



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109143980 A

(43)申请公布日 2019.01.04

(21)申请号 201811220498.7

(22)申请日 2018.10.19

(71)申请人 西北工业大学

地址 710072 陕西省西安市友谊西路127号

(72)发明人 张树生 梁嘉宸 黄波 况博文

(74)专利代理机构 西北工业大学专利中心

61204

代理人 王鲜凯

(51)Int.Cl.

G05B 19/4097(2006.01)

G05B 19/18(2006.01)

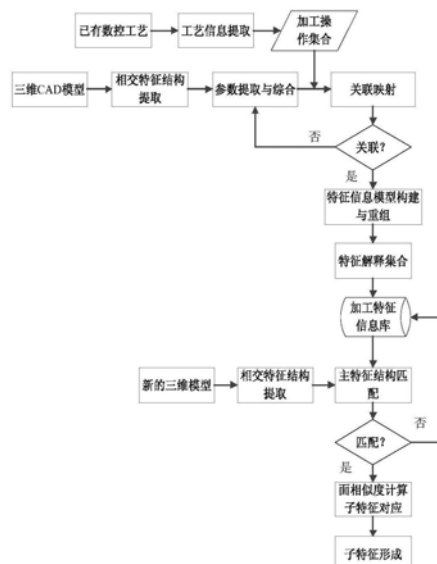
权利要求书3页 说明书8页 附图3页

### (54)发明名称

基于数控工艺解析的相交加工特征识别与重用方法

### (57)摘要

本发明公开了一种基于数控工艺解析的相交加工特征识别与重用方法,用于解决现有相交特征识别方法实用性差的技术问题。技术方案是构建对应的相交加工特征工艺信息模型;对已有三维CAD模型及其关联的数控工艺进行解析,构建加工操作与特征几何面的关联映射关系,通过特征几何面自底向上逐步组合,形成加工操作对映的加工区域,通过对待识别相交特征与模型库中已有特征进行相似度匹配,重用模型库中相交特征的分解模式,支持新零件上类似相交特征的自动识别和云相关工艺的重用。本发明解决了相交特征识别时产生的多解性与歧义性,重现了加工人员的设计意图,在重用已有工艺数据的基础上为后续的特征工艺设计提供了支持,实用性好。



1. 一种基于数控工艺解析的相交加工特征识别与重用方法,其特征在于包括以下步骤:

步骤一、构建相交加工特征工艺信息模型;相交加工特征工艺信息模型包括几何属性信息、拓扑结构信息和加工操作工艺信息;几何属性信息是指零件所含相交制造特征中每个特征面的形状属性信息,其中包括特征面的类型、面的指向、面的边数、面的相对面积以及邻接面夹角;拓扑结构信息用于描述相交特征面组中面与面之间结构关系,采用构建特征属性邻接图的方式表达;加工操作工艺信息包含了特征在生成时所选用的资源类型、加工策略、加工刀具和加工方法信息;相交加工特征工艺信息模型构建如下:

$$FC = \{FaceType, FaceDir, FaceEdges, FaceArea, FaceAngle\}$$

式中,FC表示特征面的几何属性信息,FaceType表示特征面的几何类型,FaceDir表示特征面法向矢量方向,FaceEdges表示特征面的边数,FaceArea表示特征面与其相邻接的特征面之间的相对面积,FaceAngle表示特征面与其相邻接的特征面之间的角度;

特征模型拓扑结构信息构建如下:

$$Gra = \{V, E, H_v, H_e\}$$

式中,V表示与特征面对应的节点集合;E为边的集合,表示面之间的邻接关系, $H_v$ 表示节点V中面的属性集合, $H_e$ 表示边E的属性集合,包括边的类型、边的凹凸性、边的长度以及边的邻接面夹角;

特征加工操作工艺信息构建如下:

$$Op = \{M_T, T_P, M_P, M_C\}$$

式中, $M_T$ 为加工类型,包括型腔加工、面加工、槽加工、轮廓加工和钻孔加工;T为刀具参数,包含刀具类型、刀具号和刀具几何属性参数信息; $M_P$ 为加工参数,包括走刀样式、加工精度、步距、铣削方向、加工速度、主轴转速和进退刀速度; $M_C$ 为加工元;

步骤二、结合已有零件的数控工艺对相交加工特征进行解析与分割;同时对已有的数控工艺信息进行解析,并提取其中刀具轨迹信息,通过每个加工操作中的刀具轨迹信息建立加工操作与特征几何面的关联映射,通过特征几何面自底向上逐步组合出单个特征所对应的加工区域,并构建描述特征几何拓扑结构的属性邻接图,完成相交特征的分割;结合所提取的特征结构信息与加工工艺信息,构建对应的相交加工特征工艺信息模型,实现相交加工特征信息结构化表示与特征分解模式的存储;

在对相交特征进行分解时,对加工操作与特征面的关联映射关系进行判断;给定一个特征面F,如果加工操作 $Op$ 中所包含的刀具轨迹的在特征面上存在投影 $S_p$ ,且投影对象到特征面的距离小于 $\delta$ , $\delta$ 为给定阈值,则称加工操作 $Op$ 与特征面F关联,记作 $Op-F$ ;判断方法如下:

假设给定特征面F与加工操作 $Op$ , $Op$ 中所包含的刀具轨迹由m个刀位点组成,记作: $Op = \{p_i\}$ ,  $1 < i < m$ ;  $v_i$ 为 $p_i$ 处刀轴方向,  $f_i$ 为特征面F的法矢量;当 $v_i \cdot f_i > 0$ 时,构建以 $p_i$ 为圆心,刀具半径为半径的圆 $c_i$ ,同时,将 $c_i$ 沿面的法向矢量方向投影,得到 $c'_i$ 与 $p'_i$ ;若 $c'_i$ 与加工面相交,即 $c'_i \cap F \neq \emptyset$ 且 $||p_i p'_i|| < \delta$ ,则加工操作与特征面关联;当 $v_i \cdot f_i = 0$ 时,构建以刀位点为端点沿刀轴方向的方向线 $l_i$ ,将 $l_i$ 沿面的法向矢量方向投影得到 $l'_i$ 与 $p'_i$ ;若 $l'_i$ 与加工面相交,即 $l'_i \cap F \neq \emptyset$ 且 $||p_i p'_i|| < \delta$ ,则加工操作与特征面关联;

同时,针对不同类型的加工操作,结合相应的判断方法进行判断;当 $Op$ 为Pocketing,即

为型腔加工,特征面F包括侧面 $f_s$ 与底面 $f_b$ ,同时存在刀轴方向 $v_i$ 与特征面F的法矢量 $f_i$ 垂直于平行的两种情况,故应考虑 $v_i \cdot f_i > 0$ 与 $v_i \cdot f_i = 0$ 两种情况,两者结果为真时, $0_p$ 与F相关联;当 $0_p$ 为Profile,即为轮廓加工,刀轴方向 $v_i$ 与特征面F的法矢量 $f_i$ 垂直,即为 $v_i \cdot f_i = 0$ 的情况,结果为真时, $0_p$ 与F相关联;当 $0_p$ 为Face,即为面加工,刀轴方向 $v_i$ 与特征面F的法矢量 $f_i$ 平行,按照 $v_i \cdot f_i > 0$ 进行判断,结果为真时, $0_p$ 与F相关联;

在完成加工操作与特征面关联关系判断后,结合加工操作关联的特征面组构建对应的加工区域子图,同时综合与特征相关联的加工操作及工艺信息,构成相交加工特征信息模型;其过程如下:

获取相交特征的几何面,构建其属性邻接图,对特征中的每一个面获得所有与特征面关联的操作,将其存入加工操作集合,并记录其顺序,判断其在集合中是否重复出现,确保每个加工操作在集合中只出现一次,同时提取出该特征面包含的几何属性信息,并将其存入特征几何信息模型;

遍历加工操作集合,对集合中的每一加工操作判断其在集合中是否重复,确保每个加工操作在集合中只出现一次,并应用上节所述的关联映射算法,得出与加工操作相关联的特征面集,并存储;

对形成的特征面集合,应用所述的加工区域子图构建方法,重构其加工区域子图;

将上述过程中所得面集合、加工操作、加工区域子图及相关工艺信息进行存储,完成子特征结构体的构建;

步骤三、通过对已有数控工艺的相交特征的解析与分解,相交特征的分解模式与几何、工艺信息得到分割与结构化存储;当不含数控工艺的新零件中存在相交特征时,采用自顶向下的图匹配方式将新零件上的相交加工特征与模型库中存储的相交特征进行检索匹配,并对相似相交加工特征的识别结果进行有效重用,从而实现新零件上的相交加工特征进行准确、快速的分割;其具体步骤如下:

针对特征所属零件的公共信息,零件类型、材料和制造类型,在特征结构匹配之前,对参与匹配的特征公共信息进行比较,若参与匹配的特征所属零件公共信息中有一个不同,则认为特征之间没有匹配的价值,后续所得到的相交特征的分解策略及其对应的工艺信息也不具有参考价值;

将待识别相交制造特征的几何结构转化为图结构,通过图同构与子图同构的检测,将其与特征信息库中存储的特征图结构进行匹配,查询与之相匹配的特征的解释方案;

对查询得到的相匹配的结构,通过相似度公式计算特征面之间的相似度,并构建相似度矩阵,通过Kuhn-Munkres算法求解出相似度矩阵的最大权匹配,得到已有相交特征与待识别相交特征的特征面之间的对应关系,继而得到待识别特征的分解方式,对相交特征进行分割识别;在特征结构匹配过程中,特征面之间的相似度通过以下公式计算:

面类型比较;

$$s_T = \begin{cases} 1, & T_1 = T_2 \\ 0, & T_1 \neq T_2 \end{cases}$$

其中, $s_T$ 为类型相似度, $T_1$ 、 $T_2$ 为相比较特征面的类型;

面凹凸性比较;

$$S_c = \begin{cases} 1, & C_1 = C_2 \\ 0, & C_1 \neq C_2 \end{cases}$$

其中,  $S_c$  为类型相似度,  $C_1$ 、 $C_2$  为相比较特征面的凹凸性;  
形状相似度比较;

$$S_{ij} = 1 - \frac{|\delta_i - \delta_j|}{\max(\delta_i, \delta_j)}$$

$$\delta_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}, \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k$$

$$S_{sij} = 1 - \frac{|S_{si} - S_{sj}|}{\max(S_{si}, S_{sj})}$$

$$S_{si} = \frac{S_i}{\sum_{S_k \in F_s} S_k + S_i}$$

其中,  $S_{lij}$  为两个面边长之间的相似性,  $x_i$  为每个边的长,  $n$  为这个面的边数;  $S_{sij}$  为两个面之间的面积相似性,  $S_{ei}$ 、 $S_{ej}$  为面的相对面积,  $S_i$  为面  $f_i$  的面积,  $F_s$  为与  $f_i$  相邻接的面集合,  $F_s = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$ ;

面拓扑连接相似性比较;

定义相容边; 在关系图结构中, 若存在一对边分属于两个不同的特征, 而且每条边所属的两个面类型相同, 边的类型相同, 同时每一条边对应连接的两个面之间的夹角  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  满足关系:  $|\theta_1 - \theta_2| \leq \theta$ ,  $\theta$  为给定的阈值, 则称该对边相容; 故面拓扑连接相似性计算如下:

$$S_L = \min(\text{Sum}_1, \text{Sum}_2) / \max(n_1, n_2)$$

其中,  $\text{Sum}_1$  表示  $F$  所拥有相融边数量;  $\text{Sum}_2$  表示  $F'$  所拥有相融边数量;  $n_1$  表示  $F$  拥有边总数量;  $n_2$  表示  $F'$  拥有边总数量;

面整体相似性;

$$\delta = \begin{cases} 0, & T_1 \neq T_2 \\ \sum_{g \in \text{Descriptor}} w_g \times S_g, & T_1 = T_2 \end{cases}$$

$$\sum_{g \in \text{Descriptor}} w_g = 1$$

综合上述描述相似性比较的因素, 两个特征面:  $F$ 、 $F'$  之间的拓扑与几何的相似度被定义为上述所有因素的加权和, 其中,  $\delta$  为总相似度,  $w_g$  为上述相似度因子,  $w_g$  为对应权重。

## 基于数控工艺解析的相交加工特征识别与重用方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种相交特征识别方法,特别涉及一种基于数控工艺解析的相交加工特征识别与重用方法。

### 背景技术

[0002] 文献“基于STEP-NC的相交特征识别技术,计算机集成制造系统,2014,Vol20(5),p1051-1061”公开了一种基于图和痕迹的相交特征识别方法。该方法在STEP-NC标准的基础上,采用图结构对相交特征进行表示,通过对图添加虚链的方式重构特征之间的对应关系。同时,为含凸边的加工特征面构造相交特征拆分因子,通过特征面之间的优先级计算来实现相交特征的分离。最后,通过STEP-NC格式对所定义特征进行编码,通过匹配的方式来识别所分离出的独立特征。文献所述方法通过对特征图结构添加虚链构造特征相交丢失的面与边,本质依旧是在几何层面对相交特征进行处理,忽略了特征相交背后工人员真实的设计意图;在以特征拆分因子对相交特征进行分解时,仅涉及了简单的几何结构与工艺知识产权值,未考虑实际加工参数与相交特征分解之间的关系,难以产生满足实际加工要求的分解结果,精确度不高;在最后的特征匹配过程中,仅通过对特征几何面边结构关系进行编码,忽略了特征尺寸及相关工艺因素的影响,这样即便是完成了特征外形的匹配,在实际的加工中也难以满足工艺规划的要求。

### 发明内容

[0003] 为了克服现有相交特征识别方法实用性差的不足,本发明提供一种基于数控工艺解析的相交加工特征识别与重用方法。该方法从加工特征几何结构与其对应加工操作之间的联系出发,从特征属性信息与特征工艺信息两个方面对相交加工特征包含的信息进行描述,构建对应的相交加工特征工艺信息模型;并以此为基础,对已有三维CAD模型及其关联的数控工艺进行解析,构建加工操作与特征几何面的关联映射关系,通过特征几何面自底向上逐步组合,从而形成加工操作对映的加工区域,即相交加工特征中的单个加工特征。最后,通过对待识别相交特征与模型库中已有特征进行相似度匹配,从而重用模型库中相交特征的分解模式,以有效支持新零件上类似相交特征的自动识别和云相关工艺的重用。通过本发明所述的方法,可以有效地解决相交特征识别时产生的多解性与歧义性,在避免相交特征无法正确分解的同时,重现了加工人员的设计意图,在重用已有工艺数据的基础上为后续的特征工艺设计提供了支持,实用性好。

[0004] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案:一种基于数控工艺解析的相交加工特征识别与重用方法,其特点是包括以下步骤:

[0005] 步骤一、构建相交加工特征工艺信息模型。相交加工特征工艺信息模型包括几何属性信息、拓扑结构信息和加工操作工艺信息。几何属性信息是指零件所含相交制造特征中每个特征面的形状属性信息,其中包括特征面的类型、面的指向、面的边数、面的相对面积以及邻接面夹角。拓扑结构信息用于描述相交特征面组中面与面之间结构关系,采用构



建特征属性邻接图的方式表达。加工加工工艺信息包含了特征在生成时所选用的资源类型、加工策略、加工工具和加工方法信息。相交加工特征工艺信息模型构建如下：

[0006]  $FC = \{FaceType, FaceDi, FaceEdges, FaceArea, FaceAngle\}$

[0007] 式中,  $FC$ 表示特征面的几何属性信息,  $FaceType$ 表示特征面的几何类型,  $FaveDir$ 表示特征面法向矢量方向,  $FaceEdges$ 表示特征面的边数,  $FaceArea$ 表示特征面与其相邻接的特征面之间的相对面积,  $FaceAngle$ 表示特征面与其相邻接的特征面之间的角度。

[0008] 特征模型拓扑结构信息构建如下：

[0009]  $Gra = \{V, E, H_v, H_e\}$

[0010] 式中,  $V$ 表示与特征面对应的节点集合;  $E$ 为边的集合, 表示面之间的邻接关系,  $H_v$ 表示节点 $V$ 中面的属性集合,  $H_e$ 表示边 $E$ 的属性集合, 包括边的类型、边的凹凸性、边的长度以及边的邻接面夹角。

[0011] 特征加工加工工艺信息构建如下：

[0012]  $O_p = \{M_T, T_P, M_P, M_C\}$

[0013] 式中,  $M_T$ 为加工类型, 包括型腔加工、面加工、槽加工、轮廓加工和钻孔加工;  $T$ 为刀具参数, 包含刀具类型、刀具号和刀具几何属性参数信息;  $M_P$ 为加工参数, 包括走刀样式、加工精度、步距、铣削方向、加工速度、主轴转速和进退刀速度;  $M_C$ 为加工元。

[0014] 步骤二、结合已有零件的数控工艺对相交加工特征进行解析与分割。同时对已有的数控工艺信息进行解析, 并提取其中刀具轨迹信息, 通过每个加工操作中的刀具轨迹信息建立加工操作与特征几何面的关联映射, 通过特征几何面自底向上逐步组合出单个特征所对应的加工区域, 并构建描述特征几何拓扑结构的属性邻接图, 完成相交特征的分割。结合所提取的特征结构信息与加工工艺信息, 构建对应的相交加工特征工艺信息模型, 实现相交加工特征信息结构化表示与特征分解模式的存储。

[0015] 在对相交特征进行分解时, 对加工操作与特征面的关联映射关系进行判断。给定一个特征面 $F$ , 如果加工操作 $O_p$ 中所包含的刀具轨迹的在特征面上存在投影 $S_p$ , 且投影对象到特征面的距离小于 $\delta$ ,  $\delta$ 为给定阈值, 则称加工操作 $O_p$ 与特征面 $F$ 关联, 记作 $O_p-F$ 。判断方法如下：

[0016] 假设给定特征面 $F$ 与加工操作 $O_p$ ,  $O_p$ 中所包含的刀具轨迹由 $m$ 个刀位点组成, 记作:  $O_p = \{p_i\}$ ,  $1 < i < m$ 。  $v_i$ 为 $p_i$ 处刀轴方向,  $f_i$ 为特征面 $F$ 的法矢量。当 $v_i \cdot f_i > 0$ 时, 构建以 $p_i$ 为圆心, 刀具半径为半径的圆 $c_i$ , 同时, 将 $c_i$ 沿面的法向矢量方向投影, 得到 $c'_i$ 与 $p'_i$ 。若 $c'_i$ 与加工面相交, 即 $c'_i \cap F \neq \emptyset$ 且 $||p_i p'_i|| < \delta$ , 则加工操作与特征面关联; 当 $v_i \cdot f_i = 0$ 时, 构建以刀位点为端点沿刀轴方向的方向线 $l_i$ , 将 $l_i$ 沿面的法向矢量方向投影得到 $l'_i$ 与 $p'_i$ 。若 $l'_i$ 与加工面相交, 即 $l'_i \cap F \neq \emptyset$ 且 $||p_i p'_i|| < \delta$ , 则加工操作与特征面关联。

[0017] 同时, 针对不同类型的加工操作, 结合相应的判断方法进行判断。当 $O_p$ 为Pocketing, 即为型腔加工, 特征面 $F$ 包括侧面 $f_s$ 与底面 $f_b$ , 同时存在刀轴方向 $v_i$ 与特征面 $F$ 的法矢量 $f_i$ 垂直于平行的两种情况, 故应考虑 $v_i \cdot f_i > 0$ 与 $v_i \cdot f_i = 0$ 两种情况, 两者结果为真时,  $O_p$ 与 $F$ 相关联; 当 $O_p$ 为Profile, 即为轮廓加工, 刀轴方向 $v_i$ 与特征面 $F$ 的法矢量 $f_i$ 垂直, 即为 $v_i \cdot f_i = 0$ 的情况, 结果为真时,  $O_p$ 与 $F$ 相关联; 当 $O_p$ 为Face, 即为面加工, 刀轴方向 $v_i$ 与特征面 $F$ 的法矢量 $f_i$ 平行, 按照 $v_i \cdot f_i > 0$ 进行判断, 结果为真时,  $O_p$ 与 $F$ 相关联。

[0018] 在完成加工操作与特征面关联关系判断后,结合加工操作关联的特征面组构建对应的加工区域子图,同时综合与特征相关联的加工操作及工艺信息,构成相交加工特征信息模型。其过程如下:

[0019] 获取相交特征的几何面,构建其属性邻接图,对特征中的每一个面获得所有与特征面关联的操作,将其存入加工操作集合,并记录其顺序,判断其在集合中是否重复出现,确保每个加工操作在集合中只出现一次,同时提取出该特征面包含的几何属性信息,并将其存入特征几何信息模型;

[0020] 遍历加工操作集合,对集合中的每一加工操作判断其在集合中是否重复,确保每个加工操作在集合中只出现一次,并应用上节所述的关联映射算法,得出与加工操作相关联的特征面集,并存储。

[0021] 对形成的特征面集合,应用所述的加工区域子图构建方法,重构其加工区域子图。

[0022] 将上述过程中所得面集合、加工操作、加工区域子图及相关工艺信息进行存储,完成子特征结构体的构建。

[0023] 步骤三、通过对已有数控工艺的相交特征的解析与分解,相交特征的分解模式与几何、工艺信息得到分割与结构化存储。当不含数控工艺的新零件中存在相交特征时,采用自顶向下的图匹配方式将新零件上的相交加工特征与模型库中存储的相交特征进行检索匹配,并对相似相交加工特征的识别结果进行有效重用,从而实现新零件上的相交加工特征进行准确、快速的分割。其具体步骤如下:

[0024] 针对特征所属零件的公共信息,零件类型、材料和制造类型,在特征结构匹配之前,对参与匹配的特征公共信息进行比较,若参与匹配的特征所属零件公共信息中有一个不同,则认为特征之间没有匹配的价值,后续所得到的相交特征的分解策略及其对应的工艺信息也不具有参考价值。

[0025] 将待识别相交制造特征的几何结构转化为图结构,通过图同构与子图同构的检测,将其与特征信息库中存储的特征图结构进行匹配,查询与之相匹配的特征的解释方案。

[0026] 对查询得到的相匹配的结构,通过相似度公式计算特征面之间的相似度,并构建相似度矩阵,通过Kuhn-Munkres算法求解出相似矩阵的最大权匹配,得到已有相交特征与待识别相交特征的特征面之间的对应关系,继而得到待识别特征的分解方式,对相交特征进行分割识别。在特征结构匹配过程中,特征面之间的相似度通过以下公式计算:

[0027] 面类型比较。

$$[0028] \quad S_T = \begin{cases} 1, & T_1 = T_2 \\ 0, & T_1 \neq T_2 \end{cases}$$

[0029] 其中, $S_T$ 为类型相似度, $T_1$ 、 $T_2$ 为相比较特征面的类型。

[0030] 面凹凸性比较。

$$[0031] \quad S_C = \begin{cases} 1, & C_1 = C_2 \\ 0, & C_1 \neq C_2 \end{cases}$$

[0032] 其中, $S_C$ 为类型相似度, $C_1$ 、 $C_2$ 为相比较特征面的凹凸性。

[0033] 形状相似度比较。

$$[0034] \quad S_{ij} = 1 - \frac{|\delta_i - \delta_j|}{\max(\delta_i, \delta_j)}$$

$$[0035] \quad \delta_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_i - x_j)^2}, x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$[0036] \quad S_{sij} = 1 - \frac{|S_{si} - S_{sj}|}{\max(S_{si}, S_{sj})}$$

$$[0037] \quad S_{si} = \frac{S_i}{\sum_{S_k \in F_s} S_k + S_i}$$

[0038] 其中,  $S_{lij}$  为两个面边长之间的相似性,  $x_i$  为每个边的长,  $n$  为这个面的边数;  $S_{sij}$  为两个面之间的面积相似性,  $S_{ei}$ 、 $S_{ej}$  为面的相对面积,  $S_i$  为面  $f_i$  的面积,  $F_s$  为与  $f_i$  相邻接的面集合,  $F_s = \{f_1, f_1 \dots, f_k\}$ 。

[0039] 面拓扑连接相似性比较。

[0040] 定义相容边。在关系图结构中, 若存在一对边分属于两个不同的特征, 而且每条边所属的两个面类型相同, 边的类型相同, 同时每一条边对应连接的两个面之间的夹角  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  满足关系:  $|\theta_1 - \theta_2| \leq \theta$ ,  $\theta$  为给定的阈值, 则称该对边相容。故面拓扑连接相似性计算如下:

$$[0041] \quad S1 = \min(\text{Sum}_1, \text{Sum}_2) / \max(n_1, n_2)$$

[0042] 其中,  $\text{Sum}_1$  表示  $F$  所拥有相融边数量;  $\text{Sum}_2$  表示  $F'$  所拥有相融边数量;  $n_1$  表示  $F$  拥有边总数量;  $n_2$  表示  $F'$  拥有边总数量。

[0043] 面整体相似性。

$$[0044] \quad \delta = \begin{cases} 0, & T_1 \neq T_2 \\ \sum_{g \in \text{Descriptor}} w_g \times S_g, & T_1 = T_2 \end{cases}$$

$$[0045] \quad \sum_{g \in \text{Descriptor}} w_g = 1$$

[0046] 综合上述描述相似性比较的因素, 两个特征面:  $F$ 、 $F'$  之间的拓扑与几何的相似度被定义为上述所有因素的加权和, 其中,  $\delta$  为总相似度,  $w_g$  为上述相似度因子,  $w_g$  为对应权重。

[0047] 本发明的有益效果是: 该方法从加工特征几何结构与其对应加工操作之间的联系出发, 从特征属性信息与特征工艺信息两个方面对相交加工特征包含的信息进行描述, 构建对应的相交加工特征工艺信息模型; 并以此为基础, 对已有三维CAD模型及其关联的数控工艺进行解析, 构建加工操作与特征几何面的关联映射关系, 通过特征几何面自底向上逐步组合, 从而形成加工操作对映的加工区域, 即相交加工特征中的单个加工特征。最后, 通过对待识别相交特征与模型库中已有特征进行相似度匹配, 从而重用模型库中相交特征的分解模式, 以有效支持新零件上类似相交特征的自动识别和云相关工艺的重用。通过本发明所述的方法, 可以有效地解决相交特征识别时产生的多解性与歧义性, 在避免相交特征无法正确分解的同时, 重现了加工人员的设计意图, 在重用已有工艺数据的基础上为后续的特征工艺设计提供了支持, 实用性好。

[0048] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作详细说明。



## 附图说明

- [0049] 图1是本发明基于数控工艺解析的相交加工特征识别与重用方法的流程图。
- [0050] 图2是本发明方法相交特征工艺信息模型结构图。
- [0051] 图3是本发明方法加工操作与特征面关联映射图。
- [0052] 图4是本发明方法数控工艺的相交加工特征的分解示例图。
- [0053] 图5是本发明方法未含有数控工艺的相交特征的识别分解示例图。

## 具体实施方式

[0054] 参照图1-5。本发明基于数控工艺解析的相交加工特征识别与重用方法具体步骤如下：

[0055] 步骤一. 为了对特征结构信息进行有效地结构化存储, 需要构建相交加工特征工艺信息模型。相交加工特征工艺信息模型主要表达三个方面的内容: 几何属性信息、拓扑结构信息和加工操作工艺信息。几何属性信息主要是指零件所含相交制造特征中每个特征面的形状属性信息, 其中包括特征面的类型、面的指向、面的边数、面的相对面积以及邻接面夹角。拓扑结构信息主要用于描述相交特征面组中面与面之间结构关系, 采用构建特征属性邻接图的方式对其表达。加工操作工艺信息包含了特征在生成时所选用的资源类型、加工策略、加工刀具、加工方法信息。特征模型几何属性信息构建如下：

[0056]  $FC = (FaceType, FaceDir, FaceEdges, FaceArea, FaceAngle)$

[0057] 式中:  $FC$  表示特征面的几何属性信息,  $FaceType$  表示特征面的几何类型,  $FaceDir$  表示特征面法向矢量方向,  $FaceEdges$  表示特征面的边数,  $FaceArea$  表示特征面与其相邻接的特征面之间的相对面积,  $FaceAngle$  表示特征面与其相邻接的特征面之间的角度。

[0058] 特征模型拓扑结构信息构建如下：

[0059]  $Gra = \{V, E, H_V, H_E\}$

[0060] 式中:  $V$  表示与特征面对应的节点集合;  $E$  为边的集合, 表示面之间的邻接关系,  $H_V$  表示节点  $V$  中面的属性集合,  $H_E$  表示边  $E$  的属性集合, 包括边的类型、边的凹凸性、边的长度、边的邻接面夹角。

[0061] 特征加工操作工艺信息构建如下：

[0062]  $O_p = \{M_T, T_P, M_P, M_C\}$

[0063] 式中:  $M_T$  加工类型, 包括型腔加工、面加工、槽加工、轮廓加工、钻孔加工;  $T$  为刀具参数, 包含刀具类型、刀具号、刀具几何属性参数信息;  $M_P$  为加工参数, 包括走刀样式、加工精度、步距、铣削方向、加工速度、主轴转速、进退刀速度;  $M_C$  为加工元, 在实际加工中, 每个加工操作去除了一定体积的材料, 直接或间接的产生每个特征的特征面, 从而使得加工特征与特征面之间产生了关联关系。在此, 将加工元定义为在加工特征形成过程中, 一个加工操作产生的有效切削体, 其是一个封闭实体。

[0064] 步骤二. 在完成特征结构模型的构建后, 需要结合已有零件的数控工艺对相交加工特征进行解析与分割。同时对已有的数控工艺信息进行解析, 并提取其中刀具轨迹信息, 通过每个加工操作中的刀具轨迹信息建立加工操作与特征几何面的关联映射, 通过特征几何面自底向上逐步组合出单个特征所对应的加工区域, 并构建描述特征几何拓扑结构的属性邻接图, 从而完成相交特征的分割。最后, 结合所提取的特征结构信息与加工工艺信息,

构建对应的相交加工特征工艺信息模型,从而实现相交加工特征信息结构化表示与特征分解模式的存储。

[0065] 在对相交特征进行分解时,需要对加工操作与特征面的关联映射关系进行判断。给定一个特征面 $F$ ,如果加工操作 $O_p$ 中所包含的刀具轨迹的在特征面上存在投影 $S_p$ ,且投影对象到特征面的距离小于 $\delta$ , $\delta$ 为给定阈值,则称加工操作 $O_p$ 与特征面 $F$ 关联,记作 $O_p-F$ 。具体判断方法如下:

[0066] 假设给定特征面 $F$ 与加工操作 $O_p$ , $O_p$ 中所包含的刀具轨迹由 $m$ 个刀位点组成,记作: $O_p = \{p_i\}$ ,  $1 < i < m$ 。 $v_i$ 为 $p_i$ 处刀轴方向, $f_i$ 为特征面 $F$ 的法矢量。当 $v_i \cdot f_i > 0$ 时,构建以 $p_i$ 为圆心,刀具半径为半径的圆 $c_i$ ,同时,将 $c_i$ 沿面的法向矢量方向投影,得到 $c'_i$ 与 $p'_i$ 。若 $c'_i$ 与加工面相交,即 $c'_i \cap F \neq \emptyset$ 且 $||p_i p'_i|| < \delta$ ,则加工操作与特征面关联;当 $v_i \cdot f_i = 0$ 时,构建以刀位点为端点沿刀轴方向的方向线 $l_i$ ,将 $l_i$ 沿面的法向矢量方向投影得到 $l'_i$ 与 $p'_i$ 。若 $l'_i$ 与加工面相交,即 $l'_i \cap F \neq \emptyset$ 且 $||p_i p'_i|| \leq \delta$ ,则加工操作与特征面关联。

[0067] 同时,针对不同类型的加工操作,需要结合相应的判断方法进行判断。当 $O_p$ 为Pocketing,即为型腔加工,特征面 $F$ 包括侧面 $f_s$ 与底面 $f_b$ ,同时存在刀轴方向 $v_i$ 与特征面 $F$ 的法矢量 $f_i$ 垂直于平行的两种情况,故应考虑 $v_i \cdot f_i > 0$ 与 $v_i \cdot f_i = 0$ 两种情况,两者结果为真时, $O_p$ 与 $F$ 相关联;当 $O_p$ 为Profile,即为轮廓加工,刀轴方向 $v_i$ 与特征面 $F$ 的法矢量 $f_i$ 垂直,即为 $v_i \cdot f_i = 0$ 的情况,结果为真时, $O_p$ 与 $F$ 相关联;当 $O_p$ 为Face,即为面加工,刀轴方向 $v_i$ 与特征面 $F$ 的法矢量 $f_i$ 平行,按照 $v_i \cdot f_i > 0$ 进行判断,结果为真时, $O_p$ 与 $F$ 相关联。

[0068] 在完成加工操作与特征面关联关系判断后,结合加工操作关联的特征面组构建对应的加工区域子图,同时综合与特征相关联的加工操作及工艺信息,构成相交加工特征信息模型。其过程如下:

[0069] 1. 获取相交特征的几何面,构建其属性邻接图,对特征中的每一个面获得所有与特征面关联的操作,将其存入加工操作集合,并记录其顺序,判断其在集合中是否重复出现,确保每个加工操作在集合中只出现一次,同时提取出该特征面包含的几何属性信息,并将其存入特征几何信息模型;

[0070] 2. 遍历加工操作集合,对集合中的每一加工操作判断其在集合中是否重复,确保每个加工操作在集合中只出现一次,并应用上节所述的关联映射算法,得出与加工操作相关联的特征面集,并存储。

[0071] 3. 对已形成的特征面集合,应用上述的加工区域子图构建方法,重构其加工区域子图。

[0072] 4. 构建子特征结构体,将上述过程中所得面集合、加工操作、加工区域子图及相关工艺信息进行存储,完成结构体的构建。

[0073] 步骤三.通过对已有数控工艺的相交特征的解析与分解,相交特征的分解模式与几何、工艺信息已得到很好的分割与结构化存储。当不含数控工艺的新零件中存在相交特征时,本发明则采用自顶向下的图匹配方式将新零件上的相交加工特征与模型库中存储的相交特征进行检索匹配,并对相似相交加工特征的识别结果进行有效重用,从而实现新零件上的相交加工特征进行准确、快速的分割。其具体步骤如下:

[0074] 1. 针对特征所属零件的公共信息,零件类型、材料、制造类型,在特征结构匹配之前,对参与匹配的特征公共信息进行比较,若参与匹配的特征所属零件公共信息中有一个

不同,则认为特征之间没有匹配的价值,后续所得到的相交特征的分解策略及其对应的工艺信息也不具有参考价值。

[0075] 2.将待识别相交制造特征的几何结构转化为图结构,通过图同构与子图同构的检测,将其与特征信息库中存储的特征图结构进行匹配,从而查询与之相匹配的特征的解释方案。

[0076] 3.对查询得到的相匹配的结构,通过相似度公式计算特征面之间的相似度,并构建相似度矩阵,通过Kuhn-Munkres算法求解出相似矩阵的最大权匹配,从而得出已有相交特征与待识别相交特征的特征面之间的对应关系,从而得出待识别特征的分解方式,对相交特征进行分割识别。在特征结构匹配过程中,特征面之间的相似度通过以下公式计算:

[0077] 1.面类型比较。

$$[0078] \quad S_T = \begin{cases} 1, & T_1 = T_2 \\ 0, & T_1 \neq T_2 \end{cases}$$

[0079]  $S_T$ 为类型相似度, $T_1$ 、 $T_2$ 为相比较特征面的类型。

[0080] 2.面凹凸性比较。

$$[0081] \quad S_C = \begin{cases} 1, & C_1 = C_2 \\ 0, & C_1 \neq C_2 \end{cases}$$

[0082]  $S_C$ 为类型相似度, $C_1$ 、 $C_2$ 为相比较特征面的凹凸性。

[0083] 3.形状相似度比较。

$$[0084] \quad S_{ij} = 1 - \frac{|\delta_i - \delta_j|}{\max(\delta_i, \delta_j)}$$

$$[0085] \quad \delta_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}, x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$[0086] \quad S_{sij} = 1 - \frac{|S_{si} - S_{sj}|}{\max(S_{si}, S_{sj})}$$

$$[0087] \quad S_{si} = \frac{S_i}{\sum_{S_k \in F_s} S_k + S_i}$$

[0088]  $S_{lij}$ 为两个面边长之间的相似性, $x_i$ 为每个边的长, $n$ 为这个面的边数; $S_{sij}$ 为两个面之间的面积相似性, $S_{ei}$ 、 $S_{ej}$ 为面的相对面积, $S_i$ 为面 $f_i$ 的面积, $F_s$ 为与 $f_i$ 相邻接的面集合, $F_s = \{f_1, f_1 \dots, f_k\}$ 。

[0089] 4.面拓扑连接相似性比较。

[0090] 定义相容边在关系图结构中,若存在一对边分属于两个不同的特征,而且每条边所属的两个面类型相同,边的类型相同,同时每一条边对应连接的两个面之间的夹角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 满足关系: $|\theta_1 - \theta_2| \leq \theta$ , $\theta$ 为给定的阈值,则称该对边相容。故面拓扑连接相似性计算如下:

$$[0091] \quad S1 = \text{Min}(\text{Sum}_1, \text{Sum}_2) / \text{Max}(n_1, n_2)$$

[0092] 其中 $\text{Sum}_1$ 表示 $F$ 所拥有相融边数量; $\text{Sum}_2$ 表示 $F'$ 所拥有相融边数量; $n_1$ 表示 $F$ 拥有边总数量; $n_2$ 表示 $F'$ 拥有边总数量。

[0093] (5)面整体相似性。

$$[0094] \quad \delta = \begin{cases} 0, & T_1 \neq T_2 \\ \sum_{g \in \text{Descriptor}} w_g \times S_g, & T_1 = T_2 \end{cases}$$

$$[0095] \quad \sum_{g \in \text{Descriptor}} w_g = 1$$

[0096] 综合上述描述相似性比较的因素,两个特征面:F、F'之间的拓扑与几何的相似度被定义为上述所有因素的加权和, $\delta$ 为总相似度, $w_g$ 为上述相似度因子, $w_g$ 为对应权重。

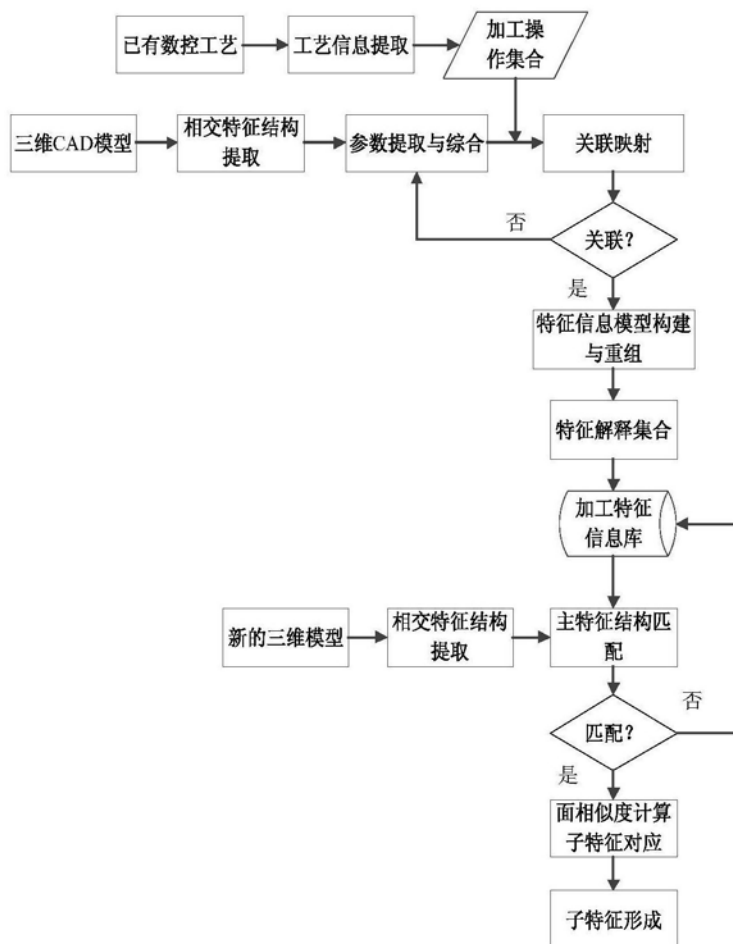


图1

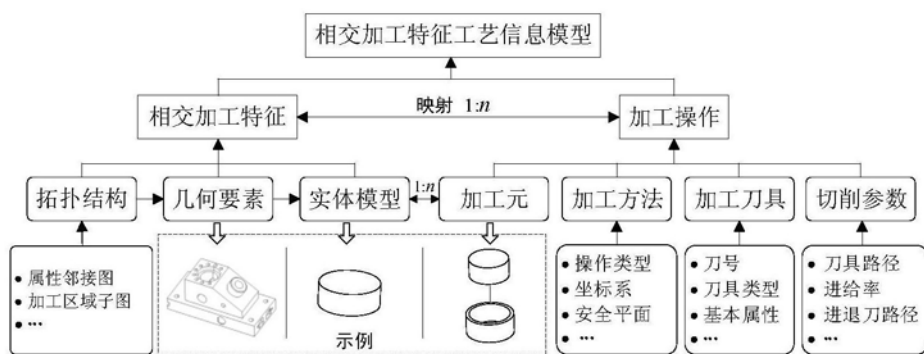


图2



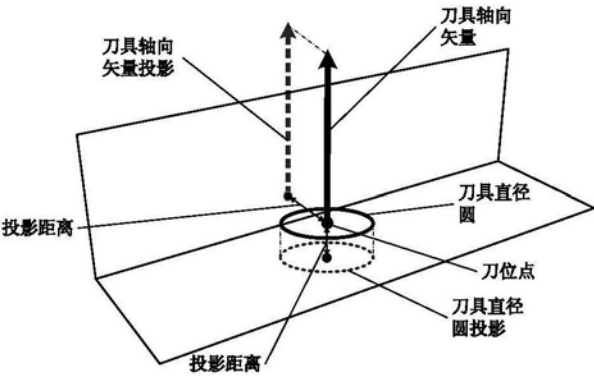


图3

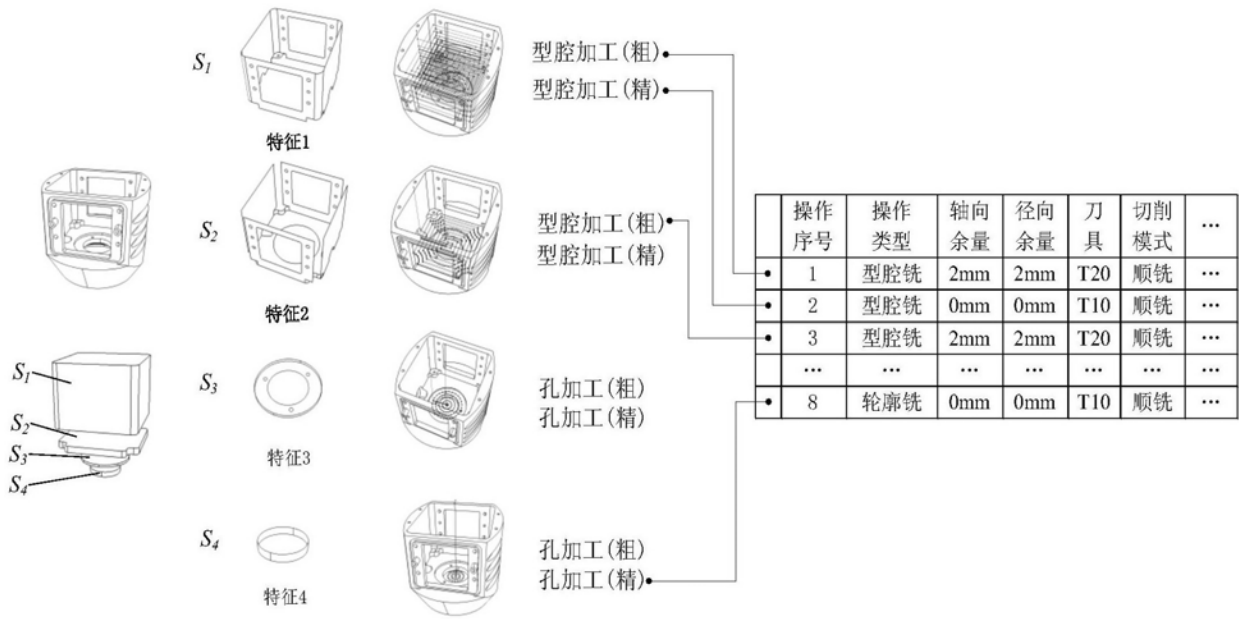


图4

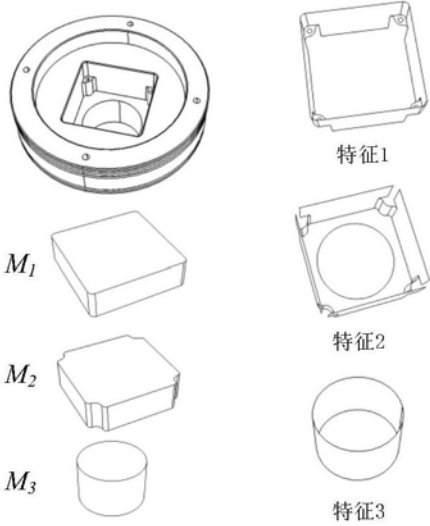


图5