

Obtención de las coordenadas de color XYZ a partir de una media espectral en la región del visible

Apellidos, nombre	Pau Talens Oliag (pautalens@tal.upv.es)
Departamento	Tecnología de Alimentos
Centro	Universitat Politècnica de València

1 Resumen de las ideas clave

En este artículo vamos a presentar la forma de obtener las coordenadas de color XYZ a partir de una medida espectral en la región del visible. Estas coordenadas de color, hacen referencia a la cantidad de rojo (X), verde (Y) y azul (Z) que somos capaces de percibir. A partir de estas coordenadas de color se pueden construir distintos espacios de color: espacio de color CIE 1931, espacio de color Hunter Lab, espacio de color CIE $L^*u^*v^*$ o uno de los espacios de color más utilizados, el espacio de color CIE $L^*a^*b^*$.

2 Introducción

Definir el color de un objeto es algo complejo. Podemos definir el color en un sentido puramente físico (color físico), pero esta aproximación tiene serias limitaciones cuando se intenta usar el color como una herramienta de control de calidad, ya que, en definitiva, es la impresión en el observador la que define las características de rechazo o aceptabilidad de un producto. También es posible definir el color como un conjunto de señales que entran en el cerebro a través del sentido de la vista (color percibido), sin embargo, esta sensación está influida por una serie de atributos físicos del producto (forma, tamaño, tipo de superficie...) y por un conjunto de percepciones psicológicas, como el estado de ánimo del observador y el entorno del objeto, donde el tipo de iluminación que recibe juega un papel muy importante. Viendo esta problemática, la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE)^[1] presenta el concepto de color psicofísico, que permite relacionar las medidas objetivas de color (color físico) y tiene en cuenta la respuesta del observador (color percibido). El color psicofísico se describe por medio de coordenadas de color, las cuales permiten construir distintos espacios de color. Estas coordenadas permiten cuantificar la percepción de color a través de una determinación física de color, en términos de la cantidad de rojo, verde y azul que se percibe. Podemos decir que de las coordenadas triestímulo XYZ, la coordenada X representa la cantidad de rojo, la Y la cantidad de verde y la Z la cantidad de azul. El valor de estas coordenadas dependerá del estímulo luminoso exterior y del propio observador. El estímulo exterior dependerá a su vez de la interacción física del objeto con la luz (espectro visible) y de la distribución espectral del iluminante con que se realice la observación.

3 Objetivos

Con la redacción de este artículo docente se persigue que los alumnos adquieran la capacidad de:

- Relacionar el espectro de reflexión o transmisión obtenido mediante una medida física con la percepción de color que se tendría del objeto.
- Determinar las coordenadas de color triestímulo XYZ del objeto a partir de su espectro de reflexión o transmisión en la región del visible.

4 Desarrollo

Para comenzar, en el punto 4.1 se van a exponer los fundamentos de cómo pueden determinarse las coordenadas de color triestímulo XYZ a partir de un espectro de reflexión o transmisión en la región del visible.

Posteriormente, en el punto 4.2 se presentará un ejemplo real para el cálculo de las coordenadas de color de un objeto, del cual se dispone de su espectro de reflexión.

4.1 Fundamentos para determinar las coordenadas de color XYZ de un objeto a partir de su medida espectral en la región del visible.

La figura 1, esquematiza de forma gráfica el cálculo de las coordenadas triestímulo XYZ de un objeto a partir de su espectro de reflexión o trasmisión. Puede observarse que el cálculo se realiza a través del producto de la distribución espectral del objeto (β_λ), es decir, el espectro de reflexión o trasmisión del objeto, por la distribución espectral de la fuente de luz (S_λ), es decir el espectro de la fuente de luz utilizada para observar el objeto, y el producto de la curva de sensibilidad espectral correspondiente al ojo ($\bar{x}_\lambda, \bar{y}_\lambda, \bar{z}_\lambda$).

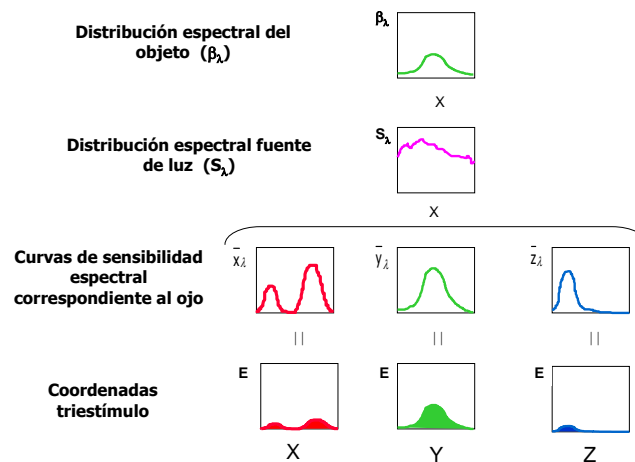


Figura 1. Cálculo de las coordenadas triestímulo XYZ

Para el cálculo de dichas coordenadas, es necesario especificar el tipo de iluminante y observador que va a utilizarse. Habíamos comentado en la introducción que la percepción del color era dependiente, entre otros factores, del tipo de observador y del tipo de iluminante utilizado para visualizar el objeto. Con idea de tener estas dos variables controladas, la CIE describe distintos iluminantes (Iluminante A, B, C, D55, D65...) y observadores (observador 2° y 10°). De todos ellos, y a no ser que se nos recomiende lo contrario, para el cálculo de las coordenadas triestímulo XYZ de un objeto generalmente se usa el iluminante D65 y el observador 10°.

Dado que el tipo de iluminante y observador utilizado para el cálculo de las coordenadas de color, está prefijado por la CIE, existen tablas que presentan las distintas distribuciones espectrales tanto para los distintos iluminantes como para los distintos observadores [2,3]. La tabla 1 presenta el producto de la distribución espectral para el iluminante D65 y observador 10°.

Tabla 5. Valores normalizados para el iluminante D65 y observador 10°

λ	$k \cdot S_{\lambda} \cdot \bar{x}_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$	$k \cdot S_{\lambda} \cdot \bar{y}_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$	$k \cdot S_{\lambda} \cdot \bar{z}_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$	λ	$k \cdot S_{\lambda} \cdot \bar{x}_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$	$k \cdot S_{\lambda} \cdot \bar{y}_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$	$k \cdot S_{\lambda} \cdot \bar{z}_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$
360	0,000	0,000	0,000	580	8,291	7,106	0,000
370	0,000	0,000	0,000	590	8,634	6,004	0,000
380	0,000	0,000	-0,002	600	8,672	5,079	0,000
390	0,008	0,001	0,033	610	7,930	4,065	0,000
400	0,137	0,014	0,612	620	6,446	2,999	0,000
410	0,676	0,069	3,110	630	4,669	2,042	0,000
420	1,603	0,168	7,627	640	3,095	1,290	0,000
430	2,451	0,300	12,095	650	1,859	0,746	0,000
440	3,418	0,554	17,537	660	1,056	0,417	0,000
450	3,699	0,890	19,888	670	0,570	0,223	0,000
460	3,064	1,290	17,695	680	0,274	0,107	0,000
470	1,933	1,838	13,000	690	0,121	0,047	0,000
480	0,802	2,520	7,699	700	0,058	0,023	0,000
490	0,156	3,226	3,938	710	0,028	0,011	0,000
500	0,039	4,320	2,046	720	0,012	0,005	0,000
510	0,347	5,621	1,049	730	0,006	0,002	0,000
520	1,070	6,907	0,544	740	0,003	0,001	0,000
530	2,170	8,059	0,278	750	0,001	0,001	0,000
540	3,397	8,668	0,122	760	0,001	0,000	0,000
550	4,732	8,855	0,035	770	0,000	0,000	0,000
560	6,070	8,581	0,001	780	0,000	0,000	0,000
570	7,311	7,951	0,000				

Las ecuaciones (1), (2) y (3) presentan como pueden determinarse matemáticamente las coordenadas triestímulo XYZ, donde si se observa no es más que el sumatorio de multiplicar el valor espectral del objeto a cada longitud de onda por el producto del espectro de la fuente de luz y observador (tabla 1 para el iluminante D65 y observador 10°). En todas las ecuaciones aparece una constante (k) que no es más que una constante que hace que el valor de Y para todos los iluminantes y observadores posibles tenga un valor de 100^[3].

$$X = \sum_{\lambda} \beta_{\lambda} \cdot k \cdot x_{\lambda} \cdot s_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \quad (1)$$

$$Y = \sum_{\lambda} \beta_{\lambda} \cdot k \cdot y_{\lambda} \cdot s_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \quad (2)$$

$$Z = \sum_{\lambda} \beta_{\lambda} \cdot k \cdot z_{\lambda} \cdot s_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \quad (3)$$

4.2 Ejemplo real del cálculo de las coordenadas de color XYZ de un objeto.

Imaginar que queremos determinar las coordenadas de color de una botella roja, y disponemos de su espectro de reflexión el cual viene presentado gráficamente en la figura 2 y numéricamente en la tabla 6 (Presentada en el anexo del presente documento), en la columna representada por β_λ . El producto de dicho espectro por los valores presentados en la tabla 5 (que son los mismos que los coloreados en la tabla 6) para cada intervalo de longitud de onda permite determinar las coordenadas de color XYZ, a través del sumatorio de estos valores, para la botella roja utilizando el iluminante D65 y el observador 10°.

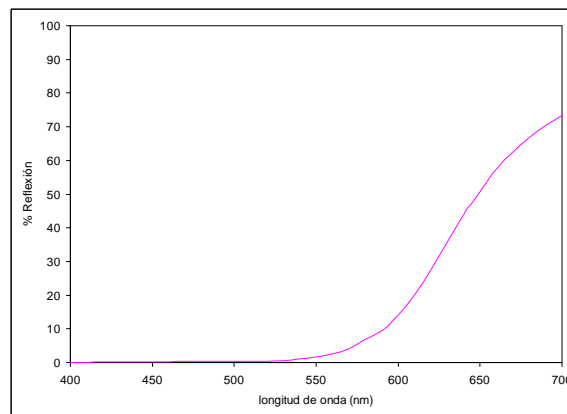


Figura 2. Espectro de reflexión de una botella roja

5 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos visto la forma de determinar las coordenadas de color XYZ, que permiten describir la cantidad de rojo, verde y azul que somos capaces de percibir, a partir de un espectro de reflexión o transmisión obtenido a partir de una medida espectral de un objeto en la región del visible.

6 Bibliografía

[1] <http://www.cie.co.at/index.php/LEFTMENU/index.php?service=restart>

[2] http://www.cie.co.at/index.php/LEFTMENU/index.php?i_ca_id=298

[3] Gilabert, Eduardo J. (2007). Medida de la luz y el color. Editorial: Universidad Politècnica de Valencia, 2007.

7 Anexos

Tabla 6. Obtención de las coordenadas XYZ de la botella roja a través de su espectro de reflexión y para un iluminante D65 y observador 10°

λ (nm)	$\beta\lambda$	$k \cdot S_{\lambda} \cdot x \cdot \Delta\lambda$	$k \cdot S_{\lambda} \cdot y \cdot \Delta\lambda$	$k \cdot S_{\lambda} \cdot z \cdot \Delta\lambda$	$\beta\lambda \cdot (k \cdot S_{\lambda} \cdot x \cdot \Delta\lambda)$	$\beta\lambda \cdot (k \cdot S_{\lambda} \cdot y \cdot \Delta\lambda)$	$\beta\lambda \cdot (k \cdot S_{\lambda} \cdot z \cdot \Delta\lambda)$
380	0	0.000	0.000	-0.002	0.00	0.00	0.00
390	0.0001	0.008	0.001	0.033	0.00	0.00	0.00
400	0.0003	0.137	0.014	0.612	0.00	0.00	0.00
410	0.0008	0.676	0.069	3.110	0.00	0.00	0.00
420	0.0015	1.603	0.168	7.627	0.00	0.00	0.01
430	0.0019	2.451	0.300	12.095	0.00	0.00	0.02
440	0.0021	3.418	0.554	17.537	0.01	0.00	0.04
450	0.0023	3.699	0.890	19.888	0.01	0.00	0.05
460	0.0025	3.064	1.290	17.695	0.01	0.00	0.04
470	0.0028	1.933	1.838	13.000	0.01	0.01	0.04
480	0.003	0.802	2.520	7.699	0.00	0.01	0.02
490	0.0033	0.156	3.226	3.938	0.00	0.01	0.01
500	0.0035	0.039	4.320	2.046	0.00	0.02	0.01
510	0.0038	0.347	5.621	1.049	0.00	0.02	0.00
520	0.0046	1.070	6.907	0.544	0.00	0.03	0.00
530	0.0065	2.170	8.059	0.278	0.01	0.05	0.00
540	0.0103	3.397	8.668	0.122	0.03	0.09	0.00
550	0.0167	4.732	8.855	0.035	0.08	0.15	0.00
560	0.0268	6.070	8.581	0.001	0.16	0.23	0.00
570	0.0411	7.311	7.951	0.000	0.30	0.33	0.00
580	0.0686	8.291	7.106	0.000	0.57	0.49	0.00
590	0.0955	8.634	6.004	0.000	0.82	0.57	0.00
600	0.142	8.672	5.079	0.000	1.23	0.72	0.00
610	0.2012	7.930	4.065	0.000	1.60	0.82	0.00
620	0.276	6.446	2.999	0.000	1.78	0.83	0.00
630	0.357	4.669	2.042	0.000	1.67	0.73	0.00
640	0.439	3.095	1.290	0.000	1.36	0.57	0.00
650	0.507	1.859	0.746	0.000	0.94	0.38	0.00
660	0.574	1.056	0.417	0.000	0.61	0.24	0.00
670	0.626	0.570	0.223	0.000	0.36	0.14	0.00
680	0.669	0.274	0.107	0.000	0.18	0.07	0.00
690	0.704	0.121	0.047	0.000	0.09	0.03	0.00
700	0.733	0.058	0.023	0.000	0.04	0.02	0.00
710	0.76	0.028	0.011	0.000	0.02	0.01	0.00
720	0.785	0.012	0.005	0.000	0.01	0.00	0.00
730	0.805	0.006	0.002	0.000	0.00	0.00	0.00
740	0.815	0.003	0.001	0.000	0.00	0.00	0.00
750	0.843	0.001	0.001	0.000	0.00	0.00	0.00
760	0.862	0.001	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
770	0.873	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
		94.809	100.000	107.307	11.92	6.56	0.25
					X	Y	Z