

班 级 05121201

学 号 05121214

西安电子科技大学

# 本科毕业设计论文



题    目    基于树莓派的显微成像

---

系统

---

学    院    物理与光电工程学院

---

专    业    电子科学与技术

---

学生姓名    彭峰

---

导师姓名    刘杰涛

---

# 毕业设计（论文）诚信声明书

本人声明：本人所提交的毕业论文《基于树莓派的显微成像系统》是本人在指导教师指导下独立研究、写作成果，论文中所引用他人的无论以何种方式发布的文字、研究成果，均在论文中加以说明；有关教师、同学和其他人员对本文本的写作、修订提出过并为我在论文中加以采纳的意见、建议，均已在我的致谢辞中加以说明并深致谢意。

本文和资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

论文作者：\_\_\_\_\_（签字） 时间：2016 年 04 月 12 日  
指导教师已阅：\_\_\_\_\_（签字） 时间：2016 年 04 月 12 日



## 摘要

显微成像的应用开始在越来越多的领域中得到应用。光学薄膜的表面粗糙度对其光学特性的测量精度有较大影响。在常见的加工生产过程中，薄膜表面的毛刺、划痕等都可能对精密产品的性能造成影响。为提高产品的光学特性的精度，对相应产品出厂前表面进行实时的、高精度的缺损情况测试具有实际重要意义。使用电子仪器的手段相比于传统人力目测检验方法，具有单位效率高、判定率高、可靠性高等特点，便于元器件表面缺损测试方面向现代微型组件化智能化发展。

本文依托 ARM 处理器平台设计了数字化显微成像技术处理系统，并对零部件表面的缺损情况进行了实时测试。此检测系统具有智能化、小型化、图像采集方便实时的特点，可以进一步提高产品出厂前合格率、降低后续产品返修率。整体上，采用索尼的堆栈式 CMOS 图像传感器 IMX135，作为核心数字显微图像采集芯片，借助 CSI-2 接口将图像传至 ARM 主板，并利用 ARM 处理器完成显微图像的图像增强、图像识别等算法处理，并实现了显微图像的后续存储、归档和显示。存储、归档上可以放在存储卡或云端，通过 HDMI 或网络将图像传输到 LED 平板显示器上进行显示，达到实现系统集成化、桌面一体化、处理器实时处理的常见功能，同时备选两套方案，即可使用 HDMI 线缆将显微图像传输到桌面显示，利用以太网或 802.11 协议，借助路由也可以在异地通过互联网的方式，通过浏览器访问显示显微图像。更好实现产品缺损检测效果的远程实时控制功能。搭建了高精度的实时缺损检测平台，针对图像检测研究了显微图像的拼接。

本论文完成下面工作：

1. 完成嵌入式显微成像系统的整体设计，包括光学显微成像子系统、图像显示处理子系统、上位机图像显示子系统等。
2. 依据情况，设计显微图像采集的硬件设计方案、软件显示方案。分析技术要求、选型相应硬件，借助树莓派为主的 ARM 处理器平台，利用发布的 CSI 接口适配图像处理驱动和 Web 显示 B/S 方案，实时采集的图像通过 CSI-2 接口传输到基于 ARM 的主板，经过图像增强和图像滤波算法处理后，将相应图像显示出来。
3. 对设计的 ARM 平台下的嵌入式显微成像系统进行相应的实验测试，在不同的光照强度下，对缺损的光学薄膜表面情况进行成像检验，改进系统不足，最后满足系统的整体设计要求。

关键词：数字显微成像 光学薄膜 ARM

## Abstract

The acquisition and processing of image signal are used widely in the fields of scientific research and industrial production, medicine, biology and so on. At the same time, microscopic image acquisition can be the most popular basic of microscopic imaging system. Usually during the production of the film burrs, scratches can all have an impact on the performance of precision products. In order to improve the accuracy of the optical properties of the product, the corresponding products manufactured prior to the surface in real time, high accuracy defect testing is of practical importance. Compared to traditional, the way of Using electronic instruments means of human visual inspection methods, with more high efficiency, high rate of judgment, high reliability, and easy component to the modern surface defect testing tiny components of intelligence.

Based on ARM processor platform design for digital Microscopy Imaging Processing System, it can be used to defect the parts of surface in real time test. This detection system with intelligent characteristics, small size, convenient image acquisition in real time, can further enhance factory pass rate, reduce product failure rates. As a whole, Sony IMX135 CMOS image sensor, as the core of digital microscopic image chip, transfer image data via CSI-2 interface to ARM boards. And ARM processor is ready to complete micrograph image enhancement, image recognition algorithms, subsequent storage, archiving and display of images. About Storage, archive can be put in storage RAID or cloud, through HDMI cable or via network will transfer image signal to LED display, achieved system integration, and desktop integration. Processor can process common function in real-time, and then transfer micro image signal to the desktop, by using Ethernet or 802.11 protocol. Through the Internet, this image can also be displayed in the browser.

This paper includes the following:

1. Completed a embedded microscopic imaging system with hardware design, software graphical user interface and mainly optical modules. This system includes some special modules such as image acquisition module, image processing module and image displayed modules.
2. According to the situation of designed, we designed microscopic imaging plans for hard-

ware design, Web graphical user interface. According to the requirements of resolution system , using raspberry pi as a based ARM platform and designing the micro image acquisition platform with the image sensor of SONY IMX135, The image data will be designed with the output interface of CSI-2 MIPI.

3.The experimental verification of the embedded micro imaging system using raspberry pi can carried out, and the accuracy of this based system is verified by different useful way.

**Key Words:** digital microscope      microscopic imaging, CMOS image sensor  
ARM



## 目录

<b>第一章 引言</b>	<b>1</b>
1.1 选题背景及意义	1
1.1.1 选题研究内容（待改进）	1
1.1.2 解决问题（是否缩减到前面一小节）	1
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 显微成像国内外发展现状	2
1.2.2 光学薄膜检测的发展现状	2
1.3 本文主要任务和安排	3
1.3.1 主要任务和安排	3
1.3.2 本章小结	4
<b>第二章 显微成像系统整体方案设计</b>	<b>5</b>
2.1 显微基本原理	5
2.1.1 光学成像原理	5
2.1.2 显微镜结构构造	5
2.2 显微成像处理平台器件选型	6
2.2.1 显微镜头物镜目镜选型（不开工）	6
2.2.2 图像传感器的选型	7
2.2.3 图像处理方案研究	8
2.2.4 数据传输接口选型	8
<b>第三章 显微图像处理平台系统设计</b>	<b>9</b>
3.1 树莓派平台简介	9
3.2 图像传感器接口驱动程序	9
3.2.1 接口驱动简介	9
3.2.2 V4L2 驱动框架协议了解使用	9
3.3 显微图像预处理	10
3.3.1 预处理图像算法研究分析	10

---

3.4	实时图像处理算法分析 . . . . .	10
3.5	上位机图像显示处理 . . . . .	10
<b>第四章</b>	<b>显微成像系统的检测实验</b>	<b>11</b>
4.1	薄膜表面缺陷检测测试 . . . . .	11
4.1.1	实验仪器介绍和安装 . . . . .	11
4.1.2	缺陷检测结果分析 . . . . .	11
4.1.3	本章小节 . . . . .	11
<b>第五章</b>	<b>总结与展望</b>	<b>13</b>
5.1	论文工作总结 . . . . .	13
5.2	未来发展展望 . . . . .	13
	<b>致谢</b>	<b>15</b>
	<b>参考文献</b>	<b>17</b>
	<b>附录 A 数据</b>	<b>19</b>
A.1	代码 . . . . .	19

# 第一章 引言

## 1.1 选题背景及意义

### 1.1.1 选题研究内容（待改进）

伴随着技术的革新和工艺上的不断进步，工业产品的表面精度检测要求不断提升，目前的缺陷检测方面技术开始越加复杂，各种的技术的工作方式和原理开始出现变更，体现在生活中的各个领域，高效的技术手段和实现方法直接决定了检测系统的可靠性和检测方法的便捷性。表面缺损一般是采用的加工方法和机器磨合有关联造成的，缺损的表象可能包括裂纹、气泡、毛刺等缺陷。目前，光学显微镜仍然是使用最广泛的显微镜。但是在同时，传统人工方式仍然存在不少的局限性，如：使用人员使用显微镜时，视野不畅，容易造成视觉疲劳；在观察时，无法多人观察进行交流；不能对图像进行必要的处理，加强所需目标的对比度，快速存储、归档、显示。

数字图像处理技术和图像处理算法的不断发展，能够结合传统光学仪器和计算机技术各自的优势，更好的实现多种数据采样和处理功能，实现系统平台的图像处理，包括去噪，模块识别等功能。实现对显微镜中的显微图像实时/远程的监测，可以在公网上进行相应图片的显示。同时，关于数据的归档，显示和报表可进行额外的分析和处理、综合。在显微成像的数字化平台上，国内外一些仪器厂已经开始尝试研制，部分已有商品化的产品出售。相比和计算机直接进行显微镜连接的情况，使用本文的平台可以更方便的在小空间内使用，具有系统集成化和小型化的特性。

### 1.1.2 解决问题（是否缩减到前面一小节）

硬件成本的不断下降使曾经昂贵的技术使用更加广泛，显微成像的单一器具已经开始应用在生活的部分方面，在此基础的改进上，增加数据的处理模块，在不同指标不同场合的跟进测试，是目前的一个研究热点。

在此需求上，本文设计了基于树莓派的数字显微成像系统，尝试在缺陷材料上进行进一步测试。在设计中，选用了索尼的第二代 BSI 光照 CMOS 图像传感器 IMX135，利用低压差分信号抗干扰来提高信噪比，使图像成像效果更佳。

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 显微成像国内外发展现状

显微镜的起源较早，但是在后期才发展快速。早在 2500 年前的《墨经》中，就已经有了凹透镜的记载，然而凸透镜的发展却一直没有进展。直到 16 世纪末期，荷兰的眼镜商詹森 (Zaccharias Janssen) 和他的儿子尝试了一次将两个凸透镜放入到同一个镜筒中，发明了人类历史上第一个光学显微镜。而后在 1609 年，著名的天文学之父伽利略在这个实验的基础上，分解出相关的物理学原理，并依据自身的理论发明了更好聚焦的显微镜。

而后的列文虎克将放大倍数大大的提升了一截，第一次能够发现微观的生物和非生物现象，出版了极多的论文，同时极大的推进了生物学的发展。后之显微镜之父，罗伯特·虎克仿制了一台与列文虎克一样的显微镜，证实了水中微小微生物的发现，1830 年，利斯忒 (Joseph Jackson Lister, 1786-1869) 用几个有特定间距的透镜组减小了球面像差，从而进一步改进了显微镜。而后，1872 年德国的数学家和物理学家 Ernst Abbe 改进了玻璃的制造和生产工艺，改进并生产出有均一折射率的光学级玻璃。

受到衍射限制，光学显微镜的分辨率达到显微镜的分辨率极限，即：

$$R = \lambda / (n \cdot \sin(\alpha))$$

这里的  $R$  是分辨率， $\alpha$  是孔径张角， $\lambda$  是波长， $n \cdot \sin(\alpha)$  是数值孔径， $n$  是折射率。

### 1.2.2 光学薄膜检测的发展现状

光学薄膜广泛应用于液晶显示屏、触摸屏、太阳能电池板等行业，对表面质量有极高的要求，如何保证其质量要求，必须要借助有效的检测手段进行检测。与其他如金属、印刷品、玻璃制品等行业同类检测技术相比，由于薄膜的高透光性、缺陷尺寸极小、薄膜运行速度高，致使曝光时间短，CCD 感光不足，图像整体偏暗，最终导致目标与背景的灰度级差极小。传统的人工目视检验或离线抽检方法劳动强度大、精度低、效率不高、可靠性差等缺点，无法适应现代化的生产要求。

起源

商业应用

检测

完善

重要性

## 1.3 本文主要任务和安排

### 1.3.1 主要任务和安排

硬件成本的不断下降使曾经昂贵的技术使用更加广泛，显微成像的单一器具已经开始应用在生活的部分方面，在此基础的改进上，增加数据的处理模块，在不同指标不同场合的跟进测试，是目前的一个研究热点。

在此需求上，本文设计了基于树莓派的数字显微成像系统，尝试在缺陷材料上进行进一步测试。在设计中，选用了索尼的第二代 BSI 光照 CMOS 图像传感器 IMX135，IMX135 有最高 60fps，4208x3120 的分辨率，小至  $1\mu\text{m}\times 1\mu\text{m}$  的像元尺寸，总像素为 1300 万，利用低压差分信号抗干扰来提高信噪比，使图像成像效果更佳。在研究过程中，更希望是显微成像方面在传统设备转向电子化，数字化，智能化，互联网化的一种可行性的尝试。进一步改善整体流程，加强后续的研究和信息处理的长尾方式，提高部署的高效性，降低生产成本。

### 具体章节结构

本文主要的内容设置如下：

第一章对本文的研究原理和背景做基本的阐述，希望解决的问题。并查阅相关显微成像和光学薄膜的国内外发展现状，在此基础上进一步改进，介绍本文的主要结构和目前安排。

第二章设计显微成像系统硬件部分，对显微成像的光学原理做出阐述，并进行目镜物镜的选型。图像传感器功能和类型性能比较选型，数据传输接口的比较，显示处理方式的比较和选择，设计出一个较完整的低耦合化方案。

第三章对显微图像处理平台进行系统设计，查阅研究了相关 CSI 的接口在树莓派的驱动程序，介绍 V4L2 框架的应用和使用。并分析图像算法的在预处理和处理上的研究，包括线性滤波、中值滤波、高斯滤波，边缘检测等方法，并研究了显微图像的相关拼接算法，设计了阈值分割和像素投影算法。最后在 Web 上展示处理后的图像，同时可以查阅前期归档后的图像。

第四章设计显微成像的实验测试系统，验证系统可行性，并依据照明光线变量验证可以达到的系统精度，满足系统的测试要求指标。

第五章为论文的总结和展望，总结主要研究学习工作，提出了可能存在的问题和未来的改进思路方向。

### 1.3.2 本章小结

本章首先介绍了选题的来由和解决的问题，简要说明了显微镜的发展史，介绍了显微成像的光学结构和组成原理，同时简单说明了光学薄膜检测的问题和传统方式。在介绍基本情况之后，详细说明论文的架构安排/学习的内容和完成的主要工作。

## 第二章 显微成像系统整体方案设计

本显微成像检测系统由光学模块、图像处理模块、图像采集模块、图像归档显示模块等构成。在整体设计流程中, 关键的技术包括图像传感器的分析与选择、图像主处理器及预处理器的选择等。本章在光学基础上, 根据需求和情境重点分析了各个不同模块需要的硬件优势方面和选型, 并对此进行较为详细的讲述。可见的一个分类的图示如: (画图,, 数据流生成方面流程)

### 2.1 显微基本原理

#### 2.1.1 光学成像原理

显微镜的成像如图2.1所示, 小物体 AB 在物镜的焦距之外, 人眼在另一边的距离除观察, AB 形成放大倒立的实像 A'B', 而这一实像正好在目镜的焦距以内的附近处, 再一次经过目镜放大之后, 在明视距离 d 处形成正立虚像 A"B"。

显微镜的视觉放大率定义为:

式??中  $d$  是明视距离,  $l_0$  为物镜到目镜的距离,  $f_1$  为物镜的焦距,  $f_2$  为目镜的焦距。此处的角放大率为物镜的线放大率和目镜的角放大率的乘积。数值孔径的孔径角的正弦与透镜和物体之间介质的折射率的乘积, 而显微镜的分辨率与光的波长和物镜的数值孔径有关, 波长越短, 数值孔径越大, 分辨率越大。

#### 2.1.2 显微镜结构构造

普通光学显微镜的构造可分为两部分: 一为机械装置, 二为光学系统。机械装置由镜座、镜筒、物镜转换器、载物台、推动器、粗动螺旋和微动螺旋等部件组成。光学系统由目镜、物镜、聚光器、光源、滤光片、虹彩光圈等组成。

物镜是决定显微镜性能的最重要部件, 安装在物镜转换器上, 接近被观察的物体, 故叫做物镜或接物镜。通常目镜由上下两组透镜组成, 上面的透镜叫做接目透镜, 下面的透镜叫做会聚透镜或场镜。聚光器也叫集光器。位于标本下方的聚光器支架上。它主要由聚光镜和可变光阑组成。其中, 聚光镜可分为明视场聚光镜和暗视场聚光镜。反光

$$J = l_0 \cdot d / f_1 f_2$$

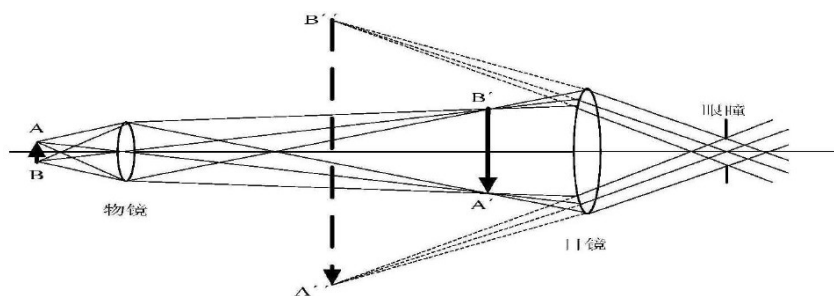


图 2.1: 显微镜成像光路图

镜是一个可以随意转动的双面镜，直径为 50mm，一面为平面，一面为凹面，其作用是将任何方向射来的光线经通光孔反射。平面镜上反射光线的能力较弱，适合在光线较强时使用，凹面镜反射光线的能力较强，适合在光线较弱时使用。

## 2.2 显微成像处理平台器件选型

### 2.2.1 显微镜物镜目镜选型（不开工）

（1）显微物镜的设计在本系统设计中，对测量精度要求较高，要求系统分辨本领达到 0.5m。本显微成像系统的分辨率由光学镜头的分辨率和 CMOS 摄像头的分辨率共同决定。系统中光学镜头部分对物体进行放大，先考虑光学系统的分辨率：上式中， $n$  为物空间介质折射率， $\lambda$  为照明光源的中心波长， $\Delta x$  是系统的分辨率，因此在照明波长确定时，只能增大镜头的数值孔径来提升分辨率。整个系统光学放大率由系统要求的分辨率大小和 CMOS 的像元尺寸决定，如下式，式中， $\Delta x_c$  是系统中 CMOS 芯片的最小可分辨尺寸， $\Delta x$  为系统的分辨率， $M$  为系统总的放大率。根据上述的设计分析，选用了消色差物镜中放大倍数中等的李斯特物镜。它的结构采用两个分离的双胶合透镜组，垂轴放大率达到 10 倍，数值孔径 (NA) 设计值为 0.61。李斯特型物镜的设计原则包括：（一）各个双胶合透镜组具有相同的偏角，后组比前组的偏角略大。（二）光阑位置处于第一个双胶合透镜处。采用两组双胶合透镜来抵消球差和慧差，物镜的总焦距就等于两组双胶合透镜之间的距离。前一个双胶合组的焦距两倍于物镜焦距。物镜的总焦距与第二个双胶合组焦距相同。（三）采取两个双胶合透镜分别单独校正系统的球差、慧差和色差，这种设计的优点是采用两个双胶合透镜组合，组合在一起为一个中倍显微物镜，移去一个双胶合组后可作为低倍显微物镜 [28]。按照物镜设计要求：物镜要求放大倍数为 10 倍，系统光源照明采用中心波长为 550nm 的光源，由式  $NA = n \sin u$  计算可得，透镜数值孔径大小为 0.61，通过以上几个参数的确定，选出符合参数要求的镜片组合。选定透镜组合后采用 ZEMAX 对设计进行仿真，对光线进行追迹、计算像差，对设计不满意的参



数, 再次重新选择玻璃材料, 重复上面的仿真计算 [29], 直到达到设计要求。

### 2.2.2 图像传感器的选型

#### CMOS 和 CCD 的比较

固体图像传感器已经广泛地应用于生活各处, 包括像电子照相机、DV、智能监控、手机、平板和摄像头等。固体图像传感器是利用半导体材料的内光电效应原理制成的光电转换器件, 依据工艺结构可以分为两大类: 一类是电荷耦合器件 (CCD) 图像传感器; 另一类是互补金属氧化物 (CMOS) 图像传感器。两种目前常见的图像传感器都是上世纪 60 年代开始研制, 在当时由于 CCD 图像传感器灵敏度更高、噪声较低而成为当时图像传感器的主流。而 CMOS 图像传感器由于工艺上的提升限制, 长时间未能摆脱光照灵敏度低、噪声无法下降和图像分辨率低等不足。于此同时, CCD 图像传感器由于敏感元件和信号处理电路无法集成在同一芯片上, 使得照相机体积大、功耗大。

进入新世纪, 时间发展, 随着互联网向移动互联网的转移, 智能手机的发展十分迅速, 由于 CMOS 图像传感器却有集成度高、体积小、功耗小和造价低等优点, 十分适合在手机上进行集成, 考虑到两种图像传感器的技术特点和缺点改进方式, 随集成电路设计技术和迭代工艺水平的提高, CMOS 图像传感器过去存在的缺点, 现在开始逐渐进行技术攻关, 常见的背照式结构给 CMOS 图像传感器在光线摄入上有长足的发展, 而且它其固有的特点更是 CCD 器件所无法比拟的, 因而它再次成为研究和工业需求的热点。

CCD 和 CMOS 两者在多个维度上有着较大特性上的差异:

##### 1. 系统集成

CMOS 图像传感器易于在 SoC 上集成, 便于在同一芯片中同时进行内部的信号降噪、数据整合和数据处理, 片上数据传输率高, 与周边电路的整合性高, 更可将与信号处理器整合在一起, 如图所示, 便于大幅度减小对应模块的主板面积占用。由于 CCD 和 CMOS 两者采用不同的制造工艺, 所以 CCD 难以装入 SoC。因此, 一般认为 CMOS 图像传感器可以广泛使用在各个嵌入式领域。

##### 2. 性能特性

在实际应用方面, 性能特性是进行芯片选型取舍的极为重要的因素。CMOS 图像传感器由于多个放大器的存在, 不同一组生产的放大器放大情况有细微差异, 导致最终的图像输出噪声较多。此外, 由于集成度高的缘故, 各元件、电路之间距离较近, 相互之间的光、电、磁干扰显得严重, 噪声对图像质量影响很大。在需要的电源数方面, 相对于 CCD 图像传感器需要三或四组电源, CMOS 图像传感器则只需一个即可。此外 CMOS 图像传感器利用 3.3V 电源即可驱动, 相比之下电源消耗量比 CCD 图像传感器低。因

此, 在功耗和电压方面,CMOS 图像传感器比 CCD 图像传感器在小型化嵌入式设备中有更大的优势。此外, CMOS 信号读取的方式较为简易, 电路设计相应也可简单。

3. 可靠性

两种图像传感器在商用及工业应用领域具有等价的可靠性。在极端恶劣的应用环境中, 由于 CMOS 图像传感器充分提高系统集成度、降低模块间耦合, 借助设计良好的封装和焊接技术, 其可靠性优于 CCD 图像传感器。

(列表添加图示和相关内容):

	CMOS 图像传感器	CCD 图像传感器
感光灵敏度	低	高
噪声电子数	200	50
电路集成度	高	低
工艺难度	小	大
成本	低	高
功耗	低	高

图像传感器的选择

2.2.3 图像处理方案研究

从上表中我们可以清楚的看到树莓派板的硬件系统的计算能力和丰富的外设扩展能力, 可将多种嵌入式系统外设接入其中, 树莓派板价格较低, 并且支持多种 Linux 内核的第三方操作系统, 开发简单, 非常适合嵌入到产品中做二次开发, 并且博通 BCM2386 系列处理器兼容性好, 可将其核心 SOC 升级成高版本系列, 而无需对软件做更多的更改设计, 树莓派将软件和操作系统放在 SD 卡上, 极大的便利了用户对操作系统系统及应用软件的升级换代。树莓派的实物图如图 4.2 所示。

2.2.4 数据传输接口选型

IMX135 的图像输出采用 MIPI CSI-2 接口, 下面对该接口协议进行介绍。MIPI 英文全称为 MobileIndustryProcessorInterface, 即移动产业处理接口, 该联盟联合各大科技公司共同制定了一套接口通信标准规范, 把移动设备系统的外设如摄像头、显示屏等接口进行标准化, 从而增加各个系统间的设计灵活性, 降低开发的难度和成本, 提升系统的抗干扰能力 [33][34]。其中关于摄像头的接口协议为 CSI-2, 即第二代 Camera SerialInterface, 它是一种串行的高速数字图像传输接口, CSI-2 协议接口标准规定了发送器和接收器两部分, 发送器和接收器之间包括了一对时钟差分接口和 2 ~ 4 对差分数据接口, 如下图是一个以 I2C 标准作为控制的 CSI-2 的接口示意图。

## 第三章 显微图像处理平台系统设计

本设计中采用了树莓派板 ARM 处理器，运用板中的 CSI-2 串行接口，将 IMX135 相机采集的显微图像传输至 BCM2836 处理器，在图像处理器 GPU 中进行数据的编解码，对图像进行降噪、图像增强等处理，并以 H.264 格式的视频格式存储在 SD 卡上，并通过 HDMI 接口在显示器上播放显示，采用基于误差修正的算法对图像进行缺损检测。树莓派板的硬件框图系统如图 4.1 所示。

### 3.1 树莓派平台简介

显微处理系统的主控核心采用开源的树莓派硬件系统，树莓派是一款基于开源的 Linux 操作系统的单板式计算机，其电路板尺寸只有一张银行卡大小，它起源于英国的树莓派基金会，项目的发起者厄普顿其本想利用廉价硬件和自由软件激发在校学生的计算机编程能力。第一版树莓派于 2012 年由英国剑桥大学正式向外界发布，现在已经发行至最新的第二代 B+ 型号

### 3.2 图像传感器接口驱动程序

#### 3.2.1 接口驱动简介

V4L2 是 Linux 操作系统下摄像头驱动开发的协议，在深入分析了 V4L2API 中的数据结构及 V4L2 驱动框架后，利用 V4L2 的框架进行了 CSI-2 摄像头的驱动设计。

#### 3.2.2 V4L2 驱动框架协议了解使用

V4L2 中包含一整套的数据结构和驱动回调函数 [39]，下面对其进行了介绍。（1）在 Linux 操作系统内核中，系统目录中的 linux/videodev2.h 函数封装库中包括了开发过程中常用的数据结构体。如下列出常用的结构体并加以说明。

### 3.3 显微图像预处理

#### 3.3.1 预处理图像算法研究分析

。。。均值，中值，高斯设计双线性插值法、边缘检测法和信号相关插值法三种格式图像转换算法，并分别对转换后的图像质量进行了评估，最终确定采用信号相关插值法；研究了显微图像拼接算法，设计了阈值分割与像素投影相结合的方法，实现了显微图像的无缝拼接

### 3.4 实时图像处理算法分析

融合算法阈值分割算法

### 3.5 上位机图像显示处理

## 第四章 显微成像系统的检测实验

### 4.1 薄膜表面缺陷检测测试

#### 4.1.1 实验仪器介绍和安装

巴拉巴拉拔凉拔凉  
安装

硬件环境搭建

软件系统设置 设计

使用方式解释说明 阈值分割

#### 4.1.2 缺陷检测结果分析

贝拉拉比如图所示

#### 4.1.3 本章小节



## 第五章 总结与展望

### 5.1 论文工作总结

对光学薄膜的存在缺陷。。。。。

### 5.2 未来发展展望

工工艺也有进一步提升的空间。（3）在对图像处理进行算法分析方面，文中的图像的融合算法和基于误差修正的分割方法虽然取得了预期效果，但是还存在进一步提升的空间，提升算法的智能化处理和算法效率。（4）在对显微图像的缺陷识别方面，对光学薄膜表面缺陷图像处理时缺陷提取的有效性还需要进一步研究，需要针对图像缺陷的机制进行深入研究，对不同的缺陷类型进行更好识别，以此提高该检测系统对光学薄膜缺陷图像的识别率。





## 致谢

转眼又到毕业季了，我的研究生学习生活也将结束，现在即将完成硕士论文的撰写，能把读研的两年学习和积累最终完成一篇硕士毕业论文，衷心的感谢实验室的各位师长和同学们的热情帮助！首先感谢我的导师邵晓鹏教授，邵老师治学严谨、工作勤勉、对学术精益求精，在我攻读硕士学位期间，无论在学习还是生活上均给予了我极大的帮助和关怀，尤其在我工作遇到困难的时候及时地提醒我，让我重新认识自己，更好的完成工作。感谢王琳老师，在上研期间参与的项目中，王老师亲自为我们指导，每当项目遇到难题时，王老师都会给予我精心指点和耐心教诲。感谢赵小明老师，这篇论文的选题、方案的确定、研究工作的开展以及论文后期修改，都是在赵老师的悉心指导下完成的。赵老师学识渊博、态度温和，经常百忙之中抽时间为我们解决问题，在许多硬件技术的问题都有赖于他的指导解答。感谢实验室的所有老师们，师兄师姐们，从进入实验室开始，就承蒙你们的照顾，之后相处的时间里，你们更是不遗余力地帮助我。感谢实验室同届的伙伴和师弟师妹们，在生活学习工作中各方面的互相照应，大家一起学习、一起做项目，和你们在一起真的很愉快！感谢父母的养育之恩，永远记得父亲的谆谆教导，虽然您再不能亲自教导我去做人，但我将会对您的感恩牢记于心，是我今后学习工作的不竭动力。母亲在我求学过程中给予我无限的督促和支持。感谢我的亲人、朋友等在生活上给予我的关心和支持，感谢你们所有的付出。最后，感恩那些帮助过我的所有人，在这里我满怀感恩之心，祝福大家一切幸福安康！虽为致谢环境，其实就是一个 Chapter，为啥这么费事？因为，致谢一章没有编号。直接使用 `\chapter*{}` 的话，页眉又不符合工作手册要求，而且要往目录中添加该章节，还需要添加两行代码；为了简单快捷的设计出符合要求，又方便用户使用，只能借 `\backmatter` 模式和本模板自定义的 `\comtinuematter` 模式配合环境来做了。



## 参考文献



## 附录 A 数据

这里是附录的数据部分，作为测试；来看个公式编号对不对，如式(??)所示。

### A.1 代码

代码 A.1: C++ code

---

```
1  /*
2   Program: Hello world;
3   Author: Stick Cui;
4   Time: 2015/12/04.
5  */
6  #include<stdio.h>
7
8  int main()
9  {
10     printf("Hello world!");
11     return 0;
12 }
```

---

Java code

---

```
1  /**
2   * Program: Hello world;<br>
3   * Time: 2015/12/04.
4   * @author Stick Cui
5   */
6  public class JavaTest {
7      /**
8       * The main methord.
9       * @param args The parameter when the methord is called.
```

```
10      */  
11      public static void main(String[] args) {  
12          System.out.println("Hello world!");  
13      }  
14  }
```

---