

# 基于事件驱动的离散装配过程建模方法研究\*

吕希胜<sup>1,2</sup>, 史海波<sup>1</sup>, 尚文利<sup>1</sup>

1. 中国科学院沈阳自动化研究所, 沈阳 110016

E-mail: lvxisheng@sia.cn

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

E-mail: hbshi@sia.cn

**摘要:** 对离散装配生产过程进行建模一直是离散型制造企业建模的一个难点。本文提出了一种基于事件驱动的离散装配过程模型, 该模型的基本思想是根据装配过程的特点定义了若干元事件, 并将装配过程中的生产活动抽象成通过元事件扩展后的事件集, 通过事件间的关联将整个装配过程描述出来, 从而实现了复杂生产过程的建模。通过本模型能够跟踪装配过程, 及时获取相关信息, 从而进行有效、迅速的响应, 保证了整个装配过程的正常运行。

**关键词:** 事件, 装配过程, 过程建模, 离散系统

## On Discrete Assembly Process Modeling Method Based on Event-driven Strategy

Lv Xisheng<sup>1,2</sup>, Shi Haibo<sup>1</sup>, Shang Wenli<sup>1</sup>

1. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, P. R. China

E-mail: lvxisheng@sia.cn

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P. R. China

E-mail: hbshi@sia.cn

**Abstract:** Discrete assembly production process modeling is one of the difficult problems in discrete manufacturing enterprise modeling. This paper presents an event-driven discrete assembly process model. The key idea of model is to define several meta-events according to the characteristics of assembly process. Real activities of assembly process are transformed into event sets extended by meta-events. The whole assembly process can be described by combinations of events. Then modeling of complex production is achieved. Because of this model, status of the assembly process can be monitored. When some abnormal events appear, the system can respond in time. The smooth running of the assembly process is guaranteed.

**Key Words:** Event, Assembly process, Process modeling, Discrete system

### 1 引言(Instruction)

在离散型制造企业的生产活动中, 装配是产品生命周期中的重要环节, 并日益成为影响产品性能、质量、开发周期和成本的主要因素之一。在现代的装备制造制造业中, 装配工作量占整个产品生产工作量的20%~70%, 平均为45%<sup>[1]</sup>。在装配车间, 通常是按生产作业计划来安排与组织实际生产, 然而由于车间实际装配过程的复杂性和某些不可预测性等因素, 如车间生产计划变更、设备故障与检修、物料供应不及时和产品质量问题等, 装配过程的正常运行都会受到一定的影响。在企业信息化的过程中, 监控车间的装配过程, 对保证产品质量有着极其重要的作用。为了能够实现对车间的监控, 长期以来, 研究人员从不同的角度来建立装配过程的模型, 来真实地描述车间的

实际装配过程, 实现对装配过程的准确跟踪, 提高生产效率, 从而提高企业的竞争力。

目前, 国内外在装配过程建模方面已开展了很多研究, 提出了很多建模方法, 如面向对象方法、多智能体方法、Petri网、集成定义方法(Integrated Definition method, IDEF)、工作流、自然信息分析方法(Natural Information Analysis Method, NIAM)、设计结构矩阵族(Design Structure Matrix Family, DSMF)、EXPRESS数据定义语言等<sup>[2-8]</sup>。

文献[2]介绍了当前过程建模的主要理论, 对面向对象方法、多智能体方法、集成定义方法、EXPRESS数据定义语言等方法进行了详细介绍, 并对这些方法进行分析比较, 提出了过程系统的概念, 将过程建模与系统建模联系起来。文献[3]研究了基于Petri网的过程建模方法, 通过变迁将生产过程描述出来。文献[4]给出了基于设计结构矩阵族的过程建模方法, 该方法能清晰、准确的描述过程结构与任务间迭代关系。文献[5]提出了基于事件驱动的物流过程模型。以上研究主要是针对生产过程的, 而对离散装配生产过程的特点考虑的比较少。本文在以上研究基础上, 给出一种

\*此项工作得到国家自然科学基金资助, 项目批准号: 60674114;  
国家863计划项目资助, 项目批准号: 2006AA04Z164,  
2007AA04Z1A4。

基于事件驱动的离散装配过程建模方法。该方法充分考虑离散装配过程的特点，对装配过程以及相关数据和结果进行了分析，采用了基于事件驱动的建模方法，通过该方法建立的模型可完整地描述装配过程，且模型具有良好的动态性和可控性。

## 2 装配过程问题描述(Problem Description of Assembly Process)

装配过程是企业完成产品生产的一系列相关活动或步骤的序列，具体说就是生产企业按照产品工艺需求将组成产品的全部零部件按一定的精度要求和技术条件连接与固定在一起，构成合格产品的过程<sup>[9]</sup>。一般来说装配过程主要包括生产计划下达、物料供应、零部件装配、成品检验等步骤。生产计划下达是由制造执行系统根据企业总体生产计划制定的短期内车间生产计划；物料供应系统负责整个装配过程各个子过程所需要零部件的供给；零部件装配是各个工位根据工艺要求将零部件进行组装；成品检验是当产品装配完毕后，对产品的性能和质量进行检测。

通过以上描述可以看出装配过程是动态的、离散的过程。对装配过程进行建模不是全面的系统建模，并不需要涵盖系统的所有信息，而主要是对一些重点关注的过程以不同的抽象程度进行清晰的、规范化的描述。理想的过程模型至少应满足<sup>[10,11]</sup>：①能表示各活动的先后、并发、同步、制约关系；②对过程的输入、输出信息进行有效的管理；③能表示所有活动的组织方式；④易于被所有项目人员理解；⑤具有很强的灵活性。

## 3 基于事件驱动的离散装配过程模型(Based on Events Discrete Assembly Process Model)

### 3.1 基于事件驱动的装配过程体系结构(Structure)

为了能便于阐述基于事件的装配过程模型，现给出典型的装配系统体系结构图。其体系结构如图1所示：

具体描述如下：计划下达或计划更改产生计划相关事件，然后根据计划事件产生相应的物料事件，再经过调度模块和BOM模块产生生产相关事件。在装配过程中，可能产生报警事件，如生产线故障、设备故障、物料供应不足等。在产品装配的各工序中通过质量检测来保证产品质量，在此过程中可能由于装配异常产生废品事件。设备管理能够实时监控设备状态，使之工作在最佳状态，从而提高其生产效率。事件管理模块负责所有产生事件的管理与调度，它检测到相关数据标签变化时，便触发相应的事件，并触发基于事件驱动的离散装配过程模型。该模型对事件进

一步抽象，根据实际生产的业务逻辑进行重构，实现整个装配过程的建模与跟踪。

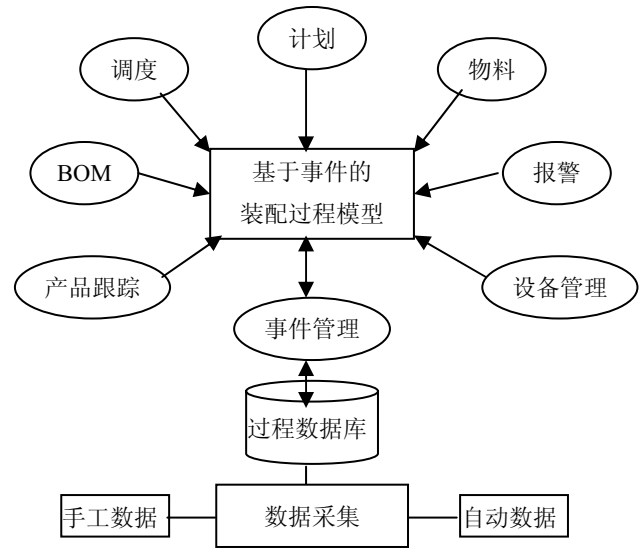


图 1 基于事件驱动的装配系统体系结构

### 3.2 事件相关定义及描述(Events)

我们根据装配过程的具体特征，提出了事件的模型，并以此为基础建立起装配过程的模型。

定义1 事件：对装配过程中生产活动的一种抽象描述，事件用E来描述。其有多种表现形式，如将物料配送到现场料架过程产生的物料配送事件；事件也可以表示抽象实体如装配过程中计划更改产生的计划变更事件。在现实中事件的发生以某一或一系列的数据标签的变化为触发条件<sup>[12]</sup>。

定义2 事件属性：事件属性是对事件某一特征的描述，事件通常具有多个属性，这些属性构成事件的属性集。设P表示属性则对代表事件E<sub>i</sub>的属性集P(E<sub>i</sub>)={P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, ..., P<sub>i</sub>, ..., P<sub>n</sub>}其中P<sub>i</sub>表示E<sub>i</sub>的第i个属性。事件的属性可以根据实际应用进行随意扩展。

定义3 元事件：元事件是对事件进行逻辑划分的最小单位，在装配过程中存在各种各样的同装配过程相关的事件，有的事件可以由一个基本逻辑事件或几个相关的基本逻辑事件复合而成，这些基本逻辑事件称其为元事件。

定义4 事件扩展：所有事件都是通过元事件进行扩展得来的。扩展有两种方式，一种是对某类元事件增加属性成为事件E'，记为E'=Extend(E)；另一种是由两种或多种元事件进行复合得到事件E''，记E''=Combine(E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, ..., E<sub>n</sub>)。

定义5 前驱事件和后继事件<sup>[5]</sup>：设有事件集合E={e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub>, ..., e<sub>n</sub>}，如图2，图中的带标记的有向边表示一个事件，标记名为事件名称，节点表示触发该事件后装配过程的状态。若有事件e<sub>i</sub>必定在事件e<sub>j</sub>之前发生，则称事件e<sub>i</sub>是事件e<sub>j</sub>的前驱事件，e<sub>j</sub>是e<sub>i</sub>的后

继事件。如图2所示， $e_1$ 是 $e_2$ 的前驱事件， $e_2$ 是 $e_1$ 的后继事件。

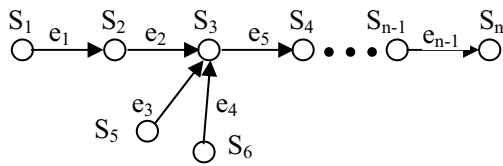


图2 前驱事件和后继事件

一个事件 $e_i$ 可能有一个或多个前驱事件，也可能有一个或多个后继事件。若事件 $e_i$ 有 $m$ 个前驱事件 $e_k, e_{k+1}, e_{k+2}, \dots, e_{k+m-1}$ ，则集合 $Epre = \{e_k, e_{k+1}, e_{k+2}, \dots, e_{k+m-1}\}$ 为事件 $e_i$ 的前驱事件集，同理可定义事件 $e_i$ 的后继事件集 $Enext$ 。

定义6 触发规则：当装配过程进行某一操作 $OP_1$ 时会触发事件 $e_i$ ，如果事件 $e_i$ 能成功开启另一操作 $OP_2$ ，则必须满足一定的规则 $TR_i$ 。操作 $OP_1$ 必定存在一个入度事件 $e_{i-1}$ ，属于 $e_i$ 的前驱事件集 $Epre$ 。

根据定义5和6，对于装配过程中的每一事件，如果该事件所要驱动的装配状态满足其约束规则，则事件便可正确响应，同时装配过程的状态发生改变。

### 3.3 基于事件驱动的离散装配过程模型描述 (Assembly Process)

#### 3.3.1 模型定义

基于事件驱动的离散装配过程模型将装配过程中的生产活动建模为五种基本类型的元事件，即同计划相关的计划下达或计划变更元事件 $\alpha$ ，同物料相关的物料元事件 $\beta$ ，同具体生产相关的生产元事件 $\gamma$ ，同报警相关的报警元事件 $\lambda$ ，同废品相关的废品事件 $\tau$ 。对于任一事件 $E$ 都是通过事件扩展来获得的，可以表示为 $E = \text{Extend}(e_i)$ 或 $E = \text{Combine}(e_1, e_2, \dots, e_n)$ ，其中 $e_i$ 为元事件，根据元事件的定义可知 $e_i \in \{\alpha, \beta, \gamma, \lambda, \tau\}$ 。

在装配过程中各类型的元事件所抽象的实体类型不同，因此对于各自的属性也存在着差异，EAPM模型只对基本属性进行定义。

对于计划元事件 $\alpha$ 定义基本属性集为：

$$P(\alpha) = \{\text{EventID}, \text{Status}, \text{PlanOrder}, \text{ProductID}, \text{Amount}, \text{PreStart}, \text{PreEnd}, \text{Priority}, \text{TimeStamp}\}$$

其中EventID为事件的唯一标识；Status为计划的状态；PlanOrder为计划的订单号或计划批次号；ProductID为计划生产的产品标识；Amount为计划生产的数量；PreStart为计划预计开始时间；PreEnd为计划预计结束时间；Priority为计划执行的优先级；TimeStamp为创建事件的时间戳。

对于物料元事件 $\beta$ 定义基本属性集为：

$$P(\beta) = \{\text{EventID}, \text{Status}, \text{MaterialID}, \text{Amount}, \text{LeftAmount}, \text{Unit}, \text{StationID}, \text{TimeStamp}\}$$

其中EventID为事件的唯一标识；Status为物料使用状态；MaterialID为物料标识；Amount为物料数量；LeftAmount为物料的剩余数量；Unit为物料的计量单位；TimeStamp为创建事件的时间戳。

对于生产元事件 $\gamma$ 定义基本属性集为：

$$P(\gamma) = \{\text{EventID}, \text{Status}, \text{PUID}, \text{Amount}, \text{VarSetID}, \text{TimeStamp}\}$$

其中EventID为事件的唯一标识；Status为生产事件的状态，用于控制生产事件的生命周期；PUID为生产单元标识；Amount为产品数量；VarSetID为同本事件相关的工艺参数集；TimeStamp为创建事件的时间戳。

对于报警元事件 $\lambda$ 定义基本属性集为：

$$P(\lambda) = \{\text{EventID}, \text{Status}, \text{PUID}, \text{ReasonCode}, \text{Priority}, \text{TimeStamp}\}$$

其中EventID为事件的唯一标识；Status为报警状态；PUID为生产单元标识；ReasonCode为报警原因代码；Priority为报警事件优先级标识，系统根据给定的优先级进行调度；TimeStamp为创建事件的时间戳。

对于废品元事件 $\tau$ 定义基本属性集为：

$$P(\tau) = \{\text{EventID}, \text{Status}, \text{WasteProduct}, \text{Amount}, \text{ReasonID}, \text{TimeStamp}\}$$

其中EventID为事件的唯一标识；Status为废品事件的状态；WasteProduct为废品名标识；Amount为废品数量；ReasonID为出现废品原因代码，可获得废品的详细原因；TimeStamp为创建事件的时间戳。

#### 3.3.2 运行机制

装配过程从计划下达开始，经过多个工序最后完成产品的装配，再进行产品性能测试，最终完成整个装配过程，这一过程是动态的、离散的。基于事件驱动的离散装配过程模型充分考虑过程的动态性和离散性，对元事件定义了创建(Create)、更新(Update)两种基本操作。Create用于创建元事件；Update用于对元事件属性进行更新操作。再通过事件扩展对事件进行具体化，进而根据事件的触发规则找出其前驱事件和后继事件，最终形成装配过程模型。具体过程如图3所示。

事件管理是基于事件驱动的离散装配过程模型的核心部分，所有事件的创建、更新以及触发操作都是通过它来完成的。当事件创建后，事件的生命周期Lifetime、前驱事件Epre、后继事件Enext都由事件管理模块统一管理。装配过程中的每一个工序都会产生相关的事件，这些事件的产生都需要相应的触发规则，即必须有相应的前驱事件Epre。这些事件产生

后，会触发相应事件，即后继事件 $E_{next}$ 。通过事件的关联，实现整个装配过程。装配工序具体活动过程如图4所示。

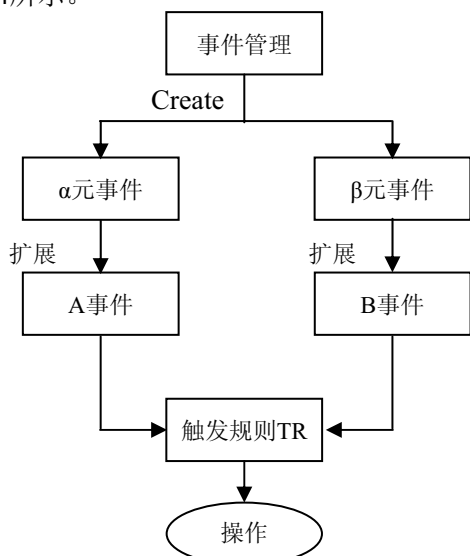


图3 事件创建与触发

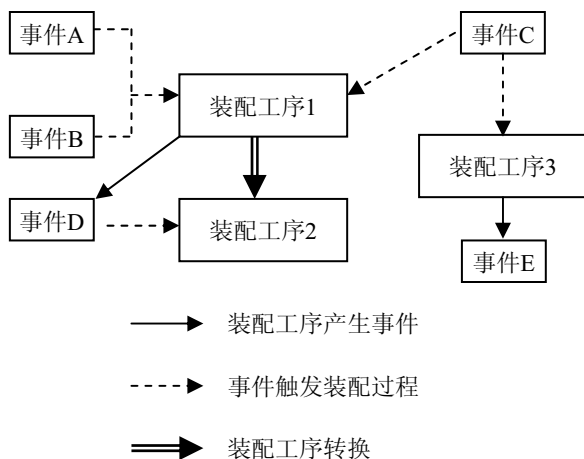


图4 装配工序活动过程

事件和过程通过触发规则成为一个网络，这个网络就EAPM装配过程模型。

#### 4 基于事件驱动的离散过程模型应用案例 (Application Instance)

基于事件驱动的离散过程装配过程建模方法已经成功应用在制造执行系统(MES)平台原型系统研发中。作为数字化生产模型的一部分，离散装配过程模型在其中占有非常重要的地位。此模型能将整个装配过程抽象到软件平台中，使平台能够实时监控和跟踪整个装配过程。

以MES平台在变速箱装配过程中的应用为例，对离散装配过程进行描述。在变速装配生产线上，可能同时装配多种产品，每种产品的装配过程也不尽相同。基于事件驱动的离散装配过程模型，可以实现对变速箱装配过程的实时监控，从而保证生产正常进

行，满足了多品种的生产需求，提高了生产效率。其简化的装配过程如图5所示：

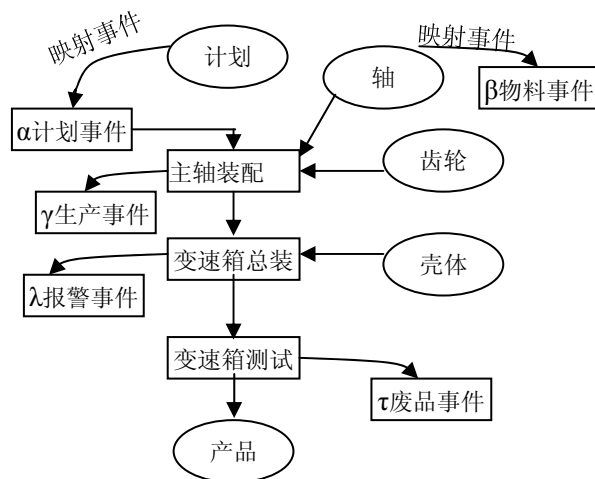


图5 简化的变速箱装配过程

从生产计划下达开始，创建计划事件，再根据物料事件，进行装配工序的描述，装配开始后创建生产事件，通过与物料事件的复合，进入下一装配工序，最终完成产品的装配。通过事件将整个装配过程关联起来，实现装配过程建模。

#### 5 结论(Conclusion)

基于事件驱动的离散装配过程模型是以事件管理为核心的装配过程模型，其基本原理根据装配过程的特点定义了若干元事件，并将实际生产中的活动通过事件关联形成装配过程的模型。通过本模型能够跟踪装配过程，及时获取相关信息，从而进行有效、迅速的响应，及时处理现场发生的各种事件，对现场生产加以调整，以保证整个装配过程的正常运行。作为MES平台中重要的一个模块，能够实现对装配车间的监控跟踪和监控。在今后的研究中要加强事件并发处理方面的研究，提高事件处理速度，最终提升MES平台的整体性能，使之能更好地反映实际装配过程的状态。

#### 参考文献(References)

- [1] 刘检华, 宁汝新. 面向产品全生命周期的虚拟装配技术研究. 计算机集成制造系统, 2005, 11(10):1430-1436.
- [2] BROWNING T R, FRICKE E and NEGELE H. Key concepts in modeling product development processes. Systems Engineering, 2006,9(2): 104-128.
- [3] HSIEH F S. Analysis of Flexible Assembly Processes Based on Structural Decomposition of Petri Nets. Systems, Man and Cybernetics, Part A, IEEE Transactions on, 2007, 37(5): 792-803.
- [4] LI P D, MAIJER M, LINDLEY T C and LEE P D. A through process model of the impact of in-service loading, residual stress, and microstructure on the final fatigue life of an A356 automotive wheel. Materials Science and Engineering, 2007, 460-461: 20-30.

- [5] CIURANA J, GARCIA-ROMEU M L, FERRER I, CASA DESÚS M. A model for integrating process planning and production planning and control in machining processes. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, In Press, Corrected Proof, Available online 4 September 2007.
- [6] BORRELLI F, FALCONE P and VECCHIO C D. Event-based receding horizon control for two-stage multi-product production plants. *Control Engineering Practice*, In Press, Corrected Proof, Available online 1 June 2007.
- [7] 郭峰, 武建伟. 基于设计结构矩阵族的过程建模方法研究. *浙江大学学报(工学版)*, 2006,40(9):1609-1613.
- [8] 张春海, 刘波, 李华. 基于事件驱动模型的集装箱物流信息系统. *计算机工程*, 2005,31(17):220-222.
- [9] 梁峰, 江志斌, 陶俐言. 基于事件驱动的制造资源冲突实时消解方法. *计算机集成制造系统*, 2007,13(2):356-362.
- [10] 隋天中, 崔虹雯, 赵宏宇. CIMS环境下车间级生产过程的信息跟踪监控系统. *东北大学学报(自然科学版)*, 2005, 26(12):1188-1191.
- [11] BRACCESI. L, MONSIGNORI M and NESI P. Monitoring and optimizing industrial production processes. in *Engineering Complex Computer Systems*, 2004. Proceedings. Ninth IEEE International Conference on, 2004(4): 213-222.
- [12] PAN F C, PENG H and SHI H B. Event - Based Production Process Traceability Model. in *Intelligent Control and Automation*, 2006. WCICA 2006. The Sixth World Congress on. Dalian, 2006(6): 7211-7215.