

跨任意象限直线和圆弧插补原理研究与轨迹仿真*

王宏伟 孙文磊 祁文军 何 丽

(新疆大学 机械工程学院 乌鲁木齐 830047)

Principle study and trajectory simulation on straight line and circular interpolation crossing random quadrant

WANG Hong-wei SUN Wen-lei QI Wen-jun HE Li

(School of Mechanical Engineering Xinjiang University Urumqi 830047 China)

【摘 要】通过研究数控机床逐点比较插补法原理,分析了四个象限中直线和圆弧插补时的偏差计算公式和进给脉冲方向的特点。利用直线斜率绝对值相等原则,总结出了跨任意象限直线插补计算原理。利用动点到圆心的距离与圆弧半径的关系,总结出了适用于跨任意象限圆弧的插补计算原理,并给出了任意圆弧与坐标轴交点个数与分段的计算方法。最后依据上述原理和方法,利用VB编写程序分别模拟了跨任意象限直线和圆弧插补的运动轨迹,并输出插补每步的计算结果,有助于更直观的理解逐点比较插补法原理。

关键词 逐点比较法 直线插补 圆弧插补

【Abstract】Through studying the principle of the point-to-point comparison interpolation method in machine tool the formula of deviation and the characteristics of the feed pulse direction are analyzed when straight line and circular arc are interpolated in four quadrants. An interpolation counting method, which is applicable to random line in quadrants is summarized based on the rule that the absolute values of linear slopes are equal. And then another counting method which is applicable to random arc in quadrants, is also summarized based on the relationship of the radius of the circular arc and the distance between the moving point and central point meanwhile the calculation method of intersections with coordinate axis and subsections is also presented. Based on them a program is developed by VB finally which can simulate the trajectory of random straight line and circular interpolation and output the result of each step of interpolation counting to make the principle of the point-to-point comparison interpolation method be understood more intuitive.

Key words Point-to-point comparison method Straight line interpolation Circular interpolation

中图分类号:TH16 TG659 文献标识码:A

1 引言

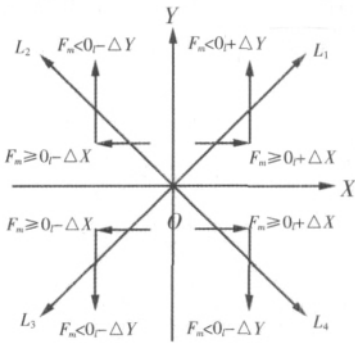
插补计算是数控系统根据输入的基本数据(如直线终起点坐标值、圆弧起点、圆心、终点坐标值等)通过计算,将工件轮廓的形状描述出来。边计算边根据计算的结果向各坐标发出进给指令^[1]。逐点比较插补法是数控加工中常用的插补算法之一,通过比较刀具移动的实际位置与理论位置,获得偏差情况,进而决定下一步的进给方向来实现对零件的加工^[2-4]。逐点比较法是以折线来逼近直线或圆弧曲线的。为更好的模拟仿真数控机床中逐点比较法直线和圆弧插补轨迹,在理解四个象限直线和圆弧插补时的偏差计算公式和进给脉冲方向的基础上,首先总结出适用于跨任意象限直线的插补计算原理和适用于跨任意象限圆弧的插补计算方法,然后再依据总结的原理进行编程,实现直线或圆弧的插补轨迹仿真。

2 适用于跨任意象限直线的插补计算原理

在四个象限中通过坐标原点的加工直线进行插补时,其插补偏差计算公式和进给脉冲方向,如表1所示。(1)加工动点位于 L_1OL_4 和 L_2OL_3 区域时,动点的进给方向均为Y方向,偏差 F 均小于0,并且其斜率的绝对值均小于所在象限的加工直线斜率的绝对值;而当加工动点位于 L_1OL_2 和 L_3OL_4 区域时,动点的进给方向均为X方向,偏差 F 均大于或等于0,并且其斜率的绝对值均大于或等于所

在象限的加工直线斜率的绝对值。(2)进给方向 ΔX 、 ΔY 的正负则由终点坐标 (X_e, Y_e) 相对起点坐标 (X_0, Y_0) 的位置决定的,即 $X_e - X_0 \geq 0$,朝X的正方向进给; $X_e - X_0 < 0$ 时,朝X的负方向进给;同理 $Y_e - Y_0 \geq 0$ 时,朝Y的正方向进给; $Y_e - Y_0 < 0$ 时,朝Y的负方向进给。

表1 直线插补偏差计算公式和进给脉冲方向



线型	$F \geq 0$ 时进给方向	$F < 0$ 时进给方向	偏差计算公式
OL_1	$+\Delta X$	$+\Delta Y$	$F \geq 0$ 时, $F_1 = F - Y_d $
OL_2	$-\Delta X$	$+\Delta Y$	$F_1 = F - Y_d $
OL_3	$-\Delta X$	$-\Delta Y$	$F_m < 0$ 时, $F_1 = F + X_d $
OL_4	$+\Delta X$	$-\Delta Y$	$F_1 = F + X_d $

* 来稿日期:2011-06-07 * 基金项目:自治区科技攻关项目(200932118) 国家科技项目(2009GJ40019)

根据上述两点规律,可归纳总结得到跨任意象限直线的插补计算原理,其通用插补偏差计算公式及其进给脉冲方向判断方法如下:当加工动点 (X_m, Y_m) 正好位于加工直线上时,由同一直线上任意两点确定的直线斜率绝对值相等关系有:

$$\left| \frac{Y_m - Y_0}{X_m - X_0} \right| = \left| \frac{Y_e - Y_0}{X_e - X_0} \right|$$

现取 $F_m = |Y_m - Y_0| \cdot |X_e - X_0| - |Y_e - Y_0| \cdot |X_m - X_0|$ 作为跨任意象限直线插补的偏差判别式。

当 $F_m \geq 0$ 时,沿 X 方向进给一步,走一步后新的坐标值为 $X_{m+1} = X_m + \Delta X$, $Y_{m+1} = Y_m$, 其中 ΔX 的值由 X 终点坐标相对起点坐标位置决定,即 $\Delta X = (X_e - X_0) / |X_e - X_0|$, 则新的偏差值为 $F_{m+1} = |Y_{m+1} - Y_0| \cdot |X_e - X_0| - |Y_e - Y_0| \cdot |X_{m+1} - X_0| = F_m - |Y_e - Y_0|$ 。

当 $F_m < 0$ 时,沿 Y 方向进给一步,走一步后新的坐标值为 $X_{m+1} = X_m$, $Y_{m+1} = Y_m + \Delta Y$, 其中 ΔY 的值由 Y 终点坐标相对起点坐标位置决定,即 $\Delta Y = (Y_e - Y_0) / |Y_e - Y_0|$, 则新的偏差值为 $F_{m+1} = |Y_{m+1} - Y_0| \cdot |X_e - X_0| - |Y_e - Y_0| \cdot |X_{m+1} - X_0| = F_m - |X_e - X_0|$ 。

在加工过程中,起点的偏差 $F_0 = 0$ 。随着加工点前进,新加工点的偏差 F_{m+1} 都可以由前一点偏差 F_m 和起、终点坐标相加或相减得到。直线插补计算时,用一个终点计数器,记录从起点到终点的总步数,即 $\Sigma = |X_e - X_0| + |Y_e - Y_0|$, X, Y 坐标每进给一步 Σ 减去 1, Σ 为零时到达终点。动点每走一步,都要进行以下四个步骤的逻辑运算和算术运算,即:偏差判别、坐标进给、偏差计算、终点判别。实现跨任意象限直线的插补计算流程如图 1 所示。

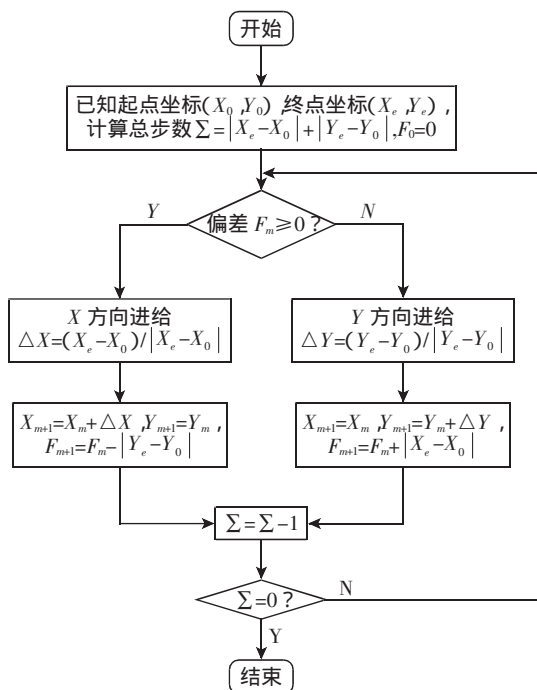


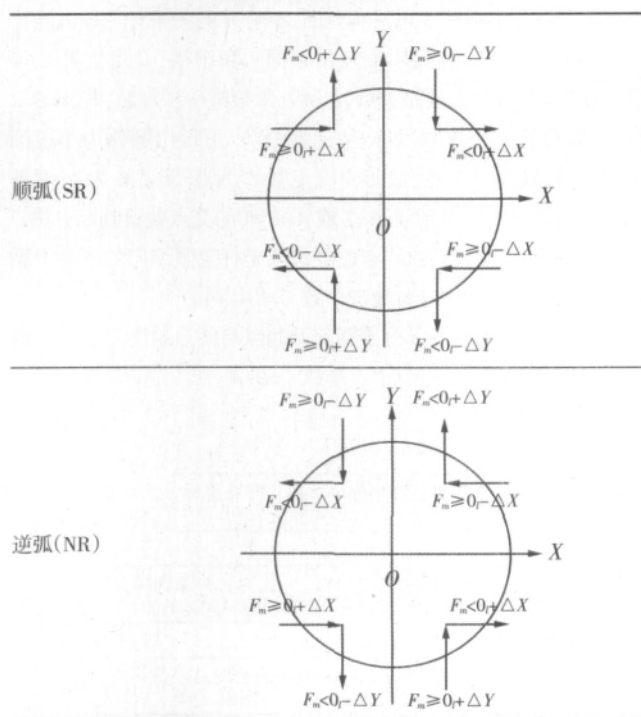
图1 跨任意象限直线的插补计算流程图

3 适用于跨任意象限圆弧的插补计算原理

在四个象限中对圆心位于坐标原点的加工圆弧进行插补时,其进给脉冲方向,如表 2 所示。取加工圆弧起点坐标为 (X_0, Y_0) , 终点坐标为 (X_e, Y_e) , 加工动点坐标为 (X_m, Y_m) 。通过分析不同象限的、顺逆不同的圆弧插补进给脉冲方向的特点,可以总结出如下几点规律:(1)当偏差 $F_m \geq 0$ 动点的进给方向与能让 $|X_m|$

或 $|Y_m|$ 减小(靠近圆心)的方向相同,即当 $|X_e| < |X_0|$ 时,动点的进给方向为 X 方向,否则为 Y 方向;或者当 $|Y_e| < |Y_0|$ 时,动点的进给方向为 Y 方向,否则为 X 方向。(2)当偏差 $F_m < 0$ 动点的进给方向与能让 $|X_m|$ 或 $|Y_m|$ 增大(远离圆心)的方向相同,即当 $|X_e| > |X_0|$ 时,动点的进给方向为 X 方向,否则为 Y 方向;或者当 $|Y_e| > |Y_0|$ 时,动点的进给方向为 Y 方向,否则为 X 方向。(3)进给方向 $\Delta X, \Delta Y$ 的正负与直线插补相同,也是由终点坐标 (X_e, Y_e) 相对起点坐标 (X_0, Y_0) 的位置决定的。

表2 顺逆圆弧插补进给脉冲方向



根据上述几点规律,可归纳总结得到适用于不同象限(但不跨象限)的、顺逆不同的圆弧插补的通用计算方法,偏差计算公式与进给脉冲方向判断方法如下:当加工动点 (X_m, Y_m) 正好位于加工圆弧上时,由同一圆弧上两点到圆心距离相等关系有:

$$R_m^2 = X_m^2 + Y_m^2, R^2 = X_0^2 + Y_0^2, \text{ 则圆弧偏差判别式如下为: } F_m = R_m^2 - R^2 = X_m^2 + Y_m^2 - R^2.$$

首先按如下方法判断动点的进给方向:(1)当 $F_m \geq 0$ 时,先判断 $|X_e|$ 是否小于 $|X_0|$, 如果有 $|X_e| < |X_0|$, 则动点的进给方向为 X 方向,否则为 Y 方向;或者先判断 $|Y_e|$ 是否小于 $|Y_0|$, 如果有 $|Y_e| < |Y_0|$, 则动点的进给方向为 Y 方向,否则为 X 方向。(2)当 $F_m < 0$ 时,先判断 $|X_e|$ 是否大于 $|X_0|$, 如果有 $|X_e| > |X_0|$, 则动点的进给方向为 X 方向,否则为 Y 方向;或者先判断 $|Y_e|$ 是否大于 $|Y_0|$, 如果有 $|Y_e| > |Y_0|$, 则动点的进给方向为 Y 方向,否则为 X 方向。当动点向 X 方向进给时,偏差计算公式为 $F_{m+1} = Y_m^2 + (X_m + \Delta X)^2 - R^2 = F_m + 2\Delta X \cdot X_m + 1$, 其中 $\Delta X = (X_e - X_0) / |X_e - X_0|$; 当动点向 Y 方向进给时,偏差计算公式为 $F_{m+1} = X_m^2 + (Y_m + \Delta Y)^2 - R^2 = F_m + 2\Delta Y \cdot Y_m + 1$, 其中 $\Delta Y = (Y_e - Y_0) / |Y_e - Y_0|$ 。实现跨任意象限圆弧的插补计算流程,如图 2 所示。

4 任意圆弧与坐标轴交点个数计算原理

假设圆弧曲线的圆心位于坐标原点,当圆弧曲线坐标不在坐标原点时可采用平移变换矩阵变换后再进行分析而后再还原。现以逆时针圆弧为例进行说明,圆弧起点、终点与坐标轴的位置关系共有3种情况,分别为两点全部在坐标轴上,有一点在坐标轴上和两点全不在坐标轴上。针对以上三种情况,首先将坐标轴及象限编码,如图3所示,然后依据编码讨论交点个数计算方法。

取圆弧类型为逆时针弧,且两点全部不在坐标轴情况为例进行说明,设 A 为圆弧起点象限编号, B 为圆弧终点象限编号, C 为交点个数。根据图3可进行判断, A 与 B 的关系有三种可能:

(1) $A=B$;此时圆弧两端点位于同一象限内,交点数量 C 可以为0或4。这时需要根据 A 、 B 所处象限进一步判断,若 $A=B=1$ 或 $A=B=3$,且 $|Y_B|>|Y_A|$,即 $|Y|$ 呈递增趋势,可得出圆弧为小段圆弧,与坐标轴没有交点,故得出交点个数 C 为0,反之 C 为4;同理可根据 $|X|$ 变化情况得到 $A=B=2$ 或 $A=B=4$ 的交点数量判断方法。

(2) $A>B$;此时圆弧终点已经进入坐标象限编号的下一个循环周期中,因而可以得到交点个数 $C=B-A+4$ 。

(3) $A<B$;此时可以得出圆弧的起点与终点始终位于同一编号循环周期内,故可得到交点个数 $C=B-A$ 。

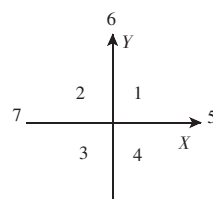


图3 坐标轴编码标识

5 跨任意象限直线或圆弧插补的轨迹仿真

利用 Visual Basic 6.0 作为编程工具,根据上述适用于跨任意象限直线或圆弧的插补计算流程,编写窗体程序分别实现了跨任意象限直线和圆弧插补的可视化轨迹仿真^[6-7],并输出每步进给的插补计算结果。偏差判别、进给方向、偏差计算和终点判。如图4所示,输入直线起、终点坐标(任意象限中的坐标值),点击“插补计算与绘图”按钮,可以在窗体中看到跨任意象限直线插补的轨迹仿真图和每步进给的插补计算结果。

如图5所示,输入圆弧起、终点坐标(任意象限中在同一圆弧上的坐标值)和圆弧顺逆方向,点击“插补计算与绘图”按钮,可以在窗体中看到跨任意象限圆弧的插补的轨迹仿真图和每步进给的插补计算结果。

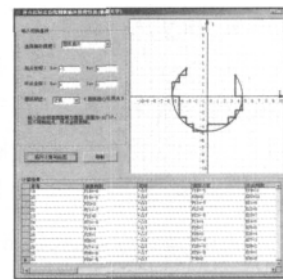
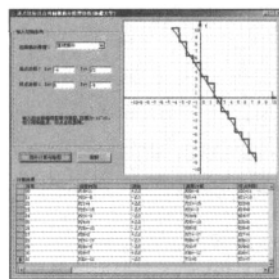


图4 跨任意象限直线插补轨迹仿真 图5 跨任意象限圆弧插补轨迹仿真

6 结束语

所述的直线和圆弧插补计算原理是分别适用于跨任意象限直线和圆弧的通用插补计算方法,使用时不需分象限来使用不同偏差计算公式和进给脉冲方向判别方法。应用其模拟仿真跨任意象限直线或圆弧插补的轨迹,并输出插补每步的计算结果,有助于更直观的理解逐点比较插补法的直线和圆弧插补计算原理。

参考文献

- [1] 廖效果,朱启超.数字控制机床[M].武汉:华中科技大学出版社,2007:80-83.
- [2] 金中波,张百臣,韩霞,等.逐点比较法直线插补原理及其改进算法分析[J].机械工程师,2009(3):126-128.
- [3] 游明琳,潘阳.逐点比较法插补轨迹php仿真实现[J].现代制造技术与装备,2009(5):65-66.
- [4] 凡进军,刘让贤,郭紫贵,等.基于VC++数控插补仿真的研究[J].机械工程师,2010(5):88-90.
- [5] 陈涛.基于EVC的逐点比较法圆弧插补实现[J].组合机床与自动化加工技术,2010(6):82-84.
- [6] 向丽明.基于VB6.0平台的数控原理插补算法模拟软件[J].信息技术,2003(12):95-97.
- [7] 曾祥光,张玲玲.基于VB的数控插补原理仿真研究[J].机械工程师,2006(5):41-43.

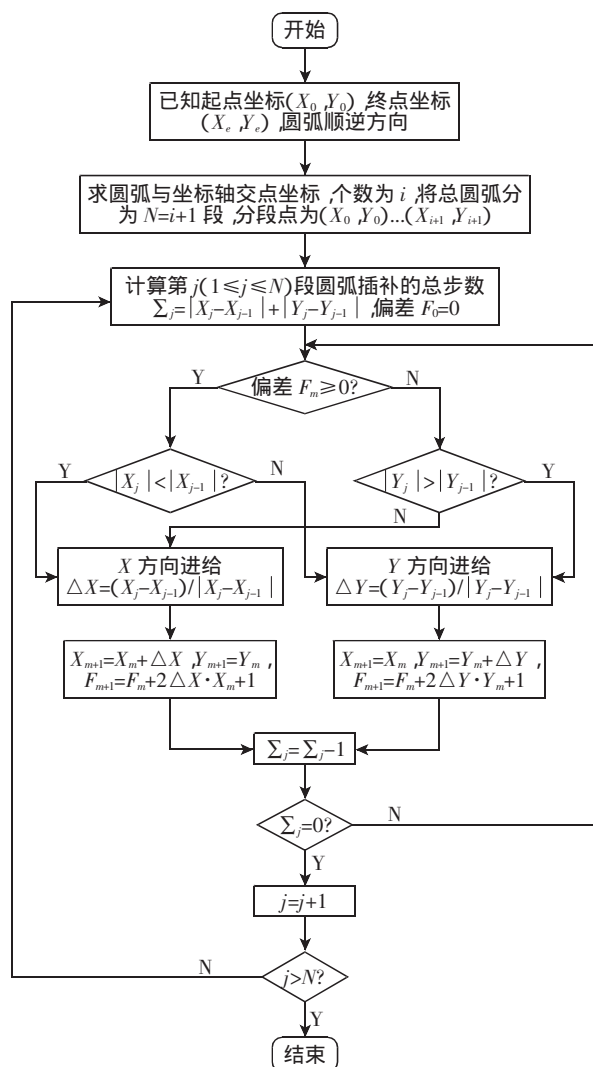


图2 跨任意象限圆弧的插补计算流程图