

# Sistema de autenticación biométrica sin contacto basado en la geometría de la mano para entornos operacionales

Aythami Morales, Miguel A. Ferrer, Carlos M. Travieso, Jesus B. Alonso

Centro Tecnológico para la Innovación en Comunicaciones (CeTIC)- Departamento de Señales y Comunicaciones - Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas 35017, Spain,

amorales@gi.ulpgc.es, mferrer@dsc.ulpgc.es

WWW home page: <http://www.cetic.eu>

**Resumen** En este artículo se presenta un sistema de autenticación biométrica sin contacto basado en la geometría de la mano. El sistema está desarrollado para su utilización en entornos operacionales, con condiciones ambientales y de fondo no controladas. Se generó una base de datos formada por más de 4000 imágenes adquiridas durante 3 meses a partir de la cual validar el sistema.

## 1. Introducción

La biométrica juega un papel cada vez más importante en los sistemas de autenticación y de identificación. El reconocimiento biométrico permite la identificación del individuo basándose en las características físicas o de comportamiento del usuario. Se han desarrollado muchas tecnologías: huella dactilar, iris, cara, voz, firma, geometría de la mano entre otras. Este último método se basa en un estudio de la forma de la mano y presenta algunas ventajas respecto a otras tecnologías. En primer lugar, respecto al dispositivo de captura, a diferencia de por ejemplo el iris, bastará con un dispositivo de captura de bajo coste tipo webcam o sensor CCD. La resolución necesaria es considerablemente menor a la necesaria en sistemas basados en huella dactilar. Por otra parte, los sistemas basados en geometría de la mano presentan una alta aceptabilidad por parte de los usuarios [1].

La mayor parte de los sistemas biométricos basados en la mano requieren de pegs o superficies de contacto. Esto causa problemas relacionados sobre todo con la higiene y la necesidad de limpiar el dispositivo para su correcto funcionamiento. En este artículo proponemos un sistema biométrico sin contacto basado en la geometría de la mano.

El sistema está compuesto por una TabletPC, una cámara y un sistema de iluminación. Los usuarios deben situar la mano en el espacio libre delante de la cámara. En este tipo de sistemas existen dos principales problemas que afrontar: problemas de segmentación asociados a un entorno operacional y las distorsiones de proyección asociadas a la ausencia de contacto.

Trabajando en entornos operacionales y condiciones de iluminación no controladas, la segmentación no es una tarea trivial. Se trabaja con fondos heterogéneos donde técnicas basadas en el color o la forma tienen difícil aplicación. El sistema debe ser robusto ante cambios de iluminación, ya sea natural o artificial. Por último, la carga computacional debe ser baja para que el sistema funcione en tiempo real.

En este artículo se propone el uso de iluminación infrarroja para solucionar los aspectos relacionados con la segmentación y la robustez del sistema ante cambios ambientales. Una plantilla mostrada por pantalla servirá para guiar al usuario a colocar correctamente la mano y así reducir las distorsiones asociadas a los cambios de proyección.

Así pues, en la siguiente sección se hará un repaso del estado del arte de los sistemas biométricos basados en mano. Posteriormente se expondrá nuestra propuesta: se abordará la segmentación en la sección 3, la extracción de características geométricas será descrita en la sección 4. La sección 5 describirá el proceso de verificación utilizado y la sección 6 mostrará los resultados experimentales obtenidos. El artículo se cierra con conclusiones, agradecimientos y las referencias.

## 2. Estado del arte

Tradicionalmente, los sistemas biométricos basados en la geometría de la mano se fundamentan en el análisis de la forma de la mano. La forma se caracteriza por medidas geométricas, por el contorno de la mano o ambos. Las medidas geométricas incluyen medidas de longitudes y de anchuras de los dedos, el grueso de los dedos y de la palma, y las anchuras de la palma entre otras. El contorno de la mano está formado por el límite de la mano entera o por los límites de los dedos. En trabajos de investigación recientes, Tantachun [2] representa un patrón de la mano por un eigenhand obtenido del análisis de componentes principales (PCA) o una malla construida a partir de puntos característicos. Existen diferentes técnicas propuestas para obtener y representar matemáticamente estas características [3].

De forma intuitiva, determinadas medidas geométricas de algunas regiones particulares de la mano se pueden utilizar para caracterizarla. Las regiones utilizadas deben ser las mismas para cada mano. Esto requiere que la mano se sitúe siempre de una forma similar. El correcto posicionamiento se consigue normalmente gracias a la utilización de pegs o topes sobre una superficie de apoyo en la que se sitúa la mano. Jain [4] desarrolló un sistema con las características comentados. Se utilizaron cinco topes para dirigir la colocación de la mano del usuario. Se capturaban imágenes del dorso y del lateral de la mano. Utilizó varias medidas geométricas, incluyendo anchos, largos, y gruesos de los dedos, además de anchos de la palma en diferentes regiones. Con 16 medidas geométricas, consiguió una tasa de error (EER) del 6%. Sanchez-Reillo [5], [6] utilizó seis topes en su sistema basado en geometría de la mano. Tomaron 25 medidas geométricas de la mano de cada usuario, incluyendo ancho de los dedos y la palma, los

gruesos, desviaciones de los dedos, y ángulos obtenidos a partir de las puntas y los valles de los dedos. El error (EER) obtenido fue inferior al 3%.

Los topes proporcionan ciertas garantías en cuanto a la obtención de las medidas, pero también presentan algunos inconvenientes:

- Los topes pueden deformar la forma de la mano. Por lo que la fiabilidad de las medidas geométricas basadas en el tamaño o contorno decae. Esta deformación de la forma de la mano afecta sobre todo a la variabilidad intra-clase, que da lugar al falso rechazo [7].
- Los topes agregan complejidad al dispositivo. Los supervisores del sistema y los usuarios deben estar bien entrenados para cooperar con el sistema. Esto aumenta la responsabilidad de los usuarios, degradando así la confiabilidad del sistema.
- Los dispositivos basados en el contacto cada vez sufren mayor rechazo debido fundamentalmente a cuestiones relacionadas con la higiene y la salud pública.

Tras los sistemas basados en topes comenzaron a aparecer sistemas libres de ellos, donde el usuario sitúa la mano libremente. Los sensores CCD y las cámaras dieron paso a los escaners. Ofreciendo una mayor resolución y unas condiciones de iluminación más constantes. La eliminación de los topes otorga cierta libertad del movimiento. Para solucionar los problemas asociados a la libertad de posición se utilizan puntos característicos de la mano como puntas y valles para normalizar las imágenes. Wong y Shi [7] propusieron un sistema de autenticación libres de topes basado en la geometría de la mano. Se midieron diversas características geométricas de la palma y los dedos. El índice de aceptación genuino del sistema se situó en 88.9% y el índice de aceptación falso en 2.2% con 30 características de la mano. Bulatov [8] midió 30 distancias geométricas de la mano. Como características, se añadieron círculos que caracterizaban la forma de la mano. Los radios, los perímetros, y las áreas de los círculos, junto con las longitudes y los anchos de los dedos, fueron medidos. Alcanzaron una FAR del 1% y un FRR del 3%. Boreki [9] y Heshemi [10] midieron las longitudes y los anchos de cada dedo individualmente. Boreki utilizó curvaturas a lo largo del contorno de la mano. Sus resultados se asemejaron a los de Bulatov, con una FAR de 0.8% y un FRR de 3.8% a partir de una base de datos formada por 360 imágenes de 80 usuarios.

Los sistemas sin topes dieron paso a los sistemas sin contacto. En los que la mano se situaba en un espacio libre delante del sensor que captura las imágenes. Haeger [11] en su sistema, adquirió las imágenes de la mano en un espacio libre. El centro de figura de una mano dividida en segmentos fue detectado. Utilizando 124 medidas geométricas de los dedos, alcanzó una tasa de falsa aceptación de 45.7% y una de falso rechazo 8.6%. Las bajas prestaciones se debieron principalmente a los problemas asociados a la distorsión de la proyección.

Otros trabajos de investigación utilizaron diferentes formas de parametrizar la mano. Garrison [12] desarrolló un sistema de autenticación sin contacto. Se utilizó la transformada PCA para caracterizar a los usuarios. Este método decae mucho ante cambios de posición debido a la distorsión de la perspectiva

en la forma de la mano. Doi y Yamanaka [13] utilizaron una cámara infrarroja CCD para capturar las imágenes. Crearon una malla a partir de entre 20 a 30 puntos característicos extraídos de los pliegues principales de los dedos y de la palma. Utilizaron la desviación de la media cuadrática (rms) para medir la distancia entre las mallas. Al igual que los sistemas vistos con anterioridad, el método dependía mucho de la correcta posición de la mano del usuario. Zheng [3] presentó en su trabajo una serie de descriptores basados en relaciones geométricas entre puntos característicos del interior de la mano. Su sistema parece solucionar en gran medida los problemas asociados a la distorsión proyectiva. Un EER de 0 % sobre 52 imágenes de 23 usuarios diferentes capturadas en un entorno controlado fue el resultado obtenido.

Aunque ya existen diferentes estudios acerca de sistemas sin contacto, no se tiene constancia de su uso en entornos operacionales. Los sistemas presentados hasta el momento se basan en estudios realizados en laboratorios bajo condiciones controladas. Aspectos como la segmentación con fondos altamente heterogéneos o problemas asociados a la robustez ante cambios de iluminación han sido poco tratados. Estos son los aspectos en los que se centra el sistema propuesto en este artículo.

### 3. Segmentación

El dispositivo de captura usado en el sistema propuesto es una webcam. En términos de resolución existen mejores opciones. Se escogió este dispositivo debido a su bajo coste y a la no necesidad de imágenes de alta resolución.

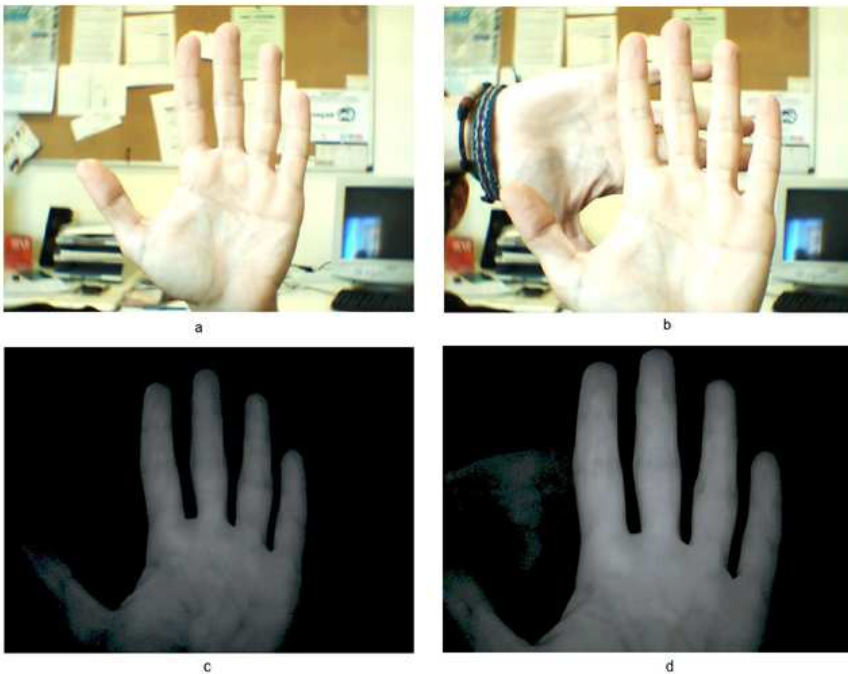
El sistema trabaja en tiempo real con secuencias video y es necesaria una segmentación rápida. Dado que el sistema es colaborativo, se utiliza una segmentación basada en objeto [13]. La mano del usuario se presupone siempre como el objeto en primer plano. Un sistema de iluminación infrarroja compuesto por 16 diodos proporciona el suficiente contraste para segmentar. En entornos operacionales, con condiciones de iluminación y de fondo no controladas, la robustez de la segmentación se convierte en una tarea crucial.

Se probaron diferentes técnicas de segmentación. Las técnicas más comunes son los métodos basados en detección de piel [14]. La detección de piel no es lo suficientemente robusta en entornos operacionales. Condiciones de iluminación variables, y fondos complejos con superficies y objetos con colores semejantes a la piel causan problemas graves. En un principio, se utilizó un sistema de iluminación basado en una lámpara de 60W emitiendo en la gama de luz visible. Se capturaron 10 imágenes de 20 usuarios diferentes. Después de un estudio de las manos capturadas, se observó que el rendimiento del sistema decaía en las siguientes situaciones:

- cuando incidía de forma directa luz en la lente de la cámara.
- cuando se trabajaba con fondo altamente no uniforme.
- cuando existía más de un objeto en primer plano.
- cuando existía un objeto reflectivo en el fondo.

La disminución del rendimiento del sistema se debía fundamentalmente a problemas en la segmentación, siendo imposible extraer la mano en ciertas condiciones. El rendimiento de este tipo de sistemas depende en gran medida de la etapa de segmentación.

Con una iluminación correcta, el problema de la segmentación puede ser solucionado. En la figura 1.a podemos ver un ejemplo de una imagen capturada en un entorno no controlado. La segmentación del fondo es una tarea complicada con esta clase de entornos. En La figura 1.b podemos ver los problemas que aparecen al utilizar métodos de segmentación basados en la detección de piel. Para solucionar los problemas asociados a la segmentación, se propone el uso de iluminación en la banda de infrarrojos. El sistema de iluminación con luz visible fue substituido por un sistema de iluminación infrarroja. Se extrajo el filtro de infrarrojos de la webcam (filtro habitual en todas las webcams comerciales) y se substituyó por un filtro de visible. En los siguientes párrafos se darán más detalles de esta adaptación. Para obtener una adquisición adecuada de la imagen, se deben tener en cuenta algunas opciones de adquisición de la webcam: el brillo a su valor mínimo con un valor máximo de contraste, ganancia baja y exposición mínima para conseguir un gran contraste del objeto en primer plano. Podemos ver un ejemplo en la figura 1.c La figura 1.d muestra como disminuyen las interferencias de objetos similares cercanos.



**Figura 1.** Segmentacion con iluminación infrarroja

El sistema de iluminación está formado por diodos GaAs (CQY 99) con una emisión media en 850 nanómetros y un ancho de banda espectral medio de 40 nanómetros. Los diodos fueron colocados en forma invertida de U con la webcam situada en medio, figura 2.

El número de diodos fue reducido gradualmente y la corriente fue aumentada hasta encontrar la mejor relación entre consumo, número de diodos y la iluminación correcta de la mano. El número final de diodos es 16 y la corriente es de 30 mA por cada par de diodos. El sistema se alimenta por usb, con 5V y 500mA de capacidad.

La webcam fue modificada para adaptarla a las emisiones infrarrojas: el filtro infrarrojo fue extraído y se agregaron dos filtros en cascada. Los filtros utilizados son los Kodak No 87 FS4-518 y No 87c FS4-519, sin transmitancia entre los 400-700 nanómetros.



**Figura 2.** Capturas del sistema

El usuario coloca la palma de la mano libremente en el espacio 3D delante de la cámara. No se utiliza superficie de apoyo. Se utiliza una plantilla mostrada por pantalla para guiar al usuario y reducir las distorsiones de proyección asociadas a la ausencia de superficie de contacto, ver figura 3.

Una vez se obtiene la imagen infrarroja, la segmentación es simple. Se utiliza un filtrado paso bajo para resaltar la mano frente al fondo. Se utiliza una ventana de Hamming de dos dimensiones. Las frecuencias del corte son  $w_1 = \pi$  para el filtro paso todo y  $w_2 = 0,5$  para el filtro paso bajo. Este filtrado agudiza el contraste entre la mano y el fondo.

La imagen filtrada se normaliza en amplitud y es binarizada por el método Otsu [15]. Este método escoge el umbral minimizando la variación intraclases de los píxeles blancos y negros.

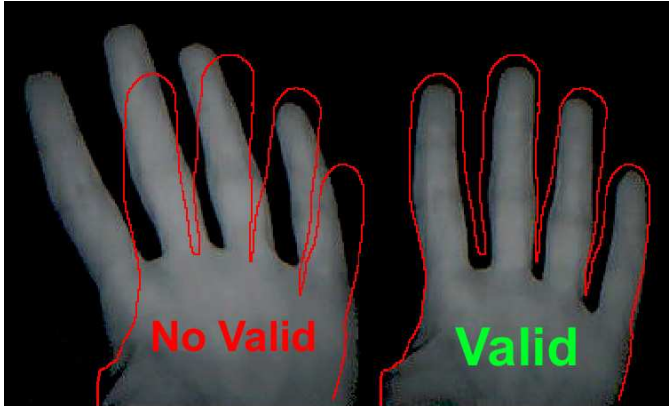


Figura 3. Plantilla para el correcto posicionamiento

#### 4. Parametrización

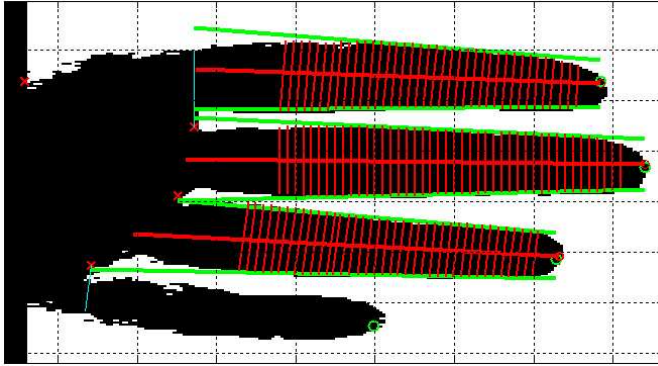
El contorno de la mano se obtiene de la imagen en blanco y negro. Para localizar las puntas y los valles entre los dedos se convierten las coordenadas cartesianas del contorno de la mano a coordenadas polares (radio y ángulo) que consideran como origen de las coordenadas el centro de la base de la mano. Los valores máximos del radio establecen las puntas de los dedos y los mínimos indican los valles entre los dedos. Posteriormente se refinan los puntos aplicando un estudio del gradiente para cada dedo [16].

Localizados los puntos a partir de los cuales caracterizar los dedos, se pueden obtener las características geométricas de cada uno de ellos. Se utilizan solamente las características geométricas de los dedos: índice, corazón y anular, véase figura 4. La razón de desechar los dedos pulgar y meñique se debe a problemas de iluminación de la región para el caso del meñique y la alta variabilidad de las medidas del dedo pulgar.

Obtener el vector de características geométricas es inmediato una vez se conocen las puntas y los valles de la mano. Cada dedo se caracteriza como un triángulo. La punta del dedo se considera la cima del triángulo y los valles forman la base. Se obtienen alrededor de 25 medidas para cada uno de los dedos. Se desecha el primer 20 % del dedo para evitar problemas asociados a la presencia de anillos. Por lo tanto, cada usuario es caracterizado por 75 medidas.

#### 5. Verificación

La base datos a partir de la cual se ha realizado la verificación del sistema consta de 927 accesos obtenidos durante 3 meses. Los accesos se dividen en tres clases: 564 accesos de usuarios originales; 174 accesos de intrusos; 189 accesos de usuarios originales que introducen mal su número de identificación.



**Figura 4.** Parametrización de los dedos índice, corazón y anular

La base de datos consta de más de 4000 imágenes. Tomando un máximo de 8 imágenes por acceso para resolver la autenticación. Se solicitan dos imágenes identificadas positivamente para considerar al usuario autenticado.

Se ha utilizado tecnología de Máquina de Vector Soporte (SVM) para la clasificación. El software utilizado para entrenar y para clasificar es SVMlight [17]. Para autenticar que una mano de entrada pertenece a la identidad demandada, se calcula la distancia de la mano respecto al hiperplano separador del modelo SVM generado para esa identidad. Si la distancia es mayor que un umbral en al menos dos imágenes, se acepta la identidad. Si tras 8 imágenes capturadas no se consiguen estas dos autenticaciones positivas, el usuario se considera impostor.

## 6. Experimentos

Se utilizaron cuatro imágenes de la mano derecha de cada usuario para el entrenamiento. Se situó el sistema en un laboratorio de acceso restringido y se realizaron accesos durante 3 meses. Se capturaron más de 4000 imágenes de 57 usuarios diferentes.

Se diferencian tres tipos de accesos:

- usuarios originales que acceden correctamente al sistema: son usuarios dados de alta en el sistema que acceden de forma normal con su número de identificación.
- usuarios intrusos: son usuarios no dados de alta en el sistema que intentan suplantar la identidad de usuarios dados de alta.
- usuarios originales que se equivocan de identificador: son usuarios dados de alta en el sistema que se intentan hacer pasar por otros usuarios dados de alta en el sistema.

El rendimiento del sistema se medirá partir de la Tasa de Falsa Aceptación (FAR), Tasa de Falso Rechazo (FRR), Tasa de Error Común (EER). En la figura 5 se pueden observar los resultados obtenidos.



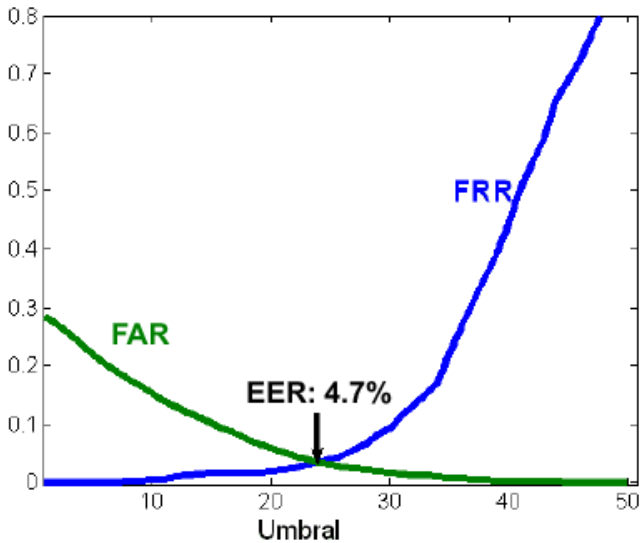


Figura 5. Resultados obtenidos

Además de las tasas mostradas, se debe destacar la de Fail To Enrollment, que alcanza un porcentaje del 9.4%. Esta tasa se debe fundamentalmente a la dificultad de los usuarios en un principio para hacer coincidir la mano con la plantilla mostrada en pantalla. Este porcentaje se reduce a medida que el usuario adquiere experiencia en el uso del sistema.

## 7. Conclusiones

En este artículo se ha presentado un prototipo de sistema de autenticación sin contacto basado en la geometría de la mano. Una base de datos de más de 4000 imágenes, capturadas durante tres meses se ha utilizado para validar el sistema. Los resultados arrojan un EER del 4.7%, lo que anima a seguir con esta línea. Con el problema de la segmentación prácticamente solucionado, se debe mejorar los algoritmos de parametrización. Se busca reducir al mínimo los efectos de la distorsión debida a la proyección sin dificultar la accesibilidad al sistema.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias a la ayudas del Gobierno español en el proyecto TEC2006-13141-C03-01/TCM y TSI-020100-2008-279.

## Referencias

- [1] A.K. Jain, R. Bolle, and S. Pankanti: Biometrics: Personal Identification in Networked Society. Kluwer Academic Publishers. (2001).
- [2] Tantachun, S.; Pintavirooj, C.; Lertprasart, P.; Bunluechokchai, S: Biometrics with Eigen-Hand. Electronics and Applications 2006 1ST IEEE Conference on 24-26 May 2006 Page(s):1 - 4.
- [3] Zheng, G.; Wang, C.-J.; Boulton, T. E.: Application of Projective Invariants in Hand Geometry Biometrics, Information Forensics and Security, IEEE Transactions on, Volume 2, Issue 4, Dec. 2007 Page(s):758 - 768.
- [4] A. Jain, A. Ross, and S. Pankanti: A prototype hand geometry-based verification system, in Proc. 2nd Int. Conf. Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication, Mar. 1999, pp. 166-171.
- [5] R. Sanchez-Reillo, C. Sanchez-Avila, and A. Gonzalez- Marcos: Biometric identification through hand geometry measurements, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 22, no. 10, pp. 1168-1171, Oct. 2000.
- [6] R. Sanchez-Reillo: Hand geometry pattern recognition through Gaussian mixture modelling, in Proc. 15th Int. Conf. Pattern Recognition, 2000, vol. II, pp. 941-944.
- [7] A.Wong and P. Shi: Peg-free hand geometry recognition using hierarchical geometry and shape matching, in Proc. IAPRWorkshop on Machine Vision Applications, Nara, Japan, Dec. 2002, pp. 281-284.
- [8] Y. Bulatov, S. Jambawalikar, P. Kumar, and S. Sethia: Hand recognition using geometric classifiers, in Proc. 1st Int. Conf. Biometric Authentication, Hong Kong, China, Jul. 2004, pp. 753-759.
- [9] G. Boreki and A. Zimmer: Hand recognition using geometric classifiers, in Proc. 1st Int. Conf. Biometric Authentication, Hong Kong, China, Jul. 2004, pp. 753-759.
- [10] J. Hashemi and E. Fatemzadeh: Biometric identification through hand geometry, in Proc. Int. Conf. Comput. Tool, 2005, vol. 2, pp. 1011-1014.
- [11] S. Haeger: South Florida. Tampa, FL, Dec. 2003.
- [12] K. Garrison, A. Sorin, Z. Liu, and S. Sarkar: Hand Biometrics From Image at a Distance Dept. Compu. Sci. Eng., Univ. South Florida, Tampa, Tech. Rep.: USF-Nov-2001-Palm, 2001.
- [13] Lijie Liu; Guoliang Fan: Combined key-frame extraction and object-based video segmentation, Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on, Volume 15, Issue 7, July 2005 Page(s):869 - 884.
- [14] Ruiz-del-Solar, J.; Verschae, R.: Skin detection using neighbourhood information, Automatic Face and Gesture Recognition 2004 Proceedings. Sixth IEEE International Conference on 17-19 May 2004 Page(s):463 - 468.
- [15] Image Processing Toolbox™ 6.0 for MATLAB The Language of Technical Computing, The MathWorks Inc., Natick, MA., 1997.
- [16] Ferrer, M.A.; Morales, A.; Travieso, C.M.; Alonso, J.B.: Low Cost Multimodal Biometric identification System Based on Hand Geometry, Palm and Finger Print Texture”, Security Technology, 2007 41st Annual IEEE International Carnahan Conference on 8-11 Oct. 2007 Page(s):52 - 58.
- [17] T. Joachims: Making large-Scale SVM Learning Practical. Advances in Kernel Methods Support Vector Learning, B. Scholkopf and C. Burges and A. Smola (ed.), MIT Press, 1999.