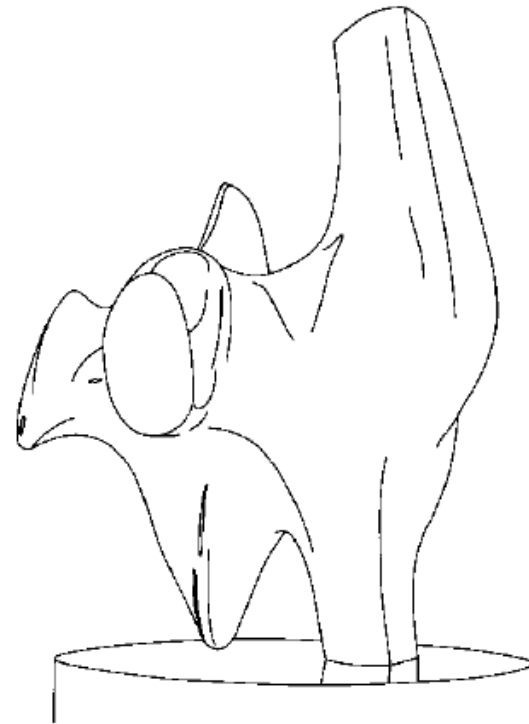
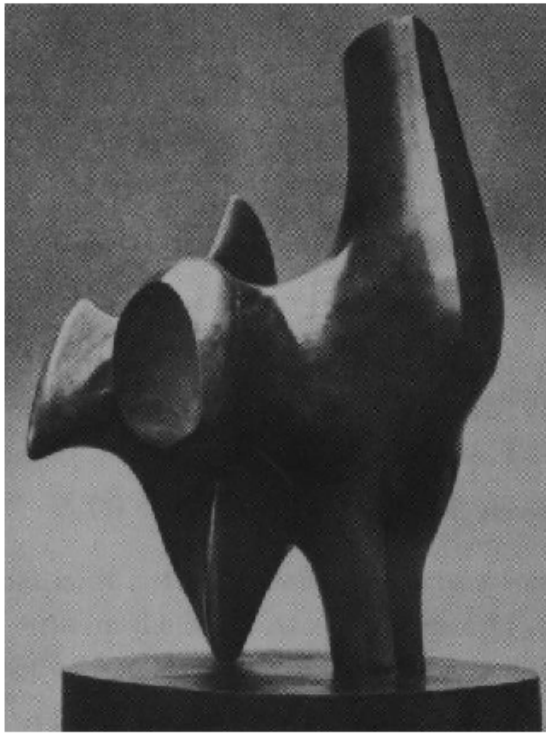


6-Ανίχνευση Ακμών - Περιγράμματος

Ανίχνευση ακμών



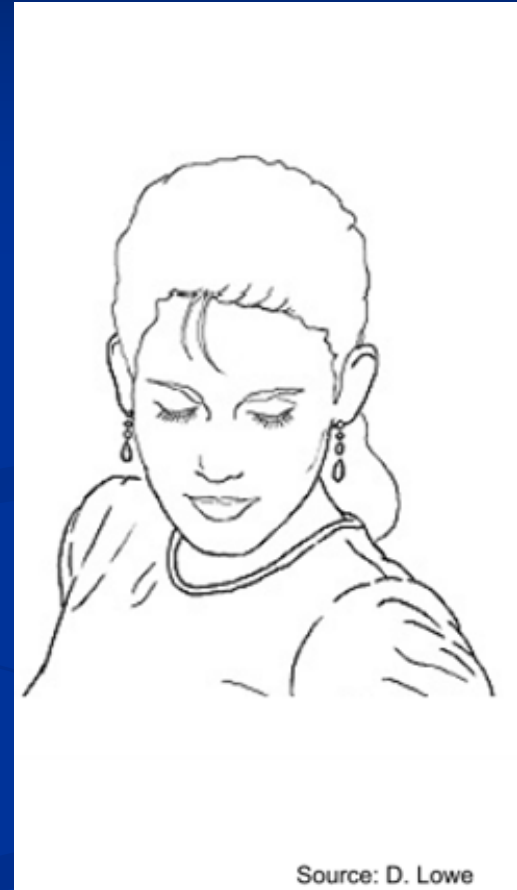
- Μετατροπή 2Δ εικόνας σε σύνολο ακμών
 - Εξαγωγή βασικών χαρακτηριστικών της εικόνας
 - Πιο «συμπαγής» αναπαράσταση

Ανίχνευση ακμών

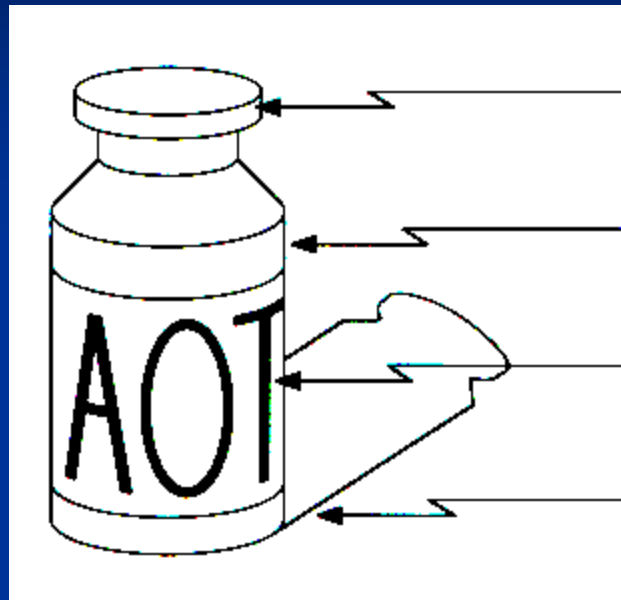
Στόχος: ανίχνευση ασυνεχειών στην εικόνα

Διαισθητικά η σημασιολογική πληροφορία μπορεί να απεικονιστεί στις ακμές

Ιδανικά: περίγραμμα ζωγραφισμένο από καλλιτέχνη



Προέλευση ακμών



Ασυνέχεια επιφάνειας

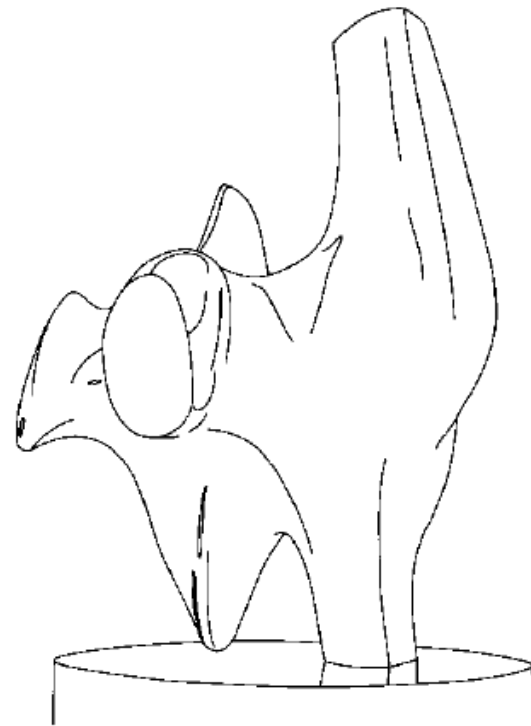
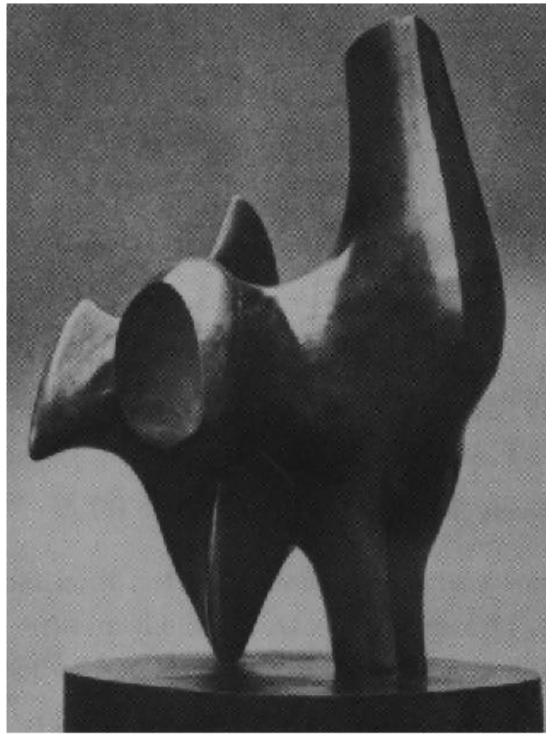
Ασυνέχεια βάθους

Ασυνέχεια χρώματος

Ασυνέχεια φωτισμού

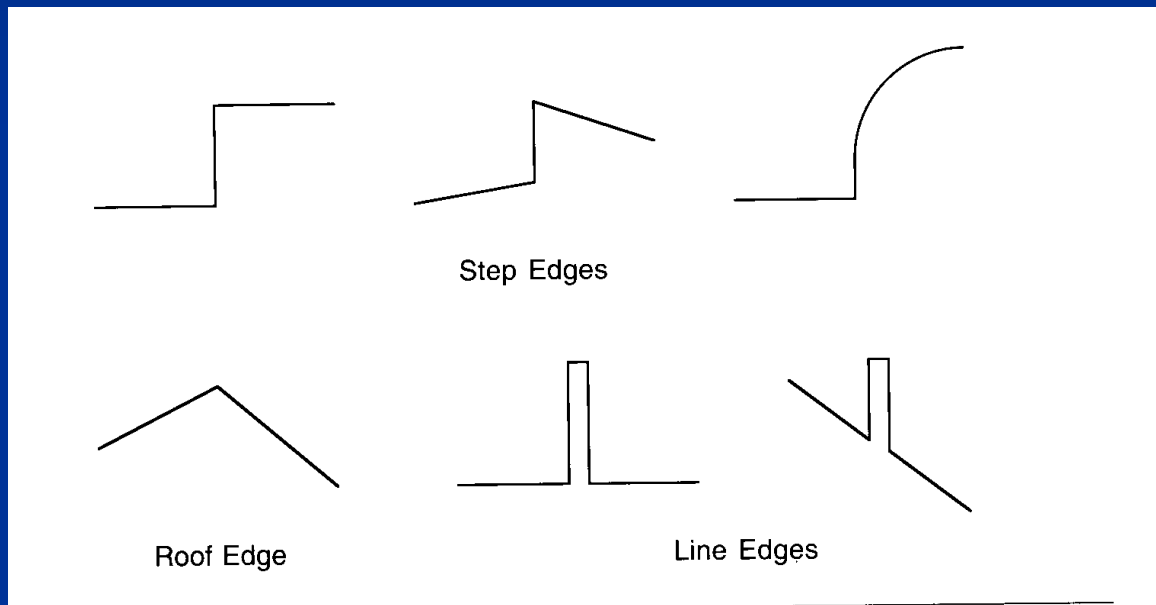
- Οι ακμές δημιουργούνται από πλήθος αιτιών

Ανίχνευση ακμών



- Πως ξέρουμε αν ένα εικονοστοιχείο αντιστοιχεί σε ακμή;

Προφίλ ακμών



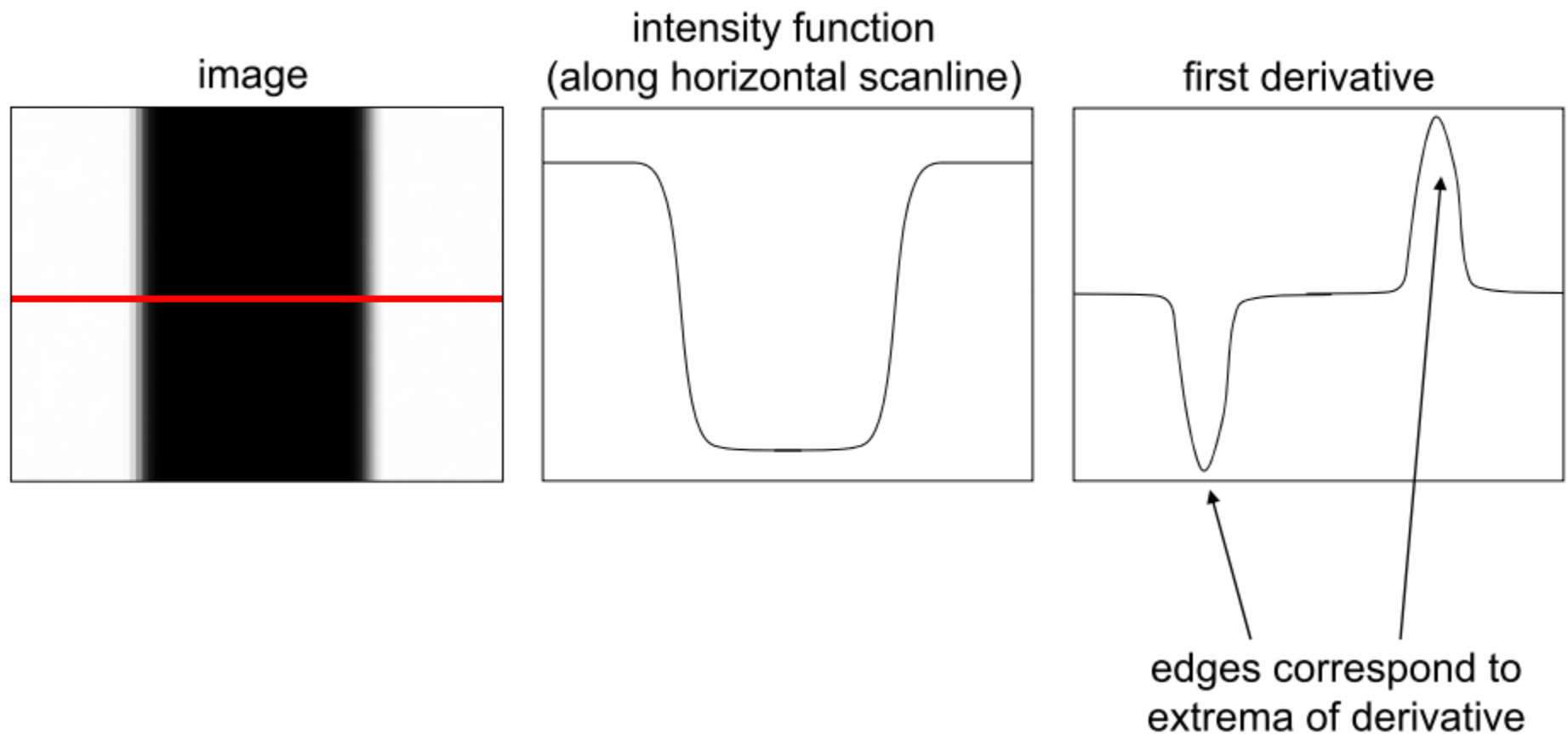
Ανίχνευση ακμών

1. Ανίχνευση στοιχείων ακμών (edgels)
2. Συνάθροιση των edgels σε ακμές
3. Προαιρετικά παραμετρική περιγραφή

Ανίχνευση στοιχείων ακμών

- Τελεστές διαφοράς
- Ταίριασμα παραμετρικών περιγραφών

Ανίχνευση στοιχείων ακμών



Ακμή : εκεί που έχουμε αλλαγή

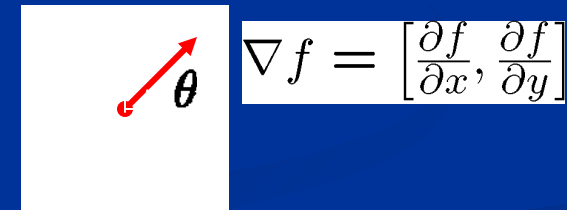
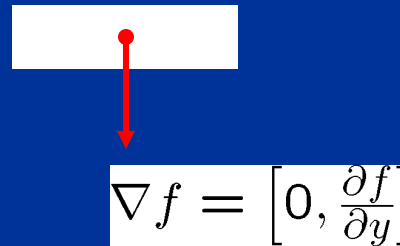
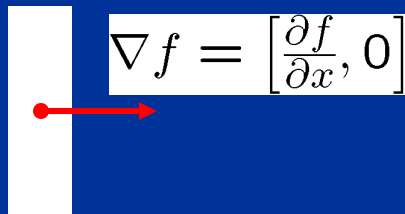
- Η αλλαγή μετριέται απο παράγωγο σε 1D
- Μέγιστη αλλαγή => μέγιστη παράγωγος
- Εναλλακτικά: μηδενισμός 2^{ης} παραγώγου



Το gradient

- Το gradient μιας εικόνας:
- Gradient: κατεύθυνση της μεγαλύτερης αλλαγής φωτεινότητας

$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]$$



- Η κατεύθυνση δίνεται από:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\partial f / \partial y}{\partial f / \partial x} \right)$$

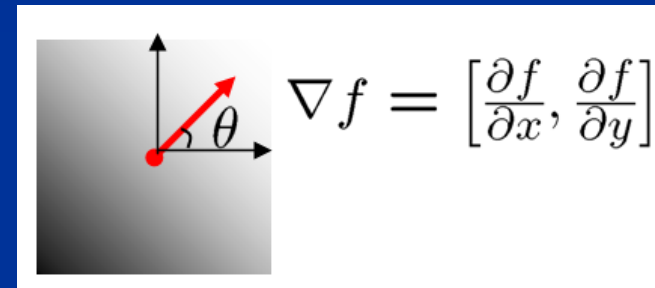
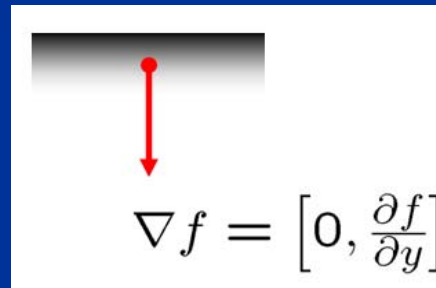
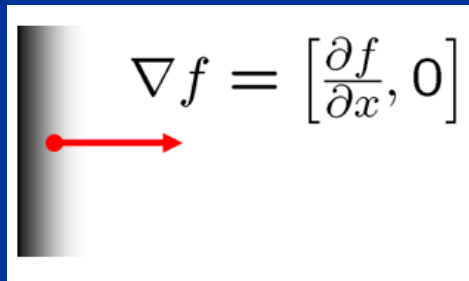
- Πως αυτό σχετίζεται με την κατεύθυνση της ακμής;
- Η ισχύς της ακμής δίνεται από το πλάτος του gradient:

$$\|\nabla f\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2}$$

Το gradient

- Το gradient μιας εικόνας:
- Gradient: κατεύθυνση της μεγαλύτερης αλλαγής φωτεινότητας

$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]$$



- Η κατεύθυνση δίνεται από:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\partial f / \partial y}{\partial f / \partial x} \right)$$

- Πως αυτό σχετίζεται με την κατεύθυνση της ακμής;
- Η ισχύς της ακμής δίνεται από το πλάτος του gradient:

$$\|\nabla f\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2}$$

Διαφόριση και συνέλιξη

Recall, for 2D function, $f(x,y)$:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\frac{f(x + \varepsilon, y) - f(x, y)}{\varepsilon} \right)$$

This is linear and shift invariant, so must be the result of a convolution.

We could approximate this as

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{f(x_{n+1}, y) - f(x_n, y)}{\Delta x}$$

(which is obviously a convolution)

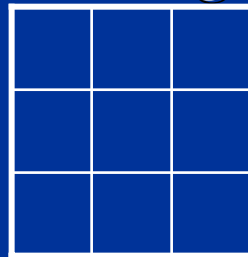
-1	1
----	---

Το διακριτό gradient

- Πως διαφορίζουμε μια ψηφιακή εικόνα $f[x,y]$?
 - Επιλογή 1: ανακατασκευή συνεχούς εικόνας και χρήση gradient

$$\frac{\partial f}{\partial x}[x, y] \approx f[x + 1, y] - f[x, y]$$

- Επιλογή 2: διακριτό gradient



H

Sobel

- Υπάρχουν καλύτερες προσεγγίσεις των παραγώγων
 - Οι τελεστές *Sobel* είναι πολύ δημοφιλείς

S_x

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

S_y

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

Gradient ΤΕΛΕΣΤΕΣ

Δ_1

0 1
-1 0

Δ_2

1 0
0 -1

(a)

Δ_1

-1 0 1
-1 0 1
-1 0 1

Δ_2

1 1 1
0 0 0
-1 -1 -1

(b)

Δ_1

-1 0 1
-2 0 2
-1 0 1

Δ_2

1 2 1
0 0 0
-1 -2 -1

(c)

Δ_1

-3 -1 1 3
-3 -1 1 3
-3 -1 1 3
-3 -1 1 3

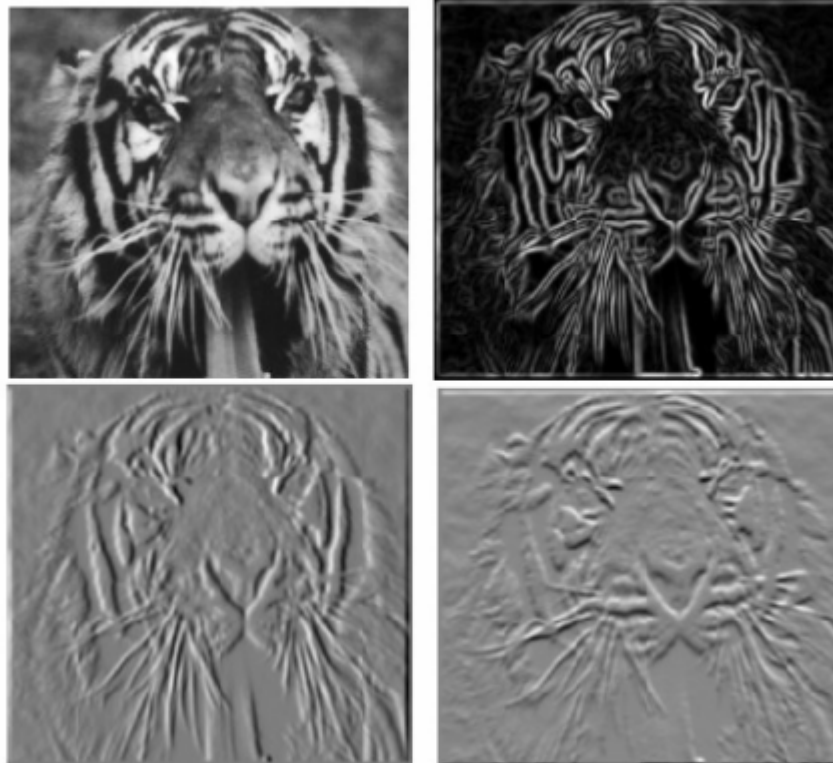
Δ_2

3 3 3 3
1 1 1 1
-1 -1 -1 -1
-3 -3 -3 -3

(d)

(a): Roberts' (b): 3x3 Prewitt
(c): Sobel (d) 4x4 Prewitt

Πεπερασμένες διαφορές

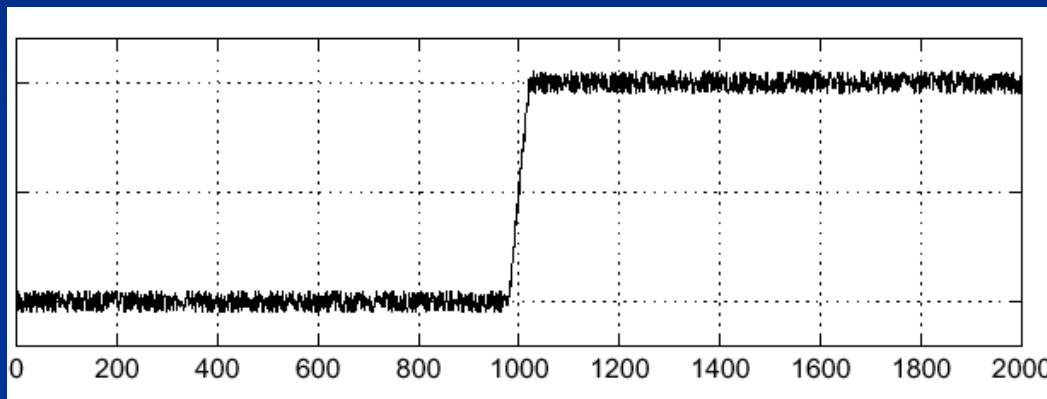


Which one is the gradient in the x-direction (resp. y-direction)?

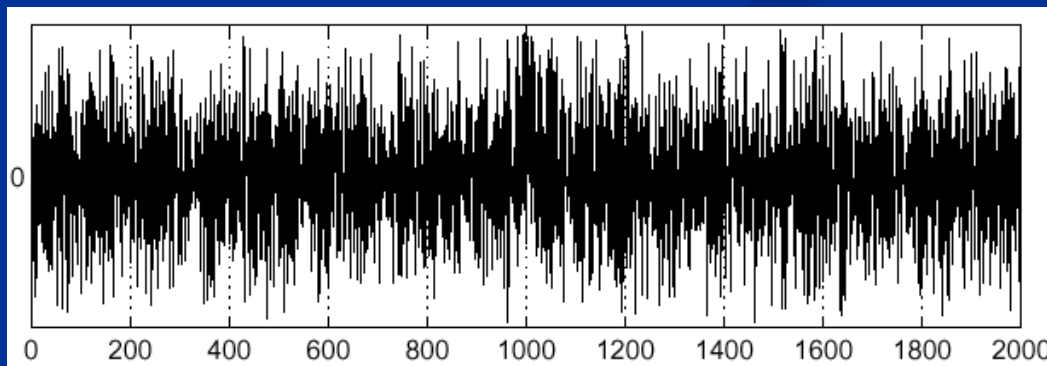
Επίδραση θορύβου

- Λάβετε υπόψη μια γραμμή ή στήλη στην εικόνα
 - Η φωτεινότητα ως συνάρτηση της θέσης

$$f(x)$$



$$\frac{d}{dx}f(x)$$



Που είναι η ακμή;

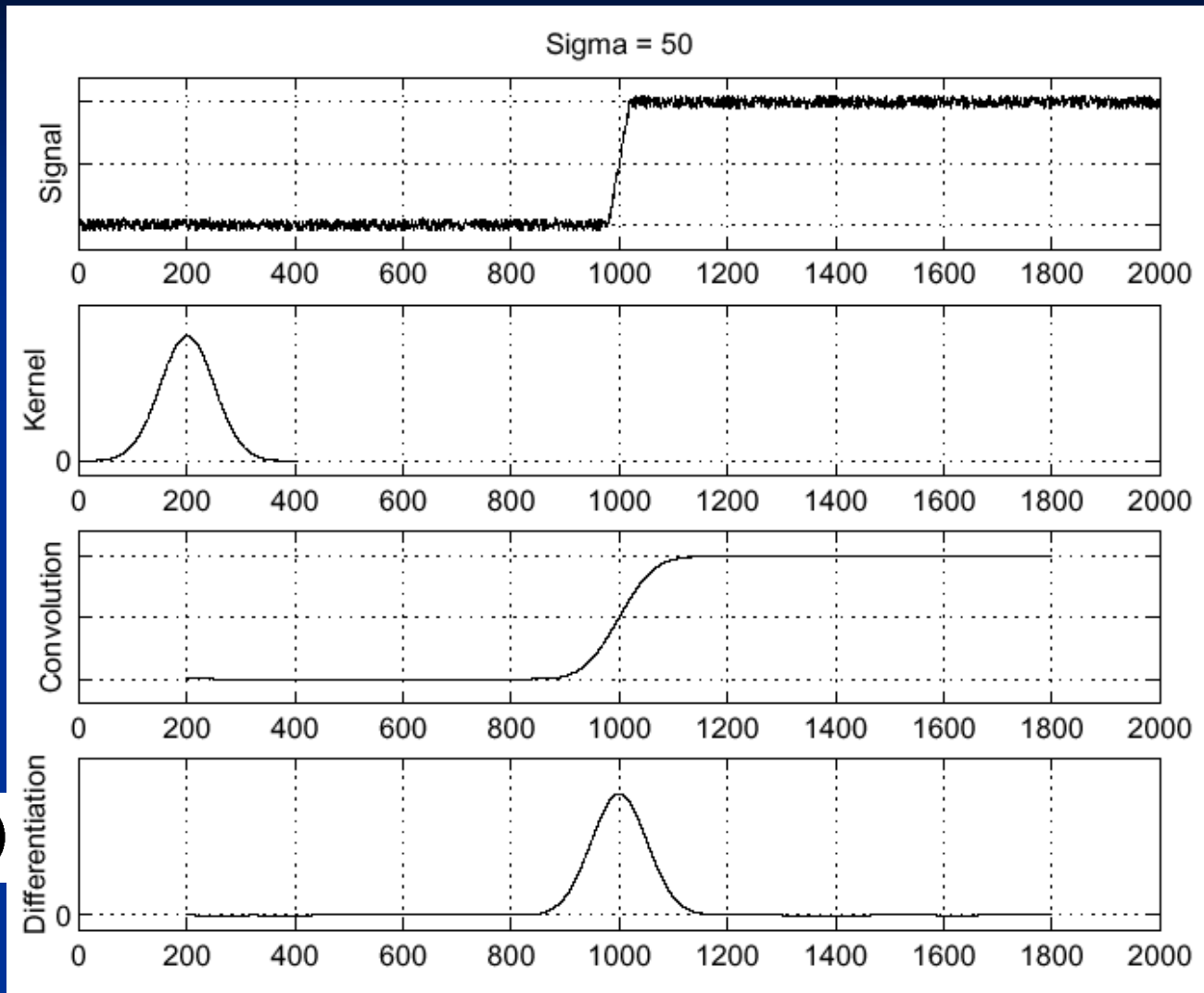
Λύση: εξομάλυνση

f

h

$h \star f$

$\frac{\partial}{\partial x}(h \star f)$



Που είναι η ακμή;
Μέγιστα της

$\frac{\partial}{\partial x}(h \star f)$

Θεώρημα της συνέλιξης

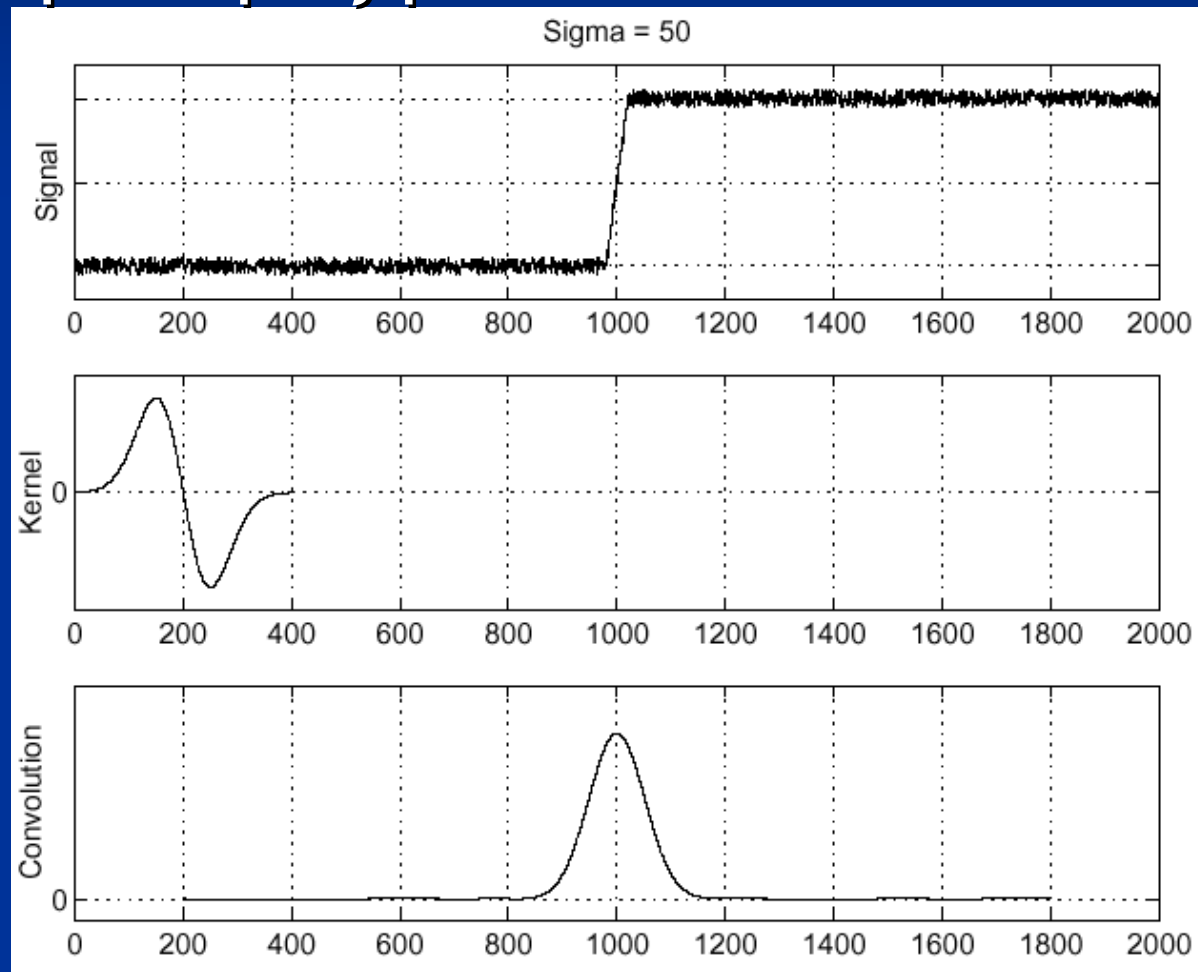
$$\frac{\partial}{\partial x}(h \star f) = \left(\frac{\partial}{\partial x}h\right) \star f$$

Γλιτώνουμε μια πράξη:

f

$\frac{\partial}{\partial x}h$

$\left(\frac{\partial}{\partial x}h\right) \star f$



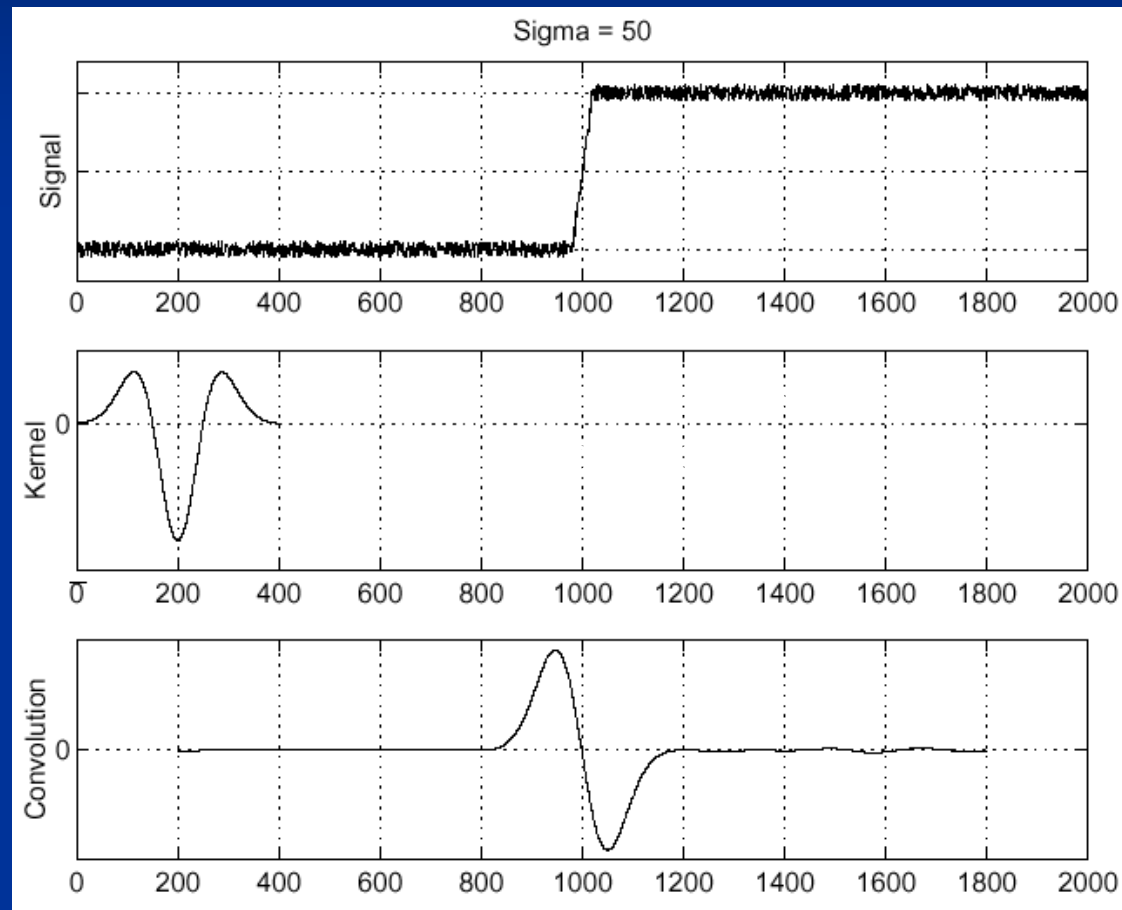
Laplacian of Gaussian

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2}(h \star f)$$

f

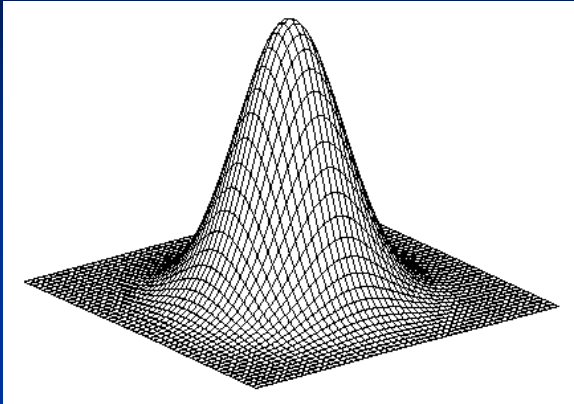
$$\frac{\partial^2}{\partial x^2}h$$

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}h\right) \star f$$



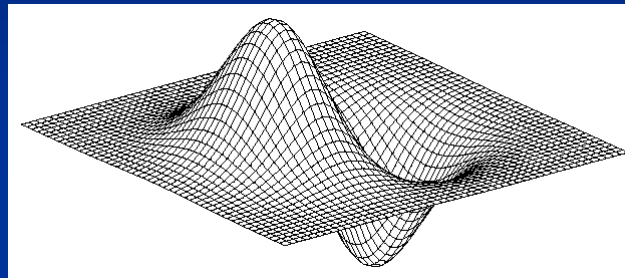
- Που είναι η ακμή;
- Διασκελισμός του μηδενός

2Δ ακμές



Gaussian

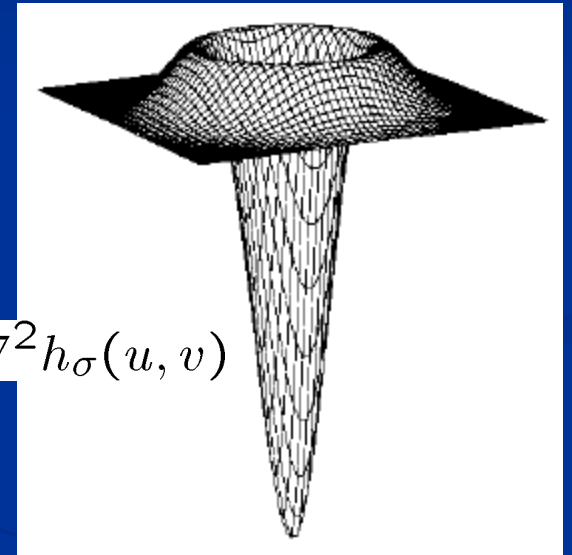
$$h_{\sigma}(u, v) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{u^2+v^2}{2\sigma^2}}$$



παράγωγος Gaussian

$$\frac{\partial}{\partial x} h_{\sigma}(u, v)$$

Laplacian of Gaussian

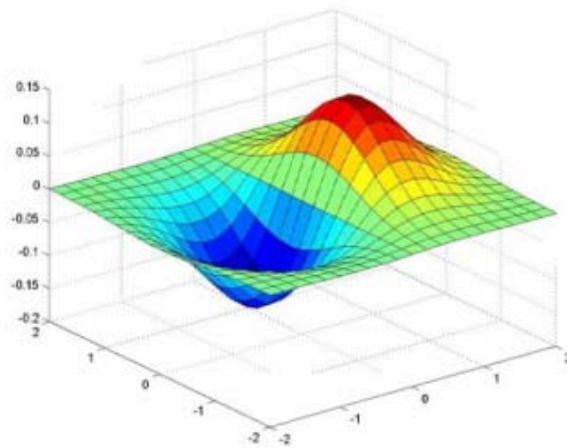


$$\nabla^2 h_{\sigma}(u, v)$$

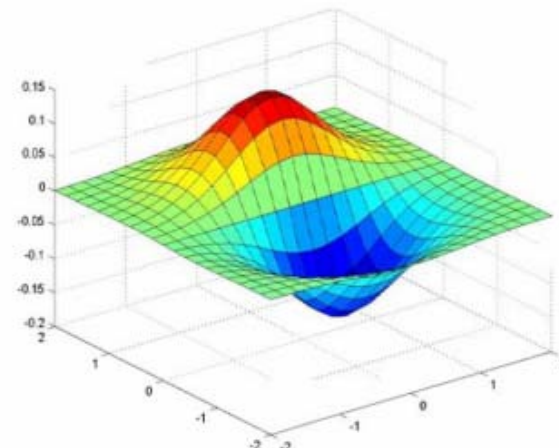
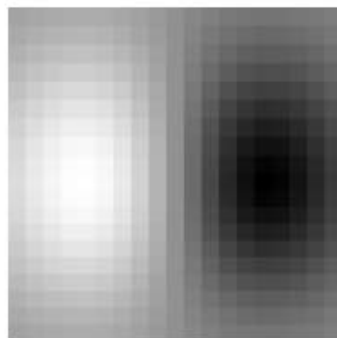
- ∇^2 είναι η Laplacian :

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

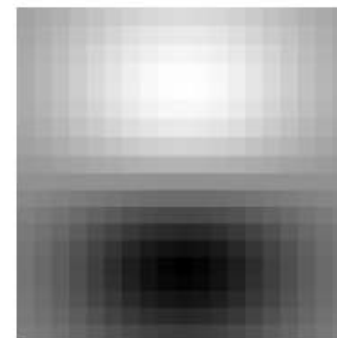
Φίλτρο παραγώγου Gaussian



x-direction



y-direction



Which one finds horizontal/vertical edges?

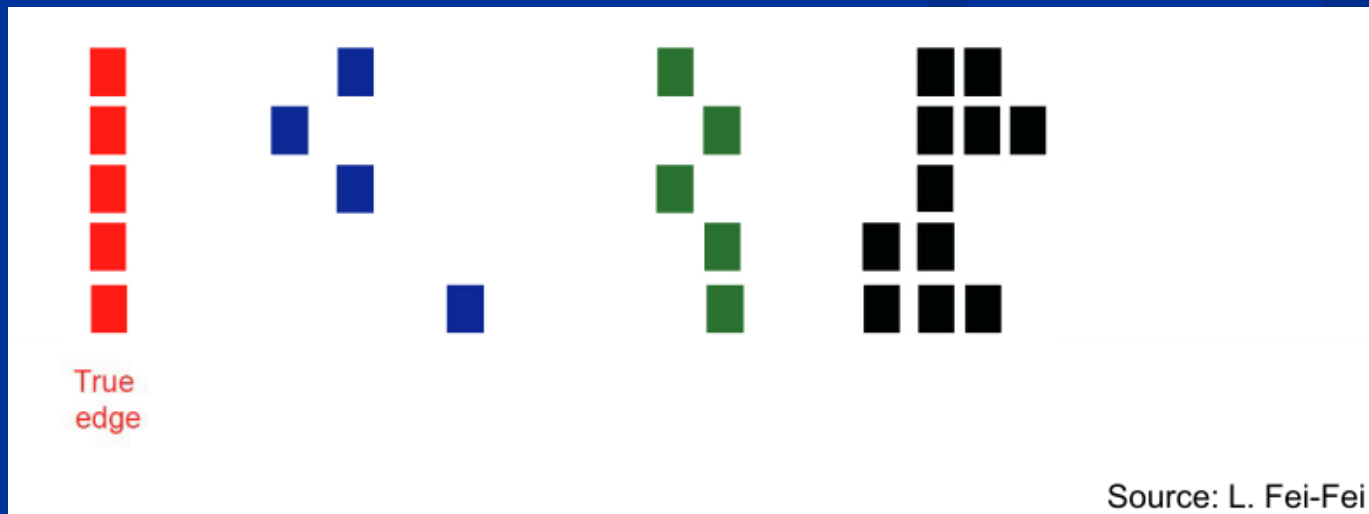
Θέματα υλοποίησης



- The gradient magnitude is large along a thick “trail” or “ridge,” so how do we identify the actual edge points?
- How do we link the edge points to form curves?

Βέλτιστη αναγνώριση ακμών: Canny

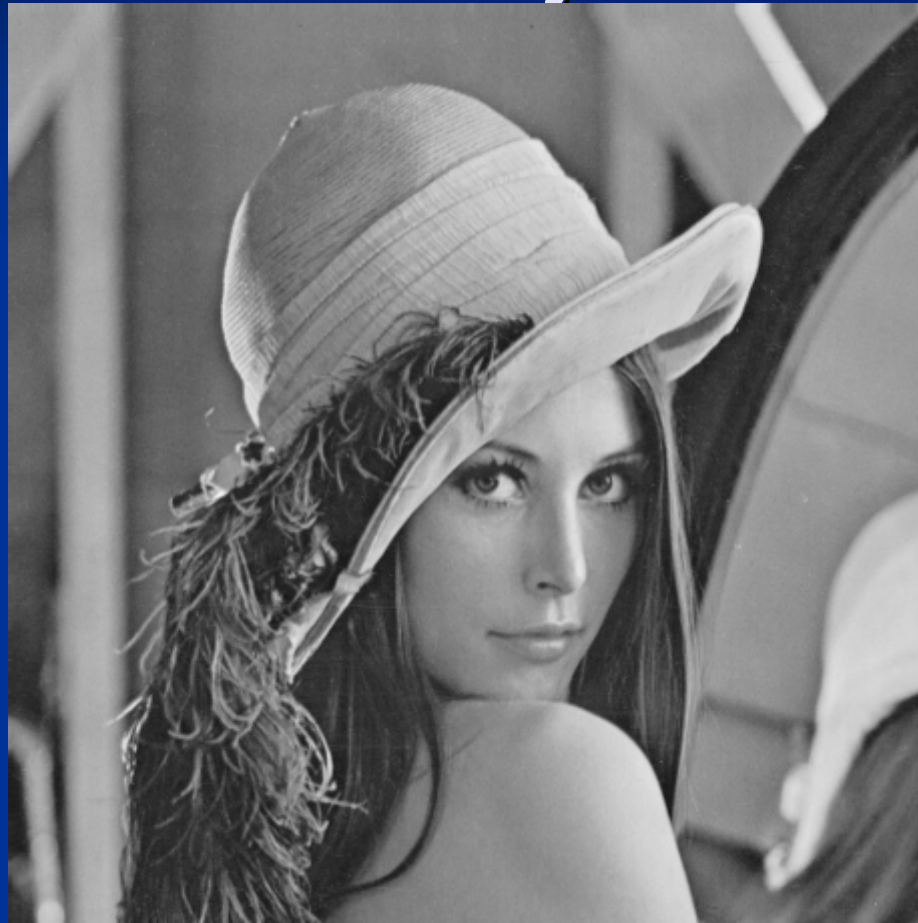
- Υπόθεση:
 - Γραμμικό φιλτράρισμα
 - Επιπρόσθετος θόρυβος Gauss
- Ο ανιχνευτής ακμών πρέπει να έχει:
 - Καλό εντοπισμό. Ανταπόκριση σε ακμές - όχι θόρυβο.
 - Καλή τοποθέτηση: η εντοπιζόμενη ακμή κοντά στην πραγματική.
 - Μοναδική απόκριση – μία ανά ακμή



Βέλτιστη αναγνώριση ακμών: Canny

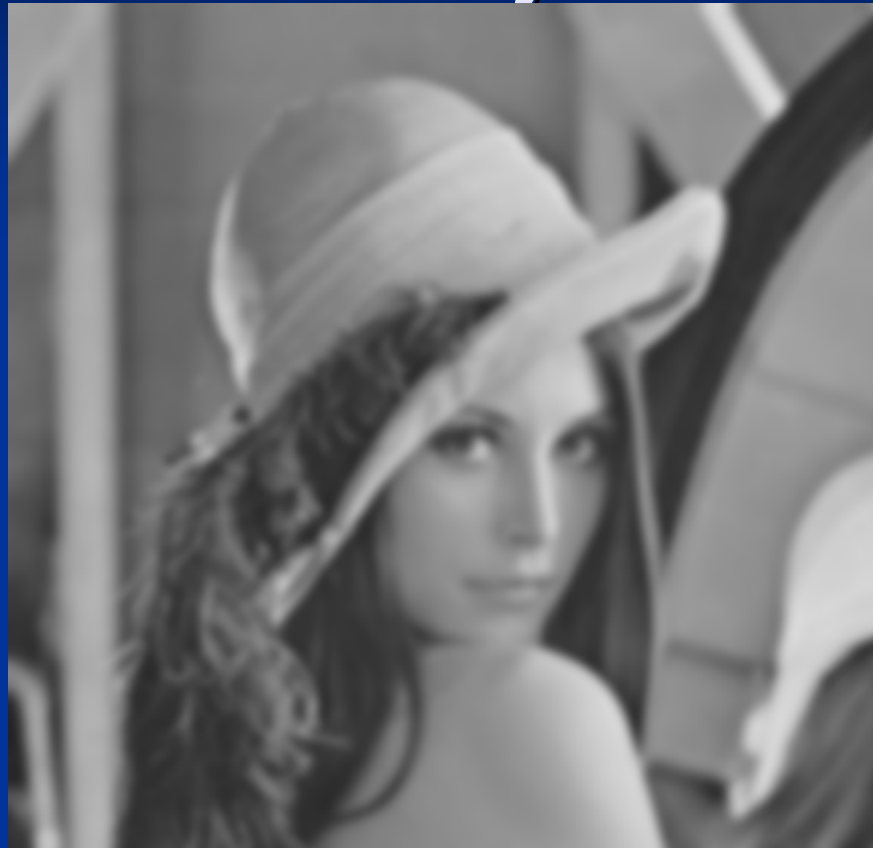
- Optimal Detector is approximately Derivative of Gaussian.
- Detection/Localization trade-off
 - More smoothing improves detection
 - And hurts localization.
- This is what you might guess from (detect change) + (remove noise)

Βέλτιστη αναγνώριση ακμών: Canny



■ αρχική (Lena)

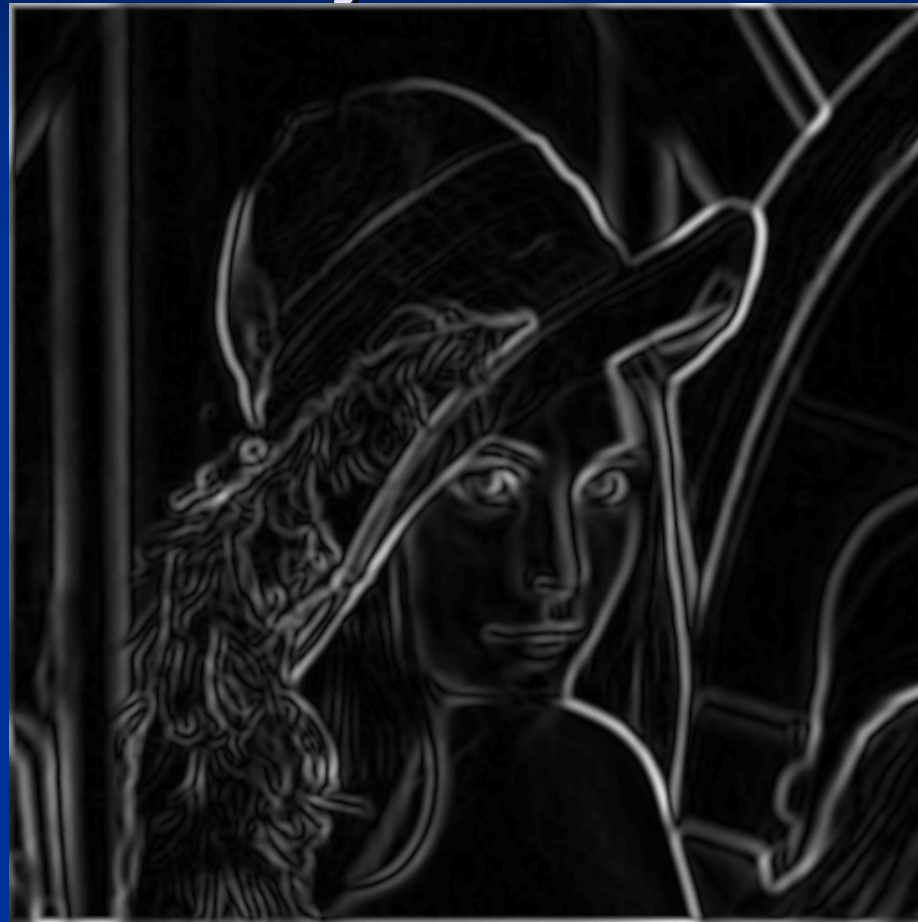
Βέλτιστη αναγνώριση ακμών: Canny



Εξομάλυνση με Gaussian φίλτρο

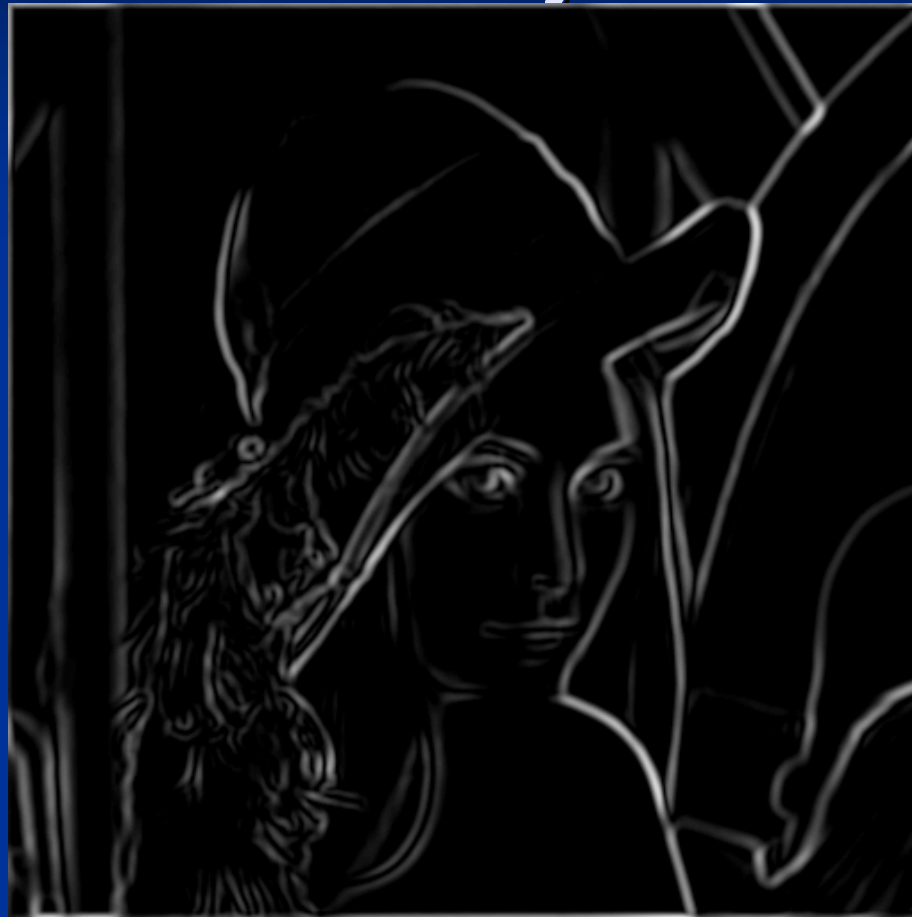
Βέλτιστη αναγνώριση ακμών: Canny

-1	0	+1		+1	+2	+1
-2	0	+2		0	0	0
-1	0	+1		-1	-2	-1
Gx				Gy		



- Μέτρο του gradient ($|G_x| + |G_y|$)

Βέλτιστη αναγνώριση ακμών: Canny



κατωφλίωση

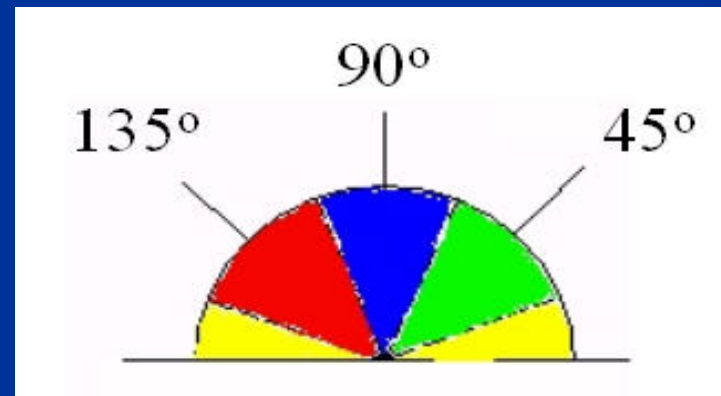
Canny: κατεύθυνση ακμής

Η κατεύθυνση δίνεται από:

$$\theta = \text{atan2} \left(\frac{\partial f}{\partial y}, \frac{\partial f}{\partial x} \right)$$

Canny: κατεύθυνση ακμής

x	x	x	x	x
x	x	x	x	x
x	x	a	x	x
x	x	x	x	x
x	x	x	x	x

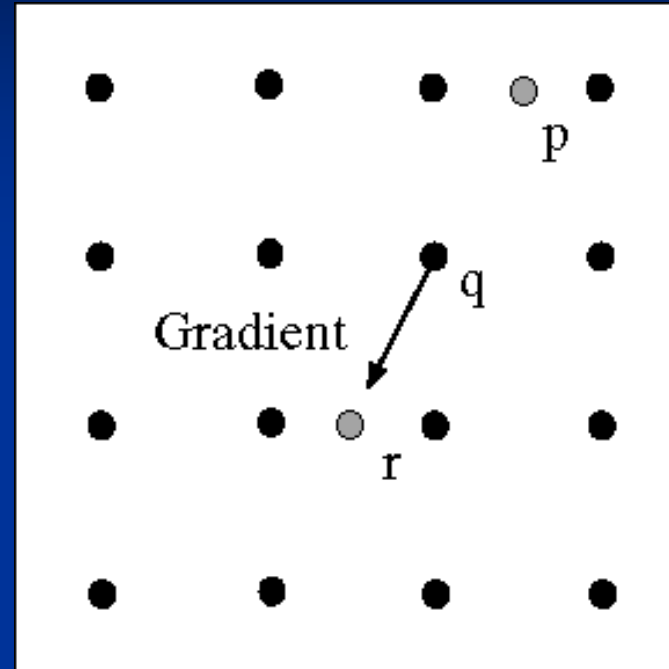
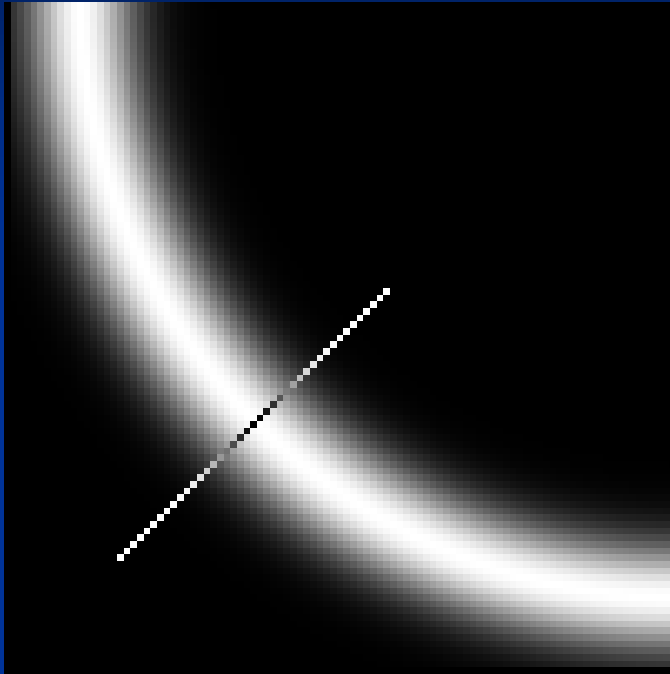


Canny



- Λέπτυνση (εξαφάνιση των μη μεγίστων)
- Αφαίρεση των εικονοστοιχείων που δεν δίνουν μέγιστο στην κατεύθυνση του gradient

Εξαφάνιση των μη μεγίστων



- Εξέταση των εικονοστοιχείων κατά την κατεύθυνση του gradient
- απαιτεί εξέταση των ιδεατών pixels p , r που προκύπτουν με παρεμβολή

Gradient

p

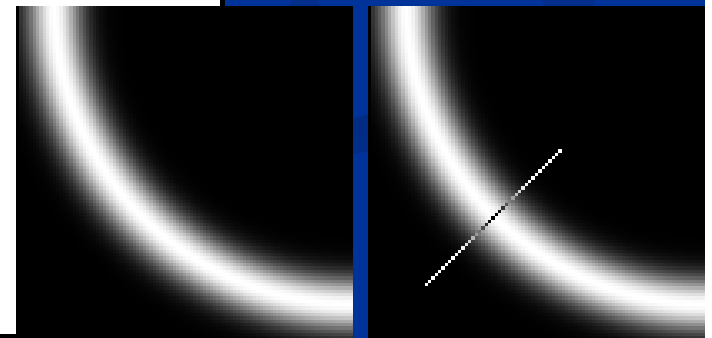
r

s

(Forsyth & Ponce)

Προβλέποντας
Το επόμενο
σημείο ακμής

Αν το p είναι
σημείο της ακμής
φέρουμε την
εφαπτομένη
στην ακμή σε
αυτό το σημείο
και τη
χρησιμοποιούμε
για να
προβλέψουμε το
επόμενο σημείο
(r ή s).



Υστέρηση

- Κατώφλι στο μέτρο του gradient
 - Παράλειψη ακμών; χρήση υστέρησης
 - Χρήση υψηλού κατωφλίου για τον αρχικό εντοπισμό ακμών
 - και στη συνέχεια χαμηλού κατωφλίου για την συνένωσή τους



Υστέρηση



original image



high threshold
(strong edges)



low threshold
(weak edges)



hysteresis threshold

Source: L. Fei-Fei

Επίδραση του σ (Gaussian φίλτρο)



αρχική

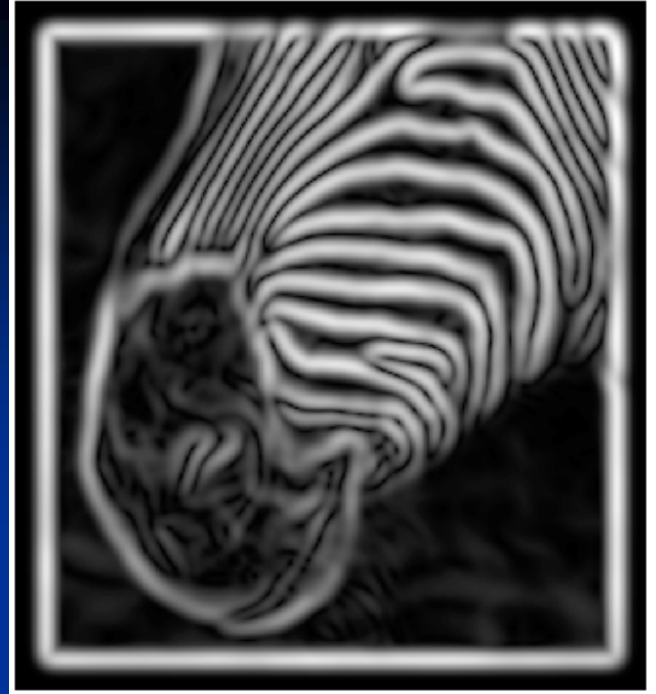
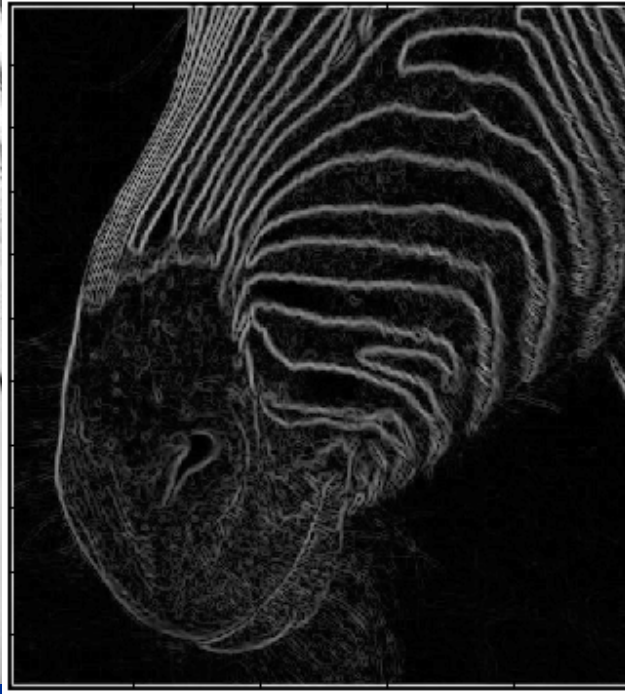


Canny με $\sigma = 1$



Canny με $\sigma = 2$

- Η επιλογή του σ εξαρτάται από την επιθυμητή συμπεριφορά
 - Μεγάλο σ ανιχνεύει ακμές μεγάλης κλίμακας
 - Μικρό σ ανιχνεύει πιο λεπτομερείς δομές

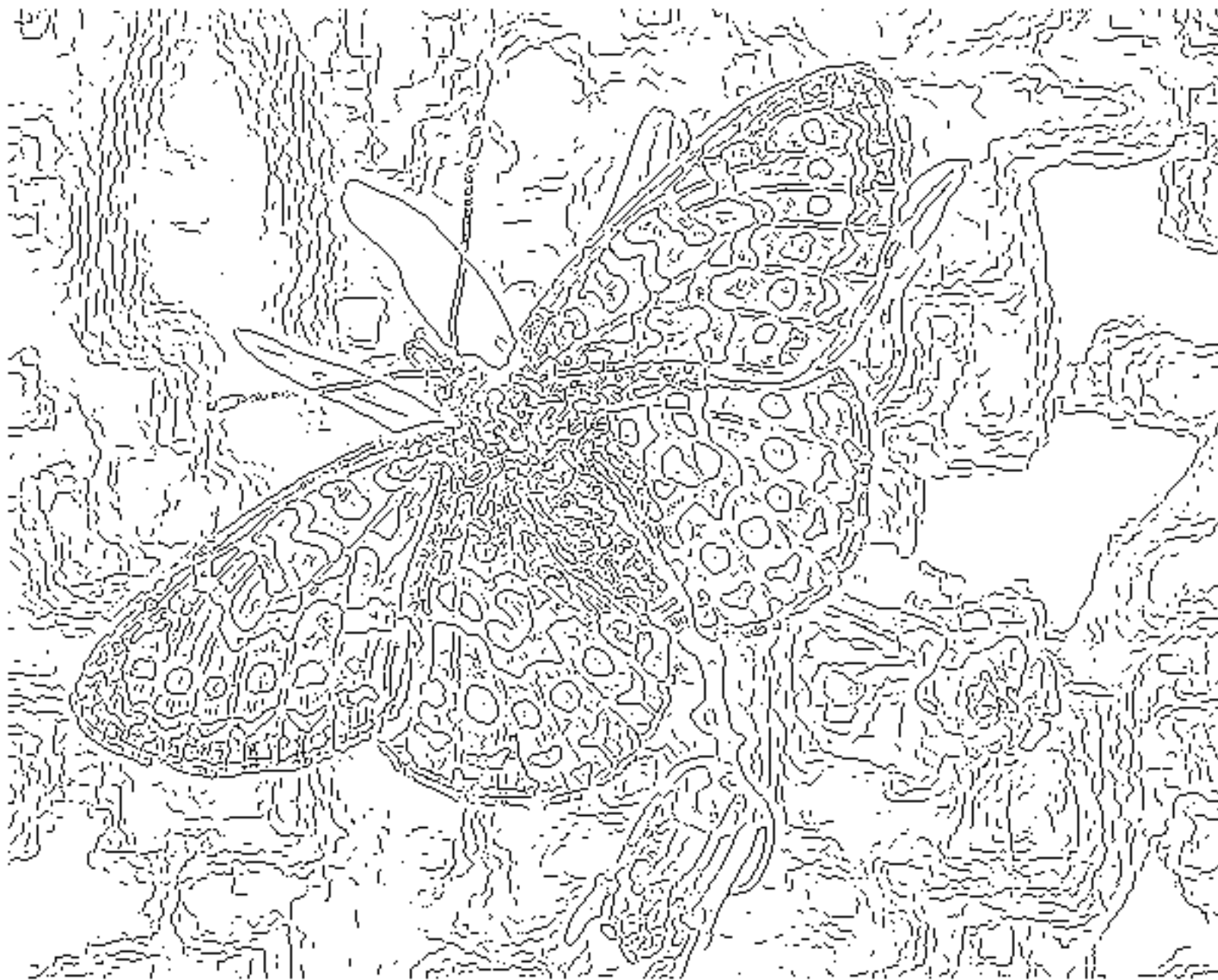


Κλίμακα

- Εξομάλυνση θορύβου
- Εξαφανίζει θορυβώδεις ακμές
- Εξομαλύνει τις ακμές
- Εξαφανίζει λεπτομέρειες

(Forsyth & Ponce)





Μικρό σ
Υψηλό
κατώφλι



Μεγάλο σ
Υψηλό
κατώφλι



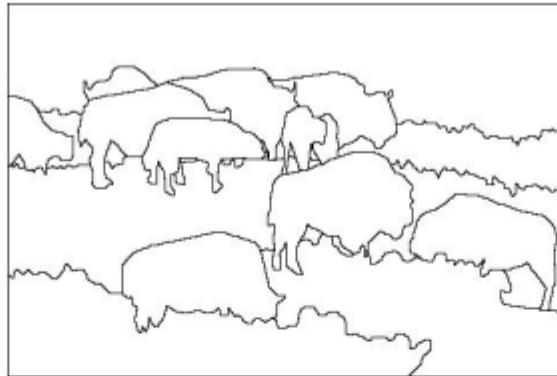
Μεγάλο σ
χαμηλό
κατώφλι

Η ανίχνευση ακμών είναι μόνο η αρχή...

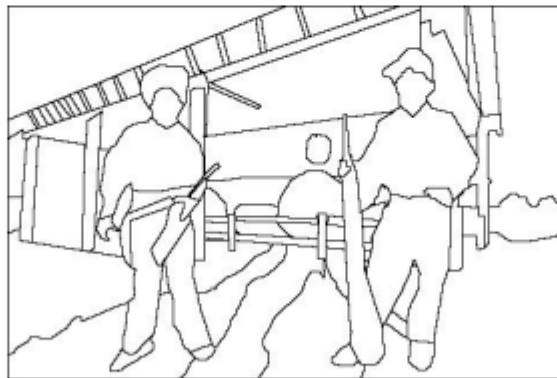
image



human segmentation



gradient magnitude



Berkeley segmentation database:

<http://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/grouping/segbench/>