

基于事件反馈的 DES 监控理论

颜文俊 孙优贤

(浙江大学工业控制技术研究所·杭州, 310027)

摘要: 本文首先综述了近年来基于事件反馈的 DES 监控理论取得的进展, 着重给出了几个主要研究方向的结果和存在的问题, 同时对这一理论的应用领域特别是在工业过程中的应用进行了讨论, 指出了今后的发展方向。

关键词: 离散事件系统; 形式语言与自动机; 监控; 能控性; 能观性; 最优解

1 前言

离散事件系统(DES)是一类无法用微分方程和差分方程描述的系统, 其动力学特征与连续变量系统是不同的, 系统的状态由一系列相互作用的离散事件驱动, 而状态的变迁又引发新事件的产生. 因此, 它具有下列特征: 1) 系统的状态只在离散时间上自发、瞬时地发生; 2) 异步和并发性; 3) 系统状态的变化具有不确定性.

自 Y. C. Ho^[1,2] 正式提出离散事件系统这一概念后, 它立即成为自动化和控制理论的热门的前沿学科, 受到国内外有关学者的重视, 并产生了大量的理论和方法, 如 Petri 网理论^[3,4]、极大极小代数方法^[5,6]、摄动方法^[1,2] 及 Wonham 和 Ramadge 的离散事件监控理论等. 关于这些理论的一般性综述可见[7, 8]. RW 监控理论是目前在逻辑层次上研究最普遍又最易理解的理论^[57], 其理论背景是源于计算机科学的形式语言, 被控的物理对象可用自动机建模, 系统的行为相当于一个语言发生器. 本文主要就 RW 理论框架下 DES 发展起来的基于离散事件反馈的理论和取得的结果进行评述, 对可能的发展方向作了一些预测.

2 监控理论的基本概念

RW 监控理论以自动机为模型, 形式上表示为一五元组:

$$G \triangleq (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m).$$

其中, Q 为有穷或无穷状态, Σ 为符号表, 即系统的事件集合, $q_0 \in Q$ 为初始状态, $Q_m \subseteq Q$ 为“标识”状态或“终止”状态, δ 为一部分转移函数, $\delta: \Sigma^* \times Q \rightarrow Q, \Sigma^*$ 为 Kleene 闭包, 即所有事件串的集合. 根据事件的属性, 可把它划分为可控事件和不可控事件、可观事件和不可观事件, 于是有

$$\Sigma = \Sigma_c \cup \Sigma_{uc} = \Sigma_o \cup \Sigma_{no}.$$

这样由 G 产生的语言可作如下定义:

$$L(G) \triangleq \{s: \delta(s, q_0) \text{ 有定义}, s \in \Sigma^*\},$$
$$L_m(G) \triangleq \{s: \delta(s, q_0) \text{ 有定义且 } \delta(s, q_0) \in Q_m\}.$$

在此框架下,语言的能控性和能观性可作如下定义:

能控性(Controllability)^[11,24] 语言 $K \subseteq L(G)$ 关于 $L(G)$ 和 Σ_{uc} 是能控的,当 $\bar{K}\Sigma_{uc} \cap L(G) \subseteq \bar{K}$.

式中, \bar{K} 表示 K 的前缀集合.

能观性(Observability)^[37] K 是能观的,如果对 $\forall s, s' \in \Sigma^*, P: \Sigma^* \rightarrow \Sigma_c^*, P(s) = P(s')$, 满足:

i) $(\forall \sigma), s\sigma \in \bar{K} \wedge s' \in \bar{K} \wedge s'\sigma \in L(G) \Rightarrow s'\sigma \in \bar{K}$;

ii) $s \in K \wedge s' \in \bar{K} \cap L_m(G) \Rightarrow s' \in K$;

iii) 上面两式交换仍成立.

关于能控性的判断问题已有一些结果^[20], 而关于能观性判断讨论得较少. 下面不加证明给出能控性和能观性的一些性质:

引理 1

- 1) K 能控当且仅当 \bar{K} 能控;
- 2) 若 K_1, K_2 能控, 则 $K_1 \cup K_2$ 能控, $K_1 \cap K_2$ 在 K_1, K_2 非冲突(nonconflicting) 或闭时能控;
- 3) 若 K 关于 (Σ_{uc}, L) 能控, $M \subseteq L$, 则 K 关于 (Σ_{uc}, M) 能控;
- 4) 若 K 关于 (Σ_{uc}, \bar{L}) 能控, L 关于 (Σ_{uc}, \bar{M}) 能控, 则 K 关于 (Σ_{uc}, \bar{M}) 能控.

引理 2

- 1) K 能观当 \bar{K} 能观;
- 2) 若 K_1, K_2 能观, 且 K_1, K_2 非冲突或闭, 则 $K_1 \cap K_2$ 能观;
- 3) 若 K 关于 L 能观, $M \subseteq L$, 则 K 关于 M 能观;
- 4) 若 K 关于 M 能观, M 关于 L 能观, 则 K 关于 L 能观.

能控和能观的概念和性质在监控理论中是非常基本和有用的.

监控的目的就是设计一监控器 $S = (S, \Phi)$, 通过对可控事件的“允许”和“禁止”的操作, 使系统的闭环行为满足预先规定的要求. 式中, S 为一自动机, $S = (X, \Sigma, \xi, x_0, X_m), \xi: \Sigma \times X \rightarrow X$, 对 $\forall \sigma \in \Sigma_{uc}, \xi(\sigma, x) = x; \Phi: \Sigma \times X \rightarrow \{0, 1\}$ 为一反馈映射, 满足

$$\Phi(\sigma, x) = \begin{cases} 1, & \text{若 } \sigma \in \Sigma_{uc}, x \in X, \\ \{0, 1\}, & \text{若 } \sigma \in \Sigma_c, x \in X. \end{cases}$$

于是得到具有闭环反馈结构的被控 DES S/G ,

$$S/G \triangleq Ac(\Sigma, X \times Q, (\xi \times \delta)^{\varphi}, (x_0, q_0), X_m \times Q_m).$$

式中, Ac 为自动机的能达部分, $(\xi \times \delta)^{\varphi}: \Sigma \times X \times Q \rightarrow X \times Q$, 定义如下:

$$(\xi \times \delta)^{\varphi} \triangleq \begin{cases} (\xi(\sigma, x), \delta(\sigma, q)), & \text{若 } \varphi(\sigma, x) = 1, \\ \text{无定义}, & \text{若 } \varphi(\sigma, x) = 0. \end{cases}$$

在所有讨论的系统中, 均假设监控器是确定性的, 且 S 对 G 是完备的, 即:

$$s \in L(S/G) \wedge s\sigma \in L(G) \wedge \varphi(\xi(s, x_0), \sigma) = 1 \Rightarrow s\sigma \in L(S/G).$$

于是, 监控问题就是在各种约束条件下, 寻找并构造适当的监控器. 事实上, 非确定性

自动机可以用相应的确定性自动机等价^[9,37],非完备性也是可以转化为完备的^[38].

3 监控理论的主要结果

3.1 监控问题(Supervisory Control)

监控器设计是 RW 理论的核心,其基本思想就是使被控系统的行为等于期望行为 K 或处于合法行为 A 和最小容许行为 E 之间,通俗地说,系统的行为可被看成一被逻辑时间(而非物理时间)隔离开的字符串 $s = \sigma_1\sigma_2\cdots\sigma_n$ 的集合,要求系统遵循的规则或约束也可用事件串来表示,这样,监控器的设计就是在逻辑层次上对形式语言的求解问题.自 Ramadge 和 Wonham^[11,24,61] 提出形式语言/自动机模型以来,已取得了很多成果.

定理 1^[11]

- 1) 令 $K \subseteq L(G)$ 为一合法语言,当且仅当 K 能控和闭时,存在监控器 S ,使 $L(S/G) = K$;
- 2) 令 $K \subseteq L_m(G)$ 为一标识语言,当且仅当 K 能控且为 $L_m(G)$ 闭时,存在监控器 S ,使 $L(S/G) = \bar{K}$, $L_c(S/G) = K$, 式中, $L_c(S/G) \triangleq L(S/G) \cap L_m(G)$.
- 3) 令 $\Phi \neq A \subseteq E \subseteq L_m(G)$, 当且仅当 $\sup C(E) \subseteq A$ 时,监控标识问题(SMP)有解, $A \subseteq L_m(S/G) \subseteq E$; 当且仅当 $\sup(C(E) \cap F(E)) \supseteq A$ 时,监控控制问题(SCOP)有解,即 $A \subseteq L_c(S/G) \subseteq E$. 式中, $C(L)$ 为 L 中能控子语言类, $F(L)$ 为 L 中关于 $L_m(G)$ 闭语言类.

在期望语言 K 不能满足可控的条件下,可用 K 中最大能控子语言 K^\dagger (即 $\sup C(K)$) 来逼近,这就是语言的逼近和优化方法^[24]; 当系统事件集只为部分能观时,有如下结论:

定理 2^[37,38]

- 1) $\Phi \neq K \subseteq L_m(G)$, 当且仅当 K 完全能控和完全能观时,存在监控器满足 $L_m(S/G) = K$;
- 2) $\Phi \neq A \subseteq E \subseteq L_m(G)$, 当且仅当 $\inf O(A) \subseteq \sup C(E)$ 时,存在监控器满足 $A \subseteq L(S/G) \subseteq E$, 式中 C, O 分别为闭能控与闭能观子语言类;
- 3) 令 $\Phi \neq K \subseteq L_m(G)$, $P: \Sigma^* \rightarrow \Sigma_c^* \cup \{e\}$, 当且仅当 K 是 $(P, L_m(G))$ 可识别时,存在监控器,使 $L_m(S/G) = K$;
- 4) 若 $K_1, K_2 \subseteq L_m(G)$, $\Phi \neq K_3 \subseteq L(G)$, $K_2 \subseteq K_3$, $K_3 = \bar{K}_3$, 当且仅当: K_1 为 (P, K_2) 可识别, $K_2 = K_3 \cap L_m(G)$, K_3 为 $(\Sigma_{nc}, L(G))$ 不变且 $(P, \Sigma_c, L(G))$ 能控, 则有监控器满足: $L_m(S/G) = K_1$, $L_c(S/G) = K_2$, $L(S/G) = K_3$.

可见,部分能观情形下的结论与全部能观的结论基本上是平行的,关键是引入了一个观测函数. 在事件部分能观的情况下,法京怀^[16,28] 通过引入状态观测器,构造了联合观测监控器,并得到如下结果:

定理 3

设 $\Phi \neq K \subseteq L(G)$, 当且仅当 K 闭、可控且是联合可观的,则存在一联合观测监控器 S , 满足 $L(S/G) = K$.

在监控器设计和实施中,总希望所设计的监控器是有限状态的. 当未被控系统 G 状态有限、期望行为是正规时,所设计的 S 可以是有限状态的标准自动机; 当期望行为是闭、能

控而 G 有无穷状态时,有限状态监控器是存在的^[20];如果 K 是能控非正规语言, G 的状态是无穷的,在一定条件下,仍存在有限状态的监控器 S ,使 $L_m(S/G) = K^{[22]}$;如果 K 非正规而描述 G 的自动机状态有穷,则有限状态监控器是不存在的.另外,如果期望行为 K 中存在无限长字符串,可引入 ω -语言概念设计监控器.^[21,53]

3.2 语言优化与算法

由于从实际系统中提炼出来的行为规则,如合法语言和最小容许语言常常无法满足监控器存在的条件,因而在监控器综合时,首先要使它们符合条件而又尽可能逼近给定的期望行为.逼近可以从包含和被包含两方面进行.这类语言的优化包括给定语言的极大能控子语言^[24],能观闭子语言^[11],能控能观闭子语言^[26,29],能控正态(Normal)闭子语言^[25],涉及分散监控的能控、联合能观语言^[35]以及基于事件、状态观测的能控、联合能观子语言^[27,28]等.其中有些解发现具有封闭形式^[25~27,29~30,64~66].在优化解存在的条件下,可以通过算子迭代的方法进行.由于采用迭代算法,因而算法的收敛性和计算的复杂性显得尤为重要.在语言正规的情况下,一个有效的方法是通过构造有限自动机^[24,36],其特点是能保证收敛,且计算量相对较小.另外,由于有限自动机与标记有向图可以等价,因此可利用图的方法进行语言的优化.文[69]研究了一类可终止过程的、基于图论的优化方法,[70]则用 $0/\infty$ 动态规划的方法对具有树状结构的极大能控子语言进行了研究.但有关封闭解的存在问题没有得到应有的重视.

3.3 分散监控(Decentralized Supervisory):

由于被控系统的复杂性和地域分布的原因,也为了减少监控器设计的复杂性,集中监控往往无法满足.在实际系统中,有时只能给出总体目标,要求通过各局部监控器对相应子系统实施监控,使闭环系统行为达到要求,如通讯协议问题,这是一种自上而下的设计方法,文[33,35,38]分别讨论了这种情况,给出了满足约束的监控器和协调器的存在条件;另外一种系统,如制造系统,只能给出局部的行为规则,使各局部监控器的综合指标达到总体要求,这是一种自下而上的方法,文[31,32]给出了在全局能观和局部能观的情况下,分散监控器存在的条件.这些结论,从不同角度说明了分散监控器的存在条件和设计方法,归纳起来,有

定理 4

1) 令 $P_i: \Sigma^* \rightarrow \Sigma_i^*$, G 关于局部合法语言类 $\{E_i\}$ 能控,则存在等效集中监控器,使 $L(S/G) = \sup C(L(G) \cap E)$, 其中 $E \triangleq \bigcap_i E_i \subseteq \Sigma^*$;

2) 对于所有 $i = 1, 2, \dots, n$, $P_i: \Sigma_i^* \rightarrow \Sigma_i^*$, $T_i: \Sigma^* \rightarrow \Sigma_i^*$, 令 $LO_i \triangleq \inf O(L/G) \cap T_i^{-1}A_i$, $LS_i \triangleq \sup C(L(G) \cap T_i^{-1}E_i)$, 则当 $LO_i \subseteq LS_i$, LO_i, LS_i 关于 T_i , $L(G)$ 是正态(Normal), 且 $\text{Ker}(P_i T_i) \leq \text{act}_{LO_i}$ 时, 有 $L(G) \cap (\bigcap_i T_i^{-1}A_i) \subseteq L(S/G) \subseteq L(G) \cap (\bigcap_i T_i^{-1}E_i)$. 此时存在协调监控器 S_i 使 $L_m(S_i/G_i) = K$ 当且仅当 K 关于 $L_m(G)$ 能控且能观.

定理 5

1) 令 $K_1, K_2 \subseteq L_m(G)$, $\Phi \neq K_3 = \bar{K}_3 \subseteq L(G)$, 则存在分散监控器 $S = \{S_i\}$, 使 $L_m(S/G)$

$= K_1, L_c(S/G) = K_2, L(S/G) = K_3$, 当且仅当 a) K_1 关于 $(\{P_i\}, K_2)$ 能识别; b) $K_2 = K_3 \cap L_m(G)$; c) K_3 关于 $(\Sigma_{uc}, L(G))$ 不变, 关于 $(\{P_i\}, \{\Sigma_{ic}\}, L(G))$ 能控.

2) 若 K 关于 $L(G)$ 能控且关于 P_i 联合能观, $P_i: \Sigma^* \rightarrow \Sigma_{ic}^*$, 则存在等效集中监控器使 $L_c(S/G) = K$; 若 $\emptyset \neq A \subseteq E \subseteq L_m(G), CO(A) \triangleq \{L: L \supseteq A, L \text{ 闭、能控且联合可观}\}$, 当且仅当 $\inf CO(A) \subseteq E$, 存在 S , 使 $A \subseteq L(S/G) \subseteq E$.

3.4 阻塞问题(Blocking Problem):

一般来说, 在设计监控器时, 我们都尽量避免阻塞的发生, 但在一些场合, 如操作系统、并发系统、分散仿真和建立分布模型时, 由于许多不可控事件的存在, 要建立这样一个监控器, 势必对闭环系统的行为约束过多, 因而, 人们希望取一种折衷的办法, 允许阻塞发生, 但一旦真的发生, 系统必须能够恢复. 阻塞大体可分为两种: deadlock 和 timestamping, 前者是系统进入某状态后无法继续执行, 除非有外部干预, 后者为监控器拒绝接受当前允许却未标识的事件. 文[36] 提出了衡量系统品质的两个度量:

$$SM(S) \triangleq L_c(S/G) \cap L_m(G) = L_c(S/G),$$

$$BM(S) \triangleq L(S/G) - \overline{L_c(S/G)}.$$

通过对阻塞函数的进一步分解, 又可分为内部阻塞和外部阻塞^[39,40], E. Chen 等对此作了深入的研究, 给出了带阻塞问题 SCPB 的求解步骤, 在已知一符合要求的监控器的情况下, 可分别通过一步改善和连续改善提高 BM 或者 SM 的指标, 文献[41] 基于图形处理给出了改善这两个指标的方法. 但是, 关于这类系统的整体优化问题, 仍未获得解决. 另外, 如何处理在部分能观事件情况下带阻塞监控器的设计, 由于问题的复杂性, 尚无研究结果.

3.5 监控器简约问题

对监控器进行简化是为了在保证完成相同的监控任务下, 使监控器的状态数目尽可能地少. 简化的理论基础是 Myhill-Nerode 等价关系定理^[9,10]. 已经提出的方法有状态覆盖法^[42]、状态划分法^[9,11] 和法京怀的最小能控事件集设置法^[43]. 最近, 蒋智平等^[44] 提出了一种基于映射的多项式时间算法, 它优于文献[42] 中计算具有指数增长的方法.

3.6 其它监控问题

尽管对 DEDS 监控理论的研究时间不长, 但至今它的研究范围已经相当广泛. 除了前面讨论的几个主题外, 还有带强迫事件的监控器设计问题^[45], DEDS 的递阶控制^[46~48], 监控系统的设计复杂性问题^[19,49], DEDS 的预测问题^[50], 实时 DEDS 的监控适应性^[51~55] 等等. 最近, Chung 等^[56] 提出了一种在线的 DEDS 监控策略 (Limited Lookahead Policies, 简称 LLP), 基本思想是根据若干步内未被控系统的的事件串, 通过预报、决策、修正、计算和控制五个步骤, 决定下一步的监控行为, 这一方法解决了一大类受控过程和期望行为自动机建模时遇到的困难 (如大系统、时变系统), 大大减轻了计算的复杂性. 另外, 与其它理论相同, 在监控理论的研究中有一个值得重视的趋势是, 许多别的 DEDS 方法已逐渐渗透到其理论中, 如 Petri 网理论^[23,57,58]、扰动分析方法^[50,59]、代数方法^[12,60] 都可以在该框架下得到应用.

当然, 由于问题的复杂性和自动机模型本身的缺陷, 上面的许多结论都是初步的, 深

刻的结果仍需大量的深入工作.例如,实时在线监控问题、监控系统对突发事件的抗干扰能力、耦合行为的分解等,都需要作进一步的研究.但因监控理论的思想方法与控制理论紧密相连,有很强的逻辑综合能力,因此,它有着广泛的发展前景.

3.7 应用问题

自从 DEDES 监控理论提出后,它就被广泛地应用于 FMS、生产调度系统、计算机通讯和数据库系统和交通调度网络中,目前它们仍然是监控理论的主要应用领域^[7,8,18,13~15].但随着理论研究的深入和发展,它对实际系统的处理能力进一步加强.在大型过程自动化领域中,一是大量要求进行监控的是开关量而非连续变量,二是许多系统具有分层结构,即上层具有运筹和调度的 DEDES 系统的特点,而下层则为被控的连续变量动态系统(CVDS),三是连续变量控制中经常会有大扰动进入,出现传感器或执行器的失灵,单纯依靠传统控制方法无法克服,急需新的理论指导.用 DEDES 的监控理论解决这些问题是可能的,这方面应用研究的主要困难在于被控过程的自动机建模和行为约束(即合法行为)的形式化.目前作者正结合国家八·五攻关项目“大型纸厂的计算机管理和控制系统”进行这方面的探索和研究^[34].

4 结 语

至此,我们对基于事件反馈的离散事件系统监控理论作了比较详细的综述,由于这方面的研究活跃,新思想、新方法不断涌现,因此文中所述远非完整.关于基于状态反馈的谓词演算方面的成果,可参见[61~63]及相关文献.

总之,RW 的监控理论体系是在逻辑层次上对 DEDES 进行建模和控制的方法,这一思想目前已取得了不少进展.但在实时监控、事件域划分、计算复杂性和定量分析以及应用领域拓广方面,仍需要做大量的工作.

参 考 文 献

- [1] Ho, Y. C. and Cassandras, C. G. . A New Approach for the Analysis of Discrete Event Dynamical Systems. *Automatica*, 1989, 29(6):700—714
- [2] Ho, Y. C. . Performance Evaluation and Perturbation Analysis of Discrete Event Dynamic Systems. *IEEE Trans. Automat. Contr.*, 1987, AC-32:563—572
- [3] Peterson, J. L. . *Petri Net Theory and the Modelling of Systems*. England Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 1981
- [4] Murata, T. . *Petri Nets: Properties, Analysis and Applications*. *Proc. of IEEE*, 1989, 77(4):541—580
- [5] Cohen, G. , et al. . A Linear System Theoretic View of Discrete Event Processes. *Proc. of 22nd IEEE CDC*, 1983, 1039—1044
- [6] Cohen, G. , et al. . Linear System Theoretic View of Discrete Event Processes and Its Use for Performance Evaluation in Manufacturing. *IEEE Trans. Automat. Contr.*, 1985, AC-30:210—220
- [7] 黄琳,秦化淑,郑应平,郑大钟. 复杂控制系统理论:构想与前景. *自动化学报*, 1993, 19(2):129—136.
- [8] 郑大钟,郑应平. 离散事件动态系统理论:现状与展望. *自动化学报*, 1992, 18(2):129—141
- [9] Hopcroft, J. , E. and Ullman, J. , D. . *Introduction to Automata Theory, Languages, and Computations*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1979

- [10] Eilenberg, S. Automata, Languages and Machines. New York: Academic, 1974
- [11] Ramadge, P. J. and Wonham, W. M. Supervisory Control of A Class Discrete Event Systems. *SLAM J. Control and Optimiz.*, 1987, 25(1):206—230
- [12] Inan, K. An Algebraic Approach to Supervisory Control. in Proc. 1990 Bilkent Conf. New Trends Comm. Contr. Signal Proc., North-Holland: Elsevier, 1990, 947—953
- [13] Ramadge, P. J. and Wonham, W. M. Supervision of Discrete Event Processes. Proc. 21st IEEE CDC, Dec. 1982, 3: 1228—1229
- [14] Wonham, W. M. A Control Theory for Discrete Event Systems. Ed. by Denham, M. J., Advanced Computing Concepts and Techniques in Control Engineering, F47:129—169
- [15] Wonham, W. M. and Ramadge, P. J. Modular Supervisory Control of Discrete Event Systems, *Math. Contr. Signals. Syst.*, 1988, 1(1):13—30
- [16] Fa, J. H., et al. On Bi-Observability of DES. Proc. of 1991 IFAC Workshop on DES, Theory and Application, 71—74
- [17] Lin, F., et al. Supervisor Specification and Synthesis for DES. *Int. J. Control.*, 1988, 48(1):321—332
- [18] Ramadge, P. J. and Wonham, W. M. The Control of Discrete Event Systems. *Proc. IEEE*, 1989, 77(1):81—98
- [19] Tsitsiklis, J. N. On the Control of Discrete Event Dynamical Systems. *Math. Contr. Signal. Syst.*, 1989, 2:95—107
- [20] Sreenivas, R. S. A Note on Deciding the Controllability of a Language K with Respect to a Language L. *IEEE Trans. Automat. Contr.*, 1993, AC-38:658—662
- [21] Kumar, R., et al. On Supervisory Control of Sequential Behaviors. *IEEE Trans. Automat. Contr.*, 1992, AC-37:1978—1985
- [22] Ushio, T. A Necessary and Sufficient Condition for the Existence of Finite State Supervisors in Discrete Event Systems. *IEEE Trans. Automat. Contr.*, 1993, AC-38:135—138
- [23] Sreenivas, R. S. and Krogh, B. H. On Petri Net Models of Infinite State Supervisors. *IEEE Trans. Automat. Contr.*, 1992, AC-37:274—277
- [24] Wonham, W. M. and Ramadge, P. J. On the Supremal Controllable Sublanguage of a Given Language. *SLAM J. Control and Optimization*, 1987, 25(3):637—659
- [25] Brandt, R. D., et al. Formulas for Calculating Supremal Controllable and Normal Sublanguages. *Syst. Contr. Lett.*, 1990, 15(2):111—117
- [26] Rudie, K. and Wonham, W. M. The Infimal Prefix-Closed and Observable Superlanguage of A Given Language. *Syst. Contr. Lett.*, 1990, 15(5):361—371
- [27] Fa, J. H. and Zheng, Y. P. Formulas for A Class of Controllable and Observable Sublanguage Larger than the Supremal Controllable and Normal Sublanguage. *Syst. Contr. Lett.*, 1993, 20:11—18
- [28] 法京怀. 离散事件动态系统的状态补偿观测控制. *自动化学报*, 1993, 19(3):300—305
- [29] Cho, H. and Marcus, S. I. On Supremal Languages of Classes of Sublanguages that Arise in Supervisor Synthesis Problems with Partial Observation. *Math. Contr. Signal. Syst.*, 1989, 2:47—69
- [30] Ramadge, P. J. A Note on the Fixpoint Characterization of Supremal Controllable Sublanguages. in Proc. 1987 Conf. Inform. Sci. Syst., Johns Hopkins Univ., Baltimon, MD, Mar. 1989
- [31] Lin, F. and Wonham, W. M. Decentralized Supervisory Control of Discrete Event Systems. *Infor. Sci.*, 1988, 44:199—224
- [32] Lin, F. and Wonham, W. M. Decentralized Control and Coordination of Discrete Event Systems. in Proc. 27th CDC, 1988, 1125—1130
- [33] 杨小军, 郑应平. 部分同步离散事件系统的分散监控. *自动化学报*, 1992, 18(6):728—732

- [34] 颜文俊. 离散事件动态系统的监控理论及其应用研究. 浙江大学博士学位论文, 1994, 4
- [35] Rudie, K. and Wonham, W. M. . Think Globally, Act Locally: Decentralized Supervisory Control. IEEE Trans. Automat. Contr. ,1992, AC-37:1692—1708
- [36] Lafortune, S. and Chen E. K. . The Infimal Closed Controllable Superlanguage and Its Application in Supervisory Control. IEEE Trans. Automat. Contr. , 1990, AC-35:398—405
- [37] Lin, F. and Wonham, W. M. . On Observability of Discrete Event Systems. Intor. Sci. , 1988, 44:173—198
- [38] Cieslak, R. , et al. . Supervisory Control of Discrete Event Processes with Partial Observations. IEEE Trans. Automat. Contr. , 1988, AC-33:249—260
- [39] Chen, E. K. and Lafortune, S. . Dealing with Blocking in Supervisory Control of Discrete Event Systems. IEEE Trans. Automat. Contr. , 1991, AC-36:724—735
- [40] Li, Y. and Wonham, W. , M. . Deadlock Issue in Supervisory Control of Discrete Event Sysrems. Proc. of 1988 Conf. Sci. Syst. , Princeton Univ. , Princeton, NJ, Mar. 1988, 57—63
- [41] Yang, X. J. and Zheng, Y. P. . A New Graph-Based Method Dealing with Blocking Control of Discrete Event Systems. Control Theory and Applications, 1993, 10(3):287—295
- [42] Vaz, A. F. . On Supervisor Reduction in Discrete Event Systems. Int. J. Control, 1986, 44(2):471—491
- [43] 法京怀. 形式语言/识别器上离散事件控制系统若干问题的研究. 中国科学院自动化所博士论文, 1989
- [44] Jiang, Z. P. and Wu, Z. M. . Optimization of Supervisor for a Given Discrete Event Ssystems. Control Theory and Applications, 1993, 10(3):271—277
- [45] Golaszewski, C. H. and Ramadge, P. J. . Control of Discrete Event Processes with Forced Events. Proc. of 26th. CDC. , Los Angeles, CA. , Dec. 1987, 247—251
- [46] Zhong, H. and Wonham, W. M. . Hierarchical Control of Discrete Event Systems. Proc. 1988 Conf. Infor. Sci. Syst. , Princeton Univ. , Princeton, NJ, 1988, 64—70
- [47] Zhong, H. and Wonham, W. M. . Hierarchical Control of Discrete Event Systems: Computation and Examples. Proc. 27th Annual Allerton Conf. Commu. Contr. Comput. , Univ. Illinois, 1989, 511—519
- [48] Zhong, H. and Wonham, W. M. . On the Consistency of Hierarchical Supervision in Discrete Event Systems. IEEE Trans. Automat. Contr. , 1990, AC-35:1125—1134
- [49] Tadmor, G. and Maimon, O. . Control of Large Discrete Event Systems: Constructive Algorithms. IEEE Trans. Automat. Contr. , 1989, AC-34 :1164—1168
- [50] Cao, X. R. . The Predicability of Discrete Event Systems. IEEE Trans. Automat. Contr. , 1989, AC—34:1168—1171
- [51] Li, Y. and Wonham, W. M. . On Supervisory Control of Real-Time Discrete Event Systems. Infor. Sci. , 1988, 46:159—183
- [52] 李勇华, 高为炳. 离散事件系统实时监控的性能适应性. 控制与决策, 1990, 4:1—5
- [53] Ramadge, P. J. . Some Tractable Supervisory Control Problems for Discrete Event Systems Modeled by Buchi Automata. IEEE Trans. Automat. Contr. , 1989, AC-34:10—19
- [54] Ostroff, J. S. and Wonham, W. M. . A Framework for Real-Time Discrete Event Control. IEEE Trans. Automat. Contr. , 1990, AC-35:386—397
- [55] Wong-Toi, H. and Hoffman, G. . The Control of Desce Real Time Discrete Event Systems. Proc. of 30th CDC, Brighton, England, Dec. 1991, 1527—1528
- [56] Chung, S. L. , et al. . Limited Lookahead Policies in Supervisory Control of Discrete Event Systems. IEEE Trans. Automat. Contr. , 1992, AC-37:1921—1935
- [57] Giua, A. and Dicesare, F. . Supervisory Design Using Petri Nets. Proc. of 30th CDC, Brighton, England, Dec. 1991, 92

- [58] Giua, A. and Dicesare, F. . Easy Synchronized Petri Nets as Discrete Event Models. Proc. of 29th CDC, Dec. 1990, 2839—2843
- [59] Chung, S. . Robust Distributed Control in Discrete Event Systems. Proc. of 29th CDC, 1990, 2851—2852
- [60] 李彦平, 王梅生, 徐心和. 基于有限自动机离散事件动态系统的代数分析与综合. 控制与决策, 1993, 8(2):129—134
- [61] Ramadge, P. J. and Wonham, W. M. . Modular Feedback Logic for Discrete Event Systems. SLAM J. Control and Optimization, 1987, 25(5):1202—1218
- [62] Li, Y. and Wonham, W. M. . Controllability and Observability in the State-Feedback Control of Discrete Event Systems. Proc. of 27th CDC, Austin, Texas, Dec. 1988, 203—208
- [63] Kumar, R. , et al. . Predicates and Predicate Transformers for Supervisory Control of Discrete Event Dynamical Systems. IEEE Trans. Automat. Contr. ,1993, AC-38:232—247
- [64] Kumar, R. , et al. . On Controllable and Normality of Discrete Event Dynamical Systems. Syst. and Contr. Lett. ,1991, 17:157—168
- [65] Cho, H. and Marcus, S. I. . Supremal and Maximal Sublanguages Arising in Supervisor Synthesis Problems with Partial Observations. Math. Systems Theory, 1989, 22:177—211
- [66] Kumar, R. , et al. . Supervisory Control of Discrete Event Systems; Supremal Controllable and Observable Languages. Proc. 1989 Allerton Conference, 501—510
- [67] Chen, E. , Lafortune, S. . On Nonconflicting Languages That Arise in Supervisory Control of Discrete Event Systems. Syst. Contr. Lett. , 1991, 17:105—113
- [68] Lin, F. , Brandt, R. D. and Wonham, W. M. . A Note on Supremal Controllable and Normal Sublanguages. Proc. of the 27th Annual Allerton Conference, 1989, 491—500
- [69] Sengupta, R. and Lafortune, S. . A Graph Theoretic Optimal Control Problem for Terminating Discrete Event Processes. Discrete Event Dynamical Systems; Theory and Applications, 1992, 2:139—172
- [70] Chung, S. L. and Lafortune, S. . Recursive Computable of Limited Lookahead Supervisory Controls for Discrete Event Systems. Discrete Event Dynamical Systems; Theory and Applications, 1993, 3:71—100

Supervisory Control of DEDES on Discrete Events

YAN Wenjun and SUN Youxian

(Institute for Industrial Automatic Control Technology, Zhejiang University · Hangzhou, 310027, PRC)

Abstract: This paper first surveys the development of supervisory control theory of DEDES on discrete events, then shows some important results in some main topics. At the same time, some typical applications especially in industrial process control have been discussed. Consequently, some developing trends are pointed out.

Key words: discrete event system; supervisory control; formal language and finite automata method; controllability; observability; supremal sublanguage

本文作者简介

颜文俊 1965年生. 1986年7月在浙江大学电机系获学士学位, 同年8月到温州大学电子工程系任教. 1990年2月在浙江大学获工学硕士后, 进入浙江大学工业控制技术研究所攻读博士. 目前主要研究兴趣为工业过程模型化及控制、

离散事件动态系统理论、复杂系统的智能化等。

孙优贤 1940年生,浙江大学教授,工业控制技术研究所所长,博士生导师,中国自动化学会常务理事,中国化工学会化工自动化委员会主任,1984年至1987年获德国洪堡研究奖学金,主要研究方向:复杂工业过程模型化及控制、容错控制及应用、鲁棒控制理论与应用、 H_∞ 控制理论的工程应用等。

1995年中国智能自动化学术会议 暨智能化专业委员会成立大会 征文通知

1995年中国智能自动化学术会议暨智能化专业委员会成立大会定于1995年8月28日至31日在天津大学召开,大会由中国自动化专业委员会、中国人工智能学会计算机视觉及智能控制学会、IEEE控制系统学会北京分会和天津大学主办,有关事宜如下:

一、征文范围

·智能自动化系统理论、方法和技术 ·神经网络控制 ·模糊控制 ·基于规则的控制
·分层递阶智能控制 ·学习控制 ·自适应控制 ·变结构控制 ·机器人规划与控制
·智能管理与决策 ·智能信息处理 ·智能通讯与网络 ·控制系统的智能设计 ·
智能制造 ·智能故障诊断 ·智能自动化仪表及传感器 ·智能自动化装置与执行机构
·智能控制的实现与应用 ·大系统及智能化 ·遗传算法 ·其它有关问题

二、论文要求

1. 在国内外杂志或会议上未发表过。
2. 篇幅一般不超过A4纸6页,具体格式请见所附清稿要求(见119页)。
3. 本次会议将评选出1—2篇优秀论文,除颁发获奖证书外,每篇获奖论文奖励人民币1000元。

三、关键日期

1. 1995年5月15日之前投送符合清稿要求的全文两份(不论录用与否,恕不退还)。
2. 1995年6月15日之前发出录用通知。

联系人:钱宗华

通信地址:北京清华大学计算机系 100084

电话:2594895, 2561144—2266(O) 2594448(H)

传真:2562463