



# 基于 PID 神经网络的非线性时变系统辨识

舒怀林

(广州大学自动化系 广州 510091)

(E-mail: hlshu@163.net)

关键词 神经网络, 系统辨识, 非线性系统

中图分类号 TP183

## IDENTIFICATION OF NONLINER SYSTEMS BASED ON PID NEURAL NETWORKS

SHU Huai-Lin

(Department of Automation, Guangzhou University, Guangzhou 510091)

(E-mail: hlshu@163.net)

Key words Neural networks, system identification, nonlinear system

### 1 引言

PID 神经网络是一种多层前向网络,它除了具备传统的多层前向网络的特点,如逼近能力、并行计算、非线性变换等特性外,其隐层单元还分别具有比例、微分和积分等动态特性<sup>[1~4]</sup>. 本文将介绍 PID 神经网络在非线形时变系统辨识方面的研究结果.

### 2 PID 神经网络结构与算法

PID 神经网络的基本结构如图 1 所示的  $2 \times 3 \times 1$  结构,它包括输入层的两个神经元、隐含层的三个神经元和输出层的一个神经元.

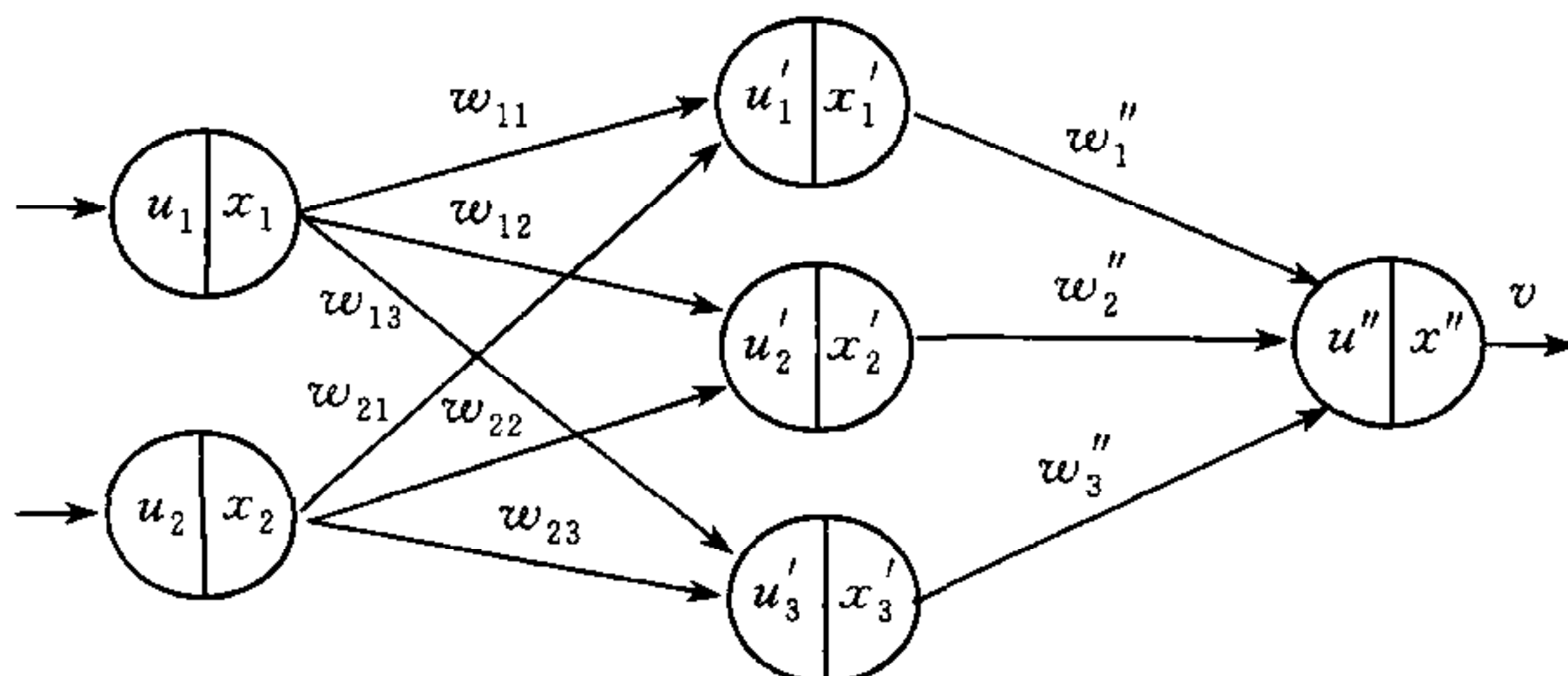


图 1 PID 神经网络的基本结构形式

输入层和输出层神经元的计算方法与一般 BP 网相同,而隐含层神经元的计算方法有所不同. 隐含层是神经网络中最重要的层次, PID 神经网络的隐含层有三个神经元,分别为比例元、积分元和微分元. 它们各自的输入-输出函

数分别为经过归一化处理的比例、积分和微分函数,其上限限幅值为+1,下限限幅值为-1. PID 神经网络采用反传算法进行学习,具体的计算公式从略.

### 3 PID 神经网络系统辨识分析

神经网络进行系统辨识的实质就是选择一个适当的神经网络来逼近实际系统.

定义. 称  $\sigma(x):R \subset R$  是一广义 Sigmoidal 函数,若  $\lim_{x \rightarrow \infty} \sigma(x)$  和  $\lim_{x \rightarrow -\infty} \sigma(x)$  存在,且满足

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \sigma(x) = 1, \quad \lim_{x \rightarrow -\infty} \sigma(x) = -1 \tag{1}$$

很多文献已经证明,具有 Sigmoidal 函数特性神经元组成的前向神经网络可以任意精度逼近任何连续函数.

PID 神经网络中的比例元、积分元和微分元的稳态输入输出特性都属于广义 Sigmoidal 函数,因此它也具有任意连续函数逼近能力. 从结构外表看,PID 神经网络的隐含层神经元的个数过少,但实际上,其中的积分元等价  $k$  个一般神经元,这些一般神经元的输入分别为  $1, 2, \dots, k-1, k$  时刻的输入层神经元输出值的总和值,如图 2 所示.

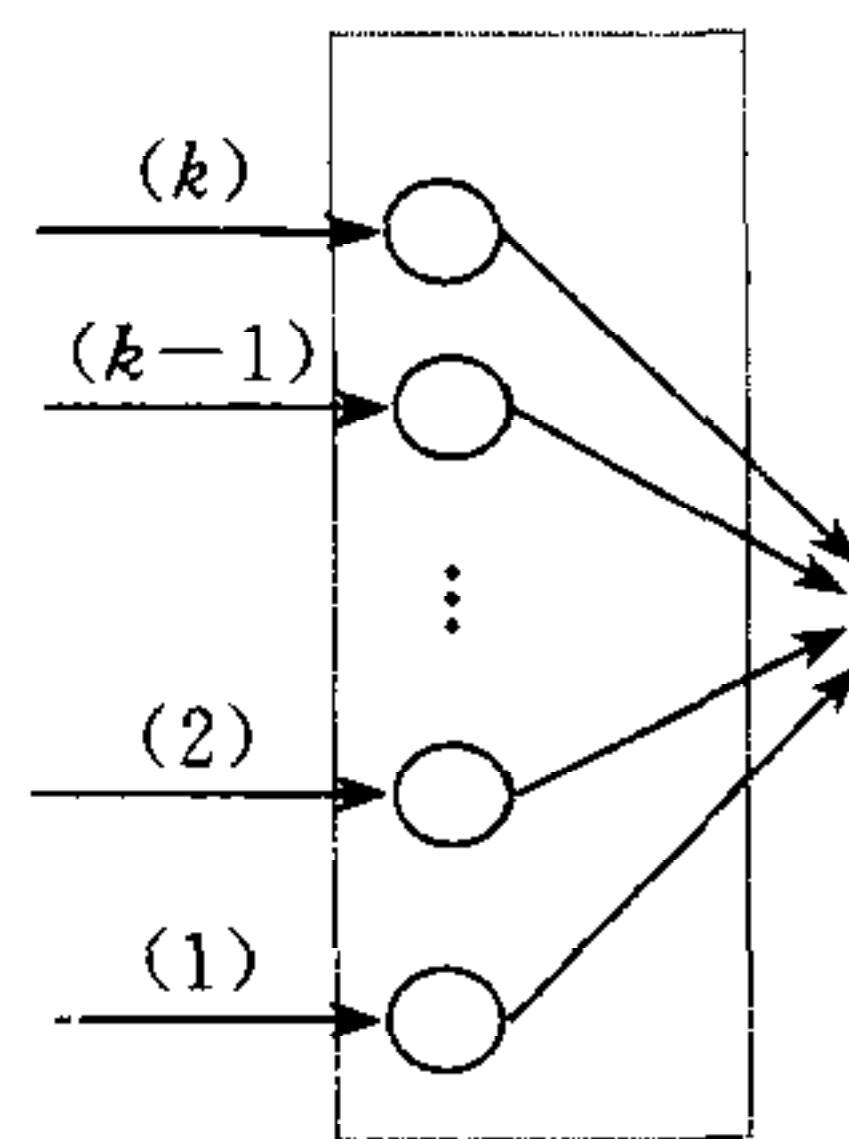


图 2 积分元等价结构

构造 PID 神经网络的立意在于突破一般神经网络仅仅具有静态神经元的局限. 从神经学的观点和实验结果看,生物神经元是一种具有动态特性的实体,而在此基础上建立的人工神经元及神经网络如果仅仅具有静态特性,显然是不完备的.

### 4 PID 神经网络进行非线性动态系统辨识的结果

PID 神经网络是一个采用多层前向结构的、内部包含动态处理单元的网络,它可以直接应用于动态系统的辨识,而不用附加其它机构. 作者采用 PID 神经网络对大量的不同对象进行了系统辨识,以下为一个非线性时变系统辨识的典型实例.

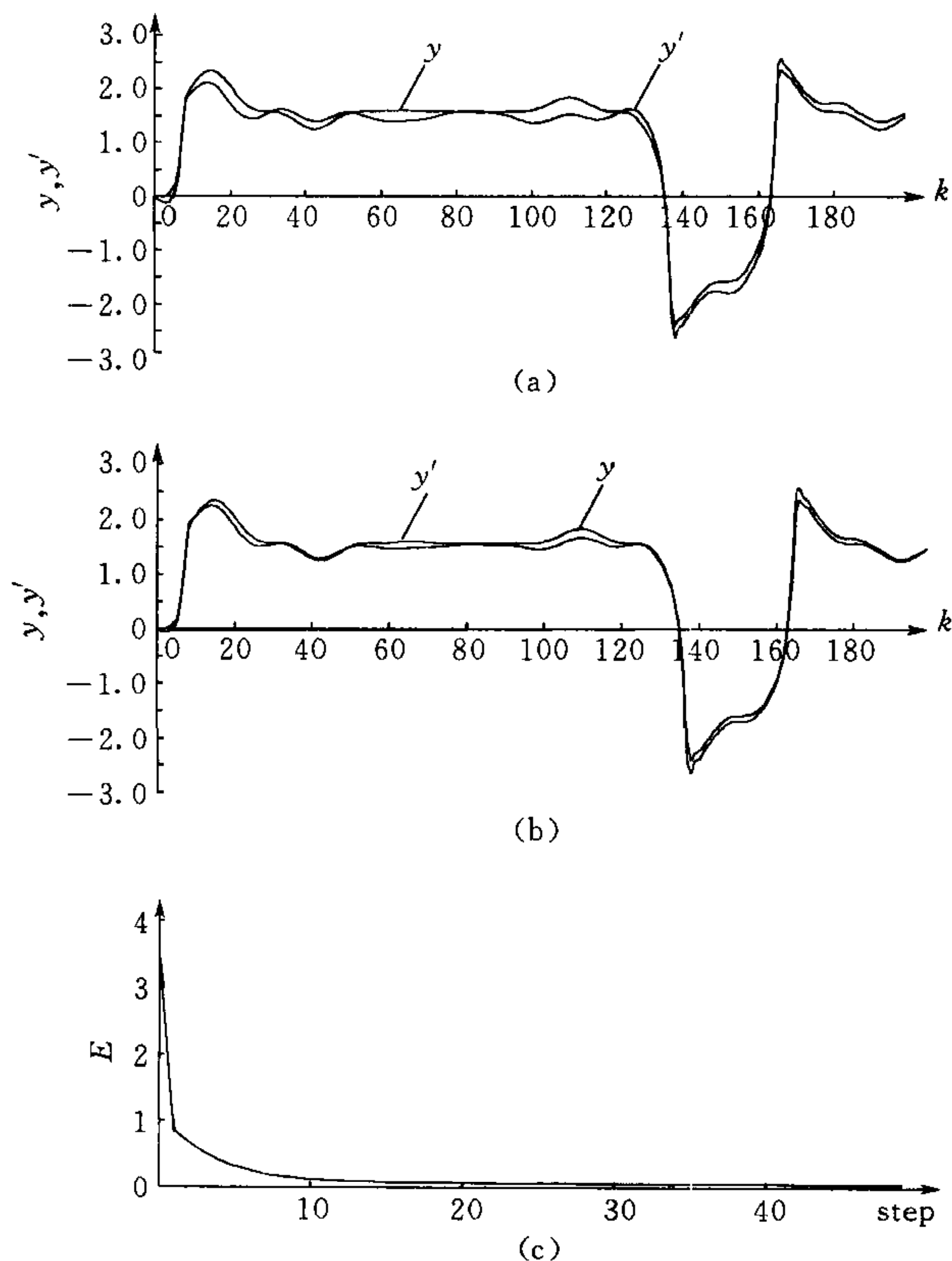
考虑由以下方程描述的非线性动态系统

$$y(k + 1) = f[y(k)] + g[u(k)],$$

其中  $f[y(k)] = \frac{5y(k)}{2.5 + y^2(k)}$ ,  $g[u(k)] = u^3(k)$ , 输入函数为  $u(k) = 0.6 \sin \frac{2\pi k}{50} + 0.4 \sin \frac{2\pi k}{75}$ .

PID 神经网络学习 20 步后,被辨识对象和 PID 神经网络的输出响应曲线如图 3(a)所示;学习 50 步后,被辨识对象和 PID 神经网络的输出响应曲线如图 3(b)所示;系统误差平方均值在这 50 步中的衰减曲线见图 3(c). 由图可知,经过短时间的学习,PID 神经网络能够较好地反映被辨识系统的性能. 在辨识过程中,误差平方均值曲线单调递减,衰减速度较快. 将此结果与普通 BP 网辨识效果进行比较(见参考文献[5]329 页),对上述对象的辨识,文献[5]采用 2 个  $1 \times 20 \times 10 \times 1$  的多层网络分别辨识对象的  $f(y)$  和  $g(u)$ , 学习 2 000 次后,才能达到与此相近的辨识效果.





$y$ ——被辨识对象输出,  $y'$ ——PID 神经网络输出

图 3 非线性动态系统辨识

## 5 结论

PID 神经网络是一种多层前向网络,其中神经元的稳态特性属于广义 Sigmoidal 特性.它具有任意连续函数逼近能力.在进行系统辨识时,其结构和处理单元的个数选取比较规范.它具有动态性能,辨识动态系统时不用设置任何附加部分.实际结果证明,在非线形动态系统辨识方面的能力超过一般的多层前向网络.

## 参 考 文 献

- 1 舒怀林,李柱.基于 PID 神经元多层网络的多变量解耦控制系统.自动化仪表,1998,19(3):24~27
- 2 舒怀林.PID 神经网络对强关联带时延多变量系统的解耦控制.控制理论与应用,1998,15(6):920~924
- 3 舒怀林.PID 神经网络控制系统分析.自动化学报,1999,25(1):105~111
- 4 舒怀林.PID 神经元和 PID 神经网络分析.见:1998 中国控制会议论文集,长沙:国防大学出版社.1998,607~613
- 5 焦李成.神经网络的应用与实现.西安:西安电子科技大学出版社,1993

舒怀林 1982年毕业于西安交通大学,1989年于西安矿业学院获硕士学位,1997年于华中理工大学获博士学位.主要研究方向为模糊控制、神经网络及控制、电气控制及过程控制.