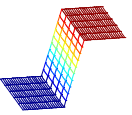
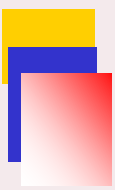
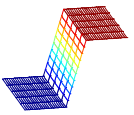


ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΚΜΩΝ - ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΚΜΩΝ - ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ
(edge detection)



Ακμή ή περίγραμμα (edge) σε μια εικόνα X_{ij} ορίζεται ως το σύνολο των σημείων στη θέση i, j της εικόνας, όπου παρατηρείται μία σημαντική αλλαγή της έντασης ή του χρώματος της εικόνας. Το μέγεθος της μεταβολής αυτής αποτελεί το ύψος της ακμής.



Ιδανικές ακμές



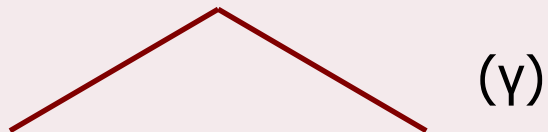
(α)

**(α) ιδανική
βηματική ακμή**



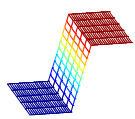
(β)

**(β) ράμπα (ramp),
(step),**

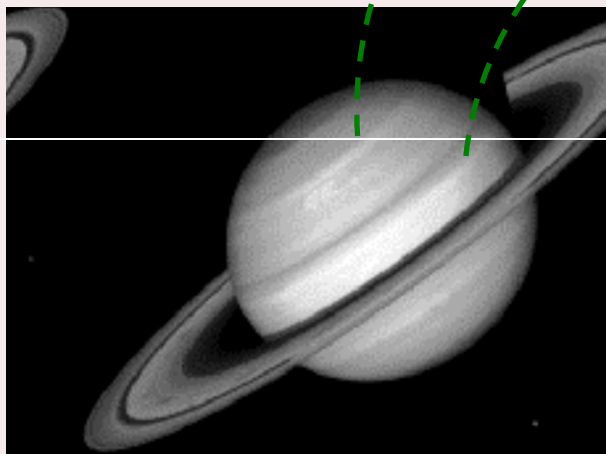


(γ)

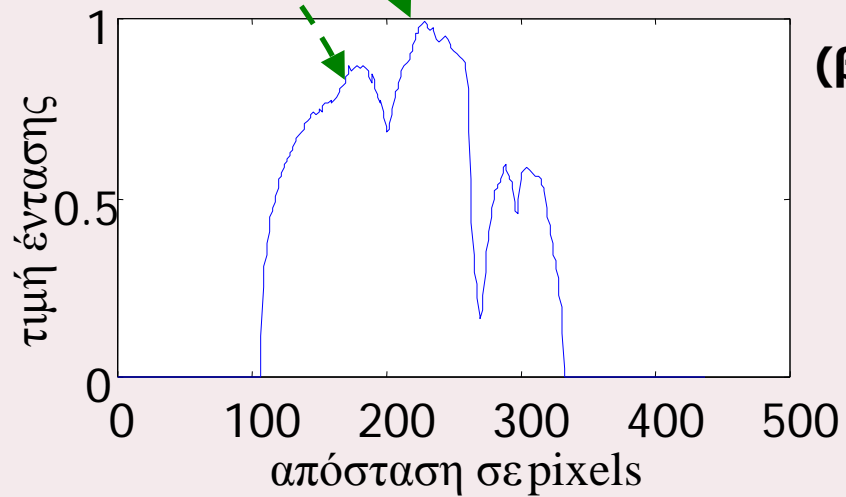
**(γ) ακμή τύπου
οροφής (roof)**



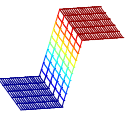
...και πραγματικές ακμές



(α)

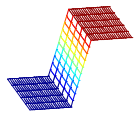


(α) Η εικόνα και η γραμμή της οποίας το προφίλ δεικνύεται στο (β)



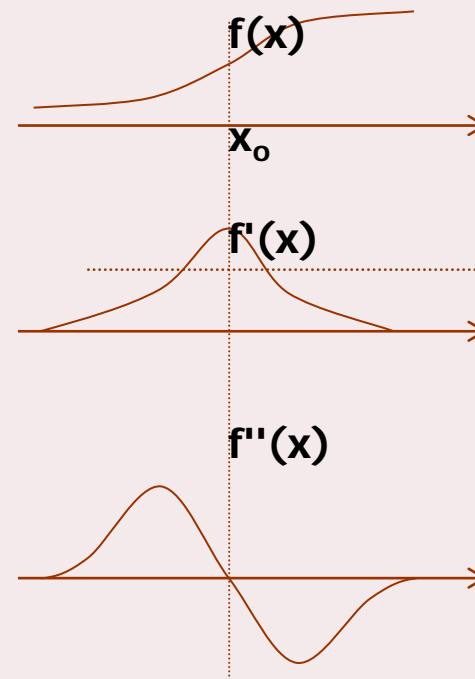
Οι βασικές μέθοδοι εύρεσης ακμών

1. Με την πρώτη παράγωγο (Βάθμωση - Gradient)
2. Με την Laplacian
3. Με την Laplacian of Gaussian – LoG
4. Με άλλες μεθόδους (pdf, εντροπία κλπ)



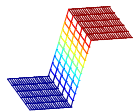
Ανίχνευση ακμής με 1η παράγωγο - Βάθμωση

υπολογίζεται η παράγωγος και
ανιχνεύονται τα σημεία με
κατώφλιοποίηση



Κατώφλιο
και πάχος

Η ένταση $f(x)$ έχει πρώτη παράγωγο $f'(x)$ και δεύτερη $f''(x)$.
Όλα τα σημεία $f'(x)$ πάνω από το κατώφλιο θεωρούνται σημεία ακμής.
Αντίθετα ένα μόνο σημείο υπάρχει όπου $f''(x) = 0$



Υπολογισμοί - βάθμωση (gradient) G

υπολογίζεται απο τις μερικές παραγώγους της εντάσεως $f(x,y)$ ως προς την οριζόντια και κάθετη μετατόπιση.

$$\nabla f(x, y) = G\{f(x, y)\} = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

Μέτρο και η γωνία του G

$$G_R = \left[G_x^2 + G_y^2 \right]^{1/2} \quad \theta = \tan^{-1} \frac{G_x}{G_y}$$

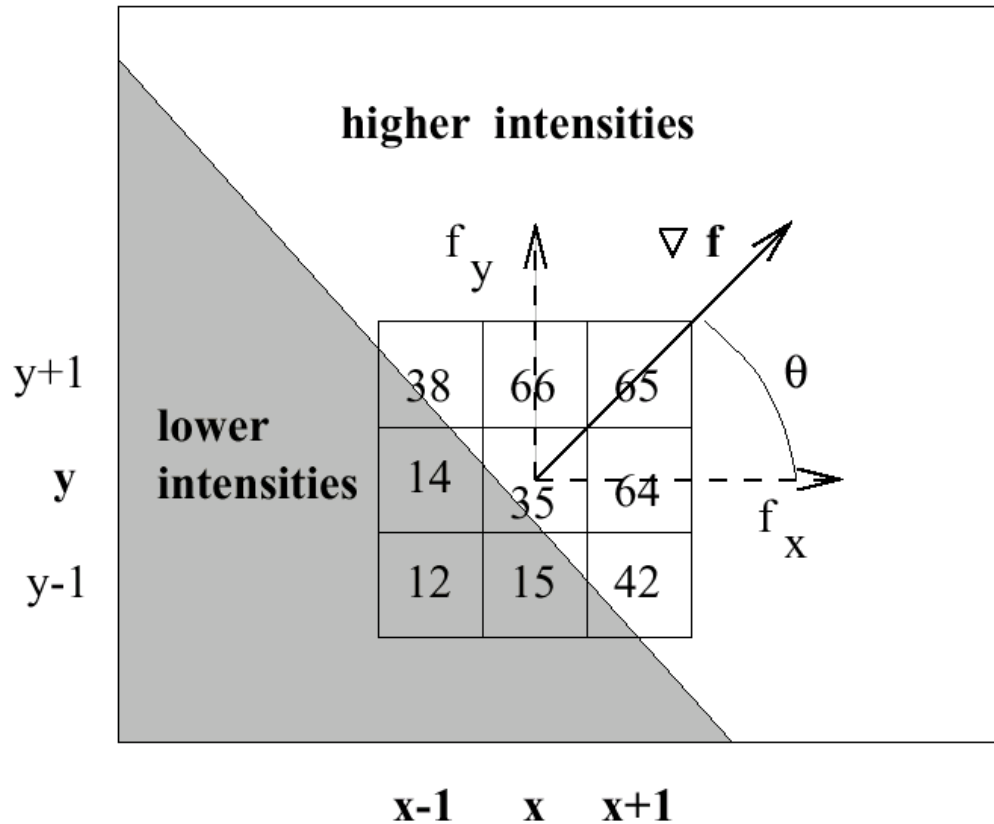
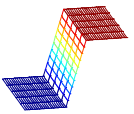
Μια καλή προσέγγιση

$$G_A = |G_x| + |G_y|$$

Ισχύει

$$G_R \leq G_A \leq \sqrt{2} G_R$$

παράδειγμα



$$f_y = ((38-12)/2 + (66-15)/2 + (65-42)/2) / 3 = (13 + 25 + 11) / 3 = 16$$

$$f_x = ((65-38)/2 + (64-14)/2 + (42-12)/2) / 3 = (13 + 25 + 15) / 3 = 18$$

$$\theta = \tan^{-1}(16 / 18) = 0.727 \text{ rad} = 42 \text{ degrees}$$

$$|\nabla f| = (16^2 + 18^2)^{1/2} = 24$$



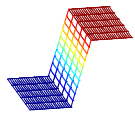
Υλοποίηση της βάθμωσης

Σε 1 διάσταση:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1) - f(x)$$

ή

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1) - f(x-1)$$



Υλοποίηση της βάθμωσης G

| Είδος τελεστού | G_x | G_y |
|----------------|--|--|
| Roberts | $\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ |
| Prewitt | $\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ |
| Sobel | $\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$ |
| Frei-Chen | $\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ \sqrt{2} & 0 & -\sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} -1 & -\sqrt{2} & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & \sqrt{2} & 1 \end{bmatrix}$ |

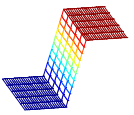
| | | |
|--------------|------------|--------------|
| $F(x-1,y+1)$ | $F(x,y+1)$ | $F(x+1,y+1)$ |
| $F(x-1,y)$ | $F(x,y)$ | $F(x+1,y)$ |
| $F(x-1,y-1)$ | $F(x,y-1)$ | $F(x+1,y-1)$ |

Για τον τελεστή Sobel η υλοποίηση του Gradient G βασίζεται στις σχέσεις:

$$G_y = [f(x-1,y+1) + 2f(x,y+1) + f(x+1,y+1)] - [f(x-1,y-1) + 2f(x,y-1) + f(x+1,y-1)]$$

$$G_x = [f(x+1,y-1) + 2f(x+1,y) + f(x+1,y+1)] - [f(x-1,y-1) + 2f(x-1,y) + f(x-1,y+1)]$$

παράδειγμα



Roberts



Prewitt



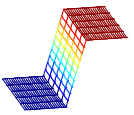
Sobel



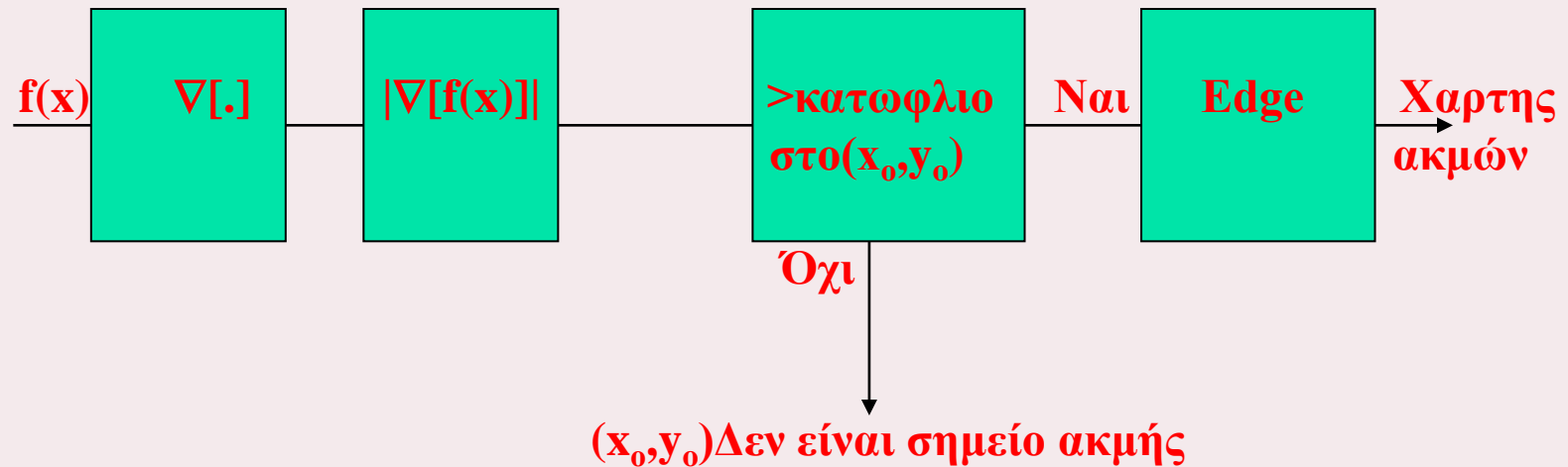
Sobel-
κατακόρυφη

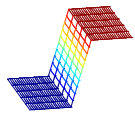


Sobel-
οριζόντια



Ανίχνευση ακμής με 1η παράγωγο διάγραμμα





Πώς ανιχνεύεται η κατεύθυνση

Απο την γωνία: $\theta = \tan^{-1} \frac{G_x}{G_y}$

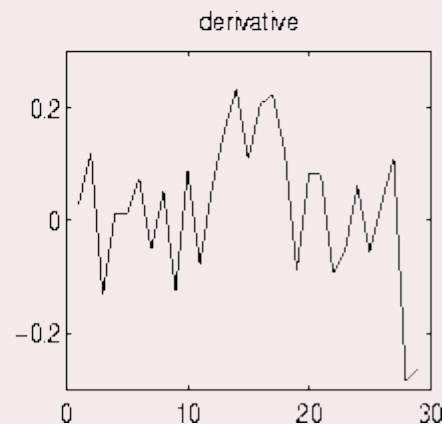
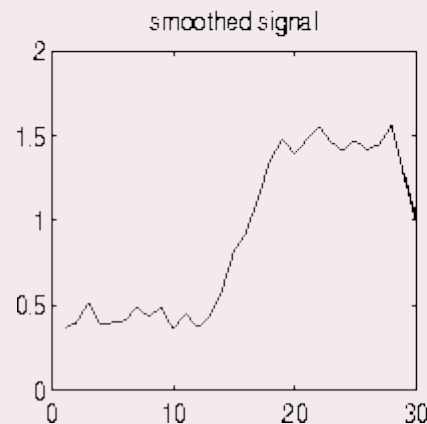
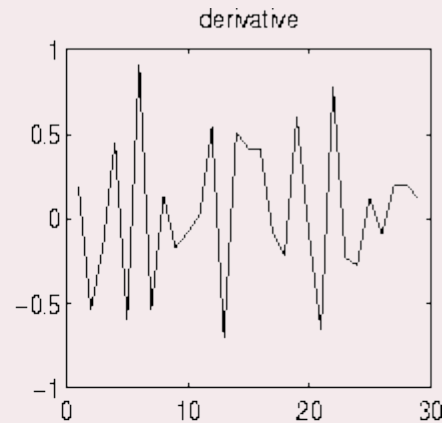
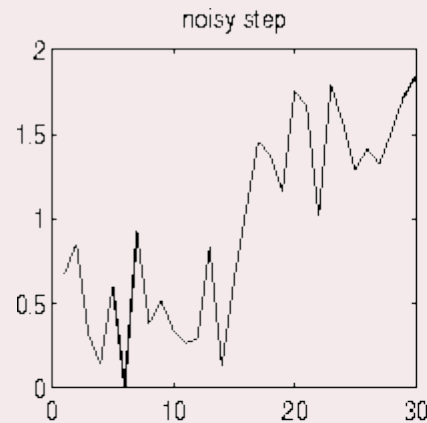
Ή απο «μάσκες»:

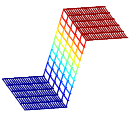
| East | Northeast | North | Northwest | West | Southwest | South | Southeast |
|---------|-----------|----------|-----------|---------|-----------|----------|-----------|
| 1 1 -1 | 1 -1 -1 | -1 -1 -1 | -1 -1 1 | -1 1 1 | 1 1 1 | 1 1 1 | 1 1 1 |
| 1 -2 -1 | 1 -2 -1 | 1 -2 1 | -1 -2 1 | -1 -2 1 | -1 -2 1 | 1 -2 1 | 1 -2 -1 |
| 1 1 -1 | 1 1 1 | 1 1 1 | 1 1 1 | -1 1 1 | -1 -1 1 | -1 -1 -1 | 1 -1 -1 |

Η «ανάγκη» για φιλτράρισμα

Ακμή με θόρυβο και η παράγωγος (πάνω)

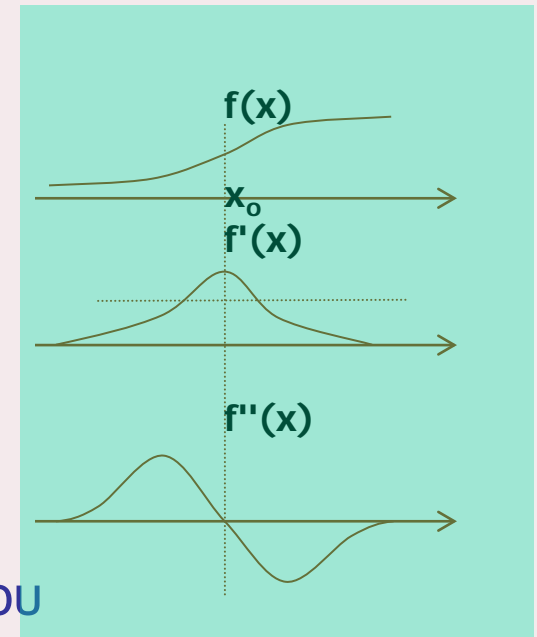
Φιλτραρισμένη ακμή και η παράγωγος (κάτω).





Ανίχνευση ακμής με 2η παράγωγο – Λαπλασιανή (Laplacian)

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



- Δεν παρουσιάζει τα προβλήματα του μεγάλου εύρους ακμών
- Η έξοδος των τελεστών αυτών είναι τα σημεία μηδενισμού της 2ης παραγώγου

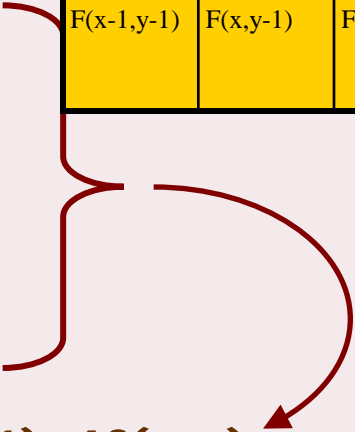
Laplacian

αριθμητική προσέγγιση:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y)$$

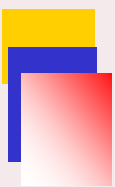
| | | |
|---------------|-------------|---------------|
| $F(x-1, y+1)$ | $F(x, y+1)$ | $F(x+1, y+1)$ |
| $F(x-1, y)$ | $F(x, y)$ | $F(x+1, y)$ |
| $F(x-1, y-1)$ | $F(x, y-1)$ | $F(x+1, y-1)$ |



$$\nabla^2 f(x, y) = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y)$$

Υλοποίηση

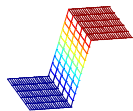
$$\nabla^2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$



$$\dot{\eta} \quad \nabla^2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\dot{\eta} \quad \nabla^2 = f(x,y) - \text{mean}[f(x,y)]$$

$$\dot{\eta} \quad \text{median}[f(x,y)] - \text{mean}[f(x,y)]$$



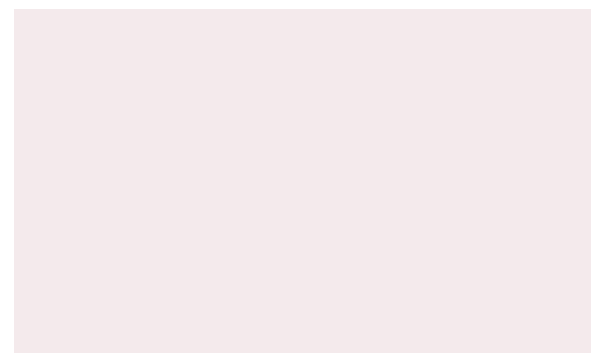
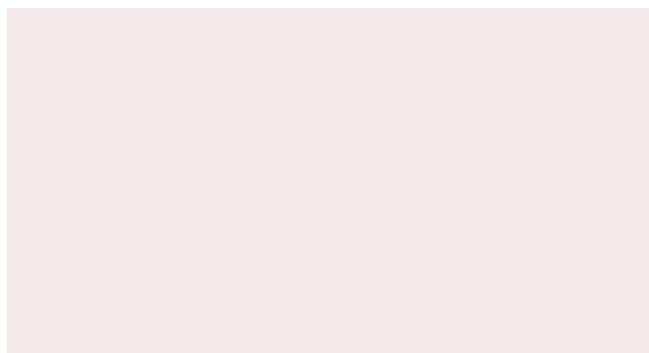
Laplacian -παράδειγμα

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |

(α)

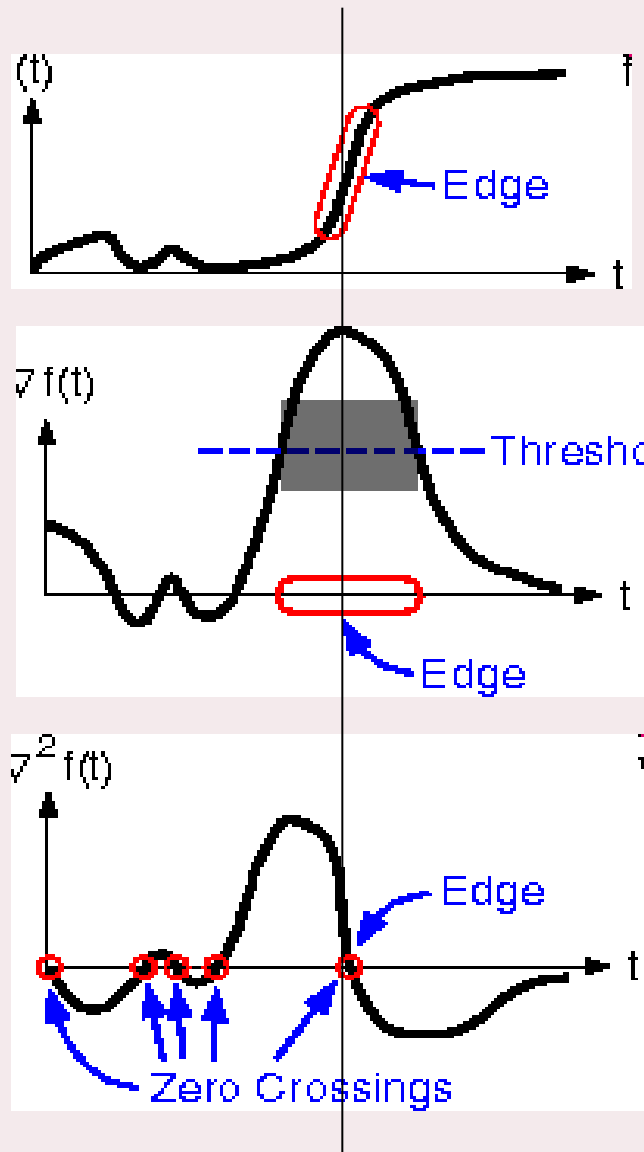
| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 5 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 5 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 5 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 5 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 5 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 5 | 8 | 8 | 8 | 8 |

(β)



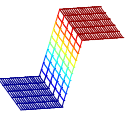
Το (γ) είναι η απόκριση του (α) σε **Laplacian**. Ο μηδενισμός δεν εμφανίζεται αλλά φαίνεται καθαρά η θέση του λόγω του θετικού και αρνητικού σημείου. Στο (δ) που αντιστοιχεί στη ράμπα (β) φαίνεται το σημείο μηδενισμού.

Λαplacian - παράδειγμα



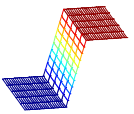
Laplacian - παράδειγμα





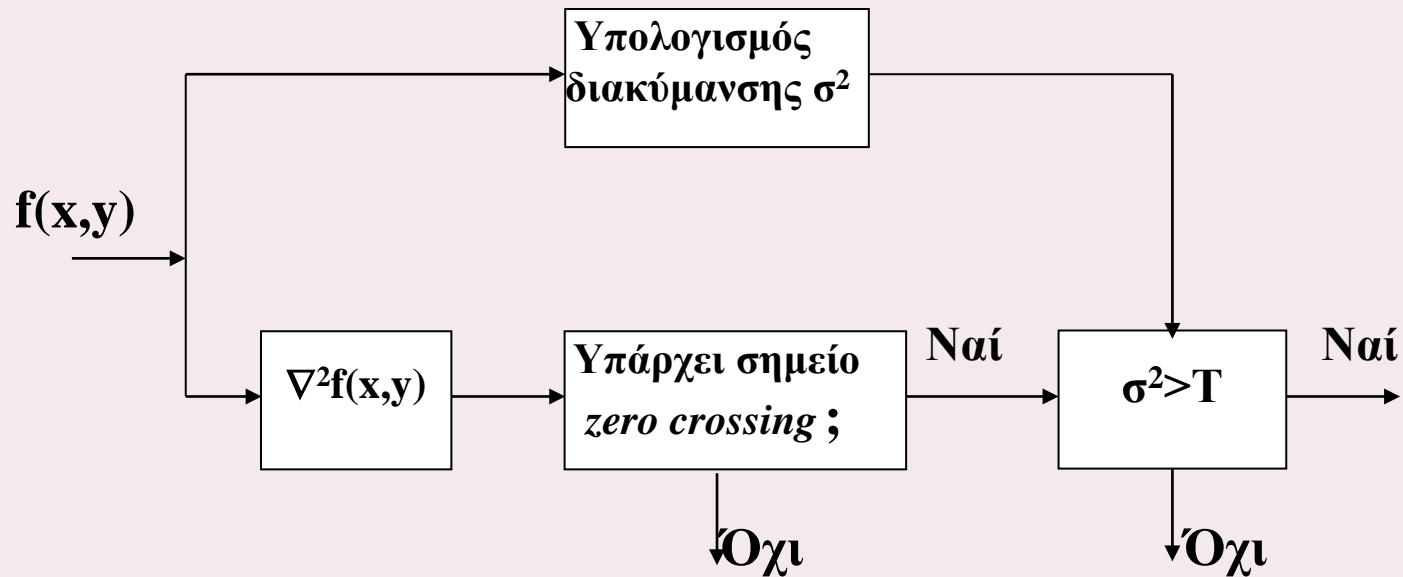
Ιδιότητες της Laplacian

1. Σε σταθερές περιοχές έχει απόκριση μηδενική. Οι τιμές αυτές δεν αποτελούν σημεία ακμών διότι δεν είναι σημεία μηδενισμού (zero crossing).
2. Τα ανιχνευόμενα περιγράμματα είναι πάντα κλειστές γραμμές.
3. Είναι ανεξάρτητη της διεύθυνσης.
4. Έχει μεγάλη ευαισθησία στο θόρυβο και αναδεικνύει ακμές που δεν αντιστοιχούν σε χαρακτηριστικά της εικόνας.

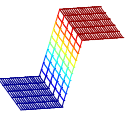


Λaplacian: Βελτίωση «θορύβου»

1^η προσέγγιση



Χρησιμοποίηση της διακύμανσης σ^2 (variance) σε συνδυασμό με τον τελεστή της Laplacian για ανίχνευση ακμής



Laplacian: Βελτίωση «θορύβου»

2^η προσέγγιση

Laplacian of Gaussian (LoG)

Με την μέθοδο αυτή γίνεται υλοποίηση δύο τελεστών :
της Laplacian και της Gaussian.

- στην αρχική εικόνα εφαρμόζεται Gaussian μάσκα για να φιλτράρει τον θόρυβο

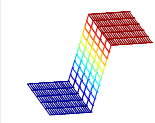
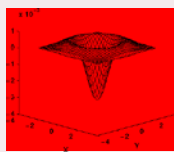
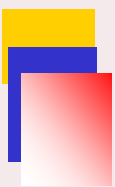
$$G(x,y) * * f(x,y)$$

- και στη συνέχεια εφαρμόζεται Laplacian μάσκα για εύρεση των σημείων μηδενισμού και επομένως των ακμών

$$\nabla^2[G(x,y) * * f(x,y)]$$

- οι διαδικασίες αυτές γίνονται ταυτόχρονα σε ένα βήμα

$$[\nabla^2G(x,y)] * * f(x,y)]$$

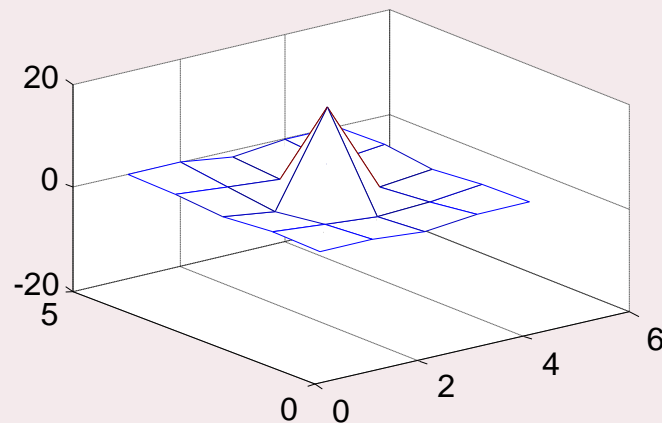


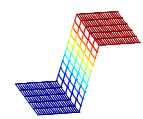
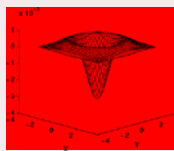
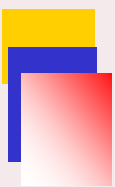
LoG

$$\nabla^2 G = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \left[2 - \frac{x^2 + y^2}{\sigma^2} \right] e^{-\frac{x^2 + y^2}{\sigma^2}}$$

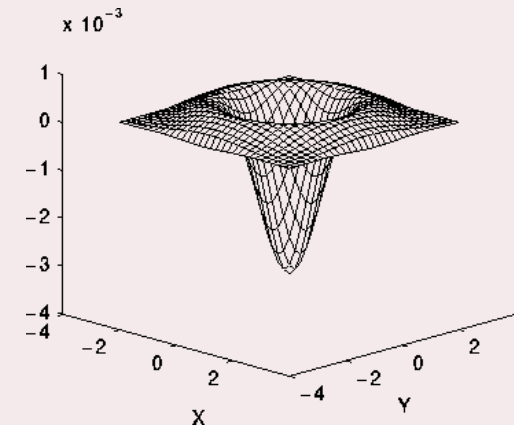
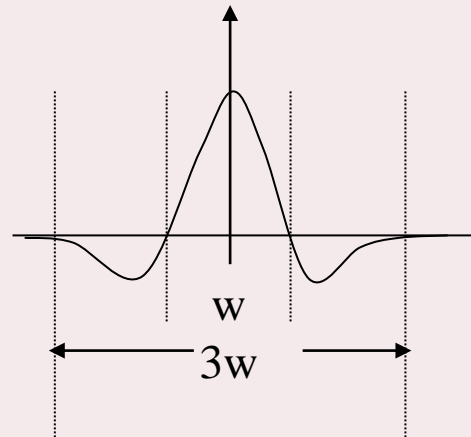
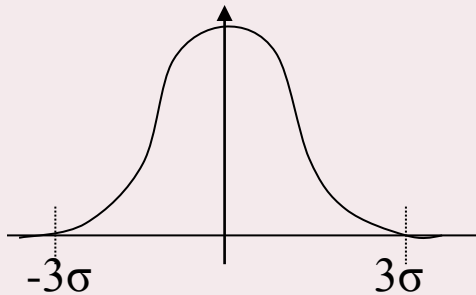
$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -2 & -1 & 0 \\ -1 & -2 & 16 & -2 & -1 \\ 0 & -1 & -2 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

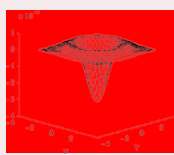




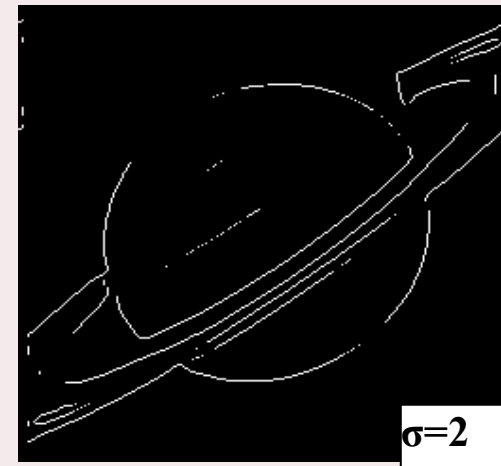
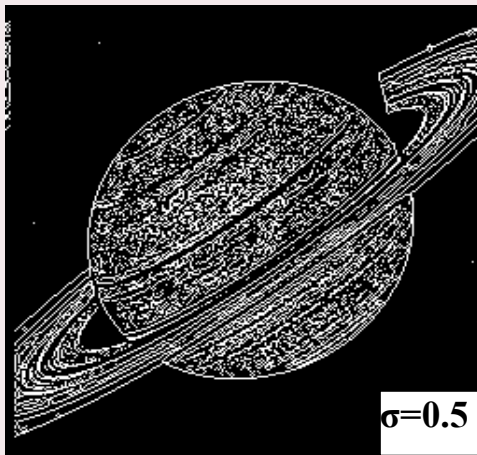
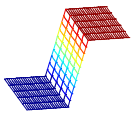
LoG



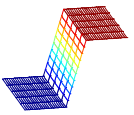
Η συναρτήσεις Gaussian (α) και η LoG (β) σε τομή. Η σχέση μεταξύ w και σ είναι $w=2\sqrt{2}\sigma$. Το μήκος του παραθύρου είναι $3w \times 3w$. Για παράθυρο 3×3 έχουμε $w=1$ και $\sigma=1/(2\sqrt{2})$. Στο (γ) δεικνύεται η μορφή της LoG στον (τρισδιάστατο) χώρο. Οι άξονες x, y είναι βαθμολογημένοι με τιμές της σ .



LoG - παράδειγμα



Εφαρμογή LoG με τρεις διαφορετικές τιμές του σ .



Προσέγγιση της LoG

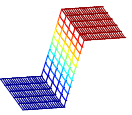
Difference of Gaussian - DoG

Μία καλή προσέγγιση της **LoG** γίνεται με διαφορά δύο Gaussian που έχουν διαφορετικές τυπικές αποκλίσεις σ (Difference of Gaussian - **DoG**). Η μέθοδος αυτή μειώνει το υπολογιστικό κόστος της LoG.

$$\text{DoG}(x, y) = \frac{e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_1^2}}}{2\pi\sigma_1^2} - \frac{e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_2^2}}}{2\pi\sigma_2^2}$$

| | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 |
| 0 | -2 | -3 | -3 | -3 | -2 | 0 |
| -1 | -3 | 5 | 5 | 5 | -3 | -1 |
| -1 | -3 | 5 | 16 | 5 | -3 | -1 |
| -1 | -3 | 5 | 5 | 5 | -3 | -1 |
| 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 |

Η μάσκα αυτή (7x7) υλοποιεί τον τελεστή DoG για λόγο $\sigma_2/\sigma_1=1.6$



Ανίχνευση με την μέθοδο Canny

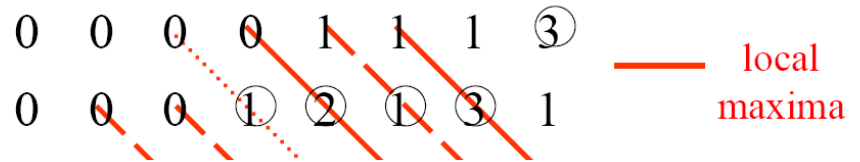
1. "Λείανση" της αρχικής εικόνας με Gaussian φίλτρο:

$$S(i,j) = G(i,j,\sigma) * I(i,j)$$

2. Υπολογίζεται η βάρθρωση (σε

$$P(i,j) \approx \nabla_x S(i,j)$$

$$M(i,j):$$



$$Q(i,j) \approx \nabla_y S(i,j)$$

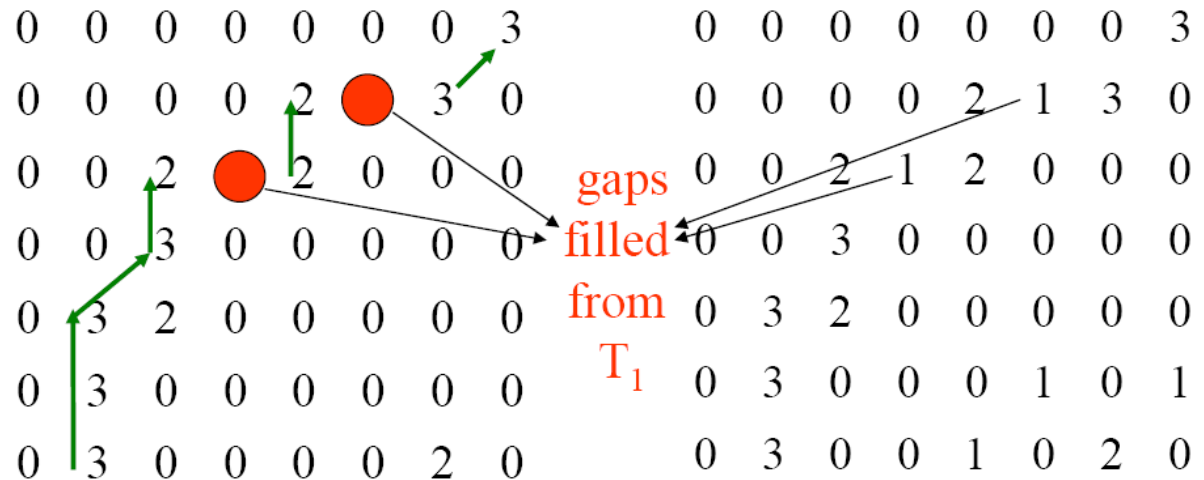
$T_2=2$

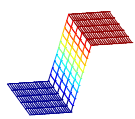
$T_1=1$

3. Διαγράφονται

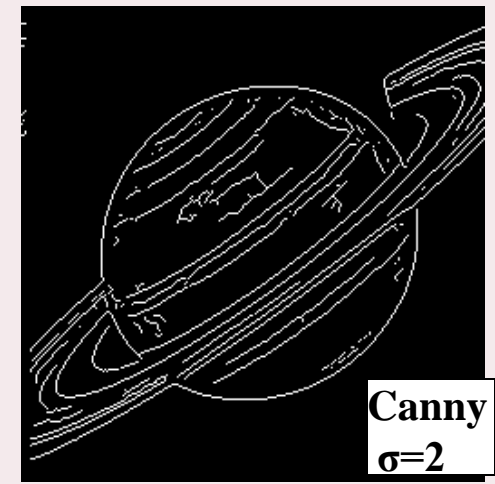
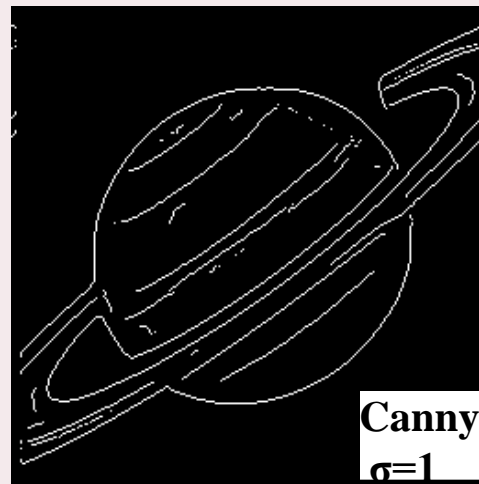
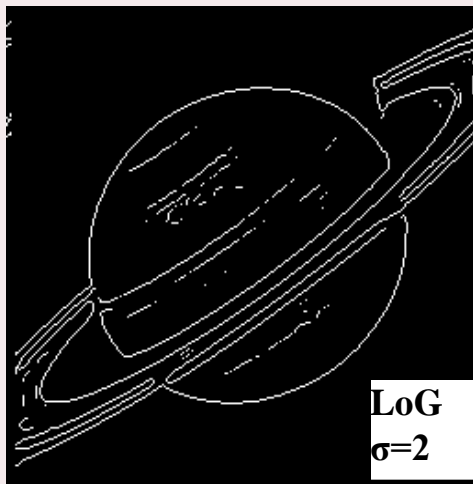
$$N(i,j) = nms[M(i,j)]$$

4. Εφαρμογή διπ



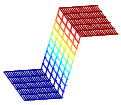


LoG – Canny παράδειγμα



Ανίχνευση ακμών με την μέθοδο Canny και αντίστοιχη εφαρμογή του LoG.

<http://www.cs.washington.edu/research/imagetdatabase/demo/edge/>

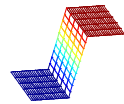


Ανίχνευση ακμών σε έγχρωμη εικόνα

1. Χρησιμοποιώντας το κανάλι Y της εντάσεως αφού γίνει μετασχηματισμός $RGB \rightarrow YIQ$ (ή $RGB \rightarrow HSI$)
2. Χρησιμοποιώντας τα τρία κανάλια R,G,B χωριστά. Από τους τρεις χάρτες G_R , G_B , G_G βρίσκεται ο συνολικός χάρτης ακμών $G(x,y)$:

$$G(x,y) = \sqrt{G_R^2 + G_G^2 + G_B^2}$$

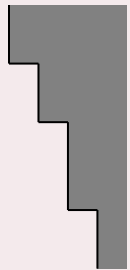
3. Με διανυσματικές διαδικασίες πχ. **VM-Mean**



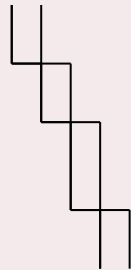
Κριτήρια σωστής ανίχνευσης

Τα σφάλματα στην ανίχνευση των ακμών είναι τα εξής:

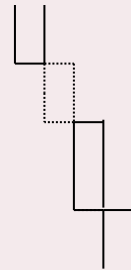
- Παράλειψη σημείων ακμής
- Λανθασμένη αναγνώριση σημείων που δεν είναι πραγματικές ακμές
- Μετατόπιση σημείων ακμής



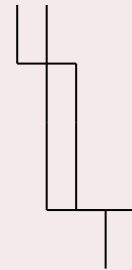
(α)



(β)

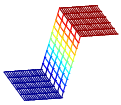


(γ)



(δ)

(α) τμήμα εικόνας με ακμή (β) ιδανική ανίχνευση ακμής (γ) Ένα σημείο που δεν ανιχνεύτηκε και (δ) ανίχνευση σημείων ακμής με μετατόπιση



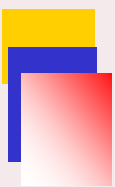
FOM - figure of merit του Pratt

Το κριτήριο (FOM -figure of merit) σωστής ανίχνευσης που έχει προταθεί από τον Pratt είναι το ακόλουθο:

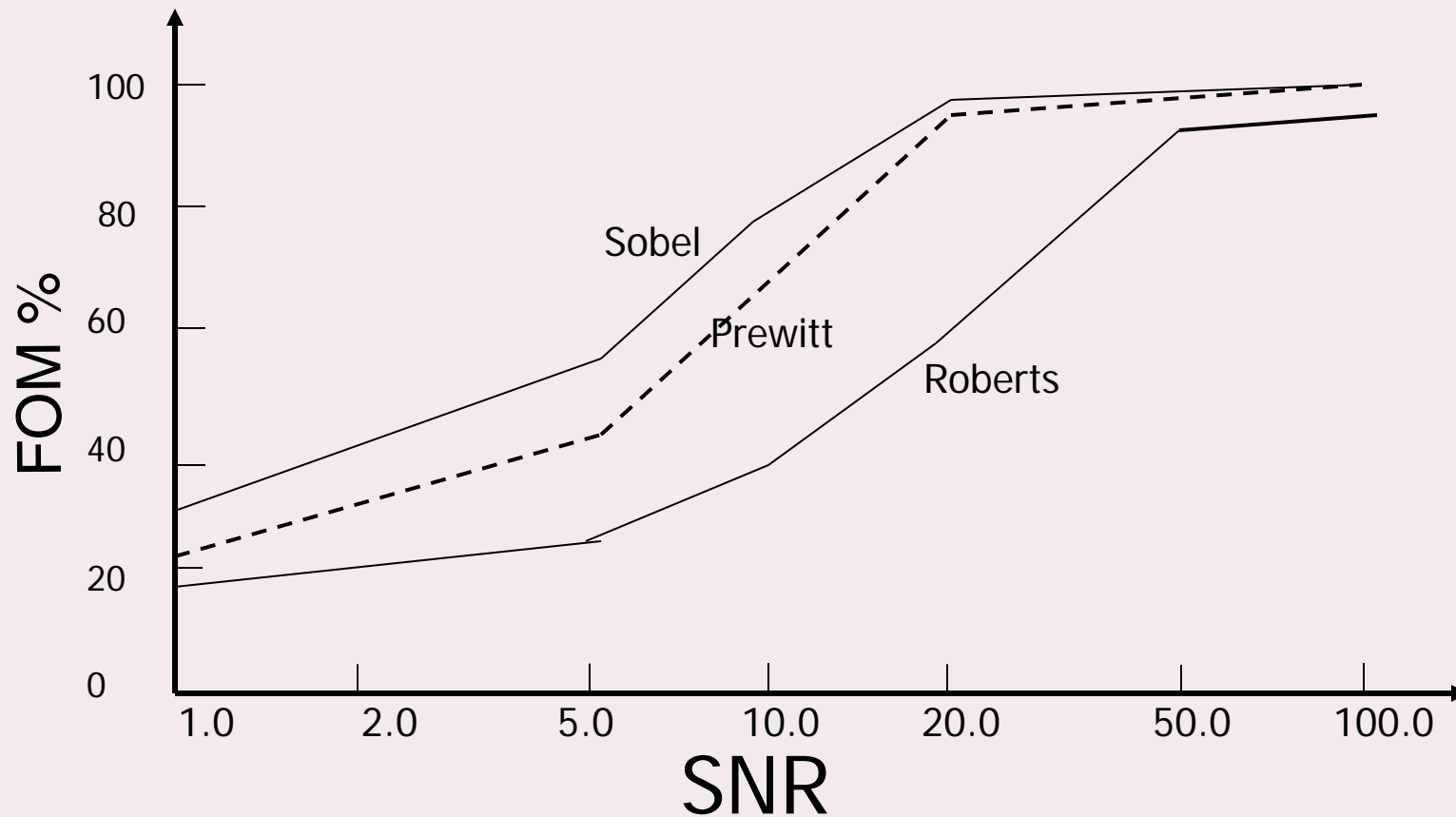
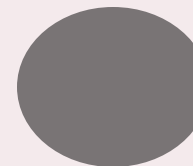
$$R = \frac{1}{\max[I_I, I_A]} \sum_{i=1}^{I_A} \frac{1}{1 + \alpha d_i^2}$$

Μεγάλο R → καλύτερη ανίχνευση

I_I = ιδανικός αριθμός σημείων,
 I_A = ο αριθμός σημείων που ανίχνευσε η μέθοδος.
 α = παράγοντας κλιμάκωσης
 d_i = η μετατόπιση του σημείου ακμής από την πραγματική του θέση.



Εικόνες για «ΤΕΣΤ»



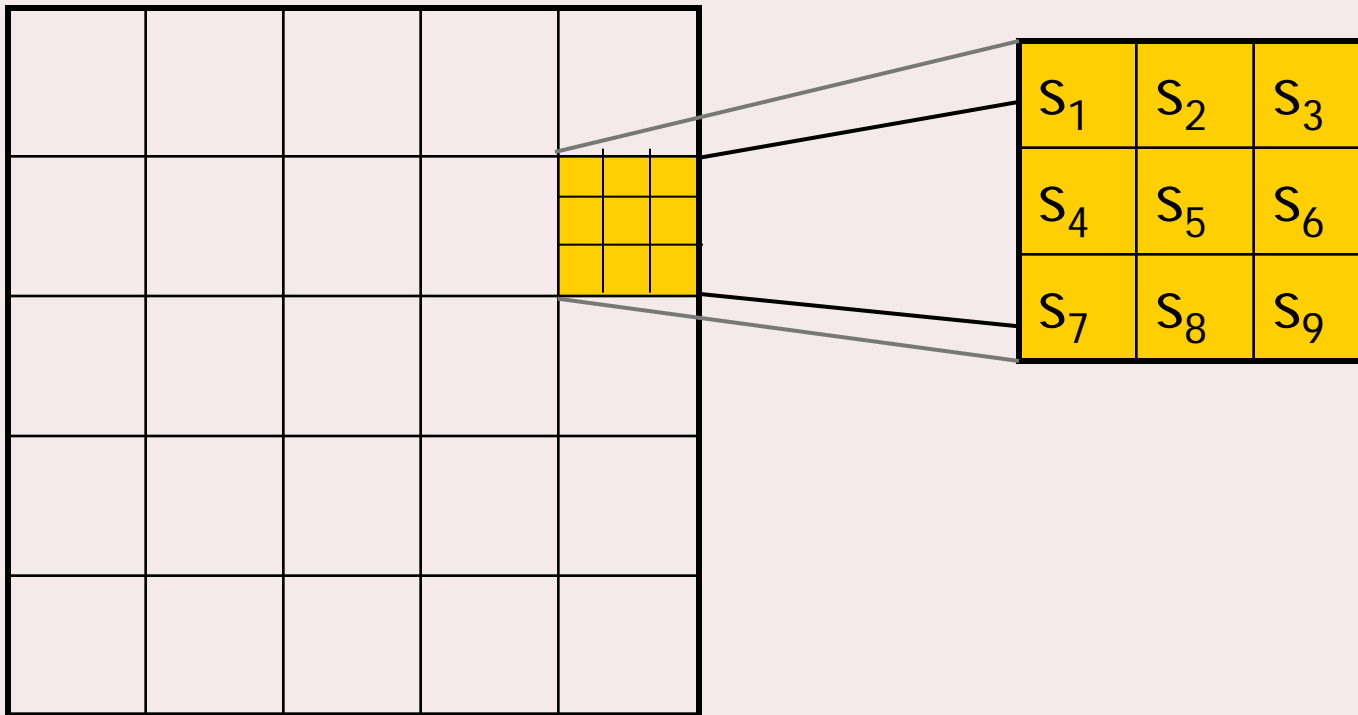


Μια άλλη προσέγγιση

Ο n -διάστατος χώρος των περιοχών (blocks)
μίας εικόνας

Τα 9 σημεία αποτελούν τις συνιστώσες ενός 9-διάστατου διανύσματος. $S = [s_1, s_2, \dots, s_9]$ που έχει ενέργεια:

$$S^2 = s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + \dots + s_9^2$$



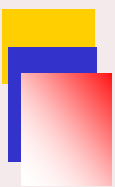
Ορθοκανονική βάση: τα διανύσματα είναι ορθογώνια
(άρα ανεξάρτητα) και έχουν μέτρο =1

Μία standard ορθοκανονική βάση 3x3 αποτελείται από τα ακόλουθα 9 διανύσματα:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ένα οποιοδήποτε διάνυσμα 3x3 παριστάνεται στο «χώρο» αυτό πχ.

$$\begin{bmatrix} 3 & 4 & 0 \\ 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = 3 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + 4 \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + 5 \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



Η βάση Frei-Chen

Επιτρέπει την ερμηνεία του πίνακα-διάνυσμα σύμφωνα με τις τιμές των συνιστωσών του.

| | | |
|-----------------|---|---|
| βάθμωση | $W_1 = \frac{1}{\sqrt{8}} \begin{bmatrix} 1 & \sqrt{2} & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -\sqrt{2} & -1 \end{bmatrix}$ | $W_2 = \frac{1}{\sqrt{8}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ \sqrt{2} & 0 & -\sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$ |
| κυμάτωση | $W_3 = \frac{1}{\sqrt{8}} \begin{bmatrix} 0 & -1 & \sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \\ -\sqrt{2} & 1 & 0 \end{bmatrix}$ | $W_4 = \frac{1}{\sqrt{8}} \begin{bmatrix} \sqrt{2} & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -\sqrt{2} \end{bmatrix}$ |
| γραμμή | $W_5 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ | $W_6 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$ |
| Laplacian | $W_7 = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$ | $W_8 = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} -2 & 1 & -2 \\ 1 & 4 & 1 \\ -2 & 1 & 2 \end{bmatrix}$ |
| σταθερή περιοχή | $W_9 = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ | |

παράδειγμα

$$N = \begin{bmatrix} 10 & 10 & 10 \\ 10 & 10 & 5 \\ 10 & 5 & 5 \end{bmatrix}$$

συνολική ενέργεια

$$N \circ N = 10^2 + 10^2 + 10^2 + 10^2 + 10^2 + 10^2 + 5^2 + 5^2 + 5^2 = 675$$

ακμή

$$N \circ W_1 = \frac{5 + 5\sqrt{2}}{\sqrt{8}} \approx 4.3 \Rightarrow \text{Ενέργεια} = 4.3^2 \approx 18$$

$$N \circ W_2 = \frac{5 + 5\sqrt{2}}{\sqrt{8}} \approx 4.3 \Rightarrow \text{Ενέργεια} = 4.3^2 \approx 18$$

$$N \circ W_3 = 0 \Rightarrow \text{Ενέργεια} = 0$$

$$N \circ W_4 = \frac{5\sqrt{2} - 10}{\sqrt{8}} \approx -1 \Rightarrow \text{Ενέργεια} \approx 1$$

$$N \circ W_5 = 0 \Rightarrow \text{Ενέργεια} = 0$$

$$N \circ W_6 = 2.5 \Rightarrow \text{Ενέργεια} = 6.25$$

$$N \circ W_7 = 2.5 \Rightarrow \text{Ενέργεια} = 6.25$$

$$N \circ W_8 = 0 \Rightarrow \text{Ενέργεια} = 0$$

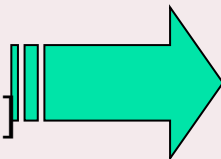
σταθερή περιοχή $\rightarrow N \circ W_9 = 25 \Rightarrow \text{Ενέργεια} = 625$

Άλλες βάσεις

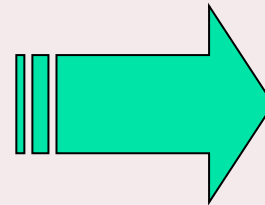
$$L_3 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$
$$E_3 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$
$$S_3 = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$

Laws' texture energy measures

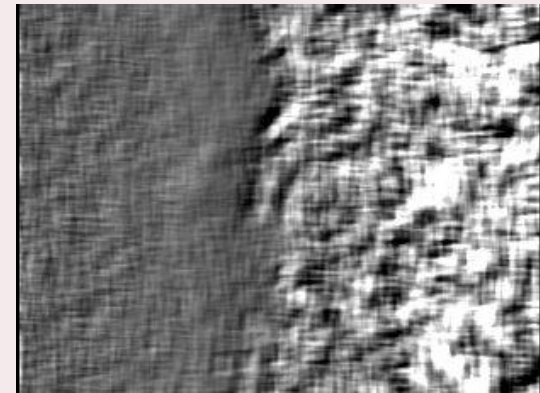
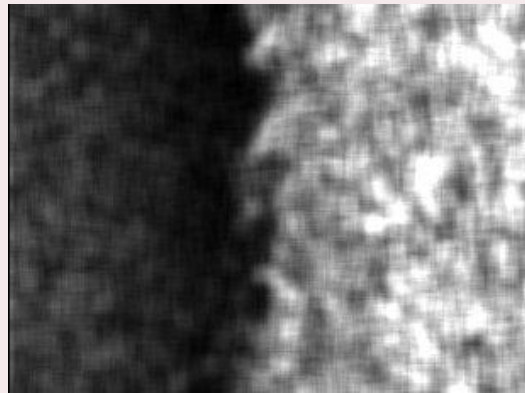
$$L5 = [1 \ 4 \ 6 \ 4 \ 1]$$
$$E5 = [-1 \ -2 \ 0 \ 2 \ 1]$$
$$S5 = [-1 \ 0 \ 2 \ 0 \ -1]$$
$$W5 = [-1 \ 2 \ 0 \ -2 \ 1]$$
$$R5 = [1 \ -4 \ 6 \ -4 \ 1]$$



Level
Edge
Spot
Wave
Ripple



25 masks 5x5



μάσκες

8

9

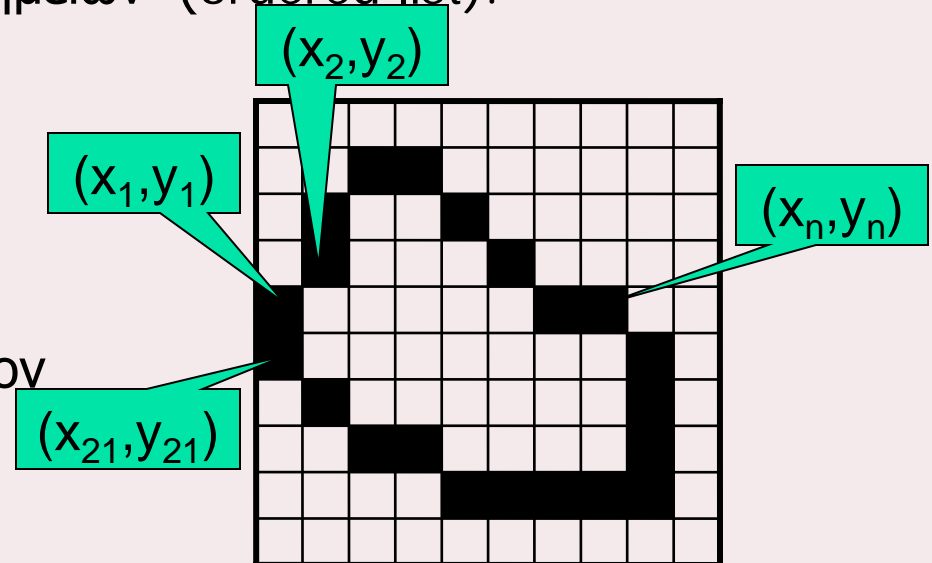
Καταγραφή περιγράμματος

Τα σημεία ακμής συνήθως είναι συνδεδεμένα και αποτελούν το περίγραμμα μίας περιοχής (contour).

Η απλούστερη περιγραφή ενός περιγράμματος γίνεται με την διατεταγμένη καταγραφή των σημείων (ordered list).

$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$

Η πιο συνήθης όμως καταγραφή ενός περιγράμματος γίνεται με τον κώδικα αλυσίδας (chain code)





Κώδικας αλυσίδας (chain code)

Προσδιορίζει την διεύθυνση του περιγράμματος σε κάθε σημείο ακμής.

Η καταγραφή αρχίζει από ένα σημείο και προχωρά δεξιόστροφα

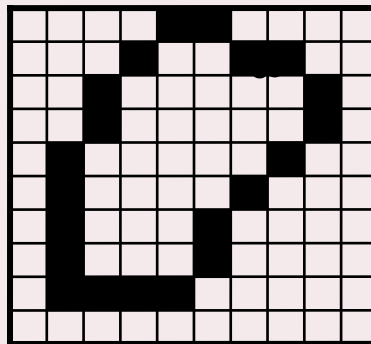
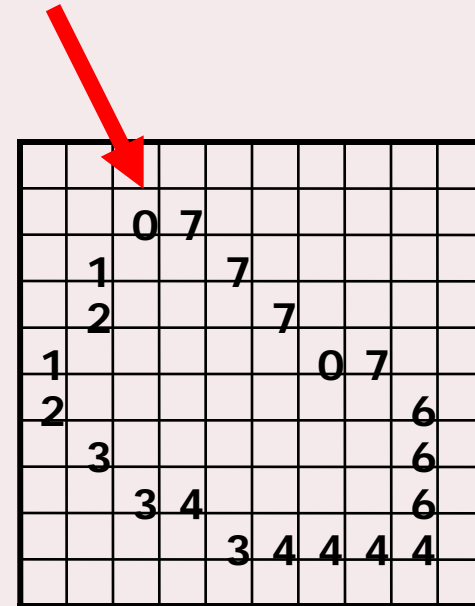
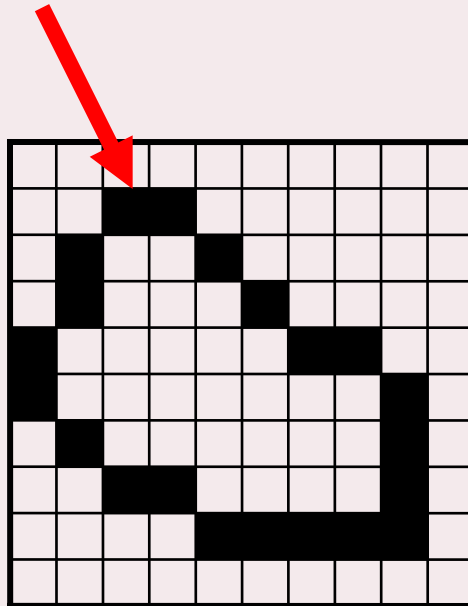
Κάθε σημείο προσδιορίζεται από την διεύθυνσή του σχετικά με το προηγούμενο.

Οκτώ (ή τέσσερες) διευθύνσεις είναι επιτρεπτές.

Η συνολική καταγραφή του περιγράμματος περιλαμβάνει τις συντεταγμένες του αρχικού σημείου και τις διευθύνσεις των υπολοίπων μέσω του κώδικα αλυσίδας

Κώδικας αλυσίδας - σχήματα

| | | |
|---|---|---|
| 3 | 2 | 1 |
| 4 | □ | 0 |
| 5 | 6 | 7 |



Για στροφή $n*45$

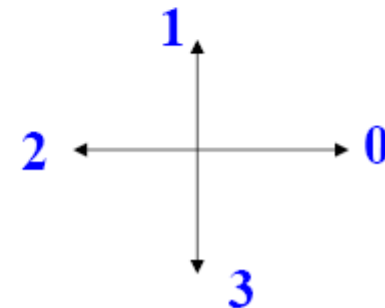
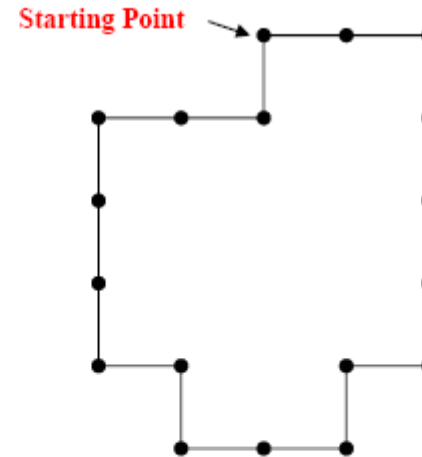
ο κώδικας γίνεται :

$(n + \text{αρχ.κώδικας}) \bmod 8$

Chain Code

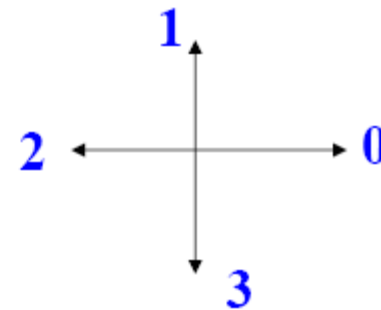
Exp: 003333232212111001

- Problems:
 - The chain code depends on the starting point.
 - It changes with rotation.



Solutions:

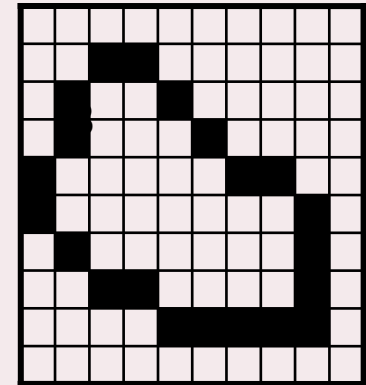
- Treat the chain code as a circular sequence of numbers. Circulate until the number is of minimum magnitude.
- Use the difference of chain code instead of the code itself (count counterclockwise the number of directions that separates two adjacent elements (**First difference**))
- Exp: 10103322
- First difference code: 33133030



$$d_i = \begin{cases} \text{diff}(x_i, x_{i-1}) & \alpha \nu i \neq 1 \\ \text{diff}(x_i, x_N) & \alpha \nu i = 1 \end{cases}$$

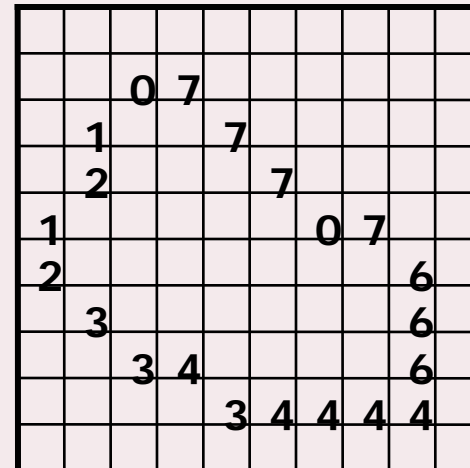
Μήκος T του περιγράμματος:

$$T = \sum_{i=1}^N n_i$$



$$n_i = \begin{cases} 1 & \text{αν } x_i \bmod 2 = 0 \\ \sqrt{2} & \text{αν } x_i \bmod 2 = 1 \end{cases}$$

(για κώδικα
8 γειτόνων)



| | | |
|---|---|---|
| 3 | 2 | 1 |
| 4 | □ | 0 |
| 5 | 6 | 7 |

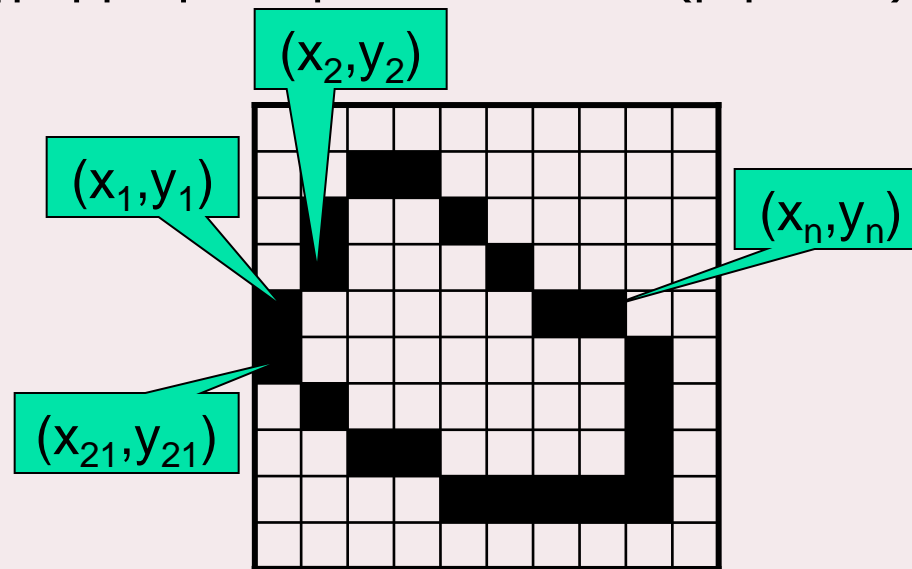
Περιγραφή περιγράμματος με DFT – (Fourier descriptors)

Ένα περίγραμμα: $[x(n), y(n)] = (x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_{N-1}, y_{N-1})$

θεωρούμε ότι παριστάνεται από μιγαδικούς αριθμούς:

$$u(n) = x(n) + jy(n) = x_0 + jy_0, x_2 + jy_2, \dots, x_{N-1} + jy_{N-1}$$

Δηλαδή το περίγραμμα μετατρέπεται σε ένα (μιγαδικό) σήμα.



Κωδικοποίηση με χρήση DFT:

Fourier
descriptors

$$u(n) = \sum_{k=0}^{N-1} A(k) e^{\frac{j2\pi kn}{N}} \quad 0 \leq n \leq N-1$$

$$A(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u(n) e^{-\frac{j2\pi kn}{N}} \quad 0 \leq k \leq N-1$$

- Ο συντελεστής $A(0)$ αναπαριστά το **κέντρο βάρους** της καμπύλης
- Περιστροφή της καμπύλης κατά γωνία θ : $A_r(n) = A(n) e^{i\theta}$
- «Απόσταση» δυο καμπυλων: $z_1(n), z_2(n)$

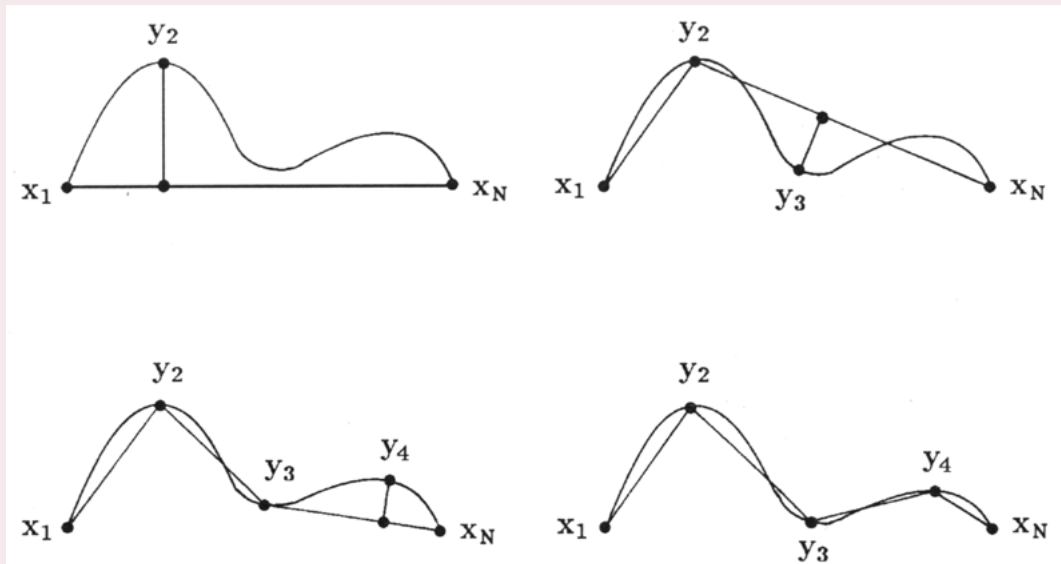
$$E = \sum_{k=0}^{N-1} (|Z_1(k)| - |Z_2(k)|)^2$$



Μετασχηματισμός Hough

- Ο μετασχηματισμός Hough χρησιμοποιεί παραμετρική περιγραφή απλών γεωμετρικών σχημάτων (καμπυλών).
- Ελαττώνει την υπολογιστική πολυπλοκότητα της αναζήτησης σχημάτων σε μια δυαδική εικόνα.
- «Βλέπει» συνολικά όλα τα σημεία μίας καμπύλης

Πολυγωνικές προσεγγίσεις



Η βέλτιστη γραμμική κατά τμήματα προσέγγιση: επιλέγουμε τις κορυφές του πολυγώνου ώστε το ολικό σφάλμα προσέγγισης να ελαχιστοποιείται

Σφάλμα:

Μέσο τετραγωνικό

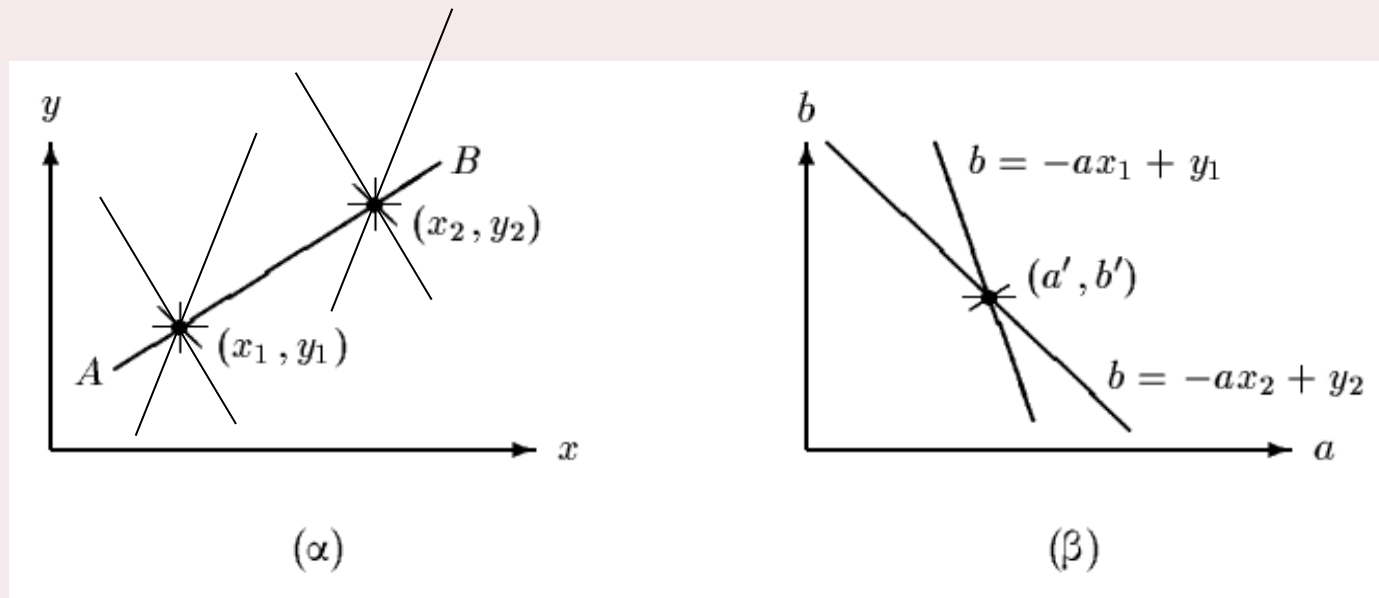
Μέγιστο

$$E_2 = \sum_{i=2}^{N-1} |x_i - d_i|^2$$

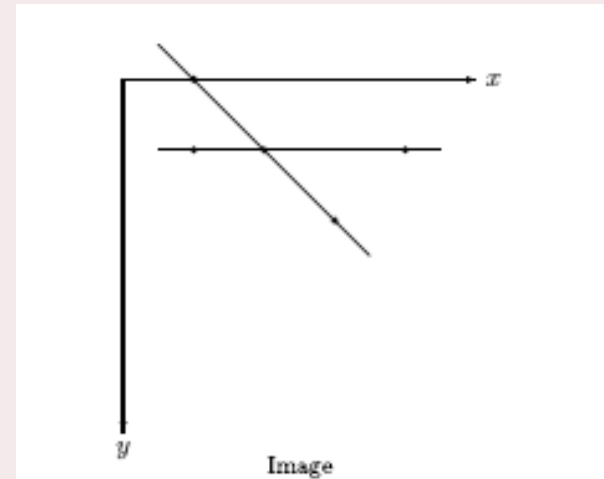
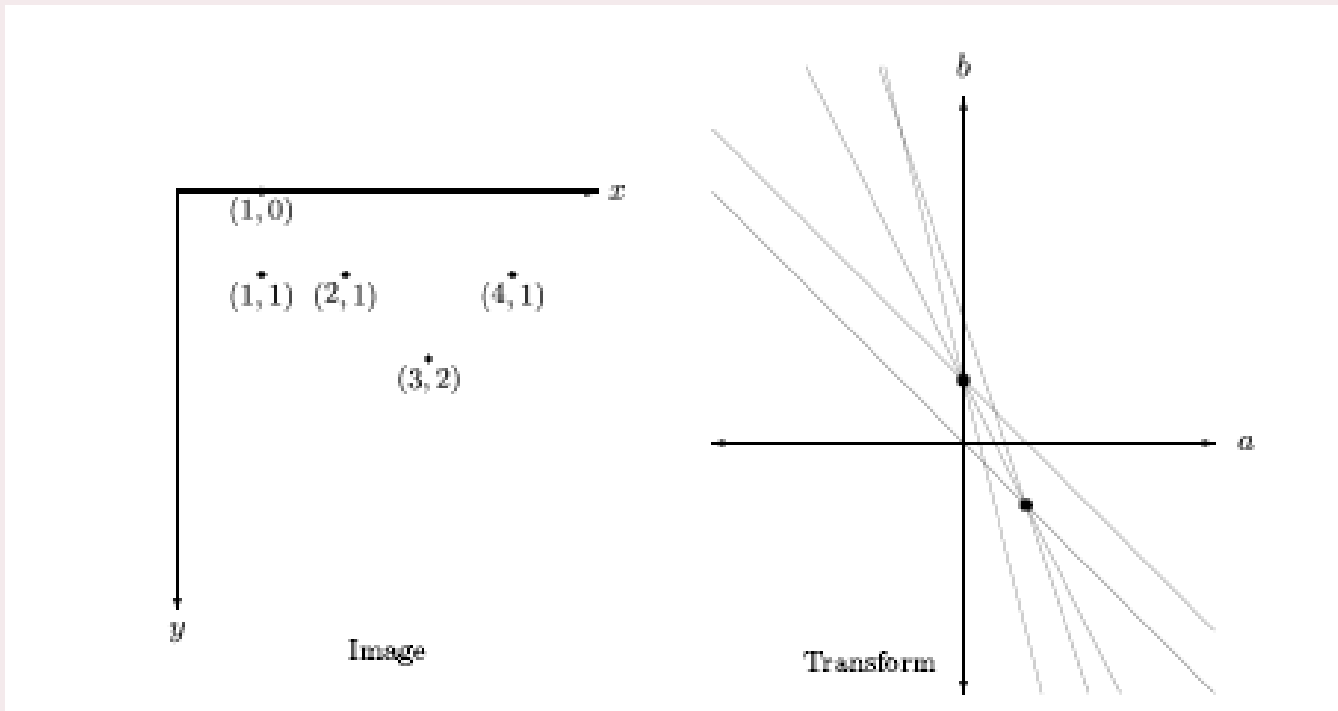
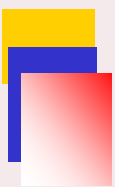
$$E_{max} = \max_{2 \leq i \leq N-1} |x_i - d_i|$$

Παραμετρική περιγραφή ευθείας

Α. καρτεσιανές συντεταγμένες $y = ax + b$

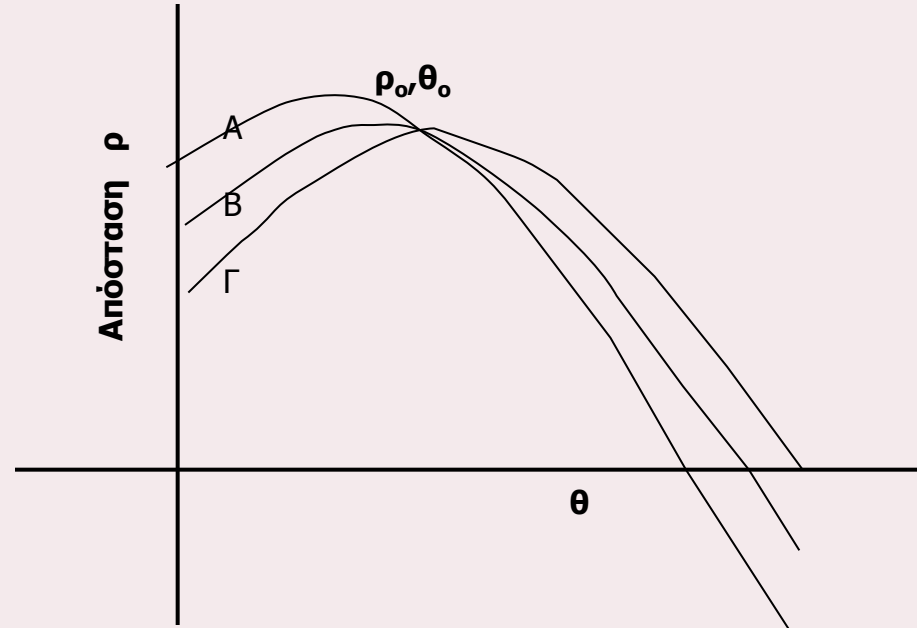
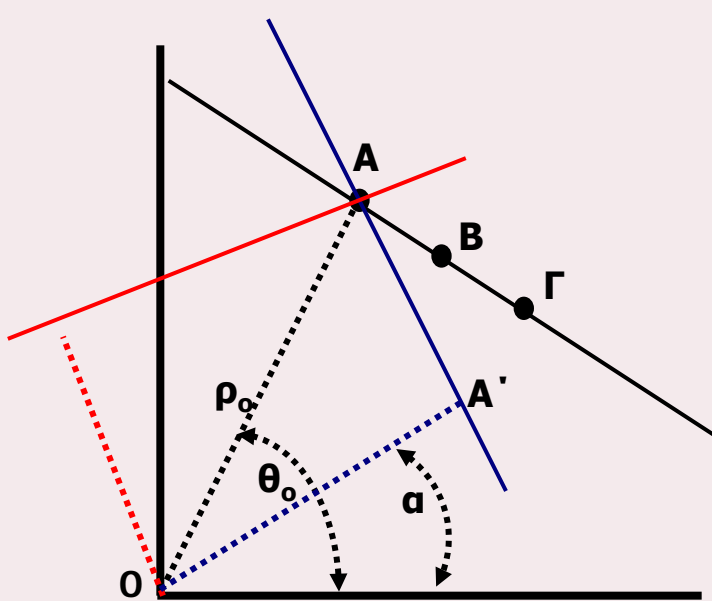


- (α) Ευθεία γραμμή στο επίπεδο της εικόνας,
- (β) Η αναπαράσταση της στον παραμετρικό χώρο



Β. Πολικές συντεταγμένες

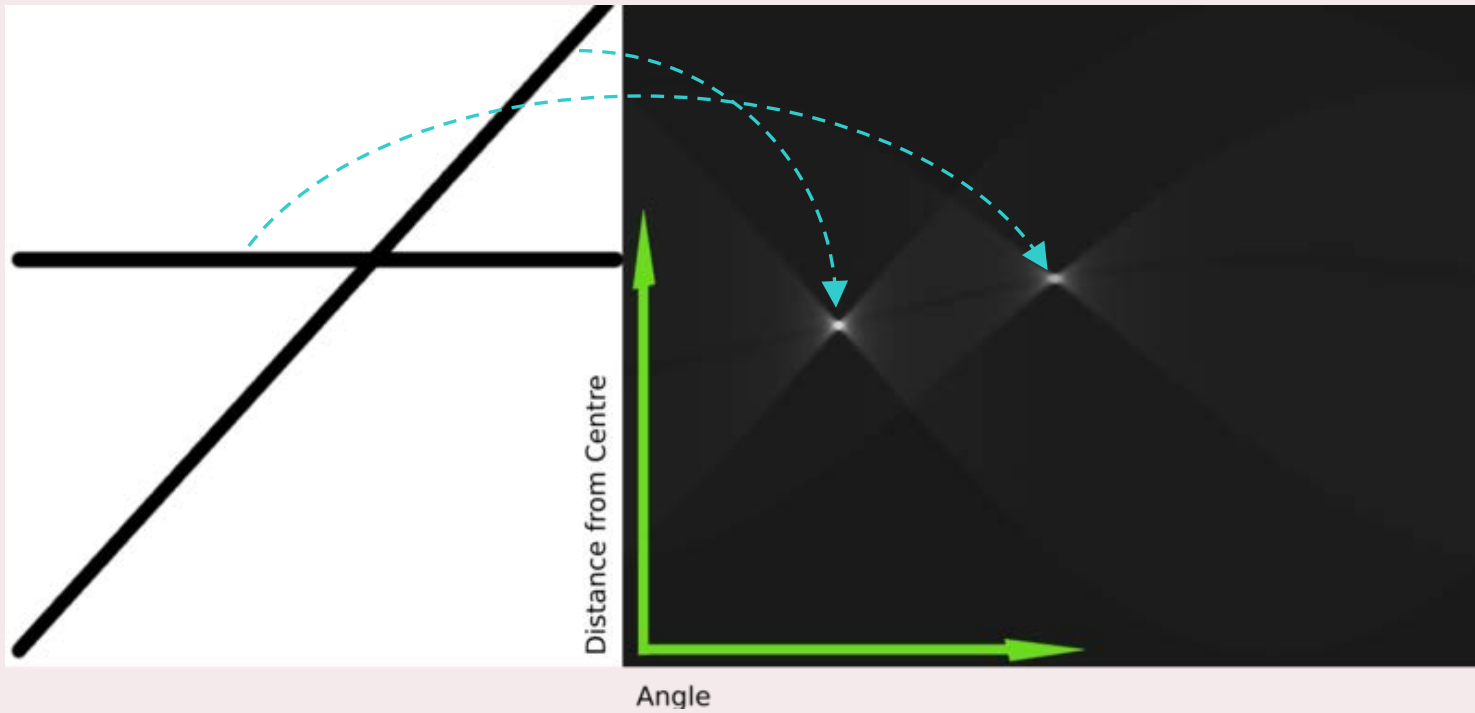
Πολική αναπαράσταση ευθείας γραμμής $\rho = x \cos\theta + y \sin\theta$



$$(OA') = (OA) \cos(\theta_0 - \alpha) \rightarrow \rho = \rho_0 \cos(\alpha - \theta_0).$$

Επειδή ρ_0 και θ_0 αντιστοιχούν στο σημείο A και επομένως είναι σταθερά η σχέση $\rho = \rho(\theta)$ είναι (συν)ημιτονική

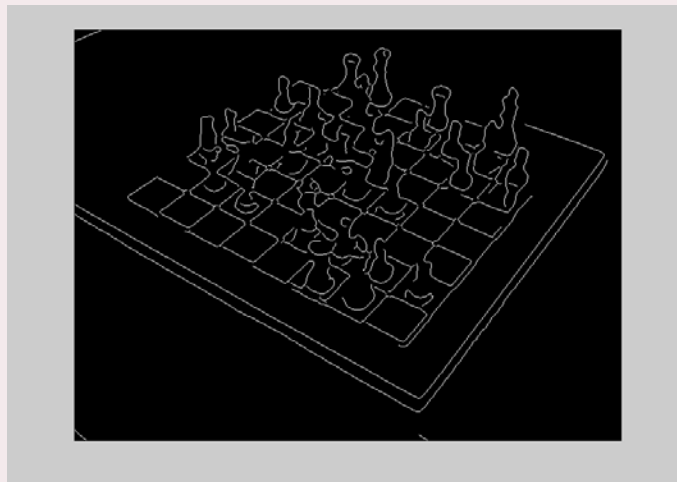
παράδειγμα



Read in the chessboard image

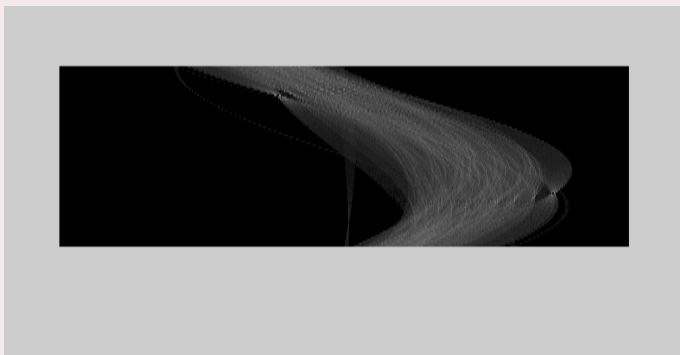


Find edges

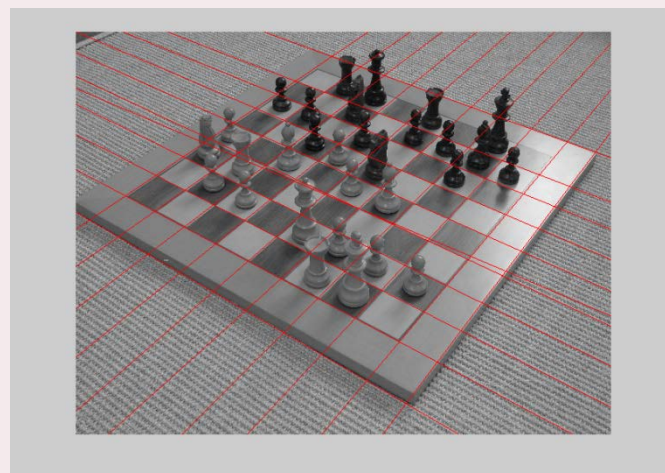


Άλλο παράδειγμα

Perform the Hough transform
Find the peaks in the transform



Plot the lines on the image





Ερωτήσεις - εργασίες

- 4.1 Να υλοποιηθεί ανιχνευτής ακμής σε έγχρωμη εικόνα με την διαφορά : $VM - mean$
- 4.2 DoG – υλοποίηση – εφαρμογή
- 4.3 Δημιουργείστε μία τεχνητή εικόνα, με αντικείμενα σαφών περιγραμμάτων. Εφαρμόστε ανιχνευτές ακμών και υπολογίστε το FOM (Pratt)
- 4.4 Να υλοποιηθεί (m-file) η διαδικασία κωδικοποίησης αλυσίδας