

ICS65.020.01
CCS B 90

团体标准

T/CAAMM 309—2023/T/NJ XXXX—2023

农业机器人 协同作业通信技术规范

Technical specification for cooperative operation communication of
agricultural robots

(公示稿)

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

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：河南科技大学、龙门实验室、第一拖拉机股份有限公司、中国农业机械化科学研究院集团有限公司、河南农业大学、河南省农业科学院农业经济与信息研究中心、洛阳智能农业装备研究院有限公司、重庆文理学院。

本文件主要起草人：马溟、崔宏伟、赵凯旋、王琳、赵立军、赵博、李倩文、姬江涛、金鑫、马彦博、李保忠、马喜强、陈永、解晓琳、李国强、李连豪、周利明、张开、王珂鑫、丁雨龙。

本文件为首次发布。

农业机器人 协同作业通信技术规范

1 范围

本文件规定了农业机器人协同作业通信技术的术语和定义、一般要求、终端要求、传输要求、通信检测方法等内容。

本文件适用于大田环境下农业机器人协同完成一类或多类任务时，机器人与机器人和机器人与中央控制系统间的通信。

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 15972.41 光纤试验方法规范 第 41 部分：传输特性的测量方法和试验程序 带宽
- GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- GB/T 25069 信息安全技术 术语
- GB/T 28181 公共安全视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求
- GB/T 36239 特种机器人 术语
- GB/T 38618 信息技术 系统间远程通信和信息交换高可靠低时延的无线网络通信协议规范
- GB/T 39720 信息安全技术 移动智能终端安全技术要求及测试评价方法
- GB 40050 网络关键设备安全通用要求
- GB/T 30600 高标准农田建设 通则
- JT/T 1458 营运车辆车路/车车通信（V2X）终端性能要求和检测方法

3 术语和定义

GB/T 36239 与 GB/T 25069 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

农业机器人 agricultural robot
大田环境下能够自主完成作业任务的农业机械。

3.2

协作机器人集群 collaborative robot cluster
由两个以上农业机器人组成的机器人群体。

3.3

协同作业 cooperative operation
多种或多个农业机器人合作完成一类或几类农田作业任务的过程。

3.4

农田传感器 sensor

能够感知环境信息、对象信息并将其转化为数字信号，用于监测大田土壤、气象、作物等信息的设备。

3.5

中央控制系统 central control system

用于监控、管理和控制多个农业机器人的集中式系统。

3.6

终端 terminal

用于控制农业机器人，同时具有定位、远程通信、农田传感器数据采集、音视频存储等功能，并能够与其他终端、中央控制系统等实现通信的设备。

3.7

带宽 bandwidth

农业机器人通信时数据在有线或无线媒体中的最大传输能力。

3.8

时延 delay

数据从发送端农业机器人传输到接收端农业机器人所需的时间。

3.9

信噪比 signal to noise ratio

信号功率与噪声功率之比，衡量信号与噪声之间相对强度的指标，体现农业机器人通信的抗干扰能力。

3.10

丢包率 packet loss rate

在农业机器人协同作业通信过程中丢失的数据包数量占总发送的数据包数量的百分比。

4 一般要求

农业机器人协同作业通信技术应满足如下要求：

- a) 应保证农业机器人之间可以实时共享信息和指令，实现协调和协同作业；
- b) 应保证农业机器人可以实时传输高清图像、视频流、传感器数据等信息；
- c) 应保证农业机器人面临天气等不稳定因素时具备稳定的连接和可靠的数据传输；
- d) 应支持协作机器人集群间的协调和任务分配，保证农业机器人在群体协同作业时按照分配的任务进行作业；
- e) 应具备可扩展性，支持农业机器人添加更多的农田传感器或协作机器人集群；
- f) 应保证农业机器人数据传输和存储的隐私和安全，其安全要求应符合 GB 40050 的规定；
- g) 应具备合适的网络拓扑与架构，能够支持 2 个以上农业机器人之间通信和农业机器人与中央控制系统通信；
- h) 应支持远程控制和监控功能，工作人员可以远程监控和指导农业机器人的工作。

5 终端要求

5.1 终端构成要求

5.1.1 终端应具备无线电通信模块，用于接收和发送信号，农业机器人中可以搭载一个或多个无线电通信子系统。

5.1.2 终端应具备定位模块，包含全球导航卫星系统接收器，可以获取农业机器人的位置、速度、时间等信息。

5.1.3 终端应具备信号处理单元，处理需发送的信号和接收到的信号。

5.2 终端定位性能要求

5.2.1 农业机器人终端在开阔环境下，采用基站 RTK 技术水平定位精度应小于 2 cm，高程定位精度应小于 5 cm。

5.2.2 农业机器人终端冷启动首次定位时间小于 60 s，热启动首次定位时间小于 20 s，最小位置更新频率为 1 Hz。

5.3 终端通信性能要求

5.3.1 终端应具备足够的数据传输能力，保证农业机器人可以传输传感器数据、图像、视频流和控制指令等。

5.3.2 终端应具备足够的数据处理能力，能够解析和处理从其他农业机器人发送的通信数据，以及从各种传感器获取的数据。

5.3.3 终端应具备安全性，保证农业机器人通信过程中数据的隐私和完整性，防止未经授权的访问或干扰。

5.3.4 终端应支持通用的通信协议和标准，保证农业机器人与其他农业机器人、农田传感器或中央控制系统的互操作性。

5.3.5 终端应具备实时性，保证农业机器人能够实时通信和协同作业。

5.3.6 终端应具有支持协作机器人集群内部机-机通信、多个机器人与中央控制器同步通信的能力，保证农业机器人与中央控制器通信的同时可以完成与其它农业机器人的通信任务。

6 传输要求

6.1 网络传输协议要求

农业机器人协同作业通信技术网络传输协议的选择应符合 GB/T 28181 相关要求。

6.2 媒体传输协议要求

视频流、音频流在网络上传输时应支持 RTP/RTCP 协议，其传输协议应符合 GB/T 38618 规定。

6.3 无线传输协议要求

农业机器人无线传输协议应采用蜂窝移动通信技术，支持 Zigbee、WIFI、4G、5G 等通信方式，同时协议支持机-机间通信和农业机器人-中央控制系统间通信。

6.4 传输时延

当农业机器人信息经由 IP 网络传输时，信息延迟时间（包括发送端信息采集、编码、网络传输、接收端信息解码、显示等过程所经历的时间）应满足下列要求：

- a) 农业机器人之间的传输延迟时间应小于 1s；
- b) 农业机器人与中央控制系统的传输延迟时间小于 1s。

6.5 网络传输带宽

农业机器人网络带宽应满足下列要求：

- a) 协作机器人集群内部机与机的通信带宽，应保证 3 台及以上农业机器人间的高速数据传输，并留有冗余；
- b) 协作机器人集群内部个体机器人与中央控制系统的通信带宽，应满足不同农业任务所需传输的不同类型的数据，如图像、视频、传感器数据等，并留有冗余。

6.6 网络传输质量

农业机器人 IP 网络的传输质量（如传输时延、包丢失率、包误差率等）应符合如下要求：

- a) 网络时延上限值为 200ms；
- b) 时延抖动上限值为 100ms；
- c) 包丢失率上限值为 0.3%；
- d) 包误差率上限值为 0.01%。

6.7 传输的安全性

传输安全应符合下列要求：

- a) 农业机器人协同作业通信技术的安全应符合 GB/T 22239 安全等级保护规定的要求；
- b) 农业机器人之间进行可信鉴别验证，建立安全通道，安全防护保障各方身份合法性和真实性；
- c) 农业机器人协同作业通信技术的数据加密应符合 GB/T 28181 的相关要求；
- d) 农业机器人协同作业通信技术的数据传输安全应符合 GB/T 39720 的相关要求。

6.8 传输性能指标

农业机器人之间通信的传输性能指标应符合表1的规定。

表1 机器人与机器人通信传输性能指标

序号	评价内容	评价指标	检测方法对应的条款号
1	带宽	$\geq 1\text{Mbps}$	7.3.1
2	传输时延	$\leq 1\text{s}$	7.3.2
3	信噪比	$\geq 20\text{dB}$	7.3.3
4	丢包率	$\leq 0.1\%$	7.3.4
5	通信建立时间	$\leq 10\text{s}$	7.3.5

农业机器人与中央控制系统通信的传输性能指标应符合表2的规定。

表2 机器人与平台通信传输性能指标

序号	评价内容	评价指标	检测方法对应的条款号
1	带宽	$\geq 5\text{Mbps}$	7.3.1
2	传输时延	$\leq 1\text{s}$	7.3.2
3	信噪比	$\geq 20\text{dB}$	7.3.3
4	丢包率	$\leq 0.1\%$	7.3.4
5	通信建立时间	$\leq 10\text{s}$	7.3.5

6.9 传输覆盖范围

农业机器人协同作业通信范围应符合以下要求：

- a) 农业机器人之间通信时，传输覆盖范围应达到100米以上；
- b) 农业机器人与中央控制系统通信时，在农田环境中，传输距离达到10千米以上。

6.10 传输指令

农业机器人协同作业通信应具备以下基本指令：

- a) 启动和停止指令；
- b) 多机定位指令；
- c) 多机任务分配指令；
- d) 协同作业路径规划指令；
- e) 多机速度和方向同步控制指令；
- f) 单机或多机同时避障指令；
- g) 入队和离队指令；
- h) 多机作业工况等数据共享指令；
- i) 传感器数据请求指令；
- j) 监控指令。

7 通信检测方法

7.1 检测条件

农业机器人协同作业通信技术各指标的检测条件应符合以下要求：

- a) 应在真实或模拟的大田环境下进行，确保评估的结果能够反应实际作业情况；
- b) 应在不同的天气情况下分别进行检测，如雨天、晴天、雪天等；
- c) 应在测试中引入不同类型的干扰源；
- d) 应覆盖农业机器人协同作业时机-机通信、机-系统通信的场景，如三台以上农业机器人相互通信的场景；
- e) 应覆盖多种不同协同作业场景，如耕种、管理、收获与运粮等同环节/跨环节作业任务；
- f) 应涵盖不同的通信距离和位置，如在待作业大田的不同位置进行检测。

7.2 检测要求

农业机器人协同作业通信技术各指标的检测应满足以下要求：

- a) 协作机器人集群中应随机选择不少于3台农业机器人分别进行机-机和机-系统的通信指标检测；
- b) 各指标的检测实验不少于三次，测试结果取平均值。

7.3 通信性能检测

农业机器人协同作业通信技术的通信传输指标应符合条款6.8中相关要求，机器人与机器人通信传输性能指标和机器人与平台通信传输性能指标，带宽、时延等指标检测方法如下：

7.3.1 带宽检测

带宽可以通过下载和上传大量数据来测量，带宽检测按公式（1）计算：

$$B = \frac{q}{t} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

B---带宽，单位为比特每秒 (bps)；
q---数据传输量，单位为比特 (bit)；
t---传输时间，单位为秒 (s)。

7.3.2 时延检测

时延检测通过在数据包中添加时间戳，发送端农业机器人和接收端农业机器人分别记录时间戳，计算出数据的传输延迟时间。时延检测按公式 (2) 计算：

$$\Delta t = t_1 - t_2 \dots\dots\dots(2)$$

式中：

Δt ---单向时延，单位为秒 (s)；
 t_1 ---接收时间戳，单位为秒 (s)；
 t_2 ---发送时间戳，单位为秒 (s)。

7.3.3 抗干扰性检测

通过计算信号的信噪比，来评估信号的清晰度和可靠性，较高的信噪比表示较低的干扰。信噪比检测按公式 (3) 计算：

$$SNR = \frac{P_1}{P_2} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

式中：

SNR---信噪比，%；
 P_1 ---信号功率，单位为瓦特 (w)；
 P_2 ---噪声功率，单位为瓦特 (w)。

7.3.4 丢包率检测

丢包率通过 Ping 测试。通过发送数据包到目标农业机器人，然后接收回复，计算出丢包率。丢包率按公式 (4) 计算：

$$D = \frac{n_1}{n} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

式中：

D---丢包率，%；
 n_1 ---丢失的数据包数量，单位为个；
 n ---总发送的数据包数量，单位为个。

7.3.5 通信建立时间检测

在检测农业机器人协同作业通信的通信建立时间时，使用网络分析工具，捕获发送端农业机器人的通信请求数据包、接收端响应数据包，接收端应包含 2 个以上农业机器人或中央控制系统，通过分析数据包的时间戳，以其均值作为农业机器人的通信建立时间。

7.4 通信范围检测

农业机器人协同作业通信技术的通信范围建议选择符合 GB/T 30600 的高标准农田，分别在 0m、20m、40m、60m、80m、100m 的距离下进行数据传输测试。通过中央控制系统发送 3 种不同大小的数据包，在接收端记录传输成功率、丢包率等指标来评估数据传输的稳定性和可靠性，接收端应包括至少 3 个农业机器人，取其均值作为检测的通信范围，当数据传输丢包率等指标满足条款 6.8 中相关规定时，农业机器人在协同作业通信范围内；通过一台农业机器人发送 3 种不同大小的数据包，在接收端记录传输成功率、丢包率

等指标来评估数据传输的稳定性和可靠性，接收端应包括至少 2 个农业机器人，取其均值作为检测的通信范围，当数据传输丢包率等指标满足条款 6.8 中相关规定时，农业机器人在协同作业通信范围内。

7.5 通信安全性检测

农业机器人协同作业通信技术的安全性检测方法如下：

- a) 检测通信过程是否进行了可信鉴别认证，在通信过程中第三方应无法向农业机器人发送消息或接收农业机器人的消息。
- b) 检查数据通信过程是否采用完整性保护，将被测农业机器人连接测试平台，模拟传输信息数据通信中断等过程。农业机器人应采用完整性校验机制，信息无法被篡改或经过篡改的信息无法传输。