

基于 MATLAB/Simulink 环境下的 PID 参数整定

白金, 韩俊伟

(哈尔滨工业大学 机电工程学院, 哈尔滨 150001)

摘要:针对 PID 参数复杂烦琐的整定过程这一问题, 基于 MATLAB/Simulink 仿真环境, 模拟工程稳定边界法的 PID 参数整定策略和步骤, 提出了一种简单有效的 PID 参数整定方法. 与通常的整定方法比较, 其优点是直观、完全可视化操作、省去了编程的工作量. 仿真结果表明该方法具有良好的收敛性, 使得控制系统动态性能得到有效改善, 并且很大程度上减少了工作量.

关键词: PID 控制; MATLAB/Simulink; 参数整定; 稳定边界法

中图分类号: TP214

文献标识码: A

文章编号: 1672-0946(2007)06-0673-04

Study on PID parameters turning method based on MATLAB/Simulink

BAI Jin, HAN Jun-wei

(School of Mechatronical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: The process of PID parameters turning is complicated and time-consuming to engineering technician. To solve this problem, simulating the Z—N method of engineering turning, based on the MATLAB/simulink, a simple and efficient method for PID parameters turning is presented in this paper. Compares with the general methods, it has many advantages, such as simplicity, visual manipulation, leaving out the workload of program and so on. The simulation results show the effectiveness of this method and be fit for application in the engineering.

Key words: PID control; MATLAB/Simulink; parameters turning; Z—N method

目前, PID 控制应用最广, 这不仅仅是因为 PID 控制结构简单、易于实现, 而且更重要的是因为 PID 适合于大多数控制对象. 在一些发达国家(如日本), PID 控制的使用率也达 85.4%^[1]. PID 控制器实现且综合了关于系统过去(I)、现在(P)和未来(D)三方面的信息, 对动态过程无需太多的预测知识, 鲁棒性强, 控制效果令人满意^[2]. 采用不同的 PID 参数, 控制系统的效果大不相同, 系统的闭环特性很大程度上取决于 PID 控制器的性能, 因此控制器参数的调节和优化决定着 PID 控制系统最终能达到的控制性能, 是 PID 控制系统研究中

十分重要并有实践意义的领域.

所谓 PID 参数的整定, 就是选择合适的比例系数 K_p 、积分时间常数 T_i 和微分时间 T_d , 使自动调节系统工作在最佳的状态^[3-6]. PID 参数的整定方法主要有: 理论建模法、工程整定法. 理论建模法的缺点是需要知道或能够求出控制对象的数学模型, 它要用到控制理论和数学方面的有关知识, 比较复杂, 不易被工程技术人员所掌握. 正因为如此, 工程整定法深受人们的欢迎.

在典型工业应用中, 通常选择工程整定的方法. 这些方法不需要获得调节对象的准确动态特

收稿日期: 2006-11-03.

基金项目: 国家 985 资助项目(CDAZ98502211)

作者简介: 白金(1981-), 男, 硕士, 研究方向: 流体控制及自动化; 韩俊伟(1964-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 系统集成设计理论与技术、计算机控制技术、伺服控制理论与应用、现代控制理论与应用.

性,直接在闭合的调节回路中进行整定,方法简单、计算方便、容易掌握,适合在工程实际中应用。控制工程中常用的工程整定方法有稳定边界法、4:1 衰减法、鲁棒 PID 参数整定法和 ISTE (Integral Squared Time - weighted Errors) 最优参数整定法。这四种方法各有优缺点,稳定边界法和 4:1 衰减法上升时间短、调节过程较快;而鲁棒 PID 参数整定法和 ISTE 最优参数整定法超调量小,调节过程比较平稳,鲁棒性好。4 种方法中,稳定边界法简单方便、容易掌握;4:1 衰减法超调量大,在一些特殊情况下,可能得不到 4:1 衰减比时的比例度和操作周期,有一定的局限性,此外其鲁棒性也差;ISTE 调节时间长;鲁棒 PID 参数整定法在被控对象的有关过程参数比较准确时,该法整定的参数就比较保守一些。通过对上述 4 种 PID 参数整定方法的比较,我们可以体会到,控制系统的快速性和鲁棒性是相互矛盾和相互制约的。4 种方法各有优缺点,在工程整定法中都有着各自的生命力。

综上,在当今自动控制系统中,PID 控制仍然是一种广泛采用的控制策略。而在 PID 参数整定中,工程整定的方法又广受工程技术人员的欢迎,实用性强。并在工程整定方法中稳定边界法仍然有着较强的生命力。但稳定边界法在常规的实验中还有一些弱处,如在做实验时需要把控制系统调到等幅振荡,有时可能会影响生产的正常操作。但在 Simulink 仿真环境下无这样的顾虑。本文针对常规实验中的一些不足,提出了基于 MATLAB/Simulink 仿真环境下的稳定边界法 PID 参数校正,其优点是:非常直观、完全可视化操作、省去了编程的工作量。

1 PID 参数及其对系统控制过程的影响

1.1 PID 控制参数

工业中常见的 PID 控制器的控制规律形式为

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]. \quad (1)$$

或写成传递函数的形式:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right]. \quad (2)$$

其中: K_p 为比例系数; T_i 为积分时间常数; T_d 为微分时间常数; $u(t)$ 为控制器输出; $e(t)$ 为控制器输入。

式(1)写成差分方程(向后差分):

$$u(k) = K_p \left[e(k) + \frac{1}{T_i} \sum_{i=1}^k e(i) T + \right.$$

$$\left. T_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \right]. \quad (3)$$

其中: $u(k)$ 为采样时刻 k 的输出量; $e(k)$ 、 $e(k-1)$ 分别为采样时刻 k 、 $k-1$ 时刻的偏差量; T 为采样周期。

在计算机系统中,采用增量式 PID 控制算式可得到很好的控制效果,故将式(3)转化成增量形式为

$$\begin{aligned} \Delta u(k) &= u(k) - u(k-1) = \\ K_p &\left\{ e(k) - e(k-1) + \frac{T}{T_i} e(k) + \right. \\ &\left. \frac{T_d}{T} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \right\}. \quad (4) \end{aligned}$$

1.2 K_p 、 T_i 、 T_d 对系统控制过程的影响

1) 比例系数 K_p

一般地,增大比例系数 K_p 将加快系统的响应速度,在有静差系统中有利于减小静差,但加大比例系数能减小静差,却不能从根本上消除静差。而且过大的比例系数会使系统产生超调,并产生振荡或使振荡次数增多,使调节时间加长,并使系统稳定性变坏或使系统变得不稳定。比例系数太小,又会使系统的动作迟缓。

2) 积分时间常数 T_i

一般地,积分控制通常与比例控制或比例微分控制联合使用,构成 PI 或 PID 控制。增大积分时间常数 T_i (积分变弱) 有利于减小超调,减小振荡,使系统更稳定,但同时要延长系统消除静差的时间。积分时间常数太小会降低系统的稳定性,增大系统的振荡次数。

3) 微分时间常数 T_d

一般地,微分控制也和比例控制和比例积分控制联合使用,组成 PD 或 PID 控制。微分控制可改善系统的动态特性,如减小超调量,缩短调节时间,允许加大比例控制,使稳态误差减小,提高控制精度。但应当注意,微分时间常数 T_d 偏大或偏小时,系统的超调量仍然较大,调节时间仍然较长,只有合适的微分时间常数,才能获得比较满意的过渡过程。此外,微分作用也使得系统对扰动变得敏感。

从 PID 控制器的 3 个参数的作用可以看出 3 个参数直接影响控制效果的好坏,所以要取得较好的控制效果,就必须对比例、积分、微分 3 种控制作用进行调节。总之,比例主要用于偏差的“粗调”,保证控制系统的“稳”;积分主要用于偏差的“细调”,保证控制系统的“准”;微分主要用于偏差的“细调”,保证控制系统的“快”。

2 PID 参数整定—Simulink 环境下 PID 参数的稳定边界法整定

过程控制系统中常用的 PID 校正装置传递函数为

$$G(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s. \quad (5)$$

其中 K_p 、 K_i 、 K_d 分别是比例系数、积分系数、微分系数。

Simulink 环境仿真的优点是:框图搭建非常方便、仿真参数可以随便修改。

表 1 稳定边界法参数整定的计算公式

调节规律	整定参数		
	K_p	K_i	K_d
P	$0.5 K_p$		
PI	$0.455 K_p$	$0.535 K_p / T$	
PID	$0.6 K_p$	$1.2 K_p / T$	$0.075 K_p T$

使用稳定边界法整定 PID 参数分为以下几步。

1) 将积分系数 K_i 和微分系数 K_d 设为 0, K_p 置较小的值,使系统投入稳定运行。

2) 逐渐增大比例系数 K_p ,直到系统出现稳定振荡,即所谓临界振荡过程。记录此时的临界振荡增益 K_p 和临界振荡周期 T 。

3) 按照表 1 的经验公式和校正装置类型整定相应的 PID 参数,然后再进行仿真校验。

例如,已知某被控对象为二阶惯性环节,其传递函数为

$$G(s) = \frac{1}{(5s+1)(2s+1)}. \quad (6)$$

测量装置和调节阀的特性为

$$G_m(s) = \frac{1}{10s+1}, G_v(s) = 1.0. \quad (7)$$

结果:最终整定的 PID 校正装置参数为

$$K_p = 7.5000, K_i = 0.5000, K_d = 14.2500$$

本系统是一个过程控制对象,其特点是时间常数大、控制要求不是很精确。因此, PID 校正是最主要的手段。而在 Simulink 环境下,应用稳定边界法整定 PID 参数是非常方便的。

1) 搭建系统方框图(图 1)

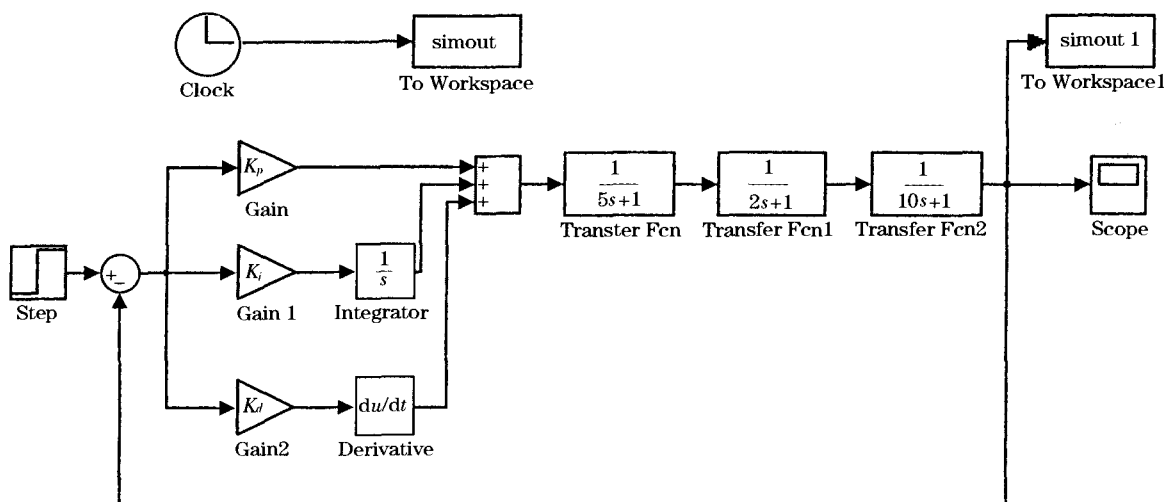


图 1 系统方框图

2) 设置 PID 参数名称及环境名称

分别双击 3 个“Gain”元件,在其对话框里填入相应的 K_p (即上文的 K_p)、 K_i (K_i)、 K_d (K_d)。

将仿真环境中的“Stop Time”设置为 60,“Relative tolerance”设置为 $1e-5$ 。

一般来说,仿真结束时间和仿真相对增益是根据不同的控制对象来选择的。因为系统是过程控制对象,所以仿真时间选的长一些。而将仿真精度的高一些,是为了让曲线画的更清楚。

3) 在 MATLAB 环境下初始化相应的 PID 参数变量

回到 MATLAB Command Windows,键入以下代码:

$$K_p = 1; K_i = 0; K_d = 0;$$

回到 Simulink 环境下就可以开始仿真了。当然,也可以在“Gain”元件参数对话框中直接键入相应的数值,但这样一来物理意义就不明显,并且不利于结构化建模和模块设置。

4) 整定 PID 参数

下面按照稳定边界法整定 PID 参数。稳定边界法的第一步参数在进行 PID 参数变量的初始化已经设置好了。从图 2 中可以看到,系统能够稳定运行,因此可以用稳定边界法来整定 PID 参数。希望通过 PID 校正,能够使系统无静差,并且改善其快速性。第二步是求取临界振荡周期和临界增益。方

法是逐步增大 K_p , 直到系统出现等幅振荡为止. 记下此时的 K_p , 即为临界增益; 此时的曲线两峰值之间的距离即为临界振荡周期 T .

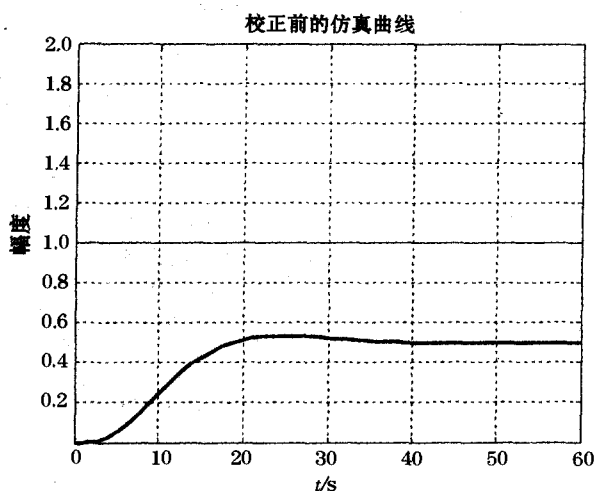


图2 校正前系统阶跃响应曲线

具体在 Simulink 下可以如下实现: 先选取较大的 K_p , 例如 100 (不同的对象有不同的值), 使系统出现不稳定的增幅振荡; 然后采取折半取中的方法寻找临界增益, 例如第一个点是 $K_p = 50$, 如果仍为增幅振荡则选下一点 $K_p = 25$, 否则选取 $K_p = 75$. 如此不断地对折可以最快找到临界增益. 当然经验丰富的工程人员可以根据曲线的振动情况很快地找到临界状态增益.

利用 MATLAB 求解非线性方程的功能也可以精确确定临界增益和临界振荡周期. 不过一来非常准确的精确值没有必要, 二来重新编写求解非线性方程的 M 函数也要耗费一定的时间, 还不能保证方程列写的准确性. 因此, 直接在 Simulink 下通过对折取中的方法求出近似值.

等幅振荡时, 有图 3.

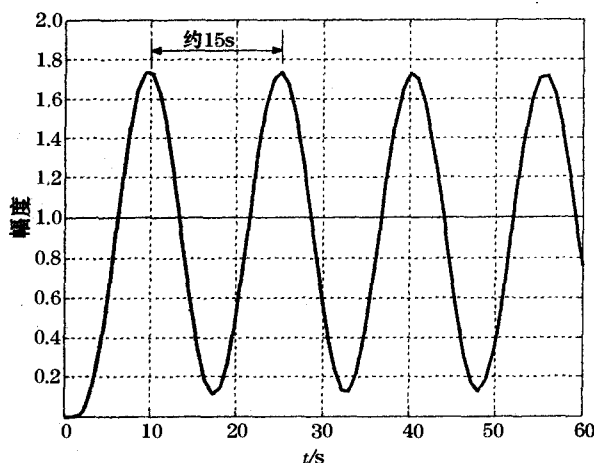


图3 等幅振荡的阶跃响应曲线

此时 $K_p = 12.5$, 从图 3 中读出曲线两峰值之间的距离约为 15 s 多一点, 因此取 $T = 15.2$ s. 下一步即可算出按稳定边界法表 1 整定的 PID 参数了. 在 MATLAB Command Windows 下键入以下代码:

$$K_p = 12.5; T = 15.2; K_d = 0.075 \times K_p \times T;$$

$$K_i = 1.2 \times K_p / T; K_p = 0.6 \times K_p;$$

其中第一个 $K_p = 12.5$ 是用折半取中寻找出来的, 这里为了保持代码的完整性也把它列出来了. 此时的 PID 参数为:

$$K_p = 7.5000, K_i = 0.9868, K_d = 14.2500$$

系统的阶跃响应曲线如图 4.

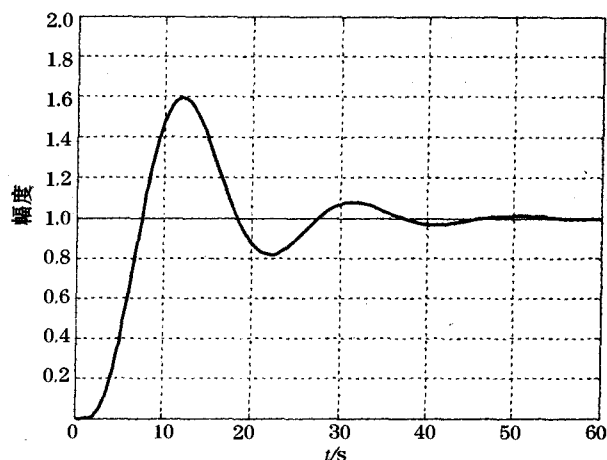


图4 稳定边界法整定的系统阶跃响应曲线

由图 4 可以看出, 该系统的响应曲线过渡过程时间超过 30 s, 超调量大于 50%, 和一些机械或电子控制系统相比, 控制品质并不令人满意. 这是因为本系统是过程控制系统, 一般的过程控制系统对过渡过程时间和超调量要求并不是非常严格. 当然, 超过 50% 的超调还是大了一些, 为此可以降低积分系数 K_i , 重新进行仿真, 见图 5.

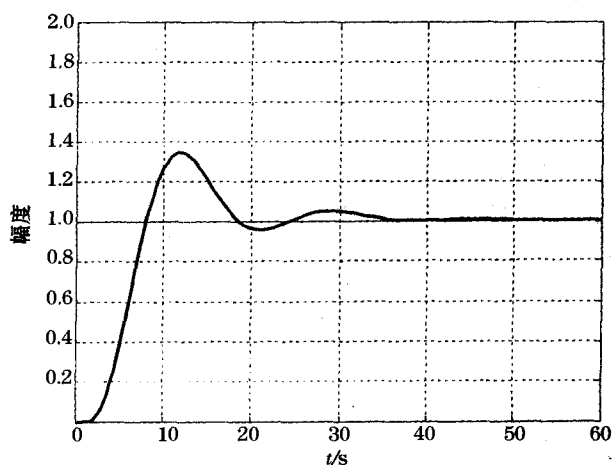


图5 校正后系统的阶跃响应曲线

(下转 681 页)

表 4 原始算法仿真结果

实验序号	广义代价	威胁代价	油耗代价	仿真时间/s
1	6.126	0.326	58.334	49.328
2	6.240	0.327	59.462	68.282
3	6.263	0.358	59.405	48.641
4	6.247	0.292	59.849	48.390
5	6.047	0.166	58.972	53.421
最好结果	6.047	0.166	58.972	53.421
平均结果	6.185	0.294	59.204	53.612

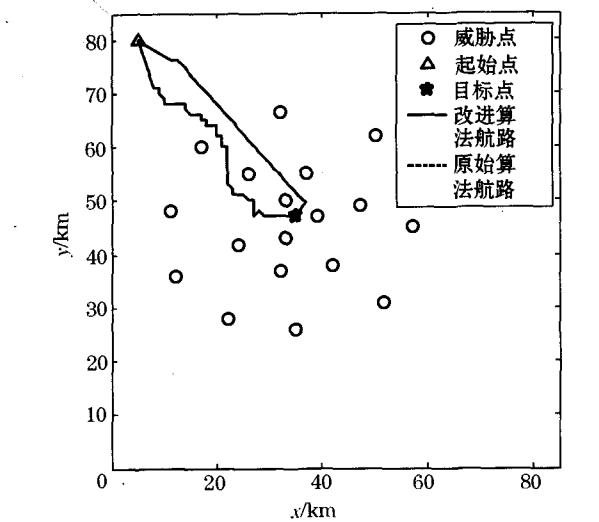


图 4 航迹规划图

(上接 676 页)

此时, $K_i=0.500\ 0$, K_p 和 K_d 仍是由稳定边界法整定的数据.从图 5 中可以看出,系统的过渡过程时间超调量都有所降低,对于没有特殊要求的过程控制系统来说,这样的性能指标已经令人满意了.

3 结 语

本文在区别于常规 PID 参数整定方法的基础上,提出了一种基于 MATLAB/Simulink 仿真环境下的 PID 参数整定方法.其特点是简单、直观、有效、完全可视化且物理意义明确.这种整定方法步骤简单、工作量少、容易被工程技术人员所理解和掌握,仿真结果也表明了该方法的有效性,具有很高的实用价值.利用 Simulink 的控制模块可很容易对系统进行建模校正,按下仿真按钮启动对系统的仿真,可以随意改变仿真参数,完成对系统的校正.

的航迹规划算法不论是在找到的解的质量还是仿真时间方面都比未改进的算法优异得多.

5 结 语

本文讨论了基于蚁群算法的军用飞行器航迹规划问题,并对基本算法进行了改进,提供了一种新的有效的航路优化算法.改进的算法克服了原始算法的收敛速度慢、易于过早陷入局部最优的缺点,仿真结果验证了该算法的有效性.

参考文献:

- [1] 柳长安,李为吉,王和平.基于蚁群算法的无人机航路规划[J].空军工程大学学报,2004,2(5):9-12.
- [2] COLONNI A, DORIGO M, MANIEZZO V. Distributed optimization by ant colonies[C]// Proceedings of the 1st European Conference on Artificial Life, Paris, France, Elsevier, 1991: 134-142.
- [3] DORIGO M, MANIEZZO V, COLORIN A. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents[J]. IEEE Transactions on SMC, 1996, 26(1): 29-41.
- [4] 柳长安.无人机航路规划方法研究[D].西安:西北工业大学,2004.

所以利用 Simulink 对系统做适当仿真和分析,对不符合要求的系统进行校正,可以增强系统的性能,减少系统反复修改的时间,实现高效开发系统的目标.

参考文献:

- [1] 高金源.计算机控制系统理论、设计和实现[M].北京:北京航空航天大学出版社,2001.
- [2] HANG C C, HO W K, CAO L S. A comparison of two design methods for PID controllers[J]. ISA TRANS,1994,33(2):147-151.
- [3] 卢泽生.控制理论及其应用[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2005.
- [4] 欧阳黎明. MATLAB 控制系统设计[M].北京:国防工业出版社,2001.
- [5] 陈维山,赵 杰.机电系统计算机控制[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2001.
- [6] 邱 丽,曾贵娥,朱学峰.几种 PID 控制器参数整定方法的比较研究[J].自动化技术与应用,2005,24(11):28-31.