

DISPLAY DE DOS NIVELES DE INTENSIDAD

PARA IMAGENES DE INTENSIDAD CONTINUA

Bruno Cernuschi Frías, Alejandro Blumenkrans

Centro de las Ingenierías de la Computación

y del Procesamiento de la Información

Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires

Paseo Colón 850 - (1063) Buenos Aires - ARGENTINA

Resumen: Se propone un algoritmo para graficar imágenes de niveles continuos de intensidad en displays de dos niveles de intensidad (blanco y negro), tratando de eliminar algunos de los defectos indeseables de este tipo de representaciones.

Abstract: We introduce an algorithm for the two level (black and white) display of continuous gray levels images, trying to get rid of the unwanted effects that this kind of representations usually present.

I) INTRODUCCION

Muchos de los dispositivos de graficación actualmente usados, como cristal líquido, paneles de plasma, microfilms, facsímiles e impresoras utilizan dos niveles de intensidad: blanco (valor 1) y negro (valor 0). Es de interés poder utilizarlos para graficar imágenes de nivel continuo de grises del blanco al negro. El problema puede especificarse como la manera de aproximar una matriz A $m \times n$, cuyos elementos a_{ij} toman valores reales en el intervalo $[0,1]$ mediante una matriz B $m \times n$, cuyos elementos bi-valorados pueden tomar el valor 1 o 0.

II) TECNICAS DE HALFTONING

Podemos clasificar las técnicas existentes para generar distintos niveles de gris (halftoning) [1], [2] en dos grupos:

Grupo 1: En la transformación de la matriz A a la B se mantiene la identificación del elemento b_{ij} con el elemento a_{ij} .

Grupo 2: Se particiona la matriz B en sub-matrices β_{kl} $w \times w$, asociando a cada una de estas un nivel entero entre 0 y w^2 .

Dentro del primer grupo podemos mencionar las siguientes técnicas:

1a) Thresholding [2]: Se fija un umbral h entre 0 y 1. Si $a_{ij} < h$ entonces $b_{ij} = 0$. Si $a_{ij} \geq h$ entonces $b_{ij} = 1$. Es la técnica más elemental concebible.

1b) Modulación [2]: Dada una función del tipo $g(i,j) = g_0 \sin(g_1 i) \cdot \sin(g_2 j)$; si $a_{ij} + g(i,j) < h'$ entonces $b_{ij} = 0$. Sino, $b_{ij} = 1$.

1c) Error Diffusion: Este método introducido por Floyd y Steimberg [1], [2], [3] difunde el error cometido en un pixel al cuantizarlo hacia sus pixels vecinos. La subrutina es la siguiente:

```

for (i=1; i<m, i++)
  for (j=1; j<n, j++)
  {
    if (aij < 1/2)
      bij = 0;
    else
      bij = 1;
    error = aij - bij;
    ai,j+1 = ai,j+1 +  $\alpha_{0,1}$  * error;
    ai+1,j-1 = ai+1,j-1 +  $\alpha_{1,-1}$  * error;
    ai+1,j = ai+1,j +  $\alpha_{10}$  * error;
    ai+1,j+1 = ai+1,j+1 +  $\alpha_{11}$  * error;
  }

```

Barriendo la imagen por filas o columnas la actualización va haciéndose hacia adelante.

1d) Ordered Dither [3], [4], [5]: Se utiliza una matriz \emptyset $w \times w$ (con w potencia de 2) para simular una escala de $w^2 + 1$ niveles de gris. La matriz contiene los enteros del 0 al $w^2 - 1$ en un determinado orden. La matriz \emptyset es repetida a lo largo y ancho de las m filas y las n columnas. Esta matriz así generada es restada de la matriz imagen $w^2 A$, y luego efectuado el thresholding. Este método guarda semejanza con el de modulación, pero con una performance superior.

1e) Representación incremental [5]: Utiliza la modulación delta aplicada en comunicaciones digitales [6]. Si trabajásemos con una señal unidimensional que varía en forma continua entre 0 y 1, trataremos de seguirla con una señal de unos y ceros. Si R es el error acumulado, que buscaremos que se mantenga entre 0 y 1, la subrutina es la siguiente:

```

R = 0;
for (k=0; k<m; k++)
{
  R = R + ak;
  if (R>1)
  {
    bk = 1;
    R = R - 1;
  }
  else
    bk = 0;
}

```

En [5] se extiende este algoritmo a una imagen utilizando las curvas de Peano, que recorren en forma secuencial toda la imagen de manera que ninguna porción (cuadrada) de la imagen acumule un error mayor de 1.

Con respecto a estos métodos mencionados podemos decir que los tres últimos son los más utilizados e importantes. La principal desventaja del método de Floyd y Steimberg es que puede provocar 'fantasmas' en la imagen y debe calcularse en forma serie. La ventaja del método incremental con respecto al de 'ordered dither' es que reduce en gran medida el error por aliasing al no trabajar con una matriz de base fija de $w \times w$ [5]. En [3] se obtienen buenos resultados combinando el método de Floyd y Steimberg con el de ordered dither (Dot Diffusion).

III) METODO PROPUESTO

Nos referiremos ahora a las técnicas del segundo grupo. Con cada matriz β_{kl} podremos generar una intensidad entre 0 y w^2 . Para cada nivel x habrá una matriz β_{kl} con x ceros y $w^2 - x$ unos. Evidentemente la matriz A habrá sido previamente cuantizada en $w^2 + 1$ niveles.

Por otra parte se sacrificará en w veces la resolución lineal de la imagen. Pasaremos ahora de la matriz A $m \times n$ a la matriz \bar{A} $m/w \times n/w$, suponiendo que m y n son divisibles por w . Esto no será el caso para la situación particular en la que admitamos que la matriz B sea de $m.w \times n.w$. La matriz \bar{A} generará sus elementos promediando los valores de A en ventanas de $w \times w$.

Los métodos usuales fijan para cada una de las $w^2 + 1$ intensidades un pattern definido tal que si $\bar{a}_{ij} = \bar{a}_{kl}$ entonces $\beta_{ij} = \beta_{kl}$. Este método pro-

voca así como en todos los métodos del primer grupo 'artifectos', esto es patrones o texturas ajenas a la imagen original generada por la repetición de una distribución de puntos dada.

El algoritmo aquí propuesto trata de eliminar dicho efecto generando para cada matriz β_{kl} la distribución de los puntos que corresponda para la intensidad correspondiente \bar{a}_{kl} en forma aleatoria. De esta manera conseguimos

i) Generar regiones de intensidad constante con una densidad de puntos lo más uniforme posible.

ii) Evitar crear 'artifectos' al no haber un patrón que se repite.

Para cada matriz β_{kl} habrá que generar para su intensidad correspondiente la ubicación de los unos o ceros, según cual de ellos existan en una cantidad menor o igual a $\text{INT}(w^2/2)$.

La implementación de este algoritmo es trivial. Con respecto a las exigencias de nuestro generador de números random consideremos que si la imagen es de 1024×1024 pixels y queremos generar una imagen de una única intensidad constante $w^2/2$ (w par) habrá que generar la ubicación de $(1024/w \times 1024/w) \times w^2/2 = 2^{19}$ puntos, un número muy inferior al período de un buen generador de números random. Con respecto al tiempo de ejecución de este no nos resultó crítico, sobre todo si tenemos que considerar el overhead del tiempo de display del dispositivo utilizado, en particular para impresoras, o el tiempo que insuman los algoritmos anteriores.

En nuestro caso hemos utilizado una computadora u-VAX II, bajo sistema operativo UNIX; los resultados han sido muy satisfactorios.

IV) RESULTADOS EXPERIMENTALES

Las figuras 1 y 2 que utilizan los algoritmos de Floyd y Steimberg y Ordered Dither respectivamente evidencian los defectos existentes, sobre todo en las regiones de intensidad constante. Las figuras 3 y 4 comparan el algoritmo de 'Ordered Dither' y el que utiliza las curvas de Peano respectivamente. Observemos el error por discretización de la figura 3.

La figura 5 ha sido generada con un patrón constante para cada intensidad, los defectos son evidentes. La figura 6 utiliza nuestro algoritmo. Para ciertas imágenes particulares (como la expuesta) hemos observado que el nivel w^2 sin ningún punto impreso creaba un efecto de discontinuidad con respecto al nivel de un punto por matriz. Por ello en la figura 7 eliminamos el nivel de blanco absoluto, quedando w^2 niveles posibles. Observemos el efecto de las rugosidades en la base de la esfera. Esto lo hemos eliminado filtrando la imagen con un pasabajos (figura 8).

Ilustramos también la aplicación de este método para graficar texturas. Las figuras 9 y 10 han sido generadas con modelos estocásticos no causales [7] [8] (Markov Random Field y modelo autorregresivo respectivamente).

Las figuras 1 y 2 son de [3], y las figuras 3 y 4 de [5].

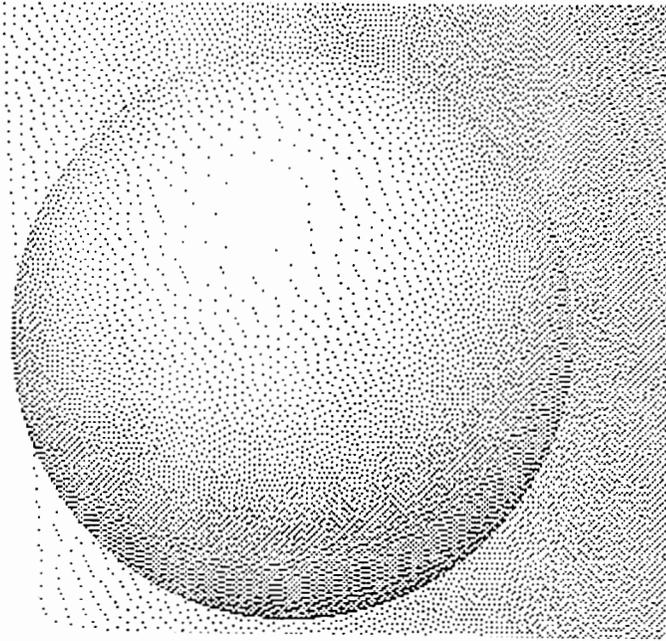


Figura 1

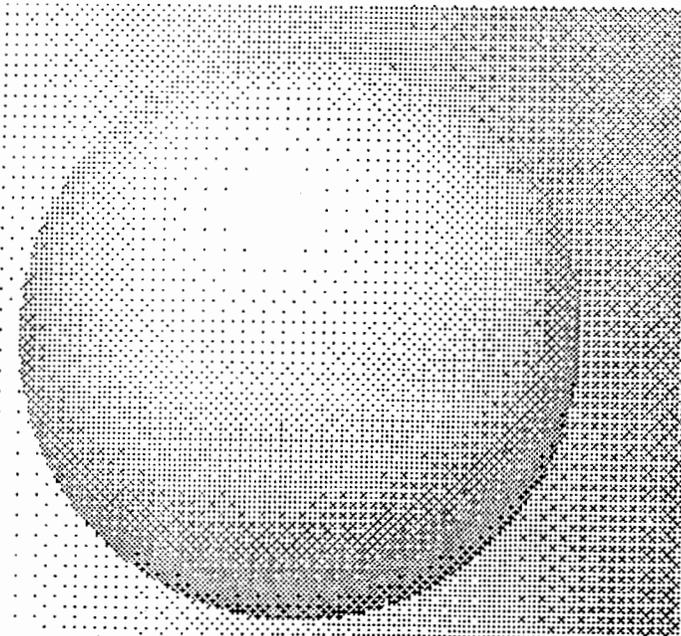


Figura 2

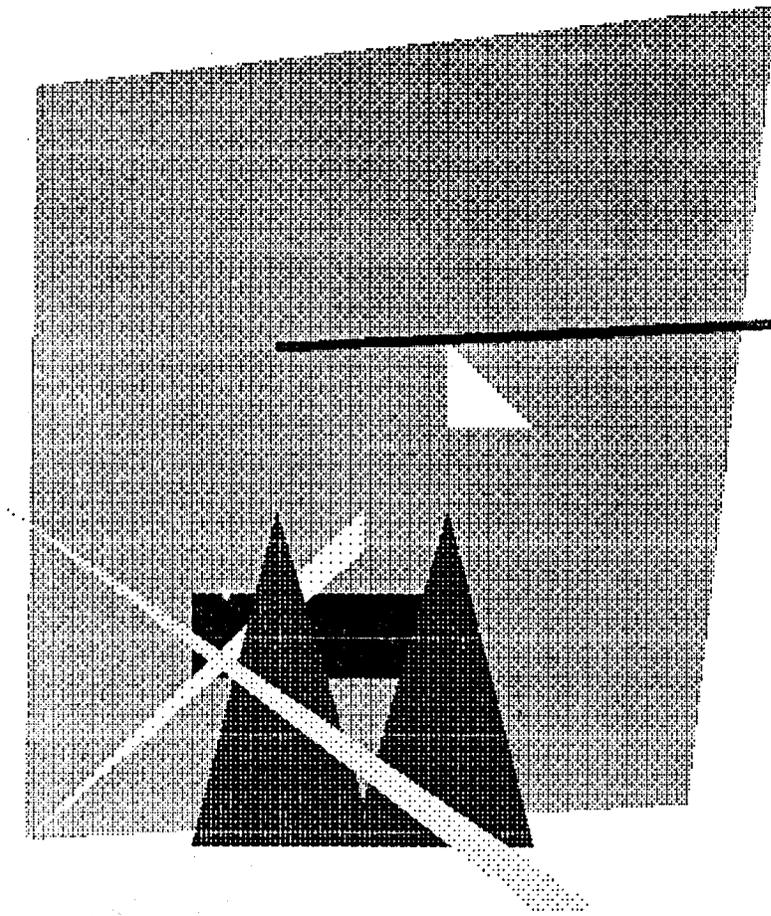


Figura 3

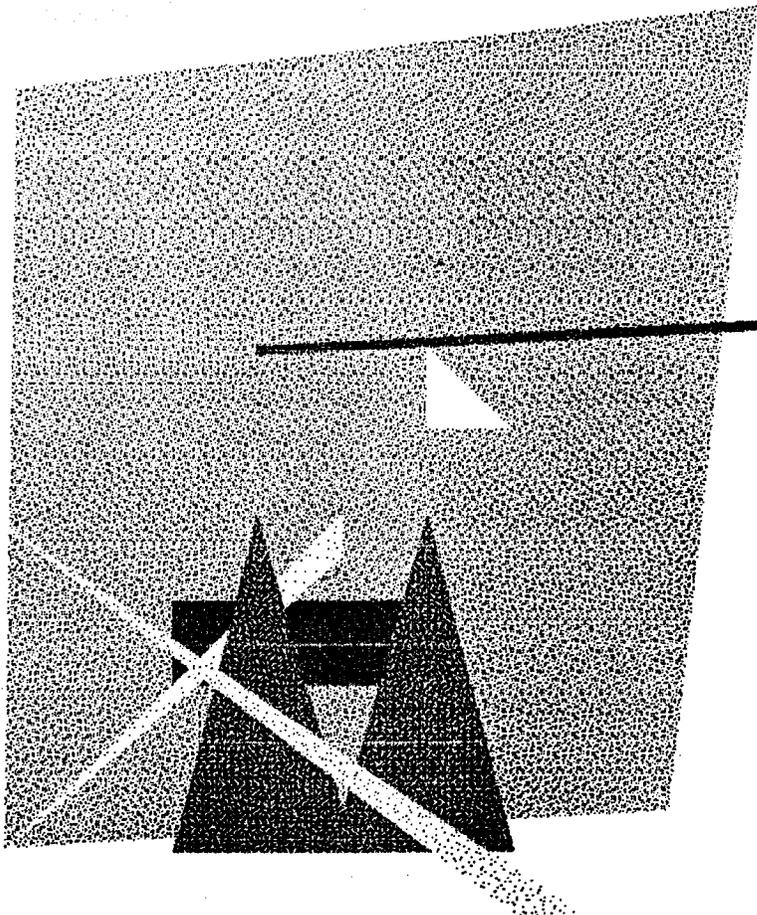


Figura 4

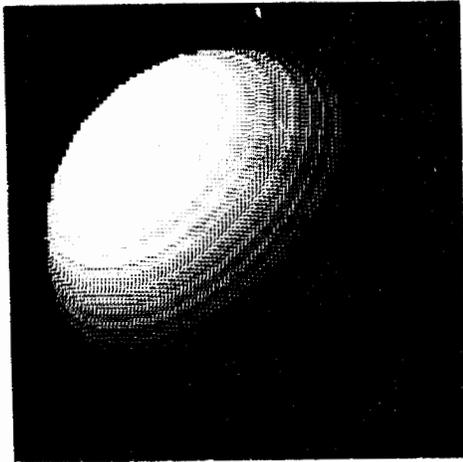


Figura 5

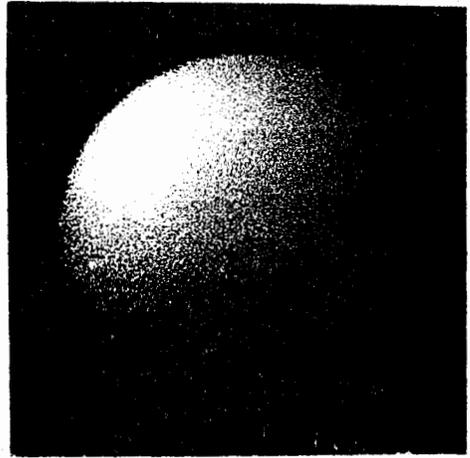


Figura 6

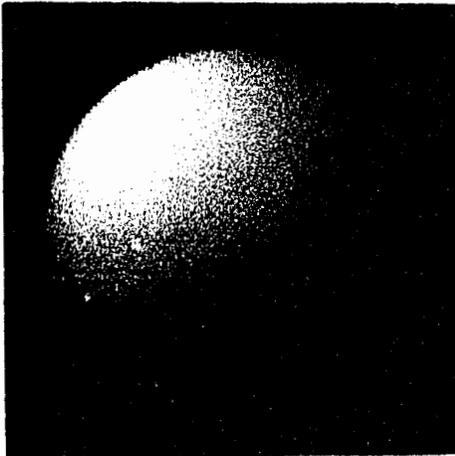


Figura 7

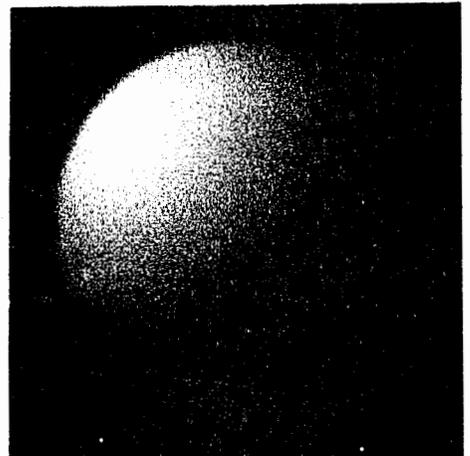


Figura 8

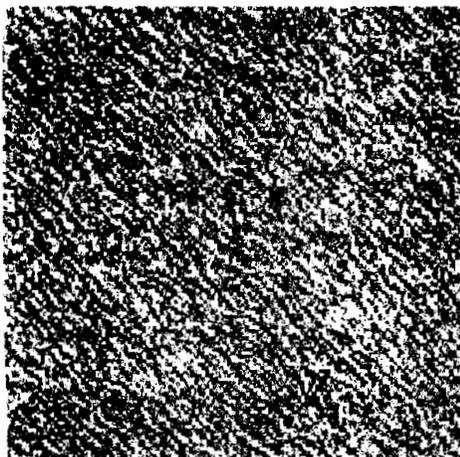


Figura 9

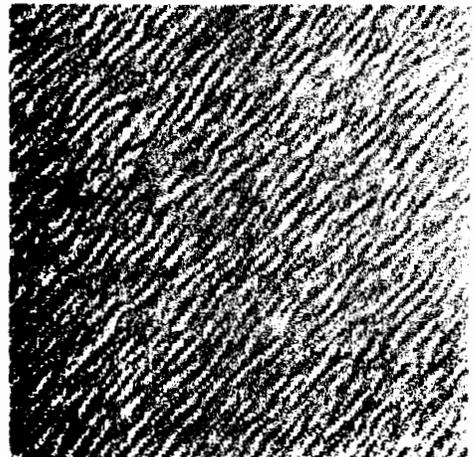


Figura 10

V) CONCLUSIONES

El método propuesto soluciona los problemas en zonas de intensidad uniforme, creando regiones de densidad aproximadamente constante sin artefactos. Al transformar la matriz A a la matriz \bar{A} mediante un filtro pasabajos estamos eliminando las rugosidades disminuyendo este problema. Los métodos anteriormente mencionados, en cambio siguen satisfactoriamente los cambios de intensidad, pero presentan efectos indeseables en regiones de intensidad constante.

Concluimos entonces que nuestro algoritmo es muy conveniente para imágenes con predominio de las bajas frecuencias (imágenes sin cambios abruptos), y que para imágenes con predominio de frecuencias altas (imágenes con grandes variaciones en la intensidad) deberemos filtrar convenientemente las altas frecuencias.

REFERENCIAS

- [1] J.F.Jarvis, C.N. Judice and W.H. Ninke, "A Survey of Techniques for the Display of Continuous Tone Pictures on Bilevel Displays", Computer Graphics and Image Processing, Vol.5, 1976, pp 13-40.
- [2] W.M. Newman and R.F. Sproull, "Principles of Interactive Computer Graphics", McGraw-Hill, 1978.
- [3] D.E. Knuth, "Digital Halftones by Dot Diffusion", ACM Transactions on Graphics", Vol. 6, N° 4, Oct. 1987, pp 245-273.
- [4] J.O.Limb, "Design of Dither Waveforms for Quantized Visual Signals", Bell System Technical J., Vol. 48, N° 7, Sept. 1969, pp 2555-2582.
- [5] I.H. Witten and R.M. Neal, "Using Peano Curves for Bilevel Display of Continuous-Tone Images", IEEE Transactions on Computer Graphics and Applications, Vol.2, N° 3, May 1982.
- [6] A.B. Carlson, "Communication Systems", McGraw-Hill, 1975.
- [7] R.L. Kashyap and R. Chelappa, "Estimation and choice of neighbors in spatial interaction models of images", IEEE Transactions on Inform. Theory, Vol.IT-29, N° 1, Jan. 1983.
- [8] J.Besag, "Spatial Interaction and the Statistical Analysis of Lattice Systems", J.Royal Stat. Soc., Series B, Vol.36, pp 192-236.