



国防特色学术专著·航空宇航科学与技术

National Defense Monograph



景象匹配与目标识别技术

李言俊 张 科 著

西北工业大学出版社

北京航空航天大学出版社

北京理工大学出版社

哈尔滨工业大学出版社

哈尔滨工程大学出版社



国防特色学术专著·航空宇航科学与技术

景象匹配与目标识别技术

李言俊 张科 著

西北工业大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

内容简介

本书针对精确制导中的景象匹配和目标识别技术,主要介绍了与景象匹配和目标识别有关的研究方法和相关成果,涵盖了与景象匹配及目标识别有关的各种图像处理、景象匹配、特征提取与目标识别方法。全书共分为12章,其内容包括遥感图像处理方法、数学形态学图像处理方法和粗糙集图像处理方法和基于图像特征的下视景象匹配、基于纹理质地子特征的下视景象匹配、下视景象匹配制导中的一些改进方法等下视景象匹配方法,以及空中二维目标图像识别、空中三维目标图像特征提取与目标识别等空中目标识别方法。

本书可作为高等学校导航制导类和航空航天类研究生教材或参考教材,也可供从事精确制导工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

景象匹配与目标识别技术/李言俊,张科著. —西安:西北工业大学出版社,2009.8
(国防特色学术专著. 航空宇航科学技术)

ISBN 978-7-5612-2620-9

I. 景… II. ①李…②张… III. 制导—技术 IV. V448

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 143555 号

景象匹配与目标识别技术

李言俊 张科 著

责任编辑 季苏平

*

西北工业大学出版社出版发行

西安市友谊西路 127 号(710072) 发行部电话:029-88493844 传真:029-88491147

<http://www.nwpup.com> E-mail: fxb@nwpup.com

陕西向阳印务有限公司印装 各地书店经销

*

开本: 787×1 092 1/16 印张: 19.875 字数: 485 千字

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷 印数: 2 000 册

ISBN 978-7-5612-2620-9 定价: 42.00 元

前 言

现代战争形态已从传统的机械化战争转向高技术信息化的战争阶段,20 世纪 90 年代至今在全球局部地区发生的几场战争中已经确立了精确制导武器在战争中的重要地位。精确制导技术是精确制导武器的关键技术,其核心是精确探测和精确控制,利用传感器和信息网获取待攻击目标的位置、速度、图像及特征等信息,经分析和处理后实时修正和控制武器自身的飞行轨迹,确保精确制导武器在复杂战场环境中能精确命中目标要害部位并有效摧毁目标。在精确制导技术中,成像制导技术又是研究和发展的方向。成像制导技术以目标成像为基础直接探测目标的外形或基本特征,以获取更多的目标信息,进而实现对目标特征的高分辨率跟踪,是提高定向精度、识别能力、抗干扰性能的最有效技术。由于成像制导中的信息量巨大,智能化信息处理技术就成为成像制导中的一项关键技术。其核心则是目标识别技术,它是精确制导武器智能化程度的一个重要标志。

自 1998 年开始,在航空科学基金(98D53039,04I53067)、高等学校博士学科点专项科研基金(20020699014,20060699024)和航天科技创新基金、武器装备预研基金的资助下,我们课题组进行了有关导弹精确制导中的目标识别技术等方面的研究工作。本书的内容就是我们课题组在进行自动目标识别技术研究时所取得的图像处理和景象匹配方面的研究成果。

全书共分为 12 章。各章内容安排如下:第 1 章~第 3 章分别为绪论、红外图像预处理和遥感图像处理,介绍了精确制导武器、红外成像制导及目标识别方面的基本概念、研究现状、需要解决的关键技术问题及精确制导中常用的一些特殊图像处理方法与基本原则;第 4 章和第 5 章分别为数学形态学图像处理方法和基于粗糙集的图像处理方法,介绍了课题组用数学形态学和粗糙集理论进行图像处理研究所取得的一些成果;第 6 章~第 8 章为下视景象匹配制导,介绍了下视景象匹配制导的概况,基于图像特征的下视景象匹配制导及基于纹理质地子特征的下视景象匹配制导,是课题组在巡航导弹的下视景象匹配制导研究中所取得的一些成果;第 9 章为下视景象匹配制导中的一些改进方法,介绍了课题组在下视景象匹配制导研究中所提出的抗变形的边缘匹配方法和能满足实时景象匹配要求的实时下视景象匹配定位方法,并对提高图像匹配可靠性的方法进行了归纳;第 10 章和第 11 章分别为空中二维目标图像识别和空中三维目标图像特征提取,介绍了课题组所提出的极坐标投影矩、仿射投影矩、K-L 傅里叶矩、余弦傅里叶矩等不变矩,及这些不变矩在二维目标图像特征提取、三维目标图像特征提取及目标识别中的应用;第 12 章为基于支持向量机的空中三维目标识别,介绍了课题组所提出的一种基于风险分析的最小随机风险多分类支持向量机分类方法,将其用于

空中目标的分类,具有较好的分类效果,并且与余弦傅里叶矩相结合进行三维目标识别时,可取得较高的目标识别精度。

本书主要由李言俊、张科撰写,王怀野、王红梅、余瑞星、郭建明、刘岩也参加了编写。参加有关课题研究的成员有:李言俊、张科、王怀野、王红梅、刘岩、余瑞星、郭建明、周振环、雷万云、刘哲、王峰、杨亚军、王立、王国锋等。

在此,向给予航空科学基金、高等学校博士学科点专项科研基金、航天科技创新基金和武器装备预研基金资助的有关方面表示感谢。

西北工业大学教务处、西北工业大学航天学院对本书的出版给予了热情的支持,在此深致谢忱。

书中如有不妥之处,敬请读者批评指正。

著 者

2008年3月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 精确制导武器	1
1.2 红外成像制导技术	2
1.3 红外图像处理方法概述	3
1.4 目标识别方法的研究现状	7
1.5 景象匹配技术	11
第 2 章 红外图像预处理	16
2.1 红外图像噪声滤波	17
2.2 红外图像灰度变换	40
2.3 红外图像增强	45
2.4 红外图像分割	48
第 3 章 遥感图像处理	72
3.1 图像制导与卫星对地观测技术应用概述	72
3.2 遥感图像中的数据融合	73
3.3 遥感图像中的边缘检测	82
3.4 遥感图像分割	99
3.5 基于知识推理的遥感图像理解方法	112
第 4 章 数学形态学图像处理方法	122
4.1 数学形态学的形成	123
4.2 数学形态学基本原理	124
4.3 灰度形态学方法	129
4.4 数学形态学滤波方法	132
4.5 基于数学形态学的图像边缘检测方法	137
4.6 数学形态学在机场目标识别中的应用	141
第 5 章 基于粗糙集的图像处理方法	145
5.1 粗糙集理论基础	145
5.2 粗糙集图像增强方法	152
5.3 粗糙集图像滤波方法	154
5.4 基于粗糙集的图像分割方法	156
5.5 粗糙集理论在航空母舰编队目标识别中的应用	160

第 6 章 下视景象匹配制导	166
6.1 下视景象匹配制导概述	166
6.2 下视景象匹配定位基本方法	171
第 7 章 基于图像特征的下视景象匹配制导	182
7.1 基于特征的图像匹配与识别技术概述	182
7.2 图像的特征提取	183
7.3 二维图像的不变矩	194
7.4 基于不变矩特征的下视景象匹配	198
第 8 章 下视景象匹配制导中的边缘匹配方法	206
8.1 抗变形的图像边缘匹配方法	206
8.2 常用的几种实时下视景象匹配定位方法	217
8.3 提高图像匹配可靠性的方法	222
第 9 章 基于纹理质地子特征的下视景象匹配	226
9.1 质地子特征及提取方法	226
9.2 基于质地子特征的下视景象匹配方法	236
第 10 章 空中二维目标图像识别	244
10.1 常用不变量的稳定性.....	244
10.2 极坐标投影矩.....	247
10.3 仿射投影矩.....	256
第 11 章 空中三维目标图像特征提取	264
11.1 单视点的三维目标成像模型.....	264
11.2 K-L 傅里叶矩.....	265
11.3 余弦傅里叶矩.....	275
第 12 章 基于支持向量机的空中三维目标识别	283
12.1 支持向量机相关理论的简单回顾.....	283
12.2 支持向量机的选择.....	286
12.3 多类别支持向量机.....	288
12.4 最小随机风险多分类法.....	291
12.5 仿真与分析.....	293
参考文献	299

第1章 绪 论

1.1 精确制导武器

现代战争形态已从传统的机械化战争转向高技术信息化的战争阶段。20世纪90年代至今,在全球局部地区发生的几场战争中已经确立了精确制导武器在现代战争中的重要地位^[1,2]。精确制导武器的主要特点是命中精度高、作战效能高和大量使用微电子和光电技术。精确制导武器具有结构紧凑、雷达特征低、质量小、外形尺寸小和发射平台多样化等优点,因而特别有利于在现代作战环境中生存。在1991年第一次海湾战争中,以美国为首的多国部队用精确制导武器击毁了约80%的目标,初显了精确制导武器的威力。在1999年3月的科索沃战争中美国主要使用的是精确制导武器,其用量已占到全部使用武器的98%,并在这场战争中达到了零伤亡。2001年10月美国在阿富汗的战争中,也大量地使用了精确制导武器。2003年3月七枚“战斧”式巡航导弹实施的“斩首”行动宣布了第二次海湾战争的开始。很多国家都明确地把精确制导武器列为重点发展的常规兵器。精确制导武器已成为高技术信息化战争中的物理杀伤主要手段,并在战争中发挥关键作用。

精确制导武器是指命中概率较高的制导武器,一般是指直接命中概率大于50%的制导武器。它们按照特定基准路线,运用控制和导引技术对目标进行攻击,主要用于摧毁重要战略目标和武器装备,其特点是精度高、射程远、攻击力强。精确制导武器一般由制导系统、战斗部与引爆系统、动力系统和伺服控制执行机构四部分组成。精确制导技术是精确制导武器的关键技术,其核心是精确探测和精确控制,其研究重点是确保寻的制导武器在复杂战场环境中精确命中目标和目标要害部位的寻的末制导技术。精确制导武器利用传感器和信息网络获取待攻击目标的位置、速度、图像及特征等信息,经分析和处理后实时修正和控制自身的飞行轨迹,具有很高的命中精度。信息处理的基本作用是对传感器接收的各种信号进行分析处理,并与信息网的信息相融合,自动搜索、识别、截获和跟踪目标信号,为武器系统提供必要的目标信息。它与一般制导技术的区别在于,精确制导不仅能制导导弹直接命中目标,而且具有命中点(易损部位)选择的能力和更强的抗干扰能力,并支持精确制导武器的远距离高精度作战、全天候作战和复杂战场环境下作战。精确制导技术是一项以高科技为基础,涉及多个专业技术领域的综合性系统应用技术。它的发展促进了武器装备更新换代,极大地提高了武器系统作战效能,增强了常规威慑力量。目前,精确制导技术已经广泛应用于各种导弹上。精确制导武器的大量使用,改变了传统的作战模式,使防区外攻击目标成为现实。因此,从某种意义上讲,现代战争在很大程度上表现为敌对双方在精确制导武器之间的激烈较量。

精确制导技术的研究和发展一直紧密围绕着抗干扰、高精度和智能化的要求进行。目前的精确制导技术主要有遥控制导、地形匹配制导和寻的制导技术等。其中,寻的制导包括红外制导技术、激光制导技术、毫米波制导技术、微波制导技术、多模复合制导技术等,并且红外制

导、毫米波制导、多模复合制导等智能化信息处理技术是当今精确制导技术研究的重点。

1.2 红外成像制导技术

红外成像制导是由红外点源制导技术发展而来的^[3-6]。由于红外点源制导技术采用以调制盘调制为基础的信息处理,造成无法排除张角较小的点源红外干扰或复杂的背景干扰,也没有区分多目标的能力,因此随着光电对抗和红外技术的进步,推动了红外成像制导技术的发展。红外成像制导技术采用扩展源处理系统,它探测的是目标和背景间微小的温差或自辐射率差引起的热辐射分布图像^[7]。目标形状的大小、灰度分布和运动状况等物理特征是它识别的理论基础,因此它有很强的抗干扰能力。此外,由于红外成像器与图像信息处理专用微处理机相结合,采用数字图像处理方法分析图像,因此具有一定的智能化,这也是红外成像制导技术迅速发展的根本原因^[8-10]。

红外成像制导技术是当今精确制导技术研究的重点之一,红外成像制导在制导精度和增强抗干扰能力方面具备特别的优越性与发展潜力。它不仅是研究的热点,而且得到诸多国家在国防建设中的高度重视。目前红外成像制导已经广泛应用于精确制导武器系统。

国外典型的红外成像式自寻的制导武器有:美国的 AGM-65D 空-地导弹(“幼畜”,又译“小牛”)是第一代红外成像导弹的代表,初步具有全天候作战和对目标的全向攻击能力,抗干扰能力强,从捕获目标到发射导弹只需 2~4 s; AIM-9X 空-空导弹(“响尾蛇”)是美国空、海军 1992 年取消 AIM-9R 计划后研制的第四代空-空导弹,其机动过载超过 50g,最大离轴发射角为 90°,与 AIM-9L 相比,灵敏度有所提高;“斯拉姆”(SLAM)红外成像末段制导导弹,导引头取自“幼畜”AGM-65D 空-地导弹,射程为 90 km,命中精度可达到 1 m,飞机在敌方地-空导弹防区外发射后撤离,只在导弹飞行末段进行控制即可击中目标;德、英、法联合研制的 Trigat 远程导弹,属第三代反坦克导弹,1998 年起开始取代“米兰”(Milan)导弹,车载、机载射程分别为 4 000 m 和 5 000 m。

红外成像寻的制导系统的核心部件是红外成像导引头^[11],一般由红外摄像头、图像处理系统、图像识别系统、跟踪处理器和摄像头跟踪系统等部分组成,其中图像处理和图像识别系统是红外成像制导系统的核心。

典型的红外成像制导系统如图 1.1 所示。

红外成像制导系统的工作原理是:导弹发射前,由发射控制装置搜索、确定被攻击目标的位置后,立即用导弹上的导引头跟踪并锁定目标。导弹发射后,弹上摄像头对获取的目标红外图像进行预处理,得到数字化目标图像。经图像处理,区分目标信息与背景信息,识别出被攻击目标并抑制假目标的干扰。跟踪处理器的窗口按设定的方式跟踪目标图像,并把误差信号送到摄像头跟踪系统,控制红外摄像头继续瞄准目标,同时向控制系统发出导引指令,使导弹飞向预定的目标。由于导弹发射后,完全由导弹自身的末制导与控制系统使导弹飞向预定的目标,因此被称为“发射后不管”的制导方式。随着导弹与目标间的距离逐渐缩小,目标图像在成像平面上的投影将不断扩大,变得越来越清晰,此时导引头根据目标形状识别出其要害部位的中心位置,并以此位置作为导弹的攻击点。红外成像制导技术抗红外干扰能力很强,灵敏度和空间分辨率高。与可见光相比,红外辐射更容易穿透云、雾、烟、尘埃,探测距离可增大

3~6倍。与红外点源寻的制导相比,命中精度更高。尤为先进的是,能识别目标类型和确定目标的要害部位进行攻击。

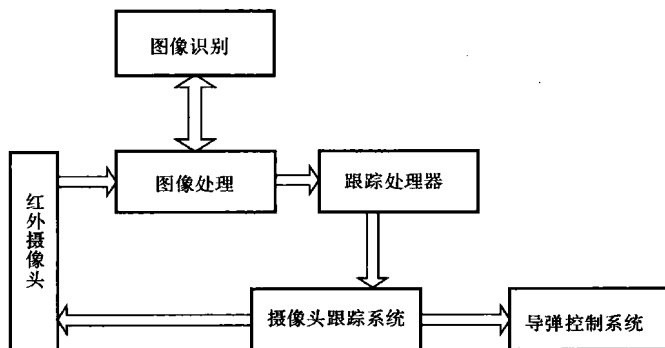


图 1.1 红外成像制导系统

对于跟踪处理而言,最重要的是红外图像分析处理和识别技术^[12]。它包括图像预处理、图像分割和目标识别三部分。图像预处理是为了改善图像的外观,使之更适合于人眼的观察判断或机器的分析处理,其实质是有选择地加强图像中某些信息而抑制掉另一些信息以增加图像的可读性。图像分割技术是将图像中的目标区域和背景区域进行划分后再提取出图像目标的处理技术。跟踪系统如果想要实现对图像目标的跟踪,就必须先提取图像目标,进而提取出其具有的特征,才能借此识别图像目标,即根据图像目标特征判断图像目标是不是被跟踪的目标,从而实现跟踪的目的。

当红外辐射在大气中传播时,它的能量由于大气的吸收而衰减。大气对红外辐射的吸收与衰减是有选择性的,即对不同波长的红外辐射,吸收与衰减的程度有很大的差别。大气对红外辐射的吸收,实际上是由于大气中的水蒸气、二氧化碳、臭氧、甲烷和一氧化碳等气体的分子有选择地吸收一定波长的红外辐射所造成的。即使是大气窗口,在红外辐射传播时也会有一定的能量衰减。造成衰减的原因是大气中的尘埃及其悬浮粒子的散射作用,使红外辐射偏离原来的传播方向。由于上述各种原因和探测器本身固有的特性,红外图像普遍存在目标与背景对比度较差、图像边缘模糊、噪声较大等缺点^[13-17],传统的分析方法效果较差。本书就是在这一背景下,全面介绍了红外图像分析及目标识别需要解决的一些关键技术。

1.3 红外图像处理方法概述

1.3.1 图像预处理方法简述

对红外图像进行的预处理方法包括图像滤波、灰度变换和图像增强等。

在数字图像处理的早期研究中,线性滤波器是主要处理手段。典型的线性滤波器有维纳(Wiener)滤波器和加权平均滤波器。线性滤波器的简单数学表达形式以及某些理想特性使其很容易设计和实现。然而,当信号中含有非叠加性噪声时,例如由系统非线性引起的噪声或

存在非高斯噪声等,线性滤波器的处理结果就很难令人满意。在处理图像时,线性滤波器将破坏边缘,而且不能有效滤除脉冲噪声,即线性滤波器在信号与噪声彼此相关情况下不能很好工作。为解决这个问题,非线性滤波器应运而生,中值滤波器就是一个典型的代表。之后又出现了形态滤波器以及各种中值滤波器的改进型^[18]。

对于红外图像来说,所用的图像预处理方法并不考虑图像降质原因,只须将图像中感兴趣的特征有选择地突出,衰减其不需要的特征,故预处理后的输出图像并不需要去逼近原图像。此类预处理方法统称为图像增强。

图像的增强方法基本上可以分为空间域及频率域处理两大类。空间域处理是在原图像上直接进行数据运算,有局部运算(如空间卷积)和点运算。频率域处理是在傅里叶(Fourier)变换域上进行数据处理,再作傅里叶反变换,得到增强后的输出图像。经典的图像增强方法有:

- ①灰度变换法,包括线性灰度变换和非线性灰度变换;
- ②直方图变换法,包括直方图均衡化和归一化;
- ③统计增强法;
- ④图像平滑,包括局部平均法、加权平均法、中值滤波等;
- ⑤频域中的低通、Butterworth 滤波器以及指数和梯形滤波器。

1.3.2 图像分割方法概述

所谓图像分割是将图像划分成若干互不交叠的区域的过程。其中,所分割的各区域自身具有一致的属性,而相邻区域之间的属性具有明显的差别。多年来人们对图像分割提出了不同的解释和表述,借助集合概念对图像分割可给出如下比较正式的定义^[19-20]:

令集合 R 代表整个图像区域,对 R 的分割可看做将 R 分成 N 个满足以下五个条件的非空子集(或区域) $R_1, R_2, \dots, R_N$:

- ① $\bigcup_{i=1}^N R_i = R$;
- ② 对所有的 i 和 $j, i \neq j$, 有 $R_i \cap R_j = \emptyset$;
- ③ 对 $i=1, 2, \dots, N$, 有 $P(R_i) = \text{真}$;
- ④ 对 $i \neq j$, 有 $P(R_i \cup R_j) = \text{假}$;
- ⑤ 对 $i=1, 2, \dots, N, R_i$ 是连通的区域。

其中, $P(R_i)$ 是对所有在集合 R_i 中元素的逻辑谓词。

图像分割是把图像中的目标分成为许多感兴趣的区域,与图像中各种物体目标相对应。全面理解图像中所包含的全部信息应包括分区分割和对各区的描述。目前可能的理解图像方法只限于信息中部分特征,如灰度差别、局部纹理差别、彩色差别、局部统计特征或局部区域的频谱特征的差别等成熟技术表征的特征。用这些特征的差别可区分图像中不同的目标物体,叫做感兴趣区(ROI),各感兴趣区是不同的。既然我们只能用图像信息中的某些部分特征去分割区域,各种分割方法就必然带有局限性,我们只能针对各种实用领域的需求来选择各种方法。换句话说,对某种需求有满意效果的分割方法对另一种需求不一定能取得满意的效果。分割问题始终是各类模式识别方法中最困难的问题。

早在 20 世纪 50 年代中期,在计算机视觉理论体系形成之前,人们就开始了图像分割的研

究。因为图像分割在计算机视觉中所起的重要作用,几十年来人们进行了大量的工作,取得了不少研究成果,并针对各种具体的图像,提出了许多不同的图像分割算法。然而,至今仍无统一的理论,还没有哪一种分割方法可以对所有的图像都能进行理想的分割,也不存在所有方法对某一类图像均可获得较好分割结果的情况。寻找一种通用的、可适合所有类型图像的分割方法一直是人们不断追求的梦想。但随着研究的深入,人们逐渐意识到,在将三维景物投影为二维图像的过程中,丢失了深度和不可见部分的信息,同一物体在不同的视角下的图像会有很大的不同。另外,场景中的诸多因素,如光源、物体表面几何、物体特性及成像设备与物体之间的空间特性等,都被综合成单一的图像中的灰度值。还有,在成像过程中或多或少地引入了一些畸变和噪声。这些问题都导致了图像分割问题是一种信息不足的不适定问题,从而不可能存在一种对任何图像都适用的有效图像分割方法。但对于实际应用来说,很多视觉任务,如成像目标的识别、跟踪,遥感图像的分析理解等,并不要求完全恢复场景的三维信息,且在这些任务中,往往有很多先验的信息可以利用,可以增加约束条件,使不适定问题适定化,于是就在图像分割研究领域导致了大量算法的出现。

图像分割一直是图像处理领域中的重点和难点。图像在分割后的处理,如特征提取、目标识别等都依赖图像分割的质量,所以图像分割被视为图像处理中的瓶颈。在图像分割最初发展的20年里,人们主要对阈值分割、边缘检测和区域提取进行研究。进入20世纪80年代以后,越来越多的学者开始将模糊理论、马尔可夫模型、遗传算法、分形和小波理论等研究成果运用于图像分割的研究,并取得了很大进展。

图像分割方法有多种分类方式,从处理技术的角度,把图像分割技术分为基于灰度阈值的分割方法、基于边缘检测的分割方法和结合特定理论工具的分割方法三大类。

1. 基于灰度阈值的分割方法

阈值分割方法始于20世纪60年代,至今已经提出了大量算法。对灰度图像取阈值分割即先确定一个处于图像灰度取值范围之中的灰度阈值,然后将图像中各个像素的灰度值都与这个阈值相比较,并根据比较结果将对应的像素分为两类。这两类像素分别属于图像的两类区域,从而达到分割的目的。可以看出,确定一个最优阈值是阈值分割方法的关键。现有的大部分算法都是集中在阈值确定的研究上。阈值分割方法根据图像本身的特点,可分为单阈值分割方法和多阈值分割方法,也可分为基于像素值的阈值分割方法、基于区域性质的阈值分割方法和基于坐标位置的阈值分割方法。若根据分割算法所具有的特征或准则,还可以分为直方图变换法、最大类间方差法、最小误差法与均匀化误差法、共生矩阵法、最大熵法、简单统计法与局部特性法、概率松弛法、模糊集法、最小能量法^[21]、特征空间聚类法和基于过渡区^[22]的阈值选取法等。

最近几年又提出了许多新方法,程杰提出了一种基于直方图的分割方法^[23],该方法对Otsu准则的内在缺陷进行了改进,并运用对直方图的预处理及轮廓追踪,找出了最佳分割阈值。此方法对红外图像有很强的针对性。付忠良提出的基于图像差距度量的阈值选取方法,多次导出Otsu方法,得到了几种与Otsu类似的简单计算公式,使该方法特别适合需自动产生阈值的实时图像分析系统^[24]。

2. 基于边缘检测的分割方法

边缘检测方法是人们研究得比较多的一种方法,它通过检测图像中不同区域的边缘来达

到分割图像的目的。边缘检测是图像处理、计算机视觉中最关键的技术之一,也是至今仍然没有得到圆满解决的一个难题。通过对人类视觉系统的研究表明,图像边缘在物体的识别过程中具有十分重要的作用,经常可以通过一条粗略的边界就可以识别出一个物体。这个事实为计算机视觉的研究提供了重要的启示,即物体可以用其边缘来表示。理想的边缘检测应当正确解决边缘的有无、真假和定位定向,但真正做到这一点是很难的。这是因为实际图像都含有噪声,并且噪声的分布、方差等信息是未知的,同时噪声和边缘均是高频信号。虽然平滑滤波运算可以消除噪声,但它导致了一些边缘模糊,检测出的边缘往往移位。由于物理和光照原因,实际图像中的边缘经常出现在不同的尺度范围上,而每一边缘像元的尺度信息是未知的,因此利用固定的边缘检测算子不可能同时最佳地检测出所有边缘。

边缘检测方法没有统一的分类标准。我们可以将其分为经典的边缘检测方法、以确定最优解为目标的全局检测方法及多分辨率和多尺度边缘检测方法三类。

(1)经典的边缘检测方法

经典的边缘检测方法包括基于某种固定的局部运算方法,如微分法、拟合法、曲线跟踪法和松弛标记法。很多的边缘检测算法是基于图像的灰度函数求导和在图像中匹配特定的边缘模型这两种方法,如 Marr 算法和 Canny 算法就是这两种方法的经典代表。

(2)以确定最优解为目标的全局检测方法

其特征是运用严格的数学方法对此问题进行分析研究,给出最优检测的依据,从全局最优的观点提取边缘,如神经网络分析法和 Hough 变换等。基于神经网络的分割方法的基本思想是通过训练多层感知机来得到线性决策函数,然后用决策函数对像素进行分类来达到分割的目的。Kim JinSang 提出的图像序列的多特征聚类分割方法,先用自组织特征地图(SOFM)神经网络聚类方法将一个多特征空间转换成一维空间,然后将神经网络的输出进行融合,从而得到期望的分割结果^[25]。Hough 变换是利用图像全局特性而直接检测目标轮廓的一种常见的方法,用于检测可以用解析表达式描述的曲线,如圆、椭圆等。它是把图像上的点转换到一组参数空间,在参数空间求解一个最优问题,确定图像中所要检测的直线或曲线的方位。但是由于离散参数空间随着参数的增加迅速增大,Hough 变换计算量过于复杂。该方法的主要优点是受噪声和曲线间断的影响较小。

(3)多分辨率和多尺度边缘检测方法

多分辨率方法是从初始图像用规则或不规则的方式逐步降低分辨率,得到金字塔形的一个图像序列,再在此基础上进行图像分割。此方法的基本着眼点是较大的物体能在较低分辨率下存在,而噪声则不能。

多尺度方法实际上是用不同尺度的滤波算子对图像进行卷积,并考察由此得到的边缘点随尺度的变化所具有的性质,结合多种不同尺度的信息来最终决定边缘点。小尺度参数的边缘检测算子能够检测出灰度发生的细小变化,而大尺度参数的边缘检测算子能够检测出图像发生的粗变化,并且相同类型的边缘在不同尺度上存在因果关系,所以利用多尺度技术检测边缘是获得理想边缘检测的很好途径。

在各种多尺度边缘检测方法中,如何选择滤波尺度参数以保证边缘准确定位并且抑制噪声,一直是没有得到很好解决的问题。许多人也在这方面做了一定的研究和尝试,但这些方法还是没有很好地解决多尺度边缘综合问题,即在最终的边缘检测结果中如何选择不同尺度下检测的边缘。

3. 结合特定理论工具的分割方法

近年来,随着各学科新理论和新方法的产生,人们也提出了许多结合特定理论工具的分割方法。例如,基于数学形态学的分割方法,基于统计模式识别的分割方法,基于神经网络的分割方法,基于信息论的分割方法,基于模糊集合和逻辑的分割方法,基于小波分析和变换的分割方法^[26],基于遗传算法的分割方法等。基于数学形态学分割方法的基本思想是用具有一定形态的结构元素去量度和提取图像中的对应形状,以达到对图像分析和识别的目的。基于统计模式识别的分割方法的基本思想是将图像中的像素根据测量结构分为不同的类,每个类都有相似或相近的特征,然后通过学习或训练将图像分为不同的目标。基于信息论的分割方法引入了熵的概念,大部分算法借助了求熵极值的方法来达到分割的目的。基于模糊集合和逻辑的分割方法是以模糊数学为基础,利用隶属度来解决图像中由于信息不全面、不准确、含糊、矛盾等造成的不确定性问题。基于遗传算法的分割方法的基本思想是利用遗传算法是一种迭代式优化算法并具有全局搜索能力的优点,帮助确定分割阈值。

基于小波分析和变换的分割方法是借助新出现的数学工具小波变换来分割图像的一种方法。小波变换是一种多尺度多通道分析工具,比较适合对图像进行多尺度的边缘检测。例如,可利用高斯函数的一阶或二阶导数作为小波函数,利用 Mallat 算法分解小波,然后基于 Marr 算子进行多尺度边缘检测。这里小波分解的级数可以控制观察距离的“调焦”,而改变高斯函数的标准差可选择所检测边缘的细节程度。小波变换的计算复杂度较低,抗噪声能力强。理论证明,以零点为对称点的对称二进小波适合检测屋顶状边缘,而以零点为反对称点的反对称二进小波适合检测阶跃状边缘。近年来多进制(Multi Band)小波也开始用于边缘检测。另外,利用正交小波基的小波变换也可提取多尺度边缘,并可通过对图像奇异度的计算和估计来区分一些边缘的类型。

1.4 目标识别方法的研究现状

红外成像制导技术是精确制导技术研究和发展的方向。这项技术以目标成像为基础直接探测目标的外形或基本特征,以获取更多的目标信息,进而实现对目标特征的高分辨率跟踪,是提高定向精度、辨识能力、抗干扰能力等的最有效的一项技术。智能化信息处理技术是对目标及干扰背景信息进行处理的技术,是精确制导的关键技术。国内外十分重视智能化信息处理技术,其重点是自动目标识别(ATR)技术研究^[27-29]。ATR 技术在 20 世纪 60 年代初期就已经提出来了,它是精确制导武器智能化程度的一个重要标志,是成像制导和高分辨率武器系统中的一项关键技术。近年来,许多国家将 ATR 技术列为重点研究课题,但目前还只能实现不太复杂的背景和较简单的作战条件下的 ATR。2003 年伊拉克战争期间,美军的“爱国者”导弹先在 3 月 22 日击落英军“旋风”战斗机,造成两名飞行员丧生。两天后,一架美军 F-16 战斗机因被地面“爱国者”导弹雷达锁定,竟自动发射了反雷达武器。随后在 4 月 2 日,美军“大黄蜂”战机被“爱国者”导弹击落。有专家认为,发生上述悲剧的原因是飞机和地面系统的敌我目标识别装置出了故障。

造成 ATR 实现困难的主要难题包括:复杂的背景,多种形式的干扰,日益成熟的隐身技

术,不断增长的目标机动性和灵活性。ATR 技术涉及模式识别、图像匹配、匹配滤波、人工智能等多个技术领域。由于红外成像系统具有灵敏度高、作用距离远、扫描速度快等优点,因此它一直是 ATR 研究的首选传感器。随着现代战场环境的日益复杂和目标隐身技术、隐身材料以及信息处理能力的飞速发展,精确制导武器面临更严峻的挑战。这就要求新一代制导武器的导引头系统在恶劣的气候条件和复杂的战场环境下能够正常工作,识别假目标,克服杂波及电子对抗手段的干扰,同时要求识别目标的能力强,制导精度高。

导弹可以通过红外图像辨别和捕获目标,一旦目标被锁定,导引头就对选定的目标进行跟踪。一般导引头有两种工作方式:当目标像所占视场空间不足全视场的 60% 时,用质心法跟踪目标;当导弹接近目标时,图像越来越大,不能有效地实现质心跟踪,这时改用自相关法,即从图像中寻找亮度最大(温度最高)的部分,并逐幅图像比较其特征,使导弹保持对原目标的跟踪。

目标特征包括形状、面积、周长、长宽比、圆度等,以及图像序列特征^[30]。成像跟踪与点跟踪相比可以较多地利用目标特征信息,有效地实现导弹的智能制导。

在图像处理的许多应用中,识别一个目标实质上就是把未知目标判别为一组已知目标集中的某一类。各种目标识别技术都是使用对目标的抽象描述来有效地进行目标表示与比较。这种描述一般定义为从各种图像中提取的特征,特征间的相似性被解释为物体本身之间的相似性。因此,一种目标识别方法表征图像的能力决定了目标识别方法的好坏。一个特定识别任务的需求决定了其特征的选择,许多应用要求待识别物体可从任意观察点进行识别,这意味着要求所提取的特征与目标的尺度、位置和方向无关。目前还没有任何一种特征表示技术对所有的识别问题都适用。

从图像噪声中找出信号是一种概率行为,信噪比越高,识别目标的把握性越大。当信号比噪声大 2.8 倍时,从背景中探测到目标的概率只有 50%,要使探测概率达到 90%,需要将信噪比提高到 4.1 以上。探测概率低有两种解释:一是探测不到实际存在的目标(目标被噪声淹没),二是把噪声误认为目标。

典型的红外图像的自动目标识别包括以下几个步骤:图像预处理、目标探测、图像分割、特征提取与选择、目标分类识别与目标跟踪。

1. 图像预处理

红外传感器获得目标区图像后,就进入图像预处理阶段。来自红外成像器的图像往往伴随着各种不同的噪声,这些噪声可能是外界环境因素造成的,也可能是成像系统本身的某些因素造成的。图像预处理的目的是减小噪声影响,提高图像信噪比,提高目标与背景的对比值,增强图像数据的可用性,或者对图像进行某种特定变换,为后续处理做准备。另外,若采用人在回路中制导的方法,如光纤红外图像制导,为了利于人在回路中观察,由光纤传输下来的红外图像的信号则须进行预处理,改善视觉效果,使图像更适合于人或机器的进一步分析和处理。为此,预处理要进行图像增强、图像滤波、灰度变换和实现任何必要的图像变换,包括噪声抑制、直流成分恢复、聚焦控制、自适应对比度增强、增益和偏调整等。这些处理通常由中值滤波器或者原型自动目标筛选器等类型的本机滤波器来完成。中值滤波器具有边缘保护特性,因此它普遍地被用做边缘检测的前段滤波器。该滤波器能有效地消除高频噪声,降低甚至消除距离图像中某些距离丢失的影响。其他有效的方法还有:利用高通滤波器使目标边缘锐化,

用改变局部比例扩大对比度,有限脉冲响应滤波器, α 配平平均滤波器,样条平滑及逐帧求平均技术等。

2. 目标探测

完成图像预处理后,就进入目标探测阶段,其目的是确定图像中可能存在目标的子区域。目标探测方法基本上都以特定目标的属性为基础。对于红外图像,通常利用目标和周围背景的热对比度进行探测,所使用的基本技术有轮辐滤波器(Spoke)、直方图技术、双窗滤波器、松弛(Relaxation)算法、金字塔(Pyramid)处理法以及模式寻的器(Mode Seeker)技术等。在目标识别中最常用的是轮辐滤波器。

3. 图像分割

图像分割是把图像分成若干各具特性的区域并提取出感兴趣目标的技术和过程。图像分割是由图像处理到图像分析的关键步骤。一方面,它是目标表达的基础,对特征测量有重要的影响。另一方面,因为图像分割及其基于分割的目标表达、特征提取和参数测量等将原始图像转化为更抽象更紧凑的形式,更高层的图像分析和理解成为可能。目前在目标识别系统中常使用梯度方向分割算法,它选定感兴趣的点位置,然后追踪其边缘梯度直至发现一闭合边界区域。对图像中所有感兴趣点重复此过程,然后将闭合边界区域传至特征提取处理。用于处理图像的分割技术主要有区域增长(Region Growing)技术和梯度导向技术等。

4. 特征提取与选择

图像的特征提取用于区别一个图像内部的最基本属性或者特征,它们可以是原景物中人类视觉可以鉴别的自然特征,也可以是通过图像进行测量和处理从而人为地定义的某些特性和参数,称为人工特征。特征提取的目的是为了识别目标,对于“发射后不管”型红外成像导引头,自动目标识别是最困难的一环。因此,要求提取的特征量应具有如下性质:特征量不随图像的位置、大小和方向发生变化,分别具有平移不变性、尺度不变性、旋转不变性。还可以发现一些特征量不随图像的仿射变形或透视变形而改变,具有仿射不变性或透视不变性。有了这些不变性,人们就可以从不同的视角和不同的距离来识别目标。

完成目标图像的分割后,要计算每个目标的一组特征量,即目标的特征提取,其目的是计算每个图像物体的独立可鉴别特征。这些特征量计算的可靠性是目标分类的基础。ATR系统一般利用闭合边界来产生潜在目标的统计和结构特征。目标的统计特征包括标准偏差、方差、平均像束强度、最大像束强度等特征;结构特征包括高度、宽度、纵横比和其他尺寸特征。对于飞机、舰船、地面物体、桥梁等目标,常用的方法是Hu矩量。特征选择的主要目的是获得一些最有效的特征量,从而使同类目标具有最大限度的相似性,使不同类目标具有最大的相异性,同时提高分类计算效能,降低存储器的存储要求。在红外图像自动目标识别中,所用特征选择技术主要有直方图检验、物理推理和线性回归技术等。

5. 目标分类识别和目标跟踪

目标分类是将图像中的每个特征矢量与存储在存储器中的代表图像中可能的许多物体的理想特征矢量进行比较,一旦确定图像物体的最接近匹配,目标分类处理就分配一个表示其在

给定类目标中的可信度概率。分析了图像中所有的物体以后,将可能为目标的物体的可信度概率与门限值比较,如果超过目标门限值的候选物体数量较多,就将具有最高可信度概率的物体看成主要目标。目标分类使用的算法主要有树基分类器、最近邻算法、结构分类器等。

完成目标分类后,进入目标跟踪阶段。对于红外成像系统,成像跟踪基本上分为两种:波门跟踪算法和相关跟踪算法。波门跟踪算法比较简单,有边缘跟踪、双边缘中心跟踪、区域平衡法跟踪和形心跟踪几种类型。而相关跟踪器结构相对比较复杂,但它能在低信噪比条件下提供较好的跟踪性能,是目前使用较广泛的跟踪器。

目标的分类与识别是自动目标识别的最关键步骤,即经过前面的处理,得到了描述目标的特征量,根据这些特征进行目标的分类和识别,这属于模式识别技术的范畴。近十多年来,模式识别技术理论得到了迅速的发展。有效的目标识别方法主要集中在以下几个方面:

- ①人工神经网络(ANN)模式识别方法;
- ②多传感器信息融合模式识别方法;
- ③专家系统模式识别方法;
- ④模糊模式识别方法。

红外成像 ATR 系统的发展将朝着智能导引头的方向发展,它将具备以下基本功能^[31]:

①智能导引头能对视场中所有目标进行探测、定位、识别和分类,并对目标优先加权,选择攻击目标。

②它可同时对多目标跟踪,并对所有潜在目标进行评价,同时可选择跟踪最高优先级目标。

③在复杂背景条件下,导引头可以预测目标会受到遮挡,以及受到遮挡后的特征变化,并为此采取措施,保证不丢失目标。在发现新目标时,导引头可以更新其记忆单元或重新确定原有目标的位置和运动。

④在整个跟踪过程中,当目标进入、离开、再进入导引头视场时,导引头都能自主、自动地重新获得目标,它能记忆消失在视场外的目标信息。

⑤导引头能在目标上选择要害点作为瞄准点,使杀伤效果最好。

⑥导引头具有很强的预测能力,能够在目标应该出现的地方寻找目标。

传统的自动目标识别方法是通过提取轮廓,把目标从周围区域中分离出来,然后根据所描述的特征识别其形状。现在的模型基自动目标识别系统利用包含有不同方位角和俯仰角下各种目标外形信息的大型数据库识别目标。但当战场上需要识别的目标数量增加时,由于这种数据库的规模很大,难以实现实时模型检索和匹配。

基于多传感器信息融合的目标识别技术是 20 世纪 80 年代涌现的新兴技术,这种技术利用不同传感器工作方式上的协同作用和所获取目标信息的互补性,以提高对目标的识别能力。信息融合是指对来自各个传感器的信息源在完整性、时间性和精确性方面都有所不同的信息块进行的实时或分时处理。把所有传感器收集到的实时信息和非实时信息综合处理后,会得出目标特性的更深层次的描述。使用多种不同类型的传感器可增加特征抽取的维数,降低对目标描述的模糊度,从而明显地提高对目标信息采集的质量,提高目标识别系统的性能。

鉴于低级哺乳动物对视觉景象的解释往往比目前的自动目标识别技术好得多,因此某些研究人员在设计算法时采用了生物模型。美国海军水面战中心将仿生神经网络用于红外/激光雷达目标识别。据称,仿生神经网络系统不受目标背景、亮度、对比度反转和相对于传感器