

61-65

FMS 仿真

Petri网

面向对象

⑦

计算机学报1995 Vol. 22 No. 5

基于面向对象着色 Petri 网的 FMS 仿真研究

李晓鸥 余文 徐心和

(东北大学自动控制系 沈阳110006)

TH165

摘要 FMS simulation is easy to realize based on Petri nets. The design and implementation of OOCNP simulation system are introduced in this paper. The results show that OOCNP has many advantages and suitable for application in real plants.

关键词 FMS, Object-oriented, Colored Petri net, Simulation.

1 引言

柔性制造系统(FMS)的控制问题是当今 Petri 网应用研究的热点,也是难点^[1]。研究的主要困难在于 Petri 网的复杂性随着系统规模的增加呈指数倍地增长。在当前激烈的市场竞争环境下,人们在这方面做了大量的研究^[2,3,4],但大部分研究都因其模型本身的缺陷而难以适应实际系统的快速变化,究其原因都是它们都基于生产流程建模,网络结构严重依赖于系统中的物流,模型的灵活性远不及 FMS 加工的灵活性,而且模型的可维护性和可实施性也很差。因此基于这些模型基础上的分析及仿真等研究缺乏普遍性和实用性^[5,6,7]。事实上,真正反映 FMS 本质的模型不应随其所加工工件及工艺路径的变化而变化,而应体现 FMS 固有的能力,被加工工件只是它的因变对象(类似于连续系统的参数或变量)。为此我们开发了面向对象着色 Petri 网模型 OOCNP^[8,9],它将面向对象的思想融入着色 Petri 网模型,按对象个体着色,并用颜色携带工艺路径等信息,从而将 FMS 中的变元从网结构中分离出来,该模型不但大大降低了 Petri 网模型的规模,具有良好的灵活性、直观性、模块性和可操作性,还能够很好地适应柔性制造系统灵活性要求。采用 OOCNP 仿真系统作为 FMS 实时监控控制器,既直观、方便,又易于为工程人员接受并采纳。

2 FMS 的 OOCNP 模型

2.1 OOCNP 基本概念

OOCNP 建模与以往的 Petri 网建模思想有着本质的差别,以往人们跟踪系统的动态行为建模(面向物流),而 OOCNP 则站在更高的层次基于系统的静态组成及各组成部分的关系建模(面向对象),动态特征由对象的颜色及其所携带的信息描述。它采用面向对象的思想进行系统分析,并将系统分解成若干个相互通讯的对象集。每个对象由一个对象子网描述,各对象之间通过消息位置进行通讯,对象子网沿用着色 Petri 网的基本结构,并做了以下改进:①对象子网具有封装特性,其位置和变迁只代表自身的状态及状态转换,与其它对象无关,因而建模过程是自底向上的模块化的。②对象间的连接靠消息位置实现,一个消息位置为多个对象子网共享,建模时只考虑该消息位置与各对象的输入输出关系。③对象子网的颜色集不依赖于位置和变迁(一般着色网的位置和变迁是有颜色集约束的),并且颜色不仅代表对象个体而且携带信息,该信息表明该个体与其它对象的匹配关系。

一个对象子网是一个五元组:

$$ON_i = (P_i, T_i, F_i, C_i, \Gamma_i, M_{i0})$$

其中:

$P_i = OP_i \cup PP_i \cup MP_i$ 为有限位置集, OP_i , PP_i , MP_i 分别为原始位置集、过程位置集和消息位置集。 OP_i 和 PP_i 分别代表个体的等待(空闲)和工作状态集, $MP_i = OMP_i \cup IMP_i$ 代表发出和接收的消息集。

$T_i = PT_i \cup CT_i$, $PT_i \cap CT_i = \emptyset$ 为有限变迁集,代表对象个体的状态转换事件集, CT_i 和 PT_i 分别为条件变迁集和过程变迁集,条件变迁代表条件事件,

李晓鸥 博士生,主要研究方向为 DEDS、CIMS 方法论、Petri 网理论及应用。余文 讲师,主要研究方向为自适应控制、过程控制、Petri 网仿真。徐心和 教授,博士生导师,主要研究方向为 DEDS、计算机控制与仿真。

点火不需时间,条件满足即可发生,而过程变迁代表过程事件,如加工,运输等过程,须既满足使能条件又满足延时条件方可发生。

$F_i: (P_i \times T_i) \cup (T_i \times P_i)$ 为对象 O_i 自身的状态流关系集。

C_i 为对象的个体集, $\forall c \in C_i, c = (id, inf_1, inf_2, \dots, inf_k, S)$, 其中 id 为颜色 c 的标志号, 如加工中心序号等, inf_i 为颜色 c 所携带的关于第 i 个对象的信息要求, 通常为一个由对象个体标志号构成的有序字符串, 如 FMS 中工件的工艺路线(由加工中心序号构成的字符串)等, S 为颜色 c 的记次指针(2.2 节中有详细的介绍); 当颜色不携带信息时, inf_i 和 S 可以省略。

$\Gamma_i: PT_i \times C_i \rightarrow R^+$ 为过程变迁对于其它对象的某颜色的处理时间, 如某工件在某加工中心的加工时间。其中 R^+ 为正实数集。

$M_0: P_i \rightarrow \text{bag}(C_i)$ 为初始标识集, $\forall p \in P_i$,

$$M_0(p) = \begin{cases} H, & p \in OP, \\ \emptyset, & \text{否则} \end{cases}$$

即只有原始位置中的初始标识非空, $H \subseteq \text{bag}(C_i)$, $M_0(p, c)$ 表示位置 p 中颜色 c 的 token 数目。

设一系统由 k 个对象构成, 即 $G = \{O_1, O_2, \dots, O_k\}$, 各对象子网分别表示为

$ON_1, ON_2, \dots, ON_k$, 则该 FMS 的 OOC PN 模型为:

$$GN = \parallel ON_i = (P, T, F, C, \Gamma, M_0)$$

其中 $P = \cup P_i, T = \cup T_i, F = \cup F_i, C = \cup C_i, \Gamma = \{\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_k\}, M_0 = (M_{01}, M_{02}, \dots, M_{0k})$ 。

OOC PN 中有一个描述进程的对象, 我们称之为进程对象, 用 O_0 表示; 而其它所有支持进程操作的对象称为资源对象, 用 $O_1, O_2, \dots$ 表示。如在 FMS 中工件对象为进程对象, 加工、传输对象为资源对象。

可以证明 OOC PN 有以下性质^[8]:

性质1 $\forall t \in T, |t| \leq 2$ 。

性质2 $\forall p \in PP \cup OP, |p^-| = |p^+| = 1$ 且 $\forall p \in MP, |p^-| = 1$ 。

性质3 $\forall t \in T, |t^-| \geq 0, |t^+| \geq 0$ 。

OOC PN 的状态用标识来描述, 标识 $M: P \rightarrow \text{bag}(C)$, 若 $p \in OP$, 则 $M(p) \subseteq \cup_{i=1}^k \text{bag}(C_i)$, 若 $p \in PP \cup MP$ 则 $\text{bag}(C_0)$ 。

2.2 OOC PN 的运行规则

象普通的着色 Petri 网一样, OOC PN 的运行体现为变迁的顺序和并发生火, 在定义变迁使能之前,

我们先定义以下符号:

$S(c, M)$ 为 token 运行次数的计次指针, 它表示标识 M 下颜色为 c 的 token 当前的工步, 其初值为“1”, 每经过该 token 所在的原始位置一次, 其值增“1”; 每个颜色都有计次指针, 但通常资源对象颜色的信息为空, 因此只用其颜色标志即可描述清楚。

$g(c, inf_i, S)$ 为颜色 c 对第 i 个对象的信息要求关于 S 的函数, 它表明当前工序第 i 个对象的哪个个体与颜色 c 匹配, 通常为工件和资源的匹配(有时也存在资源和资源的匹配)。

$C_e(p)$ 为位置 p 中的使能颜色集。

$c|_{s-s+1}$ 表示计次变量已增“1”的颜色为 c 的 token。

$\tau(t, c)$ 表示当前时刻变迁 t 相对颜色 c 已经使能了多长时间。

$y(p)$ 表示位置 p 的类型, 即位置 p 属于哪类位置集。

定义1 对象子网 ON_i 的变迁 t 在标识 M 下关于颜色 c 是过程使能的(P -使能的), 如果对 $p \in t^- \cap PP_i, c \in M(p), t$ 关于颜色 c 是资源使能的(R -使能的), 如果对 $p \in t^- \cap OP, g(c, inf_i, S) \in M(p), t$ 关于颜色 c 是消息使能的(M -使能的), 如果对 $p \in t^- \cap MP, c \in M(p)$, 标识 M 下变迁 t 的过程、资源和消息使能颜色集分别记作 $C_{pe}(t, M), C_{re}(t, M), C_{me}(t, M)$ 。

定义2 对象子网 ON_i 的变迁 t 在标识 M 下关于颜色 c 是使能的, 如果下列条件之一成立: 1) $|t^-| = 1$ 且 $c \in M(t^-)$; 2) $|t^-| = 2$, 令 $t^- = \{p_1, p_2\}$ 则 t 关于颜色 c 既是 $y(p_1)$ -使能的, 又是 $y(p_2)$ -使能的。

由定义2的第二个条件知, 当 $|t^-| = 2$ 时, t 使能的充要条件是:

$$C_{y(p_1)}(t, M) \cap C_{y(p_2)}(t, M) \neq \emptyset$$

定义3 对象 O_i 的变迁 t 在标识 M 下关于颜色 c 是可点火的, 如果下列条件之一成立: 1) $t \in CT$, 且 t 是使能的; 2) $t \in PT$, t 是使能的且 $\tau(t, c) \geq \Gamma(t, c)$ 。

变迁 t 点火后, 产生新的标识 M'

$$M'(p) = \begin{cases} M(p) - C_e(p) & p \in t^- \\ M(p) \cup C_e(t^- \cap PP_i) |_{s-s+1} & p \in t^- \cap IMP_i \\ M(p) \cup C_e(t^- \cap PP_i) & p \in t^- \cap IMP_i \\ M(p) & p \notin t^- \cup t^+ \end{cases}$$

记作 $M[(t, c) > M']$, 记所有 M 的可达标识的集合为 $\mathcal{X}(M)$, 特别地, $M \in \mathcal{X}(M)$ 。

2.3 FMS 的 OOC PN 模型

为验证该仿真系统的一般性和优越性, 本文以

一个曾被广泛使用的 FMS 系统^[10]为例来说明 OOCPN 仿真系统。图1为该系统的物理结构,其基本配置为一个原料库、一个成品库、四个加工中心和一辆 AGV,每个加工中心有一个输入缓冲区和一个输出缓冲区,由 AGV 负责在四个加工中心和两个仓库之间传送工件。利用2.1节的 OOCPN 概念建立该 FMS 的模型如图2所示。

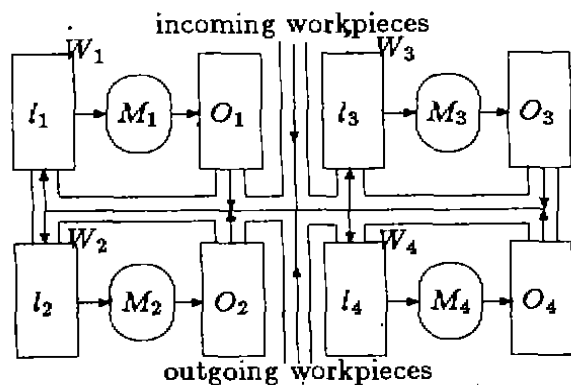


图1 一柔性制造系统

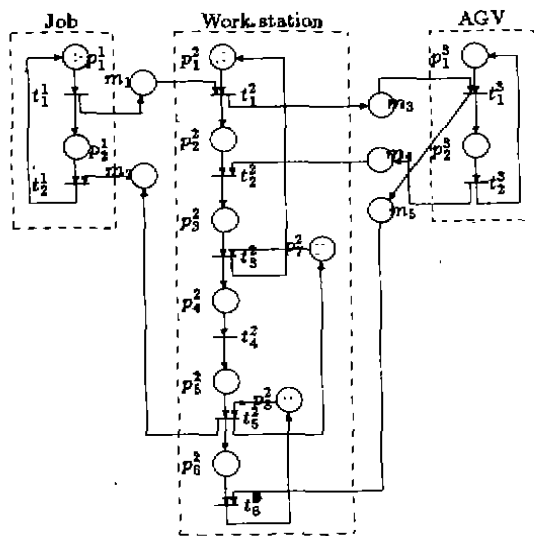


图2 图1所示 FMS 的 OOCPN 模型

3 OOCPN 仿真系统

为简便起见,不失一般性,我们对所研究的 FMS 做以下假设:1)无机器故障发生。2)托盘的数量不限。3)零时刻所有工件处于待加工状态。4)工件的加工操作过程中不能分解或中断。5)工件装上机器的时间与工件顺序无关(可包含在加工时间内)。

6)控制器中的所有软件准备就绪。7)工作站可以连续使用。8)工件可以在缓冲区中等待。

3.1 OOCPN 仿真系统结构

OOCPN 仿真软件是在 windows 环境下用 Visual C++ 完成的,其结构分三层,用户界面、OOCPN 运行和 FMS 动画,如图3所示。

采用什么样的数据结构来表示 OOCPN 是整个仿真系统设计的关键,我们考虑到,OOCPN 运行结构、位置及变迁的内涵信息、操作灵活、节省内存、运行方便等因素,设计了如图4和图5所示的数据结构。OOCPN 网结构数据及加工数据通过数据转换模块变成仿真系统初始化数据。

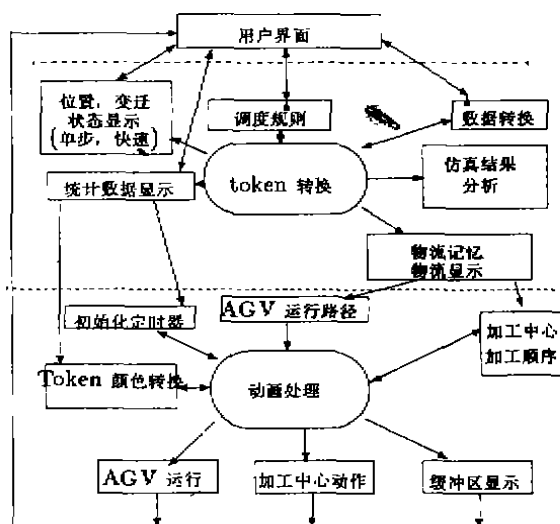


图3 OOCPN 仿真系统结构

OOCPN 网运行的 token 转移模块是整个仿真系统的核心,该模块根据 OOCPN 运行规则的变迁使能定义,寻找使能变迁。由调度规则作出的优先级排序,确定转移 token 并开始计时。当点火条件满足时,转移 token,同时修改相应位置和变迁的数据结构中的相关数据。

3.2 OOCPN 仿真步骤

1)FMS 的加工对象说明。通过用户界面输入 FMS 的基本加工数据,包括:工件的类型、数量及相应的加工工序、传输工具、操作时间等。

2)调度策略。根据经验,我们给出了九种最常用的调度规则供用户选择,这些规则也可以多个混合使用。

(a)先来先服务(FCFS)规则:优先加工先进入

系统的工件

(b)最短加工时间(SPT)规则:优先加工加工时间最短的工件

(c)最早完工时间(EDD)规则:优先加工急件

(d)最短总加工时间(STPT)规则:优先加工总加工时间最短的工件

(e)最少剩余加工工序(FORP)规则:优先加工剩余工序最少的工件

(f)最多剩余加工工序(MORP)规则:优先加工剩余工序最多的工件

(g)最短剩余加工时间(SRPT)规则:优先加工剩余加工时间最短的工件

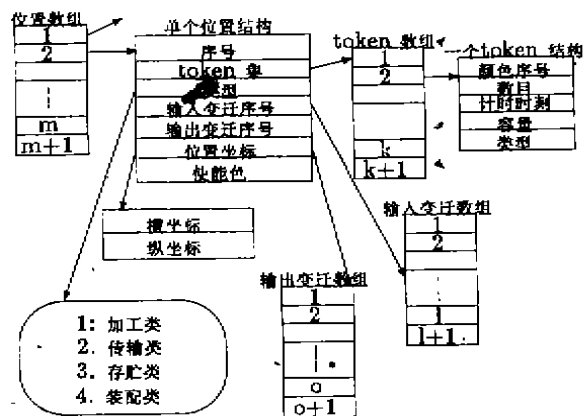


图4 位置数据结构

(h)最长剩余加工时间(LRPT)规则:优先加工剩余加工时间最长的工件

(i)权重最大(LW)规则:优先加工权重最大的工件

3)冲突解决。根据选定的调度规则,将已有的工件种类排序,优先级高的优先加工。

4)OOCNP 运行。调度规则选定后,仿真运行开始,在此期间 OOCNP 可以实时显示网络的运行状况(使能变迁变为红色,非使能变迁无色),并实时生成并显示统计结果有关信息,如设备加工时间、空闲时间、设备利用率、工件在系统中等待时间、被加工时间、物流等。

5)结果分析。由产生的统计数据分析瓶颈设备、各设备的利用率关系、对应于各种策略的死锁、加工时间、设备利用率等状况比较。

6)动画模拟。根据仿真产生的物流顺序及加工

时间驱动动画系统,更逼真地看到实际系统的加工过程,实时监控运行,以期调整调度方案,使系统性能指标尽可能最优。

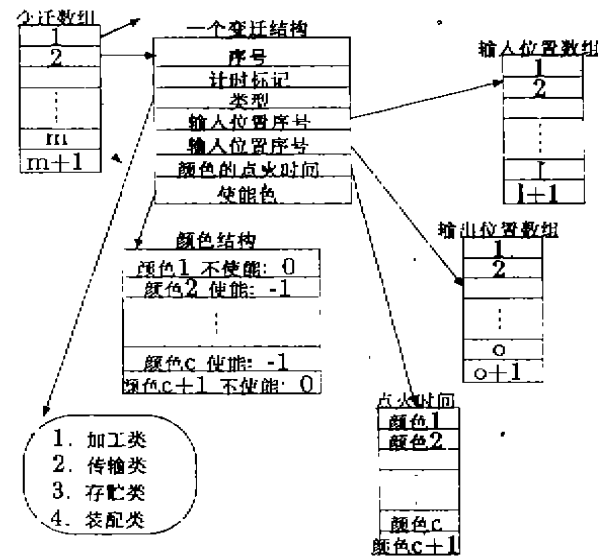


图5 变迁数据结构

3.3 系统的动态行为

OOCNP 的网络运行显示和动画显示可以给出系统任意时刻的状态,它给出加工设备的当前状态、正在加工(或运送)的工件类型、剩余加工时间以及缓冲区的占用情况、AGV 的当前位置、正在运送的工件及运送目的地等。上述信息对于系统在线监控是非常重要的,在任一时刻,可将系统的状态与期望的状态比较,根据这一差别调整调度策略,从而达到实时监控的目的。

4 结束语

OOCNP 仿真系统主要有以下优点:

1)系统模型不随加工工件的变化而变化是 OOCNP 模型较其它任何 Petri 网模型都优越的一点。可以说其它 Petri 网模型没有从系统的全局观念去看待 FMS,而只反映了 FMS 的某一侧面,因而难以用统一的模型来仿真系统的任意状态,且模型的节点语义不直观。

2)OOCNP 用字符串表示颜色携带的信息给仿真系统数据结构设计带来极大的方便。

3)设备利用率、空闲时间等统计数据在 OOCNP 模型下易于统计,因为这些数据都只涉及某一个对

65-68

软件重新工程化方法

齐 越

柳军飞

TP311.5

(北方交通大学计算所 北京 100029) (中国科学院软件所 北京 100082)

摘 要 软件重新工程化方法与技术是九十年代软件维护自动化的重要内容,日益受到人们的重视。本文讨论软件重新工程化的概念、方法和过程。主要内容有逆向工程、系统重构和软件仓库。

关键字 重新工程、逆向工程、重构、软件仓库。

一、引 言

软件维护是软件生命周期的重要阶段。为了修改软件中潜伏的错误和缺陷,按用户新的需求提高软件性能和功能,将软件安装到新的软硬件环境中去等等都需要对软件进行维护。据统计软件维护费用在软件生命周期中所占比重已达到 60~70%。美国空军 F16 喷气战斗机的软件开发费用是 8500 万美元,而它的软件维护费用高达 2.4 亿美元。软件维护开销大的原因是:①软件是逻辑产品,维护人员理

解软件要占用 47~60% 的维护工作量。当软件缺乏必要的文档或文档质量很差时,软件维护只能依靠程序代码。②用新的软件系统替换旧的软件系统后,用户要承担新、旧两套软件费用。③缺乏十分有效的软件工具可以根本上减轻软件维护的工作量。④计算机厂家不断推出具有高性能价格比的计算机系统,促使计算机用户不断淘汰旧系统、建立新的系统。软件运行环境的改变、用户需求的变化、原有软件技术陈旧使软件维护的工作量越来越大。软件维护与硬件维护相比存在本质上的差别。

象的某一个个体,与其它对象无关,这大大减小了程序的复杂性。

4) Visual C++ 是一种面向对象的编程语言,并具有可视的特征,给 OOC PN 运行及动画系统的实现创造了良好的环境。

参考文献

- [1] 陆维明,林闯, Petri 网研究,机遇与挑战,计算机科学, Vol. 21, No. 4, 1994
- [2] J. L. Villarreal et al., Using Petri net models at the coordination level for manufacturing systems control, Robotics Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 11, No. 1, 1994
- [3] M. C. Zhou and F. Dicesare, Parallel and sequential mutual exclusions for Petri net modeling of a manufacturing sysetms with shared resources, IEEE Trans. RA, Vol. 7, No. 4, 1991
- [4] G. Righini, Modular Petri nets for flexible production systems, Int. J. Prod. Res., Vol. 31, No. 10, 1993
- [5] M. C. Zhou et al., Design and implementation of

a Petri net based supervisory for a flexible manufacturing system, Automatica, Vol. 28, No. 6, 1992

- [6] N. P. Huang and P. C. Chang, Specification, modeling and control of a flexible manufacturing cell, Int. J. Prod. Res., Vol. 30, No. 11, 1992
- [7] R. Cossins and P. Ferreira, Celeritas, a colored Petri net approach to simulation and control of flexible manufacturing systems, Int. J. Prod. Res., Vol. 30, No. 8, 1992
- [8] 李晓鸥,徐心和, DES 的面向对象着色 Petri 网模型研究,将于《信息与控制》1995 年第六期发表
- [9] Xiaou Li and Xinhe Xu, Modeling DES with a modified colored Petri nets, Proc. of 1995 American Control Conference, Seattle, June, 1995
- [10] Z. A. Banaszak and B. H. Krogh, Deadlock avoidance in flexible manufacturing systems with concurrently competing process flows, IEEE Trans. RA, Vol. 6, No. 6, 1990

齐 越 硕士研究生。 柳军飞 博士后。