

无人机移动测量数据 快速获取与处理

Fast Acquisition and Processing of
UAV Aerial Photogrammetry Data

程多祥 主编



测绘出版社

无人机移动测量数据快速获取与处理

Fast Acquisition and Processing of UAV Aerial Photogrammetry Data

程多祥 主编

测绘出版社

· 北京 ·

©四川测绘地理信息局测绘技术服务中心 2015

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内 容 简 介

近年来,无人机移动测量技术发展迅速,已广泛应用于多个领域。凭借其机动灵活、高效快速、成本低廉等特点,无人机航摄系统具备了其他影像获取方式不可比拟的优势。本书结合作者的研究工作,系统、深入地介绍了无人机移动测量的概念、理论和方法。主要内容包括无人机移动测量系统特点与组成、无人机移动测量数据快速获取与处理技术方法、无人机移动测量作业要求,以及无人机移动测量在应急保障、数字城市建设、地理国情监测等方面的应用。

本书可供从事航空影像获取、无人机系统研究等领域的科研工作者和工程技术人员参考使用,也可作为高等院校相关专业教学和研究的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

无人机移动测量数据快速获取与处理/程多祥主编. —北京:测绘出版社,2015.9

ISBN 978-7-5030-3790-0

I. ①无… II. ①程… III. ①无人驾驶飞机—航空遥感—数据处理 IV. ①TP72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 237093 号

| | | | | | | | |
|------|------------------|------|----|------|-------------------|------|----|
| 责任编辑 | 赵福生 | 封面设计 | 李伟 | 责任校对 | 董玉珍 | 责任印制 | 喻迅 |
| 出版发行 | 测绘出版社 | | | 电 话 | 010—83543956(发行部) | | |
| 地 址 | 北京市西城区三里河路 50 号 | | | | 010—68531609(门市部) | | |
| 邮政编码 | 100045 | | | | 010—68531363(编辑部) | | |
| 电子邮箱 | smp@sinomaps.com | | | 网 址 | www.chinasm.com | | |
| 印 刷 | 北京九州迅驰传媒文化有限公司 | | | 经 销 | 新华书店 | | |
| 成品规格 | 184mm×260mm | | | | | | |
| 印 张 | 17.75 | | | 字 数 | 440 千字 | | |
| 版 次 | 2015 年 9 月第 1 版 | | | 印 次 | 2015 年 9 月第 1 次印刷 | | |
| 印 数 | 001—800 | | | 定 价 | 56.00 元 | | |

书 号 ISBN 978-7-5030-3790-0/P·805

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

本书编写组

组 长：程多祥

副组长：高文娟 赵 楨

成 员：陈思思 王俊伟 宫银勇 周兴霞 樊文锋

曹振宇 张志强 张 伟 张 静 裴尼松

廖学燕 廖小露 周云波 李 伟

前 言

传统的地面测量以点方式获取坐标信息,速度慢、成本高,缺少空间上的连续性,且受环境限制较大,当作业人员无法到达某些区域时,也就无法获取该区域的信息。卫星遥感可以实现大面积区域的同步观测,数据具有综合性和可比性,但数据获取时间受到卫星过境时间限制,且费用较高。在自然灾害、公共安全等事件的处理中,迫切需要发展“天—空—地”一体化的观测体系,应用无人机航空摄影技术获取目标区域现势性信息,高效支撑防灾减灾工作。

随着计算机技术、通信技术、控制技术的迅速发展,以及各种质量轻、体积小、探测精度高的新型传感器的不断涌现,无人机移动测量技术的应用广度和深度也迅速扩展。无人机移动测量具有分辨率高、机动灵活、操作简单、成本低廉、响应迅速、应用简便等特点,是卫星遥感和地面测量技术的有力补充。通过搭载高分辨率光学相机、红外传感器、多镜头集成倾斜摄影相机等传感器,获取作业区域测绘地理信息,直观反映区域现状,其成果广泛应用于地理国情监测、应急响应、灾害预警、城市规划、市政管理、公共安全、农业生产、环境保护等领域。本书面向测绘需求,系统介绍了无人机测量数据的快速获取、处理及应用,以及在测量中的适应性改造,为其在应急中的应用提供支撑。

全书分为6章,分别介绍无人机测量的特点、测量系统、数据获取与处理、作业要求及应用。第1章,介绍无人机移动测量的特点、无人机移动测量技术在国内外的应用、应急无人机测量应用需求;第2章,介绍无人机测量系统构成、无人机平台、飞机控制、任务载荷以及无人机在测量中的适应性改造;第3章,介绍无人机测量数据特点、种类,以及数据获取、传输与管理;第4章,介绍无人机移动测量数据处理流程,主要包括数据处理目标、总体流程、影像预处理、空中三角测量、影像快速拼接、影像融合、影像分类与信息提取、影像产品生产等,列举常用软件平台;第5章,介绍无人机移动测量作业的基本要求与应急响应预案,主要包括应急测绘产品生产质量控制、测量成果整理与验收、应急响应组织体系、应急响应、应急预案等;第6章,结合具体案例,介绍无人机移动测量在应急保障、数字城市建设、地理国情监测及电力巡检等领域的典型应用。

作为无人机测量数据快速获取及处理技术的著作,本书集基础性与实用性于一体,可供测绘管理部门、高校相关专业以及从事无人机测量技术研究和应用的技术人员参考。

限于编者水平,书中难免存在错误和不妥之处,恳请专家学者和读者批评指正。

编 者

2014年11月

目 录

| | |
|--------------------------|----|
| 第 1 章 综 述 | 1 |
| § 1.1 无人机移动测量及特点 | 1 |
| 1.1.1 无人机移动测量概念 | 1 |
| 1.1.2 无人机移动测量特点 | 2 |
| § 1.2 无人机移动测量技术及应用进展 | 3 |
| 1.2.1 无人机移动测量技术进展 | 3 |
| 1.2.2 无人机移动测量应用进展 | 6 |
| § 1.3 应急无人机移动测量及其应用需求 | 7 |
| 1.3.1 应急无人机移动测量 | 8 |
| 1.3.2 应急无人机移动测量应用需求 | 8 |
| 第 2 章 无人机移动测量系统 | 10 |
| § 2.1 无人机移动测量系统构成 | 10 |
| § 2.2 无人机移动测量系统工作流程 | 12 |
| § 2.3 无人机移动测量飞行平台 | 12 |
| 2.3.1 固定翼无人机 | 14 |
| 2.3.2 无人直升机 | 17 |
| 2.3.3 多旋翼无人机 | 21 |
| 2.3.4 无人飞艇 | 24 |
| § 2.4 无人机移动测量飞行控制 | 27 |
| 2.4.1 飞行控制系统组成 | 28 |
| 2.4.2 飞行控制方式 | 32 |
| 2.4.3 飞行控制关键技术 | 36 |
| § 2.5 无人机移动测量任务载荷 | 39 |
| 2.5.1 光学相机 | 40 |
| 2.5.2 红外传感器 | 48 |
| 2.5.3 倾斜摄影相机 | 49 |
| 2.5.4 机载激光雷达 | 52 |
| 2.5.5 视频摄像机 | 54 |
| § 2.6 无人机移动测量飞行平台系统适应性设计 | 56 |
| 2.6.1 飞行平台系统改造需求分析及改造设计 | 56 |
| 2.6.2 无人机移动测量飞行平台系统改造 | 57 |

| | |
|--|-----|
| 第 3 章 无人机移动测量数据快速获取、传输与管理 | 66 |
| § 3.1 无人机移动测量数据..... | 66 |
| 3.1.1 数据特点..... | 66 |
| 3.1.2 数据种类..... | 66 |
| § 3.2 数据快速获取..... | 68 |
| 3.2.1 技术准备与航线设计..... | 69 |
| 3.2.2 设备检查与安装调试..... | 74 |
| 3.2.3 飞行作业与飞行器回收..... | 79 |
| 3.2.4 故障处理与任务总结..... | 83 |
| 3.2.5 作业保障与使用维护..... | 84 |
| § 3.3 数据传输与接收..... | 86 |
| 3.3.1 传输系统组成..... | 87 |
| 3.3.2 系统功能特点..... | 93 |
| 3.3.3 数据传输原理..... | 93 |
| 3.3.4 系统设计原则..... | 99 |
| 3.3.5 系统关键技术..... | 100 |
| 3.3.6 未来发展趋势..... | 104 |
| § 3.4 数据压缩编码..... | 105 |
| 3.4.1 数据压缩原理..... | 107 |
| 3.4.2 压缩编码技术..... | 108 |
| 3.4.3 压缩编码标准..... | 116 |
| 3.4.4 压缩传输方案..... | 122 |
| 3.4.5 压缩质量评价..... | 124 |
| 3.4.6 压缩技术发展趋势..... | 127 |
| § 3.5 数据存储与管理..... | 127 |
| 3.5.1 数据库信息特征..... | 127 |
| 3.5.2 面临的问题..... | 129 |
| 3.5.3 基本解决方案..... | 130 |
| 3.5.4 数据存储与管理系统的..... | 136 |
| 3.5.5 数据共享..... | 138 |
| | |
| 第 4 章 无人机移动测量数据处理 | 144 |
| § 4.1 数据处理总体技术流程..... | 144 |
| 4.1.1 数据处理特点..... | 144 |
| 4.1.2 数据处理技术流程..... | 145 |
| § 4.2 数据预处理..... | 146 |
| 4.2.1 飞行质量检查..... | 147 |
| 4.2.2 几何校正..... | 147 |
| 4.2.3 航带整理..... | 161 |

| | |
|---|------------|
| § 4.3 空中三角测量 | 163 |
| 4.3.1 空中三角测量原理 | 163 |
| 4.3.2 空中三角测量方法 | 164 |
| 4.3.3 空中三角测量流程 | 164 |
| 4.3.4 空中三角测量精度评价 | 167 |
| § 4.4 影像匹配 | 169 |
| 4.4.1 影像匹配定义及难点 | 169 |
| 4.4.2 影像匹配方法 | 169 |
| § 4.5 影像融合 | 173 |
| 4.5.1 直接平均融合法 | 174 |
| 4.5.2 线性加权融合法 | 174 |
| 4.5.3 范数融合法 | 175 |
| 4.5.4 多频带融合法 | 175 |
| 4.5.5 最佳拼接线法 | 177 |
| § 4.6 影像分类与信息提取 | 178 |
| 4.6.1 面向对象分类 | 178 |
| 4.6.2 决策树分类 | 180 |
| 4.6.3 基于分形理论分类 | 181 |
| 4.6.4 支持向量机分类 | 183 |
| 4.6.5 人工神经网络分类 | 184 |
| § 4.7 测绘产品生产 | 186 |
| 4.7.1 数字高程模型 | 187 |
| 4.7.2 数字正射影像 | 188 |
| 4.7.3 数字栅格地图 | 190 |
| 4.7.4 数字线划图 | 192 |
| 4.7.5 应急影像图 | 193 |
| § 4.8 无人机影像处理软件 | 194 |
| 4.8.1 国外常用影像处理软件 | 195 |
| 4.8.2 国内常用影像处理软件 | 209 |
| 4.8.3 软件应急适用性分析——以 IPS、INPHO、PixelGrid 为例 | 213 |
| § 4.9 高效能数据处理技术 | 222 |
| 4.9.1 集群并行处理技术 | 222 |
| 4.9.2 GPU 处理技术 | 227 |
| 第 5 章 无人机移动测量作业基本要求 | 229 |
| § 5.1 数据产品生产质量控制 | 229 |
| 5.1.1 外业控制 | 229 |
| 5.1.2 初始数据控制 | 230 |
| 5.1.3 产品质量控制 | 233 |

| | |
|------------------------------------|------------|
| § 5.2 常规测量成果整理与验收 | 233 |
| 5.2.1 测量成果整理 | 233 |
| 5.2.2 测量成果验收 | 235 |
| § 5.3 无人机移动测量应急响应预案 | 236 |
| 5.3.1 无人机移动测量应急组织体系 | 236 |
| 5.3.2 无人机移动测量应急响应 | 237 |
| 5.3.3 无人机移动测量应急保障 | 238 |
| 第 6 章 无人机移动测量应用 | 241 |
| § 6.1 无人机移动测量在应急保障中的应用 | 241 |
| 6.1.1 无人机移动测量在地质灾害应急测绘保障中的应用 | 241 |
| 6.1.2 无人机移动测量在森林火灾应急测绘保障中的应用 | 249 |
| 6.1.3 无人机移动测量在公共安全应急测绘保障中的应用 | 251 |
| § 6.2 无人机移动测量在数字城市建设中的应用 | 251 |
| 6.2.1 无人机移动测量城市三维建模中的应用 | 251 |
| 6.2.2 无人机移动测量在城市规划中的应用 | 253 |
| § 6.3 无人机移动测量在地理国情监测中的应用 | 255 |
| § 6.4 无人机移动测量在传统测量领域的应用 | 257 |
| 6.4.1 无人机移动测量在大比例尺基础测绘中的应用 | 257 |
| 6.4.2 无人机移动测量在土地利用现状调查中的应用 | 258 |
| 6.4.3 无人机移动测量在其他传统测量领域中的应用 | 260 |
| § 6.5 无人机移动测量在电力巡检中的应用 | 262 |
| 参考文献 | 265 |

第1章 综述

§ 1.1 无人机移动测量及特点

无人机的概念最早是在战争的背景下提出的。20世纪末期,一些研究团体开始研究具有制图潜质的无人机平台。随着导航系统和制图传感器嵌入无人机平台的技术发展,使通过无人机获取高分辨率影像有了可能(Colomina et al, 2014)。

近年来,随着智能控制、计算机视觉、地理信息等技术的发展,相关产业公司确立了航空遥感和制图的新模式——无人机移动测量(Colomina et al, 2008)。无人机测量已经能满足地理信息产业用户的大范围、高空间分辨率的数据需求,并发展成为独立的产业。政府也为无人机移动测量提出了新的目标:“提供彩色地图和具有想象力的产品,以达到服务传统航空摄影、满足空间数据市场的需求的目的”。

1.1.1 无人机移动测量概念

无人机移动测量是通过无人驾驶飞行器搭载传感设备,快速获取作业区域地物信息,并进行数据处理、信息提取与分析应用。涉及遥感传感器技术、遥控控制技术、通信技术、差分定位技术等;机动灵活,应用简便,有效弥补了卫星遥感和传统人工测量技术的不足,是近年来迅速兴起的测量手段。

现有的无人机系统分为许多种,可以认为每种不同的技术组合到一起就是一种无人机系统。随着无人机顶层技术的突破,通常认为无人机系统主要由三部分组成:无人飞行器、地面控制站、数据通信链。其他组成部分,如自动飞行控制系统、导航传感器、成像传感器、机械伺服系统等,也是至关重要的。

下面将对无人机系统组成进行介绍,主要是针对无人机移动测量系统的主要组成部分。

1. 无人飞行器

由于系统的内在复杂性和飞行任务限制,无人机移动测量系统中用的飞行器多为固定翼或者多旋翼飞行器,最大起飞重量(maximum take-off weight, MTOW)不超过 30 kg,任务半径在 10 km 以内,高度不超过 300 m,搭载小型或者中型光学相机(主要是在可见光波段)(Colomina et al, 2014),由人工控制系统,或者基于全球导航定位系统(global navigation satellite system, GNSS)和惯性导航系统(inertial navigation system, INS)自动控制系统,进行飞行控制。

2. 地面控制站

地面控制站(ground control station, GCS)的主要作用是通过软、硬件设备来监视和控制无人机,它可以是固定的,也可以是移动的。“地面”只是字面上的理解,可以在陆地、海洋或者空中对无人机进行控制。地面控制站和无人机本身同等重要,通过控制站才能感知飞行状况,获取无人机线路的变化信息、无人机平台故障状况、负载传感器的输出信息等。作为无人

机测量系统的基本组成部分,随着计算机技术和通信技术的发展,近年来地面控制站也取得了极大进展。对于不同的控制站,由于监视、控制设备的任务不同,其监测器的组成和数量也有所不同。大型的无人机控制系统其监视器可能有多个,而对于便携式的移动地面控制站,则仅仅由软件构成。

3. 数据通信链

在考虑到飞行任务和安全的的前提下,无人机系统的通信是至关重要的,在空域受到航空管制(air traffic control, ATC)时尤其重要。无人机系统中常用的通信手段有多种,无人机主要的通信方式是无线区域网络(wireless fidelity, WiFi),另外还有其他一些常用手段,如军事系统中的高频卫星通信技术、全球通用微波通信技术(worldwide interoperability for microwave access, Wi-MAX)等。

4. 任务规划

在前面提到的无人机系统的组成(无人飞行器、地面控制站、数据通信链)中,没有明确地提出任务准备和任务执行,但是在无人机测量数据获取中,任务规划(mission planning)和执行处理环节也是至关重要的。经验表明,航线的精确设计(航点、航线、飞行速度、高度等)和灵活的实时任务处理能力(传感器配置、飞行导航等)对于任务的高效、安全完成是有帮助的(Mayr, 2011)。尽管任务规划和实时处理是无人机系统任务设计中的组成部分,但由于飞行计划设计缺陷或者执行缺陷,重复飞行的问题依旧显著。中小型无人机操作简便,似乎能减少这种不足,然而由于它们是微型飞行器,重量轻,对风力敏感,稳定性有限。通常情况下,在移动测量飞行设计中,航向重叠设计高达 80%,旁向重叠设计为 60%~80%,以弥补这种不足。飞行计划应根据作业时飞行区域的风速条件进行实时调整,但在任务实际执行中,这种实时实地调整的执行情况并不理想。任务计划和实时任务处理对于完善的无人机移动测量系统探索至关重要(Colomina et al, 2014)。

1.1.2 无人机移动测量特点

作为卫星遥感和传统人工测量的有效补充,无人机移动测量具有它们不可比拟的优势,主要表现在以下几个方面:

(1)机动灵活,响应快速。无人机移动测量机动灵活,能快速通过地面运输到达作业区域;起飞方便,且对起飞场地要求较低,在空旷的田地、楼宇密集的城市、地形复杂的山地、海洋等不同地域都可以进行发射作业(刘鹏等,2010;范承啸等,2009)。

(2)操作简便,成本较低。随着无人机技术的发展,无人机操作也越来越智能化和自动化,并具有自动诊断和显示功能,发生故障时会自动返航到起点上空等待排除故障;对作业人员培训时间短,设备维护、保养的成本较低(范承啸等,2009)。

(3)飞行要求低,适应性好。无人机对飞行要求越来越低,目前已经具有在复杂环境下完成飞行任务的能力,部分机型无人机甚至能在大雨、大雾、大风等复杂天气条件下完成飞行作业。

(4)分辨率高,信息丰富。无人机航高较低,获取的数据分辨率高,信息丰富,部分无人机获取的影像分辨率甚至达到厘米级,能清晰提供地物地貌信息,反映作业区域现状,且应用广泛。

§ 1.2 无人机移动测量技术及应用进展

无人机移动测量技术主要包括飞行器技术、传感器技术、姿态控制技术、通信技术、影像处理技术等。早期的无人机主要用于军事。20世纪80年代以来,随着计算机技术、控制技术、通信技术的发展,以及各种质量轻、体积小、探测精度高的新型传感器的出现,无人机性能不断提高,应用领域也不断扩展。目前,世界上各种用途、各种性能指标的无人机已达数百种,续航时间和载荷质量也有显著提升,为搭载多种传感器、执行多种任务创造了条件。除了用于军事领域外,无人机测量技术也逐步用于基础地理信息测绘、应急测绘保障、工程变化监测、文化遗产保护、自然灾害监测与评估、数字城市建设、城市规划管理等领域。

1.2.1 无人机移动测量技术进展

1. 国外无人机移动测量技术进展

气球是最早的航空摄影平台,早在1858年,Tournachon已经以热气球作为摄影平台,获取了巴黎的空中影像。随后,得益于摄影技术的简化,其他手段如风筝(1882年英国气象学家E. D Archibald曾使用)、火箭(1897年瑞士发明家Alfred Nobel曾使用)等,也开始用于航空摄影(Colomina et al, 2014)。1909年W. Wright用自制的飞机获取了一张运动图像,意味着载人航空摄影的开端,随后航空摄影技术在军事中确立并迅速发展。

20世纪末,集成电路系统和雷达控制系统的发展是现代无人机航摄系统得以发展的关键。1979年Praybilla和Wester-Ebbinghaus用雷达控制的旋转翼无人机,搭载光学相机做了试验,并于1980年用直升机模型搭载中型Rolleiflex相机做了第二次试验,这是世界上首次将旋转翼无人机平台用于航摄。探试试验为以后无人机在航空摄影中的应用开辟了先河,从那时候开始,旋转或固定翼、单旋或多旋、遥控或自动控制平台开始在航摄系统中大量使用。20世纪80年代,飞行控制技术取得重大突破,可实现自主飞行和预编程控制飞行,无人机续航时间、载荷重量、作业半径都有显著提升。目前,各种性能、不同用途无人机的数量已经达到上百种,为搭载多种传感器、执行多种任务创造了条件。图1.1至图1.8列出了世界上不同种类无人机的典型代表机型。

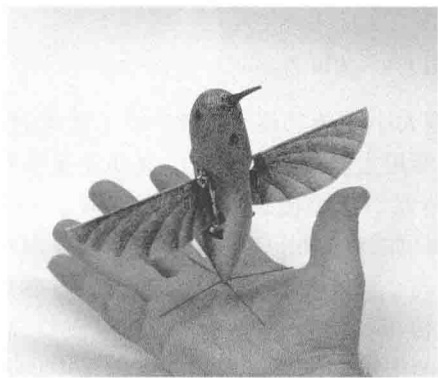


图 1.1 美国 Nano Hummingbird



图 1.2 德国 Falcon-8



图 1.3 西班牙 Argos

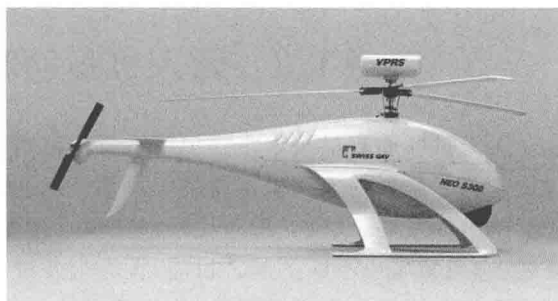


图 1.4 瑞士 Neo-300

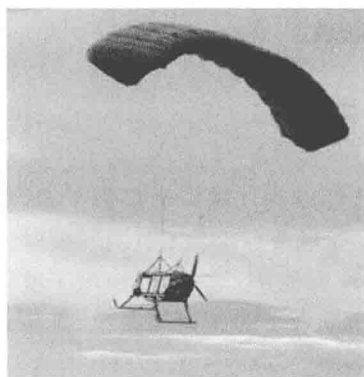


图 1.5 加拿大 Snowgoose



图 1.6 英国 Watchkeeper



图 1.7 美国 Integrator

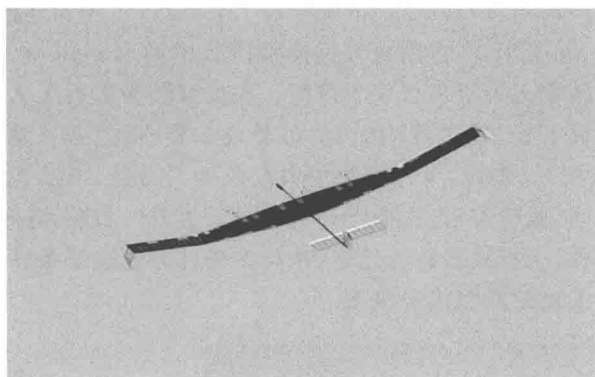


图 1.8 英国 Zephyr

传感器方面,大量中小型传感器开始进入市场。中等大小的传感器可达 8 000 万像素,能胜任中等规模的项目,而同等规模项目在 2006 年前后只能用大型传感器完成。高质量镜头和集成技术的发展为航摄任务的完成奠定了坚实基础,也拓宽了摄影传感器的应用范畴。一些公司(如 Phase One、Hasselblad)和一些生产厂商、集成商(如 Trimble、Optec),还有行业用户已经开始将中小型相机用于专业影像生产。中小型相机与一些小型的稳定器结合起来,质量轻便,易于携带,可以很好地用于应急预警。不同种类的传感器组合起来可以进行多波段、高光谱的摄影,广泛用于农业估产、环境监测等领域。大量的中小型倾斜摄影相机在市场中也开始出现,可以按照固定、旋转、可移动等方式安装,满足不同任务需求。除了安装和集成技术提升外,用于控制硬件和导航的控制系统与常规的飞行管理系统(flight management system,

FMS)相比,性能也有了很大提升。小型和价格相对低廉的激光扫描设备开始与MS相机集成,并通过软件解决了任务计划及导航等问题。成像传感器与激光扫描仪、视频成像传感器等设备能根据任务进行适应性集成,并可以将获取的数据存储在数据库中,在导航点接入时实现导航点与信息的对接(Kemper,2012)。

新技术方面,倾斜摄影技术取得重大突破,为人类观察世界提供了新的视角。虽然早在一战时期,军事上已经通过双翼机搭载老式Graflex相机从空中获取倾斜影像进行军事侦察,但由于倾斜影像的倾角大,难以进行大范围拼接,用户转向使用容易拼接的以正射投影方式获取的影像。正射影像以垂直角度呈现地物信息,与人们日常观察的世界存在较大差异,使用户深受困扰。随着复杂算法和数字影像处理技术的发展,逐步改变了这种状况,倾斜摄影又重新回到人们的视野。倾斜摄影技术颠覆了以往正射影像只能从垂直角度拍摄的局限,通过在同一飞行平台上搭载多台传感器,同时从垂直、倾斜等不同角度采集影像,将用户引入了符合人眼视觉的真实直观世界。倾斜影像不仅能够真实地反映地物情况,而且还通过采用先进的定位技术,嵌入精确的地理信息、更丰富的影像信息、更高级的用户体验,极大地扩展了影像的应用领域。美国的Pictometry公司拥有倾斜摄影数据获取、服务、应用开发的完整解决方案,使得用户能够查看和测量任何与倾斜影像有关的坐标、长度、宽度、高度等要素,并能使影像与GIS数据完美叠合集成,提供影像在线访问服务,在倾斜摄影领域占据主导地位。2010年北京天下图公司将Pictometry倾斜摄影解决方案引入国内,也是国内首次引进倾斜摄影技术。

2. 国内无人机移动测量技术进展

我国无人机发展较晚,起步于20世纪50年代末。20世纪90年代以来,国内大学和科研院所相继成立了无人机专门研究机构。21世纪初,中国航天集团一些下属院所、民营企业也开始研制无人机,加快了我国无人机的发展步伐(李红林,2013)。

2005年8月,北京大学、中国科学院与中国贵州航空工业集团共同研制的多用途无人机遥感观测系统在黄果树机场首飞试验成功,标志着我国民用无人机对地观测技术跨入实用阶段。中国测绘科学研究院使用多台哈苏相机组合成像,有效地提高了无人机航摄效率(范承啸等,2009)。刘先林院士等主持研发的SWDC系列数字航空摄影仪(图1.9)是一种能够满足航空摄影规范要求的大面阵数字航空摄影仪,具有高分辨率、高几何精度、体积小、重量轻等特点,对天气条件要求不高,能够阴天下云摄影,且飞行高度低、镜头视场角大、基高比大、高程测量精度高、真彩色、镜头可更换。SWDC系列数字航空摄影仪作为空间信息获取与更新的重要手段,产品性价比高,高程精度指标达到同类产品的国际领先水平,整体技术指标达到国际先进水平,是国内首台可用于中小比例尺地形图测绘的“航空相机”,为国产化数字航空摄影与航空摄影测量为一体的解决方案奠定了基础。

2012年10月,由中国测绘科学研究院牵头研制的新一代航空遥感系统“高精度轻小型航空遥感系统”在中国测绘创新基地通过验收。项目突破核心部件及系统集成关键技术,成功研发了高精度轻小型组合宽角数字相机、轻小型机载激光雷达(LiDAR)、高精度与小型化位置和姿态系统(position and orientation system,POS)及稳定平台4类核心产品和高效快速数据处理系统,形成了完整的满足不同社会需求的高精度轻小型航空遥感业务运行系统。与国外同类产品相比,具有体积小、重量轻、功能全、成本低、操作方便等优点,并且完全具有自主知识产权,可用于高分辨率对地观测、大比例尺测绘、重大自然灾害应急响应、数字城市建设等方

面,为国家重大工程提供了技术支撑,填补了国内空白,打破了国外同类产品的技术垄断和技术壁垒,提升了我国在航空影像获取领域的技术能力和市场的国际竞争力。

2013年7月,中国科学院光电技术研究所成功研制出像素高达1亿的“IOE3—Kanban”相机(图1.10),是目前我国单片CCD像素最高的相机,标志着我国大面阵高分辨率CCD研制技术达到新的阶段。

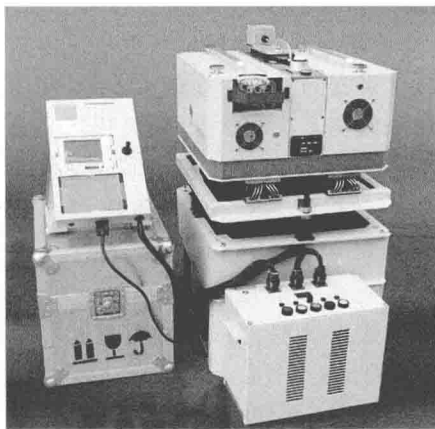


图 1.9 SWDC 系列数字航空摄影仪



图 1.10 IOE3—Kanban 相机

1.2.2 无人机移动测量应用进展

随着计算机技术、控制技术、通信技术的飞速发展,以及各种质量轻、体积小、探测精度高的新型传感器的出现,无人机性能不断提高、功能不断完善,无人机的应用范围和应用领域迅速拓展。在测量方面,随着人们对地理环境的不断理解和对测绘需求的增长,无人机与测绘的关系越来越紧密。无人机移动测量技术不仅提供了更高效的测绘方式,也使航空摄影应用领域得到进一步拓展,涉及多个领域,包括:基础地理信息测绘、自然灾害监测与评估、应急测绘保障、地理国情普查、文化遗产保护、工程监测、数字城市建设、城市规划与管理等。限于篇幅,本节只是介绍了与测绘相关的具有代表性的应用进展。

1. 基础测绘

无人机低空数码航测技术,能够更灵活、快速地获取小范围区域的高精度地理空间信息,其获取的影像分辨率达到厘米级。在轻小型控制平台同时搭载全球定位系统GNSS,支持空中三角测量,在稀少地面控制点情况下能实现高精度、高现势性测量,在提高工作效率的同时也降低了测图成本。此外,无人机对场地、天气及环境条件的依赖性较低,大大增强了测图工作的灵活性,目前已经成为大比例尺测图技术的重要发展方向(胡晓曦等,2010)。山西省遥感中心在2011年10月进行了无人机航测系统的大比例尺测图精度验证,结果表明:1:2000测图各项精度指标均满足无人机及航测相关技术标准;1:1000测图平面精度满足规范,高程精度略差,DOM满足国家规范(李红林,2013)。

2. 应急测绘保障

在灾害监测、抢险救援、反恐维稳、重大群体行动等场合,需要对事件发生和演化的现场进行实时监控、目标跟踪与三维定位,传统基础测绘的保障模式已经难以满足对任务或事件快速

反应的较高要求。以无人机为平台的机载对地观测系统和动态测绘技术的发展,突破地理空间信息快速响应的关键技术,提出了地理空间信息直接服务、直播服务 LGI(live-service for geospatial information)的新模式,能实现动态测绘、应急测绘、动目标精确测绘。2012年3月,张永生(2013)在青海茶卡地区进行了高原高寒机载对地观测飞行试验。试验表明,无人机平台及主要任务载荷工作状态稳定,成像质量和无线传输能力达到设计目标,满足近实时动态测绘的基本要求。

3. 工程变化监测

无人机系统提供的俯视角度是无人机监测在工程领域得以应用的主要原因。事实上,大部分工程领域都需要对基础设施进行监测,一些建成的基础设施监测需求非常大,如高压线路、油气管道、铁路等。Merzh等提出了使用搭载光学相机的无人机测量系统对基础设施进行监测的设想,并通过使用二维机载雷达进行地形导航,确保在不可视的未知区域进行监测,这种探索非常具有现实意义(Chapman, 2011)。无人机影像虽然分辨率高,但相幅小、变形大,在动态变化监测领域的应用受到了限制,传统的基于像元的变化监测方法已不再适用。因此,有学者提出了基于目标的无人机影像变化监测技术流程,充分利用了无人机影像分辨率高的优点,论证了无人机影像用于变化监测的可行性。

4. 文化遗产保护

无人机在考古和文化遗产保护领域,应用已经相当普遍。操作简便是其最大的优势,处理质量也完全满足文化遗产保护和考古需要。随着传感器和飞行器性能不断提高,其在文化遗产保护和考古领域的应用也取得了新的进展。Mészáros(2011)用固定翼无人机搭载 RGB 相机和家用开源自动驾驶仪获取了 Hungary 废墟的正射拼接影像。Remondino 描述了在意大利的古城 Veio 开展的一系列影像获取案例,通过微型四旋翼无人机搭载 Pentax Optio A40 获取空间分辨率为 1 cm 的影像,并用 MicMac 软件进行了密度匹配处理,获取了大约 4 000 万个点的点云图(Scaioni, 2011)。在 Pava 遗址,用微型无人机 MD4-200 获取了地面分辨率为 1 cm 的影像,并制作了分辨率为 5 cm 的 DSM。与控制点对比,点位平面误差为 3 cm 左右,高度误差为 2 cm 左右。Gonizzi 等(2013)将无人机获取的高分辨率倾斜影像与其他信息(TLS)结合起来进行三维模型重建,很好地满足了考古和古建筑测绘的需要。

5. 数字城市建设

无人机移动测量系统、机动灵活、操作简便,能快速获取区域高分辨率影像,以反映区域现状,为数字城市建设提供现势性地理信息。影像分辨率高,能充分满足城市三维建模需求。用无人机搭载倾斜摄影相机,以不同角度对建筑物进行拍摄,可以获取建筑物的立面信息,建设具有真实感的三维模型。不仅改变了现有的纹理采集方式,也降低了三维建模成本,提高了建模效率。

§ 1.3 应急无人机移动测量及其应用需求

应急无人机移动测量是指针对地质灾害、森林火灾、城市公共危机等突发情况开展的测绘工作。无人机移动测量响应迅速、机动灵活、操作简便,与传统测量、卫星遥感相比,具有显著优势,在应急救援方面有着巨大应用需求。

1.3.1 应急无人机移动测量

应急无人机移动测量是通过无人飞行器搭载光学相机、红外传感器、视频成像传感器、激光扫描仪、机载雷达等测量任务专用载荷,对作业区地表状况进行探测,获取区域现势性信息并进行数据处理、信息提取与分析应用(Colomina et al, 2014)。它不仅在区域大范围静态地理信息获取方面有着明显优势,而且能满足动态测绘、应急测绘、动目标精确测绘的需求,广泛用于地质灾害应急救援、森林火灾救援预警、重大群体事件监测、城市应急测绘等领域。

1.3.2 应急无人机移动测量应用需求

随着人们对环境理解的深入和无人机测量系统的发展,无人机与测绘的关系变得更加紧密。无人机移动测量不仅提供了更加高效的测绘方式,也拓宽了航空摄影的应用范围。我国是自然灾害多发国家,对于应急测绘有着巨大需求,主要体现在以下几个方面:

1. 地质灾害应急救援

应用需求主要包括地震救援、滑坡监测、泥石流监测、火山爆发监测等。地震发生后,可以利用无人机移动测量系统对灾区勘测,提供现场第一手资料,及时了解灾害发生情况、影响范围、受困人员、道路是否畅通等(常燕敏,2013),提高灾害救助时效性和针对性。预测震后受威胁的对象与潜在次生灾害发生体,如对于滑坡泥石流、塌方等形成的淤塞,结合降雨统计数据、河流流量信息等,预测蓄满溢流的可能性(韩文权等,2011)。利用无人机影像结合地面控制点,进行空三加密,提取DEM,制作灾区三维景观图(李军等,2012),直观反映灾区地形地貌景观。应急处置阶段,通过无人机影像了解安置点周边环境信息和空间分布,分析应急安置点布置的合理性。灾后恢复重建阶段,可以对重点地区进行监测,用不同时相数据进行对比,分析重建进度(李云等,2011)。利用无人机影像建立三维景观模型,将灾区重建规划设计模型引入三维地形景观,提前获悉建成效果,综合考虑规划设计是否合理,以便及时修正(鲁恒等,2010)。用无人机开展临近高等级公路、铁路、高速公路等交通干道的易发生滑坡、泥石流塌方的区域重点监测,提升灾害预警能力。对于已发生泥石流、滑坡的区域,利用无人机影像和飞行控制数据进行灾场重建,实现灾害应急测量与灾情评估(沈永林等,2011)。开展火山爆发周围区域监测,及时了解灾害影响范围和人员财产伤亡情况,完成灾害监测和灾情评估任务,为灾害预防和救援方案制定提供科学依据。

2. 森林火灾救援预警

应用需求主要包括火情分析、火源确定、火势蔓延趋势预测、救援方案制定、火情预警等。利用无人机影像及实时获取的火场环境数据,结合林火模型,进行火势蔓延分析(侯海龙,2013),监测火势大小,预测影响范围,为救援途径选择、救援设备及人员部署、火情预警提供决策依据。

3. 重大群体事件监测

需求主要包括重大群体行动监测、反恐维稳等。利用无人机搭载动态位置姿态传感器、高分辨率成像传感器、序列成像传感器等多模式组合传感器(张永生,2013),通过近实时快速测绘处理,对目标区进行快速探测解算及地理重建,将视频信息转化为具有定量地理信息标志的动态地理影像,并可接入互联网,实现实时或者近实时地理信息发布和用户端直播服务,使主管部门能及时获取活动现场信息,掌控事件进展动态。