

Sistema bimodal de seguridad para la conducción basado en la detección de somnolencia por visión y acelerometría

Irma Josefina García Enríquez, Juan Manuel Ramírez Cortés, Jorge Martínez-Carballido,
Rogerio Enríquez-Caldera, Mariana Natalia Ibarra Bonilla

Coordinación de Electrónica, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica Tonantzintla,
Puebla, México

Tel/fax: (222) 234-5678, email: I. irmagarcia@inaoep.mx

Resumen.- Se presenta un sistema para la detección y monitoreo de la somnolencia del conductor basado en la fusión de dos señales. Una de ellas proviene de la detección del estado de los ojos utilizando información proveniente de una cámara web. La segunda señal se obtiene a partir de los datos que entrega un acelerómetro colocado sobre la cabeza del conductor. La función del acelerómetro es detectar los cabeceos típicos asociados con somnolencia, a través de la Transformada Wavelet Discreta. Estas dos señales son correlacionadas para tener como salida dos alarmas secuenciales que el conductor percibe: La primera le previene sobre un primer estado de posible somnolencia, y la segunda acciona un sistema de control difuso para el control momentáneo del auto y la corrección del volante para el seguimiento del carril.

Palabras clave.- Visión por computadora, Segmentación de piel, detección de ojos, acelerómetro, cabeceo, control difuso.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, un buen número de sistemas de control han sido reemplazados por controles automáticos o robóticos en muy diversas áreas, tales como los sistemas industriales de manufactura, o algunos sistemas de exploración. Existe sin embargo, un área que a la fecha depende en su totalidad de la intervención humana, y es la conducción de vehículos para el transporte personal o el traslado de carga. En años recientes se ha dado un interés creciente en el desarrollo de vehículos inteligentes que incorporen técnicas para el incremento de la seguridad en el manejo. De acuerdo con estudios recientes, la fatiga y somnolencia del conductor es una de las principales causas de accidentes de carretera, solo precedido por exceso de velocidad y estados de alcoholismo [1]. Por tal razón, existe la necesidad de implementar sistemas de seguridad que contribuyan a aumentar la confianza en la conducción y minimizar las probabilidades de que ocurra un accidente. Algunos fabricantes de automóviles están incorporando elementos de alta tecnología en sus modelos con la finalidad de aumentar la seguridad. Sin embargo, esto incrementa su costo y hacen que la unidad sea de difícil acceso, especialmente en nuestro país. Es decir, esta tecnología no siempre está al alcance de la mayoría de la

población. Esta es la principal motivación para el desarrollo del presente trabajo. Se han reportado diversos enfoques orientados a la solución de este problema. Algunos de estos están basados en el análisis de señales EEG [2], la detección de la temperatura corporal, [3], y algunos signos físicos relacionados con el sueño, tales como cabeceo [4], bostezo [5], pestañeo prolongado [6,7] y combinación de estos [8,9], utilizando en muchos de los casos, técnicas de procesado de imágenes. En este trabajo se presenta un proyecto dentro de la problemática descrita, con un enfoque por fusión bimodal de las siguientes señales: La imagen del rostro del conductor a efecto de monitorear sus ojos y determinar los momentos críticos de pestañeo prolongado, y las señales de cabeceo del conductor obtenidas por medio de un acelerómetro. La elección de estos sensores se debe a que la cámara es un método no invasivo, a diferencia de otros métodos como los EEG por mencionar alguno. De esta manera se permite la total libertad del movimiento. Asimismo la literatura nos indica que uno de los primeros síntomas de somnolencia es el cabeceo, por lo que se usa para medir éste el acelerómetro inalámbrico que de igual manera no impide movilidad en el conductor. En el caso de la señal del acelerómetro, se propone el uso de la transformada discreta wavelet con el objeto de distinguir entre el movimiento suave natural de la cabeza del conductor y los picos de la señal asociados con el cabeceo. La información de las dos señales descritas es combinada a través de fusión bimodal para la generación de dos señales de alarma: La primera le previene al conductor sobre un primer posible estado de somnolencia, mientras que la segunda, acciona un sistema de control difuso que toma momentáneamente control del automóvil para la corrección del volante y seguimiento del carril. Los sistemas de control difuso han sido utilizados con éxito en sistemas de navegación autónoma con diversos enfoques [10].

El presente documento está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se presenta el trabajo realizado para la segmentación del rostro por detección de la piel en un espacio de color específico. La sección 3 muestra la labor realizada para la ubicación de los ojos y el estado de éstos. En la sección 4 se presentan los

estudios realizados para la medición del cabeceo por medio del acelerómetro y la transformada discreta Wavelet. En la sección 5 se describe el algoritmo de fusión de las señales y el sistema de corrección del volante mediante técnicas de control difuso guiado por visión. Finalmente, en las secciones 6 y 7 se presentan resultados y conclusiones.

II. SEGMENTACIÓN DEL ROSTRO POR DETECCIÓN DE PIEL.

La detección del color de la piel es una técnica de gran utilidad en diversas aplicaciones tales como reconocimiento de rostro, rastreo o detección de personas para sistemas de seguridad, y otras. Para tal fin se han desarrollado una gran variedad de algoritmos que presentan una solución adecuada al problema específico, sin embargo el tema continua siendo un problema abierto. Los algoritmos existentes utilizan diversos espacios de color, tales como RGB [11], YCbCr [12], HSI [13], TSL [14], entre otros. Para la aplicación específica presentada en este trabajo, se llevó a cabo un estudio preliminar sobre los espacios de color más adecuados, habiéndose realizado experimentación con los siguientes espacios de color: RGB, YCrCb y LUX [15]. El espacio RGB es ampliamente conocido por su uso en una gran cantidad de aplicaciones y productos comerciales. A continuación se da un breve resumen de los dos espacios de color restantes y sus características principales.

1. *YCbCr*: es una señal no lineal codificada a partir del espacio RGB, usada por estudios europeos de televisión y para la compresión de imágenes. El color es representado por la 'luma' (luminancia), representada por la letra 'Y' y dos valores diferentes de color Cr y Cb que se forman restando del luma los componentes rojos y azules, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

$$C_r = R - Y \quad (2)$$

$$C_b = B - Y \quad (3)$$

2. *LUX*: por **L**ogarithmic **h**Ue **eX**tension. Es un espacio de color no lineal basado en una transformación logarítmica del espacio RGB:

$$L = (R + 1)^{0.3}(G + 1)^{0.6}(B + 1)^{0.1} - 1 \quad (4)$$

$$U = \begin{cases} \frac{M}{2} \left(\frac{R+1}{L+1} \right) & \text{si } R < L \\ M - \frac{M}{2} \left(\frac{L+1}{R+1} \right) & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (5)$$

$$X = \begin{cases} \frac{M}{2} \left(\frac{B+1}{L+1} \right) & \text{si } B < L \\ M - \frac{M}{2} \left(\frac{L+1}{B+1} \right) & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (6)$$

De acuerdo con las referencias consultadas, uno de los espacios de color más utilizados para la detección de piel, es el YCbCr. Sin embargo, ante condiciones de iluminación muy fuertes, se presentan deficiencias. Como una alternativa interesante, se plantea utilizar el nuevo y poco conocido espacio de color LUX [15], dadas las características de separabilidad obtenidas en el plano U. Los espacios de color en los cuales se realizaron las pruebas pertinentes fueron el RGB, YCbCr, HSI y LUX. Las pruebas hechas consistieron en formar 4 imágenes de fondo en 4 colores diferentes: Rojo, Verde, Azul y Amarillo. Sobre cada imagen se colocó un rectángulo con una gama de color que se consideró empíricamente semejante a distintos tonos de piel y que MATLAB proporciona bajo la denominación 'copper'. Esta imagen compuesta se utilizó en pruebas de separabilidad en los espacios de color seleccionados, con los resultados indicados en la figura 1.

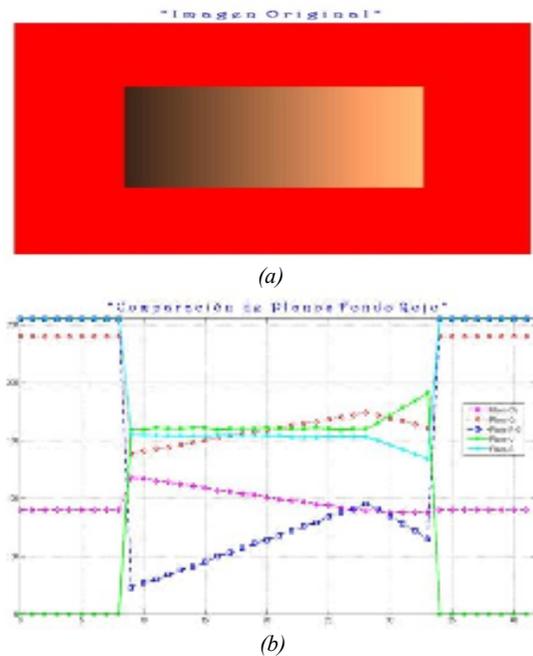


Fig. 1. (a) Imagen prueba sobre fondo rojo. (b) Resultados (Lo mismo se implementó para fondo verde, azul y amarillo)

Para realizar las pruebas con el plano U', se desarrolló un algoritmo en MatLab para obtener el espacio LUX y de este tomar únicamente el plano U' que es el que ofrece información de las regiones de piel. Posteriormente, para el algoritmo del plano U', se aplicó la ecuación siguiente:

$$U' = \begin{cases} 256 \times \frac{G}{R} & \text{si } R > G \\ 255 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (7)$$

A. Pruebas.

Se realizaron pruebas aplicando el algoritmo a diferentes imágenes, incluyendo fotografías de la base de Datos VALID [16] y se analizaron sus valores de umbral en 3 diferentes planos: Cb y Cr (espacio YCbCr,) R-G (espacio RGB), U' (espacio LUX) y S (espacio HSI). En la figura 2 se muestran los resultados obtenidos para algunas de las fotografías utilizadas.

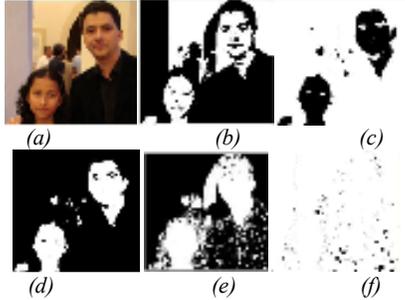


Fig. 2. Pruebas en fotografía: (a) Imagen Original, (b) Plano Cr, (c) Plano Cb, (d) Plano R-G, (e) Plano U' y (f) Plano S

En base a los experimentos, se observó que los planos Cb y Cr son capaces de segmentar las regiones de piel. Por otro lado el plano U' no se ve afectado por las variaciones de luz, en consecuencia se propuso la combinación de estos planos con el objeto de generar un algoritmo robusto a los cambios de iluminación y con buena separabilidad de color.

B. Unión de los planos Cr y U'

Se elabora el algoritmo de unión de los planos Cr y U'. Partiendo de la imagen original, se obtienen los planos U' y Cr. En seguida, se realiza una binarización de acuerdo al siguiente criterio:

$$I_{Cr}(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{si } I(x, y) \in Th_{Cr} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (8)$$

$$I_{U'}(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{si } I(x, y) \in Th_{U'} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (9)$$

Posteriormente se realiza la unión por medio del producto punto entre I_{Cr} e $I_{U'}$, es decir:

$$I_{skin}(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{si } I_{Cr} \cap I_{U'} = 1 \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (10)$$

El algoritmo se programó en MatLab y se aplicó a las fotografías de la base de datos de VALID [16]. En la figura 3 se muestran algunos resultados.

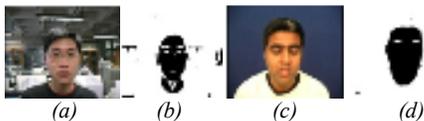


Figura 3.: (a),(c) Imágenes originales, (b),(d), Imágenes después del algoritmo.

Ya que el algoritmo ofrece buenos resultados para imágenes estáticas, se desarrolló un programa en MatLab que permitiese su aplicación en imágenes en movimiento provenientes de una cámara web montada en el auto. La figura 4 muestra una imagen típica.



Figura 4. Imagen obtenida de la cámara a la que se le aplicó nuestro algoritmo: (a) Imagen original, (b) Imagen después del algoritmo.

III. DETECCIÓN DE CARA Y OJOS

Como se observa en la figura 4, en las imágenes procedentes de la cámara web, se distingue mayor ruido que en las imágenes estáticas. Para eliminar dicho ruido, se realiza un escaneo de la imagen y se etiquetan las regiones de piel, al mismo tiempo que se calcula su área. Finalmente la región que tiene mayor área se considera que es el rostro conservándose y eliminando lo demás. El rostro de una persona generalmente es similar a una elipse, por lo que se utiliza ésta forma para adaptarla a la cara del conductor. Para ello se deben de obtener los parámetros característicos de la elipse, es decir, el centro de la misma, su eje mayor y eje menor. El centro (X_c, Y_c) se obtiene haciendo un promedio de todos los valores de la posición de los pixeles en la región de la piel:

$$X_c = \frac{1}{|A_s|} \sum_{I_{skin}(x,y) \in A_s} x \quad (12)$$

$$Y_c = \frac{1}{|A_s|} \sum_{I_{skin}(x,y) \in A_s} y \quad (13)$$

donde A_s es la región de piel y $|A_s|$ su tamaño.

Para calcular los tamaños del eje mayor y eje menor, lo primero es localizar las coordenadas del extremo superior del eje mayor. Posteriormente la distancia del centro a éste punto multiplicada por dos, es el tamaño del eje mayor. Para determinar el tamaño del eje menor, basta con situar las coordenadas de los extremos derecho e izquierdo y la distancia entre estos dos es el tamaño del eje menor. Posteriormente, se dibuja la elipse alrededor de la cara utilizando la ecuación de la elipse.

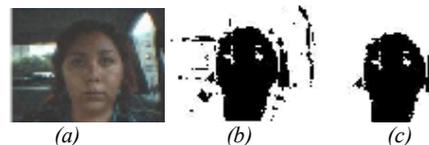




Figura 5. Secuencia del procesamiento de la imagen. (a) Imagen Original, (b) Segmentación de piel, (c) Eliminación de ruido, (d) Marcado de la elipse, (e) Región de los ojos, (f) Ubicación de los ojos

Para llevar a cabo la ubicación de los ojos, se marca un rectángulo que parte del centro con una altura igual a $0.6 * (\text{longitud eje mayor} / 2)$. En seguida, para determinar el estado de los ojos, se realiza un escaneo solo dentro del área de la región de los ojos con la finalidad de localizar el centro de los ojos. Un primer escaneo es del extremo izquierdo al centro y el segundo del centro al extremo derecho. Al igual que se hizo para encontrar el centro de la cara se promedian los valores de la posición de los pixeles en los ojos:

$$X_{left_eye} = \frac{1}{|R_{eye}|} \sum_{R_{eyes}(x,y) \in R_{eye}} x \quad (14)$$

$$Y_{left_eye} = \frac{1}{|R_{eye}|} \sum_{R_{eyes}(x,y) \in R_{eye}} y \quad (15)$$

Donde R_{eye} es el ojo, $|R_{eye}|$ su tamaño y R_{eyes} el rectángulo de la región de piel del extremo izquierdo al centro. El procedimiento se repite para el ojo derecho. Una vez que se tienen las coordenadas del centro de los ojos, se marca automáticamente un rectángulo en tal posición. Finalmente para determinar si los ojos están abiertos o cerrados se calcula el área de cada rectángulo alrededor de los ojos y el área que ocupan los ojos. La figura 5 ilustra los pasos descritos. Si el área de alguno de los dos ojos es mayor al 50% del área del rectángulo de los ojos, se determina que el ojo está abierto en caso contrario, el ojo está cerrado:

$$Edo_{ojos} = \begin{cases} \text{Abiertos} & \text{si } A_{eye_l} \cup A_{eye_r} \geq 50\% A_{r_{eye}} \\ \text{Cerrados} & \text{si } A_{eye_l} \cup A_{eye_r} < 50\% A_{r_{eye}} \end{cases} \quad (16)$$

Se programó un GUIDE en MatLab para realizar las pruebas. En la figura 6 se muestra esta interfaz.



Figura 6. Interfaz de MatLab para las pruebas de ubicación y estado de los ojos.

IV. MEDICIONES DEL CABECEO

Para efectuar las mediciones del cabeceo se utilizó el kit inalámbrico **ZSTAR** con el acelerómetro de 3 ejes **MMA7260QT** de Freescale. Dicho kit (figura 7), consta de un receptor que se conecta al puerto COM de la computadora. Para efectuar las pruebas, el acelerómetro se fijó en la parte superior de la cabeza del conductor y se procedió a realizar la adquisición de datos.

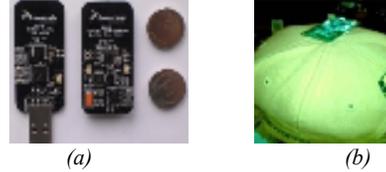


Figura 7. (a) Kit utilizado: ZSTAR de freescale. (b) Colocación del acelerómetro sobre la gorra.

Las pruebas se hicieron sobre diferentes tipos de caminos: autopista, calles de ciudad y terracería. Los picos del cabeceo se distinguían mejor mientras más plano fue el camino. Los resultados en el camino de terracería que son los que dan más ruido. Por lo tanto, son los que se muestran a continuación por ser los que pudieran estar más susceptibles a errores. Estos resultados se observan en la figura 8. El eje que proporciona mayor información de los cabeceos, es el eje X, lo cual está relacionado con la posición relativa del acelerómetro en la cabeza del conductor.

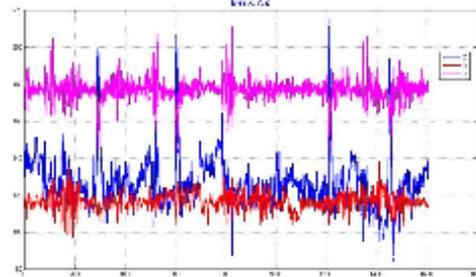


Figura 8. Gráficas obtenidas de los tres ejes del acelerómetro

A. Aplicación de la Transformada Discreta Wavelet

Con el objeto de limpiar de ruido las señales y extraer información sobre la localización de los picos de cabeceo, se utiliza en este trabajo la transformada discreta wavelet, la cual permite analizar una señal por descomposición espectral multinivel en tiempo y escala. La Transformada Wavelet Discreta está dada en función de la siguiente ecuación [17]:

$$T_{m,n} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{m,n}(t) dt \quad (17)$$

La ecuación que nos da el conjunto de funciones wavelet que forman la base de la transformación (Scaling functions) es:

$$\psi_{(j,k)}(t) = 2^{-j/2} \psi(2^{-j} t - k) \quad (18)$$

La señal se descompone en diferentes niveles utilizando el algoritmo de codificación sub-banda por filtrado digital y decimación consecutiva. Para nuestro análisis se aplicaron 4 tipos de wavelets madre: Haar, Daubechies, Symlet y Coiflet. Una vez definidos los niveles de descomposición apropiados, se aplica un procesamiento para separar los picos de cabeceo ubicados en las componentes espectrales de alta frecuencia [18], consistente en obtener la magnitud de la señal para eliminar los picos negativos y el cálculo de la primera derivada para encontrar los cambios.

$$C(a_k, b_j) = \left(\frac{d|T(a_k, b_j)|^2}{db_j} \right)^2 \quad (19)$$

Finalmente se usa la desviación estándar, obtenida a través de la ecuación 20, como nivel de umbral para separar los picos de cabeceo de acuerdo con la condición de la ecuación 21.

$$s = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{donde:} \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (20)$$

$$C(a_k, b_j) \geq th(a_k, j) \quad (21)$$

Los mejores resultados, se obtuvieron en la wavelet madre de tipo Haar en el nivel 5. En la figura 9, se observan los resultados al aplicar la magnitud la derivada y la desviación estándar como umbral.

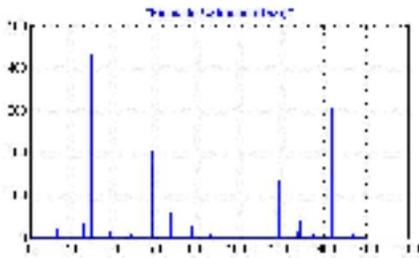


Figura 9. Señales de los picos de cabeceo

V. CORRELACIÓN DE LAS SEÑALES

Las dos señales que ahora se tienen, estado de los ojos y detección del cabeceo, son usadas para activar las alertas y la corrección del volante si fuese necesario. La señal que indica si los ojos se mantienen cerrados por un lapso de un segundo, activa por sí sola una alarma que se ha llamado de Nivel 1. En el caso de que además de que los ojos están cerrados y en el siguiente segundo ocurra un cabeceo, se activa una alerta de Nivel 2 y enseguida se acciona el sistema de control difuso para la corrección

del volante. La figura 10 muestra el diagrama de flujo del sistema.

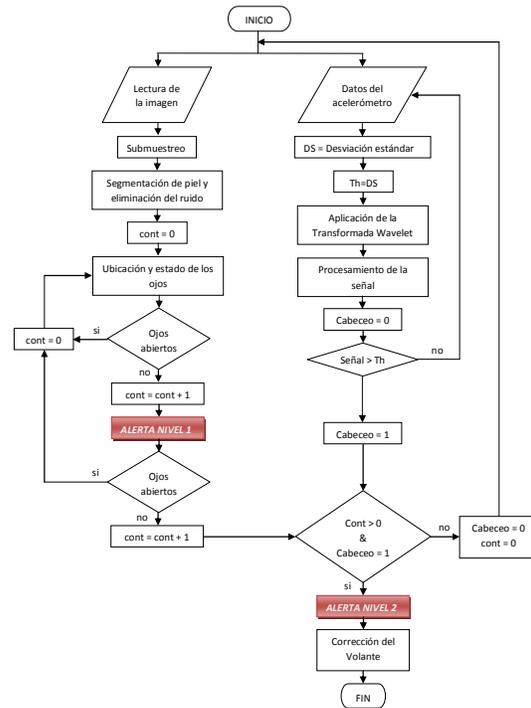


Figura 10. Diagrama de flujo del sistema

El sistema de control difuso se describe en detalle en un trabajo publicado con anterioridad [19]. De manera resumida, en dicho trabajo se presentó el seguimiento de una línea por medio de control difuso, tal como se representa en la figura 11.

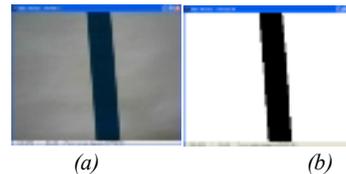


Fig. 11 (a) Imagen captada por la web-cam en tiempo real. (b) Imagen de la línea binarizada.

En esta etapa del trabajo, se simula el movimiento de corrección del volante por medio de una aguja en una interfaz de MatLab, tal como se aprecia en la figura 12.



Fig. 12 .Simulación del movimiento del volante.

VI. RESULTADOS

Los resultados de las pruebas hechas se muestran en las tablas I y II. El sistema de detección y rastreo de ojos

está limitado a ambientes iluminados. El nivel de prueba que queda por realizar, es la integración de todas sus partes para la realización de pruebas simuladas, y pruebas reales sobre un prototipo de vehículo controlado por visión para movimiento autónomo, actualmente en desarrollo.

TABLA I
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DETECCIÓN DE ESTADO DE LOS OJOS

	OK	FP	FN
Individuo 1	9	1	0
Individuo 2	8	1	1
Individuo 3	10	0	0
Individuo 4	9	1	0
Individuo 5	10	0	0
Individuo 6	7	1	2
Individuo 7	9	0	1
Individuo 8	8	1	1
Individuo 9	8	2	0
Individuo 10	7	3	1
Total 100	85%	9%	6%

OK: Estado de los ojos correcto

FP: Falsos positivos (El sistema indica ojos cerrados falsamente)

FN: Falsos negativos (El sistema indica ojos abiertos falsamente)

TABLA II
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DETECCIÓN DE CABECEO

	OK	FP	FN
	94	4	2
Total 100	94%	4%	2%

OK: Detección de cabeceo correcta

FP: Falsos positivos (El sistema indica cabeceo donde no lo hay)

FN: Falsos negativos (El sistema no registra el cabeceo)

VII. CONCLUSIONES

Se presentó un sistema para la detección de la somnolencia del conductor basado en la fusión de dos señales físicas: La detección del pestañeo prolongado a través del monitoreo de los ojos, y el análisis por acelerometría del movimiento de la cabeza, a efecto de distinguir movimiento natural suave y picos por cabeceo, esto último a través de la transformada discreta Wavelet. Cada una de las tres etapas que conforman nuestro sistema funciona de manera adecuada y en tiempo real de manera independiente. Se probó la unión de estas por medio de señales simuladas. Actualmente se está trabajando en la unión de todas las etapas para su operación en tiempo real. Además, se propone mejorar el algoritmo de rastreo de ojos para que funcione en ambientes de baja luminosidad, o bien, dejar la opción para que en situaciones de oscuridad total, funcione solo el acelerómetro para la detección únicamente del cabeceo del conductor.

VIII. AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al CONACYT por el apoyo otorgado a través de la beca para estudios de Maestría con número 212442.

IX. REFERENCIAS

- [1] J. McCall, M.Trivedi, "Driver behavior and situation aware brake assistance for intelligent vehicles", Proceedings of the IEEE, VOL. 95, No. 2, February 2007.
- [2] B. Jap, S. Lal, P. Fischer, E. Bekiaris, "Using EEG spectral components to assess algorithms for detecting fatigue", Expert Systems with Applications, 36 (2), pp. 2352-2359, March 2009.
- [3] Rajinda Senaratne, David Hardy, Bill Vanderaa, and Saman Halgamuge, "Driver Fatigue Detection by Fusing Multiple Cues", 4th international Symposium on Neural Networks, pp. 801 - 809, Nanjing, China, June 3-7, 2007.
- [4] J.Vandenberg, "Sleepiness and head movements", Industrial Health, Vol. 44, pp. 564-576, 2006.
- [5] X. Fan, B. Yin, Y. Sun, "Yawning detection for monitoring driver fatigue" Sixth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Hong Kong, 19-22 August 2007.
- [6] Jung-Ming Wang, et.al, "Detecting driver's eyes during driving", 18th IPPR Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing. Taipei, China, 2005.
- [7] H.Veeraraghavan, N. Bird, S. Atev, N. Papanikolopoulos, "Classifiers for driver activity monitoring", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.15, pp. 51-67, February 2007.
- [8] A. Hussain, B. Bais, S. Samad, S. Hendi, "Novel data fusion approach for drowsiness detection", Information Technology Journal, Vol. 7, No. 1, pp. 48-55, 2008.
- [9] Martin Golz, David Sommer, "Feature fusion for the detection of microsleep events", Journal of VLSI Signal Processing, Vol. 49, No. 2, pp. 329-342, 2007.
- [10] J.E.Naranjo, M.Sotelo, C.Gonzalez, R.Garcia, T.dePedro, "Using fuzzy logic in automated vehicle control", IEEE Intelligent Systems, Vol.22, No.1, pp. 36-45, 2007
- [11] Liévin, M and Luthon, F., "Non linear color space and spatiotemporal MRF for hierarchical segmentation of face features in video". IEEE Transactions on Image Processing, Vol.13, No.1, January 2004
- [12] Albiol, a., Torres, l., And delp, e. J.. "Optimum color spaces for skin detection". In Proceedings of the International Conference on Image Processing, vol. 1, 122-124. 2001
- [13] Dadgostar Farhad, Sarrafzadeh Abdolhossein. "An adaptive real-time skin detector based on Hue thresholding: A comparison on two motion tracking methods", Pattern Recognition Letters, Vol. 27, No. 2, pp. 1342-1352, September, 2006.
- [14] Vezhnevets Vladimir, et.al, "A Survey on pixel-based skin color detection techniques", International Conference on Computer Graphics and Vision, GraphyCon, Moscow, Russia, 2003.
- [15] Rein-Lien Hsu, M Abdel-Mottaleb, AK Jain "Face detection in color images". IEEE Transactions on PAMI, Vol. 24, No. 5, pp. 696-706, 2002.
- [16] N.A. Fox, B. A. O'Mullane, R.B. Reilly, "The realistic multi-modal VALID database and visual speaker identification comparison experiments," 5th International Conference of Audio and Video-Based Person Authentication, New York, July 2005.
- [17] David F. Walnut, An Introduction to Wavelet Analysis, Virkhauser Ed., 2004.
- [18] G. De Lannoy, A. De Decker, and M. Verleysen. "A supervised wavelet transform algorithm for R spike detection in noisy ECGs", Int. Joint Conf. in Biomed. Eng. Syst. and Tech., Madeira, Portugal, pp. 256-264, January, 2008.
- [19] I.J. García Enríquez, J.M. Ramirez-Cortes, M.N. Ibarra, P. Gomez-Gil, "Seguimiento autónomo de la posición de un objeto por visión y control neuro-difuso en MATLAB", CHIEE2008, pp. 335-340, Aguascalientes, México, Noviembre, 2008.
- [20] J.M. Ramirez, P. Gómez-Gil, F. López Larios, "A robot-vision system for autonomous vehicle navigation with fuzzy logic control using Lab View", Electronics, Robotics, and Automotive Mechanics Conference CERMA, pp. 295-300, Cuernavaca, Mor., Mexico, 2007.