

几种步进电机加减速方法的对比研究及其应用

黄兆斌¹, 黄云龙², 余世明^{1*}

(1. 浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310023; 衢州职业技术学院 信息工程学院, 浙江 衢州 324000)

摘要:针对以往的文献主要对个别加减速方法进行分析的问题,对比分析了几种主要的步进电机加减速控制方法,并给出了具体的数学描述。在结合步进电机矩频特性的基础上,指出了各种方法的优缺点。深入研究了直线和 S 型加减速曲线,并把 S 型加减速曲线应用在了研发的数控系统中,并取得了良好的效果。研究表明,几种加减速方法各有自己的优势,可根据不同场合选取。

关键词:数控系统;步进电机;加减速控制

中图分类号:TM383.6;TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)08-0951-03

Comparative study between several acceleration and deceleration methods on stepper motor and the application

HUANG Zhao-bin¹, HUANG Yun-long², YU Shi-ming¹

(1. College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China;

2. College of Information Engineering, Quzhou College of Technology, Quzhou 324000, China)

Abstract: Aiming at the previous literature focusing on individual method of acceleration and deceleration, several major acceleration and deceleration methods on stepper motor were comparatively analyzed and specific mathematical descriptions were presented. Based on the frequency characteristics of stepper motor, the advantages and disadvantages of each method were pointed out. Then, the linear and S-curve were in-depth studied, and S-curve was applied in own CNC system, and good results has been achieved. The results indicate that several acceleration and deceleration methods have their own advantages, and they can be selected according to different occasion.

Key words: computer numerical control (CNC) system; stepper motor; acceleration and deceleration control

0 引 言

步进电机是将一定序列的电脉冲信号转变为角或者线位移的电磁执行机构,由于它在开环控制情况下也具有高精度、无积累误差等优点,被广泛应用于数控系统中。要实现步进电机的快速准确的定位,就要防止失步和过冲现象的发生,并以最快的速度到达指定的位置,所以步进电机的加减速控制是数控系统的关键技术之一,也是实现数控系统高实时性的瓶颈^[1-2]。

从步进电机的矩频特性曲线可知,步进电机的输出转矩随着脉冲频率的上升而下降,启动频率越高,启动转矩就越小,带动负载的能力越差,启动时会造成失

步,而在停止时又会发生过冲。要使步进电机快速达到所要求的速度又不失步或过冲,其关键在于使加速过程中加速度所要求的转矩既能充分利用各个运行频率下步进电机所提供的转矩,又不能超过这个转矩。因此,步进电机的运行一般要经过加速、匀速、减速 3 个阶段,要求加减速过程时间尽量短,恒速时间尽量长。

以往的文献主要针对个别加减速方法进行了分析,本研究拟通过详细对比分析几种主要的步进电机加减速控制方法,并给出了具体的数学描述和指出了各种方法适合的应用场合,为研究电机加减速控制方面的学者提供一定的帮助。

收稿日期:2011-01-24

作者简介:黄兆斌(1986-),男,浙江温州人,主要从事嵌入式系统等方面的研究. E-mail:wzlb00@163.com

通信联系人:余世明,男,教授,博士,硕士生导师. E-mail:ysm@zjut.edu.cn

1 加减速控制曲线

目前国内外步进电机控制曲线主要包括 3 种。

1.1 直线加减速曲线

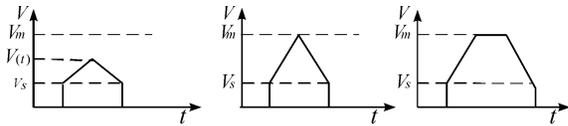


图 1 直线加减速法的 3 种速度曲线

根据待加工的长度不同,直线加减速曲线可以分为以下 3 种情况:对于长线段,是加速-匀速-减速的过程;对于短线段,只有加速-减速过程;而无匀速过程,其中又可分为加速到最高速度时即减速和仅加速到介于起跳速度和最高速度之间的某一速度即减速两种情况^[2],直线加减速法的 3 种速度曲线如图 1 所示。其数学方程式为:

$$v(t) = v_s + at \tag{1}$$

式中: $v(t)$ —进给速度, v_s —加减速起始速度, a —加速度。

本研究设 v_m 为指令代码给定的进给速度,则当 v_m 不等于 $v(t)$ 时,系统根据加减速进行加速或减速控制。

这种方法控制简单、节省资源,但匀加速和匀减速阶段速度变化不符合步进电机速度变化规律。而且加速和匀速、匀速和减速阶段速度不能平滑过渡,这将影响步进电机的运行效率和使用寿命,所以此种加减速方法主要适用于控制系统处理速度较慢,且对升降速过程要求不高的场合^[3]。

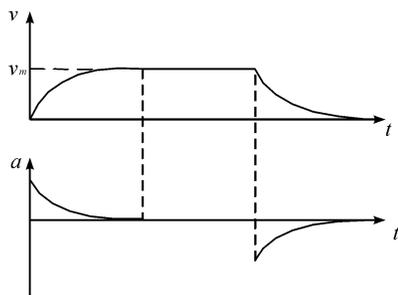


图 2 指数加减速法的速度、加速度关系图

1.2 指数型加减速曲线

指数型加减速曲线如图 2 所示。其数学方程式为^[4]:

加速升频阶段:

$$v(t) = v_m(1 - e^{-t/\tau}) \tag{2}$$

匀速运行阶段:

$$v(t) = v_m \tag{3}$$

减速降阶阶段:

$$v(t) = v_m e^{-t/\tau} \tag{4}$$

式中: $v(t)$ —进给速度, v_m —指令代码给定的进给速度, τ —加减速时间常数。

与直线加减速法相比,指数法平滑性好,运动精度高,但在加减速的起点仍然存在加减速突变^[5],因此也不适合于高速进给数控系统。

1.3 S 型加减速曲线

常用的 S 曲线加减速通过限制加加速度(即加减速的导数)来控制加速度的突变现象。

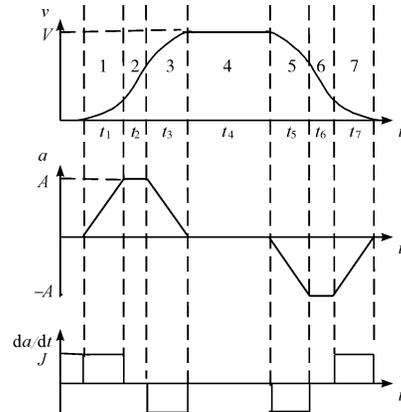


图 3 S 型加减速法的速度、加速度关系图

本研究利用多项式表示法将整个速度规划分为 5 个或者 7 个阶段,其中七段论 S 曲线加减速控制方法的 7 个阶段分别为加加速运动阶段、匀加速运动阶段、减加速运动阶段、匀速运动阶段、加减速运动阶段、匀减速运动阶段、减减速运动阶段。5 段论 S 曲线加减速控制方法是在 7 段论 S 曲线加减速控制方法的基础上精简运动控制分段得到的^[6],7 段论 S 曲线如图 3 所示^[7-9]。其加加速度 j 、加速度 a 和速度 v 的方程如下:

$$j(t) = \begin{cases} j_{\max} & 0 \leq t < t_1 \\ 0 & t_1 \leq t < t_2 \\ -j_{\max} & t_2 \leq t < t_3 \\ 0 & t_3 \leq t < t_4 \\ -j_{\max} & t_4 \leq t < t_5 \\ 0 & t_5 \leq t < t_6 \\ j_{\max} & t_6 \leq t < t_7 \end{cases} \tag{5}$$

$$a(t) = \begin{cases} j_{\max} t & 0 \leq t < t_1 \\ a_{\max} & t_1 \leq t < t_2 \\ a_{\max} - j_{\max} t & t_2 \leq t < t_3 \\ 0 & t_3 \leq t < t_4 \\ -j_{\max} t & t_4 \leq t < t_5 \\ a_{\max} & t_5 \leq t < t_6 \\ -a_{\max} + j_{\max} t & t_6 \leq t < t_7 \end{cases} \tag{6}$$

$$v(t) = \begin{cases} v_s + \frac{1}{2}j_{\max}t^2 & 0 \leq t < t_1 \\ v_1 + a_{\max}t & t_1 \leq t < t_2 \quad v_1 = v_s + \frac{1}{2}j_{\max}t_1^2 \\ v_2 + a_{\max}t - \frac{1}{2}j_{\max}t^2 & t_2 \leq t < t_3 \quad v_2 = v_1 + a_{\max}t_2 \\ v_3 & t_3 \leq t < t_4 \\ & v_3 = v_2 + a_{\max}t_3 - \frac{1}{2}j_{\max}t_3^2 \\ v_4 - \frac{1}{2}j_{\max}t^2 & t_4 \leq t < t_5 \\ & v_4 = v_3 \\ v_5 - a_{\max}t & t_5 \leq t < t_6 \\ & v_5 = v_4 - \frac{1}{2}j_{\max}t_5^2 \\ v_6 - a_{\max}t + \frac{1}{2}j_{\max}t^2 & t_6 \leq t < t_7 \\ & v_6 = v_5 - a_{\max}t_6 \end{cases} \quad (7)$$

式中: a_{\max} —电机允许最大加速度, j_{\max} —电机允许最大加加速度, v_s —起始速度。

这种方法任何一点的速度变化都是连续变化的,从而避免了柔性冲击,速度的平滑性较好,运动控制精度高,这种方法适合于速度精度控制要求高的场合。

2 步进电机加减速控制实现

步进电机每个通电状态保持时间的长短,也就是状态指针的移动周期决定了电机的转度。定时器的周期寄存器装载不同的周期值,每分钟就会产生不同的脉冲数,而这脉冲数就是步进电机的步数,假设设定电机驱动器的步距角后,步进电机为 400 步/转,并假设定时器的时钟频率跟晶振频率一致,定时器的周期寄存器为 pr , 晶振频率为 f_{osc} , 则步进电机的转速 v 与定时器的周期寄存器 PR 的计算公式如下:

$$v = (f_{osc}/pr) \times \frac{60}{400} \quad (8)$$

对于不同的速度代号,通过查询定时器常数表可以得到相应的周期寄存器值,其对应关系如表 1 所示。

在试验中,本研究选用三相混合式步进电机,分别用直线加减速法和 S 型加减速进行控制,由于 S 型曲线计算复杂,在实现过程中采用阶梯型曲线来逼近 S 型曲线,S 型曲线加减速程序流程图如图 4 所示^[11]。

表 1 速度-定时器的周期寄存器值-电机转速关系表

速度代号	周期寄存器值	电机转速/(r · min ⁻¹)
1	9ED3	10
2	4F69	20
3	27B4	40
4	1030	100
5	0818	200
6	040C	400
7	02B3	600
8	0206	800

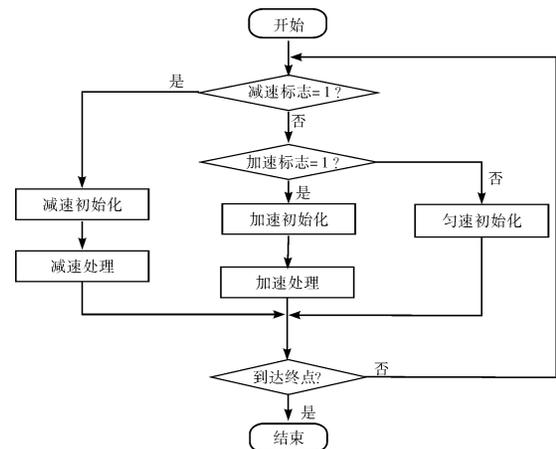


图 4 S 型加减速控制流程图

试验结果显示,用直线加减速法,时间较短,但当进给速度较快时,电机抖动比较厉害;而用 S 型加减速法,虽然速度变化频繁,时间较长,电机则一直比较平

(下转第 974 页)

生簇头;依据普通节点到簇头的距离、簇头到基站的距离等因素成簇。

研究表明,New 算法在节省节点能耗、延长网络生存期等方面相比 LEACH 算法,具有更好的性能。

参考文献 (References) :

[1] 孙利民, 李建中, 陈 渝. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

[2] 沈 波, 张世永, 钟亦平. 无线传感器网络分簇路由协议. 软件学报[J]. 2006, 17 (7): 1588-1600.

[3] YOUNIS O, FAHMY S. HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks [J]. **IEEE Transactions on Mobile Compute**, 2004, 3 (4): 366-379.

[4] 张 震, 闫连山, 潘 伟, 罗 斌. 基于 LEACH 和 PEGASIS 的簇头成链可靠路由协议研究[J]. 传感技术学报, 2010, 23 (8):1173-1178.

[5] 马玉刚, 周群彪. 基于 LEACH 的无线传感器网络节能算法[J]. 计算机应用, 2009, 29 (6): 1514-1516.

[6] 胡 钢, 谢冬梅, 吴元忠. 无线传感器网络路由协议 LEACH 的研究与改进[J]. 传感技术学报, 2007, 20 (6): 1391-1396.

[7] Ali Chamam, Samuel Pierre. A distributed energy-efficient clustering protocol for wireless sensor networks [J]. **Computers & Electrical Engineering**, 2010, 36(2): 303-312.

[8] HEINZELMAN W, CHANDRAKASAN A, BAKAJR-LSH-NAN H. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks [C]// Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Maui:[s. n.], 2000:3005-3014.

[9] ANASTASI G, CONTI M, FRANCESCO M D, et al. Energy conservation in wireless sensor networks: A survey [J]. **Ad Hoc Networks**, 2009, 7(3): 537-568.

[10] XIANG Min, SHI Wei-ren, JIANG Chang-jiang, et al. Energy efficient clustering algorithm for maximizing lifetime of wireless sensor networks [J]. **AEU-International Journal of Electronics and Communications**, 2010, 64 (4): 289-298. [编辑:李 辉]

(上接第 953 页)

稳。当本研究取直线加减速法的起始转速为 100 r/min,加速度 a 为 20,速度对比结果如表 2 所示,可见在一定条件下,S 型加减速在速度方面也具有良好的效果,在使用中可根据需要选取^[12-13]。

表 2 直线加减速-S 型加减速速度对比表

行 程(脉冲)	直线型加减速/s	S 型加减速/s
1 000	4. 10	3. 54
2 000	7. 68	7. 02
3 000	10. 39	9. 65

3 结束语

本研究在结合步进电机矩频特性的基础上,对几种主要的加减速控制曲线进行了详细分析和比较,并给出了具体的数学描述,为研究电机加减速控制的学者和实际工程应用提供了一定的帮助。最后对直线加减速法和 S 型加减速法进行了深入研究,通过实例表明,两种加减速法各有自己的优势,可根据不同场合选取。目前,笔者把 S 型曲线加减速方法应用在了自己研发的数控系统中,在使用 S 型加减速方法过程中,数控系统在水晶生产加工中运行良好。

参考文献 (References) :

[1] KIM D I, JEON J W, KIM S. Software acceleration/ deceleration methods for industrial robots and CNC machine tools [J]. **Mechatronics**, 1994 ,4 (1) :37-53.

[2] JEON J W, KIM Y K. FPGA based acceleration and deceleration circuit for industrial robots and CNC machine tools [J]. **Mechatronics**, 2002,12 (4) :635-642.

[3] 潘 敏, 郭义杰, 冷洪滨. 数控系统加减速控制方法的研究[J]. 制造业自动化, 2005, 27(9): 30-33.

[4] 李晓菲, 胡 泓, 王 炜, 等. 步进电机加减速控制规律 [J]. 机电产品开发与创新, 2006, 19(1): 122-124.

[5] 康 健, 陶 涛, 梅雪松. 基于数字信号处理器的指数加减速算法仿真[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(5): 678-680.

[6] 杨 雁, 王云宽, 宋英华. 基于 FPGA 的数控加减速控制器的设计[J]. 制造技术与机床, 2007(6): 31-34.

[7] 盖荣丽, 林 许, 郑 默, 等. 高速加工中速度规划算法的研究与实现[J]. 小型微型计算机系统, 2009(6): 1067-1071.

[8] 张碧陶, 高伟强, 沈 列, 等. S 曲线加减速控制新算法的研究[J]. 机床与液压, 2009, 37(10): 27-29.

[9] Kuijing Zheng, Li Cheng. Adaptive S-curve Acceleration / Deceleration Control Method [C]//Proceeding of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2008: 2752-2756.

[10] 付云忠, 王永章, 富宏亚, 等. 多轴联动线性插补及其“S 加减速”规划算法[J]. 制造技术与机床, 2001(9): 9-12.

[11] 张秉云, 郑崇苏. 基于 51 单片机的发电机输出电压控制仿真[J]. 机电技术, 2010(5): 69-72.

[12] 邹 乾, 李兴根. 步进电机的自适应 PI 调速系统[J]. 轻工机械, 2009, 27(1): 73-75.

[13] 颜晓河. 全电动式注塑机计量位置控制电机的选择[J]. 轻工机械, 2010, 28(4): 103-104. [编辑:张 翔]