

ESTIMACIÓN DE LA REFLECTANCIA ESPECTRAL DEL IRIS MEDIANTE UN SISTEMA MULTIESPECTRAL

Meritxell Vilaseca Ricart⁽¹⁾, Marta de Lasarte Rigueiro⁽¹⁾, Jaume Pujol Ramo⁽¹⁾,
Montserrat Arjona Carbonell⁽¹⁾, Francisco H. Himai⁽²⁾

Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6)⁽¹⁾, Samsung
Advanced Institute of Technology (SAIT)⁽²⁾

1. Introducción

En este trabajo evaluamos la eficiencia de un sistema multiespectral basado en una cámara CCD para ser utilizado como instrumento de medida de espectros de reflectancia de iris humanos [1-3]. Mediante dicho sistema se obtuvieron imágenes de veintiséis ojos de sujetos con distinta coloración de iris. La elevada resolución de las imágenes captadas ha permitido obtener los niveles digitales de las distintas zonas del iris, a partir de los cuales se han obtenido las curvas de reflectancia espectral de los mismos. Los algoritmos matemáticos de reconstrucción utilizados han incluido la pseudo-inversa de Moore-Penrose (PSE) y el análisis de componentes principales (PCA) [4,5]. Estos métodos permiten realizar la reconstrucción de las reflectancias espectrales, a partir de las respuestas de la cámara, mediante la utilización de una matriz de estimación, la cual se puede calcular si se conocen los niveles digitales del sistema y los espectros de reflectancia correspondientes a un conjunto de muestras de entrenamiento. Para determinar la exactitud del sistema se utilizaron varios parámetros como el *Root Mean Square Error (RMSE)* y las diferencias de color CIELAB ΔE y ΔE_{94} . El objetivo final del estudio es construir en un futuro próximo una base de datos extensa y representativa de reflectancias asociadas a iris humanos [6], la cual puede ser de aplicación en muchos campos, por ejemplo en medicina y en la industria cosmética. En estas áreas, la caracterización espectral del iris podría simplificar la elección de materiales y colorantes utilizados para fabricar prótesis oculares, lentes de contacto coloreadas, etc.

2. Dispositivo experimental

El sistema multiespectral desarrollado consiste en una cámara CCD monocromática de 12 bits refrigerada (QImaging QICAM Fast1394 12 bits), un objetivo zoom (Nikon AF Nikkor 28 – 105 mm) y varios conjuntos de filtros de banda ancha que se utilizaron como canales de adquisición. Este trabajo se desarrolló bajo dos configuraciones distintas de filtros. En la primera se empleó un filtro RGB sintonizable y un filtro azul adicional situado dentro de una rueda motorizada (Configuración 1) (Fig. 1 (a)) que permitió obtener 3 o 6 imágenes del ojo realizando una o dos capturas, respectivamente. El filtro azul adicional fue elegido para compensar la menor sensibilidad del canal azul del sistema. En la segunda configuración se empleó un conjunto de 7 filtros interferenciales con una anchura a media altura (*FWHM*) de 40 nm, colocados en la rueda (Configuración 2) (Fig 1(b)), que permitió la medida consecutiva de 7 imágenes con distinta información espectral. El ojo se iluminó a 45° y de forma uniforme utilizando una lámpara halógena (Philips 15V 150W) conectada a una fuente de corriente estabilizada (Hewlett Packard 6642A) y una lente focalizadora. Finalmente, un tele-espectrocolorímetro (Photo Research PR-650) posicionado junto a la cámara permitió medir la reflectancia espectral de la zona del iris analizada.

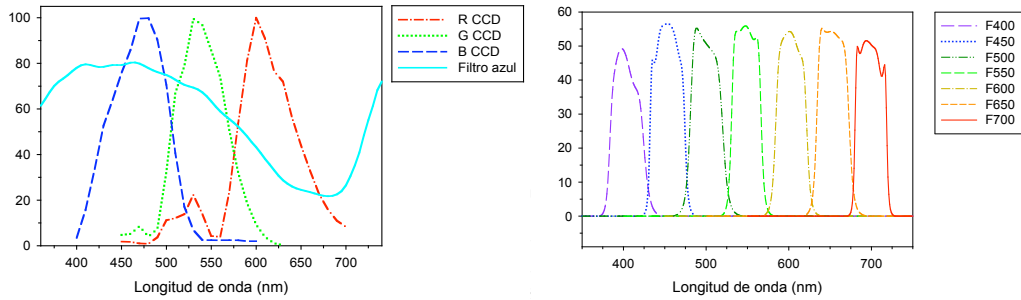


Figura 1. (a) Sensibilidades espectrales relativas de los canales RGB del sistema (Filtro sintonizable y cámara CCD) y transmitancia del filtro adicional azul correspondientes a la configuración 1. (b) Transmitancia de los siete filtros interferenciales de la configuración 2.

3. Resultado

Con la cámara CCD se obtuvieron imágenes amplificadas del iris de cada sujeto a través de los distintos canales, bajo mediante las configuraciones 1 y 2. De estas imágenes se analizaron los 104 niveles digitales medios correspondientes a las zonas señaladas en la figura 2, correspondientes a los iris de (26 sujetos \times 2 ojos \times 2 zonas) y también se midieron sus reflectancias espectrales correspondientes con el tele-espectrocolorímetro. A partir de los niveles digitales de las imágenes y mediante la aplicación de los algoritmos matemáticos citados (PSE y PCA), se estimaron las curvas de reflectancia de las zonas analizadas.

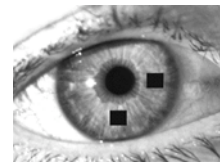


Figura 2. Imagen de las zonas del iris analizadas

En ambas configuraciones se utilizaron distintos números de canales para realizar las reconstrucciones. En la configuración 1 se reconstruyeron espectros utilizando 3 canales (RGB) y 6 canales (RGB + filtro azul) y en la configuración 2 también se realizaron reconstrucciones a partir de 3 canales (F450, F550, F650) además del conjunto completo de 7 filtros. Las reconstrucciones se llevaron a cabo utilizando diferentes grupos de entrenamiento. En primer lugar, se utilizaron las 24 muestras correspondientes a la carta de color ColorChecker (CCCR) pero los resultados de reconstrucción obtenidos no fueron buenos debido al poco parecido entre los colores de las muestras de la carta y del iris humano. En segundo lugar, para mejorar los resultados, se consideraron subconjuntos de los mismos iris analizados como muestras de entrenamiento de tamaños 104 (26 sujetos), 56 (14 sujetos) y 32 (8 sujetos), respectivamente. En general, los resultados de reconstrucción obtenidos con estas muestras de entrenamiento son muy satisfactorios.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para las configuraciones 1 y 2, los métodos PSE y PCA, y el conjunto de entrenamiento formado por 104 iris. En esta tabla se aprecia que, utilizando 3 canales, el algoritmo PSE proporciona resultados ligeramente mejores que el algoritmo PCA, debido, probablemente, a que este número de componentes principales no es suficiente para describir la variabilidad de colores asociados al iris. En cambio, los resultados obtenidos son prácticamente iguales cuando se utilizan 6 o 7 canales. Como la implementación del método PSE es más fácil, es preferible su utilización para llevar a cabo la reconstrucción de espectros. Utilizando

este método se observa una ligera mejora cuando se utilizan más de 3 canales aunque la exactitud obtenida con sólo 3 bandas espectrales es muy aceptable.

Al comparar los resultados hallados con las dos configuraciones, se percibe que la configuración 1 proporciona parámetros colorimétricos ligeramente mejores que la configuración 2, mientras que la exactitud espectral en ambos casos es muy similar. Por último, destacar que es preferible la utilización de la configuración 1 ya que sólo conlleva la realización de 1 o 2 adquisiciones, lo que la hace muy rápida respecto a la configuración 2

<i>Configuración 1 (Entrenamiento 104 iris)</i>				<i>Configuración 2 (Entrenamiento 104 iris)</i>			
<i>PSE</i>	$\square E$	$\square E_{94}$	<i>RMSE(x10³)</i>	<i>PSE</i>	$\square E$	$\square E_{94}$	<i>RMSE(x10³)</i>
3 ch	2.9±1.7	2.2±1.1	0.7±0.5	3 ch	3.7±2.4	2.7±1.4	0.7±0.4
6 ch	2.9±1.6	2.2±1.0	0.7±0.4	7 ch	3.2±2.2	2.4±1.3	0.7±0.4
<i>PCA</i>				<i>PCA</i>			
3 ch	3.4±1.7	2.6±1.0	0.8±0.4	3 ch	4.3±2.2	3.2±1.3	0.8±0.4
6 ch	2.9±1.6	2.2±1.0	0.7±0.4	7 ch	3.2±2.2	2.4±1.3	0.7±0.4

Tabla 1. Resultados medios de reconstrucción obtenidos para los 104 iris (Configuración: 1 y 2, Métodos: PSE y PCA, Entrenamiento: 104 iris, Test: 104 iris).

En la Tabla 2 se muestran los resultados de reconstrucción obtenidos para la configuración 1, el método PSE y los conjuntos de entrenamiento formados por 56 y 32 iris, respectivamente. De la tabla se desprende que existe un ligero empeoramiento de los resultados al disminuir el número de espectros del conjunto de entrenamiento. El elevado grado de exactitud espectral conseguido cuando se utilizan 56 iris, significa que un conjunto pequeño de muestras puede ser suficiente para estimar la reflectancia de una gran cantidad de iris. Las diferencias de color CIELAB medias obtenidas en todos los casos son del orden de 3 ($\square E$) y 2 ($\square E_{94}$) respectivamente, mientras que el ($RMSE \times 100$) medio es aproximadamente 0.7. Los resultados empeoran ligeramente cuando se utiliza el conjunto de entrenamiento formado por 32 iris, básicamente cuando se tienen en cuenta 6 canales. La utilización de más de 3 canales, tanto si se utiliza el conjunto de entrenamiento de 56 iris como el de 32 iris, no garantiza una mejora de los resultados, probablemente debido a que ahora se incluyen más errores en los cálculos a causa del menor tamaño de los conjuntos de entrenamiento.

<i>Configuración 1 (Entrenamiento 56 iris)</i>				<i>Configuración 1 (Entrenamiento 32 iris)</i>			
<i>PSE</i>	$\square E$	$\square E_{94}$	<i>RMSE(x10³)</i>	<i>PSE</i>	$\square E$	$\square E_{94}$	<i>RMSE(x10³)</i>
3 ch	3.0±1.9	2.3±1.2	0.7±0.5	3 ch	3.1±1.8	2.4±1.2	0.8±0.5
6 ch	3.1±1.8	2.3±1.1	0.7±0.4	7 ch	3.3±1.8	2.6±1.2	0.8±0.5

Tabla 2. Resultados de reconstrucción medios obtenidos para los 104 iris (Configuración: 1, Método: PSE, Entrenamiento: 56 y 32 iris, Test: 104 iris).

En cualquier caso, como se desprende de los resultados obtenidos, el sistema multiespectral desarrollado permite estimar con gran exactitud espectral las curvas de reflectancia espectral de iris humanos a partir de la adquisición simple de algunas imágenes.

Referencias

- [1] Vilaseca, M.; de Lasarte, M., Pujol, J., Arjona, M., Imai, F. H., “Estimation of Human Iris Spectral Reflectance Using a Multi-Spectral Imaging System”, Proc. of the 3rd European Conference on Color in Graphics, Imaging and Vision, Leeds (Inglaterra), 2006.
- [2] Imai, F. H.; Berns, R. S., Tzeng, D., J. Imaging Sci. Technol., **44**, 280-287, 2000.
- [3] Imai, F. H.; “Preliminary Experiment for Spectral Reflectance Estimation of Human Iris using a Digital Camera”, Tech. Report 2002 <http://www.cis.rit.edu/mcsl/research/reports.php>.
- [4] Vilaseca, M.; Pujol, J., Arjona, M., Appl. Opt., **42**, 1788-1797, 2003.
- [5] Vilaseca, M.; Pujol, J., Arjona, J. Imaging Sci. Technol., **48**, 111-119, 2004.
- [6] Melgosa M.; Rivas, M. J., Mez, L. G., Hita, E., Ophtal. Physiol. Opt. **20**, 252-260, 2000.