

针对半步偏差法的插补速度的优化

舒晓春¹, 黄小玲¹, 卢玉华²

(1.宣城职业技术学院, 安徽 宣城 242000; 2.唐山昊晟科技有限公司, 河北 唐山 063000)

摘要: 随着制造业的快速发展, 为了适应目前数控雕刻的发展, 针对插补技术提出优化, 变单步进给为多步进给, 提高插补计算速度, 也进一步提高产品的加工效率。分析直线插补算法存在加工精度不高的问题, 针对这种情况通过研究提出了改进思路, 在加工直线的前提下, 通过大量的数学计算与数据分析, 提出三角形插补算法, 三角形算法的核心思想是变单步进给为连续多步进给, 综合看三角形插补算法能大大提高插补的速度。

关键词: 数控系统; 插补算法; 速度; 三角形算法

中图分类号: TG659 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-1891(2019)01-0076-04

Optimization of Interpolation Speed for Half Step Deviation Method

SHU Xiaochun¹, HUANG Xiaoling¹, LU Yuhua²

(1. Xuancheng Vocational and Technical College, Xuancheng, Anhui 242000, China;

2. Tangshan Haosheng Technology Co., Ltd., Tangshan, Hebei 063000 China)

Abstract: With the rapid development of manufacturing industry and to adapt to the current development of CNC engraving, the interpolation technology is optimized to change the single-step feeding into multi-step feeding to improve the interpolation calculation speed and further improve the processing efficiency of products. This paper analyzes the problem of the lower machining precision of the linear interpolation algorithm, and proposes solutions to improve. On the premise of machining the straight line and after a large number of mathematical calculations and data analyses, the triangle interpolation algorithm is proposed. The core idea of the triangle algorithm is to change the single-step feeding into continuous multi-step feeding. Generally, the triangle interpolation algorithm can greatly improve the speed of interpolation.

Keywords: CNC system; interpolation algorithm; speed; triangle algorithm

机床运行效果与插补算法密不可分, 插补算法在运用中受多方面影响, 主要从计算速度、进给规则、精度和数据量这4方面来衡量的^[1-3]。半步偏差法的精度相比较直线插补算法有所提高, 但计算量大, 同时插补速度也较慢, 下面将针对减少计算量提高插补速度进行分析^[4-6]。

1 三角形插补算法

1.1 半步偏差法的分析

半步偏差法脉冲进行插补能使插补误差达到最小状态^[7-8], 但是计算量依然很大。如图1所示, 从0点开始脉冲插补路线与直线构成5个全等小三角形与5个全等的大三角形, 从中可以得出机床在

插补时遵循一定的规律。

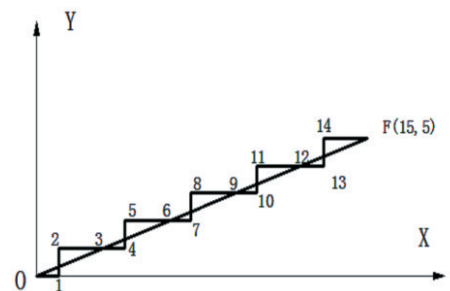


图1 直线插补路线图

对图形进行总体分析, 第1步在X轴进给1个脉冲, 第2步在Y轴进给1个脉冲, 第3步在X轴进给2个脉冲, 刚好走完上图中第1对三角形(一个小

收稿日期: 2018-09-28

基金项目: 安徽高校科学研究项目重点项目: 参数曲线的自适应插补算法的分析与研究(KJ2018A0848); 宣城职业技术学院2018年度院级科研振兴计划项目: 数控石雕机插补算法的分析与研究(ZXPY201812)。

作者简介: 舒晓春(1983—), 男, 安徽旌德人, 讲师/工程师, 硕士, 研究方向: 机电一体化。

三角形与1个大三角形称为1对)。之后的图形遵循同样的规律,一直走完第5对三角形,机床走完第1对三角形之后,只需将刚才的路线重复走4次,即到达终点坐标。如果假设成立,机床在后续的移动过程中不需要依据简化的半步偏差法进行重复计算。

根据上述分析,得出每1对三角形需要移动3次X轴和1次Y轴,在整个插补过程中Y轴共进给5次(等于Y轴坐标),图中存在5对三角形。由于图1中 X/Y 是整数,每对三角形在X轴上的分量为3。

1.2 三角形算法的提出及数学分析

通过对第一区域的两条直线进行分析,得出的结论是直线中每1对三角形在长轴(由于第一区域 $X > Y$,定义X为长轴,Y为短轴)上分量存在小数,而脉冲是以整数进给的,下面将对直线的脉冲进给路线与三角形之间的关系进行分析。

图2中插补直线的起点为坐标原点,终点F(9,4),从插补路线的轨迹可以看出,插补轨迹与直线有若干个交点,组成4对三角形。每1对三角形在X轴上的脉冲量为 $9/4=2.25$,前3对三角形在发出的最后一个脉冲时有部分落在直线下方,分别为0.75、0.5、0.25。

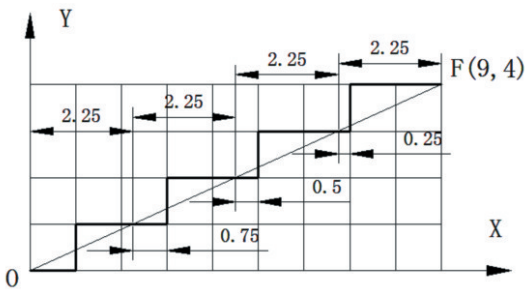


图2 三角形插补算法直线(1)分析

从起点开始分析,从起点发出1个长轴方向脉冲,接着发出1个短轴方向脉冲,然后连续发出2个长轴方向脉冲到达坐标(3,1),实际的位置已经超出第1对三角形了,第1对三角形实际发出了3个长轴方向的脉冲。第2对三角形是先发出一个短轴方向脉冲,然后发出2个长轴方向脉冲到达坐标(5,2),计算方法是 $2.25 - 0.75=1.5$,由于需要发出2个长轴方向脉冲,将越过直线下方的脉冲量0.5加入。第3对三角形剩余量为1.75,脉冲轨迹是先发出1个短轴方向脉冲,之后发出2个长轴方向脉冲到达(7,3),计算方法是 $2.25 - 0.5+0.25=2$ 。第4对三角形的脉冲量由于有0.25的量在上一步已经完成,所以只需要先发出1个短轴方向脉冲,然后发出2个长轴方向脉冲到达终点。上述的分析可以解决脉

冲量有小数的问题,接下来再分析一般直线来验证。

图3中插补直线坐标起点在原点,终点F(7,3)。对其插补路线进行分析,插补轨迹与插补直线构成3对三角形。每对三角形在X轴的分量为 $7/3=2.33$,第1对三角形先发出1个长轴方向脉冲,发出1个短轴方向脉冲,之后连续发出2个长轴方向脉冲。长轴方向总脉冲量为3,占用了第2对三角形0.67个脉冲量。第2对三角形实际的量为1.66,脉冲轨迹为先发出1个短轴方向的脉冲,之后发出2个长轴方向的脉冲。第3对三角形的实际剩余脉冲量为 $2.33-0.33=2$,也就是发出一个短轴脉冲后连续发出2个长轴方向脉冲后到达终点。

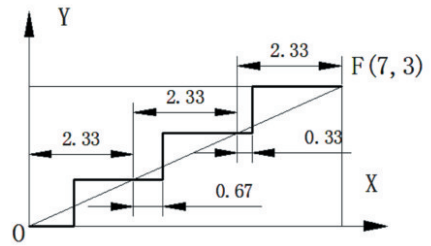


图3 三角形插补算法直线(2)分析

通过图2和3分析可以总结出以下规律:

(1)在第1区域内的直线,在插补过程中在短轴上每次必须进给而且也是最多进给1个脉冲,无须计算脉冲数量。

(2)每次进给1个短轴脉冲就构成1个三角形对数,整条直线三角形对数由Y确定,三角形在长轴的分量由 X/Y 决定。

(3)为了保证有最小误差每次进给插补点都必须穿过直线到直线下方,此时再进给1个短轴脉冲,插补点又回到直线上方。此时插补点穿过直线部分不大于1个脉冲,并把它记为三角形算法。因为这个余量是在插补计算时对小数部分向上取整而来。如图2中第1个三角形对进给脉冲理论值2.25,取整后实际脉冲量为3,余量为0.75,图3第一个三角形对中脉冲理论值2.33,向上取整为3,余量为0.67,其余三角形以此类推。

(4)由上述分析可知,每次插补计算与进给可以以三角形对为单位,短轴每次进给1个脉冲,因此只需要计算长轴脉冲数,终点判别也只需判别长轴。长轴脉冲数应由2部分决定:三角形对在长轴分量与余量,通过迭代运算即可计算出三角形对在长轴的进给脉冲数。

下面结合一般情况进行推导,图4为最一般情况。

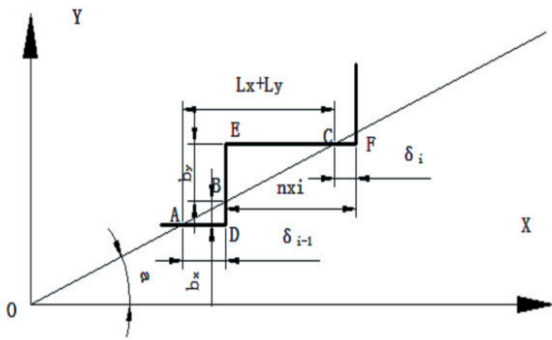


图4 三角形算法插补算法示意图

假设图4中三角形对为直线的第*i*对三角形, A是上一个三角形对*i-1*的插补终点,同时也是此三角形对*i*的起点,每次插补是一个完整三角形,但此时有可能有小数部分,需要向上取整处理,所以插补终点不一定是进给终点,图中插补计算应该是以三角形对为对象,进给往往要多出一定的余量。

图中, α 为直线与水平轴线之间的夹角;

b_x, b_y 为Y方向的1个脉冲量被插补直线分成的上下两部分,因为每次只进给短轴恒为1个脉冲,显然图中 $b_x + b_y = 1$;

$l_x + l_y$ 为三角形对在长轴的分量,因此有 $l_x + l_y = \text{ctg } \alpha$,对同一条直线显然是一个常量;

δ_{i-1} 为上一个三角形对的插补余量,对第1个三角形初值为0,对第*i*对三角形中 δ_{i-1} 是已知的,因为每次计算都要计算 δ ,即图中EC取整后的余量;

nx_i 为每1对三角形最终确定在长轴上发出的脉冲量。

由图4可知, $nx_i = \text{top_int}(EC) = EF$

$$EC = l_x + l_y - \delta_{i-1}$$

$$nx_i = \text{top_int}(l_x + l_y - \delta_{i-1}) \tag{1}$$

这就是每次插补计算时要进给的长轴脉冲数。进给时可以连续进给。

δ_i 是EC取整形成的余量,显然:

$$\begin{aligned} \delta_i &= EF - EC = nx_i - (l_x + l_y - \delta_{i-1}) \\ &= \text{top_int}(l_x + l_y - \delta_{i-1}) - (l_x + l_y - \delta_{i-1}) \end{aligned} \tag{2}$$

表达式右边都是常量,而且都是加减法计算,因此可以方便计算出每1个三角形对插补脉冲数与三角形算法。计算出插补脉冲数与余量后即可进行进给,进给时为了保证有尽可能高的精度,实际进给时做以下规定:当长轴进给脉冲数较大时规定在 nx_i 一半处进给短轴,因为此时有最小误差,也就是在发出 $(nx_i - 1)/2$ (并向上取整)个长轴脉冲时刻发出一个短轴脉冲。

2 三角形算法的性能分析

2.1 三角形算法的计算速度进行分析

由于三角形算法中的计算方式与简化的半步偏差法不同,三角形算法的计算第1步为 X_0/Y_0 ,第2步计算每1对三角形发出的长轴量 $nx_i = \text{top_int}(l_x + l_y - \delta_{i-1})$,余量 $\delta_i = \text{top_int}(l_x + l_y - \delta_{i-1}) - (l_x + l_y - \delta_{i-1})$,第3步计算何时发出短轴脉冲 $(nx_i - 1)/2$,第4步判断长轴是否到达终点。

为了更好地分析三角形算法在各种情况下的性能,在插补直线与X夹角 $0 \sim 45^\circ$ 之间取1条插补直线,进行对比分析,如图5和6。

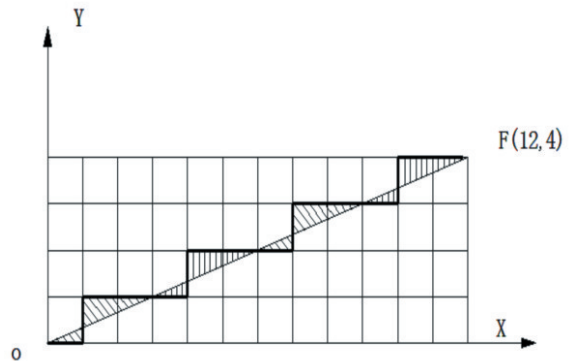


图5 半步偏差法走步轨迹图

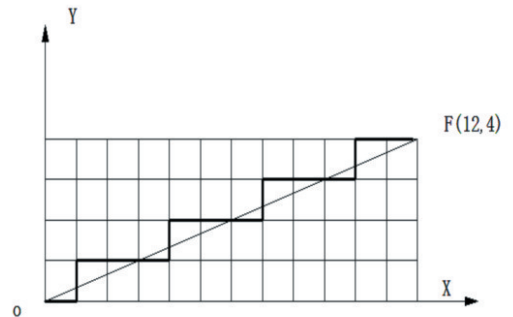


图6 三角形插补算法

三角形算法需要计算4对三角形,三角形算法插补算法1对三角形耗时量为15步,结果为60步,另外加上三角形对数计算耗时1,总耗时量61步。半步偏差法可以看出,插补计算需要16步,依据上述分析结论,半步偏差法每一步耗时量11步,此图总耗时量为176步。对比结果是三角形算法插补算法在耗时上节省了约65%,当然对不同直线情况有所不同。

通过上述第一区域直线的对比分析,得出结论,当插补直线与轴线夹角越大,三角形算法插补优势越弱,夹角越小插补优势越明显。

2.2 三角形算法的实际应用

如图7所示,加工一条直线(800,20),利用半步偏差法计算需要计算次数为800步,而利用三角形

算法计算需要计算 20 对三角形,结果如表 1。



图7 半步偏差法与三角形算法法对比

表1 半步偏差法与三角形算法加工耗时比较

算法	总步(对)数	单步耗时/步	总耗时/步	结果
半步偏差法	800步	11	8 800	半步偏差法
三角形算法	20对	15	301(一次初始计算)	节省耗时约96%

通过以上对比得出,如果加工的直线越长,三角形算法在计算耗时方面体现得越明显,为了检验以上数据的合理性,下面将利用实验设备进行加工实验。

图8是利用实验设备加工的零件成品,只加工“内孔精磨”4个字,分别利用半步偏差法与三角形算法进行对比,字体深度为0.2 mm,图9是三角形加工仿真路线图。



图8 啄木鸟雕刻机加工零件成品

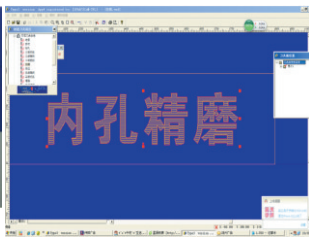


图9 三角形算法仿真加工

通过表1对比可知,三角形算法加工与半步偏差法对比结果很明显,不管是计算次数,还是文件大小和加工时间方面,长轴余量算法优于半步偏

差法。

2.3 三角形算法加工数据分析

图7中利用半步偏差法与三角形算法加工同一条直线,起点在原点,终点坐标为(800,20),通过将两种算法的步数(三角形对数),以及单次的耗时对比分析,最终结论是三角形算法加工直线耗时约减少96%。

图8是采用长轴余量插补算在实验设备加工的一件成品,图9采用长轴余量在Type3软件仿真系统上加工加的路线图,仿真软件与实际设备所选的参数一致,通过对比发现,三角形算法在插补次数节省了60%,文件方面压缩了21%,加工运行时间减少了54%(表2)。

表2 半步偏差法与三角形算法加工数据比较

名称	插补计算次数	程序文件大小/kb	加工运行时间/min	备注
半步偏差法	3 732	80.5	55	机床参数
三角形算法	1 488	63.1	25	选择一致

综合看来,三角形算法相比较半步偏差法在插补计算次数、压缩文件以及加工时间方面都有较大的改善。

3 结语

通过以上分析,在精度一定的前题下,三角形算法在速度方面比半步偏差法要快、可节省计算步骤、程序所占内存变小,反映到机床上就是对雕刻机的系统结构要求降低了,这样使雕刻机总成本降低,大大提高其在市场上的竞争力。另外由于三角形算法可以离线操作,如果加工图案复杂,可以在离线的方式下生成加工代码,节省时间,也可以用移动存储器进行存储。

参考文献:

- [1] 舒晓春,黄小玲.浅析数控机床中微小线段连续插补算法[J].中小企业管理与科技(上旬刊),2017(1):139-140.
- [2] 舒晓春.数控机床调控与故障诊断系统的设计与实现[J].中小企业管理与科技(上旬刊),2015(5):251-252.
- [3] 李进文,何素梅,吴海彬.一种直线插补算法及其在机器人中的应用研究[J].机电工程,2015,32(7):966-970.
- [4] 王允森,盖荣丽,孙一兰,等.基于牛顿迭代法的NURBS曲线插补算法[J].组合机床与自动化加工技术,2013(4):13-17.
- [5] 耿聪,于东,张函.五轴联动刀轴矢量平滑插补算法[J].机械工程学报,2013,49(3):180-185.
- [6] 罗钧,汪俊,刘学明,等.基于S型加速度的自适应前瞻NURBS曲线插补算法[J].计算机集成制造系统,2013,19(1):55-60.
- [7] 林锋,汪地.三次非均匀B样条曲线插补算法研究[J].组合机床与自动化加工技术,2012(8):32-35.
- [8] 潘海鸿,杨微,陈琳,等.全程S曲线加减速控制的自适应分段NURBS曲线插补算法[J].中国机械工程,2010,21(2):190-195.

(责任编辑:蒋召雪)