

串行加工系统 Petri 网控制器的形式化设计方法

李志武 贾建援 叶尚辉

(西安电子科技大学电子机械学院 西安 710071)

摘要 提出了串行加工系统控制描述规格说明的设计方法,研究了规格说明的 Petri 网语义. 提出了系统 Petri 网控制器具有活性等希望性质的初始标识的确定算法. 这样的 Petri 网控制器经编译或算法转换可直接对系统进行实时控制.

关键词 Petri 网控制器,资源向量,资源极大网,标志容量.

1 引言

近年来,基于 Petri 网,人们对柔性制造等自动加工系统实时控制的研究做了许多工作^[1-5]. 制造系统 Petri 网控制器的设计与综合是这一研究的关键和基础. 现有 Petri 网控制器的设计方法^[6-9]还存在计算复杂性和众多局限性等很多问题. 本文中的研究与其它工作相比较,有以下特点:

- 1) 研究的是制造系统 Petri 网控制器的形式化设计理论和方法,不同于传统的手工设计理论.
- 2) 给出了离散生产过程中事件的资源表示方法及其 Petri 网语义.
- 3) 基于通信顺序进程(CSP——Communicating Sequential Processes)来设计系统控制描述的规格说明.
- 4) 获得的 Petri 网控制器具有活性、安全性或有界性,勿需再对其进行验证和分析.

2 Petri 网控制器的形式化设计方法

针对一类串行加工过程,研究其 Petri 网控制器的形式化设计方法,主要内容包括,系统控制描述的规格说明语言的设计;规格说明语言的 Petri 网语义(Petri 网控制器静态结构)设计;具有活性等希望性质的 Petri 网控制器初始标识的设计算法研究.

2.1 系统控制描述规格说明语言的设计

定义1. 自动制造系统中离散事件可形式地表示为资源形式^[10]

$$e := (x_1, x_2, \dots, x_m; y_1, y_2, \dots, y_n; w_1, w_2, \dots, w_k),$$

其中 $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}, \{y_1, y_2, \dots, y_n\}, \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$ 分别表示系统中主物料资源、辅助物料资源和制造资源的集合.

定义2. 设 s 为一多元序列, 其元素形式 $s[i] = (x_1, x_2, \dots, x_{m_i}; y_1, y_2, \dots, y_{n_i}; w_1, w_2, \dots, w_{k_i})$. 对于符号 z , 若有 $z = y_I$, 或 $z = w_J (I \in \{1, 2, \dots, n_i\}, J \in \{1, 2, \dots, k_i\})$, 那么记 $z \in s[i]$. 把 s 中的元素按以下原则用1或0取代, 得到一向量 $s \downarrow z$, 即若有 $z \in s[i]$, 则有 $s \downarrow z[i] = 1$, 否则有 $s \downarrow z[i] = 0$. 当 z 为一制造资源或辅助物料资源时, 称 $s \downarrow z$ 为资源向量. 资源向量概念的提出对复杂自动制造系统 Petri 网控制器形式化设计理论和方法的研究具有十分重要的意义和价值.

任何制造系统的行为都具有周期性, 制造系统的行为进程必为循环进程. 对于一类串行加工系统 Q , 令其迹为 s , 则有

$$Q = (e_0 \rightarrow e_1 \rightarrow e_2 \rightarrow \dots \rightarrow e_n \rightarrow Q), \quad (1)$$

$$s = \langle e_0, e_1, e_2, \dots, e_n \rangle^{[11]}. \quad (2)$$

文中主要研究此类加工系统, 研究成果对其它形式系统同样具有重要价值.

2.2 规格说明语言的 Petri 网语义

定义3. 制造系统中离散事件定义如前, 事件 e 的 Petri 网表示 $Z^e = (P^e, T^e, I^e, O^e, m^e)$ 称为事件网^[10], 事件网 Z^e 的关联矩阵定义为三元组 $C_e = (A, P, T)$, 其中 $P = P^e; T = T^e, |T| = 2; A = O^e - I^e, A = (a_{ij})_{|P| \times |T|}$ 或有 $a_{ij} = a(p_i, t_j), i = 1, 2, \dots, |P|, j = 1, |T|$.

定义4. 事件 e_i 的 Petri 网表示 $Z_i^e = (P_i^e, T_i^e, I_i^e, O_i^e, m_i^e)$ 中, $T_i^e = \{t_i, t_{i+1}\}$, 则称 t_i, t_{i+1} 分别为 Z_i^e 的起始转移和终止转移. 若 e_i, e_{i+1} 为 s 的元素, 即有 $\langle e_i \rangle \in s, \langle e_{i+1} \rangle \in s$, 则 Z_i^e 的终止转移就是 Z_{i+1}^e 的起始转移.

定义5. 由(1), (2)式描述的系统 Petri 网控制器 $Z = (P, T, I, O, m_0)$ 中, $|T| = \#s$, $\#s$ 意为 s 包含的事件个数.

定义6. 事件 e 确定的事件网的关联矩阵 $C_e = (A, P, T)$, 其 Petri 网语义 $\llbracket e \rrbracket$ 定义为三元组 (A', P', T') , 其中1) $T \subseteq T'$, 一般有 $T \subset T'$; 2) $P' = P$; 3) $\forall t \in T'$, 若有 $t \in T$, 那么 $a'(p, t) = a(p, t), \forall p \in P; \forall t \in T'$, 若有 $t \notin T$, 那么 $a'(p, t) = 0, \forall p \in P$.

定义7. $\llbracket e' \rightarrow e'' \rrbracket$ 定义为三元组 $(A, P, T) = \llbracket e' \rrbracket \sqcup \llbracket e'' \rrbracket$, $\llbracket e' \rrbracket = (A', P', T')$, $\llbracket e'' \rrbracket = (A'', P'', T'')$, 其中1) $P = P' \cup P''$; 2) $T = T' = T''$; 3) $\forall p \in P'$, 若有 $p \notin P''$, 那么 $a(p, t) = a'(p, t), \forall t \in T; \forall p \in P''$, 若有 $p \in P'$, 那么 $a(p, t) = a''(p, t), \forall t \in T; \forall p \in P'$, 若有 $p \in P''$, 那么 $a(p, t) = a'(p, t) + a''(p, t), \forall t \in T$.

定义8. 由(1), (2)式确定的系统中, $\llbracket Q / \langle e_0 \rangle \rrbracket = \bigsqcup_{i=1}^n \llbracket e_i \rrbracket$. 称 $/$ 为后继算子^[11].

以上定义适用于 s 中除 e_0 外的事件, e_0 是仅需主物料资源参与的事件, e_0 中的资源一般要贯穿于整个制造过程, 因此可将 $\llbracket e_0 \rrbracket$ 定义为三元组 (A_0, P_0, T_0) , 其中 $T_0 = T; |P_0| = \#(e_0); \forall p \in P_0, a_0(p, t_1) = -1, a_0(p, t_{\#s}) = 1, a_0(p, t_i) = 0 (1 < i < \#s)$, $\#(e_0)$ 表示 e_0 中主物料资源的个数.

定义9. 进程 $e_0 \rightarrow Q / \langle e_0 \rangle$ 的语义 $\llbracket e_0 \rightarrow Q / \langle e_0 \rangle \rrbracket$ 即 $\llbracket Q \rrbracket$ 定义为 $\llbracket e_0 \rrbracket \sqcup \llbracket Q / \langle e_0 \rangle \rrbracket$.

由上便可获得系统 Q Petri 网控制器的关联矩阵 $\llbracket Q \rrbracket$. Zhou 等人用手工方法设计

了一装配系统的 Petri 网控制器^[12]. 应用文中的设计方法,该系统控制描述的规格说明语言如下:

$$Q = (e_0 \rightarrow e_1 \rightarrow e_2 \rightarrow \dots \rightarrow e_5 \rightarrow Q),$$

$$s = \langle e_0, e_1, e_2, e_3, e_4, e_5 \rangle,$$

$$e_0 := (\text{crank shaft, engine block}; ;),$$

$$e_1 := (\text{crank shaft, engine block}; ; S-380),$$

$$e_2 := (\text{crank shaft, engine block}; \text{piston pulling tool, piston rod}; S-380, \text{Robot } M-1),$$

$$e_3 := (\text{crank shaft, engine block}; \text{piston pulling tool}; \text{Robot } M-1),$$

$$e_4 := (\text{crank shaft, engine block}; \text{a cap}; \text{Robot } M-1),$$

$$e_5 := (\text{crank shaft, engine block}; \text{two nuts}; \text{Robot } M-1).$$

根据以上讨论,可求得 $\llbracket e_i \rrbracket$ ($i=0, 1, 2, 3, 4, 5$),进而可求得 $\llbracket Q \rrbracket$,限于篇幅,这里仅给出 $\llbracket e_2 \rrbracket$ 和 $\llbracket Q \rrbracket$.

$$\llbracket e_2 \rrbracket = \begin{bmatrix} & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 & t_5 & t_6 \\ p_2 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ p_2^{m1} & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ p_2^{m2} & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ p_1^r & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ p_2^r & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \llbracket Q \rrbracket = \begin{bmatrix} & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 & t_5 & t_6 \\ p_1^0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ p_2^0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ p_1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_2 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ p_3 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ p_4 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ p_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ p_2^{m1} & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ p_2^{m2} & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ p_4^m & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ p_5^m & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ p_1^r & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ p_2^r & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

不再列出 $\llbracket Q \rrbracket$ 中位置元素的含义.

2.3 Petri 网控制器初始标识的确定算法

主要讨论系统 Petri 网控制器具有活性、有界性或安全性及可逆性的初始标识的确定方法,

1) 系统的资源向量

对于式(1),(2)描述的系统 $Q, s = s^0 \wedge s'', \wedge$ 为连接算子^[11],令 $R = (\bigcup_{i=1}^n \{y_1, y_2, \dots, y_{n_i}\}) \cup (\bigcup_{i=1}^n \{w_1, w_2, \dots, w_{k_i}\})$. 对于 $r \in R$,称 $s'' \downarrow r$ 为资源向量(为书写简便,往往将 $s'' \downarrow r$ 写成 $s \downarrow r$),由于 $\#s'' = n$,故资源向量应有以下形式:

$$s \downarrow r = (v_1, v_2, \dots, v_n),$$

其中 $v_i = 0$ 或 $v_i = 1$ ($i \in \{1, 2, \dots, n\}$). $v_i = 0$ 表示事件 e_i 不需要资源 r 的参与, $v_i = 1$ 则相反,上例中, $s \downarrow (\text{Robot } M-1) = (0, 1, 1, 1, 1), v_1 = 0$ 表明事件 e_1 不需要 Robot $M-1$ 的参与,而

$v_2=v_3=v_4=v_5=1$ 表明 e_2 等的发生需要 Robot $M-1$ 的参与. 系统所有资源向量组成集合 RV .

2) 资源向量的覆盖

定义10. $\forall V_1, V_2 \in RV, V_1 \neq V_2, V_1 = (v_1^1, v_2^1, \dots, v_n^1), V_2 = (v_1^2, v_2^2, \dots, v_n^2)$. 若 $\forall i \in N_n, N_n = \{1, 2, \dots, n\}$, 有 $v_i^1 \geq v_i^2$, 则称向量 V_1 覆盖 V_2 , 记为 $V_1 \text{ co } V_2$.

定义11. 对于 $V \in RV, V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$, 若 $\forall V' \in RV, V \neq V', V'$ 不能覆盖 V , 则称 V 为 RV 中不可覆盖资源向量, 系统所有的不可覆盖资源向量构成集合 RVU .

3) 资源向量的模

定义12. 资源向量 $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ 的模 $\|V\|$ 定义为其元素的代数和 $\sum_{i=1}^n v_i$. 主要研究不可覆盖资源向量的模, 其物理含义是资源参与的事件个数.

定义13. 没有共享资源系统的 RVU 中, $s \downarrow r \in RVU$, 若 $\|s \downarrow r\| = b (b \geq 1, b \in \{1, 2, 3, \dots\})$, 则 $s \downarrow r$ 具有如下形式:

$$s \downarrow r = (0, 0, \dots, 0, v_{i+1}, v_{i+2}, \dots, v_{i+b}, 0, \dots, 0, 0),$$

其中 $v_{i+1} = v_{i+2} = \dots = v_{i+b} = 1$. 也就是说, 资源 r 所参与的 b 个事件是连续发生的.

4) 资源极大网

以下讨论中, 用 $X(\Gamma)$ 表示 Petri 网 Γ 的 $X, X \in \{P, P_B, T, \dots\}$.

定义14. 不可覆盖资源向量 $s \downarrow r = (0, 0, \dots, 0, v_{i+1}, v_{i+2}, \dots, v_{i+b}, 0, \dots, 0, 0), \|s \downarrow r\| = b, s \downarrow r$ 确定一转移 Petri 网块 Γ 或 (p^r, Γ) , 称为资源极大网 (RM—Resource Maximum Petri net), p^r 为资源 r 的 Petri 网表示, 其中 (1) $p^r \in P_B(T)$, 且一般有 $m_0(\Gamma)(p^r) = 1$; (2) $P(\Gamma) = P(\prod_{j=1}^b [e_{i+j}])$; (3) $T(\Gamma) = T(\prod_{j=1}^b [e_{i+j}])$, 进一步有 $T(\Gamma) = \{t_{i+1}, t_{i+2}, \dots, t_{i+b+1}\}$; (4) $I(\Gamma) = I[e_{i+1}] \times I[e_{i+2}] \times \dots \times I[e_{i+b}]$; (5) $O(\Gamma) = O[e_{i+1}] \times O[e_{i+2}] \times \dots \times O[e_{i+b}]$; (6) $I(\Gamma)(p^r, t_{i+1}) = O(\Gamma)(p^r, t_{i+b+1}) = 1$, 且 $\forall t \in T(\Gamma) - \{t_{i+1}, t_{i+b+1}\}$, 有 $I(\Gamma)(p^r, t) = O(\Gamma)(p^r, t) = 0$. 系统所有的资源极大网构成集合 $S1$.

定义15. 资源极大网 (p^r, Γ) 中, $t_s, t_e \in T(\Gamma)$, 若有 $I(\Gamma)(p^r, t_s) = O(\Gamma)(p^r, t_e) = 1$, 且 $\forall t \in T(\Gamma) - \{t_s, t_e\}$, 有 $I(\Gamma)(p^r, t) = O(\Gamma)(p^r, t) = 0$, 则称 t_s, t_e 分别为 (p^r, Γ) 的起始转移和终止转移.

定义16. 对于 $(p^r, \Gamma) \in S1, \forall ((p^r)', \Gamma') \in S1, \Gamma \neq \Gamma'$, 若有 $P(\Gamma) \cap P(\Gamma') = \Phi$, 且 $T(\Gamma) \cap T(\Gamma') = \Phi$ 或 $T(\Gamma) \cap T(\Gamma') = t_e$ 或 t'_s , 则称 (p^r, Γ) 为孤立资源极大网 (SRM—Solitary RM). 所有的孤立资源极大网构成集合 $S2$. 故非孤立资源极大网 (NSRM—Non-SRM) 的集合 $S3 = S1 - S2$.

定义17. 若 $(p_1^r, \Gamma_1) \in S3$, 必存在 $(p_2^r, \Gamma_2) \in S3$, 使得 $P(\Gamma_1) \cap P(\Gamma_2) \neq \Phi$, 则称 $(p_1^r, \Gamma_1) \cup (p_2^r, \Gamma_2)$ 为联合资源极大网 (URM—Union of RM), 记为 (p^R, Γ) , 其中 $P^R = \{p_1^r, p_2^r\}, P(\Gamma) = P(\Gamma_1) \cup P(\Gamma_2); T(\Gamma) = T(\Gamma_1) \cup T(\Gamma_2), I(\Gamma) = I(\Gamma_1) \times I(\Gamma_2), O(\Gamma) = O(\Gamma_1) \times O(\Gamma_2)$.

定义18. 联合资源极大网 $(P_1^R, \Gamma_1), (P_2^R, \Gamma_2)$, 资源极大网 (p^r, Γ) , 若 $P(\Gamma_1) \cap P(\Gamma_2) \neq \Phi$ 或 $P(\Gamma_1) \cap P(\Gamma) \neq \Phi$, 则 $(P_1^R, \Gamma_1) \cup (P_2^R, \Gamma_2)$ 或 $(P_1^R, \Gamma_1) \cup (p^r, \Gamma)$ 亦为一联合资源极大网.

定义19. 联合资源极大网 (P^R, Γ) 是最大的, 若不存在 $(p^r, \Gamma') \in S1$, 使得 $(P^R, \Gamma) \cup$

(p', Γ') 仍为联合资源极大网. 若用 $\#(P^R, \Gamma)$ 表示(最大)联合资源极大网包含非孤立资源极大网的数目, 有 $\#(P^R, \Gamma) \geq 2$.

称孤立资源极大网和最大联合资源极大网为系统的基本网块, 有时简单地表示为 Γ , 对于基本网块 Γ_1, Γ_2 , 若有 $t_s(\Gamma_2) = t_e(\Gamma_1)$ 或 $t_s(\Gamma_1) = t_e(\Gamma_2)$, 则称 Γ_1, Γ_2 是可连接的. Γ_1 和 Γ_2 的连接定义为有向图 $\Gamma_1(\Gamma_2)$ 的终止结点和有向图 $\Gamma_2(\Gamma_1)$ 起始结点重合而得到的总图, 记为 $\Gamma_1; \Gamma_2$ 或 $\Gamma_2; \Gamma_1$.

定义20. $\llbracket Q / \langle e_0 \rangle \rrbracket$ 确定的 Petri 网可定义为 $(\Omega, ;)$, 其中 $\Omega = \{\Gamma_i | i = 1, 2, \dots\}$ 为基本网块的集合, “;” 为基本网块的连接算子.

5) 资源极大网的标志容量

定义21. 孤立资源极大网 (p', Γ) , 其标志容量定义为 $CAP(p', \Gamma) = m_0(\Gamma)(p')$.

定义22. 两个不可覆盖资源向量 $V_1 = (v_1^1, v_2^1, \dots, v_n^1), V_2 = (v_1^2, v_2^2, \dots, v_n^2)$ 的和 $V = V_1 + V_2 = (v_1, v_2, \dots, v_n)$, 定义 $v_i = -\frac{1}{2}(v_i^1 + v_i^2)^2 + \frac{3}{2}(v_i^1 + v_i^2)$. 例如 $s \downarrow r_1 = (0, 0, 1, 0, 1), s \downarrow r_2 = (1, 0, 1, 1, 0)$, 则有 $s \downarrow r_1 + s \downarrow r_2 = (1, 0, 1, 1, 1)$. 定义资源向量的和是用来识别系统 Petri 网控制器中的标志虚容量.

定义23. 最大联合资源极大网 (P^R, Γ) , $\#(P^R, \Gamma) = d$, 对应于 d 个不可覆盖资源向量 V_1, V_2, \dots, V_d . $\forall V_i, V_j, V_k \in \{V_1, V_2, \dots, V_d\} (i \neq j, k \neq j, k \neq i, i, j, k \in N_d)$, 若 $(V_i + V_j) \text{ co } V_k$, 则称 (P^R, Γ) 具有一个标志虚容量, 其标志容量定义为 (p_k^r, Γ_k) 的标志容量 $m_0(\Gamma_k)(p_k^r)$.

定义24. 最大联合资源极大网 (P^R, Γ) 的标志容量定义为 $CAP(P^R, \Gamma) = \sum_{p_i^r \in P^R} m_0(\Gamma_i)(p_i^r) - \sum_{j=1}^{d_0} m_0(\Gamma_j)(p_j^r)$, 其中 d_0 表示 (P^R, Γ) 具有 d_0 个标志虚容量.

标志容量的含义是基本网块所能消耗标志的数目, 它表明了系统中该子系统处理工件的一种能力.

6) Petri 网控制器初始标识的确定

按照通用的 Petri 网建模原则^[6], 本文提出的基本网块的初始标识极易确定. 关键的问题是如何确定系统中 C 类位置元素的初始标识, 如上例中的 $m_0(p_1^0)$ 和 $m_0(p_2^0)$. 对于 Petri 网控制器 $(\llbracket Q \rrbracket, m_0)$, 正是 $\llbracket Q \rrbracket$ 中 C 类位置的标识才决定了 $(\llbracket Q \rrbracket, m_0)$ 的动态特性, 如无死锁、有界及可逆性等.

定理1. 能够描述为式(1), (2)的串行加工系统, 其 Petri 网控制器 $(\llbracket Q \rrbracket, m_0)$ 具有活性、有界或安全性及可逆性的条件是 $\min(m_0(p_1^0), \dots, m_0(p_{\#(e_0)}^0)) \geq 1$.

由定理1, $m_0(p_i^0) (i \in N_{\#(e_0)}) \geq 1$ 时, $(\llbracket Q \rrbracket, m_0)$ 都具有活性等希望性质. 但无谓地增加系统 C 类位置的初始标志, 并不会无限地提高生产率, 从如何减少系统的在制品数目和最大限度地降低系统的饥饿程度的观点来讲, 有如下结论:

定理2. 系统 Petri 网控制器 $Z = (P_A \cup P_B \cup P_C, T, I, O, m_0)$ 中, $\forall p \in P_c, m_0(p)$ 应配置为 $\sum_{i=1}^{L_1} CAP(p_i^r, \Gamma_i) + \sum_{j=1}^{L_2} CAP(p^R, \Gamma_j)$, L_1, L_2 分别是系统中孤立资源极大网和最大联合资源极大网的数目.

研究上面的装配系统,其 Petri 网控制器($\llbracket Q \rrbracket, m_0$)在 $m_0 = (m_0(p_1^0), m_0(p_2^0), 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1)$ 下,当 $m_0(p_1^0), m_0(p_2^0) \geq 1$ 时具有活性等希望性质. 根据定理 2 来确定 $m_0(p_1^0)$ 及 $m_0(p_2^0)$. 根据上面的研究可知,系统具有 $s \downarrow$ (Robot M-1) 和 $s \downarrow$ (S-380) 两个不可覆盖资源向量,它们各自对应于一个资源极大网,而且是非孤立资源极大网,它们共同构成一个最大联合资源极大网 (P^R, Γ) , 且 $\#(P^R, \Gamma) = 2$, 又因为 $m_0(p_1^0) = 1, m_0(p_2^0) = 1$, 故 $m_0(p_1^0)$ 及 $m_0(p_2^0)$ 应配置为 2. Zhou 等人依其手工设计理论,得到了 $m_0(p_1^0) = m_0(p_2^0) = 1$ 的设计结论. 显然,系统的 Petri 网控制器($\llbracket Q \rrbracket, m_0$)在这两种初始标识下都具有活性等希望性质,而系统在 $m_0(p_1^0) = m_0(p_2^0) = 2$ 的配置下工作,要比 $m_0(p_1^0) = m_0(p_2^0) = 1$ 的条件下,饥饿程度低,生产效率高.

4 结论

利用 CSP,提出了串行加工系统规格说明语言的设计方法,该语言可自动生成系统 Petri 网控制器的静态结构. 研究了此类系统 Petri 网控制器具有活性、有界性或安全性以及可逆性的初始标识的设计算法,为优化地配置系统的托盘数目提供了理论依据. 文中的讨论尚未涉及共享资源和分支工序路径等问题,但其中的许多研究成果包括提出的许多概念和定义对其它形式的制造系统的研究同样是有重要意义和价值. 作者力求使研究深入系统化,以解决大规模复杂制造系统 Petri 网控制器的形式化设计问题.

参 考 文 献

- [1] Martinez J *et al.* Modeling, validation, and software implementation of production systems using high level Petri nets. In: Proc. of IEEE Robotics Automat. Conf. 1987, 1180—1185
- [2] Courvoisier M *et al.* A programmable logic controller based on a high level specification tool. In: Proc. Int. Conf. on IECON. 1983, 174—179.
- [3] Crockett D *et al.* Implementation of a Petri net controller for a machining workstation. In: Proc. of IEEE Robotics Automat. Conf. 1987, 1861—1867.
- [4] Kusturia E *et al.* Real-time control of multilevel manufacturing systems using colored Petri nets. In: Proc. of IEEE Robotics Automat. Conf. 1988, 1114—1119.
- [5] Murata M *et al.* A Petri net based controller for flexible and maintainable sequence control and its application in factory automation. *IEEE Trans. Industrial Electronics*. 1986, **33**(1):1—8.
- [6] Zhou M C *et al.* Parallel and sequential mutual exclusion for Petri net modeling of manufacturing systems with shared resources. *IEEE Trans. Robotics Automat.* 1991, **7**(4):515—527.
- [7] Krogh B H *et al.* Petri net tools for the specification and analysis of discrete controllers. *IEEE Trans. Software Eng.* 1990 **16**(1):39—51.
- [8] Krogh B H *et al.* Synthesis of place /transition nets for simulation and control of manufacturing systems. In: Proc. 4th IFAC/IFORS Symp. Large scale systems, 1986.
- [9] Banaszak Z. Automatic design of adaptive control algorithm. In: IFAC 10th World Congress, 1987, 275—280.
- [10] 李志武等. 一类制造系统 Petri 网控制器的形式化设计方法. 东南大学学报. 1995, **25**(3):118—122.
- [11] Hoare C A R. 通信顺序进程. 周巢尘译. 北京:北京大学出版社,1990.
- [12] Zhou M C *et al.* A top-down approach to systematic synthesis of Petri net models for manufacturing systems. In: proc. of IEEE Robotics Automat. 1989, **1**: 534—539.

A FORMAL DESIGN METHOD OF PETRI NET CONTROLLERS FOR SEQUENTIAL MANUFACTURING SYSTEMS

LI ZHIWU JIA JIANYUAN YE SHANGHUI

(*School of Electronic Mechanics, Xidian University, Xi'an 710071*)

Abstract The design method of specifications of the control description for sequential manufacturing systems is presented. The Petri net semantics of the specifications is discussed. The design algorithm has been developed for the initial markings such that the Petri net controller has the properties such as liveness, boundedness or safeness, and reversibility. Using the Petri net controller with the desired properties, the real-time control for a practical manufacturing system can be brought into force.

Key words Petri net controller, resource vector, resource maximum Petri net, token capacity.

李志武 1967年出生. 1989年毕业于西安电子科技大学, 1992年、1995年在西安电子科技大学获工学硕士、工学博士学位. 现为西安电子科技大学讲师. 主要研究方向有复杂离散生产过程的实时控制、伺服机械设计与控制等.

贾建援 1952年出生. 1976年毕业于西北电讯工程学院, 1981年在西北电讯工程学院获硕士学位, 现为西安电子科技大学教授, 近年来在国内外发表论文30多篇. 主要研究领域有伺服机械设计与制造, 生产过程控制, 机电系统动力学等.