

## ΚΕΣ 03 – Αναγνώριση Προτύπων και Ανάλυση Εικόνας



### Κατάτμηση Εικόνων: Ανίχνευση Ακμών

Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας  
Τηλεπικοινωνιών

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

- Εισαγωγή
- Ανίχνευση Ακμών
- Εντοπισμός Ορίου Περιοχών
- Μετασχηματισμός Hough

## Περιεχόμενα – Βιβλιογραφία



- ◇ Περιεχόμενα Ενότητας
  - ◇ Εισαγωγή
  - ◇ Ανίχνευση Ακμών
  - ◇ Εντοπισμός Ορίου Περιοχών
- ◇ Βιβλιογραφία:
  - ◇ Παπαμάρκος [2002]: Κεφάλαιο 2
  - ◇ Πήτας [1999]: Κεφάλαιο 10
  - ◇ Gonzales [2002]: Chapter 10, Sections 10.1-10.3
  - ◇ Gonzales [2004]: Chapter 10, Sections 10.1-10.4

- ★ Εισαγωγή
- Ανίχνευση Ακμών
- Εντοπισμός Ορίου Περιοχών
- Μετασχηματισμός Hough

## Κατάτμηση Εικόνας



- ◇ Η ανάλυση εικόνας αναφέρεται στη διαδικασία εξαγωγής πληροφοριών από την εικόνα:
  - ◇ Η έξοδος της διαδικασίας ανάλυσης εικόνων, σε αντίθεση με της διαδικασίες βελτίωσης και αποκατάστασης, δεν είναι εικόνα αλλά πληροφορίες υψηλότερου επιπέδου
- ◇ Κατάτμηση ονομάζουμε τη διαδικασία διαίρεσης της εικόνας σε ομοιόμορφες περιοχές (οι οποίες ιδανικά αντιστοιχούν σε αντικείμενα –π.χ. πρόσωπα που υπάρχουν στην εικόνα)
  - ◇ Η κατάτμηση αποτελεί σχεδόν πάντα το πρώτο στάδιο της διαδικασίας ανάλυσης εικόνων
  - ◇ Επιτυχημένη κατάτμηση οδηγεί σχεδόν πάντα σε αποτελεσματική ανάλυση εικόνων
  - ◇ Η αυτοματοποιημένη κατάτμηση εικόνων είναι ένα πολύ δύσκολο πρόβλημα αν δεν υπάρχει κάποιο προηγούμενη γνώση για το τι περιέχει η εικόνα
- ◇ Παράδειγμα κατάτμησης εικόνας:
  - ◇ Κατάτμηση αεροφωτογραφιών που καταγράφουν την τροχαία κίνηση στους δρόμους
  - ◇ Αποτέλεσμα της κατάτμησης θα πρέπει να είναι περιοχές που αντιστοιχούν στο δρόμο και τα επιμέρους αυτοκίνητα

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ★ Εισαγωγή
- Ανίχνευση Ακμών
- Εντοπισμός Ορίου Περιοχών
- Μετασχηματισμός Hough

## Κατηγορίες Αλγορίθμων Κατάτμηση Εικόνας



- ◇ Η κατάτμηση εικόνας μπορεί να επιτευχθεί με αναγνώριση είτε των σημείων ασυνέχειας της εικόνας (απότομη μεταβολή της φωτεινότητας ή του χρώματος) είτε της ομοιομορφίας ανάμεσα στις τιμές των pixels της εικόνας
- ◇ Με βάση τις παραπάνω ιδιότητες υπάρχουν δύο κατηγορίες αλγορίθμων:
  - ◇ Αλγόριθμοι εντοπισμού ορίου περιοχών (boundary based segmentation)
  - ◇ Αλγόριθμοι βασισμένοι σε περιοχές (region based segmentation)
- ◇ Αλγόριθμοι εντοπισμού ορίου περιοχών:
  - ◇ Ανίχνευση Ακμών - Συνένωση Ακμών
  - ◇ Εντοπισμός Αντικειμένων με τον Μετασχηματισμό Hough
- ◇ Αλγόριθμοι βασισμένοι σε περιοχές:
  - ◇ Κατωφλίωση (thresholding)
  - ◇ Επέκταση περιοχών (region growing)
  - ◇ Διαίρεση και συνένωση περιοχών (splitting and merging)
  - ◇ Κατάτμηση με βάση τον μετασχηματισμό Watershed

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ★ Εισαγωγή
- Ανίχνευση Ακμών
- Εντοπισμός Ορίου Περιχών
- Μετασχηματισμός Hough

## Ανίχνευση Σημείων Ασυνέχειας



- ◇ Η ανίχνευση σημείων ασυνέχειας στη φωτεινότητα της εικόνας πραγματοποιείται με τη βοήθεια του υπολογισμού της κλίσης (gradient) της εικόνας.
- ◇ Η κλίση μιας διδιάστατης συνάρτησης  $f(x,y)$  σε κάθε σημείο  $(x,y)$  είναι ένα διάνυσμα δύο στοιχείων:

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

- ◇ Η ένταση της κλίσης (μέτρο) δίνεται από τη σχέση:

$$\nabla f(x,y) = \text{mag}(\nabla f(x,y)) = \sqrt{(G_x(x,y))^2 + (G_y(x,y))^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\right)^2}$$

Η τιμή του μέτρου προσεγγίζεται σε πολλές περιπτώσεις από την υπολογιστικά απλούστερη σχέση:  $\nabla f(x,y) \approx |G_x(x,y)| + |G_y(x,y)|$

- ★ Εισαγωγή
- Ανίχνευση Ακμών
- Εντοπισμός Ορίου Περιχών
- Μετασχηματισμός Hough

## Ανίχνευση Σημείων Ασυνέχειας (II)



- ◇ Η κατεύθυνση κατά την οποία η μέγιστη κλίση λαμβάνει χώρα δίνεται από τη τιμή της γωνίας:

$$a(x,y) = \tan^{-1}\left(\frac{G_x(x,y)}{G_y(x,y)}\right)$$

- ◇ Στη περίπτωση που η συνάρτηση  $f(x,y)$  δεν είναι συνεχής, όπως συμβαίνει με τις ψηφιακές εικόνες, η κλίση της εικόνας υπολογίζεται με τη βοήθεια των τελεστών Sobel:

$$s_x = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad s_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

οι οποίοι εφαρμόζονται επαναληπτικά σε κάθε pixel της εικόνας για τον υπολογισμό της μεταβολής της φωτεινότητας στην κάθετη και οριζόντια κατεύθυνση αντίστοιχα.

- ☑ Εισαγωγή
- ★ Ανίχνευση Ακμών
- ☐ Εντοπισμός Ορίου Περιχώων
- ☐ Μετασχηματισμός Hough

## Ανίχνευση Σημείων Ασυνέχειας (III)



- ◇ Η εφαρμογή των τελεστών Sobel ισοδυναμεί με τις σχέσεις:

$$G_x = (f(x+1, y-1) + 2 \cdot f(x+1, y) + f(x+1, y+1)) - (f(x-1, y-1) + 2 \cdot f(x-1, y) + f(x-1, y+1))$$

$$G_y = (f(x-1, y+1) + 2 \cdot f(x, y+1) + f(x+1, y+1)) - (f(x-1, y-1) + 2 \cdot f(x, y-1) + f(x+1, y-1))$$

μέσω των οποίων υπολογίζεται η κατεύθυνση στην οποία η κλίση έχει το μεγαλύτερο μέτρο καθώς και το μέτρο:

$$a(x, y) = \tan^{-1} \left( \frac{G_x(x, y)}{G_y(x, y)} \right)$$

$$\nabla f(x, y) = \text{mag}(\nabla f(x, y)) = \sqrt{(G_x(x, y))^2 + (G_y(x, y))^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial y}\right)^2}$$

- ◇ Για pixel (x,y) τα οποία αποτελούν σημεία ασυνέχειας στη φωτεινότητα ισχύει:

$$\text{mag}(\nabla f(x, y)) > T$$

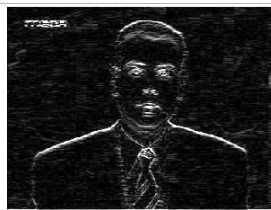
όπου  $T$  μια τιμή η οποία είτε δίνεται από το χρήστη είτε υπολογίζεται αυτόματα από τις ιδιότητες της εικόνας

- ☑ Εισαγωγή
- ★ Ανίχνευση Ακμών
- ☐ Εντοπισμός Ορίου Περιχώων
- ☐ Μετασχηματισμός Hough

## Παράδειγμα Υπολογισμού της Κλίσης της Εικόνας



Gray Scale Image



Vertical Derivative Gx



Horizontal Derivative Gy



Image Gradient G

Υλοποίηση σε Matlab ( $f$  είναι η αρχική εικόνα):

- ◇ Δημιουργία μάσκας Sobel  $S_x$ :  
 $S_x = \text{fspecial}('Sobel');$
- ◇ Δημιουργία μάσκας Sobel  $S_y$ :  
 $S_y = S_x'$
- ◇ Υπολογισμός  $G_x$ :  
 $G_x = \text{imfilter}(f, S_x);$
- ◇ Υπολογισμός  $G_y$ :  
 $G_y = \text{imfilter}(f, S_y);$
- ◇ Συνολική κλίση εικόνας:  
 $G = \text{abs}(G_x) + \text{abs}(G_y);$

- ☑ Εισαγωγή
- ★ Ανίχνευση Ακμών
- ☐ Εντοπισμός Ορίου Περιοχών
- ☐ Μετασχηματισμός Hough

## Εντοπισμός Σημείων Ασυνέχειας



Οι τιμές της κλίσης της εικόνας ( $G(x,y)$ ) κυμαίνονται (στο συγκεκριμένο παράδειγμα) στο διάστημα  $[0 \ 3.41]$ .

- ◊ Επιλέγοντας  $T = 0.46$  προκύπτει η εικόνα με τα σημεία ασυνέχειας (της φωτεινότητας)
- ◊ Η επιλογή του κατωφλίου  $T$  υπολογίζεται αυτόματα με βάση το ιστόγραμμα της εικόνας της κλίσης ( $G$ ).
- ◊ Στη Matlab χρησιμοποιούμε τη συνάρτηση *graythresh*  
 $T = \text{graythresh}(G);$
- ◊ Η εικόνα  $B$  με τα σημεία ασυνέχειας προκύπτει με κατωφλίωση της κλίσης  $G$  με την εντολή *im2bw*  
 $B = \text{im2bw}(G, T);$

- ☑ Εισαγωγή
- ★ Ανίχνευση Ακμών
- ☐ Εντοπισμός Ορίου Περιοχών
- ☐ Μετασχηματισμός Hough

## Εντοπισμός Σημείων σε Γραμμές



- ◊ Οι τελεστές Sobel  $S_x$  και  $S_y$  μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη ανίχνευση οριζόντιων και κάθετων γραμμών αντίστοιχα.
- ◊ Εφαρμόζεται είτε η μάσκα  $S_x$  είτε η μάσκα  $S_y$  (ανάλογα αν αναζητούνται οριζόντιες ή κάθετες γραμμές) και μετά εκτελείται κατωφλίωση
- ◊ Οι μάσκες του διπλανού σχήματος χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση σημείων σε διαγώνιες γραμμές

FIGURE 10.3 Line masks

-1 -1 -1	-1 -1 2	-1 2 -1	2 -1 -1
2 2 2	-1 2 -1	-1 2 -1	-1 2 -1
-1 -1 -1	2 -1 -1	-1 2 -1	-1 -1 2
Horizontal	+45°	Vertical	-45°



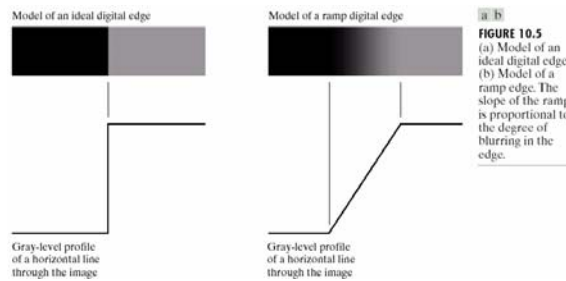
FIGURE 10.12 Diagonal edge detection. (a) Result of using the mask in Fig. 10.9(c). (b) Result of using the mask in Fig. 10.9(d). The input in both cases was Fig. 10.11(a).

- ☑ Εισαγωγή
- ★ Ανίχνευση Ακμών
- ☐ Εντοπισμός Ορίου Περιοχών
- ☐ Μετασχηματισμός Hough

## Ανίχνευση Ακμών



- ◊ Ακμή (edge) είναι ένα σύνολο από σημεία ασυνέχειας τα οποία καθορίζουν το όριο ανάμεσα σε δύο ομοιόμορφες περιοχές
- ◊ Υπάρχουν σημεία ασυνέχειας της φωτεινότητας τα οποία δεν αντιστοιχούν σε ακμές (π.χ. Θόρυβος salt & pepper δημιουργεί τυχαία σημεία ασυνέχειας)
- ◊ Τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό σημείων ασυνέχειας χρησιμοποιούνται και για την ανίχνευση ακμών
- ◊ Η επιλογή του κατωφλίου είναι κρίσιμη επειδή μπορεί να απαλείψει σημεία ασυνέχειας τα οποία δεν ανήκουν σε ακμές



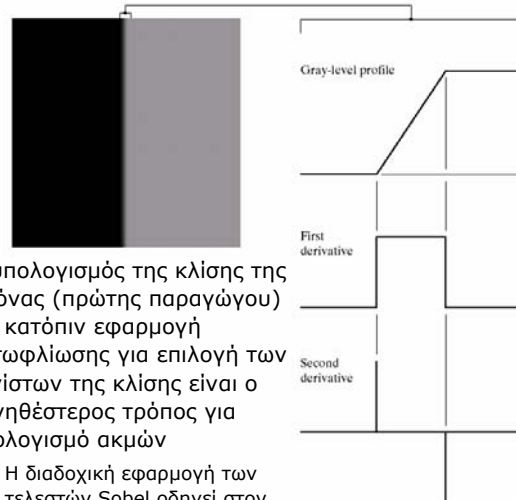
© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ☑ Εισαγωγή
- ★ Ανίχνευση Ακμών
- ☐ Εντοπισμός Ορίου Περιοχών
- ☐ Μετασχηματισμός Hough

## Ανίχνευση Ακμών (II)



**FIGURE 10.6**  
 (a) Two regions separated by a vertical edge.  
 (b) Detail near the edge, showing a gray-level profile, and the first and second derivatives of the profile.



- ◊ Ο υπολογισμός της κλίσης της εικόνας (πρώτης παραγώγου) και κατόπιν εφαρμογή κατωφλίσωσης για επιλογή των μεγίστων της κλίσης είναι ο συνηθέστερος τρόπος για υπολογισμό ακμών
- ◊ Η διαδοχική εφαρμογή των τελεστών Sobel οδηγεί στον υπολογισμό της κλίσης

Ο εντοπισμός των σημείων στα οποία αλλάζει πρόσημο η δεύτερη παράγωγος της εικόνας (zero crossings) μας δίνει επίσης σημεία ασυνέχειας τα οποία πιθανόν να ανήκουν σε ακμές.

- ◊ Η παραπάνω τεχνική δεν χρησιμοποιείται συχνά αυτόνομα γιατί είναι επιρρεπής σε θόρυβο

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ☑ Εισαγωγή
- ★ Ανίχνευση Ακμών
- ☐ Εντοπισμός Ορίου Περιοχών
- ☐ Μετασχηματισμός Hough

## Ανίχνευση Ακμών (III)

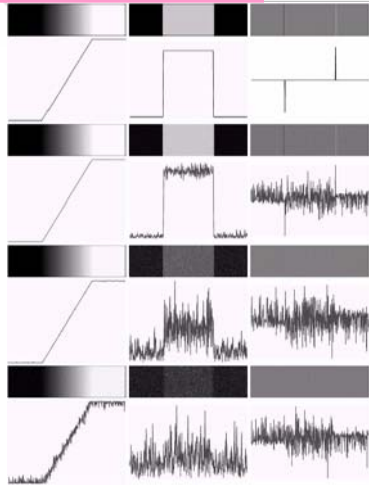


FIGURE 10.7 First column: images and gray-level profiles of a ramp edge corrupted by random Gaussian noise of mean 0 and  $\sigma = 0.0, 0.1, 1.0,$  and  $10.0,$  respectively. Second column: first-derivative images and gray-level profiles. Third column: second-derivative images and gray-level profiles.

Στο διπλανό σχήμα επιδεικνύεται η διαφορά ως προς την ανοχή προς το θόρυβο της χρήσης της πρώτης και της δεύτερης παραγώγου:

- ◊ Με δεδομένο ότι στη περίπτωση της πρώτης παραγώγου τα σημεία που ανήκουν σε ακμές επιλέγονται με κατωφλίωση ενώ στην περίπτωση της δεύτερης παραγώγου υπολογίζεται η αλλαγή προσήμου (zero crossing) είναι φανερό ότι η δεύτερη παράγωγος είναι σαφώς πιο ευαίσθητη στο θόρυβο.

Με βάση τα παραπάνω είναι φανερό πως είναι επιθυμητό πριν την εφαρμογή της ανίχνευσης ακμών να εφαρμόζονται τεχνικές απαλοιφής θορύβου

- ◊ Στην περίπτωση της ανίχνευσης ακμών με χρήση της δεύτερης παραγώγου ο συνδυασμός φιλτραρίσματος για απαλοιφή θορύβου με τη δεύτερη παράγωγο οδηγεί σε μια τεχνική γνωστή ως 'Laplacian of Gaussian'.

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ☑ Εισαγωγή
- ★ Ανίχνευση Ακμών
- ☐ Εντοπισμός Ορίου Περιοχών
- ☐ Μετασχηματισμός Hough

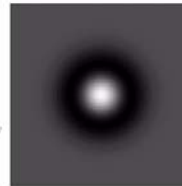
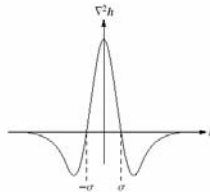
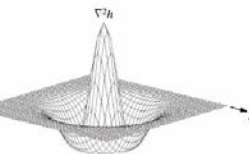
## Laplacian of Gaussian (LoG)



- ◊ Η μάσκα της τεχνικής LoG φαίνεται στο διπλανό σχήμα

- ◊ Μια παραλλαγή της διπλανής μάσκας λαμβάνεται στη Matlab με χρήση της εντολής  $h = fspecial('LoG');$

- ◊ Ανίχνευση ακμών με χρήση της Laplacian of Gaussian μπορεί να γίνει είτε με εφαρμογή φιλτραρίσματος με χρήση της παραπάνω μάσκας (εντολή *imfilter*) και στη συνέχεια κατωφλίωση του αποτελέσματος είτε με απευθείας εφαρμογή της εντολής *edge*



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

FIGURE 10.14 Laplacian of a Gaussian (LoG). (a) 3-D plot. (b) Image (black is negative, gray is the zero plane, and white is positive). (c) Cross section showing zero crossings. (d)  $5 \times 5$  mask approximation to the shape of (a).

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Εισαγωγή
- Ανίχνευση Ακμών
- Εντοπισμός Ορίου Περιοχών
- Μετασχηματισμός Hough

## Τεχνικές Ανίχνευσης Ακμών



Gray Scale Image



Edge detection using Sobel method



Edge detection using Laplacian of Gaussian



Edge detection using Canny method

Στο διπλανό σχήμα επιδεικνύεται η ανίχνευση ακμών στη Matlab με χρήση της εντολής edge και με εφαρμογή των μεθόδων:

- ◇ Sobel:  
 $b = \text{edge}(f, 'sobel');$
- ◇ Laplacian of Gaussian:  
 $b = \text{edge}(f, 'LoG');$
- ◇ Canny:  
 $b = \text{edge}(f, 'canny');$

Η τεχνική Canny αποτελεί βελτίωση της Sobel με εκλέπτυνση ακμών και σύνδεση των pixel των ακμών

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

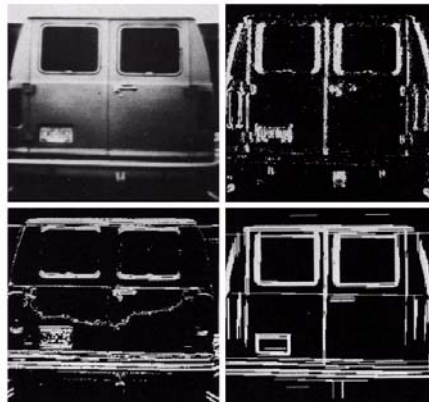
- Εισαγωγή
- Ανίχνευση Ακμών
- Εντοπισμός Ορίου Περιοχών
- Μετασχηματισμός Hough

## Εντοπισμός Ορίου Περιοχών



a b  
c d

**FIGURE 10.16**  
(a) Input image.  
(b)  $G_x$  component of the gradient.  
(c)  $G_y$  component of the gradient.  
(d) Result of edge linking. (Courtesy of Perceptics Corporation.)



Η ανίχνευση ακμών από μόνη της δεν μπορεί να χρησιμεύσει στην κατάτμηση εικόνων.

Γειτονικές ακμές πρέπει να συνδυαστούν για να ορίσουν τα όρια (boundaries) περιοχών.

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis



- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Ανίχνευση Ακμών
- ★ Εντοπισμός Ορίων Περιοχών
- ☐ Μετασχηματισμός Hough

## Σύνδεση Ακμών



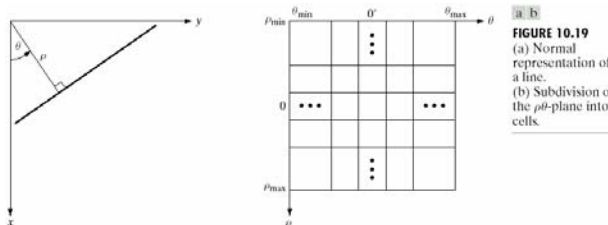
- ◇ Υπάρχουν τρεις τεχνικές για συνένωση ακμών:
  - ◇ *Τοπική επεξεργασία.*
    - ◇ Γειτονικά Pixels της εικόνας ακμών τα οποία έχουν παρόμοια τιμή στο μέτρο της παραγώγου αλλά και στη κατεύθυνση (γωνία  $\alpha$ ) συνδέονται μεταξύ τους
  - ◇ *Ολική επεξεργασία με αναζήτηση γράφων ελαχίστου κόστους.*
    - ◇ Τα επιμέρους τμήματα ακμών που έχουν ανιχνευθεί θεωρείται ότι διαμορφώνουν ένα γράφο.
    - ◇ Αναζητούνται κλειστές διαδρομές ελαχίστου κόστους μέσα στο γράφο. Οι διαδρομές αυτές θεωρείται ότι ανήκουν σε όρια περιοχών
  - ◇ *Μετασχηματισμός Hough.*
    - ◇ Με βάση τα pixels των ακμών αναζητούνται αντικείμενα τα οποία περιγράφονται από κλειστές μαθηματικές σχέσεις (π.χ. Γραμμές, κύκλοι και ελλείψεις)
    - ◇ Ο συνδυασμός γραμμών μπορεί να προσεγγίσει πολλά άλλα σχήματα. Επομένως η ανίχνευση ακμών με τον μετασχηματισμό Hough είναι μια από τις πλέον διαδεδομένες τεχνικές για το σχηματισμό ορίων σε περιοχές

- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Ανίχνευση Ακμών
- ☑ Εντοπισμός Ορίων Περιοχών
- ★ Μετασχηματισμός Hough

## Μετασχηματισμός Hough



- ◇ Ανίχνευση γραμμών:
  - ◇ Η εξίσωση της γραμμής στις πολικές συντεταγμένες δίνεται από τη σχέση:  $x \cos \theta + y \sin \theta = \rho$
  - ◇ Οι παράμετροι  $\theta$  και  $\rho$  καθορίζουν μοναδικά μια γραμμή
  - ◇ Για την εύρεση των γραμμών με τον μετασχηματισμό Hough:
    - ◇ Βρίσκουμε όλες τις δυνατές γραμμές που μπορεί να περνάνε από κάθε pixel μιας ακμής ενημερώνοντας τα αντίστοιχα πεδία του πίνακα  $(\theta, \rho)$  – βλέπε σχήμα
    - ◇ Βρίσκουμε τα κελιά του πίνακα (ζεύγη  $(\theta, \rho)$ ) τα οποία έχουν τη μέγιστη τιμή.
    - ◇ Τα ζεύγη αυτά περιγράφουν τις γραμμές που υπάρχουν στην εικόνα.



- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Ανίχνευση Ακμών
- ☑ Εντοπισμός Ορίου Περιοχών
- ★ Μετασχηματισμός Hough

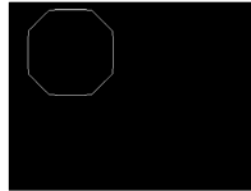
## Μετασχηματισμός Hough (II)



Original Image



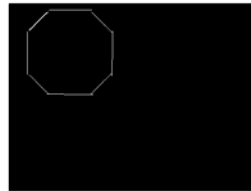
Edge Image



First two lines detected



Detected Lines through Hough Transform



© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- ☑ Εισαγωγή
- ☑ Ανίχνευση Ακμών
- ☑ Εντοπισμός Ορίου Περιοχών
- ☑ Μετασχηματισμός Hough

## Σύνοψη



- ◇ Το υλικό που παρουσιάστηκε σε αυτή την ενότητα αναφέρεται στη κατάτμηση εικόνων με χρήσης τεχνικών ανίχνευσης ακμών
- ◇ Οι περισσότερες από τις παραπάνω κατηγορίες επιτυγχάνουν αξιόλογα αποτελέσματα μόνο σε ειδικές κατηγορίες εικόνων:
  - ◇ Η κατάτμηση με ανίχνευση ακμών είναι αποτελεσματική σε εικόνες που περιέχουν σχετικά απλά αντικείμενα τα οποία μπορούν να προσεγγιστούν με ευθείες ή απλά γεωμετρικά σχήματα όπως κύκλοι και ελλείψεις
  - ◇ Στο πλαίσιο της αναγνώρισης προτύπων χρησιμοποιούνται για την εύρεση του ορίου αντικειμένων ή περιοχών (για να επιτρέψει τη δημιουργία χαρακτηριστικών περιγραφής περιγράμματος)
- ◇ Η χρήση τεχνικών απαλοιφής θορύβου είναι εξαιρετικά υποβοηθητικό προστάδιο επεξεργασίας για αποτελεσματική κατάτμηση εικόνων με ανίχνευση ακμών ή κατωφλίωση

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis