REFERENCIAS

[1] Raul Alvarado, José A. de la O., "Aplicación de un sistema de procesamiento digital en imágenes radiográficas" *SIEEEM'96, memoria técnica tomo II*, Oct. 96, pp. 20-26.

[2] Data Tanslations Engineering Staff, *Applications Handbook: Image Processing, Array Processing, Data Acquisition*, Marlboro Mass., 1986.

[3] Wong S., Zaremba L., Gooden D., and Huang H. K., " Radiologic Image Compression - a Review," *IEEE Proceedings*, vol. 83, No. 2, Feb 1996, pp. 194-219.

[4] Rosenfeld, A., and kak, A. C., *Digital Picture Processing*, Academic Press, New York, 1976.

[5] Stewart C. Bushong, Sc. D., *Radiologic Science for Technologist.*, Houston Texas: The C.V. Mosby Company, 1975.

[6] Rao K. R., *Workshop on Digital Image Coding*, course organized by ITESM, Monterrey, N. L., México, appendix B.2, 1993.

[7] Konstantinides K., and Bhaskaran V., "Monolithic Architectures for Image Processing and Compression," *IEEE Computer Graphics and applications*, vol. 12, no 16,Nov. 1992, pp. 75-86.

[8] Wong S., Knowlton R., Hawkins R., and Laxer K., "Multimodal Image Fusions for Noninvasive Epilepsy Surgery Planning," *IEEE Computer Graphics and applications*, vol. 16, no. 1, Jan. 1996, pp. 30-38.

[9] Gregory A. Baxes, *Digital Image Processing.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1984.

[10] Arun N. Netravali, Barry G. Haskel, *Digital Pictures: Representation, Compression, and standars*. New York, N.Y.: Second edition, Plenum Press, 1995.

[11] J. Watson, *Optoelectrónica*, México, D. F.: primera edición, ed. Limusa, 1993.

[12] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, *Digital Image Proccesing.* Reading, Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.

REFERENCIAS (Continuación)

[13] Rafael C. Gonzalez, Paul Wintz, *Digital Image Proccesing*. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, 1977.

[14] Papoulis, A., *Probability, Random Variables, and Stochastic Process*. third edition, Mc Graw-Hill international editions, 1991.

[15] Lim, Jae S., *Two-Dimensional Signal and Image Processing*. ed: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.

[16] Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico, "Recomendación T.81." ed: *Unión Internacional de Telecomunicaciones*, 1993, Anexo C, pp. 54-57.

[17] Gilbert Stang, Truong Nguye, *Wavelets and Filter Banks*, Wellesley MA: Wellesley-Cambrigde Press, 1996.

APENDICE A

ALGORITMOS EMPLEADOS EN LAS TECNICAS DE ENFATIZAMIENTO DE IMAGEN

APENDICE A
ALGORITMOS EMPLEADOS EN LAS TECNICAS DE ENFATIZAMIENTO DE IMAGEN

A.1 LECTURA Y DESPLEGADO DE UNA IMAGEN DIGITAL

Se lee el archivo binario de la imagen original y se forma la matriz ***F***. Es decir, ***F*** contendrá los valores de gris de cada pixel de la imagen digital $f_d(x,y)$ de acuerdo a (2-3) y (2-4).

En MATLAB, un archivo binario con palabras de ocho bits se lee de la siguiente manera:

fid = fopen (nombre del archivo, 'rb')
[***F***, count] = fread (fid, N x N, 'uchar')

Y la forma de desplegar la imagen en el monitor de la PC es:

colormap (gray (L)) *donde L es el número de niveles de gris*
image (***F***)

A.2 IMAGEN NEGATIVA

Se lee el archivo binario de la imagen original y se forma la matriz ***F*** (ver apéndice A.1).

Se efectúa el mapeo de la matriz ***F*** a la matriz ***G*** empleando la función de transferencia de la Fig. 3.2 (a). Es decir:

$$\mathbf{G} = (L\text{-}1)\,\mathbf{I} - \mathbf{F} \qquad donde \begin{cases} I \text{ es la matriz identidad} \\ L \text{ es el numero de niveles de gris} \end{cases} \tag{A-1}$$

Se despliega la matriz ***G*** (ver apéndice A.1) para observar la imagen enfatizada al hacerse negativa.

A.3 EXTENSION DE CONTRASTE

Se lee el archivo binario de la imagen original y se forma la matriz ***F*** (ver apéndice A.1).

Se obtiene un histograma (ver apéndice B.2) de ***F*** para observar el rango dinámico de los niveles de gris y definir los valores de r_1, r_2, s_1, s_2 empleando la función de transferencia de la Fig. 3.3 (a) de manera que se expanda el rango dinámico en el eje de coordenadas s.

Se efectúa el mapeo de la matriz ***F*** a la matriz ***G*** empleando (3-1) y (3-2). Esto es:

$$g(x,y) = \left(\frac{s_1}{r_1}\right) f(x,y) \qquad si\ f(x,y) \leq r_1 \qquad \text{(A-2)}$$

$$g(x,y) = \left(\frac{s_2 - s_1}{r_2 - r_1}\right) f(x,y) + r_1 tan\left[\frac{s_2}{r_2 - r_1}\right] \qquad si\ r_1 \leq f(x,y) \leq r_2 \qquad \text{(A-3)}$$

$$g(x,y) = \left(\frac{(L-1) - s_2}{(L-1) - r_2}\right) f(x,y) + \left[s_2 - r_2 tan\left(\frac{(L-1) - r_2}{(L-1) - s_2}\right)\right] \qquad si\ r_2 \leq f(x,y) \leq (L-1) \qquad \text{(A-4)}$$

$$donde \begin{cases} x = y = 0,1,\ldots,N-1 \\ L = 2^n \\ n\ es\ el\ numero\ de\ bits \\ L\ es\ el\ numero\ de\ niveles\ de\ gris \end{cases}$$

Se despliega la matriz **G** (ver apéndice A.1) para observar la imagen enfatizada por extensión de contraste.

A.4 SELECCION DE UN RANGO DE NIVELES DE GRIS

Se lee el archivo binario de la imagen original y se forma la matriz $\boldsymbol{F}$ (ver apéndice A.1).

Se despliega la imagen original (ver apéndice A.1) para definir las coordenadas que cubren el área que se desea resaltar. Es decir, definir x_1, x_2, y_1, y_2, de la manera indicada en la Fig. A.1.

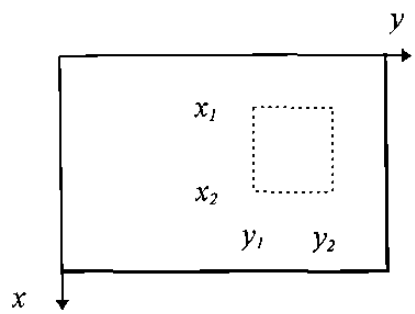

Fig. A.1. Selección del área que se desea resaltar.

Se efectúa el mapeo de la matriz $\boldsymbol{F}$ a la matriz $\boldsymbol{G}$ empleando la función de transferencia de las Figs. 3.4 (a) y (b), en las cuales se considerará a s_1 y s como el valor de fondo, respectivamente, y a s_2 como el valor "más brillante". Es decir:

a) Para la función de transferencia de la Fig. 3.4 (a)

$$g(x,y)=\begin{cases} s_1 & si\ A \le f(x,y) \le B \\ s_2 & \text{de otro modo}, \quad en\ el\ area\ \ x_1 \le x \le x_2\,;\, y_1 \le y \le y_2 \\ s_1 & \qquad\qquad\qquad fuera\ de\ x_1 \le x \le x_2\,;\, y_1 \le y \le y_2 \end{cases} \tag{A-5}$$

$$para \quad 0 \le x \le N-1\,;\, 0 \le y \le N-1$$

b) Para la función de transferencia de la Fig. 3.4 (b)

$$g(x,y)=\begin{cases} s_2 & si\ A \le f(x,y) \le B \\ f(x,y) & \text{de otro modo}, \\ f(x,y) & \end{cases} \qquad \begin{matrix} en\ el\ area\ \ x_1 \le x \le x_2\,;\, y_1 \le y \le y_2 \\ fuera\ de\ x_1 \le x \le x_2\,;\, y_1 \le y \le y_2 \end{matrix} \quad \text{(A-6)}$$

$$para \quad 0 \le x \le N-1\,;\, 0 \le y \le N-1$$

Se despliega la matriz ***G*** (ver apéndice A.1) para observar la imagen enfatizada por selección de un rango de niveles de gris.

A.5 UNIFORMIZACION DE HISTOGRAMA

Se lee el archivo binario de la imagen original y se forma la matriz ***F*** (ver apéndice A.1).

Se obtiene la probabilidad de cada nivel de gris (ver apéndice B.2) en la imagen representada por la matriz ***F***.

Se efectúa el mapeo de la matriz ***F*** a la matriz ***G*** empleando la función de transferencia de la Fig. 3.5 con *r* y *s* de *0* a *L-1*. Es decir:

$$g(x,y)=(L-1)\sum_{m=0}^{f(x,y)} p(r_m) \qquad donde \begin{cases} 0 \le r_m \le L-1 \\ 0 \le x \le N-1 \\ 0 \le y \le N-1 \\ L\ es\ el\ numero\ de\ niveles\ de\ gris \end{cases} \quad \text{(A-7)}$$

Se despliega la matriz ***G*** (ver apéndice A.1) para observar la imagen enfatizada por uniformización de histograma.

A.6 SUBSTRACCION DE IMAGENES

Se lee el archivo binario de la imagen de referencia (antes de aplicar el medio de contraste al paciente) y se forma la matriz $\boldsymbol{F_1}$ (ver apéndice A.1).

Se lee el archivo binario de la imagen posterior (con el medio de contraste) y se forma la matriz $\boldsymbol{F_2}$.

Se obtiene la matriz $\boldsymbol{G}$ efectuando la resta de las matrices $\boldsymbol{F_1}$ y $\boldsymbol{F_2}$. Es decir:

$$\boldsymbol{G} = \boldsymbol{F_1} - \boldsymbol{F_2} \tag{A-8}$$

Se obtiene un histograma de la matriz $\boldsymbol{G}$ para observar el rango dinámico de los niveles de gris y determinar el desplazamiento adecuado para mejorar el brillo de la imagen. Es decir:

$$\boldsymbol{G_1} = \boldsymbol{G} + \boldsymbol{I} \times cte \qquad \text{donde } \boldsymbol{I} \text{ es la matriz identidad} \tag{A-9}$$

Se despliega la matriz $\boldsymbol{G_1}$ (ver apéndice A.1) para ver la imagen enfatizada por substracción de imágenes.

A.7 FILTROS (PASA BAJAS Y PASA ALTAS)

Se lee el archivo binario de la imagen original y se forma la matriz $\boldsymbol{F}$ (ver apéndice A.1).

Se obtiene la matriz $\boldsymbol{H}$ con los valores de la máscara seleccionada de acuerdo al tipo de filtro deseado y de la manera indicada en las Figs. 3.10 y 3.12.

Se obtiene la matriz $\boldsymbol{G}$ a la salida del filtro por medio de la convolución entre las matrices $\boldsymbol{F}$ y $\boldsymbol{H}$. Es decir:

$$g(x,y) = f_e(x,y) * h_e(x,y) = \sum_{m=0}^{M-1}\sum_{n=0}^{N-1} f_e(m,n)h_e(x-m,y-n) \tag{A-10}$$
$$para\ x = 0,1,2,\ldots,M-1\ y\ para\ y = 0,1,2,\ldots,N-1$$

En (A-10) se ha considerado que las matrices $\boldsymbol{F}$ y $\boldsymbol{H}$ son arreglos de A x B y C x D, respectivamente y se ha asumido que son periódicos con período M y N en las direcciones x y y, respectivamente. Las secuencias periódicas se forman extendiendo $f(x,y)$ y $h(x,y)$ de la manera siguiente:

$$fe(x,y) = \begin{cases} f(x,y) & para \quad 0 \le x \le A-1 \quad y \quad 0 \le y \le B-1 \\ 0 & para \quad A \le x \le M-1 \quad o \quad B \le y \le N-1 \end{cases} \tag{A-11}$$

y

$$fe(x,y) = \begin{cases} h(x,y) & para \quad 0 \le x \le C-1 \quad y \quad 0 \le y \le D-1 \\ 0 & para \quad C \le x \le M-1 \quad o \quad D \le y \le N-1 \end{cases} \tag{A-12}$$

$donde \quad M \ge A + C - 1 \quad y \quad N \ge B + D - 1$

Se despliega la matriz $\boldsymbol{G}$ (ver apéndice A.1) para observar la imagen enfatizada por filtrado pasa bajas o pasa altas.

En MATLAB, la operación de filtrado se hace directamente con:

filter2 ($\boldsymbol{F}$, $\boldsymbol{H}$)

APENDICE B

ALGORITMOS EMPLEADOS EN LAS ESTADISTICAS DE LUMINANCIA

APENDICE B

ALGORITMOS EMPLEADOS EN LAS ESTADISTICAS DE LUMINANCIA

B.1 ENTROPIA

Se lee el archivo binario de la imagen original y se forma la matriz ***F*** (ver apéndice A.1).

Se obtiene la probabilidad de cada nivel de gris (ver apéndice B.2) en la imagen representada por la matriz ***F***.

Se calcula la entropía de acuerdo a (4-1). Esto es:

$$H = -\sum_{k=o}^{L-1} p(r_k) \log_2 p(r_k) \tag{B-1}$$

B.2 FUNCION DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD

Se lee el archivo binario de la imagen original y se forma la matriz ***F*** (ver apéndice A.1).

Se obtiene la probabilidad de cada nivel de gris en la imagen representada por la matriz ***F***. Es decir:

$$p(r_k) = \frac{n_k}{n} \tag{B-2}$$

$$donde \begin{cases} r_k \text{ es el } k-esimo \text{ nivel de gris} \\ n_k \text{ es el numero de pixeles con el } k-esimo \text{ nivel de gris} \\ k = 0,1,2,\ldots,L-1 \\ n = \text{numero total de pixeles} \\ L = \text{es el numero de niveles de gris} \end{cases}$$

Se grafican las probabilidades contra el nivel de gris.

En MATLAB, se obtiene un vector z con el número de pixeles en el k-ésimo nivel de gris y su gráfica correspondiente con:

[m, z] = hist ($\boldsymbol{F}$, L)
bar (m, z)

Por lo tanto, el vector con las probabilidades $p(r_k)$ se calcula dividiendo z entre el número total de pixeles. Es decir:

$$\mathbf{p} = \frac{\mathbf{z}}{n} \tag{B-3}$$

B.3 MATRIZ DE COVARIANZA

Se lee el archivo binario de la imagen original y se forma la matriz $\boldsymbol{F}$ (ver apéndice A.1).

Se despliega la imagen original (ver apéndice A.1) para definir las coordenadas que cubren el área donde se desea obtener la covarianza. Es decir, definir x_1, x_2, y_1, y_2, de la manera indicada en la Fig. B.1.

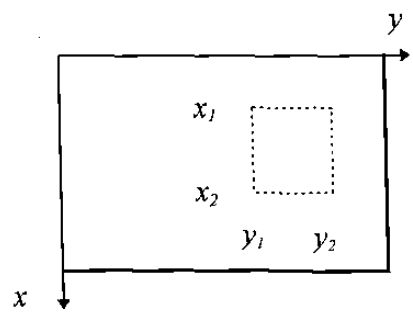

Fig. B.1. Selección del área donde se desea obtener la covarianza.

Se calcula la matriz de los coeficientes de correlación $\boldsymbol{R}$, considerando que la imagen es un proceso ergódico [15]. Es decir:

$$R_g(x,y) = E\left\{f(k_1,k_2)\, f^*(k_1-x,k_2-y)\right\}$$
$$= \lim_{N\to\infty} \frac{1}{(2N+1)^2} \sum_{k1=-N}^{N} \sum_{k2=-N}^{N} f(k_1,k_2)\, f^*(k_1-x,k_2-y) \qquad \text{(B-4)}$$

donde f^* *es el complejo conjugado de* f

para $x_1 \le x \le x_2$ y $y_1 \le y \le y_2$

Se obtiene la matriz de covarianza normalizada de acuerdo a (4.3). Es decir:

$$\rho_N(x,y) = \frac{R_f(x,y) - (\bar{b})^2}{E\{b^2\} - (\bar{b})^2} \qquad \text{(B-5)}$$

donde $\bar{b} = E\left\{f(x,y)\right\} = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{(2N+1)^2} \sum_{x=-N}^{N} \sum_{y=-N}^{N} f(x,y)$ (B-6)

para $x_1 \le x \le x_2$ y $y_1 \le y \le y_2$.

En MATLAB, la matriz de covarianza normalizada se obtiene con:

ρ = conv ($\boldsymbol{F}$)

$\rho_N = \rho$ / max (max (ρ))

donde la matriz ρ resultante toma cada fila como referencia y cada columna como variable.

B.4 FUNCION DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DE SEÑALES DIFERENCIALES CON PREDICTOR DE MEDIA CUADRATICA MINIMA

Se lee el archivo binario de la imagen original y se forma la matriz $\boldsymbol{F}$ (ver apéndice A.1).

Un predictor lineal estima el valor del pixel b_N de la manera siguiente:

$$\hat{b}_N = \sum_{i=1}^{N-1} \alpha_i b_i \tag{B-7}$$

donde α_i son los coeficientes de ponderación y b_i son los pixeles previos.

Un predictor con el criterio de media cuadrática mínima [10] se obtiene diferenciando $E\left\{b_N - \hat{b}_N\right\}^2$ con respecto a α_j e igualando a cero. Esto da:

$$-2E\left\{b_N b_J - \sum_{i=1}^{N-1} \alpha_i b_i b_j\right\} = 0 \qquad para\ j = 1,2,\ldots,N-1 \tag{B-8}$$

permitiendo que $d_j = E\ \{b_N\ b_j\}$ y $R_{ij} = E\ \{b_i\ b_j\}$, y usando vectores columna $\boldsymbol{d}$, α y la matriz cuadrada $\boldsymbol{R}$, la ecuación anterior se convierte en:

$$\boldsymbol{d} - \boldsymbol{R}\alpha = 0 \tag{B-9}$$

donde $\boldsymbol{R}$ es la matriz de correlación de los pixeles $b_1,\ldots,b_{N-1}$, y R_{ij} es la correlación entre los pixeles $b_i b_j$. Si la matriz de correlación es no singular, entonces

$$\alpha = \boldsymbol{F}^{-1}\,\boldsymbol{d} \tag{B-10}$$

es la única solución de (B-10).

Los valores de la matriz $\boldsymbol{R}$ y de los vectores $\boldsymbol{d}$ y α quedan de la forma indicada en (B-11) y (B-12). Esto es,

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} E\{f_1 f_1\} & \dots & E\{f_1 f_{N-1}\} \\ E\{f_2 f_1\} & \dots & E\{f_2 f_{N-1}\} \\ . & & . \\ . & & . \\ E\{f_{N-1} f_1\} & \dots & E\{f_{N-1} f_{N-1}\} \end{bmatrix} \tag{B-11}$$

$$\mathbf{d} = \begin{bmatrix} E\{f_N f_1\} \\ E\{f_N f_2\} \\ . \\ . \\ E\{f_N f_{N-1}\} \end{bmatrix} \qquad a = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ . \\ . \\ \alpha_{N-1} \end{bmatrix} \tag{B-12}$$

Aunque los mecanismos de evaluación de (B-10) son bastante simples, el cálculo de las autocorrelaciones para formar $\boldsymbol{R}$ y $\boldsymbol{d}$ es bastante difícil en la práctica para pronósticos locales (en los cuales los coeficientes de ponderación son calculados para cada imagen) y por lo tanto casi no se usan. En la mayoría de los casos, se calcula un conjunto de coeficientes globales asumiendo un modelo de imagen y sustituyendo las autocorrelaciones correspondientes en (B-11) y (B-12). Por ejemplo, cuando una fuente de Markov [12] con función autocorrelación separable

$$E\{f(x,y)f(x-i,y-j)\} = \sigma^2 \rho_v^{\,i} \rho_h^{\,j} \tag{B-13}$$

y un predictor lineal de cuarto orden generalizado

$$\hat{f}(x,y) = \alpha_1 f(x,y-1) + \alpha_2 f(x-1,y-1) + \alpha_3 f(x-1,y) + \alpha_4 f(x-1,y+1) \tag{B-14}$$

Los coeficientes de ponderación óptimos que se han encontrado son:

$$\alpha_1 = \rho_H \; ; \; \alpha_2 = \rho_H \rho_V \; ; \; \alpha_3 = \rho_V \; ; \; \alpha_4 = 0 \qquad \text{(B-15)}$$

donde ρ_H y ρ_V son los coeficientes de correlación horizontal y vertical, respectivamente, de la imagen en consideración.

En MATLAB, la matriz de coeficientes de correlación se obtiene con:

$$\boldsymbol{R} = \text{corrcoef}(\boldsymbol{F})$$

donde, en la matriz $\boldsymbol{R}$, se toma cada fila como referencia y cada columna como variable. Es decir, se pueden calcular los coeficientes de correlación horizontal a partir de la imagen original transpuesta y los de correlación vertical de la imagen original misma. Esto es:

$$\boldsymbol{R}_H = \text{corrcoef}(\boldsymbol{F}')$$
$$\boldsymbol{R}_V = \text{corrcoef}(\boldsymbol{F})$$

Se divide la imagen de la matriz F en subimagenes de 2 x 2 de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, empezando por la esquina superior izquierda. El desplazamiento entre subimágenes es de una posición y por lo tanto se superponen tanto horizontalmente como verticalmente. Se realiza una división análoga en las matrices $\boldsymbol{R}_H$ y $\boldsymbol{R}_V$ para formar submatrices de 2 x 2 de los coeficientes de correlación. Con las subimágenes, las submatrices de correlación correspondientes a cada subimagen y con (B-14) y (B-15) se obtiene una matriz $\boldsymbol{F}_{est}$ con los valores de pixel pronosticados excepto para la primer fila y la primer columna, las cuales pueden tomar los valores de la primer fila y primer columna de la matriz original, respectivamente.

La señal diferencial se obtiene de la resta de la original y la estimada. Es decir:

(B-16)

$$Y_d = F - F_{est}$$

Se desplaza la matriz diferencial en su valor medio para centrar su función distribución de probabilidad (fdp). Es decir hacer su fdp con media cero.

$$Y_c = Y_d - \text{media}\,(Y_d) \times I \qquad \textit{donde } I \textit{ es la matriz identidad} \qquad \text{(B-17)}$$

Finalmente, se calcula y se grafica la fdp de la matriz Y_c de la manera descrita en el apéndice B.2.

B.5 FUNCION DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DE SEÑALES DIFERENCIALES CON PREDICTOR DE LA MISMA PONDERACION

Se lee el archivo binario de la imagen original y se forma la matriz F (ver apéndice A.1).

Un predictor de la misma ponderación que pronostica el valor de un pixel horizontal dados los dos anteriores se obtiene de la siguiente manera:

$$F_{est}(x,y) = 0.5\, f(x,y-1) + 0.5\, f(x,y-2) \qquad \textit{para } 2 \leq y \leq N-1 \qquad \text{(B-18)}$$

Repitiendo la operación anterior para cada fila se obtiene la matriz con los valores estimados, excepto para las primeras dos columnas, las cuales pueden tomar el valor de la matriz de la imagen original.

La señal diferencial se obtiene de la resta de la original y la estimada como en (B-16).

Se desplaza la matriz diferencial en su valor medio para centrar su función distribución de probabilidad (fdp) como en (B-17).

Finalmente, se calcula y se grafica la fdp de la matriz $\boldsymbol{Y}_c$ de la manera descrita en el apéndice B.2.

B.6 FUNCION DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DE LOS COEFICIENTES DE LA TRANSFORMADA COSENO DISCRETA

Se lee el archivo binario de la imagen original y se forma la matriz $\boldsymbol{F}$ (ver apéndice A.1).

Se divide la imagen en bloques de 8 x 8 (sin superposición) de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo empezando por la esquina superior izquierda como en (C-1).

Se centran los niveles de gris de cada subimagen como en (C-2).

Se obtiene la transformada coseno discreta de cada subimagen con (C-3) para $u,v = 0$ y 1. El primer coeficiente es $C(0,0)$; el segundo es $C(0,1)$; y el tercero es $C(1,0)$.

Se calcula y se grafica la función distribución de probabilidad de cada uno de los primeros tres coeficientes de manera similar a la indicada en el apéndice B.2.

APENDICE C

ALGORITMOS EMPLEADOS EN COMPRESION Y EXPANSION BASADOS EN JPEG

APENDICE C

ALGORITMOS EMPLEADOS EN COMPRESION Y EXPANSION BASADOS EN JPEG

C.1 COMPRESION CON JPEG

Se divide la imagen en bloques de 8 x 8 (sin superposición) de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo empezando por la esquina superior izquierda. Es decir:

$$\mathbf{F_s} = \mathbf{F}\Big|_{(8x8)} \tag{C-1}$$

Se centran los niveles de gris de cada subimagen. Esto es:

$$\mathbf{F_c} = \mathbf{F_s} - 2^{n-1}\,\mathbf{I} \qquad \textit{donde n es el número de bits por pixel} \tag{C-2}$$

Se obtiene la transformada coseno discreta de cada subimagen con (5-6)*a*. Es decir:

$$C(u,v) = \alpha(u)\alpha(v)\sum_{x=0}^{N_s-1}\sum_{y=0}^{N_s-1} f_c(x,y)\cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N_s}\right]\cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N_s}\right] \tag{C-3}$$

para $u,v = 0,1,2,\ldots,N_s-1$.

$$a(u) = \alpha(v) = \begin{cases} \sqrt{\dfrac{1}{N_s}} & \textit{para } u,v = 0 \\ \sqrt{\dfrac{2}{N_s}} & \textit{para } u,v = 1,2,\ldots,N_s-1 \end{cases}$$

Se cuantifican los coeficientes de la de la matriz de transformación $\boldsymbol{C}$ empleando la matriz Z dada en la Fig. 5.3(b). Esto es:

$$T(u,v) = redondeo\left[\frac{C(u,v)}{Z(u,v)}\right] \tag{C-4}$$

Se reordenan los coeficientes cuantificados usando el patrón zigzag de la Fig. 5.4. Esto es:

To(1)=T(1,1); To(2)=T(1,2); To(3)=T(2,1); To(4)=T(3,1); To(5)=T(2,2); To(6)=T(1,3);
To(7)=T(1,4); To(8)=T(2,3); To(9)=T(3,2); To(10)=T(4,1); To(11)=T(5,1);
To(12)=T(4,2); To(13)=T(3,3); To(14)=T(2,4); To(15)=T(1,5); To(16)=T(1,6);
To(17)=T(2,5); To(18)=T(3,4); To(19)=T(4,3); To(20)=T(5,2); To(21)=T(6,1);
To(22)=T(7,1); To(23)=T(6,2); To(24)=T(5,3); To(25)=T(4,4); To(26)=T(3,5);
To(27)=T(2,6); To(28)=T(1,7); To(29)=T(1,8); To(30)=T(2,7); To(31)=T(3,6);
To(32)=T(4,5); To(33)=T(5,4); To(34)=T(6,3); To(35)=T(7,2); To(36)=T(8,1);
To(37)=T(8,2); To(38)=T(7,3); To(39)=T(6,4); To(40)=T(5,5); To(41)=T(4,6);
To(42)=T(3,7); To(43)=T(2,8); To(44)=T(3,8); To(45)=T(4,7); To(46)=T(5,6);
To(47)=T(6,5); To(48)=T(7,4); To(49)=T(8,3); To(50)=T(8,4); To(51)=T(7,5);
To(52)=T(6,6); To(53)=T(5,7); To(54)=T(4,8); To(55)=T(5,8); To(56)=T(6,7);
To(57)=T(7,6); To(58)=T(8,5); To(59)=T(8,6); To(60)=T(7,7); To(61)=T(6,8);
To(62)=T(7,8); To(63)=T(8,7); To(64)=T(8,8); (C-5)

Se determina el tamaño de la carrera de ceros consecutivos desde el último valor no cero hasta el final del vector $\boldsymbol{T_o}$.

Se determina el vector $\boldsymbol{T_I}$ sin los ceros consecutivos al final de $\boldsymbol{T_o}$ y se le agrega un byte de control para especificar el fin del vector.

Se escribe en un archivo binario, en forma consecutiva, el contenido de los vectores $\boldsymbol{T_I}$ calculados en cada una de las subimágenes. Este archivo ocupará menor espacio que el de la imagen original. Es decir, estará comprimido.

C.2 EXPANSION CON JPEG

Se lee el archivo binario de la imagen comprimida y se forma el vector columna ***s*** (ver apéndice A.1). El tamaño de dicho vector debe corresponder al tamaño del archivo comprimido.

Se lee el vector ***s*** para detectar la posición de los finales de cada subimagen. Esto se hace conociendo de antemano el código utilizado por el byte de control que especificó el fin de cada subimagen en la compresión. El resultado es un vector ***e*** de tamaño (N/8 x N/8) que guarda las direcciones del final de cada subimagen.

Se agregan ceros al vector ***s*** para formar vectores de 64 bytes, basándose en las direcciones de finales de vectores contenidas en el vector ***e***. Los resultados serán (N/8 x N/8) vectores de 64 bytes cada uno.

Se reacomodan los vectores en dos dimensiones para formar las subimagenes de 8 x 8. Este reacomodo se basa en el patrón zigzag de la Fig. 5.4.

Se multiplican los elementos de la matriz de cada subimagen por la característica de cuantificación. Es decir:

$$C(u,v) = T(u,v) \times Z(u,v) \tag{C-6}$$

Se obtiene la Transformada Coseno Discreta Inversa empleando (5-6)*b*. Es decir:

$$f(x,y) = \sum_{u=0}^{Ns-1}\sum_{v=0}^{Ns-1} \alpha(u)\alpha(v)C(u,v)\cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N_s}\right]\cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N_s}\right] \tag{C-7}$$

para $x, y = 0,1,\ldots,N_s - 1$, y donde, $a(u) = \alpha(v) = \begin{cases} \sqrt{\dfrac{1}{N_s}} & para\ u,v = 0 \\ \sqrt{\dfrac{2}{N_s}} & para\ u,v = 1,2,\ldots,N_s\text{-}1 \end{cases}$

Se desplazan los niveles de gris de cada pixel de la subimagen $\overline{\mathbf{F}}_s$ para recuperar el brillo original. Esto es:

$$\overline{\mathbf{F}}_c = redondeo(\overline{\mathbf{F}}_s + 2^{n-1}\mathbf{I}) \qquad \text{(C-8)}$$

Se acomodan las subimágenes en una matriz $\overline{\mathbf{F}}$ de N x N para formar la imagen recuperada del archivo comprimido.

Se escribe en un archivo binario el contenido de la matriz $\overline{\mathbf{F}}$.

Se lee y se despliega el archivo de $\overline{\mathbf{F}}$ de la manera descrita en el apéndice A.1 para observar la imagen recuperada en el monitor de la PC.