

无人机建模与视频监控仿真规划

Research on Integrated Application
Model of UAV Modeling and Video
Surveillance Simulation

融合应用模型研究

叶 杨^{1,2,3},李扬鹏³,薛 清⁴,黄小明³,杜翠凤³(1. 中国科学技术大学,安徽 合肥 230026;2. 中国科学院合肥物质科学研究院,安徽 合肥 230031;3. 中电科普天科技股份有限公司,广东 广州 510310;4. 中国移动通信集团江西有限公司,江西 南昌 330000)

Ye Yang^{1,2,3},Li Yangpeng³,Xue Qing⁴,Huang Xiaoming³,Du Cuifeng³(1. University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;2. Hefei Institutes of Physical Science, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;3. CETC Potevio Science&Technology Co.,Ltd., Guangzhou 510310, China;4. China Mobile Communications Group Jiangxi Co.,Ltd., Nanchang 330000, China)

摘 要:

在智能安防高速发展背景下,视频监控作为智慧城市建设的 key 要素,其点位布局的科学性问题仍需解决。提出一种创新模型,通过整合无人机航拍、三维建模与监控仿真,实现视频监控网络布局的高效性与精确性。该模型基于广泛的项目经验总结而成,通过实践案例验证,该模型在高密度监控场景下具有显著优势,提高了规划效率与科学性,对促进视频监控系统的效能提升和资源有效利用具有重要战略价值。

关键词:

无人机航拍;三维建模;视频监控;空间仿真;低空经济

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.12.012

文章编号:1007-3043(2025)12-0065-06

中图分类号:TN919

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

In the context of rapid development in intelligent security, video surveillance is a key element in smart city construction, yet the scientific nature of its point layout remains an issue to be addressed. It proposes an innovative model that integrates UAV aerial photography, 3D modeling, and surveillance simulation to achieve efficient and precise layout of video surveillance networks. Based on extensive project experience, this model has been validated through practical case studies, demonstrating significant advantages in high-density surveillance scenarios, improving planning efficiency and scientific rigor. It holds important strategic value for enhancing the effectiveness of video surveillance systems and optimizing resource utilization.

Keywords:

UAV aerial photography;3D modeling;Video surveillance;Spatial simulation;Low-altitude economy

引用格式:熊礼霞,屠礼彪,杨进军,等.小颗粒切片技术在智能城域网中的应用与实践[J].邮电设计技术,2025(12):65-70.

0 引言

当前,我国正处于智能监控技术与大数据应用高速发展的时代,视频监控技术作为智慧城市建设、公共安全管理和社会治理的关键组成要素,其规模化部署和高效运维成为现代化城市基础设施建设的重点。然而,在大规模视频监控系统的规划与实施过程中,

尽管智能化监控设备的软硬件技术取得了长足进步并广泛普及,但点位布局的科学性和合理性依然是一个亟待解决的关键问题^[1]。在城市级公共安全监控项目中,由于新建点位数量庞大,加上已有的存量站点,如何在确保全面覆盖的同时避免资源浪费和重复建设,成为行业面临的重大挑战。传统的点位规划大多依赖人工经验和主观判断,缺乏数据支持和可视化仿真手段,尤其在面对复杂环境下的高密度覆盖需求时,难以精确评估监控效果,这不仅限制了设计的精

收稿日期:2025-11-11

确度,也增加了项目实施的不确定性。

在此背景下,该研究提出了“无人机低空建模与视频监控仿真规划融合应用模型”,旨在借助先进的信息技术手段,突破传统视频监控系统规划设计的瓶颈,通过打造一套集实景感知、三维仿真、智能选址于一体的融合应用模型,切实提升我国在视频监控领域的规划与管理水平,这对推动智慧城市建设,保障社会公共安全,以及合理利用国家财政资金具有极其重要的现实意义和长远的战略价值。

1 融合应用模型研究

概括来说,无人机建模与视频监控仿真规划融合应用模型通过整合无人机低空航拍倾斜摄影、三维实景建模、精确的可视范围算法与三维空间环境下的监控覆盖效果仿真,实现视频监控网络布局的高效性与精确性^[2](见图1)。该模型的创新基于广泛的项目经验(如雪亮工程、平安城市、智慧社区、智慧园区等大规模视频监控项目),这些项目为模型提供了丰富的实践基础,确保规划模型的实用性和可靠性。

该模型的研究思路与技术流程如下。

a) 无人机外业——数据采集阶段。此阶段的首要任务是对目标监控区域内的既有和规划监控点位进行全面的信息整理^[3]。这包括详尽收集挂高、经纬

度、理想倾斜角、方向角、视场角、焦距、传感器尺寸等关键参数,同时预先设定新点位的设备配置,明确传感器规格、焦距、视场角等要素,为后续建模和仿真提供准确的输入数据。然后,进行地理环境的深入分析和飞行规划,整合地形图信息,根据监控需求确定无人机的飞行范围,并综合考虑无人机类型、飞行规则等外在因素,制定细致的飞行任务安排,包括无人机准备、航线规划及飞行参数设置,如飞行高度、航向重叠率、旁向重叠率、倾斜度、飞行速度等,以确保数据采集的完整性和准确性^[4]。在严格遵守航空管理规定的情况下,运用无人机搭载高分辨率相机,结合北斗卫星系统提供的精确定位信息,实施多角度的倾斜摄影,收集目标区域的高精度三维实景数据。

b) 三维建模内业——数据处理阶段。航拍数据经过初步整理后,按地域分类导入规划系统,进行严格的姿态信息校验,包括相机参数、经纬度、海拔高度、旋转角度等,以确保数据的精准性^[5]。随后,利用空中三角测量技术对照片数据进行几何定位,根据模型精度需求,选择性添加控制点以增强模型的精确度。在模型构建过程中,需考虑项目实际需求和硬件资源限制,合理选择坐标系和模型尺寸,利用建模软件启动三维重建,输出格式通常为OBJ、OSGB等通用格式,以便于后续处理和兼容^[6]。完成建模后,还需进

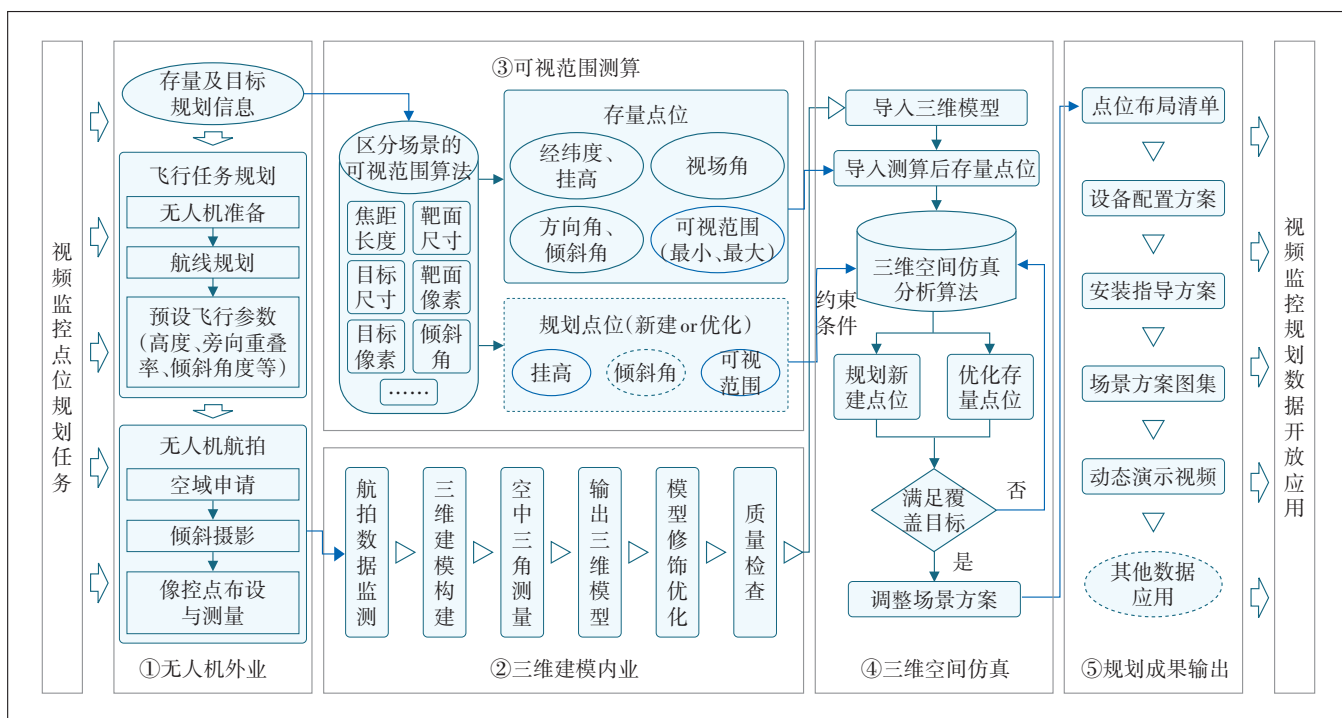


图1 无人机建模与视频监控仿真规划融合应用模型

行严格的模型预览与质量审核,确保模型忠实反映现场环境,为后续仿真打下坚实基础。

c) 可视范围测算——算法运算阶段。此阶段的核心在于运用数学模型和物理原理,综合考虑摄像机的焦距、靶面尺寸、靶面像素密度、实际倾斜角、监控目标尺寸、监控点挂高等物理特性以及监控点的地理位置信息,精确计算既有站点的可视范围^[7]。算法进一步延伸,能够推算出新建监控点位的理想挂高和可视范围,为仿真提供精确的数据输入,这是规划优化的重要依据。

d) 三维空间仿真——视频覆盖效果仿真阶段。在仿真过程中,将构建好的三维实景模型与可视范围算法的计算结果进行集成,包括既有和规划中的监控点位的可视范围参数。利用仿真软件平台,生成覆盖效果示意图,清晰展示可见、不可见区域和重叠监控区域。通过批量导入处理点位图层数据,实现不同规划方案的快速对比,便于动态调整优化。

e) 规划成果输出——方案生成及应用阶段。仿真完成后,输出详细的监控点位规划布局清单,列出经纬度、挂高、水平与垂直方向角、实际倾斜角等关键参数,同时附带设备配置建议与安装指导,为实际部署提供直接指导。生成的效果图集和演示材料可直观展示监控网络覆盖效果,便于汇报交流。鉴于规划过程的量化特性,产生的数据和成果能无缝对接视频监控平台,支持后续的数据分析、效能评估和系统优化,为长期运维提供持续的数据支持^[8-9]。

综上所述,该研究提出的模型为视频监控系统布局规划提供了一个全面、精确的方法论框架和强大的技术支持,不仅极大提高了规划效率,还确保了规划的科学性和适应性,对促进视频监控系统的效能提升和资源有效利用具有重大意义。

2 三维空间仿真关键技术研究

通过无人机建模与视频监控仿真规划融合应用模型的介绍,可以看出“三维空间仿真”为整个模型的核心技术,它不仅能够直观展示监控点位的覆盖效果,还能帮助决策者更好地理解不同方案的优势与局限性。因此,深入研究三维空间仿真的关键技术对提高整体规划的准确性和实用性至关重要。接下来将重点介绍其技术原理及先进性。

2.1 三维仿真技术原理介绍

在高密度监控场景下,如交通要道和重点安全区

域,实现精细化的三维空间覆盖仿真至关重要。

在过去的城市规划实践中,2.5D视图(即含有高程信息的平面地图)下的可视域仿真是一个应用广泛且行之有效的方法。然而,随着现代技术的革新与算法进步,特别是在高精度三维建模技术的支持下,能够更为直观且便捷地在3D视图中探究可视域问题。这种3D视域仿真以交互式方式从预设视点出发,精确计算出场景中各要素(包括地表、建筑物、植被等)在3D视图中的可见区域。视点位置可通过交互操作灵活调整,而分析参数(如视距、视域角度、方向)则可模拟现实世界中诸如监控摄像头等对象的视线范围。此外,通过建立多个视域,可以识别出具有双重或多重覆盖的区域,从而优化监控网络设计。

具体来讲,在3D视图下的可视域仿真除了三维模型外,涉及到以下7个参数,分别是方向角、倾斜、偏移、水平角、垂直角、最小范围、最大范围,具体的参数说明如表1所示。

表1 3D仿真参数说明表

选项	说明	视频监控系统应用示例
方位角	视图的罗盘方位。例如,值为180时表示观察点正在向南看	以人站立目视的水平方向为平面,监控点位安装的方向角度
倾斜	视域的倾斜度,其中0表示水平,且值会随着观察点升高而增大 ^[9] 。例如,值为-90时表示观察点正在垂直向下看	以人站立目视的水平方向为平面,监控点位安装的倾斜角度
偏移	为新视域创建新观察点时使用的垂直偏移距离。例如,值为“1.8 m”时会把观察点置于视图中单击位置以上1.8 m处	监控点位安装的挂设高度
水平角	视域的水平角。例如,值为90表示针对视域宽度的90°视角	根据监控设备型号与镜头参数确定的水平视场角
垂直角	视域的垂直角。例如,值为60表示针对视域高度的60°视角	根据监控设备型号与镜头参数确定的垂直视场角
最小范围	距离要分析的观察点的最小距离。距离小于最小范围的障碍物将会显示超出观察点范围	结合设备性能及应用场景确定的最小有效可视距离
最大范围	距离要分析的观察点的最大距离。距离大于最大范围的障碍物将会显示超出观察点范围。例如,值为500 m意味着没有比该距离更远的分析结果	结合设备性能及应用场景确定的最大有效可视距离

涉及到的具体分析包括视域计算、遮挡分析和精准可视范围算法。

a) 视域计算。视域分析是视频监控三维空间可视域仿真的核心环节,效果示意如图2所示。它基于几何光学原理,计算从给定观察点(如监控摄像头位

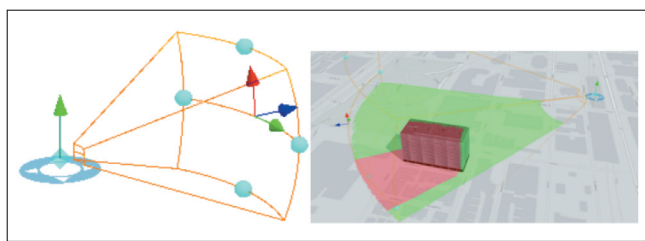


图2 3D仿真视域计算机遮挡分析示意

置)出发,不受任何物体阻挡的视线所覆盖的空间区域。视域计算涉及线性代数中的射影几何、空间几何变换以及射线-物体相交检测等算法。在三维模型中,通过发射一组或多组射线(或光线)代表摄像头的视线,并判断它们与场景模型的交点,从而确定可视域边界。

b) 遮挡分析。遮挡是指物体对视线的阻挡现象效果示意如图2所示。遮挡分析旨在识别哪些物体对目标区域造成了视线遮挡以及遮挡的程度^[10]。这通常通过计算视线与场景模型中各个物体表面的交点,并判断交点与视线起点之间的距离关系来实现。遮挡分析有助于识别监控盲区,指导监控点位的优化布局。

c) 精准可视范围算法。基于摄像机物理参数^[11](焦距、光圈、视场角、镜头分辨率、像元尺寸、工作距离、视野范围、景深、光学放大倍数等)和功能需求(机动车车牌识别、机动车基本特征识别、非机动车车牌识别、非机动车骑行人员人脸识别、行人人脸识别、行人人体识别)的可视范围进行测算。

以人脸/人像识别为例,测算过程如下。

首先,分析监控距离与焦距之间的关系^[12]。当安装高度 H_1 和俯仰角度 A 一定时,距采集对象的实测距离 L 满足式(1):

$$\tan A = \frac{H_1 - H_2 + 200}{L} \quad (1)$$

进一步推导得到式(2):

$$L = \frac{H_1 - H_2 + 200}{\tan A} \quad (2)$$

当距监控对象的实测距离 L 和俯仰角度 A 保持一定时,安装高度 H_1 满足式(3)^[13]:

$$H_1 = H_2 + L \times \tan A - 200 \quad (3)$$

其中, A 为光轴与水平线俯仰角度,单位为 $^\circ$; L 为距监控对象的实测距离,单位为mm; H_1 为安装高度,单位为mm; H_2 为平均身高,单位为mm,按1 700 mm标准取

值。

其次,分析像素数、焦距和监控距离之间的关系。设 f 为镜头焦距,单位为mm; L 为采集设备距采集对象的实测距离,单位为mm; h 为采集设备图像传感器靶面水平实测宽度(mm),不同靶面型号的靶面水平宽度不同; X 为采集对象周围区域视场空间的水平实测宽度,单位为mm; n 为采集对象周围区域视场空间的图像水平像素数; D 为采集对象两眼间的实测距离,单位为mm,女性眼间距多为56~64 mm,男性眼间距多在60~70 mm,取经验值62 mm; m 为采集对象人脸图像两眼间像素数。根据相似三角形原理,镜头焦距、监控距离与视场宽度之间的比例关系如下。

$$f = \frac{L}{X} \times h \quad (4)$$

同一条件下,各像素点宽高大小一致,从而得到式(5):

$$X = \frac{D}{m} \times n \quad (5)$$

根据式(4)和式(5),得到式(6):

$$L = \frac{D}{h} \times \frac{n}{m} \times f \quad (6)$$

根据式(3)和式(4)推导得出适合安装监控的高度:

$$H_1 = H_2 + \left(\frac{f}{h} \times X \right) \times \tan A - 200 \quad (7)$$

根据式(3)和式(6)推导得出适合安装监控的高度为:

$$H_1 = H_2 + \left(\frac{D}{h} \times \frac{n}{m} \times f \right) \tan A - 200 \quad (8)$$

综上所述,视频监控三维空间可视域仿真方法充分利用现代三维建模技术和先进的交互式仿真工具,通过精细调控一系列关键参数,实现了对复杂城市环境中监控设备可视域的精确模拟与可视化呈现。

2.2 三维仿真先进性分析

通过空间可见性分析与精准的摄像机物理参数仿真,实现了在三维建模基础上的精细化与高精度监控覆盖效果预测。相比海康威视、Axis等品牌,该方法不仅将模拟精度提高至95%以上,还通过交互式规划与多摄像机协同覆盖分析,在精细的三维建模下,提供更加精准的盲区识别与冗余点位优化。

根据查新情况,未见国内外有集成该类技术特点的文獻报道,表明该成果具有国际新颖性。此外,基于此模型研究开发的“面向视频监控系统的仿真规划

一体化平台”项目通过广东省电子学会组织的成果鉴定。

3 实践案例分析

以某城市城乡主要道路路段为例,该场景具有人车流量大、元素组成多、类型多样化等特点,应主要关注机动车道、非机动车道和人行道等部位的背景环境、人车目标等内容^[14]。

3.1 无人机外业——数据采集阶段

选定目标覆盖区域,根据项目信息,案例涉及主要设备选型情况如表2所示。

表2 本案例涉及主要设备选型情况汇总

参数名称	智能枪机	智能球机
传感器类型	1/1.2英寸CMOS	1/1.8英寸CMOS
像素	800万	800万
最大分辨率	3 840×2 160	3 840×2 160
镜头焦距	11~55 mm,5倍光学	7~210 mm,30倍光学
视场角	水平:36°~13.1° 垂直:20.3°~7.3°	水平:27°~3° 垂直:15°~2°
旋转范围	不支持	水平范围:0°~340° 垂直范围:-10°~180°
混合目标检测	支持人脸+人体抓拍,并关联输出,支持两路混合目标检测及抓拍,可对人体、人脸、车辆进行检测	支持视频结构化(机动车、非机动车、行人抓拍及全属性分析)、人脸识别、周界防范等

按照飞行任务规划,设置合适的飞行参数,利用搭载北斗高精度定位的无人机进行案例场景航拍,获取高清、高精度的目标区域照片共216张。

3.2 三维建模内业——数据处理阶段

每张航拍获取的照片均具有高精度的位置、高度、旋转数据,进一步裁剪选取案例需要研究的路口,经过空三计算、三维重建、模型校对等步骤,最终生成目标研究区域高精度三维模型数据(见图3)。

3.3 可视范围测算——算法运算阶段

为方便工程应用,案例中将基于视频监控设备选型的“精准可视范围算法”做成了计算工具,通过设备参数输入的方式计算出精准理论距离,变焦设备则分别计算最小焦距和最大焦距情况下的可视距离,并把其作为设备的最小可视距离和最大可视距离。

3.4 三维空间仿真——视频覆盖效果仿真阶段

该案例为T型路口,该场景布建视频图像采集设备应实现对通行断面的机动车道、非机动车道和人行道等部位的视频监控全覆盖,并与周边主要路口、出

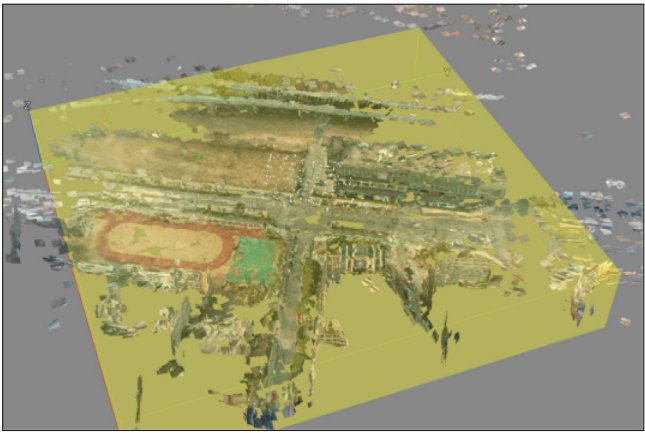


图3 三维建模示意

入口形成覆盖衔接,可选用球型摄像机覆盖主要活动区域。

通过对目标区域进行航拍摸查,已有智能枪机3台,规划新增智能球机1台,目前点位及规划点位位置信息、角度、视场角等设备参数可通过现场摸查及项目情况获取,最小可视范围和最大可视范围可通过上一步测算工具计算得出,点位参数情况如表3所示。

表3 案例项目区域设备参数示意

点位编号	设备类型	经度/°	纬度/°	挂高/m	方向角/°	下倾角/°	水平视场角/°	垂直视场角/°	最小范围/m	最大范围/m	备注
A区01	枪机	**.*	**.*	23.6	207	-15	36	20.3	7.82	39.11	现状
A区02	枪机	**.*	**.*	23.7	28	-15	36	20.3	7.82	39.11	现状
A区03	枪机	**.*	**.*	23.3	296	-15	36	20.3	7.82	39.11	现状
A区04	球机	**.*	**.*	23.1	112	-15	360	180	4.13	123.86	规划

通过输入具体点位参数情况,得到目前视频监控设备的仿真效果,具体如图4所示。目前,3台智能枪机已经实现了对主要机动车道的有效覆盖,但仍然缺乏对非机动车道和人行道的监控,特别是无法获取这些区域的环境要素、无法进行人脸识别和人体识别,存在较大的安全隐患。

通过三维空间仿真技术,确定最佳的新监控点位——在T型路口交叉处新增1台智能球机,这不仅兼顾了右下角校园场景的拐角感知需求,还显著提升了整个监控区域的安全性和覆盖范围。新增规划点位后的三维覆盖效果仿真显示,安装位置更加精确,覆

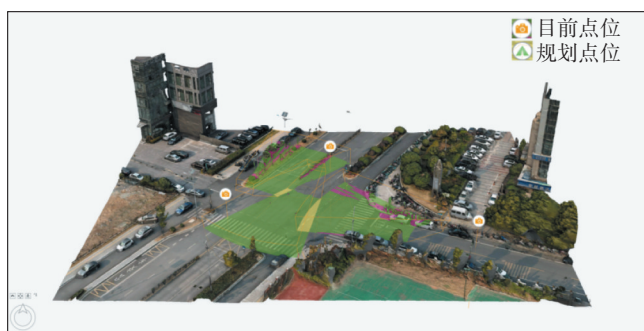


图4 案例项目现状覆盖效果仿真示意

盖更加全面且符合实际需求。仿真结果表明,通过精心设计的点位布局,可以最大限度地减少盲区,提高监控效率,从而极大地改善了监控系统的整体性能。

3.5 规划成果输出——方案生成及应用阶段

基于预设的布局方案,生成一系列场景方案图集,直观展现监控网络的覆盖效果。如有展示汇报需求,可定制生成动态演示视频资料。案例项目仿真成果示意如图5所示。

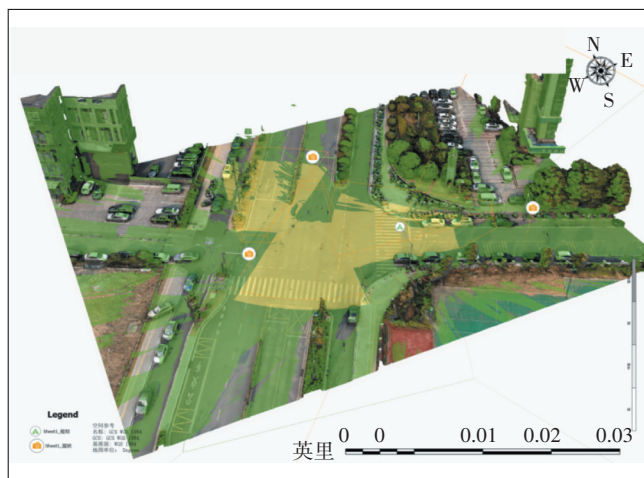


图5 案例项目仿真成果示意

4 结束语

该模型为大规模视频监控系统的点位规划提供了科学、高效的方法论。本文的创新之处在于能够精确模拟监控设备在复杂城市环境中的可视域,确保监控网络的全面覆盖,同时优化资源配置,提高安全监控体系的整体效能。

随着技术的进步,未来的研究可以进一步探索更高级的算法和模型,以提升仿真的精度和效率,例如利用机器学习和人工智能技术进行数据分析和模式

识别^[15]。此外,模型的应用范围有望扩展到更多领域,如交通管理、城市规划等,为智慧城市的建设提供强有力的技术支持。同时,在低空产业成为新型经济形态的当下,该模型可为进一步拓展无人机在智慧城市等行业级领域的应用解决方案提供有益参考。

参考文献:

- [1] 肖垒. 船舶建造工艺技术及其改进策略[J]. 船舶物资与市场, 2022, 30(11): 50-52.
- [2] 闫香玲. 基于视频监控的地铁车站客流安全状态智能感知关键技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
- [3] 席洋. 面向工业园区的无人机数据采集处理研究[D]. 厦门: 厦门理工学院, 2021.
- [4] 张慧超. 基于无人机摄影测量技术的地表塌陷变形监测及应用研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2018.
- [5] 祁舟. 基于深度学习的无人机航拍图像排污口检测方法研究[D]. 济南: 山东大学, 2021.
- [6] 杨云峰, 魏天宇, 郝晶晶. 基于倾斜摄影技术的三种建模软件比较研究——以南京余村为例[J]. 园林, 2020(4): 16-23.
- [7] 闫杨. 可视化信息网络基础平台在森林防火工作中的应用[J]. 林业科技情报, 2019, 51(3): 18-21.
- [8] 邓建星. AIOps 智能运维, 助推数字化转型[J]. 网络安全和信息化, 2022(12): 60-61.
- [9] 封召鹏, 聂明涛, 李文静, 等. GSR 无线节点仪器检波器串阻抗模型建立的研究[J]. 石化技术, 2017, 24(1): 86-87.
- [10] 马金玉. 复杂环境下的地基 SAR 变形监测研究[D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2020.
- [11] 张成龙. 基于机器视觉的变速箱零件装配防错检测技术研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018.
- [12] 章卫忠. 人脸识别摄像机在青田公安天网中的应用[J]. 广播电视网络, 2021, 28(7): 37-39.
- [13] 汪文振, 赵连元, 胡强, 等. 非接触式磁应力检测技术在埋地管道监测方面的应用[J]. 石油和化工设备, 2022, 25(11): 34-40.
- [14] 梁雪君, 陈诺, 朱秋妮. 南宁街道设计导则编制思路与实践[J]. 规划师, 2022, 38(z1): 49-55, 60.
- [15] 张婧雅. 人工智能在企业风险管理中的影响与有效应用[J]. 商场现代化, 2023(14): 95-97.

作者简介:

叶杨, 毕业于巢湖学院, 高级工程师, 学士, 主要从事信息通信咨询与规划设计工作; 李扬鹏, 毕业于北京邮电大学, 高级工程师, 学士, 主要从事信息通信咨询与规划设计工作; 薛清, 毕业于江西师范大学, 工程师, 学士, 主要从事有线通信、信息化咨询设计工作; 黄小明, 毕业于淮海工学院, 工程师, 学士, 主要从事无线通信、信息化咨询设计工作; 杜翠凤, 毕业于广东外语外贸大学, 高级工程师, 硕士, 主要从事信息通信科技研究工作。