



基于 IDEF0 的 CIMS 底层控制 Petri 网模型的自动生成方法

王君英 段广洪

(清华大学国家 CIMS 工程研究中心 北京 100084)

摘 要 IDEF0 广泛用于 CIMS 的功能说明, Petri 网适用于对离散事件动态系统建模. 在 CIMS 中, 两者结合起来, 对于 CIMS 底层控制、生产调度、动态仿真都具有重要意义. 文中研究了 IDEF0 的形式化描述方法, 讨论了有关概念, 给出了由 IDEF0 生成 Petri 网的形式化方法, 并用一例说明其整体思想.

关键词 IDEF(Integrated computer aided manufacturing DEFinition method)0, 控制, CIMS, Petri 网.

1 引 言

IDEF0 是美国空军资助由 SoftTech 公司开发的, 适用于复杂系统的功能说明, 已在 CIMS 中得到了广泛应用. 对 CIMS 的控制功能说明, IDEF0 得到的是一个静态的分布式功能模型, 其中内含了并发性. 对于控制一个系统来说, 仅仅有静态的信息是远远不够的, 还要了解其动态特性, 如冲突、死锁、工件生产中的瓶颈等. 因此, 人们希望能从 IDEF0 直接生成一种动态模型. Petri 网在许多方面都与 IDEF0 有相同或相近的特性, 如结构、分布性、并发性等. 故从 IDEF0 生成 Petri 网的研究就成为国际上关注的焦点之一^[1,2].

2 IDEF0 对 CIMS 底层控制系统的建模

在 CIMS 底层控制系统中采用 IDEF0 建模的主要思想是

- 1) 系统是由活动组成, 每个活动用一个活动方框表示;
- 2) 活动方框中的机制是完成该活动的执行者, 这些执行者可能是加工中心、AGV、机器人等, 且可以共享;
- 3) 每个活动一定要有一个控制信号作为进入该活动的主令信号;
- 4) 每个活动一定要有一个输出信号作为该活动结束信号.

3 IDEF0 的形式描述

设 IDEF0 是一个二元组 $IDEF0 = \langle A, L \rangle$,

其中 A 是一个类似于 BNF 产生式的表达式,表示 IDEF0 图的结构、层次和组成的活动方框,可表示为 $A0::A1|A2|A3\cdots|An;A1::A11|A12\cdots;A11::A111|A112\cdots;\cdots$.

通过回代, $A0$ 可表示为由根结点活动方框组成的结构; L 表示由根结点活动方框组成的关系式 $Aij: I \wedge C \wedge M \rightarrow O$, I 为输入集合, C 为控制集合, M 为机制, \wedge 为逻辑与, \rightarrow 表示生成;例如, $i_1 \wedge i_2 \wedge c \wedge M \rightarrow o_1 \wedge o_2$, 读作: 输入 i_1 和 i_2 在 c 控制下, 由 M 完成, 生成 o_1 和 o_2 . 这里应当注意选择和冲突问题, 在形式化建模时, 认为选择和冲突都是一个变量, 在 Petri 网中, 由运行机制决定了其是选择和冲突功能.

形式化的具体方法是

(1) 列出由根结点活动方框的关系式;

(2) 以根结点活动方框为行, 以所有箭头为列(选择和冲突作为一个箭头, 文中暂不考虑其他种类箭头的合并), 得到一个 IDEF0 性能矩阵 D

$$D_{ij} \begin{cases} -1, & \text{第 } i \text{ 个箭头为第 } j \text{ 个根结点活动主框关系式的输入;} \\ 1, & \text{第 } i \text{ 个箭头为第 } j \text{ 个根结点活动方框关系式的输出;} \\ *, & \text{第 } i \text{ 个箭头为第 } j \text{ 个根结点活动方框关系式的机制;} \\ 0, & \text{其它.} \end{cases}$$

根结点活动方框关系式的输入是指 I 和 C , 相同机制合并为一个.

4 Petri 网模型自动生成

4.1 Petri 网关联矩阵的生成

4.1.1 Z 阵

Z 阵是一个表示根结点活动方框过程的矩阵

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } i = 2j - 1; \\ -1, & \text{如果 } i = 2j; \\ 0, & \text{其他.} \end{cases}$$

4.1.2 D_1 阵

$$D_{1IJ} = \begin{cases} -1, & \text{如果 } I = 2i - 1 \text{ 且 } J = j \text{ 且 } D_{ij} = -1; \\ 1, & \text{如果 } I = 2i \text{ 且 } J = j \text{ 且 } D_{ij} = 1; \\ 0, & \text{其他.} \end{cases}$$

其中 $[D_{ij}]$ 是从 D 中分裂出不含机制的性能矩阵.

4.1.3 D_2 阵

$$D_{2IJ} = \begin{cases} -1, & \text{如果 } I = 2i \text{ 且 } J = j \text{ 且 } D_{ij} = *; \\ 1, & \text{如果 } I = 2i - 1 \text{ 且 } J = j \text{ 且 } D_{ij} = *; \\ 0, & \text{其他.} \end{cases}$$

其中 $[D_{ij}]$ 是机制关联矩阵. 则 Petri 网的关联矩阵为

$$C=[Z \quad D_1 \quad D_2].$$

4.2 初始标识的构成

直接从 IDEF0 图上并没有 Petri 网初始标识的信息. 但是, 有些东西是客观存在, 例如机器人、加工中心等, 它们在参与加工的过程中, 始终不会消失, 即守恒. 因此, 有关机制的标识应在没有参与加工时为 1. 设 P 为机制集合, 如果 $p_i \in P$, 则 $M_0(p_i)=1$.

表示加工物流的工件, 在加工中数量是守恒的, 其初始标识应在料坯库中, 且与数量有关. 设 S 为料坯库, $M_0(S)=n$, n 为 S 中存的料坯数. 对于信息流, 必须给出能使系统工作的第一个信号 signal. 在信息流回路中, 这个信号的加权托肯数是守恒的, $M_0(\text{signal})=1$.

5 例 子

某一 CIMS 底层车间由两台数控车床、两台数控铣床、一台机械手、输入料缓冲区、输出料缓冲区及单元控制器组成. 该系统同时加工两种工件, 工件 1 先在车床 1 或 2 上加工, 然后再在铣床 1 上加工; 工件 2 先在车床 1 上加工, 然后在铣床 1 或 2 上加工; 整个过程用机械手来上下料.

其形式化表示为 $\text{IDEF0}=\langle A, L \rangle$, IDEF0 的结构为

$$A:: A11 | A12 | A13 | A14 | A151 | A152 | A153 | A154 | A211 | A212 | A213 | A22 | A23 | A24 | A25 | A26.$$

工件 1 的关系式

$$\begin{aligned} A11 &: p1 \wedge s1 \wedge c7 \rightarrow c1 \wedge d1 \\ A12 &: c1 \wedge d1 \wedge M \rightarrow c2 \wedge d2 \\ A13 &: c2 \wedge d2 \wedge L1 \rightarrow c3 \wedge d3 \\ A14 &: c2 \wedge d2 \wedge L2 \rightarrow c3 \wedge d3 \\ A151 &: c3 \wedge d3 \wedge M \rightarrow c4 \wedge d4 \\ A152 &: c4 \wedge d4 \wedge X1 \rightarrow c5 \wedge d5 \\ A153 &: c5 \wedge d5 \wedge M \rightarrow c6 \wedge d6 \\ A154 &: c6 \wedge d6 \wedge s1' \rightarrow p1' \wedge c7 \end{aligned}$$

工件 2 关系式

$$\begin{aligned} A211 &: p2 \wedge e7 \wedge s2 \rightarrow e1 \wedge f1 \\ A212 &: e1 \wedge f1 \wedge M \rightarrow e2 \wedge f2 \\ A213 &: e2 \wedge f2 \wedge L1 \rightarrow e3 \wedge f3 \\ A22 &: e3 \wedge f3 \wedge M \rightarrow e4 \wedge f4 \\ A23 &: e4 \wedge f4 \wedge X1 \rightarrow e5 \wedge f5 \\ A24 &: e4 \wedge f4 \wedge X2 \rightarrow e5 \wedge f5 \\ A25 &: e5 \wedge f5 \wedge M \rightarrow e6 \wedge f6 \\ A26 &: e6 \wedge f6 \wedge s2' \rightarrow p2' \wedge e7 \end{aligned}$$

(为了节约篇幅, 此处略去各符号的意义.)

所得到的 Petri 网如图 1 所示. 其中 $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8$ 为活动过程位置元素.

初始标识为

$$\text{物流: } M_0(p1)=1, M_0(p2)=1;$$

$$\text{机制: } M_0(s1)=1, M_0(s2)=1, M_0(M0)=1, M_0=(L1)=1, M_0=(L2)=1, M_0=(X1)=1, M_0=(X2)=1;$$

$$\text{信息: } M_0(c7)=1, M_0=(e7)=1, M_0=(f7)=1.$$

有了上述模型, 就可以动态仿真、分析和控制该系统.

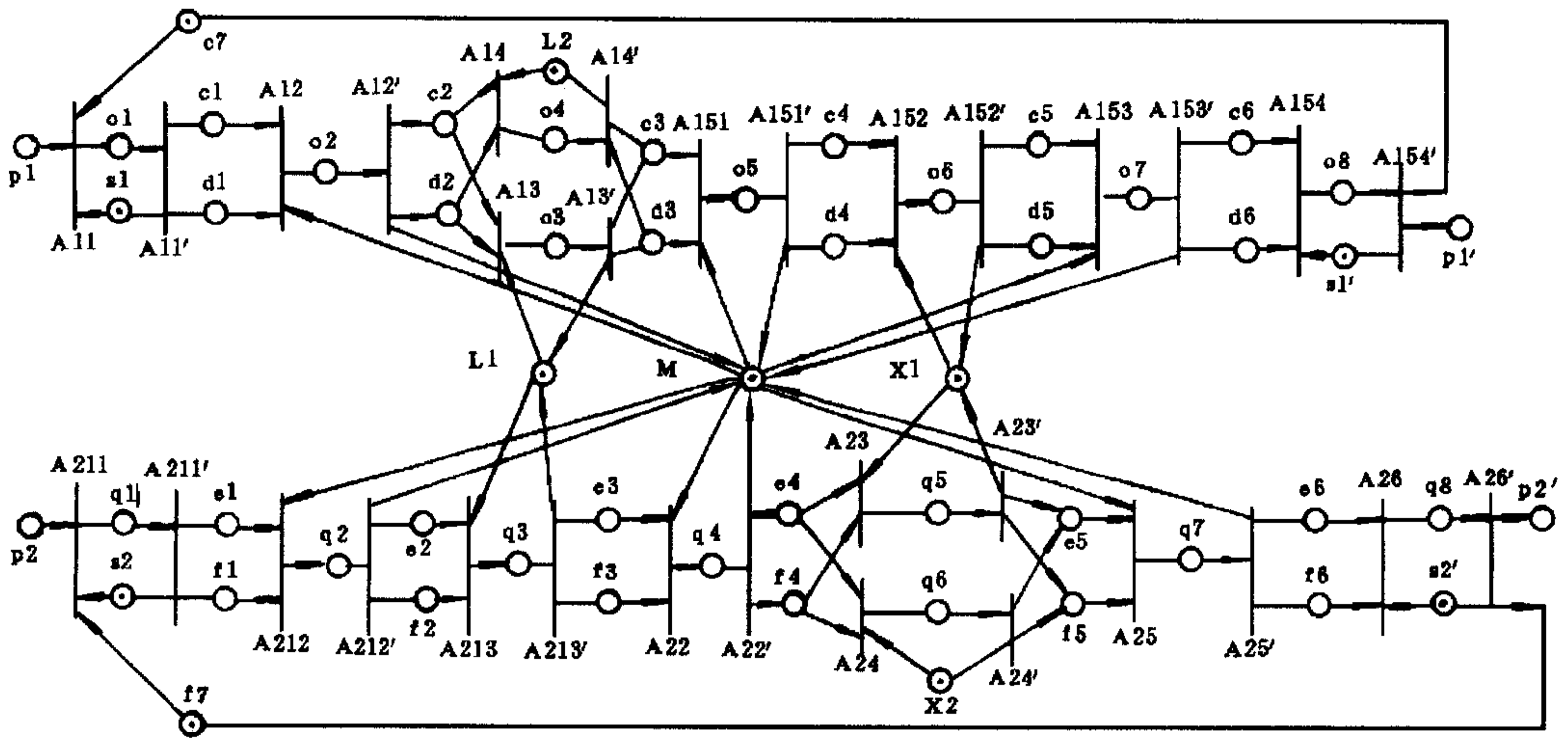


图 1

参 考 文 献

- [1] Mohsen A Jafari, Thomas O Boucher. A rule-based system for generating a ladder logic control program from a high-level system model. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1994, (5):103-120.
- [2] Thomas O Boucher, mohsen A Jafari. Design of a factory floor sequence controller from a high level system specification. *Journal of Manufacturing system*, 1992, 11(6):51-58.

THE AUTOMATIC GENERATION METHOD OF PETRI NET MODEL FOR LOW LEVEL CONTROL OF CIMS BASED ON IDEF0

WANG JUNYING DUAN GUANGHONG
(CIMS-ERC, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract IDEF0 is widely used in the function modeling of CIMS, and Petri nets are suitable for modeling of discrete event dynamic systems. It is of important significance for the low level control of CIMS, production schedule and dynamic simulation that both are combined in the field of CIMS low level control. This paper describes the formal notation of IDEF0, discusses the relevant concepts, and gives the formal method of generating Petri net from IDEF0. At last, an example is given to illustrate the idea.

Key words IDEF0, control, CIMS, Petri net.