

Captura y digitalización de la señal de video

Pablo Flores Guridi, pablof@fing.edu.uy

Instituto de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República
Montevideo, Uruguay

Año 2024

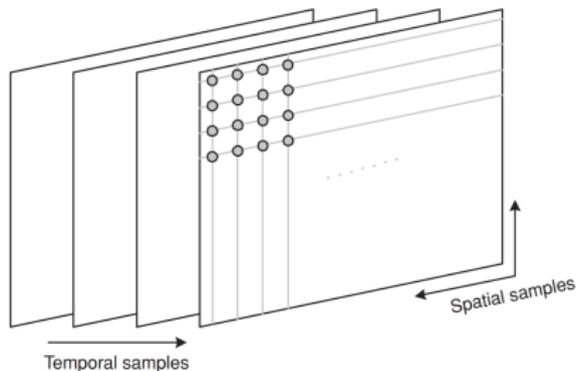


Introducción

- El video digital es una representación de una escena visual de la vida real, muestreada en el espacio y el tiempo.
- Al mostrar una escena en el espacio, en un instante determinado, logramos un cuadro o un campo (lo definiremos más adelante).
- La captura de cuadros o campos es repetida a instantes fijos de tiempo para lograr una percepción de movimiento.
- Las escenas pueden ser representadas en niveles de grises o en color.
- Las escenas en color requieren de tomar muestras en tres componentes independientes.

Captura de la señal de video (1)

- Una escena visual de la vida real es continua en el espacio y en el tiempo.
- Las muestras espaciales se toman en forma de grillas rectangulares.
- Las muestras temporales se toman como cuadros o campos consecutivos, a intervalos regulares.
- Cada muestra espaciotemporal es denominada *picture element* o *pixel*.
- Cada *pixel* es representado como uno o más números que describen su nivel de brillo y e información de color.



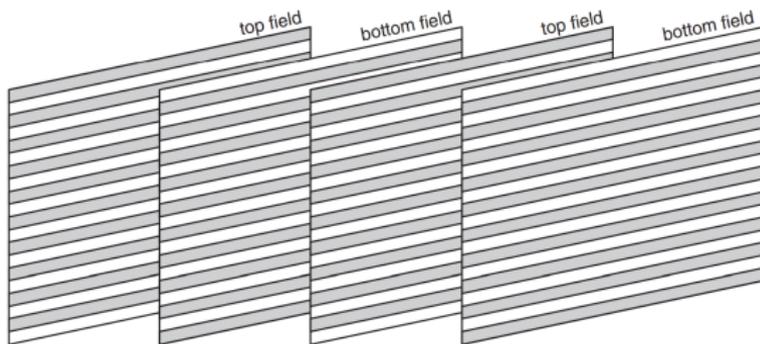
Muestreo espacial

- Para tomar cada cuadro o campo la cámara proyecta la escena hacia un arreglo de sensores (CCD o CMOS).
- Cuando la captura es a color, cada componente de color es filtrada y capturada de manera independiente.
- La salida de cada sensor es una señal eléctrica analógica que representa una imagen de video.
- Esa señal debe ser muestreada para obtener cada uno de los *pixels*.
- Al tomar más muestras espaciales, logramos una mayor resolución, y viceversa.

Muestreo temporal

- El movimiento se logra al tomar cuadros o campos de manera periódica en el tiempo.
- Tasas de muestreo y presentación mayores, logran movimientos más suaves, pero requieren procesar una mayor cantidad de muestras.
- Tasas de presentación:
 - menores a 10 Hz logran una imagen poco fluída,
 - entre 10 y 20 Hz logran una imagen fluída en tanto el movimiento sea suave.
 - El estándar es 25 y 30 Hz interlaceado, o 50 y 60 Hz progresivo.

Cuadros y campos



- Muestreo progresivo:
 - Los píxeles de la imagen son capturados en su totalidad en un instante de tiempo dado.
 - Llamamos **cuadros** a cada una de esas imágenes “completas”.
- Muestreo interlaceado:
 - Se capturan las líneas impares y pares de manera alternada.
 - Llamamos **campos** a cada una de esas imágenes “parciales”.

Apuntes sobre el muestreo interlaceado y progresivo

- El muestreo interlaceado permite movimientos más fluidos sin aumentar la cantidad de muestras por segundo.
 - Poco movimiento → igual calidad que muestreo progresivo.
 - Mucho movimiento → mayor fluidez que muestreo progresivo.
- Cuando el muestreo es interlaceado, la presentación también debe ser interlaceada, y en el mismo orden.
 - Si se quiere lograr una presentación progresiva, debe realizarse una conversión.
 - Dos defectos: inversión de campos y problemas de interlaceado.



Tipos de sensores de imagen

- Superficie plana formada por minúsculos receptores de luz.
- Son capaces de generar un voltaje en función de la intensidad de luz recibida, que luego será digitalizada.
- No son sensibles al color, requieren filtrado previo.
- Dos tipos:
 - Charge-couple device (CCD): tradicionales, más caros, *a priori* mejor calidad, consumen más energía.
 - Complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS): más modernos, más baratos, cada vez mejores en cuanto a calidad, consumen menos energía.
- **En el siguiente video en donde se comparan ambas tecnologías:** <https://riunet.upv.es/handle/10251/159893>.

Corrección Gamma (1)

- Originalmente los televisores (“de tubo” o CRT, del inglés *Cathode Ray Tube*) constaban de una pistola de electrones que disparaba hacia una superficie de fósforo.
- Sin embargo, la intensidad de los electrones no variaba linealmente con el voltaje de la señal de entrada, sino que proporcional a ese voltaje elevado a cierta potencia denominada γ .
- Por esa razón es que históricamente las cámaras realizan la denominada *corrección gamma* para contrarrestar este efecto.
- Por compatibilidad hacia atrás, los nuevos televisores y pantallas emulan ese efecto no lineal, por lo que la corrección gamma se sigue realizando.
- Valores típicos de γ son 0,45 para codificar y 2,2 para decodificar.
- Considerar que los voltajes utilizados varían entre 0 V y 1 V.

Corrección Gamma (2)

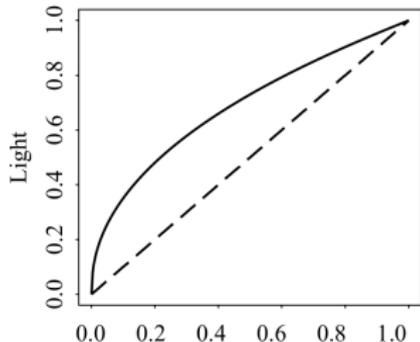


Figura: Codificación utilizando corrección gamma: $V_{out} = V_{in}^\gamma$, $\gamma < 1$.

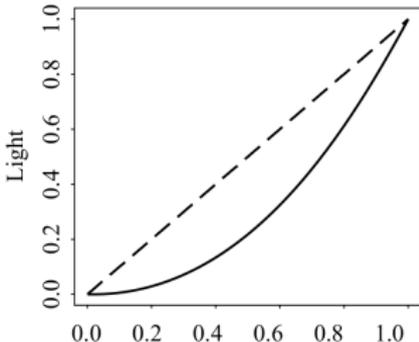


Figura: Decodificación utilizando corrección gamma: $V_{out} = V_{in}^\gamma$, $\gamma > 1$.



Figura: Gradiente de brillo sin aplicar corrección gamma (izquierda) y aplicando corrección gamma (derecha).

Espacio de color RGB

- Para lograr imágenes a color es necesario capturar información de tres canales independientes correspondientes a los colores primarios.
- Al combinar rojo, verde y azul en distintas proporciones es posible lograr **casi** cualquier color.
- En la imagen a continuación se muestran los componentes RGB de una imagen a color: la persona de la derecha tiene puesto un buzo azul, en tanto que la de la izquierda un chaleco rojo.



- El espacio de color RGB es muy bueno para la captura y presentación de imágenes a color, pero no así para su almacenamiento y distribución.

Espacio de color YCrCb (1)

- El sistema visual humano es menos sensible al color que al nivel de brillo.
- En el espacio de color RGB los tres colores son igual de importantes.
- El espacio de color YCrCb busca separar la información de brillo de la de color. Luego se le dará más resolución a la primera que a la segundas.
- El nivel de brillo de un píxel puede ser calculado a partir de sus componentes RGB de la siguiente manera:

$$Y = k_r R + k_g G + k_b B,$$

donde los valores de k serán definidos en distintos estándares.

- Llamaremos a esta información *luminancia*, o simplemente *luma*.

Espacio de color YCrCb (2)

- También representaremos la información de *diferencia de color*:

$$Cr = R - Y; Cg = G - Y; Cb = B - Y.$$

- Llamaremos a esta información *crominancia*, o simplemente *croma*.
- En la imagen a continuación se muestran los componentes Cr, Cg y Cb de la misma imagen a color vista anteriormente:



- En esta imagen el gris representa valores nulos, en tanto que el gris claro representa valores positivos y el gris oscuro valores negativos.
⇒ Recordemos que la persona de la derecha tiene puesto un buzo azul, en tanto que la de la izquierda un chaleco rojo.

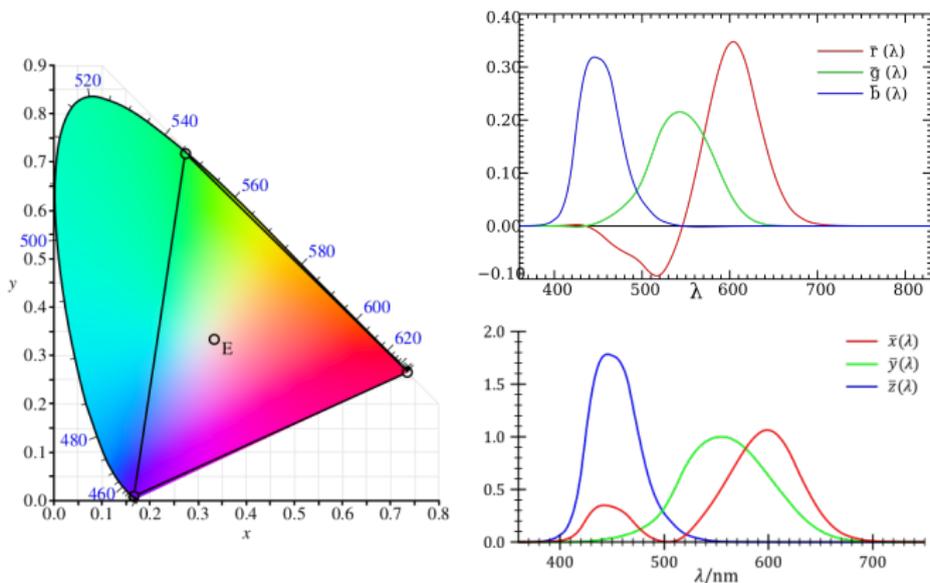
Espacio de color YCrCb (3)

- Distintas normas definen distintos espacios de color basados en YCrCb.
- Sin embargo, siempre se cumplen las siguientes restricciones:

$$k_r + k_g + k_b = 1,$$

$$C_r = \frac{1}{2(1 - k_r)} Y - R; C_g = \frac{1}{2(1 - k_g)} Y - G; C_b = \frac{1}{2(1 - k_b)} Y - B.$$

Diagrama de Cromaticidad CIE 1931



- El espacio de color CIE XYZ incluye todas las sensaciones de color que son visibles por una persona promedio.
- Las λ correspondientes a $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$ y $\bar{b}(\lambda)$ corresponden a 700 nm, 546,1 nm y 435,8 nm respectivamente.

Norma ITU-R BT.601

- Definida para televisión digital en calidad estándar.
- Componentes Y, Cb y Cr a partir de R, G y B:

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B$$

$$Cb = 0,564(B - Y)$$

$$Cr = 0,713(R - Y)$$

- Componentes R, G y B a partir de Y, Cb y Cr:

$$R = Y + 1,402Cr$$

$$G = Y - 0,344Cb - 0,714Cr$$

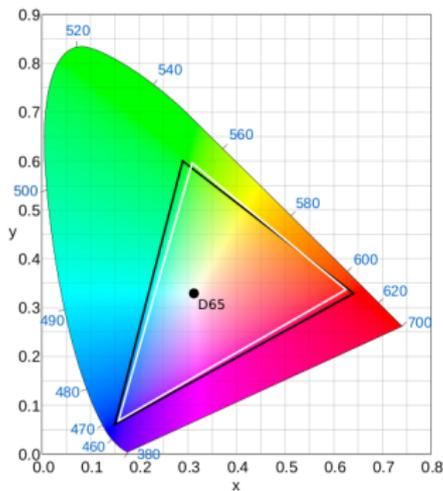
$$B = Y + 0,722Cb$$

- Definición de primarios (625 líneas):

$$R = 0,64x, 0,33y$$

$$G = 0,29x, 0,60y$$

$$B = 0,15x, 0,06y$$



Norma ITU-R BT.709

- Definida para televisión digital en alta definición.
- Componentes Y, Cb y Cr a partir de R, G y B:

$$Y = 0,2126R + 0,7152G + 0,0722B$$

$$Cb = 0,5389(B - Y)$$

$$Cr = 0,6350(R - Y)$$

- Componentes R, G y B a partir de Y, Cb y Cr:

$$R = Y + 1,5748Cr$$

$$G = Y - 0,1873Cb - 0,4681Cr$$

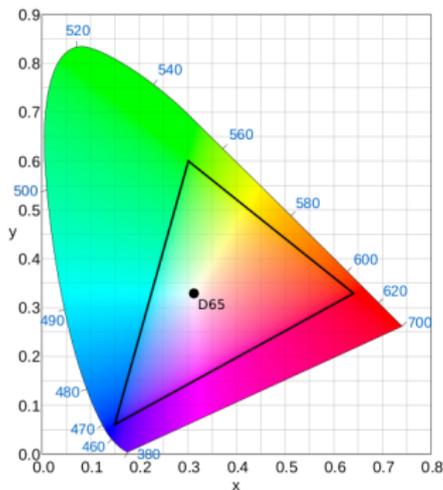
$$B = Y + 0,8556Cb$$

- Definición de primarios:

$$R = 0,64x, 0,33y$$

$$G = 0,30x, 0,60y$$

$$B = 0,15x, 0,06y$$



Norma ITU-R BT.2020

- Definida para televisión digital en ultra alta definición.
- Componentes Y, Cb y Cr a partir de R, G y B:

$$Y = 0,2627R + 0,6780G + 0,0593B$$

$$Cb = 0,5315(B - Y)$$

$$Cr = 0,6782(R - Y)$$

- Componentes R, G y B a partir de Y, Cb y Cr:

$$R = Y + 1,4746Cr$$

$$G = Y - 0,1646Cb - 0,5714Cr$$

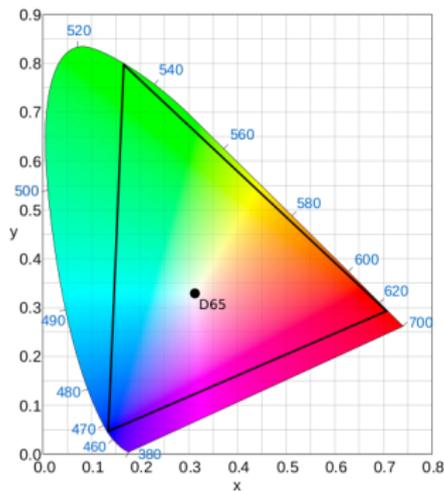
$$B = Y + 0,8814Cb$$

- Definición de primarios:

$$R = 0,708x, 0,292y$$

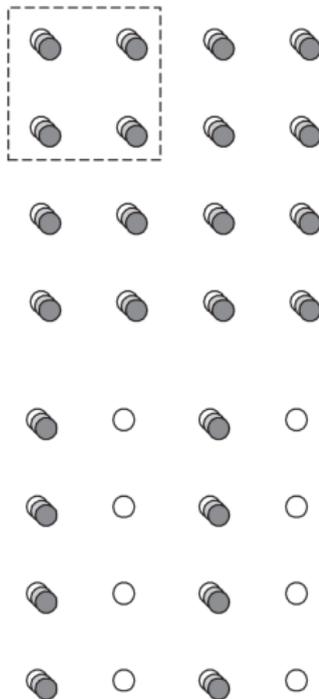
$$G = 0,170x, 0,797y$$

$$B = 0,131x, 0,046y$$



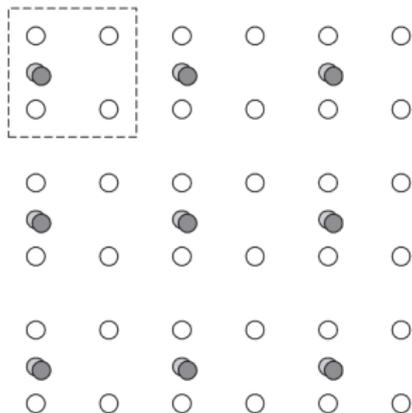
Formatos de muestreo para YCrCb (1)

- Muestreo 4:4:4.
 - Por cada cuatro muestras de luminancia hay cuatro muestras de Cr y cuatro de Cb.
 - Este muestreo preserva la fidelidad total de la crominancia.
- Muestreo 4:2:2.
 - También denominado YUY2.
 - Por cada cuatro muestras de luminancia hay dos muestras de Cr y dos de Cb.
 - Se utiliza cuando se quiere preservar la información de color en alta calidad.



Formatos de muestreo para YCrCb (2)

- Muestreo 4:2:0.
 - También denominado YV12.
 - Por cada cuatro muestras de luminancia hay una muestra de Cr y otra de Cb.
 - Los números 4:2:0 no tienen una interpretación lógica, no se preocupen :).
 - Es el formato más ampliamente utilizado en televisión, *streaming*, videoconferencias y grabaciones domésticas.
 - Ver que el formato 4:2:0 requiere exactamente la mitad de las muestras que 4:4:4.



Formatos de video

Formatos más populares en calidad estándar

Formato	Barrido	Resolución	Tasa de refresco
480i	Interlaceado	720 × 480	60
576i	Interlaceado	720 × 576	50

Formatos más populares en alta calidad

Formato	Barrido	Resolución	Tasa de refresco
720p	Progresivo	1280 × 720	25/30/50/60
1080i	Interlaceado	1920 × 1080	50/60
1080p	Progresivo	1920 × 1080	25/30

Serial Digital Interface (SDI)

- Formato serial para la distribución de las señales de video 4:2:2 sin compresión dentro de los estudios mediante cable coaxial.
- **Para calidad estándar (SD-SDI):**
 - Estandarizado en las normas ITU-R T.656 y SMPTE 259M.
 - Logra tasas de bits de hasta 270 Mbps.
 - Utiliza una frecuencia de muestreo de 13.5 MHz para la luma y 6.75 MHz para cada croma.
 - En general, cada muestra es codificada mediante 10 bits.
- **Para alta calidad (HD-SDI):**
 - Estandarizado en la norma SMPTE 292M.
 - Trabaja exactamente a 1.485 Gbps.
 - Utiliza una frecuencia de muestreo de 74.25 MHz para la luma y 37.125 MHz para cada croma.
 - Cada muestra es codificada mediante 10 bits.

Formatos de video

Formatos de video para SD-SDI

Resolución	Barrido	Tasa de cuadros	# muestras	# líneas
720 × 480	Interlaceado	60/1.001	858	525
720 × 576	Interlaceado	50	864	625

Formatos de video para HD-SDI

Resolución	Barrido	Tasa de cuadros	# muestras	# líneas
1280 × 720	Progresivo	25	3960	750
1280 × 720	Progresivo	30	3300	750
1280 × 720	Progresivo	50	1980	750
1280 × 720	Progresivo	60	1650	750
1920 × 1080	Progresivo	25	2640	1125
1920 × 1080	Progresivo	30	2200	1125
1920 × 1080	Interlaceado	50	2640	1125
1920 × 1080	Interlaceado	60	2200	1125