

Capítulo 3

UN MODELO DE IMAGEN

Para el propósito de digitalización el término IMAGEN se refiere a una función bidimensional de la intensidad de luz, identificada por $f(x, y)$, donde el valor o amplitud de f en las coordenadas espaciales (x, y) indica la intensidad o brillo de la imagen en ese punto.

Puesto que la luz es una forma de energía, $f(x, y)$ debe ser finita y no-cero, esto es:

$$0 < f(x, y) < \infty \quad (3.1)$$

Las imágenes que se perciben en la actividad visual normal se originan en la luz reflejada por objetos. Así, la naturaleza de $f(x, y)$ puede interpretarse como caracterizada por dos componentes. Un componente es la cantidad de luz incidente sobre la escena observada; el otro componente es la cantidad de luz reflejada por los objetos en la escena. Los nombres apropiados para estos componentes son ILUMINACION y REFLECTANCIA, siendo denotados por $i(x, y)$ y $r(x, y)$, respectivamente.

Las funciones de iluminación y reflectancia se combinan como producto para formar $f(x, y)$:

$$f(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y) \quad (3.2)$$

donde

$$0 < i(x, y) < \infty \quad (3.3)$$

y:

$$0 < r(x, y) < 1 \quad (3.4)$$

La ec. (3.4) indica el hecho que la reflectancia está acotada entre absorción total ($r=0$) y reflexión total ($r=1$).

La naturaleza de $i(x, y)$ esta determinada por la fuente de iluminación, mientras que $r(x, y)$ está determinada por las características de los objetos en la escena. Los límites que se indican según las ecs. (3.3) y (3.4) son de carácter teórico.

Algunos valores típicos medios son: en un día despejado el sol genera niveles por sobre 9000 [pié-candela] (foot-candles, ver apéndice al capítulo para equivalencia de unidades); el nivel baja a [pié-candela] en un día nublado; en una noche clara de luz de luna genera alrededor de 0.01[pié-candela] de iluminación sobre la superficie terrestre.

Para la reflectancia suele usarse como ejemplo valores típicos de 0.01 para terciopelo negro, 0.65 para acero inoxidable, 0.80 para una pared pintada blanca, 0.90 para plateados y 0.93 para nieve.

En lo que sigue, la intensidad de una imagen monocromática f en las coordenadas (x, y) , se denominará NIVEL DE GRIS (I) de la imagen en dicho punto.

Es evidente, de las ecs. (3.3) y (3.4) que

$$L_{\min} < I < L_{\max} \quad (3.5)$$

Teóricamente, los únicos requisitos a cumplir son que L_{\min} sea positivo y que L_{\max} sea finito. En la práctica se tendrá:

$$L_{\min} = i_{\min} \cdot r_{\min} \quad (3.6)$$

y

$$L_{\max} = i_{\max} \cdot r_{\max} \quad (3.7)$$

Usando los valores típicos señalados, se puede estimar $L_{\min} \approx 0.005$ y $L_{\max} \approx 100$ para imágenes normales.

El intervalo $[L_{\min}, L_{\max}]$, se denomina escala de grises. Es práctica común – y cómoda – desplazar numéricamente este intervalo al de $[0, L]$ donde $I=0$ se considera negro y $I=L$ se considera blanco.

3.1 Muestreo y cuantización uniformes.

Para disponer de una forma adecuada a propósitos de procesamiento computacional, una función de imagen $f(x, y)$ debe ser digitalizada tanto espacialmente como en su magnitud.

La digitalización (dcretización) de las coordenadas espaciales (x, y) se denomina “muestreo de la imagen”. La digitalización (discretización) de la amplitud se denomina “cuantización del nivel de gris”.

Suponiendo que una imagen continua $f(x, y)$ es aproximada mediante muestras igualmente espaciadas dispuestas en la forma de un arreglo de $N \times N$, se tendrá la ec. (3.8) en la que cada elemento del arreglo es una cantidad discreta.

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1, N-1) \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Nota: El muestreo de una imagen no requiere restringirse a arreglos cuadrados; sin embargo, todo el trabajo computacional resulta más simple o expedito adoptando tal convención, más aún si N corresponde a una potencia entera de 2.

El lado derecho de la expresión en la ec. (3.8) representa lo que comúnmente se denomina IMAGEN DIGITAL, donde cada elemento del arreglo se conoce como ELEMENTO DE IMAGEN, ELEMENTO DE CUADRO, PIXEL o PEL.

El proceso de digitalización requiere decidir inicialmente el valor de N , así como el número de niveles discretos de gris permitidos para cada elemento. La práctica común – y recomendación a la vez, para simplicidad – es que ambas cantidades se adopten como potencias enteras de 2. Así,

$$N = 2^n \quad (3.9)$$

y

$$G = 2^m \quad (3.10)$$

donde G indica el número de niveles de gris.

Llamando “ b ” al número de bits requeridos para almacenar una imagen digitalizada, éste resulta:

$$b = N \cdot N \cdot m \quad (3.11)$$

También por comodidad en consideraciones de programación es práctica común reservar o asignar bytes completos para la representación de un píxel; así, m se adopta normalmente igual a 8.

Siendo la imagen digital una forma de representación aproximada de la imagen real u original, corresponde plantear la pregunta de qué valores de N y m resultan en una buena aproximación. La resolución de una imagen (el grado de detalle discernible en ella) depende tanto de N como de m , mientras mayores sean, mayor será el grado de similitud o aproximación que el arreglo digital presentará respecto a la imagen original, pero como se deduce de la ec. (3.11), también serán mayores los requerimientos para propósitos de almacenamiento y procesamiento.

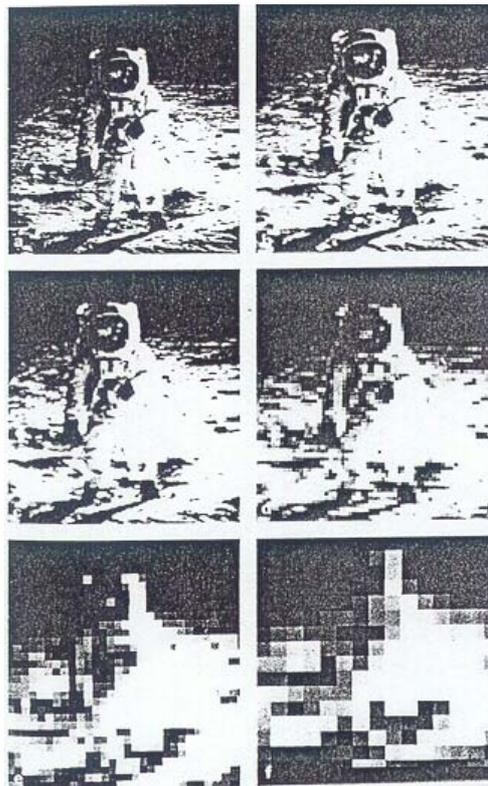


Fig1: Efecto de la reducción de la grilla de muestreo

La figura 1 grafica el efecto de variar N , utilizando como imagen original (a) una foto del primer hombre en la Luna, Aldrin.

Para todas las imágenes de la figura el número de niveles de gris es el mismo, igual a 256, esto es, utilizando $m = 8$.

La imagen (a) está digitalizada en 512×512 elementos ($N=512$).

La imagen (b) está digitalizada en 256×256 elementos ($N=256$).

Para las otras imágenes, la digitalización se ha realizado reduciendo a la mitad cada vez el número de elementos en cada una de las dos dimensiones.

Los valores de N , listando todas:

Imagen	Nº elementos
a	512
b	256
c	128
d	64
e	32
f	16

Se observa claramente como el efecto “mosaico” se va acentuando con la reducción de N

Cuál nivel de reducción es tolerable no tiene una respuesta determinada, dependerá de la imagen, aplicación u objetivo y responderá finalmente a un juicio subjetivo.



Fig2: Efecto de la reducción del número de niveles en la escala de grises.

La fig. 2 grafica el efecto de reducir el número de niveles en los que se discretiza la amplitud.

Todas las imágenes están digitalizadas en un arreglo de 512 x 512 elementos.

En la imagen (a) se ha utilizado $m = 8$, esto es, la representación mediante 256 niveles de gris.

En las imágenes siguientes, se ha reducido en 1 cada vez el número de bits y, consecuentemente a la mitad el número de niveles de gris.

En resumen,

Imagen	Nº de bits	Nº niveles
a	8	256
b	7	128
c	6	64
d	5	32
e	4	16
f	3	8
g	2	4
h	1	2

Nuevamente, el valor mínimo de m aceptable dependerá de la imagen, de la aplicación que se intenta y del juicio subjetivo del evaluador.

Algunas evaluaciones experimentales estadísticas han sido realizadas para lograr algunas estimaciones acerca de posibles recomendaciones, además de la doble dependencia (de N y de m , que las figuras anteriores han graficado independientemente) en los criterios de evaluación.

La figura 3 representa algunos resultados obtenidos por Huang (1965) empleando imágenes con poco detalle (a, un rostro femenino), con mediano detalle (b, un camarógrafo) y con mucho detalle (c, una multitud).

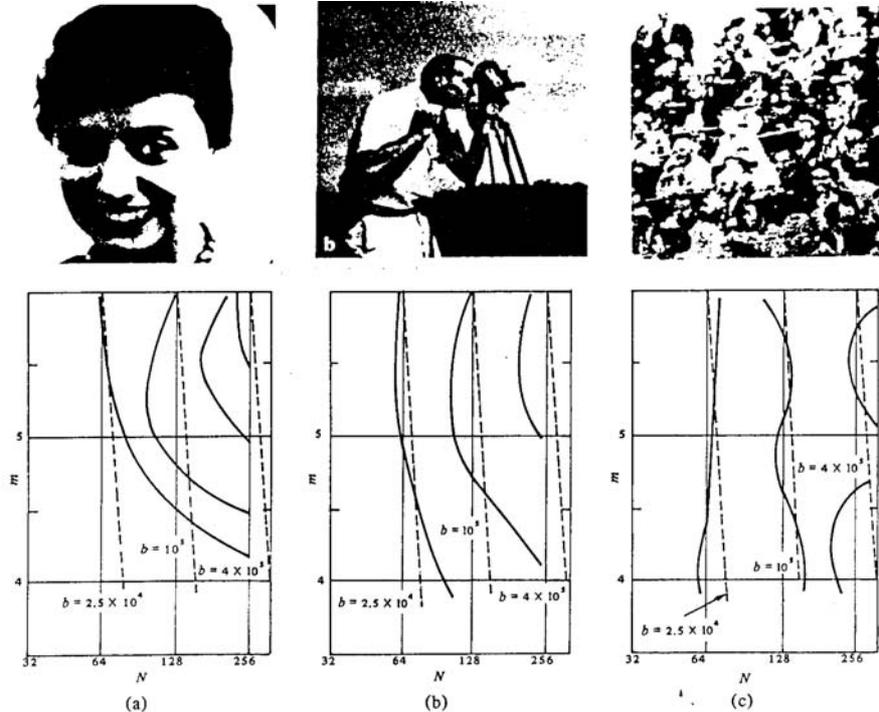


Fig3: Evaluación estadística – curvas de isopreferencia.

Las curvas sólidas de la figura 3 se denominan de isopreferencia, esto es, puntos del plano N - m que reciben, estadísticamente, igual grado de evaluación subjetiva. Las curvas están dispuestas, de izquierda a derecha, en orden de aumento en la calidad subjetiva.

Como podría suponerse, la calidad (subjetiva) tiende a aumentar junto con N y m . Se pueden apreciar algunos casos en los que –para un N fijo– la calidad mejora disminuyendo m , lo que se debe probablemente al aumento aparente del contraste en la imagen.

También se aprecia que las curvas se aproximan mejor a la vertical para imágenes con mayor detalle. Esto sugiere que en estos casos (imágenes con gran detalle) basta con unos pocos niveles de gris.

Para imágenes de menor grado de detalle las curvas de isopreferencia se alejan significativamente de la vertical y de las líneas segmentadas o de b -constante.

Estos resultados experimentales permiten o sugieren algunos intentos para limitar o reducir la cantidad de información – b – con el propósito de reducir los volúmenes de almacenamiento, las complejidades de procesamiento o las velocidades (o tiempos) de transmisión cuando lo requiera la aplicación. Algunas consideraciones al respecto se anotan a continuación.

3.2 Muestreo no uniforme.

Para un cierto valor dado (fijo) de N es posible, en muchos casos, mejorar el aspecto de la imagen digital utilizando un esquema adaptivo en el que el proceso de muestreo depende de las características de la imagen. En general, se requiere un muestreo fino en las vecindades de transiciones abruptas del nivel de gris, mientras que es posible emplear un muestreo más grueso en zonas relativamente suaves o parejas.

Considérese, por ejemplo, una imagen simple consistente en una cara sobre un fondo uniforme; claramente, el fondo tiene poca información de detalle y podría ser adecuada o satisfactoriamente representado con un muestreo grueso. La cara, en cambio, contiene considerablemente mayor detalle. Utilizando en esta última región las muestras adicionales no utilizadas en el fondo se tendrá un mejor resultado global, especialmente si N es pequeño. Al distribuir las muestras, mayor concentración de ellas debería usarse en el entorno de transiciones del nivel de gris, como al pasar del fondo a la cara (y viceversa) en el ejemplo indicado.

Es importante notar que la necesidad de identificar zonas límites o contornos, aún en forma gruesa, constituye una dificultad (desventaja) de la proposición de muestreo (no – uniforme). Además, el método no es aplicable o útil con imágenes con zonas uniformes relativamente pequeñas, por ejemplo, la foto de una multitud.

3.3 Cuantización no uniforme.

Cuando el número de niveles de gris debe mantenerse pequeño, puede resultar conveniente utilizar un espaciamiento o distancia no uniforme en el proceso de cuantización.

Dado que el ojo es pobre al estimar sombras o graduaciones de gris entorno de cambios abruptos, el método sugerido es utilizar pocos niveles en las proximidades de los contornos. Los restantes niveles pueden ser así utilizados en regiones donde la variación de los niveles de gris es suave, evitando así la aparición de falsos contornos que ocurre cuando se cuantiza gruesamente.

Las dificultades son similares a las anotadas para el muestreo no uniforme, originadas en la necesidad de identificar previamente zonas suaves y zonas de transiciones.

Una técnica alternativa consiste en determinar la frecuencia de ocurrencia de todos los niveles permitidos; se otorga espaciamento pequeño (cuantización fina) al rango de alta ocurrencia y espaciamento grueso al resto. Este método se suele denominar cuantización escalonada.

APÉNDICE AL CAPÍTULO 3

- ❑ Pié-candela, footcandle, fc

Se recomienda usar lumen per square foot, lm/ft^2 .
En unidades S.I. se utiliza lumen per square meter

$$lm/m^2 = lux$$
$$1[fc] = 10.7639[lux]$$

- ❑ Phot

$$1[phot] = 10000[lux]$$

- ❑ Lambert, L unidad del sistema cgs.