

综述与评论

# DEDS 理论在 CIMS 中应用研究回顾与展望

王成恩 薛劲松

(中国科学院沈阳自动化研究所 沈阳 110015)

## 摘 要

离散事件动态系统 DEDS 理论为制造系统分析设计提供了支持工具,制造技术的发展又为 DEDS 理论提供了实际应用背景. 本文综述离散事件动态系统 DEDS 理论的发展及其在计算机集成制造系统 CIMS 中的应用研究. 分析了各种 DEDS 方法的特点和探讨了相应 DEDS 模型的范围. 扼要叙述了 CIMS 的发展状况. 阐述了 CIMS 新阶段对未来 DEDS 理论研究的要求.

**关键词:** 离散事件动态系统, 计算机集成制造系统, 建模与分析, 并行工程.

## 1 引言

为了取得最佳的系统运行效果,人们需要对生产系统、通信系统和计算机网络等各类系统中的物流、信息流以及各种资源进行调度和控制. 对这类系统描述、分析和控制的需要,产生了离散事件动态系统 DEDS 理论<sup>[1,2]</sup>. 离散事件动态系统 DEDS 是这样一类人造系统,它在每个时刻上的发展与变化依赖于许多事件的相互作用与触发. 一个事件的发生需要一定的前置条件,同时又产生一定的后置条件以触发其它事件. DEDS 考虑的是离散事件,与用常微(差)分方程或偏微(差)分方程描述的连续系统及采样系统不同,它是以离散事件的发生和状态变化作为系统的主要特征的. 其次,DEDS 研究系统的动态变化,研究系统从一个状态到另一个状态,从初始状态到目标状态的发展过程. DEDS 理论为这些系统的描述,分析,评价和优化控制提供方法和支持工具. 使得人们充分掌握离散事件动态系统的内在规律,更好地发挥系统的经济技术效益. 所以 DEDS 理论研究具有广阔的应用前景和重要意义. 目前 DEDS 理论已经得到科技界的重视,并进行大量的研究工作.

CIMS 是信息时代工厂自动化发展模式,是企业赢得市场竞争的关键. CIMS 将工厂内离散的孤立的自动化子系统有机地集成起来. CIMS 中大量的相互作用的软件和硬件构成了一个异构并发环境,各种经营过程和生产活动都是典型的离散事件. 如在 CIMS 的经营决策过程中,顾客订货是离散事件,又是后续事件的触发条件. 在制造过程中工件的到达,安装和加工等都是离散事件. 因此, CIMS 需要 DEDS 理论进行系统描述,规



划,调度控制,以解决并发事件资源竞争问题,缩短工件制造周期,提高设备利用率,以及增强对市场变化的响应能力。另一方面,CIMS 也为 DEDS 理论研究提供了实际应用背景。

## 2 DEDS 理论的发展

从八十年代初 DEDS 概念的正式形成开始,DEDS 理论得到很大的发展。研究人员对传统的离散事件系统描述分析方法(如排队论, Petri 网和自动机等)进行了完善与扩展,并提出了新的理论方法。目前 DEDS 理论主要包括排队论, Petri 网,活动循环图,极大代数,有限自动机理论,扰动分析法,时间事件图,以及广义马尔可夫过程等若干分支。根据对系统特征的描述范围,可以将这些方法划分成以下三类:

### 2.1 逻辑域系统描述方法

在这方面,DEDS 理论主要描述离散事件动态系统内的因果过程关系。相应的系统模型描述系统内各个离散事件的触发条件和运行条件,而不考虑时间因素。逻辑模型阐述了系统内部事件之间的相互联系,可以帮助人们理解系统的运行方式。人们根据逻辑模型研究系统的内在运行机制和外部条件可能产生的影响,作出最优运行决策。Petri 网在建立系统逻辑模型方面具有比较明显的优越性,得到广泛的应用。Harhalakis 等用 Petri 网建立了一个工厂层的 CIM 模型,以便研究制造资源规划,工程设计和工艺规划等功能子系统之间的运行关系<sup>[3]</sup>。Zhou 和 DiCesare 用 Petri 网模型研究制造系统中资源共享情况下的并发及顺序运行问题<sup>[4]</sup>。作者也运用 Petri 网建立 FMS 模型,确定相应的决策推理机制<sup>[5]</sup>。Petri 网模型具有图形显示,递阶结构和易于系统综合等优点<sup>[6]</sup>。另外,Ramadge 和 Wonham 的有限自动机/形式语言在理论上也比较完善<sup>[7,8]</sup>,被称为 R-W 理论。该理论对离散事件动态系统的性能分析评价和控制具有重要意义。Lafortune 用 R-W 框架研究数据库系统中并发事务处理的控制问题<sup>[9]</sup>。R-W 理论的缺点是没有考虑事件的发生时间,认为监控器的观测与控制时延为零,以及只能研究系统的有限状态等。

### 2.2 时域系统描述方法

在这方面,DEDS 理论主要研究离散事件动态系统在时间域上的动态特性和调度控制问题。DEDS 时域模型引进了时间参数,标明每个离散事件发生所要占用的时间。在这里每个事件的时间参数是固定值,所建立的模型是确定性模型。在这方面应用较多的方法有极大代数,排队论和时间事件图等。1985 年 Cohen 首次将极大代数用于描述分析生产系统<sup>[10]</sup>,此后极大代数理论得到较大发展。极大代数理论在特征值问题,稳定性,能控能观性,反馈控制和双子理论方面都取得了很好的成果。极大代数方法将实际生产系统抽象为线性代数模型,需要较强的假设条件。这种方法很难描述生产系统中交叉物流,工件装夹时间和等待时间,以及缓冲器状态等。所以,极大代数一般适合于分析和研究顺序性生产线。Hillion 和 Proth 采用时间事件图模型分析生产系统的生产周期,生产率和最小资源等<sup>[11]</sup>。

### 2.3 随机 DEDS 系统建模方法



随机 DEDS 系统模型主要研究离散事件动态系统内不确定性随机事件,从广义上讲也是一种时域模型,是对确定性模型的扩展。在实际系统中许多事件的发生无法用确定的时间参数描述,如客户订单的到达,机器故障率和工件排队时间等,因此需要在 DEDS 模型中引进随机参数。一般马尔可夫过程假设随机事件的发生概率与前面发生的事件无关,用状态转移的生灭过程图为系统建模。这种方法只能为有限状态数量的系统建模,不能描述比较复杂的系统。人们对马氏过程作了种种改善,以适应 DEDS 研究的需要。文[12]引入混合状态概念,使相应的 DEDS 成为时齐的混合马氏过程,然后用半群理论研究该马氏过程。文[13]采用排队网络方法建立 FMS 的布朗网络模型,研究 FMS 的调度问题。文[14]利用极大代数建立了串行生产线的随机线性状态模型,并进行扰动分析计算。DEDS 随机模型的共同点是从统计和集合的角度来分析和研究系统的运行规律,而不研究系统中单个实体和具体事件的状态变化。所以,随机 DEDS 模型一般用于系统设计方案评估和运行策略评价等。

当然上述模型划分方式也不是唯一的,而且也不能孤立地看待这三类模型,要注意它们之间的内在联系。为了更全面地描述 DEDS 特性,人们将各种模型结合起来。这就产生了定时 Petri 网模型,随机 Petri 网模型和极大代数与扰动分析相结合的 DEDS 方法等。这样的模型既反映了系统的运行规律,又可以反映离散事件的确定性时间参数和随机性时间参数。

### 3 DEDS 理论在 CIMS 中的应用

CIMS 作为一个高度集成的自动化系统,包括生产管理系统、工程设计系统、先进的制造系统和计算机网络支撑系统等<sup>[15]</sup>,是比较典型的离散事件动态系统。为了达到信息集成和功能集成的目标,需要建立良好的子系统模型和 CIMS 全局模型。目前,人们采用 DEDS 方法(如排队论)为生产管理系统建模,进行分析和评价,以期找到理想的生产计划方法、能力计算和负荷平衡方法。基于 DEDS 理论的工程设计系统模型则主要研究产品设计,工艺规划,数控编程,以及生产文档签发等功能之间的触发控制流程。DEDS 理论在 FMS 和自动生产线建模方面得到了更广泛的应用。人们采用 DEDS 模型对 FMS 和其它生产系统内的物流进行描述、分析和调度控制。并且对系统设计参数进行优化调整,解决资源冲突和系统死锁问题。更重要的是,DEDS 模型进一步支持 FMS 等生产系统的运行决策。

CIMS 的基础是信息共享和集成,因此计算机网络管理具有十分重要的意义。这将涉及到网络通信,分布式数据库实时操作,及应用程序进程管理等。这些都是以离散事件形式出现的,所以可以利用 DEDS 理论研究计算机网络内信息的传递、存储和解释、进程调度控制及资源分配等问题。计算机工程是 DEDS 理论最主要的发源地和应用领域之一。有限状态自动机, Petri 网,进程代数模型等原本是为研究计算机系统中资源共享和通信等问题而发展起来的。但是计算机技术发展十分迅速,其在 CIMS 中的应用更是十分复杂,进一步对 DEDS 理论提出了更高的要求。



## 4 CIMS 的发展对 DEDES 理论的要求

CIMS 理论本身也在不断地发展,目前进入了敏捷制造和并行工程等新阶段,逐步走向功能集成。CIMS 运行过程中需要不断收集各种系统状态信息,通过分析作出下步运行决策,使系统处于最佳运行状态。因此,DEDES 模型不仅要描述 CIMS 内的物流与信息流的处理过程,而且要进一步描述 CIMS 的功能运行决策机制。在这方面,自动机与形式语言的监控理论比较完善。Li 和 Wonham 在 R-W 理论的基础上进一步引进整数状态向量来表达系统状态,系统状态的迁移用向量加法表示<sup>[16]</sup>。但 R-W 理论过于复杂,不便于理解。需要进一步解决其理论的复杂性,并向实用化方向发展。Petri 网在离散事件动态系统控制与决策方面的实用性最好, Petri 网及由 Petri 网发展而来的许多方法在顺序控制系统设计和可编程控制器编程方面都得到成功的应用。Petri 网逻辑性强,又可以引进其它信息,是一种实用的知识表达方法。Petri 网模型具有递阶结构特点,可以适应问题的复杂程度。可以预言 Petri 网在 CIMS 全局集成描述方面具有明显的研究价值。

在企业传统的运营过程中,市场预测,产品设计,工艺设计和产品制造是串行进行的。在这种方式下,如果制造过程中发现产品设计和工艺设计有问题,再重新进行修改,会增加产品成本和制造周期,同时也不能灵活响应市场需求变化。为了解决这些问题,人们提出了并行工程的概念<sup>[17,18]</sup>,其基本思想是将企业内从生产管理、市场管理、市场销售、产品设计、工艺设计和制造等各个部门的专业人员组织在一起,同时进行产品设计、工艺设计和生产加工等各个功能活动有机地集成起来。根据国外发表的论文,国外并行工程研究刚刚启动,并在一些企业中取得显著成果,但还没有形成完整理论。国内还处于基本概念传播阶段,但是,越来越多科技人员开始接受这一概念,发展并行工程已被认为是保证 CIMS 功能集成和优化运行的主要模式。并行工程的发展要求建立合适的系统模型,研究其中功能活动的并发性和相互支持及制约机制。DEDES 理论在并行工程中具有很大的潜在应用前景,研究通用 DEDES 建模方法使具有不同学术背景的专业人员用同一种“语言”进行交流,研究如何建立产品模型反映产品设计、工艺设计和制造过程中所需的信息。

其次,在 CIMS 中的生产管理方面,主要有“推动 (push)”和“拉动 (pull)”两种方式。推动生产方式是以 MRP II 为代表的生产计划逐层分解下达,为保证一定库存而生产的模式。MRP 式 II 系统将企业中财务,客户服务,生产计划,设备管理以及库存控制等功能有机地集成起来,被广泛地应用于 CIMS 中。但在应用中也暴露出一些不足,如缺乏良好反馈机制等。拉动生产方式是以 JUST-IN-TIME 为代表的,以恰好准确的生产和交付顾客所需产品,保持零库存为目标的生产模式。这种生产模式起源于日本丰田公司,反映了日本企业经营思想和企业文化。JIT 模式使企业以最小成本运行,却又严重受到周围环境的制约。这两种生产方式各具特色,它们的结合有可能成为未来的一种主要生产方式。因此,DEDES 理论应尽早从理论上对此进行分析和研究。结合推拉机制,在生产规划、负荷分析、能力平衡和资源管理等方面提出相应算法。

DEDES 的随机分析、随机最优算法、随机最优设计与控制的研究方面的突破,最有希望直接应用于 CIMS 实际中,产生很大经济效果,这方面值得研究的理论有:具有不可



靠机器的制造系统的最优控制;建立在随机极大代数上的线性生产线随机控制;随机性能指标的灵敏度(梯度)的近似算法;生产系统运行参数的扰动分析;随机生产线的最优估计,实时网络的排队论及随机调度等等。

从本质上讲系统模型是对所要研究系统的一个写真,对于 CIMS 这样一个复杂系统必须从多个视角和层次进行建模。无疑目前还没有任何一种 DEDES 理论能够独胜此任。因此,为了推动 DEDES 理论在 CIMS 中应用,必须改变 DEDES 理论研究的离散分割状态,升华到更高层次。建立开放式集成的 DEDES 建模方法体系,容纳规范现有的各种 DEDES 建模方法,并开发新的建模方法。在各种建模方法之间建立交互的“桥梁”,将各种模型的“孤岛”有机地联系起来。

由于解决问题的方面与层次不同,人们所采用的模型与方法也不同,建立统一的有效的模型看来是很困难,但是如何将各种层次上的模型加以集成将仍是人们值得注意和探讨的一个方向。未来 DEDES 理论研究应对现有各种建模方法进行分析和完善,建立一个容纳多种 DEDES 建模方法的体系结构。以便在 CIMS 需求分析,初步设计,详细设计等各阶段,建立系统描述模型。这方面的研究工作应和 CIMS 体系结构的研究相结合,以系统的和集成的观点来指导 DEDES 建模方法的研究。

## 5 结论

作为一种系统描述分析工具,DEDES 理论广泛用在各种 CIMS 子系统的建模方面。这些 DEDES 模型,支持 CIMS 子系统的分析评价、运行模拟、参数调整和方案设计。DEDES 理论促进 CIMS 单元技术的发展。然而,DEDES 理论与 CIMS 设计实施中所提出的要求相比还有较大差距。一些 DEDES 方法在对系统进行描述时,需要过多的假设条件,所建立的模型不能准确反映系统的实际状态。DEDES 某些分支的研究正向纯数学理论的方向发展,很难用于 CIMS 实际。研究的目的在于应用,到目前为止真正在 CIMS 中得到应用的 DEDES 方法尚不多。这也是对 DEDES 理论研究的一个较大的挑战。目前的 DEDES 理论还不能描述一个完整的 CIMS,仅局限于 CIMS 子系统或功能模块的建模。这些 CIMS 子模型彼此完全独立,不能满足 CIMS 集成的需要。未来的 DEDES 理论在 CIMS 中应用研究应向实用化,结构化和集成化的方向发展。

**致谢** 本文写作动机起源于 863 计划自动化领域 CIMS 理论与方法专题的近年总结报告,因此,作者向参与讨论的郑应平研究员、徐心和教授、涂奉生教授和陈荣秋教授等表示感谢。

## 参 考 文 献

- [1] Ho Y C, Cassandras C G. A new approach to the analysis of discrete event dynamic systems. *Automatica*, 1983, **19**(2), 149—16.
- [2] Ho Y C. Performance evaluation and perturbation analysis of discrete event dynamic systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1987, **32**(7), 653—672.
- [3] Harhalakis G, Lin C P, Hillion H, Moy K Y. Development of a factory level CIM model. *Journal of Manufacturing Systems*, 1990, **9**(2), 116—127.
- [4] Zhou Mengchu, DiCesare F. Parallel and sequential mutual exclusions for Petri net modelling

- of manufacturing systems with shared resources. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 1991, 7(4), 515—527.
- [5] Wang Chengen, Zhu Jianying, Wei Zhongxin. An expert system for FMS control. *International Journal of Intelligent Systems Engineering*, 1993, 2(4), 223—230.
- [6] Kamath M, Viswanadham N. Applications of Petri net based models in the modelling and analysis of flexible manufacturing systems. Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1986, 312—317.
- [7] Ramadge P J, Wonham W M. Supervisory control of a class of discrete-event processes. *SIAM Journal of Control Optimization*, 1987, 25(1), 206—230.
- [8] Wonham W M, Ramadge P J. On the supremal controllable sublanguage of a given language. *SIAM Journal of Control Optimization*, 1987, 25(3), 637—659.
- [9] Lafortune S. Modelling and analysis of transactions execution in database systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 33(5), 439—447.
- [10] Cohen G, Dubois D, Quadrat JP, Voit M. Linear system theoretic view of discrete event process and its use for performance evaluation. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1985, 30(3), 210—219.
- [11] Hillion H P, Proth J M. Performance evaluation of Job-Shop systems using Timed Event-Graphs. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1989, 34(1), 3—9.
- [12] 姜胜兵,黄志刚. 离散事件动态系统的混合状态模型. 控制理论与应用, 1993, 10(5), 523—528.
- [13] 喻明,吴澄. 柔性制造系统(FMS)的一种建模方法及最优控制策略,控制理论与应用, 1993, 10(5), 529—534.
- [14] 涂奉生,孙永华. 极大代数的随机线性系统与DEDS的扰动分析. 自动化学报, 1992, 18(6), 716—719.
- [15] Xue Jinsong, Wang Chengen, Mu Rilun. Progress in the journey developing SB-CIMS. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 1994, 7(4), 242—248.
- [16] Li Yong Wonham W M. Control of Vector Discrete-Event Systems I-The Base Model. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1993, 38(8), 1214—1227.
- [17] Kennedy M. Concurrent Engineering, AUTOFACT'91 Conference Proceedings, November 10—14, 1991, Chicago, USA.
- [18] Pedersen M A, Alting L. Life-Cycle design of Products-An important part of the CIM Philosophy. AUTOFACT'91 Conference Proceedings, November 10—14, 1991, Chicago, USA.



# THE PAST AND THE FUTURE OF DEDS METHODOLOGY AND ITS APPLICATIONS IN CIMS

WANG CHENGEN XUE JINSONG

(Shenyang Institute of Automation Chinese Academy of Sciences Shenyang, 110015)

## ABSTRACT

The DEDS methodology has provided efficient tools for modelling, analysis and planning of manufacturing systems. In return, manufacturing practices have also provided real-life application environments for DEDS methodology. This paper summarizes the research efforts on DEDS methodology and its applications in CIM systems. Features of DEDS methods are studied and the application scopes of the related DEDS models are further discussed. Finally, the development tendencies of CIMS are briefly introduced, the requirements for future DEDS research imposed by CIMS evolutions are addressed.

**Key words:** Discrete event dynamic system, computer integrated manufacturing systems, modelling and analysis, concurrent engineering.



**王成恩** 工学博士, 中科院沈阳自动化研究所 CIMS 工程部副主任, 副研究员, 863 计划自动化领域 CIMS 理论与方法专题专家小组成员。研究兴趣为 DEDS 理论, CIMS 体系结构与设计方法, 生产计划与调度, CIMS 集成方法, 以及先进的制造技术等。在国内外发表 30 余篇学术论文。



**薛劲松** 中科院沈阳自动化研究所 CIMS 工程部主任, 研究员, 863 计划自动化领域 CIMS 主题专家组成员。1964 年毕业于清华自动控制系, 1968 年中国科学院研究生毕业。近年从事 CIMS 总体设计实施和 CIMS 系统理论与方法的研究。