UNR - FCEIA

Robótica Móvil

Trabajo Práctico N° 1: Transformaciones

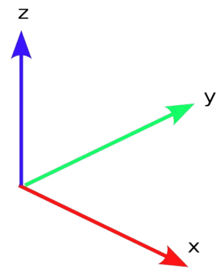
Santiago Có, Spoletini Bruno

Trabajo Práctico N° 1
Transformaciones

Santiago Có, Spoletini Bruno 23 de septiembre de 2025

Ejercicio 1

Tenemos un sistema de coordenads inicial de un robot movil representado por el siguiente gráfico

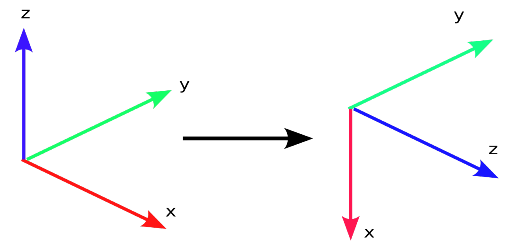


También se puede representar con la siguiente matriz

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Subíndice A

Dado el sistema de coordenadas inicial, en un principio aplicamos la rotación $R_y(90)$



Lo cual nos da la siguiente matriz

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

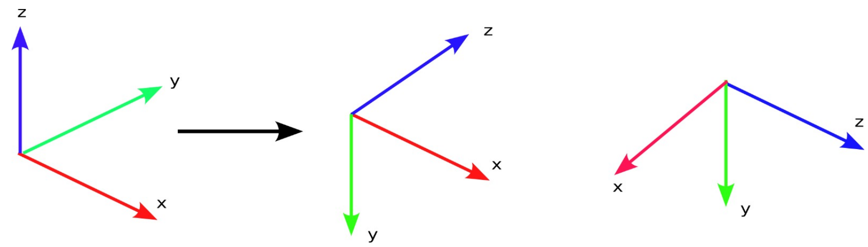
Que coincide con la matriz de rotación de $R_y(90)$

Subíndice B

Dado el sistema de coordenadas inicial, debemos aplicar las siguientes rotaciones $R_x(-90) * R_y(90)$. El problema está en que desconocemos en qué orden aplicar las rotaciones ya que no sabemos si estamos aplicando rotaciones extrínsecas o intrínsecas.

Primero vamos a verificar si son rotaciones intrínsecas, para ello podemos comprobar si el gráfico resultante del sistema de coordenas luego de aplicar las rotaciones intrínsecas coincide con el resultado de la multiplicación de matrices en el orden de la rotación intrínseca, o sea, posmultiplicando.

El gráfico resultante es el siguiente



Lo cuál nos da la siguiente matriz

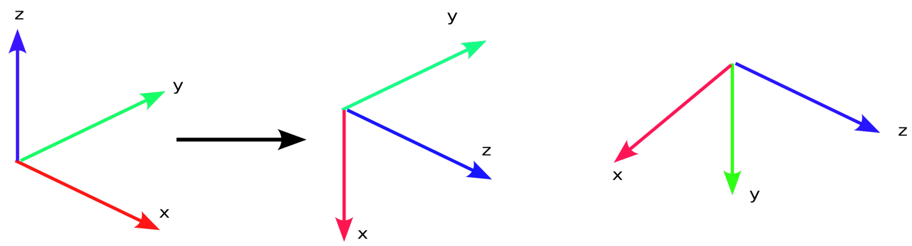
$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Posmultiplicando tenemos que

$$R_y(90) * R_x(-90) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Por lo que ambas matrices finales no coinciden, con lo cual podemos confirmar que son rotaciones extrínsecas.

Realizamos las rotaciones extrínsecas a partir del gráfico



Lo cual nos da la siguiente matriz

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

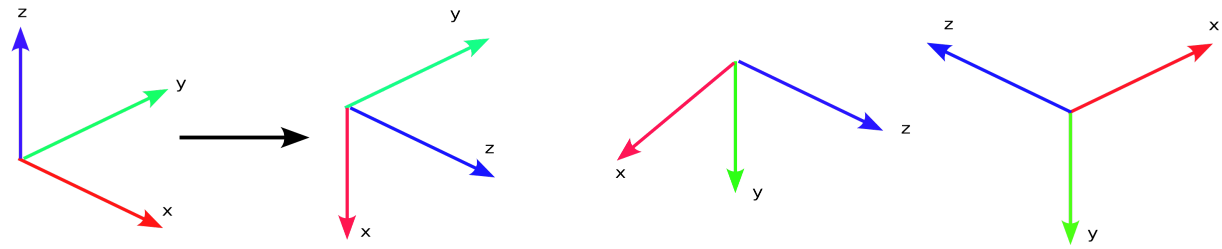
Que coincide con la matriz de rotación de $R_y(90) * R_x(-90)$, premultuplicando

$$R_x(-90) * R_y(90) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Subíndice C

A partir del apartado anterior sabemos que estamos aplicando rotaciones extrínsecas.

Realizamos las rotaciones a partir del gráfico



Lo cual nos da la siguiente matriz

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Que coincide con la matriz de rotación de $R_z(180) * R_x(-90) * R_y(90)$, premultuplicando

$$R_y(90) * R_x(-90) * R_z(180) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Ejercicio 2

Subíndice A

Calculamos cada una de las matrices de rotación sobre los ejes por separado

$$R_x\left(\frac{4\pi}{7}\right) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & cos(\frac{4\pi}{7}) & -sin(\frac{4\pi}{7}) \\ 0 & sin(\frac{4\pi}{7}) & cos(\frac{4\pi}{7}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -0{,}22 & -0{,}97 \\ 0 & 0{,}97 & -0{,}22 \end{pmatrix}$$

$$R_y\left(\frac{\pi}{2}\right) = \begin{pmatrix} cos(\frac{\pi}{2}) & 0 & sin(\frac{\pi}{2}) \\ 0 & 1 & 0 \\ -sin(\frac{\pi}{2}) & 0 & cos(\frac{\pi}{2}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R_z\left(-\frac{\pi}{3}\right) = \begin{pmatrix} cos(-\frac{\pi}{3}) & -sin(-\frac{\pi}{3}) & 0 \\ sin(-\frac{\pi}{3}) & cos(-\frac{\pi}{3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0{,}5 & 0{,}87 & 0 \\ -0{,}87 & 0{,}5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Calculamos la matriz de rotación R, son rotaciones intrínsecas, por lo que posmultiplicamos

$$R = R_x\left(\frac{4\pi}{7}\right) * R_y\left(\frac{\pi}{2}\right) * R_z\left(-\frac{\pi}{3}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R = \left[\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -0{,}22 & -0{,}97 \\ 0 & 0{,}97 & -0{,}22 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix}\right] * \begin{pmatrix} 0{,}5 & 0{,}87 & 0 \\ -0{,}87 & 0{,}5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0{,}97 & -0{,}22 & 0 \\ 0{,}22 & 0{,}97 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0{,}5 & 0{,}87 & 0 \\ -0{,}87 & 0{,}5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0{,}68 & 0{,}73 & 0 \\ -0{,}73 & 0{,}6860 & \end{pmatrix}$$

Subíndice B

Calculamos la matriz de rotación según los ángulos de Euler

$$R = R_x(\alpha) * R_y(\beta) * R_z(\gamma) =$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \sin(\beta) \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) & 0 \\ \sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ \sin(\alpha) * \sin(\beta) & \cos(\alpha) & \sin(\alpha) * \cos(\beta) \\ -\cos(\alpha) * \sin(\beta) & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) * \cos(\beta) \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) & 0 \\ \sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} \cos\beta\cos\gamma & -\cos\beta\sin\gamma & \sin\beta \\ \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma+\sin\gamma\cos\alpha & -\sin\alpha\sin\beta\sin\gamma+\cos\alpha\cos\gamma & -\sin\alpha\cos\beta \\ \sin\alpha\sin\gamma-\sin\beta\cos\alpha\cos\gamma & \sin\alpha\cos\gamma+\sin\beta\sin\gamma\cos\alpha & \cos\alpha\cos\beta \end{pmatrix}$$

Según lo obtenido por el subíndice a tenemos que

$$\begin{pmatrix} \cos\beta\cos\gamma & -\cos\beta\sin\gamma & \sin\beta \\ \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma+\sin\gamma\cos\alpha & -\sin\alpha\sin\beta\sin\gamma+\cos\alpha\cos\gamma & -\sin\alpha\cos\beta \\ \sin\alpha\sin\gamma-\sin\beta\cos\alpha\cos\gamma & \sin\alpha\cos\gamma+\sin\beta\sin\gamma\cos\alpha & \cos\alpha\cos\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0{,}68 & 0{,}73 & 0 \\ -0{,}73 & 0{,}6860 & \end{pmatrix}$$

Entonces, tenemos que $sin(\beta) = 1 \Rightarrow \beta = \arcsin(1) \Rightarrow \beta = \frac{\pi}{2}$
Con lo que $\cos(\beta) = 0$ y $\sin(\beta) = 1$
Reemplazando en R tenemos que

$$\begin{pmatrix} \cos\beta\cos\gamma & -\cos\beta\sin\gamma & \sin\beta \\ \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma+\sin\gamma\cos\alpha & -\sin\alpha\sin\beta\sin\gamma+\cos\alpha\cos\gamma & -\sin\alpha\cos\beta \\ \sin\alpha\sin\gamma-\sin\beta\cos\alpha\cos\gamma & \sin\alpha\cos\gamma+\sin\beta\sin\gamma\cos\alpha & \cos\alpha\cos\beta \end{pmatrix} =$$

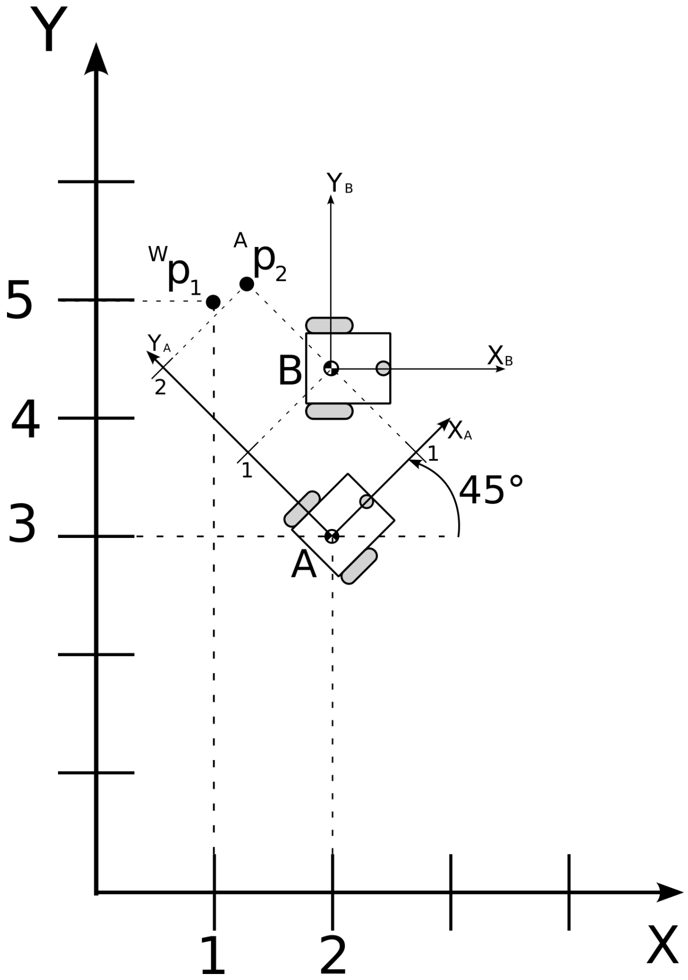
$$= \begin{pmatrix} 0*\cos\gamma & 0*\sin\gamma & 1 \\ \sin\alpha*1*\cos\gamma+\sin\gamma\cos\alpha & -\sin\alpha*1*\sin\gamma+\cos\alpha\cos\gamma & -\sin\alpha*0 \\ \sin\alpha\sin\gamma-1*\cos\alpha\cos\gamma & \sin\alpha\cos\gamma+1*\sin\gamma\cos\alpha & \cos\alpha*0 \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ \sin(\alpha+\gamma) & \cos(\alpha+\gamma) & 0 \\ -\cos(\alpha+\gamma) & \sin(\alpha+\gamma) & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0{,}68 & 0{,}73 & 0 \\ -0{,}73 & 0{,}6860 & \end{pmatrix}$$

Con lo cual $\sin(\alpha+\gamma) = 0{,}68$ y $\cos(\alpha+\gamma) = 0{,}98$. Pero acá nos encontramos con un problema, no podemos calcular α y β por separado, solo podemos obtener el ángulo de la suma $\theta = \alpha+\gamma$, o sea, hay múltiples posibles resultados que concuerdan. Esto es conocido como el problema del Gimbal Lock, al ser $\beta = \frac{\pi}{2}$ el ángulo de α no puede diferenciarse del ángulo de γ. Con lo que no se puede expresar de forma correcta el cambio con los ángulos de Euler.

Ejercicio 3

Subíndice A



Subíndice B

Sabemos que el robot A se encuentra en la posición $(2,3)$ y que tiene orientación de $45°$ en coordenadas del mundo. Para obtener los puntos de coordenadas del punto p_1 en el sistema de coordenadas de dicho robot, debemos obtener la matriz de rototraslación entre el sistema de coordenadas del mundo y el del robot A.

Primero, calculamos las matrices de rotación por 45°

$$^W R_A = R\left(\frac{\pi}{4}\right) = {}^W\begin{bmatrix} cos(\frac{\pi}{4}) & -sin(\frac{\pi}{4}) \\ sin(\frac{\pi}{4}) & cos(\frac{\pi}{4}) \end{bmatrix}_A = {}^W\begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & -\frac{\sqrt{2}}{2} \\ \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \end{bmatrix}_A$$

Ahora calculamos la matriz de traslación

$$^W t_A = {}^W r_A = {}^W\begin{bmatrix} 2 \\ 3 \end{bmatrix}_A$$

Finalmente calculamos la matriz de rototraslación

$$^{A}\xi_W = (^{W}\xi_A)^{-1} = \begin{bmatrix} (^{W}R_A)^T & -(^{W}R_A)^T * {^{W}t_A} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = {}^{A}\begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & -\frac{5\sqrt{2}}{2} \\ -\frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & -\frac{\sqrt{2}}{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_W$$

Ahora sí, obtenemos el valor del punto p_1 según el sistema de coordenas A

$$^{A}p_1 = {^{A}\xi_W} {}^{W}\begin{bmatrix} p_1 \\ 1 \end{bmatrix} = {}^{A}\begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & -\frac{5\sqrt{2}}{2} \\ -\frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & -\frac{\sqrt{2}}{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_W {}^{W}\begin{bmatrix} 1 \\ 5 \\ 1 \end{bmatrix} = {}^{A}\begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} \\ \frac{3\sqrt{2}}{2} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Entonces $^{W}p_1 = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{3\sqrt{2}}{2}\right)$

Subíndice C

Realizamos el mismo procedimiento que el ejercicio anterior pero pasando del sistema de coordenadas A a B

Obtenemos la matriz de rotación

$$^{A}R_B = R\left(-\frac{\pi}{4}\right) = {}^{A}\begin{bmatrix} cos(-\frac{\pi}{4}) & -sin(-\frac{\pi}{4}) \\ sin(-\frac{\pi}{4}) & cos(-\frac{\pi}{4}) \end{bmatrix}_B = {}^{A}\begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ -\frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \end{bmatrix}_B$$

Calculamos la matriz de traslación

$$^{A}t_B = {}^{A}\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}_B$$

Finalmente calculamos la matriz de rototraslación

$$^{B}\xi_A = (^{A}\xi_B)^{-1} = \begin{bmatrix} (^{A}R_B)^T & -(^{A}R_B)^T * {^{A}t_B} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = {}^{B}\begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & -\frac{\sqrt{2}}{2} & 0 \\ \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & -\sqrt{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_A$$

Ahora sí, obtenemos el valor del punto p_2 según el sistema de coordenas B

$$^{B}p_2 = {^{B}\xi_A} {}^{A}\begin{bmatrix} p_2 \\ 1 \end{bmatrix} = {}^{B}\begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & -\frac{\sqrt{2}}{2} & 0 \\ \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & -\sqrt{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_A {}^{A}\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = {}^{B}\begin{bmatrix} -\frac{\sqrt{2}}{2} \\ \frac{\sqrt{2}}{2} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Entonces $^{B}p_2 = \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2}\right)$

Subíndice D

Sabemos que pose del robot B con respecto al sistema de coordenadas del robot A es

$$^{A}\xi_B = {}^{A}\begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & 1 \\ -\frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_B$$

También que

$$ {}^{W}\xi_A = {}^{W}\begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & -\frac{\sqrt{2}}{2} & 1 \\ \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & 5 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_A $$

Luego, sabemos que

$$ {}^{W}\xi_B = {}^{W}\xi_A\,{}^{A}\xi_B = \begin{bmatrix} {}^{W}R_A * {}^{A}R_B & {}^{W}t_A + {}^{W}R_A * {}^{A}t_B \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = {}^{W}\begin{bmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 3+\sqrt{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_B $$

Ejercicio 4

Subíndice A

Para un punto del camino i, tenemos ${}^{C_0}\xi_{C_i}$, necesitamos saber ${}^{W}\xi_{C_i}$

En un principio, pasamos el pose de C_i segun C_0 al sistema de coordenadas de B_0.

Como la posición de la cámara es fija con respecto al posicionamiento del robot, para cada posición i del robot ${}^{B_i}\xi_{C_i}$, o sea, ${}^{B}\xi_C = {}^{B_1}\xi_{C_1} = {}^{B_2}\xi_{C_2} = \ldots = {}^{B_i}\xi_{C_i}$

Realizamos el calculo

$$ {}^{B_0}\xi_{C_i} = {}^{B_i}\xi_{C_i}\,{}^{C_0}\xi_{C_i} = {}^{B}\xi_C\,{}^{C_0}\xi_{C_i} $$

Finalmente, lo pasemos al sistema de W

$$ {}^{W}\xi_{C_i} = {}^{W}\xi_{B_0}\,{}^{B_0}\xi_{C_i} $$

Quedandonos

$$ {}^{W}\xi_{C_i} = {}^{W}\xi_{B_0}\,{}^{B}\xi_C\,{}^{C_0}\xi_{C_i} $$

Subíndice B

Debemos realizar el mismo procedimiento que el apartado anterior, pero ahora necesitamos obtener la pose de B_i, según el sistema de coordenadas del mundo, o sea, ${}^{W}\xi_{B_i}$

Como ya mencionamos, la posición de la cámara es fija con respecto al robot, entonces para cierta posición i, tenemos

$$ {}^{C_i}\xi_{B_i} = ({}^{B_i}\xi_{C_i})^{-1} = ({}^{B}\xi_C)^{-1} = {}^{C}\xi_B $$

Con lo cual podemos aplicar la pose obtenida en el apartado anterior

$$ {}^{W}\xi_{B_i} = {}^{W}\xi_{C_i}\,{}^{C_i}\xi_{B_i} = {}^{W}\xi_{C_i}\,{}^{C}\xi_B $$

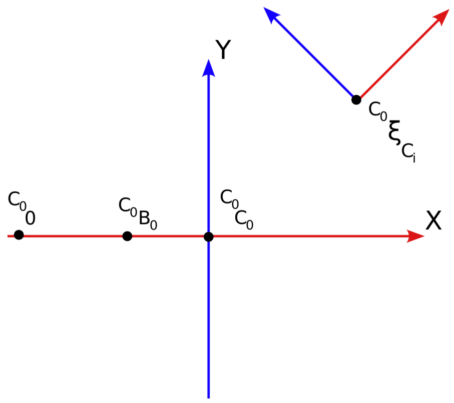
Quedandonos

$$ {}^{W}\xi_{B_i} = {}^{W}\xi_{B_0}\,{}^{B}\xi_C\,{}^{C_0}\xi_{C_i}\,{}^{C}\xi_B $$

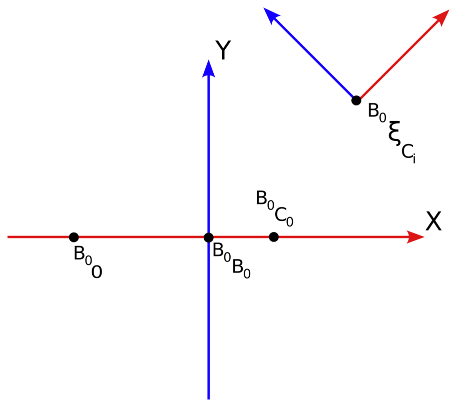
Subíndice C

Apartado A

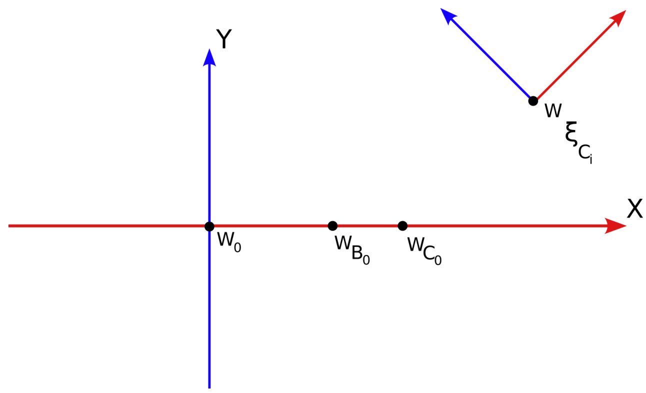
Primero tenemos la pose de C_i según el sistema de coordenadas de C_0



Luego, obtenemos la pose de C_i según el sistema de coordenadas de B_0, ${}^{B_0}\xi_{C_i} = {}^{B}\xi_{C}\,{}^{C_0}\xi_{C_i}$

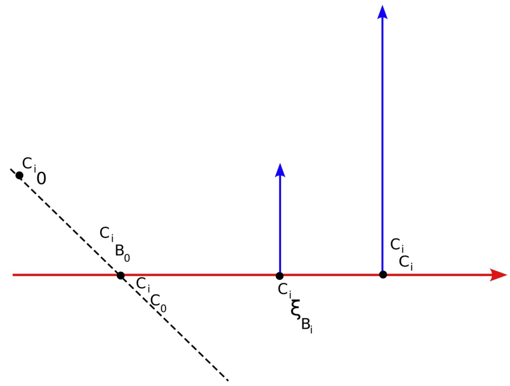


Finalmente, obtenemos la pose de C_i según el sistema de coordenadas de W, ${}^{W}\xi_{C_i} = {}^{W}\xi_{B_0}\,{}^{B_0}\xi_{C_i}$

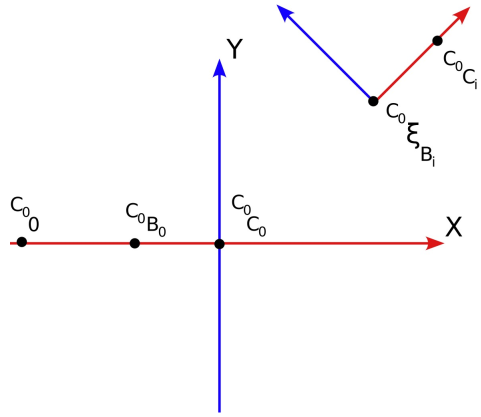


Apartado B

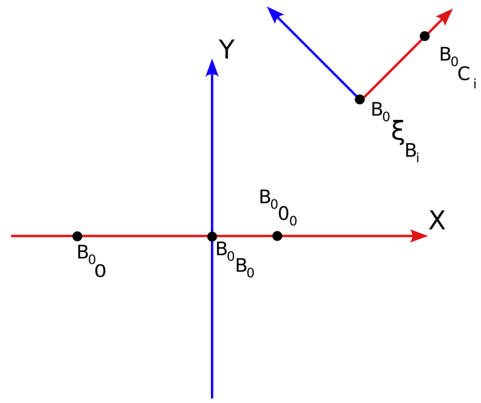
Primero tenemos la pose de B_i según el sistema de coordenadas de C_i



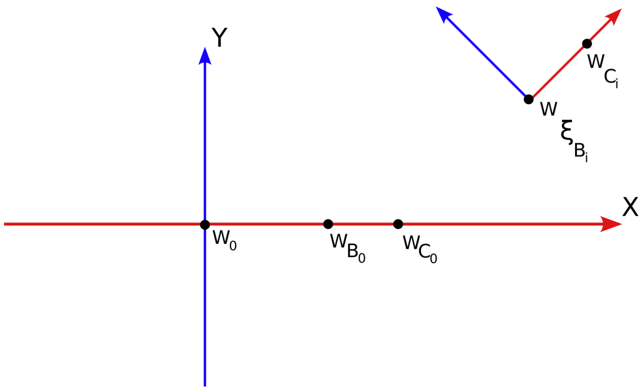
Luego, obtenemos la pose de B_i según el sistema de coordenadas de C_0, ${}^{C_0}\xi_{B_i} = {}^{C_0}\xi_{C_i}\,{}^{C_i}\xi_{B_i}$



Aparte, obtenemos la pose de B_i según el sistema de coordenadas de B_0, ${}^{B_0}\xi_{B_i} = {}^{B}\xi_{C}\,{}^{C_0}\xi_{B_i}$



Finalmente, obtenemos la pose de B_i según el sistema de coordenadas de W, ${}^{W}\xi_{B_i} = {}^{W}\xi_{B_0}\,{}^{B_0}\xi_{B_i}$



Ejercicio 5

Subíndice A

El ground-truth original del dataset está expresado en el sistema de coordenadas de la IMU (Body). Para obtener la trayectoria de la cámara izquierda en su propio sistema de coordenadas inicial, es necesario aplicar la rototraslación provista en el archivo `sensor.yaml`.

La matriz de rototraslación del sensor de la cámara izquierda del robot al cuerpo del robot está dada por:

$$ {}^{B_0}\xi_S = \begin{bmatrix} 0{,}0148 & -0{,}999 & 0{,}004 & -0{,}021 \\ 0{,}999 & 0{,}0149 & 0{,}0257 & -0{,}064 \\ -0{,}025 & 0{,}003 & 0{,}999 & 0{,}009 \\ 0{,}0 & 0{,}0 & 0{,}0 & 1{,}0 \end{bmatrix} $$

La pose de la IMU en cada instante i se representa como:

$$ {}^{\mathbf{B_i}}\xi_{B_0} = \begin{bmatrix} {}^{\mathbf{B_i}}R_{B_0} & {}^{\mathbf{B_i}}p_{B_0} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} $$

Cada pose del robot se extrae del archivo de entrada y contiene los siguientes datos:

$$ \text{pose} = (\text{timestamp}, x, y, z, q_w, q_x, q_y, q_z) $$

donde (x, y, z) es la posición del robot en el sistema de coordenadas de la IMU (body) y (q_w, q_x, q_y, q_z) es el cuaternión que representa la orientación.

Se calcula la matriz de rotación R_B a partir del cuaternión:

$$ R_B = \text{quat2mat}(q_B) $$

y se construye la matriz de rototraslación ${}^{B_0}\xi_{B_i}$:

$$ {}^{B_0}\xi_{B_i} = \begin{bmatrix} R_B & p_B \\ 0 & 1 \end{bmatrix} $$

donde $p_B = [x, y, z]^T$.

Se calcula la matriz de transformación del sistema de coordenadas del body al sistema de la cámara:

$$^S\xi_{B_i} = {}^S\xi_{B_0} \cdot {}^{B_0}\xi_{B_i}$$

donde $^S\xi_{B_0}$ es la transformación conocida del body al sensor.

A partir de $^S\xi_{B_i}$, se extraen:

- La posición p_S:

$$p_S = {}^S\xi_{B_i}[:3, 3]$$

- La orientación R_S:

$$R_S = {}^S\xi_{B_i}[:3, :3]$$

  que se convierte a cuaternión q_S:

$$q_S = \text{mat2quat}(R_S)$$

Finalmente, se guarda la información transformada en el arreglo de salida:

$$\text{output} = (\text{timestamp}, p_{S_x}, p_{S_y}, p_{S_z}, q_{S_w}, q_{S_x}, q_{S_y}, q_{S_z})$$

Subíndice B

timestamp	x	y	z	qw	qx	qy	qz
1403636580.838555574	4.6883	-1.7869	0.7833	0.5341	-0.1530	-0.8274	-0.0822
1403636580.843555212	4.6882	-1.7868	0.7873	0.5346	-0.1530	-0.8270	-0.0829
1403636580.848555565	4.6880	-1.7866	0.7914	0.5352	-0.1529	-0.8266	-0.0836
1403636580.853555441	4.6879	-1.7864	0.7954	0.5357	-0.1529	-0.8261	-0.0844
1403636580.858555555	4.6877	-1.7862	0.7995	0.5362	-0.1528	-0.8257	-0.0852

Cuadro 1: Primeras 5 filas del ground-truth original

timestamp	x	y	z	qw	qx	qy	qz
1403636580.838555574	-1.6714	-4.7323	0.7485	0.3153	-0.6846	-0.4869	-0.4413
1403636580.843555212	-1.6714	-4.7321	0.7525	0.3152	-0.6843	-0.4867	-0.4422
1403636580.848555565	-1.6713	-4.7319	0.7565	0.3150	-0.6840	-0.4864	-0.4431
1403636580.853555441	-1.6712	-4.7318	0.7606	0.3149	-0.6836	-0.4862	-0.4440
1403636580.858555555	-1.6711	-4.7316	0.7646	0.3147	-0.6833	-0.4859	-0.4450

Cuadro 2: Primeras 5 filas del ground-truth resultante

Subíndice C

Para obtener la trayectoria del sensor cámara izquierda en el sistema de coordenadas del ground truth original, se aplica la siguiente transformación a cada pose del robot:

$$p_S = R_B \cdot {}^S t_B + p_B$$

Donde:

- p_C: Posición de la cámara en el sistema de coordenadas del ground truth original.
- R_B: Matriz de rotación de la pose del robot
- t_{SB}: Vector de traslación del sistema de coordenadas del body al sistema de coordenadas de la cámara. Es la columna de traslación de la matriz T_{SB}.
- p_B: Posición del body en el sistema de coordenadas del ground truth original.