

采用神经网络对感应电动机的速度辨识

朱伟兴

(江苏理工大学电气工程系, 镇江 212013)

徐涧峡

(长春邮电学院通信系, 长春130012)

摘要 提出一种采用神经网络辨识感应电动机转速的新方法, 采用后传播神经网络技术来提供一种实时自适应速度估计, 利用希望的状态变量和实际状态变量的误差来调整神经网络的权重, 达到使实际状态变量与希望状态变量一致理论分析和仿真结果都证明了这种方法的有效性。

关键词: 神经网络; 感应电动机; 速度辨识

1 引言

感应电动机是一个非线性系统。此外, 它的许多参数是随时间和工作条件的变化而变化。常规的感应电动机的动态性能的控制方法, 必须反映速度的信息。这种信息通常是由转感器来提供, 而传感器的装入使得结构复杂, 甚至会带来其它不便。所以无速度传感器的速度辨识是一种很有前途的实用方法。本文提出了一种采用神经网络速度辨识的新方法, 基于后传播方法的两层神经网络用来估计速度。与常规的方法不同的是, 这种神经网络不需要训练, 采用两个状态变量的模型, 一个提供希望输出, 另一个给出神经元模型的输出。我们把电动机的参数(如转子转速和转子时间常数)选作神经网络模型的权重。神经网络模型的输出与希望值比较, 如图1所示, 希望的状态变量与估计的状态变量的总误差向后传播来调整神经网络模型的权重(转子转速), 使得神经网络模型的输出希望值趋于一致。

2 理论分析

采用两个独立的观察器来估计转子磁通矢量, 一个观察器根据式(1), 另一个观察器根据

式(2), 因为式(1) 不包括转速 ω , 所以此观察器产生转子磁通的希望值 Φ 式(2) 包含 ω , 我们把式(2) 作为可调节权重的神经网络模型。利用由式(1) 给出的希望转子磁通 Φ 与由式(2) 神经网络模型提供的转子磁通 λ_r 的误差来调整权重, 即调整转子转速 ω , 如图1所示。

$$\dot{\Phi} = \frac{L_r}{L_m} (u_s - R_s i_s - \sigma L_s \dot{i}_s) \quad (1)$$

$$\dot{\lambda}_r = \left(\frac{-1}{T_r} I + \omega J \right) \lambda_r + \frac{L_m}{T_r} i_s \quad (2)$$

其中

$$\dot{i}_s = \begin{bmatrix} \dot{i}_{ds} \\ \dot{i}_{qs} \end{bmatrix}, \quad u_s = \begin{bmatrix} u_{ds} \\ u_{qs} \end{bmatrix}, \quad \lambda_r = \begin{bmatrix} \lambda_{dr} \\ \lambda_{qr} \end{bmatrix}, \quad \Phi = \begin{bmatrix} \Phi_{dr} \\ \Phi_{qr} \end{bmatrix}$$

u_{ds}, u_{qs} 分别为 d 轴和 q 轴定子电压。

i_{ds}, i_{qs} : 分别为 d 轴和 q 轴定子电流。

$\lambda_{dr}, \lambda_{qr}$: 分别为 d 轴和 q 轴转子磁通。

Φ_{dr}, Φ_{qr} : 分别为 d 轴和 q 轴转子磁通。

R_s, R_r : 分别为定子电阻和转子电阻。

L_s, L_r : 分别为定子电感和转子电感。

L_m 为定子与转子之间的互感。

ω : 转子角速度。

$T_r = \frac{L_r}{R_r}$: 转子时间常数。

$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}$: 漏感系数。

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad J = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

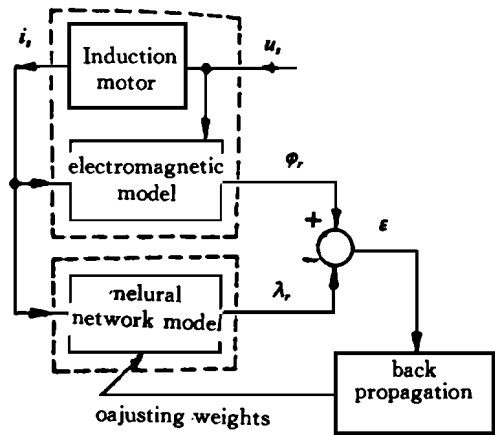


Fig. 1 Structure of speed identification using neural networks

利用后差分法可导出式(2) 的数据采样模型为:

$$\lambda_r(K) = (W_1 I + W_2 J) \lambda_r(K-1) + W_3 i_s(K-1) \quad (3)$$

上式中,

$$W_1 = 1 - \frac{T}{T_r}, \quad W_2 = \omega T, \quad W_3 = \frac{L_m}{T_r} T$$

这里, T 为采样周期。式(3) 又可写成如下形式:

$$\lambda_r(K) = W_1 X_1 + W_2 X_2 + W_3 W_3 \quad (4)$$

上式中, $X_1 = I \lambda_r(K-1)$

$X_2 = J \lambda_r(K-1)$

$X_3 = I i_s(K-1)$

式(4)可表示为神经元模型,如图2所示。

图2中, W_1 、 W_2 、 W_3 代表神经网络的权重, 希望值与神经网络的输出之间的误差为:

$$\epsilon(K) = \Phi(K) - \lambda_r(K) \quad (5)$$

通过调节神经元之间权重来使得式(6)所表示的能量函数最小。

$$E = \frac{1}{2} \epsilon^2(K) = \left[\frac{1}{2} \Phi(K) - \lambda_r(K) \right]^2 \quad (6)$$

权重变化为

$$\Delta W_2(K) = - \frac{\partial E}{\partial W_2} = - \frac{\partial E}{\partial \lambda_r(K)} \cdot \frac{\partial \lambda_r(K)}{\partial W_2} = - \delta X_2 \quad (7)$$

这里 $\delta = \frac{\partial E}{\partial \lambda_r(K)}$ 可由式(6)导出:

$$\delta = [\lambda_r(K) - \Phi(K)]^T \quad (8)$$

将式(8)代入(7)得 ΔW_2 为

$$\Delta W_2(K) = [\Phi_r(K) - \lambda_r]^T J \lambda_r(K - 1) \quad (9)$$

新的权重可计算得

$$W_2(K) = W_2(K - 1) + \eta \Delta W_2(K) \quad (10)$$

这里, η 为学习速度系数。系数愈大, 权重变化愈大。在实际实现中, 在不引起振荡的前提下, 我们把系数 η 选得尽可能大一点。这就提供了一个最快的学习速度。提高学习速度而不引起振荡的方法就是将式(7)改进为

$$\Delta W_2(K) = - \eta \delta X_2 + \alpha \Delta W_2(K - 1) \quad (11)$$

系数 α 决定过去权重变化对现在权重的影响。因此, 新的权重可由下式给出:

$$W_2(K) = W_2(K - 1) - \eta \delta X_2 + \alpha \Delta W_2(K - 1) \quad (12)$$

由式 $W_2 = \omega T$ 和式(12)可得到估计的转子转速为

$$\hat{\omega}(K) = \hat{\omega}(K - 1) - \frac{\eta}{T} \delta X_2 + \frac{\alpha}{T} \Delta W_2(K - 1) \quad (13)$$

3 仿 真

为了验证这种速度估计方法的有效性, 对一台三相四极感应电动机进行了仿真研究, 其参数为: $R_s = 3.35 \Omega$, $R_r = 1.99 \Omega$, $L_s = 170.67 \text{ mH}$, $L_r = 170.67 \text{ mH}$, $L_m = 163.73 \text{ mH}$ 。采用滑差频率矢量控制法来控制这台感应电动机, 如图3所示。转子磁通角 θ 由系统从估计转速计算得到, 通过 PI 调节器使估计转速跟踪参考转速。定子电流采用延迟比较方法来控制, 强迫电流跟踪由矢量控制器产生的参考值。

选择如下机械系统模型:

$$\dot{\omega} = - \frac{D}{J_m} \omega + \frac{1}{J_m} (T_e - T_L) \frac{P}{2} \quad (14)$$

这里, T_e 为电磁转矩, T_L 为负载转矩, J_m 为转动惯量, D 为阻尼因子, P 为极对数。

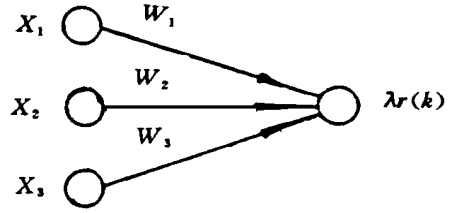


Fig. 2 Two layered neural networks

4 结 论

1) 采用神经网络对感应电动机转速辨识经理论分析和数字仿真都证明是有效的, 它可作为无速度传感器速度辨识的一种新方法。

2) 仿真结果表明: 适当选取系数 η 和 α 可使估计速度较好地跟踪实际速度且无振荡现象。其中, 系数 α 的绝对值愈大, 估计速度 $\hat{\omega}$ 的振荡愈小。

参 考 文 献

- [1] Narendra K S, Parthasarathy K. Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks. IEEE Trans on Neural Networks, 1990, 1(1): 4 ~ 27
- [2] 张立明. 人工神经网络的模型及其应用. 上海: 复旦大学出版社, 1993

Identification of Induction Motor Speed Using Neural Networks

Zhu Weixing

(Dept. of Electric Engineering, Jiangsu University of
Science and Technology, Zhenjiang 212013)

Xu Jianxia

(Dept. of Communication, Changchun Institute of Post and Telecom, Changchun 130012)

Abstract

A newly developed approach to identify the mechanical speed of an induction motor based on neural network technique is described. The back-propagation neural network technique is used to provide a real time adaptive estimation of the motor speed. The error between the desired state variable and the actual one is back-propagated to adjust the rotor speed. So that the actual state variable will coincide with the desired one. The theoretical analysis as well as the simulation results to verify the effectiveness of the new method are described in this paper.

Keywords: Neural network, Induction motor, Speed identification

朱伟兴 男, 1957年生, 副教授, 主要研究方向为电动机调速、神经网络理论及应用。