

## Identificación de Objetos en el espacio HSI para un robot DARwIn-OP

Marco Antonio Alonso Pérez, Antonio Benitez Ruiz, Jacob Javier Vásquez Sanjuan, María Auxilio Medina Nieto, Jorge de la Calleja

Universidad Politécnica de Puebla

{marco.alonso, antonio.benitez, jacob.vasquez,  
maria.medina, jorge.delacalleja}@uppuebla.edu.mx

### Resumen

*En este documento se presentan los algoritmos implementados en un Robot DARwIn-OP para la localización de pelota, portería y robots jugadores; que tienen características similares a las competencias de fútbol con robots autónomos de la RoboCup Soccer. Estos algoritmos servirán para desarrollar comportamientos reactivos de un portero de futbol y de un robot cobrador de penalti. El robot tiene acoplada una cámara de video que permite llevar a cabo procesamiento de imágenes, enfocándose para este proyecto en el tratamiento del color. Para ser más específico en el espacio de color HSI. El artículo presenta resultados satisfactorios considerando que bajo estos algoritmos se pueden identificar los objetos de interés bajo distintas condiciones de iluminación.*

### 1. Introducción

Parte de los proyectos que se llevan a cabo en la Universidad Politécnica Puebla desde hace varios años, son los relacionados con el área de robótica; específicamente en el área de programación de comportamientos reactivos para robots móviles (tipo vehículo y robots bípedos) [1, 2]. Existe un grupo de trabajo que pertenece al laboratorio de percepción por computadora en la UPPue y que está integrado por docentes, estudiantes de ingeniería y de maestría que tiene como objetivo al mediano plazo el participar en la Robocup Soccer [3], que es el mundial de futbol para robots. Sin embargo, los algoritmos, comportamientos y aplicaciones necesarias para que un robot bípedo participe en el mundial de futbol para robots pueden también ser utilizadas en una amplia variedad de aplicaciones, específicamente en la educación y en la medicina.

Es importante decir que a pesar de que se han implementado algoritmos para buscar la pelota y determinar el color de la portería; se han presentado

errores de medición debido a distintas condiciones de iluminación, por lo que el presente trabajo busca identificar satisfactoriamente los objetos de interés a través de su color utilizando el espacio HSI.

El artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2, se exponen las características principales del robot y se describen los modelos de color RGB y HSI, así como las ecuaciones de transformación entre ambos espacios. En la sección 3, se explica a detalle el proceso de identificación de la pelota, portería y jugador-robot a través de las imágenes y de los espacios de color. En la sección 4 se presentan los resultados y las conclusiones..

### 2. El robot DARwIn-OP y los espacios de color RGB y HSI

#### 2.1 Robot DARwIn-OP

DARwIn-OP es un robot humanoide miniatura con potencia computacional avanzada, sensores sofisticados, capacidad de carga y de movilidad [4].

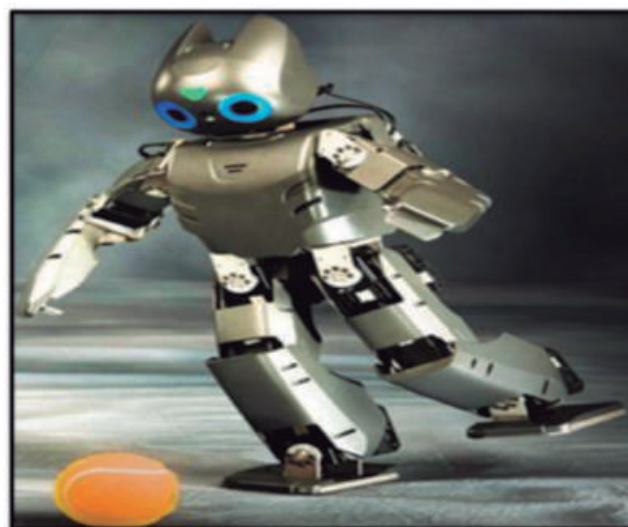


Figura 1. robot DARwIn-OP.

Este robot cuenta con una cámara de video incluida. Ésta se utiliza para el procesamiento de las imágenes, este procesamiento tiene como objetivo reconocer y aproximar las posiciones de los objetos de interés en el ambiente de trabajo. En la Fig. 1 se muestra una imagen del robot humanoide utilizado en este trabajo.

## 2.2. Espacio de color RGB

El sistema *RGB* (*R* Red, *G* Green, *B* Blue) es un subespacio del espacio euclidiano conformado por el cubo unitario [5]. Los colores aparecen con sus componentes primarias de rojo, verde y azul. Esta distribución se puede ver en la Fig. 2

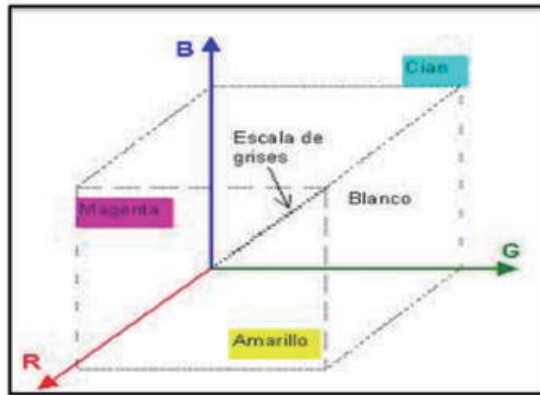


Figura 2. Cubo de color RGB.

## 2.3. Espacio de color HSI

En el modelo de color *HSI* (*H* - Hue, *S* - Saturation, *I* - Intensity) los colores se distinguen unos de otros por su tono, intensidad y saturación [5]. El tono (*H*) está asociado con la longitud de onda dominante en una mezcla de ondas luminosas. La intensidad (*I*) representa la iluminación percibida. La saturación (*S*) se refiere a la cantidad de luz blanca mezclada con el color dominante.

Las componentes *HSI* están definidas por el triángulo de color mostrado en la Figura 3. *H* es una medida angular ( $0^\circ$  a  $360^\circ$ ), *S* es una medida longitudinal e *I* es la distancia proporcional sobre la recta perpendicular al triángulo del plano. *S* e *I* toman valores de 0 a 1.

Uniendo tono, saturación e intensidad se tiene la estructura de doble pirámide triangular, Fig. 3. Los puntos sobre la superficie de la pirámide representan un color totalmente saturado. Los colores de los puntos interiores de la pirámide se hacen menos saturados conforme se acercan al eje vertical.

El valor de intensidad del punto negro mostrado en la Fig. 3 es proporcional a la distancia (sobre la recta perpendicular al plano del triángulo y que pasa por su

centro) medida desde el punto negro hasta donde inicia el vector del punto. De esta forma, para cualquier punto de color en la pirámide triangular, si su respectivo valor de intensidad tiende al punto del blanco, entonces el color será más claro. Pero si tiende al punto negro el color será más oscuro.

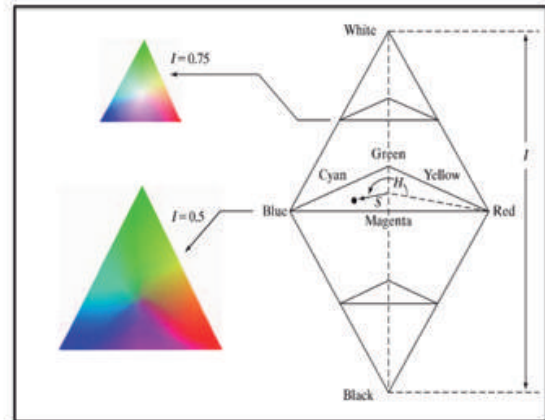


Figura 3. Espacio de color HSI.

## 2.4. Conversión del espacio RGB al espacio HSI

El tono (*H*) y la saturación (*S*) están dados en términos de las ecuaciones denominadas coordenadas cromáticas que están definidas como:

$$r = \frac{R}{R+G+B'} \quad (1)$$

$$g = \frac{G}{R+G+B'} \quad (2)$$

$$b = \frac{B}{R+G+B'} \quad (3)$$

Que no son otra cosa que los valores normalizados de *R*, *G* y *B*. Sumando las Ecs. (1) a (3) resulta la ecuación del plano en el espacio euclidiano *rgb* que pasa por los puntos (1,0,0), (0,1,0) y (0,0,1):

$$r + g + b = 1 \quad (4)$$

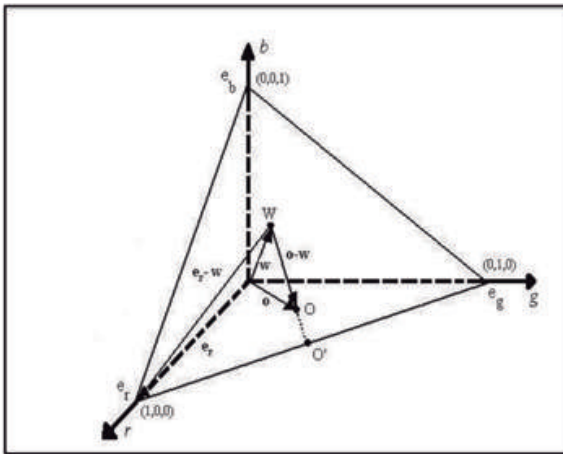
La figura geométrica sobre el plano delimitado por estos puntos es un triángulo equilátero (Fig. 4). Se conoce que la gama de colores resultantes por la combinación de tres colores está modelada precisamente por este tipo de triángulos [6]. El triángulo de la Fig. 4 corresponde a una rodaja de la doble pirámide triangular.

La intensidad  $I$ , está definida como el promedio de  $R$ ,  $G$  y  $B$ :

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B), \quad (5)$$

cuyo valor varía en el intervalo  $[0,1]$ .

Para hallar el tono nos auxiliamos de la Fig. 4, en donde el centro del triángulo equilátero  $W$  tiene coordenadas  $(1/3; 1/3; 1/3)$ ;  $w$  es el vector que va del origen a  $W$ ; el punto de color  $O$  tiene coordenadas  $(r_0, g_0, b_0)$ ; el vector  $o$  va del origen al punto  $O$ .



**Figura 4.** Plano que corta al espacio euclidiano en los puntos  $(1,0,0)$ ,  $(0,1,0)$  y  $(0,0,1)$ .

Como se mencionó, el tono es el ángulo formado por el eje rojo y el vector que termina en un punto de color  $O$ .

Con la figura auxiliar notamos que este ángulo está formado por los vectores  $e_r - w$  y  $o - w$ , en donde  $e_r$  es el vector que termina en el punto  $(1; 0; 0)$ . Utilizando la ecuación del producto punto entre dos vectores:

$$H = \cos^{-1} \left[ \frac{(o-w) \cdot (e_r-w)}{\|o-w\| \|e_r-w\|} \right], \quad (6)$$

Realizando las operaciones indicadas en la Ec. (6), finalmente obtenemos

$$H = \cos^{-1} \left[ \frac{\frac{1}{2}[(R-G)+(R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2+(R-B)(G-B)}} \right], \quad (7)$$

para  $0^\circ \leq H \leq 180^\circ$ .

De la Fig. 4, se observa que si  $b > g$ , o equivalentemente si  $B > G$ , entonces  $H > 120^\circ$ . Para este caso primero se ocupa la Ec. 7 y luego se realiza la asignación  $H = 360^\circ - H$ .

Para el cálculo de la saturación prolongamos la recta definida por los puntos  $W$  y  $O$  hasta que corte algún lado del triángulo. El punto donde se corta lo denotamos por  $O'$  ( ver Fig. 4). Dado que la saturación está en el intervalo cerrado  $[0,1]$  y es proporcional a la distancia de  $W$  hasta  $O$ , esta se define como

$$S = \frac{|WO|}{|WO'|}. \quad (8)$$

Centremos la atención en el área del triángulo delimitada por los puntos  $e_r$ ,  $W$  y  $e_g$ , llamémosle  $A_1$  y supongamos que  $O$  se encuentra en ésta. Para obtener  $S$ , se necesita conocer las coordenadas de  $O'$ .

Estas coordenadas se pueden obtener resolviendo el sistema de ecuaciones, que es resultado de la intersección de la recta que pasa por  $W$  y  $O'$  y que matemáticamente se expresan así [7]

$$r = k \left( r_0 - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{3}, \quad (9)$$

$$g = k \left( g_0 - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{3}, \quad (10)$$

$$b = k \left( b_0 - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{3}, \quad (11)$$

con  $k$  dentro del intervalo  $[0,1]$  y la recta que pasa por  $e_r$  y  $e_g$  cuya ecuación paramétrica es.

$$r = -l + 1, \quad (12)$$

$$g = l, \quad (13)$$

$$b = 0. \quad (14)$$

$l$  en  $[0,1]$ .

Ya resuelto el sistema de ecuaciones se halla que

$$O' = \left[ \frac{1-g_0-2b_0}{1-3b_0}, \frac{g_0-b_0}{1-3b_0}, 0 \right]. \quad (15)$$

Ahora, conociendo las coordenadas de  $O'$  y sustituyendo éstas junto con las coordenadas de  $W$  y  $O$  en la Ec. (8)

$$S = 1 - 3b_0, \quad (16)$$

donde  $b_0$  en  $A_1$  es el mínimo de la terna  $(r_0, g_0, b_0)$ ; con lo que la Ec. (16) se transforma en

$$S = 1 - \frac{3 \min(R,G,B)}{R+G+B}. \quad (17)$$

Finalmente, para las zonas triangulares  $A_2$  y  $A_3$  definidas por los puntos  $eg, W, eb$  y  $er, W, eb$ , respectivamente, se llega a la Ec. 17.

### 3. Identificación de Objetos

#### 3.2 Identificación de la pelota, porterías y jugador a través de su tonalidad (H)

Cada objeto en la cancha de juego tiene asociado un color dominante que es representado por la tonalidad  $H$  y de manera experimental por medio Paint.NET [8] (software de edición de imágenes) se han detectado las tonalidades de un objeto centrándonos en la sub-imagen que contiene al objeto, como se muestra en las Figs. 5, 6 y 7. También se consideran las tonalidades de los objetos a distintas condiciones de iluminación.

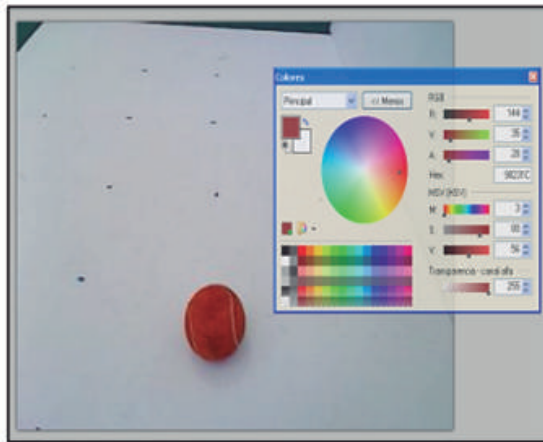


Figura 5. Obtención de los valores  $H$  pixel a pixel para la pelota

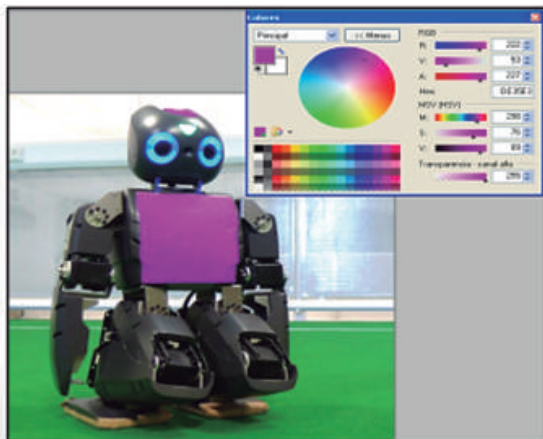


Figura 6. Obtención de los valores  $H$  pixel a pixel para la zona de color magenta que identifica al robot.

Para la pelota naranja y el robot etiquetado con el color magenta se obtuvieron los intervalos de tonalidades sin complicaciones; pero para la portería se encontró que existían píxeles que compartían la misma tonalidad de algunos píxeles de la pared. Para descartar estos píxeles de la pared con igual tonalidad, se agrega una condición de saturación, pues se observó que los colores de la portería tienen elevada saturación (mayor del 50%) y los de la pared poca saturación (menor del 10%).

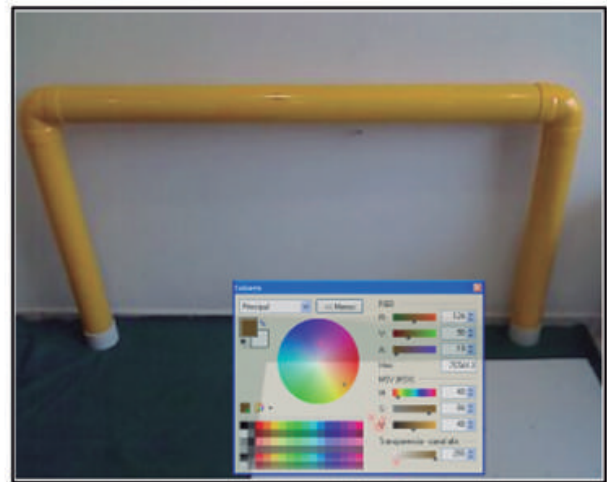


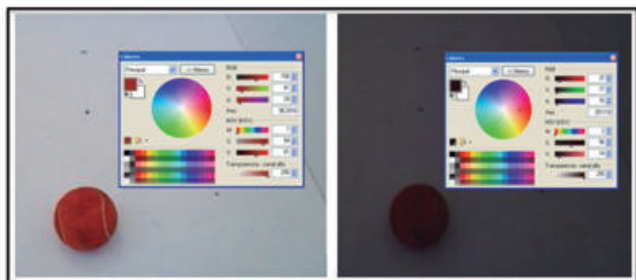
Figura 7. Obtención de los valores  $H$  pixel a pixel para la portería.

Como resultado del análisis de los valores de  $HS$  en los objetos de interés se tiene que:

- La pelota de juego se identifica con los valores de  $H$  están entre  $[2^\circ, 19^\circ]$ .
- Los píxeles de la portería son aquellos cuya tonalidad están en el intervalo cerrado  $[31^\circ, 45^\circ]$  y saturación en  $[0.5, 1]$ .
- El robot uniformado con una etiqueta magenta está identificado con valores de  $H$  entre  $[294^\circ, 301^\circ]$ .

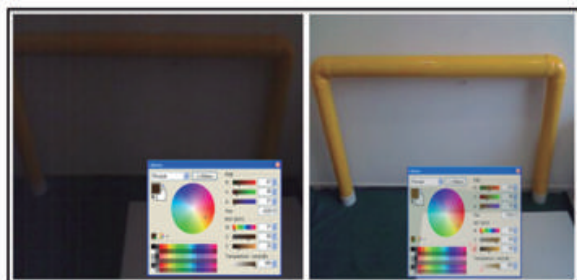
#### 3.3 Identificación de los objetos a distintas condiciones de iluminación

De manera análoga que en la sección anterior, se realizó un análisis en la sub-imagen del objeto, en donde se tuvieron distintas intensidades de iluminación como se puede apreciar en la Fig. 8.



**Figura 8.** Búsqueda de los valores del canal  $I$  de la pelota para distintas condiciones de iluminación.

- Para la pelota se tiene que el parámetro  $I$  tiene valores dentro del intervalo cerrado  $[0.14, 0.61]$ .
- Para la portería, se encuentra que  $I$  tiene valores dentro del intervalo cerrado  $[0.21, 0.74]$ , como se puede ver en la Fig. 9.



**Figura 9.** Búsqueda de los valores de  $I$  de la portería para distintas condiciones de iluminación.

- Para el robot uniformado de color magenta, se hallaron los valores de  $I$  dentro del intervalo cerrado  $[0.33, 1]$ .

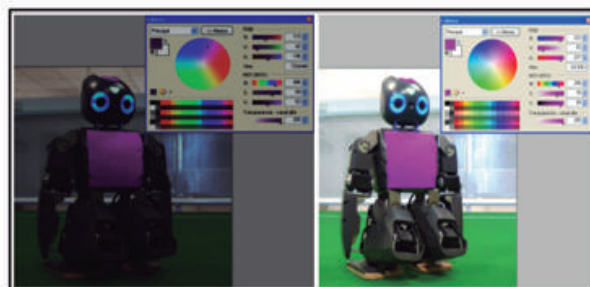
#### 4. Resultados y Conclusiones

En este trabajo se ha presentado el método de identificación de la pelota de juego, portería, robot jugador en una cancha de fútbol bajo distintas condiciones de iluminación. Estos elementos cumplen con las características utilizadas en la RoboCup [9]. El método es implementado en el robot mediante el procesamiento digital de imágenes a color en el espacio  $HSI$  (tono, saturación e intensidad). Para lograr este objetivo, se han implementado las fórmulas para transportarse del espacio  $RGB$  al espacio  $HSI$  tal como se mostró en la sección 2.

Cada objeto en la cancha de fútbol tiene tonalidades distintas y por lo tanto están bien definidos.

Por tanto, se han hallado las restricciones matemáticas que localizan satisfactoriamente a los objetos de interés con distintas luminosidades:

- La pelota de juego se identifica con los valores de  $H$  que están entre  $[2^\circ, 19^\circ]$  e  $I$  con valores en el intervalo cerrado  $[0.14, 0.61]$ .
- La portería se identifica con los pixeles cuya tonalidad  $H$  pertenecen al intervalo cerrado  $[31^\circ, 45^\circ]$ ; saturación  $S$  en  $[0.5, 1]$  e  $I$  con valores dentro de  $[0.21, 0.74]$ .
- El robot uniformado con una etiqueta magenta está identificado con valores de  $H$  contenidos en  $[294^\circ, 301^\circ]$  e  $I$  dentro del intervalo  $[0.33, 1]$ .



**Figura 10.** Búsqueda de los valores del canal  $I$  del robot para distintas condiciones de iluminación

#### 5. Referencias

- [1] A. Benítez, G. Martínez, M. A. Auxilio, J. de la Calleja, E. López: Implementación de un algoritmo de locomoción bípeda en un robot con morfología humana. Tesis de Maestría (Universidad Politécnica de Puebla, 2012).
- [2] A. Benítez, I. López, M. Cerón, M. A. Medina, J. de la Calleja (2012), Comportamientos reactivos en un robot bípedo para simular un portero de fútbol, Universidad Politécnica de Puebla, Reporte técnico.
- [3] RoboCup. RoboCup Soccer. <http://www.robocup.org/robocup-soccer/>. [consulta: 23-Diciembre de 2015].
- [4] Engadget, DARwin-OP: nuevo humanoide 'casero' de corazón open, <http://es.engadget.com/2010/11/28/darwin-op-nuevo-humanoide-casero-de-corazon-open-source/>. [consulta: viernes 10 de Noviembre de 2015].
- [5] Richard E. Woods Rafael C. Gonzalez. Digital Image Processing. Prentice Hall, segunda edición edición, 2011.
- [6] R. D. Lozano, El color y su medición. Editorial América Lee, Buenos Aires, 1978.
- [7] M.A. Alonso Pérez y , J.J.Báez Rojas (2008). Uso del Sistema  $HSI$  para Asignar Falso Color a Objetos en Imágenes Digitales, Revista mexicana de física E, Vol.54, Pag.186-192.
- [8] Lancaster University, Image Manipulation with Paint.NET [en línea]. Noviembre del 2014, <http://www.lancaster.ac.uk/iss/info/TThandouts/webimages/PaintNETGui.de.pdf>. [consulta: viernes 7 de Enero de 2016].
- [9] C. Zagal, J. R. del Solar. Adaptación evolutiva de un sistema visual de reconocimiento de objetos para el campeonato de fútbol robótico robocup. Dept. de Ing. Eléctrica, Casilla 412 -3, Universidad de Chile.