

飞行器异源景像 匹配制导技术

杨小冈 陈世伟 席建祥 著



科学出版社

飞行器异源景像匹配制导技术

杨小冈 陈世伟 席建祥 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书研究了异源景像匹配制导方法与仿真技术,包括实时图的预处理、异源景像的稳定特征提取、匹配算法相似性度量的选择、序列景像匹配结果的融合以及景像匹配仿真等关键问题,提出并构建了异源景像匹配制导综合实验与仿真系统,为推进相关理论研究的深入开展,以及研究成果的工程应用提供了技术支持。

本书可作为控制科学与工程、计算机科学与技术、信号与信息处理、遥感技术与应用等学科研究生教材或教学参考书,也可供从事飞行器精确制导技术、计算机视觉与应用、图像处理与模式识别等相关研究的科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

飞行器异源景像匹配制导技术 / 杨小冈,陈世伟,席建祥著. —北京: 科学出版社, 2016

ISBN 978-7-03-048489-5

I. 飞… II. ①杨… ②陈… ③席… III. 飞行器-景象匹配制导-研究 IV. V448.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 121599 号

责任编辑:魏英杰 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 倩 / 封面设计:陈 敬

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>

三河市骏志印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 5 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016 年 5 月第一次印刷 印张:13 3/4

字数:275 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

在飞行器导航与制导领域,机器视觉的应用成为最重要且引人注目的分支内容,是飞行器向自主化、智能化方向发展的关键技术途径之一。作为机器视觉技术的重要形式,景像匹配技术以其在军事领域的成功应用体现出了诱人的发展前景,近年来受到研究人员的普遍重视与推崇。本书结合实际工程应用需求,以增强飞行器匹配制导系统的可靠性、精确性、鲁棒性为目的,深入研究了异源景像匹配制导方法与仿真技术,包括实时图的预处理、异源景像的稳定特征提取、匹配算法相似性度量的选择、序列景像匹配结果的融合,以及景像匹配仿真等关键问题。

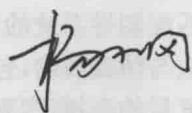
全书共八章。第1章为绪论,概要论述景像匹配制导基本问题、相关技术的研究现状及应用情况。第2章研究实时图的预处理问题,包括对实时图的各种畸变因素进行分析,研究红外实时图的非均匀性校正方法,提出一种基于变积分时间的红外焦平面非均匀性校正算法;设计了一种加窗中值滤波器,将其应用于实时图的滤波预处理;提出一种基于飞行姿态的实时图几何校正新方法。第3章围绕基于边缘检测的异源景像共性稳定特征提取问题展开研究,分析比较了 Roberts、Sobel、Prewitt、Laplacian、LOG 等5种边缘检测算子的检测性能,定义景像匹配算法的鲁棒性,设计图像的 NMI 特征,为研究基于目标特征知识的智能化匹配方法提供理论参考。第4章深入研究了异源景像匹配算法的相似性度量准则体系,提出一种新的景像匹配相似性度量方法,对其匹配性能进行了评估分析。第5章研究异源序列景像匹配定位结果的融合问题,提出一种基于 WMF 与 LSE 的匹配结果滤波融合算法,进行改进设计,给出一种序列景像匹配概率的估计方法。第6章研究基于序列景像匹配的飞行测速与目标识别方法,研究两种序列景像匹配测速与定向算法,设计了一种基于序列模板匹配的前视 ATR 算法。第7章研究实验室条件下的匹配仿真方法与策略,设计实用的异源景像匹配仿真方法,给出了仿真数据的制备方法,通过具体应用实验验证了该方法的实用意义。第8章提出并构建异源景像匹配制导综合实验与仿真系统,综合集成了本书的理论研究成果以及景像匹配制导领域的相关技术内容,为推进相关理论研究的深入开展,以及研究成果的工程应用提供了技术支持。

本书是杨小冈在其博士论文、博士后报告及近年来科研工作的基础上写作而成(书中第2章、第8章部分内容为与陈世伟博士、席建祥副教授的科研合作研究成果)。在攻读博士学位期间,作者得到缪栋教授、许化龙教授、刘光斌教授、胡昌华教授的悉心指导,为其从事景像匹配技术领域的研究工作奠定了坚实的理论基

础;博士后工作期间,黄先祥院士为作者提供了优良的研究环境,促使作者将理论研究与工程应用结合,进一步明确了研究方向,拓宽了研究思路,为后续自然科学基金项目的申请,以及各类科研工作地开展提供了有力保证。各位导师严谨务实的治学态度、孜孜不倦的研究精神、儒雅正直的学者风范,以及为祖国国防事业呕心沥血的高尚品质,将永远激励着作者不断奋发向上、积极进取。在本书付梓之际,向他们表示崇高的敬意和衷心的感谢!

特别感谢国家自然科学基金项目(61203189、61374054)给予本书的资助!

限于作者的水平,不妥之处难免存在,恳请同行专家及广大读者批评指正。



2016年1月于西安

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 景像匹配制导问题描述	1
1.2 景像匹配制导关键技术	5
1.2.1 基准图制备技术	5
1.2.2 实时图获取技术	6
1.2.3 图像相关处理机技术	7
1.2.4 景像匹配算法	7
1.3 图像的匹配预处理	9
1.4 景像匹配算法研究概况	11
1.4.1 景像匹配算法结构分析	12
1.4.2 景像匹配算法发展趋势	14
1.5 景像匹配仿真技术	16
1.6 本书主要内容	17
第 2 章 异源景像匹配实时图预处理	21
2.1 引言	21
2.2 基于变积分时间的红外实时图非均匀性校正	23
2.2.1 两点温度定标算法	23
2.2.2 基于变积分时间的非均匀性校正算法	25
2.2.3 校正实验与结论	27
2.3 实时图加窗中值滤波算法	29
2.3.1 经典中值滤波算法	29
2.3.2 加窗中值滤波算法原理	31
2.3.3 滤波实验与结论	32
2.4 基于飞行姿态的实时图几何畸变校正	38
2.4.1 几何畸变校正的一般问题	39
2.4.2 实时图几何畸变模型的分析与建立	41
2.4.3 实时图的几何校正	46
2.4.4 仿真实验与分析	48
第 3 章 基于边缘检测的异源景像特征	53

3.1	引言	53
3.2	面向异源景像匹配的边缘检测方法	54
3.2.1	边缘检测方法简述	54
3.2.2	几种实用的边缘检测算法介绍	56
3.2.3	边缘检测算法性能的分析比较	58
3.3	基于边缘强度特征的鲁棒匹配算法	66
3.3.1	匹配算法性能指标参数体系	66
3.3.2	景像匹配算法设计	69
3.3.3	匹配仿真实验与分析	70
3.4	基于 NMI 特征的目标匹配识别	72
3.4.1	NMI 特征定义	72
3.4.2	NMI 特征不变性分析	74
3.4.3	仿真实验与分析	76
第 4 章	景像匹配相似性度量体系研究	80
4.1	引言	80
4.2	异源景像匹配相似性度量体系	80
4.2.1	距离度量方法	81
4.2.2	相关度量方法	83
4.2.3	其他相似性度量方法	85
4.2.4	相似性度量方法性能分析	86
4.3	投影度量方法	88
4.3.1	投影度量方法原理	88
4.3.2	基于投影度量的景像匹配算法	90
4.3.3	实验与结论	91
第 5 章	异源序列景像匹配定位结果融合	93
5.1	引言	93
5.2	序列景像匹配问题描述	94
5.2.1	基本概念	94
5.2.2	问题描述	96
5.3	基于 WMF 与 LSE 的滤波融合算法	99
5.3.1	算法设计	99
5.3.2	仿真实验与实例分析	102
5.4	滤波融合算法改进	106
5.4.1	差分滤波估计算法设计	106
5.4.2	仿真实验分析	108

5.5	序列景像匹配方法的匹配概率估计	111
5.5.1	经典算法匹配概率估计	111
5.5.2	序列匹配概率估计	113
5.5.3	实例分析	115
第6章	序列景像匹配的测速与目标识别	117
6.1	引言	117
6.2	基于匹配位置估计的飞行器测速与定向	117
6.3	基于实时图序列自匹配的测速与定向	119
6.3.1	特征模板检测	120
6.3.2	景像匹配定位	121
6.3.3	数据融合处理	121
6.3.4	算法仿真分析	122
6.4	基于异源序列模板匹配的目标识别	125
6.4.1	基准模板制作	126
6.4.2	目标可识别性准则	127
6.4.3	坐标投影变换	133
6.4.4	识别算法策略	135
6.4.5	目标识别仿真实验与分析	137
第7章	异源景像匹配仿真方法与模型	140
7.1	引言	140
7.2	仿真方法设计	141
7.2.1	评价参数的定义	141
7.2.2	方法的基本原理	143
7.3	仿真数据的制备	145
7.3.1	基准图的制备方法	146
7.3.2	实时图的仿真生成	147
7.3.3	实时图目标点的标定	148
7.4	畸变模型的分析与建立	152
7.4.1	噪声干扰模型	152
7.4.2	几何畸变模型	153
7.4.3	灰度畸变模型	156
7.4.4	天候模型	157
7.4.5	红外特征模型	157
7.5	仿真方法的应用实验	158
7.5.1	实验1—匹配算法性能评估	159

7.5.2	实验 2—基准图的适配性估计	162
7.5.3	实验 3—实时图的可匹配性检验	164
第 8 章	异源影像匹配综合实验与仿真系统	167
8.1	引言	167
8.2	系统结构与工作原理	168
8.2.1	系统结构组成	168
8.2.2	系统工作原理	169
8.3	典型应用与功能分析	173
8.3.1	相关匹配曲面分析	174
8.3.2	异源序列影像匹配仿真	177
8.3.3	影像匹配区选取	179
8.3.4	系统功能总结	181
8.4	红外目标匹配识别与跟踪仿真实验系统	182
8.4.1	仿真实验系统总体框架	182
8.4.2	系统工作原理与主要功能	183
参考文献		186
附录		196

第1章 绪 论

景像匹配(scene matching, SM)技术犹如一股鲜活的血液,它的注入使得远程智能化精确制导武器的研究与发展充满了生机与活力。海湾战争以来的历次局部战争确立了精确制导武器在战争中的主导地位与决定作用,促使各国竞相发展精确制导武器,改进制导方式,提高制导精度,增强打击效能,以适应未来高科技战争的需要。作为现代精确制导武器的一个重要的技术研究领域,景像匹配制导技术成为主战武器系统研制过程中的热点问题,具有重要而广泛的应用前景^[1,2]。与此同时,信息化的战场环境及针对性的作战任务对导弹武器系统提出新的要求,迫切需要研究更高性能的导航制导技术,以促进武器系统在快速反应、有效突防、精确打击及可靠性、抗干扰性等方面能力的改善与提高,景像匹配制导技术的研究也因此需要不断与时俱进、创新完善。本章系统论述了景像匹配制导的基本问题,从景像匹配制导关键技术、图像的匹配预处理、景像匹配算法、景像匹配仿真技术等方面分析了国内外研究现状及应用情况。

1.1 景像匹配制导问题描述

景像匹配制导技术是实现武器系统精确导引与控制的重要途径之一,也是经历多次实战检验的较为先进、有效的制导方式。在20世纪90年代以来的历次局部战争中,出尽风头、声名远扬的美国战斧式巡航导弹正是采用了景像匹配制导技术。这种最初的景像匹配制导模式全名是数字式景像匹配区域相关器(digital scene matching area correlator, DSMAC),又称景像匹配导航(scene matching navigation, SMN)技术,主要用于飞行器飞行航迹的自主修正。

景像匹配制导的工作过程总体上是模仿人的定位、识物原理,包括搜集、加工、记忆、观察、比较、判断等过程。首先通过卫星或高空侦察机拍摄目标区地面图像或获取目标与场景的其他情报信息,结合各种约束条件制备基准景像图(基准图, reference image),并预先将基准图存入机载基准图存储器中;在飞行过程中,利用机载图像传感器实时采集景像图(实时图, real-time image)。然后,与预先存储的基准图进行实时相关匹配运算(匹配算法, matching algorithm);进而获得精确的导航定位信息或目标的相关信息,并利用这些信息实现飞行器的精确导航与制导。飞行器景像匹配制导通常有两种典型工作模式,即下视景像匹配制导与前视景像匹配制导。

飞行器下视影像匹配制导的基本原理如图 1.1 所示^[2]。其主要特点是,基准图为规划航迹中段或末段匹配区图像,实时图像为飞行器正下方区域图像(通常不包含目标点);实时图采集的视场方向与飞行器飞行方向基本垂直;匹配目的是确定实时图在基准图中的相对位置,主要用于飞行器中制导或接近目标时的末区制导,实现飞行航迹的自主修正。战斧巡航导弹采用 DSMAC 系统就是下视影像匹配制导模式。

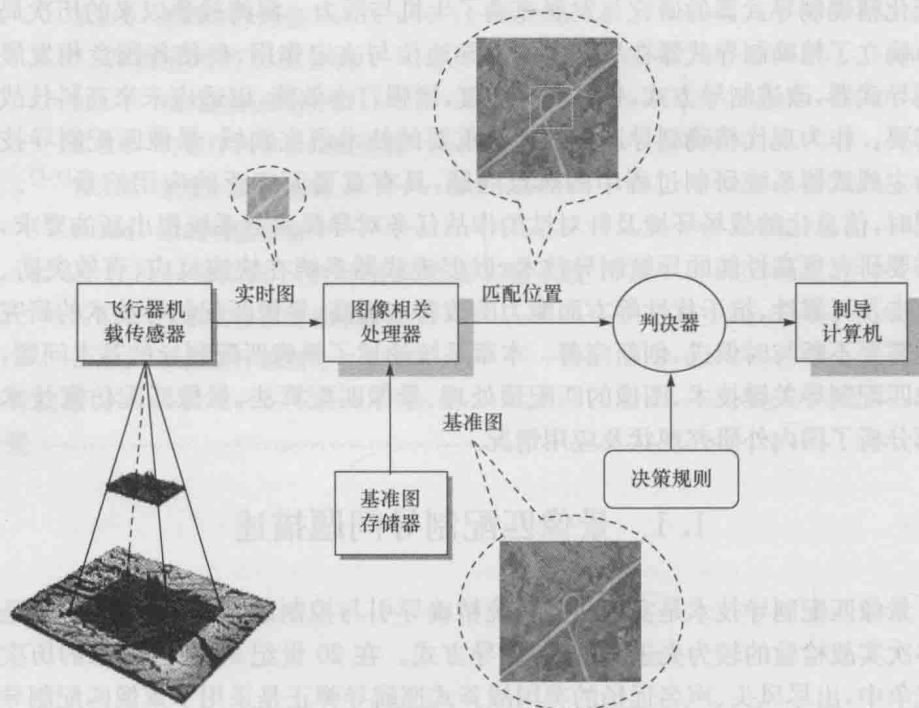


图 1.1 飞行器下视影像匹配制导原理示意图

前视影像匹配制导的基本原理如图 1.2 所示。其主要特点是,基准图为目标在某一视点和角度下的模板图像,实时图为飞行器前方目标区图像(包含目标点);实时图采集的视场方向与飞行器飞行方向基本一致(或保持某一确定的角度);匹配目的是确定目标模板图像在实时图中的位置,通常用于飞行器末段寻的的制导,实现目标的识别与跟踪,这种影像匹配制导模式是著名的图像自动目标识别(automatic target recognition, ATR)技术的主要形式之一。美国战术战斧(Block IV)巡航导弹采用的前视红外成像末制导系统就是这种前视影像匹配制导模式。

前视影像匹配中,相机并不一定是正前视,巡航导弹或无人机通常采用一定下视角度,本质上相机是工作在前下视状态(斜视),因此众多文献常将其称为前下视成像制导。

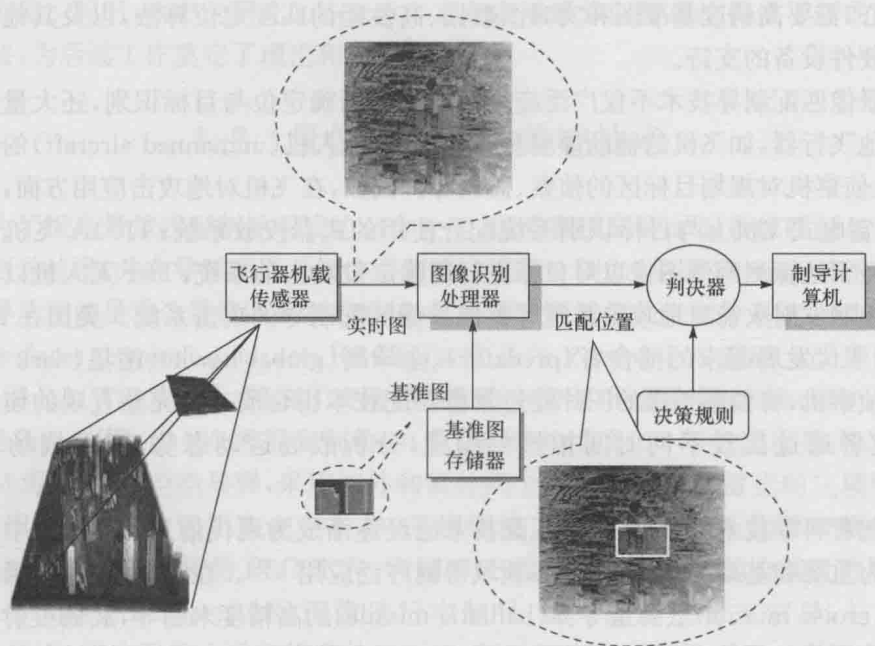


图 1.2 飞行器前视景象匹配制导原理示意图

如前所述,景象匹配制导技术最先应用于美国的战斧(Tomahawk)巡航导弹和潘兴Ⅱ(PersingⅡ)中程弹道导弹,以及苏联的SS-NX-21战略巡航导弹等;俄罗斯在其新型白杨-M机动型洲际导弹上也采用了先进的惯性加星光修正和雷达景象匹配末制导技术。美国最早投入实战使用的防区外(stand-off)导弹AGM-84E(SLAM,斯拉姆)、SLAM-ER(斯拉姆-增敏)、联合防区外空地导弹AGM-158A(JASSM,贾斯姆)及新一代联合防区外发射武器AGM-154(JSOW,杰索伍)均采用了红外成像末制导方式,具有自动目标识别能力。美国的战术战斧(BlockⅣ)采用前视红外成像末制导系统和天基双向数据链传输系统,命中精度CEP由10米提高到3米以内,作战使用性能和灵活性显著提高,具备航迹变更、待机攻击、俯冲攻击、重新瞄准、弹载侦察、打击时间敏感目标、毁伤效果评估等能力,具有划时代的意义^[3]。

景象匹配制导通常用于辅助惯性导航系统(inertial navigation system, INS)构成INS/SMN复合制导(integrated navigaiton)体制,实现飞行器的精确导航与制导。完整的景象匹配制导系统是一个非常庞大、复杂的系统。其主要结构可以划分为两部分^[4],一部分是任务规划系统;另一部分是任务执行系统,即弹(或机)载景象匹配制导系统。任务规划系统是确保景象匹配及时并准确实施的地面保障系统,主要工作是对景象匹配系统的飞行路径进行规划,即航迹规划(route planning),飞行方案进行决策和提供高精度基准图像等。执行系统是实现高精度定位

的核心,需要高精度基准图和实时图数据、高性能的匹配定位算法,以及其他制导系统硬件设备的支持。

景像匹配制导技术不仅广泛应用于导弹的精确定位与目标识别,还大量应用于其他飞行器,如飞机的辅助导航和对地攻击、无人机(unmanned aircraft)的低空突防、侦察机对规划目标区的侦察、监测等。例如,在飞机对地攻击应用方面,美军 A-10 雷电式飞机上与目标识别系统配合使用的武器投放系统;TR-1A 飞机以合成孔径雷达探测两侧图像以对目标进行精确定位攻击的系统;Tier 无人机以电视摄像控制发射火箭对地攻击系统等类似景像匹配制导的攻击系统。美国在 20 世纪 90 年代发展起来的捕食者(predator)、全球鹰(global hawk)、暗星(dark star)无人侦察机,将侦察拍摄的图片经过景像匹配技术拼合成一幅完整直观的侦察图像,或者通过比较不同时间拍摄的图像,分析战场运动态势,实现战场环境监控^[4,5]。

随着科学技术的发展,景像匹配技术已经逐渐成为现代信息处理领域中的一项极为重要和基础的技术,在许多领域得到广泛应用^[1-10]。在军事领域,包括巡航导弹(cruise missile)或弹道导弹(ballistic missile)的高精度末制导,武器投射系统的精确定位与寻的末制导,目标定位(location)、识别(recognition)、分类(classification)与跟踪(tracking),飞机辅助导航等^[15];在民用领域,主要应用于图像的配准(registration)、拼接(stitching)、镶嵌(mosaic),机器视觉监测(machine vision monitoring),生物特征识别(biometrics recognition),自主视觉导航(autonomous vision navigation),医学辅助诊断,文字判读,资源分析等。

我国对景像匹配制导技术研究是从 20 世纪 80 年代开始的,直到 20 世纪 90 年代初,基本处于对国外技术资料的收集跟踪阶段。国防科技大学沈振康教授率先对景像匹配制导技术进行了跟踪,翻译了国外的有关文献,开展了基础性的理论研究,获得一系列研究成果^[11]。海湾战争以后,加快了对精确制导武器的研发,1996 年以后逐步进入武器系统的研制阶段,主要采用下视光学景像匹配末制导。国内多家单位,如航天科工集团三院、火箭军科研院所、国防科技大学、华中科技大学、北京航空航天大学、哈尔滨工业大学、南京航空航天大学、南京理工大学、西北工业大学等开展了有关制导方案、匹配算法、基准图的选取,以及景像匹配仿真等内容的研究与探索,在景像匹配制导相关技术的理论研究及应用方面,取得了可喜成绩,积累了丰富的研究经验^[1-6,11-17]。

本书是以飞行器景像匹配制导为研究背景,旨在适应景像匹配制导技术的发展需求,深入研究异源景像匹配方法与仿真技术,以期增强匹配制导系统的可靠性、精确性、鲁棒性及实时性,并进一步推进异源景像匹配技术研究的深入、有效开展。本书的研究工作对改善飞行器导航与制导系统性能,应对未来信息化战争条件下的远程精确侦察、控制、打击与评估需求的挑战,具有十分重要的现实意义和

应用价值。同时,本书的研究工作也为丰富和发展景像匹配理论提供了新的思路与方法,为后续工作奠定了理论和技术基础。

1.2 景像匹配制导关键技术

为了提高景像匹配制导系统的综合性能,国外积极研究异源景像匹配与目标识别制导技术,并在导弹武器系统中得到成功应用。例如,美国 Persing II 中程弹道导弹采用的是雷达景像匹配制导系统,又称雷达区域相关末制导系统(radar area correlator terminal guidance, RACTG),它是在 Persing I A 基础上改进而来的,采用 RACTG 系统后,提高了突防能力和命中精度,圆概率偏差(circular error probability, CEP)从 400 米提高到约 30 米;美国 20 世纪 90 年代服役的 FIM-92 ADSM 毒刺地空/空空导弹,采用红外和紫外两个频段加上被动雷达的三模导引头;英国的 S225XR 远距离空空导弹,采用微波主动雷达与红外成像双模导引头;美国最新预备部署的 BLOCK IV,利用 GPS 接收机和卫星上的合成孔径雷达(sythetic aperture radar, SAR)图像进行中制导,红外图像进行末制导,与 DS-MAC 相比,雷达图像不受气候条件的影响,制导精度与可靠性可进一步提高;美国的 AGM-88 BLOCK VII 哈姆(HARM)和德国的阿拉米斯(ARAMIS)反辐射导弹,采用微波被动雷达与红外成像双模导引头,增强反辐射目标识别的精确性与可靠性。异源景像匹配制导已成为国际上新一代精确制导武器发展的重要方向之一^[5-8]。

以下从影响景像匹配制导系统性能的主要因素出发,对国内外相关技术的研究概况加以总结。这些因素主要包括基准图制备技术、实时图获取技术、图像相关处理机技术、景像匹配算法等,这些关键技术问题的有效解决对于提高景像匹配系统性能具有特别重要的意义。

1.2.1 基准图制备技术

基准图制备是景像匹配制导技术中的一个重要的技术环节,是指利用事先获取的目标区影像或其他信息,结合武器系统工作要求,选取具有一定特征的图像,通过校正预处理、投影变换、特征检测、数据制作等环节,进而生成可以提供给匹配系统使用的基准信息的过程。在景像匹配制导中,基准图的制备属于巡航导弹任务规划范畴,基准图制备的质量及有效性直接影响到导弹武器系统作战反应的快速性、景像匹配制导系统工作的可靠性,以及目标打击的精确性。基准图数据必须具备丰富、准确、可靠的特性。

下视景像匹配制导系统的基准图主要来源于卫星正射影像图,其制备过程相对较为成熟,在国内外巡航武器系统中已有成功应用^[12]。景像匹配区选取准则的

研究是一个难点问题,其自动化、智能化程度还有待改进完善,特别是需要研究解决适应新型异源匹配模式,如红外影像匹配、雷达影像匹配、夜间影像匹配等的匹配区自动选定准则。

前视影像匹配制导系统通常与打击目标直接联系,采用自动目标识别(auto-target recognition,ATR)技术。保障数据除正射影像图(digital orthophoto map,DOM)外,还需数字地形模型(digital elevation model,DEM)、数字地表模型(digital surface model,DSM)、目标三维模型(three-dimensional model,3DM)或其他目标保障信息等多种数据类型。根据打击方案和攻击方式,需对目标及周围区域进行分析和选择,以确定目标及周围区域的可识别性及可匹配性,为前视目标的选择和确定提供依据。前视基准图的制备过程相对复杂,需要研究可靠的识别准则及高精度特征基准图生成技术^[13]。

1.2.2 实时图获取技术

如果说基准图制备是为了确保匹配系统具有丰富的知识,那么实时图获取的目的是为匹配系统装上明亮的眼睛。影像匹配制导系统中使用的图像传感器种类很多,主要有可见光、红外(infrared,IR)、雷达(radar)、SAR、微波成像辐射计(microwave imaging radiometer)、激光雷达(LIDAR)、毫米波(MMW)、天文(celestial)、地磁场(geomagnetic)、重力场(gravity)等图像传感器^[5-8,14,15]。最早成功地应用于导弹中的影像匹配图像传感器是在 Persing II 中使用的雷达图像传感器(J波段),通过测量地球表面物体对雷达波的反射情况而构成雷达图像。可见光 CCD 图像传感器已广泛应用于影像匹配制导系统中,如战斧巡航导弹 BGM-109C 等,其主要缺点是夜间无法工作。红外图像传感器克服了可见光传感器不能在夜间应用的缺点,尤其是远红外图像传感器的开发,使得 IR 具有很高灵敏度的夜视能力。红外和可见光传感器除具有很高的分辨率、定位精度高、抗电子干扰能力强的特点外,同时具有很好的隐蔽性,但光学传感器易受气候影响,不具备全天候的工作能力,限制了其应用范围。SAR 是一种全天候、全天时的现代高分辨率侧视成像雷达,它利用脉冲压缩技术和合成孔径技术,距离和方位分辨率大大提高,其成像分辨率与可见光接近,而且不受黑夜、云层的限制,穿透可见光不能穿透的遮挡物,发现隐蔽目标。近年来,基于 SAR 技术的影像匹配制导方式已成为各国竞相发展的热点,我国的一些大专院校和科研院所对 SAR 成像与应用技术也开展了很多深入的研究工作^[14]。为了解决飞行器跨海飞行(没有地形与影像特征)时的精确定位问题,人们开发了地球磁场轮廓匹配导航技术(earth MAG field contour matching guidance,MAGCOM),即地磁匹配导航技术,采用磁场传感器(磁强计)测量地球表面磁场进行定位,国内已有多家单位开展了这方面的预研工作^[15]。

1.2.3 图像相关处理机技术

在景像匹配系统中,相关处理机是用于实时图的预处理、景像匹配相关及匹配后处理的硬件设备,相当于匹配系统智慧的大脑,需要具备高性能的运算能力。匹配相关是花费时间最多的运算,尤其是在二维基准图和二维实时图相关处理的景像匹配系统中,为了保证上述处理的实时性,景像匹配系统对相关处理机的处理速度要求很高。早期“战斧”BGM-109C/D的DSMAC系统使用阵列式相关器作为8位微计算机的外围部件,具有45K的存储器容量,用差分算法对基准图和实时图并行地进行相关处理。美国马丁·马里埃塔公司为巡航导弹应用研制的几何算术并行处理机(geometric arithmetic parallel processor, GAPP)采用SIMD工作方式,其处理速度达到750亿次/秒^[1];国内研究人员提出采用一种嵌入式MPP阵列处理机^[16]作为景像相关器,处理元的数量可达 64×64 ,从而实现数据的大规模并行处理,以实现总体的高速处理效果,目前正处于论证、实验阶段。飞行制导与控制系统综合运算性能、可靠性、体积等因素,常采用多片DSP+CPLD或DSP+FPGA硬件框架,完成匹配运算,以期增强匹配系统的处理性能。

1.2.4 景像匹配算法

相对于相关处理机这一景像匹配系统的大脑而言,景像匹配算法是运行于大脑中的思维,必须敏锐、精准、可靠。景像匹配算法的优劣是影响景像匹配制导系统可靠性和匹配定位精度的关键。依据飞行器景像匹配制导系统的工作流程,一个完整的景像匹配软件(算法)结构如图1.3所示。

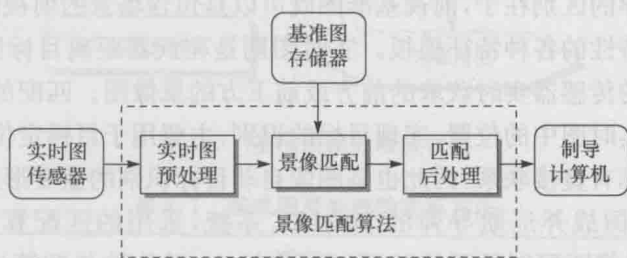


图 1.3 景像匹配算法结构

实时图的预处理包括图像滤波、几何校正、灰度校正等内容,本章1.3节将详细论述;景像匹配即我们经常提到的普通意义下的景像匹配算法;匹配的后处理主要有匹配位置的误匹配点剔除、随机误差滤波、亚像元(sub-pixel)插值等内容。

在飞行器制导中,景像匹配算法是分析实时图与基准图相对位置或特征属性的方法过程。在景像匹配制导中,匹配算法的重点是分析实时图与基准图的相对位置,其应用原理如图1.4所示。

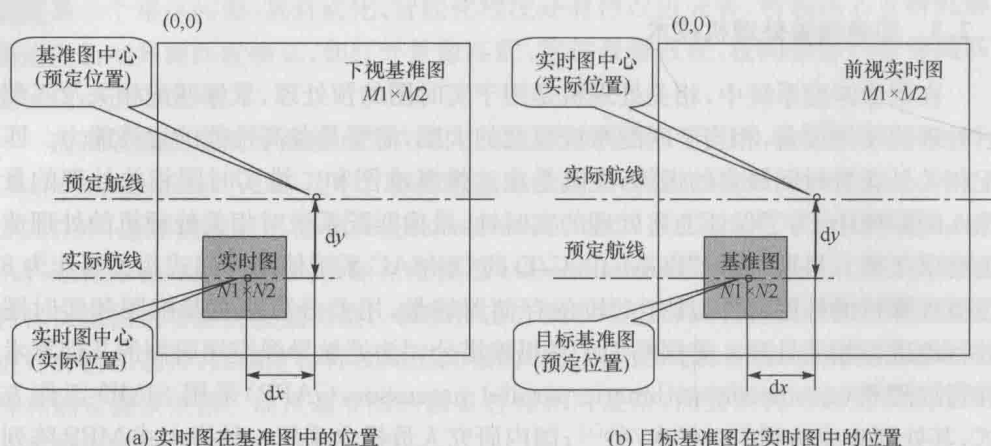


图 1.4 基准图与实时图的相对位置原理示意图

图 1.4 给出了有偏移情况下,基准图与实时图的相对位置示意图。图 1.4(a) 为下视影像匹配制导算法的匹配模式,与图 1.1 对应,基本原理是,首先利用飞行器的飞行航迹下方的事先侦察到的一系列地面图像制备基准图,并将之存入飞行器的计算机的存储器中;然后,当携带图像传感器的飞行器飞至预定位置时,实时获取地面影像图,得到实时图;最后,将实时图与预存入计算机中已知地理位置关系的基准图进行配准比较,确定出飞行器当前偏离理想位置的纵向和横向偏差,利用这些数据完成飞行器的导航和制导功能。

图 1.4(b) 为前视影像匹配制导算法的匹配模式,与图 1.2 对应,其原理与下视影像匹配制导的区别在于,前视基准图既可以是包含场景的前视图像,也可以是反映目标本质特性的各种特征模板。实时图则是在武器距离目标区一定距离时,由其自身携带的传感器实时获取的前方或前下方的影像图。匹配的目的是确定基准图(模板)在实时图中的位置,实现目标的识别,主要用于目标定位与跟踪。这种模式因为与目标有直接联系,因此也是图像自动目标识别的重要形式之一。

据报道,美国战斧巡航导弹的 DSMAC 系统,采用的匹配算法是绝对差算法^[1,11]。国内影像匹配制导系统的研制起步较晚,对几种基础算法,如绝对差算法、归一化积相关算法、去均值归一化积相关匹配算法、积相关算法、边缘匹配算法等进行了实验论证^[11,17]。依据工程上匹配系统对算法的要求(工程上的要求是简单、实用、可靠),国内众多科研院所为此进行了不懈的努力与积极的探索。本章 1.4 节将对影像匹配算法的研究概况进行详细论述,这里不再赘述。

显然,影像匹配算法是影像匹配系统中的软件部分,其性能是决定匹配系统精度及可靠性的关键因素之一。由于匹配算法的研究更多的是理论分析、程序设计及仿真评估,可以独立于硬件环境,方便地开展系统而深入的研究工作,因此成为