

文章编号: 1672-8785(2006)02-0011-07

机器视觉技术发展及其工业应用

章 炜

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘 要: 机器视觉是一门交叉学科, 有着广泛的应用领域。近年来, 随着理论的创新和技术的发展, 该学科发展迅猛。本文介绍了机器视觉的关键技术, 如光源照明、光学镜头、摄像机、图像采集、信号处理、执行机构等的发展状况。同时, 从自动检测、智能装配、视觉伺服三个方面对工业机器视觉应用系统进行了综述。

关键词: 机器视觉; 计算机视觉; 图像信号处理; 自动检测; CCD

中图分类号: TP391.41, TP273 **文献标识码:** A

Development of Machine Vision and Its Industrial Applications

ZHANG Wei

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: Machine vision, a cross-sciences discipline, has a wide application field. In recent years, with the innovation in theory and the development in technology, machine vision has developed so fleetly. The development status of machine vision's key techniques have been explained in detail, such as illuminating source, optical lens, camera, image acquirement, signal processing, executive framework, and so on. The technique of machine vision has found increasingly wide applications in many industrial fields. The applications in the following three fields (automatic inspection, intelligent assemblage and visual servo) are presented.

Key words: machine vision ; computer vision ; image processing ; automatic inspection ; CCD

1 引言

机器视觉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, 但并不仅仅是人眼的简单延伸, 更重要的是具有人脑的一部分功能——从客观事物的图像中提取信息, 进行处理并加以理解, 最终用于实际检测、测量和控制。近年来, 随着计算机技术尤其是多媒体技术以及数字图像处理与分析理论的不断发展和完善, 加之大规模集成电路的飞速发展与应用, 机器视觉技术得到了广泛的应用研究。本文在查

阅大量文献资料的基础上, 对机器视觉的技术发展及其工业应用作一综述。

2 机器视觉关键技术的发展现状

图1显示了一个典型的工业机器视觉应用系统。从中我们能够深刻地体会到机器视觉是一项综合技术, 其中包括数字图像处理技术、机械工程技术、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。

以下就光源照明技术、光学镜头、摄像机、图像采集卡、图像信号处理以及执行机构等机器视觉关键技术的发展现状进行阐述。

收稿日期: 2005-06-28

作者简介: 章炜 (1980—), 男, 浙江临海人, 2003级硕士研究生, 信号与信息处理专业。

2.1 光源照明技术

优良的光源和照明方案是目前机器视觉应用系统成败的关键之一。一个好的光源与照明方案应当具有如下特点：尽可能突出物体的特征量，在物体需要检测的部分与那些不重要部份之间尽可能产生明显的区别，增加对比度；保证足够的整体亮度；物体位置的变化不应该影响成像的质量。

在机器视觉应用系统中一般使用透射光和反射光。对于反射光情况，应充分考虑光源和光学镜头的相对位置、物体表面的纹理、物体的几何形状等要素。

光源设备的选择必须符合所需的几何形状。同时，照明亮度、均匀度、发光的光谱特性也必须符合实际的要求，同时还要考虑光源的发光效率和使用寿命。表 1 列出了几种主要光源的相关特性。

其中，LED 光源具有显色性好、光谱范围宽(可覆盖整个可见光范围)、发光强度高、稳定时间长等特点。近年来随着 LED 制造工艺和技术的不断发展成熟，价格逐步降低，其在机器视觉领域正得到越来越广泛的应用。选用 LED 作为光源是一种趋势。

另外，高频荧光灯因具有发光强度高、性价比高的优点，仍不失为某些应用场合的很好选择。

2.2 光学镜头

光学镜头成像质量的优劣直接关系到机器视觉系统的应用。其优劣程度可用像差的大小来衡量，常见的像差有球差、彗差、像散、场曲、畸变、色差等六种。通常，光学镜头可分为定焦和变焦两类。在档次相同的情况下，定焦镜头比变焦镜头的像差要小。因为对变焦镜头必须折衷考虑以使各种不同焦距下的成像质量都相对较好。因此，在机器视觉应用系统中，通常优先考虑使用定焦光学镜头。此外还要考虑镜头的焦距、光阑系数、倍率、接口等问题。

2.3 摄像机

视觉图像获取有两种方式：主动视觉和被动视觉。主动视觉是指通过器件本身发光来产生视觉图像。被动视觉则指由传感器被动接收目标环境反射光来产生视觉图像。摄像机是常用的被动视觉传感器，其核心部件是电子耦合器件(CCD)。CCD 是近几年发展起来的新技术，以其体积小、重量轻、寿命长且抗冲击、清晰度高等特点在机器视觉系统中得到广泛应用。

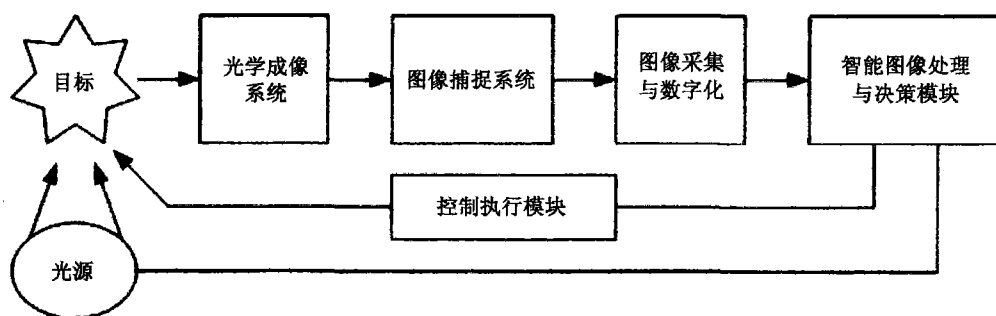


图 1 典型的工业机器视觉应用系统

表 1 各种光源对比

光源	颜色	寿命(小时)	发光亮度	特点
卤素灯	白色，偏黄	5000 ~ 7000	很亮	发热多，较便宜
荧光灯	白色，偏绿	5000 ~ 7000	亮	较便宜
LED 灯	红、黄、绿、白、蓝	60000 ~ 100000	较亮	发热少，固态，能做成很多形状
氙灯	白色，偏蓝	3000 ~ 7000	亮	发热多，持续光
电致发光管	由发光频率决定	5000 ~ 7000	较亮	发热少，较便宜

CCD 摄像机按照其使用的 CCD 器件可以分为线阵式和面阵式两大类。线阵 CCD 摄像机一次只能获得图像的一行信息, 被拍摄的物体必须以直线形式从摄像机前移过, 才能获得完整的图像。它主要用于检测条状、筒状产品, 例如布匹、钢板、纸张等。面阵摄像机可以一次获得整幅图像的信息。目前在机器视觉系统中, 以面阵 CCD 的应用居多。CCD 成品相机的分辨率不断提高, 2048×2048 像素的 CCD 相机已很普遍。

2.4 图像采集卡

图像采集卡是图像采集部分和图像处理部分的接口。由于图像信号的传输需要很高的传输速度, 通用的传输接口不能满足要求, 这是需要图像采集卡的主要原因^[19]。

图像采集卡一般具有如下功能^[2,3]:

(1) 图像信号的接收和 A/D 转换模块, 负责将图像信号放大和数字化;

(2) 摄像机控制输入输出接口, 主要负责协调摄像机进行同步和实现异步重置拍照、定时拍照等;

(3) 总线接口, 负责通过 PC 机内部总线高速传输输出数字数据, 一般采用 PCI 接口, 传输速率可高达 130Mbps, 完全能胜任高精度图像的实时传输, 且占用较少的 CPU 时间;

(4) 显示模块, 负责高质量的图像实时显示;

(5) 通讯接口, 负责通讯。

其中 (4)、(5) 是某些图像采集卡的附加增强功能。一些高档的图像采集卡还带有 DSP 数字处理模块, 能进行高速图像的预处理。

2.5 图像信号处理

正如人的视觉系统那样, 要将眼睛所获得的视觉信息送到大脑进行综合处理、“深加工”, 机器视觉系统中, 也要对采集到的图像信号作进一步处理, 这是机器视觉系统的关键之处。很多成熟的图像处理技术、算法都可以直接应用于机器视觉系统。

在机器视觉系统中, 如何处理采集到的视觉信息是其核心所在。视觉信息的处理技术主要依赖于图像处理方法, 它包括图像增强、数据编

码和传输、平滑、边缘锐化、分割、特征抽取、图像识别与理解等内容。经过这些处理后, 输出图像的质量得到相当程度的改善, 既优化了图像的视觉效果, 又便于计算机对图像进行分析、处理和识别。图像处理是一个很复杂的系统工程, 无数学者及工程人员为每一个环节设计了诸多的算法, 有关此方面的文献很多, 如文献 [7]、[8]、[28] 等。考虑到机器视觉系统多数应用场合具有高速、稳定的要求, 采用的处理算法一般不应太复杂。在图像信号的处理过程中, 不论选用哪些算法, 都要注意处理的速度必须大于或等于图像的采集速度。

目前, 随着计算机技术、微电子技术以及大规模集成电路技术的发展, 为了提高系统的实时性, 对图像处理的很多工作都可以借助硬件完成, 如 DSP 芯片、专用图像信号处理卡等。而软件则主要完成算法中非常复杂、不太成熟或尚需不断探索和改进的部分。

TI 公司推出的系列 DSP 产品 TMS320C5000/6000 系列大多可以应用于图像信号的处理, 且具有良好的实用性能。

2.6 执行机构

机器视觉系统在功能上的最终实现, 需要通过执行机构来完成。对于不同的应用场合, 执行机构可以是机电系统、液压系统、气动系统中的一种。无论哪一种, 除了要严格保证其加工制造和装配的精度外, 在设计时还需要对动态特性, 尤其是快速性和稳定性给予充分重视。

此外, 需要指出的是, 目前基于 PC 机的机器视觉系统结构没有模块化, 安装不方便, 可移植性差, 特别是与工业广泛使用的 PLC 接口连接比较麻烦。从软件和硬件开发两个方面来考虑, 都需要一种更适合工业需求的机器视觉组件。目前国外 COGNEX 公司已经开发出了一种叫做视觉传感器的模块化部件。这种视觉传感器集成了光源、摄像头、图像处理器、标准的控制与通讯接口, 自成为一个智能图像采集与处理单元。其内部程序存储器可存储图像处理算法, 人们可使用 PC 机利用专用组态软件编制各种算法, 然后将它们下载到视觉传感器的程序存

存储器中。这种视觉传感器将 PC 的灵活性与 PLC 的可靠性、分布式网络技术结合在了一起。用这样的视觉传感器和 PLC 可以更容易地构成机器视觉系统。

3 机器视觉技术的工业应用

视觉的最大优点是与被观测的对象无接触,因此对观测与被观测者都不会产生任何损伤,十分安全可靠,这是其它感觉方式无法比拟的。另外,视觉方式所能检测的对象十分广泛,可以说是对对象不加选择。理论上,人眼观察不到的范围机器视觉也可以观察,例如红外线、微波、超声波等人类就观察不到,而机器视觉则可以利用这方面的传感器件形成红外线、微波、超声波等图像。因此可以说是扩展了人类的视觉范围。另外,人无法长时间或在某些恶劣环境下观察对象,机器视觉则不知疲劳,对环境的适应性强,能始终如一地观测,所以机器视觉可以广泛地和长时间地用于恶劣的工作环境。

正因为具有上述特点,机器视觉才得以在工业应用中大显身手,被广泛应用于汽车、电子、电气、机械、制药、玻璃(陶瓷)、包装、印刷、运输、纺织等各个行业。目前,机器视觉的应用很大程度上仍局限于二维图像的处理和识别,三位机器视觉的应用还很有限。

工业视觉系统的应用大致分为三个方向:自动检测、智能装配以及视觉伺服系统。以下就从这三个方面介绍机器视觉的工业应用状况。

3.1 自动检测中的机器视觉

自动检测是生产自动化的重要环节。机器视觉在自动检测中的应用极为广泛,它包括几何量计量测试和自动视觉识别检测。

几何量计量测试技术是制造技术中不可缺少的环节。通用的光学仪器几何量测量技术读数过程繁琐,测量时间长,人员主观误差较大,自动化程度低。机器视觉测量技术是测试领域中的新兴一族。得益于计算机视觉技术的发展,目前有结构光测量、层析三维数字化测量、工业 CT 法、立体视觉、激光扫描测量和激光雷达等方法,它们各有优缺点。采用结构光的三角测量

法,具有较高的测量精度和一定的测量范围。原理是用一束光以一定角度投影到被测物表面,再以一定角度用摄像机摄取图像,最后依据三角定理从二维图像中提取第三维信息。该方法无法获取被测物体内部的数据。层析三维数字化测量技术是对物体被铣出的等间隔断层进行拍照,然后进行图像处理,提取出断层上物体的轮廓信息,进行三维重建,最后得出物体的 CAD 模型。该方法可实现任意复杂物体的完整测量,精度可达 $5.3\mu\text{m}$,虽然避免了结构光法的缺点,但是检测速度慢且具有破坏性。工业 CT 利用断层扫描实现了结构的无损测量,但精度低(约 10^{-5}m 数量级)且设备昂贵。立体视觉^[12]属于三维测量,是人工智能与测量技术交叉而形成的智能测量。基本过程是用两个摄像机从不同位置对物体摄像,在两个摄像机的图像平面上提取和匹配需要检测的特征点,求出特征点在两个图像平面的坐标,再利用成像公式计算出测量点的三维空间坐标。该方法具有测量速度快、系统成本低、安装方便等优点,充分体现了机器视觉在几何量计量测试中的应用价值和前景。

自动视觉识别检测目前已经用于产品外形和表面缺陷检验,如金属表面视觉检测、二极管基片检查、印刷电路板缺陷检查、焊缝缺陷自动识别等等。这些检测识别系统属于二维机器视觉,技术已经较为成熟。其基本流程是用一个摄像机获取图像,对所获取的图像进行处理及模式识别,检测出所需的内容。文献[13]提出了机器视觉系统用于工业自动检测的一个较为典型的例子——基于机器视觉的铸件表面缺陷人工神经网络检测系统。该系统包括一台 CCD 摄像机、一块图像采集卡和一台工业计算机(如图 2)。主要特点在于图像处理和目标识别的过程中,系统采用两级 BP 神经网络对待检测铸件表面的图像进行模式识别分析,确定缺陷的存在、位置和类别。针对传统 BP 算法的缺陷,提出改进方案,通过配置不同权值的不同学习速率,增强了 BP 网络的学习能力,缩短了学习时间,提高了收敛速度。系统的其它部分,则可结合机器视觉应用进行总体设计。该方法通过实践验证

表明, 与原作业相比, 检测时耗平均降低了 4min/工件, 表面缺陷检出准确率平均提高了 15%。



图 2 基于机器视觉的铸件表面缺陷人工神经网络检测系统硬件结构

3.2 智能装配中的机器视觉

现代机电产品的装配工作量占整个产品制造工作量的 20% ~ 70%, 装配时间占整个产品制造时间的 40% ~ 60%, 装配成本约占产品成本的 30% ~ 50%, 且装配质量对产品性能有直接影响。装配工作由于其多样性和复杂性, 在实现自动化方面难点很多。上世纪 80 年代, 装配机器人的应用和柔性装配系统的出现使自动装配系统得到迅速发展。20 世纪 90 年代后, 应用领域对自动装配技术提出了更高的要求。采用机器视觉技术的智能装配就是这股技术革新浪潮中的热点之一。视觉系统可以大大缩短产品开发时间, 在不变更硬件的情况下处理各种零部件。机器视觉技术不仅可以用于完成一些看起来很简单 (如汽车零件装配等) 的任务, 更可在恶劣或有害的工作环境下实现装配。

目前, 在工业领域中, 已经有很多以机械手、视觉系统为主体的带感觉的机器人系统进入实用阶段。例如晶体管自动焊接系统、管子凸缘焊接机器人、有视觉的装配机器人、汽车车轮装入轮毂作业的自动系统等等。机器人应用视觉的方式有很多种, 如对机械手定位以及跟踪目标提供反馈控制信息; 确定和辨别零件的位置方位以拾取零件; 控制对零件的装配; 引导焊缝机器人等。

智能装配中的机器视觉的难点在于对三维物体的定位和识别, 主要研究重点是立体匹配和三维重建。文献 [14] 针对三维零件识别的需要, 提出一种新的三维重建方法。该方法将立体匹配转换到波数域进行求解, 对立体像进行适

当变换后求出每幅图像的局部相, 根据局部相的性质, 求出立体像与两幅图像之间的对应关系。为了便于实现并行处理, 采用 Hopfield 神经网络实现立体匹配过程, 该方法采用 BP 神经网络构造成三维重建神经网络, 将图像上的二维点转换成物体表面上的三维点, 避免了传统方法中需要通过对视觉系统进行精确校准来确定像平面和目标空间的关系以及通过迭代过程计算物体的三维点的复杂性。

3.3 视觉伺服系统

视觉的非接触测量特性使它对视觉伺服系统极为有用。一种典型的应用是将视觉传感和操作集成在一个开环系统中, 系统的精度直接依赖于视觉传感和执行机构的精度。其控制采用开环视觉方法, 即从图像中抽取检测物体的特征信息后驱动相应的执行机构运动, 视觉信息仅作为指令依据。

通常人们按照误差信号的不同将视觉伺服控制系统分为三类: 基于位置的视觉伺服系统、基于图像的视觉伺服系统以及由上述两种方法组合而成的混合视觉系统。在基于位置的伺服系统中, 误差信号在笛卡尔坐标系中给出。由于使用简单的比例控制即可以使该系统稳定, 因此此类系统的控制问题实质上转变成根据图像估计出目标相对位置的问题。在基于图像的伺服系统中, 误差信号由图像特征参数直接定义, 主要涉及两方面问题: (1) 图像的特征选择和提取; (2) 控制系统的分析和综合。同基于位置的伺服系统不同, 在基于图像的伺服系统中, 图像特征的选择将直接决定控制率和最终系统的稳定性和鲁棒性等性能, 因而所选择的特征往往因系统而异, 目的是使整个系统便于分析和设计。

文献 [15] 给出的一种异色羽绒自动分选系统, 实际上就是一个基于图像的视觉伺服系统, 其原理如图 3 所示。该系统是机器视觉在纺织行业中的应用实例。在纺织业中, 视觉检测是质量控制的主要组成部分。传统的检测是通过人工来完成的, 因此, 效率和质量都不高。用机器视觉代替人的视觉可以克服人工检测所造成的各种误差, 因而可大大提高检测精度和效率。

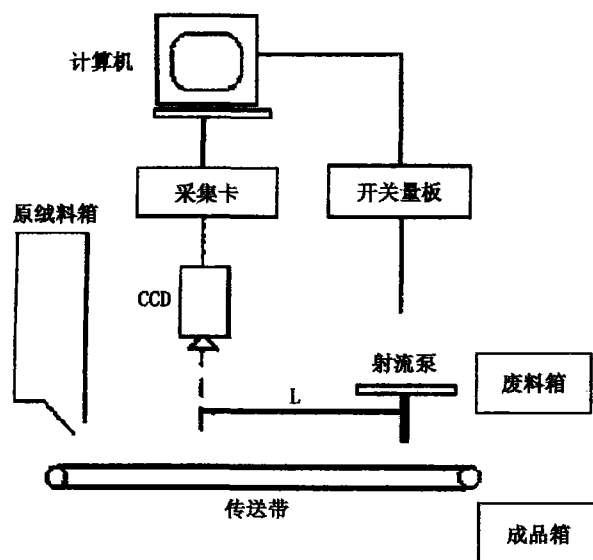


图 3 异色羽绒自动分选系统的原理图

该系统利用工业 CCD 相机逐帧摄取随传送带运动而进入检测视场的原料羽绒的图像。对采集到的图像进行处理识别，产生位控信号，经适当延时后作用于相应的电磁阀。若发现异色绒，则使对应的电磁阀打开，压缩空气射入沿传送带横向等距分布的射流泵，其喷嘴产生的真空将对应坐标点的异色羽绒吸出并吹入废料箱。为了提取并识别异色羽绒，作者岳晓峰等设计采用了中值滤波、最佳阈值分割以及区域标记法等对图像进行综合处理。图像处理后可获得位控信号。考虑到图像处理需要一定的时间以及传送带不停运动的事实，作者对位控信号进行软件方式延时，最后以光电隔离技术输出，作用于电磁阀。实验表明，该系统实用性较强，经过改装，还可以扩大应用范围，用于其它类似的不同色泽物料的分选。

在上述机器视觉应用中，图像的获取大多是采用摄像机（如 CCD）作为主要手段的。事实上，成像的方式除了可见光成像外，还有红外成像、X 光成像、超声成像、微波成像等等。随着传感器技术以及相应成像技术的不断发展和完善，机器视觉的可应用领域必将不断扩展。而且目前机器视觉技术也已经冲破传统视觉理念，有了在新领域应用的成功案例。

4 总结

纵观国内外发展的现状，机器视觉技术研究正处于一个蓬勃向上的发展大潮流中。各行各业对机器视觉系统的迫切需求是促使机器视觉系统研究的巨大动力。我国在计算机视觉理论研究方面与国际水平跟进较快，但应用系统的研究却相对滞后。

及时跟踪国际发展趋势，结合我国各行各业（不仅仅是工业，也包括农业、军事、交通、安全等各领域）的实际，大力发展机器视觉技术，开发实用的机器视觉应用系统是广大科研工作者应当重视的问题。我们应当积极推动机器视觉在中国的发展，提高其应用技术水平，从而为我国的现代化建设做出贡献。

参考文献

- [1] 马颂德，张正有. 计算机视觉——计算理论与算法基础 [M]. 北京：科学出版社，1998. 1.
- [2] 段峰，王耀南，雷晓峰，等. 机器视觉技术及其应用综述 [J]. 自动化博览，2002, (3): 59-62.
- [3] 唐向阳，张勇，李江有，等. 机器视觉关键技术的现状及应用展望 [J]. 昆明理工大学学报（理工版），2004. 4, 29(2): 36-39.
- [4] Mohan M Trivedi, ChuXin Chen, Suresh B Marapan. A Vision System for Robotic Inspection and Manipulation [J]. IEEE: Computer, 1989. 6: 91-97.
- [5] C R Weisbin, G de Saussure, J R Einstein, et al. Autonomous Mobile Robot Navigation and Learning [J]. IEEE: Computer, 1989. 6: 29-35.
- [6] Kap Luk Chan, et al. Identifying IC Type from Its Package using Character Recognition Technique [J]. SPIE Vol.3185: 50-57.
- [7] Rafael C Gonzalez, Richard E Woods. Digital Image Processing Second Edition [M]. 北京：电子工业出版社，2003. 3.
- [8] 章毓晋. 图像工程（上册）——图像处理和分析 [M]. 北京：清华大学出版社，1999. 2.
- [9] 田涌涛，洪锡军，王有庆，等. 计算机视觉在先进制造技术中的应用 [J]. 自动化与检测，262-265.
- [10] 阳佳，吴久峰，邓志刚. 基于机器视觉工业实时测量技术研究 [J]. 制造业自动化，2003. 2, 25(2): 10-13.
- [11] 黄文清，汪亚明，周志宇. 计算机视觉技术在工业领域中的应用 [J]. 浙江工程学院学报，2002. 6, 19(2): 93-96.

- [12] 张建新, 段发阶, 钟明, 等. 用于三维尺寸检测的双目视觉传感器 [J]. 计量学报, 1999, 20(2): 96-100.
- [13] 石争浩, 冯亚宁, 付长龙, 等. 基于机器视觉的铸件表面缺陷人工神经网络检测方法 [J]. 重型机械, 2004, (2): 51-54.
- [14] 熊银根, 张光昭, Paul S W. 智能装配视觉系统新的三维重建方法 [J]. 中山大学学报 (自然科学版), 1997, 36(3): 48-53.
- [15] 岳晓峰, 毛志阳, 周显国. 机器视觉在异色羽绒分选系统中的应用 [J]. 吉林工学院学报, 1999, 9, 20(3): 4-7.
- [16] 刘曙光, 屈萍鸽, 费佩燕. 机器视觉在纺织检测中的应用 [J]. 纺织学报, 24(6): 597-600.
- [17] 瞿磊, 王亮. 机器视觉技术在工业中的应用 [J]. 广东自动化与信息工程, 2003(4): 16-18.
- [18] John Arena, Pamela Lipson. 机器视觉新说 [J]. SMT China, 2003, 5/6: 56-58.
- [19] 刘焕军, 王耀南, 段峰. 机器视觉中的图像采集技术 [J]. 电脑与信息技术, 2003(1): 18-21.
- [20] 刘曙光, 刘明远, 何钺. 机器视觉及其应用 [J]. 现状·趋势·战略, 2000, 7, 38(431): 20-22.
- [21] 王红军. 机器视觉——现代工业的眼睛 [J]. 机电一体化, 1999(3): 26-27.
- [22] 张琦. 机器视觉系统的原理及现状 [J]. 电子工业专用设备, 1999, 28(4): 20-21, 34.
- [23] 张业鹏, 何涛, 文昌俊, 等. 机器视觉在工业测量中的应用与研究 [J]. 光学精密工程, 2001.8, 9(4): 323-328.
- [24] 梁吉, 蒋式勤, 沈立纬. 视觉检测系统及其应用 [J]. 微计算机信息 (测控自动化), 2003, 19(12): 44-45.
- [25] 王巧华, 文友先, 刘俭英. 我国视觉技术的发展前沿 [J]. 农机化研究, 2002, 11, (4): 16-18.
- [26] 王强. 工业产品的计算机视觉识别与检测算法研究 [D]. 北京航空航天大学, 2000. 12.
- [27] 李峰. 机器视觉应用技术研究 [D]. 浙江大学, 2003. 2.
- [28] 吴志斌. 计算机视觉中的图像分割和形状描述 [D]. 武汉大学, 2000. 5.
- [29] 吴健康, 肖锦玉. 机器视觉基本理论和方法 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1993. 4.
- [30] 郑南宁. 机器视觉与模式识别 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998. 3.
- [31] <http://www.7613.com>. 中国机器视觉的发展趋势.
- [32] <http://www.7613.com>. 机器视觉系统典型应用行业.
- [33] <http://www.china-vision.net> 中国视觉网.

国外专利介绍

电压可切换和可调、对环境不灵敏的多色超晶格红外光电探测器

美国专利 US6818917

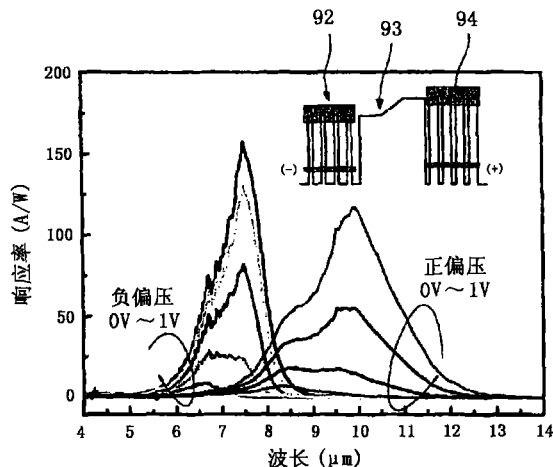
(2004 年 11 月 16 日授权)

光子探测器有本征、非本征、内部光发射和次带间光电探测器多种类型。非本征光电探测器需要被致冷到较低的温度 ($< 40\text{K}$)。内部光发射光电探测器的主要缺点是量子效率低, 因为载流子是通过自由载流子吸收激活的。本征光电探测器是利用带隙吸收的光子探测器, 其材料的选择仅限于在远红外谱区具有带隙吸收的那些半导体。其中, HgCdTe 是最重要的一种半导体材料。然而, 大面积低带隙材料膜的生长依然比较困难。因此, 生长和加工工艺比较成熟的基于宽带隙的次带间光电探测器, 更适合于制备大规格的光电探测器阵列。

本发明提供一种用超晶格和阻挡势垒层制作的电压可切换和可调的红外光电探测器结构。这种双超晶格结构的光电响应对工作温度变化是不灵敏的。通过使用

$\text{GaAs}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 体系, 这一概念的可行性得到了验证。在具体结构中, 光电响应可通过偏压极性在 $6\mu\text{m} \sim 8.5\mu\text{m}$ 和 $7.5\mu\text{m} \sim 12\mu\text{m}$ 之间切换, 同时, 在每个探测波长范围内还可通过偏压幅度得到调节。这些结果表明, 本发明对于多色成像系统的设计是有用的, 它不仅可用于上述波长范围, 而且还可以应用于对从可见光至极远红外范围的辐射的探测。

本专利说明书共 21 页, 其中有 15 张插图。



高 编 译