

MODELACIÓN DE ROBOTS INDUSTRIALES PARA TAREAS DE DISEÑO Y CONTROL

Luis Hernández Santana, Ernesto Rubio Rodríguez y Boris L. Martínez Jiménez

*Departamento de Automática y Sistemas Computacionales,
Universidad Central de Las Villas, Carretera a Camajuaní Km , Santa Clara, Cuba
Tel: 53 42 281632, Fax 53 42 281608*

Abstract: En el presente trabajo hemos hecho uso del software SIMCEF, para la representación geométrica y un Toolbox de MATLAB como programa de apoyo a los cálculos científicos, el que ha sido enriquecido con nuestras experiencias. Mostramos dos aplicaciones de estas herramientas, en un caso el trabajo de modelación y simulación de un robot IRB 6 llevado a cabo durante el proceso de recuperación del mismo, sobre todo para la definición de su sistema de control y como apoyo para eventuales aplicaciones en la programación fuera de línea. Además, mostramos el uso de dichas herramientas en la etapa de construcción de un manipulador para la soldadura de partes del automóvil

Keywords: Robótica, Manipuladores, Sistemas de control, Matlab, Simulación.

1. INTRODUCCIÓN

Como un componente fundamental para tareas de diseño de robots industriales, inclusive en las aplicaciones más simples, los elementos de modelación y simulación de los dispositivos son de una inestimable ayuda para la toma de las mejores decisiones [1]. Con el desarrollo de herramientas de software como apoyo a tareas modelación y simulación de sistemas robóticos resulta relativamente sencillo el desarrollo de estas tareas. En robótica podemos identificar dos vertientes de trabajo en el desarrollo de la modelación, por una parte lo relacionado con la representación geométrica de los entornos físicos donde se mueven los robots, para lograr la definición de trayectoria libres de colisiones y por otro, herramientas para modelación de las características cinemáticas y dinámicas de los dispositivos para la toma de decisiones en el proceso de fabricación de los robots y como apoyo para las tareas de control.

2. MODELACIÓN DE MANIPULADOR DE SOLDADURA

El trabajo de modelación fue realizado en dos direcciones, en la modelación gráfica como apoyo al trabajo de programación fuera de línea en la generación de trayectoria libres de colisión y; en la modelación analítica para la determinación de los regímenes de operación, la determinación de las dimensiones del robot y la selección de los motores y los engranes.

Este trabajo se realiza de forma iterativa y con conexión entre un tipo de modelación y la otra, la modelación analítica es desarrollada como primer paso, pero con la claridad de que existe un conjunto de restricciones de carácter geométrico que son necesarias cumplir. En la exposición del tema veremos primero la modelación geométrica.

3. MODELACIÓN GEOMÉTRICA

Como premisa para este trabajo se cuenta con la definición de las dimensiones geométrica del robot lo que permite representar mediante SIMCEF un modelo espacial del mismo, una facilidad muy importante de este sistema es la posibilidad de modelar el entorno de trabajo del robot, mediante la representación de los objetos sobre los que va

realizarse el trabajo, así como las posibles fuentes de colisión, en la Fig. 1.a presentamos el modelo del robot en la posición de trabajo de soldadura de parte del piso trasero del automóvil Renault, las piezas verticales son los soportes donde se apoya la pieza, para mejor comprensión de la escena se presenta la Fig. 1.b donde mediante sombreado es posible captar mejor la imagen.

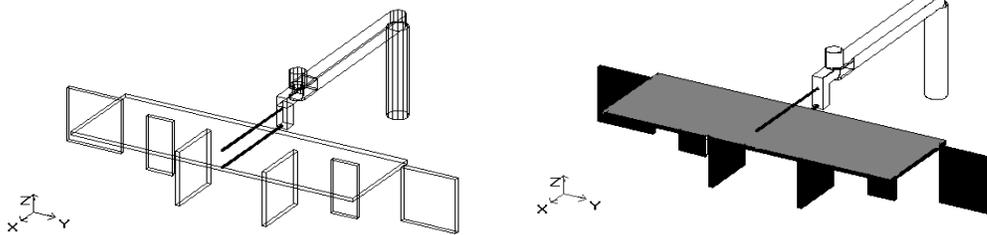


Fig. 1. Robot para soldadura en posición de trabajo.

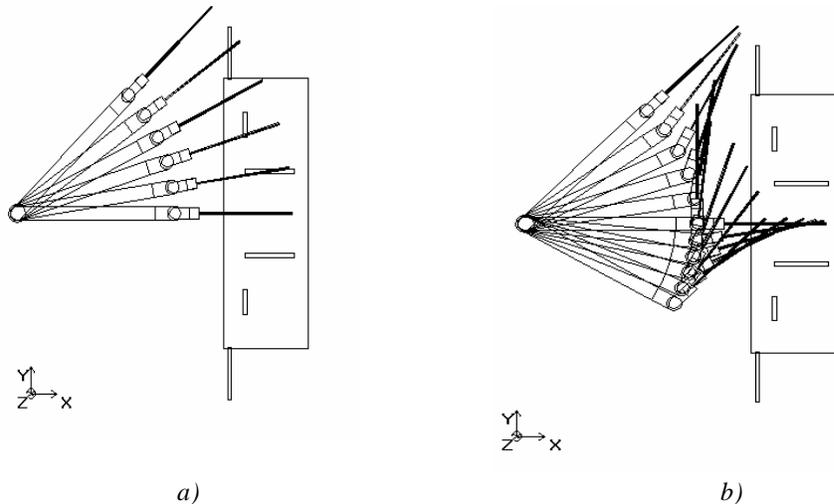


Fig. 2 Trayectoria de robot de soldadura, a) con colisiones, b) sin colisiones.

Los títulos de cada sección deben estar centrados, en letra mayúscula, numerados en forma consecutiva a partir de la introducción, pero sin incluir los reconocimientos, referencias y apéndices (para explicar detalles del desarrollo). Podemos observar una tarea elemental de desplazamiento del dispositivo para lo que se define una trayectoria entre los puntos extremos, con la que se producen colisiones, Fig. 2.a, mientras que en la Fig. 2.b se puede apreciar una definición de trayectoria que evita las colisiones, este trabajo permite simplificar el trabajo de programación del dispositivo, así como corregir las dimensiones del mismo en dependencia de la tarea a desarrollar.

4. MODELACIÓN ANALÍTICA

Teniendo definidas las trayectorias en el espacio cartesiano es posible determinar el movimiento de cada articulación, mediante comandos del Toolbox [3] de MATLAB, con estos datos se pueden determinar las magnitudes de los torques de las articulaciones partiendo de los datos geométricos e inerciales del dispositivo, con lo que es posible seleccionar los motores, las relaciones de engranes, o los regímenes de operación del mismo.

En las figuras 3 se muestra los torques de las dos articulaciones para el desplazamiento angular de un radian en dos segundos siguiendo una trayectoria polinomial.

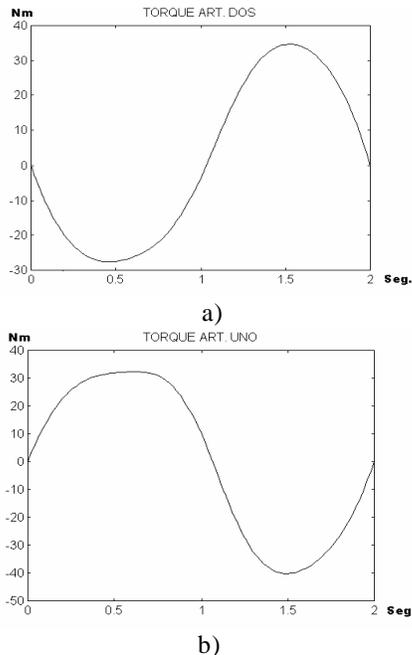


Fig 3 Curvas de torque de las articulaciones siguiendo una trayectoria.

La evaluación del sistema de control en este caso es relativamente simple, producto de que no hay exigencias de seguimiento de trayectoria, pues el robot es para soldadura por puntos, y además los disturbios de tipo gravitacional no se presentan en esta estructura del tipo escara.

5. MODELACIÓN DEL ROBOT IRB-6.

Para el desarrollo del trabajo de nuestro grupo de investigación nos enfrascamos a la tarea de recuperar un robot industrial del tipo IRB-6, el que había perdido su parte electrónica, para que nos sirviera de base para el desarrollo de tareas de control en lazo cerrado con seguimiento de trayectorias, producto de que nuestra principal fuente de aplicación para el robot es la realización de tareas de soldadura por arco. Del mismo hemos desarrollado su modelo en SIMCEF, como herramienta de programación fuera de línea para evitar colisiones, fig 4. Para el desarrollo de tareas de control con seguimiento de trayectorias partimos como principio del desarrollo de un control

desacoplado para cada articulación, por lo que nos hemos centrado en las dos articulaciones de revolución en plano vertical, las articulaciones dos y tres, las dinámicamente más comprometidas con el control

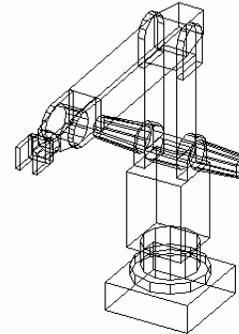


Fig 4. Modelo en SIMCEF para robot IRB-6

Hemos desarrollado el modelo dinámico de dichas articulaciones el que calculado por el método de Lagrange tiene la forma:

$$\begin{aligned} t_{d1} = & 6.6595\ddot{q}_1 + 2.253\ddot{q}_2 + 2.592C_2\dot{q}_1 \\ & + 1.296C_2\ddot{q}_2 + 29.560C_{12} - 1.296S_2\dot{q}_2^2 \\ & - 2.592S_2\dot{q}_1\dot{q}_2 + 64.6307C_1 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} t_{d2} = & 2.253\ddot{q}_1 + 2.253\ddot{q}_2 + 1.296C_2\dot{q}_1 \\ & + 29.65C_{12} + 1.296S_2\dot{q}_1^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Donde θ_i es la posición angular de la articulación i y; S_i y C_i son el seno y el coseno de θ_i .

Se consideró cada articulación como un motor CD de la forma:

$$\mathbf{q}(s) = \frac{KmUp(s) - KF(s)}{s(sTm + 1)} \quad (3)$$

Donde Km es la ganancia del motor-articulación, Tm es la constante de tiempo del motor-articulación y F concentra todos los efectos no lineales y los disturbios.

Han sido estudiadas diferentes variantes de control desacoplado de las articulaciones del robot, control convencional del tipo PD, control adaptable, control robusto de dos grados de libertad y una versión de control con ganancias fijas del tipo PP-PI, en un estudio comparativo [5] mediante simulación, usando la salida del modelo dinámico como disturbio ante la

exigencia de seguimiento de una trayectoria polinomial de un radian en cada articulación durante un tiempo de dos segundos. El estudio demuestra que las mejores prestaciones para nuestras aplicaciones se logran con la estrategia de control P-P-PI.

6. CONTROL CONVENCIONAL.

Como estrategia de control con ganancias fijas es tomado un regulador P con realimentación de velocidad que cumpla con las siguientes exigencias de lazo cerrado:

$$G_R(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{64}{s^2 + 16s + 64} \quad (4)$$

Que logre un adecuado seguimiento a trayectoria con una forma de control como se aprecia en la figura 5:

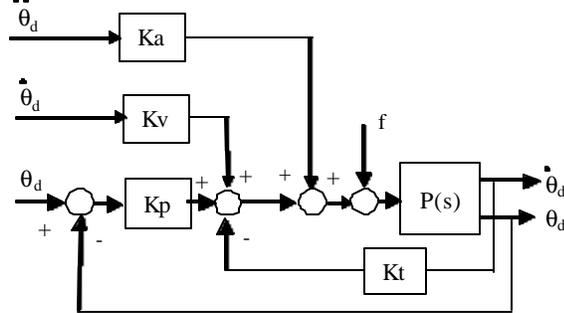


Fig. 5. Control convencional con ganancias fijas.

Los cálculos de las ganancias nos ofrecen los siguientes resultados: $K_p = 64.74$ para A1 y 22.09 A2, $K_v = 17.44$ para A1 y 5.52 A2, $K_a = 10.90$ para A1 y 0.35 en A2, $K_t = 12.95$ para A1 y 1.04 en A2.

El sistema de control convencional con ganancias fijas, se somete a las condiciones de operación descritas, dando errores de seguimiento apreciables y errores en estado estable como se aprecia en la fig. 6.

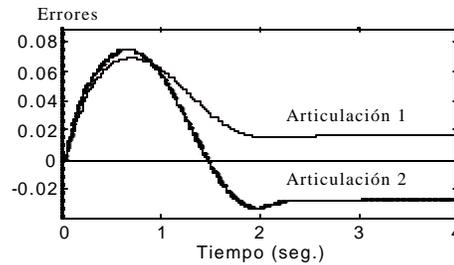
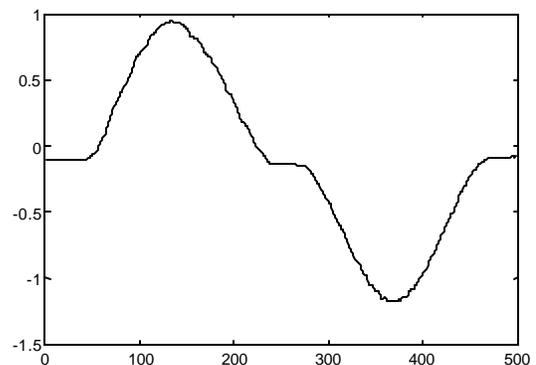
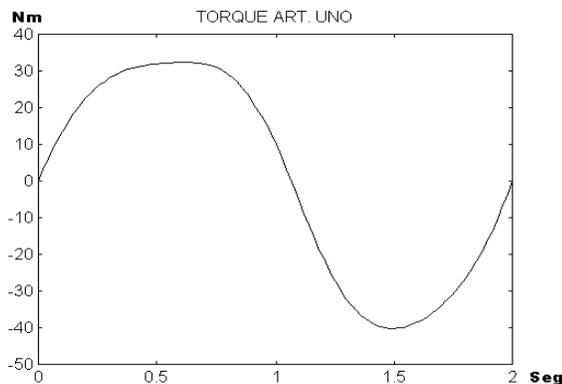


Fig 6. Errores de seguimiento, control convencional.

Estos resultados los aplicamos al caso de nuestro robot donde utilizamos como elemento de control una computadora 486 que se comunica con el robot con una tarjeta lectora de encoders y salidas de ± 10 v para los drivers de los motores, utilizamos un tiempo de muestreo de 10 ms y logramos resultados similares a los del trabajo de simulación, con una respuesta adecuada en el seguimiento de la trayectoria, pero con un error de seguimiento y en estado estable producto de que no son compensados los torque de disturbio en el sistema, como se aprecia en la Fig. 7.



a) Seguimiento de la trayectoria, b) Error de seguimiento.

Fig. 7. Control de trayectoria del tipo PD del sistema de control del robot IBR-6.

7. CONTROL P-P-PI

Este esquema de control lineal independiente, conocido por P-P-PI, fue propuesto por Chiacchio [4], donde el diseño se hace robusto con la realimentación de la aceleración, junto con los lazos típicos de velocidad y posición. La reconstrucción de la medición de aceleración se realiza por medio de un filtro con un ancho de banda mucho mayor que el del servomecanismo. Este esquema permite seleccionar el factor de rechazo a disturbio deseado (X_r).

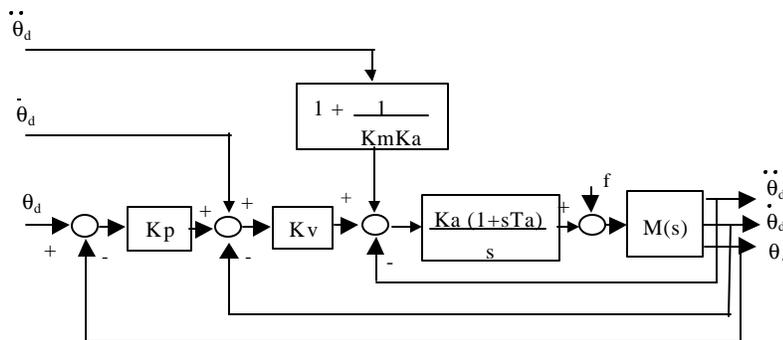
En el diseño se toma el tiempo de integración del PI igual a la constante de tiempo del motor, $T_a = T_m$. Luego, trabajando correctamente con las funciones de transferencia, después de esta cancelación, nos queda:

$$2K_p = \frac{w_n}{j} \quad (5)$$

$$1 + K_m K_a = \frac{K_m X_r}{w_n^2} \quad (6)$$

$$K_p K_v K_a = X_r \quad (7)$$

A partir de los índices de fun. (4) y el rechazo a disturbio $X_r = 1000$, mediante las ecuaciones (5), (6) y (7), obtenemos para las dos articulaciones que: $K_p=4$, $K_v=22.44$ y $K_a=11.14$. El seguimiento de trayectoria se logra con una compensación anticipatoria, como se muestra en la fig 8.



El sistema sometido a las condiciones de trabajo descritas tiene el comportamiento que se muestra en la Fig. 9.

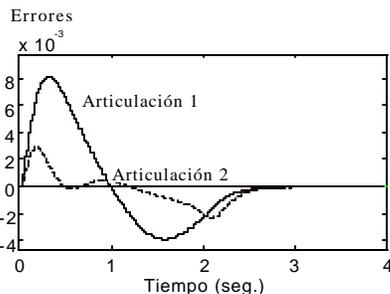


Fig. 9. Errores de seguimiento, control P_P-PI

Sobre la base del trabajo de simulación nos dimos a la tarea de implementar el algoritmo en el robot real sometido a una trayectoria similar a utilizada en el trabajo de simulación, logrando los resultados superiores a los de la fig. 7.

8. CONCLUSIONES

Presentamos las posibilidades del trabajo de modelación y simulación de robots industriales para tareas de generación de trayectorias libres de colisiones, la determinación de las características cinemáticas y dinámicas de los dispositivos para la toma de decisiones en el proceso de fabricación de

los robots y como la determinación de las estrategias de control más apropiadas, permitiendo obtener ajustes preliminares para los reguladores lo que facilita notablemente el proceso de sintonía de los reguladores en aplicaciones reales.

REFERENCIAS

- [1]. Fu, K. S., R. C. González, C. S. G. Lee: "Robótica, control, detección, visión e inteligencia." McGraw-Hill. España. 1988. pp 599.
- [2]. Blasco Ivars, José. "SIMCEF para Windows 2.0". UPV.
- [3]. Peter Corke. Robotic Toolbox of MATLAB. 1993
- [4]. Chiacchio, P. et. al.: "Robust design of independent joint controller with experimentation on high-speed parallel robot." IEEE Trans. on Industrial Electronic. Vol. 40 (4), Agosto, 1993, pág. 393, 403.
- [5]. Hernández Santana, Luis y Boris L. Martínez Jiménez. "Estudio comparativo de estrategias de control independientes de articulaciones de robots industriales". INFORMATICA 98. La Habana Cuba. Febrero de 1998.