

# Estimación de distancias con un láser de línea y una cámara

Jesús Yalja Montiel-Pérez  
José Luis López-Bonilla  
Raquel Hernández-Gómez

Escuela Superior de Cómputo  
Othón de Mendizábal UPALM-IPN Zacatenco,  
México, DF, CP 07738.  
MÉXICO

Tel. 57296000 ext. 52011, fax: 52003

e-mail: yalja@ipn.mx  
jlopezb@ipn.mx  
rhernandezg0203@ipn.mx

Recibido el 29 de septiembre de 2006; aceptado el 30 de mayo de 2007.

## 1. Resumen

Este trabajo describe la implementación de un sistema de estimación de distancias de una cámara a objetos. El sistema utiliza un láser de línea, una cámara y procesamiento de imagen. Con el procesamiento de imagen y simple geometría analítica se estiman distancias de objetos con respecto a la cámara que adquiere la imagen.

**Palabras clave:** escáner láser-video, telémetro láser, sensor de distancias láser, visión robótica, procesamiento geométrico de imágenes.

## 2. Abstract (Estimate of Distances by Means of a Laser Line and a Camera)

This work describes the implementation of a system of distance estimate from a camera to objects. The system uses a line laser, a camera and image processing. With the image processing and simple analytic geometry the distance estimated from objects to the camera that acquires the image.

**Key words:** laser-video scanner, laser telemeter, laser sensor distance, imagen geometry processing.

## 3. Introduction

La robótica, en los últimos años, ha crecido vertiginosamente, y uno de sus logros más importantes ha sido la aparición de los robots móviles autónomos. Su objetivo radica en realizar actividades tediosas o de riesgo para el ser humano. Las aplicaciones son variadas, como la exploración de zonas de desastre, sistemas de prevención de accidentes para vehículos, e incluso artículos de limpieza para el hogar.

Dentro del sistema sensorial del que están dotados estos robots, la visión artificial juega un papel predominante para la navegación y construcción de mapas. En estos casos, el problema se reduce a determinar la separación que hay entre los obstáculos y el robot. Para resolver este tipo de problema existe la fotogrametría [1], que es la rama de la óptica geométrica que se encarga de determinar la profundidad a partir de un sistema de imágenes bidimensionales, siendo la base para el procesamiento geométrico de imágenes y visión robótica.

Uno de los métodos utilizados para implementar este tipo de sistemas es con un escáner láser, compuesto por una cámara y un apuntador láser que realiza un barrido de la escena a analizar [2]. Este barrido presenta una forma geométrica, la más común es un plano generado desde un punto de proyección que se mueve a lo largo de la escena que se desea reconstruir, de esta manera la cámara registra las intersecciones del plano con los objetos presentes. Existen sistemas comerciales de este tipo, como el IVP Ranger SAH5 [3].

El sensor de distancias de bajo costo que se describe en el presente artículo emplea un láser de línea que proyecta una línea horizontal y se basa en que si un obstáculo está muy lejos, los puntos brillantes ocasionados por el láser aparecerán muy cerca de la mitad vertical de la imagen tomada por la cámara, y si el obstáculo se acerca, los puntos láser en la imagen tenderán a bajar. Tomando en cuenta la distancia que bajan los puntos láser, se puede estimar la distancia al obstáculo.

Se realizaron pruebas con diferentes cámaras obteniendo resultados aceptables para distancias menores de 2 m. Las características de las cámaras empleadas y del láser son:

- Cámara 1. Inalámbrica PINHOLE a color, sensor CMOS, resolución de 320x240 pixeles, ángulo de visión de 39°, frecuencia de muestreo de 1.2 MHz.

- Cámara 2. Ezonics USB II, modelo: EZ-305 UVT8532ech a color, sensor CMOS, resolución de 320x240 pixeles, ángulo de visión de 24°, frecuencia de captura de 30 cuadros por segundo.
- Cámara 3. Digital Sony Cybershot a color, resolución de 2592x1944 pixeles, longitud focal de 7.9 a 23.7 mm.
- Láser de nivelación BLACK & DECKER, categoría II, longitud de onda de 633-670 nm, potencia máxima de -2.2 mW.

#### 4. Desarrollo

##### 4.1. Modelo matemático del sensor de distancias

Con un sistema de referencia  $XY$ , como el mostrado en la Fig. 1, se pueden obtener las coordenadas  $(x,y)$  de un objeto a partir de la ubicación de un píxel láser en la imagen de la cámara. El láser incide en un objeto en el punto  $P$  a una distancia  $x_0$  con respecto al lente de la cámara (Fig. 1a). La cámara registra, en un plano de imagen ortogonal al eje  $X$ , tal incidencia en un punto  $p$ , con lo cual se construye un modelo geométrico de perspectiva [4].

Los ejes de la cámara y el láser no son paralelos, el eje del láser tiene una inclinación superior de  $0.5^\circ$  con respecto al eje de la cámara, de tal forma que cuando un objeto se encuentra a una distancia de 0.20 m del sensor, la línea láser aparece por la parte inferior de la imagen.

La cámara se encuentra por encima del láser a una distancia  $d$ . Si  $d \neq 0$  no es posible distinguir los desniveles que se producen de la línea láser al proyectarse sobre los objetos. Mientras más grande sea  $d$ , existe una mayor diferencia en los píxeles del láser que se observa en la imagen, sin embargo es difícil detectar objetos cercanos.

Por geometría analítica es posible encontrar la intersección de los ejes de la cámara y el láser. Las ecuaciones de las rectas  $l_1$  y  $l_2$  (Fig. 1a) están dadas por las siguientes expresiones:

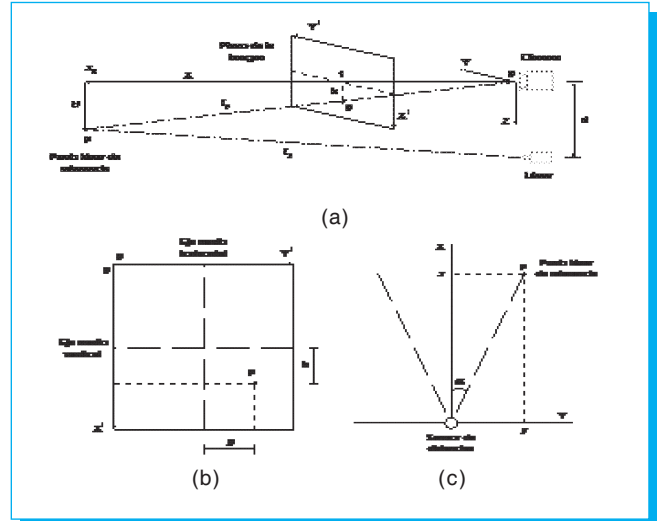
$$z_{l_1} = \frac{h}{f}x \quad (1) \quad z_{l_2} = \frac{H-d}{x_0}x + d \quad (2)$$

Al igualar (1) y (2) queda:

$$x = \frac{1}{\frac{h}{df} + \frac{d-H}{dx_0}} \quad (3)$$

La ecuación anterior representa una hipérbola

$$x = \frac{1}{m_1 h + b_1} \quad (4)$$



**Fig. 1.** Estimación de la posición de un objeto. (a) Vista de lado; (b) posición de un punto láser en la imagen de la cámara; (c) vista superior.

que modela la relación de altura  $h$  que hay entre los píxeles láser a cualquier punto de referencia en la imagen (Fig. 1b) y la distancia que hay entre la cámara al objeto dado en metros. Los parámetros  $m_1$  y  $b_1$  son inicialmente desconocidos para este arreglo en particular

La anchura de un objeto (componente  $y$ ) se obtiene mediante la ecuación

$$y = x \tan(\alpha) \quad (5)$$

donde  $\alpha$  es el desplazamiento angular horizontal del punto láser al eje  $X$  (Fig. 1c). Sea  $g$  la distancia que hay entre el eje medio horizontal de la imagen al píxel láser, con respecto al sistema de referencia mostrado en la Fig. 1b. Si  $g$  crece, también lo hace  $\alpha$ . El desplazamiento angular horizontal es una relación lineal que se puede calcular de la siguiente forma:

$$\alpha(g) = m_2 g + b_2 \quad (6)$$

Finalmente, la distancia  $d$  del sensor de distancias al objeto se expresa por la siguiente relación pitagórica:

$$d = (x^2 + y^2)^{1/2} \quad (7)$$

De esta manera, el procedimiento está completo asumiendo que se tienen los valores de los parámetros  $m_1$ ,  $b_1$ ,  $m_2$  y  $b_2$ . Estos valores se obtienen con un proceso de calibración.

**Tabla 1.** Parámetros obtenidos para las cámaras.

Cámara	$m_1$	$b_1$	$m_2$	$b_2$
1	-0.0425	4.9428	0.1288	-0.1518
2	-0.0234	4.8113	0.1048	-0.5390
3	-0.0470	6.1384	0.1299	0.7654

### 4.2. Calibración

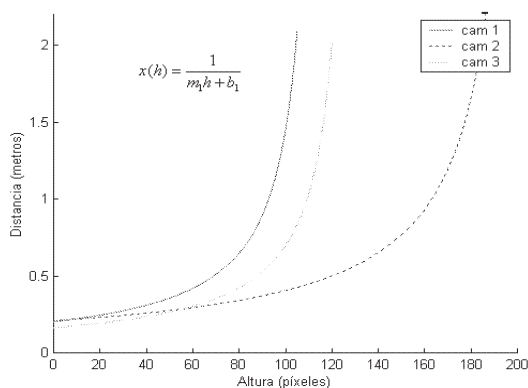
Para encontrar los parámetros  $m_1$  y  $b_1$  se realizaron pruebas experimentales registrando distancias entre la cámara y objeto en el intervalo de 0.2 a 2 metros; así como la altura de la línea láser a partir del punto inferior de la imagen adquirida por la cámara está en el intervalo de 0 a 200 píxeles.

Se utiliza un proceso de ajuste de puntos por el método de mínimos cuadrados [5], obteniéndose los valores de la tabla 1. La Fig. 2 muestra los datos registrados en las pruebas experimentales antes descritas.

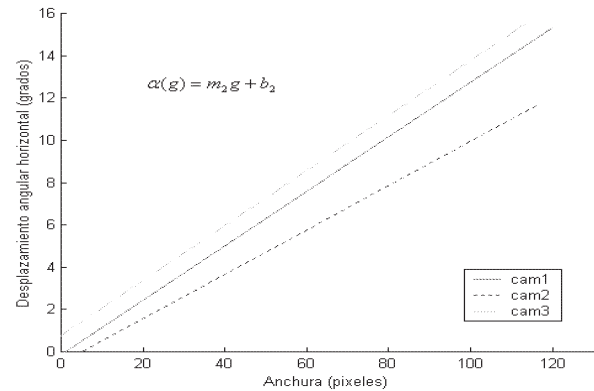
Los parámetros  $m_2$  y  $b_2$  se obtienen con un procedimiento análogo. Se coloca un objeto de anchura conocida sobre el eje medio vertical de la cámara en las distancias de 0.2 a 2.0 m. Para calcular el desplazamiento angular horizontal dado en radianes del objeto se emplea la relación

$$\alpha = a \tan \left( \frac{A}{x} \right) \quad (8)$$

donde  $A$  es la anchura del objeto (0.23 m) y  $x$  es la variable que representa la distancia a la que se coloca el objeto.



**Fig. 2.** Datos experimentales para los parámetros  $m_1$  y  $b_1$ .



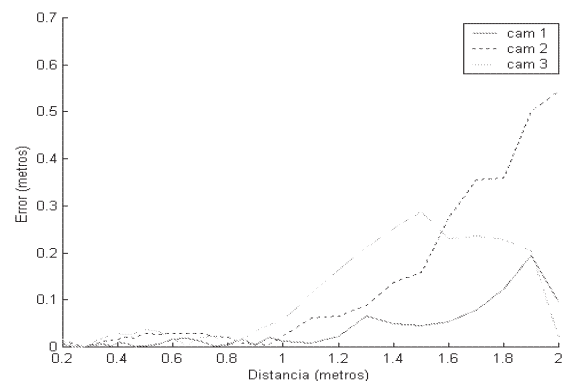
**Fig. 3.** Datos experimentales para los parámetros  $m_2$  y  $b_2$ .

En la imagen se registra la anchura del objeto dada en píxeles. A partir del par de datos de desplazamiento angular-anchura se realiza un proceso de ajuste de puntos por el método de mínimos cuadrados obteniéndose los valores de la tabla 1. La Fig. 3 muestra los datos registrados en las pruebas experimentales antes descritas.

La Fig. 4 muestra la relación distancia-error, se observa que conforme la distancia aumenta se incrementa el error para los tres tipos de cámaras.

### 4.3. Procesamiento de imagen

La imagen adquirida por la cámara debe tratarse para poder extraer la información requerida para la estimación de dis-



**Fig. 4.** Relación de error.

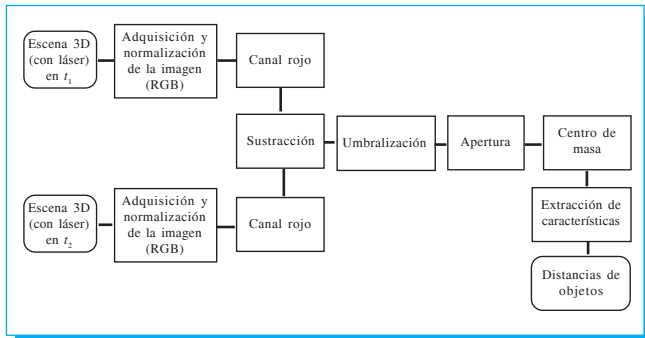


Fig. 5. Etapas de procesamiento de la imagen.

tancias de los objetos presentes en la escena. La figura 5 muestra las etapas de procesamiento de la imagen a analizar.

### Adquisición y normalización de la imagen (RGB)

Se obtienen dos imágenes a color de la misma escena, una de ellas tiene activado el láser y la otra no. Las imágenes se toman en los instantes de tiempo  $t_1$  y  $t_2$  con  $t_2 > t_1$ . El intervalo de captura entre el par de imágenes es de 600 ms. A continuación, las imágenes son normalizadas reduciendo su tamaño de 256x128 pixeles, para ello se reduce la imagen a un tamaño de 320x240 y se recortan los extremos izquierdo, superior y derecho, con la objeto de evitar el fenómeno de distorsión radial [6], que falsifica la información geométrica de la escena real debida al lente de la cámara, además de que se reduce el tiempo de procesamiento en una computadora. En la Fig. 6 las rectas de la cuadrícula se observan en la imagen como líneas curvas, el área delimitada por el rectángulo es la nueva imagen a procesar.

### Canal rojo

Una imagen de la línea láser no es uniforme en su color, en los extremos presenta tonalidades rojas y en el centro tiene tonalidades amarillas. Para resaltar y uniformizar la luz del láser se emplea la banda de color rojo en ambas imágenes.

### Sustracción

La segmentación de la línea láser se realiza restando la imagen que no tiene láser de la imagen que sí lo tiene. La diferencia entre dos imágenes  $f(x,y)$  y  $h(x,y)$ , se expresa de la forma:

$$g(x,y) = f(x,y) - h(x,y) \quad (9)$$

### Umbralización

Idealmente, si el par de imágenes con láser y sin láser fueran exactamente iguales en la escena, la resta sería cero para todos

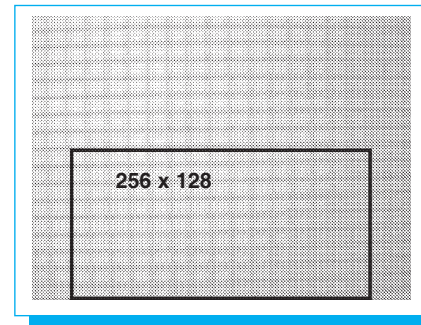


Fig. 6. Imagen con distorsión radial.

los pixeles de la imagen que no contienen a la línea láser; sin embargo, en la realidad, las fluctuaciones de iluminación (ruido) registradas por la cámara varían en las imágenes.

La imagen obtenida después del proceso de sustracción contiene pixeles con valores RGB cercanos a cero, algunos de éstos corresponden al ruido de la escena y otros a pixeles de la línea láser.

La umbralización consiste en identificar un umbral de binarización dinámico que separe el ruido de las tonalidades más rojas de la imagen. El umbral cambia para diferentes pares de imágenes.

El láser tiene una longitud de onda entre los 633-670 nm. El modelo CIE [7] establece que la gama visible para el ser humano del color rojo tiene una longitud de onda que se encuentra en el intervalo de 625-740. El color con longitud de onda más cercano al del láser y representable en el modelo RGB es el rojo puro que tiene una longitud de onda de 610 nm.

La distancia euclídea de un pixel  $p = (R_p, G_p, B_p)$  al color rojo puro  $R = (255,0,0)$ , está dada por:

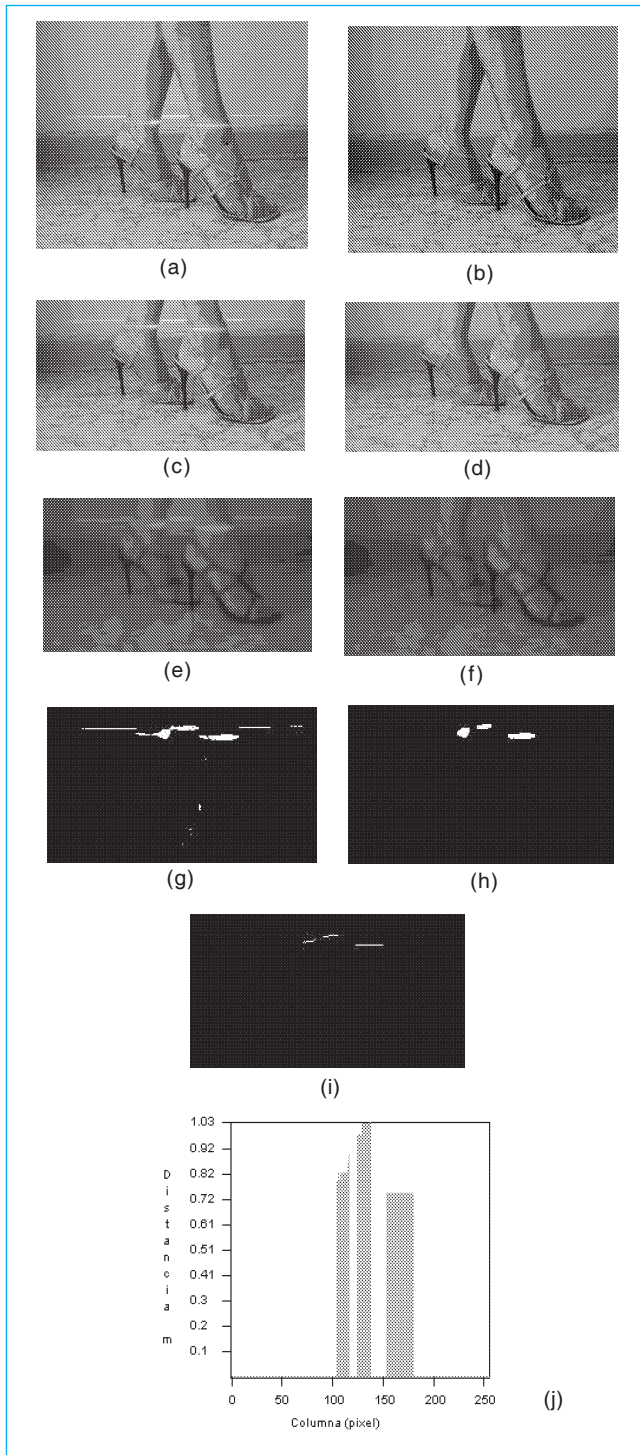
$$d_{pR} = \sqrt{(R_p - 255)^2 + G_p^2 + B_p^2} \quad (10)$$

Esta medida da como resultado una esfera en el espacio.

En el proceso de selección del umbral  $T$  se calculan las distancias  $d_{pR}$  para todos los píxeles de la imagen, obteniéndose las distancias máxima y mínima. El valor de  $T$  será la media de estos valores.

$$T = \text{mín} + \frac{\text{máx} - \text{mín}}{2} = \frac{\text{mín} + \text{máx}}{2} \quad (11)$$

La esfera de radio  $T$  encierra los pixeles del láser. La umbralización se define como:



**Fig. 7.** Proceso de segmentación de la línea láser con una iluminación de 0 EV (valor de exposición estándar). (a) y (b) imágenes originales con y sin láser, respectivamente; (c) y (d) imágenes normalizadas con y sin láser, respectivamente; (e) y (f) sus correspondientes imágenes en canal rojo; (g) umbralización; (h) apertura; (i) centro de masa y (j) gráfica pixel-distancia.

$$g(x,y) = \begin{cases} 0 & d_{pR}(x,y) > T \\ 1 & d_{pR}(x,y) \leq T \end{cases} \quad (12)$$

De este modo los pixeles marcados con uno corresponden a la línea láser.

### Apertura

En algunos casos la escena contendrá objetos que emitan reflejos. Para eliminarlos de la imagen umbralizada se utiliza la apertura morfológica [8] con un elemento estructural isótropo 3x3. Una de las ventajas de emplear esta técnica es que la forma de la línea láser no se distorsiona.

Los efectos de la apertura son:

- Elimina islas de tamaño menor al elemento estructural.
- Elimina picos o cabos más delgados que el elemento estructural.
- Rompe istmos cuya anchura sea menor al diámetro del elemento estructural.
- Alisa el contorno convexo de la imagen.

### Centro de masa

Los pixeles del láser muy brillantes tienden a contaminar con su brillantez a los píxeles vecinos, produciendo que la línea sea más ancha en algunas partes. Para obtener un solo pixel blanco por columna de la imagen se utiliza un procedimiento análogo al cálculo del centro de masa ( $x_{cm}$ ) de un arreglo de partículas. En este caso, las partículas corresponden a los píxeles de la columna ( $x_i$ ) y la tonalidad de un pixel representa su masa ( $m_i$ , los pixeles negros tienen masa cero).

$$x_{cm} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n x_i m_i \quad M = \sum_{i=1}^n m_i \quad (13)$$

### Extracción de características

Se almacenan en vectores, la altura que hay de cada pixel láser al borde inferior de la imagen, y la anchura que hay del eje medio vertical de la imagen a cada pixel.

Las Fig. 7 muestra los resultados obtenidos al aplicar el procesamiento antes descrito.

La Fig. 7j muestra el resultado final del análisis de las imágenes originales (Fig. 7a y b.). El eje horizontal de la gráfica representa lo sentido en el sentido vertical en las imágenes originales, donde se registran columnas que representan al objeto sentido el cual está a una distancia entre 0.72 metros y el fondo de la escena se encuentra a una distancia de 1.03



metros con respecto a la cámara. La prueba reportada en este trabajo fue realizada con la cámara 3.

## 5. Conclusión

Los materiales que fueron detectados con éxito son: fibra de vidrio, piel, tela, cemento, ladrillo y papel. Con objetos transparentes y brillantes como plástico, vidrio, metal y mosaico, no se obtuvieron resultados satisfactorios.

Las condiciones de operación implican que los objetos sean opacos, de colores preferentemente claros y que se encuentren dentro del campo de visión de la cámara con una luminosidad entre  $-2.0-0.0$  EV.

El alcance del sensor de distancias cámara-láser depende de la resolución de la cámara, potencia del láser, color de los obstáculos (los colores oscuros absorben parte de la luz láser) y de las condiciones de iluminación (la luz fluorescente introduce mayor ruido en la captura de las imágenes que la luz incandescente).

Es posible estimar distancias de objetos dinámicos (personas, animales, robots, etc.) con la condición de que el intervalo de adquisición de imágenes sea lo suficientemente pequeño para que no exista movimiento perceptible en las imágenes.

## 6. Referencias

- [1] Voss Klaus y Marroquín José Luis, "Análisis de Imágenes de Objetos Tridimensionales"; *Ciencia de la Computación*, 2006.
- [2] Oh Paul Y.; "A template for Real-Time Image Processing Development"; *Proceedings of IEEE Robotics Automation magazine*, Computer Vision; Vol. 12, No. 4; 2005.
- [3] "IIVP Ranger SAH5" [www.chronos-vision.de/maschinevision/ivp\\_ranger\\_sah5/IIVPRangerSAH5ProductInformation1.0.pdf](http://www.chronos-vision.de/maschinevision/ivp_ranger_sah5/IIVPRangerSAH5ProductInformation1.0.pdf).
- [4] Pajares M. Gonzalo, De la Cruz G. Jesús M.; *Visión por Computador. Imágenes digitales y aplicaciones*; Alfaomega Ra-Ma, 2002.
- [5] Nieves A., Hurtado F., *Métodos Numéricos Aplicados a la Ingeniería*; CECSA; 2000.
- [6] Iocchi, Konolige; "A multiresolution stereo vision system for mobile robots", *International Journal of Robotics Research*; 1998.
- [7] Gonzalez Rafael C., Woods Richard E.; *Digital Image Processing*; Addison Wesley; 1993.
- [8] Ritter Gerhard X., Wilson Joseph N.; *Handbook of Computer Vision. Algorithms in Image Algebra*; CRC Press; 2000.

# REDALYC

**Red de revistas científicas de América Latina  
y el Caribe, España y Portugal (UAEM)**

**[www.redalyc.org](http://www.redalyc.org)**