

# Paralelismo en Métodos de Halftoning

G. Abdala, R. Guerrero, F. Piccoli \*

Líneas Informática Gráfica y Paralelismo y Distribución  
Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional  
Departamento de Informática  
Universidad Nacional de San Luis  
Ejército de los Andes 950  
5700 - San Luis  
Argentina  
e-mail: {rag, mpiccoli}@unsl.edu.ar

## Resumen

A través de los años, la industria gráfica se ha convertido en uno de los medios de facto para la transmisión de información, en particular el periódico. La característica efímera de la información establece restricciones de tiempo en la elaboración del medio gráfico. En consecuencia, los dispositivos utilizados poseen limitaciones que producen una pérdida de información en las imágenes presentadas. El Halftoning Digital tiene como objetivo posibilitar la reproducción de imágenes en dispositivos con rango limitado de niveles de tonos. Esta técnica es utilizada para plasmar imágenes color o en escala de grises en dispositivos electrónicos que sólo pueden reproducir elementos binarios creando la ilusión de tonos continuo. A pesar de los numerosos métodos de halftoning existentes, todos ellos comparten la problemática de que su tiempo de procesamiento es dependiente de las características de la imagen y el algoritmo utilizado. Es de interés la generación de propuestas que aceleren los tiempos de procesamiento independientemente de los métodos y los datos.

**Keywords:** mediotonado digital, paralelismo, computación gráfica, no fotorealismo, procesamiento de imágenes.

## 1. Introducción

La palabra halftoning (mediotonado) tiene sus orígenes en la antigüedad; se remonta a la palabra italiana *mezzotint*, que describe una técnica utilizada durante los siglos XVII y XVIII para crear la ilusión de imágenes de tono continuo mediante

una plantilla de cobre y un único tono de tinta. Los antiguos artistas italianos creaban en forma aleatoria muescas en la plantilla con la idea de preparar moldes en donde colocar tinta; variando la densidad de las muescas en una determinada región, el artista lograba alterar la cantidad de tinta depositada, controlando de esta manera el tono en esa región.

En la actualidad, el “mediotonado digital” es una técnica muy conocida en procesamiento de imágenes [5, 7, 16, 25], ésta permite convertir una imagen representada a través de un rango de niveles de intensidad de luz en una imagen consistente solamente de puntos blancos y negros. La propuesta ha sido concebida principalmente para el plasmado de imágenes a través de dispositivos de impresión y visualización binarios, uso de pixels blancos y negros, pero con la intención de que puedan ser percibidas como una imagen en tonos de grises. El objetivo del proceso es lograr, como declara Ulichney: “*la ilusión de imágenes en tono continuo a partir de una cuidadosa ubicación de elementos de dibujo binarios*” [21].

Por ser un proceso que proyecta una escala continua en una escala binaria, adolece de pérdida de información. Para asegurarse el éxito del proceso, la técnica se apoya en las propiedades del sistema de visión humano conjuntamente con los atributos propios de la imagen. Ésta intenta establecer un ordenamiento de los elementos de dibujo, de manera tal de generar en el observador una impresión visual lo más parecida posible al original.

Desafortunadamente, se desconocen aún todos los factores intervinientes en la percepción humana y en la formación de las imágenes, así como tampoco las métricas cuantitativas rea-

\*Grupo subvencionado por la UNSL y ANPCYT (Agencia Nac. para la Prom. de la Ciencia y Tec.)

les que puedan correlacionar la calidad subjetiva de una imagen [26, 8]. En consecuencia, una variedad de algoritmos para el proceso de halftoning han sido desarrollados a lo largo de los años [9, 4, 21, 12, 17, 24, 13, 22, 10, 11, 28, 15, 20, 23]. A grandes rasgos, estos pueden dividirse en: *algoritmos de dispersión ordenada*, *máscaras de ruido azul*, *difusión de error*, *difusión de puntos*, entre otros, o la combinación de algunos de ellos. Todos tienen la característica de que el tiempo de procesamiento de una imagen es directamente proporcional al tamaño de la misma, más el tiempo asociado al proceso en particular. En consecuencia, los algoritmos simples y de bajo tiempo de proceso producen resultados de baja calidad, mientras que los algoritmos con buenos resultados poseen tiempos de ejecución prolongados. Estas características en conjunto con la natural autocorrelación de los datos involucrados convierte al problema de mediotonado en una propuesta de análisis y estudio válida para la aplicación de modelos de programación paralela [3, 6, 19, 27, 14]. A modo de clarificar lo expresado, a continuación se presenta una pequeña reseña de los métodos aludidos.

## 2. Métodos

No existe un único método para obtener imágenes mediotonadas a partir de otra en tonos continuos de grises. Los métodos existentes varían según la simplicidad del procesamiento y la calidad de la imagen resultante. A continuación se describen algunos de los métodos más importantes, el orden está impuesto por la complejidad de procesamiento.

- **Método del Umbral:** Es el más simple de todos los métodos de Halftoning. Cada uno de los píxeles de la imagen en escala de grises ( $0 \leq \text{valor pixel} \leq 255$ , correspondiendo el 0 para el negro) es comparado contra un valor umbral (generalmente 128), si el valor del pixel que está siendo procesado es mayor al umbral, entonces se lo considera blanco, caso contrario negro. Si bien la técnica es rápida y simple no produce resultados de gran calidad.
- **Método de Matriz de Umbrales** [24, 22, 23, 2]: En este método los píxeles son agrupados en grillas y comparados con una matriz de umbrales. Estas matrices generalmente son cuadradas, de  $n \times n$  con  $n$  variable. El valor del píxel de salida es determinado por el umbral que le corresponde a su ubicación en la matriz. Si el valor del píxel es mayor al umbral entonces es considerado un píxel blanco, sino negro. Este método presenta la desventaja de exis-

tir la posibilidad de aparecer artificios (información no deseada de alta frecuencia no presente en la imagen original), los cuales reducen la calidad final del proceso. Este método no es adecuado cuando se busca calidad en los resultados debido a su falta de generalidad. La calidad de las imágenes mediotonadas es dependiente de la selección de la matriz de umbral. Usualmente la matriz de umbrales surge de un estudio previo de los valores de luminosidad y contraste de la imagen a mediotonar, de ahí su falta de generalidad.

- **Método de Difusión de Error** [10, 11]: Este método ha sido tomado como estándar por su simplicidad y calidad de la imagen mediotonada resultante.

En este método los píxeles de una imagen de tonos de grise son procesados en forma lineal de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. El algoritmo compara el valor del pixel con un umbral, por ejemplo 128. Si el valor es mayor que el umbral, el pixel se considera blanco (255), de lo contrario se considera negro. La diferencia entre el valor original del pixel y el umbral es considerado un error. El método establece que, para alcanzar una ilusión de imagen de tono continuo, sin artificios, el error debe ser distribuido a los cuatro píxeles vecinos no procesados aún. Si bien el proceso es independiente de las características de la imagen de entrada, tiene el inconveniente de la introducción de artificios en áreas extremas de luminosidad y contraste.

- **Método de Difusión de Punto** [12]: Este método tiene un único parámetro de diseño llamado "*matriz clase C*". Esta matriz establece una clasificación de umbral para los píxeles y determina el orden en el cual serán procesados. El procesamiento de cada pixel se hace de forma similar al método de difusión de error. Una vez procesado el pixel se calcula el error resultante de aplicar el umbral, propagándolo a los vecinos con clase mayor a la suya. Este método es netamente dependiente de las características de la imagen de entrada, pues en función de ellas debe construir la matriz de clase de umbrales.

Logicamente existen métodos híbridos, los cuales intentan combinar las mejores características de los métodos tradicionales [17, 18, 20, 1].

### 3. Propuesta

Como se enunció en la sección anterior, existen numerosos métodos de mediotonado. La selección de un método en particular depende de los recursos disponibles y de la calidad de la imagen resultante pretendida. La alta autocorrelación entre los datos ejerce su influencia directamente sobre el proceso en tiempo y calidad del producto resultante, además de la dependencia intrínseca del tiempo asociado al tamaño de las imágenes. Estamos interesados en analizar la factibilidad de aplicar métodos y técnicas de programación alternativas a la computación secuencial. Resolver el problema del mediotonado de imágenes a través de la aplicación de modelos paralelos en la solución implica un análisis profundo de cada método y, fundamentalmente, de la interrelación entre los datos de la imagen original y los píxeles generados en la imagen resultante. Un primer análisis permite enunciar que el método de umbral o matriz de umbrales son altamente paralelos, no ocurriendo lo mismo con el método de difusión de error, concebido originalmente como inherentemente secuencial.

### Referencias

- [1] H. Aguirre, K. Tanaka, T. Sugimura, and S-Oshita. Halftone image generation with improved multiobjective genetic algorithm. In *EMO*, pages 501–515, 2001.
- [2] T. Alarmo, M. Jander, P. Timo, and Tero. Threshold matrix generation for digital halftoning by genetic algorithms optimization. 2000.
- [3] A. Choudhary and S. Ranka. Parallel processing for computer vision and image understanding. *IEEE Computer*, 25(2):7–9, 1992.
- [4] Robert W. Floyd and Louis Steinberg. An adaptive algorithm for spatial grayscale. In *Proceedings of the Society for Information Display 17*, volume 2, pages 75–77, 1976.
- [5] J.D. Foley, Van A. Dam, and J.F. Hughes. *Computer Graphics Principles and Practice*. Addison Wesley Publishing Company, 1990.
- [6] I. Foster. *Designing and Building Parallel Programs*. Addison-Wesley, 1995.
- [7] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Wood. *Digital Image Processing*. Addison Wesley Publishing Company, 1992.
- [8] Timothy A. Grogan. Image quality evaluation with a contour-based perceptual model. *Human Vision, Visual Processing and Digital Display III*, 1666, 1992.
- [9] J. F. Jarvis, C.Ñ. Judice, and W. H. Niinke. A survey of techniques for the display of continuous tone pictures on bilevel displays. In *Proceedings of Computer Graphics Image Processing*, volume 5, pages 13–40, 1976.
- [10] K. Knox. Error diffusion: A theoretical view. In *SPIE - International Society for Optical Engineering*, volume 1913, pages 326–331, 1993.
- [11] Keith Knox. Threshold modulation in error diffusion on non-standard rasters. *SPIE - International Society for Optical Engineering*, 2179:159–169, 1994.
- [12] D.E. Knuth. Digital halftone by dot diffusion. In *ACM transaction on Graphics*, volume 6, pages 245–273. ACM Collection, October 1987.
- [13] B.W. Kolpatzik and C.A. Bouman. Optimized error diffusion based in a human visual model. In *SPIE - International Society for Optical Engineering*, volume 1666, pages 152–164, 1992.
- [14] P. Metaxas. Parallel digital halftoning by error-diffusion. In *ACM International Conference Proceeding Series*, volume 41, pages 35–41, 2003.
- [15] A.C. Naiman and D.T.W. Lam. Error diffusion: Wavefront traversal and contrast considerations. In *Computer Graphics (SIGGRAPH '96 Proceeding)*, volume 19, pages 78–86, 1996.
- [16] J. Parker. *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*. J. Wiley & Sons, 1997.
- [17] E. Peli. Multiresolution error-convergence halftone algorithm. *Op. Soc. Am. A.*, 8(4):625–636, 1991.
- [18] H. Saito and N. Kobayashi. Evolutionary computation approach to halftoning algorithm. In *Proc. of the First IEEE Conf. on Evolutionary Computation*, volume 2, pages 787–791, June 1994.
- [19] M. Snir, S. Otto, S. Huss-Lederman, D. Walker, and J. Dongarra. *MPI: The complete Reference*. MIT Press, 1996.
- [20] L. Streit and J. Buchanan. Importance driven halftoning. In *Proceedings of Eurographics 98*, volume 17, pages 207–217, 1998.
- [21] R. Ulichney. *Digital Halftoning*. MIT Press, Cambridge Massachusetts, 1987.

- [22] R. Ulichney. The void-and-cluster method for dither array generation. *SPIE - International Society for Optical Engineering*, 1913:332–343, 1993.
- [23] R. Ulichney. A review of halftoning techniques. *SPIE - International Society for Optical Engineering*, 3963:378–391, 2000.
- [24] L. Velho and J. de Miranda Gomes. Digital halftoning with space filling curves. In *Computer Graphic (SIGGRAPH '91 Proceedings)*, volume 25, pages 81–90, July 1991.
- [25] A. Watt and F. Policarpo. *The Computer Image*. Addison-Wesley, 1998.
- [26] M. Wertheimer. Laws of organization in perceptual forms. *A Source Book of Gestalt Psychology*, 1939. Hartcourt Brace, New York.
- [27] B. Wilkinson and M. Allen. *Parallel programming: Techniques and Application using Networked Workstations*. Prentice-Hall, 1997.
- [28] Ping Wah Wong. Error diffusion with delayed decision. In *SPIE - International Society for Optical Engineering*, volume 1666, pages 198–206, 1995.