基于属性约束的食品包装机械优化设计规划和算法

周欢伟[1,2]，陈　新[2]，陈新度[2]
（1.广州铁路职业技术学院，广州 510430；2.广东工业大学，广州 510663）

摘要：通过对食品包装机械的研究及设计方法的优化，分析了设计食品包装机械时所关联的属性，利用属性约束和产品数据管理系统（PDM），规划并建立了属性间的关联矩阵、知识推理规则和知识库，提出了优化设计时的实施算法。实践表明，利用属性约束进行优化设计规划和设计算法，使设计速度提高了30％左右，可使设计模式更进一步地向模块化和推理化的目标发展。

关键词：属性约束；设计；包装机械；知识推理
中图分类号：TB486^{+}.02　**文献标识码**：A　**文章编号**：1001-3563(2011)21-0007-04

Optimum Design Planning and Algorithm of Food Packaging Machine Based on Attribute Constrain

ZHOU Huan-wei[1,2]，*CHEN Xin*[2]，*CHEN Xin-du*[2]
（1. Guangzhou Institute of Railway Technology，Guangzhou 510430，China；2. Guangdong University of Technology，Guangzhou 510663，China）

Abstract：The attribute association in food packaging machine design was analyzed. The incidence matrix of attributes，knowledge reasoning rules，and the knowledge base were established by using attribute constrains and PDM. The implementation algorithm of optimum design was put forward. It was proved by practice that the optimal design planning and algorithm using the attribute constrain can improve design efficiency by 30％，and it can made design mode develop towards the goal of modularization and knowledge reasoning.

Key words：attribution constrain；design；packaging machine；knowledge reasoning

食品包装机械在包装机械中所占比重很大。近年来，世界各国的食品机械相关标准纷纷向国际标准（或欧洲标准）靠拢，采用国际标准或区域标准作为本国技术标准的主要内容，可实现国际间食品机械技术标准的一致性和协调性，以促进国际间食品机械技术交流和贸易往来的顺利发展。包装机械的产品周期包括产品的原材料、生产制造、包装运输、使用维护和报废回收等生命周期整个过程，在产品设计过程中，要考虑到将产品属性贯穿到整个生命周期过程中，使设计实行绿色化制造。笔者对属性约束的产品进行分析，把包装机械的产品分为几个要素，建立基于知识库和PDM的数据平台，提出基于属性约束的产品设计方法。

文献[1]对包装机械产品绿色设计及评价体系进行了研究和探讨，阐述了在包装机械产品绿色设计评价体系中应考虑的主要因素和实施绿色设计的准则，构建了产品设计方案绿色度模糊综合评判模型。文献[2]将产品的生命周期分为产品定义、产品制造和产品销售3个阶段，给出了每一个阶段的实现过程和目标、约束。文献[3]建立了信息单向传递的并行产品开发模型，通过构造考虑产品开发时间和成本权衡的全局收益变量，证明了全局收益极大值的存在性。文献[5]构造了液压系统资源属性的评价指标体系和评价模型，对资源属性的各级评价指标进行权重计

收稿日期：2011-04-14
基金项目：广州铁路职业技术学院院级重点课题（GTXYZ1004）
作者简介：周欢伟（1977－），男，江西九江人，博士生，广州铁路职业技术学院讲师、工程师，主要从事包装机械设计、CAD/PDM方面的研究。

算，计算指标的隶属度，进行无量纲化处理，应用线性加权法计算最终的绿色度的值，判断了液压系统资源属性的绿色程度。文献[6]提出了设计需求中运动功能矩阵的分解原理和满足功能匹配后一系列可能设计方案的约束矩阵计算方法。文献[7]运用状态向量表示法建立了可应用于包装机设计的机械运动方案设计软件系统，介绍了状态向量表示法的数学模型，对于所建立系统的运行流程以及知识库模型做了详细描述。

食品包装机械的设计功能很多，研究人员目前在建模前后未对非几何属性进行规划，更未利用属性间的约束关系进行优化设计。笔者利用属性之间的关联，建立关联矩阵，并在 PDM 系统中规划其优化设计的方法，并提出对应的算法。

1 食品包装机械产品属性的分类

食品包装机械功能的多样化是企业面临的难题之一，由于客户分布较多，客户要求和人文知识不同，对产品的要求也有较大的差别。文献[8]分析了包装机械模块化设计的必要性，着重研究了包装机械的模块划分方法、模块库的建立问题，对模块化建模作用较大。为使设计模块化，将产品的零件按功能的规则进行分类，将产品的零件或组件归类于模块化的模型中，并赋予其属性。模块存在着多种属性，它是构成模块的基本信息单元，不同的模块有着不同的属性。

以广州某企业饮料包装机械的封口机为例，见图1。将其进行功能分解，分为 9 大模块：供膜模块，完

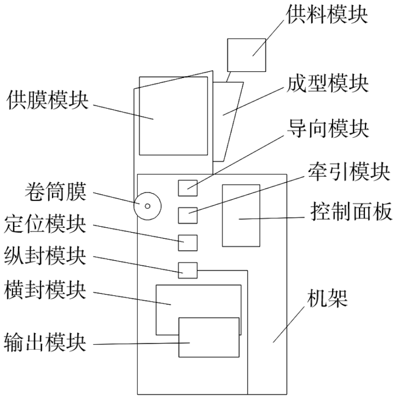

图 1 封口机整机结构示意图

Fig.1 Diagram of whole structure of capper

成包装膜的输出供给功能；成型模块，完成包装袋内水的定量供应；供料模块，完成包装袋内物料的定量供应；导向模块，完成敞口筒状膜的输入，输出闭口未封合的筒状膜，起到送料的导向作用；牵引模块，完成将闭口未封合的筒状膜牵引到纵封模块上的工艺；纵封模块，完成闭口未封合的筒状膜的纵封；定位模块，利用光电技术，完成包装袋长度的定位；横封模块，完成包装薄膜袋的横封及定长切断；输出模块，完成成品的输出。分别用 $A=(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9)$ 分别表示供膜模块、成型模块、供料模块、导向模块、牵引模块、纵封模块、定位模块、横封模块和输出模块。

$$\mathbf{A}\times\mathbf{F}_1(\mathbf{A})=\begin{array}{cc} & \begin{array}{ccccccccc} F_1 & F_2 & F_3 & F_4 & F_5 & F_6 & F_7 & F_8 & F_9 \end{array} \\ \begin{array}{c} a_1\\ a_2\\ a_3\\ a_4\\ a_5\\ a_6\\ a_7\\ a_8\\ a_9 \end{array} & \begin{bmatrix} 0&0&0&0&0&1&0&1&0\\ 1&1&1&0&0&1&0&1&0\\ 0&1&0&0&0&0&0&0&1\\ 0&1&0&0&0&0&0&0&1\\ 0&1&0&0&0&0&0&0&1\\ 1&1&1&1&1&0&0&1&0\\ 0&0&0&0&0&0&0&0&1\\ 1&1&1&1&1&0&0&1&0\\ 0&1&0&0&0&1&0&1&0 \end{bmatrix} \end{array}$$

产品模块的各种信息由属性构成，并且属性之间存在着相互约束，这种现象称之为属性约束。用 F_1，F_2，F_3，F_4，F_5 分别表示亚洲、欧洲、非洲、拉丁美洲、北美洲、大洋洲；用 F_6，F_7 表示发达国家和发展中国家；客户有定制要求和没有定制要求分别用 F_8，F_9 表示，由于地区的不同，对包装机械的要求也不同，因此可构成矩阵 $\mathbf{A}\times\mathbf{F}_1(\mathbf{A})$。

其中 1 表示 a_j 与 F_i 之间存在约束关系，0 表示 a_j 与 F_i 之间不存在约束关系。

2 基于属性约束的优化设计规划

产品除与地区相关外，包装机械设计模块还应包括产品的原材料、生产制造、包装运输、使用维护和报废回收等整个生命周期的产品属性。原材料又包括材质、电镀方式、颜色等属性，对模块属性约束进行规划。用 F_{10}，F_{11}，F_{12}，F_{13}，F_{14}，F_{15} 分别表示不锈钢、45 钢、ABS，POM，PMMA，EVU；用 F_{16}，F_{17}，F_{18}，F_{19} 分别表示镀金、镀镍、彩镀、镀锌；用 F_{20}，F_{21}，F_{22}，F_{23}，F_{24}，F_{25} 分别表示颜色红、橙、灰、蓝、黑、白。

$$
\begin{array}{r}
\\
a_1\\ a_2\\ a_3\\ a_4\\ \boldsymbol{A}\times\boldsymbol{F}_2(\boldsymbol{A})=a_5\\ a_6\\ a_7\\ a_8\\ a_9
\end{array}
\begin{array}{c}
\begin{array}{cccccccccccccccc}
F_{10} & F_{11} & F_{12} & F_{13} & F_{14} & F_{15} & F_{16} & F_{17} & F_{18} & F_{19} & F_{20} & F_{21} & F_{22} & F_{23} & F_{24} & F_{25}
\end{array}\\
\begin{bmatrix}
1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1\\
1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1\\
0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1\\
1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1\\
1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1\\
1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0\\
1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1\\
0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0
\end{bmatrix}
\end{array}
$$

由于存在属性约束，可将其组合成矩阵 $\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{F}_2(\boldsymbol{A})$，其中 1 表示 a_j 与 F_i 之间存在约束关系，0 表示 a_j 与 F_i 之间不存约束关系。PDM 是产品数据管理系统，包装机械的产品数据有较多的类同性，在这些类同性中找出规律，建立知识推理的关系式，并形成知识库，使产品的属性与产品特征模型关联起来，然后根据属性约束在知识库内选取类同模型数据进行变型设计，是基于属性约束的根本方法。

具体设计规划过程见图 2，建立一个设计选配平台，通过 PDM 系统，建立知识库，在选配时，利用 AND 和 OR 的命令进行数据筛选，选择一个模块，将其装配定位，并依据属性约束集合观察是否存在属性约束。根据图 2，基于属性约束的产品零件选配流程如下。

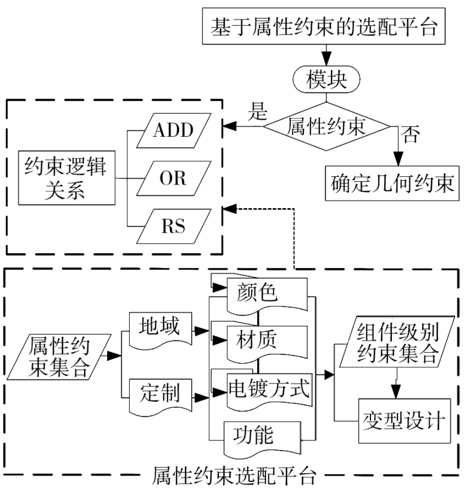

图 2　基于属性约束的选配流程

Fig. 2 Matching flow chart based on attribute constraints

Step1：根据客户设计要求，在“基于属性约束的选配平台”上分析所要设计的模块，判断其是否存在约束逻辑关系。如果存在，此时分为 3 种关系：即并(ADD)、或(OR)和反选(RS)，选择的不同模块能构成的产品主体架构也不同，完成后按第 2 步完成，否则按普通的模块进行装配建模。

Step2：根据上述矩阵 $\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{F}_1(\boldsymbol{A})$ 和 $\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{F}_2(\boldsymbol{A})$ 的属性约束选配算法，获取地域、材料、电镀、颜色等的约束关系，找出具有属性约束的模块。

Step3：将选配出来的结果按照 PDM 系统的知识推理原理，根据选配平台进行装配几何关系的约束定义，确定包装机械模块的几何信息和拓扑关系，构成完整的几何结构树和属性约束结构树，如有需要进行变型设计，并保存数据，以便后面的设计进一步使用。最后通过变型设计完成整个设计任务，获得客户所需的产品。

3　产品的优化设计的算法

文献[9]为减小装配序列的求解空间，提出了一种基于多色集合理论的装配序列的形式化推理方法，并建立了零件基本配合约束与自由度之间关系的多色集合矩阵，提出了可行装配序列的推理算法。

包装机械品种繁多，特别在建模过程中，对零部件的选配要做到第 1 步与第 2 步相互关联，第 1 步过程中，存在着与第 2 步关联的可能性；第 2 步完成后，属性本身存在新的约束，这些约束要用第 1 步的方法来解决。

借助于多色集合理论的算法，以包装机械中封口机为例，其优化设计算法步骤见图 3。

1) 求解各模块的属性关系。在 PDM 系统内对本产品的 9 个模块的零部件的结构树进行分解，找出零件之间的装配父子关系，如：成型模块在选配时只能在导向引模块或牵引模块中选配，导向模块与牵引

模块存在着一定的选配关系。

2) 计算零件非几何属性关联关系。对零件加以非几何属性约束,包括客户信息和地理信息与零部件模型进行对应,使其相互映射,如:供料模块内的属性约束集合内存在由客户或地理决定选择何种颜色、材料、尺寸、功能等属性的模块,在矩阵 $\boldsymbol{F}_2(\boldsymbol{A})$中进行对应选择,而颜色、材料、尺寸等存在自约束属性。

3) 选择材料和电镀方式。根据矩阵 $\boldsymbol{F}_1(\boldsymbol{A})$,发现其主要用不锈钢、45 钢制作,电镀方式主要是镀金和镀镍,表面颜色分别为黑和白,用 1 表示存在可能,即构成属性约束关系,转入矩阵 $\boldsymbol{F}_2(\boldsymbol{A})$;用 0 表示不存在这个可能,不存在约束关系。

4) 求解出与供膜模块相关的零部件。根据属性矩阵 $\boldsymbol{F}_2(\boldsymbol{A})$,在属性约束选配平台,依据属性约束选配算法,选配出有约束属性的约束模块,如:由颜色、材料、尺寸、功能等属性约束由哪家供应商来提供的模块。

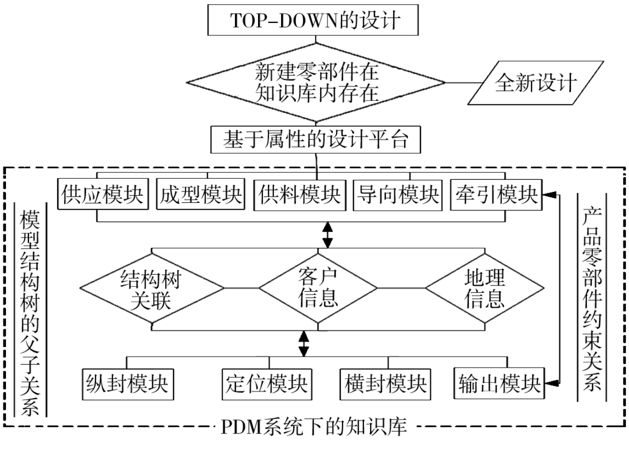

图 3 封口机的设计平台构建

Fig. 3 Establishment of capper design Platform

5) 如果无解,表示不存在约束关系,就根据组件级别组合的定义,进行定位安装,然后在产品选配平台内选配其他模块。

通过以上算法大大缩小了设计人员在选配平台内的选配范围,能较快地捕捉到目标模块。当选配好一个模块后,可在传统选配平台内观察它属于哪个性质的模块,进行定义安装,并在属性约束集合观察是否存在属性约束。如此循环下去,直到选配到完全无属性约束关系的模块为止,然后再在产品选配平台内选配其他模块。

4 结语

基于 PDM 系统,利用模型的属性与知识推理进行优化建模仍有研究的空间,特别在企业资源优化方面,进一步优化基于属性约束的设计算法可进一步研究。本研究成果已在广州某包装机械公司进行实践,以 PTC 公司的 IntraLink 作 PDM 平台,利用 VC++语言,对 Pro/Engineer 进行二次开发,构建基于属性约束的开发平台,将产品的几何属性和非几何属性在建模时进行细致有效的规划。在 Top-down 的设计方式下,通过校企双方紧密合作,再以一款封口机为设计对象,结果表明,基于属性约束的设计方法初有成效,能将产品设计周期缩短 30%左右,有利于企业设计人员对企业产品的整体认识,有效利用企业已有资源,节约了 20%的成本。

参考文献:

[1] 曾晓红,刘春辉,郝喜海. 包装机械产品绿色设计评价体系及方法研究[J]. 包装工程,2007,28(4):71-73.

[2] 张兴亮,董军辉,喻俊馨. 面向产品生命周期的包装机械数字化设计技术研究[J]. 包装工程,2007,28(11):116-118.

[3] 马文建,刘伟,李传昭. 并行产品开发中设计活动间重叠与信息交流[J]. 计算机集成制造系统,2008,14(4):630-636.

[4] S T Micro-electromcs Group pf Companies. 297 STEPPER. MOTOR Controllers[K]. Shanghai: ST Micro-electromcs Group of Companies,2005.

[5] 孔玉霞,李岚. 液压系统资源属性的绿色度评价方法[J]. 机床与液压,2008,36(12):113-115.

[6] CHUNG Kuo-liang. New Memory and Computation-efficient Hough Transform for Detecting Lines[J]. Pattern Recognition,2004,37(5):953-963.

[7] 任工昌,齐鹏,刘胜益. 包装机械的计算机辅助运动方案设计[J]. 包装工程,2008,29(12):78-80.

[8] 王东爱,王岭松. 包装机械的模块化设计研究[J]. 包装工程,2008,29(11):41-43.

[9] 赵姗姗,李宗斌. 基于多色集合的装配序列形式化推理方法[J]. 计算机集成制造系统,2008,14(8):1579-1616.