

# 数字孪生智能温室可视化监控系统设计与实现

汪 恒 余宏杰

安徽科技学院,安徽 滁州 233100

**摘要:**为解决当前智能温室可视化效果差和交互性弱的问题,设计了一套以数字孪生技术为依托的智能温室可视化监控系统。提出了系统的整体框架和功能模块;构建了智能温室孪生体,并介绍了孪生体的构建流程;阐述了各功能模块之间的实现方式及数据采集、清洗、存储方式;最后,通过在实验温室中对系统进行部署和测试,验证了系统运行的有效性。实验结果表明,该系统可通过不同类型趋势图实时反馈温室各项环境数据,同时可稳定实现对风机、补光灯以及节水灌溉设备的可视化控制,有效提高了智能温室的生产管理效率。

**关键词:**数字孪生;可视化监控;智能温室;虚实交互

**中图分类号:**S26.1

**DOI:** 10.3969/j.issn.2097-065X.2024.04.005

## 0 引言

随着社会经济的快速发展,现代农业生产技术也不断迎来新的突破。面对作物生长所面临的地域性、季节性和气候性的现实问题,温室化种植得到广泛应用,更好地满足了作物生长条件,提高了作物产量,消除了传统粗放型农业生产模式存在的弊端。然而,当前我国绝大多数地区的温室建设标准化程度不足,内部设备不齐全,管理体系混乱。在温室运营管理上,往往依赖于农业管理者的历史经验去判断大棚内环境信息及作物生长状况,这种方式不仅严重影响了管理效率,不利于农业规模化生产,而且严重阻碍了农业经济的进一步发展,带来了经济损失,未能充分发挥温室增产保质的真正效能。

数字孪生(Digital Twin)的融入为智慧农业发展注入了新的动力<sup>[1-2]</sup>。2011年,美国国家航天局(NASA)率先利用数字孪生概念来解决飞行器生命周期管理的事项,对飞行系统进行全面诊断和预测,来保证飞行系统的安全操作<sup>[3]</sup>。此后经过十几年的发展,数字孪生技术在制造业<sup>[4]</sup>、工业<sup>[5]</sup>、医疗<sup>[6]</sup>、航空航天<sup>[7]</sup>等领域都得到了广泛的应用。不仅如此,随着智慧农业的发展,研究人员也将数字孪生技术带到了农业领域,并在融合应用方面进行了深入和系统的研究。郭大方等<sup>[8]</sup>研究了一套基于云-雾-端协同的农业装备数字孪生系统,有效降低了籽粒直收型玉米联合收获机的籽粒破损率,大大提高了收获质量。熊祥盛等<sup>[9]</sup>针对农业耕种环境复杂多

变、耕种过程切削状态不清晰等问题,构建了一套基于数字孪生的农业耕作监控系统,实现了智慧化的农业耕种。王武英等<sup>[10]</sup>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、信息反馈迟滞等问题,基于数字孪生技术设计并实现了农作物在生长过程中环境监测的智能化管理和可视化监控。郑蕾娜等<sup>[11]</sup>基于数字孪生技术对智慧农业云服务关键技术进行了研究,为打造线上线下一体化体验式农业提供了重要参考。

本文以智能温室为物理研究对象展开实验设计研究。基于数字孪生的智能温室可视化监控系统目前应用还较少,而数字孪生智能温室系统的应用不仅可以实现温室内部各项环境数据的动态实时呈现,还可以通过对物理实体的数字化映射来监测和控制物理体在现实环境中的状态和行为,大大提高了管理效率,同时沉浸式的虚实交互,极大地提高了用户体验,相比传统的监控系统优势更明显。

## 1 数字孪生智能温室可视化监控系统设计

### 1.1 系统架构设计

数字孪生智能温室可视化监控系统就是充分利用各类传感设备整合多个物理实体和环境的信息,创建和实体温室外形、设施和特性一致的虚拟模型。随后,采用数字化形式,结合实际测量、虚拟模拟和相关算法的融合,达到对数据进行分析优化的目的,使得我们能够实时分析、检测和优化实体对象的状态,实现虚拟孪生体与实体状态的实时同步。系统总体架构如图1所示。

**基金项目:**安徽省科技厅项目(202204c06020065);安徽省现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目(数字农业产业技术体系)

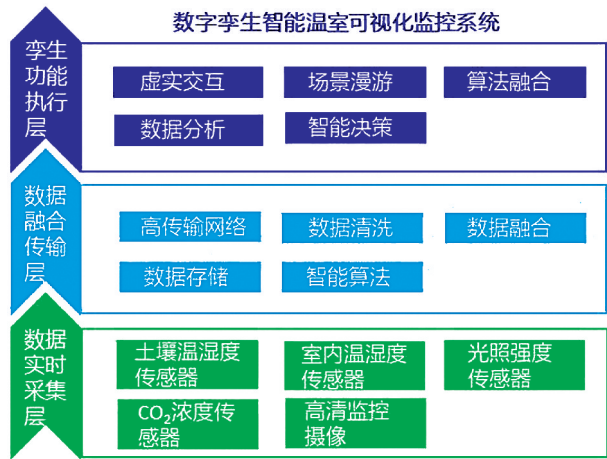


图 1 系统总体架构

1.1.1 数据实时采集层

数据实时采集层是整个可视化监控系统的基础,起到了“源头”的作用,为整个系统的运行提供数据来源,也是系统执行智能决策的重要依据。这个层级由土壤温湿度传感器、室内温湿度传感器、CO<sub>2</sub>浓度传感器、光照强度传感器以及高清监控摄像构成,主要功能是通过高灵敏度的传感设备完成对智能温室内作物生长所必需的环境要素进行实时监控。

1.1.2 数据融合传输层

数据融合传输层是整个可视化监控系统的重要一环,在整个系统中起到了“上传下达”的作用,是系统做出正确智能决策的重要保证。为保障数据的高效实时准确的传输,这个层级由高传输网络、数据清洗、数据融合、数据存储、智能算法构成,主要功能是通过通过对底层采集的数据进行预处理,极大地保证了上层获取到的数据可靠性,从而依据可靠的传感数据做出准确的决策指令。

1.1.3 李生功能执行层

李生功能执行层是整个系统的最顶层,相当于整个可视化监控系统的“大脑”,这个层级主要由虚实交互、场景漫游、算法融合、数据分析、智能决策构成,主要功能是给用户提供一个可视化可交互的窗口,实现了底层数据的上传,顶层决策指令的下达,形成一个完整的闭合回路,极大地满足了用户体验和系统监控需求。

1.2 系统功能模块设计

数字孪生智能温室可视化监控系统功能模块分为两部分:智能温室可视化展示和智能温室预警监控,功能框图如图 2 所示。

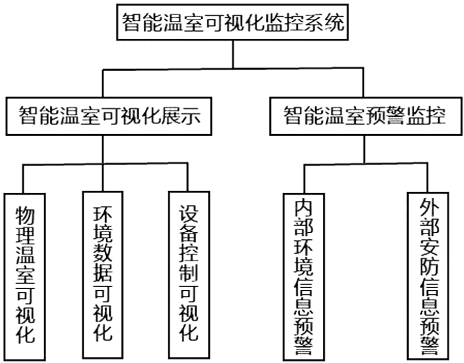


图 2 系统功能

1.2.1 物理温室可视化

(1)物理温室可视化功能是参考智能温室的实体建筑结构特点,根据实际测量所得到的结构参数构建的李生模型,可通过不同视角的形式切换展现温室的结构特征,1:1 还原物理温室的三维模型效果。

(2)环境数据可视化功能是依靠高精度传感器对温室中的温度、湿度、CO<sub>2</sub> 浓度、光照强度以及土壤温湿度这五项数据的实时监测,并动态反馈给功能页面。为帮助管理员便捷掌握环境信息,各项历史数据也会持续滚动于历史数据框中,管理者可随时了解所有环境参数变化情况。

(3)设备控制可视化功能是为方便管理员在观察环境数据可视化模块信息后,根据实际种植需求,通过设备控制可视化功能模块,在孪生体中可直接对温室中的风机、补光灯和节水灌溉等设备进行管理操作,无需温室管理人员进到温室内,极大地提升了生产管理效率。

1.2.2 智能温室预警监控

(1)内部环境信息预警根据播种的不同作物,依据生产作物生长的环境要求,设立相应的阈值,当温室内某一环境要素的监测数值达到临界值或超过临界值时,系统会第一时间发出预警信息,协助管理人员及时针对预警信息做出补救措施以减小经济损失。

(2)外部安防信息预警是对整个温室内外所安装的摄像头进行统一的实时状态监控,通过 ONVIF 标准实时接入监控信息并在功能模块中展现各监控点位的具体信息,帮助管理人员及时掌握温室内外情况,提高了管理人员巡检效率。

2 数字孪生智能温室可视化监控系统的实现

2.1 数字孪生模型的构建

数字孪生智能温室可视化监控系统的实现,高保真的孪生模型是提升用户体验的重要一环。依据各建模工具的优劣势分析,本系统选定 3D Studio

MAX 构建物理温室模型,并结合 Vray 进行模型的渲染与优化。具体步骤如下:

- (1)首先建立一个空白的场景。
  - (2)取正方体模块,以物理实体各项参数值为参考,通过正方体模型创建出智能的基本模型。然后参考现实温室构建孪生温室内一系列配置设备,包括风机、补光灯、遮阳帘、节水喷灌喷头。
  - (3)利用精简材质编辑器对智能温室模型进行贴图以及材质的参数设置。
  - (4)按需打好灯光,利用 Vray 渲染智能温室模型。
- 模型整体效果如图 3 所示。

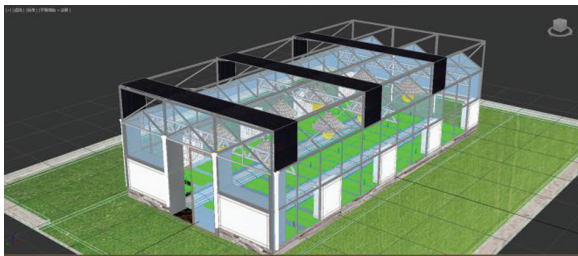


图 3 温室模型整体效果

2.2 数据采集和存储

高灵敏感知的传感设备是保证数据采集有效性的关键。本系统主要实现对智能温室中环境温湿度、CO<sub>2</sub> 浓度、光照强度、土壤温湿度这几项影响作物生长的关键环境数据进行监测。对目前市面上常用的几款同类型的传感设备进行比较后,确定温湿度传感器选用 DHT22 型传感器,它具有体积小成本低、数据传输可靠性强的特点;CO<sub>2</sub> 浓度传感器选用 MH-Z14B 型红外二氧化碳传感器,它目前广泛用于农业温室、养殖舍等场景中,不仅灵敏度高、功耗低且防腐蚀性强;光照传感器选用 GY302 型传感,它不仅精度高、可靠性强,且数字化的输出方式让管理人员更易读取数据;土壤温湿度传感器选用 FST100-2006 型传感器,它集土壤水分和土壤温度传感器于一体,不仅响应速度快、数据传输效率高,而且测量精度高,在实际应用中可以长期埋入不同深度的土壤中进行工作,此型号传感器温度测量范围为-30~85℃,精度为±0.5℃,湿度测量范围为0%RH~100%RH,精度为±3%(0%~50%)、±5%(51%~100%)。

完成各类环境传感数据采集后,数据会进入数据预处理阶段,在此阶段,利用 Matplotlib 对采集到的数据进行数据清洗以保证数据的有效性<sup>[12]</sup>,经过一系列的缺失数据填充、错误数据修复、唯一标记过滤、有效标记过滤、关联性验证以达到数据清洗的目的。最终存储到 MySQL 数据库,同时为便于数据的输入、输出以及其他操作(如增加、删除及修改数

据)选用 Navicat for MySQL。为更直观地反馈环境数据,使用 pyMySQL 命令行调取储存在 MySQL 数据库的数据,再结合 Echarts 软件包完成环境数据的图形化展示。数据采集—清洗—存储如图 4 所示。

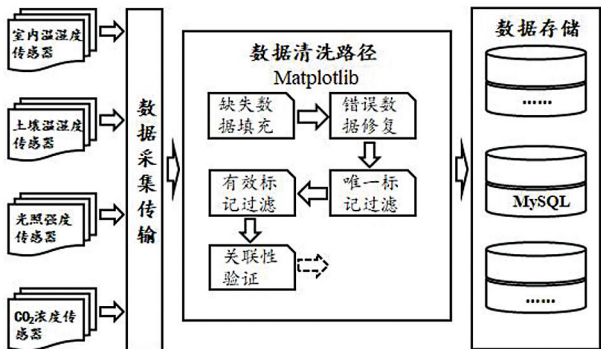


图 4 数据采集—清洗—存储流程

2.3 系统功能实现

根据智能温室监测和控制的实际需求,系统功能主要是通过环境监测、设备控制、安防管理三个系统功能页面的设计开发来实现。环境监测页面也是系统首页,主要包括孪生场景与交互、各环境参数的柱状图表折线图表的展示、历史数据的滚动回放,设备控制界面主要负责温室内风机、补光灯、节水灌溉喷头的工作状态的控制,安防管理主要负责温室内外安防摄像头的统一监视与管理,从而让管理人员更好地掌握温室内外的实时状况。

监控系统前端使用 Vue.js 完成系统功能页面的开发,并融合 UI 优化页面布局,网页的功能交互通过 JavaScript 程序语言实现,智能温室内各项环境数据以二维表的形式进行存储,选用 MySQL 数据库,采用 3D Studio Max 实现虚拟场景的构建,结合 Vray 完成场景的渲染优化,同时为减轻硬件设备的压力,结合 Pi XYZ Studio 工具对模型做必要的轻量化处理,最终模型以 FBX 格式导入 Unity3D 中,使用 C# 脚本语言完成虚拟控制效果实现。对于物理设备的控制功能实现,以物联网技术为底层,借助 Zig Bee 通信协议实现网络节点的通信控制要求。系统平台对孪生体调用的关键代码如下所示。

```
import {
  AmbientLight, Box3,
  BoxGeometry, DirectionalLight,
  EquirectangularReflectionMapping,
  Mesh,
  MeshBasicMaterial,
  PerspectiveCamera,
  Scene,
  TextureLoader, Vector3,
  WebGLRenderer
} from "three";
import {OrbitControls} from "three/examples/jsm/controls/OrbitControls";
import {GLTFLoader} from "three/examples/jsm/loaders/GLTFLoader";
```

图 5 孪生体的调用



3 系统验证

各类传感设备安装和部署于实验智能温室中,试验主要目的是确认所有系统功能需求是否全部达成。环境监测验证的目的是测试传感器数据变化的灵敏性,会对各项环境参数变量进行必要的人为干预,同时观察系统环境监测界面参数的变化趋势。设备控制效果验证主要是通过对系统设备控制界面中设备控制键的操作,观察实验温室内的风机、补光灯、节水灌溉喷头的运行情况。系统安防管理验证主要是在安防管理界面中通过指令不断调整摄像头的监测方位检测温室内外摄像头的工作情况。验证结果表明,监控系统能够实现对温室内温湿度、CO<sub>2</sub>浓度、光照强度和土壤湿度的实时动态监测,物理设备风机、补光灯、节水灌溉喷头的控制可稳定实现,温室的内外安防管理监控也可正常工作。系统管理员登录界面如图 6 所示,系统主界面如图 7 所示。



图 6 管理员登录界面

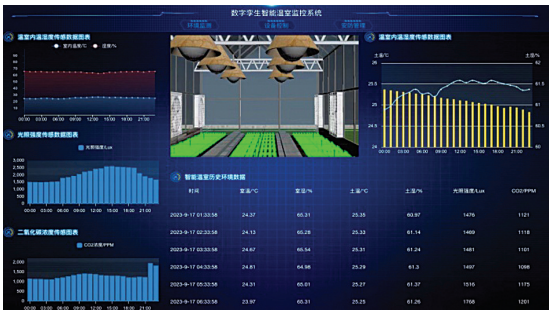


图 7 系统主界面

4 结语

本文针对当前农业生产中智能温室可视化效果差、交互性弱的现实问题,以数字孪生技术为指引,提出了基于数字孪生的智能温室可视化监控系统设计方法。首先,以智能温室为对象,设计了智能温室可视化监控系统的系统架构。其次,通过对系统中数据实时采集层、数据融合传输层、孪生功能执行层的设计,实现了对智能温室物理实体的虚实映射,以及影响作物生长的相关重要环境参数的动态感知与映射。最后,将系统部署于智能温室实验场景中,通

过实验验证了系统的有效性和可控性。

本文对数字孪生智能温室可视化监控系统进行了具体设计,但作物生长监测、物理设备的故障监测等目前还未能实现,后续将在此基础上融合相关智能算法,针对明确作物对作物长势预测和诊断以及对温室相关物理运行设备故障诊断监测进行深入研究。

参考文献:

[1] Grieves M W. Product lifecycle management: The new paradigm for enterprises[J]. International Journal of Product Development, 2005, 2(1/2): 71-84.

[2] Grieves M. ProductLifecycle management: driving the next generation of lean thinking [J]. New York: McGraw-Hill Companies, 2006.

[3] Glaessgen E, Stargel D. The digital twin paradigm for future NASA and U. S. air force vehicles[C]//53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics & materials conference 20th AIAA/ASME/AHS adaptive structures conference, Honolulu, 2012; 1818.

[4] 徐朋月, 刘攀, 郑肖飞, 等. 数字孪生在制造业中的应用研究综述[J]. 现代制造工程, 2023(2): 128-136.

[5] 张颖伟, 高鸿瑞, 张鼎森, 等. 基于多智能体的数字孪生及其在工业中应用的综述[J]. 控制与决策, 2023, 38(8): 2168-2182.

[6] 陈珊珊, 汪红志, 夏天, 等. 基于数字孪生技术的智能医学影像实验室构建及应用[J]. 实验技术与管理, 2022, 39(10): 101-107.

[7] 张文杰, 王国新, 朱悉铭, 等. 基于数字孪生的航天电推进器优化设计方法[J]. 宇航学报, 2022, 43(4): 518-527.

[8] 郭大方, 杜岳峰, 栗晓宇, 等. 云-雾-边-端协同的农业装备数字孪生系统研究[J]. 农业机械学报, 2023, 54(10): 133-141.

[9] 熊祥盛, 许静, 陈平录, 等. 基于数字孪生的农业耕作监控系统[J]. 农业技术与装备, 2022(3): 78-80.

[10] 王武英, 魏霖静. 基于数字孪生的智慧农业环境监测系统设计与实现[J]. 智能计算机与应用, 2023, 13(4): 181-185.

[11] 郑蕾娜, 王易玄, 刘美玲, 等. 基于数字孪生的智慧农业云服务关键技术研究[J]. 浙江万里学院学报, 2022, 35(5): 84-90.

[12] 于永志. 数字孪生油田注水系统可视化平台的设计与研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2023.

作者简介: 汪 恒, 男, 1996 年生, 硕士研究生。研究方向为数字孪生。余宏杰, 男, 1970 年生, 博士, 教授。研究方向为人工智能、机器识别。