

基于数字孪生的智慧甘蔗种植管理系统应用探究

伍旭东, 王晓亮, 覃国锐*, 周加全

广西科技师范学院数学与计算机工程学院, 广西 来宾

收稿日期: 2024年12月14日; 录用日期: 2025年1月14日; 发布日期: 2025年1月22日

摘要

文章总结分析了当前信息技术在甘蔗种植领域的研究进展, 针对当前智慧甘蔗种植管理技术存在信息隔离、信息不一致及智能程度低等不足点。对数字孪生技术的基本概念和其在农业领域的应用情况进行了梳理归纳, 再设计了基于数字孪生的智慧甘蔗种植管理系统。该系统架构包含五层, 最底层的孪生感知层获取甘蔗生长数据并存储到数据存储层, 在孪生数据层融合数据构建孪生虚拟实体, 根据虚拟实体模型在孪生应用层通过数据挖掘等技术构建智能应用, 并通过孪生交互层管理甘蔗实体的种植, 该系统可获取甘蔗生长数据、生长环境数据及GIS信息、甘蔗知识图谱等。帮助种植者综合了解甘蔗生长情况, 为甘蔗种植管理提供决策支持。

关键词

甘蔗种植管理, 数字孪生, GIS信息, 决策支持

Research on the Application of Smart Sugarcane Planting Management System Based on Digital Twin

Xudong Wu, Xiaoliang Wang, Guorui Qin*, Jiaquan Zhou

College of Mathematics and Computer Engineering, Guangxi Science & Technology Normal University, Laibin Guangxi

Received: Dec. 14th, 2024; accepted: Jan. 14th, 2025; published: Jan. 22nd, 2025

Abstract

This paper summarized and analyzed the current research progress of information technology in

*通讯作者。

文章引用: 伍旭东, 王晓亮, 覃国锐, 周加全. 基于数字孪生的智慧甘蔗种植管理系统应用探究[J]. 农业科学, 2025, 15(1): 121-127. DOI: 10.12677/hjas.2025.151015

the field of sugarcane planting, aiming at the shortcomings of information isolation, information inconsistency, and low intelligence of the current intelligent sugarcane planting management technology. The basic concept of digital twin technology and its application in the agricultural field were summarized, and then the smart sugarcane planting management system based on digital twin was designed. The system architecture consists of five layers. The lowest twin-sensing layer obtains sugarcane growth data and stores it in the data storage layer, fuses the data in the twin data layer to build twin virtual entities, and builds intelligent applications through data mining and other technologies based on the virtual entity model in the twin application layer. The system can obtain sugarcane growth data, growth environment data, GIS information, sugarcane knowledge maps, and so on. It helps growers to understand the sugarcane growth situation comprehensively and provides decision support for sugarcane planting management.

Keywords

Sugarcane Planting Management, Digital Twin, GIS Information, Decision Support

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

甘蔗是我国重要的糖料作物，其种植面积常年占我国糖料种植面积 85%左右，蔗糖产量占我国食糖产量 90%以上，属于国家重要战略物资和国家大宗贸易商品[1]-[3]。由于年轻一代选择外出务工，甘蔗种植人群老龄化严重，农村劳动力严重不足，从而导致甘蔗产量降低，管理效率低下等问题，对整个蔗糖行业造成很大的影响[4]。

近年来，在脱贫攻坚、乡村振兴战略的背景下，随着新一轮的信息技术快速发展，互联网技术、物联网技术、云计算技术等信息技术被广泛与传统农业进行融合，智慧农业概念被提出。智慧农业是指使用地理信息系统、全球定位系统、遥感、自动化、计算机、通讯和网络等数字化技术对农业生产、管理、经营、流通、服务等领域进行数字化设计、智能化控制，以达到合理利用农业资源、降低生产成本的目的[5]。在甘蔗种植管理领域，目前已取得很多成果。刘志平[6]在甘蔗农业气象自动观测站使用 CCD 相机自动采集蔗田图像并传至数据中心存储，再使用图像特征算法对甘蔗出苗期进行自动识别。陈燕丽[7]综述了遥感技术在甘蔗信息识别、生长状况评估、产量评估、品种品质检测方面的应用情况。陈迪文[8]在粤西蔗区使用无人机喷施甘蔗增糖剂。史小英[9]提到云南省以移动网络和宽带为信息化建设基础，搭建信息化云平台；以温度、湿度、酸碱度传感设备搭建物联网，收集甘蔗生长环境信息；以气象监测站为基础获取日照、降水、温度等信息；搭建基于 GIS 的甘蔗作物生产管理系统。

通过总结智慧农业技术在甘蔗种植管理领域取得的成果，发现现有技术存在以下不足：一、信息隔离。现有方法是使用数据采集设备获取数据，通过网络传输存放在不同终端设备中并用于甘蔗种植管理，甘蔗种植相关信息被隔离在不同设备里。二、信息不一致。由于互联网、物联网、云计算等网络传输技术标准不一样，数据格式不一致，数据间不能交互。三、智能程度低。现有云计算技术只能实现简单的数据统计展示。虽然人工智能技术在智慧农业上取得一些成果，但由于信息隔离，信息不一致导致智能程度不高。如甘蔗生长状况评估不仅依赖遥感图像识别，还取决于甘蔗品种、传感设备获取甘蔗生长环境等信息综合评估。

2. 数字孪生技术

2.1. 数字孪生技术介绍

2003年,数字孪生技术首次被提出,此后该技术被应用于航空航天、工业产品设计生产制造、智慧城市管理等领域。数字孪生是以数字化的方式创建物理实体的多时空角度、多物理量的虚拟模型,借助数据实时模拟实体在现实中的行为,通过虚实交互反馈、数据融合分析、决策迭代优化等手段,为物理实体增加或扩展新能力。数字孪生模型在被提出的时候定义为三维模型,包括物理实体、虚拟实体、物理与虚拟实体间的连接。随着技术发展,陶飞[10]在三维模型基础上进行扩展,提出了数字孪生五维模型的概念,如式(1)所示:

$$M_{DT} = (PE, VE, DD, Ss, CN) \quad (1)$$

其中, PE 代表物理实体; VE 代表虚拟实体,虚拟实体是对物理实体的数字化描述,其可通过空间、时间、规则等多种方式对物理实体进行多尺度的描述; DD 代表孪生数据,孪生数据集成了物理数据与信息数据以及服务数据、融合衍生数据; Ss 代表服务,即通过使用数字孪生体提供的孪生数据、算法模型、模型仿真等,为数字孪生内部提供功能性服务和业务性服务; CN 代表数字孪生各部分之间的连接。数字孪生五维模型如图1所示:

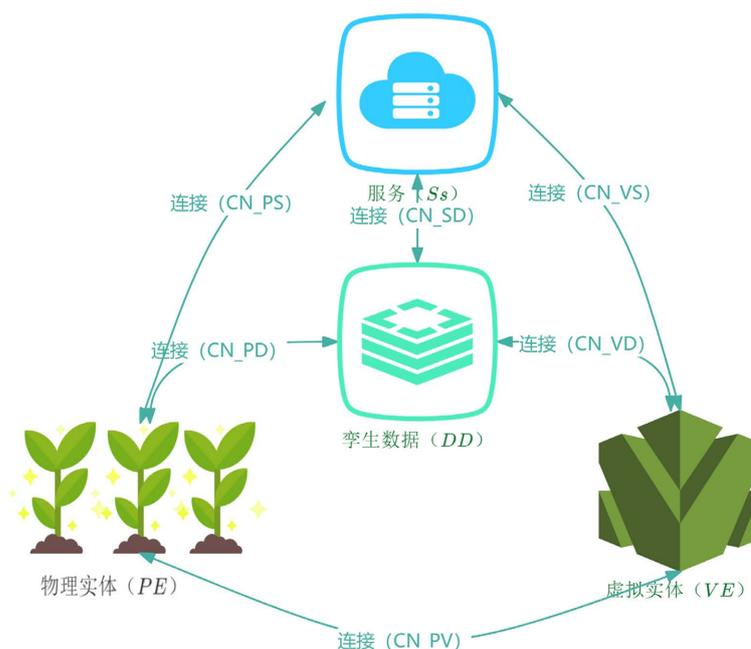


Figure 1. Digital twin 5D model

图1. 数字孪生五维模型

通过感知、网络设备实时获取物理实体相关数据存储到服务器中,并实时构建虚拟实体,物理实体与数字模型相互映射即数字孪生。在物理实体与虚拟实体的连接交互中产生大量孪生数据,辅以大数据技术、人工智能技术、数字建模技术等向人们提供决策、控制物理实体的服务。

2.2. 数字孪生技术在农业领域的应用

随着物联网技术、互联网技术广泛应用于农业领域,数字孪生在农业领域的应用研究也逐渐被国内

外专家所关注。赖禄安[11]设计基于数字孪生技术的温室大棚可视化监控系统,该系统可实时监控大棚环境参数、查看历史数据,提高管理效率。梁晨光[12]提出基于数字孪生的稻田环境检测系统用于检测稻田环境,并基于该系统设计利用 YOLO 算法的田间昆虫自动检测和分类应用模块。顾生浩[13]探讨了农业数字孪生系统的产生背景、概念、内涵、基本组成和技术优势,并分析了我国农业数字孪生系统的应用方向和发展路径。在国外,IBM 提出“数字孪生子”的概念,其研究人员通过对农场环境数据进行采集,并融合高精度卫星数据,对农场进行数字复制,实现数字呈现。该数字平台可预测作物收成,提供作物管理方案帮助农户进行种植决策。

作物数字孪生系统(Digital Twin of Crop Production System, CPSDT)随着以物联网技术、人工智能技术为代表的信息技术在农业领域广泛应用而兴起。随着研究深入,不同作物种植将会引入数字孪生系统以用于提供管理决策等服务。

3. 基于数字孪生的甘蔗种植管理系统的设计

基于数字孪生的智慧甘蔗种植系统将甘蔗生长环境及甘蔗生长周期信息通过孪生感知技术、网络传输及人工智能技术连接、映射到虚拟数字空间中。并对这些多维的物理实体数据进行融合,通过数据分析、数据可视化等技术将甘蔗及其生长环境的虚拟实体进行实时的展现。再通过数据挖掘、人工智能技术预测甘蔗生长状态等来作为调整甘蔗种植管理决策、甘蔗种植设备自动化调度的信息支持。基于五维模型的数字孪生思想设计的智慧甘蔗种植系统结构如图 2 所示:

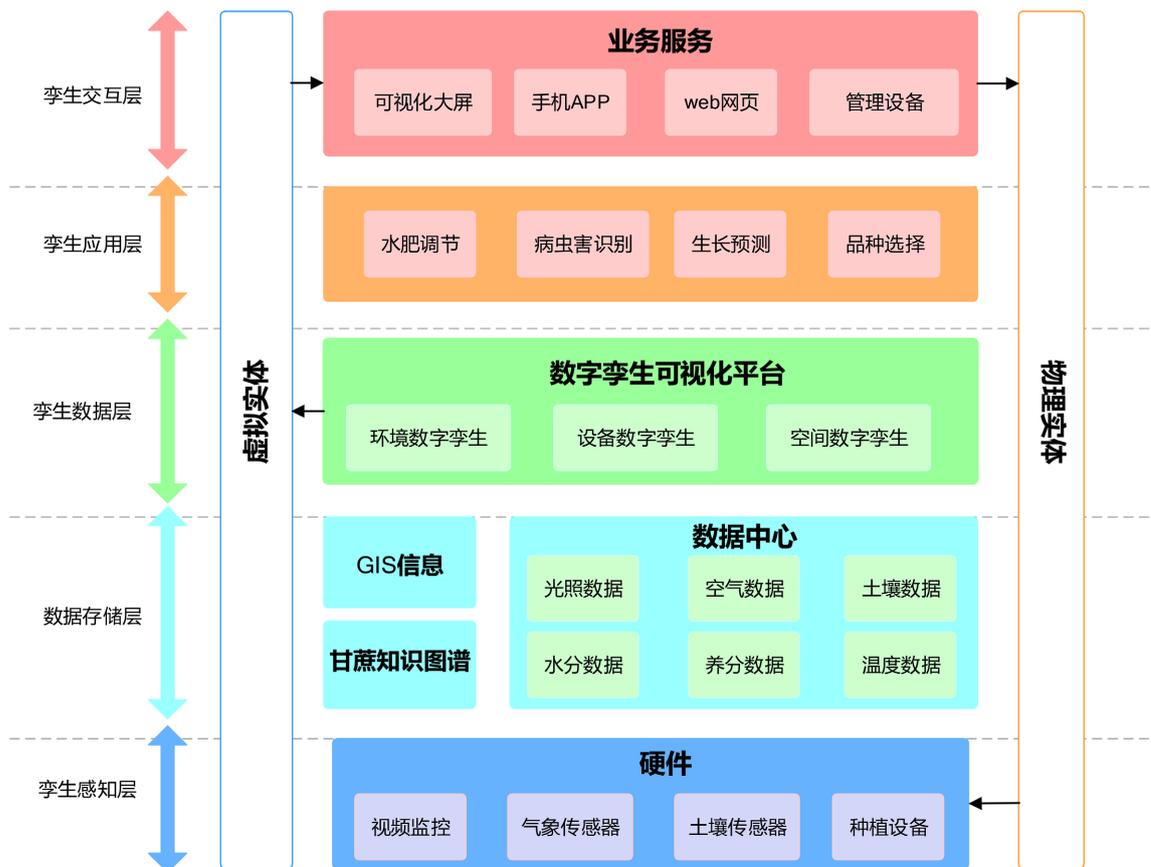


Figure 2. Smart sugarcane cultivation system based on digital twin
图 2. 基于数字孪生的智慧甘蔗种植系统

由图 2 可知, 基于数字孪生的智慧甘蔗种植系统由五层组成, 分别为孪生感知层、数据存储层、孪生数据层、孪生应用层及孪生交互层。孪生感知层是数字孪生系统的底层, 包含视频监控设备, 气象、土壤等传感器设备及种植设备, 这些设备用于实时获取甘蔗实体生长过程中的生长数据和环境数据。生长数据包括生长监控视频数据, 环境数据包括光照、水分、养分、温度、湿度等数据, 并通过互联网及传感网络将采集到的数据上传到数据存储层。数据存储层还收集了甘蔗种植区域的 GIS 信息和甘蔗知识图谱。地理信息和甘蔗生长信息有助于管理者综合决策种植方法。

数据孪生层处于系统的中间层, 使用数字孪生技术对甘蔗生长的环境、甘蔗种植管理系统中的设备及空间甘蔗生长情况建模, 构建虚拟实体, 使用图形可视化技术对甘蔗生长情况进行实时展示, 管理人员可直观了解甘蔗生长环境、生长情况及管理设备情况及各项参数指标。使用数据存储层的甘蔗知识图谱与数据中心的数据, 在孪生应用层训练基于数据挖掘技术、机器学习算法搭建的算法模型, 实现甘蔗生长周期中的水肥调节、病虫害识别、生长情况预测和品种选择等应用。根据甘蔗品种、甘蔗生长环境、生长情况进行水肥调节; 使用视频监控设备进行病虫害识别; 根据甘蔗品种信息、气象信息和 GIS 信息等对甘蔗生长情况进行预测; 根据 GIS 信息和甘蔗知识图谱来选择适合土壤墒情的甘蔗品种以提高产量。孪生交互层为甘蔗种植管理者提供智慧管理接口, 管理者通过可视化大屏、手机 APP、web 网页及手持管理设备等方式了解数据孪生体及其环境的各项参数指标, 根据孪生应用层提供的应用为管理者提供管理决策支持, 最后通过孪生交互层在远程向种植管理设备发出管理指令, 对甘蔗生长环境进行监控及调节, 实现远程管理操作。

4. 基于数字孪生的甘蔗种植管理系统的实现

本甘蔗种植管理系统在孪生感知层使用了视频监控设备、气象综合感知设备来获取甘蔗生长及环境数据。在数据储存层中搭建服务器存储, 用于储存数据感知设备获取的数据。在孪生数据层基于 GIS 信息展示甘蔗生长的地理数据信息, 以及甘蔗生长的实时监测视频数据。如图 3 所示为蔗地使用的气象综合感知设备, 该设备集成了风速传感器、风向传感器、四套土壤温湿度传感器及多要素百叶盒。风速



Figure 3. Integrated weather sensing equipment for sugarcane fields
图 3. 蔗地气象综合感知设备

传感器、风向传感器可收集风速、风力、风向信息。风速传感器测量范围为 0~60 m/s, 精度为 ± 0.3 m/s。土壤温湿度传感器可收集土壤温度、湿度信息。土壤温度传感器的测量范围为 -45°C ~ 115°C , 精度为 $\pm 3\%$ 。多要素百叶盒集成了光照传感器、空气温湿度传感器等, 可收集光照、空气温度、湿度、大气气压等信息。光照传感器的量程为 0~200,000 Lux; 空气温度传感器测量范围为 -40°C ~ 125°C , 精度为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ (25°C); 空气湿度传感器的测量范围为 0~100% RH, 精度为 $\pm 3\%$ (60% , 25°C)。气象综合感知设备收集的数据利用电控箱, 其通过 4G 网与服务器连接传输到服务器中。

该系统部署的服务器型号为浪潮 NF5280M4。后端使用了 PostgreSQL 数据库及 Nginx 代理服务器; 前端由 Bootstrap 和 Layui 框架构建。图 4 展示了本甘蔗种植管理系统的 WEB 网页端呈现的孪生信息内容。其主要展示了气象综合感知设备获取到的甘蔗生长环境数据, 主要包括蔗地实时的风力、风速、风向数据, 大风可引起甘蔗倒伏, 导致减产; 该气象综合感知设备配有四套土壤水分、温度和盐浓度传感器, 这些数据用于判断是否进行水肥调节; 以及空气温度、湿度、颗粒物含量等数据, 在 WEB 网页中展示了甘蔗生长的 GIS 信息。气象综合感知设备每半个小时收集以上数据存储到系统服务器上, 通过该系统可查询下载存储在服务器中的各项数据。



Figure 4. Sugarcane planting management system based on digital twin

图 4. 基于数字孪生的甘蔗种植管理系统

5. 总结与展望

本文总结了智慧农业技术在甘蔗种植管理领域的应用及现有技术的不足, 并在介绍数字孪生技术模型及其在农业领域应用成果后, 提出了五层基于数字孪生技术的智慧甘蔗种植管理系统。对基于数字孪生技术的智慧甘蔗种植管理系统的五层架构中的各层进行深入介绍和分析, 并展示了该系统的搭建情况。使用视频监控和传感设备实时获取甘蔗生长状态及生长环境, 上传至服务器构建虚拟实体, 再通过 WEB 网页展示。基于数字孪生的甘蔗智慧管理系统对于甘蔗生长过程中的智能化、精细化、信息化管理具有重要作用。由于该系统搭建时间不久, 现有功能还未达到设计目标、收集甘蔗生长数据少, 在后续研究中将继续收集甘蔗生长信息用于构建孪生应用层, 不断完善系统功能。

基金项目

广西科技师范学院青年科研项目(项目编号: GXKS2022QN016)。

参考文献

- [1] 方欣. 蔗糖产业区域性经济基础数据管理模型设计与实现[J]. 甘蔗糖业, 2021, 50(4): 96-100.
- [2] 张跃彬. 我国蔗糖产业安全问题与发展对策[J]. 中国糖料, 2019, 41(1): 66-68.
- [3] 胡朝晖, 凌婉阳, 伍苏然, 等. 基于2014~2019年监测数据对我国糖料蔗种植品种结构与趋势分析[J]. 甘蔗糖业, 2020(2): 1-14.
- [4] 王永祥, 蒙军, 吕耀宁, 等. 甘蔗种植砍收信息化的管理[J]. 广西糖业, 2019(4): 16-18.
- [5] 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.
- [6] 刘志平, 匡昭敏, 马瑞升, 等. 基于图像特征的甘蔗出苗期自动识别技术研究[J]. 甘蔗糖业, 2020, 49(5): 41-46.
- [7] 陈燕丽, 莫伟华, 杨绍铎, 等. 遥感技术在甘蔗监测应用中的研究进展[J]. 甘蔗糖业, 2020, 49(5): 51-63.
- [8] 陈迪文, 周文灵, 敖俊华, 等. 粤西蔗区无人机喷施甘蔗增糖剂应用研究[J]. 甘蔗糖业, 2020(1): 17-22.
- [9] 史小英. 云南省甘蔗生产监测与技术服务信息化发展对策研究[J]. 甘蔗糖业, 2020, 49(5): 87-90.
- [10] 陶飞, 刘蔚然, 张萌, 等. 数字孪生五维模型及十大领域应用[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(1): 1-18.
- [11] 赖禄安, 陈婷, 常杰, 等. 基于数字孪生的温室大棚可视化监控系统研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2023, 61(2): 128-131.
- [12] 梁晨光. 基于数字孪生的稻田环境监测系统研究及实现[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2020.
- [13] 顾生浩, 卢宪菊, 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.