TECNICAS DE SEGUIMIENTO DE CARACTERISTICAS FACIALES EN SECUENCIAS DE IMÁGENES BASADAS EN METODOS DE LIBRE MODELO.

Techniques for the face feature tracking in images sequence based model-free methods.

RESUMEN
Las características faciales juegan un papel importante en el desarrollo de sistemas basados en visión por computador para diferentes aplicaciones como son: la interacción hombre maquina, reconocimiento automático de expresiones faciales o también la identificación de la fatiga en conductores de automóviles, dentro de estos sistemas, el seguimiento de características faciales es una de las etapas que necesitan ser desarrolladas, por lo tanto, este documento se centra en la revisión de las diferentes técnicas para el seguimiento de características faciales, como son métodos de libre modelo (filtro de Kalman, filtro de partículas, entre otras).

PALABRAS CLAVES: CDKF, EKF, Filtro de Kalman, Filtro de partículas, Secuencias de imágenes, Seguimiento, UKF.

ABSTRACT
Facial features play a important role in development of systems on computer vision for different applications such as: the human-computer interactive, facial expressions automatic recognition also identify fatigue in car drivers, within these systems, facial features tracking is a significant stages that need to be developed, Therefore, this paper focuses on review the different techniques for facial features tracking, such as model-free methods (Kalman filter, particle Filter, among other).

KEYWORDS: *CDKF, EKF, Kalman filter, particle filter, Image sequences, Tracking, UKF.*

CARLOS D. ZULUAGA
Tecnólogo en Electricidad.
Estudiante de Ingeniería Eléctrica.
Universidad Tecnológica de Pereira
cardazu@utp.edu.co

DAMIAN A. ALVAREZ
Ingeniero Electricista, M. Sc.
Profesor Catedrático
Universidad Tecnológica de Pereira
damianalvarez@ohm.utp.edu.co

ALVARO A. OROZCO
Ingeniero Electricista, Ph.D
Profesor Titular
Universidad Tecnológica de Pereira
aaog@utp.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

En las investigaciones dentro del campo de visión por computador, el seguimiento de características faciales es una etapa en la cual se ha venido desarrollando numerosas aplicaciones como pueden ser: monitoreo de la fatiga, reconocimiento automático de expresiones faciales, diagnóstico de autismo o estudios de mercadeo [1, 2, 3, 4]. Estas aplicaciones requieren del seguimiento de características faciales para calcular parámetros relacionados con: los niveles de alerta de un sujeto, los estados emocionales, medición de niveles de conducta (atención), niveles de eficiencia de la publicidad fijada, respectivamente. En este documento se realizará una revisión de las técnicas para el seguimiento de características faciales. Entre las metodologías más utilizadas para resolver esta tarea se encuentran: las que se basan en métodos de libre modelo [1, 5, 6, 7, 8, 9] y métodos basados en modelos [3, 10]. Otra forma de clasificación de los métodos es de acuerdo al tipo de imagen que utilizan: imágenes tradicionales (enfoque pasivo) [3, 10, 11, 12] e imágenes infrarrojas (enfoque activo) [1, 13, 14, 15]. Los algoritmos de seguimiento de libre modelo no requieren conocimiento previo del rostro, para seguir un objetivo. Cada característica facial es seguida realizando una búsqueda local para la mejor aproximación de la posición, de tal forma que esta posición sea la más similar a la *frame* inicial. Por el contrario los algoritmos de seguimiento basados en modelos necesitan conocimiento del rostro para realizar el seguimiento efectivo de un objeto. El enfoque basado en modelos tiene limitaciones como son: la necesidad del conocimiento previo del rostro para realizar un seguimiento efectivo, cambios moderados de expresiones, una vista casi frontal del rostro, y tienden a fallar bajo cambios bruscos o deformaciones faciales en desarrollos de aplicaciones en tiempo real. Por el contrario los métodos de libre modelo no necesitan conocimiento previo del objeto, permiten variaciones de pose y son implementados en tiempo real, por tal motivo esta revisión se delimitará a describir los trabajos de los métodos de libre modelo.

Este documento se encuentra organizado de la siguiente manera: inicialmente se tiene una sección donde se muestra una reseña de las técnicas de seguimiento, seguidamente se expone los conceptos fundamentales de las técnicas que se utilizan con mayor frecuencia y finalmente se muestra las discusiones y enfoques futuros.

Fecha de Recepción: 15 de Septiembre de 2009.
Fecha de Aceptación: 17 de Octubre de 2009

2. RESEÑA DE TECNICAS DE SEGUIMIENTO DE CARACTERISTICAS FACIALES

El seguimiento de características faciales en secuencias de imágenes es una tarea crucial dentro del campo de la visión por computador que es llevada a cabo en trabajos como [1, 2, 6, 16, 17, 18, 19, 20]. Esta tarea se puede realizar detectando las características para cada *frame*, este procedimiento es poco eficiente y hace que el proceso sea lento y costoso computacionalmente, razón por la cual se dificulta hacer el seguimiento utilizando detección de características en cada *frame* para aplicaciones en tiempo real [21]. Esta tarea puede ser llevada a cabo de una mejor manera usando por ejemplo: un esquema diferencial de luz con calibración [13] o un esquema de predicción y localización [21]. A continuación se describirá los trabajos más representativos que se basan en estos esquemas.

El estudio de seguimiento de características lo empezó en 1981 Lucas en [6], propone un método diferencial de análisis de movimiento, donde se registra imágenes haciendo uso del gradiente de intensidad espacial para encontrar una buena coincidencia de la posición entre dos imágenes a partir del método iterativo de Newton Raphson. Mas adelante este método es actualizado por Kanade en [8] (Seguidor KLT), y descrito también por Trucco en [22]. Posteriormente en 1992 Campani en [5] plantea que es posible describir el movimiento de la imagen tan solo con puntos singulares (puntos donde el flujo óptico es nulo) y movimientos elementales (tales como traslación, expansión y rotación). Por lo que el algoritmo expuesto en [6] es mejorado en [5].

En 1990, Faugeras en [23], resuelve el problema del seguimiento de características en secuencias de imágenes mediante predicción basándose en el filtro extendido de Kalman (EKF), el cual ha demostrado tener buenos resultados en aplicaciones en robótica.

En 1997 Eriksson en [24] presenta un estudio para localizar y seguir los ojos de conductores de automóviles instalando una cámara al carro de tal forma que se pueda monitorear el rostro del sujeto; ellos hacen uso de un enfoque basado en la simetría para localizar el rostro y los ojos en una imagen inicial en escala de grises y luego de encontrarlo, hacer seguimiento de los ojos empleando *template matching*.

Para 1999 Colmenarez en [25] describe un sistema para detección y seguimiento de rostros y características faciales en tiempo real, basado en el clasificador IBMD (*Information-Based Maximum Discrimination*), el cual es usado para inicializar el sistema de seguimiento y la selección de los Kernels a usar; su estudio es robusto ante rotación y diferentes escalas. Los resultados alcanzados fueron del 98% de exactitud para el seguimiento de nueve características faciales.

Una forma alternativa de realizar el seguimiento de ojos es planteada en el 2000 por Morimoto en [13], donde expone una aplicación de seguimiento de ojos basado en la técnica de proyección de los patrones lumínicos y un modelo del ojo, realizando el procesamiento de imágenes y estimación de la mirada, en su trabajo requiere una etapa de calibración, para llevar a cabo el seguimiento y lograr implementaciones en tiempo real que funcionan bien ante pequeños movimientos de cabeza.

En el 2001 Ji en [1] desarrolla un prototipo el cual monitorea varios comportamientos visuales que caracterizan la vigilancia en los conductores de automóviles, en este trabajo se explica el desarrollo de los algoritmos utilizados. Uno de estos algoritmos es filtro de Kalman también expuesto en [26], donde se busca obtener de manera eficiente el seguimiento de la pupila aplicando un esquema de predicción, localización y verificación; los resultados obtenidos son de alrededor del 95% de exactitud.

En el 2002 Zhu en [27, 28], presenta una metodología para detectar y seguir los ojos en tiempo real que trabaja bajo distintas condiciones de iluminación. El seguimiento de ojos se implementa con la combinación de métodos basados en modelos y métodos de libre modelo bajo un enfoque activo, es decir, la metodología es la combinación del seguimiento de la pupila gracias al efecto resultante de la luz infrarroja y seguimiento basado en la apariencia del ojo. Zhu al igual que en [1, 2, 18, 19] emplea el filtro de Kalman (expuesto en [26, 29]), para el seguimiento de la pupila. Por otro lado el método de seguimiento basado en modelos, consiste en ejecutar un algoritmo de optimización para cada *frame* tratando de minimizar la distancia del objeto entre la vecindad actual y la vecindad de la *frame* anterior, a este algoritmo se le conoce como "*mean shift*" [30]. La combinación de estos dos algoritmos le da robustez al proceso de seguimiento ya que para algunas situaciones (ligeras variaciones de pose y ojos abiertos) es activado el seguimiento con filtro Kalman [26] y en otras (Oclusión y ojos cerrados) con *mean shift* [30] brindándole así buenos resultados, obteniendo una exactitud del 99.1%.

Al igual que [27], en el 2003 Wang en [31], realiza un estudio de seguimiento de características faciales combinando los métodos basados en modelos y los de libre modelo, para los primeros utiliza un modelo de forma activa (ASM) explicados en [32], para los de libre modelo utiliza una versión mejorada del método propuesto en [6] (KLT mejorado), obteniendo buenos resultados para el seguimiento de características, fallando solo para seguir 7 características de 79.

En el 2004 se propone un estudio de seguimiento de características faciales realizado en dos pasos: primero

implementan varios filtros de partículas (forma compacta), para múltiples características faciales y segundo combinan el filtro de partículas con una etapa de predicción utilizando inferencia bayesiana (*belief propagation*) para actualizar el contorno espacial de cada característica. Este método propuesto por Su en [33], ha mostrado ser robusto ante oclusiones, comparado contra otros métodos como se muestra en [34].

También en el 2004 Zhu en [21] expone un sistema robusto para detectar y seguir los ojos en aplicaciones en tiempo real bajo condiciones de iluminación variables y varias orientaciones del rostro, la etapa de seguimiento al igual que en [27], consta de la combinación de dos algoritmos para dar robustez, precisión y complemento al seguimiento. Los algoritmos son el filtro de Kalman [26] y *mean shift* [30]; este sistema a diferencia de [27], es robusto a oclusiones, sujetos con gafas y múltiples poses y escalas.

Un método reciente de seguimiento de ojos para detectar la fatiga en conductores de automóviles es presentado en el 2006 por Zhang en [35], donde propone para la parte de seguimiento una etapa de predicción basada sobre el *Unscented Kalman filter* (UKF) el cual es una mejora del filtro extendido de Kalman, el algoritmo presenta robustez para movimientos de cabeza y varias condiciones de iluminación, alcanzando un porcentaje de precisión de 99.5%.

Aparte del desarrollo el UKF, dos grupos diferentes [36, 37] propusieron una implementación de un filtro de Kalman de punto sigma (SPKF) diferente basado en la formula de interpolación de *Sterling.*

También en el 2006 se presentó un estudio de seguimiento de características faciales bajo diversas condiciones de iluminación por Chen en [38], donde el seguimiento se realiza al igual que en [27, 28], combinando métodos de libre modelo y basados en modelos; se utiliza la estimación de movimiento por flujo óptico, cuando el seguimiento falla, se activa el seguimiento basado en modelos el cual es llevado a cabo por *Continuously Adaptively Mean Shift Algorithm* (CamShift), este algoritmo es una mejora del *mean shift* planteado en [30]. El seguimiento basado en este enfoque fue probado con la base de datos Cohn-Kanade arrojando resultados de 5.9% y 5.4% de error para la posición de la pupila en *x* y *y* respectivamente, de 5.9% para las esquinas del labio y 3.9% para la nariz.

En el 2008 se presenta una solución al problema de seguimiento de características faciales, el cual es presentado por Naruniec en [19], donde propone para el seguimiento un sistema que se compone de tres componentes claves, los cuales son: La extracción de características, la clasificación y postprocesamiento. Para llevar a cabo estas tareas se emplea filtros Gabor, un análisis discriminante lineal modificado y el *mean shift* respectivamente. Su técnica tiene buenos resultados cuando se trabaja con rostros frontales permitiendo una rotación de hasta 45 grados.

3. METODOS DE LIBRE MODELO PARA EL SEGUIMIENTO DE CARACTERISTICAS FACIALES

3.1 FILTRO DE KALMAN

El filtro de Kalman es un algoritmo recursivo que utiliza esquemas de predicción y localización para realizar el seguimiento de características faciales, la naturaleza recursiva en uno de las propiedades atractivas del filtro de Kalman para realizar implementaciones prácticas.

En la figura 1 se muestra la relación del filtro con un sistema, los pasos básicos para el proceso computacional del filtro son los siguientes:

1. Calcular $P_k(-)$, usando $P_{k-1}(-)$, ϕ_{k-1} y Q_{k-1}.
2. Calcular $\overline{K_k}$, usando $P_k(-)$, H_k y R_k.
3. Calcular $P_k(+)$ usando $\overline{K_k}$ y $P_k(-)$.
4. Calcular los valores sucesivos de $\hat{x}_k(+)$ recursivamente y los valores de $\overline{K_k}$, dado las estimaciones iníciales $\hat{x}_0$ y los datos de entrada z_k.

Donde: P_k es la matriz de covarianza.

ϕ_{k-1} es la matriz de transición del sistema.

Q_{k-1} y R_k son las matrices de covarianza para el ruido del proceso y de medida, respectivamente.

$\overline{K_k}$ es la ganancia de Kalman.

Los signos + y – denotan las estimaciones posteriori y a priori, respectivamente.

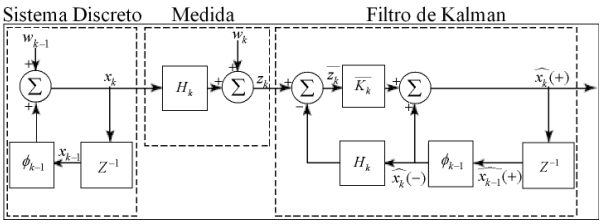

Figura 1. Diagrama de bloques del sistema, medida y filtro de Kalman.

Un ejemplo donde se muestra el empleo del filtro de Kalman para el seguimiento de ojos en secuencias de imágenes se puede ver en la figura 2.

Figura 2. Resultado del seguimiento de 4 *frames* consecutivas con el filtro de Kalman.

Para mejorar el seguimiento de características faciales y dar robustez ante oclusiones al filtro de Kalman en [27, 28], se plantea combinarlo con *mean shift*.

3.2 FILTRO DE KALMAN *UNSCENTED* (UKF)

El filtro de Kalman *unscented* se puede considerar el resultado de incorporar la transformada *Unscented* al filtro extendido de Kalman para mejorar las aproximaciones que se hacen de los dos primeros momentos estadísticos de una variable aleatoria que resulta de propagar otra variable aleatoria a través de una transformación no lineal [29].

En la figura 3 se da una ilustración de cómo trabaja el UKF.

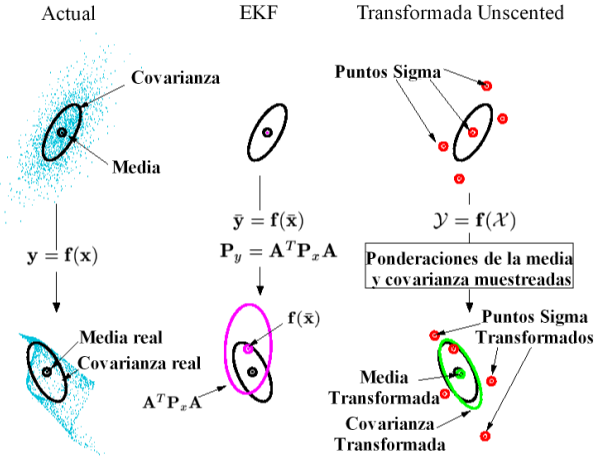

Figura 3. Ejemplo de la transformación *unscented* para la propagación de la media y la covarianza.

En la figura 3 se muestra un ejemplo simple de un sistema de dos dimensiones; en la primera columna de la figura 3 se muestra la propagación de los valores verdaderos de la media y la covarianza usando muestreo de Monte Carlo, en la siguiente columna se realiza una etapa de linealización como puede ser hecho en el EKF y la ultima columna se presenta la realización de la transformada *unscented.*

3.3 FILTRO DE KALMAN DE DIFERENCIAS CENTRALES (CDKF)

La formulación matemática expuesta [36, 37] fue demostrada al reemplazar las derivadas de primer y segundo orden en la linealización por las diferencias centrales divididas evaluadas numéricamente, es decir:

$$\frac{df}{dx} \approx \frac{f(x+h\delta_x) - f(x-h\delta_x)}{2h}$$

Donde:

- f es la función no lineal del proceso.
- δ_x es la media de la variable aleatoria.
- h es el tamaño de la diferencia central.

El algoritmo de CDKF es igual al algoritmo UKF, excepto que los puntos sigma y los pesos se calculan utilizando un solo factor de escala (h), en cambio el UKF necesita de tres parámetros (α, β, κ). De igual forma, este parámetro determina la dispersión de los puntos sigma alrededor de la media a priori.

3.4 FILTRO DE PARTICULAS

El filtro de partículas es un método empleado para estimar el estado de un sistema que cambia con el tiempo, el filtro de partículas se compone de un conjunto de muestras (partículas) y unos pesos, asociados a cada una de esas muestras. Las partículas son estados posibles del proceso, que se pueden representar como puntos en el espacio de estados de dicho proceso.

La figura 4 muestra de manera grafica cómo trabaja el filtro de partículas para realizar predicción.

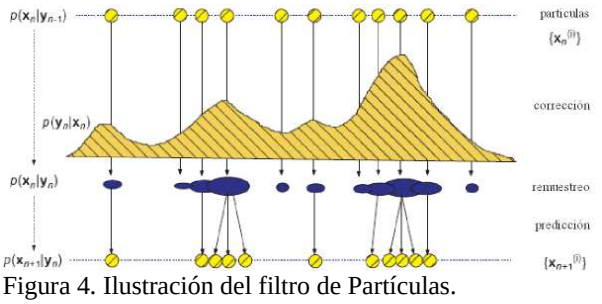

Figura 4. Ilustración del filtro de Partículas.

El empleo del filtro de partículas para el seguimiento de características faciales se puede ver en la figura 5.

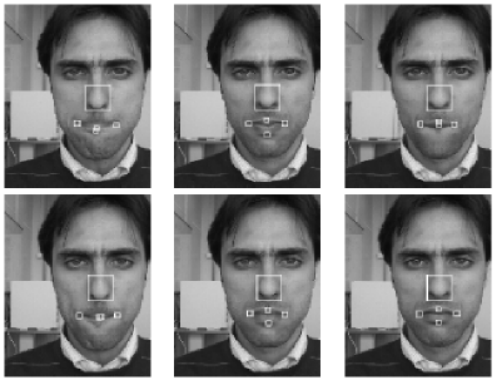

Figura 5. Resultado del seguimiento de características faciales aplicando el filtro de partículas.

4. DISCUSION

En este documento se mostraron las técnicas mas utilizadas para el seguimiento de características faciales basados en métodos de libre modelo, es difícil de comparar unas frente a otras, debido a diferentes bases de datos y los métodos de procesamiento usados antes de la etapa de seguimiento.

Los requerimientos ideales para los seguidores de características faciales son los siguientes:

- El sistema de seguimiento de características faciales debe ser no intrusivo.
- Debe ser robusto ante condiciones internas y externas, personas con gafas y lentes de contacto.
- Ser capaz de detectar pequeños cambios de la posición del ojo.
- Ofrecer buena respuesta dinámica-temporal y velocidad.
- Tener un uso fácil ante una variedad de sujetos.
- Permitir movimientos libres de cabeza.
- No debe requerir de procedimientos de calibración.
- Capacidad de ser implementado en tiempo real.

Las técnicas presentadas en este documento están sujetas de ser aplicadas si se cumple un conjunto de restricciones comunes para que el problema de seguimiento de características faciales sea tratable, algunas de estas son: variaciones suaves de pose, condiciones controladas de iluminación, distancias considerables del sujeto a la cámara y fuentes de iluminación constantes.

5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

En la práctica el UKF y el CDKF tienen desempeño similar con diferencias despreciables en la precisión de la estimación, aunque autores plantean que el CDKF tiene mayor precisión numérica que el UKF, sin embargo el uso de la linealización estadística ofrecida por el UKF y CDKF mejora las estimaciones de la media y la covarianza propagadas a través de sistemas no lineales (movimiento), a diferencia del EKF que tiene precisión limitada hasta la linealización de primer orden de la media y covarianza Por otro lado el filtro de partículas requiere mayor costo computacional en comparación con el EKF, UKF y CDKF.

Adicionalmente las técnicas descritas al ser aplicadas en forma individual no están exentas a dificultades, por el contrario poseen ciertas falencias que las hacen susceptibles a tener errores de seguimiento debido a movimientos pronunciados de la cabeza, problemas de apertura (no todas las partes de una imagen contienen información completa de movimiento), ruido introducido a la imagen y problemas de oclusión, por lo tanto, estas dificultades se pueden solucionar combinando métodos de libre modelo con los que se basan en modelos.

6. ENFOQUES FUTUROS

A partir de la revisión de los diferentes autores mensionados se puede observar que una metodología apropiada para desarrollar el seguimiento de características faciales es una aplicación de un método de libre modelo como lo es el UKF, CDKF o el filtro de partículas o por otro lado se encuentra que, con la combinación del filtro de Kalman y *mean shift* o el filtro de partículas y *mean shift*, se obtener buenos resultados.

7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrollo en el marco del proyecto de investigación: “Monitoreo de fatiga para determinar el nivel de vigilancia de una persona al conducir utilizando procesamiento de imágenes” con código 6-09-4, financiado por la Universidad Tecnológica de Pereira.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] Q. Ji and X. Yang. “Real time visual cues extraction for monitoring driver vigilance”. In ICVS, pages 107–124, 2001.

[2] Z. Zhu, Q. Ji, and L. Peilin. “Real time non-intrusive monitoring and prediction of driver fatigue”. *IEEE Trans. Veh. Technol*, 53:1052–1068, 2004.

[3] G. C. Feng and P. C. Yuen. “Variance projection function and its application to eye detection for human face recognition”. *Pattern Recogn. Lett*., 19(9):899–906, 1998.

[4] F. Shic, K. Chawarska, J. Bradshaw, and B. Scassellati. “Autism, eye-tracking, entropy”. In Development and Learning, 2008. ICDL 2008. 7th IEEE Int’l Conference, pages 73–78, Aug. 2008.

[5] M. Campani and A. Verri. “Motion analysis from first-order properties of optical flow”. *CVGIP: Image Underst*., 56(1):90–107, 1992.

[6] B. D. Lucas and T. Kanade. “An iterative image registration technique with an application to stereo vision”. In Proceedings of the 7th Int’l Joint Conf. on

Artificial Intelligence (IJCAI '81), pages 674–679, April 1981.
[7] Jianbo Shi and C. Tomasi. "Good features to track". In Computer Vision and Pattern Recognition, 1994. Proceedings CVPR '94., 1994 IEEE Computer Society Conf., pages 593–600, 1994.
[8] C. Tomasi and T. Kanade. "Detection and tracking of point features". Technical report, Carnegie Mellon University, April.
[9] F. Bourel, C. Chibelushi, and A. Low. "Robust facial feature tracking", 2000.
[10] K. Lam and H. Yan. "Locating and extracting the eye in human face images". Pattern Recognition, 29(5):771–779, May 1996.
[11] M. Nixon. "Eye spacing measurement for facial recognition". *In Proc. SPIE Applications of Digital Image Processing, volume* 575, pages 279–283, 1985.
[12] X. Xie, R. Sudhakar, and H. Zhuang. "On improving eye feature extraction using deformable templates". *Pattern Recognition*, 27(6):791 – 799, 1994.
[13] C.H. Morimoto, D. Koons, A. Amir, and M. Flickner. "Pupil detection and tracking using multiple light sources". *Image and Vision Computing*, 18:331–335(5), 1 March 2000.
[14] C. H. Morimoto and M. Flickner. "Real-time multiple face detection using active illumination". In FG '00: Proceedings of the Fourth IEEE Int'l Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition 2000, page 8, Washington, DC, USA, 2000.
[15] A. Haro, M. Flickner, and I. Essa. "Detecting and tracking eyes by using their physiological properties", dynamics, and appearance, 1999.
[16] L. D. Cohen. "On active contour models and balloons". Computer Vision, Graphics, and Image Processing. *Image Understanding*, 53(2):211–218, 1991.
[17] S. Sclaroff and J. Isidoro. "Active blobs: region-based, deformable appearance models". Computer Vision and Image Understanding, 89(2-3):197–225, 2003.
[18] Q. Ji and X. Yang. "Real-time eye, gaze, and face pose tracking for monitoring driver vigilance". *Real-Time Imaging*, 8(5):357–377, 2002.
[19] J. Ñaruniec. "Real-time facial features tracking by discrete gabor jets and mean shift". In 2nd BTAS, IEEE Int'l Conf., pages 1–6, 29 2008-Oct. 1 2008.
[20] G. Pajares and Jesús M. De La Cruz. *Visión por computador imágenes digitales y aplicaciones*. Alfaomega Grupo Editor, 2001.
[21] Z. Zhu and Q. Ji. "Robust real-time eye detection and tracking under variable lighting conditions and various face orientations". Comput. Vis. Image Underst., 98(1):124–154, 2005.
[22] E. Trucco and A. Verry. *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA, 1998.
[23] R. Deriche and O. Faugeras. "Tracking line segments". Image Vision Comput., 8(4):261–270, 1990.
[24] M. Eriksson and N. P. Papanikotopoulos. "Eye-tracking for detection of driver fatigue". In Intelligent Transportation System, pages 314–319, Nov 1997.
[25] A. Colmenarez, B. Frey, and T. S. Huang. "Detection and tracking of faces and facial features". In ICIP proceedings, pages 657–661, 1999.
[26] A. Blake, R. Curwen, and A. Zisserman. "A framework for spatiotemporal control in the tracking of visual contours". *Int. J. Comput. Vision*, 11(2):127–145, 1993.
[27] Z. Zhu, K. Fujimura, and Q. Ji. "Real-time eye detection and tracking under various light conditions". In ETRA '02: Proceedings of the 2002 symposium on Eye tracking research & applications, pages 139–144, New York, NY, USA, 2002.
[28] X. Liu, F. Xu, and K. Fujimura. "Real-time eye detection and tracking for driver observation under various light conditions". In Intelligent Vehicle Symposium, 2002. IEEE, volume 2, pages 344–351 vol.2, June 2002.
[29] S. Haykin. *Kalman Filtering and Neural Networks*. Wiley-Interscience, October 2001.
[30] D. Comaniciu, V. Ramesh, and P. Meer. "Real-time tracking of non-rigid objects using mean shift". *In Computer Vision and Pattern Recognition*, 2000. Proceedings, volume 2, pages 142–149 vol.2, 2000.
[31] J. Wang, W. Gao, S. Shan, and X. Hu. "Facial feature tracking combining modelbased and model-free method". In ICME '03: Proceedings of the 2003 Int'l Conf. on Multimedia and Expo - Volume 3, pages 125–128, Washington, DC, USA, 2003.
[32] T. F. Cootes, C. J. Taylor, D. H. Cooper, and J. Graham. "Active shape models—their training and application". *Comput. Vis. Image Underst*., 61(1):38–59, 1995.
[33] C. Su, Y. Zhuang, L. Huang, and F. Wu. "A two-step approach to multiple facial feature tracking: temporal particle filter and spatial belief propagation". In Automatic Face and Gesture Recognition, 2004. Proceedings. Sixth IEEE Int'l Conf. on, pages 433–438, May 2004.
[34] M. Isard and A. Blake. "Contour tracking by stochastic propagation of conditional density". pages 343–356, 1996.
[35] Z. Zhang and J. Zhang. "A new real-time eye tracking for driver fatigue detection". In ITS Telecommunications Proceedings, 2006 6th Int'l Conf. on, pages 8–11, June 2006.
[36] K. Ito and K. Xiong. "Gaussian filters for nonlinear filtering problems". *IEEE Trans Automatic Control*, 45(5):910–927, May 2000.
[37] William Press, Saul Teukolsky, William Vetterling, and Brian Flannery. *Numerical Recipes in C*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2nd edition, 1992.
[38] J. Chen and B. Tiddeman. "Robust facial feature tracking under various illuminations". In Image Processing, 2006 IEEE Int'l Confe., pages 2829–2832, Oct. 2006.