



工业机器人

视觉技术

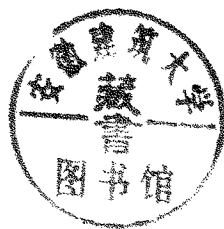
主 编◎黄东 雷翔霄



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

工业机器人视觉技术

主 编 黄 东 雷翔霄
副主编 刘炳新 袁德伦 李彦林 彭柄清 谢朋霖



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书以 NI 系列软件平台, 主解 LabVIEW 的编程语言、相机中常用的一些函数功能、及模块的介绍, 并练习相关相机的代码; 再后延伸至自动锁螺丝应用项目中, 解决图像色彩转换、找寻螺丝孔位等; 然后深入到工件分拣, 解决识别工件几何图像、对几何图像的位置校正等; 再然后学习行业应用的手机尺寸测量, 解决找寻手机四边位置、计算手机尺寸等; 最后学习视觉识别手机 LOGO、识别条形码的手机序列号及二维码信息等。

本书适合作为高等学校工业机器人、自动化技术等相关专业学生教材, 也可供工程相关人员作为参考书, 参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

工业机器人视觉技术/黄东, 雷翔霄主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2017. 8
ISBN 978 - 7 - 5682 - 4352 - 0

I. ①工… II. ①黄… ②雷… III. ①工业机器人 - 计算机视觉 IV. ①TP242. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 169963 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 19

字 数 / 446 千字

版 次 / 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 69.00 元

责任编辑 / 李志敏

文案编辑 / 李志敏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前言

Preface

视频在工业机器人应用中，主要起到一个颜色辨别、几何感知及隐藏信息识取的作用。本书主要以工业机器人中的视觉应用技术为主题，讲解视觉在工业机器人中的基本组建、视觉后台软件的环境搭建、相机程序的编写以及工业机器人中实践应用自动锁螺丝系统的视觉识别、工件分拣系统的视觉识别与定位、手机尺寸测量应用、自动检测手机参数。

本书适合从事工业机器人视觉应用的操作与编程人员，以及普通高校工业机器人专业、自动化专业、工业控制类专业的学生。

以项目任务式组织全书内容，在学习过程减少学习压力，从第一个项目中的第一个任务开始逐步深入学习，直到工程实践的应用。书中视觉以 NI 系列软件平台为主，主要讲解 LabVIEW 的编程语言、相机中常用的一些函数功能及模块，并练习相关相机的代码。而后延伸至自动锁螺丝应用项目中，解决图像色彩转换、找寻螺丝孔位等问题。再深入到工件分拣，解决识别工件几何图像、对几何图像的位置校正等，再然后学习行业应用的手机尺寸测量，解决找寻手机四边位置、计算手机尺寸等，最后学习视觉识别手机 LOGO、识别条形码的手机序列号及二维码信息等。

书中内容简明扼要、图文并茂、通俗易懂，并配合有湖南科瑞迪教育发展公司提供的 MOOC 平台在线教学视频 (www.moocdo.com)，适合于从事工业机器人视觉应用操作者阅读参考，同时也适合作为各普通高校教材。

本书由黄东、雷翔霄任主编，刘炳新、袁德伦、李彦林、彭柄清、谢朋霖任副主编。谭立新教授作为整套工业机器人系列丛书的总主编，对整套图书的大纲进行了多次审定、修改，使其在符合实际工作需要的同时，便于教师授课使用。

在丛书的策划、编写过程中，湖南省电子学会提供了宝贵的意见和建议，在此表示诚挚的感谢。同时感谢为本书中实践操作及视频录制提供大力支持的湖南科瑞特科技股份有限公司。

尽管编者主观上想努力使读者满意，但在书中不可避免尚有不足之处，欢迎读者提出宝贵建议。

目 录

Contents

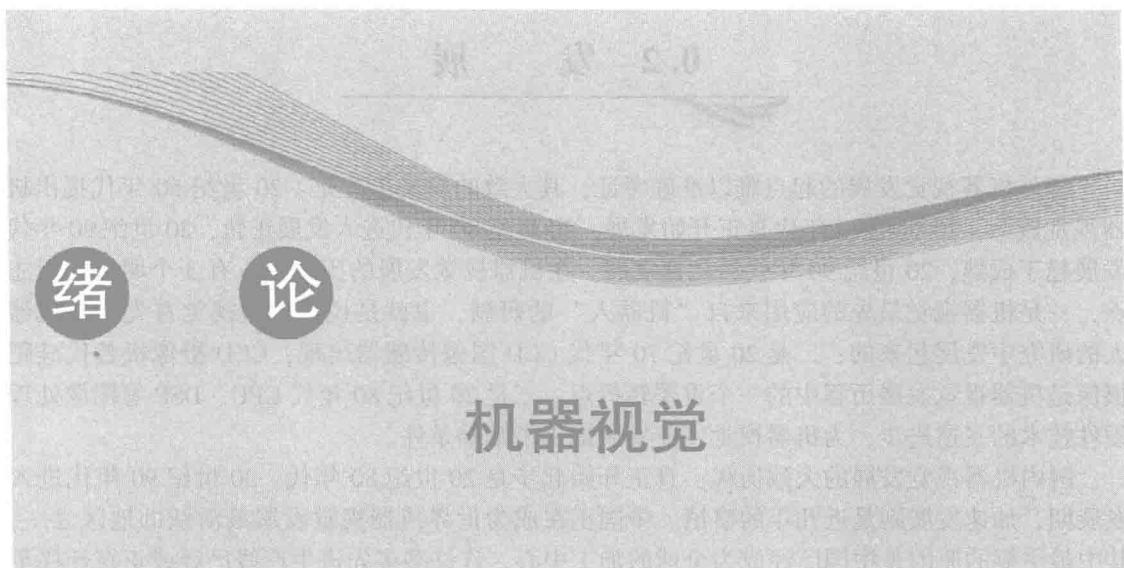
▶ 绪论 机器视觉.....	1
▶ 项目一 NI 系列软件平台环境搭建与使用	14
1.1 项目描述.....	14
1.2 教学目的.....	14
1.3 知识准备.....	14
1.3.1 NI 系列软件的简介	14
1.3.2 LabVIEW 的简介	15
1.3.3 LabVIEW 的特点	16
1.3.4 LabVIEW 的应用领域	16
1.3.5 VDM 的简介	17
1.3.6 VDM 的特点	17
1.3.7 VBAI 的简介	17
1.3.8 VAS 的简介.....	18
1.3.9 获取图像函数: Get Image	18
1.4 任务实现.....	20
任务一 NI 视觉系列及编程软件的安装	20
任务二 创建一个 LabVIEW 项目并保存.....	32
任务三 使用 NI Vision Assistant 创建一个简单的 VI 并导入 LabVIEW	36
1.5 考核评价.....	44
任务一 使用 Vision Assistant 获取一张图片	44
任务二 使用 LabVIEW 修改生成的 VI 并加入项目	44
1.6 拓展提高.....	44
任务一 学习 LabVIEW 编程语言.....	44
任务二 学习 Vision Assistant 的使用	45
▶ 项目二 搭建一个相机程序	46
2.1 项目描述.....	46
2.2 教学目的.....	46
2.3 知识准备.....	46
2.3.1 VAS 开发包.....	46
2.3.2 IMAQdx 模块的介绍	47

2.3.3	枚举相机函数: IMAQdx Enumerate Cameras	48
2.3.4	打开相机函数: IMAQdx Open Camera	50
2.3.5	列举视频模式函数: IMAQdx Enumerate Video Modes	51
2.3.6	配置采集函数: IMAQdx Configure Grab	52
2.3.7	创建图像函数: IMAQ Create	53
2.3.8	获取图片函数: IMAQdx Grab2	55
2.3.9	拍照函数: IMAQdx Snap	56
2.3.10	开始采集与停止采集函数: IMAQdx Start Acquisition & Stop Acquisition ...	57
2.3.11	保存图像函数: IMAQ Write File 2	58
2.3.12	关闭相机函数: IMAQdx Close Camera	59
2.4	任务实现.....	60
	任务一 编写初始化状态代码	60
	任务二 编写打开相机状态的代码	60
	任务三 采集图像和获取相机模式状态的代码	62
	任务四 编写事件选择状态的代码	65
	任务五 获取图像状态的代码	68
	任务六 拍照保存状态的代码	70
	任务七 更改相机端口号状态的代码	70
	任务八 更改视频模式状态的代码	71
	任务九 退出程序状态的代码	72
	任务十 优化程序的前面板	73
2.5	考核评价.....	74
	任务一 在程序中加入连续拍照的功能	74
	任务二 在程序中加入暂停采集图片的功能	74
	任务三 使程序显示采集图片的 FPS	74
2.6	拓展提高.....	74
	任务一 使保存的图片的默认名称与默认保存路径已有的图片名称不相同	74
	任务二 使程序拍照后显示拍摄的照片两秒后再重新实时采集	74
	任务三 在未找到相机时提示用户连接相机或退出	74
►项目三 机器人自动锁螺丝系统的视觉识别		76
3.1	项目描述.....	76
3.2	教学目的.....	76
3.3	知识准备.....	77
3.3.1	VDM 开发包	77
3.3.2	图像掩模函数: Image Mask	77
3.3.3	彩色平面抽取函数: Color Plane Extraction	83
3.3.4	阈值(二值化)函数: Threshold	95
3.3.5	基本形态学: Basic Morphology	111

3.3.6 圆检测函数: Circle Detection	121
3.4 任务实现	123
任务一 使用 Vision Assistant 进行视觉调试	123
任务二 过滤无用区域	124
任务三 将彩色图像转换为灰度图像	125
任务四 将图片二值化	125
任务五 腐蚀螺丝粒子和细小干扰粒子	127
任务六 过滤干扰粒子	127
任务七 找寻螺丝孔	128
3.5 考核评价	130
任务一 修改程序代码使程序显示没有螺丝的螺丝孔的孔位号	130
任务二 修改视觉脚本的二值化方式	130
3.6 拓展提高	130
任务 防止螺丝孔粒子被过滤掉	130
►项目四 机器人工件分拣系统的视觉识别与定位	131
4.1 项目描述	131
4.2 教学目的	131
4.3 知识准备	131
4.3.1 图像标定函数: Image Calibration	131
4.3.2 查找表函数: Lookup Table	143
4.3.3 滤波函数: Filters	151
4.3.4 模式匹配函数: Pattern Matching	162
4.3.5 几何匹配函数: Geometric Matching	172
4.4 任务实现	189
任务一 添加标定信息	189
任务二 将图像转换为灰度图	192
任务三 提高图像对比度	194
任务四 图像滤波	195
任务五 识别和定位工件	195
4.5 考核评价	198
任务一 将视觉脚本中的大六边形工件替换为大三角形工件	198
任务二 将视觉脚本中的几何匹配替换为模式匹配	198
4.6 拓展提高	199
任务 同时对多个工件进行识别与定位	199
►项目五 手机尺寸测量应用	200
5.1 项目描述	200

5.2	教学目的	200
5.3	知识准备	200
5.3.1	边缘检测函数: Edge Detector	200
5.3.2	设定坐标系函数: Set Coordinate System	218
5.3.3	查找直边函数: Find Straight Edge	220
5.3.4	卡尺函数: Caliper	236
5.4	任务实现	248
	任务一 过滤图像中无用的区域	248
	任务二 将图像转换为灰度图	248
	任务三 添加标定信息	248
	任务四 定位手机位置	248
	任务五 根据定位的手机位置创建坐标系	248
	任务六 找寻手机上下左右四条边	251
	任务七 计算手机的尺寸	252
5.5	考核评价	254
	任务一 编写一个计算手机屏幕尺寸的视觉脚本	254
	任务二 修改视觉脚本使脚本添加计算手机面积的功能	254
5.6	拓展提高	254
	任务 通过最大卡尺来计算手机的长宽	254
▶项目六 自动检测手机参数应用		255
6.1	项目描述	255
6.2	教学目的	255
6.3	知识准备	255
6.3.1	OCR/OCV 字符识别验证函数	255
6.3.2	条码阅读器函数: Barcode Reader	269
6.3.3	二维码阅读器函数: 2D Barcode Reader	271
6.4	任务实现	277
	任务一 过滤图像中无用的区域	278
	任务二 将图像转换为灰度图	278
	任务三 定位手机位置并创建坐标系	279
	任务四 读取手机 LOGO 信息	280
	任务五 读取条形码中的手机序列号信息	280
	任务六 读取二维码中的手机型号信息	281
6.5	考核评价	281
	任务一 编写一个简单的字符识别程序	281
	任务二 编写一个二维码识别软件	281
6.6	拓展提高	282
	任务 同时进行字符、条码、二维码的识别	282

▶附录 Vision Assistant 的菜单介绍	283
1. File 文件菜单	283
2. Edit 编辑菜单	284
3. View 查看菜单	284
4. Image 图像菜单	285
5. Color 彩色菜单	286
6. Grayscale 灰度菜单	286
7. Binary 二值菜单	287
8. Machine Vision 机器视觉菜单	287
9. Identification 识别菜单	288
10. Tools 工具菜单	288
11. Help 帮助菜单	289



0.1 简介

机器视觉是人工智能正在快速发展的一个分支。机器视觉是一项综合技术，包括图像处理、机械工程技术、控制、电光源照明、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。各种工业相机模块示例如图0-1所示。

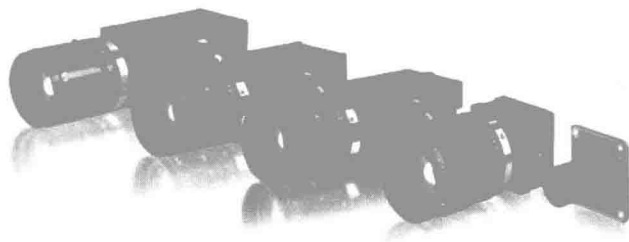


图0-1 各种工业相机模块示例

机器视觉系统最基本的特点就是可以提高生产的灵活性和自动化程度。在一些不适于人工作业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。同时，在大批量重复性工业生产过程中，用机器视觉检测方法可以大大提高生产的效率和自动化程度。

0.2 发 展

国外机器视觉发展的起点难以准确考证，其大致的发展历程是：20世纪50年代提出机器视觉概念，20世纪70年代真正开始发展，20世纪80年代进入发展正轨，20世纪90年代发展趋于成熟，20世纪90年代后高速发展。在机器视觉发展的历程中，有3个明显的标志点，一是机器视觉最先的应用来自“机器人”的研制，也就是说，机器视觉首先是在机器人的研究中发展起来的；二是20世纪70年代CCD图像传感器出现，CCD摄像机替代硅靶摄像是机器视觉发展历程中的一个重要转折点；三是20世纪80年代CPU、DSP等图像处理硬件技术的飞速进步，为机器视觉飞速发展提供了基础条件。

国内机器视觉发展的大致历程：真正开始起步是20世纪80年代，20世纪90年代进入发展期，加速发展则是近几年的事情。中国正在成为世界机器视觉发展最活跃的地区之一，其中最主要的原因是中国已经成为全球的加工中心，许许多多先进生产线已经或正在迁移至中国，伴随这些先进生产线的迁移，许多具有国际先进水平的机器视觉系统也进入中国。对这些机器视觉系统的维护和提升而产生的市场需求也将国际机器视觉企业吸引而至，国内的机器视觉企业在与国际机器视觉企业的学习与竞争中不断成长。我国机器视觉市场发展如图0-2所示。

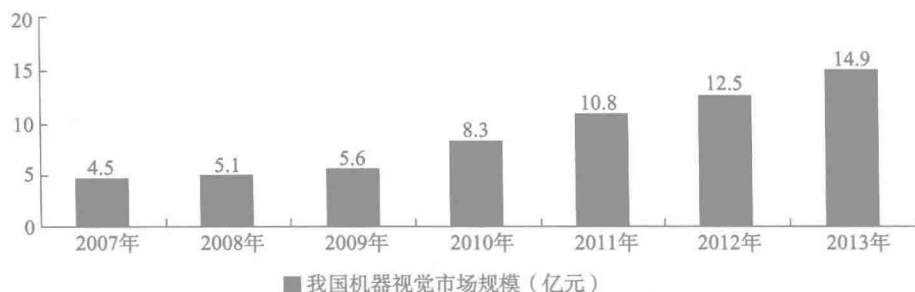


图0-2 我国机器视觉市场发展

0.3 概 述

机器视觉就是用机器代替人眼来做测量和判断。机器视觉系统是指通过机器视觉产品（即图像摄取装置，根据感光传感器不同分CMOS和CCD两种）将被摄取目标转换成模拟图信号，传送给专用的图像处理系统，根据像素分布和亮度、颜色等信息，将其转变成数字化信号；图像系统对这些信号进行各种运算来抽取目标的特征，进而根据判别的结果来控制现场的设备动作。图像采集原理如图0-3所示。

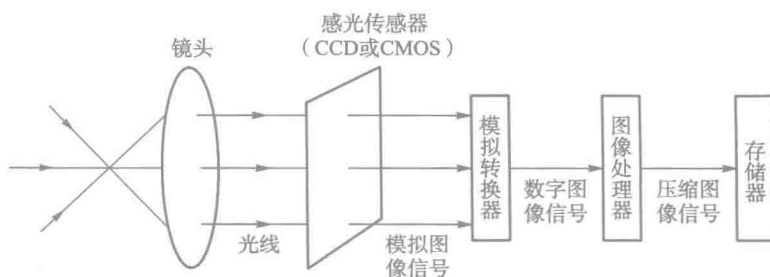


图 0-3 图像采集原理图

0.4 基本构造

机器视觉系统用计算机来分析一个图像，并根据分析得出结论，然后给出下一步工作指令。现今机器视觉系统有以下两种应用。

(1) 机器视觉系统可以探测目标（监视、检测与控制）；

(2) 机器视觉也可以用来创造一个部件，即运用光学器件和软件相结合直接指导制造过程（虚拟制造）。

无论哪种应用，通常机器视觉系统都由如下的子系统或其中部分子系统构成：传感检测系统、光源系统、光学系统、采集系统（相机）、图像处理系统（或图像采集卡）、图像测控系统（图像与控制软件）、监视系统、通讯/输入输出系统、执行系统、警报系统等。

机器视觉系统具体可分解成产品群：

传感检测系统：传感器以及与其配套使用的传感控制器等；

光源系统：光源以及与其配套使用的光源控制器等；

光学系统：光圈、镜头及光学接口等；

采集系统：数码相机、CCD、CMOS、红外相机、超声探头等；

图像处理系统：图像采集卡、数据控制卡等；

图像测控系统：图像采集、图像处理、图像分析、自动控制等软件；

监视系统：监视器；

通讯/输入输出系统：通讯链路或输入输出设备；

执行机构：机械手及控制单元；

警报系统：警报设备及控制单元。

其示意图如图 0-4 所示。

这些产品群是根据具体行业需要所形成的具有某种特殊功能的机器视觉系统设备。这些产品群中具有机器视觉系统产品典型特征的是：光源系统、光学系统、相机、采集卡、测控板卡、嵌入系统、软件、芯片、机械手、根据具体行业应用而形成的机器视觉系统设备等。

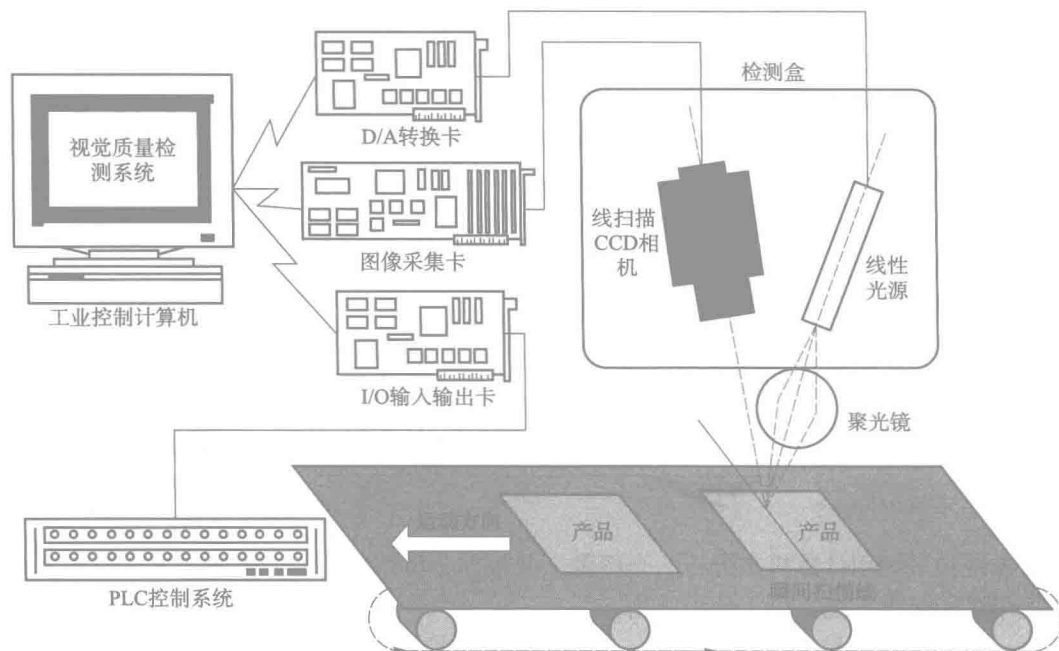


图 0-4 机器视觉系统示意图

0.5 工作原理

机器视觉检测系统采用 CCD 照相机将被检测的目标转换成图像信号，然后传送给专用的图像处理系统，根据像素分布和亮度、颜色等信息，转变成数字化信号，图像处理系统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，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。

0.6 典型结构

一个完整的机器视觉系统的主要工作过程如下。

- (1) 工件定位传感器探测到物体已经运动至接近摄像系统的视野中心，向图像采集单元发送触发脉冲；
- (2) 图像采集单元按照事先设定的程序和延时，分别向摄像机和照明系统发出触发脉冲；
- (3) 摄像机停止目前的扫描，重新开始新的一帧的扫描，或者摄像机在触发脉冲来到之前处于等待状态，触发脉冲到来后启动一帧扫描；
- (4) 摄像机开始新的一帧扫描之前打开电子快门，曝光时间可以事先设定；
- (5) 另一个触发脉冲打开灯光照明，灯光的开启时间应该与摄像机的曝光时间匹配；

- (6) 摄像机曝光后，正式开始一帧图像的扫描和输出；
 - (7) 图像采集单元接受模拟视频信号，通过 A/D 将其数字化，或者是直接接受数字化后的数字视频数据；
 - (8) 图像采集单元将数字图像存放在处理器或计算机的内存中；
 - (9) 处理器对图像进行处理、分析、识别，获得测量结果或逻辑控制值；
 - (10) 处理结果控制生产流水线的动作、进行定位、纠正运动误差等。
- 机器视觉应用示例如图 0-5 所示。

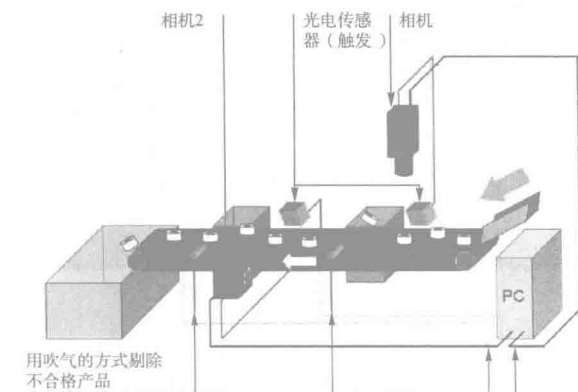


图 0-5 机器视觉应用示例

从上述的工作流程可以看出，机器视觉系统是一种相对复杂的系统。监控对象大多是运动物体，系统与运动物体的匹配和协调动作尤为重要，所以给系统各部分的动作时间和处理速度带来了严格的要求。在某些应用领域，例如机器人、飞行物体制导等，对整个系统或者系统的一部分的重量、体积和功耗都会有严格的要求。

0.7 应用领域

在国外，机器视觉的应用普及主要体现在半导体及电子行业，其中 40% ~ 50% 都集中在半导体行业。具体如 PCB 印刷电路：各类生产印刷电路板组装技术、设备；单、双面、多层线路板，覆铜板及所需的材料及辅料；辅助设施以及耗材、油墨、药水药剂、配件；电子封装技术与设备；丝网印刷设备及丝网周边材料等。SMT 表面贴装：SMT 工艺与设备、焊接设备、测试仪器、返修设备及各种辅助工具及配件、SMT 材料、贴片剂、胶黏剂、焊剂、焊料及抗氧化油、焊膏、清洗剂等；再流焊机、波峰焊机及自动化生产线设备。电子生产加工设备：电子元件制造设备、半导体及集成电路制造设备、元器件成型设备、电子工模具。机器视觉系统还在质量检测的各个方面得到了广泛的应用，并且其产品在实际应用中占据着举足轻重的地位。

除此之外，机器视觉还用于其他各个领域。在行业应用方面，主要有制药、包装、电子、汽车制造、半导体、纺织、烟草、交通、物流等行业，用机器视觉技术取代人工，可以提供生产效率和产品质量。以下是几个典型应用领域。

1. 在工业检测中的应用

目前，机器视觉已成功地应用于工业检测领域，大幅提高了产品的质量和可靠性，保证

了生产的速度。例如，产品包装、印刷质量的检测，饮料行业的容器质量检测，饮料填充检测，饮料瓶封口检测，木材厂木料检测，半导体集成块封装质量检测，卷钢质量检测，关键机械零件的工业 CT 等。在海关，应用 X 射线和机器视觉技术的不开箱货物通关检验，大大提高了通关速度，节约了大量的人力和物力。在制药生产线上，机器视觉技术可以对药品包装进行检测，以确定是否装入正确数量的药粒，如图 0-6 所示。

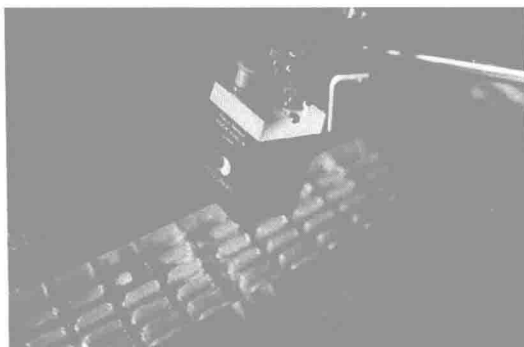


图 0-6 机器视觉检测胶囊

2. 在农产品分选中的应用

我国是一个农业大国，农产品十分丰富，对农产品进行自动分级，实行优质优价，以产生更好的经济效益，其意义十分重大。如水果，根据颜色、形状、大小等特征参数；禽蛋，根据色泽、重量、形状、大小等外部特征；烟叶，根据其颜色、形状、纹理、面积等，进行综合分级。此外，为了提高加工后农产品的品质，对水果的坏损部分、粮食中混杂的杂质、烟/茶叶中存在的异物等都可以用机器视觉系统进行检测并准确去除。机器视觉进行农业产品分类流程示意如图 0-7 所示，随着工厂化农业的快速发展，利用机器视觉技术对作物生长状况进行监测，实现科学浇灌和施肥，也是一种重要应用。

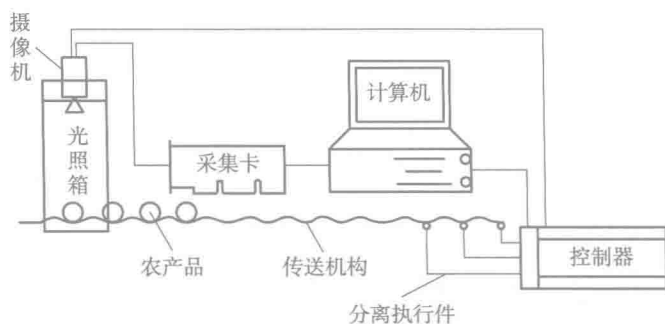


图 0-7 机器视觉进行农业产品分类

3. 在机器人导航和视觉伺服系统中的应用

赋予机器人视觉是机器人研究的重要课题之一，其目的是要通过图像定位、图像理解，向机器人运动控制系统反馈目标或自身的状态与位置信息，使其具有在复杂、变化的环境中自适应的能力。例如，机械手在一定范围内抓取和移动工件，摄像机利用动态图像识别与跟踪算法，跟踪被移动工件，始终保持其处于视野的正中位置。如图 0-8 所示。



图 0-8 机器视觉在机器人系统中的应用

4. 在医学中的应用

在医学领域，机器视觉用于辅助医生进行医学影像的分析，主要利用数字图像处理技术、信息融合技术对 X 射线透视图、核磁共振图像、CT 图像进行适当叠加，然后进行综合分析；还有对其他医学影像数据进行统计和分析，如利用数字图像的边缘提取对目标进行自动识别、理解和分类等；图像分割技术，自动完成细胞个数的计数或统计，这样不仅节省了人力，而且大大提高了准确率和效率。机器视觉在医学中的应用示例如图 0-9 所示。

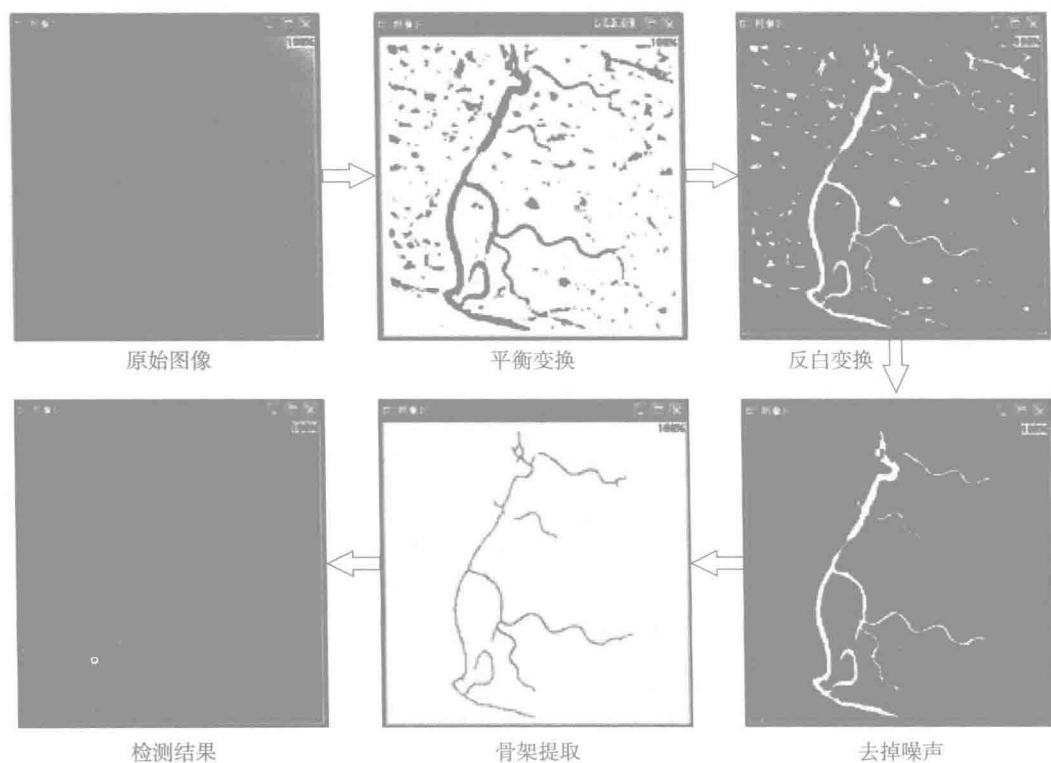


图 0-9 机器视觉用于医学诊断

5. 其他方面

在闭路电视监控系统中，机器视觉技术被用于增强图像质量，捕捉突发事件，监控复杂场景，鉴别身份，跟踪可疑目标等，它能大幅提高监控效率，减少危险事件发生的概率。在交通管理系统中，机器视觉技术被用于车辆识别、调度，向交通管理与指挥系统提供相关信息（如图 0-10 所示）。在卫星遥感系统中，机器视觉技术被用于分析各种遥感图像，进行环境监测、地理测量，根据地形、地貌的图像和图形特征，对地面目标进行自动识别、理解和分类等。

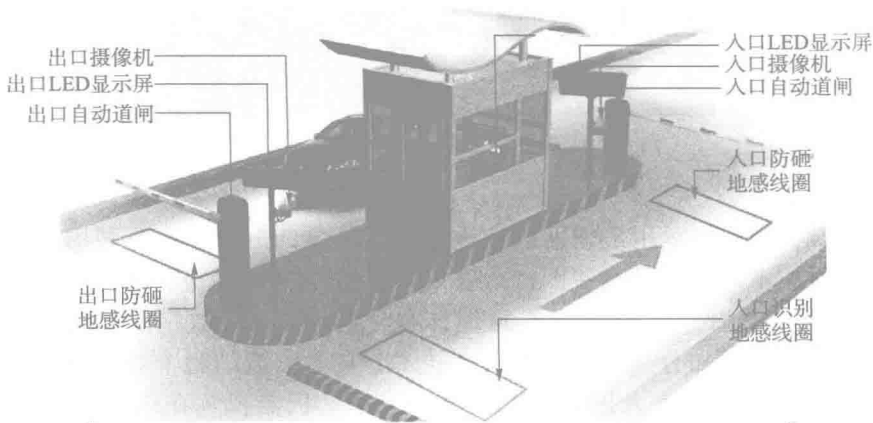


图 0-10 机器视觉用于车牌检测

0.8 前景展望

近年来产业发展多为需求驱动，标准化产品需求仍存在巨大空间，而非标准化产品、前沿技术带来的需求给予了企业发展新机会，其中消费级产品与机器视觉的结合将点燃行业增长引擎。

机器视觉是实现工业 4.0 不可或缺的一部分，它给机器装上一双“慧眼”去看世界。随着国内人口红利的消失，机器视觉行业对于传统人工视觉检验的替代性需求越发紧迫。同时，制造业转型升级需求倒逼机器视觉向智能化发展。目前我国机器视觉的渗透率远低于欧美市场，随着全球高端制造业向中国转移，行业缺口巨大，市场空间广阔。

目前核心零部件大多由国外垄断，而二次应用开发方面国内有较大成本优势。未来我国有望凭借工程师红利后来居上，在二次应用软件环节实现弯道超车。伴随着非标准化产品需求的提升，机器视觉的下游应用领域扩展到各行各业，未来标准化产品的市场仍存在巨大的提升空间，非标准化产品、前沿技术、消费级产品领域给企业带来了新的发展机会。