PID 调节器参数优化设计的一种改进方法

曹军　王克奇　常恕吾　杨肃
（东北林业大学）

摘要：本文较详细地介绍了 PID 调节器优化参数设计原理。提出了一种既简便实用又具有一定准确性的 PID 调节器优化参数初始值选择方法。此方法以典型二阶最佳系统作为模型匹配调节器参数，使得整个设计过程避免了不收敛的可能性。最后，通过实例证实了方法的准确性。

关键词：PID 调节器；单纯形；控制理论

Abstract

After a detailed introduction about the principle of optimum PID controllers design , this paper advances a new method , which possesses both advantages of convenience and accuracy in practical use, for optimum original parameters seeking of PID controllers .This method takes the typical two-rank optimum system as the model in PID controller parameters setting , so that it avoides the possibility of disvergence in the process of design . By the end of the paper , an objective example is illustrated which proofs the accuracy of the method.

Keywords：PID controller；Simplex；Control theory

引言

PID调节器是工业过程控制中常见的一种控制调节器，它广泛应用于冶金、机械、热工、化工和轻工等工业过程控制之中，在控制理论和技术飞跃发展的今天，PID控制由于其简单、稳定性能好、鲁棒性强和可靠性高等优点，仍具有强大的生命力。但是，PID调节器参数选择问题一直是人们研究的重要课题。文献[1,2]介绍了利用试探法和经验公式获得PID调节器参数，显然这种方法有其局限性。利用计算机进行PID调节器参数寻优，得到在某种约束条件下的最佳参数是一种行之有效的方法。然而，在使用这种方法的过程中，初始值的选择是一个重要的问题。由于初始值选择不同得到的最佳参数也不同，有时可能出现寻优时间过长或不收敛现象。针对上述问题，本文提出了一种既简便实用又具有一定准确性的PID调节器优化参数初始值选择方法。此方法从典型二阶最佳系统作为模型匹配模型选择调节器参数，改进了文献[3]给出的单纯形加速法，使初值的选取与参数的寻优直接由计算机完成。从而大大地缩短了计算时间。通过仿真已证实了这种方法的有效性。

1 最佳参数选择及其基本计算公式

设控制对象的传递函数为：

$$\frac{y(S)}{u(S)}=\frac{e^{-T_3S}}{(T_1S+1)(T_3S+1)} \tag{1}$$

其闭环系统框图见图 1。

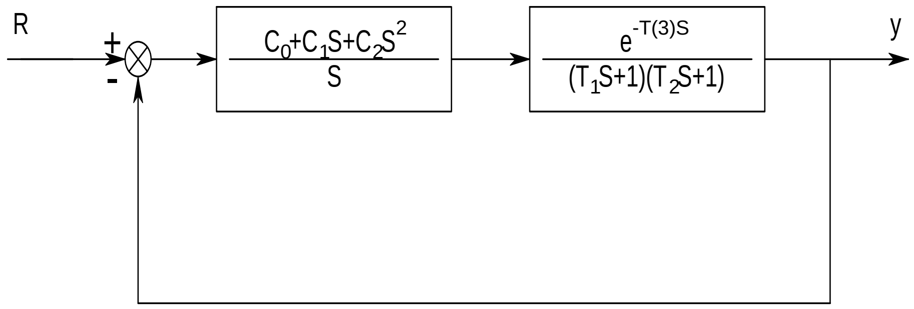

图 1 控制系统

目标函数选取 ITAE 积分准则

$$S=\int_0^t t\left|e(t)\right|dt \tag{2}$$

要求调整 PID 参数（k_p、T_2、T_0），使目标函数为最小，$e(t)$可由下式给出

1.1 PID 计算公式

$$u(t)=k_p\left[e(t)+\frac{1}{T_1}\int_0^t e(t)dt+T_D\frac{de(t)}{dt}\right] \tag{3}$$

将（3）式写成差分方程为：

$$u_{(n)}=u_{(n-1)}+k_p\left\{e_{(n)}-e_{(n-1)}+\frac{T}{T_1}e_{(n)}+\frac{T_D}{T}\left[e_{(n)}-2e_{(n-1)}+e_{(n-2)}\right]\right\} \tag{4}$$

1.2 延时环节 e^{-T_2S}

$$D=INT(T_3/T) \quad \text{其中 } INT \text{ 表示“取整”}$$

1.3 运用连续系统离散化数字仿真方法进行计算可得到前一个惯性环节

$$x_{2(n+1)}=\Phi_2(\tau)x_{(n)}+\Phi_{m2}(\tau)u_{(n)}+\hat{\Phi}_{m2}(\tau)\dot{u}_{(n)} \tag{5}$$

其中：
$$\Phi_1(\tau)=e^{-\frac{\tau}{T_2}}$$ τ 为计算步距
$$\Phi_{m2}=1-e^{-\frac{\tau}{T_2}}$$
$$\hat{\Phi}_{m2}=T_2\left(e^{-\frac{\tau}{T_2}}-1\right)+\tau$$

而后一个惯性环节

$$x_{1(n+1)}=\Phi_1(\tau)x_{1(n)}+\Phi_{m1}(\tau)x_{2(n)}+\hat{\Phi}_{m1}(\tau)x_{2(n)} \tag{6}$$

其中：
$$\Phi_1(\tau)=e^{-\frac{\tau}{T_1}}$$
$$\Phi_{m1}=1-e^{-\frac{\tau}{T_1}}$$
$$\hat{\Phi}_{m1}=T_1\left(e^{-\frac{\tau}{T_1}}-1\right)+\tau$$

1.4 误差函数

$$e_{(n)}=R_{(n)}-x_{1(n)} \tag{7}$$

由公式（3）、（4）、（5）、（6）、（7）用求和法可求得

$$S=\int_0^t t|e(t)|dt=\sum_{i=1}^{N}|e(i)|\cdot i\cdot\Delta t \tag{8}$$

其中：$N=INT(T/\Delta t)$，$\Delta t=\tau$

1.5 初始值的选择

设连续系统见图 2

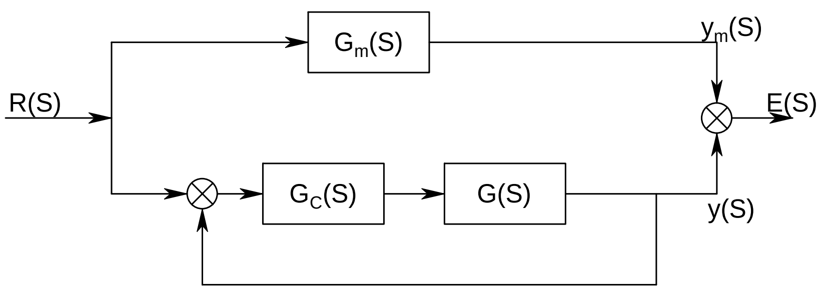

图 2 模型匹配控制系统

其中对象传递函数为

$$G(S)=\frac{e^{-T_3S}}{(T_1S+1)(T_2S+1)}$$

若利用 Pade 逼近，将(1)式化为：

$$G(S)=\frac{1}{(T_1S+1)(T_2S+1)}\times\frac{12-6T_3S+T_3^2S^2}{12+6T_3S+T_3^2S^2} \tag{9}$$

PID 调节器的传递函数为：

$$G_c(S)=\frac{C_0+C_1S+C_2S^2}{S} \tag{10}$$

设模型传递函数为：

$$G_m(S)=\frac{1}{1+a_1\tau S+a_2\tau^2S^2+a_3\tau^3S^3+a_4\tau^4S^4+\Lambda} \tag{11}$$

求出控制参数和τ_0，若设a_j为：

$$a_1=1,\quad a_2=0.5,\quad a_3=0.15,\quad a_4=0.03,\Lambda\ \Lambda$$

为此，使$G(S)$的分子为一而分母为规则化形式则：

$$G(S)=\frac{1}{a_0'+a_1'S+a_2'S+\Lambda} \tag{12}$$

由模型匹配关系，推导出求解调节参数的公式

$$\frac{a_3'}{a_0'}-\tau a_2\frac{a_2'}{a_0'}+\tau^2\left(a_2^2-a_3\right)\frac{a_1'}{a_0'}-\tau^3\left(a_2^3-2a_2a_3+a_4\right)=0 \tag{13}$$

求出(11)式最小正实数τ，得：

$$C_0=\frac{1}{\tau}a_0'$$

$$C_1=\frac{1}{\tau}a_0'\left(\frac{a_1'}{a_0'}-\tau a_2\right)$$

(14)

$$C_2=\frac{1}{\tau}a_0'\left\{\frac{a_2'}{a_0'}-\tau a_2\frac{a_1'}{a_0'}+\sigma^2\left(a_2^2-a_3\right)\right\}$$

由(13)式可得 $k_p = C_1$； $T_2 = \dfrac{C_1}{C_0}$； $T_0 = \dfrac{C_2}{C_1}$

有了 k_p， T_D 值，将此值作为最佳 PID 调节器参数寻优的初始值。参数寻优的初始值。参数寻优方法采用单纯形加速法。其系统寻优仿真程序框图见图 3。

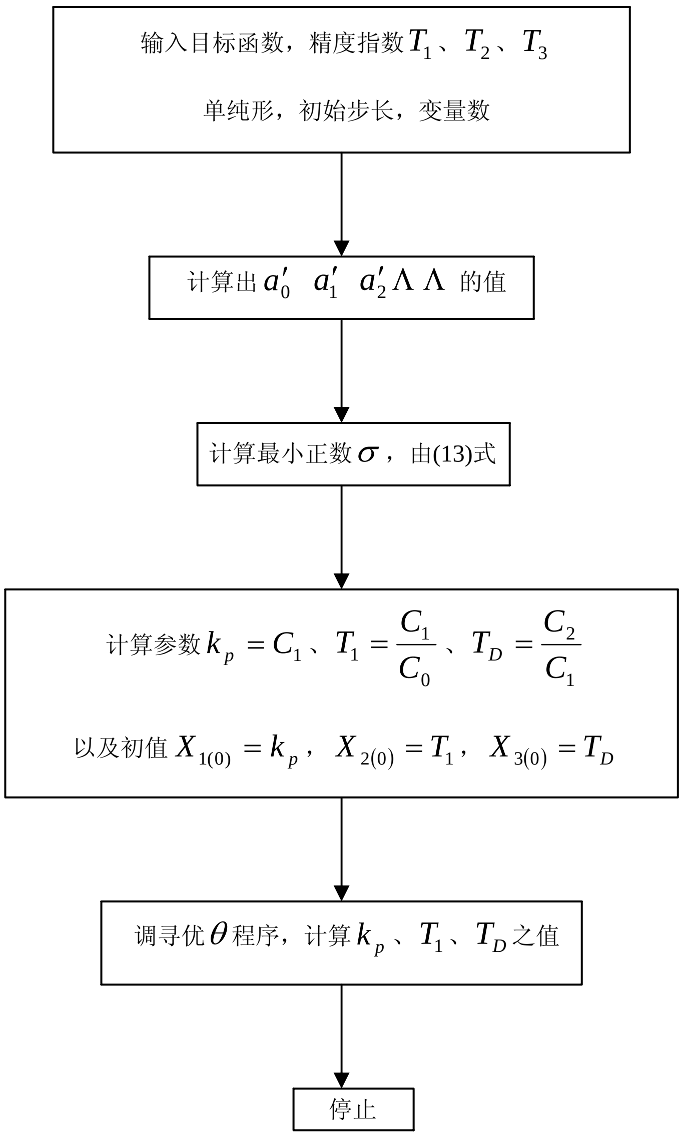

图 3 系统寻优程序

2 仿真实例

设对象传递函数为

$$G(S) = \frac{e^{-0.08s}}{(0.32S + 1)^2}$$

$$R(t)=\begin{cases}0, t<0\\10, t\geq 0\end{cases}$$

采用 PID 调节器，利用(12)、(13)、(14)式便可求出C_0、C_1、C_2及k_p、T_1、T_D参数，将所求k_p、T_1、T_D参数作为寻优程序的初始值。求得的$k_p=4.21$；$T_1=0.64359$；$T_D=0.1618$。计算机仿真的系统输出响应见图 4。超调量为2.6%，过渡过程时间为$0.7s$。

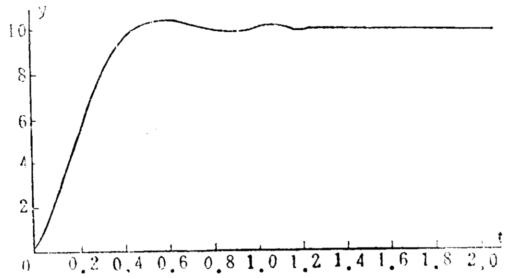

图 4 系统输出响应曲线

3 结论

本文依据系统模型匹配方法，按着期望的模型选择调节器的参数，作为离散系统最佳 PID 参数调节器寻优的初始值，使模型匹配、PID 调节器参数选择初值以及 PID 调节器最佳参数的确定合为一体。本文提出的这种改进的 PID 参数最优化设计方法既简便实用又具有一定的准确性。还可根据系统性能指标的要求对k_p、T_1、T_D初始值进行加权处理，使设计的系统动、静态特性更好。仿真结果表明该方法具有良好的适应性和有效性。

参考文献

[1] 王永初.《自动调节系统工程设计》.北京：机械工业出版社，1983
[2] R.依扎尔曼，王振难等译.《数字调节系统》.北京：机械工业出版社，1984
[3] 范鸣玉，《张莹.最优化技术基础》.北京：清华大学出版社，1982
[4] 黄萌华，倪宾斌.《改进单纯形法 PID 参数寻优》.工业仪表与自动化装置，1988