

CAPP 系统的开放式数据集成模型*

曹尚稳 孔繁胜 董金祥 何志均

(浙江大学人工智能研究所 浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室 杭州 310027)

摘要 本文提出计算机辅助工艺规划 CAPP(computer aided process planning)系统的开放式数据集成模型.对工艺数据进行抽象概括,形成类层次结构,提高重用.用继承机制,改善标准协议作为用户环境中资源一般的拓展协议,模式演进为补充,完成开放性描述.效率反馈和资源引用构成工艺方法、形状特征、设备资源间的联系和驱动.在工艺规划过程中瞬间返回操作产生的结果,实现相关驱动,改善系统运行效率.模型在 CAPP 系统中得到实践:构造数据库和知识库耦合系统;数据库面向形状特征层的工艺规划,知识库辅助完成整个工艺排序.

关键词 计算机辅助工艺规划,形状特征,工艺方法,开放集成,相关驱动.

中图法分类号 TP391.72

CAPP(computer aided process planning)系统应用相对滞后.不少著名的一体化 CAD/CAM 系统,工艺规划能力差或不包括 CAPP 模块,如 Pro Engineer CAD/CAM, CV CAD/CAM 系统.工艺设计中存在大量非技术、非工艺性因素,随机性大,工艺路线和方法是不确定的.机械产品和设备种类繁多,属性构成差异大,其经济加工能力、可加工能力及消耗是由多种因素构成的.^[1,2]关于表达,各类资源有自己的特点,不存在高效的通用方法.机械加工知识是庞大的,工艺事实难以穷尽,系统数据描述是复杂的,知识表达是不完备的^[3],应用系统是脆弱的.

开放集成和相关驱动试图解决 CAPP 系统面临的困窘.通过合理地构建工艺数据,提供相应的表达机制和系统结构,把用户域中各种相关的数据有机地集成起来,改善系统的适应性.CAPP 系统理解、加工、处理产品中的特征信息,在形状特征、工艺设备、工艺方法之间进行快速传递求解和反馈,并行输出各道工序的数据,表达产品在工序或工步中的状态演变.模型从表达和操作两个方面改善系统的应用性能,使得工艺规划系统能够应用于一般的零件(产品)、不同的加工环境和工艺方法.

* 本文研究得到国家 863 重点高科技项目和浙江大学曹光彪基金资助.作者曹尚稳,1966 年生,博士,讲师,主要研究领域为产品信息模型,CAPP.孔繁胜,1946 年生,教授,主要研究领域为 CIMS,知识库系统.董金祥,1945 年生,教授,主要研究领域为 CAD/CG,CIMS,人工智能,信息集成技术.何志均,1923 年生,教授,博士生导师,主要研究领域为计算机应用技术.

本文通讯联系人:曹尚稳,杭州 310027,浙江大学人工智能研究所

本文 1996-10-16 收到修改稿

1 工艺数据构造

基于特征技术的 CAD 方法提供了综合表达产品详细设计和高层有效信息的能力,使得 CAPP 能从中得到关于产品的完整数据。^[4]针对一般的设备资源和工艺方法进行属性抽象、概括分类,形成类层次结构,运用继承性表达,是工艺数据开放性表达的基础。

1.1 形状特征

形状特征是通过一道工序或若干个操作实现的,具有一定几何结构的功能实体。几何结构、拓扑关系、精度、尺寸、材料以及辅助管理数据是特征的主要属性。半边数据结构^[5]和关联协议把特征的相关聚集到一起,其中几何尺寸描述形状特征大小,相关类包括线性尺寸(公差)、角度(公差)、粗糙度、形状公差,直接依附或作用于半边数据结构的几何要素。另一方面,特征间的关联方式有拓扑相关,如邻接、复合等;有尺寸定位、角度定位、位置公差约束和附加工艺约束。图 1 为基于半边数据结构的集成。

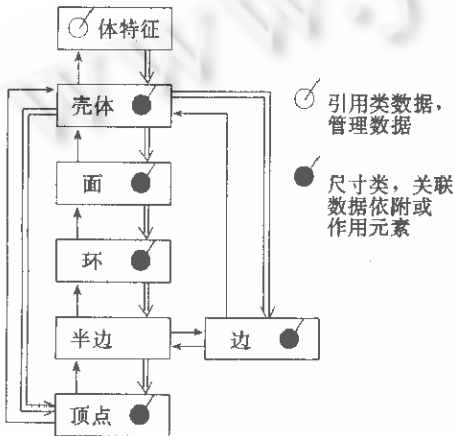


图1 特征半边数据结构中的数据集成

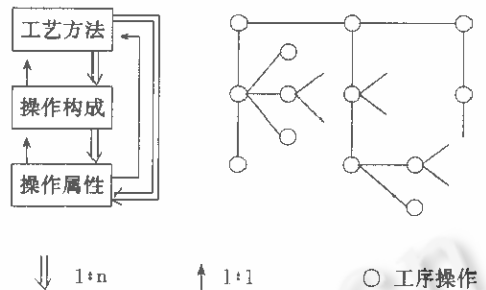


图2 工艺方法与工艺路线中的活动构成

1.2 工艺方法

活动构成与操作属性是工艺方法表达的两个层次。定位、装夹、进刀、切削等构成产品加工的基本事件,在时间和空间上的有机组合成为相对完备的工艺活动,是加工路线、工艺方法和工序内容的基本单元。操作属性记录活动中的条件、状态、运动参数、经济加工能力、可加工能力等。图 2 是工艺方法及工艺路线组成。

1.3 设备和工装资源属性

与加工密切相关的部件和成分是属性抽象的对象。主轴箱、刀头参数与工艺操作密切相关,在活动中的表征为转速、驱动功率、精度、工件支撑负荷、加工能力等。

概括以工业标准化分类为基础,类组系结构反应了机械制造中资源的层次组织关系,处于同一类组或系的设备,其功能、结构、性能和用途是相似的。^[2]

设系 D_i 资源的基本属性为 $A_{D_i} = \{A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{ij}\}$; 其中 $A_{ij} \neq A_{ik}$ 。

系 D_1, D_2, \dots, D_m 的属性排列表为: $\cup A_{D_i}$

根据 A_{ij} 属性所作用的范围进行概括归类,如果 A_{ij} 与 A_{mn} 描述不同类组或系的同一属

性,则把 A_{ij} 与 A_{mn} 合并为一个属性 B_k , 形成 $\{B_1, B_2, \dots, B_k\}$.

B_k 包括概括类和非概括类两类属性. 概括类描述多个子类资源共性; 非概括类是由不可概括的单个系资源属性构成. 两类属性形成 7 个层次: 资源类、类群、类、组群、组、系群、系. 对具体系设备描述由各层次属性并集完成, 或者说是子类通过继承父类实现

$$D = sc \cup cg \cup c \cup gg \cup g \cup dg \cup d.$$

2 工艺数据相关性

工艺数据相关性是形状特征、工艺方法和设备资源之间的关联和驱动. 作用表现在, 根据产品的形状特征确定工艺方法、工艺操作过程和设备资源; 工艺方法和设备所生成的工艺活动对产品数据进行修改, 并演化下一个状态.

数据关联表现为两者间的需求和操作映射. 具有相同或相似的几何、拓扑数据的形状特征集合构成特征簇. 工艺实现方法的差异取决于簇内尺寸、公差、精度分布, 与材料成分相关. 一个特征簇有多种实现方法; 工艺方法在切削参数选取上有不同, 产品的材料状态不同, 能够对多个标识特征进行加工, 有多种可加工能力和经济加工能力.

工艺方法驱动产品数据演进. 形状特征及属性是工艺方法、工序活动的直接操作对象, 表现在: 对形状特征属性的创建或修改; 对形状特征创建或修改; 特征间联接方式与强度的修改. 铰孔提高了孔的精度; 钻孔使产品的特征构成发生了变化, 创建了新的形状特征“孔”. 对形状特征的操作常使其间的关系发生改变, 装配、焊接等操作是突出的表现. 数据驱动为 $R(f_0 \rightarrow f_1); (F_0, R_0) \rightarrow (F_1, R_1) - \Delta F$, 式中 (F_0, R_0) 表示特征构成初始态, (F_1, R_1) 为变化后的状态, ΔF 为演化量.

特征的工艺实现方法中存在 4 种引用方式: 引用类、组、系或具体资源. 加工一个特征要素, 用指定类的机床, 或用指定组系的机床类, 或是指定的具体设备. 工艺方法引用不同类型的资源为 $M \rightarrow S_{HCLASS}, S_{HDEPT}, S_{HGROUP}$.

类组系名资源的不同引用为系统提供环境适应能力和可操作性. 基于类组系(群)的工艺资源, 具有一般性; 基于名的引用在具体应用环境中更为明确的意义.

3 开放集成和相关驱动实现

在 CAPP 系统中, 与开放集成紧密相关的组成部分是数据库和知识库(如图 3 所示). 数据库面向制造领域的动态数据, 知识库构造相关对象间的一般映射和活动进行剧本. 通过知识库与数据库耦合, 系统取得关于形状特征的加工方法和设备, 激活相应的剧本, 生成整个工艺路线.

3.1 工艺数据库

工艺数据库用自主开发的工程数据库 OSCAR 实现. OSCAR 面向工程事务, 支持复杂对象存储管理.^[6,7] 工艺数据库存储应用环境的具体数据, 记录适时制造领域的动态信息, 包括设备、夹具、量具、材料、切削液、刀具、辅助材料、形状特征、工艺方法、标准化和互换性数据以及工时定额表. 前九类数据提供基于形状特征层的工艺方法和工艺资源信息, 并作为工艺规划推理解释的基础, 是应用中扩充修改的主要对象.

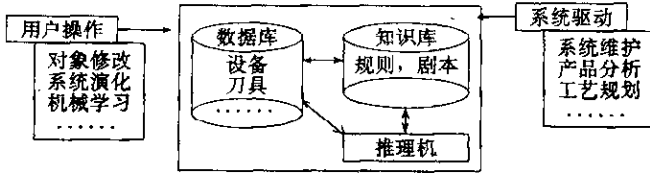


图3 开放集成的体系构成

3.2 知识库

知识库用专家系统开发工具 ZIP^[6,9]实现,基本任务是建立工艺数据库中相关对象的一般映射,提供相关查询、匹配。根据特征属性获取加工方法和设备、根据工艺效率,计算产品数据演化,形成递归求解,辅助实现工艺评估和排序,把对产品进行的工序操作在时间和空间上排序,确定整个的工艺排列顺序和在工序或工步中所进行的操作。

产生式规则和剧本表达一般工艺事实和产品数据演化方向。特征的方法求解规则和工艺活动阶段的剧本表示如下。

规则 $(\exists x_1 \exists x_2 \dots \exists x_k ((x_1 \in A_1) \wedge (x_2 \in A_2) \wedge \dots (x_k \in A_k)) \rightarrow ((M, S) \wedge (Mod(x_i)))$

剧本 脚本:工艺路线;线索:加工阶段;支撑物:产品、设备、方法等;角色:特征、设备属性、方法参数;条件:加工能力、支撑范围;结局:操作成功、数据演化;场次 1:制坯;场次 2:粗加工,...

3.3 相关驱动求解

用 (F, M, S) 表示工艺数据相关性。相关驱动求解存在于特征层的工艺求解和产品的全局工艺排序过程中。特征层的工艺求解是获取形状特征的工艺加工方法和设备,全局工艺排序是对各个特征的加工活动进行组合和综合排序。

算法 1. 特征层的相关驱动(单个形状特征)。

步骤 1: 输入 F , 如果为空, 则无效退出; 否则, 设定方法集 M , 设备 S 均不为空, 取 $i=0$ 。记 F 在 (M, S) 加工前后的状态为 $F_0(M, S), F_1(M, S), F_0(0, 0) = F$ 。

步骤 2: 如果 $F_1(M, S)$ 为目标状态, 成功退出, 输出 M, S 。

步骤 3: 如果 $F_1(M, S)$ 为空, 失败退出; 否则, 检查是否存在可选方法? 如果有 M_j , 选取 $M = M_j, j = j + 1$; 否则, 失败退出。

步骤 4: 根据 (M, S) , 确定是否存在可选资源? 如果有 S_n , 选取 $S = S_n, n = n + 1$; 否则, 转入步骤 3。

步骤 5: 根据 $R(f_0 \rightarrow f_1)$ 确定操作效率, 计算下一工序状态 $F(M, S)$, 转入步骤 2。

算法 2. 产品层的相关驱动(全局工艺规划)。

步骤 1: 输入产品数据 P 。如果为空, 无效退出; 否则, 构建工序活动链表 L , 置空。

步骤 2: 对 P 中的特征 F 进行工艺规划, 直至所有特征规划完为止。

步骤 2.1: 根据算法 1, 确定工艺方法 M_j 和设备 S_j ; 如果不存在, 则失败退出。

步骤 2.2: 对操作效率进行初评, 记录评估结果。如果为可接受值, 则将 $(F(M_j, S_j), M_j, S_j)$ 加入到 L 中, 进行下一个特征的工艺规划。否则转入步骤 2.1。

步骤 3: 工艺排序。

步骤 3.1: 从 L 取出 (F, M_j, S_j) , 根据工艺方法效率与能力进行归并, 把 L 中具有相同 M, S 的工艺活动进行集合重整, 形成主要加工阶段。

步骤 3.2: 根据系统设定或用户定义的剧本场次进行排序。计算工时消耗评估, 根据用户响应, 进行回溯搜索。

步骤 4: 输出工艺数据, 结束。

4 开放集成下的资源拓展协议

拓展协议以抽象的属性类层次为基础,提供相应的机制,使得新的工艺资源能够加入到系统中.加入的资源是已定义的类、相似的类或是新类.

4.1 基本拓展协议

存在 3 类资源属性.基本属性类在资源表达中存在且有意义.资源名就是这种类型.变长数据属性描述同一类组系(群)资源的共同属性,但对具体的一台设备或工具,数据长度是非固定的.数控机床有一主轴,而 FMS 加工中心有多根轴.非确定类属性对一类工艺资源有意义,对其他类资源无明显意义或不存在此属性.处于类库结构中底层属性是这类数据.

继承协议和改善标准协议是基本拓展协议的两个方面.工艺资源继承父类的属性,同类资源具有相同的属性构成是继承协议的体现.改善标准协议强调属性抽象的化简和相容性.新的工艺资源加入,作出一些让步在系统中是可以接受的.这种协议采用了两种策略.聚合数据类型是在数据库模式定义时用动态数组或链表描述变长数据性.在记录 FMS 加工中心主轴数据时,分配相应的存储单元,记录下数据段加长度,保证新类数据的完整.在可选属性中,一类资源拥有的属性,另一资源可以忽略它,也可以引用.变长数据与可选属性的区别在于前者属性存在,长度是变化的;后者允许被忽略,其数据长度取零是合法的.

4.2 模式演进

模式演进是一种悲观的方法,它更新属性表达的数据结构,模式演进提供数据开放的最终机制.它基于用户环境的特殊需求,特殊的资源分类和行业标准化.数据库的模式演进具有一个显著特点:模式演进是资源除标识外的属性变化,而不是对象间进行通讯的消息或方法代码的变化.属性修改或扩充不影响形状特征、工艺方法和工艺资源间的联系模式.资源间的联系模式(F, M, S)是整个系统集成的关键,对联系模式的修改容易造成系统崩溃.

设模式演进中的资源类为 SC , 记属性层次为 sc, cg, \dots, d . 模式简记为

$$FD; SC(A_1, A_2, \dots, A_m)$$

其中 $A_1, A_2, \dots, A_m \in sc, cg, \dots, d$.

演进后的模式记为 $SD(B_1, B_2, \dots, B_n)$

其中 $B_1, B_2, \dots, B_n \in sc', cg', \dots, d', x'$.

与演进后的模式相比, SD 中一类属性构成未发生变化,描述属性 A_i 在模式演变前后相同.另一类是 A_n 所依赖属性局部发生变化,即 sc, cg, \dots, d 中至少有一属性发生变化或 x' 不为空.

算法 3. 模式演进.

步骤 1: 定义新的属性模式,确定新的类层次 sc', cg', \dots, d', x' , 产生属性构成 A_i .

步骤 2: 建立 FD 与 SD 的类层次映射链表 $LList$ 和属性类映射链表 $AList$, 将 FD 和 SD 中 SC 的类对应项加入到 $AList$ 中,类树对应项 $(sc, sc'), \dots, (d, d'), (x, x')$ 加入到 $LList$ 中.

步骤 3: 对 $AList$ 和 $LList$ 中对应相等的节点进行标识.

步骤 3.1: 对 $LList$ 中的类型进行检查.如果 sc', cg', \dots, d', x' 未变化,则标识相应的节点 (Y, Y') .

步骤 3.2: 对 $AList$ 中的类型进行检查.如果 A_i 依赖的属性没有变化,则标识节点.

步骤 4: 从 $AList$ 顺序取出具有标识的节点,对它的新资源类进行对象复制操作.将 FD 中 SC 的 A 类子对象全部复制到 SD 中.

步骤 5: 从 $LList$ 顺序取出非标识的节点, 从 $LList$ 中检查是否存在对应相等类节点. 如果存在, 则将 FD 的子类对象复制到 SD 中, 对不相同子类进行补充或更新.

步骤 6: 数据库系统提交, 退出.

举一个简单的例子. 设在模式演进中, 刀具类属性发生了变化, $\{a_1, a_2, a_3\}$ 变为 $\{a_1, a_2, B, C\}$. a_3 对应 B, C 为拓展类. 类层次不变. 则在 $AList$ 中标识了 a_1, a_2 属性, $LList$ 标识了刀具的所有层次属性. 对 a_1, a_2 的子对象进行复制, 对于从库中顺序取出刀具的每一对象, 将 a_1, a_2 复制入 SD 后, 更新 S 并补充 C , 直至所有刀具对象被操作完毕.

4.3 相关驱动的完整性维护

形状特征、加工方法、工艺资源的相关性是数据维护的一个基本方面. 在资源的拓展和使用中, 处于动态变化的任一 F, M 或 S 对象, 必须具备相应的非矛盾映射集. 给定一个特征 F , 存在一个非空集合 M, S . M 和 S 向 F 的投影必包含 F 的域. M 和 S 符合同样的约定. 增加、删除或更改 F, M 或 S 对象, 修改驱动、引用对象, 避免孤立数据存在. 用特征扩展加以说明. 宏扩展和自定义扩展是两种主要方式. 宏特征是具有复杂形状结构的要素集合或是一个完整的零件. 宏扩展是把工艺规划中的产品或中间产品加入到系统中, 使系统数据信息量增加, 规划能力和效率得到提高. 自定义特征是通过形状特征组合创建形成; 二维空间的图形通过线性拉伸、回转拉伸和广义拉伸创建三维形体. 如图 4 所示. 扩展包含设计模型创建和驱动方法创建; 定义几何、拓扑、尺寸、公差及材料成份; 创建工艺操作构成和引用资源, 工艺效率, 即定义相关驱动 (F, M, S) .

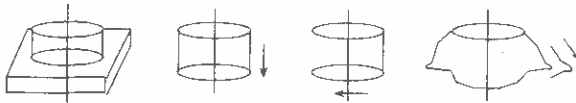


图4 组合, 线性拉伸, 回转拉伸和广义拉伸

维护的另一方面内容是保持剧本中各场次特征、方法、设备属性的一致变化. 从毛坯到成品的演绎中, 粗糙度由大到小, 精度由低到高, 孔尺寸由小变大. 设场次 i 中特征的粗糙度 R_i , 精度 G_i , 尺寸变化为 S_i , $\{W_r, W_g, W_s, \dots\}$ 为权值, 则各场次中有

$$W_r * R_i + W_g * G_i + W_s * S_i \dots \geq W_r * R_j + W_g * G_j + W_s * S_j \dots$$

5 结束语

CAPP 系统的适应能力取决于开放性, 实时运行效率与资源组织、信息的丰富程度相关. 基于类组系模式的属性分层提高了工艺资源的表达能力和演绎能力. 把 3 类资源作为相对独立的部分, 通过联系和驱动集成起来, 提高系统的灵活性和对象的可操作性. 用 OODB 作为主要平台有利于修改、扩充, 系统易于维护, 运行效率高. 它的丰富数据类型构成工艺规划的基础, 减轻了知识库系统的复杂性. 知识库中的一般性规则映射和剧本场次有利于辅助控制工艺流向. 目前在系统中存储了大量数据, 运行良好. 模型在 863 集成化 CAD/CAPP/CAM 得到实践, 成为 CAPP 系统的核心组成部分.

参考文献

- 1 Park Joo Y, Khoshneris Behrokh. A real time computer-aided process planning system as support tool for economic

- product design. *Journal of Manufacturing System*, 1993, 12(2):181~193.
- 2 孟少农. 机械加工工艺手册. 北京:机械工业出版社,1992.
 - 3 俞瑞钊,史济建. 人工智能原理与技术. 杭州:浙江大学出版社,1993. 282~291.
 - 4 Salomons Q W, Van Houten F J A M, Kals H J J. Review of research in feature-based design. *Journal of Manufacturing System*, 1993, 12(2):113~128.
 - 5 Mantyla M, Sulonen R. GWB; a solid modeling with Euler operators. *IEEE Comput. Graph & Applic.*, 1982, 2(7):17~32.
 - 6 浙江大学人工智能研究所. 工程数据库 OSCAR 用户手册. 1992.
 - 7 孙建伶. 面向对象数据库无缝的 C++ 语言界面及工程事务管理的研究实现[博士论文]. 杭州:浙江大学,1993.
 - 8 浙江大学人工智能研究所. 专家系统开发工具 ZIPE 用户手册. 1990.
 - 9 吴朝晖. 支持耦合的知识表达方法[博士论文]. 杭州:浙江大学,1993.

OPEN STRUCTURE MODEL OF DATA INTEGRATION FOR CAPP SYSTEM

CAO Shangwen KONG Fansheng DONG Jinxiang HE Zhijun

(*Institute of Artificial Intelligence, School of Computer Science and Technology, Zhejiang University Hangzhou 310027*)

Abstract The paper presents a model for CAPP (computer aided process planning) system, which integrates process data together in an open structure. The model consists of two components. The first is to construct improved class hierarchy. According to industry classification standards, process sources are abstracted and generated to form reusable and derivable classes that describe process source by inheritance, or through schema evolution. The second is to build communications among form feature, process device and process method. The model draws an expression (F, M, S), which depicts element's reference to another or action on others. By which, operation result is feedback in a twinkle in process planning. To practice the model in CAPP system, both OODB and KDB are used. OODB stores dynamic data that include general process source. KDBs describe mapping rules among feature, device and method.

Key words Computer aided process planning, form feature, process method, open structure, concurrent association.

Class number TP391.72