

学校编码: 10384  
学号: 19820141152985

分类号\_\_密级\_\_  
UDC\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

一种 TFT-LCD 电极线路缺陷检测的 AOI 设备控制  
系统的研发与设计

Design and development of a AOI device control system  
for TFT-LCD electrode line defect detection

郭振雄

指 导 教 师: 陈松岩 教 授  
专 业 名 称: 电子与通信工程  
论文提交日期: 2017 年 月  
论文答辩时间: 2017 年 月  
学位授予日期: 2017 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2017 年 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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

近年来，伴随着电子信息产业的蓬勃发展，薄膜场效应管液晶显示屏（Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display, TFT-LCD）的工艺技术也不断进步和提升，使得液晶外围电极线路的尺寸越来越小，已达到微米数量级，相应的缺陷尺寸缩小至亚微米量级。为满足 TFT-LCD 高质量高效率的生产要求，AOI（Automatic Optic Inspection）技术已开始用于 TFT-LCD 缺陷检测的相关工艺中，用来取代传统人工目视检测。而国内用于液晶屏电极线路检测的 AOI 研究尚未见报道，AOI 设备主要依赖国外进口。因此弥补 TFT-LCD 外围电极线路缺陷检测技术的缺失，实现 TFT-LCD 液晶屏全自动化检测具有十分广阔的应用前景。

本文针对产业需求，实现微米数量级的精确定位和图像采集系统运动中的实时对焦，对 TFT-LCD 外围电极线路缺陷检测的 AOI 设备的控制系统进行了设计和控制技术进行研发，主要工作内容如下：

（1）针对自动光学检测对于液晶屏缺陷检测的工序流程，设计 AOI 设备运动控制系统结构及组件，并对控制系统的四个运动轴进行运动分析。针对如何减少缺陷扫描过程中的误判率，提出了一种旋转校正定位的方法，包括硬件介绍及算法分析，将 TFT-LCD 电极线路缺陷检测的误判率降至 0.1% 以内。根据对系统的运动及工序需求，基于 C++ 开发了一种 UI 人机交互的软件。

（2）针对在微米数量级下进行图像采集时存在的失焦问题以及实时性问题，提出了一种基于 PLC 的高精度 PID 自动对焦双闭环系统。研究了系统结构设计，PID 算法的参数优化，通过实验输出证明其有效性，实现检测速度达 20 秒/片。

（3）为了进一步优化自动对焦控制，结合智能控制算法设计了一种将 PSO（Particle Swarm Optimization）与人工神经网络相结合的动态感知系数的自适应 PSO 算法，以此来对非线性系统的 PID 控制进行参数调优，最后通过仿真实验进行验证。实验结果表明该算法具有较好的鲁棒性、稳定的全局收敛能力及较快的收敛速度。

**关键词：**自动光学检测；TFT-LCD 电极线路检测；自动对焦；SPSO

## Abstract

In recent years, with the rapid development of electronic information industry, TFT-LCD (Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display) technology continues to progress and improve, making the size of LCD-defect down to sub micron level. In order to meet the requirements of high quality and high efficiency of TFT-LCD, AOI (Automatic Optic Inspection) technology has been used in the process of TFT-LCD defect detection. However, the domestic research on the AOI detection of the LCD mainly depends on foreign imports. Therefore, it is very broad application prospect to make up for the lack of TFT-LCD peripheral electrode line defect detection technology, and to realize the automatic detection of TFT-LCD LCD screen.

This paper realized the accurate positioning of the magnitude of the micro focus and image acquisition system in motion control system according to industry demand. Then this paper has designed the detection of TFT-LCD peripheral electrode line defect of AOI equipment and research control technology development. The main contents are as follows:

Firstly, according to the process flow of AOI for the defect detection of LCD screen, the structure and component of motion control system of AOI equipment are designed, and the motion analysis of four motion axes of the control system is carried out. Then, in order to reduce defects in the error rate, this paper puts forward a method of positioning rotation correction, including the analysis of hardware and algorithm, which could dropped the error rate to less than 0.1%. Then, a UI based on C++ is developed.

Secondly, in order to solve the problem of the loss of focus in the image acquisition at the micron level, a high precision PID auto focus double closed loop system based on PLC is proposed. The design of the system structure and the optimization of the PID algorithm are studied. The validity of algorithm is proved by experimented, and detection speed is up to 20 seconds per piece.

Thirdly, this paper combined with PSO (Particle Swarm Optimization) and NN (Neural Network) to develop a adaptive PSO algorithm of dynamic perception

coefficient combined, in order to carry out parameter tuning of nonlinear PID control system. The experimental results show that the algorithm has good robustness, stable global convergence ability and fast convergence speed.

**Keywords:** AOI; TFT-LCD/TFT-LCD defect detection; auto focus; SPSO

厦门大学博硕士学位论文摘要库

# 目录

第一章 绪论 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 TFT-LCD 电极线路缺陷检测研究现状及发展趋势 .....	1
1.2.1 TFT-LCD 电极线路缺陷的介绍 .....	1
1.2.2 国内外 TFT-LCD 电极线路缺陷检测的 AOI 设备现状 .....	2
1.2.3 TFT-LCD 电极线路检测的 AOI 设备的发展趋势 .....	4
1.3 本文主要研究内容 .....	5
参考文献 .....	6
第二章 AOI 设备的运动控制及交互软件 .....	9
2.1 AOI 设备的运动控制系统组成结构 .....	9
2.2 AOI 设备运动控制系统的硬件介绍 .....	10
2.2.1 AOI 设备运动控制系统的电气规划 .....	10
2.2.2 AOI 设备运动控制系统的 $\theta$ 轴旋转定位校正平台 .....	14
2.3 AOI 设备运动控制系统的运动分析 .....	15
2.3.1 AOI 设备运动控制系统的 X-Y 轴运动分析 .....	15
2.3.2 AOI 设备运动控制系统的 $\theta$ 轴运动分析 .....	16
2.3.3 AOI 设备运动控制系统的 Z 轴运动分析 .....	24
2.4 AOI 系统的 UI 软件分析及开发 .....	24
2.5 本章小结 .....	26
参考文献 .....	28
第三章 基于 PLC 的高精度 PID 自动对焦双闭环系统 .....	29
3.1 自动对焦双闭环系统设计及选型 .....	29
3.2 反馈回路的设计与参数设定 .....	30
3.3 基于 PLC 的 PID 控制算法及其运行结果 .....	32
3.4 本章小结 .....	37
参考文献 .....	38
第四章 一种动态感知系数的自适应 PSO 算法 .....	39
4.1 智能控制算法 .....	39
4.2 PID 算法的发展及 PIDNN 算法 .....	41



4.3 动态感知系数的自适应 PSO 算法 .....	44
4.3.1 PSO 算法理论基础 .....	44
4.3.2 SPSO 算法的提出及改进 .....	46
4.3.3 SPSO-PIDNN 控制器 .....	49
4.3.4 损失函数 .....	50
4.4 仿真实验结果及其分析 .....	50
4.4.1 Example. 1 .....	50
4.4.2 Example. 2 .....	51
4.4.3 Example. 3 .....	52
4.4.4 Example. 4 .....	54
4.5 本章小结 .....	56
参考文献 .....	56
第五章 结论与展望 .....	59
5.1 本文总结 .....	59
5.2 研发内容 .....	59
5.3 未来展望 .....	61
附录 硕士期间研究成果 .....	62
致谢 .....	623

# CONTENTS

Chapter 1 Introduction .....	1
1.1 Research background .....	1
1.2 Research status and development trend of TFT-LCD defect detection .....	1
1.2.1 Introduction of TFT-LCD electrode line defect.....	1
1.2.2 Status of AOI for TFT-LCD defect detection at home and abroad.....	3
1.2.3 Development trend of AOI for TFT-LCD detection.....	4
1.3 The main content .....	5
Reference .....	6
Chapter 2 Motion control and UI for AOI .....	9
2.1 Composition of motion control system of AOI .....	9
2.2 Hardware of motion control system for AOI .....	10
2.2.1 Electrical planning of motion control system for AOI.....	10
2.2.2 Rotary positioning platform of AOI .....	14
2.3 Motion analysis of motion control system for AOI .....	15
2.3.1 X-Y axis analysis of AOI .....	15
2.3.2 $\theta$ axis analysis of AOI.....	16
2.3.3 Z axis analysis of AOI .....	24
2.4 Analysis and development of UI for AOI.....	25
2.5 Conclusions.....	28
Reference .....	28
Chapter 3 PID auto focus double closed loop system based on PLC .....	29
3.1 Design and selection for system .....	29
3.2 Design and parameter setting for feedback loop.....	30
3.3 PID control algorithm based on PLC and its running results.....	32
3.4 Conclusions.....	37
Reference .....	38
Chapter 4 An adaptive PSO algorithm of dynamic perception coefficient.....	39
4.1 Intelligent control algorithm .....	39
4.2 Development of PID algorithm and PIDNN algorithm .....	41

4.3 An adaptive PSO algorithm for dynamic perception coefficient .....	44
4.3.1 Theory of PSO algorithm .....	44
4.3.2 The design and improvement of SPSO algorithm .....	46
4.3.3 SPSO-PIDNN controller .....	49
4.3.4 Loss function .....	49
4.4 Simulation results and analysis .....	50
4.4.1 Example. 1 .....	50
4.4.2 Example. 2 .....	51
4.4.3 Example. 3 .....	53
4.4.4 Example. 4 .....	54
4.5 Conclusions .....	56
Reference .....	56
Chapter 5 Summary and Future works .....	59
5.1 Paper summary .....	59
5.2 Research content .....	59
5.3 Future outlook .....	61
Appendix Publication .....	62
Acknowledgement .....	63

厦门大学博硕士学位论文摘要库

# 第一章 绪论

## 1.1 研究背景

伴随着电子信息时代的到来，人类的社会、科技水平不断的进步发展，人们对电子产品的样式、功能需求提出了越来越高的需求：功能多、体型小、低功耗、易携带等。这就促使电子元器件，特别是对于 TFT-LCD，向复杂化、精密化、多形态、高产量化的趋势发展，而 TFT-LCD 上所产生的缺陷也变得更加微小、多样。其所带来的结果就是人工肉眼检测的方式无法满足液晶屏的缺陷检测要求。

TFT-LCD 是计算机、视频终端、工业监视、全球卫星定位系统（GPS）、个人信息助理（PDA）、游戏机、手机、便携式多媒体设备、汽车等不可或缺的信息显示设备<sup>[1]</sup>。随着信息显示终端应用需求的快速增长和技术的高速发展，中国电子信息产业出口占销售收入的比重处于 35% 的高位<sup>[2]</sup>。在国家政策的大力扶持下，我国 TFT-LCD 产业从无到有，产能已占全球产能的 22%<sup>[3]</sup>。TFT-LCD 作为电子信息产业的支柱与核心基础，正以其辐射范围广、拉动效应显著等特点，极大地推动着新材料、新装备、智能化软件以及系统应用等领域的蓬勃发展。因此对于 TFT-LCD 生产制造过程中产生的缺陷进行检测，已经为该行业发展的重要方向<sup>[4]</sup>。为了在如此高产能的行业进行缺陷检测，AOI 技术现已成为电子产品制造业保证产品质量的首要设备<sup>[5]</sup>。其是一种结合光学成像原理、计算机科学技术、计算机图像处理技术以及现代自动化控制原理的诸多领域交叉的学科技术，可对液晶屏进行非接触式检测<sup>[6][7]</sup>。AOI 拥有优于人工肉眼检测所无法比拟的巨大优势：抗疲劳性、高精确性以及高效性。在进行大批量生产时更具备操作简单、缺陷覆盖率高、低成本的优点而备受广大电子生产制造商的青睐<sup>[8][9]</sup>。

## 1.2 TFT-LCD 电极线路缺陷检测研究现状及发展趋势

### 1.2.1 TFT-LCD 电极线路缺陷的介绍

TFT-LCD 由上下两个基板组成，上基板有彩色滤光片，用于产生颜色，下基板有薄膜场效应管（TFT）矩阵，用来控制像素矩阵的灰阶显示，两基板之间为

液晶层，如图 1.1<sup>[10]</sup>。TFT 制作技术的核心是光刻技术，一道光刻工艺子流程使

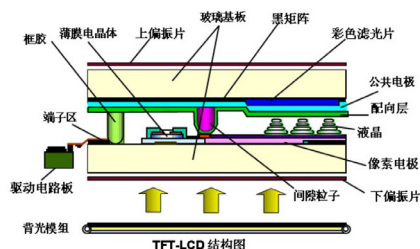


图 1.1 TFT-LCD 结构

Fig.1.1 TFT-LCD structure diagram

用一片掩膜，由清洗、成膜、涂布、曝光、打码、显影、湿刻、光刻胶剥离、检查等主要工序构成<sup>[11]</sup>。随着液晶屏工艺的提升，窄边框甚至无边框液晶屏的流行，屏厚度超薄化，边沿形状曲面化，外围线路集成度复杂化、精细化，使得液晶外围线路的尺寸越来越小，相应的缺陷（如：划伤、断线等）尺寸也在缩小，现在已达到微米数量级，再加上 TFT-LCD 的多层结构，这些使得在图像获取以及缺陷识别算法变得十分困难。并且基于复杂的工序原因，TFT-LCD 外围电极线路缺陷无法避免，且这些问题困扰 TFT-LCD 产业由来已久。TFT-LCD 的电极线路缺陷可以分为两大类，其中最明显的是断线和划伤，这类线路缺陷直接导致液晶无法工作；此外，脏污、缺损等缺陷不仅会造成液晶外观的不合格，而且有的也会导致 TFT-LCD 液晶无法正常工作。在高分辨率图像下（分辨率：1 微米/像素），TFT-LCD 电极线路缺陷如图 1.2 所示：

由 TFT-LCD 的结构图可知其包括：偏光板、玻璃基片、彩色滤光片、液晶材料、电极层、导光板、TFT 等，电极层位于中部，而各层之间需要键合。由于工艺和各层之间的应力，导致各层的平整度较差，通常达到十几微米以上，这对微米量级高分辨检测中图像采集系统的对焦带来困难，必须对高精度智能化的机械运动控制系统、光学系统、图像采集系统及图像识别算法等进行综合创新设计，并结合精确实时对焦技术才能够解决。多学科领域的交叉创新，使得针对 TFT-LCD 外围电极线路检测成为检测中的难题和技术瓶颈。

### 1.2.2 国内外 TFT-LCD 电极线路缺陷检测的 AOI 设备现状

可以预见的是，随着多媒体技术的广泛应用，TFT-LCD 液晶屏的市场需求

将更为庞大，且在 TFT-LCD 生产制造中对其技术及质量的要求水平也会越来越

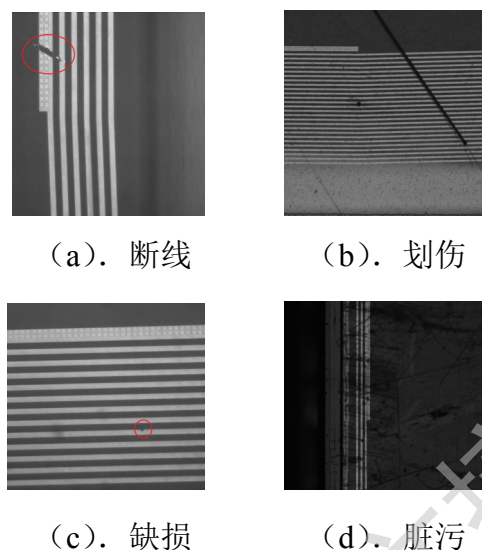


图 1.2 TFT-LCD 常见缺陷  
Fig.1.2 TFT-LCD common defects

高。按照现有业内标准，TFT-LCD 液晶屏上缺陷的出现是不可避免的，但必须严格控制缺陷的数量，尤其是对于中小尺寸的液晶屏，如手机屏、PDA 屏等，缺陷的出现对客户来说是很难接受的。因此，对于已生产出来的 TFT-LCD 液晶屏，尤其是中小尺寸屏，其缺陷的检测就显得尤为重要。

AOI 技术在上个世纪 80 年代初期就被广泛应用与 PCB 制造业的质量检测<sup>[12][13]</sup>，由于其在检测速度、检测精度、检测成本等方面都大大优于传统的人工检测，而取得了快速发展，直至今今天为止已有大量研究：2001 年 Jung-Hun Kim 等人提出了一种用于 TFT-LCD 检测的高速率、高分辨率 AOI 系统，使用线性扫描相机替代昂贵的高分辨率面阵扫描相机，并在图像采集系统上利用四核并行的 DSP 对线性相机采集的图像进行处理并与计算机进行通信，通过对图像采集处理的改进，实现高速率及高分辨率<sup>[14]</sup>；2004 年 Lee K B 等人提出了一种基于图像显著性的检测算法，可将 TFT-LCD 的缺陷图像进行图像显著性的方法检测，能稳定的检测出人眼难以判别的缺陷<sup>[15]</sup>；2009 年 Li-Fei Chen 等人提出了一种神经网络算法对 TFT-LCD 缺陷图像进行图像处理的方法，通过对图像处理算法的改进，有效提高了缺陷的判别率<sup>[16]</sup>；2010 年 Myung-Jin Chung 改进了一种用于 FPD 检测的高精度线性传输模块的气浮系统，通过对伺服控制系统的改进，实现位置

控制精度  $10\mu\text{m}$ ，重复精度  $1\mu\text{m}$ <sup>[17]</sup>；2015 年 Chun-Jung Chen 等人提出了一种基于神经网络算法的 AOI 位置和速度控制，通过对控制系统的算法改进，提高了整体的检测速率<sup>[18]</sup>。纵观近几年的研究，如今主流的 AOI 系统通常采用 PC 机作为工控主机，利用面阵扫描相机进行图像采集，在控制方面采用运动控制卡或者 PLC 作为控制器，伺服模块进行驱动。

在国内，自首台 AOI 设备 2004 年推出后，开始积累了关于印刷电路板（Printed Circuit Board, PCB）缺陷检测的 AOI 技术<sup>[19][20],[21],[22],[23]</sup>、表面贴装技术（Surface Mount Technology, SMT）缺陷检测的 AOI 技术<sup>[24],[25],[26],[27]</sup>，以及 LCD 表面缺陷检测的 AOI 技术<sup>[28][29][30]</sup>的大量研究。可以看出，国内目前可实现的 AOI 设备在硬件部分，大多采用面阵扫描相机、运动控制卡及伺服驱动器等主要部件进行设计。而在 TFT-LCD 研制领域，鲜少有关于 TFT-LCD 电极线路缺陷检测的 AOI 设备的研究。TFT-LCD 生产的缺陷检测设备基本依赖国外进口，对于中小尺寸 TFT-LCD 检测设备才刚刚起步，且多为检测等级、功能单一的设备，主要集中在对液晶屏上坏点、表面损伤的检测。而对液晶屏外围电极线路、色彩、光电综合性能检测的设备上，更是属于空白。这也将随着 TFT-LCD 广泛流行的趋势，其缺陷检测的 AOI 技术将开始成为国内 AOI 行业的热潮。

### 1.2.3 TFT-LCD 电极线路检测的 AOI 设备的发展趋势

为应对 TFT-LCD 缺陷检测精密度要求的提升，AOI 检测设备将被广泛用在目前 TFT-LCD 相关工艺中，用来取代传统速率慢、人工成本高、检测良率低、缺乏可重复性的人工视觉检测设备（Manual Vision Inspection, MVI）。对于高产量和新兴科技制造出的显示屏，所使用检测设备相应的发展越来越得到重视。其技术发展趋势为：

A.更快的检测速度：在国家政策的大力扶持下，中国已经成为全球 LCD 平板显示的重要生产基地之一，全球市场占有率已经提升到 17%以上，面对如此高产量的压力，生产商对 TFT-LCD 的检测速度要求越来越高。这就要求不仅要提高计算机图像处理技术的运算速度，还要实现高速的机电运动控制系统<sup>[31]</sup>，以及高速采图以满足检测速度的需求，采取的做法通常是在软硬件方面进行相应的提高，如采用高性能并行处理的多核处理器。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts 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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库