

文章编号:1002-3682(2014)04-0041-08

无人机遥感在海岛海岸带监测中的应用研究*

邓才龙,刘焱雄,田梓文,任 军,彭 琳

(国家海洋局第一海洋研究所,山东 青岛 266061)

摘 要:目前的卫星遥感和航空遥感已不能满足海岛海岸带监测中不断提高的现势性和分辨率的要求,而具有高灵活性、高时效性、高分辨率、低成本的低空无人机遥感则能很好地满足其要求。基于此,利用无人机遥感系统的优点,本文归纳总结出了无人机遥感影像获取和处理的一般流程,并通过海岛(田横岛)及其海岸带监测的应用实例,展示了无人机遥感在海岛海岸带监测应用的可行性,进而能够实现海岛海岸带地区大比例尺的地形测绘。

关键词:无人机遥感;海岛海岸带;影像获取和处理

中图分类号: TP79

文献标识码: A

中国海域辽阔,海岛众多,海岸线曲折漫长。在 300 多万 km^2 的管辖海域中,面积大于 500 m^2 的海岛有 6 900 多个(不含台湾、香港、澳门所属海岛),面积不足 500 m^2 的海岛、岩礁更是多达上万个^[1]。随着国家“海洋强国”战略的实施,海岛日益成为缓解海洋经济和沿海社会发展的资源瓶颈的保障,也是维护海洋权益和保卫国家安全的战略前沿。但海岛的地势、地貌较为复杂,基础地理信息获取困难,常规的人工测量或船载作业方式难以完成基础地理空间信息的采集任务,现有卫星遥感和航空遥感的分辨率、现势性不够,导致许多海岛海岸带地区仍然存在地形数据空白区域^[2]。

近年来,无人机遥感系统日趋成熟,并在国土和海洋测绘中逐渐被应用。利用无人机低空遥感可成功获取陆地 1:2 000 正射影像图^[3-4],进行水利和海洋赤潮、溢油的监测^[5-6],并可快速搜索、提取出可能包含目标的感兴趣区域^[7],以及利用无人机群进行分布式监测任务的估算和控制研究^[8]。

由此可见,这种低空遥感系统能够满足海岛地区基础地理信息获取的技术要求。为推广其在海岛海岸带监视监测中的应用,国家海洋局第一海洋研究所一直开展相关的应用研究,引进了 2 套固定翼无人机遥感系统和 inpho 全数字摄影测量系统,并对青岛海域的田横岛进行了无人机遥感试点应用。

1 无人机遥感系统的特点

无人机遥感系统是无人机(Unmanned Aerial Vehicle,UAV)与遥感技术的结合,是

* 收稿日期:2013-12-23

资助项目:海洋公益性行业科研专项——海域无人机监视监测关键技术研究与应用示范(201405028);国家海域动态监视监测系统升级改造——无人机在岸线勘定中的应用研究(SYJ0814001)

作者简介:邓才龙(1989-),男,硕士研究生,主要从事无人机遥感、海洋测绘等方面研究。E-mail:deng.cai.long@163.com

(王 燕 编辑)

具有 GPS 导航、自动测姿测速、远程数控及监测的无人机低空定时摄影系统。系统以无人驾驶飞行器为飞行平台,以高分辨率数字遥感设备为机载传感器,以获取低空高分辨率遥感数据为应用目标,主要用于地理数据的快速获取和处理^[9]。依据飞行平台的差异,主要将无人机分为固定翼型无人机、无人驾驶直升机、无人驾驶飞艇等。

作为卫星遥感和常规航空摄影的有效补充手段,无人机遥感系统拥有高机动性、高时效性、高分辨率、低成本等优点^[10-11],具体如下:

1)高机动性。无人机的使用机动灵活,运输便利,可以快速到达指定目标区域。同时较易申请空域,起飞方便,不依赖机场,特别是无人驾驶直升机可以定点起飞、降落。并且由于其飞行高度较低,一般在云下飞行,故受天气影响较小。

2)高时效性。无人机灵活机动,可以迅速升空并利用专业摄影数码相机进行拍摄,实时传输影像至地面终端或者较短时间内拍完整个目标区域,将像片导入电脑用专业处理软件快速处理得到区域的整幅像片或者 DEM,整个过程可在几天之内完成。特别是在不同潮位时对海岛、海岸带进行摄影,现势性较好。

3)高分辨率。由于无人机一般在云下飞行,搭载 GPS 定位装置,并使用 CCD 数码相机作为传感器,能够获取高重叠度和高分辨率(最高可达 cm 级)影像。

4)低成本。无人机不用专门培训驾驶员,其操作员的培训则相对简单,所以也就不需要安装有人驾驶所需的驾驶设备、语音通信和安全设备。另外,由于普遍使用数字技术而实现高度一体化设计,无人机可以无机场甚至无跑道起降,故其无机场维护等费用。无人机合计费用大约为有人驾驶飞机的 10%。

5)承担高风险或高科技任务。科研人员和驾驶人员可以在安全区域对无人机实行控制操作,可以实现实时数据的连续下传,尤其对于车船无法到达或有毒地区的监测和灾区的检测救援,更是有其独特的优势。

2 无人机遥感的影像获取与处理

2.1 无人机遥感的影像获取

无人机遥感的影像获取流程如下图所示:

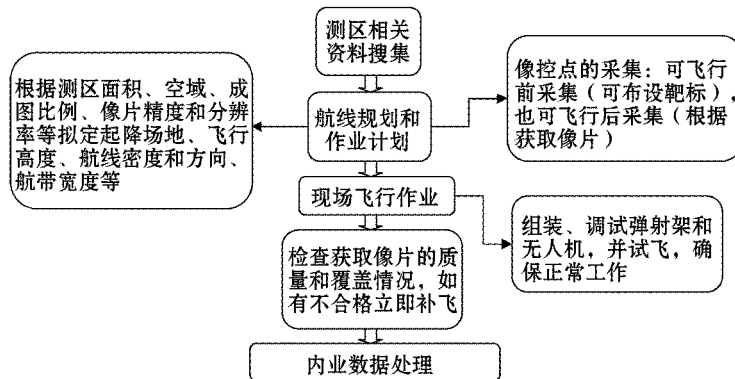


图1 无人机遥感影像获取流程

Fig. 1 Flow for acquiring the UAV remote sensing images

首先,按照摄影任务的要求,对测区进行自然地理概况和已有测绘成果等相关资料的收集,然后根据已有测绘资料和任务要求进行外业摄影的航线规划和作业计划,也就是根据待摄影区域的面积、飞行空域、成图比例、像片精度和分辨率等拟定以下具体作业方案:测区现场的勘查、飞行高度的确定、起降场地的甄选、航线密度和方向的确定、迫降场地的确定、地面监控路线的确定、遥感器作业参数的确定、像片航向重叠率和旁向重叠率的计算确定、摄影相机的定向检验(防止像片旋角过大)、作业时间的确定和像片控制点的布设采集(也可飞行完成后根据获取像片布设、采集像控点)等^[12]。注意在拍摄区域均匀布设、选择地物特征较为明显的地物点,地物特征不明显区域可人工制作控制点。

在进行无人机遥感时,测区天气尤为重要,所以要尽量选择天气晴朗、能见度高、风速较低(特别注意海岛海岸带的风速)的天气进行摄影作业,才能获取清晰度较高的摄影像片。同时根据作业当天的大气能见度、太阳高度角和预先设定的飞行高度等选择合理的相机曝光参数,以保证影像质量。特别注意无人机在切换航带时的设计飞行航线不能太短,否则无人机将没有足够的时间来调整其姿态和位置,从而造成进入拍摄航带时的航迹角偏差和倾斜角偏大。

在航摄结束无人机返场后,工作人员要马上采用飞行管理软件对获取的摄站点 GPS 坐标做技术处理,当天评价飞行质量以及摄影范围是否覆盖目标区域,若有不合格航线立即组织补飞。

2.2 无人机遥感的影像处理

在无人机外业摄影获取了数字影像之后,应通过一定的方式对影像进行检验和后期处理,检验项目主要包括像片重叠度、像片旋角、航线弯曲度、航带内最大航高差等。按照 CH/Z 3005-2010《低空数字航空摄影规范》^[13]的要求,影像的航向重叠一般应达到 60%~80%,最小不应小于 53%,旁向重叠一般应达到 15%~60%,最小不应小于 8%;通常要求航线弯曲度不超过 3%;同一航线上相邻像片的航高差不应大于 30 m,最大航高与最小航高之差不得大于 50 m。

由于目前无人机遥感系统受到有效载荷限制,所以多选择使用商业普通数码相机。但由于存在影像像幅小、镜头畸变差及飞行姿态不稳定等问题,一般测区就需要成百上千的像片才能覆盖,故需针对其影像特点、相机参数、飞行姿态数据以及相关几何模型对多幅无人机影像进行图像的几何纠正配准和镶嵌匀色。而目前国内比较通用的空中三角测量加密软件和数字摄影测量工作站不能很好地支持此类后期数据处理,故本文选用国外 Trimble 公司的 inpho 全数字摄影测量软件处理数据,其处理流程见图 2(流程具体说明见 3.2 田横岛影像处理)。

3 海岛监测的应用实例

为推广无人机遥感系统在海岛监视监测中的应用,国家海洋局第一海洋研究所一直开展无人机遥感的应用研究,并于 2013-06-22 对青岛海域的田横岛进行了试点应用。

3.1 田横岛简介及航线设计、作业描述

田横岛位于青岛即墨市东部海域的横门湾中,中心位置在(36°25'08"N, 120°57'32"E),总面积 1.46 km²,海岸线长 8 km。岛上最高海拔 50 m,对无人机飞行安全无影响。航线

参数包括地面采样距离、航向重叠度、旁向重叠度和一些线路设计相关参数^[14]。根据航线参数和田横岛的具体情况,设计的航线如图3所示。

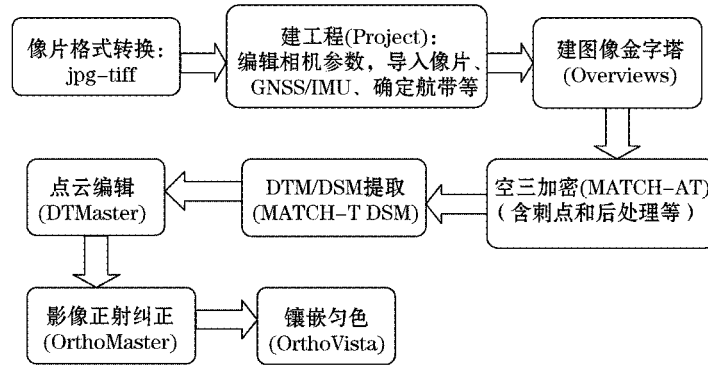


图2 无人机遥感影像处理技术流程(inpho)

Fig. 2 Flow for processing the UAV remote sensing images (inpho)

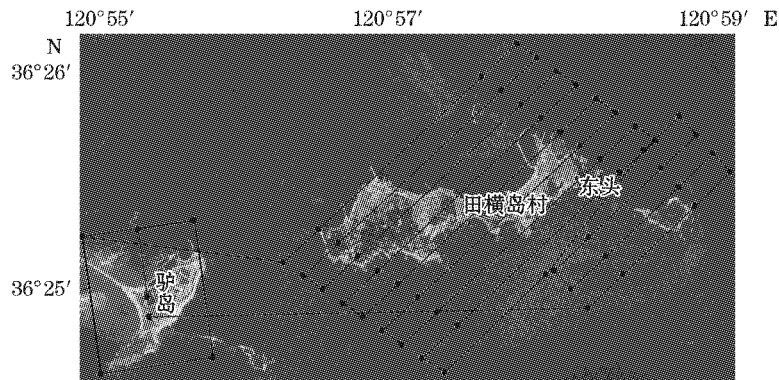


图3 田横岛航线图

Fig. 3 The air route map of the Tianheng island

本次海岛数据获取采用了TF-7型固定翼无人机系统:无人机长约2 m,翼展约1.7 m,飞行速度90~140 km/h,工作高度500~1 000 m,升限 $\geq 3\ 500$ m,续航时间 ≥ 2 h,抗风能力为四级风速,控制半径 ≤ 30 km,有效载荷3~5 kg。搭载相机为Canon EOS 5D Mark II,像幅大小为 $5\ 616 \times 3\ 744$,像素大小为 $6.41\ \mu\text{m}$,焦距35.536 4 mm。

飞行当天田横岛测区阴天有薄雾,风速4级,故选择天气好转间隙进行航拍。无人机先从田横岛附近的驴岛起飞,并绕驴岛飞行两周以检验无人机是否工作正常。然后按照设计航线飞往田横岛进行航拍,航速约为100 km/h,飞行高度550 m,航带宽400 m,飞行时间约15 min,获取有效影像110张。此次无人机采用弹射的起飞方式,气动弹射架原地弹射,弹射架展开面积不大于 $4\ \text{m}^2$;而回收采用滑降,距离不大于15 m。并于2013-07-16由驴岛码头出发,前往田横岛进行了像控点的布设、测量,然后进行下面的无人机影像数据处理。

3.2 田横岛影像处理

处理计算机与软件配置:HP Z820(4G 内存),2 核 CPU,win7(64 位),inpho5.5。

片数:71 张(单张 60 M 左右,格式为 tiff)。

inpho 处理流程具体说明如下:

1)进行无人机遥感像片的格式转换,将 jpg 转换成 tiff 格式;

2)为此次数据处理建立一个工程(Project),并编辑相机参数,导入像片、GNSS/IMU(飞行姿态数据)、控制点数据和确定航带等;

3)建图像金字塔(Overviews),一般以原始像片为基础,建立分辨率逐步降低的深度为 8 级的图像集合;

4)在将像片的航向、旁向方位调整正确之后,进行全自动数字空三加密(MATCH-AT),空三加密完成后可删除水域内的同名点,再进行后处理,最后进行控制点的刺点及后处理;

5)全自动提取数字地面模型 DTM 或数字地表模型 DSM;

6)点云编辑(DTMaster),进一步剔除水域,拉平高建筑物;

7)全自动影像正射纠正(OrthoMaster);

8)正射影像镶嵌匀色(OrthoVista),获取数字正射影像图 DOM;

建立金字塔、空三加密、DTM/DSM 提取、正射纠正(OrthoMaster)、拼接匀色(OrthoVista),每一阶段处理耗时均在 3 min 左右。

3.3 影像处理结果

经过数据处理,最后得到了田横岛 1:2 000 的数字高程模型 DEM(图 4 和图 5)和数字正射影像 DOM(图 6 和图 7)。获取的 DEM 能够反映主要地形表面特征的变化,高程平滑无突变情况,与地形图的地貌形态、同名地物点高程差异较小,高程中误差为 0.38 m,满足 CH/Z 3003—2010《低空数字航空摄影测量内业规范》^[15]中丘陵地 0.5 m 的精度要求。

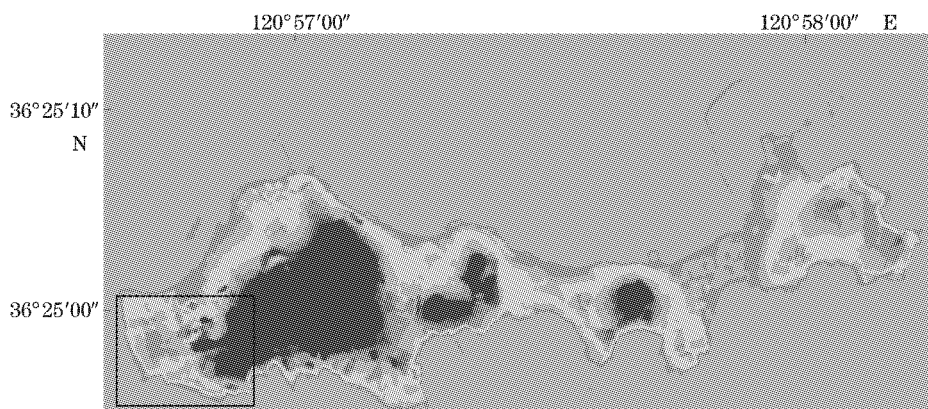


图 4 田横岛 1:2 000 DEM

Fig. 4 1:2 000 DEM of the Tianheng Island

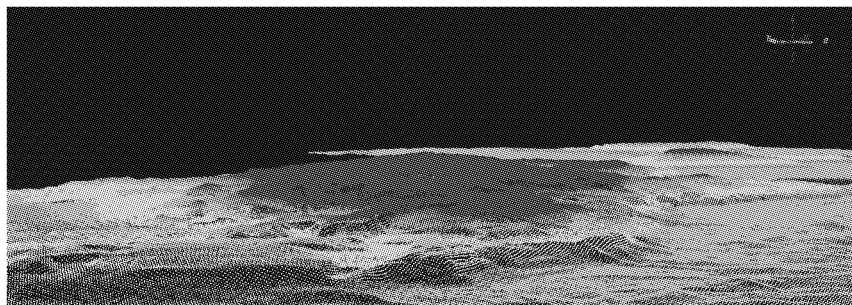


图5 图4中黑框区域放大图

Fig. 5 Enlarged view of the area in the black frame in Fig. 4

为检查 DOM 的可靠性,将其导入 ArcGIS,测得地面分辨率 $<0.2\text{ m}$,并随机在图像四周和中间区域抽取了 10 个控制点,测得其在 DOM 上的坐标与实测坐标之差(表 1),其平面位置平均中误差约为 0.38 m ,满足 CH/Z 3003—2010《低空数字航空摄影测量内业规范》^[15]中 1:2 000 数字正射影像图的规定。

表 1 正射影像精度检查表(m)

Table 1 The accuracy check list of DOM (m)

| 检查点 | Δx_i | Δy_i | 平面位置中误差 |
|------|--------------|--------------|-----------|
| TH01 | 0.500 0 | -0.113 9 | 0.512 809 |
| TH02 | -0.210 2 | -0.109 5 | 0.237 011 |
| TH03 | -0.137 5 | 0.025 7 | 0.139 881 |
| TH04 | 0.044 3 | 0.245 9 | 0.249 859 |
| TH05 | -0.520 5 | 0.039 4 | 0.521 989 |
| TH06 | -0.285 8 | 0.151 6 | 0.323 518 |
| TH07 | -0.102 1 | 0.355 6 | 0.369 967 |
| TH08 | 0.813 7 | 0.288 9 | 0.863 464 |
| TH09 | 0.321 4 | 0.144 6 | 0.352 430 |
| TH10 | 0.239 0 | 0.083 5 | 0.253 166 |

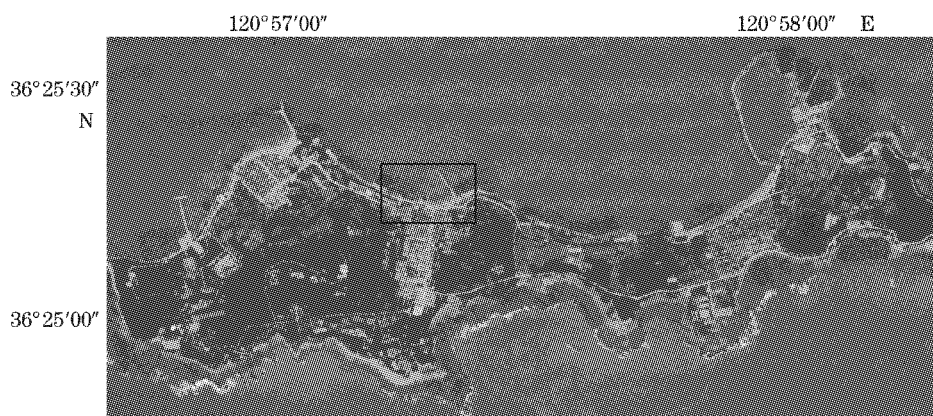


图6 田横岛 1:2 000 DOM

Fig. 6 1:2 000 DOM of the Tianheng Island



图 7 图 6 中黑框区域放大图

Fig. 7 Enlarged view of the area in the black frame in Fig. 6

4 结 语

低空无人机遥感具有高机动性、高时效性、高分辨率、低成本等特点,随着其起降技术、长航时和操控性的进一步突破,特别是高精度、高效率、高度自动化的后期专业数据处理软件的出现,无人机遥感系统能有效获取海岛海岸带地区的地形地貌数据。海岛海岸带应用实例显示,无人机遥感获取的海岛地形信息,分辨率优于 0.2 m,水平位置和高程中误差均优于 0.4 m,满足 CH/Z 3003—2010《低空数字航空摄影测量内业规范》^[15] 1:2 000 地形图的精度要求,并且若进一步降低无人机的飞行高度,还可继续提高测量比例尺,故无人机遥感将成为海岛海岸带基础地理信息获取和动态监测的重要手段,进而而在海岛海岸带的资源保护与规划编制工作中发挥越来越重要的作用。

但是,无人机遥感还有不足之处,如荷载还需进一步提高以便安装高精度 GPS 接收机和惯导系统,无人机的抗风性能还需在尽量不增加荷载的条件下通过改进机身制作和设计等方法加以提升,这些都限制了无人机影像获取和处理效率的进一步提高。

由于飞行当天阴天有薄雾,4 级风,导致无人机飞行姿态较差,影像略微灰暗模糊。第一次空三加密后,影像有两个区域错位严重,着重进行了人工连接点的刺点。对此,可事先调节相机的光圈等参数和事后使用相关软件调整像片的亮度、色调、饱和度来获得合格的影像。

另外,不少海岛海岸带地区由于开发程度不高或无开发,特征点较少,故像控点难以事后布设测量。可在飞行工作前期,事先按照规范要求 in 测区布设人工控制点。人工控制点应易于辨认、不被遮挡、大小适宜,同时应特别注意控制点应位于高潮线以上。

参考文献:

- [1] 杨邦杰,吕彩霞. 中国海岛的保护开发与管理[J]. 中国发展,2009,9(2):10-14.
- [2] 许祝华,张彦彦,杨晖,等. 海域无人机遥感监测三维立体监管系统的建设与研究[J]. 海洋开发与

- 管理,2013,(6):16-18.
- [3] 鲁恒,李永树,何敬,等. 无人机低空遥感影像数据的获取与处理[J]. 测绘工程,2011,20(1):51-54.
- [4] 史占军,于志忠,郭志强. 无人机摄影测量在1:2000地形图的应用[J]. 吉林地质,2011,30(3):133-136.
- [5] 王新,陈武,汪荣胜,等. 浅论低空无人机遥感技术在水利相关领域中的应用前景[J]. 浙江水利科技,2010,(6):27-29.
- [6] 张永年. 无人机低空遥感海洋监测应用探讨[J]. 测绘与空间地理信息,2013,36(8):143-145.
- [7] 张清,刘慧霞,席庆彪. 一种融合多特征的 UAV 快速目标识别[J]. 计算机工程与应用,2013,49(3):238-242.
- [8] MORBIDI F, FREEMAN R A, LYNCH K M. Estimation and control of UAV swarms for distributed monitoring tasks[C]// Proceedings of the 2011 American control conference(ACC). USA: IEEE Xplore,2011:1069-1075.
- [9] 郑团结,王小平,唐剑. 无人机数字摄影测量系统的设计和应用[J]. 计算机测量与控制,2006,14(5):613-627.
- [10] 王俊. 无人机航空摄影的空三评价分析[J]. 甘肃科技,2011,27(13):41-43.
- [11] 范承啸,韩俊,熊志军,等. 无人机遥感技术现状与应用[J]. 测绘科学,2009,34(5):214-215.
- [12] 杨燕明,郑凌虹,文洪涛,等. 无人机遥感技术在海岛管理中的应用研究[J]. 海洋开发与管理,2011,(1):6-10.
- [13] CH\Z 3005-2010 低空数字航空摄影规范[S]. 北京:中国测绘出版社,2010.
- [14] HE J, LI Y S, ZHANG K K. Research of UAV flight planning parameters[J]. Scientific Research, 2012,(3):43-45.
- [15] CH\Z 3003-2010 低空数字航空摄影测量内业规范[S]. 北京:中国测绘出版社,2010.

Application of UAV Remote Sensing in the Monitoring of Islands and Coastal Zones

DENG Cai-long, LIU Yan-xiong, TIAN Zi-wen, REN Jun, PENG Lin

(The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China)

Abstract: The present satellite remote sensing and aerial remote sensing can not meet the requirements that islands and coastal zones monitoring demands better resolution and more up-to-date data. However, the low-altitude UAV remote sensing, which has higher agility, higher timeliness, higher resolution and low cost, can meet those demands well. According to these, a general workflow for acquiring and processing the UAV remote sensing images is introduced and concluded. The UAV remote sensing has been practically applied to the monitoring of an island(Tianheng Island) and its coastal zone, through which the feasibility of applying the UAV remote sensing to monitor the islands and coastal zones is illustrated. This practice indicates that the UAV remote sensing can achieve large-scaled topographic surveying and mapping of islands and coastal zones.

Key words: UAV remote sensing; islands and coastal zones; image acquisition and processing