

团 体 标 准

无人农场 智能农机自主作业数字地图构建 技术规范

Unmanned farm-Technical specification for digital map construction for
autonomous operation of intelligent agricultural machines

（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 发布
中国农业机械学会

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：崔宏伟、马淏、王琳、赵博、李倩文、姬江涛、赵凯旋、金鑫、李保忠、陈永、李国强、李连豪、周利明、张开、贺智涛、王小飞、费东阳。

本文件为首次发布。

无人农场 智能农机自主作业数字地图构建 技术规范

1 范围

本标准规定了无人农场智能化情景重建技术的术语和定义、一般性规范、技术要求、情景重建方法、数字地图性能要求和应用效果评价等内容。

本标准适用于无人农场建设的技术设计、作业实施，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 7931-2008 1:500 1:1 000 1:2 000 地形图航空摄影测量外业规范

GB/T 15661-2008 1:5 000 1:10 000 1:25 000 1:50 000 1:100 000 地形图航空摄影规范

GB/T 17160-2008 1:500 1:1 000 1:2 000 地形图数字化规范

GB/T 27920.1-2011 数字航空摄影规范 第1部分：框幅式数字航空摄影

GB/T 33178-2016 国家基本比例尺地图 1:250 000 1:500 000 1:1000 000 正射影像地图

GB/T 36100-2018 机载激光雷达点云数据质量评价指标及计算方法

GB/T 41447-2022 城市地下空间三维建模技术规范

CH/T 8024-2011 机载激光雷达数据获取技术规范

CH/T 3023-2019 机载激光雷达数据获取成果质量检验技术规程

CH/T 9008.2 基础地理信息数字成果 1:500 1:1000 1:2000 数字高程模型

NY/T 3892-2021 农机作业远程监测管理平台数据交换技术规范

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、装备、机械等远程控制或机器人的自主决策、自主作业，实现农场种植、管理、收获等环节的一种全天候、全过程、全空间的无人化操作。

3.2

农场数字地图 farm digital map

将农田、农作物、设施设备等相关信息通过地理信息系统等技术进行数字化处理和呈现的地图。

3.3

农场远程监控 farm remote monitoring

通过网络连接和传感器技术，实时监测农机的状态、位置和作业进度，以便远程控制和管理。

3.4

坐标系统 coordinated system

通过引入坐标轴、坐标平面或坐标空间，以一个参考点（原点）为基准，来确定每个点的位置。

3.5

农田感知传感器 farm sensing sensor

用于检测和感知农田环境中某种物理量或现象的设备，能够将这些信息转化为可用的电信号或数据。

3.6

农田场景 farm scene

指与农业活动和农田环境相关的各种元素和活动，涵盖了农田、畜牧、农业设施、农业机械作业的各种情境。

3.7

农机自主作业 agricultural machinery operates autonomously

农业生产中，利用先进的自动化、传感器、导航和控制技术，使农机能够在没有人工操控的情况下，完成各种作业任务。

3.8

作物分布图层 crop distribution layer

在数字地图上显示不同作物种植区域的图层，用不同颜色或标记标识各种作物的分布情况。

3.9

道路地形特征 road terrain feature

将农田内的道路、小路、通道等信息映射到数字地图上，将地图上的地形信息集成到道路模型中，帮助农机在不同地形条件下进行导航和作业。

4 一般性规范

4.1 坐标系统

4.1.1 无人农场地图测绘应采用WGS 84全球坐标系统，如若在具体应用中，根据地理区域和要求需要使用不同的坐标系统，应使用由国家批准的坐标转换关系。

4.1.2 WGS 84 全球坐标系统使用地球表面的经度和纬度来表示点的位置。经度表示东西方向，范围从-180°~+180°，纬度表示南北方向，范围从-90°~+90°。

4.1.3 无人农场数字地图测绘日期采用公元纪年，时间采用北京时间。

4.2 传感器的选择与搭载

4.2.1 本标准中涉及的农田感知传感器应具备高精度、高分辨率的特性，其中激光雷达可用于检测到地面高度、地形变化以及障碍物，测距精度不低于 5 mm，相机可用于识别作物类型、生长状态以及病虫害等信息，相机成像探测器的分辨率不低于 2000 万像素。

4.2.2 相机应安装在飞行器的机身底部或侧部，需要配备稳定的平台以确保图像的稳定性；激光雷达应安装在飞行器底部，通过向地面发射激光脉冲并测量返回的时间来获取高度数据，传感器的搭载位置应考虑飞行器的平衡和稳定性，以确保农田信息的全面获取。

4.3 航空影像数据测量

4.3.1 航空影像数据采集的技术要求应符合《1:500 1:1 000 1:2 000 地形图航空摄影测量外业规范》GB/T 7931-2008、《数字航空摄影规范 第 1 部分：框幅式数字航空摄影》GB/T 27920.1-2011 的规定。

4.3.2 数据采集

a) 任务准备，飞行器应具备精确定位自身的位置和姿态的能力，具有足够的飞行时间和续航能力，能够支持数据采集任务的全过程。在航空摄影中，由于飞行器的高速移动，相机最高快门速度不应低于 1/1000 秒，相机镜头应为定焦镜头，且对焦无限远，以确保影像清晰度。对所选相机进行内参数标定，以获取镜头畸变参数和其他几何参数；确定相机的外参数，包括相机位置、姿态、焦距等，以用于后续的影像几何校正。

b) 地面控制点标定，在采集区域内，选择一些已知地理位置的点作为控制点。这些点应该广泛分布于整个区域，以确保影像校正的准确性。利用 GPS 或 GNSS 设备在选定的控制点上实地测量，获取其准确的地理坐标。这些地理坐标应该是绝对准确的参考值。

c) 航线规划，采集影像数据的区域应包括所有关键地理要素，根据飞行高度和影像分辨率，规划航线的布局，航线一般应为平行线，旁向重叠率和航向重叠率不应低于 60%，以保证影像之间有足够的共同区域用于匹配和建模。航线规划应符合《1:5 000 1:10 000 1:25 000 1:50 000 1:100 000 地形图航空摄影规范》GB/T 15661-2008 的摄影质量要求规定。

d) 执行航线任务，确保飞行器的各项设备，包括飞行控制系统、GNSS 接收器、IMU、遥控器，和相机工作正常后，按照飞行条件设定起飞进行影像数据的采集，持续关注飞行情况，监测设备的工作状态，及时发现并报警故障情况，以便采取应对措施。

4.3.3 数据要求

a) 航空摄影获取的影像质量应符合《国家基本比例尺地图 1:250 000 1:500 000 1:1000 000 正射影像地图》GB/T 33178-2016 的规定。数字高程影像应按《基础地理信息数字成果 1:500 1:1000 1:2000 数字高程模型》CH/T 9008.2 的规定。

b) 影像应能够清晰地显示地面上的细小地物，能够提供足够的立体视觉信息，以支持建立清晰的立体模型；影像质量在整个区域内应保持一致，应避免影像拼接和处理时的不连续性。

c) 航空影像航线文件记录了航线路径、GPS 坐标、飞行高度、拍摄间隔、航线方向、GNSS 校准信息以及 IMU 参数。

4.4 激光雷达航空数据测量

4.4.1 机载激光雷达航空数据采集的技术要求应符合《机载激光雷达数据获取技术规范》CH/T 8024-2011 的规定。

4.4.2 数据采集

a) 控制点测量。控制点坐标系为 WGS84 大地坐标, 高程为大地高, 在 1:500 地形图中, 要求至少 10km 半径一个基站, 可架设多基站。

b) 基站架设。基站架设于已知控制点后进行严格的对中和整平; 天线高测量采用量斜高方式, 分别从脚架三个空档(互成 120°)测量天线高量测基准面(测高板)至控制点中心标志面的距离, 读数精确至 1mm, 互差应小于 3mm, 最后取平均值作为天线高。

c) 航线规划。根据精度和现场测区情况, 确定安全作业飞行高度、航高及带宽, 再根据激光雷达测程, 以点云旁向重叠度不低于 50%, 确定雷达点频; 通过调整扫描转速, 尽量让航向点间相近, 最终得到一个合适的扫描转速。航线需遵循由远到近, 由高到低, 由繁到简的原则, 确保飞行器充分覆盖所需的区域, 避免遗漏或重复采集数据。

d) 执行航线任务。确保飞行器和激光雷达设备都处于良好工作状态后, 按照飞行参数设定起飞进行激光雷达数据采集, 重点监测 GNSS 定位精度和稳定性, 确保飞行器的位置和姿态信息准确, 需要特别注意当前天气状况, 并根据实际情况及时解决问题。

4.4.3 数据要求

a) 机载激光雷达获取的点云质量应符合《机载激光雷达数据获取成果质量检验技术规程》CH/T 3023-2019、《机载激光雷达点云数据质量评价指标及计算方法》GB/T 36100-2018 的规定;

b) 点云数据一般采用 LAS 格式, 可以存储点的坐标、强度、分类等信息, 也可结合特定的数据结构和元数据以二进制格式存储。

c) 机载激光雷达航迹文件记录了每个点云数据的采集时间即时间戳、位置信息、姿态信息、激光雷达参数及点云数据。

5 技术要求

5.1 数据内容要求:

5.1.1 农田场景分类

在无人农场重建中, 地物的分类按照精度的要求将其分为三大类。

a) 一级地物。指分辨出作物分布图层、植被健康状态、行间空地和杂草。应分辨出不同种类的作物, 如小麦、玉米、水稻等; 检测出植被应力、病害等, 还应检测出农田中未种植的区域以及杂草覆盖情况。

b) 二级地物。指分辨出主要作物类型、土地利用情况、道路地形特征。应分辨出主要的农作物种类, 但无法细分品种; 可以识别农田、道路、建筑物、水体等不同类型的地物。

c) 三级地物。指分辨出总体农田类型, 土地覆盖类型。应区分出农田区域, 但不需要识别具体的农作物种类; 应识别土地的基本覆盖类型, 如植被、非植被。

5.1.2 农田场景几何结构

农田场景的几何结构应满足下列要求:

a) 悬浮物处理。场景中避免非正常的地表上下悬浮物出现在建模中, 植被、电线、通讯塔等可能存在的建模不完整导致的悬浮情况需要根据实际情况处理。

b) 空洞处理。建模中的未填充空间, 如没有闭合的建筑物内部、没有填充的植被区域等。这些空洞可能影响无人农场数字地图的真实感和表现效果, 尤其是在一些应用场景中。需要根据实际情况, 进行适当的修复和填充。

c) 近河区域建模处理。将近河区域与陆地连接部分建模, 可以根据实际水面纹理进行补充, 保证分块

之间的接缝处自然过渡。

5.2 数据安全性要求：

农场远程监控的数据安全技术符合《农机作业远程监测管理平台数据交换技术规范》NY/T 3892-2021的规定。

5.2.1 数据分类与标记

应将农场数据按照敏感程度分为机密和公开两类，对数据进行标记，标识其安全级别和访问权限。

5.2.2 数据传输

在数据传输过程中应使用加密协议，通过安全通信协议传输敏感数据。

5.2.3 数据备份与恢复

应定期进行数据备份，并将备份数据存储在安全的地方；建立恢复计划，确保数据损坏时能够迅速恢复。

5.3 数据时序性要求：

5.3.1 数据采集时序要求

应规定数据采集的时间表和频率，确保数据能够按时采集；定义不同数据类型（如影像、气象数据等）的采集时间要求。

5.3.2 数据传输时序要求

应规定数据传输的频率和时段，以确保数据及时传送到农场中心系统或云端，确保数据传输不会对网络带宽和系统性能造成过大负担。

5.3.3 数据处理时序要求：

应设定数据处理的截止时间，以确保数据在采集后能够及时进行处理和分析。针对实时性要求高的应用，如灾害监测，确保数据能够在最短时间内处理完成。

6 数字地图重建方法

6.1 数据预处理

6.1.1 影像预处理

a) 影像质量评估。确保飞行数据中的影像与 POS 数据一一对应，检查影像的色彩、亮度、对比度等，若将影响到三维模型的精度，对原始影像进行去噪、边缘增强、亮度和对比度调整等预处理操作，提高影像质量。

b) 投影和坐标转换。将影像数据投影到统一的坐标系，并进行坐标转换，确保影像的一致性。

c) 对影像中可能存在的镜头畸变进行校正，减少影像中的形变和失真。

6.1.2 点云预处理

a) 去除离群点。检测和去除可能是由噪声、误差或其他异常因素引起的离群点，确保点云数据的准确性。

b) 点云滤波。使用滤波算法对点云进行降噪，平滑或保留感兴趣的特征，提高点云数据的质量和可用性。

c) 点云配准。对不同时间或不同传感器采集的点云数据进行配准，将它们在同一个坐标系中对齐，获

得一致的地理参考。

6.2 数据处理

6.2.1 影像特征提取。对航空影像进行影像匹配，提取影像中的特征点、角点等；利用影像匹配、特征点、地面控制点等信息进行束法平差计算，从束法平差计算的结果中提取相机的内参数（如焦距、主点位置）和外参数（相机位置、姿态），根据计算得到的相机参数，进行影像的畸变校正和几何校正，生成地理准确的正射影像。

6.2.2 点云特征提取。对点云数据进行特征提取，如法线、曲率、表面法线等。特征点提取算法包括基于几何形状和邻近关系的方法。

6.2.3 点云-影像对齐。将影像中提取的特征点与点云中的特征点进行匹配，一般匹配算法包括最近邻匹配、KD-Tree。

6.3 地图重建

6.2.4 使用点云数据进行表面重建，将离散的点云转换成连续的三维模型表面。一般包括基于三角网格的重建方法，如 Delaunay 三角化、Poisson 重建。三维建模的技术应符合《城市地下空间三维建模技术规范》GB/T 41447-2022 的规定。

6.2.5 纹理映射。将高分辨率的航空影像投影到模型表面，赋予模型以真实的纹理。

6.2.6 模型优化。对模型进行细化和优化，包括平滑化、边缘细化、局部特征增强等操作，确保符合 5.1.2 的要求。

7 数字地图性能要求

7.1 地理空间范围

数字地图应覆盖无人农场的整个地理范围，包括农田、建筑物、道路、水体等要素。地理空间范围应足够大，以满足农场内各个区域的需求。同时地图的空间分辨率应足够细致，能够捕捉到农田、植被、建筑物等细节信息，便于农机自主作业，具体符合条件应按表 1 的规定。

表 1 数字地图地理空间范围性能要求

单位为米

比例尺	1:500	1:1000	1:2000
地面分辨率	0.02	0.05	0.1

7.2 高程覆盖范围

无人农场数字地图应包含地表的高程信息，以支持地形分析等任务。高程数据应涵盖整个农场区域，包括地势起伏、坡度、高等信息，地形类别按坡度划分为四类，具体符合条件按表 2 的规定。

表 2 地形类别

单位为度

地形类别	地面坡度 (θ)
平地	$\theta < 2$
缓坡地	$2 < \theta < 15$
中坡地	$15 < \theta < 30$
陡坡地	$\theta > 30$

7.3 时间覆盖范围

数字地图的时间覆盖范围取决于实际需求，应定期更新地图数据，以反映不同时间点的农场情况。时间覆盖范围应涵盖不同季节、年份的变化，根据不同作物的生长状态，数字地图的更新频率具体按表 3 要求，以便更好的反映农田的实际情况。

表 3 数字地图更新频率

作物全生长时期	数字地图更新频率	农田管理措施
休耕期	每月一次或每季度一次	土地清理、休整
播种期	每月一次或每两周一次	反映不同作物种植情况，包括作物类型、播种密度
生长期	每两周一次	跟踪作物生长进展，包括生长状态、病虫害情况。
收获期	每一周一次	反映不同作物收割情况，包括作物收获状态和产量

8 农田数字地图应用评价方法

8.1 精度验证

与实地调查、GPS 数据等进行比较，地图中地物的位置、尺寸等信息的准确性应符合《1:500 1:1 000 1:2 000 地形图数字化规范》GB/T 17160-2008 的规定。

8.1.1 地物位置和尺寸误差测定

农田数字地图构建成功后，在农田内选择一些标志物进行实地测量，使用测量仪器（如 GPS、激光测距仪、）分别测定地物的坐标、尺寸，将测量数据与数字地图中对应的地理数据进行比较，按式（1）和公式（2）进行计算，分别测量 3 次取平均值作为该地物坐标和尺寸测定结果。

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n (P'_{i(x,y)} - P''_{i(x,y)})}{n} \#(1)$$

式中：

- P 地物坐标误差，单位为度（"）；
- P' 地物实际测量坐标，单位为度（"）；
- P'' 地物在数字地图中的坐标，单位为度（"）；
- n 选择的地物数量，单位为个；
- x 坐标位置中的经度；
- y 坐标位置中的纬度。

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n (A'_{i(a,b,c)} - A''_{i(a,b,c)})}{n} \#(2)$$

式中：

- A 地物尺寸误差，单位为厘米（cm）；
- A' 地物实际测量尺寸，单位为厘米（cm）；
- A'' 地物在数字地图中的尺寸，单位为厘米（cm）；

n 选择的地物数量，单位为个；

a 尺寸中的长度；

b 尺寸中的宽度；

c 尺寸中的高度。

8.1.2 地物高度误差测定

农田数字地图构建完成后，在地图中选择一些已知高程的地面控制点，采用高程测量仪器（如 GPS、全站仪、激光测距仪）测量地物的高度，将测量数据与数字地图中的高程数据进行比较，按式（3）进行计算，分别测量 3 次取平均值作为该地物高程测定结果。

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n (H' - H'')}{n} \#(3)$$

式中：

H 地物高程误差，单位为厘米（cm）；

H' 地物实际测量高程，单位为厘米（cm）；

H'' 地物在数字地图中的高程，单位为厘米（cm）；

n 选择的地物数量，单位为个。

8.1.3 地形坡度误差测定

测定地形坡度误差在 8.1.2 节和 8.1.3 节的基础上是更进一步精确测定，是确保数字地图准确性的重要步骤之一。在不同位置使用测量仪器获取地物实际高程数据之后，采用式（4）计算地形坡度，然后再按式（5）计算其与数字地图中的坡度的差异。

$$g = \arctan\left(\frac{\Delta H}{\Delta d}\right) \#(4)$$

式中：

g 地形坡度，单位为度（°）；

H 地物高程，单位为厘米（cm）；

d 水平距离，单位为厘米（cm）；

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n (G' - G'')}{n} \#(5)$$

式中：

G 地形坡度误差，单位为度（°）；

G' 地形实际测量坡度，单位为度（°）；

G'' 数字地图中计算的地形坡度，单位为度（°）；

n 选择的地形数量，单位为个。

8.1.4 检验规则

在满足本文件 5.1.2 的条件下，数字地图构建的质量指标应符合表 4 的规定。

表 4 数字地图构建质量指标

序号	项目名称	质量指标要求	实验方法对应的条款号
1	地物坐标误差	$\leq 20''$ （道路、建筑物）； $\leq 10''$ （其他地物）	8.1.1
2	地物尺寸误差	$\leq 10\text{cm}$	8.1.1
3	地物高度误差	$\leq 15\text{cm}$	8.1.2
4	地物坡度误差	$\leq 5^\circ$	8.1.3

8.2 地物分类

地物分类准确率按式（6）计算：

$$accuracy = \frac{p_{ii}}{p_{ii} + p_{ij}} \times 100\% \text{ (6)}$$

式中：

accuracy 地图内地物的分类准确率，单位为（%）；

p_{ii} 实际类别为*i*、数字地图中的类别也为*i*的数目，单位为个；

p_{ij} 实际类别为*i*、数字地图中的类别也为*j*的数目，单位为个。

数字地图中农田场景及相应的目标地物（如农田、建筑物、道路等）分类准确率应至少满足表 5 中二级地物分类。

表 5 不同级别地物分类准确率指标

种类	地物级别	分类准确率
农作物种类	一级	≥98
	二级	≥90
	三级	≥85
植被病虫害	一级	≥95
	二级	≥90
	三级	≥82
杂草	一级	≥95
	二级	≥90
	三级	≥82
建筑物	一级	≥95
	二级	≥92
	三级	≥85
道路	一级	≥95
	二级	≥92
	三级	≥85
水体	一级	≥95
	二级	≥92
	三级	≥85
农机	一级	≥95
	二级	≥90
	三级	≥85

8.3 拓扑关系验证

检查地图中地物之间的拓扑关系，如道路连接、建筑物位置等是否符合实际情况，模型质量要求应符合《城市地下空间三维建模技术规范》GB/T 41447-2022 的规定。

