引文格式：闫明阳,涂琴,童秋英,等. “天—空—地—网”耕地保护监测预警系统建设研究与实践[J]. 地理空间信息, 2025, 23(11): 115-119. doi: 10.3969/j.issn.1672-4623.2025.11.025

“天—空—地—网”耕地保护监测预警系统建设研究与实践

闫明阳[1]，涂　琴[1*]，童秋英[1]，谭仁春[1]，余　健[1]，易　梅[2]
（1. 武汉市自然资源和规划信息中心，湖北 武汉 430014；2. 武汉市测绘研究院，湖北 武汉 430022）

摘　要：“仓廪实，天下安”，耕地保护是“国之大者”。针对现有耕地保护工作存在的监测不及时、管理手段单一、责任落实难等问题，按照打造“前端‘天—空—地—网’智能发现+中端应用软件精准预警+后端指挥中心自动派单”的建设思路，研究了基于多源数据的耕地保护监测预警关键技术，构建了铁塔视频“先吹哨”、卫星影像“月兜底”、无人机“重点巡”、网格员“智慧核”的全方位、全天候、立体化协同感知体系，研发了耕地保护监测预警系统，并在武汉市耕地保护管理工作中得到了应用实践，推动了耕地保护工作方式从被动整改到主动发现再到源头管控的转变。

关键词：“天—空—地—网”；耕地保护；智慧监测；实时预警
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）11-0115-05

Research and Practice on the Construction of Air-Space-Surface-Network Cultivated Land Protection Monitoring and Early Warning System

YAN Mingyang[1], TU Qin[1], TONG Qiuying[1], TAN Renchun[1], YU Jian[1], YI Mei[2]
(1. Wuhan Natural Resources and Planning Information Center, Wuhan 430014, China;
2. Wuhan Geomatics Institute, Wuhan 430022, China)

Abstract: “Only when granaries are full can the country be secure.” The protection of cultivated land is a “national priority”. Aiming at the problems in the current cultivated land protection work, such as untimely monitoring, simplistic management methods, and difficulties in implementing responsibilities, in accordance with the construction concept of creating a system of “intelligent discovery through the front-end Air-Space-Surface-Network+precise early warning through mid-end application software+automatic order dispatching by the back-end command center”, we studied the key technologies of cultivated land protection monitoring and early warning based on multi-source data, established a comprehensive, all-weather, and three-dimensional collaborative sensing system, featuring iron tower videos for “first alerts”, satellite images for “monthly coverage”, UAVs for “focused patrols”, and grid managers for “intelligent verification”, and developed a monitoring and early warning system for cultivated land protection and applied in the management of cultivated land protection in Wuhan City, which could promote the transformation of work mode of cultivated land protection from passive rectification to proactive detection and further to source control.

Key words: Air-Space-Surface-Network, cultivated land protection, intelligent monitoring, real-time early warning

粮安天下，耕地为基。耕地保护事关国家粮食安全和经济社会可持续发展，是稳定农业经济、全面推进乡村振兴的重要前提[1]。大数据、人工智能、5G、物联网、卫星遥感、无人机和视频监控等新技术的迭代更新，为开展高精度、实时化、智能化的耕地保护监测预警提供了技术支撑[2-4]。2020年自然资源部发布的《自然资源调查监测体系构建总体方案》提出构建“天—空—地—网”自然资源调查监测技术体系，实现对自然资源全要素、全流程、全覆盖的现代化监管[5]。围绕“天—空—地—网”监测体系构建，相关学者从多源感知网络构建[6-7]、信息自动化提取[8-12]、智能化监测平台建设[13-14]等方面开展了大量卓有成效的技术研究和工程化应用。本文以武汉市域范围内的现状耕地为研究对象，集成应用铁塔视频、卫星遥感、低空航摄、实地调查等多元技术手段以及大数据、人工智能、云计算等信息技术，探索构建“天—空—地—网”全方位、全天候、立体化的耕地变化监测预警工程化技术体系，以支撑违法违规占耕行为的早发现、早制止。

1　建设目标与内容

1.1　建设目标

以“数智化监测、网格化管理”为出发点，通过

项目来源：湖北省自然资源科技资助项目（ZRZY2025KJ21）。
第一作者简介：闫明阳（1990—），硕士，高级工程师，从事耕地保护、自然资源信息化研究工作，E-mail：ymygis@126.com。
通信作者：涂琴（1986—），硕士，正高级工程师，从事土地利用与管理研究工作，E-mail：doferdct@163.com。

研发武汉市“天—空—地—网”耕地保护监测预警系统，打造铁塔视频“先吹哨”、卫星影像“月兜底”、无人机“重点巡”、网格员“智慧核”的全方位立体化监测监管体系，通过人防与技防相结合，实现耕地保护全域全覆盖、全时全天候、协同高效处置的动态化管理，落实“零容忍”态势和“长牙齿”硬措施，支撑党委和政府耕地保护责任制考核以及市、区、街道、村多级和跨部门协同管护，全面提升耕地精细化、科学化和数智化治理能力。

1）铁塔视频“先吹哨”。依托铁塔基站资源，针对耕地变化重点区域建立视频监控站点，实现耕地全方位、全天候、实时化视频监控，构建耕地保护态势感知的“第一道防线”。

2）卫星影像“月兜底”。综合利用自然资源部季度卫片、年度国土变更调查和商业卫星影像资源，以月度为周期监测耕地变化，补充铁塔视频监控和无人机巡查盲区，确保耕地监管全覆盖、无死角。

3）无人机“重点巡”。基于无人机智能机巢和自动化巡检技术，在重点区域部署可远程控制、自动巡航、数据实时回传的无人机值守网络，发挥无人机全天候待命、快速响应、灵活机动的特点，对疑似耕地违法行为及其相关线索开展巡检、调查取证等靶向监测。

4）网格员“智慧核”。建立市、区、街道、村4级全覆盖的耕地保护网格巡查体系，基于短信、微信小程序等便捷化技术手段，实现“天—空—地”监测预警消息实时推送、任务派发、现场核查、线索上报，及时制止违法行为，打通耕地保护“最后一公里”。

1.2 建设内容

1）建设耕地保护数据资源体系。构建涵盖调查监测、规划管控、管理审批、执法督察等数据的耕地监测监管空间底座和数字账簿；研究建立赋码管理规则，对耕地图斑、视频探头、无人机和网格员进行一体化编码和关联映射，实现塔、机、人、地一一对应，助力耕地“码上智护”。

2）构建“天—空—地—网”立体协同监测网。结合铁塔点位分布和不同监测手段特性、成本、监控范围等，完成铁塔视频、无人机点位选址和建设，形成铁塔视频监控全天候实时捕获、无人机重点区域定点核实、卫星遥感影像每月提取图斑的多措并举监测技术体系。

3）研究耕地变化识别算法模型。研究具备空间变化识别和时序理解能力的耕地变化识别算法大模型，以“天—空—地—网”感知体系采集的监测数据为线索，利用纹理、语义等特征，通过深度学习算法模型实现对耕地“非农化”、“非粮化”行为的自动识别和智能预警。

4）研发“天—空—地—网”耕地保护监测预警系统。与“天—空—地—网”一体化感知设备对接，实现耕地监测多源信息采集、疑似耕地违法情况自动识别、智慧研判、预警响应、分类推送、整改处置的全面数智化管理，支撑问题及时发现和多方协同、闭环管理。

5）建立健全智慧耕保工作机制。建立市、区、街道、村以及耕保、执法、调查与农业、园林等跨层级、跨部门协同联动工作机制；设计线索处置工作流程；建立日报、周报、月报等统计和问题通报反馈机制；完善耕地保护工作考核体系，落实相关奖惩措施。

2 系统总体设计

2.1 系统架构设计

本文按照“基础设施—感知手段—数据资源—能力支撑—业务应用”的总体架构，利用“天—空—地—网”传感体系，基于物联网、互联网、光纤等网络通信研究视频目标识别、遥感影像解译、无人机高精度图像提取等AI人工智能技术，打造“全信息一图汇聚、全方位立体监测、全流程闭环管理、全环节指挥调度、全情景智慧决策”的武汉市“天—空—地—网”耕地保护监测预警系统。

1）基础设施层包括硬件、软件和网络基础设施。硬件包括算力资源和存储资源；软件包括数据库、中间件和Redis服务等；网络包括业务专网、4G/5G网络、互联网、光纤专网等，通过全覆盖数据传输网络将铁塔视频监控、遥感卫星和无人机的监测数据实时、高效、准确地传回系统进行分析处理。

2）感知手段层依托铁塔视频监控、遥感卫星和无人机等多源感知设备对违法占用、使用、损害耕地的一系列行为进行信息调度采集，为耕地违法监测提供立体化和全天候的数据供给源。

3）数据资源层集成了耕地现状、规划、监测和管理等相关数据，构建了全域“一张图”空间底账，全面支撑“以图管耕地”；同时通过建立视频样本数据库和卫星影像样本数据库，支撑视频行为智能监测和遥感影像自动解译算法的训练与识别。

4）能力支撑层作为耕地保护监测预警系统的智慧中枢，通过视频电子围栏技术、视频空间化技术、

视频行为智能监测与识别技术、视频重复预警优化算法、遥感影像自动解译提取算法和业务智能研判规则等分析感知层采集的实时监测数据，为耕地违法行为快速识别提供能力支撑。

5）业务应用层包括系统桌面端和微信小程序，以感知层和数据层为基础，结合业务需求，是充分利用物联感知监测数据的具体体现。通过打通与自然资源执法、行政审批和国土调查等系统数据的关联，实现违法占耕问题从发现到处置的全链条闭环管理，并与农业农村局相关系统对接，实现“非粮化”问题线索移交，强化耕地保护共同责任落实。

2.2　网络架构设计

武汉市“天—空—地—网”耕地保护监测预警系统桌面端运行涉及国土变更调查、空间规划、土地权属等涉密或敏感数据，部署在自然资源业务专网；而视频监控、无人机和系统小程序部署在互联网。为实现在自然资源业务专网中调用监控视频等互联网数据，需在自然资源业务专网与互联网之间部署安全网闸，并在核心交换机和安全网闸前端布设防火墙，通过安全策略配置和nat地址映射，实现互联网特定IP地址和端口数据资源的获取。互联网视频监控设备和无人机等在接收自然资源业务专网请求指令后，通过安全网闸“摆渡”的方式进行数据交换，向自然资源业务专网提供数据服务，实现在保障安全的前提下跨网络数据传输。

2.3　业务流程设计

预警处置流程分为自主发现、综合研判、现场核实、整改处置和变更/销号5个阶段。自主发现手段包括铁塔视频监控、无人机巡航、卫星影像定期监测和网格员实地巡查。在综合研判阶段，研判人员结合视频录像、实时视频、套合管理数据等对问题线索进行分析，过滤伪变化图斑，将属于合法合规变化和新增耕地图斑移交区局纳入年度国土变更调查；将属于疑似“非农化”“非粮化”和其他不确定图斑下发区局进行现场核实。核实后确属违法的图斑按职责分别移交执法部门和农业农村部门进行整改处置，将通过完善用地手续方式整改的图斑纳入变更调查后销号，对通过拆除复耕方式整改的图斑经市、区复核确认后销号。具体业务流程见图1。

3　系统功能实现

武汉市“天—空—地—网”耕地保护监测预警系统采用全分布式一级视频架构，设计了互联网、软硬

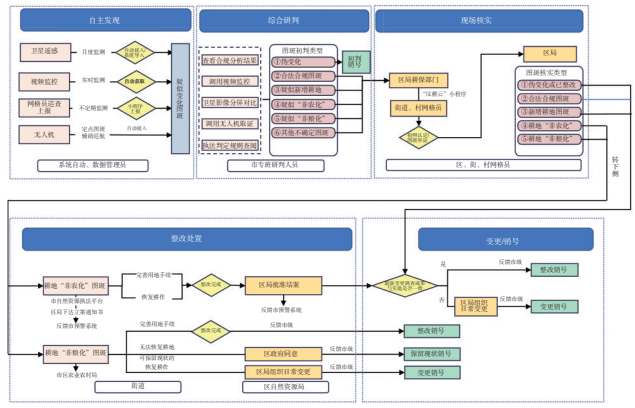


图1　业务流程设计

件解耦的分布式部署方案，实现视频服务的低延迟、高并发、弹性扩容[15]。在此基础上，接入基于“天—空—地—网”协同监测体系采集的多源数据，实现设备调度、云端智算、预警处置、图斑研判、整改监控、数据中心和外业核查7大子系统（图2）。

1）设备调度子系统负责管理铁塔球机视频、无人机等感知设备，包括设备添加、删除、检索、在线调度、离线检测等功能，支持矢量数据与前端视频感知数据的有效融合，形成视图联动展示。此外，系统集成地名地址服务，实现了基于任意地理位置的智能查询和周边设备调度。

2）云端智算子系统融合深度学习等AI算法，一方面基于铁塔实时视频实现对耕地电子围栏内违法施工、违规占用等目标物的实时检测、秒级预警，并通过视频空间化技术锁定违法位置、关联耕地编码、获取地块信息，对违法现场照片和视频进行存档，支持新告警弹框、语音播报和短信提醒；另一方面基于地物纹理特征时序变化的精准捕捉和分类辨识模型，实现卫星影像的自动解译与变化图斑提取。

3）预警处置子系统对视频实时监测、卫星影像定期监测以及网格员实地巡查发现的疑似问题图斑进行集中统一管理，可实现耕地变化类型一站式智慧研判、核实认定结果自动推送、处置整改工作全程留痕、销号变更闭环管理。若出现遮挡等难以辨识的情况，则在线调用无人机进行远程取证，助力智慧查。

4）图斑研判子系统通过接入上级土地卫片执法等数据，套合土地利用现状、永久基本农田、建设用地批复等，一键研判图斑占耕、占永久基本农田以及合法性情况，并自动搜索匹配周边视频摄像头，结合以地找视频、自动聚焦定位等功能，实现地块在视频画面上的叠加展示，查看实地实时现状，减轻外业核实工作量。

5）整改监控子系统通过设置预设位、拍摄时间和周期，对整改地块定时定点定期拍照监控，持续监测违法图斑整改进度和变化历程，一旦发生特定场景变化，及时预警，防止破坏耕地行为“死灰复燃”，以视频值守代替人工值守，确保整改全过程的精细化、高效跟踪管理。

6）数据中心子系统建立了市、区、街道、村4级责任田分布图，以图数一体的形式呈现各级耕地保护目标和永久基本农田保护任务，支持按任意时间段统计各区域预警和处置情况，分析违法热点区域，生成网格员履职考核报告，对未按时完成处置任务的人员自动发送短信督办提醒。

7）外业核查小程序以微信小程序为载体，开发外业核查应用工具，与“天—空—地—网”耕地保护监测预警系统桌面端联动，实现移动一张图、核实任务在线接收查阅、短信通知实时提醒、导航定位、现场核实拍照上传、整改恢复情况反馈等功能，并支撑日常巡田日志记录、违法占耕线索及时上报等应用。



图2 武汉市“天—空—地—网”耕地保护监测预警系统

4 系统建设特色

1）基于深度学习的视频目标检测技术，实现目标物自动识别。样本数据是实现智能识别的先验知识库，为实现耕地地面硬化、建（构）筑物、堆推土、种植果树苗木、坑塘水面和工程机械等疑似“非农化、非粮化”行为的自动识别，结合耕地卫片执法分类体系和判定规则，收集整理了20余万张典型视频样本，利用Labelme工具通过目标检测和语义分割两种方式对样本进行标注；同时针对视频中工程机械、堆推土等识别目标因分布稀疏、小目标多、尺度差异大、遮挡和场景复杂导致的现有目标检测算法精度低、漏检误检等问题，提出了一种基于改进YOLOv8的耕地变化智能检测模型（图3），通过Mosaic-9数据增强方式构建多样化目标样本集增强模型泛化能力，引入SKNet注意力模块提升特征提取能力，借助差错案例训练强化模型自学习能力，识别准确率提升了5.2%，误识别和漏识别率降低了14.5%。

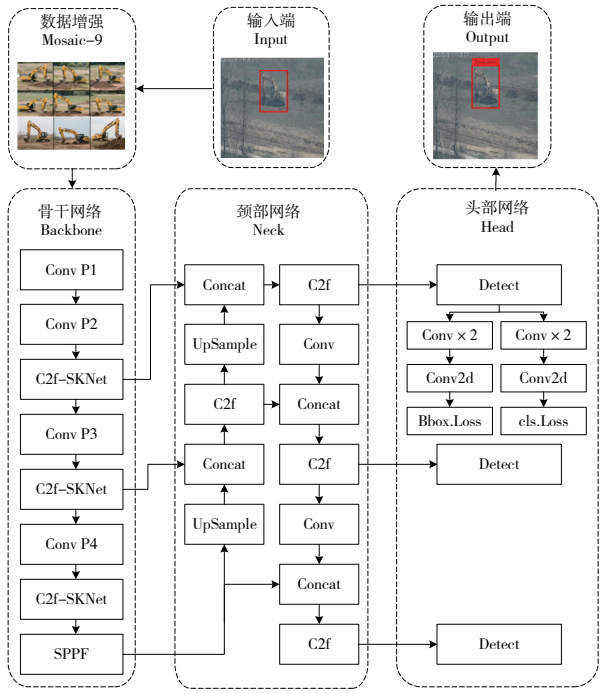


图3 改进的YOLOv8网络结构图

注：Conv为卷积层；P1～P4为特征层级；C2f-SKNet为引入SKNet注意力机制的C2f模块；SPPF为空间金字塔池化模块；UpSample为上采样层；Concat为特征拼接模块；Detect为检测头；Bbox.Loss为目标检测边界框损失函数；cls.Loss为目标检测分类损失函数。

2）应用视频电子围栏技术，实现对耕地地块的精准管控和有效保护。视频电子围栏基于摄影测量学与计算机视觉原理，结合DEM、摄像机地理坐标、安装高度、PTZ参数（水平转动、垂直转动、变倍缩放）和视域角等多源数据，构建融合地形畸变修正机制的透视变换模型，实现对现状耕地、永久基本农田等二维矢量数据与三维视频场景的深度融合与精准管控。围绕每一块耕地图斑边界动态生成视频电子围栏，当围栏内有挖掘机、铲车等工程机械车辆进入时，结合视频目标检测技术，自动触发预警系统，可有效屏蔽耕地以外的工程机械车辆，减少无效预警。

3）通过视频空间化技术，实现铁塔视频地理定位。视频数据具有实时、直观、立体的优势，但也因缺少地理属性，难以与业务管理数据深度融合[16]。在摄像机360°环视范围内，采集不同视角、不同焦距状态下均匀分布的视频图像，在每帧视频图像中选择特征点并准确测定其像素坐标；同时基于DOM和DEM分别确定与视频图像特征点对应的同名地物，精确获取其大地平面坐标和高程数据，构建至少4组同名点对，采用最小二乘算法求解视频图像坐标系与地理坐

标系之间的转换参数，建立地面点与视频帧图像点的转换映射关系模型，最终实现以视频找地和以地找视频的双向定位。

5 结 语

本文围绕耕地保护数智化监管，打造了铁塔视频“先吹哨”、卫星影像“月兜底”、无人机“重点巡”、网格员“智慧核”的全方位、全天候、立体化协同感知体系，构建了全息覆盖、精准发现、智能研判、联动处置、协同监管的“天—空—地—网”监测监管体系，设计了贯穿耕地变化自主发现—综合研判—现场核实—整改处置—变更/销号的全周期闭环监测监管工作流程，研究了视频目标检测、视频电子围栏、视频空间化等关键技术，研发了武汉市“天—空—地—网”耕地保护监测预警系统，实现了设备调度、云端智算、预警处置、图斑研判、整改监控、数据中心和外业核查等功能，并在武汉市耕地保护工作中得到了应用。依托该系统，累计触发告警事件1 437例，经实地核实后准确率为30.34%（违法违规行为及时制止案例48例、“非农化”违法占耕35例、“非粮化”占耕22例、合法合规建设331例），现场伪变化为1 001例，主要是工程机械翻耕、杂草清理、车辆短暂停放等情形。漏报率评估目前受限于数据完整性，需结合年度国土变更调查监测图斑开展长期追踪与交叉验证。在典型实践中，系统成功捕捉并预警新洲区徐古街、武汉经济技术开发区（汉南区）东荆街等区域多例占用永久基本农田挖塘、堆推土、种植果树苗木等破坏耕地行为，均通过快速响应机制及时制止。与传统人工巡查监测模式相比，“天—空—地—网”体系综合利用卫星遥感、无人机航测、地面物联网等多源监测手段，通过“天上看、空中巡、地上查”的立体化监测网络实现了高分辨率影像数据、实时动态信息与地面核查数据的优势互补，有效弥补了单一手段的技术短板。

本文构建的“天—空—地—网”耕地保护监测预警系统，打造了监测手段多样化、监测技术智能化、监管方式主动化、监管体系集成化、监管部门协同化的新型耕地保护监测监管格局，虽然初步实现了违法违规占耕行为的早发现、早制止，有效减少了耕地“非农化”“非粮化”流失风险，降低了整治成本；但在预警效能的精细化层面仍存在改进空间。未来应深入考虑将目标检测结果与场景语义分割结果进行时空关联，结合时序数据与动态分析，有效区分工程机械翻耕、车辆临时停放等正常农事活动与违法违规行为，从而显著降低冗余检测信息，有效提升目标检测的精准度与监测系统的实用效能。同时，如何以耕地为小切口，依托“天—空—地—网”感知体系，逐步提质扩面，实现自然资源全域全要素综合监管，为国土调查监测、执法监察、地质灾害防治、城市国土空间监测、土地开发利用、安全底线守护等多场景、多应用提供定制化感知、智能化分析应用，提升自然资源现代化治理水平，也需要进一步研究与探索。

参考文献

[1] 陈秧分,王介勇,张凤荣,等. 全球化与粮食安全新格局[J]. 自然资源学报,2021,36(6):1 362-1 380

[2] 吴洪涛. 自然资源信息化总体架构下的智慧国土空间规划[J]. 城乡规划,2019(6):6-10

[3] 谢鸣,任建福,李新东,等. 天空地网一体化技术服务自然资源调查监测[J]. 地理空间信息,2022,20(9):32-35

[4] 陈慧玲,董洋洋,邵珊珊,等. 土地资源视频监控系统技术规范研究[J]. 自然资源信息化,2025(4):33-40

[5] 自然资源部. 自然资源调查监测体系构建总体方案[EB/OL]. (2020-01-18)[2025-03-11]. http://www. gov. cn/zhengce/zhengceku/2020-01/18/content_5470398. htm

[6] 董胜光,肖海,唐芝青,等. 自然资源“天空地网”综合监测体系构建探索与实践[J]. 环境监测管理与技术,2023,35(6):5-9

[7] 裴小龙,高天胜,祝晓松,等. 基于空天地一体化的黑河流域自然资源要素综合观测网络构建[J]. 干旱区地理,2022,45(5):1 450-1 459

[8] 顾海燕,杨懿,李海涛,等. 高分辨率遥感影像样本库动态构建与智能解译应用[J]. 测绘学报,2024,53(6):1 165-1 179

[9] 李景文,韦晶闪,姜建武,等. 多视角监控视频中动态目标的时空信息提取方法[J]. 测绘学报,2022,51(3):388-400

[10] 余添添,吴松,唐芝青,等. 利用铁塔视频图像和改进YOLOv5的违规施工监测[J]. 地理空间信息,2024,22(4):45-48

[11] 王腾,孟小亮,蔡冠中,等. 自然资源视频监测目标检测关键技术研究与应用[J]. 地理空间信息,2024,22(3):47-50

[12] 丁乐乐,王珍,刘艳飞,等. 基于深度学习的土地违法施工场景监测研究[J]. 地理空间信息,2023,21(4):72-74

[13] 王震,王珍,丁乐乐. 自然资源违法实时在线监测平台设计与实现[J]. 地理空间信息,2023,21(6):35-38

[14] 刘耿,张晓琴,王立鹏,等. “三位一体”耕地保护视角下的智慧耕地管理信息系统设计与实现[J]. 自然资源信息化,2025(1):99-106

[15] 吴志雄,崔勇. 视频中台体系架构研究与设计[J]. 计算机工程与应用,2024,60(23):286-302

[16] 韩世静,苗书锋,郝向阳,等. 监控视频与地理信息融合技术发展综述[J]. 测绘通报,2022(5):1-6