

# 浅谈数字孪生技术发展现状及未来

王玉珏 王海霞 王林森

苏州大学·应用技术学院 江苏苏州 215325

**摘要:**近些年来,在工业4.0的大趋势下,传统产线向智能产线的升级成为了各行各业必须重视的一环。而数字孪生做为智能制造深入发展的重要环节,也因此快速发展。相较于传统仿真,数字孪生技术因其具有“仿真、控制、预测、优化”的功能、能够实现信息物理的实际融合等优点,受到以制造业为首的各行业的高度重视。本文以数字孪生的基础框架为出发点,简要分析了数字孪生的核心技术及不足,并探讨了其未来发展应用方向的可能性。

**关键词:**数字孪生;关键技术;智能制造

## Brief Discussion on the Development Status and Future of Digital Twin Technology

Wang Yujue, Wang Haixia, Wang Linsen

School of Applied Technology, Soochow University, Suzhou 215325, China

**Abstract:** In recent years, under the general trend of Industry 4.0, the upgrading of traditional production lines to intelligent production lines has become a part that all walks of life must pay attention to. As an important part of the in-depth development of intelligent manufacturing, digital twins are also developing rapidly. Compared with traditional simulation, digital twin technology is highly valued by various industries including manufacturing because of its advantages of “simulation, control, prediction and optimization” and the ability to achieve practical integration of information and physics. Based on the basic framework of digital twins, this paper briefly analyzes the core technologies and shortcomings of digital twins, and discusses the possibility of its future development and application direction.

**Keywords:** Digital twin; Key technologies; Smart manufacturing

### 引言

2002年,在密歇根大学的一次演讲会上,Michael Grieves为PLM中心成立而向工业界发表演讲而制作的幻灯片中首次提出了物理产品数字化映射概念,并在2006年发表的著作中将其称为信息镜像模型。最终于2011年,Michael Grieves博士与John Vickers在一份白皮书中引入了专业术语“数字孪生”。

数字孪生现如今并没有一个绝对的定义,他可以被视为一个通过计算机对现实中的物体在有限范围、特定维度,进行全方面、高精度仿真的数字映射系统。物理实体向虚拟空间传输数据,虚拟空间向物理实体提供信息进程,通过双方的连接与交互,从而实现仿真、控制、预测以及优化等功能。

现如今,数字孪生已经从早期的航空航天、军用领域逐步走向制造业以及民用领域。美国通用电气公司

(GeneralElectric Company, GE)利用数字孪生技术去构建工业互联网体系,称为世界首位将数字孪生融入工业数字化的公司;德国西门子公司在产品的制造方面,对生产车间进行了数字孪生,通过模拟产品在加工过程中的实时状态,合理分配资源来减少生产时间,以达到提高生产效率的目的;Bentley软件公司通过数字孪生技术,在产品运行周期管理方面,检测产品损伤状态,并通过数据进行实时反馈,以提高寿命预测能力,进而指导实际生产……由此可见,在工业4.0的大环境下,数字孪生技术的潜力已经慢慢被各行业认可。本文通过对数字孪生在各领域应用中的技术进行归纳研究,旨在找到其中的异同,分析其未来的发展前景。

### 一、概述

#### (一) 框架

中国电子技术标准化研究院将数字孪生技术框架以功能

作用加以分层，共分为以下三层：基础支撑层，数据交互层和功能层。

### 1. 基础支撑层

此层以设计数据、环境数据、运行数据等数据为支撑，是数字孪生技术的重要基础。现实中的物体的运动方式和运动环境有着复杂性且相互影响，为实现数字孪生，便需要通过传感网络等技术，将物理世界的物体数字化，使其成为能被计算机和网络所能理解的数据。

### 2. 数据交互层

众所周知，传统仿真是将包含了确定性规律和完整机理的模型转化成软件的方式来模拟物理世界的一种技术，而与之相比，数字孪生体不仅仅是物理世界的镜像，也要接受物理世界实时信息。它通过分析物理实体的行为规则来预测物理实体的未来状态，进而实现对物理实体的状态监测、运行维护、决策优化等功能服务。因此，可以说交互这一功能，在一定程度上区分了数字孪生技术和传统仿真。数字孪生中的交互可大致分为内部同维交互，内部跨维交互和外部交互，在各种交互的作用下，物体的全方面仿真得以实现。同时，此层通过高带宽光纤技术让数据的传输更快，缩短系统传输数据需要的时间，保障了数据的实时性和有效性，为数字孪生实现实时动态仿真、控制、预测、优化提供坚实的基础。

### 3. 功能层

功能层，顾名思义，是集合实际使用功能的一层，根据不同的应用场景，功能层包含的功能也不尽相同。在监控系统的数字孪生功能层中，其主要包括虚拟空间中的三维场景建模及渲染和状态监控以及生产优化两个功能。具体细节上的功能还包括设备状态监控、计划交付监控、质量状态监控、人工绩效监控等。在产线的数字孪生功能层设计中，则需要考虑到产线设计、使用、生产、维护等需求，因此包括类似于多层级系统寿命估计、系统集群执行任务能力的评估、系统集群维护保障、系统生产过程监控以及系统设计决策等功能。而在电热厂的数字孪生设计中，便有必要设计人员定位系统，来实现工作现场作业人员监督管理功能；门禁系统，以便应对安全功能的需求……数字孪生的应用范围十分广泛，功能层作为整个数字孪生体系的直接价值体现，根据不同的需求进行有针对性的设计，可以满足高可靠性、高准确度、高实时性以及智能辅助决策等多个性能指标，进而帮助企业在数字化颠覆中保持领先地位。

## 二、核心技术及缺陷

数字孪生是一项通过对现实场景进行实时虚拟仿真，进而改善、预测现实场景的技术，核心作用决定了其关键技术应当包含的内容，即建模、数据采集传输以及数据处理等。

### （一）建模技术

想要完成数字孪生的基本目标，即物理实体和虚拟模型的双向实时映射，三维建模技术必不可少。数字孪生需要通过三维乃至多维建模技术，使其能够在特定范围内，尽可能的还原现实物体的状态，将数据处理后的结果更加直观的展现给管理人员。目前，大部分的建模方法还无法做到精确地将物理实体的全部数据体现出来，虚拟模型与物理实体之间的交互受到阻碍，建模与模拟技术兼容性也有待进一步提升。因此，构建一个能够贯穿产品设计、制造、服务全生命周期的高精度数字孪生模型将会是一个重要的研究方向。

### （二）数据采集及传输技术

数据采集是通过各类传感器将压力、温度、震动等数据采集出来，用以在电脑中复现目标系统最真实、精确的运动状态。传感器相当于数字孪生系统的感官，其准确性对于数字孪生而言至关重要。传感器采集并返回给计算机的数据精确度越高，数字孪生系统的仿真性就越强、仿真状态越精准、仿真效果越卓越。对于传感器本身而言，抗干扰能力和精准采集能力必不可少，其对于各种类型的波动模拟信号要能够进行稳定、精准的采集并有必要一定的处理。但目前因技术问题，距离达成目标精度的数据采集还有一定的距离，这也是未来传感器需要克服的难点。

上文提到，数字孪生技术需要实时的交互从而对物理实体进行全面仿真甚至状态预测。因此，搭建快速且安全的信息传输网络，将数据实时而精确的上传给计算机是十分必要的。然而，传感器网络中普遍存在大量的传感器节点，以目前的数据传输技术难以保证如此庞大数据在上传过程中的稳定性和实时性。在未来，如何将数据传输与5G技术相结合，是数字孪生发展必须要考虑的问题。

### （三）数据处理技术

数字孪生以数据为基础，在模型与数据的交互之下实现数字孪生模型的驱动与更新，并对数据进行存储、更新与融合。现实中，大量的传感器和实时的传输数据导致用于数字孪生技术的数据多存有密度高而数据价值低等特点，因此，数字孪生背后的数据处理平台能力直接决定了该孪生系统整体性能的高低。为实现数字孪生技术的发展、突破运算性能的桎梏，应在提升计算平台能力和优化计算结

构两方面下手。此外，如何与当下热门的大数据处理技术结合，通过大数据技术将数据进行实时存储、筛选、处理和交互等，也是应当考虑的问题之一。

### 三、应用层面的发展趋势

目前，数字孪生的研究与应用处于初级阶段，在工业应用方面仍然存在许多研究挑战，如建模技术、数据分析、信息安全和隐私保护等。数字孪生的发展离不开物联网、大数据等新一代信息技术的支持，要实现数字孪生的高速发展，构建一个高效、健壮的数字孪生系统，应当将数字孪生与新一代信息技术进行融合。

#### （一）航空技术方面

早在2011年，美国空军研究室结构力学部门（air force research laboratory, AFRL）便拟使用数字孪生技术来对战斗机进行虚拟建模和仿真。AFRL通过数字孪生技术，将战斗机中的多源异构零件（包括机头、机身、机翼等）通过高保真的虚拟建模方式映射到计算机中，并建立与战斗机实体相对应的虚拟模型，从而预测获得战斗机飞行时的综合状态。

我国由于工业基础较为薄弱且起步较晚，航空产品相较于国际领先水平还有一段路要走。想要在航空技术层面实现弯道超车，数字孪生技术必不可少。

#### （二）工业制造方面

在工业智能化的大环境推动下，数字孪生技术成为智能制造领域和复杂系统智能运行和维护领域的新兴研究热点。2015年，RIOS教授和其团队共同提出在制造领域中构建数字孪生体，打破了以往数字孪生仅在航空航天领域中应用的局限。LEE和其团队提出了构建整个生产资源的数字孪生，将数字孪生体从产品概念推广到整个先进的制造业当中，例如将数字孪生作为“工业4.0”的核心，将大数据分析和云平台应用到数字孪生体中。陶飞及其团队针对制造车间物理空间与虚拟空间的相互作用与融合，提出了数字孪生车间(DigitalTwin Shop-Floor, DTS)的概念，并将数字孪生车间分为实体车间、虚拟车间、车间服务系统和车间孪生数据四个部分，并提出了DTS的运行机制和实现方法……由此可见，数字孪生在工业制造方面有着巨大的应用潜力。

#### （三）电力方面

在电力模型构建方面，常春等人提出了一种电力运行的数字孪生方案，该方案应用了逆向稳态搭建的数学模型，使得系统在离线运作的状态下依然能够较为准确地预测发展趋势。史凯钰等人提出了一种基于LSTM的数字孪生系

统，用于预测光伏发电功率，并结合历年光伏数据，得到了较为准确的结果，验证了数字孪生模型在电力预测领域的实用性和可行性。西门子通过将MindSphere与Teamcenter软件、Siemens的产品数据管理协同工具相结合，提供具体电气数字双胞胎服务。GE通过在Predix平台上为每个设备创建DT来构建数字风电场风机，以优化维护策略，提高可靠性，并增加能源生产。由此可知，数字孪生技术与电力系统的数字孪生体构建相关研究在国内外皆受到了一定程度的重视。

### 四、总结

数字孪生是未来科技发展的一项重要技术，我国对于该项技术的重视程度正在不断提高。2021年3月，《国家“十四五”规划纲要》明确提出要“探索建设数字孪生城市”，为数字孪生城市建设提供了国家战略指引。此后，国家陆续印发了不同领域的“十四五”规划，为各领域如何利用数字孪生技术促进经济社会高质量发展做出了战略部署。需要注意的是，数字孪生作为一门集合了多学科，多领域的综合技术，目前的发展尚处在起步阶段。受限于相关理论技术水平和物理硬件条件，在市面上数字孪生的应用不多，且往往会出现数据缺少真实性、解决方案模板化、交互能力较低等问题，导致大部分只有其“形”并无其“实”，在实际应用场景里难以体现显著的提升作用。相信在国家和企业共同努力下，未来数字孪生技术会更加的成熟，帮助我国在新一轮科技革命和产业变革中实现弯道超越，建设成为引领世界制造业发展的制造强国。

#### 参考文献：

- [1] 龙玉江, 李洵, 舒斌, 杨濡蔓, 卫薇. 数字孪生技术的应用及进展[J]. 上海电力大学学报, 2022, 38(04): 409-414.
- [2] 杨一帆, 邹军, 石明明, 李月峰, 杨波波, 王洪荣, 施成章, 金龙悦, 路鑫. 数字孪生技术的研究现状分析[J]. 应用技术学报, 2022, 22(02): 176-184+188.
- [3] 欧壮壮, 李建强, 陈继文, 潘昊. 强度数字孪生技术的研究现状和发展趋势[J]. 机械设计与制造工程, 2022, 51(03): 8-12.
- [4] 高超超. 热电厂管理数字孪生系统应用综述[J]. 机械研究与应用, 2021, 34(06): 189-193.
- [5] 吴雁, 王晓军, 何勇, 黄新伟, 肖礼军, 郭立新. 数字孪生在制造业中的关键技术及应用研究综述[J]. 现代制造工程, 2021(09): 137-145.