

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

没有放图上去，没有特意排版文字段落，仅看基本框架使用。没有引用等，后续更改，多数文字copy，简单充实下。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。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

Optical thin film and its products have been widely used in various fields. The surface roughness of optical thin film has a very important influence on the optical properties such as refractive index, surface scattering and so on. In the process of production and processing, the surface of fine scratches, stains, burrs and other will affect the performance of the products, therefore the process on the surface of the parts of real-time and accurate defect detection has important significance. The traditional manual visual inspection method has the disadvantages of large labor intensity, low accuracy, low efficiency, poor reliability, and so on. It can't adapt to the needs of the development of modern production to the miniaturization of intelligent. In view of the on-line detection of the surface defects of the optical thin film, the on-line detection system based on ARM processor is designed. The system has the characteristics of on-line, real-time and non-contact, which is very important for ensuring the quality and improving the production efficiency of the optical thin film products. CMOS image sensor IMX135 is used as digital microscope image acquisition part. Through the CSI-2 interface, the image is transferred to the ARM processor. The images are processed and stored in the ARM processor. The image is processed and stored, and the image is transferred to the LCD screen by HDMI interface. This thesis mainly completes the following work

Key Words: ARM more environments skills

Abstract

目录

第一章 引言	1
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（待改进）	2
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	3
1.2.3 本文主要任务和安排	3
第二章 显微成像系统硬件设计	5
2.1 显微成像光学原理	5
2.1.1 显微成像系统概述	5
2.1.2 显微成像原理	5
2.1.3 显微镜分辨率和放大率	5
2.2 显微成像处理平台材料选型	6
2.2.1 显微镜镜头物镜目镜选型	6
2.2.2 数字图像传感器功能选型	6
2.2.3 数据传输接口选型	8
2.2.4 图像处理显示平台功能选型	8
第三章 显微图像处理平台系统设计	9
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
第四章 显微成像系统的检测实验	11
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
第五章 总结与展望	13
5.1 论文工作总结	13
5.2 未来发展展望	13
致谢	15
参考文献	17
附录 A 数据	19
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。本文主要说明了新型技术的使用和传统方式的对比。传统人工方式效率低，出错率较高，借助现有的图像增强和识别技术，可以加快验证进程，进一步匹配流水线。此外，阐述了实时检测的产品识别的价值和意义。

为应对急剧增长的系统使用环境，需要考虑系统的可扩展性，此处主要借助模块的低耦合性完成，主体上使用单一agent，并架设服务器构建公网平台，使用注册机制进行系统管理。

关注光学成像部分，设计光学系统，实现图像的处理，归档，显示，性能报表等相关功能。主要利用平台上的图像相关的API，完成系统的图像处理部分，可包括去噪，模块识别等功能。此外，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。硬件选用上，考虑ARM系列市场份额持续上升，学习成本较低，适应于通用型应用，选用基于ARM的嵌入式处理器技术，其相比于FPGA和DSP，有通用性强，占用体积小，能耗低，性价比高，平台兼容性好等多方面特性。CPU为RISC架构，单一指令周期，长流水线，TDP可以做到较低，于是此处通用选型选用ARM作为主控。在成像方面的传感器上，选用手机上常见的摄像头模块，易于获得，接口选用高速串行的CSI接口，频率高，单位数据传输量大，在后续处理中完成图像的预处理，辨识问题图片的编号，全流程检测链的管理，做到单位流水效率提高。

图像系统采集的硬件设计和选型。在硬件设计上，需要考虑成本分配，易用性，可扩展性，兼容性，平台性能，产品参数等多方面因素。此次主要需要借助GPU的图像处理，因此不考虑DSP和FPGA模拟处理和外接芯片的方式，在版型上，为了库移植的方便以及资料的充分情况，决定选用raspberrypi老版本。

1.1.2 解决问题（待改进）

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 μm x1 μm 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。该显微成像系统是传统嵌入式系统向智能化、互联网化的尝试。旨在解决传统供应链上效率低，人力成本占用太高的问题。借助嵌入式与云计算，进一步提高产品合格率检测流水，提高每日检测样品数和准确率。并在计算设备中进行资料的归档和备份处理。在设计中，关注系统的可扩展性，部署迁移的高效性。探讨互联网在传统的行业的解决方案，使用技术手段去除过度冗余和低效问题，提高数据的利用率，充分利用机器的效用。远程控制和检测的方式提高员工的流动性，完成更适合人力解决的部分。在图像处理方面，考虑系统的可扩展性和伸缩性的前提，结合PaaS下的图像处理API，完成产品的进一步检测。监控平台可以在互联网上进行访问，亦可直接接入显示器进行产品检验。

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，当然，这也是光学显

微镜能够突破的分辨率极限，即为

近来,, , blabla

在科学研究领域，blabla。

1.2.2 光学薄膜检测的发展现状

起源

商业应用

检测

完善

重要性

1.2.3 本文主要任务和安排

主要任务和安排

具体章节结构

第二章 显微成像系统硬件设计

2.1 显微成像光学原理

2.1.1 显微成像系统概述

显微镜成像可以看做是一个两级放大系统，从结构上看是两个光学系统的组合，其中，对观察物体直接进行尺寸放大的一组透镜成为显微物镜，靠近眼睛、扩大视角的放大镜是显微目镜。一般的显微物镜和显微目镜的结构都比较复杂，都是由一系列的透镜组构成。目视显微镜的像面是观察者的眼睛，而数字显微镜的像面是图像传感器，数字显微镜发展到现在已经有多种多样的形式。但其中最重要的几点在设计中必须注意到，例如设计中需要更多的考虑视场匹配的问题，即设计的显微光学系统的成像面与图像传感器的大小匹配、被测物的光源照明光源特性和系统的照明系统相匹配[19]。数字显微成像系统必须考虑光学镜头部分与 CMOS 传感器的直接的转接与衔接。

2.1.2 显微成像原理

在图 2.1 中，和分别是显微物镜和目镜，AC 为物镜前一定距离处的物体，人眼在目镜后进行观察，物镜像方焦点与目镜物方焦点之间的距离，即物镜与目镜组合的光学间隔称为光学筒长[20]。物镜前方的物体 AC，它的位置处于物镜一倍焦距和两倍物镜焦距之间，经过物镜后形成为倒立放大的实像，使得处于目镜的焦平面上，目标经过显微目镜放大为虚像之后，以供给眼睛来观察，显微目镜的物方焦点和之间的距离决定着虚像的位置，它既可以出现在无限远处，也可以成像在观察者的明视距离处。

2.1.3 显微镜分辨率和放大率

显微镜存在光阑，由于光的衍射效应，一个物点在像面上形成的应该是圆孔的衍射斑。根据瑞利判据，这时光学系统只能够分辨物面上一定大小的物体，即显微镜系统存在最小的分辨尺寸。显微镜分辨率通常采用它所能分辨的视场下两物点间最小距离来表述。由光的衍射理论知，其分辨率表达式为

2.2 显微成像处理平台材料选型

2.2.1 显微镜头物镜目镜选型

(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 0.5 μm 。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, λ 为照明光源的中心波长, Δx 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, Δx_{CMOS} 是系统中 CMOS 芯片的最小可分辨尺寸, Δx_{sys} 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组合透镜组, 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 $\text{NA} = n \sin u$ 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 数字图像传感器功能选型

作为嵌入式显微成像系统的图像采集的成像核心器件, 图像传感器的选择显得至关重要。目前在数字图像传感领域最重要的两种器件是 CCD 和 CMOS 图像传感器, 这两种图像传感器分别采用硅材料和互补金属氧化物材料制作而成, 在成像质量及像素数据的读出原理方面均存在着不同。作为数字图像的采集就必须对这两种传感器加以比较, 选择最合适的传感器, 下面简单介绍下这两种图像传感器。(一) CCD 与 CMOS 传感器的比较 (1) CCD 图像传感器 CCD 的中文名字是电荷耦合器件 (ChargeCoupledDevice), 它经过近 40 年历史的发展, 从最初的几十个像素的

线型 CCD 发展到现在的几千万像素的大面阵 CCD，不论在半导体制作工艺还是在成像质量方面，都取得了巨大飞跃，并在科学研究和日常电子消费品中得到了广泛应用。目前商业化应用的 CCD 图像传感器涵盖了红外、紫外和可见光等光谱范围内多种 CCD，它的像元阵列与结构也在着线型和面阵型两大类，面阵 CCD 按读出方式可分为全帧转移、帧内转移、累进扫描、隔列转移等，CCD 芯片中的光敏单元按阵列式排布，各个对光敏感单元都是一个像素单元，外界光线照射在像素阵列上转换成模拟电信号，再经过模数转换器转为数字图像信号，并在一定的时序的驱动下按一定的图像格式输出到外部处理器上。CCD 工作原理是以电荷作为图像信号，实现对电荷的有效存储和电荷的序列化转移。因此 CCD 的工作过程大致分为：光电转换、电荷存储、电荷转移和电荷输出。首先，光电转换是根据照射到摄影面上的光强弱产生电荷，也就是硅二极管中的电子从光子中获得能量后改变状态，只要施加少许电场电子就可以呈现自由运动的状态的现象。光生电荷存储原理为当外界光照射到光敏面上时，光子穿过上面的电极层和氧化材料层，投射在到硅基底材料上，硅基底在吸收光子的同时就会激发出电子空穴对，被硅材料吸收的光子存储到光生电荷反型区，证实了 CCD 对光生电荷的存储功能。电荷转移是 CCD 的本征特点，本质是移动存储电荷的电势阱，在各电极上施加不同电压形成不同电势阱，沿电势阱转移信号电荷的部分也称为转移沟道。电荷检测是指在输出过程中对转移到 CCD 输出单元的光生电荷进行电荷的线性转换。

(2) CMOS 图像传感器 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 的中文名字是互补金属氧化物半导体，CMOS 图像传感器应当看做是一个图像采集传输系统。典型的商业化的 CMOS 图像传感器结构包含：一个光敏像素阵列核心单元，它把多行电平信号传输到一个帧的输出；时序逻辑操作寄存器、时钟控制、增益调节、积分时间、图像格式寄存器及片内的可编程功能寄存器；同时存在着模数转换器。CMOS 传感器包括像素单元阵列、逻辑寄存器、锁相环、时钟脉冲发生器和模数转换电路在内的全部模块。与传统的 CCD 对比，CMOS 传感器的单一图像系统集成特点降低了功耗，节省了芯片空间，简化了外围的驱动配置电路，降低了开发的难度以及总体价格。CMOS 图像传感器在光生电荷读出方式上与 CCD 采用的原理存在显著不同，CMOS 在每个像素电路中内置电荷放大电路，采用这种电荷转换电路节约了信号传输的带宽资源。随着其像素单元制造工艺的提高，例如采用电子开关提升开断速度、选用互阻放大器、增加双采样保持电路降低固定图形噪声。使得 CMOS 图像传感器相对 CCD 的性价比越来越高

2.2.3 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。

2.2.4 图像处理显示平台功能选型

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。

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。。。

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，无论在学习中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。感谢实验室的所有的老师们，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

- [1] Author1, Author2, Author3, et al. Article title. *Journal Name*, 2015, 6, 23(9): 1–13.
- [2] Author1, Author2, Author3, et al. *Book Name*. Publisher Address: Publisher Name, 2015, 5.
- [3] Author1, Author2, Author3, et al. *Book Name*. 2 edition. Publisher Address: Publisher Name, 2015, 5: 2–13.
- [4] Author1, Author2, Author3, et al. Paper title. In Editor Name, editor, *Book Title*, pages 24–57. Publisher Name, Address, 2 edition, 2015.
- [5] 作者1, 作者2, 作者3, 等. 书名[M]. 第二版. 出版地: 出版社, 2015, 5.
- [6] 作者1, 作者2, 作者3, 等. 书名[M]. 出版地: 出版社, 2015, 5.
- [7] 作者1, 作者2, 作者3, 等. 书名[M]. 第二版. 出版地: 出版社, 2015, 5: 2–13.
- [8] 作者1, 作者2, 作者3, 等. 书名[M]. 出版地: 出版社, 2015: 2–13.
- [9] 作者1, 作者2, 作者3, 等. 报告名[R]. 机构地址: 机构, 2015: 3–13.
- [10] 作者1, 作者2, 作者3, 等. 文献名[J]. 期刊名, 2015, 6, 23(9): 1–13.
- [11] 作者1, 作者2, 作者3, 等. 篇名[A]. 编辑/主编. 论文集名[C]. 第二版. 出版地: 出版社, 2015: 24–57.
- [12] 作者1, 作者2, 作者3, 等. 论文名[D]. 保存者地址: 保存者 (一般是学校), 2015: 2–13.
- [13] 作者1, 作者2, 作者3, 等. 论文名[D]. 保存者地址: 保存者 (一般是学校), 2015: 2–13.
- [14] 新浪微博. I-am-13. <http://weibo.com/StickCui>. 2015/5/7.
- [15] (原作者) 作者1, 作者2, 作者3, 等. 译著名[M]. (译者) 作者1, 作者2, 作者3, 等, 译. 出版地: 出版社, 2015, 5: 3–13.

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 }
```
