

计算机辅助线切割数控编程系统的研究与开发

郭钟宁 黄志刚 韩桂海 蒋秋生

(广东工业大学机电工程学院, 广东广州 510090)

摘要: 研究了计算机辅助线切割数控编程系统的关键技术,并在此基础上进行了 CAWEP 系统的开发工作。系统以开放式思想开发,面向 PC,以 Windows 为操作系统,采用了图形交互的编程方式和模块化结构,使系统易于扩展和移植,不仅能实现线切割自动编程的所有功能,而且操作简便,具有良好的通用性和人机界面。

关键词: 电火花线切割加工; 自动编程; CAWEP 系统

电火花线切割机在世界上有着广阔的市场。据统计,目前我国高速走丝线切割机的拥有量超过 10 万台,并以每年超过 2 万台的速度递增^[1]。然而目前国产大部分商用线切割数控软件尚存在某些不足,如操作复杂、对系统的要求高、界面设计不好、程序长度受限于 640 k 内存、在某些算法上存在致命缺陷等。而进口软件则普遍价格昂贵,有的不能提供对 B 代码的支持,不能完全适合中国的国情,且对使用者有较高的专业要求。鉴于这种情况,对线切割辅助编程的关键技术进行了研究,并开发出了一套方便实用且适合中国国情的计算机辅助线切割数控编程(CAWEP)系统。

1 总体设计

1.1 系统功能设计

CAWEP 系统中采用嵌入式结构,即采用 PC + IPC 的体系架构,由控制器完成伺服插补等所有实时任务,而 PC 则完成编程与管理等非实时任务。采用这种结构具有良好的综合性能,既能保证实时任务实施的稳定与高效,又能充分发挥 PC 在管理与沟通方面的优势。

在零件参数的输入方式上,CAWEP 系统采用了图形交互式输入方式。这样不仅符合一般用户的工作习惯,操作简易、效率高、不易出错,而且充分利用了 Windows 丰富的图形界面技术,具有良好的人机性能。

作为图形交互式自动编程系统,CAWEP 系统必需提供完备的图形处理功能。由于线切割数控系

统是一种二维数控系统,因此只需要对二维图形进行处理,能够实现平面图元的生成、保存和显示以及图元的复制、移动、旋转、清除、剪切和圆弧连接等编辑功能。在图形的绘制和编辑命令方面,可同时提供鼠标接口和键盘接口。

CAWEP 系统还提供了与常用 CAD 软件的文件转换接口。该系统同时支持 B 代码和 ISO 代码(G 代码)两种格式。为了提供加工过程的动态显示,CAWEP 系统还具有一定的加工仿真功能。其功能模块及结构关系如图 1 所示。

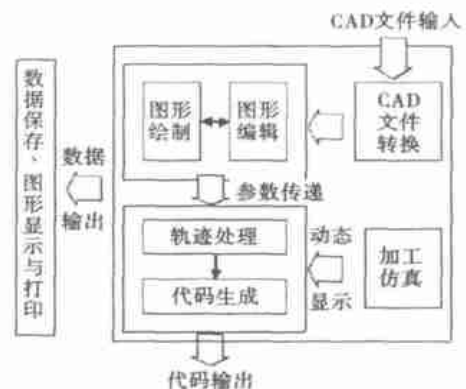


图1 CAWEP系统的功能设计

1.2 系统数据设计

为了简化程序的开发过程,实现代码的重用与模块化,从而有效地减少程序开发和调试时间,并增加代码的可读性,该程序充分利用了微软公司的 MFC(Microsoft Foundation Classes)类库,利用面向对象原理,将浩繁的 Windows API 逻辑地组织起来,使它们具备抽象化、封装化、继承性、多态性和模块化的性质。利用 Microsoft Visual Studio.NET 提供的集成开发环境,可以很容易地获得程序的框架,因此在进行类设计时,主要是考虑 CAWEP 系统所

收稿日期: 2004 - 02 - 19

第一作者简介:郭钟宁,男,1957年生,教授、博士。

需的基本数据类和基本命令类。

图形处理与代码输出是 CAWEP 系统两大基本功能,图形处理模块实现图元的绘制与编辑,代码输出模块则对加工轨迹进行操作,与此相应,需要建立图元类与轨迹类两种数据类型。为了方便地利用 MFC 类提供的保存、运动时类型识别和错误诊断等功能,这些类均由 CObject 基类派生。

对平面图元来说,关键点的二维坐标是必需的图元信息,用一个点类来保存这些信息是方便的。然而 MFC 提供的点类 CPoint 只能处理整型变量,精度远远不能适应 CAWEP 系统的要求,因此建立了一个双精度的点类 Position 来保存平面坐标点的信息。

对用于线切割数控编程的平面图元,如直线、圆弧和平面复杂曲线,它们之间有很多基本内容都是相同的。如起终点(用于图元描述、轮廓排序和代码生成等)、图元名称、绘制函数、代码输出函数和文件转换函数等等,将这些基本内容封装在一个图元基类 CEntity 中。其他平面图元类,如直线类 CLineEntity、圆弧类 CCircleEntity、平面复杂曲线类 CCurveEntity 均由图元基类 CEntity 派生,并根据各自需要改写或增加一些成员函数和成员变量。

图元基类 CEntity 定义的主要内容如下:

```
class CEntity : public CObject
{
public: // 构造函数与析构函数
    CEntity();
    virtual CEntity();
public:// 平面图元基本几何参数
    Position m_startPoint; // 起点坐标
    Position m_endPoint; // 终点坐标
    UINT m_drawMode; // 绘制模式,0 正常显示,
5 被选择,1~4 切割轨迹显示
    BOOL m_bIsFollow; // 线条方向是否沿着切割
方向,用于代码编制
    int m_entityName; // 实体名称
public:
    virtual void DrawEntity(CDC * pDC); // 绘制
    virtual void CodeOut3B(FILE * pf) {}; // 3B
代码编制
    virtual void CodeOut4B(FILE * pf) {}; // 4B
代码编制
    virtual void CodeOutISO(FILE * pf) {}; // ISO
```

代码编制

```
virtual void DxfOut(FILE * pf); // 输出 DXF
文档
    virtual void MoveEntity(double x, double y)
{}; // 图元移动
    virtual void RotatEntity(const Position
&basePt, double angle) {}; // 图元旋转
    virtual void MirrorEntity(const Position
&firstPt, const Position &secondPt) {}; // 图元镜像
    .....
};
```

对于命令类设计,图形交互式编程系统的绝大部分工作是由使用者通过用户界面与计算机进行交互式操作完成的,计算机给用户的提示主要通过显示器和声音设备完成,而用户的操作则主要通过鼠标和键盘完成。用户操作的基本内容可以用命令基类 CCmd 来描述,包括基本的鼠标和键盘接口。其他命令类由此派生,根据需要改写或添加成员函数和成员变量。由于命令类无需永久保存等机制,因此为避免代码膨胀,无需由 CObject 类派生。命令基类的基本定义如下:

```
class CCmd
{
public: // 构造函数与析构函数
    CCmd(void);
    virtual CCmd(void);
public:
    UINT m_pushNumb; // 鼠标按下次数
    CmdType m_cmdType; // 命令类型,基命令,绘
图命令,编辑命令,缩放命令
public: // 鼠标与键盘接口
    virtual void OnLButtonDown(const CPoint
&point, BOOL bCmd = TRUE, double dPara = 0)
{}; // 鼠标左键按下,通过 bCmd 参数提供键盘接
口
    virtual void OnMouseMove(const CPoint
&point) {}; // 鼠标移动
    virtual void OnRButtonDown() {}; // 鼠标右键
按下
    virtual void OnLButtonUp(const CPoint
&point) {}; // 鼠标左键释放
};
```

由于绘图操作有很多共性,如鼠标操作方式、键

盘操作方式、画橡皮筋线、关键点捕捉及坐标显示等,可以将这些共性用绘图类 CDrawCmd 来描述,以提高代码的重用性。绘图类派生自命令基类 CCmd,并根据绘图操作的共同特点改写鼠标与键盘接口,并增加一些成员变量用于辅助绘图。具体的绘图命令类则由绘图类派生,如绘制直线命令类 CDrawLineCmd、绘制圆弧命令类 CDrawArcCmd、绘制平面曲线命令类 CDrawCurCmd 等。类似于绘图操作,图形编辑也有很多共性,可以用派生自命令基类的编辑类 CEditCmd 来对这些共性进行描述^[2]。其他具体的编辑命令类则由编辑类派生,类似的视图缩放操作的共性可以用缩放类 CZoomCmd 来描述。其他具体的缩放命令则由缩放类派生,其他一些相互间关联不大的操作,比如清除所有对象 CClearAllCmd、轨迹生成 CGenTrackCmd 等,则由命令基类 CCmd 直接派生。

1.3 系统界面设计

界面设计在保证系统功能的前提下,尽量简洁、合理、醒目、直观,并充分考虑用户的使用习惯,给人以舒适感,提高系统的易用性。另外由于本系统是专业软件,还应当遵循严谨的原则,风格与颜色搭配要保持统一,传递一种可以信赖的印象。

CAWEP系统同时包括鼠标接口与键盘接口,为了满足用户采用键盘输入参数,以进行精确操作的需要,设置一条输入栏。界面包括一个下拉式菜单,系统的所有操作都可以在上面找到。为方便使用,设置了几条工具栏,将常用操作置于其上。采用多文档界面(Multiple Document),以方便用户同时进行多个零件的绘制或编程工作,并方便在不同文件间进行数据转移。

2 图形绘制与编辑

图形的绘制分为简单图元的绘制和复杂曲线的绘制。直线与圆弧是平面几何中最基本的元素,对它们绘制采用的方式和一般 CAD 软件的绘制方式相同。

对于复杂的曲线,需要用直线或圆弧样条进行拟合逼近,从拟合的精度和编程的便利与稳定性两方面来考虑,CAWEP系统采用一套适用于线切割数控加工的、整体较优的平面非圆曲线的拟合算法——近似等误差双圆弧拟合法。在双圆弧拟合的节点计算中,我们提出了一种新的平面曲线双圆弧拟合的节点算法——近似等误差法。该方法以迭代法

为框架,在迭代步长的计算中借用了直接计算法的一些作法,既避免了非线性方程组的求解,又可以较快速度寻找到较优步长,使节点间的最大拟合误差近似等于允差。整套算法灵活便利、稳定性好、运算速度快、计算出的节点总数较少。

为了使系统能够处理尽可能多的平面曲线,该系统提供了对任意函数曲线的支持。曲线函数采用参数方程表示: $x = X(t)$, $y = Y(t)$,对于用 $y = f(x)$ 表示的曲线可以表示为: $x = t$, $y = Y(t)$ 。参数方程、参数变动范围及曲线拟合精度由用户给出。

图2为用此方法拟合的正弦曲线和渐开线效果图,曲线参数分别为:正弦线: $y = 10\sin(x/10)$,参数 x 变化范围为 $[0, 20]$;渐开线: $x = 10(\cos(t) + t\sin(t))$, $y = 10(\sin(t) - t\cos(t))$,参数 t 变化范围为 $[0, 2]$ 。坐标单位均为 mm,拟合允差均为 ± 0.005 mm。拟合效果见表1。

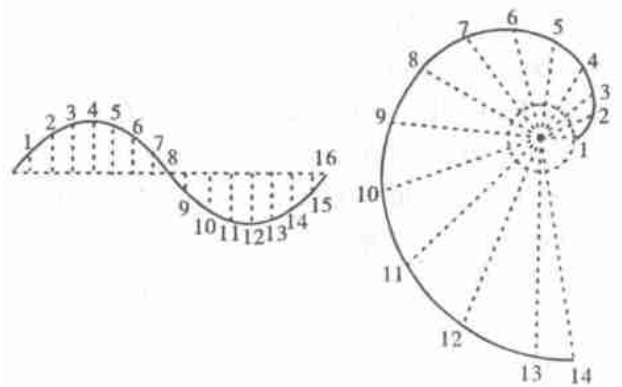


图2 正弦曲线与渐开线的拟合效果

表1 正弦曲线与渐开线的拟合效果

节点序号	正弦线		渐开线	
	拟合误差	循环次数	拟合误差	循环次数
1	3.3	3	3.2	10
2	3.8	9	3.5	4
3	3.3	6	4.3	6
4	2.9	6	2.8	6
5	3.7	6	2.5	7
6	3.8	5	3.4	9
7	3.5	1	3.2	10
8	2.4	1	3.2	11
9	3.3	3	2.5	11
10	3.8	9	2.6	12
11	3.3	6	2.9	12
12	2.8	6	2.9	12
13	3.7	6	2.8	13
14	3.9	5	1.6	11
15	3.6	5		
16	1.2	2		

注:表中第 n 节点处的拟合误差指的是:节点 $n-1$ 与节点 n 之间的最大近似拟合误差,并取绝对值,其单位为微米;第 n 节点处的循环次数指的是:由已知的节点 $n-1$ 计算节点 n 时所需的迭代次数。

综合图 2 和表 1,可以看出,采用近似等误差双圆弧拟合方法,拟合曲线的形状精度及光顺性良好,而且在保证拟合精度的条件下,产生的节点总数较少,迭代速度较快。

实际生产中一些零件的轮廓是由点列表定义的,对这类图形的绘制先采用 3 次样条函数插值,以获得零件轮廓的函数表达式,随后采用双圆弧法等方法对零件轮廓进行拟合。

为了增加生成零件图形的便利性,图形的编辑功能是必不可少的。对于 CAWEP 系统来说,需要的平面图形编辑功能包括:图形的平面变换(如平移、旋转、镜像等)、曲线的圆弧连接(倒角)、复制、清除及复杂曲线的拆分等。

3 代码生成

目前国内常用的线切割数控代码有两种格式: B 代码和 ISO 代码(G 代码),为了适应不同用户的需求,本系统能够同时输出这两种格式的数控代码。

在轨迹偏移算法方面,由于常规的算法在大偏移、复杂形态的处理中可能产生干涉,该系统采用了一种新的无干涉轨迹偏移算法,彻底消除了轨迹间的干涉现象,而且算法简单,避免了传统算法中复杂的类型判断。

该算法的基本思想是传统 C 机能偏移算法的扩展,不仅考虑相邻轮廓间的过渡与干涉,而且考虑所有轮廓间的干涉。主体算法分为两个步骤,一是初步偏移,二是干涉处理。初步偏移对所有图元进行简单偏移和连接,使偏移曲线成为原轮廓的等距线,而且整体光滑连续,初步偏移计算中将所有轮廓直接进行偏移,如果相邻轮廓不光滑相切,则在其间插入半径为偏移距离的过渡圆弧,过渡圆弧走向由偏移方向决定,左偏移时为顺时针,右偏移时为逆时针。图 3 为偏移步骤的示意图。

4 文件转换

目前,在国内 CAD 市场上,各种自主知识产权的国产 CAD 软件与国外 CAD 软件并存,由于各个 CAD 系统间的不兼容性形成了一道信息壁垒,给数据交换、共享和信息流动造成了障碍。为了保证 CAWEP 系统的通用性,此系统提供了该系统文件格式与其他 CAD/CAM 文件格式之间的双向转换

接口。在中间文件格式的选择上,考虑到 DXF (Drawing Exchange Format 图形交换文件) 逐渐成熟,其内容覆盖的应用领域越来越多,已成为国际通

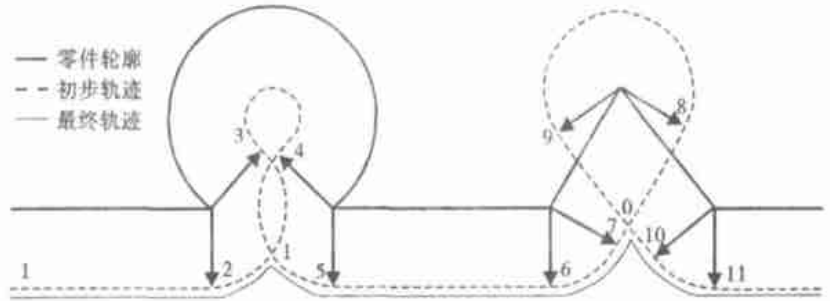


图 3 零件轮廓及其偏移曲线

用的图形数据交换标准,被大多数 CAD/CAM/CAE 系统所接受,例如常用的 AutoCAD、UG、FDEAS、CAXA、Pro-E、MaterCAM 等软件均能实现 DXF 文档的读写操作^[3];另一方面,由于 DXF 文档可以保存为 ASC 文本格式,为扫描和存盘工作带来了便利。因此,本系统选用 DXF 文档作为中间文件格式,来实现与其他 CAD/CAM 系统的连接。

5 结论

经过实际的应用,证明 CAWEP 系统不仅能实现线切割自动编程的所有功能,而且操作简便,具有良好的人机界面,且在关键算法上有所突破和创新,取得了良好的综合效果。图 4 为该系统的一个应用实例。

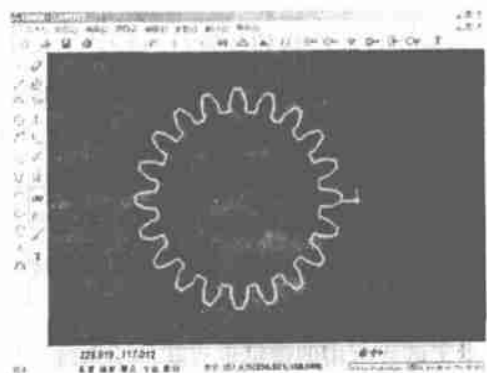


图 4 CAWEP 系统处理齿轮时的截屏图

参考文献:

- [1] 李明辉. 电火花线切割技术的研究现状及发展趋势. 模具技术, 2003(1)
- [2] 李于剑. Visual C++ 实践与提高——图形图像编程篇. 北京: 中国铁道出版社, 2001
- [3] 骆铁妹, 秦鹏飞, 何援军. CAD 软件接口技术及其实现. 工程图学学报, 2002(2): 20~25

MAIN TOPICS, ABSTRACTS & KEY WORDS

Comments on modern die & moulds manufacturing technology and equipment in DIE & MOULD CHINA 2004 (1)

Comments on the level of die & moulds exhibited in DIE & MOULD CHINA 2004 (9)

Study advances on numerical control electrochemical contour evolution machining Kang Min, et al (17)

Abstract : In this paper, the characteristics of numerical control electrochemical contour evolution machining technology were described. The study advances and achievements in recent years in this area were introduced, including the tool-electrode design, study on shaping law, computer software development and machining experiment etc.

Key words : numerical control; contour evolution; ECM

Investigation and exploitation on computer aided NC programming system Guo Zhongning, et al (20)

Abstract : The key technique of computer aided NC programming system has been researched by which a system of CAWEP is developed. The system, based on the idea of opening NC, PC and Windows, adopts the mutual programming. It has not only the all functions for auto-programming, but also a good HC interface with convenience. A module structure has been used, making it easy to expand and transplant, and possessing a good versatility.

Key words : WEDM; auto-programming; CAWEP system

The technical study and tests of micro-EDM machining

Yu Yunxia (24)

Abstract : Micro-EDM shows its great application on micro-machining currently. In this paper, a string of tests of micro-EDM were made by the micro-EDM system which was developed by ourselves, and the study of the effects of parameters, such as capacitance, open voltage and dielectric, on material removal rate and machining accuracy has been carried out.

Key words : micro-machining; micro-EDM; machining efficiency; machining precision

Grinding micro rod by using EDM with axial feed on block

electrode

Jia Baoxian, et al (26)

Abstract : This paper analyzed the key problems of grinding micro rod by micro-EDM and represented a method of grinding micro rod. In this method the micro rod is ground by EDM with axial feed on block electrode. A micro rod with diameter of 10 micra is machined using the method on the multi-functional micro fabrication equipment developed by ourselves. The rod is used as micro electrode and machined a 20 micra diameter micro hole. Experiment shows that the circularity of the micro rod can be improved by deferred servo response. The micro rod ground by this method has high root strength, which benefits machining the micro rod and the rod working.

Key words : micro-EDM; micro rod; block electrode; grinding; axial feed

Integral impeller's formation upon Pro/E platform and cathode design

Xue Linqiang, et al (30)

Abstract : The paper makes a 3D formation of integral impeller by Pro/E software, upon which cathode is designed. And uses NC function of Pro/E software to check machining track, which supports Numerically Controlled Electrochemical Contour Evolution Machining of integral impeller.

Key words : integral impeller; ECM; 3D formation; cathode design

The design and calculation for the cathode feed path of integral impeller with ring

Guo Zigui, et al (33)

Abstract : The design and calculation for the cathode feed path is one of the main key technologies in Numerically Controlled Electrochemical Contour Evolution Machining of integral impeller with ring. In this paper, the task and general principle and basic thought of the design and calculation for the cathode feed path were represented, and followed by the introduction of the planning idea, the design method and process of the cathode feed path were given.

Key words : NC; ECM; integral impeller with ring; feed path

On the experiment of pulse electrochemical finishing of GCr15

Zheng Xinghua, et al (38)