

团体标准

T/CAAMM 308—2023/T/NJ XXXX—2023

无人农场 多机协同作业任务分配技术规程

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

(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、仲恺农业工程学院、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、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：姬江涛、李朋、朱立学、李倩文、崔宏伟、马淏、赵立军、姚华平、王琳、金鑫、赵凯旋、赵博、马彦博、肖利强、李保忠、陈永、王恒、李连豪、周利明、张颖蕾。

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。

本文件规定的农场场景仅限于矩形农田（条形田）多台农机同环节旱田作业的任务分配问题。

本文件适用于无人农场多机协同作业任务分配。

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 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 9969-2008 工业产品使用说明书 总则

GB/T 19003-2008 软件工程 GB/T 19001-2000应用于计算机软件的指南

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 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

GB/T 30600 高标准农田建设 通则

GB/T 31455.1 快速公交（BRT）智能系统 第1部分：总体技术要求

SJ/T 11272-2022 车载彩色显示器通用规范.....

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

在农业生产过程中，采用物联网、大数据、人工智能、机器人等新一代信息技术，通过对农场设施与装备等远程控制或机器人的自主决策、自主作业，实现耕种管收全过程无人化操作的农场。无人农场的农田建设应符合GB/T 30600要求。

3.2

多机协同 multi-machine cooperation

农机多机协同作业是指利用多台无人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。农机多机协同作业包括同一田块内的协同作业和不同田块间的协同作业，本文件仅限于多台同种作业类型农机在同一地块内的作业。

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，在满足农机的性能、安全、可靠等约束条件下，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。本文件主要指把一块大田分割成多个矩形的任务块，然后分配给适合的农机。

3.4

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等数据，对作业重叠率、作业遗漏率和地头转弯消耗时间、农机利用率以及完成整块农田任务时间等评估。

3.5

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、剩余作业面积、农机利用率和完成剩余任务所需时间等的计算。

3.6

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。

3.7

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。

3.8

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。

3.9

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数字地图进行精准定位，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，无异常情况时保证全局最优；有异常情况，例如遇到障碍物、农机需要加减料等，局部解决，异常情况解决后继续以当前全局最优再为农机规划路线。

3.10

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。

3.11

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。

3.12

直行法工艺路线 straight route

直行法工艺路线是农机作业过程中最常见的工艺路线，该作业路线一般是指作业路径沿作业田块长边运行，转弯角度通常是 180° ，作业行之间相互平行，转弯行程在地头位置，转弯行程一般为空行行程。

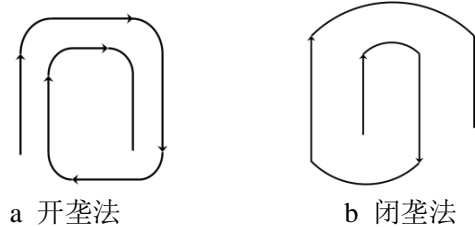


图 1 直行法中常见工作行程路线图

3.13

农机转弯方式 agricultural machinery turning mode

梨形转弯、半圆形转弯和弓形转弯是农机作业中最常见的转弯方式。

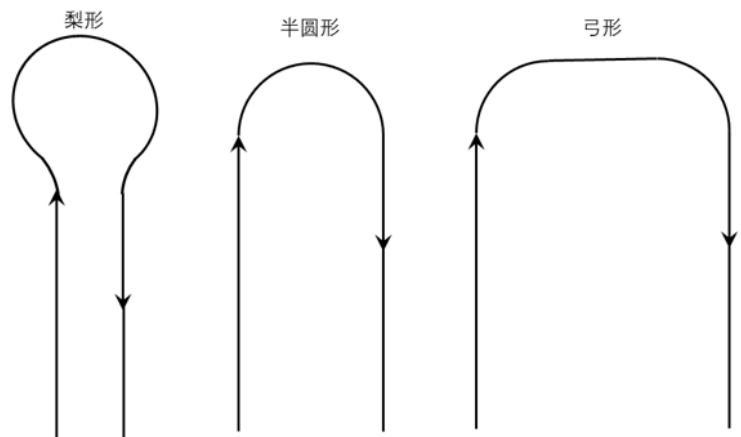


图 2 农机常见转弯方式

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 5.4 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 4.4.2 规定。
- 4.1.4 无人农机的机载终端能够采集农机的类型、油量、速度和位置等参数。
- 4.1.5 无人农机传感器系统应能够农机定位、检测障碍物相对位置（形态、运动状态）。
- 4.1.6 无人农机的通信模块能够和任务分配管理平台相互交换数据。
- 4.1.7 任务分配管理平台的开发和测试应符合 GB/T 19003-2008 中 7.3 的规定。

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、农场和农时信息，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 3 规定。

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，对于具体的农机，例如旋耕机，还应该考虑耕深一致性等指标。

4.1.13 任务分配管理平台可参考 GB/T 31455.1-2015 中第 3-5 部分，满足农机调度的车载信息终端、车载外围设备、终端中心接口规范等。

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 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、方便操作，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 中 4 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	$\leq 0.1\%$
2	通信时滞	$\leq 0.5s$
3	作业重叠率	$\leq 0.8\%$
4	作业遗漏率	$\leq 0.5\%$
5	地头转弯消耗时间	$\leq 15s$

4.4 使用信息要求

使用说明书的编制应符合 GB/T 9969-2008 的规定，内容完整正确，至少应包括以下内容：

- a) 软件的特点及主要用途；
- b) 注册和登录方法；
- c) 用户界面说明；
- d) 农业数据格式、网络传输带宽要求等；
- e) 农业数据录入、编辑和管理方法；
- f) 生产数据的统计和分析方法；
- g) 常见问题和解决方法；
- h) 软件更新和升级方法；
- i) 技术支持联系方式和渠道。

5 多机协同作业任务分配建模要求

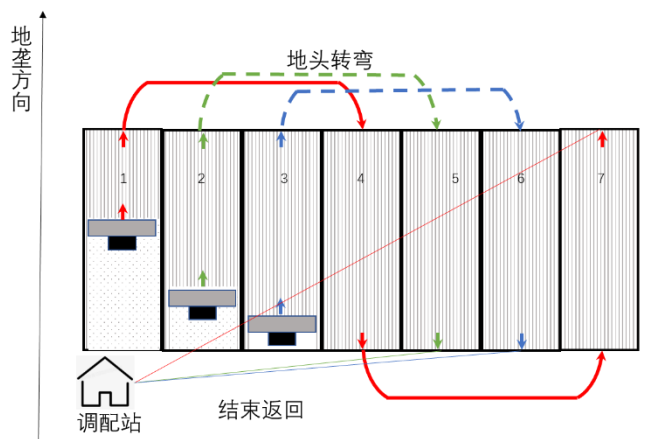


图3 农机工作示意图

5.1 基本原则

基本原则应符合下列要求：

- (1) 农田任务的位置、几何参数和农机的性能参数已知。
- (2) 多机多农田任务协同作业任务分配
- (3) 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。
- (4) 已知农机的转弯方式，如梨形、鱼尾形和弓形等。
- (5) 已知农机作业工艺路线类型，如直行法、绕行法和斜行法等
- (6) 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、农田位置信息以及农机的行驶路径等。

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 、以及可识别障碍物的尺寸等。

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、路程、完成任务所需时间以及农机利用率等因素建立多机协同代价函数，并以代价函数最小为优化目标，例如

$$\min(f) = \alpha [\max(t_i), \sum_{i=1}^m c_i, t_w, -\xi, \sum_{i=1}^m s_i, Z_a, \sum_{i=1}^m e_i, U_m] \cdots \cdots (5-1)$$

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;

t_w ----完成任务所需时间, h;

ξ ----农机工作效率, $\sum_{i=1}^m t_i / t_w$;

Z_a ----完成任务所需要的时间, h;

e_i ----作业效率, 亩/h;

U_m ----农机利用率, %。

5.5 农机多机协同作业的约束

考虑农机从出发点出发, 作业结束回到出发点的约束、每个农田任务只能由一台农机访问一次的约束、以及多台农机在同一地头转弯时不能产生冲突的约束等。

6 检测方法

6.1 试验条件

6.1.1 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, 通信丢包率小于等于 0.3, 延时小于等于 2 秒。

6.1.2 试验用地理测绘设备

手持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, 设备测角精度小于等于 2 秒, 续航时间大于等于 14 小时, 放大倍数 30X 左右。

6.1.3 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 检测方法

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。

图 4 给出了常见的矩形田块、平行四边形田块和带 3 个直角的五边形田块, 以 x 轴方向逆时针旋转设置田块边的序号, 则田块信息: $F_1 = \{(L_1^1, 0^\circ), \{L_2^1, 90^\circ\}, \{L_3^1, 0^\circ\}, \{L_4^1, 90^\circ\}\}, F_2 = \{(L_1^2, 45^\circ), \{L_2^2, 120^\circ\}, \{L_3^2, 45^\circ\}, \{L_4^2, 120^\circ\}\}, F_3 = \{(L_1^3, 0^\circ), \{L_2^3, 90^\circ\}, \{L_3^3, 135^\circ\}, \{L_4^3, 0^\circ\}, \{L_5^3, 90^\circ\}\}。$

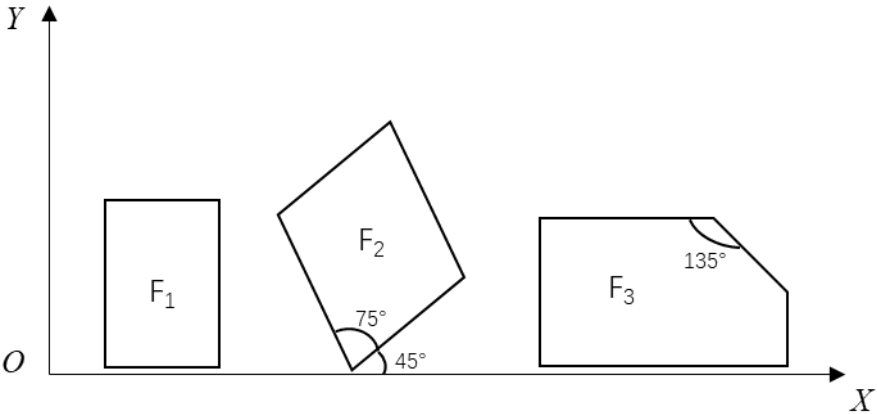


图4 农田几何信息表示

农机在地块第*i*条边上的转弯数量为

$$N_i = \frac{|\sin(\theta - \varphi_i)|L_i}{2w} \dots\dots\dots (6-1)$$

农机在整个地块的转弯数量为

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{|\sin(\theta - \varphi_i)|L_i}{2w} \dots\dots\dots (6-2)$$

农机的平均转弯数量为

$$\bar{N} = \frac{N}{S} \dots\dots\dots (6-3)$$

式中：

S----总作业面积，单位为平方米(*m*²)。

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 <i>l</i> ，单位为米(<i>m</i>)
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）

注：*R*_{min}为农机最小转弯半径，单位为米(*m*)；*W*为农机作业幅宽，单位为米(*m*)。

农机的平均转弯路径长度为

$$\bar{l} = \frac{l}{S} \dots\dots\dots (6-4)$$

式中:

S ---总作业面积, 单位为平方米(m^2)。

6.2.3 农机平均行驶路程测定

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

$$s_i = \sum_{j=1}^n s(a_i, T_j) x(a_i, j) + \sum_{l=1}^n s(a_i, T_l) x(a_i, l) + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n s(a_i, T_j T_k) x(a_i, jk) \dots \dots \dots (6-5)$$

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

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^m s_i}{S} \dots \dots \dots (6-6)$$

式中:

S ---总作业面积, 单位为平方米(m^2);

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 , 单位为升(L), 主要包括路上的油耗、田间调头的油耗和直行作业的油耗。

$$c_i = \frac{s_i}{v_i} c_{vi} + \sum_{j=1}^n k_{ij} t_{ti} c_{vi} y(a_i, j) + \sum_{j=1}^n \frac{s_j}{w_i} c_{wi} y(a_i, j) \dots \dots \dots (6-7)$$

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

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

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

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^m c_i}{S} \dots\dots\dots (6-8)$$

式中:

S ----总作业面积, 单位为平方米(m^2);

m ----农机台数。

6.2.5 农机平均耗时测定

农机 a_i 完成任务的时间为 t_i , 单位为秒(s), 主要包括路上时间、直行作业时间和田间调头时间。

$$t_i = \frac{s_i}{v_i} + \sum_{j=1}^n \frac{s_j}{w_j} y(a_i, j) + \sum_{j=1}^n k_{ij} t_{ti} y(a_i, j) \dots\dots\dots (6-9)$$

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 个农机在第 j 块农田作业行数;

$\lceil \quad \rceil$ ----向上取整运算符。

农机的平均耗时为

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{S} \dots\dots\dots (6-10)$$

式中:

S ----总作业面积, 单位为平方米(m^2);

m ----农机台数。

6.2.6 作业遗漏率

$$\varepsilon = \frac{S_m}{S} \dots\dots\dots (6-11)$$

式中:

S_m ----作业遗漏面积, 单位为平方米(m^2);

S ----总作业面积, 单位为平方米(m^2)。

6.2.7 作业重叠率

$$\eta = \frac{S_o}{S} \dots\dots\dots (6-12)$$

式中:

S_o ----作业重叠面积, 单位为平方米(m^2);

S ---总作业面积，单位为平方米(m^2)。

6.2.8 地头转弯消耗率

$$\sigma = \frac{S_t}{S} \dots\dots\dots (6-13)$$

式中：

S_t ---地头转弯消耗面积，单位为平方米(m^2)；

S ---总作业面积，单位为平方米(m^2)。

6.3 农业机器人协同作业任务分配判定方法

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3 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