

嵌入式机房多功能模块智能监控系统设计

李 炜¹, 黄 倩²

(1. 武汉大学人民医院 信息中心, 武汉 430060; 2. 武昌职业学院 通识课部, 武汉 430202)

摘要: 为充分提高大型机房智能化运维能力, 及时排除各种异常情况, 实现高精度、低功耗的系统设计目标; 提出基于嵌入式的机房多功能模块智能监控系统设计方法; 设计针对机房空间的传感信号采集层、数据传输层、后台监控层的多层系统架构; 硬件结构设计了用户登录模块、传感器运行模块、数据记录模块和监控显示模块, 4个功能模块在多层架构下工作; 软件部分通过数据传输程序连接终端设备与云计算中心, 利用数据处理程序完成功能模块参数设置, 完成嵌入式机房运行数据自动监控, 针对系统的功耗问题, 设计了微结构级功耗模型, 降低系统功耗; 实验结果表明: 所设计系统容错率在80%以上, 数据采集精度高, 当浓度超过100 ppm时, 自动对烟雾超标情况启动报警装置; 可以实时响应接入设备, 及时获取预警信息, 功耗低, 平均响应时间均在2.8 s以下, 实现嵌入式机房自动智能监控。

关键词: 嵌入式技术; 智能机房监控; 多层架构; 模块设计; 低功耗模型; 系统设计

Design of Intelligent Monitoring System with Multi-function Module in Embedded Computer Room

LI Wei¹, HUANG Qian²

(1. Information Center, Renmin Hospital of Wuhan University, Wuhan 430060, China;

2. General Education Department, Wuchang Polytechnic College, Wuhan 430202, China)

Abstract: In order to fully improve the intelligent operation and maintenance capability of large computer rooms, eliminate various abnormal situations in time, and achieve the system design goals of high precision and low power consumption, an intelligent monitoring system design method based on embedded multifunctional module in computer rooms is proposed. The multi-layer system architecture of the sensor signal acquisition layer, data transmission layer and background monitoring layer for the computer room space is designed. The hardware structure includes the user login module, sensor operation module, data recording module and monitoring display module, four functional modules work under a multi-layer architecture. The software part connects the terminal equipment and cloud computing center through the data transmission program, the data processing program is used to complete the parameter setting of the function module and the automatic monitoring of the embedded computer room operation data. Aiming at the power consumption problem of the system, a micro structure level power consumption model is designed to reduce the system power consumption. The experimental results show that the fault tolerance rate of the designed system is above 80%, and the data acquisition accuracy is high. The device will automatically start the alarm when the concentration of computer rooms exceeds 100 ppm; The equipment is connected in real time, and the early warning information is obtained in time. The power consumption of the system is low, and the average response time is less than 2.8 s, realizing the automatic intelligent monitoring of the embedded computer room.

Keywords: embedded technology; intelligent machine room monitoring; multi-layer architecture; module design; low power consumption model; system design

0 引言

针对大型机房的智能监控系统由监控端电脑、环境监测主机和底端传感器组成, 可以实时了解机房环境, 相关设备运行参数, 同时能够智能化的发出故障预警提示, 提高机房运行安全系数。利用嵌入式技术设计机房设备和环

境智能监控系统, 能够有效解决人工值守所产生的安全隐患问题, 满足远程监控需求, 提升机房运维智能化能力, 扩大监控范围。针对相关系统的智能化设计研究, 一直是嵌入式与人工智能领域研究的重点。

学者王斌^[1]设计了基于WSNs的机房监控系统, 将系统分为前端传感器与远程控制两个模块, 选用STM32微型

收稿日期: 2022-10-25; 修回日期: 2023-01-13。

作者简介: 李 炜(1981-), 男, 硕士, 高级工程师。

黄 倩(1979-), 女, 讲师。

引用格式: 李 炜, 黄 倩. 嵌入式机房多功能模块智能监控系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(1): 64-71.

处理器, 设置无线通信、数据采集等功能; 利用混合资源调度机制设计软件算法, 调整窗口数据, 减少系统延时和丢包。任敏^[2]利用云计算技术设计一种监控系统。通过外围电路获得网络芯片所需电子容量, 分别设置云计算通信模块和控制模块, 搭建硬件环境, 编写云计算服务监视协议。刘恋秋^[3]以 DER 通讯技术为基础, 设计了一种用于农业无人机的远程监测系统, 搭建无人机监控平台, 在此基础上, 提出了一种基于全局粒子性的方法来实现无人机的轨迹规划, 以实现对无人机的实时监测。文献 [4] 中, 王文志等人研制了一种远程云平台舰船实时监控监控系统, 利用 BDG-MF-07 的星载车载终端, 实现一次应急警报, 并实现了 AIS 船舶的可防碰撞安全防护, 并实现了一系列的远程云台, 为系统提供远程安全通信功能。但上述监控系统对于机房数据信息的采集不够全面, 难以实现全方位监控, 安全系数有待提高。

嵌入式属于一种先进的硬件开发技术, 通常应用在设备控制、信息采集、分析以及可视化等领域, 具有适用性较强, 图像化编程功能强大, 人机交互效果优异的特点。基于上述优势, 本文在嵌入式技术支持下, 设计一种机房多功能模块智能监控系统。结合系统需求, 确立多层整体架构模式, 设置多功能模块, 将各类传感器作为系统的主要硬件设备, 采集机房数据信息, 依托数据传输程序和数据处理程序, 结合图像处理技术, 增强机房监控画面效果和智能化运维管理效果。

1 系统总体架构设计

为了完成嵌入式机房多功能模块智能监控系统设计, 对系统总体架构进行设计, 架构模式由信号采集层、数据传输层、后台监控层所组成。与传统的两层结构模式相比, 三层结构的优势在于, 每个层都有自己的职责, 每个层看似独立, 实则协同工作, 逐级访问, 方便后期软件功能的开发。在多层架构模式下, 利用传输数据链将采集到的医院设备工作状态信息传输至监控中心, 以此提升医院机房运维能力。信号采集层是系统的最底层, 采集的内容主要包括模拟量、数字量、音频、视频等, 通过多功能模块直接采集医院设备运行数据。数据传输层^[5]合并所有采集信息, 选取短信传输或 IP 传输的通信方式, 将数据信息传输至后台监控层。后台监控层^[6]通过完整的监控软件监控医院机房运行情况。嵌入式机房多功能模块智能监控系统总体架构设计, 如图 1 所示。

由图 1 可知, 监控系统首先通过信号采集层采集模拟量、数字量、音频、视频等信息, 选用 CWS11 型传感器监测机房环境信息; 在嵌入式机房多功能模块智能监控系统中安装烟雾传感器, 避免机房发生火灾; 选用接触式中的 PRL08-1.5DN 型号的线式传感器, 在探测位置的水位上升至 0.5 毫米时, 水浸感应器向管理人员发出警报, 及时发现险情, 减少损失。通过对传感器采集信息的分析、处理和数据拟合, 可以对嵌入式机房设备的现状进行识别; 后

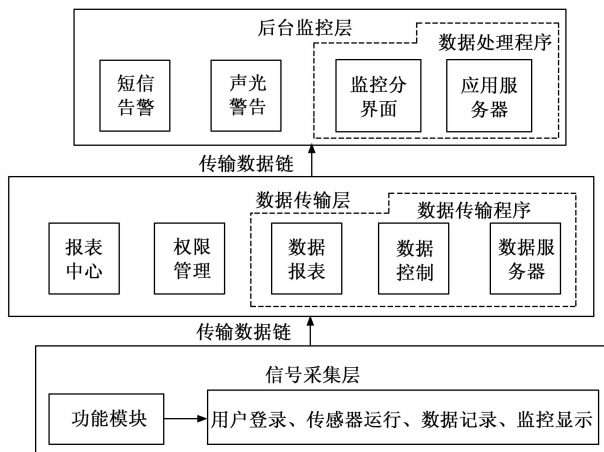


图 1 监控系统整体架构图

台管理人员还可以传递命令和信息。从这一点可以看出, 多功能模块智能监控是一个双向的、可逆的动态发展过程。数据传输层利用传输数据链将信号采集层采集到的医院设备工作状态信息传输至监控中心。另外, 利用 C 语言完成嵌入式机房设备数据传输程序编写, 在 LabVIEW 开发环境下, 获取传感器运行模块数据信息, 利用串口通信的方式将数据发送到嵌入式环境监控主机。

后台监控层中运用中央服务器的后端服务工具, 设计报警信息自动生成模块, 在自动报警模块中应用了 YS-01Y 的声音报警技术, 在自动报警信息从计算机窗口弹出的同时, 发出警报声响提醒运维人员, 提升设备故障处理效率。本系统能够对各种异常状况进行监视, 如安防、人员入侵、水浸、火灾等, 并具备远程照相、灯光控制等功能, 使维修人员能够充分了解机房的环境及工作状态。此外, 该机房还配备一台不间断电源 (UPS, uninterruptible power supply), 与本系统内的所有环境监测设备连接, 在停电的情况下, 可持续 4 个小时的供电, 降低因停电、电源故障等原因导致的损耗。

2 系统硬件设计

将系统的硬件环境分为数据采集、信息传输和远程控制三层, 该系统所需的硬件设施很多, 以监控端计算机、嵌入式环境监控主机和底层感应器为核心, 因此设计多功能模块时需要结合 LabVIEW 的特点, 确保硬件和开发环境相互适应。在多层架构模式下, 设计用户登录模块、传感器运行模块、数据记录模块、监控显示模块。下面对嵌入式机房多功能模块智能监控系统的功能模块进行设计。

2.1 核心控制器模块

本文系统选择了 S3C2410 作为主控单元, 该主控单元使用了 FBGA 的封装方式, 共有 272 个针脚, 每个针脚之间的间隔都非常的短, 核心电路控制器的构成框图如图 2 所示。

2.2 传感器模块设计

2.2.1 温湿度传感器电路设计

为确保大型机房设备稳定运行, 必须对机房环境进行

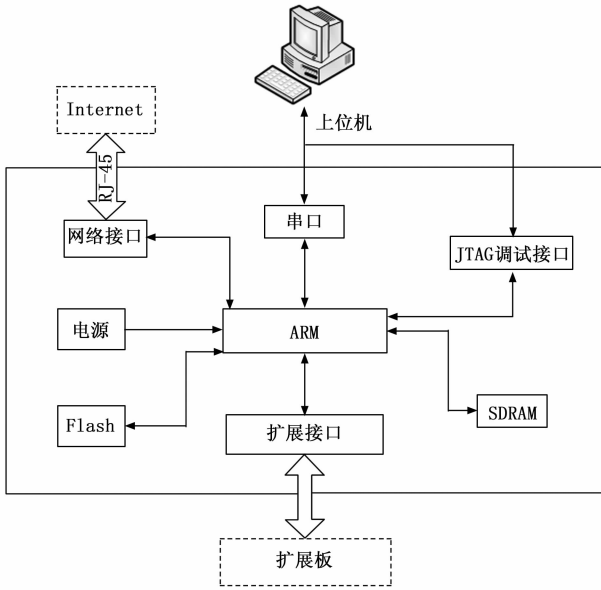
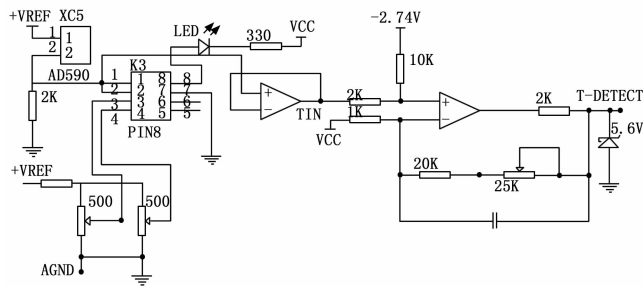


图 2 核心控制电路的框图

监控, 要求传感器的精度在 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。若温度过高或太过潮湿, 会造成电子设备运行故障, 本文选用 CWS11 型传感器^[7]监测机房环境信息。具体仪器和电路图如图 3 所示。



(a) CWS11 型传感器



(b) 电路图

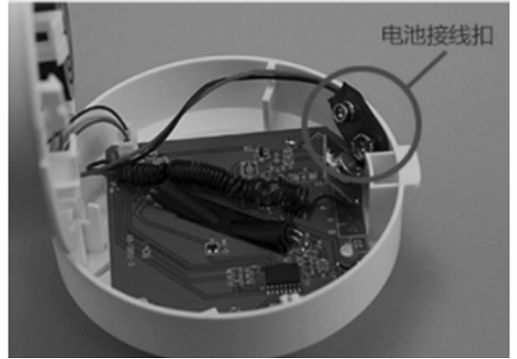
图 3 温湿度传感器以及电路图

工作电压为 $9\sim 36\text{ V}$, 温度测量范围为 $-40\sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$, 湿度测量范围为 $0\%\text{ RH}\sim 100\%\text{ RH}$, 响应速度 >0.8 , 输出方式是 RS485, 工作环境为 $-20\sim 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

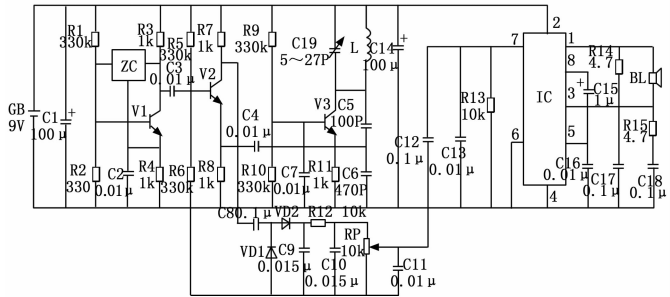
2.2.2 烟雾传感器电路设计

为避免机房发生火灾, 需要在嵌入式机房多功能模块

智能监控系统中安装烟雾传感器。该设备将继电器信号当作输出信号, 如果烟雾浓度大于设定值, 传感器会及时发出预警信息。本系统选用 SD02 型号的探测器^[8], 如图 4 (a) 所示, 主要电路图如图 4 (b) 所示。



(a) D02 型号探测器



(b) 电路图

图 4 SD02 型号探测器及电路图

额定电压为 9 V , 额定电流为 $12\text{ }\mu\text{A}$, 工作环境在 $-15\sim 55\text{ }^{\circ}\text{C}$, 警报系统采用继电器输出, 114 mm 直径, 具有声响警报功能。

2.2.3 水浸传感器电路设计

现阶段, 水浸传感器主要分为定位式与接触式两种, 本系统选用接触式中的 PRL08-1.5DN 型号的线式传感器, 如图 5 (a) 所示, 主要电路图如图 5 (b) 所示。

额定电压为 4 V , 适宜工作温度为 $0\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, 湿度范围为 $0\%\text{ RH}\sim 70\%\text{ RH}$, 预警电流 $<40\text{ mA}$, 继电器输出, 灵敏度为 $0\sim 5\text{ k}\Omega$ 。

2.3 辨识设备运行故障模块

针对相关设备传感器提取的离散型信号, 通过傅里叶算法进行分析, 明确当前运行数据与正常状态下运行数据之间的相似性, 判断机房内的相关设备是否存在运行故障。当出现运行故障后, 必须发出相应的警报。

针对机房内的设备电流保护工作原理进行分析可知, 一旦设备的某条线路出现故障问题, 设备会同步检测当前电流和电压数据, 自动分析当前线路状态是否能支撑正常运行, 倘若机房内的设备存在隐性故障, 会直接造成设备具有高风险性特点。常规状态下设备保护动作的实现, 需要保护本体和支路元件的共同作用, 但在重叠范围内无法

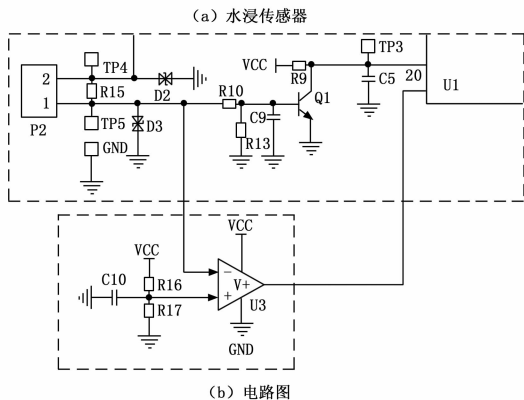


图 5 水浸传感器及电路图

判断二者是否同步运行, 导致该区域隐性故障频发。根据隐性故障发生动态过程, 文中提出对站域保护状态实时监控, 得出闭锁元件测量电气量与站域保护测量电气量之间的关系:

$$I_2(t) = I_1(t) + \epsilon(t) \quad (1)$$

式中, t 表示监测时间, ϵ 表示隐性故障报警阈值, I_1 表示闭锁元件测量电气量, I_2 表示站域保护测量电气量。

为了直观描述隐性故障, 文中提出如下所示判断条件:

$$|I_2(t) - I_1(t)| \geq \epsilon(t) \quad (2)$$

当公式 (2) 所示的判断条件成立, 表明当前设备存在故障, 需要进行自动报警。反之, 则表明设备运行正常。

考虑到闭锁元件测量电气量的计算, 需要以支路过流启动值为基础, 文中定义保护安全裕度, 描述隐性故障发生概率:

$$\varphi = \frac{\sigma}{\gamma \times L} \quad (3)$$

式中, φ 表示保护安全裕度, σ 表示故障相电流测量元件计算值, γ 表示馈线保护整定值, L 表示馈线的灵敏度系数。当 φ 大于 1 时, 表明整定值稳定性较强, 不易发生误动。

2.4 生成自动报警信息模块

运用中央服务器的后端服务工具, 设计报警信息自动生成模块, 根据机房内设备运行故障辨识结果, 初步形成故障报警信息。在该模块中应用了 RBF 神经网络, 结合历史数据进一步判断故障辨识结果的准确程度, 降低故障误报概率, 针对非误报信息产生对应的报警结果, 并显示在 web 系统的可视化界面。

在自动报警模块, 还应用了 YS-01Y 的声音报警技术, 在报警指令下级处理模块, 连接 YS-01Y 声音报警模块, 明确报警结果不是误报后, YS-01Y 声音报警模块自动进入预警状态, 在自动报警信息从计算机窗口弹出的同时, 发出报警声响提醒运维人员, 提升设备故障处理效率。

自动报警模块还有另外一项功能, 就是记录历史数据, 在继电保护设备报警信息处理结束后, 记录报警时刻、故障原因, 维修时间等参数, 形成历史数据统计表, 反映近期报警参数的变化趋势, 作为判断机房内设备自动报警模块后续运行的参考。至此, 完成自动报警信息模块整体设计。

2.5 监控显示模块

由于数据采集层中基站数量较多, 必须要求具备高度稳定性, 因此监控主机选用海康威视系列的监控主机^[10]。该设备集报警和通信功能于一体, 能够与门禁、空调和电源等设备进行通信, 同时也支持各类传感器数据的输入。监控主机的功能特征如表 1 所示。

表 1 监控主机功能特征表

接口类型	支持路数	功能特征
SATA 接口	6	录像
模拟量	8	数据监测
开关输入	18	报警输入
开关输出	12	报警输出
通信接口	8	数据通信
对外供电	2	DC12V
千兆网卡	4	确保负载均衡

监控显示^[11]模块工作内容主要分为提供实时信息和视频显示设备数据。其中监控端电脑负责数据显示、报警和远程控制等工作, 触屏监控接口电路如图 6 所示。

3 系统软件设计

3.1 数据传输程序

利用 C 语言完成嵌入式机房设备数据传输程序编写, 在 LabVIEW 开发环境下, 获取传感器运行模块数据信息, 利用串口通信的方式将数据发送到嵌入式环境监控主机。数据传输程序主要处理流程如图 7 所示。

3.2 数据处理程序

数据处理程序是完全在 LabVIEW 环境下开发设计的, 使用图形 G 语言编写 LabVIEW^[12], 会生成框图式程序, 与其他开发语言相比更为简便。使用者还可结合个人需求选取不同类型的程序框图, 实现监控界面个性化定制。LabVIEW 环境具备实时帮助功能, 能够查看不同程序函数的意思, 便于系统程序编写, 还能有效提高用户端的界面美感。使用者可以直接对前面板操控, 便捷程度高。数据处理程序是直接面向嵌入式环境监控主机的, 通过 LabVIEW 中的节点配置串口, 实现数据访问处理, 将处理后的设备数据信息显示到监控端电脑, 最终以传感信号的形

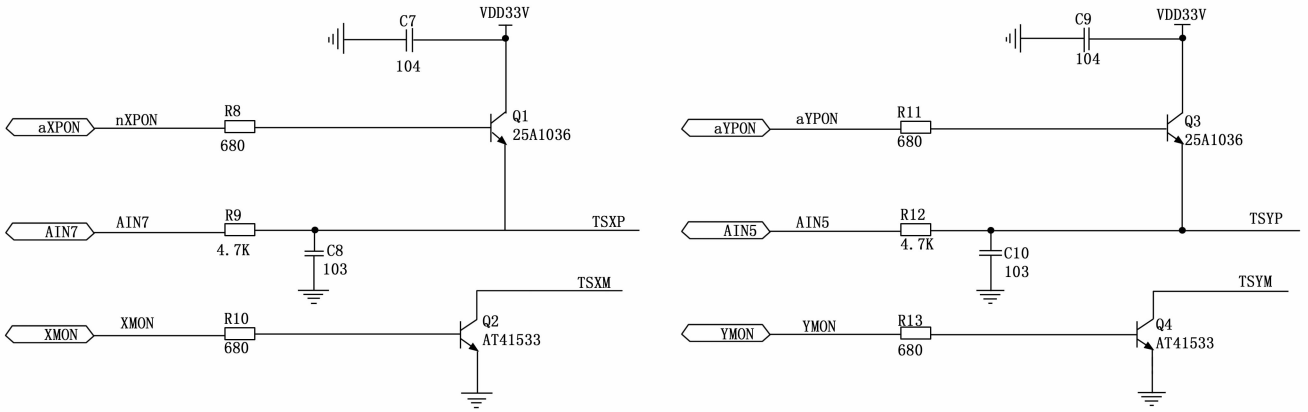


图 6 触摸屏接口电路

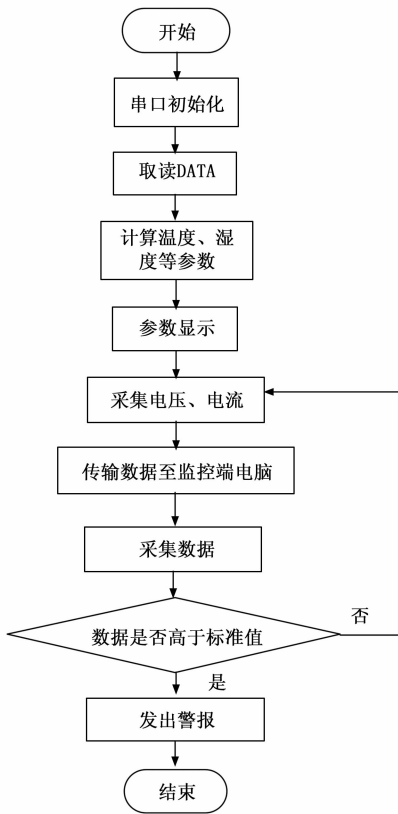


图 7 下位机处理程序图

式呈现。由于显示的信号为传感信号，因此数据处理程序中最为关键的关节就是信号处理^[13]。结合信号组成结构，设定频率内的宽度与高度，设置一个阈值 K ，假设传感信号特征低于 K 的等于 0，大于 K 的像素为 1，则对于图像 $f(x)$ 的二值化过程表示为：

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < K \\ 1, & x > K \end{cases} \quad (4)$$

式中， x 表示信号特征。利用上述方法分析所有信号的赋值情况，实现信号处理，增强大型机房设备监控质量，提升机房运维能力。至此完成了对系统软件的设计，结合系统

硬件功能模块设计，实现嵌入式机房多功能模块智能监控系统设计。

3.3 系统的低功耗设计模型

本文建立了相应的嵌入式系统的功耗模型，如 (5) 式所示：

$$E_{sys}^T = E_{proc}^T + E_{idle}^T + E_{mem}^T + E_{uart}^T + E_{peri}^T \quad (5)$$

式中， E_{sys}^T 表示系统总功耗， E_{proc}^T 和 E_{idle}^T 分别表示系统操作功耗和系统部件功耗， E_{mem}^T 表示处理器功耗， E_{uart}^T 表示通用异步收发传输器功耗， E_{peri}^T 表示系统硬件设备的功耗。本文只考虑 E_{proc}^T 和 E_{mem}^T 对系统的低功耗设计模型的影响。

E_{proc}^T 可表达如下：

$$E_{proc}^T = \sum_{i=1}^{N_{instr}^T} \{E_{proc}[instr_type(i)] \times N_{cyc}(i)\} \quad (6)$$

式中， N_{instr}^T 是系统正常运行指令数， $instr_type(i)$ 表示第 i 个指令的周期数， $E_{proc}[instr_type(i)]$ 表示当系统运行正常指令时，每循环一个周期，使 E_{proc}^T 获取系统的最高运行频率， $N_{cyc}(i)$ 表示系统运行时第 i 个指令所消耗的周期寿命。

E_{proc}^T 可表达为：

$$E_{proc} = \frac{V_{dd} \times I_{instr}}{f_{clk}} \quad (7)$$

式中， V_{dd} 表示系统运行电压， I_{instr} 表示系统运行电流， f_{clk} 表示系统运行频率。

E_{mem}^T 可表达为：

$$E_{mem}^T = E_{mem} \times N_{mem_cyc} \quad (8)$$

式中， N_{mem_cyc} 表示系统电流强度。由上述可知，系统总功耗公式表达式为：

$$E_{sys}^T = E_{proc}^T + E_{mem}^T = \sum_{i=1}^{N_{instr}^T} \{E_{proc}[instr_type(i)] \times N_{cyc}(i)\} + E_{mem} \times N_{mem_cyc} = \sum_{i=1}^{N_{instr}^T} \left\{ \frac{V_{dd} \times I_{instr}}{f_{clk}} [instr_type(i)] \times N_{cyc}(i) \right\} + E_{mem} \times N_{mem_cyc} \quad (9)$$

从微观层次的功率消耗模型来看，与嵌入式系统的软件功率消耗有关的功率消耗主要有：

在系统执行阶段的二进制总指令数目。

存取内存的二进制指令数目。

计算程序执行所需要的 CPU 时间。

因此, 减少某条二进制指令的运行次数和停顿次数, 都能减少系统运行软件的平均功耗, 降低系统运行时指令数目, 可以有效减少公式 (9) 中的参数 N_{instr}^T , 减少执行某条指令时的 N_{mem_cyc} 参数, 以减少对部件功率损耗的影响。

根据以上所得到的信息可知, 该系统的整体功耗是因 CMOS IC 的集成电路逆向信号所引起的动态功耗, 其功耗模式如下:

$$P_c = 0.5C_L V_{DD}^2 A f \quad (10)$$

式中, P_c 表示系统部件功耗, C_L 表示运行载荷, V_{DD}^2 表示系统额定电压, A 表示时钟频率, f 表示工作频率。假设某一环境下 C_L 、 V_{DD}^2 和 f 不变, 因此 P_c 和 A 之间的关系呈线性趋势, 具体如下所示:

$$P_c = KA \quad (11)$$

K 表示 C_L 、 V_{DD}^2 和 f 共同影响因子总和。

在 CPU 的时钟周期中, 电容器只有 1 或 0 的翻转次数。因此, 在这一过程中, 式 (11) 也可如下所示:

$$P_c = KA = K \sum_{i=1}^M \left(\sum_{j=1}^N (C_{ij} \times F) \right) \quad (12)$$

式中, M 和 N 分别表示特定应用程序所要求的 CPU 周期数目及所占的总容量, C_{ij} 表示第 j 个供电滤波电容, $C_{ij} \times F$ 表示第 j 个供电滤波电容是否在第 i 个 CPU 的周期内发生翻转, $F \in \{0,1\}$, F 等于 0 时, 代表电容无法进行电路翻转, 反之, 则可以。

假定 C_L 、 V_{DD}^2 和 f 不变, 则在特定二进制的应用中, 式 (12) 中参数 N 不变。因此, 可以通过减小公式 (12) 中的 M 参数来减小嵌入式系统的功率消耗, 也就是当程序正在工作时 CPU 的周期数目逐渐减小。

4 试验与分析

为了验证嵌入式机房多功能模块智能监控系统的整体有效性, 与文献 [1] 提出的 WSNs 系统和文献 [2] 提出的云计算系统进行对比分析, 测试内容为容错性测试、数据采集能力测试及系统性能情况测试。

4.1 试验环境

选择武汉大学人民医院信息中心的大型机房运行数据信息作为测试对象。该机房包括各个传感器模块、空调控制器模块、下位机开发板以及交互平台开发板等设备。软件测试环境基于 Linux-4.14, GCC 版本为 arm-linux-gcc 4.9.3, 操作系统为 Raspbian 9.4。在系统正式投入使用前, 随机选择数据信息集 1 000 个, 通过 400 次迭代测试完成相关功能和性能测试, 及时发现不足并进一步改进。嵌入式机房主要监测设备目标如表 2 所示。

4.2 试验结果

4.2.1 容错性测试

机房多功能模块智能监控系统的容错测试是指在发生

表 2 系统主要监控目标表

子系统	监控目标	设备	监控形式
动力	大型机组	温度传感器	通信协议
	三相电流	HC-33A	
	蓄电池组	FCB-300A	
环境	温湿度	温度传感器	通信协议
	排风扇	工业排风扇	
安保	门禁系统	海康威视	通信协议
	人员入侵	红外探测器	数字量采集
	视频监控	录像机	通信协议
消防	控制器	灭火器	数字量采集
	烟雾探测器	烟雾传感器	

异常时, 系统仍能正常工作的一种测试。测试过程中, 在系统运行时将机房单元下位机子模块设备断电或者移除, 模拟设备损坏等情况。因此, 针对监控系统容错性进行实验, 获取容错数据, 得到的测试结果如图 8 所示。

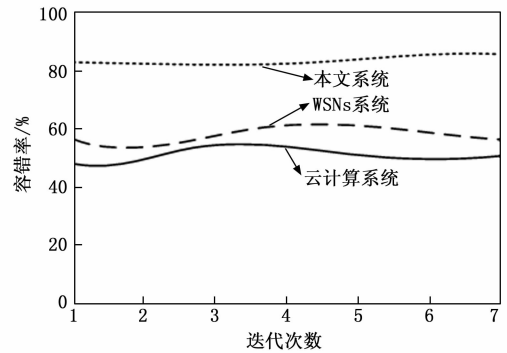


图 8 容错率对比

如图 7 所示, WSNs 系统和云计算系统的容错率较低, 两种监控系统的容错率在 40%~60%, 本文监控系统的容错率在 80% 以上, 相比两种文献监控系统, 本文监控系统具有很高的容错能力, 说明了本文监控系统能够正常工作。并进行相关的提示以及报错信息, 监控系统的容错能力较强。这是因为本文监控系统通过数据传输程序连接终端设备与云计算中心, 利用数据处理程序完成功能模块参数设置。

4.2.2 数据采集能力测试

该系统中包含不同种类的数据传感器, 其中温度和烟雾的数据信息对于机房设备稳定运行具有重要作用, 只有采集准确的信息, 才能确保监控结果和实际结果相符。因此, 针对温度和烟雾传感器进行实验, 分别获取两组传感器数据, 得到的测试结果分别如图 9 和 10 所示。

如图 9 和 10 所示, 3 种方法对于温度和烟雾数值的采集结果与实际值的趋势大致都相同, 但是只有本文方法的数值与真实值最为接近, 而且其他两个系统的监控值都远低于实际值。尤其对于烟雾传感器而言, 当浓度超过 100 ppm 时, 就会自动报警, 在监控过程中曾多次出现烟雾

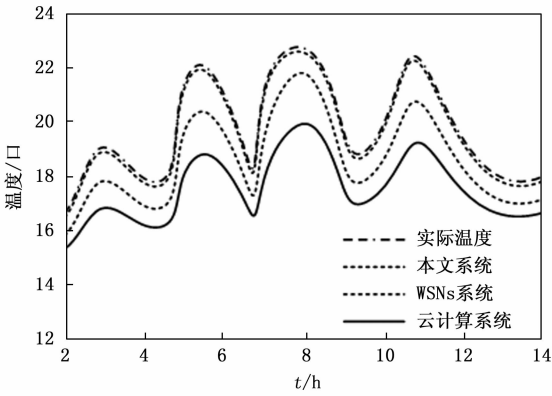


图 9 温度传感器数据采集结果图

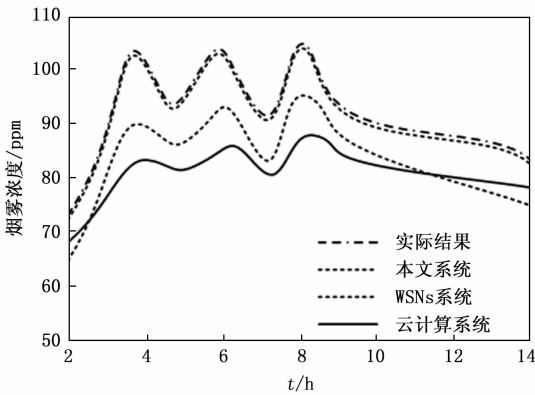


图 10 烟雾传感器数据采集结果图

超标情况，WSNs 系统和云计算系统均没有报警，大大降低机房的安全系数。而本文监控系统中，当浓度超过 100 ppm 时，就会自动对烟雾超标情况启动报警装置，及时获取预警信息；对于温度传感器而言，本文监控系统中，当温度超过 22 °C 时，可以自动对温度超标情况发出报警信号，提高机房的安全系数。对于传感器等硬件设备的选择较为合理，且在 LabVIEW 开发环境下，传感器数据在传输过程中可有效减少干扰。

4.2.3 系统性能测试

对系统的性能进行了检验，包括网络延迟、系统总体响应时间、系统运行功率和监测指令的平均运行时间。并在同等条件下引入文献 [1] 提出的 WSNs 系统和文献 [2] 提出的云计算系统参与对比分析。首先，在整个试验周期中，对 7 个监测流程进行了随机抽样，采集了来自于不同节点的传感器的通讯数据，并对 3 个不同的监控系统进行了测试，并对其进行了分析。延迟情况的统计结果如图 11 所示。

由图 11 可知，嵌入式机房多功能模块智能监控系统网络延迟在 10 ms 以下，WSNs 系统和云计算系统网络延迟均在 20 ms 以上，WSNs 系统在实验次数为 5 和 6 时，系统延迟会增加；造成这种现象的主要原因是由于通讯协定的滞后，造成了比较严重的网络时延。实验结果得知，本文监控系统网络延迟远低于 WSNs 系统和云计算系统，这是因

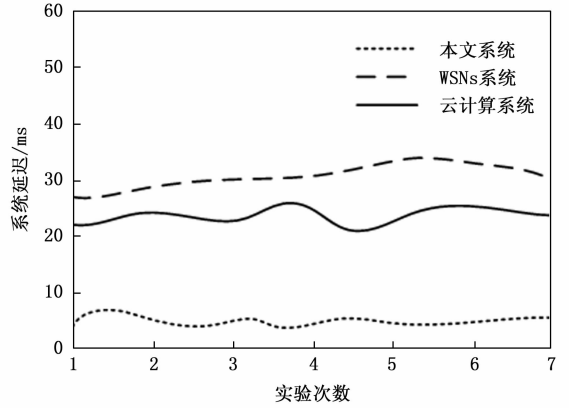


图 11 不同监控系统的网络延迟情况

为本文监控系统设计多功能模块，合理选取硬件设备，以嵌入式为基础设计数据传输程序与数据处理程序。

系统响应情况测试主要目的是检测系统用户登录模块、传感器运行模块、数据记录模块和监控显示模块的响应时间，上述 3 种系统的测试结果分别如表 3 所示。

表 3 响应时间对比

时间/天	本文系统/s	WSNs 系统/s	云计算系统/s
1	2.53	6.89	7.89
2	2.45	6.48	8.61
3	1.36	7.84	10.45
4	2.79	8.15	10.15
5	2.64	9.46	10.62
6	2.52	7.45	9.48

从分析表 3 可以看出，在同样的监测时间条件下，本文监测系统的平均反应时间小于 2.8 秒，WSNs 系统和云计算系统的平均响应时间均在 6.48 s 以上，相比 WSNs 系统和云计算系统，本文监控系统监测平均响应时间较低，说明所提监测系统具有更好的监测效果。这是因为本文系统通过数据处理程序降低 CPU 利用率，减少延时，进而保障所有设备稳定运行，提高运维能力，降低运行成本。

基于上述系统响应情况，根据程序运行时的二进制指令数、存取内存的二进制指令数、程序运行所需要的 CPU 周期数等与嵌入式系统的软件功率消耗有关的功率消耗，以系统运行功率为测试指标，系统工作时的功率越大，耗电量越大；3 种系统的系统运行功率对比如表 4 所示。

表 4 系统运行功率对比

时间/min	本文系统/W	WSNs 系统/W	云计算系统/W
30	50	60	70
60	95	148	161
90	136	184	245
120	179	215	315
150	214	256	362
180	252	345	448

分析表 4 能够得出, 在监测时间相同的状态下, 本文监控系统监测的最高运行功率为 252 W, WSNs 系统和云计算系统的最高运行功率分别为 345 W 和 448 W, 相比 WSNs 系统和云计算系统, 本文监控系统监测的运行功率较低, 说明本文监控系统监测性能更优, 功耗低。这是因为本文系统针对系统的功耗问题, 在此基础上, 提出了一种基于微结构的功耗模型, 该方法可以在程序运行时减少 CPU 的循环次数, 从而降低嵌入式系统的功耗。

监控命令的平均运行周期可以反应出监控系统的实际使用性能, 通常, 当平均运行周期越短, 其应用性能越好, 而反之, 其性能越差。所提监控系统与 WSNs 系统、云计算系统进行对比, 监控指令平均运行周期对比如表 5 所示。

表 5 监控指令平均运行周期对比

监控数据总量/ ($\times 10^{15}$ TB)	本文系统/s	WSNs 系统/s	云计算系统/s
1.0	5.0	6.0	7.0
2.0	5.5	9.8	8.1
3.0	5.6	10.4	8.5
4.0	5.9	11.5	11.5
5.0	6.4	12.6	12.2
6.0	6.7	13.5	12.8
7.0	7.1	13.8	13.5
8.0	7.3	14.2	13.8
9.0	7.5	14.6	14.1

从表 5 可以看出, 3 种监控系统平均运行周期不断随着监控数据总量增加, 但是相比两种文献监控系统, 本文监控系统上升幅度明显较小。从最大限度的观点出发, 本文系统的监控最大数值为 7.5 s, 比 WSNs 和云计算系统的最大数值 14.6 s 和 14.1 s 低得多。总之, 经本文监控系统应用后, 监控命令的平均运行周期发生了显著的缩短, 在一定的监控时限之内, 可以有效地提高嵌入式机房多功能模块智能监控系统的应用性能。

5 结束语

为了给无人值守医院机房添加安全保障, 本文在嵌入式开发环境下设计大型机房多功能模块智能监控系统。确立多层架构模式, 设计多功能模块, 合理选取硬件设备, 以嵌入式为基础设计数据传输程序与数据处理程序, 完成系统开发。通过系统性能测试, 证明该系统功能稳定, 响应速度快, 监控到的机房设备运行数据与实际状态相符。为了系统能够更加方便使用者使用, 功能种类还需进一步丰富, 例如建立无线局域网, 将监控数据信息直接发送至移动终端, 扩宽网络应用范围, 增设智能交互、语音唤醒识别以及多终端通话等功能, 实现数据二次开发, 为医院机房运维工作人员提供便利。

参考文献:

[1] 王 斌. 基于 WSNs 的大型机械设备远程监控系统设计 [J].

机床与液压, 2021, 49 (12): 87-92.

- [2] 任 敏. 基于云计算的网络通信远程监控系统设计 [J]. 现代电子技术, 2021, 44 (15): 35-38.
- [3] 刘恋秋. 基于 DER 通信技术的农用无人机远程监控系统设计 [J]. 农机化研究, 2021, 43 (7): 230-234.
- [4] 王文志, 刘三军. 远程云平台在舰船实时监控系统中的应用 [J]. 舰船科学技术, 2020, 42 (10): 55-57.
- [5] 戎 成, 闵 勇, 谢之鑫. 基于向量量化技术的激光传感信号远程监控系统设计 [J]. 激光杂志, 2020, 41 (6): 165-170.
- [6] 王海英, 李贺华, 李旭瑶, 等. 高速公路建设远程视频监控系统的设计与实现 [J]. 公路, 2020, 65 (9): 183-188.
- [7] 王志强, 王 珊, 郭大鹏, 等. 电力作业远程监控系统中视频的优化传输方法 [J]. 电力科学与技术学报, 2020, 35 (1): 169-175.
- [8] 刘新宇, 陈东雷, 张 鑫, 等. 基于模糊控制算法与 4G-LTE 的植物工厂远程监控系统设计 [J]. 江苏农业科学, 2020, 48 (23): 220-226.
- [9] 张爱红. 网络环境下数控机床主轴负荷监控系统设计与编程 [J]. 现代制造工程, 2020, 39 (7): 110-114.
- [10] 李 腾, 闫 菲, 于志强, 等. 基于 ARM 的远程监控数据采集系统的设计与应用 [J]. 电气传动, 2020, 50 (7): 103-107.
- [11] 肖安南, 张蔚翔, 赵德盛, 等. 基于物联网的智能电网监控系统构建方法研究 [J]. 信息技术, 2020 (12): 86-90.
- [12] 杨晓霞, 张国平, 汪馨童, 等. 基于以太网的智能库房监控系统的设计 [J]. 信息技术, 2021 (11): 19-24.
- [13] 刘 晓, 张迎晓, 林师玄, 等. 基于视频智能分析的配电房全天候监控系统设计 [J]. 信息技术, 2022 (2): 173-178.
- [14] 谭卫娟. 航空发动机高速振动智能检测监控系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (4): 25-29.
- [15] 李 晖, 王立永, 吴红林, 等. 智能电能表质量数据采集与质量监控技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (5): 112-115.
- [16] 葛敏波. 基于小米智能家居平台的无人机房环境监控系统改造 [J]. 电视技术, 2022, 46 (7): 181-184.
- [17] 徐春婕, 陈瑞凤, 贺晓玲, 等. 基于 CPS 的铁路客运站智能机房监控平台 [J]. 计算机工程与设计, 2022, 43 (2): 596-600, 封 3.
- [18] 董傲通, 文俊浩. 基于“互联网+”的实验室机房智能管理系统设计与实现 [J]. 实验技术与管理, 2020, 37 (8): 250-252, 257.
- [19] 韩建萍. 煤矿井下无人值守变电所远程智能监控系统升级改造 [J]. 煤炭工程, 2022, 54 (10): 90-94.
- [20] 张闻中, 华守彤, 陈 逸, 等. 基于智能定位的工业现场全天候监控视频异常检测研究 [J]. 制造业自动化, 2022, 44 (3): 201-204.
- [21] 唐杰阳, 唐 凡, 杨 东, 等. 水电站计算机监控系统综合智能告警研究 [J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2022, 20 (4): 377-385.