

文章编号: 1000-8152(2002)06-0872-07

模糊时间序列挖掘在复杂系统模糊建模中的应用*

张小刚, 章 兢, 陈 华

(湖南大学 电气与信息工程学院 长沙, 410082)

摘要: 针对于复杂工业过程领域模糊建模问题, 提出了一种基于时间序列的模糊定量数据挖掘方法, 并讨论了其在复杂系统模糊逻辑推理模型结构辨识中的应用. 该方法建立在系统历史采集数据库基础之上, 较好的解决了多人多出(MIMO)非线性复杂工业过程模糊建模时初始模型的建立问题. 文章最后讨论了该方法在氧化铝熟料烧结回转窑建模中的应用, 取得了良好的现场运行效果.

关键词: 模糊时间序列挖掘; 关联规则; 模糊建模; 复杂工业过程; 结构辨识

中图分类号: TP311

文献标识码: A

Applying fuzzy time-series data mining for the fuzzy modeling of complex system

ZHANG Xiao-gang, ZHANG Jing, CHEN Hua

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: A novel fuzzy quantitative data mining method based on time series is proposed for the fuzzy modeling of complex industry process. The application for structure identification of fuzzy logical model on the complex system is discussed with this method. The initializing fuzzy model of MIMO complex system can be well built. The result is good by applying this method for the fuzzy modeling of aluminum mature material sintering kiln.

Key words: fuzzy time series data mining; association rule; fuzzy model; complex industry process; structure identification

1 引言(Introduction)

在工业过程控制领域中, 对于那些非线性复杂系统, 建立精确的数学模型遇到很大困难. 实际应用中, 人们利用 IF...THEN 规则建立系统的模糊描述模型是一个行之有效的方法. 在这方面已经有了许多研究, 如文献[1]中, Wang Li-xin 等人讨论了一种直接从样本数据中产生模糊规则的方法, 并且证明了模糊系统具有以任意精度逼近实值连续映射函数的能力; 为提高初始模型的精度, 文献[2]和文献[3]根据输出误差, 分别提出了不同的动态增加输入、输出量模糊子集和模型规则的方法; 同时文献[4]也提出了一种对输出样本进行模糊聚类分析(fuzzy C-means method)获取模糊模型的方法; 文献[5]讨论了一种利用粗集理论自动生成模糊规则和隶属函数的模积建模方法. 目前较多的研究都利用复杂函数的仿真来验证模糊模型的有效性, 并且讨论大都集中在多输入单输出(MISO)的系统上. 而实际的多输入

多输出(MIMO)复杂工业过程的模糊建模并没有一个有效的方法.

结构辨识和参数估计是模糊建模的两个方面. 对于 MIMO 系统, 结构辨识是模糊建模的难点. 其中, 选择输入量, 分隔输入输出空间和确定模糊规则又是结构辨识的三个主要问题. 显然选取建模所需的系统输入信号是首先面临的问题, 而模糊规则的确定又是 MIMO 系统结构辨识的难点.

近年来, 随着计算机领域和数据库技术的发展, 数据挖掘成为一个逐渐兴起的研究领域^[6]. 它是一种基于数据库的自动信息提取技术. 目前研究较成熟的是布尔性关联规则的采掘^[7], 即某个项目(item)在一个事务(transaction)中要么存在, 要么不存在. 针对大多数商业领域数据库中存在的非布尔性项目, Sriknat 和 Agrawal 提出了一种定量关联规则的挖掘方法^[8], 这种方法需要数据无偏斜, 且提取的规则也难于理解; 因此文献[9]提出了一种模糊定

* 基金项目: 国家教育部骨干教师基金(2000-65)资助项目.
收稿日期: 2001-04-25; 收修改稿日期: 2001-10-23.

量挖掘方法,可以提取更容易被人理解的规则,但它没有考虑时间因素,只适合于静态规则的挖掘。

当前,现场实时监控系統被应用到许多复杂工业过程中^[10,11]。这些系統积累了大量的现场运行数据,隐含了与过程运行状态相关的建模知识,这为数据挖掘技术在模糊建模领域的应用奠定了基础。因此本文提出一种基于时间序列的模糊数据挖掘技术,它可以从现场数据库中自动提取基于规则的初始模糊模型,并可通过对互斥规则的分析,排除与建模无关的系統输入信号,较好地解决了MIMO非线性工业过程模糊建模中的结构辨识问题。

2 模糊时间序列数据挖掘(Fuzzy time series data mining)

2.1 定量属性模糊化(Fuzzification of quantitative attributes)

定义现场时间序列数据库为 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, 找出 T 中记录的所有信号(如: 烧结温度、主机电流等), 假设共有 m 个, 且均为值域范围连续的模拟量信号。将信号 $i_j (1 \leq j \leq m)$ 在其值域范围内模糊化为 $n(i_j)$ 个模糊子集, 并规定相应的模糊隶属函数。为提高模糊模型的精度, 模糊子集的生成和隶属函数的确定可利用文献[12]中的聚类分析的方法给出。在 T 中 k 时刻的采样记录, 这里称之为事务 $t_k = \{t_k.i_1, t_k.i_2, \dots, t_k.i_m\}$ 。其中信号 j 在 k 时刻的采样值 $t_k.i_j$ 就可被相应的 $n(i_j)$ 个模糊隶属度来取代。实际上 $t_k.i_j$ 的这 $n(i_j)$ 个模糊隶属度和一般不等于1(如表1所示), 所以 $t_k.i_j$ 第 w 个模糊集的隶属度用式(1)归一化处理。

$$m'_{ij}(w, t_k.i_j) = \frac{m_{ij}(w, t_k.i_j)}{\sum_{u=1}^{n(i_j)} m_{ij}(u, t_k.i_j)}, \quad (1)$$

模糊化后的事务 t'_k 为:

$$\begin{aligned} t'_k &= \{t_k.i'_1, t_k.i'_2, \dots, t_k.i'_m\}, \\ t_k.i'_j &= \{t_k.i'_{j1}, t_k.i'_{j2}, \dots, t_k.i'_{jn(i_j)}\}, \\ 1 \leq j \leq m, t_k.i'_{jw} &= m'_{ij}(w, t_k.i_j). \end{aligned}$$

例如对于一个事务 $t = \{300A, 1000^\circ\text{C}\}$, 与之对应的信号集合 $I = \{MI_n, Ts_n\}$, 相应的模糊集合为 {大, 中, 小} 和 {高, 中, 低}。在相应的隶属函数下, 其归一化前后的事务映射如表1和表2所示。 MI_n 表示 n 时刻主机负载电流, Ts_n 表示 n 时刻烧结温度。我们将映射后每一个模糊集(如 $\langle MI_n, \text{大} \rangle$) 称为一个项目。

表1 归一化前的模糊隶属度

Table 1 Fuzzy membership degrees before normalization

$\langle MI_n, \text{大} \rangle$	$\langle MI_n, \text{中} \rangle$	$\langle MI_n, \text{小} \rangle$	$\langle Ts_n, \text{高} \rangle$	$\langle Ts_n, \text{中} \rangle$	$\langle Ts_n, \text{低} \rangle$
0.2	0.7	0.3	0.1	0.6	0.4

表2 归一化后的模糊隶属度

Table 2 Fuzzy membership degrees after normalization

$\langle MI_n, \text{大} \rangle$	$\langle MI_n, \text{中} \rangle$	$\langle MI_n, \text{小} \rangle$	$\langle Ts_n, \text{高} \rangle$	$\langle Ts_n, \text{中} \rangle$	$\langle Ts_n, \text{低} \rangle$
0.17	0.58	0.25	0.09	0.55	0.36

2.2 时间序列转换(Transform of time series)

在现场时间序列数据库 T 基础上, 设完成数据预处理和模糊化后生成的模糊数据库 $D = \{t'_1, t'_2, \dots, t'_n\}$ 。工业过程模型一般是多阶滞后的, 因此需要系統输入的当前状态和前几个历史状态同时参与辨识。为得到模糊模型的动态时间信息, 我们利用滑动时间窗口方法, 在模糊数据库 D 的基础上形成包含时间信息的挖掘数据库 D_T 。假设时间窗宽度为 l 且 $n - k < l$, 则从 t'_1 开始, 滑动时间窗口可形成如下 k 个时间序列:

$$\begin{aligned} (t'_1, t'_2, \dots, t'_l), (t'_2, t'_3, \dots, t'_{l+1}), \dots, \\ (t'_k, t'_{k+1}, \dots, t'_{k+l-1}), \end{aligned}$$

令 $t_i = (t'_i, t'_{i+1}, \dots, t'_{i+l-1})$ 这样就形成了模糊挖掘数据库 $D_T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ 。由上述讨论可知, 挖掘数据库 D_T 中的每一个事务 t_i 均由 l 个连续的时间序列顺序组合而成, 这样, 我们就可以利用关联规则的挖掘方法提取具有时间信息的模糊规则了。

2.3 模糊关联规则(Fuzzy association rules)

在数据库 D_T 中, t_k 被称为 D_T 中第 k 个事务。设项目属性集 $I = \{i_1, i_2, \dots, i_m\}$, 表示 D_T 中所有项目属性集合, 则基于挖掘数据库 D_T 及其项目属性集 I 定义的模糊关联规则为

$$\text{If } \langle X, A \rangle \text{ Then } \langle Y, B \rangle.$$

其中

$$\langle X, A \rangle = \bigcup_{i=1}^p \langle x_i, a_i \rangle,$$

$$\langle Y, B \rangle = \bigcup_{i=1}^q \langle y_i, b_i \rangle,$$

$$X \subset I, Y \subset I, X \cap Y = \emptyset,$$

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_p\}, B = \{b_1, b_2, \dots, b_q\},$$

A, B 分别为与 X, Y 同序的有序模糊集 a_i 为 x_i 的模糊值, b_i 为 y_i 的模糊值, $\langle X, A \rangle \langle Y, B \rangle$ 称为项目集, p, q 为项目个数。

例如:设

$$\begin{aligned} X &= \{MI_n, MI_{n+1}, CI_n, CI_{n+1}, Ts_n\}, \\ A &= \{\text{正常, 正小, 正大, 大, 偏低}\}, \\ Y &= \{Ts_{n+1}\}, B = \{\text{低}\}. \end{aligned}$$

模糊关联规则为: IF $\langle MI_n, \text{正常} \rangle$ and $\langle MI_{n+1}, \text{正小} \rangle$ and $\langle CI_n, \text{正大} \rangle$ and $\langle CI_{n+1}, \text{大} \rangle$ and $\langle Ts_n, \text{偏低} \rangle$ THEN $\langle Ts_{n+1}, \text{低} \rangle$. 其中 $\langle MI_n, \text{正常} \rangle$ 表示“ n 时刻主机电流采样值 MI_n 为大”, CI 表示冷却机电流.

2.4 模糊支持度(Fuzzy support value)

从数据挖掘的角度看,如果一条规则有实际意义,它必须具有足够的支持度(support). 满足最小支持度的所有项目集的并集称为频繁项目集. 模糊关联规则的模糊支持度(F_sup)与一般的关联规则的支持度定义有所不同,它不但反映了挖掘数据库 D_T 中支持该项目集(itemset): $\langle X, A \rangle$ 的事务比例,还代表了它的支持程度. 现将其定义如下:

$$F_sup_{\langle X, A \rangle} = \frac{\sum_{t_i \in D_T} \prod_{x_j \in X} m_{x_j}'(a_j, t_i, x_j)}{|D_T|}, \quad (2)$$

其中, $m_{x_j}'(a_j, t_i, x_j)$ 为归一化后 t_i, x_j 在模糊集 a_j 上的隶属度, $|D_T|$ 为事务的总个数, $t_i, x_j \in X, a_j \in A$. X 为项目集中的属性集合, A 为与之对应的模糊集.

例 设 $X = \{MI_n, Ts_n\}$,其对应的有序模糊集 $A = \{\text{大, 中}\}$,与其相关的部分模糊挖掘数据库记录如表3所示,则二维项目集 $\langle X, A \rangle$ 的模糊支持度计算如下:

$$F_sup_{\langle X, A \rangle} = (0.02 + 0.14 + 0.24)/3 = 0.13.$$

表3 模糊化后的部分数据库

Table 3 Part of database after fuzzification

$\langle MI_n, \text{大} \rangle$	$\langle Ts_n, \text{中} \rangle$
0.2	0.1
0.7	0.2
0.6	0.4

2.5 模糊置信度(Fuzzy confidence value)

数据挖掘是从频繁项目集中产生模糊规则的,如果模糊规则的前件和后件都有足够的支持度并且具有很高的置信度,则该规则是有意义的. 假设我们已经获取了一频繁项目集 $\langle X, A \rangle$,则“If X is A Then Y is B ”的模糊置信度定义如下:

$$F_conf_{\langle \langle X, A \rangle, \langle Y, B \rangle \rangle} = \frac{F_sup_{\langle Z, C \rangle}}{F_sup_{\langle X, A \rangle}} = \frac{\sum_{t_i \in D_T} \prod_{z_j \in Z} m_{z_j}(c_j \in C, t_i, z_j)}{\sum_{t_i \in D_T} \prod_{x_j \in X} m_{x_j}(a_j \in A, t_i, x_j)}. \quad (3)$$

其中

$$\begin{aligned} Z &= X \cup Y, C = A \cup B, \\ Y &= Z - X, B = C - A. \end{aligned}$$

2.6 数据挖掘算法(Algorithm for data mining)

数据挖掘方法一般分为两个步骤:首先根据最小支持度产生频繁项目集,其次从频繁项目集中,根据最小置信度产生规则. 假设已给出了数据库 D_T ,最小支持度 $minsup$,和最小置信度 $minconf$, F_k 为频繁 k 项目集, C_k 为候选 k 项目集,产生模糊关联规则的Aprior算法如下:

```

1   $F_1 = \text{Cheking}(C_1, D_T, minsup)$ 
2  for ( $k = 2, |F_{k-1}| \neq \emptyset, k++$ ) do
3  begin
4       $C_k = \text{Join}(F_{k-1})$ 
5       $C_k = \text{Prune}(C_k)$ 
6       $(C_k, F_k) = \text{Checking}(C_k, D_k, minsup)$ 
7       $F = F \cup F_k$ 
8  end
9  Rules( $F, minconf$ )

```

其中

1) $\text{Checking}(C_k, D_T, minsup)$: 搜索挖掘数据库 D_T ,利用公式(2),计算 C_k 中每个候选项目集的模糊支持度 $F_sup(X, A)$,如果该 k -项目集模糊支持度小于 $minsup$,则被删除,从而形成频繁项目集 F_k .

2) $\text{Join}(F_{k-1})$: 这一步骤按照如下方法从 F_{k-1} 中产生候选 k 项目集合 C_k .

Insert into C_k ,

```

Select  $p.\langle x_1, a_1 \rangle, p.\langle x_2, a_2 \rangle, \dots,$ 
 $p.\langle x_{k-1}, a_{k-1} \rangle, q.\langle x_{k-1}, a_{k-1} \rangle$ 
from  $F_{k-1}.p$  and  $F_{k-1}.q,$ 
where  $p.\langle x_1, a_1 \rangle =$ 
 $q.\langle x_1, a_1 \rangle, \dots, p.\langle x_{k-2}, a_{k-2} \rangle =$ 
 $q.\langle x_{k-2}, a_{k-2} \rangle$ 

```

3) $\text{Prune}(C_k)$: 如果 c 是 C_k 中的一个 k 项目集. $k-1$ 项目集 $c_{k-1} \in c$,但是 c_{k-1} 不存在于 F_{k-1} ,则从 C_k 中删除 c .

4) $\text{Rules}(F, minconf)$: 对于一个频繁项目集 F ,依照公式(3)产生规则.

3 基于数据挖掘的模糊建模(Fuzzy modeling based on data mining)

3.1 数据清洗和模型阶次(Data cleaning and model order)

根据现场数据的不同情况,使用数据滤波,坏值

删除,数据简化等方法,减少原始数据的杂乱性、重复性和不完整性^[13].由2.2节定义可知,时间窗口 l 的值与系统模糊模型的阶次和滞后性有密切关系,根据性能指标最小定阶的原理, l 将由小到大逐步试探产生,因此对于 l 的确定本文不再进一步讨论^[14].

3.2 专家规则生成(Expert rules generating)

在本文基于规则推理的模糊建模中,基于时间序列的模糊定量挖掘技术用于从大量历史数据中,提取模糊模型推理规则.规则的挖掘框图如图1所示.

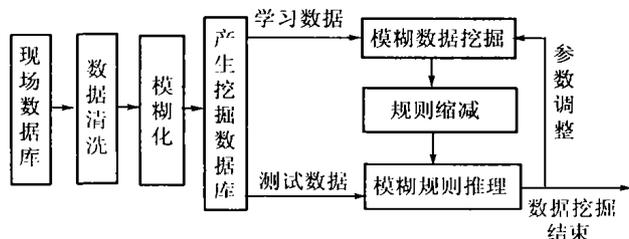


图1 专家规则生成框图

Fig. 1 The frame of generating expert rules

具体步骤如下所示.

Step 1 数据清洗.

根据现场数据的不同情况,按3.1所述清洗原始数据.

Step 2 生成模糊挖掘数据库.

根据2.1节所述为数据库 T 中每一信号定义模糊集合和相应隶属函数,并将时间序列数据库 T 中每一条事务的信号采样值模糊化后利用公式(1)归一化.在此基础上利用2.2所述时间序列转换方法生成模糊挖掘数据库 D_T .

Step 3 数据挖掘.

依照给定的 minsup 和 minconf ,利用2.6节所示算法从 D_T 中产生规则.

Step 4 规则缩减.

数据挖掘产生符合 minsup 和 minconf 的所有规则,应根据建模目标的不同要求,只提取推理后件是系统模型输出的部分规则,同时为保证规则的一致性和有效性,应根据不同的应用场合,删除一些没有识别价值的冗余规则和互斥规则.

Step 5 模糊规则推理判决.

从已知数据信息(测试数据)出发正向推理,让规则的前件与数据库匹配,解出待定模式.如果只有一条规则可用,系统将毫不犹豫地应用它得出推理结果.如果在前向推理过程中触发多条规则,则存在以下几种竞争消解方法^[15]:

1) 规则排序:利用规则置信度排序.优先使用置信度高的规则输出结果.

2) 规模排序:按规则条件部分的规模排序,优先使用满足较多条件的规则.

3) 频繁排序:把最频繁使用过的规则放在最优先的位置.

Step 6 参数调整.

使用测试数据验证模糊模型,如满足要求则结束数据挖掘.否则调整参数后返回Step 3.从大到小调整最小支持度和最小置信度,同时分析互斥规则,排除与系统建模无关的信号.如果仍未发现有意义的规则,则增大窗口宽度 l .

3.3 规则互斥(Collision rules)

数据挖掘是发现数据库中满足最小支持度和最小置信度的所有规则,这就必然会出现规则互斥,即两规则后件结论相同而前件推理部分出现矛盾.互斥关联规则的产生原因有以下几个方面:第一,数据库中的原始数据出现了矛盾;第二,一些较为重要的系统输入信号没有参与建模;第三,模型参数有待优化,对于应被多个模糊集细分的连续值域却用一个模糊集描述.第四,如果存在与系统模型输出无关的信号项目参与模糊建模,则在生成的关联规则中由这些信号产生的项目一定会互相矛盾,导致规则互斥.

在实际的建模过程中,我们可能无法判断哪些信号与系统输出相关,一种保守的方法是将数据库中记录的所有现场信号都参与数据挖掘,同时我们将尽可能排除数据本身的不一致性,在不导致系统复杂化的基础上对每一个信号的连续值域尽可能细分.这样,互斥规则的产生就主要是由于一些无关信号参与建模造成的.在第一遍数据挖掘过后,通过对规则前件互斥项的分析可以帮助我们排除掉那些与模型输出关系不大的信号.

4 一个回转窑模糊建模和控制的应用 (An application of the fuzzy modeling and control of rotary kiln)

4.1 背景分析(Background analysis)

目前在我国冶金、建材等行业,回转窑烧结系统是重要的工艺流程.由于窑体的特殊结构和烧结法本身工艺的复杂性,很难建立起系统运行的数学模型,因此自动控制的难度很大.因篇幅有限有关其工艺流程的介绍请参照相关文献^[11,16,17].现场共有20路传感器信号,数据库中的数据采样时间为一分钟.对于回转窑而言,系统的烧结带温度(T_s),CO浓度(P_{co})和窑尾温度(T_w)是其正常运转的重要指标,

我们用这三个量作为系统输出来建立系统的模糊逻辑模型. T_s 的模糊论域为 {高, 偏高, 正偏高, 正常, 正偏低, 偏低, 低}, 其它信号则统一模糊为 {大, 正大, 正常, 正小, 小} 五个论域. 采用三角形隶属函数, 具体参数不再详述. 模糊推理出现冲突, 则选择置信度较高的规则得出结论, 滑动窗口宽度 $l = 2$.

4.2 实验结果(Experiment result)

经过多次数据挖掘的筛选和对互斥规则的分析可得出如下结论: 在众多信号中, 只有双管给煤转速 (V_m)、窑主机负载电流 (MI)、冷却机负载电流 (CI)、料浆流量 (LI)、鼓风流量 (FI) 五路信号与系统的三个输出密切相关, 我们将这五路信号作为系统输入. 其中实际可调节信号为 V_m, LI 和 FI, MI 和 CI 的引入是为了弥补对 T_s 测量上的欠缺, 可对窑内温度辅助判断. 在获得频繁项目集后, 我们只提取推理后件与 T_s, P_{co}, Tw 相关的关联规则. 实验结果表明在一定的情况下, 最小支持度和最小置信度越小, 规则数目越少, 具体如图 2, 图 3 所示. 经过规则缩减合并后, 共有 38 条模糊建模规则被挖掘出来. 因篇幅有限, 所得的部分规则如表 4 所示. 第一、二条规则是指在窑况正常情况下若烧结温度偏低或偏高, 只需稍微调整给煤量就可维持系统平衡. 第三条是说明在窑内温度低且燃烧不充分的情况下(俗称“跑煤”), 减少给煤量可使煤粉充分燃烧反而会提升窑内温度.

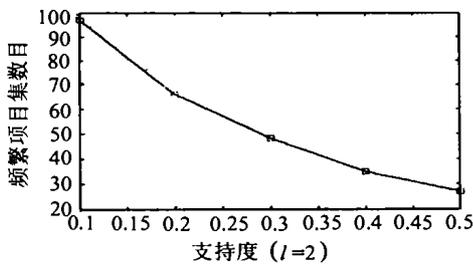


图 2 不同支持度下频繁集数目

Fig. 2 Frequent itemsets with different minsup

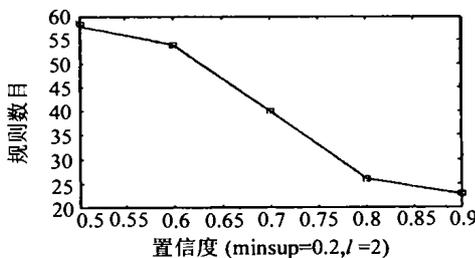


图 3 相同支持度下置信度与规则数目的关系

Fig. 3 Interesting rules numbers with same minsup and different minconf

我们项目小组在获取回转窑的模糊逻辑模型

后, 从中直接提取模糊控制规则, 用于氧化铝回转窑系统的自动控制. 在模糊控制器中, 被控对象的响应可以看成是由被控对象的规律加上控制规则产生的, 因此在事先设定所要控制对象的行为基础上, 据此可以在模糊模型中找出能够满足这种要求的控制规则. 例如在本次采样周期内发现烧结温度 T_{s_n} 正偏低, 冷却机负载电流 CI_n 正偏大, 且其它参数基本正常, 则为了使烧结温度维持在正常范围内, 我们可以根据表 4 的模型规则 1 得知在本周期内提高喂煤量 V_{m_n} 到正大即可达到目的. 同理, 我们可通过表 4 的第 2, 3 条模型规则得到两条控制规则如下:

IF $\langle T_{s_n}, \text{正偏高} \rangle$ and $\langle MI_n, \text{正大} \rangle$ and $\langle CI_n, \text{正小} \rangle$ and $\langle P_{co_n}, \text{正小} \rangle$ and $\langle Tw_n, \text{正小} \rangle$,
 Then $\langle V_{m_n}, \text{正小} \rangle$ and $\langle FI_n, \text{正小} \rangle$;
 IF $\langle T_{s_n}, \text{低} \rangle$ and $\langle MI_n, \text{正小} \rangle$ and $\langle CI_n, \text{正大} \rangle$ and $\langle P_{co_n}, \text{大} \rangle$ and $\langle Tw_n, \text{正小} \rangle$,
 Then $\langle V_{m_n}, \text{小} \rangle$ and $\langle FI_n, \text{正大} \rangle$.

表 4 实验所得的部分规则

Table 4 Part of interesting rules in experiment

规则	支持度	置信度
IF $\langle T_{s_n}, \text{正偏低} \rangle$ and $\langle MI_n, \text{正常} \rangle$ and $\langle CI_n, \text{正大} \rangle$ and $\langle P_{co_n}, \text{正常} \rangle$ and $\langle Tw_n, \text{正常} \rangle$ and $\langle V_{m_n}, \text{正大} \rangle$ Then $\langle T_{s_{n+1}}, \text{正常} \rangle$ and $\langle P_{co_{n+1}}, \text{正常} \rangle$ and $\langle Tw_{n+1}, \text{正常} \rangle$	0.389	0.876
IF $\langle T_{s_n}, \text{正偏高} \rangle$ and $\langle MI_n, \text{正大} \rangle$ and $\langle CI_n, \text{正小} \rangle$ and $\langle P_{co_n}, \text{正小} \rangle$ and $\langle Tw_n, \text{正小} \rangle$ and $\langle V_{m_n}, \text{正小} \rangle$ and $\langle FI_n, \text{正小} \rangle$ Then $\langle T_{s_{n+1}}, \text{正常} \rangle$ and $\langle P_{co_{n+1}}, \text{正常} \rangle$ and $\langle Tw_{n+1}, \text{正常} \rangle$	0.247	0.732
IF $\langle T_{s_n}, \text{低} \rangle$ and $\langle MI_n, \text{正小} \rangle$ and $\langle CI_n, \text{正大} \rangle$ and $\langle P_{co_n}, \text{大} \rangle$ and $\langle Tw_n, \text{正小} \rangle$ and $\langle V_{m_n}, \text{小} \rangle$ and $\langle FI_n, \text{正大} \rangle$ Then $\langle T_{s_{n+1}}, \text{偏低} \rangle$ and $\langle P_{co_{n+1}}, \text{正大} \rangle$ and $\langle Tw_{n+1}, \text{正常} \rangle$	0.170	0.901

实际上由于回转窑烧结系统的复杂性, 并不是每一个被控对象的规律都对应一条控制规则; 同样有些要实现的控制目的也可能找不到一个合适的模型规则可以参照, 这时只能找到比较接近的一种情况, 再利用专家的知识加以处理. 该模糊控制系统在某大型铝厂取得的现场历史运行曲线如图 5 所示. 与人工的控制曲线(图 4)相比, 自动控制具有较强系统稳定性, 说明该模糊建模方法对于 MIMO 系统具有很好的实际应用价值.

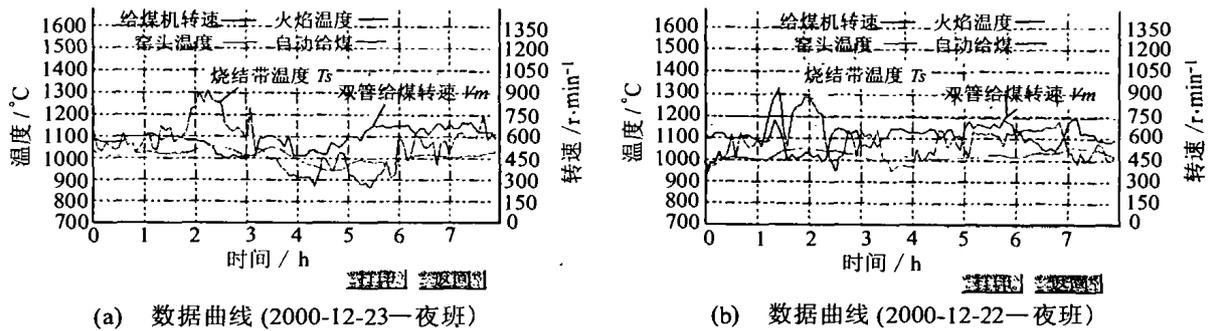


图4 人工控制历史曲线

Fig. 4 The history curve of manual operation

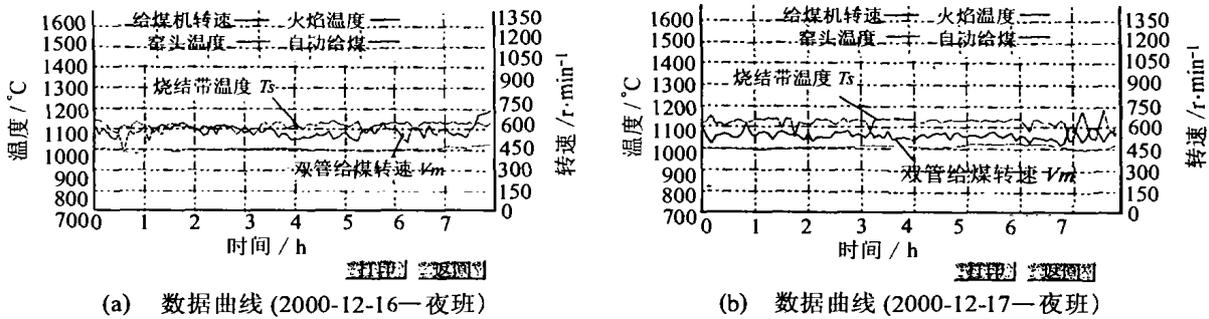


图5 自动控制历史曲线

Fig. 5 The history curve of automation

5 结束语 (Conclusion)

在工业现场数据库基础上,本文提出了一种基于时间序列模糊定量数据挖掘的模糊建模方法.与其它方法相比该方法有以下几个特点:首先人们不必对系统进行深入了解,只要有系统运行的历史数据,即可应用该方法获取 MIMO 系统基于规则的初始模糊模型,因而具有广泛的适用性;其次在现有初始模型基础上,通过规则互斥分析,较容易选定系统的输入变量和模型阶次;最后基于系统运行的长期历史数据,该方法可以发掘出许多一般人难以总结和发现的运行规律,这即使对于专家规则的人工编制也有一定的指导意义.本文最后讨论了该方法在工业氧化铝烧结回转窑模糊建模和控制中的应用,取得了较好的现场运行效果,说明了该方法的有效性.但仍有部分问题尚待解决:该方法提取的规则数目较多,需要人工进行规则合并和冗余规则的删除,而且模糊模型需要进一步的参数优化才是最优的,对于存在的这些问题我们将在以后的工作中逐步改进.

参考文献 (References)

[1] Wang Lixin, Jerry M, Mendel. Generating fuzzy rules by learning from example [J]. IEEE Transaction on System, Man and Cybernet-

ics, 1992, 22(6): 1414 - 1427

[2] Araki S, Nomura H, Hayashi I, et al. A self-generating method of fuzzy inference rules [A]. Proceedings of IFES'91 [C]. Yokohama, Japan, 1991, 1047 - 1058

[3] Mitsubuchi K, Isaka S, Zhao Z Y. A fuzzy rule generation system [A]. Proceedings of the 5th IFSA World Congress [C]. Seoul, 1993, 11 - 14

[4] Sugeno M, Yasukawa T. A fuzzy-logical-based approach to qualitative modeling [J]. IEEE Trans. Fuzzy Systems, 1993, 1(1): 7 - 31

[5] Cho Y, Lee K, Yoo J, et al. Auto-generation of fuzzy rules and membership functions for fuzzy modeling using rough set theory [J]. IEEE Proc. on Control Theory Application, 1998, 145(5): 437 - 442

[6] Zheng Zhikai, Zhang Guangfan, Shao Huihe. Data mining and knowledge discovery: an overview and prospect [J]. Information and Control, 1999 28(5): 357 - 365 (in Chinese)

[7] Srikant R, Agrawal R. Fast algorithms for mining association rules [A]. Proc. 20th Int. Conf. Very Large Databases [C]. Santiago, Chile, 1994, 487 - 499

[8] Srikant R, Agrawal R. Mining quantitative association rules in large relation tables [A]. Proceedings of ACM SIGMOD [C]. Montreal, Quebec, Canada, 1996, 1 - 12

[9] Kouk C M, Fu A, Wong M H. Fuzzy association rules in large databases [J]. ACM SIGMOD Records, 1998, 27(1): 41 - 46

[10] Zhang Jing, Zhang Xiaogang. A real-time supervision and management system for industrial process based on C/S structure [J]. Hunan University Journal (natural science), 2000, 27(3): 57 - 62 (in

- Chinese)
- [11] Zhang Xiaogang. Applying predictive control method based on genetic neural network (GNPC) for the sintering temperature control in aluminum rotary kiln [D]. Changsha: Hunan University, 1999 (in Chinese)
- [12] Ada Wai-Chee Fu, Wong Manhong, Siu Chun Sze, et al. Finding fuzzy sets for the mining of fuzzy association rules for numerical attributes [A]. Proceedings of 1st Int. Symposium on Intelligent Data Engineering and Learning (IDEAL'98) [C]. Hong Kong, 1998, 10, 263 - 268
- [13] Liu Mingji, Wang Xiufeng, Huang Yalou. Data preprocessing in data mining [J]. Computer Science, 2000, 27(4): 54 - 57 (in Chinese)
- [14] Yuan Naner, Wang Wangliang, Su Hongyie. The New Computer Control Strategy and Application [M]. Beijing: The Tsinghua Publishing Company, 1998, 128 - 130 (in Chinese)
- [15] Shen Qing, Tang Lin. Introduction of Pattern Recognition [M]. Hefei: The Publishing Company of National Defense Science and Technology University, 1991, 5: 229 - 231 (in Chinese)
- [16] Zhang Xiaogang, Zhang Jing, Chen Hua. The application of data fusion based on fuzzy theory in temperature judgment of rotary kiln [A]. The Proc. of the Third Congress on Intelligent Control and Automation [C]. Hefei, 2000, 8, 1730 - 1733
- [17] Zhang Jing, Zhang Xiaogang. Fuzzy data fusion in temperature judgment of Rotary Kiln by use of data mining [J]. Advances in Modeling & Analysis, 2001, 37(2): 1 - 7

本文作者简介

张小刚 1972 年生. 1998 年湖南大学电气与信息工程学院硕士毕业, 长期负责工业回转窑自动控制项目的研发工作. 现为该院博士研究生. 研究领域: 复杂过程智能控制, 数据挖掘, 遗传算法.

Email: anneychen@sina.com.cn

章 兢 1957 年生. 教授, 博士生导师. 现任湖南大学副校长. 目前研究方向: 复杂过程控制的理论研究, 优化控制等.

陈 华 1973 年生. 湖南大学电气与信息工程学院硕士研究生. 研究领域: 图像处理, 非数值算法, IC 卡技术.

中国自动化学会第 18 届青年学术年会 (YAC2003) 征文通知

中国自动化学会第 18 届青年学术年会 (YAC2003) 将于 2003 年 7 月 14 - 17 日在安徽黄山市召开, 本次会议由中国自动化学会、中国自动化学会青年工作委员会主办, 中国科学技术大学自动化系承办. 借此机会, 热烈欢迎全国各高等院校教师、科研院所和企事业单位的青年科技工作者及博士生、硕士生积极参加. 会议设有优秀论文奖和优秀应用论文奖.

一、征文范围

1. 广义系统、大系统、非线性系统、混沌系统、系统稳定与镇定; 2. 自适应、预测、变结构控制、 H_∞ 控制、优化和鲁棒控制; 3. 智能控制、模糊控制、人工智能与专家系统; 4. 系统建模、辨识和估计; 5. 规划、管理与自制、容错控制和故障诊断系统; 6. 神经网络及应用; 7. 机器人与机器人控制; 8. 离散事件动态系统、调度、决策系统; 9. 混合动力学系统及控制; 10. 计算机视觉、图像处理与模式识别; 11. 自动化仪表与过程控制; 12. 电力系统及其自动化; 13. 电机驱动及运动控制; 14. 传感器与检测技术; 15. 软件工程、并行处理; 16. 计算机集成制造系统; 17. 计算机软硬件技术及其应用; 18. 系统工程理论、方法及应用; 19. 自动化指挥系统; 20. 数据融合与软测量; 21. 单片机控制及其应用技术; 22. 企业改革、发展策略及管理决策; 23. 工业过程与生产管理; 24. 其他.

二、征文要求

1. 被录用论文将由中国科学技术大学出版社出版《自动化理论技术及应用》(卷 10), 论文应具有一定学术或实用价值, 未在国内学术期刊或会议发表过; 2. 论文第一作者的年龄一般不超过 40 岁; 3. 来稿中英文皆可, 请用 Word 文稿编排, A4 纸打印, 一式三份并附软盘; 4. 格式参考自动化学报; 5. 投稿时请注明文章所属的方向 (见征文范围); 6. 请说明联系作者的详细通讯地址、电话和电子邮件信箱, 并注明是否参加优秀论文评选; 7. 因版权等引起的纠纷, 作者自负.

三、重要日期

论文截稿时间为 2003 年 4 月 10 日; 2003 年 4 月 31 日前发录用与否通知.

四、投稿地址

安徽合肥中国科学技术大学自动化系 YAC2003 组委会 邮政编码: 230027

联系人: 丛爽 程剑锋 王怡雯

联系电话: 0551 - 3607149 传真: 0551 - 3603244 E-mail: scong@ustc.edu.cn