

TRATAMIENTO DEL COLOR EN IMÁGENES DIGITALES

Programa de Doctorado de
Matemática e Informática Computacional
Universitat de València
Jesus.malo@uv.es

TEMARIO:

1. Introducción

- 1.1 Definición del color: estímulos (\mathbf{A}) y percepción ($k(\mathbf{A})$)
- 1.2 Colores aislados y colores relacionados
- 1.3 Atributos (perceptuales) del color
 - Luminosidad (Q) y Claridad (J).
 - Tono (H).
 - Colorido (M), Croma (C) y Saturación (S).
- 1.4 Ciencia del color
 - Caracterización del color: Colorimetría Triestímulo y Modelos de Apariencia del Color
 - Tratamiento del color.
 - Reproducción del color.
- 1.5 Ciencia del color en MATLAB: COLORLAB

2. Colorimetría triestímulo

- 2.1 Luminancia (caracterización lineal del atributo luminosidad)
 - Radiancia espectral ($L_e(\lambda)$) e Irradiancia espectral ($E_e(\lambda)$)
 - Difusores lambertianos: reflectancia espectral y comportamiento geométrico.
 - Estímulo equienergético (\mathbf{E}) y estímulos espectrales (\mathbf{E}_λ).
 - Sensibilidad espectral del sistema visual humano ($V(\lambda)$ y V_λ)
 - Luminancia (Y) e Iluminación (E)
 - Luminancia de difusores lambertianos.
- 2.2 Los colores aislados *son* vectores!
 - Caracterización del color mediante experiencias de igualación.
 - Experimentos de igualación simétricos: Planteamiento.
Primarios (\mathbf{P}_i), blanco de referencia (\mathbf{W}), unidades tricromáticas ($Y_w(\mathbf{P}_i)$), valores triestímulo de un estímulo \mathbf{A} ($T_i(\mathbf{A})$).
 - Experimentos de igualación simétricos: Resultados (leyes de Grassmann).
- 2.3 Vector triestímulo de un estímulo \mathbf{A} ($T(\mathbf{A})$).
 - Espacio de vectores triestímulo.
 - Mezclas de estímulos (o colores) en el espacio triestímulo.
- 2.4 Vector triestímulo a partir de la radiancia espectral del estímulo: Funciones de igualación del color.
 - Igualación del color correspondiente a cualquier estímulo mediante la superposición de estímulos espectrales.
 - Funciones de igualación del color ($\bar{T}_i(\lambda)$)
 - Vector triestímulo a partir de la radiancia espectral del estímulo.
 - Espectrocolorímetros.
 - Estímulos metámeros.
 - Sensibilidad espectral a partir de las funciones de igualación del color.

- 2.5 Coordenadas cromáticas y luminancia ($t(\mathbf{A})$, $Y(\mathbf{A})$)
- Diagrama cromático.
 - Coordenadas cromáticas de un estímulo \mathbf{A} ($t_i(\mathbf{A})$).
 - Mezclas de color en el diagrama cromático.
 - Locus espectral en el diagrama cromático.
 - Colores reales e imaginarios. Colores factibles y no factibles.
- 2.6 Longitud de onda dominante, Pureza y Luminancia ($\lambda_d(\mathbf{A})$, $P(\mathbf{A})$, $Y(\mathbf{A})$) :
caracterizaciones triestímulo del Tono, Colorido y Luminosidad
- Longitud de onda dominante (λ_d) y purezas colorimétrica (P_c) y de excitación (P_e).
 - Colores complementarios.
- 2.7 Cambio de representación en el espacio triestímulo
- Constantes que definen una representación.
 - Cambio de base.
 - Dos bases (espacios) triestímulo estándar: CIE RGB, CIE XYZ.
- 2.8 Geometría del espacio triestímulo.
- Distancia (perceptual) entre colores.
 - Elipsoides de Brown-McAdam: el espacio triestímulo no es euclídeo!.
- 2.9 Limitaciones de la formulación triestímulo.
- Limitaciones intrínsecas (por construcción):
 - No incluye efectos espacio-temporales (colores relacionados).
 - No explica la separación luminosidad/cromaticidad ni la codificación oponente.
 - Limitaciones estéticas: ningún espacio triestímulo es euclídeo.
 - Limitaciones graves: fallos en las correlaciones entre la descripción triestímulo (λ_d, P, Y) y la realidad (H,M,Q). No predice la codificación oponente.

3. Codificación del color en sistemas digitales

- 3.1 Limitaciones de los sistemas digitales convencionales para representar el color.
- Limitaciones intrínsecas: muestreo, cuantización y restricciones de almacenamiento.
 - Limitación inexplicable: utilizan una caracterización del color basada en dispositivos de medida y reproducción del color no calibrados!.
 - Sistemas convencionales frente a un sistema ideal.
- 3.2 Representación de imágenes en color en sistemas digitales.
- Representación mediante tres matrices (imágenes *triestímulo*).
 - Representación mediante una matriz (imagen indexada) y una paleta de color.
 - Ejemplo: imágenes en color en MATLAB.
- 3.3 Calibración de sistemas de adquisición y reproducción de imágenes en color.
- Escáners y cámaras CCD.
 - Monitores CRT. Gamma de un monitor.
 - Impresoras y monitores LCD.
- 3.4 Problemas colorimétricos asociados a la adquisición y reproducción del color.
- Adquisición: compresión de la información cromática.
 - Reproducción: ajuste de la gama de colores.
- 3.5 Conclusión práctica: antes de nada, al menos, transforma a valores triestímulo!.

4. Modelos lineales de apariencia del color: canales oponentes.

- 4.1 Separación luminosidad/cromaticidad y concepto de oponencia cromática.
- Observaciones de Hering: el cerebro usa un espacio triestímulo particular.
 - Insuficiencia del paradigma psicofísico: hay que echar un vistazo a la fisiología.

- 4.2 Modelos lineales oponentes.
 - Espacios de conos LMS.
 - Espacios oponentes ATD.
 - Interpretación de la orientación de las elipses de discriminación cromática.
 - Atributos preceptuales a partir de caracterizaciones ATD.
- 4.3 Anchura de banda de los canales oponentes. CSFs acromática y cromáticas.
 - Modelo lineal de percepción espacial y cromática: cambio de representación (de texturas) y respuesta lineal a los coeficientes de la transformada.
 - Funciones de sensibilidad al contraste.
 - Medidas de distancia entre imágenes en color.
- 4.4 Beneficios estadísticos de una representación oponente. PCA: DCT y ATD.
 - La hipótesis de Barlow.
 - Correlación entre los valores triestímulo LMS de estímulos naturales.
 - La descorrelación de LMS (PCA cromático) conduce a una representación oponente.
 - PCA espacial de las componentes triestímulo de las imágenes naturales.
 - Espectro de las imágenes naturales en espacios no oponentes (LMS ó RGB) y oponentes (ATD u otros).

5. Modelos no-lineales de apariencia del color: efectos del contexto.

- 5.1 Igualaciones asimétricas frente a igualaciones simétricas. Par correspondiente.
- 5.2 Fenomenología de los colores relacionados.
 - Adaptación. Pares correspondientes de Breneman. Contraste sucesivo. Postimágenes.
 - Inducción. Contraste simultáneo. Asimilación.
 - Constancia del color.
 - No linealidades.
- 5.3 Modelos de adaptación cromática.
 - Modelo de Von-Kries.
 - Modelos recientes.
- 5.4 Modelos (no-lineales) de apariencia del color.
 - Estructura general: oponencia, adaptación cromática, no-linealidades, cálculo de descriptores perceptuales. Especificación de distancias cromáticas.
 - Ejemplo: el espacio CIE $L^*a^*b^*$ como modelo de apariencia del color.
 - Otros modelos de apariencia del color.
 - Testeo de los modelos de apariencia del color.

6. Aproximaciones utilizadas en ingeniería.

- 6.1 Espacios no oponentes (PAL RGB y NTSC RGB). Espacios oponentes YUV, YIQ.
- 6.2 Transmisión y almacenamiento de imágenes en color.
 - Reparto de anchuras de banda en los estándares PAL y NTSC.
 - Compresión JPEG.
- 6.3 Espacio HSV.

7. Ejercicios propuestos.

- 7.1 Calibración de un CRT.
- 7.2 Representación de imágenes teniendo en cuenta el contexto.
- 7.3 Representaciones de imágenes con constancia del color.
- 7.4 Edición de los atributos perceptuales de imágenes en color.
- 7.5 Cuantización del espacio triestímulo. Selección de la paleta de color.
- 7.6 Compresión de imágenes en color.
- 7.7 PCA espacio-cromático.
- 7.8 Descripción de texturas cromáticas.
- 7.9 Síntesis de texturas cromáticas.
- 7.10 Medida de distancias entre imágenes en color.
- 7.11 Síntesis de imágenes mediante teselas buscadas en una base de datos.

BIBLIOGRAFÍA:

Malo & Luque. COLORLAB User Guide. Disponible en <http://taz.uv.es/~jmallo>. Universitat de València. 2002.

Capilla. Fundamentos de Colorimetría. Col. Materials 55. Universitat de València. 2002.

Artigas. Tecnología del Color. Col. Materials 58. Universitat de València. 2002.

Fairchild. Color Appearance Models. Addison-Wesley, Reading, MA. 1997.

Pratt. Digital Image Processing. John Wiley & Sons. N Y . 1991.

Kang. Color Technology for Electronic Imaging Devices. SPIE, Washington. 1996.

Hunt. The Reproduction of Color. Fountain Press. Kingston-upon-Thames. 1995.

Wandell. Foundations of Vision. Sinauer Publishers. N Y . 1995.

EVALUACIÓN:

El curso se evaluará mediante la realización tutorizada de uno de los ejercicios propuestos u otros similares de interés para los alumnos.