

# SISTEMA MULTIESPECTRAL DE AMPLIO RANGO DINÁMICO PARA LA MEDIDA DEL COLOR

Marta de Lasarte Rigueiro<sup>(1)</sup>, Meritxell Vilaseca Ricart<sup>(1)</sup>, Jaume Pujol Ramo<sup>(1)</sup>,  
Montserrat Arjona Carbonell<sup>(1)</sup>

Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6)/Universidad  
Politécnica de Cataluña<sup>(1)</sup>

## 1. Introducción

En el marco de la utilización de sistemas basados en sensores optoelectrónicos de imagen en la medida del color, en este trabajo hemos ampliado el rango dinámico de estos sistemas mediante la aplicación de un algoritmo de adaptación luminosa, permitiendo así que todos los niveles digitales de respuesta obtenidos se sitúen en el rango de respuesta lineal del sistema. A su vez, mediante la ampliación del conjunto de entrenamiento del sistema con muestras de color pertenecientes a gamas ampliamente diferentes hemos mejorado la estimación de los valores triestímulo XYZ obtenidos.

El sistema utilizado está constituido por una cámara CCD y un objetivo zoom, entre los cuales hemos interpuesto dos conjuntos diferentes de filtros de banda ancha, obteniendo dos configuraciones diferentes: una colorimétrica, con tres canales de adquisición, y una multiespectral, con siete canales de adquisición. La eficiencia de estas dos configuraciones en la medida del color ha sido determinada en un trabajo previo utilizando las cartas GretagMachbeth ColorChecker DC (CCDC) y Color Rendition (CCCR) [1]. Para determinar los valores triestímulo XYZ a partir de los niveles digitales medidos hemos aplicado las técnicas de la pseudo-inversa de Moore-Penrose (PSE) y el análisis de componentes principales (PCA) [2,3], con las que se hemos comprobado que se obtienen las mejores medidas de color para cada configuración [1].

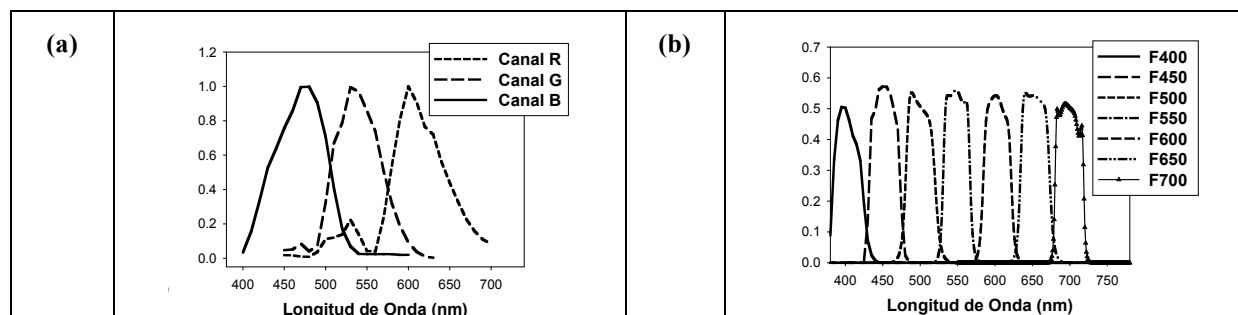
La bondad de la medida del color ha sido analizada en términos de las diferencias de color CIELab  $\Delta E$  media, mínima y máxima, entre los valores triestímulo XYZ estimados y los XYZ medidos mediante un tele-espectrocolorímetro (Photo Research PR-650).

## 2. Dispositivo Experimental y Método

El sistema optoelectrónico de imagen utilizado está compuesto de una cámara CCD monocromática de 12 bits refrigerada (QImaging QICAM Fast1394) y un objetivo zoom (Nikon AF Nikkor 28 – 105 mm). Para la configuración colorimétrica hemos utilizado un filtro RGB sintonizable cuyas sensibilidades espectrales relativas se muestran en la Figura 1.(a). Para la configuración multiespectral hemos utilizado una rueda de filtros motorizada con siete filtros interferenciales de 40nm de anchura a media altura (FWHM) (Figura 1.(b)).

Las diversas muestras de color medidas (CCDC, CCCR, Munsell) han sido situadas en una cabina de iluminación especial con seis lámparas incandescentes que proporcionan un campo de iluminación altamente uniforme en la zona donde se sitúan las muestras. Una ventana en la cara opuesta de la cabina permite la medida de las muestras.

Con el objetivo de obtener los valores triestímulo XYZ a partir de los niveles digitales medidos, hemos aplicado para la configuración colorimétrica una transformación directa utilizando la técnica de la pseudo-inversa de Moore-Penrose (PSE). Para la configuración multispectral hemos aplicado tanto una transformación directa (PSE) como el análisis de componentes principales (PCA), que permite la reconstrucción de las radiancias espectrales asociadas a los niveles digitales utilizando el mismo número de componentes principales que de bandas espectrales.



**Figura 1.** (a) Sensibilidad Espectral Relativa de los canales RGB del sistema para la configuración colorimétrica. (b) Transmitancia Espectral de los filtros interferenciales utilizados en la configuración multispectral.

El algoritmo de adaptación luminosa (LAM) aplicado tiene como objetivo obtener niveles digitales útiles, es decir, en el rango de respuesta lineal del sistema, para todos los canales de adquisición y todas las muestras de color medidas. Para ello, hemos capturado imágenes de cada muestra utilizando diferentes tiempos de exposición para cada canal y hemos aplicado el algoritmo de adaptación luminosa con la finalidad de obtener niveles digitales comparables entre todas las muestras medidas [4].

La utilización de las muestras de color de las cartas CCDC y CCCR como conjuntos de entrenamiento y test del sistema no permite estimar de forma precisa los valores XYZ de algunas de sus muestras [1]. Con el objetivo de mejorar la medida del color, hemos seleccionado 161 muestras del atlas Munsell que complementan, en términos de coordenadas CIELab, a las de la carta CCDC [4] y que entre cada muestra Munsell seleccionada y todas las muestras de la CCDC se cumple:  $1 \leq \Delta a^* \leq 5$  y  $1 \leq \Delta b^* \leq 5$ , y entre cada par de muestras Munsell seleccionadas se verifica:  $\Delta a^* \geq 4$  y  $\Delta b^* \geq 4$ .

### 3. Resultados

En este trabajo se ha ampliado el rango dinámico de un sistema optoelectrónico de imagen mediante la optimización de las condiciones de captura, aplicando un algoritmo de adaptación luminosa. Por otro lado, la ampliación de las gamas de colores que constituyen el conjunto de entrenamiento del sistema permite mejorar la medida del color.

	NO – LAM				LAM			
Entrenamiento	CCDC	CCDC	CCCR	CCCR	CCDC	CCDC	CCCR	CCCR
Test	CCDC	CCCR	CCCR	CCDC	CCDC	CCCR	CCCR	CCDC
$\Delta E$ media	4.23	6.30	5.16	5.41	4.22	5.97	5.08	4.98
$\Delta E$ mínima	0.59	0.80	0.81	0.63	0.59	0.37	0.89	0.81
$\Delta E$ máxima	11.78	12.82	12.49	16.58	11.79	13.45	12.28	13.59

**Tabla 1.** Diferencias de color CIELab  $\Delta E$  media, mínima y máxima para la configuración colorimetría (método PSE), para todas las combinaciones de conjuntos de entrenamiento y test de las cartas CCDC y CCCR, con tiempo de exposición fijo (NO – LAM) y con diversos tiempos de exposición (LAM).

Hemos comprobado la validez del LAM comparando los resultados obtenidos aplicando dicho algoritmo con los obtenidos con un tiempo de exposición fijo. Hemos utilizado como conjuntos de entrenamiento y test las cartas CCDC y CCCR, para las cuales existe un tiempo de exposición para el que todas sus muestras son útiles. Como se observa en las Tablas 1. y 2., la aplicación del LAM permite reproducir los resultados que se obtienen utilizando un solo tiempo de exposición fijo.

		NO – LAM				LAM			
Entrenamiento		CCDC	CCDC	CCCR	CCCR	CCDC	CCDC	CCCR	CCCR
Test		CCDC	CCCR	CCCR	CCDC	CCDC	CCCR	CCCR	CCDC
PSE	$\Delta E$ media	3.02	4.74	3.91	4.84	3.07	5.11	3.54	4.31
	$\Delta E$ mínima	0.47	1.88	0.46	0.99	0.20	1.72	0.21	0.79
	$\Delta E$ máxima	9.70	16.60	14.91	11.09	10.73	22.04	11.83	9.74
PCA	$\Delta E$ media	3.40	5.19	4.27	4.91	3.44	5.69	4.22	4.73
	$\Delta E$ mínima	0.38	1.82	0.42	1.35	0.12	0.75	0.85	0.57
	$\Delta E$ máxima	11.84	18.29	17.36	11.74	11.34	23.48	14.69	12.97

**Tabla 2.** Diferencias de color CIELab  $\Delta E$  media, mínima y máxima para la configuración multiespectral (métodos PSE y PCA), para todas las combinaciones de conjuntos de entrenamiento y test de las cartas CCDC y CCCR, con tiempo de exposición fijo (NO – LAM) y con diversos tiempos de exposición (LAM).

Hemos ampliado el conjunto inicial de entrenamiento del sistema (CCDC) con 161 muestras de color Munsell. En este caso la aplicación del LAM es imprescindible debido a la gran diversidad de las muestras. En la Tabla 3. se observa que esta ampliación permite mejorar la precisión de la estimación de los valores XYZ de las muestras del conjunto test (CCCR) en ambas configuraciones.

Entrenamiento	COLORIMÉTRICA		MULTIESPECTRAL - PSE		MULTIESPECTRAL - PCA	
	CCDC	CCDC + MUNSSELL	CCDC	CCDC + MUNSSELL	CCDC	CCDC + MUNSSELL
$\Delta E$ media	5.97	5.22	5.11	5.02	5.69	6.83
$\Delta E$ mínima	0.37	0.29	1.72	1.27	0.75	0.93
$\Delta E$ máxima	13.45	11.53	22.04	19.26	23.48	23.39

**Tabla 3.** Diferencias de color CIELab  $\Delta E$  media, mínima y máxima utilizando como conjunto de entrenamiento la carta CCDC y la carta CCDC más las 161 muestras Munsell seleccionadas y como conjunto de test la carta CCCR, para los diversos métodos aplicados en las dos configuraciones utilizadas.

## Bibliografía

- [1] de Lasarte, M.; Vilaseca, M.; Pujol, J.; Arjona, M., Proc. of the 18th Annual Symposium on Electronic Imaging: Science and Technology, 6062 pg. 0F1, 2006.
- [2] Vilaseca, M.; Pujol, J., Arjona, M., Appl. Opt., **42** (1788-1797), 2003.
- [3] Vilaseca, M.; Pujol, J., Arjona, J. Imaging Sci. Technol., **48** (111-119), 2004.
- [4] Pujol, J.; de Lasarte, M.; Vilaseca, M.; Arjona, M., “High Dynamic Range Multispectral System for Wide Color Gamut Measurements”, Proc. of the 3rd European Conference on Color in Graphics, Imaging and Vision, Leeds (Inglaterra), 2006.

## **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de España, a través del proyecto número DPI2005-08999-C02-01. M. de Lasarte agradece al Ministerio de Educación, Ciencia y Deportes de España la beca FPU que ha recibido.