

团 体 标 准

T/CAAMM xxxx—20xx

智能农机装备数字孪生系统

第 2 部分：技术要求

Digital Twin System of Intelligent Agricultural Machinery

Part 2: Technical Requirements

(征求意见稿)

202x-xx-xx 发布

202x-xx-xx 实施

中国农业机械工业协会 发 布

目 次

前言II

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 术语和定义.....1

4 智能农机装备数字孪生系统技术框架.....2

5 智能农机装备数字孪生系统技术要求.....4

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国农业机械工业协会提出。

本文件由中国农业机械工业协会归口。

本文件起草单位：中国农业大学、洛阳智能农业装备研究院有限公司、北京市农林科学院智能装备技术研究中心、中国农业机械化科学研究院集团有限公司、洛阳拖拉机研究所有限公司、博创联动科技股份有限公司、北京启维数字科技有限公司。

本文件主要起草人：杜岳峰、郭大方、宋正河、陈度、郭志强、黄胜操、尹彦鑫、周立明、陈凯康、王东青、高辽远、陶伟、吴传鑫、栗晓宇、武秀恒、乔智、王林泽、吴志康、马若飞。

本文件为首次发布。

智能农机装备数字孪生系统 第2部分:技术要求

1 范围

本文件描述了智能农机装备数字孪生系统技术框架,规定了智能农机装备数字孪生系统达到的技术要求。

本文件适用于智能农机装备数字孪生项目规划、开发、管理、运营服务过程,也适用于智能农机装备数字孪生系统的研发、测试、评估和验收等工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期的对应版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 43441.1-2023 信息技术 数字孪生 第1部分:通用要求

GB/T 41723-2022 自动化系统与集成 复杂产品数字孪生体系架构

3 术语和定义

GB/T 43441.1-2023 和 GB/T 41723-2022 界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

多物理场仿真 Multi-Physics Simulation

在仿真过程中同时考虑多个物理领域(如力学、电磁学、流体力学等)对系统行为的影响。在智能农机装备中,多物理场仿真用于更精确地模拟农机装备在复杂环境下的作业过程。

3.2

仿真模型 Simulation Model

通过计算机建模技术对智能农机装备及其作业过程进行虚拟化描述的数字模型。仿真模型能够精确模拟装备的运行状态、作业效果以及环境与设备的交互关系。

3.3

系统集成 System Integration

将多个子系统、组件或模块进行有效组合和协调,使其共同工作,以实现整体系统的目标。

3.4

模型更新 Model Update

通过实时或定期的数据反馈，对仿真模型进行调整和优化的过程。模型更新确保虚拟模型与实际设备状态的同步，提升系统的准确性和可靠性。

4 智能农机装备数字孪生系统技术框架

4.1 概述

智能农机装备数字孪生系统技术框架如图 1 所示，由功能、性能、体验、安全、运维五个方面组成。

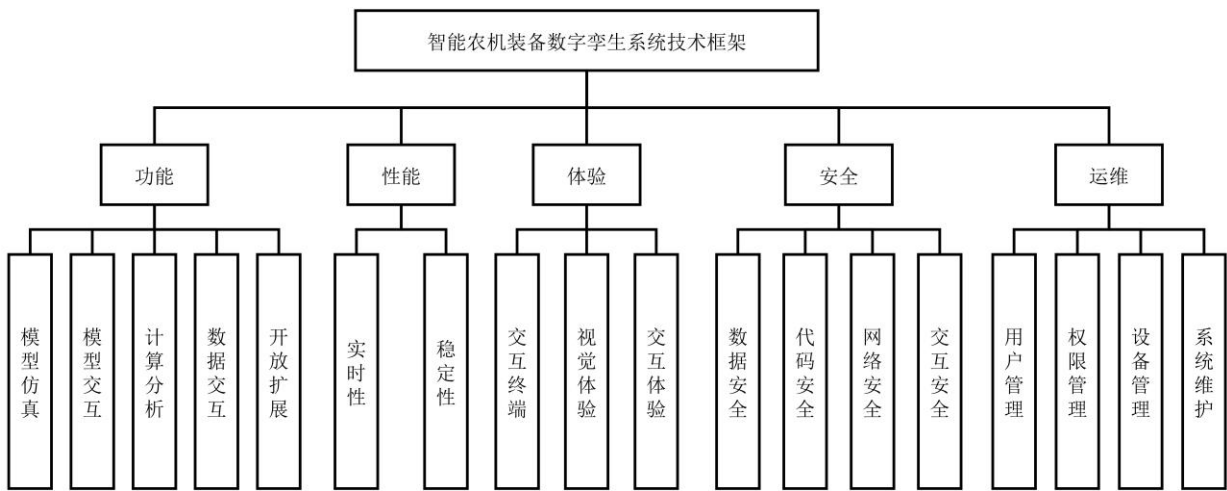


图1 系统技术框架

4.2 功能

描述智能农机装备数字孪生系统的功能，主要包括模型仿真、模型交互、计算分析、数据交互、开放扩展等。

- a) 模型仿真：利用多物理场、多尺度、多学科的仿真技术，构建智能农机装备及其作业过程的虚拟模型，模拟农机在不同作业条件下的运行状态、性能参数以及作业效果；
- b) 模型交互：支持用户与虚拟模型的实时交互，如查看设备状态、调试操作参数以及进行虚拟实验。这种交互能力使得用户能够更直观地理解农机装备的工作原理和作业过程，提高决策效率和准确性；
- c) 计算分析：通过对实时数据的处理和分析，支持复杂的计算任务，如性能优化、故障预测、作业路径优化等；
- d) 数据交互：实现虚拟模型与真实农机装备之间的数据双向流通。一方面，将真实农机装备的运行数据实时传输至虚拟模型，用于更新模型状态；另一方面，将虚拟模型的计算结果或优化建议反馈给真实农机装备，指导其作业；
- e) 开放扩展：系统应具有良好的开放性和可扩展性，支持与其他系统或模块的集成，如第三方的仿真工具或数据库。同时，也支持用户自定义模型、算法等，满足个性化需求。

4.3 性能

描述智能农机装备数字孪生系统的性能，主要包括实时性、稳定性等。

- a) 实时性：系统能够以较低的延迟处理和反馈农机装备的数据，确保虚拟模型与农机装备之间的高同步性；
- b) 稳定性：系统具备高可靠性和容错能力，能够在复杂多变的作业环境中长时间稳定运行，避免因软件故障或硬件故障等问题导致的崩溃或卡顿。

4.4 体验

描述用户在使用智能农机装备数字孪生系统时对系统产生的主观体验，主要包括交互终端、视觉体验、交互体验等。

- a) 交互终端：用户通过 PC、移动设备或专用终端与系统交互，终端设备的性能直接影响用户体验；
- b) 视觉体验：系统应提供高质量的视觉呈现，如 3D 模型的精细度、仿真过程的动画效果等，使用户能够直观地理解智能农机装备；
- c) 交互体验：系统界面友好、操作便捷，用户可以通过简单的操作实现复杂的任务，减少学习成本。系统响应迅速，操作流畅，用户能够轻松完成各种交互操作。

4.5 安全

描述智能农机装备数字孪生系统的系统安全，包括数据安全、程序安全、网络安全、交互安全等。

- a) 数据安全：确保传输和存储的数据不被未经授权访问或篡改，采用加密技术保护敏感数据。建立数据备份和恢复机制，确保数据的安全性和完整性；
- b) 代码安全：对系统软件进行严格的安全测试和漏洞扫描，确保程序无漏洞、无后门，防止漏洞或恶意代码的攻击；
- c) 网络安全：采用防火墙、入侵检测等网络安全技术，防止网络攻击和恶意访问。同时，建立网络安全事件应急响应机制，及时应对网络安全事件。保护系统免受网络攻击，如 DDoS 攻击、网络窃听等，确保网络通信的安全性；
- d) 交互安全：用户与系统交互过程中，确保用户身份验证和权限管理，防止未经授权的操作。在数据交互过程中采用安全协议和加密技术，确保数据传输的机密性和完整性。同时，对交互过程进行监控和审计，防止非法操作和数据篡改。

4.6 运维

描述智能农机装备数字孪生系统运维，主要包括用户管理、权限管理、设备管理、系统维护等。

- a) 用户管理：对系统用户进行有效管理，包括用户注册、认证、权限分配等。支持多用户权限设置，确保不同用户只能访问其权限范围内的数据和功能；
- b) 权限管理：根据用户的角色和任务分配相应的操作权限，确保系统操作的安全性和规范性；支持权限的动态调整和管理；
- c) 设备管理：对接入系统的物理设备进行管理，包括设备的注册、监控、维护和更新等；
- d) 系统维护：提供系统日志查看、性能监控、错误诊断等功能，帮助运维人员及时发现和解决系统问题。对系统软件、硬件、数据等进行定期维护和更新，确保系统长期稳定运行，同时提供故障处理和技术支持。

5 智能农机装备数字孪生系统技术要求

5.1 概述

智能农机装备数字孪生系统基于新一代信息技术等先进手段，构建具有多学科、多尺度、多维度等耦合特性的、全面描述智能农机装备及其作业过程的虚拟模型。借助物联网、大数据、人工智能等先进技术，以虚拟模型为载体，以数据为驱动力，实现真实农机装备和对应虚拟模型的同步演化与交互融合，从而建立解决智能农机装备全生命周期中的复杂性和不确定性问题的能力。

5.2 功能

5.2.1 模型仿真

- a) 智能农机装备涉及多个学科的交叉，如机械、电气、液压、控制、农业科学等，其作业过程涉及从微观到宏观等不同层次的物理现象。仿真模型应具备多学科、多维度、多尺度联合仿真能力，能够准确模拟农机装备的工作状态、性能及其作业过程；
- b) 为了适应智能农机装备复杂的作业条件，仿真模型应具备根据不同作业场景、不同作业任务自动调整的能力。模型具备可重用性和可扩展性，能够通过灵活改变自身结构、参数配置以及与其它模型的关联关系快速满足新的需求；
- c) 智能农机装备在实际运行中会产生大量的多维度数据，如操作数据、环境数据、传感器数据等。仿真模型应具备融合多源数据伴随农机装备变化进行更新、演化的能力；
- d) 农机装备需要实时高效作业，仿真模型应具备低延迟特性，能够实时反馈物理设备的状态变化，实现真是农机装备之间的紧密联动，支持快速响应和高频仿真计算，确保快速响应；
- e) 在满足使用需求的前提下，模型应尽可能精简。

5.2.2 模型交互

- a) 系统应提供与虚拟模型的实时交互功能，允许用户查看、操作和调整设备的虚拟模型；
- b) 支持多种交互方式，包括命令行、图形界面和触摸交互等，满足不同用户需求。

5.2.3 计算分析

- a) 根据用户需求具备实时数据处理和计算分析能力，提供数据分析结果的可视化展示，支持基础统计数据的图表分析与展示，支持多种形态的图表进行多维度分析研判；
- b) 可依据农机装备的数据，构建不同场景下的推演模型，模拟和分析农机装备的运行状态和发展趋势，推演预测发展态势与运行结果，并提出优化建议，支持性能优化、故障诊断、作业路径优化等复杂任务，便于用户理解和决策。

5.2.4 数据交互

- a) 系统各要素之间能够通过兼容的接口互相交换数据和指令，确保与农机装备之间的高效数据交换与同步更新，实现基于装备—模型—数据联用的协同机制；
- b) 系统应支持多维度数据的展示与交互，如农机装备运行状态、作业环境参数、操作过程等。用户可以通过多种视角和层次查看数据，进行详细分析。例如，提供不同视角的 3D 模型、实时环境数据叠加等功能，帮助用户全面理解装备的运行情况；

- c) 满足针对复杂系统的连通性需求，消除系统内离散分布的信息孤岛；
- d) 数据交互应支持多种通信协议，并能与第三方系统进行集成。

5.2.5 开放扩展

- a) 系统应支持与农机装备常用的专用通信接口和协议进行集成，确保农机装备与数字孪生系统的无缝对接。
- b) 农机作业过程中需要大量农艺数据支持，如土壤湿度、作物生长状态等，系统应具备农艺数据的集成和扩展能力，支持与农艺传感器、气象站等系统的对接，实现多维度的数据分析和决策支持。
- c) 系统应具备良好的开放性和可扩展性，支持与其他数字孪生系统或工具的集成，如数据接口、仿真工具插件等。
- d) 应提供标准的 API 接口，支持第三方开发和二次开发。

5.3 性能

5.3.1 实时性

- a) 应在规定时间内对多源异构数据进行定频或变频采集；
- b) 应在规定时间内对所采集数据进行预处理、传输处理、存储等；
- c) 系统应在满足同步或异步要求的前提下，不定时进行模型更新和系统刷新；
- d) 交互过程中系统响应时间、刷新频率应满足实际需求；
- e) 应保障用户对目标实体和数字实体的快速访问与高效检索能力。

5.3.2 稳定性

- a) 数字孪生系统应具备在规定时间内和实际应用条件下无故障地提供服务的能力；
- b) 数字孪生系统部署完成后，应具备稳定运行及信息交互能力；
- c) 数字孪生系统应具备在执行过程中处理异常信息或错误信息的能力；
- d) 当算法、模型等在遭遇采集、输入、通信、计算资源等异常时，仍能保持继续运行的能力。
- e) 农机装备通常处于恶劣环境中作业，保证系统硬件和网络环境的环境适应性，能够在复杂、极端条件下长时间稳定运行。

5.4 体验

5.4.1 交互终端

- a) 系统应支持多种交互终端设备，如 PC、移动设备和专用终端，确保用户能够灵活选择操作平台。
- b) 农机作业场景经常需要操作人员随时随地进行监控和调整，应加强对移动终端的适配要求，支持手机、平板等设备，确保操作人员在田间地头即可高效使用系统。
- c) 终端设备的性能应能够满足系统操作的基本要求，包括响应速度、图形处理能力等。

5.4.2 视觉体验

- a) 软件界面风格应符合行业调性，宜具备科技氛围感；
- b) 界面层级样式应明显清晰，视觉装饰宜简约美观不冗余，可帮助用户准确获取目标信息；

- c) 动画效果应流畅美观突出视觉焦点，引导视觉流向，便于用户理解产品核心功能与特点；
- d) 宜具备较强视觉冲击力，给用户使用带来新鲜感与记忆点。

5.4.3 交互体验

- a) 农机操作人员的技术水平参差不齐，系统的操作界面简洁易用，提供直观的图形化操作界面，减少繁琐操作。尤其对于小规模农户，系统应具备较低的操作门槛。
- b) 系统应具备良好的用户体验设计，操作流畅、反馈及时，支持用户快捷、准确地执行各项操作；
- c) 系统应提供可定制的用户界面，满足不同用户的个性化需求。

5.5 安全

5.5.1 数据安全

- a) 系统应使用加密技术确保数据在传输和存储过程中的安全性，防止数据泄露或篡改；
- b) 系统具备定期备份数据的能力，并具备数据恢复能力，以防数据丢失。

5.5.2 代码安全

- a) 系统应通过严格的安全测试，防止恶意代码、漏洞或其他安全隐患影响系统运行；
- b) 系统应提供程序更新和补丁管理机制，确保系统始终处于安全状态。

5.5.3 网络安全

- a) 系统应具备防火墙、入侵检测等网络安全措施，防止 DDoS 攻击、网络窃听等网络威胁；
- b) 系统应支持安全的通信协议，确保数据传输的保密性和完整性；
- c) 系统应具备安全事件应急响应机制。

5.5.4 交互安全

- a) 系统应具备完善的用户身份验证和权限管理机制，确保只有授权用户才能访问和操作系统。
- b) 系统应具备交互过程中的安全机制，确保数据交互的机密性；
- c) 系统应记录用户操作日志，以备审计和追踪。

5.6 运维

5.6.1 用户管理

- a) 系统应提供用户注册、登录、角色分配等功能，支持多用户并发使用；
- b) 应支持用户账户的创建、修改、删除等管理操作，并记录用户操作历史。

5.6.2 权限管理

- a) 系统应具备细粒度的权限控制，确保不同角色的用户只能访问和操作其权限范围内的功能；
- b) 权限管理应支持灵活配置，能够根据组织需求动态调整用户权限。

5.6.3 设备管理

- a) 系统应提供设备注册、监控、维护和更新功能，支持对接入系统的农机设备进行全生命周期管理；
- b) 应具备设备故障预警和远程诊断能力，帮助用户及时处理设备问题。

5.6.4 系统维护

- a) 系统应提供自动化的系统维护功能，包括数据备份、日志管理、性能监控等，确保系统长期稳定运行；
 - b) 应提供技术支持和故障排除机制，及时响应和解决用户问题；
 - c) 系统应具备数据还原、设定还原、系统还原等修复功能。
-