# 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，建立了一个智能温室DT模型，包括温室数字双胞胎、作物生长模型和设施控制模块；其次，基于温室DT，提出了一个以人为本的社会化温室的互操作框架。最后，设计了一个温室DT的原型系统，验证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

1. Introduction
2. Motivation
3. 为什么需要
4. 有什么挑战
5. 人口与粮食问题
6. 技术驱动技术革新、
7. 室内农业产业发展需要
8. 为什么需要搞农业元宇宙

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，这对农业的发展规模和技术革新提出了严峻的考验。同时，环境的变化也是粮食减产的重要原因之一，以温室为代表的可控环境农业成为解决环境变化问题的重要手段。

温室生产是一个多输入、多因素作用的过程，温室中多机器人的互操作特征会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工业、医学、教育业等行业提出并展开应用。 在工业领域2019年Kong等人提出了以人为本，建立了人-网络-物理的可穿戴系统框架；2022年M. Ali Saberi,等人以慢性病人为中心，建立模块化和分散化的治疗方案，减少了慢性病系统的设计时间；在教育领域，2020年Flores等人提出了以年龄、能力和环境融合的以人为本的模型，以培养更具整体性、包容性、灵活性的劳动者。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。

2 related work 相关研究

农业元宇宙并不是一个突然出现的新概念，也不可能一蹴而就，而是需要经过不断地技术积累和发展。结合元宇宙的关键技术和研究现状，可以将温室农业元宇宙的发展大概分为三个阶段：

1）物联网阶段：物联网阶段是为传统温室提供初步智慧的过程。以物联网、互联网、弱人工智能为技术基础的智慧温室，可以为管理者提供远程监管、数据监测、智慧管理等服务。但其未涉及到虚拟空间，人工智能较弱，仅仅是现实世界的信息采集、反馈管理，需要人工干预管理；

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，2019年N. M. Ameen等人通过物联网平台和模糊控制实现了卷帘的运动；2020年Y. Alaviyan等人运用物联网技术监测植物数据智能控制温度、光照等温室环境参数；2021年Soheyb等人结合机器人和物联网，为农民提供监测、监督和控制智能温室的能力；2022年M. S. Farooq等人提出了一个用于温室物联网的网络框架，能够实现更为高效的资源管理；2023年C. Zhang等人结合LoRA通信、传感器和各种终端显示，实现对温室远程监控和智能监测。物联网技术可以实现对温室的远程监测并进行简单的设备控制，但物联网无法做到多机器互相操作，无法将人类社会因素融入到温室管理中，这正是构建以人为本的互操作性元宇宙所做的。

2）数字孪生阶段：数字孪生农业指在通过虚拟系统的推演、学习为实际系统的管理可控制提供支持。以三维建模、数字孪生为主体技术，开拓了虚拟空间，根据温室等农业设施在虚拟空间的推演，使得农业技术获得了更高的智能和更完善的反馈机制。但虚拟空间只涉及农业生产过程，无法包含完整的产业链，使用者也仅仅是温室的管理者，无法包含完整的产业链。该阶段作为物联网阶段到元宇宙阶段的过度。

数字孪生（DT）可以构建现实实物的虚拟体，以此达到更加精确的监测可控制。运用数字孪生技术来控制温室的运行已经成为了农业发展的新趋势。2019年R. G. Alves建立了一个初步运行的数字双胞胎，使用户可以更好的了解农场的资源和设备使用情况；2020年D. Anthony Howard等人构建了根据过去和实时数据来估计温室未来生长状态的数字孪生体；2021年N. K. M’Sirdi等人提出了一种可变结构和开关系统模型，并开发了温室互联的Virtual Twin；2022年D. A. Howard等人开发了用于表示温室生产过程、评估植物生长状态的数字孪生。数字孪生可以更加精确的观察温室的运行状况，并结合过去和实时数据预测作物状态、生成调控指令。

3）元宇宙阶段：元宇宙被定义为一个由三维环境构建的实时虚拟世界，其中多个用户以高沉浸感与虚拟环境发生交互，进行社会、经济、文化活动。农业元宇宙是在数字孪生的基础上引入人的活动，凭借区块链、虚拟现实、脑机接口使得虚拟空间人与人、物与物的交互变成了可能。元宇宙可以实现了虚拟物品的价值追溯，能够使得多人同时连接与交互。虚拟空间完善，不在仅仅局限于农业生产，而是包括了农业完整的产业链、农业的教育传承等过程，用户的沉浸感和体验感得到了前所未有的增强。

随着物联网和数字孪生在智能农业中的深入应用，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。2022年Mowdoudi A为农产品和药用植物构建了元宇宙，在农业价值链提供了重要作用；2022年M. Kang等人开发了农业元宇宙并介绍了农业元宇宙的架构和运行模式，在2023年又介绍了元宇宙时代下的植物建模和元宇宙的应用场景；C Feng等人介绍了农业元宇宙的原理和技术，介绍了元宇宙的虚拟农场、教学系统和农产品溯源系统；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。

为此，本文构建了以温室为核心的农业元宇宙框架，探讨了以人为本的温室DT的互操作方法。首先，建立了一个智能温室DT模型，包括温室数字双胞胎、作物生长模型和设施控制模块；其次，基于温室DT，提出了一个以人为本的社会化温室的互操作框架。最后，设计了一个温室DT的原型系统，以验证以人为本的互操作性方法的可行性。

本文的其余部分安排如下：第二节建立了智能温室DT模型，包括温室数字双胞胎、作物生长模型和设施控制模块，设计了温室DT的原型系统。第三节提出了一个以人为本的社会化温室的互操作框架，并验证了以人为本的互操作性方法的可行性。第四节对本文的工作进行了总结，并对元宇宙的未来进行了展望。

**3以人为本的农业元宇宙互操作框架**

农业元宇宙框架如图3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3 A human-centric interoperability framework

**对每一个图片分区元素或对象进行说明即可。**

**物理温室及智能机器人**

**1段**

**温室数字孪生**

**1段**

**以人为中心的交互**

**农业元宇宙**

**社会化温室**

**物联网及动态社会化元素**

**4.1温室智能管理系统**

温室智能管理系统是农业元宇宙的基础，是温室产业链的生产端。温室智能管理系统通过虚拟温室和温室实体之间的交互，为温室设备提供调控指令，确保温室生产处于最佳状态，为整个温室产业链提供保障。另一方面，温室智能管理系统接受来自社会购买者的订单，并以此调整温室生产的节拍，以适应由环境变化引起的社会购买力

依托于第三章提出的智能温室数字孪生模型而建，主要用于调控作物温室设备的运行，是元宇宙的核心组成。本研究运用soildworks和Unity3D软件完成温室狮子孪生的虚拟场景搭建，构建了温室的总体框架和多种调控设施模型，通过三维模型的展示温室数字孪生的工作状态，反映出温室实体的运行情况，结合作物生长模型和温室调控算法，实现温室设施的自动化调控。

**4.2农产品贸易平台**

图4 智能温室管理系统虚拟模型

传统的农产品贸易大多是以企业收购，消费者购买的形式进行，近些年出现的农产品电商虽然加速了农产品的贸易过程，但没有改变消费者与温室生产沟通不及时的问题。传统的农产品贸易方式存在双方不信任、交易不透明、信息不对称等一系列问题。农业元宇宙中的区块链可以改善此类问题，区块链作为一种分布式数据库技术，融合了密码学、P2P网络、共识机制、智能合约等技术，具有去中心化、公开透明、不可篡改等特性。以区块链为基础构建的自由贸易平台可以为消费者和温室生产管理者之间构建点对点的信息交流平台，建立起双方的信任。

农产品贸易平台依据区块链和NFT技术构建，为消费者和温室生产所服务。在贸易平台中，农产品凭借3D建模技术生成虚拟形象，凭借其特性、生产温室、生产时间、地区等分为多个分类，以便消费者快速找到需要的商品；消费者凭借唯一的身份进入贸易平台中，提出自己的需求并购买相对应的产品。贸易平台实现了消费者与生产基地的直接对接，消费者可以自主选择农产品的生产地，解决产品的无效物流。在购买农产品时，消费者可以实时观看农产品生产与流通的全

过程，降低信息的获取成本。同时，消费者也可以选择距离近的温室基地，轻易实现农产品“小时达”，降低消费者的等待时间。

农产品贸易平台不仅仅只有贸易的功能，同时兼具农产品追溯的功能。在每一笔交易完成时，平台都会生成唯一的商品订单，凭借此订单，消费者可以以真实的场景获得农产品的生产、运输过程，完全杜绝了市场上以次充好、假冒伪劣产品。

元宇宙的农产品贸易平台实现了生产者和消费者的点对点交易和农产品追溯，为消费者提供了完全透明、真实体验的农产品信息，保障了消费者权益。同时简化了农产品走向市场的流程，降低了多余的物流成本，生产者也可以根据需求来决定生产的种类和数目，减少了生产过程中的浪费。元宇宙为生产者和消费者之间提供了连接的桥梁，既有助于降低生产成本，同时提高了农产品的价值，令消费者和生产者双方收益。

**4.3混合现实的育苗温室环境设施协同控制 Case study for …**



图6云作物种植平台框架

云蔬菜种植平台是温室农业元宇宙的开创型场景，也是最具元宇宙特色的场景。云蔬菜种植旨在让消费者能够自己控制作物的生长环境，并实时观测生长状况，在实践中体会到农业的乐趣。消费者能够以游戏的方式与温室进行互动，通过虚拟的“劳动”收获真实的成果和乐趣，以此增加消费者的体验感和沉浸感。

费者可以在平台内选择想要种植的作物种子和作物温室，温室工作人员则会把种植种在用户指定的位置。在作物生长期间，消费者需要在虚拟空间中对其进行浇水、施肥、通风等操作，农业元宇宙大脑则会模拟用户的操作，实时的为用户展现作物的生长状态。当作物成熟之后，消费者便会收到有由温室工作人员邮寄的作物，以此代表完成了一次交易。

云蔬菜种植平台让消费者进入“温室”中观察农作物的生长过程，并根据自己的意愿对农作物进行操作。消费者在种植作物的过程中体会到农业的乐趣，满足对植物生长的好奇心，增强体验感。同时，云蔬菜种植平台凭借其高沉浸性和随机性，可以吸引更多消费者前来体验，不仅维护消费者的消费权益，同时提高温室的经济效益，促进了农业领域的发展。

**4 农业元宇宙的展望与总结**

1段论文做了哪些工作，

1段，未来还能干什么 展望