Ειδικά Θέματα Υπολογιστικής Όρασης & Γραφικής

Εμμανουήλ Ζ. Ψαράκης & Αθανάσιος Τσακαλίδης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής

Υπολογιστική Όραση

Χαρακτηριστικά

Εμμανουήλ Ζ. Ψαράκης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής

Υπολογιστική Όραση
Χαρακτηριστικά

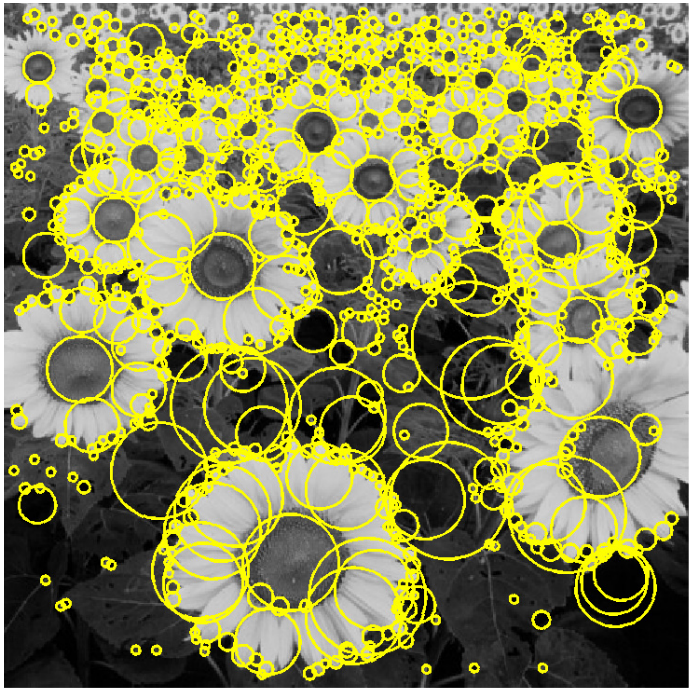
Επιλέγοντας «*σωστά*» Χαρακτηριστικά ...

- Ποιό είναι ένα «*καλό Χαρακτηριστικό*»;
  - Ικανοποιεί την υπόθεση της «brightness constancy»
  - Έχει υφή (αλλά δεν μεταβάλλεται πάρα πολύ).
  - Δεν παραμορφώνεται πολύ με το πέρασμα του χρόνου.

Υπολογιστική Όραση
Χαρακτηριστικά Γωνίες και Σταγόνες

Γωνίες (Corners)

Σταγόνες (blobs)



Υπολογιστική Όραση
Γωνίες Ανιχνευτής του Harris

Υλοποίηση της Βασικής Ιδέας:

Ορίζοντας:

- το μητρώο Αυτο-Συσχέτισης

$$C = \begin{bmatrix} \sum_{(x_k, y_k) \in W} (I_x(x_k, y_k))^2 & \sum_{(x_k, y_k) \in W} I_x(x_k, y_k) I_y(x_k, y_k) \\ \sum_{(x_k, y_k) \in W} I_x(x_k, y_k) I_y(x_k, y_k) & \sum_{(x_k, y_k) \in W} (I_y(x_k, y_k))^2 \end{bmatrix}$$

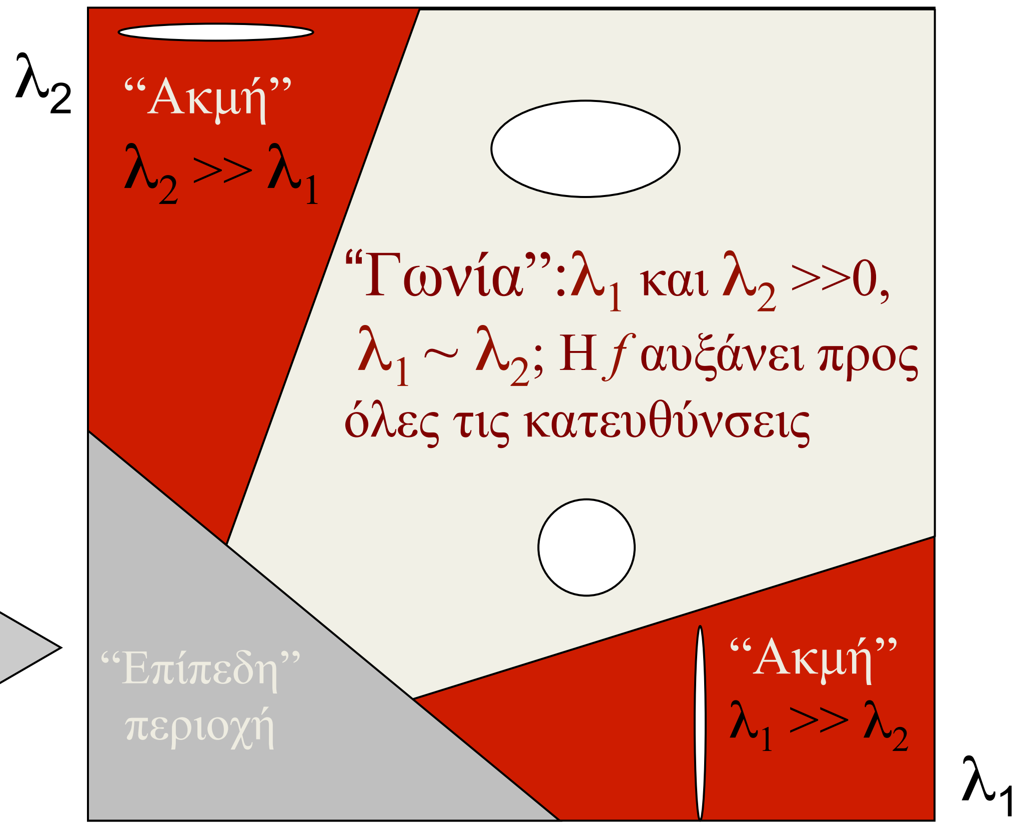
- και το Διάνυσμα $\Delta = [\Delta x \, \Delta y]^t$, έχουμε:

$$f_{xy}(\Delta) = \Delta^t C \Delta$$

Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτής του Harris-Ανάλυση Ιδιοτιμών

Κατηγοριοποίηση των σημείων της εικόνας βάσει των ιδιοτιμών του Μητρώου *C*:

λ_1 και λ_2 μικρές.
Η *f* είναι *«σχεδόν» σταθερή*



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Ανάλυση Ιδιοτιμών

$$\det(C) = \lambda_1 \lambda_2$$
$$\mathrm{trace}(C) = \lambda_1 + \lambda_2$$

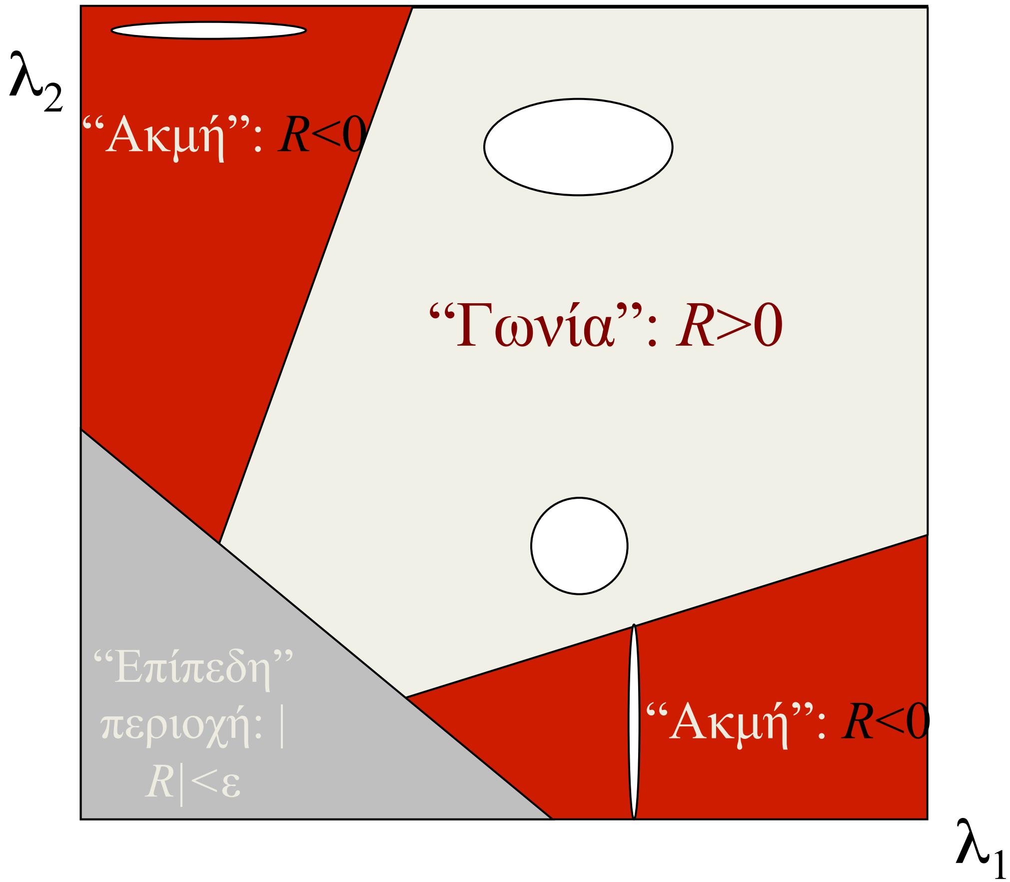
Μέτρο απόκρισης «*Γωνίας*»:

$$R(C) = \det(C) - k(\mathrm{trace}(C))^2$$

όπου k – εμπειρική σταθερά, $k = 0.04\text{-}0.06$

Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Ανάλυση Ιδιοτιμών



Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος
(R. Harris, 1988)

1. Φιλτράρισμα της εικόνας με ένα Gaussian φίλτρο: $G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_d^2}}$

2. Υπολογισμός της βαθμίδας $\nabla I(x, y)$ της εικόνας.

3. Για κάθε pixel της εικόνας και για παράθυρο εύρους σ_w γίνεται ο υπολογισμός του μητρώου Αυτο-Συσχέτισης:

$$C = \sum_{x,y \in W} \nabla I(x,y) \nabla I(x,y)^t$$

και του «μέτρου»: $R(C)$

4. Επιλογή των καλύτερων υποψήφιων χαρακτηριστικών.

Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος
(R. Harris, 1988)

- Αναισθησία σε Φωτομετρικές Παραμορφώσεις;

Αναισθησία σε αλλαγές της *λαμπερότητας* (brightness):

$$\hat{I}(x,y) = I(x,y) + \beta$$

αλλα ευαισθησία σε αλλαγές της *αντίθεσης* (contrast)

$$\hat{I}(x,y) = \alpha I(x,y)$$

Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος
(R. Harris, 1988)

- Αναισθησία σε Περιστροφές;

Η έλλειψη περιστρέφεται αλλά το σχήμα της (δηλαδή οι ιδιοτιμές) παραμένουν οι ίδιες!!!

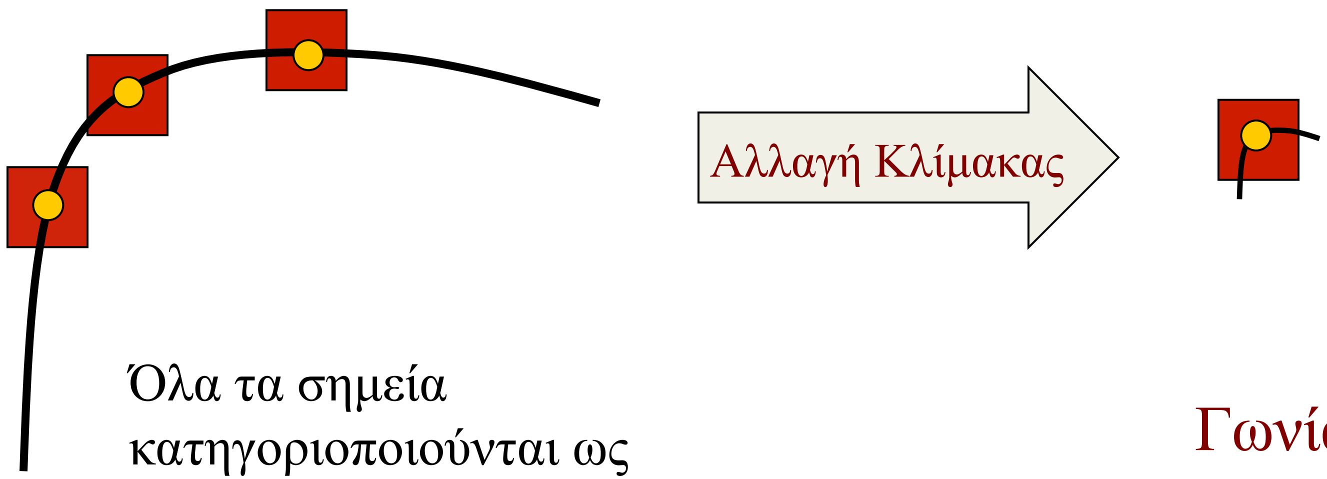
Το «μέτρο» $R(C)$ είναι αναίσθητο σε περιστροφές της εικόνας.

Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος
(R. Harris, 1988)

- Αναισθησία σε αλλαγές Κλίμακας;

Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος
(R. Harris, 1988)

- Ευαισθησία σε αλλαγές Κλίμακας



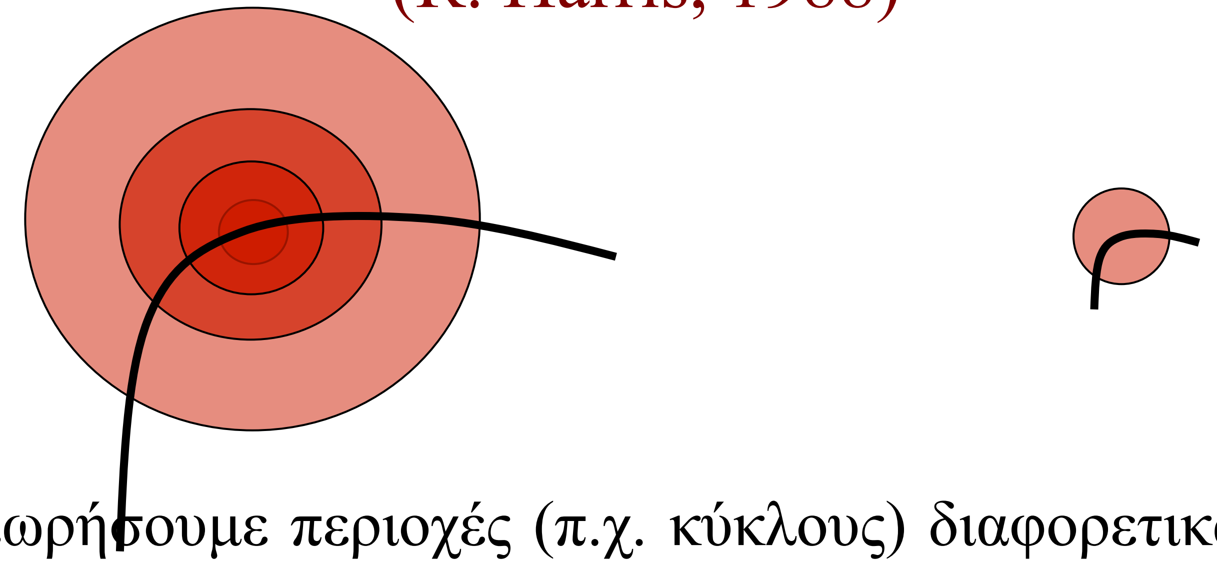
Όλα τα σημεία κατηγοριοποιούνται ως «ακμές»

Γωνία!

Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος

(R. Harris, 1988)



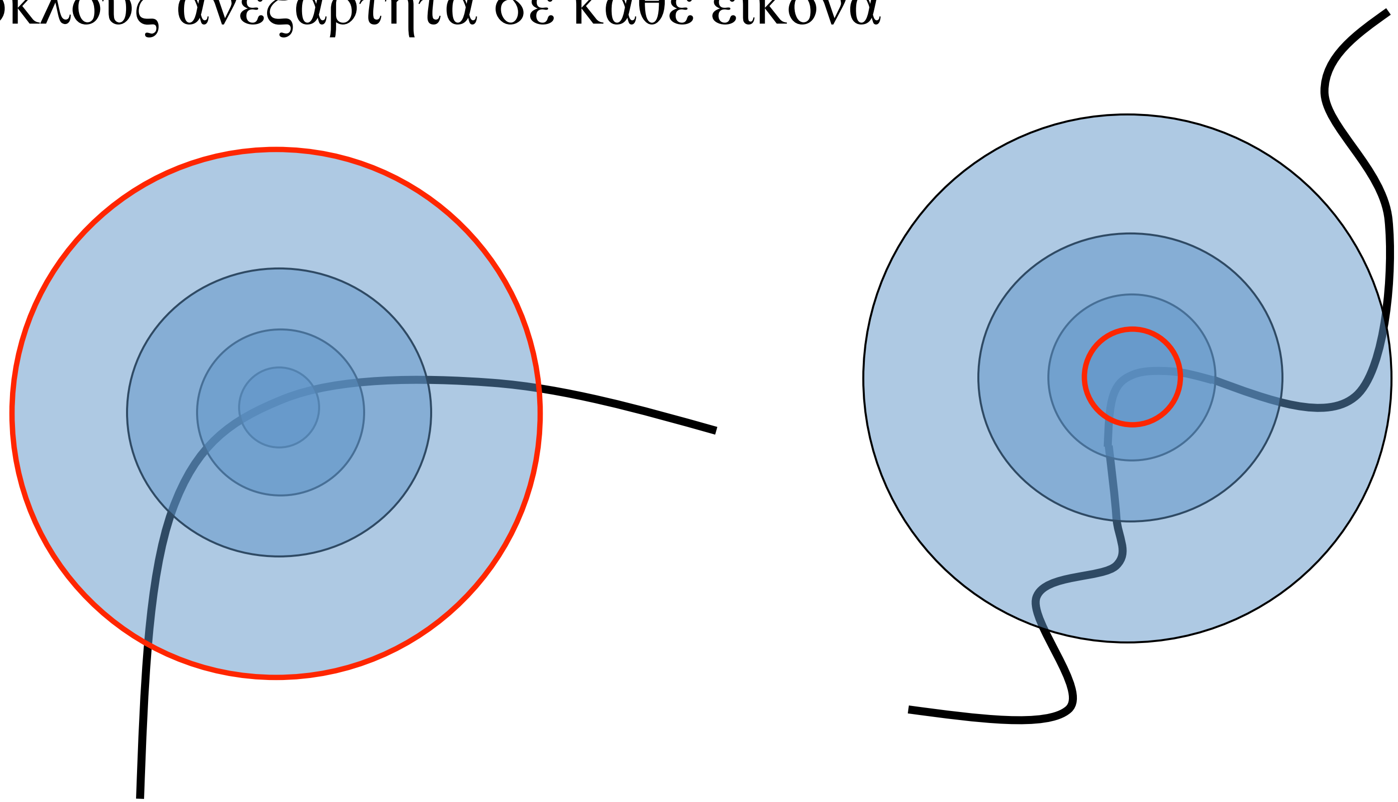
- Αν θεωρήσουμε περιοχές (π.χ. κύκλους) διαφορετικών ακτίνων γύρω από ένα σημείο μίας καμπύλης ..., *τι περιμένουμε*;

- περιμένουμε ότι περιοχές αντίστοιχου μεγέθους θα φαίνονται ίδιες και στις δύο εικόνες ...

Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος
(R. Harris, 1988)

- Το πρόβλημα είναι πως μπορούμε να επιλέξουμε αντίστοιχους κύκλους ανεξάρτητα σε κάθε εικόνα



Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος
(R. Harris, 1988)

- Λύση:

  Εύρεση μίας «κατάλληλης» συνάρτησης στην περιοχή ενδιαφέροντος (κύκλος), η οποία θα πρέπει να είναι «αναίσθητη στις αλλαγές της κλίμακας. Δηλαδή, η τιμή της για αντίστοιχες περιοχές θα πρέπει να είναι η ίδια ακόμα και αν αυτές είναι σε διαφορετικές κλίμακες.

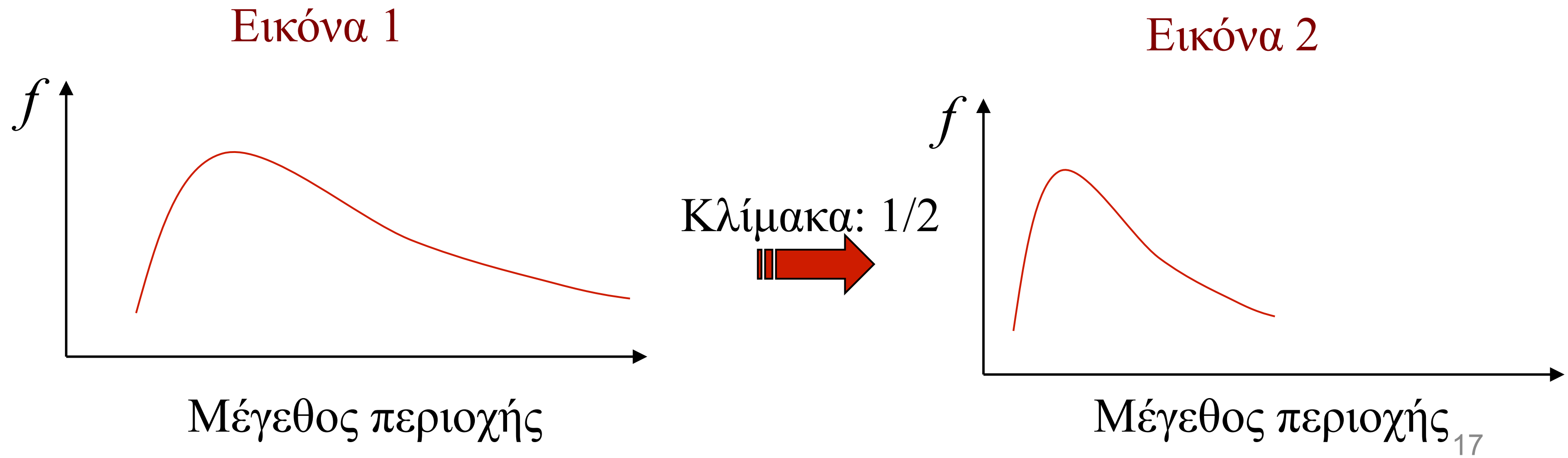
Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος

(R. Harris, 1988)

Παράδειγμα: Συναρτήσεις της φωτεινότητας (π.χ. μέση φωτεινότητα) αντίστοιχων περιοχών θα είναι η ίδια (προφανώς αν δεν υπάρχουν φωτομετρικές παραμορφώσεις).

- Για ένα σημείο της μίας εικόνας, μπορούμε να την θεωρήσουμε ως μία συνάρτηση του μεγέθους της περιοχής (ακτίνα του κύκλου).

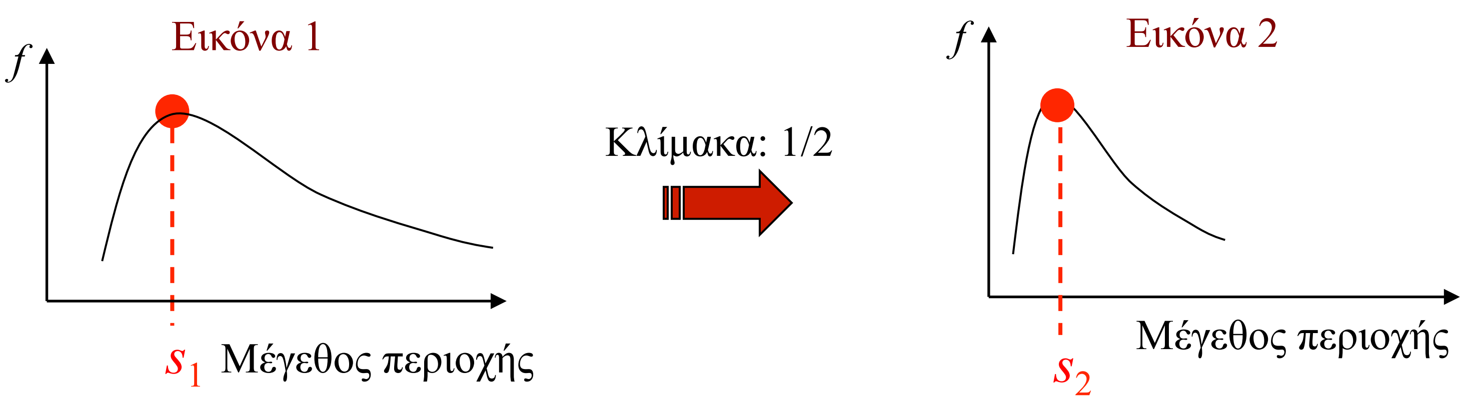


Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος
(R. Harris, 1988)

- Κοινή επιλογή:

  Βρές ένα τοπικό μέγιστο της συνάρτησης

Παρατήρηση: Το μέγεθος της περιοχής, στο οποίο αντιστοιχεί το μέγιστο, ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ να είναι ανεξάρτητο από την κλίμακα!!!

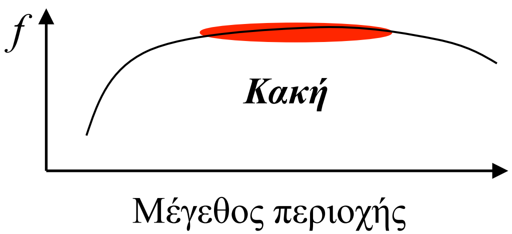


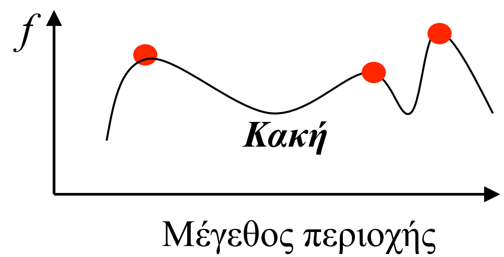
Το πιο σημαντικό βέβαια είναι ότι το μέγεθος αυτό μπορούμε να το βρούμε σε κάθε μία από τις εικόνες ανεξάρτητα!!!

Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος (R. Harris, 1988)

- Μία «σωστή» συνάρτησης για την ανίχνευση της κλίμακας θα πρέπει να έχει ένα διακριτό οξύ μέγιστο.

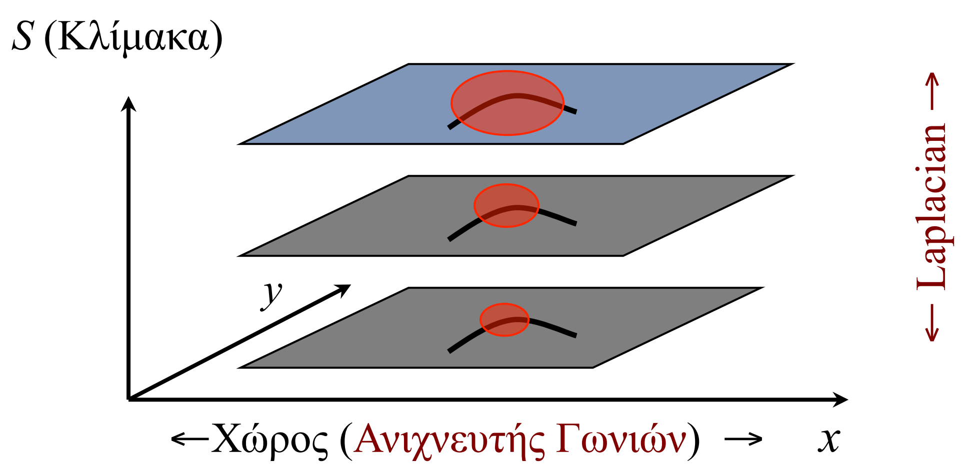




- Τι σχέση έχει αυτό με την Αντίθεση (contrast);

Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτής του Harris-Ανάλυση

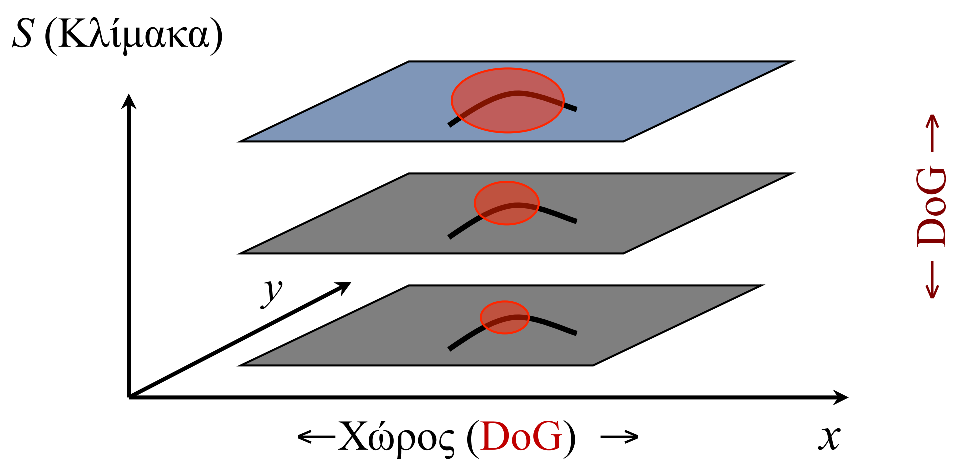
- Harris-Laplacian:Εύρεση των τοπικών μεγίστων με χρήση:
  - του ανιχνευτή γωνιών του Harris (Harris corner detector) στο χώρο (space) και
  - του τελεστή του Laplace στην κλίμακα (scale).



K.Mikolajczyk, C.Schmid. "*Indexing Based on Scale Invariant Interest Points,*" ICCV 2001.

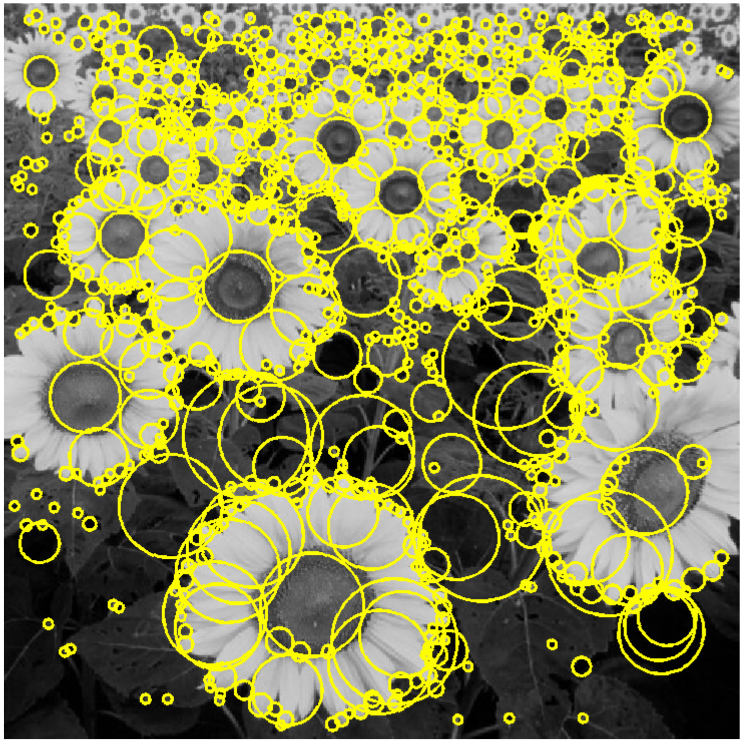
Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτής SIFT-Ανάλυση

- SIFT (Lowe) :Εύρεση των τοπικών μεγίστων με χρήση:
  - Difference of Gaussians (DoG) και στο χώρο και στην κλίμακα.



D.Lowe. “*Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints*,” IJCV 2004.

Υπολογιστική Όραση
Scale Invariant Features - blobs

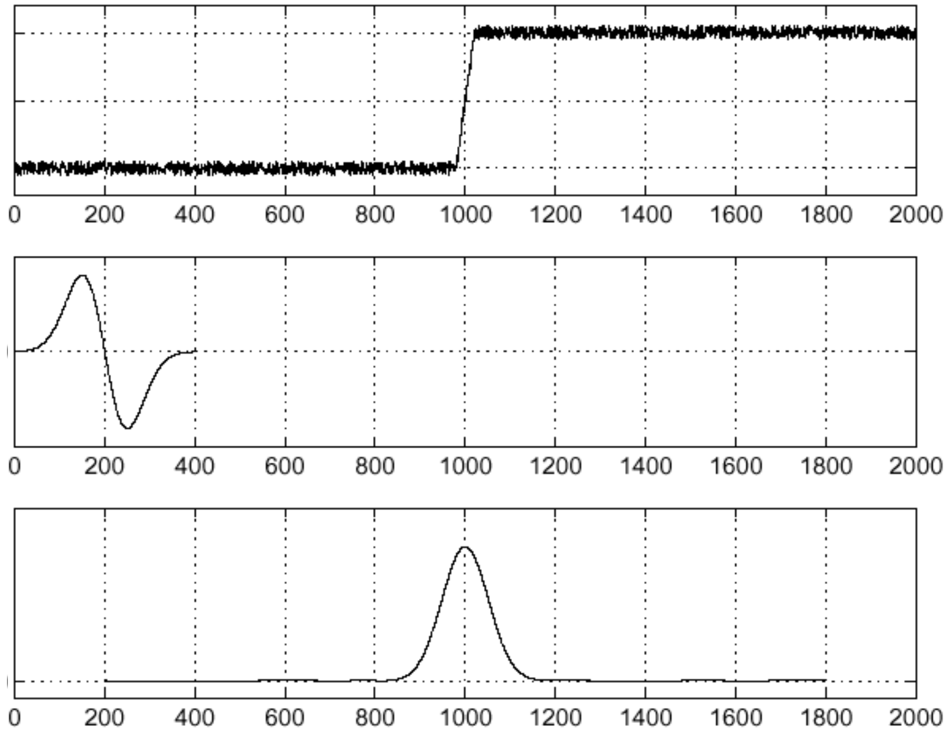


Υπολογιστική Όραση
Scale Invariant Features - blobs

$s(x)$

$G^{(1)}(x)$

$s(x) * G^{(1)}(x)$

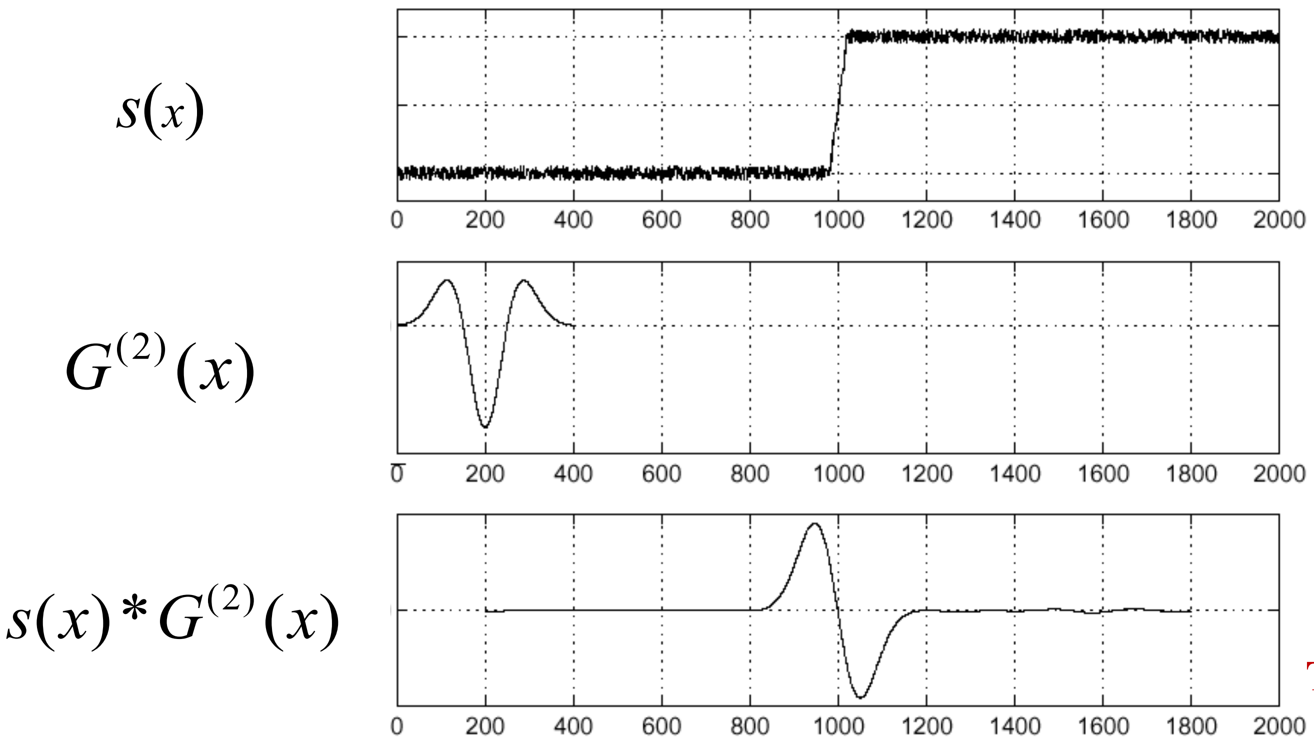


ΑΚΜΗ

Μέγιστο

Υπολογιστική Όραση

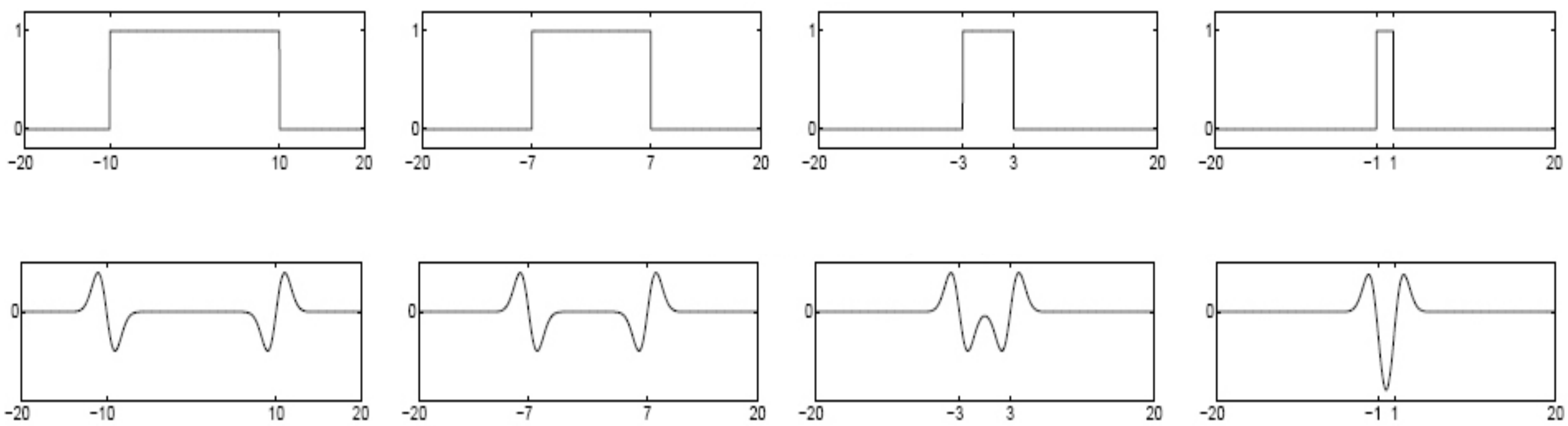
Scale Invariant Features - blobs



ΑΚΜΗ

Τμήση του άξονα *x*

Υπολογιστική Όραση
Scale Invariant Features - blobs

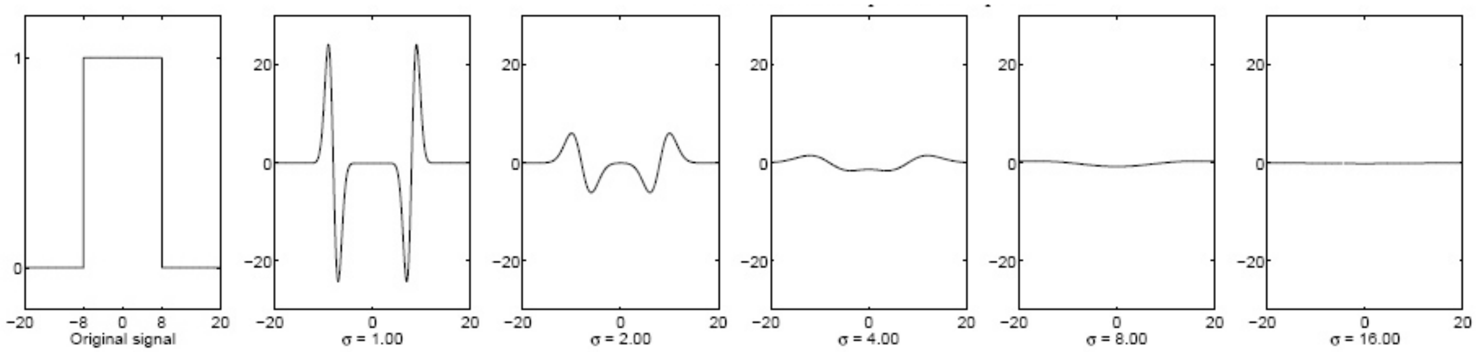


blob

Ακρότατο
στην κατάλληλη κλίμακα

Υπολογιστική Όραση

Scale Invariant Features - blobs

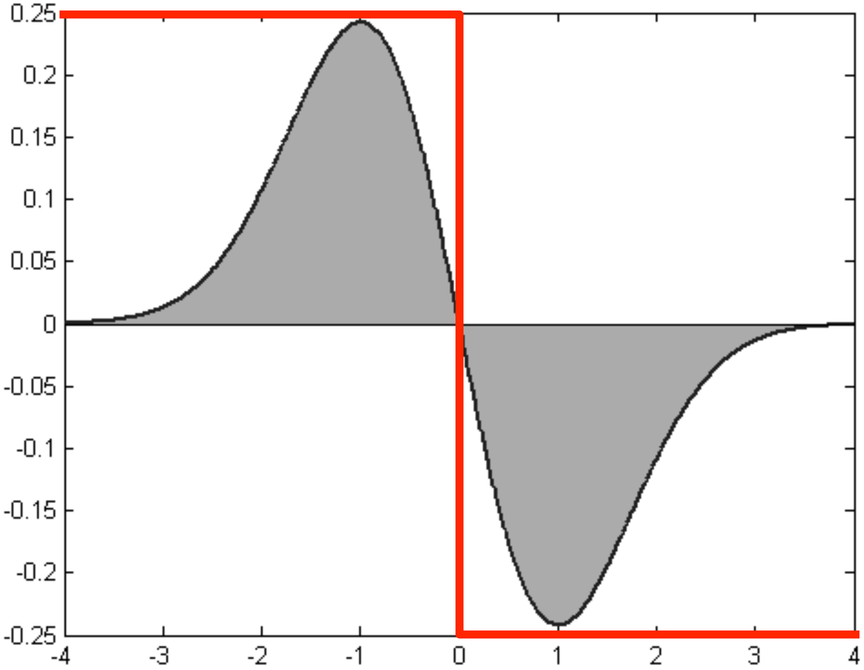


Σήμα (Ακτίνα=8) Αύξηση του σ

Παρατηρούμε κάτι; Γιατί συμβαίνει αυτό;

Υπολογιστική Όραση
Scale Invariant Features - blobs

Καθώς το *σ* αυξάνει η απόκριση Μειώνεται ...



Υπολογιστική Όραση
Scale Invariant Features - blobs

Κανονικοποίηση της Κλίμακας

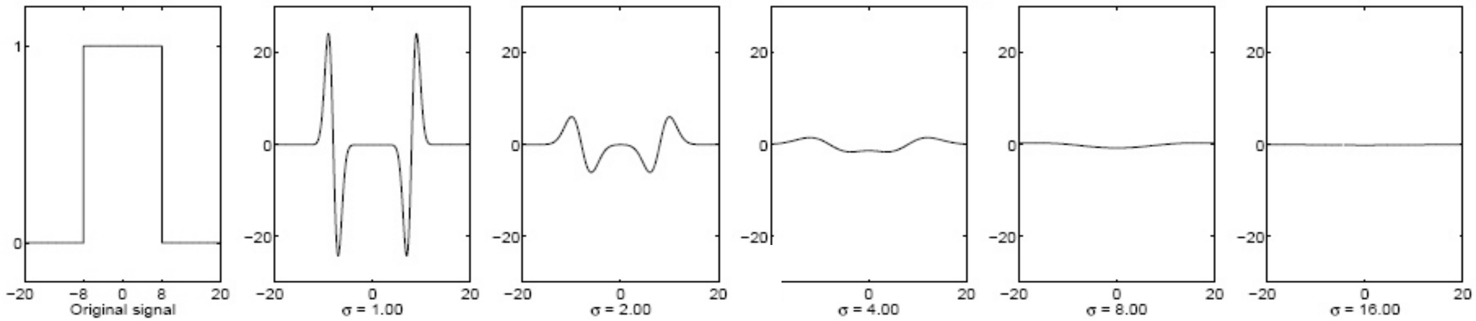
Το μέγιστο της συνέλιξης της παραγώγου της Gaussian με μία ιδανική ακμή είναι φθίνουσα συνάρτηση του σ.

Επομένως για να είμαστε *Scale Invariant* πρέπει να πολλαπλασιάσουμε την:

- $G^{(1)}(x)$ με σ, και την
- $G^{(2)}(x)$ (Laplacian) με σ^2

Υπολογιστική Όραση

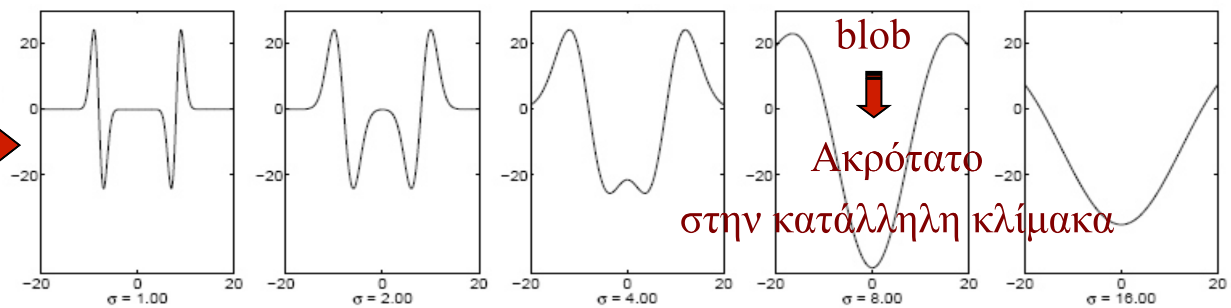
Scale Invariant Features - blobs



Σήμα (Ακτίνα=8)

Αύξηση του σ

Κανονικοποίηση της Κλίμακας



blob

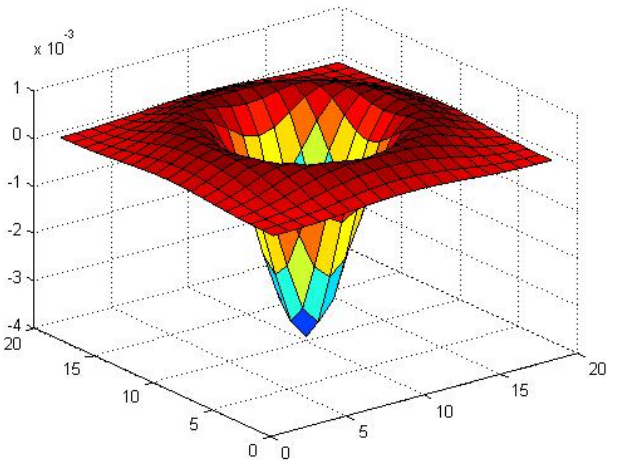
Ακρότατο

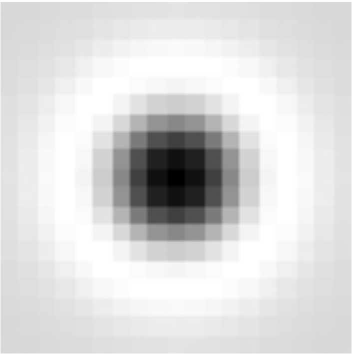
στην κατάλληλη κλίμακα

Υπολογιστική Όραση
Scale Invariant Features - blobs

2-Δ Λαπλασιανή

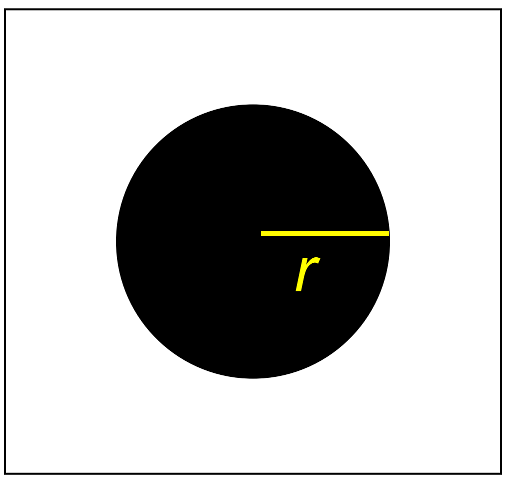
$$\sigma^2 \nabla^2 G(x,y) = (x^2 + y^2 - 2\sigma^2)\, e^{\,(x^2+y^2)/2\sigma^2}$$



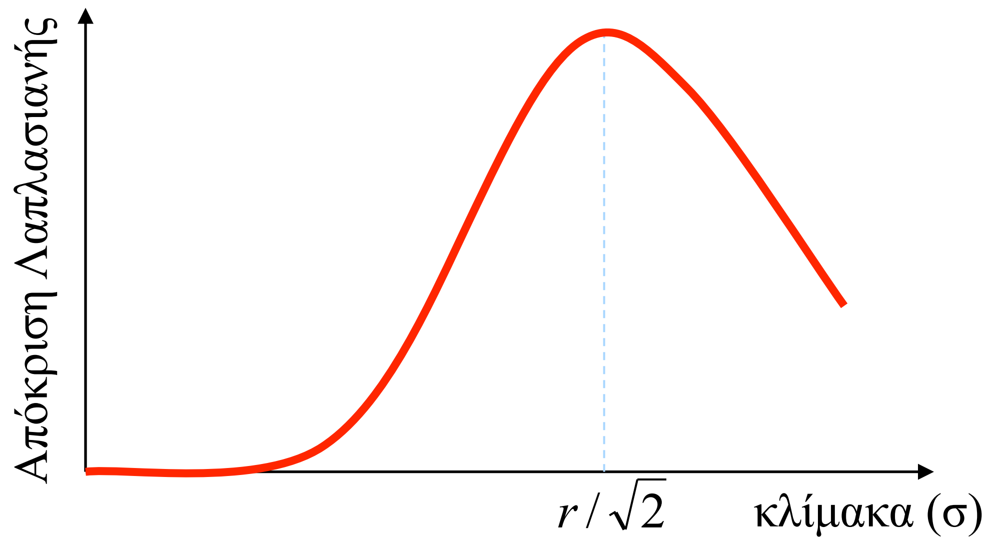


Υπολογιστική Όραση
Scale Invariant Features – 2-D blobs

Για μία δυαδική Σταγόνα ακτίνας r η συνέλιξη της Λαπλασιανής με την Σταγόνα εμφανίζει ένα μέγιστο στην κλίμακα: $\sigma = r/\sqrt{2}$

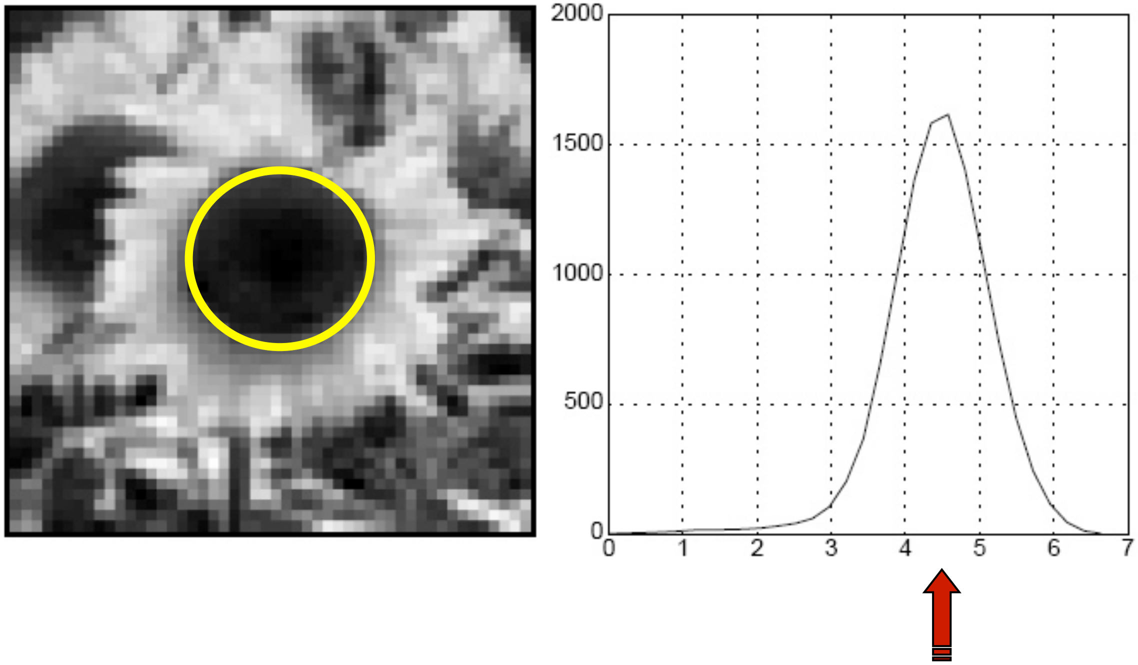


Εικόνα



Υπολογιστική Όραση
Scale Invariant Features – 2-D blobs

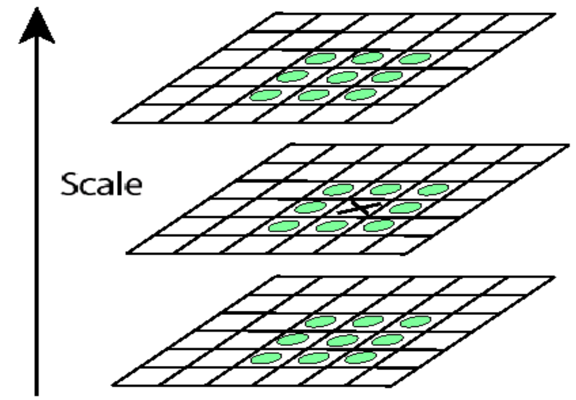
Χαρακτηριστική Κλίμακα



Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτές Scale Invariant blobs

Αλγόριθμος

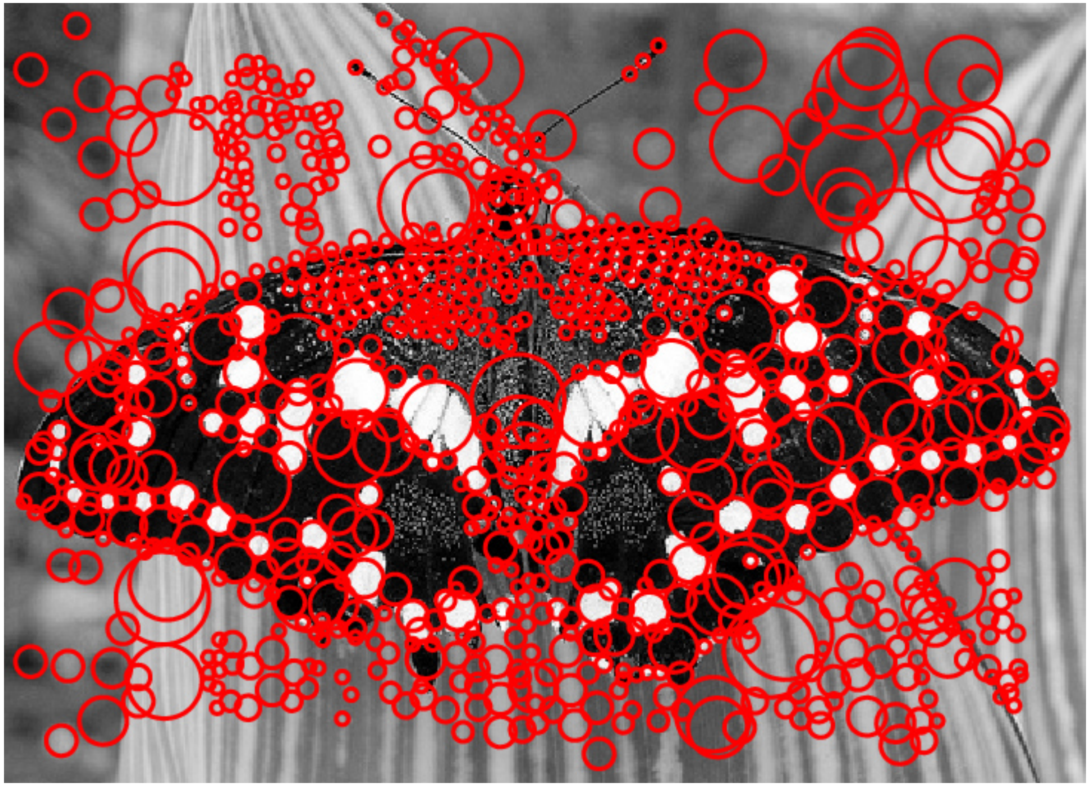
- Συνέλιξη της εικόνας με κανονικοποιημένες Laplacian σε διαφορετικές κλίμακες
- Εύρεση των ακροτάτων στο χώρο της κλίμακας.



Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτές Scale Invariant blobs

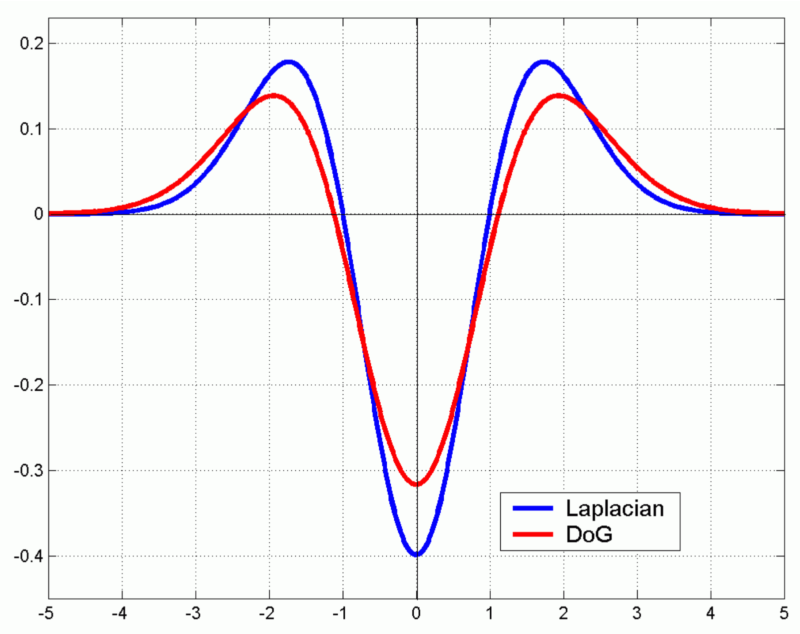
Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτές Scale Invariant blobs

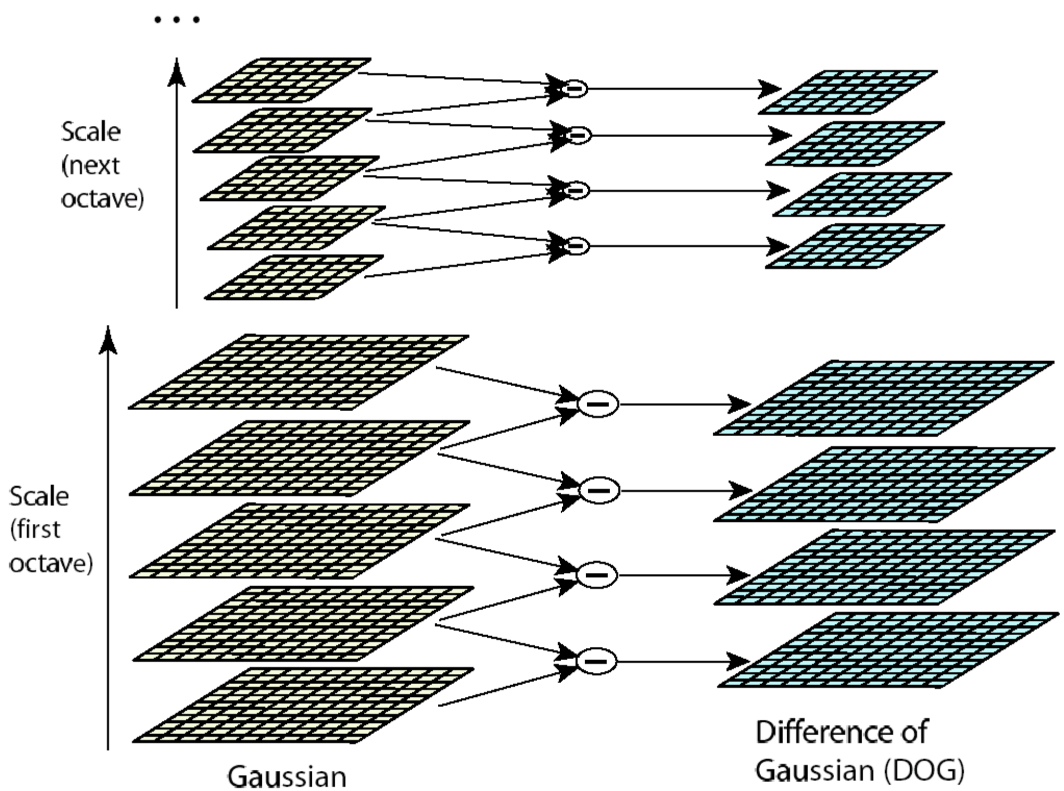


Υπολογιστική Όραση

Laplacian και DoG



Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτής SIFT-Ανάλυση



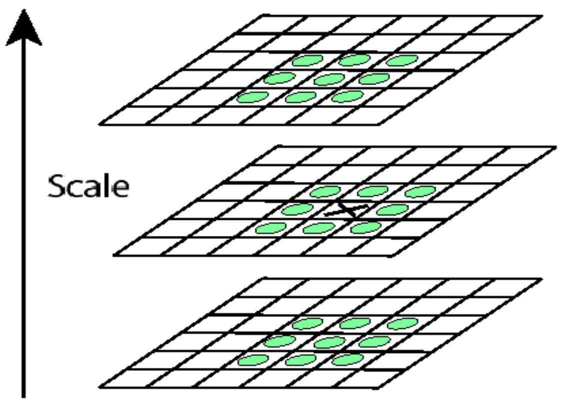
Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτής SIFT-Ανάλυση

- Εύρεση των ακροτάτων των DoG στο χώρο της κλίμακας
- Προσαρμογή τετραγωνικής μορφής για ακρίβεια υπο-εικονοστοιχείου και υπο-κλίμακας
- Σειρά Taylor γύρω από το σημείο:

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

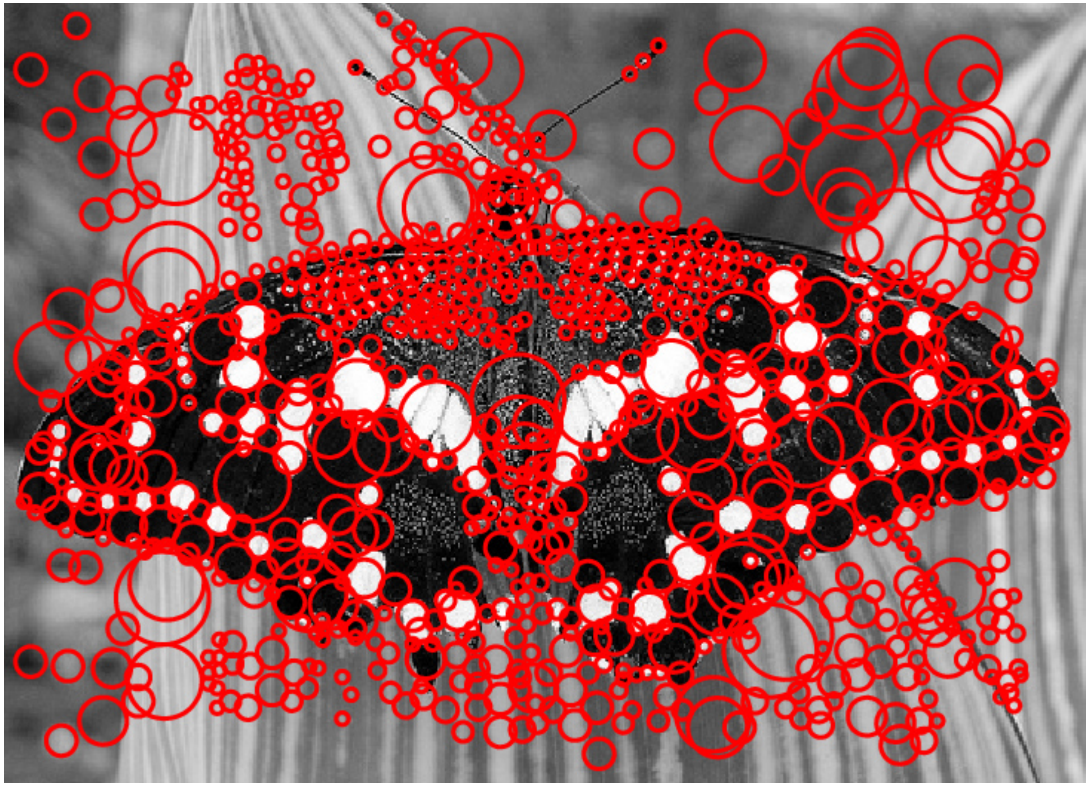
- Θέση του Ακρότατου:

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



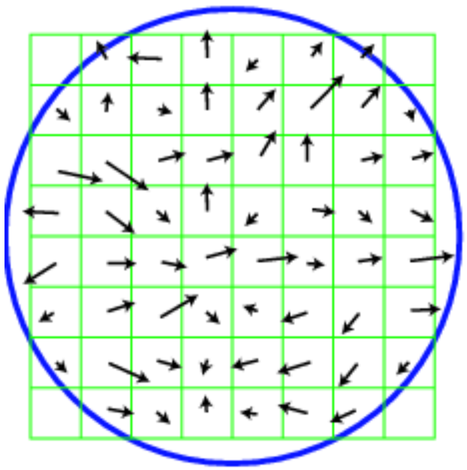
Υπολογιστική Όραση

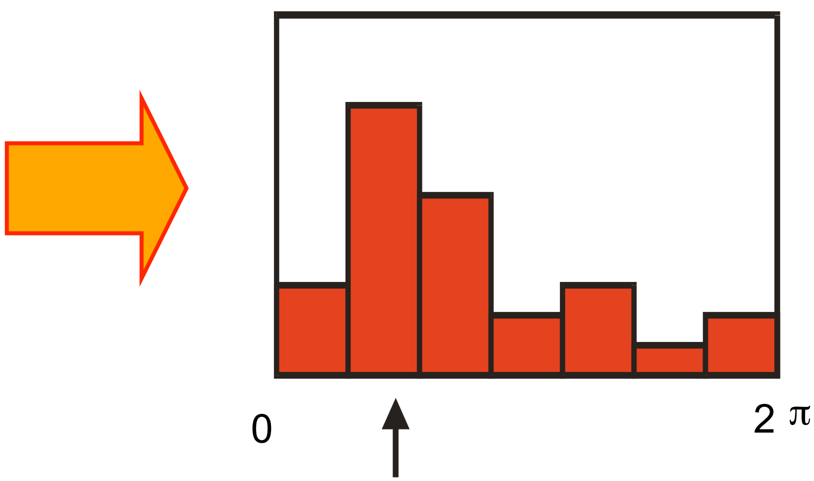
Ανιχνευτές Scale Invariant blobs



Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτές Scale Invariant blobs

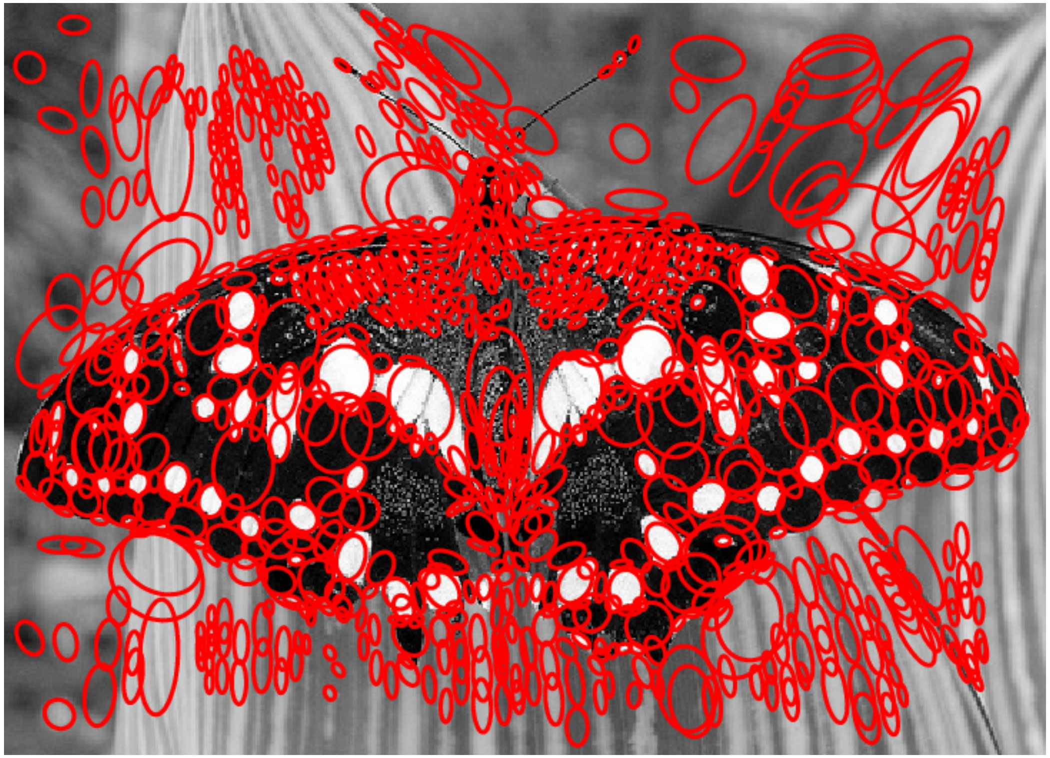
Εκχώρηση Προσανατολισμού





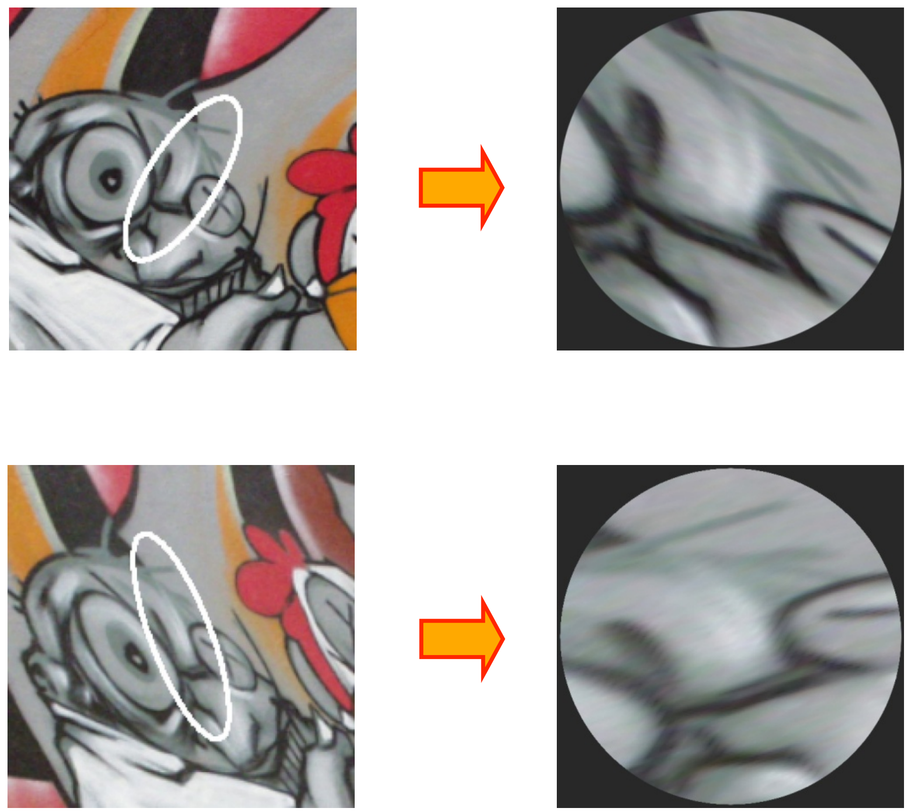
Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτές Scale Invariant blobs



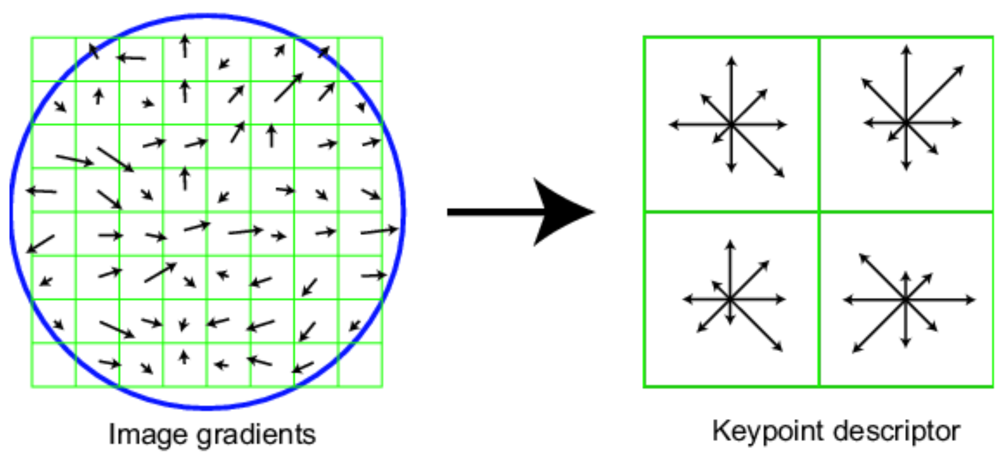
Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτές Scale Invariant blobs



Υπολογιστική Όραση
SIFT-Περιγραφείς Χαρακτηριστικών Σημείων

- Οι κατωφλιωμένες τιμές της απόκλισης σε παράθυρο μεγέθους 16x16 στο χώρο της κλίμακας
- Δημιουργία Ιστογραμμάτων προσανατολισμού
- 8 προσανατολισμοί x 4x4 Ιστογράμματα = 128 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ



Υπολογιστική Όραση

SIFT-Περιγραφείς Χαρακτηριστικών Σημείων