



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104714477 A

(43) 申请公布日 2015.06.17

(21) 申请号 201510112771.4

(22) 申请日 2015.03.13

(71) 申请人 江俊逢

地址 518000 广东省深圳市福田区华强南路
南村 62-608

申请人 江灏

(72) 发明人 江俊逢 江灏

(74) 专利代理机构 广东赋权律师事务所 44310

代理人 龚安义

(51) Int. Cl.

G05B 19/19(2006.01)

权利要求书3页 说明书25页 附图4页

(54) 发明名称

一种加工文件规划系统与加工文件的生成方法

(57) 摘要

本申请提出一种加工文件规划系统与加工文件的生成方法。特别是,对于并联机构(并联机床,并联机器人),五轴联动数控机床等复杂数控设备,本申请提供一种简单可靠的刀路曲线的生成方法与实时控制方法。本申请对刀路曲线进行高精度规划,以提高加工精度与坐标轴的运动平稳性,用加工文件取代了通常的G代码程序,取消了G代码编程,编写加工程序犹如使用word编写短信,“开数控就像玩手机,编程就像发信息”,彻底告别了插补时代,显著降低了CNC系统的技术准入门槛及其成本。

CANC规划组件
离散坐标生成模块
L分制规划模块
T分制规划模块
NC信息库
加工文件规划组件
NC信息库生成模块
轨迹指令编辑模块
NC信息库索引表生成模块
NC信息库索引生成模块
加工文件生成模块
实时内核组件
加工文件处理模块
联动坐标轴设置模块
取动命令设置模块
节拍控制模块
终点控制模块

1. 一种加工文件规划系统,用于控制联动坐标轴联动,包括硬件平台、软件平台和应用软件系统,所述硬件平台为 PC 系统,所述软件平台为图形界面操作系统;其特征在于,所述应用软件系统包括 CNC 规划组件,NC 信息库组件,加工文件规划组件;

(1)、CNC 规划组件

所述 CNC 规划组件包括离散坐标系生成模块、L 分割规划模块、T 分割规划模块;

(1-1) 所述离散坐标系生成模块用于按照给定的离散标度,用距离为所述离散标度的等距线将坐标平面网格化,在屏幕上建立离散坐标系;

(1-2) 根据加工方位,所述 L 分割规划模块用于在所述离散坐标系中规划刀路曲线的 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$;

(1-3) 根据加工工艺,所述 T 分割规划模块用于校核坐标轴的运动平稳性,规划所述刀路曲线的 T 分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$;

(2)NC 信息库

所述 NC 信息库用于存储控制坐标轴联动的数字控制信息,所述数字控制信息包括所述刀路曲线的联动表与随动表;

所述联动表用于存储所述 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$;所述 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$ 用于存储所述联动坐标轴的进给量,控制坐标轴联动以产生合成位移;

所述随动表用于存储所述 T 分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$;所述 T 分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$ 用于存储所述进给量之间的时间间隔,控制所述合成位移的进给速度;

所述 NC 信息库还包括所述刀路曲线的状态字,所述状态字用于指定所述联动坐标轴及其进给方向;

所述 NC 信息库还包括 NC 信息库索引表,所述 NC 信息库索引表用于存储所述联动表的首地址、所述随动表的首地址与末地址;

(3)、加工文件规划组件

所述加工文件规划组件包括 NC 信息库生成模块、轨迹指令编辑模块、NC 信息库索引表生成模块、NC 信息库索引生成模块、加工文件生成模块;

(3-1) 所述 NC 信息库生成模块用于按照给定的数据格式在存储空间构造所述刀路曲线的联动表与随动表,生成所述 NC 信息库;

(3-2) 根据加工工艺与联动坐标轴,所述轨迹指令编辑模块用于将所述刀路曲线的联动表分为 p 段,对应地编辑成 p 条轨迹指令;在每条轨迹指令中,联动坐标轴相同;

(3-3) 对于每条轨迹指令,所述 NC 信息库索引表生成模块用于生成 NC 信息库索引表;所述 NC 信息库索引表对应地存储每条轨迹指令的联动表的首地址、随动表的首地址与末地址;

(3-4) 对于每条轨迹指令,所述 NC 信息库索引生成模块用于生成 NC 信息库索引,所述 NC 信息库索引用于链接所述 NC 信息库索引表;

(3-5) 根据加工工艺,所述加工文件生成模块用于在 p 条轨迹指令中,插入开关指令、状态指令,生成加工文件;

所述开关指令用于控制开关装置的开 / 关;

所述状态指令用于控制加工过程的启动、结束、暂停,坐标系设定、原点返回。

2. 如权利要求 1 所述的加工文件规划系统,其特征还在于,所述联动坐标轴包括虚拟

坐标轴,所述虚拟坐标轴为控制工艺参数的开关。

3. 如权利要求 3 所述的 CNC 系统,其特征还在于,所述虚拟坐标轴的联动表相对于所述微线段的随动表向前移动 S 个控制节律:

$$(\Delta t_{i-s}, \dots, +\Delta t_i) \approx \tau,$$

式中, τ 为所述工艺参数的响应时间。

4. 如权利要求 1 所述的加工文件规划系统,其特征还在于,包括显示校验模块;包括显示校验模块;所述显示校验模块从所述 NC 信息库读取所述刀路曲线的联动表,向所述状态字指定的显示开关发送 L 指针指定的进给量,在所述离散坐标系中显示所述刀路曲线的生成过程,校验所述刀路曲线。

5. 如权利要求 1 所述的加工文件规划系统,其特征还在于,所述图形界面操作系统包括编程界面;所述编程界面包括 CANC 规划功能区、加工文件规划功能区;

所述 CANC 规划功能区包括离散坐标系生成窗口、L 分割规划窗口、T 分割规划窗口;所述离散坐标系生成窗口链接所述离散坐标系生成模块、所述 L 分割规划窗口链接所述 L 分割规划模块、所述 T 分割规划窗口链接所述 T 分割规划模块;

所述加工文件规划功能区包括 NC 信息库生成窗口,轨迹指令编辑窗口,NC 信息库索引表生成窗口,NC 信息库索引生成窗口、加工文件生成窗口;所述 NC 信息库生成窗口链接所述 NC 信息库生成模块,所述轨迹指令编辑窗口链接所述轨迹指令编辑模块,所述 NC 信息库索引表生成窗口链接所述 NC 信息库索引表生成模块,所述 NC 信息库索引生成窗口链接所述 NC 信息库索引生成模块,所述加工文件生成窗口链接所述加工文件生成模块。

6. 如权利要求 5 所述的加工文件规划系统,其特征还在于,采用触控方式操作所述编程界面中的所述各功能区与所述各窗口。

7. 一种基于权利要求 6 的加工文件生成方法,其特征还在于,包括下述步骤:

(1) CANC 规划步骤

所述 CANC 规划步骤包括:

(1-1) 离散坐标系生成步骤

所述离散坐标系生成模块按照给定的离散标度,用距离为所述离散标度的等距线将坐标平面网格化,在屏幕上建立离散坐标系;

(1-2) L 分割规划步骤

根据加工方位,所述 L 分割规划模块在离散坐标系中规划所述刀路曲线的的 L 分割,包括下述步骤:

(1-2-1) 将所述刀路曲线中的直线划分为加速段 / 减速段、匀速段;

(1-2-2) 对于所述刀路曲线中的圆弧,在所述离散坐标系中生成所述圆弧,从所述圆弧的起点开始,沿允许运动方向进给一个离散标度,分别到达两个不同的格点,计算并比较这两个格点与所述圆弧的距离,选择散误差最小的格点;重复上述步骤,直至所述圆弧的终点;生成所述圆弧的微观数字映像;

按照所述圆弧的联动轴数据流的分布周期,将所述圆弧的微观数字映像转换为若干条微线段;

(1-2-3) 按照给定的数据格式,所述刀路曲线中的所有直线的加速段 / 减速段、匀速段,所有圆弧的微线段生成刀路曲线的 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, m)$;

(1-3) T 分割规划步骤

根据加工工艺,所述 T 分割规划模块校核坐标轴的运动平稳性,规划所述刀路曲线的 T 分割,包括下述步骤:

(1-3-1) 对于所述刀路曲线的 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, m)$, 校核运动平稳性约束条件:

$$|\Delta F_{i+1,d} - \Delta F_{i,d}| \leq \delta_F (i = 1, \dots, m);$$

式中, $\Delta F_{i,d}$ 为 ΔL_i 的主动轴 D 的进给进度, $\Delta F_{i+1,d}$ 为 ΔL_{i+1} 的主动轴 D 的进给进度; δ_F 为坐标轴进给速度的允许跳变量, 由加工工艺指定, 对于圆弧的微线段, 则取 δ_F / λ 作为进给速度的允许跳变量, λ 为坐标轴稳定系数, $\lambda \geq 5$;

如果所述运动平稳性约束条件不满足, 加速时, 将 ΔL_i 离散为 q_1 段, 或提高 ΔF_{i+1} ; 减速时, 将 ΔL_{i+1} 离散为 q_2 段, 或降低 ΔF_{i+1} ; 其中, $q_1 \leq d_{e,i}$, $q_2 \leq d_{e,i+1}$, $d_{e,i}$ 为 ΔL_i 的主动轴终点坐标, $d_{e,i+1}$ 为 ΔL_{i+1} 的主动轴终点坐标; 式中, ΔF_{i+1} 为 ΔL_{i+1} 的进给进度;

重复上述步骤, 直至 ΔL_m ;

(1-3-2) 基于调整后的进给速度与微线段, 依公式 $\Delta t_i = \Delta L_i / \Delta F_i$, 求得微线段 $\Delta L_1, \dots, \Delta L_n$ 的加工时间 $\Delta t_1, \dots, \Delta t_n$;

按照给定的数据格式, 生成刀路曲线的 T 分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$ 与 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$, 一般 $n \geq m$;

(2) 加工文件规划步骤

所述加工文件规划步骤包括:

(2-1) NC 信息库生成步骤

所述 NC 信息库生成模块按照给定的数据格式在存储空间构造所述刀路曲线的联动表与随动表, 生成所述 NC 信息库;

(2-2) 轨迹指令编辑步骤

根据加工工艺与联动坐标轴, 所述轨迹指令编辑模块将所述刀路曲线的联动表分为 p 段, 对应地编辑成 p 条轨迹指令; 每条轨迹指令具有相同的联动坐标轴;

(2-3) NC 信息库索引表生成步骤

对于每条轨迹指令, 所述 NC 信息库索引表生成模块生成所述 NC 信息库索引表; 所述 NC 信息库索引表对应地存储每条轨迹指令的联动表的首地址、随动表的首地址与末地址;

(2-4) NC 信息库索引生成步骤

对于每条轨迹指令, 所述 NC 信息库索引生成模块生成 NC 信息库索引; 所述 NC 信息库索引链接所述 NC 信息库索引表;

(2-5) 加工文件生成步骤

根据加工工艺, 加工文件生成模块在所述 p 条轨迹指令中, 插入开关指令、状态指令, 生成加工文件。

一种加工文件规划系统与加工文件的生成方法

技术领域

[0001] 本申请属先进制造领域,具体涉及计算机数字控制系统(Computer Numerical Control system, CNC 系统)中一种加工文件规划系统与加工文件的生成方法。

技术背景

[0002] 现有 CNC 系统的基本原理是,在一个插补周期中,对于不同的刀路曲线,例如,直线或圆弧,实时操作系统调用直线插补模块或圆弧插补模块,根据进给速度,采用直线插补算法或圆弧插补算法计算出相关坐标轴在插补周期中的进给量,发送给相关伺服驱动器,驱动相关坐标轴产生合成位移。跟随插补周期,如此周而复始,完成工件的加工。

[0003] 本申请将这种控制方法称之为插补迭代控制。

[0004] 插补周期固定不变,是现有 CNC 系统最重要的系统参数。中低速 CNC 系统的插补周期一般为 8ms、4ms、2ms。插补周期小于 0.1ms 成为高端 CNC 系统的标志。

[0005] 插补算法的运算时间和计算精度影响 CNC 系统的整体性能,特别是加工精度与加工速度,是现有 CNC 技术的核心。

[0006] 现有 CNC 系统采用 G 代码编写 NC 加工程序(简称 G 代码程序),G 代码程序成为 NC 编程的编程界面。

[0007] 上世纪 50 年代纸带/穿孔卡作为输入的基本物理介质时,为规范在纸带/穿孔卡上表示字符,制定了穿孔的编码标准,即 G 代码标准,包括 ISO6983(国际标准化组织标准代码),EIA-RS274(美国电子工业协会标准代码)。我国则于上世纪 80 年代初,根据 ISO 标准制定了 JB3050—82《数字控制机床用七单位编码字符》、JB3208—83《数字控制机床穿孔带程序段格式中的准备功能 G 和辅助功能 M 代码》等标准。

[0008] 在 NC 技术的初期,采用手工编写 G 代码程序。

[0009] 基于插补迭代控制,G 代码针对特定的曲线制定一些简单的插补指令。例如,G01 是直线插补指令,G02 是顺圆插补指令,G03 是逆圆插补指令等等。每种插补指令对应一个插补模块。CNC 系统识别并解释插补指令,调用相应的插补模块,在插补周期中实时插补 X 轴、Y 轴的进给量。

[0010] G 代码程序中指令繁多,且无法记忆。因而,G 代码程序的手工编程十分繁琐、费时、易出错、且难以检验。为此产生了以 APT 语言(Automatically Programmed Tools)为代表的 NC 编程系统。

[0011] 上世纪 90 年代,以 CAD/CAE/CAPP/CAM 为代表的自动编程系统取代 APT 成为主流。其中,狭义的 CAM 已成为 NC 编程的同义词。

[0012] 上述编程系统均基于 G 代码,并独立于 CNC 系统,成为 CNC 系统的标准配置,且价格不菲。

[0013] G 代码指令的核心是插补指令。例如,直线插补指令 G01、顺圆插补指令 G02、逆圆插补指令 G03 等基本插补指令,用于实时插补相关坐标轴在插补周期中的的进给量。对于一些特定的曲线,例如,抛物线、椭圆、NURBS 曲线等,采用扩张的 G 代码插补指令。

[0014] 基于插补迭代控制,对于不同的刀路曲线,例如,直线、顺圆、逆圆,现有 CNC 系统必须通过 G01、G02、G03 等插补指令调用相应的插补模块。由此可见,在现有 CNC 技术体系中,G 代码程序与插补迭代控制方法是相互依存的。

[0015] G 代码标准是信息技术起步阶段的原始产物,受纸带的限制不可避免地存在信息量过少的缺陷。各个厂商因而对 G 代码都进行了基本语义之外的扩张,所扩张的指令代码及格式也各不相同,导致 G 代码程序与相应硬件的依赖,G 代码程序在不同的数控系统之间不具有互换性。因而,上述编程系统只能基于标准 G 代码进行 NC 编程,通常称为前置处理。

[0016] G 代码程序与插补迭代控制相互依存,导致现有 CNC 技术产生了下述问题。

[0017] 1)、刀路曲线的生成

[0018] 插补迭代控制必须根据进给速度进行实时插补,这就将进给速度与刀路曲线的几何结构耦合在一起。

[0019] 插补计算首先必须保证当前插补点与前一插补点之间的微线段为刀路曲线的数字映像,即离散误差在给定的范围内;另一方面,插补计算出来的坐标轴进给量还必须满足进给速度及加减速等要求。这样一来,插补迭代控制方法将刀路曲线所涉及的时间、空间、工艺要求、机电系统的运动学/动力学特征等要素全部紧密耦合在一起。由于刀路曲线是插补计算的基础,这就导致刀路曲线的生成成为现有 CNC 技术中研究最为广泛深入的内容。

[0020] 2)、G 代码程序的后置处理

[0021] 由于 CNC 系统种类繁多,机床配置各不相同,对于不同的 CNC 系统,必须编写不同的后置处理程序,对编程系统生成的 G 代码程序进行后置处理,以适应特定的 CNC 系统。

[0022] 现有专用后置处理程序高达上千种之多,以致后置处理理论与技术成为现有 CNC 技术的重要内容。

[0023] 3)、进给速度前瞻控制 (Look ahead)

[0024] 根据离散误差,CAM 系统通常将刀路曲线分为若干微线段,并生成相应的 G 代码程序段。所谓进给速度前瞻控制,就是在插补运算之前,提前对若干 G 代码程序段进行加减速预处理,预处理的 G 代码往往多达 1000 ~ 5000 条。

[0025] 进给速度前瞻控制成为现有 CNC 的核心技术之一。

[0026] 4)、降低了加工速度与加工质量

[0027] 数字化就是离散化。连续运动经数字化后变成离散运动。就像电影、电视一样,“走走停停”是 CNC 控制的坐标轴离散运动的内禀属性。

[0028] 在 G 代码程序中,90 % 以上的指令为插补指令。对于每条插补指令都必须解释执行,这就导致坐标轴“停”的次数太多,“停”的时间太长。另一方面,CNC 系统必须处理与 G 代码程序相关的作业,例如 G 代码程序的解释与预处理等。这就耗费了大量的计算资源,影响了 CNC 系统的加工速度与加工质量。

[0029] 其次,对于直线(包括斜线)上的匀速段,原本可以用一条指令描述其加工过程。然而,直线插补算法必须将该直线离散为若干条称之为轮廓步长的微线段,需要用若干条直线插补指令描述其加工过程。由于工件轮廓曲线往往由大量直线(包括斜线)构成,这就进一步影响了 CNC 系统的加工速度与加工质量。

[0030] 5)、G 代码程序可读性差,不易使用与交换共享,无论是手工编程还是自动编程,其

编程与后置处理均是十分专业化的工作,需要专业的程序员。

[0031] 由此,G代码编程成为现有 CNC 技术领域中的专业技能,G代码程序员成为现有 CNC 技术领域中的必不可少的技术人员。作为专业人才,G代码程序员的薪资数倍于普通员工,提高了加工成本。

[0032] G 代码程序与插补迭代控制相结合,所产生的后果是,随着加工速度与加工精度的提高,联动坐标轴的增加与联动坐标轴之间的运动关系的复杂化,以及实时控制的工艺参数的增加,需要预处理的 G 代码程序越来越长,插补周期越来越短,而插补算法的速度难以提高,现有 CNC 系统必须配置多位高速 CPU 与相应的实时操作系统。例如,我国科技重大专项中的“高档数控机床与基础制造装备”便将插补周期为 128ns 的 64 位 CPU 与 64 位实时操作系统列为关键技术。

[0033] 对于刀路曲线的生成,即使坐标轴之间具有复杂的运动关系,任何复杂的数学计算都不是问题,难的是必须在极短的时间内,例如,在 0.1ms 内实时插补相关坐标轴的进给量。为了实现刀路曲线的高速高精度控制,现有 CNC 系统唯一的选择是,采用更高性能的硬件,从而大幅度提高插补速度,并有效地处理加减速问题。

[0034] 这样一来,64 位高速 CPU 及其实时操作系统、128 位高速 CPU 及其实时操作系统、256 位高速 CPU 及其实时操作系统,128ns 插补周期、64ns 插补周期,现有 CNC 技术体系就只能这样一直走下去。

发明内容

[0035] 为了更清楚地说明本申请的技术原理,进一步揭示 G 代码程序与插补迭代控制所存在的问题,将现有 CNC 系统与计算机系统进行了对比。

[0036] 事实上,计算机系统本身就是一个 CNC 系统。例如,一台 PC 机与一台打印机便构成一个 CNC 系统。

[0037] 打印机的坐标轴为 X 轴、Y 轴。文字由直线、曲线构成,其几何结构是确定性的。文字,例如汉字,事先被离散为 x/y 平面上的一个点阵,并固化在字库中。点阵在字库中的地址称为内码。汉字不同,其点阵、内码均不同。

[0038] 当打印机准备就绪后,向操作系统发出中断请求,操作系统响应中断,将 word 编辑的文件发送给打印机。打印一个汉字时,根据其内码,从字库中读取其点阵中各点的 x 坐标与 y 坐标,打印头打印该点阵,也就是该点阵所构成的汉字。

[0039] 从 CNC 的观点来看,打印机的 CNC 系统具有下述特点:

[0040] 1)、事先规划汉字的离散几何结构即点阵,并存储在字库中。

[0041] 2)、可以采用多种技术手段精细地规划汉字的点阵。

[0042] 3)、采用 word 编辑文件,对于汉字,用户无须编写与 G 代码程序相类似的打印程序。

[0043] 4)、在文件的编辑过程中完成辅助功能的控制,例如,换行、空格等。

[0044] 5)、无须配置实时操作系统,操作系统只是支持 word 编辑文件,以及响应打印机的中断请求,并不掌控文件的打印过程,特别是不参与汉字点阵的生成过程。

[0045] 6)、不受计算机分时周期的限制,打印速度大为提高。

[0046] 7)、为此付出的代价是,必须为字库配置大容量存储器,也就是以空间换时间。

[0047] 8)、一旦打印对象复杂化,其基本技术手段是,扩展存储空间,8G、16G、32G 等等。

[0048] 将打印头视为刀具,打印文件视为刀路曲线,各种汉字视为刀路曲线中的直线、圆弧等,打印文件的打印过程视为刀路曲线的加工过程。采用现有 CNC 系统作为打印机的控制系统,则具有下述特点:

[0049] 1)、由插补算法实时插补得到每个汉字的离散几何结构即点阵。

[0050] 2)、插补算法只是一种不超差的保守算法,不是最优算法,难以精细地规划汉字点阵。

[0051] 3)、针对汉字中的曲线,必须用相应的插补指令编写 G 代码打印程序。

[0052] 4)、对于辅助功能的控制,必须插入相应的功能指令。

[0053] 5)、必须配置实时操作系统,实时操作系统掌控文件的全部打印过程,特别是汉字点阵的生成过程。

[0054] 6)、受计算机插补周期的限制,打印速度必然降低。

[0055] 7)、其优点是,无须配置字库,节省存储空间。

[0056] 8)、一旦打印对象复杂化,其基本技术手段是,配置 32 位高速 CPU 及其实时操作系统、64 位高速 CPU 及其实时操作系统等等。

[0057] 通过上述对比,可得到下述结论:

[0058] 第一,计算机的本质有二。一是用最快速度做最简单的事,二进制算术运算与二进制逻辑运算无疑是最简单的运算。二是“存储信息控制”,不只是计算机的运行规则(即根据算法用编程语言编写的程序)被事先存储,相关的数据也被事先存储,根据算法确定的规则,计算机对相关的数据予以处理。文字(刀路曲线)的确定性离散几何结构只是一个事先规划问题,不需要实时插补。现有 CNC 系统采用插补迭代控制,在实时操作系统的掌控下,进行实时插补,完全违背了存储信息控制的基本原理。

[0059] 第二,文字的离散几何结构与进给速度无关。刀路曲线的离散几何结构也与进给速度无关。

[0060] 汉字(刀路曲线)纯粹是一个几何问题,这是一个基本事实。因而,汉字(刀路曲线)的离散几何结构是一个与进给速度无关的几何不变量。插补迭代控制将进给速度与汉字(刀路曲线)的几何结构耦合在一起,其技术原理落后于时代,是过时的。

[0061] 第三,在计算机系统中,时间的控制是最简单的。

[0062] 通过插补迭代控制,现有 CNC 系统将进给速度与汉字(刀路曲线)的几何结构耦合在一起,时间被插补周期锁定为系统参数,不再是自由变量。这就将最简单的问题高度复杂化,产生了进给速度前瞻控制等伪问题。

[0063] 第四,控制对象不同,实时控制过程也不同。现有 CNC 系统采用插补迭代控制,将实时操作系统的管理机制与应变机制当作一种普适的控制机制,完全违背了具体问题具体分析的基本原则,背上了实时操作系统这个沉重的包袱。

[0064] 为克服现有 CNC 系统所存在的上述缺陷,本申请遵循存储信息控制原理,采用数据流关联控制(Data-flow Related Control, DRC),提出一种加工文件规划系统与加工文件的生成方法,以解决五轴联动、并联机床中复杂刀路曲线的生成问题。

[0065] 本申请的技术方案如下。

[0066] 一种加工文件规划系统,用于控制联动坐标轴联动,包括硬件平台、软件平台和应

用软件系统,所述硬件平台为 PC 系统,所述软件平台为图形界面操作系统;其特征在于,所述应用软件系统包括 CADC 规划组件,NC 信息库组件,加工文件规划组件;

[0067] (1)、CADC 规划组件

[0068] 所述 CADC 规划组件包括离散坐标系生成模块、L 分割规划模块、T 分割规划模块;

[0069] (1-1) 所述离散坐标系生成模块用于按照给定的离散标度,用距离为所述离散标度的等距线将坐标平面网格化,在屏幕上建立离散坐标系;

[0070] (1-2) 根据加工方位,所述 L 分割规划模块用于在所述离散坐标系中规划刀路曲线的 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$;

[0071] (1-3) 根据加工工艺,所述 T 分割规划模块用于校核坐标轴的运动平稳性,规划所述刀路曲线的 T 分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$;

[0072] (2)NC 信息库

[0073] 所述 NC 信息库用于存储控制坐标轴联动的数字控制信息,所述数字控制信息包括所述刀路曲线的联动表与随动表;

[0074] 所述联动表用于存储所述 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$;所述 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$ 用于存储所述联动坐标轴的进给量,控制坐标轴联动以产生合成位移;

[0075] 所述随动表用于存储所述 T 分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$;所述 T 分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$ 用于存储所述进给量之间的时间间隔,控制所述合成位移的进给速度;

[0076] 所述 NC 信息库还包括所述刀路曲线的状态字,所述状态字用于指定所述联动坐标轴及其进给方向;

[0077] 所述 NC 信息库还包括 NC 信息库索引表,所述 NC 信息库索引表用于存储所述联动表的首地址、所述随动表的首地址与末地址;

[0078] (3)、加工文件规划组件

[0079] 所述加工文件规划组件包括 NC 信息库生成模块、轨迹指令编辑模块、NC 信息库索引表生成模块、NC 信息库索引生成模块、加工文件生成模块;

[0080] (3-1) 所述 NC 信息库生成模块用于按照给定的数据格式在存储空间构造所述刀路曲线的联动表与随动表,生成所述 NC 信息库;

[0081] (3-2) 根据加工工艺与联动坐标轴,所述轨迹指令编辑模块用于将所述刀路曲线的联动表分为 p 段,对应地编辑成 p 条轨迹指令;在每条轨迹指令中,联动坐标轴相同;

[0082] (3-3) 对于每条轨迹指令,所述 NC 信息库索引表生成模块用于生成 NC 信息库索引表;所述 NC 信息库索引表对应地存储每条轨迹指令的联动表的首地址、随动表的首地址与末地址;

[0083] (3-4) 对于每条轨迹指令,所述 NC 信息库索引生成模块用于生成 NC 信息库索引,所述 NC 信息库索引用于链接所述 NC 信息库索引表;

[0084] (3-5) 根据加工工艺,所述加工文件生成模块用于在 p 条轨迹指令中,插入开关指令、状态指令,生成加工文件;

[0085] 所述开关指令用于控制开关装置的开/关;

[0086] 所述状态指令用于控制加工过程的启动、结束、暂停,坐标系设定、原点返回。

[0087] 进一步地,所述加工文件规划系统,其特征还在于,所述联动坐标轴包括虚拟坐标轴,所述虚拟坐标轴为控制工艺参数的开关。

[0088] 进一步地,所述加工文件规划系统,其特征还在于,所述虚拟坐标轴的联动表相对于所述微线段的随动表向前移动 S 个控制节律;

[0089] $(\Delta t_{i-s}, \dots, +\Delta t_i) \approx \tau$,

[0090] 式中, τ 为所述工艺参数的响应时间。

[0091] 进一步地,所述加工文件规划系统,其特征还在于,包括显示校验模块;所述显示校验模块从所述 NC 信息库读取所述刀路曲线的联动表,向所述状态字指定的显示开关发送 L 指针指定的进给量,在所述离散坐标系中显示所述刀路曲线的生成过程,校验所述刀路曲线。

[0092] 进一步地,所述加工文件规划系统,其特征还在于,所述图形界面操作系统包括编程界面;所述编程界面包括 CANC 规划功能区、加工文件规划功能区;

[0093] 所述 CANC 规划功能区包括离散坐标系生成窗口、L 分割规划窗口、T 分割规划窗口;所述离散坐标系生成窗口链接所述离散坐标系生成模块、所述 L 分割规划窗口链接所述 L 分割规划模块、所述 T 分割规划窗口链接所述 T 分割规划模块;

[0094] 所述加工文件规划功能区包括 NC 信息库生成窗口,轨迹指令编辑窗口,NC 信息库索引表生成窗口,NC 信息库索引生成窗口、加工文件生成窗口;所述 NC 信息库生成窗口链接所述 NC 信息库生成模块,所述轨迹指令编辑窗口链接所述轨迹指令编辑模块,所述 NC 信息库索引表生成窗口链接所述 NC 信息库索引表生成模块,所述 NC 信息库索引生成窗口链接所述 NC 信息库索引生成模块,所述加工文件生成窗口链接所述加工文件生成模块。

[0095] 进一步地,所述加工文件规划系统,其特征还在于,采用触控方式操作所述编程界面中的所述各功能区与所述各窗口。

[0096] 一种基于所述编程界面的加工文件生成方法,其特征在于,包括下述步骤:

[0097] (1)CANC 规划步骤

[0098] 所述 CANC 规划步骤包括:

[0099] (1-1) 离散坐标系生成步骤

[0100] 所述离散坐标系生成模块按照给定的离散标度,用距离为所述离散标度的等距线将坐标平面网格化,在屏幕上建立离散坐标系;

[0101] (1-2)L 分割规划步骤

[0102] 根据加工方位,所述 L 分割规划模块在离散坐标系中规划所述刀路曲线的的 L 分割,包括下述步骤:

[0103] (1-2-1) 将所述刀路曲线中的直线划分为加速段/减速段、匀速段;

[0104] (1-2-2) 对于所述刀路曲线中的圆弧,在所述离散坐标系中生成所述圆弧,从所述圆弧的起点开始,沿允许运动方向进给一个离散标度,分别到达两个不同的格点,计算并比较这两个格点与所述圆弧的距离,选择散误差最小的格点;重复上述步骤,直至所述圆弧的终点;生成所述圆弧的微观数字映像;

[0105] 按照所述圆弧的联动轴数据流的分布周期,将所述圆弧的微观数字映像转换为若干条微线段;

[0106] (1-2-3) 按照给定的数据格式,所述刀路曲线中的所有直线的加速段/减速段、匀速段,所有圆弧的微线段生成刀路曲线的 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, m)$;

[0107] (1-3)T 分割规划步骤

[0108] 根据加工工艺,所述 T 分割规划模块校核坐标轴的运动平稳性,规划所述刀路曲线的的 T 分割,包括下述步骤:

[0109] (1-3)T 分割规划步骤

[0110] 根据加工工艺,所述 T 分割规划模块校核坐标轴的运动平稳性,规划所述刀路曲线的的 T 分割,包括下述步骤:

[0111] (1-3-1) 对于所述刀路曲线的 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, m)$,校核运动平稳性约束条件:

[0112] $|\Delta F_{i+1,d} - \Delta F_{i,d}| \leq \delta_F (i = 1, \dots, m)$;

[0113] 式中, $\Delta F_{i,d}$ 为 ΔL_i 的主动轴 D 的进给进度, $\Delta F_{i+1,d}$ 为 ΔL_{i+1} 的主动轴 D 的进给进度; δ_F 为坐标轴进给速度的允许跳变量,由加工工艺指定,对于圆弧的微线段,则取 δ_F/λ 作为进给速度的允许跳变量, λ 为坐标轴稳定系数, $\lambda \geq 5$;

[0114] 如果所述运动平稳性约束条件不满足,加速时,将 ΔL_i 离散为 q_1 段,或提高 ΔF_{i+1} ;减速时,将 ΔL_{i+1} 离散为 q_2 段,或降低 ΔF_{i+1} ;其中, $q_1 \leq d_{e,i}$, $q_2 \leq d_{e,i+1}$, $d_{e,i}$ 为 ΔL_i 的主动轴终点坐标, $d_{e,i+1}$ 为 ΔL_{i+1} 的主动轴终点坐标;式中, ΔF_{i+1} 为 ΔL_{i+1} 的进给进度;

[0115] 重复上述步骤,直至 ΔL_m ;

[0116] (1-3-2) 基于调整后的进给速度与微线段,依公式 $\Delta t_i = \Delta L_i / \Delta F_i$,求得微线段 $\Delta L_1, \dots, \Delta L_n$ 的加工时间 $\Delta t_1, \dots, \Delta t_n$;

[0117] 按照给定的数据格式,生成刀路曲线的 T 分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$ 与 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$,一般 $n \geq m$;

[0118] (2) 加工文件规划步骤

[0119] 所述加工文件规划步骤包括:

[0120] (2-1)NC 信息库生成步骤

[0121] 所述 NC 信息库生成模块按照给定的数据格式在存储空间构造所述刀路曲线的联动表与随动表,生成所述 NC 信息库;

[0122] (2-2) 轨迹指令编辑步骤

[0123] 根据加工工艺与联动坐标轴,所述轨迹指令编辑模块将所述刀路曲线的联动表分为 p 段,对应地编辑成 p 条轨迹指令;每条轨迹指令具有相同的联动坐标轴;

[0124] (2-3)NC 信息库索引表生成步骤

[0125] 对于每条轨迹指令,所述 NC 信息库索引表生成模块生成所述 NC 信息库索引表;所述 NC 信息库索引表对应地存储每条轨迹指令的联动表的首地址、随动表的首地址与末地址;

[0126] (2-4)NC 信息库索引生成步骤

[0127] 对于每条轨迹指令,所述 NC 信息库索引生成模块生成 NC 信息库索引;所述 NC 信息库索引链接所述 NC 信息库索引表;

[0128] (2-5) 加工文件生成步骤

[0129] 根据加工工艺,加工文件生成模块在所述 p 条轨迹指令中,插入开关指令、状态指令,生成加工文件。

[0130] 本申请与现有技术对比所具有的有益效果是:

[0131] 1、计算机系统的一个基本问题是,协调计算速度与存储空间之间的关系,时间换

空间与空间换时间则是处理这个问题的两种最基本的技术手段。所谓时间换空间就是降低速度以节省存储空间。所谓空间换时间就是增加存储空间以提高速度。

[0132] 80年代以前,计算机硬件是昂贵的。30余年过去了,微处理器、大容量存储器极为便宜、其价格已低至可忽略不计。

[0133] 现有 CNC 技术未追随计算机技术的发展而发展,仍然沿用 40 年前的观念,为节省存储空间,以时间换空间,将时间锁定为系统参数,插补算法的运算时间和计算精度成为现有 CNC 系统的核心。这就导致多轴联动与并联机构中复杂运动关系的插补算法、进给速度前瞻控制、64 位 CPU 与 64 位实时操作系统等均成为现有 CNC 技术中的关键技术。

[0134] 无论是多轴联动与并联机构中的复杂运动关系,还是工艺参数的实时控制,都是常规的数学计算问题,难的是必须在极短的时间内完成高精度的数学计算。对于多轴联动与并联机床,现有 CNC 系统的所有技术瓶颈实质上都源于此。

[0135] 插补迭代控制与 G 代码程序相结合,所产生的后果是,将刀路曲线所涉及的时间、空间、工艺要求、机电系统的运动学 / 动力学特征等要素全部紧密耦合在一起。这就导致刀路曲线的生成成为现有 CNC 技术中研究最为广泛深入的问题。

[0136] 刀路曲线纯粹是一个几何问题,这是一个基本事实。换言之,进给速度与刀路曲线的几何结构是相互独立的。在进给中,联动坐标轴的进给量只取决于刀路曲线的几何结构与加工精度。因而,刀路曲线的生成问题与 G 代码程序无关,与插补迭代控制无任何本质联系;相邻进给速度之间的跳变量也与 G 代码程序无关,与插补迭代控制无任何本质联系。二者都是规划问题。

[0137] 本申请以空间换时间,将刀路曲线的生成转化为 NC 信息库的生成,针对坐标轴进给速度跳变量的周期性剧烈变化,引入坐标轴稳定系数,解决了解决了刀路曲线的生成问题。

[0138] 本申请可采用种种技术手段对 NC 信息库进行高精度规划,以提高加工精度与坐标轴的运动平稳性。NC 信息库的结构简单,处理速度快,占用的存储空间小。

[0139] 2、本申请通过 CANS 规划,构造刀路曲线的 NC 信息库,并进一步构造 NC 信息库索引表与 NC 信息库索引,从而将编写 NC 程序转化为生成加工文件,编程界面设置在 CNC 系统的人机界面,采用触控方式操作,只须点击滑动,便可完成加工文件的生成与编辑。

[0140] 加工文件的生成类似 word 文档的编辑,其生成过程全程可视化,控制信息透明、开放。

[0141] 本申请用加工文件取代了通常的 G 代码程序,取消了 G 代码编程,编写加工程序犹如使用 word 编写短信,“开数控就像玩手机,编程就像发信息”,实现了“每个人都会编程”的大众化目标,显著降低了 CNC 技术的准入门槛。

[0142] 3、现有编程系统基于 G 代码,并独立于 CNC 系统,成为 CNC 系统的标准配置,且价格不菲。

[0143] 本申请将 CNC 系统与编程系统融为一体,不需要配置专业的编程系统,显著降低了 CNC 加工的成本。

[0144] 4、G 代码标准是信息技术起步阶段的原始产物,各个厂商因而对 G 代码都进行了基本语义之外的扩张,所扩张的指令代码及格式也各不相同,导致 G 代码程序与相应硬件的依赖,G 代码程序在不同的数控系统之间不具有互换性。

[0145] G 代码程序的这一缺陷导致各种专用后置处理程序高达上千种之多,以至在现有 CNC 技术体系中,后置处理理论与技术竟成为现有 CNC 技术的重要内容,耗费了大量的资源。

[0146] 在本申请中,不存在加工文件的后置处理问题,显著提高了加工文件的通用性。

[0147] 5、G 代码程序的编制是十分个性化的工作,导致现有编程技术为封闭的个体式编程,无论是前置处理还是后置处理,都需要专业的编程人员,其费用大约为普工的 3 倍。

[0148] 本申请不需要配置专业的编程人员,将前置处理与后置处理融为一体,“每个人都会编程”,显著降低了 CNC 加工的成本。

[0149] 6、本申请将时间还原为自由变量。在刀路曲线的实时控制过程中,实时内核以最快的速度向相关伺服驱动器输出离散进给信息,“停”的时间最短;另一方面,本申请取消了 G 代码程序,没有与 G 代码程序相关的作业,例如 G 代码程序的解释与预处理等。因而,本申请显著提高了加工速度。

[0150] 7、进给速度前瞻控制是现有 CNC 的核心技术之一。在本申请中,不存在进给速度前瞻控制,加减速问题成为 T 分割规划的特例,并可采用种种技术手段对刀路曲线进行精细的 T 分割规划。

[0151] 特别是,加工圆弧时,现有 CNC 技术未区分圆弧特有的几何特征,未考虑坐标轴进给速度跳变量的周期性剧烈变化,也未考虑主动轴与联动轴的运动平稳性的巨大差异,对于联动轴,没有坐标轴稳定系数的概念。本申请对联动坐标轴的离散进给信息与运动平稳性进行高精度规划,消除了圆弧的非欧误差,设置坐标轴稳定系数 λ ,显著提高了坐标轴的运动平稳性与圆弧的加工质量。

[0152] 8、对于刀路曲线上的不同曲线段,例如,一条直线或一段圆弧,现有 CNC 系统在 G 代码程序中使用扩张指令来设置工艺参数,未能实现了工艺参数的实时控制。

[0153] 本申请将控制工艺参数的开关视为虚拟坐标轴,将需要实时控制的工艺参数视为该虚拟坐标轴的坐标值,从而将工艺参数的实时控制与坐标轴联动统一起来,实施多轴多参数的实时联动控制。

[0154] 本申请实现了工艺参数的实时控制,并对工艺参数进行精细的实时控制,提高了加工精度与表面质量,特别是,为提高拐角加工的加工精度与表面质量提供了有力的技术手段。

附图说明

[0155] 图 1 为离散坐标系中圆弧的 L 分割规划示意图;

[0156] 图 2 为一种增量型 CNC 系统的体系结构示意图;

[0157] 图 3 为一种编程界面的结构示意图;

[0158] 图 4 为一种加工文件生成方法的流程图;

[0159] 图 5 为一种刀路曲线实时控制方法的流程图;

[0160] 图 6 为图 5 中子程序的流程图。

具体实施方式

[0161] 本申请以五轴联动与并联机床 (Parallel Kinematic Machine, PKM) 作为具体实

施例,详细说明本申请的技术方案。

[0162] 在技术背景中,本申请已指出,刀路曲线的生成是现有 CNC 系统中研究最为广泛深入的内容。本申请还指出,对于机构中的复杂运动关系生成刀路曲线,再复杂的数学计算都不是问题,难的是必须在极短的时间内实时插补相关坐标轴的进给量。对于五轴联动与并联机床,现有 CNC 系统的所有技术瓶颈实质上都源于此。

[0163] 五轴联动数控机床的坐标轴包括三个平动轴和两个转动轴,并且五个运动轴是可以联动的。其中三个平动轴是 X、Y、Z 三轴,两个旋转轴是绕 X、Y、Z 轴旋转的 A、B、C 轴中的任意两个。

[0164] 对于 X、Y、Z、A、B 五轴联动来说,现有 CNC 技术面临的问题是,由于刀具沿刀路曲线移动时,不断地改变方向,加上旋转运动的非线性,导致刀具相对于工件的运动极为复杂,必须在一个插补周期内实时进行加减速预处理、复杂曲线(NURBS 曲线)的插补、刀具长度的补偿,涉及求解常微分方程,进行旋转坐标变换等复杂的实时计算。

[0165] 并联机床属于新结构机床,其主要特征在于采用了不同于传统机床的并联机构。它的出现,曾被誉为“机床结构的重大革命”。传统的串联机床的数学简单而机构复杂,并联机床的机构简单而数学复杂。

[0166] 并联机床的机构类型繁多,其典型代表是 Stewart 平台。通过改变 6 根驱动杆(实轴)的杆长来实现刀具沿 X、Y、Z、A、B、C 轴(虚轴)的运动。因此,在并联机床 CNC 技术的研究和 CNC 系统的开发中,最关键的问题是如何控制 6 根驱动杆来实现刀具的合成运动,以得到所要求的刀路曲线。特别是,在虚轴空间中两离散点间的匀速直线运动,在实轴空间中表现为相应两离散点间的复杂曲线的变速运动。

[0167] 并联机床与传统机床的本质区别在于动平台在笛卡尔空间中的运动是关节空间伺服运动的非线性映射(虚实映射)。与传统机床不同,对于并联机床,由于存在虚实映射,刀具相对于工件的运动极为复杂,在一个插补周期内 CNC 系统需要进行位姿正解与反解、虚实转换、奇异位型检验、非线性误差校正等大量的极为复杂的实时计算,并联机床因之称为“用数学制造的机床”。

[0168] 目前看来,并联机构中运动关系的复杂性所需要的极为复杂的数学计算似乎已超过插补迭代控制的能力,这是现有 CNC 系统未能使并联机床实现高速高精度加工的主要原因之一。

[0169] 若干定义

[0170] 数字化就是离散化。任何曲线只存在两种数字映像,即微观数字映像与增量型数字映像,相应地,相关坐标轴只能进给一个离散当量或若干个离散当量。前者的坐标轴离散进给信息为“0”“1”形态的步进脉冲,其 CNC 系统称之为步进型 CNC 系统,后者的坐标轴离散进给信息为坐标值增量,其 CNC 系统称之为增量型 CNC 系统。

[0171] 预先设定的离散误差称为离散标度,记为 e 。以离散标度将坐标轴离散,相互之间的距离为离散标度的平行线将坐标平面网格化。由此建立的坐标系称之为离散坐标系。

[0172] 离散标度 e_x 、 \dots 、 e_y 是离散坐标系的系统参数。每个坐标轴的离散标度可以不同。

[0173] 坐标轴的运动方向相互垂直的离散坐标系称之为离散坐标系,如图 1 所示的正交直角离散坐标系。

[0174] 图 1 中,距离为离散误差的平行线将坐标平面网格化。彼此平行的等距线之交点

称为格点,如图 1 中的 a、b、c、d 等格点。

[0175] 只有格点才是坐标轴的离散运动实际到达的位置。

[0176] 曲线上的点称为原像,如图 1 中的 m 点。

[0177] 一个格点,如果与曲线上的某个原像的距离小于或等于离散误差,则称为该原像的数字映像,简称为映像,如图 1 中的格点 b、c、d。

[0178] 曲线的全部映像构成一个集合,称之为该曲线的映像集。例如,对于直线 OA, e 为离散标度,与直线 OA 距离为 e 的两条平行线构成直线 OA 的数字映像的边界,边界上与边界内的全部格点就是该圆的映像集。

[0179] 在给定的离散坐标系中,曲线的映像集及其在离散坐标系中的分布完全取决于该曲线的几何结构。

[0180] 显然,对于曲线上的一个原像,存在多个映像;反之,对于一个映像,在该曲线上则存在多个原像。

[0181] 在 CNC 系统中,通过坐标轴联动合成刀路直线,坐标轴的运动方向是受约束的。例如,对于 x/y 坐标工作台,运动方向为 $\pm x$ 方向、 $\pm y$ 方向、以及 X 轴和 Y 轴联动所形成的 $+x/+y$ 、 $+x/-y$ 、 $-x/+y$ 、 $-x/-y$ 四个方向。这 8 个运动方向称之为机械系统的允许运动方向。

[0182] 刀路直线的加工过程是刀具中心相对于工件的运动过程,存在逆时针与顺时针两种运动方向。这种方向性称之为加工方位。例如,对于第 1 象限的逆时针圆弧,加工方位为西北方位。

[0183] 加工方位约束了坐标轴的运动方向。例如,当加工方位为西北方位时,只有 $-x$ 方向、 $+y$ 方向与 $-x/+y$ 方向是允许运动方向,其他方向为排斥运动方向。

[0184] 对于坐标轴来说,所需要的进给量是一种时间与加工方位支配下的离散进给信息的状态流,称之为关联数据流。

[0185] 工件轮廓曲线一般由直线(包括斜线),圆弧,非圆曲线构成。

[0186] 刀具具有一定的半径。对于工件轮廓曲线进行刀具半径补偿后,得到刀路曲线(Tool Path),即刀具中心的运动轨迹。

[0187] 一、刀路曲线的生成

[0188] 80 年代以前,计算机硬件是昂贵的。30 余年过去了,大容量存储器极为便宜、其价格已低至可忽略不计。制约 CNC 发展的物质条件发生了如此翻天覆地的变化,制造业对 CNC 提出了更高的要求,现有 CNC 的原理与方法必须适应这一变化,以满足制造业对 CNC 提出的高速高精度的要求。

[0189] 刀路曲线纯粹是一个几何问题,这是一个基本事实。换言之,进给速度与刀路曲线的几何结构是相互独立的。在进给中,联动坐标轴的进给量只取决于刀路曲线的几何结构与加工精度。因而,刀路曲线的生成问题与 G 代码程序无关,更与插补迭代控制无任何本质联系。相邻进给速度之间的跳变量也与 G 代码程序无关,与插补迭代控制与无任何本质联系。二者都是规划问题。

[0190] 因而,刀路曲线生成的基本问题是,对于加工工艺所要求的离散误差与进给速度,如何规划刀路曲线中相关坐标轴的进给量,使得相邻进给量之间进给速度的跳变量满足运动平稳性的要求。

[0191] 设离散标度为 e,刀路曲线为 x、y、z、a、b 等 5 个变量的函数。将时间 T 离散为 n 个

区间： $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$ ；根据离散标度，将刀路曲线离散为 n 条微线段 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$ 。

[0192] 在区间 Δt_i ，加工微线段 ΔL_i ，相应地， X 、 Y 、 Z 、 A 、 B 等 5 轴进给 Δx_i 、 Δy_i 、 Δz_i 、 Δa_i 、 Δb_i ；由此得到表 1 所示的五轴联动的增量型关联数据流。

[0193] 表 1

[0194]

Δt_1	Δt_2	...	Δt_i	...	Δt_n
Δx_1	Δx_2	...	Δx_i	...	Δx_n
Δy_1	Δy_2	...	Δy_i	...	Δy_n
Δz_1	Δz_2	...	Δz_i	...	Δz_n
Δa_1	Δa_2	...	Δa_i	...	Δa_n
Δb_1	Δb_2	...	Δb_i	...	Δb_n

[0195] $\Delta t_1, \dots, \Delta t_n$ 之总和称之为刀路曲线的 T 分割，记为 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$ 。

[0196] $\Delta L_1, \dots, \Delta L_n$ 之总和称之为刀路曲线的 L 分割，记为 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$ 。

[0197] 微线段 $\Delta L_i (\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i, \Delta a_i, \Delta b_i)$ 称之为增量型关联数据流的状态。

[0198] $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i, \Delta a_i, \Delta b_i$ 为 X 、 Y 、 Z 、 A 、 B 轴在 n 个时间区间内 ($\Delta t_1, \dots, \Delta t_n$) 的进给量，微线段 $\Delta L_1, \dots, \Delta L_n$ 则是 X 、 Y 、 Z 、 A 、 B 轴在 n 个时间区间内所合成的位移。因而，刀路曲线的增量型关联数据流就是按照 T 分割的顺序生成的微线段的状态流。

[0199] 对于 Stewart 平台结构的并联机床，相应地，刀路曲线为 6 根驱动杆的杆长 $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6$ 等 6 个变量的函数。通过位姿正解与反解、虚实转换、奇异位型检验、非线性误差校正等大量的极为复杂的计算，可得到 6 根驱动杆在 n 个时间区间内的杆长增量 $\Delta l_{1,i}, \Delta l_{2,i}, \Delta l_{3,i}, \Delta l_{4,i}, \Delta l_{5,i}, \Delta l_{6,i}$ ，以及 6 根驱动杆所合成的位移 $\Delta l_1, \dots, \Delta l_n$ 。

[0200] 刀路曲线是坐标轴联动时的合成位移。位移的合成一方面要求坐标轴必须联动，另一方面要求以一定的进给速度实现位移的合成。位移的合成与位移合成的速度是性质不同的两个问题。位移的合成取决于刀路曲线的 L 分割，涉及刀路曲线的几何结构；位移合成的速度取决于刀路曲线的 T 分割即 Δt_i 的长短，涉及进给速度 F 。

[0201] L 分割用于描述坐标轴的离散位置信息及其联动性，以产生所要求的合成位移。 T 分割用于描述所述合成位移之间的随动性，控制所述合成位移之间的时间间隔，也就是进给速度。

[0202] 在基于 IEEE 定义的现有 CNC 系统中， T 分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$ 为实时操作系统的分时周期，是等长的，称之为插补周期，记之为 T_i 。在数据流关联控制中， T 分割中的 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$ 不是等长的。

[0203] 有别于插补周期 T_i ， Δt_i 称之为控制节律，记之为 $\Delta t_1, \dots, \Delta t_n$ 。

[0204] 从表 1 中可清楚地看出，数字控制信息包括两部分。

[0205] 第一部分是坐标轴的离散位置信息及其联动性，即 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$ ：在 Δt_i 内， X 、 Y 、 Z 、 A 、 B 轴联动，产生所要求的合成位移。

[0206] 按给定的数据格式， L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$ 在存储空间生成的数字映像称之为刀路曲线的的联动表。

[0207] 第二部分是合成位移之间的随动性，也就是合成位移之间的时间间隔，即 T 分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$ 。

[0208] 按给定的数据格式， T 分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$ 在存储空间生成的数字映像称之为

刀路曲线的的随动表。

[0209] 数字控制的基本问题就是生成关联数据流,即生成刀路曲线的的联动表与随动表。由于联动表与随动表的生成过程不是实时的,与操作系统的实时性无关。因而,刀路曲线的的 L 分割与 T 分割的生成过程是计算机辅助下的规划过程,称之为计算机辅助数字控制 (Computer Aided Numerical Control, CANC),简称 CANC 规划。

[0210] CANC 规划的第一个基本问题是,对于给定的离散误差 ϵ 与优化目标,规划刀路曲线的的 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$,控制相关坐标轴在 Δt_i 期间产生相应的坐标值增量,通过坐标轴联动产生所要求的合成位移。简单地说,就是规划 L 分割,生成刀路曲线的的联动表。

[0211] CANC 规划的第二个基本问题是,根据用户指定的进给速度,控制相关坐标轴在 Δt_i 期间的进给速度 (生产率),使得相邻 ΔL_i 之间进给速度的跳变量满足运动平稳性的要求,从而确定 T 分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$ 。简单地说,就是规划 T 分割,生成刀路曲线的的随动表。

[0212] 刀路曲线纯粹是一个几何问题。因而,刀路曲线的 L 分割与 T 分割之间不存在耦合关系。L 分割决定刀路曲线的几何特征;T 分割决定加工质量与加工效率,与 L 分割无关。

[0213] 刀路曲线的 L 分割确定之后,进给速度 F 只是一个效率问题,只决定于加工工艺所要求的生产率以及轴的运动平稳性,与工艺师所制定的加工工艺和机电系统的运动学 / 动力学特征有关,与 ΔL_i 无关。

[0214] L 分割是刀路曲线的几何不变量。因而,不需要实时插补,许多离散算法均可用来获得刀路曲线的 L 分割。

[0215] 发明专利 ZL 2010 1 0536800.7 提出了一种计算机辅助数字控制系统与方法,用于规划刀路曲线的 L 分割与 T 分割。本申请进一步予以改进。

[0216] 按离散标度将曲线离散为映像的一个序列。如果映像之间的坐标值增量为一个离散标度,即只能等于“1”或“0”,该数字映像序列称为曲线的微观数字映像。

[0217] 曲线的微观数字映像描述了该曲线的精细微观结构。

[0218] 在微观数字映像中,必有一个轴的微观数字映像全为“1”,称之为主动轴,“1”的个数等于主动轴的终点坐标值;其他坐标轴不全为“1”,称之为联动轴,“1”的个数等于联动轴的终点坐标值。

[0219] 1、L 分割规划

[0220] 1)、直线的 L 分割规划

[0221] 在现有 CNC 技术中,由于存在插补周期,直线插补模块必须根据进给速度,按照轮廓步长将直线 (包括斜线,以下同) 离散为若干线段。

[0222] 在本申请中,直线无须离散,只须进行加减速规划,即直线简单地划分为加速段 / 减速段、匀速段,从而将直线的 L 分割规划转化为 CNC 技术领域的普通技术人员所熟知的常规技术。

[0223] 2)、圆弧的 L 分割规划

[0224] 圆弧是刀路曲线中的基本曲线,非圆曲线只限于某些特殊零件。

[0225] 对于刀路曲线中的非圆曲线,以离散标度为逼近误差,先用一族密切圆逼近,从而转化为一族圆弧。因而,非圆曲线的 L 分割规划转化为圆弧的 L 分割规划。

[0243] 2、T 分割规划

[0244] 需要指出的是,加工工艺指定的进给速度是指刀路曲线中的某直线、或某圆弧的加工速度而言,并非是轴的进给速度。其次,加工工艺指定的进给速度无须精确控制,只须保持在一定范围内。

[0245] T 分割规划取决于轴的加减速控制。

[0246] 在现有 CNC 技术中,必须根据加减速要求先将直线划分为加速段 / 减速段、匀速段,插补算法再按照轮廓步长进一步将加速段 / 减速段、匀速段予以离散。在本申请中,按照加减速要求将直线划分为加速段 / 减速段、匀速段后,匀速段无须离散,只须对加速段 / 减速段进行加减速规划。

[0247] 直线的加速段 / 减速段、匀速段的划分属常规技术。

[0248] 因而,在实质上,加减速规划只是针对圆弧的微线段。

[0249] 不失一般性,可以认为,根据加工工艺指定的进给速度,对于微线段 $\Delta L_1, \dots, \Delta L_m$, 其进给速度为 $\Delta F_1, \dots, \Delta F_m$ 。通过简单计算,可得到 X 轴、Y 轴的进给速度为 $\Delta F_{1,x}, \dots, \Delta F_{m,x}, \Delta F_{1,y}, \dots, \Delta F_{m,y}$ 。

[0250] 所谓 T 分割规划就是,对于刀路曲线的微线段 $\Delta L_1, \dots, \Delta L_m$, 如何规划 T 分割,使坐标轴的进给速度之间的跳变量满足运动平稳性约束条件:

$$[0251] \quad |\Delta F_{i+1,x} - \Delta F_{i,x}| \leq \delta_F,$$

$$[0252] \quad |\Delta F_{i+1,y} - \Delta F_{i,y}| \leq \delta_F;$$

[0253] 式中, δ_F 为 X 轴、Y 轴的进给速度的允许跳变量,取决于轴的动力学特征,如加速度等,由加工工艺确定。

[0254] 由于主动轴数据流为连续的“1”,只须校核主动轴的运动平稳性即可。以 D 表示主动轴,则运动平稳性约束条件为:

$$[0255] \quad |\Delta F_{i+1,d} - \Delta F_{i,d}| \leq \delta_F。$$

[0256] δ_F 是对轴而言,并未区分刀路曲线的几何特征。因而, δ_F 仅适用于加工直线。

[0257] 加工圆弧时,联动轴的进给速度跳变量与主动轴的进给速度跳变量相差很大。

[0258] 以第 1 象限第 1 区间中的逆圆逆圆 $O_{s,e}$ 为例说明之。

[0259] 逆圆 $O_{s,e}$ 的半径为 r ; 起点 S 在 X 轴上,坐标为 $(r, 0)$; 终点 E 为特征点,坐标为 $(r/\sqrt{2}, r/\sqrt{2})$ 。X 轴为联动轴, Y 轴为主动轴。从起点到特征点,联动轴 X 的进给量从 0 逐渐增加,其总进给量为 $0.3r$, 进给速度从 0 逐渐加速到 $F/\sqrt{2}$, 其进给速度的总改变量大致为 $0.7F$ 。主动轴 Y 的进给量则从最大逐渐减小,其总进给量为 $0.7r$, 其进给速度的总改变量大致为 $0.3F$ 。接近特征点时,二者的进给速度相等,为 $F/\sqrt{2}$ 。主动轴 Y 的总进给量大致是联动轴 X 的总进给量的 2.3 倍,联动轴 X 进给速度的总改变量大致是主动轴 Y 进给速度的总改变量的 2.3 倍。联动轴 X 的进给速度跳变量远高于主动轴 Y 的进给速度跳变量。

[0260] 同理,对于第 1 象限第 2 区间中的逆圆,其起点为特征点 $(r/\sqrt{2}, r/\sqrt{2})$, 终点在 Y 轴上,坐标为 $(0, r)$ 。X 轴为主动轴, Y 轴为联动轴。主动轴 X 的进给速度从 $0.7F$ 逐渐加速到 F , 联动轴 Y 的进给速度则从 $0.7F$ 逐渐减速到 0。联动轴 Y 的进给速度跳变量远高于主动轴 X 的进给速度跳变量。

[0261] 一个区间中的圆弧,其主动轴数据流为 $\|r/\sqrt{2}\|$ 个“1”, $\|r/\sqrt{2}\|$ 表示小于 $r/\sqrt{2}$ 的

最大整数。

[0262] 令 $k = (\|r/\sqrt{2}\|)$, 显然, 主动轴与联动轴的进给速度必然发生 k 次跳变。联动轴进给速度跳变量的平均值为 $F\sqrt{2}/k$, 主动轴进给速度跳变量的平均值为 $(F - F/\sqrt{2})/k$, 主动轴进给速度跳变量的平均值与联动轴进给速度跳变量的平均值之差约为 $1.1F/k$ 。

[0263] 因而, 坐标轴进给速度的跳变次数 k 与 r 成正比, 跳变量的平均值之差与 F 成正比, 与 r 成反比。这就意味着, 加工圆弧时, 进给速度 F 越高, 半径 r 越小, 联动轴的进给速度的跳变次数则越多, 其进给速度的跳变量与主动轴相差越大, 运动平稳性越恶劣, 导致小半径圆弧的加工质量显著下降。

[0264] 对于逆圆, 在 8 个区间内, 其 X 轴、Y 轴的主动 / 联动属性与进给速度跳变量如表 2、表 3 所示。

[0265] 表 2 X 轴的主动 / 联动属性与进给速度跳变量

[0266]

	区间 1	区间 2	区间 3	区间 4	区间 5	区间 6	区间 7	区间 8
主动/联动	联动轴	主动轴	联动轴	主动轴	联动轴	主动轴	联动轴	主动轴
F 跳变量	大	小	大	小	大	小	大	小

[0267] 表 3 Y 轴的主动 / 联动属性与进给速度跳变量

[0268]

	区间 1	区间 2	区间 3	区间 4	区间 5	区间 6	区间 7	区间 8
主动/联动	主动轴	联动轴	主动轴	联动轴	主动轴	联动轴	主动轴	联动轴
F 跳变量	小	大	小	大	小	大	小	大

[0269] 对于顺圆, 可得到与表 2、表 3 类似的结论。

[0270] 由此可见, 在圆弧的加工过程中, 每当过区间与过象限时, X 轴、Y 轴交替改变主动 / 联动属性, 其进给速度的跳变量随之周期性地发生剧烈变化。

[0271] 对于给定的半径 r , 因跳变次数 k 不变, 为提高运动平稳性, 只能降低进给速度 F 。

[0272] 另一方面, 主动轴进给速度跳变量的平均值与联动轴进给速度跳变量的平均值之比为 $(2/(\sqrt{2}-1))$ 倍, 接近 5 倍之多。

[0273] 令 $2/(\sqrt{2}-1) = \lambda$, λ 称之为坐标轴的运动平稳性稳定系数, 简称坐标轴稳定系数。

[0274] 注意到, λ 与 F 、 r 无关, 是加工圆弧时坐标轴离散运动的内禀属性。因而, 加工圆弧时, 必须修正主动轴的 δ_F 。

[0275] 以 δ_F/λ 作为主动轴进给速度的允许跳变量。只有主动轴的进给速度跳变量 $\leq \delta_F/\lambda$, 才能保证联动轴的进给速度跳变量 $\leq \delta_F$ 。

[0276] 一般来说, 取 $\lambda \geq 5$ 。根据工件材质、加工质量等工艺因素 λ 可适当提高。

[0277] 加工圆弧时, 主动轴 D 的运动平稳性约束条件为:

[0278] $|\Delta F_{i+1,d} - \Delta F_{i,d}| \leq \delta_F/\lambda$,

[0279] 式中, $\lambda \geq 5$, $F_{i,d}$ 为 ΔL_i 的主动轴 D 的进给进度, $F_{i+1,d}$ 为 ΔL_{i+1} 的主动轴 D 的进

给进度。

[0280] 因而,对于微线段 $\Delta L_1, \dots, \Delta L_m$,应标识其宏观几何特征,即 L_i 是否为圆弧的微线段。

[0281] 注意到,如果微线段 ΔL_i 是直线的加速段/减速段、匀速段,其加减速规划属常规技术。

[0282] 对于圆弧,其微线段是不能合并的,只能进一步离散为若干较短的微线段。

[0283] 其次,微线段最多只能离散为 d_e 段, d_e 为该微线段的主动轴终点坐标。

[0284] 因而,如果 $|\Delta F_{i+1,d} - \Delta F_{i,d}| \leq \delta_F$ 不成立,必须增加进给速度的跳变次数,以及调整进给速度;加速时,可将 ΔL_i 离散为 q_1 段,或提高 ΔF_{i+1} ;减速时,可将 ΔL_{i+1} 离散为 q_2 段,或降低 ΔF_{i+1} ;其中, $q_1 \leq d_{e,i}$, $q_2 \leq d_{e,i+1}$, $d_{e,i}$ 为 ΔL_i 的主动轴终点坐标, $d_{e,i+1}$ 为 ΔL_{i+1} 的主动轴终点坐标;

[0285] 重复上述步骤,直至 ΔL_m ;

[0286] 基于调整后的进给速度与微线段,依公式 $\Delta t_i = \Delta L_i / \Delta F_i$,求得微线段 $\Delta L_1, \dots, \Delta L_n$ 的加工时间 $\Delta t_1, \dots, \Delta t_n$;

[0287] 按照给定的数据格式,生成刀路曲线的T分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$ 与L分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$,一般 $n \geq m$ 。

[0288] 校核 ΔL_i 时,应判断其是否为圆弧的微线段,如果是圆弧的微线段,则取 δ_F / λ 作为进给速度的允许跳变量。

[0289] 按照给定的数据格式,对于刀路曲线的T分割与L分割,在存储空间生成刀路曲线的联动表与随动表。

[0290] 在现有CNC技术中,为了解决微线段加工中频繁加减速的问题,需要对CAM系统生成的多达1000~5000条微线段进行所谓前瞻控制的加减速预处理。例如,采用NURBS插补。所谓NURBS插补就是,CNC系统将CAM系统生成的微线段用NURBS曲线重构,然后对重构的NURBS曲线进行插补。NURBS插补成为现有CNC的核心技术之一。进

[0291] 调整微线段之间进给速度的差异与增加微线段之间的进给速度的跳变次数是改善运动平稳性的两种主要的技术手段。注意到,微线段 L_i 最多只能离散为 d_e 段,换言之,圆弧的微线段 ΔL_i 的跳变次数 k 等于 d_e 。由于进给速度取决于加工工艺,调整的范围有限,因而,将微线段 ΔL_i 进一步离散并精细地规划 Δt_i 成为改善运动平稳性的基本技术手段。在本申请中,与现有CNC系统不同,时间是自由变量,可以精细地规划 Δt_i 以提高运动平稳性。

[0292] 现有CAM系统生成的微线段丧失了微线段的宏观几何特征,即该微线段是直线的加速段/减速段、匀速段还是圆弧的微线段。另一方面,现有CNC技术未区分主动轴与联动轴,未考虑坐标轴运动平稳性的周期性剧烈变化,也未考虑联动轴的运动平稳性与主动轴的运动平稳性之间的巨大差异,对于联动轴,没有坐标轴稳定系数的概念。

[0293] 二、工艺参数的实时控制

[0294] 一般来说,对于刀路曲线上的不同曲线段,例如,一条直线或一段圆弧,工艺参数是不同的。为此,对于该直线或该圆弧,在G代码程序中使用扩张指令来设置工艺参数。这是现有CNC系统控制工艺参数的基本方法。这不是工艺参数的实时控制。

[0295] 所谓工艺参数的实时控制指的是,工艺参数 w 跟随刀路曲线上点的位置而改变,

即 w 是点的坐标 (x, y) 的函数。

[0296] 刀路曲线中的直线 / 圆弧的连接处 (拐角) 通常是尖角或小圆弧。这些尖角或小圆弧的加工称为拐角加工。拐角精度是高速高精度加工的基本技术指标。

[0297] 工艺参数对加工精度和表面质量影响极大,特别是在拐角加工中,必须对拐角进行工艺参数的实时控制。例如,在激光加工与电加工中,需要对激光脉冲与电脉冲的频率 f 、脉冲宽度 w 、单脉冲能量 E 进行实时控制。

[0298] 表 4 为刀路曲线的 5 轴 3 参数 8 联动增量型关联数据流的示意图。

[0299] 表 4

[0300]

Δt_1	Δt_2	...	Δt_i	...	Δt_n
Δx_1	Δx_2	...	Δx_i	...	Δx_n
Δy_1	Δy_2	...	Δy_i	...	Δy_n
Δz_1	Δz_2	...	Δz_i	...	Δz_n
Δa_1	Δa_2	...	Δa_i	...	Δa_n
Δb_1	Δb_2	...	Δb_i	...	Δb_n
Δf_1	Δf_2	...	Δf_i	...	Δf_n
Δw_1	Δw_2	...	Δw_i	...	Δw_n
ΔE_1	ΔE_2	...	ΔE_i	...	ΔE_n

[0301] 刀路曲线为 x, y, z, a, b, f, w, E 等 8 个变量的函数。表中,时间 t 被离散分割为 n 个区间: $\Delta t_i, i = 1, \dots, n$ 。 f, w, E 等 3 参数在 Δt_i 内的增量为 $\Delta f_i, \Delta w_i, \Delta E_i$ 。

[0302] CNC 系统通过开关、设置标志位等以中断方式向这些部件发送工艺参数。开关、标志位都是开关量,控制工艺参数的传输通道。不失一般性,本申请将控制工艺参数的传输通道统称为开关。

[0303] 因而,工艺参数的实时控制与坐标轴的联动在本质上是一回事,可将控制工艺参数的开关视为虚拟坐标轴,将需要实时控制的工艺参数视为该虚拟坐标轴的坐标值,从而将工艺参数的实时控制与坐标轴联动统一起来,称为多轴多参数联动。

[0304] 众所周知,时滞是工业过程中固有的特性,是物理系统中最难控制的动态环节。时滞更是工艺参数的实时控制所面临的一个大问题。工艺参数的输入与输出之间的响应时间一般为数十毫秒。

[0305] 若 τ 为输入与输出之间的响应时间,即时滞。对于需要改变工艺参数的时刻,必须提前 τ 发出控制信息。在基于 IEEE 定义的现有 CNC 系统中,由于插补周期的限制, τ 的提前往往耗费大量的计算资源。

[0306] 在本申请中, τ 的提前极为简单。

[0307] 假设在 Δt_i 内需要改变某个工艺参数,在 Δt_i 之前的第 S 个控制节律 Δt_{i-p} 中则应发出控制信息,其提前量 S 为:

$$[\text{0308}] \quad (\Delta t_{i-p}, \dots, + \Delta t_i) \approx \tau$$

[0309] 式中, τ 为该工艺参数的响应时间,作为系统参数并储存在工艺参数库中。

[0310] 对于所有的工艺参数,根据相应的响应时间,计算其提前量,调整虚拟坐标轴的联动表与随动表的对应关系,即其联动表向前移动 S 个控制节律。例如, w 的提前量为 5,相对于随动表 ($\Delta t_i; i = 1, \dots, n$),将其联动表 ($w_i; i = 1, \dots, n$) 向前移动 5 个控制节律。

[0311] 由此得到调整后的虚拟坐标轴的联动表。

[0312] 三、NC 信息库

[0313] L 分割是刀路曲线的几何不变量, 决定刀路曲线的几何特征。T 分割决定加工速度与加工质量, 与 L 分割无关。刀路曲线的 L 分割与 T 分割之间不存在耦合关系。

[0314] 因而, 刀路曲线的 L 分割与 T 分割不是一个实时插补问题, 而是一个非实时的规划问题。

[0315] 本申请通过 CANG 规划, 将刀路曲线转化为一系列的微线段, 生成刀路曲线的 L 分割与 T 分割, 按照给定的数据格式, 在存储空间建立微线段的数字控制信息库 (Numerical Control information base), 简称 NC 信息库。

[0316] 在一条刀路曲线的实时控制过程中, NC 信息库存储控制坐标轴联动的全部数字控制信息, 即刀路曲线的联动表、随动表。

[0317] 联动表用于存储 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$; L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$ 用于存储联动坐标轴的进给量, 控制坐标轴联动以产生合成位移;

[0318] 随动表用于存储 T 分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$; T 分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$ 用于存储进给量之间的时间间隔, 控制合成位移的进给速度;

[0319] NC 信息库还包括微线段 $\Delta L_1, \dots, \Delta L_n$ 的状态字, 状态字用于指定联动坐标轴 (例如, X 轴、Y 轴、Z 轴、A 轴、B 轴) 及其进给方向。

[0320] NC 信息库还包括 NC 信息库索引表, NC 信息库索引表用于存储刀路曲线的联动表的首地址、随动表的首地址与末地址。

[0321] 四、加工文件

[0322] 加工过程一般可划分为辅助过程、逻辑控制过程与加工过程。辅助过程涉及辅助功能操作, 逻辑控制涉及 I/O 装置, 加工过程涉及刀路曲线的实时控制。相应地, CNC 系统分为辅助功能操作、I/O 装置的逻辑控制、刀路曲线的实时控制等三种工作状态。

[0323] 与这三种工作状态相对应, 可用状态指令 ST、开关指令 SW、轨迹指令 TR 来描述辅助过程、逻辑控制过程与加工过程。

[0324] TR 指令用于刀路曲线的实时控制。

[0325] 根据加工工艺与联动坐标轴, 轨迹指令编辑模块将刀路曲线的联动表分为 p 段, 对应地编辑成 p 条轨迹指令; 每条轨迹指令具有相同的联动坐标轴;

[0326] 为阅读方便, p 条 TR 指令用序号标识, 例如 TR_{i-5} 表示第 5 条 TR 指令。

[0327] 每条 TR 指令携带 NC 信息库索引, 用于链接 NC 信息库索引表, NC 信息库索引表对应地存储每条轨迹指令的联动表的首地址、随动表的首地址与末地址。

[0328] 用户点击“TR_{i-5}”便可查看或修改 NC 信息库中 TR_{i-5} 的联动表与随动表。

[0329] ST 指令用于操作辅助功能, 例如设置加工过程的启动、结束、暂停等工作状态, 坐标系设定、原点返回等辅助功能。不同的 ST 指令用序号标识, 序号不同则指令码不同, 例如 ST1 表示暂停。根据 ST 指令的序号, ST 指令模块执行相应辅助功能。

[0330] SW 指令用于控制开关量。不同的 SW 指令用序号标识, 序号不同则指令码不同, 例如 SW1 表示打开冷却液泵。根据 SW 指令的序号, SW 指令模块控制相应的开关。

[0331] 根据加工工艺, 在 p 条 TR 指令之间插入若干条 ST 指令与若干条 SW 指令。

[0332] p 条 TR 指令与其中插入的若干条 ST 指令、若干条 SW 指令构成的指令流便是刀路

曲线的的加工程序,本申请称之为刀路曲线的的加工程序。

[0333] 五、加工文件的生成方法

[0334] 在现有技术中,通过 G 代码程序对刀路曲线的加工过程进行实时控制。

[0335] G 代码程序是上世纪 50 年代初纸带 / 穿孔卡作为基本的输入介质的产物,可读性差,不易使用与交换共享,需要专业的编程人员。

[0336] 在编程技术方面,基于 IEEE 定义的现有 CNC 系统始终停留在这种原始阶段的根本原因在于,坐标轴的控制信息,即刀路曲线的 L 分割与 T 分割,必须在实时操作系统的插补周期掌控下,通过相应的插补模块实时计算出来。

[0337] 在通常的二维打印机中,其控制系统也是一个 CNC 系统。从数字控制来看,二维打印机的打印过程与刀路曲线的加工过程并无任何实质性的区别。

[0338] 在二维打印过程中,打印速度系预先设置,一般固定不变;字库仅用于存储文字的几何信息(点阵),预先设计并固化在只读存储器中。在刀路曲线的加工过程中,必须根据加工工艺来规划进给速度,NC 信息库既要携带刀路曲线的几何信息(联动表),也要携带刀路曲线的速度信息(随动表),刀路曲线不同,NC 信息库也不同。因而,对于不同的工件,NC 信息库必须通过 CANG 规划生成。

[0339] 此外,喷墨参数也系预先设置,打印过程中固定不变,无须实时控制。而 f、w、E 等工艺参数取决于工件材质、刀具材质、冷却介质及其温度、加工精度、进给速度、刀路曲线的几何结构等诸多因素,在加工过程中必须实时控制。

[0340] 本申请通过 CANG 规划,生成刀路曲线的联动表与随动表;根据加工工艺,TR 指令生成模块将刀路曲线的联动表与随动表分段,生成顺序排列的若干条 TR 指令。

[0341] 然后,根据加工工艺与联动坐标轴,加工文件生成模块插入若干条 ST 指令与若干条 SW 指令,刀路曲线的加工文件便生成完毕。

[0342] 在这里,微线段类似 word 中的文字,例如汉字;微线段的 L 分割 $\delta L_i (i = 1, \dots, n)$ 类似 word 中汉字点阵;NC 信息库类似 word 中的汉字库,NC 信息库索引表类似汉字的内码(地址码),NC 信息库索引类似汉字的外码(输入码),刀路曲线的加工文件则类似 word 中由成千上万个汉字构成的文件。

[0343] 微线段的分段类似 word 中的分段,TR 指令则类似 word 中的回车符。例如,根据加工工艺,微线段可分为粗加工段、精加工段;进而,对于拐角(尖角与小圆弧)中的微线段,还可细分为若干小段。

[0344] 这样一来,正如通常的二维打印机中只有文件的生成与编辑,不存在编程问题一样,刀路曲线的的编程问题便转化为加工文件的生成与编辑问题。

[0345] 刀路曲线的加工文件的一般格式为:p 条顺序排列的 TR 指令,以及插入的若干条 ST 指令与若干条 SW 指令。

[0346] 为便于阅读,对于加工文件中的某些重复部分,加工文件生成模块将其编辑为循环、子程序格式。

[0347] 基于上述技术构思,本申请提出的技术方案是,对工件轮廓曲线进行刀具半径补偿,得到刀具中心的运动轨迹,即刀路曲线。然后在离散坐标系中对刀路曲线进行 L 分割规划,根据进给速度进行 T 分割规划,在存储空间生成刀路曲线的 NC 信息库。最后,根据加工工艺,将刀路曲线的所有微线段分段,每段对应一条 TR 指令。

[0348] TR指令携带NC信息库索引,用于链接NC信息库索引表,以读取其联动表的首地址与末地址、随动表的首地址。

[0349] 在TR指令中插入必要的ST指令与SW指令后,生成刀路曲线的加工文件。

[0350] 实时内核执行TR指令、ST指令、SW指令,完成刀路曲线的实时加工过程。

[0351] 体系结构

[0352] 一种加工文件规划体系的体系结构,包括硬件平台、软件平台和应用软件系统,所述硬件平台为PC系统,软件平台为图形界面操作系统;应用软件系统包括CANC组件,NC信息库,加工文件规划组件;

[0353] (1)、CANC规划组件

[0354] CANC规划组件包括离散坐标系生成模块、L分割规划模块、T分割规划模块;

[0355] (1-1) 离散坐标系生成模块用于按照给定的离散标度,用距离为离散标度的等距线将坐标平面网格化,在屏幕上建立离散坐标系;

[0356] (1-2) 根据加工方位,L分割规划模块用于在离散坐标系中规划刀路曲线的L分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$;

[0357] (1-3) 根据加工工艺,T分割规划模块用于校核坐标轴的运动平稳性,规划刀路曲线的T分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$;

[0358] (2)NC信息库

[0359] NC信息库用于存储控制坐标轴联动的数字控制信息,数字控制信息包括刀路曲线的联动表、随动表;

[0360] 联动表用于存储刀路曲线的L分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$;L分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$ 用于存储联动坐标轴的进给量,控制坐标轴联动以产生合成位移;

[0361] 随动表用于存储刀路曲线的T分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$;T分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$ 用于存储进给量之间的时间间隔,控制合成位移的进给速度;

[0362] NC信息库还包括微线段 $\Delta L_1, \dots, \Delta L_n$ 的状态字,状态字用于指定联动坐标轴及其进给方向;

[0363] NC信息库还包括NC信息库索引表,NC信息库索引表用于存储所述联动表的首地址、所述随动表的首地址与末地址;

[0364] (3)、加工文件规划组件

[0365] 加工文件规划组件包括NC信息库生成模块、轨迹指令编辑模块、NC信息库索引表生成模块、NC信息库索引生成模块、加工文件生成模块;

[0366] (3-1) 对于刀路曲线的L分割与T分割,NC信息库生成模块用于按照给定的数据格式在存储空间构造刀路曲线的联动表与随动表,生成NC信息库;

[0367] (3-2) 根据加工工艺与联动坐标轴,轨迹指令生成模块用于将刀路曲线的联动表分为p段,对应地生成p条轨迹指令;在每条轨迹指令中,联动坐标轴相同;

[0368] (3-3) 对于每条轨迹指令,NC信息库索引表生成模块用于生成NC信息库索引表;NC信息库索引表对应地存储每条轨迹指令的联动表的首地址、随动表的首地址与末地址;

[0369] (3-4) 对于每条轨迹指令,NC信息库索引生成模块用于生成NC信息库索引,NC信息库索引链接所述NC信息库;

[0370] (3-5) 根据加工工艺,加工文件生成模块用于在p条轨迹指令中,插入开关指令、

状态指令,生成加工文件;

[0371] 开关指令用于控制开关装置的开/关;

[0372] 状态指令用于控制加工过程的启动、结束、暂停,坐标系设定、原点返回。

[0373] 上述加工文件规划系统配置实时内核便构成增量型 CNC 系统,如图 2 所示。

[0374] 编程界面

[0375] CANC 规划是非实时的。因而,用户建立直线、圆弧的数据文件后,可直接在屏幕上使用 CANC 规划,规划刀路曲线的 L 分割与 T 分割,进而编辑 P 指令、ST 指令、SW 指令,生成刀路曲线的加工文件,从而完成加工程序的编写。

[0376] 类似 word 文件,本申请只须点击/滑动窗口,便可完成加工程序的编写。本申请称之为编程界面。

[0377] 如何编辑轨迹指令以完成走刀过程,这是编程界面的基本任务。

[0378] 本申请在图形界面操作系统中设置编程界面,包括 CANC 规划功能区、加工文件规划功能区;

[0379] CANC 规划功能区包括离散坐标系生成窗口,L 分割规划窗口,T 分割规划窗口;离散坐标系生成窗口链接离散坐标系生成模块,L 分割规划窗口链接 L 分割规划模块,T 分割规划窗口链接 T 分割规划模块;

[0380] 加工文件规划功能区包括 NC 信息库生成窗口,轨迹指令编辑窗口,NC 信息库索引表生成窗口,NC 信息库索引生成窗口、加工文件生成窗口;NC 信息库生成窗口链接 NC 信息库生成模块,轨迹指令编辑窗口链接轨迹指令编辑模块,NC 信息库索引表生成窗口链接 NC 信息库索引表生成模块,NC 信息库索引生成窗口链接 NC 信息库索引生成模块,加工文件生成窗口链接加工文件生成模块。

[0381] 人机界面中还设置显示校验模块;显示校验模块从 NC 信息库读取刀路曲线的联动表,向状态字指定的显示开关发送 L 指针指定的进给量,在离散坐标系中显示刀路曲线的生成过程。在本申请中,显示开关视为虚拟坐标轴。

[0382] 人机交互的操作手段历经纸带/穿孔卡、键盘、鼠标,迈入触控时代。触控带来了极大的便利,不再需要鼠标和键盘便可完成人机交互,被称为指尖上的革命。

[0383] 本申请采用触控方式操作上述功能区与窗口。

[0384] 图 3 为上述编程界面的结构示意图。

[0385] 加工文件的生成方法

[0386] 本申请采用 TR 指令、ST 指令、SW 指令来描述刀路曲线的加工过程,通过 CNC 系统的人机界面编辑 TR 指令、ST 指令、SW 指令,生成刀路曲线的加工文件,从而完成加工程序的编写。

[0387] 加工文件的编辑与使用 word 编辑文件类似,编辑过程全程可视化,控制信息透明、开放,操作简便。

[0388] 本申请告别了 G 代码编程,实现了“每个人都会编程”的大众化目标,编写加工程序犹如使用 word 编写短信,“开数控就像玩手机,编程就像发信息”,每个人都会编程,实现了编程的大众化。

[0389] 基于上述编程界面,本申请提出加工文件的一种生成方法,如图 5 所示,包括下述步骤:

[0390] (1)CANC 规划步骤

[0391] CANC 规划步骤包括：

[0392] (1-1) 离散坐标系生成步骤

[0393] 离散坐标系生成模块按照给定的离散标度,用距离为离散标度的等距线将坐标平面网格化,在屏幕上建立离散坐标系；

[0394] (1-2)L 分割规划步骤

[0395] 根据加工方位,L 分割规划模块在离散坐标系中规划刀路曲线的的 L 分割,包括下述步骤：

[0396] (1-2-1) 将刀路曲线中的直线划分为加速段 / 减速段、匀速段；

[0397] (1-2-2) 对于刀路曲线中的圆弧,在离散坐标系中生成该圆弧,从该圆弧的起点开始,沿允许运动方向进给一个离散标度,分别到达两个不同的格点,计算并比较这两个格点与该圆弧的距离,选择散误差最小的格点；重复上述步骤,直至该圆弧的终点；生成该圆弧的微观数字映像；

[0398] 按照该圆弧的联动轴数据流的分布周期,将该圆弧的微观数字映像转换为若干条微线段；

[0399] (1-2-3) 按照给定的数据格式,刀路曲线中的所有直线的加速段 / 减速段、匀速段,所有圆弧的微线段生成刀路曲线的 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, m)$ ；

[0400] (1-3)T 分割规划步骤

[0401] 根据加工工艺,T 分割规划模块校核坐标轴的运动平稳性,规划刀路曲线的的 T 分割,包括下述步骤：

[0402] (1-3-1) 对于刀路曲线的 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, m)$,校核运动平稳性约束条件：

[0403] $|\Delta F_{i+1,d} - \Delta F_{i,d}| \leq \delta_F (i = 1, \dots, m)$ ；

[0404] 式中, $\Delta F_{i,d}$ 为 ΔL_i 的主动轴 D 的进给进度, $\Delta F_{i+1,d}$ 为 ΔL_{i+1} 的主动轴 D 的进给进度； δ_F 为坐标轴进给速度的允许跳变量,由加工工艺指定,对于圆弧的微线段,则取 δ_F / λ 作为进给速度的允许跳变量, λ 为坐标轴稳定系数, $\lambda \geq 5$ ；

[0405] 如果运动平稳性约束条件不满足,加速时,将 ΔL_i 离散为 q_1 段,或提高 ΔF_{i+1} ；减速时,将 ΔL_{i+1} 离散为 q_2 段,或降低 ΔF_{i+1} ；其中, $q_1 \leq d_{e,i}, q_2 \leq d_{e,i+1}, d_{e,i}$ 为 ΔL_i 的主动轴终点坐标, $d_{e,i+1}$ 为 ΔL_{i+1} 的主动轴终点坐标；式中, ΔF_{i+1} 为 ΔL_{i+1} 的进给进度；

[0406] 重复上述步骤,直至 ΔL_m ；

[0407] (1-3-2) 基于调整后的进给速度与微线段,依公式 $\Delta t_i = \Delta L_i / \Delta F_i$,求得微线段 $\Delta L_1, \dots, \Delta L_n$ 的加工时间 $\Delta t_1, \dots, \Delta t_n$ ；

[0408] 按照给定的数据格式,生成刀路曲线的 T 分割 $\Delta t_i (i = 1, \dots, n)$ 与 L 分割 $\Delta L_i (i = 1, \dots, n)$,一般 $n \geq m$ ；

[0409] (2) 加工文件规划步骤

[0410] 加工文件规划步骤包括：

[0411] (2-1)NC 信息库生成步骤

[0412] 按照给定的数据格式,NC 信息库生成模块在存储空间构造刀路曲线的联动表与随动表,生成 NC 信息库；

[0413] (2-2) 轨迹指令编辑步骤

[0414] 根据加工工艺与联动坐标轴, 轨迹指令编辑模块将刀路曲线分为 p 段, 对应地生成 p 条轨迹指令; 在每条轨迹指令中, 联动坐标轴相同;

[0415] (2-3) NC 信息库索引表生成步骤

[0416] 对于每条轨迹指令, NC 信息库索引表生成模块生成 NC 信息库索引表; NC 信息库索引表对应地存储每条轨迹指令的联动表的首地址、随动表的首地址与末地址;

[0417] (2-4) NC 信息库索引生成步骤

[0418] 对于每条轨迹指令, NC 信息库索引生成模块生成 NC 信息库索引; NC 信息库索引链接 NC 信息库索引表;

[0419] (2-5) 加工文件生成步骤

[0420] 根据加工工艺, 加工文件生成模块在 p 条轨迹指令中, 插入开关指令、状态指令, 生成加工文件。

[0421] 图 4 为上述加工文件生成方法的流程图。

[0422] 刀路曲线实时控制方法

[0423] 按照上述方法生成的加工文件取代了通常的 G 代码加工程序。

[0424] 加工文件中只包括 TR 指令、ST 指令、SW 指令。ST 指令、SW 指令的执行属常规技术。因而, 加工刀路曲线的实质就是执行 TR 指令。

[0425] 采用发明专利 ZL 2011 1 0206679.6 提出的实时内核, 用于实时控制刀路曲线的加工过程, 本申请予以改进, 包括虚拟坐标轴。

[0426] 实时内核包括加工文件处理模块、联动坐标轴设置模块、联动命令设置模块、节律控制模块、终点控制模块。

[0427] 刀路曲线的实时控制方法, 如图 6 所示, 包括下述步骤:

[0428] (1)、实时内核启动步骤

[0429] CNC 系统接收加工命令后, 操作系统设置实时内核运行标志, 启动实时内核;

[0430] (2)、加工文件处理步骤

[0431] 加工文件处理模块从加工文件中读取第 1 条轨迹指令, 根据第 1 条轨迹指令的 NC 信息库索引, 从 NC 信息库索引表中读取第 1 条轨迹指令的联动表的首地址、随动表的首地址与末地址, 从 NC 信息库中读取第 1 条轨迹指令的状态字;

[0432] (3)、联动坐标轴设置步骤

[0433] 联动坐标轴设置模块将联动表的首地址写入 L 指针; 将随动表的首地址写入 T 指针; 将状态字写入状态字寄存器, 指定联动坐标轴;

[0434] (4)、联动命令设置步骤

[0435] 所述 T 指针, 联动命令设置模块读取随动表中的控制节律 Δt_i 并写入 T 分割定时器;

[0436] (5)、节律控制步骤

[0437] T 分割定时器中的定时时间到, 节律控制模块通过联动接口向状态字指定的联动坐标轴发送所述 L 指针指定的坐标轴进给量, 驱动联动坐标轴按状态字指定的进给方向进给, 产生合成位移; 向状态字指定的虚拟坐标轴发送 L 指针指定的工艺参数;

[0438] (6)、终点控制步骤

[0439] 终点控制模块判断 T 指针是否等于随动表的末地址, 如果 T 指针等于随动表的末

地址,第1条轨迹指令执行完毕,执行步骤(2),加工文件处理模块从加工文件中读取第2条轨迹指令,根据第2条轨迹指令的NC信息库索引,从NC信息库索引表中读取第2条轨迹指令的联动表的首地址、随动表的首地址与末地址,从NC信息库中读取第2条轨迹指令的状态字;否则,执行步骤(4),T指针指向 Δt_{i+1} ,继续执行所述第1条轨迹指令;

[0440] (7)、重复步骤(2)至步骤(6),直至第p条轨迹指令执行完毕,终点控制模块关闭所述运行标志。

[0441] 步骤(5)还包括,向状态字指定的动态显示开关发送L指针指定的进给量,在屏幕上实时显示刀路曲线的加工过程。

[0442] 图5为上述刀路曲线实时控制方法的流程图。

[0443] 图6为图5中子程序的流程图。

[0444] 由此可见,所谓刀路曲线的实时控制过程,就是按照随动表中的控制节律 Δt_i ($i = 1, \dots, n$),控制状态字指定的伺服驱动器从各自的轴联动表中读取坐标轴进给量并写入其位置环的过程(按照联动坐标轴,联动表划分为轴联动表,并事先发送给相关的伺服驱动器)。实时内核产生联动命令;跟随联动命令,伺服驱动装置不断地驱动坐标轴进给产生合成位移,相关的工艺参数植随之不断地。

[0445] 例如,对于X、Y、Z、A、B等5轴与G、C、M等3参数联动,状态字为“11111110”,实时控制过程就是,根据控制节律 Δt_i ($i = 1, \dots, n$),实时内核不断地将随动表中的 Δt_i ($i = 1, \dots, n$)写入T分割定时器,产生联动命令,通过联动接口发送给X、Y、Z、A、B等伺服驱动器;X、Y、Z、A、B等伺服驱动器则跟随联动命令,从各自的轴联动表中同步读取 Δx_i 、 Δy_i 、 Δz_i 、 Δa_i 、 Δb_i 并写入位置环,驱动坐标轴进给产生合成位移。同时,将G、C、M等3个工艺参数发送给相关的开关装置。

[0446] 在发送端,联动接口类似按 Δt_i ($i = 1, \dots, n$)的节律不断地单向传输状态字的并行接口;在接收端,每个坐标轴的伺服驱动器与每个虚拟坐标轴的开关均与联动接口的一个数据位连接,类似一根中断控制线。

[0447] 如此周复始,直至所述刀路曲线的终点。

[0448] 以上内容是结合具体的优选实施例对本申请所作的进一步详细说明,不能认定本申请的具体实施只局限于这些说明。对于本申请所属技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本申请构思的前提下,还可以做出若干简单推演或替换,都应当视为属于本申请的保护范围。

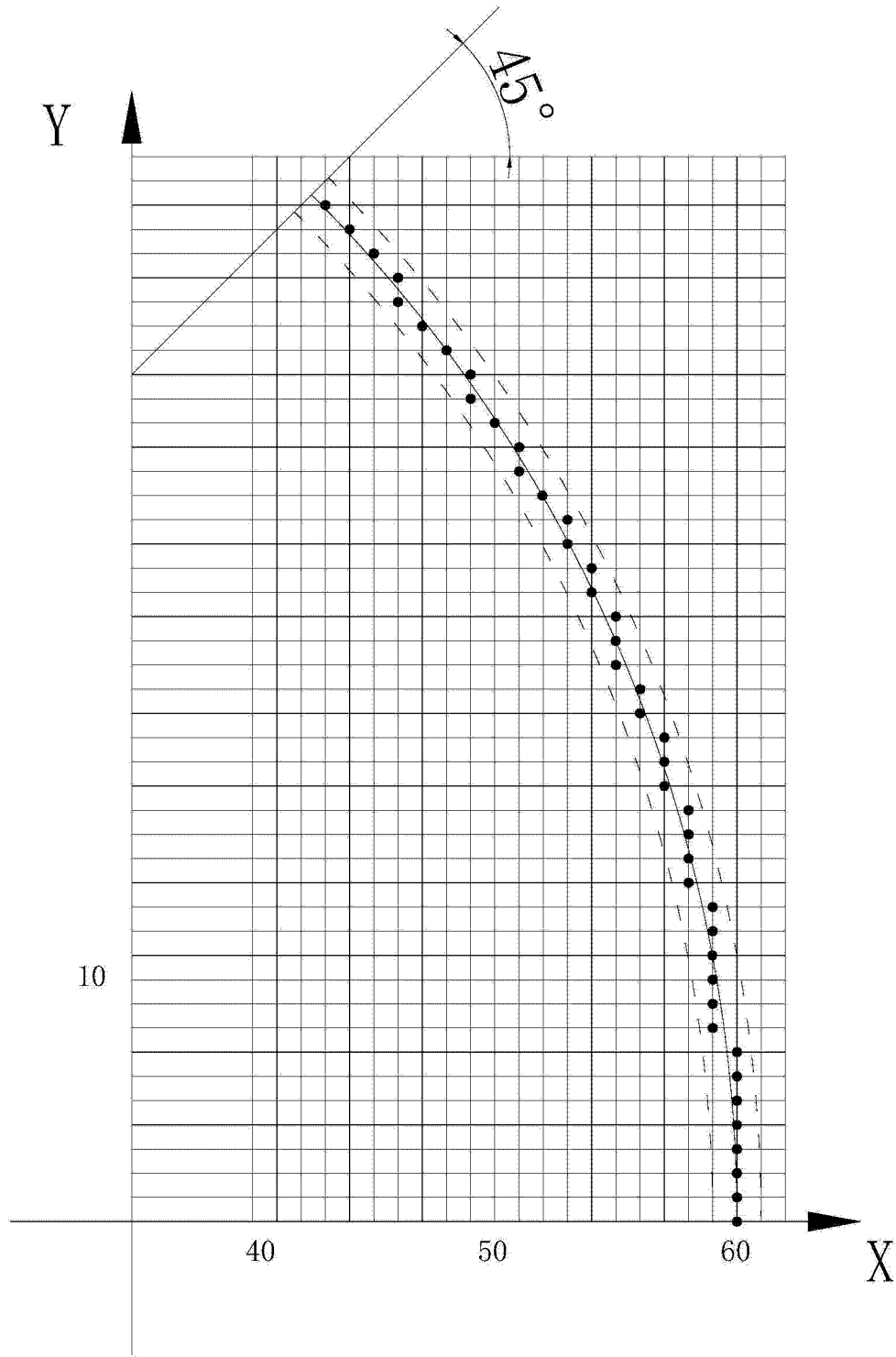


图 1

CANC规划组件
离散坐标系生成模块
L分割规划模块
T分割规划模块
NC信息库
加工文件规划组件
NC信息库生成模块
轨迹指令编辑模块
NC信息库索引表生成模块
NC信息库索引生成模块
加工文件生成模块
实时内核组件
加工文件处理模块
联动坐标轴设置模块
联动命令设置模块
节律控制模块
终点控制模块

图 2



图 3

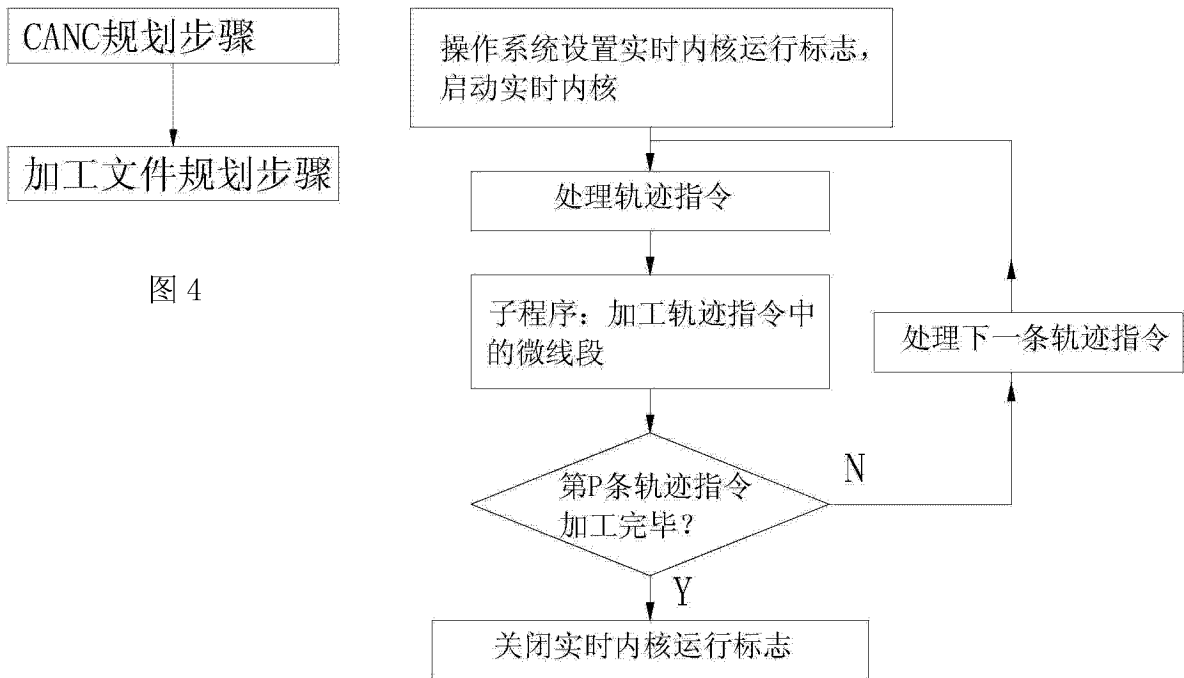


图 4

图 5

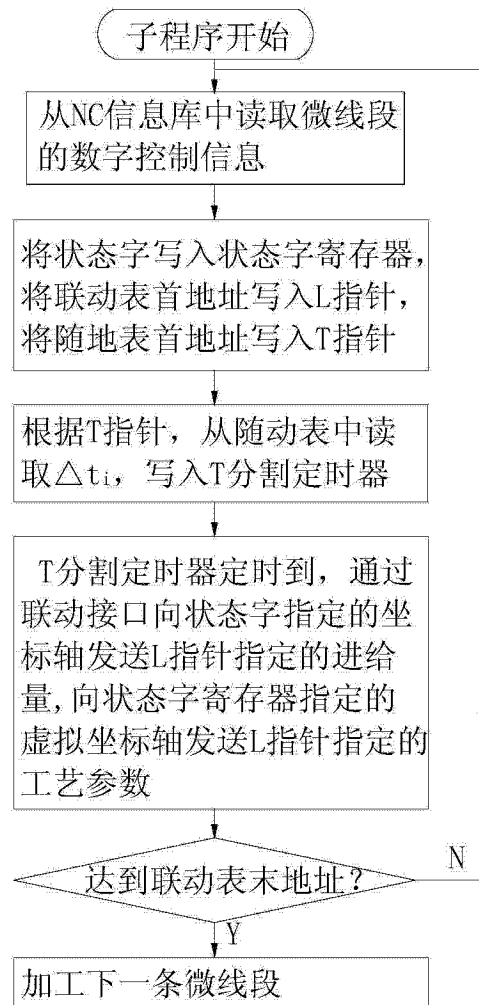


图 6