



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业设计

大学物理光学演示装置的自动化控制系统设计
Design of Automatic Control System for Physical Optics
Demonstration Device in University

姓 名 王超
学 院 智能制造学院
专 业 自动化
指导教师 刘艺柱 杨广武
职 称 副教授
完成时间 2021.06.04



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业设计

大学物理光学演示装置的自动化控制系统设计

姓 名 王超
学 院 智能制造学院
专 业 自动化
指导教师 刘艺柱 杨广武
职 称 副教授
完成时间 2021.06.04

天津中德应用技术大学
本科生毕业设计（论文）的声明

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文），是本人在指导教师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本毕业设计（论文）的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或没有公开发表的作品内容。对本设计（论文）所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本毕业设计（论文）原创性声明的法律责任由本人承担。

毕业设计（论文）作者签名：

年 月 日

本人声明：该毕业设计（论文）是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过设计（论文）的全部内容，并能够保证题目、关键词、摘要部分中英文内容的一致性和准确性。

毕业设计（论文）指导教师签名：

年 月 日

摘 要

我国高校本科的大学物理是一门以物理实验为基础的课程。通过高效、直观地实验，既能有效地不断深化和提高帮助广大学生正确掌握对于有关物理科学知识点的基本认识，又可以有利于不断培养广大学生积极参与物理科学技术探索的活动能力。性能良好的实验仪器是做好物理实验的基础，但目前我国物理实验教学面临的一大问题是实验仪器落后、实验效果不佳，不够方便使用。从而在一定程度上阻碍了物理教学工作的进行。

为解决波动光学物理仪器的一系列问题，本研究利用单片机与大学物理光学实验仪器相结合，设计一种仪器可以将光的干涉、衍射、偏振等现象演示出来，并且可以实现自动化控制系统。主要研究的是步进电机控制调速以及整套仪器的自动化设计。通过使用 Arduino 开发板作为整个系统的控制器，Arduino 控制 A4988 模块以脉冲驱动的方式来控制步进电机的运动。光电开关作为限位开关来使用，当光电传感器接收到信号后将信号传输给 Arduino 控制器，然后，Arduino 控制器会根据程序做出对应的指令来控制步进电机的位置。红外遥控器与 ESP8266 Node MCU 作为整个仪器的控制器来使用，红外遥控通过红外接收器与红外发射器来给 Arduino 控制器发送指令，然后，Arduino 控制器会根据指令做出相应的控制。ESP8266 Node MCU 是通过网页来发送控制指令给 Arduino 控制器，通过 RS232 硬件串口通讯将 ESP8266 与 Arduino 进行连接。网页是使用 HTML 进行编写设计的，设计完成后将整个网页放入到 ESP8266 的闪存文件夹中。在整个电路连接完成后，连接上本地的 WIFI 输入 ESP8266 的静态 IP 地址打开网页，按下网页上的按键后，就可以控制步进电机运动。

仪器采用铝合金型材作框架，外边用黑色板材作外壳。仪器的激光光源是一对红、绿双色的激光器半导体，波长分别为 650 和 532 纳米，通过独立开关控制。激光器外有一个由减速步进电机控制的转筒，转筒壁上装有不同的光学组合，依次为：单缝组件，单丝组件，小孔组件，双缝多缝组件，一维光栅组件，正交光栅组件。每个组件上都有不同参的缝、丝、孔或光栅。当减速电机旋转时，激光依次通过上述组件产生干涉或衍射现象投射到墙壁上。在本次设计中是将偏振片安装在电机控制的圆环上。电机转动会带动圆环转动，从而使偏振片旋转，达到演示偏振的目的。

关键词：物理实验；单片机；教具制作

ABSTRACT

The undergraduate physics of Chinese colleges and universities is a course based on physical experiment. Through efficient and intuitive experiments, not only can effectively deepen and improve the majority of students to correctly grasp the basic understanding of the physical science knowledge points, but also can be conducive to continuously cultivate the majority of students to actively participate in the physical science and technology exploration ability. Experimental instruments with good performance are the basis of doing physical experiments well, but a major problem facing physics experiment teaching in China is that the experimental instruments are backward, the experimental effect is not good, and it is not convenient to use. Thus, to a certain extent, it hinders the progress of physics teaching.

In order to solve a series of problems of wave optical physical instruments, this study combined SCM with university physical optical experimental instruments to design an instrument that can demonstrate the interference, diffraction, polarization and other phenomena of light, and can realize automatic control system. The main research is the stepper motor control speed regulation and the automatic design of the whole instrument. By using the Arduino development board as the controller of the whole system, Arduino controls the A4988 module to control the movement of the stepper motor in a pulse-driven way. The photoelectric switch is used as a limit switch. When the photoelectric sensor receives the signal, the signal will be transmitted to the Arduino controller. Then, the Arduino controller will make corresponding instructions according to the program to control the position of the stepping motor. The infrared remote control and ESP8266 Node MCU are used as the controller of the whole instrument. The infrared remote control sends instructions to the Arduino controller through the infrared receiver and infrared transmitter. Then, the Arduino controller will make corresponding control according to the instructions. ESP8266 Node MCU sends control instructions to the Arduino controller through the web page, and connects ESP8266 to the Arduino through RS232 hardware serial port communication. The web page is written and designed using HTML. After the design is completed, the entire web page is put into the flash folder of ESP8266. After the completion of the whole circuit connection, connect to the local WiFi and input the static IP address of ESP8266 to open the webpage. After pressing the button on the webpage, you can control the movement of the stepper motor.

The instrument adopts aluminum alloy profile as the frame and black plate as the outer shell. The laser source of the instrument is a pair of red and green laser semiconductors with wavelengths of 650 and 532 nanometers respectively, controlled by a separate switch. There is a rotary cylinder outside the laser controlled by a decelerating stepper motor. The wall of the rotary cylinder is equipped with different optical combinations, which are in order: single-slit component, single-filament component, keyhole component, double-slit multi-slit component, one-dimensional grating component and orthogonal grating component. Each component has a seam, wire, hole, or grating with a different parameter. When the deceleration motor rotates, the

laser beam in turn through the above components produces interference or diffraction phenomenon projected on the wall. In this design, the polarizer is installed on the motor control ring. Motor rotation will drive the ring to rotate, so that the polarizer rotates, to demonstrate the purpose of polarization.

Key Words: Physical experiment; Single chip microcomputer; Teaching aid production

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 研究目的及意义.....	1
1.2 国内外研究现状及研发趋势.....	1
1.3 研究内容.....	1
第二章 控制系统方案设计.....	4
2.1 仪器结构.....	4
2.1.1 仪器机械结构.....	4
2.1.2 仪器电路结构.....	6
2.2 功能要求.....	7
2.3 设计思路.....	7
第三章 硬件设计.....	8
3.1 器件选型.....	8
3.1.1 Arduino 开发板.....	8
3.1.2 步进电机.....	9
3.1.3 步进电机驱动器.....	9
3.1.4 WIFI 模块.....	9
3.1.5 光电开关.....	10
3.2 电路设计.....	11
3.2.1 电路原理图.....	11
3.2.2 电路接线.....	11
3.3 步进电机工作原理.....	12
3.4 步进电机的控制.....	12
3.4.1 步进电机控制原理.....	12
3.4.2 步进电机控制设计.....	13
第四章 程序设计.....	15
4.1 设计流程.....	15
4.2 编程环境.....	17
4.2.1 Arduino IDE 软件.....	17
4.2.2 HBuilder 软件.....	18
4.3 程序编写.....	18
4.3.1 下位机 Arduino 程序编写.....	18
4.3.2 上位机 HTML 程序编写.....	19
第五章 系统调试.....	22

5.1 调试方案设计.....	22
5.2 功能性测试.....	22
第六章 总结与展望.....	27
参考文献.....	28
附 录.....	29
致 谢.....	31

第一章 绪论

1.1 研究目的及意义

光与自然的联系非常紧密,光帮助人们清楚地看到它并逐步了解这个绚烂多姿的世界。对于整个人类来说,光是如此地常见然而却又非常难以捕捉。“光的本性究竟是什么?”这个问题是当今人类一直在探索与思考的一个问题,正是因为我们对于光本性进行了不断的思索与探寻,我们对于光的认识逐渐得以更加深入,这些认识逐步在实践中沉淀与积累,构成了现在光学物理研究的一个重要一个分支学科之一“光学”,为许多其他的光学工程技术研究奠定了坚实的基础。光学的形成和发展已经有着 2000 多年的历史,它被划分为几何光学、波动光学、量子光学 3 个阶段。在不同的阶段,人们对光的认知不同,所需要建立的各种物理模型也不同^[1]。

该课题用单片机控制步进电机运动,实现一种自动控制波动光学演示仪,该仪器可在无线控制的状态下,实现半自动或全自动演示波动光学的干涉、衍射、偏振等现象。

1.2 国内外研究现状及研发趋势

在实验仪器的改进方面,国外研究者和教学实践者已经有了大量的实践。其中,除了典型的自制简易的低成本实验仪器之外,国外的研究者还大量引入了现代技术,尤其是微型计算机和现代电子技术。在物理实验教学中,国外研究者不仅将计算机作为一种教学手段或者虚拟实验设备,还常常利用计算机作为测量设备。典型的如对计算机多媒体技术的应用。不同于常见的基于多媒体或者虚拟现实的教学手段应用,新尝试是用计算机多媒体本身作为测量仪器,例如,将声卡输入和音频分析软件结合,作为一种精确到十万分之一秒的计时仪器,可以直接测量声速;或者用照相机和摄像头测量距离和速度等等。这样的“仪器”具有远高于物理传统仪器的精度和性能,可以实现对力学、热学等实验的定量化和简易化^[5]。

电子技术也具有类似的应用。对物理实验仪器、设备的硬件配置进行优化进而提升它们的工作性能,实现物理实验仪器、设备的自动化、智能化、现代化,这对于大学物理实验课程的发展及学生的学习发展都会有很大的帮助,在整个教学过程中发挥十分积极的作用。在智能数字仪器仪表生产领域,有很多为将嵌入式系统应用于教学而开展设计、研发智能物理实验仪器的实例,例如:基于嵌入式微控制器的自由落体运动实验仪、基于单片机的数字式电压表和激光功率计、基于嵌入式单片机的电子自旋共振仪等等。除此之外,嵌入式系统在许多高等院校也都被列为物理实验的教学的主要内容,并引其引入至物理实验教学内容之中,比如:沈阳工业大学为了能够促进学生对单片机、汇编语言及传感器等相关技术的具体实际运行和应用情况有所认识 and 了解,在开展具有设计性的物理实验中就安排了这项嵌入式系统的内容。一系列政策措施拓展了学生对新科技技术新手段应用的知识面,加地有利于于我们的工程技术专业人才的培养与学校物理实验教学质量的提高^[6]。

1.3 研究内容

本课题研究的内容是将嵌入式系统与大学物理仪器进行结合,制作出一款具有自动化

的物理实验演示仪器。

本研究分为 7 个部分。第一部分主要是课题绪论，包括了课题物理仪器研究的技术背景和主要目的、研究物理仪器的主要内容与其主要研究方法，以及国内外物理实验仪器技术改进相关问题的深入研究及其发展以及现状。第二部分为物理仪器控制系统方案设计，根据物理仪器的需求，进行整个仪器的设计。第三部分为硬件选型，将整个仪器所需要的电子元件以及电路设计进行介绍。第四部分为步进电机的工作原理介绍，详细介绍步进电机加速度的算法控制。第五部分为程序设计流程，介绍了整个仪器的程序设计流程，以及编程思路。第六部分为系统调试，介绍了整个仪器调试的过程。第七部分为总结与展望，总结了一下物理仪器的未来趋势。

本课题研究的内容是设计一种仪器可以将光的干涉、衍射、偏振等现象演示出来，并且可以实现自动化控制系统。该控制系统设计是，单片机控制器控制步进电机、WiFi 模块、光电传感器、红外传感器的一个系统。如下图 1-1 所示。其中，WiFi 模块可以通过网页显示控制界面；而本系统中有三台步进电机，它们分别装有不同的负载，依次装有传送带模块、偏振模块、减速箱模块。在传送带模块上装有 CCD 线阵模块。偏振模块上装有偏振片。减速箱模块上装有光学组件，这些光学组件可以演示光的干涉、衍射等现象。

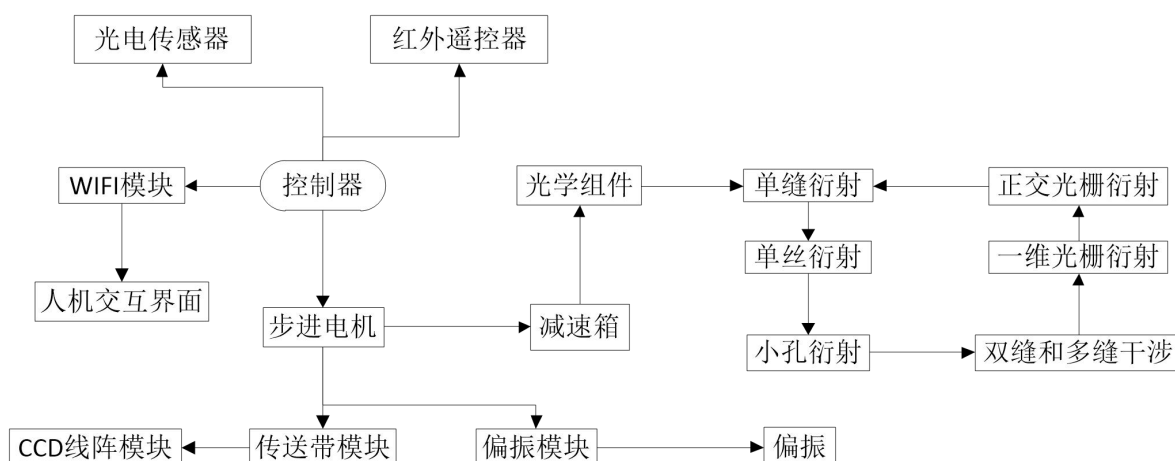


图 1-1 整体设计

单片机作为整套系统的控制核心，主要负责接收和逐个发送各类传感器的有效信号。光电传感器在系统中作为限位开关使用，目的是限制步进电机的位置。红外遥控器主要是给控制系统一个输入的信号，当红外接收器传感器在电路中接收到一个有效的红外发射器的信号后，会将信号编码和译码后传送给单片机，单片机会做出相应的反应。WiFi 模块是将整个系统与网络进行连接，当连接网络后，可以通过网页界面对整个系统进行控制。整个系统的执行器就是步进电机。单片机是通过步进电机的驱动器进行控制从而使步进电机进行运动，当步进电机的驱动器在接收到来自单片机输出端的脉冲信号后输出脉冲频率实现对步进电机运动的控制。

步进电机作为一个执行器，其主要优点之一就是它可以通过改变脉冲频率来改变转数，实现无极调速，并且这种的调速范围很宽。

对于极其短的距离，例如在几步的范围内，电机的加减速运转过程不具有任何实际意义，只要按照启动频率执行。当稍长的距离时，电机很有可能会出现减速的过程，而不是限速。对于中等甚至更远的运转距离，电机经过一定的加速后必须保持在一个恒转速的过程。本系统在正常工作的过程中，会要求加速减速的过程所用时间尽量短，且恒速运行时的时间尽量长。特别是在需要快速反馈和响应的操作过程中，从出发点至结束端运行的时间要求最短，这就必须严格地要求提升和减速的操作过程最短，且恒定转矩时的运行速度最高。

第二章 控制系统方案设计

2.1 仪器结构

光的干涉、衍射现象，是将激光穿过有特定小孔的金属片或者塑料片，这里将这一类镜片称为光学元件，然后在前方投射出来，来演示各种波动光学的现象。本设计需要通过激光穿过各种的缝宽的光学元件，演示出各种光学现象，如图 2-1 所示。而本装置是将各种不同的光学元件，固定在一个转筒壁上，转筒受电机控制。转筒内装有一对双色激光，打开激光，通过旋转转筒壁，使转筒走到指定位置时，来演示干涉、衍射的现象。偏振现象的演示，是通过激光穿过偏振片来演示的，当激光穿过偏振片后会在墙上看到一个光斑，旋转偏振片 90 度后，光斑消失。



图 2-1 仪器实物图

2.1.1 仪器机械结构

仪器采用铝合金型材作框架，外边用黑色板材作外壳。仪器的激光光源是一对红、绿双色的激光器半导体，波长分别为 650 和 532 纳米，通过独立开关控制。激光器外有一个由减速步进电机控制的转筒，转筒壁上装有不同的光学组合，依次为：单缝组件，单丝组件，小孔组件，双缝多缝组件，一维光栅组件，正交光栅组件。每个组件上都有不同参数的缝、丝、孔或光栅。当减速电机旋转时，激光依次通过上述组件产生干涉或衍射现象投射到墙壁上。如图 2-2 所示。这个现象，在本次设计中是将偏振片安装在电机控制的圆环上。电机转动会带动圆环转动，从而使偏振片旋转，达到演示偏振的目的。

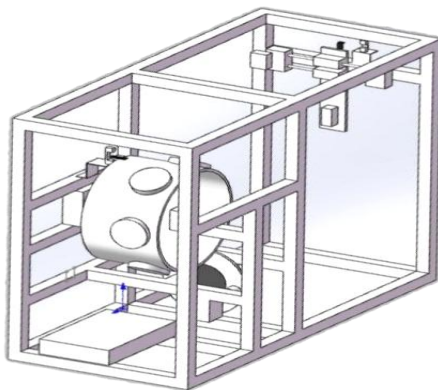


图 2-2 仪器结构图

光的干涉、衍射现象，是将激光穿过有特定小孔的金属片或者塑料片，这里将这一类镜片称为光学元件，然后在前方投射出来，来演示各种波动光学的现象。而本装置是将各种不同的光学元件，固定在一个转筒壁上，转筒受电机控制。转筒内装有一对双色激光，打开激光，通过旋转转筒壁，使转筒走到指定位置时，来演示干涉、衍射的现象。偏振现象的演示，是通过激光穿过偏振片来演示的，当激光穿过偏振片后会在墙上看到一个光斑，旋转偏振片 90 度后，光斑消失。这个现象，在本次设计中是将偏振片安装在电机控制的圆环上。电机转动会带动圆环转动，从而使偏振片旋转，达到演示偏振的目的。还在仪器的右侧装有测量线阵 CCD 的一个装置，这个装置由步进电机，主动轮，从动轮，皮带，滑块，CCD 模块所组成，用处是测量激光的铭文宽度，计算激光距离。

当需要定量测量时，可以将磁性标尺贴在黑板上，验证单缝衍射或双缝干涉公式，也可以通过电机控制线阵 CCD 移动到光路上，用软件测量干涉或衍射的条纹宽度。

转筒的下方，装有一个偏振光源，这里用的是经过小孔衍射的激光（改凸透镜扩束），前边加了一片偏振片，作为起偏器；偏振光源正前方有一个可在电机驱动下旋转的偏振片，作为检偏器。当偏振电机驱检偏器旋转时，出射的光会根据马吕斯定律明暗周期变化。

整套仪器的电控部分集成在一个电控盒中，通过直流 12V 电源供电，安全可靠。通过手机 WIFI 或电脑实现对仪器的全面控制。

本设计运用了光敏传感器与红外传感器，它们的作用分别是：光敏传感器主要用于告诉 CPU 步进电机的位置，起到限位开关的作用。在本装置中装有两个光敏传感器，第一个装在皮带中心处上方，目的是使 CCD 移动到测量位置处时，电机停止运动，同时告诉控制器这里是步进电机的初始位置。第二个装在减速箱上方，目的是告诉控制器这里是步进电机的初始位置。红外传感器的作用是，通过红外遥控器远程操控仪器，让仪器按照操作指令进行运动。

本设计的通讯部分运用了 RS232 通讯协议与 TCP/IP 协议。其中 RS232 协议是为了让 WIFI 模块与单片机之间进行通讯，从而使 WIFI 模块可以控制单片机。TCP/IP 协议的目的是，使我们的手机与电脑，能够通过网络与 MCU 进行通讯，从而实现物联网。

本设计的显示部分是 HTML 的一个网页，我是将这个网页放置在 WIFI 模块当中，当输入 WIFI 模块的 IP 地址后就会打开这个网页，点击网页上的功能按键，整个仪器就会做出对应的操作。如图 2-3 所示。

波动光学自动演示系统



图 2-3 控制界面图

2.1.2 仪器电路结构

本装置所涉及的电路元件，如图 2-4 所示。控制器*1、220V 转 5V 直流电源*1、开关按键、WIFI 模块*1、步进电机驱动器*3、步进电机*3、限位开关*2、3.7V 电源、开关按键*3、激光传感器*3、CCD 传感器、电脑。

其连接关系是 220V 转 5V 直流电源，通过导线与开关进行连接，开关与控制器连接，控制器连接 WIFI 模块、限位开关、步进电机驱动器，而步进电机驱动器连接步进电机。电脑通过 USB 线连接 CCD 传感器。3.7V 电源连接开关按键，开关按键连接激光传感器。

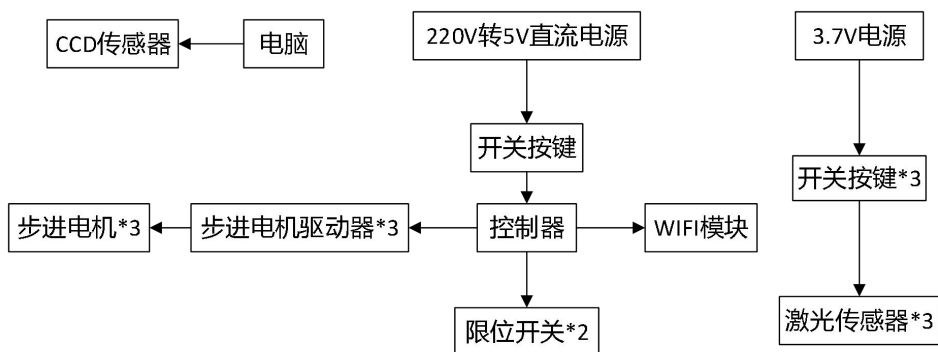


图 2-4 电路控制图

2.2 功能要求

本课题是“大学物理光学演示装置的自动化控制系统设计”。针对这一课题，仪器需要完成以下几大功能：

本装置能够演示光的干涉、衍射、偏振等现象；

本装置可以通过 WIFI 在手机与电脑网页上进行控制；

本装置可以使用红外控制，无需连接 WIFI 网络；

本装置可以实现参数的定量测量。

2.3 设计思路

本装置主要是演示大学物理中光学的干涉、衍射和偏振等现象的一个装置。整套电路部分设计思路，如图 2-5 所示。通过控制器，控制执行、通讯、显示和感知四个部分。执行部分由步进电机与步进电机驱动器所组成，执行部分将信号接收和发送给控制器，同时带动外部的机械结构进行运动。通讯部分是将 WIFI 模块接收到的信号传送给控制器。显示部分，是在 WIFI 模块中存储一个 HTML 网页，通过网页来控制单片机。感知部分，是使用光敏传感器与红外接收发射传感器作为控制器接收外部信号的仪器。

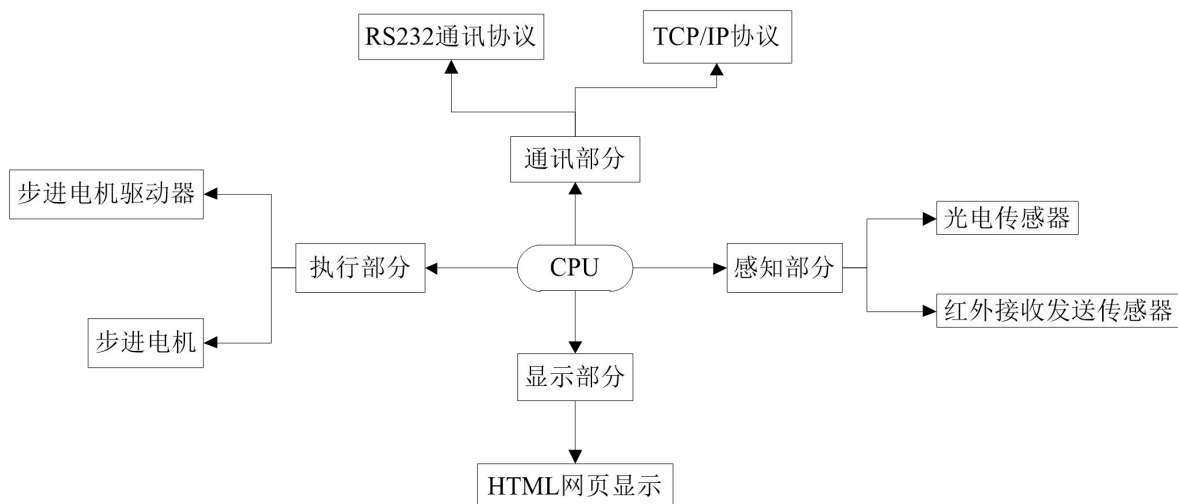


图 2-5 电路设计思路

第三章 硬件设计

3.1 器件选型

在本次设计中，根据设计思路选用一些电子元件，下面介绍一下选用的电子元件。

3.1.1 Arduino 开发板

本次选用的单片机为 Arduino MEGA 2560 开发板是采用 USB 接口的进行上传程序，同时 USB 接口可以进行供电，它的特点就是具有大量输入/输出引脚，可以使用很多的传感器，方便硬件的开发。如图 3-1 所示。

Arduino 与 C51 和 STM32 进行对比，Arduino 具有编程简单，有丰富的资源库，可以快熟上手的优点。并且 Arduino 的整个生态环境完整，有自带的 Arduino IDE 编程软件。适合初学者学习。



图 3-1 Arduino 开发板

主要技术参数，如表 3-1 所示。

表 3-1 Arduino 技术参数

主要技术参数	
微控制器	ATmega2560
工作电压	5 V
输入电压（推荐）	7-12 V
输入电压（限值）	6-20 V
数字输入输出引脚	54 个
模拟输入引脚	16 个
输入/输出引脚直流电流	20 mA
Flash Memory（闪存）	256 KB
SRAM（静态存储器）	8 KB
EEPROM	4 KB
内置 LED 引脚	13
时钟频率	16 MHz

3.1.2 步进电机

步进电机是现代数字程序控制系统中的主要执行元件。如图 3-2 所示。是将电脉冲信号转变为线位移或角位移的开环控制电机，应用极为广泛。步矩角指的是，它的旋转是以一个固定的角度一步一步运行，在步进电机以一个单位的脉冲信号旋转的固定角度，称为“步矩角”。准确定位可以通过控制脉冲个数来控制角位移量来确定；同时，调速可以通过控制脉冲频率来控制电机转动的速度和加速度。

步进电机的工作原理是利用电子电路。它必须由双环形脉冲信号、功率驱动电路等组成控制系统方可使用。将直流电变成分时供电的，多相时序控制电流，用这种电流为步进电机供电，步进电机才能正常工作，驱动器就是为步进电机分时供电的，多相时序控制器。



图 3-2 步进电机

3.1.3 步进电机驱动器

步进电机不能直接作用于交直流电源上，必须使用专用设备——步进电机驱动器。它的组成由以下几个部分组成。如图 3-3 所示。由环形分配器、推动级、驱动级、信号放大与处理级等部分组成，用于功率步进电机的驱动器还要有多种保护线路。

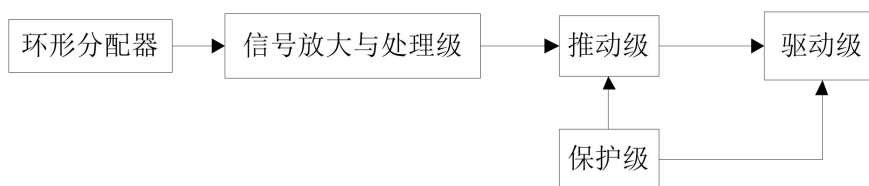


图 3-3 步进电机驱动器

在本次设计中，步进电机的控制驱动模块选用 A4988 模块。因为 A4988 模块非常便宜同时便于操作，应用广泛。A4988 内置了译码器，可以通过控制器的引脚来控制驱动步进电机，一个控制旋转方向，另一个控制步数。

3.1.4 WIFI 模块

WIFI 模块又名串口 WIFI 模块，功能是将 TTL 电平或串口转为符合无线网络通信标准的嵌入式模块，属于物联网传输层，内置 TCP/IP 协议栈以及无线网络协议协议栈。

本次设计选用的是 ESP8266-NodeMCU。如图 3-4 所示。Node MCU 是中国开发的一

款基于 ESP8266 模块的控制板，出货时已事先烧写定制的开源固件，让开发者通过 Lua 语言开发 IoT 应用。由于 Node MCU 控制板包含 USB 转 TTL 串口、3.3V 电压转换电路和两个按键，而且引脚宽度和面包板兼容、价格低廉。



图 3-4 ESP8266

主要参数如表 3-2 所示。

表 3-2 ESP8266 技术参数

主要技术参数	
核心模块	ESP8266
工作电压	5V
输入电压（推荐）	5V
输入电压（极限）	4.5 ~ 10 V
数字输入输出引脚	10 个（全部可以作为 PWM 引脚）
PWM 引脚	10 个
模拟输入引脚	2 个
WIFI 标准	802.11 b / g / n
工作模式	STA / AP / STA + AP
重量	7g

3.1.5 光电开关

光电开关（光电传感器）是光电接近开关的简称，它是利用被检测物对光束的遮挡或反射，由同步回路接通电路，从而检测物体的有无。物体不限于金属，所有能反射光线（或者对光线有遮挡作用）的物体均可以被检测。如图 3-5 所示。本次设计中，将光电开关作为限制步进电机的限位开关来使用。



图 3-5 光电开关

3.2 电路设计

3.2.1 电路原理图

根据本毕业设计的及要求，本实验装置设计主要有电源模块、控制器模块，步进电机驱动模块、光电传感器模块、WIFI 模块等所组成，如图 3-6 所示。

整个的电路原理为，将 WIFI 模块接收到的信号传送给 Arduino 控制器，Arduino 控制器处理这些信号指令，然后根据指令控制步进电机以及光电开关执行对应的功能。电源电路为外部供电电路，作用是处理将交流电转换为直流电，使整个仪器上电。步进电机驱动电路，是将控制器传输过来的电信号转换为脉冲信号，传输给步进电机。

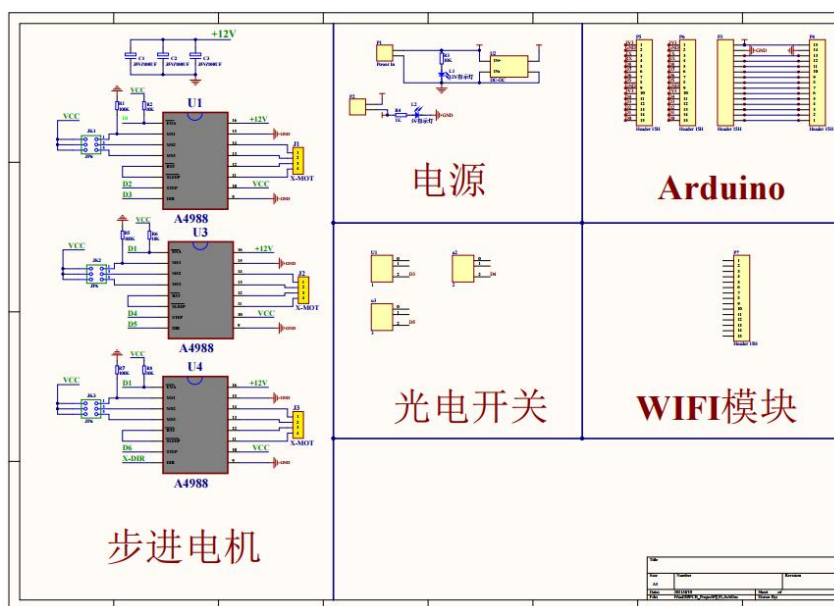


图 3-6 电路原理图

3.2.2 电路接线

根据电路原理图，进行电路接线图的设计。如图 3-7 所示。

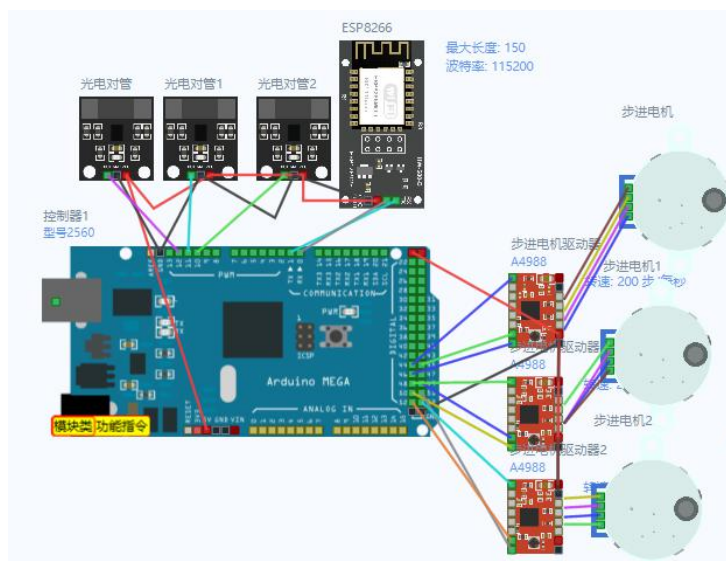


图 3-7 电路接线图

3.3 步进电机工作原理

步进电机的基本电路,如图 3-8 所示。步进电机直接与电源相连时是不会发生运动的,需要用步进电机驱动电路来工作,这样才能使能一台可以驱动的步进电机,步进电机才能运动。步进电机驱动器,由单片机的输出频率,输出方向,是否对步进电机使能所决定的。单片机能够控制步进电机在旋转和运动时的角度、停止位置、加速、匀速、减慢等变化过程。



图 3-8 步进电机的电路结构

3.4 步进电机的控制

3.4.1 步进电机控制原理

控制器是步进电机额定工作量的原理。按照驱动功能上所要求的过程控制器装置来对驱动步进电机的各个驱动器功能进行过程控制,按照驱动功能上的要求可以相应地有规律地进行驱动步进电机正常工作运行。简易型微控制器的需求仅仅通过一个逻辑电路就已经能够使其得以轻易实现。

本次设计中,选用 Arduino 控制器作为,步进电机的控制器。主要是因为编程的灵活性,使修改控制变得非常方便,只需要重新编写程序就可以了。

本次系统设计所需要选用的驱动电机主要是新型反应式高速步进驱动电机。其电子转动齿数主要因素取决于转子脉冲启动频率、转子转动齿数及相位系数。当步进驱动电机通电全部工作后,电机转速的状态变化量和电机改变输入脉冲转换频率几乎是成正比。就是无极调速。因此,在不同的应用场合中,步进电机使用不同的速度进行具体的应用。步进电机以低转速的状态工作时,步进电机无需加速度可直接启动,采用的工作模式是恒速工作方式;步进电机以高转速的状态工作时,就不能采用恒速工作方式。其原因主要是,步进电机在正常运行时,必须尽量选用低速启动,然后再慢慢将电机加速至高速,最终达到高速运行。同样,停止的时候,也需要由高速缓慢降为低速,最终才能停止。

本次对于步进电机的运动速度控制工作需要步进电机进行一个非常远距离的控制,因此,运动时的速度控制工作就需要设计好有一个一个步进电机加速-恒速-减速-低恒速-停止这个过程,要进行速度规划。防止在电机启动某一步骤行进高速电机时,由于电机丢步或者根本电机不能正常继续运行而直接导致启动停止,在启动时由于电机惯性的各种原因,发生启动脉冲而达到启动终点。

步进电机的加减速过程通常适用于距离较远或高度的地方。并且每一个系统在其他部件的工况和运行过程中,都会需要做到加减速的过程持续时间较短,并且恒速的持续时间也比较长。所以步进电机常用的速度规划曲线,如图 3-9 所示。OABCDE 面积是步进电机在该时间内走过的步数。

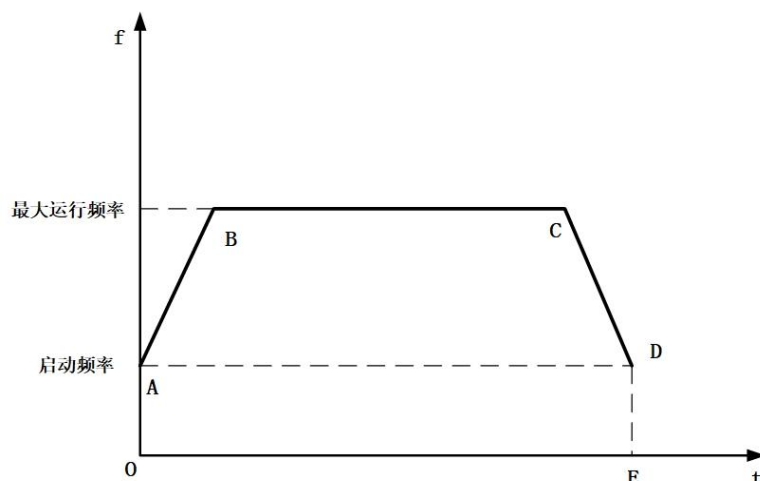


图 3-9 步进电机的加减速控制

在高速速度上升时的最大启动起始转矩和启动速度均应达到等于或稍微超过小于整个启动系统速度极限的最大启动工作频率（也称加速度），而非从零点起。减速转动过程中开始结束的转动速度通常认为应该不得等于或稍微不得低于发电机的一次启动停止速度，再经几步低速度的转动后立即停机。与其他伺服电机不同，步进电机可以在启动频率以下突然启动和停止，速度规划时，这种跳频启动和停止方式是步进电机所特有的。

3.4.2 步进电机控制设计

对于步进电机的控制，设计了一个步进电机梯型加速度的库。下面将介绍步进电机库的构成。如图 3-10 所示。

首先，需要定义一个类，创建共有的变量。定义步进电机的，方向，脉冲，使能等重要的变量参数。然后，创建构造函数。

创建完成构造函数后，创建函数，设置加速度，判断步进电机的当前步数是否等于目标步数，然后以给定的加速度来给步进电机加速度。

创建一个 bool 型变量，判断系统从供电开始的微妙数的时间节点，减去上次，上一步的节点，结果是否大于步进电机走的步数。也就是说，判断当前时间步进电机是否可以走一步。判断，系统时间减去最后时间是否大于当前时间。

定义，步进电机走到特定位置函数。首先，判断目标是否等于目标步数，若不等于执行，目标值赋值给目标步数，当前步数的时间为 0，当前步数为启动步数，执行变速系统函数。定义变量，将目标步数减去当前步数的值，赋值给移动步数。如果没有走到当前位置，先判断是否可以走。最后返回是否走到目标位置。

创建，步进电机走一步的函数。首先，给电机一个方向，然后通高电平，延时一个脉冲单位时间后，给一个低电平。刷新，记录当前步数。如果加速度为 0，当前步数的时间等于目标步数的时间。若加速度不为 0 时，根据梯型加速度算法将，整个路程分为三个部分，分别给上变速系统函数。

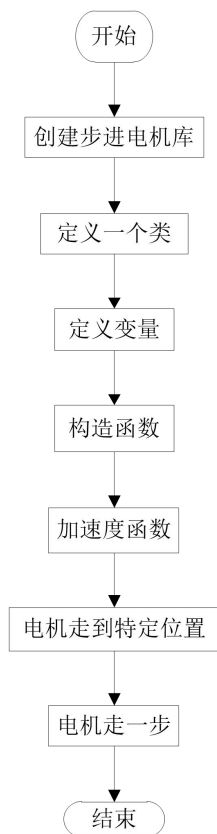


图 3-10 步进电机库的设计

第四章 程序设计

4.1 设计流程

本项目程序设计流程分为两部分，第一部分是控制步进电机运动的下位机，第二部分为操作界面的上位机。整体设计流程是，Arduino 控制器，通过外部电源进行供电。上电后，使能步进电机与各类传感器，连接 WIFI 网络，通过 WIFI 进行控制步进电机运动。如图 4-1 所示。

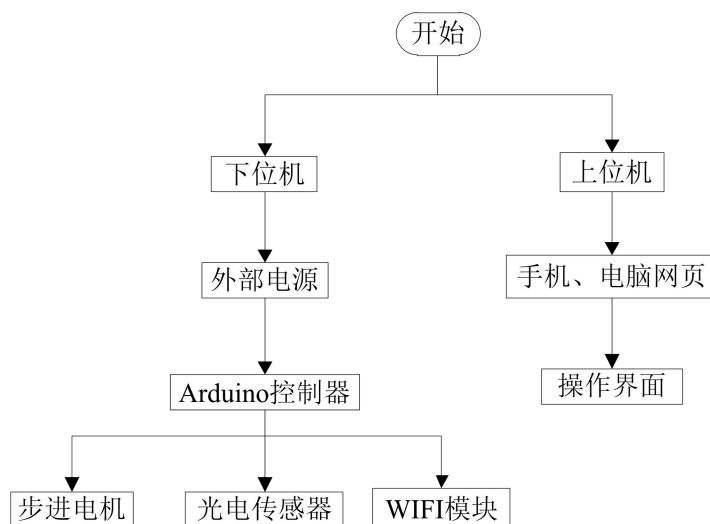


图 4-1 整体设计流程

下位机为，Arduino 控制电机与各类传感器以及 WIFI。思路是，使能步进电机以及光电开关，连接 WIFI。当接收到上位机发出的信号后，步进电机运动。若没有接收到信号，整个系统处于等待状态。步进电机运动时，若碰到光电开关后，步进电机停止运动，若没有触碰到，步进电机继续运动，如图 4-2 所示。

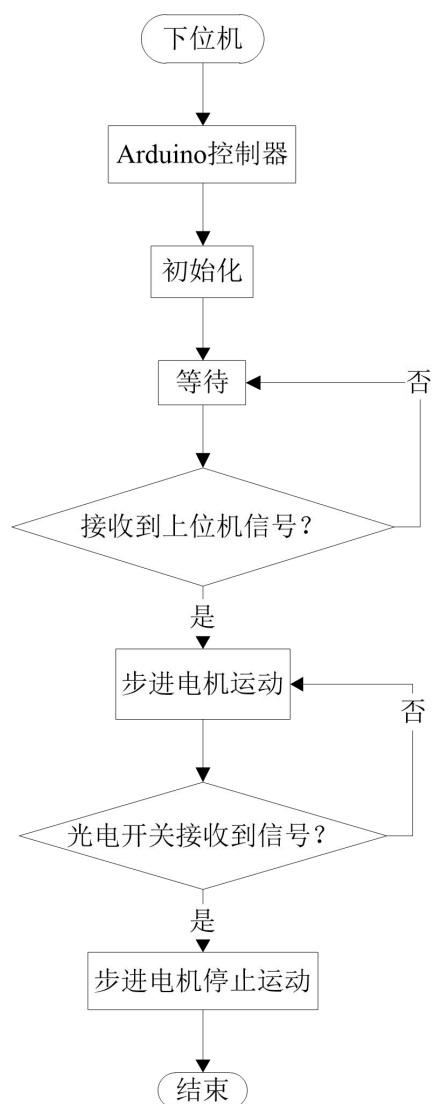


图 4-2 下位机

上位机为，HTML 编写的一个网页界面，该界面存放在 ESP8266NodeMCU 当中，连接 WIFI 后，上位机输入对应的静态 IP 方可打开控制面板。控制面板上的功能为，复位步进电机，让步进电机位于初始位置。控制步进电机移动到指定位置处。打开本地线阵 CCD 软件，测量激光铭文宽度。如图 4-3 所示。

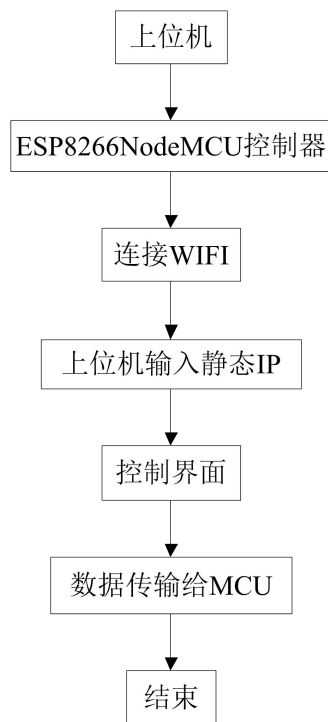


图 4-3 上位机

4.2 编程环境

4.2.1 Arduino IDE 软件

本次的编程语言平台，选用的是 Arduino IDE 作为开发平台。因为，Arduino 平台被很多人所知道，同时它还被广泛的应用到世界的各个角落中，平台本身具有很多的优点，是目前最流行的开源硬件开发平台，包括：

(1) 可以免费下载使用，同时也可以根据自己的想法来进行修改，具有开放的源代码电路图和程序开发软件；可根据官方电路图，简化 Arduino 模组，完成独立运作的微处理控制。

(2) 可以简便地与各式各样的传感器模块进行连接（如电机、温度传感器、光电开关、液晶屏、数码管等）；支持多种语音代码进行编写程序如 C、C++、Flash、PD 等；可使用 USB 口进行供电；使用便宜受众广的微处理控制器；也可使用 DC5-9V 电源输入以及其他的 Arduino 扩展板模块。

(3) 开发者可以使用 C 语言进行编程，降低了编程的难度，新人容易上手，并且可以通过控制传感器来感受外接环境，实现多种应用功能。

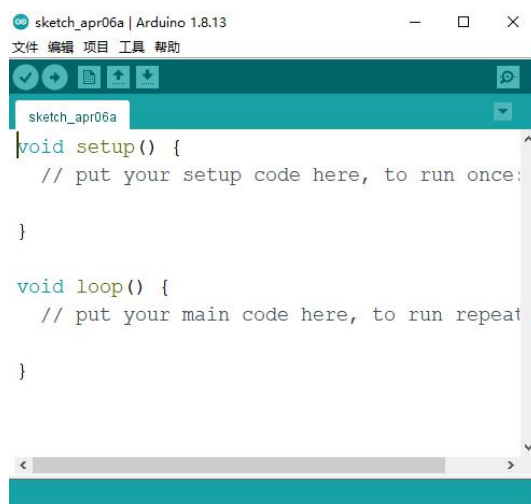


图 4-4 Arduino IDE 界面

4.2.2 HBuilder 软件

网页编辑，选用的是 HBuilder 软件，这款软件可以在 Web 上开发 IDE 网页。它可以使用 Web、Java、C 和 Ruby 进行编写。HBuilder 的最大优势是快，本身是有 Java 编写的，提高了 HTML 编写速度。

本次设计的网页选用的是超文本标记语言，简称 HTML。是专门用来制作网页的工具。

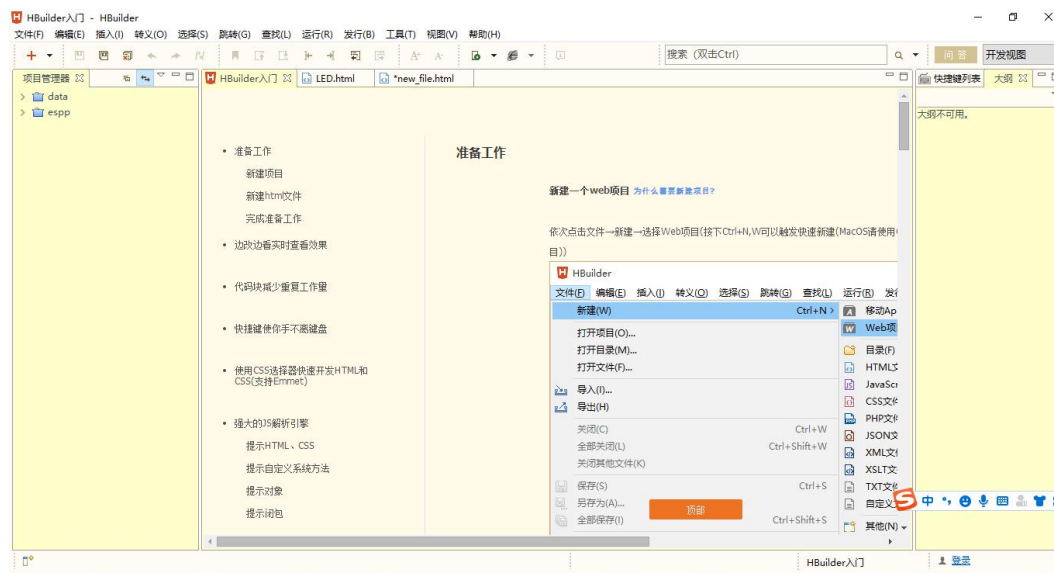


图 4-5 HBuilder 界面

4.3 程序编写

4.3.1 下位机 Arduino 程序编写

下位机程序流程。首先，需要调用步进电机的库函数。然后，创建变量，定义步进电机，光电开关，ESP8266 的管脚。接下来初始化，使能步进电机，定义步进电机的加速度，定义光电开关为输入模式。ESP8266 连接 WIFI。主程序中，程序处于等待接收来自上位

机的命令的状态。如果，接收到上位机信号后，电机按照指令执行对应的程序，若没有接收到上位机信号后，程序处在待机状态。如果，电机移动碰到光电开关后，光电开关接收到信号后，发送信号给控制器，控制电机停止运行，若光电开关没有接收到信号后，步进电机继续按照上位机给的命令继续运行。电机停止运行后，返回到接收上位机的命令处。如图 4-6 所示。

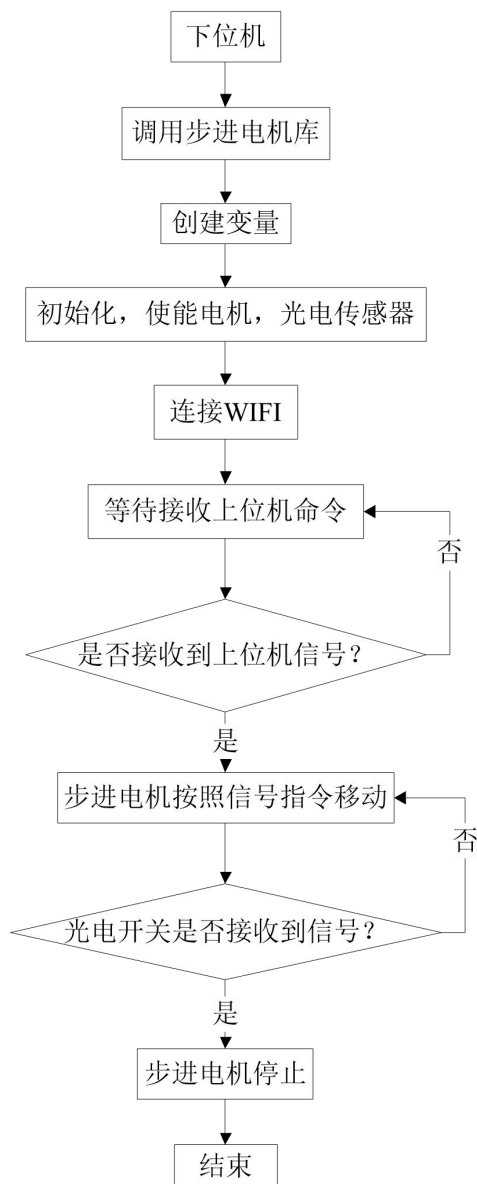


图 4-6 下位机流程

4.3.2 上位机 HTML 程序编写

上位机程序设计流程，如图 4-7 所示。分为两个部分，第一部分是 Arduino 网络 WIFI 环境搭建，第二部分是 HTML 网页创建。控制器选择的是 ESP8266Node MCU，程序实现的功能是，通过连接 WIFI，打开 MCU 上的网页，通过网页上的按键控制步进电机做出对应的指令。

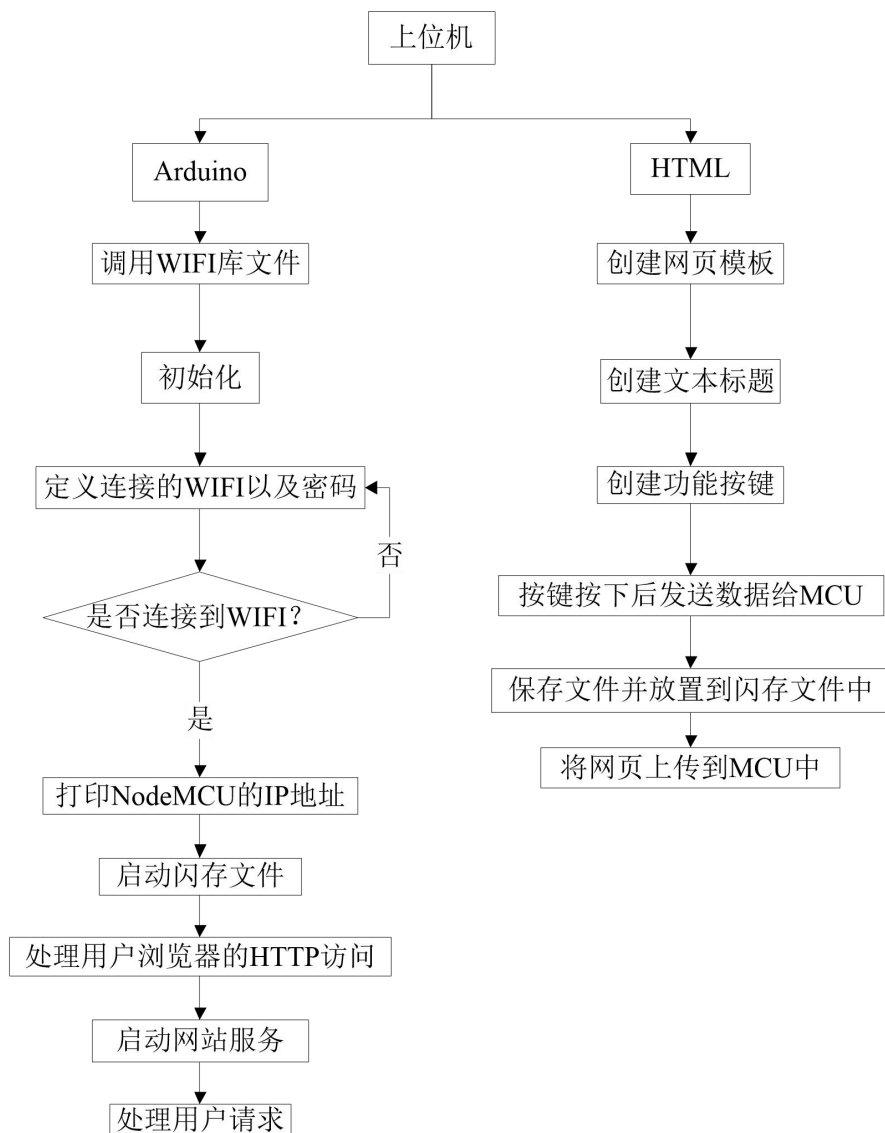


图 4-7 上位机流程

具体编写流程，首先，在 Arduino IDE 上创建一个新工程，调用 WIFI 库函数，建立 WIFI 库的对象。建立网络服务器的对象，用于响应 HTTP 请求。初始化，定义连接的 WIFI 的用户名和密码。判断是否连接上 WIFI，若连接不成功，一直尝试连接。若连接成功，打印 Node MCU 的 IP 地址。启动闪存文件系统。处理用户浏览器的 HTTP 访问，首先，获取用户请求资源，通过处理浏览器 HTTP 访问处处理用户请求资源，如果在 SPIFFS 无法找到用户访问的资源，则回复 404。启动网站服务。主程序中，处理用户请求。

HTML 网页创建流程，首先，在 HBuilder 中建立一个新的工程，创建一个 HTML 网页模板。创建文本标题，标题为“波动光学自动演示系统”。然后，创建功能按键，名字为“复位”。按下后发送一个字符串，其他按键创建与“复位”按键相同。最终效果，如图 4-8 所示。

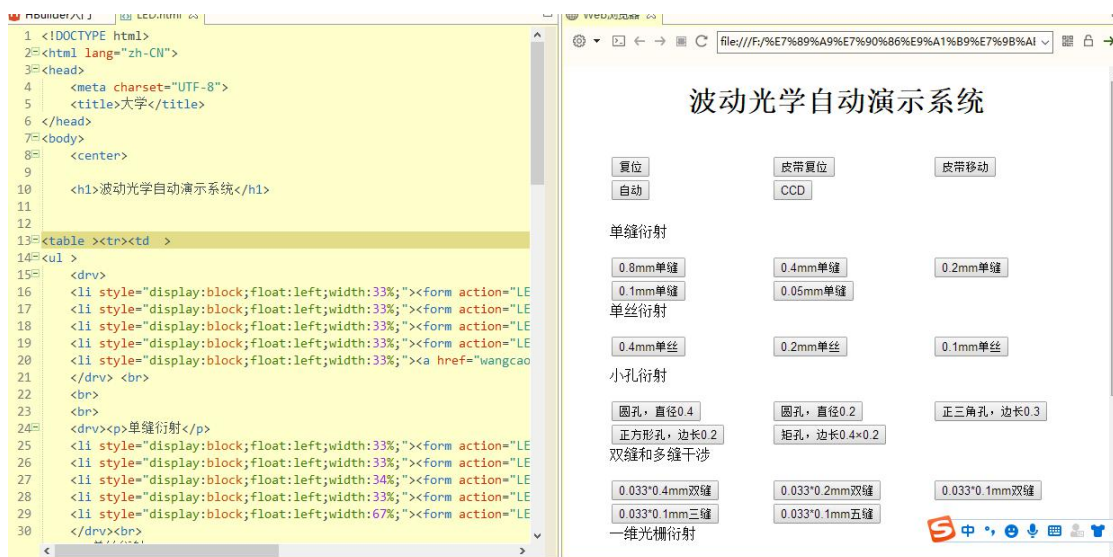


图 4-8 上位机界面

保存建立的网页，放到闪存文件夹中。然后通过 Arduino IDE，将闪存文件夹上传给 Node MCU。

第五章 系统调试

5.1 调试方案设计

在完成整个仪器的搭建与编写完成整个程序后，需要对仪器进行测试，来验证仪器的功能是否正确，仪器运行是否可以稳定运行。这里用的方法是，通过将程序上传给硬件后，观察硬件与软件实现后的功能，能否是规定的功能，通过对软件与硬件的调试，达到需要的设计要求。

前面的章节，已经介绍了仪器的功能已经软件硬件的调试，故本章主要进行整个系统功能的测试。

5.2 功能性测试

功能性测试部分将验证系统的既定功能，包括步进电机的复位，电机运行到指定位置，线阵 CCD 监控等功能。

首先检查设备，保证设备各部分硬件连接正常，确保接线没有问题。整个仪器内部结构，如图 5-1 所示。

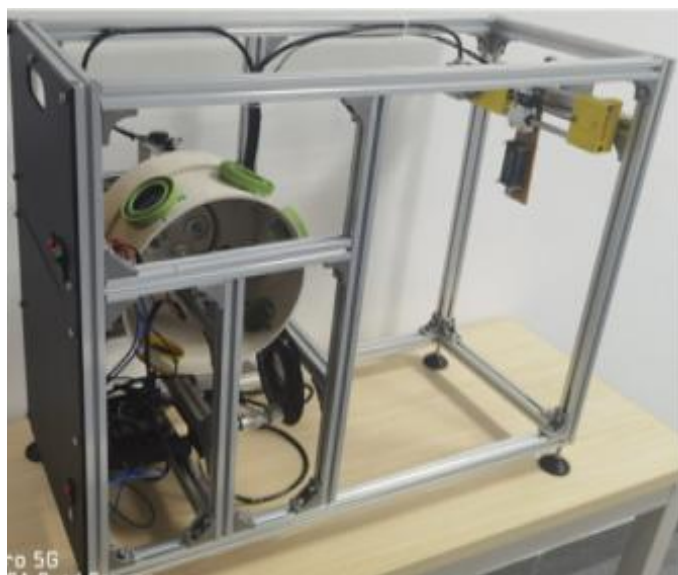


图 5-1 仪器结构图

拿电脑或手机连接 WIFI，输入局域网 IP 地址，打开指定网页。如图 5-2 所示。



图 5-2 控制界面

按下网页上的“复位”按键后，电机会旋转到设定的初始位置处，并且光电传感器上的 LED 灯会点亮。如图 5-3 所示。

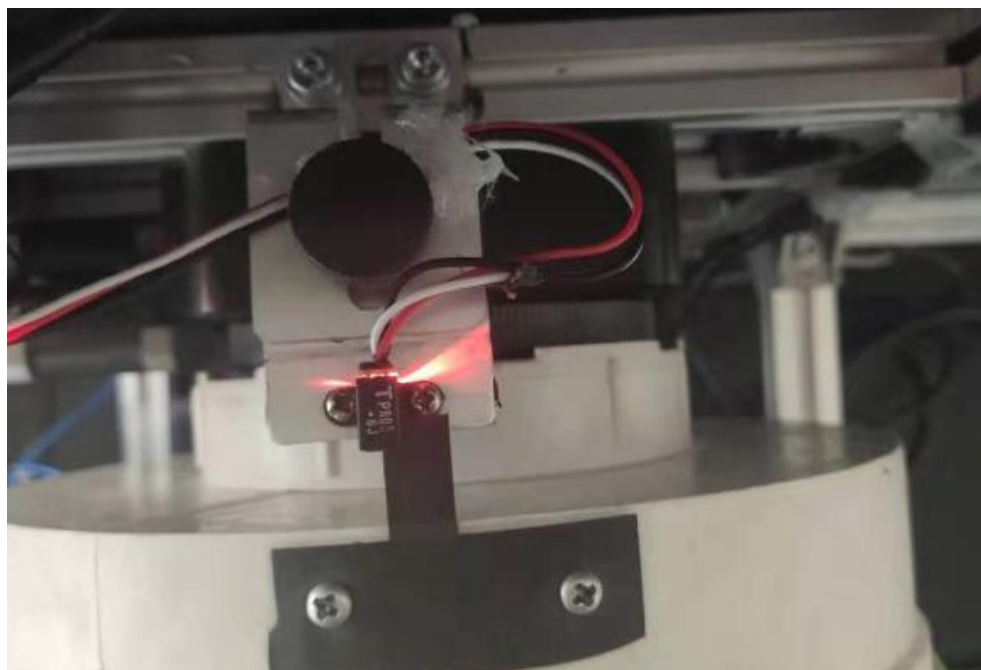


图 5-3 光电开关位置

在步进电机复位后，按下其他按键，步进电机将移动到对应的位置，如图 5-4 所示。所有的功能按键可以演示，单缝衍射、单丝衍射、小孔衍射、双缝和多缝干涉、一维光栅衍射、正交光栅衍射和偏振。



图 5-4 按键指令

下面以 0.1mm 单缝衍射为例，来具体说明一下如何调试的。首先，先按下网页上的“0.1mm 单缝”按钮。电机走到指定位置后，激光穿过单缝会在前方墙上演示出单缝的效果。此演示结果为电机处于正确位置处的，如图 5-5 所示。



图 5-5 单缝演示效果

如果，按下“0.1mm 单缝”激光为穿过对应的单缝，说明电机的位置未到达指定位置，这时候就需要修改程序中，步进电机移动的距离。修改完成后，需要重新上传程序，进行调试。直到激光穿过单缝后在墙壁上出现效果为止。如图 5-6 所示。



图 5-6 程序调试

在调试好单缝演示的效果后，调试线阵 CCD 模块。首先，按下控制界面上的“皮带复位”按键，这时候，能够看见皮带上带有的线阵 CCD 模块开始移动，直到接触了光电开关后停止。这时候，我们只打开绿色激光电源。当绿色激光正好照射在线阵 CCD 的采集处时，说明调试完毕。如图 5-7 所示。

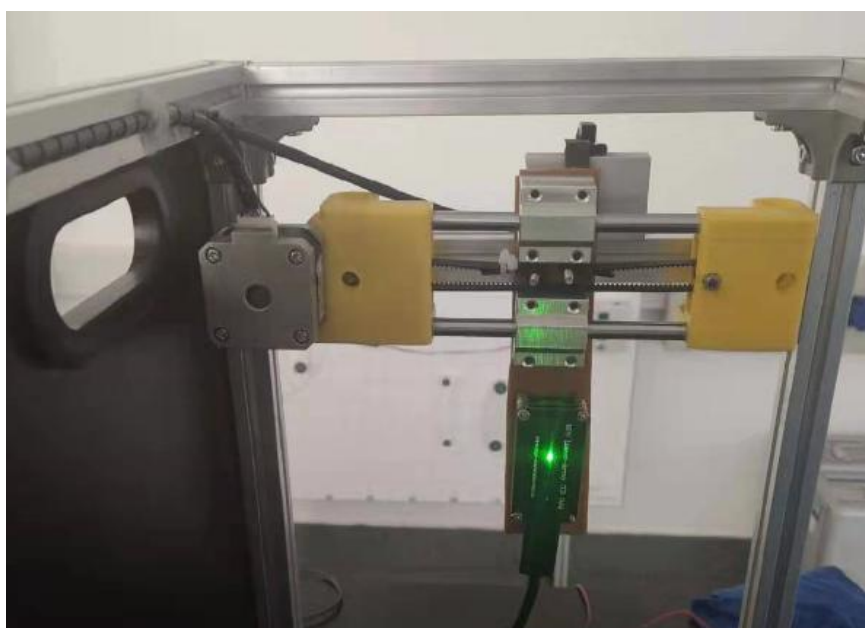


图 5-7 CCD 采集

然后，按下控制界面的“CCD”按键，电脑系统会自动打开 CCD 图像采集软件，按下“开始采集”按键后，会出现采集到的单缝图像。如下图 5-8 所示。

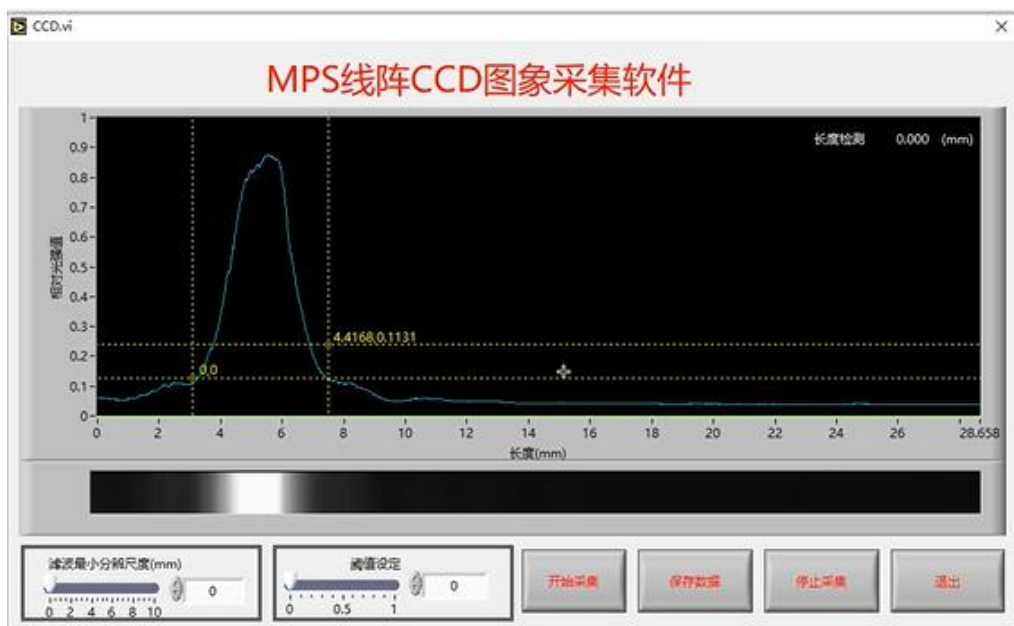


图 5-8 CCD 界面

转筒上的其他光学组件调试，都如 0.1mm 单缝调试过程一样。需要重复上述操作步骤。但偏振现象除外。

偏振的光学组件，安装在转筒下方。步进电机通过联轴器控制装有偏振片的镜头转动。当在控制界面按下“+90 度”按键后，装有偏振片的镜头会旋转 90 度，同时会在墙面上看见一个明亮的激光光源，再次按下后，光源会消失不见。如图 5-9 所示，图 5-10 所示。



图 5-9 偏振光源正视图



图 5-10 偏振光源侧视图

这里需要调试的地方是偏振片旋转的角度。调试方法与调试 0.1mm 单缝电机的方法一致。都是改变步进电机的目标步数。

第六章 总结与展望

本文是大学物理光学演示装置的自动化控制系统设计，在整个过程中，主要是设计与改进了波动光学演示仪器。在制作仪器的过程中本仪器申报了实用新型专利，同时，本人拿仪器参加了“北京市第十三届大学物理实验竞赛”，荣获二等奖。整个过程让我感觉自己非常充实。

本仪器是把以前需要做很久的物理实验，通过自动化的方式进行了改进，用户只需要动动手指就能够看到物理现象，非常有趣。但由于本人的能力有限，有很多的功能是没有实现，例如，通过上位机来控制仪器旋转到指定位置，语音会播报光学现象，仪器自己介绍仪器的各个功能等。我相信通过我以后的学习，这些想法今后都会实现。

物联网，我相信未来，一定会出现更多的物理与物联网相结合的，更加智能的仪器。

参考文献

- [1] 李军刚, 胡海云. 光线、光波与光子, 光学中的物理模型[J]. 大学物理, 2019,38(12):28-32.
- [2] 羨一民, 王科峰. 激光干涉仪技术及发展[J]. 工具技术, 2003(11):68-74.
- [3] 周丽丽, 王青. 步进电机调速控制系统设计[J]. 南方农机, 2020,51(20):78-79.
- [4] 孙小琴, 3D 打印用步进电机控制系统的研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2018.
- [5] 周石洁, 基于瑞萨 M16C/62P 物理实验教学仪器的研制[D]. 合肥工业大学, 2015.
- [6] 陈悦, 高中物理实验仪器改进的案例研究[D]. 鞍山师范学院, 2019.
- [7] 古志坚, 基于单片机的步进电机控制系统研究[D]. 华南理工大学, 2013.
- [8] 章烈烈, 基于单片机的高精度步进电机控制研究[D]. 武汉理工大学, 2007.
- [9] 罗永洪, 胡小兵. 基于云制造的数控机床自动化生产系统设计[J]. 现代电子技术, 2020,43(22):181-186.
- [10] 宋锦远, 独立驱动及转向移动机器人的设计[D]. 上海师范大学, 2018.
- [11] 张旭, 于明鑫, 祝连庆, 何彦霖, 孙广开, 基于全光衍射深度神经网络的矿物拉曼光谱识别方法[J]. 红外与激光工程, 2020,49(10):168-175.
- [12] 卜苗苗, 张利强, 江国强, 贺斯慧, 基于 Arduino 的“智绘” 写绘一体机器人[J]. 企业科技与发展, 2020(02):47-49.
- [13] 褚世文, 靳士博, 庞华天, 凌宸, 张燕, 基于物联网的智能家居系统研究[J]. 电脑知识与技术, 2020,16(22):193-197.
- [14] 余俊杰, 基于 labVIEW 机器视觉的电池安全阀检测设备的研究[D]. 华南理工大学, 2019.
- [15] Amir Mehdi Yazdani, Amin Mahmoudi, Mohammad Ahmadi Movahed, Pooria Ghanooni, Somaiyeh Mahmoudzadeh, Salinda Buyamin. Intelligent Speed Control of Hybrid Stepper Motor Considering Model Uncertainty Using Brain Emotional Learning[J]. Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering, 2018, 41(2).
- [16] Im Sungbeen, Jeong Sanghwa. A study on the implementation of closed-loop system using the stepper motor back-EMF[J]. Journal of the Korea Safety Management and Science, 2015, 17(3).
- [17] Qi Hong, Shi Jing-Wen, Su Yan-Xiong, Gao Bao-Hai, Ren Ya-Tao. Soot temperature measurement within 3D flame by light-field imaging based on wave optics theory[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2021, 138.
- [18] Mordecai Raji, Akeem Shokanbi, Happy Monday. Design of Ultra-low-end Controllers for Efficient Stepper Motor Control[J]. MATEC Web of Conferences, 2018, 160.

附录



wy-中德杨广武 112701

国家知识产权局

300203

天津市河西区江西路与合肥道交口富力中心 1-3101
天津市三利专利商标代理有限公司 李文洋(022-28369656)

发文日:

2020 年 11 月 30 日



申请号或专利号: 202022814156.7

发文序号: 2020113001686440

专利申请受理通知书

根据专利法第 28 条及其实施细则第 38 条、第 39 条的规定, 申请人提出的专利申请已由国家知识产权局受理。现将确定的申请号、申请日、申请人和发明创造名称通知如下:

申请号: 202022814156.7

申请日: 2020 年 11 月 30 日

申请人: 天津中德应用技术大学, 天津快鸟教育科技有限公司

发明创造名称: 自动控制波动光学演示仪

经核实, 国家知识产权局确认收到文件如下:

说明书摘要 每份页数:1 页 文件份数:1 份

实用新型专利请求书 每份页数:5 页 文件份数:1 份

摘要附图 每份页数:1 页 文件份数:1 份

说明书 每份页数:5 页 文件份数:1 份

说明书附图 每份页数:3 页 文件份数:1 份

权利要求书 每份页数:1 页 文件份数:1 份 权利要求项数: 4 项

提示:

1. 申请人收到专利申请受理通知书之后, 认为其记载的内容与申请人所提交的相应内容不一致时, 可以向国家知识产权局请求更正。
2. 申请人收到专利申请受理通知书之后, 再向国家知识产权局办理各种手续时, 均应当准确、清晰地写明申请号。
3. 国家知识产权局收到向外国申请专利保密审查请求书后, 依据专利法实施细则第 9 条予以审查。

审查员: 自动受理

审查部门: 专利局初审及流程管理部

200101
2019.11

纸件申请, 回函请寄: 100088 北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 国家知识产权局受理处收
电子申请, 应当通过电子专利申请系统以电子文件形式提交相关文件。除另有规定外, 以纸件等其他形式提交的文件视为未提交。



致 谢

在本论文的设计过程中，我得到了许多人的帮助，我真挚地表示对他们的谢意。首先感谢我的导师刘艺柱副教授和杨广武教授，从课题的选取、开题的撰写、工作的开展以及论文的完成，每一个细节无不凝聚着刘老师与杨老师的辛劳，他们的宝贵建议和严格要求使我受益匪浅，并且终身难忘。在此，向两年来在我学习和生活中给予我关怀和帮助的刘老师与杨老师，致以崇高的敬意和诚挚的感谢。

其次要感谢父母一直以来对我的鼓励和支持，你们给了我生活的目标以及克服困难的勇气。

同时对于同学在我学习、生活上的帮助表示感谢。感谢和我一起度过两年时光的你们，祝你们在以后的日子里能够一切顺利。

最后衷心地感谢在百忙中评阅论文和参加答辩的各位专家！谢谢！