中国科学: 技术科学 2021 年 第 51 卷 第 1 期: 78 ~ 88
SCIENTIA SINICA Technologica techcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

论 文

城市天际线对地动态观测：一种新型城市突发事件遥感监测方式探讨

汪驰升[1,2], 郭雪晴[1], 崔红星[1*], 王新雨[1], 王永全[1], 江锦成[3], 李清泉[1]

1. 深圳大学自然资源部大湾区地理环境监测重点实验室, 深圳 518060;
2. 深圳大学自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室, 深圳 518060;
3. 中国科学院深圳先进技术研究院, 深圳 518055
* E-mail: cui1492143326@gmail.com

收稿日期: 2020-02-11; 接受日期: 2020-04-08; 网络版发表日期: 2020-06-10
深圳市科创委研究项目(编号: KQJSCX20180328093453763, JCYJ20180305125101282)、国家自然科学基金项目(批准号: 41974006)、自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室开放基金项目(编号: KF-2018-03-004)、深圳大学教师启动项目(编号: 2018073)和广东省教育厅特色创新项目(编号: 2018KTSCX196)资助

摘要 城市突发事件响应急需高时效性的地理空间数据支持. 传统遥感数据受时效性、精细度、获取性等方面约束, 往往在面临此类事件时无法发挥关键作用. 本文提出了一种基于城市天际线固定平台的动态对地遥感模式. 该方法通过在超高层建筑(>300 m)上架设遥感传感器, 经过遥感数据处理过程, 获取实时动态的标准化遥感产品. 这种遥感方式具备成本低、传感器布设维护容易、无云层干扰、实时观测、观测范围广等优点. 城市天际线对地动态遥感方式是城市规模中小尺度动态空间数据获取的有效方式, 可以用于城市流动(人流、车流)监控、地表沉降监测、城市夜光分析等, 在城市突发事件响应(如火情、洪灾、大规模群体活动)方面具有很大的应用潜力.

关键词 城市遥感, 天际线, 动态观测, 应急响应

1 引言

随着近年来计算机和传感器技术的快速发展, 地理信息系统(GIS)以及遥感技术(RS)在分析洪涝、火灾、台风、大规模群体活动等城市突发事件呈现出崭新的应用前景[1~3]. 地理信息系统能对地理空间数据进行存储、分析以及空间特征可视化. 遥感技术能将环境的遥感信息转换为影像数据并可对其识别、提取和处理, 是城市监测、管理、分析的有效数据源[4]. 但目前常用的卫星遥感技术获取城市空间信息还存在一定的局限性[5]. 在时间分辨率方面, 卫星遥感技术观测获取遥感影像的时间分辨率一般是以天为单位, 相对于突发事件, 无法满足对其实时监测[6,7]; 在空间分辨率方面, 卫星遥感技术获取的遥感影像的空间分辨率, 一般分布在10~100 m之间, 对于商业卫星获取的亚米级别的遥感影像, 需高昂费用购买. 因此, 常用的卫星遥

引用格式: 汪驰升, 郭雪晴, 崔红星, 等. 城市天际线对地动态观测: 一种新型城市突发事件遥感监测方式探讨. 中国科学: 技术科学, 2021, 51: 78–88
Wang C S, Guo X Q, Cui H X, et al. Dynamic earth observation based on an urban skyline: A new remote sensing approach for urban emergency response (in Chinese). Sci Sin Tech, 2020, 2021, 51: 78–88, doi: 10.1360/SST-2020-0036

© 2020 《中国科学》杂志社

感技术获取的影像分辨率很难对城市地面目标提供可靠精细的空间分布信息数据; 另外, 在卫星光学遥感影像成像过程中, 还严重受天气云层影响[8], 只有在晴天无云雾和光线充足的条件下, 才可获取一定区域的完整影像.

在当前大数据时代的背景下, 互联网技术和社交媒体快速发展促使了信息爆炸式增长, 给公众了解突发事件信息、政府开展应急响应和灾害管理带来了新的途径[9,10]. 互联网科技公司在灾情信息传递中扮演着越来越重要的角色. 如在台风、洪涝等突发灾害事件发生期间, 媒体或官方会通过微博、微信公众号等公众信息平台发布实时消息, 一些位置服务科技公司或者通信运营商也会收集用户贡献的位置数据, 受突发事件影响的个人也会通过社交网络发布自己感知的事件信息. 这些数据为突发事件发展趋势评估、救援路线规划以及资源调配和补给提供重要的支持[11,12]. 但是这些地理空间大数据存在样本不全面、精准度不够、数据源分布广泛、数据结构差异大等特点[13,14], 在开展城市突发事件应急响应中也存在着一定挑战.

为进一步满足城市应急响应中对及时、全面、准确的空间信息数据获取的需要, 本文提出了基于城市天际线固定平台的动态对地遥感模式. 该方法通过在超高层建筑(>300 m)上架设遥感传感器, 经过遥感数据处理过程, 获取实时动态的标准化遥感产品. 相比传统遥感技术观测, 天际线观测技术获取的遥感数据具备成本低、传感器布设维护容易、无云层干扰、实时观测、观测范围广等优点. 在同一天际线观测平台上, 可根据应用要求搭载不同类型的传感器, 从而获得不同类型多波段的遥感观测数据, 实现不同维度的观测. 例如, 可见光传感器获取的数据可用于分析车流量和人流量的分布密集度和轨迹特征; 夜光传感器获取的数据可用于提取精细分析区域经济发展所需的灯光信息; 热红外传感器获取的数据可提取温度异常建筑物进行火情预警和发现. 除此之外, 还可以根据城市突发事件监控特定需求, 搭载更多类型传感器, 为城市突发事件监控提供更多类型的数据支持.

2　城市天际线遥感可行性

2.1　城市天际线发展

城市是人类生活最密集的场所. 根据联合国世界城市化发展报告, 全球城市人口到2050年将占全部人口的68%[15]. 城市化的快速发展, 也给建筑技术带来了革新, 高层城市建筑数量不断增加, 形成了独特的城市轮廓线景观. “天际线”这一词最早出现于19世纪末, 当时正值现代城市摩天大楼的崛起之际, 评论家Montogometry Schuyler将这些高层建筑形成的城市景观描述为skyline(天际线)[16]. 城市天际线更广义的概念被定义为自然轮廓线与城市建筑群轮廓线叠加构成的整体与天空的交界形态面[17].

天际线的形态伴随着城市的发展不断变化. 一般情况下, 由于建筑建成时期不同, 城市在不同阶段呈现出来的天际线也有很大不同. 早期的城市规模小, 天际线也相对清晰简单; 后面, 随着城市规模的不断扩大, 天际线也变得庞大复杂. 我国改革开放以来, 城市化进程大幅加快, 城市的摩天大楼数量越来越多, 世界最高的前100座已建成建筑有将近一半是在中国建成的[18]. 以南方典型特大城市深圳为例, 自1980年深圳经济特区成立以来, 城市经济不断发展, 城市高层建筑迅速增加. 早在20世纪90年代, 南山区建成了世界之窗的建筑, 而福田区还只有道路没有建筑, 当时的天际线整体靠近地面, 趋于平稳. 近30年来, 深圳最高建筑不断更新, 从160 m的国贸大厦, 到384 m的地王大厦, 再到442 m的京基100(图1), 直到现在592 m的平安大厦. 深圳形成了以深南大道为轴线, 多中心簇拥的天际线发展态势[19]. 现在的天际线有18座300 m以上的超高层建筑(表1), 而且各区域分布均衡, 为城市观测提供了有利的平台.

2.2　城市天际线对地观测优势

卫星遥感在城市应用领域还面临诸多难题, 如其观测周期长、云层干扰大、高分辨率卫星费用昂贵[6]. 在南方典型特大城市深圳, Landsat全年仅能获取3~5景有效观测数据, 根本无法满足对城市精细管理和获取实时动态数据的需求. 随着越来越多摩天大楼的建设, 城市天际线为城市遥感提供了一个新的观测平台. 这些超高层建筑轮廓和自然山体构成的天际线观测平台, 相对于卫星平台而言, 具有成本低、传感器布设维护容易、无云层干扰、实时观测、观测范围广等优点(图2).

成本低: 天际线上的超高层建筑和自然山体为现成设施, 无需任何平台建设成本, 仅需基本的传感器

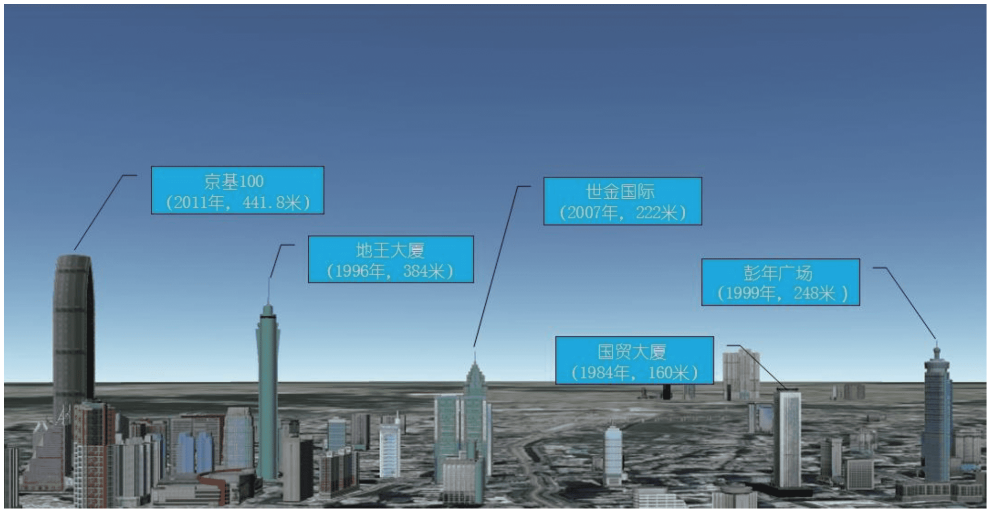


图 1 (网络版彩图)深圳市深南大道罗湖段部分高层建筑分布

Figure 1 (Color online) Distribution of some high-rise buildings in Luohu section of Shennan Avenue, Shenzhen.

表 1 深圳市18座300 m以上高楼列表

Table 1 List of 18 high-rise buildings above 300 m in Shenzhen

建筑名称	区域	高度 (m)
地王大厦	罗湖区	384
赛格广场	福田区	356
京基100	罗湖区	441.8
京基滨河时代	福田区	300
东海国际公寓A座	福田区	308
长富金茂大厦	福田区	304
中洲金融中心	南山区	303
汉国城市商业中心	福田区	330
深圳平安金融中心	福田区	592
汉京金融中心	南山区	360
深业上城T1栋	福田区	389
中国华润集团总部大厦	南山区	393
深圳湾1号、7号塔楼	南山区	341
深圳宝能中心	罗湖区	327
华侨城大厦	南山区	300
卓越前海金融中心T1	南山区	312
世茂前海中心	南山区	近300
华润前海中心	南山区	近300

架设成本. 与昂贵的飞机和卫星平台比, 具备显著成本优势.

传感器布设维护容易: 地基观测的优势是环境适宜, 对传感器限制少. 因此, 可以克服星载平台对荷载的重量、工作温度、续航等方面的要求. 另外, 地面具有充足的保障和易达性, 传感器换代更新容易, 维护方便, 数据传输快速.

无云层干扰: 天际线观测高度基本都位于云层之下. 偶尔超高建筑可能会被低至几百米高度的积云和碎积云遮挡, 但随着云层的移动, 也可以叠加得到去云的清晰数据. 因此可以有效避免云层干扰, 获得无云层影响的数据.

实时观测: 由于天际线固定于地面, 无重访周期, 获取信息的频率高, 从而能实时获取城市地表遥感观测数据, 这是机载、星载等平台无法比拟的.

观测范围广: 世界超高层建筑学会的新标准定义超高层建筑的高度为300 m以上. 这一高度高于一般交通监控摄像头和消费级无人机的限飞高度, 具备遥感观测的远距离特点, 与地面和无人机观测相比, 有显著广泛的观测范围.

3 天际线对地动态遥感观测概念

3.1 平台

平台是遥感的基础部分. 在遥感的发展历程中, 遥感平台从初期的热气球、风筝、鸽子, 逐渐发展到现代的航空飞机、航天飞机、空间站、卫星等. 在商业遥感系统出现之前, 飞机是遥感数据的主要采集平台.



图 2　(网络版彩图)天际线对地观测示意图和优势
Figure 2　(Color online) The diagram of skyline earth observation and its advantages.

随着高分辨率商业卫星遥感数据涌入市场，星载遥感成为地理空间数据生产的主要来源[20]. 卫星遥感由于具备大的空间覆盖范围和稳定的运行轨迹，在大尺度自然和人文现象观测中被广泛使用.

不过与全球、大洲、国家等大尺度区域相比，城市是一种较小尺度的区域，对大范围观测平台的需求并不是那么急需. 为满足城市高动态和精细监测需求，无人机、航空飞机等灵活性更强的平台往往受到更多青睐，被用于数字城市、城市建模、应急监测等诸多领域. 不过受城市航线管制和飞行成本等限制，无人机及航空飞机作业也通常受到约束. 城市天际线的高层建筑恰好在高度上可以接近低空遥感的高度，但同时又兼具地基平台的优势，是一种可用布设多类型传感器的理想城市遥感平台.

从城市景观研究的定义，城市天际线一般包括了与天空交接的城市山体、植被、建筑物、构筑物等自然和人为要素. 其中, 位于天际线上的超高层建筑物顶点, 由于地面保障和可达性好, 是理想的遥感传感器放置地点. 在早期城市发展阶段, 天际线建筑高度低或者超高层建筑少的情况下, 天际线视线覆盖范围有限, 不具备作为遥感平台的意义. 但随着城市化进程不断加快，大中型城市的发展，带来了大量摩天大楼的崛起，位于几百米高度的天际线建筑物顶点视线可覆盖范围得到了显著增强(图3). 在城市的大多数非封闭空间，视线范围内一般可以看到至少1栋超高层建筑.

3.2　数据获取

与其他航空或者航天遥感平台类似，天际线平台也可以放置常用的遥感观测传感器，包括可见光相机、夜光遥感相机、热红外相机、多光谱相机、高光谱相机、激光雷达、合成孔径雷达等，从而获取多种波段、多种用途遥感观测数据. 天际线作为地基平台，一个显著的优势是传感器布设环境友好，地面保障充分. 对传感器抗温、能耗、重量等无特别限制，这些特点一方面可以降低传感器成本，另一方面可以扩大适用的遥感传感器范围.

相比于车载、船载、机载和星载等运动平台，天际线观测点是固定点，具备相对稳定的空间位置. 在非精密测量情况下，可以不用获取实时姿态位置数据，因此无需额外安装定位定姿传感器，也避免了位置姿态数据带来的误差. 但是，固定点的观测范围也是固定的，不能够像运动平台那样通过运动的方式来获取大范围的观测数据. 为了尽可能覆盖到整个视场的数据，可以参照一般遥感数据获取方式，设计两种数据采集方法(图4). 第一种是基于摄影成像的方式，一次曝光过程拍摄目标一幅像片. 通过在各个方位布设多个摄影成像系统，对重叠影像拼接，进而获得大范围数据. 第二种是基于扫描成像的方式，以瞬时视场为单位，利用扫描镜对整个视场地物进行逐点或者逐行数据采集. 在一个扫描时间周期内，获得一幅大范围完整数据. 第一种数据获取方式所需的传感器更多，但是每个方向的成像数据时间一致，无需复杂扫描结构. 第二种数据获取方式不需各个方向安装传感器，但是需要扫描结构, 同时成像有一个扫描周期的延迟.

3.3　处理方法

天际线平台遥感观测数据同样遵循常规遥感数据处理步骤，主要包括预处理、几何校正、辐射校正、

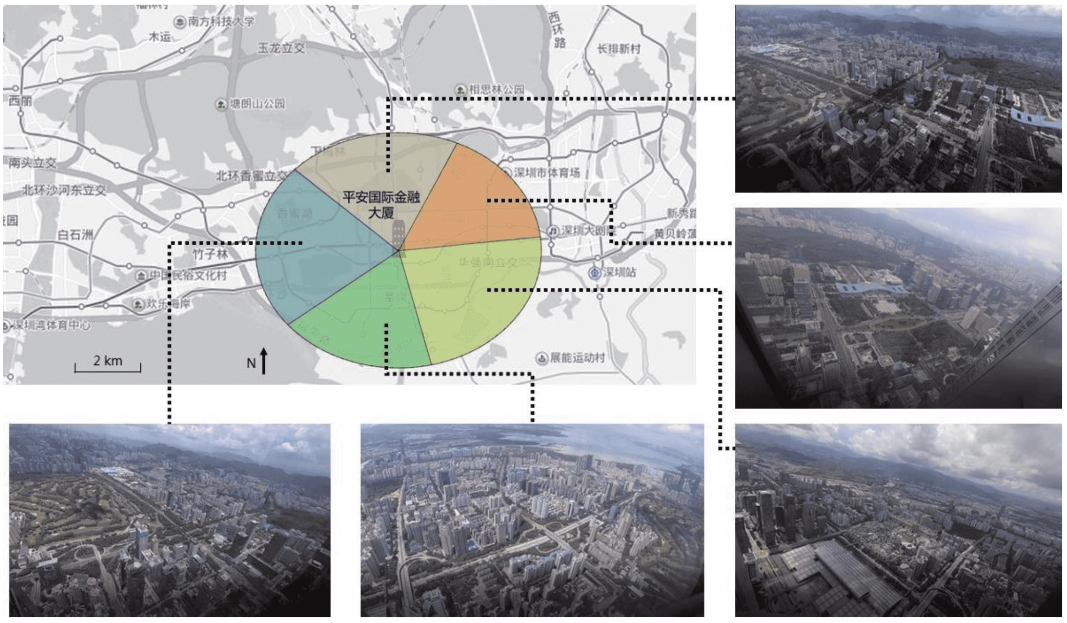


图 3 (网络版彩图)深圳市平安国际金融大厦视线可覆盖范围及观测实景图

Figure 3 (Color online) Sight coverage of the Pingan International Finance Centre, Shenzhen and the land observation images.

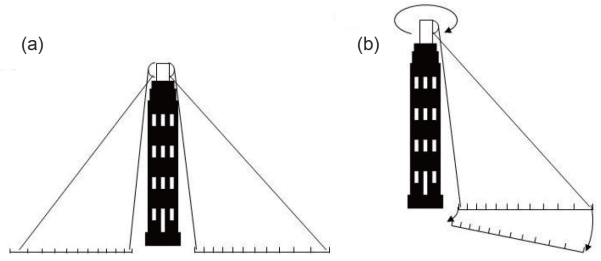


图 4 两类天际线数据获取方式示意图. (a) 多相机组合; (b) 扫描成像

Figure 4 The diagram of two skyline data acquisition methods. (a) Multi-camera combination; (b) scanning imaging.

信息提取等过程. 预处理主要包括观测数据检查、数据剔除、图像去噪等. 几何校正目的是把原始影像数据定位到特定的地理坐标系, 具体为考虑观测区域数字高程模型、观测几何参数、传感器参数等, 对影像的几何变形进行校正. 辐射校正对传感器本身误差和电磁波传输过程中的大气影响进行去除, 获得能够反映地物目标光谱反射率的图像亮度值. 信息提取则是在标准化的遥感产品上根据目的提取所需信息, 可以有信息增强、目视解译、分类、定量反演等不同内容[21]. 虽然天际线平台遥感数据处理流程与常规遥感数据处理大体一致, 不过由于数据自身特点, 具体细节又有些不同, 主要体现在以下两个方面.

几何校正差异: 天际线平台观测都是固定倾斜成像(图5), 倾斜成像可以获得建筑物等地面目标的立面信息, 但是也带来了近处远处分辨率不一致和高层建筑遮挡的问题, 需要设计使用多观测点数据融合和远近场变焦距观测等方式来解决.

辐射校正差异: 由于天际线观测点距离地面目标

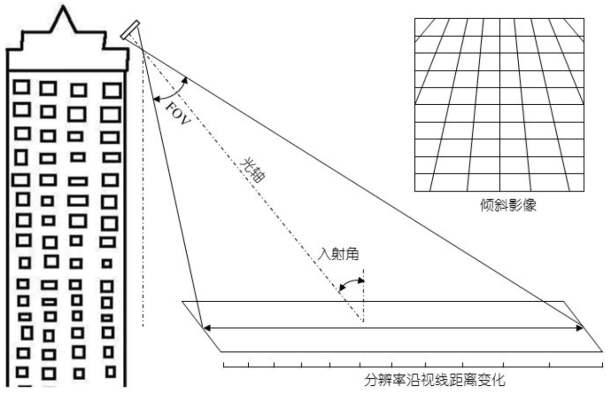


图 5 天际线对地观测成像示意图

Figure 5 The imaging geometry of earth observation based on urban skyline.

相对卫星平台较近，同一幅图像近场和远场的大气辐射传输距离差异显著. 在进行定量遥感研究当中，需要对这种差异进行专门考虑. 同时，由于观测点位于云层之下，城市上空的云层在太阳照射下会在地表形成大面积阴影，云层阴影也是辐射校正中需特别考虑的因素.

3.4　遥感基础产品形态

城市突发事件主要以获取地面目标空间分布与运动特征为主，动态正射遥感影像为主要遥感产品，同时，根据特定需要也可生成三维点云、三维实景模型、正射遥感影像、地表形变等基础遥感产品. 不过值得注意的是，由于天际线遥感实时动态的观测特点，这些产品也都是实时动态的，具有很大的应用潜力.

动态正射遥感影像: 经过几何正射校正之后，不同传感器观测的数据可以制作成动态的可见光正射影像、夜光正射影像、热红外正射影像、高光谱影像、雷达正射影像等. 可见光正射影像可用于提取地面人流量、车流量的分布密集度和轨迹等空间特征，夜光正射影像可用于分析城市经济和社会活动情况，热红外正射影像可用于提取建筑物和植被等目标的温度异常.

动态三维点云: 城市动态三维点云产品可以通过LiDAR和摄影测量两种方式获得. LiDAR产生三维点云的方式与地基固定站LiDAR一样，不过由于城市范围广，一般的LiDAR可能只能获取近场有限区域范围内的点云. 摄影测量生成城市点云的方式就相对灵活，可以组合天际线的多观测点重叠像片，形成立体观测，从而解算三维点云.

动态三维实景模型: 基于三维点云数据，结合倾斜摄影可以观测立面的优势，进而可以制作动态三维实景模型产品.

动态城市地表形变: 在天际线观测点架设雷达观测传感器(可直接放置GB-InSAR装备)，进行差分干涉，进而可以获取城市大范围的动态地表形变产品.

4　需考虑的相关技术问题

天际线遥感观测由于平台和数据形式与传统遥感有着显著的不同，具备固定、斜距、高动态性的特点. 要能够真正地有效服务于城市突发事件管理，还需要进行一些相关技术的研究和突破，至少有如下几点.

4.1　高动态数据压缩与信息提取

城市天际线固定平台实时监测，会产生大量遥感影像数据. 如何实现高效数据压缩并从动态数据中快速提取有效信息，是天际线动态遥感观测能实现工程化应用的必要保障. 由于观测数据分辨率很高，相邻采样点的相关性也很高，同时观测数据具有实时性，因此有很大部分是重复数据. 为实现有效的数据压缩和提高数据传输效率，可从以下两点考虑. 一是在降低数据储存量上做处理，即在确定获取信息类型的前提下，对不感兴趣的物不进行重复储存. 短时间内建筑物一般不会发生变化，通过计算机视觉技术和地理属性，对影像中的建筑物进行识别后做掩膜处理，只对感兴趣的人流量和车流量信息进行识别和储存，以此降低数据的储存量. 二是在降低数据储存量的基础上，使用数据降维技术和有效压缩技术. 天际线观测数据主要用于获取人流、车流以及其他感兴趣地物的密集度、轨迹特征以及其他空间特征，因此，以获取高动态的数据为主，可对多波段通道数据进行降维处理，再结合小波变换压缩算法、矢量量化压缩算法或利用深度学习算法等实现对数据的有效压缩.

4.2　斜视等分辨率成像设备与技术

倾斜成像的一个重要缺点在于同一幅影像上近场和远场分辨率差异很大. 如果下采样到远场的分辨率，会损失近场的细节. 而上采样到近场的分辨率，远场的很多像素都是无效像素，浪费存储和处理资源. 在成像设备上，可研制组合多变焦镜头的斜视等分辨率成像设备和技术(图6)，远场进行高分辨率成像，近场进行低分辨率成像，以缓解远近场真实分辨率差异大的情况. 在处理技术上，针对远场影像中随成像设备与地物距离增加地物的成像更加倾斜和模糊的现象，为保证获取有效的影像信息和降低数据处理量，可在确定有效影像边界后，对边缘无效信息，包括影像中天空光和无效地物信息进行删除. 同时，为进一步增强远场有效影像的空间分辨率，可采用图像超分辨率重建方法，利用信号处理技术将远场低分辨率提高并重建出高质量的清晰影像[22]. 对比处理后的远场影像空间分辨率与近场影像分辨率存在的偏差，然后根据偏差对近场影像采取降采样方法，实现远近场影像分辨率

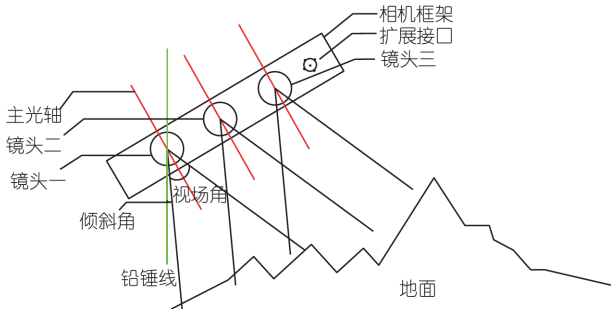


图 6 (网络版彩图)多镜头组合等分辨率斜距成像设备简易设计图

Figure 6 (Color online) A simple design of equal-resolution oblique imaging equipment with multi-lens combination.

一致, 最后通过影像融合, 获得真实等分辨率正射影像图, 将可以有效克服倾斜成像带来的成像分辨率不均一的问题.

4.3 倾斜影像几何校正

天际线遥感监测数据要变成遥感标准化产品, 几何定标是其中最为重要的一环. 由于城市密集建筑物的存在, 高精度正射校正必不可少, 这些都要基于精确的相机成像内外方位元素和高精度数字表面模型(DSM). 因此, 需要研究天际线固定观测场景下快速几何定标的流程和技术, 实现动态正射校正产品的快速准确输出.

4.4 多源数据融合

城市天际线对地动态观测作为一种补充的遥感技术观测方式, 其获取的数据源, 不仅可以对不同站点数据融合, 而且可以与不同类型的数据源进行融合, 为挖掘数据的潜在价值提供可能, 进而为城市突发事件监控提供更多类型的数据支持. 具体融合方式表现在以下几方面.

天际线多站数据融合: 要获取大范围城市场景观测数据, 需要融合多个天际线观测点的数据. 另外, 城市建筑物密集, 天际线单站观测数据存在一定遮挡, 多站点数据将可以最大可能减轻建筑物遮挡造成的数据缺失. 天际线动态观测数据实时性强, 各个站点观测角度不一致. 因此, 在天际线多站数据融合研究中, 一方面要解决快速融合、实时输出问题, 另一方面要解决不同观测角度色彩(辐射亮度)平衡问题.

天际线数据与地面监控数据融合: 目前大型城市布设的大量高清摄像镜头, 可获取特定区域内的高清监测数据. 将地面监控影像地理坐标和天际线观测影像地理坐标投影至同一坐标系统中, 对局部地面监控影像和大区域天际线监测影像进行融合, 实现不同源数据的地理坐标配准融合. 地面监控获取的影像, 需要对其进行纠偏和仿射变换, 获取正射角度的影像, 建立监控区域内几何校正模型, 并结合目标识别技术实现地面物体地理属性赋值. 这一过程是融合的关键前提. 在此方式融合的基础上, 可对地面监控的感兴趣目标, 获取其高清影像和地理位置后, 然后将感兴趣目标地理位置参数, 返回至天际线监测的影像位置中, 结合天际线动态监测获取感兴趣目标的运动轨迹. 在地面监控平台上可搭载热红外成像设备, 通过近距离拍摄热红外影像可发现温度异常人体或车辆. 再通过天际线监测锁定目标位置, 获取其活动轨迹.

天际线数据与个人位置数据融合: 这里的个人位置数据狭义的指点位矢量数据, 是通过手机定位的个人位置数据, 如通过手机号、微信、微博或其他社交平台定位的位置数据. 个人位置数据属于个人隐私数据, 所以需在用户同意的前提下, 才可以获取该类数据. 将天际线数据投影到和个人位置数据同一坐标系统下, 实现与天际线观测数据的地理坐标配准融合. 个人位置数据属于点位矢量数据, 其坐标已经是标准投影后的经纬度坐标, 获取无需经过复杂影像处理和几何模型纠正, 其融合难度低于天际线数据与地面监控数据融合难度. 此类融合的必要性, 是在无监控区域并且个人自愿分享位置信息的基础上, 获取个人位置在遥感影像上的真实移动轨迹, 可作为获取轨迹信息的一种补充手段, 为智慧城市的监控服务提供更多的数据支持.

4.5 动态实景三维与三维动态变化检测

天际线动态遥感观测为生产动态实景三维与三维动态变化检测提供了数据上的可能, 但是往往高精度三维数据生产和管理是耗时和难以完全自动化的过程, 如何基于天际线动态遥感观测这种固定方式, 设计开发实时快速三维数据生产和变化监测方法, 是天际线动态遥感观测能够服务于城市应急管理、拓展应用深度的关键.

5　应用

5.1　自然灾害突发事件过程监控

自古以来, 城市都面临着洪涝、火灾、台风等各种自然灾害突发事件. 对灾害过程进行实时监控, 了解灾情发生发展情况是开展有效指挥调动、降低灾害影响、预防次生灾害发生的重要保障. 遥感由于可以提供大范围观测数据成为自然灾害响应中的重要技术. 但卫星遥感受时效性和云层干扰影像, 往往更多地用于灾后评估. 无人机遥感灵活性强, 但滞留时间短, 城市限飞约束多, 观测范围有限. 而且洪涝台风灾害往往伴随暴雨等极端天气, 无人机自然灾害突发事件监控能力也因此受限. 城市天际线动态遥感观测的稳定性、高动态、广覆盖特征, 可以为这些突发事件的快速响应提供有效支持. 例如, 在洪涝事件中, 可以实时提供城市水淹信息, 为疏散人群、快速救援提供帮助. 在火灾事件中, 借助高分辨率热红外和可见光成像系统可以快速发现火情(图7), 观测火势蔓延情况, 指导救援和疏散. 在台风事件中, 可以实时观察台风对建筑物、道路、桥梁、树木等的损坏情况, 为台风后设施恢复, 保持城市正常运转提供帮助.

5.2　群体活动突发事件监控

随着城市化进程的不断加快, 大型城市人群聚集性增多, 群体性公共安全问题突现, 容易诱发群体性突发事件. 如何监测和控制群体活动突发事件是城市安全治理的重要内容. 目前智慧城市建设中设置了对人流和车流的大量地面视频监控, 但一般获取视频或图像的视角是特定和局部的, 不同监控设备获取的数据很难实现融合和拼接. 城市天际线对地动态观测则获取大区域视频或影像数据, 为局部视频监控统计车流量和人流量的汇总提供补充和依据. 在大规模群体活动事件中, 可以快速识别异常人群活动, 对车流量和人流量进行持续性动态监测, 指导警力和救援部署, 避免或减轻群体性安全突发事件的危害. 具体方式可包括如下几种.

(1) 道路车辆人流信息提取: 从光学动态正射影像图中, 使用深度神经网络等机器学习方法快速提取大范围车辆和人群信息(图8(a)). 这些直接观测到的城市客观流动信息, 可以有效补充现在广泛采用的社交网

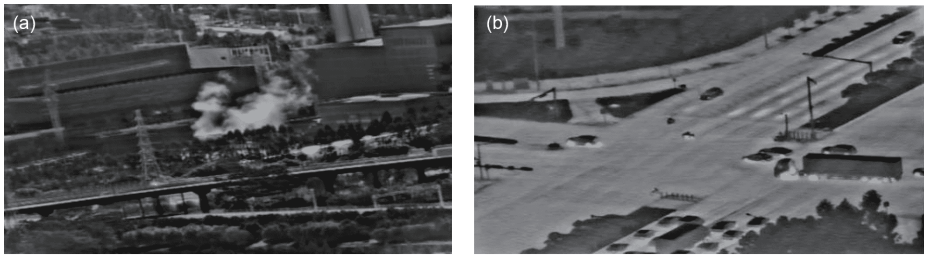


图 7　中低空热红外相机影像示例. (a) 火情场景; (b) 十字路口

Figure 7　Example images captured by thermal infrared camera at low- and mid-altitude. (a) Fire scenario; (b) crossroad scenario.

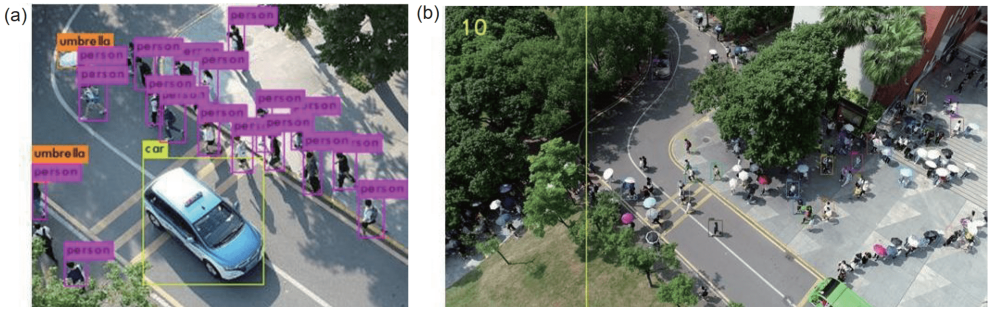


图 8　(网络版彩图)深圳大学校园低空观测人群车辆识别示例. (a) 人群车辆识别; (b) 人群流入计数, 左上角数字显示通过竖线的人数

Figure 8　(Color online) Examples of low altitude observation for crowd and vehicles identification in Shenzhen University. (a) Crowd and vehicles identification; (b) crowd inflow count. The number in the upper left corner shows the number of people passing the solid line.

络、流动车、手机信令等位置大数据，为城市监控服务提供更丰富和可靠的基础数据.

(2) 商场、写字楼等场所人口、车辆出入监控: 针对大型商场、写字楼等无法直接观测的封闭空间, 可以对大门、停车场出入口进行车辆和人员流动信息提取(图8(b)), 推测分析人群密集场所的流动性和聚集性.

5.3 地质灾害突发事件预警

现代城市频发地面塌陷、建筑物开裂、山体滑坡乃至崩塌等地质灾害突发事件, 严重危及城市安全. 这些灾害的诱因多样, 包括客观因素(灾害气候、设施老化、地下水变化、地质运动等)和人为因素(填海沉降、深基坑、地铁施工、植被破坏等), 其发生时间随机, 造成损失严重. 对这些灾害进行快速准确地预警预报已成为政府部门非常迫切的任务，需要发展城市大区域范围全覆盖、长时间、高动态、高精度的基础设施安全状态监测方法. 传统卫星干涉雷达形变监测技术存在成本高、分辨率低、覆盖频率低、易受干扰等局限, 迫切需求新型的对地观测手段. 城市天际线动态监测具有长时间固定观测特点，在上面架设地基In-SAR观测设备，可实现对目标区域大范围实时形变测量. 同地面GNSS形变监测相比, 天际线平台干涉雷达不用实地安装, 覆盖范围广. 同星载InSAR形变测量相比，天际线平台干涉雷达布设灵活、分辨率高、且能够定点凝视观测，可有效避免卫星雷达重访周期长, 观测数据少等缺点.

5.4 城市经济状况监测

区域经济的时空变化遥感检测往往通过夜光遥感影像的灯光强度来量化[23]. 传统遥感技术获取的夜光遥感影像依然受分辨率较低、回访周期长以及天气等因素的限制，无法在城市的精细化尺度上对灯光强度做高精度的量化分析. 因此卫星夜光遥感往往用于大尺度的区域经济监测，较少应用于城市尺度. 近年来逐渐有使用无人机遥感开展城市小尺度夜光遥感研究[24]，但是无人机夜晚执行飞行任务，存在较大的安全隐患. 同时, 无人机由于巡航能力的限制, 很难对指定区域进行持续的动态观测，在实际应用中存在一定限制. 城市天际线对地的动态观测则可以在夜晚对特定区域进行持续性动态监测，获取高分辨率的灯光影像，可以补充卫星夜光遥感技术和无人机夜光遥感方法时效性和分辨率不足的缺陷，这将为准确量化城市经济的时空变化，进而为城市化精细治理提供精准客观数据, 服务智慧城市管理.

6 结束语

城市空间信息对于评估城市突发事件规模、制定响应措施都有非常重要的意义. 基于互联网获取的城市空间大数据可为突发事件信息获取提供支持. 但比较遗憾的是，遥感作为空间信息的重要来源，由于时效性、精细度、可获取性等诸多方面限制，往往在面临城市突发事件时无法发挥直接关键作用.

随着城市的发展，现在大中型城市天际线都有存在一定数量的摩天大楼(高度>300 m)，可观测大范围城市区域. 更重要的是, 与传统运动遥感平台对比, 天际线具备独有的固定平台优势. 在此背景下, 本文提出了基于城市天际线平台开展动态对地观测的遥感模式. 这种新型遥感方式具备成本低、传感器布设维护容易、无云层干扰、实时观测、观测范围广等优点. 本文从平台、数据获取、处理方法、遥感产品等方面阐述了天际线对地动态遥感观测的概念内涵. 另外, 城市天际线对地动态观测作为一种新的遥感模式，还需要解决高动态数据压缩和信息提取、斜视等分辨率成像、倾斜影像几何校正、天际线多站数据融合、动态实景三维与三维变化监测等方面技术问题. 在突发事件响应和精细化治理中，天际线对地动态观测具有很大的应用潜力.

参考文献

1 Bao C, Liu W, Zhu Y, et al. The spatial analysis on hemorrhagic fever with renal syndrome in Jiangsu province, China based on geographic information system. PLoS ONE, 2014, 9: e83848

2 Simoonga C, Utzinger J, Brooker S, et al. Remote sensing, geographical information system and spatial analysis for schistosomiasis epidemiology and ecology in Africa. Parasitology, 2009, 136: 1683–1693

3 Wayant N M, Maldonado D, Rojas de Arias A, et al. Correlation between normalized difference vegetation index and malaria in a subtropical rain forest undergoing rapid anthropogenic alteration. Geospat Health, 2010, 4: 179–190

4 Du P J. Progress and trends of urban remote sensing—Reading guidance for the special column on urban remote sensing (in Chinese). Geogr Geo-Inform Sci, 2018, 34: 1 [杜培军. 城市遥感的研究动态与发展趋势——“城市遥感”专栏导读. 地理与地理信息科学, 2018, 34: 1]

5 Whitehead K, Hugenholtz C H. Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 1: A review of progress and challenges. J Unmanned Veh Sys, 2014, 2: 69–85

6 Wang C, Ke J, Xiu W, et al. Emergency response using volunteered passenger aircraft remote sensing data: A case study on flood damage mapping. Sensors, 2019, 19: 4163

7 Oddo P C, Bolten J D. The value of near real-time earth observations for improved flood disaster response. Front Environ Sci, 2019, 7: 127

8 Mercury M, Green R, Hook S, et al. Global cloud cover for assessment of optical satellite observation opportunities: A HyspIRI case study. Remote Sens Environ, 2012, 126: 62–71

9 Lorenzi D, ChunS A, Vaidya J S, et al. Peer: A framework for public engagement in emergency response. In: Crowdsourcing: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications. Hershey: IGI Global, 2019. 541–559

10 Qi L, Li J, Wang Y, et al. Urban observation: Integration of remote sensing and social media data. IEEE J Sel Top Appl Earth Observat Remote Sens, 2019, 12: 4252–4264

11 Gopnarayan A, Deshpande S. Tweets analysis for disaster management: Preparedness, emergency response, impact, and recovery. In: International Conference on Innovative Data Communication Technologies and Application. Cham: Springer, 2019

12 Wolkin A F, Schnall A H, Nakata N K, et al. Getting the message out: Social media and word-of-mouth as effective communication methods during emergencies. Prehosp Disaster Med, 2019, 34: 89–94

13 Li Q Q, Li D R. Big Data GIS (in Chinese). Geomat Inform Sci Wuhan Univ, 2014, 39: 641–644 [李清泉, 李德仁, 大数据GIS. 武汉大学学报信息科学版, 2014, 39: 641–644]

14 Lee J G, Kang M. Geospatial big data: Challenges and opportunities. Big Data Res, 2015, 2: 74–81

15 United Nations. World Urbanization Prospects 2018. 2018, https://population.un.org/wup/

16 Fumihiko M. Investigations in Collective Form. Washington: Washington University, 1964

17 Quanzhou Urban and Rural Planning Bureau, ISA Internationales Stadtbauatelier. A Study on Urban Skyline Formation and Regulation Methods—The Continuation and Overall Development of the Quanzhou Characteristic Skyline (in Chinese). Shanghai: Tongji University Press, 2009 [泉州市城市规划局, 德国ISA意厦国际设计集团. 城市天际线塑造与管理控制方法研究——泉州城市特色天际线的延续与整体发展. 上海: 同济大学出版社, 2009]

18 Michaelson C. The competition for the tallest skyscraper: Implications for global ethics and economics. CTBUH J, 2014, IV: 2027

19 Kang Y. Research on scenic beauty estimation of urban skyline in Shenzhen (in Chinese). Disertation for Master's Degree. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2017 [康扬. 深圳城市天际线的美景度评价研究. 硕士学位论文. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017]

20 Toth C, Jóźków G. Remote sensing platforms and sensors: A survey. ISPRS J Photogramm Remote Sens, 2016, 115: 22–36

21 Wang C, Shu Q, Wang X, et al. A random forest classifier based on pixel comparison features for urban LiDAR data. ISPRS J Photogramm Remote Sens, 2019, 148: 75–86

22 Wan X F, Yi Y. Super-resolution image reconstruction. In: 2010 International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM). 2010

23 Levin N, Kyba C C M, Zhang Q, et al. Remote sensing of night lights: A review and an outlook for the future. Remote Sens Environ, 2020, 237: 111443

24 Kong W, Cheng J, Liu X, et al. Incorporating nocturnal UAV side-view images with VIIRS data for accurate population estimation: A test at the urban administrative district scale. Int J Remote Sens, 2019, 40: 8528–8546

Dynamic earth observation based on an urban skyline: A new remote sensing approach for urban emergency response

WANG ChiSheng[1,2], GUO XueQing[1], CUI HongXing[1], WANG XinYu[1], WANG YongQuan[1], JIANG JinCheng[3] & LI QingQuan[1]

[1] *Key Laboratory of Geo-Environmental Monitoring of Great Bay Area, MNR, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;*
[2] *Key Laboratory of Urban Land Resources Monitoring and Simulation, MNR, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;*
[3] *Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China*

Real-time tempo-spatial data is crucial in responding to urban emergencies. Limited by a revisiting period, spatial resolution, and data availability, traditional remote sensing data is often received too late to aid emergency management. This study proposes a real-time remote sensing approach that is based on the city skyline. In this approach, remote sensing sensors are deployed on super high-rise buildings (>300 m), and real-time land observation products are obtained by following the regular remote sensing processing procedure. This remote sensing approach has advantages such as low-cost, easy sensor deployment and maintenance, no cloud interference, real-time observation, and a wide observation range. This novel remote sensing approach is an effective way to collect real-time tempo-spatial data on a small and medium scale. It can be used in urban flow (i.e., people and vehicle flows) monitoring, surface deformation detection, and urban night light analysis. This approach has great potential to aid in the rapid response to urban emergencies such as city fires, aggregated human activities, and floods.

urban remote sensing, skyline, dynamic earth observation, emergency response

doi: 10.1360/SST-2020-0036