



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106777863 A

(43)申请公布日 2017. 05. 31

(21)申请号 201610987448.6

(22)申请日 2016.11.09

(71)申请人 北京工业大学

地址 100124 北京市朝阳区平乐园100号

(72)发明人 陈双叶 徐文政

(74)专利代理机构 北京思海天达知识产权代理有限公司 11203

代理人 沈波

(51)Int. Cl.

G06F 19/00(2011.01)

G01D 21/02(2006.01)

G06N 3/02(2006.01)

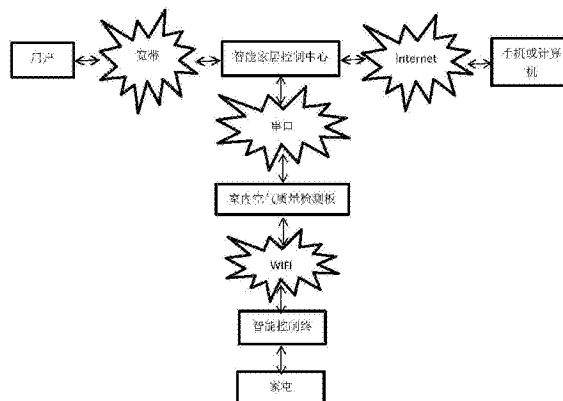
权利要求书4页 说明书9页 附图7页

(54)发明名称

基于改进粒子群的T-S模糊神经网络室内空气质量评价系统

(57)摘要

本发明公开了基于改进粒子群的T-S模糊神经网络室内空气质量评价系统。该系统由智能家居控制中心,室内空气质量检测装置,智能家居控制终端,客户端四个部分组成。该系统可使用户通过电脑或手机的浏览器登录系统的Web服务器查看室内空气质量参数,系统并设有智能控制模式和手动控制模式供用户选择使用,智能控制模式下,无需人为参与,系统根据编入的控制策略智能调节家电,从而使室内空气质量保持在较优的状态下。室内空气质量检测装置CPU中编入的算法模型是在T-S模糊神经网络的基础上引入改进的粒子群算法,改进的粒子群优化具有良好的全局优化和收敛性能。本发明实现了对室内空气质量的检测、评价与监控,评价结果客观、准确、可靠。



1. 基于改进粒子群的T-S模糊神经网络室内空气质量评价系统,其特征在于:该系统是基于一种智能家居控制装置进行的,所述的智能家居控制装置包括智能家居控制中心、外围电路、传感器模块组、微控制器、网络传输模块、看门狗及复位电路模块、电源模块、智能家居控制终端、客户端;看门狗及复位电路模块和电源模块分别与各微控制器连接,传感器模块组通过外围电路与室内空气质量检测装置微控制器连接,空气质量检测装置采集的数据上传至智能家居控制中心,客户端通过Internet与智能家居控制中心进行交互;

智能家居控制中心能够提供支持浏览的访问;

外围电路包括温湿度、甲醛、光照值的外围电路;

传感器模块组包括采集PM2.5、PM10、一氧化碳、二氧化碳的模块,且与室内空气质量检测装置相连;

智能家居控制终端用于驱动下位机并实现开关量的输入输出、红外编码输出;

用户端通过PC端或智能手机的浏览器与智能家居控制中心的客户端进行访问交互;

微控制器为基于IPSO-TSFNN模型的算法;

网络传输模块置于室内空气质量检测装置和智能控制终端上,网络传输模块为WIFI模块;

看门狗及复位电路模块用于保障系统正常运行;电源模块用于提供系统电源。

2. 利用权利要求1所述系统进行的基于改进粒子群的T-S模糊神经网络室内空气质量评价方法,其特征在于:实现该方法具体包括以下步骤:

步骤一:系统控制中心操作系统的移植;

步骤二:系统控制中心Web服务器的移植;

步骤三:系统控制中心CGIC库的移植;

步骤四:建立基于IPSO-TSFNN模型;

步骤五:根据国家室内空气质量标准建立训练集和检测集,对该网络进行训练和测试,得到可应用的网络模型;

步骤六:温湿度传感器,PM2.5、PM10检测器,CO检测器,CO₂检测器,HCHO检测器,光照检测器,实时将采集的数值上传给CPU;

步骤七:CPU根据已经训练好的网络模型将PM10检测值,HCHO检测值,CO₂检测值作为输入得到相应评价等级输出值,在智能控制模式下根据预先编入的控制策略智能调节家电,如空调、加湿器、空气净化器、卷帘窗等,实现对室内空气质量的调节,使室内空气质量保持在较好的状态下;同时将各传感器采集的数值和空气质量等级通过串口发给系统控制中心;

步骤八:系统控制中心接收到室内空气检测装置传来的数据后,根据交互的协议解析数据,然后上传到浏览器客户端,供用户实时查看;

步骤九:如果用户通过浏览器客户端的按钮下达控制命令,将由控制中心通过串口传输到室内空气检测装置,再由无线WIFI传输到智能控制终端实现对家电的手动控制。

3. 根据权利要求2所述的基于改进粒子群的T-S模糊神经网络室内空气质量评价方法,其特征在于:所述步骤一的操作系统的移植实现具体分为以下步骤:

3.1,准备Linux 4.4.3内核压缩包linux-4.4.3.tar.xz以及交叉编译工具arm-linux-gcc-4.3.2.tar.bz2;

3.2,解压压缩包并安装编译器arm-linux-gcc-4.3.2;

3.3,修改Makefile文件,修改机器类型ID号等;

3.4,执行make menuconfig,并对选项进行配置,以达到对内核进行裁剪,节省内存空间,提高编译效率;

3.5,执行make uImage进行编译,将生成的内核镜像文件uImage通过tftp、nand等命令烧入存储器中,完成Linux 4.4.3内核在ARM微处理器上的移植。

4.根据权利要求2所述的基于改进粒子群的T-S模糊神经网络室内空气质量评价方法,其特征在于:所述步骤二的Web服务器的移植实现具体分为以下步骤:

4.1,准备Boa服务器源代码boa-0.94.13.tar.gz,并将其进行解压缩;

4.2,在src目录下执行命令./configure,会产生一个makefile文件,修改src目录下makefile文件,boa.c文件,compat.h文件;

4.3,编译,把“src/”目录下编译得到的boa执行文件拷贝的文件系统的“sbin/”目录下,在/etc目录下建立一个boa目录,把“boa-0.94.13/”目录下的boa.conf文件拷贝到文件系统的“etc/boa/”目录下;

4.4,创建日志文件所在目录/var/log/boa,创建html文档的主目录/www,创建CGI脚本所在目录/www/cgi-bin;

4.5,修改boa.conf文件,把Linux系统etc/目录下的mime.types拷贝到文件系统etc/目录下。

5.根据权利要求2所述的基于改进粒子群的T-S模糊神经网络室内空气质量评价方法,其特征在于:所述步骤三的CGIC库的移植实现具体分为以下步骤:

5.1,准备cgic205.tar.gz源码包,并将其进行解压缩;

5.2,修改Makefile文件后,并进行编译,;

5.3,拷贝cgic205目录下的capture文件到文件系统/www/cgi-bin目录下。

6.根据权利要求2所述的基于改进粒子群的T-S模糊神经网络室内空气质量评价方法,其特征在于:所述步骤四的网络模型建立实现具体分为以下步骤:

6.1,根据实际环境选取PM10、HCHO、CO₂作为网络模型输入,当然也可根据实际监控环境进行变换;因此网络模型的后件网络输入节点I为3个,隐含节点按M=2I+1计算,为7个,输出节点为1个,前件网络为输入层、模糊化层、规则层、去模糊化层;

6.2,模糊系统参数p_{0j},p_{ij},隶属度函数的中心c_{ij}和宽度b_{ij}(i=1,2,3,j=1,2...7)的初值分别为(0,1)上的随机数;

6.3,由4.1和4.2可确定需要训练的参数宽度b有21个,中心c有21个,模糊系统参数p_{0j}各有7个,p_{ij}有21个,共计70个参数;

6.4,将这70个参数组成一个粒子,粒子群算法中种群规模m选为15,每个粒子长度n为70,优化公式如下:

$$X_{id}^{k+1} = X_{id}^k + V_{id}^{k+1} \quad (1)$$

$$V_{id}^{k+1} = r_2 * \text{sign}(r_3) * V_{id}^k + (1-r_2) * c_1 * r_1 * (P_{id} - X_{id}^k) + (1-r_2) * c_2 * (1-r_1) * (P_{gd} - X_{id}^k) + L * r_3 * (P_{id} - P_{gd}) \quad (2)$$

$$sign(r_3) = \begin{cases} -1 & r_3 \leq 0.05 \\ 1 & r_3 > 0.05 \end{cases} \quad (3)$$

$$L = \begin{cases} -sign(r_3) & P_{id} - X_{id}^k < 0 \\ sign(r_3) & P_{id} - X_{id}^k \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

其中, X为粒子位置, V为粒子的速度, $i=1, 2, 3 \dots 70$, $sign(\cdot)$ 表示符号函数, 学习因子 c_1 和 c_2 取为2, d为空间维数, 其中, r_1, r_2 和 r_3 都是 $[0, 1]$ 区间上均匀分布的随机数, k为迭代次数, P_{id} 和 P_{gd} 分别表示粒子群个体及群体搜索到的最优位置; 公式(2)中第一部分先前速度的系数相当于标准粒子群算法的惯性权重, $sign(r_3)$ 只有两个取值情况+1和-1, 起到调整速度方向的作用, r_2 的随机性较大, 可能至使粒子一直朝着最好位置的相反方向飞去, 离最优解越来越远, 这时的粒子群算法会需要更多的迭代来达到全局最优, 且更有可能找不到全局最优; 为了解决算法存在的收敛速度收敛精度问题增加了自适应调节因子, 即公式(2)中的第四部分, 其L计算公式如(4), 当个体最优位置优于新更新的位置时, 说明粒子正在远离较好解, 此时让L取值为 $-sign(r_3)$, 使粒子往回调节, 避免粒子离较好解越来越远; 相反则让L取值为 $sign(r_3)$, 加快粒子到较好解位置, 通过社会经验与个体经验差值为因子对粒子的反向进行调节, 这样既能保证粒子群算法全局搜索与局部搜索的平衡, 又提高了收敛速度和收敛精度。

7. 根据权利要求2所述的基于改进粒子群的T-S模糊神经网络室内空气质量评价方法, 其特征在于: 所述步骤五的训练集和检测集的实现具体分为以下步骤:

7.1, 根据《室内空气质量标准》GB/T18883-2002可知, 室内空气质量污染物包含物理性、化学性、生物性和放射性; 本文根据某高校实际环境以标准中的HCHO、CO₂、PM10三个指标作为作为评价因子, 充分考虑室内评价因子的浓度波动范围, 根据GB/T18883-2002中的标准值将室内空气质量分为三个等级, 其中的S₂为标准浓度限值即二级浓度值, S₁为一级浓度值, S₃为三级浓度值, 单位均为毫克每立方米 (mg · m⁻³);

质量分级	S ₁	S ₂	S ₃
评价因子			
HCHO	0.04	0.10	0.20
CO ₂	1200	2000	3000
PM10	0.05	0.15	0.25

7.2, 对各等级值建立标准相对隶属度矩阵, 计算公式如下:

$$R_{ij} = \begin{cases} 0 & j = 1 \\ \frac{S_{ij} - S_1}{S_3 - S_1} & 1 < j < 3 \\ 1 & j = 3 \end{cases}$$

其中S_{ij}为第i项评价指标第j级的评价标准值, R_{ij}为第i项评价指标第j级的评价标准值的相对隶属度, (i=1, 2, 3; j=1, 2, 3);

最后得出标准相对隶属度矩阵为R_{ij}为:

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0.38 & 1 \\ 0 & 0.44 & 1 \\ 0 & 0.50 & 1 \end{bmatrix}$$

7.3,为使训练后的网络模型具有良好的适应能力,且能充分反映空气质量标准各级指标标准值的意义,在标准指标相对隶属度矩阵R中采用内插法生成更多的样本。

基于改进粒子群的T-S模糊神经网络室内空气质量评价系统

技术领域

[0001] 本发明属于基于智能家居进行的室内空气质量评价,该评价系统包括检测、评价与监控。

背景技术

[0002] 随着人们对室内环境重要性认识的不断加深,室内空气质量越来越受关注,现代人平均80%到90%的时间在室内度过,同时也就无可避免的吸入大量室内空气。传统的室内空气质量评价方法有综合指数法,该方法形式简单,计算方便,但是往往不能突出最大污染物的影响,测出的结果与实际情况时常会有较大的误差。由于室内空气质量仍是一个模糊的概念,至今尚无一个统一的、权威性的定义,因此有人尝试用模糊数学法加以研究,模糊数学法注意了分级差异中间连续的模糊性,能更客观、更准确的反应实际问题,但是应用到实际场合比较麻烦。

[0003] 在现有的测量仪器中,大多数是测量其中一种到几种室内污染物,只能提供简单的室内空气质量情况,室内空气质量调节方法大都简单依靠人们主观判断进行开窗通风、开空气净化器等,没有一个可靠的参照标准,有的时候室外空气质量比室内还要差,这种条件下开窗使得室内空气污染加剧。有的时候出门前室外空气质量不佳没有开窗,几个小时后可能室外空气质量变好,可是在家中无法进行开窗通风,这样使得对室内空气质量的调节很不方便。

发明内容

[0004] 本发明的目的主要是提供一种基于改进粒子群的T-S模糊神经网络(IPSO-TSFNN)的室内空气质量检测、评价与监控系统。该系统由智能家居控制中心,室内空气质量检测装置,智能家居控制终端,客户端四个部分组成,智能家居控制中心与室内空气质量检测装置之间是基于串口的连接方式,与客户端之间是基于Internet连接方式,室内空气质量检测装置与智能家居控制终端是基于无线WIFI的连接方式。该系统可使用户通过电脑或手机的浏览器登录系统的Web服务器查看室内空气质量参数,系统并设有智能控制模式和手动控制模式供用户选择使用,手动控制模式可使用户远程对家中电器进行控制。这是传统的室内空气质量检测所不具备的。

[0005] 本发明方法是基于一种智能家居控制装置进行的,所述的智能家居控制装置包括智能家居控制中心、外围电路、传感器模块组、微控制器、网络传输模块、看门狗及复位电路模块、电源模块、智能家居控制终端、客户端;看门狗及复位电路模块和电源模块分别与各微控制器连接,传感器模块组通过外围电路与室内空气质量检测装置微控制器连接,空气质量检测装置采集的数据上传至智能家居控制中心,客户端通过Internet与智能家居控制中心进行交互。

[0006] 智能家居控制中心能够提供支持浏览的访问。

[0007] 外围电路包括温湿度、甲醛、光照值的外围电路。

- [0008] 传感器模块组包括采集PM2.5、PM10、一氧化碳、二氧化碳的模块,且与室内空气质量检测装置相连。
- [0009] 智能家居控制终端用于驱动下位机并实现开关量的输入输出、红外编码输出等。
- [0010] 用户端通过PC端或智能手机的浏览器与智能家居控制中心的客户端进行访问交互。
- [0011] 微控制器为基于IPSO-TSFNN模型的算法。
- [0012] 网络传输模块置于室内空气质量检测装置和智能控制终端上,网络传输模块为WIFI模块。
- [0013] 看门狗及复位电路模块用于保障系统正常运行;电源模块用于提供系统电源。
- [0014] 在一种智能家居控制装置的基础上,本发明提供的基于改进粒子群的T-S模糊神经网络室内空气质量评价方法,实现该方法具体包括以下步骤:
- [0015] 步骤一:系统控制中心操作系统的移植;
- [0016] 步骤二:系统控制中心Web服务器的移植;
- [0017] 步骤三:系统控制中心CGIC库的移植;
- [0018] 步骤四:建立基于IPSO-TSFNN模型;
- [0019] 步骤五:根据国家室内空气质量标准建立训练集和检测集,对该网络进行训练和测试,得到可应用的网络模型;
- [0020] 步骤六:温湿度传感器,PM2.5、PM10检测器,CO检测器,CO₂检测器,HCHO检测器,光照检测器,实时将采集的数值上传给CPU;
- [0021] 步骤七:CPU根据已经训练好的网络模型将PM10检测值,HCHO检测值,CO₂检测值作为输入得到相应评价等级输出值,在智能控制模式下根据预先编入的控制策略智能调节家电,如空调、加湿器、空气净化器、卷帘窗等,实现对室内空气质量的调节,使室内空气质量保持在较好的状态下。同时将各传感器采集的数值和空气质量等级通过串口发给系统控制中心;
- [0022] 步骤八:系统控制中心接收到室内空气检测装置传来的数据后,根据交互的协议解析数据,然后上传到浏览器客户端,供用户实时查看;
- [0023] 步骤九:如果用户通过浏览器客户端的按钮下达控制命令,将由控制中心通过串口传输到室内空气检测装置,再由无线WIFI传输到智能控制终端实现对家电的手动控制。
- [0024] 所述步骤一的操作系统的移植实现具体分为以下步骤:
- [0025] 1.1,准备Linux 4.4.3内核压缩包linux-4.4.3.tar.xz以及交叉编译工具arm-linux-gcc-4.3.2.tar.bz2;
- [0026] 1.2,解压压缩包并安装编译器arm-linux-gcc-4.3.2;
- [0027] 1.3,修改Makefile文件,修改机器类型ID号等;
- [0028] 1.4,执行make menuconfig,并对选项进行配置,以达到对内核进行裁剪,节省内存空间,提高编译效率;
- [0029] 1.5,执行make uImage进行编译,将生成的内核镜像文件uImage通过tftp、nand等命令烧入存储器中,完成Linux 4.4.3内核在ARM微处理器上的移植。
- [0030] 所述步骤二的Web服务器的移植实现具体分为以下步骤:
- [0031] 2.1,准备Boa服务器源代码boa-0.94.13.tar.gz,并将其进行解压缩;

[0032] 2.2,在src目录下执行命令./configure,会产生一个makefile文件,修改src目录下makefile文件,boa.c文件,compat.h文件;

[0033] 2.3,编译,把“src/”目录下编译得到的boa执行文件拷贝的文件系统的“sbin/”目录下,在/etc目录下建立一个boa目录,把“boa-0.94.13/”目录下的boa.conf文件拷贝到文件系统的“etc/boa/”目录下;

[0034] 2.4,创建日志文件所在目录/var/log/boa,创建html文档的主目录/www,创建CGI脚本所在目录/www/cgi-bin;

[0035] 2.5,修改boa.conf文件,把Linux系统etc/目录下的mime.types拷贝到文件系统etc/目录下。

[0036] 所述步骤三的CGIC库的移植实现具体分为以下步骤:

[0037] 3.1,准备cgic205.tar.gz源码包,并将其进行解压缩;

[0038] 3.2,修改Makefile文件后,并进行编译,;

[0039] 3.3,拷贝cgic205目录下的capture文件到文件系统/www/cgi-bin目录下。

[0040] 所述步骤四的网络模型建立实现具体分为以下步骤:

[0041] 4.1,根据实际环境选取PM10、HCHO、CO₂作为网络模型输入,当然也可根据实际监控环境进行变换。因此网络模型的后件网络输入节点I为3个,隐含节点按M=2I+1计算,为7个,输出节点为1个,前件网络为输入层、模糊化层、规则层、去模糊化层;

[0042] 4.2,模糊系统参数p_{0j},p_{ij},隶属度函数的中心c_{ij}和宽度b_{ij}(i=1,2,3,j=1,2...7)的初值分别为(0,1)上的随机数;

[0043] 4.3,由4.1和4.2可确定需要训练的参数宽度b有21个,中心c有21个,模糊系统参数p_{0j}各有7个,p_{ij}有21个,共计70个参数。

[0044] 4.4,将这70个参数组成一个粒子,粒子群算法中种群规模m选为15,每个粒子长度n为70,优化公式如下:

$$[0045] \quad X_{id}^{k+1} = X_{id}^k + V_{id}^{k+1} \quad (1)$$

$$[0046] \quad \begin{aligned} V_{id}^{k+1} = & r_2 * \text{sign}(r_3) * V_{id}^k + (1-r_2) * c_1 * r_1 * (P_{id} - X_{id}^k) \\ & + (1-r_2) * c_2 * (1-r_1) * (P_{gd} - X_{id}^k) + L * r_3 * (P_{id} - P_{gd}) \end{aligned} \quad (2)$$

$$[0047] \quad \text{sign}(r_3) = \begin{cases} -1 & r_3 \leq 0.05 \\ 1 & r_3 > 0.05 \end{cases} \quad (3)$$

$$[0048] \quad L = \begin{cases} -\text{sign}(r_3) & P_{id} - X_{id}^k < 0 \\ \text{sign}(r_3) & P_{id} - X_{id}^k \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

[0049] 其中,X为粒子位置,V为粒子的速度,i=1,2,3...70,sign(•)表示符号函数,学习因子c₁和c₂取为2,d为空间维数,其中,r₁,r₂和r₃都是[0,1]区间上均匀分布的随机数,k为迭代次数,P_{id}和P_{gd}分别表示粒子群个体及群体搜索到的最优位置。公式(2)中第一部分先前速度的系数相当于标准粒子群算法的惯性权重,sign(r₃)只有两个取值情况+1和-1,起到调整速度方向的作用,r₂的随机性较大,可能至使粒子一直朝着最好位置的相反方向飞去,离最优解越来越远,这时的粒子群算法会需要更多的迭代来达到全局最优,且更有可能

找不到全局最优。为了解决算法存在的收敛速度收敛精度问题增加了自适应调节因子,即公式(2)中的第四部分,其L计算公式如(4),当个体最优位置优于新更新的位置时,说明粒子正在远离较好解,此时让L取值为 $-\text{sign}(r_3)$,使粒子往回调节,避免粒子离较好解越来越远;相反则让L取值为 $\text{sign}(r_3)$,加快粒子到较好解位置,通过社会经验与个体经验差值为因子对粒子的反向进行调节,这样既能保证粒子群算法全局搜索与局部搜索的平衡,又提高了收敛速度和收敛精度。

[0050] 所述步骤五的训练集和检测集的实现具体分为以下步骤:

[0051] 5.1,根据《室内空气质量标准》GB/T18883-2002可知,室内空气质量污染物包含物理性、化学性、生物性和放射性。本文根据某高校实际环境以标准中的HCHO、CO₂、PM10三个指标作为作为评价因子,充分考虑室内评价因子的浓度波动范围,根据GB/T18883-2002中的标准值将室内空气质量分为三个等级,其中的S₂为标准浓度限值即二级浓度值,S₁为一级浓度值,S₃为三级浓度值,单位均为毫克每立方米(mg·m⁻³)。

评价因子	质量分级		
	S ₁	S ₂	S ₃
HCHO	0.04	0.10	0.20
CO ₂	1200	2000	3000
PM10	0.05	0.15	0.25

[0053] 5.2,对各等级值建立标准相对隶属度矩阵,计算公式如下:

$$R_{ij} = \begin{cases} 0 & j = 1 \\ \frac{S_{ij} - S_1}{S_3 - S_1} & 1 < j < 3 \\ 1 & j = 3 \end{cases}$$

[0055] 其中S_{i,j}为第i项评价指标第j级的评价标准值,R_{i,j}为第i项评价指标第j级的评价标准值的相对隶属度,(i=1,2,3;j=1,2,3);

[0056] 最后得出标准相对隶属度矩阵为R_{ij}为:

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0.38 & 1 \\ 0 & 0.44 & 1 \\ 0 & 0.50 & 1 \end{bmatrix}$$

[0058] 5.3,为使训练后的网络模型具有良好的适应能力,且能充分反映空气质量标准各级指标标准值的意义,在标准指标相对隶属度矩阵R中采用内插法生成更多的样本。这里共生成包括各项指标标值隶属度在内的共201个样本,用其中151个样本作为学习样本,余下的作为检验样本。

[0059] 有益效果

[0060] 本发明采用了改进粒子群算法对T-S模糊神经网络进行优化训练,使该网络的寻优能力更强,收敛速度快,而且直接将模糊神经网络参数组合成一个粒子,使训练更容易实现得到可靠的网络模型,使评价结果更加客观,真实,并且根据采集到的温湿度值,PM2.5、

PM10检测值,CO检测值,CO₂检测值,HCHO检测值,光照强度值,在智能控制策略下对室内的空调、加湿器、空气净化器、卷帘窗等进行控制,从而使室内空气质量保持在较优的等级下。

附图说明

- [0061] 图1系统总体结构框图;
- [0062] 图2系统服务器结构框图;
- [0063] 图3系统检测板结构框图;
- [0064] 图4智能家居控制中心应用软件工作流程;
- [0065] 图5室内空气质量检测装置软件工作流程图;
- [0066] 图6智能控制终端软件工作流程;
- [0067] 图7模糊神经网络拓扑结构;
- [0068] 图8改进PSO优化TSFNN算法流程图;
- [0069] 图9网络模型训练误差平方和 (SSE) 变化;
- [0070] 图10网络模型测试效果;
- [0071] 图11客户端页面

具体实施方式

[0072] 根据下文结合附图对本发明具体实施详细描述,本领域技术人员将会更加明了本发明的上述优点和特征。

[0073] 控制系统总体结构如图1所示。

[0074] 系统控制中心连入宽带网络中,室内空气质量检测装置实时采集室内的温度、湿度、PM2.5、PM10、HCHO、CO、CO₂、光照等数据,将采集的数据经过处理通过串口发送给智能家居控制中心,同时,在启用智能控制下,可根据编入的控制策略智能调节室内的家电,比如空调、加湿器、空气净化器、卷帘窗等,使室内空气质量得到调节,进而保持在较好的状态下。用户通过手机或计算机登录服务器,通过用户名和密码验证后,便可以查看室内空气质量的相关参数值,系统中的客户端具有良好的人机交互界面,并设有相应的功能按键供用户使用,在启用手动控制下,可对家中电视、空调、加湿器、空气净化器、卷帘窗、灯光等家电进行远程控制。

[0075] 控制系统硬件结构如图2、图3所示。

[0076] 电源模块,为控制系统各模块提供电量。

[0077] 看门狗和复位电路,选用SP706,为专门的看门狗复位芯片,可以提高系统的稳定性和抗干扰行。

[0078] WIFI模块,为室内空气质量检测装置,智能控制终端提供网络互连,使他们处在一个网络环境中,彼此可以通过网络进行数据传输。

[0079] 温湿度传感器选用DHT11,温度测量范围为0到50摄氏度,湿度测量范围为20%到90%RH。

[0080] 光照强度传感器选用BH1750FVI,经输入调理电路,通过IIC协议读出16位串行数据。

[0081] 甲醛传感器选用MS1100,经输入调理电路,把MS1100变化检测到的数值转化为对

应的电压形式送控制器的ADC进行采样,经过换算得到实际甲醛浓度。

[0082] 一氧化碳传感器模组选用ZE07,采集的数据直接通过串口发给微控制器。

[0083] 二氧化碳传感器模组选用MH-Z14A,采集的数据直接通过串口发给微控制器。

[0084] PM2.5和PM10传感器模块选用PMS5005,采集的数据直接通过串口发给微控制器。

[0085] 红外发射器选用常用的红外线二极管,可通过它发送控制空调、电视等电器行为的编码。指示灯选用常用的LED灯。

[0086] 室内空气质量检测装置微控制器,选用ST公司的stm32f103RCT6,具有大容量的存储内存空间和高性能的运算速度,可以保证运行一些控制算法。图3的微控制器主要实现IPS0-TSFNN的输出,并且对各传感器实时采集到的数据进行相关处理。

[0087] 智能家居控制中心是系统的核心,其工作流程如图4所示。

[0088] 智能家居控制中心的核心是一个嵌入式Web服务器,其应用软件的设计包括网页设计、CGI应用程序设计。网页设计采用设计工具Dreamweaver CS6、Photoshop来实现,系统设计中采用网页每2秒更新一次数据,故采用ajax与CGI相结合的技术,这样可以实现数据的更新在后台完成,使网页页面更加友好。当Web页面打开时,用户通过点击页面相应功能按钮实现相应的操作。当点击查看按钮时,将调用脚本文件中的对应函数,函数再调用对应CGI程序,读出已经采集存入文件中的数据,对数据进行处理后发送到网页端进行动态显示,显示的数据有温度值、湿度值、PM2.5浓度值、PM10浓度值、HCHO浓度值、CO浓度值、CO₂浓度值、光照值和室内空气质量等级。除了查看功能,页面中还设有温度设定、湿度设定、开空调、关空调、温度+、温度-、开加湿器、关加湿器、开卷帘窗、关卷帘窗、开灯、关灯、开电视机、关电视机、启用智能控制、启用手动控制等按钮,用户通过点击相应按钮实现对家用电器的控制和模式的切换。

[0089] 室内空气质量检测装置用于实时检测室内污染物数值,其工作流程如图5所示。

[0090] 由于检测装置上的每个传感器模块实现采集的数据功能不同,所以要针对不同的模块编写不同的底层驱动程序,实现对室内空气质量参数的实时采集。检测装置采用的CPU是STM32F103RCT6,就其本身硬件资源而言,选用ucosII操作系统在CPU上进行移植效果较好。该系统下需要创建三个任务,分别完成传感器数据的采集,将采集处理好的数据发送到服务器,将服务器端的控制命令发送到智能控制终端。

[0091] 智能控制终端用以接收用户下达的控制命令实现对下位机的控制,其工作流程如图6所示。

[0092] 智能控制终端负责执行服务器端下达的控制命令,比如开空调、开加湿器等。该智能控制终端选用的CPU为STM32F103C8T6,与检测装置CPU功能相似,选用ucosII操作系统在CPU上进行移植效果较好,硬件资源足以满足设计要求,其应用软件设计相对其他部分来说要简单些。

[0093] 模糊神经网络拓扑机构如图7所示。

[0094] T-S模糊神经网络由前件网络和后件网络组成。对于多输入多输出系统,后件网络由多个结构相同的并列子网络组成,每个子网络产生一个输出量。文中仅考虑多输入单输出情况,即后件网络中只有一个子网络。并假设有n个输入,m条规则,本发明中根据HCHO、PM10、CO₂三个评价指标,确定网络的输入结点数n为3,隐含结点数也选为7,输出结点数为1。模糊系统参数 P_{0j} , P_{ij} ,隶属度函数的中心 c_{ij} 和宽度 b_{ij} ($i=1,2,3, j=1,2,3\dots 7$)的初值

分别为(0,1)上的随机数。这样,需要训练的参数宽度b有21个,中心c有21个,模糊系统参数 p_{0j} 有7个, P_{ij} 有21个,共计70个参数,将这70个参数组成一个粒子。

[0095] T-S模糊神经网络的每层介绍如下:

[0096] (1)前件网络:

[0097] 第一层,输入层,即网络的输入I:

$$[0098] \quad I = (I_1, I_2, \dots, I_n)$$

[0099] 式中, I_1, I_2, \dots, I_n 分别为网络的第1个到第n个输入。

[0100] 第二层,模糊化层,采用隶属度函数计算各输入对模糊子集的隶属度 U_{ij} :

$$[0101] \quad U_{ij} = \exp(-(I_i - c_{ij})^2 / b_{ij}^2)$$

[0102] 式中, c_{ij}, b_{ij} 分别为隶属度函数的中心和宽度。

[0103] 第三层,规则层,将各隶属度进行模糊计算,采用连乘的形式求得规则层各结点的输出 \bar{W}_j :

$$[0104] \quad \bar{W}_j = \prod_{i=1}^n U_{ij}$$

[0105] 第四层,去模糊化层,代表去模糊化过程,采用权值平均判别法求得去模糊化层各结点的输出 \bar{W}_j :

$$[0106] \quad \bar{W}_j = W_j / \sum_{j=1}^m W_j$$

[0107] (2)后件网络:

[0108] 第一层,输入层,其第0个结点 I_0 的输入值为1,其余输入和前件网络的输入层输入一样。

[0109] 第二层,中间层,根据模糊规则求得中间层各结点的输出 O_j :

$$[0110] \quad O_j = P_{0j} + \sum_{i=1}^n P_{ij} I_i$$

[0111] 第三层,输出层,计算整个网络的输出O:

$$[0112] \quad O = \sum_{j=1}^m O_j \bar{W}_j$$

[0113] 即前件网络的输出用作后件网络中间层和输出层的连接权值。上述公式中 $i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m$ 。

[0114] 取归一化后的201组数据中的前151组作为训练数据,采用梯度下降算法,网络每产生151组输出参数调整一次并将误差反馈给粒子群算法。为了与模糊神经网络实验结果进行比较,规定训练1000次。记在第1($l=1, 2, \dots, 151$)组输入 I_i^l ($i=1, 2, 3$)的作用下,由上述公式求得的前件网络的去模糊化层,后件网络的中间层和整个网络的第1组输出分别为 \bar{W}_j^l, O_j^l, O^l ($j=1, 2, \dots, 7$),相应的真实输出为 Y_d^l ,取误差准则函数为:

$$[0115] \quad E = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^{151} (Y_d^l - O^l)^2$$

[0116] 梯度下降算法参数调整表示如下:

$$[0117] \quad P_{0j}(k+1) = P_{0j}(k) - \alpha \left. \frac{\partial E}{\partial P_{0j}} \right|_{P_{0j}=P_{0j}(k)}$$

$$[0118] \quad P_{ij}(k+1) = P_{ij}(k) - \alpha \left. \frac{\partial E}{\partial P_{ij}} \right|_{P_{ij}=P_{ij}(k)}$$

$$[0119] \quad c_{ij}(k+1) = c_{ij}(k) - \alpha \left. \frac{\partial E}{\partial c_{ij}} \right|_{c_{ij}=c_{ij}(k)}$$

$$[0120] \quad b_{ij}(k+1) = b_{ij}(k) - \alpha \left. \frac{\partial E}{\partial b_{ij}} \right|_{b_{ij}=b_{ij}(k)}$$

[0121] 式中, α 是学习率, 取值为 0.001。

[0122] 误差准则函数 E 对各参数的偏导数分别为:

$$[0123] \quad \frac{\partial E}{\partial P_{0j}} = - \sum_{l=1}^{151} (Y_d^l - O^l) \bar{W}_j^l$$

$$[0124] \quad \frac{\partial E}{\partial P_{ij}} = - \sum_{l=1}^{151} (Y_d^l - O^l) \bar{W}_j^l I_i^l$$

$$[0125] \quad \frac{\partial E}{\partial c_{ij}} = - \frac{2}{(b_{ij})^2} \sum_{l=1}^{151} (Y_d^l - O^l) (\bar{W}_j^l - (\bar{W}_j^l)^2) (I_i^l - c_{ij}) O_j^l$$

$$[0126] \quad \frac{\partial E}{\partial b_{ij}} = - \frac{2}{(b_{ij})^3} \sum_{l=1}^{151} (Y_d^l - O^l) (\bar{W}_j^l - (\bar{W}_j^l)^2) (I_i^l - c_{ij})^2 O_j^l$$

[0127] IPSO-TSFNN 算法拓扑机构如图 8 所示。

[0128] 粒子群优化 (Particle Swarm Optimization, (PSO)) 算法是一种基于群智能的演化计算技术, 受到人工生命的研究结果的启发, 于 1995 年由 Kennedy 和 Eberhart 最早提出。其中每个粒子都有一个由被优化函数决定的适应度值; 每个粒子还有一个速度决定其飞行的方向和距离。

[0129] 本发明粒子的长度为 70, 种群规模定为 15。改进 PSO 算法的计算公式如 4.4 中公式 (1)、(2)、(3)、(4)。

[0130] IPSO-TSFNN 算法流程:

[0131] 1) 初始化 IPSO-TSFNN 算法参数, 对粒子群的每个个体位置和速度进行初始化, 随机产生粒子的速度和位置并进行阈值处理, 初始化加速因子, 最大迭代次数, 学习率等。

[0132] 2) 通过 TSFNN 训练误差计算每个粒子的适应度值, 适应度函数选取为训练样本所对应的评价输出 O 和实际输出 Y 之间的差值的平方的二分之一。因此, 第 i 个粒子的适应度函

数 E_i 为:

$$[0133] \quad E_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^s (Y_i - O_i)^2$$

[0134] 其中 s 为训练样本数量,同时TSFNN每产生 s 组输出进行一次参数调整,参数调整选用梯度下降算法。

[0135] 3) 根据所得适应度值选择每个粒子所搜索的最优位置 P_i 和整个种群搜索的最优位置 P_g 。对于每个粒子,将其适应度值与其经历过的最优位置 P_i 进行比较,如较好,则将其作为当前的最优位置 P_i ;对于每个粒子,将其适应度值与全局所经历过的优位置 P_g 进行比较,如较好,则重新更新设置 P_g ;

[0136] 4) 根据改进粒子群算法公式(1)、(2)更新每个粒子的位置和飞行速度;

[0137] 5) 检验每个粒子的速度和位置是否越界,如果越界,进行相应的阈值处理;

[0138] 6) 如果未达到预先设定的停止标准(通常设置为最大迭代次数或最小误差),则返回步骤2),若达到则停止计算,利用最优TSFNN结构参数对测试样本进行最优输出。

[0139] 将评价指标HCHO、PM10、CO2作为输入向量,将评价等级作为目标向量,利用151组训练样本对其进行训练,其中IPSO-TSFNN与TSFNN训练误差平方和如图9所示,IPSO-TSFNN模型的训练误差平方和下降更迅速,终值更小,训练效果更好。对于IPSO-TSFNN和TSFNN的检测样本输出如图10所示,从检测结果图可以看出,IPSO-TSFNN网络输出与真实的测试输出更逼近,实际判别值和标准级别值相差无几。

[0140] 客户端如图11所示。

[0141] 客户端页面中有查看数据显示、模式切换、手动控制。本智能家居室内空气质量检测、评价与监控系统中采用智能控制和手动控制两种策略,可供用户自由选择。当用户点击客户端的启用智能控制后,系统将进入智能控制模式。系统检测装置根据实时采回的数据由预先编入的控制策略对家中的空调、加湿器、空气净化器、卷帘窗、灯光进行智能控制,从而使室内空气质量保持在一个较好的状态下。当用户点击客户端的启用手动控制后,系统将进入手动控制模式。这种模式下,系统将失去对家电的智能控制,由用户通过客户端的按钮对家中的空调、加湿器、空气净化器、卷帘窗、灯光、电视机进行控制。

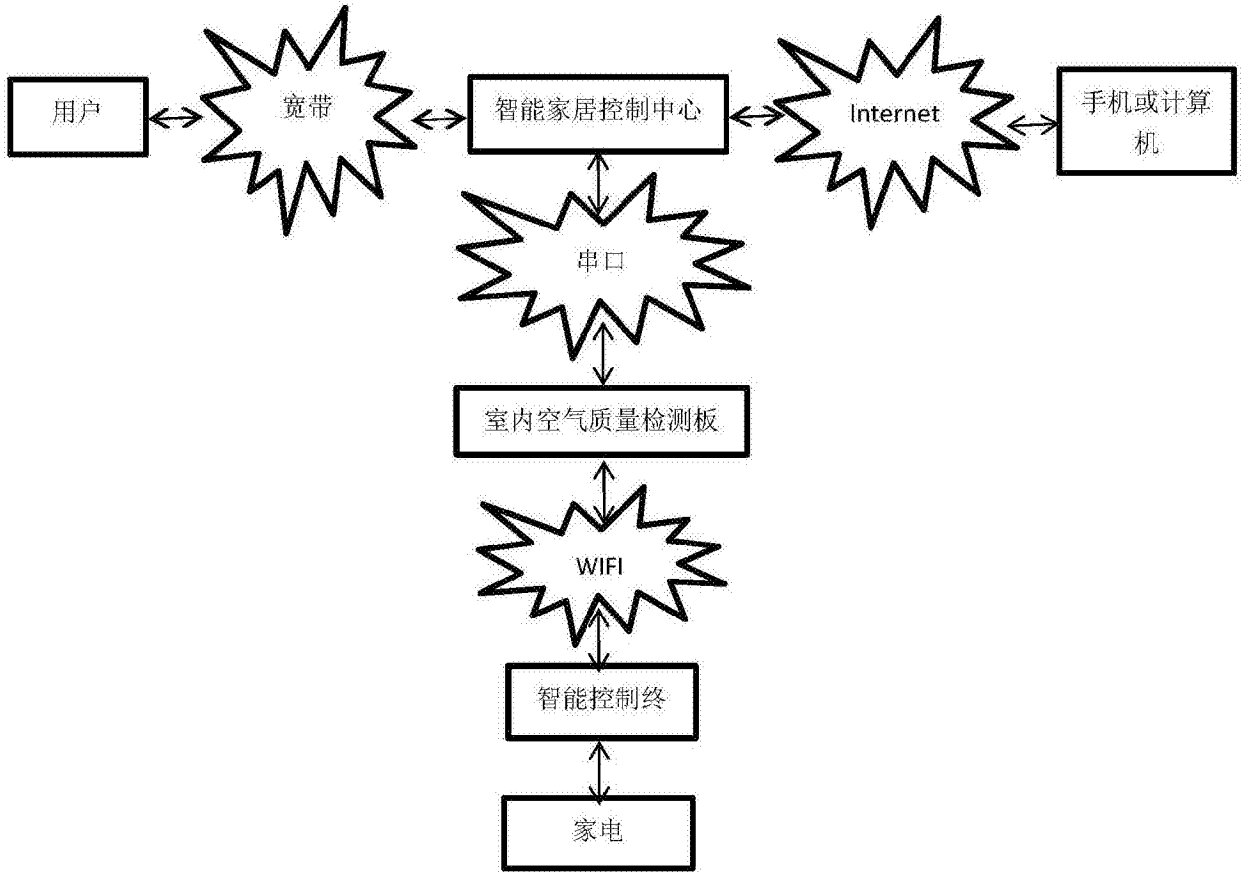


图1

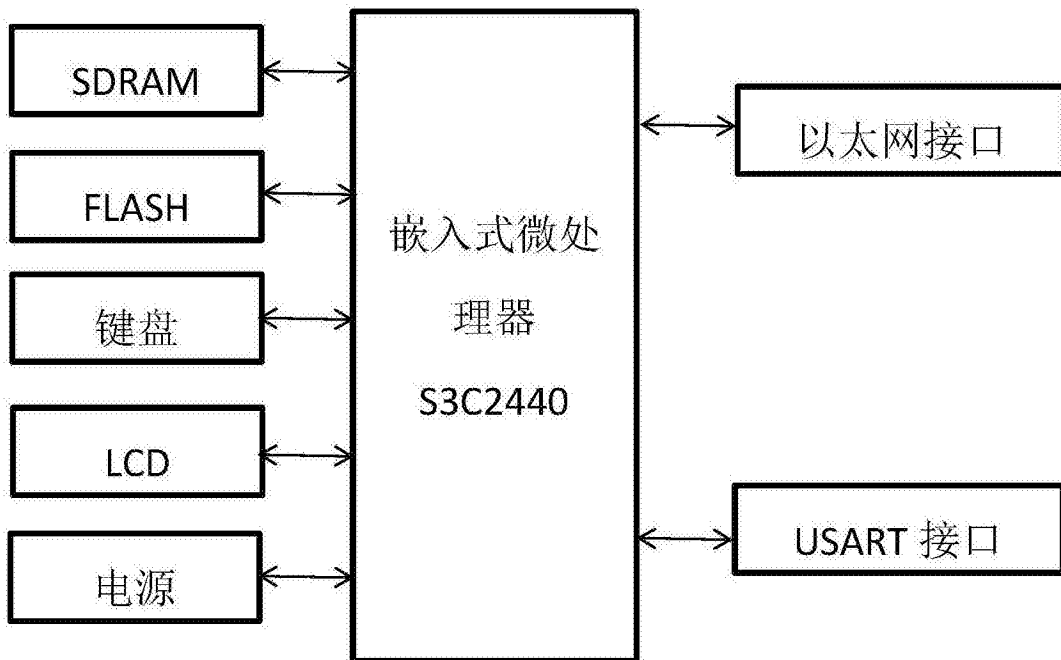


图2

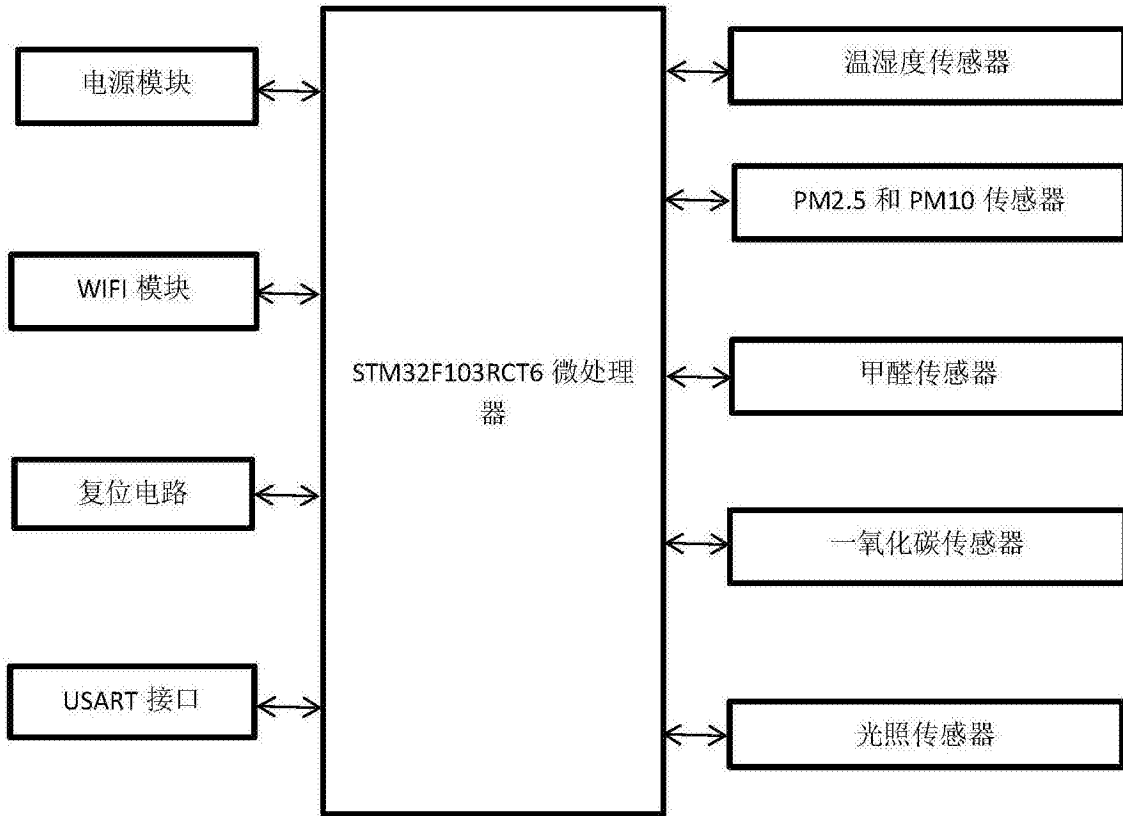


图3

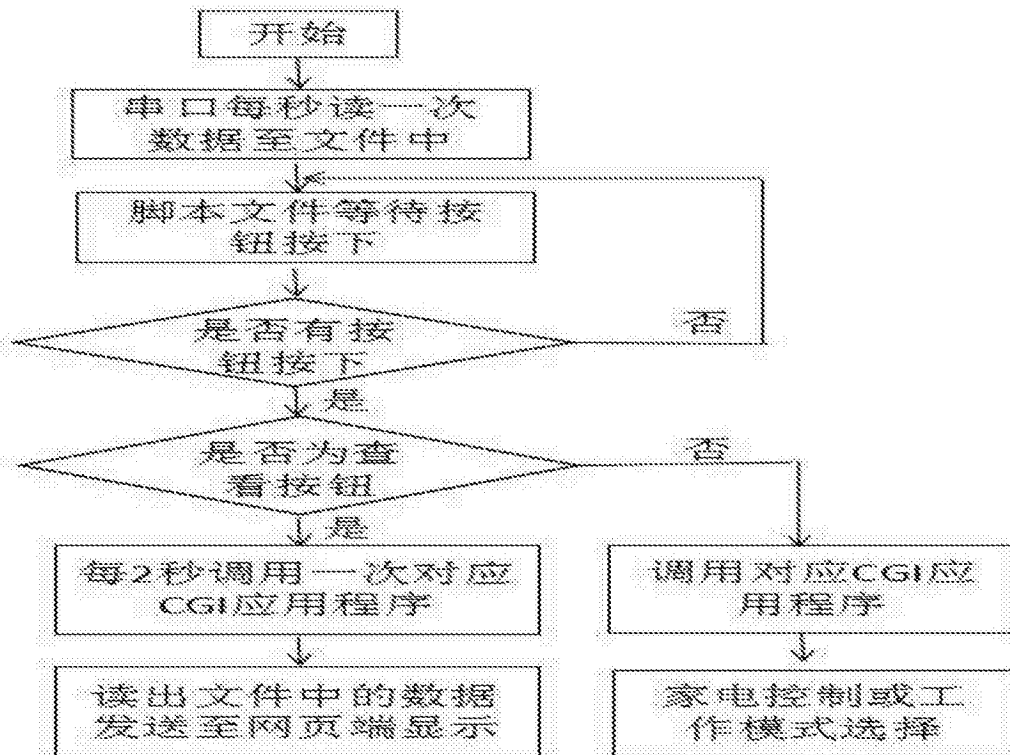


图4

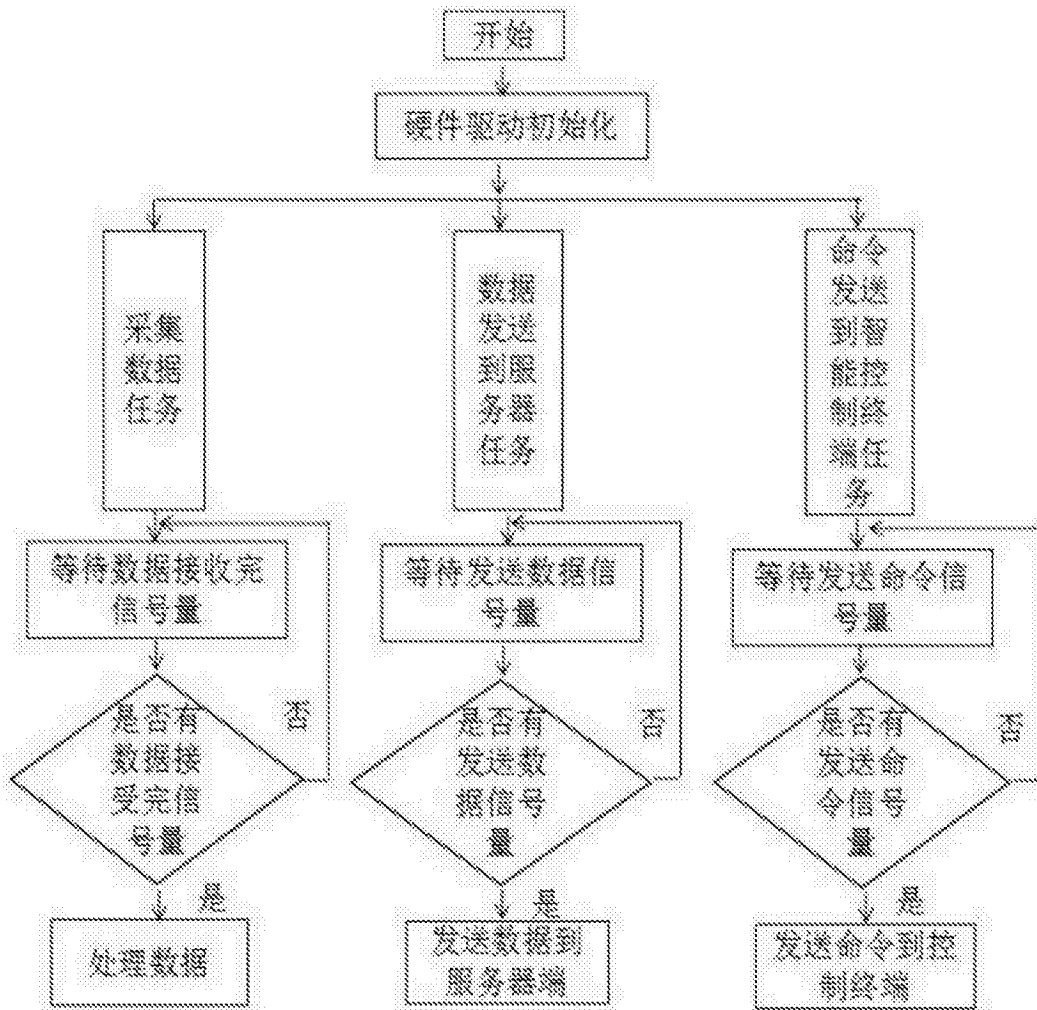


图5

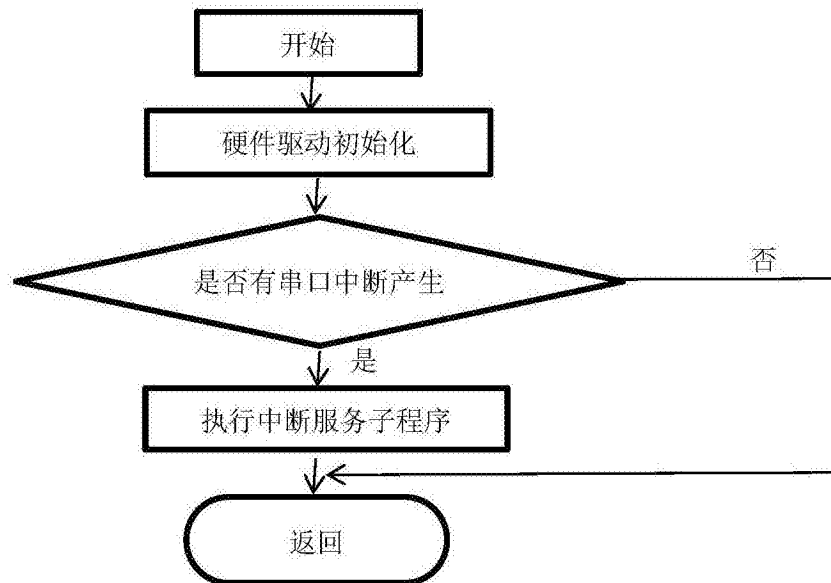


图6

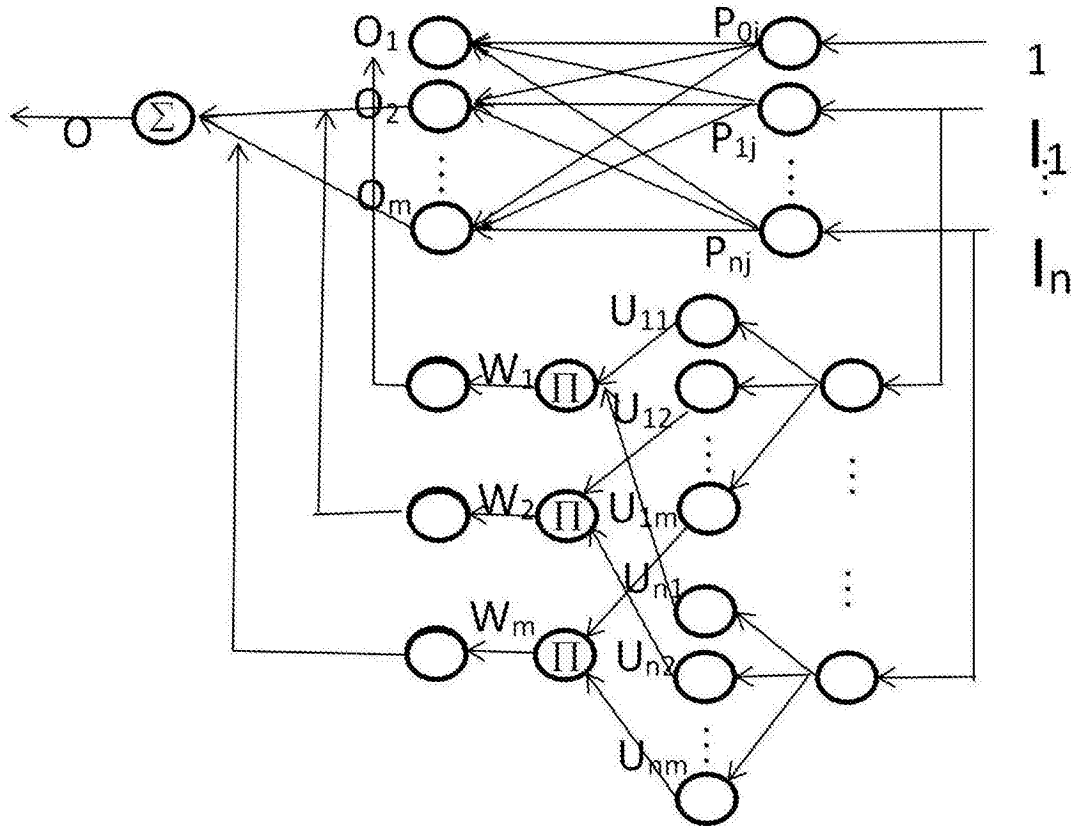


图7

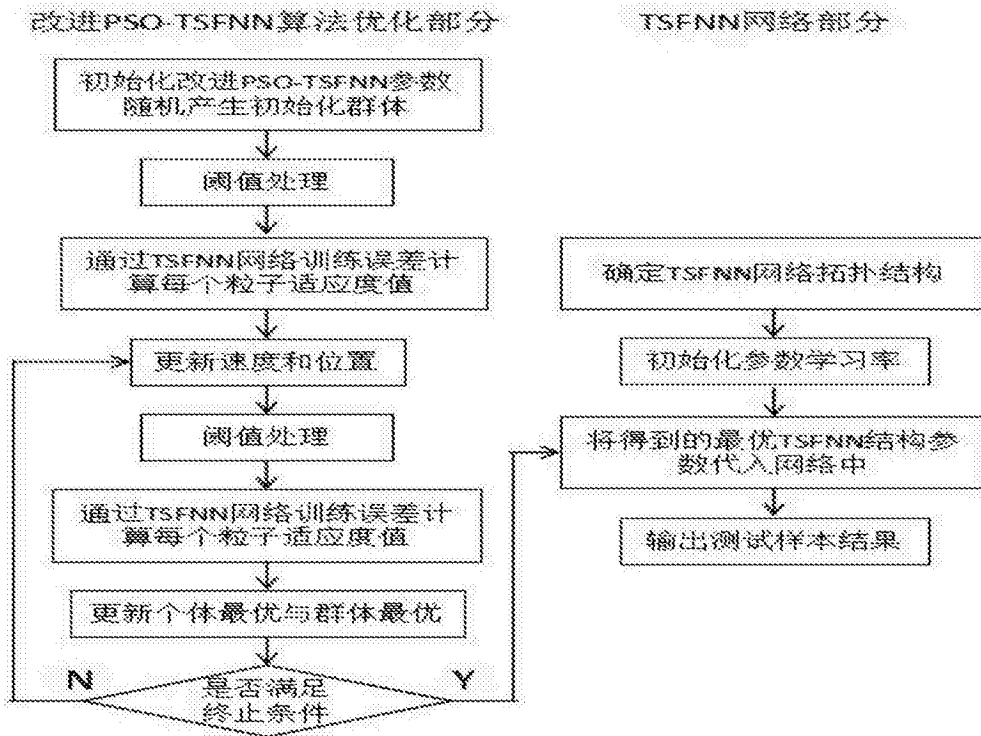


图8

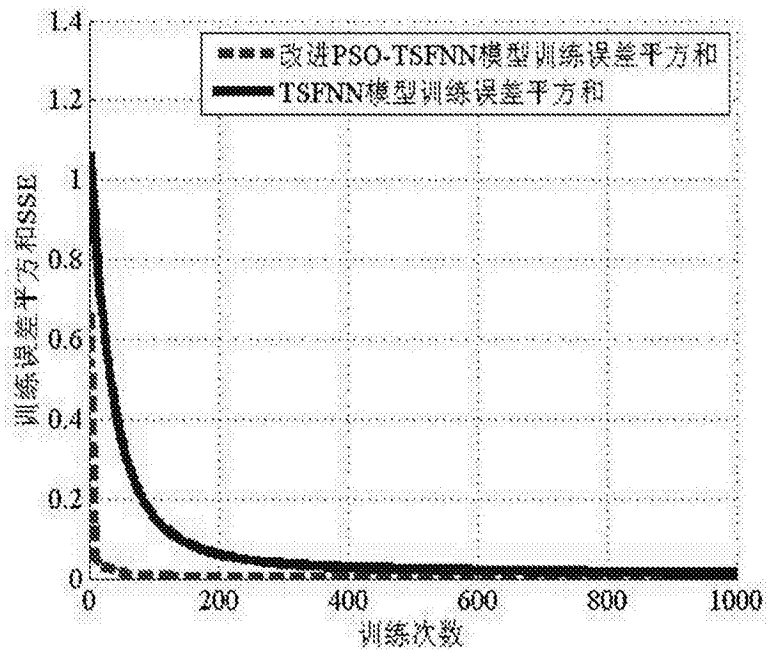


图9

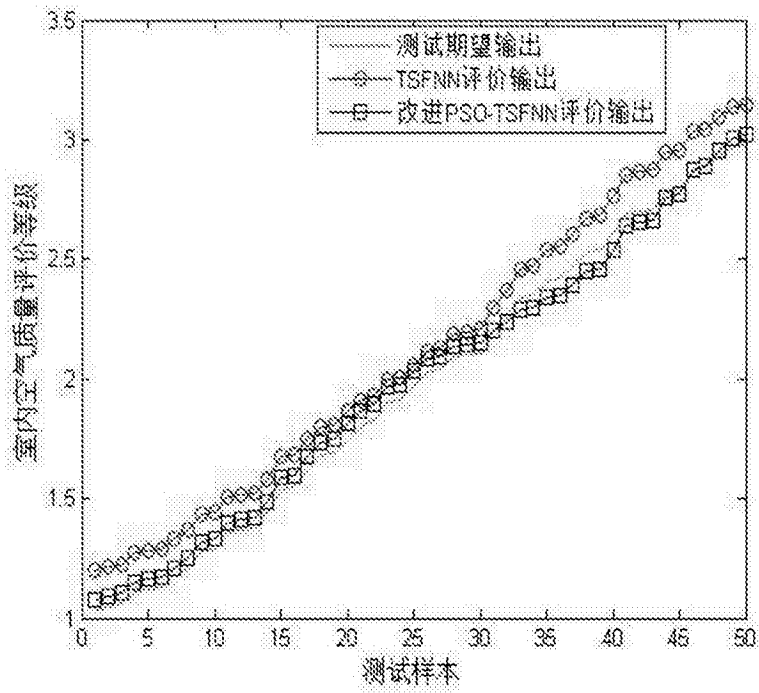
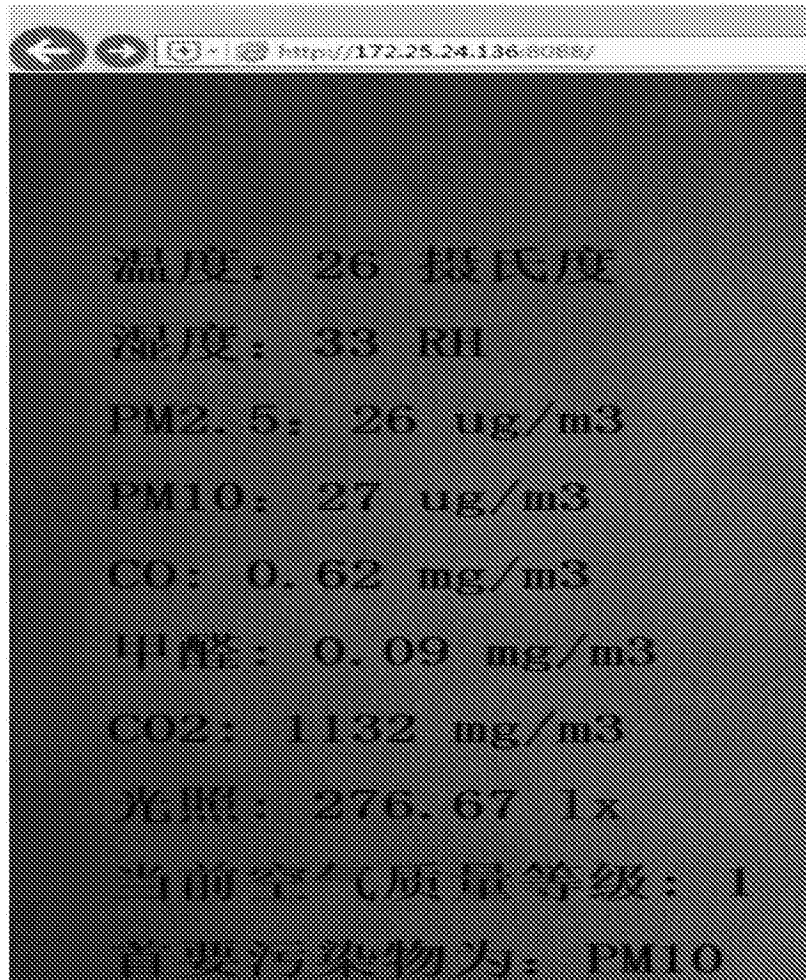


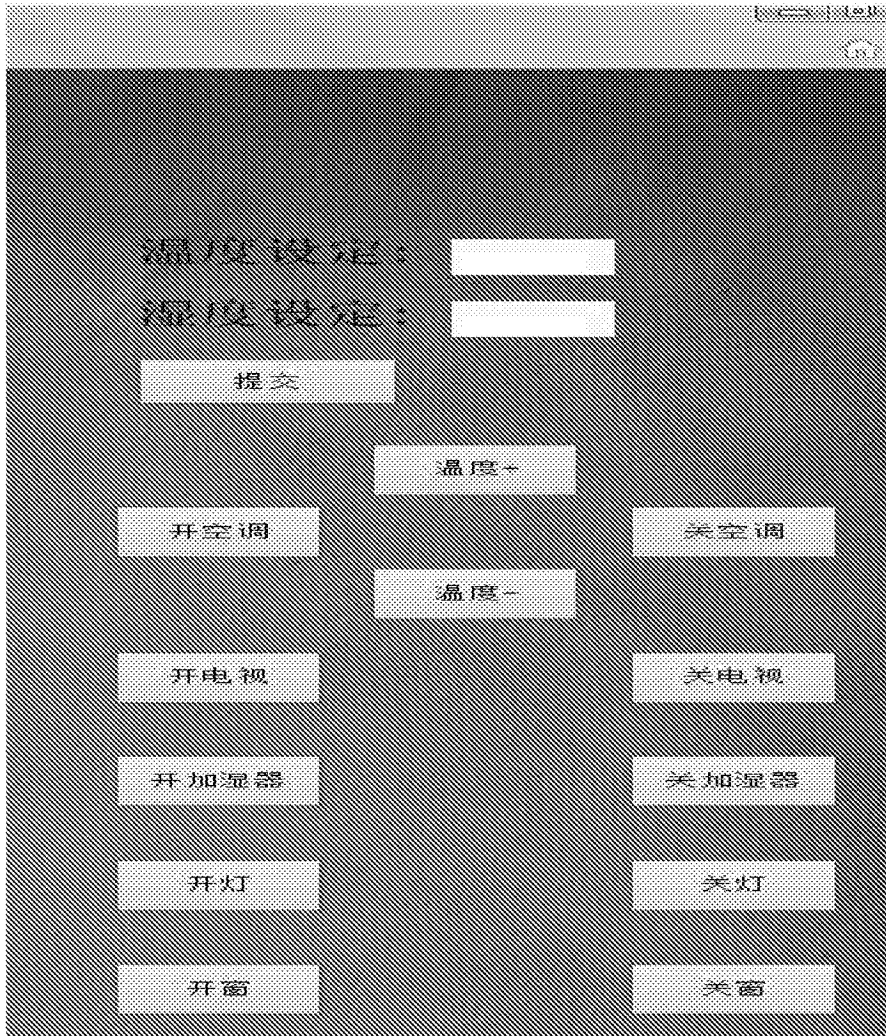
图10



(a)



(b)



(c)

图11