

神经网络及其在光伏系统中的应用

茆美琴 曹仁贤 何慧若

(合肥工业大学能源研究所, 合肥 230009)

摘要 本文介绍了神经网络的发展及一般原理, 并讨论了神经网络在光伏系统中的一些应用, 如光伏系统最优工作电压的实时识别。

关键词 神经网络 光伏系统 最优工作电压

1 神经网络的基本概念

最近几年, 人工神经网络已成为国内外的热门研究课题。它具有模拟人类部分形象思维的能力, 是模拟人工智能的一条重要途径。

心理学家 McCulloch 和数学家 Pitts 早在 1943 年就提出了神经元的数学模型。1944 年 Hebb 提出了改变神经元连接强度的规则。而作为人工智能的网络系统的研究则是 50 年代末、60 年代初开始的。Rosenblatt 首次引进了感知器概念, 试图模拟动物和人脑的感知和学习功能。1962 年, Windrow 提出了自适应线性元件, 主要用于自适应系统, 其后近 20 年内这一研究方向处于低潮。直到 80 年代初, 美国生物物理学家 Hopfield 用他所构造的模仿人类思维的神经网络模型, 成功地解决了旅行商问题计算难题, 引起了人们的震惊, 并掀起了用神经网络原理构造智能机的热潮。至今, 人工神经网络的理论及应用方面取得了许多新的成功。特别是在智能控制、语音识别和合成、图形文字识别、数据压缩、知识工程、最优问题求解、故障诊断、智能计算机等领域进行的实践取得了初步的成果。

人工神经网络是一个由大量简单的处理单元广泛连接组成的复合网络, 其典型结构如图 1 所示。图 1 (a) 为前馈模型, 这种网络的神经元分层排列, 由输入层, 隐蔽层 (或中间层) 和输出层组成, 每一层神经元只接受前一层神经元的输出。输入模式经过各层的顺次变换后, 成为输出层的输出。图 1 (b) 为反馈模型。在一般情况下, 这种模型的各个神经元之间的连接是双向的和对称的。

构成神经网络的神经元, 其基本结构和功能如图 2 所示。其输入与输出的关系为:

$$Y = F\left(\sum_{i=1}^N x_i \omega_i\right) \quad (1)$$

式中, x_i 为输入值, ω_i 为权值, $F(x)$ 为特征函数。工程上常用的典型特征函数为 S 型逻辑非线形函数, 即

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

神经网络必须通过学习才能实现其功能。目前应用较广泛的学习规则是通过样本进行学习。学习的一般算法是前馈式网络中的误差逆向传播 (BP) 算法。其原理为: 学习过程由正向传播和反向传播两个过程组成。在正向传播过程中, 输入信息从输入层经隐蔽单元层逐层处理, 并传向输出层, 每一层神经元的状态只影响下一层神经元的状态。如果在输出层不能得到期望的输出, 则转入反向传播, 将误差信号沿原来的连接通路返回, 通过修改各层神经元的权值, 使得误差信号最小。

2 神经网络在光伏系统中的应用

目前，国内外光伏系统中所用最大功率跟踪器一般为定电压控制类型。实际上，在日射变化过程中，最大功率点电压是变化的。因此，定电压最大功率跟踪器并没有实现真正的最大功率跟踪。典型的一天仿真计算表明，由此而产生的电能损失大约为 4%，这在大规模光伏电站中所带来的损失不容

忽略。但是，由于太阳能电池的非线性及最大功率点受温度、太阳辐射强度诸因素的影响，因此实现能够真正实时跟踪的最大功率跟踪器并非易事。由于神经网络具有自学习、自组织、联想记忆和并行计算等功能，国外已有学者开始尝试将神经网络原理应用于光伏系统。

文献（1）利用神经网络预测太阳能电池组件的最大功率。文献（2）利用神经网络识别太阳能电池组件的最优工作点，以实现最大功率的实时跟踪控制。文献（3）对一个基于神经网络的实时最大功率跟踪控制器进行了评价，所采用的神经网络如图 3 所示，为前馈网络模型，用来实时识别太阳能电池的最优电压 V^*_{OP} 。神经元特征函数即为（2）式。所需输入信息为太阳能电池模块的开路电压和时间参数，输出信息即为太阳能电池最优工作点电压 V^*_{OP} 。

对隐藏层和输出层的每个节点 I ，输出 $Q_i(k)$ 为：

$Q_i(k) = \frac{1}{1 + e^{-I_i(k)}}$ ，式中： $I_i(k)$ 为第 k 次采样中输入节点 i 的信号，且

$$I_i(k) = \sum_j \omega_{ij}(k) \cdot O_j(k)$$

图 4 为控制器的控制循环配置。

基于上述神经网络 的控制器，以 PC 机为主要硬件，用于把太阳能电池发电系统同常规商业电网并网的情况。一天的仿真计算表明，基于上述神经网络的实时控制系统，可以将太阳能电池最大功率的 99% 以上反馈至电网，并且控制的实时性较好，几乎没有延时，也无超调及欠调现象，但其长期（如 1 年以上）运行性能有待进一步研究。

3 结论

神经网络由于具有学习功能，使用于解决非线性、自适应性及多变量问题，因此成为高科技领域内众多实践工程中，取得了初步的成果。在光伏系统中，神经网络也被用于太阳能电池最大功率点的实时跟踪及控制系统，以提高太阳能电池的工作效率。随着神经网络软硬件技术的发展，神经网络在光伏系统中还回会有其他的应用，如蓄电池剩余电量的预测、光伏系统智能能量管理系统等。

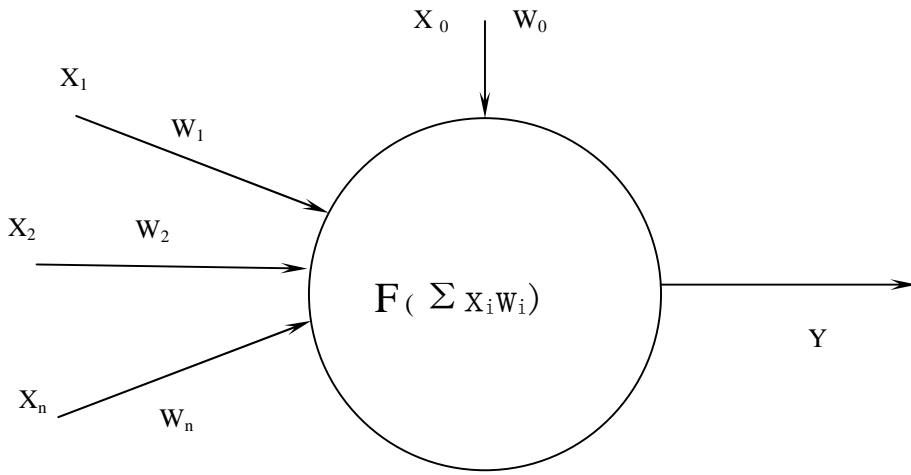


图 2 神经元的基本结构和功能

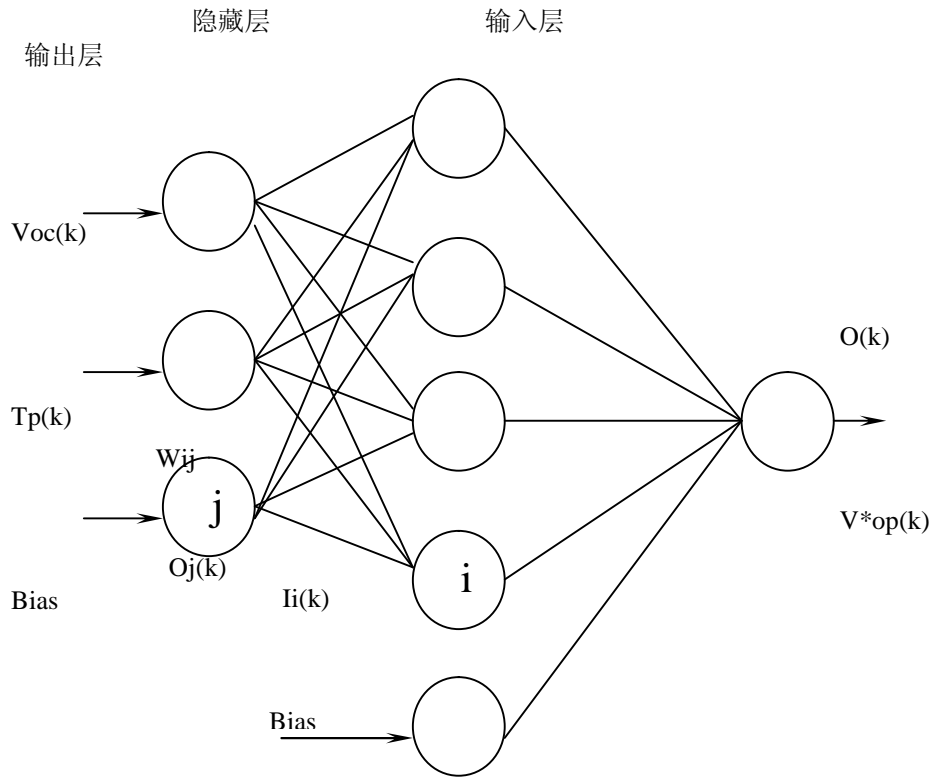


图 3 评价实时最大功率跟踪控制器时采用的神经网络

$V_{oc}(k)$: 光伏阵列开路电压; $T_p(k)$: 时间参数 (取自 PC 机的时钟); $Bias$: 偏置信号; $V^*_{op}(k)$: 所识别的最优电压。

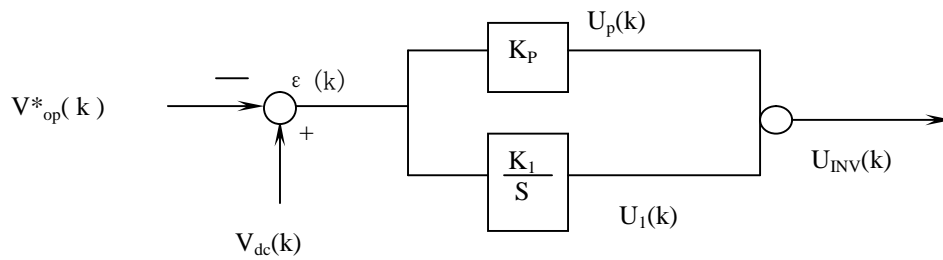
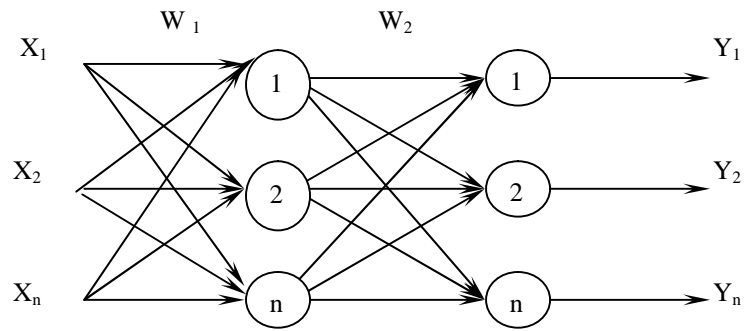
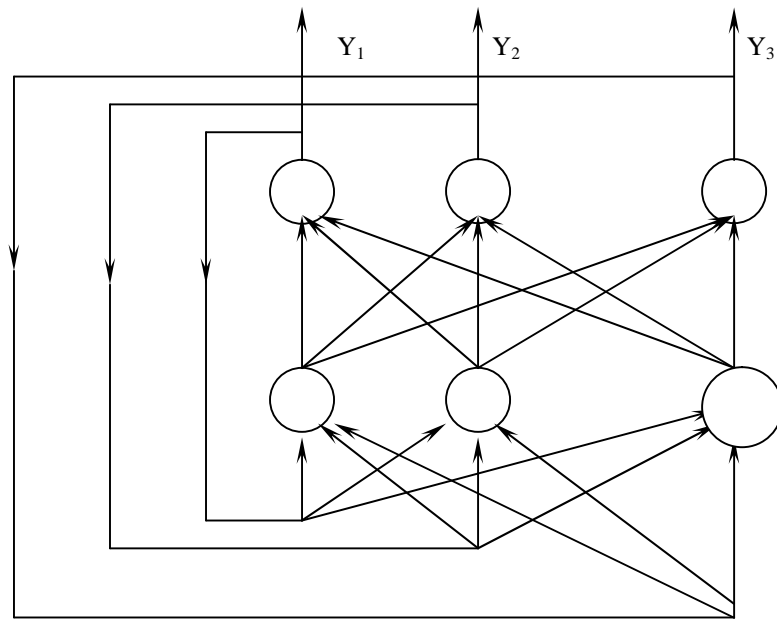


图 4 控制器的循环配置

$V_{dc}(k)$: 太阳能电池阵列的端电压; $V^*_{OP}(k)$: 参考电压 (最优电压);
 $\epsilon(k) = V_{dc}(k) - V^*_{op}$: 误差信号; $U_{INV}(k) = U_p(k) + U_i(k)$: 输入到逆变器的控制信号。



(a)



(b)

图1 人工神经网络的典型结构
(a) 前馈模型； (b) 反馈模型

参考文献

1. Hiyama T, Kouzuma S. Application of neural network for predicting maximum power from PV modules. Proceedings of APSCOM'93, Hong Kong, 1993. 349-354
2. Hiyama T, Kouzuma S, Imakubo T. Identification of optimal operating point of PV modules using neural network for real time maximum power tracking control. IEEE PES 1994 Summer Meeting .
3. Hiyama T, Kouzuma S. Evaluation of neural network based real time maximum power tracking controller for PV system. IEEE Trans on Energy Conversion, 1995, 10(3).
4. 曹焕光。人工神经网络原理。北京：气象出版社，1992。

(原稿于 1997 年 6 月 23 日收到)

NEURAL NETWORK AND ITS APPLICATION TO PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Mao Meiqin Cao Renxian He Huiruo

(Energy Research Institute, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

Abstract

This paper has introduced the basic principle of neural network and its application to photovoltaic system, such as real time identification of the optimal operating voltage of the photovoltaic system.

Key words :Neural network ; Photovoltaic system ; Optimal operating voltage

i

ⁱ 《神经网络及其在光伏系统中的应用》发表于 1997 年《新能源》第 10 期。