

供应链Meta图形式化模型及特点

樊宏, 刘晋

(五邑大学 管理学院, 广东 江门 529020)

摘要: 在介绍 Meta 图概念的基础上, 建立了既可进行全局定量分析又便于建模人员与管理人员进行交流与沟通的供应链 Meta 图形式化模型, 提出该模型的建模方法和步骤, 讨论了供应链 Meta 图形式化模型的重要特点。

关键词: 供应链; Meta 图; 模型; 形式化

中图分类号: F406.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-7348(2006)08-0136-03

0 前言

供应链建模与分析技术是供应链管理中的重要内容。供应链模型大体上可分为描述性模型和形式化模型两大类^[1]。国外学者在这两方面都进行了研究, 而我国学者则主要集中于描述性模型的研究。描述性模型大多以图形方式表示供应链的构成和其要素之间的关系, 其中最为典型的是美国 HP(惠普)公司的网络模型^[2]。目前影响最大应用面最广的是由拥有全球近千家会员公司的社团性组织供应链委员会(Supply-Chain Council, SCC)所提出的供应链运作参考模型(Supply-Chain Operations Reference-model, SCOR), 该模型将整个供应链运作分解为计划、物料获取、制造、交付和反向物流 5 个流程。这类模型主要是为了对供应链有更好的理解, 但无法直接对供应链进行定量分析和设计。形式化分析模型主要用于对供应链进行定量分析, 从而优化供应链的设计。迄今为止, 最为全面的定量分析模型当属美国 DEC 公司所建立的混合整数规划模型^[3], 它考虑了客户、供应商、人力资源、运输模式、减免税情况等多方面因素, 其最大优点是能从全局出发来进行优化设计。但从计算复杂度角度考虑, 在考虑因素较多的情况下, 求解极为困难。另外,

整数规划模型是纯数学模型, 建模人员与管理人之间沟通困难, 影响到它的使用和推广。其它的大多数定量模型则分别从供应链中某一环节出发来处理问题, 如对供应链中的采购、生产、运输、库存等分别建立运筹学模型求解。文献[1]中将供应链中的活动分为销售、制造、采购、移动和存储 5 种模块, 在这 5 种模块之间建立先后顺序, 然后分别进行求解。这一类方法的优点是每次只考虑一个方面的问题, 从而使问题简化, 但同时导致整个问题的解是由若干局部最优解构成, 无法从全局角度进行优化。本文提出基于 Meta 图的离散制造业供应链形式化模型的建模方法和步骤。用该方法所建立的形式化分析模型, 为用系统化手段进行供应链定量分析管理提供了理论基础。

1 Meta 图及相关概念

Meta 图是美国 Vanderbilt 大学的 A. Basu 和 R.W. Blanning 于 1992 年提出的一种用于系统描述和分析的图形结构^[4,5]。该结构是传统图论的扩展, 它综合了有向图、无向图以及后来发展的超图(Hypergraph)、与或图(AND/OR Graph)等各种图形工具的优点, 不仅可以对各种系统进行直观的图形表述, 而且有很强的形式化描述和分析能力, 可被应

用于决策支持系统^[5-7]、层次化建模^[8]、工作流(workflow)分析与管理^[9]等领域, 具有广泛的适用性。

1.1 Meta 图

定义 1: 有限元素的集合 $X = \{x_i | i = 1, 2, \dots, l\}$ 称为生成集, 将 X 上的一个 Meta 图记为 S , 则 S 是一个有序对 $S = \langle X, E \rangle$ 。其中 $E = \{e_k | k = 1, 2, \dots, K\}$ 是图中弧的集合, E 中的每一条弧 e_k 也是一个有序对 $\langle V_k, W_k \rangle$, $V_k \subseteq X$ 称为 e_k 的入点集, $W_k \subseteq X$ 称为 e_k 的出点集。

Meta 图与传统有向图的相同点是它们都由节点和弧(或边)组成, 节点代表研究的对象, 弧或边代表这些对象之间的关系; 两者的区别为, 有向图中弧的有序对由两个单一元素构成, 而 Meta 图中弧的有序对由两个生成元的集合 V_k, W_k 构成。

图 1 为一个企业模型的 Meta 图。其中生成集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_6\}$, 中的元素表示企业中的各种变量, 弧集 $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4\}$ 中各弧表示以入点集为输入变量、以出点集为输出变量的计算模型, 如: $e_3 = \langle \{x_2, x_3\}, \{x_6\} \rangle$ 代表利用变量 x_2 和 x_3 及模型 e_3 可得到变量 x_6 。

Meta 图的重要特性是它的连通性, 即可以从一个生成元的集合出发经过一些弧而连通到另一个生成元的集合。Meta 图的连通性可用通路(Path)和 Meta 路(Metapath)来描述。

收稿日期: 2005-10-21

基金项目: 广东省自然科学基金项目(021352); 广东省“千百十工程”培养基金项目(Q02119)

作者简介: 樊宏(1957-), 男, 山西定襄人, 副教授, 硕士, 研究方向为物流与供应链管理; 刘晋(1956-), 女, 湖北武汉人, 教授、博士, 五邑大学管理学院院长, 研究方向为供应链管理、管理信息系统。

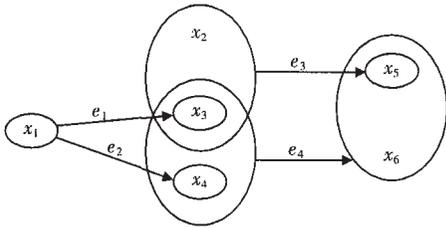


图1 一个企业模型的Meta图

1.2 通路 & Meta 路

定义2: 给定Meta图 $S = \langle X, E \rangle$, 对于 X 中的两个元素 $b, c \in X$, 从 b 到 c 的一条通路 $P(b, c)$ 是一个弧的序列, 记为: $P(b, c) = \langle e_1, l = 1, 2, \dots, L \rangle$, 其中 $e_i \in \langle V_i, W_i \rangle$, 使得:

$b \in V_1, c \in W_L$ 且 $V_{i+1} = W_i \cap \{b\}$

元素 b 称为通路的源, c 称为通路的目标, 通路长度是通路中所含弧的数目, 记为 L 。另外, 源 b 的共入点集为 $\bigcap_{i=1}^L V_i \setminus \{b\}$,

目标 c 的共出点集为 $\bigcap_{i=1}^L W_i \setminus \{c\}$ 。

如图1, $\langle e_1, e_4 \rangle$ 为一条长度为2的从 x_1 到 x_6 的通路, 通路中源 x_1 的共入点集为 $\{x_4\}$, 目标 x_6 的共出点集为 $\{x_3, x_5\}$ 。其含义为: x_1 到 x_6 间存在通路 $\langle e_1, e_4 \rangle$, 说明利用 x_1 和模型 e_1 和 e_4 有可能计算出 x_6 , 而共入点集 $\{x_4\}$ 又表明通过模型 e_1 和 e_4 计算变量 x_6 时仅有 x_1 还不够, 还必须知道 x_4 的值; 也即, 共入点集就是除了源点之外, 为了“激活”通路中的弧还必须接入的所有其它元素。由此可知, 通路所表示的信息是不完整的, 而Meta路 (Metapath) 的概念则可克服这种缺陷。

定义3: 给定Meta图 $S = \langle X, E \rangle$, 对于 X 的两个子集 $B, C \subseteq X$, 从 B 到 C 的一个Meta路 $M(B, C)$ 是一个弧的集合, 记为: $M(B, C) = \langle e_i, l = 1, 2, \dots, L \rangle$, 其中 $e_i \in \langle V_i, W_i \rangle$, 并且:

(1) 存在一组通路 $\{P_i(b_i, c_i) | b_i \in B, c_i \in C, i = 1, 2, \dots, R\}$, 使 $M(B, C) = \bigcup_{i=1}^R \text{Set}(P_i(b_i, c_i))$;

(2) $\bigcap_{i=1}^L V_i \setminus \{b_i\} \subseteq B$;

(3) $C \subseteq \bigcap_{i=1}^L W_i$ 。

其中算子 $\text{Set}(\cdot)$ 将通路的弧序列转换为弧的集合。即: $\text{Set}(\langle e_1, e_2, \dots, e_k \rangle) = \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$ 。

图1中, $\{e_1, e_2, e_4\}$ 是从 $\{x_1\}$ 到 $\{x_6, x_6\}$ 的Meta路。该Meta路表明, 只要知道了变量 x_1 , 经过依次运用模型 e_1, e_2, e_4 , 就可以得到目标变量 x_6 和 x_6 。

Meta路与通路的区别有两点: Meta路中的源和目标均为集合而非单一元素 (可以是单元素集); Meta路是弧的集合而非弧的序列。

1.3 Meta图邻接矩阵与最大Meta路

为了计算Meta路, 我们引入Meta图的邻接矩阵 A 。Meta图的全部信息可由 A 给出, Meta图的性质及Meta路也可由 A 通过运算而获得。

定义4: Meta图 S 的邻接矩阵 A 的每一行和每一列各对应于生成集中的一个元素, 矩阵元素 a_{ij} 代表以 x_i 为入点, x_j 为出点的弧, 其值为:

$$a_{ij} = \bigcup_{k=1}^K (\alpha_{ijk}) \quad (1)$$

式中:

$$(\alpha_{ijk}) = \begin{cases} \langle V_k \setminus \{x_i\}, W_k \setminus \{x_j\}, \langle e_k \rangle \rangle & x_i \in V_k, x_j \in W_k \\ \emptyset & \text{其它} \end{cases} \quad (2)$$

从式(1)和(2)中可以看出, a_{ij} 或为空集, 或为若干三元组的并。三元组的第一项是 x_i 的共入点集, 第二项是 x_j 的共出点集, 第三项是从 x_i 到 x_j 的长度为1的通路 (即从 x_i 到 x_j 的弧)。

可见, Meta图和它的邻接矩阵是同构的。也就是说, 每一个Meta图具有一个唯一与之对应的邻接矩阵, 反之亦然。

可以定义Meta图邻接矩阵的加法和乘法运算, 并在此基础上计算邻接矩阵的传递闭包 (计算方法详见文献[6])。利用 A 的传递闭包可以识别出Meta图中的所有Meta路。由于Meta路描述了两个生成元集合之间的可达性。所以, 如果Meta路源中的生成元只出现在弧的入点集中而不出现在任何弧的出点集中, 则对目标 C 而言, 在该Meta路的基础上不存在任何向前延伸的可能性。这类特殊的Meta路称为最大Meta路。其数学定义为:

定义5: 对于Meta图 $S = \langle X, E \rangle$ 中一条给定的Meta路 $M(B, C)$, 若 $\forall b_i \in B$ 和 $\forall e_i \in \langle V_i, W_i \rangle \in C$, 均有, 则 $b_i \notin W_k$ 称该Meta路是以 C 为目标的最大Meta路。

本文图5中, 弧的集合的 $\{1, 3\}$ 是一条Meta路, 其源点集为 $\{2, 4, 5, 10\}$ 。由于生成元 $2, 4, 5, 10$ 均不存在于任何弧的出点集中, 故Meta路 $\{1, 3\}$ 是一条最大Meta路。在本文模型中, 一条最大Meta路对应着以源

为最初的零部件 (或原材料)、以目标为最终产品的一套供应链方案。

2 离散制造业供应链Meta图形式化模型

2.1 模型中的元素

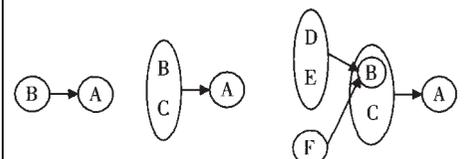
离散型制造业是物料密集型行业, 原材料和零配件的采购、产品的生产过程是围绕产品的BOM表 (Bill of Material, 物料清单) 进行的。因此本文以BOM表作为供应链建模的出发点。将BOM表中的物料用Meta图中的生成元表示, 而将物料状态的变化过程 (加工、装配或运输) 用图中的弧表示, 弧的出点集代表某一种产品 (成品或在制品), 弧的入点集代表制成该产品所需的物料 (原材料或零配件) 种类。

2.2 模型基本结构

为了便于建模, 将产品生产加工过程中的任何一种存在形式称为产品状态或物料状态。如原材料、在制品、产成品、库存品等, 并对供应链Meta图模型中基本结构定义如下: 处理: 由单一物料经加工或运输后得到新的物料状态, 如喷漆、抛光、运输等。装配: 由两种或多种物料经组装后得到新的物料状态, 如由轮箍、内胎和外胎组装成车轮等。单供应源: 某一种物料仅由一家供应商独家供应。多供应源: 某一种物料由多家供应商供应, 因此有多种方案可供选择。单客户: 产品送往单一客户, 一般适用于专门的客户化订单或买断经营情况。多客户: 产品送往多家客户, 绝大多数情况下, 供应链是多客户的。

这几种基本结构如图2所示。其中图(a)表示物料状态 A 是由状态 B 经处理而得到。图(b)表示, 物料状态 A 是由 B 和 C 两种物料装配而成的, 图(c)表示物料状态 A 是由 B 和 C 组装而成, 其中 C 为独家供应, B 由两家供应, 其中一家 F 是直接供应, 另一家则是将 D 和 E 组装后得到 B 进行供应 (限于篇幅, 单客户、多客户基本结构图从略)。

2.3 建模步骤



(a) 处理 (b) 装配 (c) 单供应源和多供应源
图2 模型基本结构

按照以上定义,我们可以通过以下步骤从产品生产的 BOM 表出发得到产品的供应链模型:

步骤一: 将产品生产 BOM 表按照生产流程进行分级,并将最终产品定为 0 级。然后依次向下分级。

步骤二: 列出各种物料的候选供应厂商并加入图中,得到动态分级 BOM 表。如图 3,“微机系统”为 0 级,“显示器”、“主机”、“打印机”、“软件”为 1 级,“硬盘”、“主机板”、“显示卡”、“内存条”为 2 级,“CPU 芯片”为 3 级。另外主机除分别从英国、加拿大进口,还有本土生产,主机板所用 CPU 芯片则分别从新加坡和日本进口。

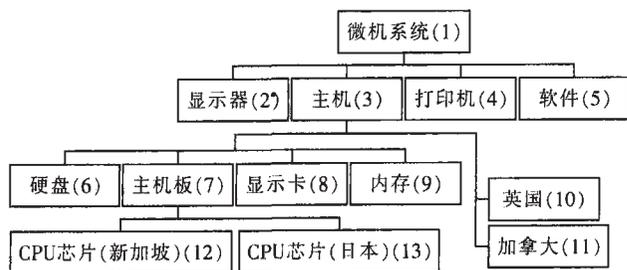


图 3 一家微机生产企业的动态分级 BOM 表

步骤三: 在动态分级 BOM 表中加入分销中心,得到最终的供应链 BOM 表。图 4 展示了供应链从成品开始的下游部分结构。

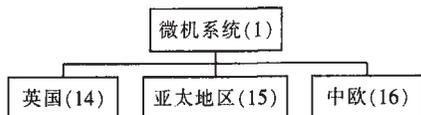


图 4 一家企业微机供应链 BOM 表的下游部分

步骤四: 对供应链 BOM 表中的所有组成部分进行编号(见图 3、4)。

步骤五: 根据供应链 BOM 表及编号,按照前述模型基本结构定义作出 Meta 图。图 5 是上述微机供应链的 Meta 图模型。

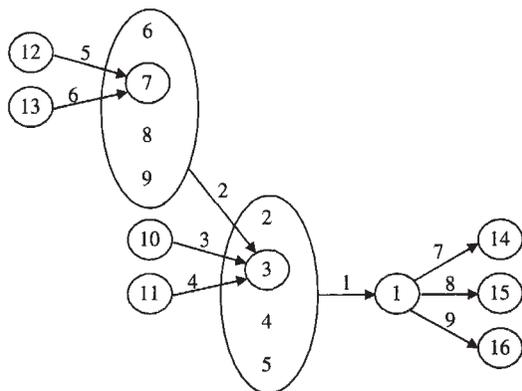


图 5 上述微机供应链的 Meta 图形式化模型

3 供应链 Meta 图模型的特点

我们利用 Meta 图建立了供应链的形式化模型,因此 Meta 图的所有性质和运算都可以直接用于对供应链的分析。但是我们注意到,如果进一步找出供应链 Meta 图所独有的特点,可以使分析和计算过程更加简化。首先,单一产品供应链 Meta 图模型是一棵以最终产品为根节点的广义树,这是其拓扑结构特点。与一般的树相比,广义树中不仅包含单元素节点(如图 5 中的生成元 1、10、11 等),而且还有元素集构成的节点(如图 5 中弧 1 和弧 2 的入点集)。从广义树的树根出发,分别沿供应链上游方向和下游方向生长出两棵子树。我们将位于叶节点上的生成元简称为“叶元”,将代表最终产品的生成元称为“根元”,而将其它生成元统称为“中间元”。其次,单一产品供应链 Meta 图模型中所有弧的出点集都是单元素集,这是其生成元集合的特点。虽然 Meta

图中弧的入点集和出点集分别是生成元组成的集合,但在单一产品供应链 Meta 图中,弧的入点集可以是生成元组成的集合,但其出点集则一般都是单元素集。因此在其邻接矩阵中,全部元素的共出点集都是空集。由此可忽略对本文公式(2)中三元组中第二项的计算。这就使单一产品供应链 Meta 图模型的邻接矩阵中,二元组的第一项表示通路的共入点集,第二项表示通路。第三,单一产品供应链 Meta 图模型不存在回路,这是其物流特点。因为物料经过一级级组装后得到最终产品,然后交付给分销商,所有物流都是沿上游方向向下游方向移动的,没有考虑逆向物流的情况,因此 Meta 图中不会产生回路。这样,在进行邻接矩阵的乘法运算时,其中有关通路的计算就可由原公式:

$$\text{Path}((a_{k,n}) \cdot (b_{q,m}) = \text{Trnc}(\text{Cat}(\text{Path}((a_{k,n}), \text{Path}((b_{q,m})))) \quad (3)$$

简化为:

$$\text{Path}((a_{k,n}) \cdot (b_{q,m}) = \text{Path}((a_{k,n}) \text{ Path}((b_{q,m})) \quad (4)$$

式(3)中 $(a_{k,n}) \cdot (b_{q,m})$ 表示定义在邻接矩阵上的两矩阵元素的乘积,其物理含

义为两条通路的首尾串接。cat()和 trnc()分别为链接算子和截断算子。单一产品供应链 Meta 图模型中第四个特点是:一条最大 Meta 路对应一套供应链方案。Meta 路表示了模型的连通性,从供应链角度理解,可解释为,若将目标产品作为 Meta 路的目标生成元,则由任何上游源生成元集合出发,只要能够形成到达目标集合的 Meta 路,就构成了一套由该源生成元集合所代表的物料所形成的供应链方案。

4 结语

由上述可知,这种基于 Meta 图的建模方法可以用图形对供应链结构进行描述,既能针对考虑各种不同因素的多种供应链性能进行全局定量分析,又便于建模人员与管理 人员进行交流与沟通,同时,又可以运用 Meta 图的计算能力以系统化的手段从全局出发对供应链进行定量分析和设计。

参考文献:

- [1] Govil M, Proth J M. Supply chain design and management[M]. Academic Press, 2002.
- [2] Davis T. Effective supply chain management[J]. Sloan Management Review, 1993, 34, (4): 35- 46.
- [3] Arntzen B C, et al. Global supply chain management at digital equipment corporation[J]. Interfaces, 1995, 25, (1): 69- 93.
- [4] Basu A, Blanning R W. Metagraphs[J]. Omega, 1995, 23, (1): 13- 25.
- [5] Basu A, Blanning R W. Enterprise modeling using metagraphs, in decision support systems: experiences and expectations[M]. Tawfik Jellassi, Michel R Klein, W M Mayon-White(Eds.), North-Holland, Amsterdam, 1992.183- 199.
- [6] Basu A, Blanning R W. Metagraphs: a tool for modeling decision support system s[J]. Management Science, 1994, 43 (12): 1579- 1600.
- [7] 刘晋. Meta 图及其在专家系统中的应用[J]. 模式识别与人工智能, 1999, 12, (1): 6- 12.
- [8] Basu A, Blanning R W, Shtub A. Metagraphs in hierarchical modeling[J]. Management Science, 1997, 43, (5): 623- 639.
- [9] Basu A, Blanning R W. Metagraph transformations and workflow management[C]. In: Proc of the 30th Hawaii International Conference on System Science (HICSS230), 1997, (5): 359- 366.

(责任编辑: 赵贤瑶)