



浙江省高职院校“十四五”重点立项建设教材
高等职业本科教育“十五五”系列教材

机器视觉技术及应用

主编 虞佳佳 顾月 王莉



移动终端
微课资源

互动教学
即扫即看



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机器视觉技术及应用 / 虞佳佳, 顾月, 王莉主编.

南京: 南京大学出版社, 2025. 8. — ISBN 978-7-305-29435-8

I. TP302.7

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 20250P4Q48 号

出版发行 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093

书 名 机器视觉技术及应用
JIQI SHIJUE JISHU JI YINGYONG

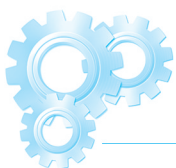
主 编 虞佳佳 顾 月 王 莉
责任编辑 吕家慧 编辑热线 025-83592146

照 排 南京南琳图文制作有限公司
印 刷 南京鸿图印务有限公司
开 本 787 mm×1092 mm 1/16 印张 8.25 字数 196 千
版 次 2025 年 8 月第 1 版 2025 年 8 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-305-29435-8
定 价 38.00 元

网址: <http://www.njupco.com>
官方微博: <http://weibo.com/njupco>
微信服务号: NJUYUNSHU
销售咨询热线: (025) 83594756

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换



前言

随着工业 4.0 时代的到来,机器视觉技术作为人工智能的重要分支,在智能制造、智慧物流、智慧城市等领域发挥着越来越重要的作用。目前大量的书籍介绍了图像处理及机器视觉的相关知识,而结合实际应用案例介绍机器视觉以及应用的高校教材还不是很多。为适应产业发展需求,培养高素质技术技能人才,浙江机电职业技术大学联合杭州海康机器人股份有限公司,共同编写了这本《机器视觉技术及应用》。

本书紧密结合产业发展趋势和企业实际需求,以项目为导向,以任务为驱动,重点介绍了机器视觉的构成、机器视觉技术在实际生产中的应用案例和案例实施过程,突出职教特色和立德树人内涵。本书涵盖以下内容:

(1) 机器视觉的基本概念、机器视觉的起源与发展、行业政策、机器视觉产业链和人才需求、机器视觉的应用。

(2) 详细介绍了机器视觉系统中相机、镜头、光源及接口等硬件组成部分。

(3) 以项目案例为载体,重点介绍了机器视觉开发软件 Vision Master 在识别、测量、定位、检测、图像处理、脚本编写、深度学习的任务



实施过程。

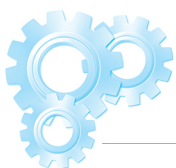
本书在编写过程中得到了杭州海康机器人股份有限公司提供的技术支持和案例资源,使得本书的内容具备较高的实用性,有利于落实产教融合,培养学生理论联系实际的实践精神和创新意识。

本书是编者在多年从事自动检测、机器视觉、智能制造等教学和工作的基础上编写而成的,是浙江省高职院校“十四五”第二批重点教材建设项目。本书由浙江机电职业技术大学虞佳佳、顾月,杭州海康机器人股份有限公司王莉担任主编;浙江机电职业技术大学王耀军、梁斯佳,杭州海康机器人股份有限公司李奎担任副主编。本书在案例验证过程中受到邓玉龙、童怡楷、王浩三位同学的大力配合。同时,编者在编写过程中参阅了大量的著作、文献和网络资料,在此对相关作者表示衷心的感谢。

机器视觉技术应用型教材建设目前还处于探索阶段,由于编者水平有限,且技术不断发展,书中难免存在疏漏和不足之处,敬请广大读者和专家批评指正。

编 者

2025 年 8 月

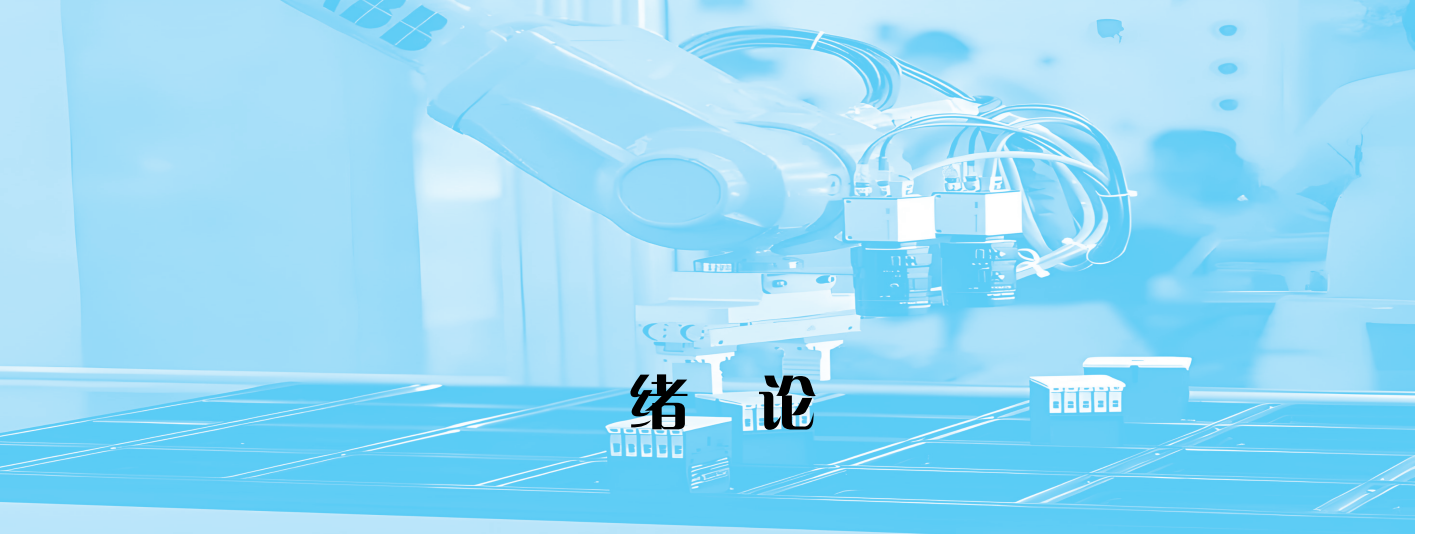


目 录

绪 论	1
项目 1 机器视觉系统识别与应用	11
任务 1 条码识别	11
任务 2 字符识别	21
项目 2 机器视觉系统测量与应用	25
任务 3 引脚间距测量	25
任务 4 芯片尺寸测量	30
任务 5 摄像头定位测量	35
项目 3 机器视觉系统检测与应用	41
任务 6 圆弧边缘缺陷检测	41
任务 7 仪表盘缺陷检测	47
任务 8 字符缺陷检测	53
任务 9 胶囊缺陷检测	58



项目 4 机器视觉系统图像处理与应用	64
任务 10 瓶底字符识别	64
任务 11 彩色方块计数	70
项目 5 机器视觉系统脚本编写与应用	77
任务 12 二维坐标排序	77
项目 6 机器视觉系统深度学习与应用	83
任务 13 牛奶盒日期识别	83
任务 14 物品图像分类	88
任务 15 零食袋重叠检测	93
任务 16 玩具分类计数	98
项目 7 机器视觉系统综合应用	103
任务 17 光伏电池片隐裂检测	103
参考文献	108
任务记录表	109



绪论

0.1 机器视觉概念

根据美国制造工程师协会机器视觉分会与美国机器人工业协会的定义:机器视觉是基于软件与硬件的组合,通过光学装置和非接触式的传感器自动地接收一个真实物体的图像,并利用软件算法处理图像以获得所需信息或用于控制机器人运动的装置。

机器视觉可以赋予机器人及自动化设备获取外界信息并认知处理的能力。机器视觉系统包含光学成像系统,可以作为自动化设备的视觉器官实现信息的输入,并借助视觉控制器代替人脑实现信息的处理与输出,从而实现赋予自动化设备“看”与“处理”的能力,替代人眼完成生产制造中的识别、测量、定位以及检测等工作。

随着我国产业智能化升级的不断深入,机器视觉技术也广泛地应用于工业、农业、医疗、教育、军事、交通运输、安防等各个行业中,机器视觉也成为推动我国建设现代化强国、实现产业智能化升级的重要技术之一。

0.2 机器视觉的起源与发展

自起步发展至今,机器视觉已经有 70 多年的历史,其功能以及应用范围随着工业自动化的发展逐渐完善和扩大。20 世纪 50 年代,Gilbson 提出了光流理论,并基于该理论开发了逐像素计算光流的数学模型;20 世纪 60 年代,Lawrence G. Roberts 首次提出机器视觉的概念,同时,Roberts 提出从 2D 视图中提取 3D 信息的可能性,开始进行三维机器视觉的研究;20 世纪 70 年代,David Marr 首次提出完整的视觉理论,麻省理工学院人工智能实验室正式开设“机器视觉”课程,研究人员开始研究边缘检测和分割技术。1978 年,David Marr 创建了一种通过计算机视觉进行场景理解的方法,这种方法从 2D 草图开始,计算机可在 2D 草图的基础上构建以获得最终的 3D 图像。

20 世纪 80 年代至 21 世纪初,机器视觉行业进入高速发展期,基恩士、康耐视、欧姆龙、DALSA 等视觉公司相继成立,这一阶段涌现了大量新技术、新理论,



并开发了适用于实验室和部分工业场景的第一代图像处理产品和简易的图像处理软件库,机器视觉开始走向市场化。在这一时期,光学字符识别(optical character recognition, OCR)系统开始用于各种工业应用,用于读取和验证字母、符号和数字。21 世纪至今,机器视觉行业仍处于高速发展的阶段,并在逐渐走向成熟的同时朝多元化发展。目前,机器视觉仍然是一个非常活跃的研究领域,与之相关的学科涉及:图像处理、计算机图形学、模式识别、人工智能、人工神经网络等。

0.3 中国机器视觉行业发展史

20 世纪 80 年代至 90 年代中期,定义为中国机器视觉行业的初级阶段,是从引入机器视觉技术(主要应用于半导体和电子行业)到大学和研究所研发(研究图像处理和模式识别)的阶段。20 世纪 90 年代后期,即 1998—1999 年,定义为机器视觉行业的市场期。自从 1998 年,越来越多的电子和半导体工厂,包括香港和台湾投资的工厂,落户广东和上海,这时,配套机器视觉技术的整套生产线和高级设备被引入;在此阶段,许多著名视觉设备供应商,开始接触中国市场并寻求本地合作伙伴,但几乎没有符合要求的本地合作商。21 世纪初期至 10 年代中期,即 2000—2015 年,定义为机器视觉行业的萌芽期,奥普特(OPT)、大恒图像等上中下游产业链企业逐步增加并完善,机器视觉行业规模呈持续增长趋势。21 世纪 10 年代后期至今,即 2016 年至今,定义为机器视觉行业的快速成长期,机器视觉行业规模随着中国制造和工业机器人市场的增长而得到快速发展。同时,国内机器视觉方向的创业公司数量快速增长,3D 视觉亦开始被关注并进入快速发展期。

0.4 行业政策

机器视觉作为助力智能制造的核心技术之一,受到国家高度关注与支持。为推动机器视觉产业技术创新、应用落地,国家与地方政府在近年来已推出多项行业利好政策,为智能制造发展保驾护航(表 0-1)。

表 0-1 中国主要机器视觉相关国家政策汇总

2023 年 2 月	《智能检测装备产业发展行动计划(2023—2025 年)》	到 2025 年,智能检测技术基本满足用户领域制造工艺需求,核心零部件、专用软件和整机装备供给能力显著提升,重点领域智能检测装备示范带动和规模应用成效明显,产业生态初步形成,基本满足智能制造发展需求。
2023 年 1 月	《“机器人+”应用行动实施方案》	在商贸物流、教育、商业社区服务、安全应急和极限环境应用等场景中提出机器视觉行业技术与应用发展规划。
2022 年 8 月	《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》	鼓励在制造、农业、物流、金融、商务、家居等重点行业深入挖掘人工智能技术应用场景,促进智能经济高端高效发展。制造领域优先探索工业大脑、机器人协助制造、机器视觉工业检测、设备互联管理等智能场景。



(续表)

2022 年 1 月	《“十四五”数字经济发展规划》	推动农林牧渔业基础设施和生产装备智能化改造,推进机器视觉、机器学习等技术应用。建设可靠、灵活、安全的工业互联网基础设施,支撑制造资源的泛在连接、弹性供给和高效配置。
2021 年 12 月	《“十四五”机器人产业发展规划》	研制三维视觉传感器、六维力传感器和关节力矩传感器等力觉传感器、大视场单线和多线激光雷达、智能听觉传感器以及高精度编码器等产品,满足机器人智能化发展需求。
2021 年 12 月	《“十四五”数字经济发展规划》	高效布局人工智能基础设施,提升支撑“智能+”发展的行业赋能能力。推动农林牧渔业基础设施和生产装备智能化改造,推进机器视觉、机器学习等技术应用。
2021 年 7 月	《5G 应用“扬帆”行动计划(2021—2023 年)》	推动 5G 应用发展有利于加快人工智能、云计算、大数据区块链等高新技术融合赋能,不断催生出诸多新业务、新模式、新业态。例如,5G+AI 机器视觉监测能够更广泛地用于高温、井下、移动等环境,进一步拓展了人工智能的应用空间。推动 5G 应用发展有利于加快传统产业转型升级。例如,提高采矿业生产环境监测的准确性。

0.5 机器视觉产业链及人才需求分析

机器视觉产业链成熟且复杂,其上游为核心软硬件,包含光源、工业镜头、视觉芯片、工业相机、图像采集卡、视觉控制器等核心硬件,以及软件算法、AI 平台等软件。中游为集成系统与智能视觉装备,如检测、测量、定位、识别系统以及定位引导系统和各类视觉设备;下游应用领域包括医疗、汽车、安防、半导体、食品包装及智慧交通等。机器视觉产业链如图 0-1 所示。

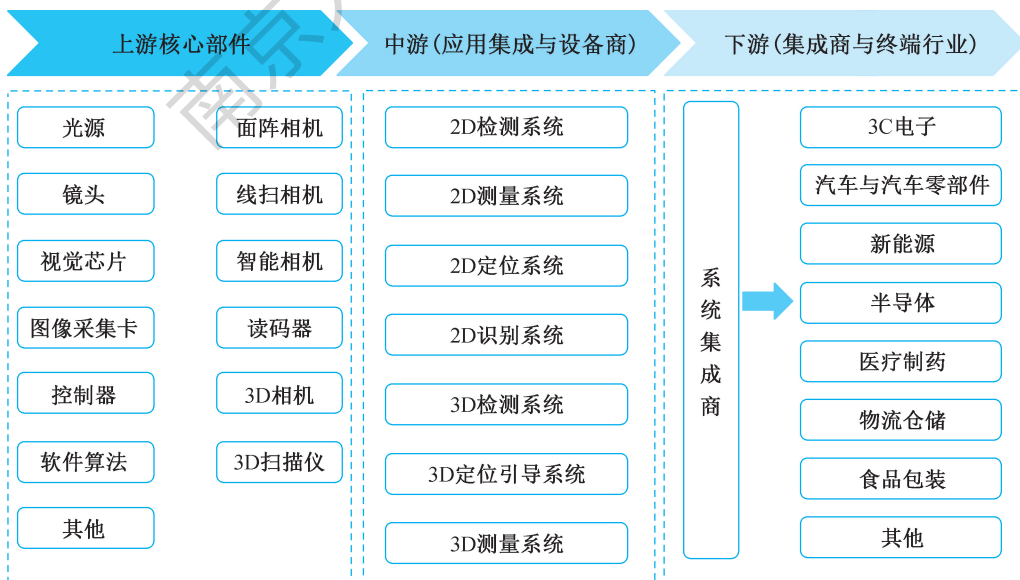


图 0-1 机器视觉技术产业链



各段对人才的需求存在差异。就上游而言,作为核心软硬件的供应商,各大厂商对软硬件的人才均有需求,如软件算法的研发人员、软件应用开发人员、现场应用工程师等。这类岗位根据工作职责异同,对学历和基础能力也有不同的要求,比如算法研究人员,通常需要研究生以上学历且对图形算法原理有足够的理解;而对软件应用开发人员的要求,则主要偏重语言、软件的应用以及对行业工艺的理解;现场应用工程师虽然对语言、编程能力要求略低,但是对硬件的使用和调试有一定要求。从人员配置和需求人数来讲,现场应用工程师需求远大于软件应用开发人员的需求,软件应用开发人员的需求大于软件算法研发人员的需求。除了软件,硬件方面也有很多人才需求,比如光源打光工程师、镜头测试工程师、技术支持工程师等。上述统称为产品端的人才需求,而营销端也有大量的人才需求。机器视觉行业不同于传统的消费品行业,普遍倾向招收有工科背景的人员作为营销端人才,以便深入了解行业客户痛点。销售端与产品技术端的人员配比整体保持在技术:销售=1.5:1左右(根据产品是偏重研发还是偏重市场,略有区别)。

中游主要以视觉集成商和设备商为主,各种产品经销商也归属于这个范畴。集成商有大量的应用开发和视觉现场应用的支持需求,如维普、天运达合、高视、华周,以及海康机器人这类企业均有视觉相关人才需求。除了集成商,设备商方面也有非常多的岗位需求,以3C激光类设备厂商为例,大族激光、利元亨、海目星、联赢、盛雄、杰普特等设备商均有视觉部门,部门主要负责激光焊接定位、焊后检测、激光打标定位等应用。除了视觉工程师,设备带有视觉技术的情况下,现场维护人员也需掌握可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)和视觉调试。

下游企业用人需求存在较大差异,根据用户自身的业务方向,会选择是否成立视觉部门。以比亚迪为例,他们专门有视觉 ME 部门,用于处理各大业务部的视觉需求,规模在 70~100 人左右;富士康也有专门的视觉项目部门,但是分布在各个大的业务线,他们既负责设备改造,又负责视觉选型。与此类似的,华为、大疆、迈瑞、格力、美的等知名制造业企业一般都会设置相关岗位。

0.6 机器视觉的应用

从功能上讲,机器视觉系统主要具有四大类功能:识别、测量、检测和引导。

1. 视觉识别

机器视觉识别技术是一种基于计算机视觉和人工智能的智能化检测方法,其核心功能主要包括以下几个方面:对象目标有无识别(可精准判断目标物体是否存在)、颜色识别(能够准确分辨不同色系及色差)、条码识别(包括一维码、二维码等各类码制的快速解码)以及字符识别(OCR 技术,可实现印刷体、手写体等多种文字的高精度识别)。

该技术目前已广泛应用于工业自动化领域,典型的应用场景包括但不限于:



3C 电子产品的外观检测(如手机零部件组装)、新能源行业的质量控制(如锂电池极片缺陷检测)、汽车制造中的零部件识别、医药行业的包装检测以及物流行业的智能分拣等。如图 0-2 所示,这些应用场景充分展现了机器视觉技术在不同行业中的多元化应用价值。



图 0-2 机器视觉识别技术产业应用场景

2. 视觉测量

视觉测量是指利用机器视觉技术对物体的形状、尺寸、位置等进行测量的过程。视觉测量具有多种优势,包括图像信息直观丰富、测距精度高、稳定性高、成本效率高以及非接触式检测等。这些特点使得视觉测量系统能够在复杂多变的生产环境中提供稳定可靠的信息,同时降低传统人工检测方式的成本和误差。

视觉测量的典型应用场景涵盖产品外观检测、零件尺寸测量、加工精度验证、装配定位校准等工业自动化关键环节(图 0-3)。

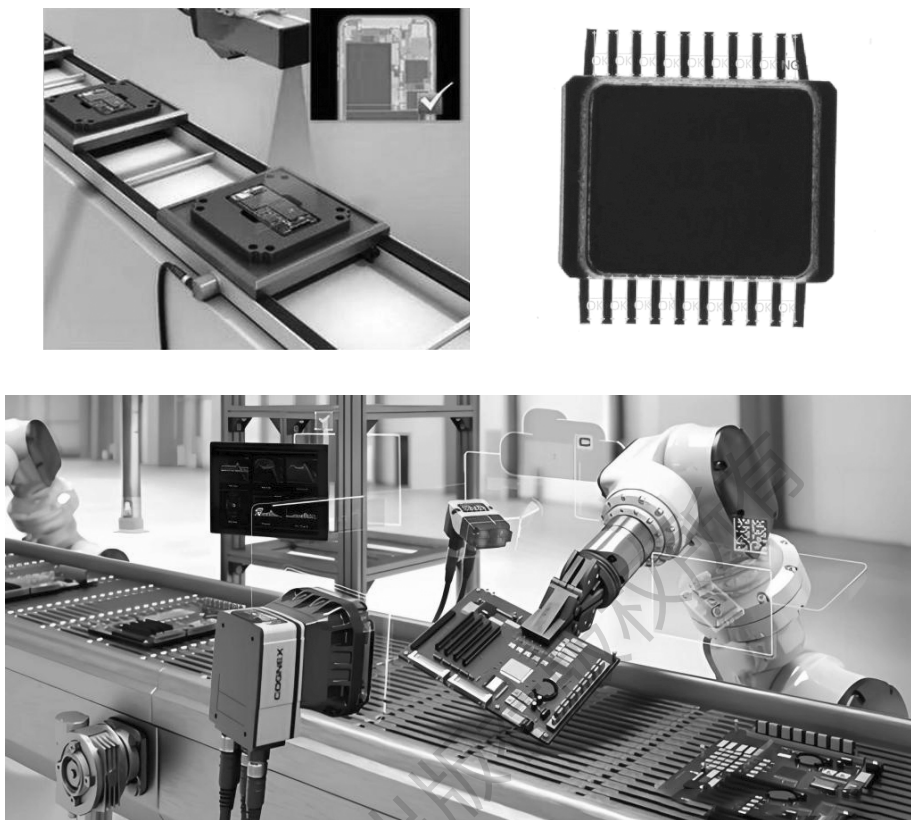


图 0-3 机器视觉测量技术产业应用场景

3. 视觉检测

视觉检测是指通过机器视觉技术对物体、产品或工件进行自动化检测的过程，它通过图像摄取装置将被检测目标转换成图像信号，并利用图像处理系统对信号进行分析处理，以实现目标质量、形状、尺寸、颜色、表面缺陷、脏污等特征信息的抽取和识别。

视觉检测技术广泛应用于电子、汽车、食品、医药等多个行业。在电子行业，视觉检测用于检测电路板、连接器等元器件的尺寸、缺陷和颜色；在汽车行业，用于检测汽车零部件的尺寸、形状、表面缺陷等；在食品和医药行业，用于检测包装完整性、印刷质量和食品表面的缺陷。常见视觉检测技术产业应用场景如图 0-4 所示。

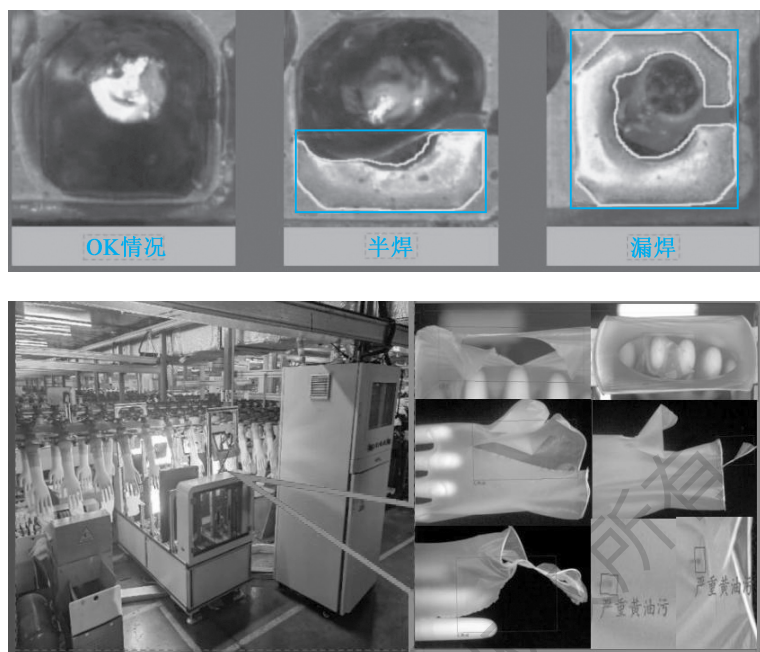


图 0-4 机器视觉检测技术产业应用场景

4. 视觉引导

视觉引导是一种结合了机器视觉和机器人技术的自动化技术,它通过视觉系统捕获图像并分析,以实现对机器人或其他自动化设备的精确定位和引导。这种技术广泛应用于制造业、物流、医疗和自动化生产线等领域,用于提高生产效率、减少人工错误、提升产品质量,并适应快速变化的生产需求。

其典型应用场景如图 0-5 所示,包括单相机抓取定位、单相机纠偏引导、上下相机贴合定位、多相机系统、与机器人的通信集成以及软件平台支持等。



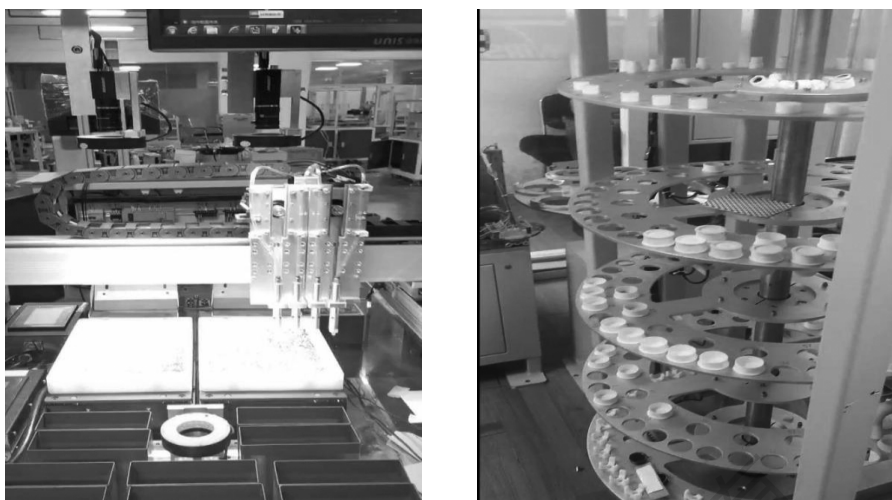


图 0-5 机器视觉引导技术产业应用场景

0.7 机器视觉处理软件

目前,机器视觉比较流行的开发模式是“软件平台+视觉处理软件(算子库)”。视觉算法平台由底层算法研发能力较强的视觉公司开发,国外知名的处理软件有德国 MVTec 公司的 Halcon、康耐视公司的 VisionPro、加拿大 Matrox 公司的 MIL 等,国内的有杭州海康机器人公司的 Vision Master 算法平台、OPT 公司的 Sci Vision、凌云光公司的 Vision Ware、创科公司的 CKVision、陕西维视智造公司的 Vision Bank 等(图 0-6)。除了视觉公司推出的商业软件库,还有 OpenCV、VTK、PCL、CGAL 等开源算法,为视觉系统开发者提供了助力。但是国内视觉应用厂商自主或基于开源算法开发的软件在性能、效率和稳定性上与专用视觉软件库相比仍存在较大差距,而且国内视觉算法开发人员的供应紧缺、薪资成本高。因此随着视觉应用的要求越来越高,越来越多的视觉应用厂商开始选择购买专业视觉公司开发的视觉算法平台或算子库,中国视觉算法软件的潜在市场空间巨大。



图 0-6 常用机器视觉处理软件



0.8 关于杭州海康机器人股份有限公司

杭州海康机器人股份有限公司(以下简称“海康机器人”)是面向全球的机器视觉和移动机器人产品及解决方案提供商,业务聚焦于工业物联网、智慧物流和智能制造,主要依托公司在相关领域的技术积累,从事机器视觉和移动机器人的硬件产品和软件平台的设计、研发、生产、销售和增值服务(图 0-7)。“引领工业智能化发展,共创智造新未来”是公司一以贯之的使命,也是公司的主要目标和宗旨。海康机器人希望能够实现“助力工业物联,创造可持续的社会价值”的愿景。同时“专业精湛,勇于担当,诚信务实”是海康机器人一直践行的价值观,并内化成为其企业文化;“让机器更智能,让智能更普惠”是海康机器人的品牌理念,旨在坚持做难且正确的事,使得智能技术不断优化,并广泛地服务于社会的各个层面,让更多的人平等地享受到技术带给生产生活的美好。



图 0-7 杭州海康机器人股份有限公司

在机器视觉方面,公司聚焦工业视觉传感,驱动工业数字化和智能化。机器视觉业务已拥有 2D 视觉、智能 ID、3D 视觉、工控四条产品线,同时以 VM 算法软件平台为核心,培养视觉应用生态。公司主营业务以技术创新为驱动,以市场需求为导向,聚焦产品和平台的升级迭代,持续为 3C 电子、新能源、汽车、医药医疗、半导体、快递物流等行业提供机器视觉硬件产品和算法软件平台,提升生产制造柔性和产品品质,助力智能制造的发展。



在移动机器人方面,公司聚焦国内物流,推动制造业、流通行业的自动化及智能化。智能基座 iBASE 是海康机器人自研的第四代 AMR 架构平台,海康机器人基于 1 个智能基座,衍生出 N 类车型,覆盖 X 个场景。潜伏系列、叉取系列、料箱系列、移栽系列、重载系列、复合系列六条产品线和机器人调度系统 (robots control system, RCS)、智能仓储管理系统 (intelligent warehouse management system, iWMS) 两大软件平台,重点覆盖汽车、新能源、3C 电子、医药医疗、电商零售等细分行业,提供专业的智能物流解决方案,可为下游用户降低物流环节运营成本,提升物流效率和管理质量。



【微信扫码】
操作视频

项目 1 机器视觉系统识别与应用

任务 1 条码识别

1.1 任务工单

工单编号	
提交日期	年 月 日
提交部门	物流自动化部
紧急程度	☐ 高 ☐ 中 ☐ 低
任务名称	快递单号条码识别系统开发
任务背景	随着电商和物流行业的迅猛发展,快递单号处理效率的提升已成为行业发展的关键需求。传统的人工录入方式不仅效率低下,而且容易出错,难以应对日益增长的订单量。为此,引入机器视觉技术成为行业转型升级的重要方向
核心功能	1. 识别一维条码(Code 128、EAN-13)和二维码(QR 码) 2. 输出格式化信息至数据库/文本文件
性能指标	1. 识别准确率 $\geq 95\%$ (清晰条码) 2. 单张处理时间 $\leq 0.5\text{ s}$
硬件配置	相机: MV-CS050-10GC(500 万像素) 镜头: MVL-KF1628M-12MP(16 mm 焦距) 光源: MV-LBES-180-180-W(环形 LED) 工作距离: 400 mm
软件流程	1. Vision Master 新建案例,配置图像源 2. 一维条码:条码识别模块(最大数量=5) 3. 二维码:DL 读码 C 模块(支持 QR/DataMatrix) 4. 格式化输出结果(如快递单号:[单号],类型:[Code128])
交付要求	1. Vision Master 工程文件(.vmproj) 2. 测试报告(含 10 组样本结果截图及耗时记录)



(续表)

任务计划	硬件连接与环境搭建→一维条码流程开发→二维码功能扩展→系统测试及文档整理
注意事项	1. 优先适配主流快递条码 2. 模糊条码需调整“降采样系数”或“静区宽度”

1.2 任务学习目标

知识目标

1. 掌握机器视觉行业中条码识别的方法。
2. 掌握 Vision Master 中一维条码识别和二维码识别工具操作的方法。

技能目标

1. 掌握依据项目需求完成机器视觉硬件选型、配置及系统集成的实践技能。
2. 能够独立完成视觉算法选型、软件架构设计及系统性能测试。

素质目标

1. 形成系统性解决视觉技术难题的思维能力,包括故障诊断与性能优化。
2. 具备技术迁移应用能力,可快速掌握新兴视觉算法与智能硬件技术。
3. 保持技术敏感度,能通过自主学习持续提升视觉系统开发水平。

1.3 相关知识

1. 一维条码

常见的条形码是由反射率相差很大的黑条(简称条)和白条(简称空)排成的平行线图案。“条”指对光线反射率较低的部分,“空”指对光线反射率较高的部分,所携带的信息依靠“条”和“空”的不同宽度和位置来传递,条形码的信息量受到其物理尺寸和打印质量的影响。条形码越宽,通常可以包含更多的信息,因为有更多的空间用于条和空的排列。此外,打印精度越高,单位长度内可以容纳的条和空越多,从而传递的信息量也就越大。一维条码只是在一个方向,即水平方向表达信息,而在垂直方向不表达任何信息。

2. 一维条码的结构组成

一维条码的组成结构从左至右主要包括左静区、起始符、数据符、终止符、右静区,排列方式通常如图 1-1 所示。某些特定的一维条码(如 EAN 码和 UPC 码)还在数据符之间使用中间分割线(也叫分隔符)来区分不同的数据段。



图 1-1 一维条码的结构

(1) 左静区:位于条码开始之前的空白区域,用于指示扫描器即将读取条码,并帮助确定条码的起始位置。

(2) 起始符:位于条码的开始位置,具有特定的条和空的排列模式,用于识别条码的开始,并提供码制识别信息和阅读方向的信息。

(3) 数据符:位于条码中间的部分,包含了条码所要表达的具体信息,这些信息可以是数字、字母或其他字符。

(4) 校验符:用于检测条码数据在传输或复制过程中的正确性,通常根据特定的算法计算得出。

(5) 终止符:位于条码的结束位置,具有特定的条和空的排列模式,用于标识条码的结束,并与起始符一起提供码制识别信息。

(6) 右静区:位于条码结束之后的空白区域,类似于左静区,用于帮助扫描器确认条码的结束,并完成数据的读取。

常见的一维条码码制包括 EAN 码、UPC 码、交叉 25 码、Code 39 码、Code 128 码、库德巴码等(图 1-2)。



图 1-2 常见的一维条码示例



3. 一维条码的编码方法

一维条码制的编码方法通常遵循以下基本原则。

(1) 模块组合法

条形码中,条与空是由标准宽度的模块组合而成。一个标准宽度的条模块表示二进制的“1”,而一个标准宽度的空模块表示二进制的“0”。

(2) 宽度调节法

条形码中,条与空的宽窄设置不同,用宽单元表示二进制的“1”,而用窄单元表示二进制的“0”,宽窄单元之比一般控制在 2~3。

(3) 字符集和编码规则

不同的码制有其特定的字符集和编码规则。例如,Code 128 码可以表示 0~127 的数据,并且分为 Code 128A、Code 128B、Code 128C 三种类型,每种类型有不同的起始位和字符集。

4. 二维码(2D barcode)

二维码是一种在水平和垂直方向的二维空间都存储信息的图形符号,它通过黑色和白色模块的不同排列组合存储数据。与传统的一维条码相比,二维码能够存储更多的信息,包括文本、数字、链接、图像等,并且具有更高的数据密度和错误校正能力。

常见的二维码种类包括 QR 码、Data Matrix 码、PDF417 等(图 1-3)。这些二维码格式因其各自的特点和优势,在各个领域中得到广泛应用。从日常生活中的收付款到工业生产管理,从商品防伪到交通运输,都离不开二维码技术的支持。



图 1-3 常见的二维码示例

(1) QR 码

QR 码由日本 DW 公司于 1994 年发明,是目前最流行的二维码格式之一。它具有超高速识读、全方位识读的特点,并能有效表示中国汉字、日本文字、各种符号、字母、数字等。QR 码广泛应用于收付款、防伪溯源、工业自动化生产线管理、电子凭证等场景。

QR 码主要包括以下几个部分(图 1-4)。

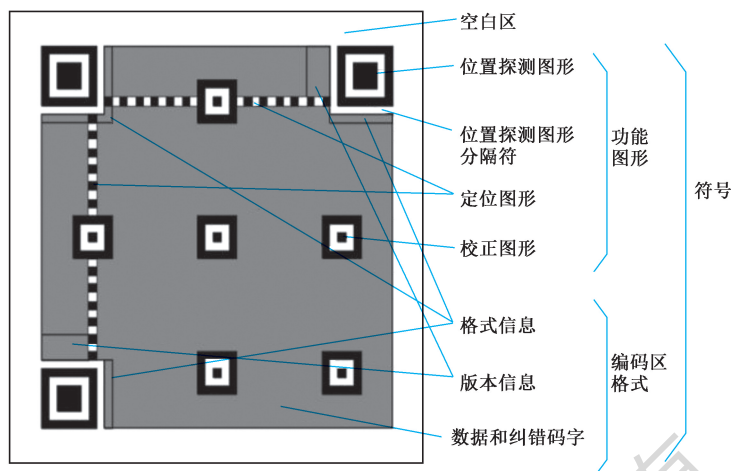


图 1-4 QR 码的结构

① 位置探测图形、位置探测图形分隔符:对每个 QR 码来说,位置都是固定存在的,只是大小规格会有所差异;这些黑白间隔的矩形块很容易进行图像处理的检测,可帮助扫描设备快速识别和定位二维码的方向和位置。

② 定位图形:是位于位置探测图形旁的黑白交替点带,这些小的黑白相间的格子就好像坐标轴,在二维码上定义了网格。

③ 校正图形:根据尺寸的不同,校正图形的个数也不同。校正图形主要用于 QR 码形状的校正,尤其是当 QR 码印刷在不平坦的面上,或者拍照时候发生畸变等。

④ 格式信息:表示该二维码的纠错级别,分为 L、M、Q、H。

⑤ 版本信息:即二维码的规格,表明二维码的大小和复杂度。QR 码符号共有 40 种规格的矩阵(一般为黑白色),从 21×21 (版本 1)到 177×177 (版本 40),每一版本符号比前一版本每边增加 4 个模块。

⑥ 数据:实际保存编码数据的区域。使用黑白的二进制网格编码内容。8 个格子可以编码一个字节。

⑦ 纠错码字:用于修正二维码损坏带来的错误。

(2) Data Matrix 码

Data Matrix 码由美国国际资料公司(International Data Matrix)于 1989 年发明,是一种由黑色、白色的色块以正方形或长方形组成的二维码,其发展构想是希望在较小的标签上存储更多的信息量。Data Matrix 码的最小尺寸是目前所有条码中最小的,特别适合于小零件的标识,可直接印刷在实体上,被广泛应用在电路、药品等小件物品以及制造业的流水线生产过程。Data Matrix 码分为 ECC140 与 ECC200 两种类型。其构成如图 1-5 所示。

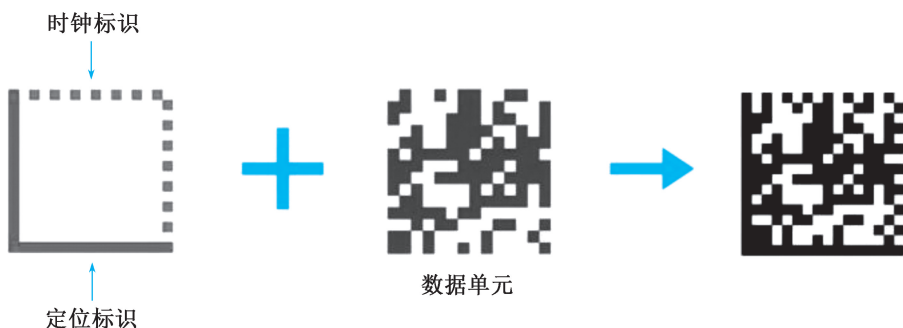


图 1-5 Data Matrix 码的构成

(3) PDF417 码

PDF417 码由美国讯宝科技公司于 1990 年研发,发明者是留美华人王寅君博士。PDF417 码广泛应用于工业生产、卫生、商业、交通运输等领域。

1.4 任务实施

1. 软件操作流程

一维条码识别算法可实现对一维条码的译码。首先会对图像中的一维条码进行预处理以保证识别条码质量,然后进行译码,并保证一定的容错率。

本次任务识别的对象:快递包装上的一维条码(图 1-6)。



【微信扫码】
任务操作视频



图 1-6 快递包装上的一维条码

整体操作流程如图 1-7 所示。

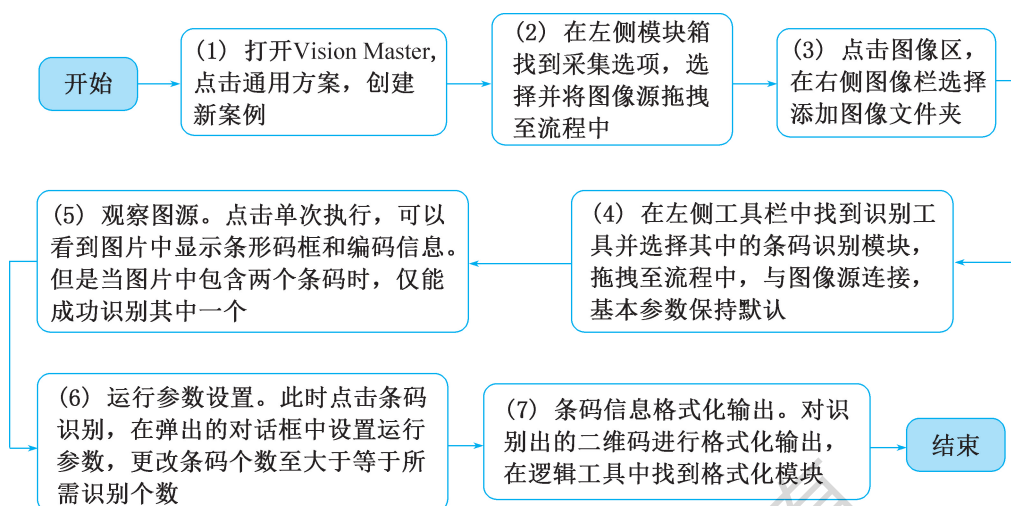


图 1-7 整体操作流程

2. 任务思考: 科技赋能物流

随着电商和物流行业的蓬勃发展(图 1-8), 条码识别技术成为提升效率的关键。本项目中通过 Vision Master 开发高效识别系统, 体现了科技创新对产业的推动作用。



图 1-8 电商和物流行业



3. 实操作业



【微信扫码】
实操作业图源

Vision Master 的二维码识别模块可用于识别目标图像中的二维码,并将读取的二维码信息以字符的形式输出。其一次可以高效准确地识别多个二维码,但目前只支持 QR 码和 Data Matrix 码。该模块对码的质量要求较高;无固定搭配使用模块,前序模块可以搭配仿射变换、形态学处理等图像处理模块对码成像做优化,然后输入到二维码识别模块中进行读码,后续模块可以利用二维码信息及位置进行定位、通信等处理。

创建新案例,选择图源、二维码信息格式化输出这几个步骤的操作与一维条码识别相同,这里不再赘述。

(1) 与一维条码任务实施不同的是,要在识别工具中选择 DL 读码 C 模块[注意区别 C 和 G,C 指 CPU(中央处理器)模块,G 指 GPU(图形处理器)模块],并拖拽至流程中,与图像源连接。

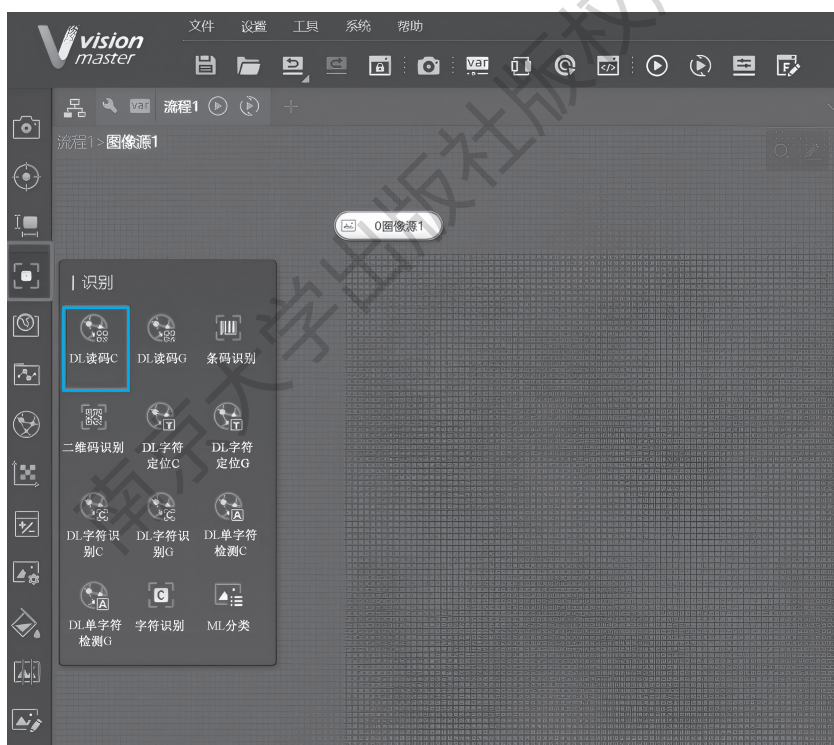


图 1-9 区别步骤

(2) DL 读码 C 模块运行参数设置。在 DL 读码 C 模块对话框中点击运行参数,选择二维码识别,根据实际需求选择二维码个数(图 1-10)。



图 1-10 参数设置

DL 读码 C 模块运行参数详情如下。

① 条码类型:支持 MSI 码、CNPOST 码、CODE11 码、IND25 码、ITF14 码,根据条码类型开启相应按钮。

② 条码个数:期望查找并输出的条码最大数量,若实际查找到的个数小于该参数值,则输出实际数量的条码。

③ 二维码类型:支持 QR 码、Data Matrix 码,根据条码类型开启相应按钮。

④ 二维码个数:期望查找并输出的二维码最大数量,若实际查找到的个数小于该参数值,则输出实际数量的二维码。

可以看到二维码被成功识别(图 1-11)。



图 1-11 二维码



读者按照一维条码信息格式化输出的步骤操作,可将所有二维码信息都格式化输出到图像中(图 1-12)。



图 1-12 二维条码格式化结果



任务 2 字符识别

2.1 任务工单

工单编号	
提交日期	年 月 日
提交部门	生产自动化部
紧急程度	☐ 高 ☐ 中 ☐ 低
任务名称	果汁盒生产日期字符识别系统开发
任务背景	在食品工业自动化生产中,牛奶盒包装上的生产日期识别是质量管控与产品追溯的关键环节。传统人工检测效率低且易出错,而牛奶盒表面的喷码字符常因印刷位置偏移、光照不均、背景复杂(如反光/污渍)等因素导致机器识别困难。本任务基于机器视觉技术,通过图像预处理、字符定位分割及光学字符识别(OCR)算法,实现复杂场景下喷码日期的鲁棒性提取,为自动化产线提供高精度、实时化的日期检测解决方案,助力企业提升品控效率与信息化管理水平。为提高包装线检测效率,需开发基于 Vision Master 的机器视觉系统,实现果汁盒生产日期的自动化识别与验证,替代传统人工目检方式
核心功能	- 果汁盒喷印生产日期识别采用 DL 字符识别技术,适应不同字体和背景 - 与系统当前日期比对,判断是否过期
性能指标	- 识别准确率$\geq 95\%$(清晰字符) - 单张处理时间$\leq 0.3\text{ s}$
硬件配置	相机: MV-CS050-10GC(500 万像素) 镜头: MVL-KF1628M-12MP(16 mm 焦距) 光源: MV-LBES-180-180-W(环形 LED) 工作距离: 250 mm
软件流程	- 配置 500 万像素相机参数(分辨率 2592×1944, 帧率 15 FPS) - 设置生产日期区域模板,匹配阈值≥ 0.85 - DL 字符识别,ROI 继承快速匹配结果 - 图形化叠加显示识别结果
交付要求	- Vision Master 工程文件(.vmproj) - 测试报告(含 10 组样本结果截图及耗时记录) - 系统操作手册(含异常处理流程)
任务计划	硬件系统搭建→快速匹配模块开发→DL 字符识别训练→系统集成测试
注意事项	- 字体适配:需兼容常见喷码字体(点阵/激光) - 异常处理:对残缺、模糊字符需触发重检机制 - 数据安全:生产日期数据需加密传输



2.2 任务学习目标

✎ 知识目标

1. 掌握机器视觉行业中字符识别的方法。
2. 掌握 Vision Master 中字符识别工具操作方法。

✎ 技能目标

1. 能根据项目需求,进行机器视觉系统硬件选型与搭建。
2. 能根据项目需求,完成机器视觉系统软件设计与测试。

✎ 素质目标

1. 能够依据项目需求,完成机器视觉硬件系统的选型与搭建。
2. 能够按照项目要求,实现机器视觉软件系统的设计与测试。

2.3 相关知识

1. 字符识别(optical character recognition, OCR)技术

字符识别是机器视觉中的重要应用之一,主要用于从图像中提取文本信息。其过程通常包括图像预处理、字符定位、特征提取和字符识别等步骤。在本任务中,采用深度学习(deep learning, DL)字符识别技术,通过深度学习算法提高识别的准确性和鲁棒性。

2. Vision Master 软件简介

Vision Master 是一款集成了多种机器视觉算法的软件平台,支持图像采集、处理、分析和结果显示等功能。它提供了丰富的工具模块,如快速匹配、字符识别、图形收集等,能够帮助用户快速搭建机器视觉系统。

3. 快速匹配技术

快速匹配是一种基于特征模板的定位技术,通过提取目标区域的特征点,实现图像中目标的快速定位。在本任务中,快速匹配用于定位果汁盒上的生产日期区域,为后续字符识别提供准确的感兴趣区域(region of interest, ROI)。

4. 图像采集与预处理

图像采集是机器视觉系统的第一步,通常通过工业相机完成。采集到的图像可能包含噪声、光照不均等问题,因此需要进行预处理(如去噪、二值化、边缘检测等),以提高后续处理的准确性。



5. 感兴趣区域

感兴趣区域是指图像中需要重点处理的区域。在本任务中,通过快速匹配确定生产日期的位置,并利用 ROI 继承功能将字符识别模块应用于该区域,从而提高识别的效率和准确性。

6. 深度学习在字符识别中的应用

深度学习技术,如卷积神经网络(convolutional neural network, CNN),在字符识别中表现出色,能够自动学习图像特征,适应复杂的背景和光照条件。DL 字符识别模块基于深度学习算法,能够高效准确地识别图像中的字符信息。

7. 逻辑工具与结果格式化

逻辑工具用于对识别结果进行进一步处理,如图形收集、结果显示等。格式化工具则用于将识别结果以文本或图形的形式输出到图像中,便于用户直观查看和分析。

2.4 任务实施

1. 软件操作流程

本次任务识别的对象:牛奶盒生产日期(图 2-1)。



【微信扫码】
任务操作视频

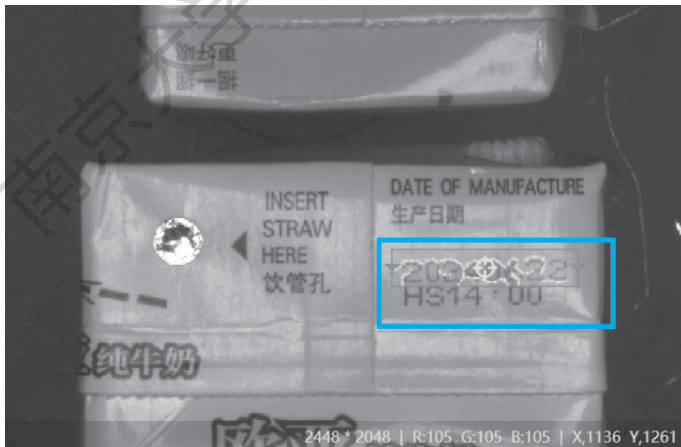


图 2-1 牛奶盒上的生产日期

整体操作流程如图 2-2 所示。

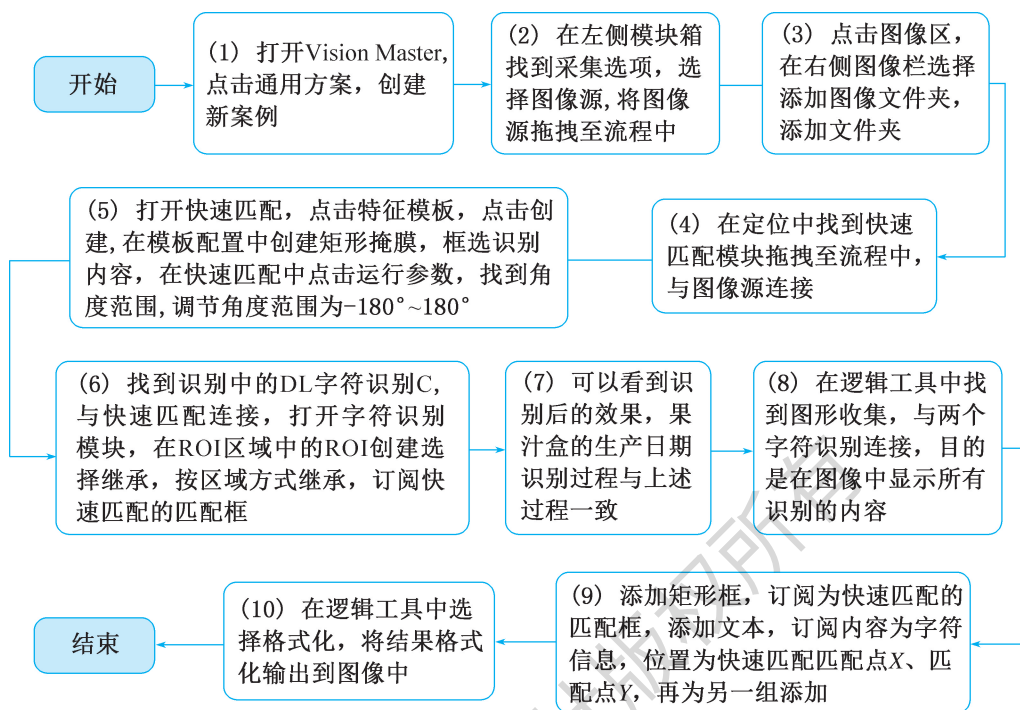


图 2-2 整体操作流程

2. 任务思考:智能视觉赋能食品安全生产

在果汁盒生产日期识别系统开发中,深刻认识到技术创新对食品质量安全的重要价值。通过应用 DL 字符识别技术,可有效解决人工检测效率低下的行业痛点。

3. 实操作业

(1) 作业说明

请扫码下载图源文件,利用任务中掌握的字符识别操作方法,对图源中的各类食品、药品包装袋上的有效信息(生产日期、批号等)进行提取。



【微信扫码】
实操作业图源

(2) 作业要求

兼容不同颜色食品、药品包装背景,输出工程文档,做好操作记录,对失败案例进行分析并提出改进方案。

项目 2 机器视觉系统测量与应用

任务 3 引脚间距测量

3.1 任务工单

工单编号	
提交日期	年 月 日
提交部门	物流自动化部
紧急程度	☐ 高 ☐ 中 ☐ 低
任务名称	电子元件引脚间距检测系统开发
任务背景	随着电子元器件向微型化、高密度方向发展,传统人工卡尺测量方式已难以满足现代制造业对引脚间距检测的高精度和高效率要求。本任务将开发基于工业相机和 Vision Master 平台的自动化视觉检测系统,通过高精度边缘检测算法实现引脚间距的快速测量,自动判定合格性并生成检测报告,可无缝对接制造执行系统(manufacturing execution system, MES),显著提升检测效率和产品一致性,适用于表面贴装(SMT)、IC 封装等精密电子制造领域
核心功能	1. 精确测量三极管等元件引脚间距(精度$\pm 0.01\text{ mm}$) 2. 自动判定间距是否符合规格要求 3. 格式化输出检测结果(合格或不合格及偏差值)
性能指标	1. 测量重复精度$\geq 99\%$ 2. 单件检测时间$\leq 0.2\text{ s}$
硬件配置	相机: MV-CS050-10GC(500 万像素) 镜头: MVL-KF1628M-12MP(16 mm 焦距) 光源: MV-LBES-180-180-W(环形 LED) 工作距离: 250 mm



(续表)

软件流程	1. Vision Master 新建案例,配置高分辨率图像源 2. 快速匹配模块定位元件主体 3. 间距测量模块检测引脚边缘(滤波尺寸=3,边缘阈值=30) 4. 逻辑判断模块输出合格判定结果
交付要求	1. Vision Master 工程文件(.vmproj) 2. 测试报告(含 20 组样本的测量数据及误差分析) 3. 操作手册(含常见异常处理方案)
任务计划	硬件系统搭建→定位模块开发→间距测量算法调试→系统集成测试→文档整理
注意事项	1. 需兼容不同封装形式的三极管 2. 针对反光引脚需优化光源参数 3. 测量结果需自动记录至 MES 系统

3.2 任务学习目标

知识目标

1. 掌握机器视觉行业中间距测量的方法。
2. 掌握 Vision Master 中间距检测工具操作方法。

技能目标

1. 掌握机器视觉系统硬件方案的选型设计与实施部署能力。
2. 具备机器视觉软件系统的开发实现与测试验证能力。

素质目标

1. 形成机器视觉技术问题的自主分析与解决能力。
2. 具备新技术与新知识的快速吸收与应用能力。

3.3 相关知识

1. 系统组成与原理

电子元件引脚间距检测系统结构如图 3-1 所示。采用 500 万像素工业相机(MV-CS050-10GC)配合 16 mm 定焦镜头,环形 LED 光源(MV-LBES-180-180-W)提供均匀照明,工作距离 250 mm 时理论分辨率可达 0.02 mm/pixel。

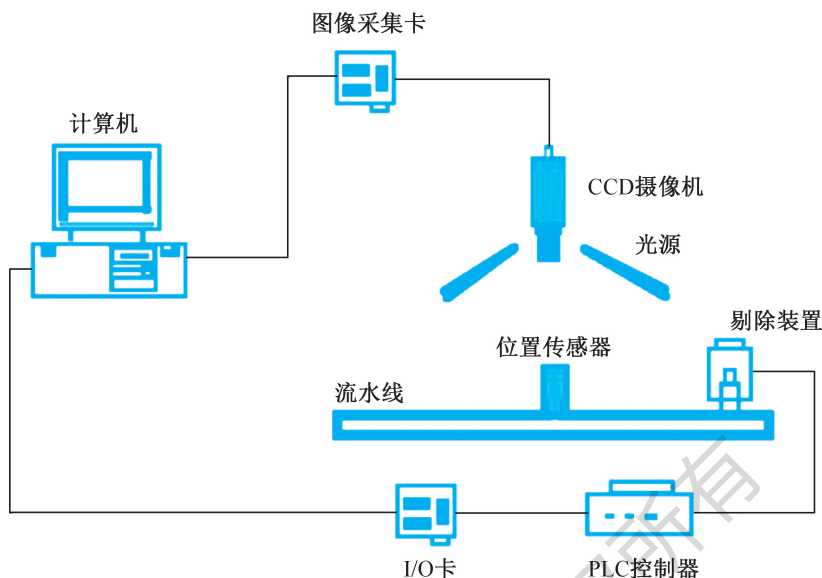


图3-1 系统结构

2. 系统架构

电子元件引脚间距检测系统通常包括图像采集模块、图像处理模块、测量模块和执行模块。图像采集模块负责获取高质量的图像；图像处理模块进行图像预处理和特征提取；测量模块进行精确测量；执行模块根据测量结果执行相应的操作。

3. 工作原理

电子元件引脚间距检测系统通常利用机器视觉技术进行自动化检测。系统通过摄像头或传感器获取元件的图像或数据，然后运用图像处理和机器学习算法来识别和测量引脚的间距。

4. 关键测量技术

(1) 检测需求：通常需要检测多个焊锡区域的锡量是否达标，以及检测两根引脚之间的间距是否符合标准。

(2) 检测原理：通过机器视觉技术，利用图像处理算法如二值化、连通区域分析等，对焊锡区域进行测量。使用直线测量器检测引脚间距，确保引脚间距符合标准。

(3) 图像处理：包括二值化处理、连通区域分析、直线测量等。

(4) 算法优化：通过算法优化提高检测速度和精度，减少误检和漏检。

(5) 测量计算：使用直线测量器或相关算法计算引脚之间的距离。

(6) 结果输出：将测量结果与预设标准进行比较，输出合格或不合格的信号。



5. 应用场景

电子元件引脚间距检测系统广泛应用于各种电子产品的生产过程中,特别是在表面贴装技术(surface mount technology, SMT)生产线中。它可以帮助确保电子元件的安装精度,提高产品的可靠性和生产效率。

3.4 间距检测

间距测量模块用于检测两特征边缘之间的间距。首先查找满足条件的边缘,然后进行距离测量。该模块多用于生产中测量工件宽度,确认工件规格是否满足要求,以及测量两个工件的间距等。

3.5 任务实施

1. 软件操作流程

本次任务识别的对象:元器件引脚(图 3-2)间距。



【微信扫码】
任务操作视频

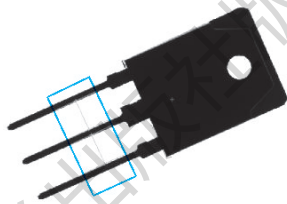


图 3-2 元器件间引脚

整体操作流程如图 3-3 所示。

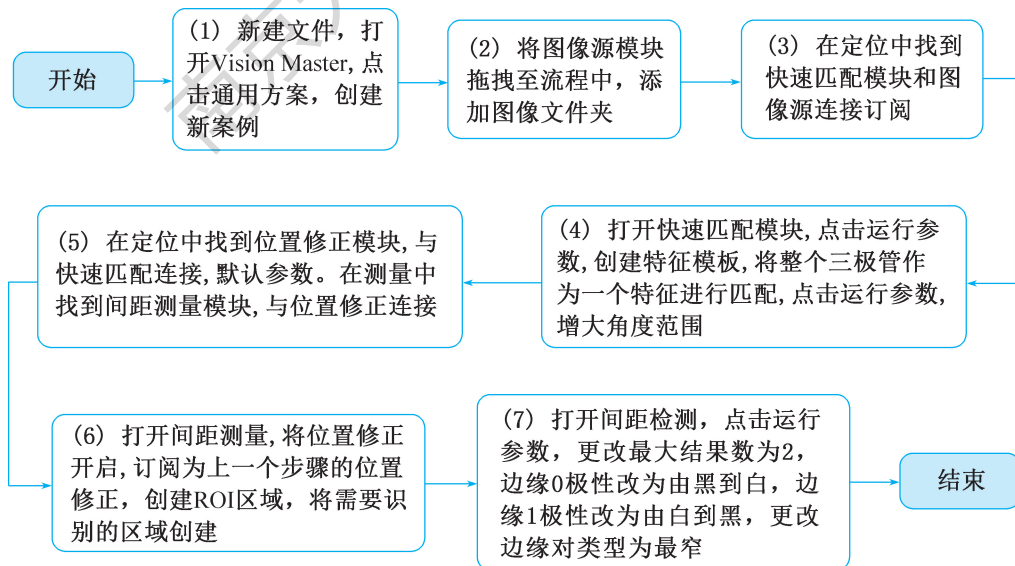


图 3-3 整体操作流程



2. 任务思考:个人技术与职业态度对行业的影响

在完成“引脚间距测量”项目的过程中,深刻体会个人技术能力和职业态度对行业发展的重要性。这一任务不仅要求掌握机器视觉技术的核心技能,还需要严谨的工作态度和持续学习的精神。

3. 实操作业

(1) 作业说明

请扫码下载图源文件,利用任务中掌握的引脚间距测量操作方法,对图源中的各类芯片引脚进行自动化测量,并尝试对 PCB 板上的封装贴片元件焊盘的间距进行自动化测量。



【微信扫码】
实操作业图源

(2) 作业要求

精度为 $\pm 0.01\text{ mm}$,对焊锡反光区域进行抗干扰处理,输出偏移超限($>0.05\text{ mm}$)的元件坐标及偏差数据,兼容不同颜色 PCB 背景,输出工程文档,做好操作记录,对失败案例进行分析并提出改进方案。



任务 4 芯片尺寸测量

4.1 任务工单

工单编号	
提交日期	年 月 日
提交部门	质量检测部
紧急程度	☐ 高 ☐ 中 ☐ 低
任务名称	芯片尺寸精确测量系统开发
任务背景	随着半导体制造工艺的持续精进,芯片尺寸测量面临前所未有的精度挑战。为显著降低人工检测误差风险,提升产线良率,需通过机器视觉技术实现芯片尺寸的自动化测量,替代传统人工卡尺测量方式,确保测量精度和一致性
核心功能	1. 图像采集:清晰捕捉芯片边缘及表面特征 2. 定位与测量:粗定位——模板匹配与位置修正模块。精定位——矩形检测模块(边缘极性、卡尺数量等参数可调) 3. 结果输出:格式化显示芯片长、宽、角度及公差(单位:mm)
性能指标	1. 测量精度: ± 0.01 mm(基于 500 万像素相机及标定参数) 2. 单次测量时间: ≤ 1 s(从图像采集到结果输出) 3. 重复性误差: $\leq 0.5\%$ (同一芯片连续 10 次测量标准差)
硬件配置	样品:印刷圆弧+印刷字符+胶囊药丸(模拟芯片特征) 相机: MV-CS050-10GC(500 万像素彩色面阵) 镜头: MVL-KF1628M-12MP(16 mm 焦距,1 200 万像素) 光源: MV-LBES-180-180-W(环形 LED,输出 200 灰度) 工作距离: 200~350 mm(需根据实际焦距调整)
软件流程	1. 图像源:导入或实时采集芯片图像 2. 参数设置:最小匹配分数=0.8,角度范围= $\pm 10^\circ$,尺度范围=0.9~1.1 3. 位置修正:继承模板匹配结果,校准 ROI 区域 4. ROI 设置:图形类型,屏蔽干扰区域。边缘检测:极性=从黑到白,卡尺数量=15,滤波尺寸=3 5. 格式化输出:生成包含尺寸数据的结构化报告
交付要求	1. 工程文件: Vision Master 流程文件(.vmproj)及参数配置文档 2. 测试报告:10 组样本测量结果(含截图及数据表格),重复性测试记录(均值、标准差) 3. 校准证书:系统标定文件(如像素当量标定值)



(续表)

任务计划	1. 硬件搭建(1天):安装相机、镜头、光源,调整工作距离 2. 软件调试(2天):粗定位参数优化(模板匹配、位置修正)。精定位参数验证(边缘阈值、剔除点数) 3. 系统测试(1天):重复性测试与误差分析 4. 文档整理(0.5天):提交最终报告与工程文件
注意事项	1. 光源稳定性:避免环境光干扰,定期检查光源亮度 2. 参数调优:若自动模式失效,手动调整特征尺度(建议值:5~10)和对比度阈值(建议值:50~100) 3. 异常处理:模糊图像需增加滤波尺寸或投影宽度

4.2 任务学习目标

知识目标

- 1. 掌握机器视觉行业中芯片尺寸测量的方法。
- 2. 掌握 Vision Master 中矩形检测工具的操作方法。

技能目标

- 1. 具备针对项目需求定制机器视觉硬件配置及系统集成的能力。
- 2. 能够根据应用场景完成视觉软件架构开发与功能验证。

素质目标

- 1. 具有独立诊断和突破机器视觉技术瓶颈的专业能力。
- 2. 保持持续学习并高效转化新技术为实践应用的素养。

4.3 相关知识

芯片制造流程复杂,涉及众多工艺步骤,如光刻、刻蚀、薄膜沉积等,每一道工序都可能产生尺寸偏差。而芯片尺寸的精度直接影响其性能和成品率,例如,最小线宽等关键尺寸的偏差可能导致芯片功能失效。因此,需要通过精确的尺寸测量来监控工艺过程,确保芯片尺寸符合设计要求,以提高芯片制造的良率和经济效益。矩形检测模块用于检测目标图像中的 ROI 内是否存在矩形。

1. 芯片尺寸测量中的矩形检测应用场景

- (1) 几何尺寸测量(如引脚、晶体管、互连结构的矩形轮廓)。
- (2) 平面度/平整度检测(芯片表面或封装体的矩形区域形变分析)。

2. 图像预处理与边缘提取(图 4-1)

- (1) 对芯片图像进行灰度化、降噪(如高斯滤波)。



(2) 使用边缘检测算法(如 Canny 算子)提取轮廓边缘。

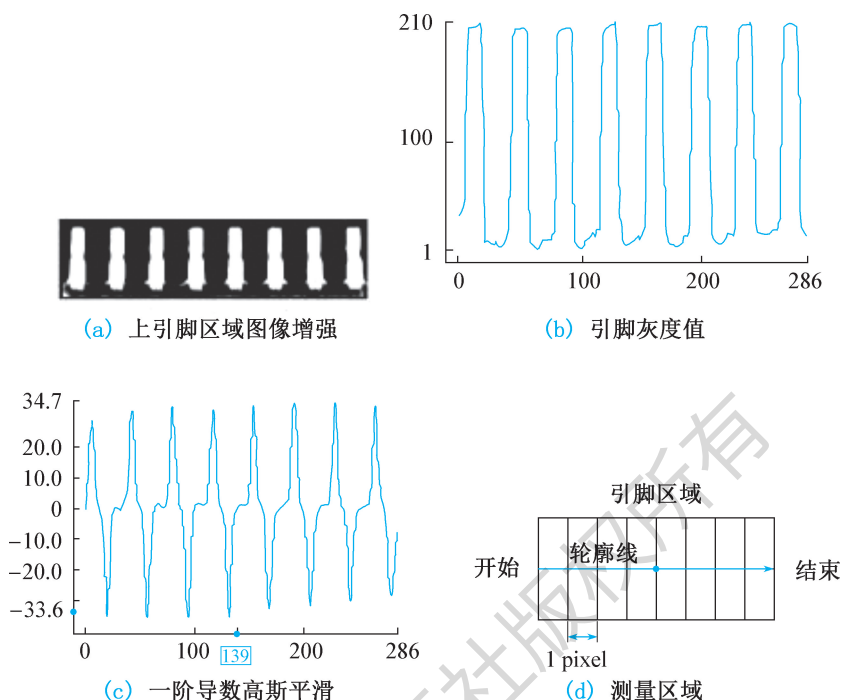


图 4-1 引脚边缘测量点提取

3. 引脚尺寸与间距测量需求

检测引脚宽度、长度、相邻引脚间距是否符合设计规格。

- (1) 定位目标引脚区域(ROI),提取边缘。
- (2) 拟合单个引脚的矩形轮廓,计算尺寸(如宽度 W 、长度 L)。
- (3) 测量相邻引脚矩形的间距(如中心距 D)。

4. 引脚共面度检测(平面度分析)需求

确保多引脚在同一平面上,避免焊接不良。方法:使用 3D 视觉(如结构光、激光三角测量)获取引脚表面高度数据。对每个引脚的矩形区域进行平面拟合,计算各引脚平面的高度差。

5. 矩形网格采样策略

将芯片表面划分为矩形网格(如 10×10 个子区域)。使用探针或激光测头测量每个网格顶点的高度值。通过高度数据计算平面度(如最大高度差 Δh)。采样示意图如图 4-2 所示。

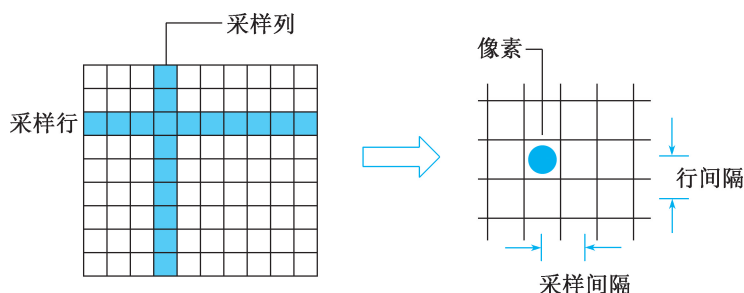


图 4-2 采样示意图

4.4 任务实施

1. 软件操作流程

在软件操作流程中,图像源、模板匹配、位置修正等模块可作为矩形检测的前置模块,辅助矩形检测在图像指定区域精确定位矩形。其中,模板匹配和位置修正做粗定位,矩形检测做精定位。矩形检测对后续模块无特殊要求。可接收并处理矩形信息的模块均可作为矩形检测的后续模块。

本次任务识别的对象:印刷芯片(图 4-3)。

整体操作流程如图 4-4 所示。



【微信扫码】
任务操作视频

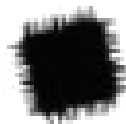


图 4-3 印刷芯片

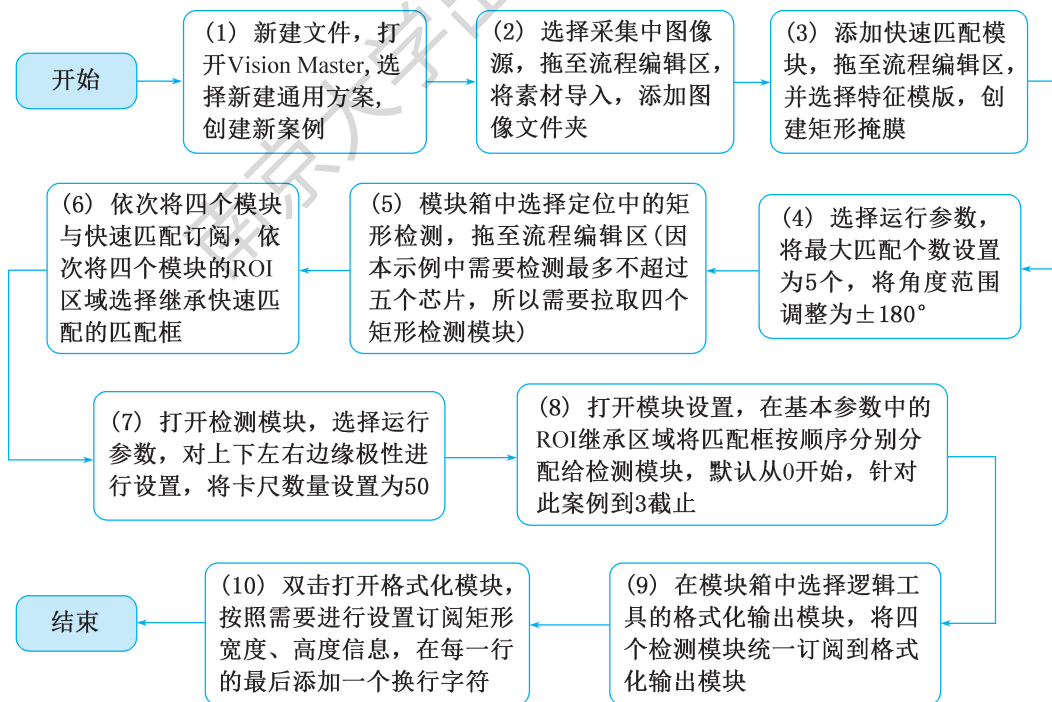


图 4-4 整体操作流程



2. 任务思考:科技赋能工业

芯片尺寸测量以微米、纳米级的精度要求,守护着工业设备的稳定性(图 4-5)、生产线的效率以及先进制造技术的落地。本项目通过 Vision Master 平台开发的芯片尺寸测量系统,体现了对芯片尺寸的“较真”,其本质是对工业质量的敬畏和对制造精度的追求。



图 4-5 工业设备

3. 实操作业

(1) 作业说明

请扫码下载图源文件,利用任务中掌握的芯片尺寸测量操作方法,对图源中的各类芯片尺寸进行自动化测量。



【微信扫码】
实操作业图源

(2) 作业要求

精度为 $\pm 0.01\text{ mm}$,对芯片外观反光区域有一定抗干扰能力,输出工程文档,做好操作记录,对失败案例进行分析并提出改进方案。



任务 5 摄像头定位测量

5.1 任务工单

工单编号	
提交日期	年 月 日
提交部门	质量检测部
紧急程度	☐ 高 ☐ 中 ☐ 低
任务名称	圆形目标定位与距离测量系统开发
任务背景	随着工业 4.0 时代的到来,制造业对生产过程的精度和效率要求不断提升。在汽车制造、精密机械等领域,圆形工件(如轴承、齿轮、定位孔等)的尺寸精度直接影响产品性能。传统人工检测方式存在效率低(仅 3~5 件/分)、一致性差(人为误差为 $\pm 0.05\text{ mm}$)等痛点,且无法满足现代智能产线实时数据采集的需求,亟须通过自动化解决方案实现质量管控升级。为满足工业生产线对圆形工件(如孔位、轴承等)的快速定位与距离测量需求,需通过机器视觉技术实现高精度自动化测量,以替代传统人工检测,提升生产效率和一致性
核心功能	1. 圆形目标定位:使用圆查找模块获取圆心坐标、半径及拟合误差 2. 距离测量:通过圆圆测量模块计算两圆圆心距离(单位:mm) 3. 结果输出:格式化显示圆心坐标、半径、圆间距及公差
性能指标	1. 定位精度: $\pm 0.02\text{ mm}$ (基于 500 万像素相机及标定参数) 2. 测量时间: $\leq 0.8\text{ s}$ (从图像采集到结果输出) 3. 重复性误差: $\leq 0.3\%$ (同一目标连续 10 次测量标准差)
硬件配置	样品:彩色正方体(含标准圆形标记) 相机: MV-CS050-10GC(500 万像素彩色面阵) 镜头: MVL-KF1628M-12MP(16 mm 焦距,1 200 万像素) 光源: MV-LBES-180-180-W(环形 LED,输出 200 灰度) 工作距离:400 mm(需调整焦距确保清晰成像)
软件流程	1. 图像源:实时采集或导入目标图像 2. 圆查找模块:ROI 设置——环形区域覆盖目标圆边缘。参数配置:卡尺数量=20,滤波尺寸=3,边缘极性=从黑到白,剔除点数=5,剔除距离=2 像素(抗离群点干扰) 3. 圆圆测量模块:订阅圆查找模块输出的圆心坐标,计算两圆间距 4. 格式化输出:生成包含圆心位置、半径、距离的 JSON/CSV 报告
交付要求	1. 工程文件:Vision Master 流程文件(.vmproj)及参数配置说明 2. 测试报告:10 组样本测量数据(含圆心坐标、半径、距离截图),重复性测试记录(均值、极差、标准差) 3. 标定文件:像素当量标定值(mm/pixel)及校准记录



(续表)

任务计划	1. 硬件调试(1天):安装光源与相机,优化光照均匀性 2. 软件开发(2天):圆查找参数调优(边缘阈值、投影宽度),圆圆测量逻辑验证(多圆场景处理) 3. 系统测试(1天):静态与动态(模拟运动工件)测试 4. 文档提交(0.5天):整合报告与工程文件
注意事项	1. 光照控制:避免反光或阴影干扰边缘检测,建议使用漫射光源 2. 动态场景:若工件运动,需调整曝光时间 $\leq 1\text{ ms}$ 或使用全局快门相机 3. 异常处理:模糊图像——增大滤波尺寸至5或调整投影宽度。拟合失败——检查ROI是否覆盖完整边缘,减少剔除距离

5.2 任务学习目标

知识目标

1. 掌握机器视觉行业中定位测量的方法。
2. 掌握 Vision Master 中圆查找和圆圆测量工具操作方法。

技能目标

1. 能够基于项目指标完成视觉硬件系统的方案设计与工程实施。
2. 可按照功能需求开展视觉算法开发及系统测试优化。

素质目标

1. 具备机器视觉领域复杂问题的自主攻关能力。
2. 拥有技术快速迭代背景下的持续成长潜力。

5.3 相关知识

摄像头定位测量是利用摄像头获取图像信息,结合计算机视觉算法和几何原理,实现对物体位置、尺寸、姿态等参数的测量与定位技术。它广泛应用于工业检测、机器人导航、自动驾驶、医疗影像等领域。关键技术与算法如下。

1. 相机标定技术

(1) 传统标定法:使用棋盘格等标定板,通过 OpenCV 等库实现内参、外参计算(如张正友标定法)。

(2) 自标定法:无需标定板,利用运动轨迹或场景结构自动估计相机参数(适用于动态场景)。

2. 特征提取与匹配

(1) 特征点检测:常用算法包括 SIFT(scale-invariant feature transform,尺度



不变特征变换)、SURF (speeded up robust features, 加速稳健特征)、ORB (oriented FAST and rotated brief, 快速定向二进制特征), 用于识别图像中的关键点(如角点、边缘交点)。

(2) 特征匹配: 通过描述子(如 ORB 的二进制描述子)匹配不同图像中的同一特征点, 建立二维图像与三维空间的对应关系。

3. 立体视觉与深度估计

(1) 极线约束: 双目视觉中, 左右图像的匹配点必位于极线上, 可缩小搜索范围。

(2) 块匹配算法: 在左右图像中选取窗口(如矩形块), 通过灰度差或梯度差计算视差(如 SSD、NCC 算法)。

(3) 深度学习方法: 如立体匹配网络(StereoNet、PSMNet), 通过神经网络直接预测像素级视差。

4. 目标检测与位姿估计

(1) 目标检测: 使用 YOLO、Faster R-CNN 等算法识别图像中的目标(如芯片、机械零件), 输出边界框坐标。

(2) 位姿估计(PnP 问题, 即 n 点透视问题): 已知物体三维模型和图像特征点, 求解物体在相机坐标系中的旋转和平移参数(如 EPnP、P3P 算法)。

(3) 摄像头定位测量中, 圆查找(circle detection)是识别图像中圆形目标(如孔洞、焊点、轴承、芯片引脚焊盘等)的关键技术。

5. 圆查找

圆查找模块用于查找图像中指定区域内符合特定要求的圆, 并输出圆相关数据, 如圆是否存在、圆中心点坐标、圆半径、拟合误差等。

6. 模块算法运行步骤

(1) 在圆环形的 ROI 内自动设置卡尺区域。如图 5-1(a)和(b)中粗实线围合的环形区域即 ROI, 虚线矩形即卡尺区域。

(2) 在卡尺区域内提取目标的边缘点。如图 5-1(b)和(c)中黑色“×”形所示的点。

(3) 将提取到的边缘点集拟合为圆, 即图 5-1(d)中所示的黑色圆。

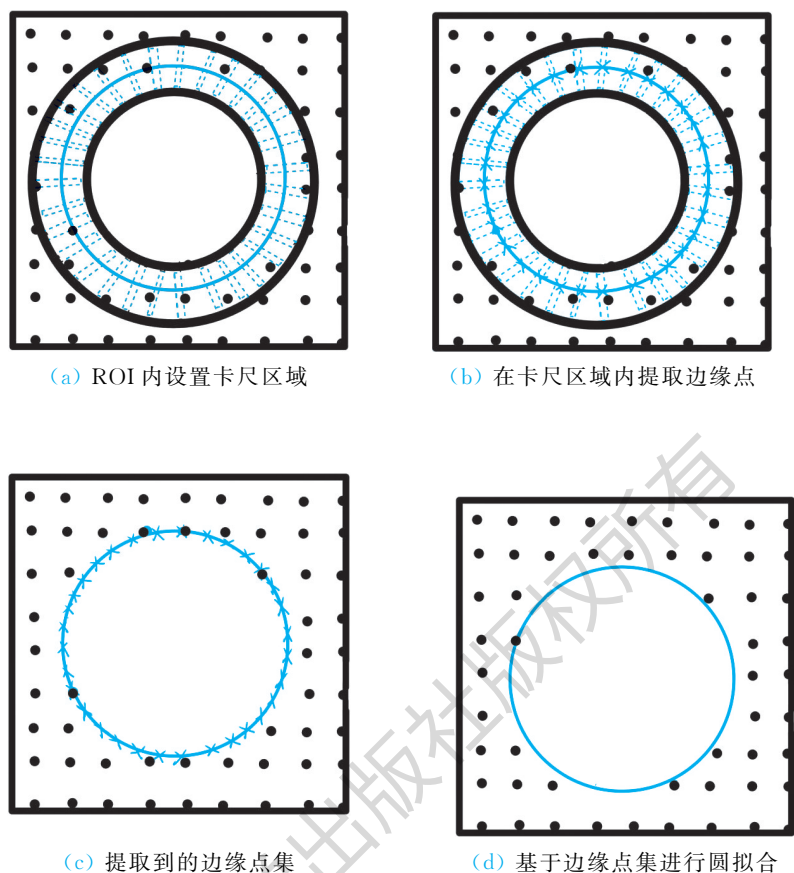


图 5-1 模块算法运行图示

7. 使用方法

在流程中,圆查找模块的前序模块通常为图像源。图像源为圆查找提供图像输入;后续模块可为逻辑工具模块(如脚本和数据集合),也可为其他模块,如图形生成模块中的圆拟合和测量模块中的点点测量。圆查找为后续模块提供定位到的圆信息。

在流程中调用圆查找模块后,该模块的主要配置步骤如下。

- (1) 执行一次流程,使图像源将图像数据输出至圆查找。
- (2) 在基本参数页签,选择 ROI 类型,并在图像上圆所在区域绘制 ROI。
- (3) 根据业务需求指定下文参数配置中提及的卡尺数量、扇环半径、滤波尺寸等运行参数。



5.4 任务实施

1. 软件操作流程

圆圆测量模块通过测量两圆圆心连线长度实现两圆距离的测量,多用于工业生产中工件上圆孔与圆孔间的距离的测量,根据测量结果确认工件工艺是否合格等场景。



【微信扫码】
任务操作视频

圆圆测量模块一般与圆查找模块配合使用。圆查找作为前序模块,通过圆查找定位到图像中需要测量的圆,并输出对应坐标数据给圆圆测量模块,圆圆测量模块通过订阅接收参数,过被查找圆的两个圆心作连线线段,连线线段长度即为两个圆之间的距离。

本次任务识别的对象:三圆模块(图5-2)。

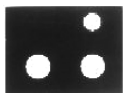


图5-2 三圆模块

整体操作流程如图5-3所示。

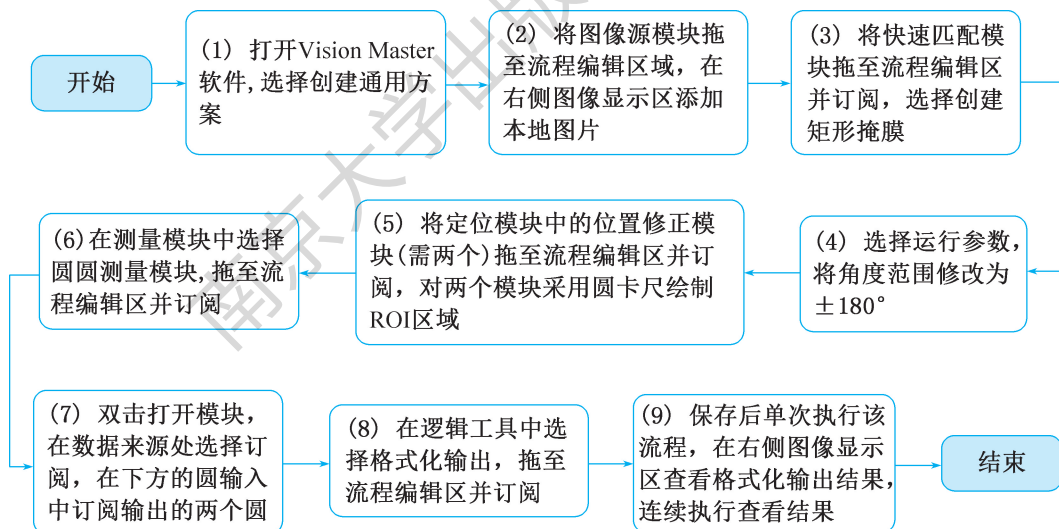


图5-3 整体操作流程

2. 任务思考:科技赋能安防监控

由于城市化进程加快、公共安全需求升级、技术迭代加速以及复杂环境下的风险多元化,安防监控的重要性日益凸显(图5-4)。本项目通过 Vision Master 平



台开发的摄像头定位测量系统,从“看得见”升级为“测得准”,从“记录现场”进化到“预判风险”,通过技术创新,在安全保障领域实现从量变到质变的跨越。



图 5-4 安防监控

3. 实操作业

(1) 作业说明

请扫码下载图源文件,利用任务中掌握的摄像头定位测量操作方法,对图源中的各类圆形目标进行自动化定位与测量。

(2) 作业要求

精度为 $\pm 0.01\text{ mm}$,对多种角度、多种完整度圆形有一定检测鲁棒性,输出工程文档,做好操作记录,对失败案例进行分析并提出改进方案。



【微信扫码】
实操作业图源

项目 3 机器视觉系统检测与应用

任务 6 圆弧边缘缺陷检测

6.1 任务工单

工单编号	
提交日期	年 月 日
提交部门	生产质检部
紧急程度	☐ 高 ☐ 中 ☐ 低
任务名称	圆弧边缘缺陷检测系统开发
任务背景	随着制造业智能化转型加速,工业圆形零部件(如橡胶密封垫片、金属轴承、印刷电路板定位环等)的表面缺陷检测面临严峻挑战。这类零件通常用于关键密封或精密配合场景,其边缘质量直接决定产品性能和使用寿命。传统人工目检存在三大痛点:检测标准不统一导致漏检率高;强光环境下人眼易疲劳产生误判;缺陷数据难以数字化追溯,需通过机器视觉技术实现自动化检测
核心功能	1. 检测圆弧边缘缺陷(断裂、凹陷、凸点、磨损) 2. 输出缺陷位置及类型信息至日志文件
性能指标	1. 缺陷识别准确率 $\geq 90\%$ (轮廓清晰条件下) 2. 单件检测时间 $\leq 0.8\text{ s}$
硬件配置	相机: MV-CS050-10GC(500 万像素彩色面阵) 镜头: MVL-KF1628M-12MP(16 mm 焦距,1 200 万像素) 光源: MV-LBES-180-180-W(环形 LED,输出 200 灰度) 工作距离: 200~350 mm



(续表)

软件流程	1. Vision Master 新建案例,配置图像源 2. 预处理:图像增强(可选降噪/对比度调整) 3. 圆弧定位:圆查找模块(配合“标准输入”功能) 4. 缺陷检测:圆弧边缘缺陷检测模块(设置卡尺数量、边缘极性、滤波尺寸) 5. 结果输出:缺陷坐标及类型记录至 CSV 文件(如缺陷类型:[凹陷]。位置:[X=120,Y=80])
交付要求	1. Vision Master 工程文件(.vmproj) 2. 测试报告(含 5 组样本的缺陷检测截图、参数配置及耗时记录)
任务计划	硬件搭建→圆弧定位模块调试→缺陷检测参数优化→系统测试及文档整理
注意事项	1. 圆轮廓模糊时需开启“标准输入”功能 2. 抗噪能力不足时,优先调整“滤波尺寸”或“边缘阈值” 3. ROI 外圆需大于待检测圆弧边缘

6.2 任务学习目标

知识目标

1. 掌握机器视觉中圆弧边缘缺陷检测的原理与方法。
2. 熟悉 Vision Master 软件中圆弧边缘缺陷检测工具的操作流程。

技能目标

1. 能够根据工业需求,完成圆弧边缘缺陷检测系统的硬件选型与搭建。
2. 能够灵活调整检测参数(如卡尺数量、边缘阈值、滤波尺寸),优化缺陷识别精度。

素质目标

1. 具备严谨的工作态度,注重细节确保结果准确性。
2. 能够独立分析缺陷检测中的问题,并且提出有效的解决方案。

6.3 相关知识

圆弧边缘缺陷检测是机器视觉领域的重要应用,主要用于检测圆形或弧形工件的边缘缺陷,如裂纹、毛刺、凹陷、凸起等。该技术通过高精度成像和智能算法,实现对工件质量的自动化检测,广泛应用于制造业的质量控制环节。

1. 卡尺法(caliper method)

在圆弧边缘均匀分布多个卡尺(测量工具),通过对比相邻卡尺的中心点坐标(X、Y、角度)偏移量,判断是否存在缺陷。

若偏移量超过预设阈值,则判定为缺陷。



2. 图像处理流程

- (1) 图像采集:使用工业相机拍摄工件图像。
- (2) 预处理:降噪、对比度增强、边缘锐化。
- (3) 圆弧定位:通过圆查找(circle finding)算法确定圆弧位置。
- (4) 边缘检测:提取边缘轮廓,分析连续性。
- (5) 缺陷判定:根据预设规则(如阈值、形状)输出结果。
- (6) 在流程中,圆弧边缘缺陷检测模块的前后序模块详情如表 6-1 所示。

表 6-1 前后序模块

前后序模块	描述
前序模块	通常为图像源,为圆弧边缘缺陷检测提供图像输入。前序模块还可包括圆查找,以实现更精确的目标定位
后序模块	无特定要求

3. 圆弧边缘缺陷检测运行参数



图 6-1 运行参数界面

- (1) 边缘类型:可选最强、最后一条、第一条。最强,只检测扫描范围内梯度最大的边缘点集合并拟合成圆;最后一条,只检测扫描范围内与圆心距离最大的边缘点集合并拟合成圆;第一条,只检测扫描范围内与圆心距离最小的边缘点集合并拟合成圆。



(2) 边缘极性:有从白到黑、从黑到白、任意三种选择。从黑到白,即从灰度值低的区域过渡到灰度值高的区域的边缘;从白到黑,从灰度值高的区域过渡到灰度值低的区域的边缘;任意,两种边缘均被检测。

(3) 滤波尺寸:用于增强边缘和抑制噪声,最小值为 1。当边缘模糊或有噪声干扰时,增大该值有利于使检测结果更加稳定,但如果边缘与边缘之间距离小于滤波尺寸,反而会影响边缘位置的精度甚至丢失边缘,该值需要根据实际情况设置。

(4) 边缘阈值:边缘阈值即梯度阈值,范围为 0~255,只有边缘梯度阈值大于该值的边缘点才能被检测到。数值越大,抗噪能力越强,得到的边缘数量越少,甚至导致目标边缘点被筛除。

(5) 卡尺高度:在 ROI 中环形分布若干个边缘点查找 ROI,该值描述扫描边缘点查找 ROI 的区域高度。当边缘查找不准确时可适当增大该值。

(6) 卡尺宽度:在一定范围内增大该值可以获取更加稳定的边缘点。

(7) 卡尺间距:在 ROI 中环形分布若干个边缘点查找 ROI,每个 ROI 之间的像素间距即为卡尺间距。

(8) 缺陷极性:有轨迹左侧、右侧和轨迹两侧三种极性。沿着检测框 BOX 的方向看,检测边缘的左侧为轨迹左侧,其他的依次对应。

(9) 缺陷距离阈值:边缘点距离拟合直线的距离,若距离大于阈值,则判定为待筛选缺陷点,若尺寸或面积使能打开,则需要进一步根据对应阈值进行筛选。

(10) 缺陷尺寸使能:多个缺陷点投影到拟合直线,组成的像素尺寸大于阈值,则判定为缺陷尺寸生效。

(11) 缺陷面积使能:缺陷轮廓与标准直线围成的面积是缺陷面积,缺陷面积在使能设置范围内的缺陷才可能被查找到。

(12) 高级参数:包含卡尺数量、剔除点数、剔除阈值、追踪容忍度,见表 6-2。

表 6-2 高级参数

参数	描述
卡尺数量	用于扫描边缘点的 ROI 区域数量
剔除点数	误差过大而被排除的不参与拟合的最小点数量。一般情况下,离群点越多,该值应设置越大,为获取更佳的查找效果,建议与剔除距离结合使用
剔除阈值	允许离群点到拟合圆的最大像素距离,值越小,排除点越多
追踪容忍度	边缘追踪所允许偏移的最大像素

4. 最新研究进展

(1) AI 技术应用

① YOLOv8 缺陷分类($\text{mAP}@0.5=92.3\%$)。

② 生成对抗网络(generative adversarial networks, GAN)数据增强。



(2) 3D 检测技术

- ① 结构光扫描(精度为 $5\text{ }\mu\text{m}$)。
- ② 点云曲率分析。

圆弧边缘缺陷检测技术通过高精度硬件和智能算法的结合,显著提升了工业质检的效率和准确性。未来随着 AI 和 3D 视觉的发展,该技术将进一步推动智能制造的质量控制水平。

6.4 任务实施

1. 软件操作流程

圆弧边缘缺陷检测的主要检测途径是在圆弧上自动创建一定数量的卡尺,比对相邻卡尺中部分圆弧中心点 X 轴、Y 轴和角度偏移,并根据预设的阈值大小判断缺陷是否成立。

本次任务识别的对象:印刷圆弧(图 6-2)。



【微信扫码】
任务操作视频



图 6-2 印刷圆弧

整体操作流程如图 6-3 所示。

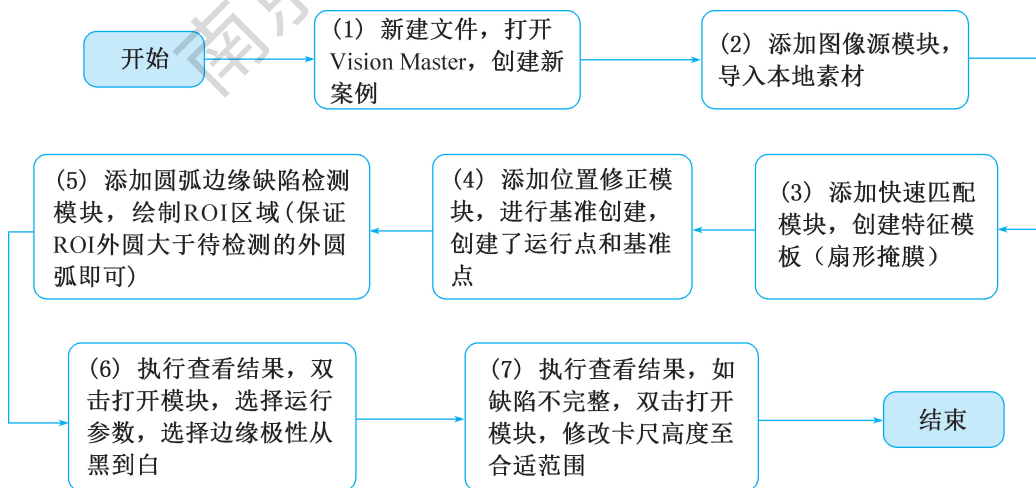


图 6-3 整体操作流程



2. 任务思考:科技赋能智能制造质检

随着工业 4.0 时代的到来,机器视觉技术在质量检测领域的重要性日益凸显(图 6-4)。本项目中通过 Vision Master 平台开发的圆弧边缘缺陷检测系统,完美诠释了技术创新如何推动传统制造业的智能化转型。这种对技术精益求精的职业态度,正是推动传统产业智能化转型的关键力量,也印证了每个从业者的专业贡献都能为行业升级注入动能。



图 6-4 智能制造质检

3. 实操作业

(1) 作业说明

请扫码下载图源文件,利用任务中掌握的圆弧边缘缺陷检测操作方法,对图源中的各类带有边缘缺陷的圆形目标进行自动化定位与测量。



【微信扫码】
实操作业图源

(2) 作业要求

对多种角度、多种缺陷圆形有一定检测鲁棒性,输出工程文档,做好操作记录,对失败案例进行分析并提出改进方案。



任务 7 仪表盘缺陷检测

7.1 任务工单

工单编号	
提交日期	年 月 日
提交部门	智能制造质检部
紧急程度	☐ 高 ☐ 中 ☐ 低
任务名称	仪表盘缺陷检测系统开发
任务背景	在工业自动化领域,仪表盘涂层缺陷(划痕、缺损)直接影响工业设备数据读取准确性。传统人工目检方式存在检测效率低、漏检率高等问题,尤其对微小划痕($\leq 0.1\text{ mm}$)和渐变式缺损难以准确识别。因此,需通过机器视觉技术实现自动化检测,替代人工目检
核心功能	1. 检测仪表盘涂层缺陷(划痕、缺损) 2. 支持仿射变换(剪裁缩放、平移、镜像)预处理 3. 输出缺陷位置及类型标记图像
性能指标	1. 检测准确率 $\geq 90\%$ (标准光照条件下) 2. 单件检测时间 $\leq 0.8\text{ s}$
硬件配置	相机: MV-CS050-10GC(500 万像素彩色面阵) 镜头: MVL-KF1628M-12MP(16 mm 焦距,1 200 万像素) 光源: MV-LBES-180-180-W(环形 LED,输出 200 灰度) 工作距离: 200~350 mm
软件流程	1. Vision Master 新建案例,配置图像源模块 2. 仿射变换模块(剪裁缩放/平移/镜像)预处理 3. 图像运算模块增强缺陷特征 4. Blob 分析模块定位缺陷并输出结果
交付要求	1. Vision Master 工程文件(.vmproj) 2. 测试报告(含 5 组样本的缺陷检测结果截图及耗时记录)
任务计划	硬件搭建→仿射变换流程调试→缺陷检测算法优化→系统测试及文档整理
注意事项	1. 优先适配高温、振动环境下的仪表盘图像 2. 若检测效果不佳,需调整 Blob 分析的“面积阈值”或“对比度参数”



7.2 任务学习目标

知识目标

1. 掌握机器视觉行业中缺陷检测的方法。
2. 掌握 Vision Master 中仿射变换工具的操作方法。

技能目标

1. 能够根据项目需求,完成仪表盘检测系统的硬件选型与搭建。
2. 能够通过 Vision Master 软件配置缺陷检测流程。

素质目标

1. 具备独立分析缺陷检测问题的能力,如调整 Blob 参数优化检测效果。
2. 培养严谨的职业素养,确保检测结果符合工业精度要求。

7.3 相关知识

仪表盘缺陷检测主要的检测目标是划痕、涂层缺损、污渍、裂纹等。检测的目标是确保仪表盘表面无影响数据读取的物理缺陷。

1. 仿射变换(图像预处理)

通过仿射变换模块可对图像进行裁剪缩放、镜像翻转和平移处理。仿射变换模块的仿射算法类型包括剪裁缩放、平移和镜像。

(1) 剪裁缩放

剪裁缩放算法工作流程如图 7-1 所示。

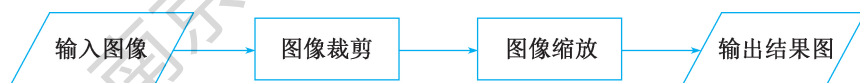


图 7-1 算法工作流程

① 进行图像裁剪。即先计算 ROI 内目标物体的最小外接矩形,再将外接矩形内的图像裁剪出来,如图 7-2 所示。裁剪后图像的宽高和最小外接矩形宽高对应。若外接矩形一部分在图像外部,则需要根据预设的填充方式和填充值进行填充。

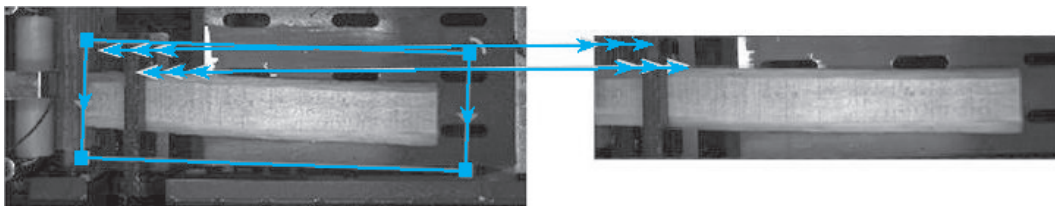


图 7-2 像素对应示意图



② 进行图像缩放。即缩放需要输出的目标图像尺寸,计算公式如下:

$$\text{DstH} = \text{CropH} * \text{scale}$$

$$\text{DstW} = \text{CropW} * \text{scale} * \text{aspect}$$

其中 CropH、CropW 表示裁剪后图像的高度和宽度;DstH、DstW 表示输出目标图像的高度和宽度;scale 表示设置的裁剪缩放的尺度;aspect 表示设置的宽高比。

(2) 平移

平移,包括 x 和 y 方向平移,实现原理为将像素矩阵整体向 x 或 y 方向平移,移动区域使用 0 填充(图 7-3)。

a	b	c	d
e	f	g	h
i	j	k	l

0	0	0	0
a	b	c	d
e	f	g	h

上下平移(往下平移1个像素)

0	a	b	c
0	e	f	g
0	i	j	k

左右平移(往右平移1个像素)

图 7-3 图像平移原理

(3) 镜像

镜像,包括水平镜像、垂直镜像、水平垂直镜像。

水平镜像指将输入图像的像素矩阵左右翻转;垂直镜像指将像素矩阵上下翻转,镜像原理示意图如图 7-4 所示。水平垂直镜像表示先水平镜像后垂直镜像。

a	b	c	d
e	f	g	h
i	j	k	l

d	c	b	a
h	g	f	e
l	k	j	i

左右翻转

i	j	k	l
e	f	g	h
a	b	c	d

上下翻转

图 7-4 镜像原理示意图



2. 图像运算(增强缺陷特征)

- (1) 常用操作:灰度化、滤波降噪、边缘增强(如 Sobel 算子)。
- (2) 目的:突出划痕或缺损的对比度。

3. Blob 分析(二值大对象分析,binary large object analysis)(缺陷定位)

- (1) 面积阈值:过滤微小噪点。
- (2) 对比度阈值:区分缺陷与背景。
- (3) 输出:缺陷坐标、面积、轮廓标记。

本任务针对仪表盘的涂层缺陷(划痕、缺损)做检测,采用 Vision Master 软件图形化流程配置预处理,并结合仿射变换模块完成。

通过此次任务,将学会仿射变换模块、图像运算模块的操作方法。同时,锻炼学生机器视觉系统的搭建能力、Vision Master 软件的应用能力。

在自动化行业内,该技术具有提升精度、增强灵活性、增强效率等重大意义。

7.4 任务实施

1. 软件操作流程

仿射变换在流程中的前序模块为图像源。执行一次流程后即可对图像源模块输入的图像进行仿射变换。

本次任务识别的对象:仪表盘(图 7-5)。



【微信扫码】
任务操作视频



图 7-5 仪表盘

整体操作流程如图 7-6 所示。

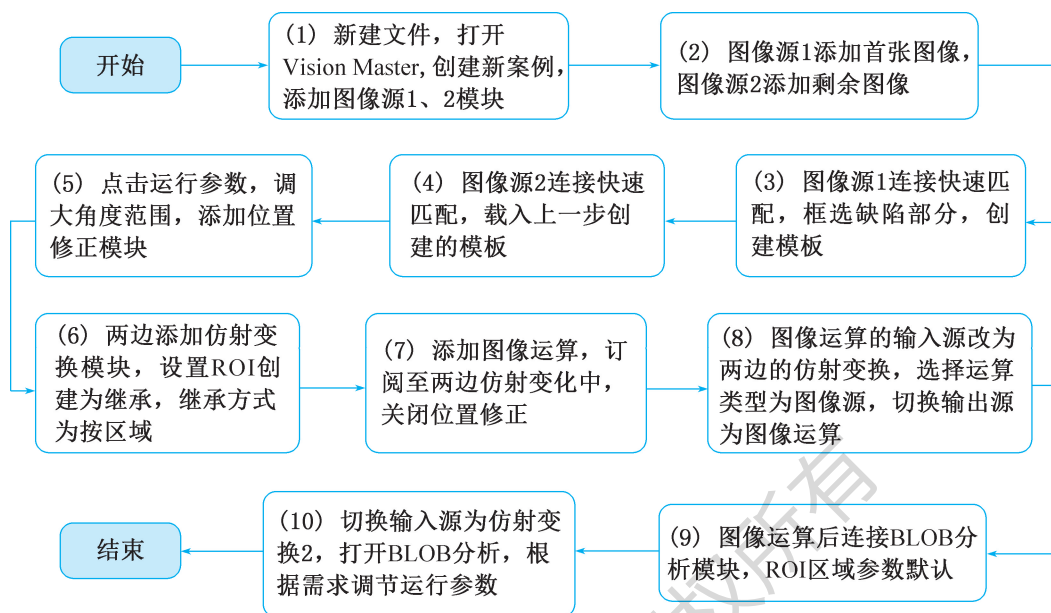


图 7-6 整体操作流程

2. 任务思考: 技术赋能质量检测(图 7-7)

在工业生产中,仪表盘缺陷检测技术的应用,不仅提升了产品合格率,更体现了从业者对工艺精益求精的追求。这种将技术能力与责任意识相结合的方式,正是推动制造业质量升级的重要力量,也印证了每个技术细节的完善都能为行业进步带来实质贡献。



图 7-7 质量检测



3. 实操作业

(1) 作业说明

请扫码下载图源文件,利用任务中掌握的仪表盘缺陷检测操作方法,对图源中的工业仪表盘缺陷进行自动化检测。



【微信扫码】
实操作业图源

(2) 作业要求

完成多次识别,准确度 $>95\%$,对不同类型工业仪表盘有一定应用鲁棒性,输出工程文档,做好操作记录,对失败案例进行分析并提出改进方案。

南京大学出版社版权所有