

3. Real-time jerk-limited kinematic profile generation

This section presents a procedure for generating jerk-limited kinematical profiles. This procedure is done by estimating the admissible range of the acceleration value at the consecutive point along the smooth tool path and deciding the maximum possible value for achieving final deceleration stage, repeatedly at every sampling period.

Fig. 2 shows the kinematic profiles used in jerk-limited accelerations. The trapezoidal acceleration profile is defined by pre-specified jerk values J_r s and maximum acceleration and deceleration allowances denoted as A and $-D$ respectively, where the subscript r indicates the index for each of regions 1–7. This procedure allows the trajectory profile to be modified on the fly, according to unpredictable path constraints, with maintaining the smooth tool path.

3.1. Conditions for accelerations

Considering the acceleration a_k and the feedrate f_k at the k th sampling period, suppose that the cutter travels along smooth path with trapezoidal acceleration profile regions, which has jerk values of J_1 , 0 and $-J_3$ in turn, from the next $(k + 1)$ th period, and finally reach the desired feedrate f_d with the acceleration $a_d = 0$ at the k_d th sampling period. The condition, in which the feedrate can reach the desired value f_d in the fastest time, is for the cutter to travel along the acceleration profile for the region 3 where the jerk value is $-J_3$, as represented in Fig. 3. The following equation can be obtained based on the point that the area under the acceleration profile is equal to the deviation of the feedrate (Fig. 3).

$$\frac{1}{2}(a_{k+1,p} + a_k)\Delta T_S + \frac{1}{2}(a_{k+1,p} - a_d)[k_d - (k + 1)]\Delta T_S = f_d - f_k \quad (2)$$

where ΔT_S is the sampling period and $a_{k+1,p}$ is the acceleration value at the next sampling period. Rearranging Eq. (2) in terms of $a_{k+1,p}$, the second-order polynomial

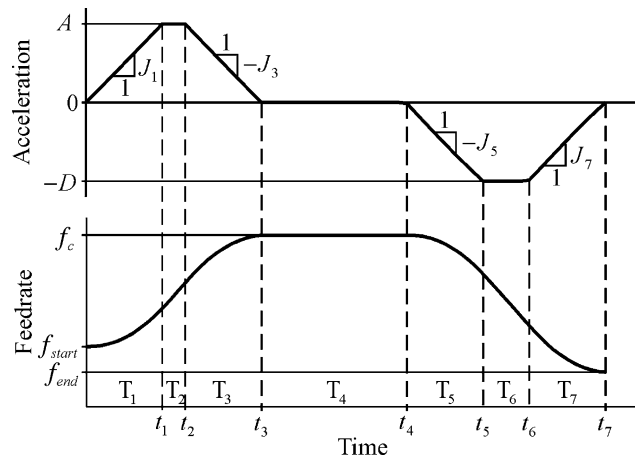


Fig. 2. Kinematic profiles with jerk-limited acceleration [6].

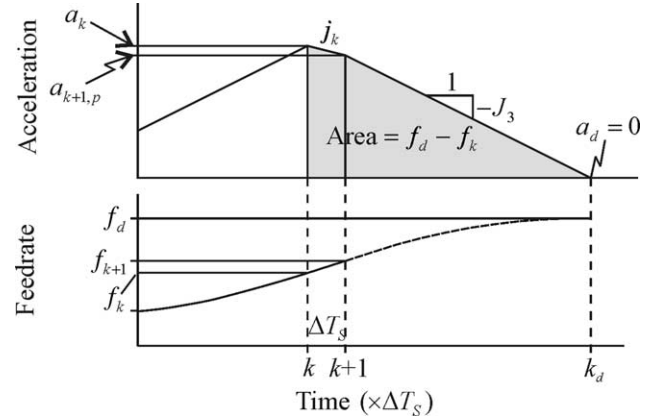


Fig. 3. Acceleration profile for the acceleration condition.

about $a_{k+1,p}$ is obtained as

$$a_{k+1,p}^2 + ba_{k+1,p} + c = 0 \quad (3)$$

where

$$\begin{cases} b = J_3\Delta T_S \\ c = J_3[a_k\Delta T_S - 2(f_d - f_k)] \end{cases}$$

The solution of Eq. (3), $a_{k+1,p} = [-b + (b^2 - 4c)^{1/2}]/2$ is regarded as the most efficient acceleration value, at the consecutive period, by the above assumptions. Imposing the jerk limits and the maximum acceleration/deceleration values on this value, the range of the acceleration value is obtained as follows.

$$a_{k+1} = [a_{k+1,\min}, a_{k+1,\max}] \quad (4)$$

where

$$\begin{cases} a_{k+1,\max} = \min(a_{k+1,p}, a_k + J_1\Delta T_S, A) \\ a_{k+1,\min} = \max(a_k - J_3\Delta T_S, -D) \end{cases}$$

The desired feedrate is usually regarded as the command feedrate f_c . However, if the path constraint such as the contour error tolerance is given, this desired value should be replaced by f_{gc} corresponding to the path constraint, as following.

$$f_d = \min(f_c, f_{gc}) \quad (5)$$

3.2. Determination of final deceleration stage

The most efficient tool motion is achieved by following the profile generated from the largest value in the admissible acceleration range, mentioned in the previous section, as long as the final deceleration stage are not invoked. For such a profile generation, the interpolator keeps track of whether the final deceleration stage should be started or not, at every sampling period.

3. Формирование в реальном режиме времени кинематического профиля ограниченного рывка

В этом разделе представлена процедура генерации кинематического профиля ограниченного рывка. Данная процедура выполнена для оценки допустимого диапазона значений ускорения на последующей точке вдоль плавной траектории инструмента и вычисления максимального возможного значения для достижения конечного этапа торможения, повторно для каждого такта.

На рис. 2 показан кинематический профиль, используемый в ускорении с ограниченным рывком. Трапецевидный профиль ускорения определен предварительно заданным значением рывка J_3 , максимальным ускорением, допускаемым торможением, обозначенными как A и $-D$ соответственно, где нижний индекс r указывает на индекс каждой из областей 1–7. Эта процедура позволяет изменять профиль на лету, в соответствии с непредсказуемыми ограничениями траектории инструмента, с поддержанием плавной траектории движения инструмента

3.1. Условия ускорения

Рассматривая ускорение a_k и скорость подачи f_k а k -ом такте, предполагаем, что режущий инструмент перемещается вдоль плавной траектории движения, с трапецевидальной областью профиля ускорения, в котором поочередно присутствуют значения рывка J_1 ; 0 и $-J_3$, на следующий $(k + 1)$ -ый период, и достигает в конце скорости подачи f_d с ускорением $a_d = 0$ в k_d -ом такте. Условие, для движения режущего инструмента, по профилю ускорения в области 3, где значение рывка $-J_3$, при котором скорость подачи может достигнуть ожидаемого значения f_d за оптимальное время, представлено на рис. 3. Следующее уравнение может быть получено базирываясь на точке, находящейся в области под профилем ускорения, равное колебанию скорости подачи (Рис. 3).

$$S(a_{k+1,p} + a_k) \Delta T_S + S(a_{k+1,p} + a_d)[k_d - (k+1)] \Delta T_S = f_d - f_k \quad (2)$$

Где ΔT_S это такт, а $a_{k+1,p}$ значение ускорения в следующем такте. Пересчитав уравнение (2) относительно $a_{k+1,p}$; полином второго порядка от $a_{k+1,p}$

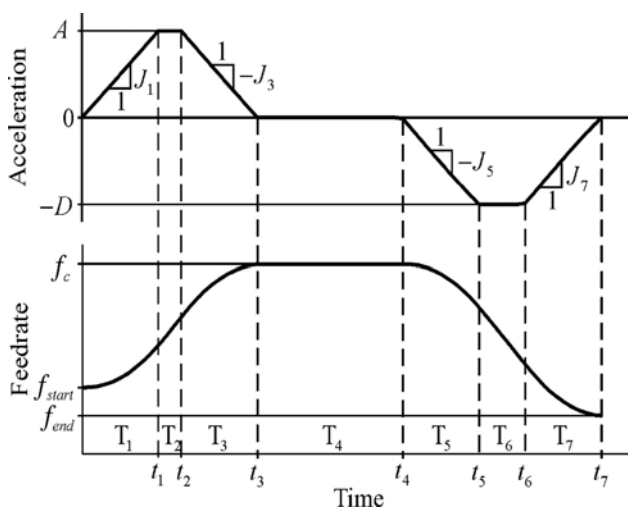


Рис. 2. Кинематический профиль ускорения с ограниченным рывком [6].

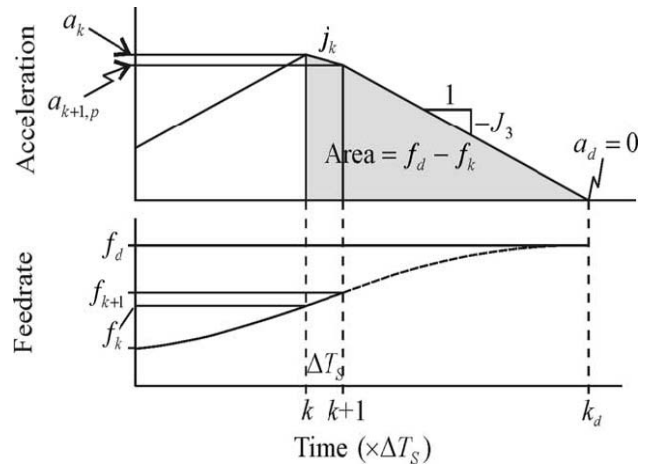


Рис. 3. Профиль ускорения для условия ускорения.

получим

$$b_{k+1,p}^2 + b a_{k+1,p} + c = 0 \quad (3)$$

где

$$\begin{cases} b = J_3 \Delta T_S \\ c = J_3 [a_k \Delta T_S - 2(f_d - f_k)] \end{cases}$$

Решение уравнения (3), $a_{k+1,p} = \left[-b + (b^2 - 4c)^{\frac{1}{2}} \right] / 2$ рассматривается как наиболее оптимальное значение ускорения, к последовательному периоду для вышесказанного предположения. Накладывая ограничение рывка и максимальное значение ускорения/торможение на то значение, диапазон характеристик ускорения получим следующим образом

$$a_{k+1} = [a_{k+1,\min}, a_{k+1,\max}] \quad (4)$$

где

$$\begin{cases} a_{k+1,\max} = \min(a_{k+1,p}, a_k + J_1 \Delta T_S, A) \\ a_{k+1,\min} = \max(a_k - J_3 \Delta T_S, -D) \end{cases}$$

Требуемая скорость подачи обычно рассматривается как команда скорости подачи f_c . Однако если задаются ограничения траектории, такие как допуск ошибки контура, это требуемое значение должно быть заменено f_{gc} соответствующим ограничению траектории инструмента, как показано ниже.

$$f_d = \min(f_c, f_{gc}) \quad (5)$$

3.2. Определение конечного участка торможения

Наиболее эффективное движение инструмента достигается на профиле, полученном для наибольшего значения в допустимом диапазоне ускорения, упомянутом в предыдущем разделе, пока не будет достигнут конечный этап торможения. Для данного формирования профиля, интерполятор отслеживает траекторию для определения, необходимо ли начинать торможений или нет, для каждого такта.