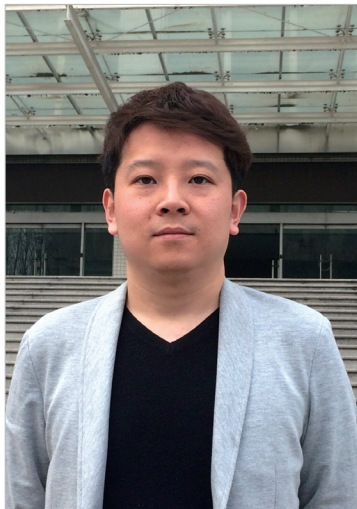


面向MBD环境的三维CAPP 技术研究

Research on MBD-Oriented Three-Dimensional CAPP Technology

西北工业大学 CAPP 与制造工程软件研究所 辛宇鹏 田锡天 黄利江
中航工业西安航空发动机(集团)有限公司 马光辉



辛宇鹏

西北工业大学机电学院, CAPP 与制造工程软件研究所博士研究生, 主要研究方向为计算机辅助工艺规划技术、数控加工技术。

随着三维数字化设计、制造技术的发展, 基于模型定义(Model Based Definition, MBD)技术逐渐在各行各业得到推广, 尤以汽车、航空行业应用最为广泛^[1]。MBD 技术是将制造信息和设计信息(三维尺寸标注及各种制造信息和产品结构信息)共同定义到产品的三维数字化模型中, 用三维 MBD 模型取代二维工程图, 指导产品的设计制造全过程。MBD 模

传统的二维工艺设计应用模式无法直接利用上游设计发放的三维模型, 在工艺设计阶段需要经历二维 / 三维的转换过程, 这无疑加大了工艺人员工作量, 并且无法为后期的数控加工以及工艺检验提供三维数模的支持。本文提出的 MBD 环境下的三维 CAPP 技术, 可以直接利用零件 MBD 模型进行工艺规划, 在工艺规划过程中建立的 MBD 工序模型, 可以在 CAM、CMM 阶段直接利用, 实现 CAD/CAPP/CMM/CAM 的集成, 为更进一步的 CIMS 集成技术研究奠定了基础。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.06.060

式下零件设计、制造和检验过程明显加快, 然而它的实现在整个产品生命周期中尚未被完全采纳^[1], 阻碍其发展的关键原因是三维计算机辅助工艺规划(Computer Aided Process Planning, CAPP)技术的缺失。工艺是连接设计与制造的“桥梁”, 而目前的 CAPP 系统还停留在二维应用的阶段, 不能满足 MBD 全三维环境的需求, 因此三维 CAPP 技术逐渐成为近几年学者们研究的热点。

Sivakumar 等^[2]研究了三维数模在 CAD/CAM/CAI 集成中的应用, 提出对零件特征分解, 利用 STEP 文件

实现信息传递, 并通过实例进行了验证, 在技术上保证了工艺过程设计阶段用 MBD 模型作为工艺信息载体的可行性。田富君等^[3]对三维环境下机加工工艺过程设计的应用模式进行探索, 提出以三维机加工序模型作为工艺信息载体的思路, 分析了三维环境下机加工序模型的组成元素, 研究了三维机加工工艺卡片的组成结构。万能等^[4]也提出了工序模型驱动的工艺设计方法, 并对与工艺自动规划相关的特征识别技术、加工元生成技术及加工元聚类进行了研究。

以上研究工作验证了利用 MBD

技术实现三维机加工工艺设计是可行的,因此,本文在此基础上针对机械加工(简称机加)工艺设计过程,从系统构建的角度研究了面向 MBD 环境的三维 CAPP 技术,提出建立 4 层架构的三维机加工工艺设计系统,同时提出 MBD 工序模型驱动的机加工工艺设计方法,通过扩展三维 CAD 系统功能,实现 MBD 环境下的三维机加工工艺设计及发布。

MBD 环境下三维 CAPP 系统整体架构

三维 CAPP 系统是基于成熟三维 CAD 系统,面向机械加工特征而扩展的计算机辅助工艺规划系统。

在 MBD 环境下三维 CAPP 系统的输入信息是零件 MBD 设计模型,通过对三维模型进行加工特征识别,分析其在具体制造环境下的可加工性并确定主要加工方法,制定初步的加工工艺路线,特征识别过程可参考文献 [5]。三维工艺决策过程包括 3 个部分:(1) 选择性决策,如加工方法、工装设备选择等;(2) 规划性决策,如工序安排与排序、工步安排与排序等;(3) 计算性决策,如工序尺寸计算等。三维产品工艺信息输出是利用三维手段和电子文档结合的形式,输出三维形式的工艺信息。

为满足三维 CAPP 系统的功能需求,本文提出建立 4 层架构的三维机加工工艺设计系统,包括用户应用界面层、系统应用服务层、系统功能模块层、数据层。在 MBD 环境下,三维 CAPP 系统的整体架构见图 1。

(1) 用户应用界面层。系统应用界面层主要包括三维机加工工艺设计、三维工艺文件生成以及工艺现场可视化应用。

(2) 系统应用服务层。系统应用服务层提供了三维机加工工艺设计与数据库、功能模块,以及和其他系统的集成接口。

(3) 系统功能模块层。系统功

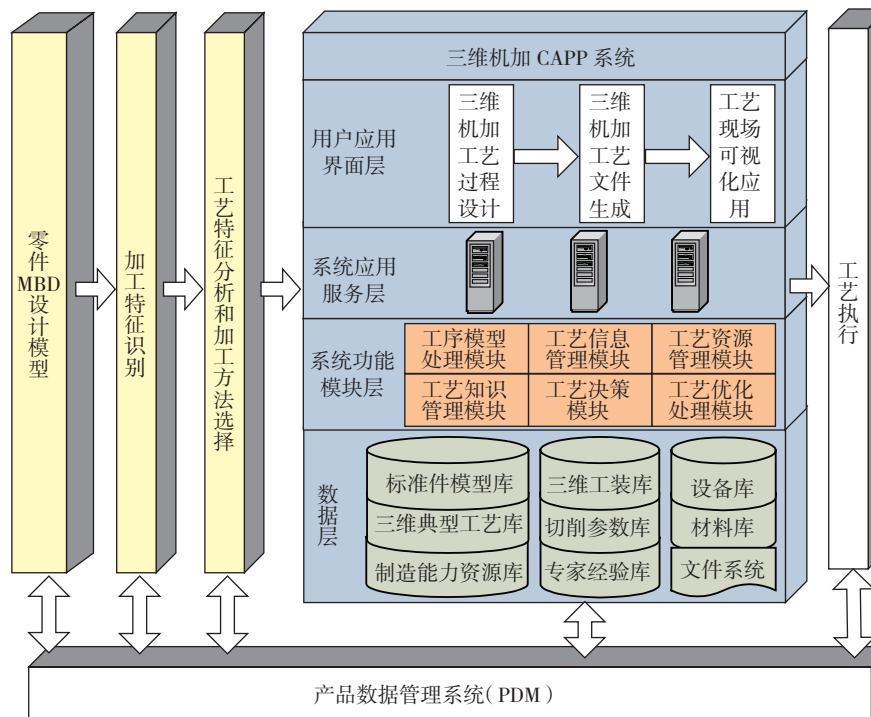


图1 MBD环境下的三维CAPP系统整体架构

能模块层是系统应用服务层的基础,主要为应用服务层提供底层支持,包括工序模型处理模块、工艺信息管理模块、工艺资源管理模块、工艺知识管理模块、工艺决策模块和工艺优化处理模块。其中,工序模型处理模块提供工序模型快速创建工具集,辅助工作人员在工艺设计过程中快速创建三维工序模型,实现基于工序模型的三维标注等功能。

(4) 数据层。数据层用于存取、维护和管理系统运行过程中的机加工工艺信息、制造资源信息、加工工艺知识、加工工艺参数、典型工艺知识以及 MBD 模型等,是进行产品加工工艺设计与仿真的基础。

从这一体系架构中可以看出,三维模型是整个体系的基础,在三维机加工工艺设计过程中,三维模型起到存储和传递工艺信息的作用。然而,在三维工艺信息输出阶段,要更加清楚地表达每道工序的内容,仅靠设计信息输入阶段的三维 MBD 模型是不够的,因此本文提出一种 MBD 工序模型驱动的三维机加工工艺设计方法,通过给每道工序建立三维模型实现

MBD 环境下的工艺信息表达与发布。

MBD 工序模型驱动的三维机加工工艺设计方法

MBD 工序模型是在三维机加工工艺设计过程中,利用 MBD 技术建立的包含本工序所有加工工艺信息的三维数字化实体模型,表现该工序的加工结果。

记 MBD 工序模型为 $Part_i$, 设备集合为 M , 加工方法为 T , 几何参数为 G , 工艺装备集合为 E , 工艺符号为 A 。则 MBD 工序模型的可表示为:

$$Part_i = \{T, M, G_i, E_i, A_i\}, A_i = \bigcup_{t=1}^m a_{it},$$

$$E_i = \bigcup_{e=1}^s e_i \quad ; \quad (1)$$

$$Part_i \in Part, g_i \in G, e_i \in E, A_i \in A, i \in N$$

$$i \in N \quad ; \quad (2)$$

式中, $Part_i$ 为第 i 道工序模型; G_i 、 E_i 和 A_i 分别表示第 i 道工序模型表示的几何尺寸参数、工艺装备集合和工艺符号集合; S 为第 i 道工序所包含的工艺装备的个数; t 为第 i 道工序所包含的工艺标注的个数。

本文提出的三维机加工工艺设计以 MBD 工序模型为基础,工艺设计

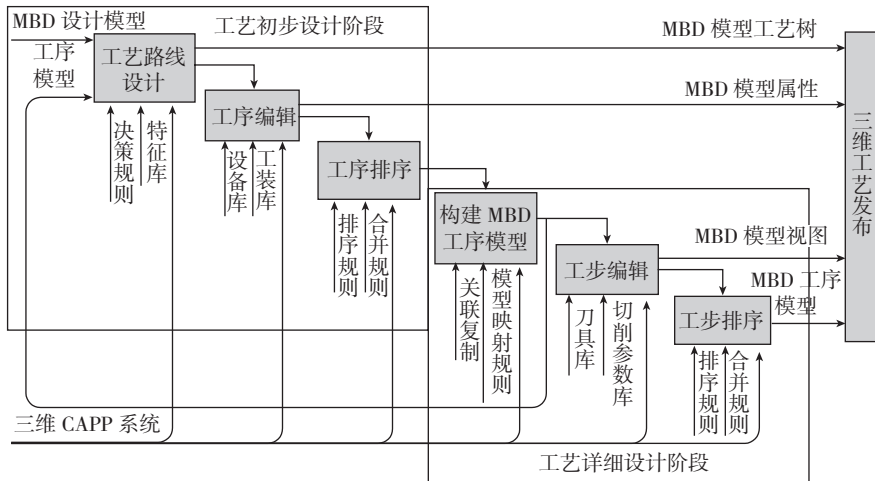


图2 MBD工序模型驱动的三维机加工工艺设计过程

过程可以分为2个阶段：工艺初步设计阶段和工艺详细设计阶段。在工艺初步设计阶段实现的是基于模型的工序信息定义，工艺路线通过MBD设计模型和MBD工序模型组合成的工艺树结构来表达；工艺详细设计阶段是对MBD工序模型定义的进一步完善，主要包括几何建模和基于模型的工步信息定义。从这个角度理解，三维机加工工艺设计的过程也是对MBD工序模型进行详细定义的过程(图2)。

MBD工序模型驱动的三维机加工工艺设计步骤如下。

步骤1：工艺路线设计。利用特征识别技术对MBD设计模型进行特征识别，按照决策规则制定初步的工艺路线方案，建立与工序对应的MBD工序模型并与MBD设计模型关联，形成MBD工艺树实现工艺路线的三维表达。其中，特征识别技术的详细介绍参考文献[5]。

步骤2：工序编辑。采用MBD技术对工序MBD数据集进行定义，在设备库和工装库的支持下，确定设备和工装信息，编写工序内容。

步骤3：工序排序。按照排序规则和合并规则，对工序进行重新排序和合并，确定工艺路线。

步骤4：创建MBD工序模型。建立MBD工序几何模型，初步完成

MBD工序模型的定义。

步骤5：工步编辑。采用基于工序模型视图的定义方法对工步信息进行定义，将模型视图视为一个对象对其添加工艺属性，在刀具库和切削参数库的支持下，确定刀具和切削参数信息，完成工步编辑。

步骤6：工步排序。在规则库的支持下，对工步进行排序、合并，完成工艺过程设计，输出MBD工序模型用于三维工艺发布。

三维可视化工艺生成技术

三维可视化工艺是以工艺MBD模型和MBD工序模型之间的结构化描述方式、利用三维手段和电子文档来表达工艺过程信息。将非几何信息以属性和注释的形式与三维工序模型进行绑定，利用工序模型与工艺符号来表达工序加工结果和制造要求。一道工序往往由多个工步组成，本文提出采用基于模型视图的工步定义方式，给每道工序创建多个模型视图，与工步信息相对应。这种基于模型定义的工艺信息组织结构如图3所示。

三维可视化工艺的发布形式可分为2种：三维电子文档发布和基于WEB发布。三维电子文档发布是将三维模型嵌入到电子文档工艺模板中，形成三维工艺卡片，其中的三维模型具有旋转、缩小、放大等三维

浏览操作的功能；基于WEB发布是将三维模型和工艺数据打包上传到服务器，客户端可通过网页形式在线浏览所加工产品的三维模型和工艺信息。要实现这2种工艺发布方式，提前都需对MBD模型中的工艺信息进行提取和处理，建立工艺元素的映射关系。因此三维可视化工艺生成过程总体上可分为工艺MBD模型建立、工艺数据处理(包括数据提取、数据输出和数据解析)和工艺元素映射等几个阶段，如图4所示。

由于大部分工艺相关信息是以三维标注的形式直接定义在三维模型中，比如尺寸、表面粗糙度、加工要求等。在数据提取时，采用非递归深度优先遍历算法获取结构对象唯一标识，通过标识从结构模型中抽取工艺信息。提取图3中工艺树的工艺信息具体步骤如下。

步骤1：获取根节点对象即MBD主模型，通过标识和属性名称提取属性值，获得零件基本信息。

步骤2：采用深度优先遍历中的先序遍历方法，遍历根节点的子节点，获取第1道工序模型标识，通过标识和属性名提取工序基本信息和工装基本信息等属性信息。

步骤3：通过上步获取的第1道工序模型标识继续遍历第1道工序模型所对应的所有工步视图，获取工步基本信息。

步骤4：重复步骤2和步骤3，依次遍历第2道工序到第n道工序。

组织提取出的工艺信息时，依据工艺信息模型将抽取的工艺信息利用XML标记建立不同工艺信息的描述和存储结构，同时建立三维工艺元素之间的映射关系。

实例分析

本文以Teamcenter作为MBD模型数据管理平台，利用Visual Studio 2008在NX6.0上开发了三维CAPP系统，制造资源库在Teamcenter中

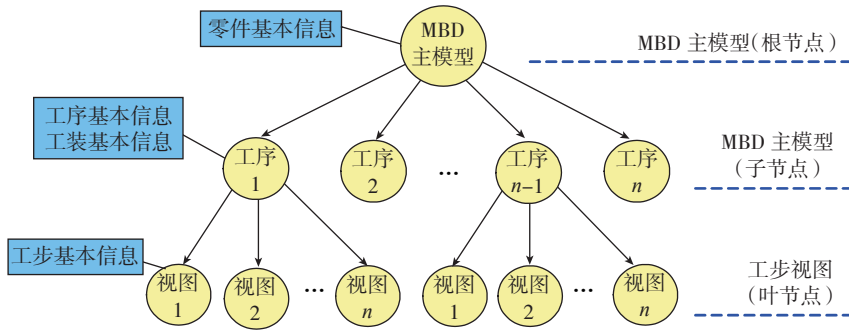


图3 基于模型定义的工艺信息组织结构

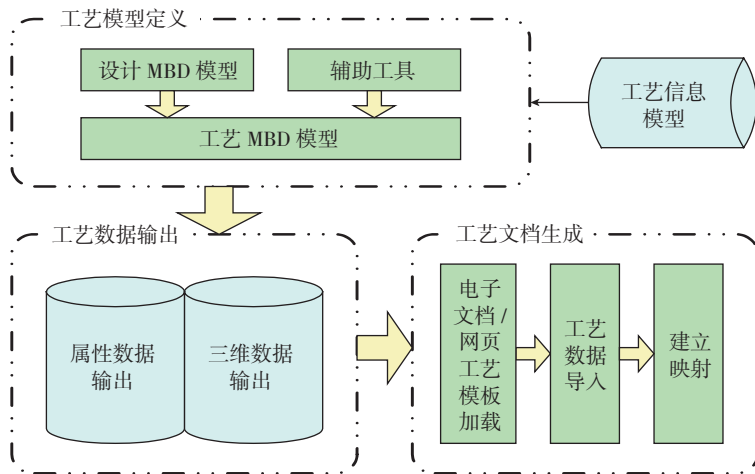


图4 基于模型定义的三维可视化工艺生成

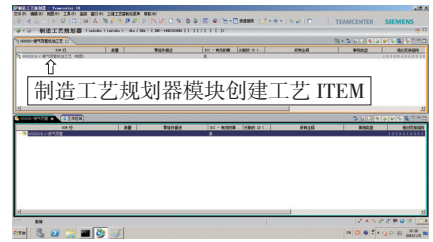
构建,三维工艺发布数据为MBD零件模型和MBD工序模型,采用基于WEB的三维发布方式与MES系统进行集成,以实现车间现场三维工艺可视化应用。

图5所示为某型号航空发动机排气导管零件在MBD环境下的三维机加工工艺设计与发布过程,零件MBD模型由上游设计人员发放,工艺人员在Teamcenter中的制造工艺规划器模块创建工艺ITEM,将零件MBD模型添加在工艺ITEM下(图5(a))。通过Teamcenter进入NX中的三维CAPP系统,在工艺信息输入界面完成工艺路线的初步设计之后,自动创建工序模型并与零件MBD模型自动关联形成组合体(图5(b))。在工序模型处理模块和制造资源库的辅助下,定义MBD工序模型进行工艺详细设计过程,最终同步到制造工艺规划器中,自动生成与MBD模型装配结构对应的工艺树结构。其

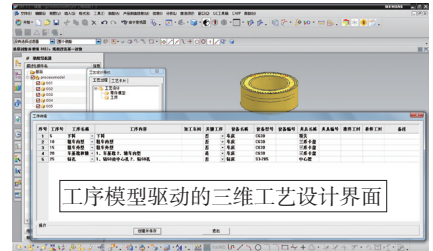
中工序模型处理模块在NX中客户化定制,制造资源库按照企业特点在Teamcenter中建立(图5(c))。三维工艺的发布采用基于SOA的Web Services集成技术,发布的工艺数据为零件MBD模型和MBD工序模型,首先对PDM系统中三维工艺管理模块进行Web服务封装,部署到应用服务器,并对其进行WSDL描述,然后通过SOAP协议将其在UDDI注册库进行注册和发布,服务请求者通过到UDDI注册库查找并发现服务,通过SOAP消息动态、按需获取服务的WSDL描述文件,进行Web services调用,从而实现跨平台、跨地域的应用系统集成,实现三维工艺现场可视化如图5(d)。

结束语

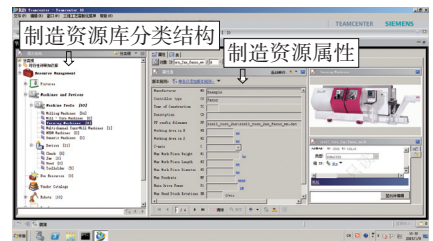
传统的二维工艺设计应用模式无法直接利用上游设计发放的三维模型,在工艺设计阶段需要经历二



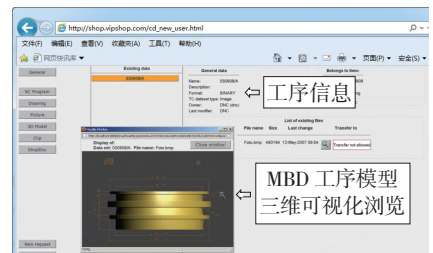
(a) PDM系统平台



(b) 基于NX的三维工艺设计系统



(c) 工程数据库



(d) 三维工艺发布

图5 MBD环境下三维CAPP应用实例

维/三维的转换过程,这无疑加大了工艺人员工作量,并且无法为后期的数控加工以及工艺检验提供三维数模的支持。本文提出的MBD环境下的三维CAPP技术,可以直接利用零件MBD模型进行工艺规划,在工艺规划过程中建立的MBD工序模型,可以在CAM、CMM阶段直接利用,实现CAD/CAPP/CMM/CAM的集成,为更进一步的CIMS集成技术研究奠定了基础。

本文共有参考文献5篇,因篇幅有限,未能一一列出,如有需要,请向本刊编辑部索取。(责编 亿霖)