

# 基于STM32单片机的图书馆无线温湿度在线监测系统

杨睿

(西安文理学院, 陕西 西安 710065)

**摘要:**为降低温湿度对图书馆内纸质馆藏资源的影响,设计基于STM32单片机的图书馆无线温湿度在线监测系统。利用DHT11温湿度传感器分布式采集图书馆温湿度数据,经基于最小二乘的加权方法融合后,通过基于nRF24L01的无线通信模块将数据融合结果传输至主控制器,温湿度控制模块采用模糊PID控制算法,在线调控图书馆的温湿度,确保图书馆温湿度控制在最佳温湿度范围内;一旦温湿度数值存在异常,及时通过报警模块发送报警信息。实验结果显示,该系统可准确检测图书馆古籍阅览室东、南、西、北四个区域的温湿度数据,并利用模糊PID控制器将四个区域的温湿度控制至设定数值,达到馆藏资源保存的理想环境,且控制的响应时间短,超调量小。

**关键词:** STM32单片机; 图书馆; 温湿度; 在线监测; 模糊PID控制; 传感器

中图分类号: TN98

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2025)09-0068-04

DOI: 10.14022/j.issn1674-6236.2025.09.014

## Wireless temperature and humidity online monitoring system for libraries based on STM32 microcontroller

YANG Rui

(Xi'an University, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** In order to reduce the influence of temperature and humidity on paper collection resources in library, a wireless temperature and humidity online monitoring system based on STM32 microcontroller is designed. DHT11 temperature and humidity sensor is used for distributed collection of library temperature and humidity data. After fusion by weighted method based on least squares, the data fusion results are transmitted to the main controller through wireless communication module based on nRF24L01. The temperature and humidity control module adopts fuzzy PID control algorithm to regulate the temperature and humidity of the library online. Ensure that the library temperature and humidity are controlled within the optimal humidity range. Once the temperature and humidity value is abnormal, alarm information is sent through the alarm module in time. The experimental results show that the system can accurately detect the temperature and humidity data in the four regions of the ancient books reading room of the library, and use the fuzzy PID controller to set the temperature control values in the four regions, so as to achieve the ideal environment for the preservation of collection resources, and the control response time is short and the overshoot is small.

**Keywords:** STM32 microcontroller; library; temperature and humidity; online monitoring; fuzzy PID control; sensor

作为一个集藏书、阅读以及学习综合性场所的图书馆<sup>[1]</sup>,其具备恰当的环境可有效避免图书资源损

毁。温湿度作为图书馆内纸质图书资源的主要影响因素,准确监测图书馆内温湿度变化可有效防止图书馆藏资源的损毁<sup>[2-3]</sup>。由于图书馆空间大、结构复

收稿日期: 2024-02-29 稿件编号: 202402132

作者简介: 杨睿(1978—),女,陕西西安人,硕士,馆员。研究方向:图书馆文献资源建设。

- 68 -

杂,传统的通过有线方式传递数据的温湿度传感器的布线成本高,且线路老化问题极易影响温湿度监测安全性,因此,亟需设计一款成本低、安全性高的图书馆无线温湿度在线监测系统。

针对该问题,李琛磊等人提出一种基于物联网的图书馆温湿度无线监测系统<sup>[4]</sup>,结合物联网平台OneNet,随时掌控图书馆温湿度情况。徐仲等人设计基于NB-IoT的图书馆温湿度监测系统<sup>[5]</sup>,通过NB-IoT通信模块,将传感器数据转换为数字信号发送到上位机实现监测,但上述方法易影响温湿度监测安全性。

STM32单片机作为一种32位微控制器及微处理器<sup>[6-7]</sup>,具备性能高、成本和功耗低以及嵌入式优势,被广泛应用在环境温湿度监测中,为此文中提出基于STM32单片机的图书馆无线温湿度在线监测系统,为图书馆提供最佳温湿度环境。

## 1 图书馆无线温湿度在线监测系统

### 1.1 系统总体结构

设计基于STM32单片机的图书馆无线温湿度在线监测系统,总体结构如图1所示。该系统将高性能的STM32单片机作为主控制器,可有效完成各温湿度传感器采集数据的分析处理<sup>[8]</sup>,并通过基于nRF24L01的无线通信模块完成主控制器的区域通信,以DHT11温湿度传感器作为图书馆温湿度数据采集的分布式传感器,采集数据经融合处理后,通过nRF24L01进行数据的转发。基于STM32单片机的主控制器将经无线通信模块传输的数据传输至温湿度控制模块,采用模糊PID算法获取温湿度控制结果,作用于扩展功能模块进行温湿度调节,当温湿度异常时,通过报警模块发送报警信息,提示图书馆管理人员,并及时进行图书馆温湿度调控。

### 1.2 基于STM32单片机的主控制器

系统将STM32单片机作为主控制器的核心<sup>[9]</sup>,用于控制温湿度传感器采集、无线通信模块的数据传输。同时设置功能接口于电路板中,用于实现温湿度控制、扩展功能以及预警功能。可通过UART接口控制扩展功能模块中的调温设备和雾化加湿设备,也可通过该接口连接温湿度控制模块进行温湿度调控,以及通过报警模块进行温湿度异常预警。

### 1.3 温湿度传感器

选取具备成本低、灵敏度高、抗干扰能力强、反

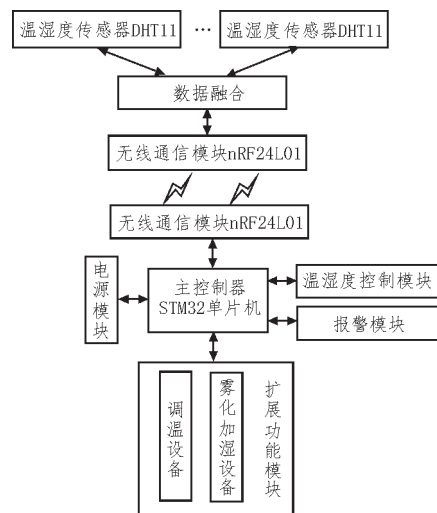


图1 无线温湿度在线监测系统结构

应速度快优势的数字温湿度传感器DHT11作为系统温湿度数据采集用温湿度传感器<sup>[10]</sup>,将采集结果以数字信号的形式输出<sup>[11]</sup>。

通过基于最小二乘的数据加权融合方法融合各个温湿度传感器采集温湿度数据<sup>[12]</sup>,融合表达式为:

$$T_x = \sum_{i=1}^n T_{zi} \omega_i \quad (1)$$

其中,  $T_{zi}$ 、 $\omega_i$  分别表示第  $i$  个温湿度传感器采集数据、权重系数。 $T_x$  为多个温湿度传感器采集图书馆温湿度数据融合结果。 $n$  为温湿度传感器数量。

### 1.4 温湿度传感器的驱动程序

主控制器的STM32单片机通过变更及检测DATA引脚的高低电平时序,完成温湿度传感器采集图书馆温湿度数据的读取,具体过程如下:

1) 设定主控制器STM32单片机DATA引脚的连接时序,将自身与温湿度传感器DHT11相连接。

2) DATA引脚将获取的温湿度数字信号传输至STM32单片机,并将其转换成温湿度数据在RAM中存储。

3) 等待后续应用模块随时调取温湿度数据。

### 1.5 无线通信模块设计

系统的无线通信模块选取射频模块nRF24L01,nRF24L01作为一种单片RF无线收发芯片,在ISM频段的2.3~2.5 GHz频率下工作,其内部包含多种功能模块,如合成器模块、功率放大器模块、振荡器模块等<sup>[13]</sup>。并应用ShockBurst技术进行信息传输增强,提升通信抗干扰性,可通过内部编程合理配置输出功率和通信频带。nRF24L01在功率发射以及信息接收时的工作电流仅分别为8 mA、11 mA,同时还具

备掉电和待机两种工作模式。

### 1.6 温湿度控制模块

将图书馆设置的温湿度值  $r(x)$  作为模糊 PID 控制器的输入<sup>[14-16]</sup>, 计算采集图书馆温湿度值与设置温湿度值之间的误差  $e(x)$  和误差变化率  $eb(x)$ , 通过模糊化、模糊推理以及解模糊操作后, 将 PID 参数的修正结果  $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 、 $\Delta K_d$  输出, PID 控制器依据修正后的参数输出最佳温湿度调控结果  $w(x)$ 。温湿度控制输出结果用  $o(x)$  表示, 控制单元  $K_p$  信号输入表达式为:

$$r(x) = K_p r(x) + e(x) \quad (2)$$

其中,  $K_p r(x)$  用于表示比例控制单元, 系统控制误差减小及温湿度控制稳定性提升可通过调整  $K_p$  实现。

用积分常数  $\eta_i$  表达积分单元  $K_i$  的积分能力, 积分常数与积分能力成反比, 积分单元  $K_i$  的积分输出表达式为:

$$o(x) = K_p r(x) + \eta_i^{-1} \int_0^1 r(x) dt \quad (3)$$

其中,  $\eta_i^{-1} \int_0^1 r(x) dt$  表示积分控制项; 系统控制误差减小可通过调整  $K_i$  实现。

用于描述温湿度控制误差的微分单元  $K_d$  的微分控制项公式为:

$$o(x) = K_p \left[ r(x) + \eta_i \left( \frac{dx}{dt} \right) \right] \quad (4)$$

其中,  $\eta_i \left( \frac{dx}{dt} \right)$  表示微分控制项, 系统控制效率提升可通过调整  $K_d$  实现。

PID 控制器参数的调整依据模糊推理实现, 依据图书馆设置温湿度自动化调整图书馆的温湿度,

PID 控制器参数修正量表达式为:

$$\begin{cases} \Delta K_p = K_{add}(e(x), e(x))_p \\ \Delta K_i = K_{add}(e(x), e(x))_i \\ \Delta K_d = K_{add}(e(x), e(x))_d \end{cases} \quad (5)$$

温湿度监测结果精度需进行模糊化处理, 模糊化处理公式为:

$$o = 2\alpha \left[ r_i - \frac{(\alpha - \beta)}{2} \right] / (\alpha - \beta) \quad (6)$$

其中,  $r_i$  和  $(\alpha, \beta)$  分别为精度量和模糊区间。

模糊化结果包括七个等级的模糊论域, 其中零、正小、中、大分别用 ZO、PS、PM、PB 表示, 负小、中、大分别用 NM、NS、NS 表示, 则模糊论域  $F$  的表达式为:

$$F = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\} \quad (7)$$

设置论域处于  $[-3, 3]$  区间, 通过不断推理模糊规则  $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 、 $\Delta K_d$ , 获取图书馆温湿度控制量, 实现有效的图书馆无线温湿度控制, 保障系统温湿度监测效果。

## 2 实例分析

选取某地区大型图书馆为实验对象, 选取该图书馆的古籍阅览室为温湿度监测的场所, 该古籍阅览室面积为  $328 \text{ m}^2$ , 包含四个阅览区 (东南西北), 将古籍阅览室东、南、西、北四个区域的标准温度和标准湿度设置为  $22^\circ\text{C}$ 、 $55\% \text{ RH}$ , 并在古籍阅览室内安装温湿度传感器 12 台, 每个区域 3 台。

采用设计系统对该古籍阅览室 4 个区域进行温湿度监测, 监测结果如表 1 所示。分析表 1 数据可知, 设计系统的温度检测误差均值最大仅为  $0.05^\circ\text{C}$ , 湿度检测误差均值最大仅为  $1.1\% \text{ RH}$ , 误差较小, 具备较高的温湿度检测精度。

表 1 4 个区域温湿度监测结果

阅览室区域	温湿度传感器	检测温度/ $^\circ\text{C}$	检测湿度/ $\% \text{ RH}$	融合后温度/ $^\circ\text{C}$	融合后湿度/ $\% \text{ RH}$	实际温度/ $^\circ\text{C}$	实际湿度/ $\% \text{ RH}$	误差均值
东	1	23.81	58.32					
	2	23.75	57.98	23.69	58.05	23.65	57.85	0.04 $^\circ\text{C}$ /0.2%RH
	3	23.52	57.85					
南	1	24.52	59.42					
	2	24.25	58.45	24.54	58.58	24.51	58.42	0.03 $^\circ\text{C}$ /0.16%RH
	3	24.85	57.88					
西	1	25.25	55.45					
	2	25.41	55.82	25.56	55.58	25.51	55.11	0.05 $^\circ\text{C}$ /0.47%RH
	3	26.01	55.46					
北	1	22.89	56.52					
	2	23.08	57.84	22.91	56.6	22.92	55.5	0.01 $^\circ\text{C}$ /1.1%RH
	3	22.77	55.44					

在数据传输速率为250 Mb/s、500 Mb/s条件下,统计五种发射功率下的温湿度传感器采集数据的传输距离,测试结果见表2。分析表2数据可知,nRF24L01无线通信模块的数据传输距离确实会受到数据传输速率的影响。在同等发射功率下,当数据传输速率较低时(250 kb/s),相对于高速率(1 Mb/s)通信距离较远。

表2 不同发射功率下nRF24L01的数据传输距离

数据传输速率	发射功率/dBm	数据传输最大距离/m
250 kb/s	-20	28
	-15	59
	-10	105
	-5	122
	0	158
1 Mb/s	-20	25
	-15	52
	-10	98
	-5	105
	0	137

依据表2所示的温度传感器采集数据可知,图书馆古籍阅览室四个区域的温湿度均超过设定的标准值,为此采用设计系统对四个区域的温湿度进行控制,控制结果见图2。控制响应曲线(以温度数据为例)见图3。分析图2所示,设计系统控制下,可有效将四个区域的温度控制在22℃左右,控制后的湿度数据也保持在55%RH左右,达到了馆藏资源保存的理想环境。从图3可以看出,设计系统应用模糊PID控制器进行温度控制的响应时间短,均未超过1.5 s,具备控制速率高优势,且四个区域的温度控制超调量较小,仅在阅览室西部区域温度控制室时存在约为0.1℃的超调量,并在0.1 s内迅速恢复至目标温度。

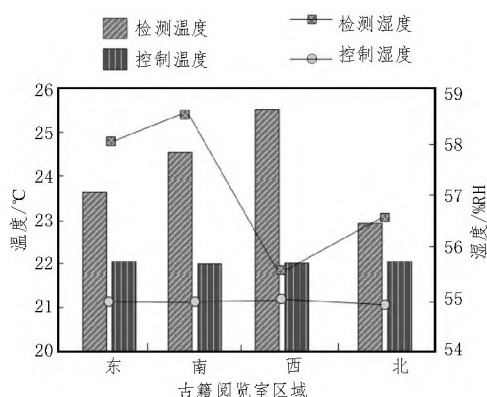


图2 设计系统的温湿度控制结果

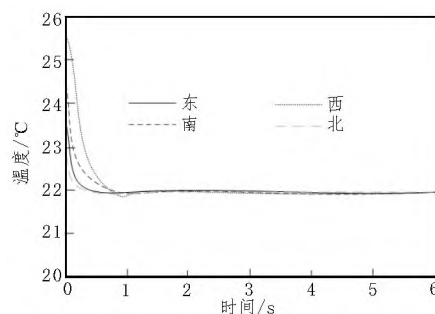


图3 温度控制响应曲线

### 3 结论

文中充分结合了STM32单片机的低成本、低功耗特点<sup>[17-18]</sup>,nRF24L01无线模块的通信性能,以及模糊PID控制器的精确调节能力,针对图书馆馆藏资源易受温湿度影响而损坏的问题,设计并实现了一种高效的图书馆无线温湿度在线监测系统。通过在某大型图书馆古籍阅览室的实际应用效果分析,验证了系统的可靠性和实用性。

#### 参考文献:

- [1] 龙崙葭,王萍.公共图书馆数字化服务用户满意度研究[J].情报科学,2023,41(5):91-98.
- [2] 姜雨辰,何赫,刘涛,等.基于人工智能的图书馆学生学习状态监测技术研究[J].电子器件,2023,46(4):1070-1074.
- [3] 刘小滨,刘寅,沈文浩.基于STM32单片机的环境温/湿度远程监控系统设计[J].中国造纸学报,2022,37(3):118-125.
- [4] 李琛磊,种兰祥.智慧古籍图书馆的环境监测系统[J].图书馆论坛,2020,40(2):107-112.
- [5] 徐仲,孙先松.基于NB-IoT的环境温湿度监测系统[J].物联网技术,2020,10(2):20-22.
- [6] 饶涛,郑伟,吴艳,等.基于STM32单片机的机房环境检测报警系统的设计与实现[J].电视技术,2022,46(7):76-80.
- [7] 聂宵,徐广平,房孝俊.基于STM32的高精度温度控制系统设计[J].激光与红外,2020,50(1):107-110.
- [8] 霍海林,李雪松,赵金洋,等.基于LabVIEW的DHT8X型数字式温湿度传感器数据采集器的研制[J].计量科学与技术,2022(7):7-12,37.
- [9] 秦冲,王素粉.基于STM32的煤矿火灾多参数监测终端设计[J].煤炭技术,2023,42(7):190-192.

(下转第76页)



差。实验结果表明,该方法提高了监测精度和实时性,能够实时精准监测杆塔沉降情况。

#### 参考文献:

- [1] 毕文龙,马星河,周涛,等.基于四元数误差状态卡尔曼的杆塔监测系统[J].压电与声光,2021,43(5):720-725.
  - [2] 高雪莲,李乐依,刘文琳.基于遥感卫星光学影像的杆塔倾斜在线监测方法[J].中国电机工程学报,2022,42(16):5971-5978,6171.
  - [3] 杨柳林,刘冲鹤.基于NB-IoT的低功耗杆塔姿态监测系统[J].现代电子技术,2021,44(16):19-24.
  - [4] 金晖,张明,周国鹏,等.条纹投影测量系统的相位误差抑制方法[J].激光与光电子学进展,2021,58(14):345-353.
  - [5] 熊鑫,田增山,谢良波.高精度宽带RFID测距系统中的误差抑制方法研究[J].小型微型计算机系统,2022,43(3):667-672.
  - [6] 夏炎.面向室内外卫星定位的多径检测与抑制技术研究[J].测绘学报,2023,52(8):1413.
  - [7] 刘其辉,闫佳颖,吴勇,等.计及锁相误差的双馈风电并网系统暂态过电压特性与抑制[J].电力系统自动化,2023,47(11):165-173.
  - [8] 代建中,冯旭哲,李文屏,等.基于STK的北斗三号卫星导航系统AC仿真分析[J].计算机仿真,2022,39(5):22-25,360.
  - [9] 王天文,祝会忠.北斗系统载波相位差分定位模型实现[J].测绘通报,2022(S2):8-10,57.
  - [10] 张伟佳,范文峰,范时秒,等.原子自旋惯性测量的偏振误差分析及抑制方法[J].中国激光,2022,49(19):33-39.
  - [11] 王雨畅,张国玉,孙高飞,等.光电式日照计室内检测系统中辐射抑制方法研究[J].光子学报,2022,51(6):133-143.
  - [12] 王宇,汪鹏,刘晓明,等.内蒙古电网输电杆塔倾斜监测预警分析平台开发与应用[J].内蒙古电力技术,2023,41(1):40-44.
  - [13] 张向波,郭际,胡永辉,等.日界不连续误差对GNSS载波相位频率传递的影响[J].大地测量与地球动力学,2022,42(4):371-377.
  - [14] 王一帮,吴爱华,刘晨,等.一种对在片测量系统中串扰误差进行修正的新型校准方法[J].计量学报,2021,42(12):1553-1558.
  - [15] 王吉中,赵博,赵士猛,等.无沟铺管机北斗导航控制系统设计与试验[J].农业工程学报,2021,37(9):47-54.
  - [16] 彭鸿钊,吴虹,杨梦煊,等.非视距环境下DTMB辅助北斗定位系统算法研究[J].南开大学学报(自然科学版),2022,55(5):72-77.
- 
- (上接第71页)
- [10] 曾佳,黄海琴,邹杰,等.一种基于高温宽域氧传感器湿度测量工作机理的研究[J].传感技术学报,2021,34(6):742-748.
  - [11] 杨会兵,王晓蕾,高澜,等.露点型温湿度传感器静态测试与性能分析[J].中国测试,2020,46(3):148-153.
  - [12] 蒋鹏.基于LoRa无线通信的煤矿矿井环境智能监测系统[J].煤炭技术,2023,42(7):206-208.
  - [13] 官鹤,李佳星.基于蛙跳PID算法的温室温湿度控制系统设计[J].农机化研究,2021,43(1):186-190.
  - [14] 罗一,石艳.基于模糊PID控制的窖池温度监控设计[J].食品与机械,2023,39(3):85-90.
  - [15] 范李平,李兵,姚迪.一种智能变电站环境温湿度在线监测系统[J].电气开关,2022,60(4):31-35.
  - [16] 于海琪.制药企业温湿度环境在线监测系统[J].上海计量测试,2023,50(1):33-35.
  - [17] 马海霞,郭全恩,展宗冰,等.基于GIS的灌区土壤投入品残留污染监测预警系统[J].西安工程大学学报,2024,38(2):109-115.
  - [18] 朱俊杰,缪文南,李征.基于STM32的防疫巡检机器人的设计[J].自动化与仪器仪表,2024(7):239-242.