



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής & Υπολογιστών

Διδάσκων: ΤΡΙΓΚΑ ΜΑΡΙΑ

Διάλεξη 5η

Ακαδημαϊκό έτος 2024-2025

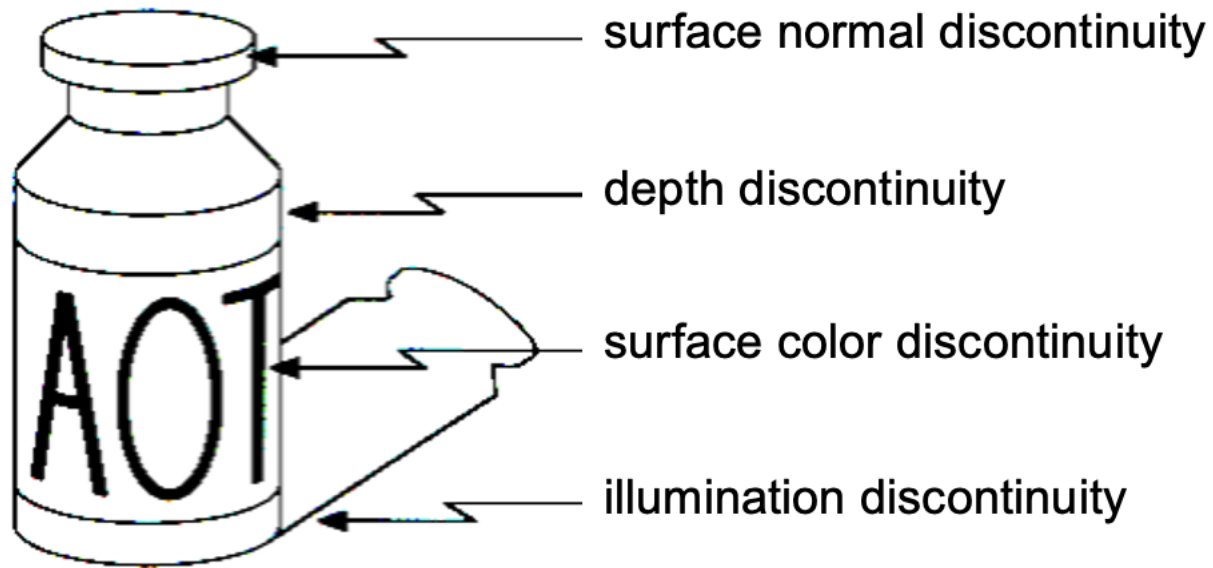
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- Η ανίχνευση ακμών είναι μια τεχνική που εντοπίζει τις οριακές γραμμές και τις μεταβολές της φωτεινότητας στις εικόνες. Βοηθά στην απομόνωση αντικειμένων και στην αναγνώριση δομών, δίνοντας σημαντική πληροφορία για το σχήμα, τη διάταξη και τα περιγράμματα των αντικειμένων.
- **Σημασία και Εφαρμογές:** Η ανίχνευση ακμών χρησιμοποιείται ευρέως σε τομείς όπως η αναγνώριση προσώπου, η ανάλυση δορυφορικών εικόνων, και η ιατρική απεικόνιση, όπου η ανίχνευση των δομών είναι κρίσιμη.

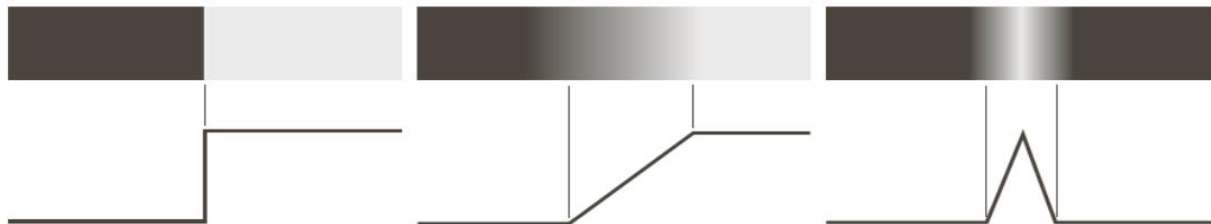
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- Οι ακμές είναι βασικά χαρακτηριστικά της εικόνας
 - Προς το παρόν δεν υπάρχει ακόμα ένας ευρέως αποδεκτός ορισμός της ακμής.
 - Εδώ θα θεωρούμε ως ακμή:
 - «Το σύνορο μεταξύ δύο ομοιογενών περιοχών με διαφορετική φωτεινότητα.»

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ -ΑΙΤΙΑ ΑΚΜΪΩΝ



ΤΥΠΟΙ ΑΚΜΗΣ



Gonzalez & Woods, Digital Image Processing

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΊΧΝΕΥΣΗΣ ΑΚΜΏΝ

- Τοπικές: χρησιμοποιούν την πληροφορία σε μία γειτονιά της εικόνας
- Καθολικές: χρησιμοποιούν όλη την πληροφορία της εικόνας

ΤΟΠΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

- Οι τοπικές τεχνικές επικεντρώνονται σε μικρές περιοχές της εικόνας και εξετάζουν τη μεταβολή της φωτεινότητας μόνο γύρω από κάθε pixel για να εντοπίσουν τις ακμές.

Χαρακτηριστικά των Τοπικών Τεχνικών

- Εξετάζουν μόνο μια μικρή περιοχή γύρω από κάθε pixel, συνήθως ένα παράθυρο 3x3 ή 5x5.
- Χρησιμοποιούνται μάσκες, όπως οι μάσκες Sobel, Prewitt ή Laplacian, οι οποίες εφαρμόζονται σε κάθε pixel για να υπολογίσουν τη μεταβολή της φωτεινότητας σε διαφορετικές κατευθύνσεις.
- Επειδή αναλύουν μόνο μικρές περιοχές της εικόνας, οι τοπικές τεχνικές είναι συνήθως γρηγορότερες και απαιτούν λιγότερους πόρους.

ΟΛΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΑΚΜΩΝ

- Οι ολικές τεχνικές ανιχνεύουν ακμές σε ολόκληρη την εικόνα, αναλύοντας τη συχνοτική πληροφορία της εικόνας, συχνά με τη βοήθεια μετασχηματισμών.

Χαρακτηριστικά των Ολικών Τεχνικών

- **Ανάλυση Ολόκληρης της Εικόνας:** Αντί να επικεντρώνονται σε τοπικές περιοχές, εξετάζουν τη δομή της εικόνας συνολικά.
- **Χρήση Συχνοτικών Μετασχηματισμών:** Συχνά χρησιμοποιούνται μετασχηματισμοί, όπως ο **Μετασχηματισμός Fourier** ή ο **Μετασχηματισμός Κυματιδίου (Wavelet)**, οι οποίοι αποκαλύπτουν ακμές με βάση τη συχνότητα και τη δομή της εικόνας.
- **Υψηλή Υπολογιστική Πολυπλοκότητα:** Απαιτούν περισσότερους πόρους, αφού γίνεται ανάλυση της εικόνας σε όλο της το εύρος.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ SOBEL

- Είναι από τις πιο βασικές μεθόδους ανίχνευσης ακμών και χρησιμοποιεί μάσκες για τον υπολογισμό των μεταβολών φωτεινότητας στις εικόνες.
- Η μάσκα Sobel είναι ένας συνδυασμός φίλτρου που εφαρμόζεται οριζόντια και κατακόρυφα, για να εντοπίσει την κατεύθυνση και την ένταση φωτεινότητας της ακμής.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ CANNY

Μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους, με βήματα

- Φιλτράρισμα με Gaussian (για μείωση θορύβου)
- Υπολογισμός Διανύσματος Κλίσης (με Sobel)
- Εύρεση Μέτρου και Κατεύθυνσης της Κλίσης
- Διπλή κατωφλίωση για να αποφευχθεί ο θόρυβος.
- Εύρεση Μέγιστων στην Κατεύθυνση της Κλίσης (Non-Maximum Suppression)
- Τεχνική Υστέρησης (Hysteresis)

Η Canny είναι πιο πολύπλοκη αλλά παρέχει ακριβέστερα αποτελέσματα από τον Sobel.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ CANNY

I. Εξομάλυνση Εικόνας (Φίλτρο Gauss)

- Το πρώτο βήμα είναι η απομάκρυνση του θορύβου από την εικόνα, επειδή οι θορυβώδεις περιοχές μπορεί να παράγουν ψευδείς ακμές.
- Για τον σκοπό αυτό, εφαρμόζεται ένα φίλτρο Gauss, το οποίο «λειαίνει» την εικόνα. Το φίλτρο Gauss εφαρμόζει έναν στατιστικό μέσο όρο γύρω από κάθε pixel, μειώνοντας τις απότομες αλλαγές φωτεινότητας που προέρχονται από θόρυβο.

Σημείωση: Όταν λέμε ότι το φίλτρο Gauss «λειαίνει» την εικόνα, εννοούμε ότι μειώνει τις απότομες αλλαγές και εξομαλύνει τις διακυμάνσεις στις τιμές φωτεινότητας των pixels. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση του θορύβου και των λεπτομερειών, διατηρώντας όμως τις γενικές γραμμές και τις κύριες δομές της εικόνας. Το φίλτρο Gauss βασίζεται στο μέσο όρο των τιμών φωτεινότητας των γειτονικών του pixels

ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ CANNY

2. Υπολογισμός Διανύσματος Κλίσης

- Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της κλίσης της φωτεινότητας της εικόνας. Το διανύσμα κλίσης δείχνει την κατεύθυνση και το μέγεθος της πιο απότομης αλλαγής στη φωτεινότητα.
- Συνήθως, χρησιμοποιούνται τα φίλτρα Sobel για να ανιχνεύσουν τις αλλαγές φωτεινότητας στην οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση, παράγοντας δύο εικόνες: μία για την κλίση στην οριζόντια διεύθυνση (G_x) και μία στην κατακόρυφη (G_y).

ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ CANNY

3. Εύρεση Μέτρου και Κατεύθυνσης της Κλίσης

- Από τις εικόνες G_x και G_y , υπολογίζεται το μέτρο και η κατεύθυνση της κλίσης σε κάθε σημείο της εικόνας.
- Το μέτρο της κλίσης υπολογίζεται ως $\sqrt{G_x^2 + G_y^2}$, το οποίο δίνει την ένταση της αλλαγής φωτεινότητας.
- Η κατεύθυνση υπολογίζεται με την αναλογία $\text{atan2}(G_y, G_x)$.
- Με βάση αυτά τα δύο χαρακτηριστικά, γνωρίζουμε πόσο έντονη είναι η ακμή και σε ποια κατεύθυνση υπάρχει.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ CANNY

4. Ορισμός Δύο Κατωφλιών Ανίχνευσης (Διπλή Κατωφλίωση)

- Σε αυτό το στάδιο, ορίζονται δύο κατώφλια: ένα υψηλό και ένα χαμηλό.
- Οι ακμές που έχουν τιμή κλίσης πάνω από το υψηλό κατώφλι θεωρούνται ισχυρές και αποτελούν πιθανά πραγματικές ακμές.
- Οι ακμές που βρίσκονται μεταξύ του υψηλού και του χαμηλού κατωφλίου ορίζονται ως αδύναμες.
- Αυτός ο διπλός έλεγχος βοηθά στη μείωση του θορύβου και στον εντοπισμό των πιο αξιόπιστων ακμών.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ CANNY

5. Εύρεση Μέγιστων στην Κατεύθυνση της Κλίσης (**Non-Maximum Suppression**)

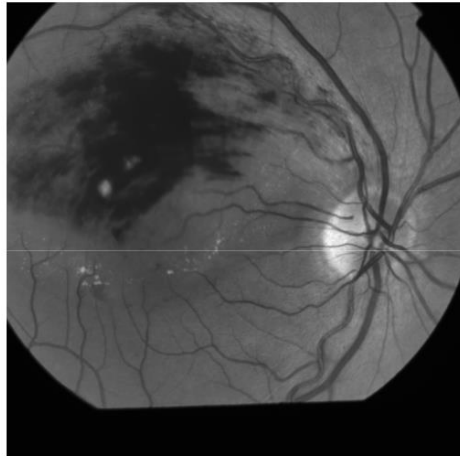
- Το βήμα αυτό περιορίζει τις ακμές ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο λεπτές, διατηρώντας μόνο τα σημεία όπου το μέτρο της κλίσης είναι μέγιστο στην κατεύθυνσή της.
- Ουσιαστικά, αυτό το βήμα «καταστέλλει» (μηδενίζει) τις τιμές που δεν βρίσκονται στο μέγιστο, κρατώντας μόνο τα ισχυρότερα σημεία στην κατεύθυνση της κλίσης και εξαλείφοντας τα υπόλοιπα.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ CANNY

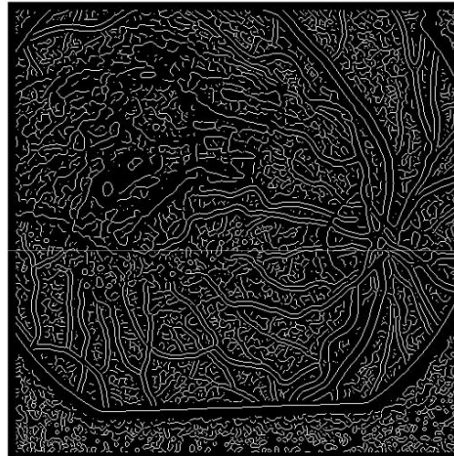
6. Τεχνική Υστέρησης (Hysteresis)

- Η τεχνική υστέρησης είναι το τελευταίο και κρίσιμο βήμα στην ανίχνευση ακμών με τη μέθοδο Canny.
- Εδώ, οι ισχυρές ακμές (που βρίσκονται πάνω από το υψηλό κατώφλι) διατηρούνται, και οι αδύναμες (μεταξύ των δύο κατωφλίων) διατηρούνται μόνο εάν συνδέονται άμεσα με ισχυρές ακμές.
- Αυτό βοηθά να μην χαθούν ακμές που μπορεί να είναι αδύναμες σε κάποια σημεία, αλλά συνδέονται με άλλες ισχυρές ακμές, αυξάνοντας τη συνοχή και την ακρίβεια του τελικού αποτελέσματος.

ΠΑΡΆΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΉΣ ΤΟΥ ΤΕΛΕΣΤΉ CANNY



Αρχική εικόνα



Ακμές μετά την
καταστολή των μη
μέγιστων τιμών



Ακμές μετά την
κατωφλίωση υστέρησης

ΆΛΛΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΪΧΝΕΥΣΗΣ ΑΚΜΪΩΝ

- Laplacian: Χρησιμοποιεί παράγωγο 2^{ου} βαθμού για να βρει τις περιοχές όπου αλλάζει η φωτεινότητα, ανιχνεύοντας τις ακμές με τη βοήθεια του Laplacian φίλτρου.
- Prewitt: Παρόμοια με τον Sobel αλλά λιγότερο ευαίσθητη σε θόρυβο.
 - Η μάσκα Prewitt χρησιμοποιεί δύο φίλτρα 3x3 για να υπολογίσει την κλίση σε οριζόντια και κατακόρυφη κατεύθυνση. Η μάσκα Sobel χρησιμοποιεί πιο έντονες τιμές στις γωνιακές θέσεις του φίλτρου (π.χ., 2 και -2), ενώ η Prewitt έχει όλες τις τιμές ίδιες, απλοποιώντας τους υπολογισμούς.
 - Η Prewitt είναι **λιγότερο ευαίσθητη στις λεπτομέρειες** και στον θόρυβο, γεγονός που μπορεί να είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις που δεν απαιτείται υψηλή ακρίβεια στην ανίχνευση ακμών.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΪΧΝΕΥΣΗΣ ΑΚΜΪΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΈΘΟΔΟ LAPLACIAN

1. Φιλτράρισμα της Εικόνας:

Επειδή ο Laplacian τελεστής είναι ευαίσθητος στον θόρυβο, είναι συχνά ωφέλιμο να εφαρμόζεται πρώτα ένα φίλτρο Gauss για την εξομάλυνση της εικόνας και την απομάκρυνση του θορύβου.

2. Εφαρμογή της Laplacian Μάσκας:

Η Laplacian μάσκα εφαρμόζεται στην εικόνα, και υπολογίζονται οι αλλαγές στη δεύτερη παράγωγο. Το αποτέλεσμα είναι μια νέα εικόνα όπου οι έντονες αλλαγές φωτεινότητας είναι εμφανείς.

3. Ανίχνευση Μηδενικών Διαβάσεων

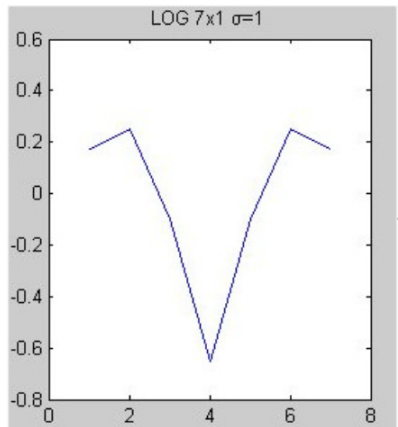
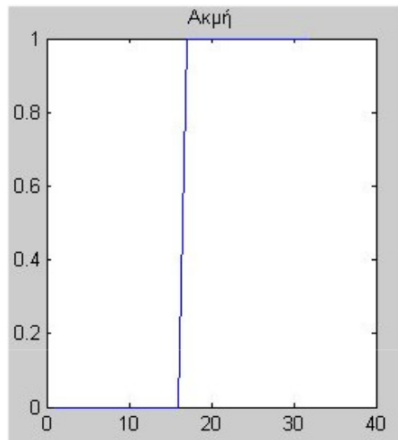
Οι ακμές εντοπίζονται στα σημεία όπου η δεύτερη παράγωγος αλλάζει πρόσημο (δηλαδή, από θετικό σε αρνητικό ή αντίστροφα), κάτι που υποδεικνύει απότομη αλλαγή φωτεινότητας. Αυτό ονομάζεται ανίχνευση μηδενικών διαβάσεων.

4. Laplacian of Gaussian (LoG):

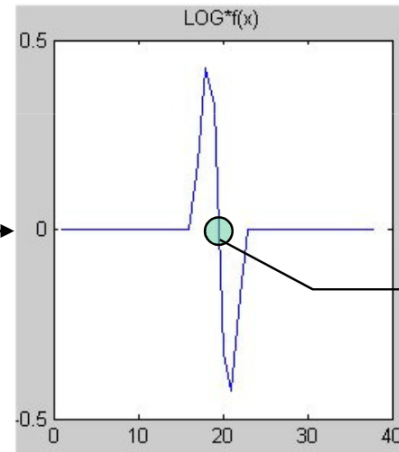
Συνδυάζοντας το φίλτρο Gauss και τον Laplacian τελεστή, επιτυγχάνεται ο Laplacian of Gaussian (LoG), μια παραλλαγή που φιλτράρει πρώτα την εικόνα και στη συνέχεια εφαρμόζει τη δεύτερη παράγωγο για βελτιωμένη ανίχνευση ακμών.

ΕΦΑΡΜΟΓΉ LOG ΣΕ ΜΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΗ

Η συνέλιξη της εικόνας I σε pixel ακμών με την LoG παράγει μηδενισμό του αποτελέσματος στα σημεία των ακμών. Έτσι όπου παρατηρούμε 0 τιμές στα αποτελέσματα της συνέλιξης $LoG * I$ εντοπίζουμε σημεία ακμής.

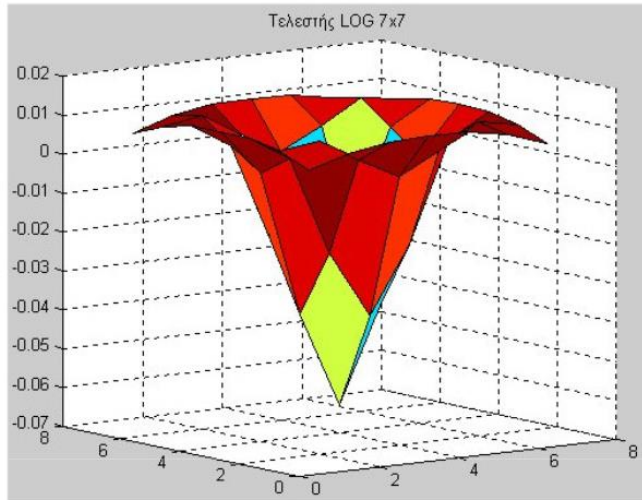


συνέλιξη

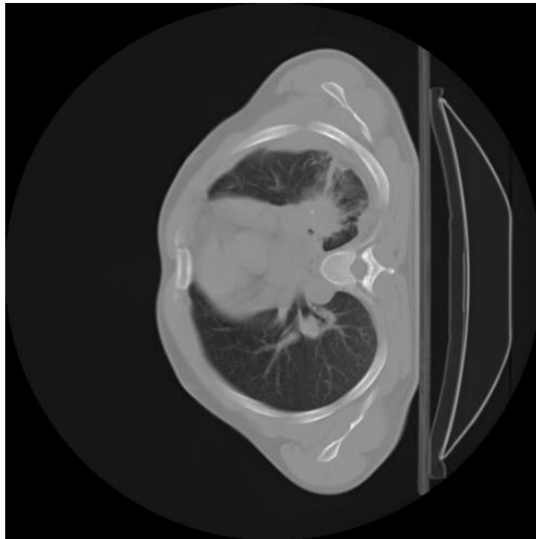


Μηδενισμός LoG:
σημείο ακμής

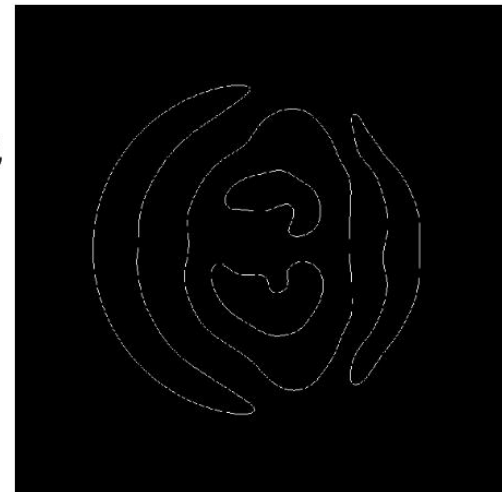
ΕΦΑΡΜΟΓΗ LOG ΣΤΙΣ 2 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ



Αποτέλεσμα
για $\sigma=1$



Αποτέλεσμα
για $\sigma=7$



ΑΝΕΎΡΕΣΗ ΑΚΜΪΩΝ ΜΕ ΧΡΉΣΗ ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΥ ΤΕΛΕΣΤΗ & ΣΥΝΉΛΙΞΗΣ

Ακμή-Edge-καλείται μία μεταβολή της φωτεινότητας της εικόνας.

- Είναι ιδιότητα του pixel, υπολογίζεται στην περιοχή του pixel και είναι διανυσματικό μέγεθος → έχει μέτρο mag και διεύθυνση Φ .
- Αν $I(x,y)$ εικόνα τότε το διάνυσμα της παραγώγου της εικόνας $g(x,y)$

$$\nabla I(x, y) = G(I(x, y)) = g(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{\partial I}{\partial x} & \frac{\partial I}{\partial y} \end{bmatrix} = [I_x \quad I_y]$$

υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{mag}(g(x, y)) = |g(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2} \quad \Phi(g(x, y)) = \arctan\left(\frac{\frac{\partial I}{\partial y}}{\frac{\partial I}{\partial x}}\right)$$

Για απλοποίηση των υπολογισμών:

$$\text{mag}(g(x, y)) = |g(x, y)| = \left| \frac{\partial I}{\partial x} \right| + \left| \frac{\partial I}{\partial y} \right|$$

το πλάτος αυτού του διανύσματος παρέχει πληροφορία για τις μεταβολές της φωτεινότητας

ΑΝΕΎΡΕΣΗ ΑΚΜΪΩΝ ΜΕ ΧΡΉΣΗ ΣΥΝΉΛΙΞΗΣ

- Οι μερικές παράγωγοι υπολογίζονται διακριτά:

$$\left. \frac{\partial I}{\partial x} \right|_{(x_0, y_0)} = I(x_0 + 1, y_0) - I(x_0 - 1, y_0)$$

$$\left. \frac{\partial I}{\partial y} \right|_{(x_0, y_0)} = I(x_0, y_0 + 1) - I(x_0, y_0 - 1)$$

- Υλοποίηση με χρήση συνέλιξης:

$$\frac{\partial I}{\partial x} = I * m_x$$

$$\frac{\partial I}{\partial y} = I * m_y$$

- Παραδείγματα των μασκών m_x , m_y δίνονται στην επόμενη διαφάνεια

ΑΝΕΥΡΕΣΗ ΑΚΜΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΝΕΛΙΞΗΣ

- Prewitt Gradient μάσκες

$$m_x = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

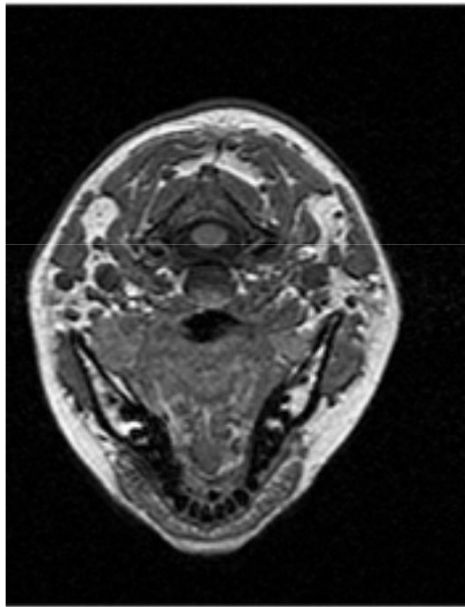
$$m_y = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

- Sobel Gradient μάσκες

$$m_x = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$m_y = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ



Prewit



Sobel



ΑΝΕΎΡΕΣΗ ΑΚΜΪΩΝ ΜΕ ΧΡΉΣΗ ΣΥΝΉΛΙΞΗΣ

Απλός αλγόριθμος για τον υπολογισμό ακμών βάσει μερικών παραγώγων:

- Υπολογίζεται η συνέλιξη της εικόνας I με τις μάσκες παραγωγίσισης κατά γραμμές και κατά στήλες
- Υπολογίζεται το μέτρο της παραγώγου σε κάθε pixel και χρησιμοποιείται η τεχνική της κατωφλίωσης (thresholding)
 - Ένα pixel (x, y) είναι pixel ακμής, αν το μέτρο της παραγώγου στο σημείο αυτό, δηλαδή το $g(x, y) \geq T$, όπου T κατώφλι για το μέτρο της παραγώγου.

ΑΚΜΈΣ ΒΆΣΕΙ ΠΑΡΑΓΏΓΩΝ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΤΆΞΗΣ

- Μαθηματικός ορισμός παραγώγου 2ης τάξης 2D συνάρτησης

$$L(I) = \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2}$$

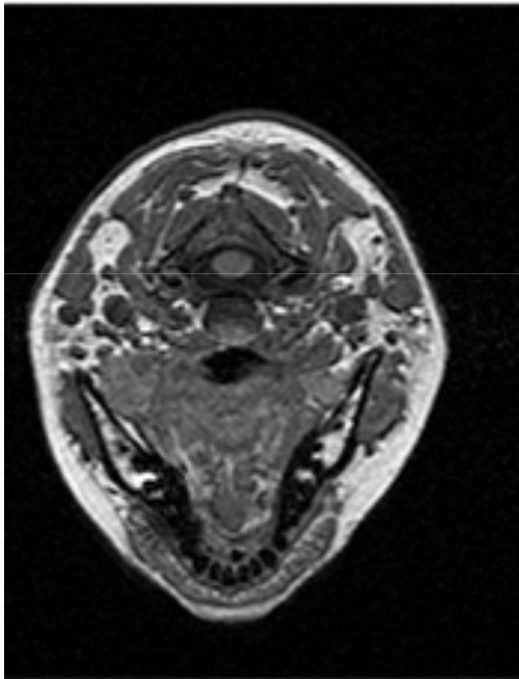
- Ο τελεστής L καλείται λαπλασιανή. Παρατηρείστε ότι η L δεν επιστρέφει διανυσματικό μέγεθος.
- Αποδεικνύεται ότι η λαπλασιανή μπορεί να προσεγγιστεί με συνέλιξη με πίνακα 3×3 :

$$L_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

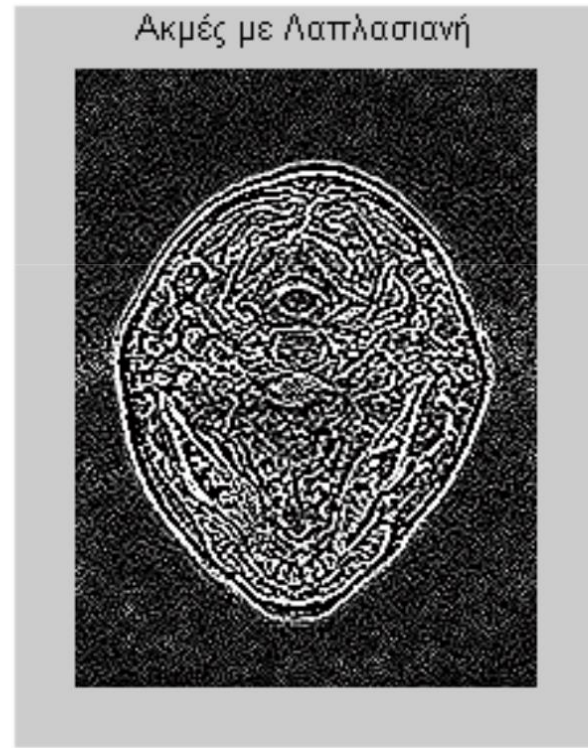
$$L_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

ΑΚΜΈΣ ΒΆΣΕΙ ΠΑΡΑΓΏΓΩΝ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΤΆΞΗΣ

- Η Συνέλιξη μίας εικόνας με τους πίνακες της Λαπλασιανής L_1 ή L_2 εντοπίζει pixel ακμών, αλλά ταυτόχρονα ενισχύει το θόρυβο.



Αρχικά δεδομένα
(Raw data)

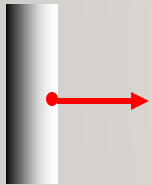


ΣΥΝΟΨΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΚΜΩΝ

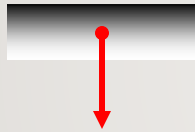
Χρησιμοποιούμε δύο μεθόδους για την κλίση G (gradient) της αλλαγής φωτεινότητας της $I(x, y)$,

- 1^{ης} τάξης παράγωγος (1st order gradient) της $I(x, y)$ είναι ακμή αν

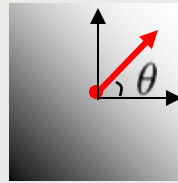
$$|G(I(x, y))| \approx \sqrt{\left(\frac{\partial I(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial I(x, y)}{\partial y}\right)^2} \geq Threshold$$



$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, 0 \right]$$



$$\nabla f = \left[0, \frac{\partial f}{\partial y} \right]$$



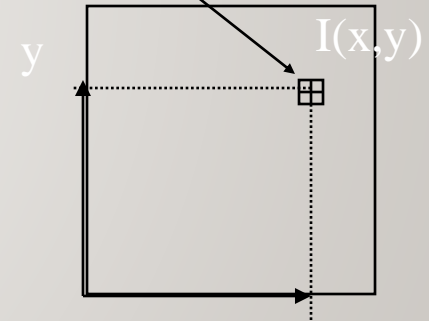
$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]$$

$I(x, y) = f(x, y)$, και $\theta = \phi$

- 2^{ης} τάξης παράγωγος (2nd order gradient) - Laplacian operator της $I(x, y)$ είναι ακμή αν

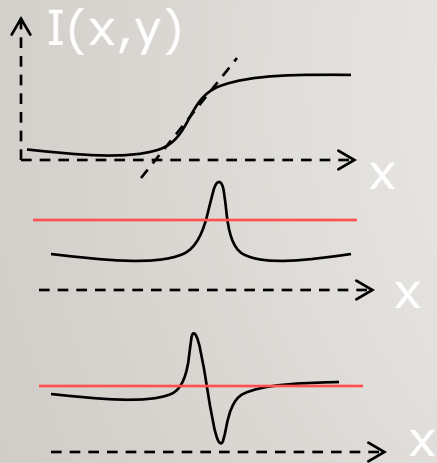
$$\nabla^2 I(x, y) = \frac{\partial^2 I(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I(x, y)}{\partial y^2} = 0$$

$I(x, y+1)$	$I(x+1, y+1)$
$I(x, y)$	$I(x+1, y)$



ΜΕ ΑΠΛΑ ΛΌΓΙΑ

Ελέγχω την μεταβολή της φωτεινότητας κατά μια διεύθυνση



1^η παράγωγος: ελέγχουμε αν περνάει κάποια τιμή

2^η παράγωγος: ελέγχουμε αν μηδενίζει

ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΙ ΤΕΛΕΣΤΕΣ

Η παράγωγος 2ης τάξης έχει μηδενισμούς στις περιοχές των ακμών.

Ο τελεστής Laplace ορίζεται ως

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

ή προσεγγιστικά

$$\nabla^2 f(x, y) \cong f(x, y) - \frac{1}{4} [f(x, y+1) + f(x, y-1) + f(x+1, y) + f(x-1, y)]$$

Ο τελεστής Laplace είναι ευαίσθητος στον θόρυβο και δεν ανιχνεύει την διεύθυνση των ακμών.

ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ/ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΜΑΣΚΑ (G_x , G_y)

Αυτή η μάσκα εφαρμόζεται σε κάθε pixel της εικόνας και υπολογίζει την κλίση στην κατακόρυφη κατεύθυνση.

Συνέλιξη της Μάσκας με την Εικόνα:

- Η μάσκα G_y (G_x) τοποθετείται πάνω από μια περιοχή 3×3 γύρω από κάθε pixel της εικόνας (πιξελ εικόνας είναι το κεντρικό πιξελ στη μάσκα).
- Κάθε στοιχείο της μάσκας G_y (G_x) πολλαπλασιάζεται με την αντίστοιχη τιμή φωτεινότητας του pixel της εικόνας. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα αθροίζονται για να δώσουν την τιμή της κλίσης στην κατακόρυφη κατεύθυνση για το συγκεκριμένο pixel.

Επαναλαμβανόμενη Εφαρμογή σε Όλα τα Pixels:

- Αυτή η διαδικασία εφαρμόζεται σε όλα τα pixels της εικόνας, δημιουργώντας μια νέα εικόνα που περιέχει τις τιμές της κλίσης στην κατακόρυφη/οριζόντια κατεύθυνση G_y (G_x).
- Τα pixels με υψηλές τιμές στην εικόνα G_y (G_x) αντιστοιχούν σε περιοχές όπου υπάρχουν σημαντικές οριζόντιες ακμές.

Ανάλυση του Αποτελέσματος:

- Η νέα εικόνα G_y (G_x) εμφανίζει την ένταση των αλλαγών στη φωτεινότητα κατά την κατακόρυφη κατεύθυνση.
- Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή ενός pixel στην εικόνα G_y (G_x), τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να υπάρχει μια οριζόντια ακμή σε εκείνο το σημείο.

ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ/ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΜΑΣΚΑ (GX, GY)

- **Οριζόντια μάσκα (Gx):** Εντοπίζει κατακόρυφες ακμές (δηλαδή όπου υπάρχουν αλλαγές από αριστερά προς τα δεξιά).
- **Κατακόρυφη μάσκα (Gy):** Εντοπίζει οριζόντιες ακμές (δηλαδή όπου υπάρχουν αλλαγές από πάνω προς τα κάτω).

ΤΙ ΣΗΜΑΪΝΕΙ ΤΙΜΉ ΚΛΪΣΗΣ

1. Αρνητική κλίση σημαίνει ότι η φωτεινότητα **μειώνεται** προς την κατεύθυνση της μάσκας.

1. Για παράδειγμα, στην κατακόρυφη μάσκα (Gy), αν η κλίση είναι αρνητική, σημαίνει ότι η φωτεινότητα μειώνεται από το πάνω μέρος της περιοχής προς το κάτω.
2. Αντίθετα, μια **θετική τιμή** σημαίνει ότι η φωτεινότητα αυξάνεται προς την κατεύθυνση της μάσκας.

2. Σημαντικό μόνο για την κατεύθυνση της ακμής:

1. Το αν η τιμή της κλίσης είναι θετική ή αρνητική δεν αλλάζει τη σημασία του αν μια ακμή υπάρχει ή όχι – μόνο την κατεύθυνσή της.
2. Αυτός είναι και ο λόγος που, για να βρούμε την ένταση της ακμής, χρησιμοποιούμε το απόλυτο μέγεθος της κλίσης.

ΜΑΣΚΕΣ ΑΚΜΩΝ

Η εφαρμογή των масκών γίνεται σε κάθε pixel της εικόνας. Η μάσκα η οποία δίνει την μεγαλύτερη έξοδο καθορίζει την κατεύθυνση της ακμής στο συγκεκριμένο σημείο. Εάν καμία μάσκα δεν δίνει αρκετά μεγάλη έξοδο, τότε δεν υπάρχει ακμή στο σημείο.

ΜΑΣΚΕΣ ΑΚΜΩΝ

Roberts

-1	0	0	-1
0	1	1	0

Laplacian

$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$
---	---

Prewitt

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

Sobel

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

ΜΑΣΚΕΣ ΑΚΜΩΝ

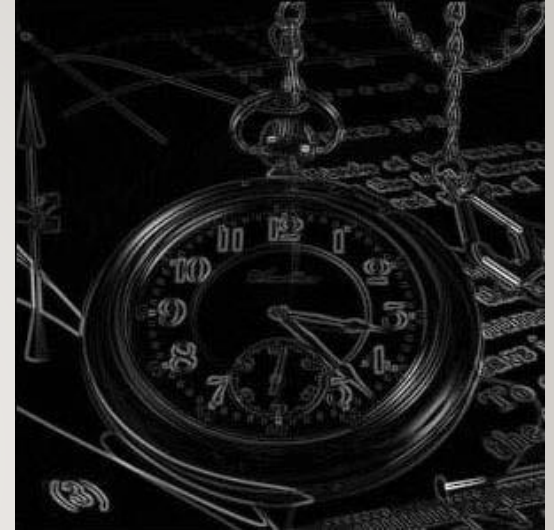


Αρχική εικόνα

Μάσκα Sobel



Μάσκα Prewitt



ΚΑΤΩΦΛΙΩΣΗ ΑΚΜΩΝ

Για να αποφασίσουμε εάν ένα pixel είναι μέρος μίας ακμής ή του φόντου, μπορούμε να κατωφλιώσουμε ως εξής

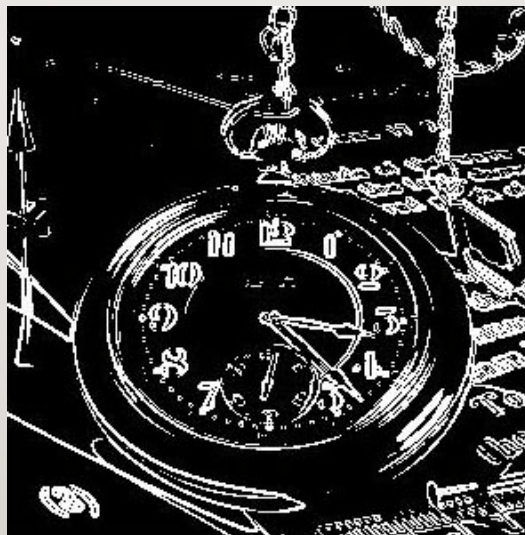
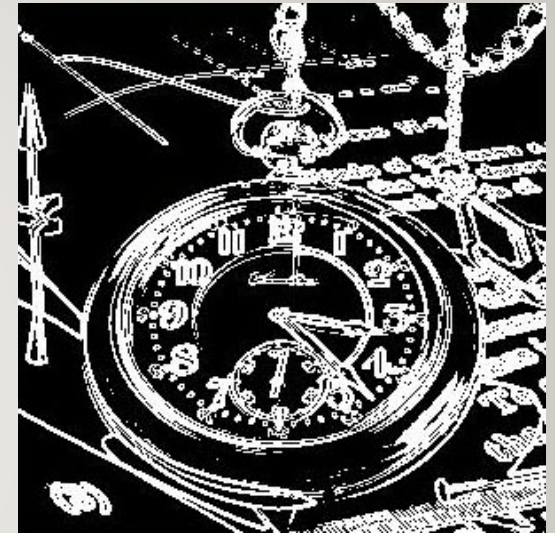
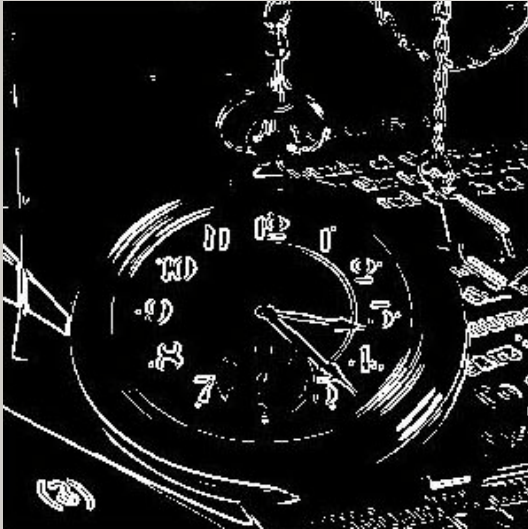
$$E(k,l) = \begin{cases} 1 & \text{αν } e(k,l) \geq T \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

Το κατώφλι T μπορεί να είναι ολικό ή τοπικό.

Το T μπορεί να εκτιμηθεί από το ιστόγραμμα του E ή με κάποιον αλγόριθμο εύρεσης βέλτιστου κατωφλίου.

ΚΑΤΩΦΛΙΩΣΗ ΑΚΜΩΝ

Έξοδος της
μάσκας Sobel
για διαφορετικά
κατώφλια.



ΕΝΩΣΗ ΑΚΜΩΝ

Οι προηγούμενες τεχνικές ανιχνεύουν τα pixels της εικόνας τα οποία αποτελούν μέρος μίας ακμής. Αυτό δεν σημαίνει ότι το σύνολο αυτών των pixels σχηματίζει την ακμή (διακοπές λόγω θορύβου, ανομοιόμορφης φωτεινότητας κ.α.)

Δύο βασικά κριτήρια για την ένωση των ακμών είναι:

1. Η τιμή του διαφορικού τελεστή στα σημεία ενδιαφέροντος και η μεταξύ τους σχέση.
2. Η κατεύθυνση του διανύσματος κλίσης στα σημεία ενδιαφέροντος και η μεταξύ τους σχέση.

ΕΝΩΣΗ ΑΚΜΩΝ

Το σημείο (x_2, y_2) που ανήκει στην γειτονιά του (x_1, y_1) είναι μέρος μιας ακμής εάν έχει παρόμοιο πλάτος

$$e(x_1, y_1) - e(x_2, y_2) \leq E$$

παρόμοια κλίση

$$\phi(x_1, y_1) - \phi(x_2, y_2) < \Phi$$

και τα πλάτη είναι σχετικά μεγάλα

$$|e(x_1, y_1)| \geq T \quad \text{και} \quad |e(x_2, y_2)| \geq T$$

ΕΝΩΣΗ ΑΚΜΩΝ

Αλγόριθμοι παρακολούθησης ακμών

- **Απλός:** Είναι εξαντλητικός αλγόριθμος εύρεσης. Παράγει σχετικά μικρά τμήματα ακμών επειδή τερματίζει όταν παρουσιάζονται έστω και μικρά κενά.
- **Αναζήτησης γραφήματος:** Μετατρέπει την εικόνα σε προσανατολισμένο γράφημα. Τα στοιχεία ακμής στις θέσεις x_i θεωρούνται κόμβοι του γραφήματος. Έτσι οι αναγνωρισμένες ακμές αντιστοιχούν στις διαδρομές του γραφήματος.

Μειονέκτημά του είναι ότι κατά τη διαδικασία της αναζήτησης πρέπει να κρατούνται στοιχεία για όλες τις τρέχουσες καλύτερες διαδρομές, τα αποτελέσματά του όμως είναι καλύτερα από αυτά του απλού.

ΕΝΩΣΗ ΑΚΜΩΝ

➤ Δυναμικού προγραμματισμού:

Διασπά το πρόβλημα σε N ανεξάρτητα βήματα βελτιστοποίησης. Και σ' αυτή την περίπτωση τα αποτελέσματα είναι καλύτερα σε σχέση με αυτά του απλού.

➤ Μετασχηματισμός Hough:

Είναι μέθοδος ανίχνευσης παραμετρικών καμπυλών οι οποίες διασυνδέουν μεμονωμένα στοιχεία ακμής.

Στην ειδικότερη περίπτωση (που περιγράφεται παρακάτω) βρίσκει το σύνολο των ευθύγραμμων τμημάτων που αναπαριστούν τμήματα ακμών.

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ HOUGH

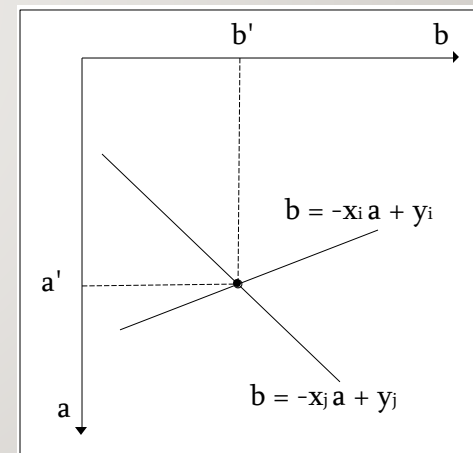
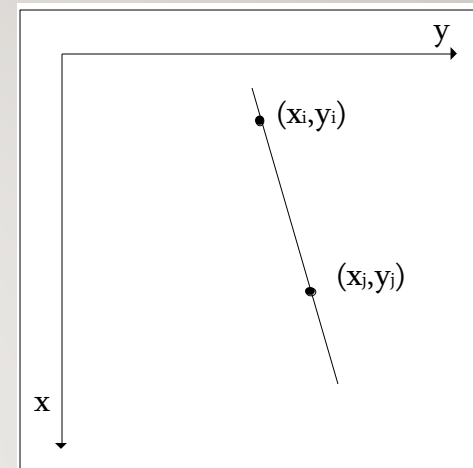
- Ο **Μετασχηματισμός Hough** βοηθά στην ανίχνευση ακμών επειδή επιτρέπει την **ανίχνευση γεωμετρικών σχημάτων** ακόμα και όταν οι ακμές είναι διακεκομμένες, θορυβώδεις, ή έχουν κενά. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αναπαράστασης των γραμμών σε έναν **παραμετρικό χώρο (χώρο Hough)**, όπου τα σχήματα που αναζητούμε προκύπτουν από την καταγραφή ψήφων.
- Χρησιμοποιείται κυρίως μετά την αρχική ανίχνευση ακμών, για παράδειγμα με τον αλγόριθμο Canny, ώστε να εντοπίσει τα σημεία όπου αλλάζει απότομα η φωτεινότητα. Αυτά τα σημεία συνιστούν τις «υποψήφιας» ακμές της εικόνας (ή και πιθανές θέσεις για ευθείες ή καμπύλες).

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ HOUGH

- Ο μετασχηματισμός Hough χρησιμοποιεί παραμετρική περιγραφή των γεωμετρικών σχημάτων.
- Η παραμετρική περιγραφή της ευθείας είναι

$$y = a*x + b$$

- Όπως θα δούμε είναι στην ουσία μία διαδικασία ψηφοφορίας στον χώρο των παραμέτρων α, β



Η τομή τους αντιστοιχεί στην ευθεία που διέρχεται από τα (x_1, y_1) και (x_2, y_2)

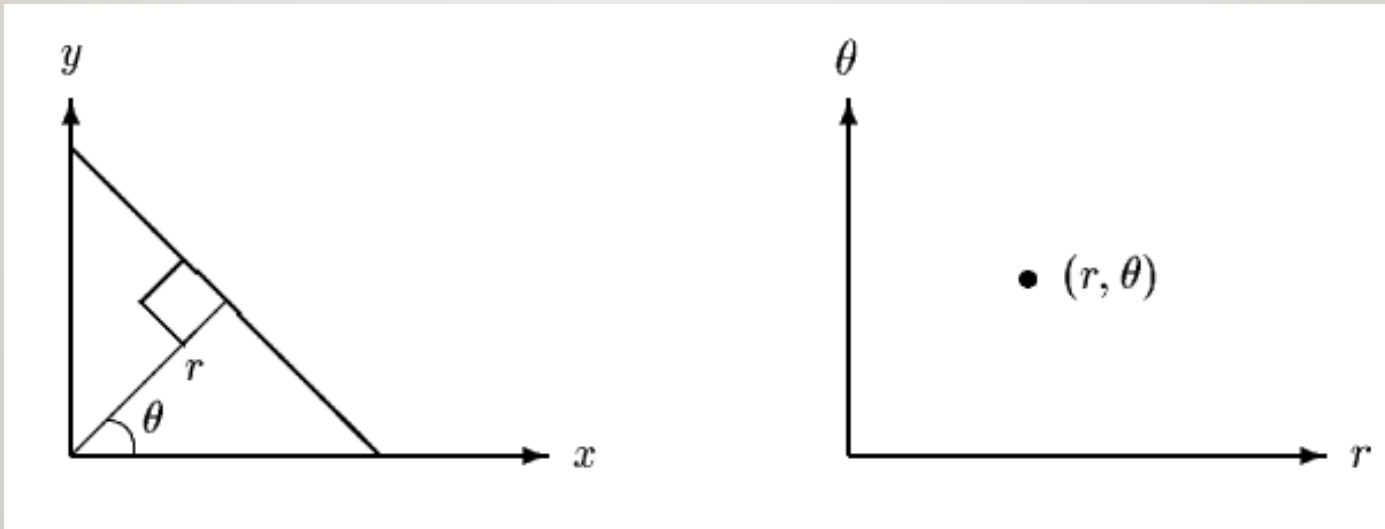
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ HOUGH

- Σχηματίζουμε τον παραμετρικό πίνακα $P(a,b)$, με $a_1 \leq a \leq a_K$ και $b_1 \leq b \leq b_L$
- Για κάθε ένα από τα σημειά ενδιαφέροντος της εικόνας (x_i, y_i) (π.χ. σημεία ακμών) και για κάθε τιμή της παραμέτρου a υπολογίζουμε την $b = -ax_i + y_i$.
- Για κάθε ζεύγος παραμέτρων π.χ. (a,b) προστίθεται μία μονάδα στο αντίστοιχο κελί του πίνακα P . Στο τέλος της διαδικασίας, κάθε κελί του P δείχνει τον αριθμό των pixels που ικανοποιούν την αντίστοιχη εξίσωση ευθείας
- Αφού σαρωθεί όλη η εικόνα εφαρμόζουμε κατώφλι στον πίνακα P και σχηματίζουμε τις αντίστοιχες ευθείες.
- Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να γενικευτεί για οποιαδήποτε καμπύλη. Αν η καμπύλη περιγράφεται με n παραμέτρους τότε ο πίνακας P είναι n -διάστατος.

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ HOUGH

Το παραπάνω μοντέλο έχει πρόβλημα όταν η ευθεία είναι κατακόρυφη επειδή η παράμετρος a πρέπει να τείνει στο άπειρο. Έτσι, χρησιμοποιούμε την πολική περιγραφή:

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta$$



Πολική αναπαράσταση ευθείας γραμμής

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ HOUGH

Μετατροπή Σημείων στο Χώρο Hough:

- Για κάθε σημείο ακμής που βρέθηκε, υπολογίζονται όλες οι πιθανές ευθείες γραμμές που μπορούν να περάσουν από αυτό το σημείο. Στην παραμετρική μορφή $\rho = x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta$, όπου ρ είναι η απόσταση από την αρχή των αξόνων και θ η γωνία της γραμμής.
- Το κάθε σημείο ακμής παράγει καμπύλες στον χώρο Hough. Εκεί που οι καμπύλες αυτές τέμνονται με άλλες καμπύλες, σχηματίζεται μια ισχυρή πιθανότητα ύπαρξης μιας ευθείας.

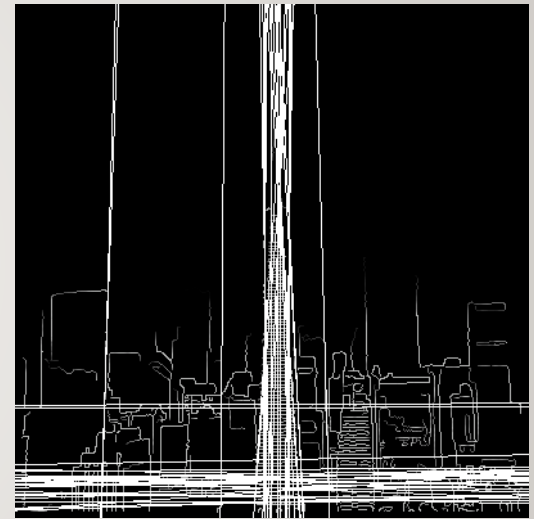
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ HOUGH



Αρχική εικόνα



Έξοδος μάσκας



Έξοδος Hough