

无人机地理信息视频系统的设计与实现

孙新博^{1,2}, 李英成^{1,2}, 王 凤², 刘 飞^{2,3}, 王思雪², 周高伟²

(1. 中国测绘科学研究院, 北京 100830; 2. 中测新图(北京)遥感技术有限责任公司, 北京 100039;

3. 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116)

摘 要: 针对应急测绘中无人机视频数据缺少地理信息而无法实现视频空间定位及分析等问题, 该文提出了以旋翼无人机为平台搭载高清成像设备和定位测姿模块实时获取带有地理信息的视频影像的技术方案。在无人机视频信号处理和地理信息获取的基础上, 利用 VS2010 软件编程平台开发了一套无人机地理信息视频系统, 系统结合二维地理信息平台, 实现了无人机航迹坐标的实时展示、关键帧与地理信息平台实时匹配、距离和面积量测等功能。飞行测试结果表明, 无人机地理信息视频系统具有实际应用价值。

关键词: 应急测绘; 无人机; 实时; 地理信息视频系统; 地理信息平台

【中图分类号】P237; P208.2

【文献标志码】A

【文章编号】1009-2307(2018)10-0131-06

DOI: 10.16251/j.cnki.1009-2307.2018.10.021

Design and implementation of UAV geographic information video system

Abstract: Aiming at the problem that unmanned aerial vehicle(UAV)video lacks geographic information so that it cannot realize the real-time location and spatial analysis in emergency surveying and mapping, a technical scheme that selected unmanned gyroplane as platform boarding high-definition cameras and position and orientation module to acquire real-time video images with geographic information was proposed in this paper. Based on video signal processing technology and geographic information acquisition method, the UAV geographic information video system was developed by using VS2010, which could show UAV track coordinate on the two dimensional geographical information platform, match video key frame with geographic information and survey distance and area. The result of flight test showed that the UAV geographic information video system has practical application value.

Keywords: emergency surveying and mapping; UAV; real-time; geographic information video system; geographic information platform

SUN Xinbo^{1,2}, LI Yingcheng^{1,2}, WANG Feng², LIU Fei^{2,3}, WANG Sixue², ZHOU Gaowei²

(1. Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100830, China; 2. China TopRS Technology Co. Ltd., Beijing 100039, China; 3. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

0 引言

凭借机动灵活、快速响应、分辨率高等特点, 无人机(unmanned aerial vehicle, UAV)遥感技术

在地震灾害、福建漳州 PX 项目区爆燃、天津滨海新区危险品仓库爆炸等重大自然灾害和突发事件应急处置中发挥了重要作用, 为国家有关部门指挥决策、抢险救灾及恢复重建提供了有力的地理信息支持。在以往的应急测绘中, 轻小型无人机遥感传感器多为框幅式数码相机^[1], 影像数据较大, 难以做到第一时间将数据实时传输到指挥部门, 而且数码相机只能获取成像瞬间的静态场景, 难以描述地物的连续变化过程。近年来, 随着体积小、质量轻、分辨率高的数码摄像机的应用与推广, 已有不少科研单位在无人机遥感系统中集成高清摄像机来获取飞行区域的视频信息, 同时利用



作者简介: 孙新博(1990—), 男, 河南商丘人, 硕士研究生, 主要研究方向为无人机低空遥感、视频地理时空编码。
E-mail: 1358625331@qq.com

收稿日期: 2017-01-14

基金项目: 国家重点研发计划项目
(2016YFF0201301)

无线传输技术, 将视频信息实时回传到地面接收站, 为指挥决策者提供第一手的实时动态信息。

而在应急救援中, 对实时回传的视频流中目标进行定位或者空间分析比仅仅将视频数据作为视觉上的辅助数据更有意义, 即带有地理信息的视频数据比单纯的视频数据更有应用价值。文献 [2-3] 提出了视频地理信息系统的概念, 将视频流数据、地理信息作为共同存储的数据源, 设计地理和视频两个服务器对数据源进行不同操作, 该方法虽然很好地将视频数据与地理信息结合起来了, 但它要求视频为已有文件数据, 不具有实时性。文献 [4-5] 设计了一套具有定位信息的移动视频采集系统, 实现了移动环境下视频、音频、GPS 信息的实时同步通信传输, 但并未对视频影像进行处理, 没有充分利用视频的地理信息属性。文献 [6] 设计开发了一套无人机视频数据定位处理系统, 利用定位定姿数据, 结合待测区域的数字高程模型(digital elevation model, DEM), 实时将视频影像纠正为正射影像, 但纠正后的正射影像并未与地理信息平台相结合。

本文设计开发了一套无人机地理信息视频系统, 该系统以旋翼无人机为平台, 搭载高清成像设备和定位定姿模块, 利用无线图传设备传输实时回传数据, 经过地面软件系统处理, 再传输到二维地理信息平台, 实现无人机航迹坐标的实时展示、视频影像定位和距离面积量测等功能。

1 系统总体设计

无人机地理信息视频系统主要包含无人机系统硬件集成模块^[7]、数据传输链路模块、软件处理模块等, 总体设计流程如图 1 所示。无人机平台搭载高清视频设备、定位定姿模块、无线传输发射装置, 平台通过电台接收地面站指令, 并将获取的传感器位置姿态信息发送到地理信息视频系统, 同时视频信号由图传发射机回传, 经图传天线接收和视频采集卡处理后也输入到地理信息视频系统; 由于相邻视频帧重叠度过高, 需按一定的帧幅间隔筛选视频帧, 这部分视频帧称为关键帧^[8]。地理信息视频系统利用图像处理技术提取视频关键帧影像, 结合数码相机畸变检校文件对关键帧做畸变差改正, 利用测区平均高程和外方位元素数据对改正后影像做正射纠正, 生成正射影像; 二维地理信息平台实时获取无人机位置数据, 并展示其航迹坐标, 同时正射影像根据坐标实时与二维地理信息数据相匹配, 最终实现无人机航迹坐标的实时展示、视频影像定位和距离面积量测等功能。

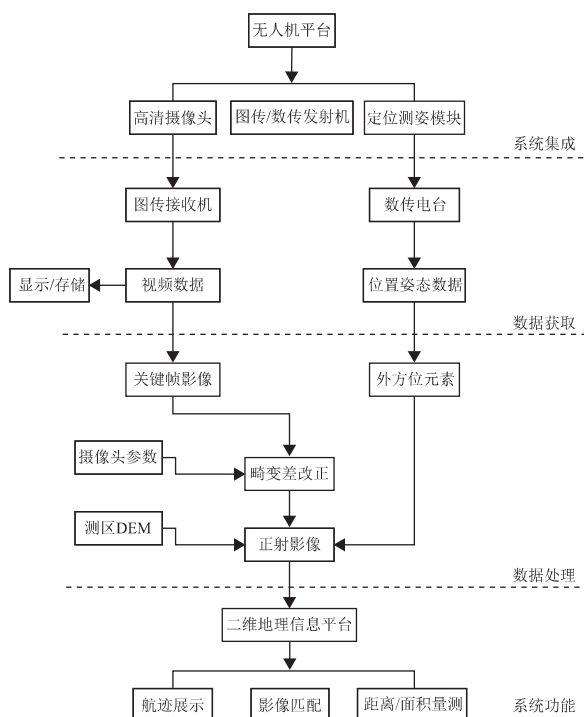


图 1 系统总体设计流程图

Fig 1 Flow Chart of System Overall Design

2 系统组成

2.1 系统硬件组成

系统硬件主要由无人机平台、高清视频设备、定位定姿模块、无线图传设备、视频采集卡、数传电台等设备组成(如图 2)。其中使用的无人机平台是中测新图(北京)遥感技术有限责任公司的 ZC-6 电动六旋翼无人机(如图 3), 轴距 1.6 m, 飞行速度小于 $36(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$, 最大飞行高度 500 m, 续航能力 35 min, 载荷能力 5.5 kg。平台搭载 GoPro Hero 4 高清摄像头, 主机质量 74 g, 分辨率为 $1920 \text{ 像素} \times 1080 \text{ 像素}$, 帧率 60 fps, 为了尽可能减少飞机抖动对视频质量的影响, 需将摄像头搭载在云台上, 系统选用一款型号为 ZENMUSE Z15-GH3 的三轴云台, 云台角度控制精度 $\pm 0.01^\circ$, 旋转、俯仰方向上可 $\pm 360^\circ$ 连续转动, 横滚方向角度范围 $\pm 40^\circ$ 。无线图传发射装置将摄像头获取的视频实时上传到地面, 该装置重 150 g, 发射功率 2 W, 地面图传接收装置视频接口为 HDMI, 采用数字微波传输技术, 抗干扰性好。视频采集卡主要是将模拟摄像机输出的视频信号转换为电脑可编辑识别的视频数据文件, 其输入接口为 HDMI 接口, 输出端为 USB 接口。由于无人机用于导航定位的定位定向系统(position & orientation system, POS)精度不高, 且地面站控制部分不能实时获取其姿态信息^[9], 因此本系统中另搭载动态定位与测

姿模块。模块获取的定位定姿数据通过数传电台实时下载到地理信息视频系统, 为后续视频处理及应用提供较精确的地理信息。

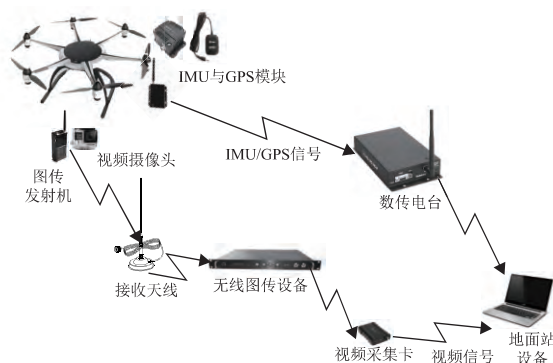


图2 系统硬件链路结构

Fig 2 Schematic Diagram of System Hardware Link Structure



图3 ZC-6 电动六旋翼无人机

Fig 3 ZC-6 Electric Six-rotor UAV

2.2 系统软件模块

本系统软件模块主要包括视频显示与存储模块、定姿定位数据接收模块、关键帧提取与处理模块、二维地理信息平台应用模块, 总体功能模块架构图如图4所示。

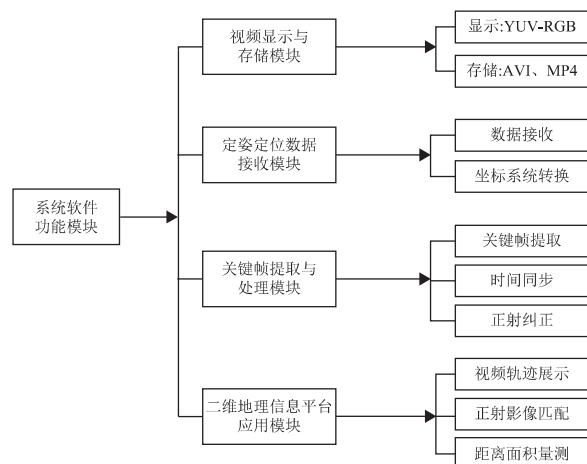


图4 系统功能模块架构

Fig 4 Frame Diagram of System Function Module

1) 视频显示与存储模块。该模块使用 Windows 平台下的 Microsoft Direct Show 开发, 首先检测是否有视频信号输入, 若有则将获取的每帧 YUYV 视频数据转化为 RGB 图像, 并绘制于显示设备上; 视频在显示的同时可以进行存储, 存储分为两种格式: 一种是未经压缩编码而直接封装的 AVI 格式; 另一种是经 H.264 压缩编码后封装的 MP4 格式。

2) 定位定姿数据接收模块。该模块实时接收电台下传的定位定姿数据, 其中 GPS 信息根据 NMEA-0183 协议解析, 主要获取每包数据 \$GPRMC 语句中的字段 1(UTC 时间)、字段 3(纬度)、字段 5(经度); 姿态数据包括传感器的航偏角、俯仰角、翻滚角, 需要将这 3 个角度数据处理成摄影测量中使用的外方位角元素, 即 HPR(heading pitch roll)坐标系统转换为 OPK(omega phi kappa)坐标系统^[10]。

3) 关键帧提取与处理模块。关键帧的提取主要采用基于时间间隔的方法^[11], 首先根据航摄设计参数计算相邻关键帧时间间隔, 然后利用 MFC 库中的 SetTimer() 定时器函数调用关键帧提取函数, 该函数主要用到 OpenCV 库下的 imwrite() 函数; 在关键帧提取的同时采用时间戳标记^[12]方法对视频数据和地理信息进行时间同步处理, 并根据摄像头检校文件对关键帧影像进行畸变差改正, 最后生成正射影像。

4) 二维地理信息平台应用模块。系统使用百度在线地图作为二维地理信息平台, 无人机位置坐标实时传入百度地图 JavaScript API 中地图标记接口进行航迹展示; 正射影像根据坐标由百度地图 JavaScript API 中的地图叠加接口实时贴入地图, 借助百度地图量测工具实现视频帧影像的距离、面积量测。

3 软件模块相关算法

在系统软件模块开发过程中, 主要用到了关键帧实时提取、关键帧正射纠正、二维地理信息平台坐标纠偏等算法。

3.1 关键帧实时提取

关键帧实时提取是视频流应用的一个重要步骤, 如何快速实时获取视频关键帧是系统的关键技术之一。根据无人机作业之前设计的航线、航高、飞行速度和摄像头参数等先验知识, 再参考任务所需航向重叠度, 就可以粗略计算出相邻关键帧之间的时间间隔, 进而按时间间隔实时提取关键帧。计算公式如式(1)。

$$t = \text{Integer}\left[\frac{(1-p) \times f_{ps} \times H \times W \times \mu_w}{f \times v}\right] / f_{ps} \quad (1)$$

式中: f 为摄像机焦距; H 为航高; f_{ps} 为摄像机帧率; p 为航向重叠度; v 为摄像机相对于拍摄物体的速度; W 、 μ_w 分别是视频帧航向像素个数和像素物理尺寸; t 就是所求得时间间隔, 视频帧帧数为整数, 所以用到了向下取整 $\text{Integer}()$ 。

$$\left. \begin{aligned} R &= 1.164 \times (Y-16) + 1.159 \times (V-128) \\ G &= 1.164 \times (Y-16) - 0.380 \times (U-128) + 0.813 \times (V-128) \\ B &= 1.164 \times (Y-16) + 2.018 \times (U-128) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

3.2 关键帧正射纠正

视频帧影像是中心投影构像, 并不与地表面保持相似的、简单的缩小, 而数字微分纠正技术可以将视频帧纠正为既有正确平面位置又保持原有丰富信息的正射影像。数字微分纠正有间接法和直接法之分, 本系统采用间接法纠正视频帧影像^[13], 具体步骤如下。

1) 建立纠正后正射影像与原始视频帧之间的几何映射关系。根据正射影像的比例尺、地面范围等建立空白正射影像, 在正射影像上根据实际情况建立正方形格网, 并由正射影像左下角图廓点地面坐标计算格网角点的地面点坐标, 在测区

$$\left. \begin{aligned} x_{ij} &= \frac{1}{n^2} [(n-i)(n-j)x_1 + i(n-j)x_2 + (n-i)jx_4 + ijx_3] \\ y_{ij} &= \frac{1}{n^2} [(n-i)(n-j)y_1 + i(n-j)y_2 + (n-i)jy_4 + iyy_3] \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中: n 为正方形格网间距; x_m 、 y_m ($m = 1, 2, 3, 4$) 为角点的像点坐标。

2) 灰度内插与赋值。计算求得的像点坐标不一定正好落在像素的中心, 为此必须进行灰度内插, 一般采用双线性内插法求得该像点的灰度值, 并将灰度值赋给对应的正射影像中的像素。

3.3 二维地理信息平台坐标纠偏

百度地图是一种常用的地理信息平台, 其提供的编程接口可以方便地帮助开发人员构建功能丰富、交互性强的地图应用。但基于保密政策, 国家测绘地理信息局规定必须至少使用 GCJ-02 标准, 对地理位置进行加密, 而百度地图在此基础上进行了 BD-09 二次加密^[15]。因此百度地图上的任一点的经纬度坐标值与真实 GPS 坐标值存在很大偏移。虽然加密算法不对外公开, 但为了方便开发者使用, 百度地图提供了一个不可逆的坐标转换接口, 即由真实的 GPS 坐标转换为百度坐标, 这样就消除了真实 GPS 坐标在百度地图上的偏移。以下代码表示坐标转换实现过程, 坐标完

高清视频设备摄取的每帧视频图像均为原始图像数据, 数据量很大, 而对应的数据传输接口都有速度的限制, 因此在采集 1 080 P 高清视频时, 大多避免使用像素点字节数较大的 RGB 色彩空间, 而使用字节数较小的 YUV 色彩系统, 避免因数据传输带宽不足而产生丢帧现象。在关键帧实时提取过程中, 需要实现视频帧图像由 YUV 色彩空间到 RGB 色彩空间的转换, 转换公式如式(2)。

DEM^[14] 中内插得到对应地面点的高程数据, 将地面点的三维坐标带入式(3)计算原始视频帧上对应的角点像点坐标, 纠正单元内的坐标 (x_{ij}, y_{ij}) 则利用双线性内插求得, 如式(4)。

$$\left. \begin{aligned} x &= -f \frac{a_1(X-X_s) + b_1(Y-Y_s) + c_1(Z-Z_s)}{a_3(X-X_s) + b_3(Y-Y_s) + c_3(Z-Z_s)} \\ y &= -f \frac{a_2(X-X_s) + b_2(Y-Y_s) + c_2(Z-Z_s)}{a_3(X-X_s) + b_3(Y-Y_s) + c_3(Z-Z_s)} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中: x 、 y 为原始视频帧上的像点坐标; f 为摄像头焦距; X_s 、 Y_s 、 Z_s 为外方线元素; X 、 Y 、 Z 为地面点坐标; a_i 、 b_i 、 c_i ($i = 1, 2, 3$) 为旋转矩阵元素。

成转换后由回调函数 `translateCallback` 来处理。

```
BMap.Convertor.translate ( gpsPoint, 0,
translateCallback);

translateCallback = function(point)
{
    var marker = new BMap.Marker(point);
    bm.addOverlay(marker);
    var label = new BMap.Label(" Baidu
Coordinate System");
    marker.setLabel(label);
    bm.setCenter(point);
    alert(" Transform to Baidu Coordinate
System:" + point.lng + "," + point.lat);
}
```

4 系统测试

为了验证无人机地理信息视频系统各个功能的可行性与稳定性, 本文进行了一系列的系统测试工作。其中地面测试主要测试系统传输链路是否通畅、关键帧提取是否正常、坐标偏移是否消

除等，通过地面测试之后进行飞行测试，来检验系统的可行性与稳定性。

4.1 地面测试

在系统成型初期进行了高清视频采集与关键帧实时提取测试，结果表明在通视条件下，图传传输时延并不明显，可以采用图传标称时延对数据下传时延加以修正，关键帧实时提取正常，尺寸为 1 920 像素×1 080 像素，大小 128 kB，JPG 格式。在验证消除百度地图坐标偏移的过程中选取国内 5 个地点，获取其真实 GPS 坐标，按照百度地图纠偏方法将其变换到百度坐标下，并将这两个坐标都展点到百度地图上，量测其偏移距离，结果如表 1。从表 1 可以看出，PS 坐标在百度地图中有很大大偏移，而将 GPS 转换为百度坐标之后，很好地消除了位置偏移(如图 5)，为后续无人机航迹坐标的展示和正射影像的空间分析提供了较好的保障。

表 1 真实 GPS 坐标在百度地图坐标系下的偏移

Tah 1 Migration of Real GPS Coordinate in Baidu Map's Coordinate

地点 编号	GPS 坐标/(°)		百度坐标/(°)		偏移/ km
	经度	纬度	经度	纬度	
1	116.391 41	39.903 17	116.404 03	39.910 92	1.40
2	113.722 76	34.724 35	113.735 48	34.729 29	1.28
3	108.959 35	34.219 67	108.970 47	34.224 43	1.15
4	114.297 05	30.547 11	114.309 08	30.550 34	1.21
5	121.495 34	31.241 62	121.506 39	31.245 27	1.13

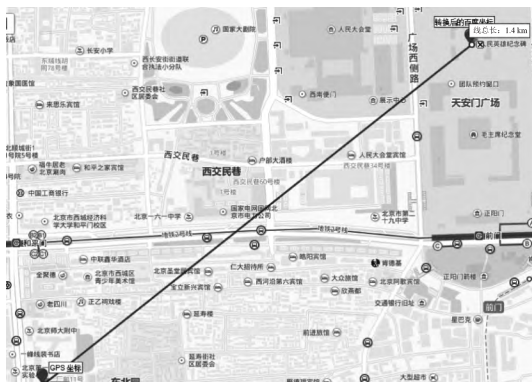


图 5 真实 GPS 坐标在百度坐标系下的偏移(以某处为例)

Fig 5 Migration of Real GPS Coordinate in Baidu Map's Coordinate System(Taking Some Place as an Example)

4.2 飞行测试

飞行测试选择在四川成都龙泉驿区，设计两条航线，飞行相对高度 220 m。在完成系统地面通电，电压、转速、电台、图传等测试工作后，开始

飞行任务，无人机进入航线后切换自主飞行，此时开始视频信号和地理信息处理操作，软件系统界面如图 6：屏幕左上方为实时视频播放；右方为地理信息平台，有电子地图、卫星地图两种模式；左下方为关键帧提取、地理信息插值等处理窗口。视频信号转换为 RGB 彩色空间实时绘制在播放窗口，同时经过 H 264 压缩编码后存储为 MP4 格式的视频文件，用于回放处理；正射纠正后的关键帧影像根据其左下角和右上角坐标实时叠加入百度地图(左图为电子地图，右图为卫星地图)，同时显示每帧对应的关键帧帧号、GPS 时间、经纬度。两条航线共提取 26 帧影像，提取时间间隔为 28 760 ms。



(a) 电子地图



(b) 卫星地图

图 6 软件系统实时工作界面

Fig 6 Real-time Working Interface of Software System

利用百度地图 JavaScript API 提供的量测工具可以实现位置坐标拾取，距离、面积量测等功能，如图 7(a)，本测试单条航线长度约为 1.96 km，测区覆盖范围约 1.88 km²。

从本次测试可以看出：无人机飞行过程中实时下传的视频信号清晰稳定，没有出现信号中断现象，且位置、姿态数据接收正常；利用百度地图 JavaScript API 提供的量测工具可以实现简单的量测功能；如图 7(b)，经正射纠正后的关键帧根据坐标贴入百度地图，仍然会有明显位置偏差，并且关键帧贴入百度地图后形成了一个新的图层，并未与地图真正融合。

影像与地图的位置偏差，可能由定位与测姿模块的测量误差或正射纠正误差引起，因此没有

严密的摄像测量解算过程,很难得到精确的地面点坐标;影像在百度地图上的叠加是以新建图层的方式实现的,并没有从数据库层面实现融合。



(a) 软件量测功能展示图



(b) 关键帧定位局部细节图

图 7 量测功能与局部细节展示界面

Fig 7 Interface of Surveying Function and Local Details Display

5 结束语

本文选择旋翼无人机作为平台搭载高清成像设备和定位测姿模块实时获取带有地理信息的视频影像,设计了无线图传和数传电台设备的视频地理信息数据传输方案,利用 VS2010 软件编程平台开发了视频地理信息接收、处理等软件模块,并结合二维地理信息平台实现了航迹坐标的实时展示、关键帧与地理信息平台实时匹配、距离和面积量测等功能。该系统可在应急测绘、处突维稳等应用中第一时间获取带有地理信息的动态影像,为决策指挥提供更好的支持。经地面和实际飞行测试,验证了系统功能的可行性与稳定性,达到了预期设计要求,但系统存在影像与地图叠加位置偏差明显,未能达到真正融合等问题。从实际应用需求与系统性能优化出发,本文认为应构建稳定的地理信息应急数据库代替百度地图作为地理信息平台,同时以 GPS 数据作为辅助数据实现视频影像与地理信息应急数据库的实时特征匹配融合,将会大大改善本系统的不足之处。

参考文献

[1] 廖小罕,周成虎. 轻小型无人机遥感发展报告[M].

北京:科学出版社,2016. (LIAO Xiaohan, ZHOU Chenghu. Report on the development of light-small UAV[M]. Beijing: Science Press, 2016.)

- [2] YOO J J, JOO I H, NAM K W. The design and implementation of video geographic information system[C]// Proc of 29th KISS Fall Conference. [S. l.]: [s. n.], 2002: 274-276.
- [3] JOO I H, HWANG T H, CHOI K H. Generation of video metadata supporting video-GIS integration[C]// ICIP' 2004 Proceedings. Piscataway, New Jersey, USA: IEEE Press, 2004: 1695-1698.
- [4] 吴勇,刘学军,丰江帆. 具有定位信息的移动视频采集系统[J]. 测绘通报, 2009(7): 42-44, 47. (WU Yong, LIU Xuejun, FENG Jiangfan. Locating and moving video capturing system[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2009(7): 42-44, 47.)
- [5] 王志鹏. 基于帧内编码地理信息视频系统的设计与实现[D]. 杭州: 浙江大学, 2010. (WANG Zhipeng. Design and implementation of geographic information video system based on frame intra-coded[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010.)
- [6] 谭熊,余旭初,刘景正. 无人机视频数据定位处理系统的设计与实现[J]. 测绘通报, 2011(4): 26-28, 37. (TAN Xiong, YU Xuchu, LIU Jingzheng. Design and realization of unmanned aerial vehicle video data orientation and processing system[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2011(4): 26-28, 37.)
- [7] 毕凯. 无人机数码遥感测绘系统集成及影像处理研究[D]. 北京: 中国测绘科学研究院, 2009. (BI Kai. The study on UAV digital remote sensing & survey system integration and images data processing[D]. Beijing: Chinese Academy of Surveying & Mapping, 2009.)
- [8] 任超锋. 航空视频影像的正射影像制作关键技术研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2014. (REN Chaofeng. Research on key technologies of DOM generation by aerial video[D]. Wuhan: Wuhan University, 2014.)
- [9] 姜城,孙敏,董娜,等. 面向远程监控的无人机视频地理信息增强方法[J]. 测绘通报, 2014(11): 28-32. (JIANG Cheng, SUN Min, DONG Na, et al. Real-time MUAV video augmentation with geo-information for remote monitoring[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2014(11): 28-32.)
- [10] 袁修孝,张雪萍,付建红. 高斯-克吕格投影坐标系下 POS 角元素的转换方法[J]. 测绘学报, 2011, 40(3): 338-344. (YUAN Xiuxiao, ZHANG Xueping, FU Jianhong. Transformation of angular elements obtained via a position and orientation system in Gauss-Kruger projection coordinate system[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2011, 40(3): 338-344.)

(下转第 156 页)

- (DAI Jiguang, SONG Weidong, LI Jianjun. Stereoscopic positioning with multi-source optical high resolution satellite images[J]. Science of Surveying and Mapping, 2013, 38(3): 14-15, 27.)
- [3] ZHOU G Q, SONG C Q, BENJAMIN S, et al. US National large-scale city orthoimage standard initiative [C]// IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings. Piscataway, New Jersey, USA: IEEE, 2003.
- [4] 刘军, 王冬红, 王慧, 等. 基于数字建筑物模型的线阵推扫影像真正射纠正[J]. 遥感技术与应用, 2009, 24(1): 88-92. (LIU Jun, WANG Donghong, WANG Hui, et al. Digital building model based true ortho rectification of line array pushbroom images[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2009, 24(1): 88-92.)
- [5] BROWN M Z, BURSCHKA D, HAGER G D. Advance in computational stereo[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(8): 993-1008.
- [6] 许彪. 基于航空影像的真正射影像制作关键技术研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2012. (XU Biao. Research on key technology of true orthophoto generation based on aerial images[D]. Wuhan: Wuhan University, 2012.)
- [7] 陈鹰, 李铁军, 熊兴华. 带约束条件的特征与最小二乘影像匹配[J]. 中国图象图形学报, 1998, 3(4): 299-303. (CHEN Ying, LI Tiejun, XIONG Xinhua. A feature-based and least square image matching with constraints[J]. Journal of Image and Graphics, 1998, 3(4): 299-303.)
- [8] HABIB A F, KIM E M, KIM C J. New methodologies for true orthophoto generation[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2007, 73(1): 25-36.
- [9] 钟成, 黄先锋, 李德仁, 等. 真正射影像生成的多边形反演成像遮蔽检测方法[J]. 测绘学报, 2010, 39(1): 59-64. (ZHONG Cheng, HUANG Xianfeng, LI Deren, et al. Polygon based inversion imaging for occlusion detection in true orthophoto generation[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2010, 39(1): 59-64.)
- [10] HABIB A F, BANG K I, KIM C J, et al. True orthophoto generation from high resolution satellite imagery [M] // ABDUL-RAHMAN A, ZLATANOVA S, COORS V. Innovations in 3D Geo Information Systems. Berlin: Springer, 2006: 641-656.
- [11] 李文龙. SURF 算法和 Delaunay 三角网算法相结合的遥感图像匹配技术研究及实现[D]. 上海: 东华理工大学, 2013. (LI Wenlong. SURF algorithm and Delaunay triangulation algorithm combining remote sensing image matching technology Research and Implementation [D]. Shanghai: East China of Science Technology, 2013.)
- [12] 王竞雪, 宋伟东, 王伟玺. 移动高程平面约束的多视影像特征点匹配[J]. 遥感学报, 2012, 16(4): 691-704. (WANG Jingxue, SONG Weidong, WANG Weixi. A multi-view image matching algorithm for feature point under the moving Z-Plane constraint [J]. Journal of Remote Sensing, 2012, 16(4): 691-704.)
- [13] 王竞雪, 朱庆, 王伟玺. 多匹配基元集成的多视影像密集匹配方法[J]. 测绘学报, 2013, 42(5): 691-698. (WANG Jingxue, ZHU Qing, WANG Weixi. A dense matching algorithm of multi-view image based on the integrated multiple matching primitives[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2013, 42(5): 691-698.)

(责任编辑: 路素军)

(上接第 136 页)

- [11] 刘善磊, 赵银娣, 王光辉, 等. 一种关键帧的自动提取方法[J]. 测绘科学, 2012, 37(5): 110-112, 115. (LIU Shanlei, ZHAO Yindi, WANG Guanghui, et al. A method for automatic extraction of key frames[J]. Science of Surveying and Mapping, 2012, 37(5): 110-112, 115.)
- [12] 姜峰. 时间戳在视频系统同步中的应用[C]// 2015 航空试验测试技术学术交流会论文集. 北京: 测控技术编辑部, 2015. (JIANG Feng. Application of time stamp in video systems synchronization[C]// Proceedings of the Academic Conference on Aeronautical Testing and Testing Technology, 2015. Beijing: Measurement & Control Technology Periodical Office, 2015.)
- [13] 张剑清, 潘励, 王树根. 摄影测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2009. (ZHANG Jianqing, PAN Li, WANG Shugen. Photogrammetry[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2009.)
- [14] 柳忠伟, 程新文, 李英成, 等. 利用 DEM 的自适应航线设计方法[J]. 测绘科学, 2014, 39(12): 143-147. (LIU Zhongwei, CHENG Xinwen, LI Yingcheng, et al. Adaptive strips design method based on DEM data[J]. Science of Surveying and Mapping, 2014, 39(12): 143-147.)
- [15] 潘伟洲, 陈振洲, 李兴民. 基于人工神经网络的百度地图坐标解密方法[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(17): 110-113, 119. (PAN Weizhou, CHEN Zhenzhou, LI Xingmin. Decryption method of Baidu map's coordinates based on artificial neural network[J]. Computer Engineering and Applications, 2014, 50(17): 110-113, 119.)

(责任编辑: 路素军)