

基于工作流的企业业务过程集成建模方法

盛昭瀚¹, 张传芹², 赵佳宝¹

(1. 南京大学管理科学与工程研究院, 南京 210093; 2. 东南大学经济管理学院, 南京 210096)

摘要: 工作流管理是一种对业务过程进行支持、控制、监视和优化的先进工具. 将生产制造过程 BOM 和 Petri 网技术应用于企业业务过程, 对于相关定义、建模分析以及从 BOM 到 Petri 网的映射实现算法进行了说明; 对基于 BOM-Petri 的建模方法进行了扩展优化; 最后结合算法进行了仿真研究.

关键词: 业务过程; 工作流管理; BOM; Petri 网; 建模; 优化

中图分类号: TP13; TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2003)02-0035-06

0 引言

企业是由许多紧密联系并相互作用的单元组成的具有不同层次结构和功能结构的系统. 基于企业系统各部分及其相互联系的信息, 运用先进的管理思想与管理方式, 如再造工程、学习型组织、管理控制一体化等, 应用计算机技术以人机交互的方式, 对企业业务系统进行建模、模拟、仿真, 是实现企业业务过程整体优化的有效途径^[1,2].

工作流技术是从信息系统分离出来的, 对现代企业业务过程实现过程管理和控制的一项关键技术, 它为企业的业务过程提供了一个从模型建立、管理到运行分析的完整框架. 业务管理过程和生产制造过程存在着许多共同之处, 它们都以工作的流程和工作资源的分配为管理对象. 生产制造过程生产的是物化了的产品, 业务管理过程则生产信息化了的产品(如文件). BOM 是制造过程物流控制中成熟运用的技术, 基于企业业务过程管理和制造过程管理的相似性, 本文将 BOM 技术应用到企业业务过程管理的建模过程中.

采用 BOM 技术, 实现了业务过程的组件化, 描述了过程需求、资源等的静态特性; 然而 BOM 组件对业务系统的结构、组件间相互关系以及动

态演变行为等, 缺乏深刻的刻画. 近来在工作流建模领域研究比较多的 Petri 网方法是从过程的角度出发分析与设计较复杂系统的一种有效模型工具, 对过程的表达具有形式化的步骤和数学图论相支持的理论严密性等特点, 便于分析并实现过程的计算机模拟. 本文将 BOM 方法和 Petri net 方法有机地结合, 实现了 BOM-PN 集成建模, 结合实例给出计算机仿真结果, 证明了 BOM-Petri 建模方法的有效性.

1 工作流模型的 BOM 描述

业务管理过程实际是任务的处理过程, 如工程的招投标、交通事故的处理等. 采用工作流技术可以按松耦合的方式将业务过程中不同的活动组织在一起, 使它们在受控状态下运行^[12]. 工作流管理以业务过程的形式化表示为基础, 着重于过程的输出(即产品), 并用自身的组件进行说明, 因此可以将 BOM 应用于工作流管理领域, 并在 BOM 的基础上导出工作流过程. 图 1 给出了一个工程投标方案的 BOM, 实圆表示必须的组件, 虚圆表示必须在多个组件中做出选择. 这里对经典的 BOM 进行了扩充, 增加可选项(optional)和选择项

收稿日期: 2001-03-31; 修订日期: 2003-02-05.

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(79830010).

作者简介: 盛昭瀚(1944—), 男, 江苏镇江人, 教授, 博士生导师.

(choice), 派生出对业务过程的产品进行描述的 BOM.

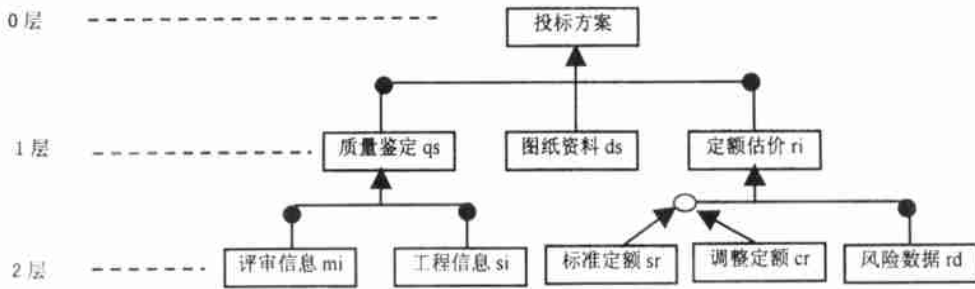


图 1 工程投标业务过程的 BOM

为了与用于制造过程的经典 BOM 相对应^[14],假设:业务过程的每个组件只能使用一次.至于重用情况通过对模型进行优化实现.

定义 1 BOM 为一个多元集 $(C, r, mandatory, optional, choice)$, 其中: C 为组件的有限集; $r \in C$ 为组件的根; $mandatory \subseteq C \times P(C)$ 为必需项; $optional \subseteq C \times P(C)$ 为可选项; $choice \subseteq C \times P(C)$ 为选择项. 且满足下列属性:

$$\forall c \in C \{ \{ c \in C \mid c \text{ mandatory}(c) \} \cup \{ c \in C \mid c \text{ optional}(c) \} \cup \{ (c, cs) \in C \times C \mid cs \text{ choice}(c) \} \} \neq \emptyset$$

$$R \subseteq C \times C, \text{ 满足 } (c_1, c_2) \in R, \text{ 当且仅当 } c_1 \text{ mandatory}(c_2) \text{ 或 } optional(c_2) \text{ 或 } choice(c_2)$$

BOM 着重说明了组件之间的关系 R . 如果 c_1 和 c_2 之间存在连接线, 则有 $(c_1, c_2) \in R$.

组件 c 之间的连接构成了树, 根组件 r 是业务过程的最终产品. 组件 c 由一些必须组件 $mandatory(c)$ 和可选组件 $optional(c)$. 每个组件在 BOM 中只能使用一次, 如图 1 中的 $mandatory(tp) = \{qs, ri\}$, $optional(tp) = \{ds\}$, $choice(ri) = \{sr, cr\}$.

在生产制造过程中, BOM 是在 PDM 集成框架下各分系统之间传递的计算机可以识别的至关重要的基础数据, 主要用于对制造业中产品结构的描述, 是企业生产活动中关键的技术文件. 以 BOM 为主线组织的产品信息贯穿于企业生产的设计、工艺、采购等整个生产活动的始终. 制造过程的 BOM 是指产品所需零部件明细表及其结构, 而管理过程的 BOM 包括业务所需元信息明细表及信息架, 同样该 BOM 贯穿于业务管理过程的设计、操作、信息流转等的管理全过程. 因此, 基于 BOM 思想能够较好地明晰管理过程中的基本要

素, 建立有效的信息架.

2 workflow模型的 BOM- Petri 网描述及性能分析

利用 Petri 网建模的优势在于它具有严格的数学定义, 自身所提供的分析理论和工具能够较好地解决业务过程中的不确定性、并发性和资源共享问题^[5~7], 也为工作流的评估、性能、死锁等分析提供了理论上的依据. 对模型进行分析, 一方面能够正确反映现有系统的特性, 另一方面可以在新系统的设计过程中发现潜在的问题, 保证新系统的正确实现. 首先 Petri 的定义保证了模型元素的连接只能是位置和变迁相连, 而不会出现同类型节点的连接的情况, 且模型不存在孤立的元素(多余或不完整的信息); 其次, 还可以利用 Petri 网的语义进行冲突和死锁检测.

定义 2 一个 Petri 网就是满足下列条件的三元组 $\Sigma = (P, T, F)$:

- 1) $P \cap T = \emptyset$
- 2) $P \neq \emptyset, T \neq \emptyset$
- 3) $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$
- 4) $\text{dom}(F) \cap \text{cod}(F) = \emptyset$

其中: $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, 为 的有限位置集; $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, 为 的有限变迁集; F 为流关系; \emptyset 表示空集.

$X = P \cup T$, 为 的元素. 定义中的 4) 保证了没有孤立的位置和变迁.

工作流过程说明了以怎样的顺序来执行哪个任务, 在此引入 4 个构造模块: 与分 (AND-split), 与合 (AND-join), 或分 (OR-split), 或并 (OR-join). 主要用于工作流项的顺序、条件、并行和迭代执行^[8,9]. AND-split 对应 Petri 网一个带有两个以上输出位置的变迁, AND-join 对应 Petri 网中一个带

有两个以上输入位置的变迁, OR-split 和 OR-join 对应带有多个出 / 进有向弧的位置. 使用 Petri 网描述 workflow 模型时, 用变迁节点对任务 (task) 模型化, 而位置节点则用于描述任务间的因果关系.

BOM 实现了业务过程的组件化, 并通过扩展后实现重用, 从而方便地描述过程需求和资源、信息及系统的静态特性. 利用 Petri 网对分布、并发的过程进行有效的形式化建模, 可以对系统的结构和动态行为进行严密的数学分析和直观的计算机仿真.

BOM 和 Petri 网分别提供了以产品为中心和

以过程为中心的方式来看待 workflow 的方法. 因此在建模过程当中, 可以利用 BOM 和 Petri 网的特点, 实现 BOM-Petri 集成建模.

下面给出一个基于 BOM 来建立 Petri 网的算法, 假定任务和组件之间存在一对一的关系. 图 1 是一个带有组件 tp 的 BOM, 而 ri 又由组件 rd 等组件组成. 建立 Petri 网时, 组件 tp 对应一个子网, 该子网代表 tp 组件的产生和过程中所需要的组件, 它以变迁 $prepare_{tp}$ 开始, $prepare_{tp}$ 又触发其他组件的产生. 对应于图 1 的 Petri 网如图 2 所示.

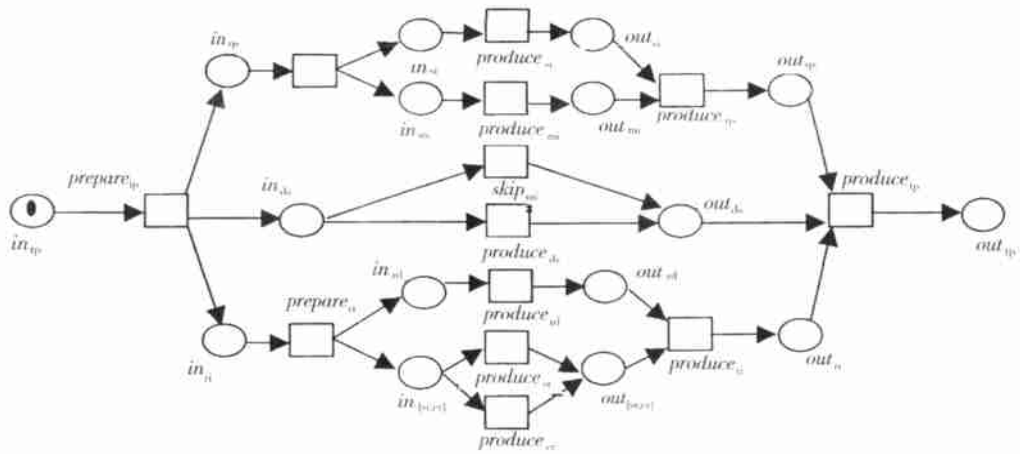


图 2 对应工程投标方案 BOM 的 Petri 网描述

算法 1 描述如下^[4]:

令 $BOM = (C, r, mandatory, optional, choice)$.

步骤 1 构建网 $PN = (P, T, F)$

其中: $P = \{in, out\}$; $T = \{r\}$; $F = \{(in, r), (r, out)\}$, 执行步骤 2.

步骤 2 对于 $PN = (P, T, F)$, 若 $T \cap C = \emptyset$, 执行步骤 4; 否则选择一个组件 $c \in T \cap C$, 若

$c = mandatory$, 则对变迁 c 重新标识为 $produce_c$, 并执行步骤 2; 否则, 执行步骤 3.

步骤 3 将变迁 c 用下面的子网代替

$$P_{out} = \{out_x \mid x \in c\}$$

$$P_{in} = \{in_x \mid x \in c\}$$

且

$$T_{skip} = \{skip_x \mid x \in option\ l(c)\}$$

则修改后的 Petri 网为

$$P = P \setminus P_{out} \cup P_{in}$$

$$T = (T \setminus \{c\}) \cup \{prep\ re_c, produce_c\}$$

$$F = (F \setminus \{(in_c, c), (c, out_c)\}) \cup \{(in_c, prep\ re_c), (produce_c, out_c)\} \cup \{(out_x, produce_c) \mid x \in c\} \cup \{(x, out_x) \mid x \in c\} \cup \{(in_x, x) \mid x \in c\} \cup \{(prep\ re_c, in_x) \mid x \in c\} \cup \{(skip_x, out_x) \mid x \in option\ l(c)\} \cup \{(in_x, skip_x) \mid x \in option\ l(c)\}$$

令 $PN = (P, T, F)$, 执行步骤 2.

步骤 4 去掉仅有一个输入和输出的位置构成 $prepare_x$ 的变迁, 将输入输出位置融合在一起.

令 $BOM = (C, r, mandatory, optional, choice)$, $PN = (P, T, F)$ 是使用上述算法生成的 Petri 网, 性能分析结果如下: 1) PN 是安全的; 2) PN 在扩展状态下是可以自由选择的; 3) 在算法中, 当 in_r 和 out_r 融合后, 每个任务 (变迁) 或条

件(位置)都在由 in_r 和 out_r 组成的路径上;4) in_r 和 out_r 融合后的位置仅有一个 token,保证了网络的活动性,可以激活任何变迁,完成所有的任务.

基于 BOM-Petri 实现的工作流过程构造保证了网络的正确性,而不需要其他复杂的验证技术,它能够监视流程的中断,阻止了死锁和活锁的发生.

3 模型的扩展优化

单纯地运用算法 1 并不能构建完全符合要求的工作流模型,传统的 BOM 对组件的要求是只能使用一次,而在实际应用中,存在着很多需要迭代和转折点验证的工作流,必须对构建过程进行优化.在不改变基于 BOM 方法的基础上,首先使用算法 1 建立一个基于 BOM 的过程,然后对该过程进行修改以便它能将额外的约束和任务合并执行.

3.1 优先约束

管理过程和制造过程最显著的区别在于产品复制的工作量.制造过程的复制工作量非常大,因此,传统的 BOM 构造了树结构,并规定每个组件只能被使用一次.相对而言,信息复制的工作量可以忽略不计,因此也就没有必要限制信息的重复使用,优先约束是解决信息重用的重要方法.

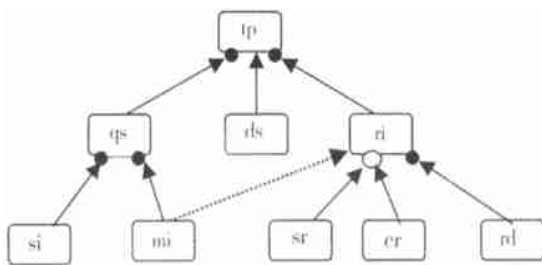


图 3 带有优先约束的工程投标方案 BOM

在图 1 的工程投标方案 BOM 中,评审信息(mi)用于产生质量鉴定信息(qs),但也用于产生定额估计(ri).这就意味着在评审信息没被释放之前,定额估计就不能产生.为了解决这个问题,在这两个组件之间增加了一个优先约束,如图 3 中的虚线表示.

使用优先约束可能产生冲突,冲突的产生是系统中多个活动对有限的共用资源竞争的结果.例如,对于组件 c_1 和 c_2 ,如果它们之间存在循环

依赖,将在工作流的定义中产生死锁,因此在这种情况下设计工作流时要解决好冲突的优先级关系.

3.2 成组

在实际应用中,一个任务可能是生产多个产品的生产过程.这种情况下采用对相关的组件成组的方法建模.例如,对图 3 中的 si , mi 和 qs 的周围进行成组,成为一个变迁.

3.3 BOM 类

由于业务过程的变化,管理过程中存在的变量数量越来越多,造成产品规格和组成部件不断增加.在生产制造领域给出解决方案^[11]:将传统的 BOM 扩展为“产品族”,作为产品结构类建模,即“BOM 类”.BOM 类构成了相似产品的族,同时这些产品又有轻微的差别.BOM 类的使用可以极大地提高建模效率,例如,对一个品牌的计算机,可能有 6 种主板需求,3 种 CPU 以及 3 种可选配置,那么就有 $6 \times 3 \times 2^3 = 144$ 个产品配置,而通过定义一个 BOM 类就可以完全代替上述 144 个 BOM,极大地提高了效率.

对于复杂的业务过程建模,BOM 类同样可发挥重要的作用,使复杂系统简单化,使基于 BOM 的建模变得更加有效.

4 业务过程仿真

采用本文提出的 BOM 和 Petri 网集成建模的方法对某工程投标的管理过程进行了建模和仿真.为了优化工作流模型,使用了着色和时间 Petri 网以及类 BOM 思想,如图 4 所示.

图中的数字代表工作流过程中所有事务活动的吞吐时间(以 d 为单位),即将 token 从事务的输入位置移动到相应的输出位置所需的整个时间作为仿真结果来衡量业务过程的管理效率.从图 4 看出,工程设计是整个业务过程中的关键参数,但又依赖于整个过程中的 BOM.

基于本文中的算法和建模方法,比较表 1 和表 2,可以清晰看出业务过程的仿真结果和效率的提高程度.

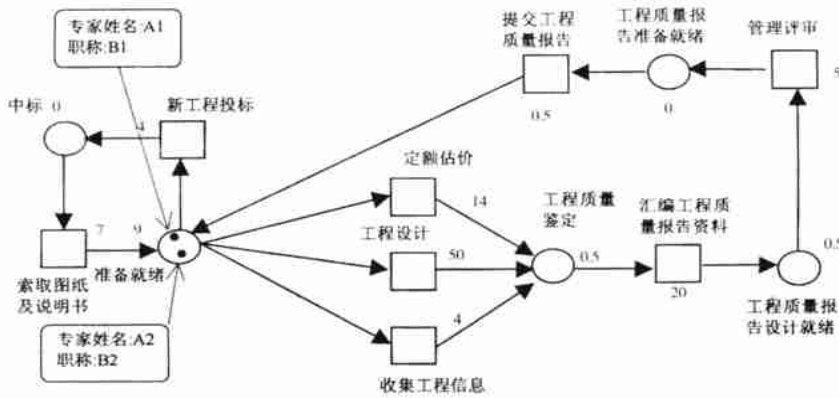


图 4 工程投标业务过程的着色和时间 Petri 网

表 1 原来的业务过程仿真结果 (d)

业务活动	Run 1 #	Run 2 #	Run 3 #	Run 4 #	Run 5 #	Run 6 #
投标	6.2	6.2	6.4	5.7	6.1	6.3
索取图纸和说明	7.5	7.0	7.3	7.2	7.4	7.3
定额估价	18.4	16.2	19.3	20.1	16.5	17.6
工程设计	57.2	61.2	53.3	54.2	51.7	59.2
收集工程信息	7.3	7.0	8.2	6.2	7.9	5.5
汇编工程报告	23.5	21.7	24.8	23.9	22.0	26.1
管理评审	5.5	5.8	5.9	5.7	5.8	5.8
提交工程报告	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6

表 2 使用新工作流后的业务过程仿真结果 (d)

业务活动	Run 1 #	Run 2 #	Run 3 #	Run 4 #	Run 5 #	Run 6 #
投标	6.0	5.8	6.8	6.3	6.5	6.6
索取图纸和说明	7.4	7.7	7.5	7.0	7.1	7.5
定额估价	17.5	17.2	18.4	17.2	17.9	17.8
工程设计	9.3	10.4	8.8	9.6	10.6	9.3
收集工程信息	8.4	8.9	8.6	7.9	8.7	7.9
汇编工程报告	25.4	22.2	26.3	25.9	21.5	25.2
管理评审	5.9	5.7	5.6	5.8	5.9	5.7
提交工程报告	0.6	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6

5 结束语

本文利用业务过程BOM组件化和Petri Net 图形

化清晰表达了业务组件间相互关系,实现了企业业务过程结构优化;利用 BOM-PN 集成建模方法,结合企业业务过程中具体需要优化的关键要素,实现了企业业务过程建模、计算机模拟和整体优化。

参 考 文 献:

- [1]成思危. 中国管理科学的学科结构与发展重点选择[J]. 管理科学学报, 2000, 3(1): 1—6
- [2]王众托. 信息化与管理变革[J]. 管理科学学报, 2000, 3(2): 1—8
- [3]Buffa E S, Sarin R K. Modern Production/ Operations Management[M]. Series in Production/ Operations Management. New York: 1987
- [4]Kusiak Andrew, Larson T Nick, Wang J uite. Reengineering of design and manufacturing process[J]. Computers Ind Engng, 1994, 26(3): 521—536
- [5]Murata T, Petri nets: Properties, analysis and applications[J]. Proceedings of the IEEE, 1989, 77(4): 541—577
- [6]David R, Alla H. Petri nets for modeling of dynamic systems—A survey[J]. Automation, 1994, 30(2): 175—202
- [7]吴哲辉. Petri 网理论与系统模拟[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1989
- [8]Jensen K. Coloured Petri nets, basic concepts, analysis methods and practical use[J]. EATCS Monographs on Theoretical. Computer Science, 1992, 12(2): 36—42
- [9]Van der Aalst W M P. Putting Petri nets to work in industry[J]. Computers in Industry, 1994, 25(1): 45—54
- [10]Cichoci A. Workflow and Process Automation: Concepts and Technology[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998
- [11]Erens F, MacKay A. Product modeling using multiple levels of abstraction—instances as types[J]. Computers in Industry, 1994, 24(1): 17—28
- [12]任午令, 何伟, 杨勇勤, 等. 管理过程控制系统: workflow思想的一种新的应用模式[J]. 计算机研究与发展, 2001, 38(3): 334—340
- [13]Workflow Management Coalition. The Workflow Reference Model[DB/OL]. WfMC-TC00-1003. <http://www.wfmc.org>. 1996
- [14]Van der Aalst W M P. Designing workflows based on product structures[A]. Proceedings of the Ninth IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing Systems[C]. Anaheim, 1997: 337—342

Research of integrated modeling method of business process based on workflow

SHENG Zhao-han¹, ZHANG Chuan-qin², ZHAO Jia-bao¹

1. Graduate School of Management Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. School of Economics and Management, Southeast University, Nanjing 210096, China

Abstract: Workflow management promises a new solution to controlling, monitoring, optimizing and supporting business process. In this paper, we apply BOM and Petri-nets technologies to workflow process, and construct the concept of workflow model. The implementation algorithm of mapping the BOM onto Petri-nets is also introduced in this paper. At last, the extensions and simulation base-on the mapping algorithm is introduced.

Key words: business process; workflow management; BOM; Petri-nets; modeling; optimization