

DOI:10.19431/j.cnki.1673-0062.2020.04.017

基于模糊控制理论的嵌入式家居环境智能监控装置设计

谢苗苗¹, 李华龙^{2*}

(1. 安徽大学 江淮学院, 安徽 合肥 230031; 2. 中国科学院 合肥智能机械研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要:针对家居环境因子多且相互作用关系复杂、难以实现环境质量精准决策的问题,设计了基于模糊控制理论的嵌入式家居环境智能监控装置。为了提高系统实时性,装置采用 S3C6410 作为核心处理器,移植嵌入式 Linux 操作系统,在此基础上构建基于模糊控制理论的环境综合评价模型,对采集的 6 种家居多环境因子信息进行综合评价,为家居环境质量实时控制提供科学依据。实验表明,装置安装维护简单、成本低廉、决策准确率达 98.2%,具有推广应用价值。

关键词:家居环境;模糊综合评价;监控装置;S3C6410;嵌入式系统

中图分类号:TP393 **文献标志码:**A

文章编号:1673-0062(2020)04-0098-07

Design of Intelligent Monitoring Device for Embedded Home Environment Based on Fuzzy Control Theory

XIE Miaomiao¹, LI Hualong^{2*}

(1. Jianghuai College, Anhui University, Hefei, Anhui 230031, China; 2. Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei, Anhui 230031, China)

Abstract: In view of the complexity of home environment factors and the complexity of interaction, it was difficult to achieve precise decision-making of environmental quality. An intelligent monitoring device for embedded home environment based on fuzzy control theory was developed in this paper. In order to improve the real-time performance of the system, S3C6410 was adopted as the core processor on the hardware and the embedded Linux operating system was transplanted on the software. On this basis, a comprehensive environmental evaluation model based on fuzzy control theory was built. The six kinds of household environmental factors information were comprehensively evaluated to provide a scientific basis

收稿日期:2019-12-06

基金项目:安徽大学江淮学院校级重点资助项目(2018KJ0001)

作者简介:谢苗苗(1985-),女,讲师,硕士,主要从事嵌入式系统及信息处理技术方面的研究。E-mail:nhmmiao@163.com。*通信作者:李华龙(1984-),男,助理研究员,博士,主要从事物联网技术与嵌入式系统方面的研究。E-mail:hlli@iim.ac.cn

for real-time control of home environment quality. The experiment shows that the installation and maintenance of the device is simple, the cost is low and the decision-making accuracy reaches 98.2%, which has the value of popularization and application.

key words: home environment; fuzzy control theory; monitoring device; S3C6410; embedded system

0 引言

据统计现代人约有80%以上的时间在室内度过,室内环境影响制约着人们身心健康。因此实现家居环境质量的智能监控与评价至关重要^[1]。目前,利用计算机网络和自动控制等技术,建立基于Browser/Server(B/S)架构的室内环境监控系统逐渐被推广应用。2017年,闻利群等人用ZigBee和Wifi技术结合完成了一种基于物联网的室内监控环境系统^[2]。2018年,丁飞等搭建了一套基于B/S架构的OneNET平台环境质量监测系统^[3],实现对室内温度、湿度和PM2.5浓度等环境参量的实时上报和运行管理。但对室内环境监测及评价的研究大多针对室内单一环境因素。由于室内环境因子多且相互作用关系复杂,这些影响室内环境的监测及舒适度的准确评价。如何实现环境质量精准决策,仍然是智能家居领域的研究热点^[4]。此外,基于B/S架构的监控系统通常需要大型服务器作为硬件支持,存在系统开发运行成本高,维护复杂等缺点,因此亟需研发环境质量决策准确率高、成本低廉、普适性强、可靠性高的家居环境质量智能监控装置,以满足普通居民家居环境质量智能监控需要。

本文利用嵌入式系统开发技术,研制基于模糊控制理论的嵌入式家居环境智能监控装置,通过构建基于模糊控制理论的环境综合评价模型,对采集的温度、湿度、光照、CO₂质量浓度、噪声和CO质量浓度6种家居环境因子信息进行综合评价,为家居环境质量实时控制提供科学依据,该装置具有部署简单、成本低廉的优点。

1 材料与方法

1.1 基于模糊控制理论的环境综合评价模型设计

1.1.1 家居环境采集数据预处理

家居环境参数一般变化较为缓慢,也偶有突变情况。本文选用防脉冲干扰平均值滤波法,针对采集的家居环境数据进行预处理,该方法计算简单、耗时短、存储量小,非常适用于便携式移动

系统^[5]。

防脉冲干扰平均值滤波算法首先持续采集 N 个数据,找出中间的最值并删除,将剩下的 $N-2$ 个数据做平均值运算,计算结果作为滤波算法的输出数据,其数学映射关系如式(1)所示。

$$Y = \frac{1}{N-2} \sum_{k=2}^{N-1} X(K) \quad (1)$$

其中, $X(1) \leq X(2) \leq \dots \leq X(N)$, $N \geq 3$ 。实际应用中,为了提高系统的响应速度, N 通常取4。在本系统中,首先开始连续采集四组家居环境数据,然后比较数据大小,去除最大最小值,防止脉冲干扰,最后求余下的数据平均值,将此结果作为最终的采样结果存入寄存器中,完成环境监测传感器数字滤波过程,进而提升传感器测量的可靠程度,降低了干扰带来的测量误差。

1.1.2 基于模糊控制理论的家居环境综合评价模型

模糊综合评价方法是对受多个因素影响的对象做出综合评判的一种有效决策方法。根据模糊控制原理和最大隶属度原则,本文设计的基于模糊控制理论的家居环境综合评价模型具体构建步骤^[6]如下:

1) 建立评价集

(1) 确定因素集 U 。本系统中取所有传感器的测量参数为因素集,即建立因素集合 $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6\}$,其中 u_1 代表温度, u_2 代表湿度, u_3 代表光照度, u_4 代表CO₂质量浓度, u_5 代表噪声, u_6 代表CO质量浓度。

(2) 建立评价集合 V 。在进行室内环境舒适度评价时,依据专家经验和相关文献,选取对室内环境质量影响较大的六种参数作为环境舒适度评价指标;根据国家相关标准中关于人体舒适度的标准,给出本系统的评价集 $V = \{v_1, v_2, v_3\}$, v_1 表示舒适, v_2 表示较舒适, v_3 表示不舒适。

2) 建立隶属度函数

隶属度函数是模糊集合元素对集合的从属程度,可以用 $[0, 1]$ 之间的数来表示。对于本系统中因素集 U 中的六个元素,在评语集 V 中都有与之相对应的模糊逻辑关系。根据实际采集的环境

数据及人体舒适度对于环境的要求,温度、湿度和光照三个评价因子的隶属度采用模糊概率统计的方法来确定。系统在实际环境人体舒适度体验的实验基础上,采用模糊概率统计的方法^[7]来确定温度、湿度和光照三个评价因子的模糊隶属度值。设 N 为每个评价因子随机抽取的总实际调查人数, n_i 为每个评价集中舒适、较舒适和不舒适三种情况对应的人数,则每个评价因子的模糊隶属度值 $\mu_i = \frac{n_i}{N} (i = 1, 2, 3)$, 且满足 $\sum_{i=1}^3 \mu_i = 1$ 。

室内环境中另外三种环境参数 CO_2 质量浓度、噪声和 CO 质量浓度的评价指标体系如表 1 所示。

表 1 CO_2 质量浓度、噪声和 CO 质量浓度评价指标体系
Table 1 Evaluation index system of CO_2 concentration, noise and CO concentration

评价	CO_2 质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	噪声/dB	CO 质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)
舒适	≤ 700	≤ 30	< 15
较舒适	800 ~ 900	35 ~ 45	18 ~ 24
不舒适	$\geq 1\ 000$	≥ 50	> 100

三种环境参数所对应的隶属度函数,采用如式(2)~式(4)计算公式:

$$\mu_1 = \begin{cases} 0, \mu_1 < b, \mu_1 > b \\ \frac{\mu_1 - a}{b - a}, a \leq \mu_1 < b \\ \frac{d - \mu_1}{d - c}, c < \mu_1 \leq d \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_2 = \begin{cases} 0, \mu_2 < b, \mu_2 > d \\ \frac{\mu_2}{a}, 0 \leq \mu_2 < a \\ \frac{\mu_2 - b}{c - b}, b < \mu_2 \leq c \\ 1, a \leq \mu_2 \leq b, c \leq \mu_2 \leq d \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_3 = \begin{cases} 0, \mu_3 < c \\ \frac{\mu_3 - c}{d - c}, c \leq \mu_3 < d \\ 1, \mu_3 \geq d \end{cases} \quad (4)$$

公式中, μ_1 、 μ_2 和 μ_3 分别对应评语集 V 中的三个元素, a 、 b 、 c 、 d 分别代表表 1 中三个因子所对应评语集元素舒适、较舒适和不舒适的分界点。

对因素集 U 中每个元素根据评语集 V 中的

指标等级建立模糊关系矩阵:

$$R = (r_{ij})_{6 \times 3} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} \\ r_{61} & r_{62} & r_{63} \end{bmatrix} \quad (5)$$

3) 建立模糊综合评价模型

(1) 建立各环境因子的权重向量 $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_6\}$ 。关于权重值的确定,可以采用专家估测法^[8],由 k 个专家独立给出 6 个元素 u_i 的权重 a_{ij} ,然后求出每环境因素的权重值 $\omega_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k a_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, 6$,构成相应的权重集合,本文对于环境因子所占的比重,当出现其他因素为优良,而其中一项因子超标且存在致命危害时,采用一项否决并且直接评价为不舒适。

(2) 构建模糊评价矩阵 $B = \omega \cdot R = (b_1, b_2, b_3)$,根据最大隶属度原则判断当前家居环境状态。

1.2 基于模糊控制理论的嵌入式家居环境智能监控装置总体设计

基于模糊控制理论的嵌入式家居环境智能监控装置,集成多种家居环境监测传感器,实时采集家居环境温度、湿度、光照、 CO_2 质量浓度、噪声、CO 质量浓度,通过 RS-485 数据传输接口,将采集信号输入到 S3C6410 核心处理模块单元,并构建基于模糊控制理论的环境综合评价模型,实现家居环境质量的综合评价。系统通过加载嵌入式 Linux 系统,依托于 QT 架构编程,构建功能全面、界面友好的用户软件,并配置有 GPRS 无线传输接口,使得检测装置与云端、移动端数据传输与相互通信。同时,利用 SD 卡数据存储模块,可对采集环境数据进行本地存储^[8-9]。基于 S3C6410 的嵌入式家居环境智能监控装置框图如图 1 所示。

1.3 基于 S3C6410 的嵌入式家居环境智能监控装置硬件设计

核心处理模块采用 S3C6410 为核心处理器,该处理器是三星公司的一款低功耗、高性价比的 RSIC 处理器,基于 ARM11 内核 (ARM1176JZF-S),主频最高可达 667 MHz,支持 5 V 电压供电^[10-11]。核心处理模块与传感器之间通过 RS-485 总线接口进行数据通信,采用 MAX485 收发器作为 485 通信接口转换芯片,并设计了总线匹

配电阻 $120\ \Omega$, 用以增信号强度, 吸收 RS-485 总线反射波。

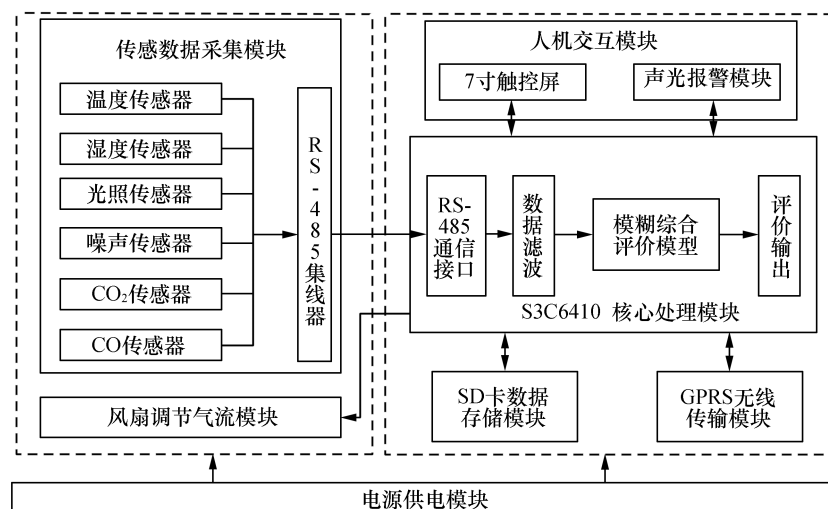


图1 基于 S3C6410 的嵌入式家居环境智能监控装置框图

Fig. 1 Block diagram of intelligent monitoring device for embedded home environment based on S3C6410

传感数据采集模块包括 RS-485 总线型环境温度、湿度、光照、 CO_2 、噪声、CO 传感器; RS-485 集线器和风扇调节气流模块。其中, 上述 RS-485 总线型环境监测传感器由合肥恒孚电子科技有限公司生产, 温度测量范围: $-40\ ^\circ\text{C} \sim +85\ ^\circ\text{C}$, 测量精度: $\pm 0.3\ ^\circ\text{C}$; 相对湿度测量范围: $5\% \text{ RH} \sim 95\% \text{ RH}$, 测量精度: $\pm 0.3\% \text{ RH}$; 光照测量范围: $0 \sim 500\ \text{lx}$, 测量精度: $\pm 3\ \text{lx}$; CO_2 质量浓度测量范围: $0 \sim 1\ 500\ \text{mg}/\text{m}^3$; 测量精度: $\pm 20\ \text{mg}/\text{m}^3$; 噪声测量范围: $0 \sim 100\ \text{dB}$; 测量精度: $\pm 1\ \text{dB}$; CO 质量浓度测量范围: $0 \sim 150\ \text{mg}/\text{m}^3$; 测量精度: $\pm 1\ \text{mg}/\text{m}^3$, 所有传感器出厂都已标定。所有传感器经 RS-485 集线器, 与核心处理模块的 RS-485 通信接口连接。

目前, 普遍家居环境参数检测多采用基于气体扩散式检测的方式, 装置内的气体检测探头只能对扩散至装置的气体进行检测, 由于气体自然扩散时间长, 因此检测时间较长, 且检测精度不精确。系统设计了风机调节气流模块, S3C6410 核心处理模块实时控制 DC 5 V 供电的风扇启停状态, 将家居环境气体主动吸入监控装置进行检测, 具体电路图如图 2 所示。

系统配置的 GPRS 无线传输模块由厦门才茂通信科技有限公司生产 CM3160 GPRS DTU, 供电范围: DC 5 ~ 32 V, 通信功耗低, $< 0.7\ \text{W}$, 可提供稳定可靠的 TCP 透明传输模式, 与 S3C6410 通过串口连接, 可将采集家居环境数据实时传送给远

程服务器。SD 卡数据存储模块结合实时时钟模块, 将采集的家居环境数据和采集时间实时存储到 SD 卡, 实现对采集数据的本地存储。

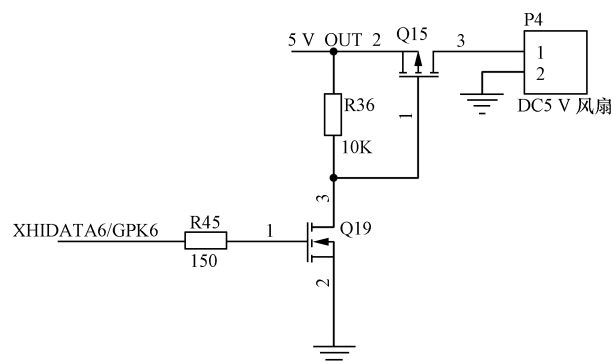


图2 风扇调节气流模块电路图

Fig. 2 Circuit diagram of fan regulating airflow module

1.4 检测装置软件系统设计与实现

1.4.1 软件总体结构介绍

嵌入式 Linux 操作系统是一款性能优良、源码公开、可移植固化、可裁剪及抢占式的实时多任务嵌入式操作系统, 具有占用空间小、执行效率高、实时性能好等特点。因此, 为提高系统实时性, 系统软件采用基于嵌入式 linux 操作系统设计, 根据系统要求, 软件设计的功能如下^[12-14]:

- 1) 实现系统开机自启动功能, 运行 linux 操作系统。
- 2) 实时采集 RS-485 型传感器监测家居环境

信号,获得家居环境各监测因子的实时数据。

3) 利用环境模糊综合评价模型,滤除采集家居环境数据中的干扰信号,将异常数据信号剔除;然后,对预处理后的数据进行智能决策,实现家居环境的决策结果输出。

4) LCD 液晶触控屏实时显示家居环境数据与环境综合评价结果,以及装置采集频率、数据通信和本地存储功能的设置。

5) 实现与上位机的通信,通过串口传输检测数据。

6) 声光报警功能,向用户发送家居环境质量的报警信息。

装置总体软件框图如图 3 所示。

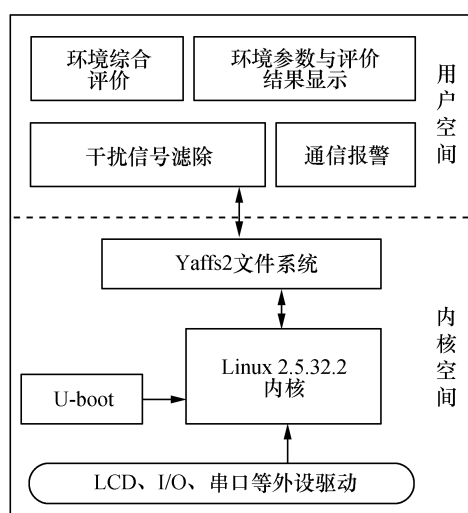


图 3 装置总体软件框图

Fig. 3 General software block diagram of the device

1.4.2 Linux 系统在 S3C2440 上的移植

Linux 系统的移植,主要包括:引导程序设计、内核编译、驱动加载、Yaffs2 文件系统制作和应用程序下载。首先需要 U-boot 加载到系统的 Flash 中,每次开机具有自动引导功能,为 linux 内核下载提供条件;Linux 内核需要尽量减少代码量,满足系统的实际功能;驱动程序根据装置所用外设来设计,可放在内核中一起编译,也可在后期加载;Yaffs2 文件系统是 Linux 中重要组成部分,它为用户提供文件数据,包括目录、文件、链接信息及文件保护信息等^[15-17]。

1.4.3 应用程序设计

装置的应用程序,主要包括家居环境监测数据采集与智能决策的图形化界面设计。根据系统要求,主要包括家居环境数据的采集、处理、显示,

以及数据的远程传输与本地存储。应用层程序在 Linux 操作系统支持 Qt/Embedded 基础上设计完成,通过读写控制设备文件和 Qt 接口函数实现相应功能。程序设计的流程图如图 4 所示,程序有浓度显示和数据通信两个显示界面。采用 Qt creator 开发界面,设计两个单独的类来显示每个界面应用程序设计的功能如下:读取 RS-485 传感器数据,进行数据预处理后,智能决策,设计 LCD 液晶显示界面,通过 LCD 液晶实时显示家居环境信息,并将检测完成后可将数据保存至本地 SD 卡中,也可以通过 GPRS 模块将其发送至远程服务器,供用户随时查看历史数据,装置的软件开发界面如图 5 所示。

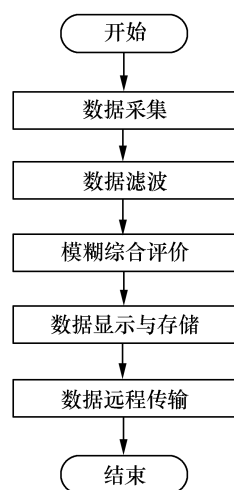


图 4 程序设计流程图

Fig. 4 Flow chart of programming

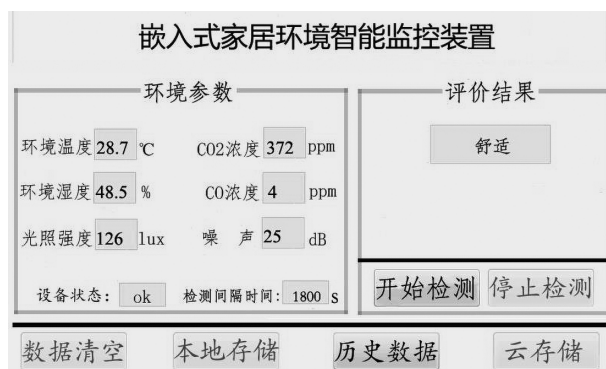


图 5 装置软件开发界面

Fig. 5 Software development interface of device

2 结果与讨论

将研制的装置置于室内家居环境进行一周测试实验。监测周期时间从 2018 年 10 月 1 日早晨

7:00 至 2018 年 10 月 8 日早晨 6:30,装置每隔三十分钟采集一次环境数据,并给出环境综合评价结果。以装置采集的某时刻环境数据(温度 33.7℃,湿度 38.9% RH,光照 129 lx,CO₂ 质量浓度 422 mg/m³,噪声 32 dB;CO 质量浓度 5 mg/m³)为例,随机调查 262 人的舒适度体验来确定温度、湿度和光照三个评价因子的隶属度值,利用公式(2)~公式(4)计算确定 CO₂ 质量浓度、噪声、CO 质量浓度的隶属度值,构建嵌入式室内环境模糊综合评判模型,进行环境综合评价。

首先,计算 6 种环境因子的模糊隶属度值:

温度为 33.7℃,隶属度分别为 $r_{11} = \frac{10}{262} = 0.04$,
 $r_{12} = \frac{20}{262} = 0.08$, $r_{13} = \frac{232}{262} = 0.88$;湿度为 38.9% RH,
隶属度分别为 $r_{21} = \frac{15}{262} = 0.06$, $r_{22} = \frac{242}{262} = 0.92$,
 $r_{23} = \frac{5}{262} = 0.02$;光照为 129 lx,隶属度分别为 $r_{31} = \frac{229}{262} = 0.88$, $r_{32} = \frac{16}{262} = 0.06$, $r_{33} = \frac{17}{262} = 0.06$;CO₂ 质量浓度为 422 mg/m³,隶属度分别为 $r_{41} = \mu_1 = 0$,
 $r_{42} = \mu_2 = \frac{422}{700} = 0.6$, $r_{43} = \mu_3 = 0$;噪声为 32 dB,隶属度分别为 $r_{51} = \mu_1 = \frac{32.5-30}{35-30} = 0.5$, $r_{52} = \mu_2 = 0$, $r_{53} = \mu_3 = 0$;CO 质量浓度为 5 mg/m³,隶属度分别为 $r_{61} = \mu_1 = 0$, $r_{62} = \mu_2 = \frac{5}{15} = 0.33$, $r_{63} = \mu_3 = 0$;然后,建

立模糊关系矩阵 $R = \begin{bmatrix} 0.04 & 0.08 & 0.88 \\ 0.06 & 0.92 & 0.02 \\ 0.88 & 0.06 & 0.06 \\ 0 & 0.6 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0.33 & 0 \end{bmatrix}$, 根据

专家估测法,确定权重集合 $\omega = (0.21, 0.184, 0.162, 0.159, 0.16, 0.125)$,则根据模糊变换关系,得到模糊评判结果向量。

$B = \omega \cdot R = (0.24, 0.33, 0.21)$ 。

根据最大隶属度原则,得到评价结果 b_2 最大,即此刻室内环境综合评价属于评语集 V 中的第一个等级 v_2 “较舒适”。装置监测的环境温度数据曲线如图 6 所示,部分环境参数及其评价结果如表 2 所示。装置一周内采样并评价 336 次,经检验,系统准确评价 330 次,评价不当 6 次,准确率 98.2%。实验表明该装置可以实现家居

环境控制的精准智能决策。

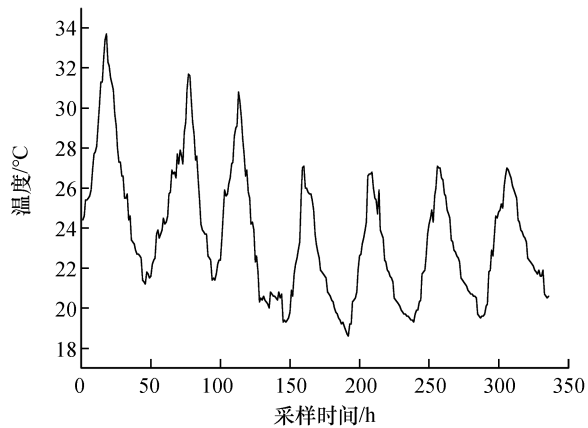


图 6 监测的环境温度数据

Fig. 6 Monitored ambient temperature data

表 2 装置监测的部分预处理后数据及评价结果

Table 2 Part of monitoring pre-processing data and evaluation results of device

温度 /℃	相对 湿度 %RH	光照 /lx	CO ₂ 质量 浓度 /(mg· m ⁻³)	噪声 /dB	CO 质量 浓度 /(mg· m ⁻³)	结论
33.7	38.9	129	422	32	5	较舒适
27.3	50.2	90	430	31	7	舒适
28.3	51.5	142	470	35	11	舒适
27.4	56	139	410	58	20	不舒适
26.8	52.4	135	450	36	28	不舒适

3 结 论

基于模糊控制理论的嵌入式家居环境智能监控装置,综合考虑家居多环境因子的相互作用关系,采用 S3C6410 作为核心处理器,软件上移植嵌入式 Linux 操作系统,构建基于模糊控制理论的环境综合评价模型,对家居环境温度、湿度、光照强度、CO₂ 浓度、噪声和 CO 浓度进行实时采集与综合评价。同时,利用配置有 SD 卡数据存储模块和 GPRS 无线传输模块,可实现采集环境数据的本地存储和无线远程传输。装置安装维护简单、成本低廉。实验表明,系统的决策准确率达 98.2%,为实现家居环境控制的智能决策提供新的方法参考与技术手段,具有推广应用前景。

参考文献:

[1] 郭艳,张浩玲,何伦发,等. 室内家居环境对儿童青少

- 年呼吸系统健康影响[J]. 中国公共卫生, 2020, 36(1): 56-59.
- [2] 闻利群, 秦斌伟, 张会新, 等. 基于 ZigBee 和 WiFi 技术的室内环境安全监测系统设计[J]. 电子设计工程, 2017, 25(7): 78-82.
- [3] 丁飞, 吴飞, 艾成万, 等. 基于 OneNET 平台的环境监测系统设计与实现[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2018, 38(4): 24-29.
- [4] 刘雄飞, 聂伟, 陈浩, 等. 基于云计算平台的室内环境监测系统设计与实现[J]. 传感器与微系统, 2019, 38(3): 92-95.
- [5] 郝振兴, 魏晋宏, 宇文超敏, 等. 基于嵌入式 Linux 的电加热棒温度控制系统的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2017(10): 84-88.
- [6] 杜磊. 基于多传感器数据融合的智能家居安防研究与设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2018.
- [7] 胡文泽, 何珂, 金诚谦, 等. 基于模糊综合评判的农业机械 FMECA 方法研究[J]. 农业机械学报, 2018, 49(增刊1): 332-337.
- [8] 吴江, 陈滋顶, 贾元华, 等. 模糊理论在铁路客运安全指标权重优化算法中的应用[J]. 北京交通大学学报, 2018, 42(3): 37-43; 52.
- [9] 谢秋菊, 苏中滨, NI J Q, 等. 猪舍环境适宜性模糊综合评价[J]. 农业工程学报, 2016, 32(16): 198-205.
- [10] WIJAYA K, MOCHAMMAD H I, SABRIANSYAH R A, et al. Lightweight UDP pervasive protocol in smart home environment based on labview[J]. Materials science and engineering, 2017, 190(1): 1757-1799.
- [11] FESTAG S. False alarm ratio of fire detection and fire alarm systems in Germany-a meta analysis[J]. Fire safety journal, 2016, 79: 119-126.
- [12] 侯殿有, 刘晓光, 吉鹤. S3C6410X(ARM11)精简指令系统微处理器(RISC Microprocessor)的特点和使用实例[J]. 电脑学习, 2009(6): 22-24.
- [13] BOGDAN-COSMIN C, ION B, VICTOR-VALERIU P, et al. A security authorization scheme for smart home internet of things devices[J]. Future generation computer systems, 2018, 86: 740-749.
- [14] 王振, 姬广永, 耿桂娟. 网络移动终端的嵌入式开发与设计[J]. 现代电子技术, 2018, 41(5): 51-55; 60.
- [15] TERROSO-SAENA F, GONZALEZ-VIDAL A, RAMALLO-Gonzalez A P, et al. An open IoT platform for the management and analysis of energy data[J]. Future generation computer systems, 2019, 92: 1066-1079.
- [16] LEE J S, CHO S, KWON O. Identifying multiuser activity with overlapping acoustic data for mobile decision making in smart home environments[J]. Expert systems with applications, 2017, 81: 299-308.
- [17] 吴磊, 皮智, 袁宗胜. 一种基于 S3C6410 的 BootLoader 的设计与实现[J]. 计算机应用与软件, 2016, 33(9): 238-244.