

Robótica. Generador de Trayectorias

Pablo González

Octubre, 2019



Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Referencias del controlador

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Referencias del controlador



Diagrama en bloques del robot

Introducción

Diagrama en bloques del robot

Diagrama en bloques Generador Trayectoria

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Referencias del controlador

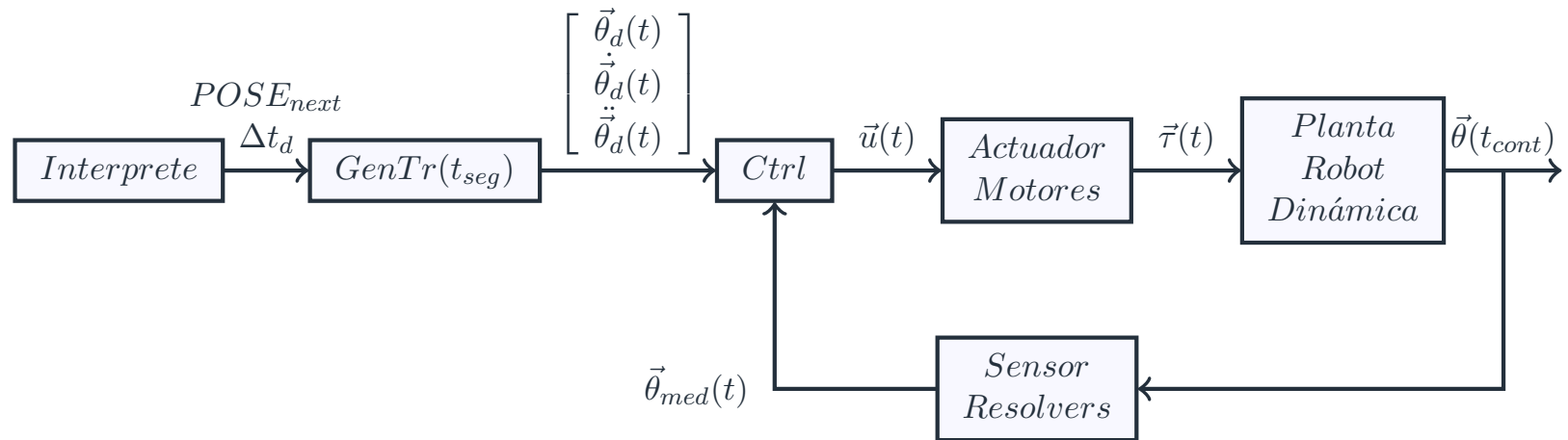


Figure 1: Diagrama en bloques del robot

Actividad

- Describir la función de cada bloque
- Describir las variables que se intercambian entre los bloques
- ¿Qué significan las variables t y t_{cont} ?



Diagrama en bloques Generador Trayectoria

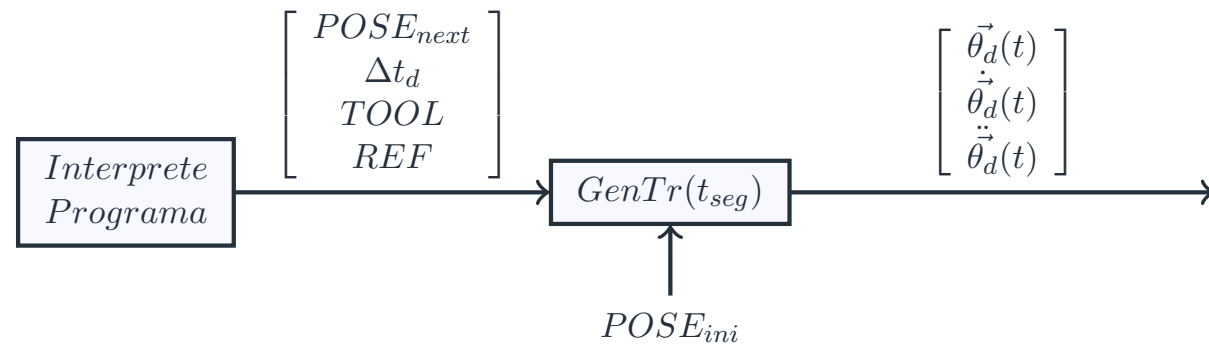


Figure 2: Diagrama en bloques del generador de trayectorias

Actividad

- ¿Con qué frecuencia el interprete le envía un nuevo destino al generador de trayectorias?
- ¿Por qué se conoce también con el nombre de interpolador?
- ¿Qué diferencia existe entre las variables t y t_{seg} ?



Introducción

Generador de trayectorias Joint

Variables

Ecuaciones

Zona II

Zona I

Resumen Ecuaciones

Programa

Resultado

Perfil S-Shape

Perfil S-Shape. Calculo de los Coeficientes

Resultado - orden 4

Resultado - orden 6

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Referencias del controlador

Se obtienen los siguientes vectores *Joint*:

- $\vec{\theta}_C$ de $POSE_{next}$ (¿Cómo?)
- $\vec{\theta}_B$ del destino del movimiento anterior,
- $\vec{\theta}_A$ del punto en el que el generador empieza a calcular el nuevo movimiento (t_{acc} antes de llegar a B)

Luego se calculan:

- $\Delta C = \vec{\theta}_C - \vec{\theta}_B$ y $\Delta A = \vec{\theta}_A - \vec{\theta}_B$
- $T_1 = \max \left[\Delta t_d, \frac{\Delta \theta_i}{v_{i,max}}, 2t_{acc} \right]$



Introducción

Generador de trayectorias Joint

Variables

Ecuaciones

Zona II

Zona I

Resumen Ecuaciones

Programa

Resultado

Perfil S-Shape

Perfil S-Shape. Calculo de los Coeficientes

Resultado - orden 4

Resultado - orden 6

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Referencias del controlador

Se definen dos zonas

- Zona I, de aceleración constante.
- Zona II, de velocidad constante.

Con las condiciones de borde se obtiene $\ddot{\vec{\theta}}(t_{seg})$ y luego integrando $\dot{\vec{\theta}}(t_{seg})$ y $\vec{\theta}(t_{seg})$ en ambas zonas.

Actividad:

Discutir cuáles son las ventajas de este esquema de interpolación.



Introducción

Generador de trayectorias Joint

Variables

Ecuaciones

Zona II

Zona I

Resumen Ecuaciones

Programa

Resultado

Perfil S-Shape

Perfil S-Shape. Calculo de los Coeficientes

Resultado - orden 4

Resultado - orden 6

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Referencias del controlador

$$\ddot{\vec{\theta}}(t_{seg}) = 0$$

$$\dot{\vec{\theta}}(t_{seg}) = \frac{\Delta \vec{C}}{T_1}$$

$$\vec{\theta}(t_{seg}) = \frac{\Delta \vec{C}}{T_1} t_{seg} + cte$$

$$\vec{\theta}(T_1) = \vec{\theta}_C = \frac{\Delta \vec{C}}{T_1} T_1 + cte$$

$$cte = \vec{\theta}_B$$

$$\vec{\theta}(t_{seg}) = \frac{\Delta \vec{C}}{T_1} t_{seg} + \vec{\theta}_B$$



Introducción

Generador de trayectorias Joint

Variables

Ecuaciones

Zona II

Zona I

Resumen Ecuaciones

Programa

Resultado

Perfil S-Shape

Perfil S-Shape. Calculo de los Coeficientes

Resultado - orden 4

Resultado - orden 6

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Referencias del controlador

$$\ddot{\theta}(t_{seg}) = \frac{\dot{\theta}(t_{acc}) - \dot{\theta}(-t_{acc})}{2t_{acc}} = \frac{1}{2t_{acc}} \left(\frac{\Delta \vec{C}}{T_1} + \frac{\Delta \vec{A}}{t_{acc}} \right)$$

$$\dot{\theta}(t_{seg}) = \int \ddot{\theta}(t) dt = \frac{t_{seg}}{2t_{acc}} \left(\frac{\Delta \vec{C}}{T_1} + \frac{\Delta \vec{A}}{t_{acc}} \right) + cte$$

$$\dot{\theta}(t_{acc}) = \frac{\Delta \vec{C}}{T_1} = \frac{t_{acc}}{2t_{acc}} \left(\frac{\Delta \vec{C}}{T_1} + \frac{\Delta \vec{A}}{t_{acc}} \right) + cte$$

$$cte = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta \vec{C}}{T_1} - \frac{\Delta \vec{A}}{t_{acc}} \right)$$

$$\dot{\theta}(t_{seg}) = \frac{\Delta \vec{C}}{T_1} \left(\frac{t_{seg} + t_{acc}}{2t_{acc}} \right) + \frac{\Delta \vec{A}}{t_{acc}} \left(\frac{t_{seg} - t_{acc}}{2t_{acc}} \right)$$

$$\vec{\theta}(t_{seg}) = \int \dot{\theta}(t) dt = \frac{\Delta \vec{C}}{T_1} \frac{(t_{seg} + t_{acc})^2}{4t_{acc}} + \frac{\Delta \vec{A}}{t_{acc}} \frac{(t_{seg} - t_{acc})^2}{4t_{acc}} + cte$$

$$\vec{\theta}(-t_{acc}) = \vec{\theta}_A = \frac{\Delta \vec{A}}{t_{acc}} \frac{(-2t_{acc})^2}{4t_{acc}} + cte = \Delta \vec{A} + cte$$

$$cte = \vec{\theta}_B$$

$$\vec{\theta}(t_{seg}) = \frac{\Delta \vec{C}}{T_1} \frac{(t_{seg} + t_{acc})^2}{4t_{acc}} + \frac{\Delta \vec{A}}{t_{acc}} \frac{(t_{seg} - t_{acc})^2}{4t_{acc}} + \vec{\theta}_B$$



Introducción

Generador de trayectorias Joint

Variables

Ecuaciones

Zona II

Zona I

Resumen Ecuaciones

Programa

Resultado

Perfil S-Shape

Perfil S-Shape. Calculo de los Coeficientes

Resultado - orden 4

Resultado - orden 6

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Referencias del controlador

Zona I

$$\ddot{\vec{\theta}}(t_{seg}) = \frac{1}{2t_{acc}} \left(\frac{\Delta \vec{C}}{T_1} + \frac{\Delta \vec{A}}{t_{acc}} \right)$$

$$\dot{\vec{\theta}}(t_{seg}) = \frac{\Delta \vec{C}}{T_1} \left(\frac{t_{seg} + t_{acc}}{2t_{acc}} \right) + \frac{\Delta \vec{A}}{t_{acc}} \left(\frac{t_{seg} - t_{acc}}{2t_{acc}} \right)$$

$$\vec{\theta}(t_{seg}) = \frac{\Delta \vec{C}}{T_1} \frac{(t_{seg} + t_{acc})^2}{4t_{acc}} + \frac{\Delta \vec{A}}{t_{acc}} \frac{(t_{seg} - t_{acc})^2}{4t_{acc}} + \vec{\theta}_B$$

Zona II

$$\ddot{\vec{\theta}}(t_{seg}) = 0$$

$$\dot{\vec{\theta}}(t_{seg}) = \frac{\Delta \vec{C}}{T_1}$$

$$\vec{\theta}(t_{seg}) = \frac{\Delta \vec{C}}{T_1} t_{seg} + \vec{\theta}_B$$



Introducción

Generador de trayectorias Joint

Variables

Ecuaciones

Zona II

Zona I

Resumen Ecuaciones

Programa

Resultado

Perfil S-Shape

Perfil S-Shape. Calculo de los Coeficientes

Resultado - orden 4

Resultado - orden 6

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

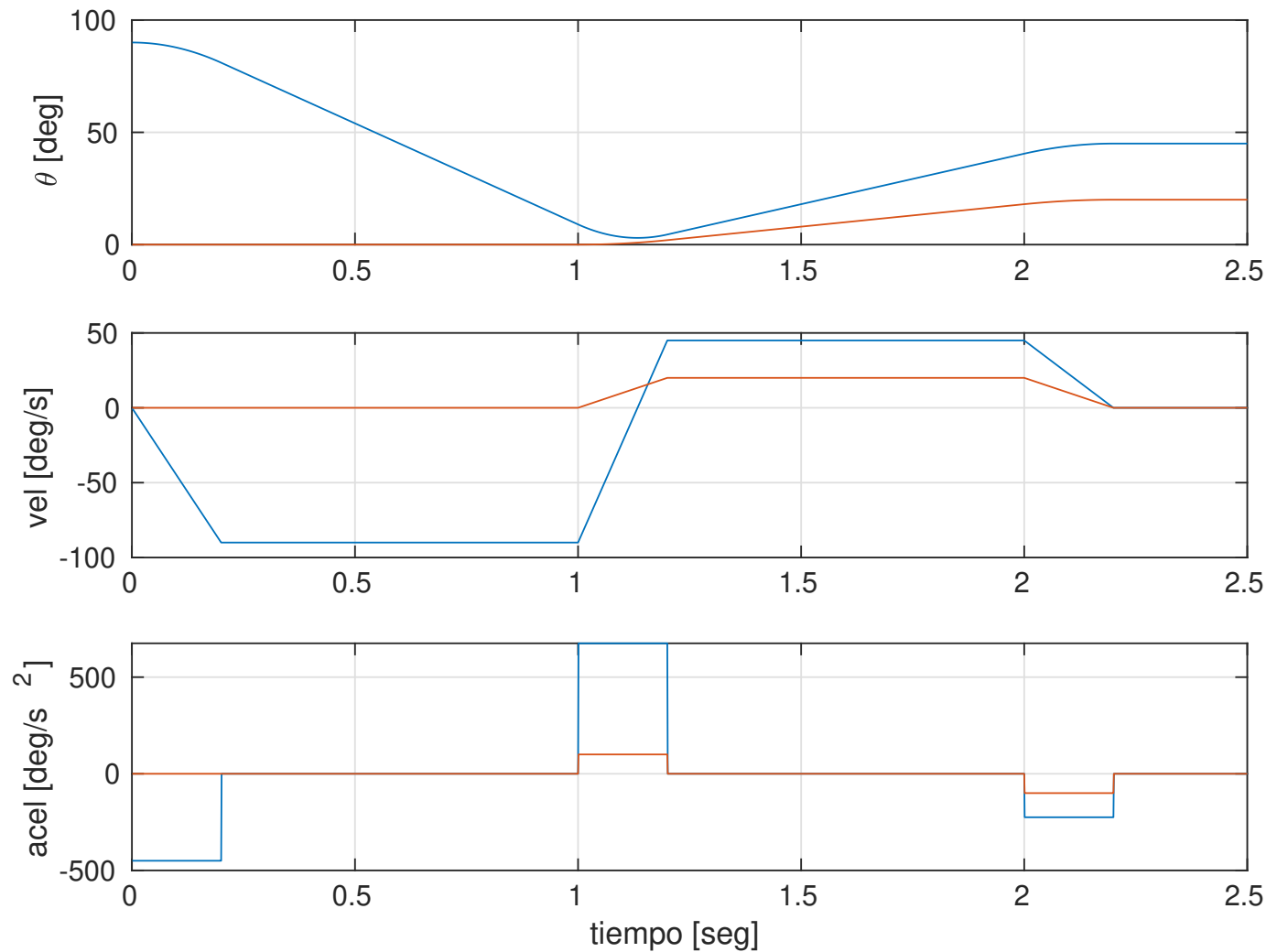
Referencias del controlador

```
1 Td=[1 1 0.5]; % Tiempo de movimiento deseado de cada segmento
2 theta_n=[90 0 45 45]; % Posicion Joint deseada en cada segmento
3 A=theta_n(:,1);
4 for i = 1:size(theta_n,2)-1
5     B = theta_n(:,i);
6     C = theta_n(:,i+1);
7     DA = A-B;
8     DC = C-B;
9     T1=max([max(max(DC./vmax)),Td(i),2*tacc]);
10    for tseg = -tacc+tm:tm:tacc % Zona 1
11        idx=idx+1;
12        theta2p(:,idx)=(DC/T1+DA/tacc)/(2*tacc);
13        thetap(:,idx)=(DC/T1)*(tseg+tacc)/(2*tacc)+(DA/tacc)*(tseg-tacc)/(2*tacc);
14        theta(:,idx)=(DC/T1)*(tseg+tacc)^2/(4*tacc)+(DA/tacc)*(tseg-tacc)^2/(4*tacc)
            +B;
15    end
16    for tseg = tacc+tm:tm:T1-tacc % Zona 2
17        idx=idx+1;
18        theta2p(:,idx)=zeros(size(B));
19        thetap(:,idx)=DC/T1;
20        theta(:,idx)=(DC/T1)*tseg+B;
21    end
22    A=theta(:,idx);
23 end
```

Actividad: Discutir cómo reformular el programa para que sea de tiempo real.



Resultado



Actividad: Reconocer las zonas, los tiempos de segmento, y el tiempo en completar el primer movimiento.



Si bien se tiene continuidad en la velocidad en $t = \pm t_{acc}$, puede resultar conveniente que la variación sea suave en esos puntos. Por lo tanto queremos exigir continuidad en las aceleraciones subiendo en 2 el orden del polinomio según,

$$\theta_i(t_{seg}) = a_{4,i}t_{seg}^4 + a_{3,i}t_{seg}^3 + a_{2,i}t_{seg}^2 + a_{1,i}t_{seg} + a_{0,i} \quad (1)$$

$$\dot{\theta}_i(t_{seg}) = 4a_{4,i}t_{seg}^3 + 3a_{3,i}t_{seg}^2 + 2a_{2,i}t_{seg} + a_{1,i} \quad (2)$$

$$\ddot{\theta}_i(t_{seg}) = 12a_{4,i}t_{seg}^2 + 6a_{3,i}t_{seg} + 2a_{2,i} \quad (3)$$

que cumplen,

$$\theta_i(-t_{acc}) = \theta_{Ai} \quad (4)$$

$$\dot{\theta}_i(-t_{acc}) = -\Delta A_i/t_{acc} \quad (5)$$

$$\dot{\theta}_i(t_{acc}) = \Delta C_i/T_1 \quad (6)$$

$$\ddot{\theta}_i(-t_{acc}) = 0 \quad (7)$$

$$\ddot{\theta}_i(t_{acc}) = 0 \quad (8)$$



Perfil S-Shape. Calculo de los Coeficientes

Se plantean las ecuaciones para las condiciones de contorno y se factorizan los coeficientes $a_{n,i}$ expresándose en forma matricial según

$$\begin{bmatrix} t_{acc}^4 & -t_{acc}^3 & t_{acc}^2 & -t_{acc} & 1 \\ -4t_{acc}^3 & 3t_{acc}^2 & -2t_{acc} & 1 & 0 \\ 4t_{acc}^3 & 3t_{acc}^2 & 2t_{acc} & 1 & 0 \\ 12t_{acc}^2 & -6t_{acc} & 2 & 0 & 0 \\ 12t_{acc}^2 & 6t_{acc} & 2 & 0 & 0 \end{bmatrix} [a_{n,i}] = \begin{bmatrix} \theta_A^t \\ -\Delta A^t / t_{acc} \\ \Delta C^t / T_1 \\ 0^t \\ 0^t \end{bmatrix} \quad (9)$$

De donde se pueden resolver los coeficientes del polinomio de interpolación para todos los ejes.

Este procedimiento puede aplicarse en forma general para cualquier orden del polinomio siempre que sea múltiplo de 2. Como caso particular puede resolver el perfil trapezoidal.

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Variables

Ecuaciones

Zona II

Zona I

Resumen Ecuaciones

Programa

Resultado

Perfil S-Shape

Perfil S-Shape. Calculo de los Coeficientes

Resultado - orden 4

Resultado - orden 6

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Referencias del controlador



Resultado - orden 4

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Variables

Ecuaciones

Zona II

Zona I

Resumen Ecuaciones

Programa

Resultado

Perfil S-Shape

Perfil S-Shape. Calculo de los Coeficientes

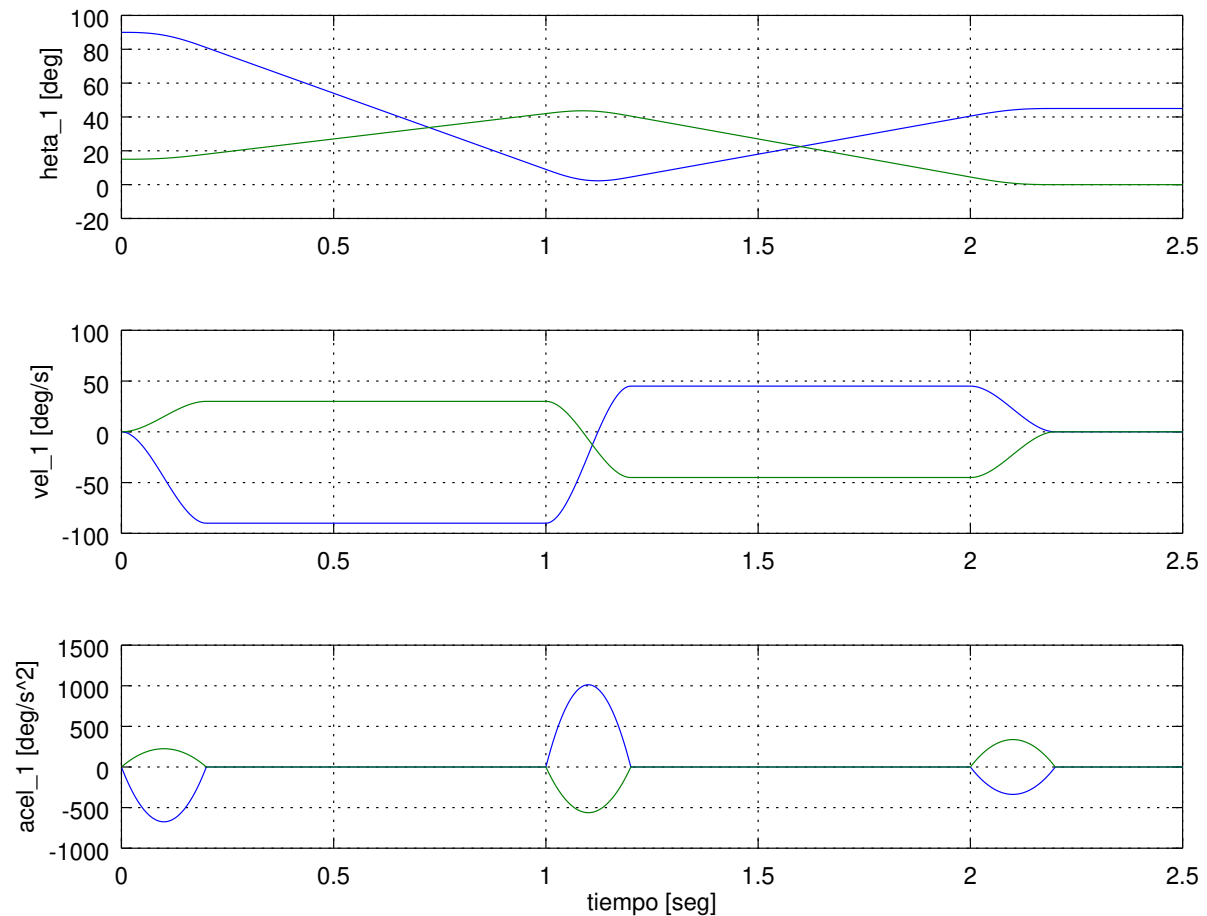
Resultado - orden 4

Resultado - orden 6

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Referencias del controlador



Actividad: Comparar la aceleración pico con la obtenida para el interpolador trapezoidal.
¿Por qué aparecen dos curvas?



Resultado - orden 6

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Variables

Ecuaciones

Zona II

Zona I

Resumen Ecuaciones

Programa

Resultado

Perfil S-Shape

Perfil S-Shape. Calculo de los Coeficientes

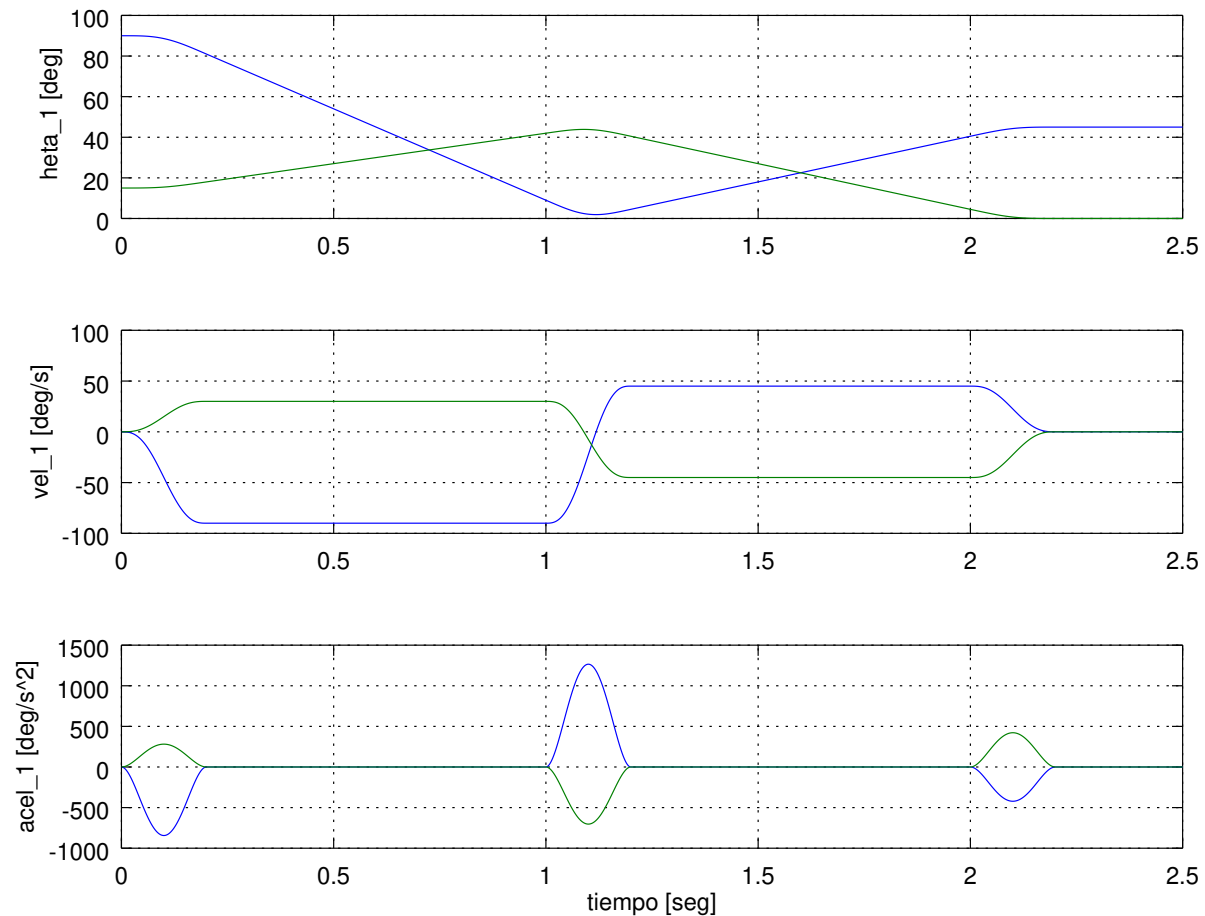
Resultado - orden 4

Resultado - orden 6

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Referencias del controlador



Actividad: Comparar la aceleración pico con las obtenidas anteriormente.



Planteo de la trayectoria recta entre puntos

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Planteo de la trayectoria recta entre puntos

Propuesta de interpolación lineal de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolación de la rotación de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolación lineal

Zona de cambio del vector velocidad

Definición de los Δ de las variables generalizadas

Interpolación en Zona I

Interpolación en Zona II

Expresión final de $D(t_{seg})$

Resultado

Referencias del contenido

- Se desea ir desde $POSE_1$ a $POSE_2$ según REF en línea recta
- Se define un Δ de movimiento $D_{12}(t_{seg})$ tal que

$$POSE(t_{seg}) = POSE_1 D_{12}(t_{seg}) \quad (10)$$

Actividad:

- Calcular $POSE(t_{seg} = 0)$ y $POSE(t_{seg} = T_1)$
- ¿Cuánto vale $D_{12}(T_1)$?
- ¿Cómo cambiaría $D_{12}(T_1)$ si se quisiera mover desde $POSE_1$ según REF_1 con $TOOL_1$ hacia $POSE_2$ según REF_2 con $TOOL_2$?



Propuesta de interpolación lineal de $D_{12}(t_{seg})$

En $t_{seg} = T_1$ se expresa

$$D_{12}(T_1) = \left[\begin{array}{c|c} R_1^t R_2 & R_1^t (\vec{p}_2 - \vec{p}_1) \\ \hline \vec{0}^t & 1 \end{array} \right] \quad (11)$$

¿Como interpolar D_{12} entre $t_{seg} = 0 : T_1$?

- desplazamiento $\rightarrow \Delta \vec{r} \stackrel{?}{=} \frac{t_{seg}}{T_1} R_1^t (\vec{p}_2 - \vec{p}_1)$
- rotación $\rightarrow R_{12} \stackrel{?}{=} \frac{t_{seg}}{T_1} R_1^t R_2$

Actividad:

Discutir la interpolación propuesta.

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Planteo de la trayectoria recta entre puntos

Propuesta de interpolación lineal de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolación de la rotación de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolación lineal

Zona de cambio del vector velocidad

Definición de los Δ de las variables generalizadas

Interpolación en Zona I

Interpolación en Zona II

Expresión final de $D(t_{seg})$

Resultado

Referencias del contenido



Interpolación de la rotación de $D_{12}(t_{seg})$

La matriz de rotación no se puede escalar con el factor $\frac{t_{seg}}{T_1}$ porque deja de ser una matriz de rotación.

Expresando en ángulos de Euler

$$R_1^t R_2 = R_Z(\phi_{12}) R_Y(\theta_{12}) R_Z(\psi_{12}) \quad (12)$$

También puede verse como

$$R_1^t R_2(t_{seg}) = R_{\vec{k}_{12}}(\theta(t_{seg})) R_Z(\psi(t_{seg})) \quad (13)$$

$$\theta(t_{seg}) = \frac{t_{seg}}{T_1} \theta_{12} \quad (14)$$

$$\psi(t_{seg}) = \frac{t_{seg}}{T_1} \psi_{12} \quad (15)$$

Actividad:

Explicar qué significa $R_{\vec{k}_{12}}(\theta)$

Discutir otras formas de interpolar la rotación.

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Planteo de la trayectoria recta entre puntos

Propuesta de interpolación lineal de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolación de la rotación de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolación lineal

Zona de cambio del vector velocidad

Definición de los Δ de las variables generalizadas

Interpolación en Zona I

Interpolación en Zona II

Expresión final de $D(t_{seg})$

Resultado

Referencias del contenido



Interpolacion lineal

Finalmente los puntos intermedios del movimiento se obtienen con las siguientes ecuaciones:

$$D_{12}(t_{seg}) = \left[\begin{array}{c|c} R_{\vec{k}_{12}} \left(\theta_{12} \frac{t_{seg}}{T_1} \right) R_Z \left(\psi_{12} \frac{t_{seg}}{T_1} \right) & \frac{t_{seg}}{T_1} R_1^t (\vec{p}_2 - \vec{p}_1) \\ \hline \vec{0}^t & 1 \end{array} \right] \quad (16)$$

$$POSE(t_{seg}) = POSE_1 D_{12}(t_{seg}) \quad (17)$$

Actividad:

¿Cómo se obtienen los parámetros de la ec 16?

¿Esta interpolación será válida para todo el movimiento?

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Planteo de la trayectoria recta entre puntos

Propuesta de interpolacion lineal de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolacion de la rotacion de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolacion lineal

Zona de cambio del vector velocidad

Definicion de los Δ de las variables generalizadas

Interpolacion en Zona I

Interpolacion en Zona II

Expresion final de $D(t_{seg})$

Resultado

Referencias del contenido



Zona de cambio del vector velocidad

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Planteo de la trayectoria recta entre puntos

Propuesta de interpolación lineal de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolación de la rotación de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolación lineal

Zona de cambio del vector velocidad

Definición de los Δ de las variables generalizadas

Interpolación en Zona I

Interpolación en Zona II

Expresión final de $D(t_{seg})$

Resultado

Referencias del controlador

Los tramos rectos deberán empalmarse con tramos curvos para mantener una velocidad acotada. Entonces se definen 2 Zonas.

- Zona I, donde cambia \vec{v}
- Zona II, donde $\vec{v} = cte$. Ya resuelto en Ecs. 16 y 17

Si definimos una variable generalizada

$$\vec{\Theta}(t_{seg}) = \begin{bmatrix} \Delta \vec{r}(t_{seg}) \\ \theta(t_{seg}) \\ \psi(t_{seg}) \end{bmatrix} \quad (18)$$

se nota que se puede usar con ellas el interpolador joint desarrollado.



Definición de los Δ de las variables generalizadas

Definición de $\vec{\Theta}_C$, $\vec{\Theta}_B$ y $\vec{\Theta}_A$

$$\vec{\Theta}_C = \begin{bmatrix} \vec{r}_{BC} \\ \theta_{BC} \\ \psi_{BC} \end{bmatrix} \equiv \Delta \vec{C} \quad (19)$$

$$\vec{\Theta}_B = \begin{bmatrix} \vec{0} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$\vec{\Theta}_A = \begin{bmatrix} \vec{r}_{BA} \\ \theta_{BA} \\ \psi_{BA} \end{bmatrix} \equiv \Delta \vec{A} \quad (21)$$

Actividad:

Hallar $D_{BC}(T_1)$ y $D_{BA}(-t_{acc})$

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Planteo de la trayectoria recta entre puntos

Propuesta de interpolación lineal de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolación de la rotación de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolación lineal

Zona de cambio del vector velocidad

Definición de los Δ de las variables generalizadas

Interpolación en Zona I

Interpolación en Zona II

Expresión final de $D(t_{seg})$

Resultado

Referencias del computador



Interpolacion en Zona I

$$\ddot{\vec{\Theta}}(t_{seg}) = \left(\frac{\vec{\Theta}_C}{T_1} + \frac{\vec{\Theta}_A}{t_{acc}} \right) \frac{1}{2t_{acc}} \quad (22)$$

$$\dot{\vec{\Theta}}(t_{seg}) = \frac{\vec{\Theta}_C}{T_1} \left(\frac{t_{seg} + t_{acc}}{2t_{acc}} \right) + \frac{\vec{\Theta}_A}{t_{acc}} \left(\frac{t_{seg} - t_{acc}}{2t_{acc}} \right) \quad (23)$$

$$\vec{\Theta}(t_{seg}) = \frac{\vec{\Theta}_C}{T_1} \frac{(t_{seg} + t_{acc})^2}{4t_{acc}} + \frac{\vec{\Theta}_A}{t_{acc}} \frac{(t_{seg} - t_{acc})^2}{4t_{acc}} \quad (24)$$

Y además se debe interpolar ϕ

$$\phi(t_{seg}) = \frac{\phi_{BC} - \phi_{BA}}{2t_{acc}} (t_{seg} + t_{acc}) + \phi_{BA} \quad (25)$$

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Planteo de la trayectoria recta entre puntos

Propuesta de interpolacion lineal de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolacion de la rotacion de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolacion lineal

Zona de cambio del vector velocidad

Definicion de los Δ de las variables generalizadas

Interpolacion en Zona I

Interpolacion en Zona II

Expresion final de $D(t_{seg})$

Resultado

Referencias del computador



Interpolacion en Zona II

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Planteo de la trayectoria recta entre puntos

Propuesta de interpolacion lineal de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolacion de la rotacion de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolacion lineal

Zona de cambio del vector velocidad

Definicion de los Δ de las variables generalizadas

Interpolacion en Zona I

Interpolacion en Zona II

Expresion final de $D(t_{seg})$

Resultado

Referencias del contenido

$$\ddot{\vec{\Theta}}(t_{seg}) = \vec{0} \quad (26)$$

$$\dot{\vec{\Theta}}(t_{seg}) = \frac{\vec{\Theta}_C}{T_1} \quad (27)$$

$$\vec{\Theta}(t_{seg}) = \frac{\vec{\Theta}_C}{T_1} t_{seg} \quad (28)$$

Y es este caso ϕ se mantiene constante

$$\phi(t_{seg}) = \phi_{BC} \quad (29)$$

Actividad:

Comparar este resultado con el obtenido en la ec. 16



Expresion final de $D(t_{seg})$

Reemplazando las variables generalizadas en 16 y 17

$$D(t_{seg}) = \left[\begin{array}{c|c} R_Z(\phi)R_Y(\Theta_{4,1})R_Z(\Theta_{5,1}) & \vec{\Theta}_{1:3,1} \\ \hline \vec{0}^t & 1 \end{array} \right] \quad (30)$$

$$POSE(t_{seg}) = POSE_1 D(t_{seg}) \quad (31)$$

Actividad:
Resumir el procedimiento de interpolación cartesiana

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Planteo de la trayectoria recta entre puntos

Propuesta de interpolacion lineal de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolacion de la rotacion de $D_{12}(t_{seg})$

Interpolacion lineal

Zona de cambio del vector velocidad

Definicion de los Δ de las variables generalizadas

Interpolacion en Zona I

Interpolacion en Zona II

Expresion final de $D(t_{seg})$

Resultado

Referencias del contenido



Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Programa

Codigo de Interpolacion

Interpolacion de Θ

Interpolacion de

Posicion y sus Derivadas

Curvas plano (X, Y)

Velocidad y Aceleracion lineales

Ejemplo aplicador de pegamento

Referencias del controlador

```
1 tacc=100e-3; % Tiempo de aceleracion 100ms
2 Td=[0.5 0.5 0.5]; % Tiempo de movimiento deseado de cada segmento
3 POSE(:,:,1)=[R_Z(deg2rad(0)) [-100 -100 0]';0 0 0 1];
4 POSE(:,:,2)=[R_Z(deg2rad(90)) [-100 100 0]';0 0 0 1];
5 POSE(:,:,3)=[R_Z(deg2rad(-90)) [100 100 0]';0 0 0 1];
6 POSE(:,:,4)=POSE(:,:,3); % me detengo en el ultimo punto
7
8 POSEA=POSE(:,:,1); % arrancho detenido
9 Config=1; phi_actual=0;
10 for i = 1:size(POSE,3)-1
11     DBA = [POSE(1:3,1:3,i)'*POSEA(1:3,1:3) POSE(1:3,1:3,i)'*(POSEA(1:3,4)-POSE
12         (1:3,4,i));0 0 0 1];
13     DBC = [POSE(1:3,1:3,i)'*POSE(1:3,1:3,i+1) POSE(1:3,1:3,i)'*(POSE(1:3,4,i+1)-
14         POSE(1:3,4,i));0 0 0 1];
15     [phi_BA,theta_BA,psi_BA] = invEuler(DBA(1:3,1:3),Config,phi_actual);
16     [phi_BC,theta_BC,psi_BC] = invEuler(DBC(1:3,1:3),Config,phi_BA);
17     DA = [DBA(1:3,4);theta_BA;psi_BA];
18     DC = [DBC(1:3,4);theta_BC;psi_BC];
19     T1=max([Td(i),2*tacc]);
20     <CODIGO DE INTERPOLACION DEL SIGUIENTE SLIDE>
21     phi_actual=phi_BC;
22     POSEA=POSE(:,:,idx);
23 end
```



Codigo de Interpolacion

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Programa

Codigo de Interpolacion

Interpolacion de Θ

Interpolacion de

Posicion y sus

Derivadas

Curvas plano (X, Y)

Velocidad y

Aceleracion lineales

Ejemplo aplicador de pegamento

Referencias del controlador

```
1 for tseg = -tacc+tm:tm:T1-tacc
2   idx=idx+1;
3   if tseg < tacc % Zona 1
4     theta2p(:,idx) = (DC/T1+DA/tacc)/(2*tacc);
5     thetap(:,idx) = (DC/T1)*(tseg+tacc)/(2*tacc) + (DA/tacc)*(tseg-tacc)/(2*tacc);
6     theta(:,idx) = (DC/T1)*(tseg+tacc)^2/(4*tacc) + (DA/tacc)*(tseg-tacc)^2/(4*tacc);
7     phi(idx)=(phi_BC-phi_BA)/(2*tacc)*(tseg+tacc)+phi_BA;
8   elseif tseg >= tacc % Zona 2
9     theta2p(:,idx) = zeros(size(DC));
10    thetap(:,idx) = DC/T1;
11    theta(:,idx) = (DC/T1)*tseg;
12    phi(idx)=phi_BC;
13  endif
14  D=[dirEuler(phi(idx),theta(4,idx),theta(5,idx)),theta(1:3,idx);0 0 0 1];
15  POS(:,:,idx)=POSE(:,:,i)*D;
16 end
```



Interpolacion de Θ

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Programa

Codigo de Interpolacion

Interpolacion de Θ

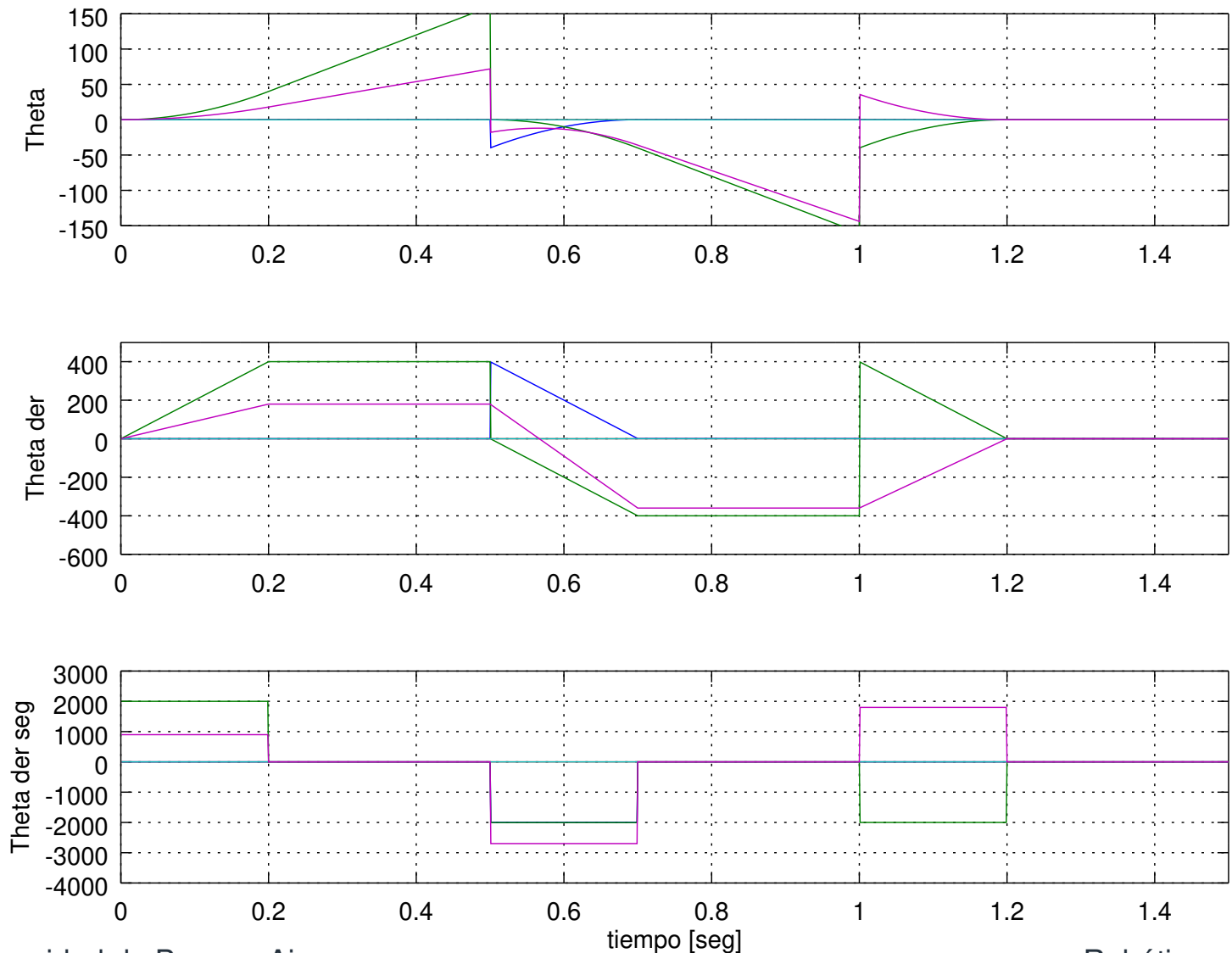
Interpolacion de Posicion y sus Derivadas

Curvas plano (X, Y)

Velocidad y Aceleracion lineales

Ejemplo aplicador de pegamento

Referencias del controlador





Interpolacion de Posicion y sus Derivadas

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Programa

Codigo de Interpolacion

Interpolacion de Θ

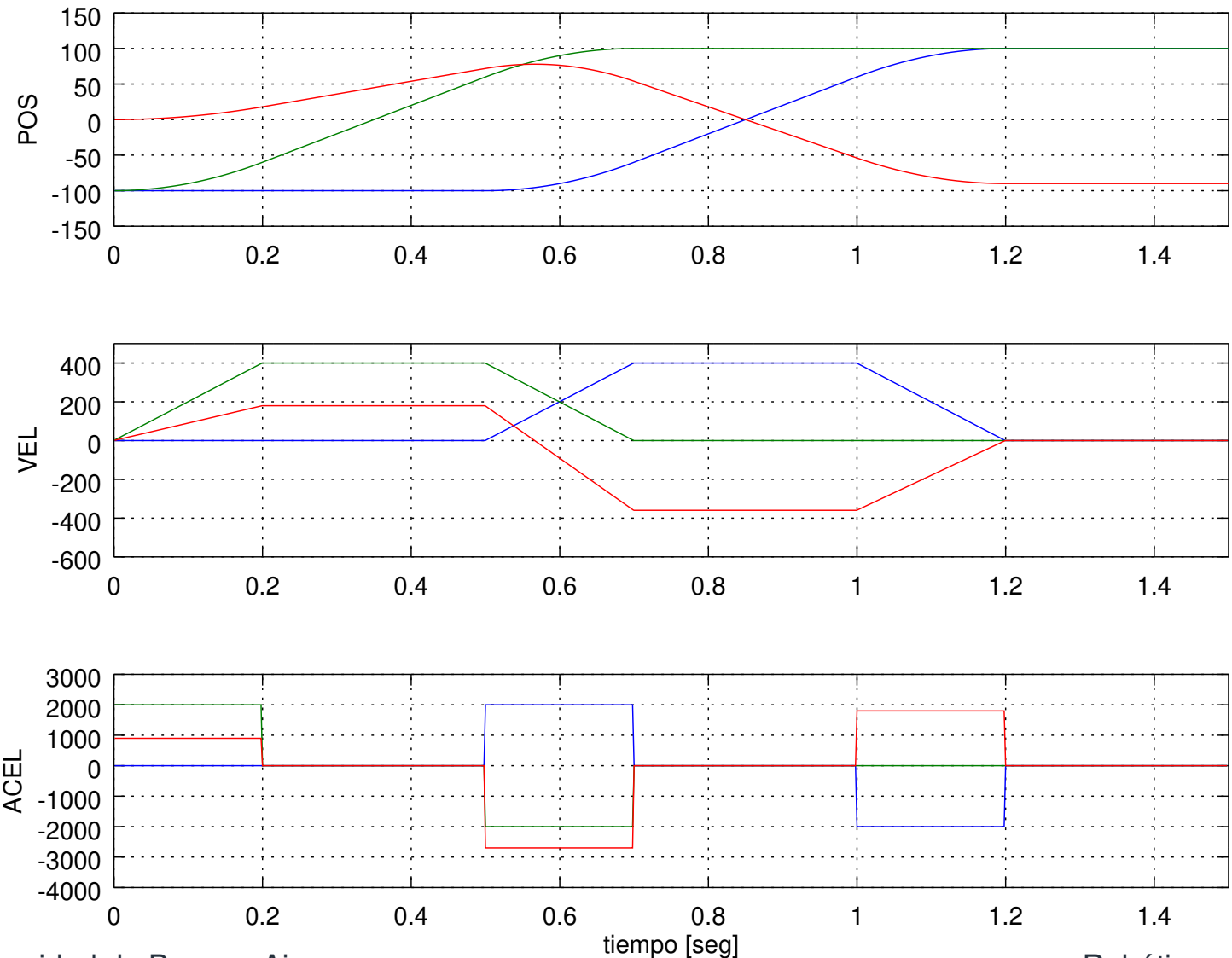
Interpolacion de Posicion y sus Derivadas

Curvas plano (X, Y)

Velocidad y Aceleracion lineales

Ejemplo aplicador de pegamento

Referencias del controlador





Curvas plano (X, Y)

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Programa

Código de Interpolación

Interpolación de Θ

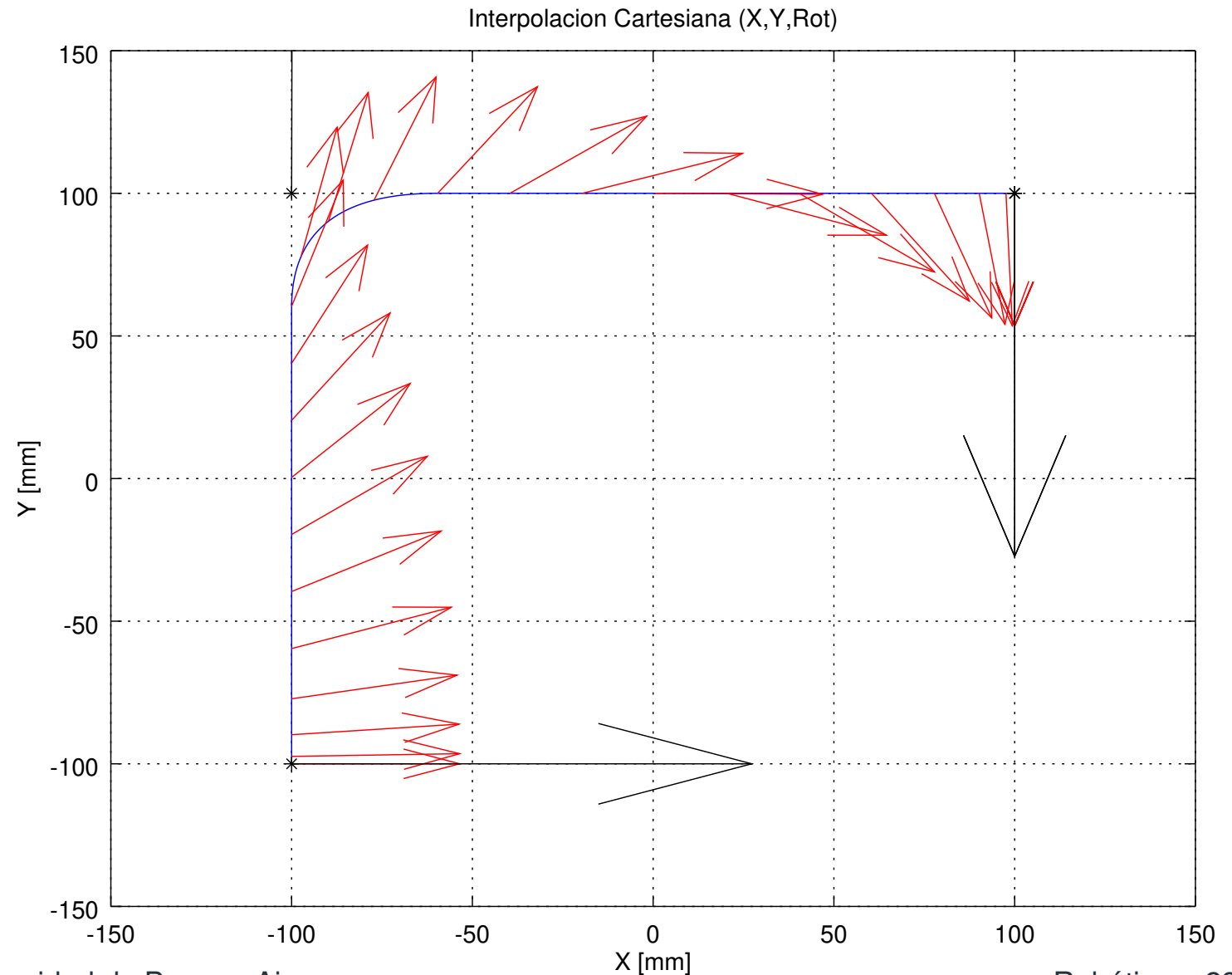
Interpolación de Posición y sus Derivadas

Curvas plano (X, Y)

Velocidad y Aceleración lineales

Ejemplo aplicador de pegamento

Referencias del controlador





Velocidad y Aceleración lineales

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Programa

Código de Interpolación

Interpolación de Θ

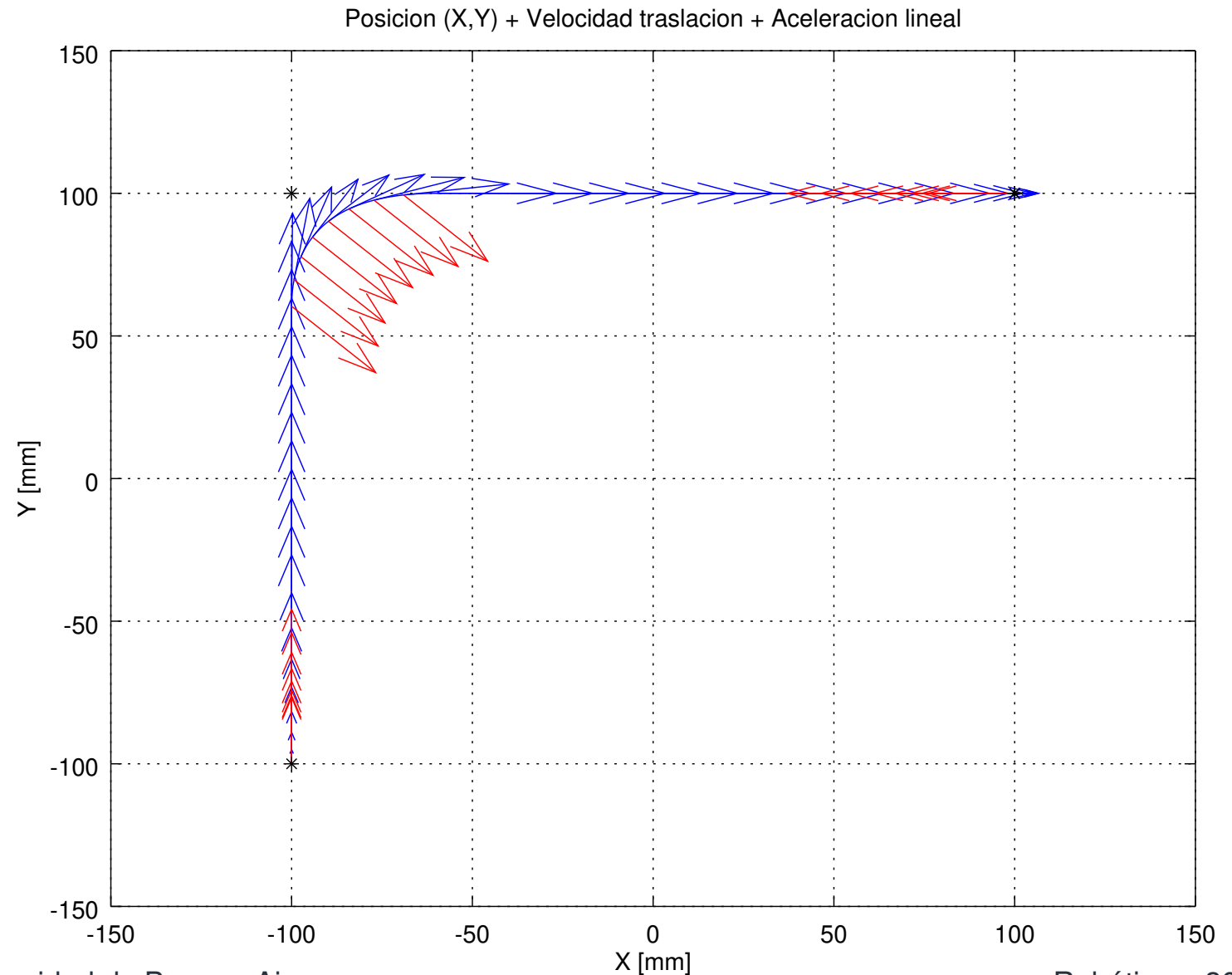
Interpolación de Posición y sus Derivadas

Curvas plano (X, Y)

Velocidad y Aceleración lineales

Ejemplo aplicador de pegamento

Referencias del controlador





Ejemplo aplicador de pegamento

Introducción

Generador de trayectorias Joint

Generador de trayectorias Cartesiano

Resultado

Programa

Codigo de Interpolacion

Interpolacion de Θ

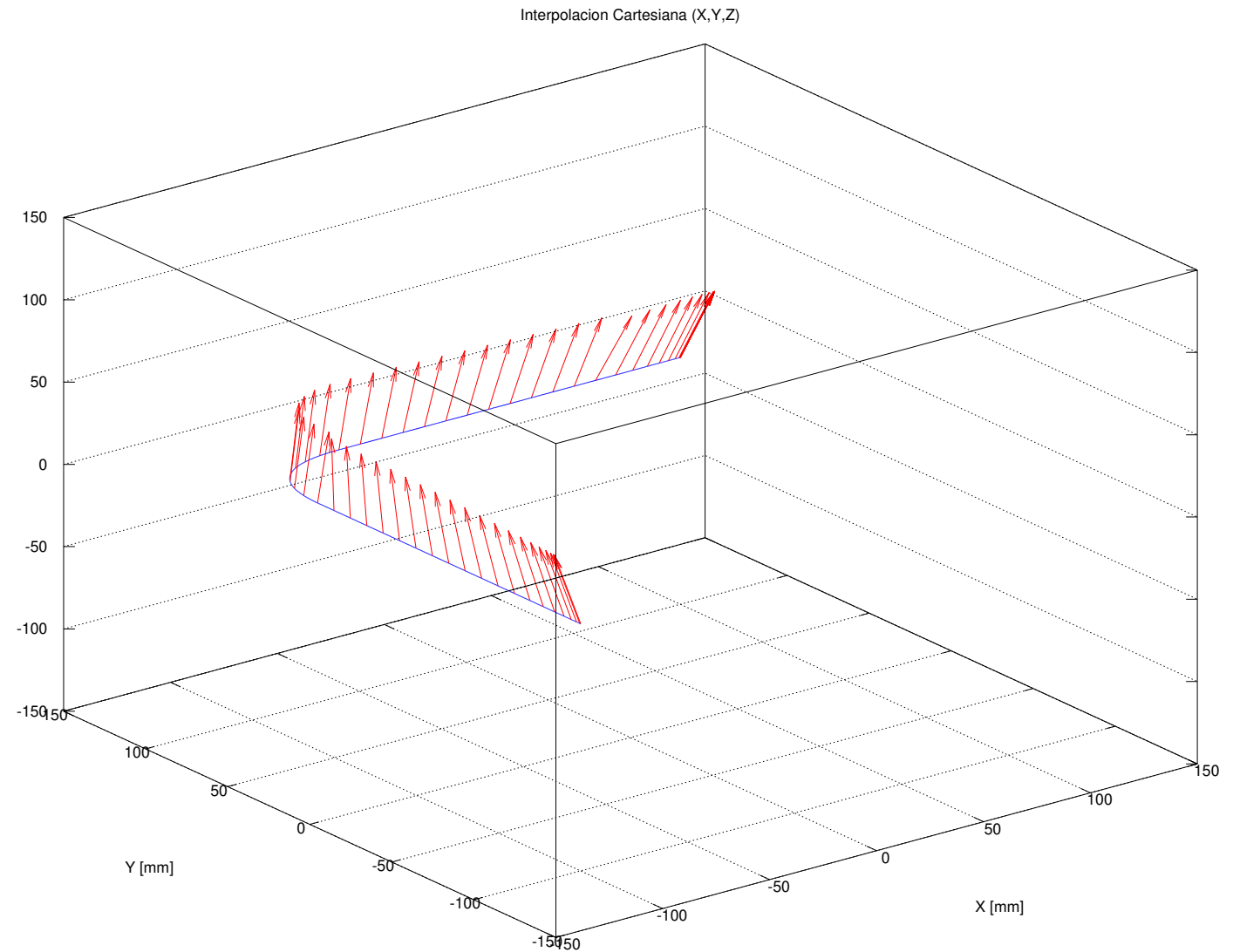
Interpolacion de Posicion y sus Derivadas

Curvas plano (X, Y)

Velocidad y Aceleracion lineales

Ejemplo aplicador de pegamento

Referencias del controlador





[Introducción](#)

[Generador de trayectorias Joint](#)

[Generador de trayectorias Cartesiano](#)

[Resultado](#)

[Referencias del controlador](#)

[Vectores referencia](#)

Recordemos que al controlador (Fig. 1) deben llegar los siguientes vectores

$$\vec{\theta}(t) \quad (32)$$

$$\dot{\vec{\theta}}(t) \quad (33)$$

$$\ddot{\vec{\theta}}(t) \quad (34)$$

Actividad:

¿Cómo generar cada uno de estos vectores a partir de la información de $POS(t_{seg})$?