

# 数字孪生在现代产业革新中的价值

杜洋



成都高新区AI创新中心

数字孪生是一种新兴技术,通过创建物理实体的虚拟模型实现现实世界的模拟和预测。作为一种涉及多个技术领域的综合性技术,数字孪生的核心技术包括物联网(IoT)、大数据、云计算、人工智能(AI)和边缘计算等。这些技术共同构成了数字孪生的技术体系,为其在各个应用场景中发挥作用提供了基础支撑。未来,数字孪生技术将不断完善和发展,拓展到更多应用领域,与新兴技术相结合,推动相关行业标准和规范的制定,加强数据安全与隐私保护,为人类社会进步和发展提供强大支撑。

数字孪生是一种新兴技术,通过创建物理实体的虚拟模型实现现实世界的模拟和预测。本文介绍了数字孪生的概念、背景及发展历程,详细探讨了数字孪生的关键技术,包括物联网(IoT)、大数据、云计算、人工智能(AI)等。同时通过具体应用案例,分析了数字孪生在智能制造、能源管理、交通运输和医疗保健等领域的实际应用价值,以加深人们对数字孪生技术的理解,并探讨其在现代产业中的应用与挑战。

## 一、数字孪生概念、背景及发展历程

大卫·盖伦特(David Gelernter)在1991年出版的著作《镜像世界》(Mirror Worlds)中提出数字孪生的称谓。数字孪生的概念和模型于2002年由迈克尔·格里夫斯(Michael Grieves)在美国密歇根州特洛伊举行的制造工程师协会会议上首次进行公开介绍,提出数字孪生作为产品生命周期管理(PLM)的概念模型。随着数字技术的快速发展,这一概念逐渐受到产业界和学术界的关注。

数字孪生,顾名思义是指通过创建物理实体的虚拟模型,实现现实世界和虚拟世界之间的互动。其将物理世界的数据、模型和仿真相结合,以提供更加准确和高效的分析、预测和优化能力。

2002年,美国宇航局(NASA)在执行太空任务时,通过构建地球上虚拟模型模拟太空中实际设备,以便对设备进行故障诊断和维护。随后,数字孪生技术开始在制造业、能源、交通等领域得到应用。

数字孪生技术的发展历程可以分为3个阶段。第一阶段(2000-2010年),数字孪生主要关注实体模型的构建与仿真。在这一阶段,虚拟模型主要用于实现设备和系统的设计、分析和验证,以提高产品的开发效率。

第二阶段(2010-2015年),随着物联网(IoT)技术兴起,数字孪生开始涉及更多的实时数据。在这一阶段,数字孪生模型可以实时接收来自物理实体的数据,并将其应用于模型中,以实现更为精确的分析和预测。同时,云计算技术的发展也为数字孪生提供了强大计算和存储能力。

第三阶段(2015年至今),人工智能(AI)技术的迅速发展使数字孪生技术进入新的阶段。在这一阶段,人工智能算法被广泛应用于数字孪生模型中,使其具备自主学习和优化的能力。此外,大数据技术应用也让数字孪生能够处理更多信息,提供高质量的决策支持。

数字孪生技术的发展历程反映了不同技术领域的融合和协同发展。从最初的模型构建与仿真,到物联网技术的实时数据采集,再到人工智能和大数据技术的智能分析与优化,这些技术共同推动了数字孪生的不断发展和应用拓展。目前,数字孪生已经成为工业4.0、智能城市、医疗保健等领域的热门技术趋势。

## 二、数字孪生特征与关键技术

### 1. 数字孪生的主要特征

数字孪生技术具有两个主要的独特特征:连通性和同质化。这些特征使其在众多应用场景中具有显著优势。

数字孪生的连通性,体现在其对物理实体和虚拟模型之间实时数据交互的支持。通过物联网技术,数字孪生可以实时获取物理实体的状态信息,并将其应用于虚拟模型中。同时,数字孪生模型可以将优化结果反馈到物理实体,实现实时控制和调整。这种连通性,使得数字孪生具有较高的实时性和响应能力,为各种应用场景提供强大支持。数字孪生的基础就是基于这种联系,没有它,数字孪生技术就不会存在。这种连接是由物理产品上的传感器创建,这些传感器获取数据并通过各种集成技术集成和通信这些数据。

数字孪生的同质化,体现在其对物理实体和虚拟模型之间的高度一致性。通过精确建模和仿真,数字孪生模型可以非常接近物理实体的实际状态和性能。这种同质化使得数字孪生可以准确地反映物理实体的运行状况,为分析和优化提供了可靠的基础。所以数字孪生可以进一步描述为一种数字技术,它既是数据同质化的结果,也是数据同质化的推动者。由于任何类型的信息或内容现在都可以以相同的数字形式存储和传输,它可以用来创建产品的虚拟表示,因此数据的同质化和信息与其物理制品的分离,使得数字孪生得以存在。数字孪生也使越来越多的物理产品信息能够以数字方式存储,并与产品本身脱钩。

### 2. 数字孪生的关键技术

作为一种涉及多个技术领域的综合性技术,数字孪生的核心技术包括物联网(IoT)、大数据、云计算、人工智能(AI)和边缘计算等。这些技术共同构成了数字孪生的技术体系,为其在各个应用场景中发挥作用提供了基础支撑。下面分别介绍这些关键技术,并分析它们在数字孪生中的具体应用。

#### 物联网(IoT)

物联网是数字孪生技术的基础支柱,通过将物理实体与网络连接,实现实时数据的采集、传输和处理。物联网技术的关键组成部分包括传感器、通信网络和数据处理平台。传感器负责将物理世界的各种参数转换为可处理的数字信号;通信网络将这些数据传输至数据处理平台,以便进行后续的分析 and 处理。

在数字孪生应用中,物联网技术主要用于实现实时数据采集和监控。通过部署各种传感器,数字孪生模型可以实时获取物理实体的状态信息,从而实现与现实世界的紧密连接。此外,物联网技术还可以为数字孪生提供远程控制和调整能力,使其能够更好地适应不断变化的环境。

#### 大数据

大数据技术是数字孪生技术的另一个关键支柱,能够处理海量数据,为数字孪生提供数据驱动的决策依据。大数据技术涵盖了数据采集、存储、处理和分析等多个环节,通过对大量数据进行深入挖掘,可以揭示数据背后的规律和趋势。

在数字孪生应用中,大数据技术主要用于实现数据分析和预测。通过对实时采集的数据进行分析,数字孪生模型可以发现潜在的问题和机会,为决策者提供有价值的洞察。此外,基于历史数据的挖掘,数字孪生模型可以实现预测分析,为未来发展趋势提供参考依据。

#### 人工智能(AI)

人工智能技术为数字孪生提供了智能化的

分析和决策能力。人工智能技术包括机器学习、深度学习、自然语言处理等多种技术方法,可以通过对数据的学习和分析,实现对复杂问题的自主解决。

在数字孪生应用中,人工智能技术主要用于实现智能优化和自主决策。通过对大量数据进行训练,数字孪生模型可以自主学习和优化,从而更好地适应不断变化的环境。此外,人工智能技术还可以帮助数字孪生模型实现更高级别的自主决策和控制,为企业和组织提供智能化的支持。

#### 云计算和边缘计算

云计算为数字孪生提供了强大的计算能力和存储资源,使得复杂数字孪生模型能够在云端进行实时运行和分析。云计算的核心优势在于其弹性、可扩展性和按需计费等特点,使得数字孪生技术可更好地适应不同规模和需求的应用场景。

边缘计算作为云计算的补充,将部分计算任务放在离数据源更近的地方进行处理,从而降低了网络延迟,提高了实时性。在数字孪生应用中,边缘计算可以实现对关键数据的快速处理和响应,为实时控制和优化提供支持。

## 三、数字孪生在现代产业中实际应用案例

数字孪生技术在各个行业领域都具有广泛的应用价值,通过具体的应用案例,展示数字孪生在智能制造、能源管理、交通运输、医疗保健等领域的实际应用。

### 1. 智能制造

数字孪生技术在智能制造领域有着广泛应用。以德国西门子公司为例,该公司在其电气驱动生产线上应用数字孪生技术,实现了生产过程的实时监控和优化。通过部署大量传感器,数字孪生系统实时获取生产线上的各种参数,并通过云端分析和处理,为生产过程提供智能化的优化建议。此外,该公司还利用数字孪生技术进行虚拟工厂规划,实现了在虚拟环境中模拟和优化生产过程,从而提高生产效率,降低生产成本。

### 2. 能源管理

数字孪生技术在能源管理领域具有重要应用。美国通用电气公司(GE)开发了一种基于数字孪生的风电场管理系统,通过对风电场的

实时监测和分析,实现了对风力发电设备的智能调度和优化。该系统能够根据实时风速和风向数据,调整风力发电机的工作状态,从而提高能源利用率,降低设备维护成本。

### 3. 交通运输

数字孪生技术在交通运输领域也有广泛应用。新加坡国家大学和新加坡交通部门合作开发了一种基于数字孪生的城市交通管理系统。该系统通过对城市道路和交通设施进行详细建模,实现了对城市交通状况的实时监控和预测。此外,通过与车辆导航系统的实时数据交互,该系统能够为驾驶员提供实时路况信息和最佳路线规划,从而提高城市交通运行效率,缓解交通拥堵。这一系统的成功应用为城市交通管理提供了新的解决方案,进一步证明了数字孪生技术在交通运输领域的重要价值。

### 4. 智慧城市

数字孪生技术在智慧城市建设中发挥着重要作用。以我国南宁市城市信息模型(CIM)平台为例,该平台利用数字孪生技术,构建了一个全面、精细的城市数字模型。CIM平台汇集了南宁市中心城区的高精度实景三维模型、地下管线数据、地质钻孔数据、建筑物信息、市政设施数据等多领域数据资源,形成了一个全方位的城市数字空间底座。南宁市可以在虚拟环境中模拟和预测城市规划和管理策略的效果,为决策者提供有力的决策依据。此外,数字孪生技术还为南宁市提供与物联网设备(如视频监控、扬尘监测等)的实时数据交互能力,进一步提高城市管理的效率和水平。通过这个平台,南宁市实现了房屋建筑全生命周期管理、城市体检、便民生活圈规划、城管执法、市政设施管理等多个领域的应用,有效提升了城市治理水平和城市发展能力。

## 四、数字孪生挑战与前景

### 1. 数字孪生的挑战

作为一种现代化产业的核心技术,数字孪生对实现各行业的数字化、智能化和高效化具有重要意义。然而,在实际应用过程中,实现数字孪生的完全对接和无缝集成仍面临诸多挑战。

数据安全和隐私保护。在数据安全方面,数字孪生系统需要应对来自内部和外部的安全威胁,如黑客攻击、恶意软件和内部泄密等。此外,随着跨组织和跨领域的数据共享与协同,数据安全的复杂性也在不断提高。因此,需要不断完善安全防护技术和手段,提高数据加密和认证等级,确保数据的安全传输和存储。在隐私保护方面,个人信息和敏感数据可能会在数字孪生系统中被非法收集、泄露和滥用。为解决这一问题,应建立更为严格的数据隐私保护政策和法规,规范数据收集、使用和传播的行为。同时,可以采用匿名化、脱敏化等技术手段,确保数据在处理过程中个人隐私得到充分保护。

技术成本和资源限制。数字孪生技术的广泛应用需要高性能计算资源、存储设备和通信设施等硬件基础设施,这些设施的建设和维护成本相对较高。数字孪生软件平台和解决方案的研发、集成和优化也需要投入大量人力、财力和时间。因此,降低技术成本和提高资源利用效率成为推动数字孪生技术普及的关键。随着数字孪生技术应用的不断拓展,对硬件和软件资源的需求也在逐步增加。然而,部分企业和组织面临着资源有限的局面,难以承担数字孪生系统高昂的成本。为解决这一问题,可以通过技术创新、模块化设计、开源方案等途径,降低数字孪生系

统的开发和部署成本。政府和行业组织也可以提供资金支持和政策扶持,帮助中小企业和创新团队更好地应对资源限制,实现数字孪生技术的广泛应用。

人才培训和技能要求。数字孪生领域需要具备多元化知识背景和技能的专业人才,包括数据科学家、计算机工程师、领域专家等。数字孪生领域的人才供应相对紧张,部分企业和组织难以招聘到合适的人才。导致这类现象产生的主要原因有3点:首先,教育体系在数字孪生领域的人才培养方面尚存不足。部分高等院校和职业教育机构缺乏针对数字孪生的专业课程和实践项目,使得毕业生在进入工作岗位后难以胜任数字孪生相关工作。其次,针对在职人员的数字孪生技能培训资源相对缺乏,部分企业和组织尚未建立完善的培训体系,导致在职人员的技能更新滞后,难以应对数字孪生技术的快速发展。最后,数字孪生技术要求从业者具备多学科知识和技能,但在现实中,各学科之间的交流和合作尚不充分,影响了数字孪生领域人才的培养和成长。

### 2. 数字孪生的发展前景

数字孪生技术正处于飞速发展阶段,其未来发展趋势充满无限可能。

应用领域拓展。随着数字孪生技术的不断成熟和创新,其应用范围将不断扩大。除了现有的制造业、能源管理、交通运输和医疗保健等领域外,数字孪生还有望在环境保护、灾害防治、智能家居等新兴领域发挥重要作用。例如,通过数字孪生技术可以实现对环境污染的实时监测和预警,为政府和企业提供决策支持;在智能家居领域,数字孪生可以帮助家庭实现更高效的能源管理和室内环境优化。

技术融合与创新。随着5G、6G通信技术、边缘计算、量子计算等新技术的不断发展,数字孪生系统将具备更高的数据处理能力和实时响应速度。这将推动数字孪生技术与其他领域技术融合,如虚拟现实(VR)、增强现实(AR)等,为用户提供更丰富的交互体验。

标准化与规范化。随着数字孪生技术在各个领域的广泛应用,未来有望出台更多关于数字孪生的行业标准和规范。这将有助于统一技术实现,提高数据互操作性,降低技术门槛,推动数字孪生技术的普及和应用。

## 五、未来数字孪生技术展望

通过对数字孪生技术的定义、发展历程、关键技术、应用案例以及面临的挑战和未来发展趋势的全面分析可知,作为一种将现实世界实体与虚拟模型相互关联的技术,数字孪生通过实时数据交换与分析,实现了对现实世界实体的高效管理和优化。伴随着物联网、大数据、云计算、人工智能等领域技术的进步,数字孪生在智能制造、能源管理、交通运输、医疗保健和智慧城市等领域展现出了巨大的应用潜力和价值。

尽管数字孪生技术取得了显著成果,但仍面临数据安全与隐私保护、技术成本与资源限制、人才培训与技能要求等挑战。展望未来,数字孪生技术将不断完善和发展,拓展到更多应用领域,与新兴技术相结合,推动相关行业标准和规范的制定,加强数据安全与隐私保护。为了应对这些挑战,政府、企业和学术界需要共同努力,加大对人才培训、技术创新和产业合作的投入,推动数字孪生技术在各个领域实现更广泛的应用,为人类社会进步发展提供强大支撑。

(作者系中国科学院科技战略咨询研究院中国高新区研究中心数据部研究员)



洛阳大数据产业园



杭州国家物联网产业基地