

Operadores detectores de bordes

Baños Islas Jesús Alberto
9CV12

INTRODUCCIÓN

En el mundo del procesamiento de imágenes, los operadores detectores de bordes desempeñan un papel crucial al permitir la identificación y resaltado de las transiciones significativas de intensidad dentro de una imagen. Estas transiciones, comúnmente asociadas con los bordes de objetos o estructuras en una escena, ofrecen información valiosa sobre la forma y la estructura de los elementos presentes en la imagen.

Estos operadores, diseñados para capturar cambios abruptos en la intensidad de los píxeles, constituyen herramientas esenciales en el arsenal del procesamiento de imágenes. Desde el operador Sobel, que calcula gradientes en direcciones horizontal y vertical, hasta el sofisticado operador Prewitt, que integra múltiples etapas para obtener bordes precisos, estos algoritmos son clave para la extracción y realce de características visuales fundamentales.

Exploraremos la diversidad de operadores detectores de bordes, cada uno con sus propias características y aplicaciones específicas. Desde la simplicidad del operador Roberts hasta la robustez del operador Kirsch, estos algoritmos se han convertido en herramientas esenciales en áreas como la visión por computadora, el análisis de imágenes médicas y la inspección industrial, contribuyendo significativamente a la interpretación y comprensión de la información visual.

DESARROLLO

Prewitt

El operador Prewitt es un operador detector de bordes ampliamente utilizado en el procesamiento de imágenes. Fue desarrollado por Judith M. Prewitt en 1970 y se utiliza para resaltar las transiciones de intensidad en las direcciones horizontal y vertical de una imagen. Este operador forma parte de la familia de operadores de máscaras convolucionales y es especialmente útil para identificar bordes en imágenes donde los cambios de intensidad ocurren predominantemente en direcciones horizontales o verticales.

La operación del operador Prewitt implica el uso de dos máscaras convolucionales separadas, una para la detección de bordes horizontales y otra para los bordes verticales. Estas máscaras están diseñadas para calcular las derivadas parciales en las direcciones respectivas. La máscara para los bordes horizontales es:

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Y la máscara para los bordes verticales es la transpuesta de la anterior:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Estas máscaras se aplican a la imagen original mediante una operación de convolución. La magnitud del gradiente en cada píxel se calcula como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las derivadas parciales horizontal y vertical. Este proceso genera una nueva imagen donde los píxeles resaltan las regiones donde la intensidad cambia abruptamente en ambas direcciones.

Tras aplicar esta máscara a la siguiente imagen:



Ilustración 1: Fotografía que se utilizara para los distintos detectores de bordes

Los resultados obtenidos son los siguientes:
Para las formas horizontales

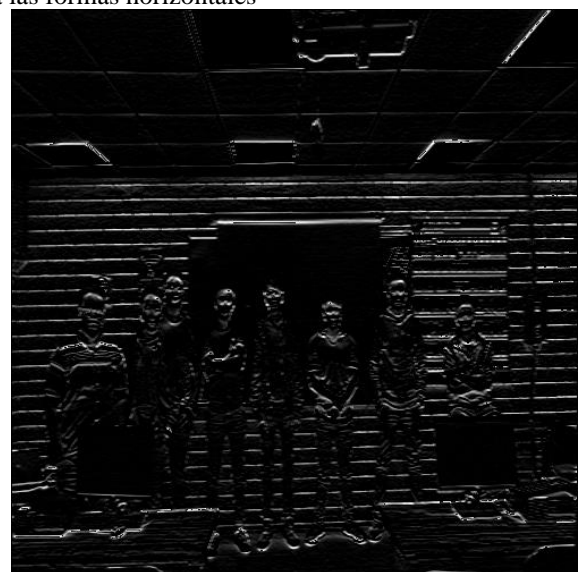


Ilustración 2: Resultado tras aplicar la máscara Prewitt horizontal

Para las formas verticales:

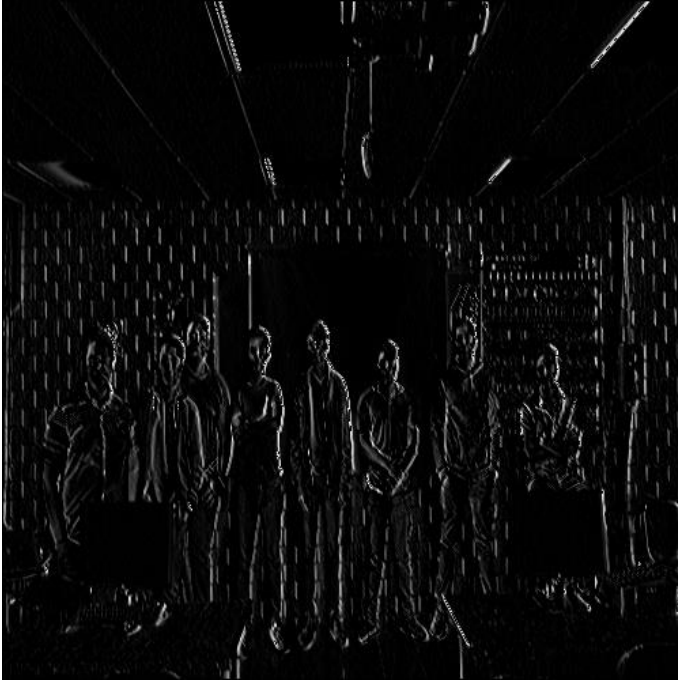


Ilustración 3: Resultado tras aplicar la máscara Prewitt vertical

El operador Prewitt es eficaz para detectar bordes verticales y horizontales, lo que lo hace adecuado para aplicaciones donde estas características son prominentes, como en imágenes con estructuras lineales. Sin embargo, en presencia de bordes diagonales o en imágenes con ruido significativo.

Sobel

El operador Sobel es un operador detector de bordes utilizado en el procesamiento de imágenes para resaltar las transiciones de intensidad en direcciones horizontal y vertical. Este operador es especialmente útil para identificar bordes en imágenes donde los cambios de intensidad se producen predominantemente en estas direcciones.

El operador Sobel utiliza máscaras convolucionales para calcular las derivadas parciales de la imagen en las direcciones horizontal y vertical. Estas máscaras están diseñadas para capturar los cambios de intensidad en cada dirección y, al combinar las derivadas horizontal y vertical, se obtiene la magnitud del gradiente en cada píxel. La máscara para la dirección horizontal es:

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

La máscara para la dirección vertical es la transpuesta de la anterior:

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Estas máscaras se aplican a la imagen original mediante una operación de convolución. La magnitud del gradiente en cada píxel se calcula como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las derivadas parciales horizontal y vertical. Este proceso genera una nueva imagen donde los píxeles resaltan las regiones donde la intensidad cambia abruptamente en ambas direcciones.

Aplicaremos estas máscaras a la imagen anterior para poder ver los resultados.

Para las formas horizontales



Ilustración 4: Resultado tras aplicar la máscara Sobel horizontal

Para las formas verticales



Ilustración 5: Resultado tras aplicar la máscara Sobel vertical

El operador Sobel es ampliamente utilizado debido a su simplicidad y eficacia para detectar bordes. Es especialmente útil en aplicaciones donde se desean resaltar características lineales en direcciones específicas, como en imágenes con bordes horizontales o verticales prominentes. Sin embargo, al igual que otros operadores, su rendimiento puede variar según las características específicas de la imagen y la aplicación.

Isotrópico

El operador Prewitt y el operador Sobel son operadores detectores de bordes que se utilizan en el procesamiento de imágenes para resaltar las transiciones de intensidad en direcciones horizontal y vertical. Estos dos operadores comparten similitudes, y el operador Sobel efectivamente incorpora un factor $\sqrt{2}$ para lograr un mejor rendimiento en la detección de bordes diagonales en comparación con el operador Prewitt. Aplicaremos la siguiente máscara a la fotografía previamente mostrada.

Para las formas horizontales:

$$\begin{matrix} -1 & -\sqrt{2} & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & \sqrt{2} & 1 \end{matrix}$$

La máscara para la dirección vertical es la transpuesta de la anterior:

$$\begin{matrix} -1 & 0 & 1 \\ -\sqrt{2} & 0 & \sqrt{2} \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix}$$

El factor $\sqrt{2}$ está implícitamente presente en estas máscaras, ya que las máscaras del operador Sobel son derivadas de máscaras Prewitt. La incorporación de este factor adicional mejora la capacidad del operador Sobel para detectar bordes en direcciones diagonales, proporcionando una respuesta más robusta y sensible a las características de la imagen.

Aplicando la máscara horizontal, el resultado es el siguiente:



Ilustración 6: Resultado tras aplicar la máscara isotropico horizontal

Aplicando la máscara vertical, el resultado es el siguiente:



Ilustración 7: Resultado tras aplicar la máscara isotropico vertical

Roberts

El operador Roberts es otro operador detector de bordes utilizado en el procesamiento de imágenes. Este operador, desarrollado por Lawrence Roberts en 1963, utiliza máscaras convolucionales más simples en comparación con operadores como Sobel o Prewitt.

Las máscaras convolucionales del operador Roberts son las siguientes:

Para la detección de bordes en la dirección diagonal superior izquierda a inferior derecha:

$$\begin{matrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{matrix}$$

Para la detección de bordes en la dirección diagonal superior derecha a inferior izquierda:

$$\begin{matrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{matrix}$$

Estas máscaras están diseñadas para calcular las derivadas parciales en direcciones diagonales. La aplicación de estas máscaras a la imagen original mediante una operación de convolución produce una aproximación de los cambios en la intensidad de píxeles en estas direcciones.

Aplicando el metodo Roberts en la direccion diagonal superior izquierda, el resultado es el siguiente:



Ilustración 8: Resultado tras aplicar la máscara Roberts en dirección superior diagonal izquierda

Aplicando el método Roberts en la dirección diagonal superior derecha, el resultado es el siguiente:



Ilustración 9: Resultado tras aplicar la máscara Roberts en dirección superior diagonal derecha

Aunque el operador Roberts es simple y computacionalmente eficiente, puede ser sensible al ruido en la imagen y no es tan robusto como algunos de los operadores más avanzados. Su diseño básico lo hace adecuado para aplicaciones donde se desea simplicidad y velocidad de cálculo, y donde los bordes diagonales son de particular interés.

Es importante destacar que, debido a su simplicidad, el operador Roberts puede no ser la mejor opción en imágenes con ruido o en situaciones donde se requiere una detección de bordes más precisa y robusta. En tales casos, se pueden preferir operadores más avanzados como Sobel o Prewitt.

Kirsch

El operador Kirsch es otro operador utilizado en el procesamiento de imágenes para la detección de bordes. Este operador, desarrollado por Friedrich Kirsch en 1971, se basa en máscaras convolucionales que son aplicadas a la imagen original para resaltar los bordes en varias direcciones.

El operador Kirsch utiliza ocho máscaras diferentes, cada una diseñada para detectar bordes en una dirección específica. Estas máscaras representan las ocho posibles direcciones en la vecindad de un píxel (horizontal, vertical y diagonales). A continuación, se presentan dos ejemplos de estas máscaras para la detección de bordes en direcciones específicas:

0°

$$\begin{bmatrix} -3 & -3 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & 5 \end{bmatrix}$$

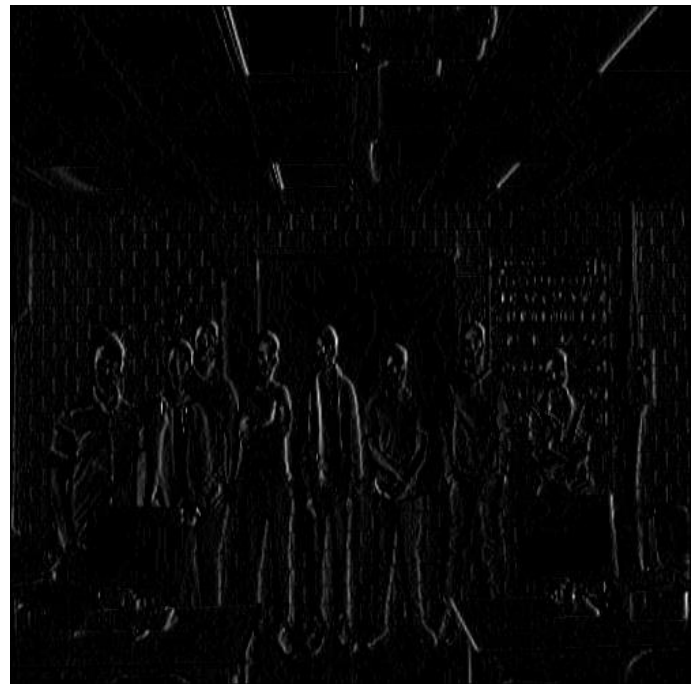


Ilustración 10: Resultado tras aplicar la máscara Kirsch a 0°

45°

$$\begin{bmatrix} -3 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix}$$

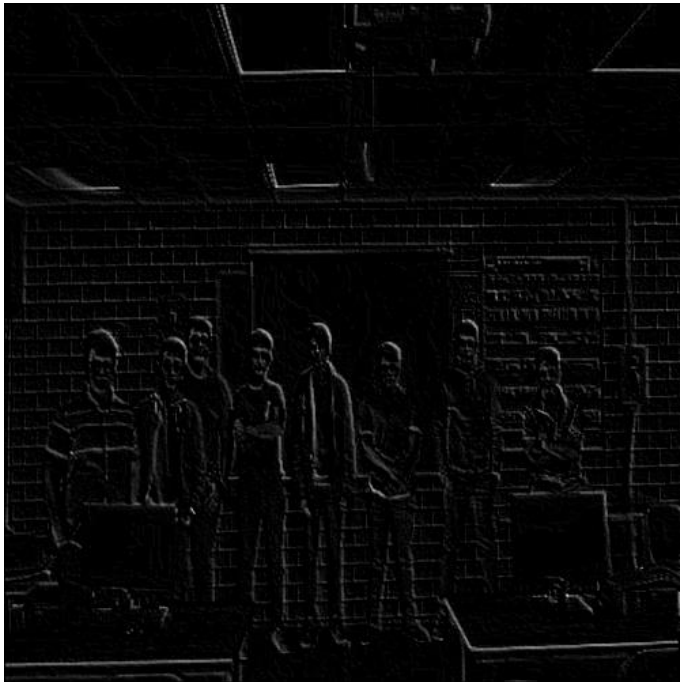


Ilustración 11: Resultado tras aplicar la máscara Kirsch a 45°

135°

$$\begin{bmatrix} 5 & 5 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix}$$

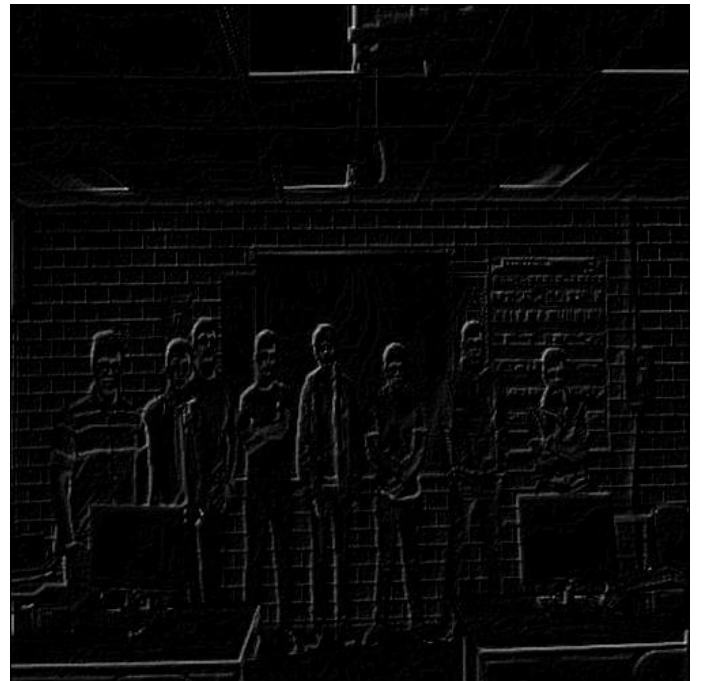


Ilustración 13: Resultado tras aplicar la máscara Kirsch a 135°

90°

$$\begin{bmatrix} 5 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix}$$

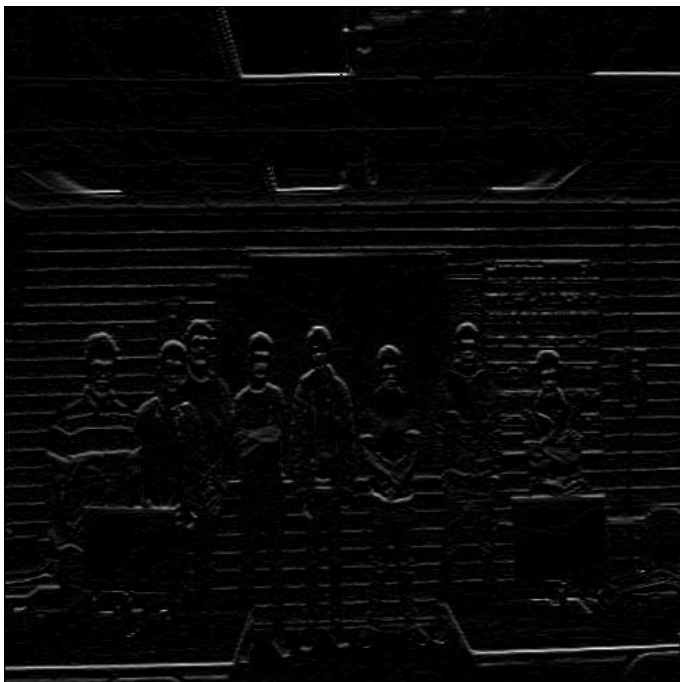


Ilustración 12: Resultado tras aplicar la máscara Kirsch a 90°

180°

$$\begin{bmatrix} 5 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & -3 & -3 \end{bmatrix}$$



Ilustración 14: Resultado tras aplicar la máscara Kirsch a 180°

225°

$$\begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & -3 \end{bmatrix}$$

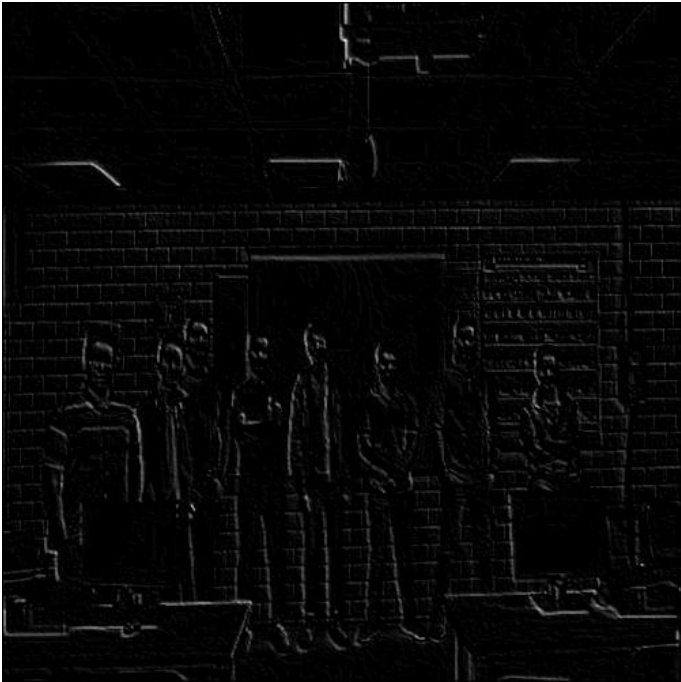


Ilustración 15: Resultado tras aplicar la mascara **Kirsch** a 225°

315°

$$\begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & 5 & 5 \end{bmatrix}$$



Ilustración 17: Resultado tras aplicar la mascara **Kirsch** a 315°

270°

$$\begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{bmatrix}$$



Ilustración 16: Resultado tras aplicar la mascara **Kirsch** a 270°

Estas máscaras se aplican a la imagen original mediante una operación de convolución, y la magnitud del gradiente en cada dirección se calcula para resaltar los bordes. El operador Kirsch busca identificar las direcciones en las que la intensidad cambia de manera significativa.

Aunque el operador Kirsch puede ser computacionalmente más costoso debido al uso de múltiples máscaras, puede ser más sensible a los detalles finos y a las direcciones específicas de los bordes en comparación con operadores más simples. La elección entre operadores depende de la aplicación específica y de las características de la imagen que se deseen resaltar.

Robinson

El operador Robinson es otro operador utilizado en el procesamiento de imágenes para la detección de bordes. Similar al operador Kirsch, el operador Robinson también utiliza máscaras convolucionales para resaltar bordes en diferentes direcciones.

Al igual que Kirsch, Robinson utiliza ocho máscaras diferentes, cada una diseñada para detectar bordes en una dirección específica. Las máscaras de Robinson también representan las ocho posibles direcciones en la vecindad de un píxel (horizontal, vertical y diagonales). A continuación, se presentan dos ejemplos de estas máscaras para la detección de bordes en direcciones específicas:

0°

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ilustración 18: Resultado tras aplicar la mascara **Robinson a 0°**

90°

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

Ilustración 20: Resultado tras aplicar la mascara **Robinson a 90°**

45°

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Ilustración 19: Resultado tras aplicar la mascara **Robinson a 45°**

135°

$$\begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix}$$

Ilustración 21: Resultado tras aplicar la mascara **Robinson a 135°**

180°

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Ilustración 22: Resultado tras aplicar la máscara **Robinson** a 180°

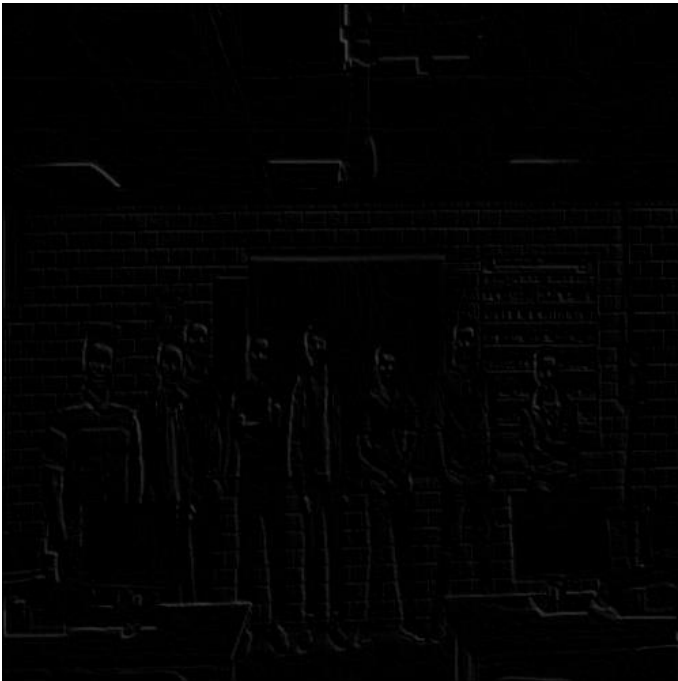
270°

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Ilustración 24: Resultado tras aplicar la máscara **Robinson** a 270°

225°

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Ilustración 23: Resultado tras aplicar la máscara **Robinson** a 225°

315°

$$\begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

Ilustración 25: Resultado tras aplicar la máscara **Robinson** a 315°

Estas máscaras se aplican a la imagen original mediante una operación de convolución, y la magnitud del gradiente en cada dirección se calcula para resaltar los bordes. El operador Robinson busca identificar las direcciones en las que la intensidad cambia de manera significativa, al igual que el operador Kirsch.

La elección entre operadores, como Kirsch o Robinson, a menudo depende de la aplicación específica y de las características de la imagen que se deseen resaltar. Estos operadores proporcionan flexibilidad para adaptarse a diferentes situaciones y direcciones de bordes en una imagen.

Frei – Chen

El operador Frei-Chen es un operador utilizado en el procesamiento de imágenes para la detección de bordes. Al igual que los operadores Kirsch y Robinson, el operador Frei-Chen utiliza máscaras convolucionales para resaltar bordes en diferentes direcciones.

El operador Frei-Chen fue propuesto por Hsin-Chun Chen y Thomas H. Frei en 1977. Este operador utiliza una familia de máscaras que están diseñadas para ser isotrópicas, lo que significa que son invariantes a la dirección. La isotropía en el contexto de detección de bordes se refiere a la capacidad de responder de manera uniforme a los bordes en todas las direcciones, sin mostrar preferencia por una dirección específica.

A diferencia de algunos otros operadores que utilizan máscaras de tamaño fijo, el operador Frei-Chen permite ajustar la magnitud de las máscaras para controlar el grado de suavizado o agudización en la detección de bordes. Esta característica lo hace más versátil y adaptable a diferentes condiciones y características de imágenes.

$$\frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & \sqrt{2} & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -\sqrt{2} & -1 \end{bmatrix}$$



Ilustración 26: Resultado tras aplicar la máscara **Frei-Chen 1**

$$\frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ \sqrt{2} & 0 & -\sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$



Ilustración 27: Resultado tras aplicar la máscara **Frei-Chen 2**

$$\frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & -1 & -\sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \\ \sqrt{2} & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

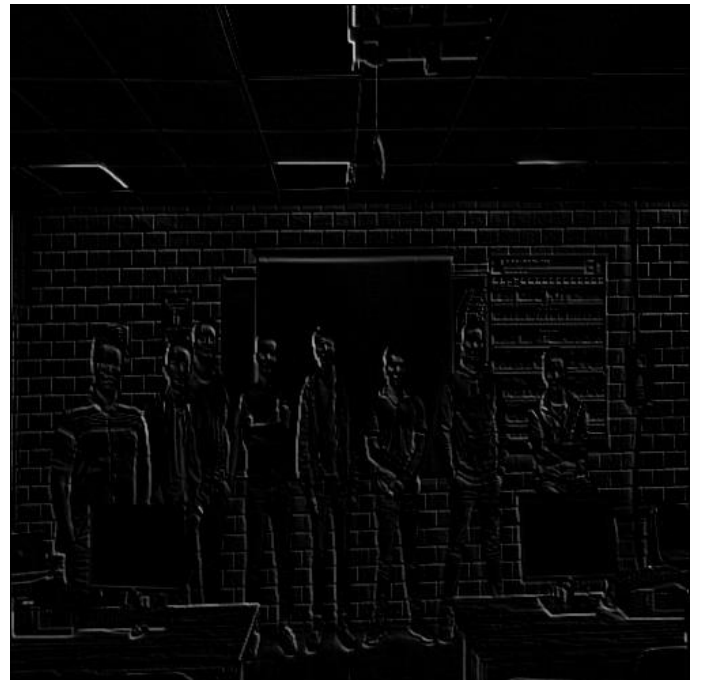


Ilustración 28: Resultado tras aplicar la máscara **Frei-Chen 3**

$$\frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \sqrt{2} & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -\sqrt{2} \end{bmatrix}$$



Ilustración 29: Resultado tras aplicar la mascara **Frei-Chen 4**

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

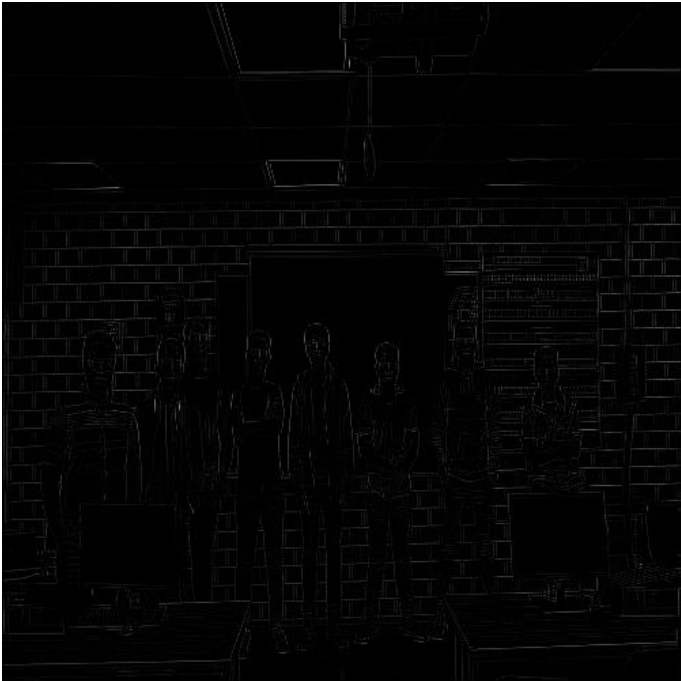


Ilustración 30: Resultado tras aplicar la mascara **Frei-Chen 5**

Debido a su isotropía y capacidad para ajustar la magnitud de las máscaras, el operador Frei-Chen puede ser útil en aplicaciones donde se desea una detección de bordes sensible pero sin una preferencia direccional específica.

Detector de bordes X e Y

Puedes aplicar estas máscaras convolucionales por separado a la imagen original y luego calcular la magnitud del gradiente en cada píxel como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los resultados obtenidos en las direcciones horizontal y vertical.

La máscara en dirección horizontal detectará cambios de intensidad en la dirección x, mientras que la máscara en dirección vertical detectará cambios en la dirección y. Al combinar ambas direcciones, obtendrás una representación de los bordes en ambas direcciones.

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$



Ilustración 31: Resultado tras aplicar la mascara para la detección de bordes en todas las direcciones

CONCLUSIONES

Los operadores detectores de bordes desempeñan un papel crucial en el procesamiento de imágenes, proporcionando herramientas fundamentales para la identificación y resaltado de las transiciones de intensidad que delimitan objetos y estructuras en una imagen. A lo largo de esta discusión, hemos explorado varios operadores notables, cada uno con sus propias características y aplicaciones específicas.

En primer lugar, los operadores clásicos como Sobel, Prewitt y Roberts, basados en máscaras convolucionales, son eficaces para la detección de bordes en direcciones específicas, ya sea horizontal, vertical o diagonal. Estos operadores son relativamente simples, computacionalmente eficientes y adecuados para aplicaciones donde la orientación de los bordes es conocida o se desea resaltar en direcciones específicas.

Operadores más avanzados, como Kirsch, Robinson y Frei-Chen, amplían la capacidad de detección de bordes al utilizar máscaras isotrópicas, lo que significa que responden de manera uniforme en todas las direcciones. Esta isotropía es especialmente valiosa cuando la orientación de los bordes es desconocida o variable. El operador Frei-Chen, en particular, destaca por su capacidad para ajustar la magnitud de las máscaras, ofreciendo una flexibilidad adicional en el procesamiento de imágenes.

La elección del operador detector de bordes dependerá de la aplicación específica y de las características de la imagen. La isotropía y la capacidad de ajuste de parámetros pueden ser factores determinantes en situaciones donde la dirección y la intensidad de los bordes varían significativamente. Además, la robustez frente al ruido y la capacidad para resaltar detalles finos son consideraciones clave en la elección del operador más adecuado.

REFERENCIAS

- [1] Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2008). Digital Image Processing (3rd ed.). Pearson Education.
- [2] Sonka, M., Hlavac, V., & Boyle, R. (2007). Image Processing, Analysis, and Machine Vision (3rd ed.). Thomson.
- [3] Pratt, W. K. (2007). Digital Image Processing: PIKS Inside (4th ed.). John Wiley & Sons.
- [4] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, & Steven L. Eddins. (2009). Digital Image Processing Using MATLAB. Gatesmark Publishing.
- [5] Burger, W., & Burge, M. J. (2008). Principles of Digital Image Processing: Core Algorithms (Undergraduate Topics in Computer Science). Springer.