

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 33120121152678

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于机器视觉的 PZT 晶片缺陷检测系统

A machanical vision designing of PZT wafer defect inspection system

邹建男

指导教师姓名: 陈忠 冯勇建

专 业 名 称: 电子与通信工程

论文提交日期: 2015 年 4 月

论文答辩时间: 2015 年 5 月

学位授予日期: 2015 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2015 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（ ）课题（组）的研究成果，获得（ ）课题（组）经费或实验室的资助，在（ ）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

压电晶体 PZT 产品常有裂纹、油污、破损及涂胶不均等表面缺陷，且缺陷尺寸、形状不确定，因而导致人工分检难度大，分检合格率低。为此本文提出了用机器视觉检测 PZT 产品的表面缺陷，研究在产品图像准确获取的基础上，通过图像增强、图像分割和缺陷特征提取的算法实施，由软件程序确定 PZT 产品的表面缺陷。本文主要研究内容如下：

①采用空间域和频域方法增强待测 PZT 图像特征，并用微分算子法和阈值分割进行 PZT 图像边缘分割，从而完成了工件图像在背景中的分离，降低处理的复杂性，提高处理速度。

②采用区域连通的轮廓识别方法，给出金属基片与 PZT 感受膜的图形，根据图形内外轮廓的偏心距判断工件缺陷；采用波长 400nm 紫光源照射工件胶水，用 HSI 颜色识别方法，根据色度、饱和度、亮度参数将蓝绿色提取，判断涂胶质量；采用了局部区域处理的二维离散小波变换方法，将图像变换到频域空间来处理局部变化，检测局部区域的裂缝；采用纹理提取法，由于 PZT 上的黑点和油污有一定的规律性，符合纹理特性，根据提取到的纹理特征值来判断黑点和油污缺陷；采用模板匹配法，针对崩口缺陷，将合格的 PZT 晶片作为模板，使其与有崩口的产品匹配，根据匹配结果的相似度来检测 PZT 是否合格。

③基于 C# 语言编程，实现具体检测算法，建立了人机交互界面，开发了流水线自动检测软件。

论文以目标图像增强、图像分割、缺陷特征提取为主线，研究开发了一套 PZT 晶片的缺陷检测软件，通过工厂现场测试，得到了预期的结果。

关键词： PZT 晶片 视觉检测 表面缺陷

Abstract

The piezoelectric PZT products often crack, breakage, oil and coating uneven surface defects, defect size, shape and uncertainty, resulting in manual inspection is difficult, low qualified rate. In this paper, the surface defects of machine vision detection of PZT products, basic research in product image obtain, through the implementation of image enhancement, image segmentation and feature extraction algorithm of defect, surface defects of PZT products is determined by software program. This essay's main study contents are as below:

① The space domain and frequency domain method to enhance PZT image features to be tested, and PZT image edge segmentation using differential operator method and threshold segmentation, thus completing the separation of the workpiece image in the background, reducing processing complexity, improve processing speed.

② The contour recognition method of regional connectivity, given the metal substrate with PZT sensitive film graphics, graphics and outline according to the eccentric distance of workpiece defect judgment; With the wavelength of 400nm violet irradiation workpiece with HSI glue, color recognition method, according to the color, saturation, brightness parameters will be blue green extraction, judging the quality of glue; By using the method of two-dimensional discrete wavelet transform local processing, the image is transformed into frequency domain space to deal with local changes, the local area for crack detection on PZT wafers; The texture extraction method, because the black spots on PZT and oil have certain regularity, with texture features, texture feature extraction based on the value and defects of oil spots; Using the template matching method, aiming at the defects of PZT wafer will collapse, qualified as a template, and the collapse of export products are matched according to the similarity matching results to detect whether PZT qualified.

③ Based on the C# programming language, to achieve the specific detection algorithm, a man-machine interface, the production line automatic detection software

development.

The goal of image enhancement, image segmentation, defect feature extraction as the main line, developed a set of software defect detection of PZT wafer factory, through field test, obtained the expected results.

Key words: PZT wafer Visual inspection Surface defect inspection

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要.....	I
Abstract.....	II
第一章 绪论.....	1
1.1 课题研究意义和背景.....	1
1.2 国内外研究现状.....	2
1.2.1 机器视觉的发展状况.....	2
1.2.2 国内外当前趋势.....	3
1.3 PZT 晶片缺陷检测关键技术分析.....	4
1.4 论文主要研究内容.....	5
1.5 本章小结.....	7
第二章 PZT 晶片缺陷检测系统方案设计.....	8
2.1 待检测的 PZT 晶片缺陷类型.....	8
2.2 系统硬件结构设计.....	11
2.3 系统软件结构设计.....	12
2.4 本章小结.....	15
第三章 目标图像提取.....	16
3.1 图像增强.....	16
3.1.1 基于灰度变换的增强.....	16
3.1.2 基于直方图处理的增强.....	17
3.1.3 基于傅里叶变换的增强.....	20
3.2 图像分割.....	21
3.2.1 基于边缘的分割.....	21
3.2.2 基于阈值的分割.....	24
3.3 本章小结.....	26
第四章 图像特征提取.....	27
4.1 轮廓特征提取.....	27
4.2 颜色特征提取.....	28

4.3 基于小波变换的裂缝提取.....	31
4.3.1 小波的概念和特性.....	31
4.3.2 连续小波变换.....	32
4.3.3 二维离散小波变换及其算法基础.....	34
4.3.4 二维离散小波变换原理.....	36
4.4 纹理特征提取.....	39
4.4.1 纹理的定义及特征.....	40
4.4.2 纹理的主要性质.....	41
4.4.3 基于灰度直方图的纹理提取.....	42
4.5 基于模板匹配崩口检测.....	43
4.6 本章小结.....	45
第五章 在线检测软件设计.....	46
5.1 C#特点.....	46
5.2 在线检测软件实现的功能.....	47
5.2.1 软件的整体设计.....	47
5.2.2 软件参数设置功能.....	49
5.2.3 现场调试.....	51
5.3 在线检测结果.....	53
5.4 本章小结.....	57
第六章 总结和展望.....	58
6.1 本文工作总结.....	58
6.2 工作展望.....	59
参考文献.....	60
附录一 算法源代码.....	64
攻读硕士学位期间的科研成果.....	74
致 谢.....	75

Abstract in Chinese.....	I
Abstract in English.....	II
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Topic study purpose and background.....	1
1.2 Current study situation.....	2
1.2.1 Developing status of mechanical vision.....	2
1.2.2 Recent trend.....	3
1.3 Main technic analysis of PZT wafer defect inspection.....	4
1.4 Main study contents of the essay.....	5
1.5 Chapter conclusion.....	7
Chapter 2 Designing of PZT wafer defect inspection system.....	8
2.1 Defection categories of PZT wafer to be inpected.....	8
2.2 System hardware structure design.....	11
2.3 System software structure design.....	12
2.4 Chapter conclusion.....	25
Chapter 3 Object image extraction.....	16
3.1 Image strenthen.....	16
3.1.1 Strenthen based on grey scale mutation.....	16
3.1.2 Strenthen based on column diagram.....	17
3.1.3 Strenthen based on Fourier	20
3.2 Image segmentation.....	21
3.2.1 Segmentation based on edge.....	21
3.2.2 Segmentation based on threshold.....	24
3.3 Chapter conclusion.....	26
Chapter 4 Image character extraction.....	27
4.1 Contour outline extraction	27
4.2 Color character extraction.....	28
4.3 Crack extraction based on wawelet transform.....	31

4.3.1 The definition and character of wavelet.....	31
4.3.2 Continuous wavelet transform.....	32
4.3.3 2 dimension discrete wavelet transform and its algorithm basic.....	34
4.3.4 2 dimension discrete wavelet transform.....	36
4.4 texture character extraction.....	39
4.4.1 The definition and character of texture.....	40
4.4.2 main character of texture.....	41
4.4.3 texture extraction based on gray scale column diagram.....	42
4.5 Gap inspection based on template matching	43
4.6 Chapter conclusion.....	45
Chapter 5 Design of online inspection software.....	46
5.1 Charateristic of C#.....	46
5.2 Function to be realised by online software.....	47
5.2.1 Main frame of the software.....	47
5.2.2 Function software parameter setting	49
5.2.3 On-site adjustment.....	51
5.3Online inspection result.....	53
5.4Chapter conclusion.....	57
Chapter 6 Conclusion and preview.....	58
6.1 Conclusion of this essay.....	58
6.2 Work preview.....	59
References.....	60
Appendix 1 Algorithm source code.....	64
Working results during master degree study.....	74
Thanks.....	75

第一章 绪论

1.1 课题研究意义和背景

我国是世界第三大经济体,工业大国,伴随着我国经济的不断大繁荣大发展,我国正走向全世界制造业的中心^[1]。在生产力不断发展、制造能力不断增强的同时,在产品质量保证方面,人们将会提出要来越高的要求^[2-3]。产品表面质量对整个产品质量的保障至关重要,是产品质量的一个重要组成部分,对其重视的原因主要从以下方面考虑:

①产品表面质量关系到整个产业的商业价值,外观上的质量缺陷直接影响成品的商业价值,造成其大幅贬值^[7-9]。例如在钢材、包装、手工艺产品等领域,商家会高度重视其产品的外观质量;

②不论是直接使用还是进一步的深加工,都对其产品表面的质量有着严格的要求。表面的缺陷将会严重影响产品的性能,从而给使用者造成巨大的损失,因此在某些领域对产品的表面质量做出了严格的控制和检查^[9]。为了提升自己产品的质量和价值,越来越多的制造企业提出了例如“精益生产”、“产品零缺陷”的口号和目标。在产品成品或半成品出厂前,质检部门都要对其进行较为严格的检测和核验。

表面缺陷是一种外在缺陷,表现为与正常产品的存在形式产生的“差异”,这种“差异”有些是人眼可见的,有的是不可见的^[6-9]。对于可见的表面缺陷,通常采用传统的人工检测的方法。但是人工检测的方法有许多的不可靠性,例如:

①人眼的空间分辨率有限。对于微小的尺寸、色差接近,或是在复杂的背景中寻找目标,人眼的局限性就更加明显,因此很难保证对产品检验的合格率。例如,对于钢板表面缺陷,实验研究表明缺陷尺寸需要直径在 0.4mm 并且具有明显光学形变,人眼才能分辨出来;但是现代的产品,通常要求的检测精度数量级很小,往往要求检测误差要在微米级,甚至是纳米级。

②人眼的时间分辨率有限。实验研究表明当物体的运动速度在每分钟 180 米时,物体的形态就不能被人眼看清,在每分钟 50 米以上时,一些细微的形态就不能分辨出来。例如在钢板的生产线上,钢板运动速度大约在每分钟 300 到 1200 米,有时甚至更高。所以在一些高速的生产线领域,仅凭人眼是不能完成产品检测的,人眼的局限性限制了工作要求。

③ 人具有主观意识，因此工人的思想、情绪、心态等诸多主观因素都会影响检测结果，使得结果的可靠性大大降低，这种检测结果造成的非标准性导致了产品的质量不受控制，产生了一系列的不稳定因素。并且工人的成本较高，劳动强度较大。检测的结果不利于生成数据库保存，不能适应现代的信息化管理方式。

由于以上人工检测的局限性，需要一种可靠地、先进的、高效地技术方法来替代人工检测。近年来，伴随电子信息技术、计算机科学技术的迅猛发展，机器视觉检测技术应运而生，使得产品表面缺陷检测问题有了可靠地解决方案。用“机器视觉”取代人工视觉，进行产品表面缺陷检测，早已成为当代工业技术的一种发展趋势。

采用机器视觉对产品表面的缺陷进行检测有许多优势。例如，机器视觉不直接与产品接触，因此不存在损伤检测。其次机器视觉代替人眼，其分辨率等技术指标将远远超越人眼，功能更强大、更可靠。在分辨率问题上，现在的多芯片拼接技术可以达到相当高的要求。在读取速度方面，成像器件的处理结果完全突破了人眼的局限，专用的 CMOS 器件可以达到每秒上亿帧的速度^[10]。随着数据采集能力与传输能力的不断提高，更高动态范围相机的应用也成为可能。机器视觉的最大优点在于可以实现连续、无疲劳、高效地持续检测工作。实现途径不受环境的限制，在恶劣环境中依然可以正常工作。它的判断客观标准，不受人为因素影响，是企业的工作效率得到了极大地提高，同时也为现代化的信息管理方式提供了可靠地手段。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 机器视觉的发展状况

成像技术，计算机技术和图像处理算法的不断成熟，使得机器视觉的发展有了强大的技术支撑。早在 1967 年机器视觉系统的雏形就已经出现，当时采用闭路电视成像，然后将采集到的图像信息传输到电路中，对产品进行检测。虽然受当时隔行扫描、模拟信号、固定分辨率等诸多局限因素的不利影响，但采取视频信号是当时能够获取物体图像的唯一途径。1947 年，贝尔实验室给世界带来一个惊喜，第一根晶体管的问世，拉开了半导体时代的序幕。正是半导体技术的成熟，才有了稳定的固态成像芯片，从而为机器视觉领域奠定了坚实的技术基础。

30 多年的发展，见证了固态成像芯片的深远意义。2009 年 10 月 6 日，发明第一片半导体成像芯片的加拿大籍科学家 Willard S. Boyle 和 George E. Smith 获得了 2009 年的诺贝尔物理学奖，瑞典皇家科学院授予奖金，来表彰他们在贝尔实验室发明成功的电荷耦合器件。

目前，高分辨率的数字相机已经达到了一亿像元，在高像元分辨率的同时，帧率也有了重大突破^[7]。例如 Teli 公司的 CMB03A41JPG08 相机，分辨率达到了 1200 万，帧率实现了每秒 25fp 高速帧频。DALSA 公司的 Salmer 2P11，在 400 万分辨率的同时可以到达每秒 60fp 的帧率。这些高技术的采集硬件，保证了精确检测的同时，也是生产速度得到了大幅提高。

当半导体技术解决了图像采集硬件系统局限性难题时，处理速度又成为了一大新的技术难题。早起的图像处理完全依靠电子电路，硬件系统的采集速度远远高于电子电路的处理速度，这导致了视觉系统的采集与处理不同步，灵活性差。Intel 公司在 1971 年研发的第一个微电子处理器 4004，使得机器视觉的处理速度发生了巨变。现在计算机的 CPU 计算能力已经提高了上千倍，并且还有专门针对图像处理的 CPU 订制芯片。

在硬件采集系统，微芯片处理器都不断发展完善的条件下，图像处理的软件算法也在不断创新。机器视觉是将采集到的图像通过计算机自动对其进行分析处理，代替高强度的人工劳动，得到检测结果。图像处理技术的发展，需要各种分析处理算法的基础支持，同时还要软硬件的不断优化更新作为保障。当前，针对图像处理算法理论研究上已经有了诸多创新，各种图像处理技术、特征识别技术、图像分割技术、图像压缩编码技术、立体视觉技术等都有了突破性的进展。

1.2.2 国内外当前趋势

机器视觉技术起源发达国家，比如欧美等国和日本已经普遍应用。在这些发达的工业国，工业自动化已经达到了很高的程度，同时人力成本相比不发达国家要高出很多，这就导致了整个产品中，人力成本占据了较大比例；另外发达国家的设备制造业更加发达，高科技产品比例高，用户对产品的质量要求也高。这些因素都使得机器视觉技术在发达国家得到广泛应用。随着经济全球化的大潮，机器视觉技术在发展中国家也迅速扩展。由于发展中国家的廉价劳动力，使其产品

的成本在全球经济中有绝对的优势，但是现在的消费者除了关注商品的价格，更注重的是产品的质量。为了保证产品质量同时又降低生产成本，发展中国家必须采用自动化生产，而自动化生产领域的机器视觉技术是保证产品质量的重要手段。机器视觉技将会在发展中国家普及推广，并且使这些国家的经济和工业现代化进程得到飞速的发展。

机器视觉在我国已经成为工业现代化和智能化的趋势。装备制造业是我国和欧美、日本等发达国家差距最大的工业领域，其中机器视觉技术是该领域的核心技术之一，我们的政府正在大力支持。越来越多的企业主已经接受并使用了机器视觉技术，他们通过带有机器视觉系统组件的设备在市场上占得了先机，取得显著地市场优势。从长远的发展来看，我国改革开放的时间还尚短，图像和机器视觉技术也处于起步阶段，我们的工业化、现代化也处于发展状态中，但是随着我国不断出台的有利政策和相关部门的大力支持，工业体系的不断完善，科学技术的突破性进展，人才的大力培养，机器视觉技术将会迎来新的发展机遇。

1.3 PZT 晶片缺陷检测关键技术分析

PZT 晶片缺陷在线检测的主要目的是有效的发现缺陷，分析缺陷的类别，从而判断产品是否合格。在保证高效检测的同时也要减少漏检和误判的现象。根据实际情况，对 PZT 晶片进行缺陷检测的关键技术有以下几个方面：

① 高质量图像的获取

采用机器视觉对产品表面缺陷进行检测，首先的步骤就是采集到待检测图像^[10]。高质量的图像是机器视觉检测成功的基础。计算机所有的分析算法、判断结果都是以采集到的图像为基础进行处理的。如果目标图像模糊不清。或者信号复杂，噪声信号淹没了有效信号，这将给后续的处理工作带来沉重的压力。使得算法难度增大，计算机的处理效率降低，从而导致产品的漏检、误判，甚至是无法完成检测功能。高质量图像的获取需要高配置的硬件支持，本文采用了奥普拓公司的 200 万像素的 FL2-20SM 彩色相机，镜头选配 FV50-M 高清镜头。硬件配置如图 1.1 所示。

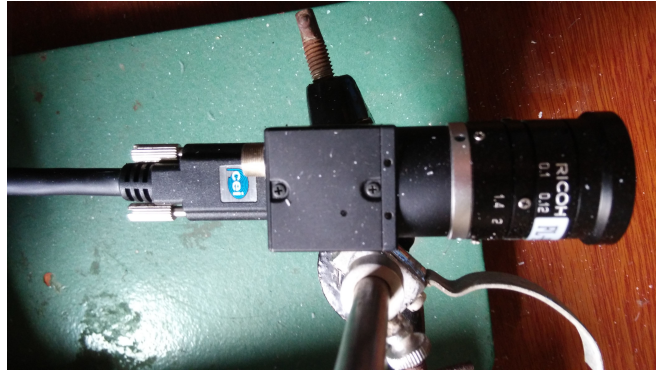


图 1.1 图像采集摄像机示意图

② 目标图像的分割

获取高质量的照片后，就要对其进行缺陷的检测和判断。如果采集到的整幅图像不经过任何处理就交给计算机进行算法分析，这将大大增加了处理器的工作量，降低了工作效率。由于采集到的图像有背景因素的干扰，使得目标图像处理加大了难度，因此我们需要先把目标图像从背景中分割出来。对于背景与目标图像差异明显的，使其分割出来可能较为容易。但是收到环境特点、干扰源的特点等等，如果目标图像与背景差异不大，这就对目标的分割产生了一定的难度。因此，采用适当的分割算法，针对特定的背景分割特定的图像。PZT 晶片缺陷在线检测系统要解决目标图像分割这一关键问题。

③ 缺陷特征的提取

当目标图像从背景分割出来以后，降低了后续的处理难度。对于缺陷的提取，不能采用通用的技术方法，一定要针对具体情况具体选用算法。对目标图像的数据进行分析，缺陷部分的数据一定会有不同之处，这是缺陷目标判别的主要依据。我们基于图像数据的几何特征、灰度特征、频谱特征、颜色特征、轮廓特征、纹理特征等等，对缺陷进行提取。然而相同的缺陷也有不同的差异度，不同的缺陷可能也有相似差异度，这些是算法设计上必须考虑的问题。

1.4 论文主要研究内容

本文根据实际产品 PZT 晶片，按照要求完成其表面缺陷的检测，为实现目标，文章主要完成以下内容：

① 系统方案设计，根据 PZT 晶片的具体缺陷类别和特征，设计了相应的硬件结构，选取了相机的参数，光源的类别；针对每一种缺陷，设计了软件处理流

程，制定了具体的软件处理算法。

② 目标图像提取，为了将目标与背景分离，文章讨论了目标图像增强的方法，包括空间域的灰度变换增强法、灰度直方图增强法，频域空间的傅里叶变换增强法。使目标与背景差异明显后，讨论了图像分割的方法，一种是基于边缘的分割方法，主要论述了几种算子的原理及应用效果；一种是基于阈值的分割方法。

③ 缺陷特征的提取，针对 PZT 晶片具体的缺陷类别，本章探讨了一些具体的方法。采用轮廓拾取法进行偏心的判断；对于颜色特征，论述了 HSI 色彩空间提取法；对于裂缝的缺陷特征，比较详细的阐述了频域率的二维离散小波变换，介绍了其定义及原理，Mallat 分解法；对于纹理特征，阐述了它的性质，主要介绍了基于灰度直方图的纹理提取方法；最后讨论了全局模板匹配法在检测崩口缺陷特征时的应用。

④ 软件的实现，针对 PZT 晶片的具体缺陷特征，采用 C#语言，实现了检测其缺陷的具体算法。将检测功能开发成窗体程序，便于人机交流。

文章整体结构安排如图 1.2 所示。



图 1.2 论文整体结构安排

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.