

# 基于实例推理的装配顺序规划研究

## Application of Case-Based Reasoning to Assembly Sequence Planning

上海航天设备制造总厂 栾浩 方红根 王朋

**[摘要]** 研究装配实例表示与重用技术,针对装配顺序规划存在的问题,提出基于实例推理的装配序列规划方法。通过对装配知识的组织来构造装配实例模型;采用基于相似度的实例检索算法,对实例进行检索获得最佳匹配实例;根据推理结果进行装配过程仿真与评价,得到最终的装配序列。最后,开发相应的装配顺序规划与仿真模块,并以齿轮减速器为例,验证了方案的可行性。

**关键词:** 实例推理 装配顺序规划 装配仿真

**[ABSTRACT]** The representation and reuse of assembly knowledge studied, and a case-based assembly sequence planning method is presented for the question in it. A method is proposed, which can construct case representation by organizing the assembly knowledge, and can adopt the similarity-based retrieving in case retrieval algorithm. The assembly process simulation is proposed based on the result of case-based reasoning. At the same time, a case-based reasoning and assembly simulation module is developed, and a certain kind of reducer assembly is used as example to examine the algorithm.

**Keywords:** Case-based reasoning Assembly sequence planning Assembly simulation

装配在产品的制造中属于关键环节,产品的质量需要通过装配得到保证和检验,而装配顺序的合理确定是装配技术得以有效保证的重要因素之一,产品的装配顺序直接影响到产品的可装配性、装配质量以及装配成

本,因此装配顺序的规划对于装配十分重要。

目前,装配顺序规划的方法有基于优先约束的方法、基于拆卸的方法、遗传算法和基于知识系统的方法等。这些方法搜索与评价空间大、效率低,随着产品结构逐渐复杂、零件数增加,易产生组合爆炸;缺乏装配工具、装配操作等装配信息;缺乏对装配顺序经验进行有效的组织和再利用。因此,本文结合基于实例的推理技术理论,提出一种基于实例的装配顺序规划方法<sup>[1-2]</sup>。本方法直接使用以往产品的相似装配结构和装配方案来解决当前装配顺序规划问题,解决了装配顺序数量大、装配顺序规划复杂等问题,最终获得最优的装配顺序。

### 1 基于实例推理的装配序列规划原理

如图1所示,基于实例推理<sup>[3]</sup>就是在事例的访问与检索中,从新问题的表达中提取检索条件和目标,利用相似度算法在目标层次中检索,从事例库中查找相似事例,相似度大于某一给定值(权值)的事例均为潜在相似事例,之后在多个潜在相似事例选择最佳匹配解(一个或一组),即为相似事例解。

第一步检索出的相似事例解是重用的出发点。重用是根据领域知识和重用准则对相似事例解进行调整并获得改进解的过程。调整可以是对相似事例解的某些部分的简单的替换,也可以修改其整体结构。调整一般有以下几种形式:增加新内容、删除某些内容、对相似事例解的某些内容进行替换、将相似事例解的某些部分进行重新变换。

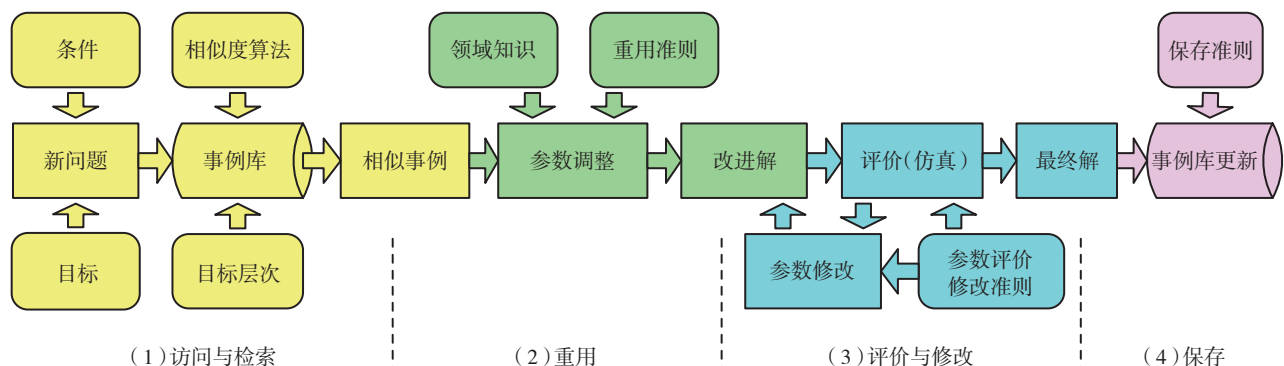


图1 基于实例推理流程

Fig.1 Flow chart of case-based reasoning

改进解并不是 CBR 给出的最终解,要通过仿真改进解,评价改进解的质量并修改不合理参数,直到获得满意结果为止,这样就获得了所求解问题的最终解。

基于实例的装配顺序规划技术旨在充分应用以往的装配经验,在装配规划阶段采用基于实例的推理技术,推导出可行的装配顺序。本文中基于实例推理的装配顺序规划流程如图 2 所示,主要根据装配顺序规划问题,遵循某一相似度准则,对实例库进行检索得到相似实例,旨在得到可行的装配顺序。

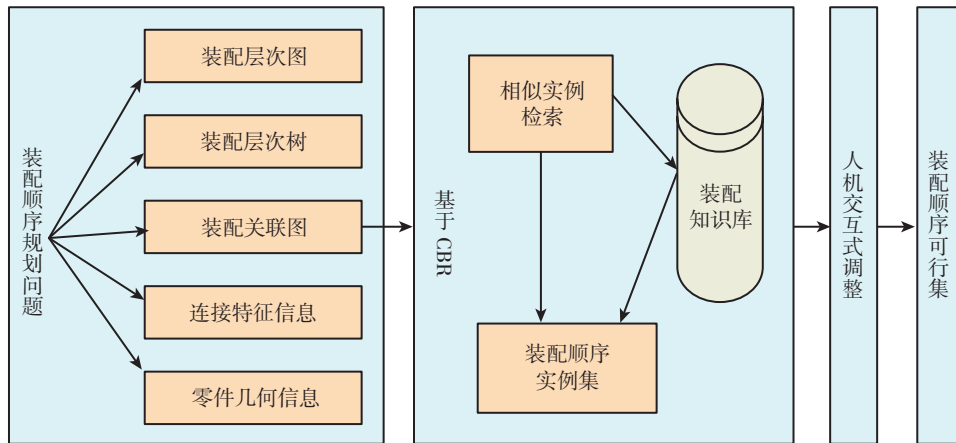


图2 基于CBR的装配顺序规划流程  
Fig.2 Flow chart of assembly sequence planning based on CBR

## 2 基于实例推理的装配序列规划关键技术

### 2.1 装配事例表达

在 CBR 推理中,装配实例<sup>[4]</sup>是一个能完整、正确表达装配层次和装配信息的模型,它存储了特定装配结构的装配规划结果。一个完整的实例通常包括问题的描述和问题的解决方案两个部分。前者描述了事例产生时环境的状态以及需要解决什么问题,推理过程中将该区与待解决装配体的相应区域进行比较,获得两问题的相似度,是事例表示的关键,也是建立事例索引、进行事例检索的基础;后者则提供该事例的详细装配工艺,推理时对于检索到的事例,复用其全部或部分装配工艺,形成新问题的答案。本文将已有的装配工艺规程规范化形成装配工艺事例库,存储了产品、产品中关键部件、关键连接等的装配工艺规划问题及其工艺方案。把装配问题表示成实例的形式是用实例推理技术求解装配序列规划的前提。本文装配实例模型包含两部分内容:产品组成结构(索引层)和装配方案(方案层)。

#### 2.1.1 装配事例结构与索引表达

如图 3 所示,索引层为树状层次结构,对产品结构,装配关系(精度)信息等进行表达,节点代表一个装配体(可能是产品、组件或部件)或零件,节点间的连线有两

种,不同层次节点间的连线表示组成关系,同层节点间连线表示两零件之间有连接,每一装配体节点及其下属的子树形成一个事例(或子事例)的问题描述,这种层次表示方法既可以全面的表示具体实例的特征信息,又可以简化相似度的计算,大大提高实例检索的效率。

#### 2.1.2 事例解决方案(装配工艺)表达

如表 1 所示,装配方案层为表结构,存储了产品的装配工艺规程(或路线),描述了装配工艺中零部件的装配顺序信息。装配规划方案所包含的装配信息根据其所表达的功能要求可分为装配操作、装配顺序,每一个装配操作总是依附于装配顺序之中。装配操作是装配过程中的最小任务单元,每一个操作描述了对某一个零件进行清洗、装配等过程。

装配操作总是依附于装配顺序之中。装配操作是装配过程中的最小任务单元,每一个操作描述了对某一个零件进行清洗、装配等过程。

## 2.2 装配事例相似度计算

### 2.2.1 事例检索方法的选择

事例的检索是 CBR 中最为关键的一步,这一步的任务就是找出与新制件最相近的事例。检索的原则是:检索效率尽量高、相似事例

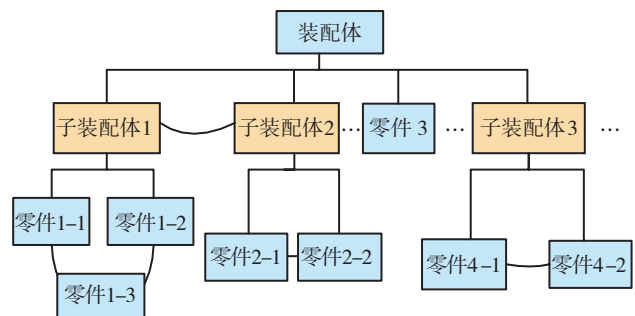


图3 装配实例模型  
Fig.3 Model of assembly case

表1 装配工艺表达

序号	装配顺序	装配操作
1	零件 1-2	将零件 1-2 装入 1-1
2	零件 1-3	用零件 1-3 紧固零件 1-2 和零件 1-1
3	零件 2-2	将零件 2-2 压装在零件 2-1 上

数量少但相似度要大。检索的实质就是问题与事例库中事例的相似度计算。

事例检索的常用算法有近邻法、归纳法和模板检索法,每个方法都有自己的特点:近邻法通过计算两个事

例各属性的加权相似度来搜索相似事例,具有容易理解和实现的优点;归纳法的优点是可以通<sup>过</sup>决策树的方法确定主属性,但是实现较为困难;模板检索与结构化查询语言的查询过程相似,常用来确定检索范围。因此采用模板检索与近邻法相结合的检索算法,利用模板检索法限定检索范围,之后采用近邻法计算事例间相似度以获得最相似事例。具体检索流程如图4所示,过程如下:

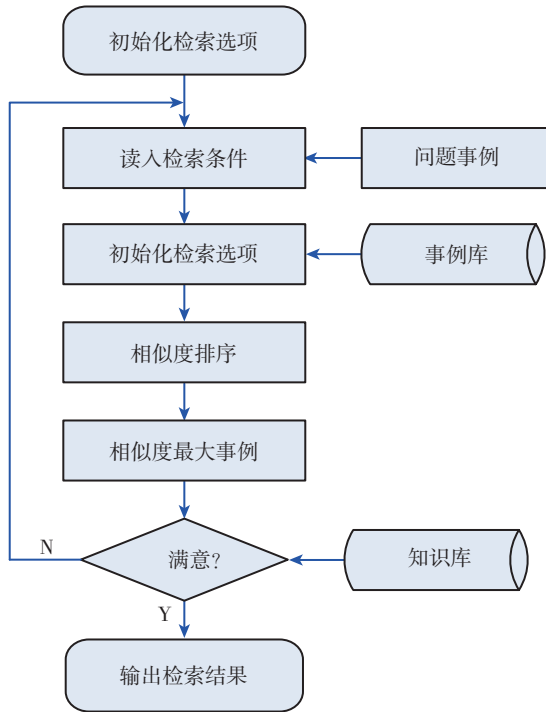


图4 事例检索流程

Fig.4 Flow chart of case retrieving

- (1) 初始化检索控制选项;
- (2) 从问题参数中提取检索条件,打开相应事例库,根据检索要求限定检索范围;
- (3) 将问题依次与检索范围中事例进行相似度计算,获得一组相似度值;
- (4) 将第三步计算出的相似度值进行排序,相似度最大的事例即为最接近事例;
- (5) 根据知识库中最接近事例判定法则,判断第四步的结果是否满意,若满意则输出结果,完成检索;若不满意,返回第二步,重新检索。

#### 2.2.2 相似度的计算

事例的相似度<sup>[5]</sup>表达事例间的相似程度,用来判定问题与事例库中事例间的相似性。而往往用距离公式反应事例之间的相似度,“距离”越大,说明相似度越小,反之,则说明相似度越大。

相似度定义为加权曼哈坦距离:

$$D_{AC} = W_p |P_{NA} - P_{NC}| + W_L |L_{NA} - L_{NC}| +$$

$$W_{PT} |P_{TA} - P_{TC}| + W_{LT} |L_{TA} - L_{TC}| \quad (1)$$

式中:  $D_{AC}$  为问题与实例之间的加权距离;  $P_{NA}$  为问题所包含的零件数量;  $P_{NC}$  为实例所包含的零件数量;  $L_{NA}$  为问题所包含的连接数量;  $L_{NC}$  为实例所包含的连接数量;  $P_{TA}$  为问题所包含的零件类型数量;  $P_{TC}$  为实例所包含的零件类型数量;  $L_{TA}$  为问题所包含的连接类型数量;  $L_{TC}$  为实例所包含的连接类型数量;  $W_p$  等为对应特征权重。

根据(1)式计算得到问题与实例的加权距离,找出距离较小的一组实例,并将其中距离最小的实例作为相似实例。

#### 2.2.3 实例的修正

检索得到实例后可能出现两种情况:新旧实例完全匹配;新旧实例有部分差异。由于两个产品不会完全相同,极少可能出现前一种结果,即检索到的实例无需修改而可以直接应用的情况。所以应用实例推理方法,实例的修改就是不可避免的问题。相似事例检索出来之后,利用相似事例的解得到新问题的解,从相似实例的装配序列基础上产生查询实例的装配序列,需要找到两实例之间零件的对应关系。本文中,这一工作主要由工艺设计人员完成。在三维模型的基础上,根据以往经验,工艺设计人员交互式地对2个装配体中各零件的结构类型和功能作用以及各零件之间的相互连接关系等信息进行对比分析,得到装配结构中各个零件之间的对应关系。然后,根据这种对应关系,参照装配事例的装配顺序规划,制订 ASP 问题的装配顺序规划。

### 3 装配顺序可视化仿真与优化

对于基于实例推理得到的装配顺序,需要验证其可行性与准确性,因此进行了后续的评价和可视化仿真,进一步确定最终的装配顺序。在已建立的装配顺序的基础上,在三维场景中对零部件进行移动、旋转等操作过程的空间轨迹信息进行记录,保证零部件能够沿路径无干涉安装到位,检验装配序列的合理性。在规划零件装配路径的过程中,进行实时碰撞干涉检测,分析可装配性,根据仿真过程的问题返回修改装配顺序,保证获得合理优化的结果。

### 4 系统实现

基于上述实例推理的装配序列规划模型,在开放图形内核 ACIS+HOOPS 基础上,以 VS2005 为平台,采用 VC++ 开发了相应的软件系统,系统总体方案设计如图5所示。

根据系统功能结构以及相关算法流程完成相应的界面设计,如图6所示。装配顺序规划界面由装配结构

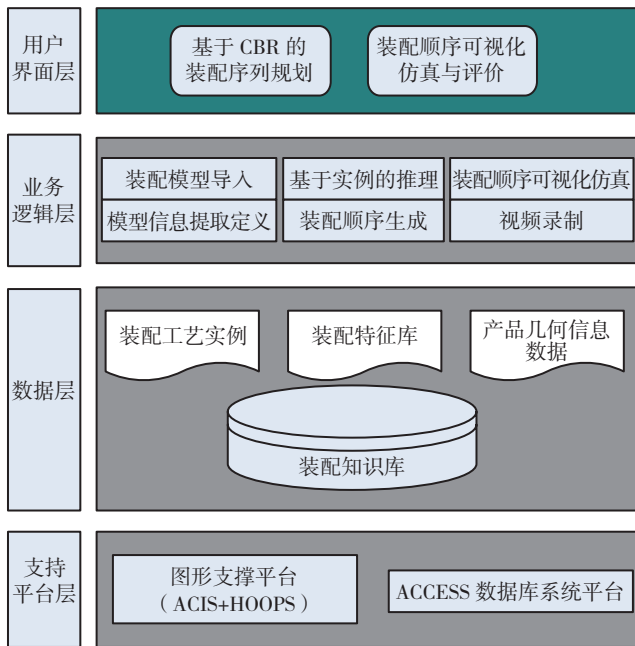


图5 系统总体方案设计

Fig.5 Overall scheme designing of system

(3) 根据相似事例与产品三维模型,人为修改实例使之与问题中的零件相匹配,再针对两个装配结构的不同之处对得到的参考装配顺序进行适当的修改,得到修正的装配顺序,如图6所示。

(4) 人机交互式仿真验证,按照推理得出的结果进行装配过程仿真,保证零件可以无干涉的安装到位,对于存在干涉的返回修改,从而得到最终的装配序列,如图7所示。

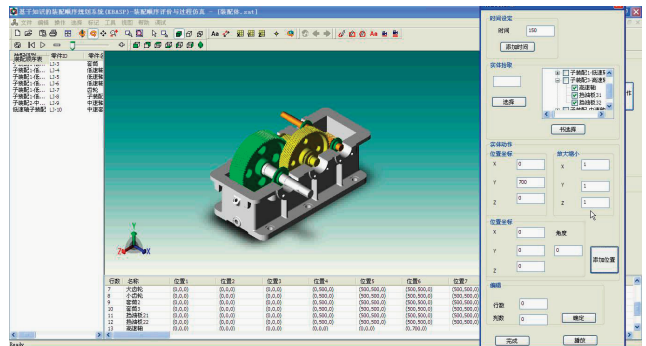


图7 装配顺序评价与仿真界面

Fig.7 Interface of assembly sequence evaluation and simulation system

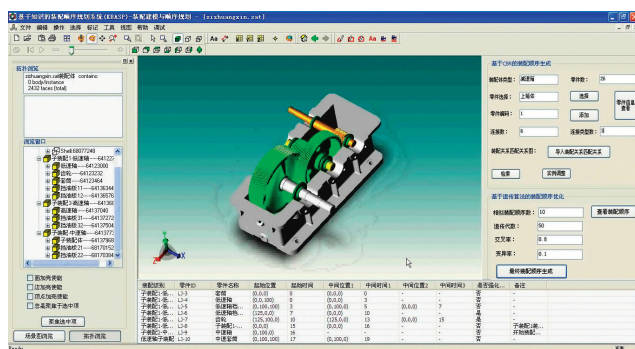


图6 基于实例推理的装配顺序规划系统

Fig.6 Case-based reasoning system on assembly sequence planning

树窗口、装配图窗口、装配匹配关系图窗口和装配顺序窗口组成。

以齿轮减速器为例,系统主要功能及工作流程包括:

(1) 导入装配体 STEP CAD 装配模型,系统会自动提取装配体的零件信息、零件连接信息等,结合人机交互式定义,获取装配体的零件数目、零件类型、连接数目、连接类型等属性,完成问题的描述。

(2) 确定 ASP 组件后,即可对其进行实例推理。首先是相似事例检索,并将相似事例的数据提取出来作为 ASP 组件的相似事例。这样对每一个检索到的相似事例计算它们与规划问题之间的加权距离后得到最相近实例。

## 5 结束语

对于复杂装配体,尤其是航空航天领域的诸多产品,它们结构复杂、零件数量繁多,问题求解变得非常复杂,一般的装配顺序规划方法难以满足,而本文提出的基于实例推理的方法可以很好的解决这些问题。根据实例推理的原理,以零件模型为基础,分析装配信息特征,研究了装配顺序规划实例描述方法、实例获取方法;以相似实例为前提,交互式匹配调整,获得 ASP 问题的初步解;以推理结果为基础,进行装配过程仿真,对装配顺序进行了评价优化;最后开发了原型系统并用实例证明了该方法的有效性,表明该方法能够有效获得具有工程实际意义装配序列。

## 参考文献

- [1] 彭培林,陈刚,李原,等. 基于实例的装配顺序规划技术研究. 中国机械工程,2004,12(15):2121-2125.
- [2] 钱新宇. 基于实例推理的虚拟装配序列规划研究[D]. 大连海事大学,2011.
- [3] Swaminathan A. An Experience Based Assembly Sequence Planner of Mechanical Assembly. IEEE Trans on Robotics and Automation, 1996,12(2):252-267.
- [4] 陈刚,杨海成. 复杂产品装配实例表示技术研究. 计算机集成制造系统,2005,11(5): 653-655.
- [5] 周凯波,冯珊,李锋. 基于案例属性特征的相似度计算模型研究. 武汉理工大学学报,2003,23(1):24-27.

(责编 亿霖)