

基于有向图的制造系统模型的研究

Research on Model of Manufacturing System Based on Directed Graph

路 杨 (河南大学 计算中心 河南开封 475001)

何 欣 (河南大学 计算中心 河南开封 475001)

韩 中 (西安交通大学 CIMS 研究所 西安 710049)

摘要:通过对制造系统的所具有特性的总结和对现在常用的制造系统模型表示的分析,详细地介绍使用模块化的方法对系统进行建模,在此基础上提出基于有向图的制造系统模型的建模过程,并对基于有向图的制造系统模型的完整性和一致性的实现作了描述。最后,引用实例进行说明系统建模所经历的步骤和使用方法。

关键词:有向图制造系统模型 完整性和一致性 简单图 workflow

1 引言

目前系统建模技术广泛的使用在各种制造系统当中,不同程度的解决了制造系统的复杂性问题。制造系统可简单地理解为使用机械、电子等工具,运用成套的加工方法或技术,先进的管理手段进行的系列生产活动的集合体。制造系统基本元素主要是由满足本活动范围的各种仪器、仪表,设备、装备等组成,元素之间存在着不同程度地联结关系,或连续或离散。这些连接或耦合组成了系统的结构模型,它决定着制造系统各性能的好坏优劣。制造系统的装备、结构、功能三者之间相互支撑、关联和影响,又体现出了系统极为明显的复杂性。像使用何种方式来简化系统的活动问题;如何使系统具有较高的灵活的生产调节能力的问题;复杂系统故障的诊断与排除问题;系统的安全性预测与评估等等。针对这些问题,专家们正寻求能有一个比较合理和完善的模型使问题得到解决。本文提出基于有向图的制造系统模型(Model of Manufacturing System Based on Directed Graph 简写 MMSBDG)并对使用模块化的方法来分析制造系统和形成相应有向图的制造系统的模型进行了详细的说明,以及使用有向图模型解决制造系统完整性和一致性进行了介绍,最后使用了有代表性的实例说明使用有向图模型解决问题的好处。

2 制造系统模型分析

2.1 制造系统所具有的特性分析

第一,最为突出的是系统具有整体性,对待一个系统不能用孤立的眼光看问题,甚至把系统割裂成要素零星的部分去研究,应该更多的注意研究要素及要素间的相互作用与相互影响,即综合效应、体现整体优势。同时也要考虑到相互作用和影响存在正负两方面。所以要求对系统进行建模时必须从整体考虑,有系统的思想。

第二,一般制造系统都表现有层次性,即从系统组成结构上看是分层的,像制造系统分为设备、部件、零件,组织系统科、班、组等,都是系统表现出的层次性。提供了建模时系统组成元素间的划分与界定。

第三,工业系统都具有动态性,就是任何系统都不是静止不动的,而是在不停地运动着、变化着、发展着。这些包括设备更换,技术进步,组织重组等。

第四,现代制造系统已经是现代科学与技术的综合集成。现代系统更多从事的是关于信息的搜集、传递与加工的问题,或者是关于系统尤其是复杂系统的运动、管理与控制的问题。

2.2 常见的制造系统模型

常见的系统模型有层状图模型,树型图模型, Petri 网图模型。层状模型是利用抽象技术把复杂求解问题结构优化,从下往上形成层次关系的模型,在求解推理时采用由上至下的分层求解方法,不断地删除结构和

行为的细节使复杂问题简化,同时引入约束集判别系统对象的一致性、实现故障的实时求解和精确定位;树型模型就是常用的故障树,通过对可造成系统问题事件的各因素(人文,环境,软件,硬件)进行分析,找出它们之间的逻辑关系,生成树型图,据此确定它们之间的组合和概率关系,保证系统稳定性的一种分析方法。

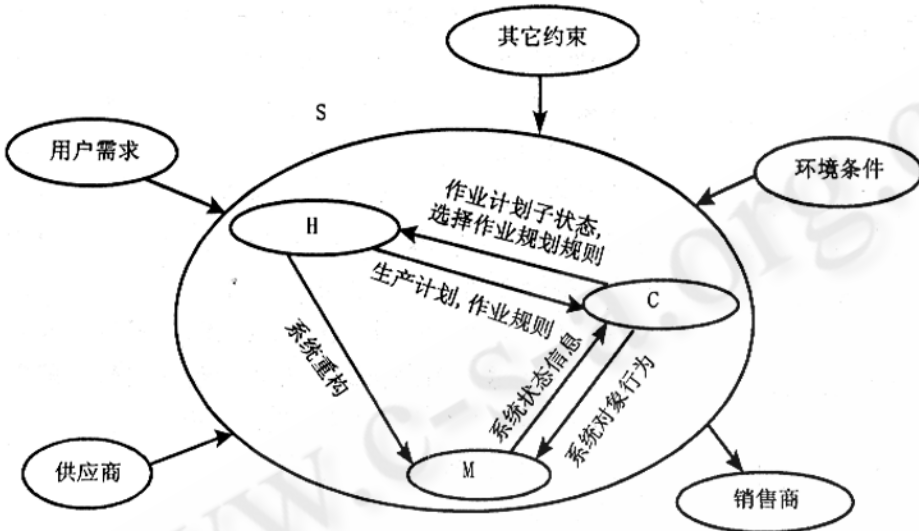


图 1 制造系统的模型

它大大地提高系统的可靠性,安全性,维护性。建树难度大,要对系统有深入的了解,顶事件的确定,影响逻辑关系确立故障树的系统边界范围。逻辑门对应事件要清晰。逻辑关系不能紊乱等;Petri 网模型则是使用 Petri 网和概率信息等技术手段相结合,建立有限库所,形成变迁集合,有向弧集合,令牌对象等。根据状态变化形成控制策略和操作策略,状态变化表现为变迁或库所的改变等。Petri 网的这种模型具有较强复杂系统问题求解能力,同时体现这种模块化的设计思想。这几类模型建立复杂,功能用途单一,特别当模型创建有疏忽或是不完整时,对后面的问题求解将会产生不精确甚至错误的结果。因此,在总结上述各种模型表示的同时,本文提出基于有向图的制造系统模型,它能衍生为分层或树型结构,也可以根据需要划分为更多的子网,能解决更多更复杂的问题。

2.3 制造系统模型分析

对于复杂的制造系统的研究,先从其模型结构的建立开始。用于建模的方法很多,如结构流程建模法,面向对象的系统建模法,多智能体的系统建模法等。本文使用了系统功能结构模块化的建模方法对制造系

统结构进行建模的,即把整个系统划分为多个能够完成各自任务的相互独立功能模块(或子系统),规范或是界定各功能模块之间的关联关系。大的功能模块又可划分为多个子功能模块,然后使用从整体到局部分解的方法对系统(模块)进行逐步分解求精的细化过程,使用这种方法形成最终自己需要的系统模型。

把整个制造系统独立的记为 S , S 可细化为几个相互独立、相互联系三个子系统,记为 M 、 C 、 H ,其中 H 表示管理决策子系统,主要指制造生产计划、物料计划等。 M 表示制造设备子系统,主要指制造、加工设备和存储单元等有形实体,如机床、动力设备、使用工具、机器人等。 C 表示信息决策子系统,如各种控制器、控制计算机,通信网络设施等。

三个子系统之间的关系如图 1 所示,当从管理决策子系统 H 发送作业计划与规则到信息决策子系统 C ,信息决策子系统 C 确定

资源分配并发送制造设备子系统 M 。制造设备子系统 M 将与系统状态相关的信息传送给信息决策子系统 C ,收到这些信息后,信息决策子系统 C 向管理决策子系统 H 传递制造设备子系统 M 的状态信息,控制整个制造系统的运行。在一个新的任务开始时管理决策子系统 H 对制造设备子系统 M 进行系统重构。

要想达到对制造系统的综合认识,为设计、优化和评价系统提供操作模型和处理方法,应该从定性、定量两个方面进行考察,其中定性模型主要反映系统的逻辑结构和运行机制,定量模型主要刻画系统传递的数量指标。使用的制造系统模型的模块和模块的联结关系,再结合制造系统的定性定量相对应的处理方法,就形成了制造系统的有向图结构模型。

建立的模型包含了制造系统的静态信息和动态信息,其中静态信息包括物理设备的信息及设备之间的逻辑信息,如系统重构、布局、资源信息等;动态信息包括工作、物料流、信息流、资源之间的交互、工件的随机到达模型、设备的服务模型、工件在队列中排列的规则等内容,像系统的状态信息、系统对象的行为等。

3 制造系统的有向图模型建立

3.1 基于有向图模型的制造系统的定义

建立一个完整的基于有向图的制造模型的定义。

定义 1: 任意制造系统为图 $G(V,E)$, 记为 $G=(V, E)$ 。其中 V 是有限非空集合, 其中元素为系统中的对象(设备、部件、部门等), E 是对象关系的集合, V 和 E 中元素是对应的。

$V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$, $E = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_m\}$; n, m 为自然数。

定义 2: 制造系统模型图 G 中的边 e 与节点 u, v 的有序点对 $\langle u, v \rangle$ 相对应, e 为有向边, 记为 $e = \langle u, v \rangle$ 。有向边又称为弧, 这时称 u 为弧尾(或始端), 称 v 为弧头(或终端)。

定义 3: 制造系统模型图中节点 v 所关联的边数称为节点 v 的度数, 记为 $\text{deg}(v)$ 。

定理 1: 制造系统模型图 $G=(V,E)$ 中节点度数的总和等于边数的两倍, 即

$$\sum_{v \in V} \text{deg}(v) = 2|E| \quad (1)$$

推论: 制造系统模型图 G 中度数为奇数的点必为偶数个。

如果 V_1 和 V_2 分别是 G 中奇数度数和偶数度数的结点集, 则

$$\sum_{v \in V_1} \text{deg}(v) + \sum_{v \in V_2} \text{deg}(v) = \sum_{v \in V} \text{deg}(v) = 2|E| \quad (2)$$

定义 4: 设 $G=(V,E)$ 是有 n 个节点的图, 则 n 阶方阵 $A=(a_{ij})$ 称为 G 的邻接矩阵。其中

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & (\langle v_i, v_j \rangle \in E) \\ 0 & (\text{否则}) \end{cases} \quad (3)$$

3.2 制造系统中的完整性和一致性

制造系统中的完整性即体现为系统功能的完整性, MMSBDG 的完整性是通过完善建模过程中的功能模块的确立来实现的, 建立的有向图的制造系统模型结构最终被保存在数据库的一些数据表当中, 其中制造系统模型的有向图矩阵表(模型表)记录了模型结构, 并另外增加了一些关键属性字段加以约束。除此之外还有用于记录功能模块的表, 此表的一个元组代表了一个功能模块, 它完整的记录了一个元组的具有完成相应的指定的某种功能的所有属性的集合, 该元组(模块)的某些属性域记录了和其它元组(模块)的联结关系。MMSBDG 完成后必须通过完整性检查, 一

是根据模型表(由有向矩阵生成的)除开始节点和终结点外任何中间结点的度都大于 1; 二是模型表必须实施满足上面的(1)、(2)、(3)式的检查; 三是任何模块在合并、更改或删除操作后, 必须作前两项完整性检查。如果模型功能不全或出现模块间依赖问题此完整性检查都是有效的。

解决制造系统模型结构中的一致性也是个非常重要的和复杂的, 在 MMSBDG 的设计中, 一致性问题主要表现在模型的增加、删除和变更, 最终归结为对模型表和功能模块表的操作上, 处理上采用了以下的几点规则。首先操作模型表, 实施需要的增、删、改和相应的属性值的记录值的录入; 第二作满足(1)、(2)、(3)式的检查; 第三对功能模块表进行操作, 实施对应的增、删、改和相关的属性值的记录录入; 第四关联的元组的对应属性值的修改。致此一致性工作全部完成, 在实施操作过程中要保持相关元组的修改的对应属性的一致性, 操作还要使用事务的策略保持操作的完整和一致。

4 制造系统有向图模型应用

有如图 2 所示的制造系统, 它由三部分组成: 接入设备 S, T ; 加工设备 R_1, R_2 和 R_3 ; 以及连接设备 L_1, L_2, L_3, L_4, L_5 等。其中, R_1 与 R_2 和 R_3 并联后再串联组成。下面以考察系统负载的安全性为目的, 建立符合要求的制造系统有向图模型。

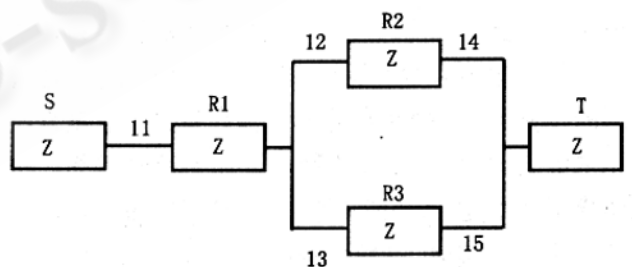


图 2 制造系统设备连接图

首先对制造系统所具有的特性进行细致、全面和总体的研究分析。提炼出核心问题, 选定合适的表现形式, 影响问题的各因素等。根据求解问题的目的, 选定视角进行研究。例中问题可以确定为设备负载安全问题, 定义该问题为系统负载安全有向图 $G(V,E)$, 针对此问题进行研究。

其次是仔细的划分系统的各个功能模块部分, 明

确它们之间的耦合关系,然后将组成各个部分的功能模块作为组成系统的元素进行具体的分析。从完成某一特定的重要功能的角度,任何设备或元器件都可单独将它作为一个功能模块看待,对应有向图中的一个结点 $v(v \in V)$ 。功能模块的确定可以使用合并和分解的方法,一些不重要的、只对性能起辅助作用的设备或部件,将它集成到一种功能模块中去。为完成某特定功能,一些起关键作用的设备和零件,不能遗漏,甚至一个部件也可独立作为一个对象来对待。

接着,进一步确定各个对象之间的联系以及联系强度,即是确定拓扑图的边 $e(e \in E)$ 和权值。各个对象之间的关系通过过程、内容、功能等耦合来实现。边和权值的确定,根据需要可简单的使用设备负载间的电流、电压或设备间传输的对象数量的能力等作为传递数据,这些关系比较容易界定。另外存在一些无法理解和难以分清的比较复杂的对象关系的强度,对于这类组件复杂关系的强度可以利用其它的方法和手段将其确定下来,常用的概率统计法、人工智能的学习法都能实现很好的效果。

建立上述完整的有向图模型如图 3。

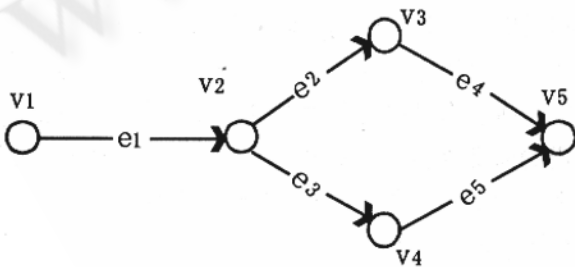


图 3 有向图模型

图 3 的网络 G 的结点集 $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$, 边集 $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5\}$, 其中 $e_1 = \langle v_1, v_2 \rangle$, $e_2 = \langle v_2, v_3 \rangle$, $e_3 = \langle v_2, v_4 \rangle$, $e_4 = \langle v_3, v_5 \rangle$, $e_5 = \langle v_4, v_5 \rangle$ 。

图 $G = (V, E)$ 是一个有 5 个结点的图,则 5 阶方阵 $A = (a_{ss})$ 称为 G 的邻接矩阵。其中

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

最后是应用的实现。它是系统模型设计的最终目的,此阶段使用好的算法是关键,它能精确和快捷的定位问题所在。上例中,可根据有向图模型对系统结构可对系统进行资源优化配置,系统安全与可靠性评估,系统故障诊断等。常用的求解方法有极值法,此方法可以求出每条组成图形网络线路上的最大值或最小值,此特征值关联的系统元素对象即为求解问题的改进对象。

5 结束语

系统建模在制造系统中的作用日益增大,科学的模型表示,能简化问题,突出关键,给系统提供安全与保障。本文对一些科学模型的方法做了较为深入的分析,同时给出了系统模型分析和解决问题的方法,它们能很好的解决实际生产中存在的一些复杂问题。文章基于有向图的制造系统模型只给出了模型建立的方法,提出了求解问题的算法,但没能对具体的模型用实际数值的分析,相信基于有向图的制造系统模型会越来越的被制造系统建模所使用。

参考文献

- 1 Li Ji eds. Growing complex network model with acceleratingly increasing number of nodes. Acta Physica Sinica, 2006; vol. 55, no. 8; 4051-7.
- 2 Wang Bing - Hong eds. A weighted complex network model driven by traffic flow. Wuli, 04 2006; vol. 35, no. 4; 304-10.
- 3 Zvi Retchkiman. Stability and stabilization techniques for discrete event systems modeled by coloured Petri nets. Alaska, USA: Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Control Applications Anchorage, September 25-27, 2000; 924-8.
- 4 韩光臣等, 基于模糊概率 Petri 网系统的故障诊断仿真研究, 计算机集成制造系统, 2006 年 4 月; Vol. 12No. 4; 520-5.
- 5 刘勇等, 基于故障图模型的故障诊断方法研究, 小型微型计算机系统, 2006 年 9 月; 第 27 卷第 9 期; 1741-5.
- 6 安若铭吉, 基于抽象的分层诊断技术应用研究, 航空学报, 2006 年 5 月; 第 27 卷第 3 期; 448-52.