



前视红外景象 匹配技术

孙继银 孙向东 王忠 郭文普 等著



科学出版社

内 容 简 介

本书针对景象匹配制导需求,系统讲述了前视红外景象匹配的概念、算法、模型,以及工程实现和应用技术。全书共7章,包括红外成像的概念、前视红外景象匹配原理、三维信息获取与三维场景生成、红外反演模型的建立与反演、前视仿真图与匹配模板的生成、基于不变量的前视景象匹配、基于局部特征的前视红外景象匹配和前视红外导航图生成系统等内容。

本书内容是课题组多年的研究成果,其创新性、系统性和实用性突出,书中的所有模型和算法全部经过实验验证,可以直接应用于红外图像的处理和景象匹配制导等领域。

本书可供导航制导与控制、计算机图像处理、航空、航天飞行器设计和应用领域的人员、工程技术人员、高等院校学生参考,也可作为高等院校相关专业研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

前视红外景象匹配技术/孙继银等著. —北京:科学出版社,2011
ISBN 978-7-03-032565-5

I. 前… II. 孙… III. 红外前视系统 IV. TN216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 211636 号

责任编辑:汤 枫 余 丁 / 责任校对:陈玉凤
责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年10月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2011年10月第一次印刷 印张:19 3/4

印数:1—2 000 字数:386 000

定价:70.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

前视红外(FLIR)诞生于 20 世纪 70 年代,最早应用于美国等一些西方国家的军事航空领域,随着红外探测器件以及图像处理技术的飞速发展,目前广泛应用于车辆、舰船、航天、环境保护、医疗等领域的信息探测、定位和识别,基于前视红外的景象匹配技术已成为信息探测、定位和识别的核心关键技术。

与可见光图像相比,红外成像在像元分辨率、图像清晰度等方面都有较大的差距,更重要的是随着视点和视距的变化,所拍摄的前视景象差别很大,因此,前视红外景象的匹配是一项艰巨而富有挑战性的工作。

本书充分利用可见光影像信息,通过三维景象图的生成、红外模型的建立与反演、生成前视红外导航模板,实现了前视红外景象准确的匹配。在此基础上建立了一套系统、实用的前视红外导航图生成算法和模型,为飞行器基于前视红外的景象匹配导航开创了一条有效的技术途径。

全书共 7 章。第 1 章介绍红外成像概念及成像系统基本结构、前视红外景象匹配原理。第 2 章介绍红外辐射的基本概念、原理及实现方案,给出了计算大气透射率的工程简化算法、地表红外辐射建模及红外场景可视化方法;在分析地面物体红外辐射特性的基础上,建立了地面物体的温度场模型和辐射温度模型,并给出了模型的解算方法。第 3 章介绍三维信息获取技术、三维场景数据结构模型、网格地形数据简化算法及三维场景绘制技术。第 4 章介绍前视景象匹配的模板匹配及动态模板基本概念,给出了目标形状特征动态模板与目标灰度特征动态模板的制备方法;针对地面场景较为复杂,且无明显标志物的情况下,给出了一种基于多子区特征模板的目标匹配定位方法。第 5 章介绍基于灰度变化不变量的团块目标匹配识别方法、基于凸壳仿射不变量的似圆形目标匹配识别方法,以及基于线段相对不变量的线形目标匹配识别。第 6 章介绍基于局部特征的前视红外景象匹配算法:轮廓特征的描述与匹配、纹理特征的描述与匹配,以及点特征的描述与匹配。第 7 章介绍前视红外导航图生成系统,该系统集成了本书各章节的典型算法和模型,既是一个实验验证平台也是一个前视红外导航图生成的应用实例。

本书是课题组多年的研究成果,有十几位博士围绕前视红外景象匹配开展了深入的研究,本书撰写内容是其研究成果的结晶。全书由孙继银和孙向东负责拟定章节大纲和全书的统稿、定稿工作,第 1 章由王忠撰写,第 2 章由陈珊撰写,第 3、4、7 章由郭文普撰写,第 5 章由何芳芳和刘婧撰写,第 6 章由刘婧撰写。王鹏、陈捷、韩冰、夏晶、高晶、巨西诺等博士研究生协助编写。

在本书相关内容的研究中参阅了大量国内外文献资料,在此对这些文献资料的作者致以衷心的感谢。

由于作者学识所限,本书难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

作者

2011年3月于西安

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 红外成像系统	1
1.1.1 红外成像系统的诞生及发展	1
1.1.2 红外成像系统的典型结构	2
1.2 前视红外景象匹配	5
1.2.1 景象匹配制导的概念	5
1.2.2 前视景象匹配的基本原理	6
1.2.3 前视红外景象匹配技术的发展趋势	7
1.2.4 前视红外景象匹配导航图生成方案	8
1.3 本书核心内容	9
参考文献	12
第 2 章 红外辐射特性与红外反演技术	14
2.1 红外辐射与红外反演	14
2.1.1 红外辐射基本概念	14
2.1.2 红外反演方案概述	18
2.2 红外辐射在大气中的传输	20
2.2.1 大气衰减成因	20
2.2.2 大气透射率计算	22
2.2.3 大气透射率工程简化算法	23
2.2.4 实验结果与分析	31
2.3 场景红外辐射特性	33
2.3.1 导航区域环境红外辐射特性	33
2.3.2 地表红外辐射建模	39
2.3.3 地表红外场景可视化	42
2.3.4 实验结果及分析	45
2.4 地面物体红外辐射特性	47
2.4.1 建筑物结构特性分析	47
2.4.2 地面物体辐射温度模型	49
2.4.3 辐射温度模型的数值解法	53

2.4.4	实验结果与分析	59
2.5	本章小结	61
	参考文献	61
第3章	三维信息获取与导航区三维场景生成	63
3.1	三维信息获取技术	63
3.1.1	数字摄影测量	63
3.1.2	激光雷达系统	64
3.1.3	机载三维成像仪	66
3.1.4	近景摄影测量	66
3.2	基于数字摄影测量技术的三维信息获取	67
3.2.1	立体匹配技术	67
3.2.2	数字摄影测量系统	70
3.2.3	解算地物三维信息的快速方法	72
3.3	导航区三维场景数据模型	79
3.3.1	现实世界的模型化过程	79
3.3.2	计算机中不同形体表示方法	81
3.3.3	导航区三维场景数据模型设计	83
3.4	规则格网地形数据简化算法	88
3.4.1	常用顶点误差度量方法	89
3.4.2	基于区域聚合的规则格网数据简化算法	91
3.5	导航区三维场景绘制技术	95
3.5.1	不同坐标系及变换方法	95
3.5.2	导航区三维场景图形变换过程	97
3.5.3	场景的纹理映射	100
3.5.4	导航区三维场景的生成	102
3.6	本章小结	104
	参考文献	104
第4章	前视仿真图与匹配模板生成	107
4.1	前视仿真序列图生成与匹配	107
4.1.1	前视仿真序列图的生成	107
4.1.2	基于仿真序列图的匹配实验	109
4.2	动态模板生成	112
4.2.1	模板匹配与动态模板	112
4.2.2	形状特征模板生成与匹配	113
4.2.3	灰度特征模板生成与匹配	118

4.3 基于多子区特征的匹配模板制备方法	125
4.3.1 基于多子区特征模板的目标匹配定位策略	125
4.3.2 图像特征描述与提取	127
4.3.3 轮廓区域特征提取与匹配	136
4.3.4 子区特征选取及匹配	139
4.4 本章小结	144
参考文献	144
第5章 基于不变量的前视图像匹配	147
5.1 引言	147
5.2 基于灰度变化不变量的团块目标匹配识别	148
5.2.1 数据源分析	149
5.2.2 基于直方图调整的全局灰度变化不变量	150
5.2.3 团块目标的匹配识别	153
5.2.4 实验结果与分析	161
5.3 基于凸壳仿射不变量的似圆形目标匹配识别	171
5.3.1 基于凸壳仿射不变量的似圆形目标表示	172
5.3.2 一种基于可变似圆形结构元素的凸壳提取算法	178
5.3.3 似圆形目标的匹配识别	188
5.3.4 实验结果与分析	193
5.4 基于线段相对不变量的线形目标匹配识别	196
5.4.1 基于线段相对不变量的线形目标表示	196
5.4.2 基于关键点 Hough 变换线段提取算法	199
5.4.3 线形目标的匹配识别	201
5.4.4 实验结果与分析	206
5.5 本章小结	213
参考文献	214
第6章 基于局部特征的前视红外景象匹配算法	219
6.1 引言	219
6.2 复杂场景中 FLIR 目标检测算法	220
6.2.1 目标检测算法概述	220
6.2.2 尺度空间理论	221
6.2.3 尺度自适应大目标检测	226
6.2.4 分层多阈值低矮目标检测算法	229
6.2.5 算法加速	234
6.3 FLIR 轮廓特征提取与匹配	237

6.3.1	灰度距离加权轮廓提取	237
6.3.2	Hausdorff 距离匹配	239
6.3.3	实验结果与分析	245
6.4	NSCT 与 LBP 结合的纹理特征提取与匹配	246
6.4.1	NSCT 域纹理特征	246
6.4.2	局部二值模式	251
6.4.3	NSCT 与 LBP 结合的纹理描述方法	254
6.4.4	纹理可匹配性判定	259
6.4.5	实验结果与分析	261
6.5	基于光照鲁棒 SIFT 的点特征提取与匹配	263
6.5.1	SIFT 算法分析	264
6.5.2	光照变化鲁棒 SIFT	270
6.5.3	实验结果与分析	277
6.6	本章小结	285
	参考文献	285
第 7 章	前视红外导航图生成系统	291
7.1	系统总体设计	291
7.1.1	总体结构	291
7.1.2	逻辑流程及数据接口	292
7.1.3	数据库设计	292
7.1.4	主界面及功能模块	295
7.2	导航区三维场景生成分系统	297
7.3	红外特征反演分系统	300
7.4	匹配验证与评估分系统	301
7.4.1	匹配性能评估的指标体系	302
7.4.2	基于数据库的自动大规模匹配实验	302
7.4.3	实验结果统计与分析	304
7.5	本章小结	305
	参考文献	305

第 1 章 绪 论

1.1 红外成像系统

1.1.1 红外成像系统的诞生及发展

世界上第一台二维红外成像装置于 1966 年在德州仪器公司(Texas Instrument, TI)问世^[1],其诞生过程可谓一波三折,其中有两位关键人物发挥了至关重要的作用,一位是 TI 公司的杰出工程师 Kirby Taylor,另一位是当时 TI 的执行副总 Ray McCord。

早在 1963 年, Kirby Taylor 就设想研制一台二维的红外成像器,并得到了 TI 公司的大力支持,从公司得到了 3 万美元的启动经费,在 Kirby Taylor 的努力下,很快证明了二维红外成像器的可行性。TI 公司立即给 ARPA(Advanced Research Projects Agency, 美国国防预研局 DARPA 的前身)递交了一份立项报告,希望得到 ARPA 的支持。ARPA 认为 TI 的创意很好,但这样的一种红外成像装置没有特别明显的军事需求。TI 非常失望,但又不想放弃,因此 TI 又转向美国空军寻找合作机会。他们找到了美国空军的航空电子实验室,这个实验室一直和 TI 在红外探测器的研发上进行合作。航空电子实验室的看法和 ARPA 恰恰相反,他们认为这种红外成像装置非常值得进一步研究,但是他们提出必须进行课题招标,迫使 TI 公司公开红外成像装置的创意设想。航空电子实验室为这个红外成像装置设立了两个合同,每一个合同价值 25 万美元,并规定投标方只能选择其中之一。共有 8 家公司参与竞标,招标过程历时数月,最后只剩下 TI,可以说 TI 笑到了最后!

直到 1965 年末, TI 完成了这种红外成像装置模型样机的研制,虽然这种模型样机并没有经过机载测试,但是在理想环境下,已经能够分辨出景物的边缘和轮廓。

美国空军看到这一研究成果非常激动,急于想知道它的实际应用效果。尽管 TI 一再声明只是模型样机,还没有达到工程应用阶段,但美国空军还是把模型样机直接放在一架 DC-3 型飞机上进行机载实验,并且把试飞区直接选在了当时的东南亚作战区域。这种环境实在是太苛刻了! 为了确保成功, Kirby Taylor 亲自参加机载实验。

技术问题不能有半点马虎,实验结果可想而知。当时的 TI 总裁,也是 TI 的一位创立者,Patrick Eugene Haggerty(1914~1980)得到这个令人失望的消息时,正在国防科学委员会开会,他非常生气,极大地动摇了他继续支持红外成像装置研究的决心。

但国防部的一些有识之士却从这次机载实验中发现了一个有意义的现象:执行夜间飞行任务时,如果直升机在固定高度进行盘旋,这种红外成像装置非常有助于直升机在漆黑一片的地域寻找和定位目标,并能帮助射手进行射击,初步显现了红外成像装置的特殊军事应用价值。1967年,美国空军改变了对红外成像装置模型样机的批判性态度,和 TI 签订了价值 100 万美元的合同,继续支持红外成像装置的后续研究。

当时的 TI 执行副总 Ray McCord 深信红外成像系统必将取得巨大的成功,因此尽管当时公司管理层建议削减红外成像系统的研制费用,但 Ray McCord 不为之所动,一直坚持优先发展红外成像系统。

值得欣慰的是,一些主要用户也坚定地支持红外成像系统的研制,他们呼吁 Ray McCord 要求改进性能,Ray McCord 承诺,TI 公司将改进红外成像系统的所有不足之处,并且不会向用户收取任何额外费用。经过 Ray McCord 的不懈努力,TI 公司最终支持了他的意见。红外成像系统的研制工作变得一帆风顺。1972年,TI 公司研制出第一台通用模块前视红外成像系统(common-module forward-looking infrared radar),并借助该产品奠定了 TI 公司在红外成像领域的领导者地位,成功生产出一系列直升机机载前视红外成像系统(forward-looking infrared radar,FLIR),在越南战场得到充分的应用。

从 20 世纪 70 年代,TI 公司研制出首台前视红外成像系统之后,红外成像技术逐步成熟,各类前视红外产品陆续问世,进入了一个蓬勃发展时期。目前世界上各大主要从事红外成像装置生产、销售的公司几乎都是诞生于这个时期。如目前鼎鼎大名的 FLIR System 公司就成立于 1978 年,1997 年并购瑞典 AGEMA 公司,1999 年并购美国 Inframetrics 公司,2004 年兼并美国 Indigo Systems 公司,目前已经成为世界上红外成像系统设计、制造及销售的主导企业。

1.1.2 红外成像系统的典型结构

从成像途径来看,红外成像系统主要有两种类型:①多元红外探测器线阵扫描方式成像系统;②多元红外探测器平面阵的非扫描成像(通常称为凝视焦平面红外成像)。图 1.1 是采用扫描方式的红外成像系统典型组成结构,图 1.2 是采用焦平面阵列方式的红外成像系统典型组成结构。

无论采用哪种成像方式,红外成像系统的核心都是红外成像探测器,它的作用是将光转换为电信号。其前部是光学、机械扫描器件,完成对光学观察视场内的红

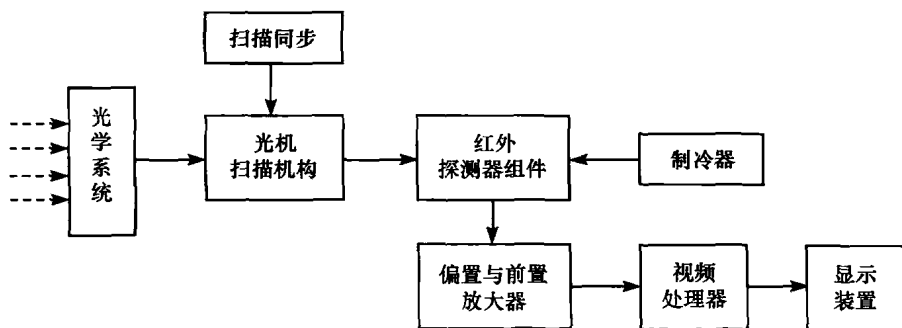


图 1.1 采用扫描方式的红外成像系统结构框图(以制冷型为例)

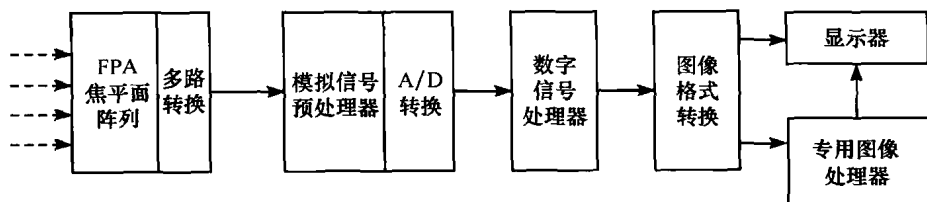


图 1.2 采用焦平面方式的红外成像系统结构框图

外辐射会聚和水平、垂直方向扫描,以形成二维观察数据;其后部是电子器件,完成探测器输出信号到图像信号的体制转换,并进行改善成像质量的图像处理。因此,可以用一种更为一般的结构来描述红外成像系统的组成,如图 1.3 所示。

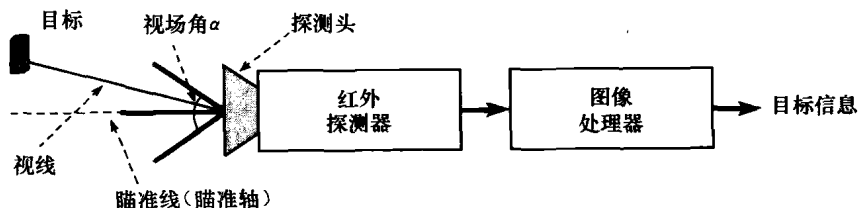


图 1.3 红外成像系统的一般组成结构

红外成像器在实际应用中两个重要的概念:空间分辨率和视场角。

空间分辨率是指红外成像器能够识别的两个相邻目标的最小距离,通常用瞬时视场角(IFOV)的大小来表示成像器的最小角分辨单元,单位为毫弧度(mrad)。空间分辨率决定着成像器的清晰度,是成像器所能测量的最小尺寸。它与光学像质、光学会聚系统焦距和红外传感器的线性尺寸相关。

视场角表示红外成像器所能观察到的最大空间角度范围,也称为总视场角或扫描视场角。

空间分辨率的计算方法通常采用以下公式:

空间分辨率 = 像间距 / 镜头焦距

如果某种型号红外成像器的像间距为 $25.4\mu\text{m}$, 选用 54mm 长焦镜头, 则该型成像器的空间分辨率为

$$25.4/54 = 0.47\text{mrad}(\text{一般保留两位有效数据})$$

视场角还有水平视场角和垂直视场角之分, 所以视场角的计算也分为两种:

$$\text{水平视场角} = (\text{像间距} / \text{镜头焦距}) \times \text{水平像素数} / 17.45$$

$$\text{垂直视场角} = (\text{像间距} / \text{镜头焦距}) \times \text{垂直像素数} / 17.45$$

如果某种型号红外成像器的像间距为 $51\mu\text{m}$, 形成的红外景象为 160×120 像素, 选用 20mm 标准镜头, 则

$$\text{水平视场角: } 51/20 \times 160/17.45 = 23(\text{一般保留整数})$$

$$\text{垂直视场角: } 51/20 \times 120/17.45 = 17(\text{一般保留整数})$$

红外成像探测器从 20 世纪 70 年代以来已由多元线阵发展到面阵, 从近红外发展到远红外。红外凝视焦平面阵列探测器的元件数, 对于近红外已达 10^7 个, 对于远红外已达 10^5 个, 探测率已达 $10^{12} \sim 10^{14}$ 量级。目前, 采用碲镉汞(MCT 或 HgCdTe)的焦平面阵列大部分是 128×128 像素 $\sim 640 \times 512$ 像素的格式, 但有一些中波 MCT 阵列可以达到 2048×2048 像素。工作中波红外波段的锑化铟焦平面阵列探测器普遍是 640×512 像素的分辨率, 但市场上也有分辨率高达 2048×2048 像素的器件出售。同时, 分辨率为 320×240 像素、 640×480 像素的非制冷红外焦平面阵列探测器已投产或准备投产, 1024×1024 像素的非制冷探测器阵列正在开发中^[2]。红外成像制导系统的灵敏度和空间分辨率逐渐趋高, 动态跟踪范围越来越大, 有效作用距离越来越远, 抗干扰性也越来越好。从技术角度上一般划分为以下四代:

第一代红外前视采用扫描红外探测器, 第二代采用扫描阵列红外探测器。其共同之处都需要光机扫描器, 必须要有复杂的机电光学伺服机构, 缺点是体积和质量大、可靠性低。第三代采用了凝视焦平面阵列红外探测器, 在成像焦平面上纵横排列着数以百计的红外敏感元件, 通常和电荷耦合器件等信号处理电路集成在同一个芯片上, 或通过钢柱连接, 集成在两个芯片上, 一次完成成像探测、积分、滤波和多路转换功能。这种全固态红外成像器不仅体积小、质量轻、可靠性高, 而且凝视比扫视具有更高的灵敏度和分辨率, 以及更远的作用距离。第四代前视红外技术又称为灵巧焦平面阵列技术。采用碲镉汞传感器和先进的信号处理技术, 可以覆盖整个可见光波段和近、中、远红外波段, 可以为飞机提供超过 100km 的红外搜索和跟踪能力。

例如, 美国等西方国家研制的碲镉汞 $8 \sim 14\mu\text{m}$ 长波红外前视探测器, 主要用于北美及欧洲寒冷地区, 经实验表明, 前视红外工作在 $3 \sim 5\mu\text{m}$ 中波红外波段, 比 $8 \sim 14\mu\text{m}$ 长波红外波段具有更强的湿热气候穿透能力, 这一优点使得近年来锑

化镉及硅化铂等 $3\sim 5\mu\text{m}$ 中波红外凝视焦平面阵列成像红外探测器得以迅速发展和应用。

1.2 前视红外景象匹配

1.2.1 景象匹配制导的概念^[3,4]

景象匹配的概念来源于 1992 年的海湾战争。景象匹配指的是把一个图像区域从另一个往往由其他传感器摄取的相应景象区域中确定出来或找到它们之间对应关系的一种重要的图像分析与处理技术。它广泛应用于导航定位、目标识别、运动分析、立体视觉、数据融合和变化检测中,是这些图像分析与应用技术的基础。

就景象匹配制导而言,它是依据景象匹配得到的对应关系来确定飞行器位置和调姿,以引导其按照预定航线飞行的一种先进的制导方式。景象匹配制导系统的原理如图 1.4 所示。它是利用地物景象为惯性导航系统提供精确定位信息,修正其经过长时间飞行所产生的累积误差,控制飞行器按照预定航线飞行。景象匹配制导系统的组成主要包括以下几个方面。

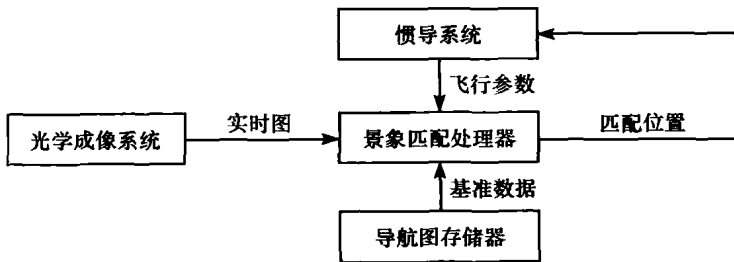


图 1.4 景象匹配制导系统工作原理

导航图存储器:存放飞行器在飞行过程中所看到的典型区域的场景图。在飞行器飞行之前,通常通过航空摄影或卫星获得飞行器飞行预定航线上的大量场景图像,工作人员从中选取一些较为典型的区域场景图像,制备成导航图,存放在导航图存储器中,以便为飞行器按照预定航线飞行提供基准参考信息。

光学成像系统:在飞行器的飞行过程中实时采集飞行航线上的景区图像,并实时提供给景象匹配处理器。

景象匹配处理器:将接收到的实时图与导航图像进行景象匹配,结合惯导系统送来的飞行参数推算出飞行器当前的空间位置和飞行状态,如果与预定航线有偏差,则发送修正信号给惯导系统,校正偏差引导飞行器按照预定航线飞行。

按照光学成像系统的成像原理和视点的不同,目前广泛应用的景象匹配制导系统可分为下视可见光景象匹配、下视红外景象匹配、前视红外景象匹配等类型。

其中,下视可见光景象匹配应用最早,技术较为成熟,自美国战斧巡航导弹技术被应用以来,已有 40 余种战区外发射的巡航武器采用了下视可见光景象匹配。其工作原理为:事先利用侦察手段获取飞行器航线下方的地物景象,制备景象匹配的导航图,并存放到弹载计算机中,当携带相应传感器的导弹飞到预定的区域时,实时拍摄当地的地物景象图,即实时图,将实时图和导航图在弹载计算机中进行相关匹配比较,即可确定当前导弹的准确位置,完成定位功能。

前视红外景象匹配制导的工作原理与下视可见光景象匹配制导类似,不同之处在于成像传感器的类型由可见光换成了红外,成像角度也由“向下看”转成“向前看”。由此带来两大好处:一是由于红外成像的基本特性,相当于给飞行器装上了夜视镜,极大地提高了飞行器的夜视能力;二是使飞行器具备更高的机动性和灵活性。也正是由于这两大优势,使得前视红外景象匹配制导方式在近十余年来得到飞速发展,在各种先进武器系统中得到广泛应用。

本书重点介绍基于匹配识别的前视红外景象匹配技术。通过在飞行器上存入预先生成的前视导航图,用飞行器拍摄实时图像作为实时图,利用两者的匹配定位关系引导飞行器按照预定航线飞行。其核心问题是如何生成所需要的前视红外导航图。

1.2.2 前视景象匹配的基本原理

基于前视匹配识别的制导方法其基本思想可用图 1.5 说明,根据飞行器拟定的飞行路线,应用导航图生成技术生成该飞行路线上的前视导航图,它是导航区的时间序列图像或特征模型,图 1.5 中, $p_1, p_2, \dots, p_n; s_1, s_2, \dots, s_n$ 为摄影中心的位置, v 为速度向量。飞行器在飞行到导航区域上空时也开始拍摄导航区域的时间序列图像 p'_1, p'_2, \dots, p'_n ,通过已有的 p_i 定位出 $p'_i (i=1, 2, \dots, n)$ 中典型地物的位置,可以知道飞行方向偏差。

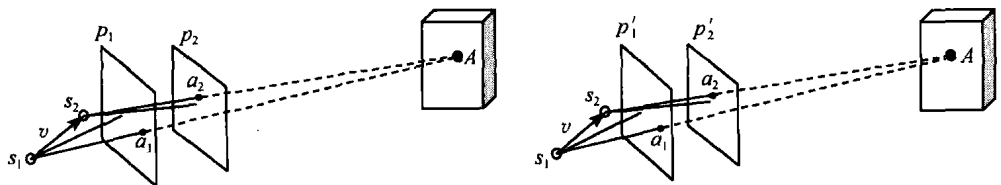


图 1.5 前视匹配制导的基本原理

利用惯性导航信息知道了飞行器飞行位置的概略值和概略方向后,就可以估计 $p'_i (i=1, 2, \dots, n)$ 是典型地物的时间序列信息 p_1, p_2, \dots, p_n 中某段时间序列 p_i, \dots, p_{i+k} 的最佳对应图像。但由于在应用前视导航图生成典型地物景观图时选定的航线不可能完全和飞行航线一致,模拟时时间序列的间隔为一定数值(不是无穷小),加上飞行器前视相机拍摄图像可能有旋转,所以 p'_i 和 p_i, \dots, p_{i+k} 中的最佳

对应之间存在小的摄影角度、比例尺和影像旋转差异,如图 1.6 所示。

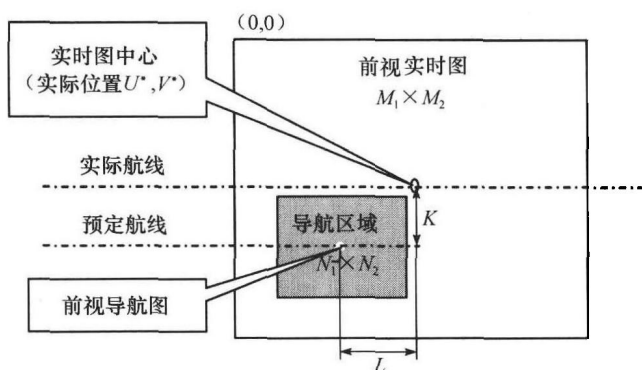


图 1.6 导航图在有偏移的实时图中的位置

由于导航图的地理坐标位置(或与典型地物的相对位置)是事先知道的,因此,根据实时图与它的相对位置便可得到飞行器偏离预定航线的纵向和横向位置偏差。这一偏差信息可用于为控制系统提供校正信号,用以修正测量误差、发射的初始误差,尤其是修正随射程增加而不断增大的惯性器件积累误差,从而使制导精度理论上与航程无关,实现精确制导。在前视景象匹配过程中,由于飞行器上导引头的空间位置和角度都在不断改变,导引头视景中典型地物和背景的几何形态将不断变化,在每一次匹配时要采用不同视点和角度下的导航图。这一过程不同于下视景象匹配的简单情形,必须提供航迹上任意视点、任意角度的二维导航图序列,才能在制导过程中完成准确匹配。因此,前视景象匹配制导中最关键的环节在于生成前视匹配所需导航图,即图 1.5 中的 p_1, p_2, \dots, p_n 。

在下视景象匹配导航系统中,飞行器上装载的信息称为导航图或参考图。在前视匹配导航系统中,需要经过三维场景生成、生成不同视点下二维前视序列图、生成匹配模板等若干环节才能确定最终装载信息。因此,为了区分不同处理环节的数据,在本书中,将生成的导航区域三维场景称为三维导航图,将生成的不同视点下二维前视序列图称为仿真图,将生成的最终与实时图匹配的模板称为匹配模板或导航图。

1.2.3 前视红外景象匹配技术的发展趋势

前视红外图像匹配涉及复杂而又特殊的图像分割、特征提取、模式识别、优化算法等多项技术,目前在很多方面却缺乏系统的理论指导。针对前视红外图像的具体特点,建立新的理论框架,提高算法的自动化程度、鲁棒性和运算速度等是前视红外景象匹配技术的发展方向。

在技术出发点上,充分分析现有景象匹配算法适应性和相关性的基础上,形成

能够适应前视红外影像和可见光影像特征的景象匹配算法组合^[5],提高景象匹配算法的适应性和可靠性;利用异源影像特征或获取的匹配信息知识^[6,7],自动推理和选择景象匹配算法或算法组合^[8~11],提高复杂条件下景象匹配的成功率。主要的技术措施有:

(1) 通过选择适应性、可靠性和定位性好的景象匹配算法,分析匹配算法实现机理的基础,提出匹配算法相关性统计指标,并利用多种类型的遥感影像对所选择匹配算法进行分类。

(2) 通过研究影像统计特征、影像尺度特征、影像频谱特征、影像结构特征、影像纹理特征、影像光谱特征等对前视红外景象匹配算法的作用机制以及景象匹配算法适应性的影响和评价方法,提出影像特征信息量的统计测度,为基于特征的景象匹配算法输入足够的、可靠的特征信息。

(3) 根据景象匹配的相关性,设计低相关性的景象匹配算法类或算法组合类。主要研究景象匹配算法组合的原则,利用多种类型的遥感影像对形成的算法组合进行验证。

(4) 通过研究景象匹配算法的选择原则、景象匹配算法的描述方法、景象匹配算法适应性定量描述方法,建立多种典型景象样本数据库,设计和开发前视影像模拟生成软件,研究多种景象匹配算法的适应性^[12]。

1.2.4 前视红外景象匹配导航图生成方案

按照上述前视红外景象匹配的基本原理,前视红外景象匹配正确与否的关键在于前视匹配所需的前视红外导航图。得到前视红外导航图最理想的方式莫过于事先采用机载方式沿预定航线,使用与飞行器上使用的相同的前视红外传感器进行挂飞采集,而后在地面经过处理后生成最终装载到飞行器上的导航图。但实际情况下,这几乎是不可能实现的。首先是飞行器的飞行实际航线可能是灵活多变的;其次是对于某些陌生或禁飞地域,如宇宙空间、军事禁区等,就无法进行挂飞采集。

考虑到目前遥感技术的飞速发展,本书提出一种基于卫星下视可见光图像生成前视红外导航图的技术方案,如图 1.7 所示。该方案涉及三个主要环节:一是由下视图像生成前视景象;二是由可见光图像反演红外景象;三是生成前视红外匹配模板。

在本技术方案中,首先利用卫星拍摄的导航区域下视可见光正射影像,结合卫星测绘数据、地物纹理等信息,得到典型地物区域三维导航图,然后根据预定飞行航线,得到多尺度、多视点的前视导航图序列,再经过红外特征反演,得到一系列匹配模板,为了保证匹配正确率,需要采用相应的匹配算法对这些匹配模板进行验证,同时对其适应性进行评估,最终将通过适应性评估的导航图序列装载到飞行器上。

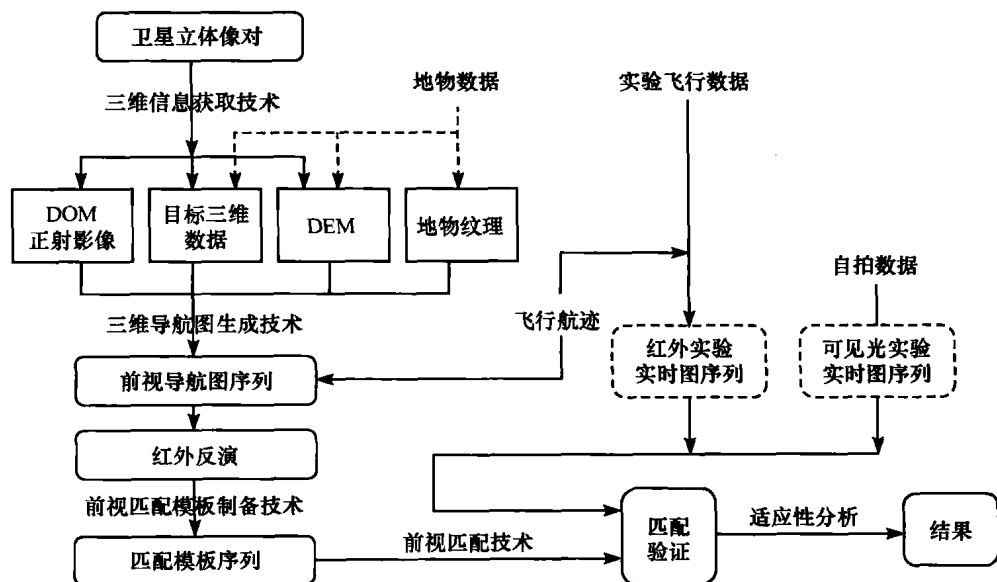


图 1.7 前视红外景象匹配技术方案

1.3 本书核心内容

按照上述技术方案,本书具有创新性研究的核心内容主要有以下几个方面。

1) 典型地物区域三维导航图生成

针对下视图像生成前视景象问题,研究了基于卫星下视影像的三维信息获取与局部快速更新技术、三维地形处理与简化技术,生成了导航区三维场景。

由于三维重建技术已经比较成熟,因此在该项研究内容上本书的重点放在以下两个方面:一是提出了三维导航图的概念,建立了三维导航图模型,通过幅度限制(限制导航区域为 $2\text{km} \times 2\text{km}$ 或 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 等)、分层描述(分为地形、建筑物、典型地物三层,明确了不同层的三维信息表示方法),以及采用真实大地坐标等方法,明确了前视红外导航图的保障要求;二是针对高分辨率栅格地形数据的数据冗余,提出了基于区域聚合的数据简化算法,采用递归函数实现该地形数据简化算法,适用于对地形数据的预先处理。

另外需要说明的是,本书生成的三维景象主要是用于真实模拟生成飞行器导引头在飞行中所能捕获到的动态景象,这与许多视景仿真重在人的感官感受是明显不同的。

2) 典型地物红外特征反演

针对可见光反演红外问题,研究了典型地物分类技术,建立了典型地物红外特