

中央空调冷冻水系统的专家 PID 控制^①

严 宇, 蒋念平

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘要: 对于具有非线性、大滞后和时变性的中央空调冷冻水系统, 根据专家经验设计了专家 PID 控制器。MATLAB 仿真研究表明, 专家 PID 控制器同常规 PID 控制器相比, 具有较高的动态特性, 能够达到理想的控制效果。

关键词: 冷冻水系统; 专家 PID 控制; 计算机仿真

Expert PID Control of the Central Air Conditioning Chilled Water System

YAN Yu, JIANG Nian-Ping

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Aiming at the central air conditioning chilled water system is a nonlinear, large delay and time variability system, expert PID controller which is based on expert experience is designed. The MATLAB simulation shows that expert PID controller has higher dynamic characteristics than the conventional PID controller. It can achieve the ideal control effort.

Key words: chilled water system; expert pid control; computer simulation

中央空调是现代建筑中的能耗大户。传统的中央空调系统是根据最大冷负荷, 采用冷冻水定流量技术来进行设计的。但是, 在实际生活中, 空调冷负荷是不断变化的, 如果采用定流量水系统, 除了浪费大量能量外, 也容易造成蒸发器的过冷状况。因此, 现代建筑都采用冷冻水系统变流量调节, 通过变频器来调节水泵, 从而控制水流量。传统的变频调节大多采用 PID 控制。冷冻水系统是非线性、大滞后及时变的复杂系统, 传统的 PID 调节不仅费时费功, 性能指标也难以令人满意, 不能达到理想的控制效果。而采用专家经验设计的专家 PID 控制器, 则可以获得良好的控制效果。专家 PID 控制是通过专家规则来自动调整 PID 参数, 获得控制器的最优输出量。

1 中央空调系统

1.1 中央空调制冷原理

中央空调系统主要由空调主机系统、冷冻水系统、冷却水系统、冷却塔风机系统和风机盘管系统等组成^[1]。

空调主机系统由压缩机、蒸发器、冷凝器和电子膨胀阀组成。从空调主机蒸发器流出的冷冻水被送到各风机风口的冷却盘管中, 与盘管周围的空气进行热交换, 产生的低温空气由盘管风机吹运到各个屋间, 达到室内降温的目的。从冷却盘管流出的高温冷冻水被送回入蒸发器中。制冷剂在蒸发器中蒸发吸热, 带走冷冻水热量, 使得冷冻水出水温度降低。这部分气态制冷剂经过压缩机压缩成高温高压的气体, 然后进入冷凝器冷凝放热, 热量传递给冷却水。冷却水经过冷却塔风机系统将这部分热量传递给外界大气, 从而实现了将室内的热量排放到外界大气中, 达到了室内降温的效果。

1.2 冷冻水系统变流量自动控制原理

冷冻水变流量自动控制系统由控制器、执行器、调节对象、传感器与变送器等组成^[2]。其中调节对象为管道中流过的冷冻水流量; 流过风机盘管的冷冻水回水温度为被调参数, 回水温度一般设定为 12°C。空调房间热负荷的变化会使室内空气温度变化, 从而使冷冻水回水温度实际值与设定值之间产生偏差。控制器

① 收稿时间:2012-02-06;收到修改稿时间:2012-03-13

根据这个偏差,按照控制规律得出控制量,产生输出信号去控制执行器(变频器等),从而控制冷冻水流量.这个工作过程在中央空调冷冻水系统运行期间不断的循环,使得冷冻水系统能够变流量运行,达到了空调房间降温的目的,又降低了系统的能耗.

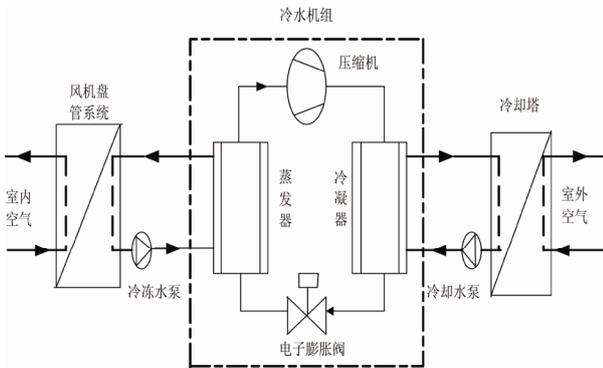


图 1 中央空调制冷原理

2 专家PID控制原理

专家 PID 控制的实质是,基于受控对象和控制规律的各种认识,利用专家经验来设计 PID 参数.实际上是根据偏差及其变化率,建立了控制量和偏差的一种映射关系^[3].

令 $e(k)$ 表示当前采样时刻的误差值, $e(k-1)$ 、 $e(k-2)$ 分别表示前一个和前两个采样时刻的误差值,则有 $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$, $\Delta e(k-1) = e(k-1) - e(k-2)$.

结合冷冻水系统自动控制的实例,该控制器可按以下五种情况进行设计:

(1) 当 $|e(k)| > M_1$ 时,说明误差的绝对值已经很大.不论误差变化趋势如何,都应考虑控制器的输出按最大(或最小)输出,以达到迅速调整误差.在冷冻水自动控制实例中,如果 $e(k) < -M_1$,则表示室内温度很高,冷冻水回水温度很大,此时应考虑控制器输出量为最大,即加大水流速,降低冷冻水回水温度;如果 $e(k) > M_1$,则表示回水温度远低于设定值,应考虑控制器输出量为最小,减小水流速.

(2) 当 $e(k)\Delta e(k) > 0$ 或 $\Delta e(k) = 0$ 时,说明误差在朝其绝对值增大方向变化,或误差为某一常值,未发生变化.

如果 $|e(k)| > M_2$,说明误差也较大,可考虑实施较强的控制作用,以达到扭转误差绝对值,朝减小方向变化,控制器输出为:

$$u(k) = u(k-1) + k_1 \{ k_p [e(k) - e(k-1)] + k_i e(k) + k_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \}$$

如果 $|e(k)| < M_2$,说明误差尽管朝绝对值增大方向变化,但误差绝对值本身并不大,可考虑实施一般的控制作用,控制器输出为:

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

(3) 当 $e(k)\Delta e(k) < 0$ 、 $\Delta e(k)\Delta e(k-1) > 0$ 或者 $e(k) = 0$ 时,说明误差的绝对值朝减小方向变化,或者已达到平衡状态.此时,可考虑保持控制器输出不变.

(4) 当 $e(k)\Delta e(k) < 0$ 、 $\Delta e(k)\Delta e(k-1) < 0$ 时,说明误差处于极值状态.此时对于时滞性很强的系统可以先不考虑积分作用.

如果误差的绝对值较大,即 $|e(k)| \geq M_2$,可考虑实施较强的 PD 控制作用:

$$u(k) = u(k-1) + k_1 \{ k_p [e(k) - e(k-1)] + k_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \}$$

如果误差的绝对值很小,即 $|e(k)| < M_2$,可考虑实施较弱的 PD 控制作用:

$$u(k) = u(k-1) + k_2 \{ k_p [e(k) - e(k-1)] + k_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \}$$

(5) 当 $|e(k)| \leq \varepsilon$ 时,说明误差的绝对值很小,此时加强积分作用,以减小稳态误差.

以上各式中 $k_1 > 1$, $0 < k_2 < 1$, $M_1 > M_2 > 0$, ε 为任意小的正实数.

3 专家PID控制在冷冻水系统中的仿真

根据中央空调冷冻水系统各个环节的传递函数及实验测试数据,用带延迟的二阶系统的数学模型.

$$G(s) = \frac{K}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} e^{-ts}$$

的数学模型.

选取中央空调冷冻水系统模型为

$$G(s) = \frac{10}{(60s + 1)(s + 1)} e^{-30s}, \text{ 取 } k_p = 10, k_i = 2.5,$$

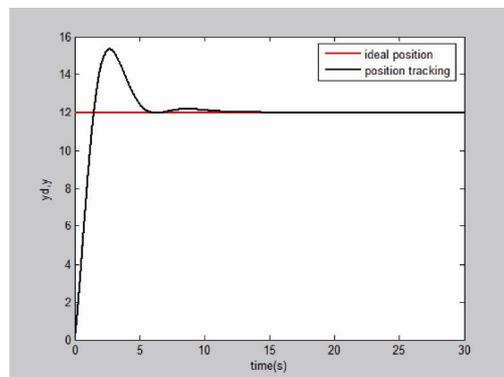


图 2 常规 PID 控制的仿真曲线

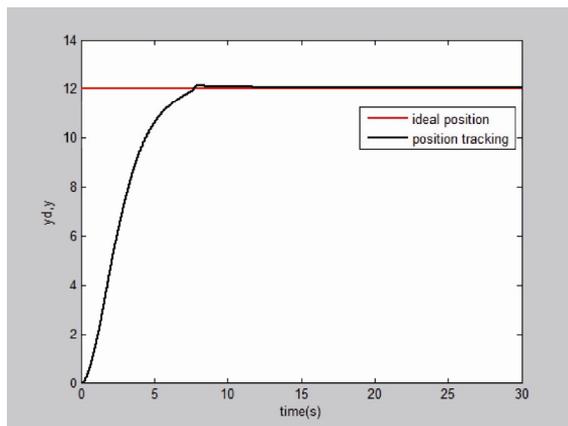


图 3 专家 PID 控制的仿真曲线

$k_d = 3$, 采样时间 $T = 0.005$, 编写 MATLAB 仿真程序, 常规的 PID 控制仿真效果如图 2 示。

取 $M_1 = 0.1, M_2 = 0.018, K_1 = 5, K_2 = 0.4, \varepsilon = 0.005$, 根据专家经验设计的专家 PID 控制器的 MATLAB 仿真效果如图 3 示。

从仿真效果可以看出, 专家 PID 控制能很好地抑制超调量, 调节时间较短, 可以全面提高系统的性能。

(上接第 216 页)

7 结论

本文在分析 Linux 系统软件结构的基础上, 研究了一个完整的 Linux 系统在 S3C2440 目标平台上的移植工作。相对于 Linux 系统移植的一般方法, 在嵌入式 Linux 系统开发和应用方面, 本文主要在两个方面取得了明显的进展, 一是成功实现了利用 crosstool 工具构建符合自己特点的交叉编译环境, 并且对其开发方法和步骤做了详细而完整的说明; 二是对于利用 Busybox 软件构建一个 yaffs2 根文件系统以及各个目录的内容配置进行了详细分析并成功移植到了 S3C2440 目标平台上。实验结果表明, 本文采取的方法是正确的、有效的, 对将 Linux 系统向 S3C2440 平台的移植具有一定的参考作用。

参考文献

- 1 田家林, 陈利学, 寇向辉. LINUX 嵌入式操作系统在 ARM 上的移植. 微计算机信息, 2007, 23(4-2): 60-61.
- 2 张协国. 嵌入式 Linux 在 ARM9 上的移植研究与实现[硕士

4 结语

利用专家经验结合常规 PID 控制的特点, 提出了中央空调冷冻水系统的专家 PID 控制策略。在 MATLAB 仿真环境下, 对中央空调冷冻水系统进行了常规 PID 控制和专家 PID 控制的仿真研究。结果表明, 专家 PID 控制相对常规 PID 控制在中央空调冷冻水系统控制中有调节时间短、响应快、超调量小、鲁棒性高等优点, 能更好地满足系统的性能要求。

参考文献

- 1 李玉街. 中央空调系统模糊控制节能技术及应用. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008. 163-246.
- 2 涂慧华. 基于能源优化的中央空调控制系统研究. 华东交通大学, 2008. 18-42.
- 3 刘金锟. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真. 北京: 电子工业出版社, 2011. 270-297.
- 4 Chee F, Fernando TL, Savkin AV, van Heeden V. Expert PID Control System for Blood Glucose Control in Critically Ill Patients. IEEE Trans. of Information Technology in Biomedicine, 2003, 7(4): 419-425.

学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007.

- 3 张永强, 田紫君, 申利永, 赵奇. 基于 ARM 的 HMS30C7202 平台的嵌入式 Linux 移植. 微计算机信息, 2005, 21(4): 125-126.
- 4 彭侃. 基于 ARM9 的嵌入式软件平台的研究与实现[硕士学位论文]. 上海: 东华大学, 2008.
- 5 刘新建, 于会山, 李子东, 姬小夸, 张守辉. 基于 ARM9 的嵌入式 Linux 系统移植. 工业控制计算机, 2011, 24(8): 74-77.
- 6 李胜琴, 许岩. 基于 ARM9 的嵌入式 Linux 系统移植. 中国科技信息, 2010, (11): 116-117.
- 7 师娟娟, 彭迪. 基于 ARM9 的嵌入式 Linux 移植. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2008, 30(2): 206-208.
- 8 武杰, 黎敬涛. U-boot 在 ARM9 上的移植分析与实现. 微计算机应用, 2011, 32(5): 61-65.
- 9 尤盈盈, 孟利民. 构建嵌入式 linux 交叉编译环境. 计算机与数字工程, 2006, 34(6): 30-32.
- 10 赵国义. 嵌入式 Linux 内核的配置与编译系统的研究. 电脑编程技巧与维护, 2006, 11: 71-75.