

基于语义的航空CAD模型检索算法*

Retrieval Method of Aviation CAD Model Based on Semantic

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 王 鹏 姜寿山

[摘要] 针对航空制造型企业对机械零件检索的需求,提出一种基于语义的三维航空CAD模型检索算法。首先将模型进行分割,分割为一些有意义的子部分,然后对这些子部分进行语义描述和标注,并建立CAD模型的本体表示,最后基于CAD模型语义本体实现模型的相似性评价。结果表明,本文算法能较好地实现模型语义检索,检索性能高于通用领域的检索算法,可以实现机械模型设计和制造知识的重用。

关键词: 机械零件 检索 语义 重用

[ABSTRACT] For aviation manufacturing enterprises demand retrieval of mechanical parts, an semantic-based algorithm for three-dimensional CAD model retrieval is presented. The model is segmented into many relevant sub-parts. Then, semantic descriptions and annotations are attached to these sub-parts. Finally, the similarity of the models is evaluated based on the semantic ontology 3D CAD model. Experimental results show that this method can achieve CAD model retrieval and the retrieval performance is higher than the common retrieval algorithms and can achieve the reuse of design and manufacture.

Keywords: Mechanical part Retrieval Semantic Reuse

随着三维技术的迅速发展,三维模型检索在人们日常生活、CAD/CAM、计算机动画设计中均有着广泛的应用,并且它已成为 MPEG7 标准模型的一个重要研究部分。统计发现,在 CAD 领域,2001 年三维模型的造型已达到 66%,到 2005 年末,达到 80%^[1]。如何从海量的实体造型中快速、有效地检索出需要的模型,并对其加以重用已成为 CAD 领域的一个迫切需求。但是从目前的研究现状来看,该领域还处于试验阶段,根据模型表示方法的不同,可将这些方法^[2]分为:基于全局特征的方法、基于制造特征识别的方法、基于图的方法、基于柱状图的方法、基于产品信息的方法和基于计算机视觉的方

法。基于内容的检索目的是想通过对三维模型的理解和认识来衡量模型间的相似性进行检索的,这种人对模型的理解可以表示成模型的高层语义,但由于人类感知的主观性,导致模型视觉特征信息和用户对视觉数据理解的不一致性,导致低层视觉特征和高级语义信息之间存在“语义鸿沟”,因此基于内容的检索存在局限性。对于航空制造型企业来说,形状相似的零件由于其公差尺寸的影响,其加工方法可能完全不同,而现有的检索算法通常只考虑模型的形状特征,很少考虑模型和特征所包含的语义信息(尺寸、公差、热处理和加工方法等)。目前,国内外很多学者已经开始针对三维模型语义检索展开研究^[3-5],但针对航空 CAD 模型语义检索的研究并不多。因此,研究航空 CAD 模型语义检索可以解决“用户如何进行检索”和“检索结果如何重用”等问题。

本文将利用模型的特征、拓扑、几何和语义信息,从特征层和语义层对模型检索进行研究。本文首先将模型分割为一些有意义的子部分(特征或局部结构),然后对这些子部分进行语义描述和标注,在此基础上,充分利用模型的语义信息和用户的个性化信息,实现了基于语义的航空机械模型检索算法,该算法可以精确的描述用户检索需求,检索结果更加符合用户需求。

1 CAD 模型分割与语义标注

1.1 模型分割

现有的特征提取算法从模型整体计算,能够反映模型的宏观形状,但却忽略了模型的局部信息,为了寻求表征能力更强的特征信号和语义信息,实现 CAD 模型特征层和语义层的描述,需要将 CAD 模型根据其感知特性分割成一些有意义的子部分(特征或局部结构)。

对于模型的分割,目前的一些研究主要是针对三角网格模型,一般是基于一个尺度函数进行自动分割,分割的结果很难具有工程语义信息。而对于 CAD 模型来说,其特征(局部结构)具有形状和语义 2 种属性,它是依赖于特定应用领域的,不同的应用领域有着不同的特征(局部结构)定义和特征(局部结构)库。因此,本文将首先根据不同的应用领域定义不同的特征(局部结

* 国防基础科研启动项目(K090302)资助。

构)定义和特征(局部结构)库,然后运用图论中的识别算法^[6-7]实现CAD模型的分割。

根据分割得到的各子部分之间的连接关系,构造模型特征邻接图。模型特征邻接图是一种表征CAD模型内部各子部分之间关系的属性图。其中节点表示模型中的子部分;边表示各子部分之间的连接关系;节点和边的属性对应各个子部分之间关系的属性信息。

1.2 语义标注

为了建立三维CAD模型底层特征和高级语义之间的桥梁,本文基于本体来实现三维CAD模型的语义标注。本体是描述某个领域术语的数据集,能够在一个较高的平台上提供知识重用和系统框架。我们将构建本体来存储这些特征的语义信息及它们之间的关系。在我们的方法中,本体用一个图来描述,节点代表类,节点之间的连线代表他们之间的关系。本体的构建过程如下:(1)分析CAD领域不同的应用需求,列举CAD模型的特征(典型结构)类,并定义类之间层次关系,形成概念本体树。(2)定义类之间的关系,基本的关系有4种:part-of, kind-of, instance-of 和 attribute-of。part-of 表达概念之间部分与整体的关系;kind-of 表达概念之间的继承关系;instance-of 表达概念的实例和概念之间的关系;attribute-of 表达某个概念是另外一个概念的属性。(3)对概念及关系进行属性提取。(4)建立类的实例。

对于CAD模型的语义标注,首先对整体CAD模型进行语义标注,如模型的名称、类型、用途、工艺信息(材料、热处理、毛坯类型等)、模型的各个组成部分等,然后利用特征库本体对CAD模型分割后的各子部分进行语义映射,CAD模型各子部分的语义信息继承于特征库本体,图1所示为一个盲孔特征的OWL表示,最后建立分割后各子部分之间的关系,从而完成CAD模型的语义标注。

```
<blindhole rdf:ID="blindhole_1">
<depth rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
>50.0</depth>
<length rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
>10.0</length>
<connect rdf:resource="#cylinder_1"/>
<radius rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
>35.0</radius>
```

图1 盲孔特征的OWL表示

Fig.1 OWL expression of blind hole

2 基于语义的模型检索

检索的最终目的是对已有模型的设计和制造信息实现最大程度的复用,但是纯粹从几何形状的角度去进行相似性匹配往往还不够充分,不足以支持相关信息的

有效复用。例如,2个不同的CAD模型,都具有相同类型的孔,但是孔的尺寸精度和材料相差很大,如果仅仅从几何形状的角度去判断,二者是相似的;但是,在航空制造领域,如果孔的尺寸精度或材料不一样,则加工工艺和热处理可能是完全不同的。本文将综合考虑模型的几何信息、拓扑信息、特征的功能语义信息以及工艺信息,提出基于多层次的三维CAD模型相似性度量。

通过模型特征邻接图的表示,CAD模型相似性比较的问题就转换成检测模型特征邻接图的最大公共子图的问题来解决。由于精确的确定最大公共子图是一个NP完全问题,算法的复杂度非常的高,因此本文使用爬山算法^[8]来获得一个充分大的公共子图。该算法首先随机映射2个图之间的节点,然后交换节点映射以使评估函数S取最小值,S为不匹配边的数量。相似度 $S_f = \min\{S_1, \dots, S_n\} / |E_1|$,其中 S_1, \dots, S_n 是n次运算后的S最终值, $|E_1|$ 是2个图中边的数量的最小值。

由于制造过程的复杂性及多因素影响性,还需要综合考虑与产品制造工艺密切相关的工艺信息的相似性,如材料、毛坯、精度、表面质量、热处理方式等。对于工艺相似性可以通过以下公式的定义获得:

$$S_p = \omega_m S_m + \omega_h S_h + \omega_r S_r + \omega_c S_c$$

其中, S_m, S_h, S_r 和 S_c 分别为2个CAD模型的材料类型、热处理方法、毛坯类型和加工要求精度的相似度, $\omega_m, \omega_h, \omega_r$ 和 ω_c 为权重系数。最后,多层次的三维CAD模型相似性度量是由 S_f 和 S_p 综合加权获得。

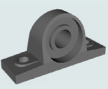
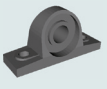

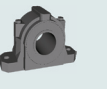

















3 算法验证与讨论

根据上文所述的路线和关键技术,以Microsoft Visual Studio 2005为集成开发环境,运用基于本体的语义建模技术,通过MySQL数据库完成对CAD模型的存储、查询以及更新等操作,并构建了一个包含400个模型的模型库来验证本文的算法。在试验中,将本文算法与形状分布算法^[9]和球面谐波算法^[10]进行了对比,为了充分对比3种算法的性能,本文对模型库中的CAD模型进行测试,获得了一个平均查全率-查准率(Precision-Recall, PR)曲线,如图2所示,从PR曲线可以看出,本文算法的综合性能要明显地高于形状分布算法和球面谐波算法,部分检索结果如表1所示。同时,由于CAD模型的本体表示,检索结果除了返回相应的三维模型,还返回与三维模型相关的特征语义信息。

4 结论

本文提出一种基于语义的航空CAD模型检索算法。该算法首先将CAD模型进行分割,分割为一些有意义

表1 部分检索结果示例

检索模型	检索结果排序(前6位)					
	①	②	③	④	⑤	⑥
						
						
						

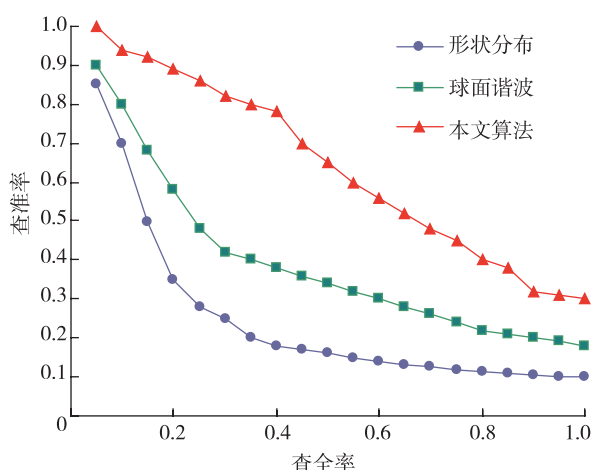


图2 3种算法的查全-查准率曲线

Fig.2 Recall ratio-precision ratio curve with 3 different algorithms

的子部分,然后对这些子部分进行语义描述和标注,在此基础上,充分利用模型的语义信息和用户的个性化信息,实现了基于语义的三维CAD模型检索算法。该算法的最大特点在于可以解决用户如何去检索及检索结果如何重用等问题。试验结果表明,本文算法的检索性能要明显的高于形状分布算法和球面谐波算法。

参考文献

- [1] Iyer N, Kalyanaraman Y, Lou K, et al. A reconfigurable intelligent 3D engineering shape search system part I: shape representation//ASME DETC Computers and Information in Engineering (CIE) conference, 2003:1-10.
- [2] Iyer N, Jayanti S, Lou K, et al. Three-dimensional shape searching: state-of-the-art review and future trends. Computer-Aided Design, 2005, 37(5): 509-530.
- [3] Leifman G, Meir R, Tal A. Semantic-oriented 3D shape retrieval using relevance feedback. The Visual Computer, 2005, 21(8):865-875.
- [4] Albertoni R, Papaleo R, Pitikakis M. Ontology-based searching framework for digital shapes. Lecture Notes in Computer Science, 2005, 3762: 896-905.

[5] Attene M, Robbiano F, Spagnuolo M. Part-based annotation of virtual 3D shapes//Proceedings of the International Conference on Cyberworlds. Hannover, 2007: 427-436.

[6] Joshi S, Chang T C. Graph-based heuristics for recognition of machined features from 3D solid model. Computer-Aid design, 1988, 20(2): 58-66.

[7] Messmer B T, Bunke H. Efficient subgraph isomorphism detection: a decomposition approach. IEEE Trans. On Knowledge and Data Engineering, 2000,12(2):307-323.

[8] Cicirello V, Regli W C. Machining feature-based comparisons of mechanical parts//International Conference on Shape Modeling and Application. Genova, 2001:176-185.

[9] Osada R, Funkhouser T, Chazelle B, et al. Shape distributions. ACM Transactions on Graphics, 2002, 21(4):807-832.

[10] Kazhdan M, Funkhouser T, Rusinkiewicz S. Rotation invariant spherical harmonic representation of 3D shape descriptors//Proceedings of Symposium on Geometry Processing. Aachen, 2003:156-164.

(责编 夏宛)

(上接第92页)

相连接头的强度与断裂.中国有色金属学报,1999,9:167-172.

[4] 戴瑛,嵇醒.界面端应力奇异性与复合材料界面剪切强度微观实验分散性分析.应用力学学报,2004,21(1):90-95.

[5] 吴志学.三维双材料结构的应力奇异性分析.计算力学学报,2004,21(5):592-596.

[6] 张彦华.焊接力学与结构完整性原理.北京:北京航空航天大学出版社,2007.

[7] 英国Thompson摩擦焊有限公司.线性摩擦焊技术介绍.航空制造技术,2008(17):65.

[8] 张田仓,韦依,周梦慰,等.线性摩擦焊在整体叶盘制造中的应用.航空制造技术,2004(11):57-58

[9] 马铁军,史栋刚,张勇,等.TC4+TC17线性摩擦焊接头的微观组织与力学性能.航空材料学报,2009,29(4):33-37.

[10] 季亚娟,张田仓,李晓红.TC11/TC17钛合金线性摩擦焊接头组织与性能.航空制造技术,2011(8):66-69.

[11] 中国航空材料手册编辑委员会.中国航空材料手册(第4卷).北京:中国标准出版社,2002.

[12] 秦优琼.C/C复合材料与TC4钎焊接头组织与性能研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.

(责编 三丰)