

# 基于 ANN 的自适应 PID 控制器的 仿真研究及单片机实现探讨\*

康 赐 荣

(华侨大学电子工程系, 泉州 362011)

**摘要** 提出一种基于 ANN(人工神经网络)的自适应 PID 控制器. 通过 BP 网络的自学习把增量式数字 PID 控制算法的参数存贮在神经元间连接权值上. 不管由于什么原因使控制品质有所下降时, BP 网络能自动修正权值, 表现出对环境的自适应能力. 最后, 对本控制器的 8098 单片机实现进行探讨.

**关键词** PID 控制器, BP 网络, 自适应性, 单片机

**分类号** TP 273

PID 控制器是根据被调量的期望值与实际值偏差的比例、积分和微分进行调节的. 它不需要知道, 或不需要知道过程的精确数学模型, 加之算法简单、鲁棒性好、可靠性高, 至今仍在工业过程控制中获得广泛应用. 常规 PID 控制器的参数是根据参数对控制品质影响和先验知识, 先近似整定, 然后在运行过程中再进一步调整. 但是, 固定参数的 PID 控制器不能使过程状态永远保持在满意状态. BP 算法是误差驱动的一种 ANN 算法, 这使它与 PID 算法有一种固有的联系. 本文试图用 BP 网络来实现自适应 PID 控制器的功能. 计算机仿真结果表明, 用 ANN 实现自适应 PID 控制器功能是可行的, 控制品质是满意的.

## 1 PID 算法与 BP 网络实现

增量式数字 PID 控制算法<sup>[1]</sup>是

$$\Delta V_i = V_i - V_{i-1} = a_0 e_i + a_1 e_{i-1} + a_2 e_{i-2}, \quad (1)$$

式中  $\Delta V_i$  为  $i$  时刻控制量的增量;  $e_i, e_{i-1}$  和  $e_{i-2}$  分别为  $i, i-1$  和  $i-2$  时刻的期望输出与实际输出之差;  $a_0, a_1$  和  $a_2$  是与 PID 控制器的参数  $k_p, T_1, T_D$  及采样周期  $T$  有关的系数.

这种算法不难用 BP 网络实现(图 1). BP 网络由输入层和输出层组成, 输入层三个神经元的输入分别为  $e_i, e_{i-1}$  和  $e_{i-2}$ . 输出神经元的输入为

$$U = \sum_{j=1}^3 W_j V_j + \theta, \quad (2)$$

式中  $W_j$  为输入层神经元  $j$  与输出神经元间的连接权值;  $V_j$  为输入层神经元  $j$  的输出也就是

\* 本文 1995-12-31 收到

其输入; $\theta$  为输出神经元的阈值. 输出神经元的输出为

$$V = \tanh(aU), \tag{3}$$

BP

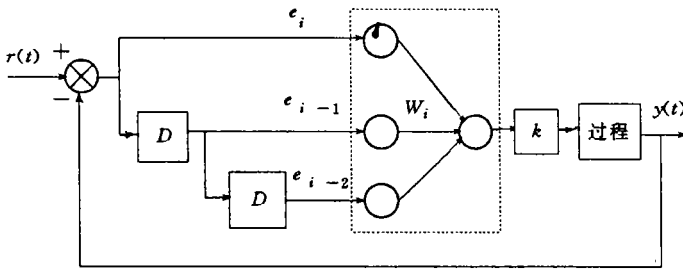


图1 PID控制算法的BP网络实现

它取 $-1 \sim +1$  之间的值,以适应误差有正与负的实际情况. $a$  是影响 $V \sim U$  关系曲线陡度,因而是影响学习速度的一个参数<sup>[2]</sup>.

BP 算法是梯度最速下降法的优化算法,它以误差函数 $E(t)$ 的负梯度方向修改权值,使过程的实际输出趋近期望值. 误差函数定义为

$$E(t) = \frac{1}{2} (T - V)^2, \tag{4}$$

式中 $T$  为输出神经元的期望输出.

权值修正量 $\Delta W_j(t)$ 为

$$\Delta W_j(t) = -\eta \frac{\partial E(t)}{\partial W_j(t)} = -\eta (1 - V^2) (T - V), \tag{5}$$

式中 $\eta$  为学习速率,是 BP 算法的一个重要参数, $\eta$  大,算法收敛快,但到学习后期,会引起算法振荡,必须正确选取<sup>[2]</sup>.

权值修正公式为

$$W_j(t + 1) = W_j(t) + \Delta W_j(t). \tag{6}$$

BP 网络的训练可分离线训练和在线训练. 若生产过程允许,可采用在线训练,即把未训练的 BP 网络接入控制系统中,通过 BP 网络的自学习把系数 $a_0, a_1$  和 $a_2$  记忆在神经元间的连接权值上. 若生产过程不允许未初步调整好的控制器接入,在这种情况下,必须利用生产过程的近似数学模型,对 BP 网络进行离线训练,之后才正式接入控制系统中.

下面以例子说明 BP 网络的控制效果.

例 1 一电炉的传递函数为<sup>[3]</sup>

$$G(s) = \frac{\Theta(s)}{I(s)} = \frac{150 e^{-4.6s}}{65s + 1}, \tag{7}$$

式中 $\Theta(s)$  为炉温的拉氏变换; $I(s)$  为输入加热电流的拉氏变换.

取采样周期 $T_s = 2 \text{ min}$ , 不难导出差分方程

$$\theta(k) = 0.97\theta(k - 1) + 4.48i(k - 2), \tag{8}$$

仿真结果见图 2(a). 权值 $W_1 = 2.0694, W_2 = 1.1801, W_3 = 0.9339$ ; 阈值 $\theta = 3.0286$ .

例 2 某电渣重熔过程的熔化速率的数学模型为

$$G(s) = 5e^{-3.3s} / [10.2s + 1)(1.2s + 1)], \tag{9}$$

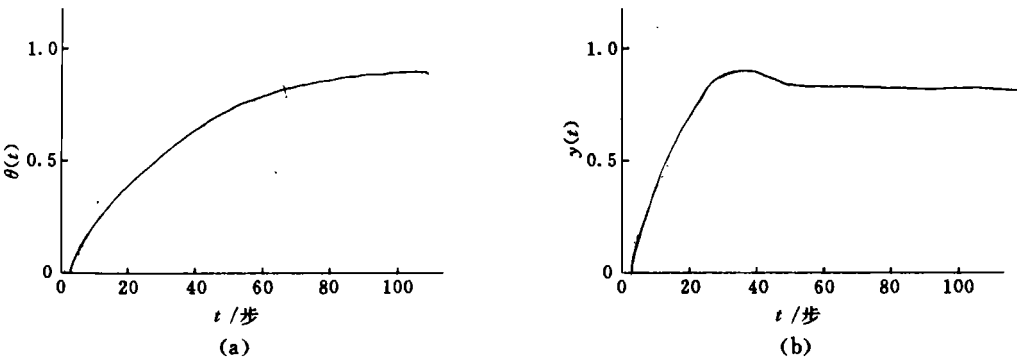


图2 BP网络控制过程的阶跃响应

取  $T_s=1.2\text{ min}$ ,可导出差分方程

$$y(k)=1.4y(k-1)-0.447y(k-2)+0.263x(k-3), \tag{10}$$

仿真结果见图 2(b). 权值  $W_1=1.720\ 5,W_2=0.837\ 6,W_3=0.595\ 0$ ; 阈值  $\theta=1.793\ 9$ .

上述例子说明,可用 BP 网络对生产过程进行有效的控制,控制品质是满意的.

笔者还对例 1,2 所示的生产过程加持续时间为  $1T_s$  和  $10T_s$ . 不同幅值的外扰进行仿真实验,结果如附表所示.

附表 外扰仿真实验数据

生产过程	扰动持续时间	扰动幅值	输出变化幅度	静态误差小于 给定误差需时	
				<5%	<2%
例 1	$1T_s$	-0.8	0.989~1.015	0	0
		-0.2	0.999~1.018	0	0
		0.2	0.999~1.019	0	0
		0.8	0.999~1.020	0	0
	$10T_s$	-0.2	0.986~1.023	0	<35 <i>T_s</i>
		0.2	0.999~1.024	0	<28 <i>T_s</i>
例 2	$1T_s$	-0.8	0.917~1.035	10 <i>T_s</i>	29 <i>T_s</i>
		-0.2	0.984~1.008	0	0
		0.2	0.992~1.014	0	0
		0.8	0.975~1.04	0	25 <i>T_s</i>
	$10T_s$	-0.2	0.866~1.072	35 <i>T_s</i>	42 <i>T_s</i>
		0.2	0.919~1.094	32 <i>T_s</i>	36 <i>T_s</i>

可见,采用本控制器的控制系统表现出很强的鲁棒性. 究其原因,在于 ANN 具有自学习能力. 不管由于任何原因,使静态误差超过允许值时,网络会自动进行学习,修正权值(权值修正过程可参看后面图 5 所示的程序流程图),使控制品质保持在满意状态,具有自适应性.

2 ANN 自适应 PID 控制器的单片机实现

8098 是准 16 位单片机,它有四路模入 I/O 口,片内有 10 位 A/D 转换器,有一路可作 D/A 转换器用的脉宽调制 PWM 输出. 片内有可供用户编程使用约 232 kB 字节的寄存器阵列,

操作数可为字节、字、双字,指令丰富,指令执行速度快.由式(2)~(10)可知,运算过程中主要是加、减、乘和查表简单运算,且各参数、权值、神经元状态量的数值范围不很大,采用多字节定点运算即可满足运算精度要求.

(1) ANN 自适应 PID 控制系统组成. ANN 自适应 PID 控制系统组成如图 3 所示. 其中 8098 单片机最小系统

图3 ANN自适应PID控制系统组成

如图 4 所示. 它包含有 8098 单片机、低 8 位地址锁存器 74LS 373、程序存储器 2864、数据存

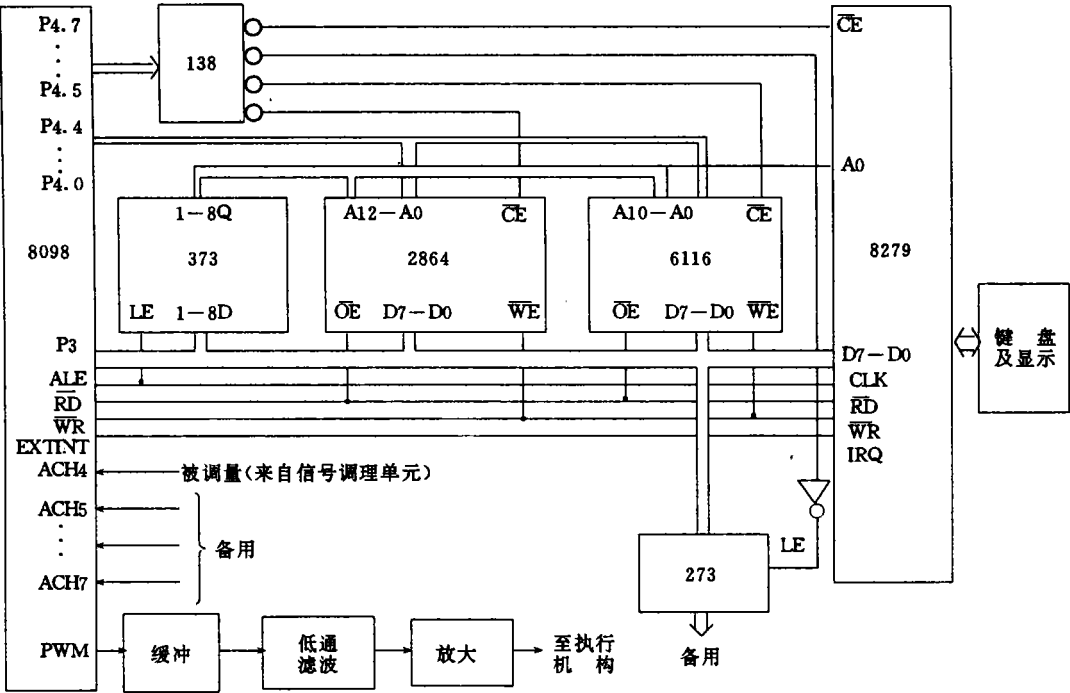


图4 8098单片机最小系统组成

贮器 6116、键盘/显示器专用接口芯片 8279、键盘及显示器等. 被测量的  $y(t)$  经传感器转换成电信号, 经信号调理成 0~5 V 电压信号, 经 8098 单片机的片内采样/保持器和 A/D 转换器转换成数字量. 经 CPU 进行 BP 运算, 输出控制量, 经放大驱动后作用于执行机构, 实现对生产过程的自动调节.

(2) ANN 自适应 PID 控制器的程序简介. PID 控制器的主程序流程图如图 5 所示. 初始化内容有: 设置堆栈指针; 中断悬挂寄存器清 0; 中断屏蔽位的设置; 寄存器阵列的分配; 参数、数据区、标志赋初值等. 程序初始化后, 等待键入运行标志 FLAG, 若是初次运行, 应键入 0, 单片机 PID 控制器进行学习, 把不同的小数值赋给各个权, 接着进行数据采集, 取被调量和权  $W_1$ , 计算  $e_i, W_1 e_i$ . 取  $e_{i-1}, e_{i-2}$  和  $W_2, W_3$ , 计算  $W_2 e_{i-1}, W_3 e_{i-2}$ , 求和  $\sum_{j=1}^3 W_j e_{i-(j-1)} + \theta$ , 查表并把结果输出. 检查实际输出值与期望值之差是否小于允许值, 若大于允许值, 则对权值进行修正.

采样时间到时,进行下一轮循环.当误差小于允许值,则停止对权值进行修正.若键入运行标志为 1,则控制器以学习好并存贮起来的权值算出控制量,实现对生产过程的控制.在运行中时刻检查误差的大小,若由于任何扰动影响,使被调量偏离期望值大于允许值时,控制器将按式(5),(6)对权值进行修正,直到误差小于允许值止.表现出本控制:能自适应地调节控制器参数.

子程序有按键中断、定时时间到中断、数字滤波、标度变换、数制转换、显示子程序等,不一一赘述.

### 3 结束语

文中讨论了自适应 PID 控制器的 BP 算法和单片机实现问题.理论分析和计算机仿真结果表明,用 BP 网络可实现自适应 PID 控制,控制器参数由 BP 网络的自学习获得,控制系统结构及算法均简单、鲁棒性强、实时性好、易于单片机实现.

### 参 考 文 献

- 1 康赐荣,吴宇才. MCS-98 单片机控制的腹膜透析机的研制. 计算机应用, 1994, (3): 42~44
- 2 康赐荣. BP 算法参数选取及应用. 计算机应用, 1995, (5): 31~32
- 3 陆道政,季新室. 自动控制原理及设计. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 272~275

## Simulation Study of Adaptive PID Controller Based on ANN and Discussion of Its Implementation on Single Chip Computer

Kang Cirong

(Dept. of Electron. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** An adaptive PID(proportional integral and differential) controller based on ANN(artificial neural net) is presented in this paper. By self-learning of back propagation (BP) net, the parameters of incremental digital PID control algorithm can be stored at interneuronal connected weights. Despite of the decrease of control quality for whatever reasons, BP net will be able to modify automatically the weights and will show its adaptive ability against environment. The implementation of this controller on MCS-8098 single chip computer is discussed finally.

**Keywords** PID controller, BP net, adaptability, single chip computer

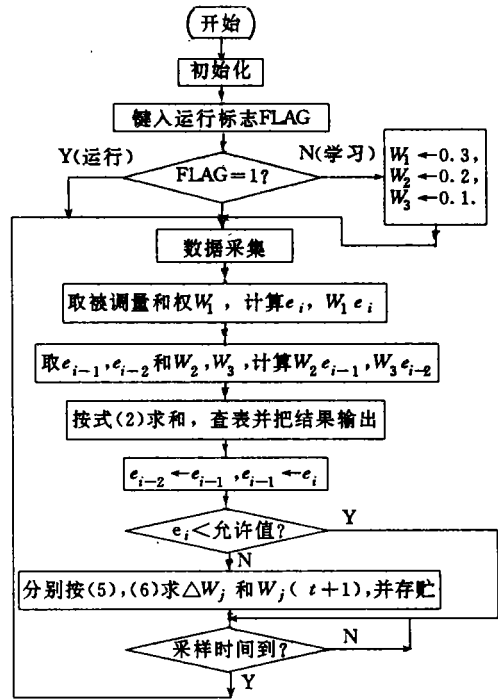


图5 控制器主程序流程图