



高等学校应用型本科“十三五”规划教材

HALCON

编程及工程应用

刘国华 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



XDUP 572800

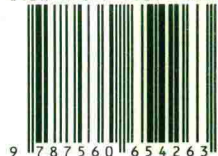
封面设计：倚天



HALCON

编程及工程应用

ISBN 978-7-5606-5426-3



9 787560 654263 >

定价：65.00元

高等学校应用型本科“十三五”规划教材

HALCON 编程及工程应用

刘国华 编著

西安电子科技大学出版社

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

内 容 简 介

本书以 HALCON 为编程工具,介绍了各种图像处理方法的理论和工程应用实例,使读者能更好地学习和掌握 HALCON 编程技巧,完成图像处理技术的应用实践。

全书共 11 章,内容包括机器视觉和 HALCON 机器视觉软件、HALCON 数据结构、HALCON 图像采集、HALCON 图像预处理、HALCON 图像分割、HALCON 数学形态学与 Blob 分析、HALCON 图像匹配、HALCON 图像测量、HALCON 其他应用、HALCON 标定方法、HALCON 工程应用与混合编程等。在每一章的末尾都配有适量的习题,以便读者加深对本章所述内容的理解。

本书难易程度适中,内容力求精练,可作为高等学校电子信息工程、通信与信息工程、计算机科学与技术、控制科学与技术等专业本科生或研究生的教材,也可供图像处理、模式识别、人工智能、生物工程、医学成像等相关领域的科研人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

HALCON 编程及工程应用/刘国华编著. —西安:西安电子科技大学

出版社, 2019.10

ISBN 978-7-5606-5426-3

I. ① H… II. ① 刘… III. ① 数字图像处理—高等学校—教材

IV. ① TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 199604 号

策划编辑 秦志峰

责任编辑 武伟婵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西日报社

版 次 2019 年 10 月第 1 版 2019 年 10 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 26

字 数 621 千字

印 数 1~3000 册

定 价 65.00 元

ISBN 978-7-5606-5426-3/TN

XDUP 5728001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

前 言

在电子学和计算机科学中,图像处理与机器视觉一直是一个十分活跃的分支。随着电子、计算机和人工智能技术的迅猛发展,人们对这一分支的研究已经不再局限于图像处理分析理论和实验室验证,而是不断向机器视觉领域延伸。

机器视觉主要研究各种图像处理分析技术在实际工业环境中的应用。目前,国内外这方面的研究日趋深入,相关的书籍也层出不穷。但是,大多数书籍更倾向于对理论和算法的抽象讲解。对工程人员而言,一套封装了各种算法且能快速解决各种问题的平台工具或软件更具意义,至于理论研究和算法等工作,应留给平台工具开发人员去完成。

HALCON 作为逐渐被广泛使用的机器视觉软件,其开放式结构可被用于快速开发图像处理和机器视觉软件。该软件源自学术界,有别于市面上一般的商用套装软件。事实上,HALCON 是一套图像处理库,由一千多个各自独立的函数和底层的资料管理核心构成,其应用范围涵盖医学、遥感探测、监控以及工业上的各类自动化检测。近年来,机器视觉技术以其可以“取代人眼”,对重复工作不会疲劳,精度高且稳定的特质,促成了高科技产业,特别是电子业产能的大幅提升。

本书系统地讲解了基于 HALCON 的机器视觉系统各设计过程中的关键技术,将图像分析、处理算法映射到机器视觉系统开发的过程中,以应用为先,避免突兀、无目的、枯燥的算法讲解,注重提高工业环境下机器视觉的实时性和健壮性。为帮助读者深入理解书中的内容,本书还精心收集了各种典型的图像,并基于 HALCON 的最新版本创建了各种实例程序。

本书的编写是一个艰难和长期坚持的过程。2017 年作者在其《HALCON 数字图像处理》一书出版后,萌生了继续将基于 HALCON 图像处理与分析、机器视觉系统的一些经验与心得汇总成书,并将重点放在工程应用方面的想法。

在撰写本书的过程中,作者结合近年来科研及教学实践的心得体会,并参考部分相关文献,概括地描述了图像处理理论和 HALCON 机器视觉技术所涉及的各个分支,包括数据结构、图像采集、图像预处理、图像分割、数学形态学与 Blob 分析、图像匹配、图像测量、标定方法、混合编程等技术和方法。本书尽可能给出了必要的基本知识,深入浅出;同时,重点呈现了 HALCON 的编程技巧,突出了 HALCON 数字图像处理技术的应用实践,并引导读者掌握 HALCON 的编程方法,培养读者在解决实际问题时的思维方法。其中,有关 HALCON 编程基础的内容,可以参阅《HALCON 数字图像处理》一书,本书不再赘述。

本书可供大学二年级以上(具备必要的数学基础)相关专业的本科生、研究生学习使用,也可供工作在图像处理和识别领域的一线工程技术人员,以及对于数字图像处理和机

器视觉感兴趣并且具备必要预备知识的读者参考阅读。

本书由天津工业大学刘国华执笔，张琴涛、李飞、段建春、郑祥通、李涛参与编写工作并进行程序实验，全书由刘国华负责统稿、定稿。在编写过程中，作者参考了相关的书籍、论文、资料和网站文献，也引用了其中部分内容，在此对原作者表示衷心的感谢。在编写本书的过程中，温海涛、柴志鹏等也参与了资料整理工作，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，敬请读者不吝指正。作者联系邮箱：liuguohua@tjpu.edu.cn。

作者

2019年7月

目 录

第 1 章 机器视觉和 HALCON 机器视觉软件	
.....	1
1.1 机器视觉	1
1.1.1 机器视觉简介	1
1.1.2 机器视觉关键技术与发展	2
1.1.3 机器视觉工程应用	6
1.2 HALCON 简介	8
1.2.1 HDevelop 简介	8
1.2.2 HALCON 功能及应用简介	10
本章小结	11
习题	11
第 2 章 HALCON 数据结构	12
2.1 HALCON 图像	12
2.1.1 图像的分类	12
2.1.2 图像通道	12
2.2 HALCON 区域	17
2.2.1 区域的初步介绍	17
2.2.2 区域的点线	26
2.2.3 区域行程	35
2.2.4 区域特征	38
2.3 HALCON XLD 轮廓	46
2.3.1 XLD 初步介绍	46
2.3.2 XLD 的数据结构分析	49
2.3.3 XLD 的特征分析	53
2.3.4 XLD 的回归参数	58
2.4 句柄	60
2.5 数组	61
本章小结	64
习题	64
第 3 章 HALCON 图像采集	66
3.1 图像采集硬件	66
3.1.1 工业相机	66
3.1.2 镜头	72
3.1.3 光源	79
3.2 图像采集算子	86
3.2.1 工业相机连接	86
3.2.2 同步采集	88
3.2.3 异步采集	90
3.3 图像采集助手	91
3.4 HALCON 图像读取、显示和转换	95
3.4.1 HALCON 图像读取	95
3.4.2 HALCON 图像显示	98
3.4.3 HALCON 图像转换	100
本章小结	103
习题	103
第 4 章 HALCON 图像预处理	104
4.1 灰度变换	104
4.1.1 灰度变换的基础知识	104
4.1.2 线性灰度变换	104
4.1.3 分段线性灰度变换	107
4.1.4 非线性灰度变换	109
4.2 直方图处理	113
4.2.1 灰度直方图的定义和性质	113
4.2.2 直方图均衡化	116
4.2.3 直方图规定化	121
4.3 图像几何变换	122
4.3.1 图像几何变换的一般表达式	122
4.3.2 图像变换之仿射变换	124
4.3.3 投影变换	128
4.3.4 灰度插值	129
4.3.5 基于 HALCON 的图像校正	131
4.4 图像的平滑	134

4.4.1 图像噪声	134	6.2.1 腐蚀	199
4.4.2 局部统计法	135	6.2.2 膨胀	202
4.4.3 空域平滑法	136	6.2.3 开运算和闭运算	204
4.4.4 中值滤波	138	6.2.4 击中/击不中变换	208
4.4.5 频域低通滤波	141	6.3 二值图像的 HALCON 形态学应用	210
4.5 图像的锐化	146	6.3.1 边界提取	210
4.5.1 一阶微分算子法	146	6.3.2 孔洞填充	212
4.5.2 拉普拉斯算子法	150	6.3.3 骨架	214
4.5.3 高通滤波法	152	6.4 Blob 分析	215
4.6 图像的彩色增强	156	6.4.1 Blob 分析相关理论	215
4.6.1 真彩色增强	157	6.4.2 Blob 分析相关算子	217
4.6.2 伪彩色增强	157	6.4.3 Blob 分析例程	217
4.6.3 假彩色增强	159	6.5 数学形态学工程应用	221
本章小结	160	6.5.1 数学形态学工程应用背景	221
习题	160	6.5.2 数学形态学工程应用案例	221
第 5 章 HALCON 图像分割	162	本章小结	223
5.1 阈值分割	162	习题	223
5.1.1 实验法	162	第 7 章 HALCON 图像匹配	224
5.1.2 根据直方图谷底确定阈值法	163	7.1 基于像素的匹配	224
5.1.3 迭代选择阈值法	165	7.1.1 归一化积相关灰度匹配	224
5.1.4 最大类间方差法	166	7.1.2 序贯相似性检测算法匹配	226
5.2 边缘检测	168	7.2 基于特征的匹配	231
5.2.1 边缘检测概述	168	7.2.1 不变矩匹配法	231
5.2.2 边缘检测原理	169	7.2.2 距离变换匹配算法	233
5.2.3 边缘检测方法的分类	169	7.2.3 最小均方误差匹配算法	235
5.2.4 边缘检测典型算子	169	7.3 图像金字塔	239
5.2.5 Hough 变换	181	7.4 Matching 助手	243
5.3 区域分割	186	本章小结	248
5.3.1 区域生长法	186	习题	248
5.3.2 区域分裂与合并法	188	第 8 章 HALCON 图像测量	249
5.3.3 分水岭分割法	190	8.1 机器视觉与测量	249
本章小结	195	8.1.1 基于机器视觉的测量原理	249
习题	195	8.1.2 机器视觉在测量领域的优势	250
第 6 章 HALCON 数学形态学与 Blob 分析	197	8.2 HALCON 一维测量	250
6.1 数学形态学基础	197	8.2.1 一维测量过程	250
6.2 二值图像的基本形态学运算	199	8.2.2 模糊测量	254

8.2.3 一维测量典型相关算子	255	10.2.1 坐标系的转换	334
8.2.4 一维测量实例	260	10.2.2 标定的相机参数	337
8.3 HALCON 二维测量	262	10.3 HALCON 标定流程	338
8.3.1 区域处理	263	10.3.1 相机参数确定	338
8.3.2 轮廓处理	264	10.3.2 HALCON 标定板规格	339
8.3.3 几何运算	269	10.3.3 生成标定板	340
8.3.4 二维测量例程	270	10.4 HALCON 标定助手	343
8.4 HALCON 三维测量	275	10.4.1 标定注意事项	343
8.4.1 双目立体视觉测量	275	10.4.2 HALCON 标定助手标定过程	346
8.4.2 激光三角测量	286	10.5 标定应用例程之二维测量	350
8.5 HALCON 测量助手	298	本章小结	357
本章小结	303	习题	358
习题	303	第 11 章 HALCON 工程应用与混合编程	359
第 9 章 HALCON 其他应用	304	11.1 成捆棒材复核计数系统	359
9.1 HALCON 条形码识别技术	304	11.1.1 工程背景	359
9.1.1 一维条形码	304	11.1.2 算法的开发	360
9.1.2 二维条形码	308	11.1.3 HALCON 与 C# 混合编程	361
9.2 HALCON 图像拼接技术	312	11.1.4 HALCON 与 C# 混合编程的特点	378
9.2.1 图像拼接技术概述	312	11.2 弹簧卡箍检测系统	379
9.2.2 HALCON 图像拼接相关算子	314	11.2.1 工程背景	379
9.2.3 HALCON 图像拼接实例	316	11.2.2 算法的开发	380
9.3 基于 HALCON 的支持向量机(SVM)		11.2.3 HALCON 与 C++ 混合编程	387
技术	319	11.2.4 HALCON 与 C++ 混合编程的	
9.3.1 基于区域特征的 SVM 分类	321	特点	405
9.3.2 基于 Laws 纹理特征的 SVM 分类	325	本章小结	405
本章小结	331	习题	405
习题	331	参考文献	407
第 10 章 HALCON 标定方法	333		
10.1 标定简介	333		
10.2 标定理论	334		

第1章 机器视觉和 HALCON 机器视觉软件

1.1 机器视觉

1.1.1 机器视觉简介

机器视觉(Machine Vision)是一项综合技术,包括图像处理、机械工程技术、电气控制技术、光源照明、光学成像、传感器、模拟与数字视频技术、计算机软硬件技术(图像增强和分析算法、图像采集卡、I/O卡等)。

一个典型的机器视觉应用系统包括图像捕捉、光源系统、图像数字化模块、数字图像处理模块、智能判断决策模块和机械控制执行模块。

机器视觉系统最基本的功能是提高生产的灵活性和自动化程度。在一些不适于人工作的危险工作环境或者人工视觉难以满足要求的场合,常用机器视觉来替代人工视觉;在大批量工业生产过程中,用人工视觉检查产品质量效率低且精度不高,而用机器视觉检测可以大大提高生产效率和生产的自动化程度,而且机器视觉易于实现信息集成,是实现计算机集成制造的基础技术。

机器视觉系统具有以下优势:

(1) 精确度高。由于人眼有物理条件的限制,所以在精确性上机器有明显的优点,即使人眼依靠放大镜或显微镜来检测产品,也不如机器精确度高。

(2) 重复性好。机器可以以相同的方法重复检测而不会感到疲惫。与此相反,人眼每次检测产品时都会有细微的不同,尽管产品是完全相同的。

(3) 速度快。机器能够更快地检测产品,特别是检测高速运动的物体,例如对生产线上零件的检测,采用机器检测能够提高生产效率。

(4) 客观性强。人眼检测还有一个缺陷,就是情绪带来的主观性,检测结果会随工人心情的好坏产生变化,而机器检测能避免这个缺陷。

(5) 成本低。由于机器检测速度比工人快,一台自动检测机器能够承担几个工人的任务,可极大地提高生产效率。

一个典型的机器视觉系统的工作原理简图如图 1-1 所示,其处理系统的结构如图 1-2 所示。

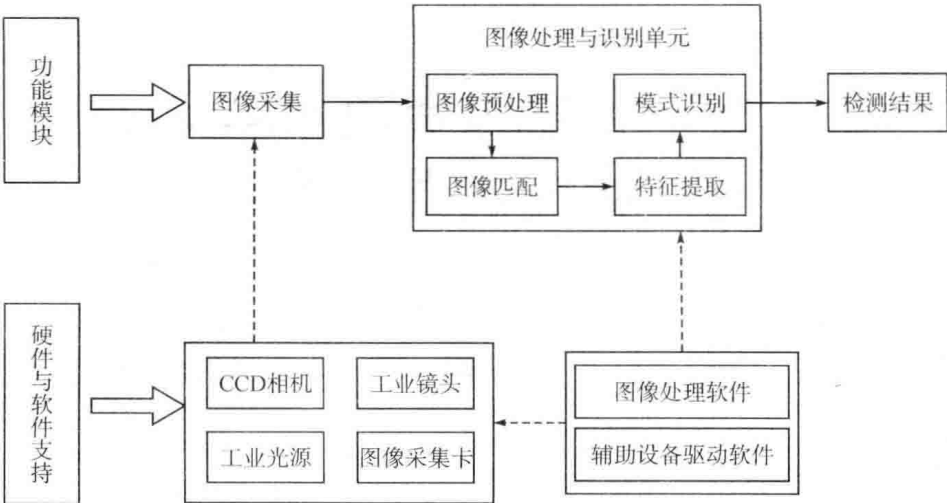


图 1-1 机器视觉系统工作原理简图

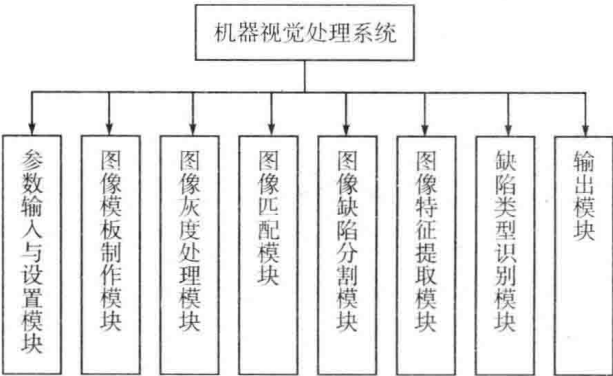


图 1-2 机器视觉处理系统结构

1.1.2 机器视觉关键技术与发展

1. 机器视觉系统基本构成

一个典型的工业机器视觉系统包括光源、镜头(包括定焦镜头、变倍镜头、远心镜头、显微镜头)、相机(包括 CCD 相机或 CMOS 相机)、图像处理单元(或图像采集卡)、图像处理软件、监视器、通信单元及输入/输出单元等。

机器视觉检测系统采用工业相机将被检测的目标转换成图像信号，传送给专用的图像处理系统，图像处理系统根据像素分布和亮度、颜色等信息，将其转变成数字化信号，并对这些信号进行各种运算来抽取目标的特征(如面积、数量、位置、长度等)，再根据预设的允许度和其他条件输出结果(包括尺寸、角度、个数、合格/不合格、有/无等)，实现自动识别功能。

一个典型的机器视觉系统包括以下四部分：

1) 照明

照明是影响机器视觉系统输入的重要因素,它直接影响输入数据的质量和应⽤效果。由于没有通用的机器视觉照明设备,所以针对每个特定的应⽤案例,要选择相应的光源装置,以达到最佳效果。光源可分为可见光光源和不可见光光源。常用的几种可见光光源是白炽灯、日光灯、水银灯和钠光灯。

照明系统按其照射方法的不同可分为背向照明、前向照明、结构光照明和频闪光照明等,其中,背向照明是将被测物放在光源和摄像机之间,其优点是能获得高对比度的图像;前向照明是将光源和摄像机置于被测物的同侧,这种方式便于安装;结构光照明是将光栅或线光源等投射到被测物上,根据它们产生的畸变,解调出被测物的三维信息;频闪光照明是将高频率的光脉冲照射到物体上,摄像机拍摄要与光源同步。

2) 相机和镜头

相机和镜头属于成像器件,通常的机器视觉系统都是由一套或多套成像器件组成的,如果有多路相机,则可能由图像采集卡或交换机切换来获取图像数据,也可通过同步控制同时获取多相机通道的数据。

3) 图像采集卡

图像采集卡是完整的机器视觉系统的一个部件,但是它扮演着一个非常重要的角色。图像采集卡直接决定了摄像头的接口形式,即黑白、彩色、模拟、数字等。

比较典型的图像采集卡是 PCI 或 AGP 兼容的捕获卡,该捕获卡可以将图像迅速地传送到计算机存储器进行处理。有些采集卡有内置的多路开关,例如,有的采集卡可以连接八个不同的摄像机,通过控制信号告诉采集卡采用哪一个相机抓拍到的信息。有些采集卡有内置的数字输入,通过触发采集卡进行捕捉,一旦采集卡抓拍图像,数字输出口就触发信号。

4) 视觉处理器

视觉处理器集采集卡与处理器于一体。在以往计算机速度较慢时,视觉处理器用于加快视觉处理的速度。采集卡传输图像到存储器,进而进行计算分析。

2. 机器视觉关键技术

机器视觉技术是一门涉及人工智能、神经生物学、心理物理学、计算机科学、图像处理、模式识别等诸多领域的交叉学科。机器视觉主要用计算机来模拟人的视觉功能,从客观事物的图像中提取信息,对信息进行处理并加以理解,最终用于实际检测、测量和控制。机器视觉技术最大的特点是速度快、信息量大、功能多。

工业机器视觉主要技术包括数字图像处理技术、机械工程技术、电气控制技术、光源照明技术、光学成像技术、传感器技术、模拟与数字视频技术、计算机软硬件技术、人机接口技术等。机器视觉是专注于集合机械、光学、电子、软件系统,检查人工缺陷和生产制造过程的工程,它主要用于检测缺陷,提高质量和操作效率,并保障产品和过程安全。可以说,机器视觉可将计算机视觉应用于工业自动化。

机器视觉技术通过计算机对系统采集的图像进行处理,分析其中的信息并做出相应的判断,进而发出对设备的控制指令。机器视觉系统的具体应⽤需求千差万别,视觉系统本身也可能有多种不同的形式,但都包括以下过程:

(1) 图像采集。利用光源照射被观察的物体或环境,通过光学成像系统采集图像,通过相机和图像采集卡将光学图像转换为数字图像,这是机器视觉系统的前端和信息来源。

(2) 图像处理和分析。计算机通过机器视觉软件对图像进行处理,分析获取其中的有用信息(如 PCB 板的图像中是否存在线路断路,纺织品的图像中是否存在斑点,文档图像中存在哪些文字等),这是整个机器视觉系统的核心。

(3) 判断和控制。图像处理获得的信息最终用于对对象(被测物体、环境)的判断,并形成对应的控制指令发送给相应的机构。如在采集的零件图像中,计算零件的尺寸是否与标准一致,若不一致则发出报警,并做出标记或进行剔除。

在整个过程中,被测对象的信息反映为图像信息,通过对其分析得到特征描述信息,最后根据获得的特征进行判断和动作。

总体上,一个成功的机器视觉系统需要重点解决图像采集(包括光源、光学成像、数字图像获取与传输)、图像处理和分析、判断和控制几个环节的关键技术。此外,机器视觉系统还包括以下技术:

(1) 照明系统。照明系统的设计是机器视觉系统中极其重要却容易被忽视的环节,它是机器视觉系统设计的重要步骤,直接关系到系统的成败和性能。因为照明直接作用于系统的原始输入,所以对输入数据质量的好坏有直接影响。有效的照明设计不仅可以照亮物体,还可以令需要检测的物体特征突出,同时抑制不需要的干扰特征,给后端的图像处理带来极大的便利。而不恰当的照明方法会造成图像亮度不均匀,干扰增加,物体有效特征与背景难以区分,使图像处理变得极其困难,甚至成为不可能完成的任务。照明设计主要包括三个方面:光源、目标与环境的光反射及传送特性、光源的结构。由于被测对象、环境和检测要求千差万别,因而不存在通用的机器视觉照明设备,需要针对每个具体的案例来设计照明方案,要考虑物体和特征的光学特性、距离、背景,根据检测要求选择光的强度、颜色和光谱组成、均匀性、光源的形状、照射方式等。

(2) 光学成像系统与相机。在机器视觉系统中,镜头相当于人的眼睛,其主要作用是将目标的光学图像聚焦在图像传感器(相机)的光敏面阵上。视觉系统处理的所有图像信息均通过镜头得到,镜头的质量直接影响到视觉系统的整体性能。一旦信息在成像系统中有严重损失,在后面的环节中试图恢复则是非常困难的。合理选择镜头、设计成像光路是视觉系统的关键技术之一。镜头成像或多或少会存在畸变。较大的畸变会给视觉系统带来很大困扰,在成像设计时应对此有详细的考虑,包括选用畸变小的镜头,有效视场只取畸变较小的中心视场等。镜头的另一个特性是光谱特性,主要受镜头镀膜的干涉特性和材料的吸收特性影响。要求尽量做到镜头最高分辨率的光线与照明波长、CCD 器件接收波长相匹配,并尽可能提高光学镜头对该波长的光线透过率。在成像系统中,选用适当的滤光片可以达到一些特殊的效果。另外,成像光路的设计还需要重视各种杂散光的影响。相机是一个光电转换器件,它将光学成像系统所形成的光学图像转变成视频/数字电信号。相机通常由核心的光电转换器件、外围电路和输出/控制接口组成。目前最常用的光电转换器件为 CCD (Charge-coupled Device, 电荷耦合元件),其特点是以电荷为信号,而不像其他器件输出电流或者电压信号。20 世纪 90 年代,一种新的图像传感器开始兴起,即 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor, 互补金属氧化物半导体)相机。对相机除了考察其光电转换器

件外,还应考虑系统速度、检测的视野范围、系统所要达到的精度等因素。

(3) 图像和视觉信息处理。机器视觉系统的前端环节,包括光源、镜头、相机等,都是为图像和视觉信息处理模块准备素材。图像和视觉信息处理模块才是机器视觉系统的关键和核心,它通过对图像处理、分析和识别实现对特定目标和特征的检测。该模块包括机器视觉处理软件和硬件平台两个部分,其中视觉处理软件又可以分为图像预处理和图像特征分析理解两个层次。图像预处理包括图像增强、数据编码、平滑、锐化、分割、去噪、恢复等过程,用于改善图像质量。图像特征分析理解是对目标图像进行检测和对各种物理量进行计算,以获得对目标图像的客观描述,主要包括图像分割和特征提取(几何形状、边界描述、纹理特性)等。

目前,机器视觉软件的竞争已经从功能竞争转变为算法的准确性和效率的竞争,已有专门提供视觉软件或者开发包的厂商。尽管常规的机器视觉软件开发包均能提供上述功能,但检测效果和运算效率却有很大差别。优秀的机器视觉软件可对图像中的目标特征进行快速而准确的检测,对图像的适应性强;而较差的软件则存在速度慢、结果不准确、鲁棒性差的缺点。

从硬件平台的角度看,计算机在 CPU 和内存方面的改进给视觉系统提供了很好的支撑,多核 CPU 配合多线程的软件可以成倍提高速度。伴随 DSP(Digital Signal Processing)、FPGA(Field-Programmable Gate Array)技术的发展,嵌入式处理模块以其强大的数据处理能力、集成性、模块化和无需复杂操作系统支持等优点而得到越来越多的重视。

总体而言,机器视觉系统是一个光机电计算机高度综合的系统,其性能并不仅仅由某一个环节决定,每一个环节都很完美也未必意味着最终性能令人满意。系统分析和设计是机器视觉系统开发的难点和基础。

3. 机器视觉技术的发展

机器视觉技术是计算机学科的一个重要分支,自起步发展至今,其功能以及应用范围随着工业自动化的发展逐渐完善和推广。人类对机器视觉技术的研究经历了以下几个阶段:

20 世纪 50 年代,人类开始研究二维图像的统计模式识别;60 年代,Roberts 开始进行三维机器视觉的研究;70 年代中,MIT 人工智能实验室正式开设“机器视觉”的课程;80 年代,开始全球性的研究热潮,机器视觉获得了蓬勃发展,新概念、新理论不断涌现。

初级阶段为 1990—1998 年,真正的机器视觉系统市场销售额微乎其微。1990 年以前,仅仅在大学和研究所中有一些研究图像处理和模式识别的实验室。在 20 世纪 90 年代初,一些来自研究机构的工程师成立了他们自己的视觉公司,开发了第一代图像处理产品,人们通过该产品能够做一些基本的图像处理和分析工作。尽管这些公司用视觉技术成功地解决了一些实际问题,例如多媒体处理、印刷品表面检测、车牌识别等,但由于产品本身软硬件方面的功能和可靠性还不够好,所以限制了其在工业应用中的发展潜力。

第二阶段为 1998—2002 年,该阶段定义为机器视觉的概念引入期。从 1998 年开始,越来越多的电子和半导体工厂纷纷落户广东和上海,带有机器视觉整套的生产线和高级设备被引入中国。随着这股潮流,一些厂商和制造商开始希望发展自己的视觉检测设备,这是真正的机器视觉市场需求的开始。设备制造商或 OEM(Original Equipment Manufacture)厂商需要更多来自外部的技术开发支持和产品选型指导,一些自动化公司抓住了这个机遇,走

了不同于以上图像公司的发展道路——做国际机器视觉供应商的代理商和系统集成商。他们从美国和日本引入最先进的成熟产品，给终端用户提供专业培训咨询服务，有时也和其商业伙伴一起开发整套的视觉检测设备。

经过长期的市场开拓和培育，不仅仅是半导体和电子行业，而且在汽车、食品、饮料、包装等行业中，一些顶级厂商开始认识到机器视觉对提升产品品质的重要作用。在此阶段，许多著名视觉设备供应商(如 Cognex、Basler、Data Translation、TEO、SONY)开始接触中国市场寻求本地合作伙伴。

第三阶段从 2002 年至今，通常称之为机器视觉发展期，从下面几点可以看出中国机器视觉的快速增长趋势。

(1) 越来越多的本地公司开始在其业务中引入机器视觉，包括普通工控产品代理商、自动化系统集成商及新的视觉公司，他们一致认为机器视觉市场潜力很大。资深视觉工程师和实际项目经验的缺乏是本地公司面临的最主要问题。

(2) 机器视觉发展至今，早已不是单一的应用产品。机器视觉的软硬件产品已逐渐成为生产制造各个阶段的必要部分，这就对系统的集成性提出了更高的要求。工业自动化企业的需求是能够与测试或控制系统协同工作的一体化工业自动化系统，而非独立的视觉应用。在现代自动化生产过程中，人们将机器视觉系统广泛地用于工况监视、成品检验和质量控制等领域。

(3) 从产业发展生命周期来看，国际机器视觉产业已经处于成熟期，在诸如工业 4.0 等市场热点的推动下，预计未来 3~5 年，欧美日机器视觉技术仍将不断创新，国际机器视觉市场有望保持现有市场规模，并继续增长。国内机器视觉产业目前还处于成长期，从 2014 年、2015 年的情况来看，我国机器视觉产业积累了足够的技术、市场及行业经验，已步入快速发展阶段。

赛迪顾问预测，到 2019 年中国人工智能市场规模会超过 406 亿元，这个复合增长率会达到 25.8%，增速大于全球增长率。从投资规模来看，投资的整个额度包括投资笔数都呈快速增加的态势，而且从事人工智能和机器视觉的企业数量也在快速增加。

未来，借助人工智能方面的利好政策，机器视觉在安防、交通、金融、消费电子这四个领域会有比较大的机遇，这是机器视觉领域重点关注的应用行业方向。

1.1.3 机器视觉工程应用

机器视觉的应用主要有检测和机器人视觉两个方面。

(1) 检测。检测又可分为高精度定量检测(如显微照片的细胞分类、机械零部件的尺寸和位置测量)和定性或半定量检测(如产品的外观检查、装配线上的零部件识别定位、缺陷性检测与装配完全性检测)。

(2) 机器人视觉。机器人视觉用于指引机器人在一定范围内操作和行动，如从料斗送出的杂乱工件堆中拣取工件，并按一定的方位放在传输带或其他设备上(工件拣取问题)。对于小范围内的操作和行动，还需要借助于触觉传感技术。

下面简单介绍在布匹检测中使用机器视觉技术的具体案例。

在布匹的生产过程中，像布匹质量检测这种有高度重复性和智能性的工作通常由人工检测

来完成,在现代化流水线后面常常可看到很多的检测工人在执行这道工序,这虽然会给企业增加巨大的人工成本和管理成本,但仍然不能保证 100% 的检验合格率(即“零缺陷”)。

因此,需对流水线进行自动化改造,使布匹生产流水线变成快速、实时、准确、高效的流水线。在流水线上,所有布匹的颜色及数量都要进行自动确认(以下简称“布匹检测”)。采用机器视觉的自动识别技术完成以前由人工来完成的工作,用机器视觉检测方法可以大大提高生产效率和生产的自动化程度,具体包括以下几个步骤。

1. 特征提取辨识

一般布匹检测(自动识别)先利用高清晰度且高速的摄像镜头拍摄标准图像,并在此基础上设定一定标准;然后拍摄被检测的图像,再将其与标准图像进行对比。但是布匹质量检测工程则要复杂一些,主要表现在以下几个方面:

(1) 图像的内容不是单一的图像,每块被测区域存在的杂质数量、大小、颜色、位置可能不一致。

(2) 疵点或杂质的形状难以事先确定。

(3) 由于布匹快速运动会対光线产生反射,所以图像中可能存在大量的噪声。

(4) 在流水线上对布匹的检测有实时性的要求。

基于上述原因,图像识别处理时应采取相应的算法,以提取杂质的特征及进行模式识别,实现智能分析。

2. Color 检测

一般而言,从彩色 CCD 相机中获取的图像都是 RGB 图像。也就是说,每一个像素都由红(R)、绿(G)、蓝(B)三个成分组成,用来表示 RGB 色彩空间中的一个点。可是这些色差不同于人眼的感觉,即使很小的噪声也会改变该点颜色空间中的位置。基于上述原因,需要将 RGB 像素转换到另一种颜色空间 CIELAB,目的是使人眼的感觉尽可能地与颜色空间中的色差相近。

3. Blob 检测

结合上文得到的处理图像,根据需求,在纯色背景下检测杂质色斑,并且要计算出色斑的面积,以确定是否在检测范围之内。因此,图像处理软件要具有分离目标、检测目标并且计算出目标面积的功能。

HALCON 机器视觉软件的 Blob 分析(Blob Analysis)是对图像中相同像素的连通域进行分析,该连通域称为 Blob。经二值化(Binary Thresholding)处理的图像色斑可认为是 Blob。Blob 分析工具可以从背景中分离出目标,并可计算出目标的数量、位置、形状、方向和大小,还可以提供相关斑点间的拓扑结构。在处理过程中,Blob 分析工具不是采用单个像素逐一分析,而是对图形的行进行操作,图像的每一行都用游程长度编码(Run-Length Encoding,RLE)来表示相邻的目标范围,这种算法与基于像素的算法相比,大大提高了处理速度。

4. 结果处理和控制

应用程序把返回的结果存入数据库或用户指定的位置,并根据结果控制机械部分做相应的运动。此外,应用程序根据识别的结果,将信息存入数据库进行信息管理,以后可以随

时对信息进行检索。管理者可以获知某段时间内流水线上布匹的质量情况。

1.2 HALCON 简介

HALCON 是目前被广泛使用的机器视觉软件，用户可以利用其开放式结构快速开发图像处理和机器视觉软件。该软件是由一千多个各自独立的函数以及底层的资料管理核心构成的，其中包含了各类滤波、色彩及几何、数学转换、形态学计算分析、校正、分类辨识、形状搜寻等基本的几何以及图像计算功能，其应用范围涵盖医学、遥感探测、监控及工业上的各类自动化检测。HALCON 不仅提供了一整套标准机器视觉技术，还包含许多独有的功能，如全面的深度学习技术、各种匹配技术、基于样本的识别（SBI）等多种识别技术。目前，多核和多处理器的计算机显著提升了计算机视觉系统的速度，HALCON 提供了通过工业验证的算子并行化，能很好地支持这种速度的提升。

1.2.1 HDevelop 简介

1. 集成开发环境——HDevelop

HALCON 提供交互式的编程环境 HDevelop，HDevelop 可在 Windows、Linux、UNIX 系统下使用。用户通过使用 HDevelop 可快速有效地解决图像处理问题。HDevelop 含有多个对话框工具，用以实时交互检查图像的性质（如灰度直方图、区域特征直方图以及进行放大缩小等），并能用颜色标志动态显示任意特征阈值分割的效果，快速准确地为程序找到合适的参数设置。HDevelop 程序提供进程、语法检查、建议参数值设置，可在任意位置开始或结束，动态跟踪所有控制变量和图标变量，以便查看每一步的处理效果。当用户完成机器视觉编程代码后，HDevelop 可将此部分代码直接转化为 C++、C 或 VB(Visual Basic)源代码，以便将其集成到应用系统中，HALCON 架构如图 1-3 所示。

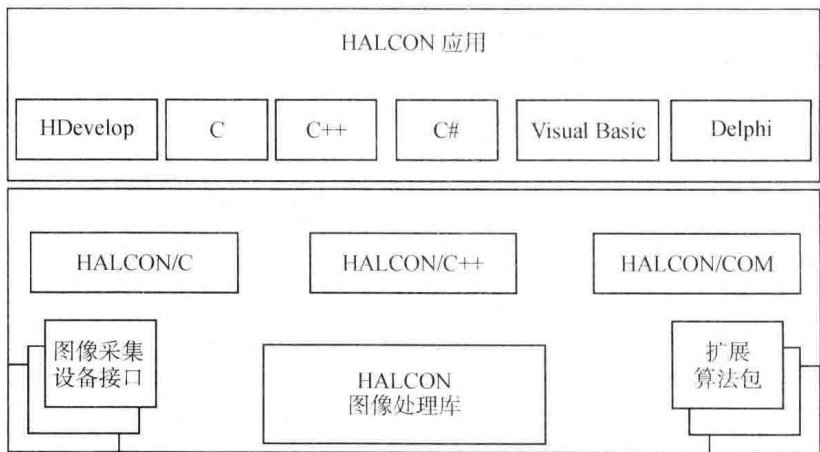


图 1-3 HALCON 架构理念

HDevelop 类似于 VC、VB、Delphi 等编译环境，有自己的交互式界面，可以编译和测试视觉处理算法，也可以方便地查看处理结果。此外，在 HDevelop 中，可以导出算法代