

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Automatización de procesos
Recibido: 10/08/19 | Aceptado: 10/11/19 | Publicado: 22/11/19

Empleo del simulador ARTE para el estudio de la Robótica Industrial en la UCLV

Use of ARTE simulator for de study of Industrial Robotics in UCLV

Alexander Rodríguez Conte ^{1*}

¹ Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Departamento de Automática y Sistemas Computacionales. Sitúe 11 entre Igualdad y Estrada, Sagua la Grande, Vila Clara, Cuba, CP:52310. arconte@uclv.cu.

* Autor para correspondencia: arconte@uclv.cu

Resumen

La Robótica, desde el pasado siglo, ha venido a ser parte importante en el desarrollo de la sociedad. El uso de simuladores que posibiliten el estudio de esta ciencia, ha ido en aumento hasta el presente año. En la carrera Ingeniería Automática de la Universidad “Marta Abreu” de Las Villas se imparte un curso de Robótica con el objetivo de capacitar a los estudiantes para la aplicación de esta ciencia. El siguiente trabajo presenta las características del simulador A Robotics Toolbox for Education que lo hacen útil para la enseñanza de la Robótica en dicha universidad. Se analizó las prestaciones de este *toolbox* para la enseñanza de la cinemática, la dinámica y la programación de robots. Además, se exponen los principales resultados de la implementación del software como apoyo a la docencia, específicamente de la Robótica Industrial.

Palabras clave: Robótica educativa, Robótica industrial, Simulación, Software

Abstract

Robotics, since the last century, has become an important part in the development of society. The use of simulators that enable the study of this science has been increasing until this year. In the Automatic Engineering career of the University “Marta Abreu” of Las Villas, a Robotics course is taught with the objective of training students in the application of this science. The following work presents the characteristics of the A Robotics Toolbox for Education simulator that make it useful for teaching robotics at that university. The performance of this toolbox for teaching the kinematics, dynamics and programming of robots was analyzed. In addition, the main results of the software implementation are presented as support for teaching, specifically in Industrial Robotics.

Keywords: Educational Robotics, Industrial Robotics, Simulation, Software

Introducción

El Instituto Norteamericano de Robótica (RIA, por sus siglas en inglés) define robot como “un manipulador multifuncional y reprogramable diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales mediante movimientos programados y variables que permiten llevar a cabo diversas tareas”.

La Robótica se ha expandido en la vida diaria de los seres humanos. Aplicaciones en la industria: soldadura, pintura, ensamblaje, paletización, etc., la posibilidad de realizar vuelos no tripulados y las exploraciones submarinas y del espacio exterior. Lo anterior, unido a aplicaciones de entretenimiento como juegos con simuladores, aplicaciones en la medicina y la inserción en el ámbito doméstico, demuestran la necesidad de la Robótica en la vida humana.

El estudio de la Robótica se divide en aspectos como la representación espacial, la cinemática y dinámica directa e inversa, la programación de tareas para los robots, el control cinemático y dinámico, entre otros aspectos.

El problema de la cinemática es el estudio del movimiento del extremo (y resto de eslabones) respecto de un sistema de referencia (base), sin tener en cuenta los factores que lo originan. Se analiza la posición, orientación, velocidades y aceleraciones del extremo del robot (EF, de Efecto Final). Este es uno de los contenidos más complicados de abordar en el estudio de la Robótica. Se divide en cinemática directa (determinación de la posición y orientación del extremo respecto del sistema de referencia de la base, siendo conocidas las coordenadas de las articulaciones y los parámetros geométricos del brazo) y cinemática inversa que es el caso contrario (Barrientos 2007).

La dinámica del robot relaciona el movimiento del robot y las fuerzas implicadas en el mismo, siendo así el modelado dinámico el que establece las relaciones matemáticas entre las coordenadas articulares, sus derivadas y las fuerzas y pares aplicados en las articulaciones y los parámetros físicos del robot. Por un lado, se encuentra la dinámica directa, usada para determinar el movimiento del brazo robótico en respuesta a las fuerzas y torques aplicados a las articulaciones y por el otro la dinámica inversa que se dedica a hallar el par de fuerzas necesario para que el robot tenga un conjunto de coordenadas, velocidades y aceleraciones (Barrientos 2007).

Debido al alto costo de inversión que tienen los dispositivos robóticos sobre todo en el ámbito de la industria, medicina, entretenimiento y exploración submarina y del espacio, se hace imprescindible contar con aplicaciones informáticas que permitan modelar y/o simular tridimensionalmente los robots. Tal es el caso de softwares como ROBOLAB, Robot Operating System (ROS), RoboAnalyzer (RA), RobotScene, RoboDK, VREP y A Robotic Toolbox for Education (ARTE), los cuales son usados para la enseñanza de la Robótica en el ámbito universitario en países como España, Estados Unidos y la India.

En Cuba una de las universidades que ha implementado líneas de investigación relacionadas con la Robótica es la Universidad “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV). Tal es el caso del Grupo de Automática Robótica y Percepción

(GARP), que lleva a cabo una importante labor investigativa para garantizar el uso eficiente de esa tecnología en el país (Valeriano-Medina, Hernández-Julián et al. 2015, García, Castellanos et al. 2016, Santana, Machado et al. 2017). En la carrera Ingeniería Automática se imparte un curso de Robótica donde el estudio comprende tanto la Robótica industrial como la móvil, el análisis de la cinemática y la dinámica, el control de robots, entre otros aspectos. Lo anterior es posible a través de la simulación a través de softwares especializados, lo que permite enseñar de forma amena contenidos difíciles de comprender y validar de forma simulada los resultados obtenidos.

Además, teniendo en cuenta la poca disposición de robots industriales en Cuba ya sea para el uso académico-investigativo o como medio de producción, es evidente la necesidad de poseer un simulador. Dicha herramienta debe servir como medio de apoyo en la docencia y en la validación de resultados investigativos mediante simulación.

La investigación (Rodríguez Conte 2018) arrojó como resultado que el software ARTE posee notables características que hacen posible desarrollar labores de docencia en la carrera Ingeniería Automática de la UCLV. Este software fue desarrollado por Arturo Gil y estudiantes de Robótica de la Universidad Miguel Hernández de España desde el 2012. Se presenta como un *toolbox* de Matlab enfocado en la Robótica de manipulación, tanto serie como paralela. Es un simulador gráfico, donde se cargan robots industriales de diferentes fabricantes, así como diferentes ambientes de trabajo (pintura, manipulación, etc.) (Gil 2016). Se distribuye bajo licencia LGPL y para comenzar a ser usado se puede descargar de forma gratuita desde: <http://arvc.umh.es/arte/arte.zip>.

La presente investigación se dedica a mostrar el impacto que tiene el uso de la herramienta ARTE para el estudio de la Robótica Industrial en la UCLV. Para ello se realiza una caracterización del software y se analizan las herramientas que presenta para la ejercitación de varios contenidos impartidos en la asignatura (cinemática y dinámica directa e inversa y la programación de robots). Por último, se presentan ejemplos del uso del simulador en las clases que demuestran su efectividad.

Materiales y métodos

Para la caracterización de ARTE se comenzó con la forma de cargar los robots, las herramientas, los ambientes de simulación y piezas en el simulador. ARTE permite realizar estudios de la Robótica usando una gran variedad de modelos de robots presentes en la librería del simulador o creando otros personalizados por el usuario. Dichos modelos se pueden cargar y dibujar de diferentes maneras a través de las diferentes funciones. Por ejemplo:

- `robot = load_robot('abb','irb140');` carga el modelo de robot deseado en la variable robot
- `robot.equipment = load_robot('equipment','tables/table_two_areas');` carga un equipamiento determinado en el ambiente

- `robot.tool= load_robot('equipment','end_tools/parallel_gripper_0');` carga una herramienta de trabajo para el robot
- `robot.piece=load_robot('equipment','cylinders/cylinder_tiny');` carga una pieza en el ambiente para realizar labores con ella

La manera en la que se muestra el robot en una ventana extra es con la función `drawrobot3d(robot,q)`.

Estudio de la cinemática

ARTE usa para dar respuesta al problema cinemático directo la función `directkinematic()`. La misma recibe como parámetros: la variable `robot` que contiene las características del robot cargado y la variable `q` que contiene las posiciones de las articulaciones del robot para las que se desea resolver el problema de la cinemática directa. El resultado de la función será la Matriz de Transformación Homogénea (MTH) que expresa las relaciones de posición y orientación del extremo del robot respecto a un sistema de referencia fijo situado en su base (Rodríguez Conte 2018).

Por ejemplo:

```
T = directkinematic(robot, q)
```

En el caso del estudio de los parámetros de Denavit & Haterberg (DH), que son: Rotación en torno al eje z_{i-1} un ángulo θ_i ; Translación a lo largo del eje z_{i-1} una cantidad d_i ; Translación a lo largo del eje x_i una distancia a_i ; Rotación en torno a x_i un ángulo α_i las siguientes funciones devuelven un vector que contiene los valores cada transformación ocurrida desde la base hasta el EF para cada parámetro DH:

- `theta = eval(robot.DH.theta)` devuelve los valores de θ_i
- `d=eval(robot.DH.d)` devuelve los valores de d_i
- `a=eval(robot.DH.a)` devuelve los valores de a_i
- `alpha=(robot.DH.alpha)` devuelve los valores de α_i

El simulador ARTE utiliza la función `inversekinematic()` para resolver el problema de la cinemática inversa. Esta función recibe como parámetros la variable `robot` y la variable `T` que es la MTH que se obtuvo en la solución de la cinemática directa u otra MTH para la que se desee hallar las posibles combinaciones que pueden adoptar sus articulaciones (Rodríguez Conte 2018). Por ejemplo:

```
qinv=inversekinematic(robot, T)
```

Siendo `T = directkinematic(robot, q)` o una MTH que defina la configuración del robot deseada.

El resultado de la función `inversekinematic` es un conjunto de vectores organizados en forma de matriz que representan las diferentes soluciones de la cinemática inversa del robot.

Por otro lado, la función `teach` permite hacer uso de la herramienta *Teach Pendant* para el estudio de la cinemática directa e inversa. Con esta herramienta se puede observar la MTH que se obtiene luego de posicionar las articulaciones del robot a través de los *sliders* de movimiento articular y obtener posiciones articulares para un determinado valor de la MTH (Rodríguez Conte 2018). La herramienta, permite cargar desde su ambiente piezas, herramientas del robot, equipamiento y diferentes robots. Además, permite guardar las posiciones en las que se encuentra el robot para su posterior uso en simular tareas del dispositivo.

Estudio de la dinámica

Mediante la función `forwarddynamic`, se soluciona el problema de dinámica directa en el simulador ARTE. La función recibe los siguientes parámetros:

- la variable `robot`,
- una variable que contiene el tiempo de la simulación,
- una variable con el valor de las coordenadas articulares iniciales,
- una variable con la velocidad de inicial de las articulaciones,
- una variable con las fuerzas y pares aplicados a cada articulación,
- una variable con la acción de la gravedad en los ejes X,Y,Z
- una variable que contiene las cargas aplicadas al EF.

La función `forwarddynamic` devuelve un vector de tiempo, y otros dos que contienen el desarrollo tanto de la posición como de la velocidad de las articulaciones para los torques aplicados a las articulaciones. Con la función `animate` se puede visualizar en una ventana el movimiento del robot. Por ejemplo, si se escriben las siguientes sentencias se obtiene la solución de la dinámica directa para las condiciones establecidas y una simulación completa:

```
[t q qd]= forwarddynamic (robot,tiempo_de_simulacion, pose, vel, tau, g',[[]])  
animate(robot, q)
```

La función `inversedynamic()` se usa para dar solución a la dinámica inversa con ARTE. Dicha función devuelve en un vector el valor de las fuerzas a aplicar en cada articulación para obtener una posición articular, dependiendo de una velocidad y una aceleración de las articulaciones determinadas. Otros parámetros que contiene son: un vector columna que contiene la acción de la gravedad en los ejes X, Y, Z y otro vector columna que contiene el valor de las fuerzas externas que están presentes en el sistema. Los valores de la posición, velocidad y aceleración pueden ser un conjunto de vectores que describan el movimiento deseado para el brazo robótico (Rodríguez Conte 2018).

```
inversedynamic(robot, pose, vel', acel', g',fext')
```

Programación de robots

La programación de robots es un contenido que presenta altas complejidades para su impartición en la docencia. El uso de alguno de los lenguajes de programación de robots (Lua, RAPID, Python, etc.) y su implementación (de modo que se puedan observar los resultados) resulta difícil en el contexto científico-técnico de nuestro país.

Aprovechando el hecho de que ARTE se ejecuta en Matlab (un lenguaje dominado por los estudiantes de la carrera Ingeniería Automática de la UCLV), y que presenta la función `matlab2RAPID` para convertir el código generado en Matlab en un código de lenguaje RAPID para robots ABB, este se presenta como una excelente solución para impartir este contenido en el curso de Robótica de la carrera Ingeniería Automática (Rodríguez Conte 2018).

Las siguientes funciones permiten programar el movimiento de un robot de forma lineal, circular, libre (sin dependencia de los movimientos) y a partir de una posición, respectivamente:

MoveL, MoveC, MoveJ, Offse

Estas funciones contienen los siguientes argumentos:

- Punto de destino: contiene la posición y orientación, la configuración del robot y la posición de los ejes externos.
- Velocidad: contiene la velocidad para los movimientos de rotación y traslación expresado en *mm/s*.
- Precisión: indica la máxima diferencia en mm entre la posición del robot y el punto de destino.
- Herramienta: contiene los parámetros geométricos de la herramienta (sistema de coordenadas) y de la carga (peso, centro de gravedad y momentos de inercia).
- Objeto o pieza: contiene el peso, el centro de gravedad y los momentos de inercia.

```
MoveJ(P_destino, 'vmax' , 'fine' , Gripper, 'wobj0');
```

También presenta funciones para la interacción con los objetos en una simulación. Dichas funciones permiten abrir y cerrar herramientas, asir y soltar piezas:

- `simulation_open_tool`; abrir la herramienta
- `simulation_close_tool`; cerrar la herramienta
- `simulation_grip_piece`; coger la pieza
- `simulation_release_piece`; soltar la pieza

Además, es posible realizar la simulación de diferentes tareas de manipulación, soldadura y pintura debido a la variedad de modelos 3D que presenta ARTE. En este sentido la principal dificultad que tiene el simulador es su incapacidad de realizar tareas con escenarios *multirobots*.

Resultados y discusión

Desde el pasado curso escolar (2018-2019) se comenzó la utilización del simulador ARTE para impartir las clases de Robótica en la carrera Ingeniería Automática de la UCLV. Su principal uso fue dirigido a la ejercitación de la teoría impartida en conferencias de cada uno de los tópicos que encierran el estudio de la Robótica de manipulación, conformándose para ello una serie de ejercicios. A continuación, se presentan los principales resultados en el empleo del software.

En primer lugar, cabe destacar que los principales contenidos abordados en la asignatura fueron ejercitados con el simulador. Lo anterior provocó que los estudiantes se familiarizaran de forma más práctica y sencilla con los complejos conceptos que se imparten.

Por un lado, los contenidos de cinemática directa e inversa fueron tratados mediante el uso de las funciones `directkinematic` e `inversekinematic`. Las Figura 1 y Figura 2 muestran el resultado de una ejercitación llevada a cabo en una de las clases prácticas de la asignatura. En la primera se aprecia la configuración que alcanza un robot cuando sus articulaciones tienen una posición determinada (cinemática directa). En la siguiente figura se observa la herramienta *Teach Pendant* con la MTH y las posiciones articulares para esa configuración (cinemática directa e inversa)

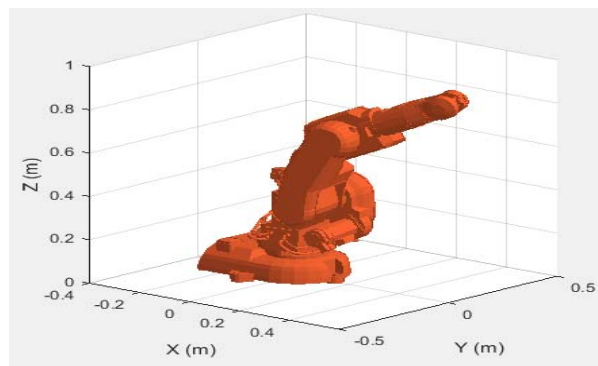


Figura 1. Robot ABB IRB140 en una posición articular determinada

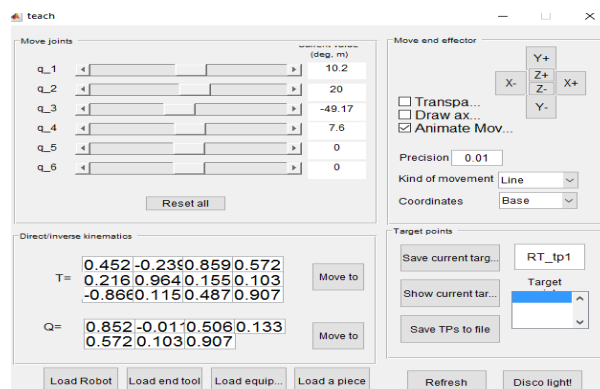


Figura 2. Respuesta de cinemática directa e inversa en el Teach Pendant

Los contenidos de dinámica directa e inversa también tuvieron su espacio para crear habilidades en los estudiantes en la resolución problemas de control dinámico de robots. Las funciones `forwarddynamic` e `inversedynamic` antes expuestas contribuyeron a que los estudiantes comprendieran estas materias. La Figura 3 muestra la posición inicial del robot y la final luego de aplicarle un determinado torque a sus articulaciones. En la Figura 4 se observa el desarrollo de la posición articular en el tiempo en respuesta a la dinámica que provocó el movimiento, mientras que la Figura 5 presenta el desarrollo de la velocidad de las articulaciones en el tiempo.

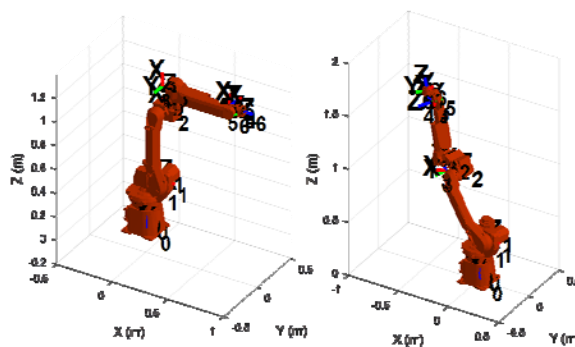


Figura 3. Posición inicial y final del robot

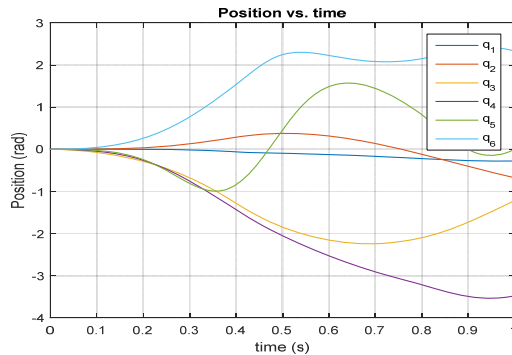


Figura 4 Posiciones articulares respecto al tiempo respecto a los torques aplicados

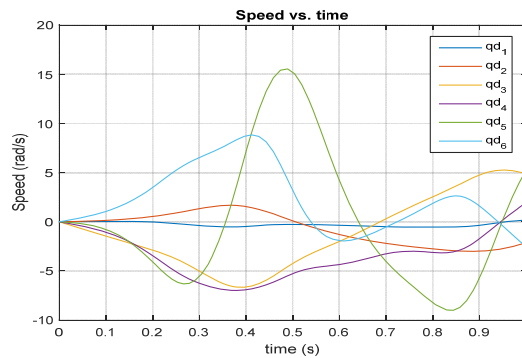


Figura 5 Velocidad de las articulaciones provocada por los torques aplicados

Por otro lado, con el uso de ARTE se comenzó con la enseñanza del lenguaje de programación RAPID para robots de la marca ABB. Se presentaron diferentes situaciones en las que los robots se emplean en la industria tales como: pintura de autos, soldadura y manipulación de piezas. Mediante el uso de las funciones de ARTE que emulan a RAPID se obtuvieron resultados en la simulación de pintura de un auto (Figura 6) y manipulación de piezas (Figura 7).

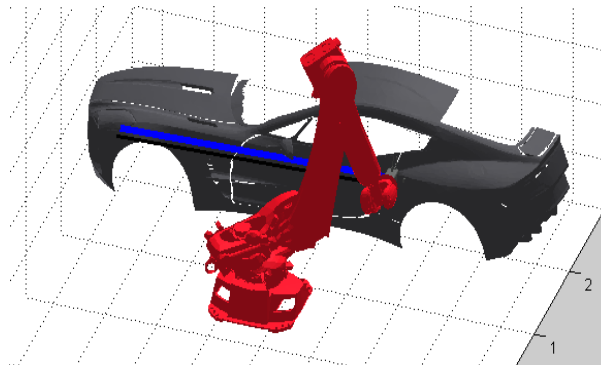


Figura 6. Robot ABB IRB en tarea de pintura de un auto

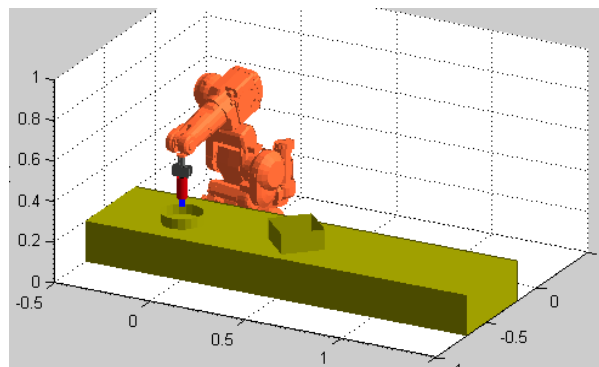


Figura 7. Robot ABB IRB140 en la manipulación de una pieza

Conclusiones

La enseñanza de la Robótica requiere de herramientas computacionales que permitan impartir sus contenidos de una forma más entendible y sin sacrificar ningún equipo valioso. En este sentido el simulador ARTE presenta herramientas útiles para la ejercitación de los contenidos abordados en el curso de Robótica impartido en la carrera Ingeniería Automática de la UCLV. Este simulador permite ejercitar contenidos como la cinemática y dinámica directa e inversa que, por su alto componente matemático hace tedioso y complicado hallar soluciones para los diferentes ejercicios. Además, presenta diferentes modelos 3D de robots, piezas, ambientes de trabajo y herramientas que pueden ser visualizados, lo que hace más real la simulación. Por último, con el uso de ARTE se introduce al estudiante en la programación de robots con el uso del lenguaje RAPID. Este simulador está siendo evaluado para usarlo como herramienta informática para clases de Robótica en posgrado y para validar, mediante simulación futuras investigaciones relacionadas con la Robótica Industrial.

Referencias

Barrientos, A. (2007). Fundamentos de robótica. España, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA.

García, J. J. A., et al. (2016). "Inverse Dynamic Control of a 2-DOF Driving Simulator Platform."

Gil, A. (2016). "ARTE: A Robotics Toolbox for Education." 2018, from <http://oshl.edu.umh.es/proyectos-open-umh/arte-a-robotics-toolbox-for-education/>.

Rodríguez Conte, A. (2018). Evaluación de una propuesta de software como herramienta de apoyo a la docencia de robótica en la carrera Ingeniería Automática de la UCLV. Departamento de Automática y Sistemas Computacionales, Universidad Central" Marta Abreu" de Las Villas, Facultad de Ingeniería Eléctrica. Tesis de Grado.

Santana, L. H., et al. (2017). "Levantamiento fotogrametrico de la UBPC “Desembarco del Granma” utilizando aviones no tripulados, solución de bajo costo para la agricultura nacional."

Valeriano-Medina, Y., et al. (2015). "Controlador ILOS para el seguimiento de caminos en línea recta de un vehículo autónomo subacuático." Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones **36(2)**: 15-28 % @ 1815-5928.