

doi: 10. 6046/zrzyyg. 2021353
引用格式: 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. (Li Y M, Yang Y M, Zhao Z F, et al. GIS – based study on the deployment of video monitoring points for epidemic prevention in the Xishuangbanna border area[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34(4):194–202.)

基于 GIS 的西双版纳边境地区防疫 视频监控点部署方法

李益敏^{1,2}, 杨一铭¹, 赵志芳^{1,2,3}, 吴博闻¹

(1. 云南大学地球科学学院, 昆明 650500; 2. 云南省高校国产高分卫星遥感地质工程研究中心, 昆明 650500; 3. 自然资源部三江成矿作用及资源勘查利用重点实验室, 昆明 650500)

摘要: 在边境地区部署防疫视频监控点,是应对突发事件的重要举措,对区域性公共卫生安全有着重要意义。过去,视频监控点的部署多关注城市,鲜有研究结合边境地区特点、突发事件应对需求,开展视频监控点部署方法研究。本研究以西双版纳州为例,构建了边境地区防疫视频监控点部署方法框架,选取监控点布置适宜性、限制性因子多轮选址监控点,并在监控效能低的区域,合理增加监控点,最终得到西双版纳州防疫监控点适宜部署地。结果表明:研究得到的防疫视频监控部署点可实现对西双版纳州边境内侧 5 km 范围内 93.3% 面积的观测,可较全面地掌握边境人员流动信息。研究提出的边境防疫视频监控点部署方法相对传统的单维度适宜性选址方法、数学建模选址方法和算法选址方法,更贴合边境地区实际,可发挥监控点部署的整体协调水平。同时规避传统方法应用复杂等问题。本研究提出的防疫视频监控点的选址方法,为当前边境地区的新冠防疫工作提供了理论参考与技术支持,从而确保区域公共卫生安全和国家可持续发展。

关键词: 地理信息系统; 视频监控点; 选址方法; 可视域分析; 边境

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097–034X(2022)04–0194–09

0 引言

2020 年传染性极强的新型冠状病毒开始席卷全球,并逐步演化为全球性重大公共卫生事件^[1]。当前,境外疫情态势仍不乐观,致使我国多地出现聚集性疫情^[2],境外疫情防控成为当下公共卫生安全的重要抓手,而边境地区的防疫是其重中之重^[3]。虽然目前边境防疫力度在不断加强,但由于边境地区自然地理环境特殊,使得防疫工作难以有效把握重点,给边境安全带来潜在威胁,如疫情跨境传播和人口偷渡等风险^[3–4]。因此,结合边境地区自然地理环境特点与境外偷渡者心理活动探索防疫的重点地带,部署防疫方案,对于把握边境疫情趋势,维护区域、国家公共卫生安全有重要意义。

视频监控技术可全时段、多方面、实时性反映目标物信息,是预防安全隐患、传染病风险输入的有效

技术手段^[5–6]。而为了确保视频监控点的最佳监控效能,规避视频监控点建设不利因素,应充分考虑视频监控点部署问题。早期的监控点部署研究,通常基于地理信息系统(geographic information science, GIS)技术,选取简单地形因子,确定监控点适宜性部署区域,张健等^[7]利用空间可视性技术分析了坡度、海拔和坡向等地形因素,得到鹫峰国家公园合理的林火监控点;Domenikiotis 等^[8]在考虑监控点部署地形因素基础上,引入降水和降雪等气候指标,研究希腊山区雷达视频监测站适宜部署区。而为了应对可能的城市突发性事件,保障公共财产安全,学者们进一步从时间可达性等目标出发,构造复杂的数学选址模型,求解最佳视频监控设施点位置,以达到应急时效目的,方磊等^[9]在城市消防应急监控点选址过程中,以应急部门抵达消防监控点“时间最短”为目标,构建了应急系统数学选址模型,初步证明了研究的可行性;张钦莹^[10]认为,在应急系统监控点

收稿日期: 2021–10–25; 修订日期: 2022–09–04
基金项目: 云南省科技厅–云南大学联合基金重点项目“‘天空地’协同的高山峡谷区重大地质灾害隐患识别监测预警研究”(编号: 2019FY003017)和中国地质调查局地质调查项目“重要区域地质灾害监测评价与综合遥感地质调查”(编号: DD20221824)共同资助。
第一作者: 李益敏(1965–),女,研究员,研究方向为 3S 技术在山地资源环境和地质灾害中的应用。Email: 648119611@qq.com。
通信作者: 赵志芳(1971–),女,教授,研究方向为遥感地质应用。Email: zzf_1002@163.com。

选址过程中,“时间最短”不是唯一目标,还应结合各监控点协调性、各地区潜在危险性特点,采用合理的数学模型,求解选址点;O’Hanley 等^[11]则综合应急监控点选址常用的数学模型(P-中心模型和最大覆盖选址模型等),提出了一种新的混合整数线性规划模型,丰富了应急系统选址数学模型方法内涵。得益于计算机科学的进步,新算法模型技术^[12-15](果蝇优化算法、遗传算法、郊狼优化算法和蝗虫优化算法等)在解决视频监控点选址问题方面得到广泛应用。

依据区域地形因子可较好地判断视频监控点适宜性部署点,但这些部署点还受地理环境影响,仅从单一维度选址视频监控点不一定合理;基于数学建模方法解决城市应急监控点选址问题,可实现城市应急的时间、协调性等局部最优目标。但边境地区国境线绵长,地理环境特殊,突发事件的应对除了实现局部目标,还应综合考虑视频监控点视野覆盖的全面性;算法技术可有效提高选址点的准确性,但选址点准确性的上升受限于算法的复杂性和运行时间,且在实际操作中,难以有效模拟规模更大、更精细的选址过程。

针对上述不足,本文以中缅边境城市西双版纳州为例,基于 GIS 技术,从边境监控点选址的重要性、限制性 2 个维度出发,多次筛选监控选址点。并引入可视域分析技术检验监控选址方法的效果,针对监控盲区大的乡镇补充监控选址点,以获得整体良好的西双版纳边境监控效能。研究可为边境类似地区的防疫监控点部署工作提供技术支持,也为西双版纳州进一步的防疫规划开展指引方向。

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区概况

西双版纳州位于云南省最南端,与缅甸老挝接壤,拥有 4 个国家一级类开放口岸,是中国面向东南亚开放、澜沧江区域合作的前沿地区。西双版纳州水系发达,主要有 3 条河流:澜沧江、小黑江和南腊河。东西面紧邻云南省普洱市,西南部与缅甸接壤,东南部与老挝相连。边境线长达 966.3 km(图 1),约为云南省边境线总长度的四分之一。其中中缅段国境线长 288.5 km,缅甸掸邦地区同西双版纳州接壤,当地武装与政府军冲突激烈,缅甸边民可能潜入我国境内躲避战乱,短时间造成大量人员流动,增大疫情防控难度。中老段国境线长 677.8 km,老挝北部的琅南塔、丰沙里和乌多姆塞 3 省毗邻西双版纳州边境,与西双版纳州合作来往频繁,是我国“一带

一路”战略的重要沟通区域。在印度疫情仍在不断扩散的背景下,老挝的邻国泰国和柬埔寨均出现了大量感染者,防疫工作应引起重视。

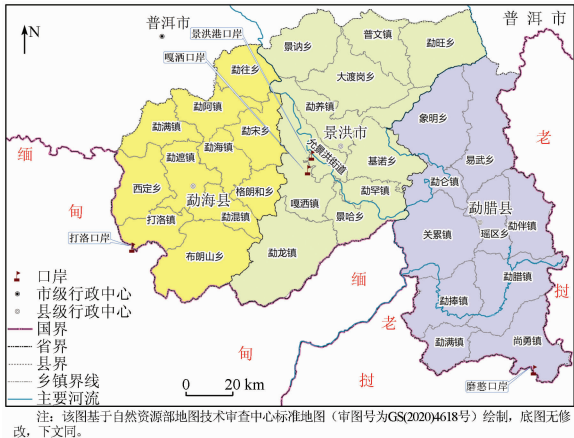


图 1 研究区地理位置示意图
Fig.1 Location of the study area

1.2 数据源及其预处理

本研究数据包括数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据、归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)、珞珈一号夜光遥感影像数据、行政边界数据、道路数据、水系数据以及人口统计数据。其中 DEM 数据来源于地理空间数据云(www.gscloud.cn)的 GDEM 产品,空间分辨率为 30 m; Landsat8 OLI 影像数据也来源于地理空间数据云,数据成像时间为 2021 年 4 月 5 日,空间分辨率为 15 m。借助 ENVI5.1 软件对影像进行影像辐射定标、FLAASH 大气校正、影像镶嵌及裁切等预处理操作提取 NDVI 数据;珞珈一号夜光遥感影像数据获取自高分辨率对地观测系统湖北数据与应用网(<http://59.175.109.173:8888/>),空间分辨率为 130 m,影像为 2021 年 4 月的月均数据,并用 ENVI5.1 软件对珞珈一号遥感影像进行辐射校正、几何纠正和重采样等预处理工作;底图矢量边界数据来源于国家科技基础条件平台——国家地球系统科学数据中心(<http://www.geodata.cn>);道路和水系数据均来源于 Open Street Map(OSM)(<http://download.geofabrik.de/>);人口统计数据来源于《西双版纳州 2020 年统计年鉴》。本文所有数据采用统一的 CGCS2000 坐标系,基于 ArcGIS10.7 软件对预处理的数据分析计算,得到 NDVI、坡位、坡度、交通密度、人口密度和水系等数据集。

2 研究方法

合理构建边境防疫视频监控点部署方法框架,可为实际监控点选址提供技术支持,从而确保选址结果

的准确性、科学性。西双版纳州与缅甸、老挝有着漫长的边境线,防疫责任重大,快速定位防疫重点区域并增加监控点可有效规避突发性风险。另一方面,西双版纳州边境地带自然环境错综复杂,客观上又限制了选址过程。因此,研究基于西双版纳州初始山顶点,从视频监控点设置的重点必要性和限制性 2 方面

出发建立监控点选址因子,以此为依据多次筛选初始山顶点,得到初步视频监控点,并分析各监控点的可视域效能,对视野盲区大的区域合理补充视频监控点,得到最终选址结果,形成监控点部署方法框架,如图 2 所示。

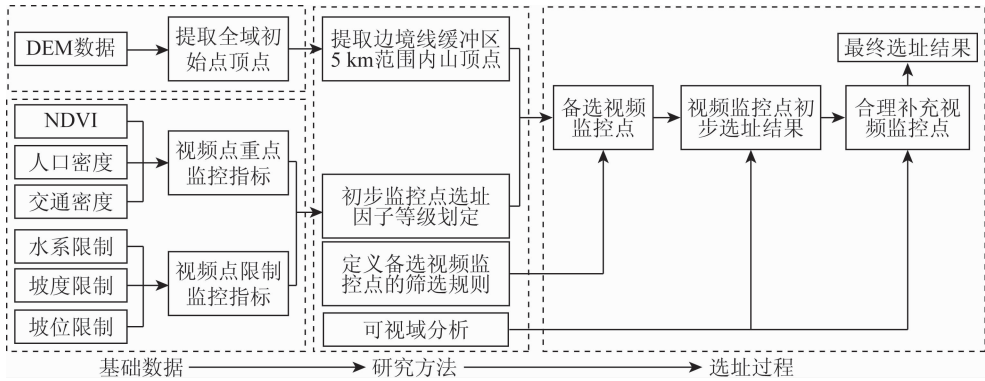


图 2 边境防疫视频监控点部署方法框架

Fig. 2 Framework for deployment of video surveillance points for border epidemic prevention

2.1 初始山顶点提取

丘陵山区地带的山顶处有利于获取区域性最佳视野,减少视野盲区^[7,16-17],是潜在视频监控点的理想选址地^[7,18-19]。随着 GIS 技术的快速发展以及 DEM 数据在地形分析领域的广泛应用,综合 GIS 技术对 DEM 数据开展目标地形特征的提取研究,逐渐成为研究热点^[17,20]。基于 GIS 技术及 DEM 数据,定量提取西双版纳州山顶点的技术流程如图 3 所示。

在山顶点的基础上综合考虑区域自然地理环境的限制条件、视频监控点大视野覆盖的基本要求、边境人员大规模流动的可能地带。因此,本研究结合西双版纳州客观条件,遵循科学性、综合性原则,选取视频点重点监控指标(NDVI、人口密度和交通密度)、视频点限制监控指标(水系、坡位和坡度)作为初始山顶点筛选视频监控点的主要因子。

1)NDVI 是反映植被覆盖度的最佳指标因子,在植被遥感监测领域得到广泛应用^[21]。随着植被覆盖指数的增大,该区域的隐蔽性随之增加,不利于观察边民行踪。使用研究区 Landsat8 OLI 影像数据和 ENVI5.1 软件下的 NDVI 提取工具,得到西双版纳州植被覆盖空间分布特征。

2)人口密度可反映区域空间繁华程度和人员集中水平^[22]。人口密度越大说明边境来往人群组成越复杂,不利于突发公共卫生风险的应对。夜光遥感影像的像元灰度值可以较好模拟人口数量^[22]。研究借鉴高义等^[23]的方法,得到西双版纳州人口数量与像元灰度值的函数关系如式(1)。并引入人口格网模型比例系数和初始人口格网值对反演人口进行修正,即

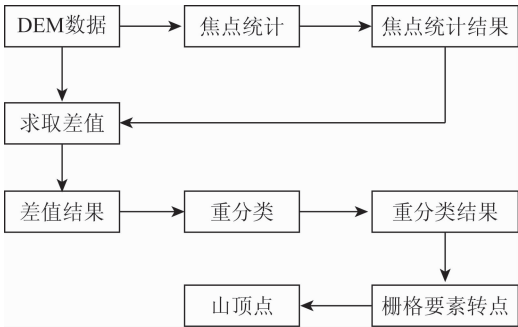


图 3 研究区山顶点提取流程

Fig. 3 Flow chart of peak point extraction in the study area

2.2 视频监控点选址因子选择

边境视频监控点的选址是一项复杂的过程,应

$$p_i = 18\,547.03\,R_N^3 - 104\,342.22\,R_N^2 + 187\,312.91\,R_N \quad , \quad (1)$$

$$K_N^i = p_i / P_{N(i)}^0 \quad , \quad (2)$$

$$P_{\text{Grid}(i)} = K_N^i P_{\text{Grid}(i)}^0 \quad , \quad (3)$$

式中: p_i 为西双版纳州第 i 个县市人口总数; R_N 为对应县市珞珈一号夜光数据的总辐射值(DN 值); K_N^i 为人口格网模型比例系数; $P_{N(i)}^0$ 为各县市初始

人口数目; $P_{\text{Grid}(i)}^0$ 为初始人口数的格网值; $P_{\text{Grid}(i)}$ 为第 i 个县市每一个格网分布的人口数,栅格单元分辨率为 $120\text{ m} \times 120\text{ m}$ 。

3)交通密度可以说明区域道路密集程度和车辆畅通水平,是衡量城市服务水平的重要指标^[24]。

在不同的交通密度水平下,人群流动的表现形式有所不同,边民会做出对应的偷渡决策。基于 ArcGIS10.7 软件的线密度分析工具,得到西双版纳州交通密度空间分布特征。

4) 水系冲刷对斜坡具有侵蚀作用,会增大山体发生崩塌滑坡灾害的可能性^[24],而本研究监控点选址多靠近山体。从现实监控点建设稳定性维护出发,选取水系因素为限制因子。对西双版纳州水系建立 50 m^[25] 的缓冲区分析得到水系缓冲区图层,以确定难以布置监控点的区域。

5) 坡位指地形坡纵剖面的上下位置,按靠近坡顶的位置近似分为上、中、下坡位。下坡位地形区域植被优势种多为高大的乔木^[26],遮挡了视频监控点视野。研究基于 ArcGIS10.7 软件的坡向分析功能和 DEM 数据分析西双版纳州坡位范围。

6) 坡度和高程基本上决定了山区土地资源利用方式^[27]。当坡度超出一定适宜范围,工程施工会带来大量成本消耗,山区坡度较大地区也存在滑坡

泥石流等自然灾害。西双版纳州境内分布着兼具热带雨林的喀斯特地貌,参考张跃红等^[27] 的研究,陡坡是喀斯特地区最为脆弱的单元,其对于人类建设施工活动敏感。利用 ArcGIS10.7 软件的坡度工具,分析西双版纳州 DEM 数据,将坡度分为 5 个级别^[27],得到其空间坡度特征。

2.3 视频监控点选址因子等级划定

结合 ArcGIS10.7 软件的重分类功能与自然断点法将各视频监控点重点监控因子分成 5 个等级,对视频监控点限制监控因子进行合理分级,见表 1。本研究针对边境地区全面性防疫的现实要求及相关研究^[1,2,21,23-26],认为高植被覆盖度区,高、较高、中度人口密度区和高、较高、中度交通密度区有利于边境人员开展偷渡活动,需重点监控这些区域。而在水系 50 m 范围内,下坡位区和陡坡、急坡、险坡等区域受客观自然环境的制约,不适宜视频监控点的布置,并以此选址分级规则作为初始山顶点筛选视频监控点的依据。

表 1 视频监控点选址因子分级
Tab.1 Classification of location factors of video monitoring points

选址指标	单位	分级标准					性质
NDVI	无量纲	低植被覆盖区 [-1, -0.54)	较低植被覆盖区 [-0.54, -0.16)	中度植被覆盖区 [-0.16,0.31)	较高植被覆盖区 [0.31,0.75)	高植被覆盖区 [0.75,1)	正向
人口密度	人/栅格	低人口密度区 [0,7)	较低人口密度区 [7,34)	中人口密度区 [34,51)	较高人口密度区 [51,150)	高人口密度区 ≥150	正向
交通密度	km·km ⁻²	低交通密度区 [0,10.20)	较低交通密度区 [10.20,33.67)	中交通密度区 [33.67,68.36)	较高交通密度区 [68.36,122.44)	高交通密度区 ≥122.44	正向
坡度	(°)	平坡[0,5)	斜坡[5,25)	陡坡[25,35)	急坡[35,45)	险坡≥45	负向
水系	无量纲	视频监控点可布置区水系 50 m 缓冲区范围外			视频监控点禁止布置区水系 50 m 缓冲区范围内		负向
坡位	无量纲	视频监控点可布置区西双版纳上、中坡位区域			视频监控点禁止布置区西双版纳下坡位区域		负向

2.4 初步视频监控点选址

将各防疫重点视频监控点进行汇总,剔除其中的防疫限制性视频监控点,可得到视频监控备选点。但在实际部署工作中,过多的视频监控点会造成监控视野的重合及建设成本的增加,因此本研究通过定义备选视频监控点的筛选规则(图4),从西双版纳

纳州边境线左侧开始右侧结束,构造等高线提取相对高程大的备选视频监控点,以这些点为圆心、5 km 视距为半径模拟视频监控范围,覆盖整个边境。得到初步视频监控点坐标位置。

2.5 可视域分析及最终视频监控点的确定

可视域指的是区域某特定监控点所能观察到的视野范围^[28],通常结合 GIS 的地形可视域分析技术,应用于视频监控布置、森林防火和军事侦察等领域^[28-29]。当前主要的边境视频监控系统的可视距离为 5 000 m,瞭望塔高度是 15 m^[30-32]。为最大程度发挥视频监控点效能,凸显边境防疫重点,降低监控点建设成本,研究只考虑在西双版纳州边境线 5 000 m 监控视距范围内部署监控点,并对部署点开展可视域分析,在监控盲区大的地带选用局部高程最高的备用监控点进行合理补充,以确定最终视频监控点。

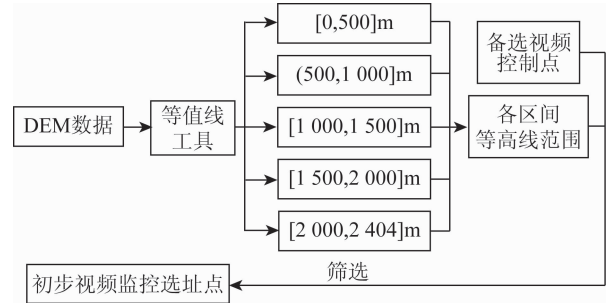


图 4 初步视频监控选址点提取流程

Fig.4 Flow chart of preliminary video surveillance site selection

3 结果与分析

3.1 视频监控选址点选址因子结果

本研究依据图 3 技术流程与缓冲区分析技术,得到了边境线 5 000 m 范围内的 743 处初始山顶点,如图 5。在此基础上,遵循视频监控点选址因子等级划定规则确认初始山顶点中的重点视频监控点及不适宜视频监控点,得到图 6 结果。可以发现西双版纳州植被覆盖整体水平高,边境线区域有 663 处山顶点需进行重点防疫监控,自西向东呈逐渐递增的趋势,在尚勇镇、勐腊镇、勐伴镇和易武乡分布尤为集中(图6(a));西双版纳州人口密度总体较

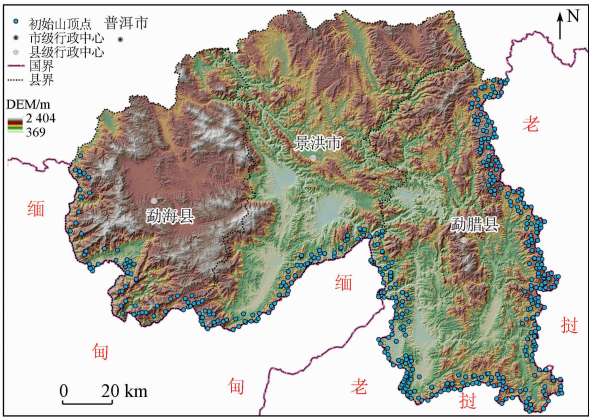
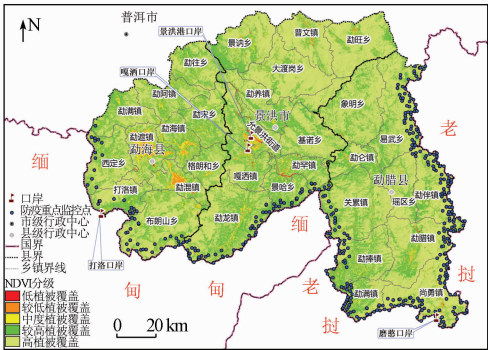


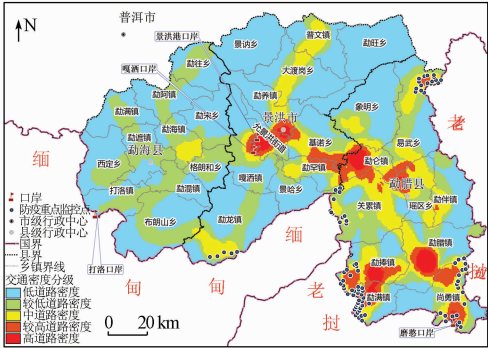
图 5 初始山顶点位置
Fig.5 Initial peak position



(a) NDVI



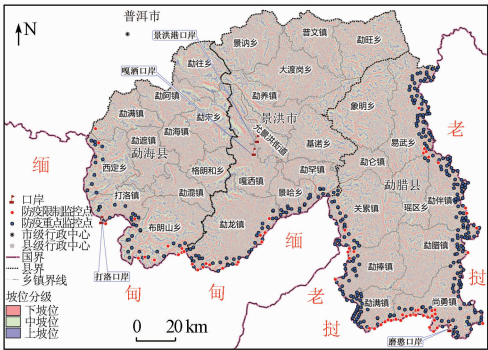
(b) 人口密度



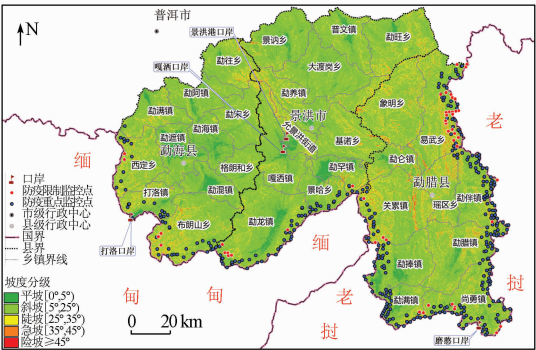
(c) 交通密度



(d) 水系



(e) 坡位



(f) 坡度

图 6 视频监控点选址因子结果

Fig.6 Results of video monitoring point location factor

低,重点防疫监控点仅有 62 处,分布极为零散,靠近边境线,在打洛口岸和磨憨口岸沿线处较为聚集(图 6(b));西双版纳州交通密度在空间上呈现“中间高,四周低”的规律。边境线区域总计有重点防疫监控点 145 处,呈团状聚集在勐捧镇及勐满镇西部、尚勇镇东部、易武乡北部,这些地带交通发达,边境人员来往频繁(图 6(c));西双版纳州边境地带水系纵横,山体众多,可能不利于境内视频监控点稳定维护。研究发现边境沿线存在 56 处防疫限制性视频监控点,主要分布在打洛镇南部和关累镇西部,数量少且分布集中(图 6(d));下坡位地形区域的视频监控点难以获取良好视野范围。在西双版纳州,下坡位地形区域整体分布均匀,位于该区域的防疫限制性视频监控点共计 66 处,在勐满镇和尚勇镇呈带状大量聚集,而其他限制性视频监控点分布零散间距较大(图 6(e));陡坡、急坡和险坡地区不宜监控点的选址建设工作,西双版纳州东部坡度相对较大,总体坡度较平缓。边境区域的防疫限制性视频监控点合计 49 处,主要聚集在东部的易武乡坡度较大处,其他乡镇有少量防疫限制性监控点稀疏分布(图 6(f))。

3.2 视频监控点初步选址结果

初步视频监控选址点如图 7 所示,总计有 75 处,总体分布于[1 000,1 500) m 的高程范围。在尚勇镇视频监控点数量最多达到 14 个,总数量占比为 18.6%。勐罕镇监控点数量最少,仅有 1 个,占总监控点数量的 1.3%。

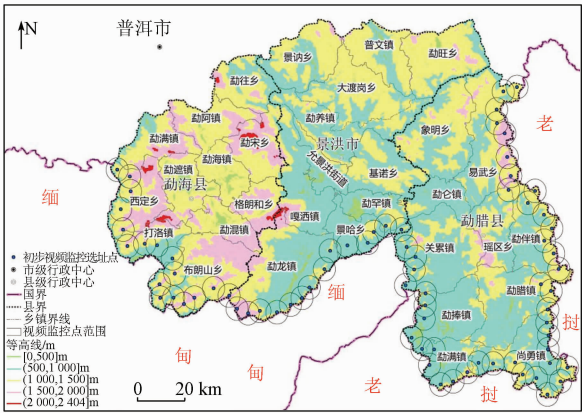
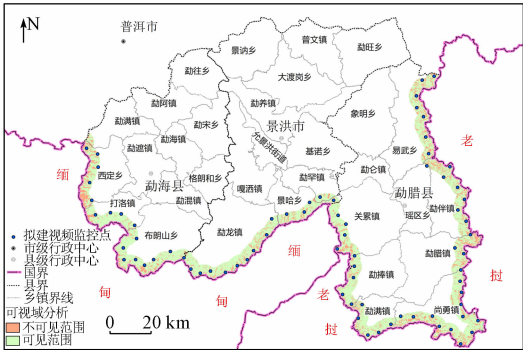


图 7 初步视频监控选址点
Fig. 7 Preliminary video surveillance site

3.3 初步选址视频监控点可视域分析及最终视频监控点选址结果

对覆盖边境线全境的 75 处初步视频监控点开展可视域分析(图 8(a)),有效视野覆盖率达到 83.7%,其中在西定乡西南侧、易武乡东侧、勐腊镇东侧及尚勇镇南侧有大面积的视野盲区。为获取更高的视野效能,在 75 处视频监控选址点基础上按选取高程较高的备选视频监控点,适当予以补充,得到最终视频监控点,新增 28 处选点信息见图 8(b)。最终视频监控点的有效视野覆盖率提高至 93.3%,而剩余视野盲区地带分布零碎,自然地理环境较恶劣,不利于把握监控信息,可结合飞机巡护和边境巡逻等其他辅助监控手段,提高视野效能。



(a) 拟建初步视频监控点视域结果



(b) 补充视频监控点后视域结果

图 8 视频监控选址点视域分析

Fig. 8 View analysis of video surveillance site selection

4 结论

本文针对以往边境视频监控点选址方法的不足,提出一种基于 GIS 技术的边境防疫视频监控点部署方法框架,并以典型边境城市西双版纳州为例

开展应用,确定了一套监控点选址方案。初步得到以下结论:

1) 基于本文提出的视频监控点部署方法框架,最终在西双版纳州边境线选取了 103 处视频监控点,经过可视域分析,其总体边境视野覆盖率达到 93.3%。初步验证了该方法框架的可行性,可满足

现实公共卫生风险应对要求。

2) 本文视频监控点选址方法框架相较于传统单维度适宜性选址方法、数学建模选址方法和算法选址方法, 针对性考虑了边境区域客观条件, 一定程度可避免选址点分布零散不均匀、缺乏整体协同的问题, 提高监控点部署效率。

3) 尽管本研究提出的边境防疫视频监控点部署方法可为边境防疫提供一定技术参考。但仍存在研究局限性, 防疫视频监控点选址因子仅选用 6 项指标难以确定最佳监控部署点, 未来研究可进一步引入人文环境类指标参与评估。此外, 邻近视频监控点之间不可避免会存在视野范围的重合, 如何最大化发挥每一个监控点的视野效能, 而减少视野范围的重合值得探究。

参考文献 (References) :

[1] 杨 晨, 文 成, 许小可. 新冠肺炎疫情对民族地区人口流动的影响[J]. 电子科技大学学报, 2021, 50(6) : 938 – 946.
Yang C, Wen C, Xu X K. The COVID – 19 impact on population flow of ethnic minority areas[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2021, 50(6) : 938 – 946.

[2] 赵梓渝, 韩钟辉, 魏 冶, 等. 中国人口流动管控应对 COVID – 19 疫情效应评估[J]. 地理学报, 2022, 77(2) : 426 – 442.
Zhao Z Y, Han Z H, Wei Z, et al. Effect of population flow control in restraining COVID – 19 in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(2) : 426 – 442.

[3] 刘雪莲, 杨 雪. 新时期维护我国边境安全的思路转向与精准治理[J]. 云南师范大学学报(哲学社会科学版), 2021, 53(5) : 21 – 32.
Liu X L, Yang X. China’s border security governance in the process of opening up: Dilemmas and solutions[J]. Journal of Yunnan Normal University(Humanities and Social Sciences Edition), 2021, 53(5) : 21 – 32.

[4] 程 艺, 刘 慧, 张芳芳. 中国边境口岸地区传染病境外输入风险评估——以新冠肺炎疫情为例[J]. 地理研究, 2022, 41(3) : 851 – 866.
Cheng Y, Liu H, Zhang F F. Cross – border infections in border port areas of China: Take COVID – 19 as an example[J]. Geographical Research, 2022, 41(3) : 851 – 866.

[5] 黄凯奇, 陈晓棠, 康运锋, 等. 智能视频监控技术综述[J]. 计算机学报, 2015, 38(6) : 1093 – 1118.
Huang K Q, Chen X T, Kang Y F, et al. Intelligent visual surveillance: A review[J]. Chinese Journal of Computers, 2015, 38(6) : 1093 – 1118.

[6] 张 超, 刘 亮. 无线视频监控系统在海外社会安全管理中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2019, 15(s2) : 58 – 60.
Zhang C, Liu L. Application of wireless video monitoring system in overseas social security management[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2019, 15(s2) : 58 – 60.

[7] 张 健, 刘 毅, 韩 宁, 等. 鹭峰国家森林公园林火视频监控点的选址[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(5) : 24 – 27.
Zhang J, Liu Y, Han N, et al. Set fire video surveillance site in

Community National Forest Park[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2009, 37(5) : 24 – 27.

[8] Domenikiotis C, Dalezios N R, Faraslis I. GIS – based weather Radar siting procedure in mountainous terrain[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2010, 35(1) : 35 – 42.

[9] 方 磊, 何建敏. 应急系统优化选址的模型及其算法[J]. 系统工程学报, 2003(1) : 49 – 54.
Fang L, He J M. Optimal location model and algorithm of emergency systems[J]. Journal of Systems Engineering, 2003(1) : 49 – 54.

[10] 张钦莹. 多目标应急服务设施选址与资源配置问题研究[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(12) : 153 – 158.
Zhang Y Y. Research on location and distribution of multi – objective emergency resources[J]. China Safety Science Journal, 2011, 21(12) : 153 – 158.

[11] O’Hanley J R, Scaparra M P, Garcia S. Probability chains: A general linearization technique for modeling reliability in facility location and related problems[J]. European Journal of Operational Research, 2013, 230(1) : 63 – 75.

[12] 曾宇容, 王 林, 王思睿. 基于混合果蝇优化算法的选址 – 库存 – 配送集成优化研究[J]. 运筹与管理, 2022, 31(3) : 24 – 30.
Zeng Y R, Wang L, Wang S R. Integrated optimization of location – inventory – delivery problem using hybrid fruit fly optimization algorithm[J]. Operations Research and Management Science, 2022, 31(3) : 24 – 30.

[13] 徐吉智, 张新燕, 常喜强, 等. 基于 PV 曲线和改进遗传算法储能选址定容研究[J]. 太阳能学报, 2022, 43(1) : 263 – 268.
Xu J Z, Zhang X Y, Chang X Q, et al. Research on energy storage location and capacity determination based on PV curve and improved genetic algorithm[J]. Acta Energiate Solaris Sinica, 2022, 43(1) : 263 – 268.

[14] 罗佳欣, 何登旭. 基于改进郊狼优化算法的充电站选址定容规划[J]. 计算机应用研究, 2022, 39(3) : 751 – 757.
Luo J X, He D X. Site selection and capacity planning of charging station based on improved coyote optimization algorithm[J]. Application Research of Computers, 2022, 39(3) : 751 – 757.

[15] 彭大江, 叶春明, 赵灵玮. 改进的蝗虫优化算法在双目标应急物资中心选址问题中的应用[J]. 运筹与管理, 2022, 31(4) : 14 – 20.
Peng D J, Ye C M, Zhao L W. An improved grasshopper optimization algorithm in application of bi – objective location problem for emergency materials centers[J]. Operations Research and Management Science, 2022, 31(4) : 14 – 20.

[16] 胡金龙, 唐梦鸽, 罗明良, 等. 基于 DEM 的一体化山地特征要素提取[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(3) : 422 – 430.
Hu J L, Tang M G, Luo M L, et al. The extraction of characteristic elements of mountain based on DEM[J]. Journal of Geo – Information Science, 2020, 22(3) : 422 – 430.

[17] 熊礼阳, 汤国安, 杨 昕, 等. 面向地貌学本源的数字地形分析研究进展与展望[J]. 地理学报, 2021, 76(3) : 595 – 611.
Xiong L Y, Tang G A, Yang X, et al. Geomorphology – oriented digital terrain analysis: Progress and perspectives[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(3) : 595 – 611.

[18] 赖晨曦, 付蔚霞, 王海江, 等. 基于林火强度分析的森林防火监测点选址[J]. 测绘通报, 2021(s2) : 267 – 270.
Lai C X, Fu W X, Wang H J, et al. Location selection methods of

forest fire monitoring points based on forest fire intensity analysis [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2021 (s2): 267 – 270.

[19] 李雯静, 胡丹, 李楠. 基于地理场景的矿区监控选址模型 [J]. 金属矿山, 2020 (9): 87 – 95.

Li W J, Hu D, Li N. Study on monitoring site selection model of mining area based on geographical scene [J]. Metal Mine, 2020 (9): 87 – 95.

[20] 吴浩, 黄创, 张建华, 等. GNSS/GIS 集成的露天矿高边坡变形监测系统研究与应用 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2015, 40 (5): 706 – 710.

Wu H, Huang C, Zhang J H, et al. Deformation monitoring system for high slope in open pit mine with the integration of GNSS and GIS [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2015, 40 (5): 706 – 710.

[21] 刘咏梅, 范鸿建, 盖星华, 等. 基于无人机高光谱影像的 NDVI 估算植被盖度精度分析 [J]. 自然资源遥感, 2021, 33 (3): 11 – 17. doi:10. 6046/zrzyyg. 2020406.

Liu Y M, Fan H J, Gai X H, et al. Estimation accuracy of fractional vegetation cover based on normalized difference vegetation index and UAV hyperspectral images [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2021, 33 (3): 11 – 17. doi:10. 6046/zrzyyg. 2020406.

[22] 布自强, 白林波, 张佳瑜. 基于夜光遥感的宁夏沿黄城市群时空演变 [J]. 自然资源遥感, 2022, 34 (1): 169 – 176. doi:10. 6046/zrzyyg. 2021118.

Bu Z Q, Bai L B, Zhang J Y. Spatio – temporal evolution of Ningxia urban agglomeration along the Yellow River based on nighttime light remote sensing [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34 (1): 169 – 176. doi:10. 6046/zrzyyg. 2021118.

[23] 高义, 王辉, 王培涛, 等. 基于人口普查与多源夜间灯光数据的海岸带人口空间化分析 [J]. 资源科学, 2013, 35 (12): 2517 – 2523.

Gao Y, Wang H, Wang P T, et al. Population spatial processing for chinese coastal zones based on census and multiple night light data [J]. Resources Science, 2013, 35 (12): 2517 – 2523.

[24] 孙昂, 杨清华, 刘智, 等. 西里古里走廊地区道路交通: 分布特征、通行能力与地质环境 [J]. 自然资源遥感, 2021, 33 (3): 138 – 147. doi:10. 6046/zrzyyg. 2020421.

Sun A, Yang Q H, Liu Z, et al. Transportation in the Siliguri Corridor, West Bengal, India: Distribution characteristics, trafficability, and geological environment [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2021, 33 (3): 138 – 147. doi:10. 6046/zrzyyg. 2020421.

[25] 易明华, 吴辉, 叶柯. 地理国情的地质灾害危险性评价 [J]. 测绘科学, 2017, 42 (8): 40 – 43.

Yi M H, Wu H, Ye K. Research on geological disaster's safety evaluation based on geographical conditions information [J]. Science of Surveying and Mapping, 2017, 42 (8): 40 – 43.

[26] 于飞, 王得祥, 史晓晓, 等. 不同生态条件下松栎混交林 3 种优势乔木种群的更新规律 [J]. 西北植物学报, 2013, 33 (5): 1020 – 1026.

Yu F, Wang D X, Shi X X, et al. Regeneration rules of three dominant tree species in a pine oak mixed forest under different ecological conditions in the Qinling mountains [J]. Acta Botanica Boreali – Occidentalia Sinica, 2013, 33 (5): 1020 – 1026.

[27] 张跃红, 安裕伦, 马良瑞, 等. 1960—2010 年贵州省喀斯特山区陡坡土地利用变化 [J]. 地理科学进展, 2012, 31 (7): 878 – 884.

Zhang Y H, An Y L, Ma L R, et al. Land use change of slope I and in Karst mountainous regions, Guizhou Province during 1960—2010 [J]. Progress in Geography, 2012, 31 (7): 878 – 884.

[28] 亢晓丽, 亢晓琛. 大规模 DEM 数据并行可视域分析算法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (6): 1970 – 1972.

Kang X L, Kang X C. Parallel viewshed analysis on large scale DEM data [J]. Computer Measurement and Control, 2014, 22 (6): 1970 – 1972.

[29] 靳海亮, 李留磊, 袁松鹤, 等. 一种用于三维城市建筑物的可视域分析算法 [J]. 测绘通报, 2018 (1): 103 – 106.

Jin H L, Li L L, Yuan S H, et al. A viewshed analysis algorithm for 3D urban buildings [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2018 (1): 103 – 106.

[30] 廖恒昌. 远距离激光夜视监控系统的设计、实现及其应用 [D]. 云南: 云南大学, 2015.

Liao H C. Design, implementation and application of remote laser night vision monitoring system [D]. Yunnan: Yunnan University, 2015.

[31] 米先润. 港口远距离昼夜视频监控系统解决方案 [J]. 中国安防, 2015 (8): 102 – 105.

Mi X R. Port remote day and night video monitoring system solutions [J]. China Security and Protection, 2015 (8): 102 – 105.

[32] 曹黎俊, 黄凯奇. 大范围视频监控下的人群密度估计和预测系统 (英文) [J]. 中国通信, 2013, 10 (5): 79 – 88.

Cao L J, Huang K Q. Video – based crowd density estimation and prediction system for wide – area surveillance [J]. China Communications, 2013, 10 (5): 79 – 88.

GIS – based study on the deployment of video monitoring points for epidemic prevention in the Xishuangbanna border area

LI Yimin^{1,2}, YANG Yiming¹, ZHAO Zhifang^{1,2,3}, WU Bowen¹

(1. College of Earth Science, Yunnan University, Kunming 650500, China; 2. Yunnan University Research Center of Domestic High – Resolution Satellite Remote Sensing Geological Engineering, Kunming 650500, China; 3. Key Laboratory of Sanjiang Metallogeny and Resources Exploration, Ministry of Natural Resources, Kunming 650500, China)

Abstract: The deployment of video monitoring points for epidemic prevention in border areas is an important

measure to deal with emergencies and has great significance for regional public health security. The deployment of video monitoring points mainly focused on cities in the past. Few studies concerned the deployment of video monitoring points based on the characteristics of border areas and emergency response needs. This study constructed a framework for the deployment of video monitoring points for epidemic prevention in the border area of Xishuangbanna Dai Autonomous Prefecture. The suitability and limiting factors of monitoring points were determined for the multi-round selection of monitoring points. More monitoring points were deployed properly in areas with low monitoring efficiency. Finally, the appropriate deployment sites for epidemic prevention monitoring points in Xishuangbanna were determined. The results are as follows. With the video monitoring points for epidemic prevention determined in this study, 93.3% of the area within 5 km of the Xishuangbanna border can be observed. Thus, information on people flow at the border can be comprehensively obtained. Compared with the conventional site selection methods using single-dimensional suitability, mathematical modeling, and algorithms, the proposed deployment method of video monitoring points for border epidemic prevention is more suitable for the actual situation of border areas and can give full play to the overall coordination level of the deployment of monitoring points. Besides, this proposed method avoids the complex application of conventional methods. Therefore, the site selection method of video monitoring points for epidemic prevention proposed in this study provides theoretical reference and technical support for current COVID-19 prevention in border areas, so as to ensure regional public health security and national sustainable development.

Keywords: geographic information system; video monitoring point; site selection methods; visibility analysis; the border

(责任编辑: 李 瑜)