引文格式：易尧华,周颖,於新国,等. 利用塔基视频的自然资源实景智能遥感监测[J]. 地理空间信息, 2025, 23(10):10-14. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.10.003

利用塔基视频的自然资源实景智能遥感监测

易尧华[1,2]，周　颖[1,2]，於新国[3]，甘朝华[4]，吴华意[5]，罗如意[6]

（1. 武汉大学遥感信息工程学院，湖北　武汉　430079；2. 自然资源部西南山地自然资源遥感监测工程技术创新中心，四川　成都　610100；
3. 湖北省地理国情监测中心，湖北　武汉　430071；4. 武汉大学资源与环境学院，湖北　武汉　430079；
5. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室，湖北　武汉　430079；6. 湖北交投科技发展有限公司，湖北　武汉　430034）

摘　要：塔基视频是指通过通信铁塔平台上搭载遥感成像设备获取的实时场景视频数据，塔基视频具有全天候实时获取特定场景信息的优点，可以为自然资源监测提供准确的空间数据与实时场景视频数据支撑。针对塔基视频监测在自然资源监测实际应用中存在联动性差等问题，根据摄像机成像原理与计算几何原理，提出基于塔基视频的自然资源实景智能遥感监测方法。通过通信铁塔所搭载的PTZ摄像机等传感器获取场景空间数据，实现场景视频与数字表面模型融合配准，建立视频要素与地理要素的空间关系，采用时序三维场景重建方法获得自然资源监测场景事件感知任务的精确时空数据。基于塔基视频的自然资源实景智能监测有效提升全天候实时感知能力，可以应用于国土空间规划中的变更调查、耕地智保等实际应用领域。

关键词：塔基视频；自然资源监测；实景智能感知；PTZ摄像机；国土空间规划

中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）10-0010-05

Intelligent Remote Sensing Monitoring of Natural Resource Real Scene Based on Tower-based Video

YI Yaohua[1,2], ZHOU Ying[1,2], YU Xinguo[3], GAN Chaohua[4], WU Huayi[5], LUO Ruyi[6]

(1. School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
2. Technology Innovation Center for Remote Sensing Monitoring of Natural Resources in Southwest China Mountains, Ministry of Natural Resources, Chengdu 610100, China;
3. National Geographical Conditions Monitoring Center of Hubei Province, Wuhan 430071, China;
4. School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
5. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
6. Hubei Communications Investment Technology Development Company, Wuhan 430034, China)

Abstract: Tower-based video refers to the real-time scene video data obtained by remote sensing imaging equipment mounted on the communication tower platform. Tower-based video has the advantage of obtaining specific scene information in real-time around the clock, and can provide accurate spatial data and real-time scene video data support for natural resources monitoring. In view of the poor connectivity of tower-based video monitoring in the practical application of natural resources monitoring, based on the principle of camera imaging and computational geometry, we proposed a natural resources real scene intelligent remote sensing monitoring method based on tower-based video. We used the PTZ camera and other sensors carried by the communication tower to obtain the scene spatial data, to realize the scene video and digital surface model fusion alignment and establish the spatial relationship between the video elements and the geographic elements, and used time series 3D scene reconstruction method to obtain the accurate spatio-temporal data of natural resources monitoring scene event perception task. The natural resources real scene intelligent remote sensing monitoring based on tower-based video can effectively improve the all-weather real-time perception capability, and be applied in practical application fields such as change survey and cultivated land intelligent protection in the territorial spatial planning.

Key words: tower-based video, natural resource monitoring, real scene intelligent perception, PTZ cameras, territorial spatial planning

自然资源调查监测作为保护和管理自然资源的重要手段，不仅为决策者提供了科学、准确的数据支持，还在促进可持续发展、生态环境保护等方面发挥着至关重要的作用。自然资源部《关于开展2023年上半年自然资源监测工作的通知》中强调“严守资源安全底线、优化国土空间格局、促进绿色低碳发展、维

项目来源：湖北省自然资源厅自然资源科技资助项目（ZRZY2024KJ01）；自然资源部西南山地自然资源遥感监测工程技术创新中心开放课题基金资助项目（RSMNRSCM-2024-01）；北斗定位定姿的视频流数据和交通数字孪生的实时融合与监测应用项目（2023-121-Z-3-2）。

第一作者简介：易尧华（1976—），博导，教授，研究方向为计算机视觉、空间场景感知等，E-mail：yyh@whu.edu.cn。

护资源资产权益”的自然资源工作定位，以满足国土变更调查日常变更、耕地保护及开发利用、生态保护修复、督察执法、林草保护等自然资源管理和生态文明建设需要。

塔基视频通过铁塔（如通信塔、电力塔、监控塔等）搭载的视频监控系统获取实际场景地表信息，具有不受云层遮挡等自然因素影响、全天候实时获取视频信息等特点[1-2]。塔基视频系统通常由高清摄像机、数据传输设备和智能分析系统软件等组成，通过提供高精度、高时效性的数据，为相关领域如精细农业[2]、生态保护[3]、公共安防[4]、城市规划[5-7]、灾害监测[8]的研究和决策提供重要支持。塔基视频监控技术有效弥补了卫星遥感实时性不足、分辨率低等缺陷，但在自然资源监测工作中仍存在监控范围有限、智能分析能力弱、目标空间定位不准等缺点[9]。随着三维地理信息系统（geographic information system，GIS）、计算机视觉等技术的发展，基于视频与地理场景映射的研究逐渐增多，旨在将视频与三维地理场景配准融合，使视频要素与地理要素建立空间关系。叶松[9]等通过视频流解码技术融合多路视频影响序列和三维模型，完成接边平滑过渡的视频纹理映射。伦更永[10]探讨了实景三维与视频融合技术，实现了实景三维场景实时动态可视化监控，并在核电智慧工地中进行了现场应用。陈光[11]等将视频片段按照时间线性参考对地理位置进行解算，集成视频与实景三维地理空间数据。

为有效提取自然资源视频数据，本文以通信铁塔所搭载的PTZ（Pan/Tilt/Zoom，镜头全方位/变焦/变倍）摄像机为主要成像探测手段，综合应用地理信息技术与计算机视觉技术，基于摄像机成像原理与计算几何原理，提出基于塔基视频的自然资源实景智能监测感知方法。通过通信铁塔所搭载的PTZ摄像机获取场景视频数据，结合场景数字表面模型实现场景视频与数字表面模型融合配准，建立视频要素与地理要素的空间关系，实现场景视频与数字表面模型的精确配准。为了获得自然资源监测场景事件的精确时空数据，本文采用了时序三维场景重建方法捕捉场景随时间的变化，为自然资源的监测提供了动态的、连续的三维数据支持。基于塔基视频的自然资源实景智能监测有效提升全天候实时感知能力，可以应用于国土空间规划中的变更调查、耕地智保等实际应用场景。

1　总体技术路线

基于塔基视频的自然资源实景智能监测方法，通过融合集成空间地理信息与计算机视觉技术，实现自然资源全面、精准、实时的监测与管理。总体技术路线如图1所示，本文方法主要可以分为以下三方面：塔基视频协同观测、时序三维场景重建及自然资源监测场景事件感知。

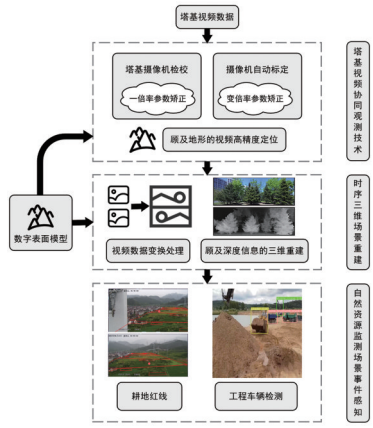


图1　总体技术路线图

1）塔基视频协同观测作为整个自然资源实景智能监测体系的数据基础，充分利用通信铁塔的高点优势，通过搭载布设PTZ摄像机获取大范围、多视角的实时监测视频数据。为实现高精度定位，本文提出PTZ摄像机不同倍率下的自动检校方法，并结合数字表面模型实现顾及地形的高精度定位方法。

2）时序三维场景重建将视频数据与三维地理场景相结合，通过计算几何与视频处理技术，实现了视频要素与地理要素之间的精确配准与融合。构建了监测区域的三维模型，并通过视频数据的快速变换处理，实现了时序三维场景的动态重建。

3）自然资源监测场景事件感知基于深度学习特定目标检测等AI算法对时序三维场景进行深入分析，自动识别并感知监测区域内的各类事件。这些事件可能包括耕地智保、变化检测等自然资源管理中的焦点问题。通过实时监测与预警，能够在事件发生时迅速响应，为管理者提供及时的决策信息。

2　塔基视频协同观测技术

塔基视频凭借其独特的技术优势及广泛的应用场景，在现代场景监控领域中扮演着至关重要的角色。塔基视频系统通过安装在通信铁塔的高点位置，实现更广泛的场景监控区域覆盖，但也使得视频定位精度有所下降。为满足自然资源监测场景的实际需求，本

文通过塔基摄像机检校、在线自动标定以及顾及地形的视频高精度定位，实现塔基视频与数字表面模型的坐标互转换，为塔基视频建立地理空间属性。

2.1 塔基PTZ摄像机检校

为实现自然资源典型要素的空间场景视频监测，首先需要建立监测区域地理数据与摄像机场景视频数据的空间对应关系，通过塔基摄像机检校技术可以实现摄像机的高精定位。

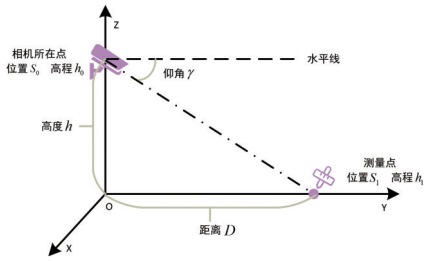


图2 摄像机俯仰角矫正示意图

为解决摄像机返回俯仰角信息存在的精度误差，首先进行PTZ摄像机的参数标定。通过PTZ摄像机所在位置到地面的准确高度，结合摄像机成像理论计算此时实际的俯角以修正误差。如图2所示，已知PTZ摄像机安装地点所在位置与高程，以及标志点所在的位置与高程，则安装地点与参考点之间的直线距离和实际的俯仰角的计算公式如下：

$$D=\left|S_1-S_0\right| \tag{1}$$

$$P=\tan^{-1}\frac{h_0-h_1}{D} \tag{2}$$

$$\Delta P=P-P' \tag{3}$$

式中，P'为PTZ摄像机本身输出的初始仰角值。

2.2 PTZ摄像机自动标定

实际应用中PTZ摄像机倍率调整后，仍然会存在视频画面中心偏移的问题。在线自动标定方法通过识别标注点获取其实际像素坐标，通过地理坐标计算出估计像素坐标，并计算两者之间的差值，通过损失函数式（4）定量描述。通过编程实现梯度下降算法，寻找视场角为何值时使损失函数最小，实现PTZ摄像机视场角不同倍率的自动标定。

$$\text{loss}_{\text{pix}}=\left(u_1'-u_1\right)^2-\left(v_1'-v_1\right)^2 \tag{4}$$

2.3 顾及地形的视频高精度定位

在地形起伏变化错综复杂的实际环境中，视频高精度定位方法需要考虑地形的影响，以确保目标点的准确定位与识别。PTZ摄像机视线的通视校正方法通过数字表面模型（digital surface model，DSM）通视定位和通视修正2个过程实现视频的高精度定位。

DSM通视定位是指基于数字高程模型，和相机视点的PTZ进行目标点定位的过程。其核心过程涉及计算相机视线与DSM的交点，以实现目标点的定位。DSM坐标修正是指基于数据高程模型，对于目标点由于深度丢失（3D转换为2D）而产生视觉高程差造成位置存在的偏差进行误差修正，提高目标点的定位精度的过程。在具有地形起伏较大的区域中，进行PTZ摄像机视线的通视校正可以有效解决视角偏差、距离误差、交点不准确等问题。

3 时序三维场景重建

数字表面模型可以提供精确的场景地表三维模型，通过对地表的裸地高程信息和建筑物、植被等非地形信息的完整描述，实现地表的真实情况的全面反映，为时序三维场景重建提供真实三维信息。将视频数据和DSM结合实现视频实景化，有利于提升监控和监测的精确度与全面性，实现精确的空间定位。

3.1 视频数据变换处理

海量的广域视频数据为我们提供了大量信息，但零散的分镜头视频难以有效搜索有效信息，无法对大场景进行全局实时监测和历史事件的快速回溯查找。视频拼接则可以去除视频图像序列重叠区域的冗余信息，保存有用的部分，更有效和客观地表达需要呈现的现实场景。视频拼接通常包含图像序列的预处理、图像配准以及图像融合三大步骤。由于视频包含的信息量大于图像，处理起来复杂耗时，因此如何实现广域视频数据快速变换处理成为一大难题。

视频图像配准阶段常采用特征点配对的方式计算变换参数，从而实现对齐，可通过调整特征提取方式和策略减少计算量。在实景三维的实际应用场景，各类摄像头主要以倾斜方式获取视频图像，并且场景复杂，很难有效提取特征，本文综合利用视频空间化技术结合特征点匹配，实现视频图像的配准。

3.2 实景三维视频可视化

DSM与视频可视化集成的本质，是将视频图像以纹理的方式注册到具有位置信息的DSM中，达到增强虚拟环境的效果，并且能够允许用户从非相机虚拟视点观察融合结果。传统的纹理融合方法主要关注将纹理映射到DSM生成的三维地形模型上，忽略了地表变化物体的位置变化。而基于深度信息的融合方法则进一步结合了视频中的深度信息，使得地形表示更加真实和完整，并提高了融合的精度和准确性。

本文利用视频深度框架NVDS[12]（neural video depth stabilizer）实现任意的单目图像深度预测，去除

时域抖动，增强视频间的连续性。通过结合传统的几何约束方法，在测试时对单帧深度估计网络进行微调，使模型学会满足特定场景的几何约束，同时保持合成合理深度的能力[13]（图3）。



图3　场景深度估计

将视频图像的深度信息与DSM进行融合，可以解决地面变化物体与DSM不符造成的错误定位，从而提升视频空间化的精度。在此基础上进行视频图像纹理与DSM间的映射，实现基于深度信息的DSM与视频融合。

4　自然资源监测场景事件感知

在自然资源监测场景中，事件感知是一个至关重要的环节，它涉及到对自然资源状态变化的实时监测、识别和分析。基于摄像机成像与计算几何原理，综合应用地理信息技术与计算机视觉技术，可以实现土地、水、森林等多重资源的全天候全要素监测。自然资源监测场景事件感知可以及时发现自然资源的变化情况并采取相应的应对措施，为自然资源的可持续利用和保护提供有力保障。

4.1　耕地红线监测

耕地红线是保障国家粮食安全的底线，它代表了必须保持的最低耕种土地面积[11]。国务院发布的《全国土地利用总体规划纲要（2006—2020年）》明确指出，我们必须坚守18亿亩的耕地红线，以确保国家的粮食生产稳定与自给自足。

基于塔基遥感的自然资源典型要素监测技术通过对耕地区域的检测以及面积计算，可为耕地红线预警提供准确实时的预警监测管理。如图4所示，本文采用基于机器视觉的农田地头边界线检测方法，通过对农田地头边界的提取与连接，实现农田区域的检测，并结合空间位置信息计算农田面积。

为实现精确的边界线提取，需要时序三维场景重建后获得高精度的视频定位结果。本文分别选择摄像头北部的田野区域作为平原地区、东南部的山坡丘陵区域作为丘陵地区进行误差验证。如表1和表2所示，通过计算视频目标点的计算坐标与实际坐标之间的误差，以此来验证系统的定位精度。从表中可以

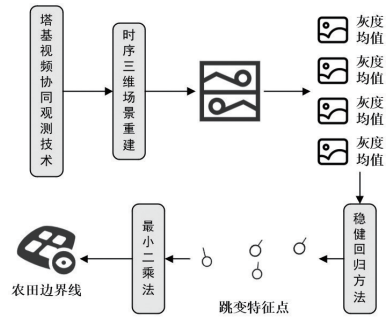


图4　耕地边界线提取流程图

看出，视频目标点定位误差的经纬度距离偏差、方位角偏差总体误差较低。对同名点进行不同倍率下的验证时，经过内外参等校正与修正后等计算，摄像头缩放对精度的影响不大。当测量距离变大时，由于打点时的参考地物难以在影像中找到相应同名点，验证操作会引入误差，并非计算导致精度降低。验证了本方法在平原及高原地形下基于PTZ摄像机告警定位精度的优越性。

表1　地面平坦地区目标点定位误差结果

测试点参数	经纬度误差/m	方位角误差/(°)	距离误差/m
距PTZ摄像机500 m	1.54	0.19	1.89
PTZ摄像机 Z =2	0.30	0.03	0.41

表2　地面起伏地区目标点定位误差结果

测试点参数	经纬度误差/m	方位角误差/（°）	距离误差/m
距PTZ摄像机500 m	4.96	0.46	4.79
PTZ摄像机 Z =2	1.27	0.17	0.11

4.2　工程车辆检测

随着城市化进程的加速，大量的土地被开发用于施工建设，工程车辆如吊车、挖掘机等频繁使用，这些车辆对周围环境可能造成损害，因此对这些车辆的监控变得尤为重要。基于视频监控技术与DSM融合的三维场景对测区出现的工程车辆进行检测，通过智能视频图像监控技术，可以有效地对工程车辆进行检测和识别，从而降低风险和成本，保障工人安全。YOLO算法将目标检测任务视为一个回归问题，通过单一的神经网络模型直接处理整张图像，完成目标检测和分类任务，并输出每个目标框的位置和类别概率。为避免工程车辆对自然场景中的农田、林地等造成破坏，本文采用面向工程车的目标检测方法，通过采用先进的骨干网络和颈部架构，获得具备鲁棒性和高准确度的目标检测结果。该方法对工程车辆的精确追踪和行为分析，通过高清摄像头捕获的视频流，能够实时监测工程车辆的动态，并通过深度学习模型识别潜在的风险行为，从而及时发出警报。此外，融合

DSM数据，该方法能够评估车辆活动对地形的影响，确保施工活动不会超越预定边界，减少对周围自然环境的干扰。

本文实地采集了场景视频监控数据，利用目标检测算法对区域内来往工程车辆进行实时检测，检测结果如表3所示。通过表中数据可以得到，该方法能够有效、快速检测出区域内出现的目标，并精准地对检测目标进行分类，以实现工程车的准确检测。结合工程车的位置数据，通过本文提出的高精度定位方法，可以得到工程车的实际位置信息，进行准确的告警定位。该方法不仅提高了对工程车辆的监控效率，还为土地利用现状分析提供了重要数据支持，有助于更好地管理和规划土地资源。通过这些高精度的检测和识别技术，可以更有效地监控土地利用变化，为土地利用规划和决策提供科学依据。

表3 工程车辆目标检测实验结果

类别	图片	实例	*P*	*R*	mAP50	mAP50–95
总体	1 271	1 916	0.95	0.901	0.947	0.796
推土机	1 271	261	0.966	0.987	0.985	0.85
自卸卡车	1 271	498	0.905	0.787	0.881	0.652
挖掘机	1 271	399	0.965	0.892	0.954	0.786
平地机	1 271	241	0.984	0.975	0.993	0.860
铲车	1 271	124	0.894	0.871	0.908	0.740
起重机	1 271	164	0.937	0.818	0.913	0.708
压路机	1 271	229	0.996	0.977	0.995	0.979

5 结论与展望

本文针对自然资源管理中对实时、准确数据支持的需求，深入探讨基于塔基视频的自然资源实景智能监测。综合利用地理信息技术与计算机视觉技术，基于摄像机成像与计算几何原理，以高点通信铁塔所布设的PTZ摄像机为主要探测手段，实现了视频与三维地理场景的精确配准融合，从而建立了视频要素与地理要素之间的空间关系。通过视频数据快速变换处理和实景三维视频可视化集成技术，实现了时序三维场景的重建，在自然资源监测场景事件感知任务中提供了精确的时空数据。不仅提高了自然资源全要素全天候的监测监管能力，还为国土变更调查、耕地保护、林草保护等自然资源管理和生态文明建设提供了强有力的技术支撑。未来的研究探索可以追求更为快速的识别与响应，多源数据融合等。融合视频数据、卫星遥感、无人机航拍、地面传感器等多源数据，构建全方位、多层次的自然资源监测网络。通过数据融合与综合分析，提升监测的全面性和准确性，为决策提供更为丰富和立体的信息支持，并应用于生态保护、智慧农业、智慧城市等其他应用场景。

参考文献

[1] 欧庚,周良辰,林冰仙,等. 塔基遥感视频监控有效性评估方法[J]. 地球信息科学学报,2022,24(1):165-175

[2] 李朝晖,张永光,张乾,等. 植被冠层日光诱导叶绿素荧光塔基自动观测方法及系统介绍[J]. 遥感学报,2021,25(5):1 152-1 168

[3] Shao Z, Li C, Li D, et al. An Accurate Matching Method for Projecting Vector Data into Surveillance Video to Monitor and Protect Cultivated Land[J]. ISPRS International Journal of Geo-information,2020,9(7):448-450

[4] Liu Y, Pan C, Bie M, et al. An Efficient Real-time Target Tracking Algorithm Using Adaptive Feature Fusion[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation,2022,85:103 505

[5] 张兴国,刘学军,王思宁,等. 监控视频与2D地理空间数据互映射[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2015,40(8):1 130-1 136

[6] 李益敏,杨一铭,赵志芳,等. 基于GIS的西双版纳边境地区防疫视频监控点部署方法[J]. 自然资源遥感,2022,34(4):194-202

[7] 张劲松,齐怀琴,苗凤娟. 3G视频在森林防火系统中的应用[J]. 福建林业科技,2013,40(3):74-77

[8] 张毅,吉波,阮婧. 基于塔基视频监控的自然资源智能感知模式实践和思考[J]. 国土资源信息化,2021(5):8-14

[9] 叶松,陈喆,阚红涛. 海量视频流与三维场景实时集成技术[J]. 长江科学院院报,2019,36(11):162-166

[10] 伦更永. 实景三维与视频融合技术在核电智慧工地中的研究应用[J]. 地理信息世界,2022,29(2):115-119

[11] 陈光,郑宏伟. 三维场景中无人机地理视频数据的集成方法[J]. 地理与地理信息科学,2017,33(1):40-47

[12] Wang Y, Shi M, Li J, et al. Neural Video Depth Stabilizer [C]. 2023 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV),2023:32-42

[13] 易蓝,彭少飞,刘广慧. 节约集约用地严守耕地红线 [N].中国经济网,2024-06-25(1)