国家精品课程/国家精品资源共享课程/国家级精品教材 国家级十一(二)五规划教材/教育部自动化专业教学指导委员会牵头规划系列教材

控制系统仿真与CAD 第十章 智能控制器设计方法

神经网络控制

Neural Network Control



主讲: 薛定宇教授

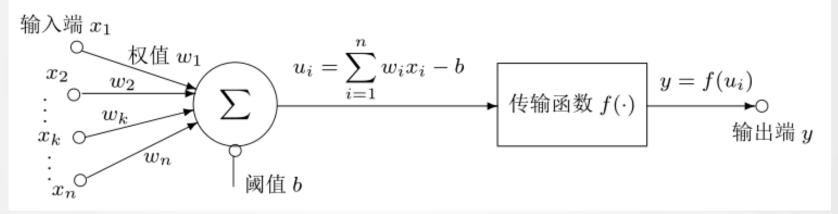


神经网络及神经网络控制器设计

- 人工神经网络是在对复杂的生物神经网络研究和理解的基础上发展起来的
- > 本节主要内容
 - ▶神经网络简介
 - ▶基于单个神经元的 PID 控制器设计
 - ▶基于反向传播神经网络的 PID 控制器
 - ▶基于径向基函数的神经网络的 PID 控制器

神经网络简介

- > 单个人工神经元的数学表示
 - ▶输入、输出、权值、阈值、激活函数



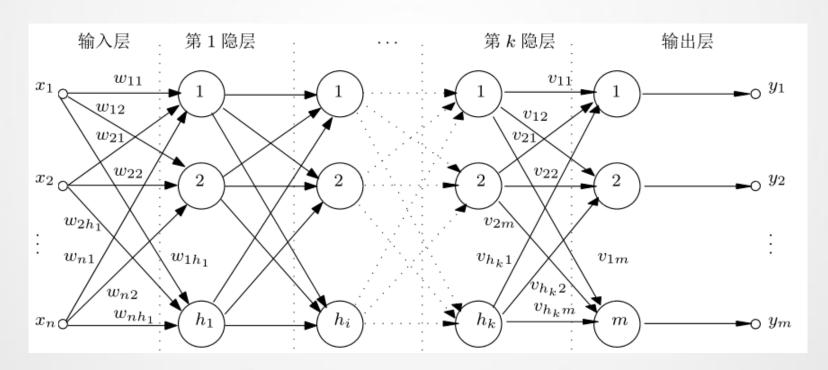
> 常用激活函数

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1 = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{-2x}}, \ f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$



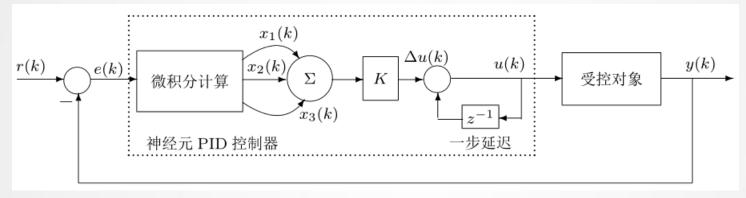
前馈神经网络

- > 若干个神经元相互连接,则可以构成神经网络
- ➤ 反向传播 (back propagation, BP) 训练算法



基于单个神经元的PID控制器设计

➤ 神经元 PID 控制系统框图



➤ Hebb 学习速率

$$w_{1}(k) = w_{1}(k-1) + \eta_{p}e(k)u(k) \left[e(k) - \Delta e(k) \right]$$

$$w_{2}(k) = w_{2}(k-1) + \eta_{i}e(k)u(k) \left[e(k) - \Delta e(k) \right]$$

$$w_{3}(k) = w_{3}(k-1) + \eta_{d}e(k)u(k) \left[e(k) - \Delta e(k) \right]$$

神经元控制的数学公式

> 微积分信号

$$x_1(k) = e(k), x_2(k) = \Delta e(k) = e(k) - e(k-1),$$

 $x_3(k) = \Delta^2 e(k) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)$

> 控制律
$$u(k) = u(k-1) + K \sum_{i=1}^{3} w_i^0(k) x_i(k)$$

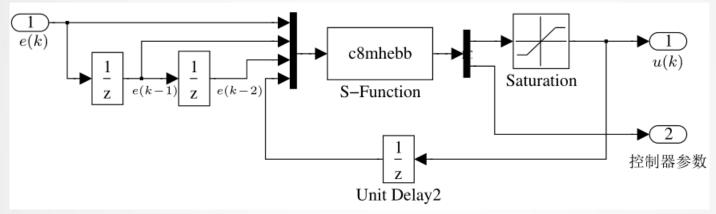
> 归一化权值

$$w_i^0(k) = \frac{w_i(k)}{\sum_{i=1}^{3} |w_3(k)|}$$



控制器的Simulink实现

➤ 控制器模型 (c10shebb.mdl)



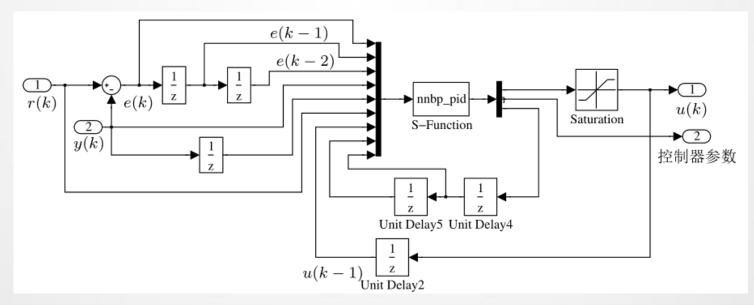
```
function [sys,x0,str,ts]=c10mhebb(t,x,u,flag,deltaK)
switch flag,
   case 0, [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes;
   case 2, sys=mdlUpdate(t,x,u,deltaK);
   case 3, sys = mdlOutputs(t,x,u);
   case {1, 4, 9}, sys = [];
   otherwise, error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end;
```

S-函数 (续)

```
function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 0; sizes.NumDiscStates = 3;
sizes.NumOutputs = 4; sizes.NumInputs = 4;
sizes.DirFeedthrough = 1; sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes); x0 = [0.3*rand(3,1)];
str = []; ts = [-1 \ 0];
function sys = mdlUpdate(t,x,u,deltaK)
sys=x+deltaK*u(1)*u(4)*(2*u(1)-u(2));
function sys = mdlOutputs(t,x,u)
xx = [u(1)-u(2) u(1) u(1)+u(3)-2*u(2)];
sys=[u(4)+0.12*xx*x/sum(abs(x)); x/sum(abs(x))];
```

基于反向传播神经网络的PID控制器

- 》增量式PID控制器 $u(k) = u(k-1) + K_p \left[e(k) e(k-1) \right] + K_i e(k) + K_d \left[e(k) + e(k-2) 2e(k-1) \right]$
- ➤ Simulink模型 (c10bp_pid.mdl)

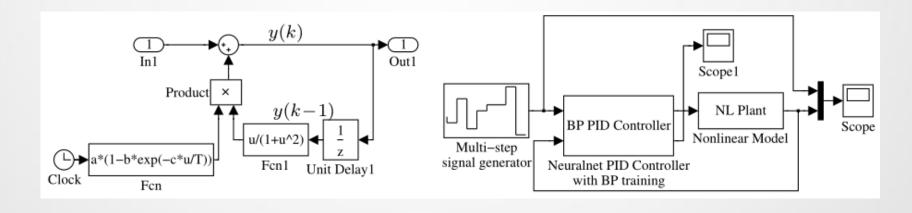


例10-9 BP PID控制系统仿真

> 非线性受控对象

$$y(t) = \frac{a(1 - be^{-ct/T})y(t-1)}{1 + y(t-1)^2} + u(t)$$

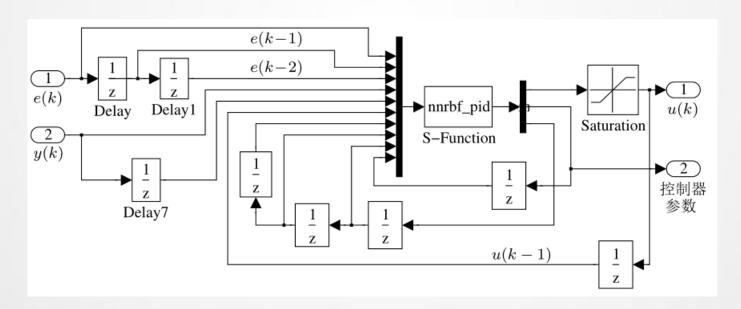
- 》参数 a = 1.2, b = 0.8, c = 0.1, T = 0.001
- ➤ 仿真框图 (c10bp_pid.mdl子模型)





基于径向基函数的神经网络的PID控制器

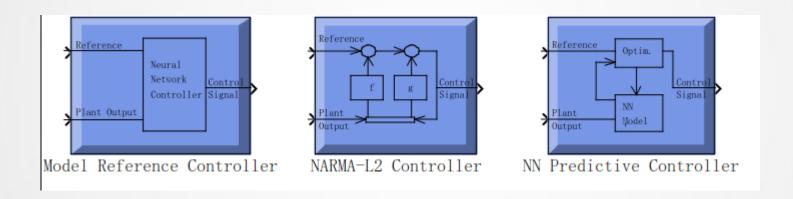
➤ 径向基函数 (radial basis function, RBF) 神经网络是一种采用局部接受域来进行函数映射的人工神经网络,是由一个隐含层和一个线性输出层构成的前向网络结构





Simulink提供的控制器模块

> 打开模块





神经网络及控制小结

- > 神经网络的基本概念
 - ▶神经元 权值、阈值、激活函数
 - ▶神经网络 —— 网络结构、节点
- > 不同的神经网络控制器
 - ▶单个神经元的控制器
 - ▶基于BP神经网络的控制器仿真模型
 - ▶基于径向基网络的控制器仿真模型

