

# 中国大学生计算机设计大赛



## 物联网应用类作品文档

作品编号： 2022047947

作品名称： 基于计算机视觉的齿轮尺寸测量系统

作 者： 崔贺、张琳、柴志超

版本编号： 1.0

填写日期： 2022 年 4 月 20 日

# 目录

第一章 需求分析 .....	1
1.1 开发背景 .....	1
1.2 市场分析 .....	1
1.3 作品简介 .....	2
第二章 技术方案 .....	6
2.1 系统架构 .....	6
2.2 总体设计 .....	6
2.3 APP 控制平台 .....	8
2.4 基于计算机视觉的齿轮尺寸测量算法 .....	14
2.5 高度可调节载物台 .....	22
第三章 测试报告 .....	26
3.1 测试方法 .....	26
3.2 测试类型 .....	26
3.3 测试环境 .....	28
3.4 测试结果 .....	28
第四章 应用报告 .....	30
4.1 应用情况 .....	30
4.2 市场前景 .....	30
4.3 社会经济影响 .....	31

# 第一章 需求分析

## 1.1 开发背景

“中国制造 2025”战略提出要大力推进“两化”融合，使生产制造过程高度自动化与智能化。近年来，随着人工智能相关技术的不断发展，计算机视觉技术在制造业扮演着越来越重要的角色，通过计算机自主学习的能力让制造过程更加精确化和智能化。

技术的进步与科技的发展推动着工业的进步与发展，工业由 3.0 阶段向工业 4.0 阶段迈进。在第四代工业革命中，物联网服务的出现使得为整个制造过程创造网络化的资源和服务成为可能，从而产生了智能工厂和未来工厂等现代化制造产业，世界也逐步全面进入第四次工业化进程。

目前的零件尺寸测量，主要采用人工检测，即通过直尺、游标卡尺等传统测量工具进行测量，常用的测量工具难以测量齿轮齿距等参数以及多个孔的中心孔距等尺寸。对于单个小批量加工来说，专业测量仪器价格昂贵。对于精度较高的三坐标测量仪，其采用接触式测量，易容易划伤工件，且整体效率较低。近几年随着智能制造技术的飞速发展，计算机视觉技术作为其核心技术之一，已经成为当前非常热门的技术。计算机视觉是用相机和图像处理代替或补充人工检测和测量的技术，该技术具有灵活性高、适应性强、精度高、非接触等优点，适用于各种不同的行业，使生产自动化，提高了生产速度、产量和产品质量。

齿轮是机械设备中最常用的重要传动部件之一，齿轮的精度直接影响机器的工作性能和使用寿命。齿轮的精度不仅与齿轮设计加工有关，还与尺寸的测量有关。因此，本团队设计了基于计算机视觉的齿轮高精度测量系统，提高了测量精度。

## 1.2 市场分析

目前对于平面类机械零件而言，大型企业拥有较为先进的三坐标测量仪，测量成本很高，故对于零件无法实现全面检测，应检尽检，且接触式测量易造成工件表面磨损，而中小型企业受制于资金等方面的制约，大多采用人工检测，人工检测过程就有人力资源成本及检测效率的制约。

不仅对于机械加工厂商，机械零件在教育领域也应用广泛，目前大学生积极

参加各项竞赛活动，其中机械零件多场景的应用为本项目创造市场与机会，以大学生工程训练大赛为例，其中需要大量机械零件，其大多为非标准零件，需要学生设计制造并生产，由于批量较少，且高精度测量仪价格昂贵，学校检测手法受到限制，故校内针对这种情况大多采用实验法，即制造一批零件选取最优零件，会造成人力资源及生产资源的浪费。

本装置应用主体面向大中小型机械制造厂，学校及其他应用制造齿轮场合，在生产线末端或应用前端添加本装置，可以实现零件应检尽检，保障了零件制造厂出厂产品的合格率，同时降低企业零件检测成本，提高检测效率。

## 1.3 作品简介

### 1.3.1 项目概述

机械框架主体支撑部分采用欧标 2020 铝管，支撑部分选用 3mm 扁铁支承，满足材料的强度刚度条件。

控制部分采用树莓派 4B 加 TB6600 驱动器控制电机转动，应用 42 步进电机，机构受力满足丝杠载荷条件，树莓派控制摄像头拍摄照片，在 LED 灯板载物台上拍摄零件照片，并上传至云数据平台。

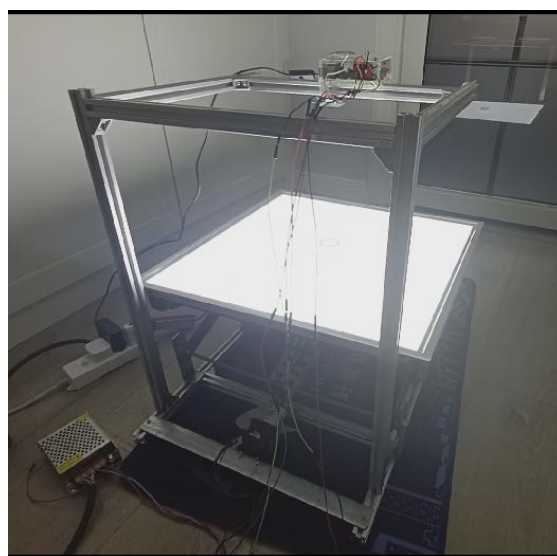


图 1-1 基于计算机视觉的齿轮尺寸测量系统实物图

APP 客户端主要功能有用户登录、连接机械装置、控制载物台上下移动、拍照并显示识别齿轮尺寸、生成二维码、查看已检测齿轮的相关信息、扫描二维码获取齿轮信息。部分页面设计图如下图 1-2 所示。



图 a 设备链接



图 b 载物台下移页面

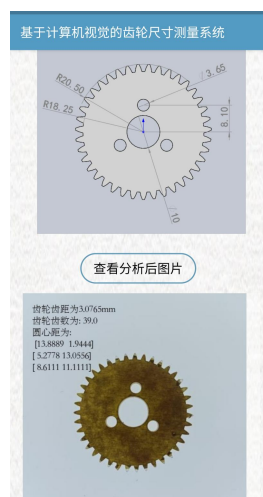


图 c 带有尺寸的零件图片



图 d 零件实际尺寸



图 e 下载尺寸二维码



图 f 查看历史记录

图 1-2 页面设计图

### 1.3.2 主要功能

(1) **智能终端 APP 形式实现齿轮遥控测量:** 系统功能采用 APP 实现, 安装后可在手机端直接控制齿轮尺寸的测量, 进入 APP 端登陆页面后, 连接树莓派, 即可实现上移或下移载物台, 同时拍照按钮内可实时查看照片, 选择适宜高度并拍摄, 经云端分析处理后可将测量值返回至 APP 平台, 提供二维码生成及下载功能, 亦可根据事件检索, 并查看历史测量记录。

(2) **基于计算机视觉技术的齿轮尺寸检测算法:** 图像预处理阶段, 首先调整图像尺寸, 随后进行灰度化处理, 再进行滤波处理, 利用进行阈值化处理。边缘检测阶段, 选用对灰度变化更明显, 标识更准确的 canny 算子实现。尺寸检测阶段, 首先利用提取轮廓, 然后分别提取齿顶圆齿根圆, 确定齿数, 进行尺寸检

测。

**(3) 高度可调节载物支架：**基于计算机视觉技术的齿轮检测系统载物台采用高度可调节载物支架设计，通过滚珠丝杠带动滑块运动，将丝杠的转动转化成滑块的平行移动，进而将运动传递转化为载物台的铅锤方向的移动，实现载物支架高度可调节。同时载物平台采用 led 发光平板，减少零件阴影，增加测量精确度。APP 客户端控制树莓派的 GPIO（通用 IO 端口），基于 Socket 通信给树莓派发送信号，从而控制步进电机的启动与停止。通过高度可调节载物支架，可以实现同类零件不同尺寸的测量，实现尺度自适应，多尺度测量同类零件。

**(4) 基于二维码技术的齿轮生产过程回溯功能：**采用开源的 Zxing 二维码库进行二维码编码，通过调用 Zxing 库中的方法将字符串文本转换为 BitMatrix 格式（以 bit 位存储二维码数据），再通过相关编码原理转换成以 Bitmap 形式表示的图片，最后显示在手机屏幕上。若用户需要保存，则对生成的二维码图像进行转换压缩写入，最终在手机中存入按照规则命名的 jpg 格式的二维码图片。用户通过扫描软件识别后产生的二维码，即可实时追踪零件生产过程，回溯零件制造过程，其中包括机床参数、刀具参数、加工参数、工件信息（材料，毛坯尺寸），通过零件制造过程回溯，并在“用户帮助”中查看齿轮尺寸加工产生误差的原因，进行加工过程改良。

**(5) 云平台上齿轮信息管理：**构建云平台服务器端，将齿轮测量的尺寸信息发送到云服务器上，借助 JDBC（Java DataBase Connectivity）实现云服务器与云端数据库进行绑定，将齿轮信息存储在云数据库中，方便用户调取已测齿轮信息。

### 1.3.3 性能指标

基于计算机视觉的机械部件的测量系统、三坐标测量仪和人工测量的性能对比，如表 1 所示。

表 1 不同测量方式的性能对比

性能 指标 \ 测量 手段	三坐标测量仪	常用测量工具	基于计算机视觉 的机械部件的测 量系统
适用温度	$20 \pm 2^{\circ}\text{C}$	自然温度	自然温度
检测效率	较低	很低	高
设备成本	很高（十万余元）	低	较低（两千元）
精确度	$10^{-4}\text{ mm}$	$10^{-1}\text{ mm}$	$10^{-4}\text{ mm}$

#### 1.3.4 创新点

（1）通过计算机视觉测量齿轮物品尺寸:减少了传统尺规作图的局限性，同时通过将齿轮图形去噪转化成二值图形便于测量，测量精度较于传统的尺规测量精度更高，速度更快。

（2）多技术融合：齿轮尺寸检测系统结合最新的计算机视觉、测控技术、智能终端和互联网+等前沿技术，建立尺寸测量系统，对齿轮尺寸进行精确检测，具有识别速度快、准确率高、成本低、可追溯性强等优点，克服了传统测量手段的弊端。

（3）高度可调节的载物平台：可实现视觉自适应，通过丝杠传动，设计高度可调节的载物平台，可以实现对不同大小零件的精准测量，及时调焦并精确测量，零件检测范围广，可实现直径 10mm 到 30cm 范围的零件的检测，检测范围广，可应用性高。

## 第二章 技术方案

### 2.1 系统架构

齿轮尺寸测量系统通过终端感知、网络数据传输、后台数据存储和前端数据应用等功能为用户提供服务，使测量齿轮的尺寸更加智能化、系统化。根据系统不同的功能模块可分为感知层、网络层、传输层、应用层。

TCP/IP 通信协议主要由在服务端与客户端两端定义的 Socket 所实现。Socket 套接字可对 TCP/IP 进行封装，只露出接口供用户使用，由下图 2-1 可知 Socket 介于传输层与应用层之间，主要负责实现通信进程间的交互功能。位于传输层与应用层之间的抽象层 Socket 的功能是对接口的调用，使研发人员可更好地调用 TCP/IP 协议栈，而研发人员可在 Socket 提供的网络接口的基础上实现应用程序的开发，极大地缩短了开发流程。

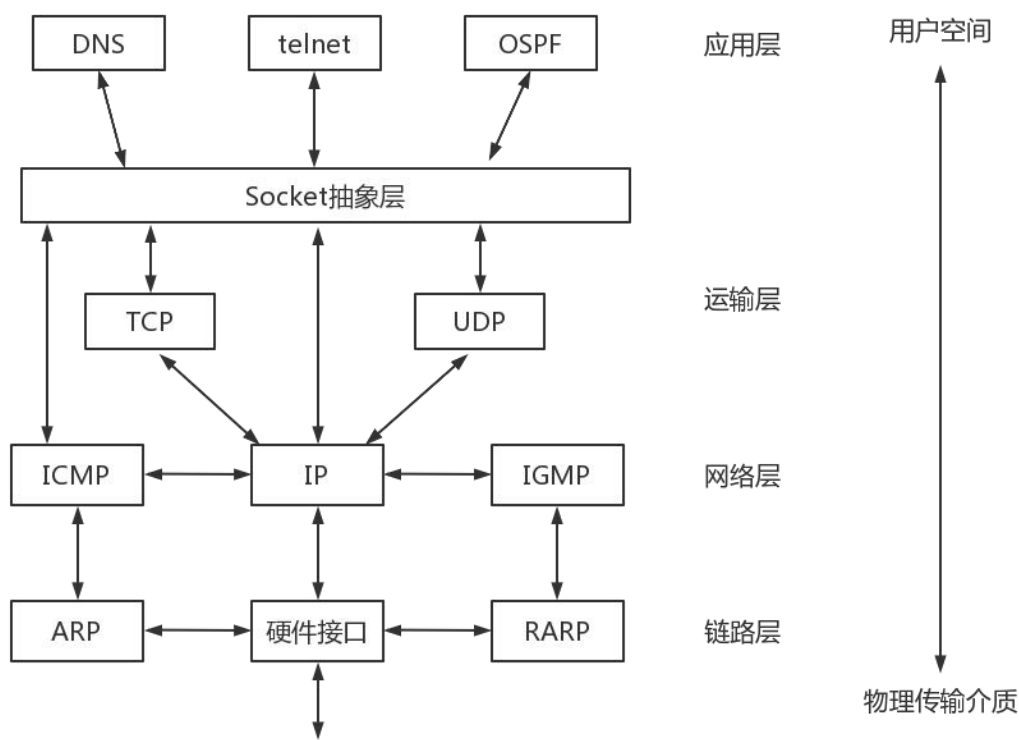


图 2-1 TCP/IP 网络通信协议模型

### 2.2 总体设计



本系统主要由 APP 控制平台、基于计算机视觉的测量算法和高度可调节载物架组成。

用户登录 APP 控制平台后，可远程连接树莓派，通过调节步进电机控制支架上的载物台上下移动到合适位置，调整摄像头高度对载物台上齿轮进行拍照，调用计算机视觉算法测量齿轮尺寸，显示测量报表，生成齿轮相关的二维码存储在云端，设计信息管理功能实现齿轮信息的增删改查管理，并可进行齿轮生产信息的回溯。基于计算机视觉的齿轮尺寸测量系统整体设计如图 2-2 所示。

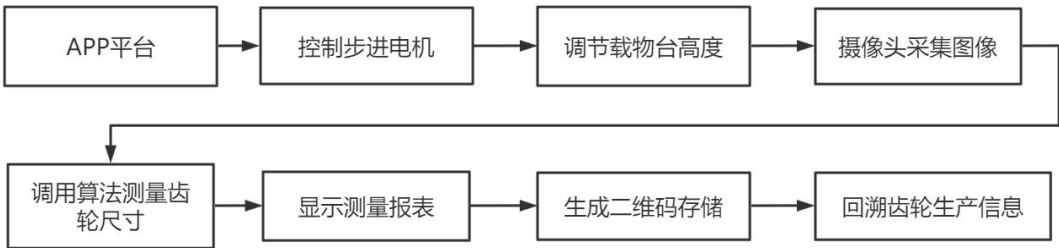


图 2-2 系统整体设计图

树莓派中的控制模块主要由数据处理模块、图像处理模块以及 IO 控制模块组成，其整体设计思路如图 2-3 所示。

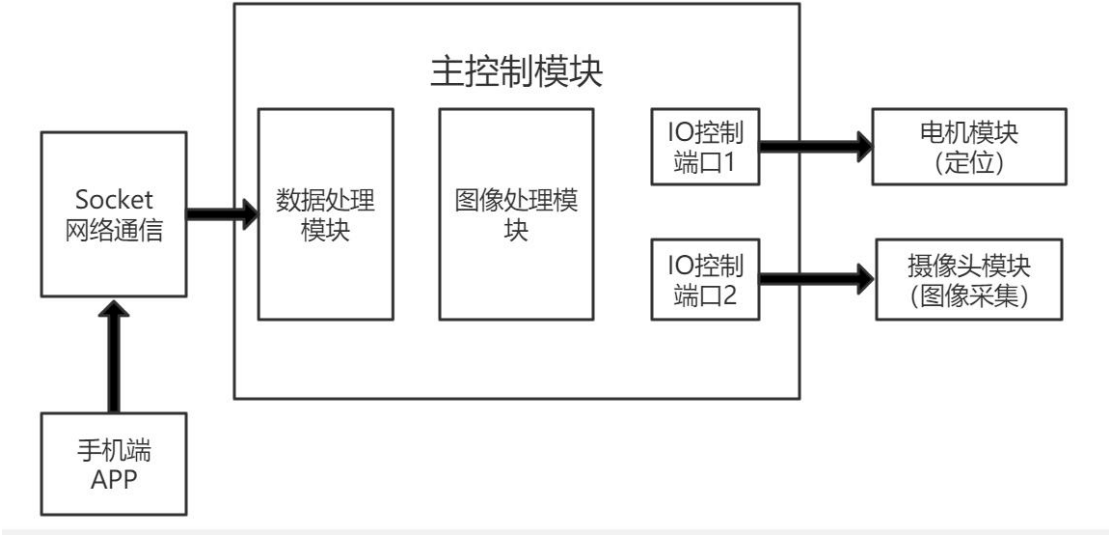


图 2-3 树莓派控制方案图

APP 端将采用基于 Socket 通信技术作为核心，进行与树莓派的数据交互。

本系统使用树莓派 4B，自带 WIFI 蓝牙模块，有利于客户端（APP 端）与服务端（树莓派端）建立连接，本系统识别通讯方案如图 2-4 所示：

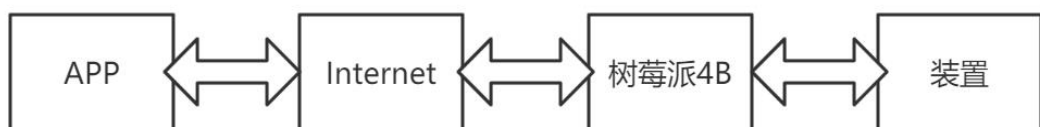


图 2-4 识别通讯方案图

系统所使用的测量平台主要由树莓派、CCD 相机、滚珠丝杠、电机驱动器组成。如下图 2-5 所示：

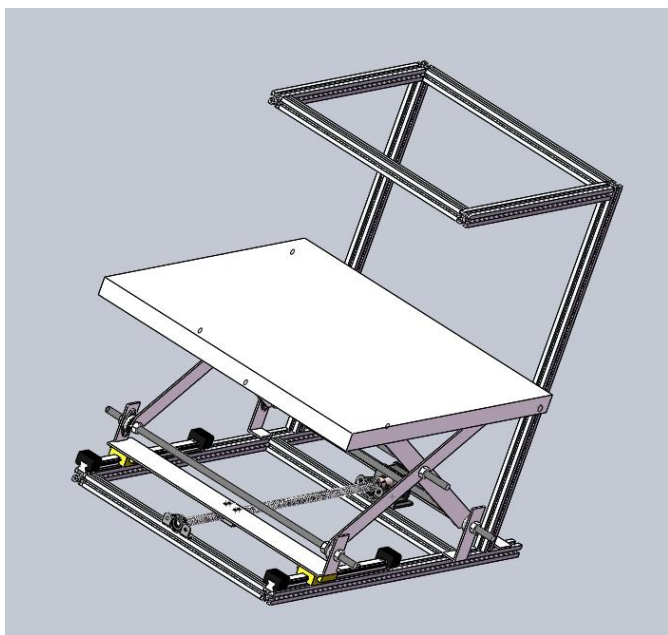


图 2-5 系统平台外观设计图

## 2.3 APP 控制平台

### 2.3.1 APP 主要功能

APP 的用户功能模块主要包括登录模块、设备连接与调节模块、尺寸测量与显示模块、齿轮信息管理模块。其中登录模块包括用户登录以及注册功能；设备连接与调节模块包括树莓派与 APP 连接、载物台的上下移动等功能；尺寸测量与显示模块包括拍照、重拍、测量尺寸等功能；齿轮信息管理模块包括生成二维码、下载二维码、已测齿轮信息、误差分析等功能。

APP 应用模块的功能，如下图 2-6 所示。

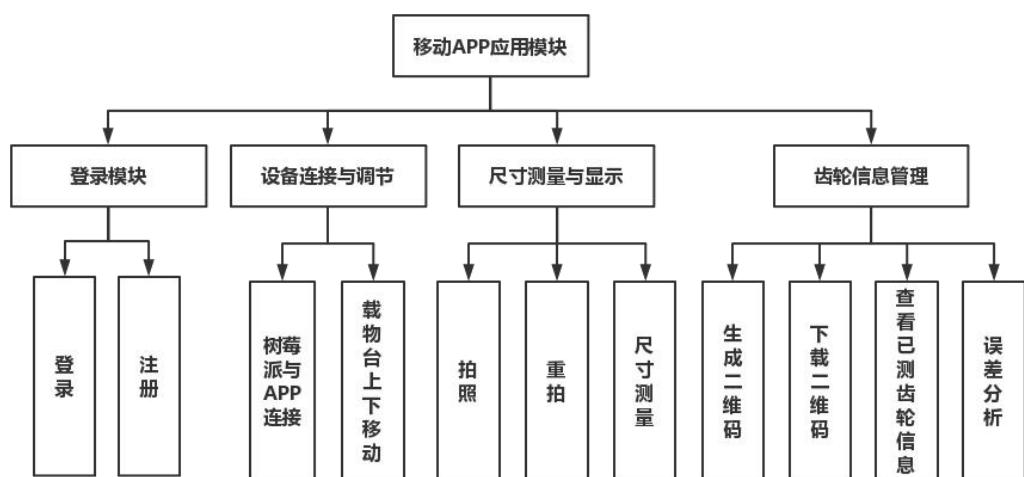


图 2-6 移动 APP 应用模块

### 2.3.2 基于 Socket 的 Android 与树莓派通信

本项目核心技术为基于 Socket 通信技术，原因有两方面。其一，本项目使用树莓派 4B，自带 WIFI 蓝牙模块，Socket 技术使用便利。其二，本项目面向 Wi-Fi 网关，Socket 技术正是运输层与应用层的接口，便于应用。

Socket 是应用层与 TCP/IP 协议族通信的中间软件抽象层，是一组接口，如下图 2-7 所示。在设计模式中，Socket 其实是一个门面模式，把复杂的 TCP/IP 协议族隐藏在 Socket 接口后面，对用户来说，一组简单的接口就是全部，让 Socket 去组织数据，以符合指定的协议。

Socket 通信主要分为服务端和客户端，两台计算机之间的通信相当于两个套接字之间的通信，在服务器端用 `write()` 向套接字写入数据，客户端就能收到，然后再使用 `read()` 从套接字中读取出来，就完成了一次通信。通信模型如下图 2-7 所示。

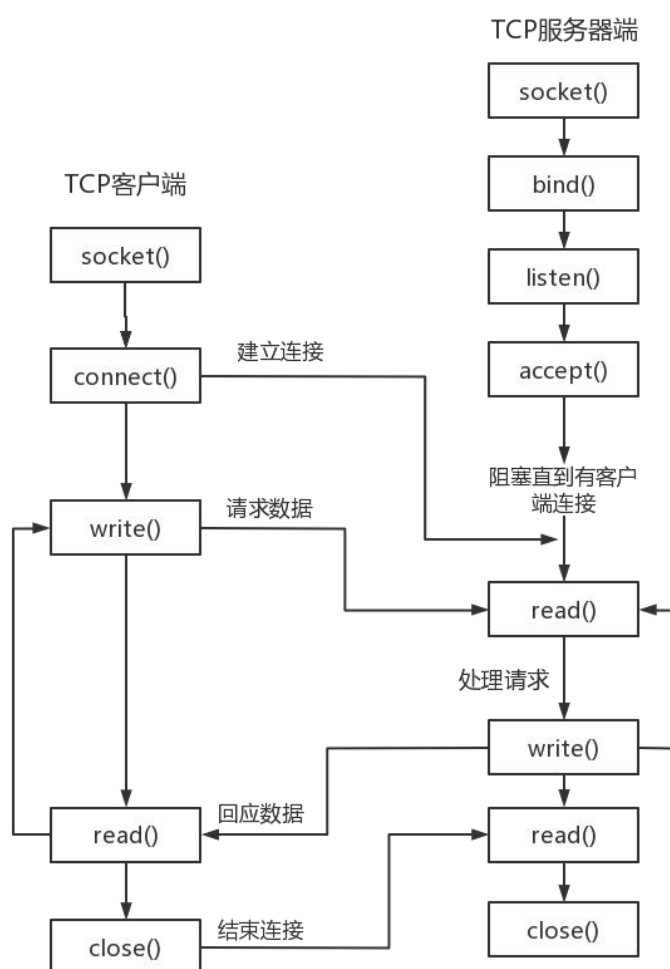


图 2-7 Socket 通信模型

首先需要对树莓派进行配置，使其成为 AP 热点，这里使用树莓派 4B 自带 WIFI 蓝牙模块，完成配置。客户端（APP 端）与服务端（树莓派端）通信，首先须知运行服务器端的主机 IP 地址（即树莓派 IP 地址），与服务端建立链接。由网络基础设施利用目标地址，完成客户端与服务端的通信。

### 2.3.3 装置载物台的上下移动控制

Android 端控制树莓派的 GPIO（通用 IO 端口），原理仍是基于 Socket 通信，给树莓派发送信号，进一步控制步进电机的启动与停止。即 Android 客户端给树莓派发送指令控制树莓派 GPIO 口的电平输出。树莓派通过把信号传递到 TB6600，再由 TB6600 转化成脉冲信号给电机。树莓派控制如下图 2-8 所示。

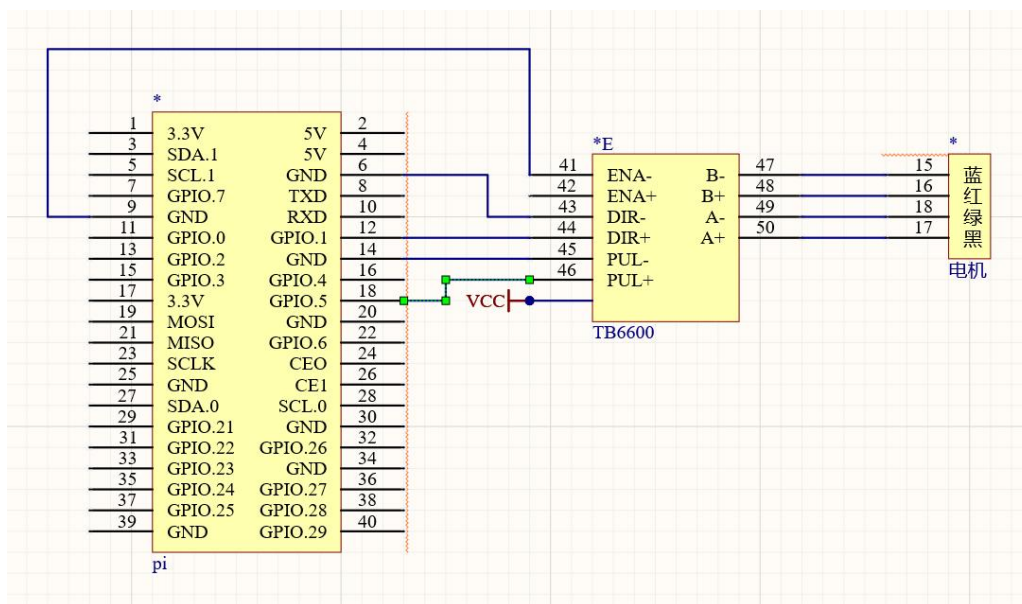


图 2-8 树莓派接口示意图

步进电机是将电脉冲信号转变为角位移或线位移的开环控制组件。在非超载的情况下，电机的转速、停止的位置只取决于脉冲信号的频率和脉冲数，而不受负载变化的影响，即给电机加一个脉冲信号，电机则转过一个步距角。这一线性关系的存在，加上步进电机只有周期性的误差而无累积误差等特点。

通过树莓派 4b 控制器 TB6600 为步进电机提供电脉冲信号，当电流流过定子绕组，定子绕组产生一矢量磁场。该磁场会带动转子旋转一定角度，使得转子的一对磁场方向与定子的磁场方向一致。

当定子的矢量磁场旋转一个角度，转子也随着该磁场先转一个角度，每输入一个电脉冲，电动机就转动一个角度前进一步。它输出的角位移与输入的脉冲数成正比，转速与脉冲频率成正比。

#### 2.3.4 APP 功能界面实现

(1) **登录模块：**完成注册的用户可直接输入账号和密码登录，未完成注册的用户根据要求进行注册。登录页面与欢迎页面如下图 2-9、2-10 所示。



图 2-9：欢迎页面



图 2-10： 登陆页面

(2) **设备连接与调节模块：**用户需先进行 APP 与树莓派的连接，如果拍摄的齿轮图片不符合预期（过大或过小），可在调节载物台与摄像头间的距离后再次拍摄，进行尺寸测量。设备连接与下移栽物台页面如下图 2-11、2-12 所示。



图 2-11：设备链接



图 2-12：载物台下移页面

**(3) 尺寸测量与显示模块：**测量完尺寸后，页面上会显示拍摄图片、齿轮测量尺寸、设计尺寸和误差，方便用户对尺寸分析比较。如下图 2-13 与 2-14 所示。



图 2-13：带有尺寸的零件图片



图 2-14：零件实际尺寸

**(4) 齿轮信息管理模块：**用户可下载含有齿轮尺寸信息的二维码，如下图 2-15 所示，扫描生成的二维码进行齿轮制造误差回溯，从而判断加工过程中可能出现问题的情况；APP 能够将以往的检测数据存储在数据库，用户可以随时调取以往检测数据，以便更精准制作模型，如下图 2-16 所示。



图 2-15：下载尺寸二维码



图 2-16：查看历史记录

## 2.4 基于计算机视觉的齿轮尺寸测量算法

基于计算机视觉的齿轮尺寸测量技术的核心是目标特征的提取与轮廓部分的识别。由于齿轮形状不规则，尺寸大小不一，根据使用时间保存状况的不同，表面变化大，因此要选择合适的算法进行适当调整。在尺寸测量中，轮廓提取十分重要。

算法流程如下图 2-17 所示：



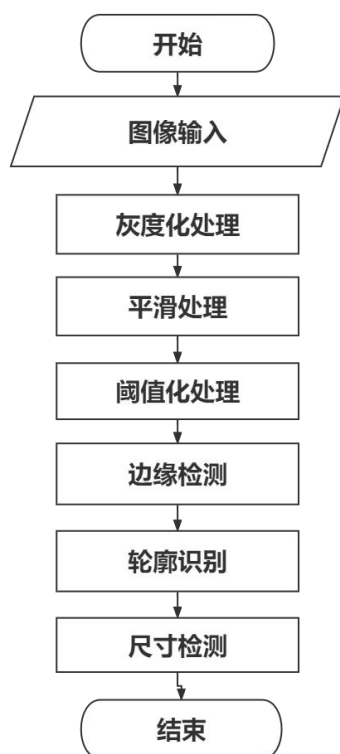


图 2-17 算法流程图

### 2.4.1 图像预处理

受到噪声和光线不同程度的影响，摄像机拍摄的图像质量会变差。图像预处理的目的是改善图像质量，消除图像中的无用信息，增强有用信息，主要包括图像平滑、锐化和边缘提取等。本节在开发环境中，结合相关函数，对图像处理效果进行正交试验对比，分析各试验因素对图像质量的影响，最终确定图像处理方法的最优组合。

#### (1) 图像灰度处理

实例齿轮图像像素为 960\*960 的 24 位真彩色数字图像，需要的数据量 2764800 字节，在模板匹配方法进行图像的识别时，所占用的处理时间会很大，后期处理耗费时间长，处理麻烦。为了减小图像原始数据量，减少图像处理时的计算量，将图像像素尺寸改为 480\*480，将三通道彩色图片变为单通道灰度图片，如图 2-18 所示。



图 a(原图)

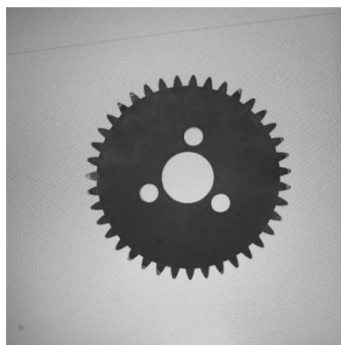


图 b（灰度处理图）

图 2-18 图像灰度处理图

## (2) 图像平滑处理

图像在采集、传输、显示的过程中会受到不同类型噪声的影响。按照数学分布规律的不同，噪声可以分为高斯噪声、脉冲噪声、泊松噪声、均匀分布噪声等。大量研究实验表明，脉冲噪声和高斯噪声对摄像机拍摄的图像影响很大，直接影响着图像分割和边缘检测的效果。消除图像噪声的操作，可以在空间域内进行，也可以在变换域内进行。

线性均值滤波可以有效的去除高斯噪声，但在消噪同时会使图像边缘细节模糊；非线性中值滤波能够较好的去除两种噪声，且具有较高的运算速度。频域内的图像平滑是建立在傅里叶变换基础上的，噪声一般都以高频分量存在，因此在一定范围内对高频分量衰减便可以满足去噪的要求，故选择低通滤波器。

由于本系统噪声类型并不明确，于是选用中值滤波、高斯低通滤波进行试验。OpenCV 中 `cvSmooth` 函数提供了中值滤波，高斯低通滤波等空域滤波方法，只需设置平滑类型参数就可以调用相应的滤波器。

中值滤波的基本思想就是，先确定一个尺寸为奇数的矩形模板，模板所覆盖的像素按色彩值从小到大排序后，用中间位置灰度值代替原色彩值。中值滤波器主要功能是让一个与周围色彩值相差较大的点的色彩值变得与周围接近，能够有效消除孤立噪声点，同时还能保持图像细节。

高斯低通滤波器是一种线性化滤波器，其权值的选择是由高斯函数的形状来决定的，它能很好地去掉服从正态分布的随机噪声。

滤波处理结果如图 2-19 所示：

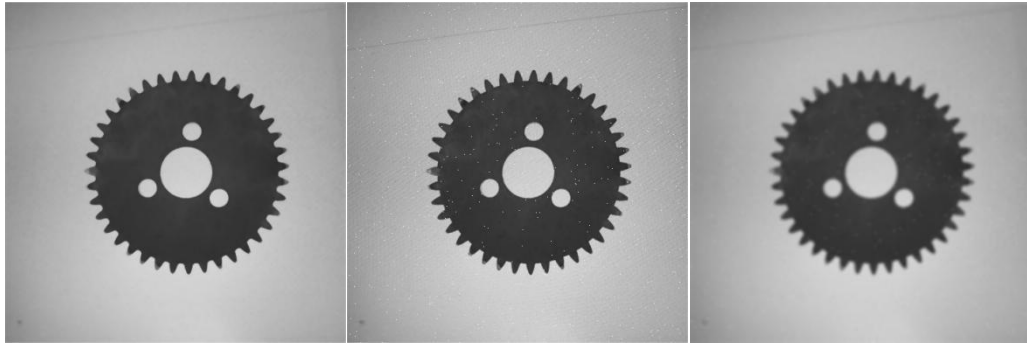


图 a (灰度处理图)

图 b (中值滤波图)

图 c (高斯滤波图)

图 2-19 图像滤波处理图

### (3) 图像阈值化处理

完成许多处理步骤之后，对图像中的像素做出最后的决策，或者直接剔除一些低于或者高于一定值的像素，阈值分割处理一般看作是灰度图像的二值化处理，输出图像只有两种灰度值：0 和 255。将 256 个亮度等级的灰度图像通过适当的阈值选取而获得仍然可以反映图像整体和局部特征的二值化图像。阈值分割处理目的是从灰度图像中分离出目标区域和背景区域，应该使得前景区的平均灰度、背景区灰度的平均值与整幅图的平均灰度之间的差异最大。在数字图像处理中，二值图像占有非常重要的地位，图像的二值化使图像中数据量大为减少，从而能凸显出目标的轮廓。

所有灰度大于或等于阈值的像素被判定为属于特定物体，其灰度值为 255，否则这些像素点被排除在物体区域以外，灰度值为 0，表示背景或者例外的物体区域。常用方法有全局阈值分割和自适应阈值分割，本文将采用运算效率高、速度快的全局阈值分割进行二值化操作，最大类间方差法是由日本学者大津于 1979 年提出的，是一种自适应的阈值确定的方法，又叫大津法，简称 OTSU。它是按图像的灰度特性，将图像分成背景和目标两部分。背景和目标之间的类间方差越大，说明构成图像的两部分的差别越大，当部分目标错分为背景或部分背景错分为目标都会导致两部分差别变小。因此，使类间方差最大的分割意味着错分概率最小。

阈值将原图像分成前景，背景两个图像。当取最佳阈值时，背景应该与前景差别最大，关键在于如何选择衡量差别的标准，而在 OTSU 算法中这个衡量差别的标准就是最大类间方差。

对于图像  $I(x, y)$ , 前景(即目标)和背景的分割阈值记作  $T$ , 前景图像占整幅图像的比例记为  $\omega_0$ , 其平均灰度  $\mu_0$ ; 背景图像占整幅图像的比例为  $\omega_1$ , 其平均灰度为  $\mu_1$ 。图像的总平均灰度记为  $\mu$ , 类间方差记为  $g$ 。  $M \times N$  像素总数, 图像中像素的灰度值小于阈值  $T$  的像素个数记作  $N_0$ , 像素灰度大于阈值  $T$  的像素个数记作  $N_1$ , 则有:

$$\text{前景图像占比:} \quad \omega_0 = N_0 \div M \times N \quad (2.4-1)$$

$$\text{背景图像占比:} \quad \omega_1 = N_1 \div M \times N \quad (2.4-2)$$

$$\text{前景像素+背景像素:} \quad N_0 + N_1 = M \times N \quad (2.4-3)$$

$$\text{背景图像+前景图像占比:} \quad \omega_0 + \omega_1 = 1 \quad (2.4-4)$$

0~M 灰度区间的灰度累计值

$$m\mu = m\mu_1 * \omega_1 + m\mu_2 * \omega_2 \quad (2.4-5)$$

类间方差值

$$g = \omega_1 * (m\mu - m\mu_1)^2 + \omega_2 * (m\mu - m\mu_2)^2 \quad (2.4-6)$$

将式(5)代入式(6), 得到等价公式:

$$g = \omega_1 * \omega_2 * (m\mu_1 - m\mu_2)^2 \quad (2.4-7)$$

$$\text{或} \quad g = \frac{\omega_0}{1 - \omega_0} * (\mu_0 - \mu)^2 \quad (2.4-8)$$

采用遍历的方法得到使类间方差最大的阈值  $T$ , 即为所求。

在 OpenCV 中, 函数 `cvthreshold()` 可以作为完成这些任务的算法, 其基本思想是给定一个数组和一个阈值, 然后根据数组中的每个元素的值是低于还是高于这个阈值做一些处理, 每个预值类型对应一个特定的比较操作, 该比较操作, 在原图第  $i$  个像素 (`srci`) 和阈值之间进行。根据原图像的像素和阈值之间的关系目标, 图像的像素可能被设置为 0、`srci` 或者是 `max_value`。简单一点讲, 就是将图像划分成黑和白, 通过设定一个标准如果大于这个标准就设为白, 如果小于这个标准, 就设为黑, 而这个标准, 就叫做阈值。

固定阈值分割函数: `cv2.threshold(src, thresh, maxval, type[, dst])`

src: 表示的是图片源

thresh: 表示的是阈值（起始值）

maxval: 表示的是最大值（第四个参数 type 为 CV\_THRESH\_BINARY 和 CV\_THRESH\_BINARY\_INV 是的最大值）

type: 表示的是这里划分的时候使用的是什么类型的算法，常用值为 0（cv2.THRESH\_BINARY）

其中第四个参数 type 有五种类型，如下表 2 所示：

TYPE	操作解释
THRESH_BINARA	$dst(x, y) = \begin{cases} maxval & if src(x, y) > thresh \\ 0 & otherwise \end{cases}$
THRESH_BINARY_INV	$dst(x, y) = \begin{cases} 0 & if src(x, y) > thresh \\ maxval & otherwise \end{cases}$
THRESH_TRUNC	$dst(x, y) = \begin{cases} threshold & if src(x, y) > thresh \\ src(x, y) & otherwise \end{cases}$
THRESH_TOZERO	$dst(x, y) = \begin{cases} src(x, y) & if src(x, y) > thresh \\ 0 & otherwise \end{cases}$
THRESH_TOZERO_INV	$dst(x, y) = \begin{cases} 0 & if src(x, y) > thresh \\ src(x, y) & otherwise \end{cases}$

表 2 type 类型表

测试样例如图 2-20 所示：

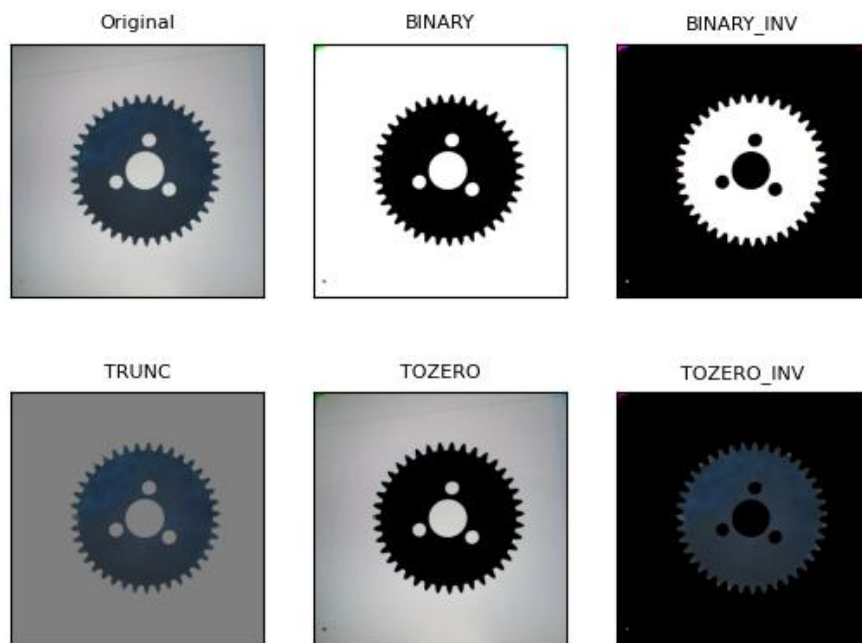


图 2-20 图像阈值化测试样例图

测试后选择参数 BINARY。

## 2.4.2 图像边缘检测

Canny 边缘检测算子可以根据像素间的差异检测出轮廓边界，但要进行视觉测量的量化处理，有两个问题需要解决：第一，如何获得边缘点的像素坐标；第二，如何得知像素点的归属，也就是某个边缘点属于哪条边界的问题。

OpenCV 中用 `cvFindContours()` 函数从二值图像中查找轮廓。该函数包括了 6 个参数，其中，输入图像必须是 8 位二值化单通道图像；输出的轮廓以 `CvSeq` 结构树序列形式存在 `cvCreateMemStorage()` 分配的内存空间中。轮廓在 `CvSeq` 中以轮廓树的方式排列，查找轮廓函数提供了四种轮廓的连接方式。

对齿轮参数进行检测，需要将 canny 检测出的所有边缘都提取出来，图像的单像素边缘被 `cvFindContours()` 认为是很窄的图像区域，所以每条边缘的内孔边界和外边界是重合的。因此，在提取数据时，只需对内边界和外边界中的一项进行查找，本文只对外边界查找。将轮廓查找函数中的轮廓连接方式设置为 `CV_RETR_CCOMP[2]`，提取首层轮廓，并将每条轮廓数据存储在全局的动态数组之中，以备测量之用。这样处理之后，每个数组分别存储一条边缘的坐标，函数默认的轮廓查找顺序，这样就能够使得数组数据与轮廓相对应，从而解决了边缘的

归属问题。如图 2-21 所示：

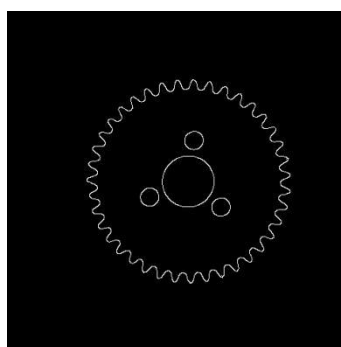


图 2-21 图像 Canny 算子边缘检测图

Soble 算子也可以起到相同的边缘检测作用，效果如图 2-22 所示：

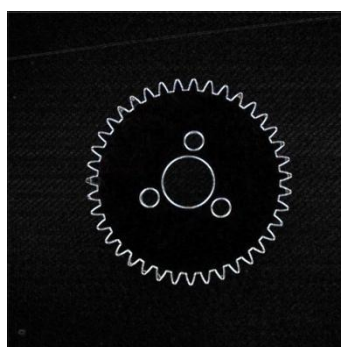


图 2-22 图像 Soble 算子边缘检测图

### 2.4.3 齿轮参数测量

齿轮的主要几何参数包括齿顶圆直径、齿根圆直径、分度圆直径以及齿数、模数、齿距等。在图像处理中得到了齿轮的轮廓区域，在 OpenCV 中可以很方便的用 `smallest_circle` 来提取齿轮区域的最小内切圆即齿顶圆，可得到齿轮中心位置及齿顶圆直径。用 `inner_circle` 算子可提取齿轮区域内部最大外切圆即齿根圆，可得到齿根圆直径。

如图 2-23 所示：

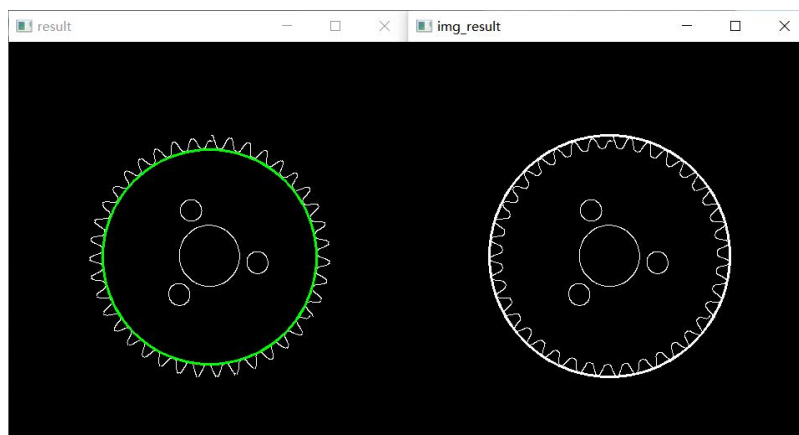


图 2-23 齿轮轮廓区域图

利用上述测量算子得到了齿轮齿数、齿顶圆直径和齿根圆直径，用以下公式可以分别计算得到齿轮模数、分度圆直径和齿距等参数。

$$\text{齿轮模数: } m = d_a / (z + 2) \quad (2.4-9)$$

$$\text{分度圆直径: } d = m \cdot z \quad (2.4-10)$$

$$\text{齿轮齿距: } \rho = x \cdot m \quad (2.4-11)$$

其中分度圆如图 2-24 所示：

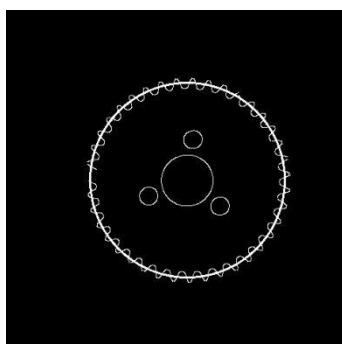


图 2-24 齿轮分度圆示意图

其中 $d_a$ 为齿顶圆半径， $z$ 为齿数， $m$ 为模数， $d$ 为分度圆半径， $\rho$ 为齿轮齿距。

## 2.5 高度可调节载物台

高度可调节载物台主体框架部分采用欧标 2020 铝管，支撑架部分应用 3mm 扁铁支承，满足材料的强度刚度条件。

控制部分采用树莓派 4b 加 tb6600 驱动器控制电机转动，应用 42 步进电机，机构受力满足丝杠载荷条件，树莓派控制摄像头拍摄照片，在 led 灯板载物台上



拍摄零件照片。

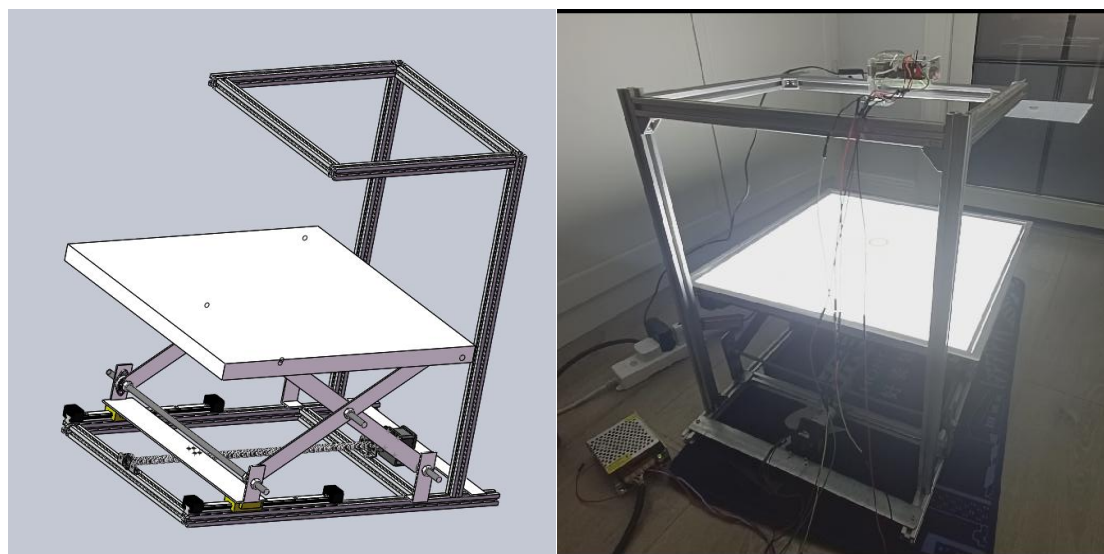


图 2-25 高度可调节载物台设计模型图及实物图

### 2.5.1 载物台设计

本装置测量主体对象为平面盘类零件，摄像头位于载物平台正上方，经试验对比点光源，无光源及平行光源的零件拍摄效果及结果分析，可知当载物安置平行光时，零件的拍摄及分析效果最好。

经过对市场现有灯板研究，平行光板主要类型包括背光板，led 灯板等，对比能耗，亮度及平整度综合考量选择 led 平面灯板。

选用 Led 平板灯，有节能，高效，环保等优点，同时其产热量少，不易变形，性能稳定，灯光柔和，灯板整体厚度较薄且成本较于背光板明显降低。

### 2.5.2 CCD 树莓派摄像机选型设计

本装置摄像设备采用 CCD 摄像机，其与市场上同类的小型摄像机 CMOS 来说，CCD 摄像机相较于其他轻型摄像机具有低照度好，宽动态效果好，抗冲击与振动，稳定性强，响应速度快，灵敏度高，噪声低等优势，同时成本方面，其功耗小，工作电压低，成本较 CMOS 来说较高。

由于 CCD 摄像机体积小质量轻，固定于 2020 铝型材凹槽扣处，不会导致 2020 铝型材受拉变形，导致测量精度的误差。

### 2.5.3 滚珠丝杠选型

本装置上方载物台及 led 平板规格尺寸为  $500*500*3\text{ mm}^3$ ，密度可近似为  $7.8\text{ g/cm}^3$ ，质量  $G_1$  可近似为  $5.85\text{Kg}$ ，支架的长度尺寸为  $400*30*3\text{ mm}^3$ ，支架质量  $G_2$  可近似为  $0.281\text{kg}$ ， $G_{\text{总}}=6.131\text{Kg}$ 。

计算可得，丝杠支承力

$$F_N = \frac{G_{\text{总}}}{2\cos\theta} = \frac{30.042}{\cos\theta} \text{ N}$$

$$15^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$$

$$F_{N\text{max}} = 60.084\text{N}$$

丝杠最大行程

$$S_{\text{max}} = 60.084\text{N}$$

根据结构及要求，丝杠长度

$$S=500\text{mm}$$

传动比

$$i=1$$

丝杠副摩擦系数  $\mu$

$$\mu=0.15$$

滑动阻力

$$F_{r\text{max}} = F_{N\text{max}} \times \mu = 9.0126\text{N}$$

已知电机扭矩  $0.28\text{N} \cdot \text{m}$ ，滚珠丝杠  $D=12\text{mm}$ ，导程  $L=4\text{mm}$ ，螺纹升角  $3.65^\circ$

输出扭矩

$$T=0.28 \times 5.57=1.56\text{N} \cdot \text{m}$$

$$T = \frac{FL}{2 \times \pi \times \eta}$$

$$F = 1.56 \times 6.28 \times 5000 \div 4 = 12246\text{N} \leq F_{N\text{max}} \times \sin 30^\circ + F_{r\text{max}}$$

符合装置丝杠轴向推力要求，故本装置丝杠选用 1204 号丝杠。

#### 2.5.4 电机驱动器及控制器选型

电机选用 42 步进电机，电机扭矩为  $0.28\text{N} \cdot \text{m}$ ，可以带动丝杠转动同时精确调控丝杠旋转转数，42 电机通过联轴器与滚珠丝杠相连，带动滚珠丝杠运动。

驱动器选用 TB6600，驱动器与 24v 直流电压相连接，控制器与树莓派及 42 电机相连，实现由树莓派控制步进电机正反转，进而实现机械平台结构中载物台机构的上移和下移。

## 第三章 测试报告

### 3.1 测试方法

测试方法:黑盒测试结合白盒测试法,静态测试和动态测试,确认测试,单元测试和组装测试。

选取测试用例的原则:严格遵照测试用例设计的基本原则,对每个概念都详尽描述,尽量避免含糊的测试用例,尽量将具有相类似功能的测试用例抽象并归类。在设计测试用例时,应包括合理的输入条件和不合理的输入条件,对每一个测试结果做全面的检查。

单元测试:采用白盒法和黑盒法相结合的方法,对于逻辑结构复杂的模块采用白盒法,对于以输入、输出为主的模块采用黑盒法测试,以提高测试的效率。

组装测试:对软件结构中较上层使用的自顶向下与对软件结构中较下层使用的自底向上方法相结合。

确认测试:由用户参与按需求规格说明书验收。

系统测试:采用人工测试方法。

### 3.2 测试类型

表 3 测试类型表

测试类型	测试内容	测试目的	所用的测试工具和方法
------	------	------	------------

功 能 测 试	用户登录、连接机械装置、控制机械装置上下移动、拍照并显示识别齿轮尺寸、生成二维码、查看已检测齿轮的相关信息、扫描二维码获取齿轮信息	核实所有功能均已正常实现，即可按用户的需求使用软件： 1. 业务流程检验：各个业务流程能够满足用户需求，用户使用不会产生疑问； 2. 数据准确：齿轮识别数据与数据库中储存数据一致，二维码储存齿轮信息准确，不会产生数据错误或重复存储	采用黑盒测试，使用边界值测试、等价类划分等测试方法，进行手工测试
	1. 页面结构：包括侧滑栏、背景、颜色、字体、按钮、表格、提示信息的一致性等 2. 友好性、易用性、合理性、一致性、正确性	核实软件风格符合可接受标准，能够保证用户界面友好性、易操作性，符合用户操作习惯	手工测试
	1. 用不同型号的安卓手机：华为、小米、三星、OPPO 等，屏幕尺寸：3.5 英寸~5.5 英寸，操作系统：android4.0 及以上 2. 不同版本的 IOS 手机：ios9.0 及以上	核实软件在不同的系统中运行稳定	黑盒测试、手工测试

安全性 和访问 控制测 试	1. 注册、登录	1. 应用程序级别的安全性： 核实用户只能操作其所拥有	黑盒测试、 手工测试
	2. 权限限制	2. 系统级别的安全性：核实 只能具备系统访问权限的用 户才能访问系统	
性能测 试	1. 注册、登录响应速度	核实程序在多数据推送、手	黑盒测试、 手工测试
	2. 访问数据库响应速度	机多程序运行的情况下软件	
	3. 各功能模块切换响应 速度	性能的稳定性，不造成程序 崩溃或相关的异常现象	

### 3.3 测试环境

实验环境是在工作电脑以及个人手机上进行的测试，软硬件环境主要包括手机客户端软硬件配置，服务器软硬件配置，树莓派硬件配置和网络环境配置，具体的环境配置见下表：

表 4 测试环境表

硬件名称	硬件配置	软件配置	网络环境
客户端手机 1	型号：华为 P30	Harmony OS 2.0.0	中国移动 4G 网络
客户端手机 2	型号：华为 P40 Pro	Harmony OS 2.0.0	中国移动 5G 网络
客户端手机 3	型号：魅族 18	Android 11	中国移动 4G 网络
服务器	2GB 内存	Win10 64 位	10M
	40GB 硬盘	MySQL 8.0	
树莓派 4B	4GB 内存	Linux	无线网卡

### 3.4 测试结果

根据综合评定，给与以下测试结果。

表 5 测试评定表

内容	结果
功能测试	合格
用户界面测试	合格
兼容性测试	合格
安全性和访问控制测试	合格
性能测试	合格

## 第四章 应用报告

### 4.1 应用情况

设备名称：基于计算机视觉的齿轮测量系统。

外观：基于计算机视觉的齿轮测量系统整体外观平整，载物台粗糙度低，LED灯板光线质量好，无毛刺小孔等现象，滚珠丝杠及直线导轨表面光滑，摩擦阻力小。

运行：设备运行稳定，无意外停机现象，质量满足加工工艺要求，可以在较短时间内对零件进行拍摄分析，并输出上传储存测量结果。

### 4.2 市场前景

对于现有市场上零件测量方式，如传统的机电式齿轮测量仪器（如齿轮测量中心、三坐标测量机、齿轮综合误差检查仪等）结构较复杂，价格较昂贵，对使用和维护的技术要求也较高，对于人工测量，人力成本资源占用较大，同时检测效率低下，综合以上两种检测方法，对于零件检测，只能实现“抽检”，综合成本及效率无法实现应检尽检，故可致使出厂零件仍有部分零件不符合标准。

针对以上问题，本款基于计算机时觉得齿轮测量系统，机械运营成本较于传统的机电式齿轮测量仪器有了大幅降低，同时检测效率也远远高于人工检测效率，将其应用于齿轮制造车间的车间厂房，可以实现对生产零钱的全方面检查，实现应检尽检，保证了齿轮出厂时的合格率，同时本系统会对相应加工流程提供相应修改意见，有助于提升后续生产的合格率，本款产品操作简单，使用效率高，体积较小，适合应用于各种场景，产品综合性价比极高。

由于当代工业的飞速发展，齿轮等平面零件的制造及应用场景十分广泛，机械零部件加工受巨大的市场拉动和政策支持，中国已成为全球最大的掘进机械加工制造基地和应用市场，国产机械加工零件也在国际市场形成一定的竞争力。近几年机械零部件的产能跟不上市场的发展，零件加工成为紧缺资源，目前的这个行业的市场前景非常的可观，但是考虑到未来发展，企业应该加强供应链的维护与建设，增强整零的战略协作，才能有效的克服行业经济波动对零部件企业生产经营带来的风险和影响，发挥装备优势，零部件企业近年开始向相关机械行业零部件加工领域进行多元化拓展。机械零件加工的现状是供不应求，但是不能为了



求量而忽视了质，现在的机械零件加工需要满足形状精度、尺寸精度、位置精度三个特点才能符合市场需求，保持持续的发展状态。目前，我国的机械零件加工还有很大的发展空间，不管是在技术和需求上都还不能完全的满足市场的需求。本装置可以提高其检测技术，保证机械零件“保量”的同时也“保质”，针对于广泛的机械零件应用场景，基于计算机时觉得齿轮测量系统应用广泛，市场前景十分广阔。

### 4.3 社会经济影响

随着全球信息产业的飞速发展，我们即将迈入数字经济时代。在数字经济时代，市场对于计算机视觉技术的需求也会日益增加，这也将进一步推动其产业化发展。

伴随着海量数据的采集以及人工智能算力的提升，计算机视觉技术逐渐成熟，国内外巨头纷纷布局计算机视觉领域，以新系统和新技术赋能原有的业务或场景，广泛进行商业化应用，形成一定的产业发展规模，落地应用的技术也在不断增加，由最初的静态人脸识别和光学字符识别，扩展到人脸识别分析、活体检测、人体识别分析、物体检测识别、医疗影像诊断等诸多种技术方向，为行业发展带来强劲动力。

据《Forrester Research 2019 年第三季度中国企业计算机视觉软件报告》显示，42%的受访企业表示已经实施或正在实施与计算机视觉有关的业务系统，23%的受访企业正在扩展或升级现有计算机视觉业务平台，还有 25%的受访企业计划在未来 12 个月内实施创建计算机视觉业务系统。由于计算机视觉行业在政策、资本和技术等各方面都享有优势，用户对安全和效率的需求也不断提升，使得计算机视觉行业具有广泛的市场发展空间。根据《中国人工智能产业知识产权白皮书(2021)》数据显示，计算机视觉行业 2020 年市场规模达 16.6 亿美元，市场整体增速受疫情影响明显，相比 2019 年仅增长 14.1%，虽低于预期，但是仍然可以乐观地估计，预计到 2022 年有望达到 146.08 亿元，2017-2022 年的年均复合增速有望达到 56.72%。从整体市场角度可以反映出，行业用户对于计算机视觉技术价值的认知、AI 落地的方法论与实践日趋成熟，从而带来市场规模的平稳增长。

伴随着整个机械加工行业的技术升级，对机械制成品的检验和测试提出了更高的要求。随着计算机视觉技术的快速发展，基于该技术的齿轮测量法越来越受到人们的重视。该方法具有非接触测量、检测速度快、动态范围大、信息量丰富、成本相对低廉等诸多优点，可广泛应用于各种实时、在线的齿轮精密测量。

基于计算机视觉的机械零件测量系统，是机械工程测量技术及其仪器研究的近百年历史中，体现光—机—电与信息技术综合集成的最新成果，是实现计算机自动分析测量结果并反馈到制造系统的一条捷径。测量系统直接耦合到加工系统中，实现测试数据的实时数据库存储，进行网络远程质量分析和控制。系统有很强的灵活性、扩展性和很高的性能价格比。因此，基于计算机视觉的机械零件测量技术可以广泛地用于工况监视、成品检验和质量控制等领域，提高测量的智能化和生产的自动化程度。