

基于物联网的智能蜂箱健康监测与预警系统

李 奇*, 张平川

河南科技学院 河南新乡

【摘要】目的 传统养蜂依靠人工开箱巡检, 蜂箱内部环境难以实现实时监测, 异常隐患处置滞后, 人工运维成本较高。针对该行业痛点, 研发一套智能蜂箱健康监测预警系统。**方法** 系统以 STM32F103C8T6 微控制器为主控单元, 搭载 DHT11 温湿度传感器、光敏传感器、JW01-CO₂ 气体传感器、火焰传感器完成蜂箱多源环境参数采集; 借助 ML307R 4G 通信模块实现双向数据传输, 有机发光二极管 (OLED) 显示屏完成本地数据可视化; 手机 App 支持远程自定义告警阈值, 联动风扇、雾化器、水泵实现蜂箱环境闭环调控与火情应急处置。完成硬件电路搭建、嵌入式程序开发, 开展模块测试与整机联合验证。**结果** 系统可持续稳定采集蜂箱环境数据, 及时识别参数越限, 执行告警与调控动作, 光照、火焰的识别时延及 CO₂、温湿度的执行机构响应时延分别为 1s、0.8 s、1.5s、1.3s, 实现 24 h 全天候自主运行, 网络断开时仍可维持本地监测与保护功能。**结论** 本系统能够降低养蜂作业人工投入, 提升蜂群生存保障能力, 可为规模化智能养蜂提供软硬件技术支撑。

【关键词】 物联网; 智能蜂箱; 健康监测; 预警系统; STM32

【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.20260002

IoT-based smart beehive health monitoring and early warning system

Qi Li*, Pingchuan Zhang

Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, Henan

【Abstract】Objective Traditional beekeeping relies on manual inspection, which cannot realize real-time monitoring of the internal environment of beehives. The disposal of hidden dangers is delayed and manual operation-maintenance cost is high. Aiming at these practical problems, this paper develops an intelligent beehive health monitoring and early-warning system. **Methods** The system uses an STM32F103C8T6 microcontroller as the main control unit. Multi-source environmental data are collected using a DHT11 temperature and humidity sensor, a photosensitive sensor, a JW01-CO₂ sensor, and a flame sensor. An ML307R 4G module enables bidirectional data transmission, while an Organic Light-Emitting Diode (OLED) display provides local data visualization. The mobile App supports remote configuration of alarm thresholds and enables the coordinated control of fans, a mist generator, and a water pump for environmental regulation and fire emergency response. Hardware circuits were assembled, embedded software was developed, and module-level tests and integrated system verification were conducted. **Results** The system can continuously and stably collect beehive environmental data, identify abnormal parameters, and perform alarm and regulation actions. The recognition delay for light and flame, and the actuator response delays for CO₂, temperature and humidity are 1 s, 0.8 s, 1.5 s and 1.3 s respectively. The system can operate autonomously for 24 h and maintain local monitoring and protection functions even when the network is disconnected. **Conclusion** The proposed system reduces manual workload of beekeeping and improves the survival guarantee for bee colonies. It provides hardware-software support for large-scale intelligent beekeeping.

【Keywords】 Internet of things; Smart beehive; Health monitoring; Early warning system; STM32

*通讯作者: 李奇

1 引言

随着国内养蜂产业持续向规模化、集约化模式转型升级,传统人工巡检、经验式管理模式存在监测滞后、管控粗放、人工成本高等问题,难以适配精细化、数字化的养殖发展需求^[1]。物联网、传感器及无线通信技术的发展,为蜂箱环境参数的实时感知、远程传输和自动调控提供了技术支撑^[2]。通过构建智能蜂箱监测与预警系统,可实现蜂箱环境的连续监测和异常状态及时告警,为智慧养蜂提供新的技术手段。

目前,国内外学者已围绕智能蜂箱环境监测、蜂群状态评估及物联网监测系统开展相关研究^[3],但多数研究只完成单一传感采集或是局部功能验证,缺少整合多维度环境感知、移动端阈值配置、设备联动调控、云-App 双向交互的一体化方案,系统集成度与工程实用性还有提升空间。基于此,本文设计实现一套智能蜂箱健康监测预警系统,完成多参数协同采集、云端数据传输、远程管控与异常预警,为规模化智慧养蜂提供技术参考。

2 系统总体设计

蜂箱适宜生存环境为温度 32~35℃,相对湿度

70%~80%; CO₂ 浓度过高会影响蜂箱内部环境。考虑到蜂箱内部通常处于弱光状态,光照监测用于识别箱盖开启、箱体破损等异常透光情况,火焰传感器则用于监测明火风险。

系统整体架构如图 1 所示,STM32F103C8T6 最小系统作为整个平台的控制核心。感知层部署温湿度、光照、火焰、CO₂ 传感器采集蜂箱环境信息;主控单元一方面外接 OLED 显示屏、蜂鸣器完成本地显示和声光告警,另一方面驱动风扇、雾化器、水泵等执行器件完成环境干预^[4];通过 ML307R4G 模块与云平台双向通信,云平台传输数据采用加密通信,保障蜂场监测数据与用户隐私安全。云平台对接手机 App,实现数据下发、用户指令回传。

系统运行逻辑:传感器采集环境信号送入单片机完成预处理与阈值判别;正常监测数据定时上传云端;一旦参数超出设定阈值,立刻触发本地告警、启动对应执行机构并上报告警信息;养殖户在 App 设置的阈值、手动控制指令经由云平台、4G 模块下发至单片机完成执行。系统支持断网本地运行,网络异常情况下依旧可以完成监测、告警与应急调控。

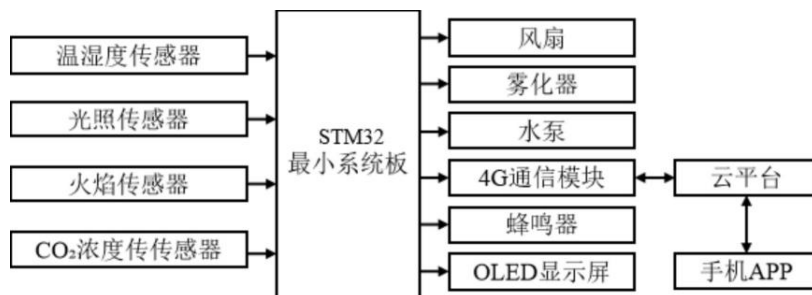


图 1 系统总体架构

图注:系统分为感知采集单元、主控单元、4G 通信单元、云平台-App、执行机构五大部分,实现采集-判别-告警-调控闭环。

3 系统硬件设计与实现

3.1 硬件总体设计

硬件总体分为传感器采集模块、主控处理模块、通信模块、执行驱动模块、人机交互模块。稳压芯片提供稳定 5V 电源;8 MHz 主晶振、32.768 kHz RTC 晶振提供时钟;复位电路、SWD 下载接口用于程序调试烧录。

引脚分配:PA4 接 DHT11 温湿度传感器,PA0 接光照传感器,PA1 接火焰传感器,PA2、PA3 接 CO₂ 传感器;PB8、PB9 通过 I²C 总线驱动 OLED;PA9、

PA10 对接 4G 模块串口;PB12 驱动蜂鸣器 LED 告警,PB13、PB14、PB15 分别控制水泵、风扇、雾化器继电器。执行器件由 NPN 三极管驱动继电器完成通断控制。

调试中发现继电器通断产生电源扰动,在继电器电源端增加滤波电容以降低采样干扰。本系统主控采用 STM32F103C8T6 单片机;感知单元包含 DHT11 温湿度传感器、光敏电阻模块、JW01-CO₂ 二氧化碳传感器、红外火焰传感器;通信单元选用 ML307R 4G 模块;执行部分采用 5 脚 5V 继电器驱

动 5V 直流水泵、风扇与雾化器；人机交互由 4 针 PC-OLED 显示屏与有源蜂鸣器 LED 告警单元组成。系统选用成熟商用传感与 4G 模块，器件已在农业物联网场景广泛应用，硬件方案稳定可靠。

3.2 主控模块电路设计与实现

本模块以 STM32F103C8T6 单片机为核心，搭配晶振电路、复位电路、BOOT 启动选择电路、稳压电源电路。8 MHz 高频晶振作为系统主时钟，32.768 kHz 低频晶振用于计时，晶振均配置 12 pF 匹配电容保障频率稳定。复位电路由 10 k Ω 上拉电阻、100 nF 滤波电容与机械按键组成，支持上电复位与手动复位。稳压电路将外部输入电压转换为 3.3 V，为主控芯片与外设提供稳定电源，电源 LED 指示灯便于野外快速排查硬件故障。

主控最小系统是整个硬件平台的核心，所有传感器、执行机构、通信模块全部挂载在该主控之上，SWD 下载接口方便后期现场调试固件升级，不需要拆卸整套硬件。

3.3 环境采集模块

光照检测模块采用光敏传感器，布设于蜂箱巢门附近，用于识别箱盖意外开启、箱体破损等造成的异常透光情况。当检测照度 > 2000 lx 且持续 30 s 时，系统判定为异常透光，并触发声光及 App 告警^[5]。

火焰监测与光照异常监测相互独立。火焰传感器基于红外光谱原理检测蜂箱及周围环境中的明火，DO 引脚经上拉电阻接入 PA1 引脚。检测到火焰信号时，系统立即启动水泵，同时触发声光告警并向云平台推送火情告警信息。

JW01-CO₂传感器的 A_R、B_T 引脚分别接入 STM32F103C8T6 的 PA2、PA3 引脚，单片机通过 USART2 以 9600 baud 读取传感器串口数据帧并解析 CO₂浓度。当浓度超过预设阈值时，系统启动风扇进行通风换气，同时上传异常告警信息^[6]。

DHT11 数字温湿度传感器采用单总线通信，数据引脚接入 PA4。单片机发送启动信号后读取温湿度原始数据，解析得到温度、相对湿度，作为风扇散热、雾化器增湿控制依据^[7]。

3.4 通信与人机交互模块

ML307R 4G 模块 RX、TX 串口引脚分别连接 STM32 的 PA9、PA10，实现 UART 双向串口通信。单片机采集的环境数据、告警消息通过 4G 网络上传云平台，同时接收云端下发的阈值修改、设备控

制指令。ML307R 4G 模块适配野外无 WiFi 蜂场的数据传输需求^[8]。

OLED 显示屏采用 I²C 总线通信，SCL 时钟引脚 PB8，SDA 数据引脚 PB9。单片机将温湿度、光照、CO₂浓度、告警状态发送 OLED 本地展示，OLED 功耗低，适合蜂箱狭小空间安装。即使网络断开，现场维护人员依旧可以直接读取屏幕上实时参数，方便现场排查故障^[9]。

4 系统软件设计与实现

软件开发基于 STM32 嵌入式开发环境，整体采用循环采集-判断-执行-上传的架构，各模块软件采用模块化编程，各个功能函数解耦，便于后期功能迭代修改。

4.1 系统主程序设计 with 实现

系统上电之后，首先完成系统时钟、IO 口、ADC、串口、外设传感器初始化。系统循环执行：采集各路传感器数据，进行简单滤波预处理；OLED 刷新显示实时监测值；将实测值和系统阈值做对比。参数异常：触发蜂鸣器 LED 声光报警，驱动对应执行机构工作，通过 4G 模块上传告警信息；参数正常则定时上传普通监测数据。系统接收云端下发指令，更新告警阈值或者直接控制外设状态。主程序流程图如图 2 所示。

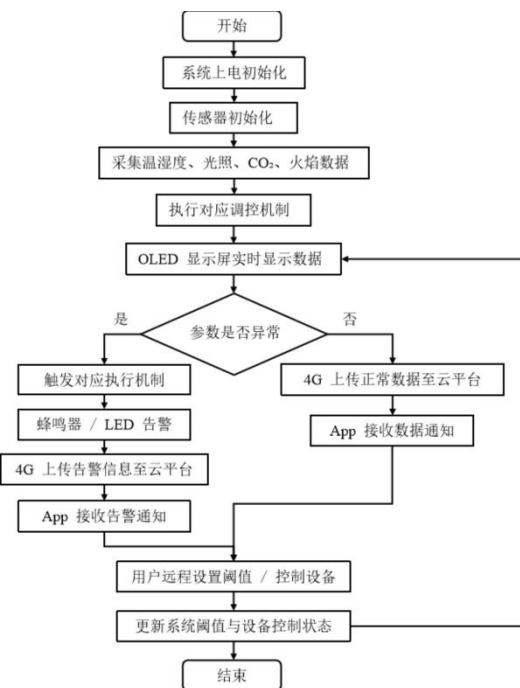


图2 主程序流程图

图注：软件主循环包含传感器采集、阈值判别、本地执行、云端数据交互完整流程。

4.2 各传感器业务逻辑

光照采集: ADC 读取 PA0 模拟电平换算光照强度, 超过阈值触发声光告警并上报告警;

火焰检测: 读取 PA1 电平, 识别明火后立即启动水泵灭火、声光告警, 推送火情告警;

CO₂ 检测: 解析 PA2、PA3 获取浓度数据, 超标开启风扇通风;

DHT11 温湿度采集: 单总线读取温湿度, 温度过高启动风扇散热, 湿度过低开启雾化器增湿。

所有异常事件同步推送至云平台, App 接收告警通知。软件内部对传感器增加简单滑动平均滤波, 消除现场电磁干扰带来的数据抖动, 提升采集稳定性。

4.3 云平台与 App 交互逻辑

云平台负责转发下位机上传的监测、告警数据,

同时把 App 下发的阈值修改、设备手动控制指令转发给 4G 模块。手机 App 端实现实时数据展示、告警消息弹窗、告警阈值自定义设置、风扇/水泵/雾化器手动控制功能。App 监测界面如图 3 所示。

系统设计双重控制逻辑: 自动模式下硬件按照本地阈值自主调控; 手动模式下养殖户可以通过 App 直接接管设备; 网络异常时自动切成本地自主运行模式, 不会因为断网丧失监测和保护能力。

5 系统集成与测试

硬件装配遵循先核心主控、后外设模块的焊接顺序。焊接 STM32 主控单元, 焊接晶振匹配电容、复位电路、BOOT 启动电路、SWD 调试接口、稳压供电电路。

搭建模拟测试环境, 分别对光照、火焰、CO₂、温湿度模块开展模拟测试。测试记录如表 1 所示。

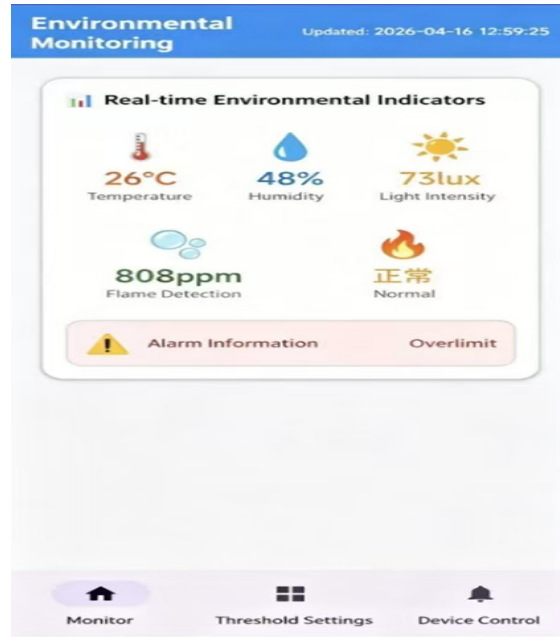


图 3 App 监测界面

图注: 移动端 App 实时展示蜂箱各项环境监测参数与告警信息。

表 1 系统模拟测试工况结果

测试项目	测试工况	系统预期行为	实际测试结果	响应时延
光照检测	模拟箱盖开启, 照度>2000lx 并持续 30s	声光告警, App 告警推送	告警触发正常	1s
火焰检测	模拟明火	水泵启动灭火+声光告警+App 火情推送	灭火、告警全部触发	0.8s
CO ₂ 检测	提升 CO ₂ 浓度	超标启动风扇通风, 浓度回落停止	5 次测量均正常触发联动	1.5s
温湿度	模拟高温低湿	高温开风扇, 低湿开启雾化器	散热增湿动作执行正常	1.3s

表注: 全部测试重复 5 次, 系统动作无失效。CO₂ 连续 5 次模拟参考读数为 1460、1510、1480、1530、1490ppm, 平均值为 1494ppm, RSD 约为 1.8%。

多次重复测试, 各个模块响应稳定, 调控动作执行正常。移动端 App 可以实时同步下位机采集参数, 异常弹窗告警, 支持阈值修改与设备手动控制, 数据双向交互正常。当人为断开 4G 网络, 系统依旧完成本地采集、告警、调控; 网络恢复后自动重连云平台, 不会丢失本地关键告警记录。

6 结论

本文针对规模化智能养蜂精细化管控需求, 设计实现了一套基于物联网的智能蜂箱健康监测预警系统。系统构建了“感知-处理-传输-云平台-App-执行机构”的完整闭环体系, 集成温湿度、CO₂、光照、火焰多源同步监测功能, 兼顾蜂群环境调控与蜂箱火情安防。系统支持移动端自定义告警阈值、远程数据查看与设备管控, 可联动风扇、雾化器、灭火水泵完成异常自动处置, 实现监测、预警、调控一体化运行。

测试结果表明, 系统可实现蜂箱 24 h 稳定无人值守监测, 传感器采集稳定, 执行机构响应迅速, 网络断开依旧保留本地保护能力, 有效减少人工巡检频次, 降低蜂群非正常损耗, 系统全部采用通用器件, 单节点硬件成本可控, 便于规模化部署。适用于规模化智慧养蜂场景, 实用性与推广价值良好^[10]。

本系统仍存在一定不足, 目前仅监测蜂箱外部环境参数, 未纳入蜂群重量、声场等内部状态指标, 且设备未做深度低功耗优化, 野外续航有待提升。后续将拓展多维感知维度, 优化功耗控制策略, 结合监测数据构建蜂群健康预测模型, 进一步提升系统智能化监测与预警能力^[11]。

参考文献

- [1] 何盛阳, 何旭江, 曾志将, 等. 智能蜂箱研究进展 [J]. 中国蜂业, 2025, 76 (6): 57-61.
- [2] Zaman A, Dorin A. A framework for better sensor-based beehive health monitoring[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2023, 210: 107906.
- [3] Aydin S, Aydin M N. Design and implementation of a

smart beehive and its monitoring system using microservices in the context of IoT and open data[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2022, 196: 106897.

- [4] 杨选将, 李华龙, 李淼, 等. 蜂群箱体关键参数在线监测系统与性能测试[J]. 智慧农业(中英文), 2020, 2(2): 115-125.
- [5] Nürnberger F, Härtel S, Steffan-Dewenter I. Effects of temperature and photoperiod on the seasonal timing of Western honey bee colonies and an early spring flowering plant[J]. Ecology and Evolution, 2021, 11: 7834-7849.
- [6] Bencsik M, McVeigh A, Tsakonas C, et al. A Monitoring System for Carbon Dioxide in Honeybee Hives: An Indicator of Colony Health[J]. Sensors, 2023, 23(7): 3588.
- [7] Ngo T N, Wu K C, Yang E C, et al. A real-time imaging system for multiple honey bee tracking and activity monitoring[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 163: 104841.
- [8] 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.
- [9] 林龙. 基于 ZigBee 协议的智能蜂箱设计与应用 [J]. 蜜蜂杂志, 2025, 45 (5): 14-17.
- [10] Lu Y T, Yan Y F, Liu Z G, et al. Monitoring honeybee colonies under imidacloprid exposure based on a smart beehive system [J]. Ecotoxicology, 2025, 34 (5): 1-13.
- [11] Wu Ying, Niu Qingsheng, Wang Zhi. Current Status and Innovation Trends of Smart Beehives in China [J]. Chinese Apiculture, 2025, 76(2): 40-44.

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