

团 体 标 准

T/CAAMM 348—2024

农业机械无人驾驶系统架构规范

Specification for Unmanned Driving System Architecture of
Agricultural Machinery

(报批稿)

202x-xx-xx 发布

202x-xx-xx 实施

中国农业机械工业协会

发 布

目 次

目 次	I
前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	3
4 系统组成	3
4.1 “数”：数据、建模、建图	4
4.2 “云”：部署、服务、应用	5
4.3 “端”：感知、执行、反馈	5
5 各模块功能	5
5.1 “数”模块功能	5
5.2 “云”平台功能	7
5.3 “端”模块功能	8
6 运行环境要求	9
6.1 “数”模块运行环境要求	9
6.2 “云”平台运行环境要求	9
6.3 “端”模块运行环境要求	10
6.4 传输环境要求	11

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：深圳市现代农业装备研究院、广东省现代农业装备研究所、广州市健坤网络科技发展有限公司、华南农业大学、奥比中光科技集团股份有限公司、深圳本华科技有限公司、仲恺农业工程学院、山东省农业机械科学研究院。

本文件主要起草人：李翠霞、孟祥宝、钟林忆、陈贝章、谭俭辉、郑立旺、潘明、熊征、温翔宇、杨飞宏、高翔、孙永佳、姚华平、冯骁、许星、高欣、邓慧财、李媛媛、鱼金革。

本文件为首次发布。

农业机械无人驾驶系统架构规范

1 范围

本文件规定了农业机械无人驾驶系统架构、功能要求和运行环境要求等。

本文件适用于农业机械领域无人驾驶系统架构的设计、开发和应用。

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标准必不可少的条款。

GB/T 39267 北斗卫星导航术语

GB/T 35381.1 农林拖拉机和机械 串行控制和通信数据网络 第1部分：数据通信通用标准

GB/T 35381.2 农林拖拉机和机械 串行控制和通信数据网络 第2部分：物理层

GB/T 36100 机载激光雷达点云数据质量评价指标及计算方法

GB/T 39517.1 农林拖拉机和机械 农用定位与导航系统测试规程 第1部分：卫星定位装置的动态测试

GB/T 39517.2 农林拖拉机和机械 农用定位与导航系统测试规程 第2部分：在直线和水平运行状态下卫星自动驾驶系统的测试

GB/T 41588.1 道路车辆控制器局域网(CAN) 第1部分：数据链路层和物理信令

GB/T 33745 物联网 术语

T/ITS 0136.1 车路协同云控基础平台第1部分：通用要求

T/ITS 0218 道路交叉路口交通信息边缘采集终端通信技术规范

DG-T 157 农业机械北斗导航辅助驾驶系统

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

GB/T 39267 界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1.1

全域定位导航 whole-area positioning navigation

指在整个农机作业过程中，无论是在卫星信号良好的空旷区域，还是在卫星信号缺失的遮蔽区域，都能通过多种定位技术融合或定位模式切换实现稳定可靠定位导航。

3.1.2

自适应切换 adaptive switching

指农机无人驾驶系统根据作业场景的变化自动切换定位模式，以实现无场景差别的稳定可靠定位导航。通常可满足自适应切换的定位模式包括：在室外空旷区域使用 RTK 与 IMU 组合导航定位模式，在卫星信号受遮蔽区域使用激光雷达或视觉与 IMU 融合定位模式。

3.1.3

路径规划 path plan

指按照一定的评价标准，寻找一条从起始地到目标地的最优或次优路径。

3.1.4

无人驾驶控制器 unmanned driving controller

指搭载在农机上接入并控制各类传感器、农机底盘和作业部件，连接“数”模块和云平台，进行环境及位置信息采集、装备工况及作业执行状态反馈，运行无人驾驶算法操控农机执行作业任务的软硬件一体控制部件。

3.1.5

路面语义分割 road semantic segmentation

指农机无人驾驶系统中一项计算机视觉算法功能，用于将行驶路面的图像像素或者点云数据按其语义类别进行分类，以实现无人驾驶系统对行驶路况的精细化理解和分析。

3.1.6

服务中台 service platform

指农机无人驾驶系统中云平台的中间层服务架构，专注于数据资源、算法模型、业务逻辑整合与管理，形成统一服务接口，为各类农机装备的无人驾驶自主作业需求提供支持。

3.1.7

数据挖掘 data mining

从大量的数据中通过算法搜索隐藏于其中信息的过程。

注：一般通过统计、在线分析处理、情报检索、机器学习、专家系统（依靠过去的经验法则）和模式识别等方法来实现。

[来源：GB/T 33745]

3.1.8

通信协议 communication protocol

规范两个实体之间进行标准通信的应用层规约。

[来源：T/ITS 0136.1]

3.1.9

通信接口 communication interface

计算机系统不同功能单元之间完成数据传输和交换所共享的边界，由各种特征（如功能、物理互联、信号交换等）来定义。

[来源：T/ITS 0218]

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本标准。

RTK：实时动态测量（Real Time kinematic）

IMU：惯性测量单元（Inertial Measurement Unit）

SLAM：同时定位与地图构建（Simultaneous Localization and Mapping）

OTA：空中下载技术（Over-the-Air Technology）

USB：通用串行总线（Universal Serial Bus）

GPRMC：推荐定位信息（Recommended Minimum Specific GNSS Data）

PPS：秒脉冲（Pulse Per Second）

CORS：连续运行参考站（Continuously Operating Reference Stations）

CAN：控制器局域网总线（Controller Area Network）

FPS：每秒帧数（Frames Per Second）

4 系统组成

本标准提出的农业机械无人驾驶系统由“数据、建模、建图”模块（下称“数”）、“部署、服务、应用”平台（下称“云”）、“感知、执行、反馈”终端（下称“端”）三大部分构成，数-云-端之间互联协作，实现环境感知、高精建图、精准定位、作业管理、智能路径规划、农机运动控制、状态监控等农业机械无人驾驶基本功能，系统架构组成如图1所示。

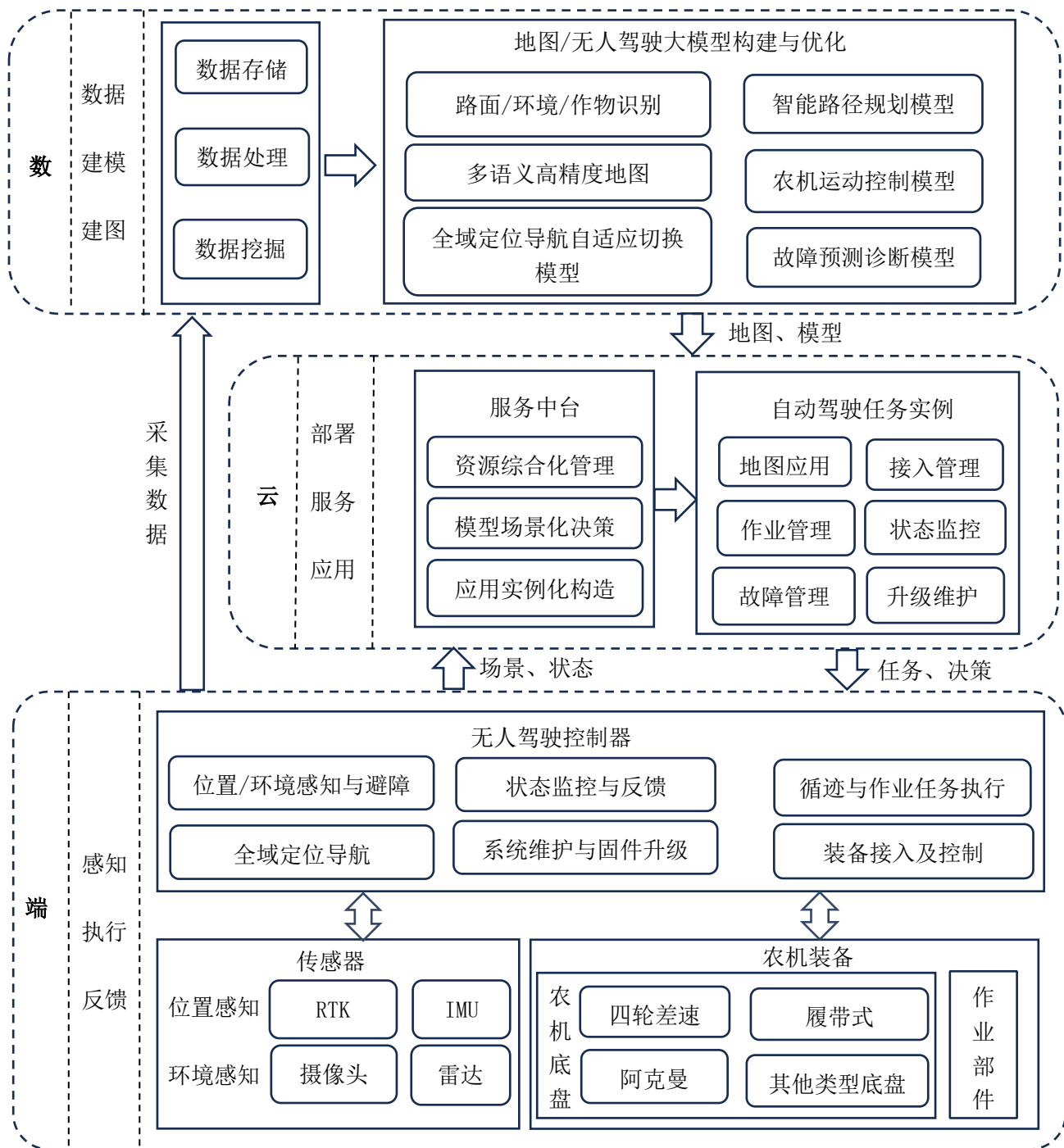


图1 “数-云-端”无人驾驶系统架构图

4.1 “数”：数据、建模、建图

“数”模块在农机无人驾驶系统架构中既能够对“端”历史采集的图像、视频、视觉点云、激光点云等多源异构环境信息、农机装备及搭载设备状态信息进行数据存储、处理分析与挖掘，构建高精地图，生成包括路面/环境/作物识别、全域定位导航自适应切换模型、智能路径规划模型、农机运动控制模型、故障预测诊断模型在内的无人驾驶大模型，也能够根据“端”实时采集的环境信息和状态信息对地图和算法

模型进行训练优化。

4.2 “云”：部署、服务、应用

“云”平台在农机无人驾驶系统架构中提供数据资源、算法模型、业务逻辑中台服务，为农机装备构造场景化无人驾驶应用实例。云平台采用分布式存储、容器自动化编排、微服务架构与安全监控等技术进行资源综合管理，部署“数”构建好的无人驾驶大模型，基于“端”上传的场景化特征生成无人驾驶算法决策，以应用实例的形式调度“端”实现农机无人驾驶和自主作业，并实时监控“端”反馈的工作状态和作业执行状态。

4.3 “端”：感知、执行、反馈

“端”指农机装备及搭载其上的无人驾驶控制器与传感器设备，农机装备包括农机底盘和作业部件，传感器包括 RTK、IMU、激光雷达、摄像头、超声波雷达等环境信息与位置信息感知设备。无人驾驶控制器接入控制各传感器和农机装备，进行作业环境、农机位置、装备工况、作业状态的感知与采集，并将信息传递给“数”和“云”，同时接受“云”的应用实例调度和作业任务下发，进行无人驾驶算法决策的本地化运行，控制农机实现无人驾驶自主作业。

5 各模块功能

5.1 “数”模块功能

5.1.1 数据存储

- a) 存储和管理“端”上传的环境、位置、故障等各类数据；
- b) 存储生成的地图、算法模型，以及相关配套文件。

5.1.2 数据处理

对“端”上传的环境、位置、故障等各类数据源进行清洗和预处理。

a) 激光/视觉点云数据处理

- 1) 点云数据清洗、滤波和降采样处理，去除噪声和冗余数据，进行点云数据平滑处理；
- 2) 点云数据网格化处理，统一建图时点云配准尺度和坐标范围。

b) 图像数据处理

- 1) 对原始图像信息进行滤波、图像灰度形态分析和恢复处理；
- 2) 图像语义标注，生成训练数据集；
- 3) 图像颜色空间转换，增强语义分割、图像识别时的颜色变化适应性处理；
- 4) 图像旋转、翻转、缩放，结合语义分割和图像识别要求对样本量少类别进行增广处理。

c) 视频数据处理

- 1) 视频分割, 提取关键帧;
- 2) 颜色、纹理、形状等关键帧特征提取。
- d) 故障信息处理
 - 1) 对农机装备及搭载设备的故障信息进行分类统计;
 - 2) 对各类故障发生时间趋势进行分析。
- e) 数据整合
 - 1) 将处理后的数据整合成适用于数据挖掘的数据集。

5.1.3 数据挖掘

- a) 为生成路面、作业区域分割模型和作物识别模型, 实现对行驶路况、作业区域、农作物的识别分类, 对环境数据集进行分析挖掘;
- b) 为生成全域定位导航自适应切换模型, 实现作业场景变换时定位模式无缝切换, 对位置及环境数据集进行分析挖掘;
- c) 为生成农机故障预测和诊断模型, 实现定期输出农机装备维护保养方案, 对工况和故障数据集进行分析挖掘。

5.1.4 路面/环境/作物识别

对点云数据和图像数据进行分析挖掘, 提取路面、环境和作物的特征元素, 进行路面语义分割、作业区域分割、作物识别。

- a) 路面语义分割
 - 1) 基于作业路面图像分析结果构建路面语义分割模型;
 - 2) 模型预测的结果能够区分出农机可通行区、障碍区、目标作业区等不同路面分割区域。
- b) 作业区域分割
 - 1) 基于作业环境图像分析结果构建作业区域分割模型;
 - 2) 模型预测的结果能够区分出不同作业区域(如已作业、未作业区域等)。
- c) 作物识别
 - 1) 基于作物图像分析结果构建作物识别模型;
 - 2) 模型识别的结果能够区分出不同作物类别。

5.1.5 多语义高精度地图构建

融合多源环境信息构建多语义高精地图:

- a) 采用视觉或雷达采集的环境点云数据和图像数据生成栅格地图, 建图规范应符合 GB/T 36100 相关规定;
- b) 对路面语义分割和作业区域分割的结果进行连通性分析, 结合环境语义标签生成作业矢量图层;
- c) 为生成的作业矢量图层赋予坐标信息, 与栅格地图进行融合, 构建包含环境语义信息的多语义高

精度地图。

5.1.6 无人驾驶大模型生成

生成包含全域定位导航自适应切换、智能路径规划、农机运动控制、故障诊断等算法模型在内的无人驾驶大模型，并根据“端”实时上传的环境信息、位置信息和状态信息对算法模型进行训练优化。

a) 全域定位导航自适应切换模型

基于 RTK、激光或视觉 SLAM、组合导航定位技术，构建面向全作业过程场景变换的全域定位导航自适应切换模型，能够根据实时作业场景自适应选择最佳定位模式，以统一坐标系实现全域定位导航。

b) 智能路径规划模型

基于生成的多语义高精地图和作业矢量图层，结合路面语义分割、作业区域分割、作物识别结果，生成农机无人驾驶作业路径规划模型。

c) 农机运动控制模型

基于作业环境信息和农机底盘类型生成农机运动控制模型，确保农机在作业地块稳定行驶。

d) 故障预测诊断模型

对农机装备及搭载设备的工况和故障信息进行分析挖掘，生成故障预测诊断模型并备案预防措施。

5.2 “云”平台功能

5.2.1 服务中台

云平台从资源综合化管理、模型场景化决策、应用实例化构造三个方面提供中台服务。

a) 资源综合化管理：对农机装备、用户、地图及算法模型、历史及实时作业信息等各类资源和信息进行综合管理；

b) 模型场景化决策：在云平台部署“数”模块生成的无人驾驶大模型，大模型结合作业需求和作业场景生成定位导航、规划路径、农机运动控制最优算法决策；

c) 应用实例化构造：以无人驾驶应用实例的形式为各农机装备创建作业任务。

5.2.2 地图应用

a) 能够搭载“数”生成的多语义高精度地图，可进行地图放大、缩小、平移等操作；

b) 支持指定农机装备位置实时追踪和居中显示；

c) 能够在地图上添加标记、注释或绘制图层，根据作业需求丰富地图信息。

5.2.3 接入管理

a) 管理各农机装备无人驾驶控制器与云平台之间的连接，确保农机无人驾驶过程中数据稳定可靠传输；

b) 根据作业任务需要，对农机装备、无人驾驶控制器、传感器的工作参数和工作状态进行设置。

5.2.4 作业管理

- a) 支持作业任务新增、修改、删除，可设置作业时间、作业点、作业量、作业方法等相关参数，并将作业任务下发到“端”；
- b) 远程实时监控作业执行过程；
- c) 任务完成后，系统自动生成详细任务报告，统计任务执行时间、完成情况、异常事件等。

5.2.5 状态监控

- a) 实时监控农机装备及搭载设备的工况；
- b) 实时监控农机位置和作业环境；
- c) 实时监控农机基础状态，包括液压油温、电池电量等信息；
- d) 发现异常情况实时触发报警。

5.2.6 故障管理

- a) 实时监测农机装备及搭载设备的软硬件故障信息，给出故障告警；
- b) 根据故障预测诊断模型的分析结果，给出维护保养指导。

5.2.7 升级维护

- a) 能够对“端”的固件系统进行远程自动升级。

5.3 “端”模块功能

无人驾驶控制器是“端”的功能实施部件：接受云平台下发的作业任务和无人驾驶算法决策，在本地部署面向作业场景的定位导航算法、规划路径、底盘运动控制算法，操控传感器、农机底盘和作业部件，执行无人驾驶作业任务。

5.3.1 位置/环境感知与避障

- a) 通过 RTK、IMU、激光雷达、摄像头、超声波雷达等多种传感器采集到的农机位置信息\作业环境信息按照功能需求分别传递给“数”模块和云平台；
- b) 实时探测周围障碍物，实现自动停车或绕障行驶，并给出告警信息。

5.3.2 状态监控与反馈

- a) 作业执行过程中，向云平台实时反馈任务执行状态；
- b) 实时向“数”模块和云平台反馈农机装备及搭载设备的工况。

5.3.3 全域定位导航

a) 能够根据云平台下发的面向场景定位导航算法决策进行定位模式自适应切换, 实现作业全过程稳定可靠定位导航;

b) 具备全天时、全天候定位能力。

5.3.4 循迹与作业任务执行

a) 按照规划好的作业路径进行循迹行驶;

b) 直线行驶时能够实现车道保持, 转弯、掉头时行驶路径应做平滑处理;

c) 行驶过程中按照任务要求执行作业。

5.3.5 装备接入及控制

a) 对传感器、农机底盘、作业部件进行接入管理;

b) 根据作业场景自动适配运动控制算法和控制参数;

c) 根据作业任务具体要求, 控制作业部件开关、升降或作业量。

5.3.6 系统维护与固件升级

a) 根据云平台下发的升级包实现终端固件 OTA 升级;

b) 升级失败能够自动回滚历史版本。

6 运行环境要求

6.1 “数”模块运行环境要求

“数”模块需要生成地图和无人驾驶算法模型, 运行环境有如下要求:

a) 算力性能要求: 满足对数据处理与分析挖掘的算力要求, 支持配置 TensorFlow、MXNet、PyTorch、Keras 等业界常用的机器学习和深度学习框架;

b) 存储空间要求: 应满足多台农机装备大量上传数据, 进行数据存储的要求。

c)

6.2 “云”平台运行环境要求

“云”平台要实现资源综合管理、面向作业场景特征的无人驾驶算法模型决策、为多台农机装备构造无人驾驶应用实例化, 运行环境应满足高性能数据计算、多农机装备高并发访问、实时数据处理的要求。

a) ;

6.3 “端”模块运行环境要求

无人驾驶控制器定位导航精度应符合 DG-T 157 的相关规定，对传感器、农机底盘、作业部件的配置和接入要求有如下规定。

6.3.1 无人驾驶控制器运行环境要求

无人驾驶控制器要能够实时响应作业环境变化和实时处理作业任务，运行环境需满足以下要求：

- a) CPU 的计算速度和处理能力能够支撑多源传感器的数据实时采集与处理，并稳定可靠执行无人驾驶相关算法；
- b) 具有足够的内存空间以支持系统流畅运行；
- c) 支持网络端口、串行通信接口、CAN 总线、USB、视频接口等多种传感器通信接口、通信协议和底盘通信接口，确保无人驾驶控制器能与传感器、农机装备进行稳定可靠数据交换。

6.3.2 传感器配置要求

a) 激光雷达配置参数要求：

- 1) 测量距离 $\geq 70\text{m}$ ；
- 2) 输出频率 10~20Hz 可调节（至少满足 10Hz、15Hz、20Hz 三挡）；
- 3) 水平视场角 $=360^\circ$ ；
- 4) 测距精度 $< 3\text{cm}@10\text{m}$ ；
- 5) 时间同步：支持 GPRMC、PPS 接入。

b) 摄像头配置参数要求：

- 1) 分辨率 $\geq 2000*2000\text{pix}$ ；
- 2) 输出帧率 $\geq 14\text{FPS}$ ；
- 3) 具备红外夜视功能。

c) 超声波雷达配置参数要求：

- 1) 测距范围 0.30~5.0m；
- 2) 测量精度要求在 $\pm 10\text{cm}$ 以内；
- 3) 输出频率 $\geq 3\text{Hz}$ ；
- 4) 要求车载速度在 10km/h 时不发生漏检现象。

d) RTK 模块配置参数要求：

- 1) 按照 GB/T 39517.1 规定的测试程序，在开阔无遮挡的场景下水平定位精度 10cm，高程定位精度 15cm，CORS 站定位服务修正后水平定位精度 2.5cm，高程定位精度 5cm；
- 2) 按照 GB/T 39517.2 规定的测试程序，水平测速精度 0.03m/s；

3) 定位时延: 冷启动 $\leq 26s$, 热启动 $\leq 2s$;

4) 更新频率 $\geq 5Hz$ 。

e) IMU 配置参数要求:

1) 数据输出频率 $\geq 200Hz$;

2) 航向角精度 $<1^\circ$ (自转 360°);

3) 陀螺仪静止零漂 $<1^\circ /s$;

4) 具备数据就绪输出接口, 以便于与其他传感器进行时间同步。

6.3.3 农机底盘接入要求

a) 电动底盘数据通信要求应符合 GB/T 35381.1 的相关规定;

b) 电动底盘须预留串行总线控制接口用于与无人驾驶控制器通信, 具有 CAN 口和 RS485 接口;

c) 其中 CAN 接口应符合 GB/T 41588.1 的相关规定, 双绞线通讯, 传输速率: $5Kbit/s \sim 1Mbit/s$;

d) 其中 RS485 接口应符合 EIA-485 的相关规定, 双绞线通讯, 传输速率: $4800Mbps \sim 115200Mbps$;

e) 可通过串行通信接口发送速度、转向角度等控制信号, 并接收实时速度、转向角度等信息。

6.3.4 作业部件接入要求

a) 作业部件通讯接口应符合 GB/T 35381.2 对机具总线快速连接器的相关规定;

b) 机具总线接口包含 CAN 通讯接口及作业终端控制偏置电路供电接口;

c) 作业部件与无人驾驶系统控制器的通讯协议应符合 GB/T 35381.11 的相关规定;

d) 可通过总线接口或者数字输入输出接口, 控制作业部件启停和输出调节量, 并在线反馈作业部件的运行状态。

6.4 传输环境要求

a) “数”与“云”之间支持以太网通信或本地连接, 实际传输带宽 $\geq 100MHz$;

b) “数”和“端”、“云”与“端”之间支持 4G 或 5G 通信模式, 实际传输带宽 $\geq 10MHz$ 。