

# El color en imagen digital: TR 02-01

Cristina Urdiales

Julio, 2002

Informe sobre el uso de color como descriptor para la segmentacion de una imagen digital.

## 1 Espacio de color

### 1.1 XYZ

Establecido en 1931 por la *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE), el primer espacio de color estandarizado es el XYZ. Estas componentes no son reales, sino imaginarias, pero cualquier color se puede definir como combinacion de ellas. Asimismo, toda la informacion de intensidad esta comprendida unicamente en la componente Y. Estos valores se obtienen a partir de la luminancia y de las *colour matching functions*, como se indica en las ecuaciones a continuacion.

$$X = \int_{\lambda_s} \bar{x}(\lambda) L_s(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_{\lambda_s} \bar{y}(\lambda) L_s(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_{\lambda_s} \bar{z}(\lambda) L_s(\lambda) d\lambda$$

Tambien pueden extraerse a partir de las componentes RGB como:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.607 & 0.174 & 0.200 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.116 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (1)$$

Si se desea eliminar la intensidad de la ecuacion, basta dividir cada componente por la suma de todos. En este caso, un color se define unicamente por las componentes  $x$  e  $y$ , que componen lo que se conoce como diagrama cromatico (Fig. 1), ya que la suma de los tres componentes es igual a 1 y, por tanto, se puede eliminar la  $z$  con esta ecuación. Puede observarse como los colores se

distribuyen en la curva en función de su longitud de onda (Fig. 1.b). Este sistema es no uniforme, tal como probó McAdam [10]. Esto viene a significar que el número de colores significativamente diferentes de uno determinado depende de las componentes de este color (Fig. 1.b), lo que es claramente no deseable para separar colores. Los espacios  $U^*, V^*, W^*$  y  $L^*, a^*, b^*$  tratan de eliminar este problema.

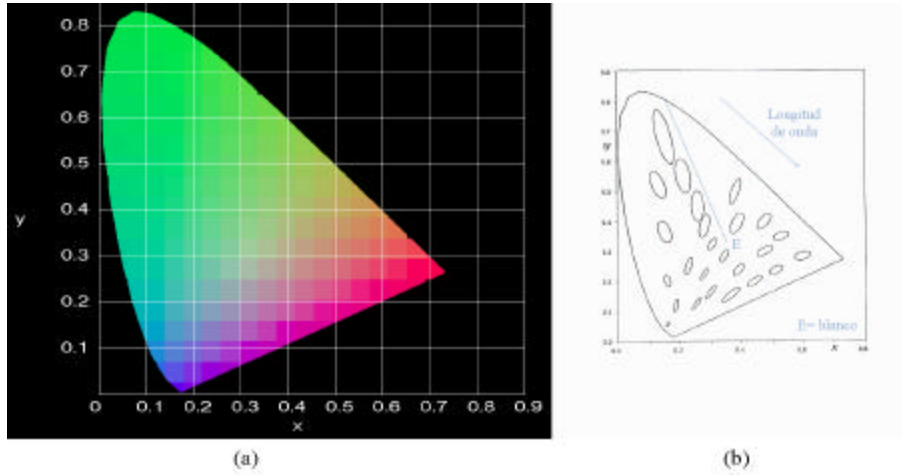


Figure 1: Diagrama cromático: a) distribución del color; b) separación de McAdam

## 1.2 CIE(Lab)

Una vez se dispone de las coordenadas  $XYZ$ , puede optarse por trabajar en distintos espacios CIE. Entre ellos, el CIE(Lab) es muy popular por tratarse de un espacio perceptualmente uniforme y adecuado para la segmentación. Para obtener los valores  $Lab$  de una imagen color, pueden usarse las ecuaciones:

$$L = 25(100(\frac{Y}{Y_0})^{1/3}) - 16 \quad (2)$$

$$a = 500[(\frac{X}{X_0})^{1/3} - (\frac{Y}{Y_0})^{1/3}] \quad (3)$$

$$b = 200[(\frac{Y}{Y_0})^{1/3} - (\frac{Z}{Z_0})^{1/3}] \quad (4)$$

La mayor ventaja de estos sistemas es que el parecido entre dos colores se puede medir por distancia euclídea.

### 1.3 RGB

El espacio RGB es el más conocido y frecuentemente utilizado en pantallas e impresoras. En dicho espacio, las componentes roja, verde y azul de un color se separan en un espacio tridimensional. Dichas componentes pueden variar entre 0 y 255, definiéndose por tanto un cubo de color donde el valor (0,0,0) corresponde al negro y el (255,255,255) al blanco. La Fig. 2 muestra un ejemplo del espacio RGB y la representación en éste de dos tonos de azul.

$$I(R, G, B) = R + G + B \quad (5)$$

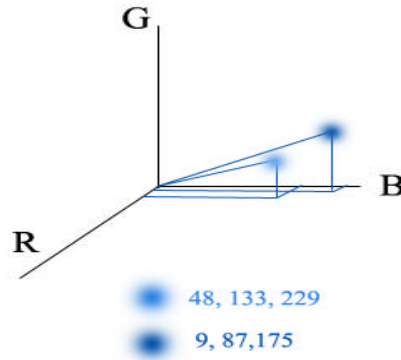


Figure 2: Espacio de color RGB

### 1.4 Triangulo cromatico rgb

En el espacio RGB, la intensidad es la diagonal que conecta el blanco y el negro:

$$I(R, G, B) = R + G + B \quad (6)$$

Todos los planos perpendiculares al eje de intensidad del espacio RGB corresponden a la ecuación:

$$R = G = B = M \quad (7)$$

siendo  $M$  un valor fijo. El corte de estos planos con los canónicos devuelve el triangulo equilatero de la Fig. 3, que se denomina triangulo cromatico *rgb* estandar. Las componentes de cada color se calculan como:

$$r(R, G, B) = \frac{R}{(R + G + B)} \quad (8)$$

$$g(R, G, B) = \frac{G}{(R + G + B)} \quad (9)$$

$$b(R, G, B) = \frac{B}{(R + G + B)} \quad (10)$$

lo que equivale a normalizar las componentes RGB con respecto a la intensidad del pixel. El principal problema de este espacio es que se vuelve inestable para valores pequeños de intensidad. Asimismo,  $b$  está fuertemente correlado con  $r$  y  $g$ , por lo que suele sustituirse por el campo  $I$  dando lugar al espacio  $Igb$ . También puede usarse una componente de luminancia calculada como:

$$y = c_1R + c_2G + c_3B \quad (11)$$

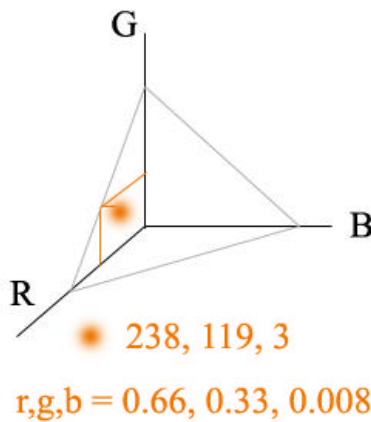


Figure 3: Triángulo cromático rgb

## 1.5 HSI

El espacio de color HSI se basa en representar los valores de tono, saturación e intensidad de cada punto en la imagen. Básicamente, los colores se distribuyen en un cono. Este es un sistema no lineal. Para disponer cada color en el espacio, el ángulo viene dado por el tono, el radio por la saturación y la altura por la intensidad. La transformación RGB a HSI se hace según las ecuaciones:

$$I(R, G, B) = R + G + B \quad (12)$$

$$H(R, G, B) = \frac{\arctan(\sqrt{3}(G - B))}{(R - G) + (R - B)} \quad (13)$$

$$S(R, G, B) = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{R + G + B} \quad (14)$$

El principal inconveniente de este sistema es que hay una discontinuidad en el tono para el valor RGB (0,0,0). Así, a intensidades pequeñas, dado que

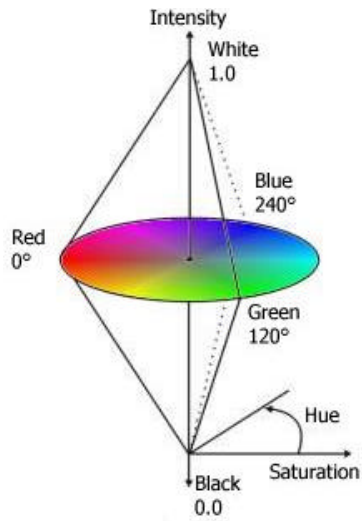


Figure 4: Espacio HSI

esta magnitud no tiene sentido, suele trabajarse con diferencias de intensidades ismaili:1994. La ventaja de los sistemas que presentan un campo intensidad aislado es que se puede mejorar el contraste de la imagen unicamente sobre este campo, de forma que la distribucion de colores se preserva. La Fig. 5 muestra un ejemplo de esto. Mientras que en la Fig. 5.b se ha mejorado el contraste de todos los canales, en la Fig. 5.b solo se toca la intensidad, por lo que el resultado parece mas natural.



Figure 5: Aumento de contraste por canales: a) original; b) aumento en los tres canales; c) aumento en el canal intensidad

## 2 Segmentacion basada en el color

A efectos de segmentar una imagen basandose en el color, cada pixel presenta una serie de campos que equivalen a su valor en cada una de las dimensiones del espacio de color en que se este trabajando. Asi, cada pixel tiene asociado un vector de caracteristicas  $\vec{c}$ .

Para implementar un algoritmo de segmentacion hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Espacio de color en que se va a trabajar.
- Definicion de un criterio de homogeneidad para determinar cuando dos pixeles presentan el mismo color.
- Definicion de distancia en funcion de la uniformidad del espacio de color.
- Tipo de algoritmo de agrupamiento a la hora de definir clases.

Otra cuestion a tener en cuenta es si los canales se encuentran correlados, ya que en ese caso se esta manejando informacion redundante. Asi, la segmentacion no tiene por que seguir los mismos criterios en las distintas dimensiones de un espacio de color.

### 2.1 Espacios de color

En la seccion anterior se han comentado los distintos espacios de color. En [5] se comenta que los espacios mas adecuados para la segmentacion son el *rgb* y el *xyz* siempre y cuando en la imagen aparezcan cambios de intensidad, ya que dichos espacios no la tienen en cuenta. No obstante, existen muchas aplicaciones [9] que trabajan con *HSI* porque resulta mas estable. A continuacion se detallan las caracteristicas mas interesantes de los distintos espacios de color.

- El tono es invariante frente a escala de las componentes RGB ( $H(\alpha R, \alpha G, \alpha B) = H(R, G, B)$ ) (Fig. 6.a). Por su naturaleza, ocurre lo mismo con los componentes *rgb*
- El tono es asimismo invariante a los desplazamientos uniformes en RGB ( $H(\alpha + R, \alpha + G, \alpha + B) = H(R, G, B)$ ) (Fig. 6.b). Esta propiedad no es cierta para el espacio *rgb*.
- Para  $RGB = (0, 0, 0)$ , el valor de tono esta indeterminado. Por ello, no son fiables las medidas de HSI para baja intensidad.
- Los sistemas *RGB* y *rgb* son invariantes al efecto del paso de la luz por superficies transparentes.
- El tono es invariante a brillos procedentes de la iluminacion de una luz blanca (Fig. 6.c). *RGB* no lo es.

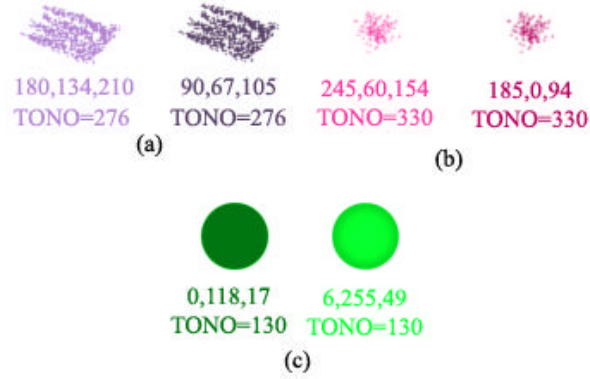


Figure 6: Propiedades del tono: a) escala en RGB; b) desplazamiento en RGB; c) resistencia a luz blanca

## 2.2 Criterios de homogeneidad

Los criterios de homogeneidad permiten decidir cuando dos pixeles son iguales. Basicamente, se pueden considerar como el conjunto de características a comparar para tomar esta decision. En [5] se comenta que cuando la imagen no presenta sombras ni gradientes es interesante trabajar con un criterio de media y varianza, mientras que en cualquier otro caso es preferible la aproximacion funcional. A continuacion se describen ambos criterios.

### 2.2.1 Media y varianza

Este criterio asume que la intensidad de los pixeles pertenecientes a una misma region, si se ignora el ruido, se mantiene constante. Asi, solo es necesario comparar los vectores asociados a dos pixeles para decidir si se encuentran en la misma region. Dados dos pixeles con vectores  $\vec{c}_1$  y  $\vec{c}_2$ , dichos pixeles pertenecen a la misma region si:

$$dist(\vec{c}_1, \vec{c}_2) \leq U \quad (15)$$

siendo  $U$  un umbral que fija la diferencia maxima entre dos colores. Notese que, para que dicho umbral sea fijo, es necesario que el sistema de trabajo sea uniforme.

### 2.2.2 Aproximacion funcional

Este criterio asume que la intensidad de los pixeles pertenecientes a una misma region, si se ignora el ruido, puede mantenerse constante, pero tambien variar en funcion de las sombras y la curvatura de la superficie. Para ello, se aproxima el color en una determinada superficie por:

$$f_m(x, y) = \sum_{i+j \leq m} a_{ij} x^i y^j, m \leq 4 \quad (16)$$

El vector de coeficientes  $a$  se calcula por mínimos cuadrados. Esto suele ajustarse en general con un filtro 3x3 para impedir que píxeles que presentan gradientes altos se incorporen a una región determinada.

En otros trabajos se emplean medidas similares, como la curvatura del color en la dimensión tono (*hue*) [6].

## 2.3 Algoritmos de agrupamiento

Basicamente, los algoritmos de agrupamiento que se usan en color pueden dividirse en umbralización, agrupamiento y división y mezclado y crecimiento, descritos en [7]. A continuación se comentan algunos de los mencionados algoritmos.

### 2.3.1 Umbralización

Estos algoritmos suelen basarse en estudiar el histograma de la imagen para determinar que rasgo resulta significativo a efectos de separar el fondo del resto de los objetos. Suelen resultar útiles cuando se trabaja con histogramas bimodales. En este caso, el fondo semi-homógeno es fácilmente separable del resto eliminando todos los puntos que presenten una característica por debajo de un cierto umbral. En [2] se usa como característica de píxel la magnitud  $F = (0.25r + 4g - b)/5$ . Aparentemente, los valores de ajuste se obtienen mediante redes neuronales. En [17] se propone un sistema parecido, esta vez sobre tres histogramas correspondientes al espacio uniforme *CIE Lab* antes descrito.

### 2.3.2 División

Este tipo de algoritmos consiste en dividir recursivamente regiones de la imagen en otras más pequeñas hasta que las regiones resultantes son homogéneas. En [11] se usa como criterio de homogeneidad el que no aparezcan picos en los histogramas de 9 características de los espacios *RGB*, *HSI* y *YIQ* escogidas de forma un tanto arbitraria. Si aparece algún pico, la región se segmenta en píxeles por encima y por debajo de ese pico y sigue el proceso. Artículos posteriores utilizan el mismo método reduciendo el número de características a 3 [12] mediante la transformada de Karhunen Loeve para la extracción de componentes principales. En este caso se aproximan la transformada por  $I_1, I_2$  e  $I_3$ .

### 2.3.3 Agrupamiento

Los algoritmos de agrupamiento tratan de unir píxeles cercanos a sus vecinos más parecidos para crear una clase. Algunos se basan en algoritmos de condensación [4]. Hay casos en que se preajusta la forma del cluster a un volumen



determinado estudiando los histogramas de las componentes del espacio de color [3]. En [15] se hace un estudio mas detallado de varias tecnicas de este tipo, asi como de algunas basadas en logica difusa.

### 2.3.4 Segmentacion basada en area

Estos metodos recogen la division, mezclado [1], division y mezclado [13] y el crecimiento [16] [8]. En [5] se evaluan comparativamente el *split and merge* y el *k-medias*. Aparentemente, el *split and merge* da mejores resultados. Se puede afirmar que el *split and merge* es mas rapido, si bien las particiones pueden no llevarse a cabo de forma optima. El crecimiento presenta el problema de una alta dependencia frente a los puntos a partir de los cuales se comienza a crecer. Este problema se ha intentado solucionar mediante optimizacion, pero la carga computacional del proceso completo se hace muy elevada [14]. De forma alternativa, en [14] se propone utilizar aprendizaje competitivo (AC) en lugar de un k-medias. El AC es parecido al k-medias, pero los centroides de las clases se actualizan secuencialmente en lugar de en paralelo. Los resultados son parecidos, pero el tiempo de proceso parece ser inferior. Desafortunadamente, ambos son muy dependientes de las condiciones de inicio. Las versiones jerárquicas de estos algoritmos solucionan, al menos parcialmente, este problema.

## References

- [1] Amadasun, M. and King, R.A., "Low-Level Segmentation Of Multispectral Images Via Agglomerative Clustering In Uniform Neighborhoods", *Pattern Recognition*, 21, pp. 261-268, 1988.
- [2] Bonsiepen, L., Coy, W., "Stable Segmentation Using Color Information", *In: Klette, R. (Hrsg.): CAIP '91 (Dresden 1991)*, Akademie Verlag, pp. 77-84, 1991.
- [3] Celenk M., "A recursive clustering technique for colour picture segmentation", *Proc. Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, Ann Arbor, MI, USA, 5-9 June 1988, pp. 437-444, 1988.
- [4] FJ Ferri and E. Vidal., "Colour Image Segmentation and Labelling Through Multiedit-Condensing", *Pattern Recognition Letters*, 13(8), pp.561-568, 1992.
- [5] Gevers, T. and Groen, F. C. A., "Segmentation of Color Images" , *In Proceedings of 7th Scandinavian Conference on Image Analysis, 1991*.
- [6] T. Gevers A. W. M. Smeulders, "Edge Steered Region Segmentation by Photometric Color Invariant", [citeseer.nj.nec.com/453774.html](http://citeseer.nj.nec.com/453774.html), Faculty of Mathematics Computer Science, University of Amsterdam Kruislaan 403, 1098 SJ Amsterdam, The Netherlands
- [7] Hartigan, J.A., "Clustering algorithms", John Wiley and Sons, USA, 1975

- [8] Ismaili, I.A. and Gillies D.F., "Colour image segmentation using regression analysis in RGB space", *Machine Graphics & Vision*, 3(1), pp. 373-384, 1994
- [9] Lin X. and Chen S., "Color image segmentation using modified HSI system for road following", *Proc. IEEE Conf. on Robotics and Automation*, Sacramento, California, pp. 1998-2003, 1991.
- [10] MacAdam, D.L., "Color Measurement – Theme and Variations", *Springer-Verlag*, 1985.
- [11] Ohlander, R., Price, K and Reddy, D.R., "Picture segmentation using a recursive region splitting method", *Computer Graphics and Image Processing*, 8, pp. 313-333, 1978.
- [12] Y. Ohta, T. Kanade, and T. Sakai, "Colour Information for Region Segmentation", *Computer Graphics and Image Processing*, 13, pp. 224-241, 1980.
- [13] Schettini, R., "A segmentation algorithm for colour images", *Pattern Recognition Letters*, 14, pp. 499-506, 1993.
- [14] P. Scheunders, "A comparison of clustering algorithms applied to color image quantization", *Pattern Recognition Letters*, 18, pp. 1379-1384, 1997.
- [15] Skarbek, W. and Koschan, A., "Colour image segmentation – A survey", Tech. Report, Inst. for Technical Informatics, Technical University of Berlin, 1994
- [16] R.I. Taylor, P. Lewis, "Colour Image segmentation Using Boundary Relaxation", *Proc. IAPR Int. Conf. on Pattern Recognition*, pp. 721-724, 1992.
- [17] Tominaga S., "A colour classification method for color images using a uniform color space", *Proc. 10th. Int. Conf. on Pattern Recognition*, 1, Atlantic City, New Jersey, pp. 803-807, 1990.