



消费级无人机倾斜摄影航线规划及地面站实现

摘要

消费级无人机已成为新型对地影像获取平台.本文依据倾斜摄影原理及消费级无人机自身特性提出了不同的航线规划方法,具体可分为全覆盖航线、环绕航线、垂直航线以及等高线航线.为实现倾斜影像获取的高效、稳定,设计并编写了基于 Android 平台的无人机倾斜摄影地面站,该地面站可驱使无人机自动依照规划任务完成倾斜摄影工作,大幅度降低了倾斜摄影技术的使用难度及工作量,提高了消费级无人机倾斜摄影的能力及产品的精度.

关键词

消费级无人机;航线规划;地面站;倾斜摄影;三维模型

中图分类号 P231

文献标志码 A

收稿日期 2018-07-28

资助项目 国家重点研发计划(2017YFB0503702)

作者简介

黄鹤,男,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为室内导航定位、智能驾驶高精度导航地图等.huanghe@bucea.edu.cn

1 北京建筑大学 测绘与城市空间信息学院,北京,102616

2 北京建筑大学 北京未来城市设计高精尖创新中心,北京,100044

3 北京四维图新科技股份有限公司,北京,100094

0 引言

倾斜摄影技术通过从 1 个垂直、4 个倾斜等 5 个不同角度获取影像,得到丰富的地物多角度信息,更加真实地反映地物的实际情况^[1],后期利用相应软件可生成场景的真三维模型、DOM、DEM 等产品.国内大多使用固定翼或大型多旋翼无人机搭载轻型倾斜相机,以上平台虽成像效果优良,但价格昂贵,且空域申请耗时长,在针对小范围重点区域数据采集时性价比低,阻碍了倾斜摄影技术的推广^[2].近年来消费级无人机的推出吸引了许多研究者的目光,越来越多的研究者将消费级无人机作为实验、生产工具使用.

目前消费级无人机产品多可使用基于航点的导航功能,即航空飞行器依照环境中一组预先定义的点自主飞行,而市面上关于航迹规划软件还留有一部分空白^[3].现阶段多数学者针对消费级无人机应用在倾斜摄影测量方向进行研究,而研究热点多在于验证其可行性以及探究其建模效果、精度,在数据获取方面亟需依据消费级无人机性能实现航线自主规划及飞行路径优化等研究^[4].如果开发出具有航线自主规划的无人机地面站,必将降低倾斜摄影的技术难度以及所用成本,同时降低无人机使用难度,使得操作手无需接受专门的无人机培训也可以顺利操作无人机完成倾斜摄影的任务.吴波涛等^[5]针对消费级无人机全覆盖航线进行了研究,使用了 5 条航线对研究区域进行影像获取并取得了很好的成果;杨乐^[6]针对消费级无人机飞行能耗问题提出了基于改进牛耕式的覆盖航迹算法,但此算法没有充分利用消费级无人机的优势及特点.本文将针对消费级无人机设计多种倾斜摄影航线并编写地面站以实现其航线自主规划的功能.

无人机航线自主规划还可应用在农业、林业、电力以及安防等众多行业^[7],相信该技术将推动无人机在各行业的应用,也将推动倾斜摄影技术的发展.

1 航线规划方法研究

1.1 航线设计基本要素

1) 相机参数

由于相机的参数直接影响着航线设计的航高以及重复率等参数的设定,因此首先需要了解消费级无人机所搭载相机的相应参数,具体包括相机像素、镜头视场角、焦距、CCD 传感器尺寸等.相机参数均

为准确参数,在此设 f 表示相机焦距, $\angle F$ 为相机镜头视场角,可细分为横向视场角及纵向视场角.

2) 地面分辨率

地面分辨率(GSD)表示影像能够分辨最小地物的能力,应依据实际需求适当设计地面分辨率的数值.地面分辨率用 R 表示,与航高 H 以及CCD尺寸 δ 关系为

$$R = \delta \cdot \frac{H}{f}. \quad (1)$$

消费级无人机多使用固定焦距相机,由式(1)可知,使用定焦相机的无人机,地面分辨率与其航高成正比关系.

3) 飞行相对高度

地面站将依据输入无人机相对地面高度自动计算影像的地面分辨率,无人机飞行相对高度可由式(2)得到,式中 n_L 表示CCD纵边像元数量, $\angle F_V$ 表示纵向视场角.

$$H = \frac{R \cdot n_L}{2 \tan \frac{\angle F_V}{2}}. \quad (2)$$

4) 航向重叠度

航向重叠度用于表示相同航摄基线上两张相邻影像的重复率:

$$p_1 = 1 - \frac{v \cdot T}{2H \cdot \tan \frac{\angle F_V}{2}}, \quad (3)$$

其中, T 表示航线相邻影像拍摄间隔时间, v 表示无人机飞行速度.在已知重叠度要求后,可由式(3)计算得到无人机的拍照间隔或飞行速度.

5) 旁向重叠度

旁向重叠度描述影像与相邻航线中相应影像之间的重复率,常用于表达航线间距.可由式(4)得到:

$$p_2 = 1 - \frac{D}{2H \cdot \tan \frac{\angle F_H}{2}}, \quad (4)$$

其中, D 表示两航线间距离, $\angle F_H$ 表示无人机镜头横向视场角.

6) 飞行速度

无人机飞行速度过快或相机曝光时间较长将产生运动模糊效应,要求影像位移小于感光元件大小的0.3倍,依据式(5)得到最大飞行速度:

$$V_{\max} = \frac{S_{\max}}{t} \cdot R, \quad (5)$$

其中, S_{\max} 表示最大像移量, t 表示曝光时间,曝光时

间应依据测区现场环境设定,并依式(5)规划无人机飞行速度.

1.2 航线规划关键问题

当前无人机路径规划研究重点多集中于点对点路径规划^[8],但航空摄影测量多要求无人机拍摄的影像具有一定的重叠度,通过拼接程序实现地面影像的生产工作^[9].为了完成此种任务,无人机需遵循连续轨迹以扫描整个测区,将此种路径规划算法称之为全覆盖路径算法.但当面对如电视塔等独栋高层建筑时,使用全覆盖路径进行影像获取将造成无用的航线,降低任务效率.此时可采用环绕航线,即以建筑物为中心围绕建筑物飞行,并以不同高度进行拍照.除以上几种航线规划算法,本文依据在实际项目中遇到的场景设计了等高线航线及垂直航线,并根据倾斜摄影原理,对不同场景进行航线规划,提出倾斜摄影地面站自动规划航线的方法.

1) 全覆盖航线

本文采用外接矩形方法实现不规则多边形覆盖航线规划,如图1所示.首先通过外接矩形包裹多边形,设多边形顶点为 c_1, c_2, \dots, c_n ,取上述坐标中最大最小值组合得到外接矩形4个顶点:

$$(x_{\max}, y_{\max}), (x_{\min}, y_{\max}), (x_{\max}, y_{\min}), (x_{\min}, y_{\min}),$$

此时通过航高及航线重叠度等参数求得两航线间距离,依据式(6)求得各条航线的纵坐标 y_n :

$$y_n = c_{1,y} - n \cdot D, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

此处引入一次函数两点公式 $\frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} =$

$\frac{(y - y_1)}{(y_2 - y_1)}$,使用该公式两两遍历多边形顶点,求得各

边直线公式,计算得到各直线与 y_n 的多个交点 (x_z, y_n) ,此时需对得到的交点进行判断,判断该点是否在多边形边上.采用投影的方式对其进行判断:以 c_1-c_2 边为例,取 c_1, c_2 在 x 轴上的坐标最大值 x_b 及最小值 x_a ,当交点的 x 轴坐标 $x_a \leq x_z \leq x_b$,则保留该点坐标.至此已得到不规则多边形全覆盖航线所需航点,可将得到坐标依顺序输入数组,作为期望路线输入无人机控制系统即可实现不规则区域全覆盖飞行.

2) 多角度全覆盖航线

为实现多角度采集地物影像,并增加全覆盖航线规划灵活性,需增加航线旋转功能.此处将应用到旋转缩放公式:

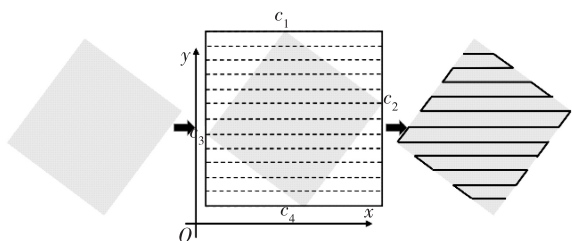


图1 不规则多边形覆盖航线

Fig.1 Irregular polygon covering route

$$\begin{cases} x' = S_x [(x - t_x) \cos \theta - (y - t_y) \sin \theta] + t_x, \\ y' = S_y [(x - t_x) \sin \theta + (y - t_y) \cos \theta] + t_y, \end{cases} \quad (7)$$

其中, S_x, S_y 表示绕 (t_x, t_y) 旋转 θ 角后缩放的倍数. 如图2所示, 为实现航线的旋转, 首先需将多边形进行旋转并依照全覆盖航线中的方法得到航线, 再将多边形通过式(7)进行逆旋转, 即可得到多角度全覆盖航线.

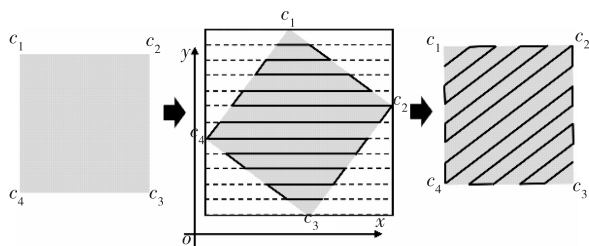


图2 旋转多边形覆盖航线

Fig.2 Rotating polygon covering route

3) 环绕航线

针对如中央电视台发射塔、国家大剧院等独栋建筑或标志物设计环绕航线, 此方法所产生的三维重建效果好, 需要的影像较少. 为增加模型精细化程度, 如图3所示, 还可以采用多高度环绕航线组合的方式.

实现环绕航线规划可将圆拆分为多个三角形,

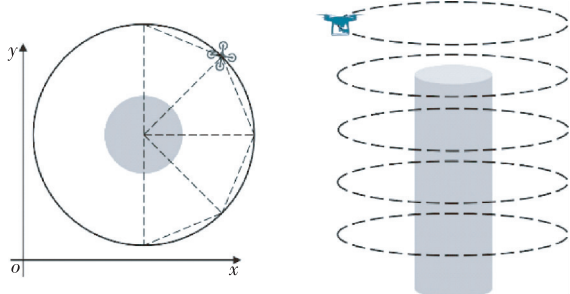


图3 环绕航线

Fig.3 Surrounding route

将三角形底角对应的点作为航点依次生成航线, 即可实现环绕航线路径规划. 具体实现方法可使用旋转航线中使用的旋转缩放矩阵. 首先可通过点击确定球心位置并获得坐标, 输入环绕路线的期望半径即可得到顶点的坐标; 然后将顶点及圆心以及旋转角度输入旋转公式即可得到旋转后的航点, 并用 360° 除以单次旋转的角度即可得到所需遍历次数; 最后将得到的航点依顺序组成航线即可得到环绕航线.

4) 等高线航线

在野外尤其是山林中作业时, 地势起伏不定. 为了更加精细化地获取地物的影像信息, 无人机需要以较低的高度在山体之间飞行. 在实际应用过程中传统的航线设计无法依据地面起伏进行相应的航线设计, 常导致无人机因高度预估不足而撞山坠机等. 本文使用的消费级无人机体积小、操作灵活, 并且具有悬停以及垂直拐弯的能力, 使其可以完全依照规划的航点飞行.

本文提出一种基于消费级无人机利用等高线进行航线规划的方法, 可依据现有测绘资料或已知DEM等数据得到测区地形信息, 依据航向及旁向重叠度计算得到航线所需等高线平距及飞行速度, 利用航高计算公式根据项目要求计算出航线相对高度并依据等高距计算出每条航线高度.

图4中所示为两种规划等高线航线的方式. 图4a为等高距相等的航线, 此时可明显看出航线间距不同致使重复率得不到保障. 图4b为等高线平距相等的航线, 此时航线分布均匀可满足影像重复率的需求. 经过以上分析, 在生成等高线时需依项目技术要求计算得到相应的航线间距, 并利用航线间距作为等高线平距生成等高线. 取生成等高线的拐点作为航点, 依次排序即可生成航线.

5) 垂直航线

当前建筑物的外形设计越来越具有特色, 仿古、

图4 等高线航线

Fig.4 Contour route

异形建筑层出不穷.以仿古建筑为例,突出的屋檐以及回廊为常见结构,若使用全覆盖航线从空中鸟瞰视角进行地面影像获取,会存在一定的视觉盲区,使该部分模型结构及纹理缺失,在生成模型时也会产生孔洞等问题影响模型效果.本文设计垂直航线以实现遮挡部分影像信息的补充.

垂直航线具体实现如图 5 所示.输入无人机与建筑物的直线距离 S ,求得航线重叠度及旁向重叠度的具体公式为

$$p_1 = 1 - \frac{v \cdot T}{2S \cdot \tan \frac{\angle F_v}{2}}, \quad (8)$$

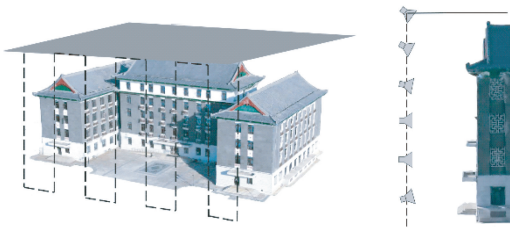


图 5 垂直航线
Fig. 5 Vertical route

$$p_2 = 1 - \frac{D}{2S \cdot \tan \frac{\angle F_H}{2}}. \quad (9)$$

垂直航线充分利用了消费级无人机灵活操作简便的特点,突破了只从高空采集倾斜影像的传统.且垂直航线可与全覆盖航线进行搭配使用以达到重点区域精细化建模的目的.

2 地面站设计与实现

2.1 软件设计

经市场分析发现大疆创新公司生产的消费级无人机占据全球市场的 50%以上^[10],故本文将针对该公司生产的无人机设计编写倾斜影像采集地面站.

程序界面使用 DJI UI Library 可视化框架进行编写以保证与 DJI GO 类似的设计.在地面站应用程序与 DJI 应用程序之间创建一致的用户体验,以减少用户使用该地面站的学习成本,增加用户友好度.地面站具体运行逻辑设计如图 6 所示,依据需求将地面站分为 5 个模块.

1) 无人机连接模块

该模块设计的目的是为确定连接无人机型号,

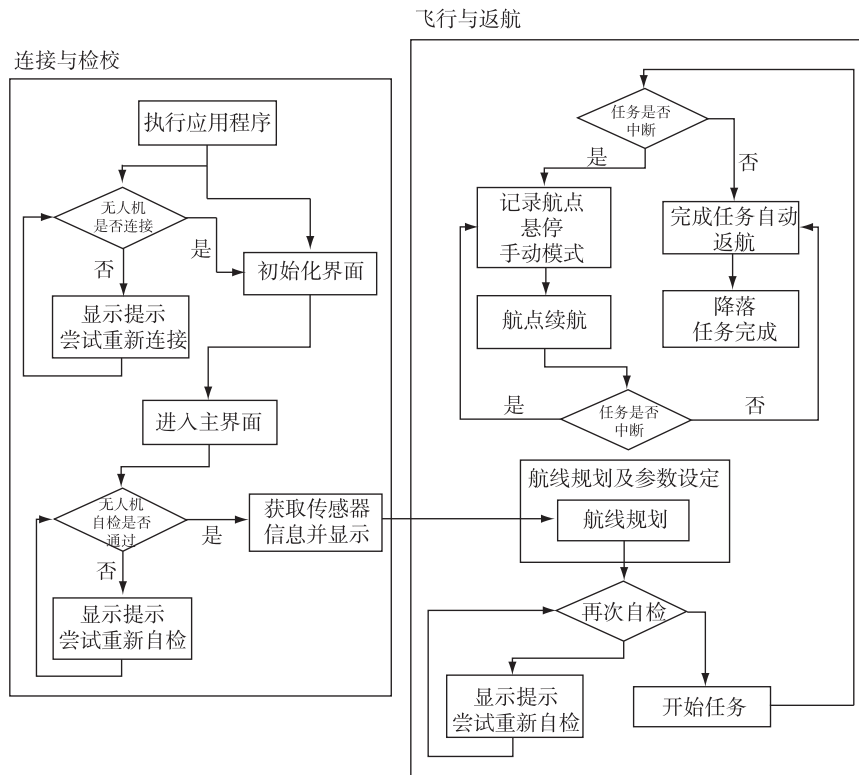


图 6 地面站运行逻辑
Fig. 6 Ground station operation logic

判断信号连接是否正常,反馈系统及 SDK 是否注册成功并运行正常等步骤。

2) 实时信息反馈模块

该模块将在无人机通电开机后实时反馈各传感器信息,如无人机朝向、实时旋转及俯仰角、无人机与起飞点的相对高度、相对水平距离、垂直方向的飞行速度、水平方向的飞行速度等姿态信息,以及无人机飞行模式、GPS 卫星搜星数、与遥控信号连接强度、图传数据连接强度、无人机剩余电量及可飞行时间等状态信息。

3) 相机参数设置模块

相机参数设置模块用于在无人机开机后对自带相机进行相应参数设置,可实现调节相片尺寸、格式、白平衡、感光度以及快门速度等参数。

4) 图传模块

图传模块通过无线数据链进行图像实时传输,该模块将在主界面显示.主要用于调整相机参数、检查相片质量.可通过点击图传区域进行自动测光及调焦功能,也可实时查看无人机飞行环境以实现远距离超视距飞行.通过图传也可检查无人机飞行路径有无障碍物,以辅助无人机操控员进行相应操作。

5) 航线规划模块

航线规划模块操作流程如图 7 所示,模块使用了高德地图作为底图,可显示地图及卫星影像.如流程图所示,首先需选定测区边界,通过点击地图可实现测区边界的选取及绘制.在规划模块界面的左侧依顺序分布着无人机定位、清空屏幕、输入参数、上传参数、开始任务、停止任务的按钮,满足了航线规划所需的功能。

2.2 软件实现及测试

使用 Android 平台编写开发软件,具体界面及使用如图 8 所示,连接精灵 4 无人机进行真机仿真测试,连接无人机后各项信息反馈正常。

为验证地面站的安全可靠性以及航线的可行性,分别针对不同航线进行了实验.使用全覆盖航线对北京建筑大学校园内四合院进行了数据采集,最终得到模型如图 9 所示。

采用环绕航线针对图书馆进行数据采集及建模工作,得到其三维模型如图 10 所示。

等高线航线实验地点选为贵州省梵净山区,航线规划及模型如图 11 所示。

垂直航线验证效果如图 12 所示,可见图中屋檐下部分信息得到了充分补充。

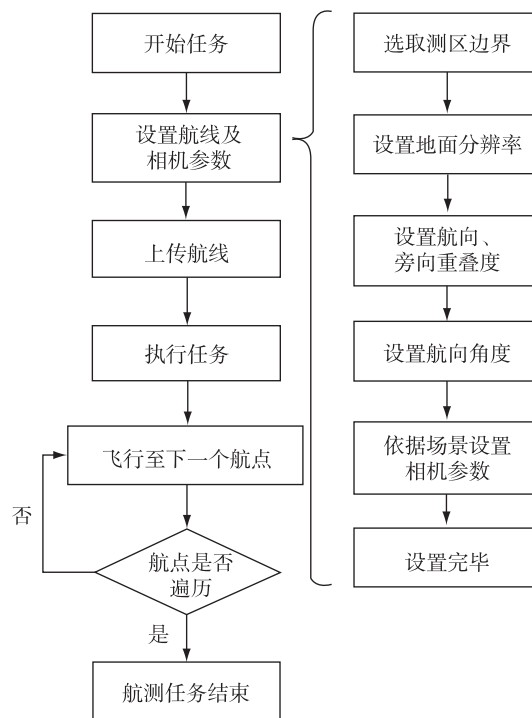


图 7 航线规划模块操作流程

Fig. 7 Route planning module operation process



图 8 地面站运行界面

Fig. 8 Ground station operation interface



图 9 全覆盖航线成果

Fig. 9 Full covering route results

经多次重复上述测试可证明本文编写的无人机倾斜摄影地面站各项功能运行正常.此外该地面站实现了航线自主规划,以及执行飞行任务期间无需

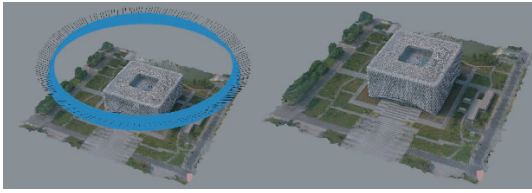


图 10 环绕航线成果

Fig. 10 Surrounding route results

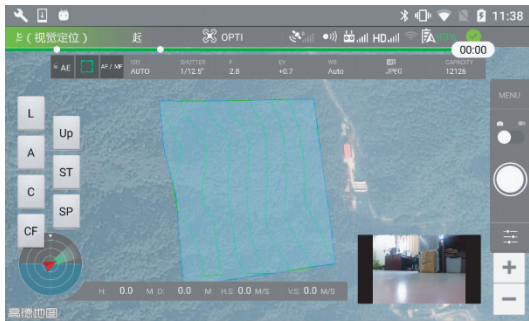


图 11 等高线航线设计界面

Fig. 11 Contour route rendering

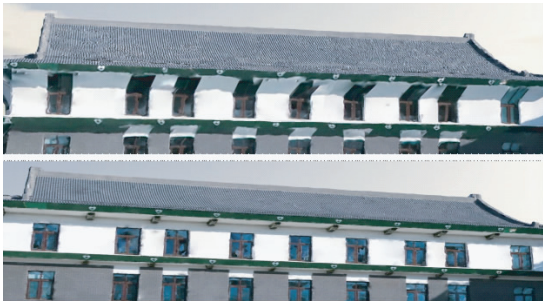


图 12 垂直航线成果

Fig. 12 Vertical route results

人工操作即可自动化采集,简化了倾斜摄影影像采集技术的步骤,降低了其操作难度。

3 总结

本文依据无人机特性进行了航线设计及优化,得到了全覆盖航线、环绕航线、垂直航线及等高线航线 4 种航线,通过二维平面旋转缩放矩阵及两点直线方程完成了 4 种航线的实现,确定了基于地图实现各航线的方法。基于实际需求针对消费级无人机倾斜影像采集地面站进行了需求分析,设计并完成了无人机连接模块、信息反馈模块、相机参数设置模块、图传模块以及航线规划模块,并进行了软件测试,结果表明地面站各项功能正常,实现了无人机倾斜摄影自动获取数据的目标,降低了无人机使用的

难度,提高了数据采集效率。相信随着无人机技术及计算机芯片的不断更迭换代,未来的无人机将具有更强大的功能并进一步降低使用难度,可以将倾斜摄影技术推向更多的工程应用中。

参考文献

References

- [1] 李凌霄.多旋翼无人机单镜头倾斜影像采集关键技术研究[D].武汉:长江科学院,2016
LI Lingxiao. Research on key technology of oblique images acquisition using single-lens multicopter[D]. Wuhan: Changjiang River Scientific Research Institute, 2016
- [2] 李翔,全昌文,陈霖.消费级无人机倾斜摄影数据采集方法研究[J].测绘,2016(6):263-265
LI Xiang, QUAN Changwen, CHEN Lin. Research on the method of consumption-type UAV oblique photography data collection[J]. Surveying and Mapping, 2016(6): 263-265
- [3] 孔振,刘召芹,高云军,等.消费级无人机在大比例尺测图中应用与精度评价[J].测绘工程,2016,25(12): 55-60
KONG Zhen, LIU Zhaoqin, GAO Yunjun, et al. Application and precision evaluation of consumer UAV to large scale mapping[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2016, 25(12): 55-60
- [4] Fan J. Optimal path planning and control of quadrotor unmanned aerial vehicle for area coverage[J]. Dissertations & Theses-Gradworks, 2014, 1(1): 80-90
- [5] 吴波涛,张煜,李凌霄,等.基于多旋翼单镜头无人机的三维建模技术[J].长江科学院院报,2016,33(11): 99-103
WU Botao, ZHANG Yu, LI Lingxiao, et al. Key technology of oblique images acquisition using single-lens multicopter[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2016, 33(11): 99-103
- [6] 杨乐.面向海岛航拍的无人机航迹规划算法研究[D].青岛:中国海洋大学,2014
YANG Le. Research on the algorithm of UAV route planning for island's aerial photography[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014
- [7] 张茂林.面向梯田环境的四旋翼飞行器路径规划与跟踪控制研究[D].深圳:深圳大学,2016
ZHANG Maolin. Research on path planning and tracking control of quad rotor for terraces environment[D]. Shenzhen: Shenzhen University, 2016
- [8] Sun Y G, Ding M Y, Zhou C P, et al. Route planning based on quantum genetic algorithm for UAVs[J]. Journal of Astronautics, 2010, 31(3): 648-654
- [9] 邓才龙,刘焱雄,田梓文,等.无人机遥感在海岛海岸带监测中的应用研究[J].海岸工程,2014,33(4): 41-48
DENG Cailong, LIU Yanxiong, TIAN Ziwen, et al. Application of UAV remote sensing in the monitoring of islands and coastal zones[J]. Coastal Engineering, 2014, 33(4): 41-48

- [10] 周晓腾,周政,张书航,等.面向单体建筑精细化建模的无人机三维航线规划[J].地矿测绘,2017,33(2):24-27
ZHOU Xiaoteng,ZHOU Zheng,ZHANG Shuhang,et al.

3D route planning of UAV for fine single building modeling[J].Surveying and Mapping of Geology and Mineral Resources,2017,33(2):24-27

Consumer UAV inclining photography route planning and ground station implementation

HUANG He^{1,2} LI Ruopeng¹ WANG Liu³

1 School of Geomatics and Urban Spatial Information,Beijing University of Civil Engineering and Architecture,Beijing 102616

2 Beijing Advanced Innovation Center for Future Urban Design,Beijing 100044

3 NavInfo Co.,Ltd.,Beijing 100094

Abstract The use of consumer-class drones has become a new ground image acquisition platform.This paper proposes different route planning methods based on the tilt photography principle and the characteristics of consumer-class drones,which can be divided into full-coverage routes,encircling routes,vertical routes,and contour routes.In order to achieve efficient and stable tilt image acquisition,an unmanned aerial vehicle tilt photography ground station based on the Android language was designed and programmed.This ground station can drive drones to automatically perform tilt photography according to planned tasks,significantly reducing the difficulty and workload of tilt photography technology and improving the ability of consumer-level drones to perform tilt photography and product accuracy.

Key words consumer drones;route planning;ground stations;tilt photography;3D models