

文章编号: 1005—8893 (2003) 04—0039—02

基于小波网络的加氢裂化反应器模型的研究

郑明方

(江苏工业学院 计算机科学与工程系, 江苏 常州 213016)

摘要: 以年产 80 万吨催化加氢反应装置为背景, 在充分分析其机理特性的基础上, 采用神经网络与小波函数相结合, 其中网络结构采用神经网络, 节点函数采用小波函数, 建立小波网络, 并采用梯度法优化小波网络参数。从而建立了反应器的模型。仿真结果表明, 该小波网络模型具有较高的模拟精度。

关键词: 加氢裂化; 小波网络; 模型

中图分类号: TP 15

文献标识码: A

加氢裂化是在氢分压存在下进行催化裂化反应, 把重质馏分油加氢裂化成优质的轻质产品。某炼油厂年产 80 万吨, 加氢裂化采用“一段”加氢裂化的工艺过程, 其生产目的是把原料油加氢裂解成柴油、航空煤油、重汽油、轻汽油和气体。

文献 [1] 建立了以输出产品分类集总的集总模型, 文献 [2] 在此基础上采用多元非线性逐步回归的方法得到反应器的简化控制数学模型, 达到较好效果。然而, 加氢裂化过程工艺机理十分复杂, 非线性极为严重, 因此, 若实际过程与建模条件相差较大的话, 则模型的误差会很大。

小波分析是近 20 年来发展起来的新兴学科。小波网络是在小波分析理论和人工神经网络充分发展的基础上, 结合两者的优点而形成的。因此, 小波网络具有神经网络的特点, 可以处理那些难以用规则或数学模型描述的系统或过程, 并且, 小波网络借鉴神经网络的学习算法使小波函数具有参数的自修正功能, 增加了学习功能。从小波网络自身性质来看, 它是处理非线性问题的强有力的工具。

1 小波网络结构

采用神经网络与小波函数相结合, 用小波函数代替前馈神经网络的隐层节点函数, 网络输入层到隐层的权值与域值分别由小波函数的尺度参数和平

移参数代替, 得如图 1 所示小波网络。网络输入为 r 维向量 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_r\}^T$, 输出为 m 维向量 $Y = [y_1, y_2, \dots, y_m]^T$, 其中

$$y_i = f_i(x) \quad (1 \leq i \leq m)$$

隐层有 l 个基函数 $g_j(x) \quad (1 \leq j \leq l)$ 。

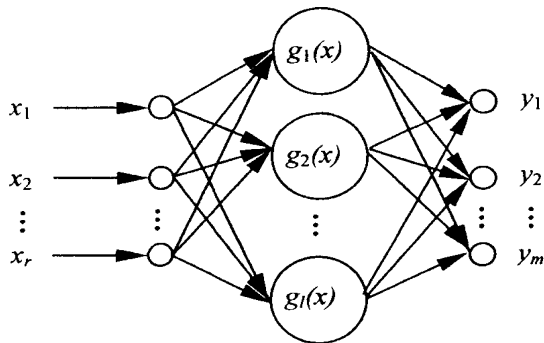


图 1 小波网络结构

2 小波网络参数优化^[3]

$$\text{令 } g(x) = \prod_{i=1}^r g(x_i) = \prod_{i=1}^r \Psi(2^j x_i - k).$$

可根据信号的时频域特性确定伸缩和平移参数 j 、 k 的取值范围, 因此网络的可调参数只有权值, 且与输出呈线性关系。

设 $y = f(x) \in L^2(R)$, 在映射 f 下给定一

* 收稿日期: 2003—05—06

作者简介: 郑明方 (1964—), 女, 江苏靖江人, 博士生, 主要从事自动控制教学和科研工作。

组训练数据, 用小波网络逼近 y , 则 $y_{(k)} = W^T g + e_{(k)}$, $e_{(k)} = y_{(k)} - \hat{y}_{(k)}$ 为模型的误差, $\hat{y} = W^T g$ 为网络的输出, $G = [g_1, g_2, \dots, g_l]^T$ 为网络的隐层输出向量. l 是隐层节点数, W 为小波网络的输出权值向量.

因此, 可用梯度法优化小波网络参数.

定义单样本误差函数

$$E_k(W_{(k)}) = \frac{1}{2} \left(y_{(k)} - \hat{y}_{(k)} \right)^2, \text{ 则权值可按}$$

下式修正:

$$W_{(k+1)} = W_{(k)} + \Delta W_{(k)} + \beta_w \Delta W_{(k-1)}$$

$$\Delta W_{(k)} = -\alpha_w \nabla E_k(W_{(k)})$$

$$\nabla E_k(W_{(k)}) = \frac{\partial E_k(W_{(k)})}{\partial W_{(k)}}$$

其中, β_w 为动量因子, α_w 为修正步长.

递推算法便于在线修正网络参数, 保证网络拟合精度.

3 加氢裂化反应器模型

加氢裂化产品的收率与反应的平均温度 ($t/^\circ\text{C}$)、液时空速 (v/h^{-1})、压力 (p/MPa) 及氢油比 ($L/\text{m}^3\text{t}^{-1}$) 4 项参数有关. 采样 200 对输入输出数据, 组成训练样本集.

构造 $r=4$, $m=5$ 小波网络, 输入向量为 $X = [t, v, p, L]^T$, 输出向量为 $y = [C_1, C_2, C_3, C_4, C_5]^T$, 其中 C_1 为气体收率, C_2 为轻汽油收率, C_3 为重汽油收率, C_4 为航空煤油收率, C_5 为柴油收率.

取 Mexican 母小波 $\Psi = (1 - x^2) e^{-x^2/2}$, 网络隐层小波函数由 $g_j(x) = \prod_{i=1}^r g_j(x_i)$ 决定. 利用时频特性和正交化方法结合确定的伸缩平移参数为 $j \in [-5, 5]$, $k \in [-2, 2]$, 隐层节点数为

$l=12$. 用梯度法修正网络权值, 得仿真结果.

以航空煤油为例, 表 1 为实测数据与小波模型输出对照表.

表 1 航空煤油实测数据与模型输出对照表

编号	平均温度	液时空速	压力	氢油比	航空煤油收率	
	$/^\circ\text{C}$	$/\text{h}^{-1}$	$/\text{MPa}$	$/\text{m}^3\text{t}^{-1}$	实测	模型输出
1	384.2	1.11	17.58	1000	50.04	50.02
2	385.3	1.12	17.49	1000	49.98	50.13
3	384.5	1.21	17.38	1010	50.12	50.17
4	384.0	1.10	17.55	1000	50.07	49.99
5	384.6	1.08	17.58	1002	50.02	50.12
6	384.5	1.11	17.58	1000	50.80	50.30
7	383.5	1.10	17.56	1000	50.53	50.32
8	384.1	1.07	17.58	1000	50.07	50.13
9	384.5	1.10	17.57	1008	50.30	50.20
10	386.0	1.11	17.58	1006	50.00	50.08
11	384.2	1.10	17.58	1000	50.23	50.12
12	384.5	1.11	17.56	1010	50.09	50.08
13	384.8	1.08	17.43	1000	50.17	50.13
14	385.3	1.16	17.50	1000	49.99	50.05
15	386.0	1.12	17.52	1002	50.12	50.17
16	385.2	1.10	17.48	1006	50.05	50.13
17	384.8	1.10	17.55	1000	50.04	50.12
18	384.6	1.13	17.56	1008	50.15	50.04
19	384.3	1.14	17.53	1000	50.03	50.10
20	385.2	1.12	17.52	1010	50.02	50.12

其均方根误差为 0.082, 同样有其它产品收率的均方根误差为: 气体 0.101, 轻汽油 0.793, 重汽油 0.091, 柴油 0.732. 由 20 组验证数据表明, 该小波模型有很好的拟合精度.

参考文献:

- [1] 郑明方, 张素珍, 李瑾. 加氢裂化反应器数学模型的研究 [J]. 石油化工自动化, 1998, 4: 31-33.
- [2] 郑明方, 张素珍, 李瑾. 加氢裂化反应器简化控制数学模型的研究 [J]. 江苏石油化工学院学报, 1998, 2: 23-25.
- [3] 吕朝霞. 非线性系统的内模控制研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2000.

Study of Wavelet Network Model for Catalytic Hydrogen

ZHENG Ming-fang

(Department of Computer Science and Technology, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China)

Abstract: In the paper, the reactor of hydrocracking process whose processing capacity was $8.0 \times 10^5 \text{ t/a}$ was studied. Based on its static mechanism mathematical model, using the wavelet function as its network function and the neural network structure as its network structure, using the method of gradient as the network right weight optimal method, the wavelet network model had been established. From the test, the results showed that the wavelet model was effective.

Key words: hydrogen; wavelet network; model