

数字孪生应用与虚拟现实技术发展综述

蒲雨彤 张岭江 范凌杰 杨秋琪

(重庆邮电大学 重庆 400065)

摘要：随着“工业 4.0”和相关智能制造的政策出台，“数字孪生”的概念正在掀起新一波的工业仿真热潮。同时，“虚拟现实技术”对于场景可视化的表达形式以及全新的场景交互模式，将更有利于在数字世界中呈现更好的视觉效果和交互操作。本文将概述数字孪生概念的发展，分析虚拟现实技术应用，并且以建设智慧城市为例，构想并分析在数字孪生概念与虚拟现实技术结合下未来的发展。

关键词：数字孪生；虚拟现实技术；工业仿真；智能制造；智慧城市；

引言

数字孪生，又名数字双胞胎，这是一种比较拟人化的说法，指将物理世界中的实际对象，以数字化方式拷贝到数字世界中。这种思维模式并不陌生，以文档信息为例，电子文档和纸质文稿就是一对双胞胎。以常见的导航系统为例，模拟场景与实际道路形成一对双胞胎。【6】

目前，数字孪生大多数应用于工业制造业领域。新提出“工业 4.0”和“中国制造 2025”的概念，再加上日益智能化的工业技术，在一定程度上大大提高了工业生产的效率。国际数据公司（IDC）数据表示，现今有 40% 的大型制造商都会运用虚拟仿真技术为生产过程进行建模，这标志着数字孪生已经成为了工业制造企业迈向工业 4.0 的解决方案。到 2020 年，估计有 210 亿个链接的传感器和终端服务于数字孪生。《中国制造 2025》提出了“提高国家制造业创新能力”，“推进信息化与工业化深度融合”，“深入推进制造业结构调整”等战略核心战略内容，意在全面提高发展质量和核心竞争力。

【2】

虚拟现实技术（Virtual Reality），通常简称为 VR，也称“灵境技术”。使用者可以通过头显、传感器等设备与计算机构建出的虚拟场景进行交互。设备通过捕获肢体动作，语言声音等，而向计算机发送相应的命令，计算机接收到命令后，会给予使用者视觉、听觉以及触觉等多种感官上的信息反馈。虚拟现实技术，涉及学科范围广泛，其中包括人工智能，多媒体技术，图像处理等。由于能呈现出极具沉浸感的场景画面，以及多样化的人机交互功能，虚拟现实技术目前已经广泛运用于诸多领域。例如，工程制造，建筑设计，运营管理，医学实验，军事科学，以及艺术娱乐等。在建筑设计以及运营管理领域，虚拟现实技术利用自身可视化优势，有效的解决了大脑抽象思维与物理实体对象之间的思维联系问题。【14】

伴随着制造业的发展，以及虚拟现实技术的逐步成熟，虚拟现实与数字孪生已经开始渐渐融合。【3】结合两大热点技术，最大程度发挥各自的技术优势，改变过去对于虚拟空间的程序化理解，构建全新的空间表达方式，助力推动智能化城市的建设。先利用数字孪生技术，将信息备份；再利用虚拟现实技术在数字世界中还原物理世界；最后搭建好数字世界与物理世界的通信平台，实现虚拟空间与现实空间的信息同步化。

1. 概述

1.1 数字孪生

1.1.1 发展历程

如下图所示，早在 1969 年，美国 NASA 阿波罗计划就已经运用了数字双胞胎技术。时隔 34 年之后，美国密歇根大学教授 Michael Grieves 提出了“与物理产品等价的虚拟数字化表达”的理念。此后的几年中，一直以“镜像的空间模型”或者“信息镜像模型”来定义数字孪生。2011 年，AFRL 与 NASA 开展合作，提出了数字孪生的概念，至此概念模型“数字孪生”第一次作为名词被明确定义。在 2013 年的时候，USAF 发布了《全球地平线》文件，将“数字孪生”与“数字线索”同视为“改变游戏规则”的颠覆性机遇。在 2014 年之后，数字孪生技术逐步被西门子等大型公司接受并对外推广。

【2】

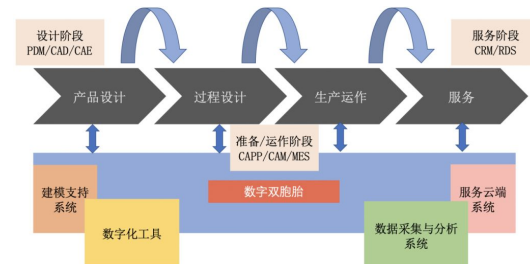


数字孪生技术，目前涵盖了三个领域的应用。在产品研发领域，对未成型的产品建立数字化产品模型，在虚拟环境中对其进行仿真实验检测以及相关功能验证，减少产品研发过程中的成本损失。在生产管理领域，将抽象的生产管理体系进行数字化模型构建，在运营、生产的平台上对整个体系进行管理把控和调度优化。在设备运作领域，通过模拟设备的运行轨迹和工作状态，实现机械电器的联动。

1.1.2 相关技术

根据数字孪生对其自身的原始定义，这项技术的体系必须能够承担起数字空间、物理空间以及两个空间的通信信息流动，并且在其全生命周期中发挥作用。【2】我们需要利用现有的不同信息结构，与运作的对象进行数据的实时传输，以及远端的服务支持，这需要重新组合搭建出新的数字双胞胎。

工业制造的数字孪生技术中，对硬件自动化设备进行的远端操控，其本质上是“数据驱动”和软件控制的结合，其中的关键在于将表征的现场设备情况、相互关联情况、环境变更情况等多维度的信息变得数字化。【4】



1.2 虚拟现实技术

1.2.1 系统类型

根据用户的体验方式不同，虚拟现实技术大致分为四种系统类型：桌面式（Desktop VR）、沉浸式（Immersive VR）、分布式（Distributed VR）、增强式（Aggrandize VR）。

下表将分析不同系统类型的不同之处。【5】

四种系统类型	
桌面式虚拟现实系统（Desktop VR）	基于PC平台的小型桌面虚拟现实系统，利用计算机的屏幕作为观测世界的窗口，通过输入设备进行虚拟世界的交互。
沉浸式虚拟现实系统（Immersive VR）	一种较为理想的虚拟现实系统，场景和音乐等的视觉、触觉、听觉的感官融合，用户完全置身在虚拟世界中。
分布式虚拟现实系统（Distributed VR）	让不同地区的用户可以同时进入同一个虚拟环境中，进行数据交换、信息共享等的多人互动。
增强式虚拟现实系统（Aggrandize VR）	在真实世界的基础上，叠加虚拟对象，具有实时交互、虚实结合的体感。

1.2.2 应用实例

前文说到，随着各项技术的深度融合、相互促进，虚拟现实技

术在诸多领域都有可观的发展前景，以下将举出几个例子。

在医学治疗领域，北京服装学院刘昊等利用 Unreal Engine 4 引擎通过 HTC VIVE 设备与上肢康复训练计划结合，让患者在虚拟场景中交互，让患者在外力支持或康复机器人的协助下进行主动的康复训练。做到了康复训练、心理治疗、信息反馈的巧妙结合。【8】

在智能制造领域，刘忠凯构建了基于 Unity3D 的装甲车虚拟运动系统，实现了装甲车在场景中的运动与碰撞检测算法。【9】

在工程设计领域，林康等人基于 3DVIA Vtools 开发的深水钻井虚拟操作系统，实现了石油钻井装备的联合作业流程仿真，用于降低机电液联调风险。【10】

就目前而言，虚拟现实技术已经大范围的运用于设备模拟、场景仿真领域，但是基于虚拟现实技术的远端操控技术以及远端信息传输技术尚未成熟。

2. 数字孪生与虚拟现实技术的融合

2.1 技术融合的发展趋势

数字孪生已经开始逐渐的从一种工业制造思想概念，逐步的演变成一种实用技术。不同于之前的单纯复制拷贝建立数字化备份的思想形态，更新后的数字孪生技术更趋向于，在物理世界有信息反馈映射给数字世界的前提下，数字世界中能够对物理世界进行某种干预。结合前文提到的数字孪生应用的三大领域，在产品研发领域，公司前期不仅仅需要对产品进行原型设计和一定的产品需求调查，还需要后期对产品所需的物理材质性能进行数据分析，理想使用环境和特殊使用环境进行效果比对。这一生产流程就将涉及到大量的实验成本费用，为了减少研发过程中的成本费用，理所当然的想到在数字世界中进行零成本实验，试验获得的最理想产品再投入到实际的生产实践中。而提到的设备管理领域以及运作管理领域则可以合并为一个大类，不同于产品研发领域的是，此类将涉及到虚实世界之间的信息交流问题、需要做到真正的虚实同步映射。

虚拟现实技术的逐渐成熟，再加上其在各个领域上没有明显的使用限制和应用瓶颈，搭建一个基于数字孪生技术的虚拟现实仿真平台，是将数字孪生运用于现实的很好实践平台。将数字孪生技术作为前提，以虚拟现实技术的方式进行数据可视化，再嵌入相关的交互技术，最后运用于搭建的具有通信功能的平台上。这样的平台能够让使用者在全虚拟的环境中，对虚拟的交互对象进行操作，通过通信互联，实现对实际的物理对象进行可视化操作或实时的监控，使得更具有实用的现实意义。

2.2 国内外研究现状

2.2.1 国外研究现状

Tecnomatix 公司开发了一款 ROBCAD 的软件，软件可以进行对生产线上机器人的运动仿真。同时，ROBCAD 软件还可以对相关的简单机械模型进行仿真建模。SPRUT 公司旗下的 SprutCAM 产品，是一款独立的工业机器人编程系统，根据所需要的机器人对象、所需要构建的机床生产模型进行离线编程，对加工解决方案进行分析，最后快速生成机器人协同工作的运动轨迹，节省了停产编程的时间，加快合作生产效率。Martti Korpioksa 使用 Unity3D 引擎搭建了机器人一体化实验室设备的虚拟学习环境。这种环境提供了研究使用 PLC 控制虚拟设备的可能性机会。从 PLC 到 PC 的信息将通过 OPC 传输。这样简化生产线的设计，让设计人员还可以有机会测试可能形象生产线的不同场景。Victor H.Andaluz 等人使用 Unity3D 与 MATLAB 软件进行交换信息，由于信息交流中两个软件的实时性是必不可少的，能够同时模拟的机器人运动参数数量的多少取决于 MATLAB 计算的变量控制算法。【3】

2.2.2 国内研究现状

厦门大学的罗佳家，胡国庆对柱面坐标机器人进行坐标上的设计，再加上运用了正逆运动学的分析方法，通过仿真实现了机器人的各关节运动并根据输出数据进行参数比对验证。【13】西南科技

大学的闫文珠，基于虚拟现实技术搭建了一个人核事故的训练平台。【11】吴建其以虚拟现实技术为基础，对重特大事故情景进行仿真构建，探测其对于预防事故发生的能力培养，以及对各事故的解决方案进行沙盘推演。【1】哈尔滨工业大学郁万涛，构建了面向托卡马克的维护机械臂远程控制的人机交互系统，实现了机械手臂的运动仿真、运动状态重现、场景变化以及网络通信等人机交互功能。【12】

2.3 引领智慧城市发展建设

2.3.1 智慧城市理念

智慧城市的核心理念是以一种更加智能的方式，借助物联网、云计算、人工智能、大数据分析等技术，来改善政府、企业、民众之间的交互形式，包括民生、环保、安全、服务、商贸等各种需求的解决与优化，为城市生活带来美好。

功能角度将智慧城市划分为感知层、网络层、应用层三个板块。感知层负责信息采集并将采集的信息供应给网络层，在网络层中实现信息的周转传递，而应用层则根据网络层汇聚的信息进行智能化的分析和合理的信息利用。【16】

2.3.2 应用方向

在智慧交通方面，可以通过数字孪生技术，通过连接卫星通信、增加智能传感器等方式，对传统交通进行管理变革，采集实时的交通信息、车辆流量、特殊车辆（如公交车、救护车等）的通行实况、天气温度、还有突发意外情况等。例如，“公交优先通行”的政策，一辆公交车到红绿灯的时间为 40 秒，而红绿灯 30 秒后刚好变为红灯，红灯时间为 2 分钟，为了让公交车通行便利，则此站口的红灯时间可以自动的延缓 10 秒。这样的智能交通通行计算不仅使交通更加高效，而且提高了城市交通的机动性。再者，如若发生突发的交通事故，普遍人的事故信息获取大部分是通过交通广播和电子地图，而交通执法部门则是通过众多的监控摄像头，为了更加快速的对于交通事故的处理，数字孪生对于实时影像的画面分析，可以在一定程度上加快交通执法部门对于突发事件的处理效率。

在智慧医疗方面，医疗服务一直是国家非常重视的板块，随着通信技术的发展提出了“远程医疗”的概念，其中包括远程诊断、多媒体电子病历、影像处理、医疗培训等。【15】例如，大城市的重点医院与小城市的医院实现网络连接。以往病人需要长途奔波到大医院进行诊治，消耗大量的金钱，现在则只需要在本地医院的上传病况信息，就可以得到病情解决方案。

在智慧应急处理方面，首先可以进行情景仿真，对已经发生的重大事故进行尽可能多的数据信息采集，利用数字孪生技术和虚拟现实技术尽可能的对事故进行还原，例如对地震水灾、台风、洪涝等进行快速的场景模拟。不仅可以真实的还原当时的场景情况，还可以对观看者进行突发性事故的相关安全培训。其次，还可以进行相关的沙盘推演，结合获取的数据类型，分析地形地貌、环境变化、预警方式、应急处理等，对突发情况的处理进行再次分析，改善指挥部门、救援队伍、以及无关人员之间的协调，更加客观的实验出优化的应急处理方案，同时虚拟仿真的环境有利于进行反复的推演。【1】

2.3.3 试点研究

“智慧城市”的概念已经提出，结合虚拟现实技术，数字孪生技术，物联网技术等提出的应用理念，都需要有在试点验证的情况下才能大范围的普及使用。例如，北京市已经借助数字孪生技术与虚拟现实技术，来解决一系列城市复杂问题。无锡市在智慧城市建设方面比较领先，已经基本建成城市大数据中心。而香港则利用大数据，对城市进行建模仿真等技术加工，已经为物理城市建造了一个平行的虚拟数字城市，并以此为市民提供更加便利的服务。

3. 结论

全新的信息技术开始逐步运用到实际中，工业制造、社会发展、
(下转第 120 页)

(上接第 177 页)

人文交流等的变革已经开始。数字孪生、虚拟现实技术两者作为新的前沿技术,以构建数字化信息为基础,在工业制造,智慧城市方面都有较为广泛的发展领域。美中不足的是,新技术自身的发展还是不算成熟,更多的技术突破还需要去探索和更新。

参考文献:

- [1]吴建其.基于三维虚拟现实技术的重特大事故情景构建仿真[J/OL].电子技术与软件工程,2019(21):134-135[2019-11-16].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1108.TP.20191112.1537.150.html>.
- [2]李欣,刘秀,万欣欣.数字孪生应用及安全发展综述[J].系统仿真学报,2019,31(03):385-392.
- [3]贾飞.基于虚拟现实的工业机器人运动仿真与控制研究[D].哈尔滨理工大学,2019.
- [4]张旭辉,王妙云,张雨萌,杜昱阳,马宏伟,毛清华,车承,田凤阳,王凤.数据驱动下的工业设备虚拟仿真与远程操控技术研究[J].重型机械,2018(05):14-17.
- [5]王帅.基于 Unity3D 的机械臂虚拟交互平台系统的开发[D].大连交通大学,2018.
- [6]刘碧涛,姜慧,向家发.“数字化双胞胎”技术助推船舶数字化变革[J].中国远洋海运,2018(02):68-70.
- [7]陶飞,刘蔚然,刘检华,刘晓军,刘强,屈挺,胡天亮,张执南,向峰,徐文君,王军强,张映峰,刘振宇,李浩,程江峰,戚庆林,张萌,张贺,隋芳

媛,何立荣,易旺民,程辉.数字孪生及其应用探索[J].计算机集成制造系统,2018,24(01):1-18.

- [8]陈东林.基于虚拟现实技术的上肢主动康复训练系统研究[D].北京服装学院,2018.
- [9]刘忠凯,李焕良,孙琰,杨小强.基于 Unity 3D 的装甲车辆虚拟现实运动系统的设计[J].机械制造与自动化,2016,45(04):111-113+131.
- [10]林康,张宜阳,罗磊,于兴军,王议,金志雄,王飞.基于虚拟现实技术的深水钻机虚拟操作系统[J].石油机械,2016,44(06):62-66.
- [11]闫文珠,刘成,李磊民,张华.基于 VR 技术的机器人核事故训练平台研究[J].计算机仿真,2015,32(09):395-399.
- [12]郁万涛.面向托卡马克的维护机械臂作业研究[D].哈尔滨工业大学,2015.
- [13]刘祥,陈友东,王田苗.一种工业机器人切削加工的系统集成与仿真方法[J].机器人技术与应用,2014(06):19-22.
- [14]李丽,谢丁龙.基于 VR 的建筑与城市虚拟实验平台设计研究[J].电化教育研究,2012,33(06):79-82.
- [15]李德仁,邵振峰,杨小敏.从数字城市到智慧城市的理论与实践[J].地理空间信息,2011,9(06):1-5+7.
- [16]巫细波,杨再高.智慧城市理念与未来城市发展[J].城市发展研究,2010,17(11):56-60+40.
- [17]罗家佳,胡国清.基于 MATLAB 的机器人运动仿真研究[J].厦门大学学报(自然科学版),2005(05):640-644.