

控制规则在线自调整模糊控制器的设计与仿真

贺远华, 雷升印

(武汉理工大学 自动化学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 普通的模糊控制器是以误差和误差的变化作为输入量, 类似常规 PD 控制器的作用, 存在超调、抗干扰能力差的弊端。为改善模糊控制器的控制特性, 采用基于解析表达式的模糊控制规则。提出模糊控制按照误差和误差变化的情况, 合理地调整误差和误差变化权重, 实现控制规则的在线自调整结构, 并在 Matlab 环境下以典型的二阶环节为例对其进行了仿真实验。结果表明, 设计的在线自调整模糊控制器提高了模糊控制器的动态和稳态特性及抗干扰能力, 而且简单、实用, 具有一定的通用性。

关键词: 控制规则; 修正因子; 在线自调整; 仿真

中图分类号: TP 273

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)07-0086-02

模糊控制是一种非线性控制, 必须具备较完善的控制规则, 而控制规则是由输入输出模糊变量的隶属函数或赋值表以及模糊控制器的结构参数决定的, 这些因素都缺乏有效的系统指导方法, 所以在选取论域、量化因子以及定义模糊集时不得不采用试凑法, 这样势必造成一定的盲目性而很难找到一组最佳和满意的参数。另外, 模糊控制器的基本形式是查询表方式, 查询表中控制量的值是事先计算好后以文件的形式存储在计算机中供在线控制使用, 即控制表确定后, 控制器的控制规则就固定不变了。这样, 查询表不具有可调参数, 没有自适应和自组织的能力, 不利于适应被控系统的变化。

1 控制规则的解析描述

在简单的模糊控制器设计过程中, 误差和误差的变化对模糊控制器的影响是相同的。假设 E, EC 和 U 是各自论域上的模糊变量, 则一般模糊控制器的控制表可用如下解析式表示^[1]:

$$U = \langle (E + EC) / 2 \rangle \quad (1)$$

其中, $\langle (E + EC) / 2 \rangle$ 表示接近 $(E + EC) / 2$ 的整数。描述的控制规则可以看出, 控制作用取决于误差及误差的变化, 且二者处于同等加权程度。然而, 误差和误差的变化在不同的控制阶段对控制器有不同的影响^[2]。例如, 在阶跃响应的初始阶段, 系统误差较大, 误差是主要矛盾, 因此应加大误差的权重。在中期阶段, 系统的误差减小, 因此, 为减小系统的超调, 应突出误差变化的作用。当系统接近于期望值时, 由于此时误差和误差变化都比较小, 两者可以取大致相同的权系数。根据这个思想, 式(1)可以改写为

$$U = \langle aE + (1-a)EC \rangle \quad a \in (0, 1) \quad (2)$$

式中 a 为调整因子, 又称加权因子。

通过调整 a 值的大小, 可以改变对误差和误差变化的不同加权程度。这就构成了解析表达式描述的模糊控制器, 采用这种方式表达的控制规则简单方便, 易于计算机实时控制的实现。

2 模糊控制规则的在线自调整^[3,4]

带有 1 个加权因子 a 调整模糊控制规则的模糊控制器, 虽然可以改变 a 的大小调整控制规则, 但是 a 值一旦选定, 在整个控制过程中就不再改变, 带多个调整因子的模糊控制器尽管有所改善, 但随着误差、误差变化及控制量论域量化等级的增加, 调整因子也相应增加, 并且在多个调整因子的选择过程中带有一定的主观性, 缺乏有效的指导行为。为了适应被控对象的结构和参数的变化, 可以引入 1 个随时间变化而变化的调整函数 $a(t)$, 因此就可以得到这样一个控制规律:

$$U = \langle a(t)E + [1-a(t)]EC \rangle \quad a \in (0, 1) \quad (3)$$

为了便于分析和研究控制对策, 以基本模糊控制系统的阶跃响应曲线为例, 该响应曲线的典型动态特性可划分为以下 4 个阶段, 如图 1 所示 (图中 A_m 为阶跃幅值; 下同)。

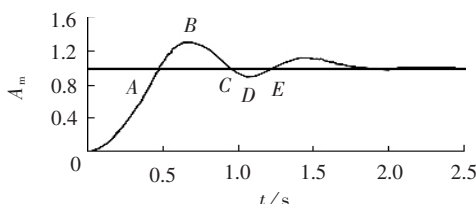


图 1 典型模糊控制系统阶跃响应曲线

Fig.1 Step response of typical fuzzy control system

OA 段: $e>0$ 且 $ec<0$,由于具有惯性决定了这一阶段只能呈倾斜方向上升,为使系统尽快消除偏差趋向稳态,而又在接口 A 点时不致于超调, $a(t)$ 应先大后小。

AB 段: $e<0$ 且 $ec<0$,系统输出已有超调且误差正在增大。在刚离开 A 点时, e 很小但 ec 很大,而接近 B 点时, e 很大但 ec 很小。此段控制作用除应尽量压低超调外,还应适当加强控制作用,因此, $a(t)$ 值就由小渐大。

BC 段: $e<0$ 且 $ec>0$,系统误差逐渐减小,系统输出趋向稳态,此时, $a(t)$ 应逐渐减小,避免出现下超调。

CD 段: $e>0$ 且 $ec>0$,系统输出减小,出现下超调。如果下超调不太大,可保持 a 在一个较小值,使系统尽快稳定。

根据以上分析可以看出,控制系统的动态过程是不断变化的,为了获得良好的控制性能,控制器必须根据系统输出的动态变化特征不断调整控制决策,以便使控制器本身的控制规律适合于控制系统的需要。因此,可以引入一个随时间变化的 $a(t)$ 调整函数:

$$a(t)=a(t-1)+rh(t) \quad a\in(0,1) \quad (4)$$

式中 r 是一个正常数,用来调整 a 的变化速度; $h(t)$ 用于修正 $a(t)$ 函数。

一般取 $r=0.1,a(0)=1$ 。 $a(t)$ 的大小随着控制系统输出的动态变化而变化,从而改变对误差和误差的加权程度,以获得满意的控制效果。

3 仿真试验^[5]

3.1 仿真结构图的构造

在整个输出响应过程中, $a(t)$ 函数的在线调整规律由一个模糊推理过程产生。根据当前控制偏差和偏差变化,结合动态过程特点及其控制经验,产生一个模糊变量 H ,经非模糊化处理得到 $h(t)$,用于修正 $a(t)$ 函数。凡具有某种输入输出对应关系的系统,都可以利用 Matlab 语言的 S 函数实现,并且它可以方便的与 Simulink 其他模块相结合。根据以上分析,利用 Matlab 语言,在 M 文件编辑器里编写相应模糊控制器的 S 函数,从而构造出基于解析表达式的模糊数模型及 $h(t)$ 模糊查询表的输出。

以典型的二阶环节为例:

$$H(s)=K/(T_1s^2+T_2s+1)$$

其中, $K=20,T_1=1.6,T_2=4.4$ 。在 Simulink 环境中,将相应的模块拖到窗口中,连接好后得到图 2 所示的仿真结构图。

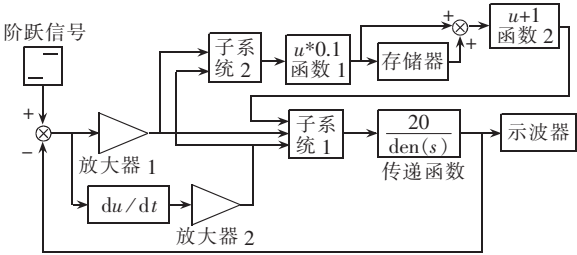


图 2 仿真结构图
Fig.2 Structure of simulation

3.2 阶跃信号跟踪试验

给系统突加 1 个单位阶跃信号,得到如图 3 所示的响应曲线。

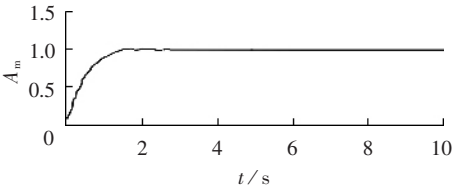


图 3 单位阶跃响应曲线
Fig.3 Unit step response

3.3 阶跃信号下鲁棒性实验

改变模型部分参数($T_1=3.4,T_2=4.8$),其他不变,跟踪曲线如图 4 所示。

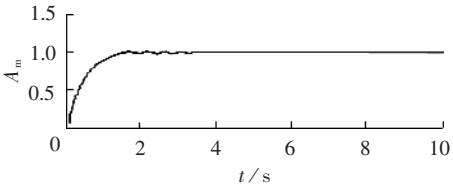


图 4 鲁棒性实验曲线
Fig.4 Curve of robust experiment

3.4 抗干扰性实验

加上单位为 0.2 的阶跃干扰后得到仿真曲线如图 5 所示。

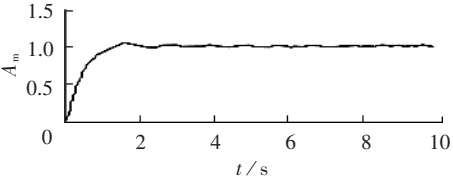


图 5 抗干扰性试验曲线
Fig.5 Curve of anti-disturb experiment

4 结论

结合基本模糊控制器模糊控制规则的解析表达式,按照误差和误差变化的实际情况,实时恰当地调整误差和误差变化的权重,实现控制规则的自调整。仿真结果表明,该模糊控制器无论从响应速度、鲁棒性还是对干扰的抵抗能力,均有着比较良好的性能,且该调整过程非常易于在计算机上实现。