

一类动态联盟组织的结构及运行保障

林怡青¹, 陈 玮², 郑时雄³, 毛宗源⁴

(1. 广东工业大学 机电工程学院, 广东 广州 510090; 2. 广东工业大学 自动化学院, 广东 广州 510090;
3. 华南理工大学 机电工程系, 广东 广州 510640; 4. 华南理工大学 自动控制工程系, 广东 广州 510640)

摘要: 结合具体对象提出了在不断变化的一类动态联盟运行结构中保持系统受控性能连续性和一致性的一种解决方案; 根据离散事件动态系统监控理论的构造性方法, 提出了规范化的联盟构建和重组的操作方法及对应的计算机描述; 提出动态联盟运行可靠性保障的概念和组成, 把技术和人文两个方面紧密联系起来, 为动态联盟的组建、重组和运行提供了一种有效的方法。

关键词: 敏捷制造; 虚拟企业; 离散事件动态系统; 控制结构

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A

Structure and performance security system for a class of virtual enterprise

LIN Yi-qing¹, CHEN Wei², ZHENG Shi-xiong³, MAO Zong-yuan⁴

(1. College of Mechanical & Electrical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou Guangdong 510090, China;
2. College of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou Guangdong 510090, China;
3. Department of Mechanical & Electrical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640, China;
4. Department of Automatic Control Engineering, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640, China)

Abstract: A scheme based on a class of virtual enterprise for retaining system performance (controllability, observability, consistency, etc.) while changing the structure is proposed. With the constructional method of the discrete event dynamic systems (DEDS), a formal operation technique for alliance construction and reconstruction is proposed, and the corresponding computer representations are worked out. The concept and the composition of performance security system are proposed, in which technologies and humanities are combined to provide an effective method for alliance construction and reconstruction.

Key words: agile manufacturing; virtual enterprise; discrete event dynamic system(DEDS); control structure

1 引言(Introduction)

敏捷制造已经被证明是提高我国制造业在国际市场上竞争能力最迅速的方式。在广东珠江三角洲地区,大量的中小企业正在通过各种方式参与国际市场竞争,其中的相当部分实际上已经以动态联盟的方式进行运作。这些企业规模不大,数量较多,互相之间有一定的相似性,联盟以订单驱动方式组织生产。这些特点反映到联盟的组织结构,就是重组频繁。对应同一种市场需求,根据生产和销售情况的变化需要反复进行系统重组和生产调度动态重规划。当联盟发展到一定规模的时候,系统的能控性、能观性等品质在不断变化的组织结构中能否保持一致性和连续性成为关系联盟成败的重要问题。如何借助理论的力量,寻找解决问题的方法,成为当前迫切的任务。

从系统运行控制的角度看,该类联盟体的运行结构必须满足: 1) 对于具体的生产控制需求满足能控能观等控制要求; 2) 具有开放性,能随时增加或减少子系统的数量; 3) 系统的受控性能在不断变化的结构中保持一致性和连续性。在系统实施时要解决; 4) 前述需求由自动流程实现,以保证系统重组的效率,减少错误; 5) 把系统运行控制方面的人为因素分离出来,作为责任界定条款。本文针对上述类型的动态联盟组织需求,以离散事件动态系统监控理论为工具,结合具体的对象,提出一种规范化的解决方案。

2 离散事件动态系统的结构与控制(Structure and control of DEDS)

从控制角度观察,联盟组织的运作属于离散事件动态系统(DEDS)。对于离散事件动态系统控制方

面的问题,经典的理论是由 Ramadge 和 Wonham 创立的离散事件动态系统的监控理论^[1,2]. 在该理论中,离散事件动态系统的运行用有限自动机 $G = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m)$ 来描述. 其中 Σ 为事件集, $\Sigma = \Sigma_c \cup \Sigma_u$, Σ_c 是能控事件集, Σ_u 是不能控事件集, Q 为状态集, $\delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q$ 为状态转移函数, q_0 为初始状态, Q_m 为标识状态集.

在本文中事件的物理意义是生产活动. 所谓能控事件是指可以允许也可以阻止其发生的事件,例如某个工作流程的开始;所谓不能控事件是指不能(或无须)通过控制方式阻止其发生的事件,例如设备失效、工作流程的正常结束等事件. 状态集和状态转移函数描述的是系统的运行逻辑,例如,一个简单的系统可以只有两个状态:待料和加工. 状态转移函数为:在待料状态下如果发生了进料的事件则转移到加工状态,在加工状态下如果发生材料用完的事件则转移到待料状态. 初始状态是指系统启动时的状态,标识状态通常指进入和退出不同功能所必经的特殊状态. 根据离散事件动态系统的监控理论,一个系统的能控性可以从它的结构以及所要进行的控制来判断. 用公式来表示就是^[1,2]

$$\bar{K}\Sigma_u \cap L(G) \subseteq \bar{K}. \quad (1)$$

其中 $L(G)$ 表示定义在事件集和状态集上的状态转移函数可能产生的所有事件序列,用 ϵ 表示“空”事件(就是什么也没发生),上标“*”表示可能不发生也可能发生多次的事件,对应上述的简单系统可以用式(2)来表示所有可能发生的事件序列:

$$L(G) = (\sigma_1 \sigma_{10}^* u_1)^* (\sigma_1 \sigma_{10}^* + \epsilon). \quad (2)$$

其中事件 σ_1 表示进料, σ_{10} 表示加工, u_1 表示材料用完或任务完成. 用图形来表示可以画成图1,状态 X_0 表示待料, X_1 表示加工. $L(G)$ 称为系统的自由运行特性.

K 表示控制目标,体现生产调度的具体要求. 例如,某项生产任务必须按照 $acbacb \cdots$ 的序列进行, K 就可以写为

$$K = (ac^+ b)^*. \quad (3)$$

其中上标“+”表示对应事件只发生一次.

对于任何一个具体的离散事件动态系统,如果可以写出它的自由运行特性和控制指标,就可以通过式(1)来检验其能控性. 只有能控的指标才是可以实现的生产计划. 根据这个原理,可以在组盟或重组时对系统的结构进行迅速的规划,在进行调度之前检验目标的可行性,从而提高工作的理性化水平,增强驾驭复杂系统的能力.

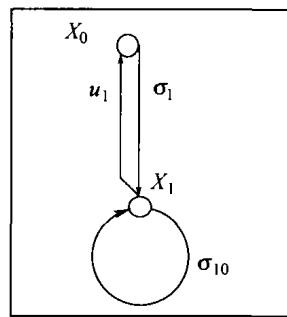


图1 例1的系统结构

Fig. 1 Systems structure of example 1

3 一个实例(An example)

3.1 系统构建(System construction)

本文的对象是一个与三种类型的企业相关的联盟. 第一种类型仅用式(2)就可以描述,负责一类过程简单的半成品加工;另一种类型是劳动密集型企业,生产过程可以用3个并列的结构(分别用式(2)定义)来描述,它们是同时进行的,开始时间受制于同一个事件,就是集装箱到岸;第三种类型的企业体现核心能力,生产一种特殊部件,生产过程由具有严格先后次序的3个工序组成. 联盟级的运行逻辑可以采用图2的结构. 图中 σ_3 表示集装箱到达的事件,导致系统转移到状态 X_3 , 3个并列的生产过程分别通过事件 $\sigma_{31}\sigma_{32}\sigma_{33}$ 启动. 根据构造性方法的原则^[3],可以在 X_3 处采用并列组合方式,然后通过层次组合方式一起构成 σ_3 的下层结构. 图中 $\sigma_2\sigma_{21}\sigma_{210}$ 是第三种类型企业具有严格先后次序的3个工序,按照构造性方法组成一个三层的串行结构. 由于三种类型企业各自具有独立性,生产过程并行,按照构造性方法的原则可以在 X_0 处组成并列结构. 显然, X_0 定义为初始状态. 根据生产流程的控制要求,把 X_0 和 X_3 定为标识状态. 结合系统运作的需要以及构造性方法的原则,规定任何一个新盟友只能在标识状态进入系统,这样就能保证系统规模变化时既不影响生产需求的实现又不破坏系统的受控运

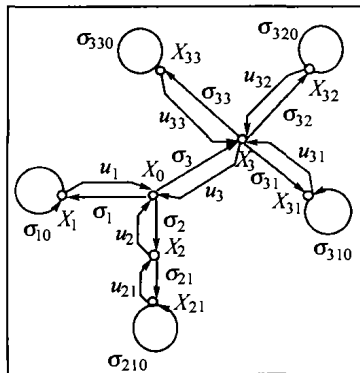


图2 联盟结构

Fig. 2 Structure of the alliance

行^[3].

根据构造性方法的原理,按照并列和层次方式组合而成的系统无阻塞,对于任意的 $K \subseteq L_m(G)$ 能控,并存在相应的监控器^[3]. 对于一般的工业系统来讲,普遍存在的是具有循环特性的事件序列,而 $K \subseteq L_m(G)$ 能够很好地满足这样的需求.

3.2 系统运行保障体系(Performance security system)

有了合适的结构只是成功的必要条件,在实施的过程中还需要相应的保障措施. 本文提出,从系统运行的角度出发,动态联盟组织的运行保障体系由三个方面的措施组成:一是根据系统的结构构造系统范式作为组盟和重组自动流程的依据;二是构造系统结构的计算机描述作为系统运行控制的约束;三是把系统控制要求通过组盟协议书条款的方式进行确认,从而明确组盟各方在维护系统受控性能方面的义务以及应负的责任.

3.2.1 系统范式(System formulae)

用 X 表示状态集合, X_i 表示状态集中的某个状态, σ_{ij} 表示从 X_i 出发的能控事件, u_i 表示从 X_i 出发的不能控事件,可以把上述组合结构用统一的范式(本文称系统范式)进行描述:

对于不引起状态改变的事件

$$X_i \rightarrow (\sigma_{i0}) \rightarrow X_i, i = 1, 21, 31, 32, 33. \quad (4)$$

对于引起状态改变的事件

$$\begin{cases} X_0 \rightarrow (\sigma_i) \rightarrow X_i \rightarrow (\sigma_{ij}) \rightarrow X_{ij}, \\ i = 1, 2, 3, ij = 21, 31, 32, 33, \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} X_{ij} \rightarrow (u_{ij}) \rightarrow X_i \rightarrow (u_i) \rightarrow X_0, \\ i = 1, 2, 3, ij = 21, 31, 32, 33. \end{cases} \quad (6)$$

以上3式表示了图2系统自由运行的所有特征,是完备的. 一般来讲,在产品的生命周期内,系统范式的结构是不需要改变的. 但是,联盟的组织结构是变化的,盟友的数量将随着生产规模和各盟友的生产能力而发生变化,盟友之间的关系以及各盟友参与系统运行的方式也会发生变化. 为了保证系统的受控性能在不断变化的组织结构中保持连续性和一致性,采用一种基于状态表的方法来实现系统约束.

3.2.2 状态表(State table)

为每一个状态设定一张表. 对于从某一状态出发最多有 w 个能控事件和 m 个不能控事件的表结构,如果用C语言定义,可以写为

```
struct control_table{
    int Status;
```

```
char [8] Status_on
int w, m
int C_event[ w ], U_event[ m ];
struct control_table * p[ w ], * q[ m ];
int ChangState (int Event);
};
```

其中函数 ChangState($\cdot$) 被所有能控事件调用,返回当前监控器是否允许该事件发生的指令. 每一个盟友拥有与其活动相关的状态表,这些表在新盟友向系统注册时自动生成,盟友退出时删除. 状态表是系统范式的计算机载体,状态表生成算法为:

1) 根据盟友所在的标识状态建立一个对应的状态表,并将下标值填入 Status, Status_on 赋非活动值;

2) 扫描式(4)~式(6),找出所有下标以 Status 为前缀的事件,把它们确定为该表所包含的事件;

3) 对于表中的每一事件,根据式(4)~式(6)规定的状态转移规律确定 $*p$ 和 $*q$;

4) 对每一个 $*p$, 如果 $*p \rightarrow \text{Status}$ 与 Status 不相等,则按照步骤2)、3)生成另一个新表.

状态表全部生成之后,系统的整体控制结构就确定了. 由于系统范式和状态表满足离散事件动态系统监控理论的构造性方法,所生成的系统结构必然满足对应的控制需求^[3]. 在联盟的生命周期内,系统的结构不断发生变化,但只要是上述算法产生出来的扩展结构,都能满足系统控制性能的连续性和一致性. 就是说,系统的受控性能是自动得到保证的.

3.2.3 组盟协议书的条款(Items of alliance contract)

完备的系统结构是联盟运作成功的首要条件,但系统的运行最终有赖于事件的正常发生和完成. 由于事件的具体运作权属于各盟友,有必要在加盟之前用协议的方式规定各盟友在维护系统控制方面的责任,可以通过在通常的商务协议基础上加设条款的办法进行操作. 对于本例,加设的条款分为3类:

1) 组织保证. 加盟之前必须对当前企业的结构进行改组,在企业内部形成符合联盟运作要求的一个子系统,为此设定相应的条款来规定子系统的运行结构.

2) 生产计划保证. 对于所负责的生产活动必须如期完成,由此发生的影响联盟运作的责任需要设定相应的界定条款.

3) 纪律约束. 事件发生和结束时激活控制表对

象,接受联盟级的宏观调度,按照联盟生产调度具体需求所规定的时间间隔向联盟发送子系统的运行状态信息,都是系统控制目标实施和保证系统能观性的重要措施,由此发生的影响联盟运作的责任需要设定相应的条款,并由此产生日常生产管理所必须执行的纪律。

组盟协议书条款是系统控制需求的人文保证,在出现系统运行的人为故障时,是责任界定和赔偿裁决的依据。

4 结束语(Conclusion)

本文从系统的控制需求出发,讨论了一类动态联盟运行结构的需求,结合具体对象提出了一种解决方案。该方案包含两个主要部分:一是采用离散事件动态系统监控理论的构造性方法来组建系统,建立满足控制需求的联盟构建和重组操作方法及对应的计算机描述,从而把系统的控制需求建立在规范化的基础上;二是提出了动态联盟运行结构控制性能保障体系的概念和组成,把技术和人文两个方面紧密联系起来,为组盟协议条款的组成提供了依据;其意义分析如下:

1) 长期以来,系统结构设计的依据是传统的计算机需求分析方法所产生的结果。由于缺少系统受控性能方面的考虑,无法保证系统结构的完备性。本文从理论的高度和处理联盟系统结构的问题并提供了一个具体的范例,在提高联盟组建速度,降低风险方面走出重要一步。

2) 一直以来,组盟协议设置条款的依据主要是商务需求,即使是有运行控制方面的条款,由于缺乏理论指导也难以保证其完备性。在之后的运行中往往出现欠控制现象,对敏捷性造成很大影响。本文提出的方法为消除此类现象提供了有效的措施。

3) 按照系统范式生成系统控制结构的方法可操作性强,与具体应用无关,能够作为系统实现的一般性方法。

参考文献(References):

- [1] RAMADGE P J, WONHAM W M. Supervisory control of a class of discrete event processes [J]. *SIAM J of 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] 林怡青,毛宗源.离散事件动态系统的结构[J].控制理论与应用,2002,10(5):689-692,698.
(LIN Yiqing, MAO Zongyuan. Structure of the DEDS [J]. *Control Theory & Applications*, 2002, 10(5):689-692,698.)

作者简介:

林怡青 (1951—),女,教授,工学博士,研究领域:计算机控制系统,先进制造技术,发表论文50余篇,E-mail:cht_gzb@21cn.net;

陈玮 (1963—),女,副教授,工学博士,研究领域:机器人控制技术,机电一体化,发表论文10余篇;

郑时雄 (1939—),男,教授,博士生导师,研究领域:机器人技术,先进制造技术,发表论文100余篇;

毛宗源 (1936—),男,教授,博士生导师,研究领域:现代控制理论与应用,电力电子技术,发表论文100余篇。