

Sistema de visión por computadora para la medición de distancia e inclinación de obstáculos para robots móviles*

Nestor Andrés González Vargas**

Resumen: este artículo muestra el proceso de implementación de un sistema de visión por computadora para robots móviles, el cual se fundamenta en una aproximación geométrica que evalúa la distancia y la inclinación de obstáculos planos. El sistema está compuesto principalmente por una cámara CCD, una tarjeta de adquisición de imágenes y un arreglo de diodos láser que proyecta dos puntos de luz hacia el obstáculo.

Palabras claves: arreglo láser, medición de distancia, procesamiento de imágenes.

Abstract: this article shows the implementation process of a computer vision system for mobile Robots, which is based on a geometrical approximation of distance measurement and obstacle inclination. The system is mainly composed for a CCD camera, an image acquisition card, and a laser array, which projects two spot lights on to the obstacle.

Key words: laser array, distance measurement, image processing.

* Fecha de recepción: 5 de septiembre de 2005. Fecha de aceptación para publicación: 29 de noviembre de 2005. Este artículo se deriva de un trabajo con el mismo nombre presentado en el [IEEE Colombian Workshop on Robotics and Automation, CWRA 2005, en agosto de 2005](#), organizado por el IEEE-Colombia y cuyas memorias fueron publicadas con el ISBN 958-695-182-0. Se publica con autorización del coordinador del comité evaluador del evento. El trabajo contó con la financiación parcial del Instituto de Tecnologías de la Información de la Universidad Tomas Bata en la Republica Checa. La implementación del sistema de visión por computador fue realizada por el autor en los laboratorios de la Universidad Tomas Bata y el robot móvil *Skywalker* con el cual se realizaron las pruebas fue construido en el laboratorio de Mecatrónica de la Universidad Autónoma de Occidente en Cali, Colombia.

** Estudiante de ingeniería mecatrónica, Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia. Correo electrónico: gonzaleznestor@gmail.com.

1. Introducción

En muchas aplicaciones de la robótica móvil se requieren sistemas de visión para explorar el área alrededor del robot. Mediante tareas como la detección de obstáculos, el reconocimiento de formas y la estimación de distancias, se puede mejorar el control y la navegación. Uno de los sistemas de visión más populares para robots móviles es aquel que incluye arreglos láser, debido a su aplicabilidad y flexibilidad, ya que puede adoptar una gran variedad de formas. Estos sistemas están compuestos, generalmente, por diodos láser, cámaras de video CCD y tarjetas electrónicas que se encargan de adquirir las señales de video provenientes de las cámaras. Para la implementación de este sistema de visión, se trabajó con una aproximación geométrica [Kvasnica, 2003], la cual es ideal para ambientes estructurados. Dentro de las operaciones de procesamiento digital que se implementaron están las de segmentación y morfología matemática de imágenes.

2. Aproximación geométrica del sistema

El sistema de visión se basa en una aproximación geométrica [Kvasnica, 2003] de medición de rangos de distancia e inclinaciones (*Range-incline tracer*), con la cual se busca calcular la distancia D y la inclinación β a la cual se encuentra un obstáculo plano con respecto a un robot móvil (Figuras 1 y 2).

En la Figura 2 se debe tener en cuenta que:

- El punto de origen del sistema de referencia x, y es la intersección de los dos rayos de luz 4.
- El eje óptico 5 de la cámara 3 pasa a través del punto de origen del sistema de referencia.
- El eje y del sistema de referencia es paralelo al eje óptico 5 de la cámara 3 y su orientación positiva va dirigida hacia la cámara 3.
- Las coordenadas r_1, s_1 pertenecen al punto de luz A, el cual es emitido por el diodo láser 1 y proyectado sobre el obstáculo 6. Mediante la ecuación (1) se determina el valor de la coordenada s_1 .

- Las coordenadas r_2 , s_2 pertenecen al punto de luz B, el cual es emitido por el diodo láser 2 y proyectado sobre el obstáculo 6. Mediante la ecuación (2) se determina el valor de la coordenada s_2 .
- En este arreglo láser cada rayo de luz 4 que se emite, crea un ángulo $\alpha/2$ con respecto al eje óptico 5 de la cámara.

En la Figura 2 se observa que h es la distancia entre la cámara 3 y el punto de intersección de los rayos de luz 4. También se observa que Δh es la distancia entre el punto de intersección de los rayos de luz 4 y la intersección del eje óptico 5 de la cámara 3 con el obstáculo 6. Mediante la ecuación (3) se calcula Δh . De la Figura 2 también se deduce el valor de las variables D y β ; en donde D es la distancia entre la cámara 3 y el obstáculo 6 y β es la inclinación del obstáculo 6 con respecto al eje óptico 5 de la cámara 3. Con las ecuaciones (4) y (5) se determina el valor de las variables D y β .

$$s_1 = \frac{r_1}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad (1)$$

$$s_2 = \frac{r_2}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad (2)$$

$$\Delta h = - \frac{s_1 - s_2}{r_2 - r_1} r_1 + s_1 \quad (3)$$

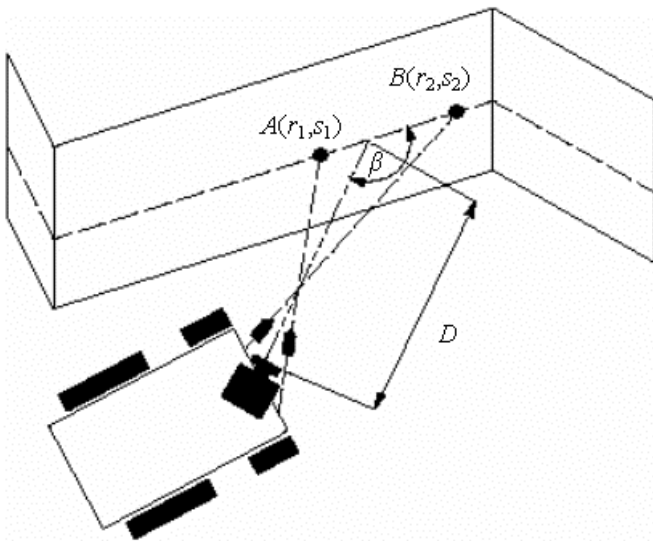
$$D = h \pm \Delta h \quad (4)$$

$$\beta = \arctg \frac{r_2 - r_1}{s_1 - s_2} \quad (5)$$

En resumen, lo que se quería calcular, principalmente, con la aproximación geométrica son los valores de las variables D , β del sistema de visión; sin embargo, para realizar dicho cálculo se debe encontrar, ante todo, las coordenadas r_1 , r_2 de los puntos de luz A , B . Se implementó un programa de procesamiento digital de imágenes, con el cual se encontraba las coordenadas r_1 , r_2 y se calculaba todas las variables del sistema.

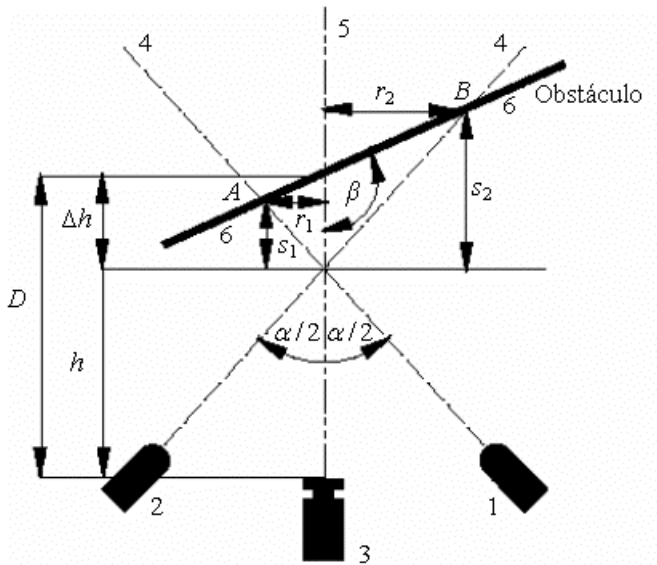
Con las imágenes que fueron capturadas con la cámara CCD, se realizaron operaciones de procesamiento digital de segmentación y morfología binaria [González, Woods, Eddins, 2004], las cuales facilitaron el cálculo de las coordenadas r_1 , r_2 de los puntos de luz láser.

Figura 1. Arreglo láser para la medición de rangos de distancia e inclinación de obstáculos (*Range-incline tracer*).



Fuente: presentación propia del autor.

Figura 2. Aproximación geométrica para la medición de rangos de distancia e inclinación de obstáculos (*Range-incline tracer*).



Fuente: presentación propia del autor.

3. Adquisición de las imágenes

La adquisición de imágenes, se realizó con una tarjeta electrónica comercial de adquisición y procesamiento de imágenes DT3155, de la compañía Data Translation [*Data Translation*, 2000]. La tarjeta electrónica adquiere imágenes monocromáticas, es de alto rendimiento, es programable, almacena en tiempo real la información digital de la imagen en su sistema de memoria y también transfiere la información de la imagen al computador a través del bus de expansión PCI. A continuación se describen los parámetros de configuración de la tarjeta DT3155:

- Formato de video: debido a que el sistema de visión se implementó en la República Checa, se trabajó con el formato estándar PAL a una frecuencia de 50 hz.
- Tamaño de la región de interés: un *frame* es una porción del área de video activa que se digitaliza

[Data Translation, 2000]. La cima del *frame* es la primera línea de video relativa al área de video activa; Ésta se fijó en cero para la tarjeta DT3155. El lado izquierdo del *frame* es el primer *pixel* de video relativo al área de video activa; éste se fijó en cero para la tarjeta DT3155.

- El ancho del *frame* es el número de *píxeles* por línea de video; éste se fijó en setecientos sesenta y ocho para una frecuencia de 50 hz. La altura del *frame* es el número de líneas por campo; ésta se fijó en quinientas setenta y seis para una frecuencia de 50 hz.
- Escala de la imagen: el factor de escala preconfigurado tiene un valor de uno, lo que significa que las imágenes no se pueden aumentar de tamaño con la tarjeta DT3155.

4. Programa de adquisición de imágenes

Después de configurar adecuadamente la tarjeta de adquisición de imágenes se procedió a programarla haciendo uso del lenguaje *Microsoft Visual C++ 6.0*. Se desarrolló un programa denominado *Distance Measuring 1.0*, que sirve para capturar, digitalizar y almacenar las imágenes en un computador. En la Figura 4 se puede apreciar la ventana principal del programa, desde donde se puede activar ó desactivar tanto la tarjeta como el robot.

Con el fin de verificar el correcto funcionamiento del programa de adquisición de imágenes, se realizaron pruebas con los diferentes componentes del sistema de visión como el robot móvil, el arreglo láser, la cámara de video y la tarjeta electrónica DT3155 (Figura 3). El objetivo de estas pruebas era poder digitalizar imágenes que incluyeran los dos puntos de luz láser *A*, *B* que son proyectados sobre un obstáculo, ya que ese era el primer paso para calcular las coordenadas r_1 , r_2 de los puntos de luz (Figura 4).

Durante las pruebas se observó que al adquirir las imágenes del obstáculo de color blanco, los *frames* se oscurecían como consecuencia de la iluminación del lugar con luz ambiente. Todos los *frames* también presentaban ruido del tipo sal y pimienta, haciéndose necesario procesarlos digitalmente para

mejorarlos (Figura 4).

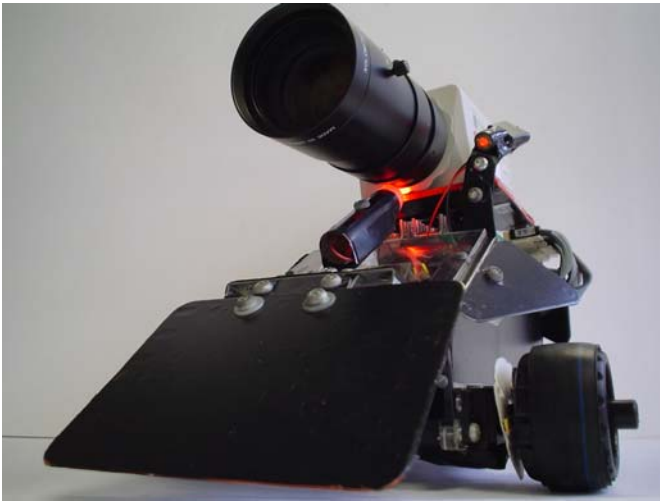
Después de almacenar el *frame* de los puntos de luz láser A , B en la memoria del computador, el siguiente paso consistió en la implementación del programa de Procesamiento Digital de Imágenes (PDI), el cual, finalmente, entregaría las coordenadas r_1 , r_2 de los puntos de luz.

5. Procesamiento digital de las imágenes

Mediante el empleo de la herramienta *Image Processing* de *Matlab versión 6.5* [González, Woods, Eddins, 2004], se programaron las siguientes operaciones, con las cuales se mejoraron y se procesaron los *frames*:

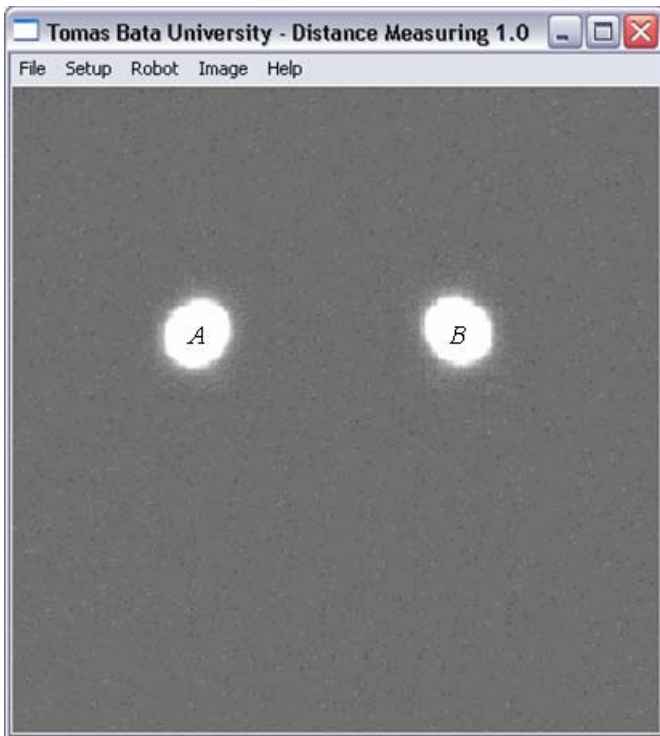
- Segmentación: esta operación fue crucial para determinar las coordenadas r_1 , r_2 porque en ella se separaron las áreas ovaladas de color blanco del resto del *frame*. Es importante aclarar que las áreas ovaladas de la Figura 4 representan los dos puntos de luz láser A , B . Teniendo en cuenta que el *frame* de la Figura 4 es de 8 bits (doscientos cincuenta y seis niveles de grises); para separar las áreas ovaladas se realizó una segmentación que entregó el *frame* segmentado por regiones (Figura 5). Gracias a esta operación también se eliminó el ruido de sal y pimienta del *frame*, porque al terminar la segmentación quedó el fondo (obstáculo) de color negro.
- Morfología matemática: con esta operación se detectaron los contornos de las áreas realizando simplemente una dilatación y una erosión del *frame*. Las operaciones fueron controladas por un elemento de estructura circular plano (*disk*) de radio 1.

Figura 3. Cámara de video ubicada sobre el robot móvil *Skywalker*



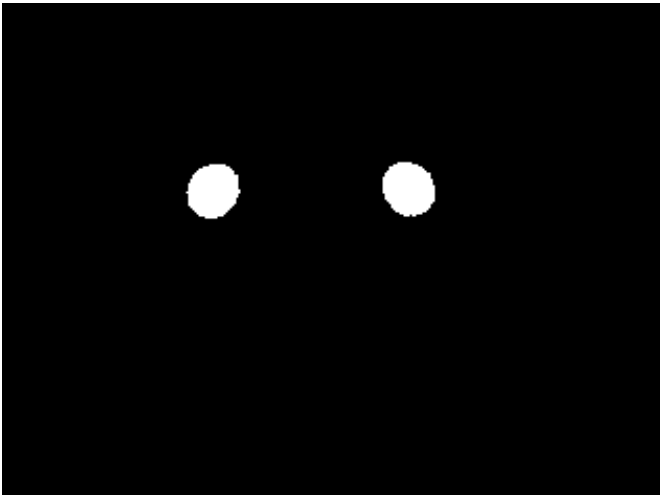
Fuente: presentación propia del autor.

Figura 4. Ventana principal del programa de adquisición de imágenes *Distance Measuring 1.0*.



Fuente: presentación propia del autor.

Figura 5. Segmentación del *frame* por regiones.



Fuente: presentación propia del autor.

En la Figura 6 se puede apreciar el contorno de las áreas ovaladas, que se obtuvo al restar el *frame* erosionado del dilatado. Con la operación de morfología matemática también se encontraron los centroides de las áreas ovaladas, los cuales corresponden a las coordenadas r_1, r_2 de los puntos de luz A, B (Figura 7).

Al obtener las coordenadas se presentó un nuevo reto, porque en lugar de calcular sus valores en unidades métricas, se obtuvo su ubicación en una matriz de píxeles (mapa de bits). Para solucionar dicho problema, se realizaron mediciones de campo con los puntos de luz láser proyectados sobre el obstáculo y se determinó el equivalente entre píxeles y centímetros. Dicha equivalencia fue fundamental para conocer la distancia entre las coordenadas y el eje óptico 5 de la cámara de video (Figuras 2 y 7).

A partir de ello se concluyó que en el momento de capturar las imágenes no era recomendable variar el grado de acercamiento, porque de hacerlo se debería recalibrar el sistema y así se encontraría nuevamente la equivalencia entre píxeles y centímetros.

Por último se remplazaron los valores de las coordenadas que estaban en centímetros, en las ecuaciones (1)-(5), para obtener finalmente la distancia D y la inclinación β a la cual se encontraba el

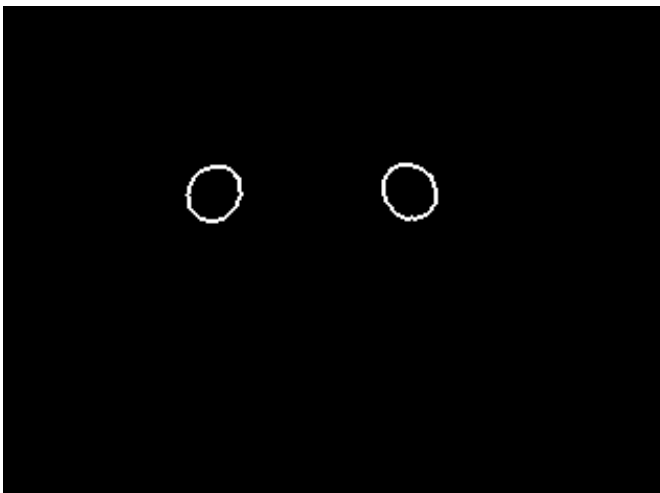
obstáculo plano con respecto al robot móvil.

6. Pruebas de procesamiento digital de imágenes

Se realizaron pruebas con *frames* de puntos de luz láser de color rojo, proyectados sobre un obstáculo estático plano (cartulina de color blanco). Los puntos eran emitidos por módulos *láser* que generaban rayos de luz con una longitud de onda de 670 nm. Los módulos operaban a 3 Vdc, con una potencia de 0,005 W, y tenían una distancia de trabajo de 50 m a la luz del día.

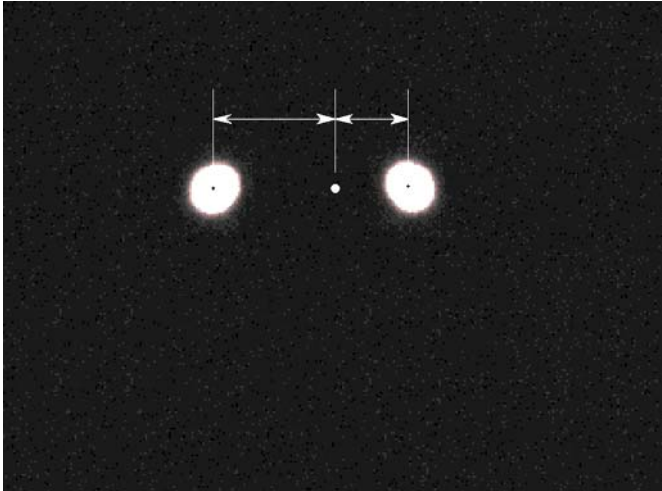
El objetivo de las pruebas consistió en determinar si la variación de la iluminación del entorno afectaba el cálculo de las coordenadas r_1 , r_2 . Por tal motivo se adquirieron imágenes usando como fuente de iluminación la luz ambiente y luego se realizó la adquisición utilizando la luz proveniente de una bombilla incandescente de 100 W.

Figura 6. Contorno de los puntos de luz láser A , B



Fuente: presentación propia del autor.

Figura 7. Coordenadas r_1 , r_2 de los puntos de luz láser A , B .



Fuente: presentación propia del autor.

Con las pruebas se determinó que los dos tipos de fuentes de luz no afectaban la operación del sistema de visión porque al segmentar el *frame*, se compensaba la variación de iluminación y, además, se eliminaba el ruido; esto resulta muy importante para el caso de los robots móviles que operan bajo estas condiciones de iluminación en casas o edificios.

7. Conclusiones y trabajo futuro

En este artículo se ha descrito el proceso de implementación de un sistema de visión por computadora modular basado en un modelo geométrico para la medición de distancia e inclinación de obstáculos planos. Para el cálculo de las variables D , β del sistema se ha propuesto la utilización de algoritmos de procesamiento digital de imágenes que sólo requieren de operaciones de segmentación y morfología matemática. Una ventaja adicional que presenta el sistema de visión es el uso eficiente de la memoria del computador, porque no se necesita una descripción geométrica completa del obstáculo para detectarlo y graficarlo, sino que por el contrario, sólo basta con almacenar en la memoria la distancia a la cual se encuentra y su inclinación.

Las pruebas realizadas demuestran que el sistema de visión trabaja satisfactoriamente y que es muy apropiado para ambientes estructurados; sin embargo, este sistema se podría mejorar aún más si se le agregara la información proveniente de otro tipo de sensores. Por tal motivo el trabajo futuro se va a concentrar en la implementación de una fusión sensorial aplicada al control y la navegación de una silla de ruedas en los hogares de personas discapacitadas.

Referencias

Canny, J. "A Computational Approach for Edge Detection". En: *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8 (6) 1986, 679-698.

Data Translation. DT3155 User's Manual. Marlboro: Data Translation, 2000.

Faugeras, O. *Three Dimensional Computer Vision, a Geometric Viewpoint*. Cambridge, 1993.

Fu, K. S., González, R. C., Lee, C. S. G. *Robótica, control, detección visión e inteligencia*, Madrid: McGraw-Hill, 1998.

González, J. *Visión por computador*. s.d.: Paraninfo, 1999.

González, R. C., Woods, R. E., Eddins, S. L. *Digital Image Processing Using MATLAB*. New Jersey: Pearson, 2004.

Hanselman, D., Littlefield, B. R. *Mastering MATLAB 6*. New Jersey: Pearson Education, 2001.

Hartley, R. Zisserman, A. *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge, 2000.

Jarvis, R. A. “A Perspective on Range Finding Techniques for Computer Vision,”. EN: *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 5 (2), 1983, 122-139.

Kim, D., Kim, J., Chung, M. J. “An Eye-Gaze Tracking System for People with Motor Disabilities,”. En: *Proc. 7th International Conference on Rehabilitation Robotics*, Evry Cedex, France, 2001.

Kvasnica, M. “Head Joystick and Interactive Positioning for the Wheelchair,”. En: *Proc. 1st International Conference on Smart Homes and Health Telematics*, Paris, 2003.

Kvasnica, M. “Six-DOF Sensory System for Interactive Positioning and Motion Control in Rehabilitation Robotics,”. En: *Proc. 8th International Conference on Rehabilitation Robotics*, Daejeon, Korea, 2003.

Russ, J. C. *The Image Processing Handbook*. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 1999.

Tsai, R. “A Versatile Camera Calibration Technique for High Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using off-the-shelf TV Cameras and Lenses,”. EN: *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 3 (4), 1987, 323-344.

Vincent, L. “Morphological Grayscale Reconstruction in Image Analysis: Applications and Efficient Algorithms,”. EN: *IEEE Trans. on Image Processing*, 2(2), 1993, 176–201.

Zitová, B., Kautsky, J., Peters, G., Flusser, J. “Robust Detection of Significant Points”. En: *Multiframe Images, Pattern Recognition Letters*, 20, 1999, 199-206.

