第19卷 第6期　　自 动 化 学 报　　Vol. 19, No. 6
1993年11月　　ACTA AUTOMATICA SINICA　　Nov., 1993

离散事件系统监控与状态反馈方法的等价性[1)]

杨小军　郑应平
(中国科学院自动化研究所，北京　100080)

摘　　要

本文证明控制指标以谓词形式给出时，采用监控方法能使受控离散事件过程的可达状态与采用状态反馈逻辑的可达状态相同；控制指标以语言形式给出时，采用状态反馈逻辑也能使受控离散事件过程生成采用监控方法时所生成的语言. 因而从综合角度看，这两种方法等价.

关键词: 离散事件系统，监控，状态反馈逻辑，模块控制，模型转化.

一、引　　言

涉及离散事件系统（DES）逻辑综合的最基本方法是监控理论方法[1]和状态反馈逻辑方法[2]. 在研究 DES 的逻辑问题时，通常用自动机模型描述其逻辑行为，若采用监控方法，则另外设计一个监控器，让监控器发出允许可控事件发生与否的控制指令；而若采用状态反馈逻辑，则直接根据受控自动机的状态发出允许可控事件发生与否的控制指令一般认为监控理论是动态控制方法，而状态反馈是静态控制方法，前者能处理的综合问题类别多于后者. 例如，当控制指标以语言形式给出时，通常认为不能采用状态反馈逻辑进行控制综合. 然而，注意到在监控理论中，实质上是利用监控器的状态记忆控制指标语言，从而监控器根据它自身的状态发出控制命令. 充分利用这一特征及 DES 建模的不唯一性，对给定的 DES 模型加以改造，从原始模型中有针对地提取有关控制的信息，而对其余的信息则"粗略描述"，并且将这些信息分别记忆在新模型的状态中，使得必要时可将状态反馈方法用于新模型.

本文主要从两个方面论证监控与状态反馈逻辑的关系. 首先证明当控制指标以谓词形式给出时，无论是以集中还是模块形式给出，采用监控方法可使受控离散事件过程（CDEP）到达用状态反馈逻辑方法所到达的状态. 然后再证明当控制指标以语言形式给出时，无论是以集中还是模块形式给出，通过针对指标的重新建模，采用状态反馈方法能使 CDEP 生成采用监控方法时所生成的语言，从而得出两种综合方法等价的结论.

本文于1991年12月23日收到.
1）本文受到国家863高科技计划 CIMS 主题和中国科学院自动化研究所复杂系统控制开放实验室的资助.

二、满足给定谓词指标的监控方法

1. 控制指标为谓词 P

给定 DEP 为 $G=(Q,\Sigma,\delta,q_0,Q_m)$，$\Sigma=\Sigma_c\dot{\cup}\Sigma_{uc}$，其意义参见文[1]，给定控制指标为谓词 P[2]，$P\subseteq Q$，定义其相应的合法语言为 $Le(P)=\{s|s\in L(G)$，且 $\forall t\in\bar{s}$，$\delta(t,q_0)\in P\}$，显然 $Le(P)$ 是闭语言．对于 $L\subseteq\Sigma^*$，将L在G中的状态可达集定义为 $R(L,G)=\{q|\forall s\in L$，$q=\delta(s,q_0)\}$．用 $L\uparrow$，$P\uparrow$ 分别表示语言L的最大可控子语言[1]和谓词P的最大可控子谓词[3]．记 $Re(P)=\{q|q\in P$，且 $\exists s\in L(G)$，$q=\delta(s,q_0)$，$\delta(\bar{s},q_0)\subseteq P\}$，谓词变换 wlp_σ 的意义见文[2]．首先研究P在G中是 Σ_{uc} 不变[2]的情况，可以得出下列结论．

性质 1． 设P是 Σ_{uc} 不变的，则 $Le(P)$ 可控．

证明．$\forall s\in Le(P)$，则 $\bar{s}\subseteq Le(P)$；$\forall t\in\bar{s}$，记 $q=\delta(t,q_0)$，则 $q\in P$；$\forall\sigma\in\Sigma_{uc}$，且 $t\sigma\in L(G)$，因P在G中是 Σ_{uc} 不变的，则有 $\delta(q,\sigma)\in P$，即 $\delta(t\sigma,q_0)\in P$，所以 $t\sigma\in Le(P)$，故 $Le(P)$ 可控．

根据该性质，当P在G中为 Σ_{uc} 不变时，可以构造监控器S使 $L(S/G)=Le(P)$．下列结果给出 CDEP 关于G的状态可达集 $R(S/G)$．

性质 2． P是 Σ_{uc} 不变的，则 $R(Le(P),G)=P\uparrow$．

证明．

1) $\forall q\in R(Le(P),G)$，$\exists s\in Le(P)$，使 $q=\delta(s,q_0)$，且 $q\in P$．$\because\bar{s}\in Le(P)$，则 $\delta(\bar{s},q)\subseteq R(Le(P),G)$，$\therefore q\in Re[R(Le(P),G)]$；又$\because P$ 在G中是 Σ_{uc} 不变的，$\forall\sigma\in\Sigma_{uc}$，且 $s\sigma\in L(G)$，由 $Le(P)$ 的可控性，$s\sigma\in Le(P)$，$\therefore\delta(\sigma,q)\in R(Le(P),G)$，即 $q\in wlp_\sigma[R(Le(P),G)]$，根据谓词可控性的定义[3]，$R(Le(P),G)$ 是可控谓词．考虑到 $R(Le(P),G)\subseteq P$，$\therefore R(Le(P),G)\subseteq P\uparrow$．

2) $\forall q\in P\uparrow$，$\exists s\in L(G)$，使 $q=\delta(s,q_0)$，且 $\delta(\bar{s},q_0)\subseteq P\uparrow$，$\therefore$ $s\in Le(P)$，$q\in R(Le(P),G)$，故 $P\uparrow\subseteq R(Le(P),G)$．

由 1) 与 2) 得 $R(Le(P),G)=P\uparrow$．

由此可见 $R(S/G)=R(Le(P),G)=P\uparrow$．若对$G$采用状态反馈方法[3]设计最小限制性状态反馈 f_m，则 $R(f_m/G)=P\uparrow$，因此对P是 Σ_{uc} 不变的情况，从 CDEP 状态可达意义上看监控方法与状态反馈逻辑方法等价．由性质 1 与性质 2 还可得到：

推论 1． 若P是可控谓词，则

$$R(Le(P),G)=P. \tag{1}$$

下面针对一般谓词 P，研究两种方法的等效性，不难得到：

定理 1． $R(Le(P)\uparrow,G)=P\uparrow$．

证明．

1) $\because Le(P)$ 闭，则 $Le(P)\uparrow$ 也是闭语言，

$$\therefore\quad R(Le(P)\uparrow,G)=Re[(Le(P)\uparrow,G)] \tag{2}$$

$\forall q\in R(Le(P)\uparrow,G)$，$\exists s\in Le(P)\uparrow$，使 $\delta(s,q_0)=q$，由 $Le(P)\uparrow$ 的可控性，$\forall\sigma\in\Sigma_{uc}$，

且 $s\sigma \in L(G)$，则 $s\sigma \in Le(P)\uparrow$，即 $\delta(\sigma,q) \in R(Le(P)\uparrow,G)$，

$$\therefore \qquad q \in wlp_\sigma[R(Le(P)\uparrow,G)]. \tag{3}$$

由式(2),(3)得 $R(Le(P)\uparrow,G)$ 可控,显然 $R(Le(P)\uparrow,G)\subseteq P\uparrow$.

2) 由 $P\uparrow\subseteq P$，有 $Le(P\uparrow)\subseteq Le(P)$，$\because P\uparrow$ 是 Σ_{uc} 不变的,则 $Le(P\uparrow)$ 可控，$\therefore Le(P\uparrow)\subseteq Le(P)\uparrow$，$R(Le(P\uparrow),G)\subseteq R(Le(P)\uparrow,G)$，根据(1)式，$R(Le(P\uparrow),G)=P\uparrow$，$\therefore P\uparrow\subseteq R(Le(P)\uparrow,G)$.

故从 1) 与 2)，$R(Le(P)\uparrow,G)=P\uparrow$.

若采用监控方法实现 P，对相应的 $Le(P)$，设计 S 使 $L(S/G)=Le(P)\uparrow$；若对 G 采用状态反馈方法设计最小限制状态反馈 f_m，则 $R(f_m/G)=P\uparrow$，由定理 1 可得 $R(S/G)=P\uparrow=R(f_m/G)$，可见对一般谓词 P，从 CDEP 状态可达意义上看监控方法与状态反馈方法等效.

2. 控制指标为模块形式的谓词 $P_1\wedge P_2$

研究模块控制,不妨只考虑两个模块的情况,即设给定控制指标为 $P=P_1\wedge P_2$，其相应的合法语言有下列特性.

性质 3. $Le(P_1\wedge P_2)=Le(P_1)\cap Le(P_2)$. (4)

证明.

1) $\because Le(P_1\wedge P_2)\subseteq Le(P_1)$，$Le(P_1\wedge P_2)\subseteq Le(P_2)$，$\therefore Le(P_1\wedge P_2)\subseteq Le(P_1)\cap Le(P_2)$.

2) $\forall s\in Le(P_1)\cap Le(P_2)$，则 $\delta(\bar{s},q_0)\subseteq P_1\wedge P_2$,从而 $s\in Le(P_1\wedge P_2)$，$\therefore Le(P_1)\cap Le(P_2)\subseteq Le(P_1\wedge P_2)$. 由 1) 与 2) 得：$Le(P_1\wedge P_2)=Le(P_1)\cap Le(P_2)$.

定理 2. $Le(P_1\wedge P_2)\uparrow=Le(P_1)\uparrow\cap Le(P_2)\uparrow$.

证明. $\because Le(P_1),Le(P_2)$ 是闭语言，$\therefore [Le(P_1)\cap Le(P_2)]\uparrow=Le(P_1)\uparrow\cap Le\cdot(P_2)\uparrow$[4]，根据(4)有 $Le(P_1\wedge P_2)\uparrow=Le(P_1)\uparrow\cap Le(P_2)\uparrow$.

若采用监控方法实现 P_i，则可设计监控器 S_i 使 $L(S_i/G_i)=Le(P_i)\uparrow(i=1,2)$，$\because L(S_1\times S_2/G)=L(S_1/G)\cap L(S_2/G)=Le(P_1)\uparrow\cap Le(P_2)\uparrow$，根据定理 2，$L(S_1\times S_2/G)=Le(P)\uparrow$，再根据定理 1，$R(S_1\times S_2/G)=P\uparrow$；而若采用状态反馈方法设计最小限制 f_{im} 使 $R(f_{im}/G)=P_i\uparrow(i=1,2)$，则有 $R(f_{1m}\times f_{2m}/G)=P_1\uparrow\wedge P_2\uparrow=P\uparrow$[3]，由此可见对于模块控制,从状态可达意义上看,这两种方法也等价.

三、满足给定语言指标的状态反馈方法

1. 控制指标为语言 L

给定 DEP 为 $G=(Q,\Sigma,\delta,q_0)$，设控制指标为语言 $L,L\subseteq L(G)$，且设 L 是正规闭语言,可以构造可达的自动机 M，使 $L(M)=L$，$M=(Y,\Sigma,\xi,y_0)$，然后再构造 Ma，使 $L(Ma)=L(G)$，$Ma=(Y\dot{U}y_a,\Sigma,\xi_a,y_0)$，其中

$$\xi_a(s,y_0)=\begin{cases}\xi(s,y_0), & \text{若 } \xi(s,y_0)!,\\ y_0, & \text{若 } \delta(s,q_0)!\text{，但 } \xi(s,y_0)\text{ 无定义},\\ \text{无定义}, & \text{否则}.\end{cases}$$

令 $Ga = G \times Ma$，显然 $L(Ga) = L(G)$，Ga 是对 G 改造后的模型，Ga 通过 Ma 提取了有关 L 的信息，并将其记忆在谓词 P 中，P 可定义如下：$P = \{(q, y) | (q, y) \in Q \times Y$，且 $\exists s \in L$，使 $q = \delta(s, q_0)$，$y = \xi_a(s, y_0)\}$.

不难得出下列结论：

性质 4. 语言 L，谓词 P 如上定义，则在 Ga 中，

$$Le(P) = L. \tag{5}$$

证明.

1) $\forall s \in Le(P)$，则 $(\delta(s, q_0), \xi_a(s, y_0)) \in P$，由 P 的定义，有 $s \in L$，$\therefore Le(P) \subseteq L$.

2) $\forall s \in L$，$\because L(M) = L$，则 $\exists y \in Y$，使 $y = \xi_a(s, y_0)$，$\because L \subseteq L(G)$，也 $\exists q \in Q$，使 $q = \delta(s, q_0)$，$\therefore (q, y) \in P$. 又由 $L, L(G)$ 的闭性，有 $\bar{s} \subseteq L$，$\bar{s} \subseteq L(G)$，$\forall t \in \bar{s}$，则 $(\delta(t, q_0), \xi_a(t, y_0)) \in P$，$\therefore s \in Le(P)$，故 $L \subseteq Le(P)$.

由 1) 与 2) 得 $Le(P) = L$.

性质 5. 语言 L，谓词 P 如上定义，则

$$R(L, Ga) = P. \tag{6}$$

证明. 由 P 的定义可以直接得出.

针对 L 在 G 中可控的情况，可得下列结论：

性质 6. L, P 如上定义，若 L 在 G 中可控，则 P 在 Ga 中是 Σ_{uc} 不变的.

证明. $\because$ L 在 G 中可控，则 $\forall s \in L$，$\sigma \in \Sigma_{uc}$，且 $s\sigma \in L(G)$，有 $s\sigma \in L$；又 $\because$ $L(Ga) = L(G)$，得 $\forall s \in L$，$\sigma \in \Sigma_{uc}$，且 $s\sigma \in L(Ga)$，则 $s\sigma \in L$，$\therefore$ L 在 Ga 中也可控，根据(6)式及文[5]，则 P 在 Ga 中是 Σ_{uc} 不变的.

性质 7. L, P 如上定义，且 L 在 G 中可控，则 P 也可控.

证明. $\because L$ 是闭的，$\therefore$ 在 Ga 中 $R(L, Ga) = Re[R(L, Ga)]$，由(6)式，$R(L, Ga) = P$，$\therefore P = Re(P)$，根据性质 6，P 在 Ga 中是 Σ_{uc} 不变的，由谓词可控性的定义，得 P 可控.

根据该性质，在 L 是可控的情况下，对 Ga 采用状态反馈方法，可设计最小限制 f_m 使 $R(f_m/Ga) = P$，关于 f_m 可得下列结论：

性质 8. f_m，P 如上定义，若 $R(f_m/Ga) = P$，则 $L(f_m/Ga) = Le(P)$.

证明.

1) $\because R(f_m/Ga) = P$，显然 $L(f_m/Ga) \subseteq Le(P)$.

2) $\forall s \in Le(P)$，则 $\exists s \in L$，使 $q = \delta(s, q_0)$，$y = \xi_a(s, y_0)$，有 $(q, y) \in P$，且 $\forall t \in \bar{s}$，有 $q' = \delta(t, q_0)$，$y' = \xi_a(t, y_0)$，$(q', y') \in P$. 假设 $s \notin L(f_m/Ga)$，则可记 $s = s_1\sigma s_2$，且 $s_1 \in L(f_m/Ga)$，而 $s\sigma_1 \notin L(f_m/Ga)$，再记 $q_1 = \delta(s_1, q_0)$，$y_1 = \xi_a(s_1, y_0)$，有 $f_m(q_1, y_1)(\sigma) = 0$，考虑到 $t = s_1\sigma$ 时，$(q', y') \in P$，即 $(\delta(\sigma, q_1), \xi_a(\sigma, y_1)) \in P$，可设计状态反馈 f' 如下：$f'(q, y)(\beta) = \begin{cases} 1, & \text{若 } (q, y) = (q_1, y_1), \text{ 且 } \beta \neq \alpha, \\ f_m(q, y)(\sigma), & \text{否则}. \end{cases}$

显然 $R(f'/Ga) = P$，这与 f_m 是最小限制状态反馈相矛盾. $\therefore s \in L(f_m/Ga)$，即 $Le(P) \subseteq L(f_m/Ga)$. 故由 1) 与 2) 得 $L(f_m/Ga) = Le(P)$.

根据(5)式，$Le(P)=L$，所以 $L(f_m/Ga)=L$。由此说明，在L可控的情况下，f_m/Ga 生成的语言等于采用监控方法时 S/G 生成的语言。对于L仅是正规闭语言的一般情况，通过下列定理可以说明两种方法的等价性。

定理 3. 给定谓词 P，则 $Le(P\uparrow)=Le(P)\uparrow$。

证明。

1) $P\uparrow$ 是 Σ_{uc} 不变的，根据性质 1，$Le(P\uparrow)$ 可控；又 $\because$ $P\uparrow\subseteq P$，则 $Le(P\uparrow)\subseteq Le(P)$，$\therefore$ $Le(P\uparrow)\subseteq Le(P)\uparrow$。

2) 根据定理 1，$P\uparrow=R(Le(P)\uparrow,Ga)$，则有 $Le(P\uparrow)=Le[R(Le(P)\uparrow,G)]$。$\because$ $Le(P)$ 闭，则 $Le(P)\uparrow$也闭，有 $Le[R(Le(P)\uparrow,G)]\supseteq Le(P)\uparrow$。$\therefore Le(P)\uparrow\supseteq Le(P)\uparrow$。

据 1) 与 2)，$Le(P)\uparrow=Le(P)\uparrow$。

若采用状态反馈方法实现 L，则设计最小限制 f_m 使 $R(f_m/Ga)=P\uparrow$，根据性质 8，$L(f_m/Ga)=Le(P\uparrow)$；而若采用监控方法实现 L，则设计监控器 S，使 $L(S/G)=L\uparrow$。据性质 4，$L=Le(P)$，由定理 3，$Le(P\uparrow)=Le(P)\uparrow$，故 $L(f_m/Ga)=L(S/G)$。由此可见从 CDEP 生成语言的角度看，这两种方法等价。

2. 控制指标为模块形式的语言 $L_1\cap L_2$

研究模块控制，不妨设控制指标为 $L=L_1\cap L_2$，其中 $L_1, L_2\subseteq L(G)$，且均是正规闭语言。用相同方法构造可达自动机 $M_i(i=1,2)$，使 $L(M_i)=K_i$，$M_i=(Y_i,\Sigma,\xi_i,y_{0i})$，从而可构造 $Mai=(Y_i\dot{U}y_{ai},\Sigma,\xi_{ai},y_{0i})$，使 $L(Mai)=L(G)$。令 $Gai=G\times Mai$，仍有 $L(Gai)=L(G)$，Gai 是从G提取 L_i 的信息、对G进行改造后所得的相应模型。同样定义:

$$P_i=\{(q,y_i)|(q,y_i)\in Q\times Y_i,\exists s\in L_i,\text{ 使 } q=\delta(s,q_0),y_i=\xi_{ai}(s,y_0)\}.$$

根据(5)，(6)式，显然在 Gai 中，$Le(P_i)=L_i$，$R(L_i,Gai)=P_i$。构造 $Ga=G\times M_1\times M_2$，记 $Z=Q\times(Y_1\dot{U}y_{a1})\times(Y_2\dot{U}y_{a2})$，$Z_i=Q\times(Y_i\dot{U}y_{ai})$ $(i=1,2)$，定义映射 $T_i:Z\to Z_i(i=1,2)$，由此可在 Ga 中定义记忆L的谓词P为 $P=T_1^{-1}(P_1)\wedge T_2^{-1}(P_2)$，不难得到:

性质 9. 给定P如上定义，则 $Le(P)=L$。

证明。

1) $\forall s\in L$，则 $s\in L_i$，有 $(\delta(s,q_0),\xi_{ai}(s,y_{0i}))\in P_i$ $(i=1,2)$。$\therefore(\delta(s,q_0),\xi_{a1}(s,y_{01}),\xi_{a2}(s,y_{02}))\in T_1^{-1}(P_1)\wedge T_2^{-1}(P_2)$，即 $(\delta(s,q_0),\xi_{a1}(s,y_{01}),\xi_{a2}(s,y_{02}))\in P$。$\forall t\in\bar{s}$，由 L_1,L_2 的闭性，同理可得：$(\delta(t,q_0),\xi_{a1}(t,y_{01}),\xi_{a2}(t,y_{02}))\in P$，$\therefore s\in Le(P)$，即 $L\subseteq Le(P)$。

2) $\forall s\in Le(P)$，$\forall t\in\bar{s}$，则 $(\delta(t,q_0),\xi_{a1}(t,y_{01}),\xi_{a2}(t,y_{02}))\in P$，从而有 $(\delta(t,q_0),\xi_{a1}(t,y_{01}))\in P_1$，$(\delta(t,q_0),\xi_{a2}(t,y_{02}))\in P_2$。$\therefore$ $s\in Le(P_1)\cap Le(P_2)$，即 $s\in L_1\cap L_2$，$Le(P)\subseteq L$。据 1) 与 2)，$Le(P)=L$。

从这个性质可以看出，P记忆了控制指标语言L的信息。下面采用状态反馈方法针对 P_i $(i=1,2)$，在 Gai 中设计最小限制状态反馈 f_{im} 使 $R(f_{im}/Gai)=P_i\uparrow$；在 Ga 中相应于 f_{im} 的状态反馈可以定义为:

$$f_1'(q,y_1,y_2)(\sigma)=f_{1m}(q,y_1)(\sigma),$$

$$f_2'(q, y_1, y_2)(\sigma) = f_{2m}(q, y_2)(\sigma).$$

显然，f_{im}，f_i' 满足 $L(f_{im}/Gai) = L(f_i'/Ga)$，至于系统 $f_1' \times f_2'/Ga$，则有下列性质：

性质 10. $L(f_1' \times f_2'/Ga) = L_1\uparrow \cap L_2\uparrow.$ (7)

证明. $\because L(f_1' \times f_2'/Ga)$

$= L(f_1'/Ga1) \cap L(f_2'/Ga2)$

$= L(f_{1m}/Ga1) \cap L(f_{2m}/Ga2)$

$= Le(P_1\uparrow) \cap Le(P_2\uparrow)$ (据性质 8)

$= Le(P_1)\uparrow \cap Le(P_2)\uparrow$ (据定理 3)，

$\therefore L(f_1' \times f_2'/Ga) = L_1\uparrow \cap L_2\uparrow$ (据性质 4).

若采用监控方法实现 L，则设计 $S_i(i = 1,2)$，使 $L(S_i/G) = L_i\uparrow$，$L(S_1 \times S_2/G) = L_1\uparrow \cap L_2\uparrow = L\uparrow$ (据 L_1，L_2 的闭性). 由此可见，从生成语言的角度看两种方法等价.

四、DES 控制问题的其它转化形式

鉴于上述两种方法的等价性，在处理综合问题时可视其方便性任选一种. 下面对给定的 DEP，$G = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m)$，及控制指标 $L \subseteq Lm(G)$，L 是正规语言，若要求设计 S 使 $Lm(S/G) \subseteq L$，就可采用状态反馈方法进行控制. 同样构造齐整 (trim) 自动机 M，$M = (Y, \Sigma, \xi, y_0, Y_m)$ 使 $Lm(M) = L$，$\overline{Lm(M)} = L(M)$，再构造相应的 $Ma = (Y\dot{U}y_a, \Sigma, \xi_a, y_0, Y_m)$，对 $G \times Ma$ 求其可达自动机，记为 $Ga = (Z, \Sigma, \delta_a, z_0, Z_m)$，令 $P = Z - [Q_m \times (Y\dot{U}y_a)] \cup Z_m$，对 P 设计最小限制状态反馈 f_m，使 $R(f_m/Ga) = P\uparrow$，则 $Lm(f_m/Ga) \subseteq L$，并且 $Lm(f_m/Ga)$ 是满足要求的最小限制语言. 记闭路系统 $f_m/Ga = Gaf$，还可以在不减少其标识语言的条件下，进一步施加控制减少 Gaf 的阻塞，这可通过求 Gaf 中包含可连到 $Z_m \cap P\uparrow$ 的最大区域 $C(Z_m \cap P\uparrow)$ 的最小可实现子图，以及相应的最小限制状态反馈[6] f_{mc} 来实现. 其生成的标识语言满足：$Lm(f_{mc}/Gaf) = Lm(f_m/Ga)$，但系统 f_{mc}/Gaf 的阻塞在满足上述条件下减至最小.

若要求闭合系统无阻塞，则在系统 Ga 中求可达、可实现并可连到 Z_m 的最大状态域和相应的最小限制状态反馈 f_m，这样 $Lm(f_m/Ga)$ 是最小限制无阻塞解.

另外在许多场合，受控系统要求的行为常常可方便地用状态序列表示，这时通过构造一个定义在状态符号而非事件符号上的自动机很容易描述这类控制指标；然后再构造一个转换器[7]，使定义在状态集上的自动机接受的语言被一个定义在事件集上的自动机接受，从而可用监控方法设计监控器.

五、结 束 语

本文详细分析、论证了监控方法和状态反馈逻辑方法的等价性，指出无论给定什么类型的控制指标，这两种方法均能完成同样的功能. 通常若 DEP 的状态完全可观，采用状

态反馈方法可行;若 DEP 的事件完全可观,则采用监控方法比较简单;若状态、事件均完全可观,则可根据控制指标的描述形式,相应选取一种方法。本文第四部分就利用了这种等价性。

参 考 文 献

[1] Ramadge, P.J. and Wonham, W.M., Supervisory Control of a Class of Discrete Event Processes, *SIAM J. Control and Optimization*, **25**(1987), (1), 200—230.

[2] Ramadge, P.J. and Wonham, W.M., Modular Feedback Logic for Discrete Event Systems, *SIAM J. Control and Optimization*, **25**(1987), (5), 1202—1218.

[3] Li, Y. and Wonham, W.M., Composition and Modular State-feedback Control of Vector Discrete-event Systems, Proc. of Int. Conf. on Information Sciences and Systems, March, 1989, Johns Hopkins Univ., Baltimore, MD, USA.

[4] Wonham, W.M. and Ramadge, P.J., Modular Supervisory Control of Discrete-event Systems, *Math. Control Signals System*, **1**(1988), (1),13—30.

[5] Ushio, T., Controllability and Control-invariance in Discrete Event Systems, *Int. J. Control*, **50**(1989), (4), 1507—1515.

[6] Yang Xiaojun and Zhen Yingping, A New Graph-based Method Dealing with Blocking in Supervisory Control of Discrete Event Systems, Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, France, 1992, 10—15.

[7] Du, Y. and Wang, S.H., Translation of Output Constraint into Event Constraint in the Control of Discrete Event Systems, *Int. J. Control*, **50**(1989), (6), 2635—2644.

THE EQUIVALENCE BETWEEN SUPERVISORY CONTROL AND STATE FEEDBACK METHOD IN DES

YANG XIAOJUN ZHENG YINGPING

(*Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100080 *China*)

ABSTRACT

In this paper, it is proved that when the specification is given in the form of predicate, the supervisory control can be used to reach the same states as using state feedback logic, and when the specification is given in the form of language, the state feedback logic can be used to generate the same language as using supervisory control. Hence, these two kinds of methods are equivalent from the point of view of synthesis.

Key words: discrete event systems; supervisory control; state feedback logic; modular control; model transform.

杨小军　生于1964年，1984年毕业于西北纺织学院，1986年在湖南大学电气工程系获硕士学位，此后在西安电力机械制造公司输变电成套设计研究所从事有关电力系统的工程研究工作。1992年在中国科学院自动化研究所获博士学位。主要研究复杂系统、离散事件系统的控制问题。

郑应平　1963年北京大学数力系毕业，1967年中国科学院自动化研究所控制理论研究生毕业。现为该所研究员、博士导师、复杂系统控制研究开放实验室主任。主要研究方向有线性系统、最优控制、多人决策与对策、系统学、离散事件动态系统及其在 CIM 中的应用等。完成和发表论文90余篇。担任 IFAC 理论委员会委员，中国自动化学会常务理事、控制理论专业委员会副主任及国际和国内多种学术刊物的编委。

（照片见本刊19卷2期）