



基于动态 BP 神经网络的系统辨识方法¹⁾

田明 戴汝为

(中国科学院自动化研究所, 北京 100080)

摘 要

本文提出一种简单的动态 BP 网络, 并将其作为并联模型, 用于离散非线性动态系统的辨识。仿真结果表明此方法是有效可行的。

关键词: 系统辨识, 动态 BP 网络, 学习, 串并联模型, 并联模型。

一、引 言

系统辨识就是利用观测到的输入输出数据确定动力学系统模型的过程。其目的, 就控制问题而言, 是为了设计控制策略 [1]。由于神经网络的以下特点: 大规模并行处理、分布式存储、自适应、自学习能力 [2, 3], 目前已在模式识别领域得到了广泛而成功的应用, 并已逐渐应用于控制系统, 从而为智能控制提供了一个有潜力的发展方向 [4, 5]。

BP 网络具有逼近非线性函数的功能 [6], 因此可应用于系统辨识问题 [7-9]。但是, 由于 BP 网络仅仅实现了一个静态映射, 它只能构成串并联模型的系统辨识器, 并不是动态系统。Narendra 等人提出了一种推广的动态神经网络系统及相应的学习算法 [9], 而其缺点是网络结构复杂, 学习算法计算量大, 学习收敛速度缓慢。本文提出一种更为简单的动态 BP 网络模型, 并将其作为并联模型, 用于离散非线性动态系统的辨识。

二、动态 BP 网络

单输入单输出的动态网络结构如图 1 所示。与静态网络不同, 动态 BP 网络引入了反馈和时间延迟, 因而从静态模型变成了动态模型。

$$H = \phi[W^{(1)}x(k-1)]. \quad (1)$$

$$Y(k) = \phi(W^{(2)}H). \quad (2)$$

其中

$$x_i(k) = \begin{cases} Y(k-i), & 1 \leq i \leq n. \\ u(k-i+n), & n+1 \leq i \leq n+m. \end{cases} \quad (3)$$

$$Y(k) = f[y(k-1), \dots, y(k-n), u(k-1), \dots, u(k-m)]. \quad (4)$$

上述动态 BP 网络可用来做离散动态非线性系统(4)的辨识模型, 其学习算法仍可采

本文于 1992 年 1 月 16 日收到。

1) 本文得到国家自然科学基金重大基金的支持。

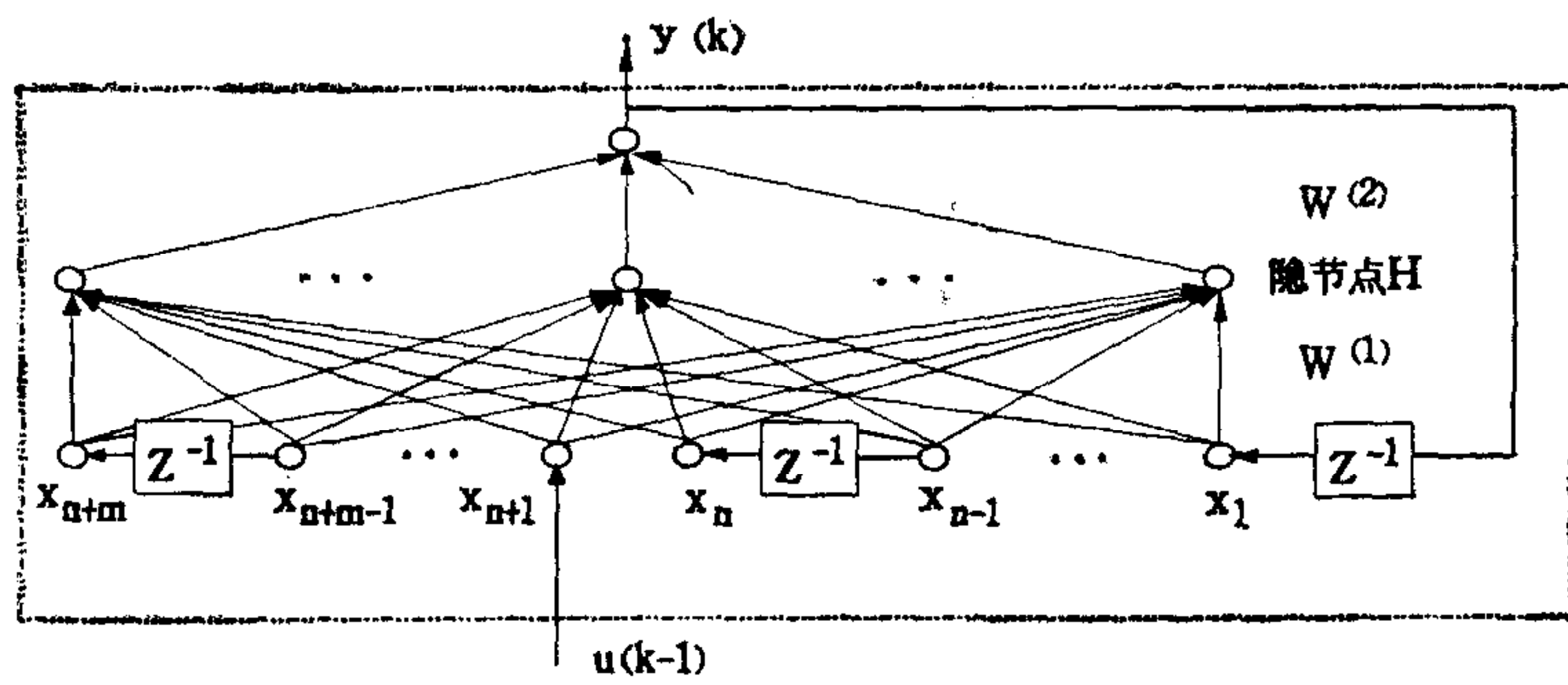


图1 动态 BP 网络

用基于梯度下降的 BP 算法。

三、系统 辨 识

系统辨识的串并联模型和并联模型对于 BP 网络都适用，而如何确定模型参数就归结为网络权重的学习问题。

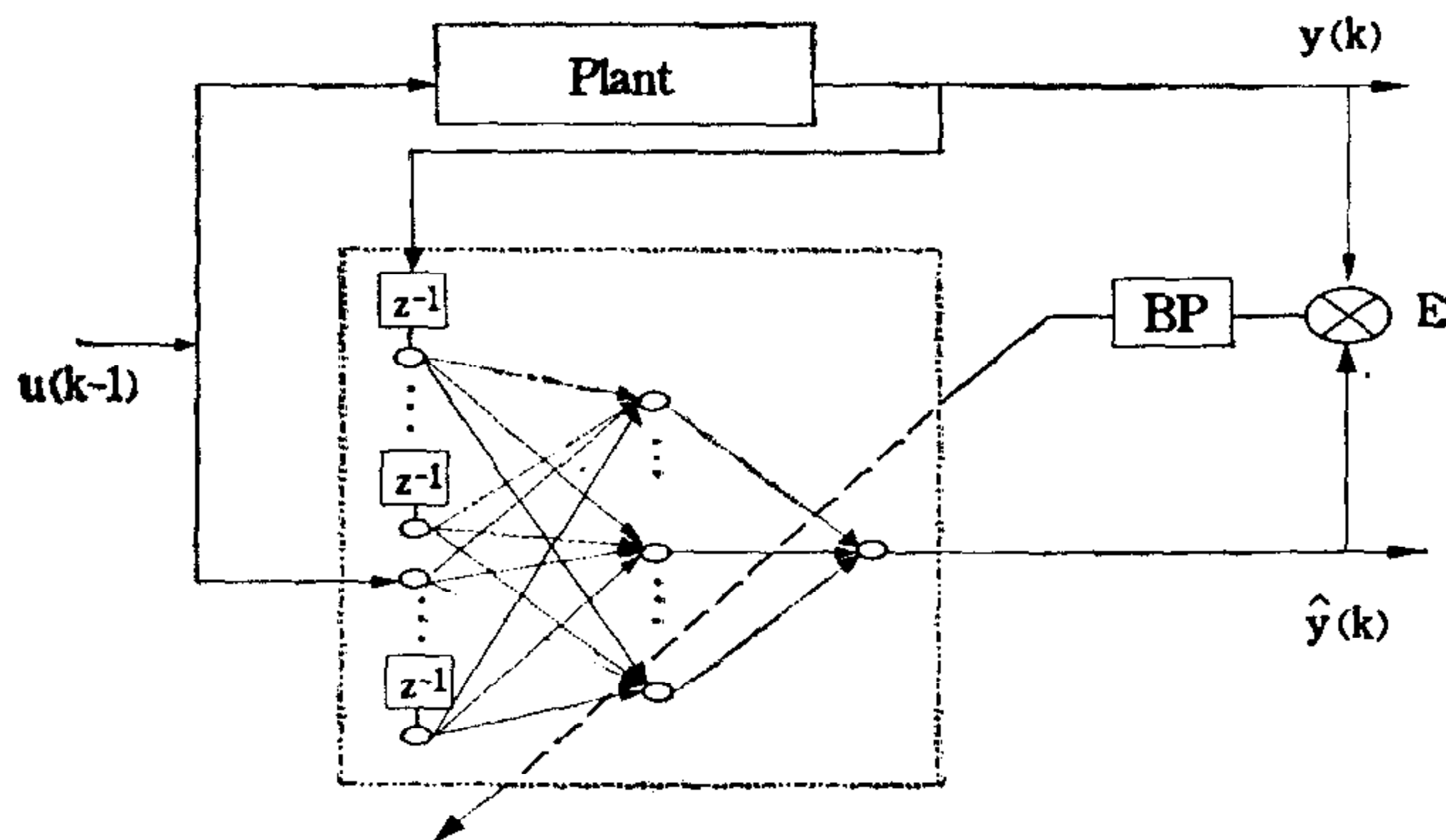


图2 串并联模型

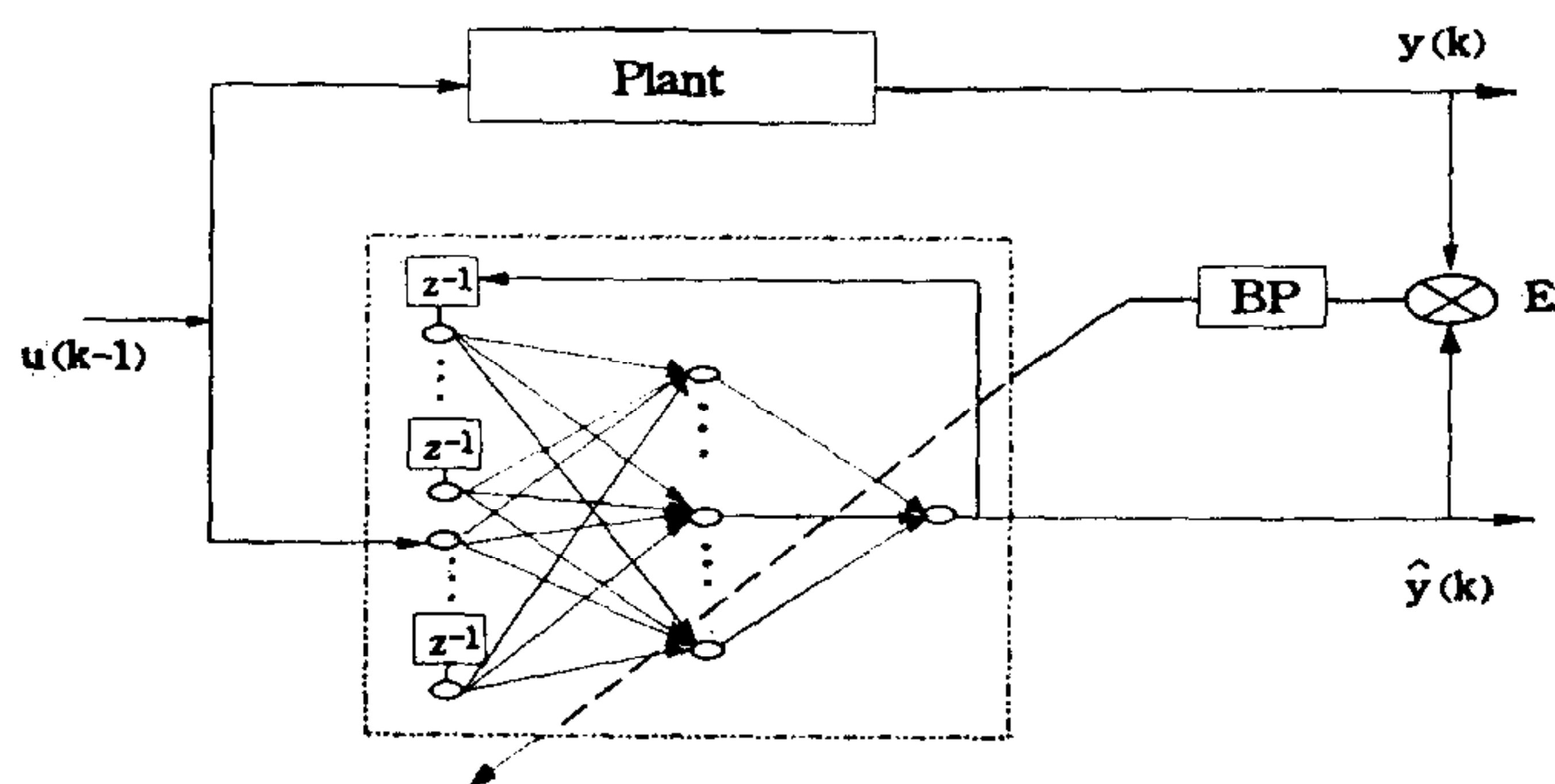


图3 并联模型

1. 串并联模型

$$\hat{y}(k) = f_1[y(k-1), \dots, y(k-n), u(k-1), \dots, u(k-m)]. \quad (5)$$

$$E(k) = [y(k) - \hat{y}(k)]^2. \quad (6)$$

以往的 BP 网络辨识方法均采用串并联模型。如图 2 示, 此模型以系统输出 y 作为输入, 因此学习过程结束后得到的 BP 网络辨识器不能取代系统而用来离线地设计控制器, 在系统辨识之后进行控制器设计时仍需被控系统在线运行。

2. 并联模型

$$\hat{y}(k) = f_2[\hat{y}(k-1), \dots, \hat{y}(k-n), u(k-1), \dots, u(k-m)]. \quad (7)$$

$$E(k) = [y(k) - \hat{y}(k)]^2. \quad (8)$$

如图 3 示, 由于结构简单, 动态网络仍可采用 BP 学习算法, 且不增加计算量。但这种并联模型的参数能否收敛目前还是未知的。而其优点在于, 一旦学习收敛而得到的动态 BP 网络的并联辨识器将完全等价于被辨识系统, 因此可用来取代系统而离线地训练 BP 网络控制器。

综合以上讨论, 可以先得到一个串并联模型, 然后将其参数(网络权重)赋给并联模型的相应参数, 作为动态 BP 网络学习的初始权重值, 再用此并联模型进行辨识, 若学习收敛, 则最后得到动态 BP 网络的并联辨识模型。

综合以上讨论, 可以先得到一个串并联模型, 然后将其参数(网络权重)赋给并联模型的相应参数, 作为动态 BP 网络学习的初始权重值, 再用此并联模型进行辨识, 若学习收敛, 则最后得到动态 BP 网络的并联辨识模型。

四、仿 真 实 例

考虑如下的被辨识系统:

$$\begin{aligned} Y(k) = & 5 \sin [0.5y(k-1) \\ & + 0.3y(k-2) + 0.6u(k-1) \\ & + 0.2u(k-2)] \\ & + 5 \sin [0.4u(k-1)]. \quad (9) \end{aligned}$$

控制输入 u 取 $[-1, 1]$ 之间的随机数, 因此系统是输入输出有界的稳定系统。

按上述方法, 首先获得一个 BP 网络的串并联辨识器, 网络输入节点 4 个, 输出节点 1 个, 隐节点 50 个。激发函数 $\phi = 10(1 - e^{-x}) / (1 + e^{-x})$ 。辨识过程即为网络学习过程, 采用 BP 算法在每一时刻

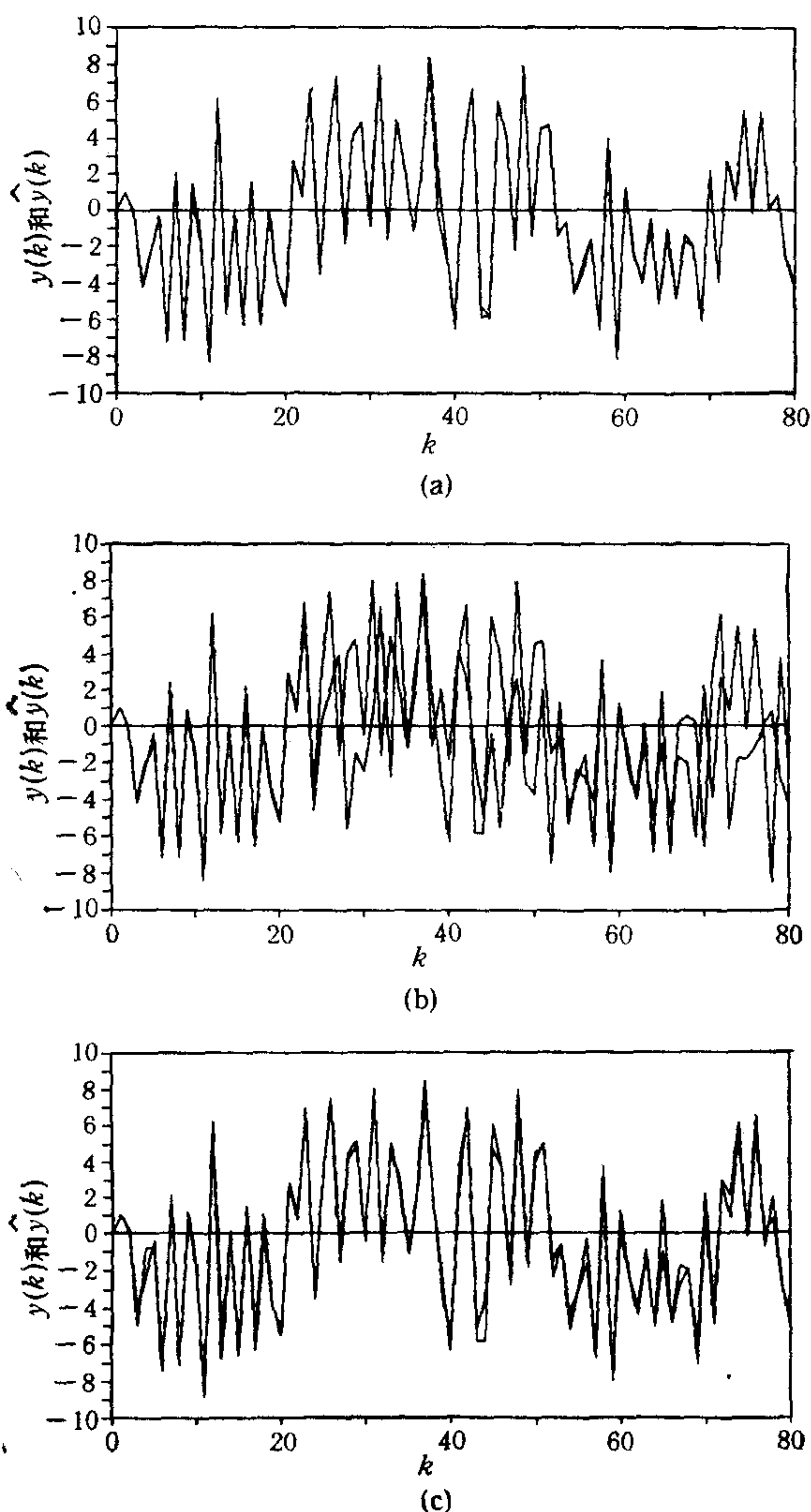


图 4 辨识结果

k 调整权重, 学习速率 $\alpha = 0.05$, 约经过 20000 时刻的学习, 辨识结果如图 4(a) 所示。将网络权重赋给动态 BP 网络的并联辨识器, 若不再改变其参数而直接检验辨识结果, 如图 4(b) 示, 可见其效果不佳, 因此再对此并联辨识模型进行训练, 取 $\alpha = 0.02$, 约经过 300000 时刻的学习, 结果令人满意, 如图 4(c) 所示。

本文仅讨论了确定性的单输入单输出系统的辨识, 实际上, 此方法还能应用于不确定性系统及多输入多输出系统, 这方面的研究工作正在进展之中。

参 考 文 献

- [1] Astrom, K. J. and Eykhoff, P., System identification—A Survey, *Automatica*, 7(1971), 123—162.
- [2] Lippmann, R. P., An introduction to computing with neural nets, *IEEE ASSP Magazine*, 4(1987), 4—22.
- [3] 张承福, 神经网络系统, 力学进展, 18 (1988), (2), 145—160.
- [4] Special section on intelligent control, *IEEE Control Systems Magazine*, 11(1991), (1), 33—41.
- [5] 田明, 戴汝为, 神经网络控制系统, 信息与控制, 21 (1992), No. 3.
- [6] Funahashi, K. I., On the approximate realization of continuous mapping by neural networks, *Neural Networks*, 2(1989), 183—192.
- [7] 徐耀玲, 戴汝为, 人工神经网络在系统辨识中的应用, 自动化学报, 17 (1991), (1), 91—94 .
- [8] Chen, S., et al., Nonlinear system identification using neural networks, *Int. J. Control*, 51(1990), (6), 1191—1214.
- [9] Narendra, K. S. and Parthasarathy, K., Identification and control of dynamic systems using neural networks, *IEEE Trans. Neural Networks*, 1(1990), (1), 4—27.

A DYNAMIC NEURAL NETWORK BASED METHOD FOR SYSTEM IDENTIFICATION

TIAN MING DAI RUWEI

(Institute of Automation, Academia Sinica, Beijing 100080)

ABSTRACT

In this paper, a new dynamic neural network is introduced to be used as parallel model for system identification. Simulation results show that this simple method is feasible and effective for discrete nonlinear dynamic systems.

Key words : System identification; dynamic neural networks; learning; series-parallel model; parallel model.