# 元宇宙时代温室数字双胞胎的以人为本的互操作性方法

摘要：随着数字双胞胎（DT）和物联网技术在智能农业领域的兴起，农业元宇宙（AM）正成为当前的研究热点。大规模的网络化、智能化传感器和农业机器人被部署在温室中，工厂化的温室已经成为最具有潜力的AM应用场景之一。此外，多机器人的互操作特征导致AM农业生产系统更加复杂，如温室设施和机器人的自组织和自主协作。一方面，在无人或少人的温室室内生产中，需要农业机械/机器人的控制来配合作物的生长节奏；另一方面，在温室室外生产中，希望作物的生产节奏能配合社会干扰，如农产品运输的动态社会因素、客户定制、社会化温室的农业订单变化等。这种节奏和节拍的一致性问题与人类和物联网的互操作性密切相关。然而，目前对农业DT或农业元空间的研究很少报道这些问题。为此，本文探讨了在未来农业元宇宙时代，以人为本的温室DT的互操作方法。。首先，结合文献对物联网、数字孪生和元宇宙技术进行了总结对比；其次，提出了元宇宙中以人为本的互操作型方法框架。最后，设计了温室数字孪生的原型系统，验证了以人为本的互操作性方法的可行性。

关键字：智能农业、温室、农业元宇宙、以人为本的互操作性、数字双胞胎

**1引言**

联合国估计，世界人口在2050年世界人口将要达到96亿，为了适应不断上涨的人口，农业需要比今天增产50%左右，才可以满足世界人口上涨的需求[1]，这对农业的发展规模和技术革新提出了严峻的考验。同时，随着物联网和数字孪生的发展，大规模的网络化、智能化传感器和农业机器人部署在智能温室中，为应对大规模的传感和协同控制，农业元宇宙已被相关学者提出【2】。农业元宇宙可以实现温室的虚拟设备协调工作，实现更智能化的管理。此外，农元宇宙涉及到社会订单、物流追踪等传统技术无法控制的过程，需要根据社会因素改变温室的控制策略。因此本文提出一种在元宇宙时代温室数字双胞胎的以人文本的互操作方法。

本文的其余部分安排如下：第二章介绍相关工作及智能温室的三大发展方向：物联网、数字孪生和元宇宙；第三章介绍了本文提出的元宇宙中以人为本的互操作框架，并验证了该框架的可行性；第四章对本文的工作进行了总结。

**2 相关研究**

温室生产是一个多输入、多因素作用的过程，多机器人的互操作特征导致温室生产系统更加复杂，如温室设施和机器人的自组织和自主协作。一方面，在无人或少人的温室室内生产中，需要农业机械/机器人的控制来配合作物的生长节奏；另一方面，在温室室外生产中，希望作物的生产节奏能配合社会干扰，如农产品运输的动态社会因素、客户定制、社会化温室的农业订单变化等。因此需要提出一种能够适应人类社会节拍和控制多种机器人相互操作的方法，以人为本的互操作性应运而生。

以人为本便是将人类社会放在更重要的位置上，互操作性则是人类和多个机器人的组织与协作，使温室生产能够跟好的服务于社会。以人为本的思想已经在医学[3]、工业[4]、教育业[5]等行业提出并展开应用。在农业领域，以人为本的互操作性思想还未有文献提出，温室生产需要考虑人为因素的影响，贴合人类社会的运行节拍，以处理好温室生产和社会需求不同步的问题。

此外，温室农业元宇宙是多种技术互相融合的复杂系统，如图1所示。物联网、数字孪生既是未来元宇宙的基础组成，同时也是温室智能控制的不同发展方向。



图1 农业元宇宙的支撑技术图

表一 物联网、数字孪生和元宇宙的技术对比

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 发展  方向 | 功能特点 | | | | | 重点工作 | 文献依据 | 发表年份 |
| 远程监测 | 设备调控 | 深度学习 | 智能预测 | 社会化管理 |
| 物联网 | Y | Y |  |  |  | 资源优化 | [6] | 2022 |
| Y | Y |  | Y |  | 系统最优效率 | [7] | 2022 |
| Y |  | Y |  |  | 疾病识别 | [8] | 2023 |
| 数字  孪生 | Y | Y |  | Y |  | 生产力预测 | [9] | 2022 |
| Y | Y | Y | Y |  | 模拟和评估 | [10] | 2021 |
| Y | Y | Y | Y |  | 雾计算本地部署 | [11] | 2023 |
| 元宇宙 | Y | Y | Y | Y | Y | 药用植物 | [12] | 2022 |
| Y | Y | Y | Y | Y | AgriVerse架构 | [13] | 2022 |

1）物联网：物联网技术早已经应用于智能农业温室生产中并不断发展。由表1可以看出，物联网系统可以实现对温室的远程监测和设备调控功能，部分实现了深度学习和智能预测功能，工作重点集中在资源优化管理方面。物联网无法将人类社会因素融入到温室管理中，无法实现社会化管理

2）数字孪生：利用数字孪生技术来控制温室管理已经成为了农业发展的新趋势。数字孪生温室等农业设施在虚拟空间的推演，达到更加精确的监测和控制，实现对温室的智能预测。但数字孪生的虚拟空间只涉及农业生产过程，使用者也仅仅是温室的管理者，无法包含完整的产业链，仍无法实现社会化管理。

3）元宇宙：农业元宇宙是由真实农业环境构建的实时虚拟世界，涉及农业生产的全过程。近些年的文献指出，农业元宇宙不仅仅局限于农业生产，而是包括了农业完整的产业链，涉及温室管理、农产品运输、农产品交易、农业教育传承等过程。在农业元宇宙中，用户的沉浸感和体验感得到了前所未有的增强。农业元宇宙已经初具雏形，但以温室生产为核心构建AM还尚未有学者研究。

综上所述，元宇宙作为农业领域的新概念，有很大的发展空间；元宇宙涉及到社会发展和人类活动，需要一种以人为中心的互操作性方法；同时，以温室为核心构建元宇宙还为有学者研究。因此，本文提出的一种在元宇宙时代温室数字双胞胎的以人文本的互操作方法具有一定的创新型。

**3元宇宙中以人为本的互操作框架**

农业元宇宙框架如图2所示，包含物理温室及智能机器人、温室数字孪生、以人为中心的交互。人与物理温室及机器人交互，形成物联网与动态社会因子。人与温室数字孪生交互，形成社会化温室。



图2 A human-centric interoperability framework

物理温室及智能机器人是农业元宇宙的基础，包括温室实体和温室内的机器人、农机等设备。物理温室及智能机器人为元宇宙提供专家知识模型、农作物生长模型和设备实体生成的虚拟设备。

温室数字孪生是智能温室在虚拟空间的全等复制体，包括虚拟植物、虚拟设施和虚拟温室场景，如图3所示。虚拟植物由农作物生长模型数字建模而成，包含该农作物的生长信息和外观展示。虚拟设备是温室机器人或设备的虚拟复制体，用于实时检测设备的工作状态，并根据虚拟温室的环境参数生成调控指令。虚拟温室模型是温室本体的虚拟复制体，包括温室的各种环境参数。虚拟温室配合虚拟农作物和虚拟设备模拟智能温室运行，实现全程的温室监测，判断是否存在潜在风险。



图3 智能温室数字孪生模型

以人为中心的交互是农业元宇宙的核心思想，贯穿该框架的始终。元宇宙中虚实交互的温室控制需协调农民的工作时间；物联网及动态社会化元素需要符合人类社会的欲求规律；社会化温室需要考虑消费者的需求偏好和生产者生产运输条件，以人为中心的交互是以上过程的工作指南，指导整个农业元宇宙工作。

农业元宇宙是该框架的核心组成，协调整个系统的运作。一方面，元宇宙接受物理温室及智能机器人生成的Human Knowledge、crops model and digital devices，结合以人为中心的互操作性方法，依据温室数字孪生对这些内容展开控制、测试、风险判断和定制；另一方面，所提出的Human Knowledge、crops model and digital devices，又可以对温室数字孪生的控制、测试、风险判断和定制开展评价，形成双向控制。元宇宙在虚实交互的过程中收集数据，实现智能温室的实时监测、智能预测和智能调控。

物联网及动态社会化元素由物理温室及智能机器人与人交互而成，包含Internet of Things和dynamic social factors。物联网平台中包括：人类作为智能温室的操控者控制元宇宙系统，同时作为工作者被迫接收元宇宙的调控，形成为物联网中的Two-way auctions；人作为消费者购买农产品生成的智能订单；包含农产品从产生到销售的追溯信息。dynamic social factors包括：智能温室的物理信息；农产品的物流信息；订单变更信息。物联网及动态社会化元素为以人为中心的交互提供数据支撑，为温室的协同控制、农产品追溯系统提供保障。

社会化温室由人与温室数字孪生交互形成，以区块链技术为核心，由多个温室生产者和社会消费者组成。生产者和消费者根据地理位置信息组成不同的区块，允许生产者和消费者进行点对点的直接交易。消费者参观指定的虚拟温室并购买农产品，可以获得真实透明的农产品信息和高沉浸感的购买体验；温室生产者直接送货上门，降低了储藏成本和物流成本。订单信息一方面可以个性化为消费者提供更适合口味的农产品需求，另一方面作为需求指导温室的生产活动，提高温室的经济效益。社会化温室为生产者和消费者之间提供了连接的桥梁，有助于降低生产成本，提高农产品的价值。

元宇宙中以人为本的互操作框架已于华中农业大学成功应用，构建了初步的农业元宇宙系统。首先选用soildworks和Unity软件构建温室数字孪生模型，如图4所示。凭借数字孪生可以实现对温室的实时监测、远程控制和社会化管理，给人最佳的沉浸感和体验感。



（a） （b）

图4（a）智能温室数字孪生模型外景（b）智能温室数字孪生模型内景

**4 农业元宇宙的展望与总结**

本文主要提出了一种元宇宙时代数字孪生的以人为本的互操作性方法并进行了验证。首先，结合文献对物联网、数字孪生和元宇宙技术进行了总结对比，在元宇宙时代以人为本的互操作性方法十分必要；其次，提出了元宇宙中以人为本的互操作型方法框架。最后，设计了温室数字孪生的原型系统，验证了以人为本的互操作性方法的可行性，为农业元宇宙的构建提供了一种可行的思路。

[1]Vermeulen SJ. 2014. Climate change, food security and small-scale producers: Analysis of findings of the Fifth Assessment Report (AR5) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). CCAFS Info Note. Copenhagen, Denmark: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).

[2]Wang X, Kang M, Sun H, et al. DeCASA in agriVerse: Parallel agriculture for smart villages in Metaverses[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2022, 9(12): 2055-2062.

[3]M. Ali Saberi, H. Mcheick, M. Adda and H. Ibrahim, "Toward Implementing Interoperability in Pervasive Healthcare Systems for Chronic Diseases By Decentralization and Modularity," 2022 3rd International Conference on Human-Centric Smart Environments for Health and Well-being (IHSH), Lévis, QC, Canada, 2022, pp. 64-72, doi: 10.1109/IHSH57076.2022.10092028.

[4]Kong, X.T.R., Luo, H., Huang, G.Q. et al. Industrial wearable system: the human-centric empowering technology in Industry 4.0. J Intell Manuf 30, 2853–2869 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1416->9

[5]Flores, E., et al. (2020). "A Reference Human-centric Architecture Model: a skill-based approach for education of future workforce." Procedia Manufacturing 48: 1094-1101.

[6]Maraveas C, Piromalis D, Arvanitis K G, et al. Applications of IoT for optimized greenhouse environment and resources management[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2022, 198: 106993.

[7]Jamil F, Ibrahim M, Ullah I, et al. Optimal smart contract for autonomous greenhouse environment based on IoT blockchain network in agriculture[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2022, 192: 106573.

[8]Contreras-Castillo J, Guerrero-Ibañez J A, Santana-Mancilla P C, et al. SAgric-IoT: An IoT-Based Platform and Deep Learning for Greenhouse Monitoring[J]. Applied Sciences, 2023, 13(3): 1961.

[9]Gök A E, Çelebi M F, Koca A S, et al. Productivity forecast with digital greenhouse automation system for sustainable agriculture[J]. Journal of Mechatronics and Artificial Intelligence in Engineering, 2022, 3(1): 40-46.

[10]Howard D A, Ma Z, Veje C, et al. Greenhouse industry 4.0–digital twin technology for commercial greenhouses[J]. Energy Informatics, 2021, 4(2): 1-13.

[11]Soy H, Dilay Y. Fog-Connected Digital Twin Implementation for Autonomous Greenhouse Management[M]//Digital Twin Driven Intelligent Systems and Emerging Metaverse. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023: 125-139.

[12]Mowdoudi A, Modoodi M N, Jahangir Dehborzoui E. The Possible Future for Agricultural Products and Medicinal plants in Metaverse[J]. Journal of Medicinal Plants Biotechnology, 2022, 7(2): 36-46.

[13]X. Wang, M. Kang, H. Sun, P. de Reffye and F. -Y. Wang, "DeCASA in AgriVerse: Parallel Agriculture for Smart Villages in Metaverses," in IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, vol. 9, no. 12, pp. 2055-2062, December 2022, doi: 10.1109/JAS.2022.106103.