

引用格式:王永全,汪驰升,王乐涵,等.民航客机平台夜光遥感方法在香港经济活动变化检测中的应用[J].地球信息科学学报,2020,22(5):1153-1160. [Wang Y Q, Wang C S, Wang L H, et al. Preliminary application of night light remote sensing based on passenger aircraft in Hong Kong economic activity zone changes identification[J]. Journal of Geo-information Science, 2020,22(5):1153-1160.] DOI: 10.12082/dqxxkx.2020.190549

民航客机平台夜光遥感方法在香港经济活动变化检测中的应用

王永全^{1,2},汪驰升^{1,2,3*},王乐涵¹,余佳霓¹,李清泉¹

1. 广东省城市空间信息工程重点实验室,深圳大学建筑与城市规划学院,深圳 518060; 2. 自然资源部大湾区地理环境监测自然资源部重点实验室,深圳大学,深圳 518060; 3. 自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室,深圳 518060

Preliminary Application of Night Light Remote Sensing based on Passenger Aircraft in Hong Kong Economic Activity Zone Changes Identification

WANG Yongquan^{1,2}, WANG Chisheng^{1,2,3*}, WANG Lehan¹, SHE Jiani¹, LI Qingquan¹

1. Guangdong Key Laboratory of Urban Informatics, School of Architecture & Urban Planning, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China; 2. Key Laboratory for Geo-Environmental Monitoring of Great Bay Area of Ministry of Natural Resources, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China; 3. Key Laboratory of Urban Land Resources Monitoring and Simulation of Ministry of Natural Resources, Shenzhen 518060, China

Abstract: Large-scale sustained demonstrations will seriously affect the stability of social order. Since June 2019, Hong Kong's economy has been affected to some extent by the impact of continuous demonstrations on various industries. Rapid and accurate identification of areas affected by demonstrations plays a very important role in loss assessment, economic recovery, and government governance. In this paper, we proposed a novel method to identify the affected areas using night light remote sensing and VGI data. Firstly, we captured the highly overlapping photographs of the study area by a mobile phone on passenger aircraft on August 28, 2019. Following regular photogrammetry steps, night light remote sensing image was generated. Then we compared it with POI density maps and LuoJia-01 night light image, and initially marked the affected areas, which were further validated by VGI photos. We finally confirmed two affected areas in Kwun Tong District. A simple quantitative analysis was performed to assess the influence on affected areas. We conclude that the proposed method can quickly identify the areas where economic activities are affected in Hong Kong. Our method can also be used to study economic changes in other cities, which is of great application value in precise urban governance.

收稿日期:2019-09-25;修回日期:2020-03-24.

基金项目:深圳市科创委研究项目(KQJSCX20180328093453763、JCYJ20180305125101282);国家自然科学基金项目(41974006);自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室(KF-2018-03-004);深圳大学教师启动项目(2018073)。 [**Foundation items:** Shenzhen Scientific Research and Development Funding Program, No.KQJSCX20180328093453763, JCYJ20180305125101282, National Nature Science Foundation of China, No.41974006; Key Laboratory of Urban Land Resources Monitoring and Simulation of Ministry of Natural Resources, No.KF-2018-03-004; Shenzhen University NatureScienceFunding Program (2018073).]

作者简介:王永全(1994—),男,安徽五河人,硕士生,主要从事系留无人机和遥感数据分析及应用研究。

E-mail: 1058309323@qq.com

*通讯作者:汪驰升(1988—),男,江西抚州人,博士,助理教授,主要从事雷达数据分析及应用。E-mail: wangchisheng@163.com

Key words: passenger aircraft; night light remote sensing; VGI data; protest movements; socio-economic changes; impact area identification; brightness; Luojia 1-01

***Corresponding author:** WANG Chisheng, E-mail: wangchisheng@163.com

摘要:大规模持续的示威游行活动会影响一个城市的经济活动。自2019年6月开始,香港地区持续性的示威游行活动对多个行业产生冲击,香港地区经济受到一定程度影响。快速准确地识别出经济活动受影响区域将有助于政府进行准确损失评估和制定有效的经济恢复政策。本文首次提出使用民航客机夜光遥感结合VGI数据识别经济活动受影响区域的方法。首先在民航客机平台上用手机获取了研究区域2019年8月28日的高度重叠的照片,然后基于摄影测量技术对照片进行拼接处理生成夜光遥感影像,再与珞珈一号-01星夜光遥感影像、POI密度图对比初步筛选出受影响区域。最后通过VGI照片数据进行验证,检测出观塘区有2个经济活动下降的区域,并做了定量分析,发现在观塘区有2个区域的DN值相关比例分别下降了9.52%和19.42%。利用本文的方法能快速识别香港经济活动受影响区域,对于研究其他城市的经济变化有着借鉴意义,在城市精准治理方面也有重要的应用价值。

关键词:民航客机;夜光遥感;志愿者地理数据;游行示威活动;社会经济变化;影响区识别;光亮度;珞珈一号

1 引言

2019年6月起,香港有示威者发起了“反修例”大规模游行集会,这次事件逐渐演变为持续性的游行示威活动。根据香港特别行政区政府统计署公布的数据可知,香港部分地区的餐饮业、交通业、旅游业、零售业等均因此受到影响,经济水平产生明显波动。2019年8月,香港商界活跃程度经历了2008年至今最大幅度的下滑。截止2019年8月15日,特区政府已将全年经济增长预期由2%~3%下调至0%~1%(<https://www.censtatd.gov.hk>)。

评估大规模群体活动导致的经济活动影响对政府决策有重要帮助。为了确定游行示威活动导致经济下滑的区域,需要对事件发生前后的经济状况进行比较分析。传统的经济调查主要依靠统计人员调查,耗时耗力而且会出现统计内容不全面、数据质量差、难以得出区域实际情况等问题,同时还存在人为误差的可能^[1]。夜光遥感数据作为一种相对客观的数据,在研究区域经济发展方面有着很多的应用,可以用于进行区域生产总值的预测^[2],估算GDP密度并宏观地展示区域社会经济分布特征^[3],以及估计区域的经济增长状况^[4]。夜光遥感主要是获取地面的夜间灯光,能够更多地反映人类的经济活动,且图像的连续性、客观性、时效性较强^[5]。基于灯光数据和社会经济现象之间较强的相关关系,部分学者利用夜光遥感对某些动乱地区的经济形势或民生状况进行的评估,李德仁等^[6-7]利用夜光遥感数据对“一带一路”沿线城市的社会经济发展状况进行对比分析;Elvidge等^[8]将夜间卫星影像和人口密度两种数据结合,编制了“夜间发光指数”,以

便在空间上分析不同区域经济发展状况的差异;李德仁等^[9]对叙利亚内战时期其内部灯光时空分布及变化进行研究。

目前市面上的夜光遥感影像产品主要依赖于遥感卫星获取,但是遥感卫星获取的影像具有分辨率较低,波段单一,成本高昂等缺点。对于获取事件突发的重点区域的高分辨率夜光遥感影像也存在一些挑战,例如时间上存在滞后,影像可用性不稳定。因此,很难满足对城市运行中的变化进行及时监测的需求。随着智能手机的广泛使用,遥感开始变得大众化,普通的非专业人员也可以进行专业的遥感影像采集^[10]。智能手机已经被研究用于无人机平台上的摄影测量^[11],面对众源遥感影像的处理方法也在快速发展^[12],使得大众遥感可以弥补传统遥感方法的不足。众源遥感具有数据量大、来源广、信息丰富等特点,经过一些简单的处理也可以生成有用的遥感产品用于灾害监测^[13]。现有的众源遥感主要基于地面平台获取,因此获取的数据覆盖范围比较有限。然而,民航客机作为一种空中平台可以覆盖的范围更大。基于民航客机平台可以快速获取高分辨率的地面影像,时间分辨率更高,并且能够消除一部分云层的干扰^[14],为研究城市变化提供了新的数据与方法。

本次研究过程将基于民航客机平台使用智能手机获取香港的夜光遥感影像,并对部分地区游行示威活动前后的经济状况进行分析。我们将事件发生前后的城市夜间灯光影像与兴趣点(Point of Interest, POI)数据以及在各个互联网交互平台上所收集到的自发地理信息(Volunteered Geographic In-

formation, VGI)数据相结合^[15],确保所收集数据更加多样化,能够更全面地反映实际情况,也能够收集香港现阶段数据资料的同时避免地区游行示威活动对资料收集者个人人身安全造成威胁。

2 研究区概况、数据源与研究方法

2.1 研究区概况

香港位于中国东南面,毗邻广东省,由香港岛、九龙、新界和周围262个岛屿组成,总人口约748.25万人,是世界上人口密度最高的地区之一(<https://www.censtatd.gov.hk>)。香港是重要的国际金融、贸易、航运中心和国际创新科技中心,作为粤港澳大湾区的中心城市之一,香港具有重大的区位优势,也将起到重要作用。2019年6—9月的100多天时间,由香港修例风波引起的示威活动有130多起。这一系列抗议活动主要发生在香港市中心地带,对商业、旅游业都造成很大程度的影响。为分析示威活动对经济活动造成的影响,本研究使用了民航客机平台智能手机采集的夜光遥感数据。本文数据覆盖了九龙半岛南部的大部分地区,包括了观塘区、九龙城区、深水埗区、油尖旺区等经济最活跃的地区(图1)。

2.2 数据源

本研究的主要数据来源有:手机拍摄的夜间灯光照片、POI数据、珞珈一号-01星夜光遥感数据、飞机航迹数据、社交媒体照片。

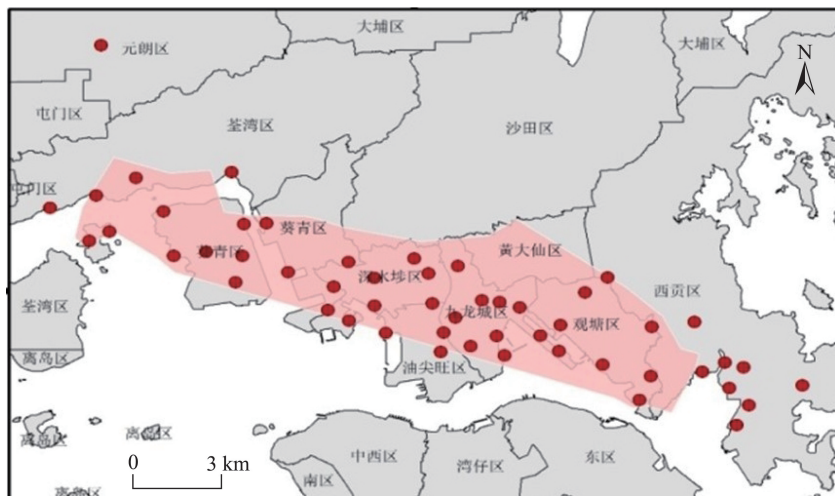
(1)夜间灯光照片:照片获取的时间是在2019年8月28日。乘客乘坐国泰港龙航空公司的KA606次航班,该航班的机型为AirbusA320-232,用于拍摄照片的手机是华为P30pro。飞机自西向东飞行,飞行路径是一条比较平稳的没有过多转向的线。乘客坐在靠窗的座位,用手机俯拍地面有灯光的区域,每隔一秒拍摄一次,最终得到164张连续且具有较高重叠度的照片。由于拍摄的照片中存在一些曝光出错、角度扭曲较大或者云量较多的照片,因此需要对照片进行筛选与清洗,得到像素稳定且含云量少的64张照片。

(2)POI数据:于2019年9月从OSM(<https://www.openstreetmap.org/>)网站获取得到,与民航客机夜光影像获取的时间接近。研究区的数据量约5000条,平面定位精度约50 m,获取的数据并不干净,本文根据相关研究的结果,对POI数据进行了剔除异常值和坐标转换处理。

(3)夜光遥感数据:珞珈一号-01星夜光遥感数据是从武汉大学申请得到的,该影像为单波段,它利用275景,幅宽250 km的夜光遥感影像,基于地面控制点生产制作,地面分辨率为130 m,定位精度为195 m,影像获取时间是香港示威活动发生之前,为2018年6月至2018年12月。

(4)飞机航迹数据:由<https://flightadsb.vari-flight.com>网站上收集得到的,为KA606次航班2019年8月28日的飞行轨迹数据,数据量为15.2 KB。

(5)社交媒体照片:从社交网站Flickr和ins上



注:红色阴影区域为影像覆盖的地区,红色圆点为地面控制点。

图1 影像覆盖区域及地面控制点分布

Fig. 1 Area of image covered and ground control point distribution

获得的,其中一部分照片的发布时间是在游行示威活动发生之前的2019年2月,另一部分的发布时间是在2019年8—9月之间,这段时间游行示威活动正在发生。志愿者们在社交媒体上发布照片时会添加一些描述性文字,这对确定照片拍摄地点有很大的帮助,有助于我们从中获取定位信息并与实际地点进行比对。

2.3 研究方法

本研究创建了一套数据采集,图像处理和结果分析验证的流程(图2),主要步骤包括夜间灯光照片的采集、辅助数据的收集处理、影像处理与分析、结果验证。

由于在飞机飞行过程中无法打开网络,无法对

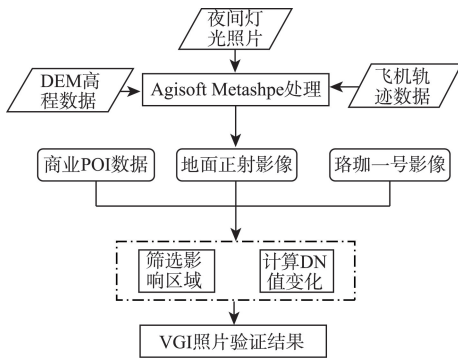


图2 经济活动变化区域检测研究流程

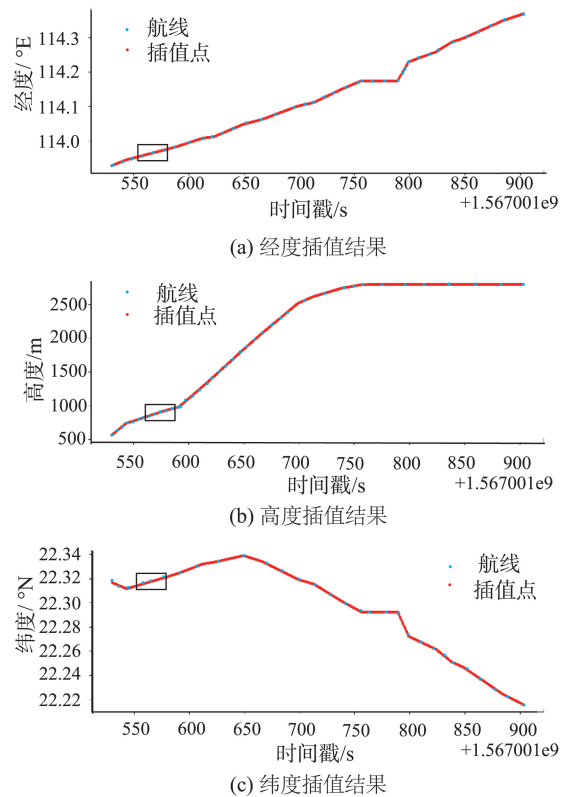
Fig. 2 Flow chart of economic activity change area detection

手机位置进行定位,因此选择用飞机的航迹坐标与相片的时间戳匹配来代替相机位置。但是获取的飞机航迹数据点过于稀疏,需要通过一些方法对航迹点进行加密。本研究使用的是线性插值方法对飞机航迹点以1 s的时间间隔进行插值,如图3所示为飞机航迹点插值结果。

本研究使用目前国际上比较流行的无人机航测数据处理软件 Agisoft Metashpe 对获取的相片进行处理生成数字正射影像(Digital OrthophotoMap, DOM)。Agisoft Metashpe 处理数据的算法基础是基于运动信息恢复三维场景结构方法^[16-18](Structure from Motion, SfM),该软件可以通过相片的EXIF 标签读取焦距值、传感器尺寸和其他内部摄像机方向参数,结合相机位置信息可以完成模型的建立和正射影像的生成^[19]。在生成DOM的过程中需要地面控制点对影像进行校正与优化,将照片上的特征点与 GoogleEarth 相结合,选择了52个地面

控制点(图1),这些控制点的平面坐标是通过 GoogleEarth 获得的,高度信息是用平面坐标通过 ArcGIS 10.2 提取星载热辐射和反射辐射计(AS-TER)30 m分辨率全球数字高程模型(GDEM)的值得到的。因为夜间灯光照片的特征比较少,所以地面控制点要尽量选择道路的交口,图4为其中一个控制点。由于 Agisoft Metashpe 处理得到的影像会出现边缘模糊且变形较大的问题,故使用 ENVI 5.2 软件对影像边缘进行裁剪,最终得到覆盖香港几个重要游行示威活动点的夜光遥感影像,分辨率为 4.5 m,含有4波段(红、绿、蓝、Alpha 通道)。为了让空间分析在相同的坐标系下进行,使用 OSM 的路网数据对珞珈一号-01 星数据和民航客机夜光遥感影像进行地理配准。

将 POI 数据导入 ArcGIS 中,通过空间分析工具,计算得出 POI 点核密度图并覆盖到整个研究区域,通过对 POI 密度高的地区与获得的手机夜光遥感影像以及珞珈一号-01 星夜光遥感数据进行目视比对,确定 POI 密度与灯光亮度差别较大的区域 1 和区域 2



注:黑色矩形框区域为研究区的飞机航迹坐标。

图3 飞机航线插值结果

Fig. 3 Flight path interpolation results

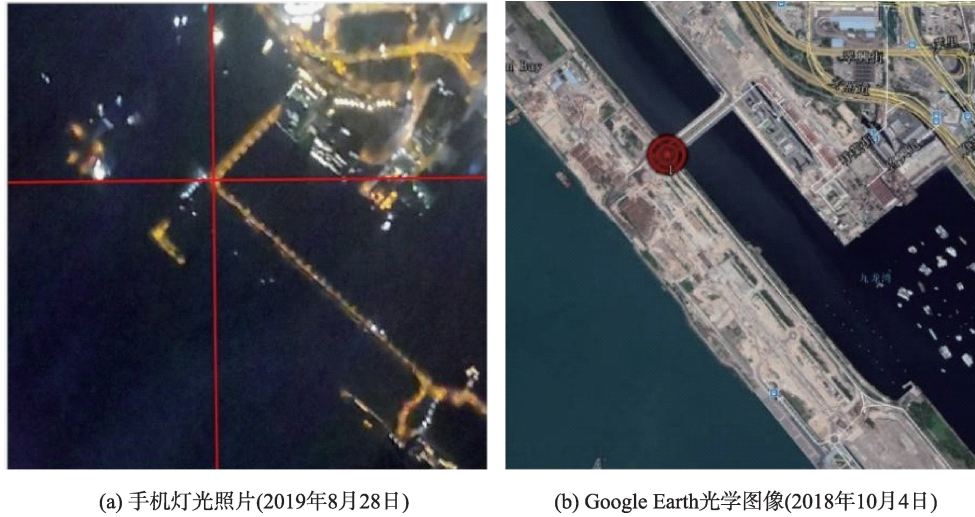


图4 手机灯光照片与 Google Earth 中地面控制点的比较

Fig. 4 Comparison of smartphone light photos with ground control points in Google Earth

(图5)。再计算每个POI在民航客机夜光遥感影像和珞珈一号-01星夜光遥感影像上所对应的像元亮度值(Digital Number, DN), 并进行计算和统计。

(1) 计算整个研究区域内的POI对应的DN值的平均值, 公式如下:

$$M = \frac{\sum_{m=1}^n (DN)_m}{n} \quad (1)$$

$$L = \frac{\sum_{l=1}^n (DN)_l}{n} \quad (2)$$

式中: M 为民航客机夜光遥感影像中所有POI点对应DN值的平均值; L 为珞珈一号-01星夜光遥感影像中所有POI点对应DN值的平均值; n 为所有的POI数量。

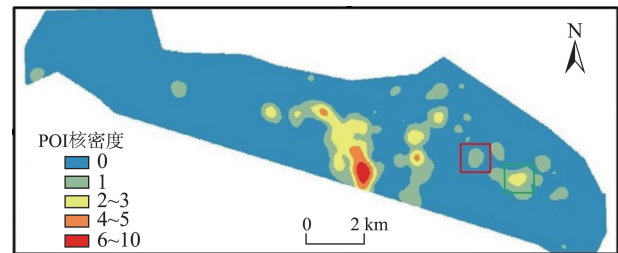
(2) 计算区域1和区域2内POI对应的DN值的平均值, 公式如下:

$$K_m = \frac{\sum_{m=1}^{27} (DN)_m}{27} \quad (3)$$

$$K_l = \frac{\sum_{l=1}^{94} (DN)_l}{94} \quad (4)$$

式中: K_m 表示受影响区域内的POI在民航客机夜光遥感影像上对应的DN值的平均值; K_l 表示受影响区域内的POI在珞珈一号-01星夜光遥感影像上对应的DN值的平均值; 27为区域1内的POI数量; 94为区域2内的POI数量。

(3) 计算比例区域1和区域2中POI点对应DN



注: 红色线框范围为区域1, 绿色线框范围为区域2。

图5 研究区2019年9月POI密度

Fig. 5 POI density map of the study area in September, 2019

值的平均值与整个研究区内所有POI点对应DN值的平均值的比例, 公式如下:

$$P_m = \frac{K_m}{M} \quad (5)$$

$$P_l = \frac{K_l}{L} \quad (6)$$

式中: P_m 表示受影响区域内的POI在民航客机夜光遥感影像上对应的DN值的平均值与整个研究区内所有POI点在民航客机夜光遥感影像上对应DN值的平均值的比例; P_l 表示受影响区域内的POI在珞珈一号-01星夜光遥感影像上对应的DN值的平均值与整个研究区内所有POI点在珞珈一号-01星夜光遥感影像上对应DN值的平均值的比例。

计算出比值的变化率, 其表达式为:

$$V = \frac{P_m - P_l}{P_l} \times 100\% \quad (7)$$

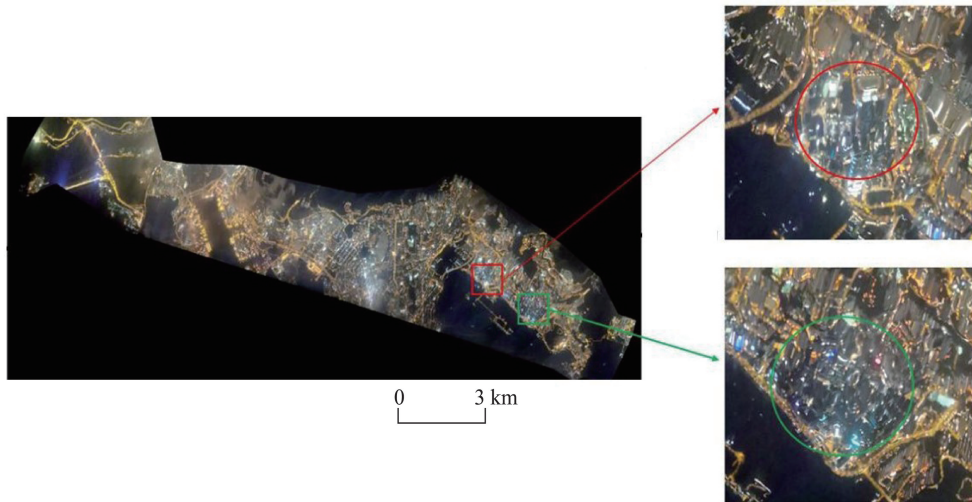
式中: V 表示受影响区域灯光的变化率。

(4) 用志愿者社交媒体照片作为验证数据来检验手机夜光遥感影像分析方法的正确性。

3 结果及分析

3.1 影响区域筛选

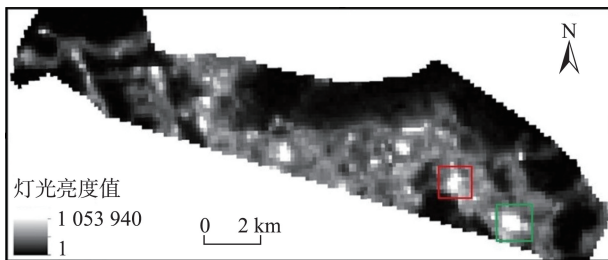
经过比较POI密度图和手机夜光遥感影像,发现位于观塘区的区域1和区域2的POI密度相对周边地区较高(图5),表明这2个区域是经济活动的聚集点,相应的这两个地区的灯光亮度也会比周边区域高,但是手机夜光遥感影像显示这2个区域的灯光亮度并不强(图6),因此初步筛选出这2个区域为被游行示威影响区域。



注:红色线框范围为区域1,绿色线框范围为区域2。

图6 研究区2019年8月28日民航客机夜光遥感影像

Fig. 6 Passenger aircraft night light remote sensing image of the study area in August 28, 2019



注:红色线框范围为区域1,绿色线框范围为区域2。

图7 研究区珞珈一号01星夜光遥感影像

Fig. 7 Lujia-01 night light remote sensing image of the study area

度图对比发现很强的相关性。通过粗略的定量分析,发现区域1内POI对应的DN值的平均值占整体

3.2 影响区域灯光变化

本研究中是在香港示威活动事件发生之后进行的,所以示威活动之前的民航客机夜光遥感影像没有采集,珞珈一号-01星的寿命只有6个月,所以没有示威活动开始后的夜光遥感影像。综合以上原因,虽然DN值的绝对值不一样,但是相对的比值可以作为参考,故使用珞珈一号-01星夜光遥感作为前期参考数据与民航客机夜光遥感影像进行对比分析。为了验证POI密度与经济活动正相关,使用珞珈一号-01星夜光遥感影像(图7)与POI核密

的比例下降了9.52%,区域2内POI对应的DN值的平均值占整体的比例下降了19.42%(表1)。

3.3 VGI数据验证

最后又使用VGI照片进行验证,发现2019年9月的社交媒体照片显示该区域的夜晚灯光亮度相较于2019年2月社交媒体照片有较大的降低,表明利用手机夜光遥感监测香港游行示威活动影像区域是可行且有效的,图8显示了游行示威活动前后的照片。后期调查发现2019年8月24日观塘地区出现了较大规模的聚集抗议活动事件,游行示威活动的参与者破坏了许多智慧灯柱和其他公共设施

表1 区域1与区域2中POI对应的DN值与所占比值变化率

Tab. 1 The DN values and the percentage change ratios of the POIs in area 1 and area 2

区域	POI数量/个	民航客机夜光遥感DN平均值(K_m)	珞珈一号-01星DN平均值(K_l)	比例1(P_m)/%	比例2(P_l)/%	变化率(V)/%
区域1	27	121.50	3280.47	0.84	0.76	9.52
区域2	94	120.83	11 358.29	1.03	0.83	19.42



图8 游行示威活动前后的社交媒体照片

Fig. 8 VGI photos before and after the demonstration

(图8(d)),会对事发地的夜间经济产生负面影响,进而影响夜间灯光亮度。

4 结论与讨论

4.1 结论

对于城市游行示威活动等重大事件影响区域的监测需要高质量、高时效性的数据。利用高精度的遥感数据与精确的地面调查数据可以很好的完成城市尺度的研究。但是现阶段的遥感卫星很难快速获得高精度的夜光遥感影像,对事件的响应也不够敏感;地面调查数据的经济成本高,速度慢,而且还需要将多源数据进行融合,才能够更加精确的完成分析。本研究利用民航客机夜光遥感结合

VGI数据对香港受游行示威活动影响的经济活动区域进行变化初步检测,并通过计算夜光比例的变化,对受影响的程度进行定量分析。主要结论:

(1)民航客机夜光遥感影像的分辨率更高,波段也更多,而且数据更新速度比传统方法更快,成本也更低。利用民航客机夜光遥感影像可以在短时间内获取香港地区的夜光遥感影像。这说明了民航客机夜光遥感影像数据的可用性以及较强的应用潜力。

(2)VGI数据作为一种分布广泛的大数据其中可以挖掘的信息更多,多源大数据的融合能够避免单一数据的不确定性。利用VGI数据进行验证,证实了香港观塘地区存在打砸事件,当地的灯光变暗,经济活动受到影响。

(3)通过计算光亮度比例变化率,发现区域1的光亮度比例变化率为9.52%,发现区域2的光亮度比例变化率为19.42%。区域2为受到的影响相比区域1来说较大,可能是因为区域2为游行示威活动的起点,受管制较少,公共设施破坏较严重。

(4)通过研究POI的属性发现区域1和区域2都为商业区,结合夜光遥感影像表明游行示威活动影响最大的地区是商业区,对居民区的影响不大。

4.2 讨论

本研究是对香港游行示威活动区域的夜间灯光数据的初步应用,在后续研究中,利用民航客机夜光遥感影像可以挖掘出更多的信息。例如研究非法游行示威活动与合法集会的不同影响、不同土地利用分类的区域受非法游行示威活动的影响、以及不同行业受非法游行示威活动的影响,可以对整个事件进行综合的评估。另外,我们还可以利用民航客机

夜光遥感图像研究游行示威活动发生点的地理空间分布,为政府部门的精准治理提供基础数据支持。

民航客机夜光遥感数据目前的局限性在于数据量少,覆盖的区域还不够大,大气校正和辐射校正方面的操作还很难进行。但是民航客机夜光遥感数据的分辨率更高,波段更多,数据更新较快等诸多优势使得它有更多可以挖掘的潜在应用。随着未来民航客机夜光遥感形成众包形式,数据量小的问题会得到解决。在后续的工作中需要在辐射校正,大气校正等方面进行进一步的研究,形成一个系统化、标准化的数据生成流程。总之,民航客机夜光遥感数据作为一种新的遥感数据源,结合其他的VGI数据能够更好的对经济活动区域变化进行初步检测。

参考文献(References):

- [1] 陶然,苏福兵,陆曦,等.经济增长能够带来晋升吗?—对晋升锦标赛理论的逻辑挑战与省级实证重估[J].管理世界,2010(12):13-26. [Tao R, Su F B, Lu X, et al. Can economic growth bring promotion? Logical challenge to the theory of promotion championship competition and provincial empirical reevaluation[J]. Management World, 2010(12):13-26.]
- [2] 范强,吕建东,李森.利用夜光数据的东北三省国内生产总值预测[J].遥感信息,2019,34(4):3-10. [Fan Q, Lu J D, Li M. Prediction of GDP in northeast China based on night light data[J]. Remote Sensing Information, 2019,34(4):3-10.]
- [3] 韩向娣,周艺,王世新,等.夜间灯光遥感数据的GDP空间化处理方法[J].地球信息科学学报,2012,14(1):128-136. [Han X D, Zhou Y, Wang S X, et al. GDP spatialization in China based on nighttime imagery[J]. Journal of Geoinformation Science, 2012,14(1):128-136.]
- [4] Henderson J V, Storeygard A, Weil D N. Measuring Economic Growth from Outer Space[J]. American Economic Review, 2012,102(2):994-1028.
- [5] 李德仁,李熙.论夜光遥感数据挖掘[J].测绘学报,2015,44(6):591-601. [Li D R, Li X. An overview on data mining of nighttime light remote sensing[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2015,44(6):591-601.]
- [6] 李德仁,余涵若,李熙.基于夜光遥感影像的“一带一路”沿线国家城市发展时空格局分析[J].武汉大学学报·信息科学版,2017,42(6):711-720. [Li D R, Yu R H, Li X. The spatial-temporal pattern analysis of city development in countries along the belt and road initiative based on nighttime light data[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2017,42(6):711-720.]
- [7] 江威,何国金,彭燕,等.夜光遥感在“一带一路”战略中的应用潜力展望[J].中国科学院大学学报,2017,34(3):296-303. [Jang W, He J G, Peng Y, et al. Application potentiality and prospects of nighttime light remote sensing in “the Belt and Road” initiative[J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2017,34(3):296-303.]
- [8] Elvidge C D, Baugh K E, Anderson S J, et al. The Night Light Development Index(NLDI): A spatially explicit measure of human development from satellite data[J]. Social Geography, 2012,7(1):23-35.
- [9] Li X, Li D. Can night-time light images play a role in evaluating the Syrian Crisis?[J]. International Journal of Remote Sensing, 2014,35(18):6648-6661.
- [10] 单杰.从专业遥感到大众遥感[J].测绘学报,2017,46(10):1434-1446. [Shan J. Remote sensing: From trained professionals to general public[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017,46(10):1434-1446.]
- [11] Kim J, Lee S, Ahn H, et al. Feasibility of employing a smartphone as they load in a photogrammetric UAV system[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2013,79:1-18.
- [12] 崔萌,谢曹东,单杰.面向内容的众源影像聚合检索与智能筛选[J].测绘科学,2019,44(3):165-171. [Cui M, Xie C D, Shan J. Content-based crowdsourcing imagery retrieval and intelligent screening[J]. Science of Surveying and Mapping, 2019,44(3):165-171.]
- [13] 王玉娟,段建波,刘士彬,等.基于众包的遥感灾害监测与评估模型[J].国土资源遥感,2017,29(2):104-109. [Wang Y X, Duan J B, Liu S B, et al. Remote sensing disaster monitoring and evaluation model based on crowdsourcing [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2017,29(2):104-109.]
- [14] Wang C S, Ke J Z, Xiu W Q, et al. Emergency response using volunteered passenger aircraft remote sensing data: A case study on flood damage mapping[J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2019,19(19):4163.
- [15] Goodchild M F. Citizens as sensors: The world of volunteered geography[J]. GeoJournal, 2007,69(4):211-221.
- [16] 赵云景,龚绪才,杜文俊,等. PhotoScan Pro 软件在无人机应急航摄中的应用[J].国土资源遥感,2015,27(4):179-182. [Zhao Y J, Gong X C, Du W J, et al. UAV imagery data processing for emergency response based on PhotoScan Pro[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2015,27(4):179-182.]
- [17] Snavely N, Seitz, S M, Szeliski R. Modeling the world from Internet photo collections[J]. International Journal of Computer Vision, 2008,80:189-210.
- [18] Westoby M, Brasington J, Glasser, et al. Structure-from-Motion photogrammetry: A novel, low-cost tool for geomorphological applications[J]. Geomorphology 2012,179:300-314.
- [19] Agisoft dense cloud classification&DTM generation with Agisoft photoscan professional[EB/OL]. <http://www.agisoft.ru/tutorials/Photoscan/08/>.