

(91) 61-66

基于特征模型求解的操作指导专家系统

Solving the Operation Directing Expert
Systems Based on Characteristic Model

TP18

黄席榭 柴毅 邓仁明 石为人 柏梁
Huang Xiyue Chai Yi Deng Renming Shi Weiren Bai Liang

(重庆大学电子信息工程学院, 重庆, 630044; 第一作者 53岁, 男, 教授)

A 摘要 针对操作指导专家系统的特点, 利用过程特征量的状态来描述过程的工况(状态), 提出了一种基于特征模型的求解策略, 由过程工况(状态)求解树, 得到过程当前状态, 应用实例表明, 该方法实现了快速求解, 可满足实时操作指导的需要。

关键词 模型; 专家系统 / 操作指导; 过程特征

特征模型

中国图书资料分类法分类号 TP273

ABSTRACT In this thesis, aiming at the characteristic of operation directing expert systems, we use the state of process characteristic parameter to describe the process condition (state). We propose a solving strategy based on characteristic model. According to the solving-tree of process condition (state), the present process state can be obtained. An example of application illustrates that this method solves problem quickly and satisfy the real time directing operation.

KEYWORDS model; expert systems / directing operation; process characteristic

1 问题的提出

对实时操作指导专家系统的求解有严格的时间要求, 在采样间隔内, 要完成数据采集, 数据处理和求解, 并给出操作指导信息。在求解中, 如果我们简单地硬套宽度优先或者是深度优先搜索法, 会导致推理求解过程占用大量的时间, 影响实时性, 因为两种方法对问题的求解都是在遍历所有节点的基础上, 找到一条从初始状态到目标状态的解路径。尤其是当描述生产过程状态的特征参数较多时, 问题空间会很大, 耗费很多时间, 这对实时指导是毁灭性的, 因而如何有效地表示知识, 以及如何快速搜索求解, 在实时操作指导问题中显得非常重要^[1]。

2 规则——框架法描述过程特定知识

利用传感器等作为过程信息来源的实时操作指导专家系统, 过程的特定知识都是以数

据形式表达的。这种知识可以分为两类:

一类是单因素的过程事实,每个时刻 $t_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 传感器会给出一组数据(表达一个事实 B , 令 A 为 B 的期望状态)即工况正常,或者是某种可指定的异常,即

if $t = t_i$ and B 满足 A then 操作正常

二是对多因素过程特征的对象,为描述一个生产过程往往有许多特征信息需要提取,由于因素众多,数据也很多,采用框架结构可使表示简单明了,也便于推理求解。

上述特点要求操作指导专家系统的知识描述,可用规则和框架两种知识描述方法,即以规则描述专家操作时的逻辑判断过程,框架描述过程参数的特征。因此,可把专家操作知识表示成:

1) 规则式 R_i

$R_i: (t = t_i) \wedge Q_i \rightarrow p_i$ 操作(一种确定的操作)

R_i 为第 i 个规则, Q_i 为过程在 t_i 时刻的工况(状态), p_i 为工况 Q_i 时要进行的操作。

2) 对象框架:

槽 1:	时刻:	t_1, t_2, \dots, t_n
槽 2:	特征 1:	$a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}$
	允许范围:	$\Delta a_{11}, \Delta a_{12}, \dots, \Delta a_{1n}$
		...
槽 k :	特征 k :	$a_{k,1}, a_{k,2}, \dots, a_{k,n}$
	允许范围:	$\Delta a_{k,1}, \Delta a_{k,2}, \dots, \Delta a_{k,n}$
槽 $k+1$:	环境因素:	c_1, c_2, \dots, c_n

3 操作指导问题的状态表示及分级求解策略

3.1 操作指导问题的状态描述

在手工操作为主体的生产过程中,操作者的操作是使过程按照人们的意愿向所期望的状态转化,即生产过程从最初的状态向期望的状态运行。操作者在每时每刻不断地监视着对象的变化,针对生产过程出现的各种状态,根据自己所掌握的经验 and 技能作出工况(生产状态)是否正常的判断,再进行相应的操作,直到整个生产过程结束。从生产开始到结束这一过程中,体现了操作者在各种不同状态下所作的一系列操作,也反映了生产过程状态的一系列转变。生产过程中的各个状态,是由一些对象的特征参数来表现的。操作指导专家系统就是在通过检测仪器获取对象的一组特征参数后,进行推理求解,给出生产操作指导信息来指导操作者的操作,使生产过程运行向期望的状态转化。

记过程的初始状态为 $Q_0 = (A_1(t_0), A_2(t_0), \dots, A_n(t_0))^T$, 表示过程在开始时刻的状态。目标状态为 $Q_f = (A_1(t_f), A_2(t_f), \dots, A_n(t_f))^T$, 是过程在 t_f 时刻所达到的最终状态。可描述为 $Q_f = pQ_0$, $p = \{p_1, p_2, \dots, p_{j-1}\}$ 为从 Q_0 到 Q_f 全部操作的集合^[2]。

状态空间表示法为对象操作指导问题求解提供了思路:

1) 状态描述了问题求解过程中各个阶段的情况;

2) 不同的状态可通过一定的操作进行转换。即

$$p = \{Q, p, Q_{i+1}\} \quad (i = 0, 1, \dots, f - 1) \quad (1)$$

该式表明了操作指导专家系统的求解就是寻找一个可应用的操作序列(即规则集),由过程出现的工况(状态)给出相应的操作指导信息。

对于过程中每一个特征量的检测结果,可用五种状态表示

1) $q_1 =$ 正常; 2) $q_2 =$ 超过正常值; 3) $q_3 =$ 超过正常值较多; 4) $q_4 =$ 低于正常值; 5) $q_5 =$ 低于正常值较多,即

$$\left. \begin{aligned} (t = t_i) \wedge [0 < y_i - (a_i + c_i) < \Delta a_i] &\rightarrow \text{操作正常}(q_1) \\ (t = t_i) \wedge [y_i - (a_i + c_i) > \Delta a_i] &\rightarrow \text{操作过快}(q_2) \\ (t = t_i) \wedge [\Delta a_i > y_i - (a_i + c_i) > 0.5\Delta a_i] &\rightarrow \text{操作稍快}(q_3) \\ (t = t_i) \wedge [y_i - (a_i + c_i) < 0] &\rightarrow \text{操作过慢}(q_4) \\ (t = t_i) \wedge [-\Delta a_i < (a_i + c_i) - y_i < -0.5\Delta a_i] &\rightarrow \text{操作稍慢}(q_5) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

其中, y_i 为过程中一个特征量 i 在 t_i 时刻的检测结果, $a_i, c_i, \Delta a_i$ 为对象框架中在 t_i 时刻的槽值。这五种状态同时也反映了针对该特征状态的五个结论(如压力状况,温度状况等等),系统在对每个特征参数完成匹配求解后,由全部特征状态的组合就可确定过程当前的状态,还可将整个专家系统的推理求解过程作优化处理。

3.2 基于特征模型的分级求解策略

在 t_i 时刻每一个特征参数在获取之后,可以用五种状态进行描述,设描述过程的特征参数为 n 个。则 n 个特征参数共有 5^n 个状态,在 t_i 时刻各特征参数五种状态的组合就表征了过程的当前工况(状态)。显然,如果不对知识表示进行有效和有序的组织,而采用通常的深度优先或者宽度优先的方法,来遍历整个状态空间,求出解空间,得到 p 操作,将会耗费很多时间。这对于实时操作指导专家系统将是毁灭性的,因而,必须寻求一条新的求解途径。

从操作指导问题的特点看出,人们对生产过程进行操作时,首先了解生产过程的状态,根据本人的感觉、经验,或者是知识,诀窍等,对过程的状态作出判断,以此为基础,然后施加一种操作,使过程在人的操作控制下运行。如图 1 所示。

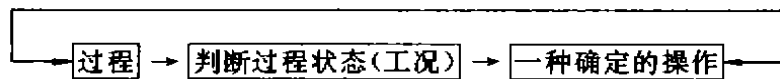


图 1 操作这对过程的控制

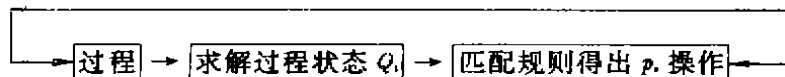


图 2 分级求解

采用同样的方法,在操作指导问题的求解中,引入了分级求解策略如图2所示,首先从表征过程状态的特征参数得出过程当前状态(或工况) Q_t ;然后,根据工况(或状态) Q_t 施加一种确定的操作 p_t ,即

$$\text{if } Q_t \text{ then } p_t$$

这样就使求解过程分为两步来完成,状态的判断和规则匹配得到操作。在生产过程中表现出的各种工况(状态),其实质是过程导致各特征参数的变化,每一时刻描述生产过程特性的各特征参数的状态集合,就唯一地确定了过程的工况(状态),为表达过程特征参数与过程工况(状态)的对应关系,我们引入过程特征模型,记为:

$$Q_t = (a_{t1}, a_{t2}, \dots, a_{tk}),$$

$$a_{t1} \in \{a_{t11}, a_{t12}, \dots, a_{t1n}\}, a_{t2} \in \{a_{t21}, a_{t22}, \dots, a_{t2n}\}, \dots, a_{tk} \in \{a_{tk1}, \dots, a_{tkn}\} \quad (3)$$

其中 Q_t 为过程在 t 时刻的工况(状态), $Q_t = Q|_{t-t} \in \{Q_{t-1}, Q_{t-2}, \dots, Q_{t-m}\}$, $m = q(a_1)q(a_2)\dots q(a_k)$, Q_t 由各特征参数的状态组合决定, a_{tj} ($j = 1, 2, \dots, k$)为 t 时刻描述过程的特征参数,在 t 时刻过程特征参数的集合就唯一地描述了该时刻过程的状态 Q_t 。式(1)表明由操作 p_t 可以使过程的状态 Q_t 向 Q_{t+1} 转移。式(3)的特征模型表达了对生产过程的操作就是对各特征量的调整,即:

$$Q_{t+1} = \{a_{t+1}^1, a_{t+1}^2, \dots, a_{t+1}^k\} = P_t \{a_{t1}, a_{t2}, \dots, a_{tk}\} = \{p_{t1}a_{t1}, p_{t2}a_{t2}, \dots, p_{tk}a_{tk}\} \quad (4)$$

这样对过程状态的求解就转化为对各特征参数状态的求解。

3.3 过程特征模型求解树

过程特征模型 $Q_t = \{a_{t1}, a_{t2}, \dots, a_{tk}\}$ 表达了特征参数与过程状态的一种对应关系,在获取一批数据后,对特征参数 $a_{t1}, a_{t2}, \dots, a_{tk}$ 逐个进行状态判断,在求得 a_{t1} 的状态 q_{j1} , $j1 \in (1, 2, 3, 4, 5)$ 后,由 $q_{j1}|a_{t1}$ 继续对 a_{t2} 进行状态判断得到 q_{j2} , $j2 \in (1, 2, 3, 4, 5)$,直到求得 $q_m|a_{tk}$, $m \in (1, 2, 3, 4, 5)$,用状态图表示就可得到一条从 a_{t1} 到 a_{tk} 的状态分枝,这条分枝就唯一地描述了过程当前的工况(状态) $Q_t = Q|_{t-t} \in \{Q_{t-1}, Q_{t-2}, \dots, Q_{t-m}\}$, $m = q(a_1)q(a_2)\dots q(a_k)$,整个特征参数的状态判断过程,就表达了专家在操作时的逻辑分析判断过程,然后由 Q_t 匹配操作规则 R_t 得到操作指导信息。将每个特征参数的状态用状态图表示,得到过程状态求解树^[3]如图3所示。求解时只须对判断每个特征参数的状态得到一条解路径,其工作只是全部分枝(路径)的 $\frac{1}{5}$,实现了快速求解,可以满足实时操作指导的需要。

4. 应用实例

白酒蒸馏上甑操作一直是传统的手工方法,在同样的条件下,有经验的操作者比缺乏经验的操作者要多出优质酒7%左右。上甑操作是一个时间间隔不定,但很短暂的阶跃式上料过程,实践中总结出了“探气上甑”、“匀铺轻撒”等一套操作法。本实验利用已获取的专家上

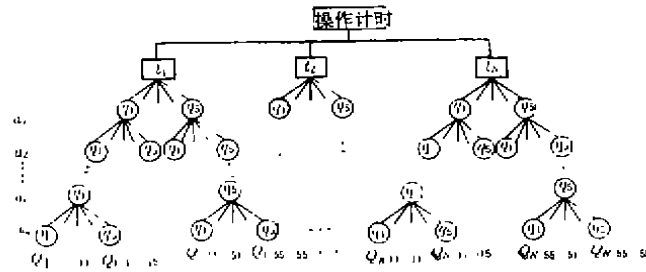


图 3 过程状态求解树

甑操作甑内温度分布状态^[4],作为期望分布状态,用以指导操作,实验是以甑篦向上按相同高度每 90(°)配置一个温度传感器.实验部分数据见表 1. 由式(3)上甑蒸馏特征模型可表示为: $Q_i = \{T_1, T_2, T_3, T_4\}, T_j = T_j |_{t=i}, j = 1, 2, 3, 4$, 表示在 t 时刻从甑内 j 方向测得的温度值. 利用式(2)和特征模型求解树得到求解路径如图 4 所示.

表 1 部分甑内温度值和期望温度

传感器	t_1	t_2	t_3	t_4
T_1	32.4	45.8	64.2	86.3
T_2	31.2	46.3	65.3	87.4
T_3	33.1	46.5	65.9	87.9
T_4	32.8	46.2	66.0	88.1
期望值	[31.5, 33.2]	[44.8, 46.8]	[63.4, 65.5]	[86.8, 88.4]

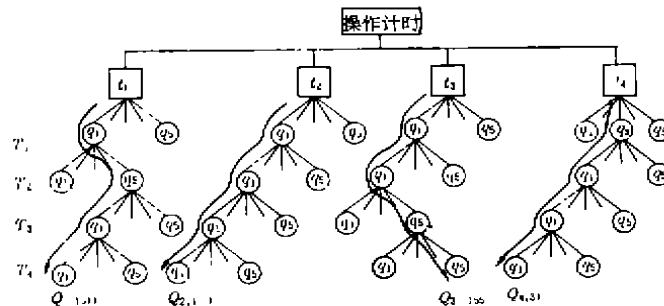


图 4 求解路径

图中,对于每个时刻 $t_i (i = 1, 2, 3, 4)$, 分别求出 $T_j = T_j |_{t=i}, j = 1, 2, 3, 4$, 所表现出的状态 $q_i(t_i)$, 由一条唯一的解路径得到 T_i 时刻上甑蒸馏的状态 $Q_m(t_i), m = k(T_1)k(T_2)k(T_3)k(T_4)$. 上甑蒸馏操作时,从传感器获取的温度 $T_j > a_j + \Delta a_j$, 说明甑 j 方向温度上升快,这是由于该方向上料时酒糟密度小,致使酒蒸汽迅速上升;反过来从传感器获取的温度 $T_j < a_j + \Delta a_j$, 说明甑内 j 方向温度上升慢,这是由于该方向上料时酒糟密度大,致使酒蒸汽上升慢.在 t_1 时刻上甑蒸馏的状态为 $Q_{1.1511}$ (在 T_2 方向酒糟上料操作密度稍大,其余

三个方向上料均匀), t_2 时刻上甑蒸馏的状态为 $Q_{2.1111}$ (酒糟上料操作均匀), t_3 时刻上甑蒸馏的状态为 $Q_{3.1155}$ (在 T_3, T_4 两个方向酒糟上料操作密度稍大, 其余两个方向上料均匀), t_4 时刻上甑蒸馏的状态为 $Q_{4.3111}$ (在 T_1 方向酒糟上料操作密度稍小, 其余三个方向均匀)。

在程序设计中, 将获取的温度数据用数组 $T[4]$ 来表示, 对这些温度数据可表现出的五种状态 $q_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$, 其下标也用数组 $k[4]$ 表示, 期望值用数组 $a[4]$ 和 $\Delta a[4]$ 表示, 这样计算机求解变得非常简单迅速。程序框图如图 5 所示。例如, 在 t_1 时刻 T_1 表现出的状态为 q_1, T_2 表现出的状态为 q_5, T_3 表现出的状态为 q_1, T_4 表现出的状态为 q_1 , 则: $j = 1511$, 即此时甑内温度分布状态为 $Q_{1.1511}$, 匹配 $Q_{1.1511}$ 对应的规则, 得出在 $Q_{1.1511}$ 状态下的操作 P_{1511} 。

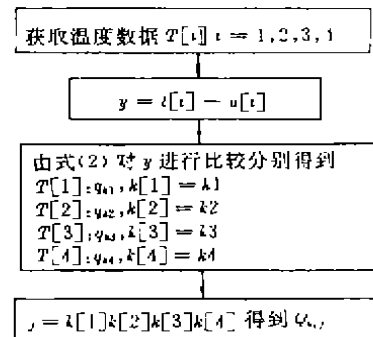


图 5 程序框图

5 结束语

在规则——框架法描述知识的前提下, 采用基于特征模型分级求解的方法, 提高了在线实时求解的速度, 同时也为系统知识的自提高, 以及知识在线更新提供了实现的手段。

第一, 在操作指导问题下, 自学习获取知识, 主要表现在获取专家操作下描述过程工况(状态)的特征参数的状态如何, 可以在一种学习方法的约束下, 不断的强化正例, 排除偏差, 实现专家系统知识的自提高。

第二, 对知识的更新, 除了表现在不断地对特征参数状态进行修正外, 也体现在一旦改变或增加几个描述过程的特征参数后, 我们可根据过程当前工况(状态)和特征模型直接与计算机交互地完成规则的修正。

参 考 文 献

- 1 黄席樾, 柴毅, 邓仁明. 一种基于自适应预报的操作指导专家系统. 重庆大学学报, 1995, 18(2): 55~58
- 2 傅京孙, 蔡自兴等. 人工智能及应用. 清华大学出版社, 1988, 9~29
- 3 Huang xiyue, Chai Yi, Shi weiren, Bai Liang. A Practical Sort of Adaptive Expert System fitting to the Guidance of Forecasting Operation on line. ICARCV'94, Singapore, Nov. 9~11, 103~107
- 4 黄席樾, 柴毅, 邓仁明. 一种自动排除偏差的在线式专家知识获取方法. 重庆大学学报, 1995, 18(5): 1~6