

对于一个完整的 S 型加减速曲线，整个运动过程被分为七个阶段，即：

加加速段。(0- t_1)

加加速度为 j_{\max} ，加速度线性增加至设定速度或最大速度 a_{\max} 。

$$\text{公式: } a = jt. \quad v = v_0 + 0.5jt^2. \quad s = s_0 + v_0t + \frac{1}{6}jt^3$$

匀加速段。(t_1 - t_2)

加加速度为零，加速度恒定。

$$\text{公式: } a = jT_1. \quad v = v_0 + 0.5jT_1^2 + a(t - T_1)$$

减加速段。(t_2 - t_3)

当速度接近设定的值或最大值 v_{\max} 时，加加速度突然变为反向 j_{\max} ，进入加速度线性减小的变减速运动阶段。

公式： 在此处键入公式。

匀速段。（ t_3-t_4 ）

当速度增至 v_{\max} 时，加加速度和加速度均变为 0，进入匀速运动阶段。

加减速阶段。（ t_4-t_5 ）

加加速度突变为反向的 j_{\max} ，加速度反向线性增加至 $-a_{\max}$ 。

匀减速段。（ t_5-t_6 ）

加加速度为 0. 减加速度恒定。

减减速段。（ t_6-t_7 ）

加速度突变为 j_{\max} ，加速度由负向的 a_{\max} 线性减小至 0.

加加速度、加速度、速度、位移随时间的变化函数。

t_k ($k=0, 1, 2, \dots, 7$). 表示各个阶段的过度坐标点。

τ_k ($k=0, 1, 2, \dots, 7$): 局部时间坐标。表示以各个阶段的起始点作为时间零点的时间表示。 $\tau_k = t_k - t_{k-1}$.

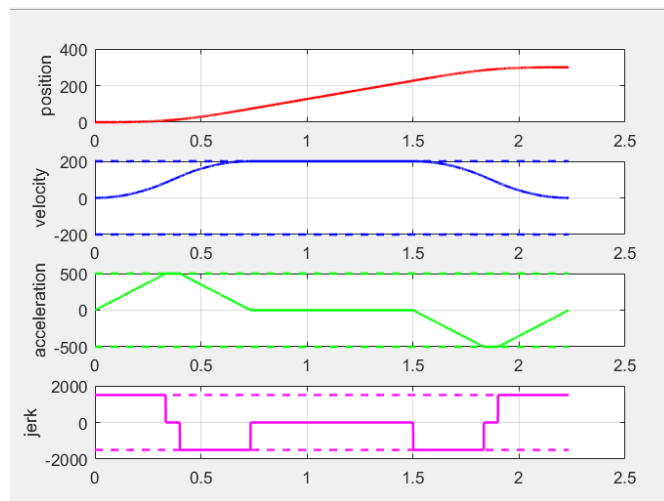
T_k : 各个阶段的持续运行时间。

公式：

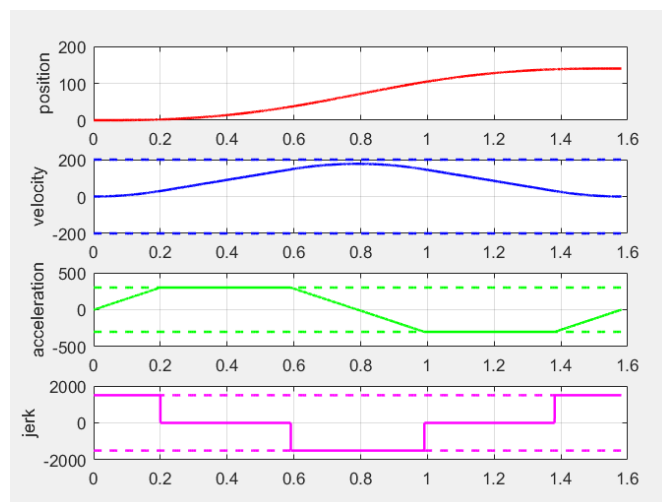
$$j(t) = \begin{cases} j_{\max} & 0 \leq t \leq t_1 \\ 0 & t_1 \leq t \leq t_2 \\ -j_{\max} & t_2 \leq t \leq t_3 \\ 0 & t_3 \leq t \leq t_4 \\ -j_{\max} & t_4 \leq t \leq t_5 \\ 0 & t_5 \leq t \leq t_6 \\ j_{\max} & t_6 \leq t \leq t_7 \end{cases}$$

S 型曲线加减速根据轨迹，大致可分为四种情况：

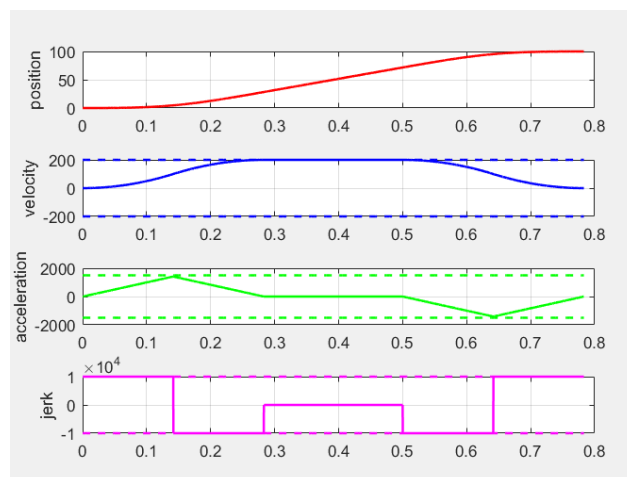
1) 加速度为梯形且正负不相连。



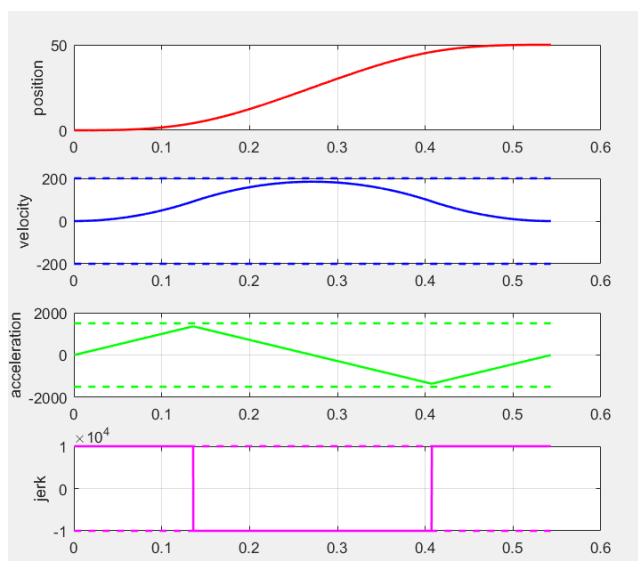
2) 加速度为梯形正负相连。



3) 加速度为三角形正负不相连。



4) 加速度为三角形正负相连。



完整的 S 型曲线，可分为 7 个阶段。分别为加加速，匀加速，减加速，匀速，加减速，匀减速，减减速。但是根据边界条件，可能会出现 3-7 个阶段。

梯形速度运动轨迹具有不连续的加速度，由于这个原因，可能会对机械系统产生不可知的残余震动，对系统产生损伤。因此，一个平滑的运动轨迹是必要的。

我们假设：

$$j_{min} = -j_{max} \quad a_{min} = -a_{max} \quad v_{min} = -v_{max}$$

边界条件：

初速度和末速度 v_0, v_1 ;

初始和终止加速度 $a_0=a_1=0$;

我们分为三个阶段：

1) 加速段, $t \in [0, T_a]$. 在这个阶段，加速度从零增加到最大值然后再回到零。

2) 匀速段, $t \in [T_a, T_a + T_v]$ 。有恒定的速度。

3) 减速段, $t \in [T_a + T_v, T]$. $T = T_a + T_v + T_d$ 。这个阶段加速度轨迹和加速段方向相反。

给定 jerk, acc, vel 的最大值约束条件和位移 $h=q_1-q_0$. 我们必须先验证能否完成这个轨迹。因为有的时候给定的位移并不能使速度从零增加到最大值。这个时候就得减小速度的最大值来完成整个轨迹。加速度同理。

当位移太小是, 速度无法从初速度增加到(减小)末速度, 或者只有加速度 ($v_0 > v_1$) 或者减速度 ($v_0 < v_1$)。

我们定义:

$$T_j^* = \min\left\{\sqrt{\frac{|v_1 - v_0|}{j_{max}}}, \frac{a_{max}}{j_{max}}\right\} \quad (1-1)$$

如果 $T_j^* = \frac{a_{max}}{j_{max}}$ 。则加速度能达到最大值, 可能存在一个 jerk 为零的阶段。

如果轨迹符合以下条件, 则这段轨迹是可以完成的

$$q_1 - q_0 > \begin{cases} T_j^*(v_1 + v_0) & T_j^* < \frac{a_{max}}{j_{max}} \\ \frac{1}{2}(v_1 + v_0) \left[T_j^* + \frac{|v_1 - v_0|}{a_{max}} \right] & T_j^* = \frac{a_{max}}{j_{max}} \end{cases} \quad (1-2)$$

若是不能符合上面这个条件, 则说明位移太小以至于在现有约束条件下初速度无法达到末速度。符合则可以继续进行下面的计算。

我们定义运动过程中速度的最大值 $v_{lim} = \max(\dot{q}(t))$, 那可能存在两种情况。

Case 1: $v_{lim} = v_{max}$ 。

Case 2: $v_{lim} < v_{max}$ 。

在 case 1 和 case 2 中，可能存在最大加速度（减速度）没有达到。也可能由于初始速度或者末速度接近速度最大值，导致加速段或减速段只有其中一个到达加速度最大值，另一个没有。

我们定义：

Tj1: 加速段中的 jerk 持续时间（jmax 或者 jmin）。

Tj2: 减速段中 jerk 的持续时间（jmax 或者 jmin）。

Ta: 加速时间段。

Tv: 匀速时间段。

Td: 减速时间段。

T: 总行程时间。

Case 1: $v_{lim} = v_{max}$ 。

在这种情况下，我们可以通过以下公式来验证能否达到最大加速度（amax 或者 amin）。

如果 $(v_{max} - v_0)j_{max} < a_{max}^2$ amax 没有达到 (1-3)

如果 $(v_{max} - v_1)j_{max} < a_{max}^2$ amin 没有达到 (1-4)

公式（1-3），可以理解为：在加加速段 $v_1 - v_0 = \frac{1}{2}j_{max}t^2$

对于加速段，存在加加速和减加速，我们假设，当速度达到最大值时，加速度也刚好达到最大值，根据轮廓的对称型可以有：

$$v_{max} - v_0 = 2 * \frac{1}{2}j_{max}t^2$$

所以： $(v_{max} - v_0)j_{max} = j_{max}t^2 * j_{max} = a_{max}^2$

这时候速度和加速度都刚好达到最大值，没有匀加速阶段。减速段同理。

如果（1-3）成立，那加加速段时间和加速段 时间可分别为：

$$T_{j1} = \sqrt{\frac{v_{max}-v_0}{j_{max}}}, \quad T_a = 2T_{j1} \quad (1-5)$$

否则；

$$T_{j1} = \frac{a_{max}}{j_{max}}, \quad T_a = T_{j1} + \frac{v_{max}-v_0}{a_{max}} \quad (1-6)$$

（1-6）公式中 T_a 可以通过图形面积分割来理解。加速度对时间的积分为速度，在加速段，加速是一个梯形，加加速和减加速对称，可以将梯形变换为长方形，面积就是 v_{max} ，可以求出匀加速和减加速时间和。只需加上加加速短时间即为加速段时间。减速段同理

如果（1-4）成立，那减加速和减速段时间为：

$$T_{j2} = \sqrt{\frac{v_{max}-v_1}{j_{max}}}, \quad T_a = 2T_{j2} \quad (1-7)$$

否则；

$$T_{j2} = \frac{a_{max}}{j_{max}}, \quad T_d = T_{j2} + \frac{v_{max}-v_1}{a_{max}} \quad (1-8)$$

最后，匀速段时间为：

$$T_v = \frac{q_1-q_0}{v_{max}} - \frac{T_a}{2} \left(1 + \frac{v_0}{v_{max}}\right) - \frac{T_d}{2} \left(1 + \frac{v_1}{v_{max}}\right) \quad (1-9)$$

公式(1-9)也可以通过图形分割的办法来进行推导。速度对时间的积分为位移。加速段的位移 $L_a = \frac{T_a}{2} * (v_{max} - v_0) + T_a * v_0$ ，减速段同理。 $L_d = \frac{T_d}{2} * (v_{max} - v_1) + T_d * v_1$

则 $T_v = \frac{q_1-q_0-L_a-L_d}{v_{max}}$ ，化简可得公式（1-9）。

如果 $T_v \geq 0$ ，则可以运动可以达到最大速度限定值 v_{max} ，整个轨迹可以通过公式（1-5）至（1-9）来得到所有阶段的轨迹参数。否则，运动过程中的最大值 $v_{lim} < v_{max}$ ，这时，考虑 case 2.

Case 2: $v_{lim} < v_{max}$.

在这种情况下，没有匀速阶段，如果最大（最小）加速度可以达到，则加速段和减速段的时间很容易求出来。

$$T_{j1} = T_{j2} = T_j = \frac{a_{max}}{j_{max}}$$

$$T_a = \frac{\frac{a_{max}^2}{j_{max}} - 2v_0 + \sqrt{\Delta}}{2a_{max}} \quad (1-10)$$

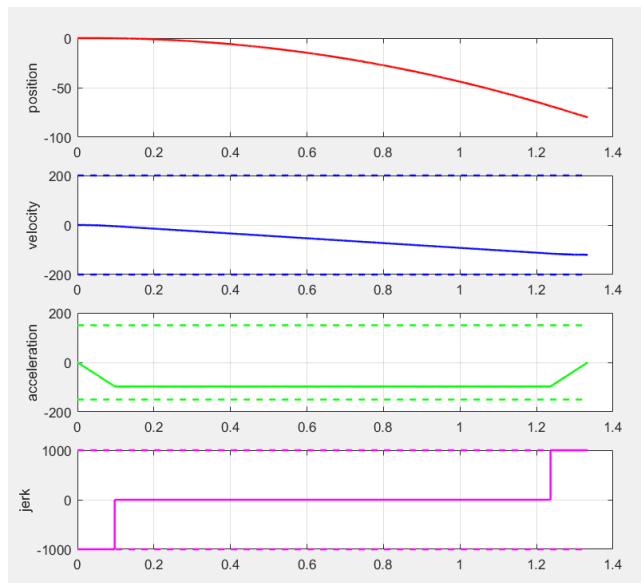
$$T_d = \frac{\frac{a_{max}^2}{j_{max}} - 2v_0 + \sqrt{\Delta}}{2a_{max}} \quad (1-11)$$

$$\sqrt{\Delta} = \frac{a_{max}^4}{j_{max}^2} + 2(v_0^2 + v_1^2) + a_{max}(4(q_1 - q_0) - 2\frac{a_{max}}{j_{max}}(v_0 + v_1)) \quad (1-12)$$

这几个公式暂时还不知道如何推出来。。。

如果 $T_a < 2T_{j1}$ 或者 $T_d < 2T_{j2}$ ，说明最大（最小）加速度在两个阶段里没有达到，这样就不能用（1-9）到（1-10）的公式去推导。解决这种情况的唯一方法就是减小 a_{max} （假设 $a_{max}=ra_{max}$ ， $0 < r < 1$ ），一直计算直到满足 $T_a > 2T_{j1}$ 或者 $T_d > 2T_{j2}$ ，然后就可以用公式（1-9）到（1-11）来计算。

在轨迹的计算过程中，还可能出现 T_a 或者 T_d 为负的情况，这种情况下只有加速段或者减速段。取决于初速度和末速度的值。如果 $T_a < 0$ ，加速段是不存在的，只有减速段，如下图：



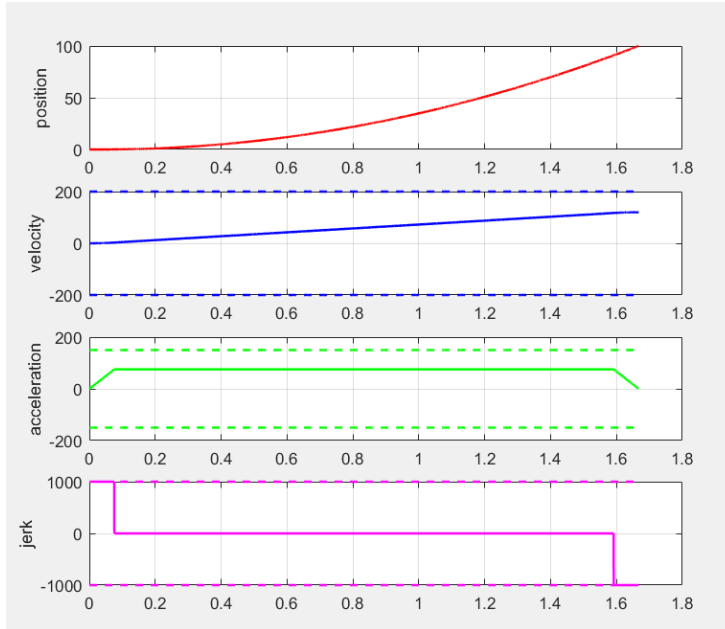
这种情况下，可以用以下公式来计算时间段：

$$T_d = 2 \frac{q_1 - q_0}{v_1 + v_0} \quad (1-12)$$

$$T_{j2} = \frac{j_{max}(q_1 - q_0) - \sqrt{j_{max}(j_{max}(q_1 - q_0)^2 + (v_1 + v_0)^2(v_1 - v_0))}}{j_{max}(v_1 + v_0)} \quad (1-13)$$

这两个公式暂时没推导出来。。。

如果 $T_d < 0$ ，则没有减速段，只有加速段



此时加速段和 jerk 持续段的计算公式为：

$$T_d = 2 \frac{q_1 - q_0}{v_1 + v_0} \quad (1-14)$$

$$T_{j2} = \frac{j_{max}(q_1 - q_0) - \sqrt{j_{max}(j_{max}(q_1 - q_0)^2 + (v_1 + v_0)^2(v_1 - v_0))}}{j_{max}(v_1 + v_0)} \quad (1-15)$$

计算出各个阶段的持续时间后，我们就能计算出最大（最小）加速度和最大速度：

$$a_{lima} = j_{max}T_{j1} \quad a_{limd} = -j_{max}T_{j2}$$

$$v_{lim} = v_0 + (T_a - T_{j1})a_{lima} = v_1 - (T_d - T_{j2})a_{limd}$$

计算出各个阶段的持续时间和约束条件后，我们可以跟据以下公式：

加速段：

$$1) \quad t \in [0, T_{j1}]$$

$$\begin{cases} q(t) = q_0 + v_0 t + j_{max} \frac{t^3}{6} \\ \dot{q}(t) = v_0 + j_{max} \frac{t^2}{2} \\ \ddot{q}(t) = j_{max} t \\ \dddot{q}(t) = j_{max} \end{cases} \quad (1-16)$$

$$2) \quad t \in [T_{j1}, T_a - T_{j1}]$$

$$\begin{cases} q(t) = q_0 + v_0 t + \frac{a_{lima}}{6} (3t^2 - 3T_{j1}t + T_{j1}^2) \\ \dot{q}(t) = v_0 + a_{lima}(t - \frac{T_{j1}}{2}) \\ \ddot{q}(t) = j_{max}T_{j1} = a_{lima} \\ \dddot{q}(t) = 0 \end{cases} \quad (1-17)$$

$$3) \quad t \in [T_a - T_{j1}, T_a]$$

$$\begin{cases} q(t) = q_0 + (v_{lim} + v_0) \frac{T_a}{2} - v_{lim}(T_a - t) - j_{min} \frac{(T_a - t)^3}{6} \\ \dot{q}(t) = v_{lim} + j_{min} \frac{(T_a - t)^2}{2} \\ \ddot{q}(t) = -j_{min}(T_a - t) \\ \dddot{q}(t) = -j_{max} \end{cases} \quad (1-18)$$

匀速段

$$4) \quad t \in [T_a, T_a + T_v]$$

$$\begin{cases} q(t) = q_0 + (v_{lim} + v_0)\frac{T_d}{2} - v_{lim}(T_a - t) \\ \dot{q}(t) = v_{lim} \\ \ddot{q}(t) = 0 \\ \dddot{q}(t) = 0 \end{cases} \quad (1-19)$$

減速段

$$5) \quad t \in [T - T_d, T - T_d + T_{j2}]$$

$$\begin{cases} q(t) = q_1 - (v_{lim} + v_1)\frac{T_d}{2} + v_{lim}(T_d + t - T) \\ \quad - j_{max} \frac{(T_d + t - T)^3}{6} \\ \dot{q}(t) = v_{lim} - j_{max} \frac{(T_d + t - T)^2}{2} \\ \ddot{q}(t) = -j_{max}(T_d + t - T) \\ \dddot{q}(t) = -j_{max} \end{cases} \quad (1-20)$$

$$6) \quad t \in [T - T_d + T_{j2}, T - T_{j2}]$$

$$\begin{cases} q(t) = q_1 - (v_{lim} + v_1)\frac{T_d}{2} + v_{lim}(T_d + t - T) + \\ \quad \frac{a_{limd}}{6} (3(T_d + t - T)^2 - 3T_{j2}(T_d + t - T) + T_{j1}^2) \\ \dot{q}(t) = v_{lim} + a_{limd}(T_d + t - T - \frac{T_{j2}}{2}) \\ \ddot{q}(t) = -j_{max}T_{j2} = a_{limd} \\ \dddot{q}(t) = 0 \end{cases} \quad (1-21)$$

$$7) \quad t \in [T - T_{j2}, T]$$

$$\begin{cases} q(t) = q_1 - v_1(T - t) - j_{max} \frac{(T - t)^3}{6} \\ \dot{q}(t) = v_1 + j_{max} \frac{(T - t)^2}{2} \\ \ddot{q}(t) = -j_{max}(T - t) \\ \dddot{q}(t) = j_{max} \end{cases} \quad (1-22)$$

以上的方法都是在 $q_1 > q_0$ 的情况下计算的，当 $q_1 < q_0$ 时，必须要考虑相反符号的速度 加速度等。

一般情况下，我们给定初始和终止位置，初速度和末速度 $(\hat{q}_0, \hat{q}_1, \hat{v}_0, \hat{v}_1)$ ，我们必须在计算前把这些参数做一些整理：

$$q_0 = \sigma \hat{q}_0, \quad q_1 = \sigma \hat{q}_1, \quad v_0 = \sigma \hat{v}_0, \quad v_1 = \sigma \hat{v}_1 \quad (1-23)$$

$$\sigma = \text{sign}(\hat{q}_0 - \hat{q}_1)$$

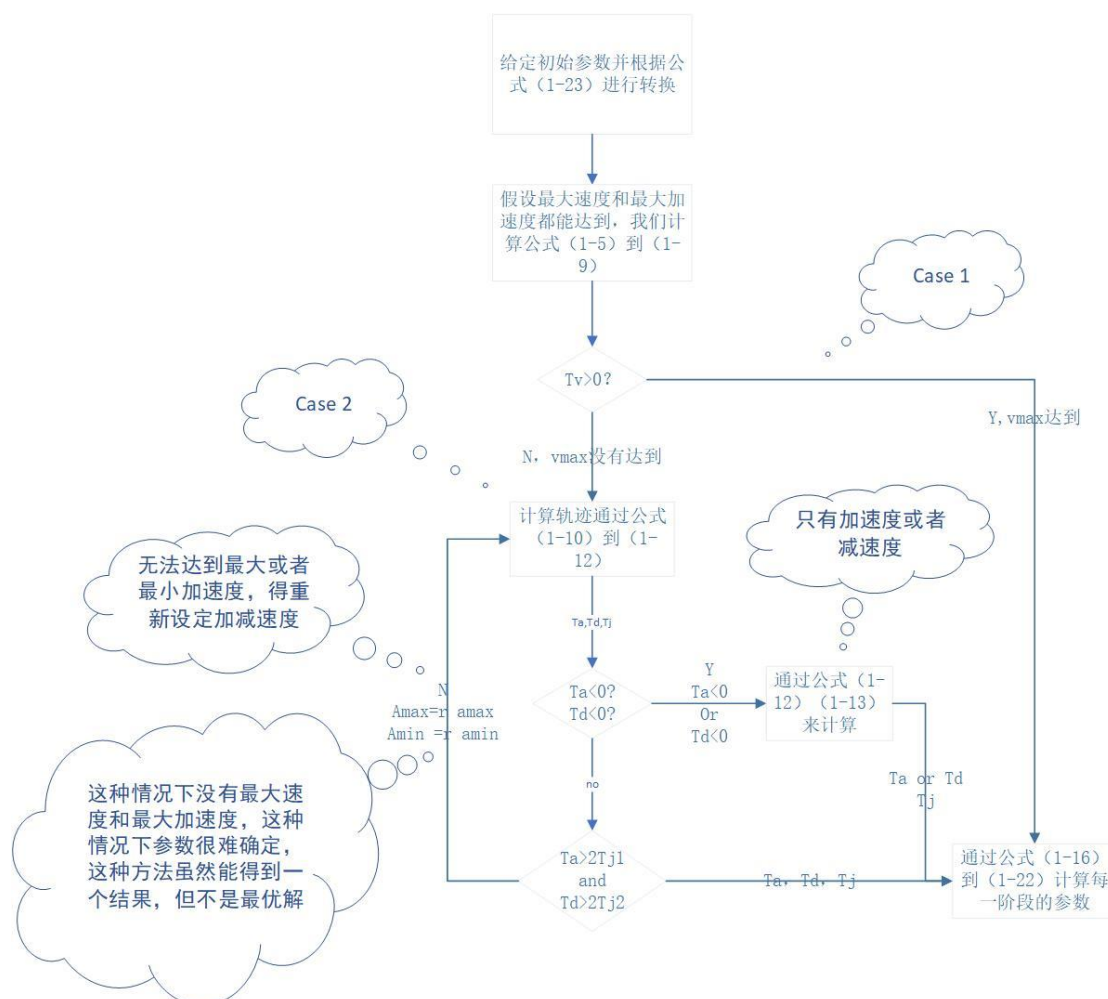
同样，速度和加速度以及加加速度的最大值和最小值都得改变：

$$\begin{cases} v_{max} = \frac{(\sigma+1)}{2} \hat{v}_{max} + \frac{(\sigma-1)}{2} \hat{v}_{min} \\ v_{min} = \frac{(\sigma+1)}{2} \hat{v}_{min} + \frac{(\sigma-1)}{2} \hat{v}_{max} \\ a_{max} = \frac{(\sigma+1)}{2} \hat{a}_{max} + \frac{(\sigma-1)}{2} \hat{a}_{min} \\ a_{min} = \frac{(\sigma+1)}{2} \hat{a}_{min} + \frac{(\sigma-1)}{2} \hat{a}_{max} \\ j_{max} = \frac{(\sigma+1)}{2} \hat{j}_{max} + \frac{(\sigma-1)}{2} \hat{j}_{min} \\ j_{min} = \frac{(\sigma+1)}{2} \hat{j}_{min} + \frac{(\sigma-1)}{2} \hat{j}_{max} \end{cases} \quad (1-24)$$

同样计算结果也得变化一下：

$$\begin{cases} q(t) = \sigma \hat{q}(t) \\ \dot{q}(t) = \sigma \dot{\hat{q}}(t) \\ \ddot{q}(t) = \sigma \ddot{\hat{q}}(t) \\ \ddot{\ddot{q}}(t) = \sigma \ddot{\ddot{\hat{q}}}(t) \end{cases}$$

3 阶轨迹流程图



这种 3 阶轨迹求解方法公式推导比较麻烦, 但是在求各个采样时间的参数时, 加速度, 速度, 位移等参数不需要全部求出也能计算, 每个时间点内这几个参数在求解时没有必要的联系, 所以计算时比较简单。并且在 Case2 中, 当无法达到最大加速度时, 通过降低最大加速度来得到一个解, 这使得所得到的轨迹规划时间通常不是最优解

代码

%%

%计算 (1-1) (1-2)

```
T1=sqrt(abs(InParam.v1-InParam.v0)/InParam.jmax);
```

```
T2=InParam.amax/InParam.jmax;
```

```
Tjs=min(T1,T2);
```

```
if(T1<=T2)
```

```
    Dq=InParam.q1-InParam.q0;
```

```
    if(Dq<Tjs*(InParam.v0+InParam.v1))
```

```
disp('Î»ÒÆ¹ýÐ¡£¬²»´æÔÚÂú×ãÊ%Ä@ËÙ¶ÈµÄ¹ì%££¡³ÌÐðÍË³ö¡£');
```

```
    return;
```

```
end
```

```
else
```

```
    Dq=InParam.q1-InParam.q0;
```

```
    if(Dq<0.5*(InParam.v0+InParam.v1)*(Tjs+abs(InParam.v1-InParam.v0)/InParam.amax))
```

```
disp('Î»ÒÆ¹ýÐ¡£¬²»´æÔÚÂú×ãÊ%Ä@ËÙ¶ÈµÄ¹ì%££¡³ÌÐðÍË³ö¡£');
```

```
    return;
```

```
end
```

```
end
```

%%

%判断轨迹参数，分类讨论

```
if((InParam.vmax-InParam.v0)*InParam.jmax<InParam.amax^2)
```

```
    %(1-5)无法达到最大加速度
```

```
    Tj1=sqrt((InParam.vmax-InParam.v0)/InParam.jmax);
```

```
    Ta=2*Tj1;
```

```
    Param.alima=InParam.jmax*Tj1;
```

```
else
```

```
    %(1-6)能达到最大加速度
```

```
    Tj1=InParam.amax/InParam.jmax;
```

```
    Ta=Tj1+(InParam.vmax-InParam.v0)/InParam.amax;
```

```
    Param.alima=InParam.amax;
```

```
end
```

```
if((InParam.vmax-InParam.v1)*InParam.jmax<InParam.amax^2)
```

```
    %(1-7)
```

```
    Tj2=sqrt((InParam.vmax-InParam.v1)/InParam.jmax);
```

```

    Td=2*Tj2;
    Param.alimd=-InParam.jmax*Tj2;
else
    %(1-8)
    Tj2=InParam.amax/InParam.jmax;
    Td=Tj2+(InParam.vmax-InParam.v1)/InParam.amax;
    Param.alimd=-InParam.amax;
end

% (1-9) 计算Tv

Tv=(InParam.q1-InParam.q0)/InParam.vmax-
Ta/2*(1+InParam.v0/InParam.vmax)-...
    Td/2*(1+InParam.v1/InParam.vmax);
if(Tv>0)

    %case1,能达到最大速度

    %   %{
    Tj1=ceil(Tj1/0.0002)*0.0002;
    Tj2=ceil(Tj2/0.0002)*0.0002;
    Ta=ceil(Ta/0.0002)*0.0002;
    Tv=ceil(Tv/0.0002)*0.0002;
    Td=ceil(Td/0.0002)*0.0002;
    %   %}

    Param.vlim=InParam.vmax;
    Param.jmax=InParam.jmax;
    Param.jmin=InParam.jmin;
    Param.Tj1=Tj1;
    Param.Ta=Ta;
    Param.Tj2=Tj2;
    Param.Td=Td;
    Param.T=Ta+Tv+Td;
    Param.Tv=Tv;

    Param.La=Param.v0*Ta+0.5*Param.jmax*Tj1*(2*Tj1^2+3*Tj1*(Ta
-2*Tj1)+(Ta-2*Tj1)^2);
    Param.Lv=Param.vlim*Param.Tv;
    Param.Ld=Param.vlim*Td-
0.5*Param.jmax*Tj2*(2*Tj2^2+3*Tj2*(Td-2*Tj2)+(Td-
2*Tj2)^2);
    return;
else

    % case2,无法达到最大速度

    Tv=0;

```



```

Param.Tv=Tv;

%计算 (1-10) - (1-12)

Tj=InParam.amax/InParam.jmax;
Tj1=Tj;
Tj2=Tj;

Delta=InParam.amax^4/InParam.jmax^2+2*(InParam.v0^2+InParam.v1^2)+InParam.amax*...
    (4*(InParam.q1-InParam.q0)-
2*InParam.amax/InParam.jmax*(InParam.v0+InParam.v1));
Ta=(InParam.amax^2/InParam.jmax-
2*InParam.v0+sqrt(Delta))/(2*InParam.amax);
Td=(InParam.amax^2/InParam.jmax-
2*InParam.v1+sqrt(Delta))/(2*InParam.amax);
if(Ta>2*Tj && Td>2*Tj)
    %能达到最大加速度

    Tj1=ceil(Tj1/0.0002)*0.0002;
    Tj2=ceil(Tj2/0.0002)*0.0002;
    Ta=ceil(Ta/0.0002)*0.0002;
    Td=ceil(Td/0.0002)*0.0002;

    Param.Tj1=Tj1;
    Param.Tj2=Tj2;
    Param.Ta=Ta;
    Param.Td=Td;
    Param.T=Ta+Tv+Td;
    Param.alima=InParam.amax;
    Param.alimd=-InParam.amax;
    Param.vlim=InParam.v0+(Ta-Tj1)*Param.alima;

Param.La=Param.v0*Ta+0.5*Param.jmax*Tj1*(2*Tj1^2+3*Tj1*(Ta-2*Tj1)+(Ta-2*Tj1)^2);
    Param.Lv=Param.vlim*Param.Tv;
    Param.Ld=Param.vlim*Td-
0.5*Param.jmax*Tj2*(2*Tj2^2+3*Tj2*(Td-2*Tj2)+(Td-2*Tj2)^2);
    return;
else
    %达不到最大加速度, 通过减小最大加速度来达到要求

    gamma=0.99;

```

```

amax=InParam.amax;

%不断循环以达到要求
while(Ta<2*Tj || Td<2*Tj)
    if(Ta>0 && Td>0)
        amax=gamma*amax;

        %计算 (1-10) - (1-12)

        Tj=amax/InParam.jmax;
        Tj1=Tj;
        Tj2=Tj;

Delta=amax^4/InParam.jmax^2+2*(InParam.v0^2+InParam.v1^2)+
amax*...
        (4*(InParam.q1-InParam.q0)-
2*amax/InParam.jmax*(InParam.v0+InParam.v1));
        Ta=(amax^2/InParam.jmax-
2*InParam.v0+sqrt(Delta))/(2*amax);
        Td=(amax^2/InParam.jmax-
2*InParam.v1+sqrt(Delta))/(2*amax);

    else
        %没有加速度
        if(Ta<=0)
            Ta=0;
            Tj1=0;

            %计算 (1-12) - (1-13)

            Td=2*(InParam.q1-
InParam.q0)/(InParam.v0+InParam.v1);

            num=InParam.jmax*(InParam.q1-
InParam.q0)-...

            sqrt(InParam.jmax*(InParam.jmax*(InParam.q1-
InParam.q0)^2+...

(InParam.v1+InParam.v0)^2*(InParam.v1-InParam.v0)));

            den=InParam.jmax*(InParam.v1+InParam.v0);
            Tj2=num/den;
        elseif(Td<=0)
            Td=0;

```

```

        Tj2=0;

        %计算 (1-14) (1-15)

        Ta=2*(InParam.q1-
InParam.q0)/(InParam.v0+InParam.v1);

        num=InParam.jmax*(InParam.q1-
InParam.q0)-...

sqrt(InParam.jmax*(InParam.jmax*(InParam.q1-
InParam.q0)^2-...

(InParam.v1+InParam.v0)^2*(InParam.v1-InParam.v0)));

den=InParam.jmax*(InParam.v1+InParam.v0);
        Tj1=num/den;
end

        Tj1=ceil(Tj1/0.0002)*0.0002;
        Tj2=ceil(Tj2/0.0002)*0.0002;
        Ta=ceil(Ta/0.0002)*0.0002;
        Td=ceil(Td/0.0002)*0.0002;

        Param.Tj1=Tj1;
        Param.Tj2=Tj2;
        Param.Ta=Ta;
        Param.Td=Td;
        Param.T=Ta+Tv+Td;
        Param.alima=InParam.jmax*Tj1;
        Param.alimd=-InParam.jmax*Tj2;
        Param.vlim=InParam.v0+(Ta-Tj1)* Param.alima;

Param.La=Param.v0*Ta+0.5*Param.jmax*Tj1*(2*Tj1^2+3*Tj1*(Ta
-2*Tj1)+(Ta-2*Tj1)^2);
        Param.Lv=Param.vlim*Param.Tv;
        Param.Ld=Param.vlim*Td-
0.5*Param.jmax*Tj2*(2*Tj2^2+3*Tj2*(Td-2*Tj2)+(Td-
2*Tj2)^2);
        return;
end
end

        Tj1=ceil(Tj1/0.0002)*0.0002;
        Tj2=ceil(Tj2/0.0002)*0.0002;

```

```

    Ta=ceil(Ta/0.0002)*0.0002;
    Td=ceil(Td/0.0002)*0.0002;

    Param.Tj1=Tj1;
    Param.Tj2=Tj2;
    Param.Ta=Ta;
    Param.Td=Td;
    Param.T=Ta+Tv+Td;
    Param.alima=InParam.jmax*Tj1;
    Param.alimd=-InParam.jmax*Tj2;
    Param.vlim=InParam.v0+(Ta-Tj1)* Param.alima;

    Param.La=Param.v0*Ta+0.5*Param.jmax*Tj1*(2*Tj1^2+3*Tj1*(Ta
-2*Tj1)+(Ta-2*Tj1)^2);
    Param.Lv=Param.vlim*Param.Tv;
    Param.Ld=Param.vlim*Td-
0.5*Param.jmax*Tj2*(2*Tj2^2+3*Tj2*(Td-2*Tj2)+(Td-
2*Tj2)^2);
    return;
end
end
end
end

```