

# 扩展高级判断 Petri 网 及其在 FMS 决策和控制中的应用

严洪森

(南京航空航天大学 509 教研室,南京,210016)

崔贤玉 张晋格

(哈尔滨工业大学现代生产技术中心,哈尔滨,150006)

## EXTENDED HIGH LEVEL EVALUATION PETRI NETS AND THEIR APPLICATION TO FMS DECISION AND CONTROL

Yan Hongsen

(Faculty 509 of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, 210016)

Cui Xianyu, Zhang Jingge

(Center of Modern production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150006)

**摘要** 提出一种新的更适合 FMS(Flexible Manufacturing Systems 柔性制造系统)决策和控制的扩展高级判断 Petri 网(EHLEP-N),并着重介绍它的建模方法及其在 FMS 决策和控制中的应用。建立基于 EHLEP-N 的 FMS 决策控制专家系统的实践证明,EHLEP-N 是描述 FMS 的结构、状态和动态行为的有力建模工具。部分成果已经用于航空航天部 159 厂的高级 DNC 系统的设计之中。

**关键词** 皮特里网, 决策, 专家系统

**中图分类号** V249.121

**Abstract** A new Extended High Level Evaluation Petri Net(EHLEP-N) is proposed which is more suitable for FMS (Flexible Manufacturing Systems) decision and control, and emphasis is placed on introducing its modelling methods and its application to FMS decision and control. The practice of building up the EHLEP-N-based expert system for FMS decision and control shows that the EHLEP-N is a powerful tool for describing structures, states and dynamic activities of FMS. Partial results have been applied to designing the advanced direct numerical control(DNC) system in the 159th Factory of the Ministry of Aeronautics and Astronautics Industry.

**Key words** Petri nets, decision making, expert systems

Petri 网是 Petri 博士于 1960 年提出来的<sup>[1]</sup>,已有了很大发展<sup>[1~5]</sup>。不同领域的专家为了适应自己的需要都对 Petri 网进行了程度不同的扩展。制造系统建模领域也不例外。但是仍有一些不尽人意的地方。例如,EP-N(Evaluation Petri Nets)<sup>[3]</sup>含有表示令牌(token)传递控制的决策点,但是节点数目太多,结构比较复杂,只适合简单制造系统的建模和控制。谓词/变迁网 P/TP-N(Predicate/Transition Petri Nets)<sup>[1]</sup>比 EP-N 有更少的节点和更简单的结构,但没有决策点。有色网 CP-N(Colored Petri Nets)<sup>[1,4]</sup>除了相同颜色的令牌不能相互区分外,与 P/TP-N 相同,因而适合对决策程度要求不高的系统进行性能分析。高级网 HLP-N(High Level Petri Nets)<sup>[5]</sup>综合了 P/TP-N 和 CP-N,它的模型

1993 年 3 月 2 日收到,1993 年 8 月 3 日收到修改稿

更简单、更直观、状态数更少,但仅适合同类(homogeneous)系统建模。PR-N(Petrillo Nets)的令牌可用参数表来表示,但也没有决策点。可见,上述 Petri 网模型都不太适合 FMS 的决策和控制,因此,本文在吸收上述几种 Petri 网优点的基础上并结合 FMS 决策控制的特殊性,提出新的扩展高级判断 Petri 网(Extended High Level Evaluation Petri Nets, EHLEP-N),以描述 FMS 的结构和动态特性,实现 FMS 决策控制专家系统。

### 1 EHLEP-N 的定义

定义 EHLEP-N 的思想是:①EHLEP-N 应具有形象直观,描述性强,节点少,结构简单等优点。②把控制、路径选择等规则和基层设备的响应直接引入到 EHLEP-N 中,以使 EHLEP-N 的行为与基层设备同步,达到控制基层设备的目的,也使它的行为的物理意义更明确、更易理解。③在 EHLEP-N 中定义双重令牌和双重标识,一种用于决策和控制(令牌可区分),另一种用于用户观察令牌分布和性能统计(相同颜色的有色令牌不可区分)。由此,可给出 EHLEP-N 的定义如下。

定义 1 EHLEP-N 可定义为一个 11 元组:

$$EHLEP-N = \{P, T(R, ER), F, D, A_p, C, I_-, I_+, ER, M_0, CM_0\}$$

其中,  $P = \{P_g, R\}$  是有限库所集,  $P_g$  是普通库所集,  $R$  是决策点集。  $T(R, ER)$  和  $F$  分别是有限变迁集和流关系。  $D$  是 EHLEP-N 的个体集。  $A_p(P_g)$  是  $D$  上的参数表集,在专家系统中用动态数据库谓词表示。  $A_p(R) = S$  是  $D$  上的控制、路径选择等规则的集合。  $A_p(P_g) \cup A_p(R)$  是 EHLEP-N 的令牌集。  $C(A_p(P))$  是  $P$  上的所有可能的令牌色的集合,  $C(A_p(P))_{MS}$  是  $P$  上的有色令牌集,  $C(\cdot)_{MS}$  是多重集。  $I_-$  和  $I_+$  分别是与令牌传递有关的负函数和正函数。  $ER$  是设备响应的集合,  $M_0$  是用于决策和控制的初始标识(marking),  $CM_0$  是用户观察令牌分布和性能统计的有色初始标识。

定义 1 只规定了 EHLEP-N 的静态结构。为了规定它的动态行为,还需给出变迁触发的条件和规律,即变迁触发规则。EHLEP-N 的变迁触发将由标识,控制、路径选择等规则和设备响应来决定。

### 2 FMS 的 EHLEP-N 模型

以哈尔滨工业大学 FMS 实验系统为例,介绍 EHLEP-N 的建模方法。该实验系统由一台数控铣床( $M_0$ ),三台加工中心( $M_{1\sim3}$ ),一台小车( $V$ ),四个缓冲区( $B_{0\sim3}$ ,每个缓冲区的容量为 5)和一个工件库( $W$ ,容量为 20)等组成。相应的 EHLEP-N 模型如图 1 所示。图中,  $P_1$  是一个“排队”库所。  $P_1$  中有令牌说明机床缓冲区中有工件等待加工。  $P_2$  是“机床空闲”库所。  $P_3$  是“工件库”库所。当  $P_3$  持有令牌时,在工件库中存放着相应的毛坯或成品。  $P_4$  是“小车空闲”库所。  $P_5$  是“等待搬运”库所。  $P_6$  是“搬运”库所。  $P_7$  是“故障”库所。当  $P_7$  持有令牌时,相应的机床或小车出现故障,并正在维修。  $P_8$  是“加工”库所。  $R_{1\sim5}$  是决策点。  $S_{1\sim5}$  是控制、路径选择等规则的集合。  $T_{1\sim5}$ ,即  $T_{1\sim5}(\cdot)$ ,是变迁。

根据定义 1,图 1 中普通库所中的令牌色的集合可表示如下

$$C(A_p(P_1)) = \{q_0, q_1, q_3, q_4\}; C(A_p(P_2)) = \{m\}; C(A_p(P_3)) = \{b, f\}; C(A_p(P_4)) = \{v\}; \\ C(A_p(P_5)) = \{p, \langle p, m \rangle, \langle p, m, m \rangle\}; C(A_p(P_6)) = \{\langle v, p \rangle, \langle v, p, m \rangle, \langle v, p, m, m \rangle\}; \\ C(A_p(P_7)) = \{\langle p, m \rangle, \langle v, p \rangle, \langle v, p, m \rangle, \langle v, p, m, m \rangle\}; C(A_p(P_8)) = \{\langle p, m \rangle\}。其中,  $q$  表示队例,  $m$  表示机床,  $b$  表示毛坯,  $f$  表示成品,  $v$  表示小车,  $p$  表示工作,  $\langle \cdot \rangle$  表示复合色。$$

图 1 中普通库所  $P_3$  和  $P_8$  的有色初始标识分别为  $CM_0(P_3) = 8b + 2f$ ,  $CM_0(P_8) = 4$

$\langle p, m \rangle$ 。

### 3 应用 EHLEP-N 模型建立决策控制专家系统

应用上述 EHLEP-N 模型建立了 FMS 决策控制专家系统。该专家系统由黑板、知识库、推理机和用户接口等组成。

黑板是一个共享数据区,存储操作及资源状态、决策结果和统计量。操作及资源状态和决策结果又可分为三类:①用于决策控制的令牌;②用于用户观察令牌分布和性能统计的有色令牌;③辅助状态。实际上,黑板是专家系统中的动态数据库,由动态数据库谓词的子句组成。黑板中的令牌和有色令牌可分别用两种动态数据库谓词 `dtoken_in_place_no(token_name, parameter_1, ..., parameter_K)` 和 `decolored_token_in_place_no(colored_token_name, color, parameter_1, ..., parameter_m)` 表示。例如,图 1EHLEP-N 模型中的  $P_6$  中令牌和有色令牌可分别用上述两种动态数据库谓词表示如下:

```
dtoken_in_p6(moving_part, vehicle_no, run, source, destination, source_queue_attribute, destination_queue_attribute, part_no, part_priority, available_machine, order)
decolored_token_in_p6(moving_part, color, num)
/* color=v_p;v_p-m;v_p-m-m */
```

上述动态数据库谓词不仅是(有色)令牌的实现,而且是(有色)标识和初始标识的实现。实际上,所有(有色)令牌的动态数据库谓词的子句全体就是 EHLEP-N 模型的(有色)标识;在系统启动时,给所有这些子句赋上初值就相当于给定了(有色)初始标识。

知识库是专家系统的核心,体现了专家系统的功能。它包含领域问题求解知识,如各种规则和事实。知识库中有 7 种共 70 条产生式规则。这 7 种规则包括:系统启动规则、路径选择规则、调度规则、再调度规则、控制规则、故障处理规则和元规则。限于篇幅,只示出变迁  $T_3$  的触发规则之一 R435(属于控制规则)。

规则 R435:

IF  $P_6$  中持有表示小车  $V_0$  处于 run 的令牌,收到小车  $V_0$  已将工件从机床缓冲区搬到机床工作台的响应 VOF \*

THEN 触发变迁  $T_3$ ,从  $P_6$  中移出一个相应令牌和一个相应的有色令牌,向  $P_4$  和  $P_8$  各移入一个相应令牌和一个相应的有色令牌。其中,  $P_4, P_6, P_8$  和  $T_3$  分别是图 1 中 EHLEP-N 模型的库所和变迁。

规则的实现就是把上述 70 条产生式规则转换成可实现的形式,即把这些规则转换成用 PROLOG(TURBO PROLOG 2.0)语言写成的简单规则集。如规则 R435 可用 PROLOG 语言写成:

```
firing_transition_t3(Response):-
```

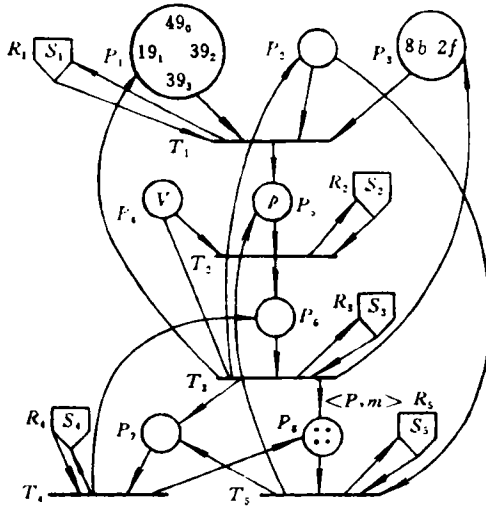


图 1 FMS 的 EHLEP-N 模型

```

Response="V0F",
dtoken_in_p6(,"V0",run,source, Dest,_,_,_,_,_,_),
dispose_string(Source,First_char,Num),
First_char='M',/* 起点是缓冲区吗? */
Num=5,
dispose_string(Dest,First,Number),
First='M',/* 终点是工作台吗? */
Number=2,
move_token(p6,to(p4,p8),"V0")
move_colored_token(p6,to(p4,p8),"V0").
    
```

事实主要包括 FMS 的布局,故障信息库,FMS 的 EHLEP-N 模型的静态结构(主要指拓扑结构)等。FMS 的 EHLEP-N 模型的静态结构可用两个静态数据库谓词 place(place\_no,input\_transition,output\_transition)和 transition(transition\_no,input\_place,output\_place)来表示。例如,库所  $P_1$  和变迁  $T_1$  可用上述两个谓词分别表示成

```

place(p1,[t3],[t1]).
transnion(t1,[p1,p2,p3,r1],[p5,r1]).
    
```

FMS 决策控制专家系统的主要功能是根据车间下达的生产计划,给 FMS 中的加工设备安排任务,输送工件及数控程序,并把生产情况及时向车间汇报。

#### 4 结论

目前,由 FMS 决策控制专家系统、4 台机床和 1 台小车等组成的 FMS 实验系统联调已经结束。在此基础上进行了加工实验研究,下面是其中的一个加工实例:

设车间下达的生产计划要求加工 4 种共 40 个工件,每个工件的平均加工时间为 51.25min,每道工序的平均加工时间为 33.06min,毛坯到达率及混合比与其批量成正比。通过运行 FMS 实验系统得到的结果列于表 1。经过实验研究,表明该决策控制专家系统完全能够满足所设计的决策控制功能及实时性的要求。

表 1 实验结果

机床号	平均服务队长	空闲 (no-inputs) 次数	阻塞 次数	机床总加工 时间/min	机床利 用率/%	FMS 运行 时间/min
$M_0$	2.31	0	0	475.8	78.03	609.7
$M_1$	1.99	0	0	475.7	78.02	
$M_2$	1.97	0	0	505.6	82.93	
$M_3$	2.05	0	0	594.9	97.57	

建立 FMS 决策控制专家系统的实践证明,EHLEP-N 已经成了描述 FMS 的结构、状态和动态行为的有力建模工具。它与专家系统紧密结合,已经成了专家系统的一个必不可少的部分。实际上,专家系统黑板中的令牌和有色令牌、知识库中的变迁触发等规则、事实中的 EHLEP-N 模型的静态结构等就是 FMS 的 EHLEP-N 模型的实现。

## 参 考 文 献

- 1 林闯,陆维明. Petri 网用于表示知识. 计算机学报,1992;15(1):1—16
- 2 Nof S Y *et al.* Control and decision support in automatic manufacturing system. AIIE Transactions,1980;12(2):156—169
- 3 Wang W X,Liu H L. Using coloured Petri net to model flexible manufacturing system. In Proc IFAC Workshop on Discrete Event system Theory and Applications in Manufacturing and Social Phenomena,Shenyang,China,1991 114—118
- 4 Lin C,Marinescu D C. On stochastic high-level Petri nets. In Proc IEEE Intl Workshop on Petri Nets and Performance Models,Madison,Wis,1987:34—43
- 5 Tzafestas S G. Petri-net and knowledge-based methodolgies in manufacturing systems modelling simulation and control. In Proc 5th CIM Europe Conf, Athens,Greece,1989:39—50