

安·如 王慧麟 著

Investigation of Matching Methodology
for Remote Sensing Imagery



遥感图像 匹配方法研究

河海大学出版社

中国科学院遥感应用研究所、北京师范大学遥感科学国家重点实验室开放基金
河海大学“211”工程项目资助

安 如 王慧麟 著

遥感图像 匹配方法研究

Investigation of Matching Methodology
for Remote Sensing Imagery

江苏工业学院图书馆
藏书章

河海大学出版社

内 容 提 要

本书对基于遥感图像角点特征的飞行器导航图像匹配算法进行了较为深入地探讨和研究。全书共分七章:第一章论述了飞行器导航图像匹配算法的国内外研究现状;第二章讨论了图像匹配的三个核心问题:特征空间、相似性度量准则以及匹配的搜索空间和搜索策略;第三章探讨了待匹配图像的预处理方法;第四章研究了快速角点特征探测方法;第五章研究了基于角点位置的图像匹配方法;第六章研究了尺度与旋转不变的角点匹配方法;第七章对全书进行了总结和展望。

本书可作为遥感、摄影测量、数字图像处理和模式识别等领域高等院校的本科生、研究生的教学参考书,也可供相关领域的科技工作者和高等院校的师生科研参考。

图书在版编目(CIP)数据

遥感图像匹配方法研究/安如,王慧麟著. —南京:
河海大学出版社,2006.9

ISBN 7-5630-2295-3

I. 遥... II. ①安...②王... III. 遥感图像—图像
处理—研究 IV. TP751

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 126922 号

书 名 / 遥感图像匹配方法研究

书 号 / ISBN 7-5630-2295-3/TP·115

责任编辑 / 魏 连

封面设计 / 杭永鸿

出 版 / 河海大学出版社

地 址 / 南京市西康路 1 号(邮编:210098)

电 话 / (025)83737852(总编室) (025)83722833(发行部)

经 销 / 江苏省新华书店

印 刷 / 南京工大印务有限公司

开 本 / 787 毫米×960 毫米 1/16

印 张 / 9.25

字 数 / 157 千字

版 次 / 2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

定 价 / 18.00 元

随着航空、航天遥感技术的发展,遥感数字图像已成为人类信息时代重要的空间信息源。为了充分挖掘利用这一空间信息源,必须对其进行必要的处理。遥感数字图像处理主要涉及遥感图像的恢复处理、增强处理、数据融合、分类处理、分割处理以及图像匹配等技术。图像匹配是图像处理领域的一项关键技术,可广泛用于目标识别与跟踪、立体视觉、变化检测、机器人导航和测绘等领域,已成为一门新兴的图像处理分支学科。

随着“3S”及其集成技术的发展和深入广泛的应用,飞行器导航图像匹配已成为当前“3S”技术高科技军事应用研究的热点内容。集成了惯性、GPS、图像匹配、地形匹配等先进技术的组合导航技术成为飞行器导航领域中颇受重视的关键技术。图像匹配算法是飞行器图像匹配导航系统的核心,其性能决定了系统的总体性能。工程实践中主要采用的基于灰度互相关的图像匹配制导方法,有其固有的缺陷,目前还没有一种方法能完全满足图像匹配制导的要求。为了提高图像匹配导航系统导航的实时性和精度,研究合适的图像匹配算法具有重要的理论意义和实用价值。

本书从新的角度探讨飞行器导航遥感图像匹配方法,即对基于角点特征的图像匹配方法进行较系统的探讨,以期进一步提高图像匹配算法的有效性(匹配正确率),缩短匹配时间,提高匹配定位精度以及提高算法对地表不同景观的适应能力。

本书共分七章。第一章绪论,主要阐述本书的研究背景、国内外研究现状、研究内容、研究目的、技术路线以及本书的主要内容。第二章论述了图像匹配的四个核心问题:特征空间、相似性度量、匹配的搜索空间及搜索策略。第三章对匹配前图像的预处理方法进行了讨论。探讨了如何运用尺度空间思想来解决匹配图像可能存在较大的分辨率差异的问题。详细讨论了图像信息量与基于特征匹配的正确匹配概率的关系,进而依据图像信息量进行匹配区的选择。第四章对快速角点探测方法进行研究。在对几种常用的角点探测方法分析研究的基础上,提出一种改进的快速角点探测方法,并对角点的特性进行比较评价。第五章研究了基于角点位置和相互关系的角点匹配方法。用剔除出格点后的平均 Hausdorff 距离和角点最大重复率共同作为匹配度量的准则,构建了基于角点位置的模糊点集匹配方法。第六章建立了尺度与旋转不变的精确寻找匹配点对的角点匹配方法。该方法首先进行角点提取,然后采用旋转不变的互相关函数进行角点描述。对于错误匹配点对,用渐进的局部几何约束原则加以剔除,得到最终正确的匹配点集。通过匹配点集建立变形纠正模型实现图像匹配。第七章是对全书内容的总结和展望。概括了本书研究获得的有益结论,并就其展开讨论,提出了一些值得进一步研究和探讨的问题。

本书着重于遥感图像点特征的匹配方法的研究,对于基于线、面特征的图像匹配方法没有涉及。由于飞行器导航图像匹配算法的性能要求较高,目前还没有一种方法能满足所有要求。本书的研究仅仅是初步和尝试性的,今后的研究依然任重而道远。

安 如

2006年9月7日



contents

第 1 章 概述	1
1.1 引言	1
1.2 国内外研究现状	4
1.3 存在问题	12
1.4 研究内容、目的与技术路线	13
1.5 本书结构	14
参考文献	16
第 2 章 图像匹配基础	26
2.1 图像匹配涵义	26
2.2 特征空间	30
2.3 相似性度量	31
2.4 搜索空间与搜索策略	32
2.5 本章小结	36
参考文献	37
第 3 章 匹配图像预处理	42
3.1 实验图像数据	42
3.2 图像灰度畸变处理	42
3.3 匹配图像分辨率不同的处理	44
3.4 图像匹配区选择	54
3.5 实验与评价	57
3.6 本章小结	62
参考文献	63
第 4 章 快速角点探测	66
4.1 几种常用的角点探测方法	66
4.2 改进的快速角点探测方法(FCD)	76
4.3 角点探测算法的评价	87
4.4 本章小结	95
参考文献	95

第 5 章 基于角点位置的图像匹配	98
5.1 Hausdorff 距离定义	98
5.2 几种 Hausdorff 距离的改进形式	99
5.3 点集匹配相似性度量准则	100
5.4 距离变换与图像匹配	102
5.5 实验与分析	106
5.6 本章小结	109
参考文献	110
第 6 章 尺度与旋转不变的角点匹配	113
6.1 多尺度角点特征探测	114
6.2 旋转不变的角点特征匹配	117
6.3 多尺度匹配	124
6.4 实验与分析	124
6.5 本章小结	136
参考文献	136
第 7 章 总结与展望	140
7.1 结论与讨论	140
7.2 研究问题与展望	142
后 记	144

第1章

概 述

1.1 引言

随着遥感对地观测技术(RS)、全球定位系统技术(GPS)和地理信息系统技术(GIS)的发展以及“3S”集成技术的进一步应用,图像匹配制导技术已成为当前“3S”技术应用研究的热点内容。

图像匹配是图像处理的一项关键技术,可广泛用于目标识别与跟踪、立体视觉、变化检测、机器人导航、测绘等领域,已成为一门新兴的分支学科。计算机技术的不断发展,特别是速度更快、价格更低的处理芯片问世,图像匹配速度大大提高,从而使其在飞行器导航与控制等实时性要求很高的领域也得到了广泛应用。随着现代高技术战争的发展,单一的惯性制导方式已不能满足精度的要求,常常采用惯性、全球卫星定位系统(GPS)、地形匹配、光学景象匹配等导航方式相融合的组合导航方式。与传统的惯性导航、无线电导航等方式比较,图像匹配制导具有自主性强、制导精度高等优点,因此受到人们的高度重视(苏康等,2000;李俊山等,2000;赵峰伟等,2002)。

图像匹配制导系统的功能是利用地物景象为惯导系统提供精确定位信息,修正其经过长时间飞行所积累的误差,引导飞行器到达预定目标。该系统的工作原理是:事先利用侦察手段获取飞行器下方的地物景象(基准图像)并存于飞行器载计算机中,然后,当携带相应传感器的飞行器飞过预定的位置范围时,便即时测量出当地的地物景象(实时图像)。将实时图像和基准图像在飞行器载计算机中进行相关匹配比较,即可以确定出当前飞行器的准确位置,完成定位功能(苏康等,1997;金善良等,1994)。其原理框图如图1-1、图1-2和图1-3所示。

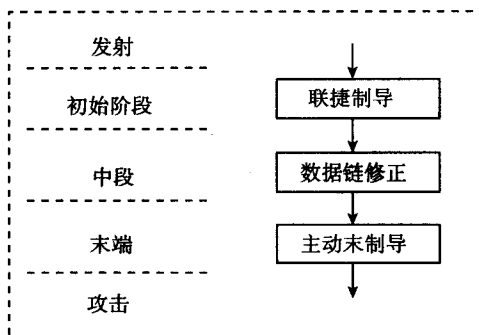


图 1-1 飞航导弹的制导

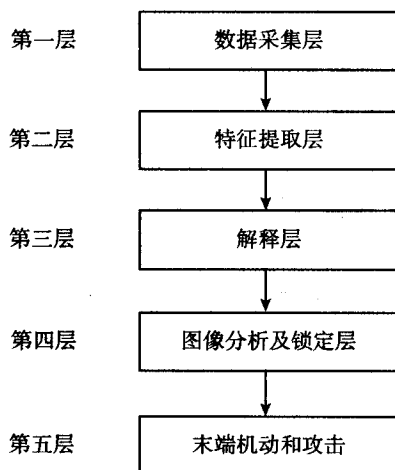


图 1-2 末制导系统层次结构

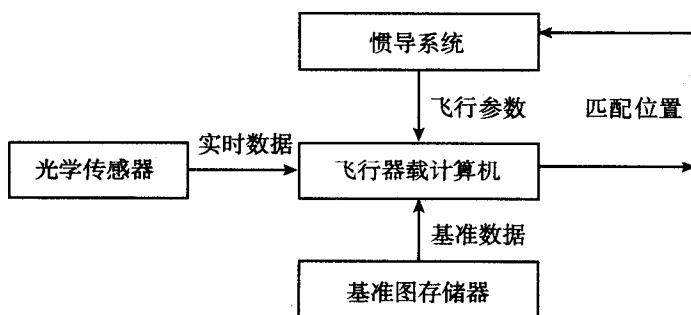


图 1-3 图像匹配定位系统原理框图

在这种情况下,由于飞行器惯导系统的误差,匹配必须在大范围内搜索才能完成,这就使得速度与可靠性成为匹配定位的关键。因此,研究合适的图像匹配算法成为取得好的导航性能的关键。

图像匹配导航的待匹配图像是不相似图像,且匹配算法必须具有实时、普适性强和定位准确等特点,要实现理想的飞行器导航图像匹配,算法难度很大,该问题是国内外研究的热点问题。

与一般的图像匹配应用不同,飞行器导航图像匹配具有以下特点(丁明跃等,1998):

(1) 实时性强、存储量小。由于整个图像匹配相关器将安装在飞行器上,因此它对于体积、重量等都有一定的要求。同时由于飞行器速度快,因此要求实时完成匹配,并能够及时提供所需要的导航信息。

(2) 对于场景适应性强。作为一种导航方式,要求它能够在不同的地点、时间等条件下正常工作。因此要求能够在不同类型的场景,如山区、平原、丘陵,以及不同特征的场景,如农田、道路、村庄、街道、湖泊、森林等,均具有良好的匹配性能。

(3) 基准图像和实时图像有差异。基准图像与实时图像之间,比例尺往往有很大的差异,同时由于摄影时间、天气以及地面景观的变化,使得两者在时域和空域特性方面也有很大差别,这种差异来源于不同传感器的成像特性、成像距离的变化、成像时间的变化以及视点的变化等,因此,它是一种所谓的不相似图像匹配问题。

用于匹配的基准图像与实时图像具有这样一些主要特点:①两者灰度差异大;②具有几何变形,表现为旋转、平移和缩放或局部几何畸变;③两种图像空间分辨率存在差异。

综上所述,用于飞行器导航的图像匹配算法,首先,必须具有计算速度快,满足实时处理的要求;其次,算法必须具备好的有效性,对于不同的地表景观,都能得到正确的匹配,即要具有较好的匹配适应性和较高正确匹配概率;最后,算法必须具有极高的定位精度。

工程实际中普遍采用的归一化互相关算法有其固有的缺陷,需要研究性能更优的匹配算法,以提高匹配速度、匹配正确率和定位精度。

目前在飞行器导航中所采用的图像匹配算法主要有平均绝对差算法和归一化互相关算法。此类算法虽具有使用简便、对景象模式适应能力较强等优点,但该类算法计算量大且对噪声较敏感。当图像中存在高频窄带随机噪声时,相关函数易

出现多峰值,且在遮蔽区和特征贫乏区进行匹配时易出错。另外,对于匹配图像间存在较大的几何变形,如存在较大角度的旋转时,匹配也难免失败(胡勇等,1999;赵锋伟等 2002)。因此,针对用于飞行器导航的图像匹配的要求及特点,非常需要研究性能优越的图像匹配算法。

图像中的特征,反映了图像中某种稳定结构,通常比像元亮度值本身可靠且较易获得。基于点特征的匹配算法更适合于不相似图像的匹配,因而在当前点集匹配技术已成为图像匹配技术的热点课题,有望产生更好的图像匹配效果。

图像中的低级特征有点、线及面特征等。线、面特征提取及形成过程较复杂,必然耗时较多,因此,本书将研究重点放在点特征的匹配上。图像中的点特征是图像灰度变化的反映,是图像本质特性的表现,因此用点特征进行匹配,能有效地克服基于灰度相关匹配的受噪声及灰度变化的影响;基于点特征的匹配,对几何变形的克服也有各种较为有效的策略。此外,用点特征进行匹配,减少了用于匹配的信息量,再采用一些适当的匹配搜索策略,可加快匹配速度。因此,基于点特征的匹配获得了广泛的研究与应用(桑农等,1998;张祖勋等,1998;2000)。

1.2 国内外研究现状

面向巡航制导与末制导寻的应用的图像匹配问题的研究主要包括两个方面:一是开展面向图像处理和图像匹配的高速并行计算机及其结构的研究;二是开展各种快速匹配算法的研究工作。

目前人们提出了许多图像匹配方法,一般可以划分成基于灰度的匹配方法,基于特征的匹配方法和关系结构匹配方法(李俊山等,2000)。

1.2.1 国内研究现状

在飞行器导航中所采用的图像匹配算法主要有平均绝对差算法和归一化互相关算法。然而,这类相关算法主要基于图像灰度的相似性,所存在的主要问题是对于噪声及各种干扰十分敏感,抗几何变形能力差,因此其匹配定位精度和可靠性难以保证。

在基于灰度的匹配方面,苏康等(2000)研究了智能地物景象匹配定位系统的基本原理,从模式识别的观点出发提出了地物景象匹配算法的数学模型,并讨论了

影响系统性能的有关因素,用计算机仿真验证了归一化积相关算法在智能地物景象匹配定位系统中的可用性。金善良(1994)研究了下视景象匹配系统的定位原理、基本组成、影响匹配的性能因素分析与性能估计,以及提高匹配性能的方法,对研制下视景象匹配系统的技术关键进行了论述。田金文等(1999)将信息熵的概念引入到图像匹配中,定义了图像局部熵,并由此提出一种新颖的基于局部熵差的图像匹配方法。由于图像熵反映的是图像的局部,因此基于局部熵差的图像匹配方法具有较强的抗噪能力。由于采用了分块、序贯检测及分层搜索技术,计算量大为减少。试验结果表明这是一种良好的图像匹配方法。

在基于灰度匹配的相似性度量方面人们提出了归一化积相关算法(NPROD)、平均平方差算法(MSD)、平均绝对差算法(MAD)、图像直方图不变特征(冯桂等,2000)、频域相关(张桂林等1997)、模糊信息理论(田金文等,1998)、图像的投影特征(桂志国等,2000)、局部分形特征(刘小平等,1995;高世海等,2000)、奇异值分解以及基于主成分分析等的匹配度量方法。

为了提高图像匹配定位精度,提出了快速傅立叶变换、相位相关、最小二乘、贝叶斯(张家军等,1993;周志强等,1999)等匹配方法,还提出了基于图像高分辨率重采样,基于曲面拟合的方法使图像匹配的位置精度提高到子像元水平(赵立初等,1999)。

围绕减少搜索空间和减少匹配时间的问题,人们相继提出了序贯相似性检测算法、两级模板匹配算法、分层序贯匹配算法、多子区域相关匹配算法等各种快速匹配算法。围绕抗噪声干扰和抗几何失真问题,人们相继提出了随机符号变化规则、不变矩等算法(吴晏等,1996;丁明跃等,1992)。同时,人们对于提高匹配精度和匹配速度有关的各种问题,比如定位精度、噪声、灰度电偏差、量化误差等误差因素对匹配性能的影响,各种预处理技术等都比较系统的研究,有力地推进了图像相关技术在巡航制导和导弹末制导寻的中的应用。

另外,对飞行器巡航制导图像匹配的基准图像的制备(沈林成等,1998;龙泉等1996、1997;马龙等,2001;刘扬等,2001;王晓静等,2002;杜菁等,2003;付文兴等,2003)、图像匹配算法的性能评估(刘扬等2001;张国忠等,2002;陈朝阳等,1998;赵峰伟等,2001a、2001b;刘扬等,2001;桑农等,1999;杨小冈等,2004)、匹配算法的并行快速实现以及专用计算机及算法的硬件实现等都进行了深入的研究(盛文等,1999;熊国清等,2002;杨卫东等,2001;段春宇等,2000;彭嘉雄等,1989;丁明跃等,

1990;郭英凯等,2000;杨靓等,1999)。

一些学者对用于飞行器巡航制导的基于特征的图像匹配进行了研究。张天序等(1996)对雷达与光学景象共性特征的提取与匹配算法进行了研究,提出了基于目标边缘特征的匹配算法,基于目标区域特征的匹配算法以及双特征粗精匹配算法。熊惠霖(1999)根据小波变换系数对信号平移步长的变化规律,提出一种基于小波金字塔结构的图像匹配方法,该方法消除了由于小波变换对平移的敏感性所引起的误匹配,在匹配策略上,以小波分解高频分量的匹配为主。实验证实,该匹配方法对实时图像和基准图像的局部灰度反转不敏感,具有一定抗几何失真的能力,优于经典的灰度相关匹配。桑农等(1998)提出了旋转与比例不变的点特征松弛匹配算法,证实该算法在抗旋转与比例变化方面的有效性和可行性。丁明跃等(1998)对用于飞行器导航的边缘匹配方法进行了研究,提出了一种基于二值边缘新的匹配度量,并给出了基于距离变换的边缘二值图像匹配方法。通过采用航片与卫片、可见光图像与合成孔径雷达图像等所进行的大量实验,结果表明该方法比常用的平均绝对差算法和归一化互相关算法速度快,匹配定位精度高。陈鹰等(1998)讨论了一种基于小波变换的实时图像匹配方法。在多尺度特征提取的过程中,采用了局域正则性指数作为约束条件,保证了特征提取的可靠性;利用小波正交分解与重建实现了分层匹配。同时,采用特征与图像叠加进行了亚像素匹配。经过试验证明,上述方法是行之有效的。陈鹰等(1998)还对带约束条件的特征与最小二乘图像匹配进行了研究,讨论了一种新的边缘检测方法和用链码描述的线矩数学模型,给出了基于不变线矩匹配的约束条件,并采用基于特征与最小二乘结合所实现的精确的子像素匹配。黄锡山等(2003)在分析景象匹配相似度曲面特性的基础上,提出了采用相似度曲面二阶差分为最小作为选取景象匹配点的准则,并进一步给出了利用该准则得到的匹配点的置信度指标。与传统的景象匹配相似度最大值准则相比,该准则可有效地提高匹配概率。陈卫兵等(2004)利用侧抑制竞争法进行图像边缘特征的提取,并结合 SSDA 算法的基本思想,实现了一种基于边缘特征的快速景象匹配算法。邓志鹏等(2003)提出了一种基于特征和时空关联的积相关图像匹配算法,采用 Bubble 小波边缘检测方法提取实时图像与基准图特征,利用惯导位置信息平移基准图,实现序列实时图像在其对应基准图中的相对位置相同。基于匹配概率与匹配面积成正比原理叠加序列积相关矩阵,并确定匹配位置。张祖勋等(1998、2000)研究了一种不同传感器、不同空间分辨率图像配

准的全自动的概率松弛方法,并实际用于 SPOT(全色)和 TM(多波段)图像的配准。

为了提高图像匹配算法的速度,基于人工神经网络的并行算法研究得到了重视。沈未名等(1996)对基于神经网络的图像匹配概率松弛算法进行了研究,提出了一种映射方法,使得 Hopfield 神经网络能够用于实现松弛算法。其优点在于 Hopfield 模型可由集成电路实现,因而使得基于松弛算法的图像匹配可以实时地完成,极大地提高了处理速度。张力等(1999)对基于约束满足神经网络的整体图像匹配方法进行了研究,该匹配算法可快速、有效地处理复杂地形条件下的图像匹配问题。桑农等(1996)提出了用 Hopfield 神经网络完成特征点松弛匹配过程的方法,其优越性在于可以利用神经网络强大的并行处理信息的能力,实时实现松弛匹配过程。通过对模拟图像进行的大量实验,得到了令人满意的结果,证实了用 Hopfield 神经网络完成特征点松弛匹配过程的有效性与可行性。

近年来,研究者除了广泛使用序贯相似性检测的算法(SSDA)、金字塔图像技术来提高图像匹配的速度外,用于快速优化搜索的遗传算法,越来越受到研究者的关注和青睐。臧铁飞等(2001)提出了一种改进的部分 Hausdorff 距离作为图像相似性的测度,并用遗传算法较快地完成全局搜索,从而有效地检测出具有平移、旋转和尺度变化的物体,以达到模板和图像间的有效匹配。朱红等(1999)采用遗传算法研究了图像相关匹配问题,提出了快速图像相关匹配算法在最优匹配的前提下,其计算量较 SSDA 算法降低了一个数量级以上;可以采用 NPROD 匹配准则,改善在低图像对比度条件下的匹配精度。该算法每帧图像匹配计算时间基本恒定,便于工程应用。郭海涛等(2001)对基于遗传算法的快速图像匹配技术进行了研究,提出了一种将遗传算法(简称 GA)用于图像匹配的算法,较为详细地分析了遗传算法中群体的大小、交叉率、变异率、选择机制对图像匹配的影响,特别是对未成熟收敛等问题进行了较为深入的研究。实验证明该算法快速、有效。魏明果等(2001)、李琼(2001)、陈宁江等(1998)、童卓(2002)、熊兴华等(2001)以及侯格贤等(1998)均用遗传算法对图像的快速匹配问题进行了研究,这些研究成果有些是用于模式识别以及运动估计等领域,但同样可用于飞行器导航的图像匹配问题。

小波变换是近年得到广泛应用的数学工具。与傅立叶变换、窗口傅立叶变换相比,小波变换是空间(时间)和频率的局域变换,因而能有效地从信号中提取信息。它通过伸缩和平移等运算功能对函数或信号进行多尺度细化分析,其在图像

处理及模式识别等领域有着重要的应用。在图像匹配方面,主要应用小波变换生成图像金字塔以及进行图像的多尺度边缘特征提取,从而进行由粗到精的图像匹配,增强了图像匹配的精度和可靠性,提高了匹配速度(邵巨良,1993;朱志钢等,1998;陈武凡等,2002)。

李峰、周源华(1999)采用 Mallat 的多尺度小波分析算法,在对图像进行多级分解的基础上进行逐级匹配,对传统的视差定义进行了扩展,并将两个限制条件——视差连续性和方向一致性融合进视差的定义当中,因而在视差求取的同时也完成了粗差剔除的过程,提高了算法的效率。实验证明,此方法在计算时间和精度上都是切实可行的。熊惠霖、张天序、桑农等(1999)根据小波变换系数对信号平移步长的变化规律,提出一种基于小波金字塔结构的、遍历式的图像匹配方法,这种方法消除了由于小波变换对平移的敏感性所引起的误匹配,在匹配策略上,以小波分解高频分量的匹配为主。实验证实,此匹配方法对实时图像和基准图像的局部灰度反转不敏感,具有一定抗几何失真的能力,优于经典的灰度相关匹配。周杰等(1996)定义了一种新的小波交换——方向小波变换,并证明了方向小波变换作为图像描述方法的唯一性。基于方向小波变换来提取匹配特征,具有特征数少,正确匹配率高等特点。陈鹰、叶勤、钟志勇(2000)研究了基于小波变换的雷达与光学图像匹配算法;张艳、王涛、路威(2002)对基于小波图像金字塔的图像自动匹配进行了讨论;熊兴华、陈鹰、王任享(2000)基于小波和线矩的实孔径雷达图像与 TM 图像的匹配进行了研究。大量的研究说明,小波变换及多尺度特征提取,是图像匹配有效的工具和手段。李寒松等(2002)探讨了一种基于复数小波变换的景象匹配算法,利用复数小波的移动不变性和实数离散小波快速算法,将图像分解成多层,分别在高、低空间频域内进行了由粗到精的快速匹配。

点集匹配的相似性度量,除广泛使用的互相关测度之外, Hausdorff 距离也是测量相似性的重要准则(刘健庄等,1996;刘珂等,2002;吴晏等,1997;李国正等,2001;闫兴美等,2001;胡勇等,1999)。前者可用于精确的点对点匹配,而后者则用于模糊的点集匹配,其不需要明确确定相匹配的点对。陈岚岚、毕笃彦、马时平(2002)用改进的 Hausdorff 距离对有遮掩和有外部点存在的目标图像进行匹配,仿真结果验证了该算法的有效性。汪亚明(2002)对传统的各种 Hausdorff 距离所存在的缺陷进行了分析,然后根据这些缺陷提出了“鲁棒型”的 Hausdorff 距离。这一新的距离考虑了边缘点的位置、边缘点的总数、由有限点

组成的伪边缘、出格点和边缘的遮挡等因素,从而使传统的缺陷被克服。对合成图像及实际图像的实验结果表明,所提出的 Hausdorff 距离测度比传统的 Hausdorff 距离测度更为有效。周杰等(1996)将距离变换引入图像匹配中,提出抗几何失真和边缘变化的边缘特征匹配准则,并推导出它的快速匹配算法。张文景等(2000)将 Hausdorff 距离作为物体轮廓相似性的测度,并用遗传算法进行最佳形状匹配的快速搜索,根据遗传搜索的结果再进行一次线性搜索,从而提高解的精度。还有很多学者用 Hausdorff 距离及其快速距离变换算法进行图像的点集匹配。熊智等(2004)利用部分 Hausdorff 距离作为匹配点集的相似性度量,在匹配搜索过程中联合应用了邻域排除法、扫描终止法和前向跳跃法,提高了匹配速度。

1.2.2 国外研究现状

基于点特征的图像匹配,首先要探测图像的点特征,然后再进行点特征的匹配。

图像的点特征主要指图像中的明显点,如角点、圆点、地物交叉点以及边缘弯曲凸出的点等。本书中使用的点特征主要是角点特征。点特征探测是图像处理和计算机视觉的重要步骤,它为图像配准、图像融合、时间序列分析、模式识别以及飞行制导等提供进一步处理的信息。

近年来已提出了一系列算法各异、具有不同特色的角点探测算子(L. Kitchen 等,1982; H. Wang 等,1990; Trajkovic M 等,1998; Fei Shen 等,2002)。主要分为两大类:一是基于模板的方法;二是基于几何特征的探测方法。前者的实现方法为首先设计一系列角点模板,然后确定模板与所有图像子窗口的相似性,由此确定位于子窗口中心的像元是否为角点。由于该算法计算耗时大,因而在实践中较少使用。基于几何特征的角点探测算法,依赖于角点不同几何特征的探测,计算简便,因而得到广泛使用。

基于几何特征的角点探测又分为两种方法。第一种方法是先进行图像分割,然后提取边界,形成链码,再寻找边缘点中弯度凸出的点作为角点。此类算法计算步骤多,耗时较多,在实时匹配中较少使用。

另外一种基于几何特征的角点探测方法为直接提取角点的方法。Moravec (1977)提出利用灰度方差提取点特征的方法。Harris 和 Stephens(1988)采用了相

同的思想,并进行了改进,提出了著名的 Plessey 角点探测算子。其后,又有很多学者对该算法进行改进以适应不同的应用目的。Smith 和 Brady(1997)提出了一种完全不同的角点探测算法,称之为 SUSAN 探测算子(SUSAN 是“Smallest Un-value Segment Assimilating Nucleus”的首字母缩写)。SUSAN 的基本原理是与每一图像点相关的局部区域具有相同的亮度。如果某一窗口区域内的每一像元亮度值与该窗口中心的像元亮度值相同或相似,这一窗口区域将被称之为“USAN”。计算图像每一像元的“USAN”为我们提供了是否有边缘的方法。位于边缘上的像元的“USAN”较小,位于角点上的像元的“USAN”更小。因此,我们仅需寻找最小的“USAN”就可确定角点。该方法由于不需要计算图像灰度差,因此,具有很强的抗噪声的能力。

Trajkovic 和 Hedley(1998)基于同样思想提出了一种简单、快速的角点探测方法,其基于这样的思想,即角点处各个方向的灰度变化都最大。另外,Fei Shen 和 Han Wang(2002)设计了一种实时灰度角点探测算子。Daniela Hall 等(2002)讨论了尺度变化下角点的显著性问题。Barbara Zitova 等(1999)设计了一种模糊遥感多影像特征点的鲁棒性探测算法。

一些学者对分辨率相差很大的图像的角点特征的探测进行了研究。T. Lindeberg(1994)对尺度空间的概念进行了全面的探讨。D. G. Lowe(1999)用同样的思想实现了尺度不变的稳定点的探测。Alexandar 和 Alexandrov(2002)对 Plessey、SUSAN、边缘弯曲尺度空间角点探测算子(CSS)以及 IPAN99 四种角点探测算子进行了比较研究,得出了有益的结论。Krystian 等(2002)提出了一种仿射不变角点的探测方法。

基于角点特征的图像匹配,常用的匹配方法有树匹配、图匹配、搜索匹配、松弛匹配和神经网络等(Fang - Hsuan Cheng, 1996)。大部分匹配方法是建立点集间的点点对应关系来实现匹配。另一类是无须建立明确的点点对应关系,利用点的位置及其相互关系进行匹配。在第一类匹配方法中,首先按一定的约束找到两个点集之间的初始匹配,然后迭代改进初始匹配,其中使用较多的是概率松弛方法。Zhengyou ZHANG 等(1995)首先利用互相关获得点集之间的初始匹配,接着利用对极几何约束改进初始匹配。由于互相关函数不是一个正交不变量,且图像噪声及点位置的偏差对互相关函数的计算影响很大,所以,该类算法有其固有的缺陷。Ji Zhou 等(2002)利用点的匹配强度进行点匹配,然后采用一定的约束策略剔除错