

ICS
CCS

团体标准

T/CAAMM XXXX—202X/T/NJ XXXX—202X

农业机械 无人驾驶协同系统架构规范

Specification for Unmanned Driving Collaborative System Architecture of
Agricultural Machinery

(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
中国农业机械学会 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、缩略语.....	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	2
4 系统组成.....	2
5 智能边缘终端	4
6 数据处理与决策分析.....	5
7 云平台.....	5
8 性能要求.....	6
8.1 全域定位导航精度性能精度要求.....	6
8.2 “云-边缘端”传输速率要求.....	6
8.3 定位导航环境自适应切换模型.....	6
9 可靠性要求	7
9.1 多类传感器数据处理的容错性.....	7
9.2 模型泛化能力：同类型作业场景的模型复用性	7
10 测试要求	8
10.1 全域定位导航测试方法	8
10.2 “云-边缘端”数据通信测试方法	8
10.3 数据分析、挖掘、建模测试方法	8

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。本文件的提出和发布单位不承担识别专利的责任。

本文件由中国农业机械工业协会和中国农业机械学会联合提出。

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、陈贝章、郑立旺、李传祥、谭俭辉、张泽孜、钟林忆、冯骁、许星、高欣、姚华平、孙永佳。

本文件为首次发布。

农业机械 无人驾驶协同系统架构规范

1 范围

本文件规定了农业机械无人驾驶协同系统架构的技术要求及测试要求。

本文件适用于农业机械无人驾驶协同系统架构的设计、研制、测试和应用。

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 37164—2018 自走式农业机械导航系统作业性能要求及评价方法

GB/T 39267 北斗卫星导航术语

NY / T 3334-2018 农业机械 自动驾驶辅助驾驶系统 质量评价技术规范

GB/T 17424-2019 差分全球卫星导航系统（DGNSS）技术要求

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文件。

3.1.1

全域定位导航 Whole-Area positioning navigation

基于多种定位技术融合，无论在卫星信号良好的空旷区域，还是室内、大棚、树林等卫星信号缺失的遮蔽区域，都能实现高精度定位。

3.1.2

“数-云-端”协同 Data-Cloud-End Collaboration

“数”指对多种来源的农业数据或农机数据进行收集、处理和分析挖掘；“云”指云平台，实现作业规划、农机状态监控和作业监控；“端”指智能化边缘终端，搭载农机上实现农机无人驾驶和自主作业。

“数-云-端”协同指三方信息贯通，相互协作，实现农机驾驶和作业的远程遥控，最终实现农场无人化作业。

3.1.3

路劲规划 Path Plan

在云平台对农机的作业路径进行手工打点生成作业路径，或根据作业地点自动生成作业路径。

3.1.4

地图无缝拼接 Seamless Map Merging

对于不同区域、不同数据来源的多张地图高精度拼接成一张地图，实现拼接缝隙高度缩小以至于完全重合的效果。

3.1.5

环境传感器 Environmental sensors

本文指农业领域中常用的用来检测空气、土壤、太阳辐射、雨淋等环境特征指标的高质量仪器，常用的有温度、湿度、风速风向、光照、雨量、土壤 PH 值、氨氮磷钾浓度、有毒有害气体等各类传感器。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

RTK：实时动态测量（Real time kinematic）

IMU：惯性传感器（Inertial Measurement Unit）

LoRa：远距离无线电（Long Range Radio）

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

4 系统组成

本系统架构技术规范是基于“数-云-端”协同模式，以全域定位导航算法为核心，构建精准定位、环境立体感知、路径规划、作业任务监管、多源数据采集与分析挖掘的开放型无人化智慧农场综合管理系统架构。主要由于“数-云-端”三部分构成，各部分通过传输层实现通信连接，其架构的组成框图见图 1。

（1）智能边缘终端：采用多种传感器进行全域定位导航、农机作业环境、农机作业状态等信息的感知和采集，并将处理后的数据上传至云平台。农机车载类传感器有激光雷达、毫米波雷达、超声波雷达、摄像头、RTK、IMU；无人机机载类传感器有摄像头、毫米波雷达、RTK、IMU；设立在农机作业区域的陆基传感器有激光雷达、摄像头以及环境传感器。

（2）数据处理与决策分析部件：实现对智能边缘终端采集的数据进行预处理与数据融合，对来自不同传感器多源异构的定位信息、环境信息、农作物和养殖物的成长过程信息，进行清洗、筛选、格式化等预处理，分析挖掘出定位导航环境自适应切换模型、农作物生长模型、畜禽养殖模型，也可对大量农机运动状态信息、作业信息和故障信息进行分析，挖掘提炼出农机故障模型，最终实现基于数据模型的决策推理。本部件还可基于多种地图来源实现相邻区域的地图无缝拼接。

（3）云平台：对大数据处理与分析的结果进行分布式存储和展示，进行农机任务调度和作业监管，实现虚拟资源管理、模糊控制，产生与决策控制相关的应用层，包括智能路径规划、作业任务下发与管理、

农机运动状态监控等。

(4) 传输层：支持 4G/5G、LoRa、WiFi、以太网通讯方式，实现各部件之间以及与其他外部系统的通讯连接。

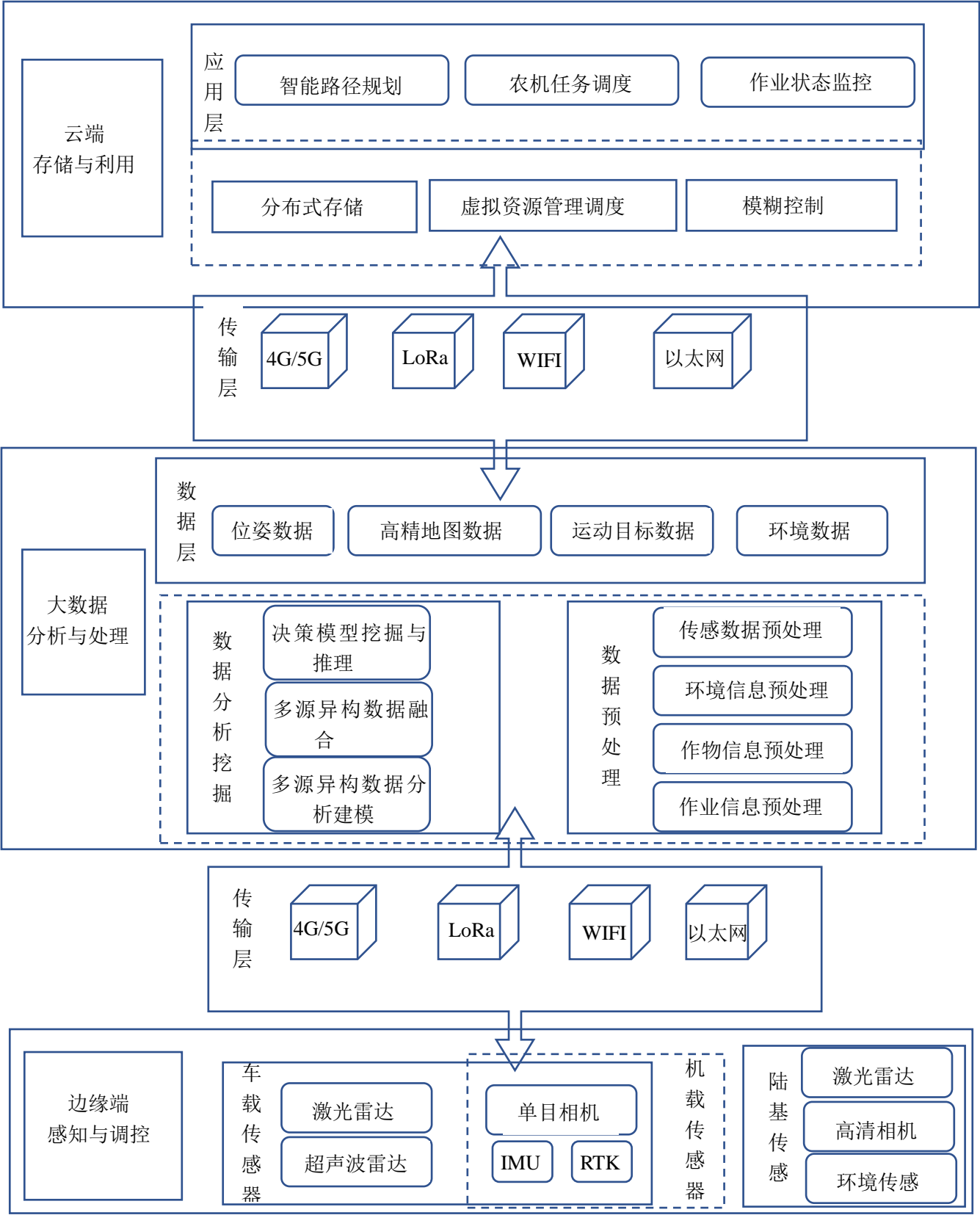


图1 “数云端”系统组成框图

5 智能边缘终端

“数-云-端”协同的全域定位导航系统在农场、果园等农用场景实现高精度定位与导航规划的任务，要求系统在边缘终端配备不同的传感器。根据传感数据的来源主要可分为三类：农机车载传感器、无人机机载传感器和陆基环境感知传感器。不同传感器的功能要求如下：

a) 农机车载端：

1. 具备 RTK 高精度卫星定位能力，全天空场景下定位精度 2.5cm；
2. 具备 RTK/IMU 组合导航能力，在路面起伏不平路段或卫星信号短暂缺失场景仍能保持亚米级别定位精度，持续输出稳定定位时间不低于 15 分钟；
3. 具备激光雷达/IMU 紧耦合、视觉/IMU 紧耦合的激光 SLAM 和视觉 SLAM 能力，用于卫星信号较弱的场景（室内机库、高密度果园树林遮挡、蔬菜大棚等场景），实现建图精度 10 像素（地图最小分辨率）、定位精度 10cm（ 1σ ）；
4. 超声波雷达用于实时感知农机作业场景中障碍物信息，结合云平台下发的作业路径进行绕障局部路径规划。超声波雷达的测距精度 5cm，对动态与静态的障碍物分类的误检率应不高于 10%。

b) 无人机机载传感设备：

1. 单目相机用于航拍，构建二维与三维的高精地图，要求像素不少于 2000 万像素，支持 4 倍数码变焦，电子快门从 1/8000 至 30 秒可调节，支持 50KM/h 飞行速度的拍摄要求；
2. RTK 与定位系统在悬停精度垂直精度小于 0.5m，水平精度小于 1.5m；
3. 视觉定位系统在悬停精度垂直精度小于 0.1m；水平精度小于 0.3m。

c) 陆基传感设备：

1. 激光雷达：机械式旋转激光雷达或固态激光雷达，具备抗日光干扰能力，测量半径应大于 50 米，雷达帧率及电频不低于 5Hz。测距精度 $<2\text{cm}(1\sigma @20\text{m})$ (在 20m 测量位置，在 1σ 的概率下，每次测量的误差小于 2cm)；
2. 摄像头：具有红外夜视功能，支持 1080p 分辨率以上录像功能；
3. 环境传感器：温湿度、土壤、空气等环境传感器均应满足其测量规范要求。

在农机车载边缘端，支持多种类底盘运动适配与远程软件升级功能；无人机机载端与陆基传感设备端支持远程升级功能。

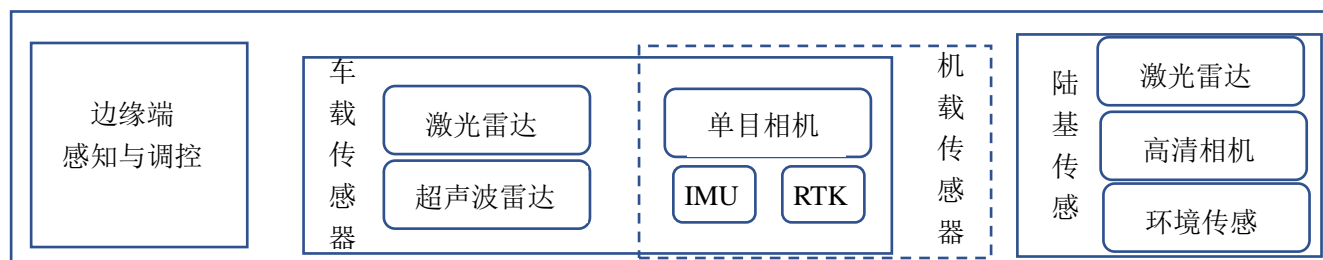


图 2 边缘端系统组成框图

6 数据处理与决策分析

对来自不同传感器多源异构的定位信息、农机作业信息、环境信息、农作物和养殖物的成长过程信息进行预处理和分析建模，分析挖掘出定位导航环境自适应切换模型、农作物生长模型、畜禽养殖模型，也可对大量农机运动状态信息、作业信息和故障信息进行分析，挖掘提炼出农机故障模型，最终实现基于数据模型的决策推理。本部件还可基于多种地图来源实现相邻区域的地图无缝拼接。

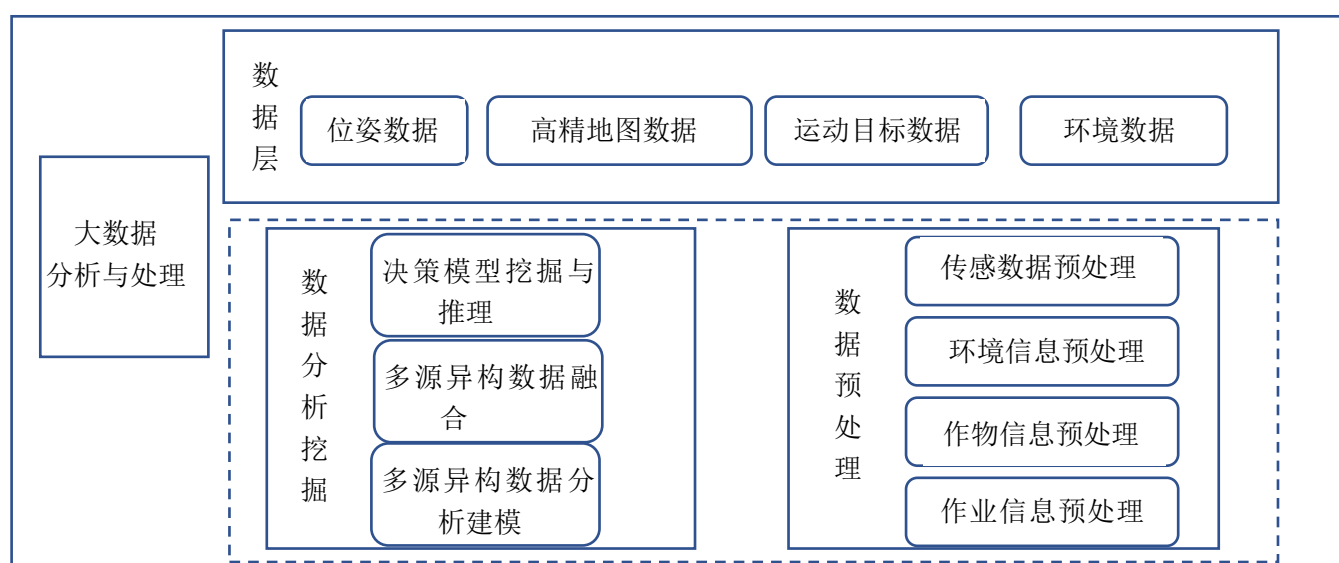


图 4 大数据端系统组成框图

7 云平台

云端基于 Kubernetes+docker 的轻量级虚拟化方案，对边缘端参数的数据进行分布式存储，能够实现多 AI 训练、虚拟资源管理与调度、推理任务并发执行、模糊控制等。同时云平台预置了 TensorFlow、MXNet、PyTorch、Keras 四个业界最常用的机器学习和深度学习框架，并支持自定义框架。

通过云平台控制页面，即可轻松实现从数据标注到模型训练到最终的推理服务部署的端到端处理，大大提高 AI 算法的开发速度和管理能力，为无人农场管控云平台提供智能计算服务。

云平台端系统组成框图如图 3 所示，在应用层实现智能路径规划、作业任务下发与管理、农机运动状态监管与控制等应用。其中实现“数-云-端”协同的全域定位导航任务的云端基础配置规格如下：

节点	CPU 规格	内存	存储	GPU
主节点	Intel(R) Xeon(R) Gold 6230R CPU @ 2.10GHz * 2	128GB	8TB	A10 * 1
子节点	Intel(R) Xeon(R) Gold 6226R CPU @ 2.90GHz * 2	256GB	8TB	A100 * 2

表 1 云平台服务器配置规格表

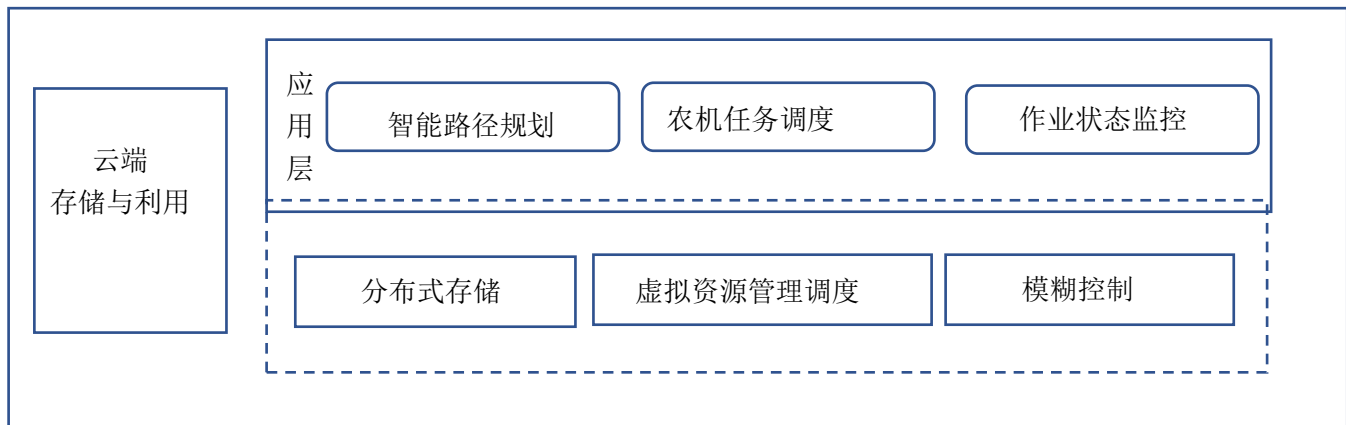


图3 云平台端系统组成框图

8 性能要求

8.1 全域定位导航精度性能精度要求

a) 室外场景：

- (1) 平面定位精度： $\leq 2\text{cm}$ (RMS)；
- (2) 高程定位精度： $\leq 5\text{cm}$ (RMS)；
- (3) 精度发散状态 (RTK 浮动解) 及时告警时间小于 3s；
- (4) 综合定位可用性优于 99%。

b) 室内场景：室内机库、大棚内定位精度应优于 10cm (1σ)。

8.2 “云-边缘端”传输速率要求

a) 车 (机) 载，陆基设备本地通信，本地通信交互协议应符合 GB/T 35381 的要求；

b) 边缘端与云平台通信：

- (1) 应具有加密传输和身份认证功能；
- (2) 边缘端具备主动上报和被动应答功能，上报延时秒级，数据上报频率 0.1Hz~5Hz。

8.3 定位导航环境自适应切换模型

数据挖掘生成模型的准确性与泛化性能指标如下：

a) 同一场景不同时期数据生成的模型

- (1) 平面定位精度： $\leq 2.5\text{cm}$ (RMS)；
- (2) 高程定位精度： $\leq 5\text{cm}$ (RMS)；
- (3) 精度发散状态 (RTK 浮动解) 及时告警时间小于 3s；

- (4) 综合定位可用性优于 90%。
- b) 不同场景同一时期数据生成的模型
 - (1) 平面定位精度： $\leq 10\text{cm}$ (RMS)；
 - (2) 高程定位精度： $\leq 25\text{cm}$ (RMS)；
 - (3) 精度发散状态 (RTK 浮动解) 及时告警时间小于 10s；
 - (4) 综合定位可用性优于 99%。
- c) 不同场景不同时期生成的模型
 - (1) 平面定位精度： $\leq 15\text{cm}$ (RMS)；
 - (2) 高程定位精度： $\leq 30\text{cm}$ (RMS)；
 - (3) 精度发散状态 (RTK 浮动解) 及时告警时间小于 20s；
 - (4) 综合定位可用性优于 80%。

9 可靠性要求

9.1 多类传感器数据处理的容错性

对于“数-云-端”协同的全域定位导航系统，多传感融合的定位方案相比于单一传感定位在精度体现处更高容错性与系统鲁棒性，不同定位方案的定位精度要求应满足下表。定义超出精度要求范围的事件为系统定位异常，系统平均单次故障定位时间 (MTBF) 要求如下表所示。

定位技术方案	传感器	精度	MTBF
GPS 定位	GPS	$\leq 11\text{m}$ (RMSE)	$\leq 0.8\text{h}$
GPS 与 IMU 融合定位	GPS&IMU	$\leq 7.2\text{m}$ (RMSE)	$\leq 0.8\text{h}$
激光 SLAM	lidar	$\leq 1.2\text{ m(RMSE)}$	$\leq 0.8\text{h}$
多传感融合激光 SLAM	GPS & IMU & Lidar	$\leq 0.1\text{m (RMSE)}$	$\leq 0.5\text{h}$
RTK 定位	RTK	$\leq 0.2\text{m(RMSE)}$	$\leq 0.5\text{h}$
RTK 惯性导航定位	RTK&IMU	$\leq 0.1\text{m(RMSE)}$	$\leq 0.5\text{h}$

表 2 多传感融合定位精度要求

9.2 模型泛化能力：同类型作业场景的模型复用性

- a) 同一作业的场景不同时刻模型的泛化性能：
 - (1) $MTTFF \geq 500\text{h}$;
 - (2) $MTBF \geq 300\text{h}$;
 - (3) 系统平均单次故障定位时间小于 0.5h。
- b) 不同作业的场景不同时刻模型的泛化性能：
 - (1) $MTTFF \geq 300\text{h}$;
 - (2) $MTBF \geq 200\text{h}$;
 - (3) 系统平均单次故障定位时间小于 1h。

10 测试要求

10.1 全域定位导航测试方法

10.1.1 定位测试

定位测试方法如下：

a) 室外定位测试：按照 GB/T 39517.1 和 GB/T 39517.2 规定的内容执行；

b) 室内定位测试：

(1) 车载边缘端静止在已知坐标点，采集 500 组系统定位坐标，与已知坐标进行对比，计算均方根误差；

(2) 车载边缘端沿已知直线轨迹运动，采集 500 组系统定位数据，计算每一个实时定位数据到直线轨迹的距离，计算均方根误差。

10.1.2 导航作业测试

按照 GB/T 37164-2018 规定的内容执行。

10.2 “云-边缘端”数据通信测试方法

a) 车载本地通信测试：按照 GB/T 35381 规定的内容执行；

b) 边缘端与平台远程通信测试：

(1) 通过加密和不加密传输，验证数据通信是否正常；

(2) 边缘端上报数据增加时间戳，通过云平台统计边缘端主动上报数据，计算时间间隔。

10.3 数据分析、挖掘、建模测试方法

a) 对同一场景不同时期数据生成的模型进行定位精度测试，其中同一场景指的是边缘端采集的数据来源于同一果园、农场等农用场景，不同时期指早、中、晚三个测试时间段，分别对系统进行室内外定位测试。

(1) 室外定位测试：按照 GB/T 39517.1 和 GB/T 39517.2 规定的内容执行；

(2) 室内定位测试：车载边缘端静止在已知坐标点，采集 500 组系统定位坐标，与已知坐标进行对比，计算均方根误差；车载边缘端沿已知直线轨迹运动，采集 500 组系统定位数据，计算每一个实时定位数据到直线轨迹的距离，计算均方根误差。

b) 对不同场景不同时期数据生成的模型进行定位精度测试，其中不同一场景指的是边缘端采集的数据来源于不地区的农用场景，不同时期指早、中、晚三个测试时间段，分别对系统进行室内外定位测试。

(1) 室外定位测试：按照 GB/T 39517.1 和 GB/T 39517.2 规定的内容执行；

(2) 室内定位测试：车载边缘端静止在已知坐标点，采集 500 组系统定位坐标，与已知坐标进行对比，计算均方根误差；车载边缘端沿已知直线轨迹运动，采集 500 组系统定位数据，计算每一个实时定位数据到直线轨迹的距离，计算均方根误差。