



Tabla de Contenidos

- Introducción
- Algoritmos de detección de esquinas
- SIFT

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Introducción

- Las esquinas como puntos de interes
 - Correspondencia entre dos imágenes
 - Punto a punto: prohibitivo en la mayoría de los casos
 - Alternativa: sólo emparejar las zonas más relevantes
 - Método: utilizar *puntos de interés*
 - Cómo detectarlos?
 - Entre otras alternativas, se usan mucho las esquinas
 - Aplicaciones
 - Correspondencia estéreo
 - Registro de imágenes
 - Generación de mosaicos o panoramas

Cartagena99

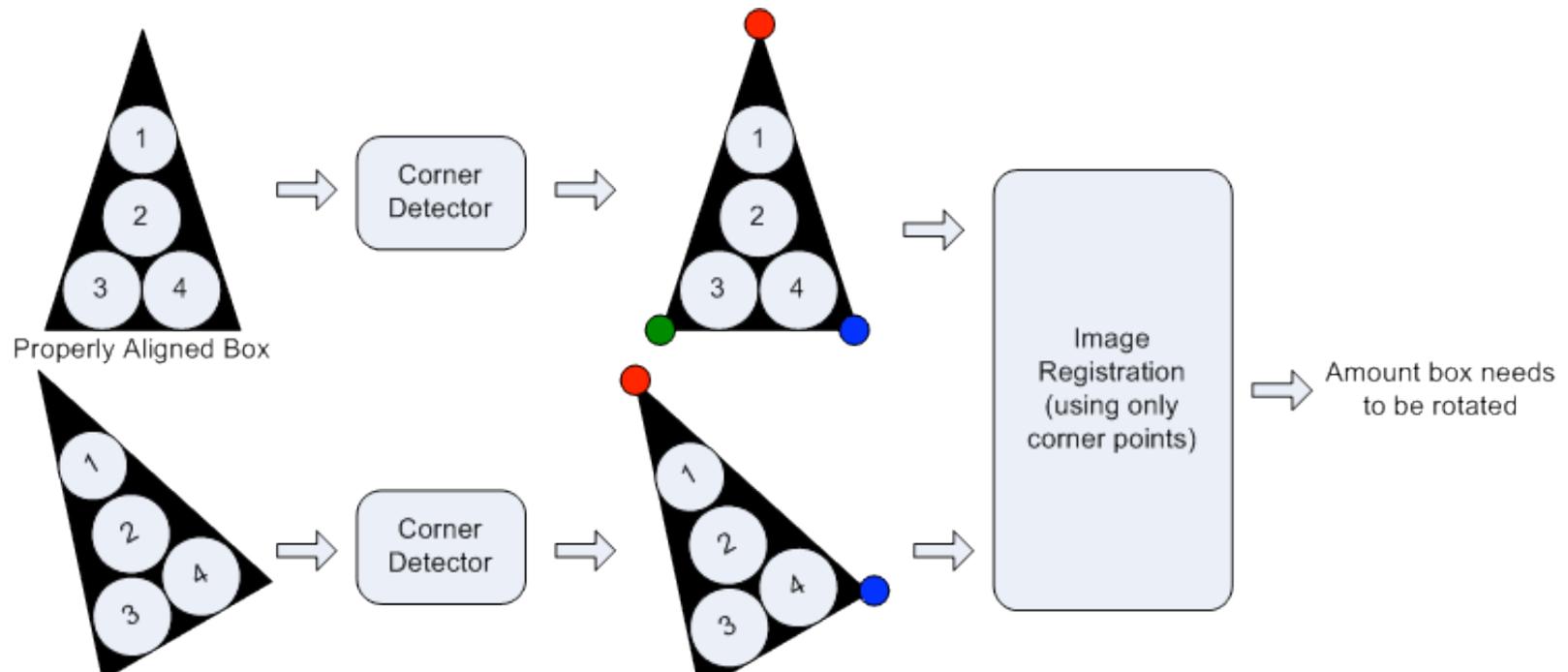
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Introducción

○ Caso de uso



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



Autor: S. Domínguez



Introducción

- Requisitos de un detector de esquinas
 - Detección de todas las esquinas visibles
 - No aparición de falsos positivos
 - Correcta localización de todas las esquinas
 - Repetibilidad
 - Detección robusta frente al ruido
 - Eficiencia computacional

Cartagena99

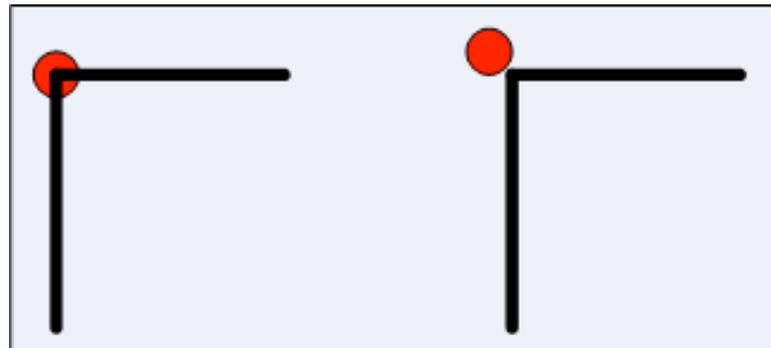
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Introducción

- Casos
 - Localización correcta o incorrecta



- Repetibilidad



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

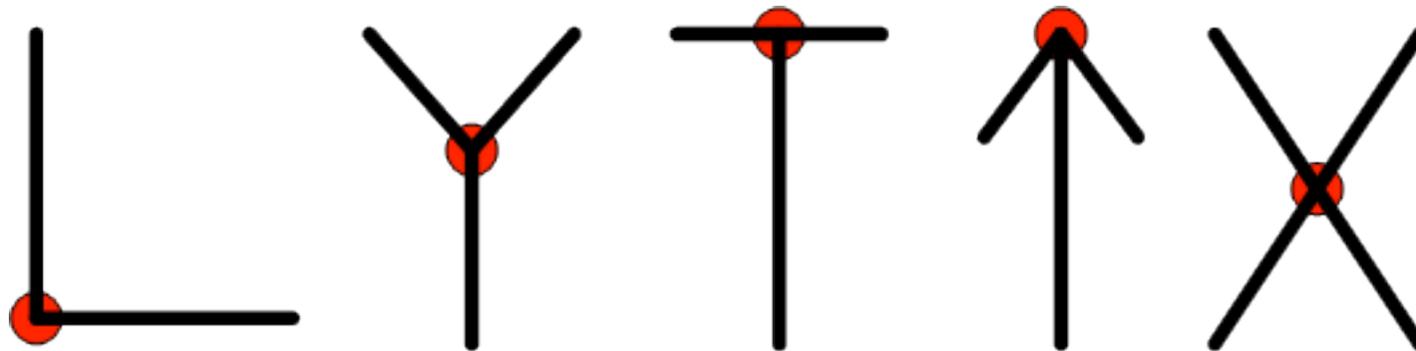


Autor: S. Domínguez



Introducción

- Evaluación de un detector de esquinas
 - Comportamiento frente a distintos tipos de esquinas



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

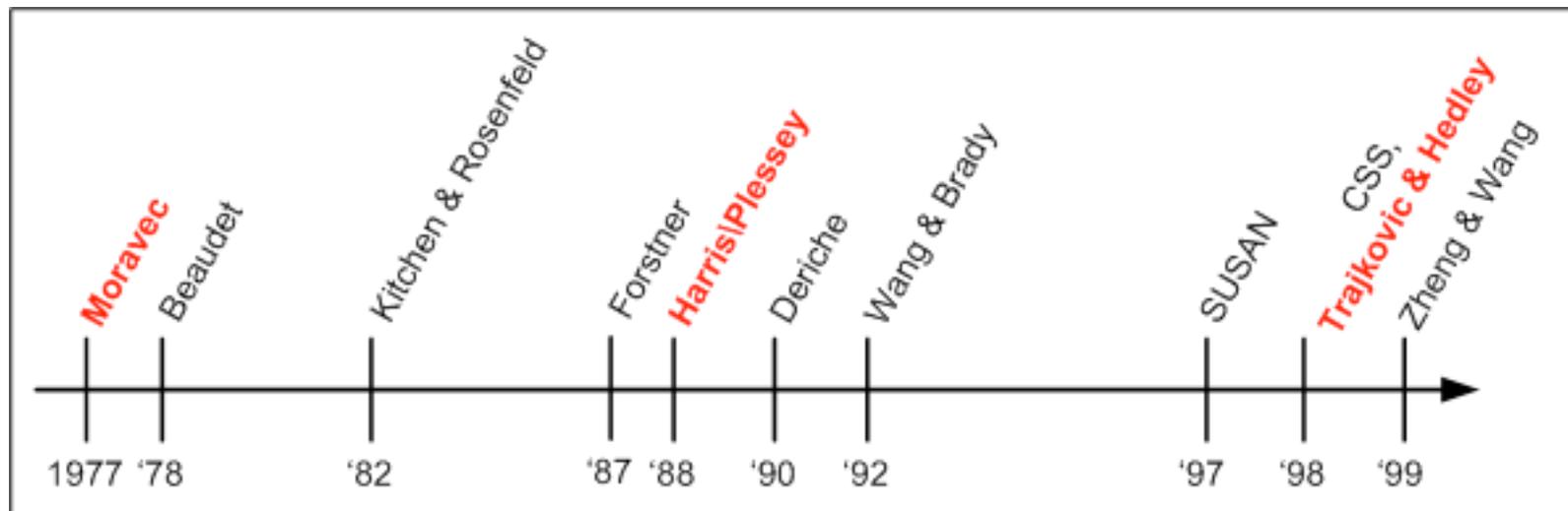


Autor: S. Domínguez



Introducción

○ Evolución



○ Aproximaciones fundamentales

○ Métodos de borde-relación

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70





Introducción

- Métodos de borde-relación
 - Kitchen & Rosenfeld
 - Basado en el cambio de dirección del gradiente
 - Para puntos de un contorno
 - Ponderado con su magnitud en el punto
 - El máximo de esta medida marca una esquina
 - Baja repetibilidad y localización pobre
 - Wang & Brady
 - Basado en la curvatura
 - Apto para tiempo real
 - Mejora la calidad del K&R

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Introducción

- Métodos topológicos
 - Beaudet
 - Sienta las bases para detectores posteriores
 - Invariante a rotación, determinante del Hessiano
 - Sensible al ruido y a la escala
 - Deriche
 - Extensión de Beaudet, por aplicación a varias escalas
 - Mejora la detección respecto a Beaudet
 - Sigue siendo sensible al ruido

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Introducción

- Métodos de autocorrelación (I)
 - Moravec
 - Introduce el concepto de punto de interés
 - Mide cambios de intensidad al desplazar una ventana
 - Autocorrelación en las 8 direcciones
 - Se asigna a cada pixel el valor mínimo de estos cambios
 - Los puntos de interés son los máximos locales
 - Sensible al ruido
 - Harris & Plessey
 - Calcula la autocorrelación mediante las derivadas
 - Por desarrollo de Taylor del cálculo de Moravec

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



Introducción

- Métodos de autocorrelación (y II)
 - Zheng & Wang
 - Medida simplificada del operador de Harris
 - Empeora la detección
 - Mejora la eficiencia y la localización
 - Forstner
 - Usa una medida similar a la de Harris
 - Calcula el umbral localmente mediante estadísticos
 - Mejor localización a mayor coste computacional

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Introducción

- Métodos alternativos (I)
 - CSS (*Curvature Scale Space*)
 - Esquinas=máximo local de la curvatura absoluta
 - Una esquina es un cambio brusco de dirección de un borde
 - Pasos a seguir
 - Extraer contornos (p.e. Canny)
 - Calcular la curvatura a la mayor escala
 - Esquinas = máximos locales por encima de un umbral
 - Confirmar esquinas a distintas escalas (mejor localización)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Introducción

- Métodos alternativos (II)
 - Smith & Brady (SUSAN)
 - Compara el brillo en máscaras circulares sobre cada pixel
 - Dentro, los píxeles del mismo objeto tienen mismo brillo
 - Se calcula cuántos tienen mismo brillo que el central
 - A este valor se le llama USAN (*Univalue Segment Assimilating Nucleus*)
 - Esquina= mínimo local en el valor de USAN
 - SUSAN= *Smallest USAN*
 - Se usa también para detectar bordes
 - Es robusto al ruido pero con repetibilidad moderada

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

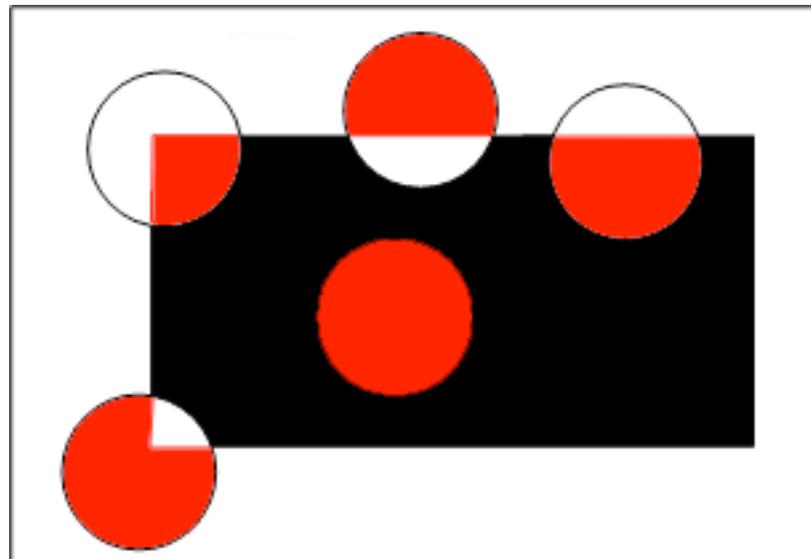
Cartagena99





Introducción

- Métodos alternativos (III)
 - Uso de SUSAN



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



Autor: S. Domínguez



Introducción

- Métodos alternativos (y IV)
 - Trajkovic & Hedley
 - Similar a SUSAN
 - Variaciones de brillo en las líneas que pasan por un pixel
 - En una esquina las variaciones en cada línea serán grandes
 - Menos robusto que Harris
 - Uno de los detectores más rápidos

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Introducción

○ Comparación de los detectores

| Operador | Detec. | Localización | Repet. | Robust. | Speed |
|----------|--------|-------------------------|----------------------|---------|-------|
| Beaudet | + | + | - escalado, ++ afín | - | ++ |
| Moravec | + | ++ | + | + | ++ |
| K&R | + | + | + | + | - |
| Forstner | ++ | ++ | +++ afín, + escalado | ++ | - |
| Plessey | ++ | ++ (sólo esquinas L) | +++ afín, + escalado | + | - |
| Deriche | + | ++ | ++ | - | ++ |
| W&B | ++ | ++ | ++ | + | ++ |
| SUSAN | ++ | ++ (-imágenes borrosas) | ++ escalado, - afín | +++ | ++ |
| CSS | ++ | ++ | +++ | ++ | ? |
| T&H v4 | - | ++ | + (no rotación) | - | +++ |



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70





Tabla de Contenidos

- Introducción
- Algoritmos de detección de esquinas
- SIFT

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Algoritmos de detección de esquinas

- En detalle
 - Por motivos históricos, aceptación o rendimiento
 - Asignan valor a cada pixel en la imagen
 - No se basan por tanto en análisis de curvatura del borde
 - Se van a estudiar
 - Moravec (1977)
 - Harris/Plessey (1988)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Algoritmos de detección de esquinas

- Pasos en la detección (todos)
 1. Aplicar el operador de esquinas
 - Tomar la imagen y definir valores que usa el algoritmo
 - Aplicar a cada pixel en la imagen: *cornerness map*
 2. Umbralizar el *cornerness map*
 - Las esquinas son sus máximos locales
 - Se incluyen algunos débiles, que no son esquinas reales
 - Se umbraliza para eliminarlos
 3. Supresión de no máximos
 - Existen regiones que superan el umbral

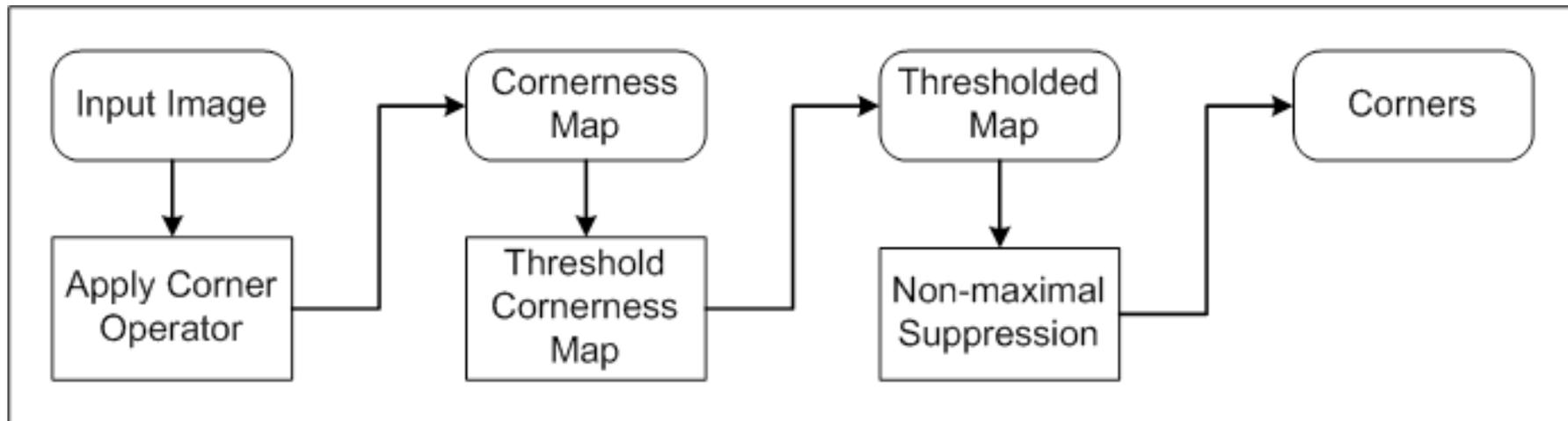
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Algoritmos de detección de esquinas



Cartagena99

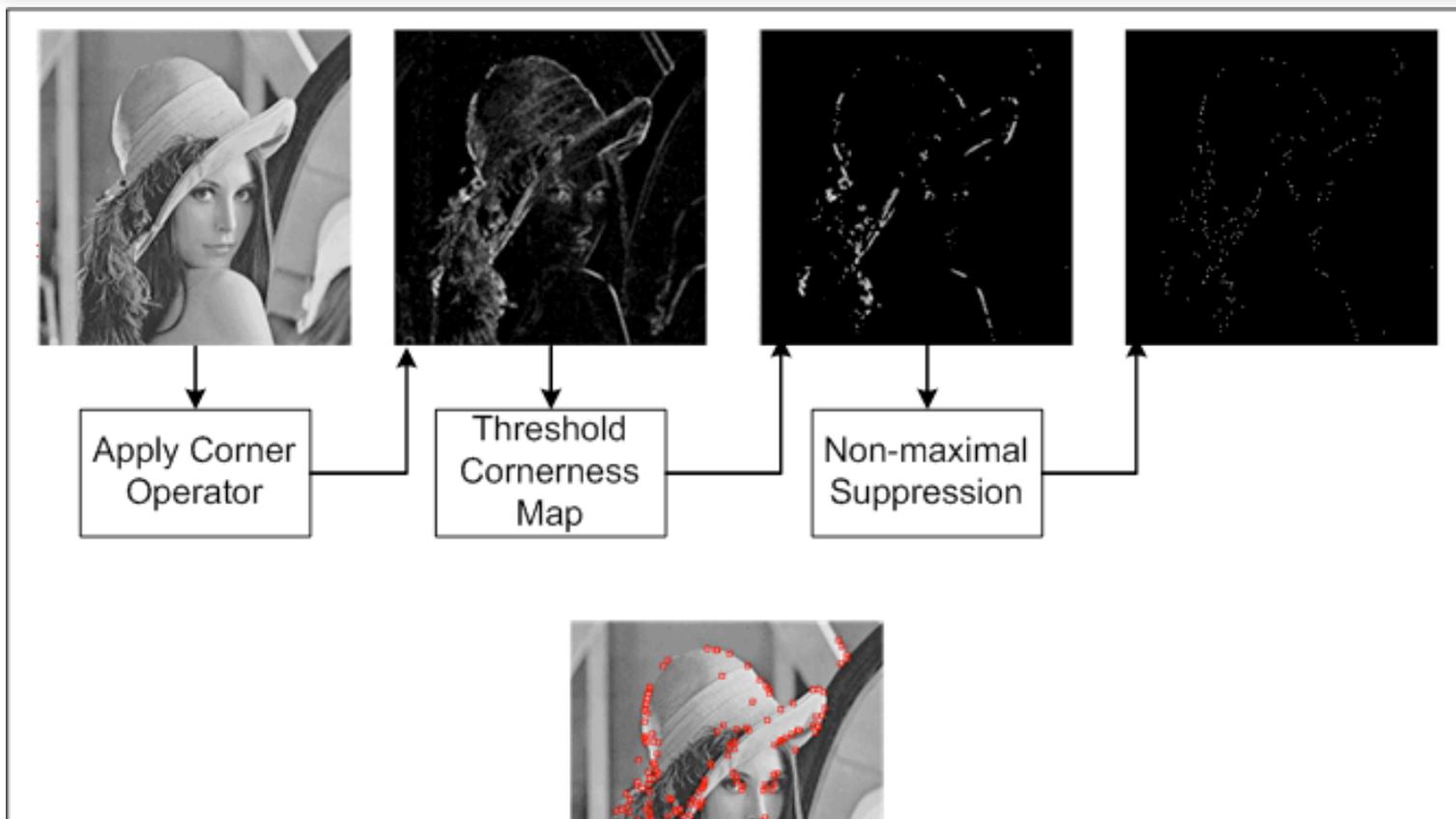
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70





Algoritmos de detección de esquinas



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



Autor: S. Domínguez



Algoritmos de detección de esquinas

○ Moravec (I)

○ Introducción

- Define el concepto de punto de interés
 - Regiones distintivas en una imagen
 - Útiles para encontrar correspondencias entre frames
- Qué son estos puntos?
 - Tienen gran variación de intensidad en todas direcciones
 - Es el caso de las esquinas, pero no sólo
 - No obstante, se admite esta definición

Cartagena99

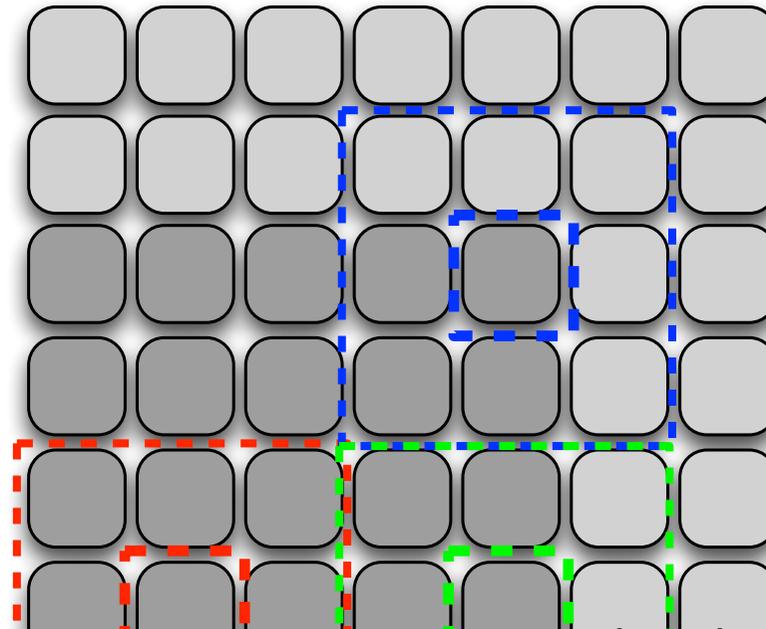
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Algoritmos de detección de esquinas

- Moravec (II)
 - Cómo funciona?



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



Autor: S. Domínguez



Algoritmos de detección de esquinas

○ Moravec (III)

○ Cómo se usa

- Se calcula el valor del operador para cada pixel
 - Mínimo de la diferencia entre los ocho desplazamientos
- En el conjunto de la imagen se crea un *cornerness map*

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| X | X | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | X | X |
| X | X | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | X | X |
| X | X | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | X | X |

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99





Algoritmos de detección de esquinas

- Moravec (IV)
 - Algunas observaciones
 - Una esquina determina un máximo local
 - Un punto aislado también provoca un máximo local
 - Ambos tendrían el mismo valor
 - Es un algoritmo sensible al ruido
 - Aún aumentando la ventana, aparecería máximo local
 - En los límites de la imagen no se puede calcular (X)
 - En imágenes reales aparecen muchos máximos locales
 - Hay que aplicar un umbral para eliminar los débiles

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Algoritmos de detección de esquinas

○ Moravec (V)

○ Algoritmo

1. Para cada pixel (x,y), calcular variación ante cambio (u,v)

$$V(\Delta \mathbf{u}) = \sum w(x_i) [I_0(x_i + \Delta \mathbf{u}) - I_0(x_i)]^2$$

2. Construir el *cornerness map* con todos los pixeles (x,y)

$$C = \min (V(\Delta \mathbf{u}))$$

3. Umbralizar el *cornerness map*

$$C = \begin{cases} C & C \geq T \\ 0 & C < T \end{cases}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

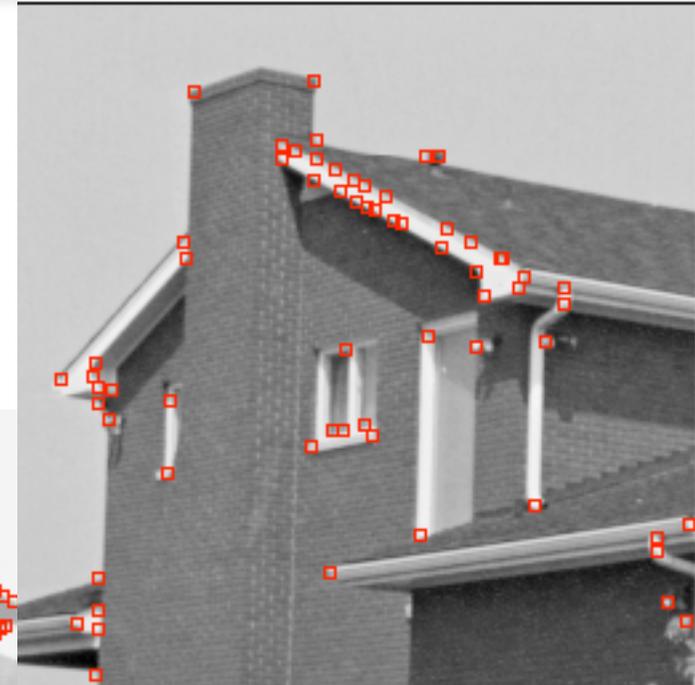
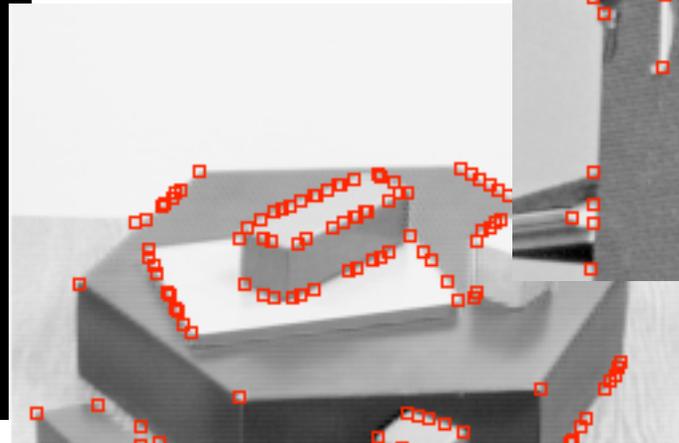
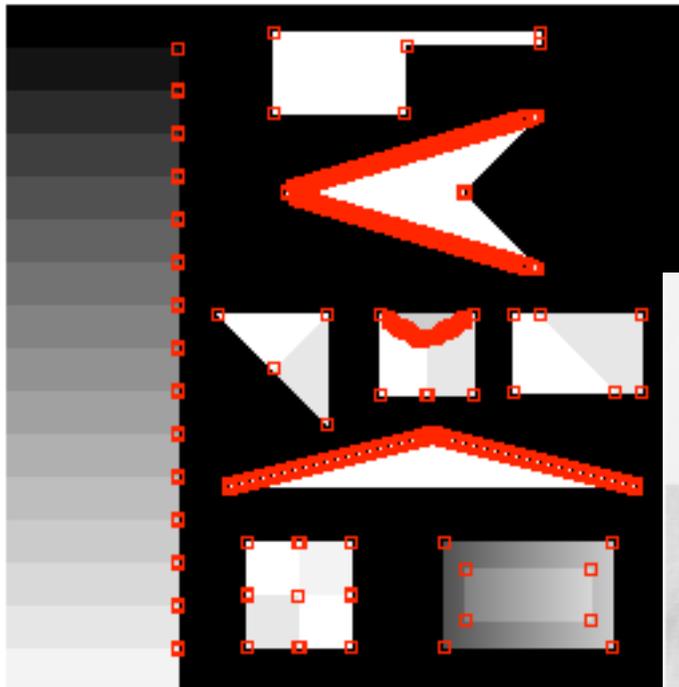
Cartagena99





Algoritmos de detección de esquinas

○ Moravec (VI)



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Autor: S. Domínguez



Algoritmos de detección de esquinas

- Moravec (VII)
 - Respuesta anisotrópica
 - Varía respecto a giro si el ángulo no es múltiplo de 45
 - Poca repetibilidad del operador



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

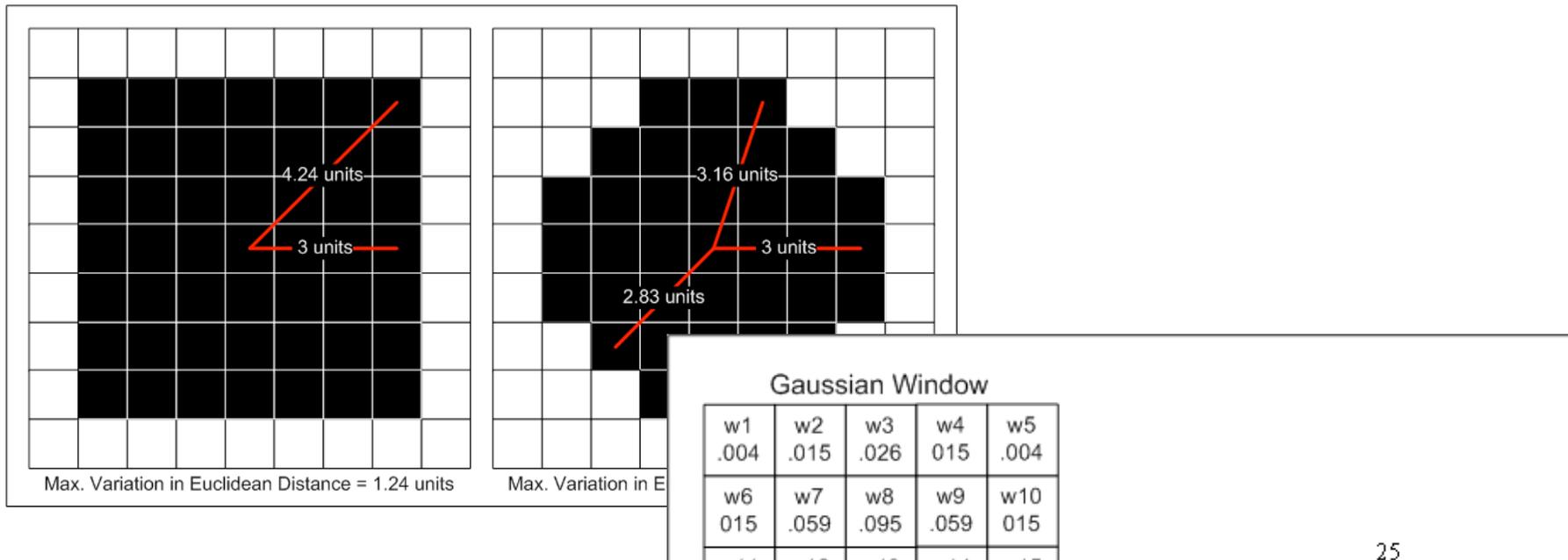
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



Algoritmos de detección de esquinas

- Moravec (VII)
 - Ventana de análisis: cuadrada y binaria



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



Algoritmos de detección de esquinas

○ Moravec (IX)

○ Respuesta significativa en los contornos

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| X | X | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | X | X |
| X | X | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | X | X |
| X | X | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | X | X |
| X | X | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | X | X |

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



Autor: S. Domínguez



Algoritmos de detección de esquinas

- Moravec (y X)
 - Conclusiones
 - Es sencillo, aunque se le considera obsoleto
 - No es invariante a rotación
 - Sensible al ruido: puntos aislados=esquinas
 - Muy eficiente computacionalmente

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Algoritmos de detección de esquinas

○ Harris/Plessey (I)

○ Introducción

- Orientado al seguimiento de esquinas como de bordes
- Se centra en los problemas de Moravec
- Consigue mejor detección y repetibilidad
- Emplea más recursos computacionales
- Su uso es el más extendido
- Se le conoce como detector de Harris o de Plessey

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Algoritmos de detección de esquinas

- Harris/Plessey (II)
 - Difiere de Moravec en la medida de la autocorrelación
 - Permite su cálculo en cualquier dirección
 - Se basa en el desarrollo en serie de Taylor

$$\begin{aligned}V(\Delta \mathbf{u}) &= \sum_i w(x_i) [I_0(x_i + \Delta \mathbf{u}) - I_0(x_i)]^2 \\ &\approx \sum_i w(x_i) [I_0(x_i) + \nabla I_0(x_i) \cdot \Delta \mathbf{u} - I_0(x_i)]^2 \\ &= \sum_i w(x_i) [\nabla I_0(x_i) \cdot \Delta \mathbf{u}]^2 \\ &= \Delta \mathbf{u}^T \mathbf{A} \Delta \mathbf{u}\end{aligned}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

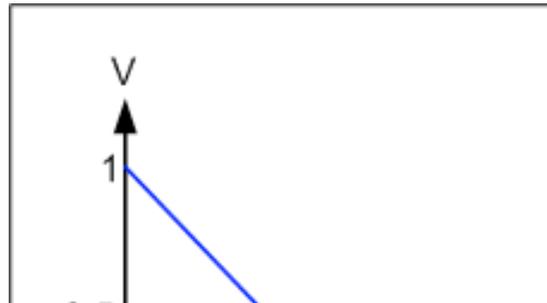
Cartagena99





Algoritmos de detección de esquinas

- Harris/Plessey (III)
 - El resultado es distinto al de Moravec
 - Se basa en el uso del tensor estructural: **A**
 - El operador sigue siendo anisotrópico
 - Se basa en los gradientes en horizontal y vertical
 - Permite variación de intensidad en cualquier dirección



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



Autor: S. Domínguez



Algoritmos de detección de esquinas

- Harris/Plessey (IV)
 - Respuesta en los contornos
 - Mejora a Moravec midiendo en diferentes direcciones
 - Moravec sólo maneja las ocho vecinas
 - La matriz \mathbf{A} ...
 - ... contiene información de la geometría de la imagen
 - Sus autovalores...
 - ... son proporcionales a sus curvaturas principales
 - ... y por lo tanto invariantes a rotación de \mathbf{A}
 - Sin embargo...
 - ... no son invariantes a rotación de la imagen

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

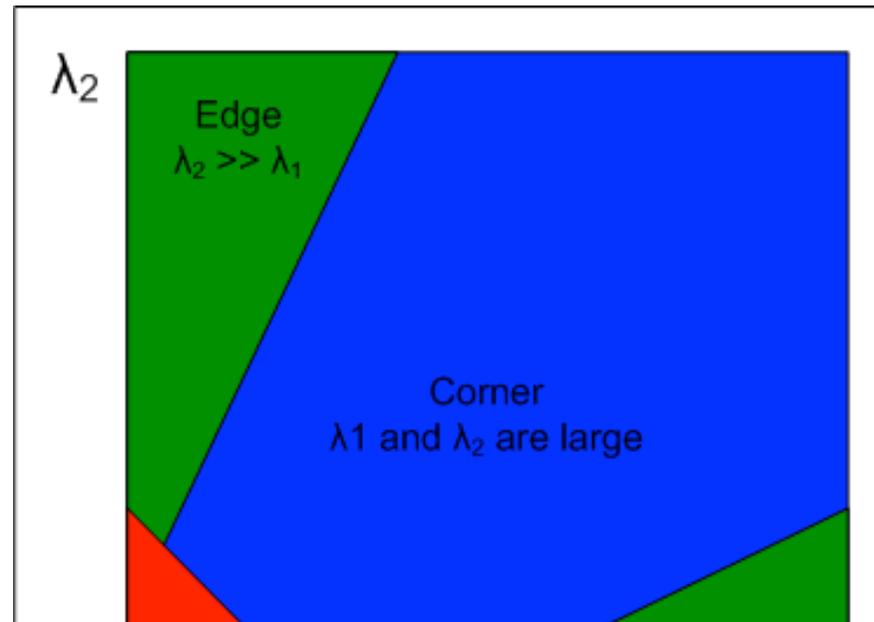
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Algoritmos de detección de esquinas

○ Harris/Plessey (V)

○ Sean λ_1, λ_2 los autovalores de **A**



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



Autor: S. Domínguez

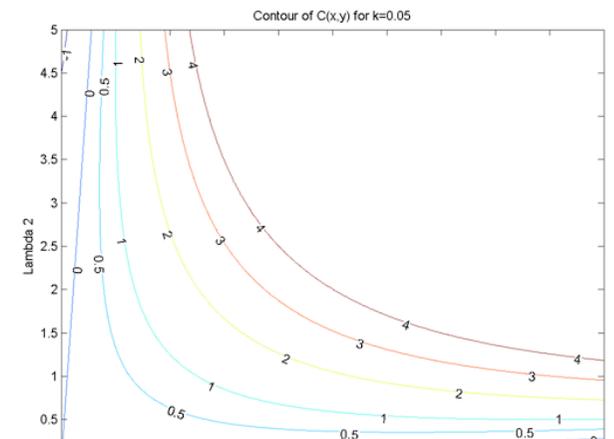
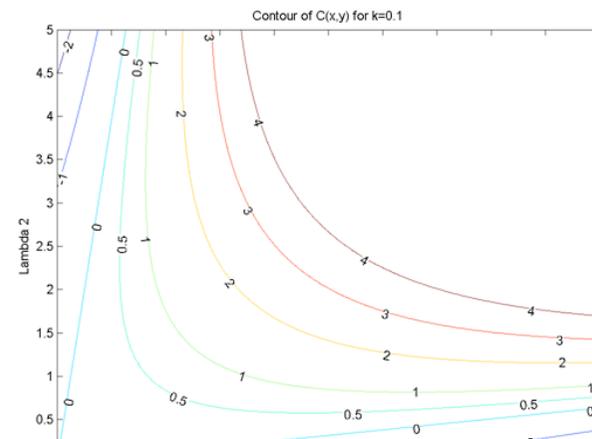
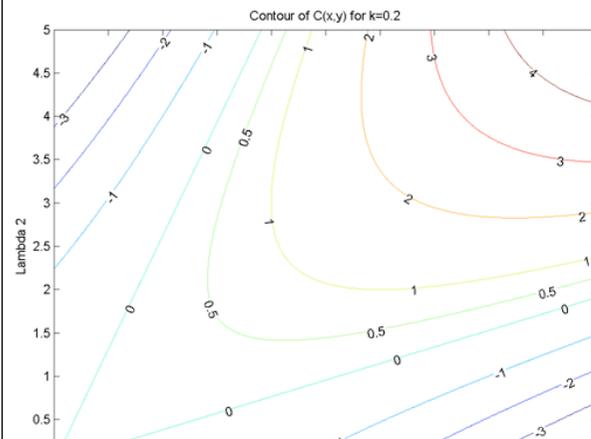


Algoritmos de detección de esquinas

○ Harris/Plessey (VI)

- Sobre esta información se calcula el *cornerness*

$$C = \det(\mathbf{A}) - k \text{traza}(\mathbf{A})^2 = \lambda_1 \lambda_2 - k(\lambda_1 + \lambda_2)^2$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Autor: S. Domínguez



Algoritmos de detección de esquinas

○ Harris/Plessey (VII)

○ Algoritmo

1. Calcular la matriz **A**
2. Construir el *cornerness map*, para cada pixel

$$C = \lambda_1 \lambda_2 - k(\lambda_1 + \lambda_2)^2$$

3. Umbralizar el mapa, conservando los valores altos
4. Suprimir los no máximos

Cartagena99

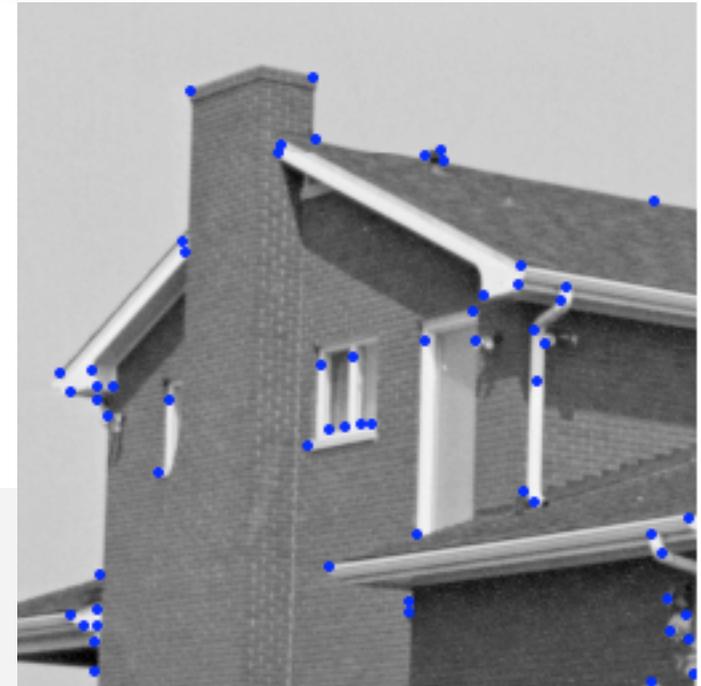
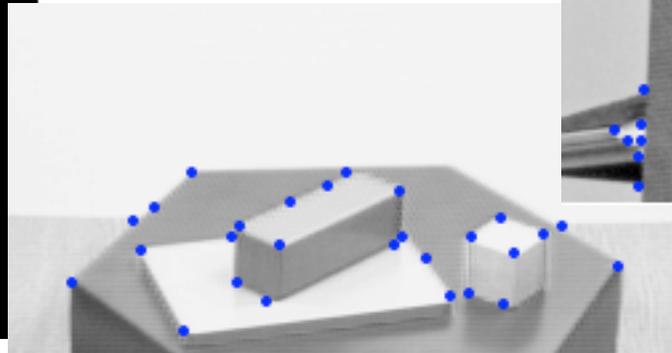
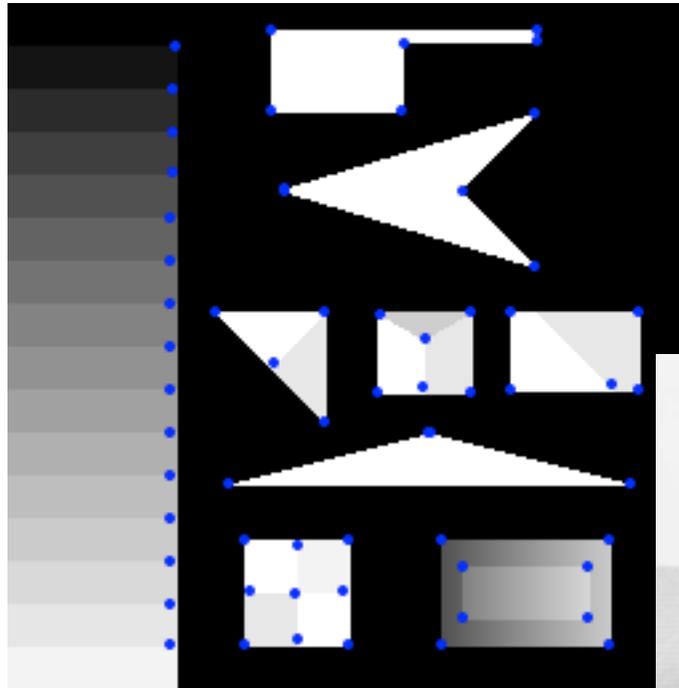
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Algoritmos de detección de esquinas

○ Harris/Plessey (VIII)



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

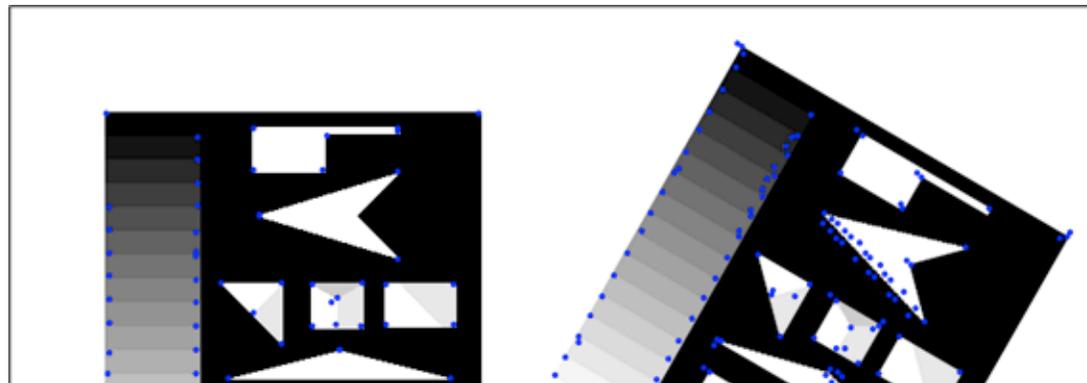


Autor: S. Domínguez



Algoritmos de detección de esquinas

- Harris/Plessey (IX)
 - Es computacionalmente costoso, requiere convolución
 - Sensibilidad al ruido, por el uso del gradiente
 - Buena respuesta sólo en esquinas en L
 - Respuesta anisotrópica, por los gradientes direccionales



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Original image

Image Rotated 60

Cartagena99



Autor: S. Domínguez



Algoritmos de detección de esquinas

- Harris/Plessey (y X)
 - Conclusiones
 - Se usa ampliamente por detección y repetibilidad
 - Tiene algunos inconvenientes
 - ◎ Sensibilidad al ruido: ampliar la ventana de cálculo
 - ◎ Más coste computacional
 - ◎ Peor detección
 - ◎ Uso de gradientes direccionales
 - ◎ Aún así, mejora los resultados de Moravec

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Tabla de Contenidos

- Introducción
- Algoritmos de detección de esquinas
- SIFT

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



SIFT

- Introducción
 - Detección de esquinas para imágenes similares
 - Misma escala
 - Misma orientación, ...
 - SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*) para distinta...
 - ... escala
 - ... rotación
 - ... iluminación
 - ... punto de vista

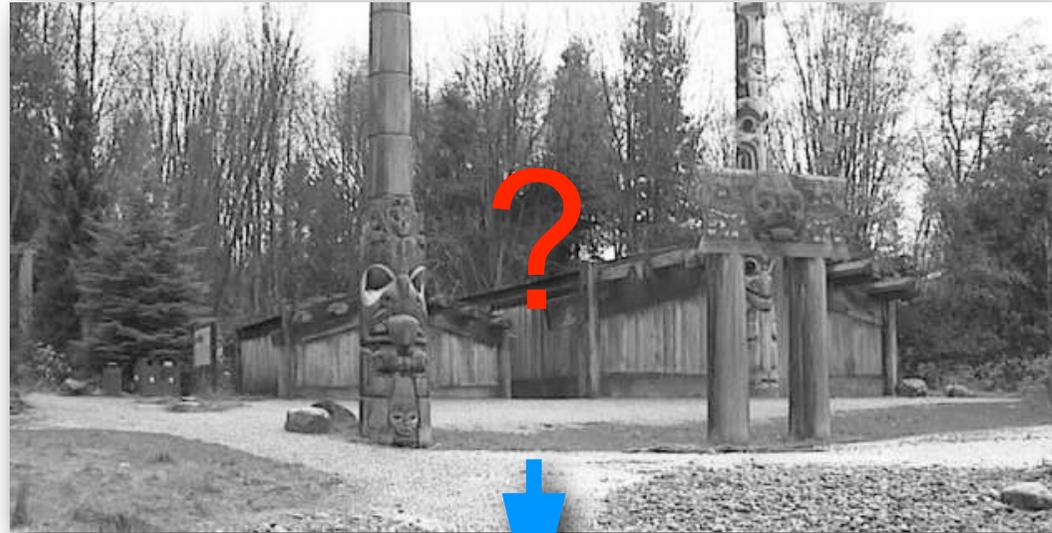
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



SIFT



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

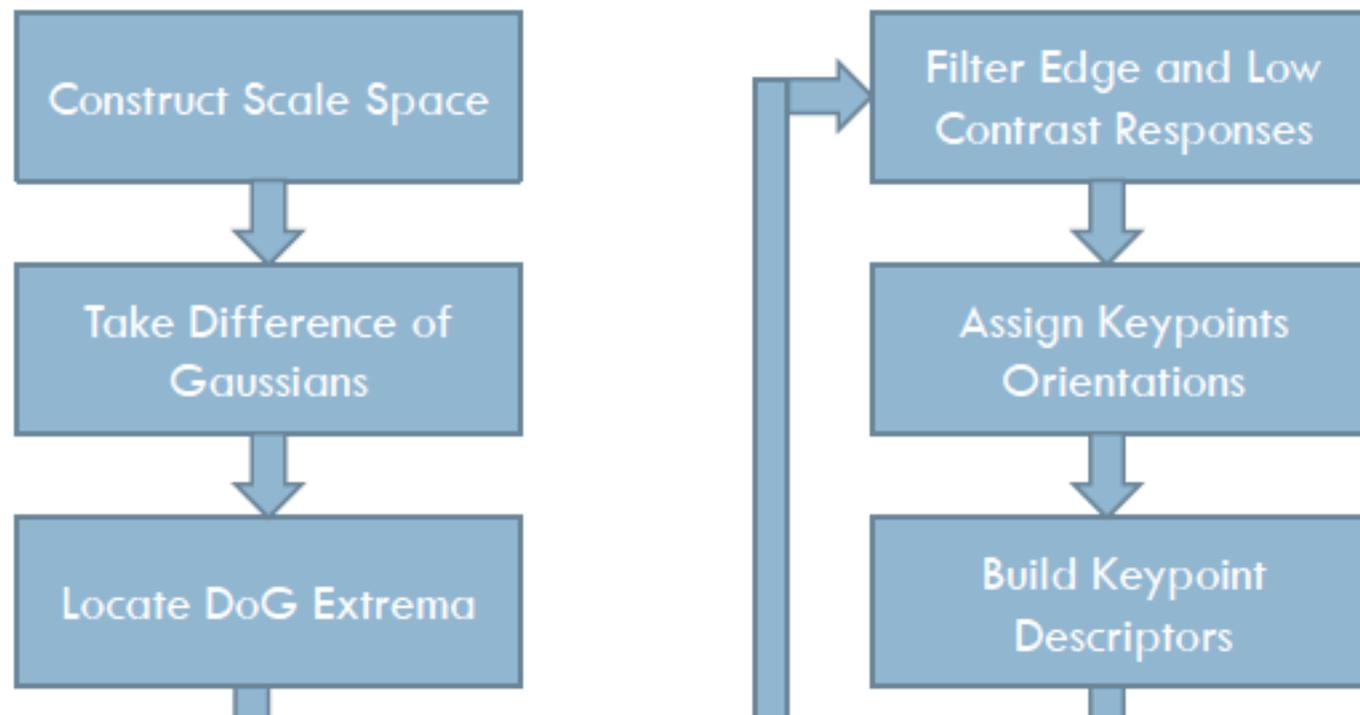


Autor: S. Domínguez



SIFT

○ El algoritmo



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99





SIFT

- Construir el espacio de escala
 - El mismo objeto observado a distintas escalas:
 - Una hoja del árbol: especie, presencia de plagas, ...
 - El árbol completo: edad conformación, poda, ...
 - Eliminar detalles irrelevantes a cada escala:
 - La única forma es un filtrado gaussiano (*)
 - Para generar el espacio de escala:
 - Tomar la imagen de origen
 - Generar copias difuminadas progresivamente

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



SIFT



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

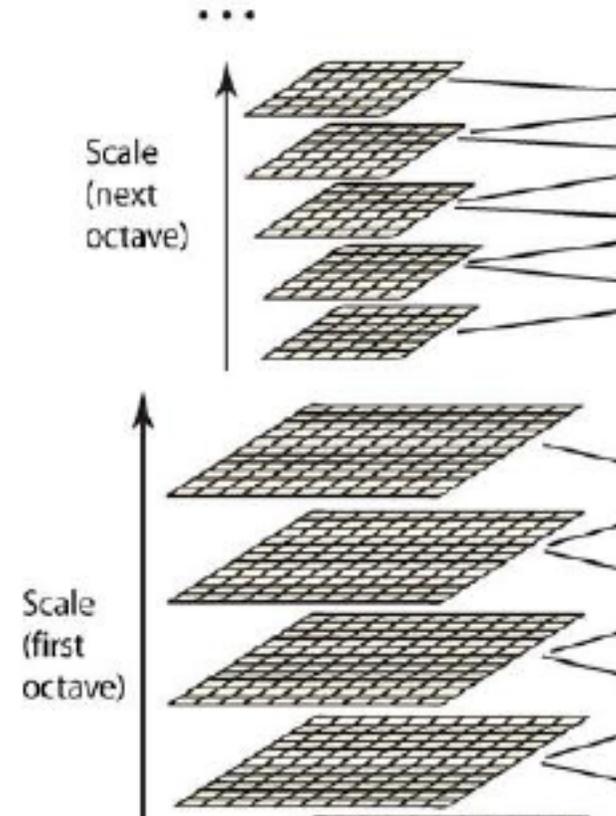


Autor: S. Domínguez



SIFT

- Espacio de escalas en SIFT
 - Primero se generan copias difuminadas del original
 - Luego se reescala el original a la mitad de tamaño
 - Se generan copias difuminadas de la reducción
 - Se continúa con el esquema
 - Escalado
 - Difuminación



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

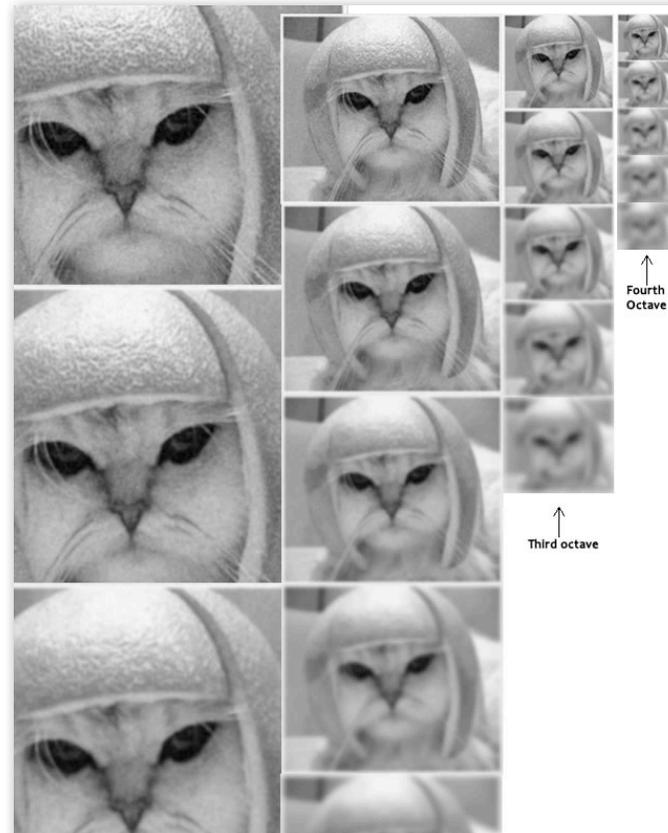
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99





SIFT



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



Autor: S. Domínguez



SIFT

- Los detalles (I)
 - Octavas y escalas
 - Su número es decisión del programador
 - Lowe sugiere 4 octavas y cinco escalas
 - Primera octava
 - Se puede generar escalando la imagen al doble
 - Luego se filtra para evitar aliasing
 - Así se generan cuatro veces más características
 - Más información para establecer correspondencias

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



SIFT

- Los detalles (II)
 - Difuminado
 - Mediante convolución con gaussiana

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y)$$

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

- L es la imagen difuminada
- G es la máscara gaussiana
- I es la imagen
- (x,y) las coordenadas del pixel

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



SIFT

- Los detalles (y III)
 - Cantidad de difuminado
 - Con un factor de $\sqrt{2}$

| | scale → | | | | |
|--------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| octave | 0.707107 | 1.000000 | 1.414214 | 2.000000 | 2.828427 |
| | 1.414214 | 2.000000 | 2.828427 | 4.000000 | 5.656854 |
| | 2.828427 | 4.000000 | 5.656854 | 8.000000 | 11.313708 |
| | 5.656854 | 8.000000 | 11.313708 | 16.000000 | 22.627417 |

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

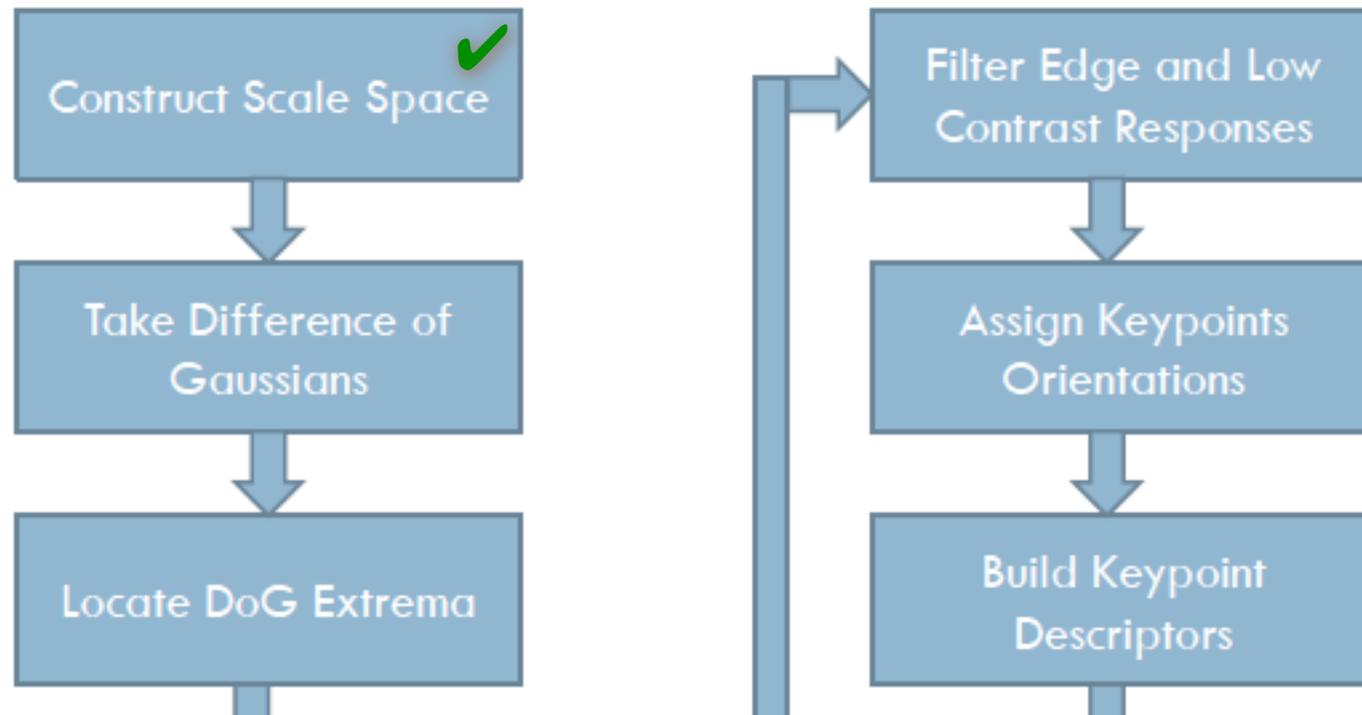
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70





SIFT

○ El algoritmo



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99





SIFT

- LoG: *Laplacian of Gaussian*
 - Laplaciana de gaussiana
 - Se toma una imagen
 - Se difumina con un filtro gaussiano
 - Se calcula su segunda derivada: laplaciana
 - Detecta bordes y esquinas aptos como keypoints
 - Por qué no sólo laplaciana?
 - Es muy sensible al ruido
 - El filtrado gaussiano lo disminuye y mejora el resultado
 - Problema

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



SIFT

○ Laplaciana de gaussiana

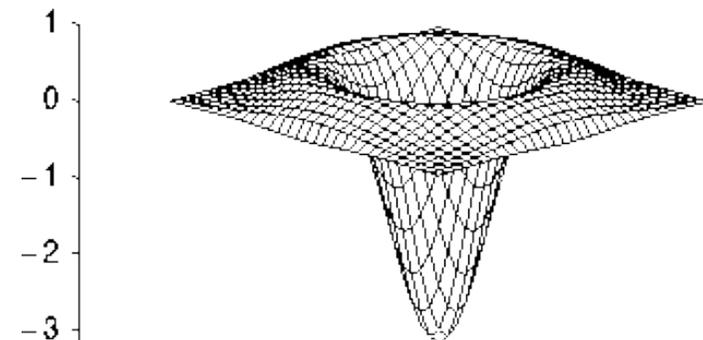
$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y)$$

$$\nabla^2 L(x, y) = \frac{\partial^2 L}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 L}{\partial y^2} = L_{xx} + L_{yy}$$

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

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

x 10⁻³



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

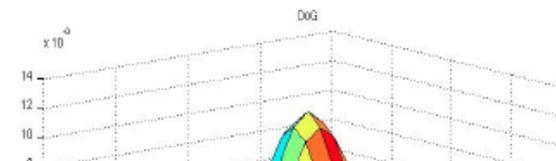
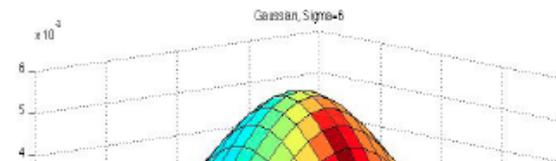
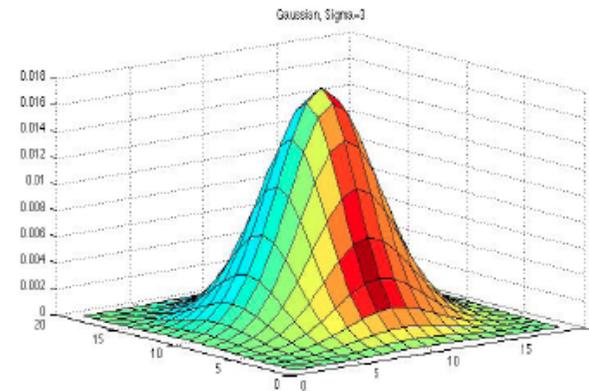
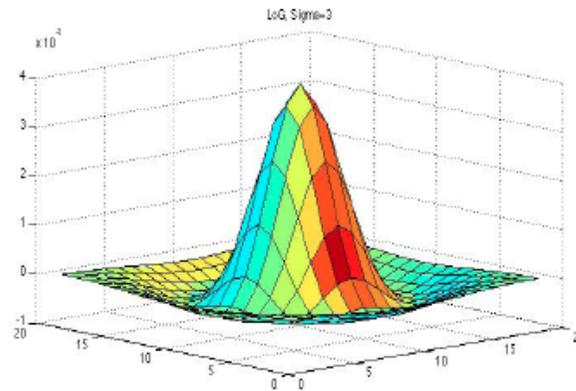


Autor: S. Domínguez



SIFT

- Aproximación de LoG: DoG (*Difference of Gaussians*)
- Permite generar una aproximación rápidamente



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

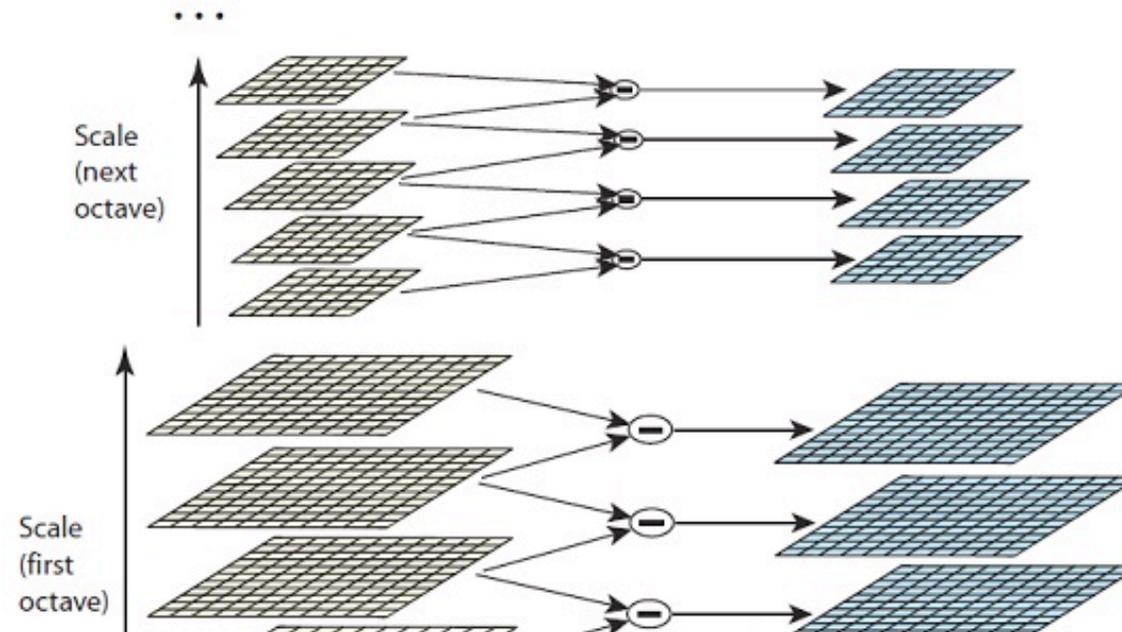
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70





SIFT

- Procedimiento de aproximación
 - Hallar la diferencia entre dos escalas consecutivas



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99





SIFT

○ Ventajas de DoG

● LoG no es invariante a escala:

- Debido a la expresión de la Gaussiana

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

- Entonces LoG tampoco lo es
- Hay que conseguir invarianza a escala

$$\nabla^2 G \longrightarrow \sigma^2 \nabla G$$

● DoG es invariante a escala

- El resultado ya está multiplicado

Cartagena99

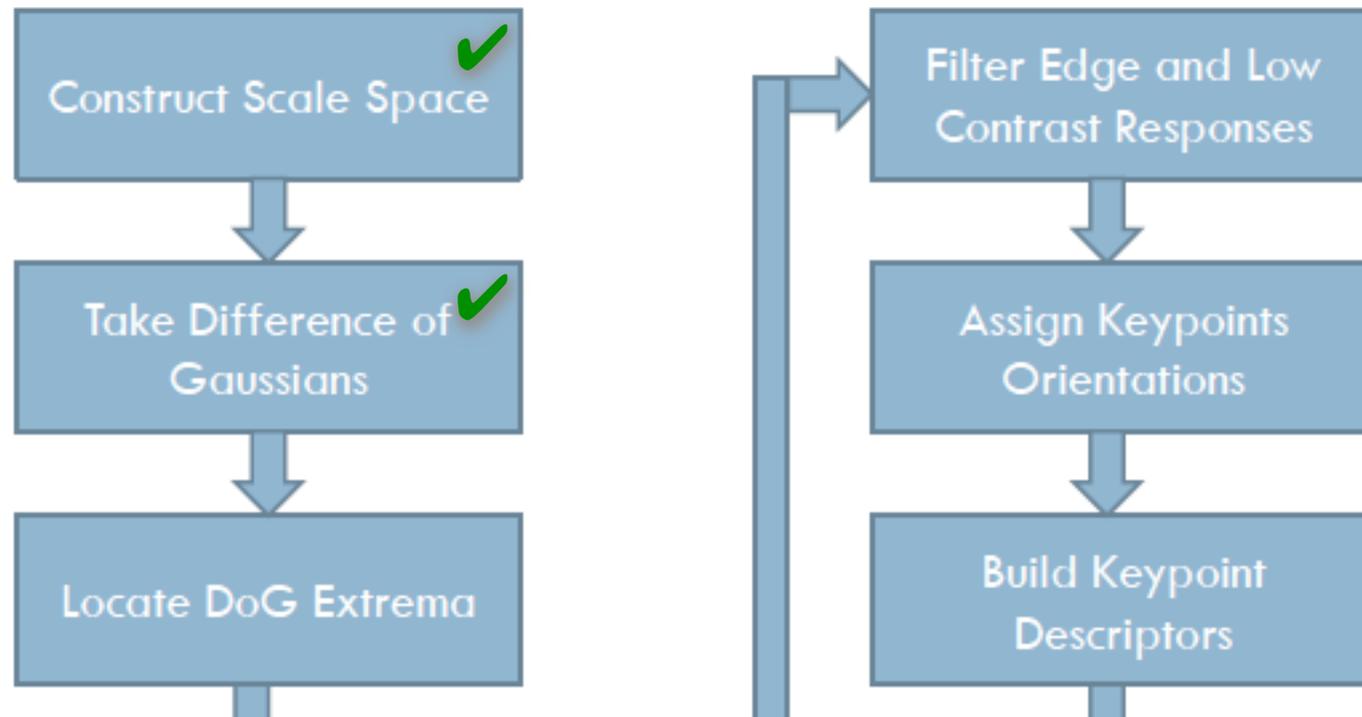
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



SIFT

○ El algoritmo



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99





SIFT

- Determinar keypoints
 - La determinación de keypoints consta de dos fases
 1. Localizar extremos en las imágenes DoG
 2. Determinar su posición con precisión subpixel

Cartagena99

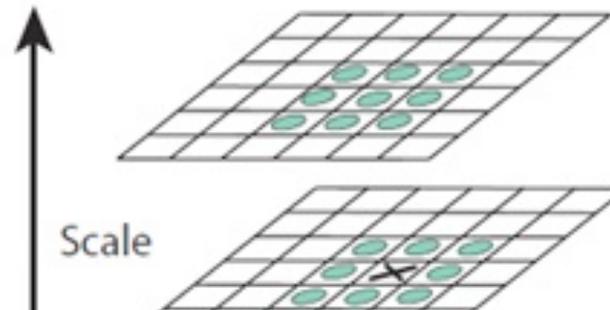
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



SIFT

- Determinar keypoints
 - Localizar extremos en las imágenes DoG
 - Se toma un pixel y se consideran sus 26 vecinos
 - En la misma escala: 8
 - En la escala superior e inferior: 9 para cada una
 - Si es el máximo/mínimo de todos ellos se selecciona



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

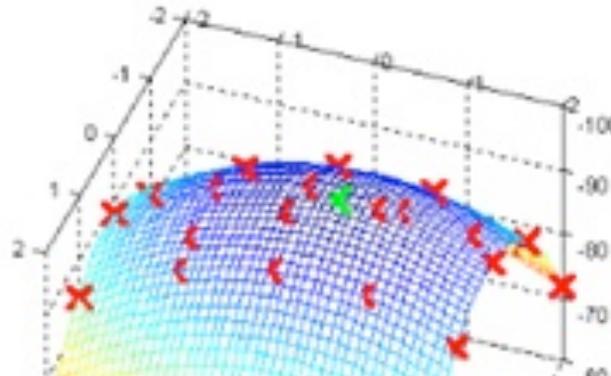
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



SIFT

- Determinar keypoints
 - Determina su posición con precisión subpixel (i)
 - Los candidatos no coinciden exactamente con el extremo
 - Este no suele coincidir con la posición exacta del pixel
 - Hay que calcular su posición con algoritmos subpixel



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



Autor: S. Domínguez



SIFT

- Determinar keypoints
 - Determinar su posición con precisión subpixel (ii)
 - Se realiza el desarrollo en serie alrededor del candidato

$$D(\mathbf{x}) = D + \frac{\partial D}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{x} + \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \frac{\partial^2 D}{\partial \mathbf{x}^2} \mathbf{x}$$

- Derivando e igualando a cero se obtiene la posición
 - ⊙ Ahora con precisión subpixel

$$\hat{\mathbf{x}} = - \frac{\partial^2 D}{\partial \mathbf{x}^2}^{-1} \frac{\partial D}{\partial \mathbf{x}}$$

Cartagena99

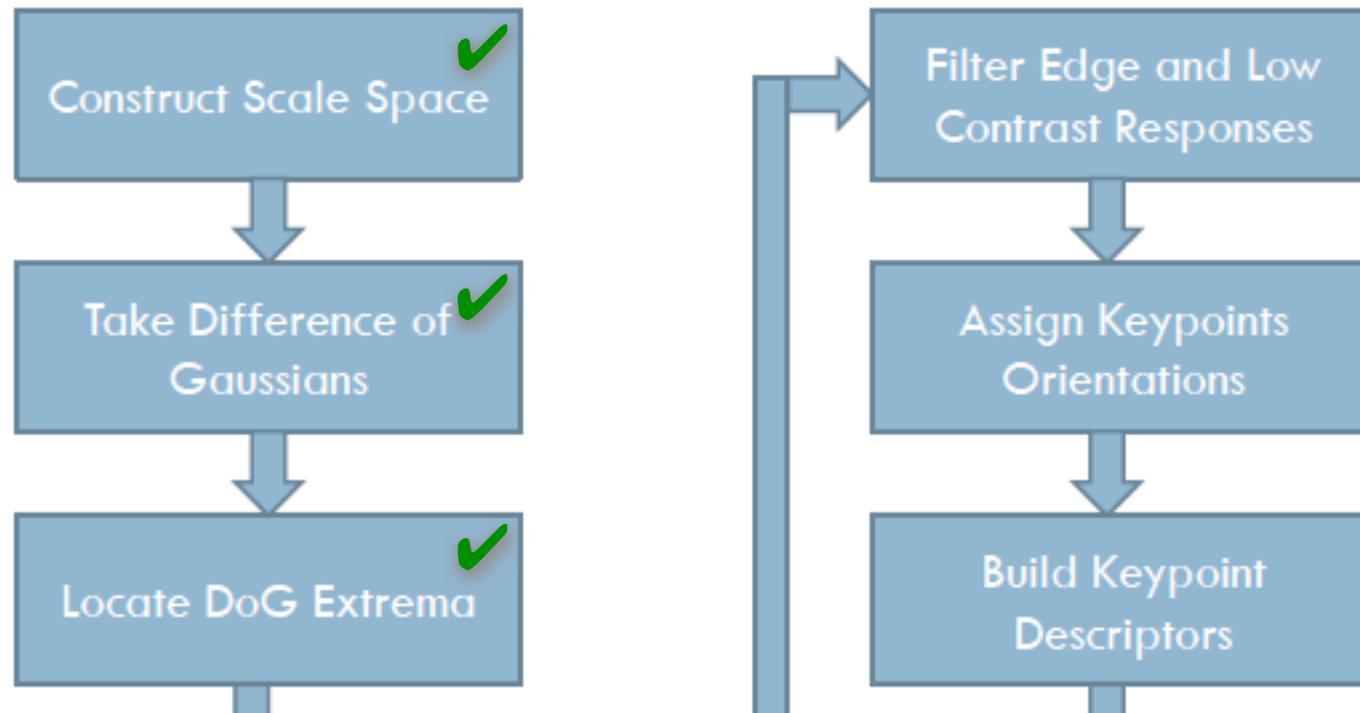
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



SIFT

○ El algoritmo



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99





SIFT

- Eliminación de keypoints de bajo contraste
 - Se evalúa la magnitud de DoG de cada candidato
 - No se tiene en cuenta el signo
 - Dado que la posición es subpixel, se debe estimar
 - Usando también el desarrollo en serie
 - Si la magnitud no supera un umbral se desecha

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



SIFT

- Eliminación de contornos (I)
 - Para cada keypoint se calculan dos gradientes
 - Perpendiculares entre si
 - Existen tres posibles combinaciones
 - Región plana
 - ⊙ Ambos gradientes son pequeños
 - Un contorno
 - ⊙ Un gradiente es alto (perpendicular al contorno)
 - ⊙ El otro es bajo (a lo largo del contorno)
 - Una esquina
 - ⊙ Ambos gradientes son altos

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



SIFT

- Eliminación de contornos (y II)
 - Determinación de esquinas
 - Muy similar al criterio para el detector de Harris/Plessey
 - Se calcula la matriz Hessiana de la imagen DoG
 - Se conservan los keypoints para los que se cumple

$$\frac{\text{traza}(H)^2}{\det(H)} < \frac{r+1}{r}$$

$$\text{traza}(H) = D_{xx} + D_{yy}$$

$$\det(H) = D_{xx}D_{yy} - D_{xy}^2$$

- Se suele usar $r=10$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

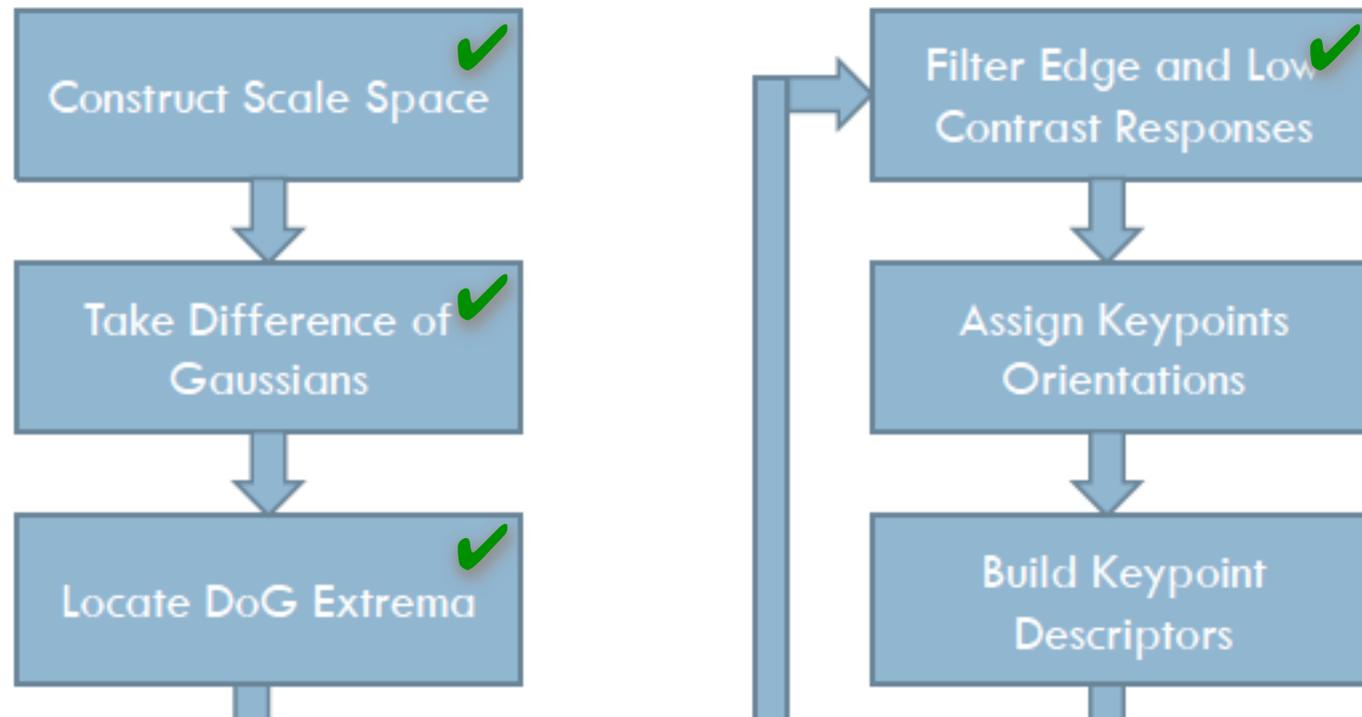
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



SIFT

○ El algoritmo



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

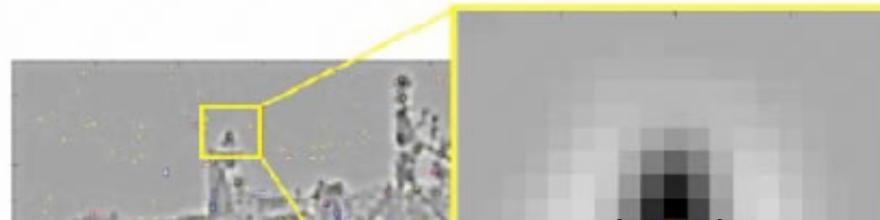
Cartagena99





SIFT

- Asignar orientación a los keypoints
 - Se toma una región alrededor del keypoint
 - 1.5 veces mayor que la ventana de la escala del keypoint
 - Se recopila la información del gradiente en la región
 - Magnitudes y orientaciones
 - Se toman las orientaciones predominantes
 - Se asignan an keypoint



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



SIFT

○ Procedimiento

- Se calculan los gradientes en cada punto de la ventana
- Se construye un histograma de 36 bins
 - Cada uno, un tramo de 10 grados en orientación
 - Se pondera la aportación de cada pixel
 - Con su magnitud
 - Con el coeficiente de un filtro gaussiano de 1.5 escala
 - Se toma el pico máximo del histograma
 - Un keypoint por cada pico mayor que el 80% del máximo
 - Misma posición, distinta orientación
 - Se ajusta la orientación de cada uno

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

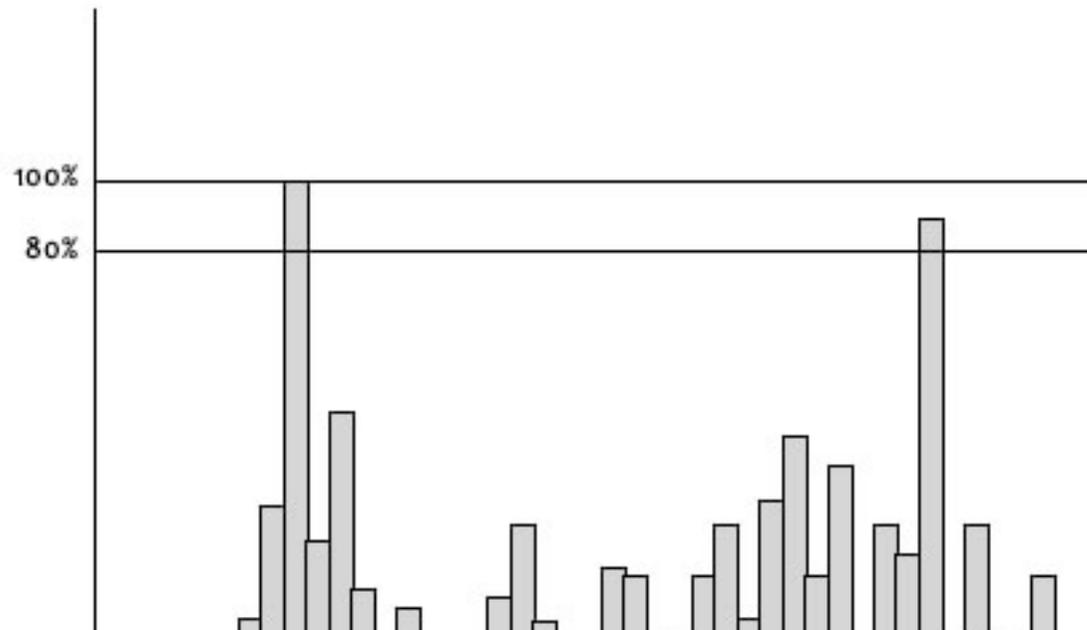
Cartagena99





SIFT

○ Procedimiento



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

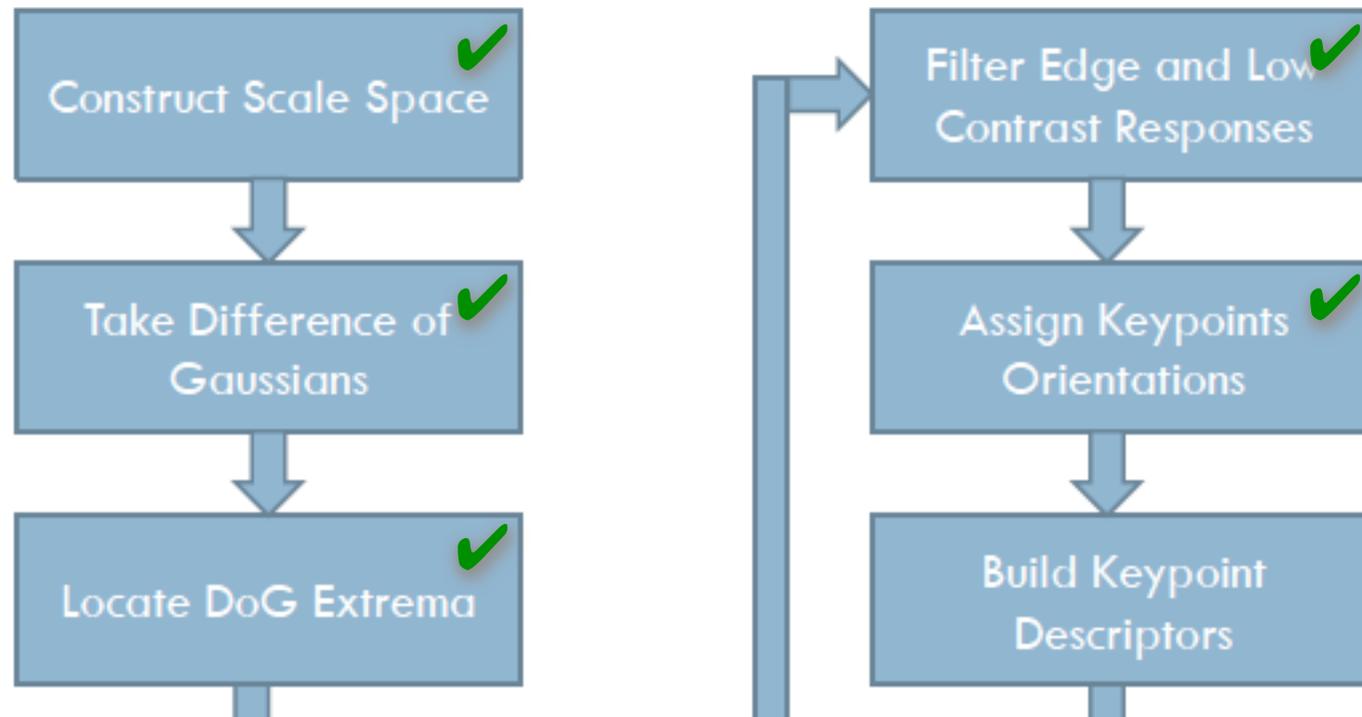


Autor: S. Domínguez



SIFT

○ El algoritmo



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99





SIFT

- Generación del descriptor
 - Se toma una ventana de 16x16 alrededor del keypoint
 - Se divide en 16 ventanas de 4x4
 - Se calculan los gradientes en cada una
 - Se pasan los gradientes a un histograma
 - Con ponderación gaussiana de 0.5 la escala
 - El histograma es de 8 bins en orientación
 - Con esto se genera el descriptor
 - $4 \times 4 \times 8 = 128$ números por cada keypoint
 - Finalmente, se normaliza este vector

Cartagena99

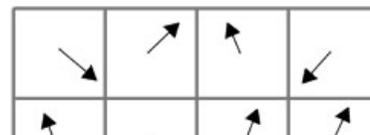
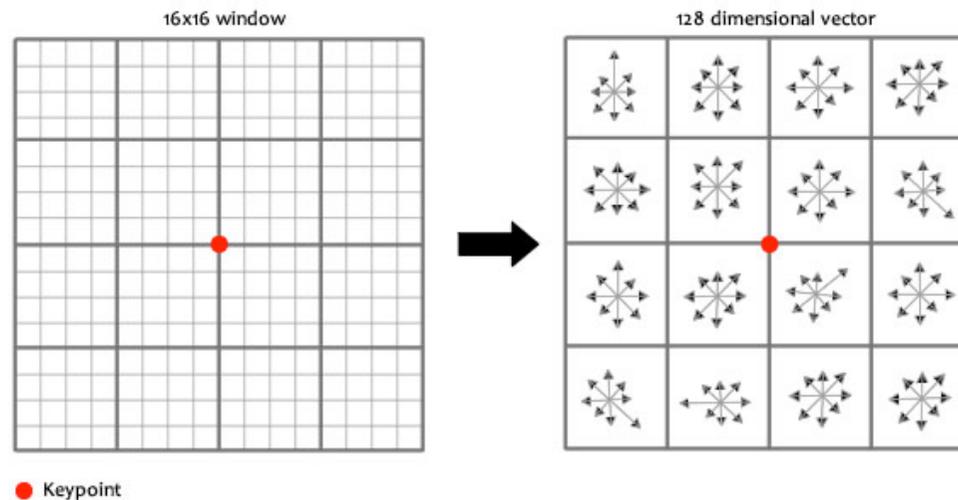
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



SIFT

○ Generación del descriptor



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



Autor: S. Domínguez



SIFT

○ Problemas

○ Invarianza a rotación

- Si se gira la imagen giran los gradientes

- El descriptor cambia

- Solución

- Restar orientaciones del descriptor y del keypoint

- Se consigue invarianza a rotación

○ Independencia a la iluminación

- La saturación afecta a la magnitud del gradiente

- No afecta a la rotación

- Solución

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



SIFT

○ Prestaciones

○ Robustez

- Repetibilidad del 80% ante...
 - ... 10% de ruido en la imagen
 - ... rotación de 45 grados
 - ... en bases de datos entre 1K y 100K keypoints
- Evaluado como mejor descriptor (*)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70