

Tema 1.- Introducción a la Visión Artificial

Visión Artificial Avanzada

Prof. Dr. Nicolás Luis Fernández García

Departamento de Informática y Análisis Numérico
Universidad de Córdoba

Segmentación

1 Segmentación

Segmentación

Introducción

- 1 Segmentación
 - Introducción
 - Algoritmos orientados a regiones
 - Algoritmos orientados a los bordes

Segmentación

Introducción

Segmentación

- El análisis de la imagen requiere una **reducción** de la cantidad de información.
- La **segmentación** permite identificar las **partes significativas** de la imagen.

Segmentación

Introducción

Definición (Segmentación)

- *Proceso que permite identificar **regiones** que representen*
 - *objetos*
 - *o partes significativas de los objetos.*
- *Cada **región** debe*
 - *ser **homogénea***
 - ***diferenciarse** de las regiones adyacentes y del fondo,*
 - *tener una gran relación con un **elemento del mundo real.***

Segmentación

Introducción

Definición (Segmentación)

Descomposición de la imagen X en regiones R_1, \dots, R_N tal que:

$$X = \bigcup_{i=1}^N R_i$$

$$R_i \cap R_j = \emptyset$$

$$P(R_i) = \text{Verdadero}$$

$$P(R_i \cup R_j) = \text{Falso}$$

$$i \neq j$$

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, N\}$$

$$i \neq j$$

donde

- R_i : región o parte *significativa* la imagen
- $P()$: predicado lógico que indica un *criterio de homogeneidad*

Segmentación

Introducción

Segmentación: propiedades

- **Similitud:** los puntos de una región deben tener **valores similares** de una propiedad:
 - Nivel de gris
 - Color
 - Textura
 - Etc.
- **Conectividad:** los puntos de una región han de estar **conectados** entre sí.
- **Discontinuidad:** las regiones se deben diferenciar del fondo y tener unos **bordes definidos**.

Segmentación

Introducción

Segmentación: dificultades

- **Similitud:** la **iluminación** influye en que los puntos de un componente de la imagen **no** tenga **valores similares**: brillo, ruido, etc.
- **Conectividad:** las **oclusiones** u ocultamientos parciales pueden impedir que puntos de un mismo componente estén conectados entre sí.
- **Discontinuidad:** los **bordes** pueden no estar bien definidos (contornos no cerrados o con bucles).

Segmentación

Introducción

Segmentación: tipos de algoritmos

- Orientados a las **regiones** (*Region-based methods*)
- Orientados a los **bordes** (*Edge-based methods*)
- Etc.

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

- 1 Segmentación
 - Introducción
 - Algoritmos orientados a regiones
 - Algoritmos orientados a los bordes

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

Algoritmos orientados a regiones

- Intentan detectar las **regiones** ocupadas por los objetos presentes en una imagen.
- Cada **región** está compuesta por puntos con
 - **propiedades homogéneas**
 - y **diferentes** a las del resto de las regiones y del fondo.

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

Algoritmos orientados a regiones

Tipos

- Umbralización de regiones
- Crecimiento de regiones
- Partición y fusión de regiones
- Etc.

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones: Umbralización de regiones

- 1 Segmentación
 - Algoritmos orientados a regiones
 - Umbralización de regiones
 - Crecimiento de regiones
 - Partición y fusión de regiones

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

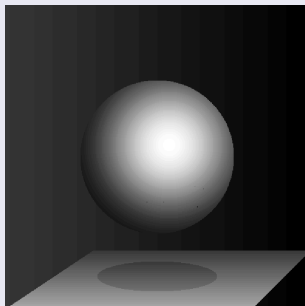
Umbralización de regiones

- Método muy **simple**.
- Computacionalmente **eficiente**.
- Muy **útil** si la imagen está formada por **objetos** que **constrastan** con el **fondo**.

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

Ejemplo (Umbralización de regiones)



Imagen

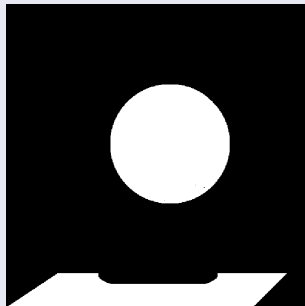
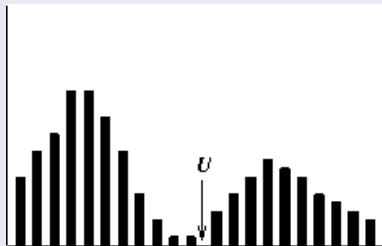


Imagen umbralizada

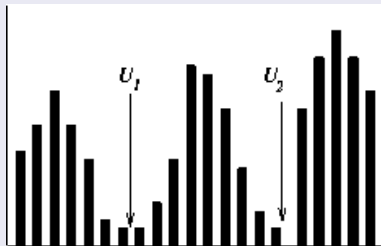
Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

Ejemplo (Umbralización de regiones)



Histogramas: (a) bimodal



(b) trimodal

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

Umbralización de regiones

- Histograma **bimodal**
 - Lo genera una imagen con un **objeto claro** sobre un **fondo oscuro**.
 - **Acumulación de la izquierda**: corresponde al **fondo** de la imagen.
 - **Acumulación de la derecha**: asociada al **objeto**.
 - **Zona de transición**: valle que establece el límite de **separación** entre el objeto y el fondo.

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

Umbralización de regiones

- Histograma **bimodal**
 - Los puntos con un nivel de intensidad **menor** que dicho umbral pertenecerán al **fondo** de la imagen.
 - El **resto** de puntos formarán parte del **objeto**.

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

Nota (Umbralización de regiones)

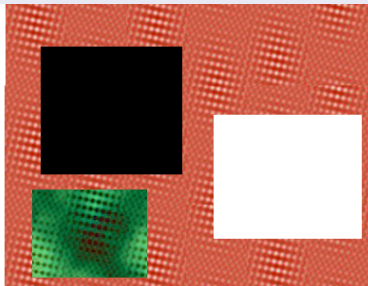
- **Dificultades**

- Una imagen *no* siempre tiene un *único* objeto sobre el fondo.
- Cada *objeto* debe estar formado por puntos con un *rango* de niveles de intensidad *distinto* al de los demás objetos y al del fondo.
- Los objetos también se caracterizan por *propiedades distintas* al nivel de intensidad, como, por ejemplo, su *textura*.

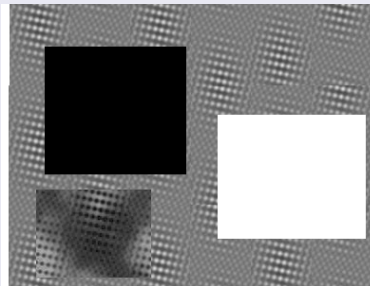
Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

Ejemplo (Imágenes con texturas)



Color



Monocromática

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

Umbralización de regiones

Algoritmo general

- Sea f una imagen formada por N objetos O_1, O_2, \dots, O_N , (uno de ellos es el fondo).
- Seleccionar $N - 1$ **umbrales** U_1, U_2, \dots, U_{N-1} a partir del histograma.
- Generar una nueva imagen g

$$g(x, y) = \begin{cases} g_1 & \text{si } 0 \leq f(x, y) < U_1 \\ g_2 & \text{si } U_1 \leq f(x, y) < U_2 \\ \vdots & \\ g_N & \text{si } U_{N-1} \leq f(x, y) \leq 255 \end{cases}$$

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

Umbralización de regiones: tipos de algoritmos

- **Global**

- Calcula un **único umbral** a partir de los valores de todos los puntos: $f(x, y)$.
- Útil si el **contraste** de los objetos frente al fondo es relativamente constante.

- **Local o adaptativa**

- También utiliza **propiedades locales** de los puntos.
- Por ejemplo: **valor medio de intensidad** de un **vecindario** centrado en cada punto.

- **Dinámica**

- Además, tiene en cuenta las **coordenadas** de cada punto: (x, y) .

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

Nota (Umbralización de regiones: tipos de algoritmos)

Los algoritmos *locales* y *dinámicos* son útiles cuando

- el *fondo* de la imagen **varía** a lo largo de ésta.
- el *contraste* de los objetos es **cambiante**.

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones: Crecimiento de regiones

- 1 Segmentación
 - Algoritmos orientados a regiones
 - Umbralización de regiones
 - Crecimiento de regiones
 - Partición y fusión de regiones

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

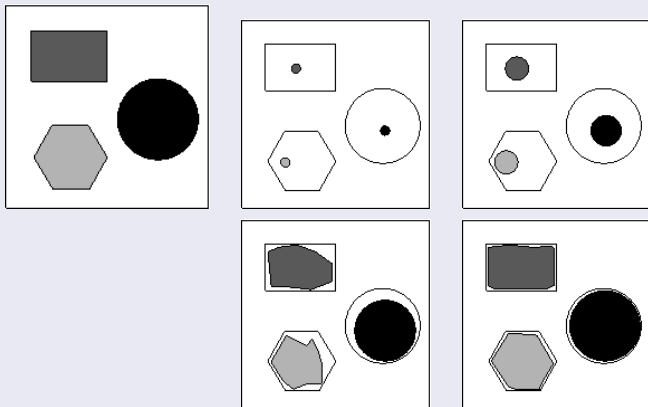
Crecimiento de regiones

- 1 **Fase inicial:** regiones iniciales del tamaño de un punto (*semillas*).
- 2 **Crecimiento:** cada punto se **añade** a la **región** contigua con **propiedades similares** (nivel de gris, color, textura, etc.).
- 3 **Comprobación de fronteras adyacentes:** **medida de consistencia**.
 - Frontera **fuerte**: propiedades *medias* son sensiblemente diferentes.
 - Frontera **débil**, en caso contrario.
 - Las fronteras débiles se **eliminan**, permitiendo la unión de las regiones a las que separaban.

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

Ejemplo (Crecimiento de regiones)



Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

Crecimiento de regiones

- **Dificultades implícitas**
 - **Elección de las semillas**
 - Cada región debe tener al menos *una semilla representativa*.
 - Cada semilla debe estar situada *dentro* del contorno de la región a la que representa.
 - **Complejidad:**
 - Se deben elegir adecuadamente las *propiedades* y los *criterios* que controlarán el crecimiento de las regiones.
- **Ventaja**
 - **Robustez:**
 - Ofrecen una *mejor respuesta* en presencia de **ruido**.
 - En este criterio, *superan* a los algoritmos de detección de bordes.

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones: Partición y fusión de regiones

- 1 Segmentación
 - Algoritmos orientados a regiones
 - Umbralización de regiones
 - Crecimiento de regiones
 - Partición y fusión de regiones

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

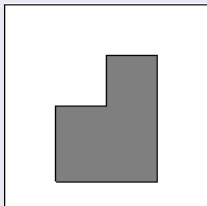
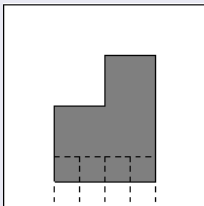
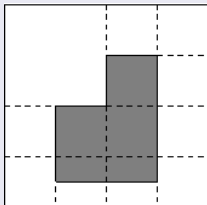
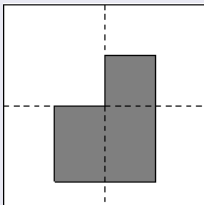
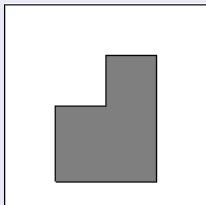
Partición y fusión de regiones

- 1 **Fase inicial:** la imagen original se considera que es una **región**.
- 2 **Comprobación**
 - (a) Si $P(R) = \text{falso}$ entonces **partición**
 - (i) R se divide en 4 regiones de igual tamaño: R_1, R_2, R_3 y R_4
 - (ii) Para cada región R_i ($i \in \{1, \dots, 4\}$) se repite el paso 2.
 - (b) Si $P(R) = \text{verdadero}$ entonces **fusión**
 - (i) Si R es **adyacente** a R_i, \dots, R_j ,
 $P(R_i) = \text{verdadero}, \dots, P(R_j) = \text{verdadero}$ y
 $P(R \cup R_i \cup \dots \cup R_j) = \text{verdadero}$ entonces se **fusionan** en una nueva región $R' = R \cup R_i \cup \dots \cup R_j$.
 - (ii) Se **comprueba** si la nueva región R' se puede fusionar con otras regiones adyacentes (paso 2 b).

Segmentación

Algoritmos orientados a regiones

Ejemplo (Partición y fusión de regiones)



Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

- 1 Segmentación
 - Introducción
 - Algoritmos orientados a regiones
 - Algoritmos orientados a los bordes

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes: Introducción

- 1 Segmentación
 - Algoritmos orientados a los bordes
 - Introducción
 - Detección de bordes en imágenes monocromáticas
 - Detección de bordes en imágenes en color
 - Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Introducción

Los algoritmos orientados a los bordes

- Tratan de **extraer** los objetos de la imagen localizando sus contornos o fronteras.
- **Generan** como salida una imagen denominada **mapa de bordes**.
- El **mapa de bordes** puede incluir información explícita sobre
 - la **posición**
 - la fuerza o intensidad
 - la orientación

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Imagen en color



Mapa de bordes

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Introducción

Relevancia de los bordes

- Los **bordes** contienen una **información esencial** de la imagen.
- Muy usados en **tareas** del procesamiento digital de imágenes:
 - Realce de imágenes
 - **Segmentación de imágenes**
 - Compresión de imágenes
 - Reconocimiento de objetos
 - Reconstrucción 3D
 - Etc.
- El **rendimiento** de estas tareas depende de la **precisión** con la que los bordes sean detectados.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Definición (Borde)

Discontinuidad *en algún atributo de la imagen*

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Introducción

Atributos utilizados en la detección de bordes

- Intensidad luminosa de los **niveles de gris** de la imagen:
atributo más utilizado
- **Color**: importancia
 - Proporciona **más información** que una imagen monocromática.
 - La información adicional del color es **relevante**.
 - Permite detectar bordes provocados por **cambios de tono** (*hue*) de color pero con un mismo nivel de intensidad luminosa.
 - La detección de bordes en color **supera** a la detección monocromática de bordes si el **contraste bajo**.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Introducción

Causas físicas de los bordes

- Iluminación
- Reflejos
- Sombras
- Geometría de los objetos
- Profundidad de los objetos en la escena
- Ocultaciones parciales de los objetos
- Textura de los objetos
- Cambios de color
- Etc.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

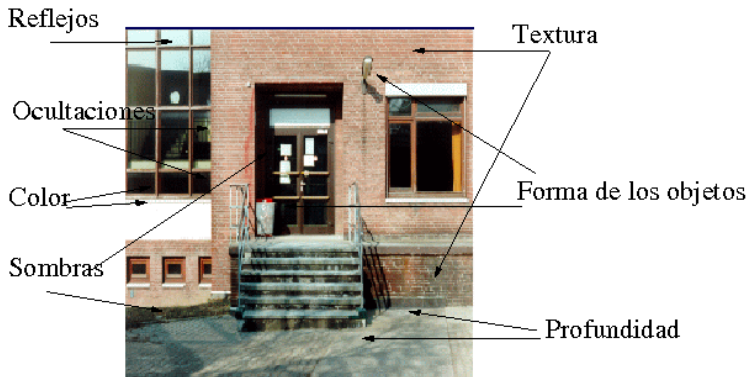


Imagen en color con bordes provocados por diferentes motivos.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes: Detección de bordes en imágenes monocromáticas

- 1 Segmentación
 - Algoritmos orientados a los bordes
 - Introducción
 - Detección de bordes en imágenes monocromáticas
 - Detección de bordes en imágenes en color
 - Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Algoritmos orientados a los bordes

- **Detección de bordes en imágenes monocromáticas**
 - Bordes de las imágenes monocromáticas.
 - Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos.
 - Diseño de los detectores de bordes monocromáticos
 - Suavización de la imagen.
 - Diferenciación de la imagen.
 - Identificación de los bordes.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Algoritmos orientados a los bordes

- **Detección de bordes en imágenes monocromáticas**
 - Bordes de las imágenes monocromáticas.
 - Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos.
 - Diseño de los detectores de bordes monocromáticos.
 - Suavización de la imagen.
 - Diferenciación de la imagen.
 - Identificación de los bordes.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Definición (Bordes de las imágenes monocromáticas)

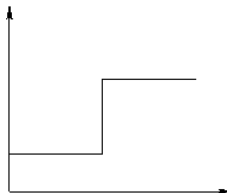
Se corresponden con los *cambios o discontinuidades* de la **función de intensidad** de los niveles de gris.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Borde ideal tipo escalón o salto



Perfil de la función de intensidad a lo largo de una línea horizontal

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Borde de tipo escalón

- Aparece cuando **coinciden** dos **regiones** homogéneas con niveles de gris muy **diferentes** entre sí.
- El **borde** se **sitúa** en el punto en el cual la **discontinuidad** de los niveles de gris se produce.
- La **mayoría** de los detectores de bordes han sido **diseñados** para este tipo de bordes
- Se **caracteriza** por su ruido, contraste, pendiente y anchura.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

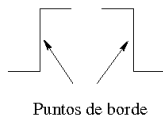
Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Tipos de bordes

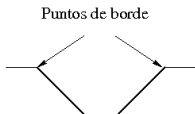
- Escalón o salto (*step edge*).
- Rampa (*ramp edge*):
 - Con pendiente cóncava (*concave slope*)
 - Con pendiente convexa (*convex slope*)
 - o con ambas
- Escalera (*staircase edge*).
- Pico (*peak edge*), cresta (*ridge edge*) o pulso (*pulse edge*).
- Valle (*valley edge*).
- Tejado (*roof edge*).

Segmentación

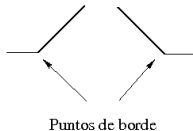
Algoritmos orientados a los bordes



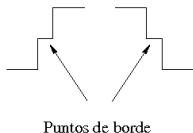
(a)



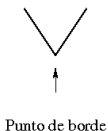
(b)



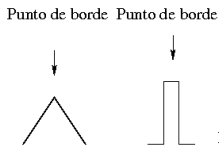
(c)



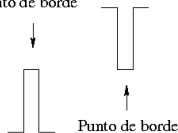
(d)



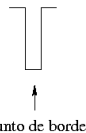
(e)



(f)



(g)



(h)

Tipos de bordes: (a) escalón o salto, (b) rampa convexa, (c) rampa cóncava, (d) escalera, (e) valle, (f) tejado, (g) y (h) pico o pulso

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Tipos de bordes según la forma geométrica

- Líneas rectas con cualquier dirección
- Líneas curvas
- Uniones (*junctions*)
- Esquinas (*corners*)

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

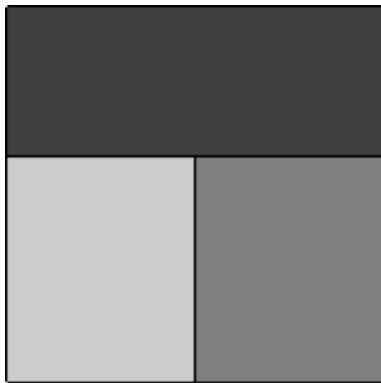


Imagen con un borde del tipo T-unión

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Algoritmos orientados a los bordes

- **Detección de bordes en imágenes monocromáticas**
 - Bordes de las imágenes monocromáticas.
 - Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos.
 - Diseño de los detectores de bordes monocromáticos.
 - Suavización de la imagen.
 - Diferenciación de la imagen.
 - Identificación de los bordes.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos

- Autónomos
- Contextuales

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos

- **Autónomos**
 - **No utilizan ningún conocimiento a priori:** ni del sistema de visión ni información contextual.
 - **Procesamiento local:** bordes identificados mediante el análisis de los puntos de su entorno.
 - **Flexibles:** no limitados a imágenes específicas y apropiados para sistemas de visión de propósito general.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos

- **Contextuales**

- Utilizan **conocimiento a priori** del borde o la escena que van a procesar.
- **Dependen** de los resultados de otros componentes del sistema de visión.
- Están limitados a un **contexto preciso** donde las imágenes procesadas siempre incluyen los mismos objetos.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Nota (Detectores de bordes contextuales)

*Los detectores de bordes **contextuales** que han sido propuestos son **muy pocos** en comparación con los autónomos.*

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Algoritmos orientados a los bordes

- **Detección de bordes en imágenes monocromáticas**
 - Bordes de las imágenes monocromáticas.
 - Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos.
 - Diseño de los detectores de bordes monocromáticos.
 - Suavización de la imagen.
 - Diferenciación de la imagen.
 - Identificación de los bordes.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Nota (Detección de bordes en imágenes monocromáticas)

- *La mayoría de los algoritmos de detección de bordes en imágenes monocromáticas han sido diseñados para bordes de tipo salto o escalón*
- *También se han diseñado algoritmos específicos para la detección de líneas, uniones y esquinas.*

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

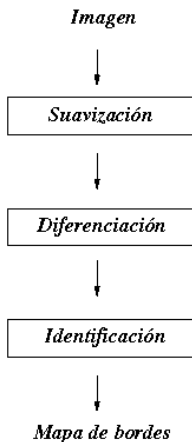
Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Fases

- **Suavización:** atenuar el ruido de la imagen para asegurar una correcta detección de los bordes.
- **Diferenciación:** calcular las derivadas de la imagen para resaltar las características de los bordes.
- **Identificación:** localizar los bordes reales y suprimir los falsos bordes.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Fases de la detección de bordes

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Otros modelos

- Ajuste paramétrico
- Morfología matemática
- Análisis de texturas
- Teoría de conjuntos borrosos
- Redes neuronales
- Algoritmos genéticos
- Etc.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Se dice que un problema matemático está “bien planteado” si

- Tiene **solución**
- La solución es **única**
- Es **robusto** frente al ruido

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Nota (Detección de bordes en imágenes monocromáticas)

- *Diferenciación numérica de la imagen*
 - *Problema mal planteado porque su solución no es robusta frente al ruido.*
- *Solución*
 - *La suavización sirve para regularizar la imagen, provocando que la operación de diferenciación esté bien planteada.*

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Nota (Detección de bordes en imágenes monocromáticas)

- *Estas tres operaciones están estrechamente relacionadas:*
 - *La suavización **regulariza** la diferenciación*
 - *La identificación de los bordes **depende** del funcionamiento de las otras dos operaciones.*
- *Si la etapa de suavización **reduce** el ruido sin pérdida de información, la **supresión de bordes falsos** se puede hacer más fácilmente.*

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Nota (Detección de bordes en imágenes monocromáticas)

- El *diseño* de un detector de bordes usando estas tres operaciones es *incompleto*
- Sería deseable
 - seleccionar una *aplicación concreta* en la que vaya a ser usado el detector de bordes.
 - tener en cuenta la *escala*.
 - considerar las características de los *tipos* de bordes que haya que detectar.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Algoritmos orientados a los bordes

- **Detección de bordes en imágenes monocromáticas**
 - Bordes de las imágenes monocromáticas.
 - Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos.
 - Diseño de los detectores de bordes monocromáticos.
 - Suavización de la imagen.
 - Diferenciación de la imagen.
 - Identificación de los bordes.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes monocromáticos

Suavización

- Permite que la diferenciación de la imagen sea más **robusta** frente al ruido.
- Se debe establecer la **resolución** o **escala**.
- **Dilema**: reducción de ruido o pérdida de información.
- **Objetivo**: diseñar el detector de bordes que **asegure** la reducción de ruido y la conservación del borde.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Características de la suavización de la imagen

- **Efectos positivos:** reduce el ruido presente en la imagen y asegura una robusta detección de los bordes.
- **Efectos negativos:** pérdida de información.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Métodos de suavización más utilizados

- Filtros espaciales **lineales**, especialmente los filtros de **paso bajo** y el filtro de la **gaussiana**.
- Filtros de suavización mediante **aproximación**.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Algoritmos orientados a los bordes

- **Detección de bordes en imágenes monocromáticas**
 - Bordes de las imágenes monocromáticas.
 - Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos.
 - Diseño de los detectores de bordes monocromáticos.
 - Suavización de la imagen.
 - **Diferenciación de la imagen.**
 - Identificación de los bordes.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen

- **Bordes:** puntos de la imagen en los que se producen **discontinuidades** o cambios bruscos en el nivel de intensidad.
- Los **cambios de intensidad** pueden ser acentuados mediante **operaciones de diferenciación**.
- **Resultado de la diferenciación:** representación de la imagen que facilita la **extracción** de las propiedades de los bordes.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen

- **Métodos**

- Derivadas de primer orden (v.g.: el gradiente).
- Derivadas de segundo orden (v.g.: el laplaciano).
- Criterios de optimización.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

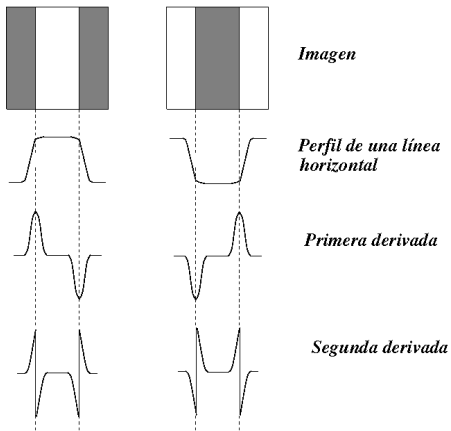
Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen

- Identificación de los bordes:
 - Localización de los **extremos** (máximos o mínimos) de la **primera derivada** de la función de intensidad.
 - Localización de los **cruces por cero** (*zero crossings*) o transiciones de valores negativos a positivos, o viceversa, de la **segunda derivada** de la función de intensidad.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



(González y Woods, 1993)

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen

- Primera derivada
 - Siempre presenta un **extremo** (máximo o mínimo) en los puntos situados exactamente en un borde.
- Segunda derivada
 - Se produce un **cruce por cero** (*zero-crossing*) en un punto situado exactamente en el borde.
 - La función corta el eje de abscisas en dicho punto, pasando de un valor positivo a otro negativo, o viceversa.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen

- La **primera derivada** en un punto de la imagen es obtenida usando la **magnitud del gradiente**.
- La **segunda derivada** es obtenida usando el **laplaciano**.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen

- **Gradiente:** vector $\vec{\nabla}f(x, y)$ que indica la **dirección** de máxima variación de la función en dicho punto,

$$\vec{\nabla}f(x, y) = (G_x(x, y), G_y(x, y)) = \left(\frac{\partial f}{\partial x}(x, y), \frac{\partial f}{\partial y}(x, y) \right)$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen: gradiente

- Magnitud

$$\|\vec{\nabla}f(x, y)\| = \sqrt{G_x^2(x, y) + G_y^2(x, y)}$$

- Dirección

$$\alpha(x, y) = \arctan \left(\frac{G_y(x, y)}{G_x(x, y)} \right)$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen: gradiente

- Los puntos de la imagen que pertenecen a los **bordes** son aquéllos que dan un valor **máximo** en la magnitud del gradiente.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen: gradiente

- Módulo del gradiente:
 - Operador invariante a rotaciones y no lineal.
 - Se calcula usando sólo las derivadas en x e y .

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen: gradiente

- Para evitar la complejidad del cálculo de la **raíz cuadrada**, se pueden utilizar aproximaciones al módulo del gradiente.

- Suma:

$$\|\vec{\nabla}f(x, y)\| \approx |G_x(x, y)| + |G_y(x, y)|$$

- Máximo

$$\|\vec{\nabla}f(x, y)\| \approx \text{máximo}(|G_x(x, y)|, |G_y(x, y)|)$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen: operadores para calcular el gradiente

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

Roberts

$$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & \boxed{0} & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Prewitt

$$\frac{1}{4} \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & \boxed{0} & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Sobel

$$\frac{1}{5} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 1 & \boxed{-2} & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Robinson

$$\frac{1}{15} \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & \boxed{0} & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{bmatrix}$$

Kirsch

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

Isotrópico

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- Los operadores se definen usando las derivadas parciales:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \text{ y } \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}.$$

- Operadores de segundo orden más utilizados:
 - Operador laplaciano.
 - Derivadas direccionales de segundo orden en la dirección del gradiente.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- Estos operadores son definidos por:

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

y

$$\frac{\partial^2 f}{\partial \vec{n}^2}(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}(x, y)\cos^2(\alpha) + \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}(x, y)\sin(\alpha)\cos(\alpha) + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}(x, y)\sin^2(\alpha)$$

donde \vec{n} es la dirección del gradiente.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- **Localización de los bordes**

- Puntos donde se producen los cruces por cero de las derivadas de segundo orden.

- **Inconvenientes**

- Suavizan demasiado la forma de la imagen: v. g., las esquinas nítidas se suelen perder.
- Tienen a crear bordes con lazos cerrados (efecto de *plato de espagueti*).

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- Formas del calcular el operador laplaciano

Utilizando la conectividad 4.

$$\nabla^2 f(x, y) \equiv f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + f(x, y - 1) + f(x, y + 1) - 4f(x, y)$$

Utilizando la conectividad 8.

$$\begin{aligned} \nabla^2 f(x, y) \equiv & f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + f(x, y - 1) \\ & + f(x, y + 1) + f(x + 1, y + 1) + f(x + 1, y - 1) \\ & + f(x - 1, y + 1) + f(x - 1, y - 1) - 8f(x, y) \end{aligned}$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- Máscaras del operador laplaciano

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

Conectividad 4

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Conectividad 8.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

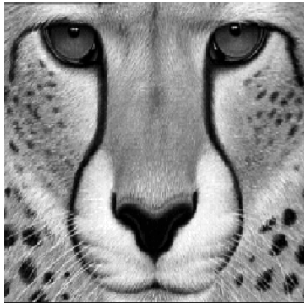


Imagen original

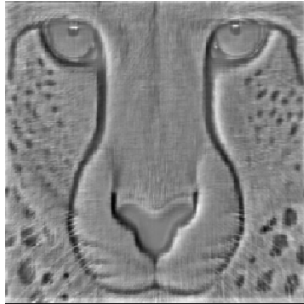


Imagen generada por el operador laplaciano (conectividad 4)

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- **Inconvenientes del operador laplaciano**
 - Muy **sensible** al ruido (característica propia de los operadores de derivadas de segundo orden).
 - Produce **respuestas dobles** para un mismo borde.
 - **No** permite calcular la dirección del borde.

Nota

*Debido a estas razones, el operador **laplaciano** tiene generalmente un **papel secundario** como detector de bordes.*

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- Mejora del operador laplaciano
 - Combinación con una operación de suavización que utilice la función gaussiana
 - Laplaciano de la función gaussiana (LoG)

$$\nabla^2(G(x, y) * f(x, y))$$

- Operadores lineales e intercambiables

$$(\nabla^2 G(x, y)) * f(x, y)$$

Segmentación

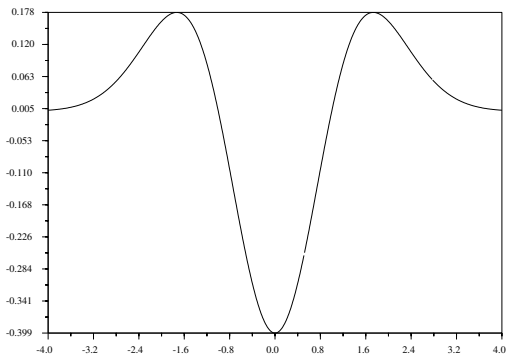
Algoritmos orientados a los bordes

Nota

- *El laplaciano de la función gaussiana es independiente de la imagen.*
- *Puede ser computado previamente, reduciéndose la complejidad de la operación de composición.*

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Laplaciano de la función gaussiana ($\sigma = 1$)

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

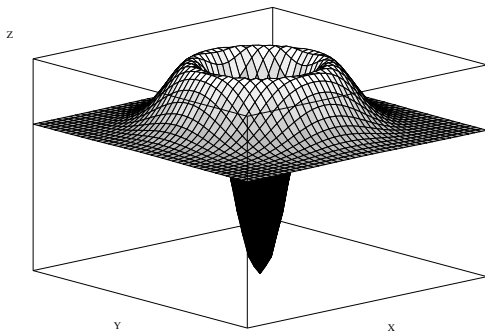
Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- Versión unidimensional del laplaciano de la función gaussiana:

$$\nabla^2 G(x) = \frac{-1}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} \left(1 - \frac{x^2}{\sigma^2}\right) e\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Laplaciano bidimensional de la función gaussiana ($\sigma = 1$)

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- Versión bidimensional del laplaciano de la función gaussiana.

$$\nabla^2 G(x, y) = \frac{-1}{2\pi\sigma^4} \left(1 - \frac{x^2 + y^2}{\sigma^2} \right) e^{\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right)}$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- Características del operador laplaciano de la función gaussiana.
 - Medida eficiente y estable de los cambios de la imagen.
 - La suavización de la función gaussiana elimina la influencia de los puntos situados a una distancia inferior a 3σ del punto actual.
 - Bordes localizados en los puntos donde se producen cruces por cero.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Nota

- *Experimentos neurofisiológicos*

La retina del ojo humano realiza operaciones muy similares a las realizadas por el laplaciano de la función gaussiana.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Detectores de bordes basados en criterios de optimización

- Algoritmo de **Canny**
- Algoritmo de Deriche
- Algoritmo de Shen
- Algoritmo de Spacek

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Detectores de bordes basados en criterios de optimización

- Problemas de la detección **óptima** de bordes:
 - La definición de los criterios de optimización.
 - El diseño de un detector que optimice estos criterios.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

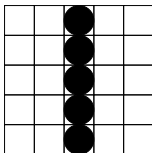
Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Detectores de bordes basados en criterios de optimización

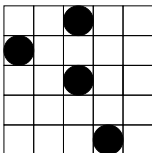
- Características propuestas por Canny para un buen detector de bordes:
 - **Buena detección:** debe encontrar todos los bordes que haya en la imagen pero sin incluir ningún punto espurio (robusto en presencia de ruido).
 - **Buena localización:** la distancia entre los bordes detectados y los reales deber ser tan pequeña como sea posible.
 - **Unicidad de la respuesta:** no debe identificar múltiples bordes donde sólo hay uno.

Segmentación

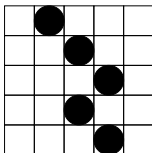
Algoritmos orientados a los bordes



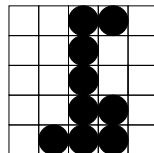
Borde real



Sensible al ruido



Pobre localización



Múltiples respuestas.

Defectos en la detección de bordes

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Detectores de bordes basados en criterios de optimización

- Operador de Canny:

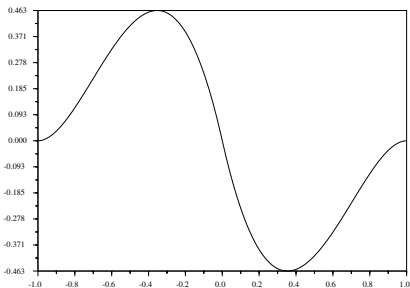
$$h(x) = e^{\alpha x}(a_1 \text{sen}(\omega x) + a_2 \text{cos}(\omega x)) \\ + e^{-\alpha x}(a_3 \text{sen}(\omega x) + a_4 \text{cos}(\omega x)) \\ - \frac{\lambda_1}{2}$$

- Primera derivada de la función gaussiana:

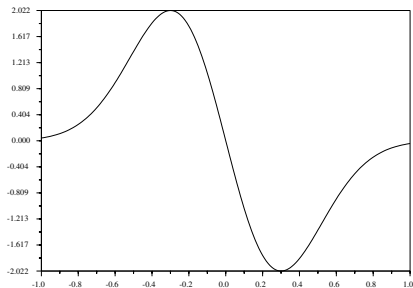
$$G'(x) = \frac{-x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Operador de Canny



Primera derivada de la función gaussiana ($\sigma = 0,3$)

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Detectores de bordes basados en criterios de optimización

- Pasos de la extensión del operador de Canny a dos dimensiones:
 - Convolución de la imagen con un operador de una función gaussiana bidimensional simétrica.
 - Posterior diferenciación en la dirección del gradiente.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Algoritmos orientados a los bordes

- **Detección de bordes en imágenes monocromáticas**
 - Bordes de las imágenes monocromáticas.
 - Clasificación de los detectores de bordes monocromáticos.
 - Diseño de los detectores de bordes monocromáticos
 - Suavización de la imagen.
 - Diferenciación de la imagen.
 - Identificación de los bordes.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Identificación de los bordes

- Objetivos:
 - Localización de los bordes.
 - Supresión de los bordes falsos.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Identificación de los bordes:

- Técnicas secuenciales.
- Técnicas paralelas.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Identificación de los bordes

- Técnicas secuenciales:
 - Un punto pertenece o no a un borde según los resultados obtenidos por el detector en algunos **puntos examinados previamente**.
 - Su funcionamiento depende:
 - de la elección del **punto inicial** apropiado
 - y del proceso de **selección del siguiente punto** que vaya a ser procesado.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Identificación de los bordes

- Técnicas paralelas:
 - Un punto pertenece o no a un bordes según los valores de dicho punto y de su entorno.
 - Se puede aplicar **simultáneamente** a todos puntos de la imagen.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Identificación de los bordes

- Métodos basados en el **gradiente**:
Puntos donde la magnitud del gradiente alcanza un **máximo local**.
- Métodos basados en las **derivadas de segundo orden**:
Puntos donde se produce un **cruce por cero** en dicha derivada.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Identificación de los bordes:

- Métodos basados en el gradiente:
 - Umbralización del histograma de niveles de gris.
 - Se genera una imagen binaria denominada **mapa de bordes**.
 - Un nivel de gris para los bordes (normalmente en blanco).
 - y otro para el resto de la imagen (en negro).

Segmentación

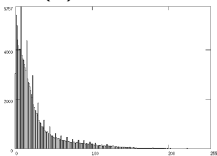
Algoritmos orientados a los bordes



(a) Imagen



(b) Suavización y diferenciación



(c) Histograma de (b)



(d) Umbralización ($U = 50$)

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Identificación de los bordes

- Imagen binaria $b(x, y)$ generada por umbralización:

$$b(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{si } g(x, y) < U \\ 1 & \text{si } g(x, y) \geq U \end{cases}$$

donde

- $g(x, y)$: magnitud del gradiente en el punto (x, y)
- U : umbral seleccionado
- 0: color negro
- 1: color blanco.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Identificación de los bordes

- Métodos de umbralización
 - **Global**: un único umbral para toda la imagen.
 - **Local o adaptativa**:
 - Se calcula un umbral para cada punto $((x, y))$.
 - Se tiene en cuenta sus propiedades locales.
 - Por ejemplo: valor medio de intensidad de un vecindario centrado en (x, y) .
 - **Dinámica**: además, el umbral depende de las coordenadas (x, y) de cada punto.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Nota

La mayoría de los métodos de detección de bordes han utilizado un umbral global pero también se han usado umbrales locales.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Identificación de los bordes

- Fundamentos teóricos usados en la umbralización de un histograma:
 - Porcentaje de puntos de los bordes de los objetos respecto del total de la imagen.
 - Media y la varianza del ruido.
 - Búsqueda de mínimos.
 - Concavidad o convexidad del histograma.
 - Agrupación de clases o *clustering* del histograma.
 - Redes Neuronales.
 - Etc.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Identificación de los bordes

- Umbralización mediante **histéresis** (Canny, 1986):
 - Muy usado en la detección de bordes.
 - Selecciona dos umbrales: uno **inferior** U_i y otro **superior** U_s :
 - Si $g(x, y) \geq U_s$ entonces (x, y) es considerado como **punto de borde**.
 - Si $U_s > g(x, y) \geq U_i$ y está **conectado** a un punto de borde entonces (x, y) también es considerado como **punto de borde**.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Identificación de los bordes

- Umbralización mediante **histéresis** (Canny):
 - Un conjunto de puntos **conectados** es un borde:
 - si el valor de **todos** los puntos de la lista está por **encima** del **umbral inferior**.
 - y **al menos uno** está por **encima** del **umbral superior**.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

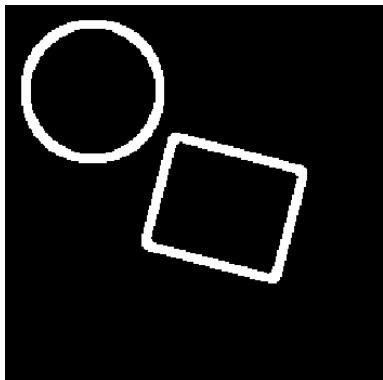
Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Identificación de los bordes

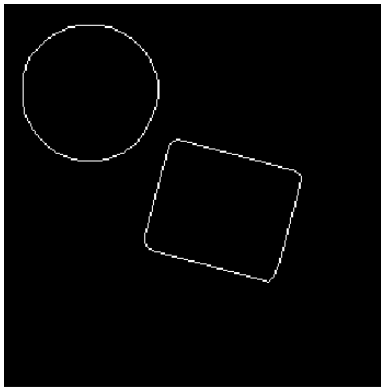
- Características de la umbralización:
 - **Ventajas**
 - Técnica sencilla.
 - Coste computacional muy bajo.
 - **Inconvenientes**
 - Si se elige un **umbral muy bajo**
Se generan bordes **gruesos** (más de un punto de anchura).
Es necesaria una fase posterior de **adelgazamiento** (*thinning*) o **equeletización** (*skeletization*).
 - Si se elige un **umbral muy alto**:
Se generan bordes **desconectados** o **rotos**.
Se requiere una fase de **enlazamiento** de bordes (*edge linking*).

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



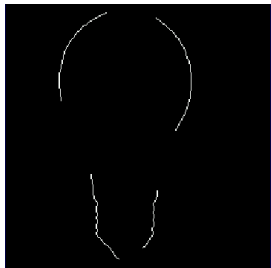
Bordes gruesos



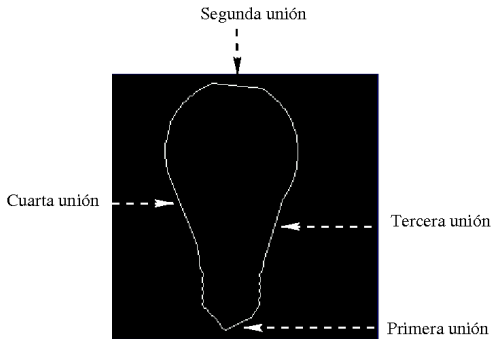
Bordes adelgazados

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Bordes desconectados



Bordes conectados

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Identificación de los bordes

- Supresión de no máximos locales:
 - Idea básica:
 - 1 **Suprimir** los puntos que **no** son máximos locales del módulo del gradiente.
 - 2 Umbralizar la imagen resultante
 - Evita el problema del adelgazamiento de los bordes.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

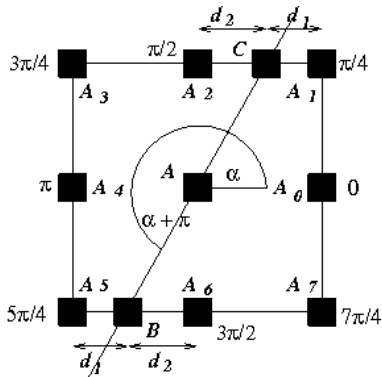
Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Identificación de los bordes

- Algoritmo de Canny (1983) para la supresión de no máximos locales.
 - Localizar el máximo local a lo largo de la dirección del vector gradiente.
 - Determinar el **tamaño del vecindario** del punto que se va comprobar si es un máximo local.
 - **Interpolar** los valores del módulo del gradiente de los puntos del vecindario en los que corte la recta que pasa por el punto central.
y que tiene como dirección su vector gradiente.
 - Esta interpolación es necesaria puesto que los puntos obtenidos en la intersección pueden no ser reales.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Interpolación para suprimir no máximos locales

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



(a) Gradiente de una imagen



(b) Supresión de no máximos locales



(c) Umbralización de (b).

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes: Detección de bordes en imágenes en color

- 1 Segmentación
 - Algoritmos orientados a los bordes
 - Introducción
 - Detección de bordes en imágenes monocromáticas
 - Detección de bordes en imágenes en color
 - Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

Segmentación

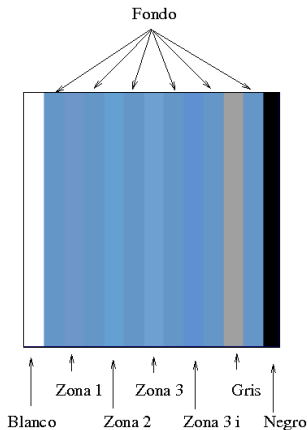
Algoritmos orientados a los bordes

Definición (Bordes de imágenes en color)

- *Un borde es una **discontinuidad** en el espacio tridimensional de color.*
- *Estas discontinuidades pueden ser producidas por **cambios** en una o en varias de las **componentes del espacio de color**.*

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Bordes provocados por cambios en los planos de color

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Ejemplo (Bordes provocados por cambios en los planos de color)

- **Zona 1:** cambio en el plano *rojo*
- **Zona 2:** cambio en los planos *verde* y *azul*
- **Zona 3:** cambio en los **tres** planos de color
- **Zona 3 i:** cambio en los **tres** planos de color, pero manteniendo el **nivel de intensidad**

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Criterios para clasificar los bordes de las imágenes en color

- su origen
- los cambios en un espacio vectorial
- la información de color de su alrededor

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Tipos de bordes de las imágenes en color según su origen

Bordes provocados por

- formas geométricas.
- reflejos.
- sombra.
- cambios de materiales.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Definición (Bordes de imágenes en color)

Si la imagen en color se considera como un espacio vectorial tridimensional

$$\vec{f}(x, y) = (\text{rojo}(x, y), \text{verde}(x, y), \text{azul}(x, y))$$

entonces un borde es una discontinuidad significativa en dicho campo vectorial.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Bordes de imágenes en color

Tipos de bordes

- **Escalón**: cambio **abrupto** en el campo vectorial.
- **Rampa**: cambio **gradual** en el campo vectorial.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

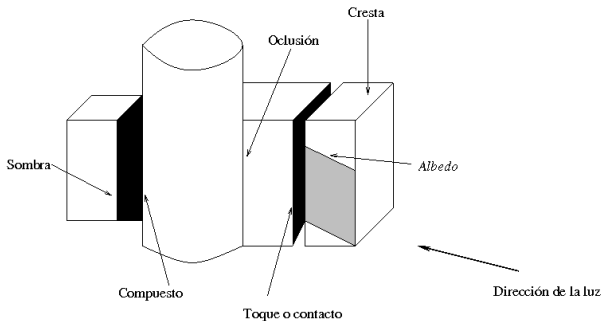
Bordes de imágenes en color

Clasificación según la información de color de su alrededor

- Identifica el **perfil** de cada borde según las características de color que poseen los dos lados contiguos al borde.
- Caracterizan los **fenómenos físicos** que provocan los cambios de intensidad.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Bordes provocados por fenómenos físicos.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Bordes de imágenes en color

Clasificación según la información de color de su alrededor (1/3)

- **Albedo:**
 - Hay un cambio pero no existe ninguna discontinuidad sustancial de profundidad.
- **Oclusión** (*occlusion*):
 - Dos regiones de objetos diferentes se encuentran en el borde.
 - No existe ninguna sombra entre los dos objetos.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Bordes de imágenes en color

Clasificación según la información de color de su alrededor (2/3)

- **Sombra** (*shadow*): dos regiones pertenecen a una región homogénea de un objeto.
 - Una región se corresponde con la sombra proyectada por otro objeto.
 - La otra región está directamente iluminada por una fuente de luz.
- **Cresta** (*ridge*)
 - Dos regiones se juntan en una **cresta** o **valle** de un objeto.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Bordes de imágenes en color

Clasificación según la información de color de su alrededor (3/3)

- **Compuesto** (*compound*)
 - Dos objetos se solapan, proyectando uno de ellos su sombra sobre el otro.
- **Contacto** (*touch*):
 - Dos regiones pertenecen a dos objetos que se tocan o están muy próximos.
 - La iluminación es atenuada en el hueco que separa a los objetos.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

Requisitos para su diseño

- Seleccionar el **espacio de color**
- Seleccionar el **filtro de suavización** para atenuar el ruido
- Indicar los **fundamentos teóricos**:
 - Extensiones o variantes de técnicas **monocromáticas**,
 - Diseñadas específicamente para **imágenes en color o multispectrales**.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

Espacios de color usados por los detectores de bordes

- *RGB*: espacio de color más utilizado
- YT_1T_2 , *rgb* o el espacio de los colores contrarios (*opponent colors space*) ($R - G, Y - B$)
- *YIQ*: detección de bordes provocados sólo por cambios de color
- *HSV*: para evitar las reflexiones especulares
- Perceptualmente uniforme (*HSI* o $L^*a^*b^*$):
 - evitan la **correlación** de los planos de color de *RGB*
 - **separan** la información cromática de los niveles de intensidad,
- Uso combinado de espacios de color: *HSI* y *RGB*

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

Suavización de imágenes en color

- **Extensión** de métodos de suavización de imágenes monocromáticas
- Métodos basados en los **filtros vectoriales direccionales**

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

Fundamentos teóricos

- Detectores de bordes basados en técnicas monocromáticas.
- Detectores de bordes que consideran a la imagen en color como un campo vectorial.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

Fundamentos teóricos

- Detectores de bordes basados en técnicas monocromáticas.
 - Los **detectores monocromáticos** de bordes son utilizados o adaptados para ser aplicados a imágenes en color.
- Detectores de bordes que consideran a la imagen en color como un campo vectorial.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes en color basados en técnicas monocromáticas

- 1.- Métodos que **no** utilizan la información **cromática** de la imagen en color.
- 2.- Métodos que **reducen la dimensionalidad** de la imagen en color.
- 3.- Métodos que utilizan la **fusión de bordes**.
- 4.- Métodos que combinan **gradientes monocromáticos**.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes en color basados en técnicas monocromáticas

1.- Detectores que no utilizan de la información cromática

- Componente de **intensidad** del espacio de color
 - **I** del espacio de color **HSI**
 - **Y** del espacio de color **YIQ**
 - Etc.
- Cálculo de la **intensidad** como la **media aritmética** de los planos de color

$$I(x, y) = \frac{1}{3}(R(x, y) + G(x, y) + B(x, y))$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Imagen en color



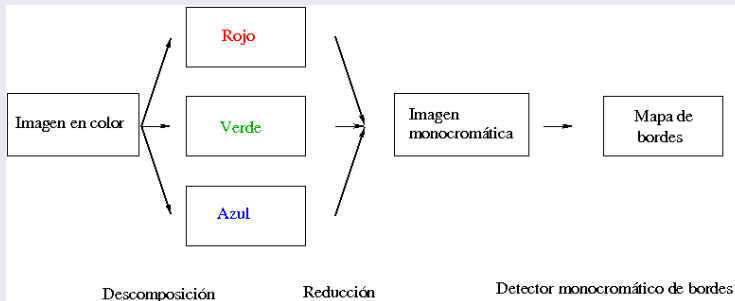
Imagen monocromática

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes en color basados en técnicas monocromáticas

2.- Reducción de la dimensionalidad de la imagen en color



Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes en color basados en técnicas monocromáticas

2.- Detectores que reducen la dimensionalidad de la imagen en color

- Métodos basados en una **métrica de color**
 - Los bordes son detectados en los puntos donde se produce alguna **discontinuidad de la métrica** definida.
- Métodos basados en la **proyección sobre un eje**
 - La información de color de cada punto es considerada como un vector tridimensional que puede ser **proyectado sobre un eje**.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes en color basados en técnicas monocromáticas

3.- Detectores basados en la fusión de bordes

- Pasos

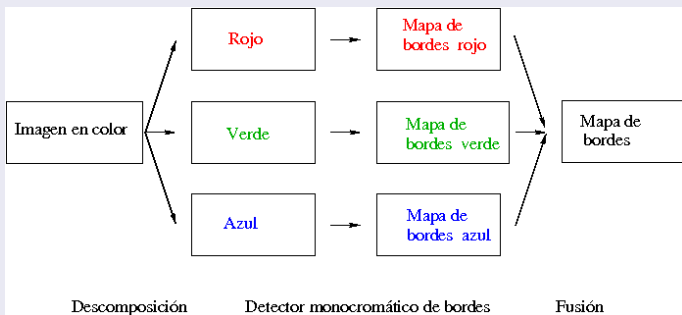
- 1 Descomposición de la imagen en sus componentes de color.
- 2 Obtención del **mapa de bordes** de cada componente usando una **técnica monocromática**.
- 3 **Fusión** de los mapas bordes detectados en cada componente de color.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes en color basados en técnicas monocromáticas

3.- Detectores basados en la fusión de bordes



Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes en color basados en técnicas monocromáticas

3.- Detectores basados en la fusión de bordes

- **Tipos de fusiones**

- Aplicación de alguna **operación lógica**
- Uso **restricciones de uniformidad**.
- **Minimización**
- Regularización basada en la **curvatura** de los bordes

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes en color basados en técnicas monocromáticas

4.- Detectores basados en los gradientes monocromáticos

- 1 Descomposición de la imagen en sus componentes de color.
- 2 Cálculo del gradiente monocromático en cada componente de color
- 3 Combinación de los gradientes monocromáticos para calcular el gradiente de la imagen en color.
- 4 Identificación de los bordes mediante umbralización

Se puede combinar con

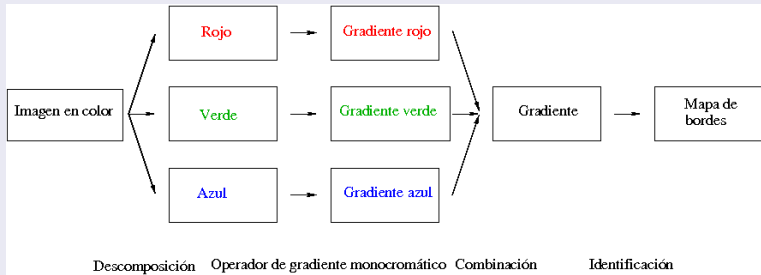
- una fase previa de supresión no máximos locales
- una fase posterior de adelgazamiento de bordes.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes en color basados en técnicas monocromáticas

4.- Detectores basados en los gradientes monocromáticos



Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes en color basados en técnicas monocromáticas

4.- Detectores basados en los gradientes monocromáticos

- Tipos de combinación de los gradientes (1/2)
 - Suma de los gradientes monocromáticos

$$\vec{\nabla}f(x, y) = \vec{\nabla}R(x, y) + \vec{\nabla}G(x, y) + \vec{\nabla}B(x, y)$$

- Suma de las magnitudes de los gradientes monocromáticos.

$$\|\vec{\nabla}f(x, y)\| = \|\vec{\nabla}R(x, y)\| + \|\vec{\nabla}G(x, y)\| + \|\vec{\nabla}B(x, y)\|$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes en color basados en técnicas monocromáticas

4.- Detectores basados en los gradientes monocromáticos

- Tipos de combinación de los gradientes (2/2)
 - **Máximo** de las magnitudes de los gradientes monocromáticos

$$\|\vec{\nabla}f(x, y)\| = \max\{\|\vec{\nabla}R(x, y)\|, \|\vec{\nabla}G(x, y)\|, \|\vec{\nabla}B(x, y)\|\}$$

- **Raíz cuadrada** de la suma de los cuadrados de las magnitudes de los gradientes monocromáticos.

$$\|\vec{\nabla}f(x, y)\| = \sqrt{\|\vec{\nabla}R(x, y)\|^2 + \|\vec{\nabla}G(x, y)\|^2 + \|\vec{\nabla}B(x, y)\|^2}$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes en color basados en técnicas monocromáticas

4.- Detectores basados en los gradientes monocromáticos

- **Inconvenientes**
 - No se tiene en cuenta la posible **correlación** entre las componentes del espacio de color.
 - La **suma de los gradientes** monocromáticos puede no detectar todos los bordes en el caso de que los gradientes tengan **direcciones opuestas**.
 - Los **otros métodos** pueden detectar **falsos bordes**, porque no consideran la dirección de los gradientes.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

Fundamentos teóricos

- Detectores de bordes basados en técnicas monocromáticas.
- Detectores de bordes que consideran a la imagen en color como un campo vectorial.
 - Se asocia a cada punto (x, y) un vector tridimensional del espacio de color utilizado.

$$\vec{f}(x, y) = (R(x, y), G(x, y), B(x, y))$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores que consideran a las imágenes en color como campos vectoriales

- Reducción de la dimensionalidad mediante la proyección de los vectores sobre un eje
- Ordenamiento de vectores.
- **Vector gradiente multidimensional.**
- Derivadas de segundo orden.
- Entropía.
- Histogramas.
- Etc.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes en color basados en el vector gradiente

- Formas de calcular el vector gradiente
 - 1.- Estimación mediante una distancia métrica.
 - 2.- Gradiente multidimensional.
 - 3.- Operadores vectoriales direccionales.
 - 4.- Operadores basados en la diferencia de vectores.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes en color basados en el vector gradiente

- Formas de calcular el vector gradiente
 - 1.- **Estimación mediante una distancia métrica**
 - 2.- Gradiente multidimensional.
 - 3.- Operadores vectoriales direccionales.
 - 4.- Operadores basados en la diferencia de vectores.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

1.- Estimación del vector gradiente mediante una distancia métrica

- Magnitud del gradiente

$$\|\vec{\nabla} \vec{f}(x_0, y_0)\| = \max_{i=1, \dots, 8} \{\|\vec{f}(x_i, y_i) - \vec{f}(x_0, y_0)\|\}$$

donde $\|\cdot\|$ representa la norma euclídea L_2

- Dirección del gradiente:
 - Dirección del vector que une el punto central con el punto en el que se ha alcanzado el máximo.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

1.- Estimación del vector gradiente mediante una distancia métrica

- Distancias métricas alternativas:
 - Distancia de la **ciudad de los bloques** o norma L_1
 - Distancia de **ajedrez** o norma L_∞
 - Distancia **angular**
 - Combinación de la distancia euclídea y la distancia angular

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

1.- Estimación del vector gradiente mediante una distancia métrica

- Variantes:
 - Detector borroso (*fuzzy*): combina
 - una función normalizada de contraste de tono (*normalized hue contrast*) definida en el espacio de color *HSI*
 - la distancia euclídea en el espacio de color *RGB*
 - Detector basado en el espacio de color *CIE Lab*: utiliza
 - *Compass operator*
 - *Earth mover's distance*

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes en color basados en el vector gradiente

- Formas de calcular el vector gradiente
 - 1.- Estimación mediante una distancia métrica.
 - 2.- **Gradiente multidimensional.**
 - 3.- Operadores vectoriales direccionales.
 - 4.- Operadores basados en la diferencia de vectores.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

2.- Gradiente multidimensional

- Detector de **Di Zenzo** (1986)
 - Calcular el gradiente de una imagen multidimensional usando los **operadores direccionales**
 - **Evita** el problema de la **combinación** de los gradientes monocromáticos

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

2.- Gradiente multidimensional

- Operadores direccionales
 - Horizontal

$$\vec{u}(x, y) = \frac{\partial R}{\partial x}(x, y)\vec{r} + \frac{\partial G}{\partial x}(x, y)\vec{g} + \frac{\partial B}{\partial x}(x, y)\vec{b}$$

- Vertical

$$\vec{v}(x, y) = \frac{\partial R}{\partial y}(x, y)\vec{r} + \frac{\partial G}{\partial y}(x, y)\vec{g} + \frac{\partial B}{\partial y}(x, y)\vec{b}$$

\vec{r} , \vec{g} y \vec{b} : vectores unitarios de los ejes R , G y B , respectivamente.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

2.- Gradiente multidimensional

- Componentes de un tensor simétrico

$$g_{xx}(x, y) = \vec{u}(x, y) \cdot \vec{u}(x, y)$$

$$g_{yy}(x, y) = \vec{v}(x, y) \cdot \vec{v}(x, y)$$

$$g_{xy}(x, y) = g_{yx}(x, y) = \vec{u}(x, y) \cdot \vec{v}(x, y)$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

2.- Gradiente multidimensional

- **Magnitud** del vector gradiente de \vec{f} en cada punto (x, y)

$$\begin{aligned}df^2 &= F(\theta) \\ &= \frac{1}{2} \left(\begin{aligned} &g_{xx}(x, y) \\ &+ g_{yy}(x, y) \\ &+ (g_{xx}(x, y) - g_{yy}(x, y)) \cos(2\theta) \\ &+ 2g_{xy}(x, y) \sin(2\theta) \end{aligned} \right)\end{aligned}$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

2.- Gradiente multidimensional

- El valor de θ que **maximiza** la función F permite obtener la **dirección y la magnitud del gradiente**
- Problema que se debe resolver:

$$\frac{\partial F(\theta)}{\partial \theta} = 0$$

- Valores de θ **candidatos** para alcanzar el valor máximo

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2g_{xy}(x,y)}{g_{xx}(x,y) - g_{yy}(x,y)} \right)$$
$$y \quad \theta \pm \frac{\pi}{2}$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

2.- Gradiente multidimensional

- Entre los valores candidatos de θ , se elige el valor θ_0 que maximice $F(\theta)$.
- Dirección del gradiente: θ_0
- Magnitud del gradiente: $\sqrt{F(\theta_0)}$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

2.- Gradiente multidimensional

- Métodos de identificación de los bordes
 - Umbralizar el valor de $\sqrt{F(\theta_0)}$ o de $F(\theta_0)$
 - Localizar los máximos locales en la dirección del gradiente

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

2.- Gradiente multidimensional

- Métodos para calcular los gradientes en los planos de color rojo (R)

$$\frac{\partial R}{\partial x}, \frac{\partial R}{\partial y}, \frac{\partial G}{\partial x}, \frac{\partial G}{\partial y}, \frac{\partial B}{\partial x}, \frac{\partial B}{\partial y}$$

- Di Zenzo (1986): operador de Sobel
- Drewniok (1994): operador de Canny (1986)
- Chapron (1992): método de Deriche (1987), que, a su vez, está basado en el detector de Canny.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Nota (Detección de bordes en imágenes en color)

2.- Gradiente multidimensional

- *Dificultades*
 - *No se puede calcular la dirección del gradiente cuando*
 - $g_{xx} = g_{yy}$ y $g_{xy} = 0$
 - *o los valores de g_{xx} y g_{yy} están muy próximos*

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

2.- Gradiente multidimensional

- Solución: **matriz jacobiana** (Lee, Novak, Saber):

$$D(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{\partial R}{\partial x}(x, y) & \frac{\partial G}{\partial x}(x, y) & \frac{\partial B}{\partial x}(x, y) \\ \frac{\partial R}{\partial y}(x, y) & \frac{\partial G}{\partial y}(x, y) & \frac{\partial B}{\partial y}(x, y) \end{bmatrix}$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

2.- Gradiente multidimensional

- Método de la **matriz jacobiana**
 - Se define una **distancia de color** d entre $\vec{f}(x, y)$ y $\vec{f}(x + n_1, y + n_2)$,

$$d = \sqrt{\vec{n} D D^T \vec{n}^T}$$

donde $\vec{n} = (n_1, n_2)$ es un vector unitario

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

2.- Gradiente multidimensional

- Método de la **matriz jacobiana**
 - **Dirección del gradiente:** **autovector** asociado al autovalor $\lambda(x, y)$

$$\vec{v}_1(x, y) = (g_{xy}(x, y), \lambda(x, y) - g_{xx}(x, y))$$

o

$$\vec{v}_2(x, y) = (\lambda(x, y) - g_{yy}(x, y), g_{xy}(x, y))$$

si el vector $\vec{v}_1(x, y)$ es un vector nulo

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

2.- Gradiente multidimensional

- Método de la **matriz jacobiana**
 - Este método **no** necesita ninguna fase de maximización
 - **Magnitud del gradiente**: se obtiene directamente de $\lambda(x, y)$
 - **Dificultades**
 - Problema al estimar la dirección del gradiente cuando los vectores $\vec{v}_1(x, y)$ y $\vec{v}_2(x, y)$ son nulos.
 - Ocurre cuando $g_{xx}(x, y) = g_{yy}(x, y)$ y $g_{xy}(x, y) = 0$.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

2.- Gradiente multidimensional

- Tiene en cuenta la **naturaleza vectorial** de la imagen en color
- Extrae **más información** de la imagen en color que los métodos basados en la extensión del gradiente monocromático.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Gradiente multidimensional

- **Dificultades**
 - Muy sensibles a pequeñas variaciones de **textura**: puede dificultar la identificación de objetos reales
 - Sensibles a los **ruidos** de tipo gaussiano e impulsivo

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes en color basados en el vector gradiente

- Formas de calcular el vector gradiente
 - 1.- Estimación mediante una distancia métrica.
 - 2.- Gradiente multidimensional.
 - 3.- **Operadores vectoriales direccionales.**
 - 4.- Operadores basados en la diferencia de vectores.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

3.- Operadores vectoriales direccionales

- Son generalizaciones de operadores básicos

$$\Delta H = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \Delta V = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Operador de Prewitt

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

3.- Operadores vectoriales direccionales

- Para operadores de tamaño $(2w + 1) \times (2w + 1)$ ($w > 0$)
 - Operador direccional horizontal

$$\Delta H = [H_- \ 0 \ H_+]$$

- Operador direccional vertical

$$\Delta V = \begin{bmatrix} V_- \\ 0 \\ V_+ \end{bmatrix}$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

3.- Operadores vectoriales direccionales

- Núcleos de convolución (*convolutions kernels*)

H_- , H_+ , V_- y V_+

- Generan vectores que se corresponden con el promedio local de los colores.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

3.- Operadores vectoriales direccionales

$$\vec{H}_+(x_0, y_0) = \frac{1}{w(2w+1)} \sum_{y=y_0-w}^{y_0+w} \sum_{x=x_0+1}^{x_0+w} \vec{f}(x, y)$$

$$\vec{H}_-(x_0, y_0) = \frac{1}{w(2w+1)} \sum_{y=y_0-w}^{y_0+w} \sum_{x=x_0-1}^{x_0-w} \vec{f}(x, y)$$

- $\vec{f}(x, y)$ representa el color $(R(x, y), G(x, y), B(x, y))$ en el punto de la imagen (x, y) .

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

3.- Operadores vectoriales direccionales

$$\vec{V}_+(x_0, y_0) = \frac{1}{w(2w + 1)} \sum_{y=y_0+1}^{y_0+w} \sum_{x=x_0-w}^{x_0+w} \vec{f}(x, y)$$

$$\vec{V}_-(x_0, y_0) = \frac{1}{w(2w + 1)} \sum_{y=y_0-1}^{y_0-w} \sum_{x=x_0-w}^{x_0+w} \vec{f}(x, y)$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

3.- Operadores vectoriales direccionales

- Estimación de las variaciones locales en las direcciones horizontal y vertical

$$\Delta \vec{H}(x_0, y_0) = \vec{H}_+(x_0, y_0) - \vec{H}_-(x_0, y_0)$$

$$\Delta \vec{V}(x_0, y_0) = \vec{V}_+(x_0, y_0) - \vec{V}_-(x_0, y_0)$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

3.- Operadores vectoriales direccionales

- Estimación de la magnitud del vector gradiente

$$\|\vec{\nabla} f(x_0, y_0)\| = \sqrt{\|\Delta \vec{H}(x_0, y_0)\|^2 + \|\Delta \vec{V}(x_0, y_0)\|^2}$$

- Estimación del ángulo del vector gradiente

$$\theta = \arctan \left[\frac{\Delta V'(x_0, y_0)}{\Delta H'(x_0, y_0)} \right] + k\pi$$

donde k es un entero

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

3.- Operadores vectoriales direccionales

$$\Delta V'(x_0, y_0) = \begin{cases} \|\Delta \vec{V}(x_0, y_0)\| & \text{Si } \|\vec{V}_+(x_0, y_0)\| \geq \|\vec{V}_-(x_0, y_0)\| \\ -\|\Delta \vec{V}(x_0, y_0)\| & \text{En otro caso} \end{cases}$$

$$\Delta H'(x_0, y_0) = \begin{cases} \|\Delta \vec{H}(x_0, y_0)\| & \text{Si } \|\vec{H}_+(x_0, y_0)\| \geq \|\vec{H}_-(x_0, y_0)\| \\ -\|\Delta \vec{H}(x_0, y_0)\| & \text{En otro caso} \end{cases}$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detectores de bordes en color basados en el vector gradiente

- Formas de calcular el vector gradiente
 - 1.- Estimación mediante una distancia métrica.
 - 2.- Gradiente multidimensional.
 - 3.- Operadores vectoriales direccionales.
 - 4.- **Operadores basados en la diferencia de vectores.**

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

4.- Diferencia de vectores

- Operador DV **vector diferencia** (*difference vector*)

$$DV = \max\{\|\vec{\nabla}f_{0^\circ}\|, \|\vec{\nabla}f_{45^\circ}\|, \|\vec{\nabla}f_{90^\circ}\|, \|\vec{\nabla}f_{135^\circ}\|\} \quad (1)$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

4.- Diferencia de vectores

$$\|\vec{\nabla} f_{0^\circ}\| = \|\vec{Y}_{0^\circ} - \vec{X}_{0^\circ}\|$$

$$\|\vec{\nabla} f_{45^\circ}\| = \|\vec{Y}_{45^\circ} - \vec{X}_{45^\circ}\|$$

$$\|\vec{\nabla} f_{90^\circ}\| = \|\vec{Y}_{90^\circ} - \vec{X}_{90^\circ}\|$$

$$\|\vec{\nabla} f_{135^\circ}\| = \|\vec{Y}_{135^\circ} - \vec{X}_{135^\circ}\|$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

4.- Diferencia de vectores

- Para ventana de 3×3 puntos.

$$\vec{X}_{0^\circ} = \vec{v}(x_0 - 1, y_0), \quad \vec{Y}_{0^\circ} = \vec{v}(x_0 + 1, y_0)$$

$$\vec{X}_{45^\circ} = \vec{v}(x_0 - 1, y_0 + 1), \quad \vec{Y}_{45^\circ} = \vec{v}(x_0 + 1, y_0 - 1)$$

$$\vec{X}_{90^\circ} = \vec{v}(x_0, y_0 - 1), \quad \vec{Y}_{135^\circ} = \vec{v}(x_0, y_0 + 1)$$

$$\vec{X}_{135^\circ} = \vec{v}(x_0 + 1, y_0 + 1), \quad \vec{Y}_{135^\circ} = \vec{v}(x_0 - 1, y_0 - 1)$$

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

4.- Diferencia de vectores

- El **operador DV** es **sensible** a los ruidos de tipo impulsivo y gaussiano.
- Se pueden definir variantes más **robustas** en presencia de ruido con ventanas de $n \times n$ puntos.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes: Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

1 Segmentación

- Algoritmos orientados a los bordes
 - Introducción
 - Detección de bordes en imágenes monocromáticas
 - Detección de bordes en imágenes en color
 - Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Algoritmos orientados a los bordes

- Introducción
- Detección de bordes en imágenes monocromáticas
- Detección de bordes en imágenes en color
- **Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color**

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

Tipos de detectores evaluados (1/3): basados en

- **Gradiente multidimensional:** Di Zenzo (1986) y Lee y Cok (1991)
- **Operadores vectoriales direccionales:** Scharcanski y Venetsanopoulos (1997)
- **Diferencia de vectores:** D_v (*difference vector*, D_v-h_v (direcciones horizontal y vertical))
- **Ordenamiento de vectores:** M_{vd} (*minimum vector dispersion*)

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

Detectores evaluados (2/3): basados en

- **Distancia métrica** para estimar el vector gradiente: Máximo de las distancias euclídeas
- **Entropía:** detector de Shiozaki (1986)
- **Histogramas:** detector Pietikäinen y Harwood (1986)
- **Suma** de las magnitudes de los gradientes monocromáticos

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

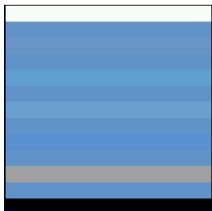
Detectores evaluados (3/3)

- Además, se ha evaluado el detector de Sobel
 - Comparar un algoritmo monocromático clásico con los detectores de bordes en color.
 - En este caso, se ha usado la imagen monocromática [?]:

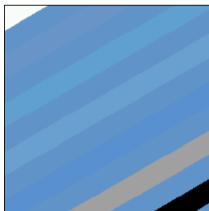
$$I(x, y) = \frac{1}{3}(R(x, y) + G(x, y) + B(x, y)) \quad (2)$$

Segmentación

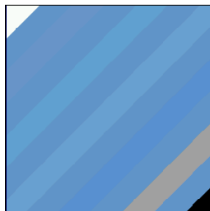
Algoritmos orientados a los bordes



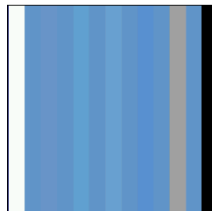
Barras 0



Barras 30



Barras 45

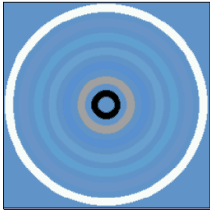


Barras 90

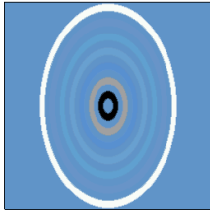
Imágenes artificiales en color diseñadas (1/2)

Segmentación

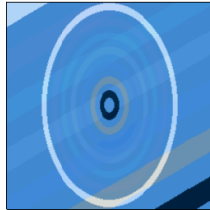
Algoritmos orientados a los bordes



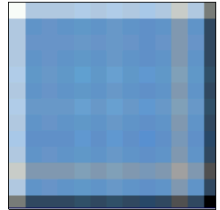
Círculos



Elipses



Barras 30 - elipses



Barras 0 - barras 90

Imágenes artificiales en color diseñadas (2/2)

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

Características de las imágenes diseñadas (1/2)

- Espacio de color: *RGB*.
- 256 niveles de intensidad ($[0..255]$).
- Tamaño: 256×256 puntos.
- Los bordes provocados por
 - Cambios en una, dos o tres componentes de color.
 - Cambios en las tres componentes de color, pero manteniendo constante la intensidad.
 - La aparición de zonas blancas, negras o grises.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

Características de las imágenes diseñadas (2/2)

- Todos los bordes generados eran del tipo de “rampa” ligeramente asimétrica.
- Los bordes generados eran rectos o curvos.
- Variantes de las imágenes:
 - Sin ruido
 - Ruido gaussiano ($\sigma^2 \in \{1, 3, 10\}$)
 - Ruido exponencial ($\sigma^2 \in \{1, 3, 10\}$).

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

- Aplicación del detector de bordes a la imagen en color: se genera la **imagen realzada**.
- Umbralizar la imagen realzada con un **umbral porcentual**: se genera la **imagen umbralizada**.
- Utilizar la **medida de Baddeley** para comparar la imagen umbralizada con el mapa de bordes (*ground truth*).
- Para cada imagen y cada detector, se selecciona el valor **mínimo** obtenido por la **medida de Baddeley** entre todas las imágenes umbralizadas.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

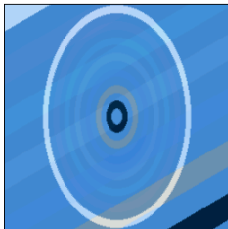
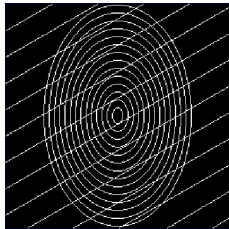


Imagen artificial en color



Mapa de bordes

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

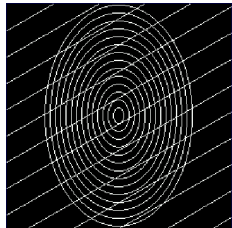
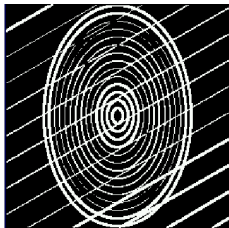
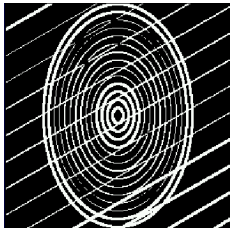


Imagen ideal



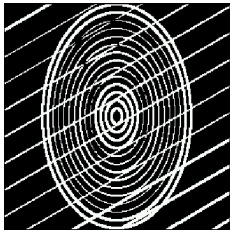
Di Zenzo: 0'1331



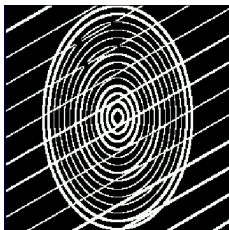
Lee y Cok: 0'1331

Segmentación

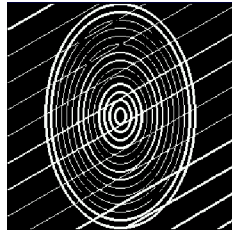
Algoritmos orientados a los bordes



Scharcanski: 0'1383



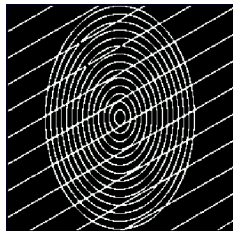
Dv: 0'1431



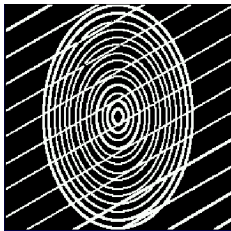
Dv-hv: 0'1015

Segmentación

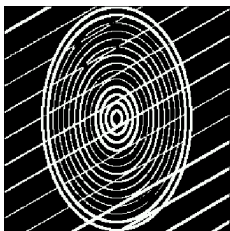
Algoritmos orientados a los bordes



Mvd: 0'0746



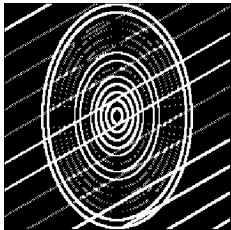
Máximo: 0'1614



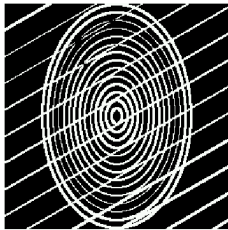
Shiozaki: 0'1364

Segmentación

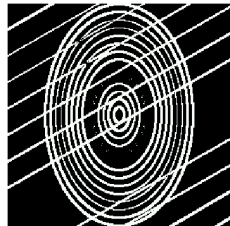
Algoritmos orientados a los bordes



Pietikäinen: 0'1744



Suma: 0'2119



Sobel: 0'2607

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Subconjuntos homogéneos según el test de Scheffé

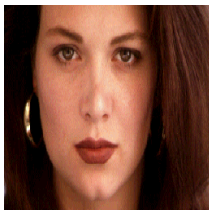
Detector	Subconjunto					
	1	2	3	4	5	6
Lee y Cok	0'1461					
Di Zenzo	0'1461					
Mvd	0'1544	0'1544				
Scharcanski		0'1618				
Dv-hv			0'1789			
Dv			0'1843			
Shiozaki				0'2226		
Suma de magnitudes				0'2247		
Pietikäinen					0'2432	
Máximo de distancias					0'2514	
Sobel						0'2735
Significación	0'687	0'837	0'978	1'000	0'718	1'000

Segmentación

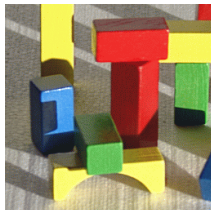
Algoritmos orientados a los bordes



Lenna



Amber



Blocks



Saturn

Imágenes reales

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

Evaluación con imágenes reales

- Aplicación de los **detectores de bordes** a las imágenes en color.
- **Umbralización** de las imágenes generadas por los detectores.
- Generación de las imágenes de **consenso**.
- Uso de la **medida de Baddeley** para comparar la imagen umbralizada de cada detector con cada una de las imágenes de consenso generadas.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Lenna



Consenso: 1



Consenso: 2

Umbral del 20%

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Consenso: 3



Consenso: 4



Consenso: 5

Umbral del 20%

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Consenso: 6



Consenso: 7



Consenso: 8

Umbral del 20%

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Consenso: 9



Consenso: 10

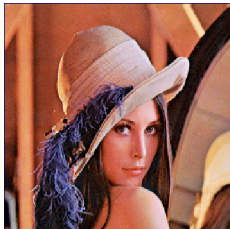


Consenso: 11

Umbral del 20%

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Lenna



Di Zenzo



Lee y Cok

Umbral del 20%

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Scharcanski



Dv



Dv - hv

Umbral del 20%

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Mvd



Max



Shiozaki

Umbral del 20%

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Pietikäinen



Suma



Sobel

Umbral del 20 %

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Prueba con imágenes reales utilizando sólo imágenes de consenso comprendidas entre 3 y 7 y todos los umbrales porcentuales utilizados (10 %, 15 % y 20 %).

Detector	Subconjunto						
	1	2	3	4	5	6	7
Lee y Cok	0'0329						
Di Zenzo	0'0329						
Scharcanski		0'0534					
Dv		0'0536					
Suma de magnitudes		0'0561					
Sobel			0'0618				
Dv-hv				0'0741			
Pietikäinen					0'0881		
Máximo de distancias						0'1022	
Mvd						0'1051	
Shiozaki							0'2018
Significación	1'000	0'677	1'000	1'000	1'000	0'560	1'000

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Evaluación de algoritmos de detección de bordes en color

Análisis de los detectores de bordes

- **Di Zenzo y Lee y Cok:** mejor rendimiento
- Scharcanski y Venetsanopoulos, “Dv” y “Suma de las magnitudes de los gradientes”: rendimiento similar.
- **Sobel** (monocromático) **supera** a otros detectores de bordes en color: “Dv-hv”, Pietikäinen y Harwood y “Máximo de las distancias”
- Mvd: rendimiento muy deficiente, debido a su **dependencia** de los parámetros.
- Shiozaki: resultados extraordinariamente pobres debido a su alta **sensibilidad** al ruido.

Tema 1.- Introducción a la Visión Artificial

Visión Artificial Avanzada

Prof. Dr. Nicolás Luis Fernández García

Departamento de Informática y Análisis Numérico
Universidad de Córdoba