

Positioning system with artificial vision for a six-degree articulated robotic arm using artificial neural networks

M. G. Borja Borja
Área de Mecatrónica
Facultad de Ingeniería Mecánica
Universidad Nacional de Ingeniería
Lima, Perú
mborja33@hotmail.com

Abstract— *The positioning of a robotic arm is done using sensors in the joints together with position calculation algorithms based on the inverse kinematics using geometric principles that depend on the geometric configuration of robotic arm what systems do cost.*

In this work we propose a solution to position the robotic arm using cameras of any type and applying artificial neural networks that after a learning process with samples captured by the cameras positions the robotic arm with six degrees of freedom.

The results obtained by the prototype developed in Visual C # with a web camera and a robotic arm show that the solution proposed is independent of the type of camera, it does not require position sensors in the joints, it does not depend on the size of the robot and it is not required of mathematical calculations to position the robotic arm of six degrees of freedom.

In this way, if we change the size of the robotic arm and the camera, it is only necessary to carry out the corresponding learning process so that the system can perform the positioning.

Keywords- *Robotic arm; artificial neural networks; artificial vision; positioning with artificial vision.*

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.498>
ISBN: 978-0-9993443-1-6
ISSN: 2414-6390

Sistema de posicionamiento con visión artificial para un brazo robótico articulado de seis grados mediante redes neuronales artificiales

M. G. Borja Borja
Área de Mecatrónica
Facultad de Ingeniería Mecánica
Universidad Nacional de Ingeniería
Lima, Perú
mborja33@hotmail.com

Abstract — El posicionamiento de un brazo robótico se realiza utilizando sensores en las articulaciones conjuntamente con algoritmos de cálculo de la posición basados en la cinemática inversa utilizando principios geométricos que dependen de la configuración geométrica de brazo robótico lo que hacen sistemas costos.

En este trabajo se propone una solución para posicionar el brazo robótico usando cámaras de cualquier tipo y aplicando redes neuronales artificiales que tras un proceso de aprendizaje con muestras capturadas mediante las cámaras posiciona el brazo robótico de seis grados de libertad.

Los resultados obtenidos mediante el prototipo desarrollado en Visual C# con una cámara web y un brazo robótico demuestran que la solución propuesta es independiente del tipo de cámara, no se requiere sensores de posición en las articulaciones, no depende del tamaño del robot y tampoco se requiere de cálculos matemáticos para posicionar el brazo robótico de seis grados de libertad.

De esta manera si cambiamos el tamaño del brazo robótico y la cámara solo es necesario realizar el proceso de aprendizaje correspondiente para que el sistema pueda realizar el posicionamiento.

Keywords— Brazo robótico; redes neuronales artificiales; visión artificial; posicionamiento con visión artificial.

I. INTRODUCTION

El control de posición de brazos robóticos tiene una gran cantidad de aplicaciones industriales en procesos de producción automáticos donde se requiere manipular objetos en el espacio, como: ensamblaje de todo tipo de maquinas, soldadura en la industria automotriz, pintura de piezas, empaque de todo tipo de productos, etc.

Para resolver este problema convencionalmente se usa sensores de posición en cada articulación, ecuaciones matemáticas del problema inverso [10] que dependen de la configuración geométrica del brazo robótico y algoritmos de planificación de trayectorias de acuerdo a los desplazamientos

que debe realizar el brazo para asistir un proceso de producción.

De lo expuesto en los párrafos anteriores podemos concluir que es necesario tener la posibilidad de generar los desplazamientos necesarios en cada articulación para que el brazo alcance una posición deseada utilizando cámaras de bajo costo que capturan la imagen de la posición que se desea alcanzar.

Para eliminar la complejidad y el alto costo de control de posición del brazo robótico se requiere de un método que mediante las imágenes capturadas por la cámara se pueda posicionar el brazo en el punto deseado, encapsulado todas las complejidades de control de posición, generación de trayectoria y procesamiento de imágenes, lo que es posible aplicando redes neuronales artificiales.

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para el diseño de prototipo se realizó un análisis de todos principios teóricos que sustentan el funcionamiento de cada componente del brazo robótico con el objetivo de determinar las características de hardware y software que debe incluir el sistema.

A. Cinemática

La cinemática permite representar matemáticamente los movimientos de los componentes móviles del brazo robótico.

Si partiendo de las coordenadas generalizadas se obtiene las coordenadas cartesianas del efector final, se conoce como el problema cinemático directo y viceversa si utilizando las coordenadas cartesianas de ubicación de efector final se calcula las coordenadas generalizadas se conoce como problema cinemático inverso [1].

B. Dinámica

La dinámica del brazo robótico es la representación matemática de comportamiento de los torque y fuerzas que

influyen en el movimiento de los diferentes componentes mecánicos [1].

C. Visión artificial

La visión artificial se desarrolla en base al análisis de imágenes capturadas por medio de cámaras, en donde cada píxel es analizado para obtener características relevantes que nos ayudan a resolver el problema propuesto.

III. PROTIPO

A. Estructura del sistema de visión artificial

El diagrama del sistema de visión artificial propuesto en la presente investigación para controlar el posicionamiento de una brazo robótico de seis grados de libertad esta mostrado en la fig. 1 y consta de una fase de aprendizaje y otra de funcionamiento.

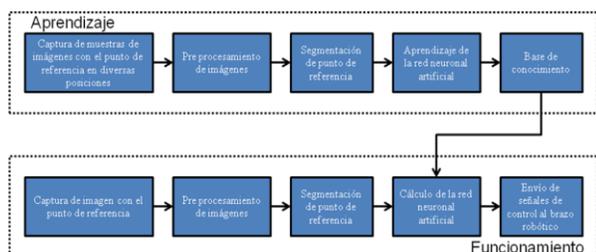


Fig. 1. Diagrama del sistema de vision artificial para controlar el posicionamiento de una brazo robotico de seis grados de libertad.

Los componentes de la fase del funcionamiento del sistema son los siguientes:

Captura de imágenes.- Se trata del proceso de captura de las imágenes con las cámaras. El resultado de la captura es que se obtiene una imagen donde se tiene el órgano ejecutor del robot y el punto donde queremos posicionar, luego las imágenes son guardadas a colores en archivos de imágenes con formatos jpg de 24 bits, para luego ser procesadas por el sistema.

Pre procesamiento de imágenes.- Mediante este proceso se convierte las imágenes obtenida en colores de 24 bits por píxel a una imagen en blanco y negro mediante la binarización.

Segmentación del punto del órgano ejecutor y del punto de referencia.- En este proceso extraemos de la imagen el punto que indica la posición del órgano ejecutor del brazo robótico y el punto de referencia a donde debemos posicionar el brazo robótico.

Generación de señal de movimiento para las seis articulaciones de brazo robótico mediante de la RNA.- En este proceso la RNA utilizando el conocimiento adquirido durante el proceso de aprendizaje de la base de conocimientos, se obtiene la dirección de movimiento de cada articulación del brazo robótico para alcanzar el punto de referencia.

Posicionamiento del brazo robótico.- El software de la computadora de control de robot que utiliza un DSP recibe las señales de dirección de movimiento de cada a articulación y envía las señales a los motores para que ejecuten dicho movimiento.

La fase de aprendizaje tiene los siguientes componentes.

Captura de muestras de imágenes con el punto de referencia en diferentes posiciones en el plano de trabajo del brazo robótico. - Utilizando la cámara capturamos imágenes con el punto de referencia en diversas posiciones en el plano de trabajo del brazo robótico.

Estas imágenes se utilizaran para realizar el proceso de aprendizaje de la RNA (cabe señalar que el formato de la imagen capturada es igual al mencionado en el proceso uno de la parte de funcionamiento).

Pre procesamiento de imágenes.- Mediante este proceso se convierte las imágenes obtenida en colores de 24 bits por píxel a una imagen en blanco y negro mediante la binarización. (La idea es tener varias muestras que ayuden en el proceso de aprendizaje)

Segmentación del punto del órgano ejecutor y del punto de referencia.- En este proceso extraemos de la imagen el punto que indica la posición del órgano ejecutor del brazo robótico y el punto de referencia a donde debemos posicionar el brazo robótico.

Aprendizaje de la RNA.- Es un proceso mediante el cual se ajustan los pesos de la RNAs (en total 25000 pesos) utilizando las diversas muestras para que la RNAs pueda determinar la dirección de movimiento de cada articulación, para que el órgano ejecutor de brazo robótico alcance el punto de referencia.

Base de conocimiento de la RNA.- En la base de conocimientos se almacenan el conocimiento de la RNAs obtenido durante el proceso aprendizaje.

B. Prototipo de brazo robotico de seis grados de libertad

Las pruebas se realizaron en un prototipo de desarrollado para este fin como se muestra en la fig. 2, en donde el efector final tiene el color verde y el punto de referencia a donde se debe posicionar tiene color azul como se presenta en la fig. 3.

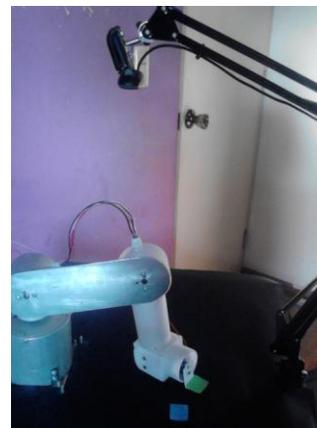


Fig. 2. Brazo robótico de seis grados de libertad con sistema de visión artificial.

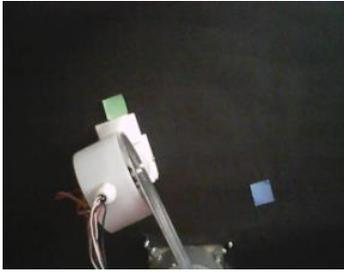


Fig. 3. Muestras de captura de imágenes de vista superior y lateral con las cámaras y el panel de control .

C. Software de pre procesamiento de las imágenes capturadas mediante la cámara.

Las imágenes capturadas mediante la cámara, y almacenados en los archivos jpg, se abren para obtener los pixeles de cada imagen y se guardan en la memoria operativa de la computadora, para realizar los procesos de binarización, eliminación de ruido y segmentación de punto que indica la posición del órgano ejecutor del brazo robótico y la posición del punto de referencia.

En la Figura N° 2.3.10, Figura N° 2.3.11, Figura N° 2.3.12 y Figura N° 2.3.13 se muestra el procesamiento de las imágenes con el punto de referencia a la derecha y adelante, ala derecha y atrás, a la izquierda y adelante y a la izquierda y atrás.

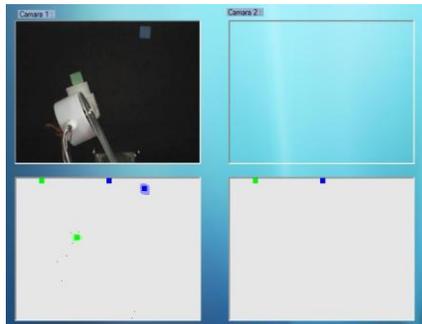


Fig. 4. Punto de referencia a la derecha y adelante.

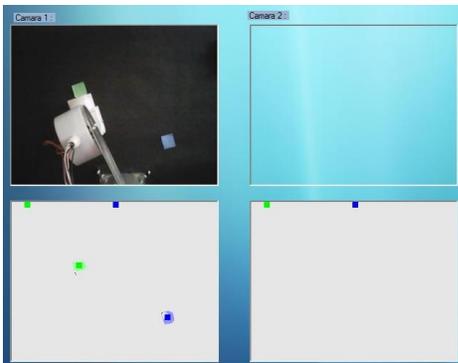


Fig. 5. Punto de referencia a la derecha y atrás.

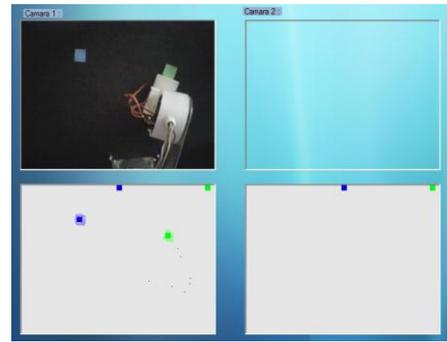


Fig. 6. Punto de referencia a la izquierda y adelante.

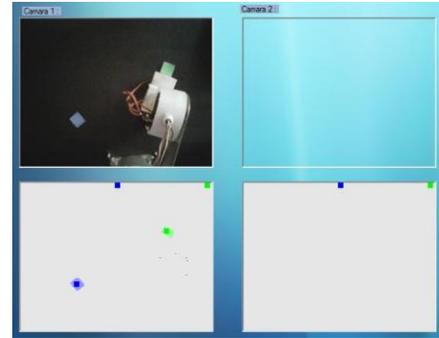


Fig. 7. Punto de referencia a la izquierda y atrás.

D. Red neuronal artificial para posicionar el brazo robótico de seis grados de libertad.

Para posicionar el brazo robótico de seis grados de libertad se necesita cuatro redes neuronales artificiales (RNA) de pre alimentación con neuronas con función de transferencia tipo limitador fuerte (Hardlim) conocidos como perceptrones. Cada red contiene cuatro capas ver fig. 8 y fig. 9, donde en la primera capa tenemos veinte (10) neuronas, en la segunda capa tiene cuarenta (30) neuronas, en la tercera capa veinte (20) neuronas y en la cuarta y última capa una (1) neurona.

La primera RNA controla el movimiento del brazo hacia la derecha actuando sobre la primera, cuarta y sexta articulación si la imagen capturada tiene el punto de referencia en el lado derecho del punto del órgano ejecutor (Ver fig. 4), la segunda RNA controla el movimiento del brazo hacia la izquierda actuando sobre la primera, cuarta y sexta articulación si la imagen capturada tiene el punto de referencia en el lado izquierdo del punto del órgano ejecutor (Ver fig. 6), la tercera RNA controla el movimiento del brazo hacia adelante actuando sobre la segunda, tercera y quinta articulación si la imagen capturada tiene el punto de referencia adelante del punto del órgano ejecutor (Ver fig. 4) y la cuarta RNA controla el movimiento del brazo hacia atrás actuando sobre la segunda, tercera y quinta articulación si la imagen capturada tiene el punto de referencia atrás del punto del órgano ejecutor (Ver fig. 5).

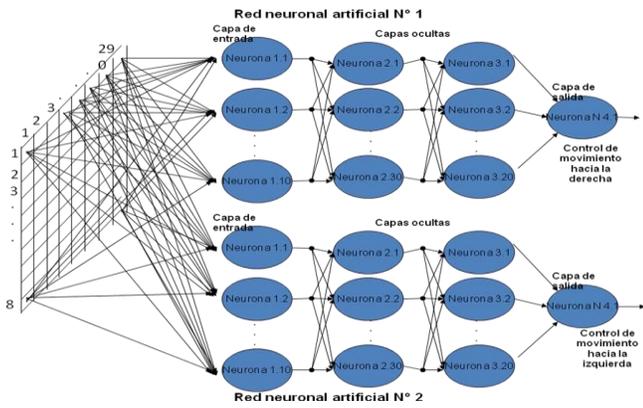


Fig. 8. Estructura de la RNA N° 1 y RNA N° 2.

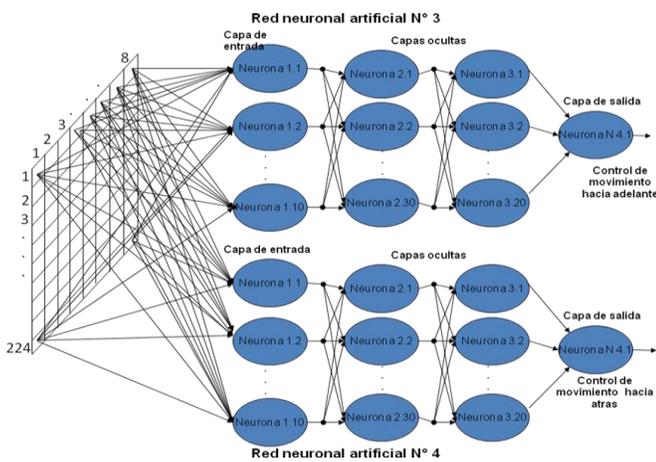


Fig. 9. Estructura de la RNA N° 3 y RNA N° 4.

De la imagen capturada mediante la cámara se obtiene dos imágenes: una de 8 pixeles de alto por 290 pixeles de ancho que permite determinar si el punto de referencia esta a la derecha o izquierda de órgano ejecutor como se muestra en la fig. 4 imagen inferior izquierda, cada pixel de esta imagen son las entradas de la RNA N° 1 y de la RNA N° 2, haciendo un total de 2320 entradas; la segunda imagen que tiene 244 pixeles de alto y 8 pixeles de ancho permite determinar si el punto de referencia esta adelante o atrás de órgano ejecutor como se muestra en la fig. 4 imagen superior izquierda, los pixeles de esta imagen son las entradas de la RNA N° 3 y la RNA N° 4, haciendo un total 1792 entradas.

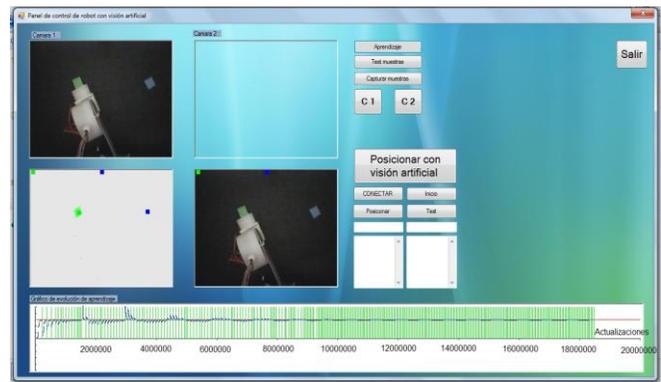


Fig. 10. Curva de aprendizaje con veinte iteraciones con todas las muestras del lado derecho.

CONCLUSIONES

- Aplicando redes neuronales artificiales de perceptrones tipo retro alimentación y una cámara web es posible posicionar un brazo robótico de seis grados de libertad.
- El sistema no requiere los parámetros geométricos de brazo robótico, no requiere sensores de posición en las articulaciones, no es necesario realizar complejos cálculos del problema inverso, no depende de los parámetros ópticos de la cámara, ni tampoco necesita una disposición espacial de la cámara, pero es necesario que la cámara sea instalada en una posición que capte el plano de trabajo de brazo robótico y en esa posición se realiza el aprendizaje y el funcionamiento del sistema.
- En el sistema se puede usar cualquier cámara y cualquier tamaño de un brazo de seis grados de libertad sin sensores de posición en las articulaciones.

REFERENCES

- [1] BATES, JON. TOMPKINS, TIM. microsoft Visual C++ 6, Madrid: Prentice Hall Iberia S.R.L. 1^{ra}, 1999.
- [2] Cabana, V. E. ; Cuellar, L. N. ; Montes, P. M ; Molero, F. R. ; Separovich, M. D. ; Borja, B. M. Induction Motor Sliding Vector Control Using a DSP TMS320LF2407. Proceedings of MUSME 2008, the International Symposium on Multibody Systems and Mechatronics San Juan (Argentina), 8-12 April 2008 Paper n. 12-MUSME08.
- [3] CEBALLOS, FCO. JAVIER. Microsoft Visual C++ 6 Programación Avanzada en Win32, México: Alfaomega grupo editor S.A. 2^{da}, 1999.
- [4] Chris Yu-Liang Liu, Jonathan Kofman, Neural-network calibration of a multiple-line laser-camera range sensor for 3D surface-geometry measurement. SPIE Digital Library. 2008.
- [5] J. Neubert, T. Hammond, N. Guse, Y. Do, Y. Hu and N. Ferrier, Automatic Training of a Neural Net for Active Stereo 3D Reconstruction. Proceedings of the 2001 IEEE. International Conference on Robotics & Automation Seoul, Korea. Mayo 2001.
- [6] JANG, J. -S. R. SUN, C. -T. MIZUTAMI, E. Neuro - Fuzzy and Soft Computing A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, Upper Saddle River: Prentice Hall INC., 1^{ra}, 1997.
- [7] Jernej Mrovlje, Damir Vrancic, Distance measuring based on stereoscopic pictures. 9th International PhD Workshop on Systems and Control: Young Generation Viewpoint. October 2008, Izola, Slovenia.
- [8] José Antonio Tumialán Borja, Milton Alexander Camargo Amado, Luis Fernando Fajardo Pérez, Manipulación del robot Mitsubishi RV-2^a por

- medio de visión artificial. Revista Épsilon N.º 13: 173-181 / julio - diciembre de 2009.
- [9] Juha B. Matti K. Modelling of human directional and spatial hearing using neural networks. IEEE Computer Society Washington, DC, USA ©1993.
- [10] K. S. Fu, R. C. Gonzales, C. S. Lee. Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence, New York: McGraw – Hill Book Company, 1989.
- [11] Lasecki, J. Kostek B. Czyzewski A. Neural Network-Based Spatial Filtration of Sound. AES E-Library AES Convention: 106. Paper Number: 4918. Mayo 1999.
- [12] Marco Antonio Moreno Armendariz. Visión artificial estero con aplicación al control de un brazo de robot. México, D.F., septiembre del 2003.
- [13] Mario G. Borja-Borja, Sally K. Torres-Alvarado. “Algoritmo de Entrenamiento de una Neurona Artificial Perceptrón para Reconocimiento de Caracteres, Aplicando Principios Heurísticos”, ECI ISSN N° 1813-9401, Enero-Junio 2009, Volumen 6 Número 1, Pg. 77.
- [14] Mario Borja Borja, Sally Torres, Sergio Lescano. “Recuperacion de Datos de Documentos Manuscritos para Crear Bases de Datos, Aplicando Redes Neuronales Artificiales” II Simposio Internacional de Computación y Electrónica: Diseño, Aplicaciones, Técnicas Avanzadas y Retos Actuales” a celebrarse en la XIII Convención Internacional Informática. La Habana. 2009.
- [15] Mario Borja, Edgar Cabana, Martin Montes, Nilton Cuellar, Drago Separobich, Javier Rojas, Rudolph Molero. Identificación Facial para Sistemas Computarizados de Control de Acceso de Personas Utilizando Redes Neuronales. TECNIA ISSN N° 0375-7765, Vol. 17, N° 2, Pg. 61, 2007.
- [16] Marco Moreno. “Vision artificial estéreo con aplicación al control de un brazo de robot”. Centro de investigación y de estudios avanzados del instituto politécnico nacional. México. 2003.
- [17] Mario Peña Cabrera, Ismael López Juárez, H. Gómez N., R. Osorio C., Oleg Sergiyenko. “Automatización del Proceso de Ensamble Utilizando Visión Artificial” M.A Cruz-Chávez, J.C Zavala Díaz(Eds):CICos2009, ISBN:978-607-00-1970-8, pp. 236 - 249, 2009.
- [18] Mikell P. Groover, Mitchell Weiss, Roger N. Nagel y Nicholas G. Odrey. Robótica industrial: Tecnología, programación y aplicaciones. Mexico: McGraw-Hill, 1990.
- [19] Mohsen Shahinpoor. A Robot Engineering Textbook, New York: Harper & row, Publishers, 1990.
- [20] NILS, J. NILSON. Inteligencia artificial Un nueva síntesis, Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España S.A.U., 1^{ra}, 2000.
- [21] B.Sc. Nilton Cuellar, M.Sc. Víctor Sotelo y M.Sc. Mario Borja. Diseño de un Controlador No lineal de Posición para un Servomotor Brushless. Accepted to be presented in ANDESCON 2008, ISBN 978-603-45345-0-6, pag1-7. Octubre 15- 17 2008, Cusco, Perú.
- [22] Nilton Alejandro Cuellar Loyola, Rudolph Himmblar Molero Fernández, M.Sc. Mario Gastón Borja Borja, M.Sc. Víctor Manuel Sotelo Neyra. Control Robusto de Trayectoria para un Manipulador Robótico usando Motores Brushless. INTERCON 2008.
- [23] B.Sc. Nilton Cuellar, M.Sc. Mario Borja, M.Sc. Víctor Sotelo. Diseño de un control adaptativo robusto para el seguimiento de trayectorias de un robot industrial de 4 grados de libertad. XVIII conimera 2009.
- [24] O. Goñi, J. Fernandez, N. Acosta. Arquitectura de control híbrido para navegación robótica en ambientes parcialmente conocidos, Buenos Aires: CONICET – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
- [25] Qurban Memony and Sohaib Khanz, Camera calibration and three-dimensional world reconstruction of stereo-vision using neural networks. International Journal of Systems Science, 2001, volume 32, number 9, pages 1155± 1159.
- [26] Stuart, Russell. Peter, Norving. Inteligencia artificial Un enfoque moderno, México: Prentice Hall Hispanoamerica S.A., 1^{ra}, 1996.
- [27] Sergio O. Boudy González, Javier A. León Martínez, Yordan E. Estrada Rodríguez. Sistema para el control inteligente de un robot manipulador, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 20, No. 2, 2011. La Habana, Cuba. 2011.
- [28] I. Kavzoglu, F. Karsli, Calibraton of a digital single lens reflex (slr) camera using artificial neural networks. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing. 2008
- [29] Tjandranegara, Edwin , "Distance Estimation Algorithm for Stereo Pair Images". ECE Technical Reports. Paper 64. 2005
- [30] Xing Y.J., Xing J., Sun J. , Hu L. An improved neural networks for stereo-camera calibration. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, VOLUME 20 ISSUES 1-2 January-February. 2007.