

基于本体论的产品拆卸信息建模

赵喜良, 张秀山

(海军工程大学 计算机工程系, 湖北 武汉 430033)

摘要:拆卸序列规划生成是虚拟维修的核心之一,直接关系到虚拟维修的可行性及成本。以最优拆卸树的方法研究拆卸序列规划是拆卸序列生成最行之有效的途径。从虚拟维修中产品拆卸模型的基本特点入手,应用本体论的思想和方法,构建了影响拆卸相关的本体,包括几何本体、关系本体、物理本体、化学本体,并综合考虑各本体之间的相互联系,建立了比较完整的产品拆卸信息模型,同时依据成熟的拆卸树算法生成最优拆卸树,以便后期进行拆卸序列规划的研究。并应用于某产品的拆卸模型建立。

关键词:虚拟维修;本体;拆卸信息建模

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)09-0028-04

Disassembly Product Information Modeling Ontology - Based Approach

ZHAO Xi-liang, ZHANG Xiu-shan

(Dept. of Computer Technology, Naval Univ. of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: Disassembly sequence generation is vital for virtual maintenance, which directly impacts the feasibility and the cost of virtual maintenance. It is the best available method for disassembly sequence generation to study on the disassembly sequence programming by optimizing the disassembly tree. Beginning from the basic character of disassembly model in virtual maintenance, apply the ideas and methods of ontology, and build the correlative ontology affecting disassemblies. It contains geometry ontology, relation ontology, physics ontology, chemistry ontology, and considering these ontologies, it builds the information model of product disassembly, at the same time, generates the prior disassembly tree according to the mature disassembly tree arithmetic, paving the way of some disassembly sequence programming research in future. And it is applied to the building of a certain kind of product disassembly modeling.

Key words: virtual maintenance; ontology; disassembly information modeling

0 引言

随着科学技术的迅速发展,尤其是计算机技术的日益更新,各类高新技术产品不断应用于各个生成领域,此类产品功能综合、技术先进、结构复杂、价格昂贵、更新换代频繁,从而容易导致产品的操作使用、故障诊断与维修等方面的困难加大,传统的维修方式已经不能满足当前发展的需要,在这种情况下,由于虚拟维修技术具有实时、高效、灵活、方便、成本低廉、可虚拟各种故障条件等众多优点,因此,虚拟维修作为虚拟现实技术在维修性工程上的应用得到了大家广泛的青睐。虚拟拆卸是虚拟维修的重要组成部分,是实现在虚拟环境下进行维修的关键技术。

文中在基于本体论的思想和方法上,综合考虑拆卸相关本体,建立了比较完整的拆卸信息模型,并进行最优的拆卸序列规划。并将验证此结论与实际拆卸模型。

1 本体论概论

本体论是一个哲学上的概念,用于描述实物的本质。自20世纪90年代初以来,本体论的思想被引入人工智能领域。目前还没有一个明确的定义,但普遍认同Tom Gruber所提出的本体是概念化的显式表示这一观点。Gruber认为本体是用于解释存在的^[1]。而在人工智能系统中,存在的东西必然是可以被表述的。从上述表述中,可以认为所谓本体是通过应用本体论的方法对某一领域进行分析、建模而抽象出的一组概念及概念间的关系,而所谓概念是指领域世界的实体在思维世界的反映。本体论由三部分组成,它们是某一领域使用的术语集、术语使用规则及推论。而构造一个本体需要以下三步工作:将术语分类、寻找术语的

收稿日期:2010-01-19;修回日期:2010-04-16

基金项目:国防预研项目(060251327033)

作者简介:赵喜良(1982-),男,湖南衡山人,硕士研究生,研究方向为虚拟现实、虚拟维修;张秀山,副教授,CCF高级会员,研究方向为计算机图形学、虚拟现实。

约束关系、建立模型。该模型能将给定的描述语句变成“恰当”的表达。本体论的知识建模方法试图将事物表示成一个五元组^[2]: {概念、关系、函数、公理、实例}。概念是客观世界现象的抽象模型;关系即是各概念之间的关联;函数是一种特殊的关系,该关系的前 $n-1$ 个元素可以唯一决定第 n 个元素。形式化的定义为 $F: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_{n-1} \rightarrow C_n$;公理用于表示永真式即永真断言;实例是指属于某概念类的基本元素。但是在研究中根据本体建模规范^[3]与实际需求,对这个建模过程进行了些许修改,分别从概念、关系本体、几何本体、物理本体、化学本体、实例六个维度建立领域知识模型,并分别对此进行研究和界定。

2 信息模型的本体组成

建立模型的目的是为了在虚拟维修时对产品拆卸提供信息来源和存取机制,并能对拆卸部件进行操作。对于一个部件,其本体主要包括:几何本体、关系本体、物理本体、化学本体。对于各个本体的描述是产品拆卸模型建立的基础,只有完整地描述这些本体才能建立完整的拆卸信息模型,并可对产品进行虚拟维修的操作。

在产品的拆卸模型理论中,几何本体主要包括拆卸部件的几何形状和尺寸大小,以及部件在整个产品中的位置和姿态;关系本体主要包括部件的层次结构关系和部件的几何配合约束关系;物理本体主要包括部件在几何位置中受力的大小和方向;化学本体主要考虑产品部件化学材料组成。通过提取和编码产品部件的几何、关系、物理、化学等属性,并将它们以不同的方式应用到产品部件的拓扑本体论中。

2.1 几何本体

产品部件的几何实体模型在产品中占据一定的体积,它们共同组成了整个产品。几何本体是指与产品的几何实体构造相关信息(包括产品和部件的几何形状和尺寸大小)及部件在产品坐标系中的位置和姿态。几何建模是人们对现实中的实体利用交互的方式将实体模型输入计算机,计算机以一定的方式将模型存储起来的过程。目前常用的建模系统是三维几何建模系统,常用三种建模方式:线框建模、表面建模和实体建模,其中实体建模是目前应用最多的一种技术,它在运动学分析、物理特性计算、装配干涉检验、有限元分析方面都已成为不可缺少的工具。实体建模生成物体的方法有体素法、轮廓扫描法(二维平面封闭轮廓在空间平移或旋转形成实体)和实体扫描法(刚体在空间运动以产生新的物体)。在三维实体建模过程中,如何在计算机内部进行表达是研究的重点,目前常用的四种表

达方式^[4](数据的逻辑结构)是:边界表示法 B-rep、构造实体表示法 CSG、混合模式法 B-rep + CSG、空间单元表示法。

在虚拟拆装系统中,边界表示法^[5](B-rep 方法)是一种常用的表示方法。边界表示法通过描述实体的边界来表示实体的三维轮廓与空间位置,而实体的边界又是由物体的顶点、边和平面来表示,同时也是实体内部点与外部点的分界面。B-rep 方法分别记录实体的几何信息与拓扑信息。其中几何信息描述实体在欧氏空间中的形状、大小、尺寸、位置等;拓扑信息则是实体各分量的数目及顶点、边和平面之间的连接关系。产品实体是由相互连接的多面体构造而成,然而,在产品实体中,也可能存在非多面体的部件。在此情况下,将这些非多面体都视为近似多面体来考虑,以至在拆卸信息模型的几何本体中,可以通过多面体来分析部件的几何特性。

B-rep 方法描述的多面体必须满足欧拉公式:

$$v + f - e - 2 = 0$$

其中: v ——多面体的顶点数;

f ——多面体的平面数;

e ——多面体的棱边数。

B-rep 方法表达的基本拓补实体(Entity)包括:

顶点(Vertex)、边(Edge)、环(Loop)、面(Face)、体(Body)。

2.2 关系本体

拆卸序列^[6]是虚拟拆卸最基本的信息,零件的几何信息、非几何信息以及零件之间的配合约束关系信息、物理结构及功能决定了产品的拆卸序列,产品内外的各种关系是影响产品拆卸序列规划的最重要因素,表示产品内部结构关系的方法通常有割集法、关系图法、干涉矩阵法等。文中主要考虑的是产品内外零部件之间的层次关系、连接关系、配合关系、遮挡关系和环境限制。

2.2.1 层次关系

产品的结构层次关系^[7]是指组成产品的零部件之间的连接关系,产品可以分解成若干个子部件或零件,子部件又可以进一步分为下一级若干子部件或零件,子部件依次可分至零件截止,由此表现出产品的层次性。通常把产品、子部件、零件之间的这种层次关系直观地表示成产品树。树的根节点是总产品,叶节点是组成产品的各个零件,而中间节点则是子部件。

设产品树 $T = \langle V, E \rangle$, V 为产品所包含的所有零部件的集合, E 为父子关系组成的边集,即 $V = \{\text{零件 } 1, \dots, \text{零件 } n, \text{零件 } 1.1, \dots, \text{零件 } 1.x, \dots, \text{零件 } m.y, \text{零件 } m.1.1, \dots, m.1.z\}$

$$E = \{E_1, E_2, E_3, \dots, E_z\}$$

$$\forall v_1, v_2 (v_1, v_2 \in V \wedge (v_1 = \text{parent}(v_2)) \rightarrow (v_1, v_2) \in E)$$

其中, parent 为“是…的父亲”谓词。

2.2.2 连接关系

连接是指产品中两个零件相互接触的地方。连接在产品的结构拓扑关系中对于拆卸分析是非常重要的。当一个部件位于其他两个零件之间时,当外部零件首先被拆卸后,中间的部件才可以被拆卸,另一种可能的情况是在这之间的零件可以在其他的未阻挡方向上被拆卸。总之,无论是采用哪种方法拆卸此部件,必须保证的是此部件被拆卸之前它与其他部件的连接必须在几何上和物理上都是自由的。这就引出了连接关系的两个重要属性^[8]: 紧固关系(从物理层面力的考虑)和可拆卸方向(从几何层面方向的考虑)。

区别四种连接类型能够有效地进行拆卸分析,这些类型都可基于二分的方法来定义。紧固关系二分为: 紧连接(rigid)、松连接(loose)。

定义 1 紧连接(rigid): 以某种物理或化学的力量使产品零件连接在一起,因此要断开此连接需首先克服此力的作用。(如: 螺丝和螺帽的连接部件)

定义 2 松连接(loose): 产品零件相互连接在一起,但是是纯粹的空间上的,零件之间无任何其他的捆绑力或力的作用非常小,因此要断开此连接无需克服力的作用,零件可以直接拆卸。(如: 桌面上摆放的书与桌面的连接)

可拆卸方向二分为: 正面、侧面。

定义 3 正面(against): 连接阻碍了产品零件在接触面垂直方向上的运动。

定义 4 侧面(sideways): 连接阻碍了产品零件在接触面平行方向上的运动。

根据以上的四个定义,以 2×2 的矩阵涵义,可以得到四种类型的连接方式: 正面紧连接 $\textcircled{+}$ (rigid - against), 侧面紧连接 $\textcircled{+}$ (rigid - sideways), 正面松连接 $\textcircled{-}$ (loose - against), 侧面松连接 $\textcircled{-}$ (loose - sideways)。当螺帽和螺栓之间的紧连接拆除以后(需要克服物理上力的作用),解除松连接变得非常简单,只要移动连接的部件即可,无需施加物理作用力。

2.2.3 配合关系

在拆卸关系的描述中,通常采用配合约束图(CMG)来记录产品零部件间的配合约束关系。配合约束图: 图的节点表示零部件,如果两个零部件之间存在配合关系,则用一条无向边连接两个节点。常见的配合关系有^[9]: 轴线相对定位、轴线对齐、端面平行、端面相交、平面粘合、螺纹固连、螺栓连接等。

2.2.4 遮挡关系

当产品进行拆卸时,在对 A 零件的拆卸过程中,受到了 B 零件阻挡,零件 A 与 B 之间存在或不存在物理连接,但要拆除零件 A,必须先拆除零件 B,否则,在拆除零件 A 时,会与零件 B 发生碰撞,就认为这两个拆卸零件存在遮挡关系。遮挡关系可分为接触性空间遮挡和无接触性空间遮挡。

定义 5 接触性空间遮挡: 零件 A 与零件 B 存在面或点接触,它们之间不存在其他约束关系,当零件 A 解除所有约束关系时,在拆除 A 的过程中受到了零件 B 空间位置上的遮挡,因此零件 B 的拆卸先于零件 A,这样才能进行正确的拆卸。

定义 6 无接触性空间遮挡: 零件 A 与零件 B 不存在任何面或点接触,它们之间也不存在其他约束关系,当零件 A 解除所有约束关系时,在拆除 A 的过程中受到了零件 B 的空间位置上的遮挡,因此零件 B 的拆卸先于零件 A,这样才能进行正确的拆卸。

2.2.5 环境约束

当产品的体积庞大或质量很大时,产品的拆卸往往需要环境物体来支撑,比如地面或工作台,或者整个产品干脆就放置在某个狭小的舱室中,此时,产品零部件的拆卸将会受到环境的影响。

一种简单的处理方式是把环境设施看成是产品的一个不可拆卸的组成部分,然后,再按照产品可拆性进行分析。例如固定在地面上的某个产品,可以认为产品中与地面直接接触的零部件不可向地面方向拆卸,因为,地面永远不可拆卸。

2.3 物理本体

Borst 在一篇国际会议论文中指出,光有连接和接触关系对于拆卸分析来说是不够的^[10],因为,事实上,几何可拆的子部件或零件在物理上却不一定是可拆的。如一个子部件被夹具夹紧时,尽管子部件在平行于夹具接触面的方向是几何可拆的,但由于足够大的摩擦力作用使得实际拆卸变得并不可行。此时,要拆卸子产品需要先解除夹具的压力约束,以减少或消除摩擦力的作用。依据牛顿第三定律,作用力与反作用力是同时存在的,产品内部如果存在力的作用,从施力者到被施力者之间必然形成作用力环^[11]。

如图 1 所示的简单产品,在几何上,B 零件可在与零件 A、C、D 接触面的平行方向上可拆,但是在物理可拆性分析时,B 零件被夹在零件 A、B、C 中,因此,B 可拆的前提是螺钉 E 和 F 要松开,目的是要解除 A、C、D 零件对 B 零件的压力作用。因此此产品中存在两个力环,零件 A、B、C 及螺钉 E 形成一个力环,零件 A、B、D 及螺钉 F 形成另外一个力环。

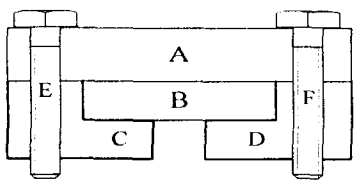


图1 物理可拆性

对于有作用力环的产品,除了可以通过物理可拆性方法计算其可拆性外,还可以简单地把紧固件施加的“力约束”转化为连接件的“形约束”。遍历环中的每一个零部件,将所有的连接件视为环中所有零部件的连接件,用有向箭头来表示。

2.4 化学本体

产品部件的拆卸同时受到了产品所处的地理位置、环境及本身零件的化学特性(辐射性、挥发性、腐蚀性、有毒性、易燃易爆性)等方面的影响。一般来说,在产品拆卸中,遵循把产品移至安全、方便的环境和位置中进行拆卸,对于存在危险性或贵重、精密的零件采取优先拆卸的原则。

3 模型的应用实例

如图2所示,为某产品的拆卸模型,以此模型为例来分析其信息模型(忽略几何本体和化学本体)。根据拆卸的实际需要,只考虑模型的基本拆卸,将其中的一些功能部件组合成的子部件视为一个拆卸单元,不细分再拆。其中G1、G2、G3、G4、G5为功能件,G6、G7、G8(螺帽)、G9(螺栓)、G10(螺帽)、G11(螺栓)为连接件,根据文中相关的拆卸本体,可以得到该产品拆卸模型的层次结构关系、连接关系、配合关系、作用力环等结构视图。

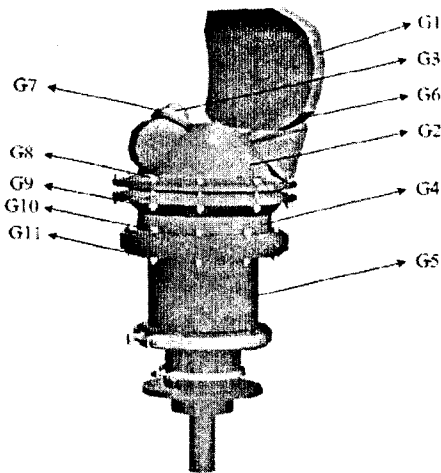


图2 产品拆卸模型

拆卸模型的作用力环模型如图3所示,将作用力环转换成“形连接”关系,并与前面的连接关系合并后得到的连接关系如图4所示。

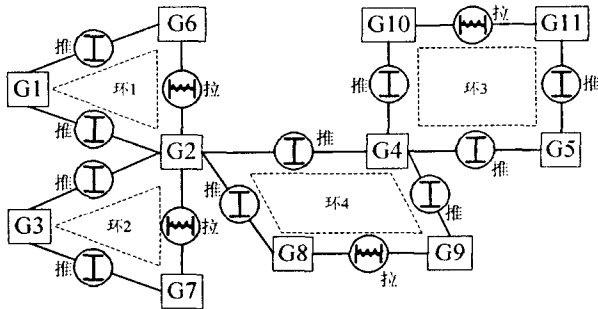


图3 拆卸模型的作用力环

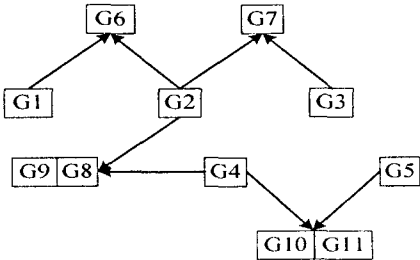


图4 考虑力环的模型连接关系

综合考虑以上各种本体,得到最终产品拆卸信息模型,如图5所示。

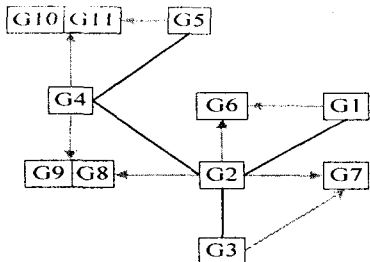


图5 产品拆卸信息模型

由Woo和Dutta在文献[12]中提出了拆卸树DT(Disassembly Tree)生成算法,结合文中生成的拆卸信息模型,得到如图6所示的最优拆卸树。

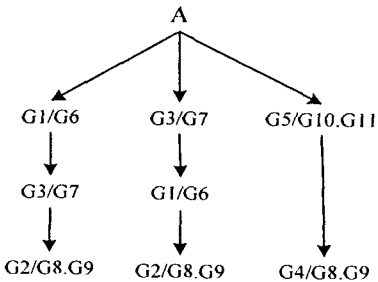


图6 产品最优拆卸树

4 结束语

文中基于本体论提出了影响产品拆卸的各类本体,并把这些本体有机地结合起来,建立了产品的拆卸信息模型,在此基础上利用拆卸树算法生成了产品最优拆卸树。文中的创新点一是综合考虑各类本体建立

(下转第35页)

中的贴进度。无疑这里有两点是至关重要的:一是综合模糊集隶属函数的构造,即定义2的 M_n 的构造。二是 σ 的选取。这种方法的应用例子似乎并不多见,在此暂不作深入讨论。

3 结束语

以上的这四种模糊模式识别模型只是模式识别问题的一个方面:即考虑一个待识别样本匹配多个模式,而另一个方面则是所谓的“录取”问题。如文献[6]问题3,文献[8]“最大隶属原则II”。它实际上就是当标准模式只有一个,而待识别样本有多个,如何在多个待识别样本中优先“录取”一个的问题。显然,这只是标准模式和待识别样本在角色上的互换,并无太多实质性差异,因此也同样可以分析出四种基本模型,在此不再赘述。这四种模型所讨论的模式识别方法都是一些经典模糊模式识别方法。强调“经典”,是因为现在有许多非经典的模糊模式识别方法,例如:陈守煜教授提出的分级条件下的模式识别理论^[10,11];一些对其它模式识别算法进行“模糊”改进后的方法:如模糊C均值法^[12],模糊K-邻近法^[13]等;还有一些则是聚类过程“模糊”,识别过程不模糊的一些算法^[1]。

参考文献:

- [1] 李士勇.工程模糊数学及应用[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004:125-192.

(上接第31页)

拆卸信息模型,而不是单一考虑某一本体;二是将紧固件导致的作用力环模型转换为基于形连接的简单模型。该模型的建立为本体论在产品拆卸领域的应用提供了可供借鉴的理论经验和模型,初步验证了本体论在实际产品拆卸领域中的应用。

参考文献:

- [1] Gruber T R. A translation approach to portable ontology specifications[J]. Knowledge Acquisition, 1993, 5(2): 199-220.
- [2] 蒋双双,张锡恩,刘鹏远.基于配合约束的拆卸建模[J]. 科学技术与工程, 2006(24): 3956-3958.
- [3] 付相君,李善平,郭 鸣.产品建模中本体层的表达规则[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(6): 1159-1166.
- [4] 黄林竹,常晓辉,田 凯,等.三维形体的几何建模研究[J]. 科技信息, 2007(32): 33-34.
- [5] Naing M M, Lim E P, Goh D H. Ontology-Based web annotation framework for hyperlink structures[C]//Proceedings of the International Workshop on Data Semantics in Web Infor-

- [2] 赵蕾蕾,田学东,吴丽红.基于多特征模糊模式识别的公式符号关系判定[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(5): 186-187.
- [3] 宋 丹,徐蔚鸿.基于模糊理论的车型识别[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(3): 47-49.
- [4] 杨思全,陈亚宁.基于模糊模式识别理论的危害损失等级划分[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(2): 56-60.
- [5] 王晓君,魏书华.模糊理论在基于特征向量的模式识别中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(10): 81-83.
- [6] 李洪兴.工程模糊数学方法及应用[M]. 天津:天津科学技术出版社, 1993: 252-256.
- [7] 余玉梅,熊 汉.模糊模式识别方法研究[J]. 云南民族学院学报:自然科学版, 1998, 7(1): 14-20.
- [8] 谢季坚,刘承平.模糊数学方法及其应用[M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2006: 96-109.
- [9] Zadeh L A. Fuzzy Sets[J]. Information and Control, 1965 (8): 338-353.
- [10] Wang J, Chen S, Fu G, et al. Group Decision Making - Based Fuzzy Pattern Recognition Model for Lectotype Optimization of Offshore Platforms[J]. China Ocean Engineering, 2003, 17(1): 1-10.
- [11] 陈守煜.模糊概念在分级条件下的模式识别理论[J]. 控制与决策, 1995, 10(4): 347-351.
- [12] Alimoradi A, Pezeshk S, Naeim F. Fuzzy pattern classification of strong ground motion records[J]. Journal of Earthquake Engineering, 2005, 9(3): 307-332.
- [13] 李 泰,郭延芬.基于模糊K-均值算法的模糊分类器设计[J]. 声学技术, 2007, 26(4): 701-703.

mation Systems (DASW IS' 02). Singapore: [s. n.], 2002: 184-193.

- [6] 江吉彬,刘志峰,刘光复.基于层次网络图模型的可拆卸性设计[J]. 中国机械工程, 2003, 14(21): 1864-1867.
- [7] 王晓光,苏群星,姚志刚.某型导弹的虚拟维修系统中信息模型的实现[J]. 微计算机信息(测控自动化), 2006, 22(1-1): 41-58.
- [8] 张秀山.虚拟拆卸平台关键技术研究[D]. 武汉:武汉大学, 2009.
- [9] 吴 湘,赵万生,魏 莉.三维几何表示法[J]. 航天制造技术, 2002(4): 1-30.
- [10] Borst W N, Akkermans J M. Disassembly analysis for LCA using PROMOD[R]. Enschede, the Netherlands: University of Twente and Netherlands Energy Research Foundation, 1997.
- [11] Borst, Nico W. Construction of engineering ontologies for knowledge sharing and reuse[D]. Enschede, the Netherlands: University of Twente, 1997: 61-77.
- [12] Woo T C, Dutta D. Automatic Disassembly and Total Ordering in Three Dimensions[J]. Journal of Engineering for Industry, 1991, 113(4): 207-213.