

Filtros digitales para el procesamiento de imágenes

*Roberto López Malavé
William Rivera Paz
Candidatos a graduación*

Sinopsis

El objetivo principal de este trabajo es el desarrollar unos filtros capaces de extraer los contornos de una imagen y disminuir la distorsión en las imágenes a procesarse. Para lograr este objetivo se desarrolla un grupo de programas que simulan condiciones de ruido en las imágenes y el comportamiento de los filtros. Estos simuladores facilitan el análisis del comportamiento de filtros digitales con distintas características al usarse en el procesamiento de imágenes.

Abstract

The purpose of this paper is to design filters capable of extracting the contours of an image, thus reducing the distortion while processing an image. In order to attain this goal, we developed a group of computer programs to simulate the noise in the images and the behaviour of the filters. These programs will help to analyze the behavior of different digital filters to be used for processing images.

Introducción

La inteligencia artificial, una de las ramas más avanzadas de las tecnologías de la información, nació con el objeto de estudiar actividades humanas para las que no se disponía de métodos para describir la forma en que se llevaban a cabo. Por lo tanto, la inteligencia artificial se ocupa de

López y Rivera/Filtros procesar imágenes

producir modelos y programas del llamado comportamiento inteligente. Una de las áreas más importantes dentro de la inteligencia artificial es el procesamiento de imágenes.

En la mayoría de los casos las imágenes no se procesan en el mismo lugar donde se captan y deben transmitirse a un sistema que se encargue de analizarlas y procesarlas. Dependiendo del medio de transmisión las imágenes pueden recibirse con algún grado de distorsión. Por esta razón, muchas veces las imágenes no pueden procesarse tal y como se reciben. Estas imágenes deben pasar a través de un preprocesador antes de extraer su información. Este preprocesador debe diseñarse de manera tal que produzca una imagen con el menor grado de distorsión posible.

Otro tipo de preprocesador que se usa en el análisis de imágenes es el extractor de contornos. El propósito de este preprocesador es obtener una imagen en la cual sólo se muestren los contornos de la imagen original, proceso que normalmente se hace en dos etapas.

1. Determinar cuáles son los puntos de contorno.
2. Agrupar esos puntos para formar los contornos.

El extractor de contornos se usa mucho en el análisis de movimiento de objetos, donde sólo se requieren los contornos de la imagen para determinar las características del movimiento, tales como la velocidad y la dirección.

Los preprocesadores pueden implantarse mediante el uso de filtros digitales. Un filtro digital es un sistema que se usa para modificar señales discretas eliminando uno o varios de los componentes de la señal que recibe. Este tipo de filtro puede implantarse usando circuitos electrónicos o programas de computadoras.

Descripción de métodos

Debido a la gran cantidad de cómputos que requiere el análisis de filtros digitales, se diseñó un programa para simular su funcionamiento. Este programa utiliza como entrada dos archivos: uno de ellos contiene los valores que definen el filtro y el otro contiene los caracteres que representan la imagen a filtrarse. Debido a que el simulador se diseñó para trabajar con

imágenes de dos colores, el archivo que contiene la imagen se compone de dos tipos distintos de caracteres: "*" y ":".

El programa usa dos matrices para almacenar los datos obtenidos de los archivos de entrada. La matriz "filter" almacena los valores que definen el filtro y la matriz "image1" almacena los valores binarios que definen la imagen. Se almacena un +1 en las coordenadas correspondientes a un "*" y un -1 en las coordenadas correspondientes al carácter ":". Luego de preparar las matrices que contienen el filtro y la imagen, el programa implanta la ecuación 1 para calcular la imagen que se obtiene a la salida del filtro.

$$imageout_{i,j} = \sum_{l=1}^{lwidth} \sum_{j=1}^{jwidth} \sum_{k=l-m}^{l+m} \sum_{l=j-m}^{j+m} imagein_{k,l} * filter_{k-i+m+1,l-j+m+1} \quad (1)$$

"imageout" es la matriz que contiene los valores correspondientes a la imagen de salida, "iwidth" es el ancho de la imagen, "fwidth" es el ancho del filtro y m es la parte entera de "fwidth"/2.

Luego de calcular la salida del filtro, los valores mayores a un valor de umbral especificado en el programa se sustituyen en el archivo de salida por "*" y los menores por ":".

Al diseñar el filtro se deben considerar los siguientes factores:

- Propósito del filtro.
- Tipo de imagen que va a procesar (si es a colores, tipo de líneas que componen la imagen).
- Tamaño de la imagen.

Las imágenes a usarse en este trabajo se procesaron con filtros diseñados con dos propósitos específicos: reducir la distorsión y encontrar los contornos.

En el proceso de reducir la distorsión en las imágenes se parte de la premisa de que los puntos en una imagen no son elementos independientes, sino que están relacionados con los puntos en la vecindad. Por lo tanto, los puntos alrededor de un elemento en específico pueden usarse para determinar si el mismo está distorsionado o no. La ecuación 2 presenta el caso de un filtro cuando el valor umbral es 0.

López y Rivera/Filtros procesar imágenes

0.13 0.13 0.13

0.13 1.00 0.13

0.13 0.13 0.13

(2)

Si aplicamos este filtro a un punto de una imagen, haciendo coincidir el 1.00 con el punto bajo análisis, tenemos los siguientes tres posibles casos:

Caso I: Todos los vecinos tienen un valor de +1.

La suma de los productos de los valores en la vecindad por sus correspondientes valores en el filtro será 1.04. La salida del filtro siempre será mayor que 0 ya que los resultados posibles son 0.04 y 2.04.

Caso II: Todos los vecinos tienen valor de -1.

La suma de los productos de los valores en la vecindad por sus correspondientes valores en el filtro será -1.04. La salida del filtro siempre será menor que 0 ya que los resultados posibles son -0.04 y -2.04.

Caso III: Al menos uno de los valores de los vecinos es distinto a los demás.

El valor absoluto de la suma de los productos correspondientes al punto bajo análisis y los vecinos con el mismo valor siempre será mayor o igual a 1.13. Si los vecinos tienen un valor distinto al punto bajo análisis, entonces este valor absoluto será siempre menor o igual a 0.91.

De los tres casos anteriores podemos apreciar que este filtro se comporta de acuerdo al supuesto presentado anteriormente: los puntos de una imagen no son elementos independientes sino que se relacionan con los puntos en su vecindad.

La figura 1 presenta un ejemplo de una imagen de entrada (a) y su respectiva salida (b).

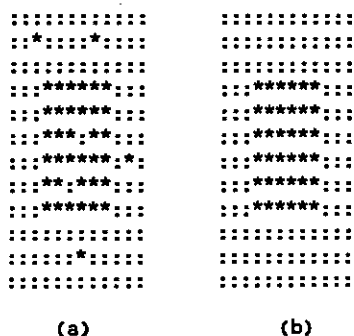


Figura 1. Imágenes de entrada y salida respectivamente

Para diseñar un filtro que produzca como salida los contornos de la imagen que se analiza se requiere conseguir una matriz de valores que sea sensible a los cambios en brillantez de la imagen. Por ejemplo, si al mover el filtro sobre la imagen éste pasa de una región clara a una oscura, obviamente debe haber un contorno en la frontera de ambas regiones.

Presumiendo nuevamente un valor de umbral de 0, el filtro para detectar contornos en un cambio de una región de -1 a 1 sería de la siguiente forma:

$$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{matrix} \quad (3)$$

Al usar este tipo de filtro para procesar una imagen tenemos cuatro casos posibles:

Caso I: Ambos valores del filtro distintos a 0 se encuentran dentro de una región de -1.

En este caso la salida del filtro será 0, o sea $(-1)(-1) + (-1)(1)$.

Caso II: Ambos valores del filtro distintos a 0 se encuentran dentro de una región de +1.

López y Rivera/Filtros procesar imágenes

En este caso la salida del filtro será 0, o sea $(1)(-1) + (1)(1)$.

Caso III: El valor de -1 del filtro se encuentra sobre un -1 en la imagen y el valor de 1 del filtro se encuentra sobre un 1 en la imagen.

En este caso la salida del filtro será +2, o sea $(-1)(-1) + (1)(1)$.

Caso IV: El valor de -1 del filtro se encuentra sobre un +1 en la imagen y el valor de 1 del filtro se encuentra sobre un -1 en la imagen.

En este caso la salida del filtro será -2, o sea $(-1)(1) + (1)(-1)$.

Podemos apreciar que este filtro producirá un valor mayor que 0 solamente cuando se encuentre con la secuencia (-1,1), la cual define la frontera entre dos regiones con distinta brillantez. Por lo tanto, el filtro puede usarse para producir líneas de contorno cuando se cambia de una región de -1 a una región de +1. Si se desea hacer un filtro sensible a la secuencia (1,-1) basta con invertir los valores del filtro. Es por lo tanto necesario filtrar la imagen dos veces, una con cada filtro y luego solapar las dos imágenes de salida. Como estos filtros fallan en detectar los contornos horizontales, en tales casos se usan filtros como los que describe la ecuación 4.

$$\begin{array}{ccc} 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \quad (4)$$

De acuerdo a este modelo hay que usar cuatro filtros para extraer todos los contornos de una imagen.

La figura 2 presenta una imagen de entrada (a), de su contorno izquierdo (b), de su contorno derecho (c), de su contorno superior (d), de su contorno inferior (e) y de su imagen de salida (f).

El segundo programa se diseñó para solapar dos imágenes y se usa para combinar las salidas producidas por los filtros extractores de contornos. El tercer programa que se diseñó invierte con una probabilidad x los elementos

que componen una imagen ("pixels") y además permite simular las condiciones de ruido en la imagen.

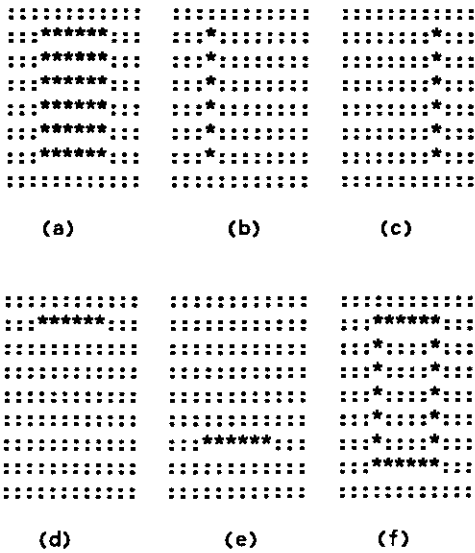


Figura 2. Imagen y sus salidas respectivas

Resultados

En esta sección se discuten los resultados obtenidos luego de una extensa etapa de experimentación. La sección se divide en dos partes: una para explicar la extracción de contornos y la otra comenta sobre la reducción en la distorsión en las imágenes.

Extracción de contornos

Para probar la efectividad de los filtros diseñados para extraer contornos se crearon imágenes de diferentes tipos. Se experimentó con imágenes compuestas por figuras geométricas, como cuadrados y triángulos e imágenes compuestas por líneas horizontales, verticales y diagonales. También se realizaron pruebas con líneas curvas. Las figuras 3 y 4 presentan los resultados de este proceso. En ambas figuras se presentan la entrada (a) y

la salida (b) respectivamente.

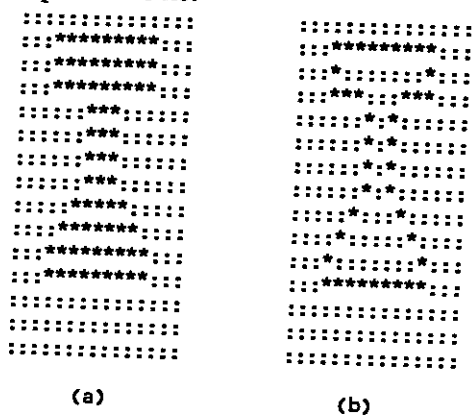


Figura 3. Resultados con figuras geométricas

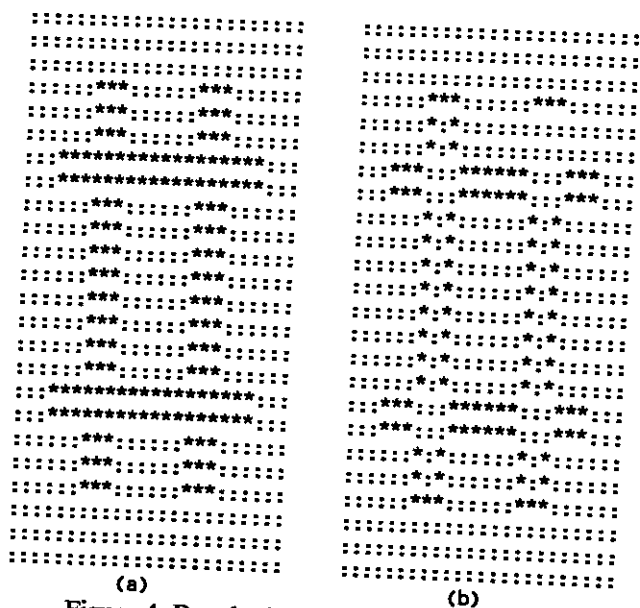


Figura 4. Resultados pruebas con líneas rectas

Como demuestran las figuras 3 y 4, el desempeño de estos filtros fue muy bueno.

Reducción de distorsión

Para esta sección se usó un programa para simular condiciones de ruido en las imágenes. EL programa le pide al usuario el grado de distorsión que sufriría la imagen. El grado de distorsión lo representa un valor porcentual que indica la probabilidad que tiene cada elemento de la imagen ("pixel") de invertirse.

Las figuras 5 a la 8 muestran algunas de las figuras procesadas durante la etapa de experimentación y los resultados obtenidos. En estas figuras se presenta la imagen de entrada y la imagen ya procesada por el filtro, respectivamente.

Como se puede apreciar en estas figuras, los filtros trabajan aceptablemente a pesar de su sencillez. No obstante se puede notar que cuando la mayoría de los puntos alrededor del punto bajo estudio quedan opuestos a éste, el filtro invierte el punto bajo estudio aunque éste pertenezca a la imagen tal y como está.

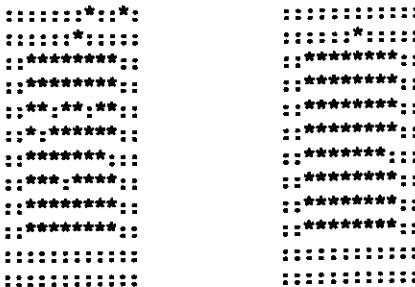


Figura 5. Ejemplo de imagen procesada y su salida

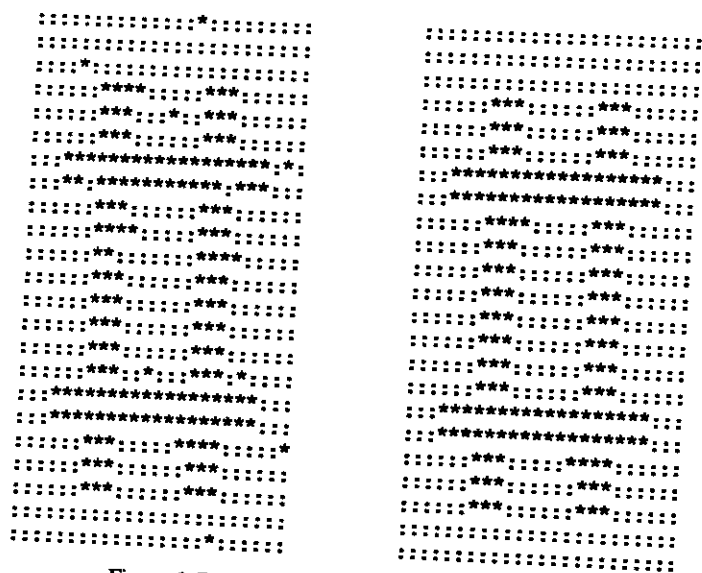


Figura 6. Ejemplo imagen procesada y su salida

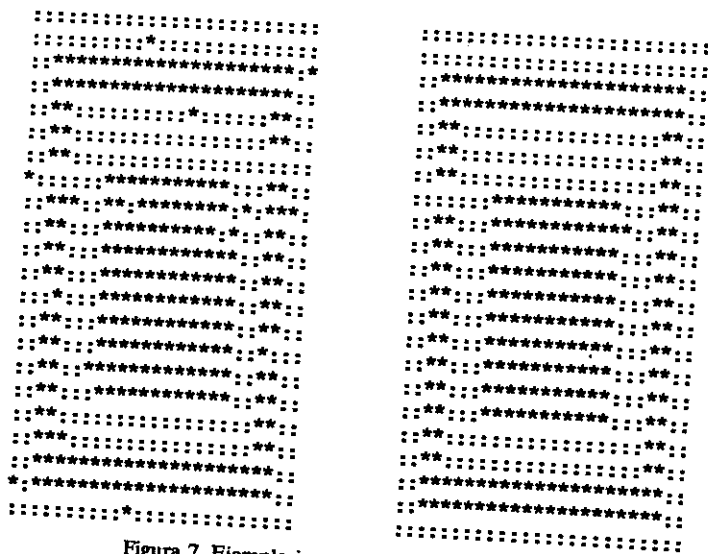


Figura 7. Ejemplo imagen procesada y su salida

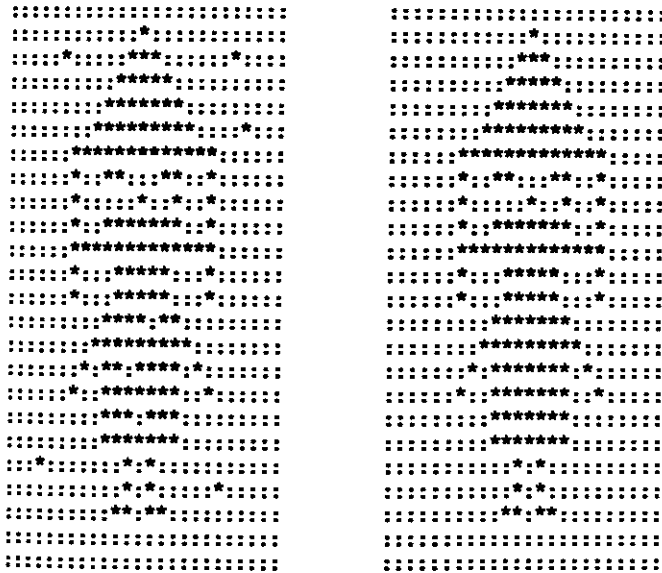


Figura 8. Ejemplo imagen procesada y su salida

En la figura 8 se puede apreciar nuevamente el comportamiento de los filtros. Notemos que entre las partes de la imagen que representan el ojo izquierdo y la boca se encuentra un asterisco. Este asterisco puede muy bien haber representado una lágrima o un lunar. Pero también existe la posibilidad que este asterisco sea el resultado del ruido. El simulador desarrollado en este trabajo, no puede razonar lógicamente como un ser humano, simplemente obtiene su resultado de un proceso matemático para decidir si el punto bajo análisis ha sufrido o no distorsión. Era posible procesar la figura 8 una vez más para filtrar los puntos no deseados, pero al hacer esto hubiéramos perdido detalles de la misma. En otras palabras, las esquinas del cuadrado se hubieran vuelto curvas y no rectas como deben ser.

Conclusiones

Los filtros digitales pueden usarse para una amplia gama de aplicaciones. Este trabajo demuestra que se pueden procesar ciertos tipos de imágenes usando filtros digitales sencillos. Este trabajo enfatizó específicamente dos

López y Rivera/Filtros procesar imágenes

áreas del procesamiento de imágenes: la extracción de contornos y la reducción de distorsión en las imágenes.

Para la extracción de contornos se partió de la premisa de que era posible diseñar filtros capaces de detectar cambios en tonalidad en una imagen. Se logró diseñar una serie de filtros que produjeran un valor de +1 cuando detectaban un cambio en la tonalidad en un área de la imagen y un valor de -1 en caso contrario. Estos filtros se usaron para procesar distintas imágenes durante el proceso de experimentación. Para obtener todos los contornos de una imagen fue necesario utilizar cuatro filtros. Cada uno de estos filtros extrae los contornos de una parte en específico de la imagen. Por ejemplo, si se quiere encontrar los cambios en tonalidad que ocurren de izquierda a derecha se utiliza un filtro que sea sensible a la serie (-1,1). Si se desea obtener los cambios de derecha a izquierda, simplemente se invierten los valores del filtro a (1,-1). Un proceso similar se lleva a cabo con los contornos superiores e inferiores. Los resultados obtenidos mostraron que este tipo de filtro resulta adecuado para la extracción de contornos ya que resalta los contornos y elimina el resto de las figuras.

Para reducir la distorsión en las imágenes el proceso para diseñar los filtros no fue tan sencillo. Para diseñar los filtros se partió de la premisa de que los puntos en una imagen están correlacionados con sus vecinos. Un punto que se encuentra dentro de una región de un color en particular de una imagen tiene una mayor probabilidad de ser del mismo color de la región que lo rodea que de cualquier otro color. Siguiendo esta premisa es poco probable encontrar un punto negro dentro de una región blanca y viceversa. El diseño del filtro requiere entonces que los vecinos de cada punto tengan peso al momento de determinar si un punto en una imagen es correcto o es producto del ruido. Los filtros diseñados en este trabajo toman en consideración el valor de cada uno de los vecinos de los elementos ("pixels") de las imágenes y determinan si deben alterar o no el valor de los mismos.

Para determinar la efectividad de estos filtros se simulieron condiciones de ruido en donde se invertían de forma aleatoria los elementos de las imágenes. Luego de analizar los resultados obtenidos podemos concluir que los filtros diseñados funcionaron de la forma esperada; invirtiendo los puntos que se encontraban rodeados por regiones de color predominantemente opuesto. El uso de este tipo de filtro tiene un precio; debido a su naturaleza,

invierte todos los puntos rodeados por regiones de color opuesto, aún cuando los puntos formen parte de la imagen original. Otra característica de este tipo de filtro es que no puede analizar los bordes de una imagen. Esto se debe a que el simulador acumula un valor de salida en la posición que ocupa el centro del filtro. También observamos que si se le da mucho peso a los puntos alrededor del punto bajo análisis, se pueden perder detalles en la imagen, lo cual no se desea. No obstante, los resultados obtenidos con estos filtros son buenos, aún cuando éstos mismos sean relativamente sencillos.

Podemos recomendar para trabajos futuros el diseño de filtros para procesar imágenes a color y figuras en tres dimensiones.