

DOI:10.13196/j.cims.2015.01.022

基于成组技术和标准模板的滚齿 CNC 自动编程

曹卫东, 阎春平⁺, 郭奉民

(重庆大学 机械传动国家重点实验室, 重庆 400044)

摘要:针对滚齿数控加工的自动编程问题,提出一种基于成组技术和标准模板的滚齿 CNC 自动编程方法。利用成组技术原理,根据齿轮的几何特征和工艺特征的相似性对齿轮工件进行分类,利用每类齿轮单元的滚削数学模型,在工艺决策知识库支撑下确定出滚齿加工的工艺参数;根据滚削数控代码结构的相似性,运用字面相似度算法建立滚齿加工参数化控制标准模块库,组建每类齿轮单元的 NC 参数化代码模板,并运用表达式驱动算法完成对代码模板的实例化,自动生成 NC 代码,实现了滚齿加工的模块化、参数化数控程序设计。开发了基于西门子 840D 数控系统的滚齿自动编程系统,在某型号滚齿机上的应用表明该方法的编程效率高、算法可靠性强。

关键词:滚齿;数控系统;自动编程;成组技术;标准模板

中图分类号:TH16 **文献标识码:**A

CNC gear hobbing automatic programming based on group technology and standard template

CAO Wei-dong, YAN Chun-ping⁺, GUO Feng-min

(State Key Lab of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: To solve automatic programming problems in CNC hobbing, a gear-hobbing CNC automatic programming method was proposed based on group technology and standard template. According to the similarities of the geometric characteristics and process characteristics, the principle of group technology was used to classify the gear workpieces. By using the hobbing mathematical model of each gear classification unit, the hobbing process parameters was confirmed with the support of process decision-making knowledge base. According to the similarities of hobbing NC code structure, the standard NC code template of each gear class was abstracted. The expressions method was used to instantiate the standard template, and NC code was generated automatically. The modular and parametric hobbing CNC programming were achieved. The hobbing automatic programming system based on Siemens 840D CNC system was developed and the application results showed that the CNC programming algorithm was efficient and reliable.

Key words: gear-hobbing; numerical control system; automatic programming; group technology; standard template

0 引言

随着制造业向信息化、智能化和可定制方向发展,企业生产模式也从过去单一品种、大批量生产向多品种小批量生产的模式转变,这对产品的生产效率提出了更高的要求。数控程序的编制是制约齿轮

数控生产效率的重要因素,传统的手工编制数控程序方式存在效率低、出错率高、只适用单一零件的加工等缺点。以图形交互方式的计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)/计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)技术^[1-7]能够实现自动编程,通用性好,但需预先建立待加工

收稿日期:2014-06-20;修订日期:2014-09-11。Received 20 June 2014; accepted 11 Sep. 2014.

基金项目:国家 863 计划资助项目(2012AA041306);重庆市科委自然科学基金资助项目(cstc2013jcyjA90008)。Foundation items: Project supported by the National High-Tech. R&D Program, China(No. 2012AA041306), and the Natural Science Foundation of Chongqing Municipal Science and Technology Commission, China(No. cstc2013jcyjA90008).

零件的 CAD 模型,并定义相应的工艺规划和刀具,其编程周期长,工作量大,对编程人员的技术要求较高。文献[8]提出一种改进的、图形交互方式的 CAD/CAM 技术,运用成组技术和可重用技术简化了工艺规划流程,但其生成数控代码需依赖第三方数控软件,与机床数控系统集成较为困难;文献[9-10]提出一种运用数控系统宏指令(R 指令)模板的参数化编程方法,该方法编程效率较高,但其宏指令模板的可扩展性较低。滚齿数控加工具有工件结构特征和工艺特征相对固定、走刀路径和循环方式相对简单的特点,针对此类通用基础零件制造,研究一种快捷高效、扩展性好、对编程人员技术要求低,并能与数控系统良好集成的自动编程方法,具有可行性和实用价值。

本文针对滚齿数控加工的自动编程问题,提出一种基于成组技术和标准模板的滚齿 CNC 自动编程方法。基于该方法,开发了基于西门子 840D 数控系统的滚齿自动编程系统,用户仅需通过人机界面设置特定的加工参数,即可自动生成滚齿 NC 程序。在某型号滚齿机上的应用表明,该方法编程效率高,在有效降低生产成本的同时,保证了加工齿轮的精度和质量。

1 基于成组技术和标准模板的滚齿 CNC 自动编程方法

齿轮是典型的通用零件,其几何特征、工艺过程和数控代码结构都存在极大的相似性,合理利用零件间的相似性是提高其加工效率的关键。本文所提方法的主要思想为:利用成组技术的原理,根据齿轮的几何特征和工艺特征的相似性对齿轮工件进行分类,利用齿轮类单元的滚削数学模型,在工艺决策知识库支撑下确定滚齿加工的工艺参数;根据滚削数控代码结构的相似性,运用字面相似度算法建立滚齿加工参数化控制标准模块库,组建每类齿轮单元的 NC 参数化代码模板,并运用表达式驱动算法完成对代码模板的实例化^[11],自动生成 NC 代码。其基本流程如图 1 所示:通过人机交互界面,技术人员按照加工计划,将待加工的齿轮工件信息入库管理;加工时只需输入一定信息,包括齿轮和滚刀的模数、材料、精度、是否窜刀、窜刀方向、是否开切削液、是否顶尖夹紧、切削用量等,其中切削用量是由工艺参数优化决策支持系统基于实例推理的方法,根据历史知识库,进行匹配过滤,经修改确认后得到;再调用模型库中

对应的齿轮类滚削数学模型,生成刀具加工路径点坐标值,确定加工所需的全部参数数据并保存至数据库;再调用模板库中对应的齿轮 NC 参数化代码模板,提取参数数据集中的参数值,通过表达式驱动算法完成对标准模板的实例化,生成 NC 代码并保存在 NC 文件中,加载至数控系统即可控制机床进行滚齿加工。

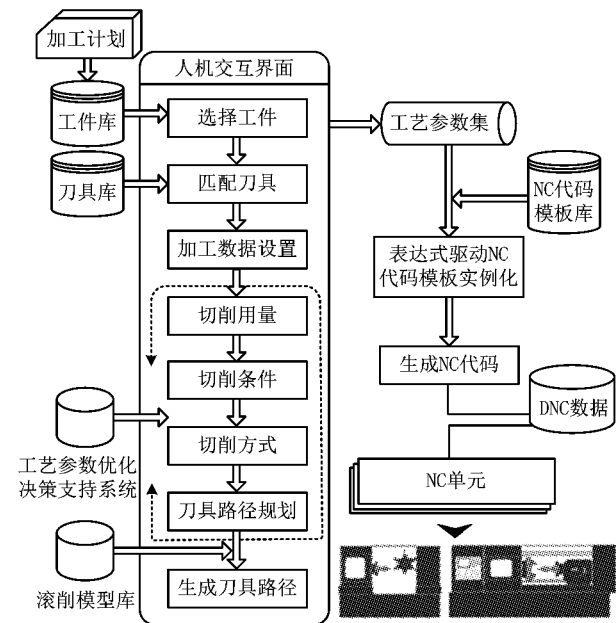


图1 基于成组技术和标准模板的滚齿CNC自动编程技术流程

2 基于成组技术的齿轮分类和建模

2.1 基于成组技术的齿轮分类

本文基于成组技术原理,以最少分组数覆盖最多元素为准则,采用树式结构将齿轮按其齿形轮廓曲线、发生线和齿宽方向的变形作为分类基准进行分组,每个齿轮组定义为一个齿轮类。齿轮类成员共有的几何特征和工艺特征为该齿轮类的基本属性,每一个待加工的齿轮即为其从属齿轮类的一个对象。采用上述方法对适用滚齿加工方法的常规齿轮进行分组,分组结果为圆柱齿轮类、圆锥齿轮类、涡轮类、鼓形齿轮类和曲线齿轮类等基本齿轮单元类,以及由齿轮单元组成的多联齿轮派生类,派生类继承了其组成单元类的基本属性。图 2 所示为基于成组技术的齿轮分类树。

2.2 齿轮类单元滚削数学模型的建立

基于齿轮分类,对齿轮类建立滚削加工数学模型,通过求解数学模型得到该齿轮类任意对象的加工路径点位坐标。建模的关键为确定加工时滚刀和

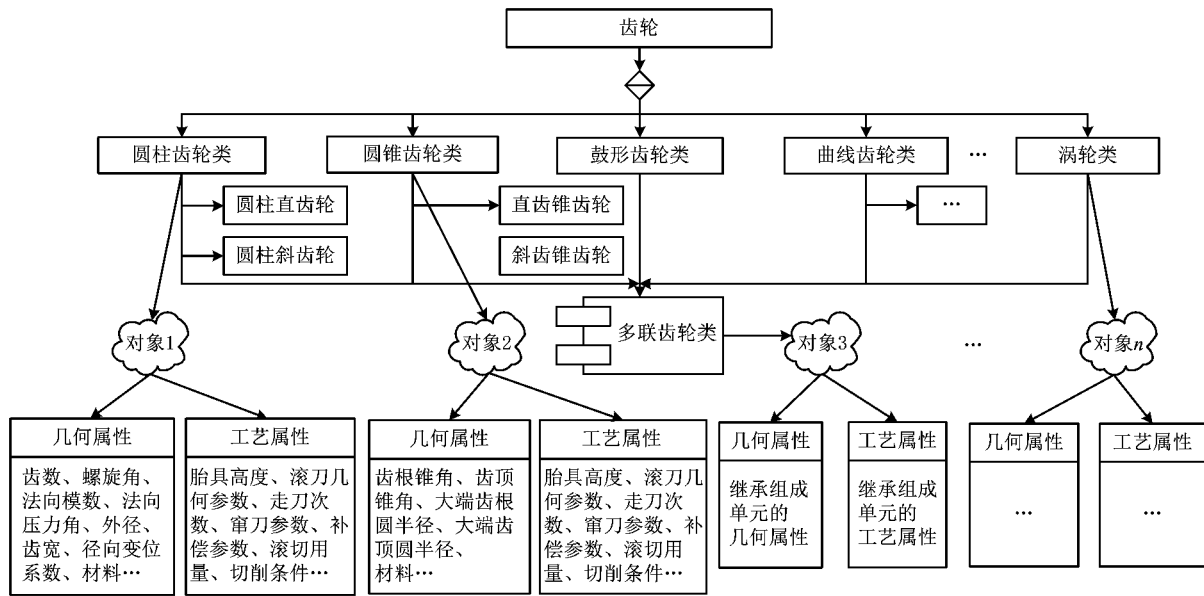


图2 基于成组技术的齿轮分类树

齿轮间的中心距、切入行程、切出行程和刀具的插补方式。各齿轮类的滚削数学模型建立过程请参见文献[10,12]。

3 基于标准模板的参数化自动编程方法

模板技术是基于重用技术和事物相似性原理，从一类相似的事物中抽象出一种框架模板的方法^[13]。经过成组技术分类的各齿轮类的滚削加工控制过程存在相似性，包括计算相似性、控制相似性及其他统计意义上的相似性。本文提出的基于标准模板的参数化自动编程方法，其主要思想是建立行业内基于各齿轮类的滚齿加工参数化控制标准模块库，分析滚齿加工 NC 标准代码，将其分为若干个控制模块，将这些控制模块中的数值参数化，运用字面相似度算法^[14-15]找出各齿轮类之间的模块相似成分以及非相似成分，并重用这些相似成分，相似成分

不需要重复存储，这些相似成分和非相似成分共同构成了滚齿加工参数化控制标准模块库，如图 3 所示。

当生成某类齿轮的 NC 参数化代码模板时，首先确定其属于哪一齿轮类，调用滚齿加工参数化控制模块库中该齿轮类各控制模块的非相似部分，以及各齿轮类共用的相似成分，两者结合即为某一特定齿轮的 NC 参数化代码模板。当进行该齿轮 NC 代码生成时，调用该齿轮的 NC 参数化代码模板，运用表达式驱动算法进行实例化，完成基于标准模板的参数化自动编程。

3.1 滚齿加工参数化控制标准模块库的建立

滚齿加工参数化控制标准模块库的建立过程是：在滚齿加工 NC 标准代码的基础上，通过分析和参数化各控制模块，运用相关算法找出各齿轮类之间的模块相似成分以及非相似成分，这些成分共同

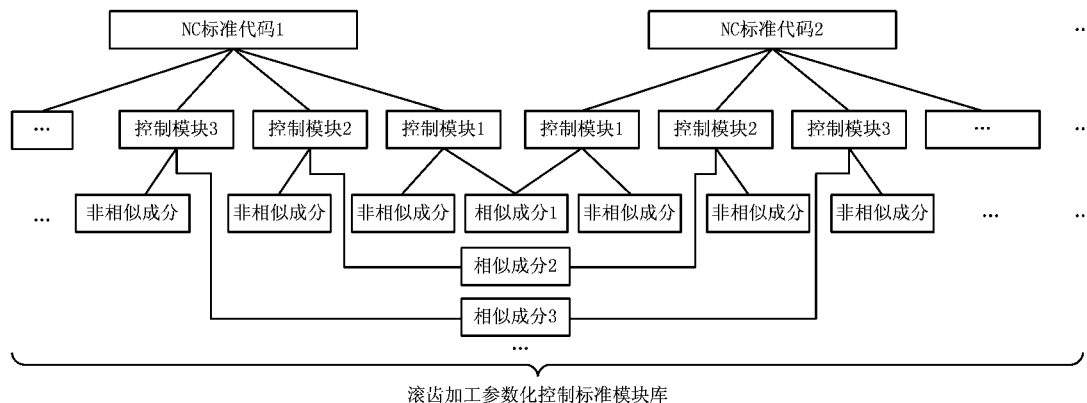


图3 滚齿加工参数化控制标准模块库构建示意图

组成滚齿加工参数化控制标准模块库。该标准模块库作为知识库为 NC 参数化代码模板的组建提供支持。

3.1.1 滚齿加工 NC 标准代码库的建立

滚齿加工 NC 代码具有代码行数少、相似成分多的特点。标准代码主要由重庆某机床公司制定,并在该公司生产的五轴四联动机床上进行试验。

3.1.2 滚齿加工 NC 标准代码中的控制模块分析

齿轮滚削加工控制过程由主程序控制、加工准备控制、同步运动控制、窜刀控制、切削条件控制和切削运动控制组成。主程序控制部分包括循环次数、加工范围等;加工准备控制包括开关防护门、自动换刀等;同步运动控制包括齿轮模数、齿数和滚刀螺旋角、头数等;窜刀控制包括窜刀量、窜刀方向等;切削条件控制包括开关切削液、切削用量等;切削运动控制包括插补类型、进给速度等。图 4 左侧标识了圆柱齿轮类的 NC 标准代码中的控制过程。

根据上述分析,将 NC 标准代码分为以下几类控制模块:主程序模块、加工准备模块、同步运动模块、窜刀模块、切削条件模块和切削运动模块。表 1 所示为各模块的功能描述。

3.1.3 建立滚齿加工参数化控制标准模块库

完成控制模块的分析后,经过控制模块数值参数化和滚齿加工参数化控制模块相似成分区分两个

表 1 NC 标准代码中的控制模块

模块类型	功能描述
主程序模块	NC 模板的主线、控制加工程序的起停、循环次数、加工区域保护等
加工准备模块	切削加工的准备工作的,如开关机床门、自动换刀、自动装卸工件等
同步运动模块	保证工件能够严格按照耦合关系跟随滚刀的运动,保证加工精度;
窜刀模块	控制滚刀沿其轴向的窜刀运动
切削条件模块	控制切削过程的切削条件,如开关切削液等
切削运动模块	保证滚刀按确定的切削用量和路径进行切削加工运动

步骤后,可实现滚齿加工参数化控制标准模块库的建立。

(1)控制模块数值参数化

对各控制模块中的数值进行参数化,参数化对象为循环次数、加工范围、主轴转速、进给速度、窜刀量、工件模数、工件齿数、螺旋角、刀具模数和刀具齿数等,如 G25 X74.00 参数为"G25 X"+Xmin,而数控编程中的 G 代码、M 代码等后面带的数值并不参数化,如 G01 中的 01 并不参数化,在 NC 参数化标准代码中仍然表示为 G01。图 4 右侧所示为圆柱齿轮类参数化后的 NC 标准代码。

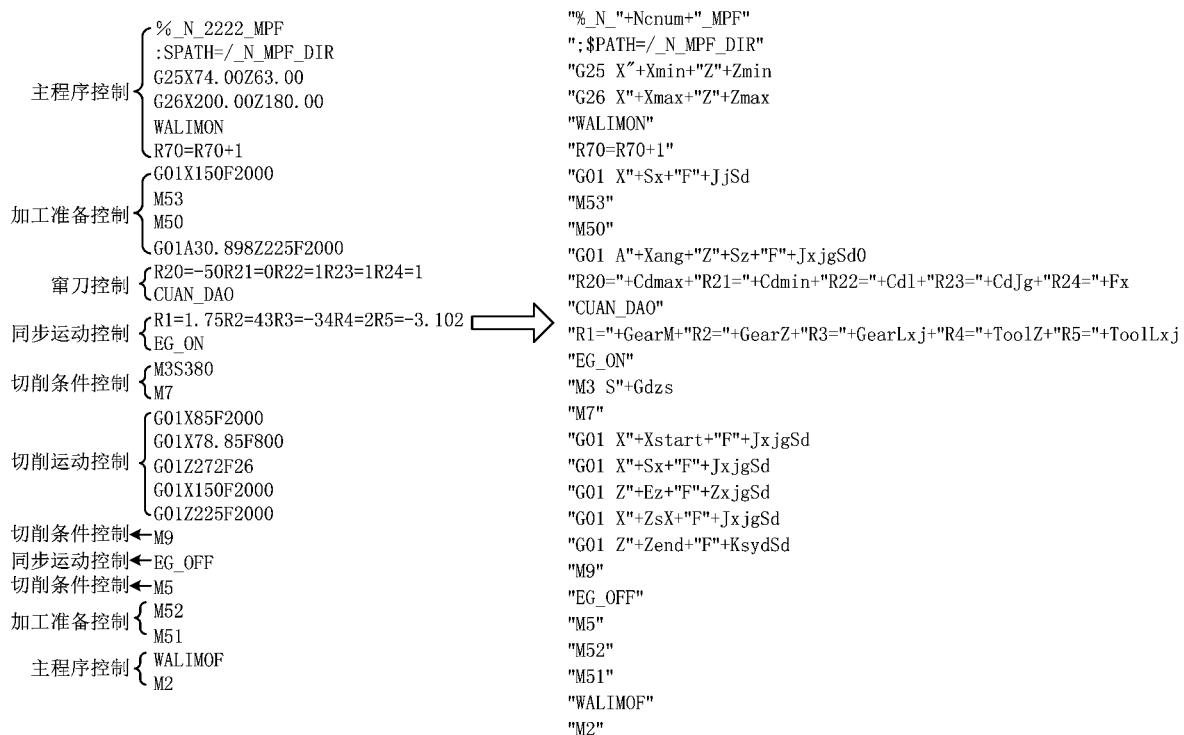


图4 圆柱齿轮类的NC标准代码参数化过程

(2) 字面相似度算法^[14-15]

定义 1 字面相似度为字符串 S_1 和 S_2 的相似程度, 记为 $Sim(S_1, S_2)$ 。 $Sim(S_1, S_2)$ 的一般数学描述为

$$Sim(S_1, S_2) = f(M, N, K) = \frac{K}{M + N - K} \quad (5)$$

式中: M 和 N 分别为 S_1, S_2 所含元素的数量; K 为 S_1 和 S_2 间相似单元的数量。

相似度是区分各控制模块相似成分和非相似成分的标识, 对不同模板下相同控制模块中的参数化 NC 标准代码进行相似度计算, 将相似度为 1 的参数化 NC 标准代码存入该控制模块的相似成分库, 从而提高滚齿加工参数控制标准模块库的存储效率, 节约存储空间。

(3) 区分控制模块的相似成分和非相似成分

模块的矩阵表示记为 $A(X, Y)$ 。模块中代码的行数对应矩阵中的行数, 代码中的单字母、组合字母和符号对应矩阵的列数, 当遇到参数化符号时, 相应的操作为矩阵中增加一列。图 5 所示为圆柱齿轮类主程序模块的矩阵表示。

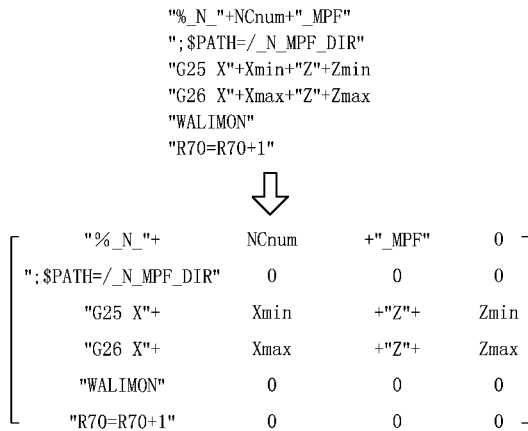


图 5 圆柱齿轮类主程序模块的矩阵表示

由于 NC 代码的功能表示十分明确, 从字面上即可以区分出其中的差别, 本文运用字面相似度算法区分各齿轮之间的模块相似成分和非相似成分, 如图 6 所示, 具体步骤如下:

步骤 1 假设有 n 个齿轮类, 每个齿轮类对应参数化后的 NC 标准代码。

步骤 2 将参数化后的 NC 标准代码按 3.1.2 节的方法进行模块划分, 每个模块得到相应的代码, $OperaObj$ = 主程序模块, 模块判断标识 $OperaObjNum=0$ 。

步骤 3 将 n 个齿轮类中 $OperaObj$ 的代码用矩阵表示, 得到 $A_i(X_i, Y_i), i \in [1, n], j_1=1, j_2=j_1$

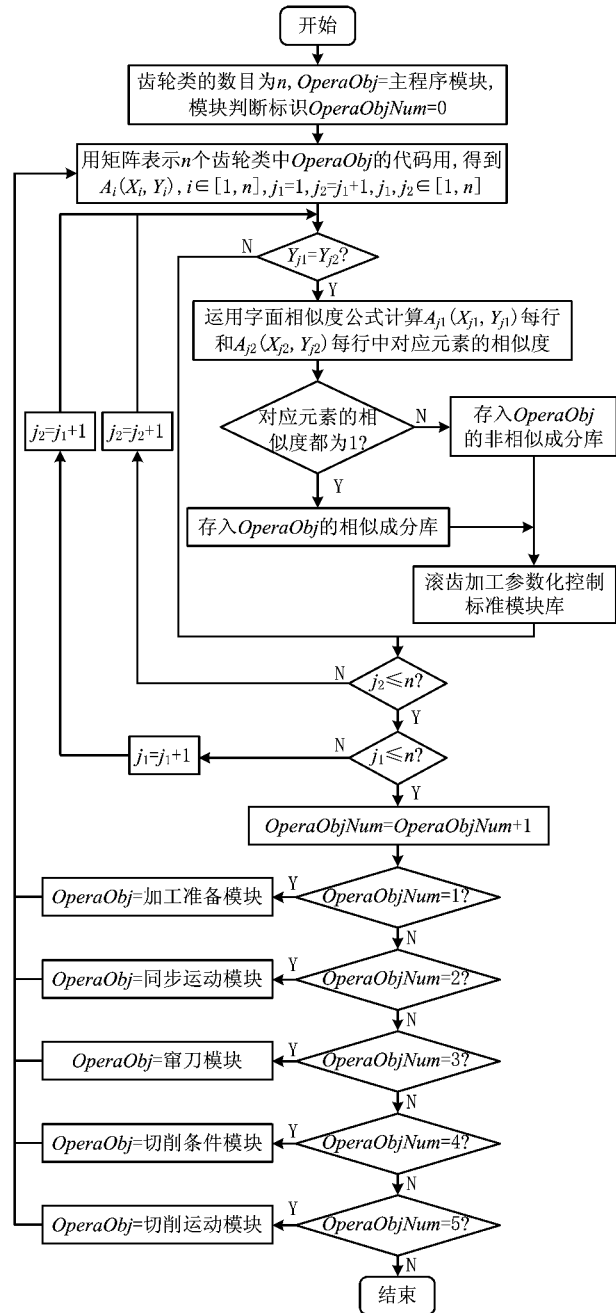


图 6 滚齿加工参数化控制模块相似成分区分步骤

$+1, j_1, j_2 \in [1, n]$ 。

步骤 4 当 $Y_{j_1} = Y_{j_2}$ 时, 采用式(5)对 $A_{j_1}(X_{j_1}, Y_{j_1})$ 的每行与 $A_{j_2}(X_{j_2}, Y_{j_2})$ 的每行中对应的元素进行比较, 若对应元素的相似度都为 1, 则认为该行所对应的代码为 $OperaObj$ 的相似成分, 将其存入相似成分库, 否则认为该行所对应的代码为 $OperaObj$ 的非相似成分, 将其存入非相似成分库。其中 0 与 0 的相似度为 1, 0 与非 0 项的相似度为 0。

步骤 5 $j_2 = j_2 + 1$, 当 $j_2 \leq n$ 时转步骤 4, 否则转步骤 6。

步骤 6 $j_1 = j_1 + 1, j_2 = j_1 + 1$, 当 $j_1 \leq n$ 时转步骤 4, 否则转步骤 7。

步骤 7 $OperaObj =$ 加工准备模块, $OperaObjNum = OperaObjNum + 1$, 当 $OperaObjNum = 1$ 时, 转步骤 3, 否则转步骤 8。

步骤 8 $OperaObj =$ 同步运动模块, 当 $OperaObjNum = 2$ 时转步骤 3, 否则转步骤 9。

步骤 9 $OperaObj =$ 窜刀模块, 当 $OperaObjNum = 3$ 时转步骤 3, 否则转步骤 10。

步骤 10 $OperaObj =$ 切削条件模块, 当 $OperaObjNum = 4$ 时转步骤 3, 否则转步骤 11。

步骤 11 $OperaObj =$ 切削运动模块, 当 $OperaObjNum = 5$ 时转步骤 3, 否则转步骤 12。

步骤 12 各控制模块求出的相似成分库和非相似成分库共同构成滚齿加工参数化控制标准模块库。

3.1.4 组建 NC 参数化代码模板

考虑到 NC 参数化代码模板的组建和滚齿加工参数化控制标准模块库的存储, 对模块进行如下定义:

定义 2 模块是一个六元组, $Template = \langle ID, O, P, S, T, N \rangle$, 其中: ID 为模块在模板中的编号; O 为模块中的信息集合; P 为操作的约束规则集合; S 为信息操作对象; T 为模块的类型标识; N 为模块在同类型模块内的编号。

滚齿加工参数化控制标准模块库的逻辑结构用二元组 $TempCase(tc)$ 表示, $tc = \{GearTypeList, Template\}$, $GearTypeList = \langle ID0, GearType \rangle$, ID0 为模块库的编号, GearType 为齿轮类型, Template

$= \langle ID, O, P, S, T, N \rangle$ 。

依据模块定义和滚齿加工参数化控制标准模块库, 组建被加工齿轮的 NC 参数化代码模板, 具体步骤如下:

步骤 1 判断被加工齿轮类型, 设齿轮类型为 SpecGearType。

步骤 2 通过 SpecGearType 检索滚齿加工参数化控制标准模块库, 得到 SpecGearType 的各模块相似成分和非相似成分。

步骤 3 从主程序模块开始组建被加工齿轮的 NC 参数化代码模板, 通过模块在同类型模块内的编号 N 确定该模块相似成分和非相似成分的顺序, 并按升序排列。

步骤 4 按照步骤 3 的步骤, 逐一得到加工准备模块、同步运动模块、窜刀模块、切削条件模块、切削运动模块的升序排列。

步骤 5 依次组合各模块, 将模块中的 $\langle ID, O, P, S \rangle$ 组合成被加工齿轮的 NC 参数化代码模板。

3.2 基于表达式驱动算法的 NC 参数化代码模板实例化过程

3.2.1 表达式驱动算法原理

根据模块定义, 模块的 $\langle ID, O, P, S, T, N \rangle$ 六个组成元素可定义为序号表达式(ID)、输出信息表达式(O)、条件表达式(P)、计算表达式(S)、类型标识表达式(T)、模块编号表达式(N)六类关系表达式。其中输出信息表达式承载了模块的主体信息, 其实例化结果为 NC 代码。组成 NC 模块各类表达式的数学形式和功能描述如表 2 所示。

表 2 NC 模块各类表达式的数学形式和功能描述

表达式类型	功能描述	数学形式
序号表达式(ID)	模块中信息行的排序号, 对应数据库表中的记录 ID	自然数, 如 0, 1, 2, ...
输出信息表达式(O)	参数化后的 NC 加工代码, 实例化的结果为 NC 代码	多项式: 数控指令 + 参数变量, 如 "G90" + X + " " + Z
计算表达式(S)	计算信息表达式中的参数变量	等式, 如 $X = X_1 + f_1$
条件表达式(P)	分为计算条件表达式和输出条件表达式, 前者是可以作为计算依据的规则、约束、参数所形成的表达式, 如窜刀方向, 它控制计算表达式是否计算; 后者是可以作为 NC 代码输出判断的知识所形成的表达式, 如是否需要窜刀、是否需要排除铁屑, 它控制输出信息是否输出	为布尔运算的等式和不等式, 其返回值为布尔类型, 如是否排除铁屑 $Ctrl_px = 'T'$
类型标识表达式(T)	模块类型的标识	字符串类型, 如窜刀模块非相似成分
模块编号表达式(N)	模块在同类型内的编号	自然数, 如 0, 1, 2, ...

标准模板库可用数据库存储, 每一个齿轮类标准模板对应数据库中的一个模板数据表, 模板中的

每一条 NC 代码对应数据表中的一条记录。数据表结构由 ID、输出信息、计算公式、公式计算条件、输

出条件、模块标识和模块号等字段组成,分别存储对应的六类表达式信息。

根据模块中各表达式的功能描述,可知“输出信息表达式”为模块主体,其余表达式为“输出信息表达式”的运算约束条件。因此,可以将 NC 标准模板表作为一个决策表^[16],其表结构型式为((ID,P,S,T,N),(O))。其中:(ID,P,S,T,N)为约束元素集合,由对决策过程起约束作用的表达式组成;(O)为决策元素集合,是决策的主要内容。约束元素集和决策元素集之间的逻辑关系可表示为

$$IDAPASATAN \rightarrow O.$$

式中对约束元素集求多元与集,由其结果决策出决策元素集的运算结果。表达式驱动方法运算的过程就是求解标准模板决策表逻辑表达式的过程。如图 7 所示,表达式驱动推理过程为:根据 ID 确定当前记录行在标准模板数据表中的地址,读取记录中的模块类型 T 和模块在其类型中的编号 N;根据 T 和 N 调用参数表中对应的参数数据,对模板表中的参数变量进行初始化赋值;计算条件表达式 P 中的“计算条件”,控制是否运算表达式 S;运算输出信息表达式 O;运算条件表达式 T 中的“输出条件”,若其值为真,则将“输出信息表达式 O”的运算结果输出到结果数据表中存储。

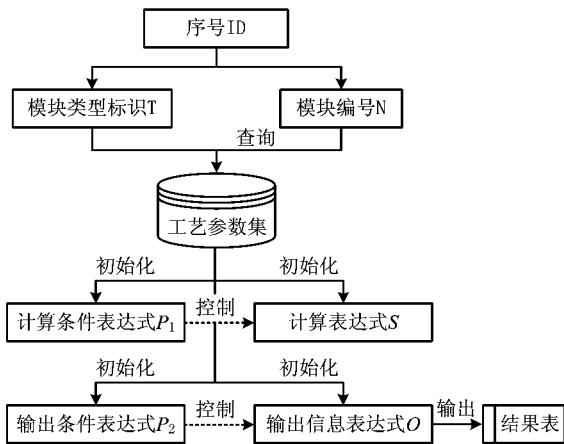


图7 表达式驱动推理机制

3.2.2 标准 NC 模板实例化过程

基于模板的参数化自动编程的核心为基于表达式驱动的标准 NC 模板实例化过程,其主要流程为:首先,将通过人机交互界面产生的数控加工工艺参数值对标准模板中各模块对应的参数变量进行初始化;然后,利用表达式驱动算法对模板数据表中的记录逐条进行解码,并将解码结果写入结果数据表;最后,将代码结果数据表中的记录输出到 NC 文件并

存储以供生产调用。其中,中间参变量是计算过程中的临时变量,由参数变量经过运算得到。如图 8 所示,表达式驱动算法的基本步骤如下:

步骤 1 读取当前模块类型和模块号,获取对应工艺参数数据,初始化参数变量。

步骤 2 若当前记录 $n \leq \max(ID)$,则转步骤 3;否则,转步骤 7。

步骤 3 若需要计算中间参变量,则转步骤 4;否则,转步骤 5。

步骤 4 若满足计算条件,则计算中间参变量,转步骤 5;否则,令 $n = n + 1$,转步骤 2。

步骤 5 读取输出信息,给参变量赋值,生成 NC 代码行。

步骤 6 若满足输出条件,则将输出信息输出到结果表;否则,令 $n = n + 1$,转步骤 2。

步骤 7 输出结果表,将 NC 代码保存到 NC 文件,算法结束。

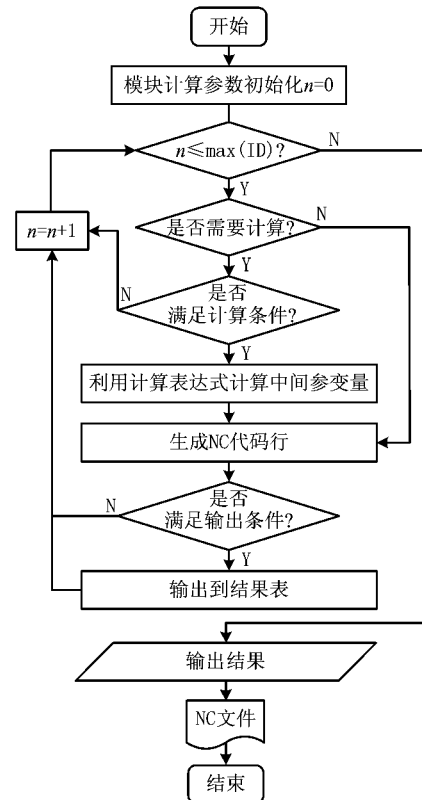


图8 表达式驱动算法流程

4 系统开发及应用实例

4.1 系统开发过程

本文在基于成组技术和模板技术的滚齿 CNC 参数化自动编程方法的基础上,针对西门子 840D

数控系统进行二次系统开发。系统主要由数控程序编制模块、工件库管理模块、刀具库管理模块和加工历史库管理模块组成。数控程序编制模块具有加工齿轮选型、加工刀具自动匹配、工艺参数决策、加工参数设置和加工路径检查等功能,数控程序员只需完成简单少量的加工参数设置即可生成工件的 NC 代码;工件管理模块和刀具管理模块能够完善地管理待加工的工件和刀具;加工历史库管理模块用于加工历史信息和管理 NC 文件。系统架构如图 9 所示。

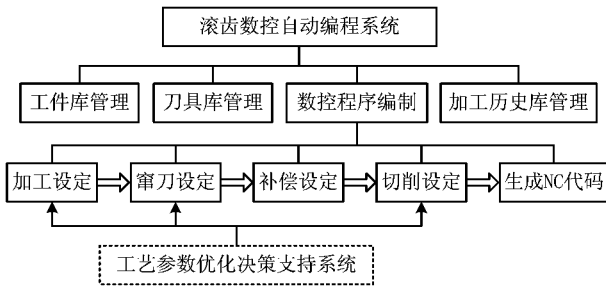


图9 系统架构图

系统各功能界面采用 VB 语言设计,遵循良好的人机工程学原理,并采用西门子系统 OEM 开发包提供的 DCTL, McEdit, McOption 和 Disp 等控件,保证了开发界面和西门子原有界面切换协调的兼容性和稳定性。系统涉及的数据均采用数据库形式存储,齿轮类数学模型算法、标准模板参数替换算法均封装在由 VC 语言开发的动态链接库(Dynamic Link Library, DLL)文件中。系统开发过程中,采用动态数据交换(Dynamic Data Exchange, DDE)技术,实现人机通信界面(Man-Machine Interface, MMI)与数控单元(NC realtime Kernal, NCK)、可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC)间的通信。通过操作面板输入编程参数和工艺参数,经自动运算在 MMC 中生成 NC 程序,将 NC 程序加载至 NCK 后,数控机床执行指令进行零件加工,如图 10 所示。

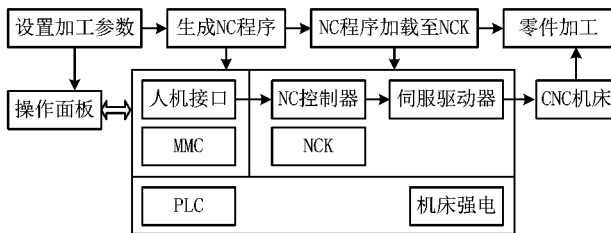


图10 系统软件层与硬件层通信示意图

4.2 测试与应用

将开发的系统在某大型企业的五轴四联动数控

滚齿机上进行应用,该机床滚刀主轴的最高转速可达 1 000 r/min,精加工精度可达 GB100095-88 的 6~7 级,最大加工模数为 4 mm。本实验对该机床上二次开发的滚齿 CNC 参数化自动编程系统进行了功能测试,测试功能为滚齿数控程序编制、刀具路径检查和动态显示现场参数等。图 11 所示为部分参数设置界面,即加工设定界面、辅助设定界面、窜刀设定界面和生成的 NC 代码结果。

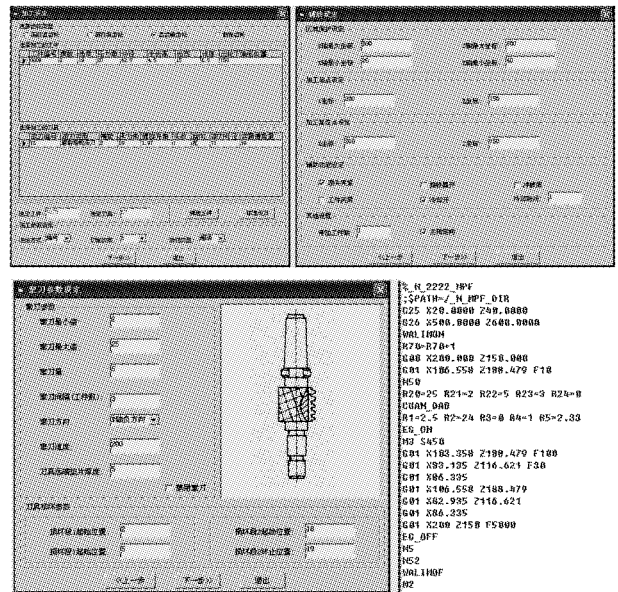


图11 部分加工参数界面和NC代码生成结果图

以采用逆—顺铣进给方式加工渐开线直齿锥齿轮为例,将传统滚齿 CNC 编程方法以及基于成组技术和标准模板的滚齿 CNC 自动编程方法在编程阶段进行比较。两种方法所用的工件参数都相同:工件模数为 2 mm、压力角为 20°、齿数为 19、工件外径为 42.5 mm、材料为 40Cr、精度等级为 7、锥角为 6.5°,传统的滚齿 CNC 编程方法和本文方法所得到的加工参数也基本相同:滚刀精度为 AA、滚刀头数为 1、粗滚、不窜刀、开切削液、顶尖夹紧、加工余量为 2.5 mm、主轴转速分别为 236 r/min 和 246 r/min、轴向进给速度分别为 96 mm/min 和 105 mm/min、径向进给速度分别为 32 mm/min 和 36 mm/min,测试结果为:传统方法在编程阶段所耗费的时间约为 30 min,本文方法在编程阶段所耗费的时间约为 2 min。

5 结束语

本文针对滚齿数控加工的自动编程问题,提出一种基于成组技术和标准模板的滚齿 CNC 自动编

制方法。该方法利用成组技术的原理对齿轮工件进行分类,并利用每类齿轮单元的滚削数学模型和标准模板技术,分析滚齿加工 NC 标准代码中的控制模块,运用字面相似度算法区分控制模块间的相似成分和非相似成分,建立滚齿加工参数化控制标准模块库,针对具体的加工对象和要求,根据滚齿加工参数化控制标准模块的定义,运用表达式驱动算法完成对代码模板的实例化,自动生成 NC 代码。在本文方法的支撑下,用户仅需通过人机交互界面设置必要的加工参数即可自动生成 NC 代码,实现了滚齿加工的模块化和参数化数控程序设计。实例应用表明,本文方法能够有效提高编程效率,解决企业多品种小批量生产模式与数控编程效率不足的矛盾,降低了对编程人员的技术要求,节省了企业成本。本文方法还适用于编程参数和工艺参数固定、有限的数控加工,包括磨齿、插齿等。

参考文献:

- [1] JOZE B, MIHA K, BOSTJAN V. Intelligent programming of CNC turning operations using genetic algorithm[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2006, 17(3): 331-340.
- [2] KOVACIC M, BREZOCNIK M. Evolutionary programming of CNC machines[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 164/165: 1379-1387.
- [3] LIU Y D, GUO X G. An intelligent NC program processor for CNC system of machine tool[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2007, 23(2): 160-169.
- [4] WERN K J. Computer solid modeling technologies applied to develop and form mathematical parametric tooth profiles of bevel gear and skew gear sets[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 122(2): 160-172.
- [5] FERREIRA J C E, VIVIAN D. Feature recognition in axis-symmetrical parts modeled by solids in an Internet oriented CAD/CAM system[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, 179(1/2/3): 260-267.
- [6] WU Fenghe, SHI Fazhong. Research and development of automatic NC programming system based on image data[J]. China Mechanical Engineering, 2005, 16(17): 1541-1545 (in Chinese). [吴凤和, 施法中. 基于图像数据的数控自动编程系统研究与开发[J]. 中国机械工程, 2005, 16(17): 1541-1545.]
- [7] NASR E A, KAMRANI A K. A new methodology for extracting manufacturing features from CAD system[J]. Computers & Industrial Engineering, 2006, 51: 389-415.
- [8] TAO Jianhua, ZHU Mingying, ZHANG Fei, et al. Research on mold-electrode CNC programming method based on grouping technology and reuse technology[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2011, 39(21): 94-97 (in Chinese). [陶建华, 朱明英, 张斐, 等. 基于成组技术和可重用技术的模具电极数控编程方法研究[J]. 机床与液压, 2011, 39(21): 94-97.]
- [9] LIU Zhanqiang QIAN Feng. An approach of CNC parametric programming based on group technology[J]. Journal of Shandong University of Technology: Engineering Science, 2002, 32(5): 469-472 (in Chinese). [刘战强, 钱峰. 基于成组技术的 CNC 参数化编程技术[J]. 山东大学学报: 工学版, 2002, 32(5): 469-472.]
- [10] WANG Shilong, KANG Ling, ZHOU Jie, et al. Research on NC automatic programming for gear hobbing[J]. China Mechanical Engineering, 2008, 19(16): 1955-1958 (in Chinese). [王时龙, 康玲, 周杰, 等. 数控滚齿自动编程技术的研究[J]. 中国机械工程, 2008, 19(16): 1955-1958.]
- [11] YAN Chunping, FAN Huixian, LIU Fei. Products resources ontology modeling technology based on the expression[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2008, 14(11): 2113-2118 (in Chinese). [阎春平, 范辉先, 刘飞. 基于表达式的产品资源本体建模技术[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(11): 2113-2118.]
- [12] HE Jingliang, WU Xutang. On the hobbing principle of conical involute gears[J]. Mechanical Science and Technology, 2003, 22(5): 751-753 (in Chinese). [贺敬良, 吴序堂. 渐开线锥形齿轮滚削原理[J]. 机械科学与技术, 2003, 22(5): 751-753.]
- [13] WU Qiang, BIAN Jinian, XUE Hongxi. Multi-way hardware-software partitioning algorithm based on abstract architecture template[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(11): 1562-1567 (in Chinese). [吴强, 边计年, 薛宏熙. 基于抽象体系结构模板的多路软硬件划分算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(11): 1562-1567.]
- [14] NIRENBURG S, DOMASHNEV C, GRANNES D J. Two approaches to matching in example-based machine translation [C]//Proceedings of the 5th International Conference on Theoretical and Methodological Issues in Machine Translation. Amsterdam, the Netherlands: ISO Press, 1993, 7: 47-57.
- [15] ZHANG Chengzhi. A model for Chinese string similarity based on multi-level features[J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2005, 24(6): 696-701 (in Chinese). [章成志. 基于多层特征的字符串相似度计算模型[J]. 情报学报, 2005, 24(6): 696-701.]
- [16] XIAO Wenjie, WANG Jiandong, ZHU Zhaohui. Analysis of logical expression of decision list[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2006, 38(1): 106-110 (in Chinese). [肖文洁, 王建东, 朱朝晖. 决策表的逻辑表达式分析[J]. 南京航空航天大学学报, 2006, 38(1): 106-110.]

作者简介:

曹卫东(1989—),男,江苏南通人,博士研究生,研究方向:CAD/CAE、制造系统工程等, E-mail: caoweidong19890710@126.com;
 十阎春平(1973—),男,江西南昌人,教授,博士,研究方向:CAD/CAE、制造业信息化、绿色制造等,通信作者, E-mail: ycp@cqu.edu.cn;
 郭奉民(1988—),男,四川绵阳人,硕士研究生,研究方向:CAD/CAE、制造系统工程等。