

7 31-36

# 一种结合于离散事件 动态系统监控理论的专家控制

A Kind of Expert Control Combined with the Supervisory  
Theroy for Discrete Event Dynamic Systems

TP273  
TP18

林 晨  
Lin Chen

李祖枢  
Li Zushu

(重庆大学智能自动化研究所, 重庆, 630044; 第一作者 23 岁, 男, 硕士生, 高级程序员)

**摘 要** 针对离散事件动态系统监控理论的几点不足之处, 提出了一种结合于监控理论的专家控制方法, 同时给出了实例以说明其有效性。

**关键词** 人工智能; 专家控制 / 离散事件动态系统 (DEDS)

中国图书资料分类法分类号

**ABSTRACT** To overcome the shortages of the supervisory theory for Discrete Event Dynamic Systems, a kind of expert control combined with the supervisory theory is proposed, also a practical example is given to illustrate its effectiveness.

**KEYWORDS** artificial intelligence; expert control / discrete event dynamic systems (DEDS)

## 0 引 言

自开始离散事件动态系统的研究以来, 与从代数(时域)、统计层次上一样, 逻辑层次上的研究也采用众多的理论工具, 提出了较多的理论框架体系。自从 80 年代中期, P. J. Ramadge 和 W. M. Wonham 将计算机科学中的自动机/形式语言理论引入对离散事件动态系统的逻辑特性进行了研究, 提出了一套完整的 DEDS 监控理论, 具有理论上的重要意义<sup>[1]</sup>。

DEDS 已经有了一些成功的实际应用例子<sup>[2~3]</sup>, 但总的说来, 至今还缺乏一个真正有说服力的应用例子来说明该理论的价值<sup>[4]</sup>。笔者认为, 下面几点是限制其成功应用的因素之一: 模型过于庞大, 对象模型、控制实现难以在线修改、更新, 难以应付突发事件。本文试图从人工智能的角度出发, 提出一种灵活、有效、不依赖于对象固定精确模型的专家控制方法, 以在上面几点弥补 DEDS 监控理论的短处和不足, 形成一种有其独到之处的控制方法。

## 1 系统状态的表示及识别

状态是离散事件动态系统两个重要特征之一, 下面我们从人工智能的角度出发, 解决系

\* 收文日期 1995-11-14

统状态的表示及识别问题,这对专家控制的研究是必要的。

我们采用的策略是将系统的不同状态以不同的知识表示,对状态的识别就可以采用人工智能技术,在知识的多种表示方法中,框架表达方式强调客体本身固有的性质,框架之间可以形成层次的相互关系,组成的框架具有良好的知识库结构<sup>[5]</sup>,这对于我们表达 DEDS 系统的不同状态是合适的。下面以简单的例子如图 1 说明。

内涵框架

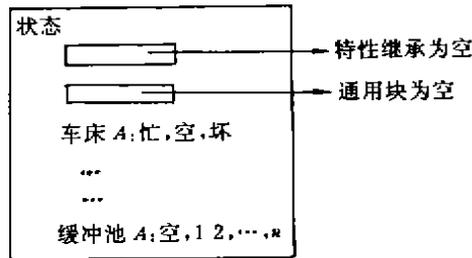


图 1 简单框架形式的定义

内涵框架

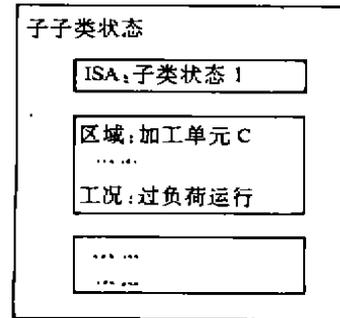


图 2 复杂框架形式的定义

图 1 是一个简单的例子,对于较复杂系统框架的定义,可以采用特性继承派生出层次结构来定义,如图 2 所示。而相应的框架网如图 3 所示。

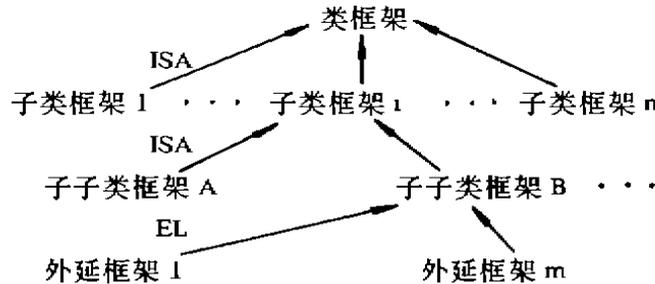


图 3 框架网

每一个外延框架对应 DEDS 的一个状态,识别状态的过程是一个匹配的过程。首先通过当前系统的具体情况(实时现场数据)对照内涵框架的格式,形成一个待查的外延框架,然后在框架网中进行匹配,与之相匹配的外延框架即对应当前系统的状态,也即下一节所说的实时 GDB。

## 2 对象及控制器的知识模型

### 2.1 DEDS 监控理论的对象及控制器模型

对于一 DEDS,其自动机模型可表示为一五元组。

$$G = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m) \tag{1}$$

其中  $Q$  为状态集(有穷或无穷), $\Sigma$  为符号表,即事件集, $q_0 \in Q$  为初始状态, $Q_m \subseteq Q$  为“标识”

状态集, 如一个工件经过正常加工过程所经历的状态集,  $\delta$  为一部分转移函数,  $\delta: \Sigma^* \times Q \rightarrow Q$ . 基于该模型的监控器

$$\varphi = (S, \varphi)$$

其中  $S$  为一自动机,  $S = (X, \Sigma, \xi, x_0, X_m)$ , 其中  $\xi: \Sigma \times X \rightarrow X$   
 $\varphi$  为一反馈映射,  $\varphi: X \rightarrow \Gamma$ . 其中

$$\Gamma = \{0, 1\}^E.$$

即对  $\forall x \in X, \varphi(x) \in \Gamma$ .

于是可以得到具有闭环反馈结构的被控 DEDS

$$\psi/G = A_c(X \times Q, \Sigma, \xi \times \delta, (x_0, q_0), X_m \times Q_m) \quad (3)$$

其中  $A_c$  是自动机的能达部分<sup>[6]</sup>.

## 2.2 DEDS 对象的知识模型

系统的运行规律以一规则集表示:

$$E = \{E\text{-rule}(m) \mid m \in N\} \quad (4)$$

其中, 每条规则均以产生式规则形式表示:

$$\forall i \in N, E\text{-rule}(i); \text{ if } x \text{ then } \alpha \quad (5)$$

其中  $x$  表示系统当前的状态. 一个具体的  $x$  对应于前述的一个外延框架.  $\alpha$  表示该状态下可能产生的某个事件, 即有  $x \in Q, \alpha \in \Sigma$ . 所有的规则即构成规则集  $E$ , 它反映了被描述的 DEDS 全部逻辑运行规律.

## 2.3 DEDS 控制器的知识模型

与一般系统不同, 对 DEDS 的控制要求一般以一组约束条件的形式给出. 如: AGV A must not transfer workpiece to machine 3 at any time, 以及: only after buffer C is empty, the machine 5 before it can fetch a workpiece to process it 等. 我们仍将其以一产生式规则集  $\Lambda$  表示.

$$\Lambda = \{\Lambda\text{-rule}(n) \mid n \in N\} \quad (6)$$

$$\forall i \in N, \Lambda\text{-rule}(i); \text{ if } C \text{ then mustnot } \alpha \quad (7)$$

即若条件  $C$  满足, 事件  $\alpha$  则禁止发生. 当然同时有  $\alpha \in \Sigma$ , 可控事件集. 而

$$C = (p_{11} \vee p_{12} \vee \dots) \wedge (p_{21} \vee p_{22} \vee \dots) \wedge (p_{s1} \vee p_{s2} \vee \dots) \quad (8)$$

当然也可写成

$$C = (p_{11} \wedge p_{12} \wedge \dots) \vee (p_{21} \wedge p_{22} \wedge \dots) \vee (p_{s1} \wedge p_{s2} \wedge \dots) \quad (9)$$

这视具体需要而定.

其中的  $p_i$  表示各个条件, 这些条件一般都是表达当前系统状况, 与框架中槽值的取值是密切相关的. 其形式为:

$$\text{槽 } i = \text{槽值 } j, \text{ 或} \quad (10)$$

$$\text{槽 } i \neq \text{槽值 } j \tag{11}$$

由上述形式规则组成的规则集表征了系统的全部控制要求,它实际上并不是一个控制器,但后面我们将看到,通过它作用下的逻辑操作,将能完成控制作用。

### 3 专家控制

在已建立的知识模型  $E, \lambda$  的基础上,通过进一步的逻辑操作,即可完成控制功能。

专家控制中的专家系统采用产生式系统表示,产生式系统由全局数据库 GDB、规则库 RB 和控制机 CONTROL 三部分组成。 $\lambda$  和  $E$  共同构成 RB,分析系统的实时数据库<sup>[7]</sup>得到实时 GDB(状态)。由于该产生式系统用于描述 DEDES 的建模(运行)和控制(约束)问题,人工智能中的不确定性在这里并不突出,因此我们将控制机的知识也建在 RB 中,省去 CONTROL 这一部分。

产生式系统搜索时,采用前向方式。首先搜索  $E$ ,搜索的结果是得到当前实时 GDB(状态)下,系统下一步运行的可能的多种情况(事件),即一个可能事件集  $T_1$ ,它表明一般情况下,当前状态时,事件集内的事件都是可能发生的。

在  $T_1$  前提下产生式系统对  $\lambda$  进行匹配,此时有

$$GDB = \bigcup_{i=1, \dots, n} GDB_i \tag{12}$$

其中  $GDB_i$  为框架中的一个槽,  $n$  为框架的总槽数。

匹配过程中每一个  $GDB_i$  均对  $\lambda$  匹配,匹配后每一个被禁止的事件均进入事件集  $T_2$ ,最终得到的  $T_2$ ,我们有

$$T = T_1 - T_2, T_2 \subseteq T_1 \tag{13}$$

于是  $T_1$  内的当前可能事件受到  $T_2$  内的当前禁止事件的约束,  $T$  则表征了当前控制作用下允许发生的事件。设当前被观察到的事件  $\sigma \in T_2$ , 则  $\sigma$  允许发生; 否则  $\sigma$  被禁止发生(当然同时有  $\sigma \in \Sigma_c$ )。

整个专家控制的结构图如图 4 所示。

### 4 实例分析

我们举一个简单的例子来说明专家控制与监控理论相比较而具有的优越性。

该例子取自文献[6],一条二级串行生产线如图 5 所示。限于篇幅,该例子的有关说明及控制要求请参见该文献。

使用监控理论,对象模型、控制实现分别如图 6、图 7 所示。

使用专家控制,我们有:

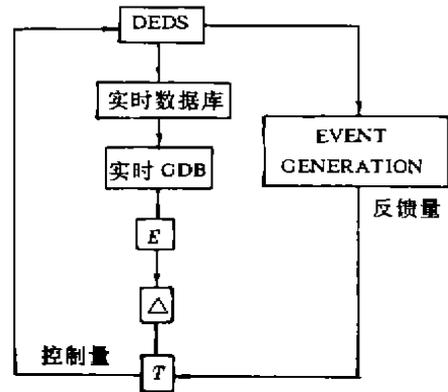


图 4 专家控制的结构

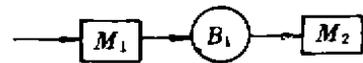


图 5 二级串行生产线

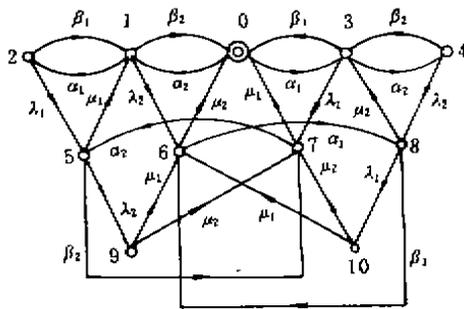


图 6 二级串行生产线的自动机对象模型

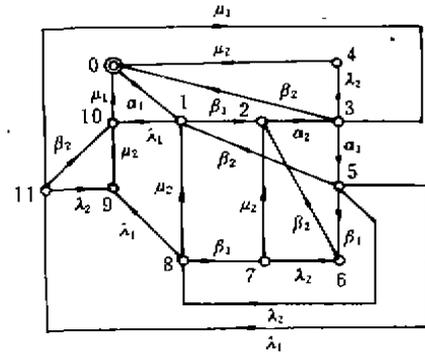


图 7 二级串行生产线的自动机控制实现

$$E = \{(1), (2), (3), (4) \mid i = 1, 2\} \cup \{(5), (6) \mid i = 1\}$$

- 其中
- (1): if  $I$ , then  $\alpha_i$
  - (2): if  $W$ , then  $\beta_i$
  - (3): if  $W$ , then  $\lambda_i$
  - (4): if  $D$ , then  $\mu_i$
  - (5): if  $E$ , then  $\beta_i$
  - (6): if  $F$ , then  $\alpha_{i+1}$

$$\Lambda = \{(1), (2), (3), (4)\}$$

- 其中
- (1): if  $(B_1 \neq E_1)$  then mustnot  $\alpha_1$
  - (2): if  $(B_1 \neq E_1)$  then mustnot  $\alpha_2$
  - (3): if  $(M_2 = D_1)$  then mustnot  $\alpha_1$
  - (4): if  $((M_1 = D_1) \wedge (M_2 = D_2))$  then mustnot  $\mu_1$

内涵框架采用简单框架形式,定义如下:

两种控制方法对比如下:

当生产线级数增加至三级,即如图 9 所示,显而易见,专家控制的  $E$  变化不大,而此时监控理论的对象自动机模型已经如此庞大而一页纸不可能容纳了。

当控制条件 rule(d) 修改为:

(d): if  $M_1$  is in  $D_1$  and  $M_2$  is in  $D_2$ , then  $v_2 = 0$

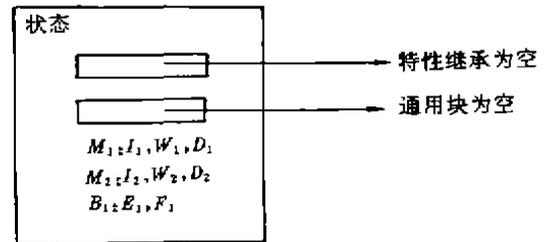


图 8 专家控制的内涵框架



图 9 三级串行生产线

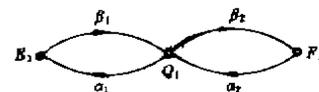


图 10 插槽数增加到 2 时的缓冲池状态转换图

监控理论的自动机控制实现将有较大变化(限于篇幅,未画出),而专家控制的 \ 仅有 \ rule (4) 中  $\mu_1$  变化为  $\mu_2$ .

当对象模型需在线修改,如缓冲池的插槽数增到 2 时(即如图 10 所示),监控理论的对象自动机模型和自动机控制实现都有很大的改变(限于篇幅,未画出)。而专家控制仅有如下的改变:内涵框架槽  $B_1$  增加槽值  $Q_1$ ,  $E$  增加

(7): if  $Q_1$  then  $\beta_1$

(8): if  $Q_1$  then  $\alpha_{i+1}$

( $i = 1$ ).

且简便易行。

## 5 结 论

从上述几点比较可以看出,前已述及的监控理论的几点不足之处,在专家控制中已得到了补偿。并且,通过在专家系统中加入更复杂的知识库、推理机等后,还可以有效地应付突发事件。这是自动机监控理论所不能做到的。但笔者对专家系统只提出了粗略的框架,在结合具体某类对象和具体功能的基础上,有更多的工作要做。

对于象 DEDES 这样一类复杂的所谓“人造系统”来说,从多个不同的角度结合起来研究其行为特性是有益的<sup>[9]</sup>。由于人工智能技术与传统数学工具相比较而具有的优势,人工智能的角度是值得考虑的。更有效的方法,作者认为可能应该是集几种控制方法之长的多模态控制\*,这需要作者今后进一步的工作。

## 参 考 文 献

- 1 Ramadge P J, Wonham W M. The Control of Discrete Event Systems. Proc. IEEE, 1989, 77(1): 81~98
- 2 Lafortune S. Modeling and Analysis of Transaction Execution in Database Systems. IEEE Trans. on A. C. 1988, 33(5): 439~447
- 3 Balemi S, etc. Supervisory Control of A Rapid Thermal Multiprocessor. IEEE Trans. on A. C. 1993, 38(7): 1040~1059
- 4 胡保生, 陈浩助. 离散事件动态系统理论的发展动向. 国家教委第二届科技委员会自动控制学科组专题报告. 控制理论与应用, 1992, 9(3): 325~327
- 5 Nilsson N J. Principle of Artificial Intelligence, Tioga Publishing Co. 1980
- 6 Ramadge P J, Wonham W M. Supervisory Control of a Class of Discrete Event Process, SIAM J. Contr. Optimization, 1987, 25(1): 206~230
- 7 Vernadat F. An Artificial Intelligence Approach to Manufacturing Workshop Control using a Situation Control Paradigm, Artificial Intelligence in Manufacturing. Proc. 4th Int. Conf. on the Application of AI in Engineering, Cambridge, UK, 1989
- 8 郑应平. 离散事件动态系统多模型集成控制理论. 信息与控制, 1992, 21(1): 29~36

\* 林晨, 李祖枢. 一种用于离散事件动态系统的智能控制结构及其实现, 1996年中国控制与决策学术年会论文集, 济南. 东北大学出版社