

Activación sistema de frenos ABS usando visión por computadora para la detección de la superficie de rodamiento

Gabriel García Ponds

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Departamento de Electrónica, San Pablo Xalpa
No.180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, México, D.F.
gabrielgponds@gmail.com

Juan Villegas Cortez

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Departamento de Electrónica, San Pablo Xalpa
No.180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, México, D.F.
juanvc@azc.uam.mx

Carlos Avilés Cruz

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Departamento de Electrónica, San Pablo Xalpa
No.180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, México, D.F.
caviles@azc.uam.mx

Iván Vázquez Álvarez

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Departamento de Electrónica, San Pablo Xalpa
No.180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, México, D.F.

Ismael Osuna Galán

Universidad Politécnica de Chiapas, Tuxtla Gtz., Chiapas, México
iosuna@upchiapas.edu.mx

Yolanda Pérez Pimentel

Universidad Politécnica de Chiapas, Tuxtla Gtz., Chiapas, México
ypimentel@upchiapas.edu.mx

Resumen

Los frenos tipo ABS fueron desarrollados en aviones, debido a las exigentes condiciones de frenado que requieren, posteriormente fueron adoptados por la industria automotriz, hasta llegar a convertirse en equipo de seguridad obligatorio en muchos países. Actualmente los frenos ABS trabajan en conjunto con otros sistemas de seguridad activa, pero su función es permitir que el conductor mantenga el control del vehículo durante una frenada de emergencia. La idea del sistema presentado es detectar una superficie de rodamiento que implique riesgo en caso de una frenada de emergencia de forma que el sistema ABS se active antes de que exista una condición de bloqueo de alguna de las ruedas. En este artículo se presenta un algoritmo que permite la activación del sistema de frenos ABS, usando visión por computadora para analizar la superficie de rodamiento por medio de la velocidad, entropía y luminosidad; así como de un conjunto de reglas difusas, para detectar una situación de riesgo antes de que se detecte de forma convencional. Los resultados alcanzados de las simulaciones realizadas en laboratorio son muy satisfactorias y prometedoras.

Palabra(s) Clave(s): ABS, control difuso, visión por computadora.

1. Introducción

Un sistema típico ABS consiste en los frenos propios del vehículo, sensores de velocidad en cada rueda, una bomba hidráulica de frenado y una unidad de control, algunos sistemas avanzados incluyen acelerómetros para proveer mayor información a esta unidad. Las investigaciones actuales están dirigidas a mejorar la tecnología ABS apoyando la respuesta del sistema [1][2]. Se han propuesto diversas técnicas de control para mejorar el rendimiento del frenado ABS, entre las que se encuentran controladores óptimos [2], controladores difusos [6], o controladores de modo deslizante [2]. En todos estos trabajos se tiene como preocupación el control y deslizamiento de las ruedas o la reducción de los daños materiales en los componentes de los frenos ABS. Sin embargo, en pocos de estos trabajos se ha considerado un sistema por visión artificial, y se han utilizado sensores electrónicos.

Las técnicas de visión artificial o por computadora, son un conjunto de elementos de hardware y software para la adquisición y procesamiento de imágenes, con el fin de

resolver aplicaciones y realizar pruebas automatizadas y de monitoreo inteligente. Un sistema de visión por computadora, captura la imagen de un objeto particular y realiza un procesamiento digital para extraer las características que pueden proveer información relevante en función de la aplicación para el cual se destina (i.e. color, textuta, forma, etc.) [1]. Entre las aplicaciones de la visión artificial como apoyo vial se encuentran:

- Análisis secuencial de imágenes en intersecciones
- Conflictos vehículo-peatón
- Seguimiento de trayectoria de vehículos y peatones
- Predicción de hipotéticas colisiones
- Señalización
- Semáforos inteligentes
- Asistencia al conductor

El sistema de frenos ABS que se propone puede considerarse como asistencia al conductor, ya que de alguna forma servirá de apoyo para asegurar el control del vehículo en distancias mínimas ante una frenada brusca o de emergencia, derivada de una distracción del conductor, o de las condiciones ambientales.

En la figura 2 se muestra la implementación del sistema en el vehículo, indicando el campo de visión sobre la superficie de rodamiento [3], y sobre ésta la sub región de interés considerada para únicamente aplicar el análisis sobre ella, i.e. la ROI (Region Of Interest [Región de interés]) [4][5].

La implementación que se propone consiste de tres escenarios, acorde a los tipos de terrenos de desplazamiento del vehículo en la ciudad: (i) suelo seco y luz de día, (ii) suelo húmedo y luz de día, y (iii) suelo seco y luz baja.

La metodología del sistema de visión diseñado para mejorar los frenos ABS, consiste en cuatro etapas como se aprecia en la figura 1. En primer lugar, se realiza la

adquisición de video, la cual se logra mediante el uso de una cámara situada del tal forma que el campo visual frontal coincida con la del conductor, para que la información que pueda proporcionar sea complementaria para el mismo. Después, se procede a la extracción de características, en éste caso entropía, velocidad y luminosidad. La información de las variables mencionadas, pasa a la siguiente etapa, el sistema difuso el cuál la evaluará de acuerdo al conjunto de reglas establecidas y calcula el coeficiente de fricción asociado a la superficie de rodamiento [5]. Por último, el resultado del sistema difuso envía la señal de activación al sistema de frenos ABS, es decir, si se activa o no.

En la sección 2 se detalla la propuesta, los módulos que la componen y las condiciones de la implementación. En la sección 3 se proporcionan las especificaciones técnicas necesarias y, los resultados, conclusiones y trabajo futuro se presentan en la sección 4.



Fig. 1. Metodología propuesta del sistema de visión.

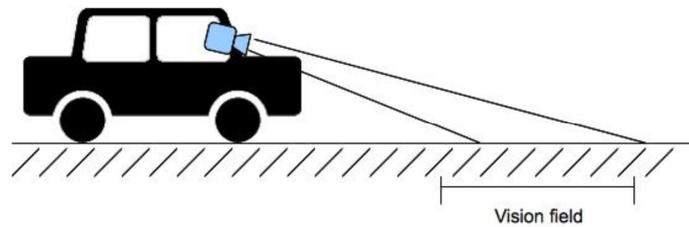


Fig. 2. Area de visión desde la cámara empotrada en el automóvil y la ROI.

2. Desarrollo

En una etapa inicial, la propuesta se desarrolló mediante simulaciones, las variables de entrada seleccionadas fueron la velocidad (v), la entropía (e) y la luminosidad (l); con éstas variables se configuró un sistema MISO (Multiple Input Single Output) en la plataforma de software LabVIEW, estableciendo los conjuntos difusos y reglas de inferencia que permitieran su implementación real. Corroborado el funcionamiento del sistema difuso, se desarrolló un programa para la extracción automática de características-variables consideradas (v, e, l), utilizando NI Vision Assistant, con lo que se extrajeron cuadro por cuadro las imágenes que conforman cada video y fueron procesadas para identificar las tres condiciones de superficie de rodamiento consideradas, (i, ii, iii). Del procesamiento de cada imagen se obtienen los valores de las tres variables (v, e, l), que se ingresan al sistema difuso, y de acuerdo a la serie de

reglas programadas se obtiene una decisión. La figura 3, describe el procedimiento de la implementación final.

La figura 4 muestra el diagrama de bloques implementado para el sistema completo, desde la extracción de características-variables hasta su evaluación por el sistema difuso; dados todos los detalles del gráfico, la figura muestra la generalidad de las interconexiones del sistema, ya que la plataforma de desarrollo no permite la generación de gráficos vectorizados, es que entre las figuras 3 y 4 se puede visualizar el desarrollo del sistema completo, y poder reproducirlo.

El programa fue desarrollado en módulos realizados para cada variable en NI Vision Assistant. Este asistente, permite realizar una enorme gama de procesamiento sobre una imagen y ofrece una visualización previa de cada fase y cada operación que se realiza. Por ello, los módulos de luminosidad y entropía fueron desarrollados primeramente como un script que luego fue exportado a LabVIEW para integrarlo en un sólo VI que incluyera cada parte del procesamiento como la aplicación del sistema difuso.

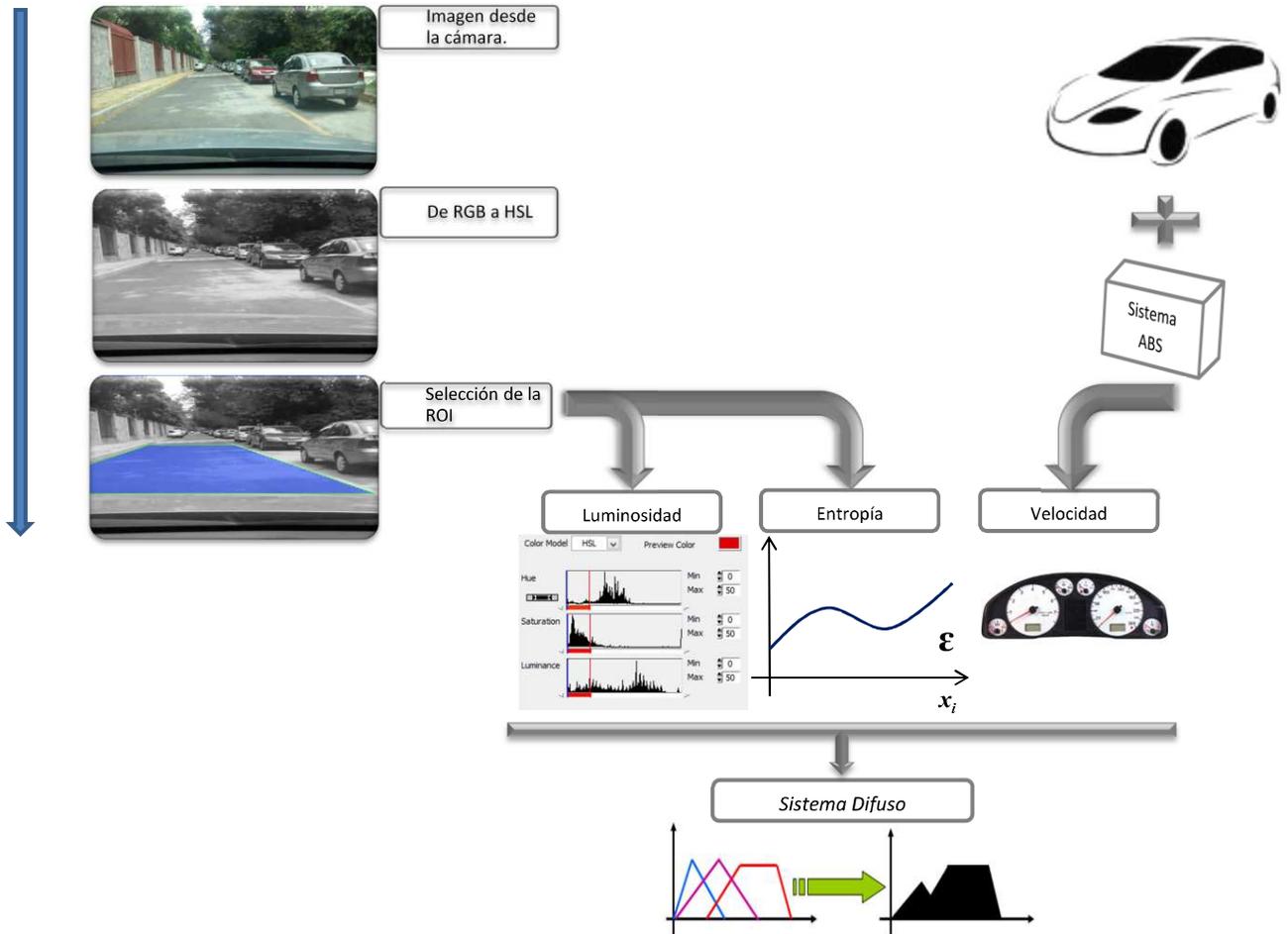


Fig. 3. Sistema desarrollado usando NI Vision Assistant y NI Fuzzy Logic.

2.1. Luminosidad

En la primera etapa, cada imagen obtenida del video tomado por la cámara, se exporta al espacio de color HSL (Hue, Saturation, Lightness); la segunda etapa transforma la capa de luminosidad (lightness) al tamaño kernel [5], con el propósito se resaltar los bordes y detalles de la imagen a fin de mejorar su resolución; la tercera etapa marca la región de interés (ROI), y sobre ella es que se realiza el cálculo de la luminosidad, obteniendo una mejor estimación al realizar el cálculo solo la porción de la imagen de nuestro interés, que es el área donde el vehículo se desplaza.

2.2. Entropía

Este módulo consiste en 4 etapas. Similar al proceso previamente mencionado, en la primera etapa la imagen ahora se exporta al espacio de color HSI (Hue, Saturation, Intensity), en la segunda etapa se aplica una convolución sobre la imagen con un tamaño 3 de kernel para resaltar detalles de la imagen; en la tercera etapa se delimita la ROI, y finalmente en la 4ta etapa calcula el histograma de la imagen. Para calcular la entropía sobre la ROI se uso la ecuación 1 sobre los pixeles de la imagen con valores normalizados [5].

$$E = \sum_{i=0}^n p(x_i) \log p(x_i) \quad (1)$$

2.3. Velocidad

El cálculo de la velocidad fue concebido primero como estimar la razón de cambio de los puntos de interés detectados en la ROI, aplicando un algoritmo de extracción automática de ellos, pero se terminó por tomar la señal de estimación de la velocidad proporcionada por la propia computadora del sistema ABS, que ya hace esta estimación de mejor forma, por medio de una adquisición de una variable analógica, ahorrando ciclos de procesamiento necesarios para optimizar la ejecución final del sistema.

2.4. Sistema difuso

El sistema difuso es el módulo donde se realiza la toma de decisión de todo el proceso, a fin de liberar la señal indicadora de activación correspondiente. Éste recibe las tres señales (v,e,l), con los valores calculados en los módulos anteriormente descritos, cuadro a cuatro de video analizado, y con base a valores de referencia es que se asignaron límites para los valores de la señal: Bajo, Medio y Alto [6][7]. Las gráficas con los rangos tomados para cada variable se muestran en la figura 5. Es así que el sistema difuso toma la decisión de activar o desactivar (on/off, 0 o 1) el freno ABS [8], la

decisión es tomada con base al conjunto de reglas establecidas, las cuales se muestran en la tabla 1.

IF	THEN
V=B AND L=B AND E=M	1
V=M AND L=B AND E=M	1
V=M AND L=B AND E=B	1
V=A AND L=B AND E=M	1
V=A AND L=B AND E=B	1
V=A AND L=M AND E=A	1
V=A AND L=A AND E=A	1

Tabla 1. Reglas del sistema difuso propuesto.

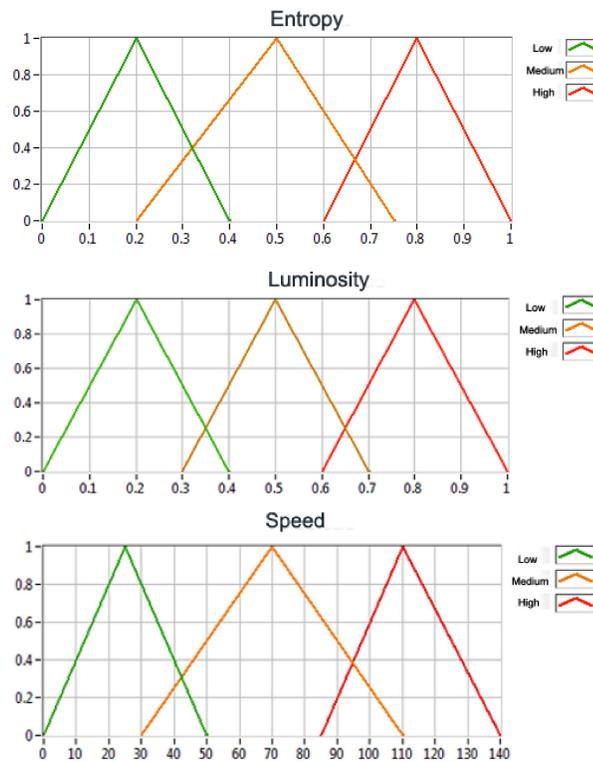


Fig. 5. Valores de la variable entropía, luminosidad y velocidad respectivamente en el sistema difuso.

3. Resultados

El uso del software LabVIEW nos ha proporcionado rapidez para la implementación de nuestra propuesta, y adicionalmente nos brinda eficiencia y funcionalidad para realizar las simulaciones con la integración del hardware.

En el sistema final sólo requiere el video como entrada, luego se calculan las variables y finalmente tras el procesado, se tiene como salida dos posibles valores {0, 1}, como coeficiente de asociación de las condiciones de la superficie de rodamiento. El sistema fue implementado con video digital de 1080 × 720 pixeles de resolución, en una computadora tipo WorkStation con procesador Intel Xeon y sistema operativo MS-Windows ver 7 / 64 bits; logrando con estas condiciones un máximo de procesamiento de 16 cuadros por segundo.

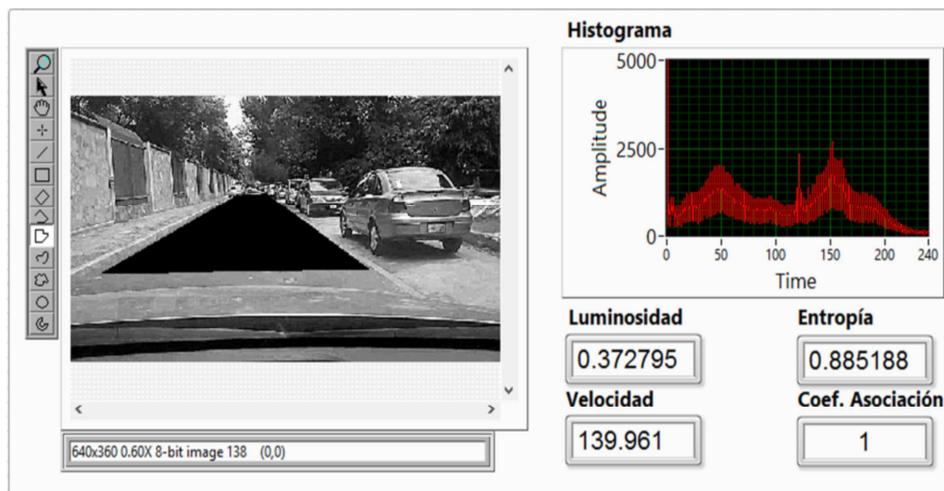


Fig. 6. Simulación de escenario de superficie seca y luz de día.

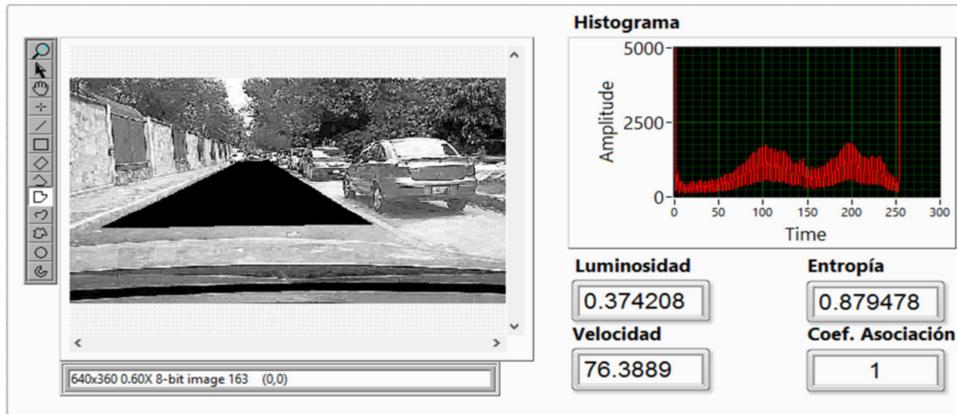


Fig. 7. Simulación de escenario de superficie húmeda y luz de día.

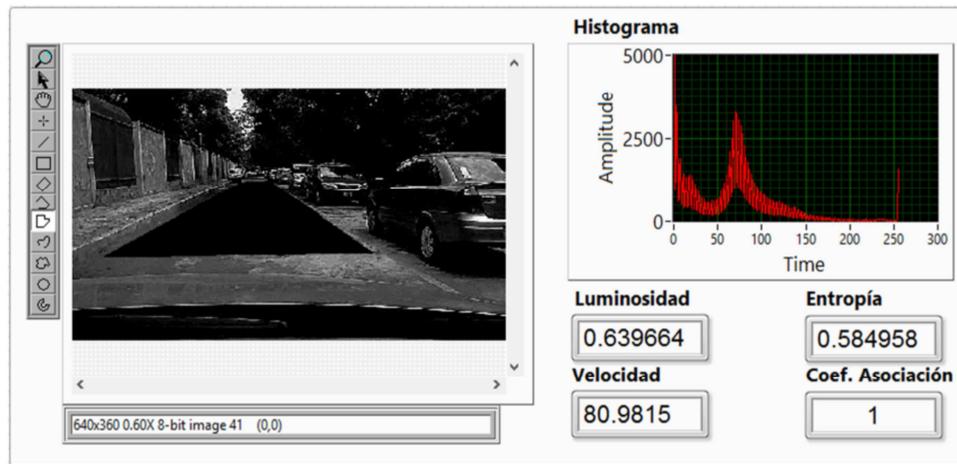


Fig. 8. Simulación de escenario de superficie seca y luz baja.

Las figuras 6, 7 y 8, presentan los resultados de las simulaciones en el sistema, a través de la imagen resultante del procesamiento y un gráfico con el histograma de la misma. Las imágenes usadas corresponden a los tres tipos de escenarios considerados ((i) suelo seco y luz de día, (ii) suelo húmedo y luz de día, y (iii) suelo seco y luz baja).

El control del frenado ABS es un problema de control no lineal debido a la la complicada relación entre sus componentes y parámetros. La investigación llevada a cabo ha cubierto una amplia gama de cuestiones y desafíos. Muchos métodos de control se han desarrollado y la mayoría de estos enfoques requieren aproximaciones al

modelo del sistema, y algunos de ellos no pueden alcanzar satisfactoriamente un buen rendimiento en los cambios de diversas carreteras y condiciones ambientales. Si bien los métodos de control inteligente no tiene la necesidad del modelo matemático, requiere otra fuente de información adicional a los propios de un sistema ABS.

La ventaja convincente de la lógica difusa es la capacidad de modificarse y ajustarse ciertas partes de la superficie de rodamiento. Se ha presentado una propuesta que puede ser un apoyo para la activación de un sistema de frenos ABS usando visión por computadora. La solución fue modelada y realizada sobre el sistema LabVIEW con la perspectiva futura de implementarse en un sistema embebido en tiempo real, y a partir del procesamiento de los videos obtenidos se tuvieron buenos resultados con los diferentes parámetros considerados, siendo así que éstos reflejan el comportamiento concebido con la idea planteada, i.e. el hecho de poder supervisar el campo de visión del conductor, enfocándonos al análisis de la superficie de rodamiento.

4. Conclusiones

Se presentó un algoritmo capaz de proporcionar información adicional que permita la activación de un sistema ABS, antes de que un sistema convencional detecte una situación de riesgo usando visión por computadora, y un sistema difuso. La solución fue modelada y realizada sobre el sistema LabVIEW con la perspectiva futura de implementarse en un sistema embebido en tiempo real, y a partir de las simulaciones con los videos obtenidos se tuvieron buenos resultados con los diferentes parámetros considerados, siendo así que éstos reflejan el comportamiento concebido con la idea planteada, i.e. el hecho de poder supervisar el campo de visión del conductor, enfocándonos al análisis de la superficie de rodamiento.

El trabajo a futuro se considera hacia tres vertientes: (a) la implementación de la solución en un vehículo real, usando una CompactRIO y una cámara de propósito específico del tipo NI 1772C; (b) realizar pruebas de la posible implementación de este sistema en un dispositivo móvil de fácil acceso, e.g. un teléfono móvil o tableta, que sea

de bajo costo y portable para el conductor; y (c) agregar un módulo de seguimiento de conducta de manejo, o de seguimiento de movimientos de manejo de un conductor, a fin de realizar un seguimiento estadístico del conductor ante diversas situaciones con un número de horas acumuladas de manejo .

5. Referencias

- [1] BOSCH: Automotive Handbook. Bentley Publishers. 2007.
- [2] K. R. Castleman, Frenos ABS. 1996. Prentice Hall.
- [3] Y. Ishino, H. Saji, Extraction of road markings from aerial images. In: SICE Annual Conference. 2008. 2180–2183 pp.
- [4] G. Chen, Texture based road surface detection. Master's thesis, Case Western Reserve University. 2008.
- [5] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, Digital Image Processing. 1992. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA, USA.
- [6] K. Tanaka, An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications. 1996. Springer-Verlag New York.
- [7] E. Aguirre, A. González, “A fuzzy perceptual model for ultrasound sensors applied to intelligent navigation of mobile robots”. Vol. 19. 2003. 171–187 pp.
- [8] A. S. M. B. Martín del Brío, Redes Neuronales y Sistemas Borrosos. 2007. Edit. Alfa-Omega.

6. Autores

C. Gabriel García-Ponds es estudiante de Ingeniería en Computación en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. Actualmente trabaja en su Proyecto Terminal orientado al diseño e implementación de algoritmos de visión por computadora para dispositivos móviles.

Dr. Juan Villegas Cortezes Profesor–Investigador del Departamento de Electrónica, en el área de Instrumentación, de la UAM Azcapotzalco. Actualmente realiza investigación en el área de Memorias Asociativas, Visión por computadora y Procesamiento digital de imágenes.

Dr. Carlos Avilés Cruz es Profesor–Investigador del Departamento de Electrónica, en el área de Instrumentación de la UAM Azcapotzalco. Actualmente trabaja en las áreas de investigación del Reconocimiento de Patrones, Visión por computadora y análisis de señales.

Dr. Iván Vázquez Álvarez es Profesor–Investigador del Departamento de Electrónica, en el área de Instrumentación de la UAM Azcapotzalco. Actualmente trabaja en las áreas de investigación de Control y Análisis de señales.

Dr. Ismael Osuna Galán es Profesor–Investigador de la Universidad Politécnica de Chiapas, unidad Tuxtla. Actualmente trabaja en las áreas de investigación del Reconocimiento de Patrones, Visión por computadora y Aplicaciones mecatrónicas.

Dra. Yolanda Pérez Pimentel es Profesora–Investigadora de la Universidad Politécnica de Chiapas, unidad Tuxtla. Actualmente trabaja en las áreas de investigación de Redes neuronales artificiales, Visión por computadora y Aplicaciones mecatrónicas.