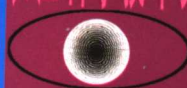


//

长江科学技术文库

国家“十五”重点
图书出版规划项目



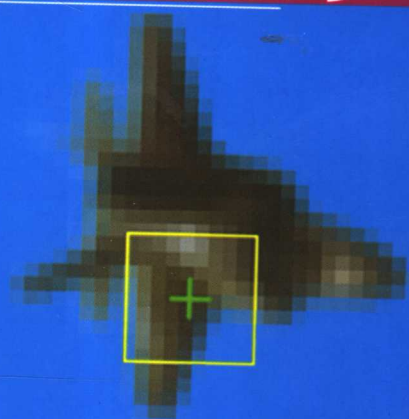
Automated Recognition of Imaged Targets

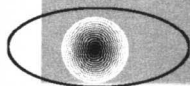
成像

自动目标识别

张天序 著

湖北科学技术出版社





长江科学技术文库

国家“十五”重点
图书出版规划项目

TP391.41
551

成像

自动目标识别

Automated Recognition of Imaged Targets

湖北科学技术出版社

张天序 著

SBD91/10

图书在版编目(CIP)数据

成像自动目标识别/张天序著. —武汉:湖北科学技术出版社,2005.4
(长江科学技术文库)

ISBN 7-5352-3257-4

I. 成... II. 张... III. 成像—自动识别 IV. TP391.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 079578 号

成像自动目标识别

© 张天序 著

策 划:李慎谦

封面设计:王 梅

责任编辑:陈兰平 高诚毅

出版发行:湖北科学技术出版社

电话:87679468

地 址:武汉市雄楚大街 268 号

湖北出版文化城 B 座 12 ~ 14 层

邮编:430070

印 刷:武汉中远印务有限公司

邮编:430034

督 印:刘春尧

787mm × 960mm

16 开

27.25 印张

426 千字

2005 年 4 月第 1 版

2005 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 7 - 5352 - 3257 - 4/TP · 78

定价:60.00 元

本书如有印装质量问题 可找本社市场部更换

内容简介

本书系统地论述了成像条件下自动目标识别(ATR)的理论、方法与技术问题。首先讨论了影响自动目标识别性能的外部因素和图像的基本特性度量,引出相关联的涉及低层、中层和高层处理的基本系统工作流程。在此基础上,研究了目标的表达与建模、预处理、背景抑制与兴趣区提取、运动目标检测、目标识别算法和实时识别系统等重要课题。研究自动目标识别的信息处理应联系相应的成像物理过程及任务。完整的 ATR 包括在线分系统和离线分系统。在线系统必须具有实时性、小型化和可靠性高的特点,离线系统包括建模、仿真、性能评价和训练在线系统的功能,两者对于构建一个成功的 ATR 应用系统是不可或缺的。书中给出了丰富的实例,供读者参考和研讨。

本书可供从事图像信息处理的工程技术人员、高等学校师生参考。

《长江科学技术文库》编委会

主 任 王少阶

副主任 (按姓氏笔画为序)

王建辉 刘会永 邱久钦 邱菊生

郭生练 路 钢

委 员 (按姓氏笔画为序)

王少阶 王建辉 方秦汉 宁津生

齐民友 刘会永 张天序 邱久钦

张勇传 李家荣 邱菊生 张端明

郑守仁 周祖德 赵守富 赵修建

郭生练 殷鸿福 夏穗生 黄志远

路 钢 樊明文

总策划 李慎谦 张端明(兼)

策划组成员 (按姓氏笔画为序)

王红斌 史可荣 余永东 夏杨福

作者简介

张天序，
1947年5月生
于重庆，1970年
毕业于中国科学
技术大学，1981
年于华中工学院
获硕士学位，
1989年于浙江



大学获博士学位。1997年、2002年、2004年
法国波尔多第三大学客座教授，1999年香港
中文大学客座教授。现任华中科技大学图像
识别与人工智能研究所所长、教授、博士生
导师，图像信息处理与智能控制教育部重点
实验室主任，中国宇航学会光电技术专业委
员会副主任委员，《红外与激光工程》杂志副
主编，航天三院兼职研究员，国家自然科学基金
基金信息学部自动化学科评审组成员，总装备
部精确制导专业组成员，湖北省有突出贡献
的中青年专家。研究方向为图像分析与目标
识别，精确制导智能化信息处理，医学图像处
理，实时并行处理。已在国内外重要学术刊物
(IEEE Trans, Opt Eng, Pattern Recogn
等)发表学术论文100余篇，曾获部委级科技
进步奖多项。

总 序

科学技术作为“最高意义上的革命力量”，推动社会生产力的急剧发展，乃是人类社会进步的强大动力。科学技术的一次次革命，触发一次次的产业革命，使人类文明一次又一次地攀上更高的峰顶。“科学技术是生产力，而且是第一生产力”已成为当代公众的共识。

当前，一场规模宏伟的高科技革命正以排山倒海之势席卷全球。这场革命其范围之广泛，内容之丰富，发展之迅猛，影响之深刻，更是以往的科技革命所无法比拟的。其直接之后果导致所谓“信息革命”、“知识经济”应运而生。这场新的科学技术革命的三大主角是信息科学技术、材料科学技术和生命科学技术。科技知识空前快捷和广泛地产生、传播和应用，不仅极大地推动经济和社会发展，归根结底，也决定了国家的综合国力和民族的竞争能力。因此，“科教兴国”不仅是现代化建设的需要，更是我们自立于世界民族之林、振兴中华的英明决策。

荆楚大地，人杰地灵，自古以来，人才辈出。不仅创造了瑰丽多姿的楚文化，而且在科学技术方面谱就了一篇篇辉煌的乐章。曾侯乙编钟，陆羽的《茶经》，毕昇的活字印刷术，李时珍的《本草纲目》……，无不闪耀着智慧的光芒。清末民初，欧风东渐，现代的科技传入中国，湖北省更是开风气之先。尤其是清末张之洞主政湖广，锐意革新，创建学堂，兴办实业。所谓“汉阳造”竟成为当时中国新兴军工的象征；“汉冶萍”公司更是中国近代工业的翘首。因此，民初以来，汉口遂发展成为全国仅次于上海、天津的大

商埠;湖北的近代教育、近代科技、近代产业在当时的中国堪称中坚。

党的十一届三中全会以来,湖北科技界高举邓小平理论伟大旗帜,锐意创新,勇攀高峰,硕果累累,成绩斐然。老一代的硕学鸿儒,春深花茂;一大批功底扎实、奋进不已的中年学者,叶盛枝繁;更加可喜的是,风起云涌的青年才俊更是意气风发,大展宏图。目前湖北省的整体科技实力已跻身于全国“科技强省”之列。

为了进一步贯彻好“科教兴鄂”的战略方针,弘扬科学精神,宣传科学方法,普及科学知识,汇集并宣扬改革开放以来湖北省在科学技术上,尤其是在高科技研究方面所取得的丰硕成果,特组织出版《长江科学技术文库》。本文库的宗旨,在于收录奋战在荆楚大地科研第一线上,并且取得了在国际和国内能够占据一席之地的优秀科研成果的专家教授的新著,兼收并蓄,分卷出版,无分轩輊。文库内容遍及偏微分方程、现代分析理论、随机分析、理论物理、高能物理、原子核物理、高分子材料、纳米材料、大地测量、摄影与遥感、生物地质、作物遗传改良、动物遗传育种、口腔医学、器官移植、激光技术、数控技术、人工智能、水利工程和桥梁建设等等。需要说明的是,应该收录而未进入本文库的专著还很多。其中原因多多,如有的专家工作太忙,近期无暇著书立说;有的专家刚有专著出版;等等。由于湖北科技战线很广,而文库容量有限,挂一漏万,也在所难免,敬请各界同仁见谅。我们希望,这个文库还可以继续出续集,以弥补这些遗憾。

“天行健,君子以自强不息。”愿湖北的广大科技工作者再接再厉,百尺竿头,更进一步,描绘出荆楚大地上更灿烂的科技星空。

《长江科学技术文库》编委会

2003年8月

前 言

本书是为从事图像处理及其应用的专业研究人员和研究生而写的。该书总结了作者及其所领导的研究组过去 10 年所做的部分研究工作,并在国内外有关该领域研究进展的框架内阐述了这些研究成果,每章后都给出了相关的参考资料索引。

自然场景和复杂背景条件下的自动目标识别(automatic target recognition, ATR)是研究利用各种传感器(声、光、电、磁等),特别是成像传感器,如可见光、红外线、X 射线、合成孔径雷达、激光雷达、多谱或超谱传感器等,从客观世界中获取目标/背景信号,并使用光/电子及计算机信息处理手段自动地分析场景,检测、识别感兴趣的目标及获取目标各种定性、定量性质的科学技术领域。它的理论、模型、方法和技术是各种工作在自然场景和复杂条件下的系统自动化、智能化的基础,这些系统运行在各种平台上。

基于 ATR 的进步,机器人装置的技能将更灵活、有效,从而扩大制造过程的自动化程度,并促进在恶劣环境条件下自主式遥控机器人的使用。新型医学成像诊断设备将能自动或更灵巧地辅助医疗人员发现病症、诊断疾病,对病灶进行自动化手术与治疗;装备具有自动辨识生物特征系统的机要部门、银行和智能大厦将更加安全、方便;遥感观测系统将更加快速可靠地从二维、三维、多维的数据中发现矿藏、森林火灾和环境污染。“发射后不管”的武器系统从复杂背景中检测、识别弱目标以及从假目标中识别出真实目标或有价值目标的能力将大大增强,武器的精确性、可靠性及效率将大大提高。

本书系统地论述了成像条件下自动目标识别(ATR)的理论、方法与技术问题。首先讨论了影响成像自动目标识别性能的外部因素和图像的基本特性度量,引出了相关联的涉及低层、中层和高层处理的基本系统工作流程。在此基础上,研究了目标的表达与建模、预处理、背景抑制与兴趣区提取、运动目标检测、目标识别算法和实时识别系统等重要课题。成像自动目

识别的信息处理研究应联系相应的成像物理过程及任务。完整的 ATR 包括在线分系统和离线分系统,在线系统必须具有实时性、小型化和可靠性;离线系统包括建模、仿真、性能评价和训练在线系统的功能,两者对于构建一个成功的 ATR 应用系统是不可或缺的。书中给出了与红外和可见光成像目标识别有关的丰富的实例,供读者参考和研讨。

ATR 的发展前景令人神往,同时具有极大的困难和挑战性。之所以令人神往是因为该领域涉及很多科学技术领域,并且有几乎无限的实际应用需求(民用和军用)。它的困难和挑战性在于,我们需要发展可靠和鲁棒的算法,这些算法能有效地工作在变化的各种场景中,这包含各种实际的任务和应用。目前,可实际应用的 ATR 系统不多,原因之一就在于此。另一个具有挑战性的前沿是如何从物理原理出发,发展出坚实的有关背景干扰和目标特性的理论和模型,如何有效地使用上下文信息和多传感器、多源信息。最后亦是最重要的是把 ATR 从一门技艺(art)发展为一门科学(science)。这将允许对一组给定的 ATR 算法,可以预测它们的性能,这是称为科学的领域所应具备的基本要素。作为一个系统,ATR 将向具备自适应、自学习能力的智能化方向发展,它们将能够在变化的环境条件下检测和识别目标,并能适应于变化的传感器、不同的处理算法和使用条件。

国家自然科学基金重点项目(编号 60135020)、国家重点预研项目(编号 1.2.2.2,413010701-3)和中法先进研究计划(编号 PRASIO1-03)支撑了本书涉及的研究工作。本书的出版得到了湖北省《长江科学技术文库》出版基金的资助,在此一并表示感谢。

作者感谢在本书文稿准备过程中诸多同事和学生的贡献,包括准备、整理、补充、编辑和打印有关材料,他们是:彭辉、陶琳、胡静、沈彧、曾永慧、李勖、李锦波、刘进、洪汉玉、张蔚、荆根强、石岩、左峥嵘、钟胜、王岳环、曹治国。

作为一家之言,疏漏与不当之处,恳请读者指正。

张天序

2003 年 11 月于武汉

目 录

总 序	I
前 言	III
第1章 引论	1
1.1 不变特性感知	4
1.2 成像目标识别的信号处理	5
1.3 计算智能途径	5
1.4 性能评价与预测	6
1.4.1 场景参数	6
1.4.2 大气参数	7
1.4.3 传感器与平台特性	7
1.4.4 图像度量参数	7
1.5 实时性和可开发性	8
1.6 识别的基本过程	9
1.6.1 过程与系统	10
1.6.2 预处理与背景抑制	11
1.6.3 多级动态特征空间	12
1.6.4 识别问题的内涵	14
参考文献	15
第2章 目标的表达与建模	18
2.1 多尺度目标表达	19
2.1.1 轮廓的金字塔模型	19
2.1.2 三维目标的方位图	21
2.1.3 多尺度特性视图	31
2.2 目标图像的不变量表达	41

2.2.1	二维几何矩的不变特征	42
2.2.2	二值不变矩的轮廓链快速算法	47
2.2.3	Zernike 矩	51
2.2.4	平移和尺度不变的自适应小波矩	57
2.2.5	傅里叶描述子不变量	67
2.2.6	傅里叶—梅林变换	71
2.3	不变矩稳定性及多级特征模型	75
2.3.1	高斯点扩展函数作用下的目标不变矩	76
2.3.2	离散条件下不变矩的计算误差	91
2.3.3	不变矩数量级标准化	92
2.3.4	目标识别的多级特征模型	92
2.3.5	小结	94
	参考文献	94
第3章	基于成像过程的预处理	99
3.1	湍流图像校正与恢复	99
3.1.1	构造方程组	101
3.1.2	改造方程组	104
3.1.3	方程的选择	105
3.1.4	点扩展函数的直接估计法	106
3.1.5	约束最优估计	107
3.1.6	实验及分析	109
3.1.7	小结	115
3.2	旋转模糊图像恢复	115
3.2.1	旋转运动模糊分析	116
3.2.2	沿模糊路径去卷积	118
3.2.3	邻域知识引导的最小代价恢复算法	119
3.2.4	实验	121
3.2.5	小结	123
3.3	振动模糊的图像恢复	123
3.3.1	算法原理	125
3.3.2	实验	127
3.3.3	小结	128
3.4	红外成像非均匀性校正	129

3.4.1 校正公式	131
3.4.2 响应非线性和硬件实现	132
3.4.3 仿真实验	135
3.4.4 小结	138
3.5 序列图像的稳像	139
参考文献	141
第4章 背景抑制与兴趣区提取	147
4.1 多级滤波与斑状区检测	147
4.1.1 模型	147
4.1.2 多级滤波抑制背景和噪声	149
4.1.3 检测最优门限实时估计	158
4.1.4 实验	159
4.2 基于分形的非线性滤波	162
4.2.1 灰度曲面的分形特征	162
4.2.2 小目标检测	168
4.2.3 小结	170
4.3 基于视觉非线性的二值分割	170
4.3.1 计算模型	171
4.3.2 算法和实例	175
4.3.3 小结	178
4.4 多值图像分割与标记	178
4.4.1 多代理者分割方法	179
4.4.2 主要代理者的说明	180
4.4.3 实验	184
4.4.4 轮廓跟踪、标记和区域树结构	187
4.5 基于梯度的分割与兴趣点检测	196
4.5.1 低反差图像分割	196
4.5.2 吃水线识别	200
4.5.3 帧间兴趣点确认	202
4.5.4 实验	203
参考文献	204

第 5 章 运动目标检测	209
5.1 运动感知模型	209
5.1.1 有趣的性质	210
5.1.2 移动图像的频率构成	210
5.1.3 运动感知器模型	213
5.1.4 小结	221
5.2 基于光流的运动目标检测	221
5.2.1 恒常性假设及其计算	221
5.2.2 背景与目标的表现运动	222
5.2.3 抑制噪声影响	223
5.2.4 多分辨率运动估计	224
5.2.5 光流计算与检测实验	226
5.2.6 有监督学习的运动物体检测	229
5.2.7 小结	239
5.3 点源运动目标检测	239
5.3.1 成像的采样模型	240
5.3.2 频率域检测算法	241
5.3.3 空间 - 时间 - 光谱域检测算法	248
参考文献	259
 第 6 章 目标识别算法	261
6.1 概述	261
6.1.1 统计模式识别算法	261
6.1.2 基于模型的识别算法	262
6.1.3 人工神经网络算法	264
6.1.4 典型目标类型	264
6.2 基于不变量的目标识别	265
6.2.1 边界仿射不变量识别机场	265
6.2.2 Zernike 矩识别算法	273
6.2.3 多尺度矩不变量识别飞机	276
6.3 基于知识的识别算法	280
6.3.1 前视桥梁识别	280
6.3.2 前视电厂识别	288
6.4 知觉组织与双特征融合识别	299

6.4.1	启发式两阶段识别	300
6.4.2	目标提取与识别的证据累积	307
	参考文献	316
第7章	实时识别系统	320
7.1	实时的概念	320
7.2	实时系统的实现策略	321
7.2.1	算法和结构的相互映射	321
7.2.2	算法复杂性分析	323
7.2.3	软件/硬件的折衷	324
7.3	实时系统举例	325
7.3.1	检测识别处理流程	325
7.3.2	信息处理机系统	325
	参考文献	335
第8章	系统分析、仿真与评价	338
8.1	系统分析与研发策略	338
8.1.1	系统性能分析	338
8.1.2	ATR 的复杂性空间	340
8.1.3	传感器和目标的可变性	342
8.1.4	系统研发策略	343
8.2	目标识别的性能度量	344
8.2.1	整体性能度量	345
8.2.2	功能单元的性能度量	349
8.3	仿真与评价	351
8.3.1	图像信息处理平台	351
8.3.2	图像的全数学仿真	352
8.3.3	基于已有数据的图像仿真	356
8.3.4	算法评价实例	390
	参考文献	415
	后 记	420

第1章 引论

自然场景和复杂背景条件下的自动目标识别(automatic target recognition, ATR)是研究利用各种传感器(声、光、电、磁等),特别是成像传感器,如可见光、红外线、合成孔径雷达、逆合成孔径雷达、激光雷达、多谱或超谱传感器等,从客观世界中获取目标/背景信号,并使用光/电子及计算机信息处理手段自动地分析场景,检测、识别感兴趣的目标及获取目标各种定性、定量性质的科学技术领域。它的理论、模型、方法和技术是各种工作在自然场景中的复杂系统自动化、智能化的基础。

基于 ATR 的进步,机器人装置的技能将更灵活、有效,从而扩大制造过程的自动化程度,并促进在恶劣环境条件下自主式遥控机器人的使用。新型现代医学成像诊断设备将能自动或更灵巧方便地辅助医疗人员发现病症、诊断疾病,对病灶进行自动化手术与治疗;装备自动辨识生物特征系统的机要部门、银行和智能大厦将更加安全、方便和与人和谐;遥感观测系统将更加快速可靠地从二维、三维、多维的数据中发现矿藏、森林火灾和环境污染。“发射后不管”的武器系统从复杂背景中检测、识别弱目标以及从假目标中识别出真实目标或有价值目标的能力将大大增强,武器的精确性、可靠性及效率将大大提高。

ATR 是光电子、智能控制、地球与空间科学、人工智能、模式识别、计算机视觉、脑科学等多学科十分关注的交叉学科前沿,在各种权威国际刊物和学术会议上每年都涌现大量与之相关的理论和应用研究论文。

ATR 已从使用传统的统计模式识别途径发展到研究基于模型、知识、自学习和仿生系统的研究。以欧美国家为代表已在如下研究方向取得成果:

- (1) 背景干扰的建模、目标检测和识别的多分辨率处理。
- (2) 使用基于物理原理的处理方法来解决目标探测、识别和变化检测。例如使用代数不变量理论从红外图像中计算热物理不变量特征;使用衍射

的几何理论导出散射模型,用于 SAR 图像和 ISAR 图像的目标提取和识别。

(3) 目标检测、识别的几何途径。

(4) 目标检测、识别的传感器融合和多传感器、多谱处理方法;利用光谱信息可以克服诱饵、伪装、阴影和黑暗的欺骗,形状和光谱信息相结合克服单一系统的局限。

(5) 基于模型的图像序列处理,在广域中检测、识别、跟踪运动目标。

(6) 神经网络和遗传算法途径。

20 世纪 90 年代后期美国国防高级研究计划署(DARPA)提出了“自动目标识别的计算智能”的需求,旨在探索改进基于模型的目标识别算法的有效性,促进目标识别创新方法的研究。鉴于低级哺乳动物对视觉景象的解释都比目前的 ATR 技术好得多,应采用生物模型设计新算法。美海军水面作战中心把仿生神经网络用于红外/激光雷达识别目标,据称不受目标/背景亮度、对比度反转和相对传感器的几何关系的影响。美国 ID 图像公司,哥伦比亚大学,麦道公司联合研制的用于面向跟踪识别的凝视算法系统也采用了仿生设计,以视频速率进行 ATR 和跟踪,在识别过程中使用了结构紧凑的各种先进算法,逐渐增加识别的置信度。例如:目标小波滤波法;形态学神经网络法;模糊逻辑数据融合法;按不同的识别和跟踪阶段进行组合。ATR 正从试验系统过渡到可使用的硬件/软件组合系统。

另一个受到越来越多关注的领域是视频自动监视,其任务是在复杂环境中实时观察人和车辆,达到对他们行为和相互关系的描述和理解。自动监视系统在商业、执法、军事上都有迫切的应用需求。与通常流行的记录式、事后审查记录图像数据的电视监视系统不同,自动监视系统能够警告安全人员及时预防犯罪,测量交通流量,检测高速公路上的交通事故,监视公共场所的人员拥挤,国际边界的巡逻等。其中的技术难题包括移动目标检测和跟踪,目标的分类,运动分析和活动理解。该课题涉及计算机视觉,模式分析和人工智能的许多核心问题。检测、跟踪包括从视频图像中实时提取移动物体并连续跟踪以形成一致的目标运动轨迹。轨迹的形成需要使用自适应背景抑制及无监督的统计学习技术对物体轨迹聚类。对于噪声污染的运动证据要在时间轴上进行累积,对运动观察平台而言,还要考虑对运动平台的补偿,再获取独立于运动平台的目标物体运动信息。特别值得研究的是,在复杂环境中并非所有存在于图像中的运动都是由感兴趣目标物体运动引起的,这就是所谓的运动杂波,运动干扰问题,如何滤除这些运动干扰,是运动目标物体识别的难题。

ATR 是一个多学科交叉的领域,它需要在传感器、处理算法、处理系统