

典型目标识别与 图像除雾技术

DIANKING MUBIAO SHIBIE YU

TUXIANG CHUWU JISHU

董慧颖 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

典型目标识别与图像除雾技术

董慧颖 著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书主要以典型目标识别以及克服雾天对目标识别造成的图像退化为目的,对目标识别所涉及的理论和技术问题做了深入的分析 and 讨论,并提供了一些作者在科研工作中总结和应用的算法。本书的目的旨在为读者提供一种实用而有效的、能够提高典型目标识别率的方法,并提供克服视觉系统中雾天影响所造成的图像退化的途径,最终提高视觉系统的可靠性和准确性。本书可以是信息科学、控制科学、计算机科学等学科从事图像处理、图像分析、视频处理、光学成像、大气光学等研究人员及科学工作者的参考资料,也可以作为高校、研究所的研究生的教学用书和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

典型目标识别与图像除雾技术/董慧颖著. —北京:
国防工业出版社,2016.7
ISBN978-7-118-09882-2

I. ①典… II. ①董… III. ①自动识别 ②图象识别
IV. ①TP391.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 252992 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 8 字数 145 千字

2016 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—1500 册 定价 69.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

目标识别是各种机器视觉系统所要解决的关键问题。本书对目标识别,特别是军事目标识别和汽车牌照识别进行了系统综述,将军事目标识别各个发展阶段的特点以及车牌识别的国内外现状做了分析和总结。然后,在数学形态学、图像分割、图像特征分析与描述、神经网络、大气散射等理论的基础之上建立了目标识别框架,采用了一些新的综合算法并在实际系统中实现,取得了理想的效果。

一个通用的目标识别系统是不存在的,针对目标识别系统中各关键技术的通用算法也是不存在的,这也正是人们致力于此方面研究的原因。本书以军事目标识别和汽车牌照自动识别两个研究课题中的目标识别为研究主线,分别研究了基于综合特征和基于神经网络算法在这两方面的应用。提出了用于车牌识别的综合特征识别算法及用于军事目标的基于不变矩特征与圆度特征综合识别算法。此外,还研究了采用基于像素和特征的不同神经网络结构识别方法。

识别算法虽然是目标识别的关键技术,但如果不能准确地提取目标,则无论是基于特征的算法还是基于神经网络的算法都将无法实现。因此,本书也研究了目标检测和提取的方法,提出了基于综合特征的车牌快速定位算法与车牌字符分割算法,以及基于多层次特征与数学形态学的目标递归提取方法。

雾霾天气现已经成为人们日常生活中关心的气象条件。近几年,全国范围的雾霾天气对工农业生产、交通、国防以及人们的日常生活产生了极大的影响、造成了严重的损失。因此,本书对目标识别系统中的雾霾天气干扰问题,进行了深入分析,特别是雾霾天气的物理特性以及相应的散射模型,利用这些特性及模型可以对受天气影响而退化的图像进行复原,这些方法对改善视觉系统的特性使之适应不良天气有非常大的帮助。

采用物理模型的方法复原天气退化图像时,其复原后的图像可能会有低亮度的特点,因此为了增加复原后图像的可视性,有必要对其亮度进行非线性调整。在此,本书可为读者提供作者的研究结果。

最后,作者感谢导师徐心和教授多年的关心和培养,感谢周围工作的同事,以及作者的研究生们,同时也感谢那些为本书的出版提供帮助和那些提出宝贵建议的人。

本书内容较广泛,涉及学科多、跨度大,编排过程中前后章节的风格、符号或编辑方式等可能未完全统一,也可能有矛盾之处。总之,所存在的不完善之处,希望各位同行在使用过程中能够多提宝贵意见并加以斧正,并将意见、建议等发送至作者邮箱 huiyingdong_book@163.com,以便今后不断改进、提高和完善。我们确信经过一段时间的使用,本书一定会成为高水平、高质量的科研参考书和著作。

作者
2013年12月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 典型目标识别技术概述	1
1.2 军事目标识别技术及其发展概况	2
1.2.1 ATR 简介	2
1.2.2 军事目标识别技术的发展	2
1.2.3 典型 ATR 系统	7
1.3 车牌自动识别技术概述	8
1.3.1 车牌自动识别系统的组成及工作原理	8
1.3.2 车牌自动识别系统的国内外现状	9
1.3.3 汽车牌照识别系统关键技术	11
1.4 目标识别中的干扰因素分析	12
1.4.1 被动干扰	12
1.4.2 主动干扰	13
1.4.3 不同气象条件对目标识别系统的影响	13
1.5 本书的主要内容	14
1.5.1 本书的主要工作	14
1.5.2 本书的结构	15
第2章 目标识别技术的相关理论基础	16
2.1 数学形态学基础	16
2.1.1 数学形态学概述	16
2.1.2 二值形态学的基本原理	17
2.1.3 灰度形态学的基本原理	18
2.1.4 数学形态学的结构元素及其分类、组合、分解	19
2.1.5 数学形态学的应用	21
2.2 图像分割方法概述	21
2.2.1 图像分割的基本概念	21

2.2.2	图像分割方法	22
2.2.3	图像分割中存在的问题	24
2.3	图像特征分析与描述	25
2.3.1	图像特征分类	25
2.3.2	特征的分析与描述	25
2.4	神经网络理论基础	27
2.4.1	人工神经网络及其模型	27
2.4.2	神经网络的分类及其激活函数	29
2.4.3	神经网络的学习训练方法	30
2.5	大气散射理论基础	32
2.5.1	大气中粒子与天气的关系	33
2.5.2	大气散射机理	34
第3章	典型目标检测及提取技术	39
3.1	引言	39
3.2	目标搜索与定位方法	39
3.2.1	目标区域搜索方法	40
3.2.2	目标定位方法	43
3.3	综合目标分割方法	45
3.3.1	基于特征的目标分割方法	45
3.3.2	算法综合及结果	48
3.4	基于多层次特征目标提取中的目标候选区域选择	49
3.4.1	基于灰度特征的多阈值分割	49
3.4.2	基于空间分布特征的区域选择	49
3.5	基于多层次特征与数学形态学的目标提取方法	50
3.5.1	基于多层次特征与数学形态学的目标提取方法	50
3.5.2	目标递归提取方法	52
3.5.3	提取流程及实验结果	53
第4章	基于综合特征的目标识别技术	57
4.1	引言	57
4.1.1	特征提取与选择	57
4.1.2	特征提取与选择的步骤	57
4.1.3	特征提取与特征选择的关系	58

4.2	基于综合特征提取的车牌字符识别方法	58
4.2.1	车牌字符的几种典型特征及提取方法	59
4.2.2	识别流程及分类器的设计	60
4.2.3	算法综合及识别结果	61
4.3	基于不变特征的军事目标识别	62
4.3.1	不变矩与圆度特征提取	62
4.3.2	构造样本特征库	67
4.3.3	特征空间搜索与特征匹配	68
4.3.4	判决与分类	69
4.3.5	系统识别流程及与识别实验结果	70
第5章	基于神经网络的目标识别技术	72
5.1	基于BP网络的目标识别	72
5.1.1	BP网络模型及其工作原理	72
5.1.2	BP网络分类器的实现及实验结果	76
5.2	基于自组织竞争网络的目标识别	79
5.2.1	自组织竞争网络模型及其工作原理	79
5.2.2	自组织竞争网络分类器的实现及实验结果	81
5.3	基于Hopfield网络的目标识别	82
5.3.1	Hopfield网络模型及其工作原理	82
5.3.2	Hopfield网络分类器的实现及实验结果	85
5.4	基于不变特征的神经网络识别	86
5.4.1	BP网络识别	87
5.4.2	自组织竞争网络识别	88
第6章	基于物理模型的雾天退化图像复原方法	89
6.1	退化图像及复原方法概述	89
6.1.1	成像系统的数学描述	89
6.1.2	退化图像模型	91
6.1.3	退化图像的复原方法概述	93
6.2	天气退化图像模型	96
6.2.1	单色大气散射模型	96
6.2.2	二色大气散射模型	96
6.2.3	光源的辉光模型	97

6.3	光源天气退化图像的仿真及复原	101
6.3.1	光源天气退化图像的仿真	101
6.3.2	光源天气退化图像的复原	102
6.4	基于二色模型的天气退化图像的复原方法	104
6.4.1	获取深度信息	104
6.4.2	图像复原	105
6.4.3	复原后图像增强	106
6.4.4	仿真实验结果及比较	107
后记	110
参考文献	112

第 1 章 绪 论

1.1 典型目标识别技术概述

人类使用的最原始的成像系统是我们人类的视觉系统,高分辨率的人眼器官,通过视神经与大脑融合在一起,最终形成现实的传感器官,这是目前人们在传感器和信号处理器设计上追求的目标。尽管人类的眼脑系统是一流的,但是,它也有严重的不足。例如,人眼所能感觉的光谱范围是有限的,而且没有能力去扩展感知范围,人类在夜间不能很好地观测,在雨、雾等不良天气下也无法很好地工作,且很容易被欺骗。为了突破这些局限,人类开发了许多设备以观测远远超出我们人类感知系统所能感知到的环境,这使我们能够完成大量复杂的任务。然而,这些设备所带来的附加数据处理量,远远超出了我们快速处理所有信息并做出决策的能力。

目前模式识别及图像处理技术在各行业已经有了广泛的应用。在医学成像系统中,大范围的形态特征已改善了诊断能力。回声显像图像可以在 100ms 内产生,4 幅计算机化的 X 线断层扫描图像可以在 1s 内产生。人类需要图像处理的帮助以便实现自动指纹识别和人脸识别、制造业的控制、货物筛选,以及机器人学等方面的应用。

在智能交通领域中,车辆牌照识别是计算机视觉与模式识别技术在智能交通领域应用中的重要研究课题,也是智能交通系统的核心组成部分。该技术应用范围十分广泛,主要包括:交通流量监测、交通控制与诱导、城市主要交通干路与高速公路卡口管理、违章监控、自动计费、查堵指定车辆以及记录车辆出行时间等。

在军事领域,目标识别被用来区分辨识军事目标,无论是半自动还是全自动的目标识别,统称为自动目标识别(Automatic Target Recognition, ATR)。一个 ATR 系统依靠各种传感器系统采集战场目标与场景信息,经过处理可以提示潜在目标的存在,还可以进行复杂目标的确认。ATR 的传感器已经发展到能在夜间和不良天气下观测战场,基本上具有全天时和全天候的性能。主要传感器设备有:图像增强器、红外成像仪、高分辨率电视、激光、雷达等。作战人员可以根据 ATR 的信息做出快速反应和决策。

无论是在军事目标识别还是在其他目标的识别过程中,天气的影响是重要的因素。对识别系统在不同气象条件下受到的干扰进行深入了解与研究,有助于解决全天候作战时所需的各种装备在研制与合理使用中的技术问题。

本书是在科技部中小企业创新基金课题“汽车牌照自动识别专用数码相机开发”和国防预研课题“基于多模信息融合的目标识别及跟踪技术研究”这两个实际课题背景下进行的研究工作。本书较深入地研究了目标识别的算法,包括目标分割、特征提取、分类识别及神经网络算法,并以本书所提出的算法,实现了一类实际的图像识别系统——汽车牌照识别系统,取得了满意的识别效果,并为一个多模制导系统中的目标识别提供了算法基础。本书还重点研究了目标识别中常遇到的天气干扰问题,以及天气退化图像的复原问题的解决方法。

1.2 军事目标识别技术及其发展概况

1.2.1 ATR 简介

ATR(Automatic Target Recognition)是检测、分类、识别和确认目标而不需要人干预的机器功能^[1,2]。在军事上,ATR 最复杂的例子是“打了不管”(Fire - And - Forget)和“发射后锁定”(Lock - On - After - Launch)导弹。在这些系统中,导弹发射后,ATR 在景物中识别候选目标,选择最终目标,并在飞行过程中跟踪目标,做出命中点的选择,经末制导导引直到最终命中目标。在自主操作中,图像也可能从不显示。

为什么需要 ATR? 因为我们要在目标打击我们之前打击目标。没有 ATR 辅助的人工系统的性能是有限的。人工系统存在下列问题:完成重复性工作能力差;区域搜索能力差;长时间工作能力差;反应时间长。有无 ATR 辅助的系统中所处理的数据量及检测目标的概率的比较如图 1.1 所示^[2]。由图中可见,目标识别中计算机比人更好,而要处理的数据量增加了 100 倍以上。因此,更好的传感器、更快的计算机、更强有力的算法是 ATR 发展的关键。

1.2.2 军事目标识别技术的发展

军事目标识别技术发展过程可分为三个阶段^[1,2]:第一个阶段是基于特征的目标识别;第二个阶段是基于模板的目标识别;第三个阶段是基于模型的目标识别。各个阶段的主要特点如表 1.1 所列。

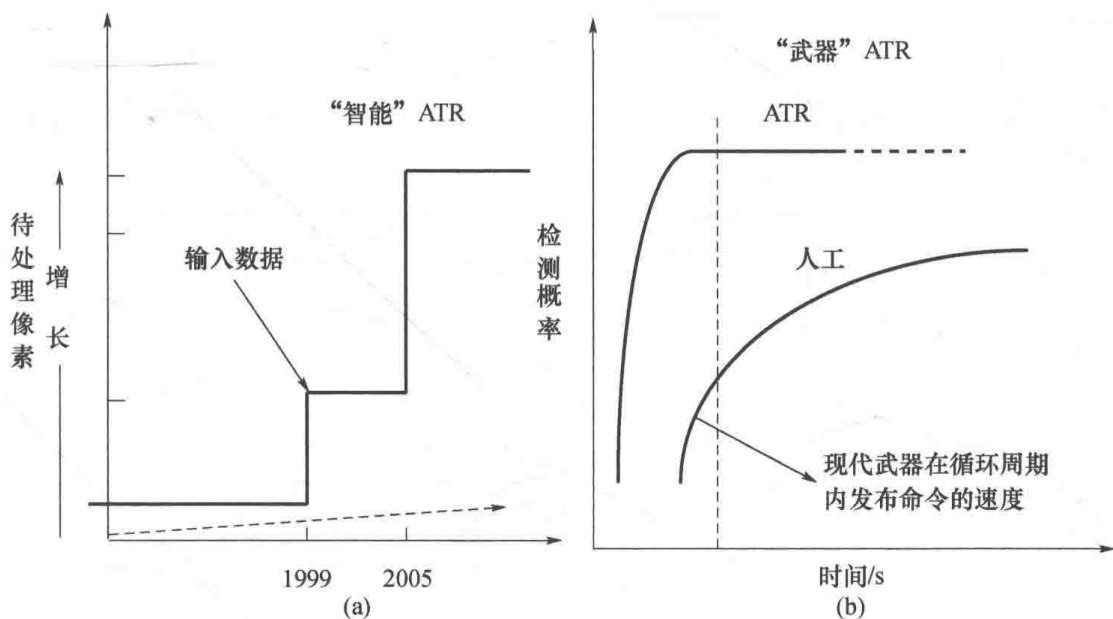







图 1.1 有无 ATR 辅助的系统之比较
(a)处理数据量的比较;(b)检测目标要概率的比较。

表 1.1 军事目标识别技术的发展过程

时间	20 世纪 70—80 年代	20 世纪 90 年代	21 世纪以来
名称	基于特征的 ATR	基于模板的 ATR	基于模型的 ATR
特点	目标确认是基于一些主要的特征,如颜色、大小、周长、长高比等不变特征	目标的确认是基于将传感器得到的图像与预先存储的图像比较,如热成像图像	目标的确认是基于将传感器得到的图像与预测的图像比较,如模型捕获特征
局限性	高误警率	1. 每个目标多个图像,存储量超常,处理速度慢; 2. 忽略接入到新的、应被预警的目标	有限的计算机能力
实例	 战斧  DSP	 JSTARS  阿帕奇	 TIER II+

1.2.2.1 基于特征的 ATR

20 世纪 70 年代—80 年代,图像制导技术在战略武器的末制导中发挥了极大的作用。该阶段以特征作为目标识别的基础,这些特征主要是颜色、大小以及旋转、放大、平移等不变特征,该阶段 ATR 的典型处理过程如图 1.2

所示^[1,2]。

图 1.2 中 ATR 系统中使用的传感器可以是可见光 TV 传感器^[26]、CCD、微光探测器、红外探测器^[19,21]、毫米波 (MMW) 雷达^[25]、激光雷达、合成孔径雷达 (SAR)^[92]、其他传感器等。

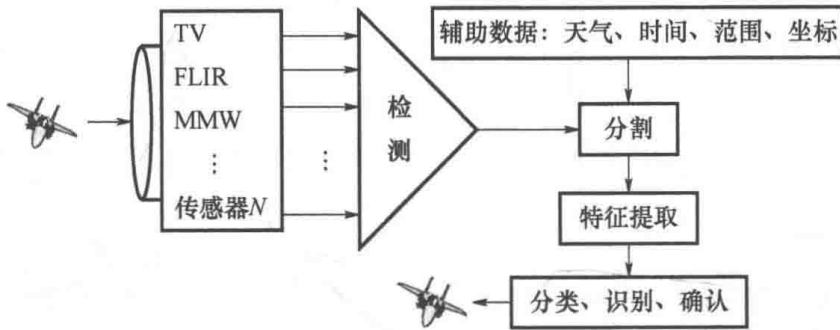


图 1.2 ATR 目标分类的典型处理步骤

特征的选择是在目标分割后的高层次分类的关键,通常大多数算法被认为是试图对人类识别过程进行编码。基本的 ATR 分类被描述为关于图像空间到特征空间的映射问题,特征空间由一组从图像中分割出来的候选目标的具有确定定义的可测量的一组基向量组成。特征基集合可能不是完备的或正交的,特征基的选择可以是特定的,例如周长、高长比、面积周长比等,这些特征通常都是基于 Rosenfeld 早期的工作^[27]。然后,目标便可用特征空间中的向量来描述,该向量的元素便是对已分割目标测量所得到的值。

80 年代早期的算法是启发式的、典型的,检测是基于某种阈值,阈值由目标与目标周围任意区域内背景的对比所确定^[63]。

分割过程的第一步是在检测出的目标区域中进行边缘检测^[73],有关分割过程在文献[75]中已详细给出。下一个步骤是将边缘分割逻辑地连接在一起,并填充空白,以形成假定目标周围曲线。然后,该区域被转换成二值图像。最后,计算出目标的特征,计算出的值便构成了特征空间中的一个向量,将被用作目标分类等。分类是目标识别的最高层,一般基于某种统计学分类器,如贝叶斯分类器^[88]、 k 阶最邻近分类器^[90]。

早期 ATR 系统的性能是较差的。低杂波情况下检出率不超过 70%,而识别仅比随机猜测高出无几,误警率除了最低杂波外是不可接受的^[1]。

1.2.2.2 基于模板的 ATR

20 世纪 80 年代后期和 90 年代初期,产生了新一代的算法,这类算法不需要遵循图 1.2 的传统顺序流程。这些算法采用基于知识的系统或模板匹配的方法^[6,12,14,20,93],这类算法的工作过程可以分为两个阶段:感兴趣区域 (ROI) 的产生阶段和目标识别阶段。ROI 阶段的任务是在图像中搜索所有目标大小的

物体,这是通过由一个简单的双窗口滤波器与图像卷积来实现的,区域也可以通过合并邻域内相同的特征来扩大。这个阶段产生的 ROI 被提交给模板匹配器,在调整姿态和尺度后,将窗口中的内容与存储的目标集模板比较,通常采用最小方差匹配准则。

1.2.2.3 基于模型的 ATR

进入 21 世纪,产生了一代更新的算法,即基于模型的 ATR 算法。这种算法是在基于模板的 ATR 基础上发展起来的。

基于模型的算法含有感兴趣区域中目标的模型,目标模型和环境耦合在一起,传感器的图像与模型匹配直到满足某一可信度。另外,基于模型的方法可以同时实现几个功能,如同时实现识别与确认功能,而传统的方法是顺序执行这些功能。基于模型的 ATR 算法概念和原理如图 1.3 所示。

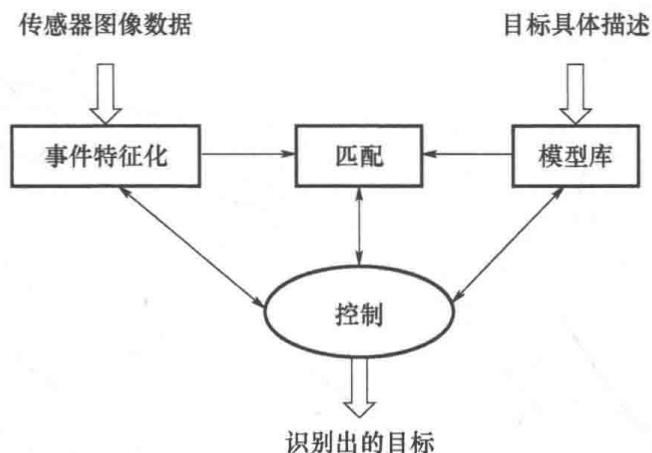


图 1.3 基于模型的算法概念

事件特征化是指提取和描述输入图像相关特征的算法(也称图像事件,简称事件)。这个过程将来自传感器的信号转换成相应的符号,即信号到符合的转换。

在军事目标识别中,事件是指潜在的目标。每一个提取出的特征进一步分解成子特征称为事件要素(简称要素),事件特征化的输出是一个事件的要素表。

模型库是一个包含待识别目标描述的数据库。这个描述由希望提取的可靠特征和匹配策略来决定。匹配是将提取事件的基本特征与模型库中的特征要素比较的算法。控制是协调其他三部分操作的算法。

当应用发生变化时,目标所在环境可能使模型数据库无用,难以满足实际的需要,但随着科学技术的发展和进步,更好的传感器、更快的计算机及更强有力的算法将会使其成为可能。这一阶段算法的主要特点为多种算法的结合。

1.2.2.4 基于神经网络的 ATR

基于模型的方法与更类似于人类具有感知处理的神经网络的集成使用,可成为一种信息集成的可能方法^[1,2]。许多神经网络的应用都是同军事问题相关联的,由于具有训练和泛化的能力,人工神经网络经常用于目标识别^[3,4,8,13,15-18]。

一个通用的目标识别系统是不存在的。目标识别的数据可以是一维非成像的传感器数据,如激光雷达数据;也可以是二维和三维图像数据,如含有序列信息、运动信息的图像以及超光谱图像。典型神经网络 ATR 系统的组成框如图 1.4 所示。ATR 系统的设计通常包括 4 个步骤:

- (1) 选择能够产生目标测量信息的传感器或传感器组;
- (2) 数据预处理及感兴趣区域的搜索定位或目标分割;
- (3) 特征提取和选择;
- (4) 用于决策和分类的特征处理。

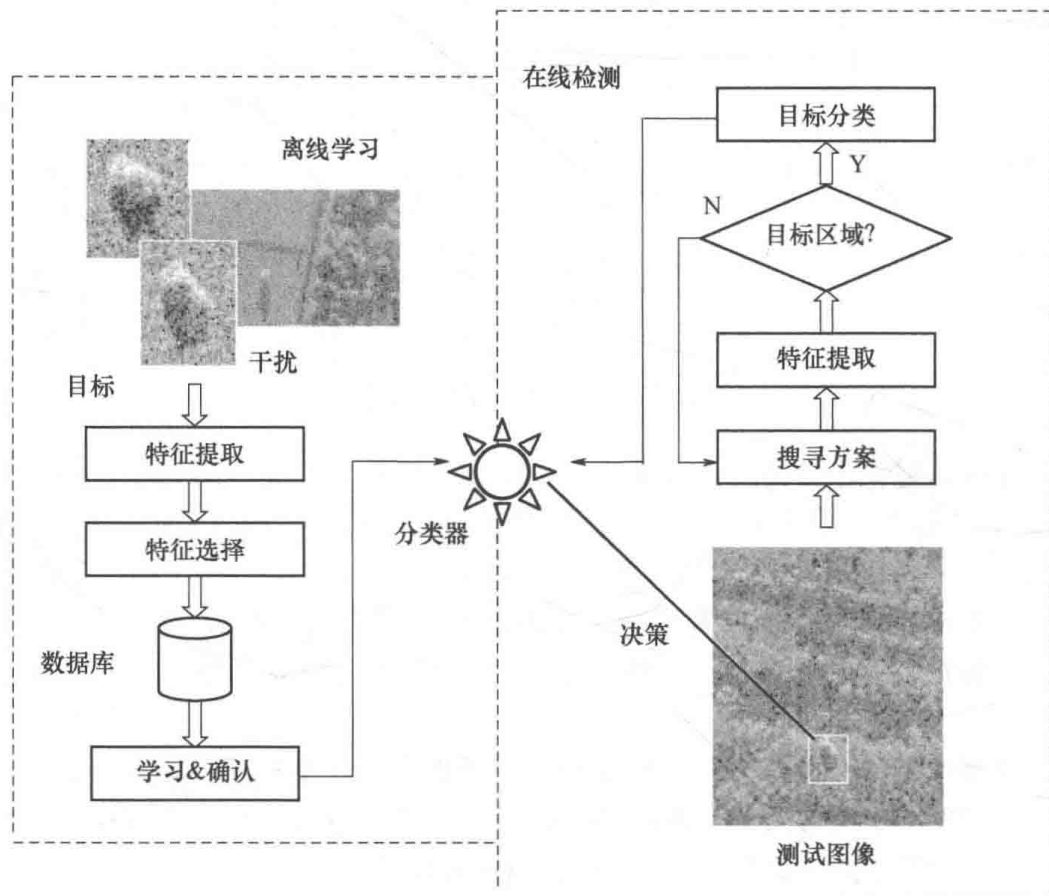


图 1.4 典型神经网络 ATR 系统的组成框图

1.2.2.5 基于信息融合的 ATR

最新的提高算法性能的方法是通过使用多种独立的信息,如来自多传感器

的信息以及空域和时域信息的集成。过去大多数系统虽配备了多传感器,但并没有融合其信息,仅仅是在不同的条件下使用单一的传感器。近年来,随着技术的发展和需求的提高,多传感器信息融合^[23]已成为一种提高 ATR 性能的途径之一。一个多传感器图像融合的典型 ATR 组成框图如图 1.5 所示。目前,多模传感器融合的报道仅限于双模融合,如双波段红外融合^[19]、TV 传感器和红外融合^[10,23]等。融合的算法也包括其他形式的融合,如神经网络分类器融合^[9,80]、特征融合^[23]、图像序列的融合^[11]。

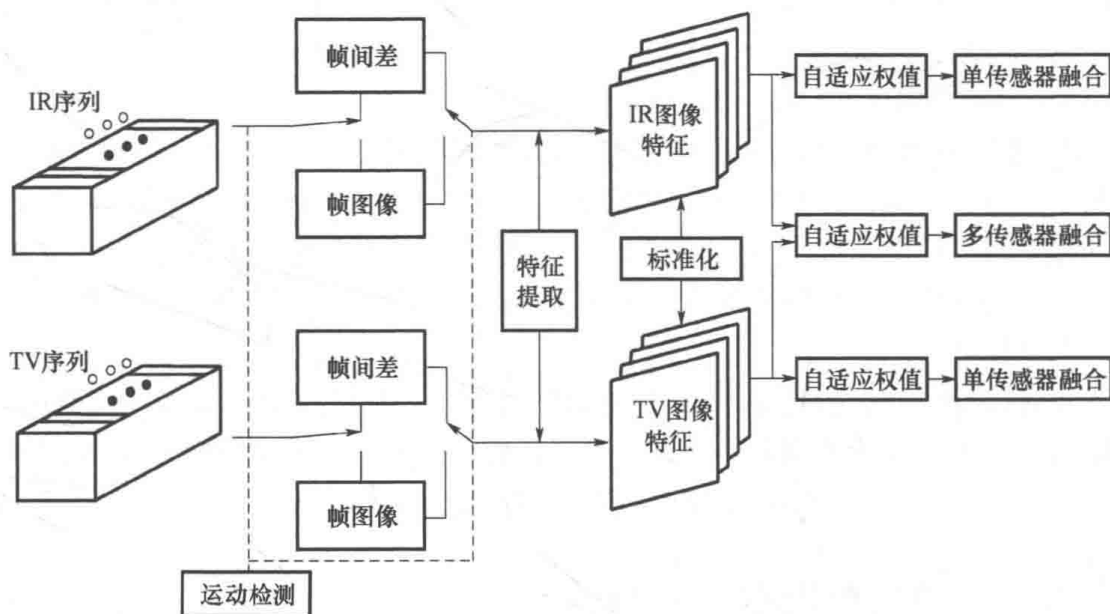


图 1.5 多传感器信息融合的典型组成框图

提高 ATR 系统性能是 ATR 系统实现的关键。通过信息融合可利用更多的信息提高 ATR 系统的性能。

1.2.3 典型 ATR 系统

下面介绍几个典型的 ATR 系统。

1.2.3.1 SAHTIRN 系统

SAHTIRN 系统^[3]全称为 Self Adaptive Hierachial Target Identification and Recognition Neural Network,可译为自适应分层目标确认和识别神经网络。它由三部分组成:基于 Canny 边缘检测器的图像分割;基于改进识别结构的分层特征提取和模式识别系统;基于 BP 网络的模式分类器。

系统首先对目标进行分割,然后对分割后的目标进行特征提取并进行编码,采用模式译码器对目标进行识别,最后通过分类器对目标分类。这个系统将人工神经网络(ANN)应用于 ATR。

1.2.3.2 XTRS 系统

XTRS^[6]是基于模型的目标识别实验系统,其全称为 The Experimental model - based automatic Target Recognition System,能识别真实的和人造的3D地面或空中交通工具。其关键部分是对一个新物体描述的设计和新类的匹配。XTRS 可以进行两种操作:一种是使用边缘探测器在基于轮廓的模型中操作(XTRS - C);另一种是使用图像分割技术在基于区域的模型中操作(XTRS - R)。

XTRS 系统包括4个组成部分:事件描述、模型库、匹配器和控制。XTRS 将两个独立的识别策略相结合。一是轮廓识别,仅通过使用边缘探测器对区域图像进行检测;二是区域检测,使用区域分割的方法对从区域图像和亮度图像中分离出来的“感兴趣”图像进行像素级融合。

XTRS 包含两个相互独立的模型库(轮廓模型库和区域模型库),模型库中为一定数据结构的数据集,每个数据都是对被识别目标的具体描述。匹配器的功能是从待识别目标中提取的特征与模型库中各类目标特征进行比较,完成对目标的确认。而控制系统采用相对直接的控制策略对特征提取与匹配的算法进行控制。

此外,典型的ATR系统还有OATR系统^[5],全称为Optical Aided Target Recognition,可译为半自动光学目标识别系统。该系统为32通道可处理大规模的SAR图像,有关该系统的系统级设计概况请参阅文献[5]。

1.3 车牌自动识别技术概述

车牌自动识别系统(License Plate Recognition System, LPR)是通过摄像机摄取包含车牌的汽车图像,经过一系列图像处理和模式识别过程,输出车牌号码字符串。自动车牌识别技术是解决交通管理问题的重要手段,是计算机图像处理技术和模式识别技术在智能交通领域的典型应用。

自动牌照识别是一种非常有实用价值的技术。随着信息时代的到来,随着交通工具越来越多,面对越来越复杂的交通及安全管理问题,人们不可能仅靠人工管理的方式来得到满意的管理效果。于是,依靠先进的电脑设备和识别算法的牌照自动识别解决方案就越发显示出其无可替代的优越性——方便、高效、快捷、成本低。它在现代公路监控、公安机关侦破、城市车辆管理等方面有着广泛的应用前景。这项技术的成熟和应用会给国家和社会带来巨大的经济效益和社会效益。

1.3.1 车牌自动识别系统的组成及工作原理

汽车牌照自动识别系统一般由7大模块组成,如图1.6所示。其中,检测