

大规模定制下基于逻辑BOM的产品配置实现方法研究

单汨源,黎 斌,袁际军

(湖南大学 工商管理学院,湖南 长沙 410082)

摘 要:产品配置的关键在于构建强大灵活的配置模型和运用有效的求解策略。现实中存在相当数量的大规模定制企业采用按订单制造与按订单装配相混合的生产模式。于是构建了一种新产品族结构模型——逻辑BOM,它能够描述无限种产品变体,并支持解决按订单制造与按订单装配相混合环境下的产品配置问题;建立了基于逻辑BOM的产品配置知识库;给出了相应的推理求解算法;最后,通过仿真验证了该方法的可行性。

关键词:大规模定制;逻辑BOM;产品配置;知识库

中图分类号:F406.3

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2009)06-0098-04

0 引言

随着客户需求向个性化及多样化的方向发展,企业为了能占领市场、获得最大的收益,大规模定制自然成为企业首选的生产模式。它旨在以近似于大规模生产的成本和速度,提供定制的个性化产品及服务。传统的产品数据管理是以产品BOM(Bill of Material)为基础的,且一个产品有一个BOM。在大规模定制生产环境下,由于产品品种往往十分庞大,其间的约束关系又错综复杂,如果仍按这种传统产品结构构造产品BOM,则忽略了各个产品变体之间的相似性,将导致大量的数据冗余,同时增加配置的复杂性,以及配置方案不一致的可能性^[1]。

作为人工智能领域最成功的应用之一,产品配置问题在20世纪80年代起就引起了研究人员的兴趣,提出了多种产品配置模型和相应的求解策略^[2]。Hegge^[3]提出了类BOM(Generic Bill of Material, GBOM)的概念,GBOM是一种以有限数量的数据描述大量产品品种的方法,它较好地解决了按订单装配环境下的产品数据管理问题。此后,众多学者对基于GBOM的产品结构模型及配置方法进行了研究^[4-9],并取得了大量的成果。然而在现实中,存在相当数量的大规模定制企业并非完全采用按订单装配的生产方式。由于难以预先定义所有可能的产品变体,传统的类BOM遇到严峻挑战。针对这一问题,Naken^[10]提出了逻辑BOM(logical

bill of material, LBOM)的概念,并用来支持订单制造环境下的大规模定制产品快速报价。

本文结合实际构建了一种新的产品族结构模型——逻辑BOM,它能够描述无限种可能的产品变体,并能支持解决按订单制造与按订单装配相混合环境下的产品配置问题。

1 基于逻辑BOM的产品配置

1.1 逻辑BOM概述

逻辑BOM是一种通用的产品族结构模型,它由两部分组成:逻辑BOM结构和产品配置约束。其中,逻辑BOM结构是一个由逻辑零部件(逻辑产品可看成一个特殊的逻辑零部件)及物理零部件组成的层次结构,它表示了产品系列中的通用产品结构。产品配置约束是用来描述组成最终产品所需物理零部件之间兼容性的规则集合。逻辑BOM允许无需明确定义所有可能的产品变体,同时,产品族中所有的产品变体都能从逻辑BOM系统中生成出来。

1.2 基于逻辑BOM的产品配置过程

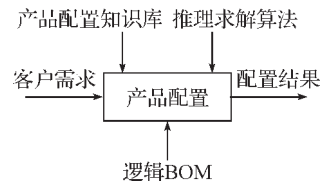


图1 基于逻辑BOM的产品配置活动模型

收稿日期:2007-11-05

基金项目:国家自然科学基金项目(70671037);高等学校博士学科点专项科研基金项目(20050532005)

作者简介:单汨源(1962-),男,湖南岳阳人,湖南大学工商管理学院副院长、教授、博士研究生导师,研究方向为运营管理、项目管理、大规模定制;黎斌(1983-),男,湖南长沙人,湖南大学工商管理学院硕士研究生,研究方向为大规模定制、运作管理、金融工程;袁际军(1975-),男,湖北监利人,湖南大学工商管理学院博士研究生,研究方向为大规模定制运作管理。

基于逻辑BOM的产品配置过程可以理解为在客户需求的推动下,以逻辑BOM、产品配置知识库为基础,通过推理求解得到最终的配置结果,其结果可能为一个或多个产品BOM,也可能显示没有满足客户需求的产品BOM。产品配置活动模型用IDEFO建模方法描述如图1所示。

2 逻辑BOM的构建

2.1 逻辑BOM结构

逻辑BOM结构是面向产品族的通用树形结构。图2为用统一建模语言(Unified Modeling Language, UML)表示的逻辑BOM结构示意图,在逻辑BOM结构中,包括以下3个部分:

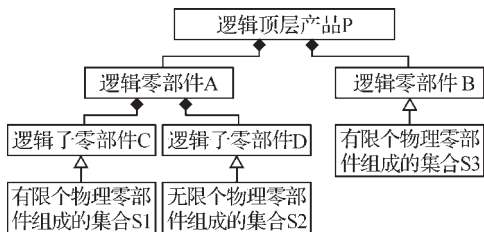


图2 逻辑BOM结构示意图

(1)逻辑顶层产品。即逻辑产品,它是整个产品族的所有产品组成的集合。一般而言,逻辑产品通过一组特征属性来描述,该特征属性使之区别于其它的逻辑产品,通过对特征属性的不同赋值,逻辑产品可以实例化为一系列具有相似结构和功能的不同物理产品,这些物理产品可以满足不同顾客的定制要求。

(2)逻辑零部件。它是逻辑顶层产品的构件,一般用尽量少的若干个相互独立参数来描述,参数值确定的同时则将逻辑零部件实例化为物理零部件。逻辑零部件分为确定的逻辑零部件与可修改的逻辑零部件两种,确定的逻辑零部件是由有限个物理零部件组成的集合,其对应的参数值域是离散的,可修改的逻辑零部件是由无限个物理零部件组成的集合,其相应的参数值域是由一定范围的连续区间或空间组成。

(3)物理零部件。它是逻辑零部件的实例化或具体化。每一个物理零部件都与一定的参数值相对应,在一个具体产品中,它是真实存在的。

此外,逻辑BOM结构内部存在两种连接关系:①泛化,即a-kind-of联系,一般用图形 \triangleleft 来表示,它体现出具有相似结构及功能的物理零部件与其对应逻辑零部件间的关系。如假设:传动系统有:二轮驱动的传动系统、四轮驱动的传动系统和Automatic驱动的传动系统3种,则二轮驱动的传动系统是a-kind-of传动系统;②组合,即contains-a联系,一般用图形 \blacktriangleright 来表示,它体现出逻辑零部件间的关系。

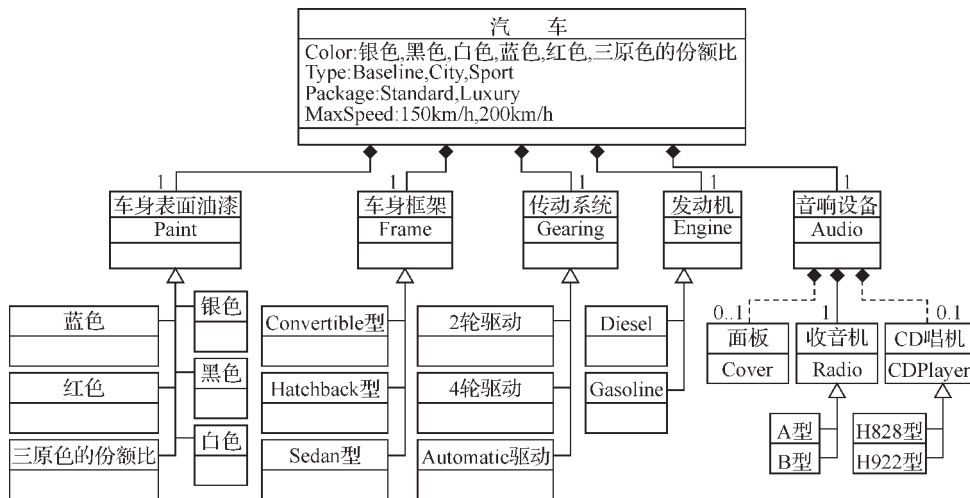


图3 简化汽车产品族的逻辑BOM结构模型

如假设:音响设备由收音机及其它构件组成,则音响设备contains-a收音机。

2.2 产品配置约束

显然,并不是任意物理零部件的组合都能形成一个最终产品,即物理零部件之间存在多种复杂的配置约束关系。因此,必须定义产品配置约束来限制物理零部件的组合,从而保证配置的有效性。在逻辑产品的配置过程中,主要存在两类约束:外部约束和内部约束。外部约束面向客户,它体现了客户需求的差异,不同的客户需求将得到不同的配置结果;内部约束主要指产品构件之间的装配约束,内部约束关系包括组合关系、互斥关系、数量关系等。

为下文论述方便,本文采用UML表示了简化汽车产品族的逻辑BOM结构模型(如图3所示),其中,必选逻辑零部件的组合用实线表示,选装逻辑零部件的组合用虚线表示。

3 基于逻辑BOM的产品配置知识库

3.1 基于规则的配置知识表示

产品配置知识的表示有多种形式,包括基于结构的、逻辑的、资源的、CSP(约束满足问题)的、案例的、本体的、图形的及基于规则的等方法,其中尤以基于产生式规则的代表方法最为常用。产生式规则描述了事物之间的一种对应关系,其一般形式为:IF P Then Q。其中,P是条件或前提,Q是操作或结论。含义是如果条件满足,则可以得到结论或执行相应的操作。基于知识的产生式规则表示方法与人的思维接近,易于理解且便于人机交互信息。因此,本文将采用基于产生式规则的方法来构建基于逻辑BOM的产品配置知识库。

3.2 逻辑零部件的参数描述

逻辑产品由若干个逻辑零部件组成,逻辑零部件又由若干个逻辑子零部件或物理零部件组成。随着产品构件的多样化及复杂化,在配置之前,用尽量少的参数来描述逻辑零部件成为必然趋势。每一个逻辑零部件都具备一定的属性,部分关键属性组成的集合可作为逻辑零部件的参

数,取不同的参数值导致了物理零部件的差异。

假设逻辑零部件C由参数集合 $\{X_1, X_2, \dots, X_N\}$ 描述; V_m 为参数 X_m 的可能取值的集合,其中, $m=1, 2, \dots, N$;那么逻辑构件C与N个参数之间存在一一对应的映射关系,用函数可表示为 $C=f(X_1, X_2, \dots, X_N)$,其中, X_1, X_2, \dots, X_N 表示构件C的N个参数, f 表示构件C与参数集合 $\{X_1, X_2, \dots, X_N\}$ 的函数关系。以上假设中的逻辑零部件的参数描述亦可用表1来体现,确定各个参数取值的同时则将逻辑零部件实例化为物理零部件。

表1 逻辑零部件的参数描述

逻辑零	参数	X_1	X_2	\dots	X_{N-1}	X_N
部件 C	参数值的集合	V_1	V_2	\dots	V_{N-1}	V_N

3.3 配置变量的确定

任何产品都具备一定的功能,同时包含某些特征。一般而言,客户仅关心产品所呈现出的部分关键特征,如电脑的价格、运算速度等。因此,可用这些关键特征作为配置变量,用来辅助客户输入配置条件。配置变量有两种类型:包含离散值域的变量和包含连续值域的变量。

3.3.1 包含离散值域的变量

配置变量是客户输入配置条件的直接窗口。包含离散值域的变量是指这样一种变量,它所对应的参数值域是由离散的区间组成,且参数值的数量是有限的。一般采用穷举法列出所有的参数值来描述包含离散值域的变量,如汽车Type有Baseline、City和Sport3种,表示为 $Type=\{Baseline, City, Sport\}$ 。客户只能在这些参数值中任选其一,通过这种方式来进行产品配置。

3.3.2 包含连续值域的变量

包含连续值域的变量是指这样一种变量,其相应的参数值域是由一定范围的连续区间或空间组成,即包含无限个可能的参数值。因此,对于包含连续值域的变量,客户必须指定具体的参数值才能进行产品配置,从而得到最终的配置结果。对于文中的汽车颜色,客户可以从银、黑、白、蓝、红5种常用颜色中任选其一,也可以提供三原色的份额比(理论上,由青、品红、黄三原色按不同的份额比调配混合可以形成无限种颜色。),从而得到完全按客户要求定制的颜色,表示为 $Color=\{银色, 黑色, 白色, 蓝色, 红色, 三原色的份额比\}$ 。因此,如果客户不愿意从5种常用颜色中进行选择,则必须指定具体的三原色份额比,才能配置产品。

此外,若在连续值域区间采用分段的方式,每一段区间用一个参数值来代替,这样就将包含连续值域的变量转换成了包含离散值域的变量。例如,假设某类轴承可用长度参数来体现,其参数取值为 $[0.5, 1]$ 米中的任意实数,将这一区间以0.001米为长度间隔,分成500等份,并用0.5代替区间 $[0.5, 0.5005]$,用0.501代替区间 $[0.5005, 0.5015]$,依次类推,则用集合 $Length =\{0.5, 0.501, \dots, 0.999, 1\}$ 就能描述这类轴承。

3.4 配置规则

配置规则表达逻辑产品模型中各构件之间的约束关

系。为便于规则库的建立和在实例化过程中有针对性地引用相关规则,将配置规则分为变量配置规则和内部约束规则,其中,变量配置规则用来解决外部约束问题,内部约束规则用来解决内部约束问题。在确定了配置变量之后,用变量配置规则来表达产品的配置变量与构件间的推理关系;用内部约束规则来表达逻辑产品构件间的推理关系。因此,必须将配置变量的取值与逻辑零部件的参数取值相关联,同时将逻辑零部件间的参数取值相关联,这种关联关系可以是1:1、1:N或M:N。

假设:如果客户选择 $Type=\{Baseline\}$,则汽车Gearing为Automatic驱动Gearing,且Radio为A型Radio。此时,变量配置规则可表示为: $if Type = "Baseline", then Gearing = "Automatic驱动", Radio="A型"$ 。如果Radio为A型Radio,则CDPlayer为H828型,用内部约束规则可表示为: $if Radio="A型", then CDPlayer="H828型"$ 。

此外,在配置规则的运算中,除了包含赋值运算符(=)外,还可以应用所有合法的运算符来描述规则,如一元运算符(+、-、!及~)、算术运算符(+、-、*、/及%)、关系运算符(>、<、≥、≤、=及!)、逻辑运算符(&&与||)、递增运算符(++和递减运算符(--))等。

4 推理求解算法

由于逻辑产品的约束关系错综复杂,因此必须通过计算机来实现产品配置,这必然涉及到相应的推理求解算法,本文采用正向推理的方法,其算法可分为以下5个步骤:

- (1)输入客户配置条件,并识别及匹配第一条配置规则,转(2)。
- (2)若条件为真,转(3);否则转(4)。
- (3)若属性已赋其它值(即与该条配置规则中的结论不符),或赋了非法值,输出"无解",程序结束;否则执行配置规则中相应的操作,转(4)。
- (4)若规则库为空,转(5),否则识别及匹配下一条规则,转(2)。
- (5)若所有逻辑产品的构件都已赋值,输出产品BOM,否则输出"无解"。程序结束。

5 案例仿真

以图3所示简化汽车产品族的逻辑BOM结构模型为基础,配置变量及其值域如下所示:颜色 $Color=\{银色, 黑色, 白色, 蓝色, 红色, 三原色的份额比\}$,类型 $Type=\{Baseline, City, Sport\}$,装备等级 $Package=\{Standard, Luxury\}$,最大时速 $MaxSpeed=\{150km/h, 200km/h\}$ 。

共包含26条配置规则^[11],如下所示:

```

if Color="银色",then Paint="银色"。           if Col-
or="黑色",then Paint="黑色"。
if Color="白色",then Paint="白色"。           if Col-
or="蓝色",then Paint="蓝色"。

```

if Color="红色",then Paint="红色"。
 if Color=" 三原色的份额比"(客户指定具体比例),
 then Paint="三原色的份额比"。
 if Package="Luxury"and Type="Sport",then Gearing="四
 轮驱动"。
 if Type="City",then Gearing! ="四轮驱动"。
 if Type="Baseline",then Gearing="Automatic驱动"。
 if Package="Standard"and Type="City",then Gearing="二
 轮驱动"。
 if Type="Sport",then Frame="Convertible型"。
 if Type="City",then Frame!="Convertible型"。
 if Type="Baseline",then Frame="Sedan型"。
 if Type="Baseline",then Q (CDPlayer) ="0"。 if
 Type! ="Baseline",then Q(CDPlayer)="1"。
 if Type="Baseline",then Radio="A型"。 if Type!
 ="Baseline",then Radio="B型"。
 if MaxSpeed>160km/h and Type="Sport",then Gear-
 ing="四轮驱动"。
 if Package="Standard"and Type! ="Baseline",then En-
 gine="Gasoline"。
 if MaxSpeed>160km/h,then Engine="Gasoline"。
 if Q (CDPlayer)="0",then Q (Cover)="1"。 if Q
 (CDPlayer)="1",then Q(Cover)="0"。
 if Radio="A型",then CDPlayer="H828型"。 if Ra-
 dio="B型",then CDPlayer="H922型"。
 if Engine="Diesel",then Gearing! ="4轮驱动"。
 if Engine="Gasoline",then Gearing="Automatic驱动"。
 本文采用java语言实现了案例仿真,构建出一个配置
 界面,如图4所示。其中,默认的Type="Baseline",Package=""
 Standard",MaxSpeed=150km/h;默认的三原色(青、品红、
 黄)的份额比为1:1:1,可任意修改;默认的Color选项为空,
 亦可从下拉菜单中进行选择,输入配置条件并按下确认按
 钮(confirm button),将显示出最终配置结果。



图4 简化汽车配置界面

假设客户需求为:Color=" 黑色",Type="City",Pack-
 age="Luxury",MaxSpeed=150km/h,则整理后有如表2所示
 的配置结果。此时,需要客户参考报价或性能等进行交互
 选择。

若客户需求为:Color=1:2:1, Type="Sport", Package=""
 Luxury", MaxSpeed=150km/h,则配置结果显示为"无解",
 即没有满足客户需求的汽车。此时,客户必须调整需求重

表2 逻辑产品配置结果

配置结果	Paint	Frame	Gearing	Engine	Radio	CDPlayer
1	黑色	Sedan 型	二轮驱动	Diesel	B 型	H922 型
2	黑色	Sedan 型	Automatic 驱动	Diesel	B 型	H922 型
3	黑色	Sedan 型	Automatic 驱动	Gasoline	B 型	H922 型

新进行配置。

6 结论

设计和生产满足客户个性化需求的产品越来越为企
 业所关注,一个发展的趋势是采用大规模定制的生产模
 式,并用可配置的产品来满足客户的个性需求。产品配置
 作为大规模定制生产中的重要技术,其关键在于强大灵活
 的配置模型和有效的求解策略。本文提出了一种新产品族
 结构模型——逻辑BOM,它能够描述无限种可能的产品变
 体,支持解决按订单制造与按订单装配相混合环境下的产
 品配置问题;鉴于基于规则的配置知识表示方法的常用性
 和适用性,运用规则构建了基于逻辑BOM的产品配置知识
 库;最后,通过仿真验证了本方法的可行性。

参考文献

- [1] SABIN D, WEIGEL R. Product Configuration Frameworks: a Survey[J]. IEEE Intelligent Systems, 1998, 4(13):42-49.
- [2] 李力,程国平.基于PDM的定制产品设计方案优化研究[J]. 科技进步与对策, 2006(3):137-139
- [3] HEGGE H M H, WORTMANN J C. Generic bill-of-material: A new product model [J]. International Journal of Production Economics, 1991, 23 (1/3): 117-128.
- [4] ERENS F, VERHULST K. Architecture for product families [J]. Computer in Industry, 1997, 33(2): 165-78.
- [5] DU X, JIAO J, TSENG M M. Architecture of product family: fundamentals and methodology [J]. Concurrent Engineering: Research and Application, 2001, 9(4):309-325
- [6] 冯韬,但斌,兰林春,等.面向大规模定制的产品族结构与配置管理.计算机集成制造系统[J], 2003, 9(3): 210-213.
- [7] FELFERNIG A, FRIEDRICH G E, JANACH D. Conceptual Modeling for Configuration of Mass - Customizable Products. Artificial Intelligent in Engineering, 2001, 15(2): 165-176.
- [8] 吴先超,吕晓枫,孙吉贵.基于广义产品结构的配置和集成研究[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(6): 868-875.
- [9] 王世伟,谭建荣,张树有,等.基于GBOM的产品配置研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(5): 655-659.
- [10] Naken Wongvasu. Representing the relationship between items in logical bill-of-material to support customers' requests for quotation for make-to-order products. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2000, (4192):74-85.
- [11] 张劲松,王启付,刘清华,等.基于模型的产品智能化配置研究[J].机械工程学报, 2003, 39(6):128-134.

(责任编辑:陈晓峰)