

# 基于特征事物元的计算机辅助工艺零件信息模型研究

赵丹阳\*, 王敏杰, 邢龙斌, 宋满仓

(大连理工大学 精密与特种加工教育部重点实验室, 辽宁 大连 116024)

**摘要:** 零件信息模型对计算机辅助工艺规划(CAPP)系统的可靠性和质量具有决定性作用. 针对 CAD/CAPP 信息集成困难的问题, 根据特征事物元理论, 提出了一种基于特征事物元的计算机辅助工艺零件信息模型. 采用对象技术, 用 Visual C++ 语言, 在 Pro/ENGINEER 系统中实现了零件信息模型的建立、识别与获取(extraction), 最终实现了 CAD/CAPP 信息的高效集成. 最后, 通过实例证明了该方法的正确性和有效性.

**关键词:** 计算机辅助工艺规划(CAPP); 零件信息模型; 特征事物元  
**中图分类号:** TP391      **文献标志码:** A

## 0 引言

计算机辅助工艺规划(CAPP)系统的核心主要包括两大部分: 信息模型层面和功能单元层面, 其中信息模型族主要包括零件信息模型、工艺规程模型和制造资源模型 3 个模型<sup>[1]</sup>. 零件信息描述是 CAPP 系统的核心问题之一, 解决这一关键技术的难点在于如何准确、有效和快捷地从 CAD 系统中获取 CAPP 系统所需要的各种信息, 包括几何信息和工艺信息. 针对零件信息建模问题, 国内外已有不少专家学者进行了大量研究和探讨, 主要方法有零件分类编码描述法<sup>[2]</sup>、特征型面描述法<sup>[3]</sup>、基于方位特征的分层式特征信息描述法<sup>[4]</sup>、“实体+方位特征”描述法<sup>[5]</sup>、多态模型描述法<sup>[6]</sup>、基于 Multi-Agent 技术描述法<sup>[7]</sup>. 目前常用的零件信息获取方法主要有两种: 一种是通过人机交互式输入, 该方法输入过程繁琐、费时, 而且易出错, 输入的信息完整性较差, 不利于 CAD/CAPP 系统信息集成的实现; 另一种是从 CAD 系统中直接读取零件的信息或从中性文件中读入零件信息, 该方法能直接获取 CAPP 所需的零件几何与工艺信息, 是实现 CAD/CAPP/CAM 信息

集成的一个重要手段. 本文根据事物元理论, 结合特征的概念和分类, 采用特征信息模型描述法, 提出一种基于特征事物元的计算机辅助工艺零件信息模型, 以实现 CAD/CAPP 信息的系统集成.

## 1 基于特征事物元的零件信息描述

### 1.1 物元和事元

给定事物的名称  $N$ , 它关于特性  $c$  的量值为  $v$ , 以有序三元组  $R = (N, c, v)$  作为描述事物的基本单元, 简称物元<sup>[8]</sup>. 把事物的名称、特性和量值称为物元三元素. 一个事物有多个特性, 如果事物  $N$  以  $n$  个特性  $c_1, c_2, \dots, c_n$  和相应的量值  $v_1, v_2, \dots, v_n$  描述, 则表示为

$$R = \begin{bmatrix} N & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

此时, 称  $R$  为  $n$  维物元, 简记为  $R = (N, c, v)$ .

把行为  $d$ 、行为的特性  $b$  及相应的量值  $u$  构成的有序三元组  $I = (d, b, u)$  作为描述事情的基本元, 称为事元<sup>[9]</sup>. 如果行为  $d$  以  $n$  个特性  $b_1, b_2, \dots,$

收稿日期: 2008-10-20; 修回日期: 2010-09-13.  
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50805015); 辽宁省自然科学基金资助项目(20081087); 大连理工大学青年教师培养基金资助项目(2007002).  
作者简介: 赵丹阳\* (1976-), 男, 博士, 副教授, E-mail: danyangz@163.com; 王敏杰(1958-), 男, 教授, 博士生导师.

$b_n$  和相应的量值  $u_1, u_2, \dots, u_n$  描述,则表示为

$$I = \begin{bmatrix} d & b_1 & u_1 \\ & b_2 & u_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & b_n & u_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

称  $I$  为  $n$  维事元,简记为  $I = (d, b, u)$ .

在物元  $R = (N, c, v)$  中,若  $N = I = (d, b, u)$ ,则称  $R = (N, c, v)$  为事物元<sup>[10]</sup>,记做  $R(I)$ ,即

$$R(I) = (I, c, v) \quad (3)$$

### 1.2 特征事物元

特征是在零件中具有一定功能且可加工成型的几何形体构造单元的几何信息和非几何信息的集合.几何信息包括特征模型的尺寸特征、形状特征、定位特征等.非几何信息包括零件或形状实体的总体信息、技术要求信息和精度信息等.本文根据物元和事元的定义,结合特征的概念,提出形状物元和加工事元的定义,具体如下.

把形状特征  $N$ ,特征特性  $c_1, c_2, \dots, c_n$  和特征特性量值  $v_1, v_2, \dots, v_n$  构成的  $n$  维物元  $G$  称为形状特征物元,简称为形状物元,即

$$G = \begin{bmatrix} N & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} = (N, M) \quad (4)$$

其中特征特性  $c_1, c_2, \dots, c_n$  为形状特征的几何信息和依附于形状特征上的精度特征和管理特征等非几何信息;特征特性量值  $v_1, v_2, \dots, v_n$  则描述这些几何信息的值和非几何信息的种类代码; $M = (c, v)$  称为形状特性元,用以描述特征形状、精度等特性.

例如,孔的形状物元可以表示为

$$G = \begin{bmatrix} N_{\text{hole}} & \text{直径} & 8 \\ & \text{深度} & 10 \\ & \vdots & \vdots \\ & \text{种类} & \text{沉孔} \end{bmatrix} \quad (5)$$

则形状特性元  $M$  为

$$M = \begin{bmatrix} \text{直径} & 8 \\ \text{深度} & 10 \\ \vdots & \vdots \\ \text{种类} & \text{沉孔} \end{bmatrix} \quad (6)$$

由于形状物元描述的是一种状态,结合形状特性元  $M$  的多变性和复杂性,形状物元既可以描述一个加工结束的特征,也可以描述一个加工过程中的特征.

把加工特征  $d$ ,加工特征的  $n$  个描述特性  $b_1, b_2, \dots, b_n$  和相应的特性量值  $u_1, u_2, \dots, u_n$  构成的  $n$  维事元

$$P = \begin{bmatrix} d & b_1 & u_1 \\ & b_2 & u_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & b_n & u_n \end{bmatrix} = (d, b, u) = (d, L) \quad (7)$$

称为加工事元. $b_1, b_2, \dots, b_n$  是被加工对象、加工机床、加工时间、加工成本等; $L = (b, u)$  称为加工特性元,用以描述加工特征特性.

例如,孔的加工事元可以表示为

$$P = \begin{bmatrix} d_{\text{drill}} & \text{被加工对象} & \text{Hole}_1 \\ & \text{机床} & \text{Z3040} \times 16 \\ & \vdots & \vdots \\ & \text{成本} & 2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

加工特性元

$$L = \begin{bmatrix} \text{被加工对象} & \text{Hole}_1 \\ \text{机床} & \text{Z3040} \times 16 \\ \vdots & \vdots \\ \text{成本} & 2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

每一个形状物元  $G_i$  均可看成是另一个形状物元  $G_{i-1}$  经过加工事元  $P_i$  得来,即

$$G_{i-1} \xrightarrow{P_i} G_i \quad (10)$$

由于这个过程具有可扩性,形状物元  $G_i$  可看成形物元  $G_0$ .依次经过加工事元  $P_1, P_2, \dots, P_i$ (加工事元组)得来,即

$$G_0 \xrightarrow{P_1, P_2, \dots, P_i} G_i \quad (11)$$

把特征  $f$ 、形状特征物元  $G$  和加工特征事元  $P$  合起来描述的特征

$$FG_i P_i = (f_i, G_{i-1} \xrightarrow{P_i} G_i) = \begin{bmatrix} f_i & G_i \\ & P_i \\ & G_{i-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_i & N_i & M_i \\ & d_i & L_i \\ & N_{i-1} & M_{i-1} \end{bmatrix} \quad (12)$$

称为特征事物元.其中加工事元  $P_i$  是指形状物元  $G_i$  的前一个加工过程,其被加工对象是特征  $f_i$ .

根据式(10)、(11)和(12)可以得出

$$FG_iP_i = (f_i, G_0 \xrightarrow{P_1, P_2, \dots, P_i} G_i) = \begin{bmatrix} f_i & G_i \\ P_i \\ \vdots \\ P_2 \\ P_1 \\ G_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_i & N_i & M_i \\ d_i & L_i \\ \vdots \\ d_2 & L_2 \\ d_1 & L_1 \\ N_0 & M_0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

由此可见,特征事物元包含特征的几何信息( $G_i$  的形状特征部分)和非几何信息( $G_i$  的精度特征和管理特征部分以及  $P$  的加工特征部分). 同时,由于特征事物元  $FG_iP_i$  包含特征  $f_i$  在加工过程中的现有状态 ( $G_i$ )、加工过程 ( $P_1, P_2, \dots, P_i$ ) 和加工初始特征(毛坯状态  $G_0$ ), 无论特征处于加

工中的何种状态,特征事物元都可以完整地表达. 也就是说,特征事物元可以表述一个加工未完成的过程特征,也可以表示一个加工完成的实体特征. 综上所述,特征事物元可以作为零件信息模型的基本单元描述零件.

## 2 基于特征事物元的零件信息模型

### 2.1 基于特征事物元的零件信息模型的结构

零件信息模型是整个 CAPP 系统运行和推理的基础,因此,合理地构建出零件信息模型至关重要. 运用特征零件信息模型表示法,将零件信息模型表示为特征事物元的集合. 结合特征事物元的定义,零件信息模型可分为多个层次,具体的层次结构如图 1 所示.

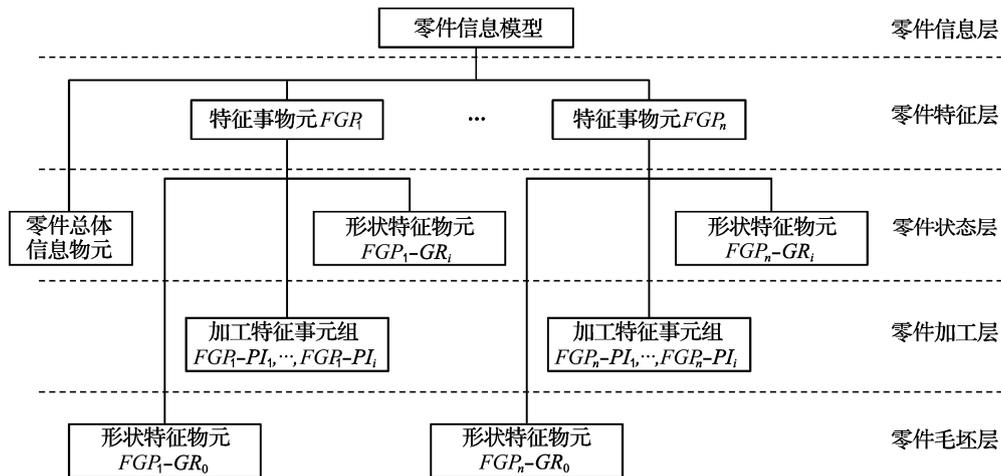


图 1 零件信息模型结构

Fig. 1 Structure of part information model

其中,零件特征层表示了零件的特征集合,特征事物元的特征载体是组成零件的具有一定功能且可加工成型的形状实体. 零件状态层包括了零件的几何模型和依附于几何模型上的精度特征与管理特征,这些信息来源于设计人员在三维特征造型软件中设计的零件所包含的信息,属于整个 CAPP 系统的输入信息. 零件加工层包含了每一个特征的加工过程  $P_1, P_2, \dots, P_i$ , 它们之间的排列组合将构成零件加工工艺,可由工艺数据库通过推理获得. 零件毛坯层包括零件的毛坯形状、毛坯精度等信息,可以由推理得出,也可以由工艺人员设定. 因此,该零件信息模型能够表述完整的零

件信息,并成为连接 CAD 系统和 CAPP 系统的桥梁.

### 2.2 基于特征事物元的零件信息模型的实现

根据面向对象方法的基本思想,将特征事物元作为对象,采用 Visual C++ 语言,分别定义出加工事元类、零件类等能够满足构造基于特征事物元的零件信息模型所必需的类. 在实现特征事物元类描述的基础上,设计合适的方式对三维造型软件设计的特征进行准确转换就成为关键. 其中参数化特征造型技术是解决工艺信息获取的有效方法之一. 本文采用 Pro/ENGINEER 来完成基于特征的参数化建模,利用 Pro/Toolkit,采



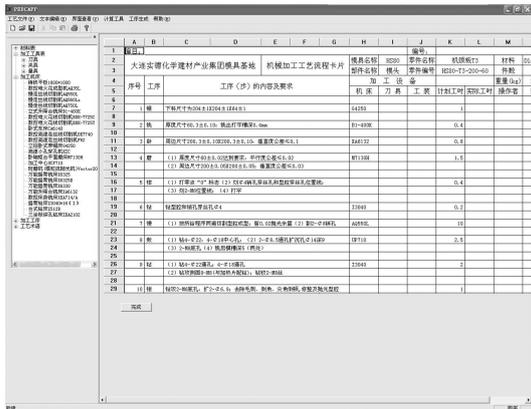


图6 零件计算机辅助工艺编辑界面

Fig.6 Interface for CAPP editing process

### 4 结论

(1)零件信息描述是创成式CAPP系统设计和实现CAD/CAPP信息集成首先要解决的问题,本文提出的基于特征事物元的计算机辅助工艺零件信息模型为解决该问题提供了一个有效的方法。

(2)用Visual C++语言,在Pro/ENGINEER系统中实现了零件信息模型的建立、识别与抽取,并通过挤出模具实例验证了该模型的正确性和有效性。

### 参考文献:

[1] 蔡 铭,林兰芬,董金祥,等. CAPP系统中零件信息

模型自动获取技术研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 14(5):433-436

[2] LINK C H. CAPP-CAM-I automated process planning system [C] // Proceedings of the 13th Numerical Control Society Annual Meeting and Technical Conference. Cincinnati: [s n], 1976: 320-328

[3] ESKICIOGLU H, DAVIES B J. An interactive process planning system for prismatic parts [J]. Annals of CIRP, 1983, 32(1):365-370

[4] 曹慧琴,张长荣. 一种箱体类零件CAPP专家系统零件模型建立的方法[J]. 河北科技大学学报, 1999, 20(3):10-14

[5] 董家骧. 计算机辅助工艺过程设计系统智能开发工具[M]. 北京:国防工业出版社, 1996

[6] 王俊彪,韩晓宁,刘 闯. 飞机钣金零件多态模型几何信息定义方法[J]. 西北工业大学学报, 2007, 25(2):239-244

[7] 李光荣,龚光容,丁武学. 基于Multi-Agent技术的零件工艺信息模型研究[J]. 中国机械工程, 2004, 15(17):1526-1529

[8] 蔡 文. 物元模型及其应用[M]. 北京:科学技术文献出版社, 1994

[9] 杨春燕. 事元及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18(2):80-86

[10] 马 辉,张树有,谭建荣. 基于事物元的产品设计过程可拓重用方法[J]. 机械工程学报, 2006, 42(3): 110-116

## Research on CAPP part information model based on feature matter-affair-element

ZHAO Dan-yang\*, WANG Min-jie, XING Long-bin, SONG Man-cang

(Key Laboratory for Precision & Non-traditional Machining Technology of Ministry of Education, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** The part information model is definitive to the reliability and quality of computer-aided processing planning (CAPP) system. In order to overcome the difficult integration problem of CAD and CAPP, a CAPP part information model based on feature matter-affair-element is carried out. The foundation, identification and extraction of part information model in Pro/ENGINEER system with the object technology and Visual C++ language are achieved and the efficient integration of CAD and CAPP information is actualized. In the end, the correctness and validity of this method is testified by an example.

**Key words:** computer-aided processing planning (CAPP); part information model; feature matter-affair-element