

二维轮廓刀具轨迹自动生成的算法

平雪良 周来水 周儒荣

(无锡轻工大学, 无锡, 214036) (南京航空航天大学, 南京, 210016)

摘要 提出了一种新的二维轮廓刀具轨迹生成的算法, 简化以往对各种复杂情况的编程处理, 对改善 CAD/CAM 系统中 NC 模块的运行性能有一定的作用, 对开环和闭环的二维轮廓刀具轨迹生成都适用。

主题词 数控编程; 刀具轨迹; 算法; 计算机辅助制造

中图分类号 TG659

0 引言

二维轮廓的等距轨迹在 CAD/CAM 等各个领域起着很重要的作用, 迄今为止, 对二维轮廓的等距轨迹算法已有许多文献论述, 但所设计的算法大都比较复杂、实现比较困难且不具通用性^[5,6]。现有的算法都是在对被加工轮廓按直线和圆弧段等距后构造两条直线, 然后分 4 种不同情况分别处理获得最终的刀具轨迹^[2~4]。这种方法求解复杂, 编程困难, 往往得不到理想的结果。笔者所提出的方法大大简化了等距轨迹的生成算法, 其基本思想是:

- 1) 交点相切的相邻两直线或圆弧在等距后其等距线首尾相连且交点仍然相切;
- 2) 被加工平面零件的二维轮廓, 在相邻两条互不相切的直线或圆弧之间插入一个半径为零的过渡圆弧等价于原二维轮廓。

1 基本术语及定义

1.1 轮廓线段的相切连接和相交连接

被加工零件的轮廓轨迹不同于刀具运行的轨迹, 刀具运行的轨迹是刀具中心(铣刀回转中心)轨迹, 而加工轮廓是铣刀切削刃(点或线)的轨迹。如数控机床上用立铣刀加工外轮廓表面或内轮廓表面, 其刀具中心轨迹分别为图 1 中的 O_1 和 O_2 。从两种刀具中心轨迹可看出: 1) 轮廓线段相接处有相交和相切方式连接, 完全相切连接(光滑连接)时刀具中心轨迹是轮廓轨迹的等距线, 相交方式连接时就不完全符合; 2) 相交轮廓按刀具中心轨迹运行, 不能完全保证获得工件轮廓的理想轨迹, 有些地方无法加工, 如加工凹面时线段相交处或当刀具半径 r 大于圆半径时, 有些地方往往会产生刀具干涉(过切)破坏加工表面, 这种情况必须

收稿日期: 1996-03-22

由设计与工艺结合处理。在软件中可通过修正刀具轨迹的方法来处理。

1.2 二维轮廓等距的有关术语

用 C 代表 X, Y 平面内的一曲线段, T 代表在 C 处某一点 Q 上的单位切矢, $N = Z \times T$ 为 Q 点的法矢, Z 为矢量 $(0, 0, 1)$ 。

则 $P = \{C^i\} \quad 1 \leq i \leq n$ 这一组曲线的集合就称为二维轮廓, 在这个二维轮廓中 C^i 段曲线的终点与 C^{i+1} 段的始点相接 $(1 \leq i \leq n-1)$, 并规定在 $\{C^i\}$ 中曲线段无相交, 在程序中用一个单向的链表数据结构来定义:

它实际上是所有曲线段顶点以及圆弧的圆心坐标组成的一个链表, 通称为环, 这个环可以是开环, 也可以是闭环。

$P = \{C^i\}$ 中, 规定 Q_i^s 为第 i 段曲线的起点, Q_i^e 为终点, T^i 和 N^i 分别代表切矢和法矢。如 d 是一个非零实数, 则对应于曲线段 C 的等距线可表示为:

$$O = C \pm d \cdot N \quad (1)$$

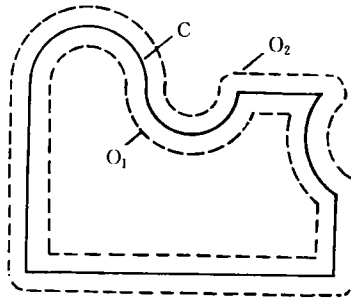


图1 二维轮廓和它的等距线

```
typedefs {
    short      flag ;
    double     spot[2];
    double     cpot[2];
    double     epot[2];
    struct jn-loop * next;
}JN-loop;
```

1.3 基本元素的等距

1.3.1 直线段等距 设直线段起点为 $S(S_x, S_y)$, 终点为 $E(E_x, E_y)$, 等距值为 d , N 为单位法矢:

$$N = \left[-\frac{E_y - S_y}{|SE|}, \frac{E_x - S_x}{|SE|} \right] \quad (2)$$

则等距后的直线段起点和终点矢量值为:

$$O_s = S \pm d \cdot N_s \quad O_e = E \pm d \cdot N_e \quad (3)$$

1.3.2 圆弧段等距 设圆弧的圆心为 $C(C_x, C_y)$, 起点为 $S(S_x, S_y)$, 终点为 $E(E_x, E_y)$, 等距值为 d , N 为单位法矢:

$$N_s = \left[-\frac{S_x - C_x}{|CS|}, \frac{S_y - C_y}{|CS|} \right] \quad N_e = \left[-\frac{E_x - C_x}{|CE|}, \frac{E_y - C_y}{|CE|} \right] \quad (4)$$

则等距后的圆弧段起点和终点矢量值为:

$$O_s = S \pm d \cdot N \quad O_e = E \pm d \cdot N \quad (5)$$

2 刀具轨迹的生成

整个二维轮廓的刀具轨迹生成由程序实现可分为如下 4 个步骤: 二维轮廓的获取; 过渡圆弧插入; 二维轮廓的等距; 轮廓等距后自交的处理。

2.1 二维轮廓的获取

在 CAD/CAM 系统中, 通过人机交互方式设计出的一个平面加工零件, 其轮廓是由各种曲线(包括直线、圆弧及椭圆、抛物线、B 样条曲线、NURBS 曲线等非圆曲线)组成的, 而

现有的数控机床只能进行直线和圆插补,所以加工非圆曲线就必须用一连串直线段或圆弧来拟合,只要和原曲线误差不超过允许范围即可。

一般CAD所设计的二维轮廓各线段,在几何数据库中不一定是按首尾相接的顺序存放的,为此建立一个环的捡取程序,指定环的起始段和终止段,通过判断每一段的终点坐标与始点坐标是否相等来确定曲线段的连接关系,如有分枝则屏幕提示由交互方式来确定轮廓的走向,当捡取到非圆弧曲线段时,执行曲线拟合程序,然后建立一个首尾相连的由直线和圆弧段的起点坐标、终点坐标和圆心坐标等数据组成的链表。如二维轮廓起始段和终止段首尾相接则为闭环轮廓,否则为开环轮廓。

2.2 二维轮廓的预处理

检查相邻两直线或圆弧是否相切,如不相切则在相交点插入一个半径为零的过渡圆弧,具体算法如下:

遍历整个链表,计算出每一个结点(直线或圆弧)的起点和终点的单位切矢 T_c^i, T_c^j ,比较 C^i 终点的单位切矢 T_c^i 与 C^{i+1} 的起点的单位切矢 T_c^{i+1} 的值,如两端点单位切矢不相等,则表明两曲线段在该处不相切,故需插入一个其半径为零的过渡圆弧:

设 lp 为指向 C^i 的指针

计算 T_c^i, T_c^{i+1}

如果 $T_c^i \neq T_c^{i+1}$ 则:

```
lp1 = (jn - loop * ) malloc(sizeof(jn - loop));
```

```
lp1 -> spot[] = lp1 -> epot[] = lp1 -> cpot[] = lp -> epot;
```

```
lp2 = lp -> next;
```

```
lp -> next = lp1;
```

```
lp1 -> next = lp2;
```

否则 $lp = lp -> next$;

2.3 二维轮廓的等距

由于经过处理后的二维轮廓是一个首尾相连的直线和圆弧线段的组合,且相邻两线段的交点都是相切的,故其轮廓的等距变成了直线和圆弧的等距,等距算法变得很简单。等距后的一个曲线段组合也是一个两两相连并且相切的二维轮廓,其曲线段数与等距前环相同,把它放在一个链表中,其结构同原来二维轮廓的结构相同。

2.3.1 等距算法 记环 $P = \{C^i\}_{i=1}^n$ ($n \geq 1$),等距环为 $OP = \{O^i\}_{i=1}^n$ ($n \geq 1$)

1) 等距 C^1 得其等距线 $O^1, i = 1$;

2) 如果 C^i 是零半径圆则进行零半径圆弧段的等距;

3) 否则等距 C^i , 得其等距线 $O^i, 1 \leq i \leq n$.

2.3.2 零半径圆弧段的等距 设 C^i 线段为零半径过渡圆弧,因其半径为零,所以 $|C_c^i| = |C_c^j| = 0$,不能用式(4)求等距。根据交点相切的相邻两直线或圆弧在等距后其等距线首尾相连且交点仍然相切的原则,其等距后圆弧起点应为上一等距线段的终点 O_c^{i-1} , 终点为下一线段的始点 O_c^{i+1} , 故可以得到等距圆弧为 O_i , 其起点为 $O_i = O_c^{i-1}$, 终点为 $O_i = O_c^{i+1}$, 圆心坐标为第 $i-1$ 段曲线 C^{i-1} 的终点坐标。

设 lp 为指向 C^i 的指针, $op1$ 为指向 O^{i-1} 的指针

如果 $lp1 -> spot[] = lp1 -> epot[] = lp1 -> cpot[]$

```
op2=(jn-loop * )malloc(sizeof(jn-loop))
```

计算 O_s^{+1}

```
op=(jn-loop * )malloc(sizeof(jn-loop))
```

```
op->spot[]=op1->epot[]
```

```
op->epot[]=op2->spot[]
```

```
op->cpot[]=lp->epot[]
```

否则 $lp=lp->next$;

等距后的结果如图 2 中虚线所示。

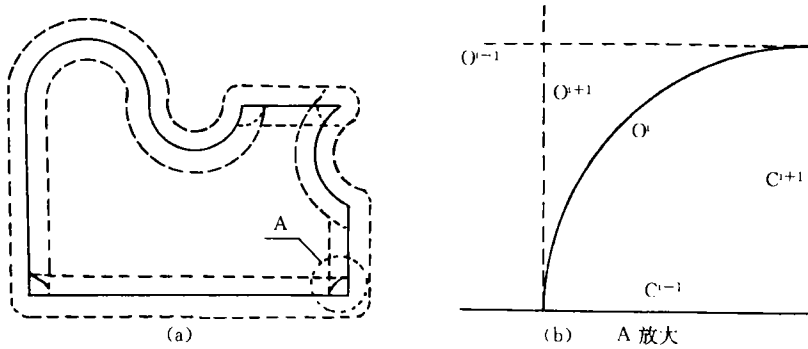


图 2 增加零过渡圆弧后二维轮廓内外环等距各线段相连

2.4 等距后环的处理

由于在等距前对二维轮廓进行了处理,增加了半径为零的过渡圆弧,故等距后的刀具轨迹可能会出现自交环的现象(图 2),所以必须进行等距环的处理,具体算法如下:

遍历整个等距环链表,对每一段曲线 O^i 与前 $i-2$ 个曲线段进行求交,检查是否有曲线段与 O^i 段相交,如第 n 段 ($1 \leq n \leq i-2$) 与其相交则停止该线段对以后曲线段 ($n+1$ 至 $i-2$ 曲线段) 的求交,用该交点作为等距环上新的一点(修改第 n 段曲线的终点坐标值和 C^i 段曲线的起始坐标值),删除第 $n+1$ 至第 $i-1$ 的曲线段。图 3 列出了处理的整个过程,实际上这就是对自交进行了处理。

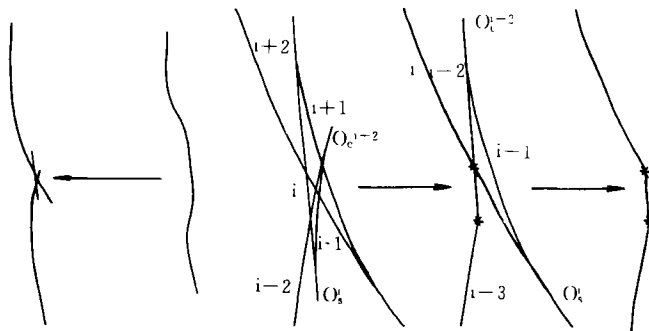


图 3 某凸轮廓中一部分曲线段等距及其等距后的处理过程

3 结 语

以上二维轮廓的等距方法在 CAD/CAM 系统中的 NC 加工编程中有明显的优点,对于各种复杂形状的二维轮廓均能进行很好的处理。

参 考 文 献

- 1 唐荣锡主编. 计算机辅助飞机制造. 北京航空工业出版社,1993. 11
- 2 赵松年,戴志义主编. 机电一体化数控系统设计. 机械工业出版社,1994. 5
- 3 张永洪等. 数控机床加工曲线的方法. 机床,1988. 12
- 4 陈汉军等. 任意平面曲线的圆弧逼近方法. 南航学报,1995. 12
- 5 Offsets of Two-Dimensional Profiles. Wayne Tiller and Eric G. IEEE CG & A Sep. 1984
- 6 Offsetting Operations via closed ball approximation. Ibrahim Zeid Computer-Aided Design 1995,27(11)

A new Algorithm of Generating Tool Paths of Two-dimensional Profiles

Ping Xueliang

(Wuxi University Of Light Industry, Wuxi, 214036)

Zgou Laishui Zhou Rurong

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, 210016)

Abstract A new algorithm of generating tool paths of two-dimensional profiles is presented. It simplifies the earlier complicated programming and improves the NC operating property in CAD/CAM system. This algorithm can be used in generating of both open and closed loops of tool paths of two-dimensional profiles.

Subject-words Numerical control programming; Tool path; Algorithm; CAM