

DOI:10.19344/j. cnki. issn1671-5276.2024.04.024

航空液压壳体零件三维设计变更检查及更改文件生成

刘洋洋¹, 周来水¹, 黄斌达²

(1. 南京航空航天大学 机电学院, 江苏 南京 210016; 2. 航空工业金城南京机电液压工程研究中心, 江苏 南京 211106)

摘要: 为了提升航空液压壳体零件三维设计变更检查的效率, 并解决传统更改通知单信息表达不够直观的问题, 设计了航空液压壳体零件三维设计变更检查自动化及更改信息可视化表达方案。研究基于图匹配的特征识别技术, 定义设计特征最短搜索路径和主方向属性, 提出基于特征匹配的更改信息识别办法, 研究基于 3DPDF 的更改信息可视化表达技术, 开发相应的系统, 在提高更改检查效率的同时实现了更改信息的可视化表达。

关键词: 航空液压; 壳体零件; 设计特征; 变更检查; 3DPDF

中图分类号: V214.3 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2024)04-0129-05

3D Design Modification Inspection and Change File Generation of Aviation Hydraulic Shell Parts

LIU Yangyang¹, ZHOU Laishui¹, HUANG Binda²(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;
2. AVIC Jincheng Nanjing Engineering Institute of Aircraft System, Nanjing 211106, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of 3D design change inspection for aviation hydraulic shell parts and resolve the intuitiveness of information expression of traditional change notice, a scheme of automatic 3D design change inspection and visual expression of change information for aviation hydraulic shell parts was designed. The feature recognition technology based on graph matching was studied, the shortest search path and main direction attribute of design features were defined, the change information recognition method based on feature matching was proposed, the change information visualization representation technology based on 3DPDF was studied, and the corresponding system was developed, which not only improved the efficiency of change detection, but also realized the visual representation of change information.

Keywords: aviation hydraulic; shell part; design feature; change inspection; 3DPDF

0 引言

作为航空零部件的其他装配载体, 航空液压壳体零件在基于液压油路的航空飞机控制系统中占据主导地位, 其结构复杂, 加工精度要求高^[1]。在非数字化的设计流程中, 航空液压壳体零件三维设计变更信息的提取大多依靠人工检查, 以舵机壳体零件为例, 完整表达其零件结构所需的视图高达上百个, 这对于更改检查来说是一个极其庞大的工作量。除此之外, 非数字化的更改通知单以纸质文件为载体, 信息传递能力有限, 无法直接关联到三维模型的空间结构。以上种种弊端使得更改检查遗漏、更改通知文件与模型三维设计不匹配的情况时有发生, 大大拖延了相关产品的设计、生产周期。

在全三维数字化设计的情况下, 模型三维设

计的更改检查工作本质上是模型匹配, 其相关技术已有众多学者在研究。冷钰琳等^[2]提出了基于几何矩的形状匹配算法。闫洁等^[3]通过粒子群算法提取面相似度, 进而计算模型整体的相似度。卢文翔等^[4]设计了零件点云粗配准方法, 提高了配准精度与效率。目前, 模型比对技术主要关注模型的相似性而非具体的模型差异。

针对上述问题, 本文研究了航空液压壳体零件变更检查自动化及更改信息可视化表达技术。通过研究基于图匹配的特征识别技术提取零件三维设计信息, 通过自定义属性, 设计基于特征匹配的更改信息识别办法, 研究基于 3DPDF 的三维可视化更改文件形式, 并开发相应的系统, 在提高航空液压壳体三维设计变更检查效率的同时实现更改信息的可视化表达, 缩减航空液压壳体零件的设计、生产周期。

1 总体技术方案

航空液压壳体零件三维设计变更检查及更改文件生成总体技术方案由零件三维设计信息提取、零件设计特征匹配、零件三维设计更改检查、可视化更改单生成四部分构成,如图1所示。

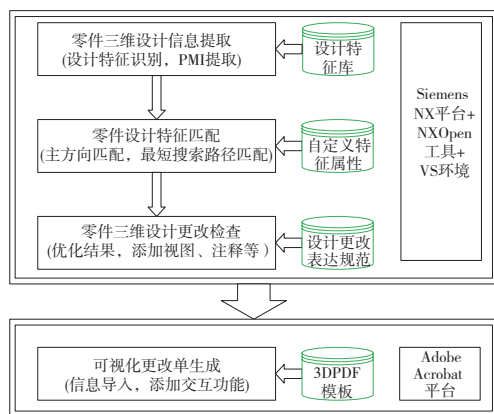


图1 整体技术方案

零件三维设计信息提取是通过设计特征识别和PMI提取获取航空液压壳体零件的几何结构信息和产品制造信息。零件设计特征匹配是通过自定义的特征属性标签来构建更改前后零件设计特征映射关系。零件三维设计更改检查是通过基于匹配特征的信息比对识别提取更改点。可视化更改单生成是通过基于3DPDF的可视化文件实现航空液压壳体零件三维设计更改信息的可视化表达。

2 基于特征识别的三维设计信息识别提取

2.1 设计特征数据集定义

零件设计特征表示具有一定功能预期的模型几何结构,本文在设计特征几何信息的基础上,融合产品制造信息(PMI)对设计特征数据集 F 作如下定义:

$$F = F_a \cup F_b \quad (1)$$

$$F_a = E_{DGE} \cup F_{ACE} \quad (2)$$

$$F_b = D_l \cup A_n \quad (3)$$

$$D_l = L_{OC} \cup S_{HA} \quad (4)$$

$$A_n = T_r \cup D_a \cup R_a \cup L_a \quad (5)$$

式中: F_a 表示设计特征的几何要素,包括特征边 E_{DGE} 和特征面 F_{ACE} ; F_b 表示设计特征的非几何要素,包括尺寸标注集合 D_l 和非尺寸标注集合 A_n ,其中尺寸标注 D_l 集合包含定位尺寸 L_{OC} 以及形状尺寸 S_{HA} ,而非尺寸标注 A_n 集合则由形位公差 T_r 、

基准标签 D_a 、表面粗糙度标签 R_a 、文本注释 L_a 等标签构成。

2.2 基于子图同构的设计特征识别

在三维模型特征识别领域,基于图匹配的方法应用较为广泛^[5]。其中,子图同构算法^[6]将需要识别的特征和零件模型以图的形式进行表示,由此把特征识别问题转化为在模型属性邻接图(attribute adjacency graph, AAG)中查找同构属性邻接子图问题。文本通过零件面边信息的识别提取构建了零件属性邻接图,并设计了基于子图同构的设计特征提取算法,如图2所示。

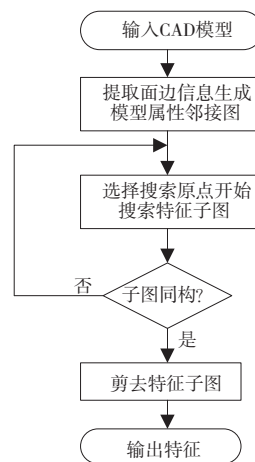


图2 设计特征识别流程

2.3 PMI信息提取

PMI信息包括与特征直接相关的形位公差、尺寸公差、表面粗糙度、基准信息和非直接相关的技术要求、零件属性等信息。主流三维建模软件为上述信息提供了访问接口,以NX为例,通过基于NXOpen的二次开发,能够实现PMI信息的识别提取。

3 基于特征匹配的航空液压壳体零件三维设计变更检查

更改前后的零件三维设计信息提取结果是互相独立的,为了准确识别设计变更,首先需要建立设计特征的前后映射关系。

基于图匹配的特征识别算法以深度优先的遍历准则查询同构子图,对于任意已匹配的同构子图,存在一个或者多个“搜索路径”,本文定义了设计特征最短搜索路径属性,最短搜索路径指的是从搜索初始面出发,搜索得到某一设计特征的最短“面边链”,如图3所示。

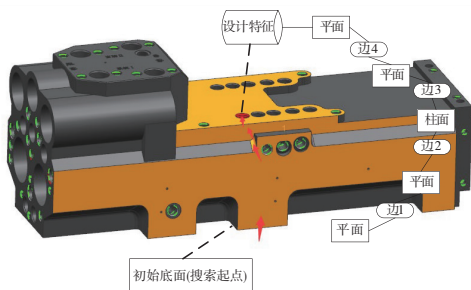


图3 最短搜索路径图解

在图3中,从初始底面出发,搜索得到设计特征的最短搜索路径为“平面(初始面)—边1—平面—边2—柱面—边3—平面—边4—平面”,其中的面与边节点包含了面边的类型及凹凸属性信息。

航空液压壳体类零件主要设计特征可大致分为孔和腔体两类,这两类特征具有明显的方向性。本文为这两大类设计特征定义了“主方向”属性。孔类特征主方向表示为圆柱面中心轴线方向,腔体类特征主方向表示为与其余面均垂直的面的法向,如图4中黑色箭头所示。

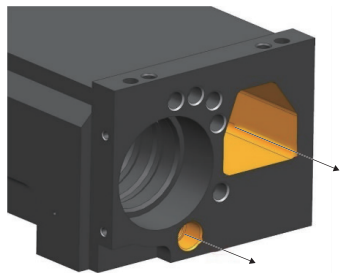


图4 特征主方向

通过最短搜索路径匹配加特征主方向匹配建立特征筛选准则,进一步通过人工操作进行特征匹配,构建出匹配特征集,随后对设计特征非几何要素进行数据比对,识别差异信息,对于独立特征集中的特征,其更改识别结果需要进一步通过人工检查进行优化,总体流程如图5所示。

3 基于3DPDF的三维可视化更改文件生成

3.1 可视化更改文件模板设计

传统的设计更改单以二维图样的形式传递到下游。该方式信息冗余度高,表达能力有限。Adobe Acrobat提供了基于3DPDF的三维模型轻量化展示方案,该文件平台能在保证文件轻量化的同时,保留3D模型的结构及PMI^[7]和信息,适合作为可视化更改文件的模板。

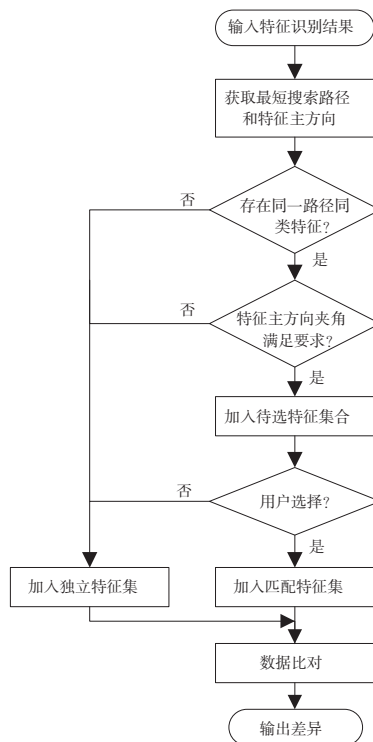


图5 基于特征匹配的三维设计变更检查流程

MBD环境下的三维模型视图信息表达能力远超二维工程图^[8],本文通过将轻量化MBD模型的视图作为更改信息的表达载体,在保留二维更改单内容的基础上,设计了基于3DPDF的更改文件。该文件嵌入了可供交互操作的轻量化三维模型,同时包含了条例式的更改信息,建立了更改信息与模型视图的对应关系,从而实现了在一个模型栏中表达多条更改信息的效果,增加了快捷操作按钮以实现快速改变模型显示模式的功能,如图6所示。

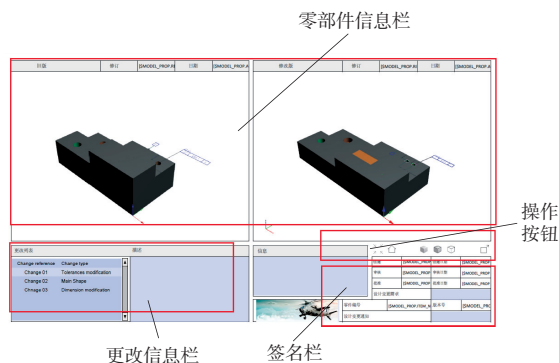


图6 三维更改单结构

3.2 更改文件可视化实现

Acrobat为传统的JavaScript脚本语言增加了新的对象、方法和属性,能通过添加文档级JS脚

本的方式自动读取外部 XML 文件并实现相关 PDF 内容的自动填写。XML 是可扩展标记语言,几乎能在任何主流平台间传递数据^[9]。

本文通过在 XML 文档中定义相关标签与节点来存储设计更改,然后在 PDF 中将对应的表单域标签值设为 XML 文档中的属性节点,通过预定义文档级 JavaScript 脚本实现 XML 文档数据的自动导入以及更改信息标签与三维模型视图的联动,最终实现更改信息的可视化表达。

4 系统实现

液压壳体零件三维设计变更检查及更改文件生成系统在 NX12 平台和 Adobe Acrobat Pro DC 软件上进行开发。以航空液压舵机壳体为例,首先通过模型信息识别得到三维设计信息,然后通过基于特征匹配的信息比对环节提取差异,得到初步的更改识别结果,随后进入识别结果后处理模块,完成信息优化和更改信息、视图添加,最后在更改单发布模块生成可视化设计更改文件,总体框架如图 7 所示。

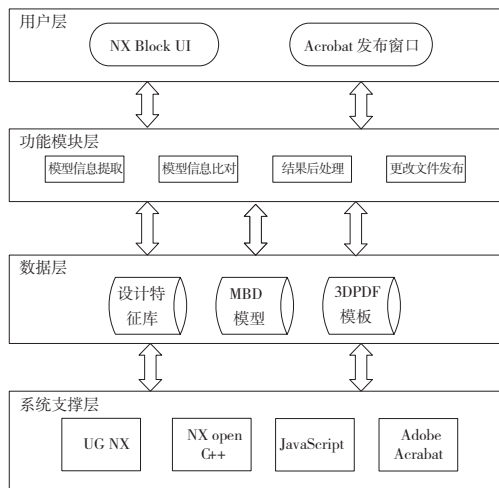


图 7 系统架构图

4.1 模型信息提取模块

在模型信息提取模块导入模型后进行特征识别,其中特征识别结果包含特征类型、特征边、特征面以及特征相关联的尺寸 PMI 和其他注释信息。这些信息以子节点形式在结果中展示,方便用户快速定位到所需数据单元,如图 8 所示。

4.2 模型信息比对模块

模型信息比对之前要对特征识别结果进行匹配,通过右键菜单激活特征匹配命令,在给定的待匹配特征中进行选择,建立特征对应关系,为下一

步的信息比对做铺垫,如图 9 所示。

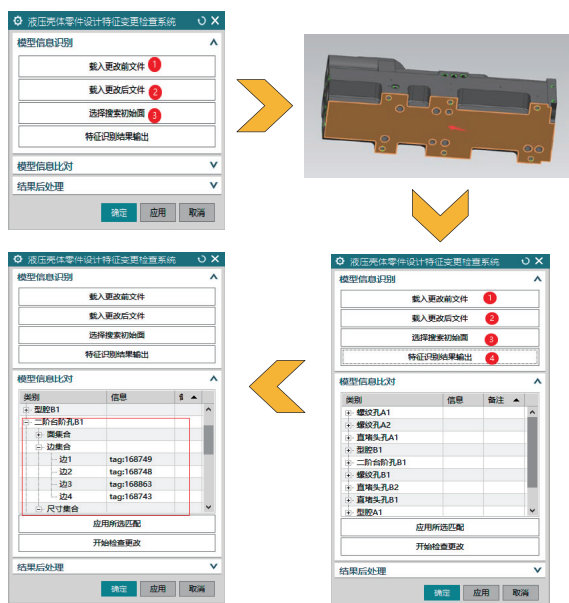


图 8 模型信息提取



图 9 模型信息比对

4.3 结构后处理模块

对模型信息比对的结果进一步优化,为比对结果添加视图依附关系和必要的文本表述,最终输出融合了更改信息的 MBD 模型文件和存储更改信息的 XML 文档。为三维可视化更改单提供数据基础,其流程如图 10 所示。

4.4 更改文件发布模块

更改文件发布模块在 Adobe Acrobat 软件中

进行,打开预制的更改单模板,通过基于 XML 更改信息文件自动填写表单域,在更改列表中为更改信息单元格添加 javascript 脚本,实现模型视图和文本域的自动响应,最后填写完整信息栏即可发布,如图 11 所示。

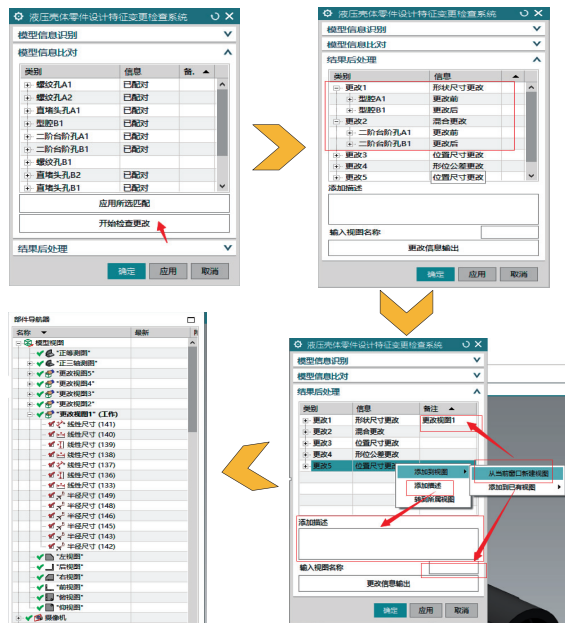


图 10 结果后处理

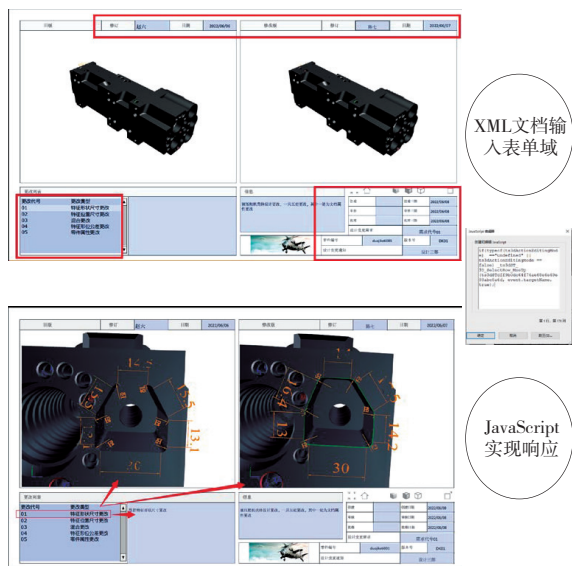


图 11 更改文件发布

5 结语

为解决航空液压壳体零件三维设计变更检查效率低以及传统更改单信息表达能力弱的问题,通过特征识别算法和 CAD 软件开发接口对航空液压壳体零件模型三维设计信息进行了识别提取,对模型的设计特征级信息进行了定义,并设计特征最短搜索路径,定义主方向属性,设计了基于特征匹配的更改信息自动识别方案。最后通过 3DPDF 文件平台实现了更改单文件的可视化表达。该方案系统地提高了航空液压壳体零件模型三维设计变更检查的效率,并对更改信息表达载体进行了创新,实现了 MBD 模型与传统更改单的融合,提高了信息传递效率。

参考文献:

- [1] 郭生荣. 航空机电系统综合技术发展[J]. 航空精密制造技术,2016,52(1):1-6.
- [2] 冷珏琳,张哲,刘田田,等. 基于几何矩的 CAD 模型形状匹配算法及应用[J]. 图学学报,2021,42(4):608-614.
- [3] 闫洁,孙静懿,韩文军. 粒子群优化三维模型相似性评价[J]. 机械设计与制造,2020(1):296-299.
- [4] 卢文翔,熊瑞平,徐毅松,等. 基于特征分割识别的点云配准[J]. 组合机床与自动化加工技术,2022(4):32-35.
- [5] JOSHI S, CHANG T C. Graph-based heuristics for recognition of machined features from a 3D solid model[J]. Computer-Aided Design,1988,20(2):58-66.
- [6] 谢飞,郭宇,张红蕾,等. 基于图和子图同构算法的制造特征识别方法[J]. 南京航空航天大学学报,2018,50(3):390-396.
- [7] YODERS J. Acrobat 3D 8 makes 3D/CAD file-sharing easier[J]. Building Design & Construction, 2007(10):48.
- [8] 吕程,龚练,刘辉,等. 基于 MBD 的三维图样表达方式研究与系统实现[J]. 图学学报,2018,39(5):951-957.
- [9] 张国超,金巧园,何旭,等. 基于 XML 的通用接口通信调试系统设计实现[J]. 电子技术与软件工程,2022(12):1-4.

收稿日期:2023-02-06