

Visión para Posicionar un Manipulador Utilizando un Sistema de Visión Mono-ocular

Viramontes Reyna José Luis¹, González Galván Emilio J.²

¹Universidad Tecnológica de San Luis Potosí, ProL. Av. De Las Ameritas #100, Rancho Nuevo, Soledad de Graciano Sánchez S.L.P. México, 78430

²Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Dr. Manuel Nava 8, Zona Universitaria San Luis Potosí, S.L.P. México, 78290

Resumen

Aplicaciones previas del método de Manipulación de Espacio de Cámara (CSM) para el posicionamiento en un espacio tridimensional de un robot de uso industrial, a involucrado el uso de dos o más cámaras. El trabajo que se presenta, muestra los resultados obtenidos de la aplicación de CSM del problema de alcanzar un posicionamiento tridimensional, utilizando un sistema de visión mono-ocular. La metodología propuesta toma ventaja de conocer la superficie en la cual va a interactuar el robot. Un robot Fanuc LR Mate 200iB es usado, junto con una cámara de visión DVT 630. La herramienta utilizada en el robot es un mini taladro. El método puede hacer que la herramienta se pueda posicionar en una orientación arbitraria sobre la superficie, pero para las pruebas desarrolladas, la herramienta se posicionará de una forma perpendicular a la misma.

Palabras clave: Manipulación de Espacio de Cámara.
Sistema de Visión mono-ocular.
Manipulador.

1. Introducción

Es conveniente mencionar que el conocimiento preciso de la ubicación y geometría de la superficie en la que va a interactuar el robot puede ser suficiente para evaluar la configuración del mismo, aplicando la cinemática inversa sin el recurso de un sistema de visión. Sin embargo, factores como errores en la ubicación de la pieza o efectos no modelados en el robot, como por ejemplo una calibración imprecisa o deformación en el dispositivo, hacen que este enfoque resulte insuficiente para lograr un posicionamiento preciso.

Así, la aplicación de un sistema de visión libre de calibración como el que se propone en el presente trabajo de investigación, hace que se logre el doble objetivo de posicionar de manera precisa al robot sin elevar el grado de complejidad en su aplicación. Este enfoque en sí, representa una extensión original del método de manipulación de espacio de cámara que se utiliza para el posicionamiento tridimensional preciso de un robot.

Múltiples proyectos han involucrado el uso de "Visual Servoing" (VS) para controlar el posicionamiento de un manipulador, utilizando retroalimentación visual [1],[2],[3],[4]. El método propuesto, conocido como Manipulación de Espacio de Cámara (CSM) es una alternativa viable para el control de un robot manipulador utilizando visión. Actualmente, El método de CSM ha sido utilizado con dos o más cámaras para vías de posicionar un manipulador en un espacio tridimensional, así como la orientación de la herramienta sobre una superficie arbitraria. De forma adicional, hay aplicaciones en las cuales es importante una descripción geométrica precisa de la superficie donde el sistema va a interactuar. Por ejemplo, superficies de piezas de la industria automotriz, en la cual, la descripción geométrica es conocida con gran precisión. Estas ventajas pueden ser utilizadas al utilizar una cámara con el objetivo de alcanzar un posicionamiento tridimensional de la herramienta utilizada por un robot. Como se describe aquí, la metodología propuesta CSM, es utilizada con una cámara estacionaria en el tiempo de intervalo de la detección de la pieza de trabajo y la tarea realizada.

2. Desarrollo

Esta sección describe el procedimiento general para alcanzar la localización y orientación de la herramienta manipulada, con respecto a la

superficie de la geometría conocida. Por simplificación, la superficie considerada para las pruebas es plana, aunque la metodología puede ser extendida para otras superficies. La metodología propuesta, puede ser utilizada para el cálculo de los seis grados de libertad de un robot industrial, basado en que es conocida la cinemática de espacio de cámara. La cinemática del espacio de cámara consiste de la definición de una relación algebraica no lineal entre el sistema coordinado del robot y un número de marcas visuales localizadas en la herramienta, relacionadas con el espacio de cámara. Esta relación está basada en la consideración de un sencillo modelo ortográfico de cámara.

2.1 Parámetros de visión.

Un modelo ortográfico de cámara fue usado en nuestro experimento. El cual puede ser obtenido del modelo de cámara de orificio el cual es presentado en [5] y es utilizado en [6]. El modelo ortográfico de cámara puede ser descrito por la siguiente expresión,

$$\begin{aligned} f_x(x, y, z; C) &= b_1x + b_2y + b_3z + b_4 \\ f_y(x, y, z; C) &= b_5x + b_6y + b_7z + b_8 \end{aligned} \quad (1)$$

Donde,

$$\begin{aligned} b_1 &= C_1^2 + C_2^2 - C_3^2 - C_4^2 \\ b_2 &= 2(C_2C_3 + C_1C_4) \\ b_3 &= 2(C_2C_4 - C_1C_3) \\ b_4 &= C_5 \\ b_5 &= 2(C_2C_3 - C_1C_4) \\ b_6 &= C_1^2 - C_2^2 + C_3^2 - C_4^2 \\ b_7 &= 2(C_3C_4 + C_1C_2) \\ b_8 &= C_6 \end{aligned} \quad (2)$$

La primera parte del procedimiento establece la relación entre las marcas detectadas por la cámara y el área de trabajo. Las cuales pueden ser obtenidas al usar un apuntador laser y localizarlas sobre la superficie donde el robot va a interactuar. Basado en las expresiones previas, la localización del espacio de cámara de las marcas es presentada por f_x y f_y , además b_1, \dots, b_8 son funciones que incluyen los seis parámetros de visión $C = [C_1 \dots C_6]^T$.

La determinación de los seis parámetros de visión es hecha usando un procedimiento de

estimación no lineal que involucra muestras en el espacio de cámara y la correspondencia física de un número de marcas localizadas en la herramienta, las cuales se muestran en la figura No. 1. Los seis parámetros de visión son actualizados durante la ejecución de la maniobra, usando muestras de las marcas junto con el correspondiente modelo cinemático del brazo. La precisión del sistema es incrementado usando un procedimiento conocido como flattening, el cual en esencia, consiste en modificar las muestras del espacio de cámara, para hacerlas mas consistentes con nuestro modelo ortográfico de cámara.

Las marcas visuales consisten de LEDs de alta intensidad, ubicados alrededor de la herramienta y cubiertos con acrílico color blanco, las posiciones físicas son conocidas, como se muestra en la figura No. 2.

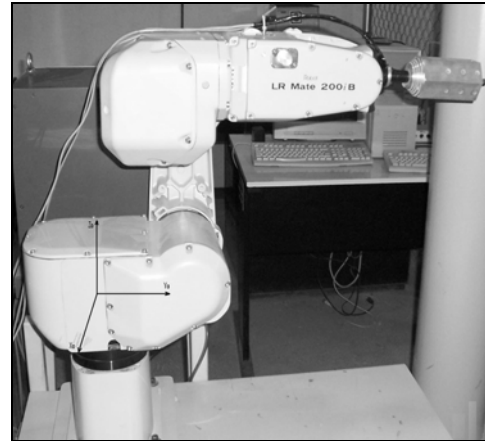


Fig. 1. Robot industrial LR Mate 200iB y la herramienta utilizada.

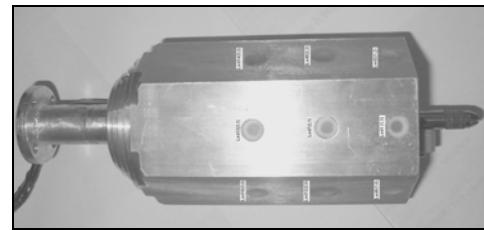


Fig. 2. LEDs montados en la herramienta.

Una restricción considerada para el trabajo actual, es el considerar que la geometría y localización de la superficie de trabajo es conocida; en este caso la superficie es un área plana, paralela a los ejes coordinados de origen del robot X_0 y Y_0 , el plano es localizado a una distancia aproximada de 352 mm debajo de esos ejes. Para el experimento presentado, la ecuación del plano, dada por la

expresión (3) puede ser definida considerando muestras de la localización tridimensional de diferentes puntos proyectados sobre la superficie. Estos puntos son localizados en el espacio de cámara y se les da una correspondencia tridimensional con respecto al sistema coordenado perteneciente al robot. Los parámetros incluidos en la ecuación del plano pueden ser encontrados utilizando un proceso de minimización lineal.

$$AX + BY + CZ + D = 0 \quad (3)$$

2.2 Modelo cinemático del manipulador.

Físicamente, la posición y orientación tridimensional de la herramienta, puede ser derivada en termino del valor de las articulaciones (prismáticas o revoluta) del robot, usando el modelo cinemático. Estas coordenadas están relacionadas a los grados de libertad del manipulador.

La cinemática del robot se relaciona con el estudio analítico de su geometría con respecto a un sistema coordenado fijo. El modelo cinemático no considera las fuerzas y momentos que producen el movimiento del robot.

El robot Fanuc LR-Mate 200iB, mostrado esquemáticamente en la figura No. 3, es un manipulador del tipo antropomórfico con seis grados de libertad, todas del tipo revoluta y son controlados por servomotores. El modelo cinemático de este robot es dado por la siguiente matriz T,

$$T = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 T_{xyz} \quad (4)$$

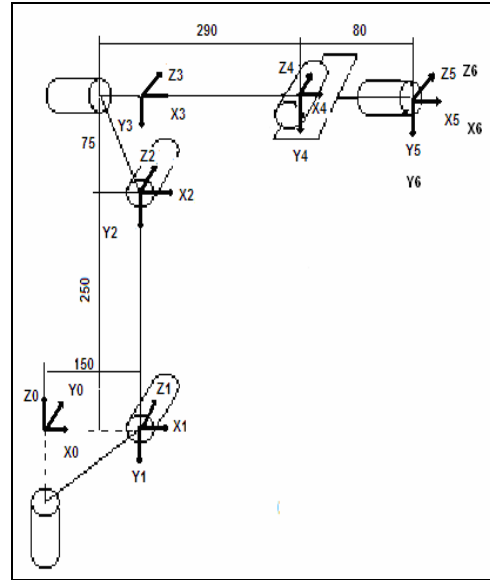


Fig 3. Sistema coordenado del robot sin considerar la herramienta, las traslaciones están dadas en milímetros.

Donde las matrices A_1 a A_6 , basadas en la representación esquemática del robot en la figura No. 3, están dadas por,

$$A_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & -\sin \theta_1 & 150 \cos \theta_1 \\ \sin \theta_1 & 0 & \cos \theta_1 & 150 \sin \theta_1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 250 \sin \theta_2 \\ 0 & 1 & 0 & -250 \cos \theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & \sin \theta_3 & 0 & 290 \cos \theta_3 - 75 \sin \theta_3 \\ -\sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & -290 \sin \theta_3 - 75 \cos \theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_4 & \sin \theta_4 & 0 \\ 0 & -\sin \theta_4 & \cos \theta_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_5 = \begin{bmatrix} \cos \theta_5 & \sin \theta_5 & 0 & 80 \cos \theta_5 \\ -\sin \theta_5 & \cos \theta_5 & 0 & -80 \sin \theta_5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_6 & \sin \theta_6 & 0 \\ 0 & -\sin \theta_6 & \cos \theta_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La matriz T_{xyz} considera la geometría de la herramienta. Para el trabajo presentado, esta matriz está dada por,

$$T_{xyz} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 215 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Cada una de las marcas luminosas tiene asignada una posición relativa a la herramienta, cada una de ellas se le tiene asignado un vector que al realizar el producto matricial con respecto a T_{xyz} se obtiene la posición física en el espacio tridimensional. Cada marca tiene el propósito de determinar cual es visible a la cámara y serán usadas para controlar la maniobra.

2.3 Estimación de la configuración interna del manipulador.

Cuando dos o más cámaras son utilizadas, la configuración interna del manipulador, puede ser obtenida minimizando la función en la ecuación (6). Esta expresión involucra n_c cámaras y n_t puntos objetivos:

$$\gamma(\Theta) = \sum_{i=1}^{n_c} \sum_{j=1}^{n_t(i)} \{ [X_{t_j}^i - f_x(r_{x_j}^i(\Theta), r_{y_j}^i(\Theta), r_{z_j}^i(\Theta); C^i)]^2 + [Y_{t_j}^i - f_y(r_{x_j}^i(\Theta), r_{y_j}^i(\Theta), r_{z_j}^i(\Theta); C^i)]^2 \} W_j^i \quad (6)$$

Donde,

$\Theta = [\Theta_1, \dots, \Theta_6]^T$ Es la configuración del robot a resolver.

$X_{t_j}^i, Y_{t_j}^i$ Es la posición de la j-va cámara.

$C_i = [C_1^i, \dots, C_6^i]^T$ Son los actuales parámetros de visión de la i-va cámara.

El peso relativo dado por cada punto objetivo es definido por W_j^i , el cual, por propósitos prácticos, puede ser considerado como valor de uno para todos los puntos.

Como solo una cámara es utilizada, una sección de información adicional es requerida, en relación de evaluar la configuración del robot. Esta información consiste en la ecuación de la superficie donde el robot va a interactuar. Adicionalmente, solo se estará evaluado un punto objetivo, por lo que la ecuación (6), se redefine como se muestra en la ecuación (7),

$$\gamma(\Theta) = [X_{t_j} - f_x(r_{x_j}(\Theta), r_{y_j}(\Theta), r_{z_j}(\Theta); C)]^2 + [Y_{t_j} - f_y(r_{x_j}(\Theta), r_{y_j}(\Theta), r_{z_j}(\Theta); C)]^2 - \lambda \Phi(r_{x_j}(\Theta), r_{y_j}(\Theta), r_{z_j}(\Theta)) \quad (7)$$

Donde λ es un multiplicador de Lagrange y Φ es la restricción para el área plana de trabajo.

La ecuación (7) es minimizada para obtener los valores de los tres primeros grados de libertad utilizando el método de Newton-Raphson. Los últimos tres grados de libertad son calculados al considerar que la herramienta mostrada en la figura No. 2 debe de estar perpendicular al plano descrito por la ecuación (3).

3. Desarrollo del experimento.

El experimento, utilizando la metodología descrita, fue desarrollado en el laboratorio de manufactura de la Universidad Tecnológica de San Luis Potosí. Un Robot manipulador marca Fanuc LRMate 200iB fue utilizado con un porta herramienta diseñado especialmente para esta investigación, la cual se muestra en la figura No. 1. El algoritmo de control fue desarrollado en una computadora Laptop con procesador Celeron. La comunicación de la computadora al robot se hizo utilizando el puerto serial RS-232 de ambos equipos. La comunicación es necesaria para obtener la posición física del robot, mientras se encuentra en movimiento, así como el de enviar al robot la configuración evaluada con el algoritmo de control.

Un apuntador laser es usado para generar marcas no permanentes sobre la superficie donde el robot va a estar operando. El punto laser que es proyectado sobre la superficie será evaluada por medio de la cámara, la cual, al operar en escala de grises, este punto se verá en color blanco. Este hecho facilita la detección en el espacio de cámara del centróide de dicho punto.

El punto laser es usado como el punto objetivo el cual se quiere alcanzar. El experimento consiste en desplazar la punta de la herramienta, manipulada por el robot, para colocarla de manera perpendicular al plano, sobre el punto laser proyectado sobre la superficie. La configuración de la solución para mover al robot es obtenida como se presentó en la sección 2.3.

Mientras el robot está en movimiento, muestras de la localización de los LEDs ubicados sobre el porta herramienta obtenidos en el espacio de cámara y la correspondiente localización tridimensional, son utilizados con el objetivo de estar actualizando los parámetros de visión utilizando el proceso conocido como flattening, el cual es descrito con detalle en [7].

Durante el desarrollo del experimento, una distorsión, generada por la lente fue observada. Dicha distorsión es mostrada en la figura No. 4, esta fuente de error no es considerada en el presente trabajo. Futuros trabajos deberán estar enfocados para determinar la influencia de dicha distorsión en la precisión final del sistema, así como la forma de reducirlos.

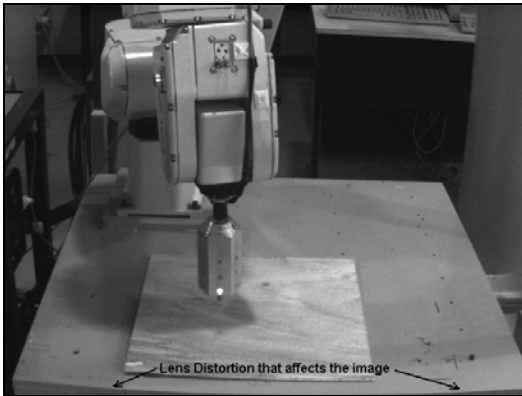


Fig. 4. Distorsión de la lente que afecta la imagen.

Los resultados obtenidos y presentados en este documento para la aproximación, fueron probados y solo es uno de los múltiples puntos que se utilizaron en diferentes pruebas, para este caso, las coordenadas del espacio de cámara son $x_{pix} = 300$ y $y_{pix} = 400$. La imagen correspondiente a este experimento es presentado en la figura No. 5, y el resultado final es mostrado en la figura No. 6. Los valores calculados para cada grado de libertad, obtenidos como se presenta en la sección 2.3 son:

t1grad = 20.8853
t2grad = 58.0769
t3grad = -53.8319
t4grad = 0
t5grad = -36.1681
t6grad = -20.8853
xt_cal = 300.0200
yt_cal = 400.0120
xpix = 300
ypix = 400

Donde los valores, en espacio de cámara (píxeles), son prácticamente los mismos que los valores medidos. Cuando el robot es enviado a la posición calculada, se presenta un error físico de aproximación que se encuentra en los rangos de 2 a 4 milímetros, desde la punta de la herramienta al punto objetivo.



Fig. 5. Imagen donde se muestra el punto objetivo

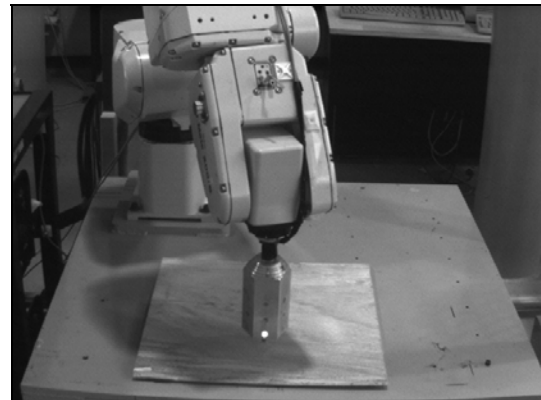


Fig. 6. posición del manipulador en el valor calculado, el punto es obstruido por la herramienta para ser visualizado por la cámara.

4. Conclusiones y trabajos futuros

El experimento desarrollado, muestra la capacidad de alcanzar un punto objetivo ubicado de forma arbitraria sobre un espacio de trabajo, el cual es generado por un apuntador laser, con un error de aproximación en un rango de 2 a 4 milímetros. Los resultados obtenidos muestran que la metodología propuesta puede ser utilizada para posicionar la herramienta del manipulador sobre el punto objetivo, **utilizando solo una cámara**. Diferentes Fuentes de error pueden estar influyendo para hacer que la herramienta no se posiciones de forma correcta sobre el objetivo. Entre estas fuentes de error se encuentran,

la distorsión de la lente, la luz de día presente en el laboratorio, la iluminación artificial del laboratorio, etc.

Los trabajos futuros deberán ser directamente enfocados a reducir las diferentes fuentes de error, para mejorar la posición de la herramienta con respecto a la superficie de trabajo. La distorsión de la lente puede ser corregido, esto puede ser por medio de software, así también, esta fuente de error puede ser resuelta si se modifica la posición de la cámara, por ejemplo, perpendicular al superficie de trabajo, adicionalmente, el número de puntos laser usados en la maniobra tiene un valor importante para la precisión del sistema, por lo que tendrá que ser investigada con un incremento en los mismos.

Referencias

- [1] Meter I. Corke. "Visual Control of Robot Manipulators – A Review" CSIRO Division of Manufacturing Technology, Preston, Victoria, 3072. Australia 2003
- [2] Cowan, Noah J.: "Binocular Visual Servoing With a Limited Field of View", University of California at Berkeley, Berkeley California EUA, 2002.
- [3] Gregory D. Hager, Seth Hutchinson, Peter Corke. "Tutorial TT3: A tutorial on Visual Servo Control" IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1996
- [4] Darius Burschka ,Dana Cobzas, Zach Dodds Greg Hager, Harvey Mudd, Martin Jagersand Keith Yerec. "Recent Methods for Image-based Modeling and Rendering" IEEE Virtual Reality 2003 tutorial 1
- [5] Gonzalez-Galvan E.J, Pazos-Flores F, Skaar, S.B. Cardenas-Galindo A. "Camera pan/tilt to Eliminate the Workspace-size/Pixel-Resolution Tradeoff with Camera-Space Manipulation", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2002; 18(2): 95-104.
- [6] Gonzalez Galvan, E.J., Cruz Ramirez, S.R., Duran Garcia, H.M.: "Aplicación de Sensores Múltiples Para el Posicionamiento Tridimensional de Robots Usando Visión", Interciencia. Vol. 26, No. 11. 2001, pp. 541-546.
- [7] Gonzalez-Galvan,E.J., Skaar,S.B., Korde,U.A., Chen,W.Z. "Application of a Precision Enhancing Measure in 3-D Rigid-Body Positioning Using Camera-Space Manipulation" The International Journal of Robotics Research ISSN 0278-3649. Vol. 16, No.2. Abril de 1997, pp.240-257.
2.1 Título de subsección