

多源多目视觉无人车移动测量系统设计与集成

陶 顺 勇, 杨 红, 赖 金 富, 陈 铨

(长江三峡勘测研究院有限公司(武汉), 湖北 武汉 430074)

摘要:能否快速、经济、准确地获取地理空间信息取决于车载移动测量系统(MMS)性能的优劣。针对当前车载移动测量系统存在的精度不高、价格昂贵、灵活性不高、检校麻烦等一系列问题,利用低成本硬件,包括无人车、GPS/IMU 模块、数码相机、RGB-D 相机、太阳能移动电源等,设计出了一种经济高效、适用可靠的多源多目视觉无人车移动测量系统,可为数字城市的建设提供一条经济适用且便捷高效的目标物空间信息获取新途径。

关 键 词:数字城市;多目视觉;无人车;移动测量系统

中图法分类号: TP391

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.14.023

1 研究背景

如何快速、经济、精确地获取地理空间信息,特别是高分辨率、高精度的三维地理信息,是建立数字地球的基础。目前,能够获取空间信息数据的技术平台主要有航空数据获取平台、航天数据获取平台和地面数据获取平台^[1],亦可称为空基数据获取平台和陆基数据获取平台。传统的数据获取都是基于航空航天遥感平台,近年来,许多学者还致力于研究无人机遥感测绘^[2-4]。但是这些平台尚不能提供完整的建筑物几何信息,对于城市高层建筑遮挡区、高层建筑立面,以及城市的众多工程建设,所需的高速三维测量问题仍未得到解决^[5],所以亟需研究基于陆基的数据获取平台。

诞生于 20 世纪 90 年代初的移动测量系统(Mobile Mapping System,简称 MMS)是当今测绘界最为前沿的科技之一^[6]。它主要以飞机、汽车等为移动平台,集成了全球定位系统、惯性导航系统/航位推算系统(Inertia Navigation System/Dead-Reckoning System,简称 INS/DR)、电荷耦合器件(Charge Coupled Device,简称 CCD)等先进的传感器及设备,可以实时完成街道街景、市政元素、建筑物等激光扫描数据以及影像数据的采集,能够获得载体的 GPS 实时定位数据,并同

步存储到计算机中,为三维数字城市模型的建立提供了准确有效的数据信息。国内外诸多公司和高校目前都已研制出了较先进的车载移动测量系统^[7]。但是基于成本、灵活性、成像精度、特殊环境的采集等诸多因素考虑,目前国内外车载移动测量系统还存在以下不足。

(1) 精度不高。由于成像设备位置的固定性,给物体的摄影基线带来了局限,导致了三维测图精度下降。此外,目前车载移动测量系统使用的摄像系统一般都只采用 CCD 相机(例如 Google 公司车队获取的 Street View 360°全景数据),精度还不够高,而应用多源相机传感器来获取影像数据,能增加结构光信息,使得拍摄数据更加丰富,从而提升测图精度和可靠性。

(2) 灵活性受限。支撑架和目标物的成像设备基本上都固定了位置和方向,不能轻易改动和调整。

(3) 检校困难且适应性不佳。传统的车载移动测量系统结构复杂,检校比较困难且费时,而且由于体积较大,在一些特殊环境下的应用并不适合,比如室内场景中三维建模的数据采集^[8]。

(4) 价格高昂。由于车载移动测量系统所用硬件多采用当前最先进的设备和模块(例如 Lidar 激光雷达),所以整个系统的总成本很高,目前国内外处于运用阶段的系统价格均超过百万元^[9]。

针对上述问题,本文旨在研究低成本硬件(不用 Lidar 激光扫描仪)条件下,将普通数码相机和 GPS/IMU 定位系统集成于移动测量平台上,形成一套经济高效适用而可靠的多源多目视觉无人车 GIS 数据采集系统,以减少甚至替代外业测量工作。

2 系统总体设计

结合车载移动测量系统的硬件需求,并通过深入的市场调研,在兼顾科学性、稳定性、灵活性和可靠性的基础上,拟采用移动运载系统(1 台无人遥控电动车、支撑系统和 360°多源多目视觉旋转云台),物体成像系统(1 个单镜头反光照相机、3 个普通数码相机和 1 个 RGB-D 相机),定位定姿系统(4 个 GPS/IMU 模块和上位机模块)和供电系统(四个太阳能移动电源)来设计一种低廉、经济、高效、便捷的多源多目视觉无人车移动测量系统。系统构成参见图 1。

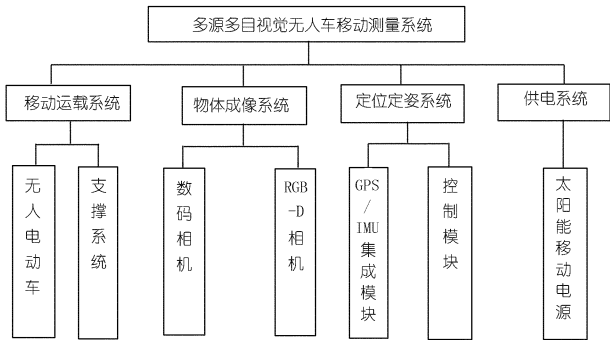


图 1 多源多目视觉无人车移动测量系统构成

多源多目视觉无人车移动测量系统的设计理念和思路是:利用支撑系统(支撑杆和支撑平台)将多源多目视觉旋转云台安装在无人电动车上,再通过遥控进行移动测量。所述平台在数据采集时可任意调节摄影基线,并能在 360°范围内灵活旋转作业。多面阵云台的特殊布置结构为等边三角形,在等边三角形的 3 个端点处放置普通相机,在等边三角形三心合一(重心、垂心、中心)的位置放置单反相机,其最大优点是可同时提高数据处理的自动化程度和精度。另外,在多源多目旋转云台的下部设一个 RGB-D 相机,便构成了多源传感模式,结合 GPS/IMU 即可实现 GIS 数据的同步采集。从而形成一种灵活性强、精确度高、适应性强、高效可靠且性价比极高的移动测量系统,可以在地基平台进行 GIS 多源数据的快速、多方位采集和处理。

图 2 表示的是在 AutoCAD 软件中绘制的多源多目视觉无人车移动测量系统立体布局图及正面总体布置图。图中各部位编号所代表的硬件和模块为:1 - 无人遥控电动车,2 - 伸缩式支撑架,3 - 木质支撑平台,4 - 铝合金转盘,5 - 360°多源多目视觉旋转云台,6 -

RGB-D 相机,7 - 单镜头反光照相机,8 - 普通数码相机,9 - GPS/IMU 模块,10 - 太阳能移动电源,11 - 可调节式相机支撑平台。

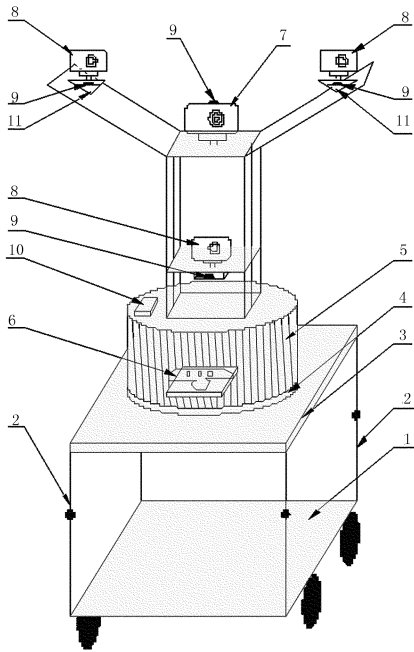


图 2 立体布局

3 系统硬件组成

多源多目视觉无人车移动测量系统的硬件由移动运载系统、物体成像系统、定位定姿系统和供电系统组成。

3.1 移动运载系统

移动运载系统由无人遥控电动车、支撑系统和 360°多源多目旋转云台组成。

无人遥控电动车作为整个系统的运载体,占有着举足轻重的作用。经过实地调研,综合考虑数据采集的需求,选用一款如图 3 所示的无人遥控电动车作为地面移动运载装置,考虑到实际数据采集设备以及总体设计的需要,对无人遥控电动车进行了必要的改造,即加装了 4 根伸缩式铝合金支撑架(伸缩范围为 50 ~ 80 cm)和 1 个木质矩形平台,构成了支撑系统。另外,无人车配备有无线遥控器,用于规划和控制车行进路线和方向。

360°多源多目旋转云台是 GIS 数据采集系统中极其重要的硬件之一,该云台主要用于放置物体成像系统,如图 4 所示。云台下部是木质圆台转盘,上部为云台成像固定架。考虑到物体拍摄影像的丰富性和完整性,木制圆台转盘以及云台成像固定架可以在近似半球的区域内 360°自由旋转,增加了摄影方式的灵活性和方便性。上部的云台成像固定架由铝合金方管和铝

合金面板构成,含有 4 个相机放置平台。与已有的传统云台相比,该云台主要特色在于,成像固定架呈等边三角形布局,4 个相机布置于等边三角形的 3 个端点和中心位置,通过调节可以保证各个相机镜头的中心也满足此关系,从而保证了最佳成像视角,不仅兼顾了摄影测量精度和自动化程度,还通过多目视觉中的长基线增大交汇角而提升了测图精度。通过三角形 3 个顶点的相机与三角形中心点的相机采用短基线布局的设计,影像间过渡平缓;另外由于采用了多目视觉原理,因此可提供冗余观测,易于剔除粗差,极大地提高了自动化处理的可靠性,便于相机高精度、高可靠性、自动化检校,可极大提高拍摄目标物的测图精度和可靠性。



图 3 无人遥控电动车

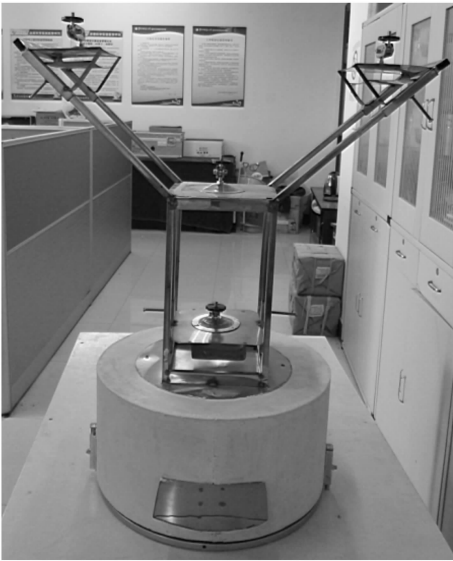


图 4 360°多源多目旋转云台

3.2 物体成像系统

物体成像是整个多源多目视觉无人车移动测量系统中获取重要影像数据的传感器,成像系统在运载系统行进过程中,采集路周围的影像信息,可以得到目标物的几何信息和纹理信息,包括物体的 CCD 影像、红外影像和深度影像的多源数据。物体成像系统由 4 个 CCD 数码相机和一个 RGB-D 相机构成,所有相机都放置在支撑系统的 360°多源多目旋转云台上。

(1) CCD 数码相机。CCD 数码相机包括一个单镜头反光照相机(位于等边三角形的中心位置)和 3 个普通数码相机(位于等边三角形的 3 个端点),参见图 2。

单镜头反光照相机为佳能 600D 相机,搭载 1800 万像素 CMOS,DIGIC 4 影像处理器,全高清视频拍摄,9 点宽区自动对焦,3.7 fps 连拍。普通数码相机为佳能 2400IS 相机,搭载约 1 600 万有效像素的 CCD 图像感应器、从广角端开始覆盖约 28 ~ 140 mm 视角范围的 5 倍光学变焦镜头以及智能 IS 光学影像稳定器。

(2) RGB-D 相机。RGB-D 相机由彩色摄像头、红外线装置、麦克风阵列、逻辑电路、马达等部分构成。RGB-D 相机有 3 个摄像头,中间是 BGB VGA 彩色摄像头,左右两边镜头分别为红外线发射器和 CMOS 红外摄像头所构成的 3D 深度感应器。RGB-D 传感器的分辨率均为 640 × 480,最大帧率为 30fps,可以同时获取彩色图像和深度图像。

3.3 定位定姿系统

定位定姿系统由 4 个 GPS/IMU 模块和上位机控制模块组成。IMU 模块由三轴加速器、三轴陀螺仪、三轴地磁传感器和传感器驱动构成,和 GPS 模块集成后,主要获取测量成像系统中相机的拍摄位置和姿态信息,即摄影测量中所称摄影瞬间各相机的外方位元素(X 、 Y 、 Z 、 ψ 、 ω 、 κ)。定位定姿系统采集的数据单独存储于数据存储卡中,所以整个 GPS/IMU 模块还集成了存储设备模块。上位机软件模块主要由数据收发和显示两部分组成,主要利用上位机软件来完成计算机对 GPS/IMU 模块时间间隔的设置工作,以实现串口通信功能。

3.4 供电系统

供电系统由 4 个太阳能移动电源组成,主要用于对 GPS/IMU 模块供电。太阳能移动电源是将太阳能转换为电能以后存储在蓄电池里面,为具有可移动性质的新型电源。蓄电池可以是任何形式的蓄电装置,一般由太阳能光电板、蓄电池、调压元件 3 个部分组成。采用双层充电模式:太阳能板接收太阳光充电和

交流电源充电器充电。输出电压为 5 V,最大输出电流为 2 A。电源输出接口为 USB 模式,与所需供电的 GPS/IMU 模块相匹配。

4 集成实现

综合运用摄影测量与遥感理论、机器视觉、工程控制、系统集成等理论实现对多源多目视觉无人车移动测量系统的集成。在系统集成过程中进行异构同化、集成变化、整体优化处理,充分考虑到系统运行时运动性、稳定性、可靠性、灵活性、实用性等,采取有效的集成措施,建立科学合理的系统集成方案。多源多目视觉无人车移动测量系统的最终集成如图 5 所示。



图 5 多源多目视觉无人车移动测量系统的集成

5 结语

考虑到目前车载移动测量系统存在的不足,本文结合地理空间信息数据获取对车载 MMS 系统硬件的要求,设计了一种多源多目视觉无人车移动测量系统。该系统以近景摄影测量和计算机视觉为基础,利用相机全方位拍摄的影像,结合 GPS/IMU 模块在拍摄瞬间的位置信息和姿态信息等数据进行解析和处理,从而反求出拍摄时刻影像的姿态和位置,接着再通过对几何、纹理、属性等信息的处理,对数据进行融合,为城市三维模型的建立提供了可靠、准确的地理空间信息。与传统的车载移动测量系统相比,该系统具有以下特点。

(1) 科学灵活,精度较高。支撑系统的支架是伸缩式的,在实际的数据采集过程中,可以根据具体环境将平台的高度调节到最佳采集位置。物体成像系统布

置于旋转平台上,能够自由旋转 360°,相机之间的距离可自由调节,使得拍摄时的角度选择具有丰富性,形成了多基线的交向摄影方式,增大了拍摄视场角,可以大大提高目标物的测图精度。

(2) 检校快捷,适应性强。相对于机动车载 MMS,该系统很容易维护,检校方便,而且由于本身体积不大,可以轻松完成对室内外环境数据的采集,适应性较强,运输作业方便快捷。

(3) 价格低廉。传统车载 MMS 由价格昂贵的 Li-dar 激光扫描仪、CCD 相机、GPS 接收机、惯性导航系统(INS)、航位推算系统(DR)等组成。而无人机车载移动 GIS 数据采集系统只需廉价的无人车、GPS/IMU 模块、普通数码相机、RGB-D 相机、太阳能移动电源集成。整套系统的硬件集成、加工制作后成本在万元以下,经济适用。

本文研究内容仅涉及到多源多目视觉无人车移动测量系统的设计与集成实现,尚未进行室内外环境的测试与精度验证,以及对所获取的数据进行物体三维建模处理,而对智慧城市来说,三维模型的建立是数字城市,乃至智慧城市的基础服务平台,所以这些均是未来研究的重点。

参考文献:

- [1] 叶泽田,刘先林,钟若飞,等. 车载多传感器集成快速数据获取与处理系统研究[J]. 测绘科技成果,2008,(21):46-48.
- [2] LIN Zongjian. UAV for mapping low altitude photogrammetric survey [C]//. ISPRS,2008.
- [3] 韩杰,王争. 无人机遥感国土资源快速监察系统关键技术研究[J]. 测绘通报,2008,(2):4-6,15.
- [4] 晏磊,吕书强,赵红颜,等. 无人机航空遥感系统关键技术研究[J]. 武汉大学学报:工学版,2004,37(6):67-70.
- [5] 卢秀山,李清泉,冯文灏,等. 车载式城市信息采集与三维建模系统[J]. 武汉大学学报:工学版,2003,36(3):76-80.
- [6] 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.
- [7] 侯艳芳. 车载多传感器系统中面阵 CCD 图像的智能采集及应用[D]. 北京:中国测绘科学研究院,2010.
- [8] Hakim S, Boulanger P, Blais F. A mobile system for indoors 3-D mapping and positioning[C]//Proceedings of the 4th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques,1997.
- [9] 翁国康,杨晶. 中海达一体化三维移动测量系统 iScan[J]. 测绘通报,2013,(4):119-120.

(编辑:胡旭东)

(下转第 97)

综上分析表明:江南监测点 TP06、TP08 以及江北监测点 TP17、TP18、TP19、TP20、TP21 累计位移量相对于其他测点较大,该区域滑坡体仍存在不同程度的变形,其余监测点变化较小。

7 结论和建议

- (1) 由监测数据可看出,水平位移变形较大的监测点在垂直位移方向的位移量也较大。动态变形情况基本一致。
- (2) GPS 比水准监测更为先进,操作更加方便,且不受通视条件和气象条件限制,可以全天候监测。
- (3) 除了 GPS,对于较为复杂的滑坡还可以结合测斜仪,对滑坡体内部情况进行动态监测。这样可以更为准确、全面的反应滑坡体的动态指标,从而准确地对滑坡进行预报。

参考文献:

[1] 徐绍铨,程温鸣,黄学斌,等. GPS 用于三峡库区滑坡监测的研究[J]. 水利学报,2003(1):114-118.

[2] Lovse J W ,Teskey W F, Lachapell E G, et al. Dynamic deformation monitoring of a tall structure using GPS technology[J]. Journal of Surveying Engineering, 1995, 121(1):35-40.

[3] 欧阳祖熙,王明全,张宗润,等. 用 GPS 技术研究三峡工程万州库区滑坡的稳定性[J]. 中国地质灾害与防治学报,2003,14(2):76-81.

[4] 徐绍铨. GPS 测量原理及应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2004.

[5] 乔建平,陈永波. 用 GPS 观测滑坡变形的结果分析[J]. 水土保持学报,2000,14(1):3

[6] 陈永奇. 变形观测数据处理[M] 北京:测绘出版社,1998.

[7] Finaly P J, Fell R, Maguire P K. The relationship between the probability of landslide and occurrence and rainfall[J]. Can. Geotech, 1997,(34):811-824

(编辑:李 慧)

Application of GPS and leveling in monitoring of Jingyang Landslide

TIAN Kun, CHEN Tan, SONG Huashan, XIA Wei
(Sanxia Exploration and Survey Co., Wuhan 430074, China)

Abstract: To analyze the application effect of GPS and leveling in landslide monitoring, we monitored the Jingyang Landslide Group in Qingjiang Reservoir area of Enshi, Hubei Province using the two methods. The curves of horizontal and vertical displacement with time were obtained on the basis of the final monitoring data through tracking the dynamic displacement information of the sliding body, and the variation laws of the displacement of each monitoring point with time was analyzed. It shows that both the two methods can reflect the variation condition of the landslide and the monitoring results are consistent with each other, which can be applied in the monitoring of landslide in the reservoir area. Individual landslide area where conventional measuring methods are not applicable can be monitored only by the GPS.

Key words: GPS; leveling; landslide monitoring; deformation analysis

(上接第 83 页)

Design and integration of mobile measurement system on unmanned vehicle with multi-source and multi-camera vision

TAO Shunong, YANG Hong, LAI Jinfu, CHEN Tan
(Sanxia Exploration and Survey Co., Wuhan 430074, China)

Abstract: The performance of vehicle mobile measurement system (VMMS) determines whether it can obtain the spatial information quickly and accurately. In view of the currently existed problems of vehicle mobile measurement system, namely lower accuracy, expensive, poor flexibility, fussy check and calibration, a new type of VMMS was designed with some low cost hardware, such as automated vehicle, GPS/IMU module, digital camera, RGB-D camera and solar mobile power sources. The practice proves that this system is efficient and practical, which can provide a new method to obtain spatial information of target economically and effectively for digital city construction.

Key words: digital city; multi-camera vision; automated vehicle; mobile measurement system