

THJS-3 实验装置的二容液位系统解耦控制^①

卜 磊, 胡慕伊

(南京林业大学 江苏省制浆造纸科学与技术重点实验室, 南京 210037)

摘 要:介绍了三容水箱液位控制系统的硬件组成及 MCGS 软件的组成, 以 THJS-3 高级过程控制实验装置为基础, 运用基于对角递归神经网络的 PID 解耦控制算法在 MCGS 软件中进行控制界面组态和运行。实验结果表明系统实现了解耦控制, 具有良好的稳态性能和动态性能。在 MCGS 软件中实现解耦控制有很强大的应用前景。

关键词: MCGS; 解耦控制; 对角递归; 神经网络

Two-Tank Level System Decoupling Control Based on THJS-3 Experiment Device

BU Lei, HU Mu-Yi

(Jiangsu Provincial Key Lab of Pulp and Paper Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Description of the three tank liquid-level control system components and the MCGS software. The system is based on the THJS-3 advanced process control device, the application of the diagonal recursive neural network PID decoupling control algorithm and MCGS software in control interface configuration and operation. The results declare that the decoupling control system has good steady state performance and dynamic performance. The decoupling control in MCGS software has strong application prospect.

Key words: MCGS configuration software; decoupling control; diagonal recursive; neural network

大多数工业过程属于多输入多输出系统, 且生产过程是一个有序过程, 变量间关系错综复杂, 一个被控变量的波动影响多个变量的变化。耦合现象是工业生产普遍存在的现象, 多变量系统实现解耦控制是目前普遍采用的方法。解耦控制一直是过程控制中的难点, 其范围涉及很广, 如钢铁、石油、化工、轻工、机械等国民经济的诸多领域, 在工业应用上有重要意义^[1]。

依据多变量系统的耦合特性, 以 THJS-3 型非线性三容水箱对象系统实验装置为依托, 运用 MCGS5.5 软件为平台, 将递归神经网络^[2]应用于解耦控制中, 实现双容水箱系统的解耦控制, 取得良好的实验效果。

1 系统组成

THJS-3 型非线性三容水箱对象系统实验装置^[3]由储水箱、液位水箱、可拆装的加热装置和非线性物体

及管阀门组成。每个液位水箱都装有液位传感器。实验的被控对象是由不锈钢储水箱(左、中、右)三个并接的有机玻璃水箱和敷塑不锈钢管道等组成。系统的被控量囊括了液位、压力、流量、温度四大热工参数。

MCGS 软件是一套基于 Windows 平台、用于快速构造和生成上位机监控系统的组态软件系统, 软件具有操作简便、可视性好、可维护性强、高性能、高可靠性等突出特点。MCGS 软件系统包括组态环境和运行环境两个部分, 下图为 MCGS 系统图:

2 耦合模型及控制策略

多变量系统的解耦控制已经成为提高自动化水平, 满足日益发展的生产过程要求的一种重要手段。“THJS-3 型 非线性三容水箱对象系统实验装置”是模拟现代工业生产过程中对液位、压力、温度、流量进

① 基金项目:江苏省制浆造纸科学与技术重点实验室开放基金(200909)

收稿时间:2011-07-16;收到修改稿时间:2011-08-22

行测量、控制，研究过程控制规律的实验设备。它具有过程控制的动态过程一般特点（大惯量、大延时、非线性），是一台具有多个输入和多个输出的非线性耦合被控物理模型。

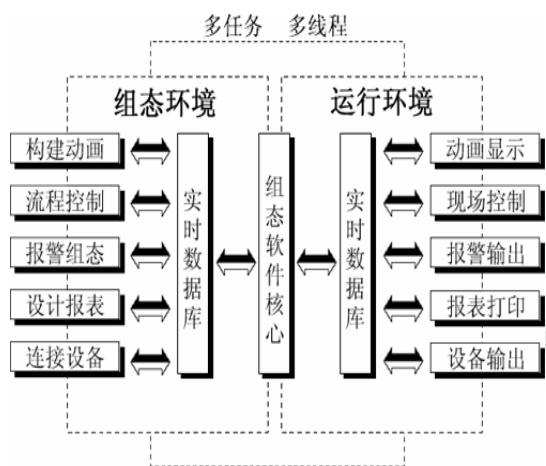


图 1 MCGS 系统图

实验设定中水箱和右水箱的进水流量为操纵变量，两水箱的液位作为被控对象，以两水箱之间的连通阀开度表示耦合关系^[4]。系统原理框图如下所示。

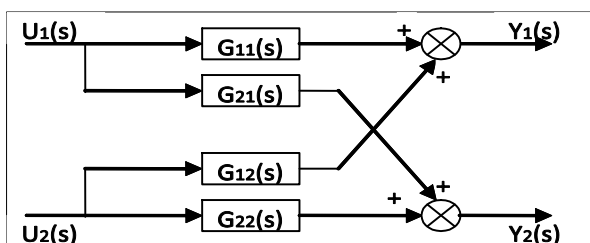


图 2 耦合对象方框图

其中， U_1 ， U_2 分别表示中水箱和右水箱的进水流量， Y_1 ， Y_2 为中水箱和右水箱的液位， G_{11} ， G_{21} ， G_{12} ， G_{22} 分别是对应的传递函数。 U_1 对 Y_1 ， Y_2 都有影响，表现为传递函数 G_{11} ， G_{21} ， U_2 对 Y_1 ， Y_2 都有影响，表现为传递函数 G_{12} ， G_{22} 。

在出水阀门开度和连通阀为某特定开度的情况下，实验测得系统的耦合模型为：

$$\begin{bmatrix} y_1(s) \\ y_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3.33}{16s+1} & \frac{4.58}{18s+1} \\ \frac{2.75}{16s+1} & \frac{4.92}{18s+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(s) \\ u_2(s) \end{bmatrix} \quad (1)$$

实验中解耦控制采用对角递归神经网络，是将前馈网络隐含层节点值反馈到前一节点的自反馈网络。此神经网络中， $I_i(n)$ 为网络第 i 个神经元的输入， w_{ij}^I 为输入层第 i 个神经元第 j 个输出的权值向量， w_j^O 为输出层第 j 个输出的权值向量， w_j^D 为回归层第 j 个输出的权值向量，其非线性状态空间表达式^[5]可以写成如下形式：

隐含层输入：

$$S_j(n) = \sum_j w_{ij}^I I_i(n) + w_j^O X_j(n-1) \quad (2)$$

隐含层输出：

$$X_j(n) = f(S_j(n)) \quad (3)$$

输出层输出：

$$O(n) = \sum_j w_j^O X_j(n) \quad (4)$$

采用对角递归神经网络算法控制 PID 参数，以第一通道 PID 参数为例，对参数 $K_P(k)$ 、 $K_I(k)$ 做如下定义，其中 r_1 ， r_2 和 y_1 ， y_2 分别是系统的输入和输出。

$$K_{P1}(k) = K_{P1}(k-1) + \eta_p (r_1(k) - y_1(k)) \frac{\partial y_1}{\partial u_1} x_1(k) \quad (5)$$

$$K_{I1}(k) = K_{I1}(k-1) + \eta_I (r_1(k) - y_1(k)) \frac{\partial y_1}{\partial u_1} x_2(k) \quad (6)$$

其中， η_p 、 η_I 为 K_P 、 K_I 的学习速率，为神经网络的 Jacobian 信息^[6]。若对象的 Jacobian 信息已由对角递归神经网络确定，PID 的控制参数便能得到较快的整定，从而提高系统适应能力、响应速度及鲁棒性能。

3 实验结果

实验选用 MCGS 软件为平台，支持目前绝大多数硬件设备，使硬件设备与软件系统间的配合发挥最大程度，同时克服了 MCGS 脚本语言简单且不能完成复杂控制策略的缺点。在 MCGS 脚本程序中编辑对角递归神经网络程序，实现 MCGS 软件与复杂的先进算法的完美结合。

第一步，测量系统的对象特性，下图为未加控制算法的对象特性图。

图 3 中，左图为中水箱进水流量由 33.5% 变化至 36.5%，中水箱液位和右水箱液位变化情况，中水箱液位由 6cm 变化至 10cm，右水箱液位由 6cm 变化至 9.2cm；右图为右水箱进水流量由 29.5% 变化至 32.5%，

右水箱液位和中水箱液位变化情况,右水箱液位由 9.2cm 变化至 14.8cm,中水箱液位由 10cm 变化至 15cm。根据图 3,可计算出实验对象的传递矩阵,同时可看出双变量系统的耦合关系^[7]。

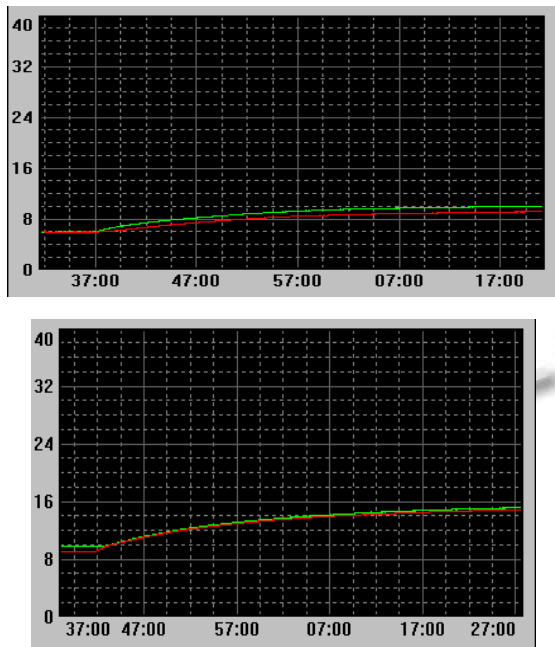


图 3 对象特性图

第二步,加入对角递归神经网络算法,实现系统的解耦功能。选定神经网络结构为选取 3-6-1,取(-1,1)的随机数作为各层初始权值 w_i 、 w_d 、 w_o 。输入层、输出层、隐含层学习速率 $xite1$ 、 $xite2$ 和 $xite3$ 均为 0.4,惯性系数 $a1$ 为 0.04。采样周期为 1000ms。

PID 参数 kp 和 ki 初始值为 0.3 和 0.15,学习速率 $xitekp$ 和 $xiteki$ 分别为 0.5, 0.3, 液位系统不加入微分参数。计算 PID 参数的程序如下:

```
xc(1)=error(t);计算 P
ei=ei+error(t)*t;
xc(2)=ei1;计算 I
kp(t)=kp1+xitekp1*error1(t)*xc(1)*dyout(t);
ki(t)=ki1+xiteki1*error1(t)*xc(2)*dyout(t);
系统的隐含层神经元激活函数取双 S 函数:
```

$$f(x) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}} \quad (7)$$

神经网络学习,调整权值 W_i 、 Q_i 的程序如下:

```
Wi=xite1*e1(t)*O(i)+al*W0;
```

```
Qi=xite2*e2(t)*O(i)+al*Q0;
```

最终解耦控制器的输出和的计算程序如下:

```
u1(t)=kp1(t)*xc1(1)+ki1(t)*xc1(2);
```

```
u2(t)=kp2(t)*xc2(1)+ki2(t)*xc2(2);
```

根据所用神经网络程序设计的解耦控制器,实验曲线图如下。

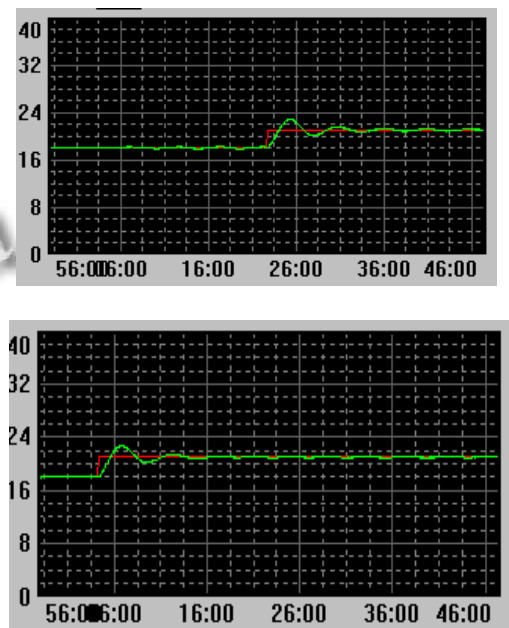


图 4 中、右水箱施加干扰控制图

图 4 中,左图为中水箱液位控制图,右图为右水箱液位控制图。实验说明:时间 6 分钟时,右水箱设定值改变 3cm,右水箱经 4:1 衰减振荡后稳定,同时中水箱液位几乎无变化;25 分钟时,中水箱设定值改变 3cm,中水箱也经 4:1 衰减振荡后稳定,同时右水箱液位几乎无变化。从图 4 中看出,两水箱耦合关系大大削弱,达到解耦目的。

4 结论

实验结果:未施加控制的耦合系统中,无论中水箱或是右水箱的液位变化,另一个水箱的液位也随之变化,两通道间存在关联;施加神经网络控制后,一水箱液位变化,另一水箱液位变化极小,关联关系几乎消除,且受干扰的系统能较快稳定。实验证明在这个双变量系统中,两个通道间耦合关系大大削弱,系统的响应速度快,鲁棒性强。

(下转第 124 页)

判据的一致性较好(0.2dB以内),因此建议采用。同时,LDPC误块率和RS误块率可作为参考判据。

CMMB主、客观一致性比较好,只有0.2dB差值,而DVB-H的主、客观差的比较多,有1dB之多。引起这种结果的原因可能是,在DVB-H系统中,沿用了国际标准,在固定接收情况下,客观失败判据BER参考值定义为Viterbi解码后的BER为 $2E-4$,它等同于DVB-T标准中定义的每小时少于一个未纠正的错误的QEF判据,即近乎无错。这个标准相对是比较严格的。而它的主观判据又没有CMMB系统的主观判据严格,因此DVB-H系统得出的主、客观数据差值比较大,一致性没有CMMB系统的好。此外,一致性与传输系统特性、信源压缩编码特性也有重要关系。

通过以上分析可看出,CMMB系统的客观测试判据采用 $3E-6BER$ 比较合适。

4 结语

本文对国内较为重要的移动多媒体广播系统CMMB失败判据进行了研究,在分析CMMB标准的基础上,首先根据最新实验室测试数据对系统的主客观失败判据进行分析,再对CMMB系统与目前国际上很成熟DVB-H系统进行相互对比研究得出相对较好的判据定义,这对提高CMMB系统的性能以及CMMB系统的测试有着重要的意义。

参考文献

1 IEC International Standard 62002-1, Mobile and portable

(上接第225页)

此神经网络解耦控制系统克服了MCGS脚本语言不能进行先进控制的缺点,为解决类似基于软件平台的控制问题的实现提供了可以借鉴的方案,将其应用在工业解耦控制上有很大大前景。

参考文献

- 浙江天煌科技实业有限公司. THJS-3高级过程控制系统说明书.浙江:2005.
- 刘金琨.智能控制.第2版.北京:电子工业出版社,2009.127-129.
- 北京昆仑通态自动化科技有限公司.MCGS用户指南.北

DVB-T/H radio access-Part1: Interface specification. 2005-10.

- ETSI EN 102 377. Digital Video Broadcasting (DVB);DVBH Implementation Guidelines, 2005.
- 解伟.移动多媒体广播(CMMB)技术与发展.电视技术,2008,32(4):4-7,22.
- 戴闽鲁.CMMB无线网络测试与分析.北京:电子工业出版社,2006.56-83.
- 董文辉,邓向冬,李若霜.CMMB图像质量主观评价研究.广播与电视技术,2008,(8):23-25.
- 杨琬,吴乐华,范晔.数字图像客观质量评价方法研究.通信技术,2008,41(7):244-246.
- 吴醒峰,李熠星,龚波,冯景锋,刘骏.CMMB接收解码终端性能测试.广播与电视技术,2008,(9):28-33.
- 胡军,陈鹏,夏治平,张定京,冯景锋,葛启宏,孟祥昆,姜锋,雷红美.GD/J019-2008移动多媒体广播接收解码终端测量方法(暂行).北京:国家广播电影电视总局科技司,2008.
- 胡军,夏治平,孟祥昆.移动多媒体广播(CMMB)—标准进展:核心设备技术要求和测量方法.广播电视信息,2008,(8):41-43.
- 刘波,吕百灵,常江.CMMB网络覆盖测试系统.广播与电视技术,2011,(1):25-28.
- 王欣刚,赵琳莉,刘骏.CMMB网络优化技术.广播与电视技术,2011,(1):29-31.
- 艾飞,李兴源,李伟,等.HVDC换相失败判据及恢复策略的研究.四川电力技术,2008,31(4):10-13.

京:2005.

- 翁维勤等编著.过程控制系统及工程.第2版.北京:化学工业出版社,2002.148-175.
- 周炜,胡慕伊.基于DRNN的纸机定量水分解耦控制仿真分析.中国造纸学报,2010,25(1):72-74.
- 刘刚,蔡十华.一种基于DRNN神经网络整定的PID解耦控制方法的研究.江西科学,2004,22(5):335-336.
- 袁晓红,王旭仁,柏玲,蔡十华.神经网络解耦控制在多变量控制系统中的应用.首都师范大学学报(自然科学版),2008,29(6):20-22.