

Modelo para la localización y seguimiento de un robot

Percy Wilianson Lovon Ramos
Escuela de Ingeniería de Sistemas
Universidad Nacional de San Agustín
Arequipa, Perú
Email: percylovon@gmail.com

Resumen—La presente investigación presenta un nuevo modelo basado en redes neuronales para el seguimiento de un robot. El desempeño fue medido en función al error de la comparación entre la posición estimada y la posición real. Los resultados muestran una clara mejora de la localización de objetos en ambiente multicámara frente a los métodos tradicionales. El trabajo presentado tiene implicancias en los sistemas de visión de fútbol de robots, casas inteligentes, vigilancia de ciudades, apoyo al control de velocidad vehicular.

I. INTRODUCCIÓN

A medida que la ciencia avanza, el desarrollo tecnológico también lo hace; sobretodo en lo que implica facilitar y mejorar la calidad de vida del ser humano, es así que los robots han tomado un papel importante en el cumplimiento de este propósito. Los robots tienen diversas aplicaciones, siendo una de ellas la industria, en la cual se pretende ayudar en el proceso de fabricación de productos y/o servicios utilizando robots para tal cometido [1]. Otra aplicación importante es la milicia, donde los robots tienen mayor repetitividad y precisión [2]. También se tiene una creciente influencia en la agricultura, debido a la falta de mano de obra en tareas que hacen peligrar la integridad del ser humano [3].

Para que los robots no necesiten intervención de la mano humana en su interacción con el mundo exterior (autonomía) es necesario que tengan sensores que sean eficientes. Una de las formas de sensoriamiento más importantes es la de visión. Baltes y Anderson mencionan que hay dos tipos de visión, una que es la visión local y la otra global. En la Visión Local el robot tiene una perspectiva de primera persona; en esta el robot tiene una cámara puesta sobre su propia estructura, este tipo trae ciertas dificultades como que el robot sólo puede ver lo que su campo de visión le permite, además si el ambiente multirobot se requeriría cámara para cada uno de los robots. [4]

Por otro lado, la visión global, es la que contiene una o mas cámaras (multicámara) las cuales cubren todo el espacio de trabajo, sería mejor llamada espacio inteligente. Un espacio inteligente contiene *sensores* los cuales tienen el rol de identificar los objetos y recibir información del mundo exterior, *procesadores* los cuales son el núcleo del proceso de vision ya que procesan la información, *actuadores* y *dispositivos de comunicacion* [5].

El presente trabajo se probara la técnica de procesamiento de imágenes llamada Transformada de Hough y las redes

neuronales para realizar el seguimiento de un robot.

II. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACION DEL TEMA

A. Contexto y Motivación

En el contexto de la visión artificial, se tiene el tema de la visión global cuyo es la de detectar e identificar el objeto y a partir de allí hacerle el seguimiento (Moving Object Tracking-MOT). Según Achyara y Ray se tienen dos enfoques para realizar el MOT: el enfoque basado en el reconocimiento y el basado en el movimiento. En el primero se estudia bajo las características del objeto en el otro se usa las características del movimiento del objeto [6].

En este caso utilizaremos una característica de los robots que son utilizados para el fútbol de robots, las marcas para que sean identificados por un sistema de vision.

B. Definición del Problema

Un problema en la visión global es el seguimiento de objetos, la aplicación en el tema de fútbol de robots ha sido explorada mediante sistemas de visión que utilizan una sola cámara, sin embargo aún no se ha explorado con las técnicas que usaremos en la presente investigación.

C. Objetivos

1) *Objetivo General:* Verificar la utilización de redes neuronales en el problema de localización y seguimiento de un robot.

2) *Objetivos Específicos:*

- Estudiar el estado del arte con respecto al tema.
- Clasificar objetos estáticos de objetos en movimiento.
- Adquisición de secuencias de videos y procesamiento adecuado de ellas.
- Diseño e implementación de un sistema que, basado en procesamiento de imágenes y redes neuronales permita realizar la trazabilidad del objeto(robot).
- Probar el sistema propuesto, así como entrenar la red neuronal de Base Radia (RBF) que permita realizar la predicción de las orientaciones sucesivas de un robot.

III. ESTADO DEL ARTE

A. Sistemas de Visión Global de una Cámara

Como ya mencionamos en la introducción se prefiere el uso de sistemas globales para tener un panorama de todo el ambiente, este tipo de visión nos evita la oclusión, pero sin embargo acarrea problemas como la sincronización, si es que fuera en una sola computadora el problema de conectar varias cámaras es solucionado a veces cámaras de determinado estándar de dispositivos. Generalmente los sistemas de visión global para los robots, se apoyan en marcas sobre los robots de forma de círculos los cuales les sirven en el reconocimiento. El problema de visión global, tiene como uno de sus focos principales el problema de la calibración de cámaras que permite establecer parámetros intrínsecos y extrínsecos (internos y externos) para que el funcionamiento de la cámara sea correcto y no variable, dicho problema puede ser abordado con clustering por ejemplo el K-Means, en el que cada clase del algoritmo K-means es representado por un valor RGB(red,green,blue) llamado centro y se escoge aleatoriamente al inicio. Después de tener los centros se podría agrupar todos los que tienen centros más cercanos, después se saca la media y ese es el nuevo centro, el algoritmo terminaría cuando los centros ya no varían [7]. Este mismo enfoque nos puede servir para la segmentación, esto dividiendo el conjunto de píxeles y agruparlos según su semejanza, además usar de las redes neuronales para clasificar el color, en este caso tendríamos que darle a la red como valores de entrada los valores RGB de cada píxel para que nos pueda retornar la identificación del color[8].

El uso del color para obtener el reconocimiento del objeto deseado. Por ejemplo el sistema RoboRoos el cual es dividido en un total de 9 capas donde cada una tiene su tarea asignada. En este sistema se utiliza el color para diferenciar los diferentes objetos (robots, pelota), además se apoyan de cámaras que cumplen con el estándar IEEE Firewire, salvándose así del problema de bus del USB cuando se trata de conectar varias cámaras[9]. Además se puede aplicar el color usando mapas de color por ejemplo se puede realizar mapas de color para encontrar la crominancia (el componente que contiene información del color en cualquier video), después de aplicar los mapas de color se verifica a través de los contornos si es una pelota, o un jugador[10].

B. Seguimiento de Objetos

Si bien los sistemas de visión globales nos proporcionan la ubicación, identificación de los objetos, es necesario hacerles un seguimiento, esto se hace por distintos métodos que se tratarán en esta sección. Esta tarea se puede realizar con una sola cámara sin embargo también hay otros enfoques que buscan ampliar el campo de visión mediante sistemas multicámara.

Uno de los enfoques que realizan los investigadores en el tema es el de la lógica fuzzy el cual nos otorga un grado más cercano a la percepción humana, esto debido a las funciones de membresía que nos indican grados de pertenencia a los cuales puede pertenecer un color. Se pueden usar la lógica fuzzy de diferentes formas por ejemplo utilizar autómatas

fuzzy donde cada estado de la autómatas S_i representa en la cámara i la aptitud para que sea esta cámara candidata a que en ella este el objeto que se sigue[12], sin embargo este enfoque no es lo suficientemente robusto contra las oclusiones, además se realiza con una cámara. También apoyados por un grafo de región de adyacencia para representar las imágenes del foreground, se pueden utilizar histogramas de color fuzificados asociados a cada región de adyacencia, los cuales combinados tienen bajo costo computacional y son aplicables en tiempo real[16].

Sin embargo existen otros enfoques relacionados también con el color como los que se basan en histogramas de color, los cuales son fuertes contra el problema de oclusión (los objetos tienden a confundirse mientras más alejados están de la cámara). Una forma es utilizando el coeficiente de Bhattacharyya el cual apoya a la decisión sobre cual cámara es la que tiene en su enfoque el objeto a seguir mediante un histograma [11]. Otra forma en la se puede hacer el seguimiento basado en histogramas es apoyarse del COBMAT (Color-Based Multiple Agent Tracking), este algoritmo nos permite distribuir el procesamiento del seguimiento de objetos, evitando así la centralización. Además de apoyarnos en cámaras inalámbricas[17].

Algunos autores abordan el problema desde el punto de vista estocástico, en el cual es necesario a veces tener las probabilidades a priori, esto se puede hacer un entrenamiento previo mediante una simulación de objeto para que el método reconozca todo el espacio de trabajo utilizan una persona cargando una pelota y se reconoce la pelota, entonces después de esto se puede utilizar una cadena de Markov para dividir el espacio cubierto en una matriz de estados y poder así realizar el seguimiento[13], sin embargo este enfoque tiene debilidades de cuando hay dos personas caminando en sentido contrario, se le puede confundir.

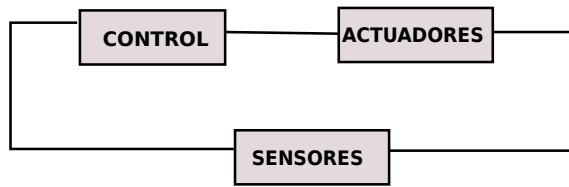
Además existen abordajes que se basan en las características de determinados dispositivos y estándares para realizar el seguimiento. Por ejemplo las cámaras Firewire, basadas en el estándar IEEE 1394, el cual da facilidades para conectar varias cámaras, debido a su estándar IEEE [15].

Un problema parecido al que se aborda en esta investigación, con respecto a los objetos que utilizamos, sería un enfoque distribuido en el que la comunicación se realiza mediante el protocolo de comunicación UDP (User Datagram Protocol), esto con el objetivo de seguir varios robots en ambiente multicámara, para facilitar el proceso de identificación del robot les ponen unas marcas con formas geométricas (círculos). Utilizan dos tipos de enfoques para realizar la identificación uno es basado en el color y otro es basado en formas geométricas. Tienen dos programas diferentes, en uno es para controlar las cámaras y la adquisición de imágenes y el otro programa es para centralizar la información obtenida de las cámaras [14].

IV. MARCO TEÓRICO

A. Robótica

La Robótica fue un término acuñado por Isaac Asimov, el cual fue un escritor en su tiempo de ciencia ficción, realidad en nuestra era. La robótica tuvo sus inicios en la cultura griega, los cuales llamaban *automatos* que era la palabra que tenían para denominar a sus máquinas, de esta palabra deriva *automata*.



Los árabes (siglo VII a XV) utilizaron los conocimientos griegos para realizar máquinas que ya no solo las usaban para su diversión sino que comenzaron a darle aplicaciones prácticas un ejemplo de ello eran los dispensadores de agua automáticos. Durante los siglos XVII y XVIII se crearon algunas máquinas con forma similar a los humanos y algunos animales, estos dispositivos creados en la mayoría por el gremio de relojeros se utilizaban para la diversión y entretenimiento. A finales del siglo VIII y principios del XIX se crearon algunas invenciones mecánicas como la hiladora giratoria de Hargreaves(1770), el telar mecánico de Cartwright (1785) y el telar de Jacquard (1801). En 1948 R.C. Goertz del *Argonne National Laboratory* desarrollo, el primer telemanipulador con el objetivo de manipular los elementos reactivos sin riesgo a los operadores humanos, este es el antecedente más cercano a los robots, después estos telemanipuladores evolucionaron y luego ya se hablaba de robots, cuyas primeras configuraciones eran como de esferas y antropomórficas. En 1982 El profesor Makino de la Universidad Yamanashi de Japon desarrolla el robot SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*) cuyo principal objetivo era el de ensamblado de piezas en cadenas de producción industriales. [18]

La definición de robotica es la ciencia de estudio de la conexión inteligente entre la percepción y acción. Comúnmente un sistema robótico es un sistema complejo compuesto por múltiples subsistemas (Fig 1). La capacidad de un robot para poder ejecutar una acción viene dada por el *Sistema de Actuadores* el cual anima los componentes mecánicos del robot. La capacidad de percibir el mundo exterior esta dado por el *Sistema de Sensores* el cual modifica el estado interior del sistema mecánico tomando datos del mundo exterior. La capacidad de conectar la acción con la percepción viene dada por el *Sistema de Control* el cual ejecuta comandos siguiendo las reglas de la técnica de planificación del robot. [19]

B. Redes Neuronales

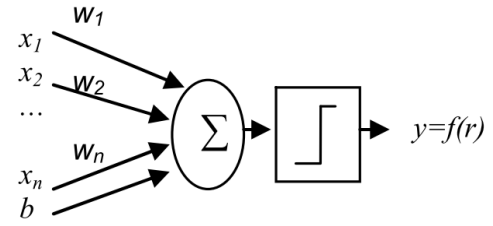
Las redes neuronales artificiales son estructuras paralelas las cuales se acercan al comportamiento de las redes neuronales humanas. Están compuestas por neuronas interconectadas mediante axones donde varias neuronas pueden formar una capa (si se tratara de una red neuronal multicapa), y varias capas forman una neurona.

Podemos explicar una red neuronal con salida binaria con el siguiente gráfico:

Donde $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ son las entradas para la red neuronal, $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ son los pesos sinápticos, y b es un factor de polarización. El resultado final de la función se calcula así:

$$r = \sum_{i=1}^n x_i w_i + b \quad (1)$$

El resultado de esta ecuación nos dará 1 o 0 y si se tratara de una red multicapa este sería la entrada para otra red



neuronal. [20]

C. Procesamiento de Imágenes

El procesamiento de imágenes es utilizado para mejorar las imágenes, prepararlas correctamente para un análisis por parte de máquinas. Consta de 4 procesos básicamente. [20]

- 1) Preprocesamiento: Son operaciones para adaptar la información de una imagen y tenerla lista para el siguiente paso. Por ejemplo cambiar el brillo, reducir ruido.
- 2) Segmentación: Separar la imagen en partes de las cuales se pueda hacer un análisis independiente.
- 3) Detección de objetos y clasificación: Determinar cual objeto es cual.
- 4) Análisis de Imagen: Obtener información de alto nivel acerca de la imagen.

V. PROPUESTA

Se propone un abordaje basado en las técnicas de procesamiento de imágenes que servirán para implementar el sistema de visión global, el cual tendrá como salida la posición y orientación actual en cada frame del robot. Luego de este proceso se utilizará una red neuronal que aprenderá de los estados y las posiciones y predecirá los siguientes estados para hacerle el seguimiento. El esquema se presenta en la figura 4.1:

A. Sistema de Visión

Para esto utilizamos marcas encima de los robots, las cuales nos dan más facilidades para realizar la identificación de cada robot como se muestra en la Figura 4.2. En el sistema de visión proponemos utilizar los métodos de el filtro de Gauss y la transformada de Hough. Para realizar esto utilizamos la librería de OpenCv, la cual nos da soporte para primero aplicar un filtro de gauss para eliminar el ruido en nuestra imagen, luego convertimos nuestra imagen a la escala de grises, y finalmente aplicamos la transformada de Hough para obtener los círculos



Fig. 1. Esquema del Sistema

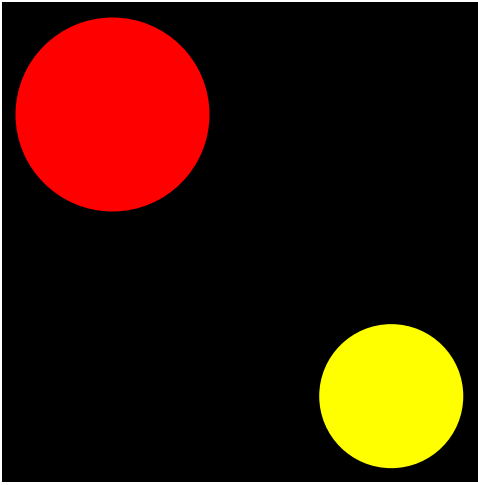


Fig. 2. Marcas en cada robot

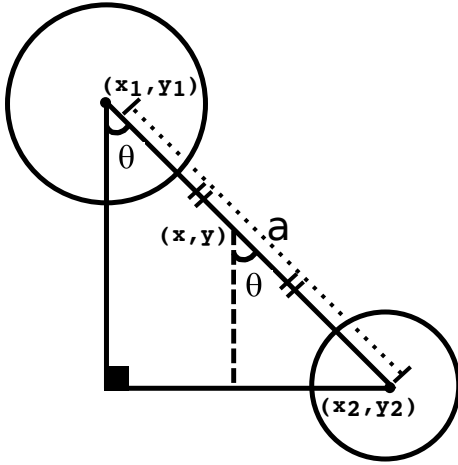


Fig. 3. Cálculo de la posición

en la imagen, cuyos centros tambien son hallados. Una vez hallados los centros y radios de cada círculo procedemos a realizar el calculo de la ubicacion de nuestro robot, el cual utilizara unos círculos marcados como se muestra en la Fig 6. Entonces como tenemos dos círculos de ubicacion conocida procedemos a aplicar el metodo que nos dice que la posicion basado en esos dos círculos estara en el punto medio de la recta que une los dos centros c_i y c_j de los dos círculos [7]. Entonces aplicamos punto medio entre los dos centros de los círculos:

$$x = \frac{x_1 + x_2}{2} \quad ; y = \frac{y_1 + y_2}{2} \quad (2)$$

Una vez hallada la posicion actual del robot procedemos a hallar la orientacion con respecto al eje inicial de la imagen, de la misma forma utilizamos un metodo ya utilizado anteriormente, el cual consiste en comparar los puntos centrales y con su tangente hallar la orientacion (angulo)[7]. El angulo θ de orientacion seria dado por:

$$\theta = \arctan\left(\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}\right) \quad (3)$$

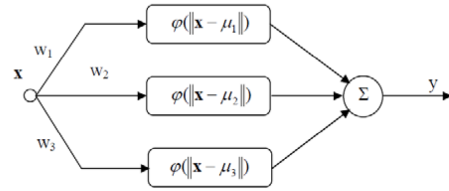


Fig. 4. Red Neuronal de Base Radial

$$\Delta w_i = \eta_i (z_p - y_p) \exp\left(-\frac{\|x - \mu_i\|^2}{\sigma^2}\right)$$

Fig. 5. Variacion de los pesos w_i

Asi ya tenemos la posición actual en cada frame y la orientación que sigue cada robot, y estamos preparados para darle estos parámetros a la red neuronal y se pueda predecir su siguiente posición.

B. Seguimiento del Objeto

Para realizar el seguimiento utilizaremos una Red Neuronal de Base Radial, la cual consiste en una red con una capa de unidades ocultas, conectadas a las entradas y una neurona de salida, con transición directa (feedforward), donde las funciones de transferencia entre nodos (o neuronas) son funciones simétricas radialmente. La estructura de la Red RBF es similar a la de la figura 4.4.

La salida para una red RBF, viene dada por:

$$\sum_{i=1}^M W_i \varphi(\|x - \mu_i\|)$$

Donde φ representa la función simétrica radialmente. El aprendizaje en una red RBF debe ser basado en el minimizar el error, bajo la siguiente ecuación.

$$\sum_{p=1}^P (z_p - y_p)$$

Donde z_p es el valor conocido como salida, en nuestro caso la orientación en el tiempo $t + 1$, y y_p es el valor de la salida de la red.

A esta igualdad le aplicamos el metodo de gradiente y la función Gaussiana, luego de realizar los reemplazos correspondientes, nos queda que la variación del peso w_i es como en la figura 4.5:

y para los centros quedaria como en la figura 4.6:

$$\Delta \mu_{ij} = -\eta w_{ij} (z_p - y_p) \exp\left(-\frac{\|x - \mu_i\|^2}{\sigma^2}\right) (x_{pj} - \mu_{ij})$$

Fig. 6. Variacion de los pesos w_i

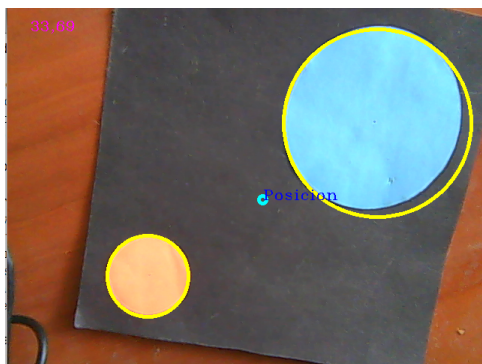


Fig. 7. Ubicación de los círculos

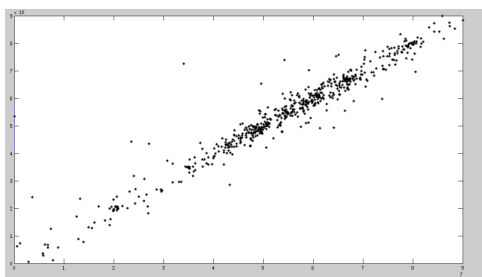


Fig. 8. Salidas de la red RBF

VI. EVALUACIÓN

A. Sistema de Visión

Utilizamos un robot del kit de robotica *Robo Robo*, el cual fue programado para que se mueva aleatoriamente, además utilizamos una computadora Intel Core 2 Duo, bajo el Sistema Operativo Ubuntu 12.04. La cámara que se utilizó fue una cámara *Logitech c210*, y se trabajó aproximadamente a 26 cuadros por segundo.

Se ha hecho pruebas con el sistema de visión el cual encuentra los círculos de las marcas sobre los robots, esto es realizado con la transformada de Hough utilizada del *Opencv 2.4.6*, además se puede apreciar que al momento de capturar la imagen se muestra también la posición actual del robot y la orientación.

Esto se hace para generar un archivo *.dat* el cual servirá como datos de entradas para nuestra red neuronal.

B. Seguimiento del Objeto

Como ya se mencionó anteriormente utilizamos los archivos generados por el sistema de visión para nuestro algoritmo de seguimiento, al realizar las comparaciones sobre las salidas generadas por la red y las salidas entregadas por nosotros obtuvimos la figura 5.2: En el eje x se pusieron las orientaciones otorgadas por el sistema de visión, y en el eje y se puso las salidas que nos da nuestro sistema de predicción, por el gráfico nos dimos cuenta que las predicciones están muy cercanas a los valores originales. Para comparar nuestros resultados utilizamos una red Neuronal del tipo Focused Time Delay, esta tipo de red neuronal dinámica tiene la propiedad de volver a valores anteriores (*delay*) para alimentar a las nuevas salidas, en este caso se dividió toda las muestras en partes para el entrenamiento, para la validación y para las pruebas,

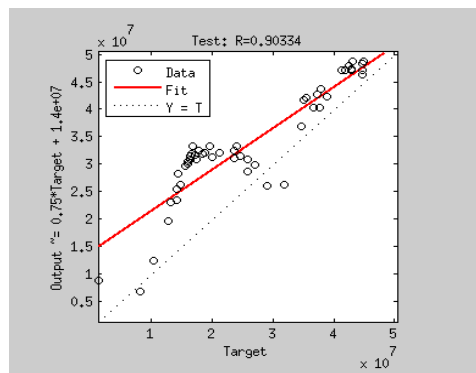


Fig. 9. Salida de la Red Focused Time Delay

a continuación mostramos el la misma grafica(figura 5.3). En este caso el algoritmo fue implementado utilizando el *Neural Network Toolbox* del MatLab, el cual nos dio este resultado mostrado en la figura 5.3 :

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El Sistema de Visión fue implementado utilizando la biblioteca OpenCV y se usó la IDE de programación QT Creator.
- Se utilizó el *Neural Network Toolbox* para realizar la comparación de nuestro algoritmo de seguimiento.
- Para comparar se utilizó red Neuronal Dinámica la cual nos permitía utilizar valores anteriores a nuestro actual valor de entrada para tener una mejor salida, sin embargo de acuerdo a las gráficas obtenidas hay mejor precisión con el modelo de red RBF.
- Las gráficas obtenidas por el Matlab nos indican que nuestra red tiene un buen desempeño, ya que los datos comparados no están muy separados entre sí.

REFERENCIAS

- [1] E.F.Morales and L.E. Sucar, *Robots y su importancia para México*, 1st ed. Mexico, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Komputer Sapiens 2009
- [2] Pablo García-Robledo and Jesús Torrijos *Robots de Seguridad y Defensa* España, Universidad Politécnica de Madrid, 2010
- [3] J.A. García and L.A. Vázquez *Los Robots en el Sector Agrícola* España, Departamento De automática, Ingeniería Electrónica e Informática Industrial, Universidad Politécnica de Madrid, 2010
- [4] Jacky Baltes and John Anderson *Intelligent Global Vision for Teams of Mobile Robots, Mobile Robots: Perception & Navigation*, Sascha Kolski (Ed.), ISBN: 3-86611-283-1, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/mobile-robots-perception-navigation/intelligent-global-vision-for-teams-of-mobile-robots>, 1st ed. Pro Literatur Verlag, Germany/ARS Austria 2007.
- [5] Misel Brezac, Ivan Petrovic and Edouard Ivanjko, *Robust and accurate global vision system for real time tracking of multiple mobile robots*, *Robotics and Autonomous Systems* 56 (2008) 213-230. Elsevier, 2008
- [6] Tinku Acharya and Ajoy K. Ray, *Image Processing Principles and Applications*, pag. 6, 1st ed. B. Michaelis and G. Krell (Eds.): DAGM 2003, LNCS 2781, pp. 591-599, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003.
- [7] Kelson Romulo Teixeira Aires, Pablo Javier Alsina, Adelardo Adelino Dantas de Medeiros, *A GLOBAL VISION SYSTEM FOR MOBILE MINI-ROBOTS* ed. SIMPSIO BRASILEIRO DE AUTOMAO INTELIGENTE, 5, Canela, 2001

- [8] Manu Chhabra, Anusheel Nahar, Nishant Agrawal, Tamhant Jain, Amitabha Mukerjee, Apurva Mathad and Siddhartha Chaudhuri, *Novel Approaches to Vision and Motion Control for Robot Soccer* ed. Proceedings of the National Conference on Advance Manufacturing and Robotics, India 2004
- [9] Ball, David and Wyeth, Gordon and Nuske, Stephen, *A global vision system for a robot soccer team* ed. SAustralasian Conference on Robotics and Automation, 6-8 December 2004, Canberra
- [10] Gnnr, Claudia and Rous, Martin and Kraiss, Karl-Friedrich, *Real-Time Adaptive Colour Segmentation for the RoboCup Middle Size League* ed. RoboCup 2004: Robot Soccer World Cup VIII, Springer Berlin Heidelberg
- [11] Kajta Nummiaro, Esther Koller-Meier, Tomas Svoboda, Daniel Roth, and Lucas Van Gool and Ajoy K. Ray, *Color-Based Object Tracking in Multi-camera Environments*, 1st ed. B. Michaelis and G. Krell (Eds.): DAGM 2003, LNCS 2781, pp. 591-599, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003
- [12] Kazuki Morioka, Silvester Kovacs, Peter Korondp, Joo-Hoo Lee and Hideki Hashimoto, *Adaptative camera selection based on fuzzy automaton for object tracking in a Muticamera System* ed. Journal of Engineering Annals of Faculty of Engineering Hunedoara, 2008
- [13] Anthony R. Dick and Michael J. Brooks, *A Stochastic Approach to Tracking Objects Across Multiple Cameras* ed. Springer -Verlag Berlin Heidelberg, 2004
- [14] Renato F. Garcia, Pedro M. Shiroma, Luiz Chaimowicz, Mario F.M. Campos, *Um Arcabouco para Localizacao de Enxames de Robos* ed. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, VIII Simposio Brasileiro de Automacao Inteligente, Brazil 2007
- [15] Piyush Kumar Rai, Kamal Tiwari, Prithwijit Guha and Amitabha Mukerjee, *A cost-Effective Multiple Camera Vision System using Firewire Cameras and Software Synchronization* ed. IIT Kanpur, UP, India 2003.
- [16] Amir Hossein Khalili and Shohreh Kasaei, *Object Modeling for Multicamera Correspondence Using Fuzzy Region Color Adjacency Graphs* ed. Springer Berlin Heidelberg, Advances in Computer Science and Engineering 2009
- [17] Emre Oto, Frances Lau, and Hamid Aghajan, *Color-Based Multiple Agent Tracking for Wireless Image Sensor Networks* ed. Proceedings of the 8th international conference on Advanced Concepts For Intelligent Vision Systems, Springer-Verlag, 2006
- [18] Antonio Barrientos, Luis Felipe Peñin, Carlos Balaguer & Rafael Aracil (1997). *Fundamentos de Robótica*. McGraw-Hill/ Interamericana España. ISBN 84-481-0815-9
- [19] Bruno Siciliano, Lorenzo Sciavicco, Luigi Villani & Giuseppe Oriolo (2009). *Robotics Modelling, Planning and Control*. Springer-Verlag London Limited. ISBN 978-1-84628-641-4
- [20] Juan, R. Q., & Chacn, A. (2011). *Redes neuronales artificiales para el procesamiento de imgenes, una revisin de la ltima dcada*. Revista de Ingenieria Elctrica, Electronica y Computacion ISSN 1870-9532