

文章编号: 2095-2163(2023)04-0181-05

中图分类号: S688

文献标志码: A

# 基于数字孪生的智慧农业环境监测系统设计与实现

王武英, 魏霖静

(甘肃农业大学 信息科学技术学院, 兰州 730070)

**摘要:**在建设数字乡村战略背景下,开展基于数字孪生技术的智慧农业环境监测系统对促进农业农村信息化高质量发展具有重要战略意义。针对当前国内智慧农业环境监控系统中存在的环境数据采集不完善、信息反馈迟滞、交互性差等缺点,本文以数字孪生技术为架构结合物联网技术设计实现了智慧农业环境监测系统,系统由孪生感知层、农业数据源层、数字孪生层、孪生应用层、孪生交互层等模块实现,该系统实现了农作物在生长过程中环境监测的智能化、数字化实时管理和可视化监控。以数字孪生技术对农作物生长过程的环境因素进行智能分析和虚拟映射,以虚实结合的方式对农作物生长过程中的环境进行可视化展示和智能化调节,达到合理利用农业资源、动态调节环境因素、提高农作物产品和质量的目的。

**关键词:**数字孪生;智慧农业;数字乡村;环境监测;系统设计

## Design and implementation of intelligent agricultural environmental monitoring system based on digital twins

WANG Wuying, WEI Linjing

(College of Information Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**[Abstract]** In the context of building a digital village strategy, it is of great strategic significance to develop a smart agricultural environmental monitoring system based on digital twin technology to promote the high-quality development of agricultural and rural informatization. In view of the shortcomings of the current intelligent agricultural environmental monitoring system in China, such as imperfect environmental data collection, sluggish information feedback, and poor interaction, the intelligent agricultural environmental monitoring system is designed and implemented based on digital twin technology and Internet of Things technology in the paper. The system is implemented by modules such as twin perception layer, agricultural data source layer, digital twin layer, twin application layer, twin interaction layer, etc. The system realizes intelligent, digital real-time management and visual monitoring of environmental monitoring during the growth of crops. The digital twin technology is used for intelligent analysis and virtual mapping of the environmental factors in the growth process of crops, and the visual display and intelligent adjustment of the environment in the growth process of crops are carried out in the way of combining the virtual with the real, so as to achieve the goal of rational utilization of agricultural resources, dynamic adjustment of environmental factors, and improvement of crop products and quality.

**[Key words]** digital twins; smart agriculture; digital village; environmental monitoring; system design

## 0 引言

在乡村振兴战略背景下,随着人工智能技术、物联网技术、云计算技术、大数据技术、5G网络技术、数字孪生等技术的发展,“智慧农业”<sup>[1]</sup>新概念应运而生。智慧农业通过将上述新型技术与传统农业进行深度融合,以提高农业生产效率、保障农产品质量安全、降低农业生产成本、实现经济效益、生态效益的双赢发展为原则。智慧农业注重构建以知识更新、技术创新、数据驱动为一体的农业经济发展政策

体系,注重建立层级更高、结构更优、持续性更好的智慧农业发展体系,注重建立灵敏高效的现代农业治理体系,开启农业农村发展和现代化建设新局面。

从传统农业到现代农业转型的主要驱动力是新兴技术的发展和在农业领域的应用,智慧农业的发展是使中国成为农业强国的关键。由于中国是人口大国、农业大国,所以具有大量复杂多变、相互关联的农业数据,但是对于农业数据的应用目前还处于探索阶段,在农业数据的应用过程中存在农业数据采集不完善、生产数据和环境数据等存在信息孤岛、

**基金项目:**2020年甘肃农业大学研究生教育研究项目(2020-19);2021年度兰州市人才创新创业项目(2021-RC-47);2022年度科技部国家外专项目(G2022042005L)。

**作者简介:**王武英(1981-),男,硕士,主要研究方向:农业工程与信息技术;魏霖静(1977-),女,博士(后),教授,主要研究方向:智能计算、农业信息化、生物信息学。

**通讯作者:**魏霖静 Email: wlj@gsau.edu.cn

**收稿日期:**2022-11-13

农业数据反馈滞后等现象<sup>[2]</sup>。针对上述农业生产过程中存在的缺点,本文采用数字孪生技术结合物联网技术对农业数据进行深度分析和融合,实现农业生产过程中的虚实结合、智能感知、可靠传输、精准控制、直观显示,使农业生产经营朝着数字化、智能化、精细化的方向发展。

为实现农业生产过程中环境数据的有效利用,实现对农作物生长过程中环境因素系统全面的监控和调节<sup>[3]</sup>,本文将数字孪生技术和物联网技术融入到农作物生长过程中环境监测,设计实现了基于数字孪生技术的智慧农业环境监测系统,该系统从下到上包括了孪生感知层、农业数据源层、数字孪生层、孪生应用层、孪生交互层等模块,实现了面向智慧农业环境监测的物理实体和业务逻辑层面的全面融合连接,打造了动态感知、协同高效、可视化交互的现代智慧农业环境监测新模式。

## 1 基础理论及概念

### 1.1 数字孪生技术

数字孪生技术的原型可以追溯到2003年由美国密歇根大学的Grievies教授主讲的产品全生命周期管理课程,当时以“镜像空间模型”<sup>[4]</sup>指代数字孪生技术,主要是指利用数字化技术,将现实物理实体映射到虚拟空间中以构建出一个虚拟实体的孪生技术。从而在数字空间中利用物理实体的特征信息完全模拟出物理实体各方面的数字特性信息。随后美国国家航空航天局(NASA)2010年在一份航天技术资料文件中正式提出了“数字孪生”的概念<sup>[5]</sup>,并且将数字孪生技术应用于航空航天飞行器的全生命周期制造过程当中,对飞行器运行状态进行全面的诊断和故障预测,以确保飞行器的安全稳定运行。自此之后,广大学者对数字孪生技术在各个领域的应用展开了研究,从工业设计、智慧控制、智慧城市、产品生命周期管理等多领域进行了深入分析和研究。在这些领域的应用都是采用数字化方法克隆出物理实体的数字孪生模型,同时结合虚拟现实技术和大数据技术对数字孪生模型进行分析,以达到扩展物理实体属性的目的。

数字孪生技术的特征<sup>[6]</sup>包括:

(1)动态映射。数字孪生中的物理实体和数字空间的虚拟实体进行实时链接和动态映射。

(2)实时性。数字空间虚拟实体的状态随着物理实体的状态而进行变化,同时数字空间虚拟实体可对物理实体进行调节和控制。

(3)外延性。数字孪生技术可对数字空间的虚拟实体进行集成、替换、修改等操作,能够对多尺度、多物理、多层级的数字模型进行外延扩展。

(4)克隆性。数字空间的虚拟实体是现实物理实体的真实反映,在特征、状态、样式等参数方面是物理实体的精确克隆。

数字孪生技术为智慧农业的高质量可持续发展提供了新的思路和途径,在智慧农业领域,广大学者以数字孪生等新型技术为依托,以农业数据为驱动融合虚拟现实技术开发出集农业种植、过程管理与分析决策为一体的可视化平台<sup>[7]</sup>,能够实现对农作物生长环境的感知、设备的控制、作物生长过程的监控和相关数据实时、高效分析与反馈,对于农业生产全过程的数字化管理、智能化决策、可视化交互具有重要意义。

### 1.2 数字孪生与物联网融合技术

随着物联网技术的蓬勃发展,物联网系统和信息系统产生的数据每天以指数级形式增长<sup>[8]</sup>,这些数据通常具有来源多样、结构各异、存储分散等特征,导致数据以区域自治而难以共享,出现信息孤岛等现状,数据深层次价值没有得到有效挖掘和应用。数字孪生技术的出现为信息系统和物联网系统的融合发展提供了技术接口和数据支撑,基于现实物理实体的基本特征信息,在数字空间中克隆一个完整的虚拟实体,实时地与物理实体进行动态映射,在数字空间中通过建模、验证、预测、控制物理实体,不断将实体信息反馈到可视化监控系统中并且对实体信息参数进行更新调节,加快物理实体信息和虚拟实体信息的融合发展,打破数据割裂现象,实现数据的有效利用。

物联网技术对数字孪生技术在各领域的落地应用奠定了基础<sup>[9]</sup>,为数字孪生技术的迭代优化提供了重要的实现途径,对其技术应用价值实现了有效的扩展,对数字孪生技术应用的生命周期进行了延伸,体现了数字孪生技术在模型映射、数据优化等方面的应用价值和优势,为数字孪生技术的发展提供了新的途径和思想。Orbis Research 研究报告<sup>[10]</sup>中提到,截止到2022年有75%的物联网平台将不同程度集成了数字孪生技术。物联网生态系统的复杂性因引用了数字孪生技术而得到了有效的降低,因数字孪生技术集成了由智能传感器(如智能监控、红外线设备、RFID、集群传感器)采集的大量物理实体数据信息,并将其动态映射到更易于分析、理解和展示的虚拟克隆体中。

利用数字孪生技术实现对现实物理实体的全面动态感知是数字空间孪生的前提和基础,应用数字空间映射技术动态实时地描述、分析、预测其物理实体的行为,实现物理实体空间和数字虚拟空间的交互映射。物联网技术通过射频识别、红外感应、传感器采集、视频监控等方式为现实物理世界的全面动态感知提供了数据支撑。物联网技术对现实物理世界的信息进行动态感知和处理,利用数字孪生技术可以对这些实体信息进行分析、优化、整理和展示。实现物联网技术和数字孪生技术的有效无缝衔接,使数据流资产在其整个生命周期内具有可追溯性和动态调节性。

## 2 数字孪生环境监测系统设计

基于数字孪生的智慧农业环境监测系统将农作物生长环境以及各种物理实体在真实场景中全生命周期通过传感器技术、网络传输技术、人工智能等技术映射到虚拟空间数字世界中,通过将多维物理实体数据进行融合,通过数据挖掘、数据分析和三维仿真等技术<sup>[11]</sup>,在虚拟数字世界中实时呈现农作物生长外部环境参数信息、设备状态信息、农作物生长状态信息等,为及时调整外部环境、控制设备运行状态、调节作物生长过程等提供理论依据。基于数字孪生的智慧农业环境检测系统整体结构如图 1 所示。



图 1 基于数字孪生的智慧农业环境监测系统架构图

Fig. 1 Architecture of intelligent agricultural environmental monitoring system based on digital twins

### 2.1 孪生感知层

孪生感知层是整个智慧农业环境监测系统的底层部分,承担着农业环境数据采集的任务,为上层的正常运行提供数据保障。在孪生感知层通过物联网系统的射频识别 (RFID)、红外感应器、集群传感器、视频监控、空调/照明等设备来采集农作物生长环境数据(光照、温湿度、水分、空气、土壤养分、风速风向等),并对所采集的环境数据做初步预处理(整理、识别、清洗等),通过各类传感设备对农作物生长环境要素进行动态感知和实时监控及反馈,实现全方位、全要素、全过程实时数据的采集和分析。

农作物生长环境复杂多变,其所采集的数据也具有数据源多样、结构各异、位置分散、噪声复杂等特点,对此需要在数据孪生层通过高精度分布式智

能传感器搭建智能感知网络,同时要对所采集的数据进行整理、识别、结构化等处理,确保所感知的数据能实时动态反映农作物的生长需要。由于环境监测系统中对于农作物种植最重要的信息是农田整体环境和天气环境,因此环境信息通过对热力传感器和天气数据的整合,当作物生长环境条件超出生长极限条件时,通过自动调节系统对硬件设备进行智能调控或通过人工干预的方式,确保作物生长环境数据在合理的范围内。

### 2.2 农业数据源层

基于数字孪生的智慧农业环境监测系统主要以农作物生长环境数据为驱动,以数字孪生技术为支撑,所以数据是整个系统的核心部分,对于环境数据的分析和处理就显得格外重要。农业数据源层作为

孪生感知层数据来源的集合,主要以农作物生长环境的监测和管理为主要目标,将孪生感知层数据进行深度分析和融合加工处理。数据源信息主要包括对光照检测、温湿度监测、水分监测、空气监测、土壤监测和养分监测等环境信息,并将这些信息转换为易管理、易存储、易分析的数据存储到相应的数据库(如 SQL Server 等)中,实现环境数据的智能化分析和实时存储,满足对农作物生长所需各类环境数据的实时整合和分布式存储要求,实现环境数据的互联互通和共享,满足多样化的农作物生长环境监控服务,有效解决传统农作物生长环境要素单一、信息反馈滞后、数据孤岛等问题,为促进农作物的健康生长提供环境保障和决策分析。

### 2.3 数字孪生层

数字孪生层在整个系统中处于中间层,起到承上启下的作用,不仅通过数字孪生技术对空间、设备、流程、环境等信息要素进行空间建模,还通过三维建模技术对上述空间建模信息进行实时监测及分析,并通过 3D 图形可视化技术进行展示和统计。可视化界面以全新的方式对环境监测数据进行实时 3D 效果展示,使用户能够沉浸式体验农作物生长环境的各种状态,能够实时掌握农作物生长环境检测系统的运行状态和环境参数指标,同时数字孪生层对各类环境监测数据设置预警值,当参数指标超过预警值时通过智能调节功能对环境要素进行智能化调节。如土壤水分是土壤肥力的重要组成部分,是植物生长发育的重要影响因素,土壤水分也是研究农作物正常生长的重要参数,所以对环境中水量的调节是农作物生长环境调节的重要组成部分。

数字孪生层与智能控制系统进行有机结合,能够对作物生长的远程环境进行实时监控和控制,并对其环境参数进行智能化分析和精细化管理。通过数字孪生技术对历史环境数据和当前环境数据进行模型更新、修正和完善,使模型正确反映当前环境数据的状态,并通过可视化技术对环境监测数据进行可视化管理,再对不同区域的环境状态信息,趋势变化等进行实时动态评估。为优化土壤结构,监测优化效果提供决策依据,确保农作物增产增收。

### 2.4 孪生应用层

孪生应用层作为业务应用的延伸,反映了数字孪生系统对农作物生长环境的响应及决策。通过对农作物生长环境数据进行整理和分析,通过数字孪生技术实时映射现场环境作物生长状况及环境参数,同时根据数字孪生体的反馈结果对环境要素做

出相应的决策和调整。其决策包含根据作物生长状况调节光照、温湿度、空气、土壤养分等并对灌溉进行实时控制和流动人员进行监控,对现场环境状况进行实时和动态监测,并通过系统进行可视化展示和对比分析。通过数字孪生技术的模型决策管理,不仅能以沉浸式的方式体验不同环境下作物的生长状况,还能辅助管理人员进行智能化分析和科学化决策,从而为作物健康生长提供调节措施。

### 2.5 孪生交互层

孪生交互层在于为用户提供良好的沉浸式体验人机交互接口,使用者能够拥有身临其境般的感觉并且迅速掌握系统的功能和性能,同时获得分析和决策的相关信息。在孪生交互层主要包括领导驾驶舱、园区控制中心、可视化大屏、手机 APP 等模块,通过领导驾驶舱实时监测并控制农作物生长过程中的各种环境因素,并通过反馈机制直接将指令信息传送到园区控制中心。园区控制中心通过智能化技术实现农作物生长环境的监控和调节以及指令的下发,实现远程化管理和操作。可视化大屏主要包括数据的可视化和模型的可视化。其中,数据可视化实现对农作物环境监测数据的实时化、多角度、多层次显示,反映了作物环境的发展变化规律;模型可视化对作物的生长过程进行高保真的模拟和显示,实现了设备状态、作物生长状态的动态交互和全方位显示。手机远程控制是智慧农业环境监测系统的另一便捷控制方式,通过手机客户端,可以远程查看作物环境数据和设备运行情况,还可以进行分析,方便灵活管理。

## 3 可视化交互

基于数字孪生的智慧农业环境监测系统依托可视化技术全方位立体化展示农作物生长过程以及外界环境因素,为智慧农业环境监测提供实时化、精细化、智能化管理服务。通过数字孪生模型以农作物生长过程的全域环境要素、设备运行状态、作物动态生长情况为基础,形成以农作物环境数据为驱动、全域动态感知、智能协同、仿真优化为支撑的体系结构,以三维建模技术和数字孪生技术为智慧农业环境监测系统的数据展示提供了可视化接口,实现了相关业务运行状态的直观化展示,确保智慧农业环境监测系统的动态全域感知、以虚控实的智能管理。

在可视化交互过程中通过获取农作物生长环境数据和设备运行状态等数据,以三维建模技术为支撑,构建以空间数字孪生模型、设备数字孪生模型、

流程数字孪生模型和环境数字孪生模型为基础的三维模型,结合数字孪生及三维可视化等技术,形成了基于数字孪生技术的三维可视化智慧农业环境监测系统。系统能够直观展示农作物生长的环境因素、

智能设备的运行状况、流程控制状态等相关模型信息及分析数据,并能使用这些数据通过三维建模技术高保真表达物理实体信息的状态信息。智慧农业环境监测系统可视化示例如图2所示。



图2 智慧农业环境监测可视化系统

Fig. 2 Intelligent agricultural environment monitoring visualization system

## 4 结束语

本文以智慧农业高质量可持续发展为目的,以数字孪生技术和物联网技术为支撑,构建了基于数字孪生的智慧农业环境监测系统。通过对系统中孪生感知层、农业数据源、数据孪生层、孪生应用层、孪生交互层的详细设计,实现了农作物生长过程中外界环境因素和农作物生长状态的动态感知和实时映射。通过对物理实体在数字虚拟空间的克隆复现,并通过三维可视化技术对环境因素和设备运行状态等进行实时展示和控制,为调整环境参数和设备状态提供科学依据和控制手段。开展基于数字孪生的智慧农业环境监测系统对于实现农作物生长过程的智能化、数字化、精细化、可视化管理具有重要意义和应用价值。

## 参考文献

[1] 顾生浩,卢宛菊,王勇健,等. 数字孪生系统在农业生产中的应用探讨[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(10):82-89.  
 [2] 刘大同,郭凯,王本宽,等. 数字孪生技术综述与展望[J]. 仪器仪表学报,2018,39(11):1-10.  
 [3] 李炜,朱德利,王青,等. 监测生长状态和环境响应的作物数字孪生系统研究综述[J]. 中国农业科技导报,2022,24(06):90-

105.  
 [4] GRIEVES M W. Product lifecycle management: The new paradigm for enterprises [J]. International Journal of Product Development,2005,2(1-2):71-84.  
 [5] PIASCIKR, VICKERS J, LOWRY D, et al. Technology area 12: Materials, structures, mechanical systems, and manufacturing road map[M]. Washington, DC: NASA Office of Chief Technologist, 2010.  
 [6] BALACHANDAR S, CHINNAIYAN R. Reliable digital twin for connected footballer [M]//SMYS S, BESTAK R, CHEN J Z, et al. International Conference on Computer Networks and Communication Technologies. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Singapore: Springer, 2019, 15: 185-191.  
 [7] 李书钦,诸叶平,刘海龙,等. 小麦生长模拟与三维可视化系统构建技术研究[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(02):65-71.  
 [8] 郑孟雷,田凌. 基于时序数据库的产品数字孪生模型海量动态数据建模方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2021, 61(11):1281-1288.  
 [9] 李过,闫亮,徐雁云. 基于数字孪生技术的智慧城区物联网自动化管理平台研究[J]. 自动化与仪表,2022,37(09):99-103.  
 [10] STERGIOU C L, PSANNIS K E. Digital twin intelligent system for industrial internet of things-based big data management and analysis in cloud environments [J]. Virtual Reality & Intelligent Hardware,2022,4(4):279-291.  
 [11] 康孟珍,王秀娟,华净,等. 平行农业:迈向智慧农业的智能技术[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(02):107-117.