

Visión Artificial

---

# Tema 7. Procesamiento de imagen. Operaciones espaciales

# Índice

## Esquema

## Ideas clave

7.1. ¿Cómo estudiar este tema?

7.2. Filtros paso bajo y paso alto

7.3. Detección de bordes

7.4. Referencias bibliográficas

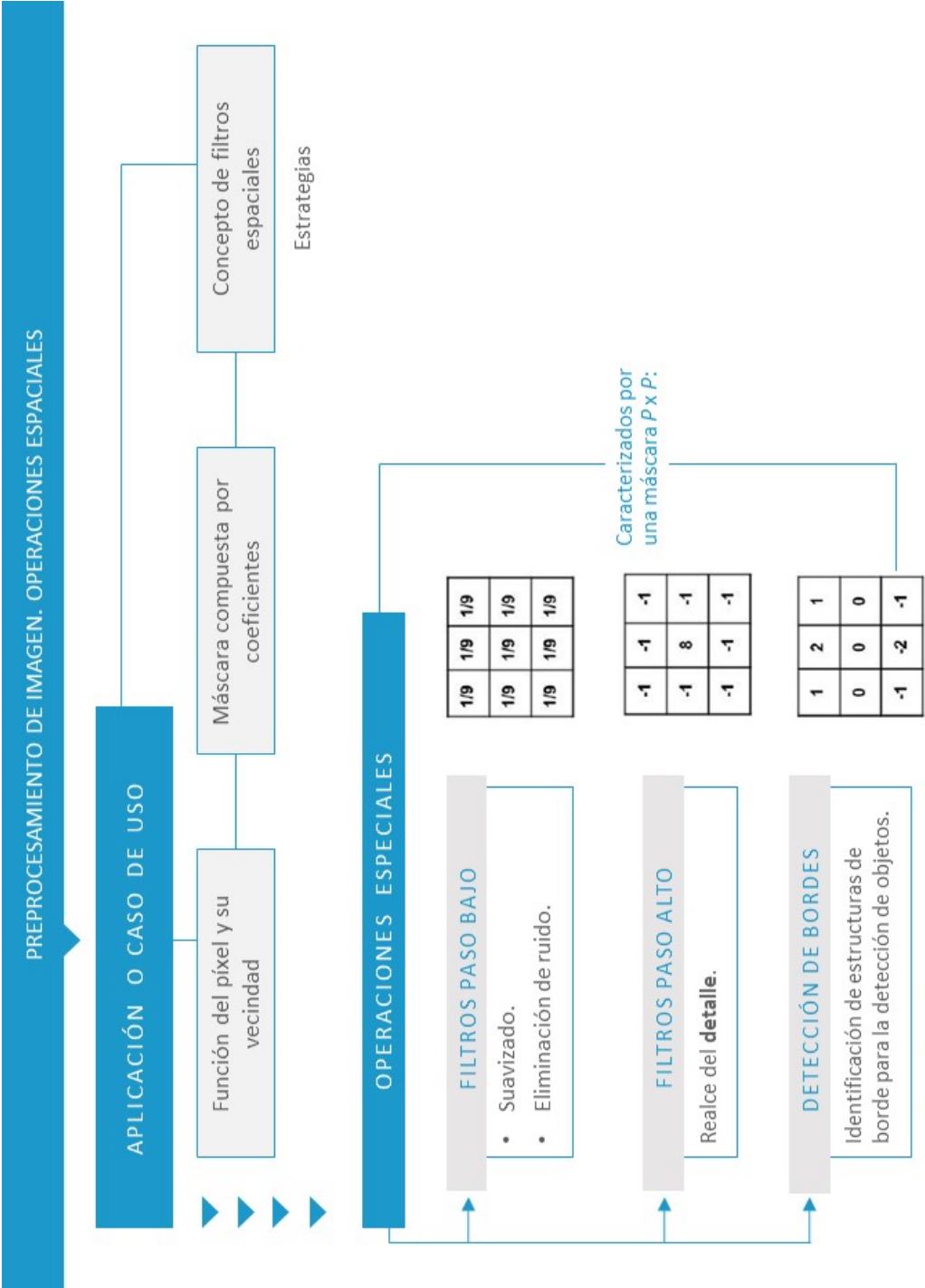
## A fondo

Spatial filters

Mathworks

Bibliografía

## Test



## 7.1. ¿Cómo estudiar este tema?

Para estudiar este tema deberás leer con atención las ideas clave que se desarrollan a continuación.

En el tema anterior se describieron un conjunto de técnicas de realce de imagen. Estas persiguen ensalzar las estructuras presente en la imagen, de forma que, en etapas posteriores, pueda obtenerse información de interés. Los operadores analizados fueron calificados como elementales, dada la naturaleza de las operaciones que, en ese caso, correspondía a funciones de transformación punto a punto.

### Operadores espaciales

En el presente tema se aborda la utilización de operadores más complejos para el realce de imagen. Concretamente, se estudiarán diferentes operaciones espaciales. Para este tipo de operadores, el valor del píxel resultante es **función del píxel** correspondiente en la imagen original **y de la vecindad de este**. Además, se emplea una subimagen de tamaño similar a esta vecindad y compuesta por elementos denominados coeficientes que se conoce como máscara. Así, el operador puede expresarse de la siguiente forma:

$$v = T(u, u_1, u_2, \dots, u_{P^2-1}; \lambda, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{P^2-1})$$

Donde:

- ▶  $v$  denota al valor de intensidad del píxel resultante.
- ▶  $u$  es el píxel correspondiente en la imagen original.

- ▶  $u_i$  ( $i = 1, \dots, P^2 - 1$ ) son los píxeles vecinos  $P^2 - 1$  para una vecindad de tamaño  $P \times P$  centrada en  $u$ .
- ▶  $\lambda, \lambda_i$  ( $i = 1, \dots, P^2 - 1$ ) son los coeficientes de la máscara que define el operador espacial.

Si el operador es de **tipo convolutivo**, el valor del píxel resultante será una función lineal de los valores de intensidad de los píxeles de entrada, expresándose el operador  $T$  de la siguiente forma:

$$v = \lambda u + \sum_{i=1}^{P^2-1} \lambda_i u_i$$

Como se ha indicado, el operador espacial queda definido por los coeficientes  $\lambda_i$  de la máscara. Por tanto, es común proporcionar una descripción del operador mediante la representación de esta máscara.

Por ejemplo, para un operador espacial  $3 \times 3$ , la máscara tendría el aspecto mostrado en la siguiente figura:

$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$
$\lambda_4$	$\lambda$	$\lambda_5$
$\lambda_6$	$\lambda_7$	$\lambda_8$

Figura 1. Máscara de un operador espacial de dimensión  $3 \times 3$ .

Típicamente, se toma  $P$  impar, de forma que la máscara se centra en el píxel bajo estudio. Mediante esta representación, puede obtenerse una interpretación del operador a través de una inspección visual de su máscara.

En los siguientes epígrafes de este tema se presentan algunas implementaciones de filtros espaciales comúnmente empleados en las etapas de preprocesado de una imagen. La figura 2 recoge los principales conceptos expuestos en el tema:

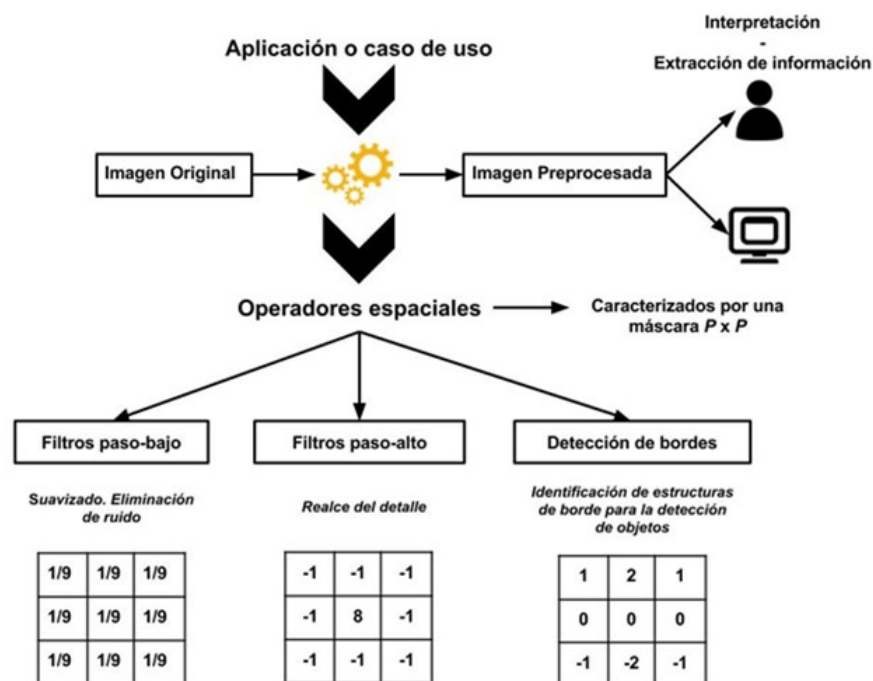


Figura 2. Esquema de los conceptos y descripción de los principales operadores espaciales sobre imágenes.

El **concepto de filtro** tiene su origen en las funciones de transferencia de los sistemas diseñados íntegramente en el dominio de la frecuencia. Sin embargo, en este tema, se emplea el término filtro para referirnos a las operaciones llevadas a cabo directamente sobre los píxeles de la imagen. Así, el término filtrado espacial se emplea para denominar a este tipo de operaciones frente a los filtros diseñados y aplicados en el dominio frecuencial.

En este punto, cabe recordar el filtro de mediana descrito en anteriormente. Se trata, al igual que los operadores descritos en este tema, de un filtro espacial, pues su respuesta se calcula directamente sobre el píxel de interés y su vecindad. Sin embargo, el filtro de mediana supone una dependencia no lineal de la respuesta y el conjunto de píxeles de entrada.

Una cuestión a considerar cuando se implementan filtros espaciales es la estrategia a seguir para aquellos píxeles cercanos al borde de la imagen. Cuando la máscara se centra en uno de estos píxeles, parte de ella queda fuera de la imagen. Concretamente, para aquellos **píxeles alejados del borde** una distancia inferior a  $(P - 1) / 2$  píxeles, parte de la máscara quedará fuera de la imagen. En este caso, existen diferentes estrategias para manejar esta situación:

- ▶ La más simple de todas ellas es aplicar la máscara solo a aquellos píxeles que estén situados a una **distancia mayor o igual a  $(P - 1) / 2$  píxeles** del borde.
- La principal limitación de esta estrategia radica en que la imagen de salida será de tamaño menor que la imagen original.
- ▶ Otra opción es **calcular la respuesta del filtro** para aquellos puntos cercanos al borde, teniendo en cuenta únicamente los píxeles de la imagen que caen dentro de la máscara. Esta opción es tomada comúnmente cuando se requiere que la imagen de salida conserve el tamaño de la imagen original.
- ▶ Por último, cabe la posibilidad de **añadir filas/columnas a la imagen** con un valor determinado. Habitualmente, estas filas/columnas añadidas contienen píxeles con valor 0, 1 o el promedio de la intensidad de la imagen. También es posible replicar la última fila/columna de la imagen a fin de añadir estos nuevos píxeles.
- La limitación fundamental de esta estrategia es que la respuesta del filtro en los píxeles cercanos al borde está influenciada por el valor de intensidad de los píxeles añadidos de forma artificial.



## 7.2. Filtros paso bajo y paso alto

A continuación se exponen las características de los filtros espaciales empleados habitualmente para la selección de frecuencias bajas y altas.

Tal y como se ha mencionado, estos filtros se definen y aplican sobre los píxeles originales de la imagen y, a pesar de su nombre, no hacen referencia a filtros diseñados y aplicados en el dominio de la frecuencia.

### Filtros espaciales paso bajo (suavizado)

El efecto del filtro paso bajo se obtiene mediante el **cálculo del promedio** a partir del conjunto de píxeles definidos por la máscara, por tanto, los coeficientes de esta serán mayores que cero. Además, a fin de preservar la componente continua de la señal original, estos coeficientes son normalizados de forma que la suma de todos ellos sea la unidad.

La idea detrás de estos filtros de promediado es simple. Si se reemplaza el valor de intensidad de un píxel por el promedio de los píxeles vecinos, **se atenúan las variaciones bruscas de intensidad**. Por definición, un cambio significativo de intensidad en píxeles cercanos está asociado a una componente frecuencial alta que, de esta manera, sería eliminada por el filtro. Este suele ser el caso del ruido de captación, que representa una componente aleatoria de la señal de entrada caracterizada por transiciones bruscas entre píxeles contiguos.

En el caso de no contar con un conjunto de instantáneas de la misma escena para, tal y como se describió en el tema anterior, obtener el promedio de todas ellas y reducir el ruido, la aplicación de un **filtro espacial de promediado** es una solución plausible a fin de mejorar la calidad de la imagen y ensalzar sus estructuras. La principal desventaja de este filtro es el efecto de suavizado o desenfoque sobre algunas de las estructuras caracterizadas por componentes frecuenciales elevadas

como, por ejemplo, los bordes entre objetos. La figura 3 muestra las máscaras correspondientes a sendos filtros espaciales de promediado (paso bajo).

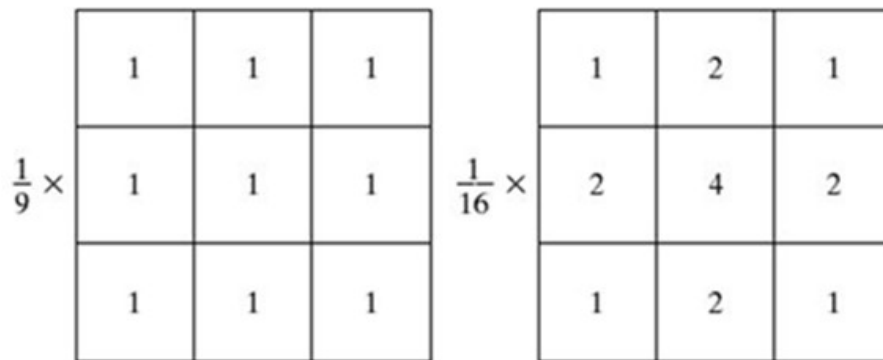


Figura 3. Máscaras correspondientes a dos filtros espaciales de promediado.

La máscara de la izquierda posee el mismo valor para todos sus coeficientes, mientras que la máscara de la derecha, al tener coeficientes de diferente valor, lleva a cabo el **cálculo del promedio ponderado**.

La máscara de la izquierda refleja un filtro en el que se lleva a cabo el promediado simple de los píxeles de la vecindad, pues todos los coeficientes tienen el mismo valor.

Un filtro de promediado en el que todos sus coeficientes son iguales se denomina *box filter*.

En el caso de la máscara de la derecha, como puede observarse, hay coeficientes que tienen más peso que otros. En este caso, el promediado está ponderado, dando mayor relevancia a unos píxeles frente a otros. Concretamente, en el ejemplo de la figura, el píxel central es el de mayor peso, seguido de los píxeles contiguos.

Los filtros mostrados en el ejemplo tienen un tamaño 3 x 3. Sin embargo, puede considerarse cualquier **tamaño del filtro**. Este factor influye, a su vez, en el

resultado del filtrado y debe escogerse de acuerdo al nivel de ruido presente en la imagen original y al nivel de calidad exigido por el escenario práctico en el que nos encontremos. Por lo general, un filtro de mayor dimensión tenderá a eliminar el ruido de forma más eficiente, pero a costa de producir una imagen más desenfocada, ya que el promediado se computa a partir de un mayor número de píxeles.

### Filtros espaciales paso-alto (afilado)

El principal objetivo de los filtros espaciales para el afilado de la imagen es realzar los detalles más finos de la imagen o, también, corregir el desenfoque producido como consecuencia del proceso de adquisición.

En el epígrafe anterior, se describían los filtros espaciales enfocados en el suavizado de la imagen para la supresión de ruido. Las máscaras que caracterizan estos filtros implementan una operación de promediado que, matemáticamente, se corresponde con la operación de integración o suma de elementos. Los filtros de afilado o ensalzamiento del detalle persiguen un objetivo opuesto. Es decir, tratan de **magnificar las variaciones o contrastes** entre estructuras de la imagen. Por tanto, las máscaras correspondientes a estos filtros incluirán coeficientes tales que lleven a cabo cálculos de diferenciación. El **cálculo de diferencias** es necesario para la obtención de la derivada de una función. A su vez, la derivada representa la operación inversa a la integración desde un punto de vista matemático.

La derivada de una función se hace más pronunciada en aquellos puntos en los que hay cambios más significativos.

Así, los operadores espaciales paso alto que aproximan la derivada de la función imagen en las coordenadas  $(x,y)$  ensalzan los bordes y otras discontinuidades (por ejemplo, el ruido), atenuando aquellas áreas de la imagen en las que la variación es poco relevante o nula. En definitiva, actúan como un filtro de característica paso alto que retiene las componentes frecuenciales más elevadas de la imagen.

Los filtros espaciales paso alto se basan en la aproximación de las derivadas de primer y segundo orden. Nótese que estas operaciones matemáticas se llevan a cabo sobre funciones discretas, como son las imágenes. Los valores de intensidad que pueden observarse en estas son finitos y, por tanto, las variaciones entre píxeles así lo serán. Además, la menor distancia entre dos puntos de la función entre los que cuantificar una variación vendrá dada por dos píxeles adyacentes.

Para la definición de la aproximación de las derivadas de primer y segundo orden en un contexto digital como el descrito, emplearemos por simplicidad **señales unidimensionales**; el procedimiento es extensible a señales bidimensionales sin pérdida alguna de generalidad.

La **derivada de primer orden** de una señal discreta  $f[n]$  puede estimarse como:

$$\frac{\partial f}{\partial n} = f[n+1] - f[n]$$

Para definir las propiedades de ambas operaciones, podemos observar la siguiente imagen donde se muestra el cálculo de ambas derivadas sobre una secuencia numérica que representa diferentes tipos de discontinuidades.

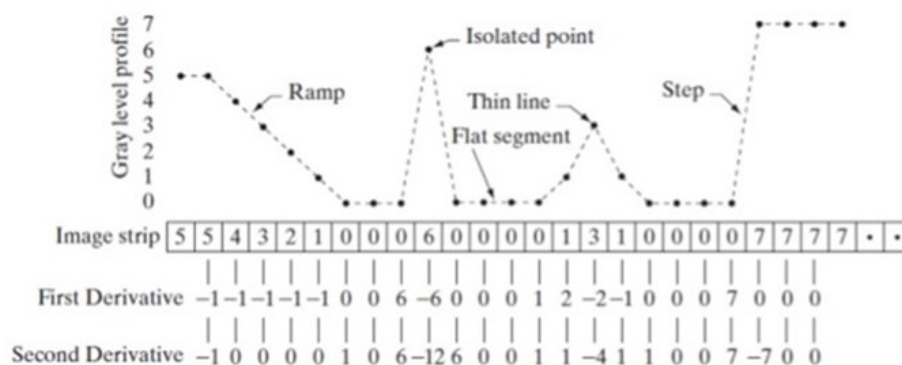


Figura 4. Estimación de derivadas de primer y segundo orden sobre una secuencia numérica. Análisis de la capacidad de estos operadores para la identificación de diferentes tipos de discontinuidades. Fuente:

González y Woods, 2008.

En primer lugar, se aprecia como la primera derivada es distinta de cero durante toda la rampa inicial de la secuencia, mientras que la segunda derivada solo toma valores distintos de cero durante el comienzo y final de la rampa. Dado que los **bordes** en una imagen vienen dados por este tipo de perfil en forma de rampa, se puede extraer que la primera derivada produce bordes gruesos, mientras que los identificados por la segunda derivada son mucho más finos.

Posteriormente, se aprecia un **punto aislado en la secuencia**. Para este, la respuesta es mucho más significativa en el caso de la segunda derivada. Esto hecho no es sorprendente, ya que la derivada de segundo orden magnifica los cambios de forma más pronunciada que la derivada de primer orden. Por tanto, este será el resultado con este tipo de puntos aislados y, por consiguiente, con elementos espurios como el ruido.

La línea delgada que encontramos a continuación en nuestra secuencia produce un resultado similar. La respuesta de la segunda derivada sería aún más pronunciada si esta línea fina alcanzara el nivel de intensidad del punto aislado que se ha visto previamente. Finalmente, la secuencia muestra una discontinuidad brusca que es capturada de forma muy parecida por ambos operadores de derivada.

A continuación, exponemos un resumen de las **conclusiones** extraídas de la comparación del resultado producido por las derivadas de primer y segundo orden.

COMPARACIÓN ENTRE DERIVADAS DE PRIMER Y SEGUNDO ORDEN	
DERIVADA DE PRIMER ORDEN	DERIVADA DE SEGUNDO ORDEN
Produce <b>bordes más gruesos</b> en la imagen resultante.	Tiene una respuesta más pronunciada a <b>detalles más finos</b> como líneas delgadas o puntos aislados.
Presenta una respuesta más acusada a <b>cambios con forma de escalón</b> en el nivel de intensidad de la imagen.	Tiende a producir una <b>doble respuesta</b> en cambios de tipo escalón. Además, se aprecia que su respuesta es más pronunciada en puntos que en líneas delgadas, y en estas que en un escalón.

Figura 5. Conclusiones de la comparación entre derivadas de primer y segundo orden.

De acuerdo a las propiedades descritas, la siguiente máscara (figura 6) corresponde a un **filtro espacial paso alto** basado en el cálculo de la derivada de primer orden. En este caso, el filtro está diseñado para la detección de bordes en posición vertical, tal y como reflejan los coeficientes de la máscara. Este filtro es equivalente al cómputo del **operador gradiente** en la dirección del eje horizontal de la imagen.

1	0	-1
1	0	-1
1	0	-1

Figura 6. Ejemplo de un filtro espacial paso alto basado en el cómputo de la derivada de primer orden (gradiente) de la señal.

En el caso de un filtro de segundo orden, este vendría dado por una máscara similar a la mostrada en la figura 7. El operador equivalente a este filtro es el **laplaciano** de la señal. En este caso, el filtro es de carácter isotrópico, pues es capaz de identificar discontinuidades en cualquiera de las direcciones de la imagen.

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

Figura 7. Ejemplo de un filtro espacial paso alto basado en el cómputo de la derivada de segundo orden (laplaciano) de la señal.

Finalmente, la siguiente imagen (figura 8) ilustra el efecto de aplicar el operador laplaciano sobre la imagen de la izquierda. Como se puede ver, la imagen resultante (derecha) contiene los bordes de las estructuras identificadas en la imagen original.

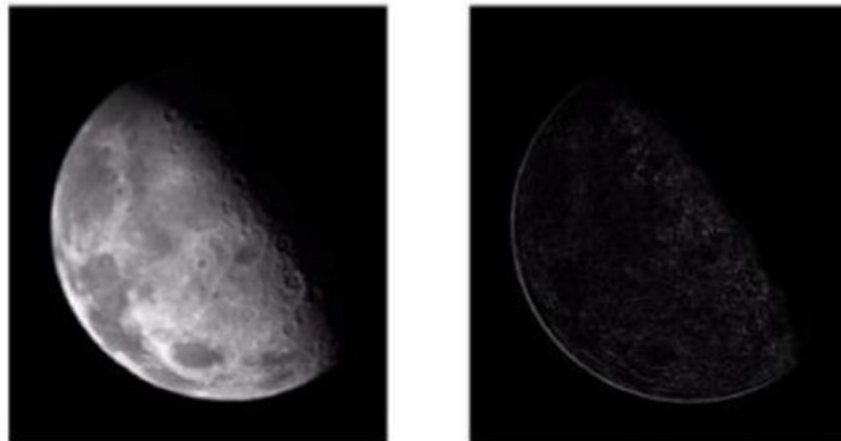


Figura 8. Aplicación del operador laplaciano para el realce de detalles en una imagen. Fuente: González y Woods, 2008.



### 7.3. Detección de bordes

Ya se ha visto cómo pueden ser identificados los bordes de las estructuras presentes en una imagen mediante la aplicación de filtros espaciales paso alto. En este punto, se profundiza en el conocimiento de operadores destinados a la detección de bordes. Esta denominación se emplea para identificar a los operadores basados en el **cálculo del gradiente**. Como se ha visto, se corresponden con los filtros espaciales que aproximan el cómputo de la derivada de primer orden en direcciones determinadas de la imagen.

A continuación se detallan los filtros espaciales más comunes para la detección de estructuras de borde en una imagen.

#### Operadores de Roberts

Estos operadores se caracterizan por tener un tamaño de máscara  $2 \times 2$ , que supone una novedad con las máscaras vistas hasta el momento. Los coeficientes de las máscaras se muestran en la siguiente figura, indicándose en negrita el píxel sobre el que se calcula la operación.

<b>1</b>	0
0	<b>-1</b>

0	<b>1</b>
<b>-1</b>	0

Figura 9. Máscaras que definen los operadores de Roberts para la detección de bordes.

La máscara de la izquierda aproxima el resultado del operador gradiente en la dirección diagonal dada por el ángulo  $135^\circ$ . En el caso de la máscara de la derecha, como puede deducirse por sus coeficientes, lleva a cabo el cálculo del gradiente en la diagonal de  $45^\circ$ .

## Operadores de Prewitt

Estos operadores vienen definidos por máscaras de tamaño 3 x 3 que definen el cálculo del operador gradiente tanto en la dirección vertical como en la dirección horizontal de la imagen. Estas serían las máscaras correspondientes a este operador.

1	1	1
0	0	0
-1	-1	-1

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

Figura 10. Máscaras correspondientes a los operadores de Prewitt para la identificación de bordes con orientación horizontal y vertical.

## Operadores de Sobel

Los operadores de Sobel son similares a los de Prewitt. La diferencia estriba en que los primeros dan más peso a los píxeles cercanos al píxel de interés (centro de la máscara) para el cálculo de diferencias.

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Figura 11. Máscaras correspondientes a los operadores de Sobel para la identificación de bordes con orientación horizontal y vertical.

## Algoritmo de Canny

Por último, se incluye en este epígrafe del tema uno de las transformaciones más ampliamente utilizadas y efectivas para la detección de bordes como es el filtro de Canny.

Este operador se basa en los siguientes **criterios**:

- ▶ El filtro debe identificar el mayor número de bordes de entre todos los que hay en la imagen. Es decir, el operador, a fin de funcionar correctamente, debe minimizar el número de falsos negativos y falsos positivos en la identificación de los bordes.
- ▶ El punto identificado como borde por parte del operador debe corresponderse con el centro de la estructura de borde identificada en la imagen.
- ▶ Un borde de la imagen debe ser identificado una única vez e, idealmente, el ruido presente en la imagen no debe dar lugar a falso bordes.

Así, los **pasos** que sigue el algoritmo de detección de bordes de Canny son los siguientes:

- ▶ Se aplica, en primer lugar, un filtro paso bajo de tipo gaussiano que suaviza la imagen y reduce el posible ruido en la misma.
- ▶ Se calcula el gradiente de la imagen en las diferentes direcciones.
- ▶ Se aplica una transformación sobre los píxeles no máximos que consiste en poner a 0 el valor de intensidad de los píxeles que no forman parte de un máximo local.
- ▶ Se aplica un umbral sobre la intensidad de los píxeles para binarizar la imagen y

quedarnos con las estructuras que potencialmente pueden corresponderse con bordes.

- ▶ Se eliminan aquellas estructuras más débiles que no están conectadas con bordes mayores.

A continuación mostramos un ejemplo en el que se aplica el operador de Canny para la detección de los bordes en una imagen.

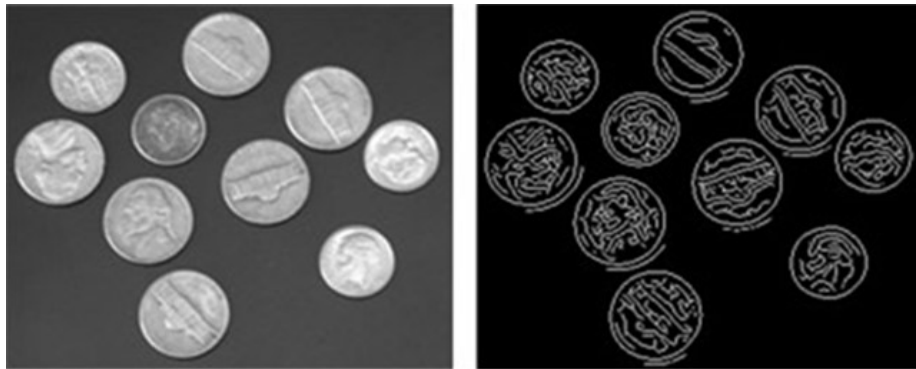


Figura 12. Resultado de la aplicación del operador de Canny sobre una imagen. Fuente:

<https://www.mathworks.com/>

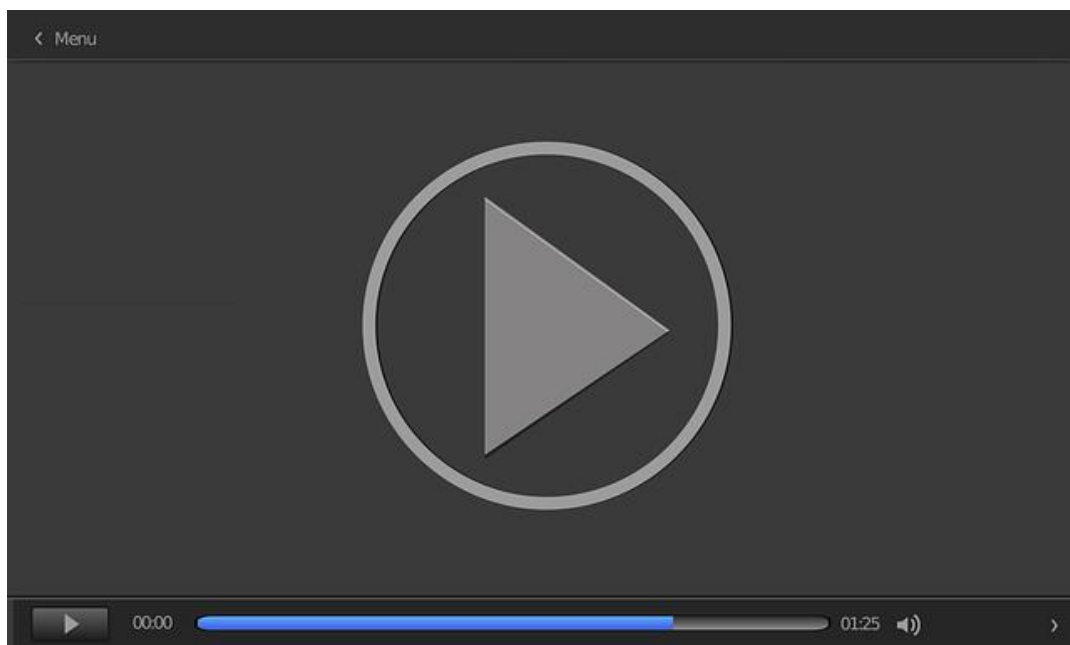
### 7.4. Referencias bibliográficas

González, R. C. y Woods, R. E. (2008). *Digital image processing*. New Jersey: Pearson Education.

## Spatial filters

Rich Radke. (2015, febrero 19). *DIP Lecture 6: Spatial filters* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=q9AqIQ274ss>

Vídeo ilustrativo de diferentes operadores basados en el filtrado espacial y su aplicación mediante Matlab.



Accede al vídeo:

<https://www.youtube.com/embed/q9AqIQ274ss>

### Mathworks

MathWorks. (s.f.). *¿En qué consiste el filtrado de imágenes en el dominio espacial?* <https://es.mathworks.com/help/images/what-is-image-filtering-in-the-spatial-domain.html?ue&nocookie=true>

Mathworks es una empresa especializada en el desarrollo de software de cálculo matemático para ingenieros y en su web facilita una gran cantidad de documentación relacionada con el procesamiento de señales, entre otros temas. En este enlace, se describe la implementación algorítmica de un filtro espacial.

## Bibliografía

Canny, J. (1986). A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 8(6), 679-698.

Lim, J. S. (1990). *Two-dimensional signal and image processing* p. 710. New Jersey: Prentice Hall.

Pratt, W. K. (2013). *Introduction to digital image processing*. (Sin lugar): CRC Press.

Sonka, M., Vaclav, H. y Boyle, R. (2014). *Image processing, analysis, and machine vision*. (Sin lugar): Cengage Learning.



1. ¿Qué caracteriza a un operador espacial?

A. El valor del píxel

$(x,y)$  de la imagen resultante es función, únicamente, del píxel

$(x,y)$  de la imagen original.

B. El valor del píxel

$(x,y)$  de la imagen resultante es función del píxel

$(x,y)$  de la imagen original y de su vecindad.

C. Se define por una función

$T(u)$  de  $\mathbb{R}$  en  $\mathbb{R}$ .

D. La función que lo caracteriza ha de ser derivable y, por tanto, continua en todo su dominio.

2. ¿Cómo suele definirse y expresarse la transformación realizada mediante un operador espacial?

A. Mediante su máscara.

B. Mediante la función

$T(\cdot)$ .

C. Mediante el par: máscara y función

$T(\cdot)$ .

D. Mediante una imagen de entrada y su correspondiente imagen transformada.

3. El filtrado paso bajo es equivalente a la operación de:

A. Derivada o diferencia.

B. División.

C. Integración o promedio.

D. Producto.

4. ¿Cómo serán los coeficientes de un filtro paso bajo implementado mediante un operador espacial?
- A. Positivos.
  - B. La suma de todos ellos ha de ser igual a 0.
  - C. Positivos y negativos.
  - D. Menores que la unidad.
5. El filtrado paso alto es equivalente a la operación de:
- A. Derivada o diferencia.
  - B. División.
  - C. Integración o promedio.
  - D. Producto.
6. ¿Cómo serán los coeficientes de un filtro paso alto implementado mediante un operador espacial?
- A. Positivos
  - B. La suma de todos ellos ha de ser distinto de 0.
  - C. Positivos y negativos.
  - D. Menores que la unidad.

7. Si se pretende reducir el ruido de fondo presente en una imagen...
- A. Podemos utilizar un filtro espacial paso bajo, aunque los bordes y detalles se verán suavizados.
  - B. Podemos utilizar un filtro espacial paso alto de primer orden, pues nos ayudará a detectar bordes en una determinada orientación.
  - C. Podemos utilizar un filtro espacial paso alto de segundo orden, pues tendría carácter isotrópico y permitiría realzar bordes en cualquier dirección.
  - D. Es recomendable emplear una transformación punto a punto, como la basada en el histograma para aumentar el contraste de la señal.
8. Los operadores para la detección de bordes:
- A. Implementan estrategias de filtrado paso bajo.
  - B. Implementan estrategias de filtrado paso-alto.
  - C. Equivalen a un operador punto a punto cuando el operador es convolutivo.
  - D. Implementan estrategias de detección de anomalías.
9. ¿Qué tipo de operador es el que se corresponde con la máscara de la figura?

1	1	1
0	0	0
-1	-1	-1

- A. Operador de Sobel para la detección de bordes horizontales.
- B. Operador de Prewitt para la detección de bordes horizontales.
- C. Operador de Prewitt para la detección de bordes verticales.
- D. Operador diferencial de segundo orden para la detección de bordes.

10. En una imagen, en la que hemos llevado a cabo previamente una etapa de reducción del ruido y eliminación de anomalías, queremos identificar los bordes entre las diferentes estructuras. ¿Qué estrategia seguirías?
- A. Aplicar el operador definido por la máscara de la pregunta anterior.
  - B. Aplicar un operador de filtro paso bajo.
  - C. Aplicar el filtro de Canny.
  - D. Implementar mi propio operador basado en el cálculo de la derivada de segundo orden.