

文章编号:1000-582X(2004)07-0018-03

神经网络的BP算法在发动机建模中的应用*

胡建军,秦大同,杨为

(重庆大学机械传动国家重点实验室,重庆 400030)

摘要:人工神经网络独特的结构和处理信息的方法使其在实际应用领域中取得了越来越显著的成效。介绍了神经网络的基本概念和神经网络系统在发动机工程问题中的解决方法,并建立了JL474Q1发动机输出转矩神经网络模型,为实现发动机与车辆传动系统共同工作的匹配控制奠定了理论基础。

关键词:人工神经网络;发动机;BP算法

中图分类号:TH 132.32

文献标识码:A

人工神经网络由许多简单的并行工作的处理单元组成,是对生物学中脑神经网络的某种抽象、简化和模拟,其功能取决于网络的结构连接强度以及各单元的处理方式,反映了人脑功能的若干基本特性。作为一种并行分布式处理系统,人工神经网络是一种更接近于人脑信息处理机制的计算机系统。它具有并行结构、并行处理能力以及自动知识获取能力、联想记忆、自适应性、良好的容错性和推广能力^[1]。人工神经网络独特的结构和处理信息的方法,使其在许多实际应用领域中取得了显著的成效,解决了一些传统计算机极难求解的问题。目前,神经网络在组合优化、模式识别、图像处理、自动控制、机器人、信号处理及人工智能等领域都有成功的应用。

我国车用发动机的研究、开发设计和制造水平与世界先进水平相比还有较大差距,发动机的经济性、动力性、排放、可靠性等问题一直是业内科技工作者研究的重要课题,把人工神经网络技术引入车用发动机研究领域,将为此开拓新的思路。本文探讨了人工神经网络技术在汽车发动机建模当中的具体应用。

1 发动机性能曲线神经网络处理方法

发动机台架性能实验所得的数据,常以性能曲线的形式表示^[2]。用计算机进行曲线处理时,必须先对实测数据组进行拟合,亦即求取其离散点图的函数近似表达式。然而,发动机性能曲线多种多样,有的非常

复杂,用传统的拟合方法难以得到其近似函数表达式。人工神经网络具有很强的非线性映射功能,一个以Sigmoid函数为传递函数的三层BP网络,理论上能以任何精度逼近已给定实值的多变量连续函数,也就是说,BP网络能作为万能拟合函数,这已经在数学上得到了证明。以复杂的万有特性曲线拟合为例^[3],图1为一个三层BP网络,经过对离散试验数据组的训练学习后,该网络便能反映输入层转速(n)和功率(P_e)与输出层油耗(b_e)和排气温度(T_e)之间的映射关系。这就相当于拟合出了 b_e 和 T_e 关于 n 和 P_e 的近似函数表达式。在绘图时,只要在规范范围内重新给出任何输入(n 和 P_e),已训练好的该神经网络就能计算出相应的输出值(b_e 和 T_e),然后用画等高线的方法可很容易地给出等油耗线。发动机其它性能曲线可用类似的BP网络拟合得到,具体步骤如下:

先给出 P 个训练对 $(X_1, T_1) \cdots (X_n, T_n) \cdots (X_p, T_p)$ 预置较小的随机权矩阵。

施输入模式 X_p 于网络,计算 $y_i = f(W_j X_p)$ 。 W_j 是 W 矩阵中第 j 行,即输出结点 j 的权值列向量。

修改权值。

$$W_{\text{new}} = W_{\text{old}} + \Delta W = W_{\text{old}} + \eta \delta_j X^T$$

计算输出全局误差。

$$E = 1/2 \times \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^m (t_{j,p} - y_{j,p})^2 = \sum_{p=1}^P E_p$$

* 收稿日期:2004-03-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50205027);福特-NSFC中国研究与发展基金资助项目(50122151)

作者简介:胡建军(1973-),男,四川达州人,重庆大学博士后,主要从事车辆自动变速传动研究工作。

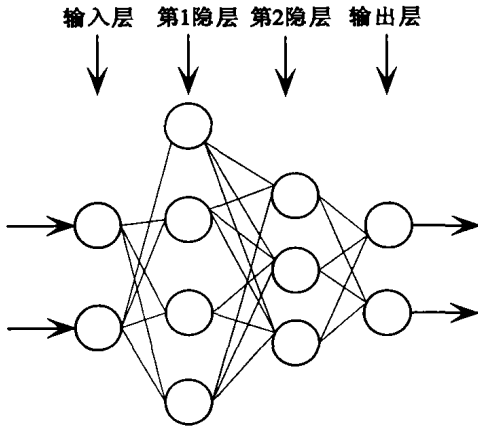


图 1 拟合万有特性的神经网络结构

返回第 2 步,向网络加下一个模式对,直到 P 个模式对均循环一遍,再进行第 6 步。

若 $E < E_{MAX}$ (预先设定的定值),则停止训练;否则,令 $E = 0$,返回第 2 步。

其中, p 表示训练样本序数 ($p = 1, 2, 3, \dots, P$), j 为训练对数目; $t_{j,p}$ 表示相应第 j 个输出点和第 p 个训练点的样本输出值。 η 为算法的学习率。

2 发动机神经网络辨识结构

汽车发动机本身是一个非常复杂的系统。发动机模型涉及到前反馈神经网络、自组织神经网络和发动机动态方程和各参数(图 2)。

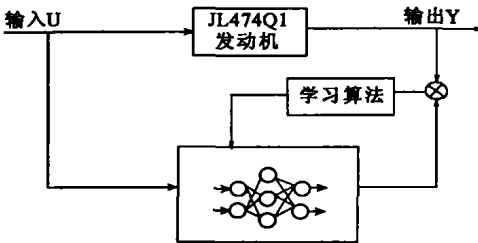
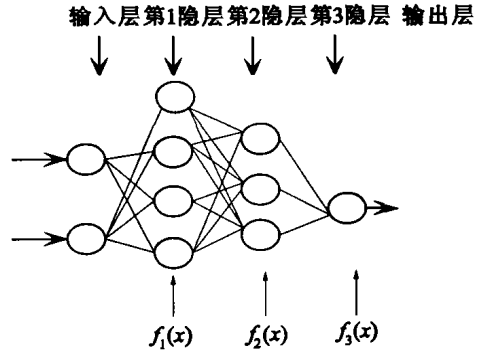


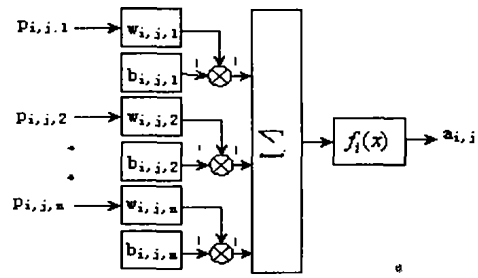
图 2 发动机神经网络辨识结构

发动机模型包括两个部分:发动机输出和发动机动态特性。发动机输出包括力矩输出、燃油消耗和各种废气排放。在这些输出中,转矩输出和燃油消耗直接与仿真中不同工况下车辆动力学有关,而排放可以通过仿真结果计算得到。所有的发动机输出都在发动机脉谱图数据的基础上,采用神经网络建模^[3]。神经网络的输入层为节气门开度和发动机转速(r/min),在某些情况下也可以是发动机转矩和转速。

文中采用的发动机输出转矩神经网络模型是在 JL474Q1 发动机试验数据模型基础上建立的。如图 3(a) 所示,该神经网络共有 3 层,分别有 5、4 和 1 个神



(a) 发动机输出转矩神经网络结构



(b) 神经元 (i,j) 计算

图 3 发动机输出转矩神经网络

元。输入层是规格化的节气门开度和发动机转速^[4]。输出层是对应于特定节气门开度和发动机转速下的发动机稳态输出转矩。在此神经网络中,前一层神经元的输出作为下一层神经元的输入。每个神经元的计算流程如图 3(b) 所示。图中,第一个下标 i 代表层数,第 2 个下标 j 代表第 i 层的第 j 个神经元。 $p_{i,j,k}$ 是该神经元的第 k 个输入信号, $w_{i,j,k}$ 和 $b_{i,j,k}$ 分别是输入信号的权和系数。 $f_i(x)$ 为传递函数。此发动机输出转矩神经网络采用两个标准的双极性连续传递函数^[4]和一个线性传递函数。

$$f_1(x) = f_2(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1$$

$$f_3(x) = x \tag{1}$$

在发动机转矩神经网络中,前两层的传递函数 $f_1(x)$ 和 $f_2(x)$ 是相同的,第三层采用一线性传递函数 $f_3(x)$ 。在发动机实验的基础上,网络能调整所有神经元的权和系数来表征发动机节气门开度、转速和输出转矩之间的关系。通过网络训练 3 000 次,均方误差收敛 0.05,拟合的发动机输出转矩结果如图 4 所示(转速:0 ~ 6 000 r/min;节气门开度:0% - 100%),拟合的数据与发动机试验数据相关度为 99.81%。

发动机转矩神经网络和油耗神经网络结构非常相似。这些神经网络由若干层组成,每层包含不同数量的神经元,通过调整权重和误差系数使其恰当地描述它们各自所具有的特性。

将发动机由等效惯量表示,其动力学模型为:

$$J_e \dot{\omega}_e + B_e \omega_e = M_e - M_i \quad (2)$$

式中 J_e 为发动机等效惯量,包括:曲轴、飞轮和液力变矩器泵轮; B_e 为摩擦系数; M_e 为发动机稳态工况输出转矩; M_i 为泵轮转矩。

由于神经网络只能提供发动机稳态转矩,采用以下方程来预测发动机转矩的瞬态变化^[5-6]:

$$M_N = f_N(\alpha_e, \omega_e) = \frac{\tau_e}{\omega_e} M_e + M_i \quad (3)$$

式中: M_N 为由神经网络计算获得的发动机稳态转矩,由函数 f_N 表示; α_e 和 ω_e 分别代表发动机节气门开度和角速度, τ_e/ω_e 为扭矩下降系数。

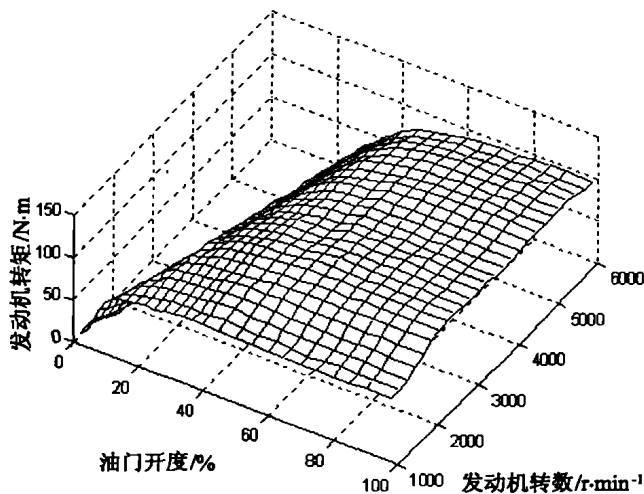


图4 发动机转矩输出

3 结 语

神经网络系统是模糊控制系统的一个重要分支,

近年来在汽车产品设计中得到较为广泛的研究和应用。神经网络系统和传统的计算机结构与程序是两种性质不同的体系。传统计算机数学模型的逻辑程序,不能适应高度复杂性和不确定性的信息识别和处理,而神经网络系统则以人脑思维为参照,可以模拟人的思维活动,实现人工智能控制且占用计算机内存率较低。

当前,神经网络系统已开始正式应用在汽车产品上,通过采用神经网络方法,不仅能用简单的数学模型描述发动机的复杂特性,而且能节省控制器的存储空间。神经网络智能控制方法能更好的模拟人的意图,在车辆自动控制领域具有广阔的前途和发展潜力。

汽车专家预测,当前神经网络系统的发展正进入一个新的时期。高度集成化的神经网络芯片、神经元处理机、神经网络计算机等产品,越来越近似人的感知决策行为,朝着更高层次的智能模拟目标逼近。

参考文献:

- [1] HOWARD DEMUTH, MARK BEALE. Neural Network Toolbox[EB/OL]. The MATH WORKS inc,2003-10-20.
- [2] 王文成. 神经网络及其在汽车工程中的应用[M]. 北京:北京理工大学出版社,1998.
- [3] 王旭,王宏. 神经网络原理与应用[M]. 沈阳:东北大学出版社,2000.
- [4] 樋口健治,小口泰平,西片守,等. 自動車の事典[M]. 北京:朝倉書店,1978.
- [5] 日本規格協会. JISハンドブック自動車[M]. 东京:山海堂,1986.
- [6] 村山正,常本秀幸. 自動車エンジン工学[M]. 東京:山海堂,1997.

Application of BP NN for Engine Modeling

HU Jian-jun, QIN Da-tong, YANG-Wei

(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The Neural Network(NN) is widely applied to many fields for its unique structure and the method of managing information. The basal concept of the NN and the applied method in the field of engine engineering are introduced. Furthermore, a unique NN structure is also established for the output torque of JL474Q1 engine. It affords the theory base to find the best matching strategy between engine and the transmission system of vehicle.

Key words: NN; engine; error back propagation training

(编辑 成孝义)