

上海科学技术情报研究所
上海市前沿技术发展研究中心
TISC技术与创新支持中心



数字化城市

DIGITAL CITY BRIEFING

2023 年

第 07 期



混合孪生技术助力优化纽约城市交通

编者按

2023 年 4 月，纽约哥大“纽约数字孪生智能城市项目”荣获 IDC Government Insight 第六届年度“北美智慧城市奖”交通类别获奖者。该项目名为《城市交通的混合孪生：从十字路口到全市管理》，通过开发分层分布式混合孪生技术，由虚拟孪生（即现有交通模拟）和数字孪生组成，它们集成了基于物理的模型，并吸收从基础设施和车载传感器获取的数据，以进行交通建模、预测和管理。本期简报将介绍混合孪生技术中的软件应用、超越 5G 的无线边缘云测试平台 COSMOS，以及纽约在提升交通智慧化过程中的实时自适应交通信号控制探索实践，和十字路口盲区监测等涉及公共安全的具体考量。



目 录

案例	3
哥大数字孪生项目荣获 IDC 北美智慧城市奖	3
印度实践：物联网智慧城市中的联网自适应交通信号控制	4
技术	5
开源交通模拟软件在数字孪生开发中的应用	5
超越 5G 的无线边缘云测试平台 COSMOS	6
产业	7
交通优化中的实时自适应交通信号控制	7
福特蓝牙低功耗技术提供盲区监测	9
政策	10
中国发布积极推进“互联网+”行动指导意见	10
欧盟通过智能交通系统新法规	11

案例

哥大数字孪生项目荣获“IDC 北美智慧城市奖”

2023 年 4 月，纽约哥伦比亚大学的《城市交通的混合孪生：从十字路口到全市管理》项目，获得 IDC Government Insight 第六届年度“北美智慧城市奖”交通类奖项。该项目由哥伦比亚大学傅氏基金会工程与应用科学学院和数据科学研究所的跨学科团队领导，利用传感数据和机器学习，创建纽约市的数字孪生，以优化交通流量，同时提高交通安全。

“北美智慧城市奖”（SCNNA）的成立是为了表彰北美各州和市政府在实施智慧城市项目方面取得的成就，并促进最佳实践的共享，以加速该地区智慧城市的发展。SCNNA 获奖项目体现了利用技术和创新促进可持续增长和经济发展以满足不同社区的需求和期望的最佳实践。与业内其他项目不同，它为寻求执行类似项目的政府官员提供了蓝图，利用尖端技术提供可持续的新服务和经济机会，并改善公民的生活。

哥大此项目获得了美国国家科学基金会 120 万美元的拨款，并得到了联邦公路管理局的部分支持，通过创建纽约市的数字孪生，使交通管理者能够持续监控交通模式并快速适应实时变化。团队利用路边基础设施和车载传感器，随着交通环境的变化不断学习和动态更新。通过将数字孪生集成到交通管理系统中，改善道路安全、提高运营效率、减少拥堵并降低排放，从而使哈莱姆区的城市和社区受益。为了解决缺乏构建城市数字孪生指南的问题，该项目还优先考虑教育和社区外展。

资料来源：

<https://cosmos-lab.org/a-digital-twin-project-using-the-cosmos-testbed-named-winner-in-idc-smart-cities-north-america-awards/>, https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=2038984



印度实践：物联网智慧城市中的联网自适应交通信号控制

最初，哥大项目的关注重点是 Morningside 校区附近由 COSMOS 摄像机覆盖的一系列十字路口。哥大的研究人员利用收集到的数据开发一种自适应模型，其功能类似于神经网络，该模型将按照一定的时间间隔收集数据，以根据实时信息调整其预测。

2022 年 8 月，美国国家科学基金会和联邦公路管理局额外提供 10 万美元拨款，将哥伦比亚大学的数字孪生项目延长一年，延申后的项目名为“物联网智慧城市中的联网自适应交通信号控制”，致力于开发使用物联网传感器和其他智能技术的网络交通信号控制系统，项目范围扩大到包括来自两所印度大学的研究人员：印度理工学院鲁尔基和加尔各答印度统计研究所。

美印团队重点关注运输管理，目标是利用两个现有测试台（纽约市的 COSMOS 测试台和印度旁遮普邦莫哈里的 T-CPS 测试台）开发智能城市中由物联网支持的网络交通信号控制系统。美国团队和印度团队之间的协同作用在于数据科学和智慧城市的交叉点，包括计算机视觉、机器学习、数据驱动优化和数字孪生。该项目利用纽约的 COSMOS 平台开发城市交通系统的数字孪生，并使用迁移学习来推广已开发的数字孪生，以模拟和优化印度交通系统，并使用印度测试台提供的交通数据进行校准。

资料来源：

[https://www.asce.org/publications-and-news/civil-engineering-source/civil-engineering-magazine/article/2022/09/in-nyc-digital-twin-project-tackles-traffic,](https://www.asce.org/publications-and-news/civil-engineering-source/civil-engineering-magazine/article/2022/09/in-nyc-digital-twin-project-tackles-traffic)

<https://cosmos-lab.org/nsf-and-the-indian-department-of-science-and-technology-support-a-us-india-project-that-will-use-the-cosmos-testbed-and-t-cps-testbed-in-mohali-punjab/>

开源交通模拟软件在数字孪生开发中的应用

数字孪生可以帮助城市规划者和交通管理者模拟交通拥堵状况并测试缓解策略。最终，数字孪生作为机器学习和流量建模的混合体，目标是预测交通状况、事故和拥堵点，以优化交通流量，减少十字路口的停车，甚至减少排放。通过实施自适应交通信号控制，从物联网传感器收集的实时交通数据中学习，协调走廊和分区沿线的交通信号灯，以更少的停靠点更有效地移动交通。

纽约哥伦比亚大学通过开源交通模拟软件开发数字孪生，该软件集成了 SUMO、CARLA 和 NS-3 等系统。SUMO 代表城市交通模拟，用于对多式联运交通系统进行建模，包括道路车辆、公共交通和行人。CARLA 代表“汽车学习行动”，旨在支持自动驾驶系统的开发、培训和验证。NS-3 是一个开放的、可扩展的网络仿真平台，用于网络研究和教育，为用户提供仿真引擎来进行分组数据网络如何工作和执行的仿真实验和模型。

CARLA 的开发是为了支持自动驾驶系统的开发、培训和验证。除了开源代码和协议之外，CARLA 还提供为此创建的开放数字资产（城市布局、建筑物、车辆），并且可以自由使用。该仿真平台支持灵活的传感器套件规格、环境条件、所有静态和动态参与者的完全控制、地图生成等等。其主要特点有：

- **通过服务器多客户端架构实现可扩展性：**同一或不同节点中的多个客户端可以控制不同的参与者。
- **灵活的 API：**允许用户控制与模拟相关的所有方面，包括交通生成、行人行为、天气、传感器等等。
- **自动驾驶传感器套件：**用户可以配置不同的传感器套件，包括激光雷达、多个摄像头、深度传感器和 GPS 等。
- **用于规划和控制的快速模拟：**此模式禁用渲染，以快速执行不需要图形的交通模拟和道路行为。
- **地图生成：**用户可以通过 RoadRunner 等工具轻松创建自己的遵循 OpenDrive 标准的地图。



- **交通场景模拟**：ScenarioRunner 引擎允许用户基于模块化行为定义和执行不同的交通情况。
- **ROS 集成**：CARLA 通过 ROS 桥与 ROS 集成
- **自动驾驶基线**：有自动驾驶基线作为 CARLA 中可运行的代理，包括 AutoWare 代理和条件模仿学习代理。

资料来源：

<https://www.asce.org/publications-and-news/civil-engineering-source/civil-engineering-magazine/article/2022/09/in-nyc-digital-twin-project-tackles-traffic>

超越 5G 的无线边缘云测试平台 COSMOS

COSMOS 是用于城市规模部署的云增强型开放式软件定义移动无线测试台。通过设计、开发和部署一个以城市为测量单位的先进无线测试平台，支持下一代无线技术和应用的实验。COSMOS 平台的技术重点是超高带宽和低延迟无线通信，以及紧密耦合的边缘计算，这是一种能够在网络边缘进行数据处理的云计算。COSMOS 致力于毫米波无线电通信和动态光开关技术，该平台将进行以前无法实现的实验，从而使整个社区受益于新的服务和应用程序。

COSMOS 架构特别关注与边缘云计算紧密结合的超高带宽和低延迟无线通信。COSMOS 测试台将部署在纽约曼哈顿上城，由 40-50 个先进的软件定义无线电节点、以及光纤前传和回传网络以及边缘和核心云计算基础设施组成。研究人员可以通过登录一个基于网络的门户网站，在 COSMOS 测试平台上远程运行实验，该门户网站将提供各种实验执行、测量和数据收集设施。

一、云计算

COSMOS 的边缘云计算站点包含三种类型的计算资源：CPU、GPU 加速器和 FPGA，以提供灵活而强大的信号处理能力，同时也支持不同应用所需的通用计算任务。另有软件工具，支持 CPU/GPU/FPGA 组合的并行执行。该软件堆栈将允许在虚拟化平台上进行便捷的软件/服务开发和部署，并允许访问“裸机”，以开发需要充分利用测试平台的超高带宽和超低延迟的应用程序/服务。



二、SDN x-Haul 网络

COSMOS 独一无二的前/中/后 (x) 光传输网络可用于研究新的高速和低延迟网络技术，以支持新兴和未来的无线技术和应用。提出的 x-haul 网络采用波分复用 (WDM) 技术，在无色、可重构光分插复用器 (ROADM) 中进行波长切换，以实现具有不同尺寸的前传、中传和回传的多种拓扑网络。SDN 控制平面使用户能够进一步配置网络，并在边缘云中尝试使用光纤无线 SDN 控制和虚拟化网络功能。

三、毫米波无线电

COSMOS 平台的一个关键特性是将完全可编程、高性能 SDR 节点与毫米波相控阵集成。尽管自 2004 年起，针对硅基毫米波相控阵 RFIC 的工业和学术研究就已开展，但直到最近人们才看到适合在测试台中部署的商业级毫米波相控阵。COSMOS 平台运行频率为 28 和 60GHz 的毫米波节点。IBM 28GHz 相控阵天线模块 (PAAM)，具有 4 个平铺 RFIC，支持 64 个双极化天线、支持混合模拟数字波束成形和 MIMO 的 8 个波束、30 度可操纵波束宽度、43dBm EIRP 和高达 3GHz 中频。IBM 28GHz PAAM 的另一个关键方面是通过以下方式实现的正交幅度和相位控制：(i) 增益不变的移相器设计和相位不变的可变增益放大器，(ii) 精心封装的天线阵列设计消除了增益和相位失配。前端将提供丰富的可编程性，包括对波束成形控制的完全访问，以及低延迟 MAC 和混合波束成形的延迟低至 10 纳秒。

四、软件定义无线电

COSMOS 无线电节点是基于多种 COTS 组件 (USRP、RFSoc 等) 的 FPGA 辅助软件无线电设计。该设计支持多个射频前端，包括 6 GHz 以下和毫米波。该节点还可以使用额外的 COTS 模块进行扩展，以支持通用遗留服务和控制要求。除了通信功能外，每个节点还可以整合射频传感和信号测量功能，以支持 (动态) 频谱使用和传播研究。这些节点有小型、中型和大型三种外形尺寸，分别适用于移动、街道和屋顶安装。

资料来源: <https://cosmos-lab.org/technology/>, <https://advancedwireless.org/new-york-city/>



交通优化中的实时自适应交通信号控制

交通拥堵一直是一个关键的城市问题，给全球许多城市带来了高昂的经济成本。英国经济事务研究所的报告称，每次汽车出行仅延误两分钟，每年就会给经济造成约 160 亿英镑的损失，相当于英国 GDP 的近百分之一。交通灯在控制交通流量和最大限度地减少延误方面发挥着重要作用，尤其是在城市地区。自 2000 年以来，英格兰的交通灯数量增加了 25%，而道路上的汽车数量仅增加了 5%。然而，它们大多数使用基于历史交通流量的离线控制系统，不能有效地响应意外的交通情况（例如车祸）或预测未来的交通流量。因此，研究人员开发了自适应交通信号控制方法。

1978 年，中国真正意义上的第一个交通信号自动控制系统在北京前门试点。控制系统的检测设备包括地磁检测器、二次谐波检测器。1987 年，我国自行研制开发的第一个自适应城市交通控制系统，公安部组织研发“七五”国家重点科技攻关项目《城市交通控制系统》，由公安部交通管理科学研究所、同济大学、电子工业部 28 研究所、南京市交警支队共同研发，该系统是我国自行研制开发的第一个实时自适应城市交通控制系统。2001 年，我国城市交通信号控制系统改革序幕拉开，SMOOTH、线圈车检器等投入试点，运行感应控制。2008 年，信号控制机协议标准发布，国家标准《交通信号控制机与上位机间的数据通信协议（GB/T20999）》正式出台，该标准适用于交通信号控制系统信号机与上位机间的通信，标准的发布，推动了我国信号控制系统的发布。2010 年，公安部提出推进、加强“两化”工作，推动了交通信号控制的智能化和互联网+、视频图像处理技术的结合发展。2017 年，互联网数据的融入，“互联网+信号控制”项目落地。互联网企业的进入，为行业带来了海量互联网轨迹数据和先进算法。2018 年至今，边缘计算的深入应用，推动了智能交通云边端协同，由中心系统的自适应逐渐转向边端自适应。智能交通发展迅猛，车路协同发展的不同阶段正在向高级别发展，智慧城市迎来一轮爆发建设期。



资料来源: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/19/7501>,

https://www.sohu.com/a/587119361_649849

福特蓝牙低功耗技术提供盲区监测

在进行城市交通的优化时，公共安全也是考量的关键。2022 年 9 月，在洛杉矶举行的美国智能交通协会世界大会上，福特汽车宣布其正在开发一项基于智能手机功能应用的新型通信技术，该技术通过车联网与智能手机应用来提示汽车驾驶员注意视野盲区内的行人、自行车，尤其是靠近车辆行驶路径但处于驾驶员视野盲区内的道路交通参与者，避免发生碰撞。

这项处在概念阶段的智能手机应用的运作机制是通过行人手机上的蓝牙低功耗（BLE）技术，将其位置传递给具备车联网功能的福特汽车。如果车辆计算出存在潜在碰撞风险，则车载的福特 SYNC®系统将通过在车内屏幕上显示行人、自行车或其他警示图形，向车辆驾驶者提供预警信息，并同时发出警报声。

蓝牙低功耗技术是指通过 2.4GHz 波段的无线电波创建出个人化的区域无线网络，从而与有类似装备的其他设备进行通信。这项技术已在智能手机中得到了广泛应用，且在无需对车辆硬件作出改动的情况下能够与福特 SYNC®系统的车联网技术兼容。该技术还可作为其它技术的辅助，只要设备上有类似蓝牙连接功能且有相应的通信区间，蓝牙低功耗技术就可在察觉到有行人、骑行者或其他道路交通参与者接近时发出潜在安全预警。鉴于城市道路通常人车共享，交通压力很大，道路交通环境复杂，这一特点对于盲区监测功能来说尤为重要。

蓝牙低功耗技术广泛用于个人电子设备，包括智能手机、健身监测设备、基于位置的移动设备应用服务、娱乐设备以及已内置蓝牙低功耗芯片的装置。它的功率非常低，只需要很低的电量消耗就能运行很长时间。日常生活中的蓝牙低功耗连接通常需要两个设备配对，但福特的这项创新科技是以蓝牙低功耗芯片为信标，无需配对即可感应到范围内多个类似的其它设备。如果一个人正在使用蓝牙低功耗设备，该系统则按照其行进速度区分出行人、骑行者等，再基于其行进方向进一步评估碰撞风险。在 2.4GHz 无线电频段内，蓝牙低功耗设备可迅速改



变通信频道——即跳频，这样就能尽可能减少干扰，提升可靠性。

资料来源：

[https://www.automotive-fleet.com/10181814/ford-explores-smartphone-based-tech-to-reduce-pedestrian-cyclist-crashes,](https://www.automotive-fleet.com/10181814/ford-explores-smartphone-based-tech-to-reduce-pedestrian-cyclist-crashes)
<https://www.ford.com.cn/newsroom/2022/20220922/>

政策

中国发布积极推进“互联网+”行动指导意见

近年来，我国互联网技术、产业与交通融合方面取得积极进展，但在市场应用、基础条件、技术支撑、政策环境等方面仍然存在许多制约，难以满足发展智能交通、培育新业态的需要。

在 2016 年《国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》中，就智能城市交通管理技术方面提到，要加强大范围交通流信息采集、交通管理大数据处理、交通组织和管控优化、个性化信息服务等技术研发。进一步提升自主研发交通信号控制系统等在设备精确度、稳定性方面的技术水平，并大规模推广使用。

此外，重点对城市交通信号控制系统进行智慧化改造，利用下一代交通感知技术、大数据处理技术、移动互联网技术，实现路口信号控制方案根据交通流状态进行动态、实时优化设置，并实现信号灯、分流标识、可变车道、潮汐车道的实时转换，提升城市交通信号控制系统智慧化程度。

资料来源：

<https://www.gov.cn/xinwen/2016-08/05/5097842/files/4a6788763ac24835b6972caa4c13c51f.pdf>

欧盟通过智能交通系统新法规

2019 年 3 月中旬，欧委会通过了智能交通新法规，助推欧盟的智能互联自动驾驶工程，加快在欧盟境内部署协同性智能交通系统。

新法规是在《智能交通系统法令》的基础制定的，该规则属授权立法，在公布规则后，欧洲议会和欧洲理事会都可以在两个月里否决该规则。根据新法规，未来的交通工具之间、与道路设施、交通参与者进行互动交流，比如危险路况、道路施工、交通信号等信息，建设更加安全、清洁、高效的交通系统。该法规与



欧委会主席容克倡导的“清洁交通工程”一脉相承，是欧盟为了实现交通系统现代化所实施的具体步骤，是为实现 2050 年“道路交通零伤亡”目标所采取的具体措施。

这一法规将为车辆制造商、道路施工方和其他参与方提供法律确定性，该法规不是封闭的，而是开放的，以适应新技术的发展和市场需求。从当年开始，各种车辆、交通信号、和高速公路将采用新技术，以便向所有的交通参与者发送标准化的交通信息，数字互联互通技术是保证交通元素保持协同性的关键一环。

资料来源：http://eu.china-mission.gov.cn/chn/kjhz/kjdt/201903/t20190325_8433018.htm

