

工程认证背景下自动控制原理课程设计改革

——基于STM32的红外跟踪风扇控制系统开发

阳小燕*, 何苏利, 李忠林, 贾玉婷

广州软件学院电子信息与控制工程学院, 广东 广州

收稿日期: 2025年6月13日; 录用日期: 2025年8月19日; 发布日期: 2025年8月28日

摘要

自动控制原理课程设计作为理论教学的重要实践环节, 涵盖系统建模、时频域分析、校正设计等全流程训练, 能够提升解决复杂工程问题的能力。传统的自动控制原理课程设计多采用基于Matlab的仿真, 这样的模型依赖数学模型, 难以模拟实际系统的非线性、时变特性及环境干扰, 导致结果与真实场景存在差异。针对这一局限性, 本研究提出了一种融合多模态传感技术的智能风扇控制系统作为创新实践平台。该控制器实现了自动跟随吹风、语音控制、以及根据温度自动调速等功能。有较好的便利性和灵活性、同时功能更为丰富、更加节能等特点, 是自动控制原理理论课程很好的实践环节。

关键词

自动控制原理课程设计, Matlab, 风扇控制系统

Reform of Automatic Control Principle Course Design in the Context of Engineering Accreditation

—Development of an Infrared Tracking Fan Control System Based on STM32

Xiaoyan Yang*, Suli He, Zhonglin Li, Yuting Jia

School of Electronic Information and Control Engineering, Software Engineering Institute of Guangzhou, Guangzhou Guangdong

*通讯作者。

文章引用: 阳小燕, 何苏利, 李忠林, 贾玉婷. 工程认证背景下自动控制原理课程设计改革[J]. 创新教育研究, 2025, 13(8): 615-623. DOI: 10.12677/ces.2025.138640

Abstract

As a crucial practical component of theoretical education in automatic control principles, the course design encompasses comprehensive training in system modeling, time-frequency domain analysis, and compensation design, thereby enhancing the ability to address complex engineering problems. Currently, most automatic control principle course designs rely on Matlab-based simulations. Such approaches depend heavily on mathematical models and struggle to emulate real-world nonlinearities, time-varying characteristics, and environmental disturbances in practical systems, resulting in discrepancies between simulation outcomes and real-world scenarios. To overcome this limitation, the study presents an intelligent fan control system that integrates multimodal sensing as an innovative teaching platform. The controller offers auto-tracking airflow, voice commands, and speed adjustment based on ambient temperature. It is more convenient, flexible, feature-rich, and energy-efficient—making it an ideal hands-on module for courses in automatic control principles.

Keywords

Automation Control Principle Course Design, Matlab, Fan Control System

Copyright © 2025 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

在工程认证背景下，自动化专业学生需具备解决复杂工程问题的综合能力，包括系统分析、设计开发、团队协作及创新实践等核心素养，同时需契合工程伦理、可持续发展等非技术性能力的要求[1]-[3]。针对自动控制原理课程设计，教学模式需以成果导向(OBE)为核心，强化理论与实践融合，通过项目驱动、虚实结合的实验平台及跨学科案例教学，培养学生系统建模、控制器设计与工程实现能力，并注重过程性评价与持续改进机制，将课程目标对应毕业要求指标点[4]-[6]。

2. 现状分析

广州软件学院自动化专业在实践教学体系建设方面形成了鲜明的办学特色。该专业构建了“四位一体”的实践教学架构，具体包含：1) 专业课程设计模块(涵盖自动控制原理、PLC 技术、智能控制系统及过程控制等核心课程)；2) 毕业实习环节；3) 综合毕业设计项目；4) 企业生产实习。实践体系如图 1 所示。

在现行教学体系中，《自动控制原理》课程设计通常被整合至实验教学环节，具体表现为课程末两周的实验课时集中开展设计任务。其核心内容聚焦于 Matlab 仿真平台下的控制系统校正技术，涵盖串联超前/滞后补偿器设计、PID 参数整定等典型方法，通过软件仿真实现系统动态性能优化。这种数字化实践模式具有显著优势：其一，依托 M 语言编程可高效完成复杂算法实现与可视化分析；其二，Simulink 模块化建模支持参数快速调试与系统行为模拟，极大提升了理论验证效率。然而，该模式存在固有局限性：理想化建模假设忽略了实际系统中的非线性因素(如摩擦效应、时滞特性及环境干扰)，导致仿真结果与工程实践存在偏差；更关键的是，过度依赖计算机仿真制约了学生硬件调试能力、工程思维及创新素养的发展，形成“理论-实践”的认知断层，难以满足新工科教育强调的复合型人才培养需求。基于此，

亟需重构课程设计体系，通过开发虚实结合的教学项目，构建“理论建模－半实物验证－工程移植”的渐进式实践链条，从而有效弥合知识应用鸿沟[7]-[9]。

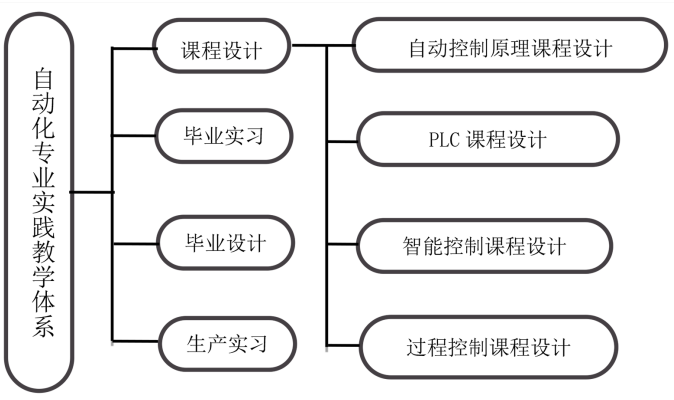


Figure 1. Practical teaching system of automation
图 1. 自动化专业实践教学体系

3. 风扇控制系统设计与测试

在新工科建设强调工程实践能力培养的导向下，本研究对自动控制原理课程的实践教学体系进行了创新性改造。通过将传统控制理论教学与典型机电系统开发相结合，开发了基于 STM32 微控制器的智能风扇实验平台。该平台采用模块化架构设计，集成主控制器(STM32F103C8T6)、L298N 电机驱动、HC-SR501 人体感应、OLED 显示等核心部件，实现了包含 PWM 调速、语音交互、自动启停等功能的完整控制系统。系统设计特别注重控制算法的工程实现，在基础 PID 调节功能外，预留了模糊控制、参数自整定等进阶开发接口。这种阶梯式的实践项目设计，既保证了初学者的可操作性(如通过串口助手修改 PID 参数)，又为能力突出的学生提供了算法优化空间(如添加风速闭环控制)，有效实现了分层教学的目标。实验表明，该平台能直观展示伯德图、阶跃响应等抽象概念的物理对应，显著提升了学生对控制系统的整体认知水平。

3.1. 总体设计

此次设计的风扇控制系统需要具有红外跟踪功能，能实时感知物体位置变化，风扇根据变化迅速、准确调整方向，设计的主体框架如图 2 所示。

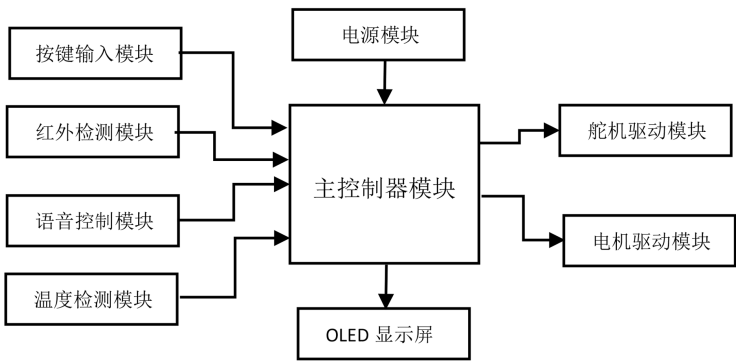


Figure 2. Main frame of the electric fan controller
图 2. 电风扇控制器主体框架

系统主要由主控制芯片 STM32F103C8T6、5V 供电模块、轻触开关、红外检测传感器、语言控制芯片、温度检测传感器、OLED 显示屏、舵机驱动模块、以及电机驱动模块组成。

通过按键输入和语音控制，把控制信号发送给主控制模块，实现模式转换，功能切换等功能。红外检测模块和温度检测模块将实时检测信号传回主控模块，主控模块根据检测信号通过角度控制系统算法分析后，控制摇头机构做出相应的动作，并把状态信息显示在 OLED 显示屏上，从而实现控制器的整体功能。清单如表 1 所示。

Table 1. Hardware list for the fan system
表 1. 风扇系统硬件清单

序号	模块	型号
1	电源模块	MB102
2	红外检测模块	AD-032
3	温度传感器	DS18B20
4	舵机	MG995
5	语音模块	ASRPRO-CORE
6	显示模块	SSD1306
7	主控板	STM32F103C8T6
8	风扇	R300C
9	电机驱动	L298 (最大 2 A 电流)
10	架子	
11	线性电位器	SV01A103AEA01R00
12	木板台	3 mm
13	铜柱	M3*10
14	杜邦线	30 CM 母对母

3.2. 系统软件设计

系统软件设计使用 C 语言编程，通过对控制器的应用场景和使用需求分析构建出自动跟踪风扇控制的软件框架，如图 3 所示。

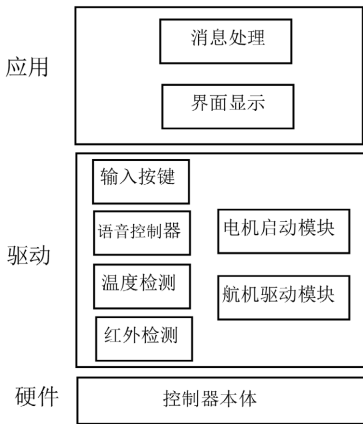


Figure 3. Framework diagram
图 3. 框架图

驱动层负责采集获取各个传感器的数据，并根据分析结果，执行对风扇电机模块和舵机模块的控制，应用层负责屏幕显示和消息处理。

下面重点介绍主程序模块及温度控制模块。

(1) 主程序模块

系统主程序是实现风扇智能化运行的核心环节。能够整合多种输入信号，包括用户按键操作、环境温度数据、红外感应信息以及语音指令等，并依据这些输入精确地控制风扇的运行状态，如风速调节、风向调整以及工作模式切换等，为用户提供更加舒适、便捷和节能的使用体验。主程序的控制流程如图4所示。

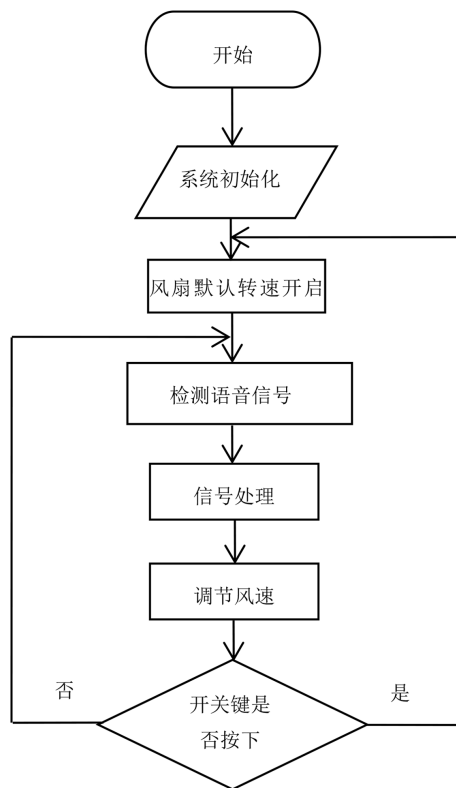


Figure 4. Main program flowchart
图 4. 主程序流程图

系统首先完成 STM32F103C8T6 微控制器及各外设模块的初始化配置，随后进入主循环执行阶段。在该阶段，系统持续检测按键信号和语音指令，默认手动模式下响应开关指令启动风扇并设为默认转速；当接收到自动模式指令时，系统切换至自动控制状态，根据预设温度阈值动态调节转速并启用摇头功能，同时通过红外传感器实现人体检测与动态追踪功能，使风扇能够实时调整朝向以跟随人体移动。

(2) 温度控制模块

在工业控制领域，PID (比例 - 积分 - 微分) 控制器因其结构简单、鲁棒性强等特点，已成为应用最广泛的闭环控制算法。该控制策略可根据被控对象特性灵活组合，形成 P、PI、PD 等多种调节模式。其核心原理是通过实时计算系统偏差的比例项、积分项和微分项加权和，实现对被控量的精确调节。其中比例环节反映当前误差，积分环节消除稳态误差，微分环节预测误差变化趋势，三者协同作用可显著提升系统动态性能。P、I、D 各部分的作用如下：改变 P 可提高响应速度，减小静态误差，但太大会增大超

调量和稳定时间。I 与 P 的作用基本相似，但要使静态误差为 0，必须使用积分。D 与 P、I 的作用相反，主要是为了减小超调，减小稳定时间。

在数字控制系统实现过程中，温度传感器输出的模拟量信号需要经过离散化处理才能被微控制器识别和处理。针对这一工程实现需求，必须将连续域 PID 控制算法转换为离散形式。其核心转换原理是通过采样保持电路对连续信号进行周期采样，并采用后向差分法或双线性变换等方法实现微分方程的离散化处理。经过 Z 变换推导，最终得到的数字 PID 控制律可表示为：

$$u_k = K_P e_k + K_I \sum_{j=0}^k e_j + K_D (e_k - e_{k-1}) + u_0 \quad (\text{式 2-1})$$

其中， $u(k)$ 为第 k 个采样时刻的控制输出， u_0 为开始进行 PID 控制时的原始初值， e_k 为当前偏差， e_{k-1} 为第 $k-1$ 次采样时刻输入的偏差值， K_p 、 K_i 、 K_d 分别为比例系数、积分时间和微分时间常数。该离散化表达式既保留了 PID 控制的本质特征，又满足了单片机实时计算的要求。

温度控制程序会根据温湿度模块检测到的数值与设定值进行比较，使用 PID 算法进行计算，最后输出 PWM 频率控制风扇转速达到温控效果。控制流程如图 5 所示，开始系统先判断是否处于自动模式，自动模式时默认温度设定值为 25 度，可以通过按键 5 和按键 6 进行温度设定。

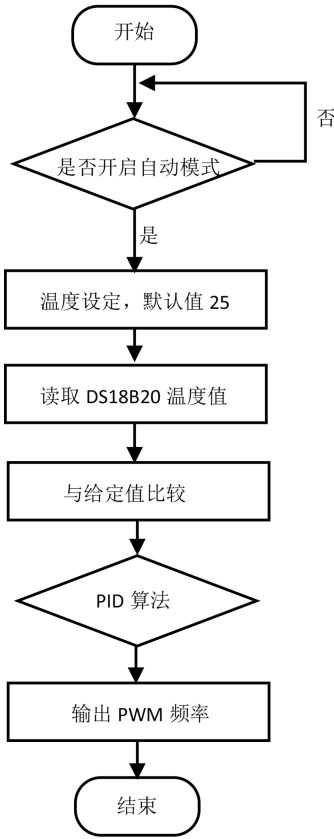


Figure 5. Temperature control program
图 5. 温度控制程序

3.3. 系统测试

系统测试旨在全面评估智能红外跟踪风扇控制器在多工况环境下的功能完善度、动态稳定性及调速

算法的优化性。

(1) 红外跟踪功能测试

通过人手模拟人员在风扇面前走动，从静止，缓慢移动，快速移动及随机移动等方式进行测试。测试过程中监测移动位置信息，并与风扇实际送风方向进行比对，记录风扇准确跟踪的次数及出现偏差的情况，同时统计位置发送变化的相应时间，测试画面如图 6 所示。

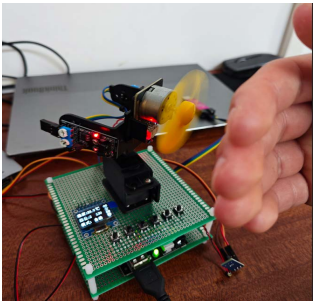


Figure 6. Automatic tracking function test diagram
图 6. 自动跟踪功能测试图

经过多轮、多角度的测试后，在静止的时候，风扇的红外人体跟踪准确率能够达到 85%左右，平均响应时间约为 0.2 秒，基本实现了快速且精准的跟踪送风功能。在缓慢移动的情况，跟踪准确率在 90%左右，响应时间也会延长至 0.5 秒，测试结果如表 2 所示。

Table 2. Infrared tracking function test
表 2. 红外跟踪功能测试

序号	移动速度	跟踪精准度	响应速度	测试结果
1	静止	100%	0.1 s	正常
2	缓慢移动	90%	0.5 s	正常
3	快速移动	60%	1.5 s	正常
4	突然移动	50%	2.0 s	异常

(2) 语音控制噪声测试

分别在安静环境以及模拟不同噪音强度的背景环境下，发出各类预设的语音指令，例如“打开风扇”、“关闭风扇”、“快一点”、“开启摇头功能”等。测试图如图 7 所示。

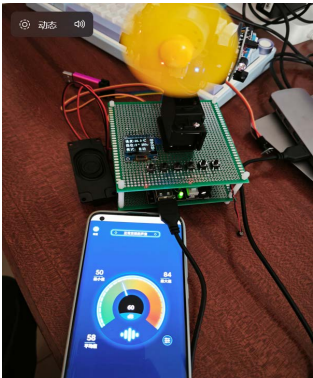


Figure 7. Noise test diagram for voice control
图 7. 语音控制噪声测试图

记录从发出语音指令到风扇做出相应动作的时间间隔，作为响应时间进行分析。测试结果如表 3 所示。

Table 3. Voice-controlled noise test
表 3. 语音控制噪声测试

序号	环境噪声	识别精度	响应速度	测试结果
1	15 dB	98%	0.5 s	正常
2	30 dB	95%	0.8 s	正常
3	45 dB	88%	1.1 s	正常
4	60 dB	82%	1.5 s	正常
5	75 dB	56%	2.0 s	异常

从测试结果可以看出，系统抗噪音效果良好。

(3) 温度控制功能测试

启动风扇控制器自动模式后，观察风扇转速的自动调节状态，将 DS18B20 温度传感器放到风扇正面，利用风扇吹风降温，形成一个简单的闭环，测试图如图 8 所示。

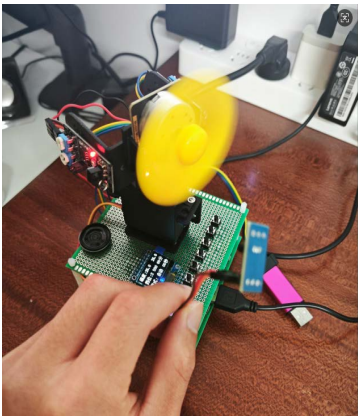


Figure 8. Temperature control function test
图 8. 温度控制功能测试

测试结果如表 4 所示。从测试结果看，不同的 PID 参数下，温度控制的精度不同，经多次测试，当 PID 参数设定为 20、0.3、1 时，风扇转速反应变得灵敏，静差得到明显改善，稳定值达到 25.1℃。

Table 4. Temperature control function test
表 4. 温度控制功能测试

给定值	检测温度	PID 参数	PWM 输出响应	稳定值
25℃	25.6℃	10 0.1 1	反应缓慢，存在明显静差	25.3℃
25℃	25.5℃	15 0.2 1	反应加快，静差依然存在	24.8℃
25℃	25.5℃	20 0.3 1	反应灵敏，静差明显改善	25.1℃

4. 教学成效分析

4.1. 课程目标达成度分析

(1) 工程实践能力达成度 通过项目式教学，学生平均完成系统硬件搭建时间由原来的 8 课时缩短至

5 课时, PID 参数整定实验成功率从 62%提升至 89%。项目验收数据显示, 92%的学生能独立完成从传感器校准到控制算法调试的全流程开发。

(2) 知识应用能力达成度 期末考核中, 关于系统建模、稳定性分析等知识点的平均得分率较改革前提高 23 个百分点。特别在伯德图绘制与系统性能关联分析题项上, 正确率达到 81% (改革前为 54%)。

4.2. OBE 成果导向评价

(1) 分级目标达成情况 基础层: 所有学生均能实现风扇基本调速功能(100%达成); 提高层: 78%学生完成红外跟踪功能扩展; 创新层: 35%学生自主添加手机蓝牙控制模块。

(2) 持续改进效果 根据后续专业课老师反馈, 参与该项目的学生在“控制系统设计”能力方面有突出表现。

4.3. 教学特色成效

(1) 虚实结合教学 通过 Matlab/Simulink 仿真与实物调试的交替训练, 学生系统调试效率提升 40%。

(2) 工程素养培养 项目文档规范度评分达 86 分(百分制), 较传统实验报告提高 29 分。

5. 总结

针对当前自动控制原理课程设计中存在的实践环节薄弱问题, 本研究创新性地构建了基于嵌入式平台的智能控制系统教学方案。该方案以红外跟踪风扇为被控对象, 采用 STM32 系列微控制器作为硬件平台, 实现了从算法仿真到实物验证的完整教学闭环。系统设计具有以下特点: 首先, 支持 Keil 和 Matlab 双开发环境, 既能进行底层寄存器操作, 又可开展 Simulink 算法仿真; 其次, 通过模块化设计, 学生可根据自身基础选择基础 PID 控制、模糊 PID 改进或自适应控制等不同难度任务; 最后, 系统预留了 Wi-Fi、蓝牙等通信接口, 便于开展物联网扩展实验。这种阶梯式的实践教学模式, 有效契合了工程教育认证对复杂工程问题解决能力的培养要求。

参考文献

- [1] 赵昱宇, 王雨潇, 李宗帅. 工程教育专业认证背景下“自动控制原理”课程教学方法探索[J]. 教育教学论坛, 2025(15): 112-115.
- [2] 王瑞, 刘洋. 自动控制原理课程设计改革与实践——以红外跟踪风扇系统为例[J]. 实验室研究与探索, 2024(7): 151-154.
- [3] 周涛. “新工科”建设背景下“自动控制原理”课程改革路径[J]. 高等工程教育研究, 2025(4): 134-137.
- [4] 教育部自动化教指委. 自动控制原理课程设计指导规范(2025 修订版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2025: 67-71.
- [5] 徐建华. 自动控制原理综合实验设备研制[J]. 实验技术与管理, 2023(6): 102-106.
- [6] 杨帆, 魏丽君. 红外跟踪系统在自动控制课程设计中的教学应用[J]. 电气电子教学学报, 2024(5): 88-91.
- [7] 张立华. 基于 STM32 的智能温控风扇控制系统设计[J]. 电子技术与软件工程, 2025(8): 89-92.
- [8] 李伟. 基于 STM32 的家用智能风扇控制器设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2025(10): 45-49.
- [9] 陈明, 吴婷. STM32 在智能风扇控制系统中的硬件设计与算法实现[J]. 现代电子技术, 2025(12): 78-82.