

Ανίχνευση χαρακτηριστικών

Σημεία 'πλούσιας' και στιβαρής αναπαράστασης

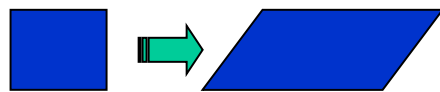
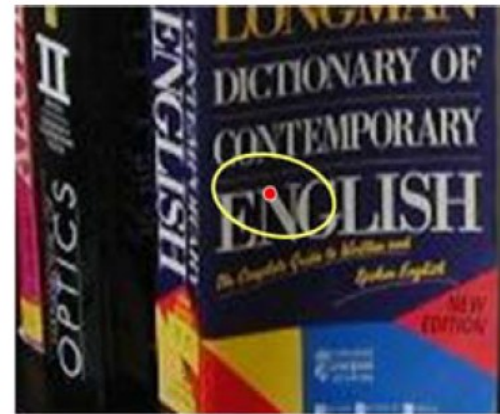
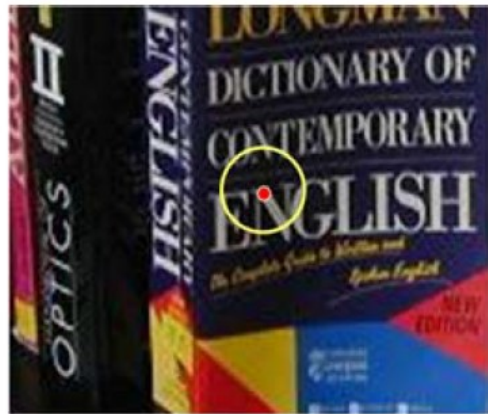
Χρήση σε αντιστοίχιση / αναγνώριση

Ανίχνευση γωνιών

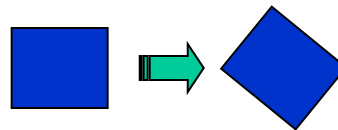
Ανίχνευση κηλίδων

Χαρακτηριστικά σε πολλαπλές κλίμακες

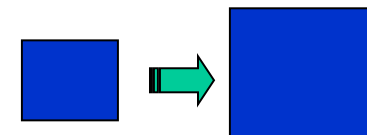
Αλλαγή οπτικής γωνίας / αφινικά συναλλοίωτα χαρακτηριστικά



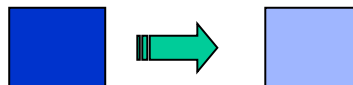
Αφινικός μετασχηματισμός



Περιστροφή



Αλλαγή κλίμακας



Γραμμικός φωτομετρικός μετασχηματισμός

Ανίχνευση γωνιών

Σταθμισμένη μέση τιμή τετραγωνικής απόκλισης

$$C(x, y) = \sum_s \sum_t w(s, t) (f(s+x, t+y) - f(s, t))^2$$

$$C(x, y) \approx \sum_s \sum_t w(s, t) (x f_x(s, t) + y f_y(s, t))^2$$

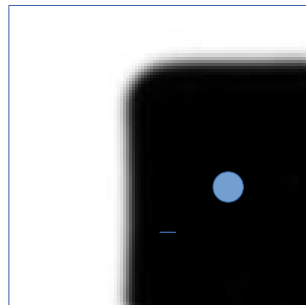
$$C(x, y) \approx \begin{bmatrix} x & y \end{bmatrix} M \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

Αλλαγή κατεύθυνσης διανύσματος κλίσης και σημαντικές ακμές

$$M = \sum_s \sum_t w(s, t) A(s, t) \quad A = \begin{bmatrix} f_x^2 & f_x f_y \\ f_x f_y & f_y^2 \end{bmatrix}$$

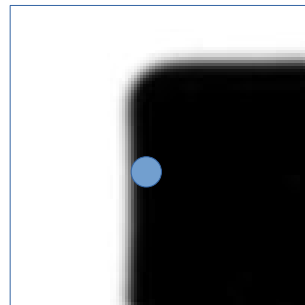
Ιδιοτιμές $M: \lambda_1, \lambda_2$

λ_1, λ_2 μικρές

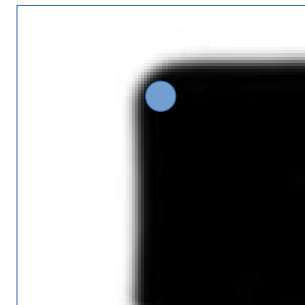


$\lambda_1 \gg \lambda_2 \approx 0$

$\lambda_2 \gg \lambda_1 \approx 0$



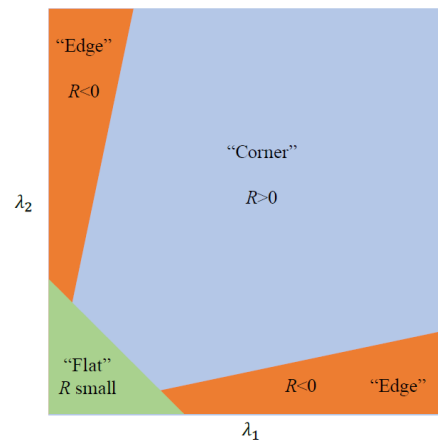
$\lambda_1 \gg 0, \lambda_2 \gg 0$



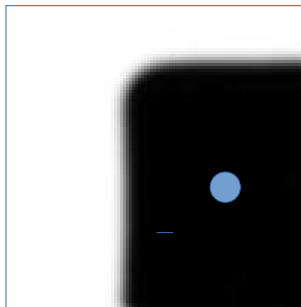
Ανίχνευση γωνιών (Harris & Stephens)

$$M = \sum_s \sum_t w(s, t) A(s, t) \quad A = \begin{bmatrix} f_x^2 & f_x f_y \\ f_x f_y & f_y^2 \end{bmatrix}$$

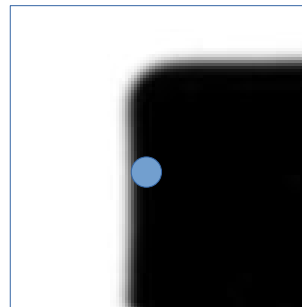
$$R = |M| - k(\text{trace } M)^2 = \lambda_1 \lambda_2 - k(\lambda_1 + \lambda_2)^2, \quad 0 < k < 0.25 \quad \text{Τυπικά } k \simeq 0.05$$



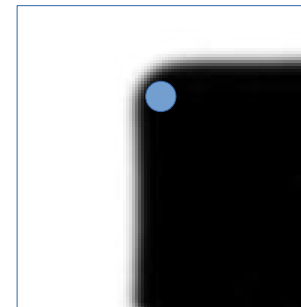
R μικρό



R αρνητικό



R θετικό και μεγάλο



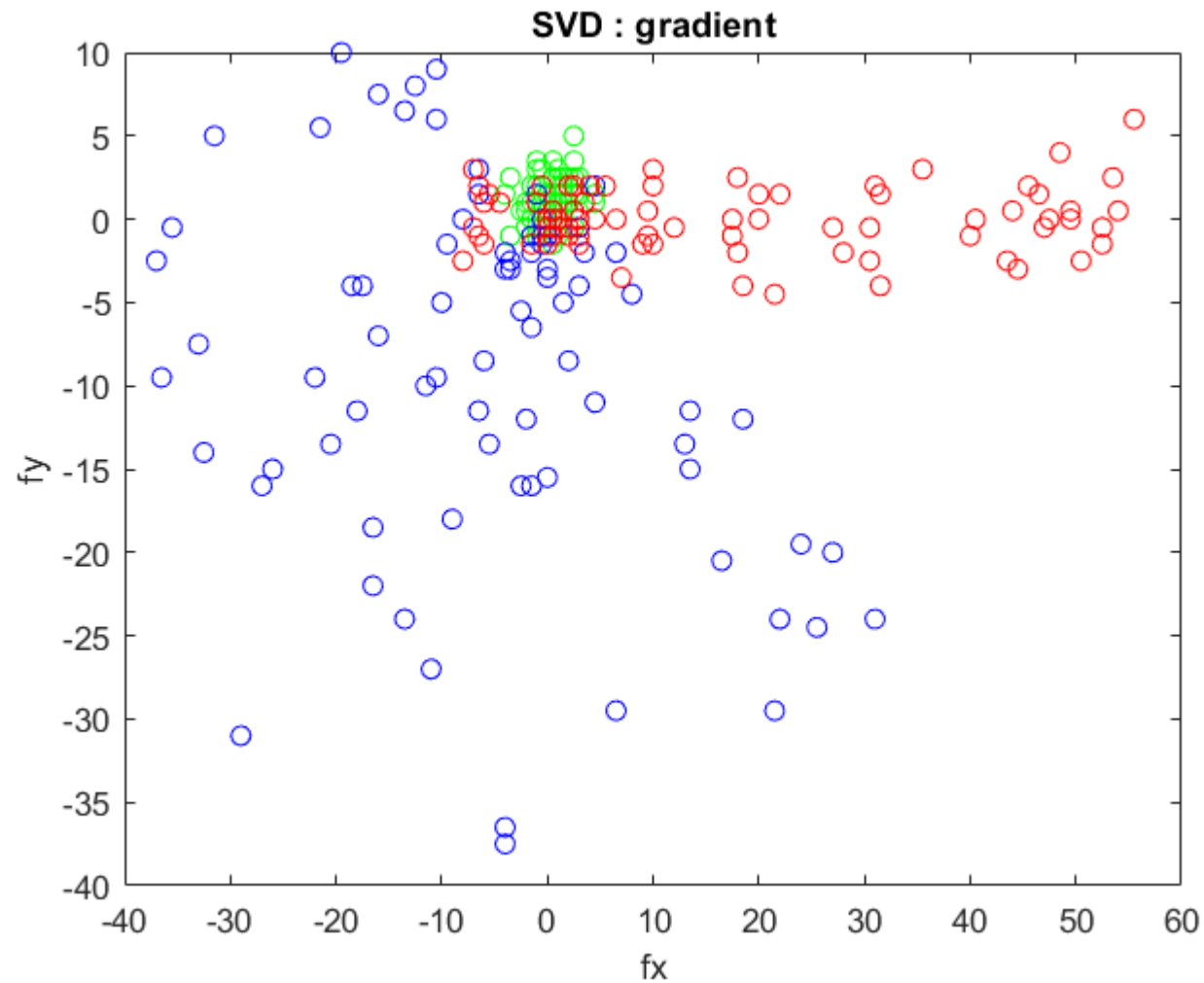
Εύρεση τοπικών
μεγίστων R

Ανίχνευση γωνιών (Harris & Stephens)

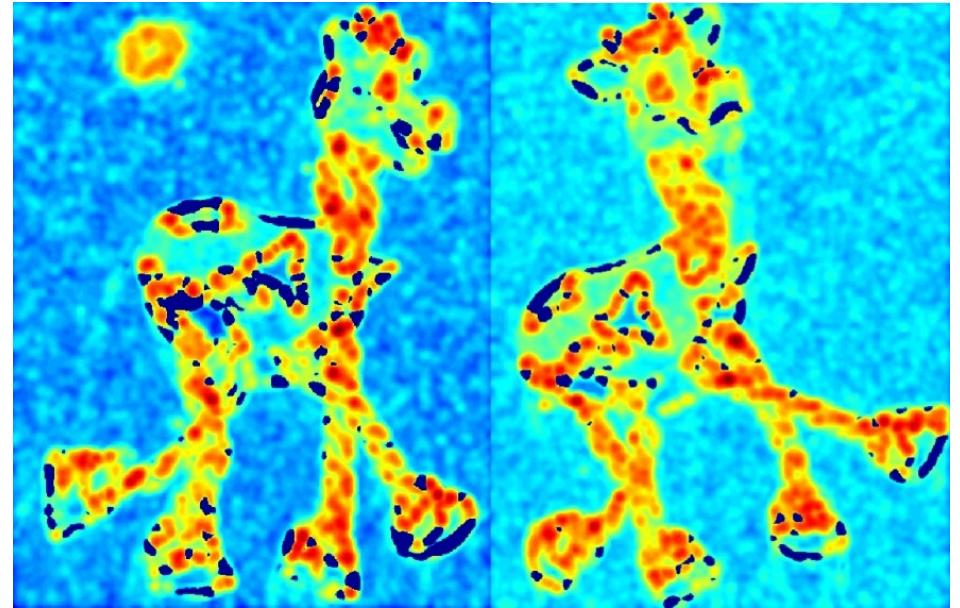
$$R = |M| - k(\text{trace } M)^2 = \lambda_1 \lambda_2 - k(\lambda_1 + \lambda_2)^2$$



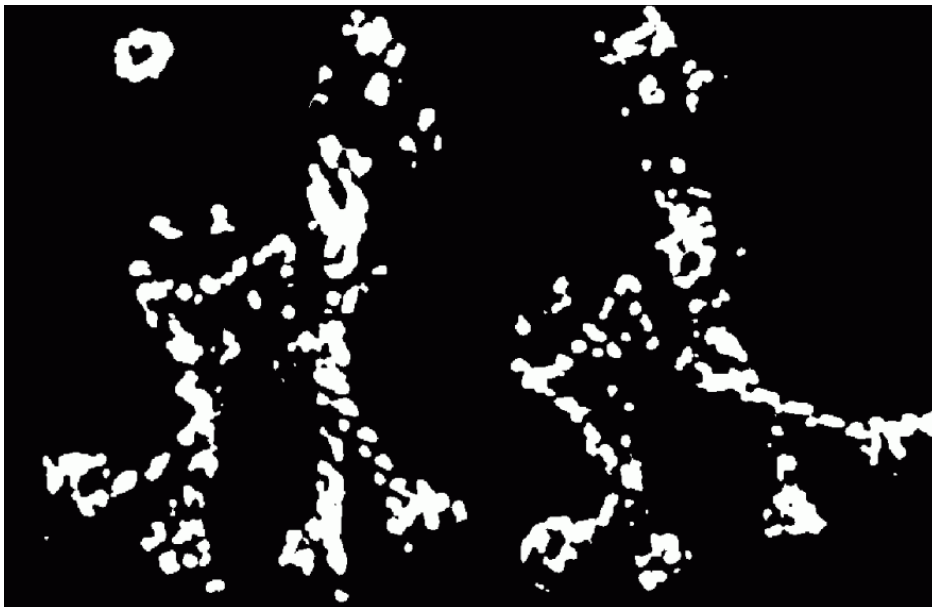
Ανίχνευση γωνιών : διανύσματα κλίσης



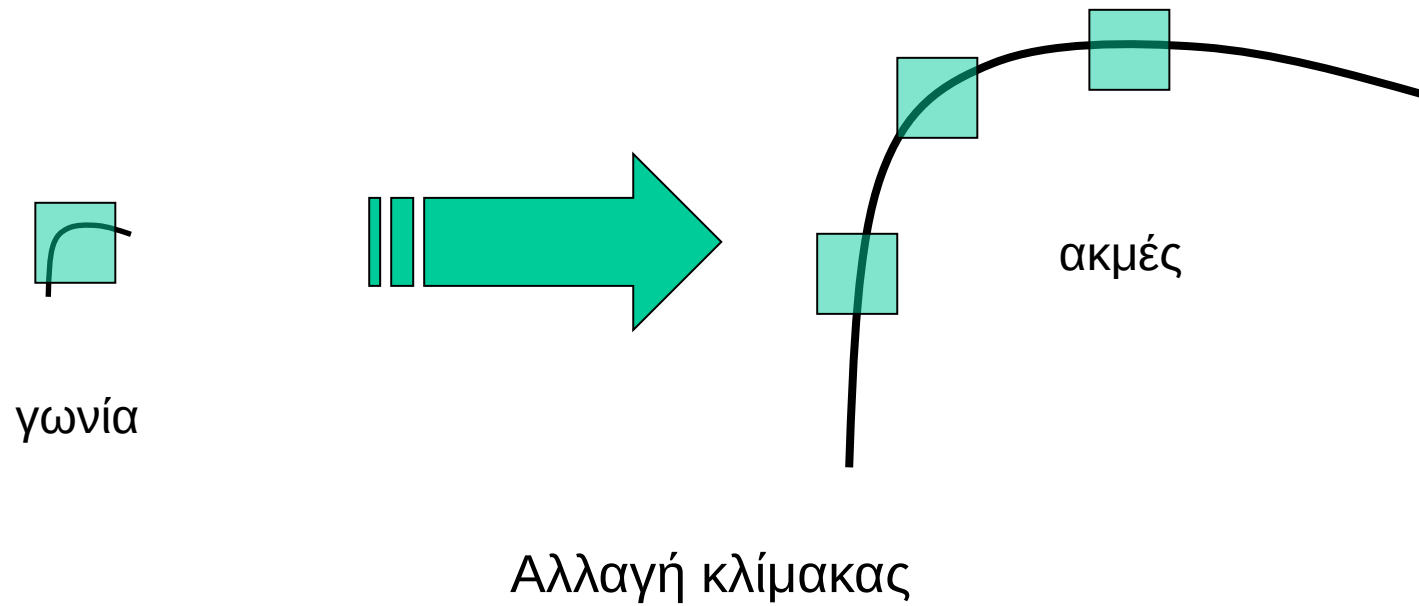
Ανίχνευση γωνιών : αναλλοίωτη



$$R = |M| - k(\text{trace } M)^2 = \lambda_1 \lambda_2 - k(\lambda_1 + \lambda_2)^2$$



Ανίχνευση γωνιών : μη αναλλοίωτη



Ανίχνευση γωνιών (Shi & Tomasi)

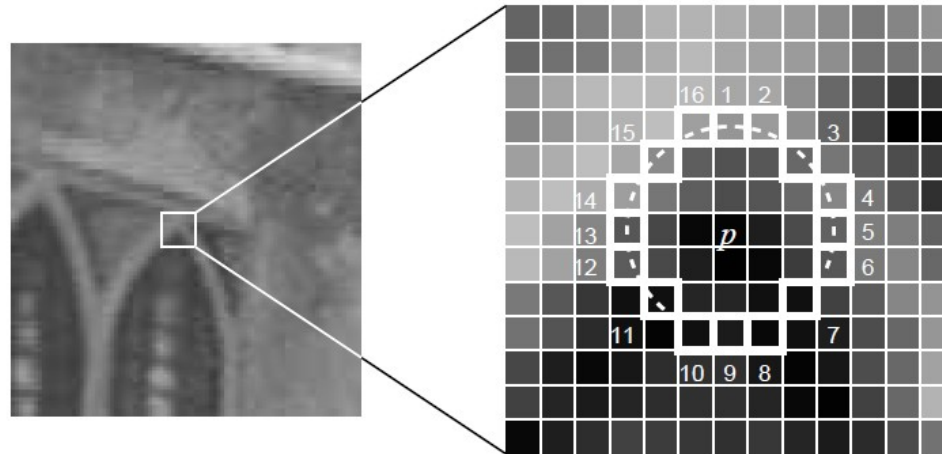
$$R = \min(\lambda_1, \lambda_2)$$



J. Shi and C. Tomasi. Good Features to track,
IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 1994

Ανίχνευση γωνιών

(Features from Accelerated Segment Test)



Ας θεωρηθεί κυκλική περιοχή ακτίνας r γύρω από το υποψήφιο σημείο p
Αν n συνεχόμενα σημεία είναι όλα φωτεινότερα από τον πυρήνα κατά τουλάχιστον t ,
ή όλα σκοτεινότερα από τον πυρήνα κατά τουλάχιστον t ,
το σημείο p ανιχνεύεται ως γωνιακό.

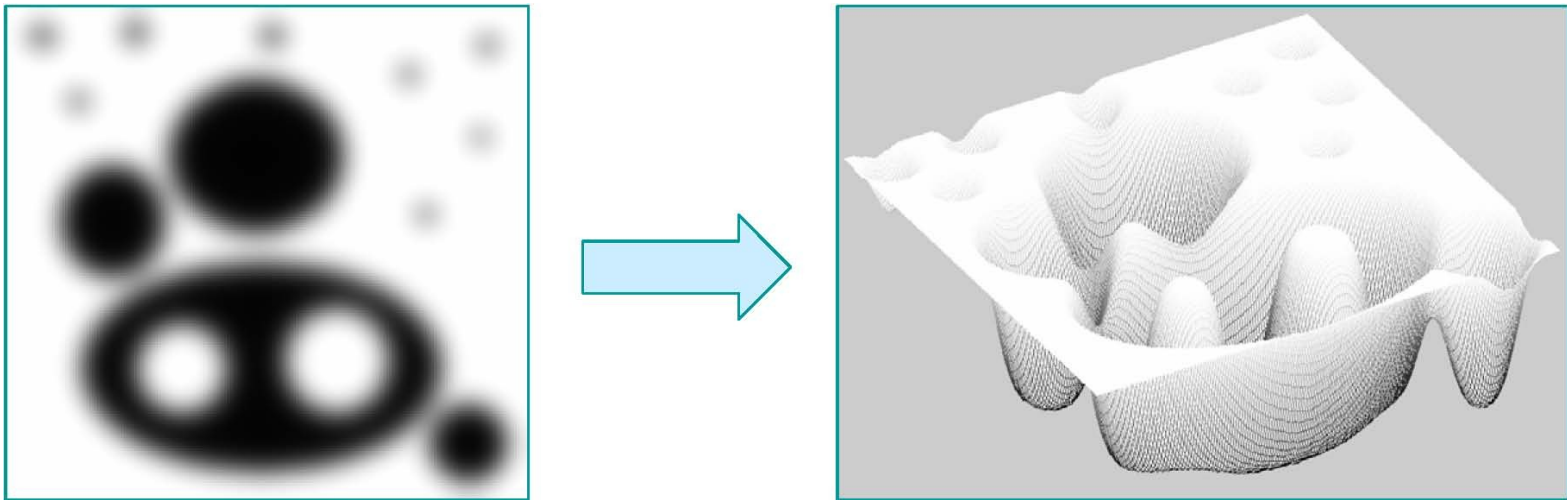
Ανίχνευση γωνιών

(Features from Accelerated Segment Test)



Περιοχές ακρότατων μέγιστης σταθερότητας

Περιοχές χαρακτηριζόμενες από σχεδόν ομοιόμορφη ένταση περιβαλλόμενη από εμφανώς αντίθετο παρασκήνιο



Συγγένεια με υδατοφράγματα

Περιοχές ακρότατων μέγιστης σταθερότητας

Περιοχές χαρακτηριζόμενες από σχεδόν ομοιόμορφη ένταση περιβαλλόμενη από εμφανώς αντίθετο παρασκήνιο

Ακολουθία δυαδικοποιήσεων με 'κατώφλι'

$$T + (n-1)\Delta T, \quad n=1,2,\dots$$

Εύρεση συνδεδεμένων συνιστωσών των σημείων πάνω από το 'κατώφλι', για ανίχνευση φωτεινών περιοχών σε σκοτεινό περιβάλλον

Εύρεση συνδεδεμένων συνιστωσών των σημείων κάτω από το 'κατώφλι', για ανίχνευση σκοτεινών περιοχών σε φωτεινό περιβάλλον

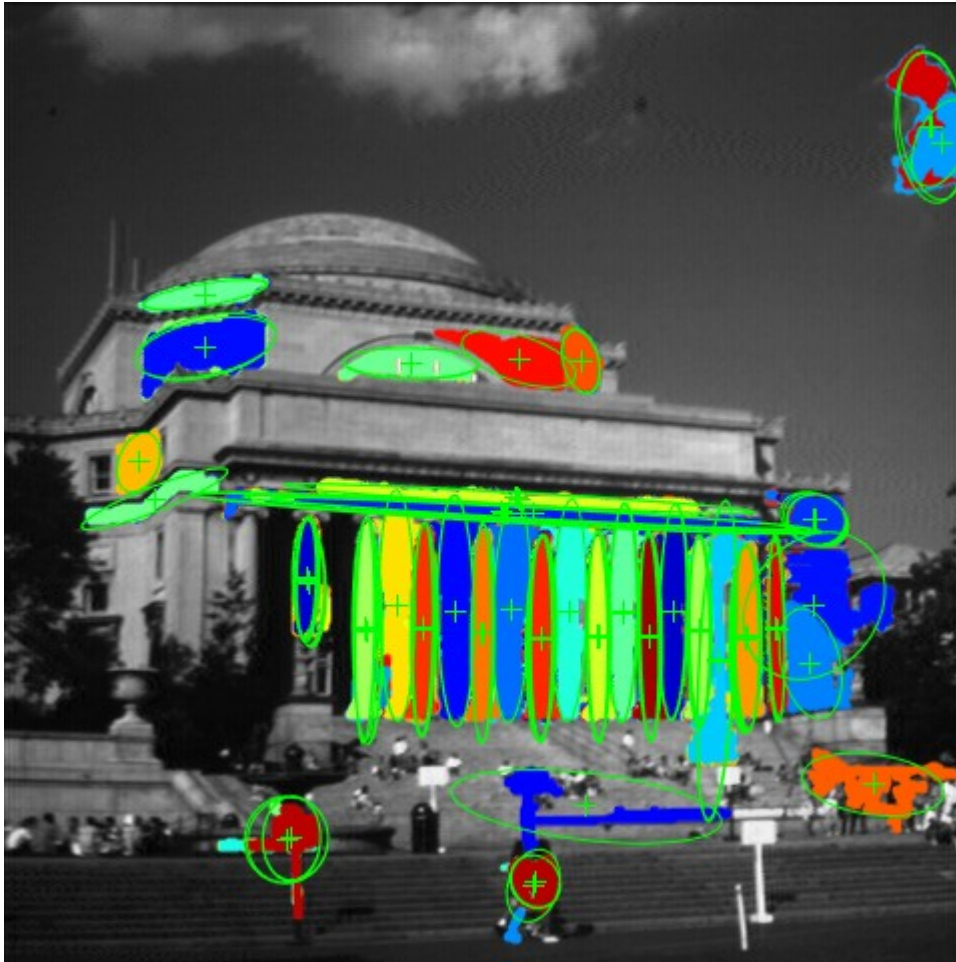
Ανίχνευση σταθερών συνδεδεμένων συνιστωσών

Μέτρο ευστάθειας

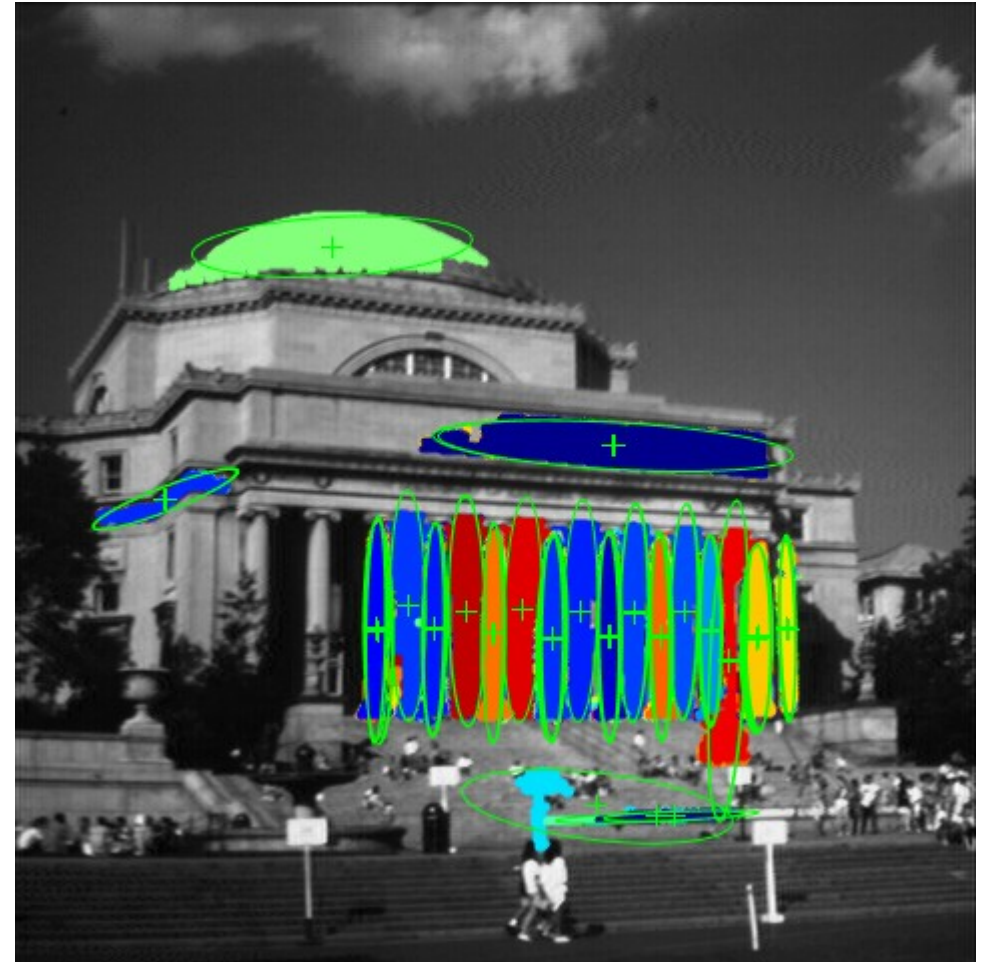
$$\psi = \frac{|R_i^{T+(n-1)\Delta T}| - |R_i^{T+(n+1)\Delta T}|}{|R_i^{T+n\Delta T}|}$$

Τοπικό ελάχιστο του μέτρου ευστάθειας

Περιοχές ακρότατων μέγιστης σταθερότητας

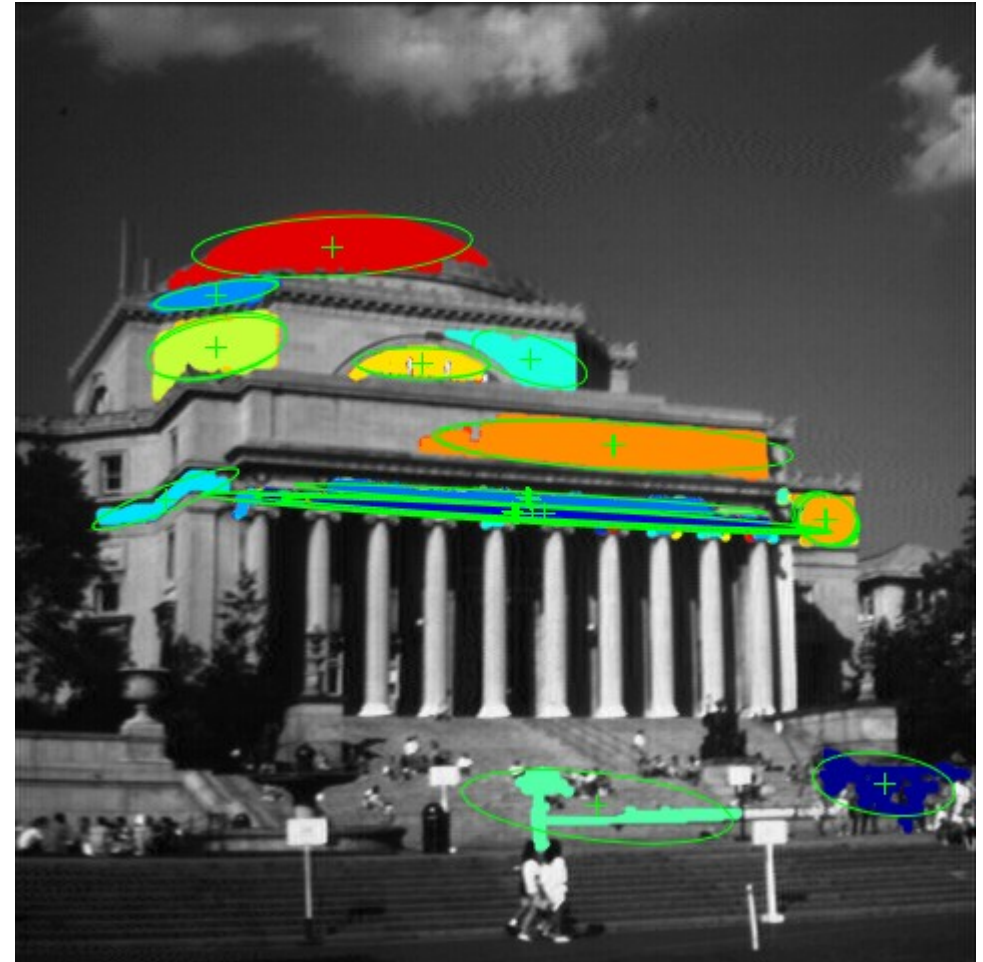
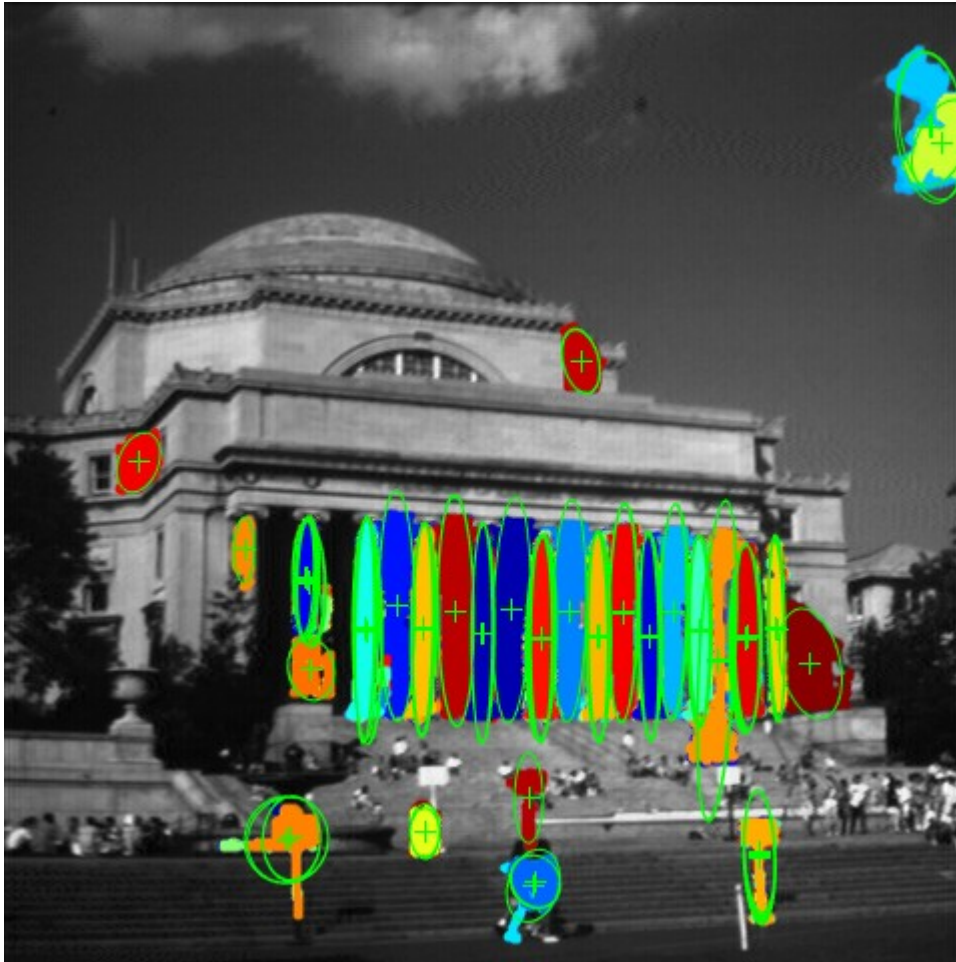


Περιορισμός μεγέθους περιοχών



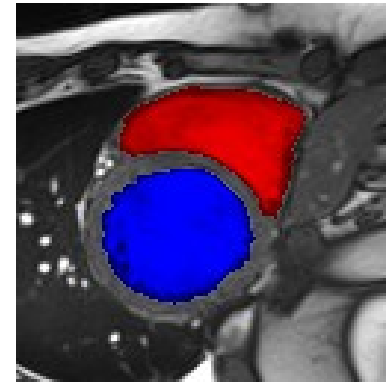
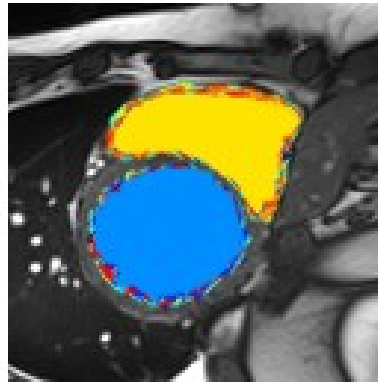
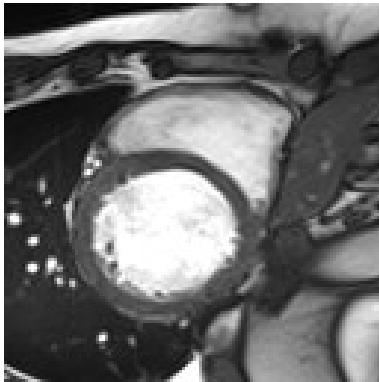
Περιορισμός εκκεντρότητας

Περιοχές ακρότατων μέγιστης σταθερότητας



Περιορισμός κατεύθυνσης

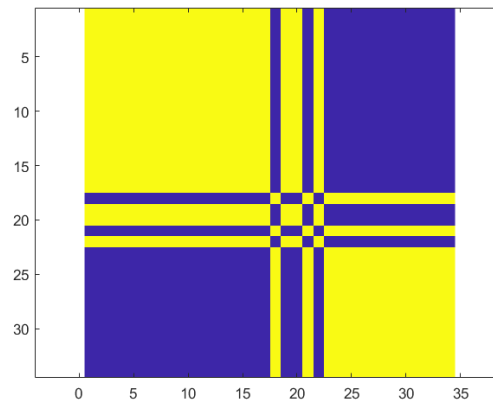
Περιοχές ακρότατων μέγιστης σταθερότητας



$$\Delta T \approx 10$$

Περιορισμός
μεγέθους

Περιορισμός
αύξησης



Περιοχές μέγιστης
σταθερότητας και
μέγιστης έκτασης

Ανίχνευση χαρακτηριστικών και κλίμακα

Η ανίχνευση γωνιών δεν είναι αναλλοίωτη στην αλλαγή κλίμακας
Για σύγκριση εικόνων είναι χρήσιμη η εξαγωγή χαρακτηριστικών
σε πολλαπλές κλίμακες

Η συνέλιξη με φίλτρο Gauss επιτρέπει τη μεταβολή με την κλίμακα (σ)

$$h(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$

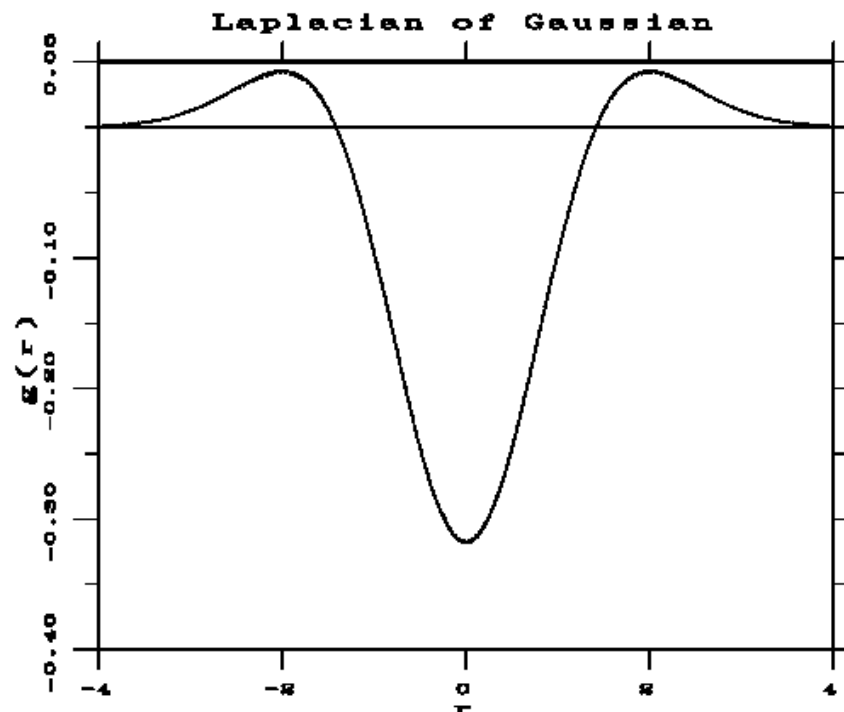
Μείωση της ανάλυσης

Ανίχνευση κηλίδων και κλίμακα

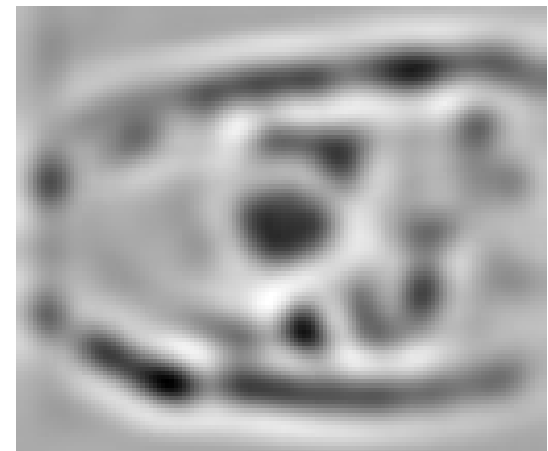
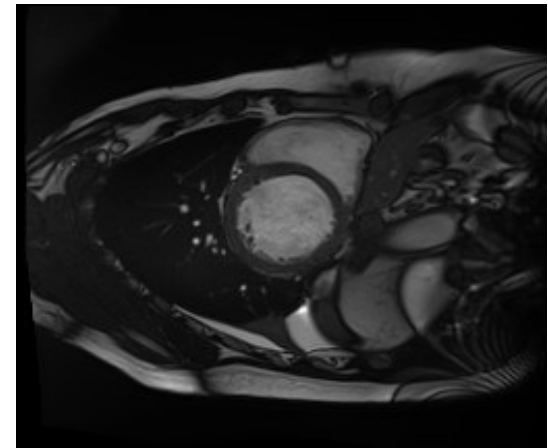
Η ανίχνευση κηλίδων μπορεί να γίνει με τη λαπλασιανή του φίλτρου Gauss

$$g(r) = \frac{1}{\pi \sigma^4} \left(\frac{r^2}{2\sigma^2} - 1 \right) \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad r^2 = x^2 + y^2$$

σ : παράγοντας κλίμακας



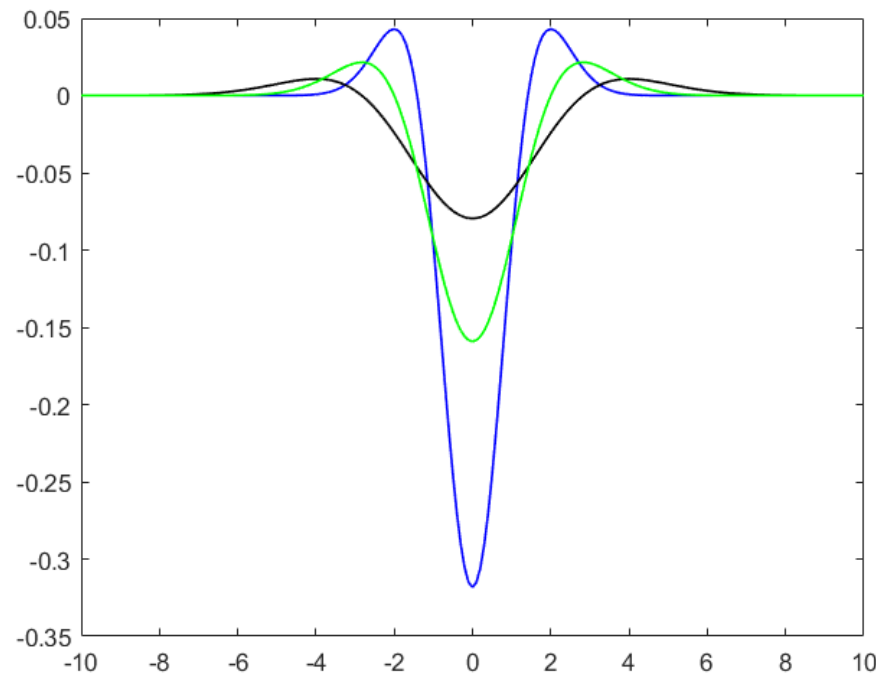
Ανίχνευση κηλίδων ακτίνας $\rho = \sigma \sqrt{2}$



Ανίχνευση κηλίδων πολλαπλών κλίμακων

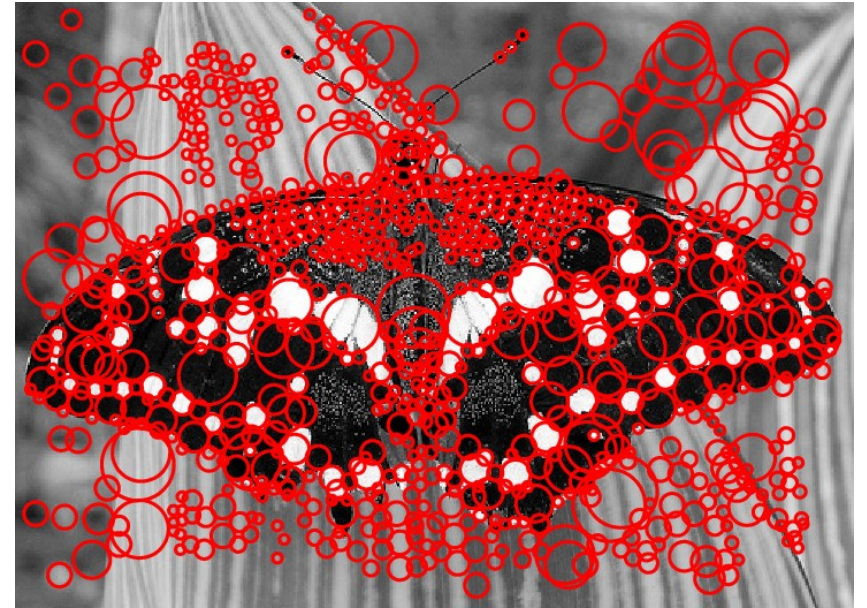
Αύξηση της κλίμακας συνεπάγεται μείωση της απόκρισης
Κανονικοποίηση της λαπλασιανής του φίλτρου Gauss ως προς την κλίμακα

$$g_n(r) = \frac{1}{\pi \sigma^2} \left(\frac{r^2}{2\sigma^2} - 1 \right) \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad r^2 = x^2 + y^2$$



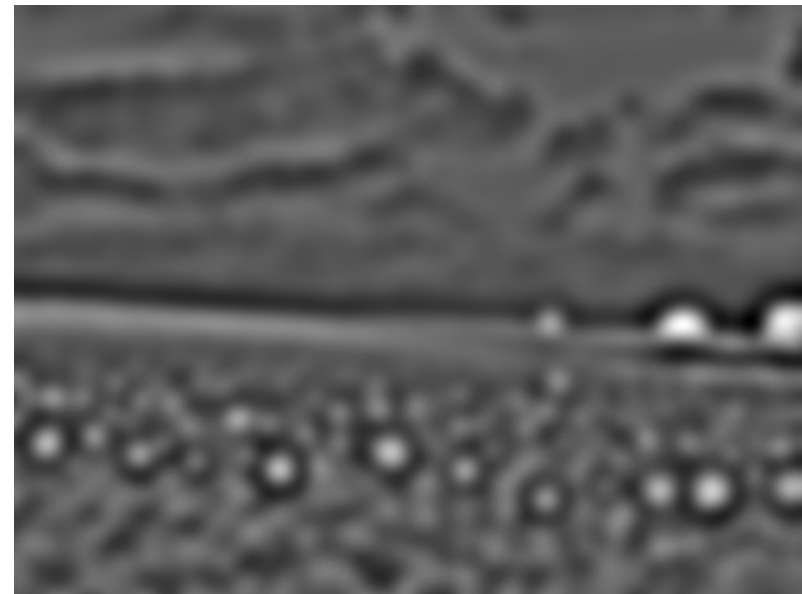
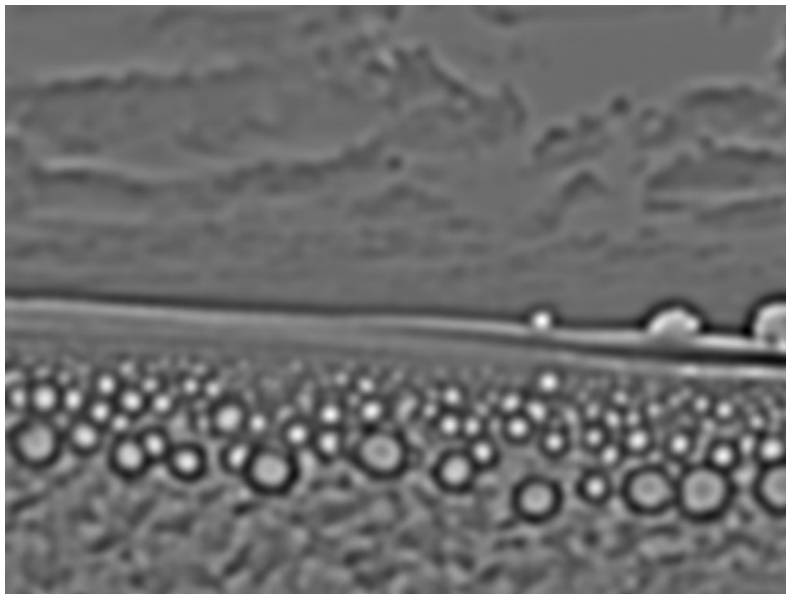
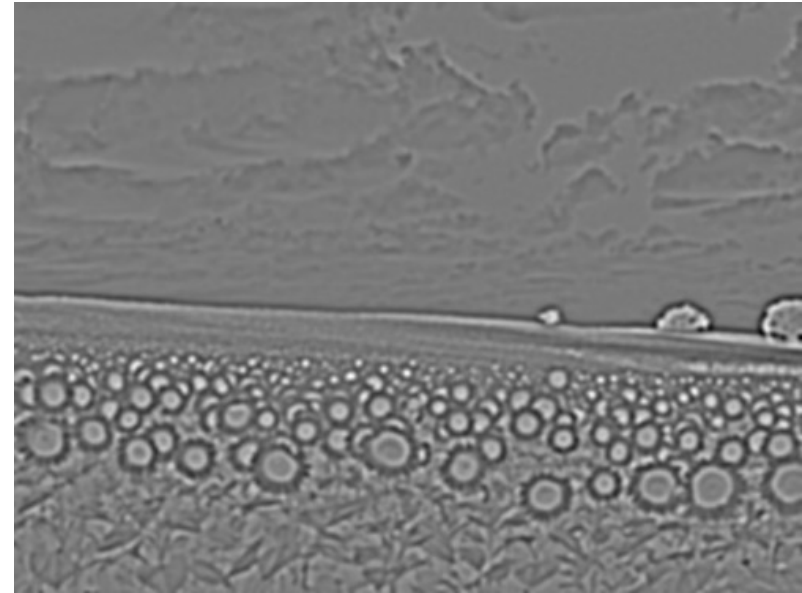
Ανίχνευση ακρότατων ως προς θέση και κλίμακα

Ανίχνευση κηλίδων πολλαπλών κλιμάκων

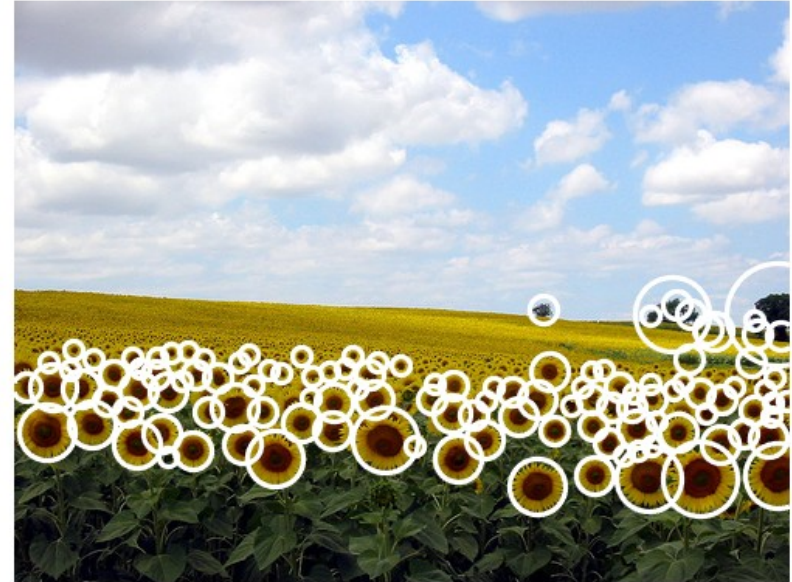


Ανίχνευση ακρότατων ως προς θέση και κλίμακα

Ανίχνευση κηλίδων πολλαπλών κλιμάκων



Ανίχνευση κηλίδων πολλαπλών κλιμάκων



Ανίχνευση ακρότατων ως προς θέση και κλίμακα

Ανίχνευση κηλίδων : διαφορά Gauss (DoG)

$$g_n(r) \propto \frac{1}{2\pi\sigma_1^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_1^2}\right) - \frac{1}{2\pi\sigma_2^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_2^2}\right)$$

$$\sigma_1^2 = 1.28\sigma^2, \quad \sigma_2^2 = 0.8\sigma^2$$

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2} - 1\right) g_n(r) \approx \frac{1}{2\pi\sigma_1^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_1^2}\right) - \frac{1}{2\pi\sigma_2^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_2^2}\right)$$

Διαφορά Gauss (σ_1, σ_2) ανάλογη της
κανονικοποιημένης λαπλασιανής Gauss (σ)

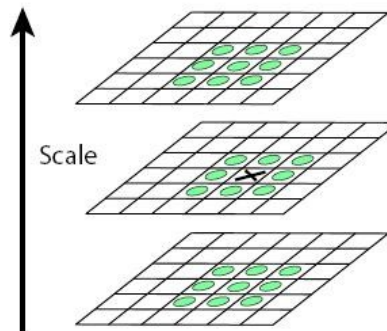
Ανίχνευση ακρότατων διαφοράς Gauss

$$g_n(r) \propto \frac{1}{2\pi\sigma_1^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_1^2}\right) - \frac{1}{2\pi\sigma_2^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_2^2}\right)$$

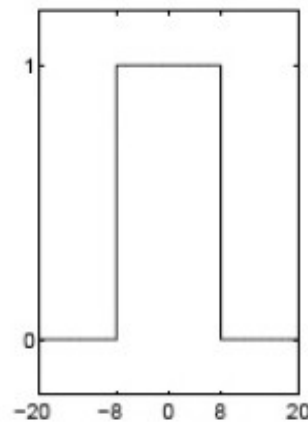
$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = k = \sqrt{2}$$

Προσέγγιση κανονικοποιημένης λαπλασιανής Gauss

Τοπικά ακρότατα ως προς θέση και κλίμακα

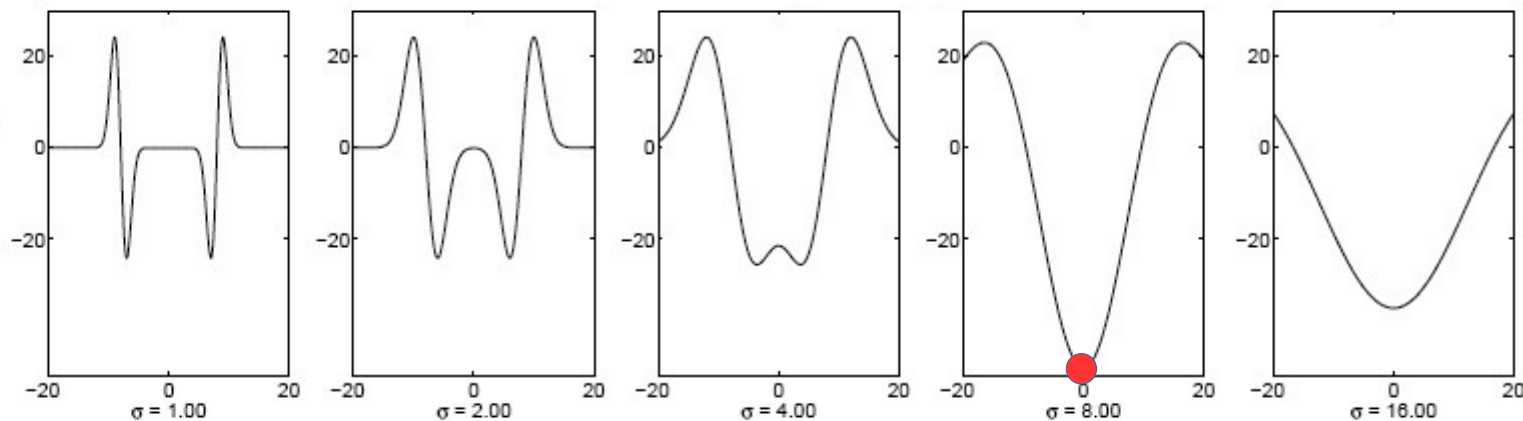


Ανίχνευση ακρότατων λαπλασιανής Gauss



Αρχικό σήμα

Κανονικοποιημένη λαπλασιανή Gauss (σ)



Ακρότατο

Τοπικά ακρότατα ως προς θέση και κλίμακα

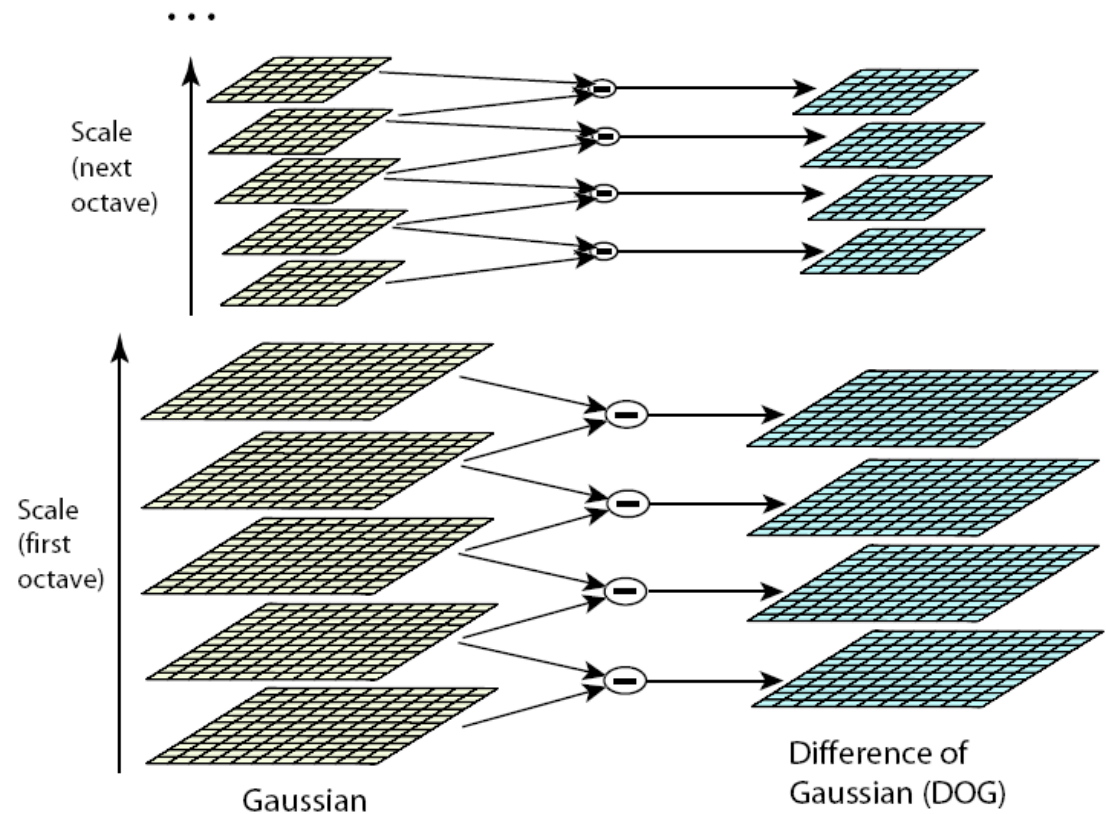
Ανίχνευση σημείων ενδιαφέροντος (SIFT)

Χωρισμός της κλίμακας σε οκτάβες

Σταθερός λόγος αλλαγής κλίμακας

Από οκτάβα σε οκτάβα υποδειγματοληψία

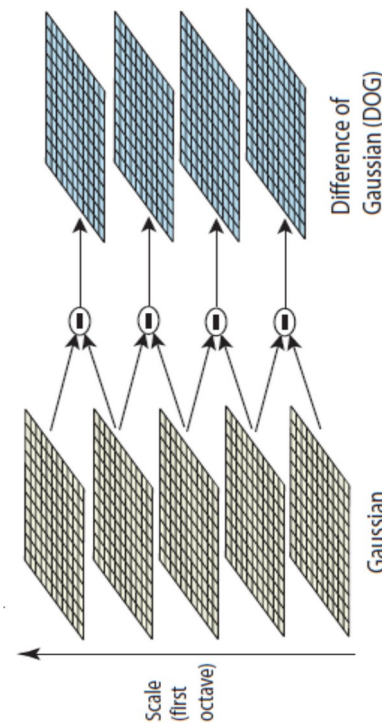
Κλίμακα (s+3)	Οκτάβα		
	0.707	1.414	2.828
	1.000	2.000	4.000
	1.414	2.828	5.657
	2.000	4.000	8.000
	2.828	5.657	11.314



Ανίχνευση σημείων ενδιαφέροντος (SIFT)



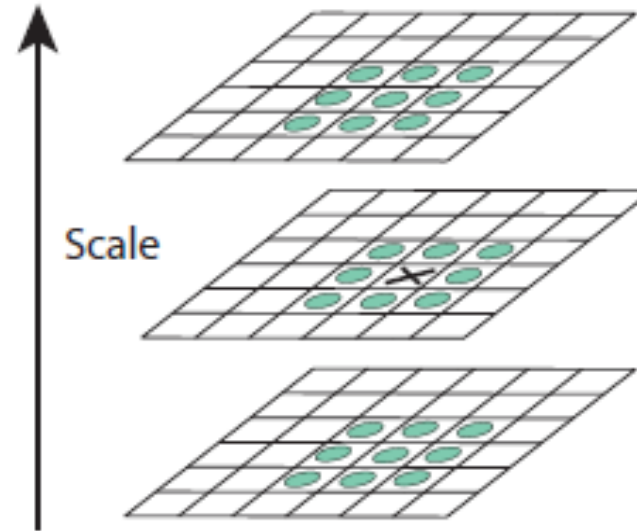
Πρώτη οκτάβα
 $s=2$



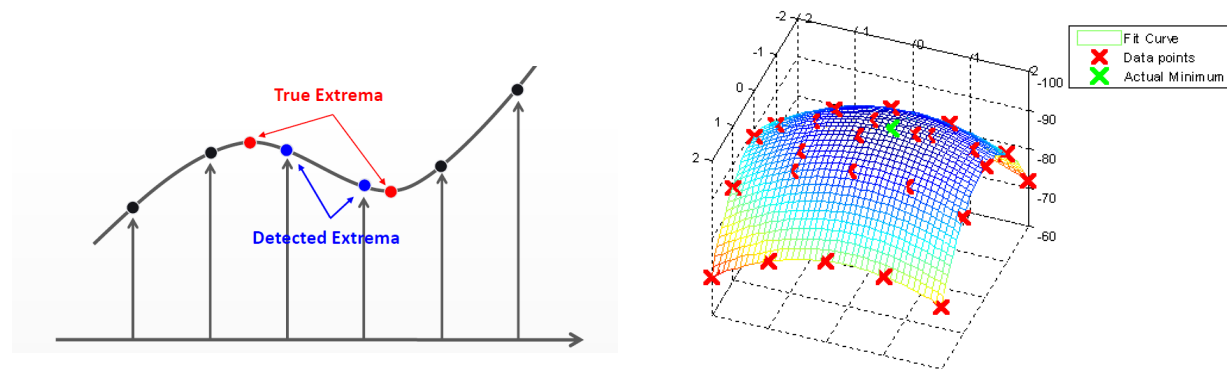
Εικόνες διαφοράς

Ανίχνευση σημείων ενδιαφέροντος

Ανίχνευση ακρότατων (θέση / κλίμακα)



Βελτίωση ακρίβειας θέσης



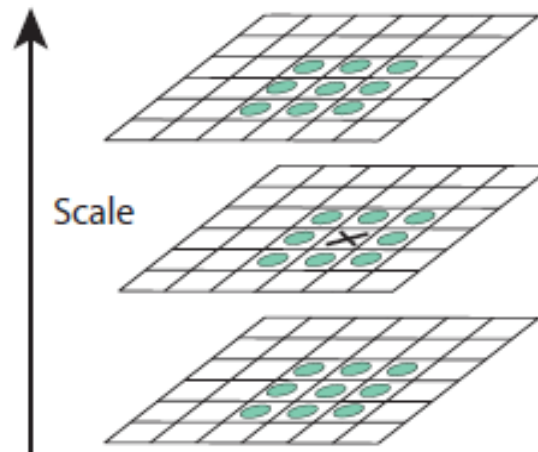
Ανίχνευση σημείων ενδιαφέροντος

Εξάλειψη σημείων ακμής (κριτήριο ανίχνευσης γωνιών)

$D(\sigma)$ Απόκριση διαφοράς φίλτρων Gauss

Εσσιανός πίνακας $H = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} \\ D_{yx} & D_{yy} \end{bmatrix}$

Κριτήριο γωνίας $\frac{(tr H)^2}{det H}$



Ανίχνευση σημείων ενδιαφέροντος

Ανίχνευση ακρότατων (θέση / κλίμακα) **B**

Βελτίωση ακρίβειας θέσης και απόρριψη σημείων με χαμηλή αντίθεση **Γ**

Εξάλειψη σημείων ακμής (κριτήριο ανίχνευσης γωνιών) **Δ**

A



B



Γ



Δ



Σημείο-κλειδί : κατεύθυνση

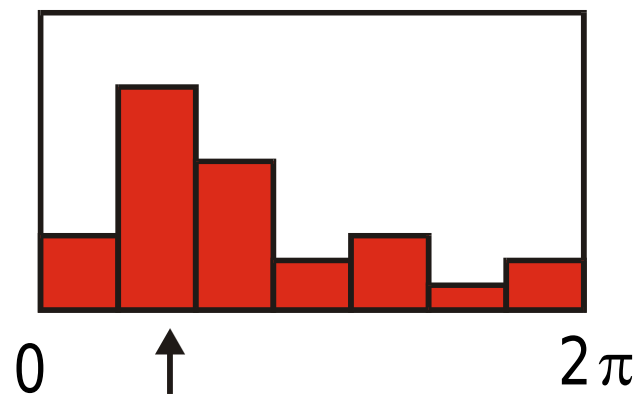
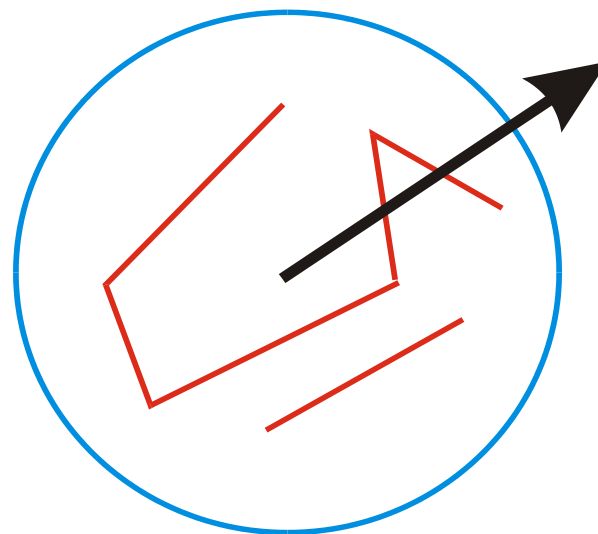
Υπολογισμός ιστογράμματος των κατευθύνσεων της κλίσης τοπικά (36 τιμές)

$$\theta(x, y) = \arctan \frac{L(x, y+1) - L(x, y-1)}{L(x+1, y) - L(x-1, y)}$$

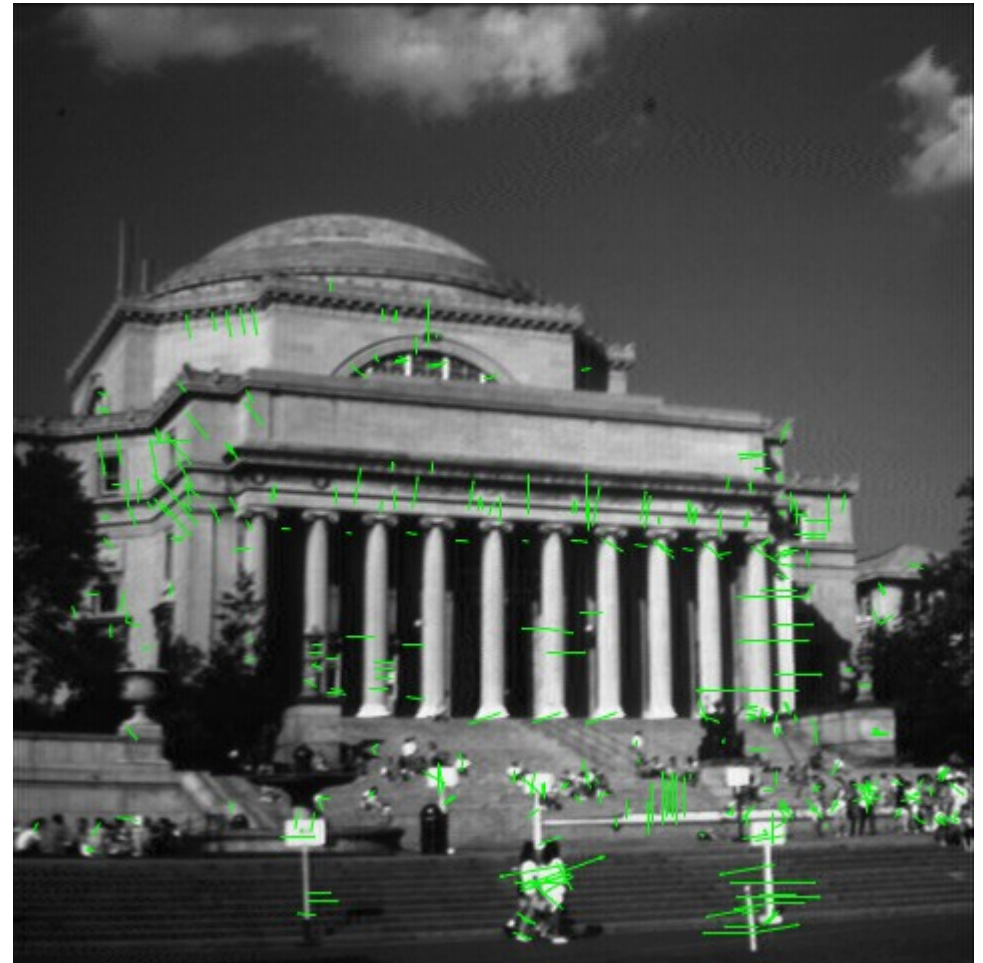
Στάθμιση με μέτρο κλίσης και απόσταση από κέντρο

Εύρεση επικρατούσας κατεύθυνσης (ή και επικρατουσών)

Προσδιορισμός σημείου κλειδιού : θέση, κλίμακα, κατεύθυνση



Σημεία-κλειδιά : κατεύθυνση

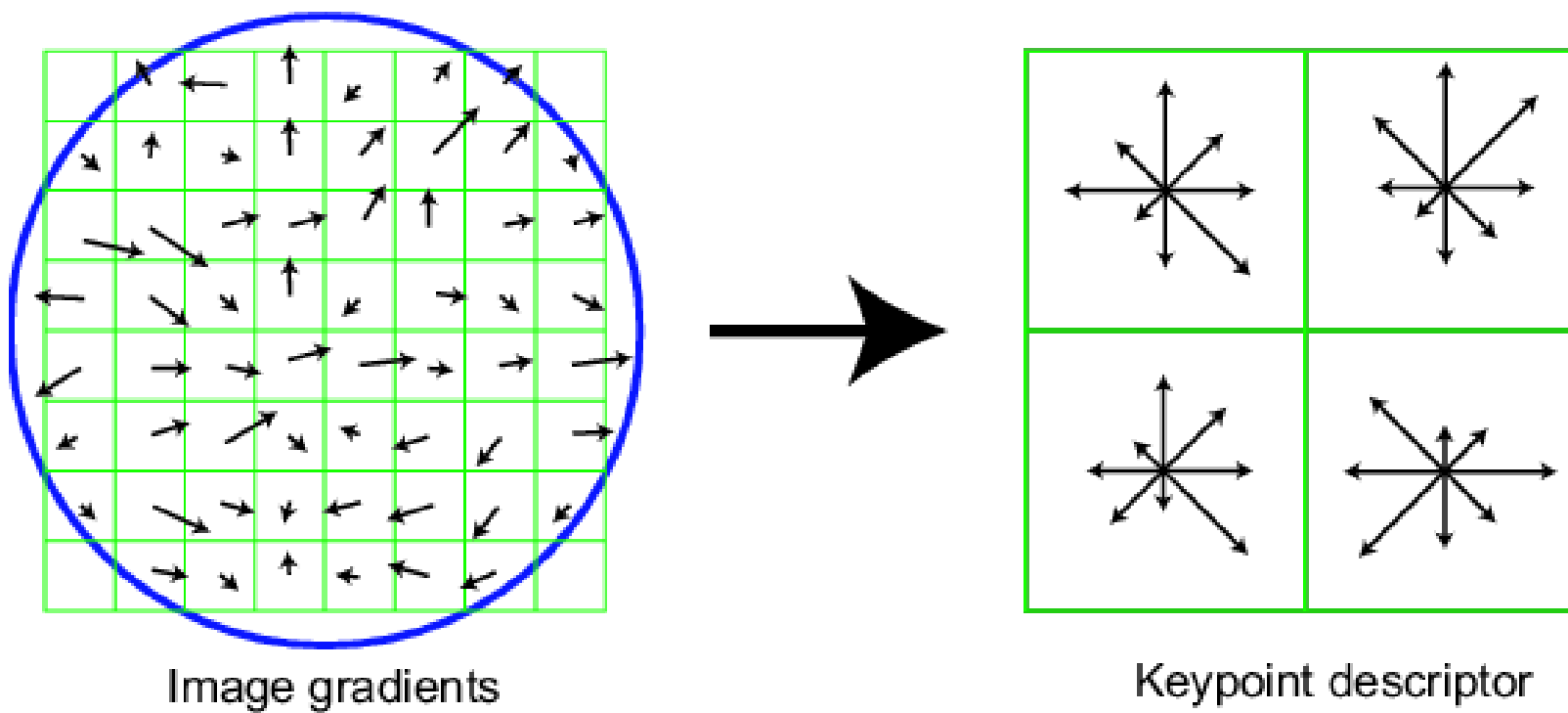


Σημεία-κλειδιά : περιγραφή

Μπλοκ 16 x16 θέσεων χωρισμένο σε 4x4 υπο-μπλόκ

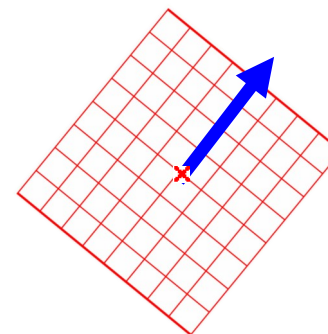
Ιστόγραμμα κλίσης με 8 κατευθύνσεις

Περιγραφέας : $4 \times 4 \times 8 = 128$ τιμές

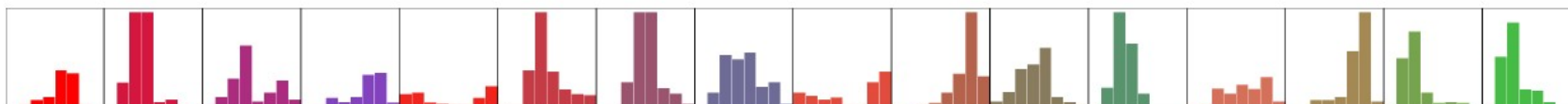


Σημεία-κλειδιά : περιγραφή

Περιγραφή με αναφορά στην κατεύθυνση

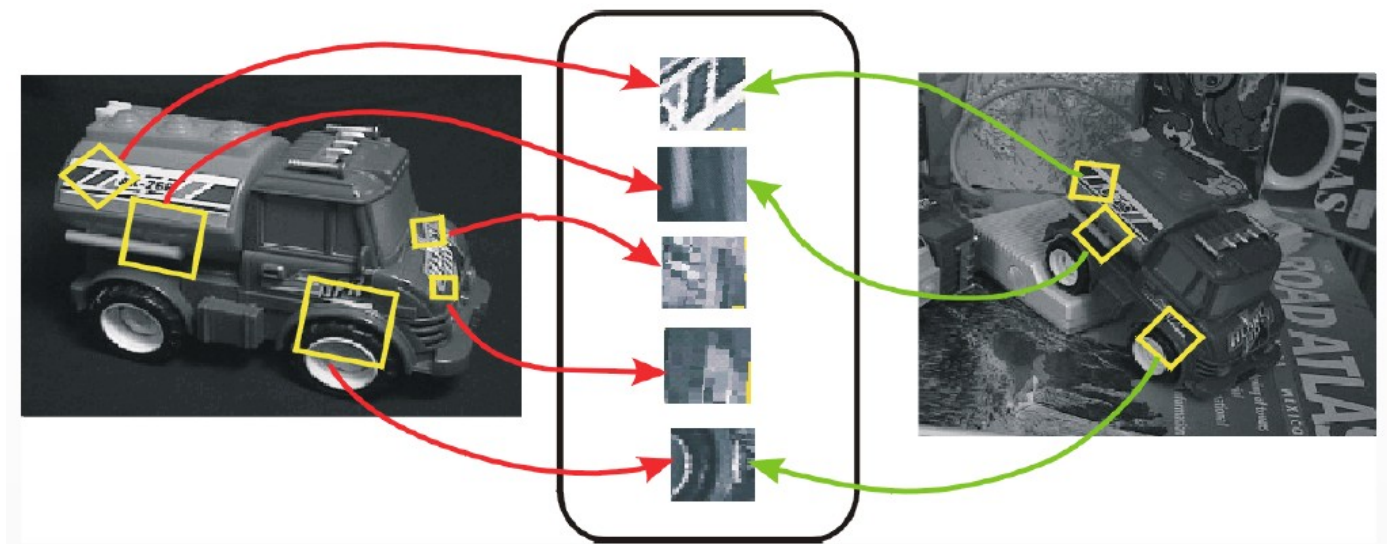


Περιγραφέας : $4 \times 4 \times 8 = 128$ τιμές



Ανίχνευση και περιγραφή σημείων ενδιαφέροντος (SIFT)

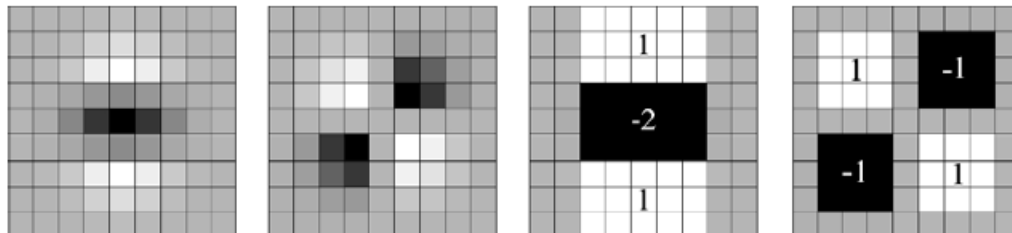
Περιγραφή αναλλοίωτη σε μεταφορά, περιστροφή και αλλαγή κλίμακας
Αντοχή σε αλλαγές φωτεινότητας, θόρυβο και μικρές αλλαγές στην οπτική γωνία
Αντοχή σε τοπικές γεωμετρικές παραμορφώσεις
Υψηλή διακριτική ικανότητα
Αντοχή σε μερική απόκρυψη



Απλούστερα και ταχύτερα (SURF)

Προσέγγιση της Εσσιανής

$$H = \begin{bmatrix} L_{xx} & L_{xy} \\ L_{yx} & L_{yy} \end{bmatrix}$$



Προσέγγιση για
 $\sigma = 1.2$

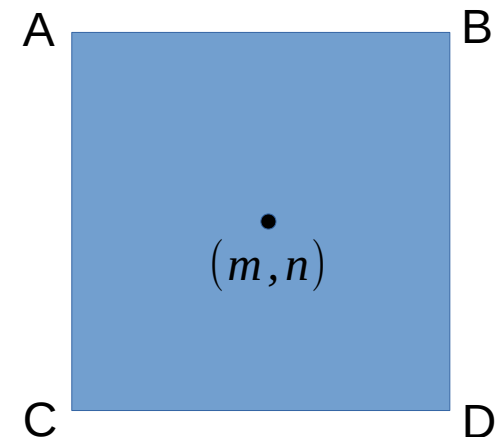
Αποτελεσματικός υπολογισμός : συσσωρευτική εικόνα
Υπερδειγματοληψία φίλτρων αντί για υποδειγματοληψία εικόνων

Συσσωρευτική εικόνα $I(m, n)$

Είσοδος $f(m, n)$ Έξοδος $y(m, n)$

$$I(m, n) = f(m, n) + I(m, n-1) + I(m-1, n) - I(m-1, n-1)$$

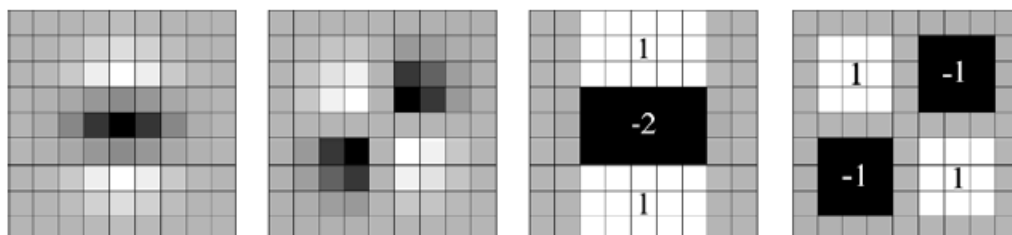
$$y(m, n) = I(D) + I(A) - I(B) - I(C)$$



Απλούστερα και ταχύτερα (SURF)

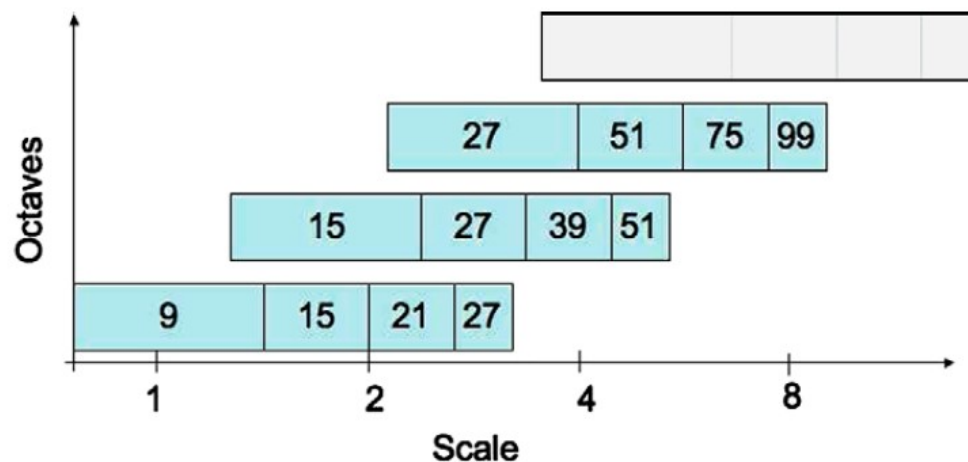
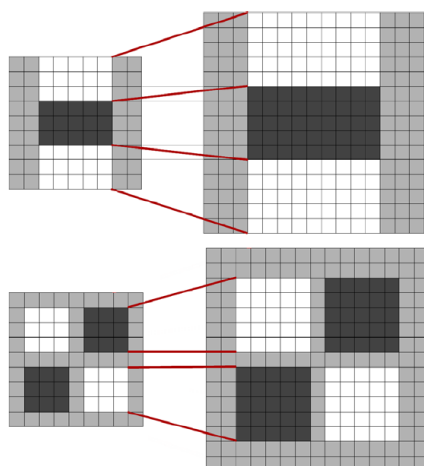
Προσέγγιση της Εσσιανής

$$H = \begin{bmatrix} L_{xx} & L_{xy} \\ L_{yx} & L_{yy} \end{bmatrix}$$



Προσέγγιση για
 $\sigma = 1.2$

Υπερδειγματοληψία φίλτρων αντί για υποδειγματοληψία εικόνων



Φίλτρα διαφοράς μέσω τιμών

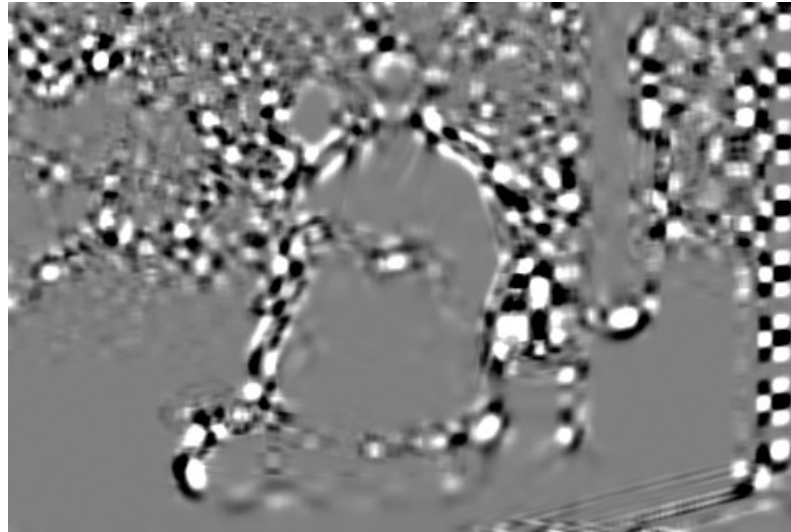


Μέση τιμή

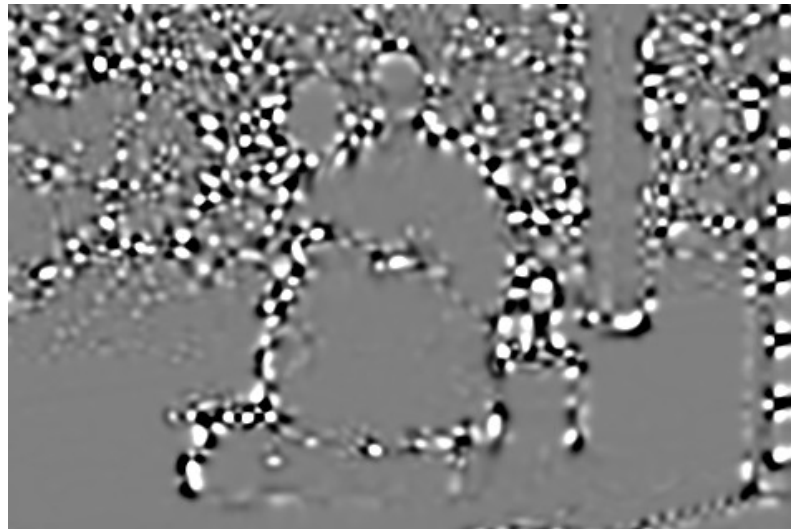


Gauss

Ανίχνευση με φίλτρα διαφοράς μέσω των τιμών



Μέση τιμή



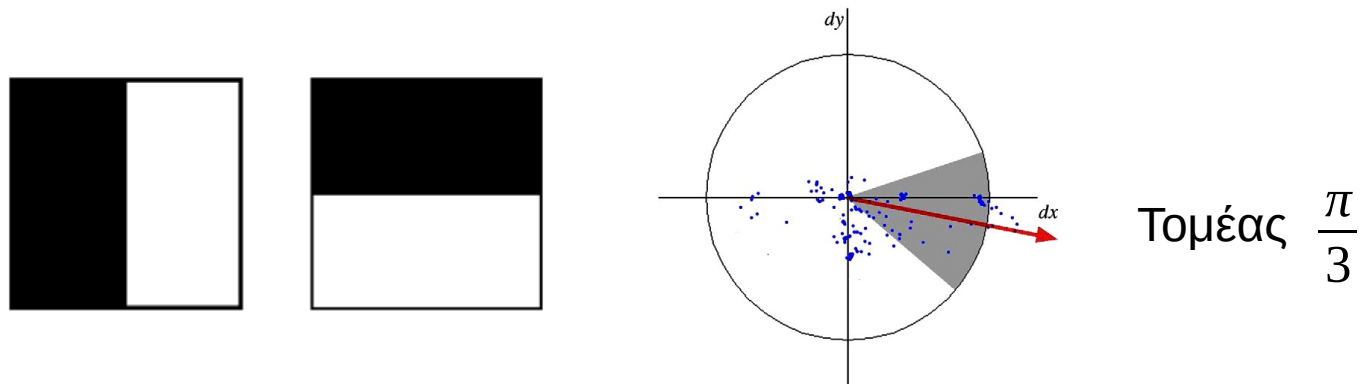
Gauss

Περιγραφέας SURF

Εύρεση κατεύθυνσης : φίλτρα Haar

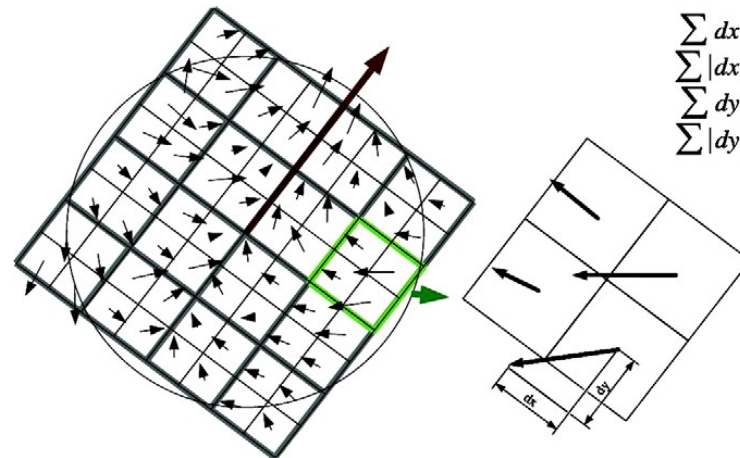
Στάθμιση Gauss

Φίλτρα και περιοχή εξαρτώμενα από την κλίμακα



Περιγραφέας βασισμένος σε αθροίσματα των αποκρίσεων στα φίλτρα

Μέγεθος ανάλογα με
την κλίμακα (x 20)
Περιγραφέας :
διάνυσμα (64)



Απλούστερα και ταχύτερα (SURF)



Απλούστερα και ταχύτερα (SURF)

