第19卷 第3期 1993年5月 自动化学报 ACTA AUTOMATICA SINICA Vol. 19, No. 3 May, 1993

研究简报

模糊函数模型辨识的引导点方法

刘伟杰　　张以杰

(西安电子科技大学电子工程系,西安 710071)

关键词: 模糊函数模型,线性回归,引导点.

一、引　言

模糊模型辨识近年已引起重视,并形成函数模型辨识和关系模型辨识两个分支. 在函数模型辨识中,线性多元回归形式占主导地位,其单一规则具有如下形式

$$\text{IF}x_1 \text{ is } A_1 \text{ and} \cdots \text{and } x_n \text{ is } A_n \text{ THEN } y = p_0 + p_1x_1 + \cdots + p_nx_n, \tag{1}$$

其中 $(x_1,\cdots,x_n)$ 为输入, y 为输出, $A_1,\cdots,A_n$ 为相应论域的模糊子集, $p_0,p_1,\cdots,p_n$ 为待定回归系数. 现有方法是在一定假设条件下,用优化算法对参数寻优,存在收敛慢和局部收敛问题. 本文方法不用优化算法,也无须对规则数目和隶属函数形式作任何特别假设.

二、基本步骤

1. 确定规则数目

1) 将 m 组数据看作 R^{n+1} 空间的 m 个点,即 $P_i=\{x_1^i,\cdots,x_n^i,\ y^i\}\in R^{n+1}$, $i=1$—m. 以起点和终点作为初始引导点,即记 $i_1=1$, $i_2=m$;或确定距离最远的两点

$$d(i_1,i_2)=\max_{\substack{1\leqslant i\leqslant m\\ 1\leqslant j\leqslant m}} d(i,j), \tag{2}$$

此处 $d(i,j)$ 定义为 P_i 与 P_j 之间的欧氏距离. P_{i_1} 和 P_{i_2} 称为初始引导点.

2) 记 $l=2$. 并定义 $d(k;i,j)$ 表示点 P_k 到点 P_i,P_j 连线的距离. 若 P_k 到 P_i, P_j 连线的垂点在 P_i,P_j 连线的延长线上,则定义 $d(k;i,j)=\min[d(k,i),d(k,j)]$.

3) 计算

$$d(k';i_c,i_{c+1})=\max_{1\leqslant k\leqslant m}\ \min_{1\leqslant j\leqslant l-1} d(k;i_j,i_{j+1}). \tag{3}$$

点 $P_{k'}$ 称为新的扩充引导点,并进行调整 $l=l+1$, $i_j=i_{j-1}(j=l-c+2),i_{c+1}=k'$.

4) 若(3)式的 $d(k';i_c,i_{c+1})\leqslant\varepsilon$ (给定允许误差)或 $l-1$ 值达到要求的规则数目,则结束;否则转 3). $l-1$ 值即规则数目.

2. 确定每条规则的回归系数 $p_0,p_1,\cdots,p_n$

以第 k 条规则为例.

本文于1991年11月6日收到.

1) 在m个点中找满足条件 $d(j;k,k+1)\leqslant d(j;i,i+1), i=1-(l-1)$, $i\neq k$, $j=1-m$ 的点,进而求出这些点到 P_k, P_{k+1} 连线的距离的最大值 Δ_k.

2) 在m个点中找满足条件 $d(j;k,k+1)\leqslant\Delta_k$, $j=1-m$ 的点,设有 m_k 个点.

3) 对上述 m_k 个点进行直线拟合,得

$$y=k_1x_1+b_1,\cdots, y=k_nx_n+b_n, \tag{4}$$

其中 k_i, b_i 是 $(x_i, y)(i=1=n)$ 的 m_k 组数据最小二乘线性回归结果. 并取 $p_0=(b_1+\cdots+b_n)/n$, $P_i=k_i/n, i=1=n$.

3. 确定每条规则中的模糊隶属度

对第k条规则,直线(4)是其几何表示. 点 P_i 在输入空间的投影点 $(x_1^i,\cdots,x_n^i)$ 到直线(4)在输入空间的投影直线 $k_1x_1+b_1=\cdots=k_nx_n+b_n$ 的距离,记为 $D_k(x_1^i,\cdots,x_n^i)$, 对用于辨识直线(4)的 m_k 个点其最大值记为 D_{km}, 则任意输入 $(x_1,\cdots,x_n)$ 对第k条规则的隶属度可以表示为 $\beta_k=[\alpha\cdot D_{km}-D_k(x_1,\cdots,x_n)]/\alpha\cdot D_{km}$,其中$\alpha$是略大于1的常数(本文取 $\alpha=1\cdot1$). 模糊函数模型总的输出为 $y=\sum_{k=1}^{l-1}\beta_k\cdot y_k\Big/\sum_{k=1}^{l-1}\beta_k$, 其中 y_k 为第k条规则输出. 如果必要, 可由 β_k-x_i $(i=1-n)$ 的曲线形状拟合适当的A_i 的隶属函数,从而构成具有形式(1)的规则.

至此,并列 $l-1$ 条规则就构成了模糊函数模型.

三、实 例

用 Box-Jenkins 煤气炉数据[3]验证本文方法. 将 $x(k), y(k)$ 量化到 $[-60,+60]$, 并取 $y=y(k), x_1=x(k-4)$, $x_2=y(k-1), k=5-296$. 可以看出, $y-x_1$ 和 $y-x_2$ 具有极复杂的非线性关系(图略).结果,辨识均方误差Q随规则数 RN 的变化有: RN $=1$, $Q=0.302$; RN $=10$, $Q=0.187$; RN $=15$, $Q=0.155$; RN $=30$, $Q=0.127$. 和模糊关系模型的一些辨识结果[1,2]相比,不论是Q的绝对值,还是Q随 RN 的变化, 这里得到的结果都更好. 此外,本文方法计算量小,概念简单, 并且规则形式比模糊关系方程简便.

参 考 文 献

[1] 王春燕,刘少民,建立动态系统规则模型方法,自动化学报, 17(1991), (3), 354—358.
[2] 于静江,顾钟文,周春晖,模糊模型的结构辨识,自动化学报, 17(1991), (2), 245—246.
[3] Box, G. E. P., and Jenkins, G. M., Time Series Analy., Forecasting and Cont., Revised Ed., Holden-Day Inc., San Francisco, 1976, 532—533.

IDENTIFICATION OF FUZZY FUNCTIONAL MODEL WITH LEADING-POINTS

Liu Weijie Zhang Yijie
(Dept. of Electronics Engineering, Xidian University, Xi'an 710071)

Key words: Fuzzy functional model; linear regression; leading-points.