

基于 FPGA 的智能建筑湿度检测控制系统设计

熊殿华

(成都艺术职业学院, 成都 610000)

摘要: 在信息化社会, 智能建筑越来越多的被提及, 智能建筑是指对建筑内外信息交换、舒适性、便利性和节能性的要求; 建筑物室内湿度是人们在其中生活、工作、生产的重要考量因素; 而随着技术发展, 以高效稳定的 FPGA 芯片为核心的控制系统开始向智能建筑领域应用部署; 因此文章提出并设计了基于 FPGA 的智能建筑湿度检测控制系统方案; 文中采用硬件分析和软件设计相结合的方法; 硬件分析需要对系统做一个整体把握并寻找经济实惠、稳定可靠的芯片, 硬件的可靠是系统稳定工作的前提; 软件设计需要将系统的工作方式和实际可能遇到的问题考虑进去, 提高系统的容错能力; 最后软硬结合并实验实践操作验证系统的可靠性; 在实验结果中, 该系统可以有有效的调节室内的湿度并根据遇到的问题发出警告提示; 得出结论, 以 FPGA 控制器为核心的系统, 可以担起智能建筑的湿度检测控制任务, 并稳定工作。

关键词: FPGA; 湿度; 检测控制

FPGA—based Design of Detection and Control System of Intelligent Building Humidity

Xiong Dianhua

(Chengdu Art Vocational College, Chengdu 610000, China)

Abstract: More intelligent buildings have been mentioned in the information society. In fact, intelligent building refers to the exchange of information inside and outside the building, comfort, convenience and energy efficiency requirements. Humidity of indoor is an important factor for people to work and production. With the development of technology, the control system with high efficiency and stable FPGA chip as the core has been deployed in the field of intelligent building. Therefore, this paper puts forward and designs the intelligent building humidity control system based on FPGA. In this paper, hardware and software design are combined. The hardware analysis needs to make a whole grasp of the system to look for the economical, stable and reliable chip. The software design to take into account the system's the problems that may be encountered, and improve the fault tolerance of the system. Finally, the software and hardware are combined to verify the reliability of the system. The experimental results show that the system can effectively adjust the indoor humidity, and provide warning for problems. It is concluded that the system of FPGA controller can be used to control the humidity of the intelligent building.

Keywords: FPGA; humidity detection; intelligent control system

0 引言

智能建筑领域得到了广泛关注并迅速发展, 为人们提供了更加舒适的生活和工作环境创造了条件^[1-3]。室内空气湿度自动调节是智能建筑中重要的组成部分。潮湿的空气易于细菌的繁殖和传播, 是生活在其中的人也会受到湿气的影响, 威胁身体健康。另一方面, 过于干燥的空气也会使人不适。智能建筑能拥有适宜的空气湿度是急需解决的问题。

近年来, 现场可编程门阵列 (field programmable gate arrays, FPGA) 因其可反复写入编程, 缩短开发周期、速度快、集成度高、可靠性强等优点, 在许多领域得到了广泛的运用。用户可以利用计算机平台来编程实现专有功能, 大大降低了硬件设计的成本, 同时提高系统的可靠性。若将智能建筑系统中各个控制系统用 FPGA 来实现, 从而达到减少外围线路走线布局, 整体提高系统的稳定性, 同时是系统体积减少、方便灵活。另一方面, 使用编程可以快速的修改参数设置^[4-6]。

2013 年, 贺婷的基于 FPGA 的智能鞋柜控制系统设计^[7]; 2015 年, 刘艳昌等人的基于 FPGA 的火蔬菜大棚环境监测控

制系统^[8]。2013 年, 林柏林提出了基于 FPGA 技术的智能照明系统^[9]; 这些系统的设计说明 FPGA 技术越来越成熟并受到广泛关注 and 运用。

本文提出, 在建筑物中以基于 FPGA 技术来建设一个智能的湿度调节系统是一个实用性强的有效方案。以 FPGA 为核心, 传感器和外围电路完成信息采集, 蜂鸣器、除湿机、加湿器和外围电路构成工作电路。方案通过实验获得成功, 验证了基于 FPGA 技术系统的稳定高效性。

1 系统总体方案

该湿度检测控制系统框架结构如图 1 所示, 系统硬件主要由传感器、FPGA 控制器、显示设备、控制设备、警示设备等组成。

系统以 FPGA 为核心部分, 并加上 4 个输入端和 4 个输出端构成湿度调节系统的总体框架。分布在空间不同地方的多个湿度探测器在系统运行后, 开始采集空间内的参数, 系统核心将湿度传感器输送的电流信号转化为数值作为后续使用。湿度传感器是测量湿度参数的重要器件, 器件部署太少不足以说明空间内的潮湿程度, 太多了效果没有增加反而增大了系统成本。压力传感器是用来测量门和窗户等建筑物与外界的交流窗口。因为当室内除湿或者加湿机开始工作时, 如果门窗等长时间打开, 外界空气和室内空间有流通, 那么除湿或者加湿机是

收稿日期: 2016-12-27; 修回日期: 2017-01-18。

作者简介: 熊殿华(1974-), 男, 四川泸州人, 副教授, 主要从事建筑信息化方向的研究。

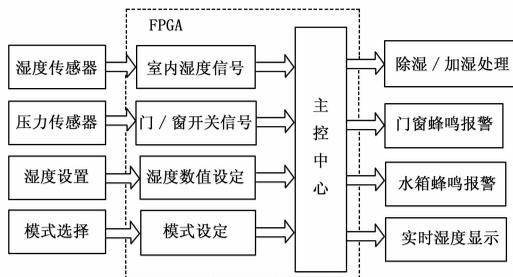


图 1 智能湿度控制系统框架图

在做无用功。此时系统需要知道门窗的打开时间，如果一直开着，就报警并停止工作。湿度设置是通过按键设定希望达到的湿度值，系统将设定值和实际探测的值比较，来确定工作方式。模式选择输入是选择系统内部设定的默认湿度值，针对用户不清楚设定多大值得情况下，可以选择提供的几种模式：舒适模式，干爽模式，湿润模式。不同的模式对应系统内设定的默认值。

图 1 所示输出端有 4 个接口：工作方式、两类报警和数据显示。主控中心将探测到的湿度值和设定值比较来判断工作状态。在工作过程中，要实时监控门窗是否打开以及打开的持续时间。当持续时间过长时，说明室内人门忘记关闭，此时室内和室外空气联通，工作机器将做无用功，需要报警提醒并停止工作。当开始除湿作业时，需要将空气中的水汽收集存储到水箱中，其目的是当进行加湿作用时，水箱为其提供水资源。当时当水箱溢满或水用尽后，除湿或者加湿不能继续工作了，需要报警提醒。控制中心将湿度传感器收集的数据通过液晶屏显示出来，供用户实时了解当前空气湿度状态。

2 系统硬件

2.1 湿度传感器和检测电路

湿度传感器测量技术是将待测空气中水分含量转化为电信号表示出来。

文中系统湿度传感器采用的是 DHT11 温湿度一体式复合传感器，输出已经校准的数字信号。它使用专用的数字模块采集技术和温湿度传感技术，从而确保产品的可靠性和稳定性。传感器内部包括一个电阻式感湿元件并与一个高性能 8 位单片机相连接，因此该产品具有品质卓越、超快响应、抗干扰能力强、性价比高等优点。电阻式湿度传感器是基于电阻—湿度特性原理来实现的，环境中空气中水分被传感器中材料吸收，改变了材料的电阻而导致电流的变化。每个 DHT11 传感器都在极为精确的湿度校验室中进行校准。校准系数以程序的形式存在 OTP 内存中，传感器内部在检测信号的处理过程中要调用这些校准系数。单线制串行接口，使系统集成变得简易快捷。超小的体积、极低的功耗，使其成为该类应用中，在苛刻应用场合的最佳选择。由于采用数字式数据输出，因此减少了模拟信号向数字信号转换的电路，提高了速率。它采用 1—Wire 总线接口，适用了常温环境，精度为 $\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ ，测量湿度范围为 $20\% \sim 90\% \text{RH}$ ，精度为 $\pm 5\% \text{RH}$ ，信号传输距离可达 20 m 以上，能够满足大多数室内环境的使用。温湿度传感器的硬件连接如图 2 所示。

图 2 是 DHT11 湿度传感器与控制器的电路连接图。图中接上了 5100 欧的上拉电阻，为了使信息传输的距离满足实验

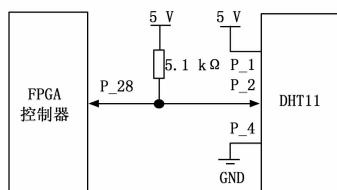


图 2 DHT11 传感器与控制中心连接图

需要。

2.2 压力采集电路

力学传感的种类繁多，压阻式传感器用途广泛。压阻式压力传感器是利用单晶硅材料的压阻效应以及外围的电路技术构成的传感器。压阻效应是指，当存在一个力作用到单晶硅时，晶体会产生形变，这个形变导致晶体内部的载流子发生迁移，导致了晶体总体结构的电阻率的变化。电阻率与压力存在的对应特性以及电阻与电流的关系，可以使用集成电路来完成对压力大小的测试。

图 3 是信号采集电路图，使用 4 个压力电阻搭建了 4 之路电桥，当受压导致电压变化。使用放大器对电压信号放大输出。该电路可以过调节滑动变阻器来调控失调电压大小。

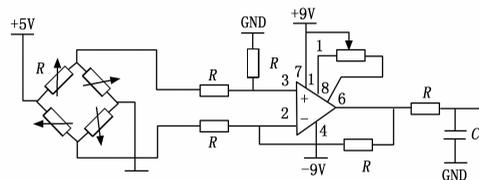


图 3 信号采集电路图

由于输出的数值是模拟信号，需要进行 A/D 转换。本方案采用 ADC0832，一种大量使用的模数转换芯片。0832 与控制器接口连接主要 4 条数据线，分别是片选，时钟，数据输入、输出。

图 4 说明了 ADC0832 的工作方式。当片选由高变低时，选中 0832。在时钟上升沿，数据输入到内部寄存器。在第一个时钟期间，数据输入保持高位表示启动位。紧接着两个配置为，此时选通了模拟通道，转换开始。0832 在第四个时钟下降沿输出转换的数据。先输出高 7 位再发送低 7 位。当片选为高电位时，内部寄存器清零和输出停止。所以，片选应该在整个工作周期内保持低电平，否则芯片不工作。

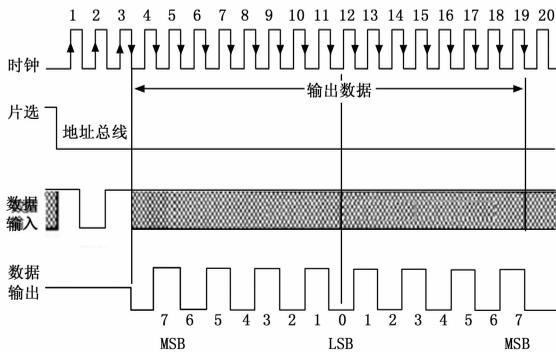


图 4 ADC0832 工作时序图

3 系统软件

3.1 加权平均算法

在对多参数综合评价中，人类社会拥有多种多样评价方

法。采用不同的评价方法对同一事物将得到不完全相同的结论。某一方法对整体事物的评估即有合理性也存在不足，因此需要探究写能尽可能使评估结果符合目标需要的方法。

加权平均算法是对多参数条件下对评价事物的综合评价价值进行组合的方法。它有两个个基本步骤：

(1) 加权平均：对待评价参数赋予不同的权重值进行组合计算；

(2) 事后检验：组合后考察结果与设定目标是否密切相关，来判断计算结果多大程度上符合原定目标。

设存在 N 个待评价单元参数值 $n_i (i = 1, 2 \dots N)$ ，目标值为 M 。由于 N 个参数值对目标的影响程度不一样，所以对 N 个参数赋予不同测权重值 $a_i (i = 1, 2 \dots N)$ ，由此得到：

$$\begin{cases} m = \sum_{i=1}^N a_i n_i (i = 1, 2 \dots N) \\ \sum_{i=1}^N a_i = 1 \end{cases} \quad (1)$$

公式 (1) 中 m 是由参数加权相加然后取平均后得到的结果值。这里 m 是加权系数， m 值越大，表示相应的目标越重要，在决策中应予考虑的比重越大。加权平均法通过不同的系数来体现不同指标的重要程度，因而使用较为广泛，但如何正确地权系数定值，则是一个重要问题。

$$\Delta m = m - M \quad (2)$$

公式 (2) 中 Δm 是结果值与目标值之间的误差值。事实上取不同的权重 a_i ，得到的误差将不同。

使用迭代算法模型确定权重。由：

$$\begin{cases} f(a_1, a_1, \dots, a_N) = O_N \\ I_1 w_1 + I_2 w_2 + \dots + I_n w_n = O_N \end{cases} \quad (3)$$

I 为第 n 个样本第 i 个指标的输入值； O 为与第 n 个样本对应的目标输出值。第 n 个样本的输出与期望输出之间的误差为：

$$\begin{cases} e_n = \frac{1}{2} (I_1 w_1 + \dots + I_n w_n - O_N)^2 \\ \sum_i w_i = 1 \end{cases} \quad (4)$$

将权重的这两个约束条件解除变成无约束模型，定义权重为：

$$w_i = \frac{e^{\lambda_i}}{\sum e^{\lambda_i}}, i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

再有：

$$\lambda_i(l+1) = \lambda_i(l) - \frac{w_i}{N} \sum_{k=1}^N (I_i - O_n) \quad (6)$$

l 为迭代次数，由 (3) (4) (5) (6) 可以得到权重值。

3.2 软件流程图

图 5 所示为系统工作的流程图。如图，系统开始工作后，要读取当前设定的目标数值 A ，该目标值通过按键调节或者选取适当的模式，每个模式有对应的目标值。随后，系统程序需要将当前的实际室内湿度数值 B 与目标数值 A 进行比较。值 B 的获取依赖于分布在各个地方湿度传感器。当 A 与 B 的差值在 3% 以内时，这个差值在合理的浮动范围内，系统向下执行相关步骤，而是在这里检测空气湿度，一旦湿度超出合理方位，开始执行下一步。如图中对 $|B-A| \leq 3\%$ 盘判决。

A 与 B 的差值决定了系统的工作方式。当实际测量值 B 小于目标值 A 超过 3 个单位时，说明空气湿度低于要求值，

需要进行加湿作业；相反，如果 B 大于 A 超过 3 个单位，空气湿度过大，需要进行除湿作业。如图，系统没有立刻开始作业，而要先完成其它检测。如果需要进行加湿作业，需要知道水箱水源是否用尽，若水源用尽，加湿无从谈起，触动蜂鸣报警。如果进行的是除湿作业，系统要将空气中的水汽集中并储存于水箱，若水箱水满，继续收集空气中的水会导致水溢出，此刻需要触动蜂鸣报警。

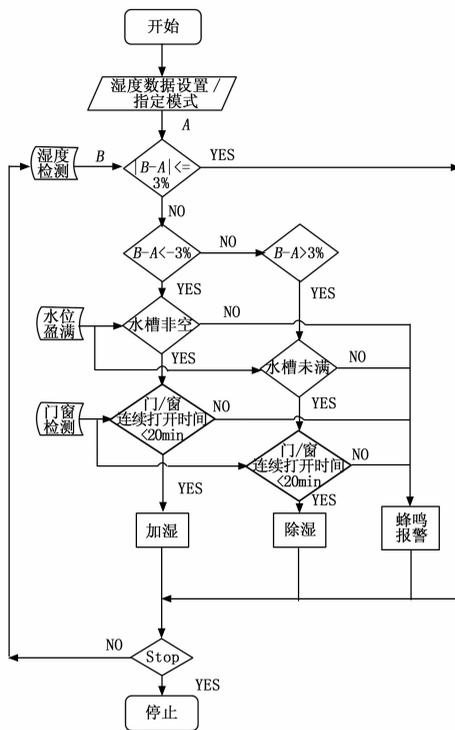


图 5 系统工作流程示意图

水箱水位适合后，系统开始作业但要判断门窗的开闭问题。若门窗开着，室内外保持空气流通，此时系统作业没有效果。但人员进出需要开关门，所以系统需要监视门窗从系统开始工作时，门窗的连续打开时间。门窗的开关通过安装压力传感器检测。一旦门窗打开持续时间找过要求值，系统才触发报警提醒。

最重要的是，当系统工作时，当室内环境与目标值误差达到合理值时，系统依然保持工作直到设定值，然后停止。此时，系统检测环境湿度，知道环境湿度和目标值超出合理范围，将再次工作。当测量值接近目标值时，可以适当降低功率。

4 算法及湿度检测

为了更好的评估，权重的取值显得格外的重要。在本文章中，检测控制的是室内湿度，然而室内空气相对流通缓慢，不同位置空间的湿度存在差值。人们在室内活动的空间分布相对固定，所以我们需要设定，人们相对活动频繁的位置的空间湿度更要接近于人体舒适湿度，即此处的取得的湿度参数值在整个湿度评估过程中的衡量权重更大。

利用加权平均算法计算室内空间湿度值，我们选择了 5 个空盒，通过喷雾等增加盒子内部的湿度，是 5 盒子里有不同的湿度值。然后使用 5 个湿度探测器，每个探测器赋予不同的权

重值，测量结果如表 1 所示：对测到的数据赋予不同的权重，表中间部分。对于相同的湿度值参数，赋予不同的权重值，得到的计算结果也不同。计算值比较靠近权重值大的参数。结果与理论要求一致。

表 1 使用加权算法计算得到的湿度值

测量值 次数	26%	35%	55%	60%	62%	计算得到湿度值(%)
1	0.1	0.1	0.5	0.2	0.1	51.8
2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	49.6
3	0.1	0.5	0.1	0.2	0.1	26.3
4	0.1	0.1	0.2	0.5	0.1	53.3

5 实验结果与分析

5.1 实验结果

为了验证 FPGA 为核心的智能建筑湿度检测控制系统的有效和可靠性。实验选取了 40 平米面积的室内空间，拥有一扇门和两扇窗作为通气口。实验开始前，打开门窗一段时间让室内外的湿度保持一致。实验选取除湿机的功率为 750W，除湿量参数为 36 L/d (30℃, 80%RH)。加湿器选用功率为 30W，加湿量为 280 ML/h。

图 6 展示的是封闭环境测试，即在实验过程中不打开门窗，尽可能降低室内环境和外界环境的空气流通。实验开始时，室内外湿度为 38%，实验过程中，每 30 分钟使用第三方湿度计测量并记录一次空气湿度值。图 6 展示的是系统的除湿过程，室内的空气湿度的目标值设定为 20%。通过图可以知道，该次实验总用时 210 分钟，湿度曲线是呈下降趋势，在第 180 分钟的测量值已经达到目标值，在第 210 分钟的测量值依然保持为湿度 20%。图 7 是系统的加湿过程，选定潮湿模式系统默认室内的空气湿度的目标值设定为 50%。该次实验总用时 210 分钟，湿度曲线是呈上升趋势，在第 180 分钟的测量值接近目标值，在第 210 分钟的测量湿度值为 50%。

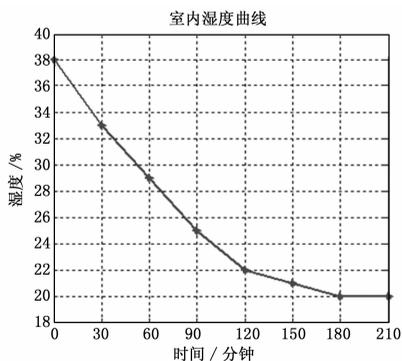


图 6 封闭环境下的除湿

图 8~9 展示的是非封闭环境测试，即在实验过程中测试长时间打开门窗，尽可能增加室内环境和外界环境的空气流通。实验开始时，室内外湿度为 38%。图 8 展示的是系统的除湿过程，室内的空气湿度的目标值设定为 20%。在第 60 分钟后，打开门和窗户时间超过 30 分钟，然后在 90 分钟时关闭。通过图可以知道，该次实验总用时 270 分钟，湿度曲线是呈下降趋势但是在 60-90 分钟间室内湿度是上升的，因为此时门窗是打开的，室内外空气流通，室内空气湿度回升，80 分钟时系统停止除湿作业。在第 240 分钟的测量值已经达到目

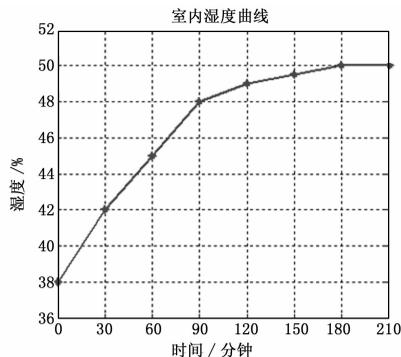


图 7 封闭环境下的加湿

标值，在第 270 分钟的测量值依然保持为湿度 20%。图 9 是系统的加湿过程，选定潮湿模式系统默认室内的空气湿度的目标值设定为 50%。在第 60 分钟后，打开门和窗户时间超过 30 分钟，然后在 90 分钟时关闭。该次实验总用时 270 分钟，湿度曲线是呈上升趋势，在第 210 分钟的测量值接近目标值，在第 240 分钟的测量湿度值为 50%。

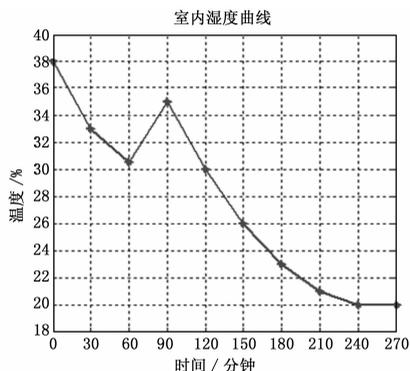


图 8 非封闭式环境下除湿

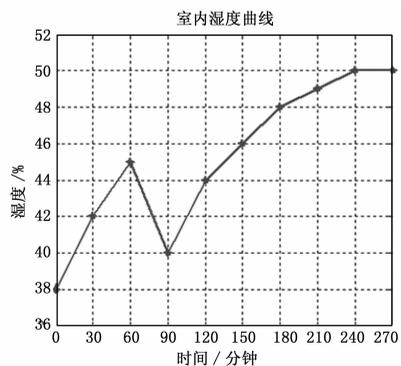


图 9 非封闭式环境下除湿、加湿

5.2 实验结论分析

观察图 6~9 中的曲线，可以得到以下结论：

1) 除湿或者加湿过程中，图 6~9 的曲线总体呈现下降或上升趋势，且测量结果趋于目标值，说明系统能够稳定正常的作业；

2) 图 6~9 的曲线呈现凹凸形，说明当系统刚开始工作时，系统工作效率较高，当室内湿度趋近目标值时，曲线趋于平和，此时系统效率有所降低；

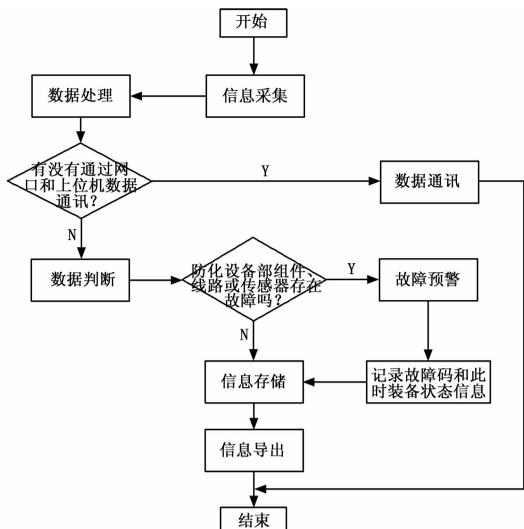


图 8 嵌入式软件数据处理流程图

表 1 存储并传输的某型装备部分参数信息

序号	所属分类	信息名称	参数值
1	使用训练信息	装备某次开机时刻	PM. 14:56
2		装备某次关机时刻	PM. 16:18
4		混合液流量	2. 1m ³ /h
5		低压压力	3Mpa
6	装备管理信息	高压压力	9Mpa
7		累积里程	3698KM
8		发动机摩托小时	312h
9	维修状态信息	上装运行时间	28h38min
10		A 泵转速	2170rpm
11		B 泵流量	26L/min
12		B 泵工作时间	25h36min
13		机组压力	2. 7Mpa
15		液压油油温	10℃

能,能通过网口连接上位机,对防化装备各类信息参数实施在线监测,能通过 USB 连接上位机,导出存储的装备历史信息进行离线数据处理和分析应用。

5 结束语

本文从数据终端整体框架设计出发,分别从硬件和软件方面对该终端设计及应用进行了详细论述,通过试验验证,该终端能够获取防化装备运行过程中关于使用、训练、管理和维修应用方面的数据信息,创新性地解决了防化装备数据信息记录不规范、无分类、易人工篡改等问题,为上位机装备信息管理和分析系统提供基础化、标准化的数据源,对防化装备供管修训提供科学的决策依据,具有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 宋建社,曹小平,曹耀钦,等. 装备维修信息化工程 [M]. 北京:国防工业出版社, 2005.

[2] 薛源,刘卫东. 一种多通道实时数据采集监控系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (4): 863-866.

[3] 曹木莲,姚放吾. 基于 i.MX21 的嵌入式 Linux 研究与移植 [J]. 计算机技术与发展, 2009 (9): 97-100.

[4] 熊嘉琪. 数据采集传输终端的研究及在环境监测中的应用 [D]. 杭州:浙江大学, 2007.

[5] 潘向峰,岳春生. Intel Xscale PXA255 USB 主控制器的实现 [J]. 微计算机信息, 2005 (2): 146-147.

[6] 张琦文. ARM 嵌入式常用模块与综合系统设计实例精讲 [M]. 北京:电子工业出版社, 2007.

[7] 孙天泽. 嵌入式设计及 Linux 驱动开发指南 [M]. 北京:电子工业出版社, 2007.

[8] 饶运涛. 现场总线 CAN 原理与应用技术 [M]. 北京:航空航天大学出版社, 2003.

[9] 张泉. 嵌入式测控系统平台的设计与实现 [D]. 西安:西北工业大学, 2007.

[10] 潘宇,刘芳,刘传东. 基于 ARM 的嵌入式数据终端设计 [J]. 白城师范学院学报, 2013 (6): 31-33.

(上接第 108 页)

3) 图 8~9 中,曲线中间出现波动,是由于窗户或者门窗的长期打开导致室内外空气流通,湿度改变。实验结果与理论相符合;

4): 由图 6~9 比较可得,于中途出现空气长时间流通,使得工作时间变长。

5.3 本方案的不足

本方案操作简单,安全高效,利用了很多现成的设备,降低了自研的时间和成本。但是也存在一些问题:

- 1) 噪音,除湿机的工作噪音未进行处理,影响室内人员工作;
- 2) 对于水源没有做到完全自给自足,需要人员补充或者倾倒;
- 3) 报警声音不够友好,报警提示有待改进。

6 结论

基于 FPGA 作为控制系统的核心控制芯片,设计实现室内湿度测量与控制系统,使之高效稳定安全运行,有效减少电能消耗。经过对系统实验分析,本系统达到了较好的效果,其运行稳定,定位准确,达到了室内湿度合理调节并科学节能管理。

参考文献:

[1] 游洲. 基于 FPGA 的火灾检测系统用于智能建筑 [J]. 低压电器, 2005, 10.

[2] 高建华,胡振宇. 物联网技术在智能建筑中的应用 [J]. 建筑技术, 2013, 44 (2): 136-137.

[3] 周志敏,纪爱华. LED 照明技术与工程应用 [M]. 北京:中国电力出版社, 2009.

[4] 刘明波,顾夏华,周琳琦. 基于 FPGA 的远程温湿度监测系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制. 2011, 19 (11): 2619-1622.

[5] 赵晶,陈向东,陈欣鹏,等. 基于 FPGA 的 QCM 湿度测量系统程序设计与仿真 [J]. 电子设计工程, 2013, 21 (22): 126-132.

[6] 程素娥. 基于 FPGA 的智能压力传感器系统 [J]. 监测与仪表, 2010, 37 (8): 53-55.

[7] 贺婷. 基于 FPGA 的智能鞋柜控制系统设计 [J]. 电脑知识与技术, 2013, 8 (7): 1581-1582.

[8] 刘艳昌,左现刚,李国厚. 基于 FPGA 的火蔬菜大棚环境监测控制系统 [J]. 江苏农业科学, 2015, 43 (11): 533-536.

[9] 林柏林. 基于 FPGA 的智能照明控制系统的设计与分析 [J]. 湖北大学学报, 2013, 35 (3): 308-306.