

EXTRACCIÓN INTERACTIVA DE OBJETOS EN RESTAURACIÓN DIGITAL DE IMÁGENES

Fernanda Andrade

Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

Sangolquí, Ecuador

CONTENIDO

Introducción

Segmentación

Restauración

Diseño de experimento

Resultados

Conclusiones

INTRODUCCIÓN

EXTRACCIÓN DE OBJETOS

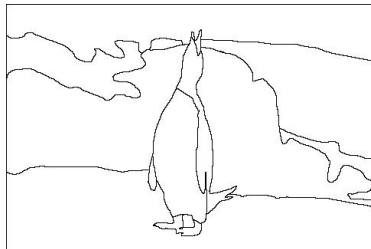


INTRODUCCIÓN

SEGMENTACIÓN DE IMAGEN



(a) Imagen



(b) Imagen segmentada

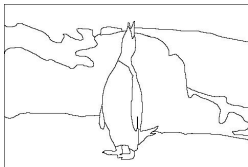
Fuente: The Berkeley Segmentation Dataset

INTRODUCCIÓN

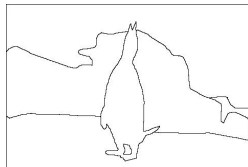
SEGMENTACIÓN ES SUBJETIVA



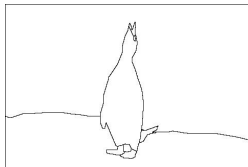
(a) Imagen



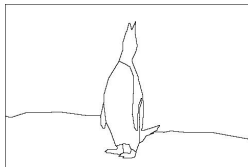
(b) 18 regiones



(c) 7 regiones



(d) 10 regiones



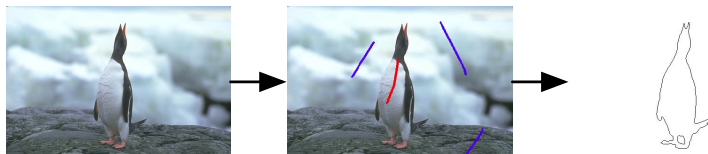
(e) 8 regiones

Fuente: The Berkeley Segmentation Dataset

INTRODUCCIÓN

SEGMENTACIÓN INTERACTIVA

Objetivo: dividir imagen en objeto de interés y fondo

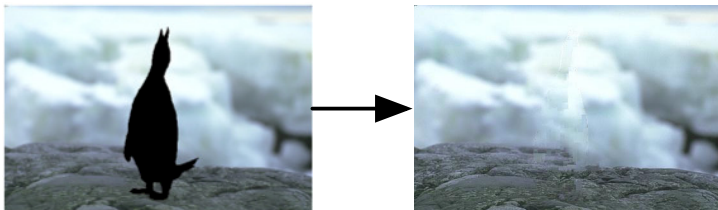


Guía de usuario

Fuente: The Berkeley Segmentation Dataset

INTRODUCCIÓN

RESTAURACIÓN DE IMAGEN



Fuente: The Berkeley Segmentation Dataset

CONTENIDO

Introducción

Segmentación

Restauración

Diseño de experimento

Resultados

Conclusiones

SEGMENTACIÓN

SEGMENTACIÓN BASADA EN UMBRAL

Dos regiones según un valor de intensidad.

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

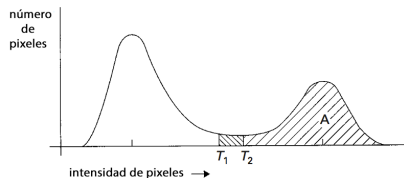


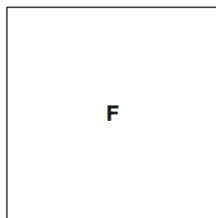
Figura: Histograma de una imagen en escala de grises.

Desventajas:

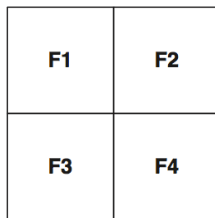
- ▶ Sensible a variaciones de iluminación.
- ▶ No considera relación espacial de píxeles.
- ▶ Objeto y fondo deben tener diferentes intensidades.

SEGMENTACIÓN

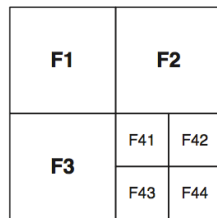
SEGMENTACIÓN BASADA EN REGIONES



(a) Imagen



(b) Primera división



(c) Segunda división

Condiciones:

- ▶ Píxeles con propiedad en común (*e.g.* intensidad)
- ▶ Regiones con propiedades diferentes entre ellas.

Desventajas:

- ▶ No consideran información de bordes.
- ▶ Resultados con bordes irregulares.

SEGMENTACIÓN

SEGMENTACIÓN BASADA EN BORDES

- ▶ Búsqueda de diferencias entre píxeles.
- ▶ Operadores como Robert, Sobel, Prewitt, Canny o Krisch.

Desventajas:

- ▶ Es muy sensible al ruido.
- ▶ Requiere la selección de un valor umbral para el borde.
- ▶ No genera bordes completos de objetos solapados.



Figura: Imagen segmentada.

Fuente: The Berkeley Segmentation Benchmark

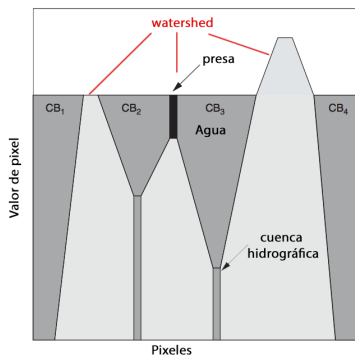
SEGMENTACIÓN

SEGMENTACIÓN BASADA EN CUENCAS

- ▶ Imagen es considerada una superficie con diferentes alturas.
- ▶ Crestas: pixeles con valores altos de intensidad.
- ▶ Valles: pixeles con valores bajos de intensidad.

Desventajas:

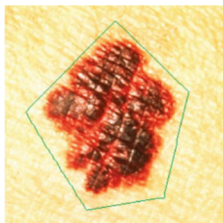
- ▶ Problemas de sobre segmentación



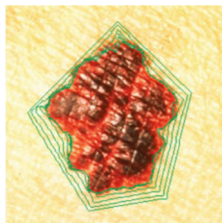
Fuente: Pratt

SEGMENTACIÓN

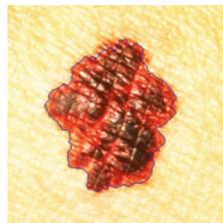
SEGMENTACIÓN BASADA EN ENERGÍA: ACTIVE CONTOUR



(a) Imagen



(b) Primera división



(c) Segunda división

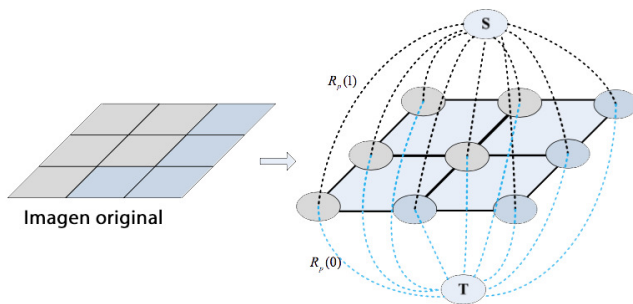
$$E_{\text{contorno}} = E_{\text{interna}} + E_{\text{externa}}$$

Fuente: Pratt

- ▶ Contorno se ciñe gradualmente.
- ▶ Desventaja: es necesario conocer la función.

SEGMENTACIÓN

SEGMENTACIÓN BASADA EN ENERGÍA: GRAFOS

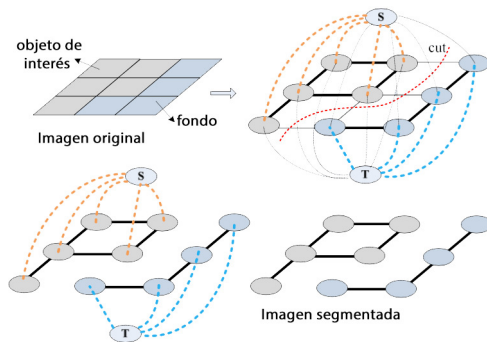


$$G = \langle E, V \rangle$$

- ▶ Nodos (V): nodos fuente s (s -node) o sumidero t (t -node).
- ▶ Arcos (E): conecta nodos vecinos (n -links) y nodos con terminales (t -links).

SEGMENTACIÓN

SEGMENTACIÓN BASADA EN ENERGÍA: GRAPH CUTS



Corte mínimo (*min-cut*) de manera que:

- ▶ *t-links*: elimina arcos que se conectan a S o T.
- ▶ *n-links*: elimina arcos entre dos pixeles vecinos.

Teorema *max-flow/min-cut* (Ford y Fulkerson).

SEGMENTACIÓN

SEGMENTACIÓN BASADA EN ENERGÍA: GRAPH CUT

- ▶ Factor de importancia relativa

$$E(L) = \alpha R(L) + B(L)$$

- ▶ Término regional (costo de *t-links*)
- ▶ Término límite (costo de *n-links*)

$$L = \{l_1, l_2, l_3, \dots, l_i, \dots, l_p\}$$

SEGMENTACIÓN

SEGMENTACIÓN BASADA EN ENERGÍA: GRAPH CUT



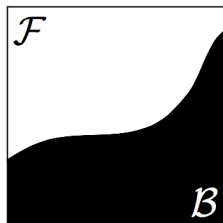
Fuente: Boykov y Jolly

Costo especial (K) cuando el pixel es etiquetado por el usuario.

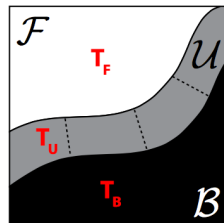
SEGMENTACIÓN

SEGMENTACIÓN BASADA EN ENERGÍA: GRABCut

- ▶ **Modelamiento de color:** *Gaussian Mixture Model* para modelar color del fondo y del objeto de interés.
- ▶ **Segmentación por proceso iterativo de minimización de energía:** Algoritmo vuelve a estimar el modelo GMM según se etiquetan nuevos píxeles.
- ▶ **Suavizado del borde:**



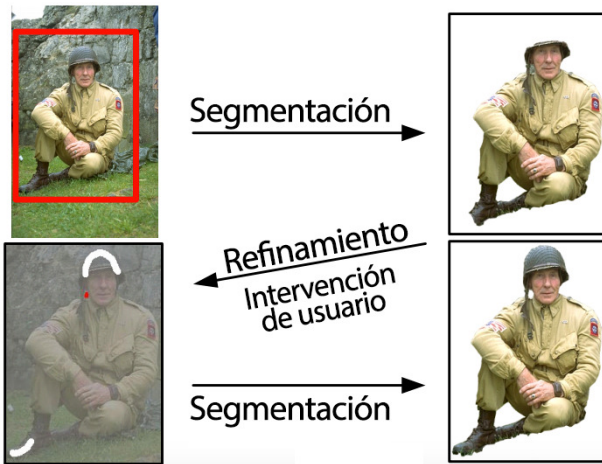
(a) Segmentación



(b) Trimap

SEGMENTACIÓN

SEGMENTACIÓN BASADA EN ENERGÍA: GRAB CUT



SEGMENTACIÓN

SEGMENTACIÓN BASADA EN ENERGÍA: ONECUT

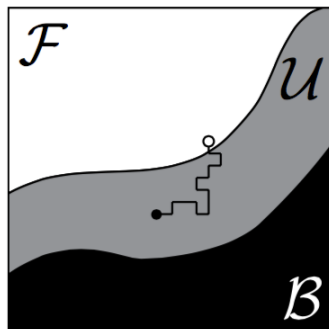
$$R(S) = -\beta \|\theta^S - \theta^{\bar{S}}\|_{L_1}$$

- ▶ Nuevo término de energía que mide la distancia L_1 entre los modelos de apariencia del objeto y del fondo.
- ▶ Minimización en un solo corte.
- ▶ Se reemplaza suma de píxeles por suma de *bins*.

SEGMENTACIÓN

SEGMENTACIÓN BASADA EN ENERGÍA: RANDOM WALKS

- ▶ Grafo $G = \langle E, V \rangle$
- ▶ Arco $e_{pq} \in E$ tiene un peso no negativo w_{pq} .
- ▶ No evalúan la ruta más corta, sino las probabilidades de la ruta que tome un *random walker*.

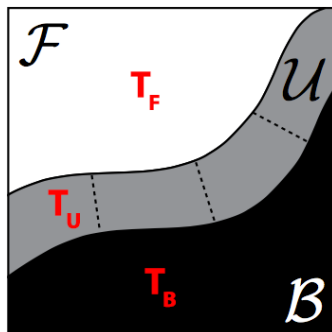


Fuente: Radke

SEGMENTACIÓN

OTROS MÉTODOS: SIOX

- ▶ **Entrada:** *Trimap* con fondo conocido, objeto conocido y región desconocida.
- ▶ **Conversión a espacio CIELAB.**
- ▶ **Segmentación por color:** Modelo de color del fondo conocido.
- ▶ **Refinamiento:** Eliminación de regiones pequeñas.



Fuente: Radke

CONTENIDO

Introducción

Segmentación

Restauración

Diseño de experimento

Resultados

Conclusiones

RESTAURACIÓN

RESTAURACIÓN DE IMÁGENES

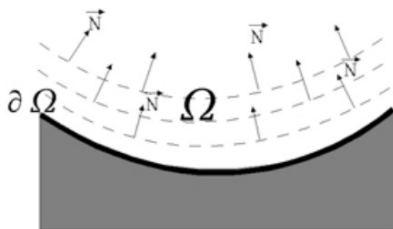


Fuente: Museo Nacional del Prado

RESTAURACIÓN

MÉTODOS BASADOS EN ECUACIONES DIFERENCIALES PARCIALES





- ▶ Ω es el área deteriorada.
- ▶ Rellenan Ω desde el borde $\partial\Omega$ hacia interior.



Fuente: Bertalmio *et al.*

SEGMENTACIÓN

MÉTODOS BASADOS EN ECUACIONES DIFERENCIALES PARCIALES

- ▶ Laplaciano  
 - ▶ Dirección isotrópica (cambio mínimo)  
- $$\nabla(\nabla^2 I) \cdot \nabla^\perp I = 0$$

$$\frac{\partial I}{\partial t} = \nabla(\nabla^2 I) \cdot \nabla^\perp I$$

RESTAURACIÓN

MÉTODOS BASADOS EN ECUACIONES DIFERENCIALES PARCIALES

Solución:

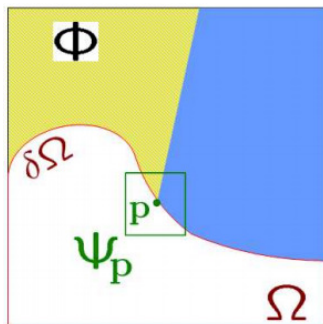
- ▶ **Navier Stokes:** Ecuación de transporte de la teoría de fluidos fluidos (Bertalmio *et al.*)
- ▶ **Fast Marching Method:** Método FMM (Fast Marching Method) para propagar. No es iterativo (Telea).

RESTAURACIÓN

MÉTODOS BASADOS EN PARCHES



(c) Imagen original

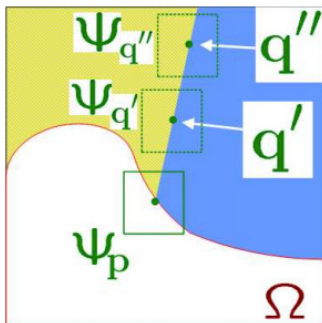


(d) Selección de \hat{p}

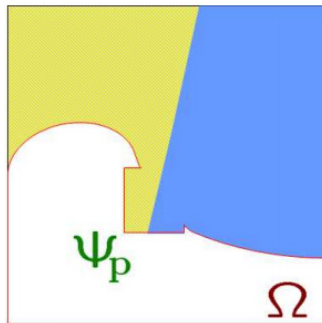
Fuente: Criminisi *et al.*

RESTAURACIÓN

MÉTODOS BASADOS EN PARCHES



(e) Búsqueda de parche $\Psi_{q_C \text{ Phi}}$



(f) Reemplazo de píxeles.

Fuente: Criminisi *et al.*

CONTENIDO

Introducción

Segmentación

Restauración

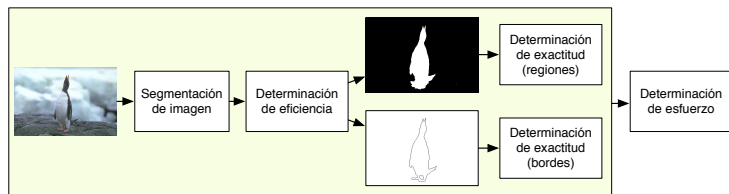
Diseño de experimento

Resultados

Conclusiones

SEGMENTACIÓN

OBJETIVO



- ▶ ¿Cuál es el algoritmo más eficiente?
- ▶ ¿Cuál es el algoritmo más eficaz?
- ▶ ¿Cuál es el algoritmo que requiere menos esfuerzo por parte del usuario?

SEGMENTACIÓN

ALGORITMOS

- ▶ GrabCut
- ▶ OneCut
- ▶ Random Walker
- ▶ SIOX

SEGMENTACIÓN

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Problemas

- ▶ Criterio subjetivo.
- ▶ No hay estándares de evaluación.

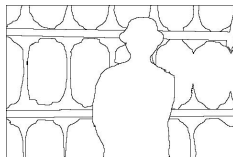
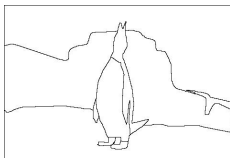
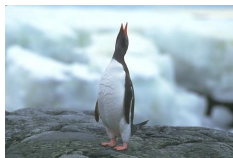
Existe criterio generalizado para definir una buena segmentación.

Evaluación supervisada: se utiliza como referencia segmentación manual.

SEGMENTACIÓN

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Base de datos: Base de datos de Berkeley.



(a) Imágenes originales

(b) Seg. manual

(c) Seg. manual

Fuente: The Berkeley Segmentation Dataset

SEGMENTACIÓN

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Base de datos: Base de datos GrabCut.



(a) Imágenes originales

(b) Ground truth

(c) Trimaps

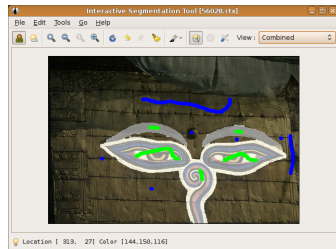
Fuente: Rother *et al.*

SEGMENTACIÓN

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Evaluación con usuarios:

- ▶ Evaluación a través de experimentos con usuarios.
- ▶ Requiere tiempo.
- ▶ No permite reproducibilidad de resultados.



Fuente: McGuinness et al.

SEGMENTACIÓN

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Evaluación automatizada:

- ▶ Usuarios robot.
- ▶ Secuencia de *scribbles* de acuerdo al resultado de segmentación previa.
- ▶ No permite reproducibilidad de resultados.

SEGMENTACIÓN

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

- ▶ No hay entrada de usuarios.
- ▶ No consideran reproducibilidad de resultados.

Se recopila base de datos: imágenes de GrabCut y *scribbles*.

SEGMENTACIÓN

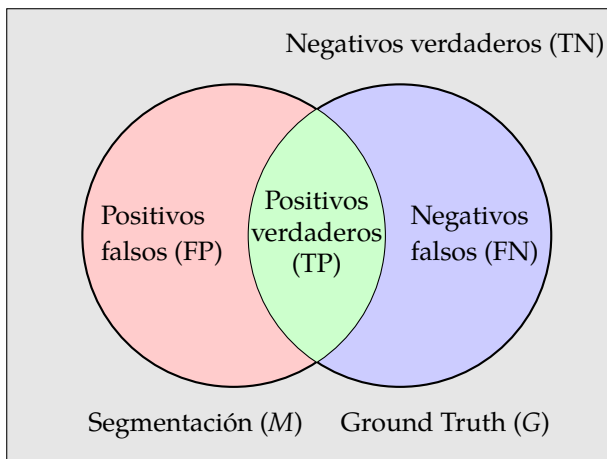
MÉTRICAS

- ▶ Eficiencia
- ▶ Esfuerzo
- ▶ Exactitud

SEGMENTACIÓN

EXACTITUD BASADA EN REGIONES

$$\text{Imagen } I = P_M \cup N_M$$



SEGMENTACIÓN

EXACTITUD

- ▶ **Exactitud de clasificación (ACC):**

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}$$

- ▶ **Sensibilidad (TPR):** Exhaustividad *recall* en inglés.

$$TPR = \frac{TP}{P_G} = \frac{TP}{TP + FN}$$

- ▶ **Precisión (PPV):**

$$PPV = \frac{TP}{P_M} = \frac{TP}{TP + FP}$$

- ▶ **Valor F (F_1):**

$$F_1 = (1 + \beta^2) \frac{PPV \cdot TRR}{\beta^2 \cdot PPV + TRR} = \frac{2TP}{2TP + FN + FP}$$

SEGMENTACIÓN

EXACTITUD BASADA EN REGIONES

- ▶ **Especificidad (SPC):**

$$SPC = \frac{TN}{N_G} = \frac{TN}{TN + FP}$$

- ▶ **Índice Jaccard (Jaccard):**

$$Jaccard = \frac{|G \cap M|}{|G \cup M|} = \frac{TP}{TP + FN + FP} = \frac{F_1}{2 - F_1}$$

SEGMENTACIÓN

EFFECTIVIDAD DE MÉTRICAS BASADAS EN REGIONES



(a) Original



(b) 1: Parcial



(c) 2: Extendida



(d) 3: Exacta



(e) Original



(f) 4: Parcial



(g) 5: Extendida



(h) 6: Exacta

SEGMENTACIÓN

EFFECTIVIDAD DE MÉTRICAS BASADAS EN REGIONES

Cuadro: Medidas de exactitud basadas en regiones.

Caso	ACC	TPR	SPC	Jaccard	Dice
1: Parcial	0.826	0.295	1.000	0.295	0.456
2: Extendida	0.797	0.975	0.738	0.543	0.704
3: Exacta	0.992	0.967	1.000	0.966	0.983
4: Parcial	0.940	0.324	1.000	0.324	0.490
5: Extendida	0.919	0.773	0.933	0.458	0.628
6: Exacta	0.986	0.909	0.994	0.854	0.921

SEGMENTACIÓN

EXACTITUD BASADA EN BORDES



(a) Ground truth

(b) Mapa de bordes

SEGMENTACIÓN

EXACTITUD BASADA EN BORDES

- ▶ **Sensibilidad (*TPR*):** Exhaustividad *recall* en inglés.

$$TPR = \frac{TP}{P_G} = \frac{TP}{TP + FN}$$

- ▶ **Precisión (*PPV*):**

$$PPV = \frac{TP}{P_M} = \frac{TP}{TP + FP}$$

Idealmente *Precision* = 1 y *Exhaustividad* = 1.

Curvas para observar compensación.

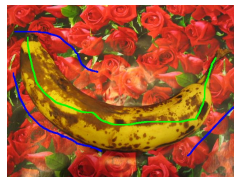
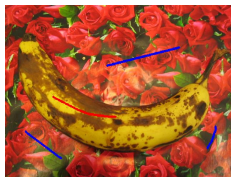
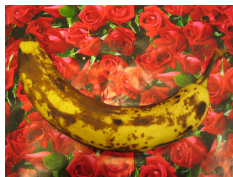
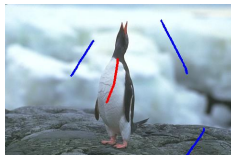
SEGMENTACIÓN

CONDICIONES EXPERIMENTALES

- ▶ GrabCut: OpenCV C++
- ▶ OneCute: OpenCV C++
- ▶ Random Walks: MATLAB
- ▶ SIOX: JAVA

SEGMENTACIÓN

BASE DE DATOS



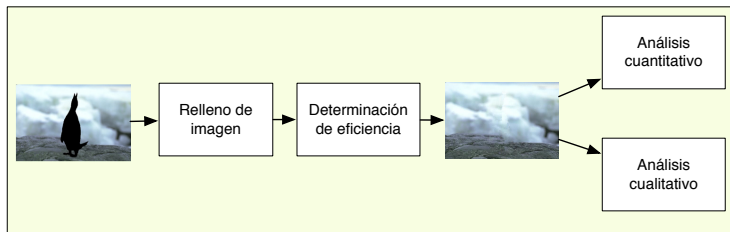
(d) Original

(e) Primer conjunto

(f) Segundo conjunto

RESTAURACIÓN

OBJETIVO



¿Es necesario comparar la imagen restaurada con un fondo real?

RESTAURACIÓN

ALGORITMOS

- ▶ Bertalmio (Navier Stokes)
- ▶ Telea
- ▶ Criminisi

RESTAURACIÓN

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Problemas

- ▶ Criterio subjetivo.
- ▶ No hay estándares de evaluación.
- ▶ No hay criterio generalizado para definir una buena restauración.

Esfuerzos por realizar mediciones cuantitativas.

RESTAURACIÓN

CONDICIONES EXPERIMENTALES

- ▶ Bertalmio: OpenCV C++
- ▶ Telea: OpenCV C++
- ▶ Criminisi: MATLAB

RESTAURACIÓN

EVALUACIÓN CUANTITATIVA: MÉTRICAS

► **MSE:**

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{y=0}^{m-1} \sum_{x=0}^{n-1} = [I_O(x, y) - I_R(x, y)]^2$$

► **PSNR:**

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{R^2}{MSE}$$

$$R = 255$$

RESTAURACIÓN

EVALUACIÓN CUALITATIVA

- ▶ 21 participantes
- ▶ Metodología para medir calidad de servicio de voz (ITU-R)
- ▶ Pregunta: *En una calificación de 1 a 5, ¿cómo calificaría usted la calidad de las imágenes presentadas?*
- ▶ Calificación:
 1. Mala
 2. Regular
 3. Buena
 4. Muy buena
 5. Excelente

RESTAURACIÓN

EVALUACIÓN CUALITATIVA: MÉTRICA

- ▶ MOS (*Mean Opinion Score* en inglés):

$$MOS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i$$

CONTENIDO

Introducción

Segmentación

Restauración

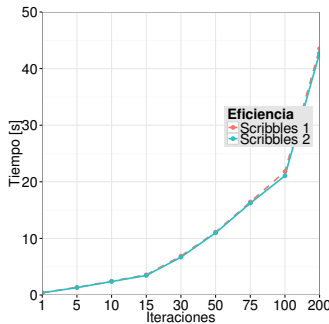
Diseño de experimento

Resultados

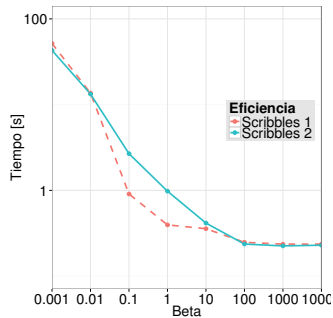
Conclusiones

SEGMENTACIÓN

EFICIENCIA



(a) GrabCut

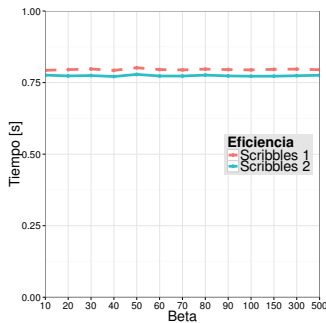


(b) OneCut

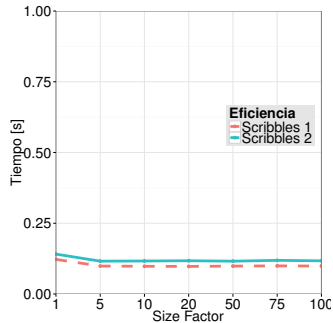
Figura: Tiempo promedio de ejecución.

SEGMENTACIÓN

EFICIENCIA



(a) Random Walks

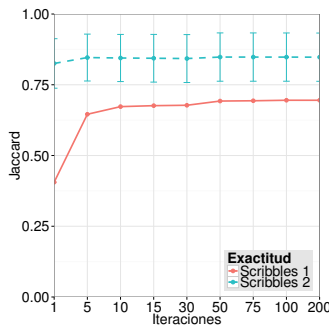


(b) SIOX

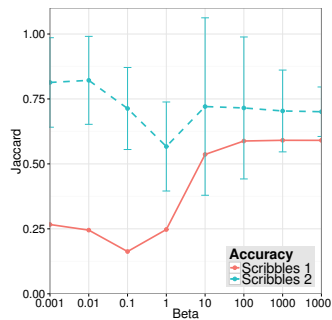
Figura: Tiempo promedio de ejecución.

SEGMENTACIÓN

EFICACIA (REGIONES)



(a) GrabCut

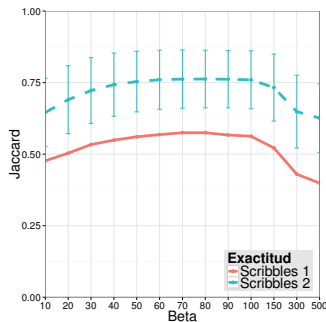


(b) OneCut

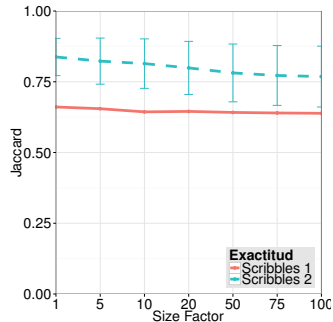
Figura: Valores promedio de Jaccard.

SEGMENTACIÓN

EFICACIA (REGIONES)



(a) Random Walks



(b) SIOX

Figura: Valores promedio de Jaccard.

SEGMENTACIÓN

EFICACIA (BORDES)

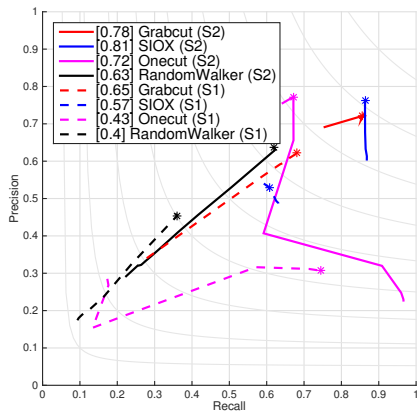
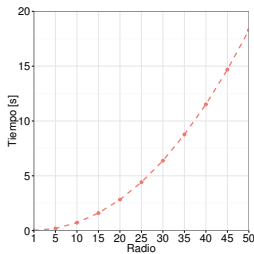


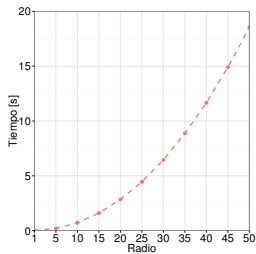
Figura: Curvas de precisión y exhaustividad.

RESTAURACIÓN

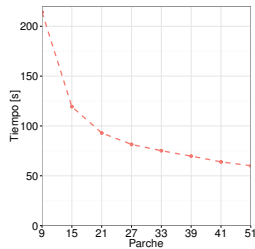
EFICIENCIA



(a) Bertalmio



(b) Telea



(c) Criminisi

Figura: Tiempo promedio de ejecución.

RESTAURACIÓN

EFICACIA (CUALITATIVO)

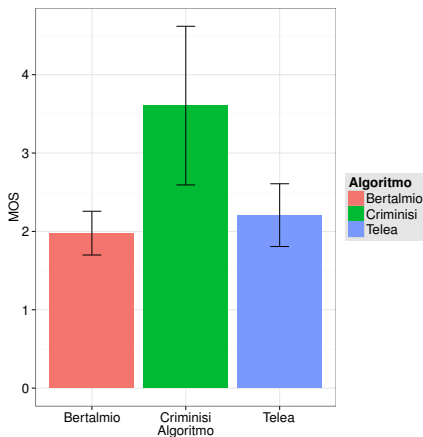
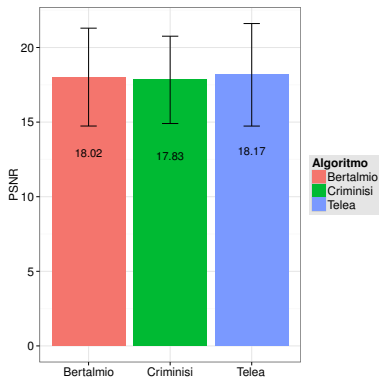


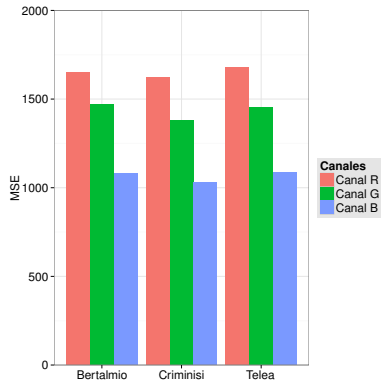
Figura: MOS de algoritmos de restauración de imágenes.

RESTAURACIÓN

EFICACIA (CUANTITATIVO)



(a) PSNR



(b) MSE

CONTENIDO

Introducción

Segmentación

Restauración

Diseño de experimento

Resultados

Conclusiones

CONCLUSIONES

- ▶ Recopilación de base de datos para emular la intervención del usuario a través de dos conjuntos de *scribbles* en segmentación.
- ▶ Índice Jaccard refleja más exhaustivamente la exactitud basada en regiones que otras métricas utilizadas en el estado del arte.
- ▶ Exactitud de los algoritmos de segmentación incrementa cuando se marca el objeto de interés con mayor detalle.
- ▶ Desde el punto de vista de la eficacia, *GrabCut* se ha erigido como el algoritmo más exacto, seguido de cerca por *SIOX*.
- ▶ *SIOX* y *Random Walks* son los algoritmos más eficientes, pero *Random Walks* es el menos exacto.

CONCLUSIONES

- ▶ La definición de una buena restauración depende de la percepción de un observador.
- ▶ De acuerdo a los observadores, el algoritmo Criminisi supera significativamente a los resultados de Bertalmio y Telea.
- ▶ Desempeño no se registra en las métricas cuantitativas.
- ▶ Algoritmos basados en ecuaciones diferenciales parciales, de Bertalmio y Telea, son los más eficientes.
- ▶ Se requiere optimización de la implementación del algoritmo de Criminisi.