

团体标准

T/CAAMM xxxx—20xx

智能农机装备数字孪生系统

第1部分：参考架构

Digital Twin System of Intelligent Agricultural Machinery

Part 1: Reference Architecture

(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总体框架.....2

5 智能农机装备数字孪生系统技术参考架构.....3

6 智能农机装备数字孪生系统实施步骤.....4

7 智能农机装备数字孪生系统开发流程..... 5

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 1 部分:参考架构

1 范围

本文件规定了智能农机装备数字孪生系统相关的术语和定义，确立了智能农机装备数字孪生系统的总体框架、参考架构、功能要求及开发流程。

本文件适用于智能农机装备数字孪生系统的开发，系统实施对象包括但不限于拖拉机、收获机、喷雾机、无人机等，可用来为相关的装备制造、装备制造单位、系统集成商等单位进行系统设计、系统集成、建设实施的参考依据。

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

数字孪生 digital twin

基于物理对象的虚拟模型和多源异构数据融合驱动，通过虚实交互和状态映射同步，实现对物理对象的监测、仿真、评估、预测、优化和控制，进而支持物理对象的自感知、自决策和自优化等功能的实现。

3.2

数字孪生系统 digital twin system

基于数据驱动来实现目标实体与虚拟模型间各要素动态迭代的系统。

3.3

物理实体 physical entity

现实世界被实际存在的事物，包括这些事物之间的关联。

3.4

虚拟模型 virtual model

在虚拟空间中的描述物理实体性质、状态或行为的数字化模型。

3.5

同步 synchronization

复杂产品数字孪生模型与其物理实体之间的实时耦合，表现为数字孪生模型以适当的速率更新至物理实体的状态。

3.6

仿真 simulation

基于模型的活动，即利用模型来复现实际系统中发生的某些本质过程，并通过对系统模型的实验来研究、分析、改进实际中存在或设计中的系统。

3.7

校验 validation

校正和验证。评估模型、仿真及其相关数据对开发人员的概念描述和规范的表征程度的过程，以及从预期使用用途角度，评估模型、仿真及其相关数据表征真实世界的准确程度的过程。

4 智能农机装备数字孪生系统总体框架

智能农机装备数字孪生系统总体框架如图 1 所示，包括物理实体、虚拟模型、数据与连接、系统服务、业务应用五个部分。智能农机装备数字孪生系统通过在虚拟空间构建一个与物理真实农机装备系统等价匹配的数字孪生虚拟模型，并基于数据服务和模型服务实现物理实体和虚拟模型的同步演化与交互融合，从而全面描述农机装备及其作业过程，并建立综合感知、映射、预测、优化、决策、控制等能力，促进解决农机装备全生命周期中的复杂性和不确定性问题。

- a) 物理实体是实施数字孪生系统的现实对象，即在真实空间中自然演化的农机装备系统，包括农机装备以及与其相关的人、机器、作物、环境等要素，感知与执行是物理实体具备的两个核心功能；
- b) 虚拟模型是物理实体在虚拟空间中的数字等价物，伴随物理实体一同演化，既是对物理实体的表达还原，也是承载全生命周期信息的载体；
- c) 数据是构建、驱动、更新虚拟模型的依据，连接是实现各要素间信息交换的前提，数据和连接二者相互依存，因此将数据与连接视为统一整体，且处于框架的核心地位；
- d) 支撑服务包括维持数字孪生系统稳定运行的数据服务、模型服务、系统服务等基础功能；
- e) 业务应用是解决农机装备全生命周期中实际问题的功能和软件。

农机装备数字孪生系统的运行机制为：物理实体获得感知数据，支撑服务完成数据处理、管理、挖掘和融合，以及模型验证、校正、更新和管理。基于各种业务应用需求，运用虚拟模型开展不同尺度、粒度、用途、模式的仿真，并将结果反馈至业务应用。业务应用基于仿真结果做出分析、预测、优化、决策等，并交由物理实体付诸实施，从而为农机装备全生命周期提供服务。运行过程中的所有信息交互都以数据与连接作为中介介质。支撑服务中的系统服务为整个数字孪生系统的运行提供保障。

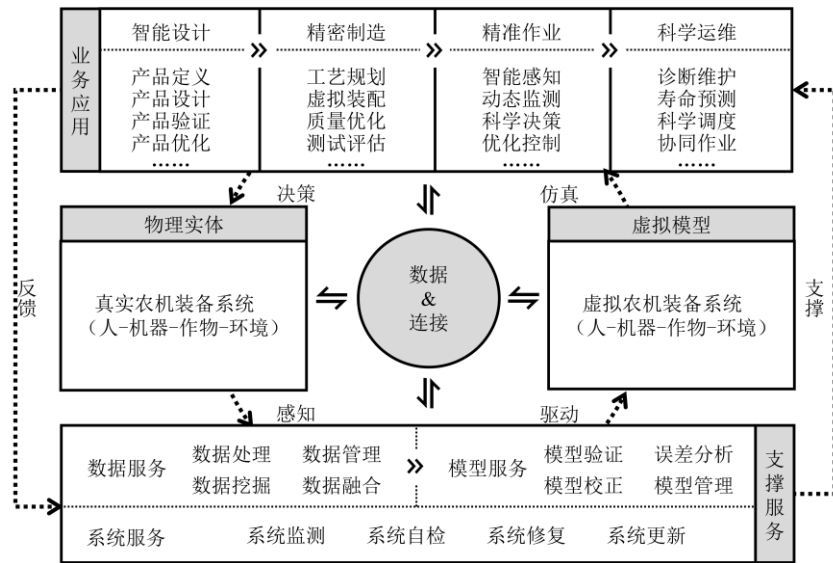


图1 系统总体框架

5 智能农机装备数字孪生系统技术参考架构

5.1 通则

智能农机装备数字孪生系统的组织架构如图 2 所示。该架构自下而上层层递进，从物理层出发，以物联层、平台层为支撑，以数据层、模型层、孪生层为核心，最终实现仿真、监测、预测、优化、控制等多种功能，服务于智能农机装备设计、制造、作业、运维等全生命周期中的各个环节。

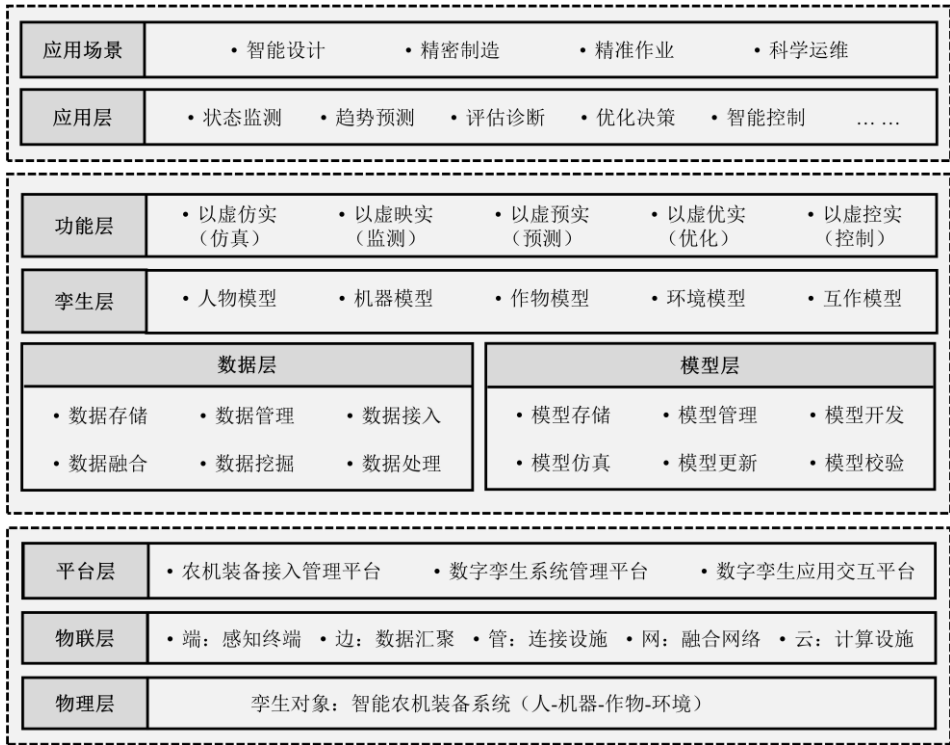


图2 参考架构

5.2 物理层

物理层包括智能农机装备以及与之存在关联的人、机器、作物和环境，这些要素是实施数字孪生系统的对象。

5.3 物联层

物联层结合物联网、边缘计算、5G 传输等技术手段，实现将真实世界中的物理实体元信息采集、传输、同步、增强之后得到系统可使用的通用数据。

5.4 平台层

平台层包括农机装备接入管理平台、数字孪生系统管理平台和数字孪生应用交互平台。农机装备接入管理平台主要提供统一的接入能力、资产和设备管理、连接管理等功能。数字孪生系统管理平台提供系统监管、数据管理、模型管理、规则引擎等功能。数字孪生应用交互平台面向用户开发，支撑多个数字孪生应用程序。

5.5 数据层

数据层负责对系统中的数据进行存储、处理和分析。这一层通常包括数据库和数据处理服务器。数据处理包括数据清洗、数据转换、数据聚合等步骤。此外，这一层还包括各种数据分析和挖掘工具，用于从数据中提取有价值的信息和知识。

5.6 模型层

模型层负责对与物理层对应的虚拟模型进行存储、处理和分析。这一层通常包括模型库和模型处理服务器。数据处理包括模型开发、模型仿真、模型校验、模型更新等步骤。

5.7 孪生层

孪生层基于数据层和模型层实现对物理层中孪生对象的仿真和映射。

5.8 功能层

功能层的核心是提供仿真、监测、预测、优化、控制等共性关键功能，供应用层调用。

5.9 应用层

应用层面向智能农机装备典型领域提供状态监测、趋势预测、评估诊断、优化决策、智能控制等。

5.10 应用场景

智能农机装备数字孪生系统的应用场景面向智能农机装备全生命周期中的各个环节，包括但不限于设计、制造、作业、运维等。

6 智能农机装备数字孪生系统实施步骤

6.1 概述

智能农机装备开发数字孪生系统的实施步骤如图 3 所示。

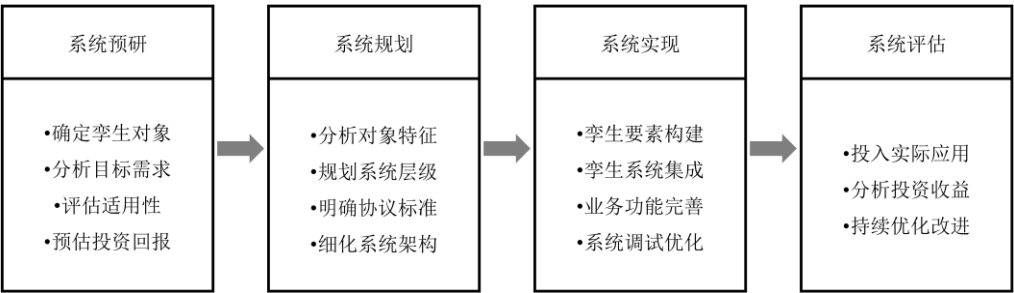


图3 实施步骤

6.2 系统预研

系统预研中首先要明确目标农机装备、生产场景和需求问题，评估数字孪生可行性和适用性，并预估投资回报，为项目的实施和应用提供坚实的依据。

6.3 系统规划

分析目标智能农机装备和农业生产场景的特征，设计系统具备的核心业务功能和预计达到的效果，确定数字孪生虚拟模型涉及的维度、尺度、领域和重点关注的内容，明确系统需要遵循的协议和标准，根据框架和组织架构，细化具体的数字孪生系统架构。

6.3 系统实现

构建数字孪生系统中的各个要素，集成数字孪生系统，完善各项业务功能，并进行调试和完善。

6.3 系统评估

智能农机装备数字孪生系统投入实际业务应用后，评估数字孪生的应用效果和收益是否达到预期，为系统的维护改进和后续数字孪生的开发和应用提供参考。

7 智能农机装备数字孪生系统开发流程

7.1 概述

智能农机装备数字孪生系统的开发流程是不断完善和发展数字孪生映射能力，扩充和丰富数字孪生服务的过程。开发流程包括农机装备智能化升级、开辟信息交互通路、构建数字孪生虚拟模型和开发数字孪生业务应用四个关键步骤。

7.2 农机装备智能化升级

农机装备的智能化升级是系统实现的准备工作。基于线控底盘、现场总线、智能传感等技术，完善农机装备物理实体的感知与执行功能，包括但不限于：

- a) 开发基于现场总线的线控底盘；
- b) 开发基于现场总线的传感采集系统。

7.3 开辟信息交互通路

基于物联网技术，建立农机装备与服务器间的双向通信，打通数字孪生感知通路和控制通路，是系统实现的首要工作，包括但不限于：

- a) 开发联网终端设备，实现农机装备和服务器间的双向通信；
- b) 开发农机装备数字孪生物联网平台，用于注册、接入和管理农机装备；
- c) 开发实时监测功能，实现对智能农机装备实时数据的获取与存储，通过长时间运行，为后续开发工作积累农机装备运行数据资源。

7.4 构建数字孪生虚拟模型

构建农机装备数字孪生虚拟模型，通过数据驱动模型实时快速仿真，实现虚拟模型伴随真实农机装备同步运行，是系统实现的核心工作，具体包括但不限于：

- a) 基于分布式数据流处理平台，开发数据处理算法，建立数据治理机制，为虚拟模型构建等提供数据算法和资源支撑；
- b) 运用多种建模手段和多学科知识构建描述农机装备，并实现子模型间的有效组织和融合，集成构建多源、多维、多尺度、多领域的数字孪生虚拟模型；
- c) 利用模型降阶技术和可视化技术，实现虚拟模型在数据驱动下的实时仿真；
- d) 开发数字孪生虚实一致性评价方法和虚拟模型校验更新方法，实现虚拟模型伴随真实农机装备的同步演化；
- e) 综合考虑可信度、保真度、易用度、轻量化等多个方面，提出数字孪生虚拟模型综合评价方法，选定典型工况，开展虚拟模型验证试验，评价、优化和改进。

7.5 开发数字孪生业务应用

完整的智能农机装备数字孪生系统具备实时监测、评估诊断、优化决策、智能控制四个层级的业务功能，形成由物理世界到虚拟世界，最后回到物理世界的闭环自主运行机制。

7.5.1 实时监测

实时监测是数字孪生最初级的功能，具体效果是数字孪生具备全面感知能力，能够以虚映实，包括但不限于：

- a) 在空间尺度上，既可以反映事物的外在行为，也可以呈现内在的、难以观测到的行为与特征；
- b) 在时间尺度上，既可以在线监测实时状态，也可以追溯复现历史状态；
- c) 系统提供一个可视化、可交互的用户界面，采用三维模型、二维图表等方式直观动态展示农机装备运行的状态和参数。

7.5.2 评估诊断

评估诊断功能充分利用孪生数据和模型，实现对农机装备状态的评估诊断。评估诊断可以实现的效果是，数字孪生具备认知能力，能够判断农机装备和周围环境的状态，或预判未来可能出现的状况等。主要有三种途径：

- a) 系统直接将感知数据用于评估诊断；
- b) 系统挖掘感知数据中隐含的状态信息用于评估诊断；
- c) 系统借助高保真的虚拟模型仿真，扩充机器状态信息，再用于评估诊断。

7.5.3 优化决策

优化决策功能使数字孪生系统具备完善自主决策能力，可以自主提出应对需求变化的最优方案，提高农机装备的自适应能力，包括但不限于：

- a) 针对评估和诊断中发现的问题，优化决策功能快速形成若干套解决方案；
- b) 结合虚拟模型验证和评价方案，实现方案整合优化，形成基于人类经验、数据知识和实时仿真的综合优化决策。

7.5.4 智能控制

智能控制功能使数字孪生系统可以准确可靠的自主执行决策方案。至此，数字孪生已具备所有功能，可以自主闭环运行，无需人为干涉。智能控制的实现步骤包括但不限于：

- a) 将优化决策的结果形成控制指令；
 - b) 自主控制物理对象行为。
-