

仿人智能控制经验与技巧的研究

王培进 宋宜斌 徐丽萍

(烟台大学计算机学院,烟台 264005)

E-mail:wpj@ytu.edu.cn

摘要 将人的控制思维过程分为主动控制思维过程和被动控制思维过程,分析了两个控制思维过程仿人的智能控制方法和策略,控制经验的存储和挖掘。文中给出了实验结果,证明了研究内容的正确性。

关键词 计算机控制 智能控制 仿人智能控制 思维

文章编号 1002-8331-(2004)22-0010-04 文献标识码 A 中图分类号 TP273;TP18

Study on the Experiences and Methods of Human-Like Intelligent Control

Wang Peijin Song Yibin Xu Liping

(School of Computer Science and Technology, Yantai University, Yantai 264005)

Abstract: Human control thinking process is divided into two kinds which are active control thinking process and passive control thinking process. The control methods and strategy of each control thinking process are discussed in this paper, storage and mining of control experiences are analyzed. The test results are given in this paper, it is proved that the research content is right and could be used in the process control.

Keywords: computer control, intelligent control, human-like intelligent control, human thinking

1 现有仿人智能控制算法的不足

从1979年重庆大学周起鉴教授等人提出仿人智能控制器的原形算法到现在,20多年的时间,仿人智能控制的研究取得了一些理论研究成果和实际应用^[1]。综观现有的各种仿人智能控制器算法,存在如下不足:(1)没有摆脱传统的借助于数学分析求解问题的思想,真正的仿人智能控制不需要复杂的计算,只需要做简单的计算与推理;(2)依赖于偏差与偏差的变化构成的信息空间,确定动态特征信息,选择控制算法,信息空间无论怎样细化(从双模到多模)都易引起控制系统在不同算法之间的频繁切换,同时抗噪声干扰性能差^[2];(3)采用变模控制的关键是按要求各个模式区域之间不互相重叠,而且所有模式区域的总和应等于整个状态空间,因为一旦重叠,则会出现控制的二义性;或者出现不能覆盖的模式区域,则当系统的状态落入这个区域就不会有相应的控制作用产生,更恶劣的情况是出现无法预计的控制作用;(4)没有研究如何从给定的特征信息空间中挖掘控制系统广义定性定量关系模型,以辅助确定控制策略^[3];(5)没有实现仿人的控制经验与技巧的挖掘,没有实现定性推理控制,模拟人的高级智能控制。

作者在文献[3][4][5][6]中对仿人形象直觉推理控制、抽象逻辑推理控制、仿人智能推理与控制器的结构、实现、被控系统对象动态特征分析与仿人智能控制策略的确定等问题作了一定的分析研究,该文对人在实施控制过程中的控制经验与技巧问题进行了研究,提出了自己的原创性思想。

2 人的控制思维过程与控制性能指标

传统控制中以经典的时域性能指标和最优控制的误差泛函积分评价指标来描述控制性能的好坏。经典时域性能指标,以上升时间描述系统的快速性;以超调量和调节时间描述系统的相对稳定性;以稳态误差描述系统的精确值。最优控制以误差泛函积分评价指标(误差绝对值积分、误差时间绝对值积分等)最小综合评价控制系统的性能。经典时域性能指标非常直观,但不能直接参与设计,只能作为设计结束后的评价,而且传统的基于被控对象数学模型设计的控制器,难以在快速性、稳定性、准确性三个相互矛盾的指标之间寻找协调与统一。最优控制的误差泛函积分评价指标虽然可直接参与设计,但只能在各个经典时域性能指标中折衷。

熟练的操作者对于复杂而未知的对象的手动控制是一般控制器难以比拟的,最高级、最有效的控制器是人自身。利用人的控制经验与技巧,可以有效地解决控制系统快速性、稳定性、准确性三个相互矛盾的性能指标,达到控制要求。文献[8]将人的控制过程分为三个阶段:粗调阶段、调整学习阶段、微调阶段,不同的阶段采取不同的控制策略。粗调阶段有效地控制策略,可以解决系统的快速性,调整学习阶段的有效控制策略可以解决系统的稳定性和准确性问题。

从人的控制思维过程来分析,人的控制可以分为主动调整控制思维过程和被动调整控制思维过程。用 y 表示被控量,用 u 表示控制量,用 ε 表示控制精度,用 e 表示控制误差。

主动控制思维过程:主动控制思维过程是人在当前控制量的基础上,根据控制要求,主动输出一个或几个单位控制量,主动引起被控量的变化,使其达到控制要求。在粗调阶段和调整

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(编号:Y2002G04)

作者简介:王培进,男,烟台大学计算机学院教师,教授,工学博士,主要研究兴趣为计算机控制与测试,人工智能控制等方向的理论与应用。

学习阶段是主动控制思维过程,这一过程一方面人可以根据控制量和被控量之间的静态关系,选择一个初始控制量,使被控量快速逼近控制要求值,解决控制快速性指标;另一方面,又采取“调调、等等、看看、再调”的控制策略(开、闭环切换),保证被控量的准确性和稳定性。

被动控制思维过程:被动控制思维过程是控制系统相对稳定和达到要求的情况下,即: $|e| \leq \epsilon$,由于干扰等因素的影响,使被控量产生了变化,即: $|e| > \epsilon$,使被控系统远离了要求,或者即使 $|e| \leq \epsilon$,但被控量不稳定,也需要及时输出一个或几个单位控制量,消除干扰的影响,这种调整过程是被动的、被迫的。微调阶段是一个被动控制思维过程,维护被控量的稳定性和准确性。

3 人的控制思维过程与控制经验

主动控制思维过程,可以看作是一个控制经验积累的过程。在为达到控制要求的主动调整过程中,人在当前控制量的基础上每输出一个控制量的变化量(正或负),都要观察能引起被控量多大的变化,并判断控制是否有效,即是否向着给定的控制要求迈进,若有效,人就主动记忆这一调整过程,开始积累控制经验。

被动控制思维过程,可以利用主动控制过程中积累的经验,也可以在原来控制经验的基础上进行修正,使原来的控制经验更加丰富和完善,从而提炼出控制技巧。

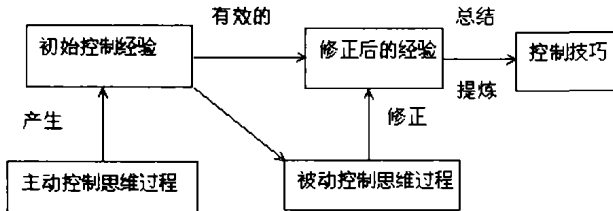


图1 人的控制思维过程示意图

3.1 主动控制思维过程的初始控制经验与积累

假定控制量和被控量变化为正方向关系,被控量的标准值、变化范围、极限值,控制量的调节变化范围: $U_{min}-U_{max}$ 等已知。

在文献[9]中,将被控对象或过程的状态变化分为三个区域:超调区域,非稳态区域,稳态区域。稳态区域是希望控制的区域,在此区域内被控量的变化符合控制要求,图2给出了三个区域的示意图。将上述三个区域进一步划分为5个控制状态,如表1所示。

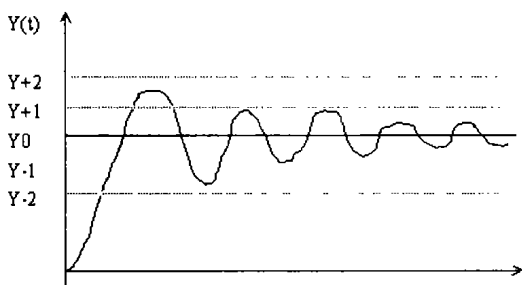


图2 区域与状态划分示意图

定义被控量偏差: $e=Y-Y_0$,给定控制偏差 ϵ ,极限偏差 ϵ_{max} 。

则: $Y_{+1}=Y_0+\epsilon, Y_{-1}=Y_0-\epsilon, Y_{+2}=Y_0+\epsilon_{max}, Y_{-2}=Y_0-\epsilon_{max}$

稳态区域: $[Y_{-1}, Y_{+1}]$ 非稳态区域: $[Y_{-1}, Y_{-2}], [Y_{+1}, Y_{+2}]$

超调区域: $Y \geq Y_{+2}, Y \leq Y_{-2}$

表1 状态区间划分

区域说明	区域负		区域零	区域正	
状态类型	负超调状态	负非稳态	稳态	正非稳态	正超调状态
区间	$[0, Y_{-2}]$	(Y_{-2}, Y_{-1})	$[Y_{-1}, Y_{+1}]$	(Y_{+1}, Y_{+2})	$[Y_{+2}, \infty]$

3.1.1 粗调阶段初始控制量(U_0)的确定

按照人的控制思维,在粗调阶段确定一个初始控制量输出,使被控量快速向给定值逼近,满足控制快速性能指标。

对于一个被控系统,控制器的输出经D/A转换输出电压或电流信号,作用到执行器上,使被控量发生改变。由于执行器的动态特性及变量之间的非线性关系,通过实验可以证明,在控制量由小到大和由大到小的一个往返开环控制过程中,当被控量稳定后,相对应的被控量值是不一样的。如图2所示,对于同一个 U_i ,对应不同的被控量输出 Y_i ,即非单值对应关系。为了建立控制量与被控量之间的静态关系,提出了如下方法:

(1)开环实验,控制量 U 从0开始到最大,取 $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$ 个值,测出相对应的被控量输出值 Y_1, Y_2, \dots, Y_n 。

(2)开环实验,控制量 U 从最大开始到0,取 $U_n, U_{n-1}, U_{n-2}, \dots, U_1$ 个值,测出相对应的被控量输出值 $Y'_n, Y'_{n-1}, \dots, Y'_1$ 。

(3)求取: $\Delta Y_i = Y'_i - Y_i$ 。利用神经网络的非线性逼近能力,建立1-3-1前向神经网络,利用上述实验数据进行训练学习,输入是 Y_i ,输出是 ΔY_i 。这样利用训练好的ANN,给定一个输出就可以求得相对应的差值。

(4)利用 $Y_i, \Delta Y_i$ 作输入, U_i 作输出,建立2-3-1前向神经网络,逼近它们之间的非线性关系。对于定值控制问题,开始时偏差最大,对应最大的控制量值。若要求被控量的输出值为 Y_0 ,利用上述ANN,先求得 ΔY_0 ,然后再求得 U_0 ,此为控制器最大起始输出值,即为粗调阶段初始控制量 U_0 。从仿人智能控制角度看,经过一段时间,被控量应该逼近给定的要求输出值。然后转入闭环控制,将被控量控制在给定的要求值上。

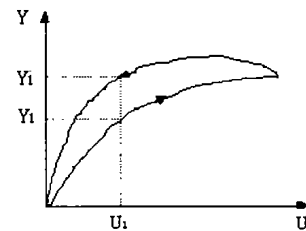


图3 非单值对应关系

3.1.2 调整学习阶段控制方法

当初始控制量输出后,象温度、液位等物理参量,其从零开始变化到理论上对应值需要一个时间过程,按照人的控制经验应该等一等,计算机控制则是采取开环控制策略。在等的过程中,人是连续观察被控量的变化情况,计算机则是连续采样,判断被控量是否进入上述的三个区域。如果进入,则开始调整阶段,开始第一次闭环控制:

第一次控制($n=1$):采样当前被控量的值,判断被控量所属的区域状态:

(1)在区域负, $U_i=U_0+\Delta u$ (1)

(2)在区域正, $U_i=U_0-\Delta u$ (2)

(3)在区域零,继续等等看看。直到被控量出现在区域负或者区域正,按照上述公式计算输出控制量。

从第二次控制开始,第 n 次的控制量输出要结合前 $n-1$ 次和 $n-2$ 次被控量所在的区域和控制量的输出。

(1)第 $n-2$ 次为区域负,第 $n-1$ 次为区域负,

$$U_n=U_{n-1}+\Delta u \quad (3)$$

(2)第 $n-2$ 次为区域正,第 $n-1$ 次为区域正,

$$U_n=U_{n-1}-\Delta u \quad (4)$$

(3)第 $n-2$ 次为区域负,第 $n-1$ 次为区域正,

$$U_n=\frac{U_{n-1}+U_{n-2}}{2} \quad (5)$$

(4)第 $n-2$ 次为区域正,第 $n-1$ 次为区域负,

$$U_n=\frac{U_{n-1}+U_{n-2}}{2} \quad (6)$$

(5)第 $n-1$ 次在区域零,则由闭环控制转为开环控制,等等看看。直到被控量出现在区域负或者区域正,按照上述公式计算输出控制量。

从上述控制过程可以看出,被控量前两次在相同的区域中控制量的输出或增或减一个微小量;被控量前两次在不同的区域中控制量的输出是前两次的和的一半。因此,此方法称为“增减-对分法”。上述计算出的控制量是绝对控制量输出,相对控制量输出则为 U_n-U_{n-1} 。 Δu 可以参照如下公式计算:

$$\Delta u=\frac{1}{U_{\max}-U_{\min}} \quad (7)$$

即为一个单位控制量的变化,也可以取其几分之几,具体根据控制量和被控量之间的动态定性关系而定^[9]。上述推理控制过程,较为确切地模拟了人的控制过程,不需要复杂的推理和复杂的计算。

3.1.3 调整的有效性判别

闭环控制的关键是判断每次控制是否有效,如果有效,就等等、看看,是否达到开环切换条件;如果控制无效,则要继续调整,直至满足开环切换条件为止。为此,结合人的控制经验与技巧,提出三条判断标准:

(1)调整后被控量偏差是否减小了,判断条件:

$$|e_{i+1}|<|e_i| \quad (8)$$

(2)调整后被控量变化的趋势是否得到了抑制,判断条件:

$$\Delta e_i>0 \text{ 到 } \Delta e_{i+1}<0, \text{ 或 } \Delta e_i<0 \text{ 到 } \Delta e_{i+1}>0.$$

(3)调整后被控量是否趋向稳定,判断条件:

$$|\Delta e_i|=|y_{i+1}-y_i|=|\Delta y_i|\approx 0. \quad (9)$$

仿人智能控制,至少满足上述三个条件之一,就认为闭环控制有效。

开环切换条件是:

最理想的控制状态,判断标准:

$$|e|\leq \varepsilon, |\Delta e|\approx 0, \text{ 或 } e=0. \quad (10)$$

较为理想的控制状态,判断标准:

$$|e|\leq \varepsilon, f_c<f_{\max}, \text{ 震荡频率小于某个规定值。} \quad (11)$$

定义被控量震荡周期:偏差变化从大于零到小于零再到大于零所用的时间,或者从小于零到大于零再到小于零所用的时间 t_c ,震荡频率: $f_c=\frac{1}{t_c}$ 。

3.1.4 初始控制经验存储

人的每一次控制都在大脑中留下记忆,包括控制量调整了多少,被控量改变了多少,是否满足了控制要求,在给定的控制目标控制过程中记忆了许多调整信息,而且能够不断总结前面的控制效果,使下一次控制得更好。让计算机模拟人的控制思维过程,也必须对有效的控制信息进行存储,对已存的信息进行挖掘。

一次完整的调整过程应该是:根据当前值,做出调整,等等,看看调整后被控量变化情况,再决定是否进行下一次调整。因此,控制经验数据库存储的控制经验信息关键字段有如下几个:调整序号 n ,调整前控制量值 U_i ,调整前被控量值 Y_i ,调整后控制量值 U_{i+1} ,调整后被控量值 Y_{i+1} ,调整后是否有效 YX (是、否),调整后是否达到要求 YQ (是、否)。其中调整后有效性判别采用闭环控制有效性识别方法,调整后是否达到要求判别采用开环条件判别。

通过上述关键字段可以推出如下辅助信息:本次调整控制量改变方向 UD (增加 $\Delta U>0$ 、减少 $\Delta U<0$),本次调整控制量相对变化值 $\Delta U=U_{i+1}-U_i$,调整后被控量变化方向 FD (增加 $\Delta Y>0$ 、减少 $\Delta Y<0$),调整后被控量变化值 $\Delta Y_i=Y_{i+1}-Y_i$,调整后偏差 $e_i=Y_{i+1}-Y_0$ 。

3.1.5 初始控制经验的总结、挖掘

主动控制过程积累的控制经验,是为了被动控制过程的有效进行。主动控制过程是主动引起被控量的变化,被动控制过程则是抑制被控量的变化。因此,被动控制过程是主动控制过程的反向思维过程。假定控制量和被控量之间的变化是正向、单值对应的线性关系,主动控制过程中,输出一个正向的 ΔU 能引起被控量正 ΔY 变化;被动控制过程中,当被控量出现正 ΔY 变化时,为了抑制这个变化,则必须输出一个反向的 ΔU 引起被控量负 ΔY 变化,从而使被控量回到原来的值。

由于被动控制思维过程是发生在微调阶段,是在被控量相对稳定的情况下进行的,因此,在负非稳态、稳态、正非稳态(见表1)状态下积累的控制经验最有用。这样就必须对初始控制经验进行处理与挖掘。

第一步,先将符合如下条件之一的控制经验筛选出来去掉:(1) $Y_{i+1}>Y_0+\varepsilon_{\max}$;(2) $Y_{i+1}<Y_0-\varepsilon_{\max}$;(3)调整后是无效的。

第二步,从剩余的有效的控制经验中挖掘出如下几个关键字段,构成新的控制经验。(1)控制量当前值;(2)被控量当前值;(3)被控量变化值;(4)控制量变化值。

第三步,找出在 Y_0 附近的控制经验。

3.2 被动控制思维过程的控制经验与修正

如前所述,被动控制过程是主动控制过程的反向思维过程。假定控制量和被控量之间的变化是正向、单值对应的线性关系,主动控制过程中,输出一个正向的 ΔU 能引起被控量正 ΔY 变化;被动控制过程中,当被控量出现正 ΔY 变化时,为了抑制这个变化,则必须输出一个反向的 ΔU 引起被控量负 ΔY 变化,从而使被控量回到原来的值。这是理想的情况。实际上,大部分控制系统由于系统本身和调节机构系统特性等原因, ΔU 与 ΔY 之间是非单值、非线性关系,输出一个反向的 ΔU ,不可能正好产生一个负 ΔY 去抵消正 ΔY 的变化,而是产生 $\Delta Y'$ 的变化,且: $\Delta Y'>\Delta Y$, 或 $\Delta Y'<\Delta Y$ 。如果 $|\Delta Y'-\Delta Y|\ll \delta$ (给定的精度),则认为当前调整是有效的,反之说明调整无效或超调。用

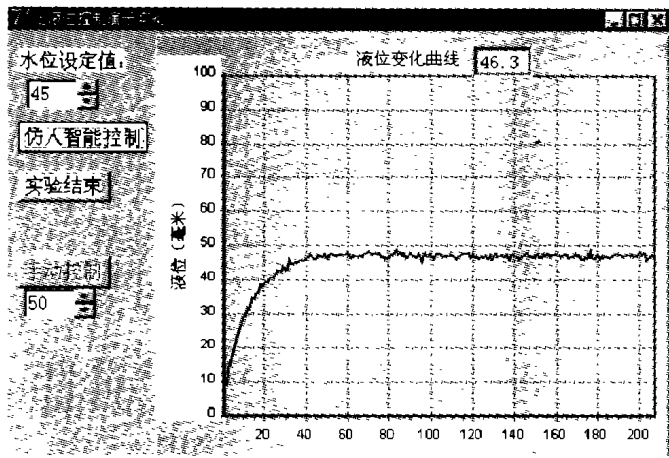


图4 无干扰控制曲线

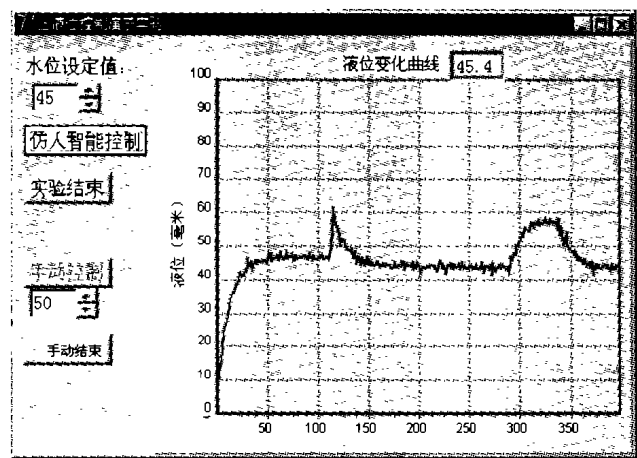


图5 有干扰控制曲线

计算机模拟人的被动控制思维过程描述如下:

(1) 在开环状态下,被控量相对稳定,当前控制量值 U_0 , 采样当前值 Y_i ;

(2) 计算偏差: $e_i = Y_i - Y_0$;

(3) 判断 $|e_i| > \epsilon$ 条件是否满足, 不满足, 转(1), 继续采样观察; 满足, 说明有干扰, 向下执行;

(4) 计算 $\Delta Y_i = Y_i - Y_{i-1}$, 并识别变化方向;

(5) 依据 $\Delta Y_i, Y_{i-1}$ 从初始控制经验信息库中查找与其一致或基本接近的控制经验, 或采用插值的方法, 或采用神经网络逼近法, 找出控制量的变化量 ΔU , 按照变化方向输出, $U_{i+1} = U_i + \Delta U$;

(6) 等一个被控量变化滞后时间;

(7) 采样观察被控量的变化情况, 如果满足 $|\Delta Y' - \Delta Y| \leq \delta$ 且 $|e_{i+1}| < \epsilon$ 条件, 抑制有效, 转(1); 否则调整不当, 需要继续调整, 向下执行;

(8) 选择一个较小的控制量变化量 δu ,

if $\Delta Y' > \Delta Y$ then $U_{i+2} = U_{i+1} - \delta u$

if $\Delta Y' < \Delta Y$ then $U_{i+2} = U_{i+1} + \delta u$

按照方向输出调整;

(9) 等一等, 采样判断 $|e_{i+2}| < \epsilon$ 是否满足, 不满足, 转(8); 满足, 继续向下执行;

(10) 修订控制经验, 计算 $\Delta U' = \Delta U \pm k * \delta u$, 重新存储本次调整的控制经验。转(1)继续。

4 实验结果

将上述研究内容与文[3][4]中提出的仿人智能推理与控制器结构相结合, 在一双水位过程控制实验系统上进行了实验研究, 图4给出了在没有干扰情况下的定值控制情况, 图5给出了有瞬间干扰和定常干扰的控制效果。控制精度为 $45 \pm 2\text{mm}$ 。对于有干扰的控制问题, 还结合了如下控制经验:

假定被控系统相对稳定, 突然被控量发生变化:

(1) 先判断是否超出控制精度, 如果超出控制精度, 转(3); 没有超出控制精度, 向下执行;

(2) 判断是否引起被控量的震荡, 震荡频率增加; 如果震荡

频率增加, 引起系统的不稳定, 在控制经验库中寻找 Y_0 附近的控制经验, 施加控制, 转(1); 如果震荡频率变化不大, 保持开环;

(3) 超出控制精度, 先识别干扰的类型和被控量动态特性。如果干扰是瞬间干扰, 被控量又具有绝对收敛特性, 则可以保持开环, 不需要施加控制; 如果是其他类型干扰, 则选择前述的被动控制思维过程的控制方法。

由图看出, 取得了“稳、快、准”的控制效果, 实验证明了作者对仿人智能控制研究的一系列结论和方法是正确的、有效的、可行的。

5 总结

综观现有的仿人智能控制研究, 大部分是基于动态特征信息控制空间的多模态控制, 或者融合 PID、模糊、神经网络等控制技术, 对人的控制思维过程分析研究, 人的控制经验与技巧的产生、计算机的模拟等问题的分析研究, 这方面的文献很少。该文在前期研究的基础上, 分析并提出了仿人的控制经验与技巧, 这些方法在双水位过程仿人智能控制实验中得到了成功的应用, 取得了比自适用 PID 控制更好的控制效果, 有效地解决了控制的快速性、准确性、稳定性之间的矛盾。

(收稿日期: 2004年4月)

参考文献

- 李祖枢. 仿人智能控制研究 20 年[C]. 见: 1999 年中国智能自动化学术会议(上), 1999: 20~32
- 王击. 智能控制在时滞系统中的算法研究[J]. 基础自动化, 2001; 8(6): 4~7
- 王培进. 仿人智能推理与控制器的实现[J]. 计算机工程与应用, 2002; 38(13): 30~32
- 王培进. 仿人智能推理与控制器[J]. 计算机工程与应用, 2002; 38(11): 38~39
- 王培进. 仿人智能控制的稳定性研究[J]. 计算机工程与应用, 2001; 37(6): 14~16
- 王培进. 复杂系统的仿人智能控制[J]. 计算机工程与应用, 2000; 36(7): 71~73