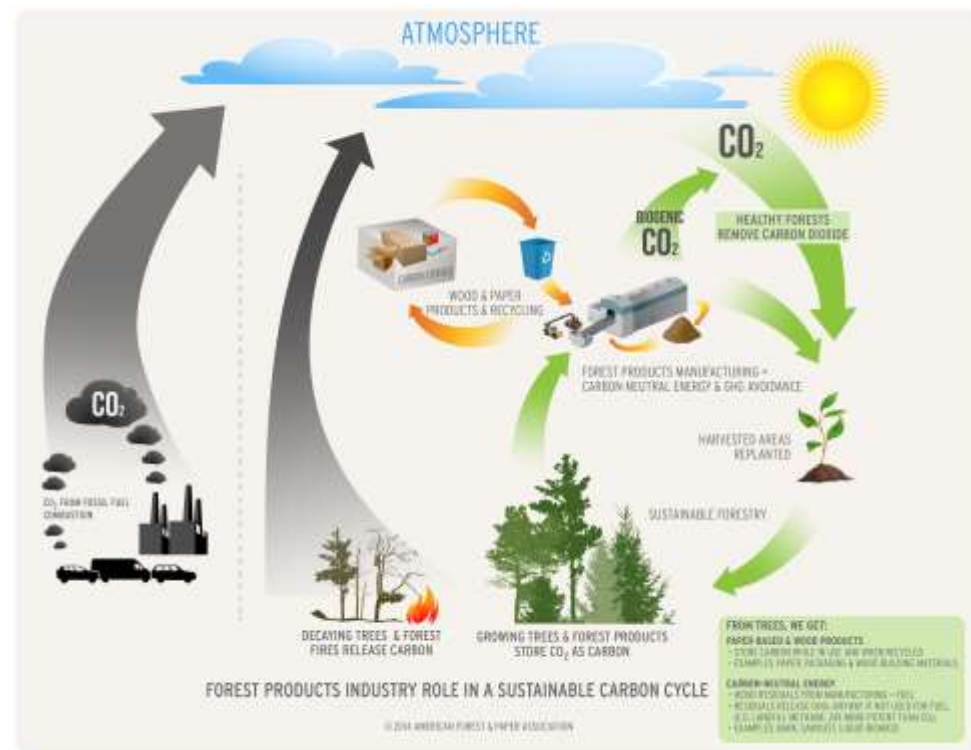
五、项目成果：20条核心关键词

13.碳排放|Carbon Emission

碳排放是指人类活动产生的二氧化碳（CO₂）等碳类气体释放到大气中的过程。碳排放是导致全球气候变化的主要因素之一，其中包括工业生产、能源消耗、交通运输、农业活动等

碳排放对气候变化的影响主要体现

- **温室效应**：二氧化碳等温室气体在大气中能够吸收地表辐射的一部分，并将其重新辐射向地表，导致地球表面温度升高，形成温室效应，加剧全球气候变暖。
- **海平面上升**：全球气候变暖导致极地冰雪融化加剧，海洋水量膨胀，加上冰川融化的淡水流入海洋，使海平面不断上升，威胁到低洼地区和沿海城市。
- **极端天气事件**：气候变暖导致极端天气事件（如热浪、干旱、洪涝、飓风等）频率和强度增加，对人类社会和生态系统造成巨大影响。
- **生物多样性**：气候变化影响生态系统平衡，引起物种栖息地丧失、生物多样性丧失和生态系统功能退化，对生物多样性产生负面影响。



'Upfront' Embodied Carbon
Manufacturing, transportation, and
installation of construction materials

Operational Carbon
Building energy consumption

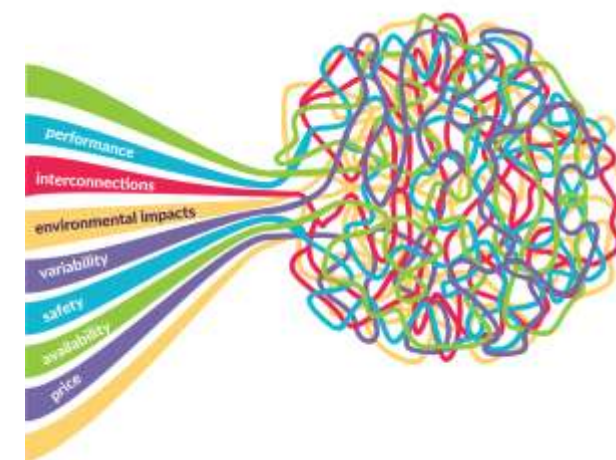
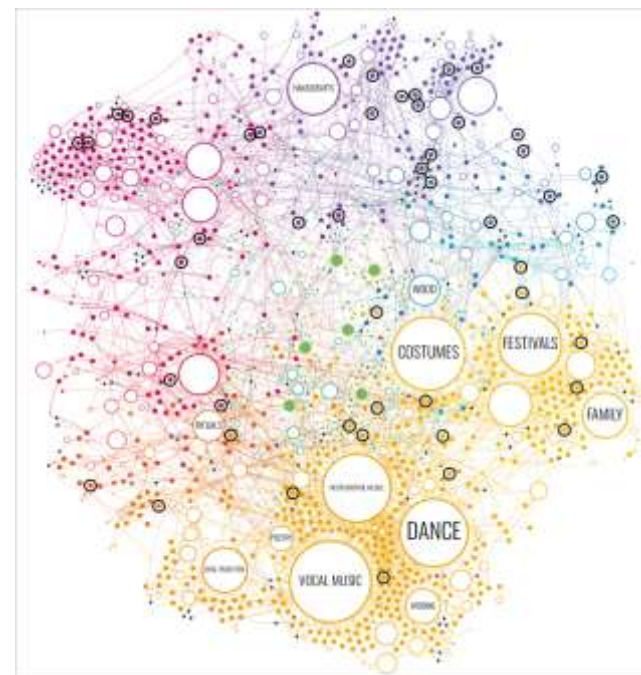
五、项目成果：20条核心关键词

14.复杂系统|Complex System

是指由许多可能相互作用的组成成分所组成的系统。在很多情况下，将这样的系统表示为网络是有用的，其节点代表组成成分，链接则代表它们的交互作用。

特点和功能

- **多样性和多级结构**：通常由多种类型的组件组成，这些组件之间存在多级结构和层次关系。
- **相互作用和反馈**：复杂系统中的组件之间存在相互作用和反馈机制，即一个组件的变化可能引起其他组件的变化，并反过来影响原始组件。这种相互作用和反馈导致系统的行为是非线性的。
- **自组织和适应性**：具有自组织和适应性的能力，能够根据外部环境的变化调整自身结构和行为，以保持稳定性或适应环境变化。
- **动态性和不确定性**：复杂系统的行为是动态变化的，并且通常具有一定的不确定性，即使系统的初始状态和参数已知，也难以精确预测其未来状态。
- **非线性和混沌性**：复杂系统通常是非线性的，即组件之间的关系不满足线性的加法和乘法关系。在某些情况下，复杂系统的行为可能表现出混沌现象，即微小的变化可能引起系统的巨大变化。
- **新奇性和新兴性**：表现出新奇性和新兴性，即在系统演化过程中可能出现新的结构、功能或行为，这些新的特征不易通过简单地组件特性推导出。



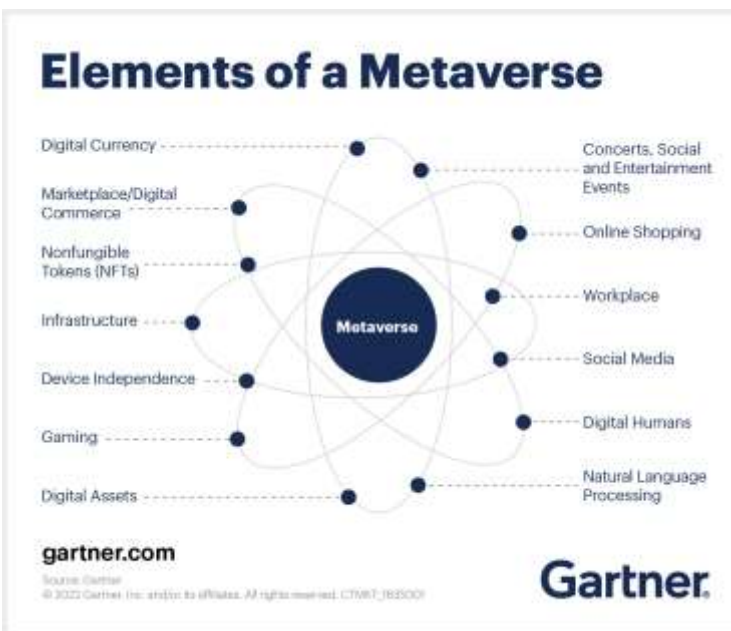
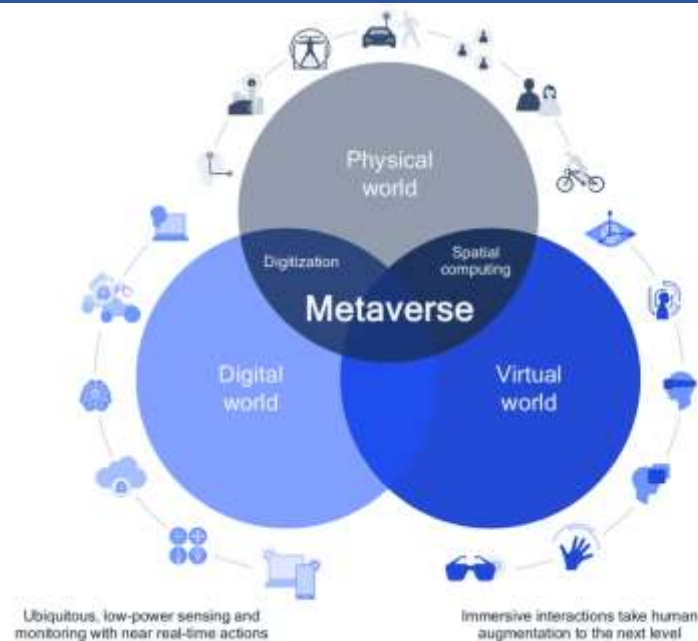
五、项目成果：20条核心关键词

15.元宇宙|Metaverse

一个虚拟的、数字化的、多维度的世界，由多个互相连接的虚拟现实空间组成，涵盖了人类的社交、娱乐、工作、学习等各个方面。元宇宙是虚拟现实、增强现实、人工智能、区块链等技术的集成，通过互联网等网络进行连接，实现了虚拟世界与现实世界的交互和融合。

元宇宙的特点包括

- **虚拟世界**：元宇宙是一个虚拟的世界，由计算机程序和数据构建而成，用户可以在其中创建虚拟身份、建立虚拟环境，并进行各种虚拟活动。
- **多维度**：元宇宙是一个多维度的世界，包括三维空间、时间、感知、认知等多个维度，用户可以在其中进行多种感官体验和认知活动。
- **互相连接**：元宇宙中的各个虚拟空间是互相连接的，用户可以通过虚拟门户、传送门等方式在不同的空间之间进行跳转和交流。
- **多样化内容**：元宇宙中包含丰富多样的内容，包括虚拟现实游戏、社交平台、虚拟商店、数字艺术作品、虚拟教育场景等。
- **自主创造**：用户可以在元宇宙中自主创造内容，包括虚拟角色、虚拟物品、虚拟场景等，实现个性化的虚拟体验。
- **经济系统**：元宇宙中有完整的经济系统，包括虚拟货币、虚拟商品交易、虚拟资产投资等，用户可以在其中进行虚拟经济活动。



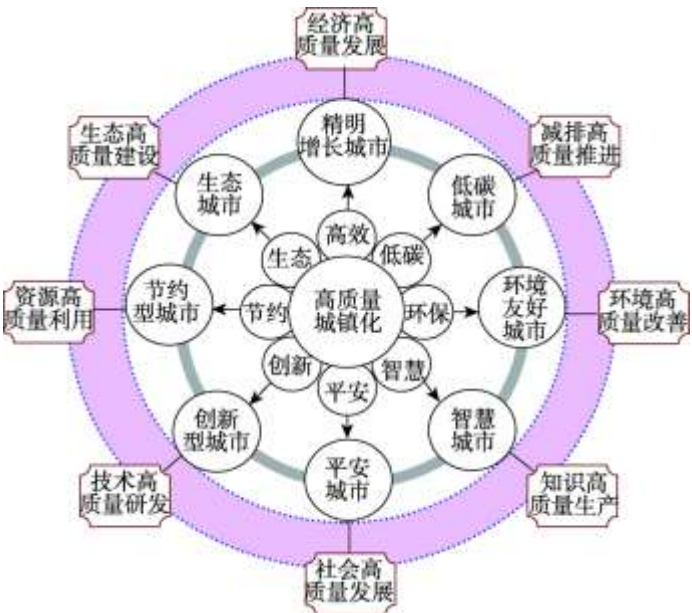
五、项目成果：20条核心关键词

16.高质量发展|High Quality Development

指以提高经济增长质量和效益为核心，促进经济结构优化、提升产业水平、改善民生福祉、保障生态环境等方面的发展模式，这一概念突出了经济增长的质量、效益和可持续性。

实现高质量发展的关键要素

- **创新驱动**：通过加大科技投入、提升科技创新能力，推动产业技术进步和结构优化升级。
- **供给侧结构性改革**：通过深化改革、减少无效产能、优化资源配置，提高经济发展的供给质量和效率。
- **绿色发展**：以节能减排、资源节约和环境保护为核心，推动生产方式和生活方式的转型升级，实现经济增长与生态环境的协调发展。
- **开放合作**：加强国际合作、拓展对外贸易、引进国际先进技术和管理经验，提升企业竞争力和国际影响力。
- **民生改善**：加强社会保障、优化教育医疗、改善居民收入水平，促进人民群众的共享发展。
- **区域协调**：加强区域协调发展，优化城乡发展格局，促进资源要素优化配置和协调发展。
- **风险防范**：加强金融监管、防范系统性风险，保持经济稳定增长和金融安全。



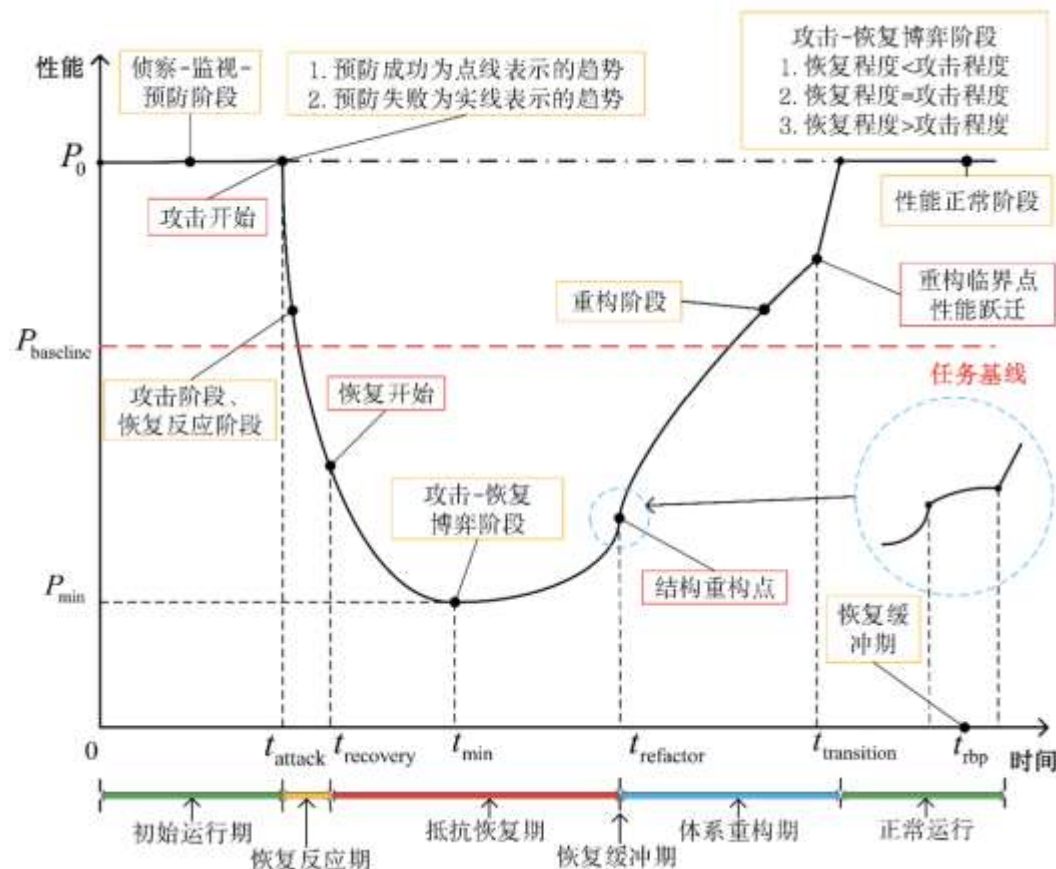
五、项目成果：20条核心关键词

17.韧性|Resilience

韧性是指一个系统或组织在面对挑战、压力或变化时，能够迅速适应、恢复并保持正常运作的能力。这种能力使得系统能够在不断变化的环境中保持稳定性和持续性。

韧性的特点包括

- **弹性恢复**：韧性使得系统或个体在受到压力或冲击后能够迅速恢复到原有状态，避免过度受损。
- **适应性**：韧性不仅仅是恢复到原有状态，还包括在面临变化的环境中适应和调整，找到新的平衡点。
- **学习能力**：韧性使得系统或个体能够从挑战和失败中学习，积累经验并提高应对未来挑战的能力。
- **持久性**：韧性使得系统或个体能够长期面对压力和挑战，保持稳定的运行和发展。
- **多样性和复杂性**：韧性通常与系统的多样性和复杂性相关，具有更多的选择和灵活性，能够更好地适应各种不同的情况



五、项目成果：20条核心关键词

18.可持续性|Sustainability

指在满足当前需求的同时，不损害未来世代满足其需求的能力。这意味着在经济、社会和环境三个层面上的平衡和协调发展，以确保资源的有效利用、环境的保护和社会的公平。

可持续性的关键特征包括

- **经济可持续性**：经济可持续性要求在保障经济增长的同时，减少资源的浪费和消耗，实现资源的有效利用和经济的稳健增长。
- **社会可持续性**：社会可持续性强调社会的公平和包容，确保所有人都能够享有基本权利和公平机会，避免社会不平等和社会不稳定。
- **环境可持续性**：环境可持续性要求保护和维护生态系统的健康，减少对自然资源的消耗和污染，实现与自然和谐共生。

城市可持续性是指城市在经济、社会和环境三个方面的平衡发展，以满足当前和未来居民的需求，同时最大限度地减少资源消耗、环境污染和社会不公。城市可持续性的实现涉及到城市规划、管理、发展等方方面面，旨在建设更加宜居、宜业、宜游的城市环境。



五、项目成果：20条核心关键词

19. 用户参与|User Participation

指城市居民、交通使用者或相关利益相关者积极参与到城市交通规划、管理和 服务中的过程。这种参与可以涵盖从意见反馈到决策制定的各个层面，旨在增 强民众对城市交通事务的参与度和话语权。在用户参与的框架下，政府部门、 交通运营机构和其他相关组织通常会提供各种渠道和机会，让居民和利益相关 者参与到交通事务的讨论、决策和执行中。

用户参与的关键在于

- **信息透明和沟通**：提供充分的信息，并确保信息的透明度，使居民和利益相关者能够了解决策的过程和影响，同时建立有效的沟通渠道，让公众能够表达意见和建议。
- **广泛参与和包容性**：鼓励广泛的参与，包括各个社会阶层、年龄段和利益相关者，确保多元化的声音被充分听取，避免少数人的利益主导决策。
- **早期介入和可持续性**：在决策过程的早期阶段引入用户参与，让公众有机会参与到问题识别、目标制定和方案设计中，以确保决策的可持续性和社会接受度。
- **反馈机制和决策影响**：建立有效的反馈机制，及时回应公众的意见和建议，并告知他们自己的参与对决策的影响，增强公众对决策的信任和认同感。

Three Types of Participatory Design

Design **for** users
User-Centered Design



Design **with** users
Co-Design



Design **by** users
User-Generated Design



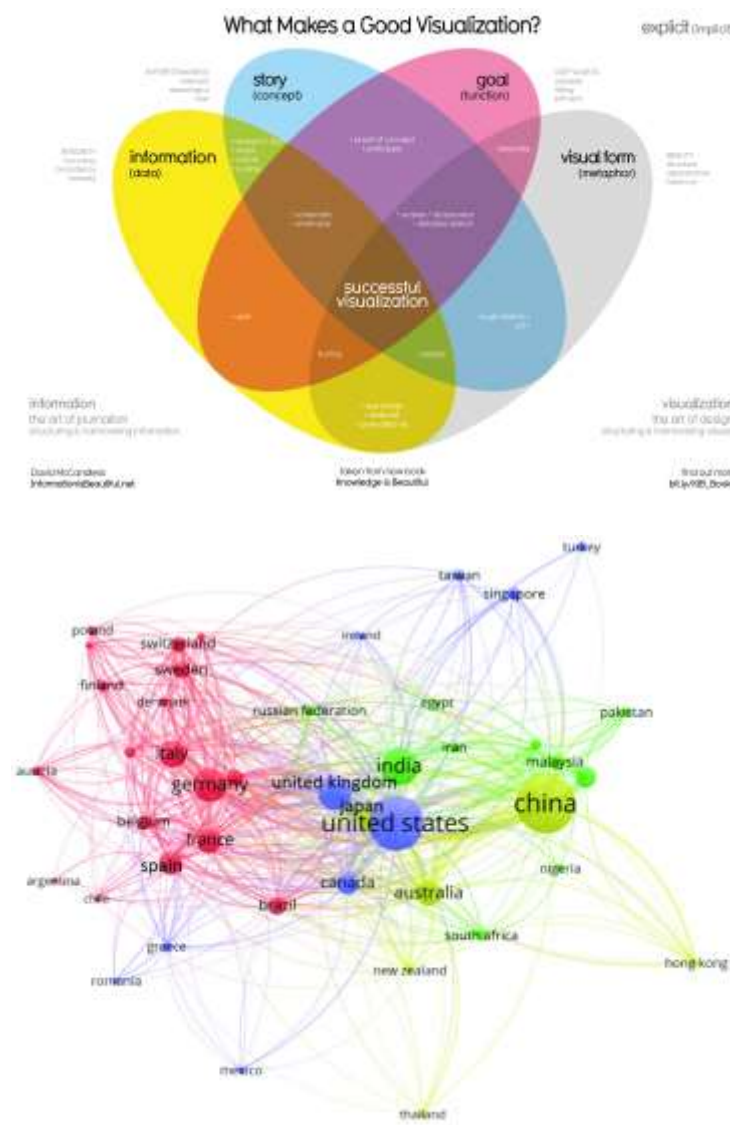
五、项目成果：20条核心关键词

20.可视化|Visualization

可视化是将数据或信息通过图表、图形、地图等视觉化手段呈现出来，以便更直观地理解和分析。可视化技术可以帮助人们从大量的数据中提取有用的信息、发现规律、进行决策和沟通。

可视化的关键特点包括

- **直观理解**：可视化以图表、图形等形式呈现数据，使得信息更加直观和易于理解。相比于纯文字或数字，图形化的表达方式更容易被人们接受和理解，有助于快速把握数据的含义和趋势。
- **发现模式和趋势**：可视化能够帮助人们快速发现数据中的模式、趋势和异常情况。通过图表、图形的展示，用户可以直观地观察数据的分布、变化趋势，从而更容易发现数据中的规律性和相关性。
- **交互性和探索性**：现代可视化工具通常具有交互性，用户可以根据自己的需求和兴趣进行数据的探索和操作。通过交互式的可视化界面，用户可以对数据进行筛选、过滤、排序等操作，实现对数据的更深入的分析 and 理解。
- **有效沟通和决策**：可视化能够有效地传递信息，帮助人们更好地理解数据，做出更准确的决策。通过图表、图形的展示，数据分析结果更具有说服力，能够更好地向他人解释和展示数据，促进团队间的沟通和协作，推动决策的制定和实施。



- 一、数字孪生概念与历史沿革
- 二、数字孪生城市系统架构
- 三、数字孪生城市关键技术
- 四、中外数字孪生城市特点比较
- 五、项目成果：20条核心关键词
- 六、项目成果：20篇核心文献**
- 七、项目成果：20项核心案例
- 八、项目成果：20张讲座记录

六、项目成果：20篇核心文献

1. Definition methodology for the smart cities model

- George Cristian Lazaroiu, Mariacristina Roscia
- Energy, 2012.12

关键词:

Energy Sustainability 能源可持续性; Smart City Model 智慧城市模型; Fuzzy Logic 模糊逻辑; IEE Project Funding IEE项目资金

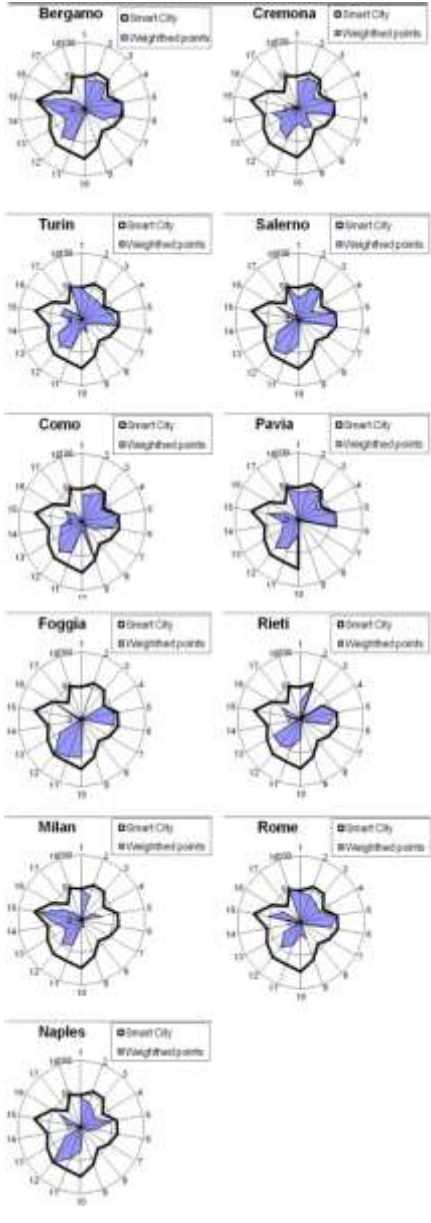
摘要:

如今，大小城市都在提出一种新的城市模型，即“智慧城市”，它代表着一种科技水平适中、互联互通、可持续、舒适、有吸引力和安全的社区，解决地方问题的景观要求和方案是关键因素。城市消耗了全球75%的能源产量，并产生了80%的二氧化碳排放。因此，欧洲委员会支持一种可持续的城市模型——“智慧城市”。本文提出了一种计算“智慧城市”指数的模型。所选指标具有非均质性，包含大量信息。本文讨论了为所考虑的指标分配权重的方法。所提出的方法使用基于模糊逻辑的程序，并定义了一个模型，使我们能够评估“智慧城市”，从而获得欧洲资金支持。这种创新的系统带来了更广泛的理解和简单的使用。因此，该模型可以作为政策制定过程的起点，供利益相关者和公民在最终决定采取措施和评估最佳选项时进行讨论。

	Indicators	Weighting
a) Smart economy		
Innovative spirit	3	17%
Entrepreneurship	2	17%
Economic image & trademarks	1	17%
Productivity	1	17%
Flexibility of labor market	2	17%
International embeddedness	3	17%
Ability to transform	0	0%
Total	12	100%
b) Smart mobility		
Local accessibility	1	25%
Inter-national accessibility	1	25%
Availability of ICT-infrastructure	2	25%
Sustainable, innovative and safe transport systems	1	25%
Total	5	100%
c) Smart environment		
Attractiveness of natural conditions	2	25%
Pollution	1	25%
Environmental protection	2	25%
Sustainable resource management	1	25%
Total	10	100%
d) Smart people		
Level of qualification	4	14%
Affinity to lifelong learning	3	14%
Social and ethnic plurality	2	14%
Flexibility	1	14%
Creativity	1	14%
Geographical dispersion/mobility	1	14%
Participation in public life	2	14%
Total	20	100%
e) Smart living		
Cultural facilities	1	14%
Health conditions	4	14%
Individual safety	1	14%
Housing quality	1	14%
Education facilities	1	14%
Touristic attractiveness	2	14%
Social cohesion	2	14%
Total	20	100%
f) Smart governance		
Participation in decision-making	4	33%
Public and social services	1	33%
Transparent governance	2	33%
Political strategies & perspectives	0	0%
Total	7	100%

Smart city indicators	
Indicators	
1. Pollution	
2. Innovative spirit	
3. CO ₂	
4. Transparent governance	
5. Sustainable resource management	
6. Separated latrines	
7. Education facilities	
8. Health conditions	
9. Sustainable, innovative and safe public transportation	
10. Pedestrian areas	
11. Cycle lanes	
12. Green areas	
13. Production of municipal solid waste	
14. GDI household	
15. Parks	
16. Political strategies & perspectives	
17. Availability of ICT-infrastructure	
18. Flexibility of labor market	

Classification with fuzzy weights	
Pavia	0.68
Bergamo	0.63
Como	0.62
Salerno	0.6
Cremona	0.56
Rome	0.56
Rieti	0.50
Naples	0.47
Foggia	0.47
Milan	0.43



六、项目成果：20篇核心文献

2.Immersive virtual reality in community planning: Acoustic and visual congruence of simulated vs real world

- Luigi Maffei, Massimiliano Masullo, Aniello Pascale, Gennaro Ruggiero, Virginia Puyana Romero
- Sustainable Cities and Society, 2016.11

关键词:

Immersive virtual reality 沉浸式虚拟现实; Ecological validity 生态有效性; Soundscape 声景; Community planning 社区规划; Multisensory perception 多传感器感知

摘要:

《欧洲2020》文件提出一个新战略，旨在将欧盟转变为一个智能、可持续和包容性的经济体。各国政府为增长确立了多项原则和优先事项，包括可持续发展、参与和权力下放。参与式规划是加强政策合法性和决策制定的重要工具。为了实现这一目标，决策和设计选择应得到社区不同参与者、利益相关者、专家甚至非专家即普通公民的认可和检验。如果人们能够真正评估环境的复杂多感官变量，例如声音和视觉参数所代表的变量，这一过程将得到促进。



六、项目成果：20篇核心文献

3.Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities

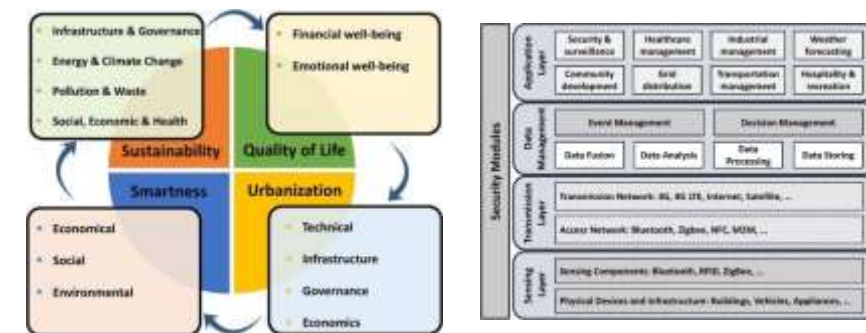
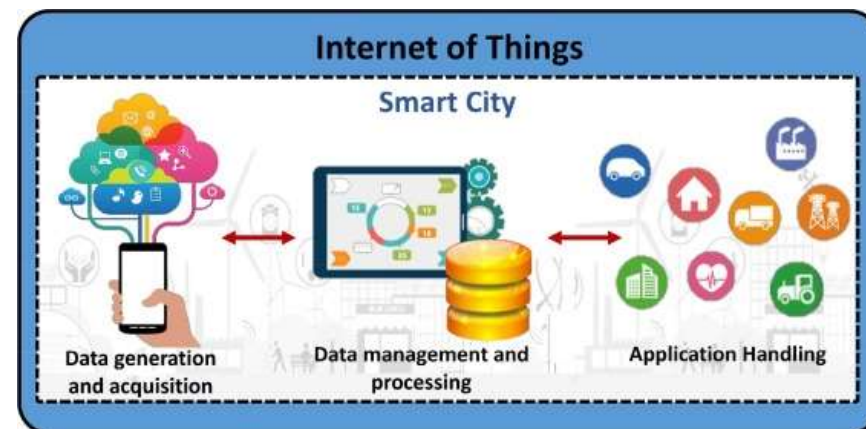
- Bhagya Nathali Silva, Murad Khan, Kijun Han
- Sustainable Cities and Society, 2018.04

关键词:

Internet of Things 物联网; Smart City Architectures 智慧城市架构;
Communication in Smart Cities 智慧城市通信; Wireless Sensor
Network 无线传感器网络; IoT Applications 物联网应用

摘要:

智慧城市利用物联网技术,以环境影响最小和人为干预的方式,智能地管理和优化城市运营。随着人口增长和城市化进程的加速,智慧城市已成为应对挑战的重要解决方案。尽管智慧城市的概念在不断发展和完善,但其在全球范围内的普及仍面临技术、经济和治理等多重挑战。本文全面概述了智慧城市的核心内容,深入探讨了其特征、架构、组成以及实际应用案例,并基于广泛的文献调研,分析了智慧城市在发展过程中所面临的挑战与潜在的机遇。



六、项目成果：20篇核心文献

4.The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning

- Gerhard Schrotter, Christian Hürzeler
- PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, 2020.02

关键词:

Digital twin 数字孪生; Digital transformation in urban planning 城市规划中的数字化转型; Densification/高密化; Urban climate 城市气候; Architectural competition 建筑竞争; Participation 参与

摘要:

未来几年，苏黎世市将面临人口增长带来的多重挑战。为应对这些挑战，数字孪生体作为关键数据基础，将支持城市规划与决策过程的数字化转型。3D空间数据及其模型能够将城市元素映射至数字世界，便于分析和讨论不同场景。这些数据将通过开放政府数据的形式共享，促进公众参与和协作平台的创建。数字孪生体还能用于模拟城市气候等问题，并链接至3D空间数据，以提供决策支持。因此，3D空间数据集、模型及其元数据描述必须精准并实时更新。通过谨慎管理数字孪生的生命周期，苏黎世市将能够更好地应对增长挑战，促进可持续发展，并广泛吸引公众参与城市规划和决策。



六、项目成果：20篇核心文献

5.Developing a Digital Twin at Building and City Levels: Case Study of West Cambridge Campus

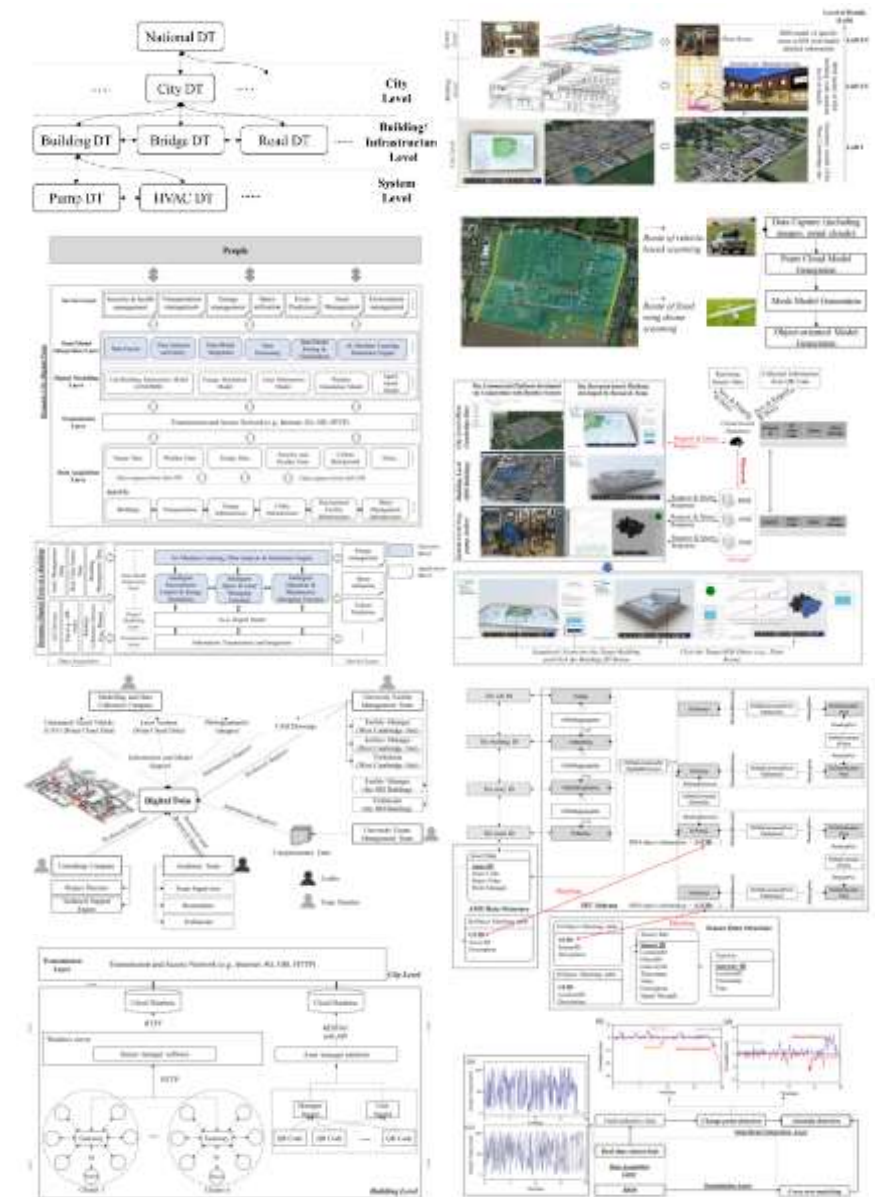
- Qiuchen Lu, A.M.ASCE, Ajith Kumar Parlikad
- Journal of Management in Engineering, 2020.03

关键词:

digital twin (DT) 数字孪生; asset management 资产管理; operation and maintenance (O&M) 运维; facilities management 设施管理; architecture 建筑; system 系统

摘要:

数字孪生 (DT) 是物理实体的数字副本, 能模拟和预测当前与未来状态。目前, 数字孪生在建筑和基础设施中的应用尚处初级阶段, 特别是在运维阶段缺乏足够关注。本文提出一种针对建筑和城市层面的数字孪生系统架构, 并开发了剑桥大学西剑桥校区的数字孪生演示器, 整合多种数据源, 支持数据分析和运维决策, 强化人与建筑/城市的联系。本文旨在分享数字孪生开发过程中的经验与挑战, 为从业者、政策制定者和研究者提供实施和发展数字孪生的清晰路径。



六、项目成果：20篇核心文献

6.Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research

- Aidan Fuller, Zhong Fan, Charles Day, Chris Barlow
- IEEE ACCESS, 2020.05

关键词:

Smart cities 智慧城市; Data analysis 数据分析; Manufacturing 制造业; Data models 数据模型; Internet of Things 物联网; Computational modeling 计算建模; ; Digital twins 数字孪生; Enabling technologies 赋能技术; Machine learning 机器学习; Deep learning 深度学习

摘要:

数字孪生技术是一个新兴概念，近年来受到了工业和学术界的广泛关注。工业4.0概念的进步推动了其发展，特别是在制造业领域。数字孪生被广泛定义，但最准确的描述是物理机器和虚拟机器之间数据的无缝集成。本文介绍了人工智能、物联网（IoT）和数字孪生的挑战、应用和支持技术。通过对与数字孪生相关的出版物进行综述，对近期论文进行了分类评价。该综述根据研究领域进行了分类：制造业、医疗保健和智能城市，讨论了反映这些领域和当前研究状态的论文。

Domain	Enabling Technology
D1 Application Domain	IIoT Application Architecture Software and APIs
D2 Middleware Domain	Cloud Platforms Data Processing Mechanism Data Storage
D3 Networking Domain	Communication Protocol Network Interface Adoption Mechanism
D4 Object Domain	Hardware Platform Embedded Objects Mechanical and Electrical Parts

Domain	Enabling Technology
D5 Object Domain	Data Collection and Preprocessing Data Repositories Storage Facilities
D6 Middleware Domain	Data Processing Analysis Techniques and Algorithms
D7 Networking Domain	Wireless Network Technology
D8 Application Domain	Hardware & Data Visualisation Data Analytic Applications

Domain	Enabling Technology
D9 Application Domain	Model Architecture and Visualisation Software and APIs Data collection and Pre-processing
D10 Middleware Domain	Storage Technology Data Processing
D11 Networking Domain	Communication Technology Wireless Communication
D12 Object Domain	Hardware Platform Sensor Technology

Topic	Year	Domain	Enabling Tech	Enabling Tech	Enabling Tech	Technology
Wang, 2019 [19]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Chen et al., 2019 [20]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [21]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [22]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [23]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [24]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [25]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [26]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [27]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [28]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [29]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [30]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [31]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [32]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [33]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [34]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [35]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [36]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [37]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [38]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [39]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [40]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [41]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [42]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [43]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [44]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [45]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [46]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [47]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [48]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [49]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [50]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [51]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [52]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [53]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [54]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [55]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [56]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [57]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [58]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [59]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [60]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [61]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [62]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [63]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [64]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [65]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [66]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [67]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [68]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [69]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [70]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [71]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [72]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [73]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [74]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [75]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [76]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [77]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [78]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [79]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [80]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [81]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [82]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [83]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [84]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [85]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [86]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [87]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [88]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [89]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [90]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [91]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [92]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [93]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [94]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [95]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [96]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [97]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [98]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [99]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT
Wang et al., 2019 [100]	2019	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT	IIoT

六、项目成果：20篇核心文献

7.Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens: The Case Study of Herrenberg, Germany

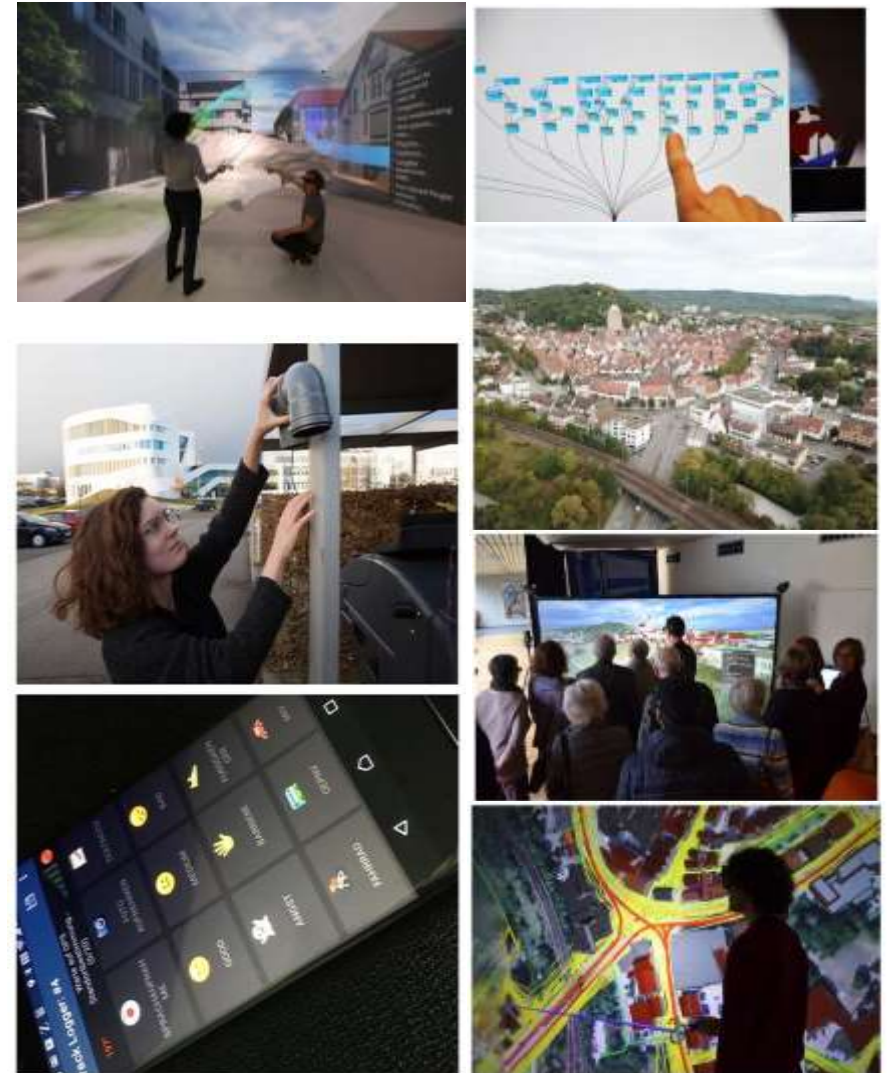
- Fabian Dembski, Uwe Wössner, Mike Letzgus, Michael Ruddat, Claudia Yamu
- Sustainability, 2020.12

关键词：

urban digital twin 城市数字孪生； spatial modeling and simulation 空间建模与模拟； smart cities 智慧城市； smart citizens 智慧公民； participatory processes 参与式过程

摘要：

城市是复杂的系统，涉及经济、生态和人口等多元因素。在城市规划中，需要既应对复杂性又促进公民参与的方法，以构建民主城市。本文介绍了一个德国小镇的城市数字孪生原型，它整合了3D模型、街道网络、流动性模拟、风流模拟和地理信息数据。这一模型在虚拟现实平台中展示，并应用于公众参与过程，证明其有助于协作和决策。通过了解数字孪生如何支持规划者和公众，我们能更有目的地创建智能和可持续城市。本文最后讨论了结果和研究方向。



六、项目成果：20篇核心文献

8.A digital twin smart city for citizen feedback

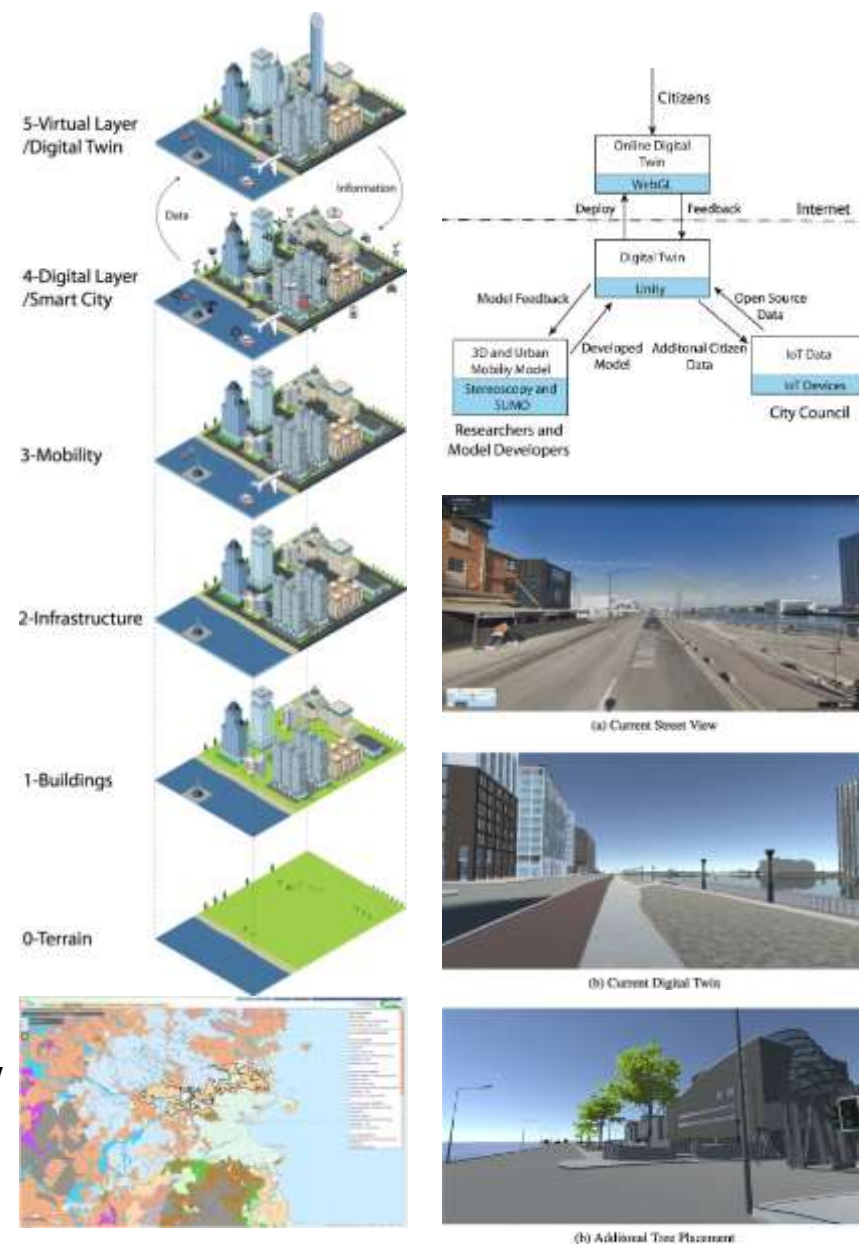
- Gary White, Anna Zink, Lara Codecá, Siobhán Clarke
- Cities, 2021.03

关键词:

Digital twin 数字孪生; Smart cities 智慧城市; Internet of things(IoT) 物联网; Urban planning 城市规划; Urban policy 城市政策

摘要:

近年来, 城市数字孪生领域在物联网技术的推动下取得了显著进步。然而, 该领域的快速发展导致文献综述和成熟度评估存在不足。我们进行了系统性文献综述, 深入研究了41篇精选论文, 发现大多数研究处于初中级成熟阶段, 主要集中在3D建模、监测和可视化方面。数字孪生的发展不应仅限于此, 还需探索人与计算机的双向交互等高级功能。要实现这一目标, 需借助云计算、人工智能、BIM和GIS等先进技术。此外, 我们还发现了研究空白, 如近实时数据分析算法的需求, 以及提高公众参与、整合技术和改善基础设施的机会。未来, 该领域需进一步深入研究, 以应对复杂城市挑战。



9.Collaborative City Digital Twin for the COVID-19 Pandemic: A Federated Learning Solution

- Junjie Pang, Yan Huang, Zhenzhen Xie, Jianbo Li, Zhipeng Cai
- Tsinghua Science And Technology, 2021.04

关键词:

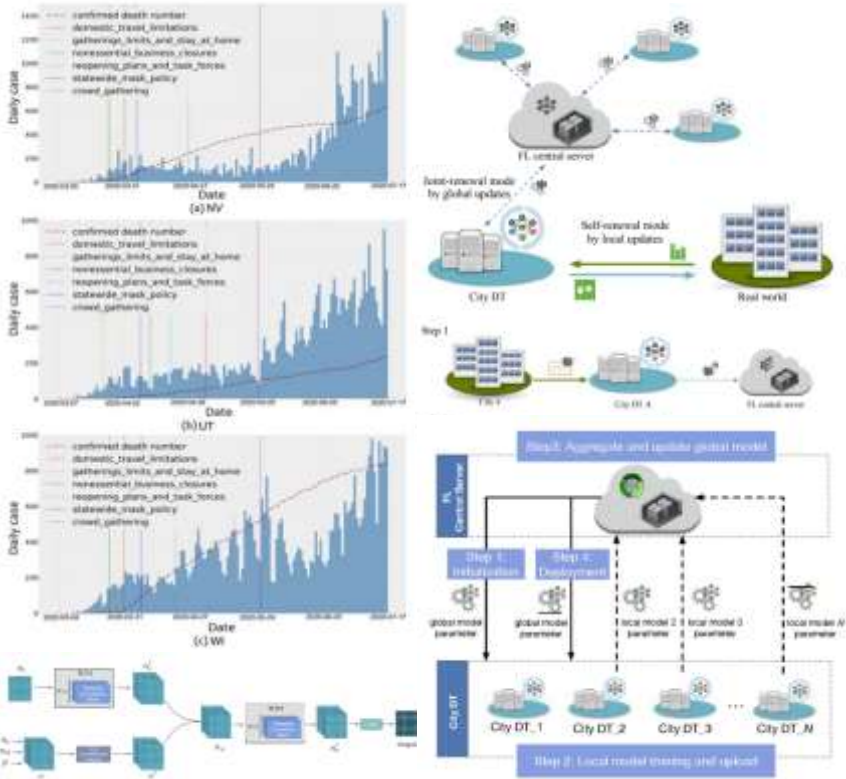
Urban areas 市区; COVID-19 新冠病毒; Data models 数据模型; Collaboration 协作; Predictive models 预测模型; Pandemics 流行病; Training 训练; Digital Twin 数字孪生; Federated Learning 联邦学习; deep learning 深度学习

摘要:

新型冠状病毒（COVID-19）的爆发引发全球危机。随着对病毒理解的加深，制定有效应对策略成为关键。数字孪生（DT）因能模拟多种因素辅助决策而备受关注。然而，DT依赖长期高质量数据，限制了其在紧急危机中的应用。联邦学习（FL）作为新兴解决方案，允许客户端共享模型同时保留本地数据，高效整合多源数据且保护隐私。本文提出融合城市DT与FL的框架，实现多城市DT快速共享策略与状态。此协作范式能从多个DT中获取知识和模式，形成城市危机管理的“全局视图”，同时提升各城市DT效能，且不侵犯隐私。



Fig. 1 Overview of the collaborative framework for a multiple city DT.



六、项目成果：20篇核心文献

10.Roads Infrastructure Digital Twin: A Step Toward Smarter Cities Realization

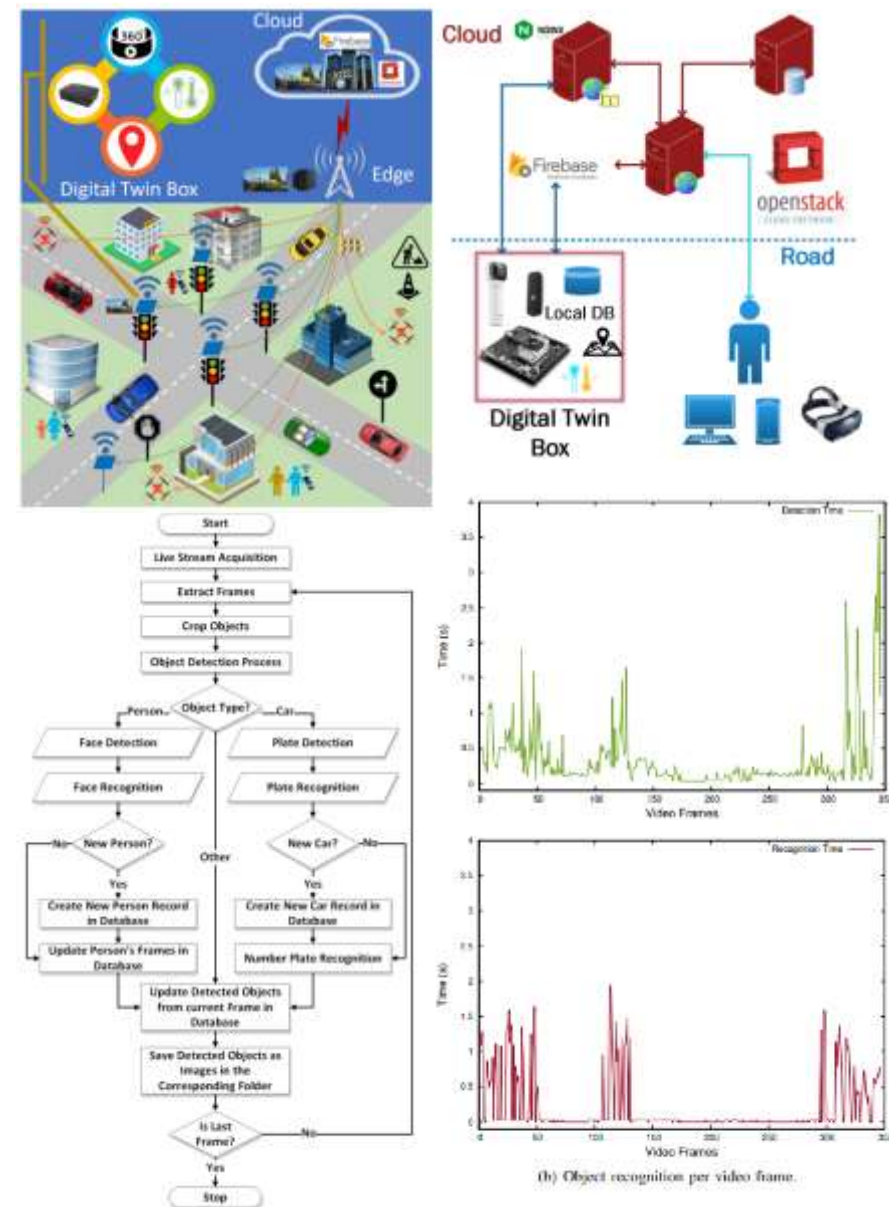
- Oussama El Marai, Tarik Taleb, JaeSeung Song
- IEEE Network, 2021.04

关键词:

Digital twin 数字孪生; Roads 道路; Cloud computing 云计算; Monitoring 监测; Streaming media 流媒体; Real-time systems 实时系统; Object detection 物体检测

摘要:

数字孪生是一种创建实时虚拟资产以模拟物理实体的新方法，旨在优化和监测物理资产。本文探讨了将道路的数字孪生作为构建智能城市的重要步骤。为此，我们提出在道路上部署由360°摄像头和物联网设备组成的数字孪生盒子，实时发送数据到边缘/云端以创建道路的数字副本。这些数据可用于实时监测和其他目的，并通过对象检测、识别和跟踪来增强安全性。实验证明，这种解决方案在创建道路数字孪生方面行之有效，有助于推动自动驾驶等智能出行技术的发展。



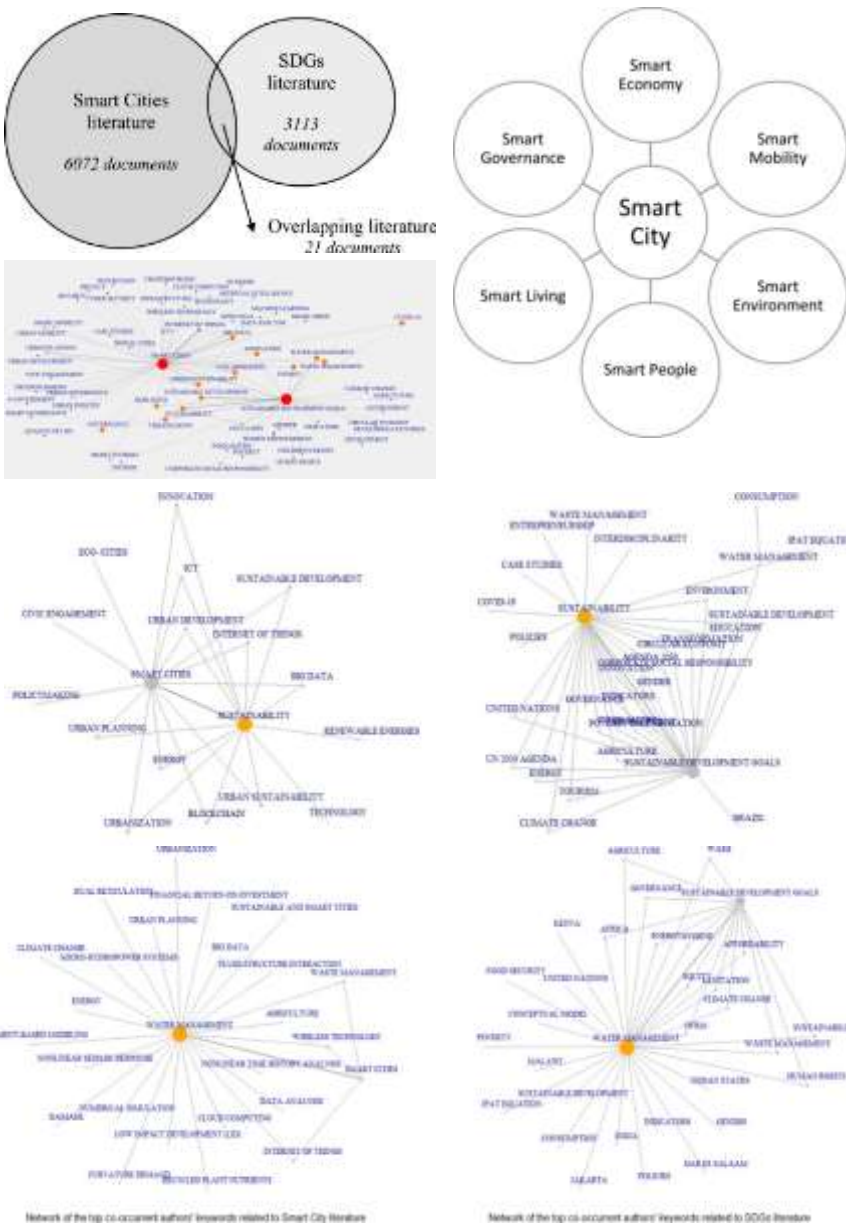
六、项目成果：20篇核心文献

11.Smartening sustainable development in cities: Strengthening the theoretical linkage between smart cities and SDGs

- S. Blasi, A. Ganzaroli, I. De Noni
- Sustainable Cities and Society, 2022.05

关键词:
Smart Cities 智慧城市; SDGs 可持续发展目标; Bibliometric Analysis 文献计量分析; Sustainability 可持续性

摘要:
2015年, 联合国大会制定了17个相互关联的全球目标, 旨在作为实现所有人更美好、更可持续未来的蓝图, 这些目标通常被称为可持续发展目标 (SDGs)。在这个蓝图中, 城市被视为到2030年实现这些目标的重要阵地。在此背景下, 城市通过智能技术致力于构建包容社会和环境问题的可持续生态系统。本文主要目的是评估SDGs制度化对智能可持续城市概念的影响。为此回顾了有关智能城市和SDGs的文献, 分析了二者的契合程度和潜在的发展领域。结果表明, 虽然存在一些在两个领域文献中都排名较高的中介关键词, 但重叠关键词组合中却缺失了诸如水资源管理、能源、治理和协作等关键词。尽管诸如可持续性、废物管理、公民参与和创新等概念是共通的, 但它们在不同领域的探索方式有所不同。



六、项目成果：20篇核心文献

12.Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas

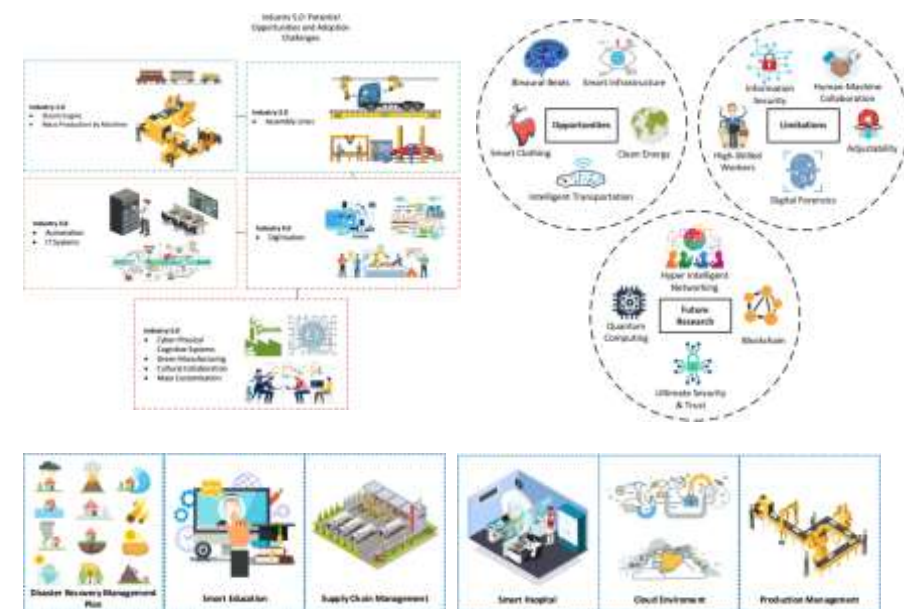
- Amr Adel
- JOURNAL OF CLOUD COMPUTING-ADVANCES SYSTEMS AND APPLICATIONS, 2022.09

关键词:

Industry 5.0 工业5.0; Human machine collaboration 人机协作; Supply chain 供应链; Disaster recovery 灾后恢复; Smart healthcare 智能医疗; Cognitive systems 认知系统; Green manufacturing 绿色制造

摘要:

工业4.0虽提升了行业生产力，但也存在局限，因此工业5.0时代应运而生。工业5.0强调人机协作，减少技术依赖，提升客户满意度，促进经济增长。本文分析了工业5.0的潜在应用，包括定义、所需技术和应用领域，如医疗、供应链、制造和云制造等。涉及技术包括大数据、物联网、协作机器人、区块链、数字孪生和6G系统。同时，本文也探讨了工业5.0面临的困难和问题，特别是人机协作中的挑战。



六、项目成果：20篇核心文献

13.Future smart cities requirements, emerging technologies, applications, challenges, and future aspects

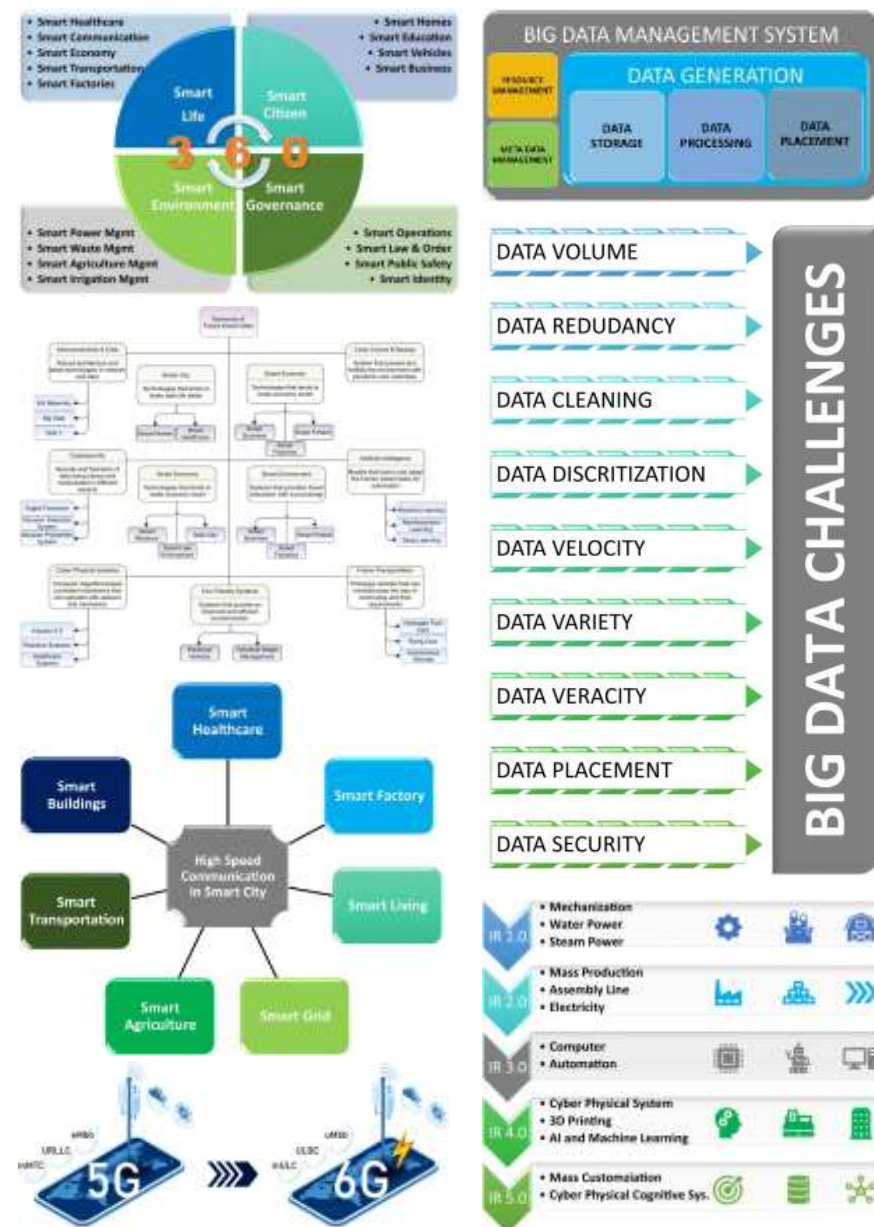
- Abdul Rehman Javed, Faisal Shahzad, Saif ur Rehman
- Cities, 2022.10

关键词:

Future cities 未来城市; Smart cities 智慧城市; Internet of Things 物联网; Big data 大数据; Cloud computing 云计算; Intelligent sensors 智能传感器; Transportation 交通; Data mining 数据挖掘; Smart education 智能教育; Smart health 智能健康; Smart mobility 智能交通; Urban modeling 城市建模; Real-time systems 实时系统

摘要:

未来智能城市是满足公民需求的关键，信息通信技术的进步将优化资源管理，城市环境的发展关乎全球进步。人口增长带来机遇和挑战，创建可持续城市空间对各国政府是考验。智能城市确保公民权益，推动行业发展，注重环境规划。本文调查了未来智能城市所需技术，包括深度学习、物联网、大数据等，并回顾了现有应用框架。同时，讨论了技术挑战和智能生活优先的未来发展方向。



六、项目成果：20篇核心文献

14.The Social Digital Twin:The Social Turn in the Field of Smart Cities

- Batel Yossef Ravid, Meirav Aharon-Gutman
- Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2022.11

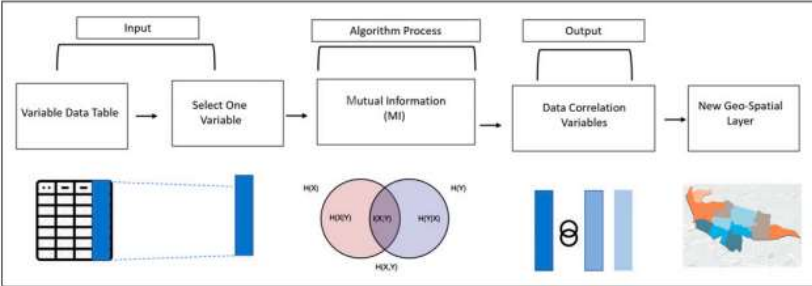
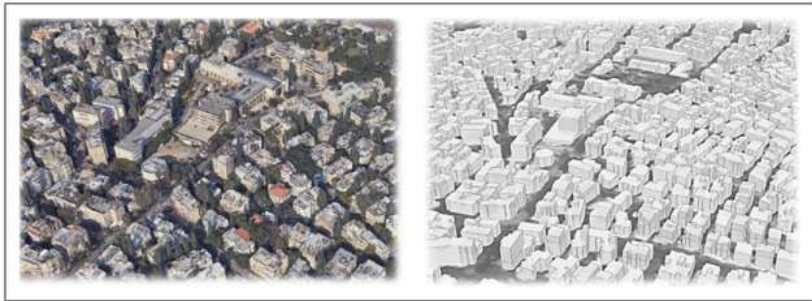
关键词:

Digital twin 数字孪生; social planning 社会规划; urban complexity 城市复杂性; urbanism 城市化; social turn in the field of smart cities 智慧城市领域的社会转向

摘要:

复杂性理论为智慧城市提供了理论框架和灵感，数字孪生城市（UDT）成为数据驱动的三维城市建模的关键工具。然而，数字孪生城市因过于关注物理维度而遭受批评。为应对此挑战，我们寻求在智慧城市和城市创新中实现社会变革，创建具有社会焦点的数字孪生城市，这需要结合社会学、人类学、规划和伦理学等多学科知识。本文提出理论和方法贡献，通过六阶段协议开发社会城市数字孪生（SUDT），以展示物理和社会环境的整体性。通过案例研究展示社会城市数字孪生的应用，并讨论其贡献和局限性。

Phase of Social Urban Digital Twin Protocol	Technological Conception	Social-Theoretical Content	Description of Phase
 Phase 1 3D City Digital Model	3D city visualization	—	3D virtual representation of the urban environment
 Phase 2 The Ethics of Social Data	—	The data ethics of digital sociology	Regulatory and legal measures to facilitate social data collection
 Phase 3 Data Collection through Thick Mapping	Collection of various datasets	Thick mapping as a tool for utilizing social complexity	Thick description of Institutional and civic data collection
 Phase 4 “Small-ness” Data Integration large table	Feature Scaling and integration into one	The “small-ness” urban scale and the household unite	Combination and integration of data into a single array on the household scale
 Phase 5 Socio-Spatial Visual Dimension geographical data	Integration of “classical” tabular data into	Social GIS as a link between environment and society	Use of spatial visualization platform for analysis and to generate social insights
 Phase 6 Critical Algorithm Correlation	Correlation and algorithm analysis of data	Critical thinking through data analysis by social-spatial visualization	Use of algorithms to integrate information from different sources to generate insights



六、项目成果：20篇核心文献

15.Method for 2D-3D Registration under Inverse Depth and Structural Semantic Constraints for Digital Twin City

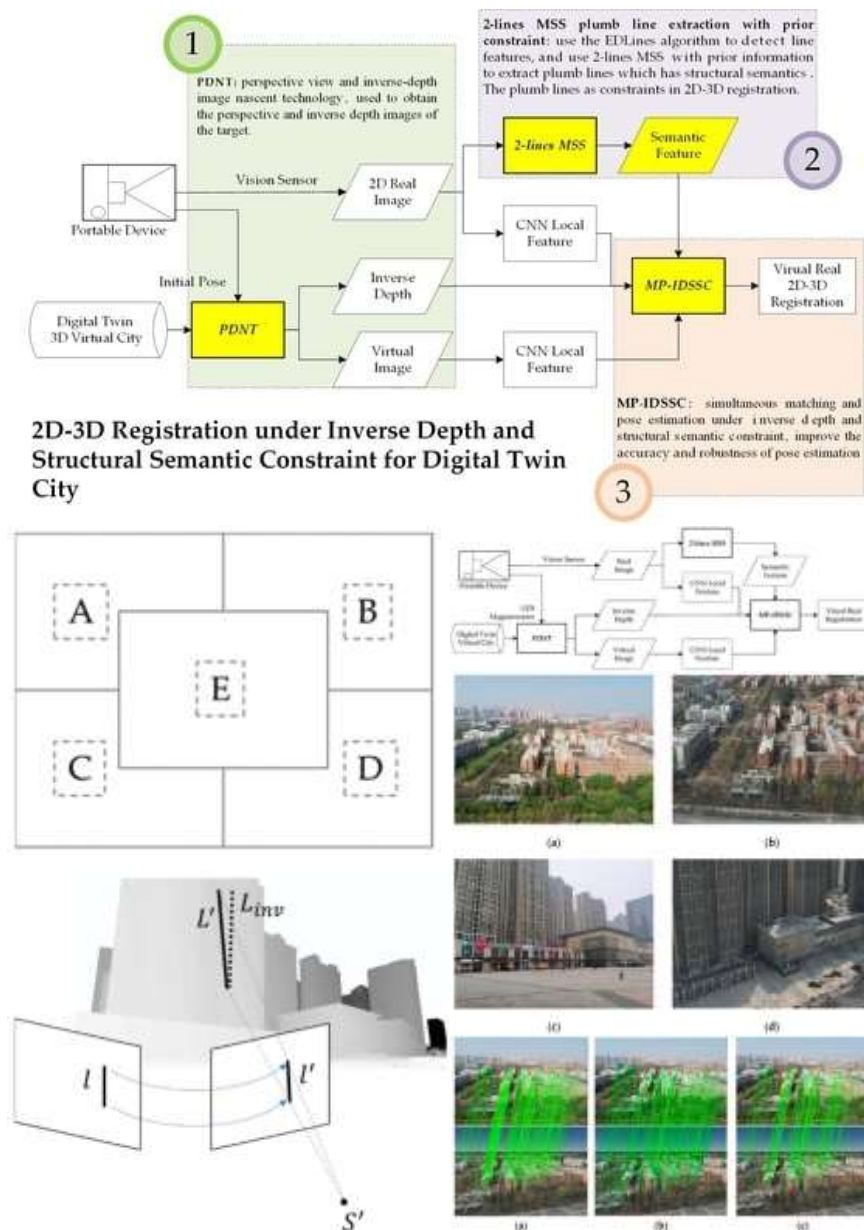
- Xiaofei Hu, Yang Zhou, Yang Zhou
- Applied Sciences, 2022.12

关键词:

Digital Twin City 数字孪生城市; 2D-3D Registration 二维到三维注册;
Virtual-Real Fusion 虚拟与现实融合; Inverse Depth 逆深度; Structural Semantics 结构语义

摘要:

数字孪生城市将虚拟三维城市模型映射到地理信息系统, 构建虚拟世界, 并整合实际传感器数据实现虚拟与现实融合的目的。本研究针对虚拟数字孪生城市场景中视觉传感器注册的精度问题, 提出了一种基于逆深度和结构语义约束的2D-3D注册方法。首先利用透视视图和逆深度初生技术获取虚拟场景的透视和逆深度图像, 然后采用两行最小解集方法提取结构语义特征。提出了一种基于逆深度和结构语义约束的同时匹配和姿态估计方法, 实现了真实图像与虚拟场景的2D-3D注册。实验结果表明, 该方法能有效优化初始视觉传感器姿态, 在数字孪生场景中实现高精度注册, Z坐标误差降低了45%。



六、项目成果：20篇核心文献

16.A user-centred virtual city information model for inclusive community design: State-of-art

- Peyman Najafi, Masi Mohammadi, Pieter van Wesemael, Pascale M. Le Blanc
- Cities, 2023.03

关键词:

City information model 城市信息模型; Urban digital twin 城市数字孪生; Virtual reality 虚拟现实; Community design 社区设计; Blue Zones 蓝区

摘要:

技术进步推动了社区设计理念的革新，城市信息模型（CIM）、城市数字孪生（UDT）及通信技术改变了社会运作方式，促进了规划决策方法的现代化。然而，创建适合公众等非专家用户参与的CIM仍具挑战。本研究旨在开发虚拟CIM，探索公众的沉浸式行为。为此，研究结合了多目标编程和混合媒体原型设计来创建CIM，其中包含LOD 300空间表示、假设场景实现、地理标签反馈以及利益相关者之间的便捷沟通和探索功能。在荷兰蓝区马尔瓦兰进行了实际应用测试，评估了用户体验。结果表明，虚拟CIM有助于优化社区设计，加强政策决策效果。



六、项目成果：20篇核心文献

17.City digital twins for urban resilience

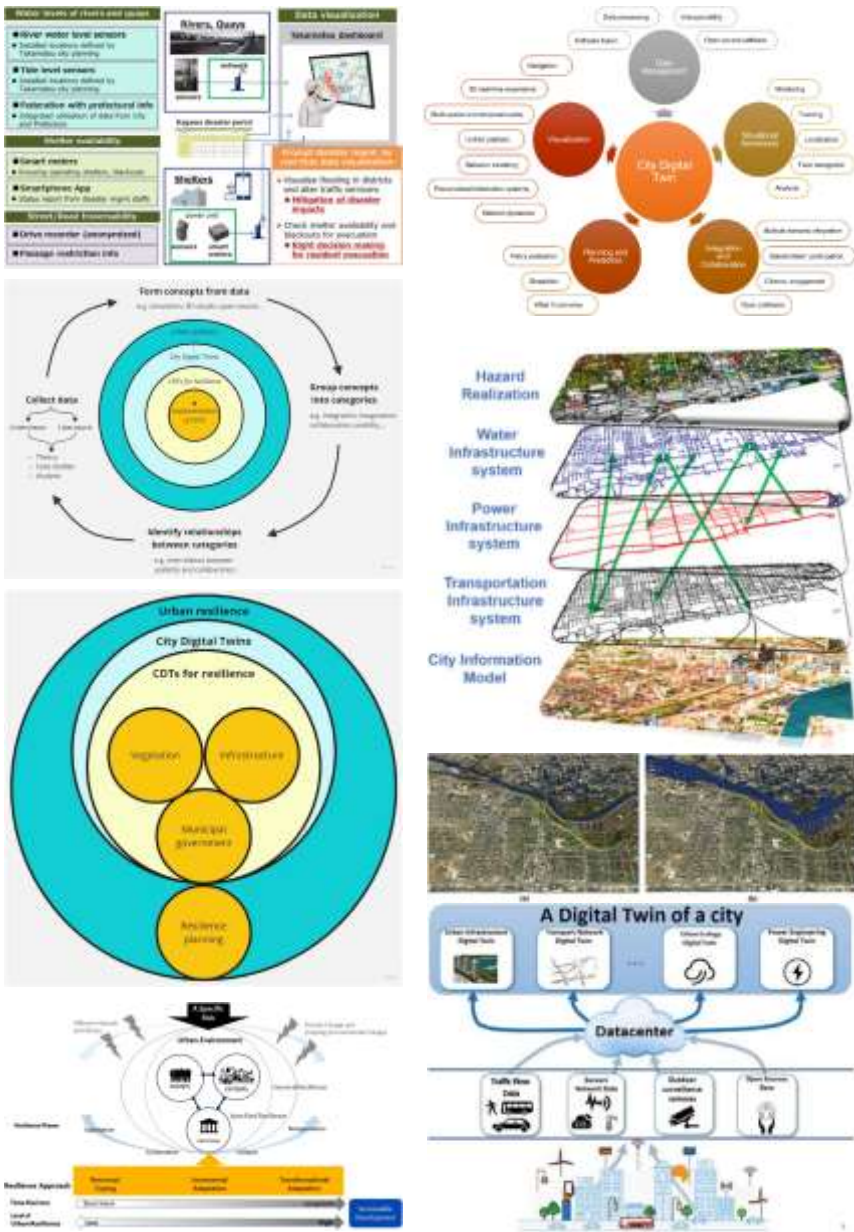
- Adele Therias, Azarakhsh Rafiee
- International Journal of Digital Earth, 2023.04

关键词:

City digital twin 数字孪生城市; resilience 韧性; hazard 危险; collaborative 协同

摘要:

随着城市化进程的加快和气候变化的影响的加剧，全球各地城市都将建设韧性城市作为优先任务。同时，科技的进步也催生了数字孪生城市（CDTs）的创建。本文在文献综述和与韧性及数字孪生专家访谈的基础上，探讨了CDTs如何支持建设更具韧性的城市社区。首先，本文描述了城市韧性、智慧城市和CDTs的各种定义。其次，文章探讨了CDTs的特性如何使其独具优势，以促进（1）对复杂现象的更深入理解，（2）对未来可能性的构想，以及（3）利益相关者之间的协作。最后，本文讨论了CDT实施的技术要求和挑战，包括（1）确定优先级的危害和用户，（2）收集和管理数据，（3）整合不同模型，以及（4）确保可用性。文章最后强调，利益相关者在塑造CDTs方面发挥着重要作用，这些CDTs能够成功融入它们所服务的社区。



六、项目成果：20篇核心文献

18. Development of a Smart City Platform Based on Digital Twin Technology for Monitoring and Supporting Decision-Making

- Ahmad Ali Hakam Dani, Suhono Harso Supangkat, Fetty Fitriyanti Lubis
- Sustainability, 2023.09

关键词:

digital twin 数字孪生; smart city platform 智慧城市平台; augmented reality 增强现实; monitoring 监控; decision support 决策支持

摘要:

近年来, 信息和通信技术助力智能城市平台建设, 使城市日益智能化。作为决策支持系统, 数字孪生技术可监测和模拟城市状况, 结合增强现实技术, 实现数据可视化, 监测城市条件。智能城市中的数字孪生平台关键在于创建强大的系统, 有效监测并提供决策依据。本研究旨在开发以数字孪生为基础的智能城市平台, 实现实时数据可视化。平台开发分为四个层次: 基础层、3D层、数字孪生层和增强层。提出新架构作为平台开发基础, 该平台可监测城市状况, 支持用户活动规划, 辅助政府决策。



六、项目成果：20篇核心文献

19.“城市众脑”：理论模式及关键议题

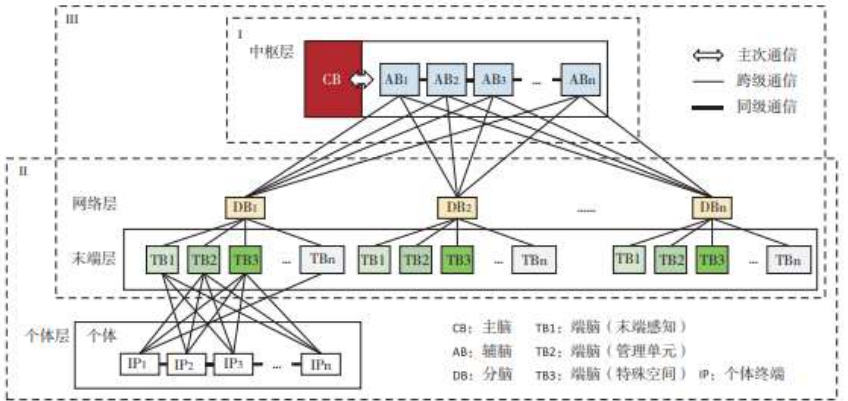
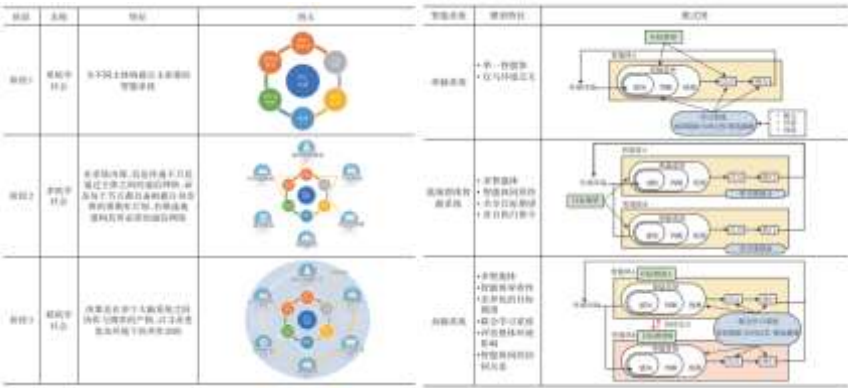
- 吴志强, 甘惟, 李舒然, 刘朝晖, 周咪咪, 徐浩文, 王元楷
- 城市规划学刊, 2023.06

关键词:

AI, Society Brains 众脑模型; Swarm intelligence 群体智能; Smart city 智慧城市; City brain 城市大脑

摘要:

对“城市大脑”提出反思，指出其系统面临多层主体决策压力、信息爆炸、传导低效以及数据库容量限制等四个方面的技术挑战，难以适应城市现代化立体决策需求。提出并描述从“城市大脑”走向“城市众脑”的模型转变，以社会智能为典型特征，阐述“城市众脑”的定义及学习模式，突破单脑系统瓶颈，构建向城市社会这一高级智慧生命群落学习以适应复杂任务的新型AI模型。进一步提出并探讨城市众脑的转化源起、决策架构、联动搭建、职能分配、数字模拟、迭代升级、治理映射、三元互动、群落交互等九大关键议题，深入论述了城市众脑的组织、运行、演化特征，指出城市众脑对未来智慧城市发展的贡献，为后续研究提供视野。



六、项目成果：20篇核心文献

20.新型智慧城市建设与展望：基于AI的大数据、大模型与大算力

- 张新长，华淑贞，齐霁，阮永俭
- 地球信息科学学报, 2024.03

关键词：

digital cities 数字城市；digital twin city 数字孪生城市；new smart cities 新型智慧城市；high quality development 高质量发展；urban planning and governance 城市规划与治理；artificial intelligence 人工智能；foundation model 大模型；internet of things 物联网

摘要：

新型智慧城市是城市数字化向智能化、进一步向智慧化发展的必然要求，是实现高质量发展的重要环节。本文介绍了智慧城市的背景和基本概念，分析了数字城市、智慧城市和新型智慧城市3个阶段的关系和区别。基于人工智能技术的最新进展，本文分析并系统展望了人工智能在建设新型智慧城市中可以发挥的关键作用。在“人工智能+物联网”、“人工智能+大数据”、“人工智能+大模型”和“人工智能+大算力”的协同作用下，新型智慧城市有望实现无与伦比的城市智能化水平，并最终实现可持续、高效和以人为本的高质量城市发展。



- 一、数字孪生概念与历史沿革
- 二、数字孪生城市系统架构
- 三、数字孪生城市关键技术
- 四、中外数字孪生城市特点比较
- 五、项目成果：20条核心关键词
- 六、项目成果：20篇核心文献
- 七、项目成果：20项核心案例**
- 八、项目成果：20张讲座记录

七、项目成果：20项核心案例

1.雄安新区规划建设BIM管理平台（一期）

简介：对于雄安新区建设而言，数字孪生城市的建设是其重点之一，也孕育了未来城市的新需求。这包括三方面的内容：第一是数字智能基础设施的建设，将支撑整个城市未来的数字化发展。第二是全域智能环境的建构，也就是实体城市公共空间或者室内空间都充满泛在智能感知终端和服务，支持着人机友好互动的智能界面。第三是最终实现近期我国所提出的数字资产交易、数字资产管理、数字经济创新等理念，将作为今后城镇化的新动力，预测将衍生出未来新的城市形态。

- **开发主体单位：**中规院，阿里巴巴
- **开发年份：**2020
- **核心概念：**对城市全生命周期的数字化“规、建、管、养、用、维”
- **面向城市主题类型：**规划建设管理平台
- **具体地区或城市：**雄安新区，中国
- **尺度类型：**城市级
- **核心方法：**通过建立虚拟的建筑工程三维模型，利用数字化技术，为这个模型提供完整的、与实际情况一致的建筑工程信息库。
- **链接地址：**<https://www.caupd.com/achievements/zaihou/detail/755.html>



七、项目成果：20项核心案例

2.妈湾智慧港

简介：妈湾智慧港位于珠江口东岸、深圳市西部，是中国唯一拥有五区叠加优势的区域。集招商芯、招商ePort、人工智能、5G、北斗系统、自动化、智慧口岸、区块链、绿色低碳等九大智慧元素于一身。建设成果包括全球首创的传统集装箱码头升级解决方案和自主研发的CTOS系统，解决了行业难题，成为粤港澳大湾区首个5G绿色低碳智慧港口。

- **开发主体单位：**51WORLD，招商局港口集团
- **开发年份：**2021
- **核心概念：**5G绿色低碳智慧港口
- **面向城市主题类型：**港口管理
- **具体地区或城市：**深圳，中国
- **尺度类型：**地块级
- **核心方法：**集成招商芯、招商ePort、人工智能、5G应用、北斗系统、自动化、智慧口岸、区块链、绿色低碳共九大智慧元素
- **链接地址：**<https://www.portshekou.com/xmgk/>

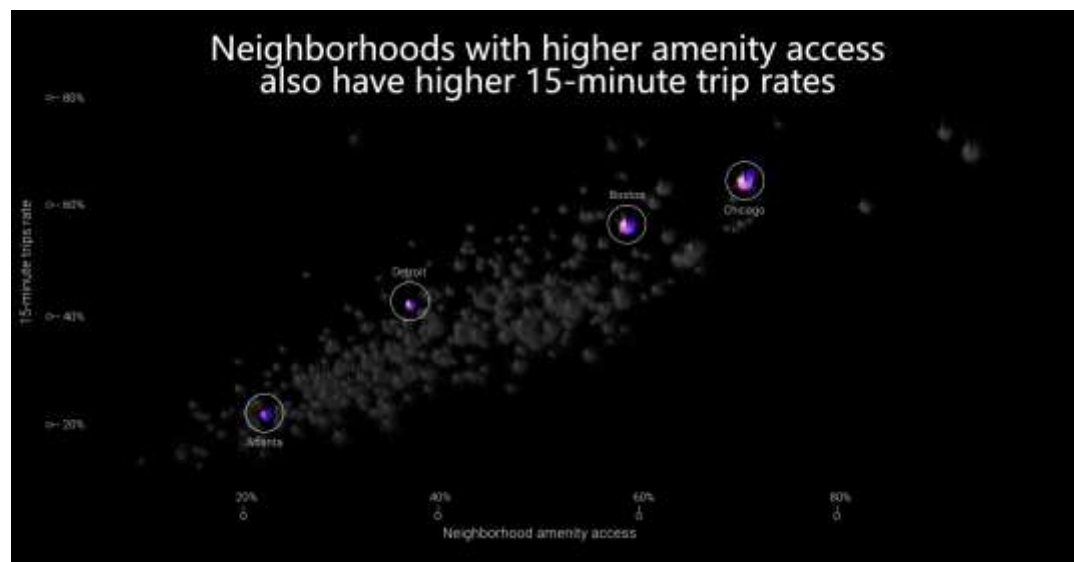


七、项目成果：20项核心案例

3.US-15

简介：15分钟城市概念旨在使居民家庭附近的基本设施能够在步行或骑自行车15分钟内到达。如果这个概念可以有效实施，这将促进可持续交通的发展，培育充满活力的城市环境，并减少车辆拥堵和排放。研究还强调了15分钟城市可能存在的社会经济挑战。在低收入社区，本地生活可能会增加分隔，限制了与不同社会经济背景人群的接触。

- **开发主体单位：**MIT senseable City Lab
- **开发年份：**2024
- **核心概念：**设施可达性可视化
- **面向城市主题类型：**交通可持续和社区规划
- **具体地区或城市：**USA
- **尺度类型：**地块级
- **链接地址：**<https://senseable-us-15.com/>



七、项目成果：20项核心案例

4.VU.CITY London

简介： VU.CITY London是首都最大、最精确的交互式模型，有助于建筑环境更好、更快速、更具成本效益地制定关于城市未来的规划和设计决策。VU.CITY London覆盖了整个1,619平方公里的范围，精度达到15厘米，具备一系列功能和数据。伦敦80%以上的自治区已经在使用VU.CITY：通过对密度和高度进行开放、透明的表达，提高了前期规划申请的质量；为规划提交和委员会提供更好的洞察，了解方案在实际环境中的运作方式；并通过帮助公民理解方案在公众磋商中的影响和优点，消除了他们的焦虑。

- **开发主体单位：** VU.CITY
- **开发年份：** 2019
- **核心概念：** 智慧城市
- **面向城市主题类型：** 城市模型
- **具体地区或城市：** London, UK
- **尺度类型：** 城市级
- **链接地址：** <https://www.vu.city/cities/london>

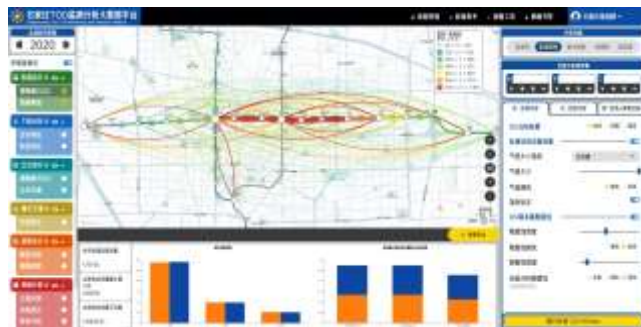


七、项目成果：20项核心案例

5.全国城市交通基础设施大数据平台

简介：城市交通基础设施是城市正常运行和健康发展的物质基础，通过对城市道路、轨道交通等设施的布局情况、运行状态的监测，可以实现城市交通基础设施的状态可监测、效益可评估、决策可支持，有助于提升设施效能和服务品质，该平台包括全国主要城市道路网密度监测、全国主要城市道路运行态势监测、全国TOD发展监测和评估三个板块。

- **开发主体单位：**中规院
- **开发年份：**2018
- **核心概念：**智慧城市/大数据/运行情况监控
- **面向城市主题类型：**城市交通基础设施监测
- **具体地区或城市：**主要城市，中国
- **尺度类型：**城市级
- **链接地址：**<https://www.caupd.com/zgzh/zhfw/detail/800.html>

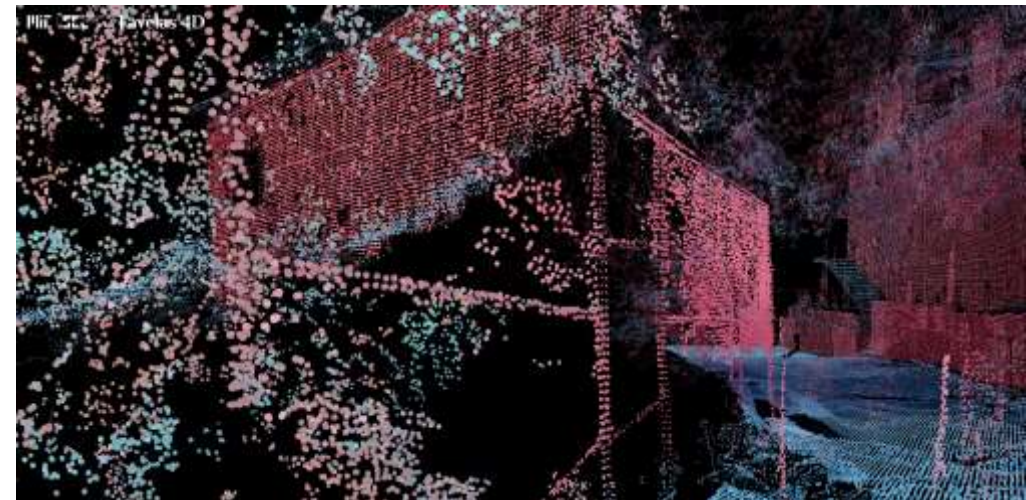
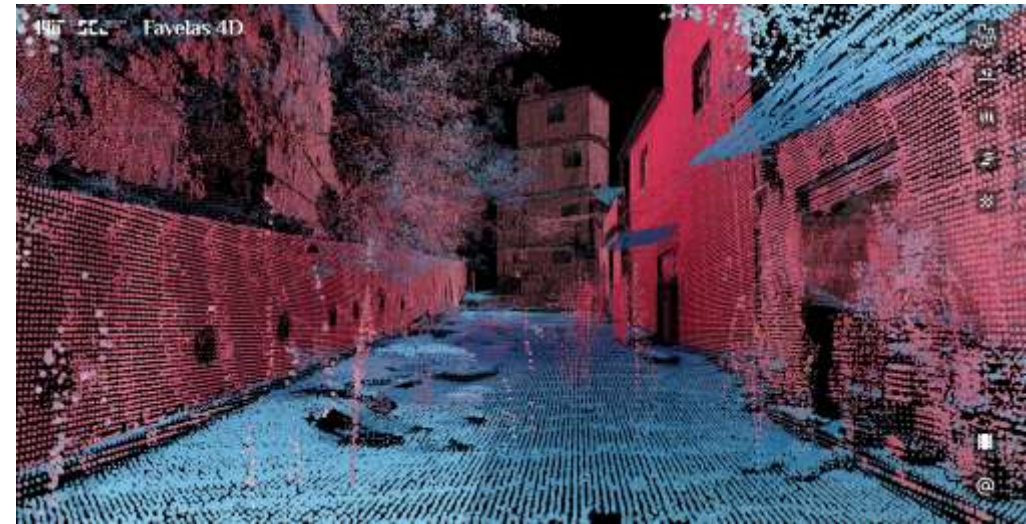


七、项目成果：20项核心案例

6.Favelas 4D

简介：全球有近10亿人居住的非正式定居点中。在巴西，这些定居点被称为贫民窟（favelas），其特点是密集而复杂的城市环境。当居民在没有总体规划的情况下自行建造住宅和商业设施时，会形成多层次的建筑结构。Senseable City Lab与BRTech 3D合作，利用3D激光扫描技术，正在对里约热内卢最大的贫民窟罗辛亚进行全面的形态测量分析，该贫民窟约有10万居民。这项科学分析量化地捕捉了贫民窟独特的建筑实践和紧迫的基础设施需求，以前所未有的精度揭示了罗辛亚的城市逻辑。《Favelas 4D》以一种新颖而全面的方式展示了罗辛亚的形态和组织，代表了将非正式城市纳入我们全球数字化城市未来的重要步骤。

- **开发主体单位：**MIT Senseable City Lab
- **开发年份：**2021
- **核心概念：**可扩展的方法用于对非正式定居点的形态学分析
- **面向城市主题类型：**智慧社区
- **具体地区或城市：**Rocinha, Rio de Janeiro, Brazil
- **尺度类型：**地块级
- **链接地址：**<https://senseable.mit.edu/favelas/>



七、项目成果：20项核心案例

7.Delve房地产开发评估平台

简介： Delve帮助MQDC利用较少的时间成本，通过浮现可操作的设计成果，评估其多期开发项目的体量、可行性和财务可行性，比较地块收购的各种方案。Delve在10周内完成了125个定制的设计方案（所有方案均未超出开发项目的预计预算），增加了6万平方米的建筑面积，将该区域的步行便利性提高了20%。

- **开发主体单位：** Delve, Sidewalk Labs
- **开发年份：** 2021
- **核心概念：** 生成式设计/多功能再开发
- **面向城市主题类型：** 城市开发及房地产管理平台
- **具体地区或城市：** Bangkok, Thailand
- **尺度类型：** 地块级
- **核心方法：** 生成式设计技术
- **链接地址：** <https://www.sidewalklabs.com/products/delve/mqdc-case-study>

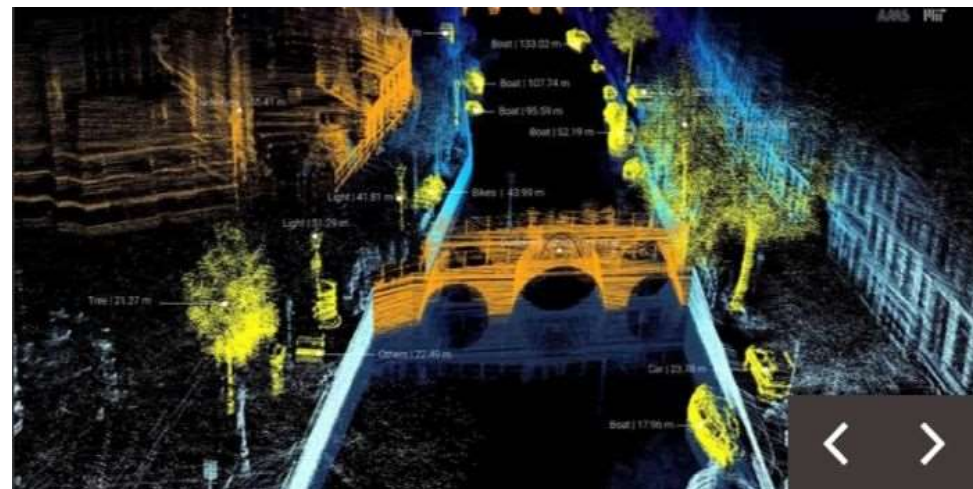


七、项目成果：20项核心案例

8. 阿姆斯特丹智能船Roboat

简介：机器人船（Roboat）是世界上第一个关于大都市地区自主浮动船只的大型研究项目，可以在阿姆斯特丹运河上建立动态基础设施、运输货物和人员组织系统，并进行环境感知。Roboat为目前的河道垃圾收集和运输系统提供了一个很好的替代方案。Roboat使用激光雷达技术，通过数百万个数据点绘制城市图景，用于导航和物体分类。这种新型机器人船易于制造，机动性强，能够在室内和室外环境中进行精确的轨迹跟踪。该项目允许在各个领域进行创新，包括装配、传感和废物清除等。

- **开发主体单位：**麻省理工学院（MIT）& 阿姆斯特丹先进都市解决方案研究所（AMS研究所）
- **开发年份：**2016
- **核心概念：**城市智能生命体/城市环境中的自主导航控制系统
- **面向城市主题类型：**城市环境治理
- **具体地区或城市：**Amsterdam, Netherlands
- **尺度类型：**城市级
- **核心方法：**激光雷达图像探测
- **链接地址：**<https://www.ams-institute.org/urban-challenges/smart-urban-mobility/roboat/>

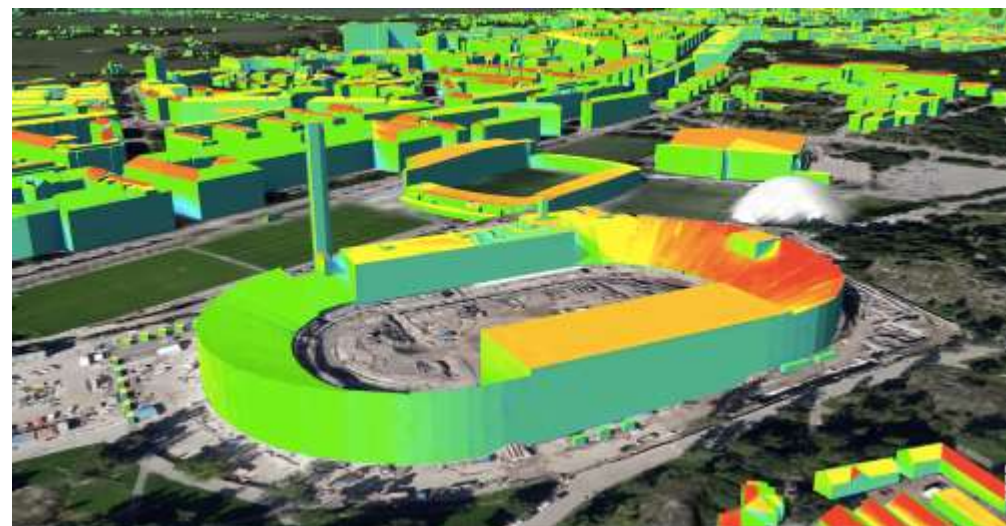


七、项目成果：20项核心案例

9. 赫尔辛基能源与气候地图

简介：赫尔辛基提出到2035年实现城市碳中和的行动计划，将城市建筑群的所有能源相关数据汇集到“赫尔辛基能源与气候地图”的三维地图中。赫尔辛基能源与气候地图拥有全市每栋建筑的数据，可用于全市范围内的高级能源分析和模拟，以及对特定建筑的评估。地图包含建筑物的真实数据和计算数据，这些数据包括已完成的能效升级、能效等级以及供暖能源（建筑物是否使用区域供暖）或其他能源。地图对每栋建筑的太阳辐照度进行了分析，还显示了由芬兰技术研究中心（VTT）计算得出的建筑物能耗估算值。

- **开发主体单位：**赫尔辛基市环境服务部
- **开发年份：**2015
- **核心概念：**整合信息促进高效城市能源管理
- **面向城市主题类型：**城市能源管理
- **具体地区或城市：**Helsinki, Finland
- **尺度类型：**城市级
- **核心方法：**城市地表信息模型
- **链接地址：**<https://kartta.hel.fi/3d/atlas/#/swipeTool>

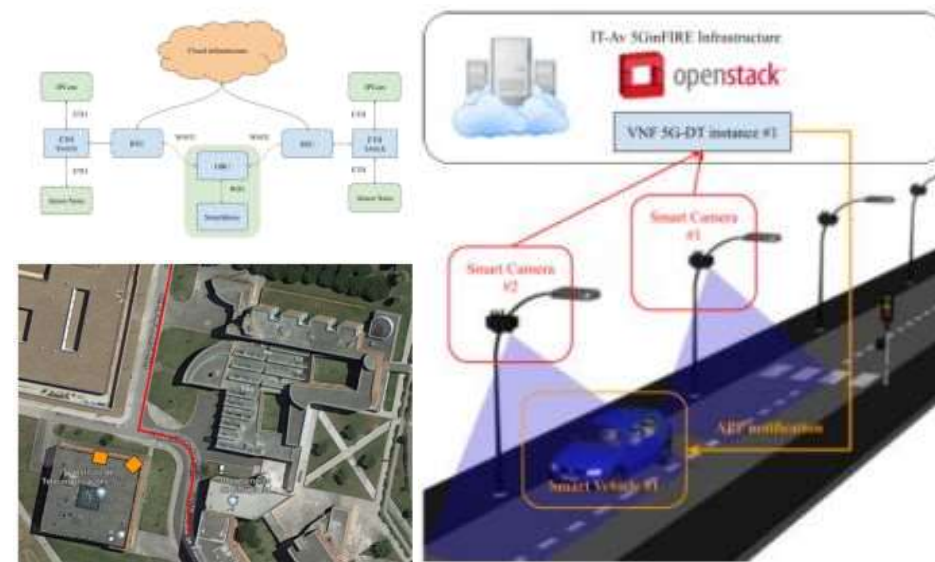
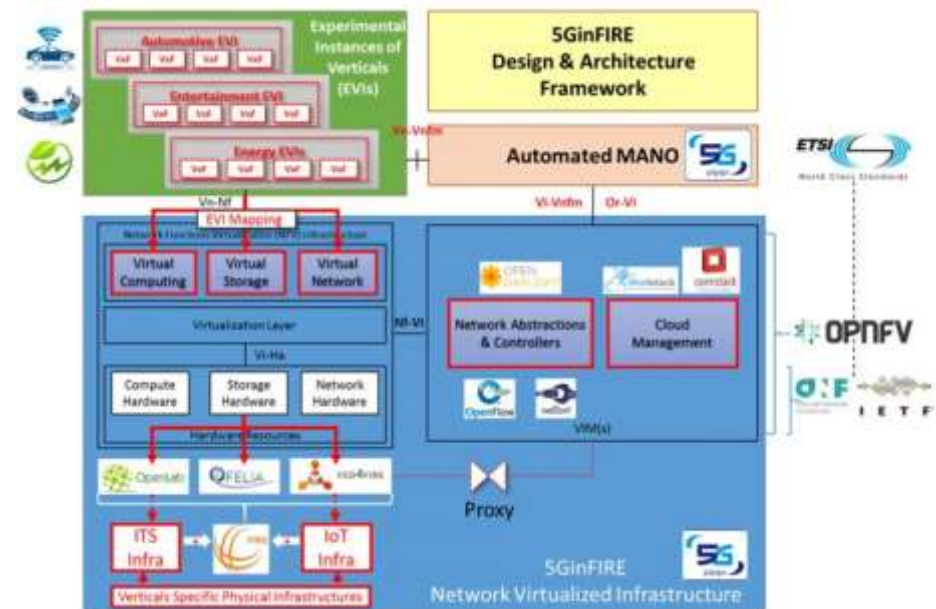


七、项目成果：20项核心案例

10.5G Driving Trainer(5G-DT)

简介：5G驾驶训练器（5G-DT）通过对行驶中的车辆进行实时图像处理，为安全、正确和环保的驾驶行为制定解决方案。5G-DT系统由三个主要子系统组成：智能车辆、智能摄像头和5G基础设施。IT-Aveiro站点的5GinFIRE基础设施作为通信支持和虚拟化基础设施，将VNF的通知信息传输到驾驶员的智能手机上。另一方面，智能摄像头向VNF 5G-DT实例发送视觉描述，用于驾驶评估。对收集到的所有数据整合到云端并进行云计算以创建“驾驶员档案”，并评估针对不安全驾驶方式的应对措施。一旦根据常用交通规则对驾驶员档案进行评估，并检测到危险行为，就会立即向用户发送定制通知。

- **开发主体单位：**5GinFIRE
- **开发年份：**2019
- **核心概念：**安全、正确和环保驾驶行为的解决方案
- **面向城市主题类型：**城市交通管理/智能交通服务
- **具体地区或城市：**Aveiro, Portugal
- **尺度类型：**城市级
- **核心方法：**网络功能虚拟
- **链接地址：**<https://5ginfire.eu/5g-dt/>

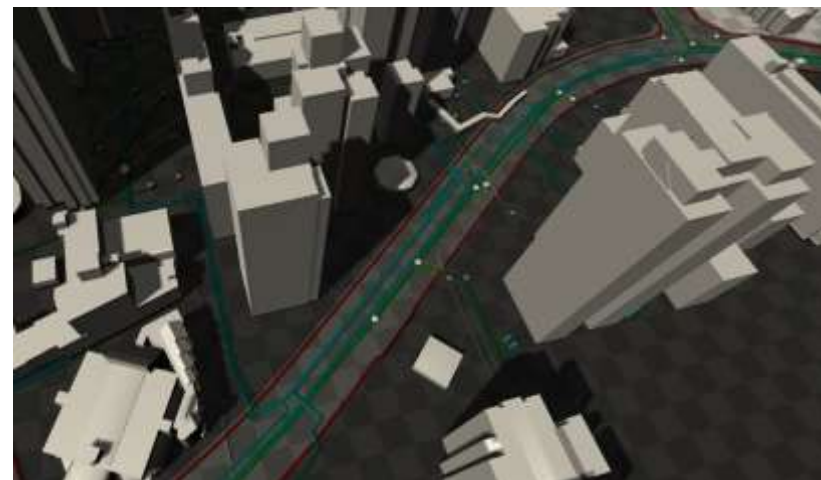


七、项目成果：20项核心案例

11.新加坡地下数字化

简介：新加坡正在走向地下。2019年3月，新加坡市区重建局公布了《2019年总体发展概念规划草案》，以指导新加坡未来的发展。对于土地稀缺的城市国家来说，利用地下空间是为其不断增长的需求创造空间的关键战略。因此，新加坡已高度开发的地下空间注定会变得越来越拥挤，预计将有更多的活动和开发在此进行。地下存在着广泛的公共基础设施网络，它们的大部分时间都隐藏在视线以外。因此，关于地下何处存在什么设施的准确信息对于地下空间的规划、管理和开发至关重要。新加坡需要一个可靠的地下数字孪生体——一个准确、完整且最新的地下物理世界的三维数字表示。

- **开发主体单位：** Singapore-ETH Centre (SEC)
- **开发年份：** 2019
- **核心概念：** 公共基础设施
- **面向城市主题类型：** 基础设施
- **具体地区或城市：** 新加坡
- **尺度类型：** 国家级
- **链接地址：** <https://sec.ethz.ch/research/digital-underground.html>

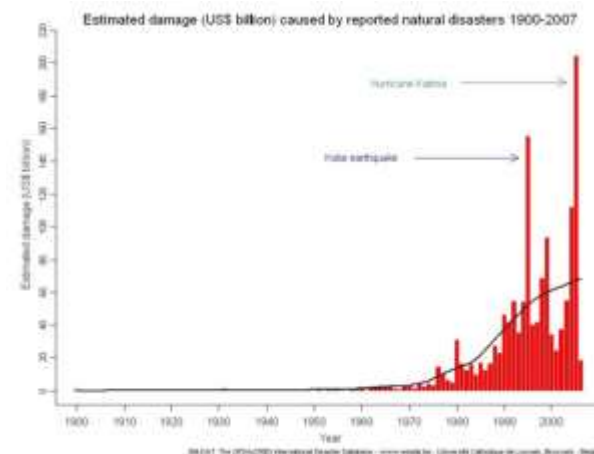


七、项目成果：20项核心案例

12. 温哥华三维城市重建助力灾害管理

简介：在PS-CRIMSON（公共安全与危机管理服务编排）协作项目的支持下，Esri加拿大公司开发了城市空间智能三维建模技术，以支持灾害管理工作。温哥华应急管理机构对PS-CRIMSON项目在应急管理领域的独特探索表示赞赏。PS-CRIMSON项目下的价值流提供了潜在地震对地面和地下影响的增强可视化，使应急服务管理人员能够获取建筑级别的信息。因此，该系统对灾害管理和应对工作具有重要意义。

- **开发主体单位：**Esri Canada
- **开发年份：**2020
- **核心概念：**三维重建
- **面向城市主题类型：**灾害管理
- **具体地区或城市：**温哥华，加拿大
- **尺度类型：**城市级
- **核心方法：**GIS, 3D mapping, ICT
- **链接地址：**<https://www.geospatialworld.net/prime/case-study/aec/3d-reconstruction-of-vancouver-city-for-disaster-management/>



七、项目成果：20项核心案例

13.数字孪生支持下的意大利高速铁路项目

简介：那不勒斯至巴里铁路线上的高速铁路项目，作为意大利政府“解放意大利”战略的关键组成部分，承载着推动社会经济发展的重要使命。该战略通过建设一系列基础设施项目促进国家整体的发展。该项目路段作为跨欧洲交通网络（TEN-T）可持续交通项目的重要一环，其目标不仅在于改善交通状况，更在于推动可持续交通的发展，通过构建高效、环保的交通体系，TEN-T项目致力于减少对环境的影响，促进经济社会的可持续发展。那不勒斯至巴里高速铁路项目的成功实施，不仅为意大利国内的交通发展注入了新的活力，也为整个欧洲地区的可持续交通建设贡献了重要力量。

- **开发主体单位：** Rete Ferroviaria Italiana (RFI)
- **开发年份：** 2022
- **核心概念：** BIM工作流助力生命周期一体化解决方案
- **面向城市主题类型：** 城市交通
- **具体地区或城市：** 意大利
- **尺度类型：** 国家级
- **链接地址：** <https://www.geospatialworld.net/prime/case-study/aec/digital-twin-for-delivering-high-speed-rail-project-in-italy/>



七、项目成果：20项核心案例

14. “连通伦敦”项目

简介：“连通伦敦”项目是一项旨在提升伦敦市千兆网络连接能力的重要举措。通过与各个行政区以及电信提供商的紧密合作，该项目致力于在全市范围内推动数字化进程，为居民和企业提供更高效、更便捷的网络服务。自2017年项目启动以来，伦敦的数字连接能力得到了显著的提升。原本仅有4%的城区能够享受到千兆网络速度，但如今这一比例已经跃升至88%，显示出“连通伦敦”项目在推动城市数字化进程中的显著成效。通过“连通伦敦”项目的持续努力，伦敦市正在逐步构建一个更加智能、更加便捷的数字城市，为居民和企业提供更好的网络服务和更广阔的发展空间。

- **开发主体单位：** GLA
- **开发年份：** 2017
- **核心概念：** 数字连通
- **面向城市主题类型：** 数字化
- **具体地区或城市：** 伦敦，英国
- **尺度类型：** 城市级
- **链接地址：** <https://www.london.gov.uk/programmes-strategies/business-and-economy/mayors-priorities-londons-economy-and-business/connected-london>

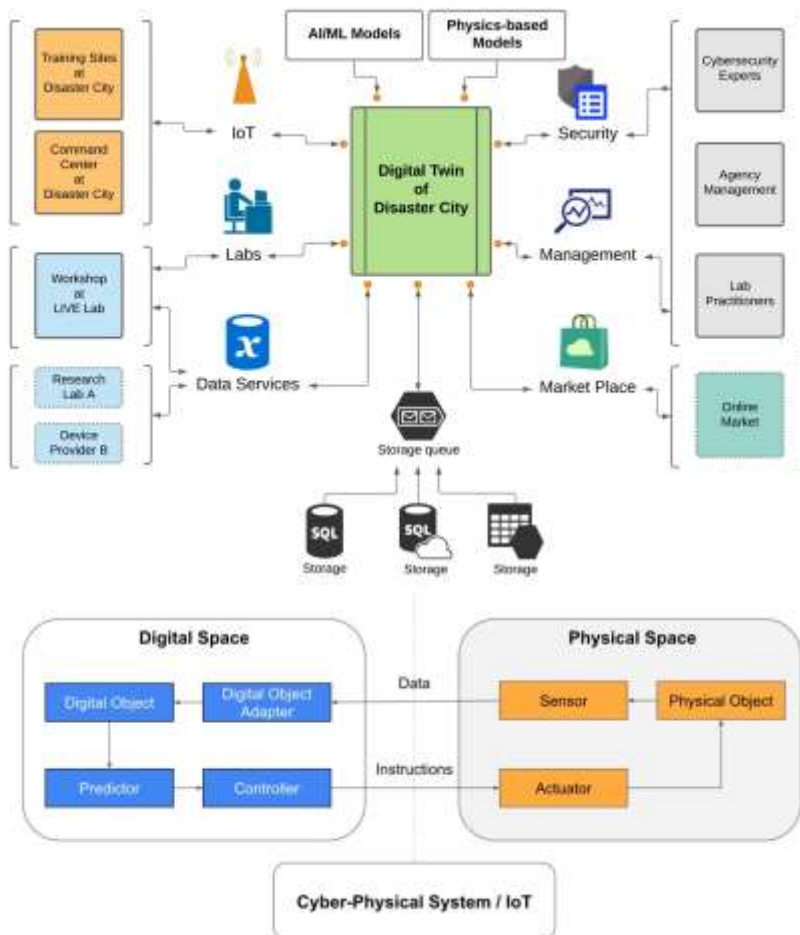


七、项目成果：20项核心案例

15. 面向公共安全通信技术的数字孪生测试平台

简介：该项目旨在借助最先进的用户体验技术和高仿真模型，构建一个数字孪生测试平台，为一线救援人员和应急管理人员提供一个逼真的虚拟现实环境，使他们能够参与、体验和探索最新的传感和通信技术。通过提供一个高度逼真的模拟环境，使相关人员能在没有实际风险的情况下，对新技术进行充分的测试和应用。该项目不仅可以提升救援人员和应急管理人员的技能水平，还可以为未来的公共安全通信技术发展提供宝贵的实践经验。此外，该数字孪生测试平台还具备高度的可扩展性和灵活性，可以根据不同场景和需求进行定制和优化。这意味着可以针对不同的公共安全通信场景如火灾、地震等，构建相应的仿真模型，更好满足实际应用需求。

- **开发主体单位：** Texas A&M University
- **开发年份：** 2022
- **核心概念：** 公共安全通信技术
- **面向城市主题类型：** 灾害管理
- **具体地区或城市：** 德克萨斯，美国
- **尺度类型：** 城市级
- **链接地址：** <https://dtl.tamids.tamu.edu/nist-psiap-digital-twin/>

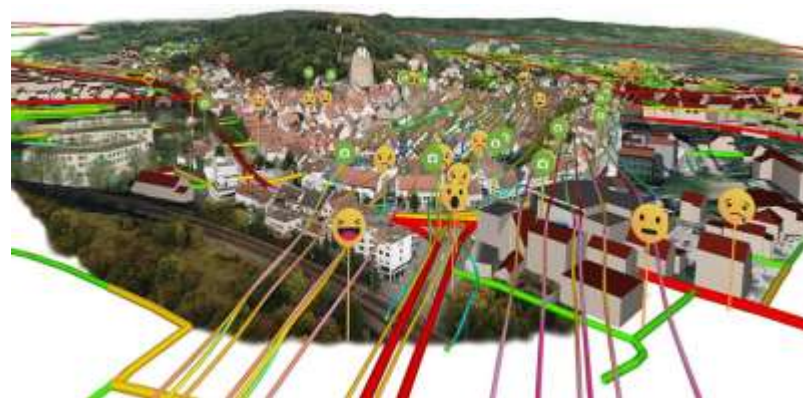


七、项目成果：20项核心案例

16.德国黑伦贝格-智慧城市与市民的城市数字孪生

简介：借助斯图加特高性能计算中心（HLRS）开发的数字孪生技术，游客们可以通过VR技术探索黑伦贝格风景如画的优美房屋和古老教堂。正如人体骨架为其他系统和功能提供支撑，空间句法也为城市建成环境绘制出二维轮廓，为空间分析提供框架，例如预测汽车或行人从一点到另一点可能采取的路线，喜悦和恐惧等情绪、绿色空间和建筑的美学体验，以及其他情感驱动因素在城市设计中发挥着重要作用。市民甚至可以在项目完工前以数字方式看到该区域，极大提高了公众对于城市更新的接受程度。

- **开发主体单位：**HLRS
- **开发年份：**2020
- **核心概念：**虚拟现实，超级计算，虚拟旅游
- **面向城市主题类型：**数字化
- **具体地区或城市：**黑伦贝格，德国
- **尺度类型：**城市级
- **链接地址：**<https://theindexproject.org/award/nominees/5267>



七、项目成果：20项核心案例

17.肯普滕-公民参与城市规划与城市发展

简介：在demokratie.today和Virtual City Systems的持续合作下，肯普滕市的公众参与模式正在经历一场颠覆性的变革。通过将3D城市模型集成到Consul平台上，市民们现在有机会使用逼真的3D地图表达他们的意见。这不仅改善了沟通效果，还确保了城市发展项目具有更高的透明度。作为首个项目，市民被邀请对伊勒桥的翻新工程提出意见。这种创新性的技术融合为公民参与设定了新的标准，也为寻求更有效城市发展策略的城市树立了一个令人鼓舞的先例。

- **开发主体单位：**demokratie.today
- **开发年份：**2023
- **核心概念：**城市发展策略
- **面向城市主题类型：**三维城市模型
- **具体地区或城市：**肯普滕，德国
- **尺度类型：**城市级
- **链接地址：**<https://machmit.kempten.de/realisierungswettbewerb-illersteg>



七、项目成果：20项核心案例

18.3D赫尔辛基项目

简介：芬兰赫尔辛基拥有世界上运行时间最长的数字孪生项目之一。在过去三十年中，它率先采用计算机辅助设计（CAD）、3D城市测绘技术，后来更是推出全面数字孪生技术，不断突破技术边界。在此过程中，赫尔辛基尝试了多种方案。赫尔辛基的3D城市模型，即城市的数字孪生体，是对城市环境、运行状况及变化情况的虚拟呈现。数字孪生体是信息技术服务、开放数据和不断更新信息的结合体。

- **开发主体单位：**Helsinki's planning department
- **开发年份：**2015
- **核心概念：**使用城市地理标记语言（CityGML）捕捉和组织具有照片级真实感的3D现实网格和语义数据的新工具。
- **面向城市主题类型：**三维城市模型
- **具体地区或城市：**赫尔辛基，芬兰
- **尺度类型：**城市级
- **核心方法：**城市地理标记语言（CityGML）
- **链接地址：**<https://www.hel.fi/en/decision-making/information-on-helsinki/maps-and-geospatial-data/helsinki-3d>

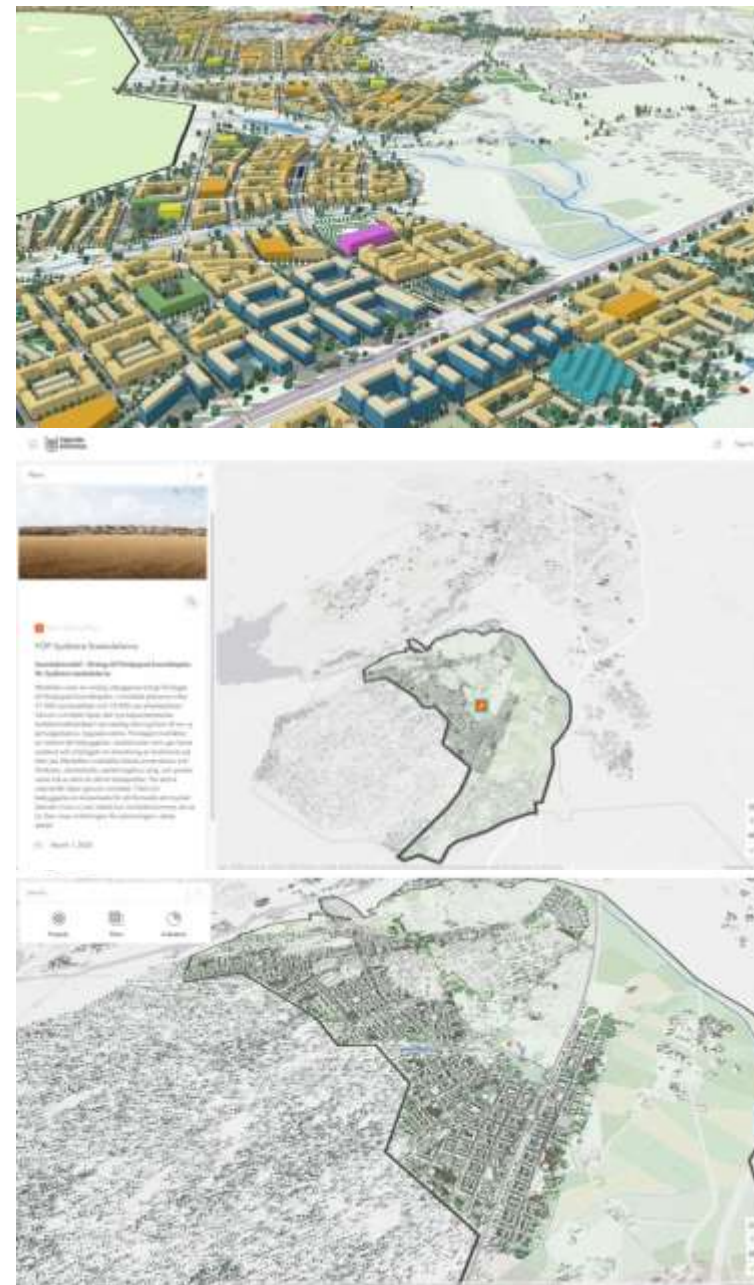


七、项目成果：20项核心案例

19. 乌普萨拉市-详细数字孪生体

简介：乌普萨拉的规划者正专注于一种可持续的城市模型，该模型旨在提升居民的生活质量，同时不损害生物多样性或破坏环境、减少碳排放。利用ArcGIS Urban软件构建的详细分区计划和3D模型有助于规划者可视化并展示新城区域的规划。交互式的3D模型以书面文件或2D地图无法呈现的方式，给用户带来对未来区域的直观感受，用户可缩放视图充分了解未来的景象。对于城市工作人员而言，能够快速进行更改并看到不同设计方案的影响，有助于推动新工作流程的采用和新工具的使用。

- **开发主体单位：** ArcGIS CityEngine
- **开发年份：** 2021
- **核心概念：** 交互式三维模型
- **面向城市主题类型：** 社区规划
- **具体地区或城市：** 乌普萨拉，瑞典
- **尺度类型：** 地块级
- **链接地址：** <https://www.esri.com/about/newsroom/blog/uppsala-sustainable-development/>



七、项目成果：20项核心案例

20. 波士顿数字孪生项目

简介：BPDA借助地理信息系统（GIS）软件的3D建模能力和Esri的专业知识，共同创建了一个精确的城市3D模型，该模型配备了用于分析阴影和评估新区划和开发影响的工具。这个基于GIS的3D孪生模型融合了定量和定性分析的工作流程。定性分析可以快速可视化任何新建筑产生的阴影效果，这些视图可由BPDA与利益相关者共享；定量分析则提供了更深入的测量数据，如阴影的覆盖范围和持续时间，以及这些阴影在不同季节的变化情况，用户能够缩放视图，查看阴影对波士顿公共绿地、公共花园乃至城市其他区域的影响。

- **开发主体单位：**the Boston Planning & Development Agency (BPDA)
- **开发年份：**2018
- **核心概念：**3D GIS城市模型引导公共绿地周边及更远地区发展
- **面向城市主题类型：**三维城市模型
- **具体地区或城市：**波士顿，美国
- **尺度类型：**城市级
- **链接地址：**<https://www.esri.com/about/newsroom/blog/3d-gis-boston-digital-twin/>



- 一、数字孪生概念与历史沿革
- 二、数字孪生城市系统架构
- 三、数字孪生城市关键技术
- 四、中外数字孪生城市特点比较
- 五、项目成果：20条核心关键词
- 六、项目成果：20篇核心文献
- 七、项目成果：20项核心案例
- 八、项目成果：20张讲座记录**

八、项目成果：20张讲座记录

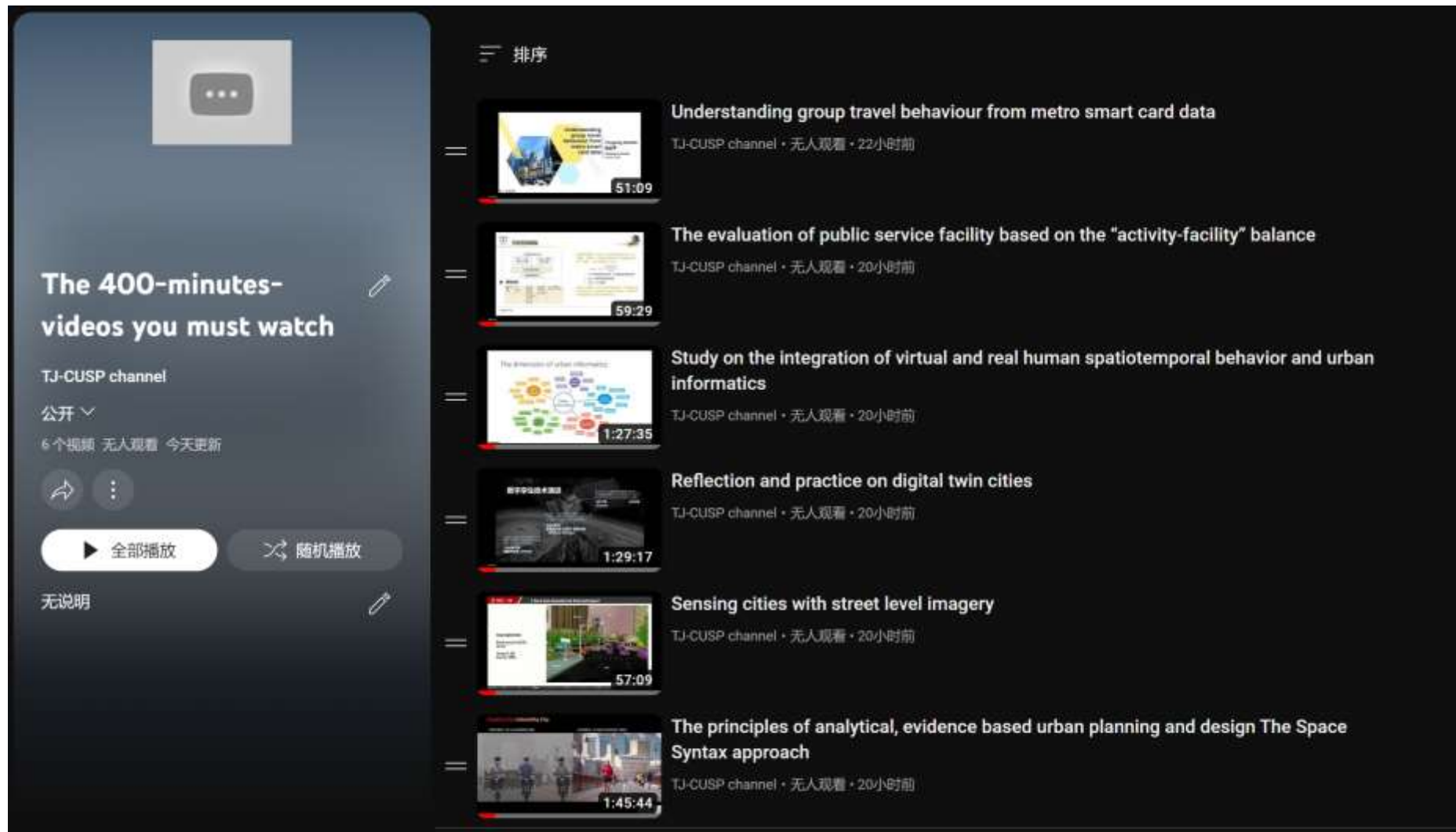
数字孪生城市案例库之百分必享讲座

本项目邀请了国内外知名的城市科学领域的学者，带来了六场精彩纷呈的

“数字孪生城市”系列讲座。讲座涵盖了

- 空间句法
- 街景识别&城市感知
- 交通出行
- 社区生活圈
- 时空行为
- 城市信息学
- 数字孪生城市

等多个城市研究重要议题，各位专家老师围绕“虚实空间”拓展了研究视角，提供了一种新的城市问题的解决思路和研究范式。详细介绍可参见报告附录文档。



八、项目成果：20张讲座记录



The principles of analytical, evidence-based urban planning and design: The Space Syntax approach

Kayvan Karimi

Professor, UCL
Director, Space Syntax

k.karimi@ucl.ac.uk
k.karimi@spacesyntax.com

 **UCL**

Space Syntax

15.March.2023



Space Syntax a theory of space and society

Space Syntax theory has two fundamental propositions:

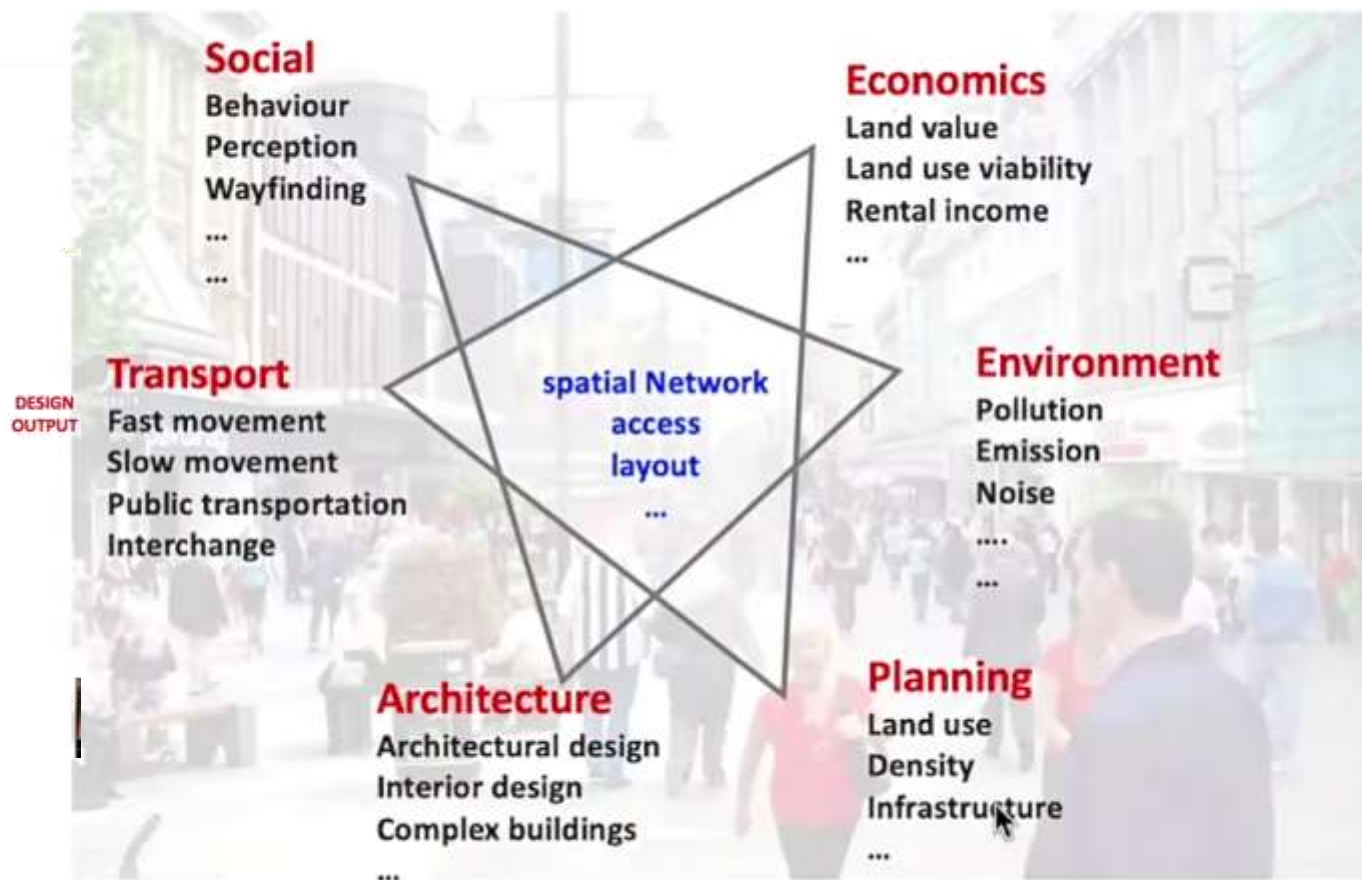
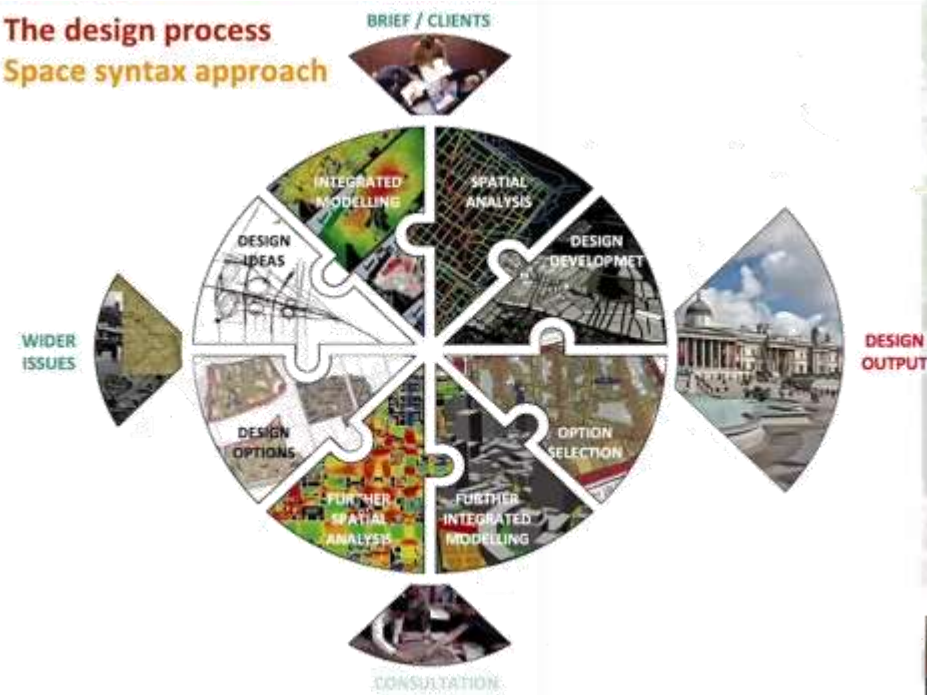
- **Space is 'intrinsic' to human activity, not a background to it.**
We shape space in ways which reflect this and, by doing so, the space we make becomes 'humanised'.
(Hillier and Hanson, 1984; Hillier, 2008; Hanson and Hillier, 1987)
- **Space is fundamentally a configurational entity**
'configuration' is the key (language) to understanding the non-discursive nature of space and design
(Hillier and Hanson, 1984; Hillier, 1996; Hillier and Penn, 1991; Hillier, 2008)



八、项目成果：20张讲座记录

Space syntax platform linking with and connecting different disciplines

The design process
Space syntax approach



COMPREHENSIVE MODELLING Integrated Urban Modelling

Connecting urban datasets to forecast the multiple impacts of planning & design proposals

Urban performance challenges

Economic

Land value, vitality

Environmental

Low carbon mobility, air quality

Public health

Obesity, loneliness

Social

'Urban buzz', crime

Physical & spatial form drivers

Street connectivity

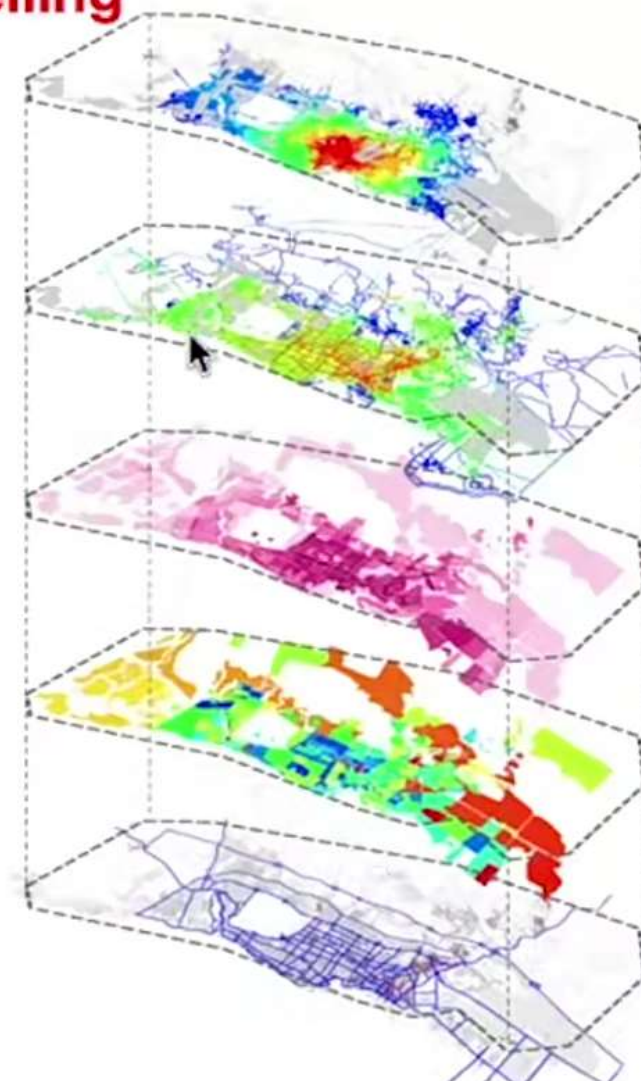
Integrated or labyrinthine?

Land use attraction

Mixed use or zoned?
Dense or sprawling?

Transport infrastructure

Walkable & public transit oriented
or car-dependent?



八、项目成果：20张讲座记录



Sensing Cities with Street-level Imagery

Fan Zhang (張帆)
Assistant Professor
Department of Civil and Environmental Engineering, HKUST

八、项目成果：20张讲座记录

Overview

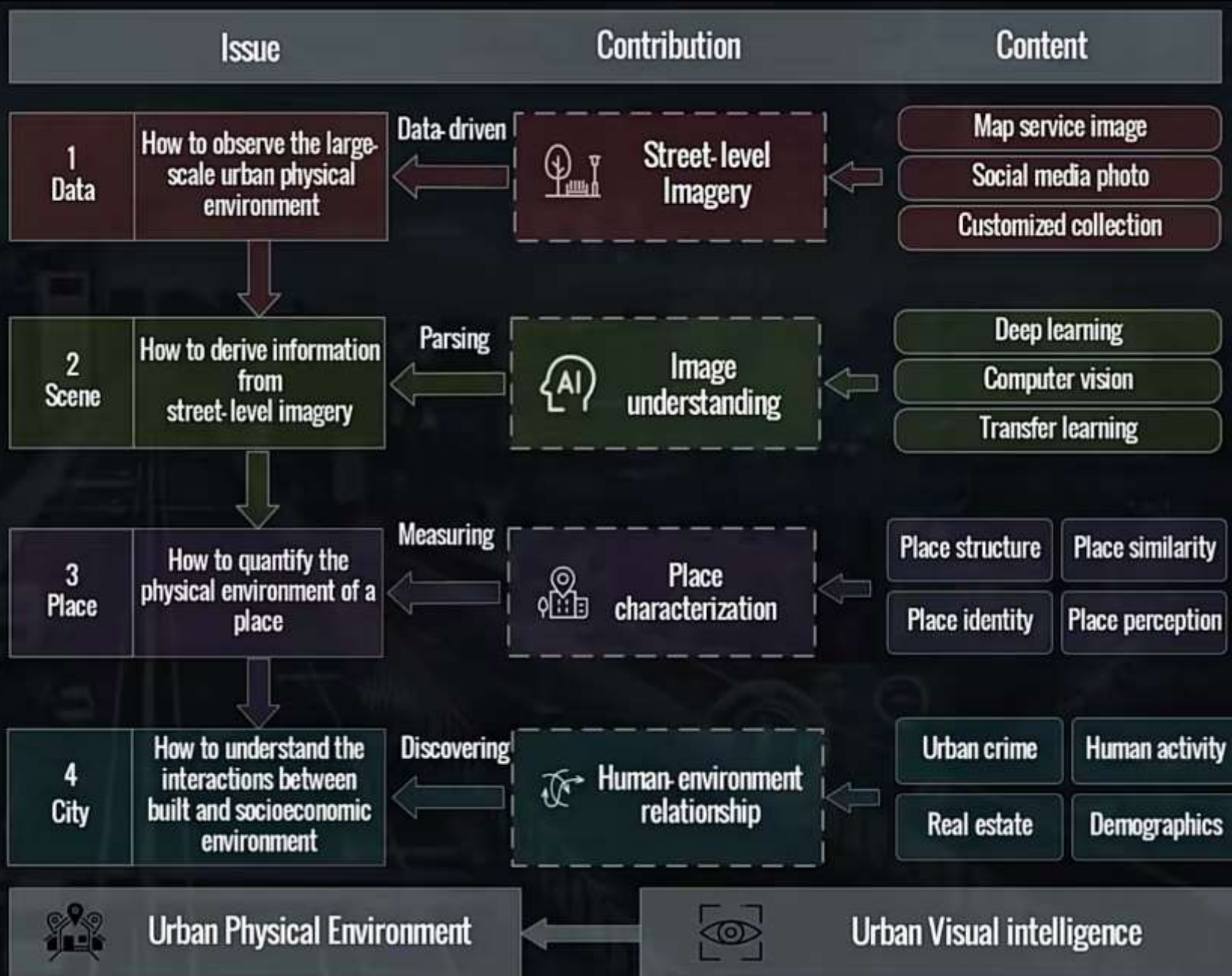


Image Object Detection

Models based on COCO dataset

Categories: 80
Accuracy: ~80%

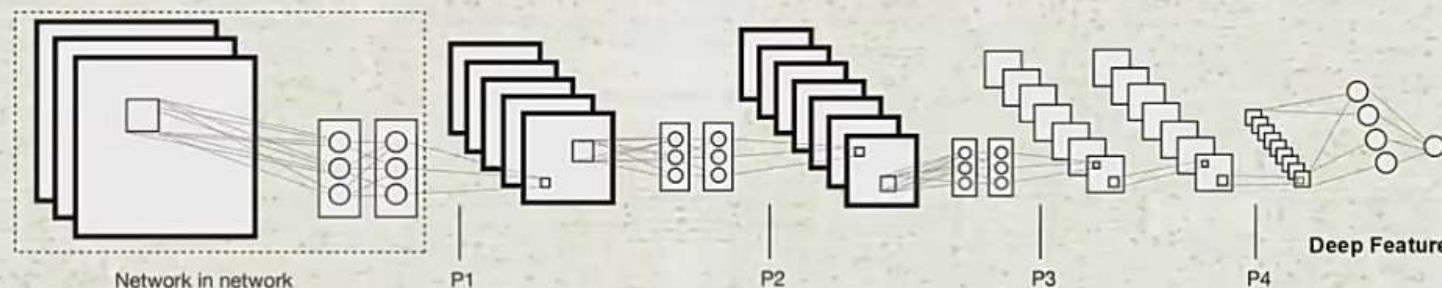


Evaluating Perceptual Preference using Deep Learning

Street view image



Deep
Convolutional
Neural Network



Classifier



Human Perception
Classifier

Zhang, Fan, Bolei Zhou, Liu Liu, Yu Liu, Helene H. Fung, Hui Lin, and Carlo Ratti. "Measuring human perceptions of a large-scale urban region using machine learning." *Landscape and Urban Planning* 180 (2018): 148-160.
(ESI Top 0.1% Hot Paper; Top 1% Highly Cited Paper)

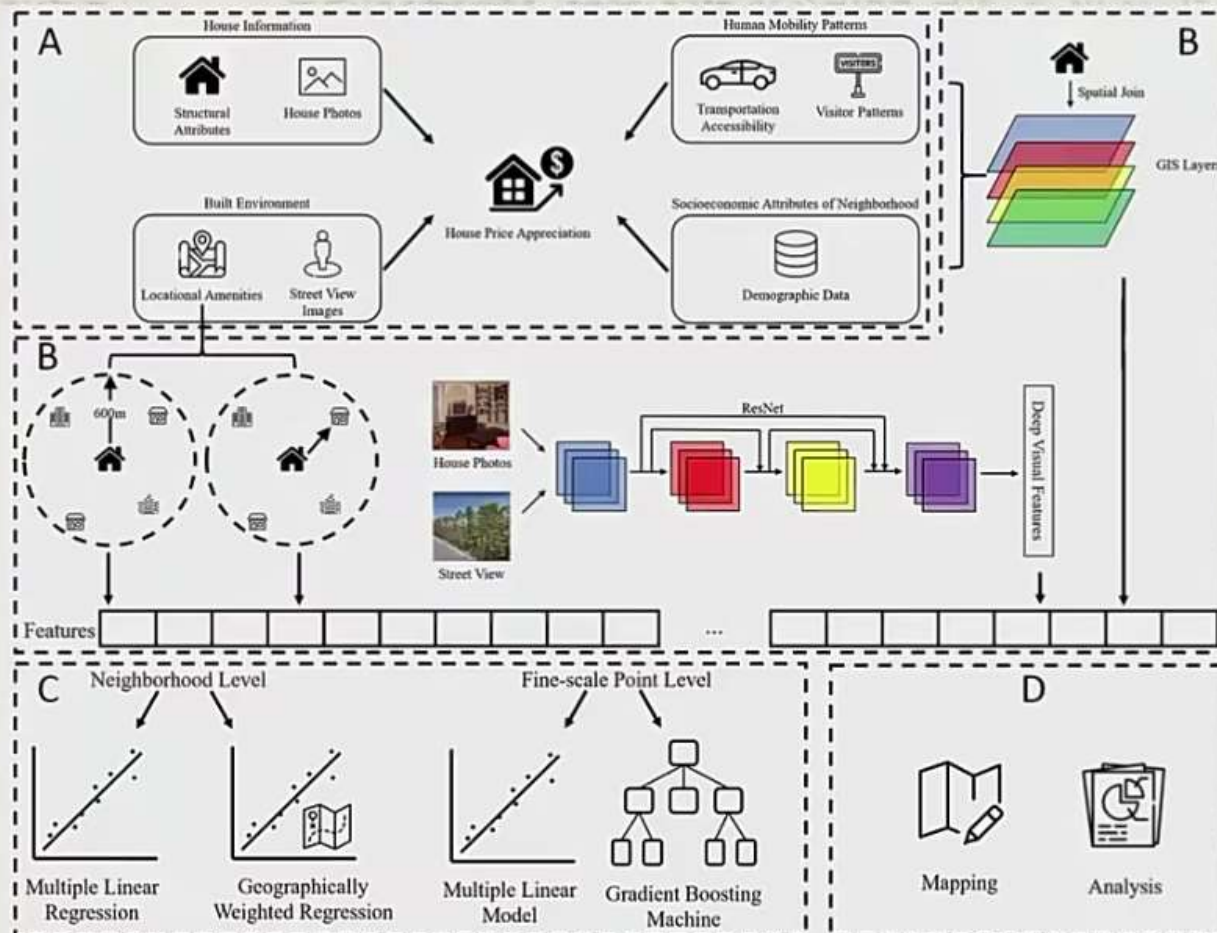
八、项目成果：20张讲座记录

4.4 Visual quality vs. Real estate

Street View Images



House Photos



Kang, Yuhao, Fan Zhang*, Wenzhe Peng, Song Gao, Jinmeng Rao, Fabio Duarte, and Carlo Ratti. "Understanding house price appreciation using multi-source big geo-data and machine learning." *Land Use Policy*(2020): 104919.



Understanding group travel behaviour from metro smart card data

Yongping ZHANG

张永平

Zhejiang University

Oct 26, 2023

3.2 Data: Video recordings

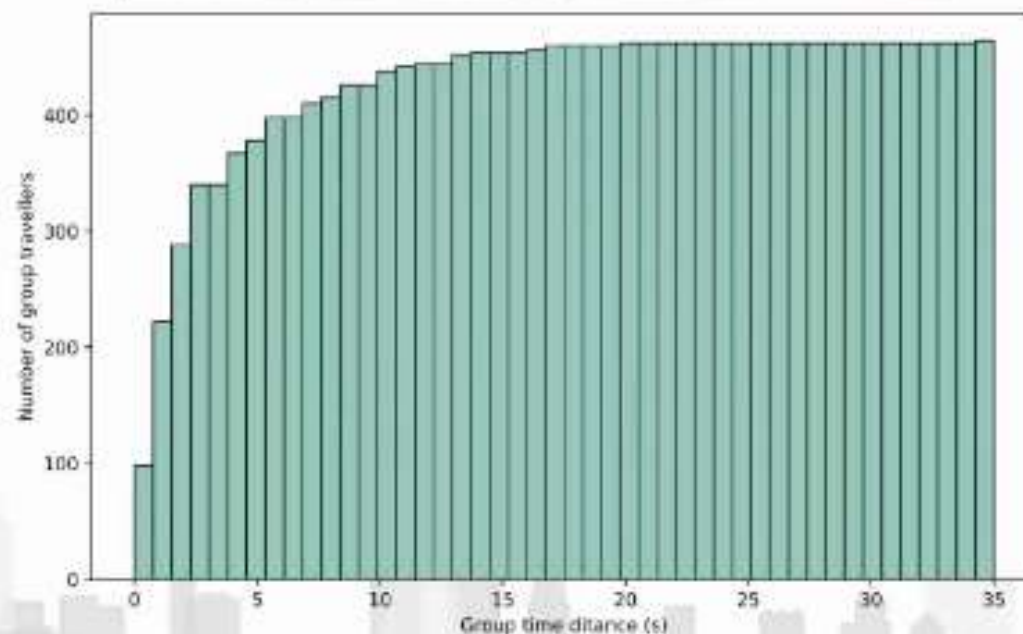
To find out suitable time interval to **define** co-existences

- Video recordings were collected at East Nanjing Road (南京东路地铁站)
- 16 10-minute episodes
 - A weekday (September 4, 2017)
 - A weekend (September 9, 2017)

Group travellers were manually identified via

- Proximity, walking speed/direction, and eye contact

467 identified group travellers



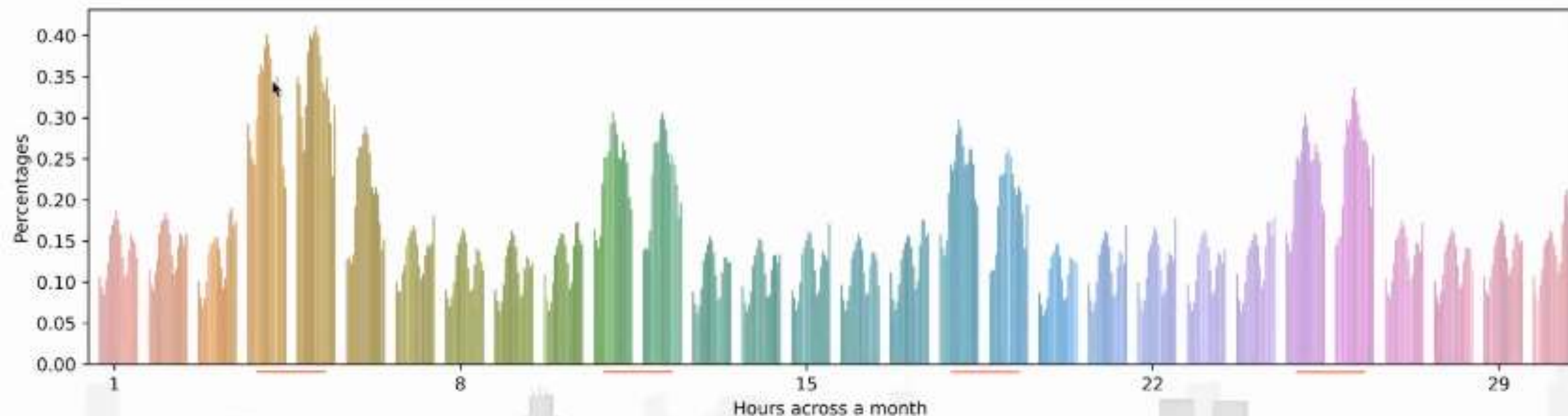
Cumulative percentages of group travellers by time intervals

4.1 Temporal pattern of group travel behaviour

Among **122.9** million trips, **17.8** million group trips were identified

Temporal pattern here is **very similar** with that revealed from the survey

- **Home-to-work travel** is more likely to be individualistic
- Typically engage in **leisure-related activities** in the afternoons/evenings and during weekends



Temporal pattern of group travel behaviour

5.2 Investigate social networks

We may identify the interesting role that a passenger plays in a social network

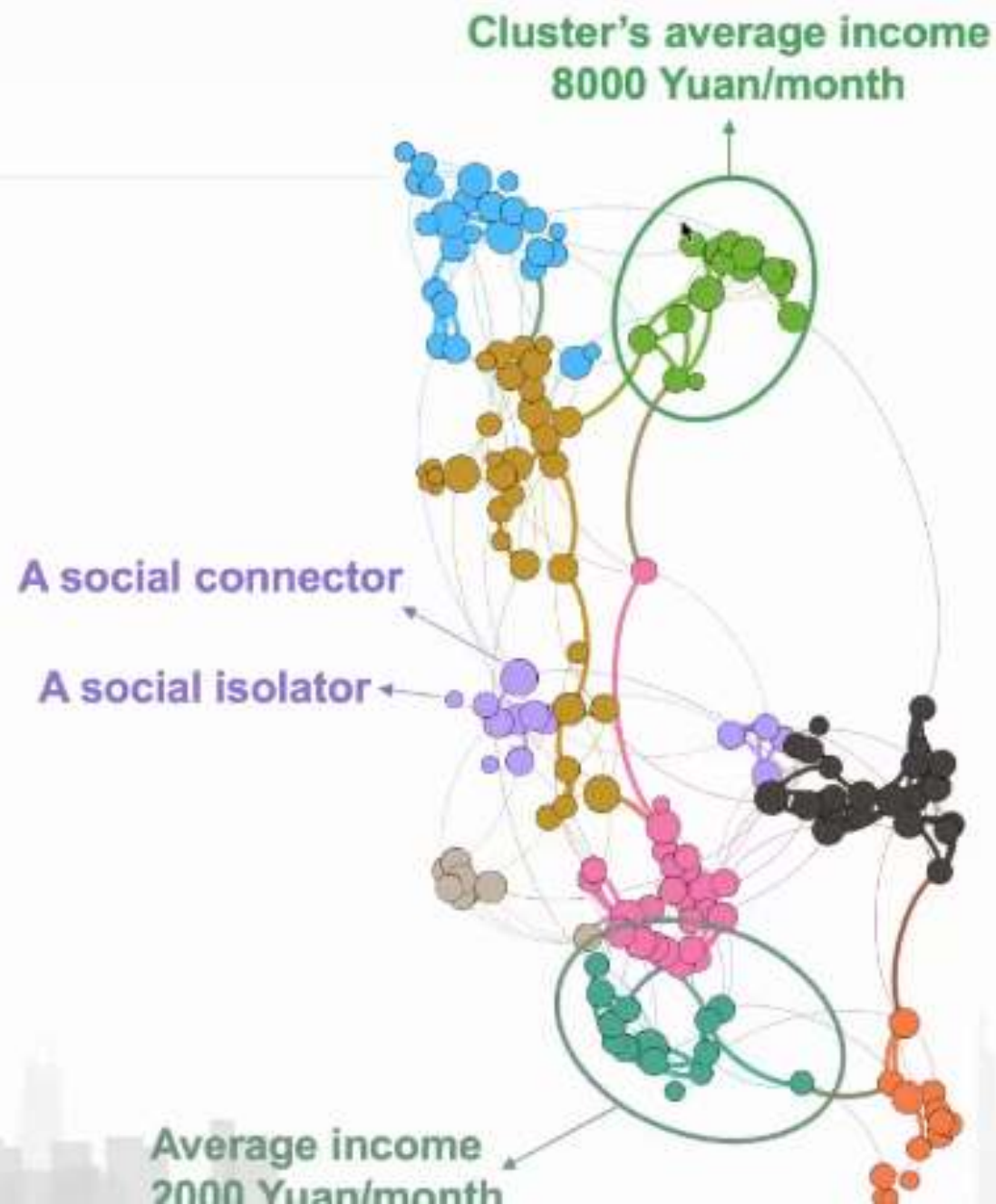
- A passenger — A node
- A group trip — An edge
- **A social isolator** — Has the least social links
- **A social connector** — Most socially popular

Link to many urban issues

- Urban isolation, segregation, and sociability

The investigation can be supported by many methods in Social Network Analysis

- Centrality measures
- Community Detection algorithms





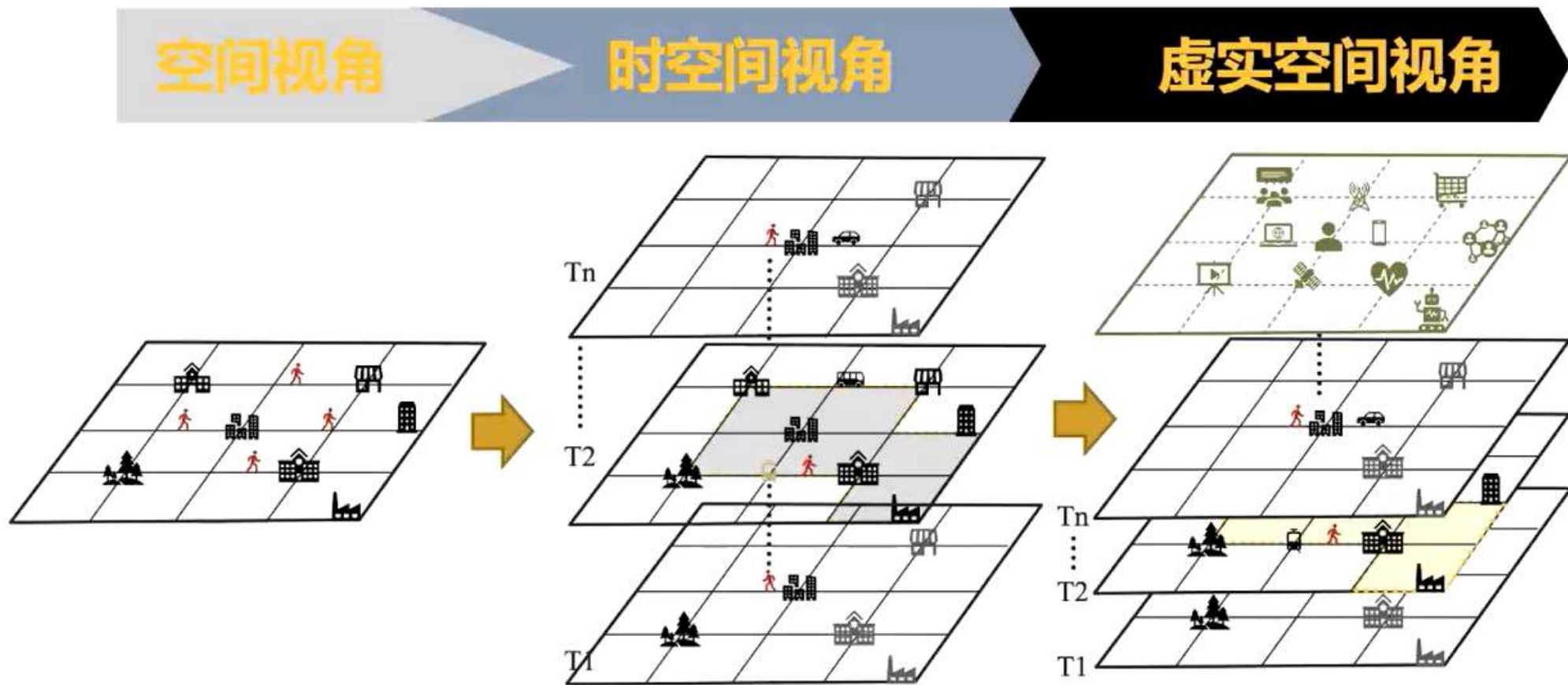
“活动-设施”协同的社区生活圈公共服务设施 评估与布局优化

张姗姗

特聘研究员/助理教授
南京大学建筑与城市规划学院

CUSP Webinars • 同济大学
2023.11.30

八、项目成果：20张讲座记录

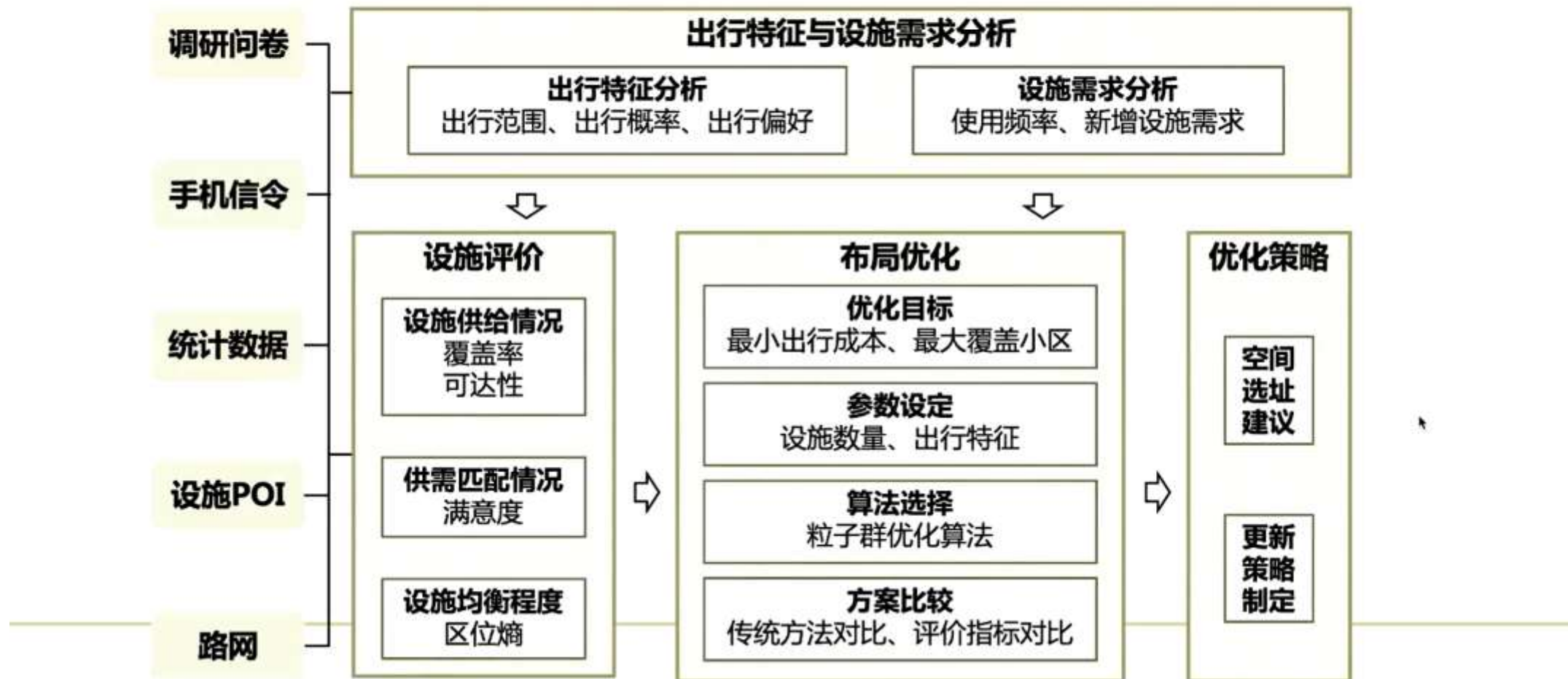


基于三个视角，形成一组活动—设施协同评估模型

八、项目成果：20张讲座记录



模型①技术路线



八、项目成果：20张讲座记录

➤ 目标函数

①最小化出行成本 $\min \sum_{i \in F, j \in R} d_{ij} p_{ij} G(d_{ij})$

②最大化服务人数 $\max \sum_{i \in F, j \in R} p_{ij} G(d_{ij})$

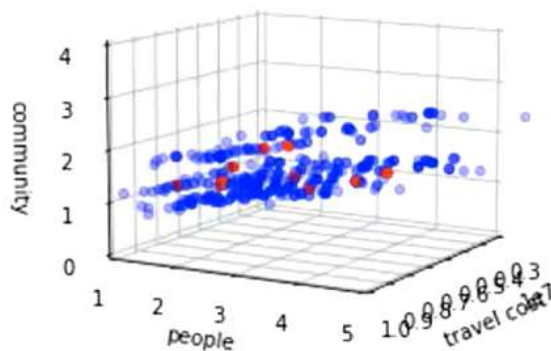
③最大化服务小区数 $\max J$

其中 p_{ij} 表示小区 j 的居民到访设施 i 的人数， $G(d_{ij})$ 是距离衰减系数。

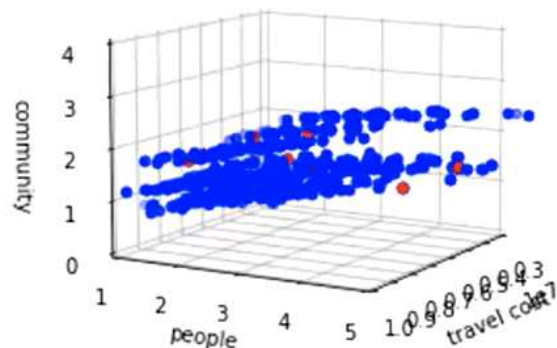
➤ 非劣解集

迭代500次后，非劣解集在目标空间中分布广泛，可以在不同目标之间进行权衡，获得满足不同的需求和偏好的解决方案，为应对不同规划情景提供有价值的参考和指导。

Pareto Front - Iteration 49



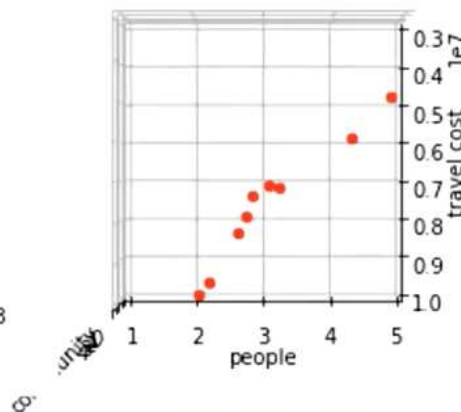
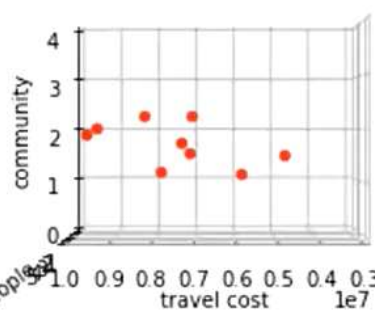
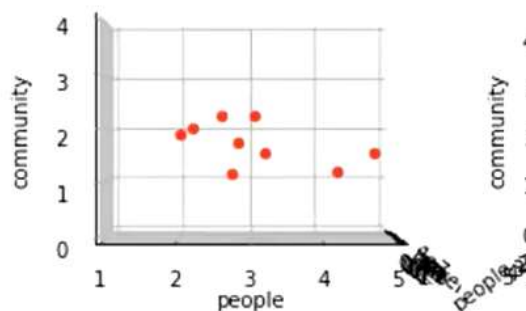
Pareto Front - Iteration 499



Pareto Front - Iteration 499

Pareto Front - Iteration 499

Pareto Front - Iteration 499



- 历代非劣解
- 本代非劣解

八、项目成果：20张讲座记录



同济大学建筑与城市规划学院
COLLEGE OF ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING TONGJI UNIVERSITY

城市规划系DUP
DEPARTMENT OF URBAN PLANNING



DEPARTMENT OF
LAND SURVEYING AND GEO-INFORMATICS
土地測量及地理資訊學系

虚实融合的人类时空行为以及 城市信息学初步研究

刘信陶

香港理工大学土地测量与地理资讯学系

xintao.liu@polyu.edu.hk

December 28, 2023

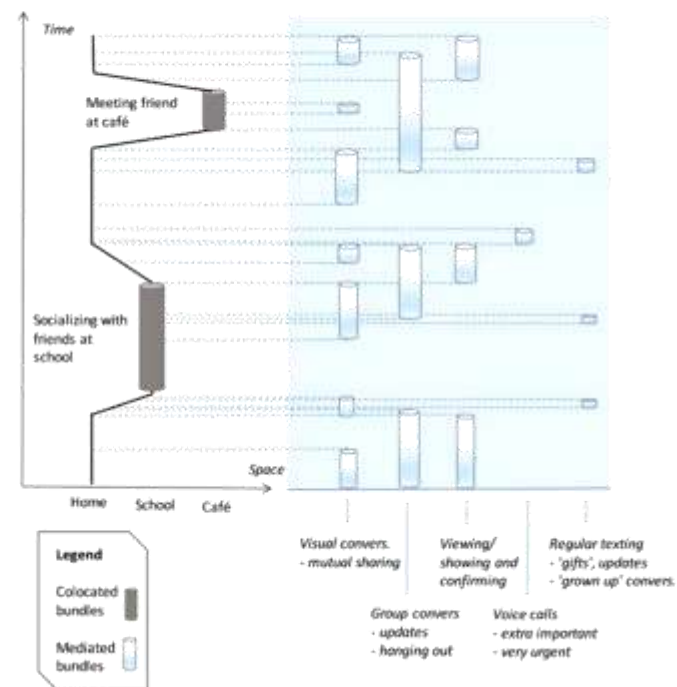


八、项目成果：20张讲座记录

The dimension of urban informatics



Methodology: Human activity in a hybrid space



• 轨迹数据采样方式

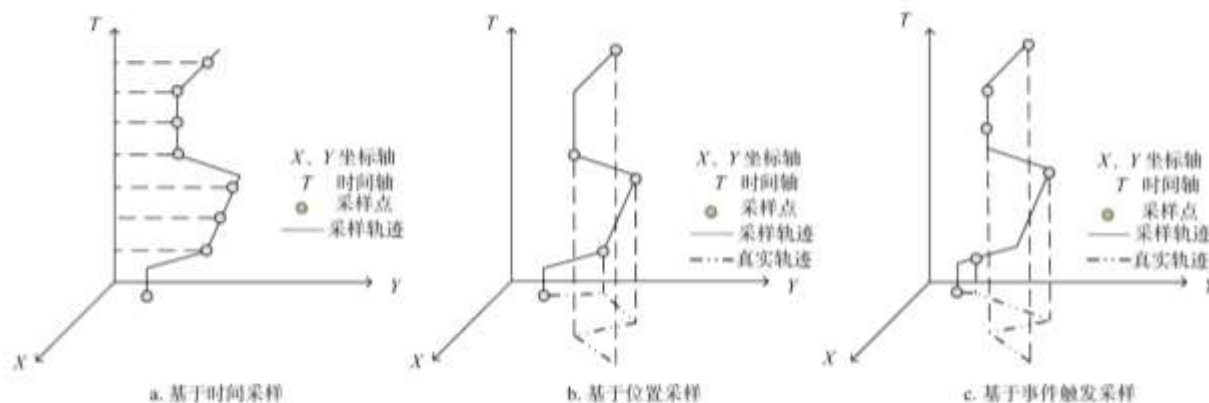
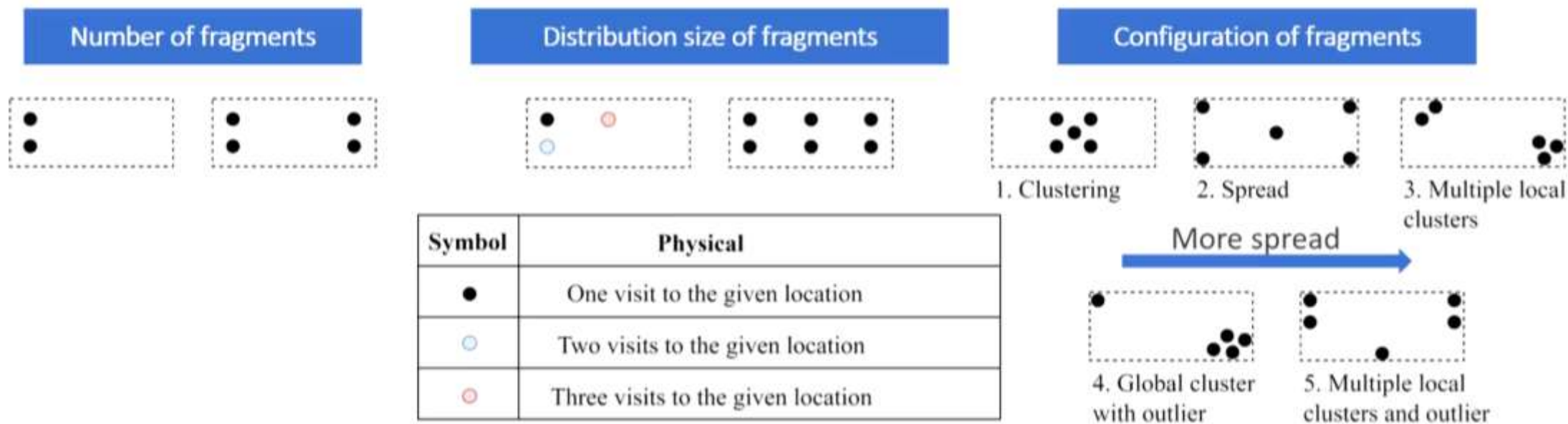


图1 采样轨迹数据

Methodology: Fragmentation

Fragmentation is a process whereby a certain activity is divided into several smaller pieces, which are performed at different times and/ or locations



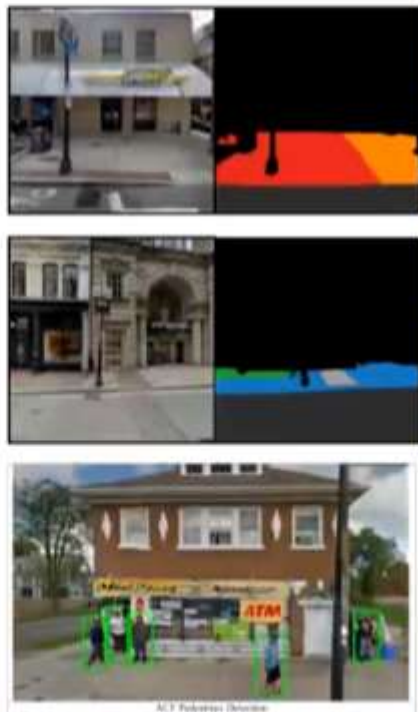
八、项目成果：20张讲座记录

Using multi-sensing tech to build up a real-time BFFs geo-database and 3D models for indoor and outdoor navigation

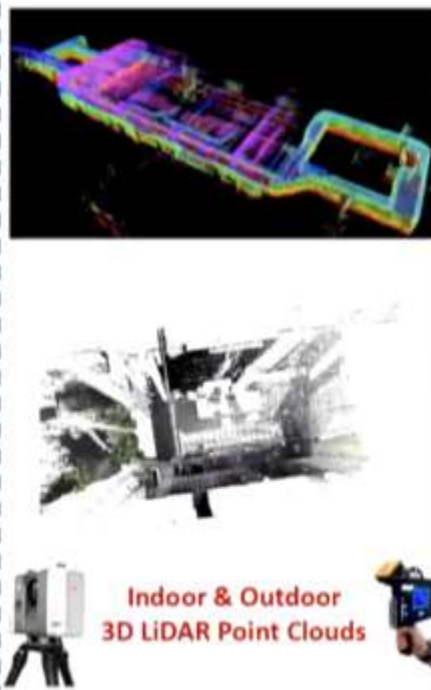
VGI platform



*Street View Images
+ Generative AI*



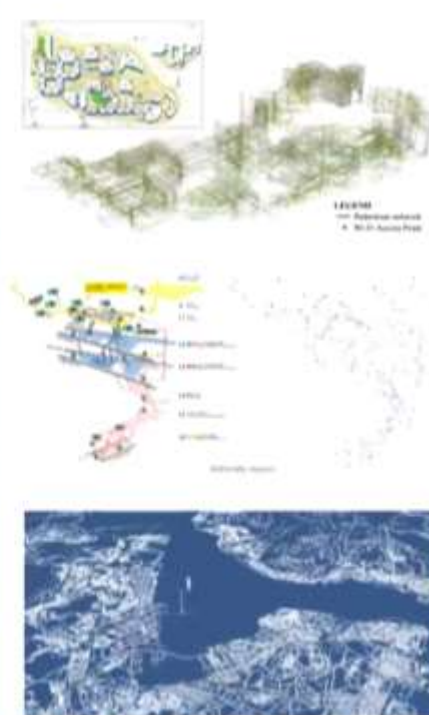
*Light Detection and
Ranging (LiDAR)*



*Official Department
Social media data*



*3D indoor and
outdoor network*





数字孪生城市思考与实践

杨 滔

清华大学

2024年01月

八、项目成果：20张讲座记录

新需求：数字“孪生”城市

“坚持数字城市与现实城市同步规划、同步建设，适度超前布局智能基础设施，推动全域智能化应用服务实时可控，建立健全大数据资产管理体系，打造具有深度学习能力、全球领先的数字城市。”

交通运行水平

城市道路拥堵度	10.12公里/小时
城市平均车速	28.34公里/小时
平均通勤时间	30.12分钟
道路拥堵比例	32.54%
城市人口密度	12.34万人/平方公里
公共交通出行分担率	32.45%
轨道交通15分钟步行可达覆盖率	97.83%
换乘换乘时间	7分钟
城市道路平均车速	28.34公里/小时
道路拥堵比例	32.54%
换乘换乘时间	7分钟

加强智能基础设施建设

构建全域智能环境系统

建设数据资产管理体系

绿色生态指数

森林覆盖率	31.05%	人均绿地面积	31.05%
污水处理厂	100%	城市生活垃圾无害化处理率	100%
城市污水处理率	100%	城市生活垃圾无害化处理率	100%
城市生活垃圾无害化处理率	100%	城市生活垃圾无害化处理率	100%
城市生活垃圾无害化处理率	100%	城市生活垃圾无害化处理率	100%
城市生活垃圾无害化处理率	100%	城市生活垃圾无害化处理率	100%
城市生活垃圾无害化处理率	100%	城市生活垃圾无害化处理率	100%
城市生活垃圾无害化处理率	100%	城市生活垃圾无害化处理率	100%

通过规则学习解译城市基因、洞悉城市运行、引领城市未来
To decode urban genes via a study of rules, to reveal the mechanism of operating the city, and to lead the way to the future

八、项目成果：20张讲座记录



八、项目成果：20张讲座记录



衷心感谢

