

基于STM32单片机智能窗户的设计

刘梓硕, 曹智杰, 刘文龙

沈阳航空航天大学电子信息工程学院, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2023年4月7日; 录用日期: 2023年5月22日; 发布日期: 2023年5月30日

摘要

本文介绍了基于STM32单片机的智能窗户设计。该设计采用了光强传感器、温湿度传感器、烟雾传感器和红外传感器来感知环境并收集数据, 根据环境的变化自动控制窗户的开启和关闭。此外, 该系统还具备手动控制, 语音控制, 实时显示功能, 可通过手机APP进行监控和控制。系统的核心部分是STM32单片机, 通过编程实现了各种功能。该设计不仅实用, 而且具有一定的智能化水平, 能够提高生活质量和舒适度。

关键词

STM32, 传感器, 智能窗户, 智能自动

Design Based on STM32 Microcontroller Smart Window

Zishuo Liu, Zhijie Cao, Wenlong Liu

School of Electronic Information Engineering, Shenyang Aerospace University, Shenyang Liaoning

Received: Apr. 7th, 2023; accepted: May 22nd, 2023; published: May 30th, 2023

Abstract

This article introduces the smart window design based on STM32 microcontroller. The design uses light intensity sensors, temperature and humidity sensors, smoke sensors, and infrared sensors to sense the environment and collect data, automatically controlling the opening and closing of windows according to changes in the environment. In addition, the system also has manual control, voice control, real-time display function, which can be monitored and controlled through mobile phone APP. The core part of the system is the STM32 microcontroller, which implements various functions through programming. The design is not only practical, but also has a certain

level of intelligence, which can improve the quality of life and comfort.

Keywords

STM32, Sensor, Smart Windows, Intelligent Automatic

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着科技技术和人工智能的不断发展，越来越多的智能设备进入人们的日常生活，智能窗户作为智能家居的重要组成部分，正逐渐受到人们的关注。本文提出了一种基于 STM32 单片机的智能窗户设计方案，能够实现窗户的智能化管理和远程控制。

智能窗户是一种基于物联网技术的智能化家居产品，通过使用传感器和控制系统实现自动控制窗户开启和关闭等功能，从而提高室内舒适度、节省能源，为用户带来更好的使用体验。本设计主要基于 STM32 单片机实现智能窗户的设计。STM32 单片机具有高性能、丰富的外设、低功耗、开源支持、易于开发和广泛的应用等优点，成为现代嵌入式系统设计和开发的重要选择。

本设计将采用 GL5528 光强传感器作为光敏元件，通过测量周围环境光强度，实现自动调节窗户透光度的功能。同时，设计中还使用温度传感器、湿度传感器、烟雾传感器等传感器，以及电机驱动电路、通信模块等硬件组成，实现智能窗户的自动控制、远程监控等功能。

在软件方面，本设计将基于 Keil C 语言开发环境进行开发，利用 STM32 的定时器、ADC、PWM 等外设实现数据采集、控制运算、通信传输等功能，从而实现智能窗户系统的高效稳定运行。

总体来说，基于 STM32 单片机的智能窗户设计已经有了一定的研究进展。这些研究主要集中在利用 STM32 单片机设计智能窗户控制系统和智能窗户自动控制系统方面，这些系统可以实现自动开关窗户、调节窗户的开度和控制窗户的电动机等功能，同时还具有多种传感器，可以实现对环境参数的监测和控制。本文将在这些基础上进一步完善智能窗户的智能化，同时做出更进一步的优化，增加智能窗户的语言识别功能，有望在未来得到更广泛的应用。

本设计的实现将为智能家居领域的发展提供有力支持，为用户带来更加智能化、舒适化的家居体验。

2. 硬件设计

智能窗户控制模块由 STM32F103C8T6 单片机、WiFi 模块、人体红外传感器、温湿度传感器、光强传感器、烟雾传感器、OLED 显示屏和蜂鸣器等部分组成，能够实时监测室内环境和安全状况。STM32F103C8T6 单片机是智能窗户控制模块的核心部分，它具有高速、丰富的外设、低功耗、支持多种接口、易于开发、丰富的应用等优点。其高效的计算能力和多种实用的外设满足不同应用的需求，低功耗模式在对电池寿命和能量使用敏感的应用中展现出色，支持多种接口方便与其他设备的连接和通讯，易于开发的软件工具和详细的文档使开发者的工作更加简单且丰富的应用领域使其在工业控制、嵌入式系统、医疗设备等领域展现出良好的应用前景。

本设计通过外部连接 WiFi 模块，实现与智能家居 APP 的通信。单片机采用了 STM32 标准外设接口连接各种传感器和执行器，通过软件实现窗户的智能控制，本设计的整体设计如图 1 所示。

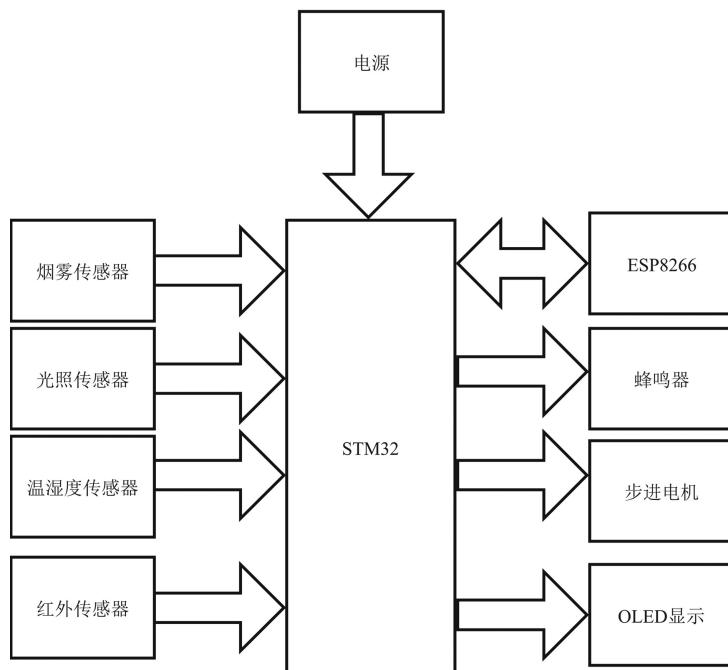
**Figure 1.** Overall block diagram

图 1. 整体框图

2.1. 系统整体结构

本系统采用分布式系统架构，分为窗户控制模块和远程控制模块两部分。其中窗户控制模块包括 STM32 单片机、传感器模块、执行器模块、无线通信模块等。远程控制模块包括手机 APP、云服务器等。窗户控制模块通过无线通信模块将窗户状态信息上传到云服务器，手机 APP 可以实时获取窗户状态信息并进行控制操作。

2.2. 传感器

1) 温湿度传感器采用 DHT11 型号，DHT11 是一款有已校准数字信号输出的温湿度传感器。其精度湿度 $\pm 5\%RH$ ，温度 $\pm 2^{\circ}C$ ，量程湿度 5%RH~95%RH，温度 $-20^{\circ}C \sim +60^{\circ}C$ ，其供电电压是 3.3 V~5.5 V，将 VDD 连接单片机的 3.3 V 电源，GND 接地，DATA 接单片机的 GPIO 口，可检测窗户周围的温度和湿度，当采集到的室内温度、湿度达到特定值时，将检测结果通过数字信号传输给单片机，使窗户自动关闭或开启。原理图如图 2 所示：

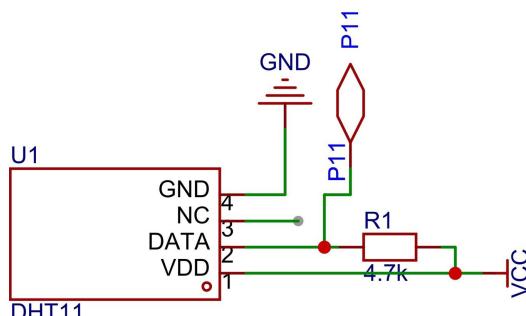
**Figure 2.** DHT11 schematic

图 2. DHT11 原理图

2) 光强传感器采用 GL5528 型号, 该传感器可以通过监测窗户周边光强强度, 将检测出来的结果传递给单片机, GL5528 的接口有两个, 分别为 VCC 和 GND。其中, VCC 接单片机的 3.3 V 电源, GND 接地。GL5528 的输出为模拟信号, 需要使用 ADC 转换器将其转换为数字信号, 输出引脚接单片机的 ADC 输入口。当监测的光强强度达到预先设定的值时, 单片机控制电机, 打开或关闭窗户。

3) 烟雾传感器采用 MQ-2 型号, MQ-2 气体传感器的气敏材料是利用电导率较低的二氧化锡。利用空气中可燃气体浓度越低, 二氧化锡的电导率就越小的物理特性可以获得烟雾浓度值将其显示在显示屏上[1]。它可以判定是否有烟雾存在, 而且导电率受到烟雾浓度大小的影响, 烟雾浓度越大导电率越大, 输出电阻越低, 则输出的模拟信号就越大, 其检测可燃气体与烟雾的范围是 100 ppm~10,000 ppm, 对于智能窗户设计中的烟雾检测来说是比较合适的选择。MQ-2 的接口有四个, 分别为 VCC、GND、DO 和 AO。其中, VCC 接单片机的 3.3 V 电源, GND 接地, DO 接单片机的 GPIO 口, AO 为模拟输出, AO 引脚接单片机的 ADC 输入口。原理图如图 3 所示:

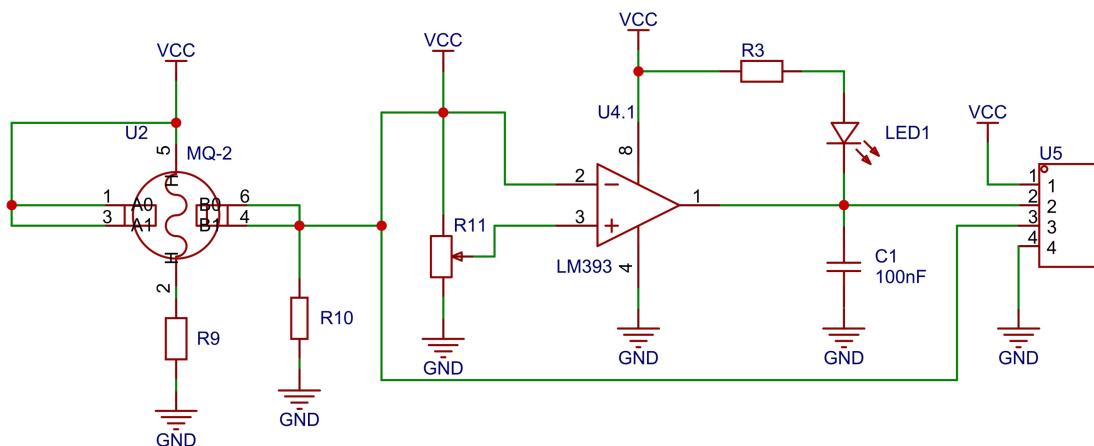


Figure 3. Schematic diagram of the MQ-2 operation
图 3. MQ-2 工作原理图

4) 红外传感器采用 HC-SR501 型号, HC-SR501 是基于红外线技术的自动控制模块, 采用德国原装进口 LHI778 探头设计, 灵敏度高, HC-SR501 只用到 3 个引脚, 引脚 1 连接通过升压板升压后的 VCC, 引脚 2 OUT 引脚接单片机的 GPIO 口接单片机, 引脚 3 接 GND, 当有人入侵时, 引脚 2 输出高电平, 此时如果开启布防功能, 单片机就会自动控制发出报警[2]。

2.3. 显示模块

OLED 显示模块: OLED 显示采用 SSD1306, 完成 SSD1306 与 STM32 的数据通信, 实现监测数据在 OLED 上的刷新显示。SSD1306 功耗低, 可以在嵌入式系统中长时间运行, 价格便宜, 可以降低智能窗户系统的成本, 而且 SSD1306 型号 OLED 显示屏的接口非常简单, 支持 I2C 和 SPI 接口, 易于连接到 STM32 单片机上。OLED 显示屏采用 4 线 SPI 的方式与主控芯片 STM32 进行数据通信, 通过构建 OLED Gram 函数。在 STM32 内部定义了一个缓存区, 此部分 SRAM 对应 SSD1306 芯片的 GRAM。每次数据刷新的时候, 只要修改 STM32 内部的缓存区 GRAM, 然后通过 OLED Gram 函数把缓存区的数据刷新到 OLED 的 GRAM 上。每次显示前修改数据都发生在 STM32 内部缓存区这样大大提高了刷新速度[3]。

2.4. 通信模块

通信模块: 通过无线或有线方式与其他设备或互联网连接, 实现远程控制和数据传输。在设计该模

块时，需要考虑通信协议和数据。智能窗户控制通过 WiFi 模块与智能家居 APP 通信，并设计相应的 WiFi 模块驱动。在本系统中，采用 ESP8266 模块作为 WiFi 模块。ESP8266 是一款高性能的 WiFi 串口模块，能够实现和单片机之间的通信，目前广泛应用于市场。它通常有两种开放方式，分别为 AT 指令开发和 SDK 开发，用户既可以通过串口用 AT 指令来控制，也可以使用厂家的 SDK 来进行开发[4]。

通过 ESP8266 WiFi 模块实现与云服务器的通信，本系统中的单片机启动后首先完成与 WiFi 模块通信接口的初始化，创建与热点之间的 UDP 通信连接，从而完成命令下发数据上传的工作[5]。ESP8266 的初始化配置在代码中，使用 AT 命令向 ESP8266 发送配置信息。这些信息包括连接 WiFi 热点的 SSID 和密码，以及设置连接方式和通讯端口等。同时确定 STM32 芯片和 ESP8266 模块之间的串口通讯参数。

手机 APP 是用户远程控制的平台，手机 APP 界面分为两大部分，分别为显示模块和控制模块。显示模块中显示出窗户周围环境的温度、湿度、光强强度、MQ-2 的模拟输出电压、窗户和报警系统的状态，特别直观的反映给用户当前环境信息和窗户工作状态；控制模块分为两个部分，分别可以控制窗户开关和报警系统的开关。APP 界面简单易操作，初步形态如图 4 所示，APP 界面等待进一步优化，提供一系列人性化的交互界面，方便用户使用。



Figure 4. Mobile APP interface display
图 4. 手机 APP 界面显示

语音识别功能：语音识别功能的加入，使得智能窗户更加智能化，用户在家中只需要简单的语音指令来控制窗户。通过语音识别识别功能控制窗户，用户不需要进行繁琐的操作，使得操作更加方便快捷。首先将语音识别模块的 VCC、GND、RX、TX 引脚分别连接到 STM32F103C8T6 控制器的 VCC、GND、USART1_RX、USART1_TX 引脚上。其次将电机驱动模块的 VCC、GND、IN1、IN2 引脚分别连接到 STM32F103C8T6 控制器的电源、GND、PA4、PA5 引脚上。接下来将直流电机的正极和负极分别连接到

电机驱动模块的 OUT1 和 OUT2 引脚上。最后将电机轴与窗户的开关装置相连，以实现窗户的开启和关闭。

3. 软件设计

智能窗户控制模块的软件设计主要包括 WiFi 模块驱动、传感器数据采集和窗户控制算法。其中，WiFi 模块驱动实现与智能家居 APP 的通信，传感器数据采集实现对各种传感器的数据采集，窗户控制算法实现窗户的智能控制。

3.1. 编程环境

Keil 5 提供了全面的开发和调试环境，支持多种嵌入式处理器架构，如 ARM Cortex-M、8051、Arm Cortex-R 等。Keil 5 的编译器支持多个编译器，可以提高编译效率。同时，Keil 5 支持在线编译器和仿真器，这些都有利于提高编译效率。Keil 5 是一款功能强大的嵌入式系统开发环境，它可以用于多种单片机平台，包括 STM32。它与 STM32 之间的协作可以极大地简化 STM32 的开发和调试过程，具有以下优势：易于学习和使用、高效的代码生成、丰富的库函数和例程、方便的调试功能，总的来说，Keil 5 作为一款成熟的嵌入式系统开发环境，提供了多种优秀功能和工具，可以极大地简化 STM32 的开发和调试过程，提高开发效率和代码质量。

3.2. 数据的采集与处理

传感器数据采集和处理模块。通过读取温湿度传感器、烟雾传感器、光强传感器、人体红外传感器等传感器数据，进行处理后发送给单片机。

ADC 数据采集模块设计：

STM32F103C8T6 是一款基于 ARM Cortex-M3 内核的微控制器，具有强大的性能和丰富的外设资源，其中包括 12 位的模数转换器(ADC)模块。首先初始化 ADC 所对应的 GPIO 引脚，将 GPIO 模式改为输入，并开启相应的时钟。接下来配置 ADC 的工作参数，配置工作模式为独立的多通道采集，采用 DMA 方式实现多通道采样，每次采样 4 个通道，采样精度 12 位，采样频率为 5 kHz。使用 PA0, PA1, PA2, PA3，引脚连接 4 个传感器。DMA 传输模式配置为循环传输模式，依次对传输的数据存储到指定空间，直到传输完成。采集流程图如图 5 所示：

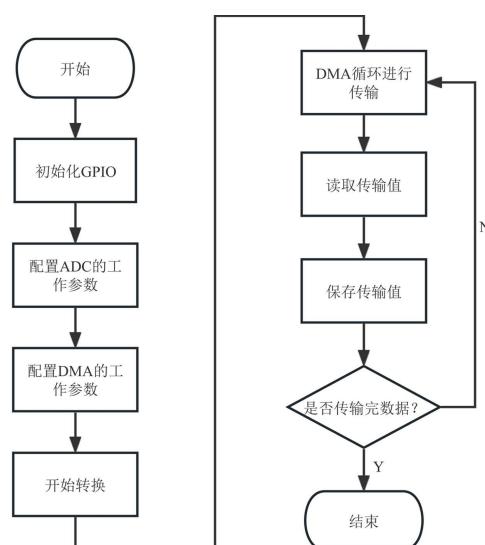


Figure 5. Flowchart of the ADC data acquisition module
图 5. ADC 数据采集模块流程图

3.3. 程序设计

基于 STM32 单片机的智能窗户设计，需要进行软件设计部分的实现。以下是该设计的软件设计部分的主要内容：

首先需要对系统进行初始化，包括各种引脚的配置、外设的初始化等。逐个模块逐渐启动，传感器开始工作，监测窗户周边的环境。

其次通过传感器进行数据采集，使用烟雾传感器、光强传感器，温湿度传感器和红外传感器来感知环境，并进行数据信息的采集，通过 ADC 数据采集模块将传感器收集来的信息进行模数转换，转变成数字信号发送给 STM32 单片机，单片机接收到数据后，判断是否达到预先设定的阈值，随后控制电机，实现窗户的开启或关闭。除此之外，还具有语音识别功能，将语音识别模块的数据读取并进行处理。例如，当识别到“开窗”命令时，控制器向电机驱动模块发送指令，使电机旋转以打开窗户；当识别到“关窗”命令时，控制器向电机驱动模块发送指令，使电机反向旋转以关闭窗户。除了智能控制外，也可以在手机 APP 中手动打开或者关闭窗户。当窗户遇到障碍打不开时，此时蜂鸣器发出警报，提醒主人前去查看，报警系统可以在手机 APP 中关闭，也可以手动关闭。除此之外，当有人强行破坏窗户，同样会触发报警系统。该智能窗户的控制系统的程序流程图如图 6 所示。

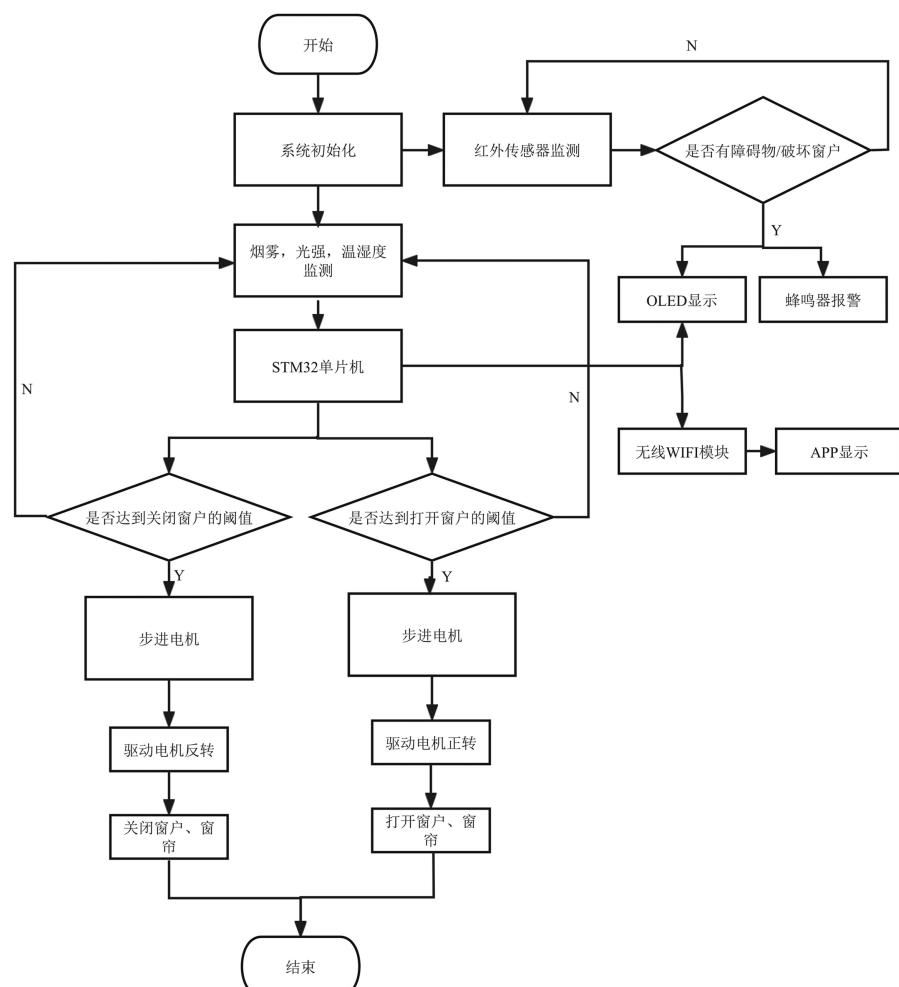


Figure 6. Programming flowchart
图 6. 程序设计流程图

4. 系统测试与分析

由于传感器受到环境诸多影响，单靠某一指标不能较好的实现窗户的智能化，所以在测试中，我们进一步完善了智能化。当某一指标特别高时，例如，室内光照强度达到 2200 lx、温度达到 28°C、湿度达到 80%RH、MQ-2 输出模拟电压值达到 0.8 V 时，窗户自动开启。这种设计主要应对特殊情况，比如下雨天，家庭失火，炎热酷暑天，窗户能够及时打开，满足用户需求。同理，设置了一个最低的阈值，光照强度 100 lx、温度 15°C、湿度 25%RH、MQ-2 输出模拟电压 0.05 V 时，窗户自动关闭。

除了这些单一指标控制之外，我们想到，通过 2 个指标同时限制窗户的开启和关闭，更好的实现窗户的智能化。当温度大于 24°C 同时室内光照强度大于 500 lx 时，窗户自动开启。当温度低于 22°C，光照强度低于 200 lx 时，窗户自动关闭。其余情况用户通过手机 APP 或者语音来控制窗户的开启和关闭。

为了验证智能窗户的功能和性能，我们进行了系统测试。在测试中，我们首先进行了窗户开启和关闭的手动控制测试以及语音识别功能。测试结果表明，系统能够正常响应用户的开启和关闭指令，当用户说出开窗或者关窗时，能够完成设计的预期目标。其次，我们在窗户周边模拟烟雾浓度过大时的情景，窗户可以实现自动打开窗户通风，在 MQ-2 传感器的作用下，室内其他气体例如液化气等，超过设置的最大阈值会实现窗户开启。接着我们在晚间进行光照强度测试，当用日光灯模拟太阳光照射窗户周边时，窗户可以自动实现窗户的开启，当把日光灯关闭时，窗户关闭。最后我们模拟了窗户周边温湿度的变化，当达到传感器设定的阈值时，窗户能够实现自动控制开关，测试结果如表 1 所示。

Table 1. System test results

表 1. 系统测试结果

环境条件	窗户状态
光照强度 > 2200 lx	步进电机正转，窗户打开
光照强度 < 100 lx	步进电机反转，窗户关闭
温度 > 28°C	步进电机正转，窗户打开
温度 < 15°C	步进电机反转，窗户关闭
湿度 > 80%	步进电机正转，窗户打开
湿度 < 25%	步进电机反转，窗户关闭
MQ-2 输出模拟电压值 > 0.8 V	步进电机正转，窗户打开
MQ-2 输出模拟电压值 < 0.05 V	步进电机正转，窗户关闭

在测试完特殊情况后，我们测量了一天中不同时刻的温度、湿度、光照强度、MQ-2 输出模拟电压值，如表 2 所示。并得出结果，在 10:00、13:00 和 15:00 时温度和光照强度达到设定的阈值，窗户实现了自动开启。在 7:00 和 20:00 时，温度和光照强度低于设定阈值，窗户自动关闭。

Table 2. Data measured at different times of the day

表 2. 一天中不同时刻测量的数据

测量指标	时间	7:00	10:00	13:00	15:00	20:00
温度		19°C	25°C	28°C	24°C	21°C
湿度		61%RH	46%RH	41%RH	49%RH	62%RH
室内光照强度		168 lx	864 lx	1675 lx	756 lx	106 lx
MQ-2 输出模拟值		0.16 V	0.28 V	0.51 V	0.36 V	0.21 V

最后进行了安全性测试。在测试中，我们模拟了窗户被强行破坏的情况，测试结果表明，系统能够及时检测到窗户的异常状态并发出警报信号，确保用户的财产和安全。

通过测试结果的分析和总结，我们可以得出以下结论：

智能窗户系统能够实现设计的预期目标可以通过传感器收集的数据，经由单片机控制，实现对室内温湿度、光照强度和烟雾浓度的实时监测和智能控制，控制效果好，响应速度快，功耗低，具有较好的性能和可靠性，同时智能窗户系统具有较高的安全性能，能够及时检测到窗户的异常状态并发出警报信号，确保用户的财产和安全。除此之外，还能够通过语音识别，手机 APP 实现功能，满足客户需求。

对于窗户的控制效果，通过对室内温湿度，光照强度、烟雾浓度的变化情况进行监测，以评估窗户的开关控制是否能够实现室内温湿度，光照强度，烟雾浓度的自动调节。测试结果显示，在室内环境变化较大的情况下，智能窗户的控制能够及时响应，控制效果较好。智能窗户未来可以进一步优化和改进系统的设计和实现，提高系统的智能化和自适应性。

5. 结语

本文研究并设计了基于 STM32F103C8T6 单片机的智能窗户设计，通过传感器来采集数据，传送给单片机，单片机控制电机，完成窗户的开启和关闭。在目前研究现状的基础上，增加了语音识别功能。该设计成本低，操作简单，实用性强，具有广泛的应用前景。

智能窗户只是智能家居领域中的一个小应用，未来还有很多可以改进和探索的地方。例如，我们可以将智能窗户与其他智能家居设备进行联动，实现更加智能化的环境管理。另外，为了提高系统的安全性和稳定性，我们可以进一步研究加密通信和高可靠的网络通信方式。我们相信，在未来的研究中，通过不断探索和创新，智能窗户系统将在室内空气质量、节能降耗等方面发挥越来越重要的作用。

参考文献

- [1] 包航, 仲毅, 蔡长安, 等. 基于单片机的智能火灾报警系统的设计[J]. 福建电脑, 2017, 33(9): 12+19.
<https://doi.org/10.16707/j.cnki.fjpc.2017.09.006>
- [2] 李洪波. 基于 STC89C52 的安防报警系统设计[J]. 科技创新与应用, 2021, 333(5): 32-35.
- [3] 韦海成, 王森军, 魏鑫, 等. 基于 STM32 的室内空气质量监测自适应调节系统[J]. 现代电子技术, 2016, 39(8): 130-134+137. <https://doi.org/10.16652/j.issn.1004-373x.2016.08.034>
- [4] 刘天成, 田学军. 基于 ESP8266 与 STM32 的智能晾衣杆系统设计[J]. 山西电子技术, 2021, 219(6): 6-10.
- [5] 马媛. 基于 ESP8266 的无线通信系统设计[J]. 电子测试, 2022, 36(5): 44-46.
<https://doi.org/10.16520/j.cnki.1000-8519.2022.05.011>