

文章编号:1001-5078(2007)09-0891-04

# 自动寻的系统红外成像目标识别算法研究

张义广<sup>1,2</sup>, 杨 军<sup>1</sup>, 殷志祥<sup>3</sup>, 周 军<sup>1</sup>

(1. 西北工业大学航天学院, 陕西 西安 710072;

2. 中国航天科工集团第九研究院设计所, 湖北 武汉 430034; 3. 海军装备技术研究所, 北京 102442)

**摘 要:**分析了自动寻的系统对目标识别算法的要求, 比较了现有主要的成像目标识别算法的性能, 针对某自动寻的系统提出了一种容易实现、实时保障要求低的识别算法, 试验结果表明该方法实时性好、噪声适应能力强, 能够满足自动寻的系统的使用要求。

**关键词:**自动寻的系统; 自动目标识别; 实时性

**中图分类号:** TN219 **文献标识码:** A

## Study on the Infrared Imaging Target Recognition Algorithm of the Homing System

ZHANG Yi-guang<sup>1,2</sup>, YANG Jun<sup>1</sup>, YIN Zhi-xiang<sup>3</sup>, ZHOU Jun<sup>1</sup>

(1. College of Astronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; 2. The Ninth Academe Institute of CASIC, Wuhan 430034, China; 3. The Equipment Technology Institute of the Navy, Beijing 102442, China)

**Abstract:** The requirements of the target recognition algorithm in the homing system are analyzed. The performance of the imaging target recognition algorithm in existence is compared. A target recognition algorithm which has the characteristic of easy to realize and low real-time safeguard requirement is proposed. The experiment results indicate that it has the better real-time and noise adapt performance, it can meet the requirement of the homing system.

**Key words:** homing system; automatic target recognition; real-time

### 1 引言

自动寻的系统可以实现“打了不管”的功能, 增加了作战生存能力, 是精确制导武器经常使用的系统, 其主要支柱是对目标的正确、可靠、高效识别。光电对抗技术的高速发展对目标识别提出了更加苛刻的要求, 如何选择和设计目标识别算法一直困扰着自动寻的系统设计师。不同的自动寻的系统对目标识别的需求也成为自动目标识别技术发展的主要原动力。

### 2 自动寻的系统对目标识别算法要求

用于自动寻的系统的自动目标识别应具备高的跟踪精度、很强的干扰抑制能力以及快速反应能力。具体来说有如下要求:

#### (1) 实时性要求

自寻的导引系统要求在帧周期之内完成帧成像积分、帧图像传输、帧图像自动识别功能, 但导引系统的空间有限, 弹载计算机体积受限, 因而计算能力有限, 自动目标识别的计算量应尽可能小, 这样才能在有限的计算资源条件下结合并行处理技术来满足导引系统的实时性要求。

#### (2) 跟踪精度要求

自动目标识别给出的光轴与视线的角位置是导引头随动系统的输入信号, 自动目标识别误差是导引头随动系统误差的主要来源之一<sup>[1]</sup>, 自动目标识

作者简介: 张义广(1973-), 博士, 主要从事光电精确制导技术研究。E-mail: zyglxh@163.com

收稿日期: 2007-02-15; 修订日期: 2007-06-21

别的跟踪精度越高,导引头的跟踪精度就越高,对于成像导引头来说一般地要求自动目标识别的动态跟踪精度不大于两个像素。

### (3) 虚警率与检测概率要求

自动目标识别应该在尽可能小的虚警条件下获得尽可能大的检测概率,这样才能最大可能地检测出目标而尽量不出错。一般地自动目标识别的虚警率控制在  $10^{-5}$  量级,而检测概率要求不小于 90% (在信噪比不小于 3 的条件下)。

### (4) 鲁棒性要求

导引系统工作在复杂的环境之中,所成的图像质量受季节和天气变化、日历、地形条件、植被类型和条件、传感器视角、目标类型、载体运动特性、传感器噪声特性、各种伪装和欺骗等因素的影响而发生变化,自动目标识别应能够适应这些条件的变化,应能够适应运动模糊、旋转模糊、尺度变化、气动光学效应、对比度变化以及具备抑制各种噪声的能力。自动目标识别应有较强的鲁棒性。

### (5) 抗干扰能力强

现代战争的光电对抗环境日益复杂,自寻的导弹处于各种人为光电干扰以及自然背景干扰环境之中,自动目标识别应具备抵抗人为干扰和背景干扰的能力。

### (6) 对作战保障条件要求低

自动目标识别(ATR)一般只适用于某些特定的场合,普遍适应的 ATR 技术是基本不现实的。但自动目标识别不应该对作战保障条件提出苛刻的要求,应尽量不需要在战时提供实时的信息保障。当然可以需要一些外部信息支持,如非实时的目标区域图片等,这可以降低对作战保障的要求,使自寻的导弹系统成为有效的武器系统。

## 3 现有主要目标识别算法性能分析

现有的目标识别算法主要有以下几种:统计模式自动目标识别、基于模型(知识)的自动目标识别、基于不变量的自动目标识别、特征匹配自动目标识别和模板相关匹配自动目标识别等<sup>[2]</sup>。

### 3.1 统计模式自动目标识别

统计模式识别基于如下假设:同类物体的特征聚集于多维特征空间的同一区域而不同种类的物体的特征处于特征空间的不同区域,并且这些区域是易于区分的。该算法通过计算图像中每个候选检测区的矩形域的亮度来检测感兴趣区,找到目标的潜

在区域后,提取图像的统计特征并在特征空间中聚类,将每类所对应的特征度量与系统已存储的各种具体目标类型的特征度量比较,选择最接近的为待识别目标。

统计模式识别完全依赖于 ATR 系统大量的训练和基于模式空间距离度量的特征匹配分类技术,不具备学习并适应动态环境的智能,对样本的选取和样本的数量较敏感,难以有效处理姿态变化、目标部分遮掩、高噪声环境、复杂背景以及目标污损模糊等情形的目标识别。即使是在有限区域范围内,由于天气状况的改变其性能也会发生重大变化,因此其大多数成功的应用只局限于很窄的场景定义域内。

### 3.2 基于模型(知识)的自动目标识别

早在 20 世纪 70 年代末期,人工智能和专家系统技术就被普遍应用于自动目标识别研究,从而掀起了智能自动目标的研究热潮,并由此形成了基于模型(知识)的自动目标识别技术。基于模型的自动目标识别是通过对待识别图像形成假设并试图验证候选假设来进行的。顶层假设基于辅助智能信息开始特征和证据的提取而不需要特别的目标假设,然后将已提取的特征和论据相结合来触发目标假设的形成,接着从目标假设中产生二级假设去预测图像中的某些特征,最后推理机制试图通过与随后提取的图像特征进行匹配来验证预测结果。这样,从下一层假设中得到的推论性证据用于更新和修改目标假设,然后或者表示识别出了目标,或者启动另外一轮的下一层假设和验证循环往复最终识别出目标,所以基于模型的自动识别又称作基于知识的自动目标识别。基于模型自动目标识别具有一定的规划、推理和学习的能力,在一定程度上克服了统计自动目标识别的局限性,极大地推动了自动目标识别系统走向实用化的进程,但 KBATR 系统的知识利用程度是很有限的,加上还存在知识源的辨别、知识的验证、适应新场景时知识的有效组织、规则的明确表达和理解、实时性等很多难以解决的问题,因此,基于模型(知识)的自动目标识别技术在近期内还不可能真正进入实用。

### 3.3 基于不变量的自动目标识别

基于不变量的自动目标识别提取目标的形状、颜色、纹理等特征中的某种不变特征来对目标进行识别。目前以形状特征为基础的不变量自动识别研

究成果最多,如矩不变量、傅里叶描述子、HOUGH变换、形状矩阵和主轴方法等,近年又出现了一些算法,如复杂度、扁率、比重、偏心率等,其中,以 M K Hu 提出的代数不变矩理论为代表的矩不变量的应用最为广泛。

基于不变量的自动目标识别一般具有对目标平移、旋转、缩放的不变性,有简单明确的特征表达方式,通过搭配组合并进行合理的参数设计能够可靠地对目标进行自动识别,在对许多具体目标,如飞机、坦克、车辆等的识别中表现出了良好的性能。但基于不变量的自动识别有两个显著的缺点:其一对噪声比较敏感,当图像存在噪声或者模糊时难以保证所提取的特征具有不变性,使用时需要进行预处理来减小图像噪声;其二,基于不变量的自动目标识别,特别是基于矩不变量的自动目标识别计算量和所需的存贮空间较大,难以在弹载实时系统中满足实时性要求。

### 3.4 特征匹配自动目标识别

特征匹配法是通过比较标准图像目标与实时图像目标的特征来实现目标识别。它利用目标的某种特征,如几何特征、纹理特征、不变矩特征、仿射不变特征、透射不变特征等,对目标进行识别。该方法提取实时图中目标的特征与记忆的特征进行比较,计算两者之间某种距离,最小时即确定为目标。特征匹配法充分地利用了目标的形状信息,对目标的几何和灰度畸变不敏感,因而可以保证较高的跟踪精度,其计算量和存储容量大大减少。20 世纪 70 年代以来特征匹配算法受到了人们普遍的重视,先后提出了序贯特征探测法、特征聚类法、线性特征匹配法、综合特征匹配法以及结构/符号匹配法等<sup>[3-7]</sup>。但特征匹配法对噪声十分敏感,对预处理和特征提取有较高的要求,比较适合于目标特征明显、噪声较小的场合。另外,在纹理较少的图像区域提取的特征的密度通常较小,局部特征的提取困难。特征匹配方法的特征提取计算代价较大,并且需要一些自由参数和事先按经验选取阈值,不便于实际应用。

### 3.5 模板相关匹配自动目标识别

模板相关匹配法通过计算实时图与参考图之间的相关测度,根据最大相关值所在位置确定实时图中目标的位置。模板匹配法具有很强的噪声抑制能力,可以在很强的噪声条件下工作,它对有关目标的知识要求甚少,而且计算形式非常简单,容易编程和

硬件实现,因而一开始就得到了人们的重视,人们陆续提出了归一化相关法、相位和双级相关法、统计互相关法、幅度排序相关法和广义相关法<sup>[8-11]</sup>。在改进的相关法中影响最大的是序贯相似性算法(SSDA),后来也提出了一些性能优于 SSDA 的算法,但原理与 SSDA 算法相同,只不过使用了不同的测度而已。之后人们又提出了空间相关测度算法,其改进工作一直延续至今。从国外 ATR 技术的成功应用来看,模板匹配法是以以后 ATR 算法的主要研究方向<sup>[12]</sup>。但该方法对几何和灰度畸变十分敏感,计算量偏大,而且往往不能利用目标的几何特性,易产生积累误差。它适用于实时图与参考图的产生条件较为一致、目标尺寸变化很小、景物各部分的相关性不强的场合。人们对与提高匹配精度和匹配速度有关的各种问题,如定位精度、噪声、灰度电平偏差、量化误差等误差因素对匹配性能的影响等都进行了系统的研究,为模板匹配技术在寻的系统中应用奠定了一定的技术基础。

## 4 自动寻的系统目标识别算法选择

自动寻的系统,特别是超高音速飞行条件下的寻的系统,自动目标识别算法所面临的环境相当复杂,除了目标/背景的复杂性外,还存在气动光学效应、运动模糊、旋转模糊、人为干扰、尺度迅速变化影响等多种复杂性,需要在对上述因素影响进行校正后的条件下才能正确、可靠地检测识别出目标,因而使用在自动寻的系统上的自动目标识别算法必须是计算量小、易于实现、保障信息要求少,并且能够适应复杂目标/背景辐射特性的算法。

下面针对打击地面目标的自动寻的系统进行自动目标识别算法选择。对地面目标的自动识别算法选择除了考虑上述因素以外还需要考虑一个因素,即在寻的系统中应用时是否依赖于实时分割,由于地面目标/背景十分复杂,将目标区域从背景中准确分割出来是一个较大的难题,所选择的自动目标识别算法应尽量不依赖于分割的好坏。

表 1 是几种算法在打击地面目标的自动寻的系统中应用时的性能比较,从表中可以看出模板相关匹配算法是在表中所关心的因素条件下较优的一种算法。

实际选择目标识别算法是在对上述性能的权衡的基础上确定的,对于地面目标可以采用基于可见光模板匹配的模板匹配识别算法,其基本流程如图

1 所示。

表1 算法性能比较

项目 \ 算法	统计模式识别算法	模型(知识)识别算法	不变量识别算法	特征匹配识别算法	模板匹配识别算法
计算量	较大	较大	大	较大	较小
易实现性	一般	较难	一般	一般	容易
实时信息保障要求	低	低	低	低	较低
是否依赖实时分割	是	是	是	是	否
实时性	一般	差	不好	较好	好
噪声适应性	差	较好	差	差	好
小目标识别距离	一般	小	小	小	大*

★:先匹配目标所在的区域,再匹配目标。

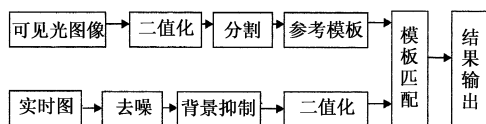


图1 基于可见光模板的匹配算法流程

可见光图像一般容易获得,在没有实时红外图像信息保障的情况下利用可见光图像制备模板是一种有效的途径。上述算法中对复杂目标/背景的分割只在参考模板制备时进行,实际应用时处于离线处理过程中并且可以人工参与,不占用寻的系统计算资源。得到参考模板和实时图像的二值化图像后的模板匹配过程很容易硬件实现,且模板匹配算法对噪声不敏感,因此该算法是一种能够实际应用于自动寻的系统的目标识别算法。

以机场目标为例验证了算法的实时性。对机场目标/背景进行低通滤波消除噪声,利用 OTSU 聚类准则进行分类来抑制草坪等背景的干扰,得到保留结构特征的预处理图像,然后采用度量方法进行结构模板匹配,以相关值最大的点作为目标匹配位置。在一个由 3 块 TMS320C6713 组成的多 DSP 系统中由主 DSP 实现实时图像的预处理,然后把预处理后的实时图像等分成三部分,分别由三个 DSP 进行与参考图的匹配计算来实现该算法。利用所获得的图像对算法的时间消耗进行了测试,图像处理系统处理每帧数据所需要的平均时间小于 14ms,能够满足自动寻的系统对算法的实时性要求。

## 5 讨论

目前自动寻的系统红外成像目标识别算法的选择没有统一的标准,主要原因是不同的系统所处的环境条件千差万别,一种自动目标识别算法还不能

适应所有的目标/环境特性变化。目标识别算法设计仍然是根据不同的使用环境设计不同的识别算法,算法设计师必须深入研究不同算法的特性、适用条件以及自动寻的系统所面临的环境特性才能做出合适的选择。当前使用红外成像目标识别算法的自动寻的系统越来越多,系统地开展目标识别算法的性能比较研究与性能评价技术研究已迫在眉睫,本文只是一次肤浅的实践,所得出的结论适用范围自然是相当有限的并且仍然有待实践的检验。

致谢:感谢华中科技大学张天序教授的指导,感谢左峥嵘博士、钟胜博士、杨卫东博士的辛勤工作,他们的指导和帮助为本文的研究奠定了坚实的基础。

## 参考文献:

- [1] 张盈华,万中南. 红外凝视成像导引头随动系统误差分析[J]. 红外与激光工程,2006,35(1):25-30.
- [2] 张天序. 成像自动目标识别[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,2005.
- [3] Thomas B Sebastin. Shape-based object recognition[D]. Brown University,2002.
- [4] Andrea Selinger. Analysis and applications of feature-based object recognition[D]. Newyork:University of Rochester,2001.
- [5] R Wong. Sequential sence matching using edge feature[J]. IEEE Trans. On Aerosp. Elect. Syst. AES - 14, 1978,1:128-140.
- [6] A Savol. An iterative feature matching algorithm[C]// In:Workshop on Image Trackers and Autononous Acquisition for Missile Guidance,1979:19-20.
- [7] C Ormsby. Advanced scene matching techniques[J]. IEEE Naecon 79:68-76.
- [8] Kuglin. Phase correlation for terminal homing [C]// Lockheed Missiles and Space Company, Palo Alto, CA, LMSC - D623524;APR,1978.
- [9] W. Pratt. Correlation techniques of image registration[J]. IEEE Trans. On Aerosp. Elect. Syst AES - 10,1974,3:353-358.
- [10] L. Novak. Correlation algorithms for radar map matching[J]. IEEE Trans. On Aerosp. Elect. Syst. AES - 14, 1978,5:641-648.
- [11] A. Arcese. Image detection through bipolar correlation. IEEE Trans. On Information theory IT - 16,1970,534-541.
- [12] 王甜,王建民,杨树谦,等. 红外图像自动目标识别技术发展[J]. 飞航导弹,2005,11:41-47.