第19卷 第3期 自 动 化 学 报 Vol. 19, No. 3
1993 年 5 月 ACTA AUTOMATICA SINICA May, 1993

离散事件动态系统的状态补偿观测控制[1)]

法 京 怀
(中国科学院自动化研究所,北京 100080)

摘 要

在离散事件控制系统中[1]，系统的信息结构由系统事件和系统状态构成. 本文研究了具有混合信息结构的离散事件控制系统的分析与综合等问题.

关键词: 离散事件控制系统,部分观测,可控性,可观性.

一、引 言

借用计算机学科中的形式语言/自动机模型[2]， Wonham 等人提出了离散事件动态系统的控制理论[1]. 离散事件动态系统用自动机 $G=(\Sigma, Q, \delta, q_0)$ 表示. 其中 Σ 为系统事件集，Q 为系统状态集. 语言 $L(G)$ 为系统的动态轨道集. Σ 分为可控事件子集 Σ_c; 不可控事件子集 Σ_{uc}; 可观事件子集 Σ_0; 不可观事件子集 Σ_{u0}:

$$\Sigma=\Sigma_c \dot{\cup} \Sigma_{uc}=\Sigma_0 \dot{\cup} \Sigma_{u0}.$$

控制器 $\boldsymbol{S}$ 根据观测到的可观事件序列,动态地改变对可控事件的控制(允许或不允许其发生),使得系统的闭环行为 $L(S/G) \subseteq L_0$ (L_0 是预先给定的目标语言)，并尽可能逼近 L_0.

在文献[3]中,当仅有部分事件信息可以观测时，闭环行为 $L(S/G)$ 将受很大限制，远离 L_0. 为提高系统的闭环性能,除了部份可观事件信息外，本文同时利用系统的状态信息(完全的或部份的),构造联合观测控制器,并给出这种具有混合信息结构的离散事件控制系统的分析与综合方法.

二、联合观测控制器

1. 状态观测

定义 2.1. 设系统 $G=(\Sigma, Q, \delta, q_0)$. X 为某集合. 称满射 $h: Q \to X$ 为状态观测映射，简称状态观测. 若 h 是一一对应的,则称 h 为完全状态观测. 由于 h 为满射,状态观测与状态集的分类等价.

定义 2.2. 设 $G=(\Sigma, Q, \delta, q_0), h: Q \to X$ 为状态观测. 称 $S=(\Sigma, X, \theta_h, x_0)$ 为

本文于 1991 年 4 月 16 日收到.
1) 国家自然科学基金(青年)资助项目.

状态观测器．其中 $x_0: = h(q_0)$; $\theta_h(\sigma, x): = h \cdot \delta(\sigma, q)$; q 是系统 G 的当前状态．

S 不是标准自动机，它的状态转移是由 G 确定的[4]． 不难看出，$\theta_h(s, x_0) = h \cdot \delta(s, q_0)$, $s \in \Sigma^*$.

2. 联合观测器

设离散事件动态系统模型为 $G = (\Sigma, Q, \delta, q_0)$. $P: \Sigma \to \Sigma_0$ 为事件观测映射[3], $h: Q \to Y$ 为状态观测映射．

由文献[3],事件观测器为 $S_e = (\Sigma, X, \mu, x_0)$, 其中 $\forall \sigma \in \Sigma_{u0}$, $\mu(\sigma, x) = x$.

由本节 1,状态观测器为 $S_h = (\Sigma, Y, \theta_h, y_0)$, 其中 $\theta_h(\sigma, y) = h \cdot \delta(\sigma, q)$, q 为 G 的当前状态．

定义 2.3. S 称为基于 (P, h) 的,对 G 的联合观测器

$$S = S_e \times S_h = (\Sigma, X \times Y, \mu \times \theta_h, (x_0, y_0)),$$

其中 $(\mu \times \theta_h)(\sigma, x, y): = (\mu(\sigma, x), \theta_h(\sigma, y))$.

3. 联合观测控制器

定义 2.4. 设 $G = (\Sigma, Q, \delta, q_0)$, $\Sigma = \Sigma_c \dot{\cup} \Sigma_{uc}$, (P, h) 为事件-状态观测对．称 $\boldsymbol{S} = (S, \phi)$ 为基于 (P, h) 的联合控制器．其中, S 为基于 (P, h) 的联合观测器，控制函数 ϕ 满足

$$\begin{aligned} &\phi(\sigma, x, y) = 1, \quad &\text{若 } \sigma \in \Sigma_{uc}, \\ &\phi(\sigma, x, y) \in \{0, 1\}, \quad &\text{若 } \sigma \in \Sigma_c. \end{aligned}$$

在闭环系统中，联合控制器由观测到的可观事件序列和状态信息驱动．当联合控制器的状态为 (x, y) 时,若 $\phi(\sigma, x, y) = 1$, 则事件 σ 被允许发生; 若 $\phi(\sigma, x, y) = 0$, 则事件 σ 不能发生．构成的闭环系统为

$$\boldsymbol{S}/G = (\Sigma, X \times Y \times Q, (\mu \times \theta_h \times \delta)^{\phi}, (x_0, y_0, q_0)).$$

其中 $(\mu \times \theta_h \times \delta)^{\phi}: \Sigma \times X \times Y \times Q \to X \times Y \times Q$ 定义为

$$(\mu \times \theta_h \times \delta)^{\phi}(\sigma, x, y, q): = \begin{cases} (\mu(\sigma, x), \theta_h(\sigma, y), \delta(\sigma, q)) \\ \qquad\qquad \text{若 } \phi(\sigma, x, y) = 1; \\ \text{无定义，若 } \phi(\sigma, x, y) = 0. \end{cases}$$

由于 G 的当前状态为 q, 故有 $(\mu(\sigma, x), \theta_h(\sigma, y), \delta(\sigma, q)) = (\mu(\sigma, x), h \cdot \delta(\sigma, q), \delta(\sigma, q))$. 所以 $\boldsymbol{S}/G$ 已成为标准的自动机． $L(\boldsymbol{S}/G)$ 是闭环系统的动态行为语言．

根据文献[1],称联合控制器 $\boldsymbol{S} = (S, \phi)$ 对 G 是完备的,若由 1) $s \in L(\boldsymbol{S}/G)$; 2) $s\sigma \in L(G)$; 3) $\phi(\sigma, \mu(s, x_0), h \cdot \delta(s, q_0)) = 1$, 可推出 $s\sigma \in L(\boldsymbol{S}/G)$.

三、联 合 可 观 性

本节给出联合观测控制器 $\boldsymbol{S}$ 存在的充要条件．

定义 3.1. 称语言 K 是联合可观的（相对于 P, h 及 G), 若 $s\sigma \in K \wedge s'\sigma \in L(G) \wedge s \in K \wedge s' \in K \wedge P(s) = P(s') \wedge h \cdot \delta(s, q_0) = h \cdot \delta(s', q_0)$, $\Rightarrow s'\sigma \in K$.

定理 3.1. 设 $\Phi \neq K \subset L(G)$. 则存在完备的联合控制器 $\boldsymbol{S}$, 使得 $L(\boldsymbol{S}/G) = K$

的充要条件是

1) K是闭语言;

2) K是可控语言,即 $\bar{K}\Sigma_{uc}\cap L(G)\subseteq\bar{K}$;

3) K是联合可观语言.

证 (必要性证明).

设控制器 $\mathbf{S}$ 使得 $L(\mathbf{S}/G)=K$. 由于 $L(\mathbf{S}/G)$ 是闭语言,故K是闭语言. 为证K是可控的(即 $K\Sigma_{uc}\cap L(G)\subseteq K$),设 $s\in K$, $\sigma\in\Sigma_{uc}$, $s\sigma\in L(G)$. 由于 $s\in L(\mathbf{S}/G)$ $(=K)$, 故 $(\mu(s,x_0), h\cdot\delta(s,q_0), \delta(s,q_0))$ 有定义,并且 $\phi(\sigma,\mu(s,x_0),h\cdot\delta(s,q_0))=1$ $(\sigma\in\Sigma_{uc})$. 由 $\mathbf{S}$ 的完备性, $\Rightarrow s\sigma\in L(\mathbf{S}/G)$, $\Rightarrow s\sigma\in K$. 可控性得证. 为证K是联合可观的,设 $s,s'\in K$, $s\sigma\in K$, $s'\sigma\in L(G)$, $P(s)=P(s')$, $h\cdot\delta(s,q_0)=h\cdot\delta(s',q_0)$, 往证 $s'\sigma\in K$. 由于 $s,s'\in K=L(\mathbf{S}/G)$,$(\mu(s,x_0),h\cdot\delta(s,q_0),\delta(s,q_0))$ 及 $(\mu(s',x_0),h\cdot\delta(s',q_0),\delta(s',q_0))$ 有定义,且由给定条件,两者相等,记为(x,y,q). 若 $s'\sigma\bar{\in}K$, 则 $s'\sigma\bar{\in}L(\mathbf{S}/G)$, $\Rightarrow\phi(\sigma,x,y)=0$. 但 $s\sigma\in K=L(\mathbf{S}/G)$, $\Rightarrow\phi(\sigma,x,y)=1$ 矛盾. 故 $s'\sigma\in K$. 联合可观性得证.

(充分性证明)设定理条件 1),2),3) 成立.

对给定 K,构造产生K的自动机 $\hat{S}_e=(\Sigma,\hat{X},\hat{\mu},\hat{x}_0)$. 若$K$是正规语言,则 $\hat{X}$ 为有限状态. 定义自动机 $S_e=(\Sigma,X,\mu,x_0)$. 其中,X为 $\hat{X}$ 的所有非空子集集合, $x_0:=\{\hat{\mu}(\Sigma_{uo}^*,\hat{x}_0)\}$. $\forall\sigma\in\Sigma_0$: $\mu(\sigma,x):=\{\hat{\mu}(\Sigma_{uo}^*\sigma\Sigma_{uo}^*,\hat{x}):\hat{x}\in x\}$ (若空则无定义); $\forall\sigma\in\Sigma_{uo}$: $\mu(\sigma,x):=x$. 令 $S_h=(\Sigma,Y,\theta_h,y_0)$ 为观测 h 下的状态观测器,则联合观测器定义为 $S=S_e\times S_h$. 对 $(x,y)\in X\times Y$, 定义

$$\Sigma_{(x,y)}^0=\{\sigma\in\Sigma_c:\exists s\in K,\ \mu(s,x_0)=x,\ h\cdot\delta(s,q_0)=y,\ s\sigma\bar{\in}K\}.$$

基于 $\Sigma_{(x,y)}^0$, 定义控制函数ϕ

$$\phi(\sigma,x,y)=0,\ \text{iff}\ \sigma\in\Sigma_{(x,y)}^0.$$

显然,如此定义的控制器 $\mathbf{S}=(S,\phi)$ 是完备的. 下面证明 $L(\mathbf{S}/G)=K$. 对字长做归纳.

对 $\sigma\in\Sigma$, $\sigma\in K\Rightarrow\varepsilon\in K$ (K 是闭的) $\wedge\sigma\in L(G)$. 若 $\sigma\in\Sigma_{uc}$, 则 $\phi(\sigma,x_0,y_0)=1$;若 $\sigma\in\Sigma_c$, 则因 $\varepsilon\in K$, $\mu(\varepsilon,x)=x_0$, $h\cdot\delta(\varepsilon,q_0)=y_0$, $\varepsilon\sigma\in K$, 得 $\phi(\sigma,x_0,y_0)=1$(K的可观性及ϕ的定义).由于 $\varepsilon\in L(\mathbf{S}/G)$及 $\mathbf{S}$ 的完备性,得$\sigma\in L(\mathbf{S}/G)$. 另一方面, $\sigma\in L(\mathbf{S}/G)\Rightarrow\sigma\in L(G)\wedge\phi(\sigma,x_0,y_0)=1$. 若 $\sigma\in\Sigma_{uc}$ 则由K的可控性,得 $\sigma\in K$. 若 $\sigma\in\Sigma_c$,则 $\varepsilon\in K,\mu(\varepsilon,x_0)=x_0,h\cdot\delta(\varepsilon,q_0)=y_0,\phi(\sigma,x_0,y_0)=1$, $\Rightarrow\varepsilon\sigma\in K$,即$\sigma\in K$.

设对所有 s, $|s|\leqslant n$, $s\in L(\mathbf{S}/G)\Leftrightarrow s\in K$. 固定 s, $|s|=n$, 记 $x=\mu(s,x_0)$, $y=h\cdot\delta(s,q_0)$. 对$\sigma\in\Sigma$,$s\sigma\in K\Rightarrow s\sigma\in L(G)$. 若 $\sigma\in\Sigma_c$,则 $s\in L(\mathbf{S}/G)$($s\in K$ 及归纳假设). $\phi(\sigma,x,y)=1$ (由K的可观性ϕ的定义);若 $\sigma\in\Sigma_{uc}$, 则 $\phi(\sigma,x,y)=1$ 自然成立.得 $s\sigma\in L(\mathbf{S}/G)$ (由 $\mathbf{S}$ 的完备性). 另一方面,设 $s\sigma\in L(\mathbf{S}/G)$, 则 $s\in L(\mathbf{S}/G)$ 并且 $\phi(\sigma,x,y)=1$. 若 $\sigma\in\Sigma_{uc}$, 则由K的可控性及 $s\in K$, 得 $s\sigma\in K$; 若 $\sigma\in\Sigma_c$, 则 $s\in K$, $\mu(s,x_0)=x$, $h\cdot\delta(s,q_0)=y$, $\phi(\sigma,x,y)=1\Rightarrow s\sigma\in K$ (若不然, $s\sigma\bar{\in}K$, 则 $\sigma\in\Sigma_{(x,y)}^0$, $\Rightarrow\phi(\sigma,x,y)=0$).

由归纳原理, $L(\mathbf{S}/G)=K$. 证毕.

记 $B=\{K:K\subseteq L_0,\ K$是闭的、可控的、联合可观的$\}$. 文献[5]的反例表明，B中元素对集合并运算不封闭，因而一般地，控制系统的最优解不存在.

四、系 统 综 合

定义 4.1. 称 $K\subset L(G)$ 为联合可识别语言，若 $s\sigma\in L(G)$, $t\sigma\in K$, $P(s)=P(t)$, $h\cdot\delta(s,q_0)=h\cdot\delta(t,q_0)$, $\Rightarrow s\sigma\in K$.

命题 4.1. 设K是闭的、联合可识别的，则K是联合可观的.

证. 设 $s,s'\in K$, $s\sigma\in K$, $s'\sigma\in L(G)$, $P(s)=P(s')$, $h\cdot\delta(s,q_0)=h\cdot\delta(s',q_0)$, 往证 $s'\sigma\in K$.

因为 $s\sigma\in K, s'\sigma\in L(G)$, $P(s)=P(s')$, $h\cdot\delta(s,q_0)=h\cdot\delta(s',q_0)$, 所以 $s'\sigma\in K$ (K 是联合可识别的). 故K是联合可观的.

命题 4.2. 设 $K_\alpha(\alpha\in I)$ 是联合可识别的，则 $\bigcup\limits_{\alpha\in I}K_\alpha$ 是联合可识别的.

证. 设 $s\sigma\in L(G)$, $s'\sigma\in\bigcup K_\alpha$, $P(s)=P(s')$, $h\cdot\delta(s,q_0)=h\cdot\delta(s',q_0)$, 往证 $s\sigma\in\bigcup K_\alpha$.

由 $s'\sigma\in\bigcup K_\alpha$, $\exists\alpha\in I$, $s'\sigma\in K_\alpha$. 由 $s\sigma\in L(G)$ 及 K_α 的联合可识别性，得 $s\sigma\in K_\alpha$, $\Rightarrow s\sigma\in\bigcup K_\alpha$. 证毕.

根据命题 4.1 及 4.2，$B_0=\{K:K\subset L_0,\ K$是闭的、可控的、联合可识别的$\}$是B的子集，并且 B_0 对集合的任意并运算封闭，因而构成完全格，最大元 $\mathrm{Sup}B_0$ 存在. 通常将 $\mathrm{Sup}B_0$ 做为系统综合的次优解.

当状态观测 h 不提供信息时，$\mathrm{Sup}B_0$ 比文献[6]中的次优解更优. 当状态观测 h 提供信息时，$\mathrm{Sup}B_0$ 进一步优化了系统的性能(闭环行为语言更大).

下面提供的系统综合的另一方法，将给出满足要求并比 $\mathrm{Sup}B_0$ 更逼近目标语言 L_0 的闭可控、联合可观语言.

对语言 $K\subset\Sigma^*$, 定义算子 $\Omega:\Sigma^*\to\Sigma^*$:

$$\Omega(K)=K-\left\{\bigcup_{\sigma\in\Sigma}K\cap K\sigma\cap P_h[(L(G)-K)\cap K\sigma]\right\}\Sigma^*.$$

其中对 $L\subset\Sigma^*$, $P_h(L)$ 定义为

$$P_h(L)=\{s\sigma:\exists t\sigma\in L,\ P(s)=P(t),\ h\cdot\delta(s,q_0)=h\cdot\delta(t,q_0)\}.$$

在下面推导中，为方便起见，有时将 $\left\{\bigcup\limits_{\sigma\in\Sigma}K\cap K\sigma\cap P_h[(L(G)-K)\cap K\sigma]\right\}$ 简记为 $\{*\}$. 不难看出，$\Omega(K)\subseteq K$.

命题 4.3. 设K为闭语言，则 $\Omega(K)$ 是闭的且联合可观的.

证. 显然K是闭的. 为证联合可观性，令 $\sigma\in\Sigma$, s, $s'\in\Omega(K)$, $P(s)=P(s')$, $h\cdot\delta(s,q_0)=h\cdot\delta(s',q_0)$, $s\sigma\in\Omega(K)$, $s'\sigma\in L(G)$, 我们将证 $s'\sigma\in\Omega(K)$.

反证. 设 $s'\sigma\bar{\in}\Omega(K)$, 即 $s'\sigma\bar{\in}K$ 或 $s'\sigma\in\{*\}\Sigma^*$.

1) $s'\sigma\bar{\in}K$: 则，$s'\sigma\in L(G)-K$, $\Rightarrow s'\sigma\in(L(G)-K)\cap K\sigma(s'\in\Omega(K)\subseteq K)$. 又因 $P(s)=P(s')$, $h\cdot\delta(s,q_0)=h\cdot\delta(s',q_0)$, 故 $s\sigma\in P_h[(L(G)-K)\cap K\sigma]$. 而 $s\sigma\in$

$\Omega(K)\subseteq K \Rightarrow s\sigma\in K\cap K\sigma$ （K 是闭的）$\Rightarrow s\sigma\in K\cap K\sigma\cap P_h[(L(G)-K)\cap K\sigma]$，$\Rightarrow s\sigma\bar{\in}\Omega(K)$，矛盾.

2）$s'\sigma\in\{*\}\Sigma^*$:

a）若 s' 的前缀 $t\in\{*\}$，则 $s'\in\{*\}\Sigma^*$，$\Rightarrow s'\bar{\in}\Omega(K)$，与 $s'\in\Omega(K)$ 矛盾.

b）若 $s'\sigma\in\{*\}$，则 $s'\sigma\in P_h[(L(G)-K)\cap K\sigma]$，即 $\exists t\sigma\in(L(G)-K)\cap K\sigma$: $P(s')=P(t)$，$h\cdot\delta(s',q_0)=h\cdot\delta(t,q_0)$. 由于 $P(s)=P(s')=P(t)$，$h\cdot\delta(s,q_0)=h\cdot\delta(s',q_0)=h\cdot\delta(t,q_0)$，所以 $s\sigma\in P_h[(L(G)-K)\cap K\sigma]$，$\Rightarrow s\sigma\in\{*\}\Sigma^*$，$\Rightarrow s\sigma\bar{\in}\Omega(K)$，与 $s\sigma\in\Omega(K)$ 矛盾.

由 1),2) 得 $s'\sigma\bar{\in}\Omega(K)$ 不能成立，故 $s'\sigma\in\Omega(K)$.

系 4.1. 若K是闭的、联合可观的，则 $\Omega(K)=K$.

证．仅需证 $\{*\}=\Phi$. 事实上，若$\{*\}\neq\Phi$，则 $\exists s\sigma\in\{*\}$，即，$s\sigma\in K$ 且 $\exists t\sigma\in K\sigma$: $P(t)=P(s)$，$h\cdot\delta(t,q_0)=h\cdot\delta(s,q_0)$，$t\sigma\in L(G)$，$t\sigma\bar{\in}K$. 但$K$是闭的、联合可观的，$\Rightarrow t\sigma\in K$，与 $t\sigma\bar{\in}K$ 矛盾. 证毕.

命题 4.4. 若K是闭的、可控的，则 $\Omega(K)$ 也是闭的、可控的.

证．由于K是闭的，显然 $\Omega(K)$ 是闭的. 为证可控性，需证 $\Omega(K)\Sigma_{uc}\cap L(G)\subseteq\Omega(K)$. 若不然，$\exists s\in\Omega(K)$，$\sigma\in\Sigma_{uc}$，$s\sigma\in L(G)$，但 $s\sigma\bar{\in}\Omega(K)$. 即，$s\sigma\bar{\in}K$，或 $s\sigma\in\{*\}\Sigma^*$.

1）$s\sigma\bar{\in}K$: $s\in\Omega(K)\subseteq K$，$\sigma\in\Sigma_{uc}$，$s\sigma\in L(G)$，$\Rightarrow s\sigma\in K$（因为K是可控的），与 $s\sigma\bar{\in}K$ 矛盾.

2）$s\sigma\in\{*\}\Sigma^*$:

a）若 s 的前缀 $t\in\{*\}$，则 $s\in\{*\}\Sigma^*$，$\Rightarrow s\bar{\in}\Omega(K)$，与 $s\in\Omega(K)$ 矛盾.

b）若 $s\sigma\in\{*\}$，则 $s\sigma\in K\cap K\sigma\cap P_h[(L(G)-K)\cap K\sigma]$，$\Rightarrow s\sigma\in P_h[(L(G)-K)\cap K\sigma]$. 由于$K$是可控的，有 $(L(G)-K)\cap K\Sigma_{uc}=\Phi$，故 $(L(G)-K)\cap K\sigma=\Phi(\sigma\in\Sigma_{uc})$，$\Rightarrow P_h[(L(G)-K)\cap K\sigma]=\Phi$，$\Rightarrow s\sigma\in\Phi$，矛盾.

由以上讨论可知，$s\sigma\bar{\in}\Omega(K)$ 不能成立，故 $s\sigma\in\Omega(K)$. $\Omega(K)$ 的可控性得证.

证毕.

对给定目标语言 L_0，记 $C(L_0)=\{K:K\subseteq L_0$，$K$是闭的、可控的$\}$. 由文献[7]，$C(L_0)$ 对集合任意并运算封闭，为一完全格，最大元 $\mathrm{Sup}C(L_0)$ 存在. 文献[6]给出求解 $\mathrm{Sup}C(L_0)$ 的显式公式. 由命题 4.3 及 4.4，$\Omega(\mathrm{Sup}C(L_0))$ 给出一个闭的、可控的、联合可观的语言. 下面证明它比 $\mathrm{Sup}B_0$ 大.

对闭语言 L，记 $N(L)=\{K:K\subseteq L$，K是闭的、联合可识别的$\}$. 由命题 4.2，$\mathrm{Sup}N(L)$ 存在.

命题 4.5. $\mathrm{Sup}N(L)\subseteq L-[P_h(L(G)-L)]\Sigma^*$.

证．若不然，则 $\exists s\sigma\in\mathrm{Sup}N(L)$，但 $s\sigma\bar{\in}L-[P_h(L(G)-L)]\Sigma^*$. 即 $s\sigma\bar{\in}L$ 或 $s\sigma\in[P_h(L(G)-L)]\Sigma^*$.

1）若 $s\sigma\bar{\in}L$，则与 $s\sigma\in\mathrm{Sup}N(L)\subseteq L$ 矛盾.

2）若 $s\sigma\in[P_h(L(G)-L)]\Sigma^*$，则存在 $s\sigma$ 的前缀 $s'\sigma'\in P_h(L(G)-L)$，即 $\exists t\sigma'\in L(G)-L$: $P(s')=P(t)$，$h\cdot\delta(s',q_0)=h\cdot\delta(t,q_0)$. 由于 $\mathrm{Sup}N(L)$ 是闭的，故

$s'\sigma' \in \mathrm{Sup}N(L)$. 又由于 $\mathrm{Sup}N(L)$ 是可识别的，$t\sigma' \in \mathrm{Sup}N(L)$，$\Rightarrow t\sigma' \in L$. 但 $t\sigma' \in L(G) - L \Rightarrow t\sigma' \bar{\in} L$，矛盾.

故 $s\sigma \bar{\in} L - [P_h(L(G) - L)]\Sigma^*$ 不能成立，得 $s\sigma \in L - [P_h(L(G) - L)]\Sigma^*$，命题得证.

命题 4.6. $\Omega(\mathrm{Sup}C(L_0)) \supseteq \mathrm{Sup}B_0$.

证.
$$\begin{aligned}\Omega(\mathrm{Sup}C(L_0)) &= \mathrm{Sup}C(L_0) - \Big\{\bigcup_{\sigma\in\Sigma} \mathrm{Sup}C(L_0) \cap \mathrm{Sup}C(L_0)\sigma \cap P_h[(L(G) - \mathrm{Sup}C(L_0)) \\ &\quad \cap \mathrm{Sup}C(L_0)\sigma]\Big\}\Sigma^* \\ &\supseteq \mathrm{Sup}\,C(L_0) - \Big\{\bigcup_{\sigma\in\Sigma} \mathrm{Sup}C(L_0) \cap \mathrm{Sup}C(L_0)\sigma \cap P_h(L(G) \\ &\quad - \mathrm{Sup}C(L_0)\Big\}\Sigma^* \supseteq \mathrm{Sup}C(L_0) - P_h(L(G) - \mathrm{Sup}C(L_0))\Sigma^* \\ &\supseteq \mathrm{Sup}N(\mathrm{Sup}C(L_0)) \quad (\text{命题 4.5}) \\ &\supseteq \mathrm{Sup}N(\mathrm{Sup}B_0) \quad (\mathrm{Sup}C(L_0) \supseteq \mathrm{Sup}B_0) \\ &= \mathrm{Sup}B_0 \quad (\mathrm{Sup}B_0\ \text{是闭的、联合可识别的})\end{aligned}$$
证毕

本文得到何善堉研究员和郑应平研究员的指导，特表感谢.

参 考 文 献

[1] Ramadge, P. J. & Wonham, W. M., Supervisory Control of a Class of Discrete Event Processes. *SIAM J. Control and Optimization*, 25(1987), (1) 206—230.

[2] Eilenberg, S. Automatca, Languages and Machines, Vol. A, 1974, Academic Press, New York.

[3] Lin, F. and Wonham, W. M., On Observability of Discrete Event Systems, *Information Sciences*, 44(1988), 173—198.

[4] Fa Jinghuai et al., Formulas for a Class of Contorllable and Observable Sublanguages Larger than the Supremal Controllable and Normal Sublanguage Systems & Control Letters 20(1993), 11—18.

[5] Fa, J. H. and Zheng, Y P., On Bi-Observability of Discrete Event Systems, Proceedings of the 1991 IFAC Workshop on Discrete Event System Theory and Applications, 71—74.

[6] Brand, R. D. et al., Formulas for Calculating Supremal Controllable and Normal Sublanguages, *Systems Control Letters*, 15(1990), 111—117.

[7] Wonham, W. M. and Ramadge, P. J., On the Supremal Controllable Sublanguage of a Given Language, *SIAM J. Control and Optimization*, 25(1987), 637—659.

[8] Cieslak, R. et al., Supervisory Control of Discrete Event Processes with Partial Observations, *IEEE Trans. Automatic Control*, 33(1988), 249—260.

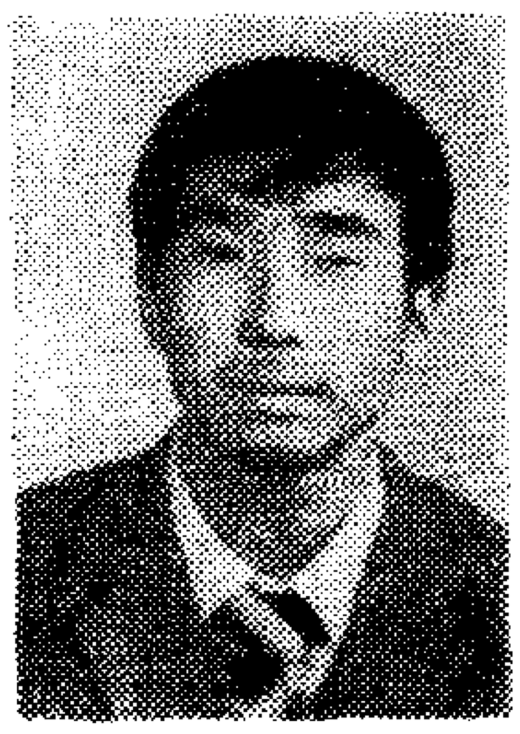
STATE COMPENSATOR FOR SUPERVISORY CONTROL OF DEDS

FA JINGHUAI
(Institute of Automation, Academia Sinica, Beijing)

ABSTRACT

Referring to [1], we discuss the supervisory control of DEDS with partial event and state information. With these combined information structure, we give some analysis and synthesis methods.

Key words: Discrete event dynamical systems; partial observation; controllability; observability.



法京怀 1959 年 3 月生. 1982 年在哈尔滨工业大学电气工程系获学士学位，1984 年在哈尔滨工业大学控制与计算机科学系获硕士学位. 1989 年在北京中国科学院自动化所获博士学位. 自 1990 年起，在中国科学院自动化所工作，继续主攻离散事件控制系统理论与应用研究. 现为中国自动化学会控制理论专业委员会委员.

(上接 384 页)

并对独立故障串并联系统和相依故障串并联系统进行了具体处理；第十五章初步介绍了人机系统可靠性概念、描述、模型、预测及设计；第十六章介绍了软件可靠性. 第十七章研究了计算机控制系统的可靠性问题. 分析计算机失效的原因和故障类别，指出了提高计算机可靠性的基本途径；第十八章介绍了故障诊断的一般方法.

此外，还在各章末给出习题，并在书尾给出习题答案，以及电子元器件通用失效率数据，以便于读者练习和在工作中使用. 本书将有助于广大工程技术人员进行系统设计以及使用和维护系统，同时也可作为高等院校有关专业的教科书或参考书.

姚增起(中国科学院自动化研究所)