

Tema 6. Compresión de Imágenes

La **compresión de imágenes** trata de reducir la cantidad de datos necesaria para representar una imagen digital y la idea básica del proceso de reducción de datos no es otra que la de **eliminar la redundancia en la información**.

- a) Conseguir una **reducción** significativa en el número de bits que utiliza para su almacenamiento.
- b) Si conlleva una **pérdida en la calidad** de la imagen, ésta deberá ser **poco significativa** para el ojo humano o no suponer pérdida de información en las características relevantes de la imagen cuando se utiliza para aplicaciones en visión artificial.
- c) **Rapidez de cálculo** tanto para la compresión como para la descompresión.
- d) El formato de salida deberá permitir su **almacenamiento** y su **transferencia**.

Tema 6. Compresión de Imágenes

- **compresión sin pérdida** de información, donde la imagen descomprimida será idéntica a la original y, por tanto, estará libre de error, como así podemos desear en imágenes de texto, huellas dactilares o imágenes médicas
- **compresión con pérdida** de información, donde la imagen descomprimida no será idéntica a la original y su grado de parecido dependerá de la aplicación que se vaya a realizar (vídeoconferencias, televisión, robótica, etc.)

Tema 6. Compresión de Imágenes

Las técnicas para la compresión de imágenes:

- **Compresión estadística**, donde la codificación de la imagen se basa en los niveles de gris de la imagen completa.
- **Compresión espacial**, donde la codificación se basa en la relación espacial entre los píxeles que presentan valores similares en los niveles de gris.
- **Compresión por cuantificación**, que reduce el número de niveles de gris utilizados en la representación o sustituyen cada ventana de $m \times m$ píxeles (m suele ser 3, 5 ó 7, dependiendo de la tasa de compresión que deseemos) por la más parecida entre las ventanas de un conjunto de ventanas prototipo.
- **Compresión fractal**, que consiste en encontrar una regla de construcción que produzca una imagen fractal que se aproxime a la imagen original utilizando la teoría matemática de los sistemas iterados de funciones. Un codificador fractal procesa la imagen original seleccionando una función contractiva cuyo único punto fijo (atractor) aproxima la original. El decodificador desarrolla iterativamente la función para recuperar al atractor.

Tema 6. Compresión de Imágenes

En general, un sistema de compresión de imágenes consta de tres fases u operaciones:

➤ **Transformación:**

- Lineal
- Longitud de la racha
- Transformada coseno

➤ **Cuantificación:**

- Uniforme
- Vectorial (bloques)
- Modulación delta

➤ **Codificación:**

- Aritmética
- de Huffman

Tema 6. Compresión de Imágenes

Transformaciones lineales:

$$(f(1), f(2), \dots, f(N), f(N+1), \dots, f(2N), f(2N+1), \dots, f(M \times N))$$

$$\begin{pmatrix} g(1) \\ g(2) \\ \dots \\ g(M \times N) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1,M \times N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2,M \times N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M \times N,1} & a_{M \times N,2} & \dots & a_{M \times N,M \times N} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f(1) \\ f(2) \\ \dots \\ f(M \times N) \end{pmatrix}$$

Tema 6. Compresión de Imágenes

➤ Transformaciones lineales

$$\begin{pmatrix} g(1) \\ g(2) \\ \dots \\ g(M \times N) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1,M \times N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2,M \times N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M \times N,1} & a_{M \times N,2} & \dots & a_{M \times N,M \times N} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f(1) \\ f(2) \\ \dots \\ f(M \times N) \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}$$

$$g(1) = f(1)$$

$$g(n) = f(n-1) - f(n)$$

Tema 6. Compresión de Imágenes

$$\begin{bmatrix} 35 & 25 & 25 & 35 \\ 35 & 25 & 25 & 35 \\ 25 & 25 & 25 & 25 \end{bmatrix}$$



$$[35 \quad 25 \quad 25 \quad 35 \quad 35 \quad 25 \quad 25 \quad 35 \quad 25 \quad 25 \quad 25 \quad 25]$$



$$[35 \quad 10 \quad 0 \quad -10 \quad 0 \quad 10 \quad 0 \quad -10 \quad 10 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

Tema 6. Compresión de Imágenes

Transformaciones basadas en la longitud de la racha

$$(f(1), f(2), \dots, f(N), f(N+1), \dots, f(2N), f(2N+1), \dots, f(M \times N))$$

$$((g_1, l_1), (g_2, l_2), \dots, (g_k, l_k))$$

$$g_1 = f(1)$$

l_i = longitud de la i -ésima racha

G_i = tono de gris de la i -ésima racha

Tema 6. Compresión de Imágenes

Transformada coseno discreta

$$F(u, v) = \frac{2}{\sqrt{MN}} C(u)C(v) \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) \cos \left[\frac{(2m+1)u\pi}{2M} \right] \cos \left[\frac{(2n+1)v\pi}{2N} \right]$$

$$C(z) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{si } z = 0 \\ 1 & \text{si } z > 0 \end{cases}$$

$$f(u, v) = \frac{2}{\sqrt{MN}} C(u)C(v) \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) \cos \left[\frac{(2m+1)u\pi}{2M} \right] \cos \left[\frac{(2n+1)v\pi}{2N} \right]$$

Tema 6. Compresión de Imágenes

La Modulación Delta

$$(f(1), f(2), \dots, f(N), f(N+1), \dots, f(2N), f(2N+1), \dots, f(M \times N))$$

Transformación:

$$e(n) = f(n) - f^*(n-1)$$

Cuantificación:

$$e^*(n) = \begin{cases} \Delta & \text{si } e(n) \geq 0 \\ -\Delta & \text{si } e(n) < 0 \end{cases}$$

Imagen reconstruida:

$$f^*(1) = f(1)$$

$$f^*(n) = f^*(n-1) + e^*(n)$$

Codificación: **1 BIT / píxel**

Tema 6. Compresión de Imágenes

[35 25 25 35 35 25 25 35 25 25 25 25]

35

$$e(2) = f(2) - f^*(1) = 25 - 35 = -10$$

$$e^*(2) = -5$$

$$f^*(2) = 35 - 5 = 30$$

$-\Delta$

$$e(3) = f(3) - f^*(2) = 25 - 30 = -5$$

$$e^*(2) = -5$$

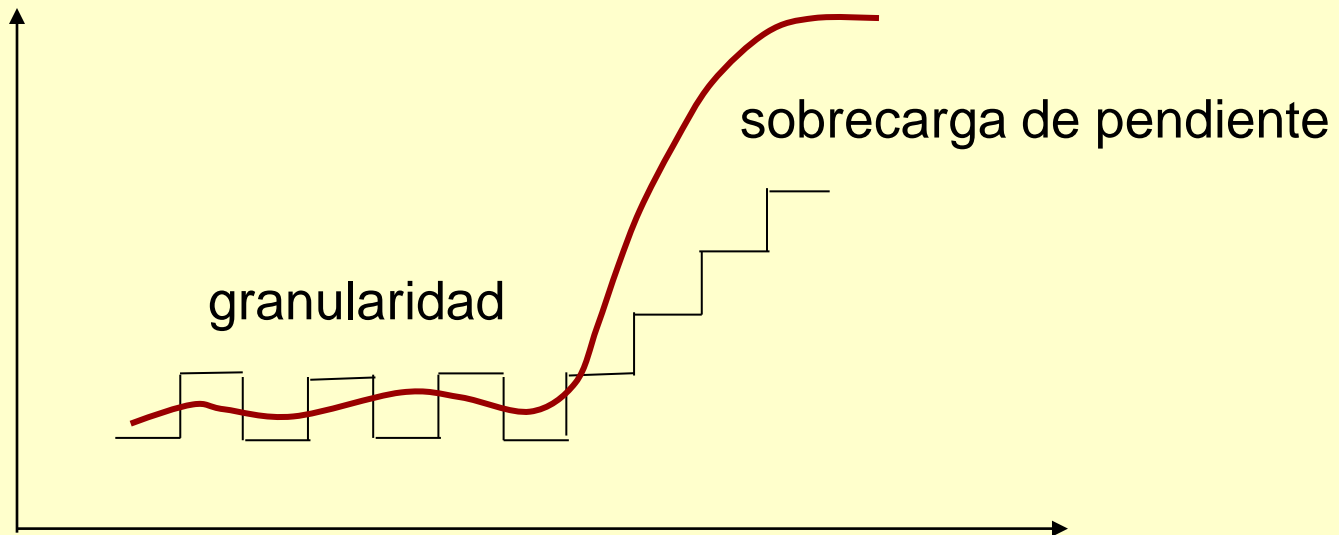
$$f^*(2) = 30 - 5 = 25$$

35 -1 -1 1 1 -1 -1 1 -1 1 -1 1

1 BIT / píxel

Tema 6. Compresión de Imágenes

¿ Cómo elegir Δ ?



- Δ **pequeño:** apropiado para las zonas de tonalidad similar (interior de los objetos)
- Δ **grande:** apropiado para las zonas de grandes cambio de tonalidad (bordes y contornos)

Tema 6. Compresión de Imágenes

El formato JPEG

- JPEG es una **familia de técnicas** de compresión (29 procesos de codificación diferentes) estandarizadas por el grupo *Joint Photographic Experts Group*
- **Cooperación conjunta** realizada por ISO (International Organization for Standardization) y CCITT (International Telegraph and Telephone Consultative Committee)
- El **ojo humano** puede **percibir** mejor pequeños cambios en el brillo de una imagen que pequeños cambios en el color. Por ello, la compresión JPEG perderá alguna información sobre el color. Con esta técnica se pueden conseguir tasas de compresión de 20 a 1 sin que apenas se note
- Se puede **controlar la tasa de compresión** de una imagen especificando el valor de un **parámetro Q**; cuando se elige un valor de Q grande la imagen tiene una mayor calidad y ocupa mayor espacio que cuando se elige un valor pequeño

Tema 6. Compresión de Imágenes

La técnica JPEG básica (baseline JPEG) consta de cinco pasos:

- 1. Transformación** de la imagen RGB a una imagen en el **espacio de colores $Y C_r C_b$** .
- 2. Reducción** de las componentes de color (opcional).
- 3. Partición de la imagen en bloques** (ventanas) de 8×8 píxeles y determinación de la **transformada del coseno discreta** (TCD) para cada bloque.
- 4. Cuantificación** de los coeficientes de la TCD.
- 5. Codificación** sin pérdidas de los coeficientes reducidos utilizando el algoritmo de Huffman modificado.

Tema 6. Compresión de Imágenes

1. Transformación del espacio de color

$$\begin{pmatrix} Y \\ (R - Y) \\ (B - Y) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.117 \\ 0.701 & -0.587 & -0.114 \\ -0.299 & -0.587 & 0.886 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Rojo \\ Verde \\ Azul \end{pmatrix}$$

- **Luminancia** Y
- **Naranja – Cian** que es muy importante para crear el color del cutis:

$$R - Y \in [-0.701, 0.701]$$

- **Verde – Magenta:** $B - Y \in [-0.886, 0.886]$

Tema 6. Compresión de Imágenes

Los valores de esta representación de colores se pueden convertir en una codificación binaria mediante las expresiones:

$$Y = \text{redondear} (219 \times Y + 16)$$

$$C_r = \text{redondear} (224 \times 0.713 \times (R - Y) + 128)$$

$$C_B = \text{redondear} (224 \times 0.564 \times (B - Y) + 128)$$

- El valor de luminancia, Y , es compatible con las televisiones en blanco y negro.
- Como el ojo humano es más sensible a pequeños cambios en la luminancia que en la saturación o el matiz de los colores, y **percibe los detalles más finos** (que no se pueden distinguir con la información del color) por su intensidad luminosa, entonces los **valores cromáticos**, $(R - Y)$ y $(B - Y)$, se pueden **codificar a niveles más pequeños de resolución y precisión**, manteniéndose un nivel razonable de calidad en la imagen.

Tema 6. Compresión de Imágenes

El **segundo paso** es opcional y conlleva pérdida de información. Se deja la componente Y como está y se muestrean las componentes de color (hay diferentes esquemas de muestreo).

Una forma de hacer el **muestreo** consiste en dividir la imagen en bloques de 4 píxeles y se extrae uno o se promedian los cuatro píxeles de cada bloque.

Tema 6. Compresión de Imágenes

El **tercer paso** consiste en **dividir** las componentes de la imagen en **bloques (ventanas) 8×8** (si los valores de los píxeles varían de 0 a 255 se les resta 128 para conseguir valores enteros positivos y negativos) a los que se les aplica **la transformada discreta del coseno**.

El elemento $(0,0)$ de la TDC nos da el valor medio de los 64 píxeles del bloque y lo representamos por DC, el resto de elementos por AC_{ij} siendo (i,j) la posición del píxel en el bloque.

Tema 6. Compresión de Imágenes

En el **cuarto paso** se cuantifican los coeficientes de la TDC de cada bloque.

- Para ello, dichos coeficientes se dividen por su correspondiente **coeficiente de cuantificación** y se redondean al valor entero más próximo. Este paso reduce muchos elementos a cero favoreciendo la compresión. El valor de **Q** determina los coeficientes de cuantificación. Así, se dispone de varias tablas de coeficientes de cuantificación. Una tabla de coeficientes de cuantificación para la **luminancia** es:

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

Tema 6. Compresión de Imágenes

En el **cuarto paso** se cuantifican los coeficientes de la TDC de cada bloque.

➤ **Coeficientes de cuantificación** para las
componentes cromáticas:

17	18	24	47	99	99	99	99
18	21	26	66	99	99	99	99
24	26	56	99	99	99	99	99
47	66	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99

Tema 6. Compresión de Imágenes

En el **quinto paso** se realiza una **codificación sin pérdidas**.

- Los valores **DC** se codifican por diferencia con el valor del bloque previo (adyacente). Esto se hace porque dichos valores están muy correlacionados.
- Los demás valores (**AC_{ij}**) se colocan en fila siguiendo un orden en zigzag

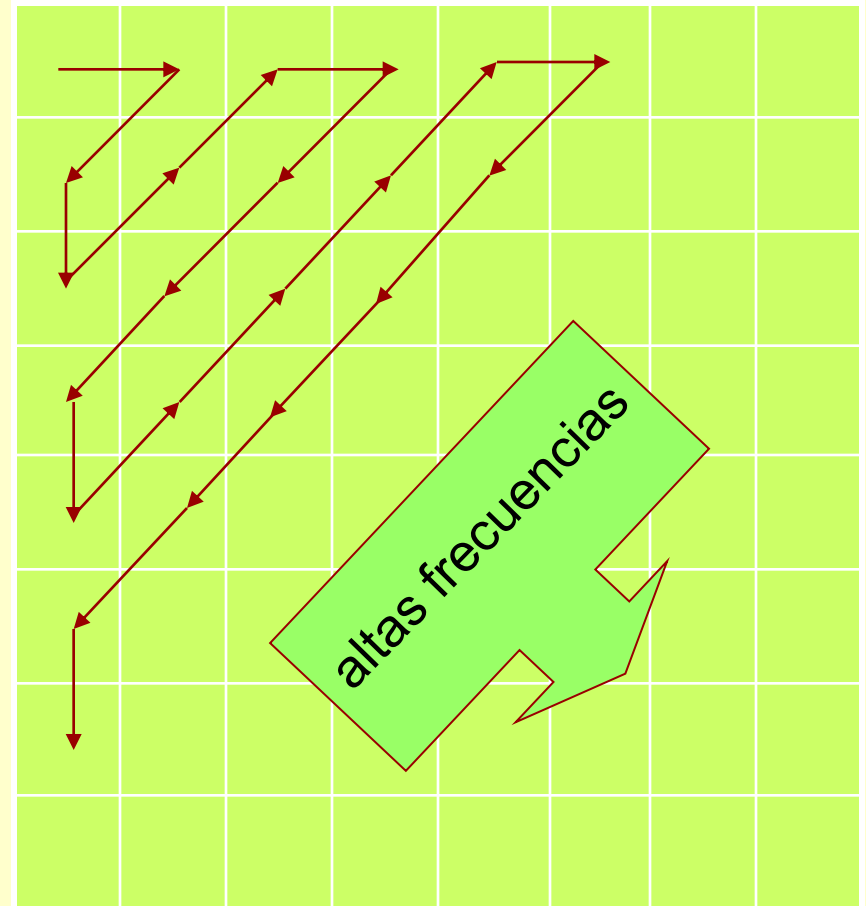
(**AC_{00} , AC_{01} , AC_{10} , AC_{20} , AC_{11} , AC_{02} , AC_{03} , AC_{12} , AC_{21} , AC_{30} , AC_{40} ,
....., AC_{77}**)

para conseguir que los términos de bajas frecuencias estén juntos.

Tema 6. Compresión de Imágenes

Los términos de **bajas frecuencias** es más probable que sean diferentes de cero. Muchos de los coeficientes de **alta frecuencia serán nulos** y se codificarán fácilmente mediante el código de **longitud de la racha**.

Los coeficientes no nulos y las longitudes de las rachas se codifican usando una **codificación de Huffman** o una **codificación aritmética**.



Tema 6. Compresión de Imágenes

Cada término en la codificación por la longitud de la racha consta de tres valores: una **Longitud de Racha** que nos da el número de ceros que preceden al término, un **Tamaño** que nos da el número de bits utilizados para representar el valor del término (Tabla I) y un **VALOR DEL DATO** que es el valor actual del término.

TAMAÑO

Rango de Valores

1

-1, 1

2

-3, -2, 2, 3

3

-7, -6,...,-4, 4,..., 6, 7

4

-15, -14,..., -7, -8, 8, 7,..., 14, 15

Tema 6. Compresión de Imágenes

- **Por ejemplo**, en una representación con 8 bits, el valor **6** tiene como representación binaria de complemento a 1:

00000**110**

y su codificación del **valor del dato** serían los tres últimos dígitos (**tamaño**)

- Para un valor negativo, como, por ejemplo **-6**, su representación binaria de complemento a 1, es

11111**001**

y se codificaría como 001

JPEG es un algoritmo simétrico pues la descompresión la hace con el mismo número de operaciones pero en sentido inverso

Tema 6. Compresión de Imágenes

Criterios de Fidelidad de una imagen

➤ Error cuadrático medio

$$e^2 = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [f(m, n) - f^*(m, n)]^2$$

➤ Tasa señal/ruido

$$SNR = \frac{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [f^*(m, n)]^2}{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [f(m, n) - f^*(m, n)]^2}$$