

团体标准

T/CAAMM XXXX—202X/T/NJ XXXX—202X

无人农场 多机协同作业任务分配 技术规程

Unmanned farm-Technical regulations for farm task allocation of
multi-machine cooperative operation

(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

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。

本文件主要起草人：姬江涛、李朋、马湜、李倩文、崔宏伟、王琳、赵凯旋、赵博、金鑫、李保忠、陈永、李国强、李连豪、周利明、张开、张颢蕾。

本文件为首次发布。

无人农场 多机协同作业任务分配 技术规程

1 范围

本文件主要规定了无人农场多机协同作业任务分配技术的术语和定义、范围、任务分配方法、分配效果和应用效果评价等内容。

本文件适用于无人化农场任务分配，无人化果园可参照使用。

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 9969-2008 工业产品使用说明书 总则

GB/T 25110.1-2010 工业自动化系统与集成 工业应用中的分布式安装 第1部分：传感器和执行器

GB/T 25068.4-2022 信息技术 安全技术 网络安全 第4部分：使用安全网关的网间通信安全保护

SJ/T 11272-2022 车载彩色显示器通用规范

GB/T 5226.1-2019 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 22263.8-2010 物流公共信息平台应用开发指南 第8部分：软件开发管理

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无人农场 unmanned farm

无人农场通过对农业生产资源、环境、种养对象、装备等各要素的在线化、数据化，实现对种植养殖对象的精准化管理、生产过程的智能化决策和无人化作业。

3.2

多机协同 multi-machine cooperation

农机多机协同作业是指利用多台农业机械设备进行协同作业，以提高农田作业效率和质量的一种方式。

3.3

任务分配 task allocation

任务分配是指根据农机性质、用途、执行能力等因素，在满足约束条件下，将多个任务以最佳方案分配给各个农机，使农机资源得到合理配置。

3.4

无人农机数量和类型 number and type of unmanned agricultural machine

根据任务的特点和要求，确定需要多少个农机参与任务，以及需要哪些类型的农机，如收割机、播种机、喷雾机等。

3.5

作业质量评估 operation quality assessment

根据作业数据计算作业重叠面积、作业遗漏面积和地头转弯面积，对作业重叠率、作业遗漏率和地头转弯消耗率的评估。

3.6

作业进度实时分析 real-time analysis of operation progress

作业进度实时分析包括地块总面积、实时作业面积和剩余作业面积的计算。

3.7

数据接收与发送 data receiving and sending

车载终端按照设定时间间隔采集农机作业数据，并发送至服务器；服务器向车载终端发送控制命令，以实现多机协同作业的调度管理。

3.8

数据存储与查询 data storage and query

根据数据类型和数据采集时间建立数据库，并把数据上传到服务器；用户在浏览网页的时候可以根据时间、作业地点和农机编号等查询相应历史数据，平台根据所选择的参数调用后台数据库中的数据呈现在网页中。

3.9

数据显示 data display

数据显示包括多机协同作业的位置信息和位姿信息，主要通过电子地图和表格进行显示。

3.10

任务分配管理平台 task assignment and management platform

任务分配管理平台的主要功能是基于电子地图进行精准定位，实现区域内农机的任务规划。该模块主要采用全局规划和局部规划相结合的方法，不冲突时保证全局最优，冲突发生时局部解决，解决冲突后继续以当前全局最优再规划。

3.11

成本函数 cost function

农机完成给定任务所需要的花费的时间和金钱成本。

3.12

作业约束 operation constraints

每个任务只能分配给一个农机；每台农机被分配的任务数小于该农机能完成的任务数；农机在相遇时不发生冲突的约束。

4 技术要求

4.1 一般要求

4.1.1 任务分配管理系统应符合本文件的要求，并按照规定程序批准的技术文件设计和开发。

4.1.2 无人农机传感器的选用和安装应符合 GB/T 25110.1-2010 的规定。

4.1.3 无人农机所采用的机电产品及电子元器件的质量指标应符合 GB/T 5226.1-2019 的相关要求。

4.1.4 无人农机的机载终端能够采集农机的类型、油量和位置参数。

4.1.5 无人农机传感器系统应能够定位、识别障碍物。

4.1.6 无人农机的通信模块能够把自身的状态信息发送给任务分配管理平台。

4.1.7 任务分配管理平台的开发和测试应符合 GB/T 22263.8-2010 的相关要求。

- 4.1.8 任务分配管理平台能够根据机载终端和电子地图提供的农机、农田信息，为农机分配生产任务。
- 4.1.9 任务分配管理平台能够及时处理农机作业时出现的冲突，并能够重新给出最优的任务分配方案。
- 4.1.10 任务分配管理平台显示装置的分辨率应符合 SJ/T 11272-2022 的相关要求。
- 4.1.11 任务分配管理平台应具有作业进度实时分析功能，能够显示地块总面积、已完成作业面积和剩余作业面积等关键参数。
- 4.1.12 任务分配管理平台应具有作业质量评估功能，能够根据作业数据计算出作业重叠率、作业遗漏率和地头转弯消耗率。
- 4.2 安全要求
- 4.2.1 任务分配管理平台的数据通信协议应安全可靠，其安全技术要求应符合 GB/T 25068.4-2022 的要求。
- 4.2.2 任务分配管理平台的人机交互界面应设计合理，保证操作人员在操作时不出现误删数据的风险。
- 4.2.3 任务分配管理平台给出的任务分配策略应合理，降低农机之间相遇的概率，防止农机相互碰撞。
- 4.2.4 产品使用说明书的编写应符合 GB/T 9969-2008 的规定。产品使用说明书中应规定安全规程、安全注意事项、安全标志机器粘贴位置应在产品使用说明书中再现。

4.3 性能要求

任务分配管理平台的性能指标应符合表 1 的规定。

表 1 性能指标

序号	项目名称	性能指标
1	通信丢包率	$\leq 0.3\%$
2	通信时滞	$\leq 3s$
3	作业重叠率	$\leq 5\%$
4	作业遗漏率	$\leq 7\%$
5	地头转弯消耗率	$\leq 10\%$

4.4 使用说明书

使用说明书的编制应符合 GB/T 9969-2008 的规定。

5 多机协同作业任务分配建模方法

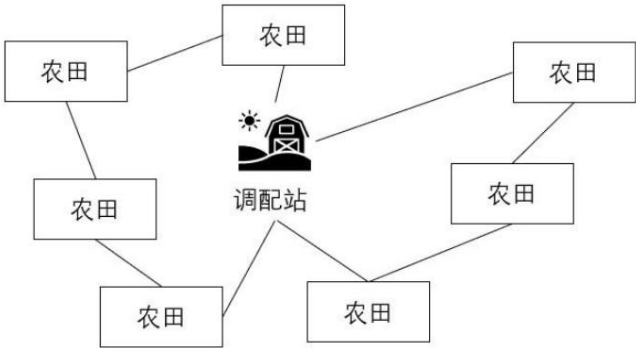


图 1 农机工作示意图

5.1 基本原则

- (1) 每日完成的任务数量不小于作业农机的数量。
- (2) 任务农田的位置、几何参数和农机的性能参数已知。
- (3) 每块农田只有一台农机作业，一台农机可以完成多个农田的作业。
- (4) 所有作业农机同时从合作社车库出发，完成全部任务后回到车库。
- (5) 已知农机的转弯方式，如梨形、鱼尾形和弓形等。
- (6) 已知农机作业工艺路线类型，如直行法、绕行法和斜行法等
- (7) 目标要求：转弯数量最少、作业路径最短和作业时间最短。

5.2 任务参数

农田长度 m 、宽度 m 、面积 m^2 、农田作物类型、农田位置信息等。

5.3 农机性能参数

作业幅宽 m 、作业能力 m^2/h 、路上速度 km/h 、作业状态油耗 L/h 、非作业状态油耗 L/h 、调头时间 h 等。

5.4 农机多机协同作业目标函数

考虑机群的作业时间、油耗和路程建立多机协同代价函数，并以代价函数最小为优化目标。

$$\min(f) = \alpha \left[\max(t_i), \sum_{i=1}^m c_i, \sum_{i=1}^m s_i \right]$$

式中 f ——机群代价函数

α ——系数向量

t_i ——农机 a_i 的作业时间， h

c_i ——农机 a_i 的油耗， L

s_i ——农机 a_i 路上路程， L

5.5 农机多机协同作业的约束

定义 x_{ij} 为任务 i 分配给农机 j 的决策变量，取值为 0 或 1。若任务 i 分配给了农机 j ，则 $x_{ij} = 1$ ，否则 $x_{ij} = 0$ 。
定义 d_j 是农机 j 能够完成的最大任务数。

- (1) 为避免农机在执行任务时发生冲突，每个任务 i 只能分配给一个农机

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1$$

- (2) 农机 j 被分配的任务数量不超过其能够完成的最大任务数 d_j

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq d_j$$

6 检测方法

6.1 试验条件

6.1.1 试验用地

试验地应平坦，无障碍物，并满足试验农机的适用范围，试验地土壤绝对含水率应不大于 25%。

6.1.2 试验环境条件

试验环境的相对湿度 $\leq 90\%$ ，环境温度 5°C – 45°C ，光照强度 10 Klx – 60 Klx 。

6.1.3 试验用网络

试验用网络应能够保证机载终端和任务分配管理平台之间的可靠通信，通信丢包率 ≤ 0.3 ，延时 $\leq 2\text{ s}$ 。

6.1.4 试验用地理测绘设备

手持 TOPCON 移动站测量农田地块边界、车库、温室、水井、房屋、道路及试验农场内其他地物的空间位置信息，设备测角精度 ≤ 2 秒，续航时间 ≥ 14 小时，放大倍数 $30\times$ 左右。

6.1.5 操作人员

试验时操作人员应按照使用说明书的规定进行操作。操作人员应操作熟练，试验过程中无特殊情况不允许更换操作人员。

6.2 检测标准

6.2.1 平均转弯数量的测定

假设地块为凸多边形，以正东方向为 x 轴，正北方向为 y 轴，多边形有 n 条边每条边的长度为 $L_i (i = 1, \dots, n)$ ，每条边与 x 轴的夹角为 $\varphi_i (i = 1, \dots, n)$ ，地块直行作业路径起点为与路边相邻的地头，设起始点坐标为 $A_1(x, y)$ ，地块信息 $F_j (j = 1, \dots, m)$ 由地块每条边的长度和该条边与 x 轴的夹角表示 $F_j = \{(L_1, \varphi_1), \dots, (L_n, \varphi_n)\} (j=1, \dots, m)$ 。路径方向与 x 轴的夹角为 θ ，农机的作业幅宽为 w ，地块作业余宽度小于农机作业幅宽 w 时，按 1 行作业计算。

农机在地块第 i 条边上的转弯数量为

$$N_i = \frac{|\sin(\theta - \varphi_i)|L_i}{2w}$$

农机在整个地块的转弯数量为

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{|\sin(\theta - \varphi_i)|L_i}{2w}$$

农机的平均转弯数量为

$$\bar{N} = \frac{N}{S}$$

式中 S ——总作业面积

6.2.2 平均转弯路径长度测定

表 2 农机转弯长度

转弯形式	转向操作次数	档位操作次数	转弯路径长度 l
------	--------	--------	------------

鱼尾形转弯	4	2	$\pi R_{min} + \sqrt{(2R_{min} - W)^2 + (W \cot \theta)^2}$
梨形转弯	4	0	$(\pi + \cos^{-1} \frac{\sqrt{(2R_{min} + W)^2 + (W \cot \theta)^2}}{4R_{min}}) R_{min}$
半圆形转弯	2	0	$(\pi/2 + \cot \theta) W$
弓形转弯	4	0	$(\pi + 2 \cot \theta) R_{min} + (W - R_{min}) / \sin \theta$ (不跨行作业)
			$(\pi + 2 \cot \theta) R_{min} + (x - 2R_{min}) / \sin \theta$ (跨行作业)

农机的平均转弯路径长度为

$$\bar{l} = \frac{l}{S}$$

式中 S ——总作业面积

6.2.3 农机平均行驶路程测定

农机 a_i 的路上的路程 s_i 包括:从调配站到农机第1个任务 T_j 的路程 $s(a_i, T_j)$;从其第 j 个任务 T_j 到下一个任务 T_k 的路程 $s(a_i, T_j T_k)$;从其最后一个任务回到调配站车库的路程 $s(a_i, T_l)$, 其中 $j, k, l \in \{1, \dots, n\}$ 。

$$s_i = \sum_{j=1}^n s(a_i, T_j) x(a_i, j) + \sum_{l=1}^n s(a_i, T_l) x(a_i, l) + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n s(a_i, T_j T_k) x(a_i, jk)$$

其中

$$x(a_i, j) = \begin{cases} 1, & (T_j \text{ 是 } a_i \text{ 执行的第一个任务}) \\ 0, & (\text{其他}) \end{cases}$$

$$x(a_i, j) = \begin{cases} 1, & (T_l \text{ 是 } a_i \text{ 执行的最后一个任务}) \\ 0, & (\text{其他}) \end{cases}$$

$$x(a_i, jk) = \begin{cases} 1, & (T_j, T_k \text{ 是 } a_i \text{ 按任务分配顺序执行的任务}) \\ 0, & (\text{其他}) \end{cases}$$

农机的平均行驶路程为

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^m s_i}{S}$$

式中 S ——总作业面积

m ——农机台数

6.2.4 农机平均油耗测定

农机 a_i 的油耗 c_i 包括:路上的油耗、田间调头的油耗和直行作业的油耗。

$$c_i = \frac{s_i}{v_i} c_{vi} + \sum_{j=1}^n k_{ij} t_{ti} c_{vi} y(a_i, j) + \sum_{j=1}^n \frac{S_j}{w_i} c_{wi} y(a_i, j)$$

其中 $y(a_i, j) = \begin{cases} 1, & (T_j \text{ 是 } a_i \text{ 执行的任务}) \\ 0, & (\text{其他}) \end{cases}$

$$k_{ij} = \left\lceil \frac{b_{Tj}}{b_i} \right\rceil$$

式中 k_{ij} ——第 i 台农机在第 j 个任务田块作业行数

$\lceil \quad \rceil$ ——向上取整运算符

农机的平均油耗为

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^m c_i}{S}$$

式中 S ——总作业面积

m ——农机台数

6.2.5 农机平均耗时测定

农机 a_i 完成任务的时间 t_i 包括：路上时间、直行作业时间和田间调头时间。

$$t_i = \frac{S_i}{v_i} + \sum_{j=1}^n \frac{S_j}{w_j} y(a_i, j) + \sum_{j=1}^n k_{ij} t_{ti} y(a_i, j)$$

农机的平均耗时为

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{S}$$

式中 S ——总作业面积

m ——农机台数

6.2.6 作业遗漏率

$$\varepsilon = \frac{S_m}{S}$$

式中 S_m ——作业遗漏面积

S ——总作业面积

6.2.7 作业重叠率

$$\eta = \frac{S_o}{S}$$

式中 S_o ——作业重叠面积

S ——总作业面积

6.2.8 地头转弯消耗率

$$\sigma = \frac{S_t}{S}$$

式中 S_t ——地头转弯消耗面积

S ——总作业面积

6.3 农业机器人协同作业任务分配判定标准

按检测项目对农业机器人协同作业任务分配的影响程度，划分为 A 类和 B 类，检验项目分类见表 2。对所有检测项目指标进行检测，若 A 类全部合格，B 类至多 1 项不合格，则判定农业机器人协同作业任务分配技术满足要求。出现其余情况判定为不满足要求。

表2 检测项目分类表

分类		项目名称	对应条款
类别	序号		
A	1	平均转弯路径长度	6.2.2
	2	平均行驶路程	6.2.3
	3	平均油耗	6.2.4
	4	平均耗时	6.2.5
	5	作业遗漏率	6.2.6
	6	地头转弯消耗率	6.2.8
B	7	平均转弯数量	6.2.1
	8	作业重叠率	6.2.7