

1. ¿Qué es un robot?

Manipulador automático servocontrolado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectorias variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas.

Normalmente su uso es el de realizar una tarea de manera cíclica, pudiéndose adaptar a otra sin cambios permanentes en su material.

Su origen es la palabra eslava robota, es decir, trabajo realizado de manera forzada".

2) Aplicaciones del robot industrial: Proceso de pintado de carrocerías automotrices.

3) ¿Cuáles son las diferencias entre un robot industrial y una máquina-herramienta CNC? La diferencia es el grado de reprogramabilidad; el robot puede reprogramarse mientras que la máquina-herramienta CNC está limitado a una serie de labores.

5) ¿Cómo debe decidirse el tipo de robot para un determinado trabajo?

R) Cuando la tarea a desempeñar es repetitiva, peligrosa, aburrida, difícil, o no se encuentra a una persona para realizarla, el robot es la mejor opción, cabe mencionar que se debe tener beneficios a largo plazo y no quitar empleos al ser humano.

6) ¿Qué es un R.U.R?

Robots Universales Rassum en checo. Es una obra teatral de ciencia ficción escrita por el checo Karel Čapek en 1920.

7. Anote las diferencias entre robots seriados y paralelos.

Los robots paralelos tienen un escaso alcance (en contra) de los robots de tipo serial.

Además los paralelos tienen múltiples morfologías para variar tareas por su configuración paralela (y los de len contrario de los seriados).

8. ¿Cuáles son los problemas de seguridad en el uso de robots?

R) Los robots son repetitivos, potentes, con gran alcance y capacidad. Entonces es indispensable contar con paros de emergencia, sensores y mantener al operador en áreas aisladas y protegidas del alcance de estos.

9. ¿Cómo se especifica un robot industrial?

Es un manipulador:

- Multi-propósitos
- Reprogramable
- Controlado automáticamente en tres o más ejes.

10. ¿Cuál es la población de robots en el mundo?

Según la fuente International Federation of Robotics Statistical Department en el 2008 hubo 113,345 instalaciones anuales y 1,035,671 robots en operación; mientras que en el 2009 la cifra fue de 68,400 instalaciones anuales y 1,031,000 robots en operación.

Se cree que en el 2014 la población robótica crezca hasta los 2,6 millones.

11. ¿Qué industria es considerada el usuario más grande de robots industriales de tipo serial?

La industria automotriz.

12. ¿Cuáles son las áreas nuevos de aplicaciones de robots?

R) Destacan los robots espaciales, robots para aplicaciones submarinas y subterráneas (limpieza de drenajes, exploración submarina, instalación y mantenimiento de hardware), cables telefónicos submarinos, robots militares, robots móviles industriales, aplicaciones médicas (protesis, por ejemplo), aplicaciones agrícolas (sembrado y recogida de cosechas), etc.

7 Febrero 2019



Componentes de
un robot



Torpedos

Muelles

Submarinos

Humanoides



Torre de robots



Industriales

Brazos
mecánicos



Robots
manipuladores



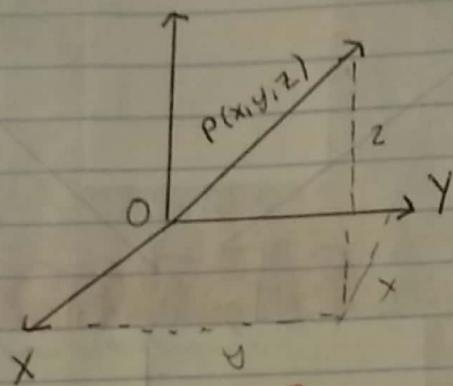
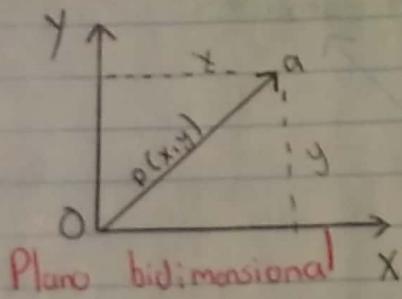
Capítulo 3

Herramientos matemáticos para la localización espacial.

3.1 Representación de la posición:

La localización de un cuerpo rígido en el espacio precisa de especificar tanto su posición como su orientación en un sistema de referencia definido. Lo ideal es representarlos por separado y después combinar ambas.

3.1.1 Sistema cartesiano de referencia:



3 Dimensiones

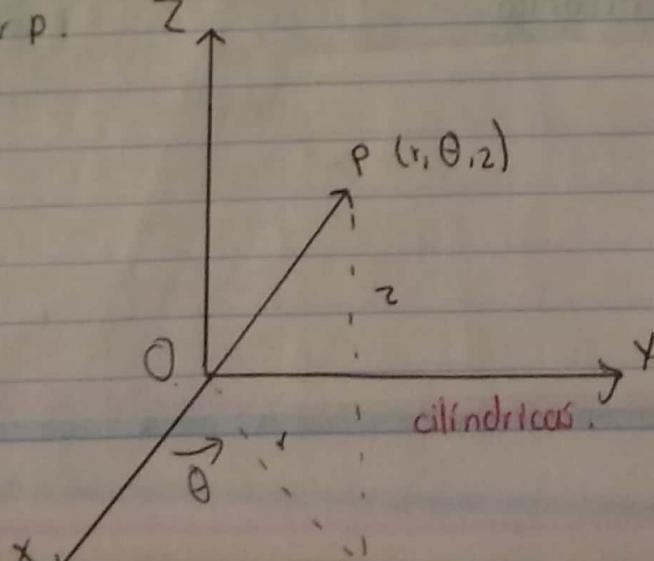
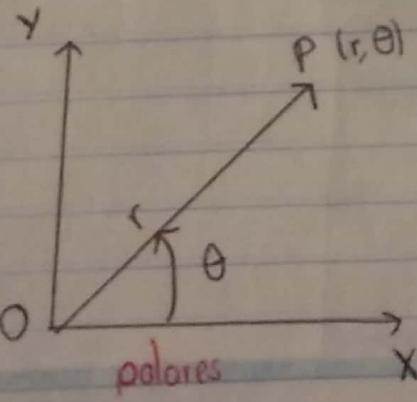
Coordenadas polares y cilíndricas: (r, θ) Bidimensional

r representa la distancia desde el origen O del sistema hasta el (origen del) extremo del vector p , mientras que θ es el ángulo que forma el vector p con el eje OX .

Coordenadas cilíndricas

Tridimensional: $OXYZ$

Coordenadas cilíndricas $p(r, \theta, z)$ aplican el razonamiento sobre el plano OXY , mientras que la componente z expresa la proyección sobre el eje OZ del vector p .



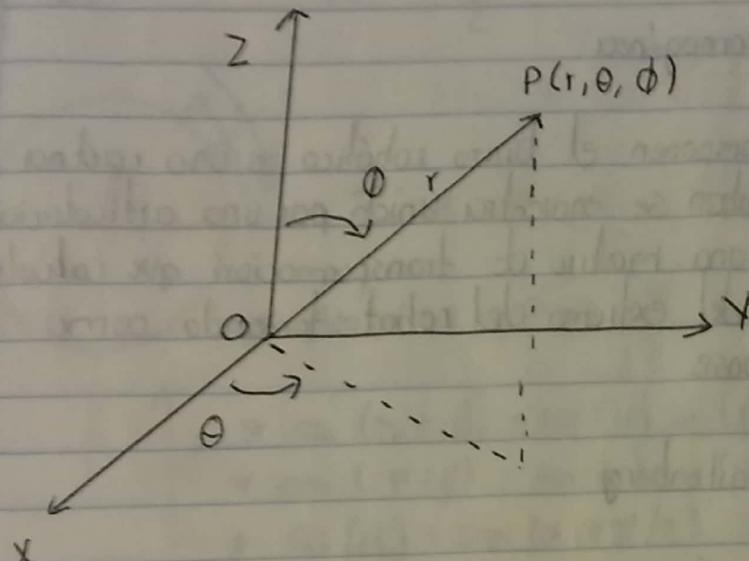
Coordenadas esféricas (r, θ, ϕ)

Localización de un vector en 3 dimensiones

r : distancia desde el origen O hasta el extremo del vector p .

θ : ángulo formado por la proyección del vector p sobre el plano OXY con el eje OX.

ϕ : Ángulo formado por el vector p con el eje OZ.



Cinemática de Robots

Estudia el movimiento que realiza este y su sistema de referencia.

Cinemática directa

Determinar cuál es la posición y orientación del extremo del robot con respecto a la referencia (sistema de coordenadas).

Nos ayudaría a saber si nos encontramos en el punto deseado mediante cada valor de la articulación.

Cinemática inversa.

Determina la orientación y posición de cleslabón del robot.

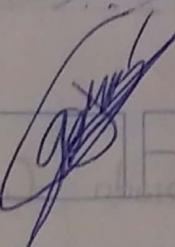
para alcanzar la posición y orientación del extremo final conocido

Resolución de cinemático directa

- Método geométrico.

- Matriz de transformación homogénea

- Quaternios

Jessica Nayeli Lorada Curiel  12 Enero 2019

Métodos geométricos:

Encontrar la relación que permite mediante la construcción de una o varias relaciones geométricas obtener los valores deseados de orientación y posición.

Cuando el nº de grados de libertad es > 3 , hay un problema de practicidad por eso no se aplica en robots industriales.

Matriz de transformación homogénea:

Algebra vectorial y matricial.

Claro de los elementos que componen el brazo robótico es una cadena cinemática en la que cada eslabón se encuentra unido por una articulación. Es suficiente con encontrar una matriz de transformación que calcule o transforme la posición del extremo del robot tomando como coordenadas de referencia la base



Representación Denavit Hartenberg

D - H

- 1- Rotación alrededor del eje Z_{i-1} un ángulo θ_i
- 2- Traslación a lo largo de Z_{i-1} una distancia d_i ; vector $d_i(0, 0, d_i)$
- 3- Traslación a lo largo de X_i una distancia a_i ; vector $a_i(1, 0, 0)$
- 4- Rotación del ángulo α_i alrededor del eje X_i

Quaternio

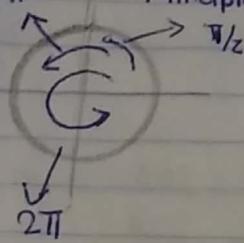
Representación de 4 valores

1- escalar

1- vector (x, y, z)

Sistemas de coordenadas y orientación

Principios básicos de trigonometría.

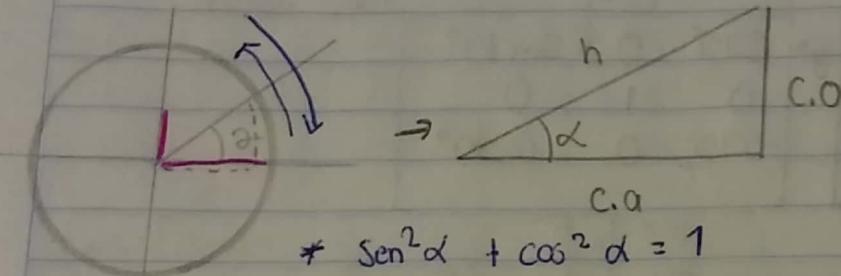


$$2\pi \cdot r \rightarrow \text{Circunferencia.}$$

Los radios son en función de π

$$180^\circ = \pi$$

$$90^\circ = \frac{\pi}{2}$$



$$\text{CO} = \frac{\text{C.A}}{h}$$

$$\sin(\alpha) = \frac{\text{C.O}}{h}$$

$$\star \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

- * $\cos(\alpha + \beta) = \cos(\alpha)\cos(\beta) - \sin(\alpha)\sin(\beta)$
- * $\sin(\alpha + \beta) = \sin(\alpha)\cos(\beta) + \cos(\alpha)\sin(\beta)$
- * $\cos(\alpha) = \sin(\alpha + \pi/2)$
- * $\sin(\alpha) = \cos(\alpha - \pi/2)$

$$\cos(60) = \frac{1}{2} \quad \sin(60) = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\cos(45) = \sin 45 = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$x_i = \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix} \quad y_i = \begin{bmatrix} \cos(\theta + 90) \\ \sin(\theta + 90) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \theta \\ \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$R_i = [x_i, y_i] = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_0, x_0) (j_0, x_0) \\ (x_0, j_0) (j_0, j_0) \end{bmatrix}$$

Jessica Nayeli Lozada Canizal

21 Enero 2019

Rotación

$$x \rightarrow 60^\circ$$

$$y \rightarrow 70^\circ$$

$$z \rightarrow 10^\circ$$

$$x \rightarrow 40^\circ$$

$$y \rightarrow 10^\circ$$

$$x \rightarrow 50^\circ$$

$$x \rightarrow 20^\circ$$

$$z \rightarrow 18^\circ$$

$$x \rightarrow 30^\circ$$

$$x \rightarrow 30^\circ$$

$$z \rightarrow 10^\circ$$

$$y \rightarrow 30^\circ$$

$$y \rightarrow 30^\circ$$

$$z \rightarrow 10^\circ$$

$$x \rightarrow 30^\circ$$

$$X = \begin{bmatrix} 1 & \cos 60^\circ & 0 \\ 0 & \cos 60^\circ & -\sin 60^\circ \\ 0 & \sin 60^\circ & \cos 60^\circ \end{bmatrix}$$

$\underline{3 \times 3}$

$$y = \begin{bmatrix} \cos 70^\circ & 0 & \sin 70^\circ \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin 70^\circ & 0 & \cos 70^\circ \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} Xy &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} .342 & 0 & -.939 \\ 0 & 1 & 0 \\ -.939 & 0 & .342 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} .342 & 0 & -.939 \\ 0 & 1 & 0 \\ -.939 & 0 & .342 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$\underline{\underline{S}}$

$$\begin{aligned} F_1x &= .342 \\ F_1y &= 0 \\ F_1z &= .342 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos 60^\circ &= 0.5 & \cos 70^\circ &= .342 \\ -\sin 60^\circ &= -0.866 & -\sin 70^\circ &= -.939 \\ \sin 60^\circ &= .866 & \sin 70^\circ &= .939 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{1x} \cdot C_{1y} &= (1)(.342) + (0)(0) + (0)(-.939) = .342 \\ F_{1x} \cdot C_{2y} &= (1)(0) + (0)(1) + (0)(0) = 0 \\ F_{1x} \cdot C_{3y} &= (1)(.939) + (0)(0) + (0)(.342) = .939 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{2x} \cdot C_{1y} &= (0)(.342) + (0.5)(0) + (-.866)(-.939) = .813 \\ F_{2x} \cdot C_{2y} &= (0)(0) + (0.5)(1) + (-.866)(0) = .5 \\ F_{2x} \cdot C_{3y} &= (0)(.939) + (.866)(0) + (0.5)(.342) = .171 \end{aligned}$$

$$F_{ax} \cdot C_{1y} = (0)(24) + (0.866)(0) + (0.3)(-0.939) = -0.469$$

$$F_{ax} \cdot C_{2y} = 0 + .866 + 0 = .866$$

$$F_{ax} \cdot C_{3y} = 0 + 0 + (0.3)(.342) = .171$$

$$xy = \begin{bmatrix} .342 & 0 & .939 \\ .813 & .5 & .171 \\ -0.469 & .866 & .171 \end{bmatrix} z \begin{bmatrix} \cos 10^\circ & -\sin 10^\circ & 0 \\ \sin 10^\circ & \cos 10^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$xx = \begin{bmatrix} .342 & 0 & .939 \\ .813 & .5 & .171 \\ -0.469 & .866 & .171 \end{bmatrix} z \begin{bmatrix} C_{11} & C_{21} & C_{31} \\ C_{12} & C_{22} & C_{32} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} \end{bmatrix}$$

$$xyz = \begin{bmatrix} .336 & .059 & .939 \\ .895 & .351 & .171 \\ .62 & 0.79 & 0.13 \end{bmatrix}$$

$$(.342)(.984) + 0 + 0 = .336 \quad 8145 \quad 05 \leftarrow x$$

$$(.342)(-0.173) + 0 + 0 = -0.059$$

$$0 + 0 + .939 = .939$$

$$(.813)(-.984) + (.5)(.173) + 0 = .8855$$

$$(.813)(0.173) + (.5)(.984) + 0 = .351$$

$$0 + 0 + .171 = .171$$

$$(-0.469)(.984) + (.866)(.173) + 0 = -0.301$$

2) $X \rightarrow 40^\circ$ $y \rightarrow 10^\circ$ $x \rightarrow 50^\circ$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 40 & -\sin 40 \\ 0 & \sin 40 & \cos 40 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & \sin 10 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin 10 & 0 & \cos 10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 50 & -\sin 50 \\ 0 & \sin 50 & \cos 50 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.76 & -0.64 \\ 0 & 0.64 & 0.76 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.98 & 0 & 0.17 \\ 0 & 1 & 0 \\ -0.17 & 0 & 0.98 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.76 & -0.64 \\ 0 & 0.64 & 0.76 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.98 & 0 & 0.17 \\ 0.10 & 0.76 & -0.64 \\ -0.12 & 0.64 & 0.76 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.76 & -0.64 \\ 0 & 0.64 & 0.76 \end{bmatrix}$$

$$xyx = \begin{bmatrix} 0.98 & 0.10 & 0.17 \\ 0.10 & 0.76 & 0.01 \\ -0.12 & 0.64 & 0.15 \end{bmatrix}$$

3) $X \rightarrow 20^\circ$ $Z \rightarrow 18^\circ$ $X \rightarrow 36^\circ$

$$x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 20 & -\sin 20 \\ 0 & \sin 20 & \cos 20 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos 18 & -\sin 18 & 0 \\ \sin 18 & \cos 18 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 30 & -\sin 30 \\ 0 & \sin 30 & \cos 30 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.93 & -0.34 \\ 0 & 0.34 & 0.93 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.95 & -0.30 & 0 \\ 0.30 & 0.95 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.86 & -0.5 \\ 0 & 0.5 & 0.86 \end{bmatrix}$$

Jessica Noyola Laredo Comical

21 Enero 2019

$$\begin{bmatrix} 0.95 & -0.25 & 0 \\ -0.25 & 0.86 & -0.43 \\ 0.43 & 0.32 & 0.95 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.86 & -0.5 \\ 0 & 0.5 & 0.95 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.45 & -0.02 & 0.15 \\ 0.22 & 0.22 & -0.11 \\ 0.10 & 0.31 & 0.95 \end{bmatrix}$$

$x \rightarrow 30$

$z \rightarrow 10$

$y \rightarrow 30$

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 30 & -\sin 30 \\ 0 & \sin 30 & \cos 30 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos 10 & -\sin 10 & 0 \\ \sin 10 & \cos 10 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.86 & -0.5 \\ 0 & 0.5 & 0.95 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.86 & -0.5 \\ 0 & 0.5 & 0.86 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.98 & 0.17 & 0 \\ 0.17 & 0.98 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.86 & 0 & 0.5 \\ 0 & 1 & 0 \\ -0.5 & 0 & 0.86 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.98 & 0.17 & 0 \\ -0.15 & 0.89 & -0.3 \\ -0.09 & 0.49 & 0.86 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.86 & 0 & 0.5 \\ 0 & 1 & 0 \\ -0.5 & 0 & 0.86 \end{bmatrix}$$

$$xyz = \begin{bmatrix} 0.84 & 0.17 & 0.49 \\ -0.38 & 0.84 & -0.36 \\ -0.26 & 0.49 & 0.38 \end{bmatrix}$$

$y \rightarrow 30^\circ \quad z \rightarrow 10^\circ \quad x \rightarrow 30^\circ$

$$B = \begin{bmatrix} \cos 30 & 0 & \sin 30 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin 30 & 0 & \cos 30 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos 10 & -\sin 10 & 0 \\ \sin 10 & \cos 10 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 20 & -\sin 20 \\ 0 & \sin 20 & \cos 30 \end{bmatrix}$$

Jessica Nagel Lorch Conrad

29 June 2019

$$= \begin{bmatrix} .36 & 0 & .5 \\ 0 & 1 & 0 \\ -.5 & 0 & .86 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} .93 & -.17 & 0 \\ .17 & .93 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & .86 & -.5 \\ 0 & .5 & .86 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} .84 & -.17 & .5 \\ -.17 & .93 & 0 \\ -.49 & .09 & .86 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & .86 & -.5 \\ 0 & .5 & .86 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} .84 & .17 & .5 \\ -.17 & .84 & -.49 \\ -.49 & .5 & .86 \end{bmatrix}$$

$\alpha \leftarrow \beta$ $\beta \leftarrow \gamma$ $\gamma \leftarrow \alpha$

Cinemática del Robot

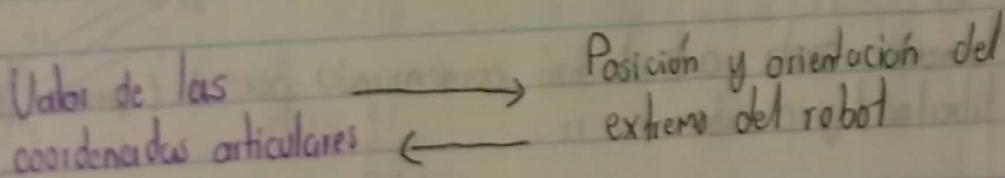
Cinemática del robot: Estudia el movimiento del mismo con respecto a un sistema de referencia. Se interesa por la descripción analítica del movimiento espacial del robot como una función del tiempo. Y en especial, las relaciones de posición y orientación del extremo final del robot.

Hay 2 problemas fundamentales en la cinemática:

Problematika cinemática directa: Determina cuál es la posición y orientación del extremo final del robot.

Problematika cinemática inversa: Resuelve la configuración que debe adoptar el robot para una posición y orientación del extremo conocidos.

Denavit y Hartenberg propusieron un método cinemático para describir y representar la geometría espacial de los elementos de una cadena cinemática, y en particular de un robot, como referencia un sistema fijo.



Representación de Denavit Hartenberg

Ellos propusieron en 1955 un método matricial que permite establecer de manera sistemática un sistema de coordenadas (S.C.) ligado a cada eslabón i de una cadena articulada, pudiéndose determinar a continuación las ecuaciones cinemáticas de la cadena completa.

Según la representación de D-H, escogiendo adecuadamente los sistemas de coordenadas asociados a cada eslabón, será posible pasar de uno al siguiente mediante 4 transformaciones básicas que dependen exclusivamente de las características (fundamentales) geométricas de c/ eslabón.

Principios básicos.

1. Rotación alrededor del eje z, un ángulo θ
2. Traslación a lo largo de z; una distancia d ; vector $d(0,0,d)$
3. Traslación a lo largo de x; una distancia a ; vector $a(0,a,0)$
4. Rotación alrededor del eje x; un ángulo α .

Como las matrices no son conmutativas, entonces debe seguir el sig. orden.

$$A_i = T(z, \theta_i) T(0,0,d_i) T(a_i, 0,0) T(x, \alpha_i)$$

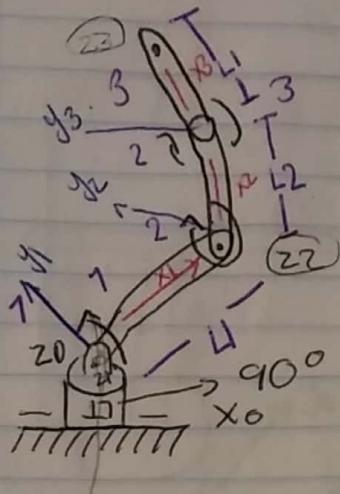
Algoritmo de Denavit - Hartenberg
(Problema de cinemática directa).

D-H

1. Del O a la base fija del robot.
Se enumerará de lo primera eslabón móvil al n (último móvil)
2. Numerar cada articulación comenzando por 1 (primer grado de libertad) y acabar en n
3. Localizar cada eje de cada articulación.
Si es rotativo, el eje será su propio eje de giro
Si es prismática, será el eje que produce desplazamiento
4. Para i de 0 a n-1 situar el eje z, sobre el eje de la articulación $i+1$
5. Situar el origen del sistema de la base (S_0)

Jessica Nayeli Lorada Canizal
Robot 1

11 Feb 2019

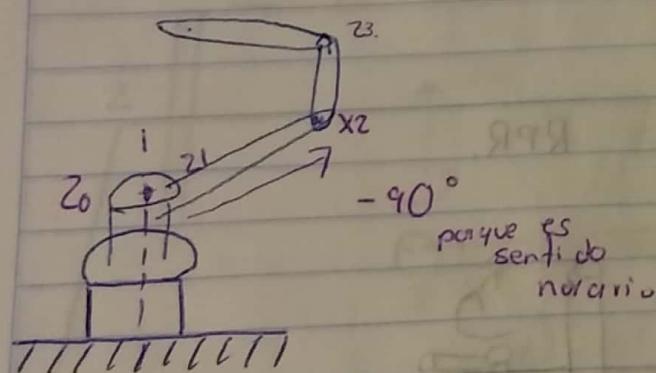


i	α_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	-90	0	θ_1
2	L1	0	0	θ_2
3	L2	0	0	θ_3

1 - N° las artic.

2 - Eje z.

Robot #2 RRR.



i	α_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i
1	180	0	0	θ_1
2	14	-90	0	θ_2
3	L2	0	0	θ_3

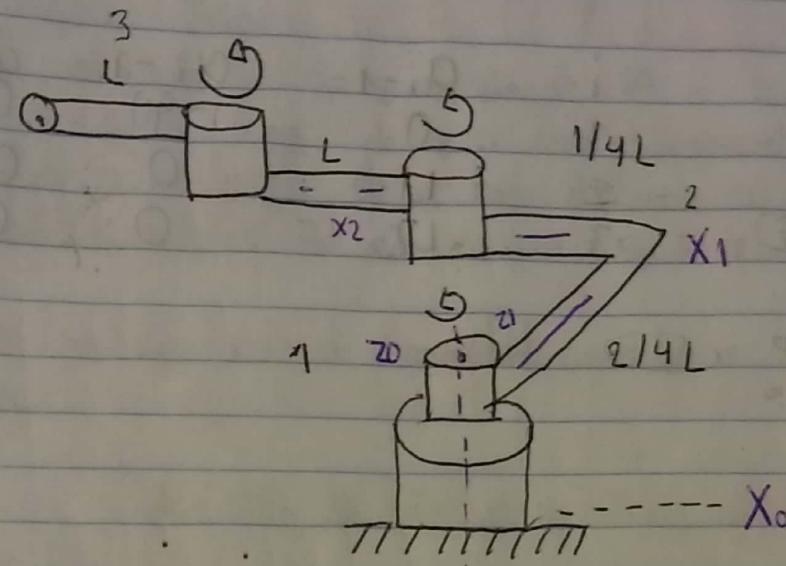
Robot #3. RRR.



i	α_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i
1	-90	0	0	θ_1
2	d1	90	d2	θ_2
3	d2	-90	0	θ_3

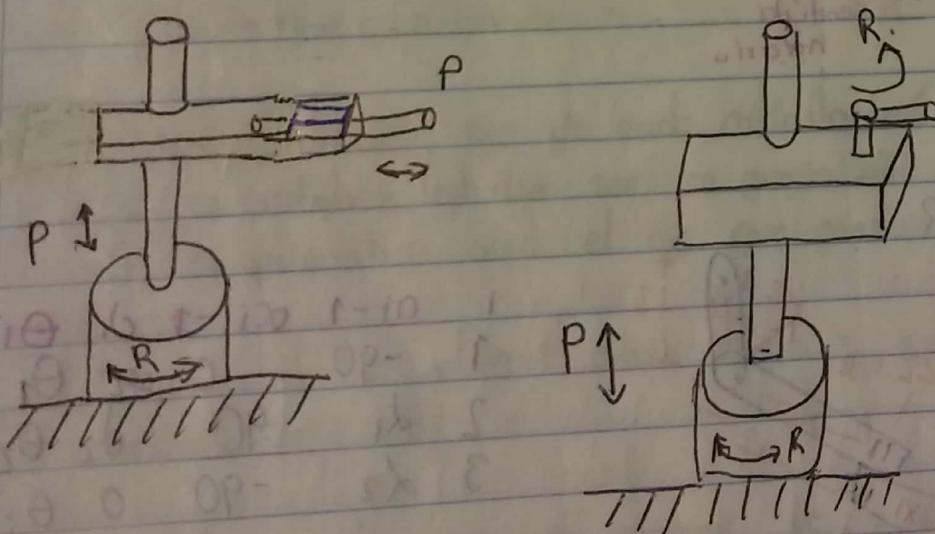
Jessica Nayeli Lorada Canical

21 Enero 2019



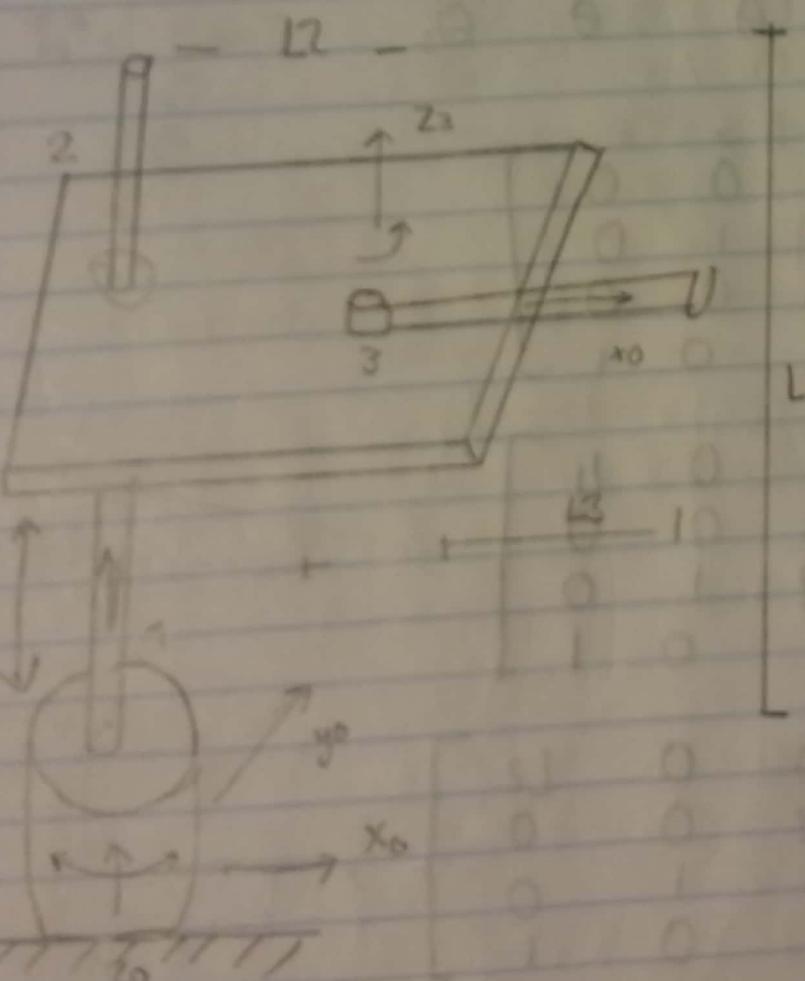
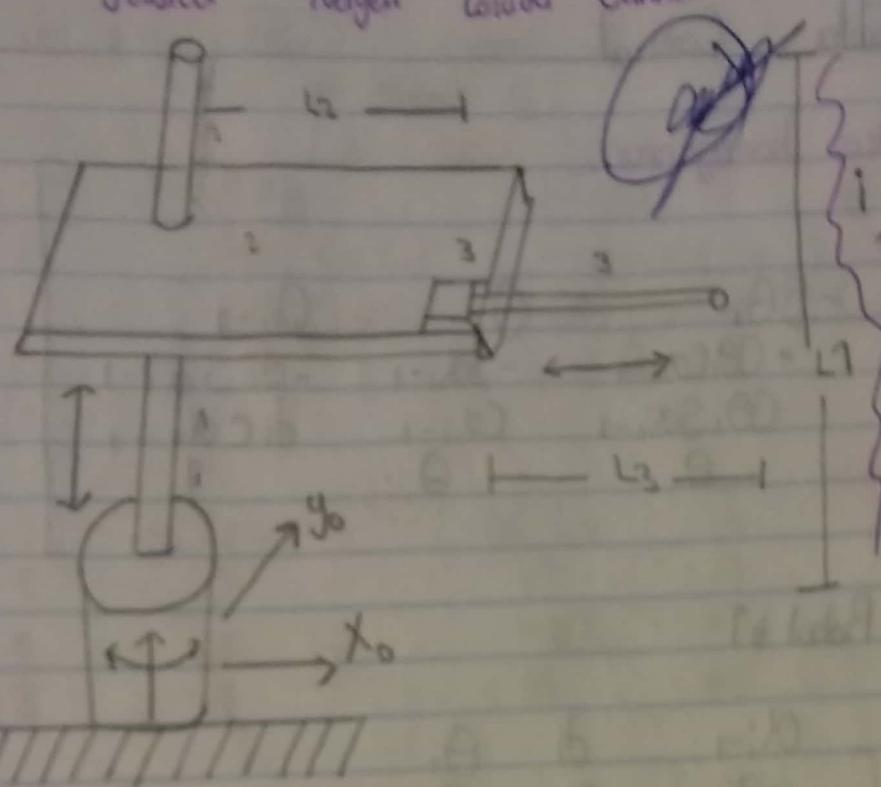
i	d_{i-1}	d_{i-1}	d_i	θ
1	0			
2	$1/2L$			
3				

Tarea P / mancinos
RPP.



Jessica Nayeli Lorada Canul

12 Feb 2019



Nayeli Lorada Canizal

Cálculo de matrices homogéneas.

$$T_i^{-1} = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & \theta & a_{i-1} \\ S\theta_i C\alpha_{i-1} & +C\theta_i C\alpha_{i-1} & -S\alpha_{i-1} & -d_i S\alpha_{i-1} \\ S\theta_i S\alpha_{i-1} & C\theta_i S\alpha_{i-1} & C\alpha_{i-1} & d_i C\alpha_{i-1} \\ \theta & \theta & \theta & 1 \end{bmatrix}$$

Robot #1

i	a_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	-90	0	θ_1
2	L_1	0	0	θ_2
3	L_2	0	0	θ_3

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} C\theta_1 & -S\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -S\theta_1 & -C\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} C\theta_2 & -S\theta_2 & 0 & L_1 \\ S\theta_2 & C\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & C\theta_2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

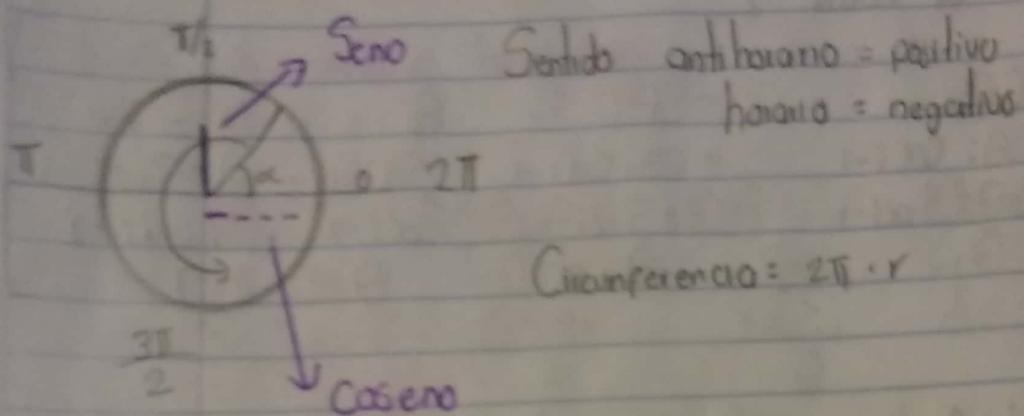
$$T_3^2 = \begin{bmatrix} C\theta_3 & -S\theta_3 & 0 & L_2 \\ S\theta_3 & C\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & C\theta_3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Jessica Noydi Linda C.
ff Robot 2.

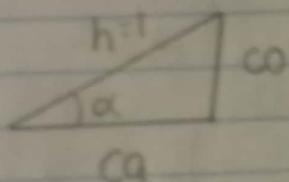
$$T_1^{-1} = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & \theta & \alpha_{i-1} \\ S\theta_i C\alpha_{i-1} & -C\theta_i C\alpha_{i-1} & -S\alpha_{i-1} & -\alpha_i S\alpha_{i-1} \\ S\theta_i S\alpha_{i-1} & C\theta_i S\alpha_{i-1} & C\alpha_{i-1} & \alpha_i C\alpha_{i-1} \\ 0 & 0 & \theta & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{array}{ccccc} i & \alpha_{i-1} & \alpha_{i-1} & \alpha_i & \theta_i \\ 1 & 0 & \theta & \theta & \theta_1 \\ 2 & 11 & -90 & \theta & \theta_2 \\ 3 & 12 & \theta & \theta & \theta_3 \end{array}$$

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & \theta & 0 \\ S\theta_i & C\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & \theta & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Seno
co
h



Coseno
 $\cos \alpha = \frac{ca}{h}$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta$$

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta$$

$$\cos \alpha = \sin(\alpha + \pi/2)$$

$$\sin \alpha = \cos(\alpha - \pi/2)$$

$$\cos(\alpha + \pi/2) = -\sin \alpha$$

$$\cos(\alpha - \pi/2) = \sin(\alpha)$$

$$\cos(60^\circ) = 1/2 \quad \sin(60^\circ) = \sqrt{3}/2$$

$$\cos(45^\circ) = \sin(45^\circ) = \sqrt{2}/2$$

Contenidos.

Z

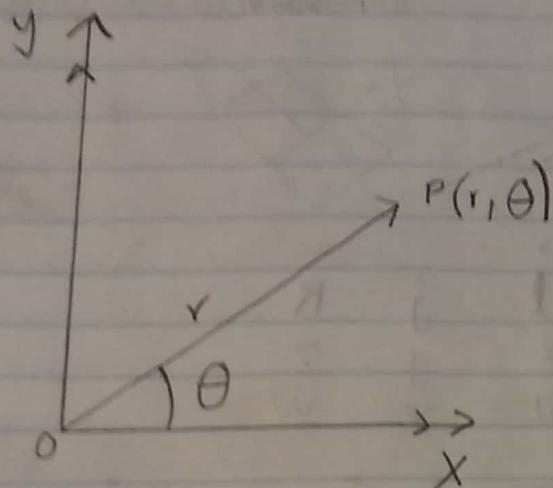
$P(x,y,z)$

y

x

Jessica Noyeli Lozada Canizal.

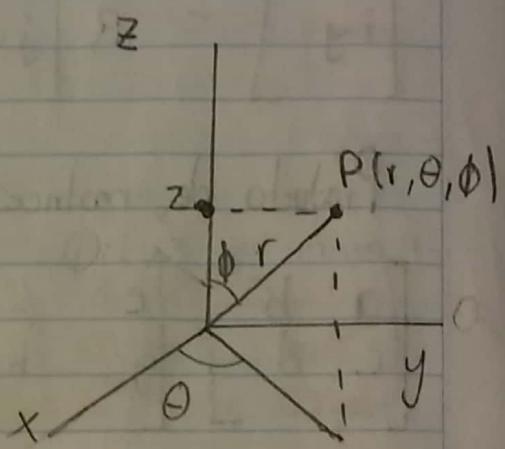
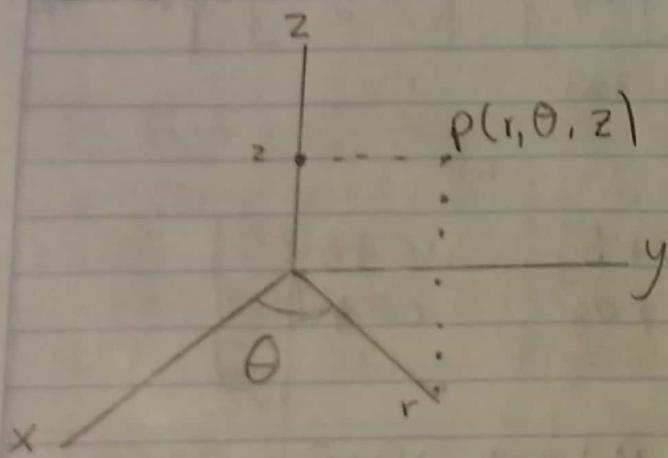
Polar



$$\cos \theta \cdot r = x$$
$$\sin \theta \cdot r = y$$

"2D"

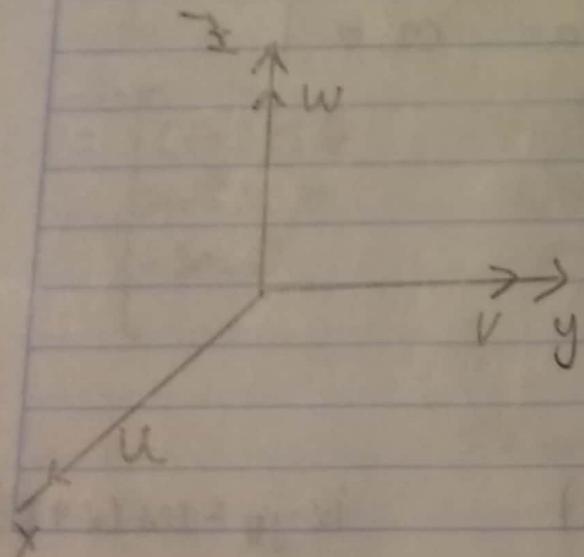
Cilíndricas



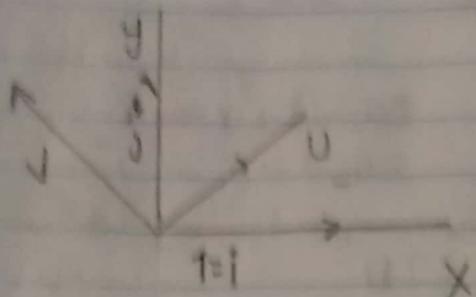
Orientación

Matriz de rotación.

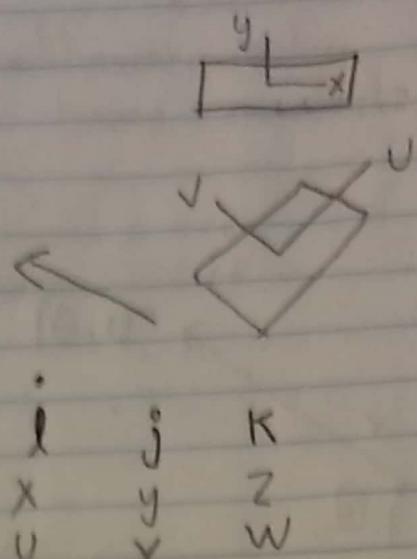
ortonormal el ángulo = 90°.



Jesica Nogeli Lozada Contreras



$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \end{bmatrix}, R \begin{bmatrix} P_u \\ P_v \end{bmatrix}$$



$$\begin{matrix} i & j & k \\ x & y & z \\ u & v & w \end{matrix}$$

$$\begin{bmatrix} ix \\ iy \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} iu \\ iv \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} ix \\ iy \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} iu & iv \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ix \cdot iu & ix \cdot iv \\ iy \cdot iu & iy \cdot iv \end{bmatrix}$$

Producto de matrices

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e & f \\ g & h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ae + bg & af + bh \\ ce + dg & cf + dh \end{bmatrix}$$

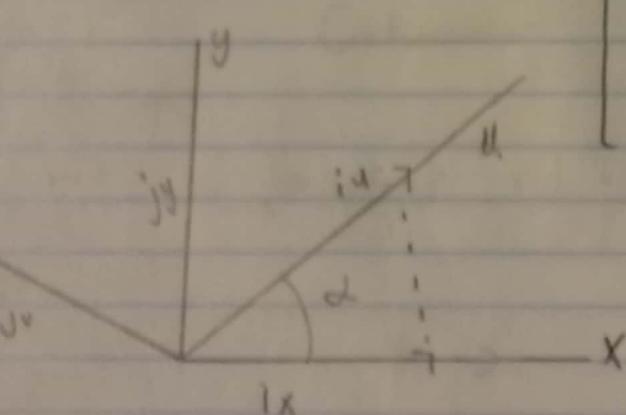
filas columnas

$$2 \times 2 \quad 2 \times 2$$

Matriz de rotación

desarrollo

$$\begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$



$$ix \cdot iy = \cos(\alpha)$$

$$ix \cdot iv = \cos(\alpha + \pi/2) = -\sin \alpha$$

Jáuregui Noych Lorada Concha

$$j_y i_0 = \sin(\alpha)$$

$$j_y \cdot j_x = \cos(\alpha)$$

$$R_{xz} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix}$$

$$R_y(\phi) = \begin{bmatrix} \cos\phi & 0 & \sin\phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\phi & 0 & \cos\phi \end{bmatrix}$$

$$R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T = \text{Rot}_z(\theta) \text{Rot}_y(\phi) \text{Rot}_x(\alpha)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\phi & 0 & \sin\phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\phi & 0 & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\theta \cos\phi & -\sin\theta \cos\phi & \cos\theta \sin\phi \\ \sin\theta \cos\phi & \cos\theta \sin\phi & -\sin\theta \sin\phi \\ -\sin\phi & 0 & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix}$$

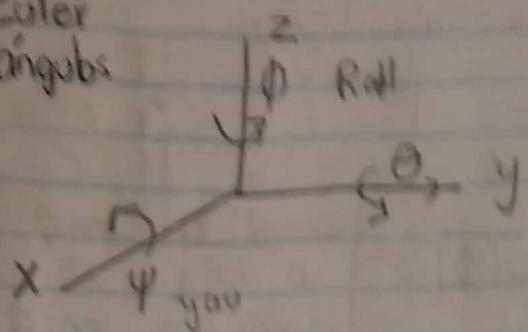
$$= \begin{bmatrix} \cos\theta \cos\phi & -\sin\theta \cos\phi + \cos\theta \sin\phi \sin\alpha & \sin\theta \sin\phi + \cos\theta \sin\alpha \\ \sin\theta \cos\phi & \cos\theta \cos\phi + \sin\theta \sin\phi \sin\alpha & -\sin\theta \sin\phi + \cos\theta \sin\alpha \\ -\sin\phi & \sin\phi \cos\alpha & \cos\phi \cos\alpha \end{bmatrix}$$



Matriz de transformación.

Jessica Mayeli Lomeli Canicedo

Euler
ángulos



Pas de rotacion

$$\text{ROT}(\kappa, \theta)P = P \cos \theta + (1 - \cos \theta)$$
$$\sin \theta \hat{x} + r(1 - \cos \theta)$$
$$(\hat{x} - \cos \theta)$$

Quaternios

$$q_0, q_1, q_2, q_3$$

$$S = q_0$$

$$v = (q_1, q_2, q_3)$$

$$(S, v)$$

$$(e_i, i, j, \pi)$$

$$q_0, q_1, q_2, q_3$$

$$Q = \text{Rot}(1 \kappa \theta) = \left(\cos \frac{\theta}{2}, \kappa \sin \frac{\theta}{2} \right)$$

Matriz homogénea.

$$T = \begin{bmatrix} R_{xx} & R_{xy} & R_{xz} \\ R_{yx} & R_{yy} & R_{yz} \\ R_{zx} & R_{zy} & R_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Rotación} & \text{Traslación} \\ \text{Perspectiva} & \text{Escalar} \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} \text{Rotación} & \text{Traslación} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \rightarrow \text{Mata igual el robot}$$

$$T(\varphi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Identidad.}$$

$$\text{Rot}_x(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

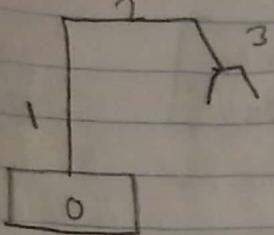
$$\text{Rot}_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{Rot}_z(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & o & a & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

donde
n, o, p
es una terna
ortonormal
que representa la
orientación y
p es un vector
que representa la
posición.

Jessica Nayeli Loreda Concha



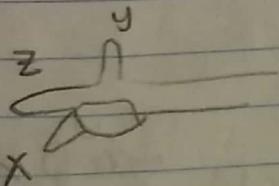
D-H

$$T = {}^0A_n = {}^0A_1 {}^1A_2 \dots {}^{n-1}A_n$$

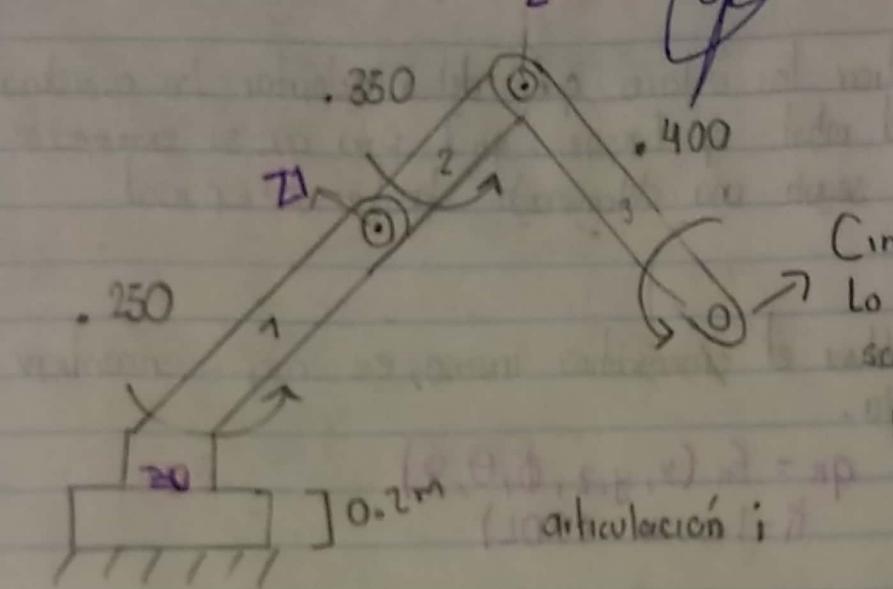
$${}^{i-1}A_i = \frac{\text{Rot}_z(O_i)T(0, 0, d_i)T(\alpha_i, 0, 0)}{\text{Rot}_x(d_i)}$$

rotación rotativa prismática

$$D-H(O_i, d_i, \alpha_i, \delta_i)$$



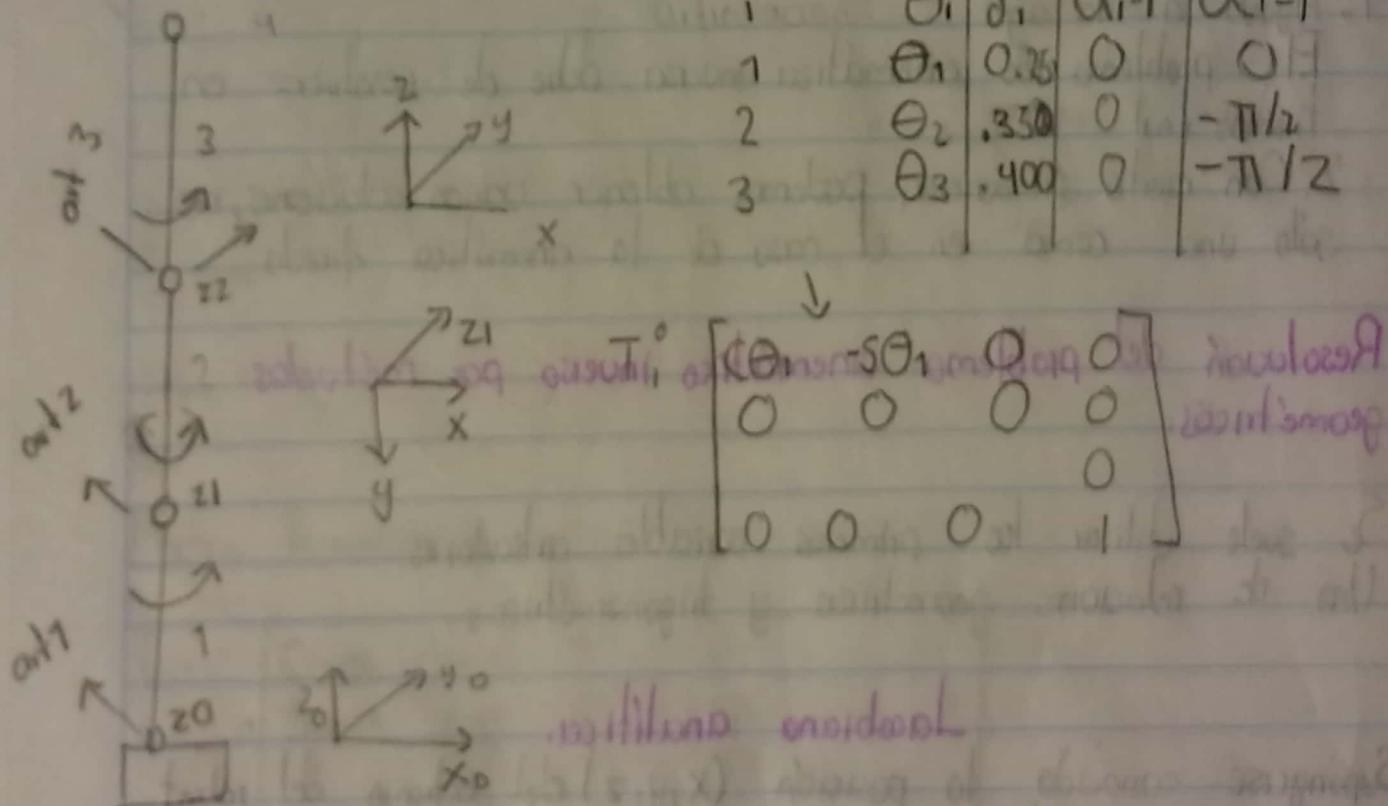
Nuestro brazo robótico:



Cinemática inversa
Lo que necesitamos
saber su
posición

Rotación
de x
 τ

i	θ_i	d_i	a_{i-1}	α_{i-1}
1	θ_1	0.25	0	0
2	θ_2	350	0	$-\pi/2$
3	θ_3	400	0	$-\pi/2$



θ_i Ángulo que forman los ejes x_{i-1} y x_i en un plano perpendicular al eje z_{i-1}

d_i Distancia a b largo del eje z_{i-1} desde el origen del sistema de coordenadas $i-1$

lunes
Domingo *Mañana* *Lunes* *Completado*
Falta *Completa*
19 Feb 2019

Cinemática Inversa

Consiste en encontrar los valores que deben adoptar las coordenadas articulares del robot ($q = [q_1, q_2, \dots, q_n]$) para que su extremo se posicione y oriente según una determinada localización espacial ($P(x, y, z)$, θ, ϕ, ψ)

A la hora de resolver el cinemático inverso, es más encontrar una solución cerrada.

$$q_k = f_k(x, y, z, \theta, \phi, \psi) \quad k=1 \dots n \quad (\text{GDL})$$

1. Aquí a lo siguiente:

El problema de cinemática inversa debe de resolverse en tiempo real

2. Con cierta frecuencia, podemos obtener varias soluciones, no sólo una como en el caso de la cinemática directa.

Resolución del problema cinemático inverso por métodos geométricos.

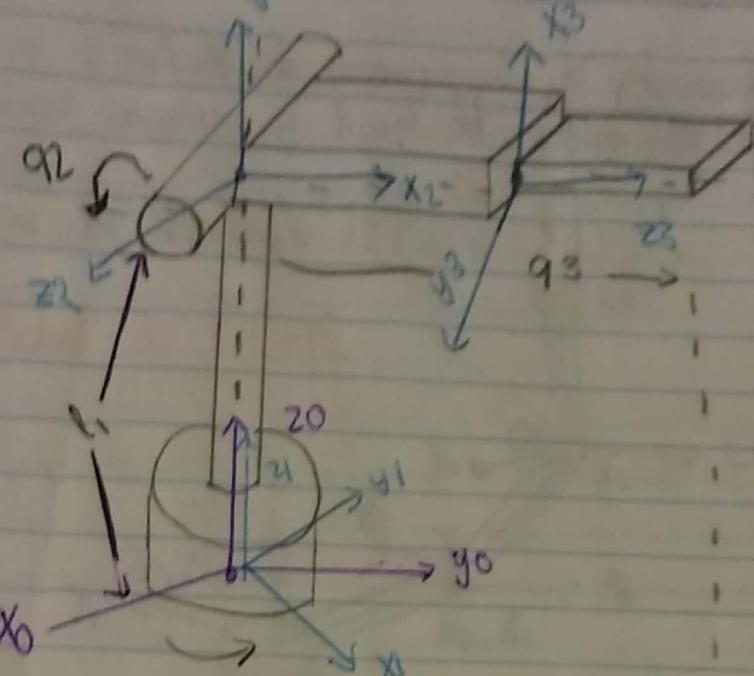
- Se suele utilizar los primeros variables articulares.
- Usar de relaciones geométricas y trigonométricas.

Jacobiana analítica.

Supóngase conocido la posición (x, y, z) del extremo del robot así como su orientación, definida por los procedimientos.

Eje: los ángulos de Euler WWR (θ, ϕ, ψ). La Jacobiana analítica relaciona las velocidades articulares ($\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n$) con las velocidades de localización (posición y orientación) del extremo del robot ($\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, \dot{\theta}, \dot{\phi}, \dot{\psi}$)

Jessica Noyeli Lorada C.



i	a_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i	d_i	α_i
1	0	0	0	q_1	0	0
2	0	-90	0	0	q_2	0
3	0	90	q_3	0	0	90

$$T_3^o = T_1^o \ T_2^o \ T_3^2$$

Matriz homogénea

$$T_i^o = \begin{bmatrix} \cos q_i & -\sin q_i & 0 & 0 \\ \sin q_i & \cos q_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_2^o = \begin{bmatrix} c_{q_2} & 0 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s_{q_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

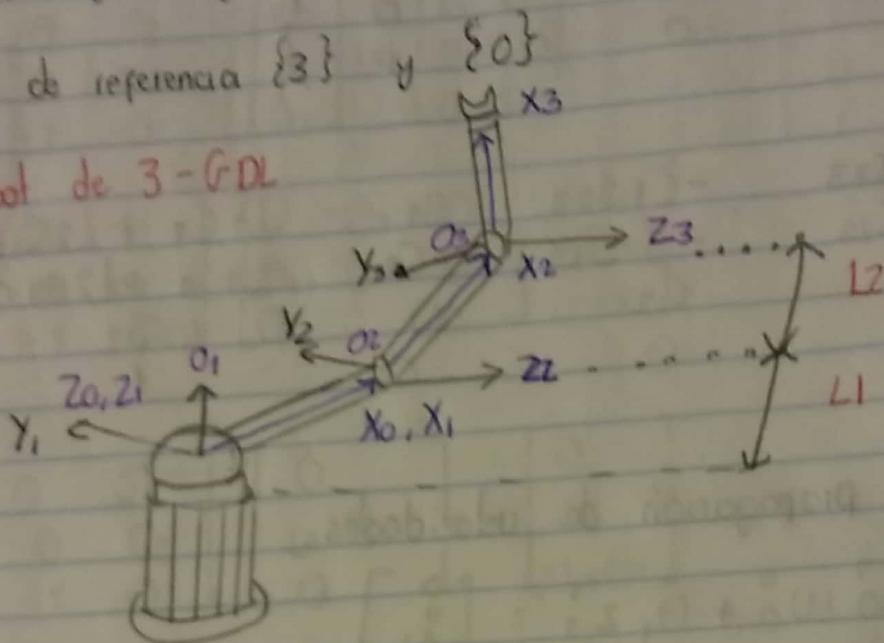
Ejemplo 4.5

Aplicar el método de propagación de velocidades para determinar la velocidad angular y lineal del manipulador mostrado en la fig.

figura 19

Sistema de referencia $\{3\}$

Robot de 3-GDL



Parámetros DH.

i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	0	θ_1
2	90°	L^1	0	θ_2
3	0	L^2	0	θ_3

Matriz de transformación homogénea.

$$T_1^0 = \begin{Bmatrix} c_1 & -s_1 & 0 & 0 \\ s_1 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \quad T_2^1 = \begin{Bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & L^1 \\ s_2 & c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

$$T_3^2 = \begin{Bmatrix} c_3 & -s_3 & 0 & L^2 \\ s_3 & c_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

Jesús Noyola Landa Central

3 Mayo 2018

$$T_2^{\circ} = \begin{Bmatrix} C_1 C_2 & -C_1 S_2 & S_1 & L_1 C_1 \\ S_1 C_2 & -S_1 S_2 & C_1 & L_1 S_1 \\ S_2 & C_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

$$T_3^{\circ} = \begin{Bmatrix} C_1 C_{23} & -C_1 S_{23} & S_1 & L_1 C_1 + L_2 C_1 C_2 \\ S_1 C_{23} & -S_1 S_{23} & -C_1 & L_1 S_1 + L_2 S_1 C_1 \\ S_{23} & C_{23} & 0 & L_2 S_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

Método de propagación de velocidades.

i=0

$$\omega_1^1 = R_0^1 \omega_0^0 + \dot{\theta}_1 z_1^1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$v_1^1 = R_0^1 v_0^0 + R_0^1 (\omega_0^0 \times r_1^0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

i=1.

$$\omega_2^2 = R_1^2 \omega_1^1 + \dot{\theta}_2 z_2^2$$

$$= \begin{bmatrix} C_2 & 0 & S_2 \\ -S_2 & 0 & C_2 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} + \dot{\theta}_2 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_2 \dot{\theta}_1 \\ C_2 \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix}$$

Jesica Nayeli Lozada Canizal.

$$\mathbf{v}_2^2 = R_1^2 \mathbf{v}_1^2 + R_1^2 [\omega_1^2 \times \mathbf{r}_2^1]$$

$$= \begin{bmatrix} C_2 & 0 & S_2 \\ -S_2 & 0 & C_2 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} L_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} C_2 & 0 & S_2 \\ -S_2 & 0 & C_2 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\theta}_1 & 0 \\ \dot{\theta}_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} C_2 & 0 & S_2 \\ -S_2 & 0 & C_2 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ L_1 \dot{\theta}_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -L_1 \dot{\theta}_1 \end{bmatrix}$$

Se hizo uso de la matriz antisimétrica para obtener el producto cruz, es decir, se empleó $S(\omega_1) \mathbf{r}_2^1 = \omega_1^1 \times \mathbf{r}_2^1$

$i=2$,

$$\omega_3^3 = R_2^3 \omega_2^2 + \dot{\theta}_2 z_3^3$$

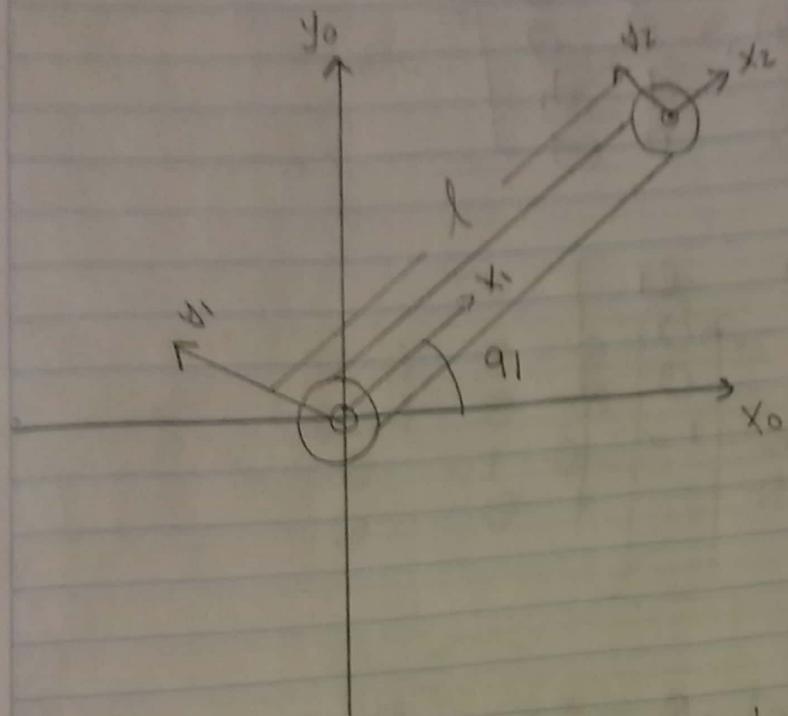
$$= \begin{bmatrix} C_3 & S_3 & 0 \\ -S_3 & C_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_2 \dot{\theta}_1 \\ C_2 \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 [S_2 C_3 + C_2 S_3] \\ \dot{\theta}_1 [C_2 C_3 - S_2 S_3] \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 S_{23} \\ \dot{\theta}_1 C_{23} \\ \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 \end{bmatrix}$$

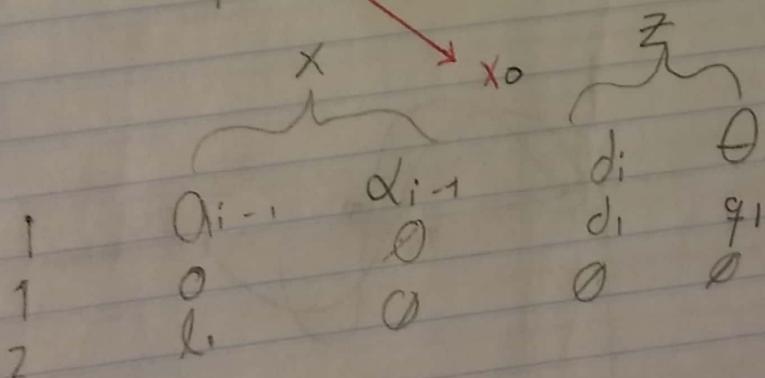
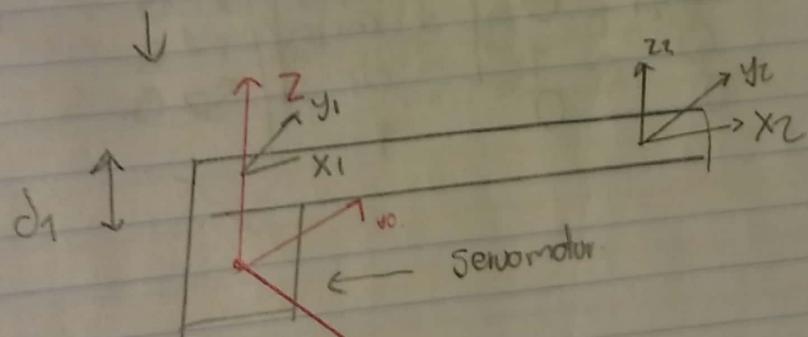
Pendulo

4 Mayo 2019

Cuadrante I



$$q_1 = 0 = \text{home}$$



Jessica Nayeli Lorado Canizal

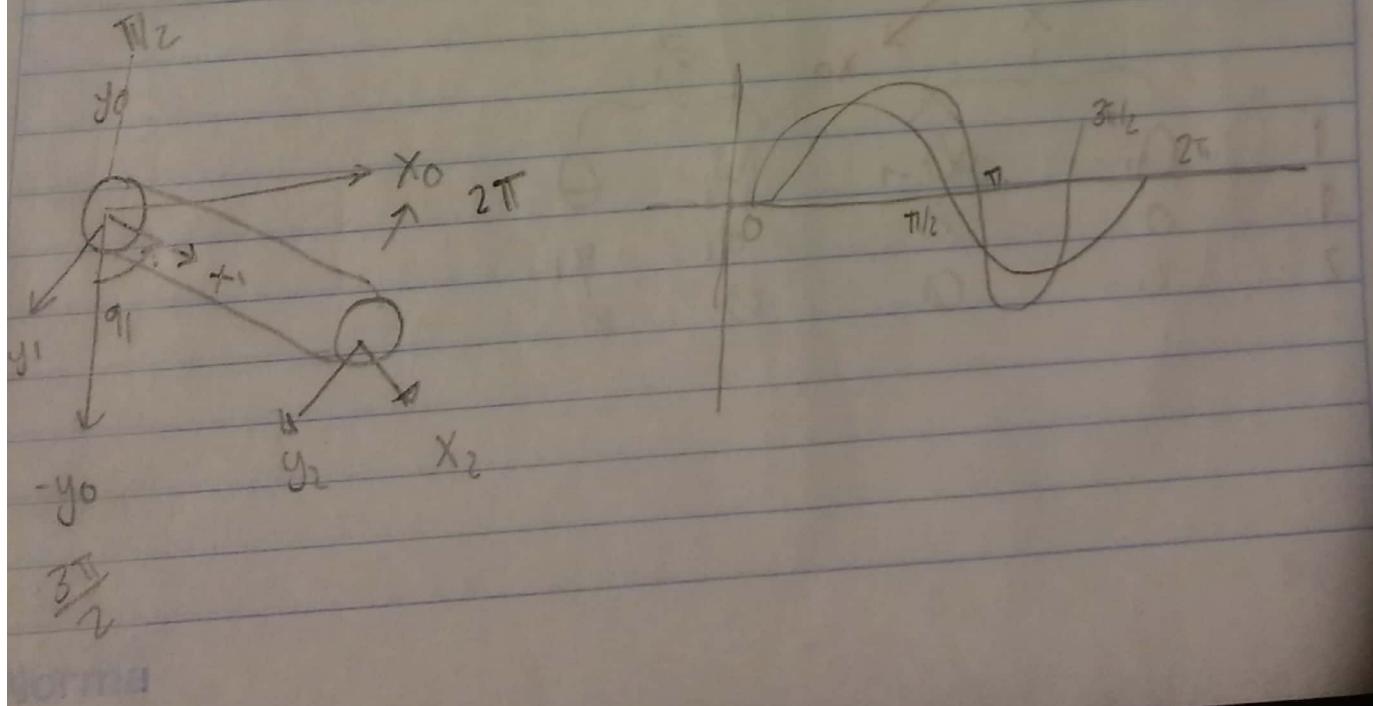
x y z p

$$T_0 = \begin{bmatrix} c(q_1) & -\sin(q_1) & 0 & 0 \\ s(q_1) & \cos(q_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Homogénea:

$$T_0^2 = \begin{bmatrix} C(q_1) & -S(q_1) & 0 & [l_C(q_1)] \\ S(q_1) & C(q_1) & 0 & [l_S(q_1)] \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} x \\ y \\ z \end{matrix}$$

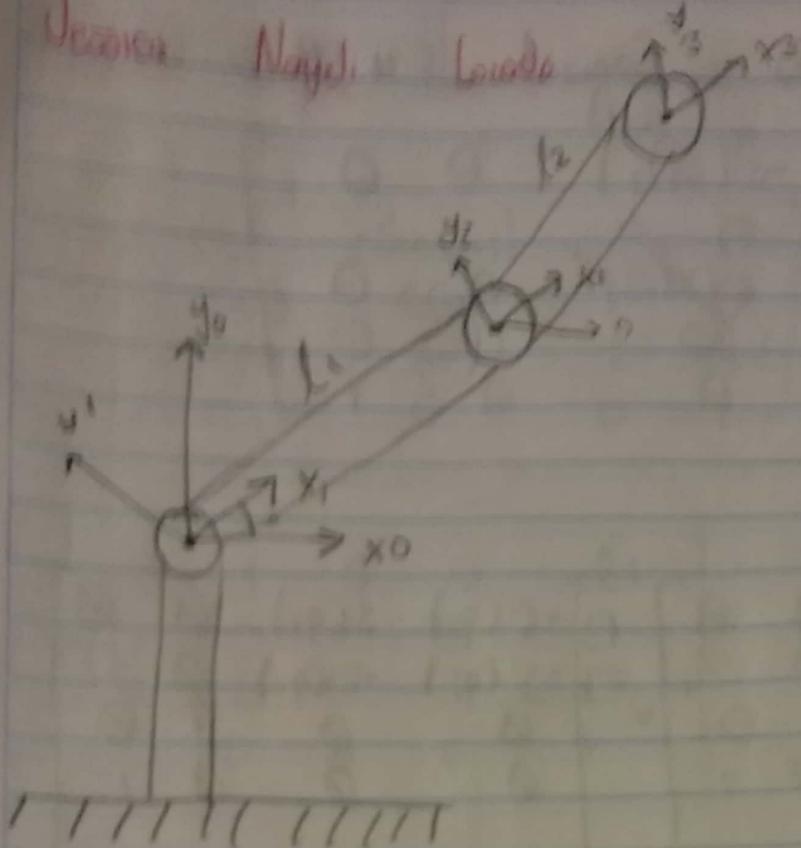


Jessica Nayeli Lozano Conzal 4 March 2019

$$T_0^{(q_1)} = \begin{bmatrix} 0 & C(q_1) & -S(q_1) & 0 & 0 \\ S(q_1) & 0 & C(q_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} C(q_1) & -S(q_1) & 0 & 0 \\ S(q_1) & 0 & C(q_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -C(q_1) & S(q_1) & 0 & 0 \\ -S(q_1) & -C(q_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_1^2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



i	a_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	0	q_1
2	l_1	0	0	q_2
3	l_2	0	0	0

$$T_0^1 = \begin{bmatrix} c(q_1) & -s(q_1) & 0 & 0 \\ s(q_1) & c(q_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_1^2 = \begin{bmatrix} c(q_2) & -s(q_2) & 0 & l_1 \\ s(q_2) & c(q_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Jessica

Nayeli

Loreada

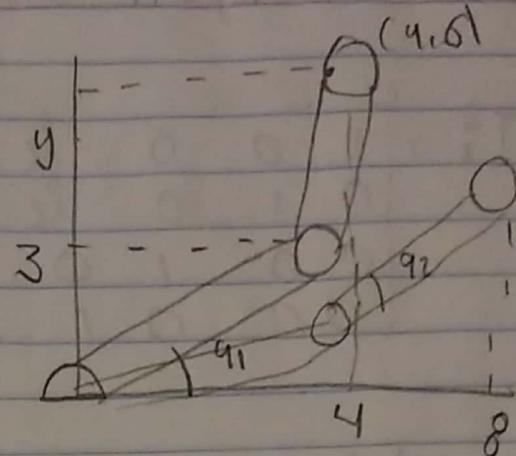
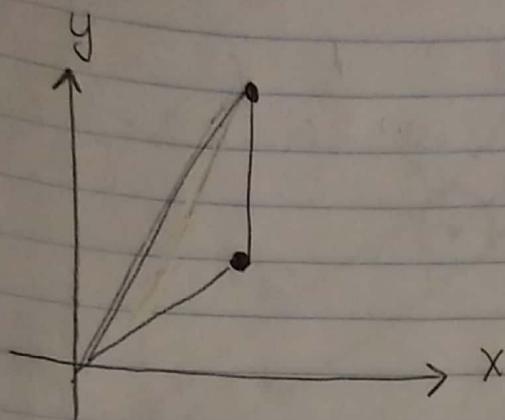
6 Mayo 2019

$$T_2^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_2 \\ 0 & 1 & 0 & l_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_0^3 = \begin{bmatrix} Cq_1 + q_2 & -Sq_2 + q_1 & 0 & l_1 Cq_1 + l_2 Cq_1 + q_2 \\ Sq_1 + q_2 & Cq_1 + q_2 & 0 & l_2 Sq_1 + l_2 Cq_1 + q_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

19.- Marzo - 2019

⑧



$$\begin{bmatrix} y \\ x \end{bmatrix} = f_R(q) = \begin{bmatrix} l_1 \cos(q_1) + l_2 \cos(q_1 + q_2) \\ l_1 \sin(q_1) + l_2 \sin(q_1 + q_2) \end{bmatrix}$$

$$q_2 = \arctan \left(\frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_2} \right)$$

$$q_1 = \arctan \left(\frac{y}{x} \right) - \arctan \left(\frac{l_2 \sin(q_2)}{l_1 + l_2 \cos(q_2)} \right)$$

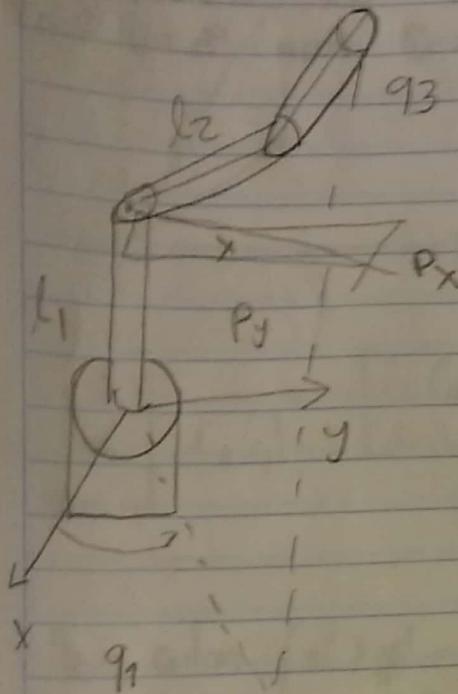
ecuación diferencial $\frac{d}{dx} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \frac{\partial f_r(q)}{\partial(q)} \pm (q) \cdots$

$$\frac{\partial}{\partial(q)} f_r(q) = \begin{bmatrix} -l_1 \sin(q_1) - l_2 \sin(q_1 + q_2) & -l_2 \sin(q_1 + q_2) \\ l_1 \cos(q_1) + l_2 \cos(q_1 + q_2) & l_2 \cos(q_1 + q_2) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -l_1 \sin(q_1) - l_2 \sin(q_1 + q_2) & -l_2 \sin(q_1 + q_2) \\ l_1 \cos(q_1) + l_2 \cos(q_1 + q_2) & l_2 \cos(q_1 + q_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix}$$

Jessica N.

28 Marzo 19



$$q_1 = \arctan \left(\frac{P_y}{P_x} \right)$$

$$\cos q_3 = P_x^2 + P_y^2 + P_z^2 / l^2 + l_3^2$$

$$\sin q_3 = \pm \sqrt{1 - \cos^2 q_3}$$

$$q_3 = \arctan \left(\pm \sqrt{\frac{1 - \cos^2 q_1}{\cos q_3}} \right)$$

$$\text{Para } q_2 \quad q_2 = \beta - \alpha$$

$$\beta = \arctan \left(\frac{P_z}{P_y} \right)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{P_z}{\pm \sqrt{P_x^2 + P_y^2}} \\ &\approx \end{aligned}$$

$$\alpha = \arctan \left(\frac{l_3 \sin q_1}{l_1 + l_3 \cos q_1} \right)$$

$$q_2 = \arctan \left(\frac{P_z}{\pm \sqrt{P_x^2 + P_y^2}} \right)$$

$$= \arctan \left(\frac{l_3 \sin q_3}{l_2 + l_3 \cos q_3} \right)$$

Norma

$$A_1^o = \begin{bmatrix} C_{q_1} & 0 & -S_{q_1} & 0 \\ S_{q_1} & 0 & C_{q_1} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2^1 = \begin{bmatrix} C_{q_2} & 0 & -S_{q_1} & 0 \\ S_{q_2} & 0 & C_{q_2} & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_3^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & q_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_3^o = A_1^o A_2^1 A_3^2$$

$$(A_1^o)^{-1} T_n^o = A_2^1 A_3^2 \rightarrow \text{Despejamos } q_1$$

$$(A_1^o)^{-1} T_n^o = A_2^1 A_3^2 \rightarrow \begin{bmatrix} C_{q_1} & 0 & S_{q_1} & 0 \\ S_{q_1} & 0 & C_{q_1} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} h_x & \alpha_x & \alpha_x & p_x \\ h_y & \alpha_y & \alpha_y & p_y \\ h_z & \alpha_z & \alpha_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} C_{q_2} & 0 & -S_{q_2} & 0 \\ S_{q_2} & 0 & C_{q_2} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & q_3 \\ 0 & 0 & 0 & q_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} C_{q_1} & S_{q_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & L_1 \\ -S_{q_1} & C_{q_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_x & \alpha_x & \alpha_x & p_x \\ h_y & \alpha_y & \alpha_y & p_y \\ h_z & \alpha_z & \alpha_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{q_2} & 0 & S_{q_2} & S_{q_3} q_3 \\ S_{q_2} & 0 & -C_{q_2} & -C_{q_2} q_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$-p_x S_{q_1} + p_y C_{q_1} = 0 \Rightarrow \frac{S_{q_1}}{C_{q_1}} = \frac{p_y}{p_x} \Rightarrow q_1 = \arctan\left(\frac{p_y}{p_x}\right)$$

Práctica 3

Jessica

Nayeli Lozada Contreras

8 Abril 2019.

Paquetes de ROS para brazo anthropomórfico.

Modo paquete 1 - open-manipulator (kinetic).

Paquetes:

- Open-manipulator control_gui
- Open-manipulator controller
- Open-manipulator description
- Open-manipulator lb
- Open-manipulator description
- Open-manipulator moveit
- Open-manipulator teleop

Modo paquete 2: rosserial (kinetic)

Paquetes:

- rosserial client
- rosserial python
- rosserial msgs
- rosserial mbed

Modo paquete 3: Universal-robot (kinetic)

Paquetes:

- Universal_robot

paquete 1: riviz (kinetic)

paquete 2: urdf (kinetic),