
第 1 章

绪 论

机器视觉是一项综合技术,涉及光学成像、数字图像处理、模式识别、人工智能、机械工程和电气控制等诸多学科和领域。在智能制造领域,机器视觉是一项十分重要的支撑技术,可以提高装备的可靠性和工作效率,提高生产过程的自动化和智能化水平。

1.1 机器视觉的基本概念

1.1.1 机器视觉的定义

百度百科称:“机器视觉是人工智能正在快速发展的一个分支。简单说来,机器视觉就是用机器代替人眼来做测量和判断。机器视觉系统是通过机器视觉产品(即图像摄取装置,分 CMOS 和 CCD 两种)将被摄取目标转换成图像信号,传送给专用的图像处理系统,得到被摄目标的形态信息,根据像素分布和亮度、颜色等信息,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。”

维基百科称:“机器视觉是用于提供基于成像的自动检测和分析的技术与方法,通常在工业中应用于自动检测、过程控制和机器人引导等应用。机器视觉是指许多技术、软件和硬件产品、集成系统、动作、方法和专业知识。机器视觉作为一门系统工程学科,可以被认为与计算机视觉(一种计算机科学形式)不同。它试图以新的方式整合现有技术,并将其应用于解决现实世界中的问题。该术语是工业自动化环境中这些功能的通用术语,但也用于其他环境车辆引导中的那些功能。”

此外,不同机构和学者也从不同角度给出了机器视觉的定义。考虑到“智能制造系列教材”的整体目标,本书对机器视觉的定义为:机器视觉是一项用机器来复现人类视觉的先进技术,它集成了相关的硬件和软件,捕获来自周围环境特别是工业环境的图像信息,进行处理、分析和理解,进而使机器能够做出明智的决策。

1.1.2 机器视觉和人类视觉的对比

机器视觉是一项主要在工业环境中取代人眼进行检测、测量和判断的技术,了解人类视觉的过程对于理解机器视觉无疑是有益的。图 1.1 所示为简化的人类视觉形成和处理过程的示意图。太阳或者人造光源发出的光照射到目标物体上,部分光线会被物体反射进入人的眼睛。人眼中有一个透明的晶状体,为凸透镜形状,实际上晶状体的英文就是透镜(lens)。晶状体可以使来自目标的光线聚焦在视网膜上,形成清晰但是倒立的图像。视网膜上有两类感光细胞,分别是视杆细胞和视锥细胞,视杆细胞只能感受光线的明暗,视锥细胞可以细分为 3 种,分别感受红、绿、蓝 3 种颜色,从而形成彩色视觉。感光细胞把光转换成神经电信号,经视神经传送到大脑后部的视觉皮层。大脑的视觉皮层负责处理视觉信号,在处理过程中,大脑会利用过去的经验和记忆对视觉信号进行识别和理解,经过一系列信息处理过程,人类能够感知和理解外界的视觉信息。

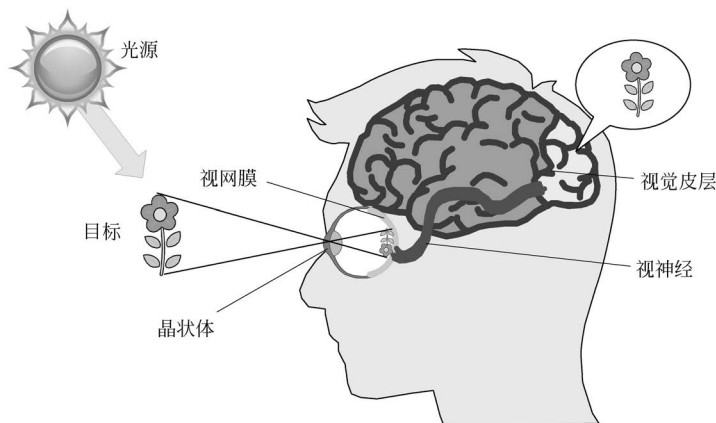


图 1.1 人类视觉形成和处理过程示意图

如前所述,机器视觉从本质上讲是机器复制了人类的视觉系统,以模仿和代替人类的工作,特别是在工业环境中代替人工检查员的工作。表 1.1 对人类视觉和机器视觉的一些关键特征进行了对比。

表 1.1 人类视觉和机器视觉的比较

特征	人 类 视 觉	机 器 视 觉
识别能力	可以毫不费力地识别物体,在非结构化场景中描述物体不存在困难	适合对结构化场景中的物体进行识别,在非结构化场景中描述物体是机器视觉具有挑战性的问题之一
数值精度	精度低,适合定性解释	精确遵循程序,适合定量和数值分析
速度	每分钟检测 10 个左右零件	每分钟检测几百到几千个零件

续表

特征	人 类 视 觉	机 器 视 觉
分辨率	高图像分辨率	高图像分辨率和高放大倍数
光谱	人眼只能感受波长范围为 380~780 nm 的电磁波,这一光谱范围称为可见光	可以记录超出可见光谱的光,一些机器视觉系统在红外(IR)、紫外(UV)或X射线下工作
一致性	易受无聊、分心和疲劳的影响	一致性接近 100%
连续性	无法长时间连续工作	可以连续工作
安全性	部分工作环境不适合人类	安全隐患小

1.1.3 机器视觉的优势和局限

从表 1.1 中可以看出,在许多方面机器视觉比人类视觉具有优势,它能够以更高的速度、连续性和可靠性提供高于人类视觉性能的结果。机器视觉可以提高能源和资源的利用率,使材料流动更顺畅,防止系统堵塞,减少缺陷和浪费,并且节省空间。它还可以通过在整个生产过程中跟踪产品和组件来帮助实现实时流程,避免组件短缺,减少库存并缩短交付时间。所以,机器视觉在越来越多的行业获得了应用。

企业部署机器视觉系统可以带来许多优势,包括:

- (1) 提高竞争力——提高生产力和产出。
- (2) 成本更低——减少停机时间和浪费,提高速度和纠错能力。
- (3) 改进产品质量——可以 100%地进行质量检查,以获得最高的产品质量。
- (4) 改善品牌声誉——更严格地遵守行业法规,减少产品召回和投诉数量。
- (5) 改进客户投诉处理流程——可以实现全流程的图像归档和记录。
- (6) 提高安全性——有助于营造积极、安全的工作环境。
- (7) 推进创新——将员工从手工和重复的任务中解放出来,从事更高价值的工作,从而带来更高的创造力和解决问题的能力。

虽然机器视觉系统有很多优势,但是机器视觉的性能受限于为其正常工作而创建的条件和规则。因此,在部署机器视觉系统时,应该遵守以下基本约束条件:

- (1) 以适合机器视觉特性的方式,对检查任务进行精确而详细的描述。
- (2) 要考虑试件关于形状、颜色、表面等所有允许变体和所有类型的误差。
- (3) 光源、照明、图像捕捉等设计,要能够凸显待识别的物体或缺陷。
- (4) 环境条件要保持稳定。
- (5) 机器视觉的识别算法会受到训练所需样本的数据量和有效性的限制。

1.1.4 机器视觉和计算机视觉的区别

在很多文献中,计算机视觉与机器视觉是不加区分的,但实际上这两种技术既有相同之处又有显著的区别。

计算机视觉技术是计算机科学的一个领域,它采用图像处理、模式识别以及人工智能等技术相结合的手段,研究如何使计算机获得对数字图像或视频的高级理解。其目标与人类视觉相似,即实现对物体的检测、识别和理解,进而能够做出明智的决策。

机器视觉的目标与计算机视觉相同。但是,机器视觉系统通常还包含光源、照明系统、镜头、相机、处理器和软件,以使机器能够做出这些决策。换句话说,机器视觉系统是范围更大的机器系统的一部分,而计算机视觉系统可以单独使用。

机器视觉系统依赖于系统本身捕捉的图像。计算机视觉系统并不需要捕捉图像,它可以处理原有的图像,例如来自互联网的图像或视频,甚至可以利用合成的图像来工作,从中获得有价值的信息。

另一个区别是,计算机视觉系统通常用于提取和使用尽可能多的关于物体的各方面的信息。相比之下,机器视觉系统通常专注于物体特定的方面。由于机器视觉更多地用于寻找特定的品质,因此它通常用于受控环境中的快速决策。

从应用的角度看,机器视觉偏重于工业领域,如自动化生产中对零部件的识别、尺寸测量、缺陷检测等。而计算机视觉的应用更加广泛,如人脸识别、行人识别、医学影像识别以及车辆自动驾驶等。

1.2 机器视觉系统的组成

机器视觉系统包括硬件和软件两部分。硬件包括光源、照明系统、镜头、相机、图像采集单元和计算机系统,其中光源、照明系统、镜头、相机和图像采集单元构成图像采集系统,负责获取图像数据。

光源以及照明系统对于机器视觉系统至关重要,往往直接关系到系统的成败。选择合适的光源和照明方式能够获得质量良好的图像,简化算法,提高系统的稳定性;反之,错误的光源和照明方式可能导致图像曝光过度,丢失很多重要的信息,或者出现阴影引起边缘误判,或者因为图像亮度不均匀而导致阈值选择困难。发光二极管(light emitting diode,LED)是目前最常用的光源,可以根据使用场景的需求选择不同的形状和尺寸。

镜头是机器视觉系统中的成像器件,通常与工业相机搭配使用,其主要作用是将目标的图像呈现在图像传感器的光敏面上。镜头的质量直接影响到机器视觉系统的整体性能,因此合理地选择和安装镜头,是机器视觉系统设计的重要环节。镜头相当于人类视觉系统中人眼的晶状体。

相机的作用是将光信号转变成有序的电信号,常见的工业相机使用的是电荷耦合器件(charge couple device,CCD)芯片或者互补金属氧化物半导体(complementary metal oxide semiconductor,CMOS)芯片。选择合适的相机是机器视觉系统设计中的重要环节,直接决定所采集到的图像分辨率和图像质量。相机相当于人类视觉系统中人眼的视网膜。

图像采集单元主要起图像采集和传输的作用,将相机输出的图像传输到计算机系统中,它相当于人类视觉系统中的视神经。

计算机系统是机器视觉系统的核心部件,机器视觉的软件系统就运行于计算机系统中,实现对图像采集系统获取的图像进行识别、检测等处理,它相当于人类视觉系统中的大脑。

机器视觉软件通常包括预处理、特征提取、分类和检测等模块。预处理模块负责对图像数据进行预处理,如缩放、旋转、裁剪、增强等操作。特征提取模块负责从图像中提取有意义的特征,如边缘、纹理、颜色等。分类和检测模块负责根据提取的特征进行图像分类、目标检测等任务。

完整的机器视觉系统的组成如图 1.2 所示。对比图 1.1,可以更好地理解机器视觉系统的工作过程。

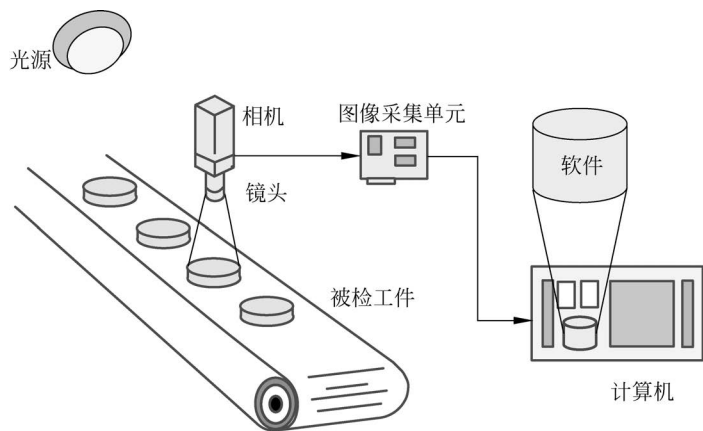


图 1.2 机器视觉系统的组成

1.3 机器视觉的发展

1.3.1 机器视觉的早期发展

机器视觉技术萌芽于 20 世纪 50 年代。

1957 年,Russell A. Kirsch 发明了像素,并创造了世界上第一张数码照片。

1963 年,Lawrence Roberts 在美国麻省理工学院(MIT)发表了博士论文《三

维实体的机器感知》(*Machine Perception of Three-Dimensional Solids*),描述了从二维图片中推导三维信息的过程。这篇博士论文是计算机视觉领域第一篇论文,开创了以理解三维场景为目的的计算机视觉研究。

1970年,日立公司推出了 HIVIP Mk. 1,这是第一款带有视觉系统的智能机器人。

1974年,美国机器人工业协会(Robotic Industries Association)成立,这是目前在机器视觉和工业自动化领域最大的行业协会——美国先进自动化协会(Association of Advancing Automation, A3)的前身。

1975年,Kodak公司的工程师 Steven Sasson 设计出了一部电子手持式静态相机,第二年,他做出了第一个可使用的原型,将影像储存在卡匣式录音带中,数码相机诞生。

1978年,David Marr 在 MIT 提出了计算视觉理论,创造了一种自下而上的场景理解方法,从计算机构建的二维草图开始,以获得最终的三维图像。David Marr 的工作使计算机视觉有了明确的理论体系,促进了计算机视觉的发展。

20世纪80年代,随着理论和技术的逐渐成熟,机器视觉开始走向应用。1981年,美国通用汽车公司制造的 Consight 成为加拿大安大略省圣凯瑟琳铸造厂第一个投入生产的机器视觉系统,它成功地以 1400 件/h 的速度从传送带上分拣出多达 6 种不同的铸件。同在 1981 年,美国 Intelledex 公司推出了第一个具有集成机器视觉平台的机器人系统。1985 年,日本电报电话公共公司推出了一款名为 OCR60 的手写汉字 OCR 阅读器,这是光学字符识别(optical character recognition, OCR)大规模系统应用的第一个例子。

20世纪90年代,机器视觉在制造环境中开始变得越来越普遍,导致了机器视觉产业的形成。1993年,日本科学家赤崎勇和天野浩成功研制出了高亮度的蓝色 LED,为 LED 的商业化应用奠定了基础。同一时期,在传感器功能和控制架构方面取得了进展,进一步提高了机器视觉系统的能力,并降低了其成本。

总结机器视觉的早期发展,或者说在人工智能和深度学习取得突破进展之前机器视觉的发展,主要成就是解决了机器可以看的问题。早期的机器视觉技术可以检测用于定位零件的物体边缘,找到指示缺陷的色差,并辨别指示孔的连接像素斑点,这些相对简单的操作不需要人工智能。然而,早期经典的机器视觉无法读取笔迹,无法解读褶皱的标签,也无法区分苹果和橙子。换言之,文本必须简单而清晰,就像条形码一样,形状必须是可预测的,并符合精确的模式。

尽管如此,经典的机器视觉对制造业产生了巨大的影响。机器不会疲劳,它们可以比人眼更快、更可靠地发现缺陷。此外,机器不受人类视觉限制,专门的机器视觉相机可以使用热成像来检测热异常,并使用 X 射线来发现微观缺陷和金属疲劳。

1.3.2 机器视觉的发展现状和未来

随着人工智能和深度学习的兴起,以及越来越强大的边缘计算正在从根本上扩展机器视觉的功能,这种能力的快速增长正在引领制造业向智能工厂和工业4.0 转型。

人工智能通过深度神经网络模型来增强经典的计算机视觉算法。当计算机接收到图像或视频流时,机器视觉软件将该图像数据与神经网络模型进行比较,并作出判断,这一过程被称为深度学习推理。深度学习使计算机能够识别非常细微的差异,如织物中的微小图案失配和电路板中的微小缺陷。

为了提高准确性和速度,科学家需要为特定应用创建特定的神经网络模型。在这个被称为监督训练的过程中,计算机会审查成千上万个样本,并识别出有意义的模式,包括人类可能检测不到的模式。有一些模型可以检测显示器中的死像素和色差像素,查看焊缝中的空隙,并精确定位织物中的拉线。未来会有越来越多的模型被不断开发和完善。

人工智能正在将机器视觉远远扩展到视觉检测和质量控制之外。有了智能机器视觉,机器人可以进行三维感知,相互固定零件,检查彼此的工作。它们甚至可以与人类同事互动,确保他们安全地进行工作。具有智能视觉的机器可以使用自然语言处理来读取标签和解释标志,可以理解形状、计算体积,并以最小的空间浪费完美地包装箱子、卡车甚至集装箱。

这种从能够自动完成简单任务的机器到能够超越人眼所能看到并能思考的自主机器的转变,将推动工业创新达到新的水平。

1.3.3 我国机器视觉的发展

相较欧美发达国家,我国机器视觉行业起步较晚。20 世纪 80 年代,国内学术界开始机器视觉的研究,陆续有介绍机器视觉和计算机视觉技术的文章发表,并且开始在工业自动化方面获得应用。

20 世纪 90 年代初期,少数机器视觉技术公司开始成立。90 年代后期,大量外资企业的产品进入国内,促使机器视觉技术快速发展。

21 世纪初期,国内机器视觉行业仍以代理国外品牌业务为主。2005 年前后,国内市场快速发展,本土企业越来越多,开始进行具有自主知识产权的机器视觉软硬件产品开发,在系统集成方面新的应用领域也不断扩大,多项技术取得突破。

21 世纪 10 年代,众多的本土机器视觉厂商不断涌现,从光源、镜头、相机、采集卡到机器视觉图像处理软件,创造出了中国自主品牌的产品。随着本土企业的技术日趋成熟,产品日益丰富,2013 年我国成为继美国和日本之后的世界第三大机器视觉市场。

21 世纪 20 年代以来,随着我国在深度学习和人工智能技术方面的突破,机器视觉产业的国产化比例不断提升,部分中国品牌产品已经走出国门。与此同时,机器视觉在下游应用领域市场也在不断扩大,我国机器视觉技术与产品已经渗透到各个产业。工业和信息化部等政府部门陆续出台了一系列政策及规范性文件,为我国机器视觉行业提供了良好的政策环境。随着制造装备的智能化水平不断提高,应用场景不断丰富,未来我国机器视觉市场的发展潜力巨大。

1.4 机器视觉的应用领域

机器视觉具有许多实际应用,如检测物体、检测物体缺陷、检测颜色和验证颜色、检测图案和匹配图案、检测包装、对物体进行分类以及读取条形码等。下面列举一些机器视觉系统在制造领域的典型应用。

在汽车行业,机器视觉可以用于检查和确定是否正确使用了胎圈,确保组装的零件不会泄漏并完全密封。这些措施确保了质量,消除了返工、维修和报废,尤其是在制造业中越来越多的零件正在用黏合剂黏合在一起的情况下。机器视觉还可以用于动力传动系统的检查,以确保发动机和变速器正确组装,没有丢失或多出的零件。汽车行业应用的另一个例子是条形码或二维码的读取。发动机和变速箱上有许多零件标记有二维码,这些二维码可以在跟踪过程中的多个节点读取,作为跟踪程序的一部分。同一台摄像机既可以进行检查,也可以读取二维码。图 1.3 所示为机器视觉系统在汽车行业应用的场景。



图 1.3 汽车行业应用场景示例

(<https://www.assemblymag.com/articles/95295-auto-industry-drives-new-vision-technology>)

在食品和饮料行业,机器视觉系统可以进行检查,以确定瓶子是否装满,以及盖子是否正确地盖到瓶子上。这一过程减少了浪费,同时确保了产品的完整性和安全性,如图 1.4 所示。



图 1.4 食品和饮料行业应用场景示例

(<https://www.roimaint.com/en/product/insights-blog-and-expert-articles/machine-vision-in-the-food-beverage-industry>)

在太阳能行业中,机器视觉系统可以检查太阳能电池板的组装过程,以确定电池板是否正确建造。这些可以通过检测零件的存在或不存在、位置和测量来完成,从而确保了生产的零件在完成时能够工作,并实现最大效率。图 1.5 所示为机器视觉系统在太阳能行业应用的场景。



图 1.5 太阳能行业应用场景示例

(<https://www.vision-systems.com/cameras-accessories/article/16739368/machine-vision-inspects-solar-panels-at-high-speed>)

电子行业作为机器视觉领域的核心驱动力,占据了近半数的市场需求份额。机器视觉技术为晶圆切割的精准度、3C 产品表面检测的细致度和触摸屏制造的精细度等提供了强有力的支持。从自动光学检测(automated optical inspection, AOI)到印刷电路板(printed circuit board, PCB)的精确布局,从电子封装的严密性

到丝网印刷的清晰度,再到表面组装技术(surface mounted technology,SMT)表面贴装的精准定位,机器视觉技术贯穿始终。图 1.6 所示为机器视觉系统在电子行业应用的场景。



图 1.6 电子行业应用场景示例

(<https://epsnews.com/2022/03/14/how-electronics-manufacturers-benefit-from-machine-vision/>)

机器视觉可以帮助制药企业实现自动化和智能化生产,提高生产效率和产品质量。机器视觉在制药行业的应用包括药品检测、包装检测、条码识别等。图 1.7 所示为机器视觉系统在制药行业应用的场景。



图 1.7 制药行业应用场景示例

(<https://emerj.com/ai-sector-overviews/machine-vision-in-pharma-current-applications/>)

此外,在耐用消费品生产行业,如洗碗机、烤箱、冰箱、微波炉的生产中,机器视觉技术可以通过存在、位置、测量和颜色识别工具来确定机器和组件是否正确构建。在紧固件制造中,系统可以检查紧固件,以确保它们正确成形,从而保证质量,使坏零件不会到达最终客户。在塑料注射成型中,机器视觉可以检查并确保被成型的零件完全成型,提高了质量并减少了浪费。