

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2023 年 5 月 25 日 (25.05.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/087906 A1

(51) 国际专利分类号:
G05D 23/19 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/120450

(22) 国际申请日: 2022 年 9 月 22 日 (22.09.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202111388986.0 2021 年 11 月 22 日 (22.11.2021) CN

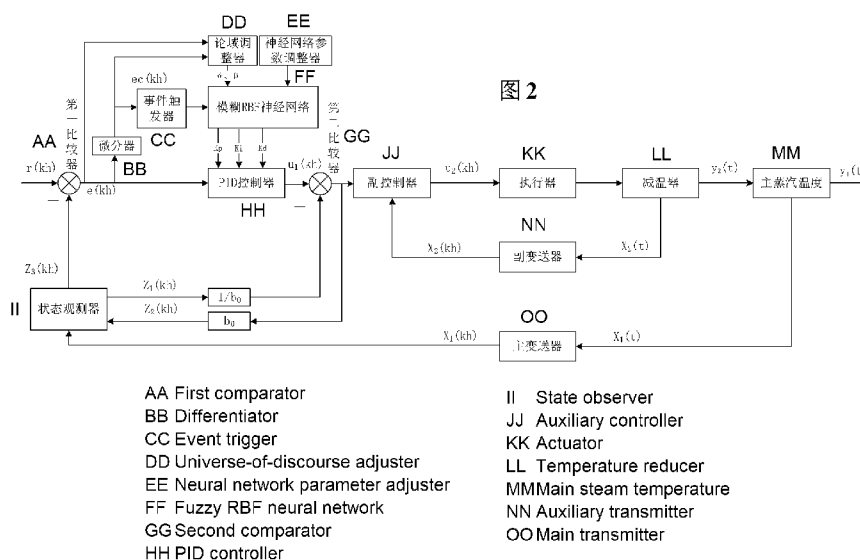
(71) 申请人: 江苏科技大学 (JIANGSU UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市京口区梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。

(72) 发明人: 杜昭平 (DU, Zhaoping); 中国江苏省镇江市京口区梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。 方雨帆 (FANG, Yufan); 中国江苏省镇江市京口区梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。 杨晓飞 (YANG, Xiaofei); 中国江苏省镇江市京口区梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。 李建祯 (LI, Jianzhen); 中国江苏省镇江市京口区梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。 邹治林 (ZOU, Zhilin); 中国江苏省镇江市京口区梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。 沈帅 (SHEN, Shuai); 中国江苏省镇江市京口区梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。

(74) 代理人: 南京经纬专利商标代理有限公司 (NANJING JINGWEI PATENT & TRADEMARK AGENCY CO., LTD.); 中国江苏省南京市鼓楼区中山路 179 号 12 楼 B 座, Jiangsu 210005 (CN)。

(54) Title: FUZZY NEURAL NETWORK TEMPERATURE CONTROL SYSTEM AND METHOD BASED ON EVENT TRIGGER

(54) 发明名称: 一种基于事件触发的模糊神经网络温度控制系统及方法



(57) Abstract: A fuzzy neural network temperature control system based on an event trigger. An output end of a main steam object is connected to an input end of a main transmitter; an output end of the main transmitter is connected to an input end of an event trigger; an output end of the event trigger is connected to an input end of a fuzzy RBF neural network; an output end of the fuzzy RBF neural network is connected to an input end of a PID controller; an output end of the PID controller is connected to an input end of an auxiliary controller; an output end of the auxiliary controller is connected to an input end of an actuator; an output end of the actuator is connected to an input end of the temperature reducer; an output end of the temperature reducer is connected to an input end of the main steam object and an input end of an auxiliary transmitter; and an output end of the auxiliary transmitter is connected to the input end of the auxiliary controller.

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种基于事件触发的模糊神经网络温度控制系统, 包括: 主蒸汽对象的输出端与主变送器的输入端连接; 主变送器的输出端与事件触发器的输入端连接; 事件触发器的输出端与模糊RBF神经网络的输入端连接; 模糊RBF神经网络的输出端与PID控制器的输入端连接; PID控制器的输出端与副控制器的输入端连接; 副控制器的输出端与执行器的输入端连接; 执行器的输出端与减温器的输入端连接; 减温器的输出端分别与主蒸汽对象的输入端、副变送器的输入端连接; 副变送器的输出端与副控制器的输入端连接。

一种基于事件触发的模糊神经网络温度控制系统及方法

技术领域

本发明涉及火电发电温度控制技术领域，具体涉及计一种基于事件触发的模糊 RBF 神经网络 PID 控制的火电厂主蒸汽温度控制系统和控制方法。

背景技术

主蒸汽温度是火电厂锅炉热工过程控制的关键参数。根据火电厂运行人员的经验,当机组负荷扰动比较大时,运行人员操作不当很容易造成事故的发生,严重时导致过热器超温,甚至可能出现过热器漏泄而使机组停机,严重影响机组运行的安全和稳定。汽包锅炉主蒸汽温度通常采用常规串级控制系统存在大惯性、延迟性、非线性而提出改进控制策略的设想。主蒸汽温度过高或者过低主下列因素:主要有主蒸汽流量大小、尾部烟道过热器布置结构,以及过热器的类型、换热方式、烟气流量、传热方式等因素有关系;从机组运行控制过程来看:主蒸汽温度超温或者过低主要由运行人员监视参数不利和操作不当造成的;从主蒸汽温度控制系统结构来看,很大程度上是由于设计上存在参数整定不当所引起的。主蒸汽温度控制不好不但影响机组的安全和稳定运行,而且对机组相应的设备尤其是过热器和气轮机的寿命影响重大,尤其温度低不仅会损坏气轮机末级叶片,严重发生水击现象。因此,主蒸汽温度是火电运行人员监视参数需要单独设置一个运行专员岗位来对主蒸汽温度进行控制,同样热工技术人员在日常行和维护中根据主蒸汽温度控制曲线来分析控制系统存在的不足进而提出完善的控制策略或者需要重新进行设计。锅炉主蒸汽温度优良的品质是现代大容量、高参数火电机组必备的性能,从设计、安装、调试、检测、运行等环节都贯穿于整个控制系统的集成过程以及对应的 DCS 系统平台是否完善;因此,安全、稳定、有效的锅炉主蒸汽温度控制系统对火电锅炉过热器设备和汽轮机运行非常重要。

目前火电厂常规的主蒸汽温度控制一般结合前馈补偿和串级控制系统等策略,且串级控制系统的设计方法是:其主、副控制器采 PID 控制器。通常采用的

比例、积分、微分主蒸汽温度串级控制系统,在投入运行之前,首先要对比例、积分、微分三个参数进行整定,不仅有主回路 PID 参数的整定过程,还有副回路参数的整定过程;当投入运行之后,比例、积分、微分参数基本不在改变,但当机机组工况发生变化时,比例、积分、微分参数不在适合控制的需要,需要离线整定。副控制器接受减温器输出的状态信号和主控制器输出信号。当过热气温升高时,主控制器输出减小,副控制器输出增加,减温水量增加,过热气温下降。

如图 1 所示,上述串级控制系统中具有内、外两个回路,外回路由主蒸汽对象、主变送器、状态观测器、主控制器以及整个内回路构成的。副回路包括副检测变送器、副控制器、执行器、减温水阀门、减温器、过热器等。此外内回路还是一个随动控制系统,副回路需要以外回路主控制器的输出为设定值,并利用副控制器的输出来控制执行器动作,实现对减温器的控制。因为副回路迟延和惯性较小,因此它的控制过程是稳定的。当减温水发生扰动时或减温器后的过热器出口蒸汽温度发生变化而引起导前汽温变化时,系统能及时调整,快速稳定减小扰动、特别是减温水扰动对过热汽温的影响;相对于内回路,外回路是一个低速回路,它的主要任务是维持主汽温等于给定值。主蒸汽温度有着复杂的动态和强耦合特性。上面所述常规的 PID 控制仅仅关注控制回路中单个输入输出变量之间的关系,而无法对强耦合或者次强耦合的输入输出变量之间的关系予以补偿。在实际运行中,一方面由于副控制器的不断调节,使得控制阀等执行器频繁操作,降低了使用寿命;另一方面,这种常规的主汽温控制策略,采用固定参数或分段 PID 构造控制器,没有完全考虑主汽温在变负荷下模型变化的影响,控制效果仍会很不理想,严重影响了机组的经济性和安全性。

发明内容

本发明提供了一种基于事件触发的模糊神经网络温度控制系统及方法,以解决现有技术中主汽温在变负荷下控制不理想,影响机组安全性的问题。

本发明提供了一种基于事件触发的模糊神经网络温度控制系统,包括:外环控制回路、内环控制回路,所述外环控制回路与内环控制回路构成串级控制回路;

所述外环控制回路包括:主控制器、主蒸汽对象、主变送器;

所述主控制器包括:事件触发器、模糊 RBF 神经网络、PID 控制器;

所述内环控制回路包括：副控制器、执行器、减温器、副变送器；

所述主蒸汽对象的输出端与所述主变送器的输入端连接；所述主变送器的输出端经与所述事件触发器的输入端连接；所述事件触发器的输出端与模糊 RBF 神经网络的输入端连接；所述模糊 RBF 神经网络输出端与所述 PID 控制器的输入端连接；所述 PID 控制器的输出端与所述副控制器的输入端连接；所述副控制器的输出端与所述执行器的输入端连接；所述执行器的输出端与所述减温器的输入端连接；所述减温器的输出端分别与所述主蒸汽对象的输入端、副变送器的输入端连接；所述副变送器的输出端与所述副控制器的输入端连接。

进一步地，所述外环控制回路还包括：状态观测器；

所述主变送器的输出端与所述状态观测器的输入端连接；所述状态观测器的输出端分别与所述事件触发器的输入端、副控制器的输入端连接。

进一步地，所述主控制器还包括：论域调整器、神经网络参数调整器；

所述状态观测器的输出端与所述论域调整器的输入端连接；所述论域调整器的输出端与所述模糊 RBF 神经网络的输入端连接；所述神经网络参数调整器与所述模糊 RBF 神经网络连接。

本发明还提供了一种基于事件触发的模糊神经网络温度控制系统的控制方法，包括：外环控制回路控制方法、内环控制回路控制方法；其中：

所述外环控制回路控制方法步骤如下：

步骤 A1：通过主变送器对主蒸汽对象进行温度采集，获取主蒸汽温度信号；

步骤 A2：将主蒸汽温度信号与标准温度信号进行比较，计算温度偏差量、温度偏差变化率；

步骤 A3：事件触发器根据温度偏差变化率进行事件触发判断，当事件触发时，事件触发器输出接收的温度偏差变化率；当事件不触发时，事件触发器不输出信号；

步骤 A4：当模糊 RBF 神经网络接收到温度偏差变化率时，根据模糊 RBF 神经网络规则对 PID 控制器的三个参数进行整定，直至 PID 控制器的参数达到最优；

步骤 A5：PID 控制器根据控制参数输出外环回路控制信号，完成外环控制

回路控制；

所述内环控制回路控制方法步骤如下：

步骤 B1：通过副变送器对减温器进行温度采集，获取减温器温度信号；

步骤 B2：副控制器根据所述外环回路控制信号以及减温器温度信号产生内环控制信号；

步骤 B3：执行器根据内环控制信号动作，完成内环控制回路控制。

进一步地，所述步骤 A2 中还包括：状态观测器根据主蒸汽温度信号产生温度反馈补偿信号；

所述步骤 B2：副控制器根据所述外环回路控制信号、温度反馈补偿信号以及减温器温度信号产生内环控制信号。

进一步地，所述步骤 A3 中还包括：论域调整器根据温度偏差量、温度偏差变化率，调节模糊 RBF 神经网络中的伸缩因子；

神经网络参数调整器调节模糊 RBF 神经网络中的连接权、隶属度函数中心和基宽。

进一步地，所述事件触发器的触发条件为：

$$||de/dt((k+i)h)-de/dt(kh)|| \leq \sigma$$

其中， $de/dt((k+i)h)$ 是当前时刻 $(k+i)$ 的温度偏差变化率， $de/dt(kh)$ 是上一时刻 (k) 的温度偏差变化率， $||$ 表示范数， σ 为 $(0,1)$ 的有界正数， $i=1,2,\dots$ 为正整数。

进一步地，所述步骤 B3 中执行器根据内环控制信号动作具体为：执行器对设置在执行器与减温器相连通的减温水管道上的减温阀进行调节，调节流入减温水管道中的减温水的流量。

进一步地，所述副控制器为 PI 控制方式。

本发明的有益效果：

(1) 串级控制的副控制器采用传统 PI 控制，主控制器采用基于事件触发器和模糊 RBF 神经网络的 PID 控制器，能够根据当前时刻主蒸汽温度的输出和设定值比较，得到系统的温度的偏差和偏差变化率，然后将得到的这两个参数输入到模糊 RBF 神经网络中，通过模糊 RBF 神经网络规则器对 PID 的三个参数进

行在线自我整定，并最终实现最为理想的控制效果；

(2) 将事件触发器引入主控制器中，事件触发器用于依据当前时刻接收到的同步信号和其内部的事件触发机制规则来判断输出值，并通过事件触发器最新的输出值与最新的接收值之间的比较来决定接下来主控制器的输出值，可以减少主蒸汽温度的波动幅度，提高调节品质，同时可以减少调节阀门的调节次数，提高了使用寿命。

附图说明

通过参考附图会更加清楚的理解本发明的特征和优点，附图是示意性的而不理解为对本发明进行任何限制，在附图中：

图 1 为传统串级火电厂串级温度控制系统的结构示意图；

图 2 为本发明结构示意图；

图 3 为本发明论域调整器的模糊论域变化示意图。

具体实施方式

为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

本发明实施例提供一种基于事件触发的模糊神经网络温度控制系统，如图 2 所示，包括：外环控制回路、内环控制回路，外环控制回路与内环控制回路构成串级控制回路；

外环控制回路包括：主控制器、主蒸汽对象、主变送器；

主控制器包括：事件触发器、模糊 RBF 神经网络、PID 控制器；

内环控制回路包括：副控制器、执行器、减温器、副变送器；

主蒸汽对象的输出端与主变送器的输入端连接；主变送器的输出端经与事件触发器的输入端连接；事件触发器的输出端与模糊 RBF 神经网络的输入端连接；模糊 RBF 神经网络输出端与 PID 控制器的输入端连接；PID 控制器的输出

端与副控制器的输入端连接；副控制器的输出端与执行器的输入端连接；执行器的输出端与减温器的输入端连接；减温器的输出端分别与主蒸汽对象的输入端、副变送器的输入端连接；副变送器的输出端与副控制器的输入端连接。

主蒸汽温度信号 $X1(t)$ 经主变送器时间采样后得到温度采样信号 $X1(kh)$ ，将得到的主蒸汽温度信号 $X1(kh)$ 与标准温度信号 $r(kh)$ 在第一比较器比较后得到温度偏差变化量 e ，温度的偏差变化量 e 经微分器后得到温度偏差变化率 ec 作为事件触发器的输入；经筛选输出的温度偏差变化量 ec 输出到模糊 RBF 神经网络后，神经网络参数调整器工作，输出最优的 PID 控制器的参数；PID 控制器输出控制信号 $u1(kh)$ 作为副控制器的输入端，副控制器输出的控制信号 $u2(kh)$ 控制执行器动作，执行器控制减温器工作来调节蒸汽温度；减温器输出的温度信号 $X2(t)$ 经副变送器时间采样后的温度采样信号 $X2(kh)$ 输出到副控制器，减温器输出的温度信号 $y2(t)$ 作为主蒸汽温度的输入端调节主蒸汽温度。

外环控制回路还包括：状态观测器；

主变送器的输出端与状态观测器的输入端连接；状态观测器的输出端分别与第一比较器的输入端、副控制器的输入端连接。第一比较器的输出温度偏差量信号 e 与微分器的输入端相连，温度偏差变化量经微分器后输出的温度偏差变化率信号 ec 作为事件触发器的输入端。

状态观测器的输出端与第二比较器相连，第二比较器的输出端和状态观测器的另外一个输入端相连， $b0$ 是一个特殊的参数，对控制量起到补偿的作用。

状态观测器的输入为温度采样信号 $X1(kh)$ 、第二比较器的输出信号 $Z2(kh)$ ，状态观测器的输出补偿信号 $Z1(kh)$ 作为第二比较器的输入端，主蒸汽温度信号 $Z3(kh)$ 作为第一比较器的输入端与标准温度信号 $r(kh)$ 进行比较得到温度偏差量信号 e ，第一比较器的输出温度偏差量信号 e 与微分器的输入端相连，温度偏差变化量 e 经微分器后输出的温度偏差变化率信号 ec 作为事件触发器的输入端。

主控制器还包括：论域调整器、神经网络参数调整器；

第一比较器的输出端以及微分器的输出端与论域调整器的输入端连接；论域调整器的输出端与模糊 RBF 神经网络的输入端连接；神经网络参数调整器与模糊 RBF 神经网络连接。

如图 3 所示, 论域调整器的两个输入端是温度偏差变化量以及温度偏差变化率, 论域调整器能够根据这两个量的值调整伸缩因子 δ , 其中 $\delta \in [0,1]$, 论域调整能通过伸缩因子 δ 将论域缩小为 $[-\delta E, \delta E]$, 虽然模糊变量数量不变, 但零点附近单位论域上的模糊变量划分密集, 相当于间接增加了模糊控制规则, 提高了控制的灵敏度。同理, 当初始控制阶段误差 e 和误差变化率 e_c 较大时, 可通过伸缩因子 $\beta \in (1, \infty)$ 将论域膨胀为 $(-\beta E, \beta E)$, 有利于加速系统响应, 减少调节时间, 以获得全工况优良的控制性能; 神经网络参数调整器调节模糊 RBF 神经网络中的连接权、隶属度函数中心和基宽。

本发明还提供了一种基于事件触发的模糊神经网络温度控制系统的控制方法, 包括: 外环控制回路控制方法、内环控制回路控制方法; 其中:

外环控制回路控制方法步骤如下:

步骤 A1: 通过主变送器对主蒸汽对象进行温度采集, 获取主蒸汽温度信号;

步骤 A2: 将主蒸汽温度信号与标准温度信号进行比较, 计算温度偏差量、温度偏差变化率; 状态观测器根据主蒸汽温度信号产生温度反馈补偿信号;

步骤 A3: 事件触发器根据温度偏差变化率进行事件触发判断, 当事件触发时, 事件触发器输出接收的温度偏差变化率; 当事件不触发时, 事件触发器不输出信号;

事件触发器的触发条件为:

$$\|de/dt((k+i)h)-de/dt(kh)\| \leq \sigma$$

其中, $de/dt((k+i)h)$ 是当前时刻 $(k+i)$ 的温度偏差变化率, $de/dt(kh)$ 是上一时刻 (k) 的温度偏差变化率, $\|\cdot\|$ 表示范数, σ 为 $(0,1)$ 的有界正数, $i=1,2,\dots$ 为正整数。事件触发规则的基本设计思路是: 计算当前时刻接受的微分偏差信号值与上一时刻接受的微分偏差信号值, 将这两个值进行求差比较, 若大于设定好的阈值, 则认为出发了“事件”, 否则新接收的信号就不被传输; 在本例中, 若触发函数满足小于等于 σ 的条件, 则认为没有发生“事件”, 事件触发器新接受的信号 $de/dt(k+i)$ 不会输出, 若触发函数满足大于 σ 的条件, 则认为有发生“事件”, 事件触发器会将新接受的信号 $de/dt(k+i)$ 输出至模糊 RBF 神经网络, 用于更新模糊 RBF 神经网络输出的 PID 控制器的三个参数, 调节被控过程的控制阀动作, 实

现对整个系统控制；

步骤 A4：当模糊 RBF 神经网络接收到温度偏差变化率时，根据模糊 RBF 神经网络规则对 PID 控制器的三个参数进行整定，直至 PID 控制器的参数达到最优；

步骤 A5：PID 控制器根据控制参数输出外环回路控制信号，完成外环控制回路控制；

PID 控制器是根据模糊 RBF 神经网络输出的 K_p 、 K_i 、 K_d 参数值来作为 PID 控制器的参数值。模糊 RBF 神经网络对 PID 的三个参数进行在线自我整定过程如下：

(1) 初始化改控制器中隶属度函数的中心 c 、基宽 b 、网络各层系数的初始值 w 、学习速率 η 和惯性系数 α ；

(2) 通过获得采样获得系统的实际的输出值 $y(k)$ 和输入值 $r(k)$ ，通过计算得出该系统的温度偏差量 $e(k)$ 以及温度偏差变化率 $ec(k)$ ；

(3) 计算出模糊 RBF 神经网络中各层神经网络的输入、输出以及 PID 控制器输出的控制量 $u1(k)$ ，将 $u1(k)$ 加入被控对象中，使之产生下一采样时刻的实际输出值 $y(k+1)$ ；

(4) 更新改控制器中的隶属度函数中心 c 、基宽 b 和网络权值 w ；

(5) 令 $k=k+1$ ，移到下一采样时刻，返回步骤 (1)，再进行重新计算。

内环控制回路控制方法步骤如下：

步骤 B1：通过副变送器对减温器进行温度采集，获取减温器温度信号；

步骤 B2：副控制器根据外环回路控制信号、温度反馈补偿信号以及减温器温度信号产生内环控制信号；

步骤 B3：执行器根据内环控制信号动作，完成内环控制回路控制。

步骤 A3 中还包括：论域调整器根据温度偏差量、温度偏差变化率，调节模糊 RBF 神经网络中的伸缩因子；

神经网络参数调整器调节模糊 RBF 神经网络中的连接权、隶属度函数中心和基宽。

模糊 RBF 神经网络是由神经网络结构实现的模糊控制算法，利用神经网络

参数调整器可以确定和改变模糊 RBF 神经网络的连接权 w_{ij} 、隶属度函数中心 c_{ij} 和基宽 b_{ij} ，该控制器的输出为：

$$\Delta u(k) = k_p e(k) + k_i [e(k) - e(k-1)] + k_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$$

选择增量式 PID 算法为：

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k)$$

其中 $e(k)$ 为第 k 次采样时刻的系统偏差， $u(k)$ 为第 k 次采样时刻的输出值， $\Delta u(k)$ 为第 k 次采样时刻的输出增量；

该系统采用的是有监督学习算法，定义学习的目标函数为：

$$E = \frac{1}{2} [r(k) - y(k)]^2$$

其中 $r(k)$ 和 $y(k)$ 分别为该系统在 kT 时刻的理想输出与实际输出， $r(k)-y(k)$ 表示为迭代步骤 k 的控制误差；

上述控制方法采用梯度下降法进行搜索寻优，输出权 w_{ij} 、隶属度函数中心 c_{ij} 和基宽 b_{ij} 的迭代算法为：

$$w_{ij}(k) = w_{ij}(k-1) + \Delta w_{ij}(k) + \alpha [w_{ij}(k-1) - w_{ij}(k-2)]$$

$$= w_{ij}(k-1) - \eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} + \alpha [w_{ij}(k-1) - w_{ij}(k-2)]$$

$$c_{ij}(k) = c_{ij}(k-1) + \Delta c_{ij}(k) + \alpha [c_{ij}(k-1) - c_{ij}(k-2)]$$

$$= c_{ij}(k-1) - \eta \frac{\partial E}{\partial c_{ij}} + \alpha [c_{ij}(k-1) - c_{ij}(k-2)]$$

$$b_{ij}(k) = b_{ij}(k-1) + \Delta b_{ij}(k) + \alpha [b_{ij}(k-1) - b_{ij}(k-2)]$$

$$= b_{ij}(k-1) - \eta \frac{\partial E}{\partial b_{ij}} + \alpha [b_{ij}(k-1) - b_{ij}(k-2)]$$

其中， k 为迭代步骤； α 为惯性系数， $\alpha \in [0,1]$ ； η 为学习速率， $\eta \in [0,1]$ 。

步骤 B3 中执行器根据内环控制信号动作具体为：执行器对设置在执行器与减温器相连通的减温水管道上的减温阀进行调节，调节流入减温水管道中的减温水的流量。

虽然结合附图描述了本发明的实施例，但是本领域技术人员可以在不脱离

本发明的精神和范围的情况下作出各种修改和变型，这样的修改和变型均落入由所附权利要求所限定的范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种基于事件触发的模糊神经网络温度控制系统，其特征在于，包括：外环控制回路、内环控制回路，所述外环控制回路与内环控制回路构成串级控制回路；

所述外环控制回路包括：主控制器、主蒸汽对象、主变送器；

所述主控制器包括：事件触发器、模糊 RBF 神经网络、PID 控制器；

所述内环控制回路包括：副控制器、执行器、减温器、副变送器；

所述主蒸汽对象的输出端与所述主变送器的输入端连接；所述主变送器的输出端经与所述事件触发器的输入端连接；所述事件触发器的输出端与模糊 RBF 神经网络的输入端连接；所述模糊 RBF 神经网络输出端与所述 PID 控制器的输入端连接；所述 PID 控制器的输出端与所述副控制器的输入端连接；所述副控制器的输出端与所述执行器的输入端连接；所述执行器的输出端与所述减温器的输入端连接；所述减温器的输出端分别与所述主蒸汽对象的输入端、副变送器的输入端连接；所述副变送器的输出端与所述副控制器的输入端连接。

2. 如权利要求 1 所述的基于事件触发的模糊神经网络温度控制系统，其特征在于，所述外环控制回路还包括：状态观测器；

所述主变送器的输出端与所述状态观测器的输入端连接；所述状态观测器的输出端分别与所述事件触发器的输入端、副控制器的输入端连接。

3. 如权利要求 1 所述的基于事件触发的模糊神经网络温度控制系统，其特征在于，所述主控制器还包括：论域调整器、神经网络参数调整器；

所述状态观测器的输出端与所述论域调整器的输入端连接；所述论域调整器的输出端与所述模糊 RBF 神经网络的输入端连接；所述神经网络参数调整器

与所述模糊 RBF 神经网络连接。

4.一种基于事件触发的模糊神经网络温度控制系统的控制方法，其特征在于，包括：外环控制回路控制方法、内环控制回路控制方法；其中：

所述外环控制回路控制方法步骤如下：

步骤 A1：通过主变送器对主蒸汽对象进行温度采集，获取主蒸汽温度信号；

步骤 A2：将主蒸汽温度信号与标准温度信号进行比较，计算温度偏差量、温度偏差变化率；

步骤 A3：事件触发器根据温度偏差变化率进行事件触发判断，当事件触发时，事件触发器输出接收的温度偏差变化率；当事件不触发时，事件触发器不输出信号；

步骤 A4：当模糊 RBF 神经网络接收到温度偏差变化率时，根据模糊 RBF 神经网络规则对 PID 控制器的三个参数进行整定，直至 PID 控制器的参数达到最优；

步骤 A5：PID 控制器根据控制参数输出外环回路控制信号，完成外环控制回路控制；

所述内环控制回路控制方法步骤如下：

步骤 B1：通过副变送器对减温器进行温度采集，获取减温器温度信号；

步骤 B2：副控制器根据所述外环回路控制信号以及减温器温度信号产生内环控制信号；

步骤 B3：执行器根据内环控制信号动作，完成内环控制回路控制。

5.如权利要求 4 基于事件触发的模糊神经网络温度控制系统的控制方法，其特征在于，所述步骤 A2 中还包括：状态观测器根据主蒸汽温度信号产生温度反

馈补偿信号；

所述步骤 B2：副控制器根据所述外环回路控制信号、温度反馈补偿信号以及减温器温度信号产生内环控制信号。

6.如权利要求 4 基于事件触发的模糊神经网络温度控制系统的控制方法，其特征在于，所述步骤 A3 中还包括：论域调整器根据温度偏差量、温度偏差变化率，调节模糊 RBF 神经网络中的伸缩因子；

神经网络参数调整器调节模糊 RBF 神经网络中的连接权、隶属度函数中心和基宽。

7.如权利要求 4 基于事件触发的模糊神经网络温度控制系统的控制方法，其特征在于，所述事件触发器的触发条件为：

$$\|de/dt((k+i)h)-de/dt(kh)\| \leq \sigma$$

其中， $de/dt((k+i)h)$ 是当前时刻 $(k+i)$ 的温度偏差变化率， $de/dt(kh)$ 是上一时刻 (k) 的温度偏差变化率， $\|\cdot\|$ 表示范数， σ 为 $(0,1)$ 的有界正数， $i=1,2,\dots$ 为正整数。

8.如权利要求 4 基于事件触发的模糊神经网络温度控制系统的控制方法，其特征在于，所述步骤 B3 中执行器根据内环控制信号动作具体为：执行器对设置在执行器与减温器相连通的减温水管道上的减温阀进行调节，调节流入减温水管道中的减温水的流量。

9.如权利要求 4 基于事件触发的模糊神经网络温度控制系统的控制方法，其特征在于，所述副控制器为 PI 控制方式。

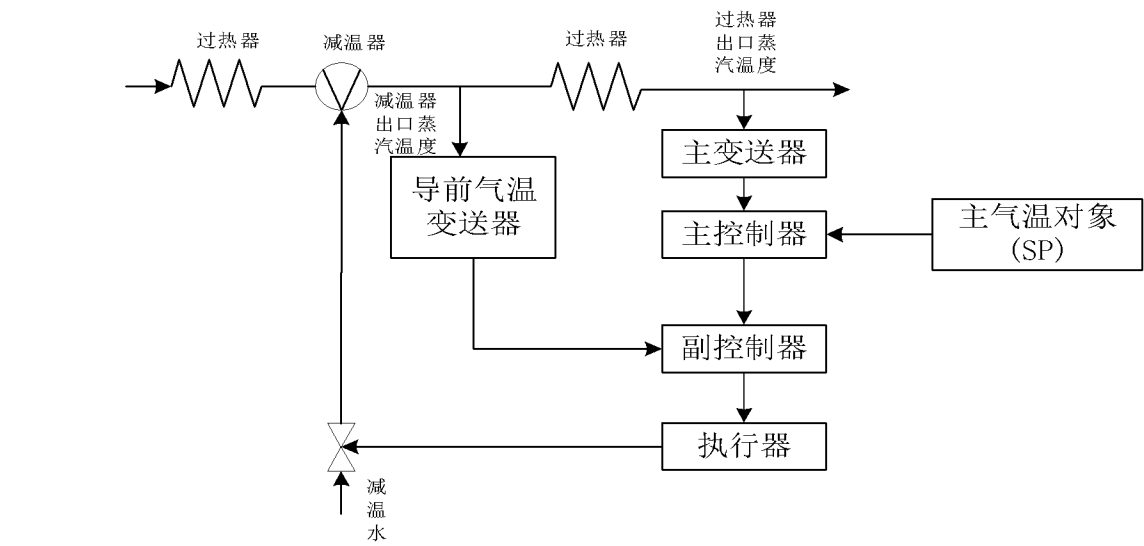


图 1

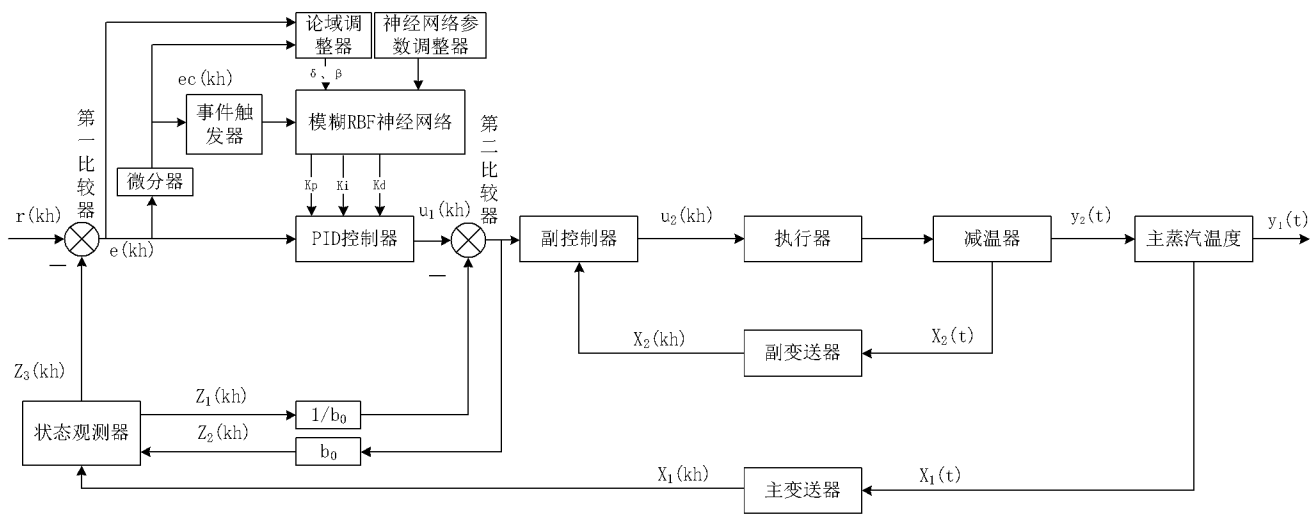


图 2

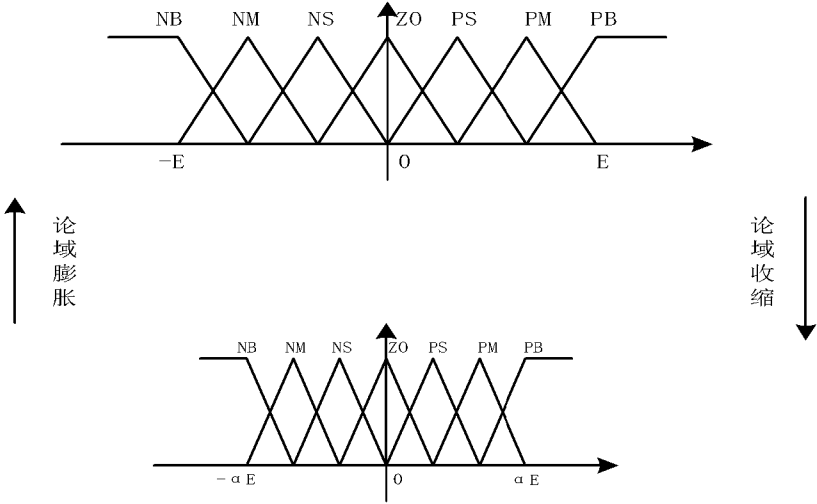


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/120450

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05D 23/19(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G05D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; CNKI; VEN; ENTXT; ENTXTC: 主蒸汽, 事件, 触发, 神经网络, 模糊, 温度, PID, RBF, main steam, temperature, fuzzy neural network

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 114089795 A (JIANGSU UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 25 February 2022 (2022-02-25) claims 1-9	1-9
Y	刘璐璐 (LIU, Lulu). "基于模糊神经网络的电厂主蒸汽温度复合控制策略研究 (Research of Control Policy on Main Steam Temperature of Thermal Power Plant Based on Fuzzy Neural Network)" 中国优秀硕士学位论文全文数据库 (Chinese Master's Theses Full-Text Database), 15 January 2014 (2014-01-15), text, pp. 23-37	1-9
Y	CN 105334888 A (JIANGSU UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 17 February 2016 (2016-02-17) description, paragraphs [0037]-[0053], and figures 1-4	1-9
A	CN 111812968 A (HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 23 October 2020 (2020-10-23) entire document	1-9
A	CN 109459928 A (SHAANXI UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 12 March 2019 (2019-03-12) entire document	1-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

03 November 2022

Date of mailing of the international search report

14 November 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/120450

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 112799297 A (HUANENG POWER INTERNATIONAL INC., YINGKOU POWER PLANT) 14 May 2021 (2021-05-14) entire document	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/120450

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
CN	114089795	A	25 February 2022	None		
CN	105334888	A	17 February 2016	CN	105334888	B 15 September 2017
CN	111812968	A	23 October 2020	CN	111812968	B 22 April 2022
CN	109459928	A	12 March 2019	CN	109459928	B 08 October 2021
CN	112799297	A	14 May 2021	None		

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/120450

A. 主题的分类

G05D 23/19(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G05D

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称,和使用的检索词(如使用))

CNABS;CNTXT;CNKI;VEN;ENTXT;ENTXTC:主蒸汽,事件,触发,神经网络,模糊,温度,PID,RBF,main steam,temperature, fuzzy neural network

C. 相关文件

类 型*	引用文件,必要时,指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 114089795 A (江苏科技大学) 2022年2月25日 (2022 - 02 - 25) 权利要求1-9	1-9
Y	刘璐璐,“基于模糊神经网络的电厂主蒸汽温度复合控制策略研究” 《中国优秀硕士学位论文全文数据库》,2014年1月15日 (2014 - 01 - 15), 正文第23-37页	1-9
Y	CN 105334888 A (江苏科技大学) 2016年2月17日 (2016 - 02 - 17) 说明书第[0037]-[0053]段,附图1-4	1-9
A	CN 111812968 A (合肥工业大学) 2020年10月23日 (2020 - 10 - 23) 全文	1-9
A	CN 109459928 A (陕西科技大学) 2019年3月12日 (2019 - 03 - 12) 全文	1-9
A	CN 112799297 A (华能国际电力股份有限公司营口电厂) 2021年5月14日 (2021 - 05 - 14) 全文	1-9

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件,或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布,与申请不相抵触,但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件,单独考虑该文件,认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件,当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时,要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2022年11月3日

国际检索报告邮寄日期

2022年11月14日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

高辉辉

电话号码 (86-512)88997234

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/120450

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	114089795	A	2022年2月25日	无	
CN	105334888	A	2016年2月17日	CN	105334888 B 2017年9月15日
CN	111812968	A	2020年10月23日	CN	111812968 B 2022年4月22日
CN	109459928	A	2019年3月12日	CN	109459928 B 2021年10月8日
CN	112799297	A	2021年5月14日	无	