

集成倾斜航空摄影测量和地面移动测量技术的城市环境监测

李德仁^{1,2} 刘立坤^{1,2} 邵振峰^{1,2}

1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

2 地球空间信息技术协同创新中心,湖北 武汉,430079

摘要:为了丰富城市地区地理国情监测的成果并提高监测效率,实现了一个从天到地、从影像到模型、从静止到动态的城市环境监测系统。该环境监测系统管理航空倾斜多视成像仪和地面移动测量系统采集的航空与地面的可量测实景影像、兴趣点、实时视频及从倾斜影像中获得的数字高程模型数据和生成的三维模型,方便了监控、巡航和分析等多种业务需求。在贵阳市进行了验证,实现了安全巡航、建筑变化监测等功能,已成为高效的城市环境情况监测的解决方案。

关键词:地理国情监测;多源数据集成;倾斜航空摄影测量;POS;移动测图系统;数字可量测影像;城市变化

中图法分类号:P231.5

文献标志码:A

中国正经历着世界上最快速的城市化进程,这个过程导致了大量的地形地貌改变^[1-2]。在各大城市出现了大量的人工地物,高层建筑和大量开发区代替了曾经的农田或林地。这些地物特征最初主要依靠人工观测并标注记录为地图的形式。随着航空摄影测量技术的出现^[3],航拍相片逐渐成为一种城市发展监测的方式。但是,航空正射影像有其技术局限,即这种技术仅采集二维图像信息,该数据有悖于人类通常立足于地面的三维视觉信息感受,容易导致航片解译困难或者误读现象。为了解决这一类问题,测绘人员常常需要再进行实地勘察和测量。这个过程有时需要很多人力的参与,而且对于诸多城市建筑稠密区,大面积的查勘和重复观测等情形的生产效率都非常低。

随着空间成像观测技术的出现,传统的航空摄影测量一定程度上正被越来越多的高分辨率遥感卫星图像所代替^[4]。现在部分高分辨率的卫星影像已经可以得到比航空成像设备更详细的地面信息影像。尽管如此,卫星图像仍具有与正射影

像观测和解译中相同的问题,即仅有地表顶部信息。虽然立体成像测图技术可以针对平坦开阔区域场景在一定程度上解决这一问题,但对于较复杂或建筑密集的城市区域仍然无法实现自动的信息提取和监测^[5]。

在测绘仪器领域,倾斜摄影技术^[6]和移动测量系统(mobile mapping system, MMS)^[7-8]是两项正在快速发展的新型信息采集技术。航空倾斜摄影技术颠覆了只从单一垂直角度进行拍摄的传统航空摄影模式,转而在一个飞行平台上同时搭载多个各成角度的感光器件,分别从垂直角度和倾斜布设的 CCD 传感器获取地面多方向的立体图像信息,配合机身携带的高精度导航卫星定位接收机和惯性测量单元(inertial measurement unit, IMU),航摄影所拍摄图像的绝对位置可以通过地理参考直接计算获得,避免了传统空中三角测量的后处理工作。倾斜摄影测量集成了传统的航空摄影和测距技术,获取的影像成果更符合人类视觉系统的直观真实世界认知。通过结合倾斜与垂直航拍获取的相片,从这些非正射影像中可

收稿日期:2014-12-29

项目来源:国家重大科技专项资助项目(2012YQ1601850,2013BAH42F03);国家自然科学基金资助项目(61172174);教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-120426);湖北省基础研究发展计划资助项目(No. 2013CFA024)。

第一作者:李德仁,教授,博士生导师,中国科学院院士,中国工程院院士,国际欧亚科学院院士,现从事以遥感、全球卫星定位系统和地理信息系统为代表的空间信息科学与技术的科研与教学工作,致力于推进数字城市与数字中国、智慧城市与智慧中国的研究及相关建设。E-mail:drli@whu.edu.cn

以同时得到地面建筑的顶面和侧面翔实的纹理信息。倾斜摄影技术不仅可以大大提高地表特征的航摄解译和三维模型生产效率,还能够提供多种直接的测量手段,如对距离、高度或面积和体积等的量算。倾斜航空摄影技术能够广泛应用于如城市规划、建设和管理等方面。与其他传统4D产品(数字高程模型DEM,数字栅格图DRG,数字线划图DLG和数字正射图DOM)数据源相比,由于其侧面拍摄方式相对于传统正射投影方式,能获得更立体的地理和环境信息,因此在地物解译、环境监测和应急响应等方面具有不可替代的价值。以建筑物为例,正射影像只能获取屋顶最上层的信息,而很多建筑的门框等附属部件建造于侧面墙壁上,这些信息就可以很容易地从倾斜的图像中获得。此外,在相片中,任意点间的距离也可以精确地计算,例如计算视线距离,确定特征点,或洪水淹没体积计算等其他三维特征。综上所述,新出现的倾斜摄影测量技术具有多种特点:第一,立体成果真实,对于地面周围的反映符合人类感知;第二,可以实现单张相片上的直接测量;第三,可以为建模等提供丰富的纹理信息;第四,成果数据适合快速发布和共享。

而另一项面向城市环境监测的技术解决方案是移动测量系统。MMS是对静态水准测量和地面高程测量在移动平台上的一种动态延伸^[9]。通常情况下,该套集成设备被安装在改装过的运载车辆平台上,其上配备有多种传感器,如CCD照相和摄像机、卫星定位接收机、惯性测量单元、移动激光雷达扫描仪等。通过这些设备与车载计算机和存储设备连接,MMS可以借由主动发送扫描信号扫描运动经过的周边环境并记录各种信号,这些获取的信息通过IMU反算得到扫描时所处的即时位置。由于运载车载通常是在已铺装道路网络上运行,MMS的数据产品即可看作是从近地面的方式获取的与监测人类生活环境的数据集合。考虑到MMS的以上技术特点,在地面进行移动测绘的MMS技术可以成为服务于城市地理环境监测的空基遥感平台一个较合适的信息补充^[10]。

2007年,亚洲首台基于CCD摄像机、GPS接收器、惯性导航系统和航迹推算等元器件的移动测量系统LD 2000被推向实际生产应用^[9]。该系统不仅能在移动中拍摄图像,还使这些图像具有精确的空间位置和相对位置关系,可以将拍摄相片转化为可以实际量测的数字可量测影像(digital measurable image, DMI),使其成为一种

新的基础地理测绘产品形态^[11],作为传统4D基础测绘产品的补充。在基本原型研发完成之后,针对不同的应用场景,开发了诸如面向铁路环境的LD2000-R等不同形式的产品。车载MMS能够获得具备高位置精度和高分辨率的街景影像,这些影像提供了丰富的立面信息,而这些信息可以用来加快复杂三维模型的生成。但由于成像原理的问题,使得MMS缺乏采集对象的顶部数据和纹理;而同时,航空多视立体摄影测量系统可以实现较宽的采集覆盖范围,同时获得对象顶部和地面特征丰富的纹理等信息,但城区由于建筑遮挡的存在可能导致一些缺失和错误的判别,尤其是在建筑物立面信息方面,问题比较严重。

本文针对进行城市环境监测方面的信息获取不足,提出了一套集成自主研发最新型航空倾斜摄影测量设备和地面移动测量系统平台的框架设计,它可以用来进行城区地表利用信息获取,也可以用来进行低成本高时效的城市变化监测(图1)。

1 集成框架构成和设计

本文提出的集成框架主要包括两个载荷平台:航空机载平台和地面移动车载平台,它们分别装有多套光学成像装置,包括激光扫描仪和其他环境传感器。不同的传感器负责不同的环境监测项目。从城市地表情况来看,高层建筑物和局部地形异常可能影响航空摄影测量的成果质量,这可以通过在地面的移动测量方式来克服。空中和地面的多源数据主要聚焦于城市区域,经过融合实现的多种成果形式列于表1。

1.1 航空多镜头倾斜成像仪

自主研发的航空多镜头倾斜成像仪由传感器、机载控制和相关计算系统紧密集成在流线型设计的吊舱(图2)中,主要传感器包括:a-航空正射相机;b-高清倾斜镜头;c-机载定位定向系统(positioning and orientation system, POS)。正射相机位于正中位置,其余4个镜头各呈一定斜角围绕垂直镜头布置。在它们之上,安装有自主研发的POS组件用于确定精确位置,它还能获取镜头采集时的时间、位置、高程、航向、速度等状态信息。机载控制单元负责微调吊舱的位置。与传统的倾斜影像采集系统相比,该新型设计的总重量较轻,适合多种飞行平台灵活部署。该吊舱从POS中的IMU获得控制命令来决定在多自由度上需要转轴转动的角度和进行位置锁定的操作。



图 1 航空成像平台和地面移动测量系统及平台的数据产品和技术规格

Fig.1 Data Products and Technical Specifications of Aerial Imager Platform and Terrestrial Mobile Mapping System

表 1 城市环境监测框架中传感器设计与功用

Tab.1 Objectives of Sensors Designed in the Urban Monitoring Framework

目标	传感器/平台	成果
地形特征	相机/航空	DLG, DEM, DOM
建筑物	倾斜相机/ 航空激光扫描仪/MMS	三维模型
道路网络	GPS 天线+POS/MMS	DLG, 矢量文件
街景影像	相机/MMS	DMI
城市部件采集	相机+GPS/MMS	矢量文件
城市变化监测	倾斜相机 /航空相机/MMS	DMI, DLG, DRG, 矢量文件
城市环境分析	倾斜相机/航空	DEM, 决策支持系统
城市规划	相机/航空	三维模型
城市巡查监控	摄像头/MMS	DMI, 监控视频

摄像部件和相应计算存储等设备。信息采集成像部件包括三台 CCD 相机, 分别位于移动平台前端左、中、右三个各成角度的位置, 用于构造重叠视场, 形成立体视觉, 获取前视立体图像。三台激光雷达扫描仪位于改装平台的尾部, 实现 360° 的环境三维信息全覆盖扫描。MMS 还包括一台视频摄像机采集视频信息, 以及一台全景相机进行周边环境的全景图像拍摄。

2 校准和实验

2.1 空基系统检校

倾斜航摄影仪是倾斜航空摄影测量的关键设备, 主要由 1 台垂直和 4 台倾斜的数码相机构成, 它的具体设计如 § 1.1 中所述, 由于目前主流数码相机均不是专门为摄影测量设计, 而是非量测相机, 其内方位元素无法直接测定, 也存在较大的光学畸变差, 且由于采取多相机组合并结合 POS 辅助的方式获取目标区域影像, 各子镜头相对关系以及系统与 POS 相对关系不确定, 导致后期数据处理无法直接展开。因此, 倾斜航摄影仪的严格检校是倾斜航空摄影测量的基础性工作之一^[12]。

为实现倾斜航摄影仪的一体化快速检校, 在充分考虑各子相机内方位元素、畸变校正参数、子相



图 2 航空倾斜成像仪结构图

Fig.2 The Structure Drawing of Aerial Oblique Imager

1.2 移动测量系统(MMS)

在本集成框架中使用的地面移动测量系统是立得 LD-2013 型移动测量系统, 包括 POS 组件、

机相对位置和姿态参数、倾斜航摄影系统相对于 POS 的位置和姿态参数的前提下,通过对多种相机检校模型进行深入研究,这里采用室内一体化倾斜航摄影检校技术实现倾斜航摄影的高精度检校。其基本原理如下:

$$\begin{cases} x - x_0 + \Delta x = -f \cdot \\ \frac{a_1(X_T - X_S) + b_1(Y_T - Y_S) + c_1(Z_T - Z_S)}{a_3(X_T - X_S) + b_3(Y_T - Y_S) + c_3(Z_T - Z_S)} \\ y - y_0 + \Delta y = -f \cdot \\ \frac{a_2(X_T - X_S) + b_2(Y_T - Y_S) + c_2(Z_T - Z_S)}{a_3(X_T - X_S) + b_3(Y_T - Y_S) + c_3(Z_T - Z_S)} \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, (x, y) 表示控制点的像点坐标; (x_0, y_0) 是像主点位置坐标; f 是主距; $\Delta x, \Delta y$ 是当前像点的畸变差, 假设 $r^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2$, 则畸变差计算如下:

$$\begin{cases} \Delta x = \bar{x}(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + \\ p_1(r^2 + 2\bar{x}^2) + 2p_2\bar{x}\bar{y} \\ \Delta y = \bar{y}(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + \\ 2p_1\bar{x}\bar{y} + p_2(r^2 + 2\bar{y}^2) \end{cases} \quad (2)$$

式(1)中, a_1, a_2, \dots, c_3 为相片外方位角元素构成的姿态矩阵; (X_T, Y_T, Z_T) 表示控制点的物方坐标; (X_S, Y_S, Z_S) 表示相片的外方位线元素。

以式(1)、(2)作为数学模型,在已知部分控制点三维空间坐标的情况下,同时采集控制点影像数据和 POS 数据,并将相机的内方位元素、畸变校正参数、子相机相对位置和姿态参数、相机系统与 POS 相对关系与姿态参数作为未知量列方程式,按最小二乘原理进行平差解算,完成倾斜航摄影检校。

2.2 航飞实验

为了实现基于 POS 的直接地理参照,有必要采用空中三角测量方法用于校准 POS 和照相机中心的外方位元素标定。本文采用实地测试来检查 POS 数据的精度,同时对外方位元素标定方法及其精度进行测试。

1) 根据航空处理软件 DPGrid 和惯性导航软件 Inertial Explorer 对 POS 数据进行集成处理,验证 POS 数据精度,然后对 POS 姿态角数据进行子午线收敛角补偿;

2) 根据检校场控制点坐标,进行空三解算,获取检校场影像的外方位元素;

3) 根据检校场影像的外方位元素及其 POS 数据,检校获得 POS 系统与相机中心之间的相对坐标偏移量与姿态;

4) 根据 POS 数据和检校参数可以进行影像

直接地理参考,得到校准场影像外方位元素;

5) 将 POS 直接地理参考所得影像外方位元素与实际空三结果进行比较,得出实验结论。

所选用的实验影像为金阳测区 I(26.633956°N, 106.613728°E) 和 II(26.652023°N, 106.603621°E) 号检校场数据,如图 3 所示,对应为 2013 年 2 月 3 日、2 月 4 日的实际航飞成像数据,相对航高为 1 000 m,第 17、18 航带影像的下视影像,编号分别为 02017ER025-02017ER029 和 02018ER025-02018ER029。图 3 中黄色矩形代表单幅影像覆盖范围,红色圆圈代表地物参照点。下视相机的焦距设定为 50.688 mm,像素大小为 6 μm ,经计算地面分辨率为 0.12 m。

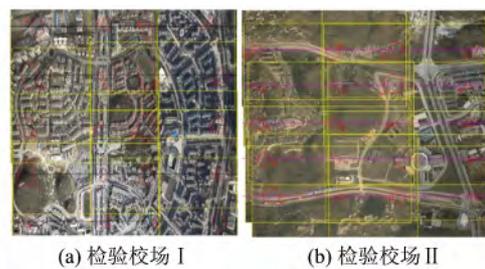


图 3 金阳检校场

Fig. 3 Calibration Fields in Jinyang

对 I、II 号检校场区域分别均匀选取 20 个地物特征点为控制点,并进行坐标量测,输出控制点西安 80 平面坐标和 WGS84 椭球高程数据。经处理后,控制点平面中误差为 0.38 cm,高程中误差为 0.49 cm。为保证实验结果的客观性和可靠性,本实验首先对 POS 数据进行子午线收敛角补偿,然后对实验数据进行空三处理。之后使用 DPGrid 软件,将经过畸变纠正的检校场影像顺时针旋转 90°,进行 POS 辅助空三处理,解算检校场影像外方位元素。实验过程中以 POS 数据为观测值,平差过程中同时对 GPS 天线分量与 IMU 天线分量进行解算,结果如表 2 所示。

各控制点的残差如图 4 所示。

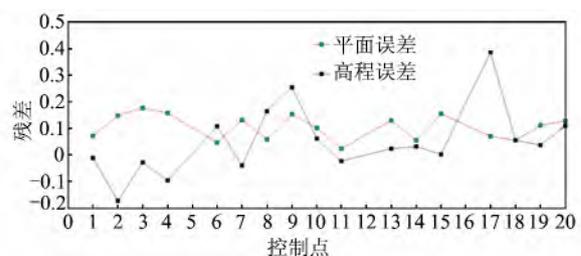


图 4 空三处理结果控制点残差分布图

Fig. 4 Residual Error Distribution of the Selected Control Points by Aero Triangulation

表 2 检校场影像空三角处理结果

Tab. 2 Aero Triangulation Results of Calibration Field Images

影像编号	东/m	北/m	高程/m	$\theta/(\circ)$	$\omega/(\circ)$	$k/(\circ)$
02017R025	362 199.305	2 948 183.686	2 215.972	-0.803 86	-1.472 9	-91.720 9
02017R026	362 197.050	2 947 982.789	2 215.689	-0.397	-1.703 06	-91.632 1
02017R027	362 194.538	2 947 775.998	2 215.603	-0.869 23	-1.715 32	-91.636 8
02017R028	362 191.699	2 947 563.063	2 216.243	-0.590 43	-1.551	-91.051 9
02017R029	362 189.436	2 947 361.594	2 216.245	-0.720 32	-1.410 97	-91.091
02018R025	361 702.239	2 948 190.327	2 214.182	-1.218 8	-1.599 64	-89.765 1
02018R026	361 703.173	2 947 988.670	2 213.791	-0.607 68	-2.211 22	-90.291 6
02018R027	361 703.913	2 947 774.641	2 214.889	-0.142 49	-1.941 64	-90.783 6
02018R028	361 703.376	2 947 573.377	2 215.672	-0.336 84	-1.432 8	-91.025 5
02018R029	361 702.090	2 947 372.022	2 215.635	-0.180 02	-1.797 77	-92.203 7

各控制点残差统计情况如表 3 所示。

表 3 空三结果控制点残差统计表/m

Tab. 3 Statistic of Residual Error of Control Points by

Aero Triangulation/m

	平方根	平均残差	最大残差
X	0.089	-0.001 1	0.176
Y	0.072 6	-0.003 5	-0.147 3
平面误差	0.114 9	0.105 8	0.177 3
高程误差	0.137	0.057 1	0.375 6

根据检校场各影像的外方位元素,及经过子午线收敛角补偿的 POS 数据,检校获得 POS 系统与相机中心之间的相对坐标偏移量与姿态。结果如表 4 所示。

从上述相对关系检校结果可知,子午线收敛

角补偿对相对关系检校的标准差影响不大,但对各姿态角的绝对值影响相对较大,且进行子午线收敛角补偿后,检校出的 POS 数据与相机中心的相对关系与实际设备安置情况更为吻合,因此后续实验步骤使用经过补偿后所得检校结果。

经过子午线收敛角补偿后,各相对线元素的平均值为 $[-2.576, -0.332, 1.299]$,与实际量测结果 $[-2.26, -0.15, 1.46]$ 的偏离约为 $0.2\sim 0.3$ m,该偏差主要是由于线元素与角元素相关性的影响,以及实际量测误差引起。

上述各张影像检校结果的平均值为 POS 系统与相机中心间的相对坐标偏移量与姿态的真值,结合 POS 数据进行影像直接地理参考,获得检校场影像外方位元素,如表 5 所示。

表 4 POS 系统与相机中心相对坐标偏移量与姿态值

Tab. 4 Relative Coordinates Offset Between the POS System and the Camera Center and Its Orientation

相片编号	dX/m	dY/m	dZ/m	$d\theta/(\circ)$	$d\omega/(\circ)$	$dk/(\circ)$
02017R025	-2.571	-0.328	1.269	180.307 376	0.025 249	-180.068 169
02017R026	-2.583	-0.327	1.280	180.312 113	0.035 515	-180.062 222
02017R027	-2.561	-0.330	1.301	180.310 955	0.029 021	-180.070 810
02017R028	-2.580	-0.331	1.264	180.313 124	0.033 065	-180.069 085
02017R029	-2.574	-0.341	1.290	180.315 399	0.036 015	-180.059 462
02018R025	-2.562	-0.344	1.356	180.313 827	0.023 971	-180.059 434
02018R026	-2.578	-0.319	1.349	180.290 601	0.028 790	-180.067 068
02018R027	-2.588	-0.324	1.289	180.294 595	0.024 488	-180.056 452
02018R028	-2.579	-0.339	1.290	180.300 072	0.009 197	-180.053 074
02018R029	-2.583	-0.332	1.299	180.310 130	0.044 568	-180.061 754
平均值	-2.576	-0.332	1.299	180.306 819	0.028 988	-180.062 753
标准差	0.009	0.008	0.031	0.008 672	0.009 443	0.005 864

表 5 POS 直接地理参考获得影像的外方位元素

Tab. 5 Exterior Orientation Elements Computed by Direct POS Geo-referencing

相片编号	东/m	北/m	高程/m	$\theta/(\circ)$	$\omega/(\circ)$	$k/(\circ)$
02017R025	362 199.310	2 948 183.692	2 215.943	-0.807 622	-1.473 341	-91.715 571
02017R026	362 197.055	2 947 982.782	2 215.670	-0.390 627	-1.708 572	-91.632 506
02017R027	362 194.540	2 947 776.013	2 215.606	-0.869 321	-1.719 458	-91.628 716
02017R028	362 191.701	2 947 563.059	2 216.208	-0.586 464	-1.557 401	-91.045 468
02017R029	362 189.427	2 947 361.596	2 216.236	-0.713 467	-1.419 672	-91.094 181
02018R025	361 702.224	2 948 190.339	2 214.240	-1.223 785	-1.606 670	-89.768 549
02018R026	361 703.183	2 947 988.667	2 213.842	-0.607 843	-2.195 039	-90.287 260
02018R027	361 703.921	2 947 774.630	2 214.879	-0.146 825	-1.929 373	-90.790 093
02018R028	361 703.369	2 947 573.375	2 215.663	-0.356 511	-1.425 749	-91.035 721
02018R029	361 702.090	2 947 372.014	2 215.635	-0.164 566	-1.801 651	-92.204 278

2.3 MMS 与航空成像仪之间的校准

为了实现天地一体无缝的集成观测,有必要将航空倾斜成像仪采集的多视角影像和地面移动测量系统采集的近地面街景影像统一转换到同一个物方空间坐标系统中。理论上,航拍影像和地面图像可以通过融合它们之间同名点的方式进行联合空三测量实现误差调整,但是,由于在两种拍摄仪器、平台、覆盖区域及成像几何条件和摄影基线都不尽相同的情况下,理论方法空三处理容易得到不稳定的结果。所以在本实验中,按照在 § 2.2 中描述方法使用自主研发的 POS 进行的直接地理参照就获取的两个传感器中各单幅影像的外方位元素解决了两个传感器间联合定向的问题,成功进行了多平台传感器间的集成(图 5)。



图 5 航空倾斜图像和移动测量系统采集多视图图像的集成结果

Fig. 5 The Integrated Results Between Aerial Oblique Images and MMS's Multi-look Images

3 贵阳实例

本文选择的实例研究区位于贵州省贵阳市,



图 6 多源数据集成框架中实现的量测功能(建筑高度,地块面积,城区淹没体积)

Fig. 6 Direct Measurements (Building Height, Parcel Area, Inundation Volume) in the Integrated Framework

本系统设计将多源数据的采集、处理和应用流集成到多级数据框架中。多源地理数据包括航空正射和倾斜图像、地面 MMS 获取的立体街景与视频,还包括其对应的 POS 数据。利用来自不同传感器和平台获取的多源城区环境监测数据,

该市大部分地区属于半丘陵地形,拥有多种不同的地貌。选择的金阳测区范围为 307 km²,其中近一半的城区面积开发有现代化的高层住宅和商业建筑,同时还有起伏的山区地形,这些都容易对正摄航空摄影造成较大的影像畸变,而由于缺乏精细的 DEM,所以不能实现基于 DEM 的正射影像微小纠正。实验采用本框架的倾斜多镜头航摄仪进行航空数据采集,同时配合地面移动平台采集街景,建立该地区一站式的城市天地一体环境监控平台。

与传统的数字正射影像 DOM 相比,本研究采集的多视角倾斜航空影像在提出的综合城市监测框架中发挥了重要的作用,多镜头成像仪采集的倾斜图像可以使用户从空中不同角度进行地表立体观察,这更符合人类对现实世界的认知习惯,可以大大弥补正摄投影成像的缺点。而且通过相关软件,倾斜图像还可以用来实现不同的空间测量,包括高度、长度、面积、角度、坡度等,这些对于城市环境监测中的地籍管理、城市环境管理、应急响应等都有着十分直接的应用价值(图 6)。此外,紧急出口可以从建筑物侧面的倾斜图像中观察到,这意味着这类倾斜影像可以用作安全保卫系统的数据源。

传统的三维地理信息系统技术主要依靠复杂的三维几何数据,这些数据数据量大,非常占用存储空间,不适于当前的移动互联网应用,而基于倾斜图像的纹理用来进行三维建模的数据量则小得多,该类图像数据十分适合网络发布和信息共享。本文提出的集成架构所使用的大多数三维模型都是通过从航空多视影像经过 POS 辅助的立体视觉系统获得的,其余部分精细模型是使用 MMS 搭载的激光扫描仪采集建模获得。

按照“采集-处理-应用”的数据处理流驱动过程,本框架将之融合成一套流畅无缝的用户体验和分析工具(图 7)。而且考虑到拍摄街景的静态特性,还添加了城区广泛分布的视频摄像系统数据源作为城市热点区域的实况监测数据源。

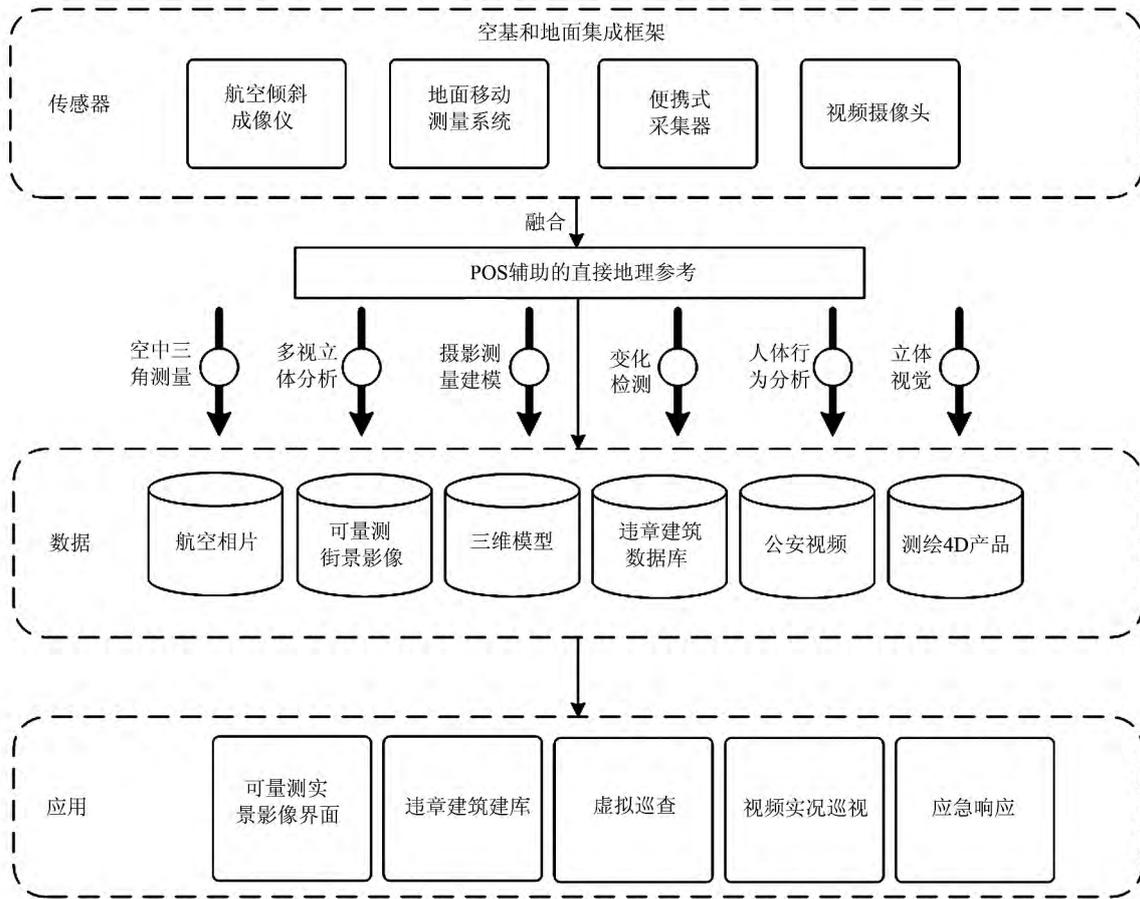


图 7 来自不同传感器的城市环境监测数据处理流程图

Fig. 7 Data Processing Workflow for Urban Environment Monitoring from Different Sensors

3.1 安全巡查

在实景三维街景影像地图上,建立视频监控推送系统,实现视频的集成调用;可在系统的街景影像地图上选择需要调用查看的视频源,更方便地查看相应的视频信息。通过监控终端实现各场所视频监控设备相接合,大大降低了安全防范的漏洞,并增加了安全防范的可靠性,减少了安全防范的工作程序。还可通过监控图像来了解各视频所在地出入状况和安全状况,并进行相应调整。同时利用倾斜影像与模型分析局部实际真三维环境,便于警力部署、路线规划和紧急情况响应等(图 8)。

3.2 违建监测

违章建筑是目前中国城市发展中一个比较棘手的社会问题,按照普通的卫星影像观察建筑物顶面信息的监测模式通常很难监测和确定出房屋的变化。通过对贵阳市金阳新区进行低空航摄所获得的数据集中存储共享,政府主管部门依照这些立体影像和模型进行分析,建立城区建筑三维数据库,该数据库提供直接从影像中得到的直接测量结果,易于分析出建筑物的实际情况。同时,

基于实景三维数据进行重点拆违区域房屋数据采集和建库,建立可视化的拆违区域房屋数据库。而且通过实景三维数据的定期更新,将现状数据和历史实景三维数据进行多时相对比分析,实现对重点拆违区域违章建筑的可视化管理。执法部门借助于这两项观测技术已经可以方便地确定城区内的违章建筑,实现对全市的违章建筑进行综合管理,有效地遏制城市的乱拆乱建现象,大大改善城市的市容市貌(图 9)。

4 结 语

本文提出了一种新的多源数据集成框架,可应用于城市环境监测。与传统单纯的正射影像数据源相比,使用了自主研发的新型航空多视倾斜成像仪。在测试实验中采用了子午线收敛角补偿方法获取采集到的航空影像外方位元素,并通过对比软件测试数据验证了该设备具有的高精度特性。除了空基设备外,作为补充,集成框架的近地环境监测部分使用了移动测量系统来获得城区环境的多时相街景图像和视频。在外业原始数据获

取后,基于 POS 辅助的直接地理参照方法可以获得进行立体测图的定向参数,这些举措直接加快了数字高程模型、正射影像、三维模型等产品的生产,提高了效率。所有获取的多源数据被集成应

用于统一的环境监测平台中,在如城市安全巡查、违章建筑监测等具体应用中得到了实际效用验证,为城市区域监测和管理提供了一套非常有效的解决方案。



图 8 服务于城市安全巡查的航摄、三维模型、视频摘要集成导航界面

Fig. 8 The Integrated Observation Interface for Urban Safety Cruising with Aerial Images, 3D Models, and Surveillance Video

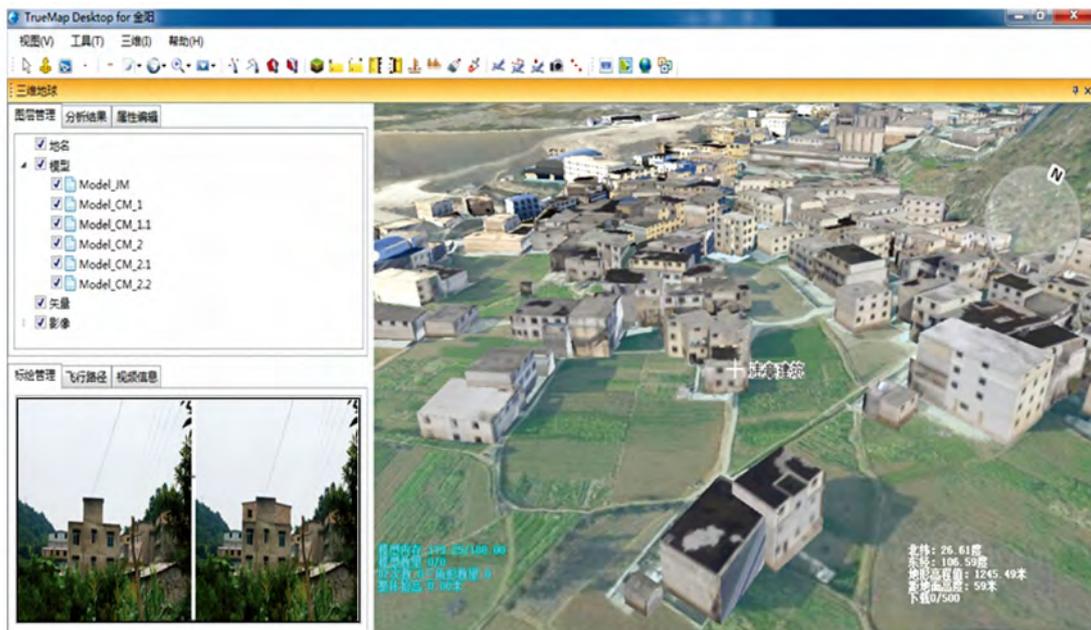


图 9 通过采集多时相街景影像进行的城区违章建筑监测

Fig. 9 Urban Illegal Building Observation by Multi-temporal Street View Images and Aerial Images

参 考 文 献

- [1] Zhao J, Dai D, Lin T, et al. Rapid Urbanisation, Ecological Effects and Sustainable City Construction in Xiamen [J]. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2010, 17(4): 271-272
- [2] Liu Y, Huang X, Yang H, et al. Environmental Effects of Land-use/cover Change Caused by Urbanization and Policies in Southwest China Karst Area-A Case Study of Guiyang [J]. *Habitat International*, 2014, 44(10): 339-348
- [3] Lillesand T M, Kiefer R W, Chipman J W. Remote Sensing and Image Interpretation [M]. New York: John Wiley & Sons Ltd, 2004
- [4] Brenner C. Towards Fully Automatic Generation of City Models [C]. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdam, Netherlands, 2000
- [5] Xiao J, Gerke M, Vosselman G. Automatic Detection of Buildings with Rectangular Flat Roofs from Multi-view Oblique Imagery [C]. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vienna, Austria, 2010
- [6] Grenzdröffer G J, Guretzki M, Friedlander I. Photogrammetric Image Acquisition and Image Analysis of Oblique Imagery [J]. *The Photogrammetric Record*, 2008, 23(124): 372-386
- [7] Li Deren. Mobile Mapping Technology and Its Applications [J]. *Geospatial Information*, 2006, 4(4): 1-5 (李德仁. 移动测量技术及其应用[J]. 地理空间信息, 2006, 4(4): 1-5)
- [8] Li Deren, Hu Qingwu. Digital Measurable Image Based Geo-spatial Information Service [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007, 32(5): 377-380 (李德仁, 胡庆武. 基于可量测实景影像的空间信息服务[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(5): 377-380)
- [9] Li Deren, Guo Sheng, Hu Qingwu. 3S (RS, GPS, GIS) Integration Technology Based LD2000 Series Mobile Mapping System and Its Applications [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2008, 37(3): 272-276 (李德仁, 郭晟, 胡庆武. 基于 3S 集成技术的 LD2000 系列移动道路测量系统及其应用[J]. 测绘学报, 2008, 37(3): 272-276)
- [10] Li Deren, Sui Haigang, Shan Jie. Discussion on Key Technologies of Geographic National Conditions Monitoring [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(5): 505-512 (李德仁, 眭海刚, 单杰. 论地理国情监测的技术支撑[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2012, 37(5): 505-512)
- [11] Li Deren, Shen Xin. Geospatial Information Service Based on Digital Measurable Image [J]. *Geo-Spatial Information Science*, 2010, 13(2): 79-84
- [12] Höhle J. Photogrammetric Measurements in Oblique Aerial Images [J]. *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, 2008, 1: 7-14

An Integration of Aerial Oblique Photogrammetry and Mobile Mapping System for Urban Geographical Conditions Monitoring

LI Deren^{1,2} LIU Likun^{1,2} SHAO Zhenfeng^{1,2}

1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,

Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Collaborative Innovation Center for Geospatial Technology, Wuhan 430079, China

Abstract: For the enrichment and efficiency of observing geographical conditions in urban areas, a combination of aerial and mobile data is suggested and further integrated into an up-to-date system for built-up area monitoring from air to ground, image to model, staticity to dynamicity. The multi-source geographical data includes ortho and oblique photos acquired from an independently developed multi-lens airborne imager, Digital Measurable Images (DMI) and Points Of Interest (POI) s collected from an original Mobile Mapping System (MMS), real-time video, moreover, Digital Elevation Model (DEM) data and sophisticated 3D models are derived from oblique photogrammetry. All of these contemporary data sources are calibrated by POS-assisted geo-referencing. They are tiled and warehoused in a uniform framework for the ease of monitoring, cruising, and analyzing. As a foundation, a case study of the mechanism was implemented and further extended to urban conditions monitoring.

(下转第 443 页)

- remote Sensing Image Under Lack of Ground Control Points[D]. Wuhan: Wuhan University, 2005 (张过. 缺少控制点的高分辨率卫星遥感影像几何纠正[D]. 武汉: 武汉大学, 2005)
- [20] Hu Fen, Wang Mi, Jin Shuying. Satellite-borne Three-non-collinear TDI CCD(Time Delayed and Integration Charge Coupled Device) Image Splicing Method Based on Segmented Affine Transforma- tion:CN 101799293 B[P]. 2011-11-02 (胡芬, 王密, 金淑英. 基于分段仿射变换的星载三片非共线 TDI CCD 影像拼接方法: 中国, 10119968. 8[P]. 2011-11-02)
- [21] Tao C V, Hu Y. A Comprehensive Study of the Rational Function Model for Photogrammetric Processing[J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2001, 67(12): 1 347-1 357

Inner FOV Stitching of ZY-1 02C HR Camera Based on Virtual CCD Line

PAN Jun^{1,2} HU Fen³ WANG Mi^{1,2} JIN Shuying²

1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Collaborative Innovation Center for Geospatial Technology, Wuhan 430079, China

3 Satellite Surveying and Mapping Application Center, National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, Beijing 101300, China

Abstract: Considering the imaging features for High Resolution (HR) camera of ZY-1 02C satellite, this paper proposes an inner Field of View (FOV) stitching method based on virtual CCD line. Then, the potential error sources of the method are analyzed deeply. Finally, image data of ZY-1 02C/HR camera are used in experiments. Both qualitative and quantitative evaluations on results validate the correctness and feasibility of the method. At present, the presented method has been embedded in the daily processing system of ZY-1 02C successfully.

Key words: non-collinear TDI CCD chips; inner FOV stitching; virtual CCD line; accuracy evaluation

First author: PAN Jun, PhD, associate professor, his research focuses on image quality improvement, relative radiometric normalization and seamless mosaicking for high resolution remote sensed images. E-mail: panjun1215@lmars.whu.edu.cn

Corresponding author: HU Fen, PhD. E-mail: huf@sasmac.cn

Foundation support: The National Basic Research Program of China (973 Program), No. 2012CB719901; Foundation for the Author of National Excellent Doctoral Dissertation of PR China FANEDD, No. 201249; the National Natural Science Foundation of China, Nos. 41371430, 40901210, 91438112; Special Fund for Surveying, Mapping and Geo-information Technology Research in the Public Interest, No. 201412007.

(上接第 435 页)

toring applications in Guiyang, including safety cruising, building change detection, which have proved it to be a feasible solution to civic environment.

Key words: geographical conditions monitoring; multi-source geographical data integration; POS; oblique photogrammetry; mobile mapping system; digital measurable images; urban change

First author: LI Deren, professor, PhD supervisor, Academician of Chinese Academy of Sciences, Academician of Chinese Academy of Engineering, Academician of Euro-Asia International Academy of Sciences. He is concentrated on the research and education in spatial information science and technology represented by RS, GPS and GIS, and promotes the construction of digital city, digital China, smart city and smart China. E-mail: drli@whu.edu.cn

Foundation support: The National Science and Technology Specific Projects, Nos. 2012YQ1601850, 2013BAH42F03; the National Natural Science Foundation of China, No. 61172174; the Program for New Century Excellent Talents in University, No. NCET-120426; the Basic Research Program of Hubei Province, No. 2013CFA024.