

基于 CAPPFramework 的飞机结构件 CAD/CAPP/CAM 集成技术*

贾晓亮 许建新 张振明 黄乃康 朱名铨

西北工业大学 CAPP 与制造工程软件研究所, 陕西 西安 710072

摘要:结合 863 目标产品 CAPPFramework(CAPP 应用框架和开发平台的开发),详细论述了创成式 CAPP 的关键技术,包括零件信息描述技术、知识处理技术、专家系统技术等。并介绍了在飞机结构件 CAD/CAPP/CAM 集成中 CAPPFramework 的应用。

关键词:CAPPFramework;创成式 CAPP; CAD/CAPP/CAM; 特征;专家系统

中图分类号:V260.5;TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-2265(2003)03-0004-03

Aircraft structural parts CAD/CAPP/CAM integrated technology based on CAPPFramework

JIA Xiaoliang XU Jianxin ZHANG Zhenming HUANG Naikang ZHU Mingquan

Abstract: Based on CAPPFramework (a CAPP application framework and development platform), the key technologies of generative CAPP system are described in part information describing, knowledge processing, expert system. A CAD/CAPP/CAM integrated - oriented CAPP application system developed by CAPPFramework in aircraft structural parts manufacturing is described in detail.

Key words: CAPPFramework; generative CAPP; CAD/CAPP/CAM; feature; expert system

1 前言

随着基于集成和智能的敏捷制造和全球化制造的发展,计算机辅助工艺过程设计(Computer Aided Process Planning, CAPP)的发展趋势是 CAPP 的集成化、智能化和工程化。CAPP 的集成化、智能化和广泛应用是实现产品工艺过程信息化的前提,是实现产品开发全过程集成的关键环节之一。从系统化的角度实现 CAPP 的工程化、商品化,是 CAPP 研究与开发应用的必然趋势。

目前市场上已推出了一些商品化 CAPP 软件,但是这些商品化 CAPP 软件基本都是交互式工艺设计模式,缺少智能决策功能,完全依靠工艺人员的知识和工作经验。这样工艺工作强度大,造成了工艺规程的规范性差,难以保证工艺规程的质量、信息的完整性和一致性,不能充分利用企业积累的工艺经验与数据。这一方面是因为专家系统技术还需深入研究,尤其是面向 CAPP 产品化、工程化的智能化技术的研究还未得到重视;另一方面,对 CAPP 智能化的理解还有所偏颇,局限于工艺设计全过程决策,并且把智能化与交互设计割裂开来,这必然造成知识库维护困难、系统应用范围狭窄等问题。

本文结合国家 863-CIMS 目标产品 CAPPFramework 的研究开发,从 CAPP 工程化、系统化的角度出发,深入研究了创成式 CAPP 的关键技术,并介绍了在飞机结构件 CAD/CAPP/CAM 中的应用。

2 基于 CAPPFramework 的创成式 CAPP 研究

创成式 CAPP 针对性强,应用范围较窄。当前创成式

CAPP 主要用于较为规范的回转体、箱体、板类零件的机械加工工艺设计,开发工作量大,开发周期长,不利于大规模的推广应用。创成式 CAPP 对系统环境要求高,要求有特征设计系统或需要特征信息获取功能。创成式 CAPP 系统用于数控加工工艺的设计具有较大优越性,有利于 CAD/CAPP/CAM 的信息集成,能大大提高数控加工工艺编制和编程的效率。

CAPPFramework 是一个基于模型驱动的以工艺知识/产品工艺数据为核心,采用综合智能化的工艺设计技术并集成各种应用支持工具,能广泛应用于各种不同层次和类型的企业、企业的不同工艺部门,支持企业 CAPP 系统渐进式实施与开发过程的应用框架与开发平台式软件。在面向对象的信息建模的基础上,CAPPFramework 采用了加工元的概念,即针对特征的加工提出的[特征、加工方法、机床、刀具、余量]信息元组,它为成功实现与 CAM 的信息集成奠定了基础。CAPPFramework 采用基于规则元的工艺规则知识表示、组织等知识处理技术,并在此基础上提出了对象与产生式规则相结合的工艺知识表示模式,以知识库为核心,以特征为基础,建立在工艺信息模型、工艺决策过程模型、制造资源模型等基础上的创成式 CAPP 开发工具理论方法。

CAPPFramework 采用的基于规则(Rule)的知识表示,具有自然性、模块性、有效性和清晰性等特点,是人工智能中应用最广泛的知识表示方法,特别是广泛用于专家系统中。基于规则的知识表示模式,CAPPFramework 应用规则元概念,建立了以规则元为基础的知识组织、管理与应用模式,开发了基于规则的 CAPP 知识库系统(RB-CAPP-KBS)。信息结构如图 1 所示:

1) 规则元(Rule Element, RE)

规则元是 RB-CAPP-KBS 中的核心概念。所谓规则元是

* 基金项目:航空基础科学基金和国家 863-511-820-013 目标产品项目资助

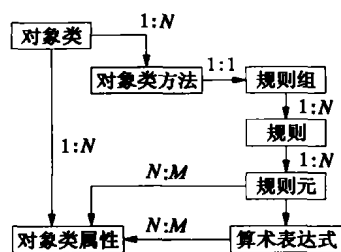


图 1 基本规则的 CAPPFramework 知识库系统信息结构

3) 规则组(Rule Group)

规则组是在特定前提下,完成相同决策功能的若干个规则的集合。从用户角度,系统中的所有规则以规则组形式形成不同的知识块。如系统控制规则组、加工方法定义规则组、加工方法选择规则组、热处理工序安排规则组等。

3 基于特征的 CAD/CAPP/CAM 集成关键技术

零件信息来源于设计,它是创成式 CAPP 的输入信息,是工艺决策的基础信息,包括零件几何信息、管理信息、材料、工艺要求信息等方面,当前几乎所有的 CAD 系统的零件信息表示和存储模式还不能直接供 CAPP 使用。零件信息描述技术是实现 CAPP 与 CAD 信息集成的关键。

现有的 CAD/CAM 系统具有线框造型、曲面造型和实体造型功能,但它们一般只能支持产品几何性质的描述,并不能充分反映设计意图和制造特征,难以满足从设计到制造各个环节的信息需求。基于 CAPPFramework 系统的 CAD/CAPP/CAM 集成的关键是采用的基于特征技术的集成。

特征是 80 年代中后期为了表达产品的完整信息而提出的新概念,它的研究是为了满足 CAD/CAPP/CAM 集成,特征含有丰富的语义信息,包括几何、拓扑、尺寸、公差、加工、材料等与产品设计和制造活动相关的信息。可以从不同角度归纳不同特征:

- 1) 形状特征:包括几何特征和拓扑特征。产品数据交换标准 STEP 定义了形状特征:为了某种应用的目的而预先构想的模型或者说样板。在一个产品中它是整个产品形状的一部分,是样板的一个体现。形状特征能够按照它本身的形状以及它与其他部分的关系来描述;
- 2) 公差特征:公差包括尺寸公差、形状公差和位置公差。公差特征与形状特征的几何要素相关;
- 3) 加工特征:特征概念在语义上使设计与制造到达了较高层次的统一,而面向设计造型的特征模型结构与面向制造的模型结构还不能达到完全一致,这是由于设计与制造加工的不同特点所致。

描述零件信息时,要描述零件由哪些特征组成,还要描述特征之间的相互关系、相邻特征之间的衔接关系以及特征本身的参数等信息。

在 CAPPFramework 中,从工艺决策的角度考虑,零件信息应由总体特征、制造特征、公差特征三个方面组成。其中总体特征描述零件管理信息、材料信息、总体工艺技术要求等;制造特征信息包括特征的描述、特征方位、特征邻接关系、特征父子关

具有确定信息的一个判断、关系表达式或指令(过程、赋值语句),它是构成规则的基本元素。

2) 规则

基于规则元概念,则可将规则定义为:规则是将若干个规则元按一定次序用 IF - THEN [- ELSE]方式相关联而形成的知识单元。

系、特征参数以及特征构成要素等;特征构成要素描述特征构成的几何元素(包括基本型面及中心线、对称面等具有一定工程意义的几何派生元)及其拓扑关系,以及与特征构成要素密切相关的粗糙度、形状公差、局部热处理等工艺要求,工艺中的定位基准、夹紧位置等与特征构成要素也密切相关;公差特征除形状公差外,还包括尺寸公差和位置公差,尺寸公差和位置公差一般涉及两个以上特征及特征构成要素之间的关系。

在飞机结构件的 CAD/CAPP/CAM 集成系统中,要运用特征概念,需要对框、梁、肋、壁板等 3~5 坐标零件的工艺特点进行分析:

- 1) 飞机结构件轮廓与飞机外形数据有关,大部分为直纹曲面;
- 2) 为了减轻重量,进行等强度设计,往往在结构件上形成各种复杂型腔,给加工带来困难;
- 3) 零件壁薄,易变形,槽腔间距离及腹板厚度仅 3 ~ 5mm,筋顶形状复杂;
- 4) 零件整体设计便于工序集中、定位夹紧方案设计,加工部位集中在零件上下表面;
- 5) 采用坐标式尺寸,为工序设计、数控加工带来便利。

特征信息包括了零件几何、拓扑及工程信息,是描述零件的最好方法之一,是 CAD/CAPP/CAM 信息集成基础。通过对飞机结构件和工厂加工习惯进行仔细的调查和分析,系统依据以下特征归纳原则共归纳出 15 类特征:

- 1) 采用显式(几何)和隐式(参数)的混合方式来描述特征。CAPP 主要关心特征的属性部分(参数), 它们关系到加工方法、加工路线、刀具参数等决策。CAM 主要关心特征的几何部分, 它们是刀位计算的根据。
- 2) 从加工制造的观点而不是从描述零件实际构造的观点来归纳特征。特征与特定的工艺方法相对应。例如, 斜壁或曲壁的槽腔, 在粗加工时为了提高效率, 往往先沿槽的最内边界按三坐标方式加工直壁槽, 在半精加工和精加工时才用五坐标方式加工整个槽壁, 因此, 在归纳特征时, 槽特征都作为是直壁的, 把斜壁或曲壁定义为内壁特征, 斜壁或曲壁的槽腔可看作槽特征及其子特征内壁的组合。这种定义方法为 CAPP 的工序安排、CAM 的刀位自动生成带来便利。
-
- ```
graph LR; A[工艺信息] --> B[总体特征]; A --> C[轮廓]; B --> D[凸缘]; B --> E[下陷]; B --> F[槽];
```

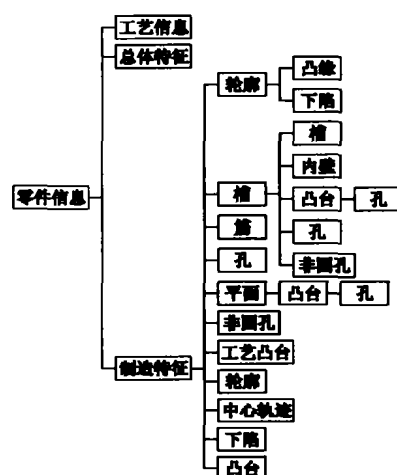


图 2 飞机结构零件特征信息模型

特征名由特征分类码、属性分类码和序号组成,在特征信息模型中是唯一的。属性分类码是 GT 技术在特征层加以运用,方便了特征语义信息的描述,具有较大的信息容量。特征参数的设置依照 CAPP 和 CAM 的信息需求而定,例如,轮廓特征的正、负摆角参数可供 CAPP 选择机床,凸台与槽壁间的最小距离决定了刀具的选择。附加特征的设置。如工艺凸台是零件加工过程中为装夹定位而设置。特征信息模型是 CAD/CAPP/CAM 系统集成基础,CAD、CAPP、CAM 可以存取统一的特征信息模型。由于采取了统一的数据模式,使数据既具有完备性,又避免了冗余性,满足 CAD、CAPP、CAM 各自的信息需求。基于 CAPPFramework 的 CAPP 集成系统的数据流程如图 3 所示。其中 CAD/CAPP、CAPP/CAM 之间是以自定义的中性接口文件,分别实现特征信息及加工工艺信息的交换。

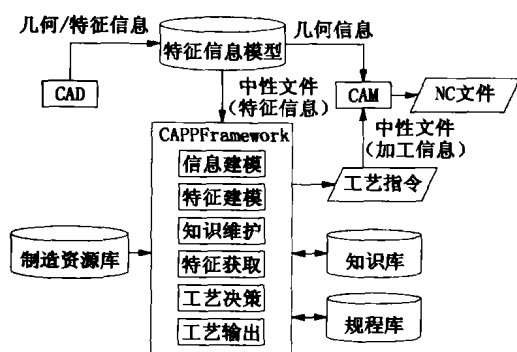


图 3 CAD/CAPP/CAM 集成系统数据流程

#### 4 结束语

在面向对象建模的设计思想下,基于 CAPPFramework 所开发的面向飞机结构件 CAD/CAPP/CAM 集成的创成式 CAPP 系统以工艺知识库/产品工艺数据库为核心,在交互式设计基础上实现智能化工艺设计,该模式可广泛应用于各种不同层次和类型的企业、企业的不同工艺部门,并在不同应用层次上实现集成化。基于 CAPPFramework 专家系统平台和特征技术的 CAD/CAPP/CAM 集成应用通过在飞机结构件数控加工中的实际应用与验证,表现出较好的通用性和集成性,产生了良好的社会效益与经济效益。

##### [参考文献]

- [1] 张振明.面向产品的 CAPP 集成化、智能化、工程化技术基础:[博士学位论文].西北工业大学,1999
- [2] Xu J. X., Huang N. K., Fan Q. J.. Study on a Hybrid Knowledge-based CAPP Developed as Engineering Software Product. In: Edmund H. M. Chueng, M2VIP, Hongkong: Green Pagoda Press Ltd., 1998
- [3] 王丽亚,严隽琪.面向对象的制造环境建模研究.华中理工大学学报,1996,30(2):110~116
- [4] Marri H. B.. Computer-aided Process Planning: a State of Art. Int J Adv Mfg Tech. 1998(14):261~268
- [5] Erich Gamma, Richard Helm. Design Patterns: Elements of Reusable Object-oriented Software. Addison-Wesley Publishing Company, 1997

收稿日期:2002-9-19

作者简介:贾晓亮(1975-),男,西北工业大学 CAPP 与制造工程软件研究所博士研究生。(编辑 何钢)

(上接第 3 页)波式头部跟踪器。利用超声波传感器系统,通过对用户头部运动的位置与方向的跟踪,计算机实时计算出跟随观察者视线变化的显示画面,再用立体显示设备将虚拟场景反馈给操作者。

Logitech 的三维超声波式头部跟踪器系统由三部分组成:发射器、接收器和一个控制单元。它的发射器是由三个分别相距 30cm、紧密固定在一个三角架上的超声波发生器组成的。发射器固定安装于面对操作者头部的前方,接收器由三个麦克风成三角形安装于液晶光闸眼镜上(如图 5 所示)。控制单元通过计算声波从发射器到接收器的时间来确定头部的位置和方向。控制单元通过 RS232 串口与 SGI 工作站主机相连,将头部位置与方向的数据传送给主机,仿真系统的软件根据这些数据实时更新虚拟场景,以实现虚拟场景随用户的“视线”随动。



图 5 CrystalEyes 液晶光闸眼镜和 Logitech 3D 超声波发射器

#### 5 结束语

本文介绍了如何建立一个基于虚拟现实的机器人离线编程三维图形仿真环境。通过建立三维复杂模型及其场景,并通过虚拟现实设备显示出来,为进行机器人离线编程的用户提供了一个真三维的具有真实感、沉浸感的虚拟环境,不仅使用户产生了身临其境的感觉,而且大大提高了离线编程的效率。

##### [参考文献]

- [1] 周丽萍.虚拟现实立体视觉的研究.计算机应用,1999,19(4):24~26
- [2] 曾芬芳.虚拟现实技术.上海:上海交通大学出版社,1997
- [3] 王家钦.虚拟现实—不仅是仿真.机器人情报,1993(4):3~7
- [4] 付宜利.基于动态图形仿真的机器人离线编程技术与系统开发.哈尔滨工业大学博士学位论文,1996
- [5] 汪成为,高文,王行仁.灵境(虚拟现实)技术的理论、实现及应用.清华大学出版社,广西科学技术出版社,1996
- [6] 吴晓,丁国富,王金诺.基于 WTK 的虚拟环境建模方法与应用研究.计算机应用研究,2001(2):23~25
- [7] 梁栋,韦穗,周敏彤.双眼立体感知几何模型的研究.中国图像图形学报,1998,3(8):679~683

收稿日期:2002-11-27

作者简介:任倩(1971-),女,哈尔滨工业大学机器人研究所博士研究生。(编辑 何钢)