

Fundamentos de Robótica

Tercer curso del Grado en Electrónica y Mecatrónica

Trabajo de Curso

Introducción

El objetivo de este trabajo dentro de la asignatura de Robótica es permitir al alumno poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos en la misma, a la vez que se familiariza con la herramienta de simulación de sistemas dinámicos MATLAB-Simulink.

Desarrollo del trabajo

Este trabajo trata los tres aspectos principales que componen los contenidos teóricos de la asignatura: análisis cinemático, análisis dinámico y control de un robot manipulador.

Con objeto de personalizar el trabajo, cada alumno trabajará sobre un robot específico que se asigna del siguiente modo: cada robot se compone de dos partes, una correspondiente al *brazo* del mismo y otra correspondiente a la *muñeca*, cada uno de los cuales proporciona tres grados de libertad al robot. Trabajaremos por tanto con robots de seis grados de libertad. En el **apéndice A** pueden encontrarse las configuraciones tipo de *brazos* y *muñecas* que emplearemos, así como los parámetros físicos que los definen. La configuración particular que corresponde a cada alumno puede encontrarse en el listado ubicado en el **apéndice B**. Cada alumno deberá desarrollar como mínimo los apartados que se describen, si bien, la calificación final del trabajo estará en relación con el volumen total del trabajo, valorándose todo el contenido de la asignatura que se haya aplicado al proyecto.

A) ANÁLISIS CINEMÁTICO

1. Representación gráfica completa del robot según el modelo de esquema del robot asignado.
2. Calcular la tabla del manipulador según las reglas de Denavit-Hartenberg. Dibujar los ejes correspondientes sobre un esquema del robot.
3. Calcular explícitamente de forma simbólica las matrices de transformación homogéneas correspondientes a cada par de articulaciones consecutivas, desde la base al extremo del robot.
Nota: A partir de este punto, para el desarrollo del trabajo sólo se tendrán en cuenta las tres primeras articulaciones del robot.
4. Calcular las ecuaciones simbólicas del modelo cinemático directo.

5. Utilizando el método que desee, resolver el problema cinemático inverso del manipulador, obteniendo expresiones analíticas del mismo. Realizar el cálculo simbólicamente.
6. Aprovechando el resultado anterior, dibujar las trayectorias de las articulaciones cuando el extremo del eslabón tres del robot (extremo del brazo o base de la muñeca) describe una trayectoria circular en el plano cartesiano X-Y (puede seleccionarla libremente para que dicha trayectoria esté enteramente contenida en el espacio de trabajo del robot que le ha sido asignado).
7. Calcular los *Jacobianos directos e inversos de velocidades* y realizar un estudio de las posibles singularidades que tenga el brazo manipulador.

B) ANÁLISIS DINÁMICO

1. Emplee el método que estime oportuno para obtener las ecuaciones dinámicas del robot. Para el cálculo de las inercias se considerará que todos los eslabones son macizos y de densidad constante. Ver detalles en la tabla de la página 5.
2. Crear un *simulador de la dinámica del robot* implementado dichas ecuaciones en un archivo “.m” de *Simulink* e integrándolas convenientemente.
3. Corroborar el correcto funcionamiento del simulador realizando comparativas con los resultados obtenidos de utilizar el mismo robot implementado con la herramienta *Robotics Toolbox*. Para ello, aplicar los mismos pares generalizados (aleatorios pero de magnitudes que no provoquen grandes aceleraciones iniciales) a ambos simuladores y representar conjuntamente las respuestas temporales tanto de las posiciones, como de las velocidades y aceleraciones articulares proporcionadas por ambos simuladores.

C) CONTROL CINEMÁTICO

1. Escribir las funciones (*.m) correspondientes a los modelos cinemáticos directo e inverso del robot, de forma simbólica
2. Probar el generador de trayectorias proporcionado en clase con dichas funciones y representar gráficamente las trayectorias generadas.

D) CONTROL DINÁMICO

1. Diseñe e implemente un controlador PD descentralizado para el robot de 3 grados de libertad.
2. Diseñe e implemente un controlador PID descentralizado para el robot de 3 grados de libertad.
3. Diseñe e implemente un controlador por Par Calculado para el robot de 3 grados de libertad.
4. Muestre los resultados de simulación con el robot asignado, obtenidos al implementar el controlador en *Simulink* con el modelo desarrollado en el apartado B.2. Para ello se generará una trayectoria de referencia para las articulaciones de manera que parta desde la posición de HOME del robot, y que termine en un punto situado en un **incremento** de coordenadas cartesianas $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z) = (-0.15, -0.15, 0.15)$ metros.

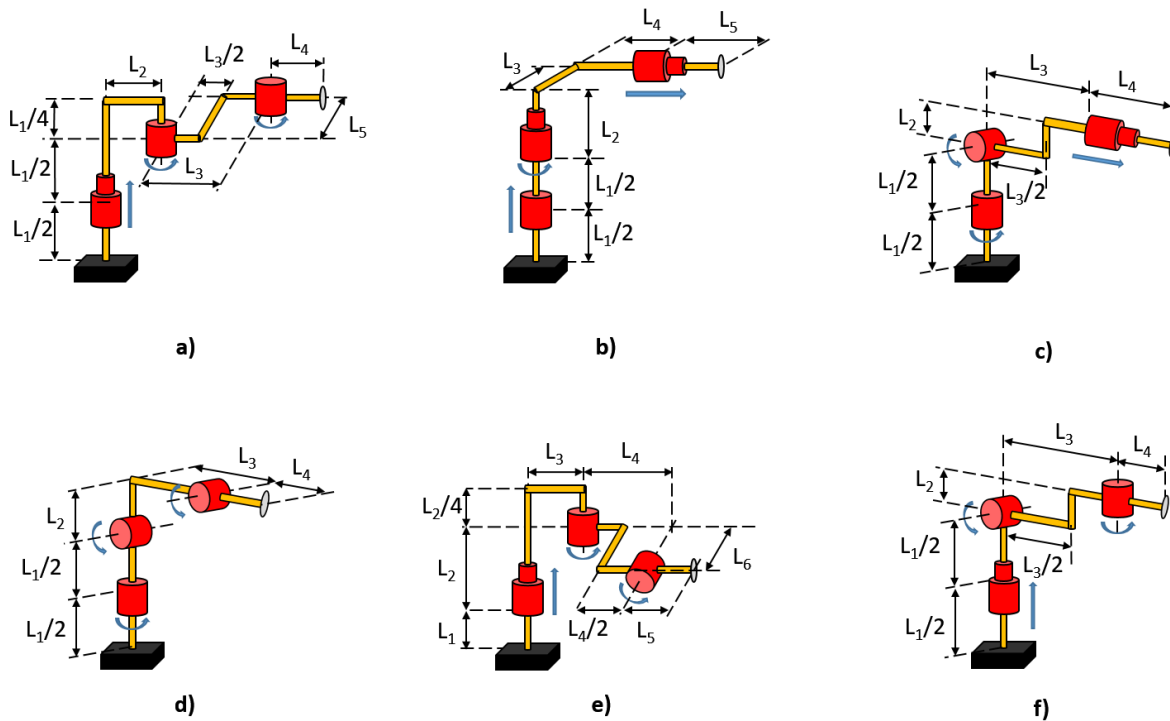
Se analizarán los resultados obtenidos para distintas velocidades de movimiento, y se realizará un resumen de conclusiones.

Entregas de las memorias del desarrollo del trabajo

Deberá entregarse unas memorias del trabajo en formato *pdf*, junto con los ficheros de Matlab-Simulink utilizados, en soporte digital.

APÉNDICE A.

CONFIGURACIONES TIPO PARA LOS BRAZOS



Parámetros Geométricos Brazos	L_1 (m)	L_2 (m)	L_3 (m)	L_4 (m)	L_5 (m)	L_6 (m)
a	1.2	0.3	0.3	0.4	0.2	-
b	1	0.3	0.3	0.5	0.5	-
c	0.8	0.4	0.6	0.4	-	-
d	0.9	0.4	0.5	0.5	-	-
e	0.4	0.7	0.3	0.5	0.4	0.2
f	0.9	0.5	0.2	0.2	-	-

Parámetros Dinámicos Brazos	Enlace	m (kg)	Centros de masas e inercias	K_r
a	1	5	Se considerará que todos los eslabones son macizos y de densidad constante. La sección de todos los eslabones es circular, y es la misma para un mismo robot. El valor del radio de la sección será igual a $L1/20$..	25
	2	5.5		20
	3	3		25
b	1	5.5		25
	2	4		20
	3	3.5		25
c	1	4.5		25
	2	4		20
	3	3.2		25
d	1	4		25
	2	2.7		20
	3	2		25
e	1	4.2		25
	2	4		20
	3	3.8		25
f	1	4.5		25
	2	4		20
	3	3.2		25

 m

Masa del enlace en kg

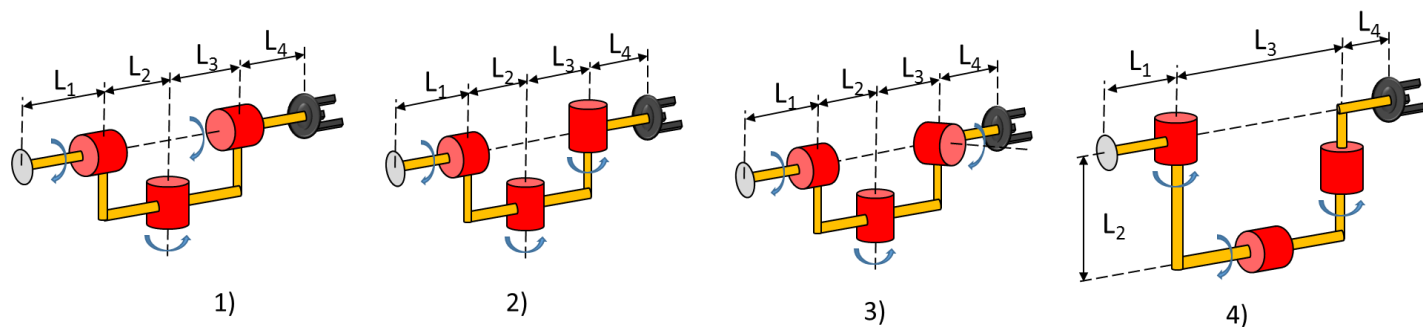
 K_r

Relación de transformación de la reductora de la articulación

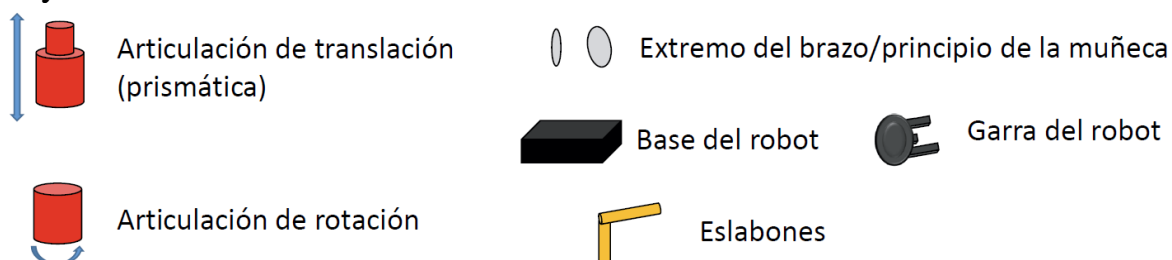
Notas:

- La inercia del motor (J_m) de la articulación i -ésima será igual al menor de los elementos de la diagonal del tensor de inercia del eslabón correspondiente. Esto es: $J_{mi} = \min(I_{xxi}, I_{yyi}, I_{zz i})$, $i = 1, 2, 3$.
- El coeficiente de fricción viscosa (B_m) del motor de las articulaciones será de $3.6 \cdot 10^{-5} \text{ Nm/(rad/s)}$.

CONFIGURACIONES TIPO PARA LAS MUÑECAS



Leyenda



Parámetros Geométricos Muñecas	L_1 (m)	L_2 (m)	L_3 (m)	L_4 (m)
1	0	0.15	0.15	0.1
2	0	0.2	0.1	0.1
3	0	0.2	0.2	0.3
4	0	0.25	0.1	0.2

Parámetros Dinámicos Muñecas	Enlace	m (kg)	Centros de masas e inercias	K_r
1, 2, 3, 4	4	0.8	No aplica en este trabajo de curso.	10
	5	0.3		10
	6	0.08		10

m Masa del enlace en kg
 I_{xx} , I_{yy} e I_{zz} Componentes de la diagonal del tensor de inercias del enlace expresado en kg.m²
 K_r Relación de transformación de la reductora de la articulación

Notas:

- **La inercia del motor (J_m) de la articulación i-ésima es igual a la inercia I_{zz} de dicha articulación.**
- **El coeficiente de fricción viscosa (B_m) del motor de las articulaciones será de $2.2 \cdot 10^{-5}$ Nm/(rad/s).**

APÉNDICE B.

La configuración del robot que le corresponde a cada alumno se calcula según el número del DNI. Para ello se usarán los dos últimos dígitos D1 y D2, siendo D1 el penúltimo y D2 el último (el que está contiguo a la letra).

D1 sirve para seleccionar el tipo de brazo, de la siguiente forma: se calcula la parte entera E1 del resultado de multiplicar D1 por 5/9 y de ahí se obtiene el tipo de brazo con la siguiente correlación:

E1=0: brazo a)

E1=1: brazo b)

E1=2: brazo c) y así sucesivamente hasta E1=6 que le corresponde el brazo f).

D2 sirve para seleccionar el tipo de muñeca, de la siguiente forma: se calcula la parte entera E2 del resultado de multiplicar D2 por 3/9 y de ahí se obtiene el tipo de muñeca con la siguiente correlación:

E2=0: muñeca 1

E2=1: muñeca 2

E2=2: muñeca 3 y así sucesivamente hasta E2=3 que le corresponde la muñeca 4.

Por ejemplo, si el DNI es 12345678N, se tiene que D1=7 y D2=8, por lo que E1=3 y E2=2 y por tanto corresponde el brazo e) con la muñeca 3.