

**MECHATRONIC 3D VISION SYSTEM FOR KINEMATIC CONTROL OF AN ARM
ROBOT WITH SIX DEGREES OF FREEDOM AND SELECTION OF OBJECTS****SISTEMA MECATRONICO DE VISION 3D PARA CONTROL
CINEMATICO DE UN BRAZO ROBOT DE SEIS GRADOS DE LIBERTAD Y
SELECCION DE OBJETOS**

MSc. (c), Harold A. Rodríguez A.*, PhD. Miguel A. Márquez R.**

*** Universidad de Pamplona**

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Tel.: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303, Ext. 156

E-mail: harodriguez@unipamplona.edu.co

**** Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET)**

Av. Universidad. Paramillo. San Cristóbal. Táchira. Venezuela. Tel.: (58) 416-371 0381

E-mail: mmarquez@unet.edu.ve

Abstract: The primary target of the present work is to design and to construct a prototype of a mechatronic system for the selection of objects, using a robot of an anthropomorphic type as the main motor element. The arm will be controlled by means of a specialized software which captures images of the scene by means of two digital cameras. The control system is based on the kinematic and dynamic study of the robot, which is the basis so that the designed controller directs the robot in an efficient way to the suitable position and direction.

Resumen: El objetivo principal del presente trabajo es diseñar y construir un prototipo de un sistema mecatrónico para la selección de objetos, utilizando como elemento motriz principal un robot de tipo antropomórfico. El brazo será controlado mediante un software especializado el cual captura imágenes de la escena mediante dos cámaras digitales. El sistema de control está basado en el estudio cinemático y dinámico del robot, el cual es la base para que el controlador diseñado dirija al robot de manera eficiente a la posición y orientación adecuadas.

Keywords: Digital treatment of images, Anthropomorphic robot, mechatronic system, control, Matlab®, Simulink®.

1. INTRODUCCION

Este proyecto pretende diseñar un prototipo de un sistema mecatrónico en el cual se pueda seleccionar objetos por medio de visión artificial en 3D para controlar un brazo robótico de seis grados de libertad.

Como es sabido, una cámara proporciona imágenes en dos dimensiones, lo cual no provee información sobre la profundidad de las escenas y es por este motivo, que para este proyecto se trabajará con dos cámaras, y al establecer entre ambas imágenes una relación ortogonal, se podrán tener las tres dimensiones del espacio de trabajo.

Se persigue desarrollar un sistema de seguimiento tridimensional, empleando varias cámaras en tiempo real, con una cota de error aceptable, manteniendo un bajo coste computacional. Para enmarcar el problema se realizarán tres asunciones sobre el sistema.

En primer lugar, el seguimiento se realizará únicamente sobre *un objeto* en el espacio, identificado por su color o forma. Así mismo se emplearán *dos cámaras*, sin ser necesaria la utilización de un par estéreo o de sincronizar las imágenes de ambas cámaras. Por último se supondrá que las cámaras están *fijas y con orientación constante*.

Por último, y no menos importante se diseñará un software que servirá de interfaz gráfica entre el usuario, el robot y las cámaras, el cual proporcionará al operador información acerca del objeto seleccionado y de la posición del brazo robot, también permitirá al usuario programar tareas al robot cuando no este en modo autónomo.

2. DISEÑO SISTEMA DE SELECCIÓN H&S-1.0

El sistema integrado de manipulación H&S-1.0 se compone de la integración de hardware (brazo robot, cámaras, tarjeta electrónica de control) y software (roboto Vision v1.0).

2.1. Manipulador

El brazo es de tipo antropomórfico de 6 grados de libertad, se decidió por esta configuración ya que da mucha versatilidad a la hora de seleccionar los objetos ya que tiene 3 grados de libertad de posición y tres de orientación, esto quiere decir que se puede abordar el objeto por diferentes frentes. Se construirá de un material liviano y que soporte una carga considerablemente baja, no superior a 100 gramos. El material escogido es el acrílico ya que proporciona las características necesarias, liviano, resistente, maquinable y económico; para la selección de los servomotores se hará el cálculo dinámico para obtener el Torque requerido en cada uno de los ejes.

Las Fig. 1 y 2 muestran el modelo hecho en una herramienta CAD (solid edge), el cual proporciona una visión tridimensional del brazo, además de proporcionar una simulación virtual de los movimientos del mismo. Esta es la primera parte del

proceso ya que después de haber hecho el diseño en la computadora se procede a construir cada una de las piezas en una máquina de control numérico computarizado (CNC), y de esta forma se integra la tecnología existente en nuestro medio a la terminación de este proyecto; cabe mencionar que prototipo será modular ya que se construirá con fines académicos.

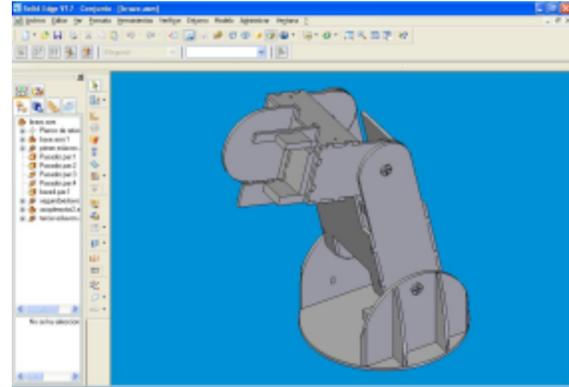


Fig. 1. Conjunto del brazo robot en Solid Edge.

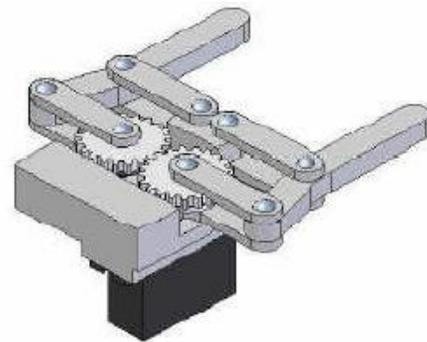


Fig. 2. Pinza (fuente: sistema mecatrónico para la selección de ejes y engranajes)

2.2 Sistema de visión

Esto se refiere a las cámaras utilizadas, y para este caso serán cámaras convencionales fácil de adquirir (Genius), ya que proporcionan la mínima calidad de imagen requerida para el trabajo. Las cámaras estarán dispuestas tal y como lo muestra la Fig. 3, y por su posición de una con respecto a la otra es que se denomina sistema 3D.

Una de las tareas pendientes en los sistemas de visión artificial es la localización y seguimiento tridimensional eficiente. Aunque existen sistemas que funcionan correctamente sobre dos dimensiones la proyección al espacio real se muestra costosa y lenta o, en caso contrario, muy imprecisa.

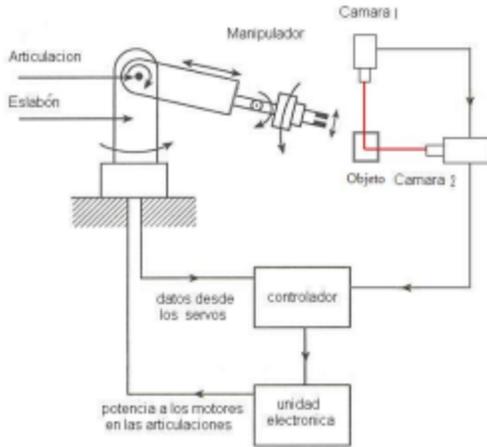


Fig. 3. Plano de posicionamiento de las cámaras con el sistema mecatrónico

Los sistemas de seguimiento y localización tridimensional, aparte de aportar herramientas al campo de visión artificial, proporcionan en el campo de la robótica móvil y fija mayor anclaje al robot en el mundo real. También existen trabajos en esta línea en el desarrollo de herramientas de interacción hombre-máquina. En estos dos casos la utilización de estos sistemas añade restricciones de tiempo real o de bajo coste computacional respectivamente.

Software Robotic Vision v1.0:

Como se mencionó anteriormente el programa será lo más importante ya que proporcionará la integración entre el sistema mecánico (brazo robot y banda transportadora), electrónico (tarjeta de control), medio ambiente (sistema de visión) y el usuario. El software permitirá al usuario programar al robot de diferentes formas, teniendo en cuenta que cuando el programa está en modo automático el usuario solo debe seleccionar que tipo de objetos quiere que el robot reconozca; el software proporcionará al operador detalles de posición del objeto y del robot con respecto al objeto, también dará detalle del tipo de objeto seleccionado y de la cantidad de objetos seleccionados de cada tipo (Fig. 4).

Otra de las aplicaciones interesantes es que el brazo se puede programar directamente desde el programa, se pueden guardar posiciones y después se ejecuta y el brazo irá a las posiciones predeterminadas, se puede mover conociendo el ángulo de cada una de las articulaciones o la posición del objeto respecto al sistema de referencia del brazo.

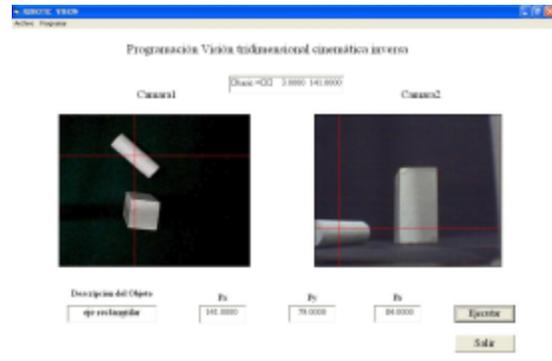


Fig. 4. Software Robotic Vision (forma autónoma)

Las figuras 5 y 6 muestra los diferentes modos de operación del brazo, esto lo hace más funcional, ya que no solo trabaja con el módulo de visión artificial sino que se puede utilizar en otras tareas, pero para integrar todo esto es necesario el estudio de la cinemática y dinámica del robot, ya que estas ecuaciones son las que permitirán que el brazo vaya a las posiciones deseadas, ya sean autónomas o preprogramadas.

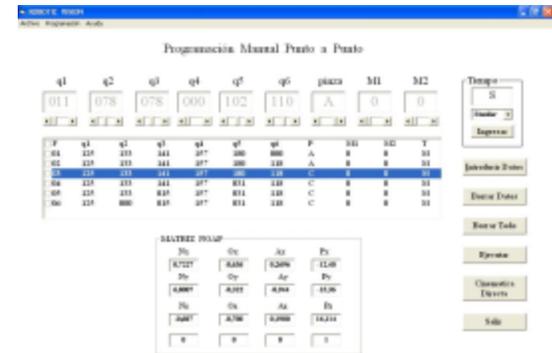


Fig. 5. Programación punto a punto

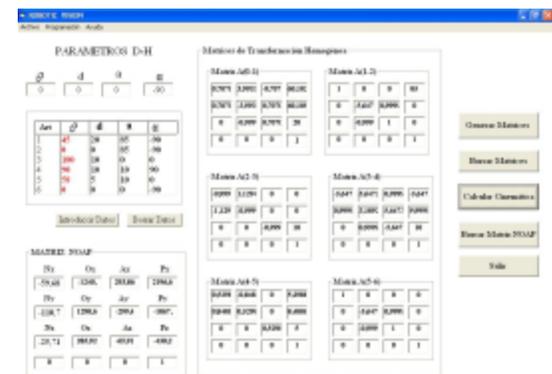


Fig. 6. Cálculo de parámetros D-H

3. ESTUDIO CINEMÁTICO Y TRATAMIENTO DE IMÁGENES

Para determinar que tipo de cálculos se deben realizar debe tenerse la estructura del sistema mecatrónico (Fig. 7), y como se observa cada función aporta algo al programa principal de control (Robotic Vision v1.0).

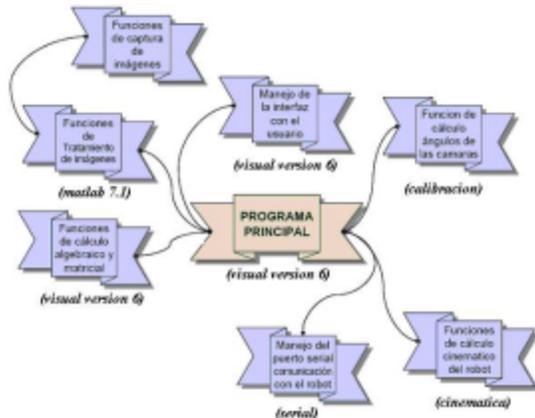


Fig. 7. Diagrama de estructuración

3.1 Cinemática del robot

La cinemática del robot estudia el movimiento del mismo con respecto a un sistema de referencia. Así, la cinemática se interesa por la descripción analítica del movimiento espacial del robot como una función del tiempo, y en particular por las relaciones entre la posición y la orientación del extremo final del robot con los valores que toman sus coordenadas articulares.

Existen dos problemas fundamentales a resolver en la cinemática del robot (Fig. 8); el primero de ellos se conoce como el problema cinemático directo, y consiste en determinar cuál es la posición y orientación del extremo final del robot, con respecto a un sistema de coordenadas que se toma como referencia, conocidos los valores de las articulaciones y los parámetros geométricos de los elementos del robot; el segundo, denominado problema cinemático inverso, resuelve la configuración que debe adoptar el robot para una posición y orientación del extremo conocidas. [1]



Fig. 8. Problema cinemático. [1]

Problema Cinemático Directo:

Dado que un robot se puede considerar como una cadena cinemática formada por objetos rígidos o eslabones unidos entre sí mediante articulaciones, se puede establecer un sistema de referencia fijo situado en la base del robot y describir la localización de cada uno de los eslabones con respecto a dicho sistema de referencia. De esta forma, el problema cinemático directo se reduce a encontrar una matriz homogénea de transformación T que relacione la posición y orientación del extremo del robot respecto del sistema de referencia fijo situado en la base del mismo. Esta matriz T es función de las coordenadas articulares (Fig. 9). [1]

De aquí se obtiene la matriz de transformación homogénea final multiplicando todas las matrices anteriormente descritas.

Cinemática inversa:

El objetivo del desarrollo cinemático inverso consiste en encontrar los valores que deben adoptar las coordenadas articulares del robot $q = [q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6]^T$ para que su extremo se posiciones y oriente según una determinada localización espacial.

ARTICULACIÓN	θ	d	a	α
1	q_1	L_1	0	90
2	$q_2 + 90$	0	L_2	0
3	$q_3 - 90$	0	0	-90
4	$q_4 - 90$	L_3	0	-90
5	q_5	0	0	90
6	q_6	L_4	0	0

$${}^0A_1^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(q_1) & \sin(q_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -L_1 \\ \sin(q_1) & -\cos(q_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^1A_4^{-1} = \begin{bmatrix} \sin(q_4) & -\cos(q_4) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -L_3 \\ \cos(q_4) & \sin(q_4) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1A_2^{-1} = \begin{bmatrix} -\sin(q_2) & \cos(q_2) & 0 & -L_2 \\ -\cos(q_2) & -\sin(q_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^4A_5^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(q_5) & \sin(q_5) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \sin(q_5) & -\cos(q_5) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1A_3^{-1} = \begin{bmatrix} \sin(q_3) & -\cos(q_3) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \cos(q_3) & \sin(q_3) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^4A_6^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(q_6) & \sin(q_6) & 0 & 0 \\ -\sin(q_6) & \cos(q_6) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -L_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 9. Parámetros D-H para el robot H&S-1.0 y sus respectivas matrices

Para posicionar el extremo del robot en unas coordenadas (px, py, pz) se deben obtener los valores de las tres primeras variables articulares. [1]

$$T = {}^0_1A * {}^1_2A * {}^2_3A \quad (1)$$

De la ecuación 1 por métodos algebraicos y trigonométricos, a partir de los valores de entrada P_x , P_y y P_z , se pueden deducir las ecuaciones que rigen el movimiento de las articulaciones para posicionar el robot.

$$q_1 = \tan^{-1}\left(\frac{P_y}{P_x}\right) \quad (2)$$

$$q_2 = \tan^{-1}\left(\frac{C_1 P_x + S_1 P_y}{p_z - (L_1 - L_2)}\right) \quad (3)$$

$$q_3 = \cos^{-1}\left(\frac{P_x^2 + P_y^2 - P_z^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1 L_2}\right) \quad (4)$$

Desacople cinemático:

En general no basta con posicionar el extremo del robot en un punto del espacio, sino es preciso también orientar la muñeca. Si bien la variación de estos tres últimos grados de libertad origina un cambio en la posición final del extremo real del robot, su verdadero objetivo es poder orientar la herramienta del robot libremente en el espacio.

Bajo estas condiciones se emplea la Solución de Pieper o desacople cinemático; que toma partido de este hecho, separando ambos problemas: posición y orientación. Para ello dada una posición y orientación final deseadas, establece las coordenadas del punto de corte de los tres últimos ejes (muñeca del robot) calculándose los valores de las tres primeras variables articulares (q_1, q_2, q_3) que consiguen posicionar este punto [2].

Teniendo en cuenta que la posición deseada para el extremo del robot es:

$$p_5^0 = p_6^0 - d_6 \cdot z_6 \quad (5)$$

Queda ahora obtener los valores de q_4, q_5 y q_6 que consiguen la orientación deseada.

De las ecuaciones anteriores se obtiene los valores de los parámetros articulares:

$$q_4 = \arcsen\left(\frac{r_{23}}{r_{33}}\right) \text{ Donde } \frac{r_{23}}{r_{33}} = \frac{-C_4 S_5}{C_5} \quad (6)$$

$$q_5 = \arccos(r_{33}) \text{ Donde } r_{33} = C_5 \quad (7)$$

$$q_6 = \arctan\left(-\frac{r_{32}}{r_{31}}\right) \text{ Donde } \frac{r_{32}}{r_{31}} = \frac{S_2 S_6}{-S_5 C_6} \quad (8)$$

De esta forma se puede controlar el robot sólo con tener el valor de p_x, p_y, p_z y poder posicionar cada articulación con el ángulo indicado con respecto a la articulación anterior.

3.2 Tratamiento de imágenes

El campo del tratamiento digital de imágenes está en continua evolución. Durante los últimos años ha aumentado el interés en la morfología de las imágenes, procesamiento de imágenes en color, comprensión y reconocimiento de imágenes y los sistemas inteligentes de análisis de imágenes.

El tratamiento digital de imágenes comprende hardware, software y recursos teóricos.

La manipulación global de una imagen se puede dividir en 3 categorías:

- Procesado de imagen - Genera nuevas imágenes
- Análisis de Imagen - Genera conjuntos de medidas de propiedades
- Compresión de Imágenes - Descripción a alto nivel. [4]

Aquí se trabajará el análisis de la imagen, para poder tener sus propiedades, tales como color, tamaño, forma, centro geométrico, etc. (Fig. 10).

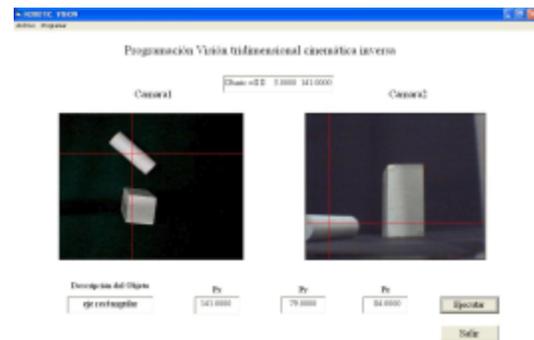


Fig. 10. Detalle de los objetos seleccionados por el Robotic Vision v1.0

4. CONCLUSIONES

El sistema mecatrónico H&S-1.0 y el software Robotic Vision v1.0 se lograron acoplar entre sí, de tal forma que provee una herramienta muy flexible a la hora de programar tareas a un brazo robot y de incursionar en el área de la visión artificial.

Para implementar el sistema mecatrónico H&S-1.0 en la industria bastará con hacer el brazo más robusto, tener procesadores más rápidos y cámaras de mayor resolución para poder ejecutar Robotic Vision v1.0 ya que el procesamiento se hace con Matlab y demanda gran capacidad de procesamiento para hacerlo en tiempo real.

La integración de la mecánica, la electrónica y la programación hoy día dan excelentes resultados a la hora de automatizar un proceso, de aquí la importancia de los sistemas mecatrónicos en nuestra industria.

Por trabajar con las coordenadas cartesianas fijas del objeto que será tomado por el manipulador, ya sea por dar los valores o por calcularlos con el programa de visión artificial, solo bastó con un control cinemático, el control dinámico es estudio de proyectos posteriores, cuando se quiera predecir la ubicación de un objeto que se desplaza en el espacio tridimensional a cierta velocidad.

AGRADECIMIENTOS

Sinceros agradecimientos al Servicio Nacional de Aprendizaje SENA regional Cúcuta, sin su apoyo técnico y económico este proyecto sólo quedaría en papel.

A nuestra Universidad de Pamplona y a los estudiantes del programa de Ingeniería Mecatrónica, quienes apoyan técnicamente e impulsan a los docentes en el desarrollo de sus investigaciones.

A la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) y sus docentes que con su apoyo ayudaron a la culminación de mis estudios de maestría, y que gracias a ellos puedo seguir incursionando en este campo de la investigación.

REFERENCIAS

- [1]. Antonio Barrientos, Luís F Peñin. *Fundamentos de Robótica*. Madrid España, 1997.
- [2]. Madrigal, R. y Vidal, E. *Robots Industriales Manipuladores*. Editorial Alfa Omega. 2004.
- [3]. Aníbal Ollero Baturone. *Robótica Manipuladores y robots móviles*. Barcelona-España, 2001.
- [4]. Mery, Domingo. *Visión Artificial*. Universidad de Santiago de Chile. 2002.

PAGINAS WEB

- [5]. <http://www.ucsc.cl/~kdt/procesos/download/doc/cim.doc>
- [6]. <http://www.isa.uma.es/personal/antonio/Robotica/Tema1%20%20Introduccion.pdf>.