



张学武 范新南 著

视觉检测技术 及智能计算



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

视觉检测技术及智能计算

张学武 范新南 著

電子工業出版



Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书详细介绍了视觉检测技术涉及的信息处理和系统应用的理论、方法。主要内容包括：视觉成像变换及相机模型、面向视觉检测任务的图像处理、面向视觉检测任务的图像配准、面向视觉检测任务的图像融合、基于 PSO-ICA 的视觉检测、基于多元统计分析的视觉检测、基于视觉仿生机制的视觉检测、立体视觉测量及尺寸测量系统、面向视觉检测任务的模式识别和视觉检测系统应用案例。

本书理论联系实际，内容新颖，适合计算机应用、电子信息工程、工业软测量、仪器科学与技术等相关专业的研究生及科研人员、工程技术人员学习参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

视觉检测技术及智能计算 / 张学武，范新南著. —北京：电子工业出版社，2013.1

ISBN 978-7-121-19199-2

I. ①视… II. ①张… ②范… III. ①计算机视觉—检测 ②人工智能—计算 IV. ①TP302.7②TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 295358 号。

策划编辑：董亚峰 特约编辑：王 纲

印 刷：三河市双峰印刷装订有限公司

装 订：三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：720×1 000 1/16 印张：15.25 字数：390 千字

印 次：2013 年 1 月第 1 次印刷

定 价：38.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前 言

视觉检测是建立在计算机视觉和图像处理基础上的一门新兴检测技术。它涉及多学科交叉技术（计算机科学技术、光学技术、传感技术、图像处理、机器学习模式识别与人工智能等）。视觉检测是用计算机来模拟人的视觉功能从中提取有用的信息，通过图像处理获得被测事物的各种参数，并最终用于实际检测、测量和控制。因其具有高效、高精度、非接触式和获取信息丰富等优点，便于利用现代图像处理技术和智能计算方法对受测成像对象进行表征、精细分析和计算，日益成为工件定位、工件几何尺寸测量、表面缺陷在线检测的主流技术，其应用领域不仅涉及钢铁工业、电子工业、汽车工业、木材工业、纺织工业、食品加工业、包装工业和航空航天工业等，而且涉及的相关方法在矿藏勘测、农业病虫害监测、军事目标检测、公共安全等领域具有广泛的应用前景。

在工业领域，依据检测任务的不同，通常将视觉检测分成几何尺寸测量、表面质量检测和产品完整性检测三类。本书作者在研究铜及铜合金板带材表面缺陷在线检测技术的基础上，结合具体应用情景，较系统地建立了基于机器视觉的复杂环境下弱目标（各类表面缺陷）成像检测方法、模型及其应用，对视觉检测涉及一些共性的关键技术和智能计算方法进行了大量的实验验证并总结。

本书是关于视觉检测技术及智能计算的一本学术专著，围绕视觉检测涉及的理论、方法和信息处理技术，并结合作者近年来有关研究与应用实践，系统分析和阐述了视觉检测理论、方法和有关技术。本书共分 12 章，主要内容包括：视觉成像变换及相机模型、仿生视觉检测模式构建、面向视觉检测任务的图像处理、面向视觉检测任务的图像配准、面向视觉检测任务的图像融合、基于 PSO-ICA 的视觉检测、基于多元统计分析的视觉检测、基于视觉仿生机制的视觉检测、立体视觉测量及尺寸测量系统、面向视觉检测任务的模式识别和视觉检测系统应用案例。本书内容新颖、理论联系实际，可作为电子信息工程、工业自动化、计算机应用、仪器科学与技术等相关专业的研究生、高年级本科生以及科研人员、工程技术人员的参考书。

本书特色是建立了一套受生物视觉感知环境信息的机制启发的视觉检测方法。本书结合视觉检测任务中对受检目标的证实、检测、辨识和分类识别全过程的应用特点，构建了仿人眼视觉检测系统架构和模型，为视觉检测系统提供了新的架构模式。结合具体应用，本书给出了视觉显著性描述和度量方法，建立了一种双向协同的视觉注意机制计算模型，并应用于表面缺陷检测系统中；引入视觉仿生技术以期改善和提高视觉检测系统性能，并试图丰富和完善视觉检测技术，以解决目前视觉检测存在的难点问题。

本书正式编写历时一年多。感谢我的研究生（吕艳云博士、丁燕琼硕士、段敦勤硕士、朱晓燕硕士）对本书相关具体实验的验证工作。

本书是在国家自然科学基金项目“基于仿生视觉感知机理的金属板带表面缺陷在线检测方法研究”（项目编号：61273170）和常州市科技支撑计划（工业）项目“基于机器视觉的铜带表面缺陷在线检测系统”（项目编号：CE20120101）项目研究成果的基础上编写的。在此对国家自然科学基金委员会信息学部和常州市科技局表示衷心的感谢。

由于本书内容涉及多学科的交叉，而我们的知识有限，错误难免，诚恳地希望读者批评、指正。

张学武

于河海大学信息楼

2012年11月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 关于视觉检测	1
1.1.1 视觉检测技术	1
1.1.2 仿生视觉检测	2
1.2 视觉检测技术概述	2
1.2.1 视觉检测技术的相关概念	2
1.2.2 通用的视觉检测系统架构	4
1.3 国内外研究及应用现状和涉及的图像处理方法	5
1.3.1 视觉检测技术国内外研究及应用现状	5
1.3.2 视觉检测涉及的图像处理方法	8
1.4 视觉仿生技术及应用现状	11
1.5 视觉检测面临的主要问题	13
第 2 章 仿生视觉检测系统模式研究	15
2.1 引言	15
2.2 视觉检测的生物学证据及其视觉信息加工机制	15
2.2.1 人类视觉感知系统的生理机制	15
2.2.2 人类视觉感知系统的信息加工特点	17
2.2.3 人类视觉感知系统的信息加工机制	19
2.2.4 视觉注意机制	19
2.3 视觉显著性检测方法	21
2.3.1 视觉显著性的特点	21
2.3.2 视觉显著性的描述方法	22
2.3.3 视觉显著性的度量方法	25
2.4 基于注意机制的视觉检测系统架构	26
2.4.1 仿人眼的视觉检测系统模式	27

2.4.2	视觉显著性的检测模式	28
2.4.3	基于注意机制的视觉检测系统模型	30
2.5	本章小结	31
第 3 章	成像变换及相机模型	32
3.1	三维变换	32
3.1.1	三维坐标	32
3.1.2	平移	32
3.1.3	旋转	34
3.1.4	刚性变换和相似变换矩阵	37
3.2	相机类型及其参数	37
3.2.1	区域扫描相机	38
3.2.2	线扫描相机	40
3.3	摄像机标定	42
3.3.1	摄像机标定概述	42
3.3.2	摄像机模型	43
3.3.3	摄像机标定坐标系	44
3.3.4	张氏标定算法	47
3.3.5	双目标定	50
3.3.6	标定结果和误差分析	50
第 4 章	面向视觉检测任务的图像配准	60
4.1	图像配准的基本步骤	60
4.1.1	特征提取	60
4.1.2	特征匹配	63
4.1.3	搜索映射函数	64
4.1.4	图像变换和重采样	66
4.2	基于灰度的图像配准	67
4.2.1	模板匹配	67
4.2.2	基于互信息的配准方法	68
4.2.3	基于互信息的模板配准方法	69
4.2.4	实验结果及分析	71
4.3	基于特征的图像配准	74
4.3.1	SIFT 特征提取	74
4.3.2	Harris 角点检测	75

4.3.3	小波金字塔法	76
4.3.4	分层配准方法	77
4.3.5	实验结果及分析	78
4.4	全局配准	80
4.4.1	无序图像间的排列	80
4.4.2	捆绑束调整	81
4.5	本章小结	82
第 5 章	面向视觉检测任务的图像融合	83
5.1	加权平均法	83
5.2	基于塔型变换的多尺度分解方法	84
5.3	基于小波变换的多尺度分解方法	85
5.4	图像融合的客观评价法	86
5.5	迭代融合方法	88
5.6	实验结果及分析	89
5.7	本章小结	93
第 6 章	基于 PSO-ICA 的视觉检测	94
6.1	引言	94
6.2	PSO-ICA 算法	94
6.2.1	ICA 基本模型	95
6.2.2	ICA 预处理	96
6.2.3	PSO-ICA 算法介绍	96
6.2.4	实验结果与分析	97
6.3	基于 PSO-ICA 重构的缺陷检测	100
6.3.1	太阳能电池的 IC 分量属性	101
6.3.2	缺陷检测算法	104
6.3.3	实验结果与分析	105
6.4	基于 PSO-ICA 滤波的缺陷检测	107
6.4.1	缺陷检测算法	107
6.4.2	实验结果与分析	109
6.5	本章小结	112
第 7 章	基于多元统计分析的视觉检测	113
7.1	引言	113

7.2	多元统计分析方法	113
7.2.1	多元随机变量和多元统计分析	114
7.2.2	Hotelling T^2 统计量	114
7.2.3	X^2 测试	116
7.3	基于小波域多元统计分析的缺陷检测	116
7.3.1	小波分解	116
7.3.2	基于 Hotelling T^2 统计量的缺陷检测	117
7.3.3	基于 T^2 统计量的缺陷检测	119
7.4	实验结果与分析	121
7.4.1	统计单元尺寸的选取	122
7.4.2	统计法参数的选取	122
7.4.3	缺陷检测实验结果	123
7.4.4	检测性能分析	125
7.5	本章小结	126
第 8 章	基于视觉仿生机制的视觉检测	127
8.1	引言	127
8.2	典型的视觉注意模型	128
8.3	视觉注意模型的改进	131
8.3.1	自顶向下注意信息的提取	132
8.3.2	双向注意信息协同加工方法	134
8.3.3	基于双向协同视觉注意机制的铜带表面缺陷检测方法	137
8.4	实验及结果分析	139
8.4.1	双向注意信息协同加工实验	140
8.4.2	基于双向协同视觉注意模型的缺陷区域检测实验	142
8.4.3	算法噪声鲁棒性分析	145
8.5	本章小结	147
第 9 章	立体视觉测量	148
9.1	双目立体视觉视差测距原理	150
9.2	匹配约束条件说明	151
9.3	基于区域的匹配	152
9.4	种子区域生长与 SIFT 相结合的算法	153
9.4.1	灰度归一化预处理	155
9.4.2	SIFT 算法立体匹配	155

9.4.3	种子生长匹配算法	156
9.5	匹配结果和参数调整实验	157
9.5.1	标准匹配用图的视差图求取结果	157
9.5.2	对金字塔层数的实验	158
9.5.3	σ 大小对实验结果的影响	158
9.5.4	对实际图像的匹配	161
9.5.5	立体匹配算法评价	161
9.6	三维坐标求取原理	163
9.7	尺寸测量实验	165
9.7.1	图像对的采集与获取	165
9.7.2	M 矩阵求取	166
9.7.3	尺寸测量结果	166
9.7.4	进行误差分析	169
9.8	误差分析	169
9.9	本章小结	170
第 10 章	铜带表面缺陷检测、识别与分类系统	171
10.1	实验系统的建立	171
10.1.1	实验硬件平台	171
10.1.2	实验系统软件平台	172
10.1.3	铜带表面缺陷样本库	173
10.2	铜带表面缺陷的视觉显著性检测实验	174
10.2.1	基于初级视觉特征的缺陷显著性检测	174
10.2.2	基于频谱纹理特征的缺陷显著性检测	175
10.2.3	基于纹理统计特征的缺陷显著性检测	177
10.3	基于支持向量机的铜带表面缺陷分类	180
10.3.1	SVM 基本理论	180
10.3.2	分类算法	182
10.3.3	支持向量机分类实验	183
10.4	本章小结	186
第 11 章	交通标志检测和识别系统	187
11.1	引言	187
11.2	交通标志检测和识别系统设计	188
11.3	交通标志检测识别关键算法	190

11.3.1	注意层	190
11.3.2	中间层	190
11.3.3	交通标志分割	194
11.3.4	基于 SVM 的交通标志分类	199
11.4	实验与分析	202
11.4.1	注意焦点选择和转移实验	202
11.4.2	感兴趣区域选择实验	204
11.4.3	交通标志分类识别实验	204
11.5	本章小结	205
第 12 章 基于嵌入式技术的交通标志检测和识别系统		206
12.1	嵌入式硬件平台设计	206
12.1.1	电源模块设计	207
12.1.2	存储器模块设计	208
12.1.3	图像采集和显示模块设计	209
12.1.4	CAN 总线模块设计	209
12.1.5	CPLD 的设计	210
12.2	嵌入式系统软件设计	211
12.2.1	CCS 3.3 集成开发环境	211
12.2.2	软件设计	212
12.2.3	实验及结果分析	216
12.3	本章小结	217
参考文献		218

第1章

绪论

1.1 关于视觉检测

1.1.1 视觉检测技术

视觉检测技术作为一种非接触柔性检测手段,具有对光谱的敏感范围广,感知信息丰富,便于利用现代信息理论和技术进行精细分析,完成既定任务的定性和定量检测等优势,日益成为提升和保障现代工业产品质量的重要技术手段。

在信息化促进工业化的今天,对检测的速度和精度提出了更高的要求,检测技术、方法、精度和效率在一定程度上标志着企业的市场竞争力,甚至标志着一个国家、部门或行业的科技水平。传统的检测大多依靠大量手工测量和人眼检测来完成,这种人工检测手段主观性强、一致性差,且存在安全隐患,而且由于人眼容易疲劳,无法持续、稳健地完成带有高重复性的质量检测工作,也受到检测精度、速度的限制,有些特殊环境下的检测任务根本无法由人工来完成,一种能够替代人工检测的技术——视觉检测技术,以其高效、高精度、灵活、高速、非接触式、获取信息丰富等优点,日益成为了一种具有广泛应用潜力的检测技术,涉及光学技术、传感技术、图像处理和分析技术、人工智能、机器学习、自然计算、模式识别、智能科学、认知科学等多学科,通常结合机器人技术,广泛应用在现代制造业产品制造过程中^[1,2]。

视觉检测技术广泛应用于产品生产过程中的质量控制与质量检测,特别是各种在线或离线产品表面质量的定性、定量检测等,其应用领域涉及钢铁工业、电子工业、汽车工业、木材工业、纺织工业、食品加工业、包装工业、航空工业等^[2]。如何提高和改善视觉检测系统的实时性、可靠性和精度成为了一个备受关注的问题。

在国外,视觉检测技术已相对成熟,并得到了广泛应用。而国内,视觉检测系统应用于钢铁工业、电子工业、汽车工业、木材工业、纺织工业、食品加工业、包装工业、航空工业等行业,主要通过引进国外的成套设备,或者采用合作开发的方

式,国内厂商只承担低端的二次开发和机械结构设计,而视觉检测系统的整体方案、传感部件、光源技术、图像处理和分析算法被国外厂商所控制。此外,设备引进成本高、维护不便且价格昂贵,其软件风格和操作习惯不适合本土操作人员,因此,视觉检测产品对大多数国内生产厂商来说可望而不可及,极大制约了视觉检测系统在生产领域的推广应用。因此,研究具有自主知识产权的视觉检测系统涉及的理论、方法及核心图像处理算法具有相当的迫切性和战略性,是打破国外相关技术垄断和封锁的主要手段,对于提高企业信息化水平,改善生产工艺,提高劳动生产效率,降低原材料消耗和减轻劳动强度,提高产品市场竞争力都有重要的意义。

1.1.2 仿生视觉检测

视觉是人类感知环境信息的主要手段,在人类所感知的外界信息中,大约 80% 都来源于视觉^[3],自然成为了目前相关科学研究和工程应用研究主要的客观依据。人类通过眼睛和大脑来获取、处理与理解视觉信息,周围环境中的物体在可见光照射下,在人眼的视网膜上形成图像,由感光细胞将其转换成神经脉冲信号,并经神经纤维传入大脑皮层进行处理与理解。所以,视觉不仅包括对光信号的感受,还包括对视觉信息的获取、处理及理解的过程。视觉检测技术作为一种处于高速发展中的技术,在理论和实践上取得了一些可喜的成果,部分成果已在工业生产领域得到了应用。但是关于人类和动物的视觉机理至今没有完全破解,这在一定程度上限制了视觉理论的发展,从而限制了视觉检测技术的发展,如人类视觉能够检测和辨识信噪比极低的图像中的弱目标,而且能够瞬间完成视觉信息的获取、处理与理解的全过程,是目前的视觉检测技术无法比拟的。因此,探索和研究基于视觉仿生机理的视觉检测技术将是一项有意义的研究内容,也是目前目标检测和识别的热点和难点。

人眼视网膜中的感受单元以及节细胞的分布是非均匀的,周边稀疏而窝区高度密集,同时视网膜与皮层间的映射也呈现出非均匀性,使得视觉信息的处理也具有非均匀性,人类视网膜对图像的非均匀采样是视觉选择注意机制的生物基础。

1.2 视觉检测技术概述

1.2.1 视觉检测技术的相关概念

视觉检测技术是一种面向特定视觉任务,建立在计算机视觉和图像处理基础之上,对目标对象进行定性检测和定量检测的一门新兴检测技术,具有高效、高精度、

非接触式、获取的信息丰富等优点,涉及图像处理、图像分析和图像理解各层面的理论和方法^[4-6],具有人类视觉层次感知的深刻相似性。图像处理是对原始图像进行一系列的操作和处理,获得改善和增强的新图像,内容涉及图像去噪、图像滤波、图像变换、图像增强等内容,图像处理过程输入的是图像,输出的是数据。图像分析是通过算法从图像中提取初级的图像特征,是一个视觉层次的处理,主要针对图像中感兴趣的目标进行检测,例如边缘和角点检测、直线和圆检测、颜色纹理特征提取等。图像理解属于高层操作,抽象度高,数据量小,研究图像中各目标的性质和它们之间的相互关系,并通过图像内容含义的理解得出对原客观场景的解释,从而指导和规划主观行为,图像理解过程中输入的是数据,输出的是知识^[7]。

1. 计算机视觉

计算机视觉是研究人类视觉的计算模型,利用计算机对描述景物的图像数据进行处理,以实现类似于人的视觉感知功能,对客观世界的三维场景进行感知、识别和理解,是计算机科学和智能科学的重要组成部分。计算机视觉的研究方法主要有:一是仿生学的方法,参照人类视觉系统的机构原理,建立相应的处理模型完成类似的功能和工作;二是工程的方法,从分析人类视觉过程的功能着手,并不刻意模拟人类视觉内部结构;三是仅考虑系统的输入和输出,并采用任何现有的可行手段实现系统功能。

2. 广义机器视觉

广义机器视觉的概念与计算机视觉是一致的,是指使用计算机和图像处理技术从三维世界所感知的二维图像中研究和提取出三维景物世界的物理结构,达到对客观事物图像的识别、理解和控制。

3. 狭义机器视觉

狭义机器视觉的概念是指工业视觉检测,与普通计算机视觉、模式识别、数字图像处理有着明显区别,是计算机视觉最重要的应用之一。目前,最权威的机器视觉的定义是美国制造业工程师协会和机器人工业协会给出的:“机器视觉是利用非接触式的光学传感器自动采集实景物图像并进行处理,以获得所需的信息并控制机器和生产过程的装置”。

4. 图像理解

图像理解是对图像的语义解释,是以图像为对象,知识为核心,研究图像中有什么目标、目标之间的相互关系、图像是什么场景以及如何应用场景的一门科学。

5. 图像工程

图像工程是全面系统研究图像理论方法、阐述图像技术原理、推广图像技术及

总结生产实践经验的新学科。

计算机视觉开始是作为一个人工智能问题来研究的,因此被称为图像理解,事实上,这两个名词也常混合使用,本质上,它们相互联系,其研究的覆盖面和研究内容存在一定的交叉。机器视觉与计算机视觉有着千丝万缕的联系,很多情况下都作为同义词使用。计算机视觉侧重于场景的分析和图像解释的理论和算法,计算机视觉是计算机科学的分支,属于科学的范畴。机器视觉更关注图像的获取、系统的构造和算法的实现,侧重于工程应用。

1.2.2 通用的视觉检测系统架构

通用的视觉检测系统以工业计算机为中心,主要包括视觉传感器、图像采集系统、图像处理系统、系统服务器等模块,涉及传感技术、光学技术、计算机图形学、数字图像处理、视频信息处理、模式识别、人工智能理论、智能信息处理技术,广泛应用于工业产品自动检测、农副产品质量监测、视觉导航、卫星侦察、交通安全监测、水文观测、生物特征识别、智能视频监控等领域^[8]。视觉检测系统通用模型如图 1.1 所示。

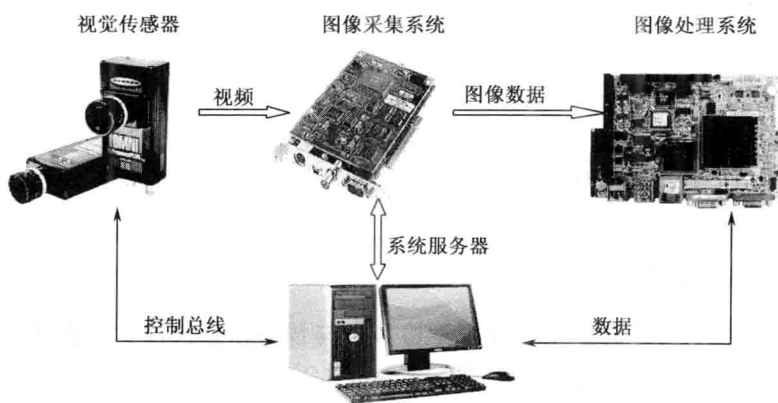


图 1.1 视觉检测系统基本组成

(1) 视觉传感器:是整个视觉检测系统中信息获取和感知的核心单元,其最本质的功能就是将光信号转变成有序的电信号,有时配以光学辅助设备来获取待处理的原始图像。视觉传感器主要有激光扫描器、线阵和面阵 CCD、TV 摄像机等。视觉传感器的主要参数有分辨率、扫描方式、快门速度、帧率、异步复位外触发功能、成像灵敏度、外同步、光谱响应特性等。其中,分辨率和帧率是其关键参数,直接决定视觉检测系统的精度,但是单独追求高分辨率和高帧率的获取图像,会受到计算带宽和成本的限制,整个视觉检测系统的性能反而会下降,因此选择合适的视觉

传感器成为了视觉检测系统的又一个重要环节^[12]。

(2) 图像采集系统: 图像采集系统的主要负责采集多路视频信号, 然后将前端采集的图像信号进行数字化, 并进行有效压缩。它是整个视觉检测系统正常工作的前提, 为了保证后期的处理和存储, 图像采集系统需要在保证图像质量的同时兼顾采集的实时性。图像采集系统对图像的采集和压缩是同时进行的, 一个好的压缩算法是影响整个系统处理能力的关键。经过压缩处理后的图像通过 PCI 高速接口与系统服务器以及图像处理系统相连, 供后期存储和处理。

(3) 图像处理系统: 图像处理系统是视觉检测实现图像算法和处理分析等核心功能的部件。可以分成基于工业计算机的视觉图像处理系统和基于嵌入式系统(DSP/ASIC/FPGA)的专用系统。ASIC(Australian Securities and Investments Commission)、DSP(Digital Signal Processing)、FPGA 等设计的全硬件处理器, 基于底层图像处理算法的简单性及并行性, 它可以实时高速完成各种底层图像处理算法, 如背景校正、灰度变换、ROI(Region of Interest)检测等, 这样可减轻计算机软件系统的处理负荷, 提高整个视觉检测系统的处理速度。

(4) 系统服务器: 系统服务器是整个系统的中枢。系统服务器负责管理和控制各个子系统, 实时传递控制命令以及接收检测结果和图像数据, 并能监测和控制整个系统的运行状态。作为整个系统的数据服务器和控制终端, 系统服务器还提供数据保存、查询、统计和分析功能。在上层提供一个良好的人机接口, 操作人员通过这个接口可以查看实时的检测结果以及历史数据, 以便对被检测目标的状态进行有效的判断。

1.3 国内外研究及应用现状和涉及的图像处理方法

1.3.1 视觉检测技术国内外研究及应用现状

视觉检测是建立在计算机视觉和图像处理基础上的一门新兴检测技术, 用计算机来模拟人的视觉功能, 从中提取有用的信息, 通过图像处理获得被测事物的各种参数, 并最终用于实际检测、测量和控制, 具有高效、高精度、非接触式、获取信息丰富等优点。

根据检测任务的不同, 将视觉检测分成几何尺寸测量、表面质量检测和产品完整性检测三类, 依据视觉检测的特性, 可以将视觉检测分为两类, 即定性检测和定量检测, 其中表面质量检测任务和产品完整性检测属于定性检测, 物体的几何尺寸测量属于定量检测。视觉定性检测是检测物体或者产品表面是否有刮痕、破损、异物、磨损等缺陷, 表面光洁度及表面亮度或纹理结构的一致性, 产品的组成部件的

完整性,装配有无遗漏,物体状态、姿态,物体的形状是否符合要求,尺寸结构是否完整等,而视觉的定量检测是物体的几何尺寸测量及形状检测,检测其是否在允许的公差范围内,涉及工业、农业、交通、纺织业、食品工业等^[13]。

在国外,从 20 世纪 70 年代早期开始,机器视觉就开始进入了实际应用,相应的视觉检测理论和技术不断成熟和推广,使得视觉检测技术成为了工业自动化检测的基本方法和主要手段。

1. 表面质量检测

表面质量检测是视觉检测的一个重要应用领域,在表面质量检测应用中,Lin Hd 利用视觉检测技术系统地研究了集成电路、LED 发光器件表面、LCD 显示屏表面缺陷的自动检测方法 & 系统实现^[14~17],主要理论方法涉及神经网络、统计方法等。Tsai Dm 在频域下利用神经网络,研究了零件表面粗糙度的评估方法^[18],对木材、纺织品和 TFT-LCD 显示屏表面缺陷检测方法进行了深入研究,提出了方向性纹理和统计纹理特性,以及使用小波重构、ICA、Gabor 滤波器和神经网络的缺陷检测方法^[19~24]。而 Rohrmus D.r 提出了基于几何纹理特性的织物表面缺陷检测和分类^[25],食品工业也是机器视觉表面检测方法应用的重要领域,Brosnan T 系统地综述了计算机视觉在食品工业中的应用、相关理论和技术发展前景^[26,27]。Aleixos N 提出了一种水果表面缺陷检测和自动分级视觉检测的方法和系统^[28~30]。

2. 完整性验证

结构完整性检测主要是检验产品组成部件的完整性,装配有无遗漏,尺寸结构是否完整,有无异物等。例如,PCB 元件装配中结构完整性检测是机器视觉常用的应用领域^[31, 32],利用训练集建立物体结构的统计模型,采用多分辨率搜索的策略在图像中定位物体^[33, 34]。汽车工业是视觉检测技术广泛应用的重要领域,比如判断汽车车门开关状态、对汽车装配生产线上异常进行实时检测等^[35, 36]。操作质量检测可以验证是否根据正确的制造流程或标准对被测产品进行了准确的操作。

3. 典型的视觉检测系统

国际上有名的工业视觉系统集成商有美国的 NI、Honeywell、Cognex 和 PROIMAGE,瑞士的 BOBST,德国的 VMT,加拿大的 Hexsight,意大利的 Centro Sviluppo Materiali。英国 EES 系统已于 1991 年在荷兰 Hoogovens 钢铁公司投入应用,日本的 DAC、TOKIMEC 和 Keyenc 将专家系统引入智能表面检测系统中,具有自学习和分类功能。1995 年瑞典将神经网络应用于表面缺陷检测系统,使信息处理从数学、模式识别等发展到将神经网络等新理论运用到带钢表面缺陷的检测中,具有很好的发展前景。1996 年,美国 Cognex 公司研制了 iS-2000 自动检测系统和