

# Programación de un brazo robótico para la generación de manuscritos

José J. Quintana<sup>\*a</sup>, Moises Diaz<sup>b,c</sup>, Miguel A. Ferrer<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Departamento de ingeniería Electrónica y Automática, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria,

<sup>b</sup>Departamento de Señales y Comunicaciones, Instituto para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación en Comunicaciones IDETIC, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

<sup>c</sup>Universidad del Atlantico Medio, Las Palmas de Gran Canaria

## RESUMEN

La docencia de las asignaturas de robótica, presta una gran atención a los sistemas de referencia. Los alumnos deben saber cómo representar la posición y orientación de un sistema respecto a otro. Para que los alumnos capten el concepto de los distintos sistemas de referencia y de su representación se pueden utilizar software de simulación como Matlab. Pero la experiencia demuestra que el uso de un robot plantea varias ventajas respecto al método de programas de simulación. Por una parte, el hacer que el robot haga algo que ha sido programado por los alumnos, hace que estos tengan una gran satisfacción personal, al tiempo que hace que los conceptos se adquieran más fácilmente.

En este artículo se ha diseñado y comprobado una práctica en la que se combina la escritura de una firma en una tableta digitalizadora, el cambio de formato de ésta para que pueda ser implementada en un robot comercial, la escritura por parte del robot en la tableta y finalmente, se comparará la firma original y la realizada por el robot dando una medida de similitud.

**Palabras clave:** Robótica, Sistemas de referencia, prácticas, firmas.

## 1. INTRODUCCIÓN

La asignatura de robótica es fundamental en el grado de Ingeniería Electrónica y Automática. De esta asignatura se espera que el alumno adquiera la competencia de conocimientos de principios y aplicaciones de los sistemas robotizados. Por otro lado, de acuerdo a [1, 2] la motivación en el proceso de aprendizaje y enseñanza universitario es necesaria para un ágil desarrollo excelente de las competencias.

Debido a ello, en este artículo se discute una práctica piloto de robótica de innovación docente. El siguiente artículo cuenta con dos contribuciones principales:

- El uso de un brazo robótico real en la asignatura frente al uso de simuladores virtuales. Esto permite que el alumno pueda transferir los conceptos teóricos aprendidos en clase a un entorno de trabajo real.
- Para favorecer la motivación, el objetivo final de la práctica es resolver un problema: la generación de un texto manuscrito con la propia letra del alumno.

Para satisfacer ambas contribuciones, en la práctica propuesta el estudiante primero realizará un manuscrito (p.e. una palabra, una frase o una firma) en una tableta digitalizadora, la cual estará conectada a un ordenador. A continuación, con el fichero generado por la tarjeta, se cambiará su formato para ser implementado en el controlador del robot. Seguidamente, el robot escribirá la firma sobre la misma tableta digitalizadora ubicada en su zona de escritura. Finalmente, se comparará el manuscrito original y la realizada por el robot dando una medida de similitud.

Con esta práctica los alumnos trabajarán las competencias relacionadas con la posición y orientación de sistemas de referencia, también trabajarán competencias de programación ya que deberán realizar el programa para el cambio de coordenadas y la generación del programa a implementar en el robot. También tendrán que realizar el programa del robot y finalmente comprobar con métodos informáticos y visuales la similitud del manuscrito original y el realizado por el robot.

Este artículo está organizado de la siguiente manera. La sección 2 explica los conceptos básicos para la programación de un brazo robótico. La sección 3 muestra el registro de manuscrito del alumno. La sección 4 muestra un estudio piloto realizado en el laboratorio. Finalmente, el artículo se cierra con la discusión y conclusiones en la sección 5.

## 2. PROGRAMACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO

En este apartado se describirán los conocimientos necesarios para que los datos adquiridos por la tableta digitalizadora puedan ser programados en el robot comercial ABB IRB 120.

### 2.1 Sistemas de representar la posición y orientación de dos sistemas de referencia

Tanto en robótica como en otros campos de la ciencia donde se debe representar tanto la posición y orientación de dos sistemas de referencia, es muy usual utilizar las matrices de transformación homogénea [3, 4].

Si se tiene un sistema de referencia  $S_0$  ( $O_0XYZ$ ) y se quiere conocer la posición y orientación de otro sistema  $S_1$  ( $O_1UVW$ ) respecto al primero, tal como se muestra en la figura 1.

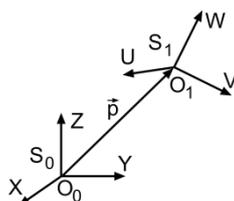


Figura 1. Sistemas de referencia  $S_0$  y  $S_1$

Una manera de hacerlo es utilizando matrices de transformación homogénea, que tienen el siguiente formato.

$${}^0T_1 = \begin{pmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Donde  ${}^0T_1$  representa la matriz de transformación homogénea que relaciona el sistema  $S_1$  tomando como base el sistema  $S_0$ . Esta matriz, proporciona la orientación de cada uno de los ejes y la posición del sistema de referencia  $S_1$  respecto al sistema de la base  $S_0$ . La dirección del eje  $O_1U$  del sistema de referencia  $S_1$  viene dada por el vector  $\mathbf{n}=(n_x, n_y, n_z)$ , la del eje  $O_1V$  por el vector  $\mathbf{o}$  y la del eje  $O_1W$  por el vector  $\mathbf{a}$ . Estos tres vectores son vectores directores de módulo unidad y forman una terna ortonormal. Por otra parte, el vector  $\mathbf{p}$  indica la posición del sistema  $S_1$  respecto al  $S_0$ .

La orientación del sistema  $S_1$  respecto al sistema  $S_0$ , viene dada por los vectores  $\mathbf{n}$ ,  $\mathbf{o}$  y  $\mathbf{a}$ . Otra manera de representar la orientación es mediante los cuaternios, estos se basan en que la orientación del sistema  $S_1$  se puede obtener girando sobre un vector  $\mathbf{v}$  un ángulo  $\theta$  a partir del sistema  $S_0$ . Este es el método preferido por los robots ABB para representar su orientación. El cuaternio tiene cuatro componentes cuya relación con el vector  $\mathbf{v}$  y con el ángulo  $\theta$  viene dada por

$$Q = rot(\mathbf{v}, \theta) = \left( \cos\left(\frac{\theta}{2}\right), \text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right)\mathbf{v} \right) \quad (2)$$

Los alumnos disponen de las herramientas necesarias para obtener el cuaternio correspondiente a una matriz de transformación homogénea y viceversa.

## 2.2 Sistemas de referencia

A la hora de que se dibuje la firma que se ha digitalizado en la tableta, es fundamental tener claros los sistemas de referencia con los que se va a trabajar.

Los sistemas de referencia utilizados se muestran en la figura 2. Por una parte se tiene el sistema de referencia de la tableta  $S_T$ , a este sistema de referencia estarán referidos los ficheros de firmas generados por la tableta digitalizadora. Por otra, se tiene el sistema de referencia del robot  $S_R$  al que irán referidos todos los puntos que vayan a ser dibujados por éste. Y por último el sistema de referencia del bolígrafo  $S_b$ , que indica la posición y dirección de la punta del bolígrafo.

La posición y orientación del sistema  $S_b$  respecto al sistema de referencia de la tableta  $S_T$  viene dado por el fichero de firmas. Por otra parte, la posición del sistema de referencia  $S_b$  respecto al sistema  $S_R$  es el que va a definir en cada momento la posición deseada del bolígrafo con respecto a la base del robot.

Estos sistemas de referencia están relacionados de la siguiente manera. El sistema de la tableta  $S_T$  respecto al robot es fijo y viene dada por la siguiente matriz de transformación homogénea cuyo formato es conocido por los alumnos,

$${}^R T_T = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & p_{st} \\ 1 & 0 & 0 & p_{ty} \\ 0 & 0 & 1 & p_{tz} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Donde  $(p_{tx}, p_{ty}, p_{tz})$  representa la posición del sistema de referencia de la tableta respecto a la base del robot.

Por otra parte, con los datos del fichero de firmas y con las ecuaciones que se deducirán más adelante, se puede calcular la matriz  ${}^T T_b$ , que relaciona la posición y orientación de cada punto que va a ser escrito en la tableta con el sistema de referencia de la tableta. Con esta información se puede calcular para cada punto esa información referida a la base del sistema del robot utilizando la ecuación

$${}^R T_b = {}^R T_T {}^T T_b \quad (4)$$

Que será la matriz que se utilizará para generar el código a ser programado en el robot para que escriba la firma.

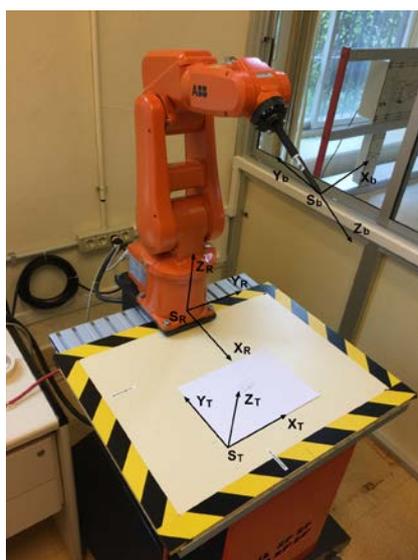


Figura 2. Sistemas de referencia asignados al robot, tableta y bolígrafo.

### 2.3 Posición y orientación del bolígrafo

La información que proporciona el fichero de firmas es la coordenada del punto en formato  $p_x$  y  $p_y$  y si toca o no toca el papel, es decir, de alguna manera la coordenada  $P_z$ . Además dispone de la información de la orientación en formato azimuth e inclinación. Por tanto, cada punto de un fichero de firma dispone de la información siguiente,

$$p_b(i) = (p_x, p_y, p_z, az, inc) \quad (5)$$

Este punto viene referido al sistema de referencia de la hoja tal como se observa en la figura 3. Lo que se hará en primer lugar es transformar cada punto en el formato anterior a un punto en formato de matrices de transformación homogénea. Para ello se parte de la posición dada por el punto  $p_x$ ,  $p_y$  y  $p_z$ . En cuanto a la orientación el procedimiento es que mediante giros se tiene que conseguir que el eje  $Z_T$  coincida con el eje  $Z_b$ .

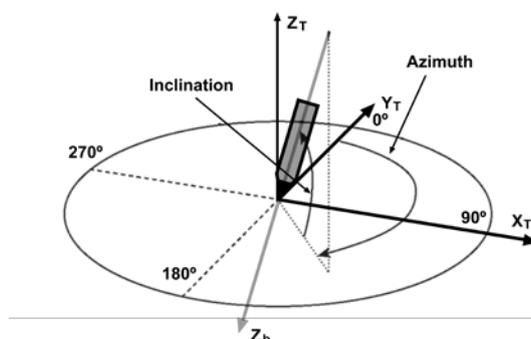


Figura 3. Orientación bolígrafo respecto al sistema de referencia de la tableta

Analizando la figura 3 se observa que girando el sistema  $S_T$  un ángulo  $-(az-90)$  sobre el eje  $Z_T$  y luego girando un ángulo  $-(90+inc)$  sobre el eje  $Y_S$  resultante, se consigue el objetivo. Refiriendo esta matriz a la base del robot queda la matriz de transformación homogénea de la forma, La matriz que representa esa transformación viene dada por,

$${}^R T_b(i) = \begin{pmatrix} \cos(az)\sin(inc) & -\sin(az) & \cos(az)\cos(inc) & p_{Tx} - p_y \\ -\sin(az)\sin(inc) & -\cos(az) & -\sin(az)\cos(inc) & p_{Ty} + p_x \\ \cos(inc) & 0 & -\sin(inc) & p_{Tz} + p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Esta ecuación relaciona cada punto del fichero de firmas con su correspondiente punto en el formato de matriz de transformación homogénea referido al sistema de referencia del robot. Como se comentó anterior anteriormente con cada matriz se puede obtener también la inclinación del bolígrafo en el formato de cuaternios. Por tanto, los alumnos podrán generar un código tal que para cada punto puedan generar su correspondiente punto referido a la base del robot y con la orientación del bolígrafo en formato cuaternio y con el siguiente formato,

$${}^R p_b(i) = (p_{Rx}, p_{Ry}, p_{Rz}, [q_1, q_2, q_3, q_4]) \quad (7)$$

### 2.4 Programación en el robot

La firma se programará en el robot utilizando el software Robotstudio de ABB y dentro él la programación se hará en lenguaje RAPID. Debido a que los puntos en los que se divide la firma están muy cerca entre sí lo que se hará es programar que vaya de un punto al siguiente en línea recta.

El programa RAPID tiene un comando para la escritura de líneas rectas que tiene el siguiente formato:

**MoveL [[px, py, pz],[q1, q2, q3, q4],[-1,0,0,0], [9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]], v60, fine, Myboli\WObj:=wobj0;**

Los parámetros más importantes son los siguientes, los demás se dejarán como están:

- [px, py, pz]: Punto de destino, (el punto origen es en el que se encuentra el robot).
- [q1, q2, q3, q4]: Orientación de la herramienta en formato cuaternio.
- v60: indica la velocidad en este caso indica 60 mm/s.
- fine: indica que el punto final se alcanza con precisión máxima.
- Myboli\WObj:=wobj0: Indica la herramienta utilizada, en el caso estudiado es el bolígrafo.

Por tanto el alumno deberá realizar un programa tal que teniendo todos los puntos del fichero de firmas en formato  ${}^R p_b(i)$ , genere las líneas de código para generar las líneas rectas en formato RAPID y una vez generado este fichero se copiará en el programa del robot y se ejecutará. El robot ejecutará la firma con el bolígrafo sobre la tableta. Una vez realizada la firma se guardará el fichero de firma generado por la tableta.

### 3. DIGITALIZACIÓN DE MANUSCRITO EN UNA TABLETA

Para adquirir texto manuscrito, la tecnología actual permite, entre otros, dos métodos muy conocidos y aceptados. Por un lado, a través de un papel y un bolígrafo y, por otro lado, a través de una tableta digital. El primer caso se denomina escritura estática y el segundo escritura dinámica.

La escritura estática es más usada en nuestra sociedad que la escritura dinámica. Sin embargo, ambas son igualmente aceptadas. Es decir, en términos generales, las personas firmamos indistintamente tanto sobre un papel (p.e. la asistencia al aula) como sobre una tableta digital (p.e. la validación de una tarjeta de crédito durante una transacción comercial)

Desde el punto de vista computacional, la escritura estática es procesada en un ordenador como una imagen que tiene ciertos niveles de color o de grises debido a la tinta del bolígrafo. La escritura dinámica, por el contrario, consiste en señales, típicamente de trayectoria y de presión ordenadas en función del trazo manuscrito realizado. Estas señales permiten conocer propiedades intrínsecas al escritor como es la duración de su escritura, la cinemática del escritor (p.e. su velocidad y aceleración) o los distintos niveles de presión a lo largo de su escritura. Además, nos permite reproducir el orden exacto en el que la escritura fue realizada.

En este trabajo el manuscrito elegido ha sido la firma del usuario. La firma es una característica personal que se aprende y se practica a lo largo de la vida. Por ello, hemos considerado que, para favorecer la motivación de esta práctica de programación de robots, un manuscrito ideal es la firma manuscrita de los estudiantes.

Para digitalizar la firma manuscrita, en este trabajo se propone un método que atiende tanto a la adquisición de escritura estática como dinámica. Para ello, hemos usado una tableta digital tipo WACOM, concretamente el modelo WACOM Intuos pro, que permite adquirir manuscrito tanto en estático como en dinámico al mismo tiempo.

Como la mayoría de los estudiantes están acostumbrados a firmar con bolígrafo sobre papel, en este trabajo se ha usado un bolígrafo de tinta capaz de comunicar la dinámica de la escritura a una tableta digital. Según muestra la Figura 4, se ha colocado sobre la tableta digital, un papel para que el estudiante deposite su firma. El resultado es una firma estática y una firma dinámica.

Por último, cabe mencionar que la tarjeta digitalizadora nos da la información del bolígrafo en el espacio, es decir, su posición sobre un plano de escritura y su orientación en términos de azimut e inclinación. Esta información será usada para procesar la cinemática inversa del brazo robótico.

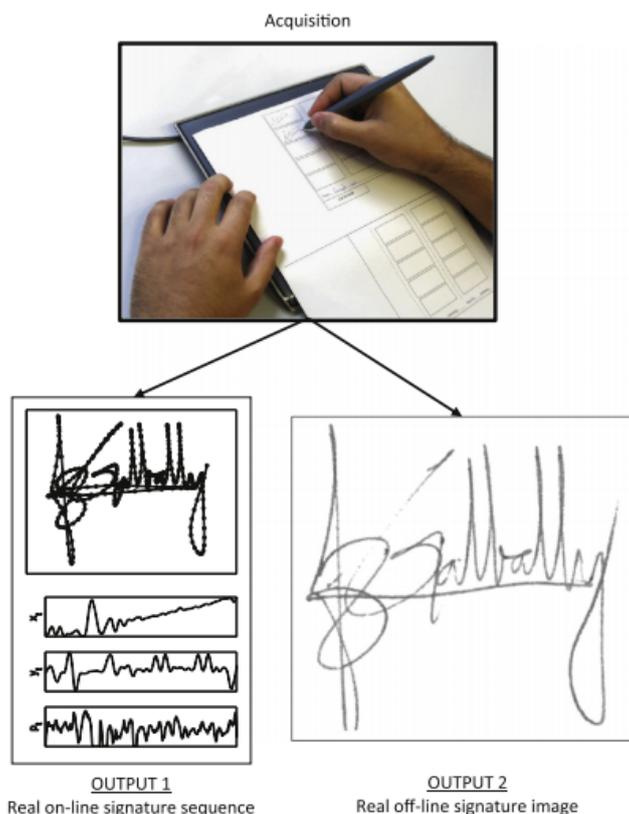


Figura 4 Adquisición de una firma en papel y en digital al mismo tiempo. Figura extraída de [5]

#### 4. EXPERIMENTO

Se ha realizado una prueba piloto con el robot ABB-120 disponible en el laboratorio de automática y electrónica industrial de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Para esta prueba, el manuscrito generado consiste en una firma. Para ello, se ha firmado en la tableta digital con un bolígrafo azul Wacom capaz de comunicar la cinemática de la firma. Posteriormente, el robot se ha programado para la ejecución de dicha firma con los conceptos explicados en la Sección 2. Para terminar, el robot ha ejecutado dicha firma, la cual ha sido nuevamente registrada en la tableta Wacom.

Para calcular el grado de similitud entre las firmas, se ha usado el Signal-to-noise-Ratio entre las trayectorias según la ecuación siguiente:

$$SNR = -10 \cdot \log_{10} \left( \frac{\sum (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}{(x_1 - \bar{x}_1)^2 + (y_1 - \bar{y}_1)^2} \right) \quad (8)$$

Donde  $(x_1, y_1)$  es la trayectoria del manuscrito original, firma en nuestro caso,  $(x_2, y_2)$  la trayectoria del manuscrito a evaluar con el SNR, es decir la generada por el robot y,  $(\bar{x}_1, \bar{y}_1)$  la media de la trayectoria horizontal y vertical del manuscrito original. Ambos manuscritos, es decir, firma original y firma del robot, en este caso, fueron interpolados con el fin de asegurar el mismo número de muestras en ambos manuscritos y, así, realizar la comparación con el SNR.

El resultado de la prueba realizada puede verse en la Figura 5, donde las trayectorias de ambas firmas son mostradas. El SNR en esta prueba fue de 10.139dB. En [6] fue estudiado que para procesar escritura el SNR debe de superar los 15dB.

Sin embargo, para nuestros propósitos el valor obtenido tanto de modo numérico como visual (Figura 5) satisface la correcta generación de manuscrito propio por parte del robot.

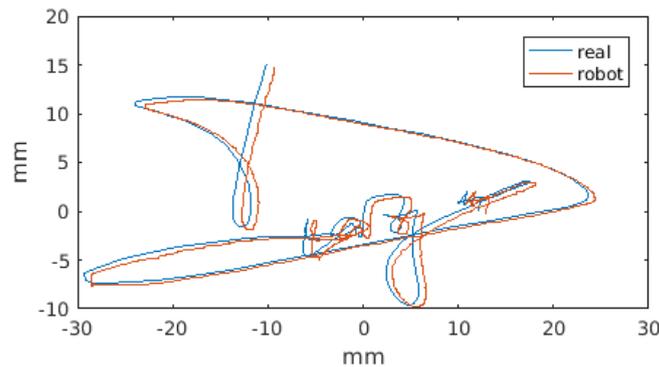


Figura 5 Comparación de la trayectoria de un manuscrito original y robótico

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A partir del experimento anteriormente descrito hemos comprobado la posibilidad de concluir satisfactoriamente la práctica de innovación en robótica: desde la recogida de manuscrito por parte del estudiante hasta la generación del mismo manuscrito por la parte del robot.

Como limitación de esta práctica, aunque hemos comprobado que el robot es capaz de generar una trayectoria humana satisfactoria, se precisan realizar mayores esfuerzos en la velocidad del robot con el fin de que sea lo más parecida a la humana. En cualquier caso, el propósito de esta práctica se puede lograr ya que los estudiantes, además de aprender los conceptos básicos de programación de un brazo robótico, podrán tener un tangible que es su manuscrito generado por el robot.

Como línea futura, se pretende realizar esta prueba piloto en el aula en una próxima edición de la asignatura de programación de robots.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Agudo, J. M. (2001). La activación y mantenimiento de la motivación durante el proceso de enseñanza-aprendizaje de una lengua extranjera. *Didáctica. Lengua y Literatura*, 13, 237. ISO 690
- [2] Rinaudo, M. C., de la Barrera, M. L., & Donolo, D. (2006). Motivación para el aprendizaje en alumnos universitarios. *Revista electrónica de motivación y emoción*, 9(22), 1-19. ISO 690
- [3] Craig, John J. Craig, [Introduction to robotics: mechanics and control ], Pearson Prentice Hall Upper Saddle River, 3rd Edition , (2005)
- [4] Corke, Peter, [Robotics, vision and control: fundamental algorithms in MATLAB], Springer Tracts in Advanced Robotics, (2011)
- [5] Galbally, J., Diaz-Cabrera, M., Ferrer, M. A., Gomez-Barrero, M., Morales A. and Fierrez, J. (2015), "On-Line Signature Recognition Through the Combination of Real Dynamic Data and Synthetically Generated Static Data", *Pattern Recognition*, Vol. 48, pp. 2921-2934
- [6] O'Reilly, C., & Plamondon, R. (2009). Development of a Sigma-Lognormal representation for on-line signatures. *Pattern Recognition*, 42(12), 3324-3337.

