

# 数控系统 S 型曲线加减速快速规划研究

田军锋<sup>1,2</sup> 林 浒<sup>2</sup> 姚 壮<sup>1,2</sup> 李 杰<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院 研究生院,北京 100039)

<sup>2</sup>(中国科学院 沈阳计算技术研究所,沈阳 110168)

E-mail: tianjunfeng@sict.ac.cn

**摘 要:** 加减速控制是数控系统开发的关键技术之一,而一般 S 型加减速算法公式复杂,计算比较费时,因此,提出了改进的 S 型曲线加减速算法,根据 S 型曲线对称性和初、末速度不同的特点,对公式重新进行了推导,简化算法,可以快速规划出各个阶段的运行时间用 MATLAB 对本文所提出的算法进行了验证,可以得到平滑的速度和加速度轮廓,证明了本文算法的正确性和可行性与原有算法的运行时间进行对比分析,本文算法的执行时间大大降低。

**关键词:** 数控系统; S 型曲线; 对称性; 快速规划

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-1220(2013)01-0168-05

## Study on S-shape Curve Acceleration and Deceleration Control Fast Planning on CNC System

TIAN Jun-feng<sup>1,2</sup> LIN Hu<sup>2</sup> YAO Zhuang<sup>1,2</sup> LI Jie<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

<sup>2</sup>(Shenyang Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Science, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** The control of acceleration and deceleration is one of key techniques used in CNC systems. The formula of S-shape acceleration and deceleration algorithm is complex and calculation is generally more time-consuming. Therefore, an improved S-shape acceleration and deceleration algorithm was proposed. According to the symmetry of S-curve and the different of initial velocity and terminal velocity, Related calculation formulas were derived and simplified, which could quickly figure out the run time of the various stages. We perform experiment based on improvement algorithm under the MATLAB environment. This method can obtain a smooth the velocity and acceleration profile. The result from simulation confirms the accuracy and feasibility of improvement algorithm. Compared with the runtime of traditional algorithm, the result shows that the new algorithm's execute time has been largely reduced.

**Key words:** CNC; S-shape curve; symmetry; fast planning

## 1 引言

加减速控制是数控系统插补器重要组成部分,是数控系统开发关键技术之一。数控加工目标是实现高精度、高效率加工,要求数控机床反应快,各坐标运动部件能在极短时间内达到给定速度,并能高速运行中快速准确停止预定位置,缩短准备时间;为了保证机床在启动或停止时运动平稳,冲击小,必须设计专门的加减速控制规则<sup>[1]</sup>。如何保证机床运动平稳前提下,实现以过渡过程时间最短为目标最优加减速控制规律,使机床具有满足高速加工要求加减速特性,将直接影响数控系统的运动精度和运行效率。

传统的数控系统中常用的加减速控制算法有直线型和指数型两种,但这两种加减速控制使机床在启动和停止时,加速度有突变,机床运动存在柔性冲击,而且速度的过渡不够平滑,因而不适合用于高速数控系统<sup>[2]</sup>。目前,在 S 曲线加减速算法的研究中取得了许多成果,文献<sup>[3]</sup>中提出利用 S 曲线加减速规划方法,归纳出规划中可能出现的 8 种 S 曲线加减速方式,但是速度和位移采用普通运动学公式,使得算法公式

复杂,计算比较耗时。文献<sup>[4]</sup>推导出了 S 型曲线离散采样迭代公式,但是算法不包含匀加速阶段和匀减速阶段的情况。文献<sup>[8]</sup>中只是简化了加减速控制方式,而文献<sup>[5]</sup>中归纳出不同参数条件下 17 种 S 型曲线加减速类型,但是大部分类型可以合并成统一的数学模型。

在综合以上研究的基础上,本文提出了改进的 S 型曲线加减速算法,利用 S 型曲线对称性以及初速度和末速度不同的特点,简化算法,可以快速计算出各个阶段的运行时间,给出了详细的算法描述。

## 2 S 型曲线加减速算法

在数控系统前瞻模块中,在曲率变化大的地方需要减速,为了使速度平滑,需要根据减速点的速度,减小到最低点速度,和这两点间的位移,以及考虑系统的最大加速度和加加速度的大小来规划出 S 曲线各个阶段的运行时间,规划时间越短,系统的处理能力就越强。

### 2.1 S 型曲线加减速原理

S 型曲线加减速是指在加减速时,加速度的导数 J 为常

收稿日期: 2011-01-25 基金项目: 国家科技重大专项项目(2011ZX04016-071) 资助。 作者简介: 田军锋,男,1980 年生,博士研究生,研究方向为高精数控技术;林 浒,男,1955 年生,研究员,博士生导师,研究方向为计算机体系结构、嵌入式实时系统;姚 壮,男,1981 年生,博士研究生,研究方向为数控技术;李 杰,男,1978 年生,博士研究生,研究方向为实时操作系统。

数的加减速过程通过控制加速度导数来避免加速度突变, 减小加工过程中由于加速度突变而引起的机械系统振动. 采用 S 型曲线加减速算法可以获得平滑的速度和加速度图.

S 型曲线加减速全过程包括 7 段: 加加速段、匀加速段、减加速段、匀速段、加减速段、匀减速段和减减速段<sup>[6]</sup>. 其对应的运动学方程可以参考文献 [3], 由于方程组多而且未知变量多, 如果直接根据方程组求解比较耗时.

## 2.2 快速速度规划算法公式推导

公式推导原理: 根据对称性的特点, S 型曲线一定存在加速阶段和减速阶段, 加速阶段必定存在加加速和减加速, 并且加加速和减加速阶段的运行时间相等; 而在减速阶段存在加减速和减减速, 并且加减速和减减速阶段的运行时间也相等. 根据加速阶段可以加速到的最大速度与实际达到的最大速度比较来判断是否存在匀加速, 减速阶段可以减小到的最小速度与给定的末速度进行比较来判断是否存在匀减速; 根据给定的位移来判断是否存在匀速, 从而规划出待加工曲线各个阶段的速度和运行时间. 具体的算法推导过程如下: 假设系统可以达到的最大进给速度为  $F$ , 那么对于 S 曲线加减速阶段的运行时间、速度公式如下:

$$T_1 = \begin{cases} \frac{A_{\max}}{J} & F \geq v_s + \frac{A_{\max}^2}{J} \\ \sqrt{\frac{F - v_s}{J}} & F < v_s + \frac{A_{\max}^2}{J} \end{cases} \quad (1)$$

$$T_2 = \begin{cases} \frac{F - v_s}{A_{\max}} - \frac{A_{\max}}{J} & F \geq v_s + \frac{A_{\max}^2}{J} \\ 0 & F < v_s + \frac{A_{\max}^2}{J} \end{cases} \quad (2)$$

$$T_5 = \begin{cases} \frac{D_{\max}}{J} & F \geq v_e + \frac{D_{\max}^2}{J} \\ \sqrt{\frac{F - v_e}{J}} & F < v_e + \frac{D_{\max}^2}{J} \end{cases} \quad (3)$$

$$T_6 = \begin{cases} \frac{F - v_e}{D_{\max}} - \frac{D_{\max}}{J} & F \geq v_e + \frac{D_{\max}^2}{J} \\ 0 & F < v_e + \frac{D_{\max}^2}{J} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} v_1 = v_s + \frac{1}{2}JT_1^2 \\ v_2 = v_1 + JT_1T_2 \\ v_3 = v_s + JT_1^2 + JT_1T_2 \\ v_4 = v_3 \\ v_5 = v_4 - \frac{1}{2}JT_5^2 \\ v_6 = v_5 - JT_5T_6 \end{cases} \quad (5)$$

其中  $J$  是系统的加加速度,  $J$  为常量,  $A_{\max}$  是系统可以达到的最大加速度,  $D_{\max}$  是系统可以达到的最大减速度,  $v_s$  是系统的初速度,  $v_e$  是系统的末速度,  $T_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 6$ ) 表示各个阶段的运行时间,  $v_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 6$ ) 表示各个阶段运行结束时的速度值, 可以推导出不包含匀速阶段的位移公式如下:

$$S_1 = \frac{F + v_s}{2}(2T_1 + T_2) + \frac{F + v_e}{2}(2T_5 + T_6) \quad (6)$$

如果实际位移  $s$  大于  $S_1$ , 则系统还存在匀速运行时间

$T_4$ , 可以由公式 (7) 求出,

$$T_4 = \frac{s - S_1}{F} \quad (7)$$

## 2.3 快速速度规划方法

速度规划方法如下:

根据给定的初速度  $v_s$ , 末速度  $v_e$ , 最大加速度  $A_{\max}$ , 最大减速度  $D_{\max}$ , 进给速度  $F$ , 代入公式 (1)、(2)、(3) 和 (4) 求出  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_5$  和  $T_6$ , 然后再把求解的时间代入公式 (6), 求出  $S_1$ ,

如果  $S_1 < s$ , 则系统有匀速阶段,  $T_4$  可以由公式 (7) 求出, 并且系统可以达到给定的进给速度  $F$ ,  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_5$  和  $T_6$  即为各个阶段的运行时间. **七段式, Vmax和Amax均能达到**

如果  $S_1 = s$ , 则系统没有匀速阶段,  $T_4 = 0$ , 并且系统正好达到给定的进给速度  $F$ ,  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_5$  和  $T_6$  即为各个阶段的运行时间. **六段式, Vmax和Amax均能达到**

如果  $S_1 > s$ , 则系统没有匀速阶段,  $T_4 = 0$ , 并且系统没有达到给定的进给速度  $F$ , 给定的  $F$  不能直接用来计算各个阶段的运行时间. 所以需要重新求解实际的最大速度和各个阶段的运行时间.

需要根据初始速度、末速度和位移重新求解实际的最大速度, 下面详细介绍如何求解实际最大速度.

如果只考虑基本的加速段和减速段, 则初始速度和末速度相等. 但是实际给定的初末速度往往不相等, 利用这个特点可以快速判断 S 型曲线存在几个运行阶段. 根据初始速度和末速度的大小可以分两种情况.

情况 1.  $v_s < v_e$ , 这说明加速阶段时间大于减速阶段时间, 但是达不到最大速度  $F$ .

假设不含匀减速阶段, 最大减速度可以刚好达到, 则最大速度  $F_1 = v_e + D_{\max}^2/J$ , 令  $F = F_1$ , 把  $F$  代入方程 (6) 求出  $S_1$ . 如果  $S_1 < s$  则表明系统存在匀减速, 实际 S 型曲线有 6 段, 并且实际最大速度大于  $F_1$ , 而小于给定的最大速度, 设此时对应的实际最大速度是  $F$ , 此时对应的时间分别如下:

$$\begin{cases} T_1 = T_3 = \frac{A_{\max}}{J} \\ T_2 = \frac{F - v_s}{A_{\max}} - \frac{A_{\max}}{J} \\ T_5 = T_7 = \frac{D_{\max}}{J} \\ T_6 = \frac{F - v_e}{D_{\max}} - \frac{D_{\max}}{J} \end{cases} \quad (8)$$

将  $T_1$  到  $T_6$  代入位移方程 (6), 可以得到关于  $F$  的一元二次方程 (9)

$$2JF^2 + 2A_{\max}^2F + A_{\max}^2(v_s + v_e) - J(v_s^2 + v_e^2) - 2JA_{\max}s = 0 \quad (9)$$

求解此一元二次方程可以得到实际最大速度

$$F = \frac{-A_{\max}^2}{2J} + \sqrt{A_{\max}^4 - 2J[A_{\max}^2(v_s + v_e) - J(v_s^2 + v_e^2) - 2JA_{\max}s]} / (2J) \quad \text{六段式, 达到Amax, Vmax没有达到}$$

把求得的  $F$  代入方程组 (8), 就可求解出对应的时间值. **五段式, 没有匀减速段, 达到Amax, Vmax没有达到**

如果  $S_1 = s$ , 则说明不含匀减速段,  $F_1$  就是实际的最大速度.

如果  $S_1 > s$ , 则说明不含匀减速段, 并且实际最大速度小于  $F_1$ . 根据 S 型曲线的特点, 此时假设不含匀加速阶段, 并且可以达到最大加速度, 则最大速度  $F_2 = v_s + A_{\max}^2/J$ ,

如果  $F_2 \leq v_e$ , 则系统存在匀加速阶段, 实际 S 型曲线有 5 段, 并且实际最大速度大于  $F_2$  而小于  $F_1$ . 设此时对应的实际最大速度是  $F$ , 此时对应的时间如下.

五段式, 没有匀减速段, 达到  $A_{\max}$ ,  $V_{\max}$  没有达到

$$\begin{cases} T_1 = T_3 = \frac{A_{\max}}{J} \\ T_2 = \frac{F - v_s}{A_{\max}} - \frac{A_{\max}}{J} \\ T_5 = T_7 = \sqrt{\frac{F - v_e}{J}} \\ T_6 = 0 \end{cases} \quad (10)$$

将  $T_1$  到  $T_6$  代入位移方程 (6), 可以得到关于  $F$  的方程 (11)

$$\frac{F + v_s}{2} \left( \frac{A_{\max}}{J} + \frac{F - v_s}{A_{\max}} \right) + (F + v_e) \sqrt{\frac{F - v_e}{J}} = s \quad (11)$$

$F$  的取值范围是  $v_s + A_{\max}^2/J < F < v_e + D_{\max}^2/J$

如果  $F_2 > v_e$ , 令  $F = F_2$ , 把  $F$  代入方程 (12) 求出  $S_2$ ,

$$S_2 = (v_s + F) T_1 + (v_e + F) T_5 \quad (12)$$

如果  $S_2 \geq s$ , 则表明系统不存在匀加速, 设此时对应的实际最大速度是  $F$ , 此时对应的时间如下

$$\begin{cases} T_1 = T_3 = \sqrt{\frac{F - v_s}{J}} \\ T_2 = T_6 = 0 \\ T_5 = T_7 = \sqrt{\frac{F - v_e}{J}} \end{cases} \quad (13)$$

将  $T_1$  到  $T_6$  代入位移方程 (6), 可推导出关于  $F$  的方程 (14)

$$(F + v_s) \sqrt{\frac{F - v_s}{J}} + (F + v_e) \sqrt{\frac{F - v_e}{J}} = s \quad (14)$$

$F$  取值范围是  $v_e < F < v_s + A_{\max}^2/J$

如果  $S_2 < s$ , 则系统存在匀加速阶段, 此情况与方程 (11) 相同.

情况 2.  $v_s \geq v_e$ . 这说明加速阶段的时间小于减速阶段的时间, 同样也达不到最大速度.

假设不含匀加速阶段, 最大加速度可以刚好到达, 则最大速度  $F_1 = v_s + A_{\max}^2/J$ . 把  $F_1$  代入方程 (6) 求出  $S_1$ . 如果  $S_1 < s$ , 则表明系统存在匀加速, 又因为加速时间小于减速时间, 所以一定也存在匀减速阶段, 可推导出对应的方程与方程 (9) 相同.

如果  $S_1 = s$ , 则说明不含匀加速阶段,  $F_1$  就是实际的最大速度.

如果  $S_1 > s$ , 则说明不含匀加速段. 根据 S 曲线的特点, 假设不含匀减速阶段, 并且可以达到最大减速度, 此时  $F_2 = v_e + D_{\max}^2/J$ . 令  $F = F_2$ , 把  $F$  代入方程 (12) 求出  $S_2$ . 如果  $S_2 \geq s$ , 则表明系统不存在匀减速, 那么也就不存在匀加速阶段, 设此时对应的实际最大速度是  $F$ , 此时对应的时间如下

$$\begin{cases} T_1 = T_3 = \sqrt{\frac{F - v_s}{J}} \\ T_2 = T_6 = 0 \\ T_5 = T_7 = \sqrt{\frac{F - v_e}{J}} \end{cases} \quad (15)$$

将  $T_1$  到  $T_6$  代入位移方程 (6), 可推导出对应的方程 (16)

$$(F + v_s) \sqrt{\frac{F - v_s}{J}} + (F + v_e) \sqrt{\frac{F - v_e}{J}} = s \quad (16)$$

$F$  取值范围是  $v_s < F < v_e + D_{\max}^2/J$

如果  $S_2 < s$ , 则系统存在匀减速阶段, 但不存在匀加速阶段, 设此时对应的时间如下

$$\begin{cases} T_1 = T_3 = \sqrt{\frac{F - v_s}{J}} \\ T_2 = 0 \\ T_5 = T_7 = \frac{D_{\max}}{J} \\ T_6 = \frac{F - v_e}{D_{\max}} - \frac{D_{\max}}{J} \end{cases} \quad (17)$$

将  $T_1$  到  $T_6$  代入位移方程 (6), 可以推导出对应的方程 (18)

$$(F + v_s) \sqrt{\frac{F - v_s}{J}} + \frac{F + v_e}{2} \left( \frac{D_{\max}}{J} + \frac{F - v_e}{D_{\max}} \right) = s \quad (18)$$

$F$  的取值范围是  $v_e + D_{\max}^2/J < F < v_s + A_{\max}^2/J$

关于  $F$  的方程 (11)、(14)、(16) 和 (18) 的求解可以采用二分法<sup>[3]</sup>和牛顿迭代法<sup>[7]</sup>求解. 本文在  $F$  的取值范围内利用二分法求解出  $F$ , 然后再把  $F$  代入各个时段对应的方程, 就可以求出各个阶段的运行时间.

## 2.4 快速规划实现

根据上面的信息可以完成 S 型曲线速度的快速规划, 图 1 所示为 S 曲线轨迹快速规划算法流程, 具体步骤如下:

1) 读入初始参变量值初速度  $v_s$ 、末速度  $v_e$ 、进给速度  $F$ 、待插补曲线位移  $s$  和系统最大加速度  $A_{\max}$ .

2) 通过公式 (1)~(4) 求解  $T_1$ ~ $T_6$ .

3) 把求得的时间代入公式 (6) 中计算  $S_1$ . 比较  $S_1$  与  $s$  的大小, 如果  $s < S_1$ , 则表明达不到给定的进给速度, 转入步骤 (4); 如果  $s \geq S_1$ , 则表明可达到给定的进给速度, 可直接求解出  $T_4$  转入步骤 (5).

4) 根据提出的规划方法重新求解实际达到的最大速度  $F$  和对应的时间.

5) 输出规划好的时间.

## 3 S 型曲线加减速算法验证与时间分析

### 3.1 算法验证

现在根据上述分析编程实现 S 曲线速度规划验证, 轨迹规划中设定的系统参数  $A_{\max} = D_{\max} = 600 \text{ mm/s}^2$ ,  $J = 2 \times 10^4 \text{ mm/s}^3$ . 对应不同的初速度  $v_s$ 、末速度  $v_e$  和进给速度  $F$ , 以

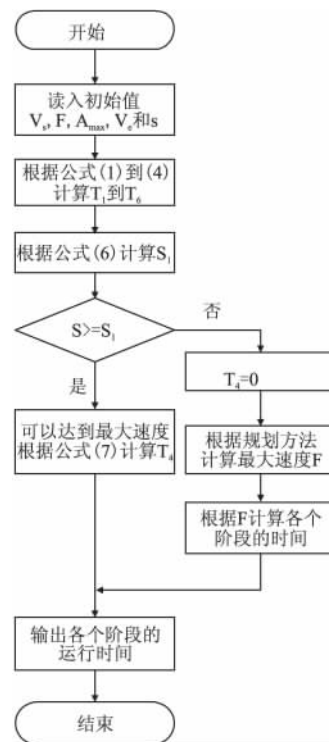


图 1 S 型曲线轨迹快速规划流程图

Fig. 1 Flow chart for the S-shape curve fast planning

及对应的位移  $s$ , 可以规划出不同的曲线, 根据计算出的时间绘制出对应的加速度和速度曲线图。

1) 当  $v_s = 20\text{mm/s}$ 、 $v_e = 30\text{mm/s}$ 、 $F = 60\text{mm/s}$ 、 $s = 30\text{mm}$  时, 规划出的实际最大速度是  $60\text{mm/s}$ 。快速计算各个阶段的运行时间为  $T_1 = 0.0300\text{s}$ 、 $T_2 = 0.0367\text{s}$ 、 $T_3 = 0.0300\text{s}$ 、 $T_6 = 0.0200\text{s}$ 、 $T_4 = 0.3756\text{s}$ 。对应的加速度和速度曲线如图 2 所示。

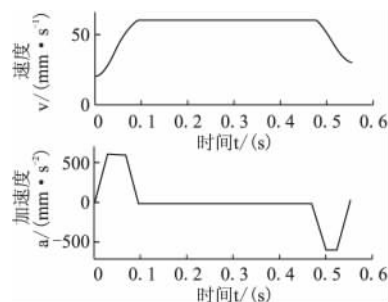


图 2 完整 7 段 S 型加减速和速度曲线

Fig. 2 Seven profiles of S shape acc/dec and velocity

2) 当  $v_s = 20\text{mm/s}$ 、 $v_e = 30\text{mm/s}$ 、 $F = 60\text{mm/s}$ 、 $s = 6\text{mm}$  时, 规划出的实际最大速度是  $53.2977\text{mm/s}$ 。快速计算各个阶段的运行时间为  $T_1 = 0.0300\text{s}$ 、 $T_2 = 0.0255\text{s}$ 、 $T_3 = 0.0300\text{s}$ 、 $T_6 = 0.0088\text{s}$ 、 $T_4 = 0\text{s}$ 。对应的加速度和速度曲线如图 3 所示。

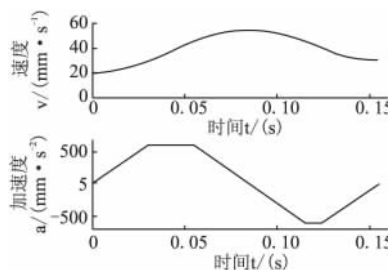


图 3 不含匀速段 S 型加减速和速度曲线

Fig. 3 Profiles of S shape acc/dec and velocity without constant stage

3) 当  $v_s = 20\text{mm/s}$ 、 $v_e = 40\text{mm/s}$ 、 $F = 60\text{mm/s}$ 、 $s = 6\text{mm}$  时, 规划出的实际最大速度是  $55.3885\text{mm/s}$ 。快速计算各个

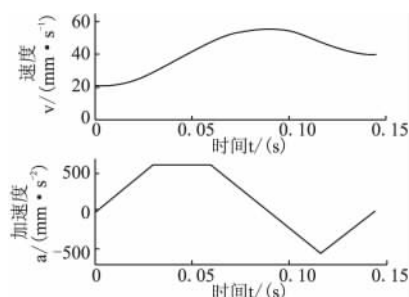


图 4 不含匀速和匀减速段 S 型加减速和速度曲线

Fig. 4 Profiles of S shape acc/dec and velocity without constant and constant deceleration stage

阶段的运行时间为  $T_1 = 0.0300\text{s}$ 、 $T_2 = 0.0290\text{s}$ 、 $T_3 = 0.0277\text{s}$ 、 $T_6 = 0\text{s}$ 、 $T_4 = 0\text{s}$ 。对应的加速度和速度曲线如图 4 所示。

4) 当  $v_s = 20\text{mm/s}$ 、 $v_e = 50\text{mm/s}$ 、 $F = 65\text{mm/s}$ 、 $s = 8\text{mm}$  时, 规划出的实际最大速度是  $F$  等于  $65\text{mm/s}$ 。快速计算各个

阶段的运行时间为  $T_1 = 0.0300\text{s}$ 、 $T_2 = 0.0450\text{s}$ 、 $T_3 = 0.0274\text{s}$ 、 $T_6 = 0\text{s}$ 、 $T_4 = 0.0060\text{s}$ 。对应的加速度和速度曲线如图 5 所示。

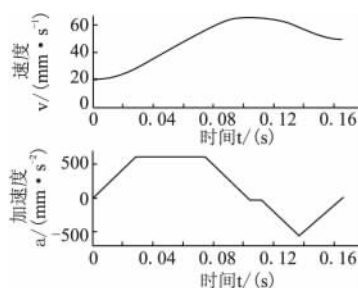


图 5 不含匀减速段 S 型加减速和速度曲线

Fig. 5 Profiles of S shape acc/dec and velocity without constant deceleration stage

5) 当  $v_s = 30\text{mm/s}$ 、 $v_e = 35\text{mm/s}$ 、 $F = 45\text{mm/s}$ 、 $s = 3.5\text{mm}$  时, 规划出的实际最大速度是  $F$  等于  $43.3689\text{mm/s}$ 。快速计算各个阶段的运行时间为  $T_1 = 0.0259\text{s}$ 、 $T_2 = 0\text{s}$ 、 $T_3 = 0.0205\text{s}$ 、 $T_6 = 0\text{s}$ 、 $T_4 = 0\text{s}$ 。对应的加速度和速度曲线如图 6 所示。

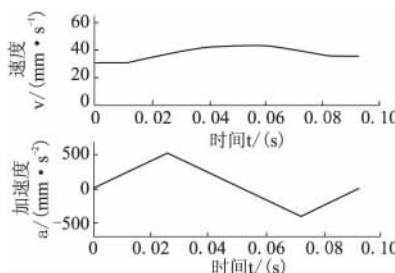


图 6 基本四段 S 型加减速和速度曲线

Fig. 6 Basis four profiles of S shape acc/dec and velocity

6) 当  $v_s = 20\text{mm/s}$ 、 $v_e = 25\text{mm/s}$ 、 $F = 35\text{mm/s}$ 、 $s = 5\text{mm}$  时, 规划出的实际最大速度是  $F$  等于  $35\text{mm/s}$ 。快速计算各个阶段的运行时间为  $T_1 = 0.0274\text{s}$ 、 $T_2 = 0\text{s}$ 、 $T_3 = 0.0224\text{s}$ 、 $T_6 = 0\text{s}$ 、 $T_4 = 0.0615\text{s}$ 。对应的加速度和速度曲线如图 7 所示。

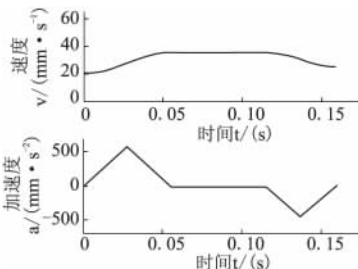


图 7 不含匀加速和匀减速段 S 型加减速和速度曲线

Fig. 7 Profiles of S shape acc/dec and velocity without constant acceleration and deceleration stage

7) 当  $v_s = 40\text{mm/s}$ 、 $v_e = 20\text{mm/s}$ 、 $F = 60\text{mm/s}$ 、 $s = 6\text{mm}$  时, 规划出的实际最大速度是  $F$  等于  $50.849\text{mm/s}$ 。快速计算各个阶段的运行时间为  $T_1 = 0.0233\text{s}$ 、 $T_2 = 0\text{s}$ 、 $T_3 = 0.0300\text{s}$ 、 $T_6 = 0.0214\text{s}$ 、 $T_4 = 0\text{s}$ 。对应的加速度和速度曲线如下页图 8 所示。

### 3.2 时间分析

用同样的输入参数, 在 matlab 中用本文算法和文献 [3]

中的算法进行比较,结果如表 1 所示。

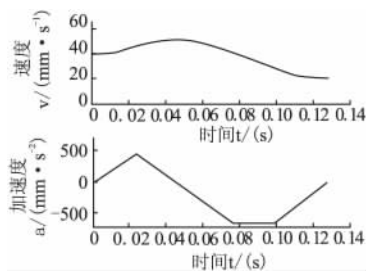


图 8 不含匀加速和匀速段 S 型加减速和速度曲线

Fig. 8 Profiles of S shape acc/dec and velocity without constant acceleration and constant stage

其中  $v_s$  是系统初速度,  $v_e$  是末速度,  $F$  是给定的进给率,  $s$  是位移,  $F'$  是实际运行速度,  $T_1$  是本文算法的运行时间,  $T_2$  是文献 [3] 所提算法的运行时间, 由表 1 可以看出, 当系统可以达到给定的进给速度时, 文献 [3] 的算法运行时间大约是本文算法的 3 倍, 这是因为所求的加速和减速长度直接代入

表 1 两种算法运行时间比较

Table 1 Compare two methods of runtime

$v_s$	$v_e$	$F$	$s$	$F'$	$T_1$	$T_2$
20	30	60	30	60.0	0.015	0.046
20	30	60	6	53.2977	0.018	0.089
20	40	60	6	55.3885	0.019	0.094
20	50	65	8	65.0	0.014	0.046
30	35	45	3.5	43.3689	0.018	0.091
20	25	35	5	35.0	0.0157	0.048
40	20	60	6	50.849	0.017	0.086

普通运动学速度和位移方程, 这涉及多次乘法和加法。当系统达不到给定的进给速度时, 文献 [3] 中的算法运行时间大约是本文算法运行时间的 5 倍, 因为在重新求解实际最大速度时候, 多次代入速度和位移方程延长了算法的运行时间。由于简化了 S 型曲线的速度和位移公式, 可以快速判断 S 曲线有几个阶段, 可以更加节省前瞻模块处理的时间, 节省系统资源, 从而使系统可以更加有效地进行加工。

#### 4 结 论

加减速方式及算法将影响到数控系统运动精度、加工精度和运行效率文中利用 S 型曲线加加速和减加速对称性特点, 重新推导了 S 型曲线加减速的相关公式, 简化了算法的计算, 可以快速规划出待加工曲线对应的各项参数指标, 并对算法进行了验证, 结果表明这是一种适合于高速加工的柔性加

减速算法。

#### References:

- [1] Huang Yan, Li Jia-ji, Yu Dong, et al. Design and implementation of S-shape acceleration and deceleration algorithm on CNC system [J]. Manufacturing Technology & Machine Tool 2005, 3: 55-59.
- [2] Hu Jian-hua, Liao Wen-he, Zhou Ru-rong. Research and comparison for several curves of acceleration and deceleration in CNC systems [J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 1999, 31(6): 706-711.
- [3] Shi Chuan, Zhao Tong, Ye Pei-qing, et al. Study on S-shape curve acceleration and deceleration control on NC system [J]. China Mechanical Engineering, 2007, 18(12): 1421-1425.
- [4] Chen You-dong, Wang Tian-miao, Wei Hong-xing, et al. Linear and S-shape acceleration and deceleration for CNC machine tools [J]. China Mechanical Engineering, 2006, 17(15): 1600-1604.
- [5] Pan Hai-hong, Yang Wei, Chen Lin, et al. Adaptive piecewise NURBS curve interpolator algorithm for entireness process S-curve ACC/DEC control [J]. China Mechanical Engineering, 2010, 12(2): 190-195.
- [6] Ji Jun-feng, Zhou Lai-shui, Zhang De-li. Motion smoothing implementation for NURBS curve interpolation [J]. China Mechanical Engineering, 2006, 17(21): 2225-2229.
- [7] Lin M T, Tsai M S, Yau H T. Development of a dynamics-based NURBS interpolator with real-time look-ahead algorithm [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture 2007, 47(15): 2246-2262.
- [8] Liu Kai, Zhao Dong-biao. Study on adaptive acceleration-deceleration control method of parametric curve interpolator [J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2008, 29(4): 769-772.

#### 附中文参考文献:

- [1] 黄艳, 李家霖, 于东, 等. CNC 系统 S 型曲线加减速算法的设计与实现 [J]. 制造技术与机床 2005, 3: 55-59.
- [2] 胡建华, 廖文和, 周儒荣. CNC 系统中几种升降速控制曲线的研究与比较 [J]. 南京航空航天大学学报, 1999, 31(6): 706-711.
- [3] 石川, 赵彤, 叶佩青, 等. 数控系统 S 曲线加减速规划研究 [J]. 中国机械工程 2007, 18(12): 1421-1425.
- [4] 陈友东, 王田苗, 魏洪兴, 等. 数控系统的直线和 S 形加减速研究 [J]. 中国机械工程 2006, 17(15): 1600-1604.
- [5] 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.
- [6] 姬俊锋, 周来水, 张得礼. NURBS 曲线插补过程中运动平滑处理 [J]. 中国机械工程 2006, 17(21): 2225-2229.
- [8] 刘凯, 赵东标. 参数曲线插补自适应加减速控制方法研究 [J]. 小型微型计算机系统 2008, 29(4): 769-772.