

Evaluación del color del iris mediante una cámara digital

Jorge Herrera^{1*}, Meritxell Vilaseca¹, Marta de Lasarte¹, Jochen Düll¹, Jaume Pujol¹

¹*Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6),
Universidad Politécnica de Cataluña,
Rambla San Nebridi 10, 08222 Terrassa*

<http://www.cd6.upc.es>

1. Introducción

La medida del color del iris es una tarea compleja. Algunos trabajos usan observaciones subjetivas [1,2] y pocos han intentado medidas cuantitativas usando instrumentación colorimétrica estándar [3,4] y sistemas multispectrales [5]. Los iris tienen tal variabilidad en el color y textura que son adecuados para aplicaciones en identificación biométrica [6] e incrementar la precisión en su caracterización colorimétrica y en la medida de reflectancias espectrales es deseable para esta y otras aplicaciones como por ejemplo las relacionadas con la detección o caracterización de patologías oculares [7-9]. Así, algunos trabajos recientes han implementado nuevos elementos colorimétricos como procesamiento de imágenes de color y sistemas multispectrales basados en cámaras digitales con alta resolución espacial para afrontar este tipo de estudios [5,10-12]. Siguiendo esta tendencia, en este trabajo analizamos el color y textura correspondiente a iris reales, prótesis oculares y lentes de contacto coloreadas. Los datos colorimétricos correspondientes a las muestras analizadas se obtienen por medio de un sistema multispectral optimizado y calibrado, basado en una cámara RGB producto de trabajos anteriores [5, 10-15].

En primer lugar, en orden a alcanzar la comparación en color de las muestras, se desarrolló un algoritmo automático que permite su clasificación en tres grupos de color diferentes: marrón, azul y verde. Este algoritmo evalúa varios criterios sobre las coordenadas CIE $L^*a^*b^*$ de cada muestra. Una vez clasificadas las muestras, en el estudio se llevan a cabo análisis estadísticos, diferencias de color y comparación de gamas de color como una primera aproximación a la caracterización colorimétrica de las muestras así como la comparación de prótesis y lentes de contacto teniendo en cuenta sus características de color con respecto a los iris. Por otra parte, se realiza el análisis de no sólo los anteriores valores colorimétricos promedio, sino también la distribución espacial del color de las muestras o textura por medio de un algoritmo basado en las matrices de co-ocurrencia [16] aplicado sobre los píxeles de las muestras registradas. En este estudio, se obtienen datos objetivos de color que pueden asistir a productores de prótesis y lentes de contacto en su meta de reproducción de iris, tarea que hoy se realiza por ensayo y error con comparaciones subjetivas [17].

2. Método y Montaje Experimental.

2 a. Montaje Experimental.

El sistema usado en este trabajo es el resultado de estudios anteriores que han permitido el desarrollo de un montaje multispectral optimizado con las herramientas computacionales necesarias [5,11-15]. Este sistema consiste en una cámara CCD monocromo refrigerada con 12 bits de profundidad y 1.4 megapíxeles, una lente zoom y un filtro de color RGB sintonizable acoplado a la cámara. Además, el sistema contiene un dispositivo de iluminación compuesto por una lámpara halógena alimentada por una fuente de corriente estabilizada y una lente, que permite iluminar el iris a analizar con un ángulo de incidencia de 45° y proporciona un campo de iluminación homogéneo sobre el ojo. El sistema permite obtener imágenes en color con elevada resolución espacial de las muestras analizadas y estimar sus espectros de reflectancia píxel a píxel mediante algoritmos basados en la pseudo-inversa de Moore-Penrose. A partir de los espectros estimados por el sistema se obtienen los valores CIE $L^*a^*b^*$ bajo el iluminante D65.

* e-mail: jorge.alexis.herrera@cd6.upc.edu

2 b. Método.

Para llevar a cabo la comparación de color, hemos analizado las coordenadas CIE $L^*a^*b^*$ obtenidas para 106 iris reales, 68 prótesis y 17 lentes de contacto cosméticas coloreadas, correspondientes a dos áreas cuadradas de aproximadamente 1cm^2 sobre las muestras, las cuales presentan una coloración bastante uniforme. El análisis estadístico de estas coordenadas fue llevado a cabo sobre los tres grupos de muestras, obteniendo los correspondientes valores medios, desviación estándar, mínimo y máximo. Posteriormente, se aplicó un algoritmo basado en estos descriptores estadísticos para clasificar las muestras en grupos de color marrón, azul y verde, lo que permite un análisis más simple de los colores asociados a cada tipo de muestra. También se hizo un análisis estadístico de las coordenadas CIE $L^*a^*b^*$ dentro de cada grupo de color.

Además, como primer acercamiento al análisis de no sólo valores colorimétricos promedio, sino también al análisis de la distribución espacial del color o textura, se ha implementado un algoritmo basado en matrices de co-ocurrencia. El algoritmo usa los valores CIE $L^*a^*b^*$ de cada píxel para estudiar la distribución de estos valores a lo largo de la imagen $L^*a^*b^*$ de cada muestra. Así, extrayendo los valores de la entropía y contraste [16] de estas matrices se ha logrado un algoritmo que permite automáticamente determinar si una muestra, sin tenerse información a priori de ésta, corresponde a un iris real, una prótesis ocular o una lente de contacto cosmética coloreada.

3. Resultados

Con el análisis hecho se construyen fronteras en el espacio de color CIE $L^*a^*b^*$, lo que produce la clasificación que se observa en la Fig. 1. Como se puede ver, esta separación deja al grupo marrón como el más grande y numeroso, tanto para todo el conjunto de muestras (Fig. 1a.), como para cada tipo de muestras separadamente (Fig. 1b, 1c y 1d). Cabe anotar que en el caso de la clasificación de las lentes de contacto (Fig. 1d), no hay suficientes elementos en el grupo de color verde como para generar un volumen.

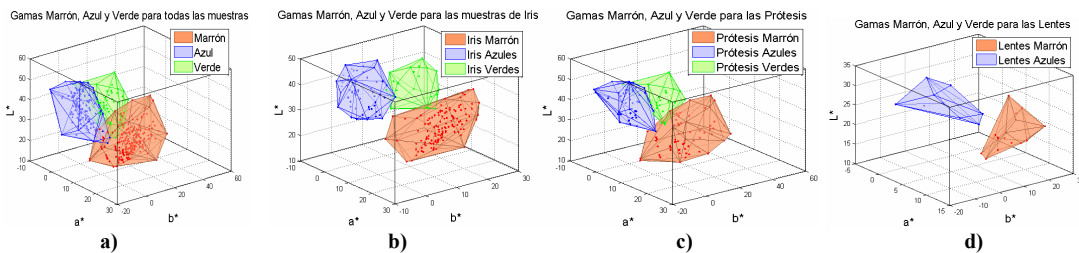


Figura 1: Clasificación de muestras en grupos de color marrón, azul y verde. a) Clasificación incluyendo el total del grupo de muestras, b) Clasificación del conjunto de iris reales, c) Clasificación del conjunto de prótesis y d) Clasificación del conjunto de lentes de contacto cosméticas coloreadas

Usando esta clasificación podemos comparar las muestras por color y analizar la reproducción del color de los iris en prótesis y lentes de contacto cosméticas coloreadas teniendo en cuenta como se superponen los volúmenes entre estos grupos (Fig. 2).

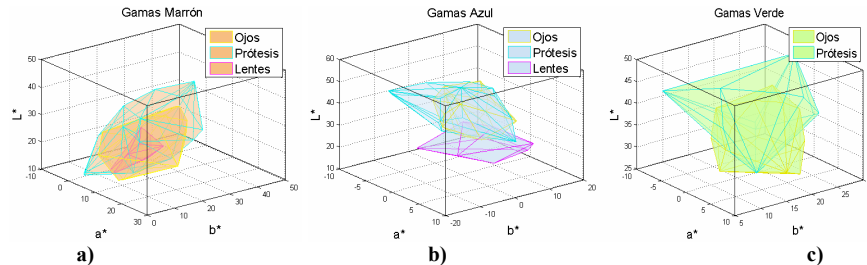


Figura 2: Gammas de color de cada tipo de muestras en cada uno de los tres grupos de color propuestos. a) Volúmenes para el grupo marrón, b) volúmenes para el grupo azul y c) volúmenes para el grupo verde.

La Fig. 2a muestra como los volúmenes de color marrón de cada clase de muestras se superponen, y se puede afirmar que casi todos están contenidos en el volumen dado por las prótesis de color marrón. Por otro lado, en la Fig. 2b se observa que para los subconjuntos azules, las prótesis y los iris se superponen mucho más entre ellos que con las lentes de contacto. Finalmente, en el caso de la Fig. 2c, donde se

ilustran los resultados correspondientes a muestras verdes, sigue existiendo una superposición considerable entre las gamas de las muestras de iris y prótesis. Esto muestra que en general las prótesis son una mejor representación de los iris que las lentes de contacto atendiendo a los valores colorimétricos promedio. Se puede decir que teniendo en cuenta cómo las gamas de cada grupo de color son representadas por las prótesis o lentes de contacto, las prótesis cubren casi completamente las gamas de iris para cada grupo de color, de manera que es muy probable encontrar alguna representación cercana de un iris deseado dentro del conjunto de prótesis, al menos atendiendo a su apariencia en color. Sin embargo, las diferencias de color entre las prótesis y los iris reales todavía son importantes. Además, hay que anotar que en el caso de las lentes de contacto existe la influencia del ojo utilizado en el procedimiento de medida, así que será necesario un tratamiento diferente para su completa caracterización. Las mismas conclusiones son evidentes cuando al aplicar la fórmula CIEDE2000 para calcular las diferencias de color y encontrar el par con la menor diferencia para cada iris con los otros dos grupos de muestras, prótesis y lentes de contacto coloreadas, se extraen los valores promedio y desviación estándar de estas diferencias de color mínimas (Tabla 2). Nuevamente, las diferencias entre las muestras de lentes de contacto e iris son en general mayores que entre prótesis e iris.

	Grupo marrón		Grupo azul		Grupo verde	
	Iris-Prótesis	Iris-Lentes	Iris-Prótesis	Iris-Lentes	Iris-Prótesis	Iris-Lentes
Media	2.3375	2.3162	2.3070	8.2706	2.5056	11.4587
Desv. Estándar	1.1464	1.6163	0.7638	3.8684	1.1073	4.3867

Tabla 1. Análisis diferencias de color mínimas CIEDE2000. Valores de media y desviación estándar de las diferencias de color mínima entre iris, prótesis y lentes de contacto

Por otra parte, la anterior discusión fija la necesidad de un análisis de color más preciso, no sólo incluyendo los valores colorimétricos promedio para unas determinadas regiones, sino teniendo en cuenta la distribución del color sacando ventaja de los datos obtenidos para la imagen completa mediante el sistema multiespectral. En este contexto, se ha desarrollado un algoritmo para extraer información que atiende a diferencias espaciales del color de las muestras y a partir de las cuales se pueden establecer criterios de clasificación entre ellas. En la tabla 2 se muestran los resultados de la aplicación de este algoritmo basado en matrices de co-ocurrencia para la separación de las muestras. Esto sugiere que se pueden identificar diferencias espaciales que permiten asociar cada muestra con una estructura espacial específica, y por lo tanto, el método desarrollado permite clasificar las muestras en diferentes grupos dependiendo de estos rasgos.

Reconocimiento de muestras	
Iris	97.5%
Prótesis	100%
Lentes de contacto	95.2%

Tabla 2. Resultados de reconocimiento de muestras mediante el algoritmo basado en matrices de co-ocurrencia.

La aplicación de este algoritmo sobre las muestras analizadas provee resultados que sugieren que hay una estructura espacial diferente en cada clase de muestras, en consecuencia se puede mejorar la apariencia de las prótesis y lentes de contacto cambiando la estructura espacial para hacerla más parecida a la de los iris.

4. Conclusiones.

Este trabajo muestra los resultados de la aplicación de un algoritmo automático para la clasificación de un conjunto de muestras compuestas de 106 iris reales, 68 prótesis y 17 lentes de contacto cosméticas coloreadas en tres grupos de color: marrón, azul y verde. Esta clasificación permite realizar un análisis más profundo de la reproducción del color a través de la representación de gamas en cada grupo de color y la observación de su superposición. La superposición nos muestra cómo las prótesis son muy cercanas a los iris en lo concerniente a su valores colorimétricos promedio, mientras que no ocurre lo mismo con las lentes de contacto cosméticas coloreadas. Además, con el análisis de las diferencias de color usando la fórmula CIEDE2000, se obtiene el mismo comportamiento, aunque estas diferencias de color todavía son importantes. Finalmente, se plantea la utilización del análisis de no sólo el color en una región determinada sino sobre la superficie entera del iris, aprovechando la información píxel a píxel registrada a través del sistema multiespectral utilizado. La aplicación del algoritmo desarrollado para este análisis

demuestra que la estructura espacial de iris, prótesis y lentes de contacto cosméticas es distinta y en consecuencia una estrategia para mejorar la reproducción de la estructura espacial de prótesis y lentes de contacto para hacerla mas parecida a los iris puede ser de gran importancia.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través del proyecto DPI2008-06455-C02-01. Jorge Herrera y Marta de Lasarte agradecen a la Generalitat de Catalunya y al Ministerio de Ciencia e Innovación la beca predoctoral recibida.

Bibliografía.

- [1] W. E. Budde, I. M. Velten, and J. B. Jonas, "Optics disc size and iris color," *Arch. Ophthalmol.*, Vol. 116, pp. 545, 1998.
- [2] M. Seddon, C. R. Sahagian, R. J. Glynn, R. D. Sperduto, and E. S. Gragoudas, "Evaluation of an iris color classification system. The eye disorders case-control study group," *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.* Vol. 31, pp. 1592–1598, 1990.
- [3] E. J. German, M. A. Hurst, D. Wood and J. Gilchrist. "A novel system for the objective classification of iris colour and its correlation with response to 1% tropicamide". *Ophthalmic Physiol. Opt.* Vol. 18, pp. 103-110, 1998.
- [4] M. Melgosa, M. J. Rivas, L. G. Mez, and E. Hita, "Towards a colorimetric characterization of the human iris", *Optical Physiol. Opt.*, Vol. 20, pp. 252, 2000.
- [5] M. Vilaseca, R. Mercadal, J. Pujol, M. Arjona, M. de Lasarte, R. Huertas, M. Melgosa, and F. H. Imai, "Characterization of the human iris spectral reflectance with a multispectral imaging system," *Appl. Opt.*, Vol. 47, pp. 5622-5630, 2008.
- [6] J. Daughman, 1994. U.S. Patent 5,291,560. Biometric personal identification system based on iris analysis. Issue date: March 1, 1994.
- [7] P. D. Imesch, I. H. L. Wallow, and D. M. Albert, "The color of the human eye: A review of morphologic correlates and of some conditions that affect iridial pigmentation", *Surv. Ophthalmol.* Vol. 41, pp. S117-S123, 1997.
- [8] E. Pascal, E. Gooding, and L. Hannan, "Is the albino iris worse than no iris?" *Ophthalmic Physiol. Opt.* Vol. 18, pp. 383, 1998.
- [9] G. Jordan, and J. D. Mollon, "Rayleigh matches and unique green", *Vis. Res.* Vol. 35, pp. 613-620, 1995.
- [10] F. H. Imai, "Preliminary Experiment for Spectral Reflectance Estimation of Human Iris using a Digital Camera", *Technical Report at Munsell Color Science Laboratory*, 2002. (<http://www.cis.rit.edu/mcsl/research/reports.php>).
- [11] M. Vilaseca, M. de Lasarte, J. Pujol, M. Arjona, and F. H. Imai, "Estimation Of Human Iris Spectral Reflectance Using A Multi-Spectral Imaging System", *Proceedings of the Third European Conference on Colour in Graphics, Imaging and Vision (CGIV 2006)*, pp. 232-236, 2006.
- [12] M. Vilaseca, M. de Lasarte, J. Pujol, M. Arjona, R. Huertas, M. Melgosa and F. H. Imai "Measuring and Analyzing the Colour of the Iris with a Multi-Spectral Imaging System", *Proceedings of the Fourth European Conference on Colour in Graphics, Imaging and Vision (CGIV 2008)*, pp. 427-431, 2008.
- [13] M. de Lasarte, M. Vilaseca, J. Pujol, and M. Arjona, "Color measurements with colorimetric and multispectral imaging systems", *Proc. SPIE*, Vol. 6062, pp. 0F1, 2006.
- [14] M. Vilaseca, J. Pujol, and M. Arjona, "Spectral-reflectance reconstruction in the near-infrared region by use of conventional charge-coupled-device camera measurements", *Appl. Opt.*, Vol. 42, pp. 1788, 2003.
- [15] M. Vilaseca, J. Pujol, and M. Arjona, "Illuminant influence on the reconstruction of near-infrared spectra", *J. Imaging Sci. Technol.*, Vol. 48, 111 (2004).
- [16] Textural Features for Image Classification. R.M. Haralick, K. Shanmugam, y I. Dinstein. *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 3, pp. 610-621, 1973
- [17] M. J. A. Port, "Cosmetic and prosthetic lenses". In A. J. Phillips and J. Stone, *Contact Lenses*, 3rd Edition, Butterworth-Heineman: Boston, pp. 789-796, 1989.