文章编号: 1000-8152(2002)05-0689-04

离散事件动态系统的结构*

林怡青[1], 毛宗源[2]

(1. 广东工业大学 机电工程学院,广州 510090; 2. 华南理工大学 自动控制工程系,广州 510640)

摘要: 提出对离散事件动态系统的结构及组合规律进行研究的问题,提出离散事件动态系统结构的定义,提出子系统的两种组合方式并论证了相关的性能保持条件.利用系统的结构及组合规律,可以在建模过程中同时考虑控制需求,避免常规方法的分析困难和综合复杂性,大幅度减少系统分析和设计过程的开销,从而为离散事件动态系统监控理论的应用开拓新的途径.

关键词: 控制结构; 离散事件动态系统; 结构组合

中图分类号: TP273 **文献标识码**: A

Structure of the DEDS

LIN Yi-qing[1], MAO Zong-yuan[2]

(1. College of Mechanical & Electrical Engineering, Guangdong Industry University, Guangzhou 510090, China;

2. Department of Automatic Control Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The proposed subjects include structure of the DEDS (discrete event dynamic system), combination of different structure and the related principles. The structure of DEDS is defined. Two combination modes are proposed, and the conditions for consistent are formulated. With the knowledge of system structure and system combination, control requirement is considered in the process of system construction, and the complexity for system analyzing and synthesizing are reduced. Thereby, the expenses for system analysis and design can be reduced, and a new way is open to supervisory control of DEDS.

Key words: control structure; DEDS; structure combination

1 引言(Introduction)

由 Ramadge 和 Wonham 在 20 世纪 80 年代创立的离散事件动态系统的监控理论[1,2](以下简称 RW 理论)如今已经发展成为一个相当完整的体系[3,4].许多很有意义的结论如能控性、能观性、监控器存在性,以及在分层控制、分散控制、实时控制方面的许多研究成果都具有很大的理论和实用价值.与理论上的辉煌形成鲜明的对比,RW 理论在应用研究方面进展缓慢,主要困难有两方面,一是被控过程的自动机建模和行为约束的形式化,二是计算复杂性.实际系统的规模通常比较大,首先要正确定义所有状态和事件,如果出现一个错误,通过 shuffle 积的作用将影响到整个系统.其次要定义运行语言 $L(G)$ 和控制指标语言 K(或上限能控子语言),这本身就是很困难的,甚至是不可能的.然后还要进行计算复杂性很大的监控器综合.一系列的困难阻碍了 RW 理论的实用化进程.

迄今为止,绝大多数实际工作者构建系统、编写控制程序的依据仅仅是需求分析的结果,基本上没有控制特性方面的考虑.这已经导致不少问题,稍复杂的系统在调试过程中不但耗费巨大而且遗留不少隐蔽的错误.创造一种易于为广大实际工作者掌握和运用的系统构建方法不仅是 RW 理论走向实用化的关键问题,而且是提升我们工作的理性化水平、减少盲目性、提高工作效率的重要问题.

作者试图开展这方面的工作.采用的基本方法是:① 用 RW 理论证明某些基本结构的性能(定义 1、命题 1,2)及对应的基本监控器的结构;② 以这些基本结构和基本监控器为子系统,根据实用要求提出一些连接条件和连接方法(定义 2~4);③ 论证这些连接条件和连接方法所能保持的性能(命题 3~8).这样,我们就可以用基本结构为"砖石",以连接条件和方法为"黏结剂"来构筑系统大厦.只要构造过程完全按照已被严格论证过的规范,目标系统

* 基金项目:国家自然科学基金(59775081),广东省自然科学基金(960304)资助项目.
收稿日期:2000-02-23; 收修改稿日期:2001-12-10.

的相关性能就可以得到保证.在系统的结构设计完成时,还可以同时得到对应的自由运行语言和能控指标语言(它们是基本结构的自由运行语言和能控指标语言的某种组合).本文提出的方法可称为RW理论的构造性方法.

2 离散事件动态系统的结构(The structure of DEDS)

在RW理论中,离散事件动态系统用自动机模型 $G=(Q,\Sigma,\delta,q_0,Q_m)$ 描述.其中 Σ 为事件集,$\Sigma=\Sigma_c\cup\Sigma_u$,$\Sigma_c$ 是能控事件集,Σ_u 是不能控事件集,Q 为状态集,$\delta:Q\times\Sigma\to Q$ 为状态转移函数,q_0 为初始状态,Q_m 为标识状态集.确定系统控制特性的主要因素是 δ 在 Q 和 Σ 上的转移关系,由 δ 产生的语言描述系统的自由运行特征,记为 $L(G)$.

定义1[结构] 由有限自动机表示的离散事件动态系统

$$G=(Q,\Sigma_c\cup\Sigma_u,\delta,q_0,Q_m).$$

G 的结构由 Q,Σ_c 和 Σ_u 中元素的个数以及状态转移函数 δ 在这3个集合上的转移关系来定义,G 的结构记为 $J(G)=(Q,\Sigma_u,\Sigma_c,\delta)$.

例1 有3个 Q,Σ_c 和 Σ_u 元素数量分别相等的系统.

$$\begin{aligned}J(G_1):\ & Q_1=\{A,B\},\ \Sigma_{u1}=\{b\},\\ & \Sigma_{c1}=\{a,c\},\ \delta_1(A,a)\to B,\\ & \delta_1(B,c)\to B,\ \delta_1(B,b)\to A,\\ J(G_2):\ & Q_2=\{A,D\},\ \Sigma_{u2}=\{f\},\\ & \Sigma_{c2}=\{e,d\},\ \delta_2(A,d)\to D,\\ & \delta_2(D,e)\to D,\ \delta_2(D,f)\to A,\\ J(G_3):\ & Q_3=\{A,B\},\ \Sigma_{u3}=\{b\},\\ & \Sigma_{c3}=\{a,c\},\ \delta_3(A,a)\to A,\\ & \delta_3(A,b)\to B,\ \delta_3(B,c)\to B.\end{aligned}$$

其中 G_1 与 G_2 有对应的状态转移关系,因此具有相同的结构;而 G_1 与 G_3 的状态转移关系不同,因而结构不同.

命题1[无阻塞] 在例1中,如果采用相同的标识状态集 $Q_m=\{A\}$,G_1 与 G_2 满足无阻塞条件而 G_3 不满足此条件.

证 G_1 的运行特征为(ε 是空事件,上标 * 表示对应的事件可以不发生,也可以发生多次):$L(G_1)=(ac^*b)^*(ac^*+\varepsilon)$,标识运行特征为:$L_m(G_1)=(ac^*b)^*$;$G_2$ 的运行特征为:$L(G_2)=(de^*f)^*(de^*+\varepsilon)$,标识运行特征为:$L_m(G_2)=(de^*f)^*$;$G_3$ 的运行特征为:$L(G_3)=a^*(bc^*+\varepsilon)$,标识运行特征为:$L_m(G_3)=a^*$.因此有 $\overline{L_m(G_1)}=L(G_1)$,$\overline{L_m(G_2)}=L(G_2)$,$\overline{L_m(G_3)}\neq L(G_3)$.根据无阻塞定义[1,2],$G_1$ 与 G_2 无阻塞而 G_3 有阻塞.

可见,不同的系统结构有不同的自由运行特性.

已经证明了[5~7]:控制指标 $K_1=(ac^*b)^*$ 对于 G_1 能控;$K_2=(de^*f)^*$ 对于 G_2 能控.可以证明:对任意的 $K_1\subseteq L_m(G_1)$,$K_2\subseteq L_m(G_2)$,K_1 对于 G_1 能控,K_2 对于 G_2 能控.

命题2[能控性] 控制指标 $K_3=L_m(G_3)$ 对于 G_3 不满足能控性条件.

证 由于 $a^*b\cap L(G_3)=a^*b$ 而 $\overline{K_3}=a^*$,不满足 $\bar{K}\Sigma_u\cap L(G)\subseteq\bar{K}$ 的能控性条件.

可见,不同的系统结构有不同的受控性能.

定义1抽取了离散事件动态系统在运行和控制方面的共性,为按照不同的系统结构进行分类研究奠定了基础.对离散事件动态系统的结构进行研究主要有两方面的工作,一是深入了解每种结构的运行和控制特性,以便选用适当的结构进行系统设计;二是研究简单系统组成复杂系统的规律性,为大型系统的设计提供依据.下面主要讨论第二个问题.

3 离散事件动态系统的组合(Combination of the DEDSs)

定义2[组合结构] 离散事件动态系统 G_1 具有结构 $J_1=(Q_1,\Sigma_{u1},\Sigma_{c1},\delta_1)$,$G_2$ 具有结构 $J_2=(Q_2,\Sigma_{u2},\Sigma_{c2},\delta_2)$;如果 G 的结构 $J=(Q,\Sigma_u,\Sigma_c,\gamma)$ 满足 $\Sigma_u=\Sigma_{u1}\cup\Sigma_{u2}$,$\Sigma_c=\Sigma_{c1}\cup\Sigma_{c2}$,$Q=Q_1\cup Q_2$,则称 J 是 J_1 与 J_2 的组合结构,在不至于混淆的情况下也可称 G 是 G_1 与 G_2 的组合结构.

本文认为,对组合结构进行研究的关键问题是寻找恰当的 γ,使得:① 保持子系统的运行特性不变;② 保持子系统的控制特性不变;③ 保持子系统监控器存在性不变;④ 组合系统运行无阻塞;⑤ 组合系统能控;⑥ 对于组合系统存在相应的监控器.前面3个条件可称为连接保持条件,后3个条件可称为连接存在条件.本文仅提出两种组合方式并论证对应的连接保持条件和连接存在条件.在以下的讨论中,假定所有事件能观,所有子系统满足无阻塞、能控、监控器存在的条件,从初始状态出发的控制指标语言满足

$$K\subseteq L_m(G).$$

3.1 层次组合方式(Subordinate connection)

定义3[层次结构] 离散事件动态系统上层结

构 G_h 与下层结构 G_l,如果把 G_h 的能控事件定义为 G_l 的某标识运行事件串 $L_m(G_l)$,则称 G_h 与 G_l 构成层次结构.

例 2

G_1: $Q_1 = \{A, B\}$, $\Sigma_{u1} = \{b\}$, $\Sigma_{c1} = \{a, c\}$,

$L(G_1) = (ac^* b)^*(ac^* + \varepsilon)$,

$L_m(G_1) = (ac^* b)^*$,

G_2: $Q_2 = \{B, C\}$, $\Sigma_{u2} = \{f\}$, $\Sigma_{c2} = \{e, d\}$,

$L(G_2) = (de^* f)^*(de^* + \varepsilon)$,

$L_m(G_2) = (de^* f)^*$.

若有 G_1 与 G_2 的组合结构 $J = (\{A, B, C\}, \{b, f\}, \{a, c, d, e\}, \gamma)$, $L(G) = (a(de^* f)^* b)^*(a(de^* f)^* + a(de^* f)^* de^* + \varepsilon)$, 由定义可知 G_1 与 G_2 构成层次结构.

定义 3 实际上规定了一个特殊的 γ,使得下层嵌入上层的某个能控事件中.

命题 3[无阻塞] 由 G_1 与 G_2 按照层次结构构成的系统 G 无阻塞.

证 由于 $L_m(G) = (a(de^* f)^* b)^*$, 所以有 $\overline{L_m(G)} = (a(de^* f)^* b)^*(a(de^* f)^* + a(de^* f)^* de^* + \varepsilon = L(G)$, 因而满足无阻塞条件.

命题 4[能控性] 由 G_1 与 G_2 按照层次结构构成的系统 G,若原来的控制指标为 $K_1 = (ac^* b)^*$, $K_2 = (de^* f)^*$,则控制指标 $K = (a(de^* f)^* b)^*$ 对于 G 能控.

证 引入 Σ^*(Σ 上所有有限串组成的集合)上的等价关系 $R = \{(s, s') \mid q(s) = q(s'), s \in \Sigma^*\}$, 其中 $q(w) = q'$ 是经历了事件串 w 后到达的状态,则 K 的闭包划分为 3 个等价类 $(a(de^* f)^* b)^*$, $(a(de^* f)^* b)^* a(de^* f)^*$, $(a(de^* f)^* b)^* a(de^* f)^* de^*$.

对于等价类 $(a(de^* f)^* b)^*$, 有

$$(a(de^* f)^* b)^* b \cap L(G) = \Phi$$

和

$$(a(de^* f)^* b)^* f \cap L(G) = \Phi.$$

对于等价类 $(a(de^* f)^* b)^* a(de^* f)^*$, 有

$$(a(de^* f)^* b)^* a(de^* f)^* f \cap L(G) = \Phi$$

和

$$(a(de^* f)^* b)^* a(de^* f)^* b \cap L(G) \subseteq \bar{K}.$$

对于等价类 $(a(de^* f)^* b)^* a(de^* f)^* de^*$, 有

$$(a(de^* f)^* b)^* a(de^* f)^* de^* b \cap L(G) = \Phi$$

和

$$(a(de^* f)^* b)^* a(de^* f)^* de^* f \cap L(G) \subseteq \bar{K}.$$

因此, K 与 G 满足能控性条件[1,2].

已经证明了[5~7]存在使 $L(S_1/G_1) = K_1$ 的监控器 S_1,存在使 $L(S_2/G_2) = K_2$ 的监控器 S_2.

命题 5[监控器存在性] 由 G_1 与 G_2 按照层次结构构成的系统 G,如果满足命题 4 的条件,则存在使 $L(S/G) = K = (a(de^* f)^* b)^*$ 的监控器 S.

证 按等价关系 R 把 K 的闭包划分为 3 个等价类,其中

$$(a(de^* f)^* b)^* \cap L_m(G) = K,$$

$$(a(de^* f)^* b)^* a(de^* f)^* \cap L_m(G) = \Phi,$$

$$(a(de^* f)^* b)^* a(de^* f)^* de^* \cap L_m(G) = \Phi,$$

满足 $\bar{K} \cap L_m(G) = K$. 因而存在使 $L(S/G) = K$ 的监控器 S.

同理可以证明对于其它的控制指标 $K_1 \subseteq L_m(G_1)$, $K_2 \subseteq L_m(G_2)$ 同样有命题 4 和命题 5 的结论.

进一步可以证明,把 G_1 的另一个能控事件 a 定义为 $L_m(G_2)$ 中的事件串或者把 G_1 的两个能控事件都定义为 $L_m(G_2)$ 中的事件串,同样可以得到命题 3 至命题 5 的结论.

注意到命题 4 中的控制指标也采用定义 3 的连接方式,可以得到如下结论:当控制指标采用与运行结构相对应的组合构造方式时,对于 $K_1 \subseteq L_m(G_1)$, $K_2 \subseteq L_m(G_2)$, 层次组合方式满足连接保持条件和连接存在性条件.

3.2 并列组合方式(Juxtaposed connection)

定义 4[并列结构] 由 n 个系统 $G_i = (Q_i, \Sigma_i, \delta_i, q_0 \in Q_{mi}, Q_{mi})$, $i = 1, 2, \cdots, n$ 在 q_0 处重叠组成系统 G,如果 G 具有结构 $J = (Q, \Sigma_u, \Sigma_c, \gamma)$,其中 $Q = \bigcup Q_i$, $\Sigma_u = \bigcup \Sigma_{ui}$, $\Sigma_c = \bigcup \Sigma_{ci}$, $i = 1, 2, \cdots, n$, γ 定义的标识运行特征为 $L_m(G) = (s_1^* s_2^* \cdots s_n^*)^*$, $s_i \in L_m(G_i)$,则称 G_i, $i = 1, 2, \cdots, n$ 构成并列结构 G.

例 3 由

$G_i = (\{A, B_i\}, \{a_i, b_i, c_i\}, \delta_i, A, \{A\})$,

$\Sigma_{ui} = \{b_i\}$, $\Sigma_{ci} = \{a_i, c_i\}$, $L(G_i) = (a_i c_i^* b_i)^*(a_i c_i^* + \varepsilon)$,

$L_m(G_i) = (a_i c_i^* b_i)^*$, $i = 1, 2, \cdots, n$

构成的并列结构所对应的运行特性为:

$$L(G) = ((a_1 c_1^* b_1)^*(a_2 c_2^* b_2)^* \cdots (a_n c_n^* b_n)^*)^* (a_1 c_1^* + a_2 c_2^* + \cdots + a_n c_n^* + \varepsilon),$$

$$L_m(G) = ((a_1 c_1^* b_1)^*(a_2 c_2^* b_2)^* \cdots (a_n c_n^* b_n)^*)^*.$$

命题 6[无阻塞] 易于证明. 例 3 所定义的并列结构 G 无阻塞.

命题 7[能控性] $K=((a_1c_1^*b_1)^*(a_2c_2^*b_2)^*\cdots(a_nc_n^*b_n)^*)^*$ 对于 G 能控.

证 按等价关系 R 把 K 的闭包划分为 $n+1$ 个等价类 $((a_1c_1^*b_1)^*(a_2c_2^*b_2)^*\cdots(a_nc_n^*b_n)^*)^*$, $((a_1c_1^*b_1)^*(a_2c_2^*b_2)^*\cdots(a_nc_n^*b_n)^*)^*a_ic_i^*$, $i=1,2,\cdots,n$.

对于等价类 $((a_1c_1^*b_1)^*(a_2c_2^*b_2)^*\cdots(a_nc_n^*b_n)^*)^*$,有 $((a_1c_1^*b_1)^*(a_2c_2^*b_2)^*\cdots(a_nc_n^*b_n)^*)^*b_i\cap L(G)=\Phi$, $i=1,2,\cdots,n$; 对于其余等价类,有

$$((a_1c_1^*b_1)^*(a_2c_2^*b_2)^*\cdots(a_nc_n^*b_n)^*)^*a_ic_i^*b_j\cap L(G)=\Phi,\ i\neq j$$

和

$$((a_1c_1^*b_1)^*(a_2c_2^*b_2)^*\cdots(a_nc_n^*b_n)^*)^*a_ic_i^*b_j\cap L(G)\subseteq\bar{K}.$$

因此, K 对于 G 满足能控性条件.

命题 8[监控器存在性] 满足命题 7 条件的并列系统,存在使 $L(S/G)=K$ 的监控器 S.

证 对于命题 7 的 $n+1$ 个等价类,有

$$((a_1c_1^*b_1)^*(a_2c_2^*b_2)^*\cdots(a_nc_n^*b_n)^*)^*a_ic_i^{**}\cap L_m(G)=\Phi,\ i=1,2,\cdots,n$$

和

$$((a_1c_1^*b_1)^*(a_2c_2^*b_2)^*\cdots(a_nc_n^*b_n)^*)^*\cap L_m(G)=K.$$

因而存在使 $L(S/G)=K$ 的监控器 S.

同理可以证明,对于其他控制指标,只要满足 $K_i\subseteq L_m(G_i)$, $i=1,2,\cdots,n$,同样有命题 7 和命题 8 的结论.

注意到命题 7 中的控制指标也采用定义 4 的连接方式,可以得到如下结论:当控制指标采用与运行结构相对应的组合构造方式时,对于 $K_i\subseteq L_m(G_i)$, $i=1,2,\cdots,n$,并列组合方式满足连接保持条件和连接存在性条件.

注意到定义 3 中的 G_l 只需具有标识运行语言 $L_m(G_l)$,定义 4 中的子系统只需具有标识运行语言 $L_m(G_i)$,可以把并列结构作为层次结构的下层,也可以把层次结构作为并列结构的子系统,从而把系统的组合方式推广至并列连接方式和层次连接方式的任意有限次组合.

4 应用示例(An example)

仅通过一个简单例子说明用构造性方法进行系统设计的过程,该例仅涉及两个状态 3 个事件的基本结构(例 1 中的 G_1 与 G_2).设某机床能加工 3 类不同形状的零件,如果令 a_i 表示第 i 种零件到达的事件、c_i 表示对第 i 种零件进行处理的事件、b_i 表示第 i 种零件处理完毕的事件,上层结构可以采用 $n=3$ 的并列组合方式,

$$L(G)=((a_1c_1^+b_1)^*(a_2c_2^+b_2)^*(a_3c_3^+b_3)^*)^*\cdot(a_1c_1^++a_2c_2^++a_3c_3^++\varepsilon),$$

$$K=((a_1c_1^+b_1)^*(a_2c_2^+b_2)^*(a_3c_3^+b_3)^*)^*.$$

上标 + 表示对应的事件至多只发生一次.零件的处理又包含用夹具固定和切削加工两个步骤,显然应该作为零件处理的下层结构.按照层次组合方式的规定,可以把 c_i 定义为下层结构的一个执行循环.通过定义下层事件: d_i 表示对夹具状态进行测试, e_i 表示对毛坯进行加工, f_i 表示放弃加工或加工完成,可以容易地把系统扩展为

$$K=((a_1(d_1e_1^+f_1)^+b_1)^*(a_2(d_2e_2^+f_2)^+b_2)^*\cdot(a_3(d_3e_3^+f_3)^+b_3)^*)^*.$$

扩展后的系统只有在夹具正常且空闲的情况下才对零件进行加工.对于复杂的加工工艺,只要可以分解为一系列具有并列和层次关系的事件,上述扩展过程就可以一直进行下去.设计人员只需知道如何选择基本结构、允许在什么地方进行扩展、采用什么连接方式进行连接,而不必了解 RW 理论的深奥知识.只要按照连接保持条件和连接存在性条件来构筑系统,无须担心出现系统运行和控制方面的问题.在系统的结构设计完成之际,还可以得到显式表示的自由运行语言和能控指标语言.

5 结束语(Conclusion)

本文提出 RW 理论的构造性方法,对离散事件动态系统的结构进行了研究.提出离散事件动态系统结构的定义、组合结构的定义、连接保持条件和连接存在条件的定义.提出并论证了层次组合方式和并列组合方式,论证了这两种连接方式满足连接保持条件和连接存在性条件,提出并论证了由并列连接方式和层次连接方式经有限次组合构成的结构满足连接保持条件和连接存在性条件.

有了系统结构和组合规律的知识,不仅可以大幅度减少系统分析和设计的开销,而且可以在系统的设计阶段同时考虑系统的运行和控制问题,从而保证最终系统的一系列预定特性.作者构建的两个系统都采用了本文提出的构造性方法[6,7].要完整地解决子系统的组合问题还要研究监控器的连接,将另文阐述.

(下转第 698 页)

由图1,2可知,通过采用直接自适应模糊鲁棒控制,使系统的输出对输入实行了跟踪,模糊逼近误差、外部干扰和输入对输出的交叉耦合对系统的影响都被有效地衰减到了给定的水平,系统的鲁棒性较好.

5 结论(Conclusion)

对于式(1)描述的一类未知非线性MIMO系统,采用本文提出的直接自适应模糊鲁棒控制方法进行控制,可使系统全局稳定,输出跟踪参考输入信号.可使模糊逼近误差、外部干扰和输入对输出的交叉耦合对跟踪误差的影响衰减到给定的水平,系统的鲁棒性较好.

加权因子 r 与衰减水平常数 ρ 有关.从理论上讲,对于一个任意小的 ρ,都可以选择一个加权因子 r,使 $r \leqslant 2\rho^2$.但随着 r 的减小,控制量 u 增大,控制能量增加.所以实际应用中要在控制量 u 的幅度与 H_∞ 跟踪性能指标之间作折衷处理.为确保系统稳定,必须对控制信号 u 限幅,限幅值按(32)式进行估算.

参考文献(References)

[1] Tong Shaocheng, Chai Tianyou. Robust adaptive fuzzy control for a class of multivariable nonlinear dynamic systems [J]. Acta Automatica Sinica, 2000, 26(1): 630 – 636

[2] Tong Shaocheng, Tang Jiantao, Wang Tao. Fuzzy adaptive control of multivariable nonlinear systems [J]. Fuzzy Sets and systems, 2000, 111(2): 153 – 167

[3] Liu Chenchung, Chen Fuchuang. Adaptive control of nonlinear continuous-time syetems using neural networks-general ralative degree and MIMO cases [J]. Int. J. Control, 1993, 58(2): 317 – 335

[4] Zhang Youan, ZHou Shaolei, Cui Pingyuan, et al. CMAC neural network based adaptive feelback linearization for MIMO nonlinear System [J]. Control and Decision, 2000, 15(1): 83 – 85

[5] Wang Lixin. Stable adaptive fuzzy control of nonlinear systems [J]. IEEE Trans. Fuzzy Systems, 1993(2): 146 – 155

[6] Anderson B D O, Moore J B. Optimal Control: Linear Quadratic Methods [M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1990

本文作者简介

刘国荣 1957年生.1984年湖南大学自动化专业研究生毕业,获硕士学位,现为西安交通大学系统工程研究所博士研究生.现任湖南工程学院院长,教授.目前从事自适应控制,模糊控制和计算机实时控制等研究工作.

万百五 见本刊2002年第1期第79页.

(上接第692页)

应该指出,本文所提出的基本结构及组合方式仅是最基本的,构造性方法的表达能力将随着更多基本结构和更多连接方法的提出不断得到加强.

参考文献(References)

[1] Ramadge P J, Wonham W M. Supervisory control of a class of discrete event processes [J]. SIAM J. Control and Optimization, 1987, 25(1): 206 – 229

[2] Ramadge P J G, Wonham W M. The control of discrete event systems [J]. Proceedings of the IEEE, 1989, 77(1): 81 – 97

[3] Hu Baosheng, Chen Haoxun. Develop trend of discrete event systems [J]. Control Theory and Applications, 1992, 9(3): 325 – 327 (in Chinese)

[4] Zheng Yingping. Progress in discrete event system theory and application [J]. Control and Decision, 1996, 11(2): 233 – 241 (in Chinese)

[5] Lin Yiqing. Distributed structure and motion planing for autonomous robots [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 1998 (in Chinese)

[6] Lin Yiqing, Zheng Shixiong, Su Shusan. Control structure for distributed manufacture system [J]. Industrial Engineering Journal, 1998, 1(2): 14 – 18 (in Chinese)

[7] Lin Yiqing, Mao Zongyuan, Zhou Qijie. Structure of the functional unit for autonomous robots [J]. Control Theory and Applications, 2000, 17(1): 99 – 101 (in Chinese)

本文作者简介

林怡青 1951年生.博士,教授.研究领域:机器人学,复杂系统控制,计算机网络. Email: linyq@163.net

毛宗源 见本刊2002年第1期第56页.