

基于模糊控制的智能感控视力保护仪

张 柱¹, 付深圳¹, 张丽娜², 鲁旭涛², 王 英³, 高英姿²

(1. 浪潮电子信息产业股份有限公司, 济南 250014; 2. 中北大学 信息与通信工程学院, 太原 030051; 3. 中北大学 能源动力工程学院, 太原 030051)

摘要: 针对青少年长时间使用电子产品导致视力下降的问题, 提出一种基于模糊控制的智能感控视力保护仪; 该保护仪的控制系统综合运用了传感器技术、数字信息处理技术、模拟数据处理技术以及智能算法, 实现了软硬件的结合; 针对检测过程中距离和光照强度难调节的问题, 引入了模糊控制算法, 通过模糊控制规则来调节距离和光照, 并进行了仿真实验, 将采集到的光照强度和检测距离作为输入量, 定时时间作为输出量, 达到提醒学生的目的; 对比实验结果表明, 模糊控制比 PID 控制的定时时间增加了 10.6 min, 相对时间增大了 18.563%, 能够为学生创造更良好的学习环境。

关键词: 视力保护仪; 智能感控; 模糊控制; PID 控制

Intelligent Visual Acuity Protector Based on Fuzzy Control

ZHANG Zhu¹, FU Shenzhen¹, ZHANG Lina², LU Xutao², WANG Ying³, GAO Yingzi²

(1. Inspur Electronic Information Industry Co., Ltd., Jinan 250014, China;

2. School of Information and Communication Engineering, North China University, Taiyuan 030051, China;

3. School of Energy and Power Engineering, North China University, Taiyuan 030051, China)

Abstract: In view of the problem of vision loss caused by the long-term use of electronic products by teenagers, an intelligent visual acuity protection instrument based on fuzzy control is proposed. The control system of the protector combines sensor technology, digital information processing technology, analog data processing technology, and an intelligent algorithm, and realizes the combination of software and hardware. Aiming at the problem that distance and illumination intensity are difficult to adjust in the detection process, a fuzzy control algorithm is introduced. The distance and illumination are adjusted by fuzzy control rules. The simulation experiment is carried out. The collected illumination intensity and detection distance are taken as input and timing time as output quantity to remind students. The results of the comparative experiments show that the time of fuzzy control is increased by 10.6min and the relative time is 18.563% compared with PID control, which can create a better learning environment for students.

Keywords: vision protection instrument; intelligent sensing control; fuzzy control; PID control

0 引言

我国作为一个近视大国, 总近视人口在世界上位居第一, 根据最新的卫计委数据显示, 我国当前的近视人口达到 7 亿以上, 儿童的近视率约 14%, 小学生的近视率约 48%, 初中生的近视率约 73.6%, 高中生的近视率高达 85%。尤为重要的是, 有超过 50% 的家长并不重视孩子视力问题, 对于视力下降以及视力矫正等问题并未作出任何的补救措施, 做一些专业的医疗救治的学生更是少之又少。因此, 戴近视眼镜的学生屡见不鲜。确保健康的阅读时间、培养良好的学习习惯以及创造良好的学习环境显得尤为重要。通过视力保护仪来避免长时间的读写, 降低近视眼的发生率, 减少青少年的身体损伤是当前发展的必然趋势。

对于此类问题的研究, 主要集中于视力保护仪器设计和

视力检测的精度两方面。对于视力保护设计方面, 张文玥等人利用 PWM 脉宽调制技术对 LED 台灯进行光照度的自动调节, 能在人体与台灯距离小于 25 cm 时进行声光报警^[1]; 胡景勤等人通过实时显示距离和光强等参数来提示学生, 达到调整坐姿的目的^[2]。对于视力检测的精度方面, 主要通过智能算法来实现视力保护。王娟等人利用深度学习中 Faster-RCNN 来实现瞳孔检测, 利用特定的体征参数来计算出近视的程度, 进而采取救治措施^[3]; 陈超等人根据用户的喜好等参数, 定制视觉设备并通过云端数据处理来增强视觉效果, 进而保护视力^[4]; 文献^[5]采用 AdaBoost 算法和级联方法用实测的数据计算出人的学习状态^[5]。综合分析上述两方面的研究, 考虑的场景都比较单一, 将视力监测的精度加入智能视力保护仪中, 提高保护效率。

本文针对视力保护系统的非线性性和时变性, 设计了基

收稿日期: 2021-04-03; 修回日期: 2021-04-15。

基金项目: 山西省应用基础研究项目(201701D221124); 山西省重点研发计划项目(201903D221025); 山西省青年科技基金(201801D221236)。

作者简介: 张 柱(1982-), 男, 江苏无锡人, 大学本科, 工程师, 主要从事嵌入式开发以及硬件设计等方向的研究。

通讯作者: 张丽娜(1997-), 女, 山西忻州人, 在读硕士研究生, 主要从事物联网和智能算法方向的研究。

引用格式: 张 柱, 付深圳, 张丽娜, 等. 基于模糊控制的智能感控视力保护仪[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(10): 244-249.

于模糊控制的智能感控视力保护仪, 通过丰富模糊控制规则来解决参数难调节的问题, 进一步完善视力保护系统的控制性能。

1 系统结构及原理

本系统的视力保护仪可以通过光照强度和距离等参数来实现实时的显示、定时和无线通信。各个功能模块之间互相协调, 系统的控制策略通过软件设计实现, 系统的监测和报警通过硬件设计来完成。通过传感器技术、数字信号处理技术以及模糊控制智能算法等技术的融合来搭建智能感控视力保护平台。智能感控视力保护仪的系统如图 1 和图 2 所示。

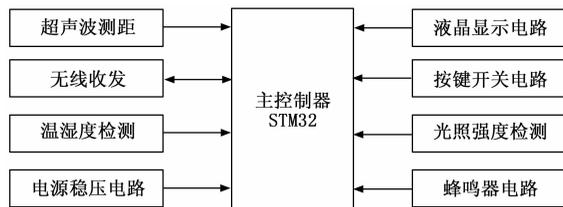


图 1 控制主机框图

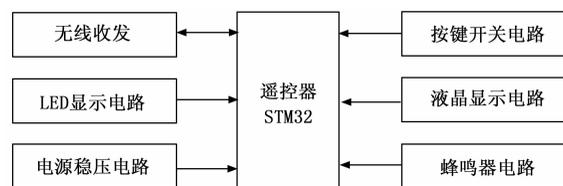


图 2 遥控器框图

该视力保护仪能实现的具体的各部分功能:

- 1) 微控制器部分: 采用 STM32 单片机, 实现数据的采集、数据处理以及控制信号的输出。
- 2) 定位部分: 采用步进电机和热释红外传感器, 监测使用者的使用状态。通过步进电机的转动驱动红外传感器来寻找使用者, 当检测到有人靠近时, 传感器将采集到的数据传输给单片机, 步进电机停止转动。
- 3) 步进电机驱动部分: 本系统采用的型号为 ULN2003 来驱动电机, 通过识别电源脉冲信号来旋转一定的角度, 进而带动传感器的感应。
- 4) 超声波测距部分: 超声波测距是利用时间渡越法, 根据超声波的反射特性, 测出超声波的传输距离后再计算出障碍物与发射源的距离。在测量前要先减少温度对速度的影响, 降低误差。
- 5) 无线通信部分: 通过无线收发模块来实现遥控和主板之间的无线数据传输。
- 6) 模数转换部分: 数模转换主要用来处理光强传感器采集的模拟数据量, 通过数模转换来得到单片机能够识别的信息量。

2 系统硬件设计

2.1 主控模块的设计

微控制器是视力保护系统最主要的组成部分, 要进行

数据的传输和处理, 需要将采集到的光强、距离以及温湿度等数据进行分析并处理, 从而控制仪器的使用状态。

单片机包括三大总线: 数据总线、地址总线、控制总线。四大单元: CPU、数据存储器、程序存储器、定时/计数器。单片机的核心是 CPU, 控制着整个单片机主要有运算器、控制器, 这两个重要元素决定着 CPU 的主要性能, 二者能够实现运算、控制等功能, 可以进行一系列运算的数据运算, 如逻辑运算、算术运算、数据传送及位操作等, 都是靠运算器来实现。控制器主要是对单片机工作起到一定的辅助作用, 产生时序脉冲, 为单片机提供限制电路信号等。

当前的微控制器也可使用最传统的 8 位单片机, 但是其处理数据的速度和处理的数据量都有局限。因此采用实效性高、功耗低、易于开发的 STM32 处理器。

2.2 超声波测距设计

超声波测距通常采用渡越时间法, 通过测量发射出去的超声波和反射回的超声波的时间来计算保护仪与障碍物之间的距离。超声波传感器主要由双压电晶片振子、圆锥共振板以及电极等组成。在电极两端施以电压, 晶片就会发生形变, 如果加上一定频率的电压, 形变也会保持频率, 即发射出超声波。时间渡越法的原理如图 3 所示。

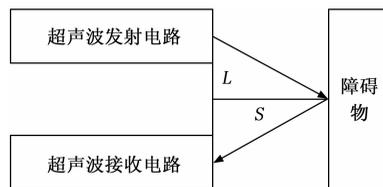


图 3 超声波测距原理

设超声波在空气中的传播速度为 v , 超声波发射电路和超声波接收电路中心距离的一半为 L , 需要测的保护仪与障碍物之间的距离为 S , 则:

$$S = \frac{1}{2} \left\{ vt \cos \left[\arctan \left(\frac{L}{S} \right) \right] \right\}$$

其中: t 为超声波发出的时间与返回的时间差, 微控制器记录的时间, v 为声波在介质中的传播速率。

$$\text{当 } S \gg L \text{ 时, } \cos \left[\arctan \left(\frac{L}{S} \right) \right] \approx 1$$

$$\text{可计算出 } S = \frac{1}{2} (vt)$$

超声波在空气的传播速度受温度的影响较大, 在标准状态时候, 传播速度 v_0 一般为 331.5 m/s。在正常室温 t 下, 超声波的传播速度为:

$$v = v_0 \sqrt{\left(1 + \frac{t}{T} \right) \left(1 + 0.31r \frac{P_s}{P} \right)}$$

其中: r 为相对湿度, P_s 为某时刻的空气饱和蒸气压, P 为标准大气压强。

超声波测距模块的标准工作电压为 5 V, 工作电流为 15 mA, 工作频率为 40 Hz, 最远的射程可达到 4 m。该模块的具体电路如图 4 所示。

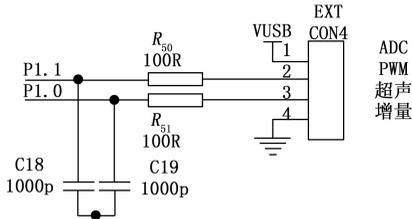


图 4 超声波测距模块电路图

2.3 光照强度检测电路设计

光敏电阻、定值电阻、数模转换器件以及电源构成光照强度检测电路。

通过光敏电阻的阻值大小反应光照的强度。根据串联分压的原理，当光强增大的时候，电阻里的电子被激发，光敏电阻的阻值减小；相反，当光强较小时，阻值增大。检测到的电阻值会通过固定引脚发送到芯片，再有数模转换器输出一个可识别的二进制数，即为当前的电压大小，进而推理光照的强弱。本设计使用的光照传感器的光照强度计算公式：

$$N = 0.4675 * (221 - R)$$

其中：N 为当前光照强度，R 为光敏电阻的阻值。在测得电阻值后，由 CH0 引脚把电阻值输给芯片，经由 AD 转换器输出一个 8 位二进制数，得到当前电压值。电路如图 5 所示。

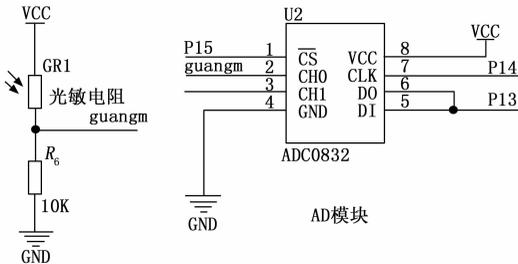


图 5 光照强度检测模块电路图

2.4 无线通信模块设计

本设计选用抗干扰能力强、功耗低、传输数据稳定的 nRF24L01 无线收发芯片来完成遥控器和主控制器之间的数据通信，收发频率为 2.4~2.5 GHz，能够进行自动地应答和重发等。遥控器可以对主控制器件设置时间，控制通断，相反，主控制器也可以把温湿度、距离以及光照强度等信息传送给遥控器从而达到实时的数据传输与控制。具体电路如图 6 所示。

3 系统软件设计

软件设计也是智能感控视力保护仪的重要部分，硬件的设计需要软件的技术支持，合理的编程设计能够更准确的完成系统的功能。通过模块化编程，将各个模块独立编写，然后用工程整合后可以更方便地调试程序，方便后续软件的修复和升级。主程序流程如图 7 所示。

1) 开始给系统上电，判断系统的复位键是否按下，复

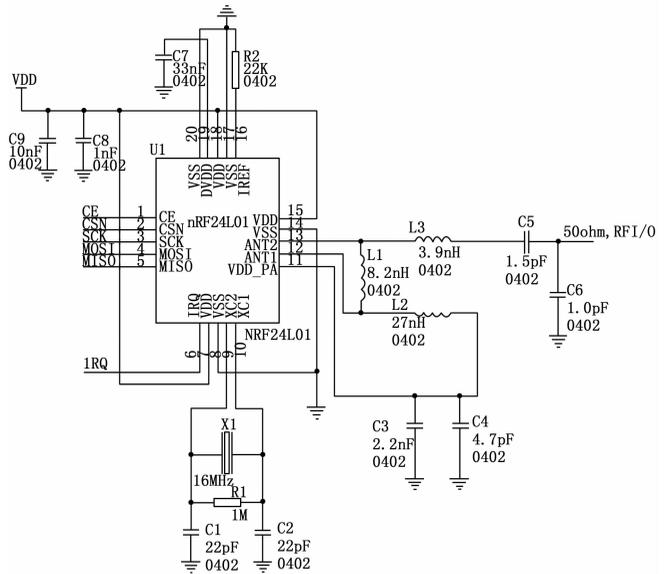


图 6 无线收发模块电路图

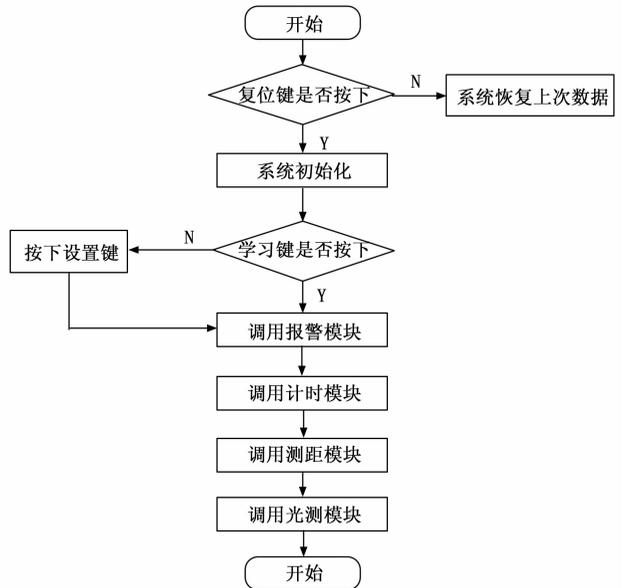


图 7 主流程图

位键按下，系统进行初始化。

2) 系统初始化后，判断学习键是否按下，按下学习键后，可以启动系统的各个功能模块，正常运行系统。

3) 调用系统的功能模块后，对采集的数据进行分析和处理，进而完成设计功能。

4 系统智能算法设计

4.1 模糊控制系统模型

模糊控制器能够通过操作者的经验来控制对象，不完全依靠被控对象的特点，采用 IF-THRN 的控制规则，参数的不便于调整，能够保证数据的完整性。自适应模糊控制是集自适应学习算法的模糊控制器，利用操作者给的模糊信息来进行控制处理，对参数变化较大，不确定的系统

有着重要的作用。模糊控制集合理论和模糊逻辑推理是模糊控制的基础, 模糊控制规则是核心, 可以通过隶属度函数来表现。隶属度函数是人为定义的函数, 具有连续可调的特点。具体形式分以下几种, 图像分别如图 8 (a), (b), (c) 所示。

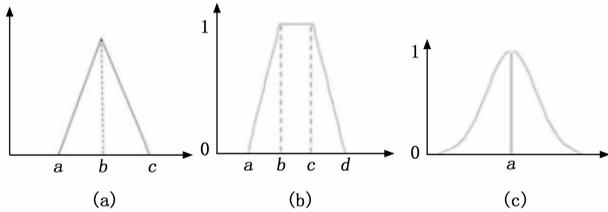


图 8 隶属度函数图像

1) 三角形:

$$A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

2) 梯形:

$$A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x < a \text{ 或 } x > d \end{cases}$$

3) 高斯形:

$$A(x) = e^{-[(x-a)/\sigma]^2}, \quad -\infty < x < \infty$$

将采集到的光照强度和距离等参数进行模糊控制处理, 通过模糊化分析、模糊控制规则建立以及反模糊控制来输出定时时间参数。解模糊的几种常见方式如下:

重心法:

$$u = \frac{\int x \cdot \mu_N(x) dx}{\int \mu_N(x) dx}$$

$$u = \frac{\sum x_i \mu_N(x_i)}{\sum \mu_N(x_i)}$$

最大隶属度法: 输出最大的隶属度的值。

系数加权平均法:

$$u = \frac{\sum k_i \cdot x_i}{\sum k_i}$$

模糊控制仿真的具体操作是先将采集到的光照强度和距离作为输入的模糊量, 设计合理的模糊规则后输出定时时间参数。具体的实现流程如图 9 所示。

4.2 模糊控制器设计

1) 输入输出变量论域。本文的控制器的输入是光照强度 L 和检测距离 S 两个变量。输出量是定时时间 T 。 L 的变化范围为 $-3 \sim 3 \text{ lx}$; S 的变化范围为 $0 \sim 600 \text{ cm}$; T 的时间变化范围为 $0 \sim 60 \text{ min}$ 。

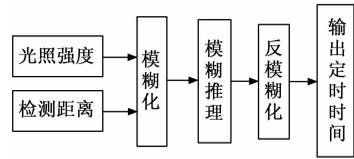


图 9 模糊控制流程图

2) 模糊语言及其量化论域。模糊控制的规则根据不同的输入输出的级别来确定, 首先将输入输出 3 个变量进行等级定义, 然后根据实际情况排列组合得到模糊控制规则。本文 L 的变化分为 7 个等级, 从 0~6; S 的变化分为 7 个等级, 从 0~6; T 的变化分为 8 个等级, 从 0~7。对应的语言如表 1 所示。

表 1 L, S, T 的模糊语言变量

变量	模糊语言
$L = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$	HR(很弱), R(弱), JR(较弱); LZ(零); JQ(较强), Q(强), HQ(很强)
$S = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$	HD(很短), JD(较短), SD(短); SZ(适中); Y(远), JY(较远), HY(很远),
$T = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$	TZ(零), TD(很短), D(短); LD(较短); JC(较长), C(长), HC(很长), ZC(最长)

3) 隶属度函数。采用三角隶属函数将输入与模糊控制规则联系起来, 隶属函数的形式会影响定时时间。输入输出变量的隶属度函数结果如图 10~12 所示。

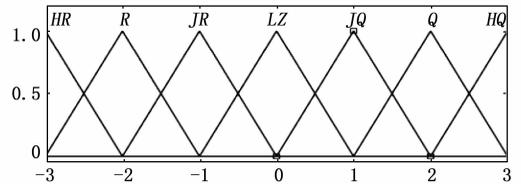


图 10 L 的隶属度函数

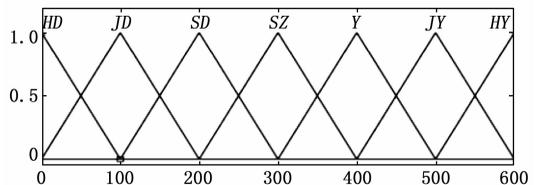


图 11 S 的隶属度函数

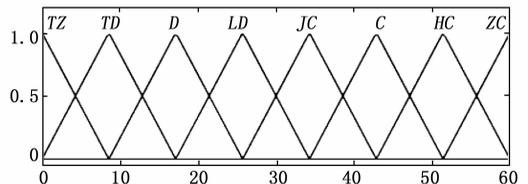


图 12 T 的隶属度函数

4) 规则表。模糊控制主要是通过设定好的控制规则来实现的, 模糊控制规则作为模糊控制器的核心, 在设计模糊控制规则的时候, 不仅要根据理论知识推理还要借鉴一些实际经验。本文的输入为 7 个等级, 因此共有 49 个控制的规则组合, 具体的模糊控制规则表 2 所示。

表 2 模糊控制规则表

T		L						
		HR	R	JR	LZ	JQ	Q	HQ
S	HD	TZ	TD	D	LD	JC	C	HC
	JD	TD	D	LD	JC	C	HC	ZC
	SD	D	LD	JC	C	HC	ZC	ZC
	SZ	LD	JC	C	HC	ZC	ZC	ZC
	Y	D	LD	JC	C	HC	ZC	ZC
	JY	TD	D	LD	JC	C	HC	ZC
	HY	TD	TD	D	LD	JC	C	HC

4.3 仿真实验

在 Matlab 的工具箱中设置模糊控制器，设置为双输入单输出的控制器，并将输入输出变量的命名进行更改，设计的控制器结构如图 13 所示。

File Edit View

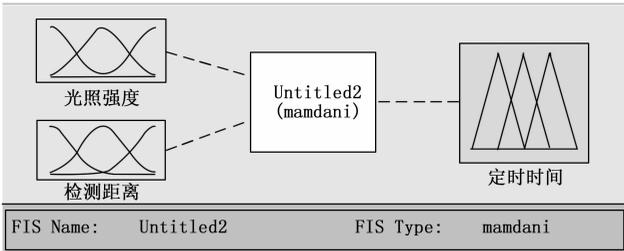


图 13 模糊控制器结构

对模糊控制器的输入和输出函数的隶属度进行编辑后，建立模糊控制规则，对本设计的 49 条控制规则逐一设置。模糊控制规则设计窗口如图 14 所示。

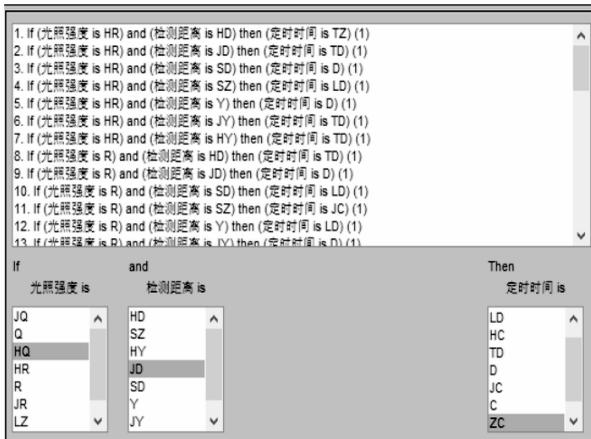


图 14 模糊控制规则

在建立了模糊控制规则后，模糊控制系统建立完成，在模糊控制规则器中查看模糊规则推理，监测模糊控制系统。具体的模糊控制规则观测器如图 15 所示。

模糊控制器建立完成后，设置 x 轴为光照强度， y 轴为检测距离， z 轴为计算的定时时间。实际的输出结果如图 16 所示。

智能感控视力保护的智能算法经过模糊控制仿真实验



图 15 模糊控制规则观测器

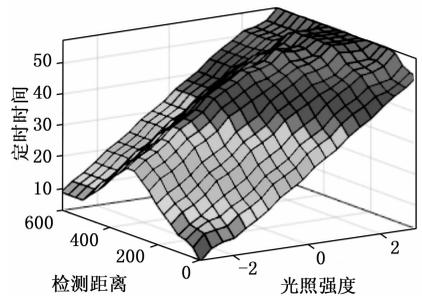


图 16 模糊控制结构曲面图

表明，在检测到任意一组光照强度和检测距离时候，都可以通过严谨的模糊控制规则得到定时时间。如光照强度为 2.15 lx，检测距离为 270 cm 时，定时时间为 57.1 min。

4.4 对比实验

为了验证上述模糊控制仿真实验的隶属度函数和模糊控制规则建立的完整性以及可靠性，本文采用自适应模糊 PID 控制进行对比仿真实验。该控制方式是一种线性控制，根据定值 $d(t)$ 与实际的输出值 $f(t)$ 构成误差值 $d(t) - f(t)$ 。本设计是在连续状态下得出控制的时间。具体模型为：

$$y(t) = k_p \left[d(t) - f(t) + \frac{1}{T} \int_0^t [d(t) - f(t)] dt + T_D \frac{d[d(t) - f(t)]}{dt} \right]$$

PID 控制过程是将误差和误差变化率作为输出，通过模糊控制规则将模糊参数进行调整。经过 PID 控制调整后的输入输出参数得出的模糊控制查看器如图 17 所示。

通过上述的对比实验发现，在同一组输入参数光照强度为 2.15 lx，检测距离为 270 cm 时，PID 控制得到的定时时间为 46.5 min。然而本系统采用的模糊控制规则使得定时时间增加了 10.6 min，相对时间增大了 18.563%，可以有效地为学生提供学习时间，保证良好的光照。经过调整

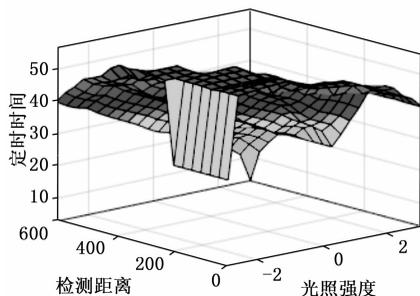


图 17 调整后的模糊控制曲面图

的定时时间更为集中, 不符合实际情况。原模糊控制规则得出的定时时间更为精确, 控制更加精准。

5 系统测试

在对系统进行上电调试前, 首先对系统的硬件部分进行仿真检测, 系统的硬件仿真也是一种建模形式, 通过对实际的电路进行虚拟处理, 用虚拟的电路对硬件设计进行电路分析与处理。本设计的系统测试将对每个功能模块都进行电路仿真实验, 各个功能模块要分开测试。通过仿真实验的测试, 可以判断电路是否正常连通, 功能模块是否完整, 以便进行后续的修复和完善。采用 Proteus 软件进行仿真设计, 其主要有以下优点: 可以智能设计电路原理图, 自动连线, 可以减少绘图时间; 具有完备的仿真功能, 仿真器件库庞大, 虚拟仪器丰富; 特有的单片机协同仿真功能, 可以进行实时仿真; PCB 设计平台合理, 可以支持多种格式输出。硬件测试无误后, 对系统进行上电调试。首先设置光照强度和检测距离的阈值, 将检测距离的阈值设置为 0.2 m, 光照强度的变化阈值设置为 10%, 设置结果如图 18 所示。



图 18 阈值显示图

点击确认按键后, 系统会根据当前的光照强度以及检测距离计算出定时时间, 当检测具体显示结果如图 19 所示。



图 19 测试结果

经测试, 本设计的功能都可以完整的实现, 各个功能模块都能正常工作。

6 结束语

本系统所设计的智能感控视力保护仪能够完成定位、

数据的采集、智能控制、数据的无线通信和数据的处理及显示, 还另外增加了模糊控制定时功能。最终实验测试表明, 相对于 PID 控制而言, 相对时间可增加 18% 左右, 此设备能够精确地计算出定时时间, 并对异常数据迅速做出反应, 具有实际的应用价值, 能广泛应用于生活中。

参考文献:

- [1] 张文玥, 王晓飞, 孙沛诗, 等. 基于单片机的视力保护系统设计 [J]. 实验室研究与探索, 2018, 37 (9): 116-119.
- [2] 胡景勤. 新型智能化超声波视力保护系统 [J]. 电脑知识与技术, 2020, 16 (11): 40-41, 56.
- [3] 王 娟, 刘嘉润, 李瑞瑞. 基于深度学习的红外相机视力检测算法 [J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33 (11): 36-43.
- [4] 翟 瑞, 周静雷. 基于 STM32 的 USB 转串口通信端口设计 [J]. 国外电子测量技术, 2021, 40 (1): 92-95.
- [5] 陈 超, 李建军, 孔令剑, 等. 基于 Oxford Project 的低视力者视觉增强系统设计 [J]. 无线电工程, 2019, 49 (3): 199-204.
- [6] GUO L, GE P S, ZHANG M H, et al. Pedestrian detection for intelligent transportation systems combining AdaBoost algorithm and support vector machine [J]. Expert Systems With Applications, 2011, 39 (4): 19-22.
- [7] 崔钟允, 顾金良, 刘志宇, 等. 多微处理器结构的时序控制器的实现 [J]. 国外电子测量技术, 2021, 40 (1): 135-139.
- [8] 刘志坚, 刘 杰, 李鹏程, 等. 基于模糊算法的复合 Boost 光伏 MPPT 研究 [J]. 电源技术, 2020, 44 (10): 1514-1517.
- [9] 梁国壮, 赵 博, 田涵雷, 等. 扰动-模糊结合的双模式 MPPT 算法研究 [J]. 现代电子技术, 2020, 43 (16): 131-134.
- [10] 张文玥, 王晓飞, 孙沛诗, 等. 基于单片机的视力保护系统设计 [J]. 实验室研究与探索, 2018, 37 (9): 116-119.
- [11] 左志宇, 秦丽娟, 毛罕平, 等. 基于光照的温室加热系统模糊 PID 控制 [J]. 农机化研究, 2017, 39 (6): 214-218.
- [12] 陈倩倩, 王 勇, 田 硕, 等. 基于 Matlab 的模拟电阻炉过程控制实验设计 [J]. 国外电子测量技术, 2020, 39 (11): 7-11.
- [13] LIU X. Intelligent teen vision correction system design [J]. International Journal of Computational and Engineering, 2019, 4 (4): 27-28.
- [14] 范洪浩, 刘新妹. 基于 PLC 的药房多点温湿度本地监控系统设计 [J]. 国外电子测量技术, 2020, 39 (10): 134-137.
- [15] MA X C, WANG H, SHI Y J, et al. Improving learning by improving vision: evidence from two randomized controlled trials of providing vision care in China [J]. Journal of Development Effectiveness, 2021, 13 (1): 33-35.
- [16] WILSON L, MICHAEL K, EMMA B, et al. A holistic model of low vision care for improving vision-related quality of life. [J]. Clinical & Experimental Optometry, 2020, 103 (6): 30-33.
- [17] 宫婷婷, 张满红. 基于 MATLAB 的模拟电路传递函数的推导与化简 [J]. 国外电子测量技术, 2020, 39 (8): 49-53.
- [18] JOHNSON. "Invertible lens and method of design" in patent application approval process (USPTO 20200310162) [J]. Medical Patent Business Week, 2020, 20 (3): 15-18.