

Tema 1.- Introducción a la Visión Artificial

Visión Artificial Avanzada

Prof. Dr. Nicolás Luis Fernández García

Departamento de Informática y Análisis Numérico
Escuela Politécnica Superior
Universidad de Córdoba

Programa

Tema 1.- Introducción a la Visión Artificial

Tema 2.- Dificultades en los procesos de reconocimiento 2D

Tema 3.- Dificultades y limitaciones asociadas al uso de la Visión 3D

Programa

1 Segmentación

Segmentación

1 Segmentación

Segmentación

Introducción

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

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

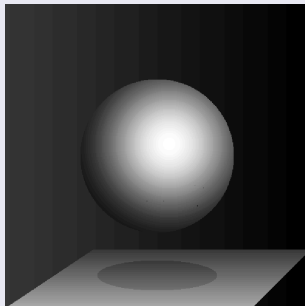
Umbralización de regiones

- 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

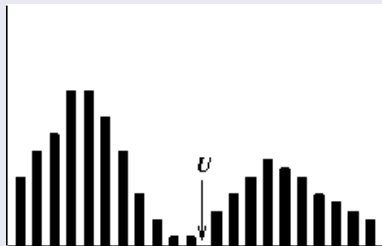


Imagen umbralizada

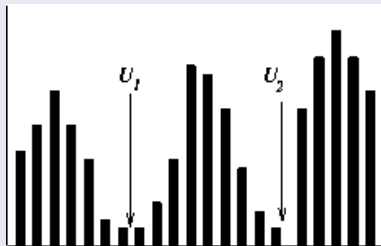
Segmentación

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)

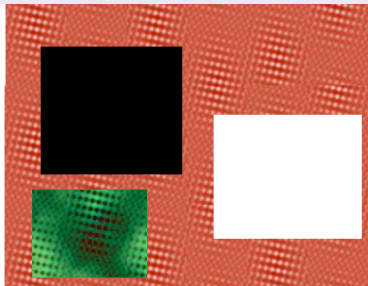
- **Dificultades**

- 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*

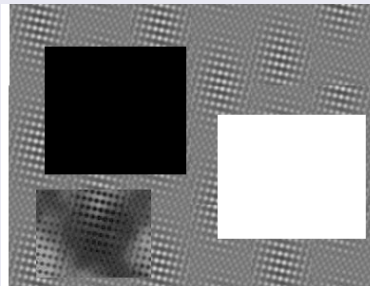
Segmentación

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

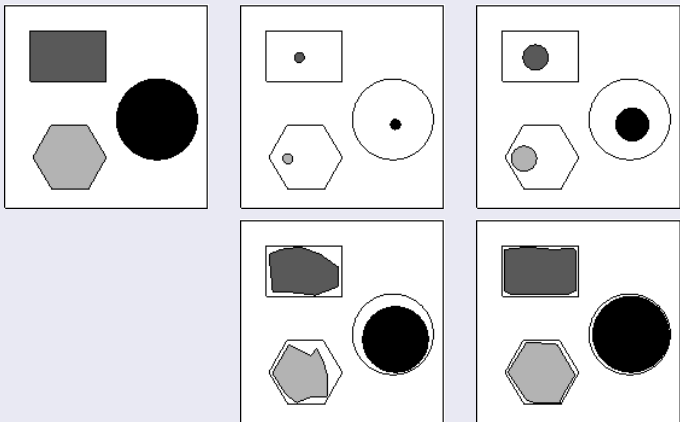
Crecimiento de regiones

- 1 **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

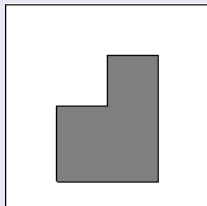
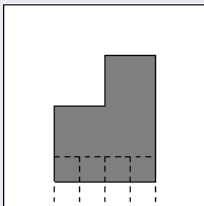
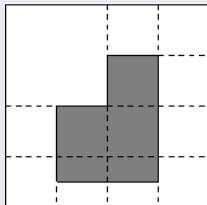
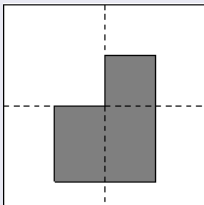
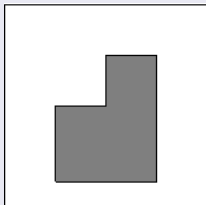
Partición y fusión de regiones

- 1 **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
 - Umbralización de regiones
 - Crecimiento de regiones
 - Partición y fusión de regiones
 - 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

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

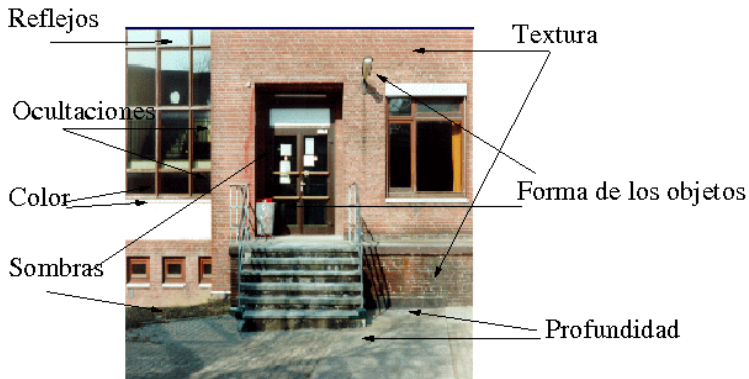


Imagen en color con bordes provocados por diferentes motivos.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

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 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 los detectores de bordes monocromáticos
 - Suavización de la imagen
 - Diferenciación de la imagen
 - Identificación de los bordes

Segmentación

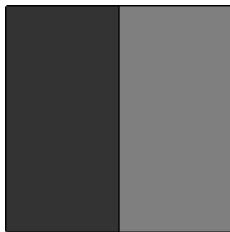
Algoritmos orientados a los bordes

Definición (Bordes de las imágenes monocromáticas)

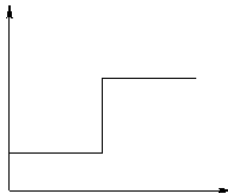
Se corresponden con los *cambios o discontinuidades* de la **función de intensidad** de los niveles de gris.

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

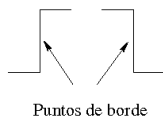
Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Tipos de bordes

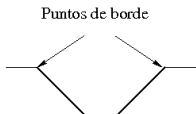
- Escalón o salto (*step edge*).
- Rampa (*ramp edge*):
 - Con pendiente cóncava (*concave slope*)
 - Con pendiente convexa (*convex slope*)
 - o con ambas
- Escalera (*staircase edge*).
- Pico (*peak edge*), cresta (*ridge edge*) o pulso (*pulse edge*).
- Valle (*valley edge*).
- Tejado (*roof edge*).

Segmentación

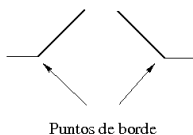
Algoritmos orientados a los bordes



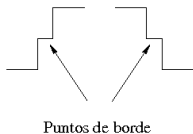
(a)



(b)



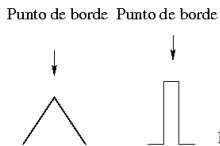
(c)



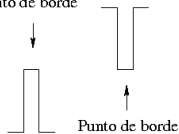
(d)



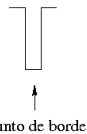
(e)



(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

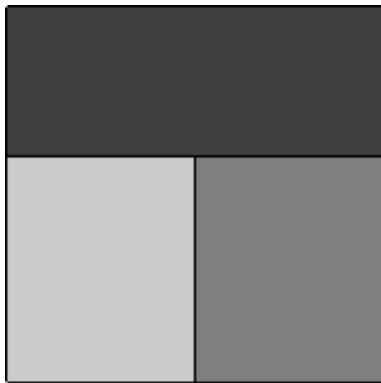


Imagen con un borde del tipo T-unión

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 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 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

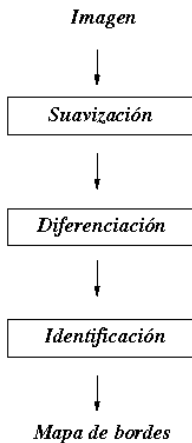
Detección de bordes en imágenes monocromáticas

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 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 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

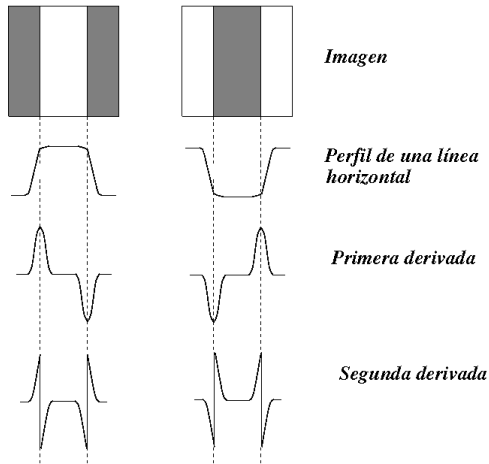
Detección de bordes en imágenes monocromáticas

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



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.
 - Tienden a crear bordes con lazos cerrados (efecto de *lato 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

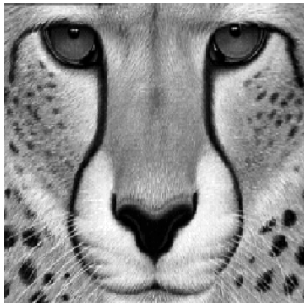


Imagen original

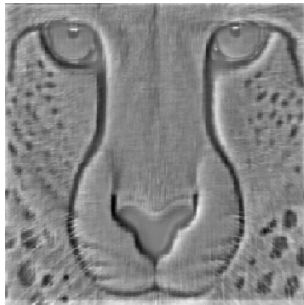


Imagen generada por el operador laplaciano (conectividad 4)

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

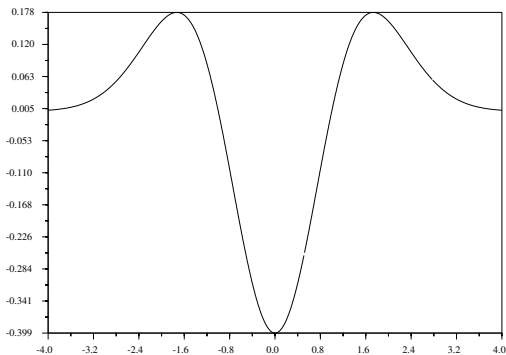
Algoritmos orientados a los bordes

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

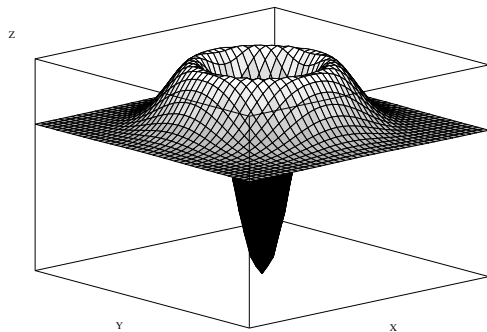
Diferenciación de la imagen: derivadas de segundo orden

- 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

Algunos experimentos neurofisiológicos han evidenciado que 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

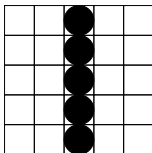
Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Detectores de bordes basados en criterios de optimización

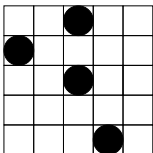
- Características propuestas por Canny para un buen detector de bordes
 - **Buena detección:** debe encontrar todos los bordes que haya en la imagen pero sin incluir ningún punto espurio (robusto en presencia de ruido).
 - **Buena localización:** la distancia entre los bordes detectados y los reales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

Segmentación

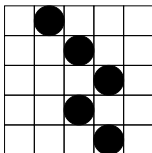
Algoritmos orientados a los bordes



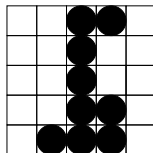
Borde real



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:

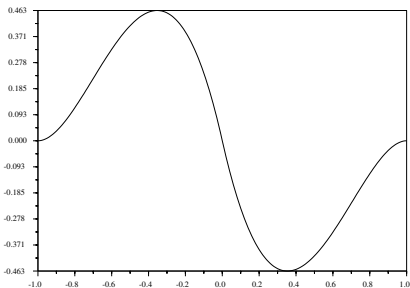
$$h(x) = e^{\alpha x}(a_1 \text{sen}(\omega x) + a_2 \text{cos}(\omega x)) \\ + e^{-\alpha x}(a_3 \text{sen}(\omega x) + a_4 \text{cos}(\omega x)) \\ - \frac{\lambda_1}{2}$$

- Primera derivada de la función gaussiana:

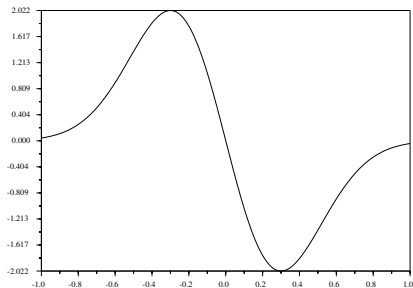
$$G'(x) = \frac{-x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

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 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 paralela

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

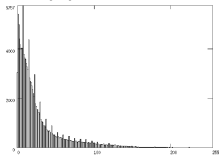
Algoritmos orientados a los bordes



(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:
 - El porcentaje de puntos de los bordes de los objetos respecto del total de la imagen
 - La media y la varianza del ruido
 - La búsqueda de mínimos
 - La concavidad o convexidad del histograma
 - La 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)
 - 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

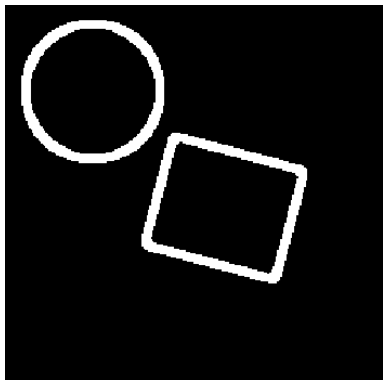
Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Identificación de los bordes

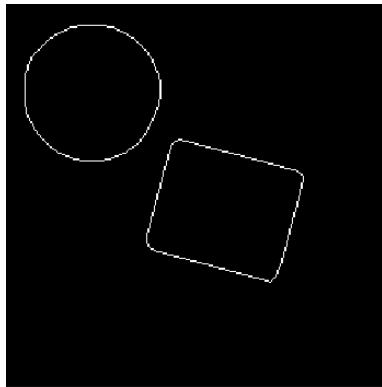
- Características de la umbralización
 - **Ventajas**
 - Técnica sencilla
 - Coste computacional muy bajo
 - **Inconvenientes**
 - Si se elige un **umbral muy bajo**: bordes con **gruesos** (más de un punto de anchura)
Es necesaria una fase posterior de **adelgazamiento** (*thinning*) o **equeletización**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

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



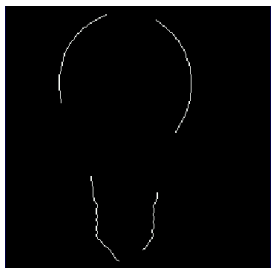
Bordes gruesos



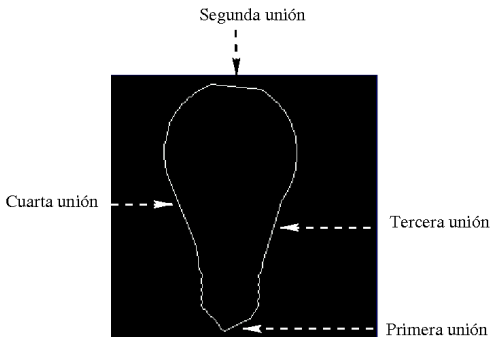
Bordes adelgazados

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

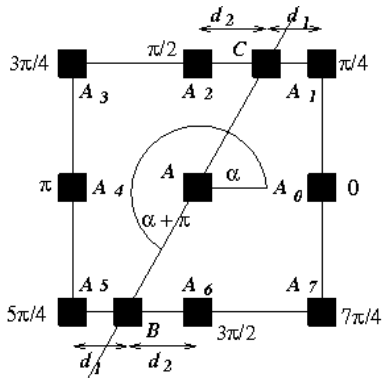
Detección de bordes en imágenes monocromáticas

Identificación de los bordes

- Algoritmo de Canny (1.983) 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

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

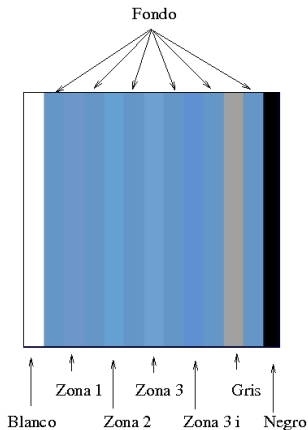
Algoritmos orientados a los bordes

Definición (Bordes de imágenes en color)

- *Un borde de una imagen en color suele ser definido como 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
- Bordes provocados por reflejos
- Bordes provocados por sombra
- Bordes provocados por 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 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 provocados por los cambios en un espacio vectorial

- Tipo escalón: cambio abrupto en el campo vectorial
- Tipo 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 (1/3)

- 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 de imágenes en color

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

- **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.
- **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.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

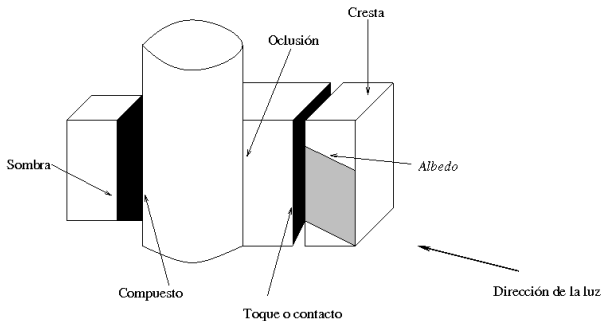
Bordes de imágenes en color

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

- **Cresta** (*ridge*): dos regiones se juntan en una **cresta** o **valle** de un objeto.
- **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



Bordes provocados por fenómenos físicos.

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 en los que se basan:
 - Basadas en extensiones o variantes de técnicas monocromáticas,
 - Diseñadas específicamente para imágenes en color o multiespectrales.

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 *Lab*):
 - evitan la **correlación** de los planos de color de *RGB*
 - **separan** la información cromática de los niveles de iluminación o 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

- Las imágenes en color también pueden contener **ruido**
- Tipos de métodos de atenuación del ruido
 - **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

- **Extensión** de técnicas monocromáticas
 - Los detectores monocromáticos de bordes son utilizados o adaptados para ser aplicados a imágenes en color.
- La imagen en color como **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

Detección de bordes en imágenes en color

Tipos de detectores basados en técnicas monocromáticas

- Los que **no** utilizan la información **cromática** de la imagen en color.
- Reducción de la dimensionalidad de la imagen en color.
- Fusión de bordes.
- Combinan **gradientes monocromáticos**.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

Detectores que no utilizan la información cromática de la imagen en color

- Utilizan la **media aritmética** de los planos de color para obtener el plano de **intensidad**

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

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes



Imagen en color



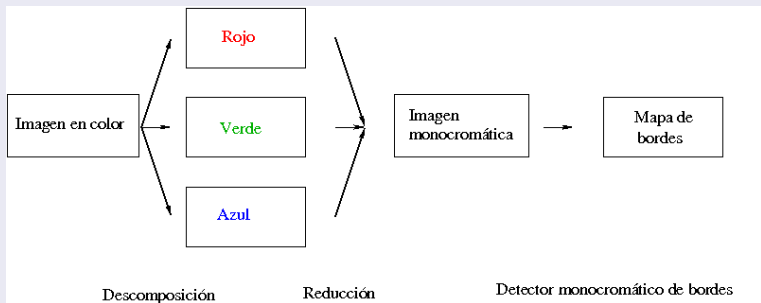
Imagen monocromática

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

Detectores basados en la reducción de la dimensionalidad de la imagen en color



Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

Detectores basados en la reducción de la dimensionalidad de la imagen en color

- Métrica de color o distancia colorimétrica:
 - los bordes son detectados en los puntos donde se produce alguna discontinuidad de la distancia definida
- 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

Detección de bordes en imágenes en color

Detectores basados en la fusión de bordes

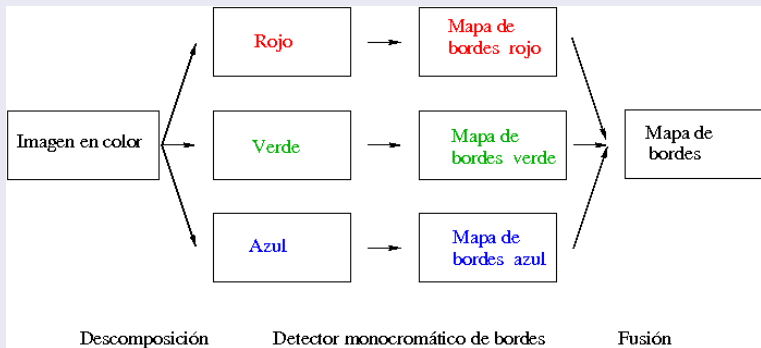
- 1 Descomposición de la imagen en sus componentes de color.
- 2 Aplicación de una **técnica monocromática** a cada componente de forma independiente.
- 3 **Fusión** de los bordes detectados en cada componente de color.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

Detectores basados en la fusión de bordes



Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

Detectores basados en la fusión de bordes

- Métodos de fusión
 - Aplicación de alguna **operación lógica**
 - Mediante la aplicación de algunas **restricciones de uniformidad**.
 - **Minimización**
 - Regularización basada en la **curvatura** de los bordes

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

Detectores basados en los gradientes monocromáticos

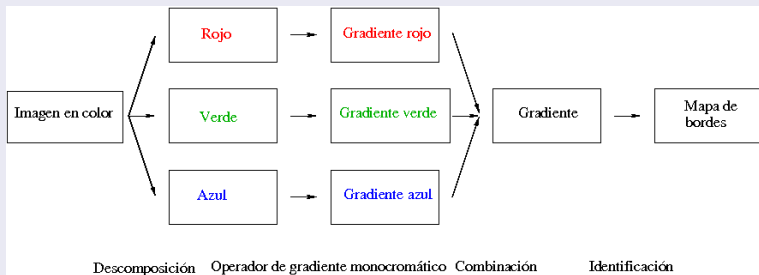
- 1 **Descomposición** de la imagen en sus componentes de color.
- 2 **Cálculo** del gradiente monocromático en cada componente de color
- 3 **Combinación** de los gradientes monocromáticos para calcular el gradiente de la imagen en color.
- 4 **Identificación** de los bordes mediante **umbralización**: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

Detección de bordes en imágenes en color

Detectores basados en los gradientes monocromáticos



Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

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

Detección de bordes en imágenes en color

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

Detección de bordes en imágenes en color

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** puede detectar **falsos bordes**, porque no consideran la dirección de los gradientes

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

Detectores que consideran a las imágenes en color como campos vectoriales

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

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

Detectores que consideran a las imágenes en color como campos vectoriales

- Reducción de la dimensionalidad: 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

Detección de bordes en imágenes en color

Detectores de bordes en color basados en el vector gradiente

- Formas de calcular el vector gradiente
 - Métodos basados en distancias métricas.
 - Noción de gradiente multidimensional.
 - Operadores vectoriales direccionales.
 - Operadores basados en la diferencia de vectores.

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Detección de bordes en imágenes en color

Uso de distancias métricas para estimar el vector gradiente

- 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

Uso de distancias métricas para estimar el vector gradiente

- 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

Uso de distancias métricas para estimar el vector gradiente

- 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

Detección de bordes en imágenes en color

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

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

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

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

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

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

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

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 (1.986): operador de Sobel
- Drewniok (1.994): operador de Canny (1.986)
- Chapron (1.992): método de Deriche (1.987), 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)

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

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

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

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

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

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

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

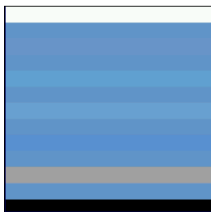
Detectores evaluados (3/3)

- 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

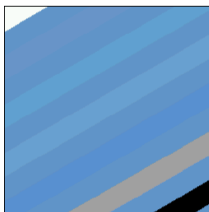
$$I(x, y) = \frac{1}{3}(R(x, y) + G(x, y) + B(x, y)) \quad (1)$$

Segmentación

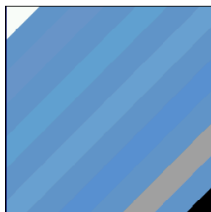
Algoritmos orientados a los bordes



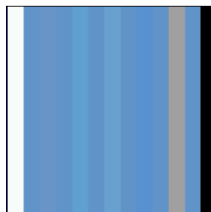
Barras 0



Barras 30



Barras 45

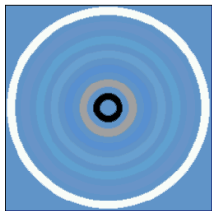


Barras 90

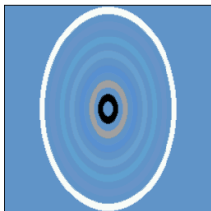
Imágenes artificiales en color diseñadas (1/2)

Segmentación

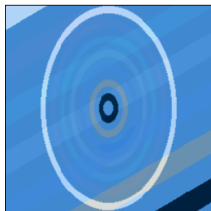
Algoritmos orientados a los bordes



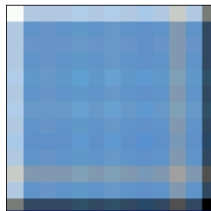
Círculos



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

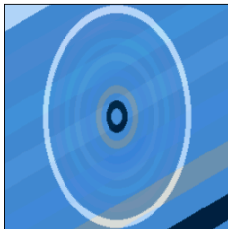
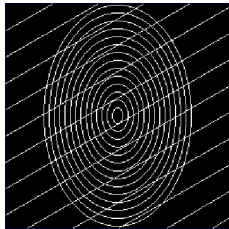


Imagen artificial en color



Mapa de bordes

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

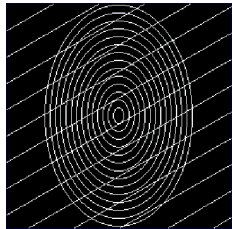
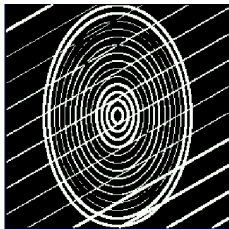
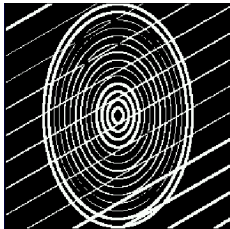


Imagen ideal



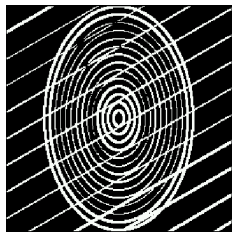
Di Zenzo: 0'1331



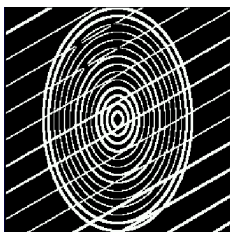
Lee y Cok: 0'1331

Segmentación

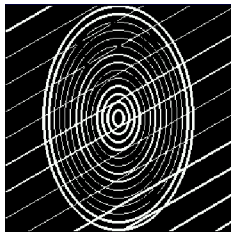
Algoritmos orientados a los bordes



Scharcanski: 0'1383



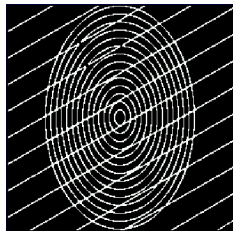
Dv: 0'1431



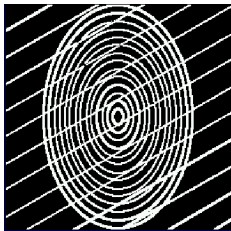
Dv-hv: 0'1015

Segmentación

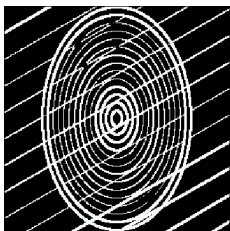
Algoritmos orientados a los bordes



Mvd: 0'0746



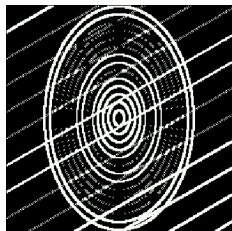
Máximo: 0'1614



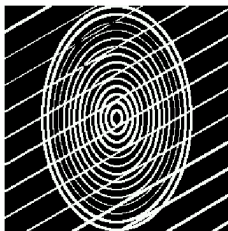
Shiozaki: 0'1364

Segmentación

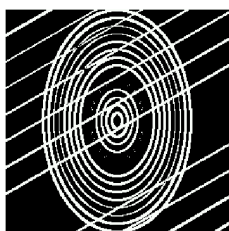
Algoritmos orientados a los bordes



Pietikäinen: 0'1744



Suma: 0'2119



Sobel: 0'2607

Segmentación

Algoritmos orientados a los bordes

Subconjuntos homogéneos según el test de Scheffé

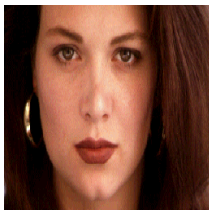
Detector	Subconjunto					
	1	2	3	4	5	6
Lee y Cok	0'1461					
Di Zenzo	0'1461					
Mvd	0'1544	0'1544				
Scharcanski		0'1618				
Dv-hv			0'1789			
Dv			0'1843			
Shiozaki				0'2226		
Suma de magnitudes				0'2247		
Pietikäinen					0'2432	
Máximo de distancias					0'2514	
Sobel						0'2735
Significación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

Segmentación

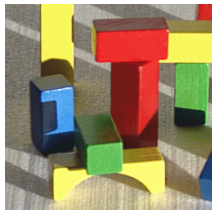
Algoritmos orientados a los bordes



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 Zeno



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
Escuela Politécnica Superior
Universidad de Córdoba