

文章编号:1000-582X(2004)03-0041-05

基于产品 BOM 的赋权有向图模型的实现*

石为人,彭世强,康静

(重庆大学自动化学院,重庆 400030)

摘要:产品 BOM(Bill of Material)中结点可能在不同层次重复出现,传统的树形结构不便于表达这些结点之间的关系。作者在分析传统产品 BOM 树模型的局限性的基础上,研究了产品 BOM 的本质结构,提出了产品 BOM 赋权有向图通用模型,给出了其相应的关系数据库实现,研究了产品 BOM 赋权有向图模型的维护方法,讨论了基于企业实际的模型属性扩展,给出了其遍历和搜索的思想、相关算法以及编程语言实现方法,为 PDM(Product Data Management)/CAPP(Computer Aided Process Planning)/CAD(Computer Aided Design)/MRP II(Manufacturing Resource Plan)/CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)/ERP(Enterprise Resource Plan)系统集成提供了前提和基础。

关键词:产品 BOM;赋权有向图;建模

中图分类号:TH166

文献标识码:A

物料清单 BOM(Bill of Material)是指产品所需的零部件明细表及其结构。BOM 是 CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)/MRP II(Manufacturing Resource Plan)/MIS(Management Information System)中最重要的数据资源,与物料属性文件以及工艺路线一起构成了 CIMS/MRP II/MIS 系统的基础数据。是制造部门进行 MRP(Material Requirements Plan)产品拆解的基础,是财务部门核算成本的重要依据。同时 BOM 是联系工程设计和生产管理的主线,是 CIMS/MRP II/MIS 与 PDM(Product Data Management)以及 CAPP(Computer Aided Process Planning)/CAM(Computer Aided Manufacture)等系统集成的纽带。

产品 BOM 结构通常用树形结构来表示,因此也称为“产品结构树”。全部产品和零部件都以父件或子件的形式连同它们之间的所属关系一起表示成产品结构树。产品 BOM 通常的实现格式有单级 BOM、多级 BOM 和综合 BOM,对 BOM 的操作包括单级反查和多级反查等。产品结构树具有结构直观清晰、构造简单、数据结构实现方便、数据库转换容易等诸多优点^[1]。

然而,树形结构只是产品 BOM 结构的上层表现。由于结点在树形结构中可能重复出现,树形结构不便于表达这些结点之间的关系,在通用件多或实行产品配置管理的企业尤其明显。不同系统构造的 BOM 大相径庭,数据共享困难。在研究产品 BOM 结构模型的基础上,本文提出了用赋权有向图模型描述产品结构的方法。

1 产品 BOM 的赋权有向图模型的建立

1.1 产品 BOM 赋权有向图模型的数学表示及其含义

产品 BOM 实质上是一种赋权的有向图结构,传统的产品结构树是其异构表示形式。因此,产品 BOM 赋权有向图用一个有序三元组 $G = (V, E, W)$ 来表示产品结构^[2],如图 1 所示。

其中, $V = \{v_i | i = 1, 2, \dots, n\}$ 为产品 BOM 的赋权有向图中的顶点集;表示组成产品的“零部件”,入度为 0 的结点是最终产品,出度为 0 的结点是最低层的零部件;

$E = \{(v_i, v_j) | v_i \in V, v_j \in V, i, j = 1, 2, \dots, n\}$ 为产品

* 收稿日期:2003-10-21

基金项目:重庆市制造业信息化重大专项项目(2001-3)

作者简介:石为人(1948-),男,重庆人,重庆大学教授,主要从事企业信息化和政务信息化方向研究。

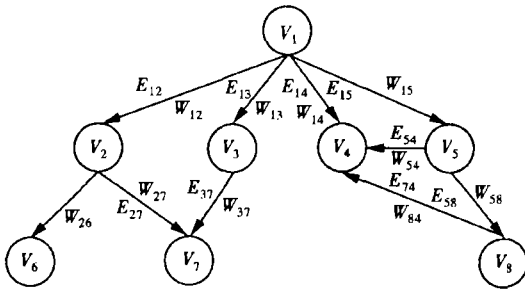


图1 产品BOM的赋权有向图模型

编号 (ItemID) 为外键约束 (FK) [4]。

表1 产品及零部件表 V_PART

Name	Code	Type	Width	Key	
产品/零部件代码	ItemID	Char	16	PK	
产品/零部件名称	ItemName	varChar	20		
计量单位	Unit	Char	2		基本属性
保质期	Keep_date	Int			
.....					
产品/零部件类型	Producttype	Char	2		工艺属性
.....					
图号	PicID	Char	10		设计属性
原材料号	MatID	Char	16		
成本	Fact_price	Money			成本属性
.....					
库存量	Stocks	Float			

表2 产品及零部件的从属关系表 E_BORDER

Name	Code	Type	Width	Key	
父件代码	PitemID	Char	16	PK(FK)	
子件代号	CitemID	Char	16	PK(FK)	基本属性
数量	Number	Int	3		
.....					
顺序号	BOMSeq	Int	3		
工序号	Produce	SeqInt	3		视情况可 选择作为 主属性
生效日期	ENDate	Date			其他属性
失效日期	DISDate	Date			
.....					

BOM的赋权有向图中的边集,其中 v_i 表示起始结点, v_j 表示终止结点;表示产品的“零部件”与“零部件”之间的从属关系,其中 v_i 表示起始结点(“父件”), v_j 表示终止结点(“子件”);任意两个顶点 v_i, v_j 只能由一条边相连,即不允许两个顶点之间有多条边连接;

$W = \{w_{ij} | w_{ij}, i, j \in N\}$ 是产品BOM赋权有向图中边集 (v_i, v_j) 所对应的权集,表示边的起始结点即“父件”中包含终止结点即“子件”的数量关系;权值是边所对应的属性。

注意,按照以上产品BOM结构赋权有向图的定义,图中不应该存在回路。

1.2 产品BOM赋权有向图模型的数据库实现

关系数据库(RDBMS)是采用二维表来表示实体及其实体间的联系,产品BOM赋权有向图中实体为顶点(也就是产品及其零部件),自反联系为边(即零部件之间的从属关系),权只是边的一个属性。因此,产品BOM赋权有向图可以很方便的在关系数据库中实现。

每个产品的“零部件”属性大致分为:设计属性、工艺属性和生产管理属性。零部件之间的从属关系的属性包括工程设计属性(如数量)、工艺属性(工艺路线)和生产管理属性(如表示同一个“父件”中不同“子件”的顺序号,表示“子件”在“父件”的装配工艺中的工序号)等[3]。

在关系数据库中,可以用V_PART表示产品及零部件表,产品编号(ItemID)为主键,产品及零部件各属性分别为表的非主属性项,如表1所示;用E_BORDER表示产品及零部件的从属关系,边所关联的两个产品编号(ItemID)共同组成产品的主键,父件产品编号(ItemID)为PitemID,子件产品编号(ItemID)为CitemID,从属关系各属性分别为表的非主属性项,如表1所示。其中表V_PART和表E_BORDER以产品

2 基于产品BOM赋权有向图模型的维护与扩展

企业为了满足客户要求(包括外观、性能、价格、交货期等),而不断改变产品的构型,例如选配不同的包装外壳,增加或调换不同性能的零部件、撤销次要部件而降低价格等等;企业也可能会随着技术和工艺的提高,不断设计出新的产品,采用更加新型的零部件;为了控制成本,也会采用一些通用的零部件。一句话,即产品BOM会随着需求动态改变。因此,产品BOM必须进行实时的维护。基于赋权有向图模型的产品BOM维护主要包括:

2.1 结点和边的添加

当产品 BOM 中采用新的零部件时,则会在产品 BOM 赋权有向图中添加新的结点。如果添加的是最低层零件,即在图中添加叶子结点,只须将该叶子结点的父结点与叶子结点相连,方向从父结点指向叶子结点,权值为零件在父件中的装配数量。并分别:

1) 在 V_PART 表中添加该零件及其相应属性, ItemID 项不能为空,如果已经存在则不用添加。

2) 在 E_BORDER 表中添加父件(PitemID)和零件(CitemID)及其相应关联属性。

如果是中间层零部件,即在图中添加中间结点除了将该中间结点的父结点与中间结点相连(方向从父结点指向中间结点,权值为零部件在父件中的装配数量)外,还要添加其子结点。方法是将该中间结点与子结点相连,方向从中间结点指向子结点,权值为子结点对应的零部件在中间结点对应的零部件中的装配数量。对应的数据库操作为:

1) V_PART 表中添加该零部件及其相应属性, ItemID 项不能为空,如果已经存在则不用添加。

2) 在 E_BORDER 表中添加该中间结点作为子件时,对应的父件(PitemID)和子件(CitemID)及其相应关联属性。

3) 在 E_BORDER 表中添加该中间结点作为父件时,对应的父件(PitemID)和子件(CitemID)及其相应关联属性;

如果产品 BOM 中由于工艺要求需要借用某些通用零部件,这时就要在产品 BOM 赋权有向图中增加新的边,方法是在父件和子件之间增加一条边(即建立从属关系)。同时,在数据库表 E_BORDER 中添加该通用零部件结点分别作为子件(CitemID)时对应的父件(PitemID)及其相应关联属性,或者该通用零部件作为父件(PitemID)时对应的子件(CitemID)及其相应关联属性。

2.2 顶点和边的修改

当采用可替换的零部件或者工艺路线改变时,就可能对产品 BOM 赋权有向图中对结点或者边进行修改;因为产品的历史信息必须保留,所以必须严格控制产品 BOM 的版本,准确修订产品的起止有效期,这时也可能对产品 BOM 赋权有向图中对结点或者边进行修改。

这里以新制的零部件替换原零部件为例说明修改

结点的方法:

1) 首先判断被替换零件是否为多父件的子件(即判断入度是否大于 1),如果不是则转(4),多子件的情况类似。

2) 如果被替换零件是多父件的子件,则须判断新的替代件是否可以同时作为原零部件的多父件的子件,如果能则转(4)。

3) 如果新的替代件不能同时作为原零部件的多父件的子件,则只能断开可以替代的边。

4) 在原零部件的父件与新替换件之间建立边,方向是从原零部件的父件到新替换件,权值根据实际情况修改,并添加相应的属性。在新替换件与原零部件的子件之间建立边,方向从新替换件到原零部件的子件,权值根据实际情况修改,并添加相应的属性;

对应数据库的操作为(其中生效日期和失效日期均为主属性):

1) V_PART 表中添加替换零部件及其相应属性, ItemID 项不能为空,如果已经存在则不用添加。

2) 在 E_BORDER 表中搜索被替换件作为子件时对应的父件(PitemID),修改相应的失效日期,插入替换件作为子件(CitemID)与对应的父件(PitemID)及其相应生效日期和失效日期作为主属性的记录。

3) 在 E_BORDER 表中搜索被替换件作为父件时对应的子件(CitemID),修改相应的失效日期,插入替换件作为父件(PitemID)与对应的子件(CitemID)及其相应生效日期和失效日期作为主属性的记录。

2.3 基于产品 BOM 赋权有向图模型的扩展

实际的产品 BOM 要比本文建立的产品 BOM 模型要复杂些,文中建立的只是一个简单通用的模型,可以根据需要对模型进行相应的扩展以适应不同的需求^[2]。

1) 对顶点进行属性扩展

根据不同部门或系统的需要扩展顶点的属性。比如工程设计部门要设计产品时,必须了解零部件的外购或自制的信息,这时就可以扩展零件类型属性;财务部门为了核算成本,又需要与成本相关的生产准备成本、制造成本、采购成本等属性。

2) 对边进行属性扩展

同样,不同部门或系统需要的零部件的件的从属关系也是有区别的。边不仅可以表示父件和子件间的数量关系(即权),同时也可以包括顺序号(同一个“父

件”中不同“子件”的顺序号),工序号(子件在父件的装配工艺中的工序号),生效和失效日期(表明边的生命周期)以及其它属性。比如 ERP/MPR II 系统进行物料运算时,需要生效日期和失效日期属性以及零件类型属性。

3)对结构进行属性扩展

由于边可能在不同的工艺中被使用,譬如装配顺序或者工序改变(即“子件”在“父件”中的装配次序、装配工序);在产品配置或选配中,还表示了该装配关系的生命周期。以上情况可能使数量大于1的同一种“子件”在多道工序中装入“父件”,因此不能简单地用一条边来表示两个端点的装配关系。也就是说,在扩展产品结构赋权有向图中,两个端点允许有多个边进行连接。在相应的数据库中则必须添加装配顺序号或工序号属性,并与“子件”和“父件”的代号共同组成主键。

2.4 基于产品 BOM 赋权有向图模型的遍历和搜索

基于赋权有向图模型的产品 BOM 的遍历可以采用广度优先遍历和深度优先遍历的算法。深度优先遍历是指从根结点起往下按照顺序号选中一个子结点进行穷举直到叶子结点,这样程序执行的每一步都需要进行堆栈保存;广度优先遍历是指从根结点起往下遍历所有子结点,在按照顺序号选中一个已经遍历的子结点遍历其所有子结点,如此一层一层直到遍历其所有叶子结点^[5]。

本文以深度优先遍历为例进行说明。使用先根遍历,即先访问根结点,再以先根次序依次访问根的各个子结点。算法使用三个堆栈分别用来存放结点及控制层次关系^[6]。

Node()当前结点的所有祖先结点的未访问结点;

Pidpath()当前结点的所有祖先结点的代号,控制关键属性值;

Count()当前层及其祖先层的未访问结点数,控制层次关系;

Layer 为当前层次号,也是最深层次号。

1)根结点入 node 栈,当前层 layer 设为第 1 层,当前层入栈,当前层结点数 1 入栈;

2)若栈为空,程序结束,否则继续;

3)若当前层结点数大于零,则弹出栈顶结点,同

时当前层 layer 结点数 count(layer)减 1;否则返回上一层,同时 count 栈及 Pidpath 栈弹栈;

4)判断所插入结点是否与祖先结点代号重复,若重复则说明数据有错,退出,否则继续;

5)找当前结点的子树,若存在子树,则子树所有结点依次入 node 栈,layer 加 1,表示进入了新的一层。子树结点数目进入 count 栈;若无子结点,该结点进入 Pidpath 栈,成为后面要访问结点的祖先结点;

6)重复第(2)步。

遍历的结果可以对应一棵生成树,可以使用 Visual Basic 6.0 或 PowerBuilder 7.0 中的树性控件实现。

3 结 论

产品 BOM 赋权有向图模型是一种通用的 BOM 模型,以产品 BOM 最本质的属性建立模型,方便地实现了关系数据库的规范化操作,克服了传统产品 BOM 中“一子多父”情况下的困境,可以实现 PDM/CAD/CAPP 与 REP/MPR II 系统的集成,使不同的部门或系统的信息和资源得到了最大程度的共享,使不同版本 BOM 的准确性、完整性、一致性和通用性均得到很大提高。本文建立的产品 BOM 赋权有向图模型可以方便地使用面向对象语言实现。

参考文献:

- [1] JI GUO-LI GONG DA-XIN, FREDDIE TSUI. A Tree Structure Storage Model of BOM[J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2002, 11(1): 55-60.
- [2] 张国军, 邵新宇, 蔡力钢, 等. 基于赋权有向图模型的 PDM/CAPP/MPR II 集成研究与开发[J]. 制造业自动化, 2000, 22(11): 12-13.
- [3] 阙定胜, 陈统坚, 李培根, 等. CIMS 环境下 MRP II 物料表及物料关系表 BOM 的建立与研究[J]. 工业工程, 2001, 4(1): 55-56.
- [4] 苟凌怡, 魏生民. 基于关系型数据库的产品动态 BOM 的数据库设计与优化[J]. 组合机床与自动化加工技术, 1999, (5): 7-8.
- [5] 严志强, 龚京忠, 李国喜, 等. 多级型 BOM 的遍历[J]. 机械设计与制造工程, 2001, 30(2): 33-34.
- [6] 黄明, 王海峰, 刘幼芝. BOM 展开的树型结构实现[J]. 大连铁道学院学报, 2001, 22(1): 58-59.

The Implementation Study on The Modeling of Directed-graph With Weightings Based on The BOM of Product

SHI Wei-ren, PENG Shi-qiang, KANG Jing, XIAO Qian

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The nodes of BOM may appear repeatedly in the different layers. While the structure of traditional tree model can not express the relation between these nodes expediently. By analyzing the localization of tree model BOM, this paper studies the essential structure of BOM and puts forward the directed-graph with weightings of BOM. Then it provides corresponding realization of relation database and studies the method of maintenance. It also discusses the expansion of attribute based on enterprise's requirement. Finally it provides the thinking of searching, relevant algorithm and the method of programming language realization. This kind of BOM offers foundation for the integration of information and data in PDM/CAPP/CIMS/ERP.

Key words: BOM; directed-graph with weightings ; modeling

(编辑 张小强)

~~~~~  
(上接第36页)

## Approach for Load State Detection in MIN

WANG Tian<sup>1,2</sup>

(1. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

**Abstract:** Some thoroughly research on the basic method for load state detection in MIN is introduced. Load sources of SCP and SSP in MIN are analyzed in detail after investigating the relationship between inter resource and load state in the system. And load detection parameters and model are presented. Moreover, a novel strategy to detect system load state based on fusion of multi detection data is presented. By some test, the theory and method are proved most feasible. Our research show that load state of MIN can be recognized by detecting utility of internal resource utilizing of single node in MIN, and multi redundant detecting data fusion is effective approach to improve the reliability and trust degree of the result.

**Key words:** mobile Intelligent network; load detection; data fusion; load control

(编辑 吕赛英)