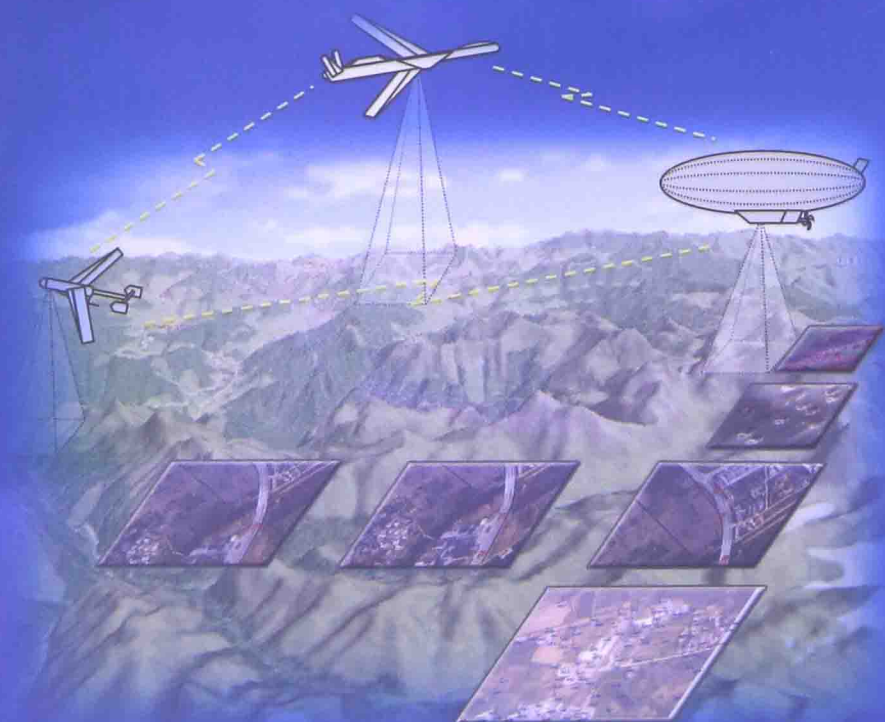




地球观测与导航技术丛书

无人飞行器序列影像 处理与运动分析

余旭初 张鹏强 于文率 著



科学出版社



地球观测与导航技术丛书

无人飞行器序列影像处理与运动分析

余旭初 张鹏强 于文率 著



科学出版社
北京

内 容 简 介

无人飞行器正成为一种日渐重要的遥感动态监测平台。本书在国内外相关研究的基础上,结合作者所在团队近年来取得的研究成果,阐述无人飞行器获取的序列影像的快速处理和运动分析的有关理论与技术。全书共分10章,涉及无人飞行器序列影像处理与分析的基础理论和关键技术。首先,结合遥感动态监测系统的功能特性分析,介绍无人飞行器遥感监测系统的组成与特性。在此基础上,针对无人飞行器搭载平台,讨论序列影像预处理技术和摄像机构像几何模型。接下来,重点围绕序列影像快速处理和运动分析两方面的关键技术展开深入与广泛的讨论,内容分别包括摄像机几何标定、地面移动目标快速定位、序列影像配准与镶嵌和序列影像运动估计、运动检测以及运动对象跟踪。

本书可供遥感和地学领域研究人员与工程技术人员参考,也可作为大专院校相关专业的本科生与研究生的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

无人飞行器序列影像处理与运动分析/余旭初,张鹏强,于文率著. —北京:科学出版社,2014. 11

(地球观测与导航技术丛书)

ISBN 978-7-03-042273-6

I. ①无… II. ①余…②张…③于… III. ①图象处理-应用-无人驾驶飞行器-研究 IV. ①V47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 248199 号

责任编辑:彭胜潮 苗李莉 朱海燕 / 责任校对:钟 洋

责任印制:赵德静 / 封面设计:王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年11月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年11月第一次印刷 印张:13 3/4 插页:4

字数:308 000

定价:99.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《地球观测与导航技术丛书》编委会

顾问专家

徐冠华 龚惠兴 童庆禧 刘经南 王家耀
李小文 叶嘉安

主 编

李德仁

副主编

郭华东 龚健雅 周成虎 周建华

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

鲍虎军	陈 戈	陈晓玲	程鹏飞	房建成
龚建华	顾行发	江 凯	江碧涛	景 宁
景贵飞	李 京	李 明	李传荣	李加洪
李增元	李志林	梁顺林	廖小罕	林 琿
林 鹏	刘耀林	卢乃锰	孟 波	秦其明
单 杰	施 闯	史文中	吴一戎	徐祥德
许健民	尤 政	郁文贤	张继贤	张良培
周国清	周启鸣			

《地球观测与导航技术丛书》出版说明

地球空间信息科学与生物科学和纳米技术三者被认为是当今世界上最重要、发展最快的三大领域。地球观测与导航技术是获得地球空间信息的重要手段,而与之相关的理论与技术是地球空间信息科学的基础。

随着遥感、地理信息、导航定位等空间技术的快速发展和航天、通信和信息科学的有力支撑,地球观测与导航技术相关领域的研究在国家科研中的地位不断提高。我国科技发展中长期规划将高分辨率对地观测系统与新一代卫星导航定位系统列入国家重大专项;国家有关部门高度重视这一领域的发展,国家发展和改革委员会设立产业化专项支持卫星导航产业的发展;工业和信息化部、科学技术部也启动了多个项目支持技术标准化和产业示范;国家高技术研究发展计划(863 计划)将早期的信息获取与处理技术(308、103)主题,首次设立为“地球观测与导航技术”领域。

目前,“十一五”计划正在积极向前推进,“地球观测与导航技术领域”作为 863 计划领域的第一个五年计划也将进入科研成果的收获期。在这种情况下,把地球观测与导航技术领域相关的创新成果编著成书,集中发布,以整体面貌推出,当具有重要意义。它既能展示 973 计划和 863 计划主题的丰硕成果,又能促进领域内相关成果传播和交流,并指导未来学科的发展,同时也对地球观测与导航技术领域在我国科学界中地位的提升具有重要的促进作用。

为了适应中国地球观测与导航技术领域的发展,科学出版社依托有关的知名专家支持,凭借科学出版社在学术出版界的品牌启动了《地球观测与导航技术丛书》。

丛书中每一本书的选择标准要求作者具有深厚的科学研究功底、实践经验,主持或参加 863 计划地球观测与导航技术领域的项目、973 计划相关项目以及其他国家重大相关项目,或者所著图书为其在已有科研或教学成果的基础上高水平的原创性总结,或者是相关领域国外经典专著的翻译。

我们相信,通过丛书编委会和全国地球观测与导航技术领域专家、科学出版社的通力合作,将会有一大批反映我国地球观测与导航技术领域最新研究成果和实践水平的著作面世,成为我国地球空间信息科学中的一个亮点,以推动我国地球空间信息科学的健康和快速发展!

李德仁

2009 年 10 月

前 言

过去十多年来,就在人们惊叹于现代航空航天遥感技术的巨大进展并忙于分享和消化其令人眼花缭乱的成果的时候,一种灵巧型的遥感方式悄然面世并影响和改变着我们的社会与生活,这便是无人机遥感。如果说,一开始人们对这种主要运行于中低空域且只搭载小型载荷的遥感手段并未持过高期望,而仅将其视为已有主流遥感方式的补充的话,那么随着其在各个应用领域特别是反恐战场上取得的巨大成功,一切都发生了改变。这些不断涌现的成功范例,既给人以强烈的视觉和心灵刺激,又确定无疑地展示出未来更精细、更多样化的探测能力和更广阔的应用领域。

毋庸置疑,现有的主流遥感手段都可以在无人机上得到小型化的版本。但是,在无人机众多的探测方式中,基于视频流或序列影像的方式却独树一帜。视频影像本身并非新鲜之物,其鼻祖实际上就是早已面世的电视信号。随着计算机、网络和数字处理技术的进步,视频影像已在工业、交通、安全等领域得到应用并迅速普及开来。然而,一旦能够从空中实时传回地面目标和景观的数字视频,一扇全新的遥感视窗便打开了。一直以来,人们都希望能从空中捕捉和跟踪地面的运动现象并对兴趣区域进行连续与持久的监视,无人机、视频影像和实时传输技术的结合正好切合了这一需求。

然而,与上述美好愿景相伴的却是数据处理和分析方面的巨大障碍。尽管信息提取一直是各种遥感应用中普遍性的瓶颈问题,但在基于序列影像的应用处理方面问题则异常突出,且随着无人机遥感硬件系统整体性能的成倍提高而显得越发严重。这就不难解释为何美军即便动用了大批专业人员在后方基地对世界各地传回的视频进行二十四小时不间断的人工判读分析,也只能利用这些视频所提供潜在价值的极小部分。而为了进行有效的自动处理和分析,则面临着更为棘手的问题。首先,从庞大的视频流中探测出地面上的运动现象或细微变化并对其实时定位和持续跟踪,需要运用较常规遥感探测更为精细、稳健和高效的算法。再次,为了获得大区域的监视效果,必须将大量不断获取的小视场视频影像动态拼接或组合成相应的大范围场景,这在策略、方法和运算量上都构成挑战。此外,由于空中视频是在平台运动状态下获取的,反映在序列影像上就是背景的运动,这就难以直接借用目前流行的各种面向静止背景影像的分析方法。

本书在无人飞行器(包括无人机和无人飞艇)的统一框架下,围绕前述问题展开讨论和分析。全书内容大致可分为两个层次:较低层次上,安排的是相关的背景知识和基础理论;较高层次上,重点介绍解决上述问题所涉及的关键理论、技术方法与应用范例。书中内容既总结了国内外有关的研究,也结合了作者所在团队十多年来在无人飞行器遥感应用领域取得的部分研究成果。全书共 10 章。第 1 章结合无人飞行器遥感技术的发展论述其对地理空间信息获取的意义,并由此引出序列影像处理与分析所涉及的主要问题。第 2 章介绍无人飞行器遥感系统的硬件组成,分析各部分的功能。第 3 章介绍序列影像的预处理,在分析序列影像一般特性的基础上介绍视频采样、视频压缩编码以及序列影像稳定等方面的知识。第 4 章分析摄像机成像的几何模型,重点是几何构像模型和内、外参

数的定义及意义。第5章专门介绍摄像机的几何标定问题,涉及经典的标定方法、使用平面模板的标定方法和自标定方法,以及变焦摄像机的在线标定。第6章针对地面移动目标,介绍其快速定位理论和技术,内容包括坐标系统及其转换、利用GPS/INS的移动目标直接定位方法,以及非量测型摄像机的移动目标定位方法等。第7章涉及面向序列影像大区域应用的配准与镶嵌问题;首先给出角点特征提取与匹配的基本算法,然后分析讨论若干序列图像配准模型,最后介绍一个实用的序列图像自动镶嵌系统。第8章关注序列影像的运动估计问题,介绍传感器的运动投影关系;在分析常用光流运动分析方法的基础上介绍多约束条件的光流运动估计方法,以及红外序列影像的相位信息运动估计方法。第9章阐述序列影像的运动检测;首先介绍静态场景的运动检测,然后分析空中视频的运动目标检测涉及的基本问题,进而着重讨论动态平台条件下运动检测方法 with 实现问题。第10章介绍利用视频流跟踪地面运动对象的理论和方法,内容包括运动跟踪模式分析、基于目标特征的运动跟踪方法和基于状态滤波的运动跟踪方法。

作者谨以此书向中国科学院院士高俊教授致以崇高的敬意和由衷的谢意。十多年前,正是高俊院士为作者及作者团队指明了无人机遥感测绘应用的新方向,并自那时起一直为作者及作者团队承担的相关课题的研究倾注着热情的支持与关怀。作者还特别感谢解放军信息工程大学的游雄教授和万刚教授,在长期的科研合作和联合攻关中,他们给予作者及作者团队以大量无私的帮助。解放军信息工程大学的张永生教授、姜挺教授、张占睦教授、秦志远教授、冯伍法教授、刘智教授和朱宝山教授等为本书的撰写提出了宝贵的意见与建议,在此一并致谢。最后要感谢的是研究生周俊、刘景正、谭熊、付琼莹、秦进春、余岸竹、魏祥坡和刘冰等同学,他们参与了本书所涉及的研究或有关章节的校正工作。

本书的出版得到了解放军信息工程大学地理空间信息学院教材出版专项基金、国家自然科学基金项目(机载低空摄像机在线检校与视频影像实时处理技术研究,41201477)、中国博士后科学基金(基于多视立体的无人机海岛礁测绘数据处理关键技术,2013M542456)的资助。

无人飞行器遥感方兴未艾,定将在互联网和大数据时代迸发出巨大的能量,人们目前所感受到的只是其潜能的冰山一角。相应地,无人飞行器序列影像分析和处理的理论与技术也在不断地充实、发展及完善之中,本书仅结合当前的典型应用做了提炼和总结,没有也不可能形成一个全面的体系。同时,限于作者的学术水平,以及部分研究有待深化,书中一定存在错误及疏漏之处,欢迎读者批评指正。

彩图

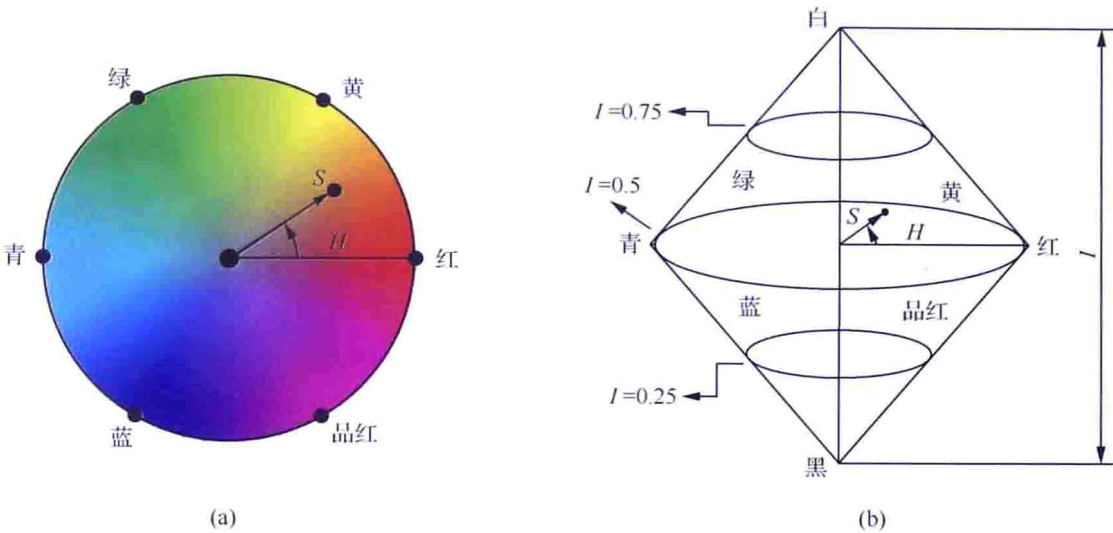


图 3.7 HIS 色彩空间模型



图 3.8 视频影像色调校正调整

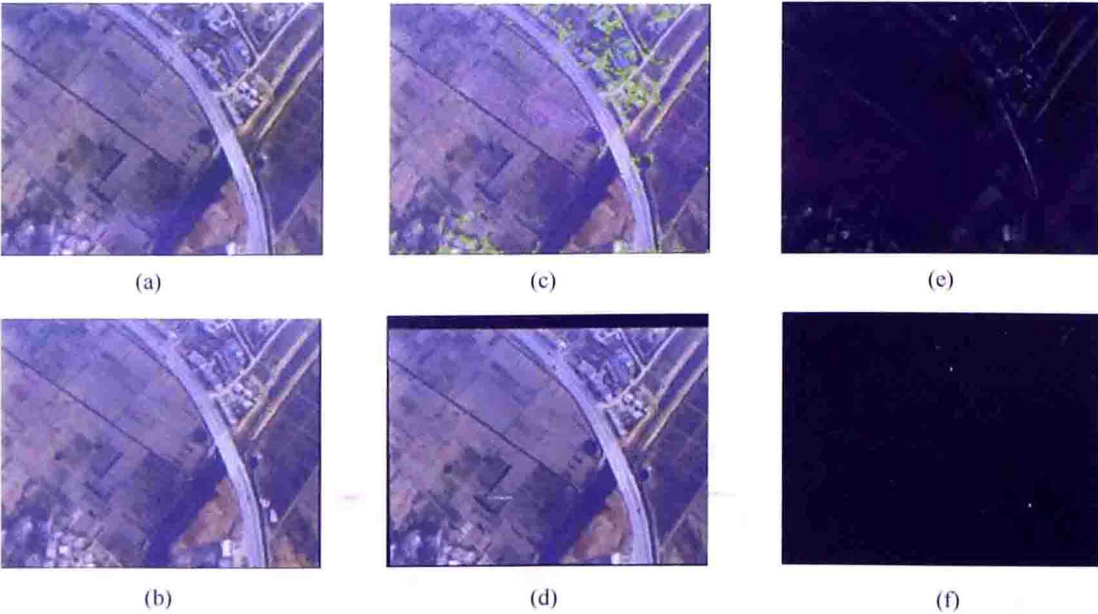


图 3.12 基于特征的影像运动补偿结果

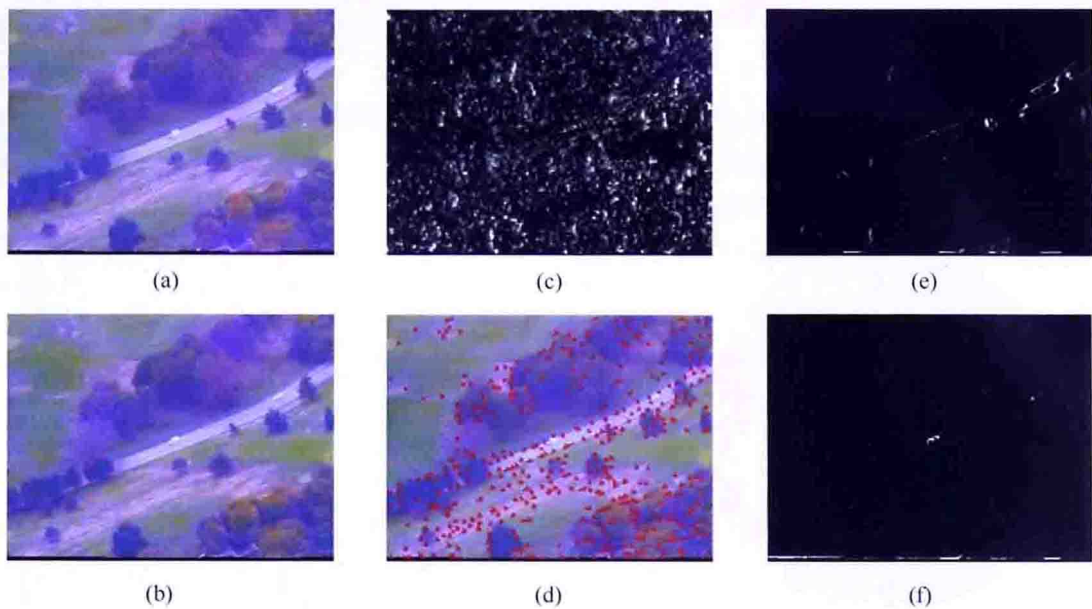


图 3.13 光流估计影像稳定结果

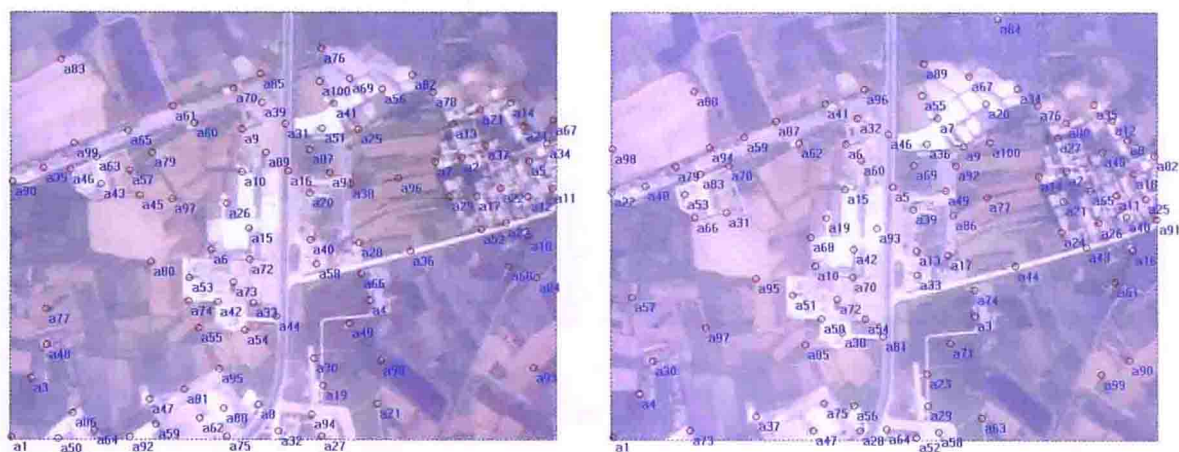


图 7.3 KLT 算法角点检测结果



图 7.4 基于互相关测度的特征粗匹配结果



图 7.8 基于一致性判据的特征精匹配结果



图 7.12 基于三视图的匹配角点特征提取结果

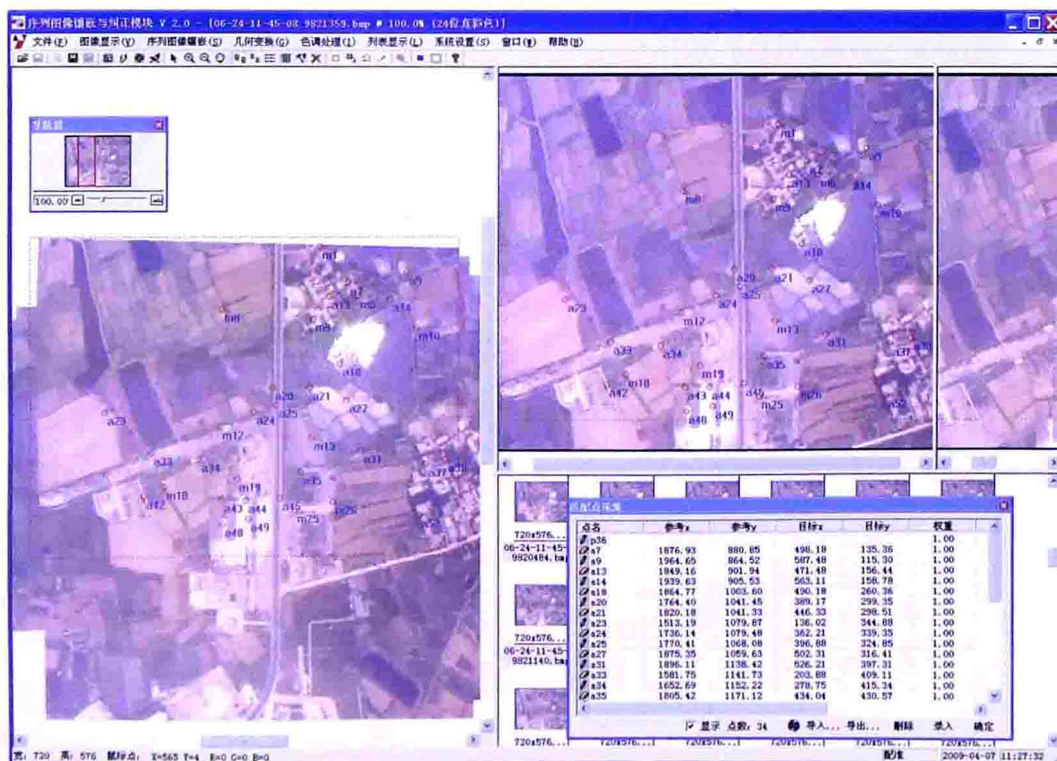


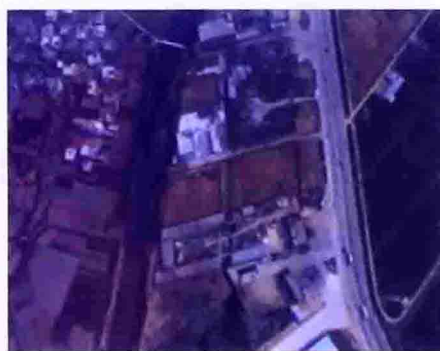
图 7.15 基于人工监督的序列图像自动镶嵌系统主界面



图 7.16 无人飞行器序列图像自动镶嵌结果



(a)



(b)



(c)



(d)

图 8.5 无人飞行器序列影像金字塔

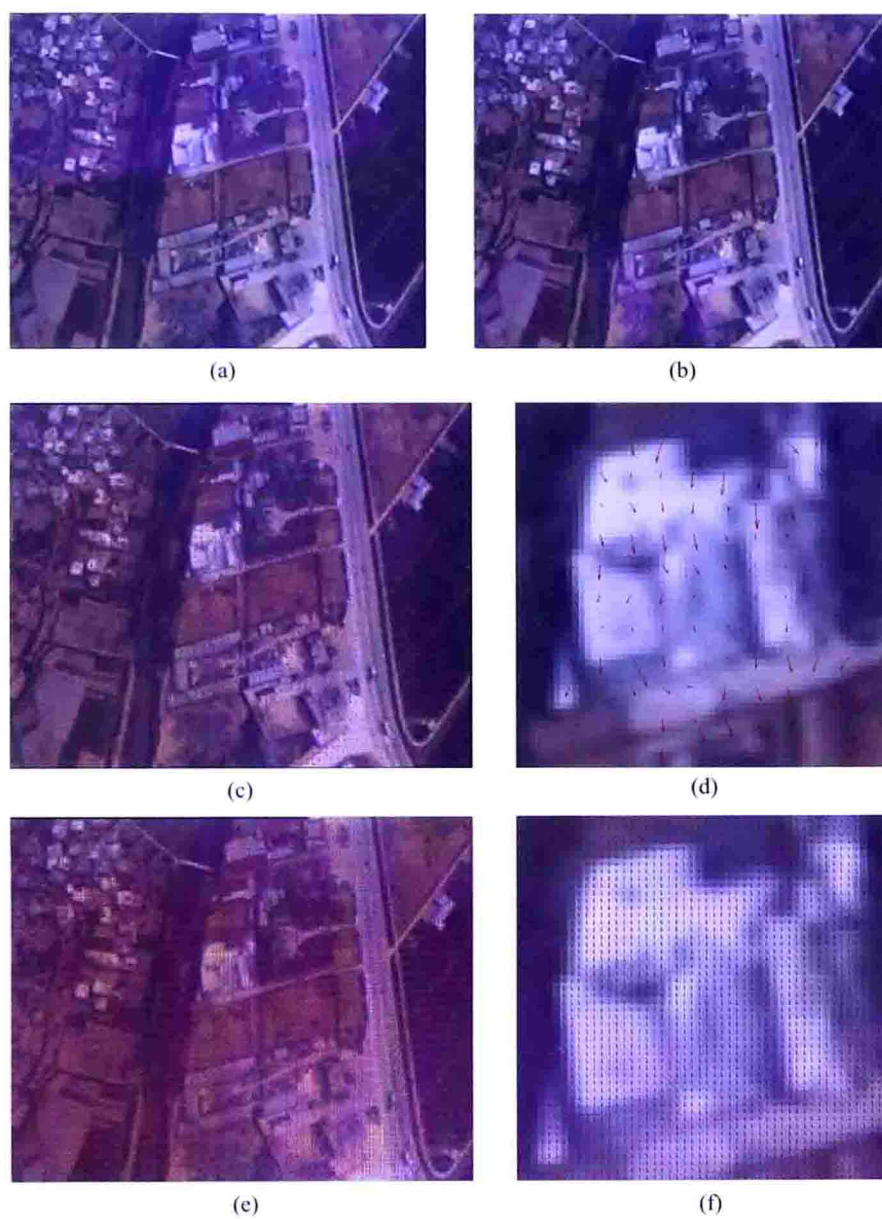


图 8.6 无人飞行器序列影像多条件约束变分光流估计及对比

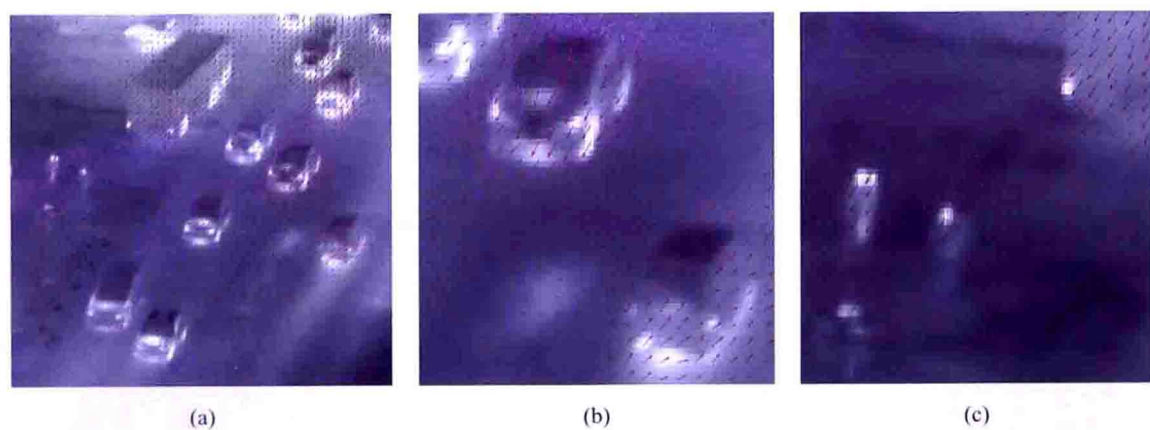


图 8.9 基于相位信息的红外序列影像光流估计

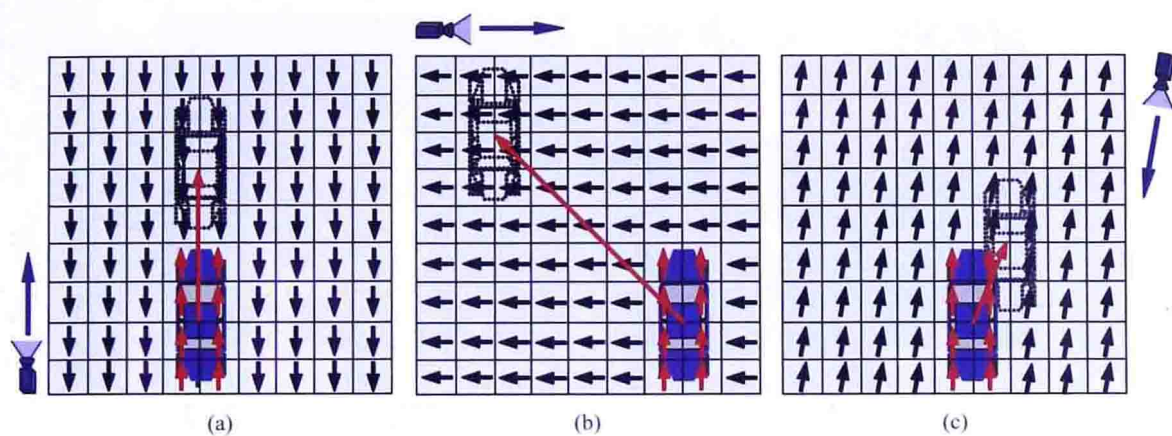


图 9.2 移动传感器平台运动目标检测示意

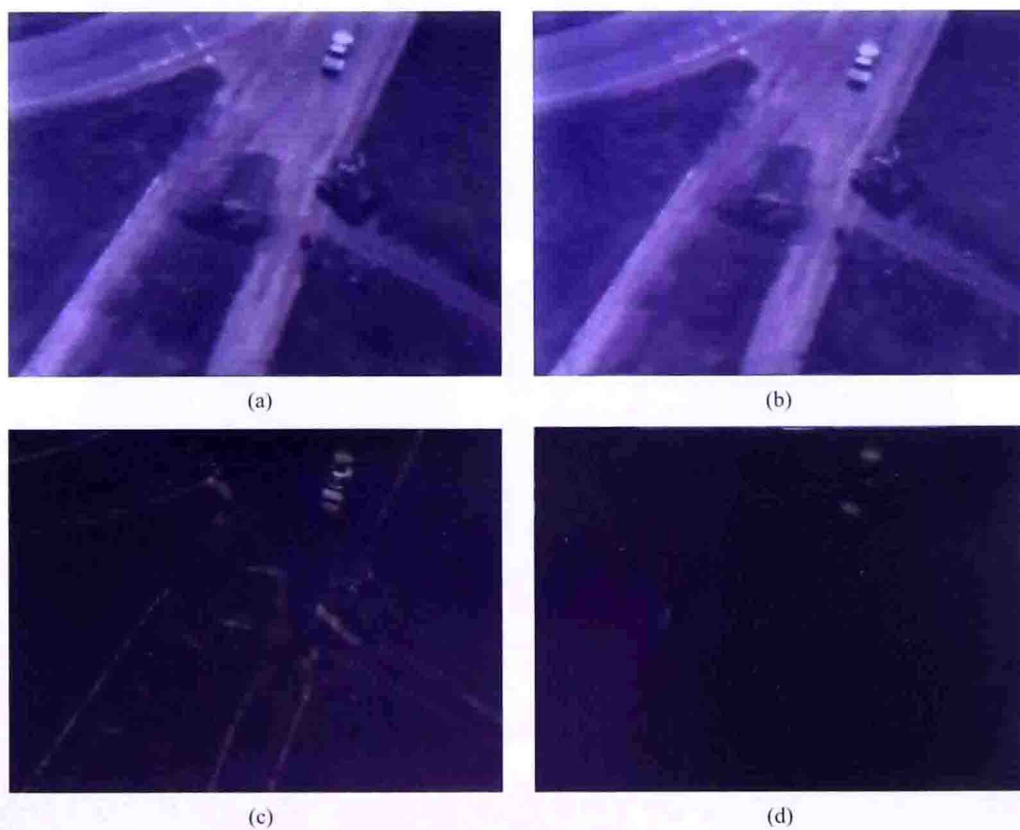


图 9.3 动态背景纠正差分运动目标检测

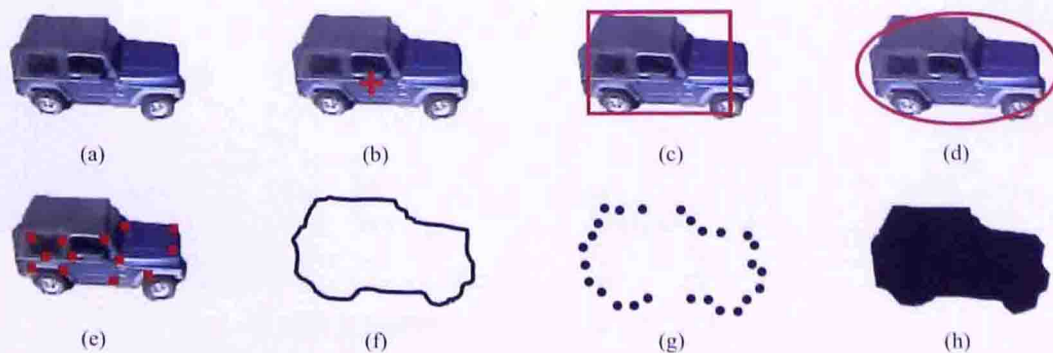


图 10.1 运动目标表现形式示例

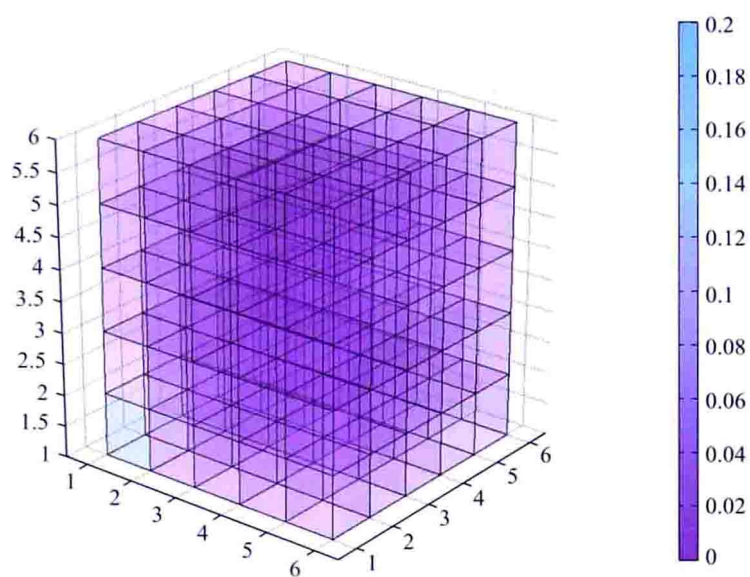


图 10.2 目标模型颜色特征直方图示例

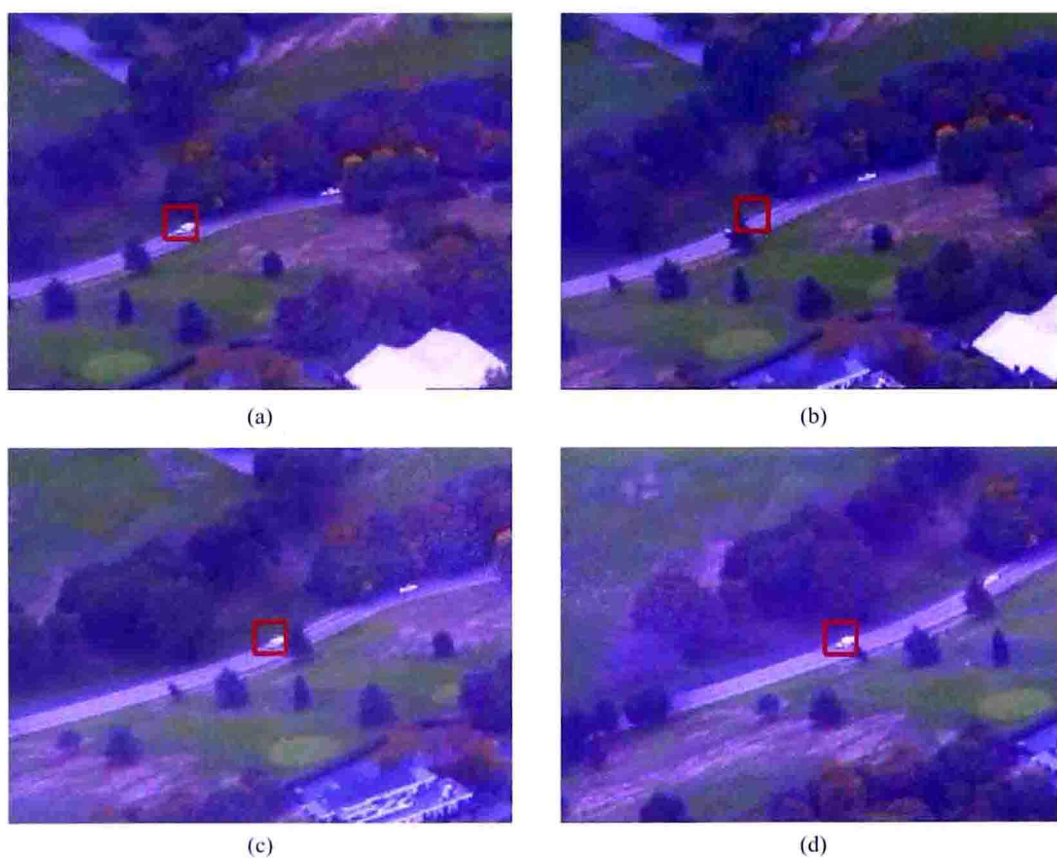


图 10.3 机载序列影像均值偏移目标跟踪

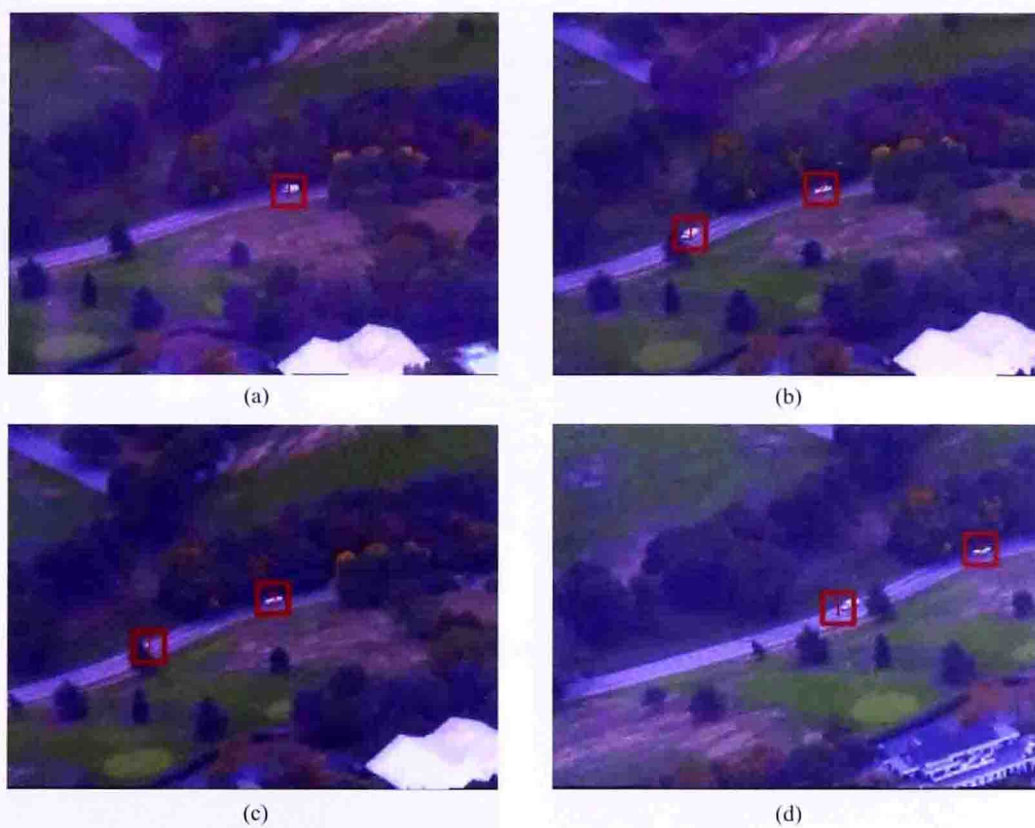


图 10.4 无人飞行器序列影像多运动目标跟踪

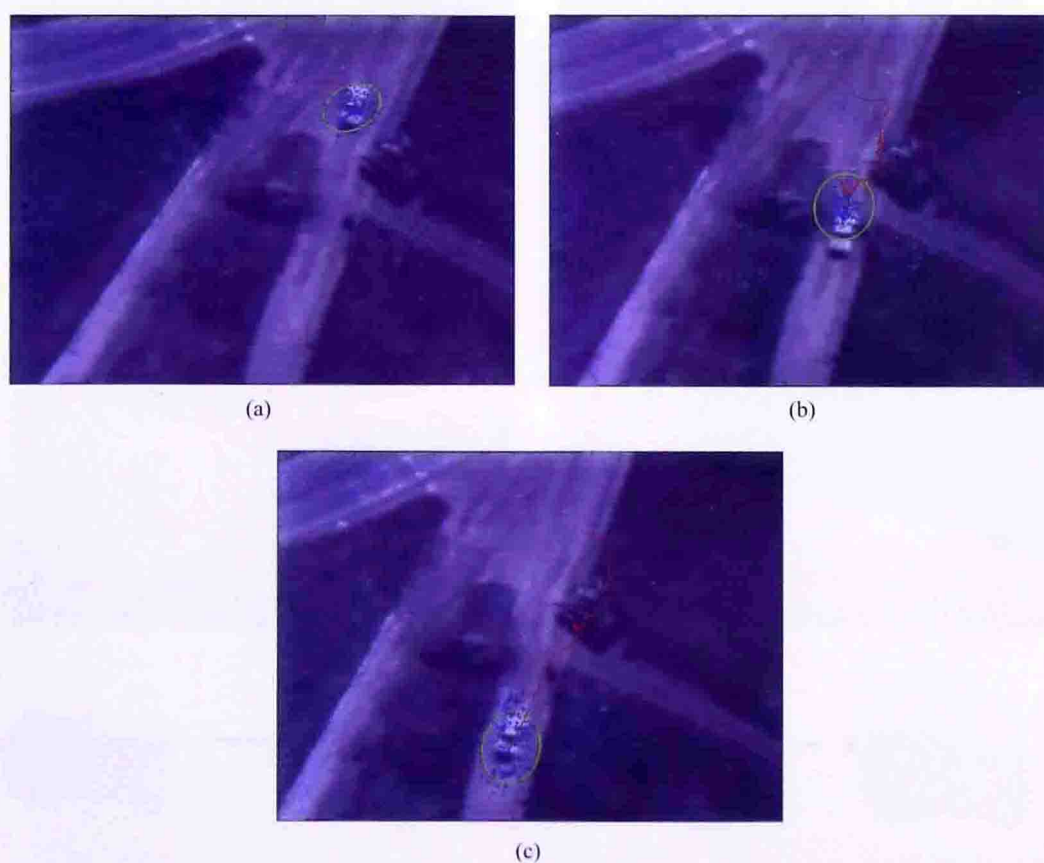


图 10.6 粒子滤波运动目标跟踪

目 录

《地球观测与导航技术丛书》出版说明

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 无人飞行器遥感:能力、魅力与潜力	1
1.2 序列影像处理与运动分析	4
第 2 章 无人飞行器遥感监测系统	9
2.1 概述	9
2.2 无人飞行平台	10
2.2.1 无人机平台	10
2.2.2 无人飞艇平台	12
2.2.3 飞行控制系统	14
2.3 地面控制站	16
2.3.1 基本组成	16
2.3.2 物理配置	17
2.3.3 基本功能	17
2.3.4 外部接口	19
2.4 任务载荷	20
2.4.1 成像传感器	20
2.4.2 传感器位置与姿态测量	26
2.5 数据链路	29
2.5.1 数据链路的组成	29
2.5.2 数据链路的特征	30
2.5.3 数据传输特性	31
参考文献	34
第 3 章 序列影像预处理	35
3.1 序列影像数据特性	35
3.1.1 序列影像一般特性	35
3.1.2 无人飞行器序列影像数据特性	37
3.2 视频影像重采样与模数转换	39
3.2.1 模拟视频信号采样	40
3.2.2 视频采样制式转换	41
3.2.3 视频影像模数转换	42
3.2.4 数字视频影像编码及压缩	46
3.3 序列影像增强与复原	49

3.3.1	色调校正及调整	49
3.3.2	视频滤波噪声抑制	51
3.3.3	区域斑点影像移除	52
3.3.4	帧影像超分辨率重建	54
3.4	序列影像稳定	56
3.4.1	动态平台序列影像运动补偿	56
3.4.2	基于特征的影像稳定方法	57
3.4.3	光流估计影像稳定方法	58
	参考文献	60
第4章	摄像机成像几何模型	61
4.1	针孔摄像机模型	61
4.2	空间直角坐标变换	62
4.3	摄像机几何构像模型	63
4.3.1	摄像机内参数	64
4.3.2	摄像机外参数	66
4.4	镜头畸变	66
4.5	与摄影测量构像模型的比较	67
	参考文献	70
第5章	摄像机几何标定	71
5.1	标定摄像机的经典方法	71
5.1.1	利用野外控制点的方法	71
5.1.2	使用三维标定参照物的方法	72
5.2	使用平面模板标定摄像机	73
5.2.1	Tsai 两步法	73
5.2.2	张正友方法	76
5.3	摄像机自标定	81
5.3.1	摄像机自标定方法概述	81
5.3.2	基于 Kruppa 方程的自标定	82
5.4	变焦摄像机在线标定	91
5.4.1	变焦摄像机内参数模型	91
5.4.2	变焦摄像机内参数模型下的 Kruppa 方程求解	92
5.4.3	处理镜头畸变	95
	参考文献	96
第6章	地面移动目标快速定位	98
6.1	GPS/INS 坐标系统及其转换	98
6.1.1	GPS 坐标系	98
6.1.2	与 INS 相关的坐标系	99
6.1.3	摄影测量坐标系	101
6.1.4	GPS 坐标与我国地图坐标的转换	103