

基于工艺仿真的计算机辅助面向制造而设计的研究

莫建中

周新建

(上海交大机械系中德 CIM 培训中心) (机械工程系)

摘 要 面向制造而设计是并行工程的主要工具之一. 本文从工艺仿真的角度出发, 提出了基于知识推理的工艺仿真的计算机辅助面向制造而设计的系统原型, 给出了构造层次性规则库的方法, 描述了应用制造规则实现该原型的方法.

关键词 工艺仿真; 面向制造而设计; 特征造型; 知识推理

分类号 TP391.7

0 引 言

并行工程(Concurrent Engineering)是相对于传统的生产运作模式即从市场分析、产品设计、产品制造到销售顺序进行的方式而言的. 作为一种哲理, 它要求各职能部门和员工明确他们对产品质量负有的责任; 作为一种环境, 它要求在产品的整个生命周期内对产品及其支持进行并行设计^[1,2]. 由于并行工程尽早地考虑到了产品生命周期内的所有因素, 解决了设计和制造脱产而造成的设计改动频繁, 产品开发周期长、生产成本高的矛盾, 因而能极大地提高产品的开发效率和市场竞争力.

并行工程的关键是产品及其相关过程的并行设计. 据研究表明, 设计阶段决定了成本的 70%~80%, 而设计过程本身所需费用只占成本的 7%左右^[3,4]. 很明显, 改进、优化产品的设计对产品竞争力的提高、生产成本的降低、开发周期的缩短有着极其重要的意义. 面向制造而设计(Design For Manufacturing, DFM)就是为了改进、优化产品的设计的基于并行工程环境的一种产品设计哲理. 它在产品设计阶段就引入了制造过程的约束, 改善设计的不合理性, 提高所设计的产品的可制造性.

DFM 的实现有多种方法, 归纳起来, 可分为非计算机辅助方法^[5]和计算机辅助方法. 随着 CAD 应用的日益普遍, 同时由于制造性约束的多样性和复杂性, 计算机辅助方法得到了广泛的应用. 计算机辅助 DFM 又可分为两类, 一类是在设计时评价零件的可制造性及制造成本来改善零件的设计^[6,7]; 另一类是引入制造约束来控制所设计的零件的可制造性^[8,9]. 本文应用知识推理, 从工艺仿真的角度提出了一种新的计算机辅助 DFM 方法.

1 基于工艺仿真的计算机辅助 DFM 系统原型

基于工艺仿真的计算机辅助 DFM 系统原型如图 1 所示. 可以看到, 系统分为 CAD 和工艺仿真两大部分. CAD 应用特征造型方法实现, CAD 结果应用知识工程引入制造约束, 自动

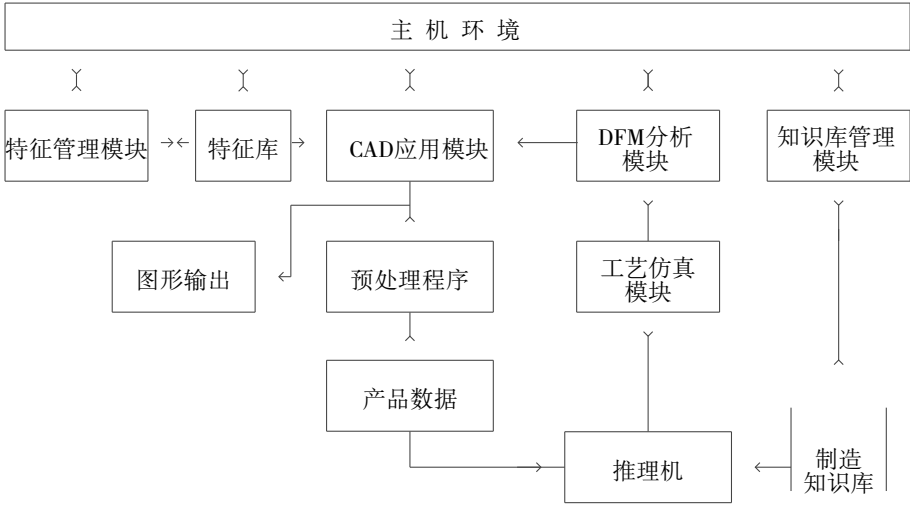


图1 基于工艺仿真的计算机辅助DFM系统原型

推理对所设计的零件进行加工工艺仿真, 由工艺仿真辨识所设计零件的可加工性, 并由 DFM 分析模块对 CAD 进行反馈. 这样, 就在 CAD 过程中引入了加工过程的可制造性约束, 以此保证所设计的零件具有很好的加工性, 即实现为制造而设计的目的.

2 基于特征造型的 CAD 系统

2.1 特征库及其管理

根据 STEP 标准, 零件的几何参数、工艺参数、材料等都可以看成特征, 零件可以看成是由特征构成的, 特征造型方法简洁直观. 本文将组成零件的特定的几何形状及其尺寸精度、表面粗糙度等定义为特征, 每个特征根据面向对象方法说明为类, 特征类具有继承性, 如图 2 所示. 特征类中除了说明特征的属性外, 还定义了有关的操作, 如体积的计算, 特征的绘图等. 例如柱面类特征, 用 C++ 编程语言说明如下(为方便说明, 把类的属性都写到同一类中了, 实际的特征类是

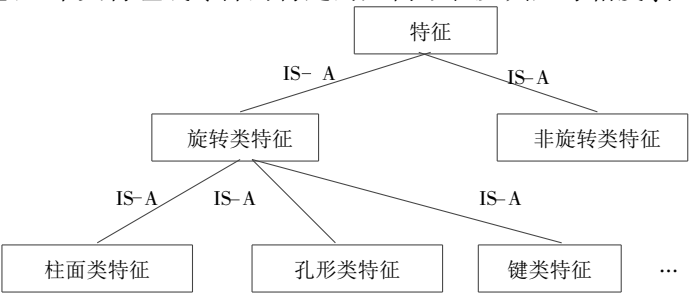


图2 特征的继承性

应用继承性构造的):

```
class Column Feature:public Rotation Feature {
//ATTRIBUTES:
public:
    int Featured; //特征号
    char * Feature Name; //特征名
    double Feature _ Geometry; //特征几何参数
    double Feature _ Position; //特征几何位置
    double Feature _ Process _ Parameters; //特征工艺参数(包括尺寸精度、表面粗糙度,
    不包括位置精度)
private:
    double Default _ Value; //参数缺省值
//METHOD:
Public:
    double Column _ Caculation(); //体积计算
    void Feature _ Drawing(); //特征绘图
};
```

应用特征造型 CAD 时,需要把这些具有继承性的类建成一个特征库,这个特征库包含了各种典型特征的类定义.由于只需给出特征的类说明,特征库十分简洁、容易维护.对特征库的管理由特征库管理模块完成,如特征的增删、修改、存储等.

2.2 零件的计算机辅助设计及产品数据的形成

在零件 CAD 时,先在特征库中选择基本的特征类,对该特征类的所有属性初始化,产生特征对象,通过特征对象的绘图操作,将图形显示于显示器上.然后通过特征的附加、减去、过渡等操作,完成整个零件的特征造型.为描述零件的完整性,在设计时还要输入零件表头信息,如零件名、零件号、产品号、材料和技术要求说明等.为表示特征与特征之间的位置精度,在设计时还要输入位置精度值.

经过预处理模块,CAD 输出产品数据描述如图 3 所示.图中,特征链表以链表的形式记录了组成零件的所有特征.特征关系链表记录两个有位置关系的特征之间的位置关系及其精度.

基于特征的零件描述便于加工工艺的仿真,在工艺仿真时,只需对每一特征的加工工艺进行仿真,大大简化了仿真的过程.

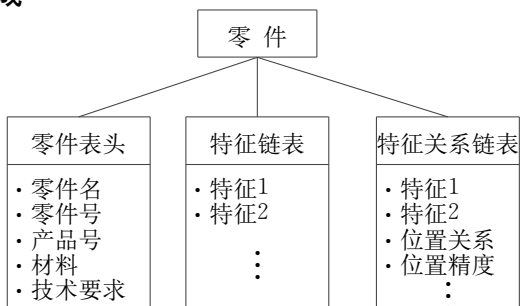


图3 基于特征的零件描述

3 基于知识的工艺仿真及其对 CAD 的反馈

中国知网 <https://www.cnki.net>

本系统利用知识工程来进行零件加工工艺的仿真,为此首先要建立一个制造知识库,制造

知识库由各种加工规则组成,这些加工规则可以推断特征的加工顺序、特征的加工方法、特征加工所需的机床、刀具、夹具以及切削参数.每一规则由 IF、THEN 语句组成.由于加工知识的复杂性,为减少知识库的搜索深度,本文将制造规则划分为多个层次,如第一层为推断特征加工顺序的规则集,第二层为推断特征加工方法的规则集,第三层为推断机床选择的规则集.等等.从第一层向第二、三和更深层次搜索,和更深层次搜索,实现逐步细化的加工工艺仿真,完成所有层次的规则的搜索就完成了零件的整个加工工艺的仿真.制造知识库的层次结构如图 4 所示.

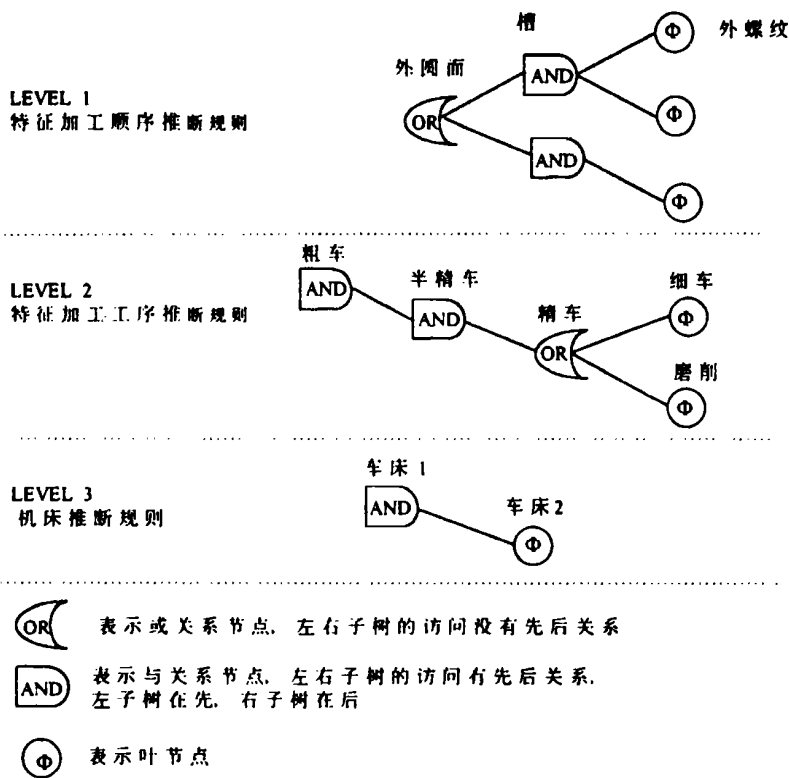


图 4 用于工艺仿真的加工规则的层次性

为了能通过工艺仿真反馈制造性信息,对每一规则都加上了能反馈制造性信息的机制.如,对第一层次的推断特征加工顺序的规则可说明为:

```
IF 特征是外螺纹, THEN 接下一步
IF 相邻有退刀槽特征 THEN 加工退刀槽, 转 LEVEL 2
AND 然后加工外螺纹, 转 LEVEL 2
ELSE 提示 "请考虑设计退刀槽"
ENDIF
```

根据特征加工顺序规则,对图 5 所示的零件的特征加工顺序仿真结果如图 6 所示.遍历图 6 中零件的加工顺序树,便可生成一组零件的特征加工顺序,选择一种加工顺序,进行第二次的工艺仿真.下面是加工外圆面的规则说明:

```
IF 加工精度在《h12~h13》OR 表面粗糙度在《20~80》
```

```

THEN 提示"需要粗加工吗?"
IF    回答"是"
THEN  初车, 转 LEVEL 3
      :
IF    加工精度在《h5》OR 表面粗糙度 Ra 在《0.08~0.16》
THEN  提示"需要这么高的精度吗?"
      IF 回答"否"
      THEN 降低精度要求
ELSE   粗车 AND 半精车 AND 精车 AND 初磨 AND 抛光, 转 LEVEL 3
ENDIF

```

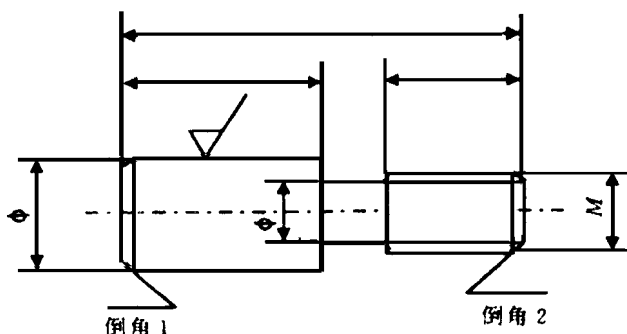


图5 零件示意图

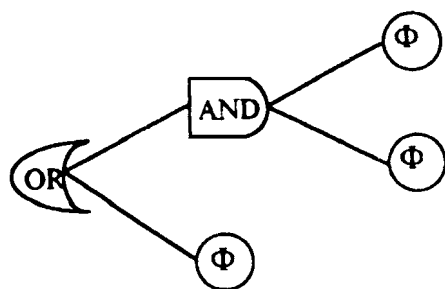


图6 图5零件特征加工顺序树

特征的加法及工序的生成规则在精度要求高时会明显提高加工成本时,DFM 分析模块提示设计者考虑精度的选择问题,从而避免无所谓地提高加工精度.

对第三层的机床选择规则作同样处理.例如,由第二层精车转到第三层车床选择时的规则可说明如下:

```

IF 特征的几何参数在机床加工范围内
THEN 选择合适的车床
ELSE 提示"买一台新机床可行吗?"
      IF 回答"是" THEN 返回
      ELSE 提示"需特别加工或将零件分解设计"
ENDIF

```

例子中,规则在所设计的零件的大小超出机床加工范围时,反馈信息,从而避免所设计的零件尺寸过大造成难以加工的现象.

加工规则的层次不止上面所述的三个,对层次性加工规则的搜索完成零件加工工艺的仿真,由工艺仿真反馈制造性信息,实现面向制造而设计.对知识库的管理是由知识库管理模块完成的.如知识的增、删、修改、存储等.

4 结 论

1. 应用面向对象技术进行特征造型简洁直观, 有利于根据特征来实现工艺仿真. 本文将特征定义为具有工艺参数、尺寸参数的几何形状, 具有高度的概括性, 进一步简化了加工工艺的仿真.

2. 知识的层次性描述减少了知识的搜索深度, 还降低了构造知识库的复杂性. 搜索不同层次构造的过程就是零件加工工艺的仿真过程, 因而仿真过程明确、简单、条理清晰.

3. 对加工规则的描述加入了制造性反馈机制, 设计师在 CAD 设计能及时地得到零件的可加工性反馈, 并据此对原有的设计进行修改, 实现面向制造的计算机辅助设计.

4. 由于零件的工艺过程已经得到仿真, 零件加工成本的估算的实现也就有了根据, 所以对本文提出的计算机辅助设计系统稍加扩充就能实现定量的面向制造的计算机辅助设计.

参 考 文 献

- 1 Steven Ashley. DAPAR Initiative in Concurrent Engineering. Mechanical Engineering. 1992, April: PP54~57
- 2 G. Sohlennius. Concurrent Engineering. Annals of the CIRP. 1992, Vol. 4(Feb) : P655
- 3 DE. Whitney. Manufacturing by Design. Harvard Business Review. 1988, July~August: PP83~91
- 4 Shad Dowlatshahi. A Comparison of Approaches to Concurrent Engineering. Advanced Manufacturing Technology. 1994, Vol. 9: P106~113
- 5 M. Smith. Input - Output: A Closer Coupling. Mechanical Engineering. 1988, Vol. 110(No. 9) : P130
- 6 N. P. Suh et al. On an Axiomatic Approach to Manufacturability and Manufacturing system. ASME J. Eng. Ind. 1978, Vol. 100(No. 2) : PP127~130
- 7 X. Chu, Hans Holm. Product Manufacturability Control for Concurrent Engineering. Computers in Industry. 1994, Vol. 24: PP29~38
- 8 G. Boothroyd and p. Dewhurst. product Design for Manufacture and Assembly. Manufacturing Engineering. 1988, April: PP42~46
- 9 A. Kusiak et al. Intelligent Design synthesis: an Object - Oriented Approach. Int. product. Res. 1991, Vol. 29(No. 7) : PP1291~1308
- 10 S. O. Jhong et al. A Constraint Network Approach to Design for Assembly. IIE Tran, 1995. PP72~80

An Knowledge-based Computer Aided Design for Manufacturing System Through Process Simulation

Mo Jianzhong

(Mechanical Engineering Department, Shanghai
Jiaotong University)

Zhou Xinjian

(Mechanical Engineering Department)

Abstract Design for Manufacturing is one of main approaches to implement Concurrent Engineering. This paper puts forward a Knowledge-based prototype system of computer aided design for manufacturing through simulating the manufacturing processes of the part which is been designiny. This paper also presents the methods of how to build and manage the hierarchical manufacturing knowledge base effectively, and the procedures of how to realize the prototype system in detail.

Key words Design for manufacturing; simulation of manufacturing processes; feature-based modeling; knowledge-based system