

DISEÑO DE UN COLORÍMETRO TRIESTÍMULO A PARTIR DE UNA CÁMARA DIGITAL CONVENCIONAL

Martínez-Verdú, F.¹; Pujol, J.²; Arjona, M.³; Vilaseca, M.⁴; Capilla, P.⁵

¹ Departamento Interuniversitario de Óptica, Universidad de Alicante
² Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6),
³ Departamento de Óptica y Optometría, Universidad Politécnica de Cataluña
⁴ Departamento de Óptica, Universidad de Valencia

Palabras clave: imagen y color, fotografía digital, caracterización de dispositivos multimedia

INTRODUCCIÓN

Una cámara digital no es directamente un instrumento de medida del color porque el espacio de color asociado es de tipo RGB. Sin embargo, es posible encontrar en la literatura (Finlayson y Drew 1997; ISO/WD 17321) métodos de transformación o perfiles colorimétricos entre el espacio RGB asociado a un dispositivo de captura (escáner, cámara) y el del observador patrón CIE-1931 XYZ. A partir de estas directrices generales, proponemos un modelo de caracterización (Martínez-Verdú, Pujol y Capilla 2001ab) de una cámara digital para que funcione como un tele-colorímetro con salida triestímulo CIE-XYZ en cd/m^2 , tal como lo hace un tele-espectrocolorímetro.

Ya que con una cámara es posible registrar simultáneamente todos los colores de la escena, podemos utilizarla para medir y especificar el color de muchos objetos con una rapidez que supera con creces a la de un tele-espectrocolorímetro. Además, cambiando el sistema óptico de enfoque se pueden medir y especificar el color de muestras microscópicas o espacialmente inhomogéneas (tapices, materiales pétreos, etc). Si, por otra parte, implementamos a la salida triestímulo CIE-XYZ un modelo de apariencia de color (Fairchild 1998), podemos convertir la cámara caracterizada en un tele-colorímetro perceptual.

El modelo de caracterización aplicado sobre la cámara (3-CCD Sony DXC-930P, con objetivo fotográfico VCL-712BXEA, y una tarjeta digitalizadora Matrox MVP-AT 850) consta de dos etapas. En la primera fase de caracterización espectral (Martínez-Verdú, Pujol y Capilla 2002a), se obtienen las funciones de igualación asociadas al dispositivo a partir de la medida de las sensibilidades relativas aplicando dos factores de escalado (conjunto y de balance de blanco). En la segunda fase de caracterización colorimétrica (Martínez-Verdú, Pujol y Capilla 2002b), se propone un perfil colorimétrico de paso de los niveles digitales RGB a valores triestímulo XYZ en cd/m^2 . Esta transformación de color incorpora un algoritmo de adaptación luminosa en función de la apertura N del objetivo fotográfico para variar el nivel exposición sobre el sensor imagen.

CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL

Las sensibilidades espectrales de la cámara se obtienen a partir de un montaje experimental con los componentes básicos siguientes: una fuente luminosa, un monocromador con resolución espectral constante, un tele-espectroradiómetro y la cámara digital. La relación empírica entre los niveles digitales RGB y los valores de exposición espectral $H(\lambda)$ de cada longitud de onda, denominada como funciones espectrales de conversión optoelectrónica (OECSFs), se ajusta matemáticamente a una función sigmoide de cuatro parámetros. Las sensibilidades espectrales relativas se obtienen a partir del escalado relativo de las sensibilidades espectrales absolutas, las cuales se deducen de las OECSFs. Partiendo de un modelo espectral radiométrico de captura luminosa basado en las OECSFs, se obtienen las funciones de igualación de la cámara aplicando un escalado conjunto y de balance de blanco equienergético sobre las sensibilidades espectrales relativas.

CARACTERIZACIÓN COLORIMÉTRICA

La primera fase consiste en aplicar una transformación **Bal** de balance de grises sobre los niveles digitales RGB para convertirlos en valores colorimétricos relativos RGB, quedando así asociados al mismo blanco de referencia que el espacio de color CIE-XYZ.

La fase siguiente consiste en calcular el perfil colorimétrico básico o matriz 3×3 M entre los valores RGB y XYZ. Si denotamos con T_{RGB} (41×3) a las funciones de igualación de la cámara, y con T_{XYZ} (41×3) a las funciones de igualación del observador patrón CIE, el perfil colorimétrico básico M se calcula a partir de:

$$M = T_{\text{XYZ}}^{-1} \cdot T_{\text{RGB}} \cdot (T_{\text{XYZ}}^{-1} \cdot T_{\text{XYZ}})^{-1} = \begin{matrix} 1.5798 & 0.4016 & 0.3643 \\ 1.0086 & 1.6157 & 0.0742 \\ -0.0107 & 0.1573 & 2.0189 \end{matrix} \quad (1)$$

La implementación del algoritmo de adaptación luminosa en el perfil colorimétrico consiste en varias funciones polinómicas de segundo grado $m_k(N)$ y $h_k(N)$, según la apertura N del objetivo fotográfico, para relacionar un grupo de luminancias de una carta de grises con sus correspondientes valores colorimétricos relativos RGB. Con todo esto, si denotamos los niveles digitales iniciales como ND_k ($k = R, G, B$), y como XYZ a los valores triestímulo reales en cd/m^2 tal como se miden con un tele-espectrocolorímetro, los valores triestímulo estimados XYZ en cd/m^2 según el modelo de caracterización para la cámara son:

$$\begin{bmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} m_R(N) & 0 & 0 \\ 0 & m_R(N) & 0 \\ 0 & 0 & m_R(N) \end{bmatrix} \cdot \text{Bal} \begin{bmatrix} ND_R \\ ND_G \\ ND_B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_R(N) \\ h_G(N) \\ h_B(N) \end{bmatrix} \quad (2)$$

A partir de este perfil colorimétrico con adaptación luminosa y utilizando la captura de la carta ColorChecker dentro de una cabina luminosa, se ha comprobado el grado de exactitud respecto los datos colorimétricos XYZ reales (en cd/m^2) utilizando el algoritmo de índice de reproducción del color (Hunt 1995), el cual usa a su vez un modelo de apariencia para colores aislados (Hunt 1998). Con este índice de exactitud colorimétrica, hemos encontrado que la cámara digital, en su estado bruto de reproducción, decolora y aclara sistemáticamente los colores, pero que esto puede compensarse bastante bien con un vector triestímulo como corrección de color.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_x \\ c_x \\ c_x \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{bmatrix} \quad (3)$$

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología por la financiación del proyecto TAP99-0856.

BIBLIOGRAFÍA

- Fairchild, M.D. (1998) *Color Appearance Models*, Addison-Wesley, New York.
- Finlayson, G.; Drew, M.S. (1997) Constrained least-squares regression in colour spaces. *J. Electron. Imaging*, 6, 484-493.
- Hunt, R.W.G. (1995) *The Reproduction of Colour*. 5ª ed. Fountain Press, Kingston-upon-Thames.
- Hunt, R.W.G. (1998) *Measuring Colour*. 3ª Ed. Fountain Press, Kingston-upon-Thames.
- ISO/WD 17321 (Junio 2002), *Graphic Technology and Photography - colour characterization of digital still cameras (DSCs)*; <http://www.pima.net/standards/iso/te42/WG20.htm>.
- Martínez-Verdú, F.; Pujol, J.; Capilla, P. (2001) Método para la caracterización espectrocolorimétrica de dispositivos de captura. Patente española P2001 02667.
- Martínez-Verdú, F.; Pujol, J.; Capilla, P. (2001) Dispositivo para la medida del color basado en una cámara CCD-RGB convencional. Patente española P2001 02668.
- Martínez-Verdú, F.; Pujol, J.; Capilla, P. (2002) Calculation of the Color Matching Functions of Digital Cameras from Their Complete Spectral Sensitivities. *J. Imaging Sci. Technol.*, 42, 15-25.
- Martínez-Verdú, F.; Pujol, J.; Capilla, P. (2002) Characterization of a Digital Camera as an Absolute Tristimulus Colorimeter. *J. Imaging Sci. Technol.* (enviado).