

Τεχνητή Όραση

ΤΠ 7004

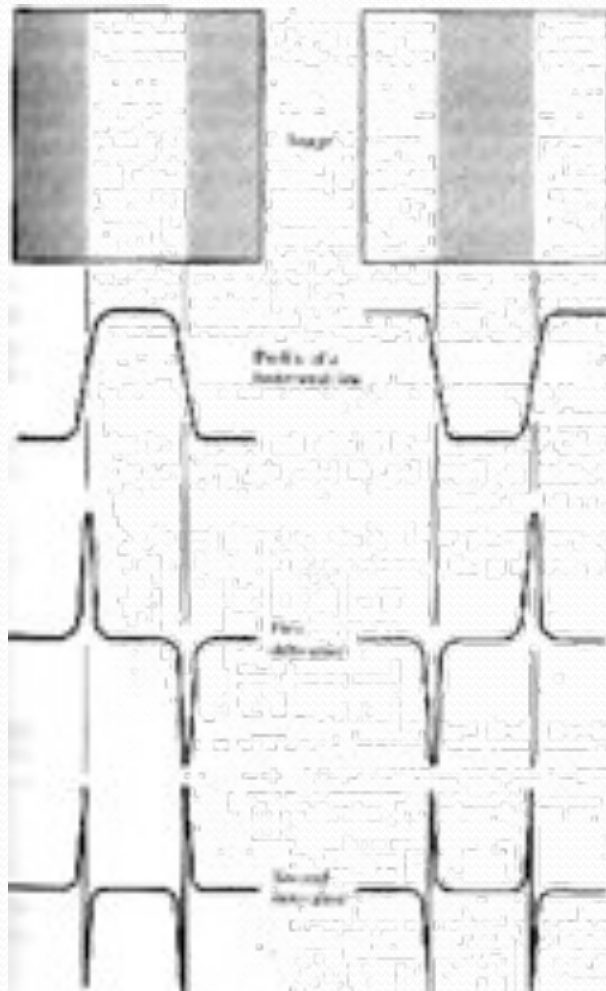
Μάθημα 5^ο: Προσδιορισμός σχημάτων,
μετασχηματισμός Hough

Δρ. Θάνος Δεμίρης

Η γενική διαδικασία ανίχνευσης ακμών

1. Φιλτράρισμα (Smoothing): καταπολέμηση του θορύβου χωρίς αλλοίωση των πραγματικών ακμών
2. Βελτιώσεις (φίλτρα για τη βελτίωση της αντίθεσης)
3. Ανίχνευση των σημείων των ακμών
4. Ακριβής εντοπισμός των σημείων των ακμών (και αφαίρεση λανθασμένων, με «αδυνάτισμα» και «σύνδεση»)

Παραγοντοποίηση εικόνων



Ανίχνευση Roberts

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

$$\frac{\partial f}{\partial y} = f(i+1, j) - f(i, j+1)$$

$$M_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad M_y = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Ανίχνευση Prewitt και Sobel (1968)

Υποθετική γειτονιά

$$\begin{array}{ccc} a_0 & a_1 & a_2 \\ a_7 & [i, j] & a_3 \\ a_6 & a_5 & a_4 \end{array} \quad \begin{array}{l} M_x = (a_2 + ca_3 + a_4) - (a_0 + ca_7 + a_6) \\ M_y = (a_6 + ca_5 + a_4) - (a_0 + ca_1 + a_2) \end{array}$$

Η σταθερά c τονίζει τη σημασία της κεντρικής σειράς.
Θέτοντας την ίση με 1 προκύπτει η ανίχνευση Prewitt:

$$M_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad M_y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Θέτοντας την ίση με 2 προκύπτει η ανίχνευση Sobel:

$$M_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad M_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Ο αλγόριθμος Canny

1. Compute f_x and f_y

$$f_x = \frac{\partial}{\partial x} (f * G) = f * \frac{\partial}{\partial x} G = f * G_x$$

$$f_y = \frac{\partial}{\partial y} (f * G) = f * \frac{\partial}{\partial y} G = f * G_y$$

$G(x, y)$ is the Gaussian function

$G_x(x, y)$ is the derivate of $G(x, y)$ with respect to x : $G_x(x, y) = \frac{-x}{\sigma^2} G(x, y)$

$G_y(x, y)$ is the derivate of $G(x, y)$ with respect to y : $G_y(x, y) = \frac{-y}{\sigma^2} G(x, y)$

2. Compute the gradient magnitude

$$\text{magn}(i, j) = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

3. Apply non-maxima suppression.

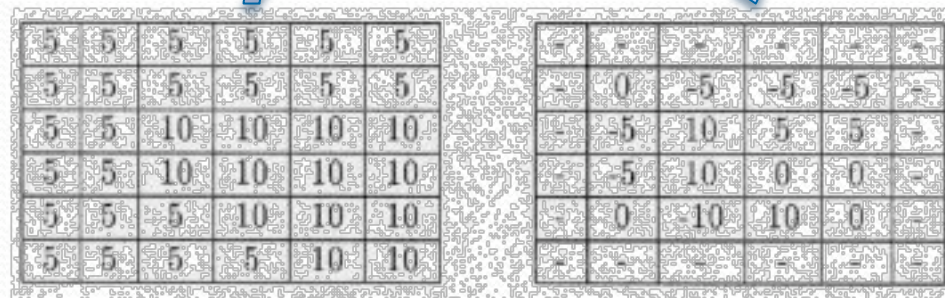
4. Apply hysteresis thresholding/edge linking.

Η Λαπλασιανή για εικόνες

z1	z2	z3
z4	z5	z6
z7	z8	z9

$$\nabla^2 f = -4z_5 + (z_2 + z_4 + z_6 + z_8)$$

0	1	0
1	-4	1
0	1	0



Laplacian of Gaussian (LoG)

- Απλά πρώτα βελτιώνουμε την εικόνα με ένα φίλτρο Gauss

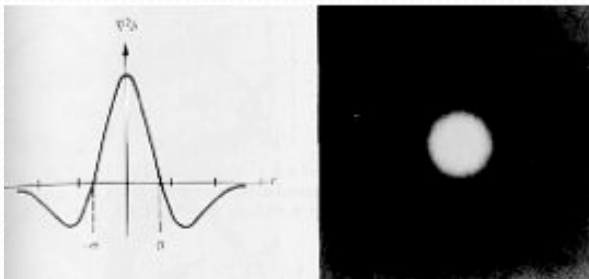
$$G(x,y) = e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

(σ determines the degree of smoothing, mask size increases with σ)

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



$$\nabla^2G(x,y) = \left(\frac{r^2 - \sigma^2}{\sigma^4}\right)e^{-r^2/2\sigma^2}, (r^2 = x^2 + y^2)$$



Μετασχηματισμός Hough

Εντοπισμός ευθειών γραμμών σε εικόνες

Intermediate Vision

- Η ανίχνευση ακμών μας δίνει μία σειρά από ενδεχόμενα τεμαχισμένες γραμμές και πολύ θόρυβο
 - Σπάνια αρκεί μόνο η ανίχνευση γραμμών για να εντοπίσουμε αντικείμενα
- Προκειμένου να «εξάγουμε χαρακτηριστικά», όπως
 - ευθείες γραμμές,
 - κύκλους,
 - γωνίες,
 - ελλειπτικά σχήματα ή ακόμη και άλλα,
 - όχι τόσο εύκολα γεωμετρικά προσδιορίσιμα, σχήματα
- απαιτείται ένα επιπλέον βήμα

Αναζητώντας τη γραμμή...

- Ο απλούστερος μαθηματικός ορισμός:
 - $y = mx + b$
 - η σταθερά m δίνει μία κλίση στη γραμμή και η σταθερά b προσαρμόζει τη διαφορά ύψους
- Έχει προβλήματα οριακών τιμών...
 - Γραμμές κάθετες στον άξονα x (και παράλληλες στον y)???

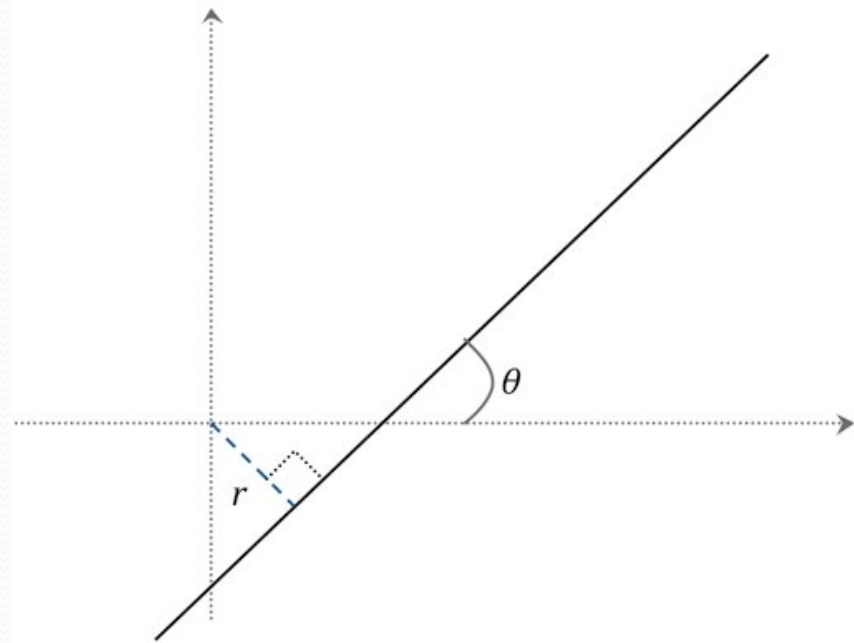
Εναλλακτικός ορισμός

$$y = \left(\frac{\cos \theta}{\sin \theta} \right) x + \left(\frac{r}{\sin \theta} \right) \Rightarrow$$

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

$$\theta \in [0, \pi] \wedge r \in \mathbb{R}$$

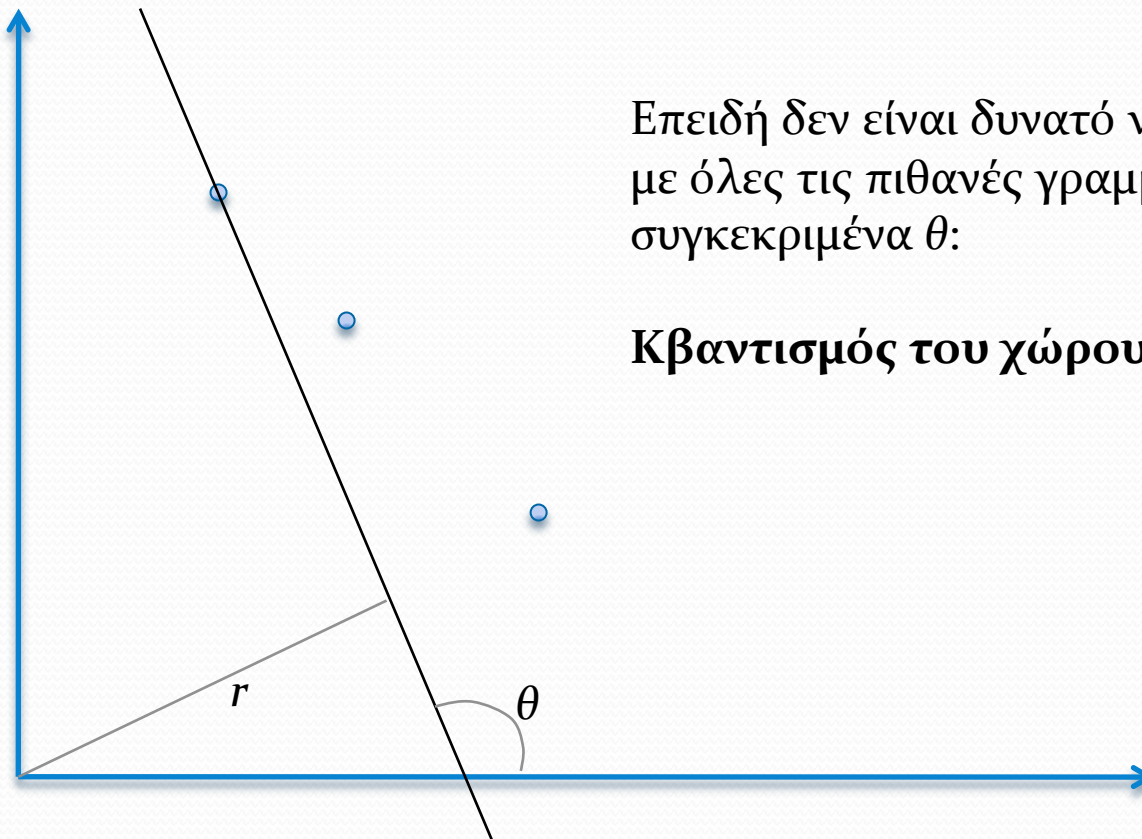
$$[\theta \in [0, 2\pi] \wedge r \geq 0]$$



Πίνακας συσσώρευσης

- Για ένα σύνολο σημείων θέλουμε να βρούμε τη γραμμή που τα διαπερνά
- Δημιουργούμε για κάθε σημείο την ημιτονοειδή του συνάρτηση
- Σχεδιάζουμε τις συναρτήσεις αυτές σε σύστημα συντεταγμένων με άξονες τα r και θ
 - Το αποτέλεσμα ονομάζεται **πίνακας συσσώρευσης** (accumulation array)
- Το σημείο τομής τους (αν υπάρχει) μας δίνει τη γραμμή που περνάει από όλα τα σημεία!!!
 - Η απόσταση από το μηδενικό σημείο, και η γωνία με τους άξονες είναι κοινή, άρα πρόκειται για κοινή γραμμή

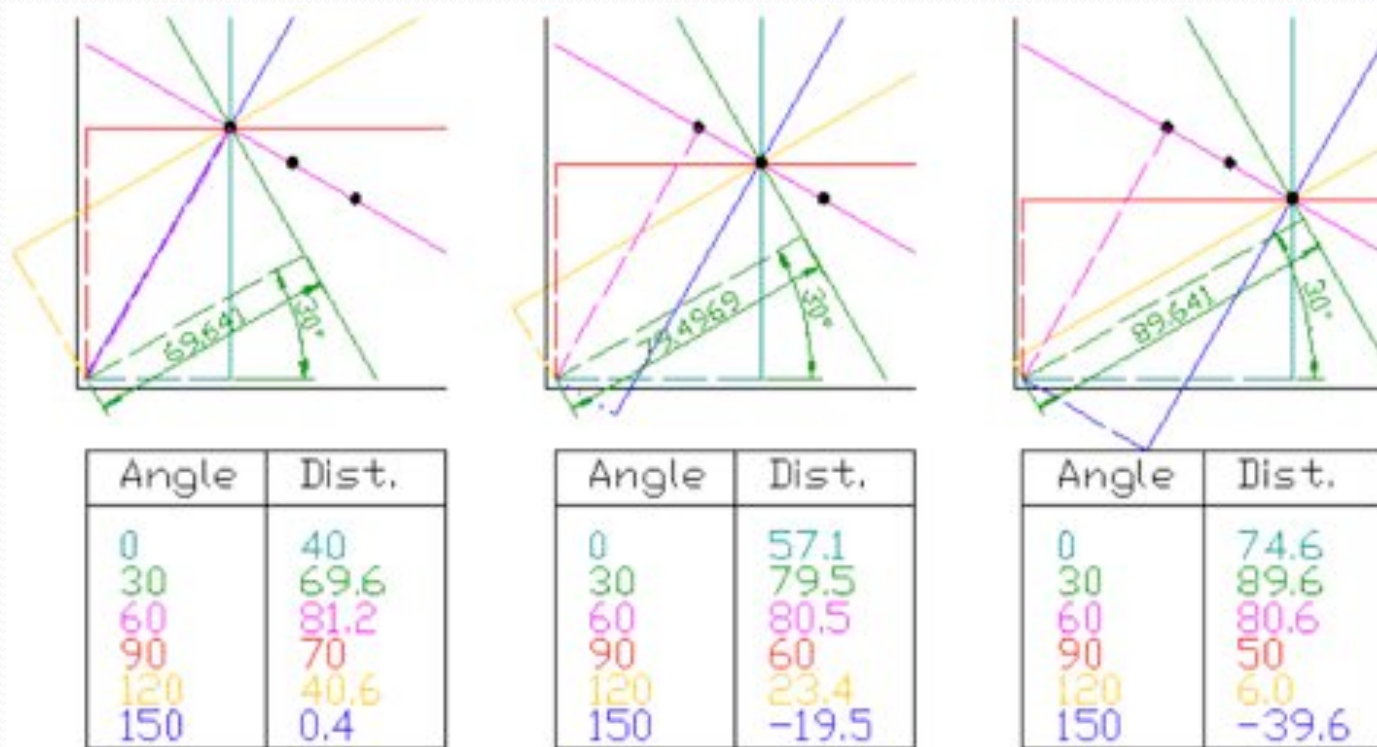
Παράδειγμα εύρεσης γραμμής από 3 σημεία



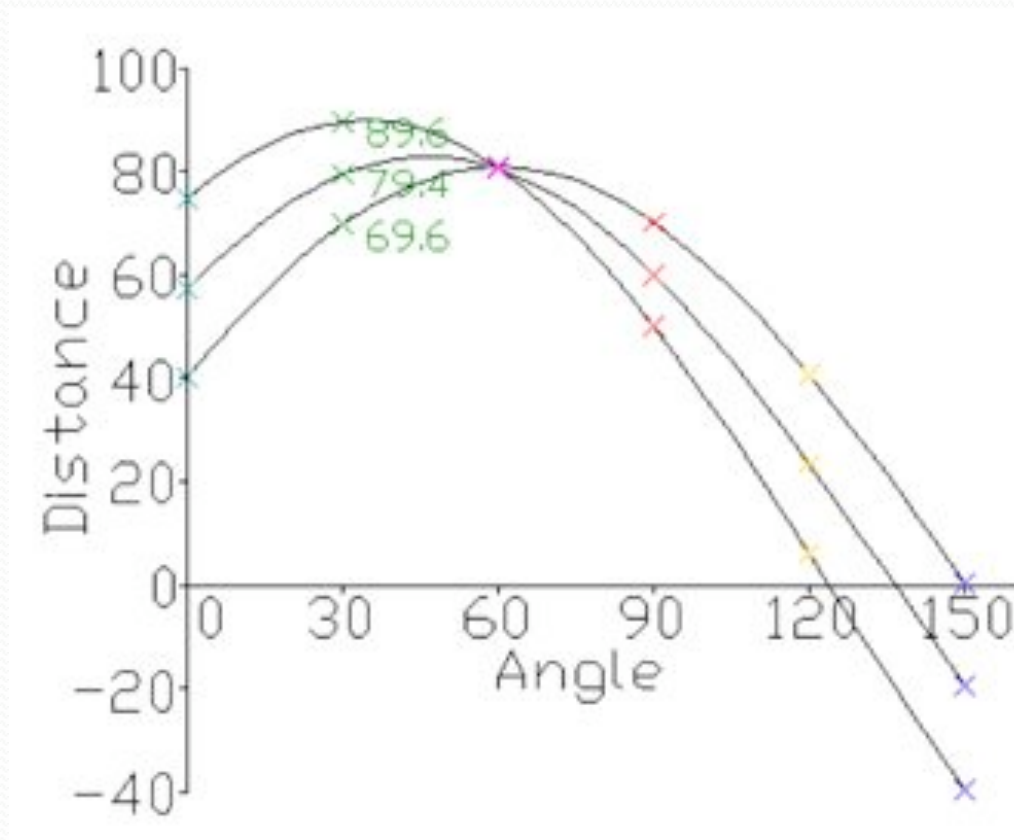
Επειδή δεν είναι δυνατό να δοκιμάσουμε με όλες τις πιθανές γραμμές επιλέγουμε συγκεκριμένα θ :

Κβαντισμός του χώρου Hough

Παράδειγμα εύρεσης γραμμής από 3 σημεία

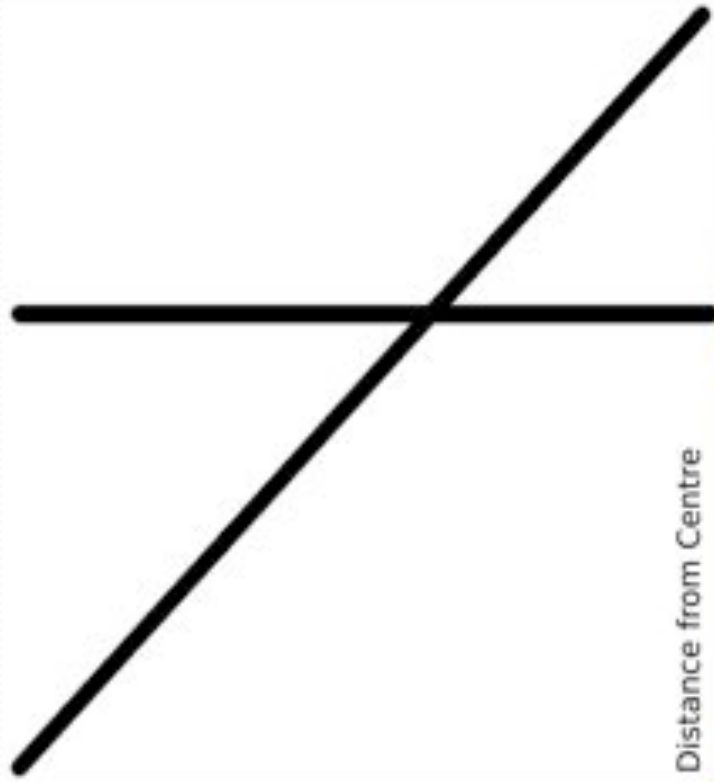


Διαγράμματα στο χώρο Hough



Πίνακας συσσώρευσης σε «όμοια» μορφή (congruent)

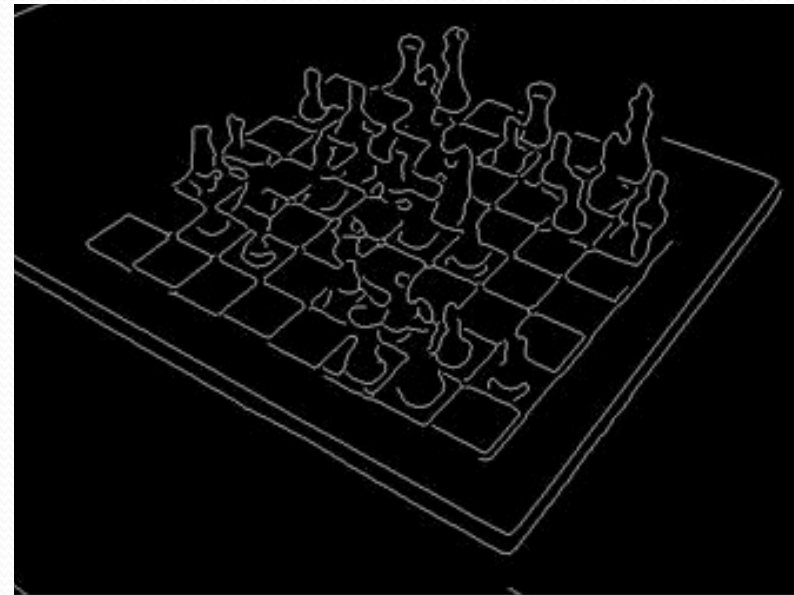
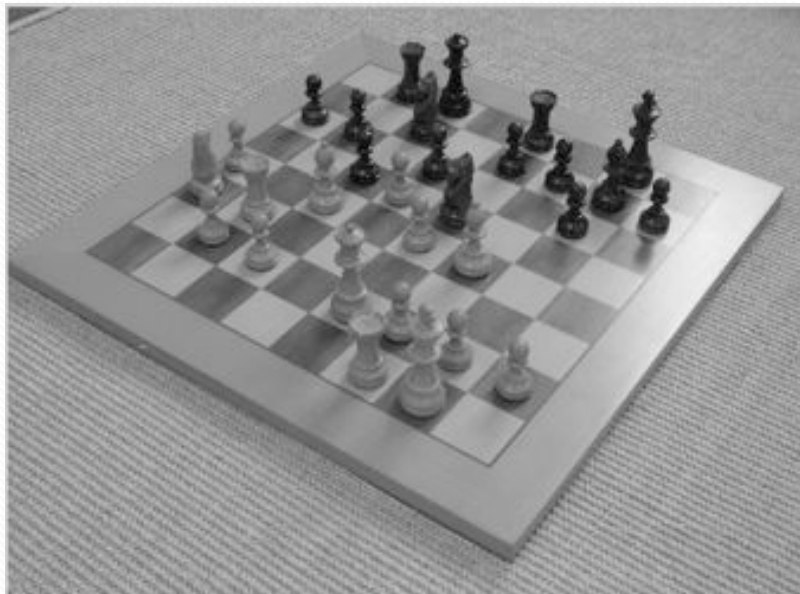
Input Image



Rendering of Transform Results



Βήμα 1^ο – Εντοπισμός ακμών



Βήμα 2^ο: Μετασχηματισμός στο χώρο Hough και «ψηφοφορία»



Ο πίνακας συσσώρευσης (accumulator array) παρουσιάζει όλες τις υπάρχουσες ημιτονοειδείς με οριζόντιο άξονα το r και κάθετο το θ

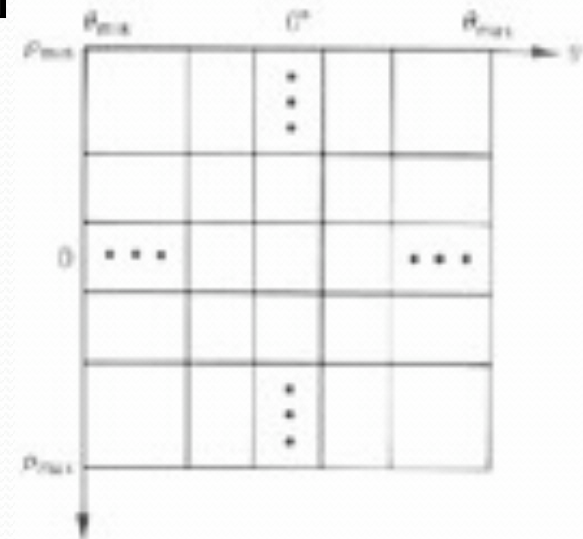
Συμπληρωματική σημείωση:

Η παραπάνω απεικόνιση χαρακτηρίζεται ως «όμοια» προς τον χώρο των εικόνων (congruent)

Περίληψη του αλγόριθμου

- Για όλα τα σημεία ακμών (x,y)
 - For $(\vartheta = \vartheta_{min}; \vartheta \leq \vartheta_{max}; \vartheta++)$ //εδώ ορίζεται ο κβαντισμός
 $r = x \cos \theta + y \sin \theta$
 $P[r][\theta]++$ // η λεγόμενη «ψηφοφορία»
- Βρες όλα τα τοπικά μέγιστα στο $P[][]$

Πίνακας συσσώρευσης (Accumulator array)



Δείγμα πίνακα συσώρευσης

The image displays two examples of cumulative frequency tables, each with a corresponding histogram. The tables are oriented vertically on the page.

Table 1 (Left):

Αριθμός	Συχνότητα	Συγκumul. Συχνότητα
0-2	1	1
2-4	2	3
4-6	3	6
6-8	4	10
8-10	5	15
10-12	4	19
12-14	3	22
14-16	2	24
16-18	1	25

Table 2 (Right):

Αριθμός	Συχνότητα	Συγκumul. Συχνότητα
0-2	1	1
2-4	2	3
4-6	3	6
6-8	4	10
8-10	5	15
10-12	4	19
12-14	3	22
14-16	2	24
16-18	1	25

Εντοπισμός κύκλων

Με τροποποιημένο μετασχηματισμό Hough

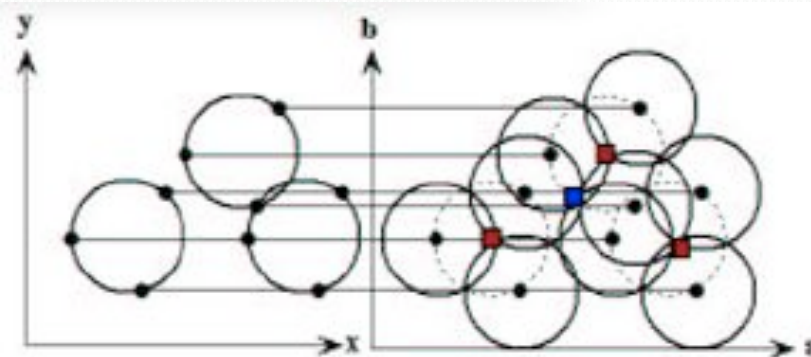
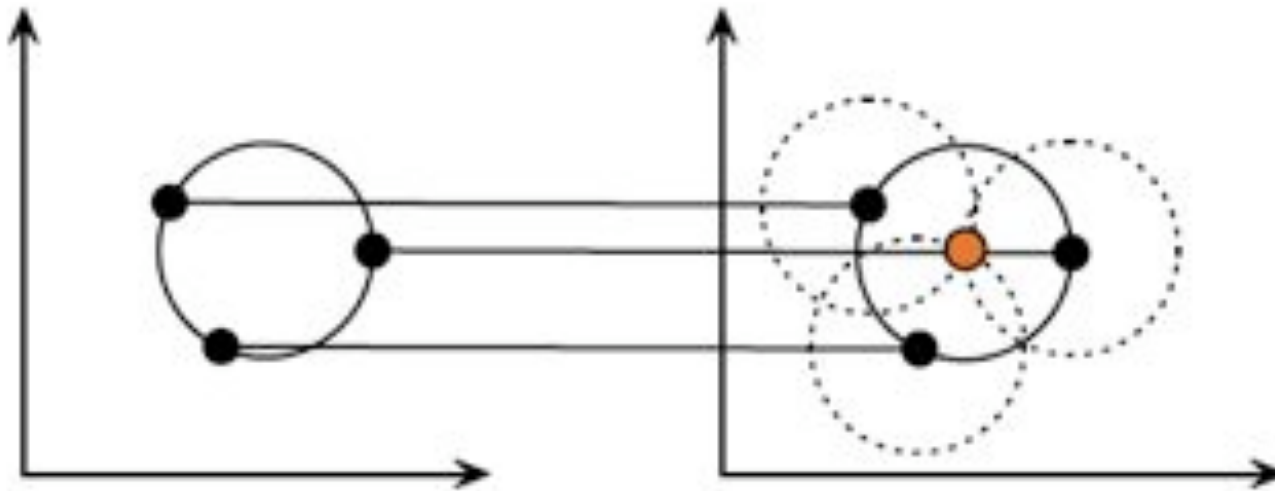
Αναγκαιότητα για εντοπισμό κύκλων

- Στο βιομηχανικό έλεγχο ποιότητας υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις κυκλικών αντικειμένων
 - Βιομηχανία τροφίμων (φρούτα, μπισκότα, πίτσες)
 - Βιομηχανία αυτοκινήτων (ρόδες, βίδες, πιστόνια)
 - Ευρύτερη βιομηχανία: ανίχνευση κυκλικών οπών (προγραμματισμένων ή ανεπιθύμητων)
- Πολλές εφαρμογές στη βιοϊατρική
 - κύτταρα
 - Μικρο-συστοιχίες

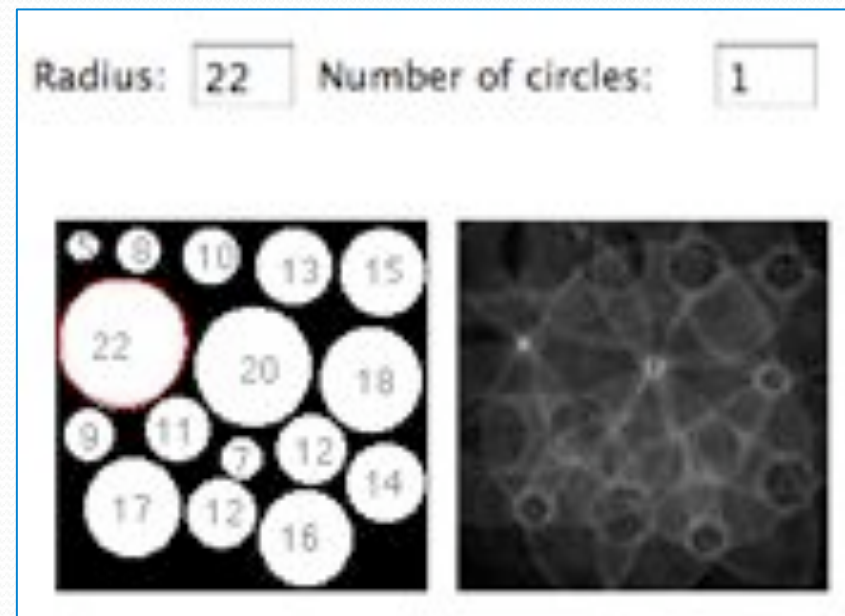
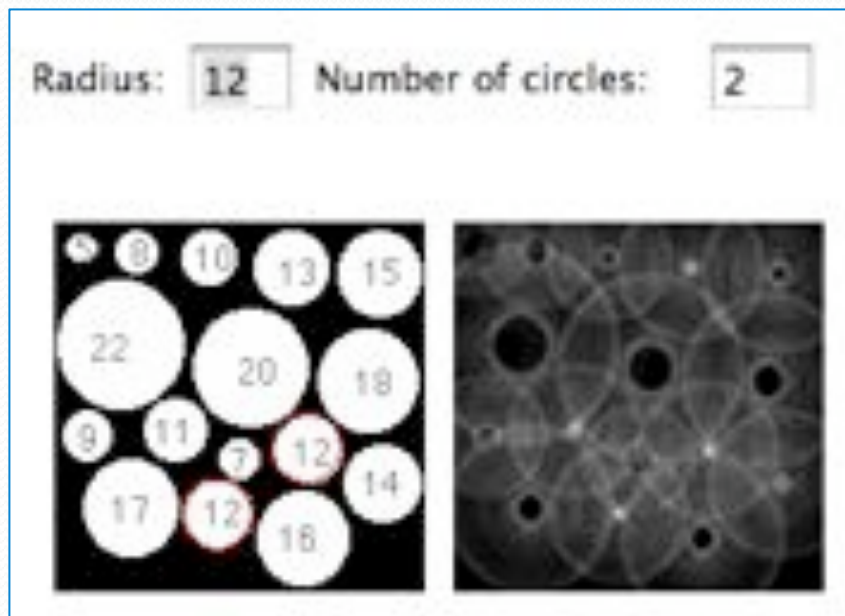
Προσδιορισμός των κύκλων

- Ο κύκλος προσδιορίζεται από την εξίσωση:
 - $(x-x_c)^2+(y-y_c)^2=r^2$
- Κατά συνέπεια σε ένα χώρο με τρεις μεταβλητές:
 - Τις συντεταγμένες του κέντρου του κύκλου
 - Την ακτίνα του κύκλου
- Για γνωστή ακτίνα ο εντοπισμός διευκολύνεται

Ανίχνευση κύκλων με γνωστή ακτίνα



<http://www.markschulze.net/java/hough/>



Προσδιορισμός με άγνωστη ακτίνα

- Ο χώρος Hough γίνεται 3-διάστατος
- Η απεικόνιση στοχεύει σε κοινά σημεία κώνων
- Υπολογιστικά ιδιαίτερα «βαριά» εφαρμογή
- Εναλλακτική και πάλι με την κλίση (βαθμίδα)

