

· 电子机械工程 ·

ARM运动控制平台下高精度高速插补算法的研究

黄大贵, 金振林, 冯代伟, 王 强

(电子科技大学机械电子工程学院 成都 610054)

【摘要】采用ARM嵌入式微处理器,结合MCX314运动控制芯片,构建成可独立运行的嵌入式运动系统。运用了型值点S型曲线加减速前瞻控制算法,根据加工路径的型值点的实际情况,确定每一型值点处的最大衔接速度,采用S型曲线加减速控制,实现各路径段之间进给速度的快速衔接,从而达到高速高精的运动控制目的。

关键词 型值点; 嵌入式; 前瞻; S型曲线
中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Research on High Accuracy and High Speed Interpolation Algorithm Based on ARM Motion Control Flat

HUANG Da-gui, JIN Zhen-lin, FENG Dai-wei, and WANG Qiang

(School of Mechanical Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

Abstract An embedded motion system which can run independently is constructed by applying the ARM embedded microprocessor and combining the MCX34 motion control chip. A conjunctive spot S-curve velocity look-ahead control method is applied in this system. The maximal linkup speed at the conjunctive spot is determined according to the actual conditions of the conjunctive spot on the process route. The linkup of the high process speed between each route section is realized by using the S-curve velocity control.

Key words conjunctive spot; embedded; look-ahead; S-curve

数控技术的发展趋势之一是采用运动控制器的开放式数控系统。目前运动控制器多采用PC机加运动控制卡的形式,虽然将两者的优点有机地结合在了一起,但必须配备PC机,成本较高;同时在以往加工时,加减速区以每一路径段为标准,启停次数多,速度缓慢。本文设计的运动控制平台充分发挥ARM(advanced RISC machines)微控器和MCX314运动控制芯片各自的优势,对上位机无具体的限制,可以作为单独的平台运行,并结合型值点S型曲线加减速前瞻控制算法,实现高速高精的运动控制^[1]。

1 平台的硬件组成及功能

本文设计的运动控制平台硬件主要由32位ARM嵌入式微处理器、MCX314运动控制芯片、存储芯片以及接口芯片等构成,如图1所示。

处理器芯片选用韩国SAMSUNG公司的S3C44B0X,这是一款具有ARM7内核的微处理器,

通过片内PLL可实现最大为75 MHz的CPU操作频率,其内部集成了串口以及IO端口,再配合网络,USB等外围接口芯片,可以方便地实现与外部系统的各种通信。

插补是由MCX314运动控制芯片来完成,它是日本NOVA公司推出的4轴运动控制集成电路,能进行4轴独立的定位控制、速度控制,任意两轴的圆弧、直线插补,插补精度为 ± 0.5 LSB^[2]。

运动控制平台的操作系统与编写的应用程序需要1 MB以上的FLASH存储空间,另外为防止配置文件掉电丢失,配置文件也存放在FLASH中,所以系统选用4 MB的FLASH芯片HY29LV160B。为提高程序的运行效率,对运动控制中的嵌入式操作系统VxWorks在SDRAM中解压运行,程序中的动态变量等都存放在SDRAM中,所以对于SDRAM要求其容量比较大,使用两片共8 MB的SDRAM芯片HY57V641620。同时该系统配备有RS232串口、USB

收稿日期: 2007-05-16; 修回日期: 2007-09-20

基金项目: 国家自然科学基金(60572004); 教育部博士点基金(20040614004)

作者简介: 黄大贵(1952-),男,教授,博士生导师,主要从事智能机电系统理论与关键技术方面的研究。

接口以及以太网接口，用于同PC机及其他控制设备连接；该平台还带有LCD液晶显示和键盘鼠标接口。

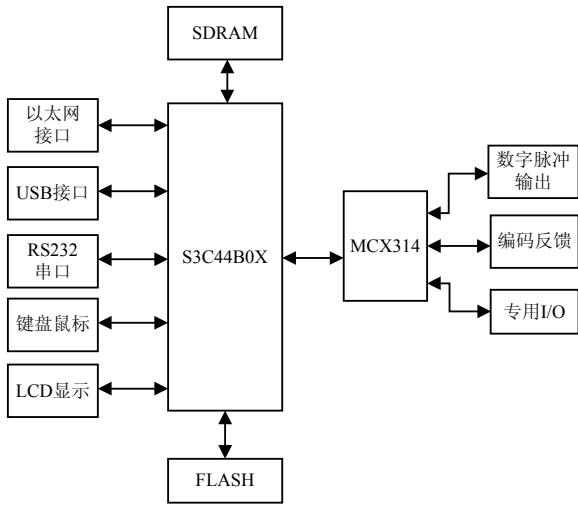


图1 控制系统结构图

2 型值点S型曲线加减速前瞻控制法

本文方法的基本思想是提前根据路径的实际情况，确定路径段的型值点，依据各型值点处的夹角和允许的加速度值确定其在该点处的最高的运行速度；再由该点处相邻连线段的加工速度算出速度差，从而确定在该点附近的S型加减速的曲线；然后把各路径以数字脉冲的方式输出^[3]。

2.1 型值点处自适应前瞻速度控制

2.1.1 确定型值点

根据加工程序，确定整个程序的所有型值点(即不同加工段的交点)，如图2所示中的B、C、D点^[4]。

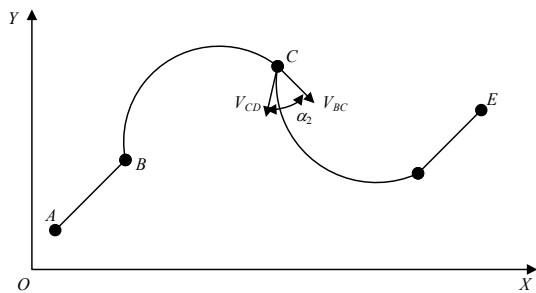


图2 型值点的确定

2.1.2 计算型值点处的最大允许速度

型值点处的最大速度主要是根据该点处两条工线段之间的夹角 α 与加速度 a 来确定的，以C点为例，如图所示 α_2 为C点处两条加工线段的夹角，即C点处两条圆弧切线之间的夹角， V_{BC} 为BC段的最后一段加工周期 T 的运行速度， V_{CD} 为CD段的第一个加工周期的运行速度，为了保证加工的速度连续性，取 V_{BC}

和 V_{CD} 相等，可得到^[5]：

$$\Delta V_C = 2\sin(\alpha_2/2)V_{BC} \quad \Delta V_C \leq aT \quad (1)$$

由于夹角的不同，机械系统在加工时受到的冲击也有区别。为了尽量减少冲击，在计算最大允许速度时，加入一个权值因子 $\omega \in [0, 1]$ ，如表1所示，取 $a = \omega_c a_{max}$ (a_{max} 为机械系统最大允许加速度)。则：

$$\Delta V_C \leq \omega_c a_{max} T \quad (2)$$

由式(1)~(2)可得：

$$V_{BC} \leq \omega_c a_{max} T / 2\sin(\alpha_2/2) \quad (3)$$

表1 ω 值与角度 α 的对应关系

$\alpha/(^\circ)$	0~5	5~15	15~30	30~60	60~90	90~120	120~180
ω	1.0	0.9	0.8	0.7	0.5	0.2	0

本文设计的数控系统的最大限定加速度值为 200 mm/s^2 ，插补周期为 4 ms ，则型值点处相邻两条加工线段的夹角与允许进给速度值之间的对应关系如图3所示。

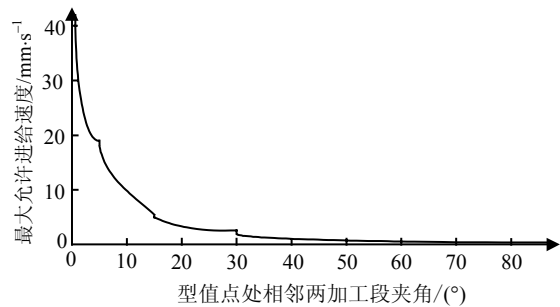


图3 型值点处最大允许进给速度与相邻加工段夹角之间的关系

2.1.3 确定各型值点处的速度以及加减速区的加工参数

在型值点处的速度不仅受最大允许速度的影响，还跟相邻两条线段的进给速度有关。若相邻线段的加工速度大于型值点处最大允许值，则需要对在该点区域范围内进行加减速控制^[6]。

(1) 减速阶段

要确定减速区域，首先计算出速度差 $V_{差}$ ，然后根据速度差来确定S型曲线的减速时间，如图4所示的 t_5 、 t_6 、 t_7 。

(2) 加速阶段

为了保证速度的连续性，提高在型值点处的进给速度，所以在加速的第一个周期内采用恒加速运动控制(只是改变速度的方向)，加速度 $a = \omega a_{max}$ ，再按减速阶段同样的办法确定加速阶段参数，进行快速的S型曲线加速运动^[7]。

2.2 S型曲线加减速

S型曲线加减速控制是指在加减速时,加速度的导数 J 加加速度或减加速度 d_a/d_t 为常数。速度和加速度都是时间 t 的函数,通过控制 J 的值来尽量减少加工加减速时对机械系统的冲击,它的加加速度、加速度、速度时间运行如图4所示^[8]。

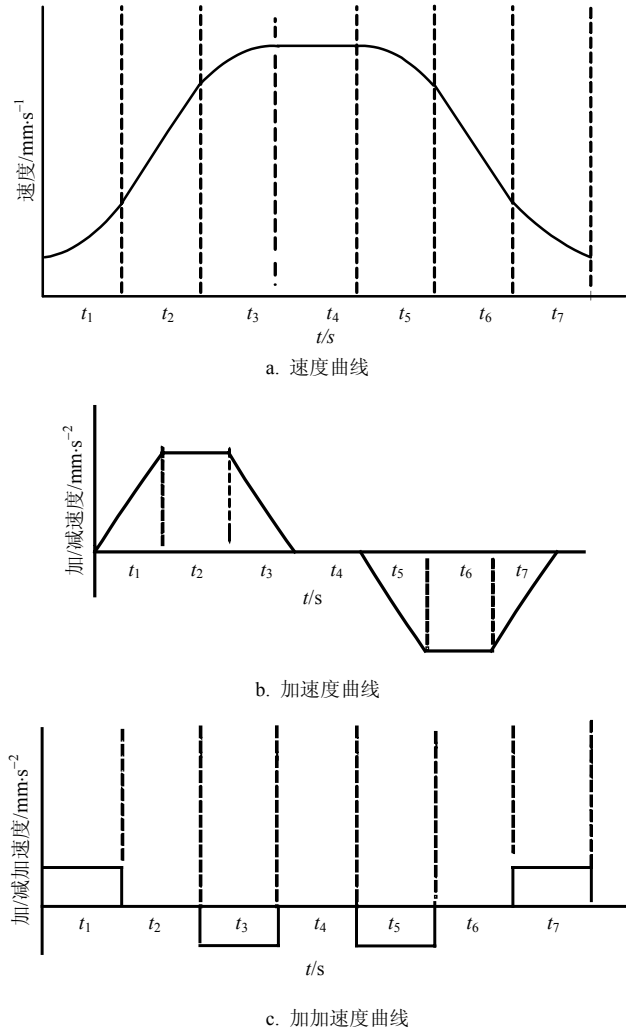


图4 S型曲线加减速

由于进给率的不同,即在各速度变化区域的进给速度变化值不同^[9],所以 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_5 、 t_6 、 t_7 的值也不同。以加速阶段为例,本文的控制系统取进给率 $f=200$ mm/s,最大进给加速度 $a_{max}=200$ mm/s²,加/减加速度 $J=500$ mm/s³,由于 J 的大小恒定,所以取 $t_1=t_3$ 。

根据速度、加速度、加加速度之间的关系,从图4得到:

$$V_{差} = \frac{1}{2} a_{max1} t_1 + a_{max1} t_2 + a_{max1} t_3 = \frac{1}{2} J t_1^2 + J t_1 t_2 + J t_1 t_3 =$$

$$\frac{1}{2} J t_1^2 + J t_1 t_2 \tag{4}$$

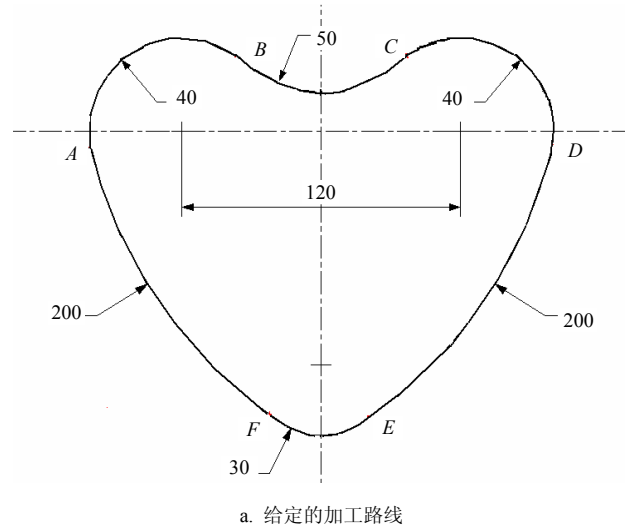
式中 a_{max1} 为某加减速段的最大加速度, $a_{max1} \leq a_{max}$; $t_1 \leq a_{max}/J=400$ ms; 若 $t_2=0$,则此时 $V_{差}=80$ mm/s。

因此,当 $V_{差} \leq 80$ mm/s、 $t_2=0$ 时,由式(4)得:

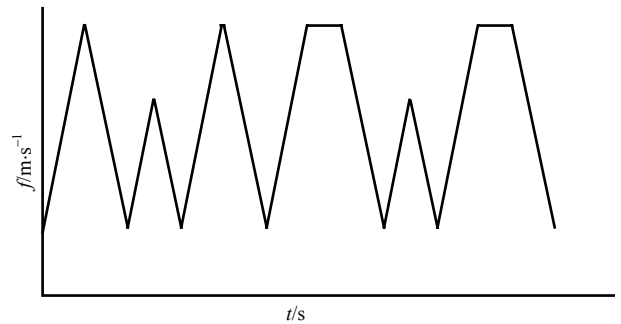
$$t_1 = \sqrt{\frac{V_{差}}{J}} \tag{5}$$

当 $V_{差} \geq 80$ mm/s时, $t_1=t_3=400$ ms, $t_2=(V_{差}-80)/a_{max}$ 。

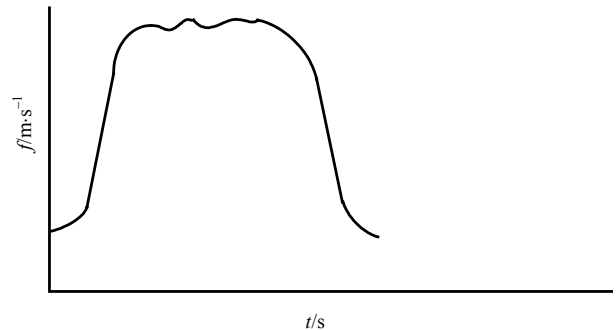
3 应用实验



a. 给定的加工路线



b. 直线加减速进给速率曲线



c. S型曲线加减速进给速率曲线

图5 加工路径及其相应的进给速率曲线

为了验证本文的运动控制装置的实用性,把控

制系统应用于3坐标运动控制实验平台上进行对比,加工路径如图5a所示,轨迹规划参数为:进给速度 $f=200\text{ mm/s}$,线性加速度值 $a=200\text{ mm/s}^2$,加/减加速度 $J=500\text{ mm/s}^3$ 。

在采用直线加减速运动控制时,本文的控制系统比原控制系统在控制速度和精度上有了一定的提高;但使用型值点S型曲线加减速前瞻控制算法后,它的性能有了显著的提高。图5b为直线加减速运动控制的进给速率图,图5c为采用型值点S型曲线加减速前瞻控制算法的进给速率图。显然,前者的速度波动很大,且加工时间为14 s;而后的速度曲线比较平稳且光滑,加工时间为9 s,减少了加工时间。同时,本文的系统的插补最小输出单位为0.001 mm,加工精度可达0.01 mm,能够满足一般的数控机床加工精度要求。

4 结束语

通过在高性能的嵌入式微处理器中使用型值点S型曲线加减速前瞻控制算法,充分挖掘控制系统的潜能,极大地提高了控制精度和速度^[10]。该系统不仅可以作为运动控制卡配合PC机进行运动控制,还可单独地构建成运动控制平台,是运动控制器的良好设计方案,在数控领域具有重要的应用价值。

参 考 文 献

- [1] TSAI M S, NIEN H W, YAU H T. An integrated look-ahead dynamic interpolator for NURBS curve[C]//Proceedings of the 46th IEEE Conference on Decision and Control. New Orleans. LA, USA: IEEE, 2007.
- [2] 叶佩青, 汪劲松. MCX314运动控制芯片与数控系统设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
YE Pei-qing, WANG Jin-song. Design the numerical control system based on motion control chip MCX314[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics & Astronautics Publishing Press, 2002.
- [3] HAN G C, KIM D I, KIM H G. A high speed machining algorithm for CNC machine tools[C]//IEC-ON'99 Proceedings. California: IEEE, 1999.
- [4] GEORGE P. Managing servo control system installations[J]. Electronic Engineering Times, 2005, 1356(31): 44-45.
- [5] 彭芳瑜, 何莹, 李斌. NURBS曲线高速插补中的前瞻控制[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(5): 626-627.
PENG Fang-yu, HE Ying, LI Bin. Look-ahead control in high feed rate NURBS curve Interpolation[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2006, 18(5): 626-627.
- [6] 徐志明, 冯正进, 汪永生. 连续微小路径段的高速自适应前瞻插补算法[J]. 制造技术与机床, 2003, 12: 20-23.
XU Zhi-ming, FEN Zheng-jin, WANG Yong-sheng. High-speed adaptative look-ahead interpolation algorithm for continuous micropath sections[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2003, 12: 20-23.
- [7] 任 锐, 傅建中, 陈子辰. 高速加工中速度前瞻控制新算法研究[J]. 浙江大学学报(工学版), 2003, 40(11): 1986-1987.
REN Kun, FU Jian-zhong, CHEN Zi-Chen. New look-ahead algorithm for velocity control in high speed machining[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science Edition), 2003, 40(11): 1986-1987.
- [8] BEHNA M B, XIAOMAO X, DRISHNAN D. A real-time scheme of cubic parametric curve interpolations for CNC systems[J]. Computers in Industry, 2001, 145: 309-317.
- [9] BEDI S, ALI I, QUAN N. Advanced interpolation techniques for CNC machines[J]. ASMEJ Engng Ind, 1993, 115: 329-336.
- [10] 黄 翔, 曾 荣, 岳伏军. NURBS插补技术在高速加工中的应用研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2002, 34(1): 82-85.
HUANG Xiang, ZENG Rong, YUE Fu-jun. Application research on NURBS interpolation technique in high speed machining[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2002, 34(1): 82-85.

编辑 税 红