3.2. Técnicas de extracción de contornos (bordes) usando filtros

Los contornos de una imagen contienen mucha de la información en la imagen, ellos contienen a los objetos, los definen y les da tamaño, y algunas veces textura. Un contorno se puede definir como el cambio de intensidad pasando de un nivel de intensidad bajo a uno alto y viceversa.

Existen muchas aplicaciones para la detección de contornos, una de ellas es, obtener los contornos de una imagen y sumarlos a ella, con esto se realzan los detalles de la imagen o como se le conoce realce de contornos. También se pueden obtener contornos como el primer paso de la segmentación, en donde un grupo de píxeles contenidos en una región determinan la composición de una imagen.

Los contornos existen en una imagen en todas las direcciones y tienen diferentes perfiles (como se muestra en la figura 3.5), y no todos los detectores de contornos trabajan para todas ellas, algunos lo hacen bastante bien en algunas aplicaciones y en otras pueden sufrir, entregando pobres resultados. En ocasiones es bueno experimentar por ensayo y error, para ver cuál es la mejor técnica de detección de contornos para la aplicación.

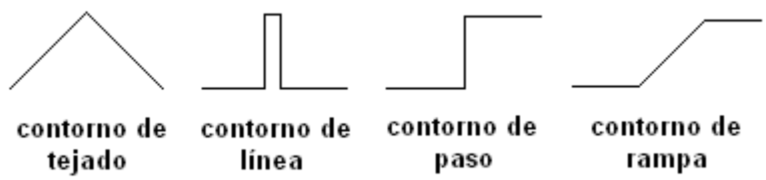
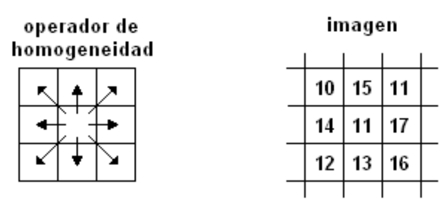


Figura 3.5 Diferentes perfiles de contornos.

Operador de homogeneidad

La forma más simple y rápida de detectar contornos es determinar el máximo valor de una serie de substracciones entre píxeles. El operador de homogeneidad substrae del píxel central a los 8 píxeles vecinos que le rodean, el máximo absoluto de esas substracciones será entonces el píxel que estará en el contorno. Esto se puede ver en la figura 3.6 y su aplicación figura 3.7.

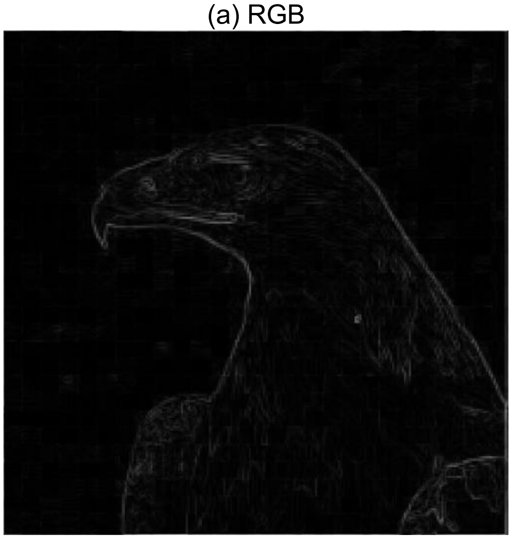


$$f(x, y) = \text{máximoDe}\{|11-10|,\ |11-15|,\ |11-11|,\ |11-14|,\ |11-17|,\ |11-12|,\ |11-13|,\ |11-16|\} = 6$$

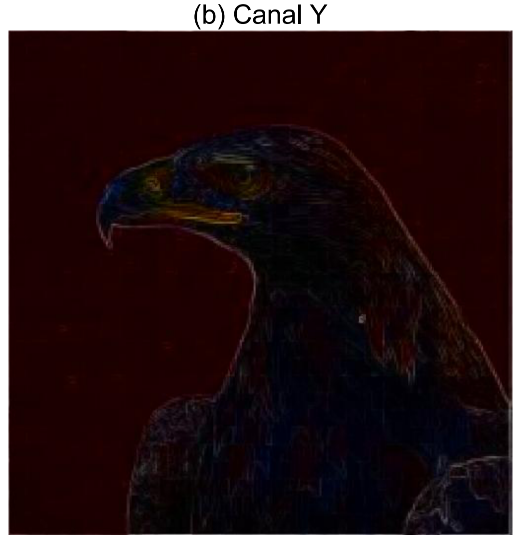
Figura 3.6 Como trabaja el operador de homogeneidad.

(a) RGB

(b) Canal Y



(c)

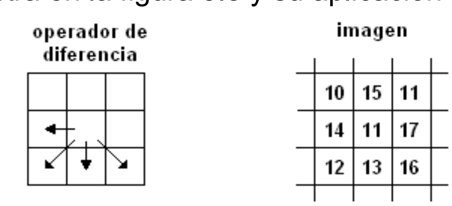


(d)

Figura 3.7 (a) Imagen original. (b) Imagen transformada de RGB a YIQ. (c) Imagen Y procesada con el operador homogeneo. (d) La imagen Y de (c) devuelva a RGB.

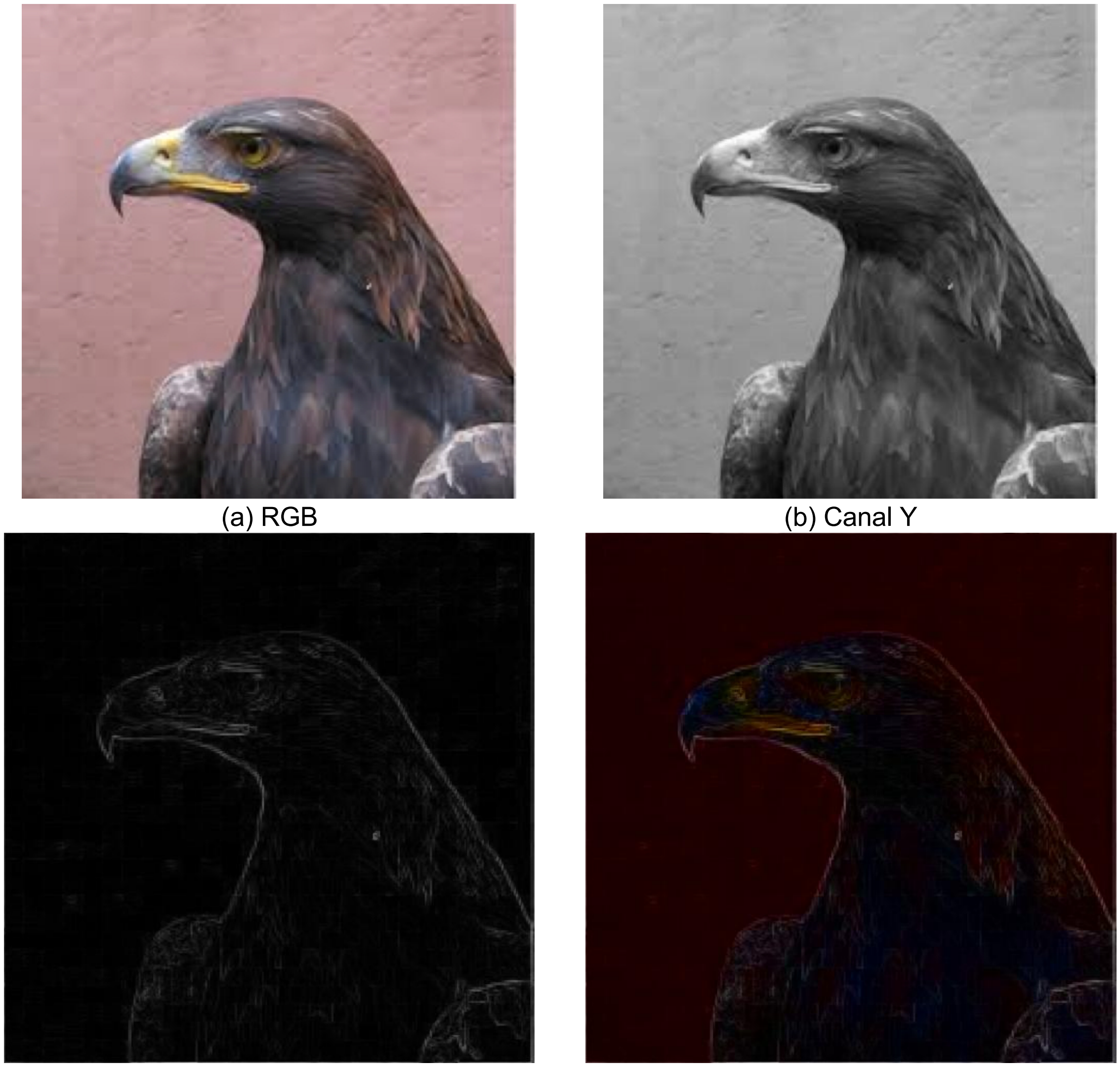
Operador de diferencia

Similar al operador de homogeneidad, existe el detector de contorno de diferencia, este detector trabaja más rápido, ya que requiere de cuatro substracciones por píxel, contra las ocho que requiere el operador de homogeneidad. Las substracciones se realizan contra los píxeles izquierdo central, esquina inferior izquierda, inferior central y la esquina inferior derecha, tal como se muestra en la figura 3.8 y su aplicación figura 3.9.



$$f(x, y) = \text{máximoDe}\{|11 - 14|, |11 - 12|, |11 - 13|, |11 - 16|\} = 5$$

Figura 3.8 Como trabaja el operador de diferencia.



(a) RGB (b) Canal Y

(c) (d)

Figura 3.9 (a) Imagen original. (b) Imagen transformada de RGB a YIQ. (c) Imagen Y procesada con el operador de diferencia. (d) La imagen Y de (c) devuelva a RGB.

Derivada de primer orden.

En este proceso se utiliza el operador gradiente (o gradiente ortogonal) para localizar o detectar contornos verticales y horizontales. Estos operadores trabajan por convolución. Los coeficientes de las máscaras suman cero, si esto no ocurriera, el proceso de convolución de la imagen con la máscara no daría como resultado una salida distinta de cero, por lo tanto, no habría contorno. Para calcular la amplitud se calcula la suma de los vectores $\boldsymbol{H}_f$ y $\boldsymbol{H}_c$ por medio de la siguiente expresión

$$H(x,y)=\sqrt{H_f^2(x,y)+H_c^2(x,y)} \tag{3.3}$$

Por simplicidad computacional, la magnitud también puede ser calculada por

$$H(x,y)=\left|H_f(x,y)+H_c(x,y)\right| \tag{3.4}$$

y la orientación del contorno puede ser calculada por

$$\theta(x,y) = \tan^{-1} \frac{H_c(x,y)}{H_f(x,y)} \tag{3.5}$$

Operadores de gradiente en compás.

Al proceso de utilizar estos operadores de gradiente, se les conoce como operadores de gradiente de compás, su nombre viene del hecho de que para encontrar los contornos presentes en una imagen se utilizan ocho diferentes máscaras, cada una con una dirección cardinal convolucionada con la imagen, como si se generara el trazado de un círculo.

Derivada de segundo orden.

Los operadores de la sección anterior producen una gran respuesta a lo largo y ancho de un área donde esté presente un contorno, esto es cierto en contornos que varían lentamente, es decir, los de rampa. Un detector de contornos debe indicar (idealmente) un contorno al centro de otro contorno. Si un detector de contorno realiza un mapeo a una imagen con un contorno grueso, es difícil localizar el contorno del centro, por esto se hace indispensable utilizar la técnica de adelgazamiento para reducir lo ancho del contorno a un píxel. Los detectores de contorno de segundo orden derivativo, proveen una mejor localización de los contornos. Con ellos se pueden detectar contornos sobre curvas cerradas, y esto es muy importante a la hora de segmentar una imagen. El operador de Laplaciano es un buen ejemplo de un operador de segundo orden derivativo, se distingue de los otros operadores, ya que es omnidireccional, es decir, encuentra contornos en todas las direcciones. El operador Laplaciano produce contornos bien definidos y mejores que las técnicas anteriores, ello incluye pendientes de intensidades positivas y negativas.
El Laplaciano de una función en dos dimensiones está representada por

$$\nabla^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \tag{3.6}$$

Una forma digital de calcular el Laplaciano para una máscara de 3 por 3 en forma práctica, viendo la figura 3.10 y a través de la expresión

mascara de convolución

h_0	h_1	h_2
h_3	h_4	h_5
h_6	h_7	h_8

Figura 3.10 Mascara de convolución.

$$\nabla^2 f = 4h_4 - (h_1 + h_3 + h_5 + h_7) \tag{3.7}$$

la única condición es que el píxel central sea positivo y la suma de todos los elementos sea igual a cero. Si se emplea la propiedad del Laplaciano de paso por cero, entonces se puede utilizar una función Gaussiana en dos dimensiones, con la cual se pueden calcular los coeficientes de la máscara, ella es

$$h(x,y) = e^{\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)} \tag{3.8}$$

donde σ es la desviación estándar y $r^2 = x^2 + y^2$; encontrando la segunda derivada de $h(x,y)$ según el Laplaciano con respecto a r:

$$\nabla^2 h(x,y) = \left(\frac{r^2 - \sigma^2}{\sigma^4}\right) e^{\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)} \tag{3.9}$$

Su respuesta puede verse en la siguiente figura 3.11.

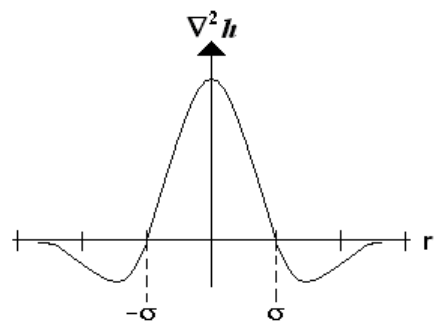


Figura 3.11 Sección transversal de $\nabla^2 h$ 0

De la figura 3.11 se observa los pasos por cero en $r = \pm\sigma$, el centro positivo y los extremos negativos, para una máscara de tamaño de 7 por 7 se tiene la siguiente mascara (figura 3.12)

0	0	-1	-1	-1	0	0
0	-2	-3	-3	-3	-2	0
-1	-3	5	5	5	-3	-1
-1	-3	5	16	5	-3	-1
-1	-3	5	5	5	-3	-1
0	-2	-3	-3	-3	-2	0
0	0	-1	-1	-1	0	0

Figura 3.12 Mascara de tamaño 7 por 7 para procesar imagen.

y para una máscara de tamaño 9 por 9 vea la figura 3.13.

0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0
0	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-2	0
0	-3	-2	-1	-1	-1	-2	-3	0
-1	-3	-1	9	9	9	-1	-3	-1
-1	-3	-1	9	19	9	-1	-3	-1
-1	-3	-1	9	9	9	-1	-3	-1
0	-3	-2	-1	-1	-1	-2	-3	0
0	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-2	0
0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0

Figura 3.13 Mascara de tamaño 9 por 9 para procesar imagen.