

基于 STM32 的智能蜂箱物联网监测系统

张平川*, 赵斯宇

河南科技学院计算机科学与技术学院 河南新乡

【摘要】目的 针对传统蜂箱管理主要依赖人工巡查、难以连续获取蜂箱环境及蜂群活动信息的问题,设计一种基于多参数感知与物联网技术的智能蜂箱监测系统,实现蜂箱环境和蜂群活动状态的持续监测以及远程管理。**方法** 以 STM32F103C8T6 为核心控制器,构建由温湿度、二氧化碳(CO₂)、蜂箱重量和蜜蜂出勤监测模块组成的多参数感知系统,通过 ESP8266 无线通信模块实现数据上传,并利用 OLED 显示屏和微信小程序实现本地及远程监测;根据预设阈值驱动风扇、加热片、加湿器及蜂鸣器等执行设备,实现蜂箱环境自动调节和异常提醒。**结果** 系统能够完成温湿度、CO₂ 浓度、蜂箱重量和蜜蜂出勤次数等数据的采集、处理、显示与远程传输;测试结果表明, OLED 能够稳定显示监测信息,阈值触发后执行设备能够按照设定逻辑完成相应动作,微信小程序能够接收蜂箱监测数据并实现远程控制。**结论** 所设计系统能够实现蜂箱多参数信息的持续感知、本地显示、远程传输及基本自动控制,为蜂群状态监测及后续基于多源时序数据的异常识别和健康预警研究提供了数据采集与物联网基础。

【关键词】 智能养蜂; STM32; 蜂箱监测; 物联网; 远程控制

【基金项目】 本项目为 2026 年度河南省科技攻关项目: 262102210098

【收稿日期】 2026 年 9 月 25 日 **【出刊日期】** 2026 年 10 月 23 日 **【DOI】** 10.12208/j.itss.20260003

Intelligent beehive IoT monitoring system based on STM32

Pingchuan Zhang*, Siyu Zhao

College of Computer Science and Technology, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, Henan

【Abstract】Objective To address the limitations of traditional beehive management systems—which primarily rely on manual inspections and face challenges in continuously acquiring environmental and colony activity data—this study proposes an intelligent beehive monitoring system based on multi-parameter sensing and IoT technologies, enabling continuous monitoring and remote management of both the hive environment and colony activity status. **Methods** The system uses an STM32F103C8T6 microcontroller as the core controller to build a multi-parameter sensing system comprising modules for monitoring temperature and humidity, carbon dioxide (CO₂) concentration, hive weight, and bee flight activity. Data are uploaded via an ESP8266 wireless communication module, while local and remote monitoring is facilitated using an OLED display and a WeChat Mini Program; based on preset thresholds, the system drives peripheral devices—such as fans, heating elements, humidifiers, and buzzers—to automatically adjust the hive environment and issue anomaly alerts. **Results** The system is capable of collecting, processing, displaying, and remotely transmitting data including temperature and humidity, CO₂ concentration, hive weight, and bee flight activity counts; test results demonstrate that the OLED display provides stable visualization of monitoring information, that the triggered peripheral devices execute corresponding actions according to predefined logic, and that the WeChat Mini Program can receive hive monitoring data and enable remote control. **Conclusion** The designed system enables continuous sensing of multi-parameter hive data, local display, remote transmission, and basic automatic control, providing a robust foundation for data acquisition and IoT applications in colony status monitoring as well as subsequent

*通讯作者: 张平川

research on anomaly detection and health early-warning systems based on multi-source time-series data.

【Keywords】 Intelligent beekeeping; STM32; Beehive monitoring; Internet of Things; Remote control

1 引言

蜜蜂不仅参与多种农作物的授粉, 而且在维持生态系统稳定方面也发挥着重要作用。在实际养蜂过程中, 养蜂人员通常需要定期打开蜂箱, 通过观察蜜蜂活动情况以及检查箱内环境来判断蜂群状态^[1]。这种管理方式需要投入较多人工, 同时检查通常具有一定的时间间隔, 因此难以完整记录蜂箱环境和蜂群活动的连续变化。当蜂箱内部环境发生异常, 或者蜂群活动出现明显变化时, 仅依靠人工巡查可能无法在第一时间发现问题。

近年来, 传感器、无线通信和物联网技术不断应用于农业生产, 为蜂群状态的连续监测提供了新的技术手段。现有部分智能蜂箱系统主要围绕数据采集和远程查看展开, 采集到的数据与实际养蜂管理之间的联系仍有进一步完善的空间^[2]。同时, 人工巡查形成的数据往往具有间断性, 不容易用于分析较长时间尺度上的蜂群状态变化^[3]。因此, 本研究从实际蜂箱监测需求出发, 搭建集传感器采集、数据处理、无线通信、信息显示、异常提醒和自动控制于一体的蜂箱物联网监测系统, 为蜂箱环境和蜂群活动的连续记录提供硬件与通信基础。

2 系统整体架构

系统在设计时采用模块化结构, 按照功能可划

分为数据感知层、控制执行层、数据传输层以及人机交互层, 整体结构如图 1 所示。

感知层主要承担数据采集任务。根据蜂箱监测需求, 系统配置了温度、湿度、CO₂ 浓度、蜂箱重量以及蜜蜂出勤检测等模块。其中, DHT11 负责采集温度和相对湿度; MH-Z19C 模块用于获取 CO₂ 浓度信息; 蜂箱重量由桥式称重传感器和 HX711 共同完成检测; ITR-9606 光电传感器安装于蜂箱巢门位置, 用于统计蜜蜂进出蜂箱的次数。

控制与执行部分采用 STM32F103C8T6 作为核心控制器^[4]。主控制器负责读取各传感器的数据, 并根据设定的判断条件对监测结果进行处理。当相关参数超出设定范围时, STM32 向对应执行机构发出控制信号, 使风扇、加热片、加湿器等设备执行相应操作; 出现异常时, 同时启动蜂鸣器进行现场提示。

数据传输部分使用 ESP8266 无线通信模块。STM32 完成传感器数据整理后, 将数据交由 ESP8266 进行网络传输, 并进一步上传至云平台^[5]。系统的人机交互主要由 OLED 显示屏和微信小程序组成。OLED 适合在蜂箱现场直接查看当前监测值, 微信小程序则用于远程查看蜂箱运行情况, 并能够根据需要向蜂箱端发送控制指令。

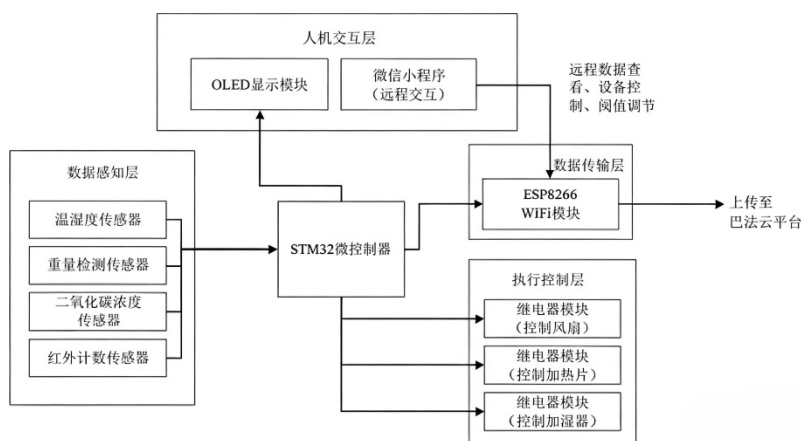


图 1 系统总体架构框图

3 系统模块设计

3.1 温湿度采集模块

系统采用 DHT11 温湿度传感器采集蜂箱内部

温度和相对湿度。DHT11 通过单总线方式与 STM32 连接, 具有电路简单、成本较低等特点。系统程序对传输数据进行校验, 确认数据有效后送入主控制程

序,用于本地显示、远程传输和阈值判断^[6]。DHT11 的温度测量范围为 0~50 ℃,相对湿度测量范围为 20%~90% RH,能够覆盖系统设计中的基本蜂箱环境监测需求。

3.2 CO₂ 浓度采集模块

系统采用 MH-Z19C 非分散红外 CO₂ 传感器采集蜂箱内部 CO₂ 浓度。该传感器通过 UART 串口与 STM32 连接,通信波特率设置为 9600 baud。系统程序按照通信协议读取并校验数据帧,确认数据有效后解析得到 CO₂ 浓度值,用于本地显示、远程传输和阈值判断。MH-Z19C 有多种量程版本,本文选用 400~10 000 ppm 版本,分辨率为 1 ppm,标称精度为 $\pm(50 \text{ ppm}+5\% \text{ 读数})$ 。

经过处理后的 CO₂ 浓度值可在 OLED 端显示,并通过 ESP8266 上传至云平台。当监测值超过系统设定的控制阈值时,STM32 向风扇控制端输出信号,同时启动蜂鸣器,以此对蜂箱内部空气环境进行基本调节并提醒管理人员。

3.3 蜂箱重量采集模块

蜂箱重量的变化能够在一定程度上反映蜂群数量、蜂蜜储存以及蜂箱整体状态的变化。因此,系统设置了独立的重量采集模块。该模块由桥式称重传感器和 HX711 组成,称重传感器产生的微弱差分信号经过 HX711 放大和模数转换后,再送入 STM32 进行处理。

实际测量过程中,蜂箱容易受到外界振动以及风扇、加热设备运行所产生的机械扰动影响^[6]。为了减小这些因素对测量结果的影响,程序连续获取多次重量数据,并对采样结果求平均值,再将处理后的结果用于显示和传输^[7]。处理后的重量数据同时参与阈值判断,当出现需要关注的异常情况时,可通过远程端进行操作。

3.4 蜜蜂出勤监测模块

蜜蜂在巢门处的进出活动具有一定的日变化规律,因此本系统将蜜蜂出勤次数作为蜂群活动监测指标之一。在蜂箱巢门位置安装 ITR-9606 槽型光电传感器。当蜜蜂通过检测区域时,红外光路受到遮挡,传感器输出电平随之发生变化^[8]。STM32 采用中断方式捕获该信号,并根据有效电平变化判断是否产生一次通行事件。根据不同时间段的出勤次数,系统暂时将蜂群活动状态划分为 NORM(常规期)、PEAK(活跃期)和 BACK(归巢)三种状态^[9]。

4 系统软件设计

系统软件主要承担数据采集、数据处理、阈值判断、执行设备控制、OLED 显示以及无线通信等任务。系统启动后,首先完成各硬件模块的初始化,然后按照设定的采样周期依次读取温度、湿度、CO₂ 浓度、蜂箱重量和蜜蜂出勤等信息^[10]。对于不同类型的传感器数据,程序分别进行相应的数据处理,软件工作流程如图 2 所示。

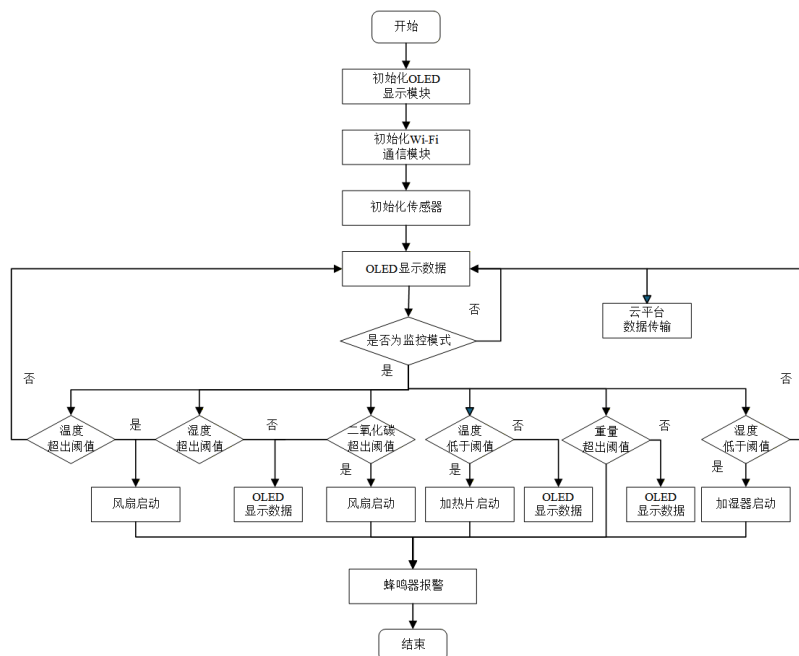


图2 主流程图

完成数据处理后, 监测结果分别进入本地显示和无线通信两个环节。一方面, OLED 实时更新当前监测值, 便于管理人员在蜂箱现场了解系统运行情况^[11]; 另一方面, STM32 对整理后的数据进行打包, 并通过 ESP8266 发送至云平台, 从而保存和查看蜂箱的历史监测信息。

系统的自动控制主要采用阈值判断方式。程序将当前采集值与预先设置的控制范围进行比较, 并依据不同参数的异常情况选择对应的执行设备^[12]。当温度低于设定值时, 启动加热设备; 当温度过高时, 通过风扇进行降温; 湿度低于设定范围时开启加湿设备; 湿度过高或者 CO₂ 浓度达到报警条件时启动风扇进行通风。与此同时, 蜂鸣器负责现场报警^[13]。对于蜂箱重量等主要用于远程关注的参数, 异常信息还可以通过云平台传递到微信小程序。

5 系统测试与结果分析

5.1 监测与显示功能测试

系统运行后, 对蜂箱温度、湿度、二氧化碳浓度、重量及蜜蜂出勤数据进行采集, 并通过 OLED 进行显示。测试过程中, 各类监测信息能够正常显示, 页面切换过程中未出现明显的显示闪烁和字符

模糊问题。

在蜜蜂活动状态测试中, 通过改变不同时间段及一分钟内蜜蜂计数结果, 系统能够按照预设规则完成 NORM、PEAK 和 BACK 状态切换, 说明蜂群基础活动状态识别功能能够按照设计逻辑正常运行。

5.2 自动控制功能测试

预设系统控制阈值如表 1 所示, 人为改变模拟环境条件, 观测系统执行机构动作。测试结果表明: 各项指标超出阈值时, 系统可准确驱动对应继电器设备完成加热、通风、加湿动作, 并启动蜂鸣器现场报警; 指标恢复至正常区间后自动关闭报警与调控负载, 控制逻辑符合预期。

5.3 移动端小程序测试

ESP8266 连接 Wi-Fi 并接入巴法云平台后, 小程序成功建立通信。下位机采集的各项监测参数可实时同步显示到小程序界面; 在小程序页面下发开关指令后, 下位机继电器能够及时响应; 小程序修改阈值参数后, 下位机同步更新本地阈值。网络正常情况下数据收发时延较小, 远程监测与控制功能可用, 如图 3 所示。

表 1 系统控制阈值与设备动作

监测指标	触发条件	执行设备动作
温度 (育子区)	T < 32℃	开启加热片, 蜂鸣器报警
温度 (育子区)	T > 36℃	开启风扇, 关闭加热片, 蜂鸣器报警
湿度	RH < 40%	开启加湿器, 蜂鸣器报警
湿度	RH > 75%	开启风扇, 关闭加湿器, 蜂鸣器报警
CO ₂ 浓度	CO ₂ > 1 000 ppm	开启风扇, 蜂鸣器报警
蜂箱重量	24h 内重量变化 < -1 000 g	蜂鸣器报警, 小程序提示

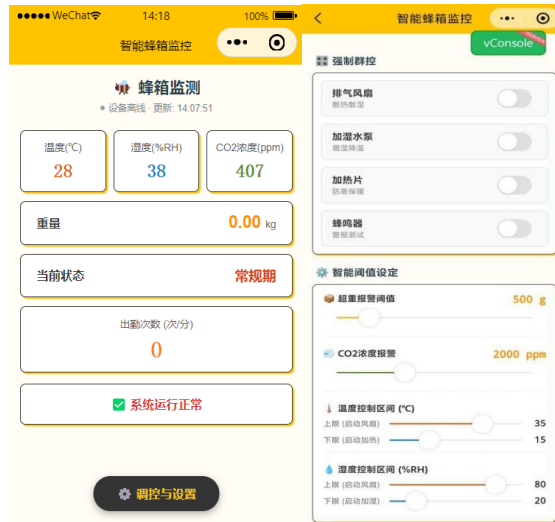


图 3 移动端微信小程序界面

综合测试表明, 本系统实现了蜂箱多参数采集、本地自动调控、现场报警与微信小程序远程监控的全部设计功能。

6 结论与展望

本文设计实现了一套基于 STM32 的蜂箱物联网多参数监测系统。硬件上以 STM32F103C8T6 为主控, 集成温湿度、二氧化碳、称重与红外出勤计数传感器; 软件完成多源数据采集解析、阈值判断与本地显示, 通过 ESP8266 Wi-Fi 模块接入云平台, 微信小程序实现远程监测与设备控制。测试表明系统运行稳定, 可完成蜂箱环境连续监测、环境自动调节与异常报警, 硬件成本低, 适合中小规模养蜂场景使用。

系统仍存在部分待优化之处: 当前采用 Wi-Fi 通信, 野外蜂场无局域网环境下使用受限, 后续可替换为 NB-IoT 低功耗广域网模块并配合太阳能供电, 进一步提升野外适用性^[14]; 出勤识别仅依靠红外计数, 后续可融合环境参数引入简单判别算法, 实现蜂群健康风险初步预警; 此外可扩展多终端组网, 实现蜂场批量蜂箱统一管理^[15]。

参考文献

- [1] Dainat B, Dietemann V, Imdorf A, et al. A scientific note on the "Liebefeld Method" to estimate honey bee colony strength: its history, use, and translation[J]. *Apidologie*, 2020, 51: 428-433.
- [2] PORTO R G, DE ALMEIDA R F, CRUZ-NETO O, et al. Pollination ecosystem services: A comprehensive review of economic values, research funding and policy actions[J]. *Food Security*, 2020, 12(6): 1345-1364.
- [3] 路云涛. 基于智慧蜂箱系统对蜂群失王及农药中毒时巢内环境和蜂群行为的监测研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
- [4] 朱迪, 方荣杰, 尹导, 等. 基于 STM32 的蜂箱防盗定位追踪系统研究[J]. *现代信息科技*, 2022, 6(4): 193-195.
- [5] KVIŠIS A, KOMASILOVS V, OZOLS N, et al. Bee colony remote monitoring based on IoT using ESP-NOW protocol[J]. *PeerJ Computer Science*, 2023, 9: e1363.
- [6] 皮安娟, 杨焱, 张小燕. 中华蜜蜂温、湿度监测系统开发及在越冬蜂群中的运用[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2025, 42(4): 51-58.
- [7] CECCHI S, SPINSANTE S, TERENCE A, et al. A smart sensor-based measurement system for advanced bee hive monitoring[J]. *Sensors*, 2020, 20(9): 2726.
- [8] 张彩凤. 多通道蜜蜂出勤自动监测系统研究[D]. 太原: 中北大学, 2018.
- [9] 洪藏, 胥保华, 刘升平. 蜂群多特征长期监测系统设计与试验研究[J]. *智慧农业(中英文)*, 2020, 2(2): 105-114.
- [10] ZHENG Y Y, CAO X Y, XU S C, et al. Intelligent beehive monitoring system based on internet of things and colony state analysis[J]. *Smart Agricultural Technology*, 2024, 9: 100584.
- [11] 胡林, 魏海波, 蔡朝阳, 等. 基于 RFID 的蜂箱状态数据监测装置设计与开发 [J]. *机电工程技术*, 2022.
- [12] TASHAKKORI R, HAMZA A S, CRAWFORD M B. Beemon: An IoT-based beehive monitoring system[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2021, 190: 106427.
- [13] KIM H, LEE S M, SON M, et al. Development of a smart beehive system with integrated in-hive environmental control and deep-learning-based image recognition [J]. *Journal of Apiculture*, 2024.
- [14] ANWAR O. Smart beehive monitoring for remote regions [D]. Perth: The University of Western Australia, 2022.
- [15] 杨一凡, 袁红, 朱秋丝, 等. 智能蜂箱研究进展及展望 [J]. *蜜蜂杂志*, 2024, 44(11): 9-13.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS