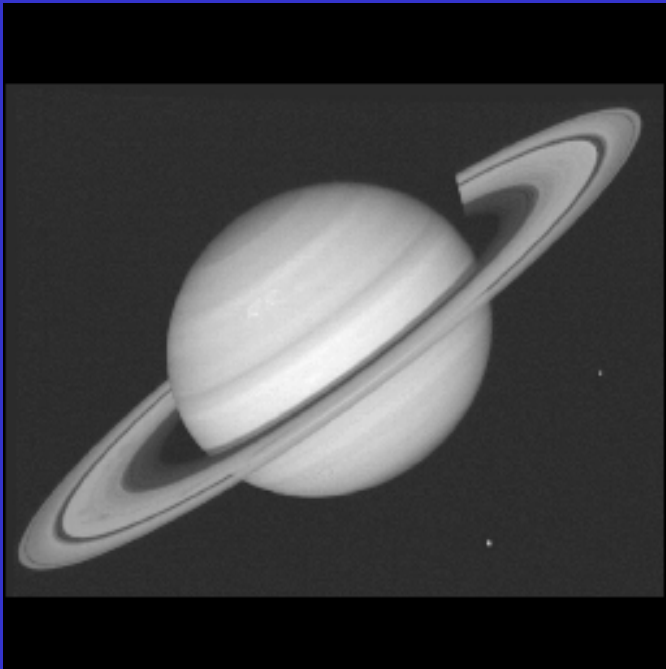


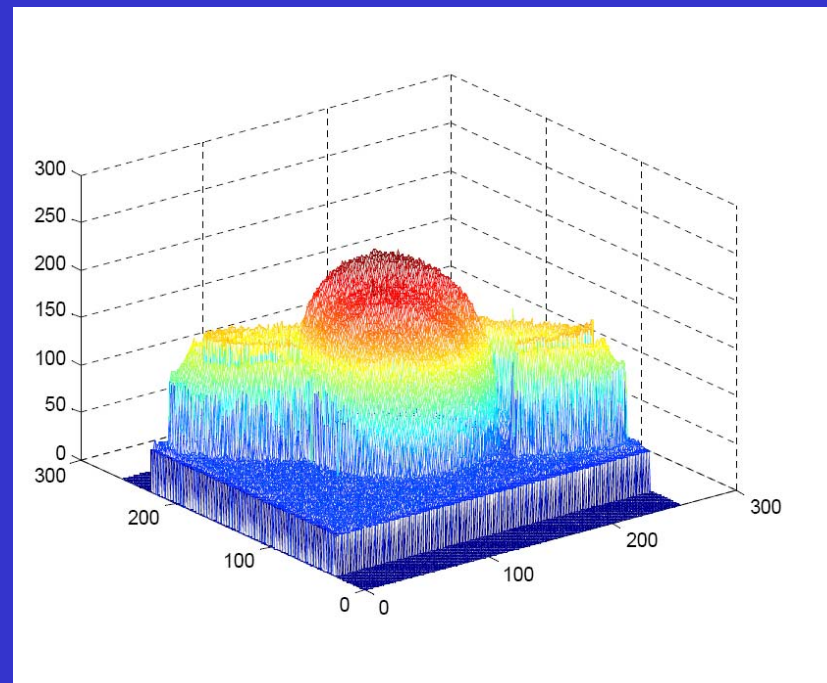
Εικόνα (Image): Μια πηγή από την οποία εύκολα ο άνθρωπος αντλεί άμεσα πληροφορίες , σε αντίθεση με τον υπολογιστή.

Για να αντλήσει πληροφορίες ο υπολογιστής από μια εικόνα απαιτείται κατάλληλος αλγόριθμος Ανάλυσης Εικόνας, προσαρμοσμένος στο είδος της αντλούμενης πληροφορίας.

Ένας Αλγόριθμος Ανάλυσης Εικόνας επεξεργάζεται την εικόνα ως δισδιάστατο σήμα και αντλεί από αυτό τις πληροφορίες



Εικόνα



Ισοδύναμο
Δισδιάστατο Σήμα

ΔΙΑΚΡΙΤΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ FOURIER (DISCRETE FOURIER TRANSFORM-DFT)

Έστω ακολουθία $x(c,l)$ $c,l=0,1,\dots,M-1$

Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier της $x(c,l)$ ορίζεται η ακολουθία $X(C,L)$

$$X(C,L) = \frac{1}{M} \sum_{c=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{M-1} x(c,l) \cdot \exp \left[-j2\pi \left(\frac{C \cdot c}{M} + \frac{L \cdot l}{M} \right) \right]$$
$$C, L = 0, 1, \dots, M-1$$

Αποδεικνύεται ότι ισχύει:

$$x(c,l) = \frac{1}{M} \sum_{C=0}^{M-1} \sum_{L=0}^{M-1} X(C,L) \cdot \exp \left[j2\pi \left(\frac{C \cdot c}{M} + \frac{L \cdot l}{M} \right) \right]$$
$$c, l = 0, 1, \dots, M-1$$

$$x(c,l) \longleftrightarrow X(C,L)$$

Έστω η συνάρτηση $f(x,y)$ με $F(u,v)=F\{f(x,y)\}$

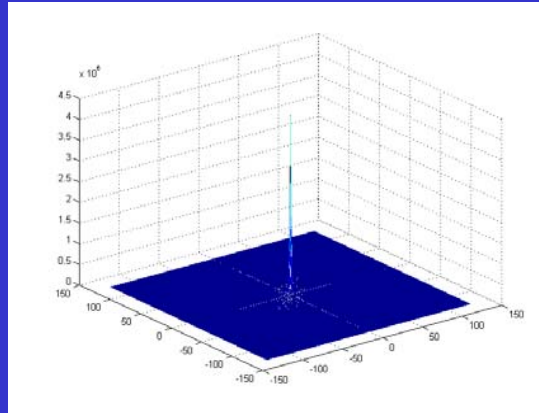
(x_0,y_0) σημείο από το πεδίο ορισμού και $\Delta x,\Delta y$

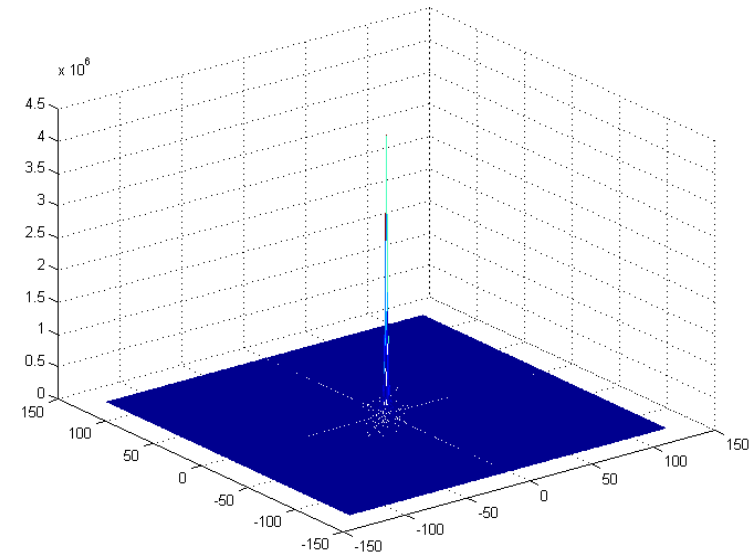
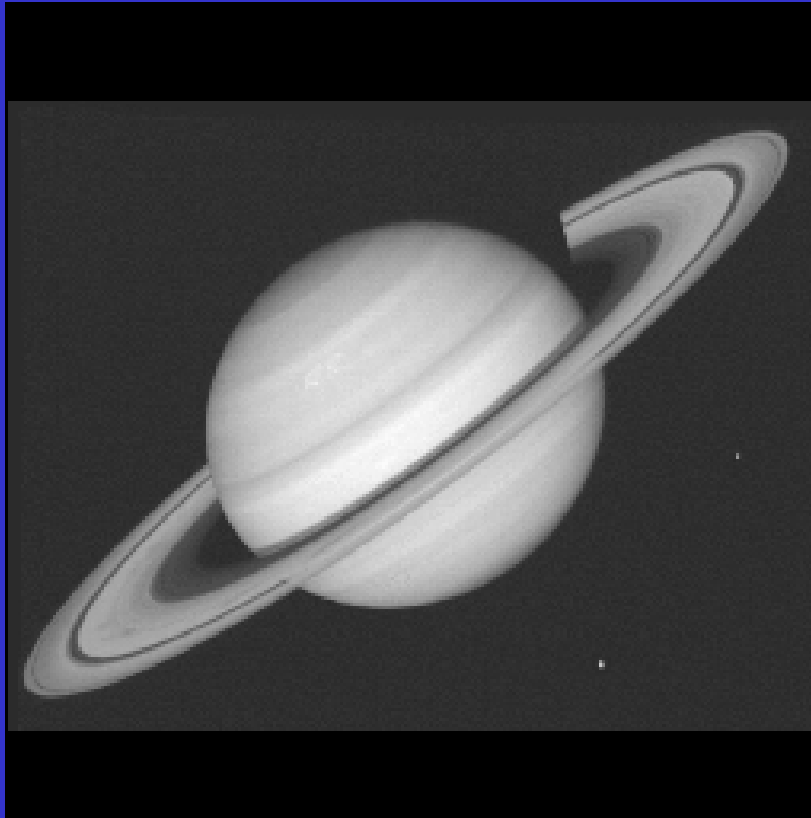
Ορίζεται η ακολουθία πραγματικών αριθμών $f_D(c,l)=f(x_0+c\Delta x,y_0+l\Delta y)$
 $c,l=0,1,\dots,M-1$

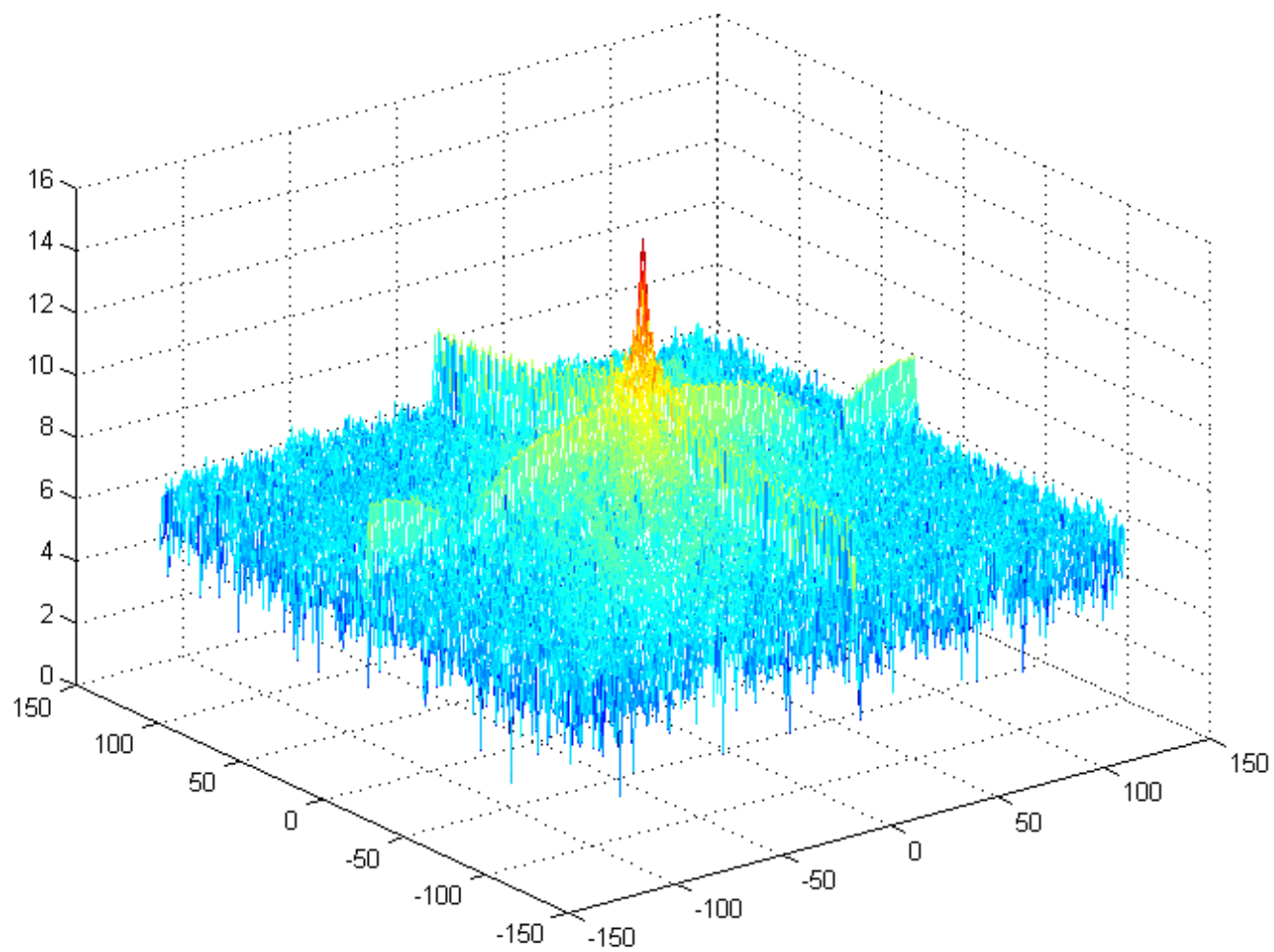
Έστω $F^*(u,v)=F\{f_D(c,l)\}$
& $F(C,L)=\text{DFT}\{f_D(c,l)\}$

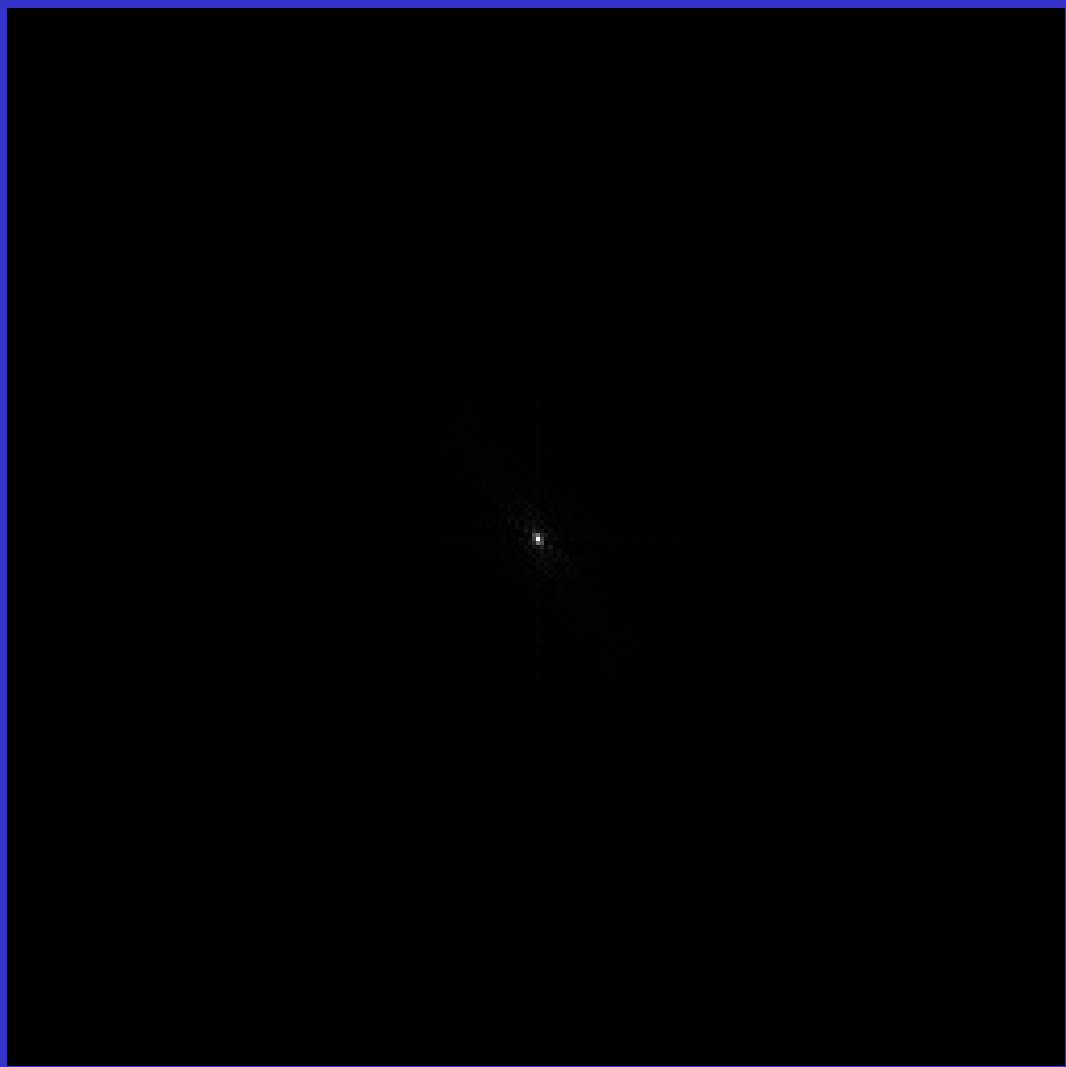
Αν M αρκετά μεγάλο, ισχύει:

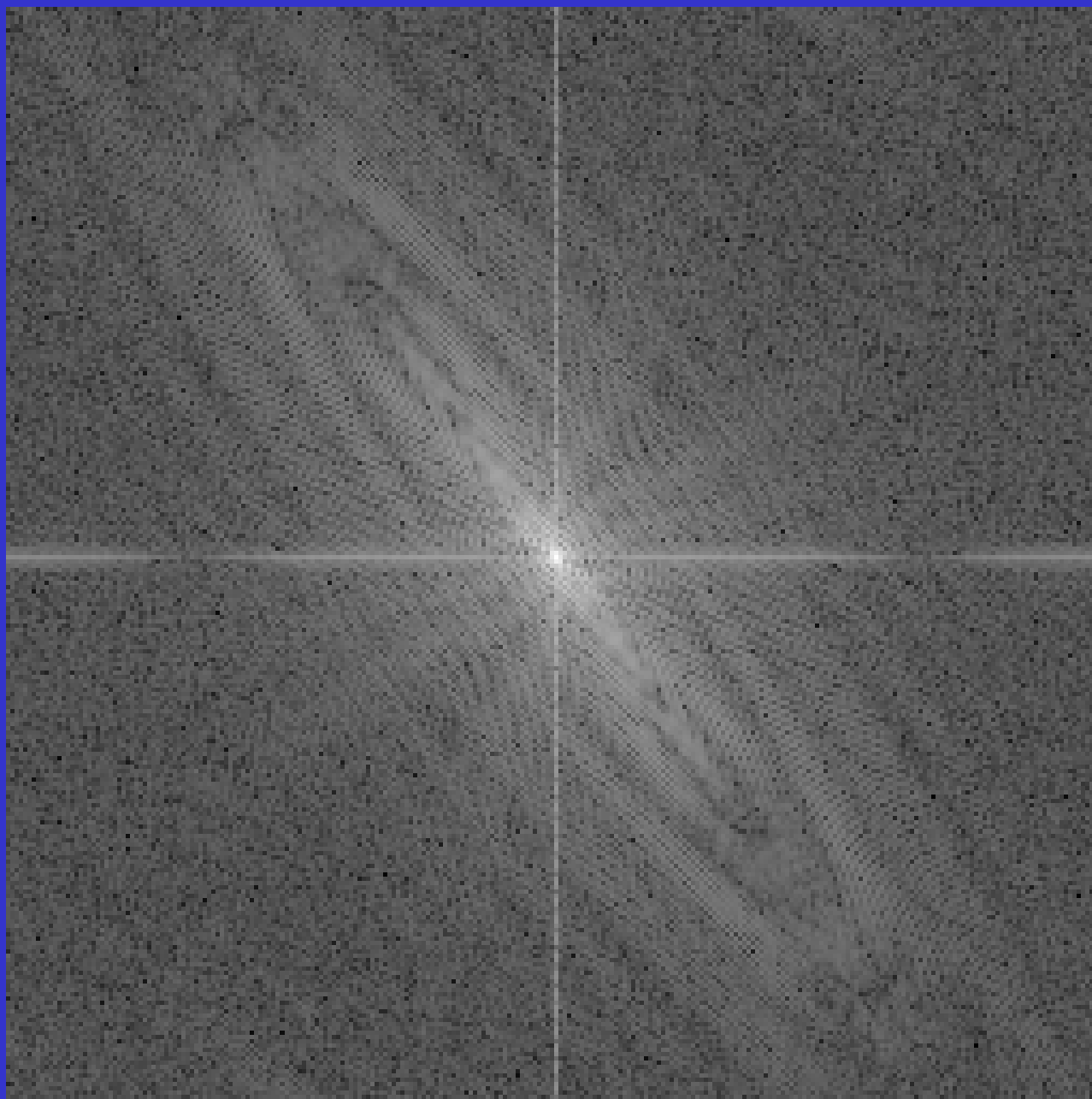
$F(C,L)=F^*(C\Delta u,L\Delta v)$ $\Delta u=1/(M\Delta x)$, $\Delta v=1/(M\Delta y)$,











**ΕΙΔΙΚΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ
ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ**

**(ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΟΥΣΙΩΔΩΝ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΑΣ)**

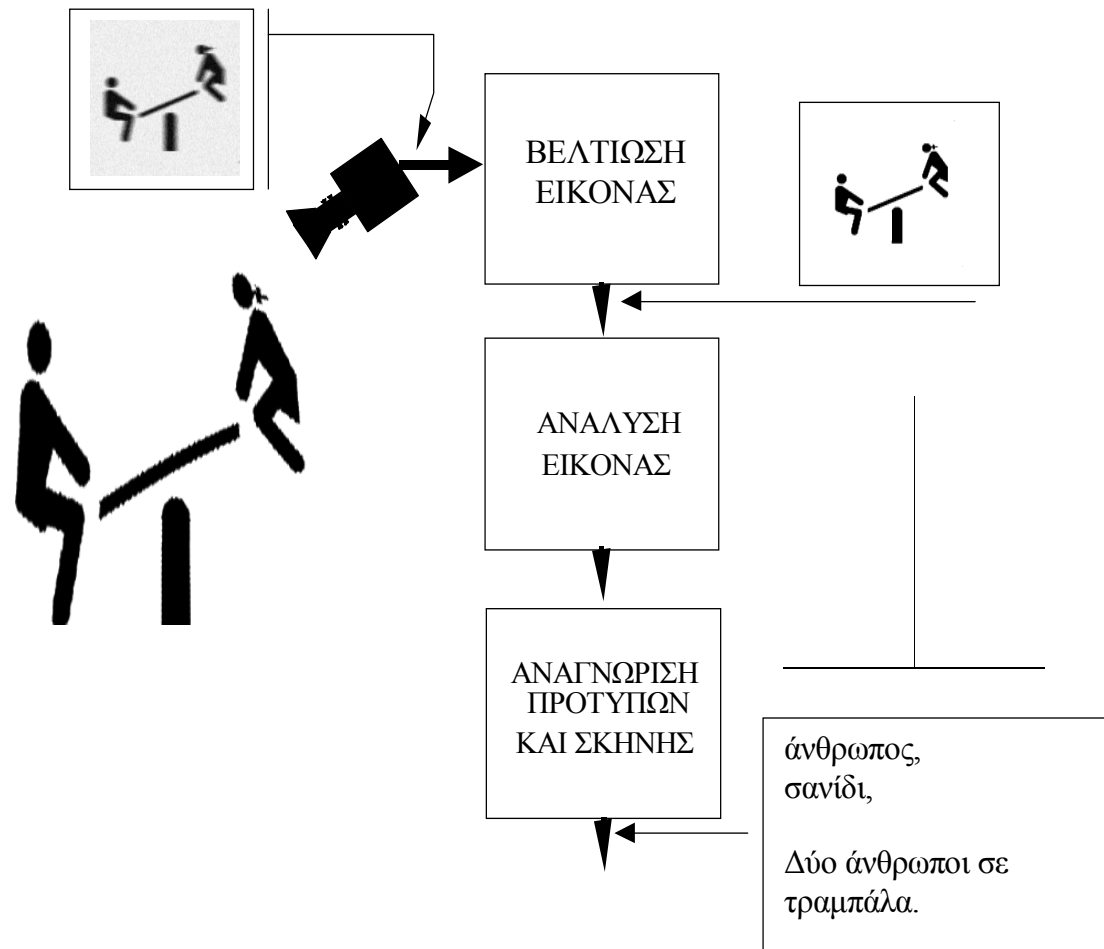
**Τμήμα από το μάθημα
ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Η καλύτερη προσέγγιση της ύλης του μαθήματος

1. R.C. Gonzalez R.E. Woods. "Digital Image Processing"
Prentice Hall 3rd Edition 2008.
2. R.C. Gonzalez R.E. Woods. "Digital Image Processing Using
MATLAB" Prentice Hall 2nd Edition 2004.

ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ



Σχήμα 1.1 Το λειτουργικό διάγραμμα ενός Συστήματος Οπτικής Αναγνώρισης

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ:

Η Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας με πρωταρχικό στόχο την εξαγωγή από τα δεδομένα της των κύριων χαρακτηριστικών με τα οποία μια αυτόματη μηχανή μπορεί να επιτύχει την ερμηνεία, την αντίληψη, ή την περιγραφή της σκηνής που απεικονίζει η εικόνα.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ

<p><i>Αυτόματη Αναγνώριση Χαρακτήρων Κειμένου (OCR).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Αυτόματη ανάγνωση κειμένου από σελίδα βιβλίου, κωδικοποίησή του και αποθήκευσή του στον υπολογιστή. • Ταξινόμηση επιστολών στο ταχυδρομείο. • Ανάγνωση πινακίδων. • Έκδοση λογαριασμών σε υπερκαταστήματα. • Επεξεργασία τραπεζικών επιταγών.
<p><i>Ανάλυση Ιατρικών Εικόνων</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ανίχνευση όγκων στους ιστούς. • Μέτρηση του μεγέθους και της μορφής εσωτερικών οργάνων του ανθρώπινου σώματος. Ανάλυση χρωματοσωμάτων. • Μέτρηση πυκνότητας αιμοσφαιρίων.
<p><i>Βιομηχανικοί Αυτοματισμοί</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ταυτοποίηση εξαρτημάτων σε γραμμές παραγωγής. • Ανίχνευση εσφαλμένων κατασκευών.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ

(ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

<i>Ρομποτική</i>	<ul style="list-style-type: none">• Αναγνώριση και ερμηνεία των αντικειμένων της σκηνής του περιβάλλοντος.• Υπολογισμός αποστάσεων των αντικειμένων του περιβάλλοντος από την κάμερα και λήψη απόφασης
<i>Χαρτογράφηση</i>	<ul style="list-style-type: none">• Κατασκευή χαρτών από αεροφωτογραφίες.• Σύνθεση χαρτών καιρού.• Σύνθεση video για την αναπαιδίαση κίνησης
<i>Ιατροδικαστική Σήμανση. (Forensics)</i>	<ul style="list-style-type: none">• Αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων.• Αναγνώριση προσώπων από φωτογραφίες.
<i>Αυτόματη Αναγνώριση Εικόνων Radar</i>	<ul style="list-style-type: none">• Ανίχνευση και αναγνώριση στόχων.• Καθοδήγηση υπάμενων οχημάτων κατά την προσγείωση• Τηλεκαθοδήγηση υπάμενων συσκευών χωρίς πιλότο.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ

(ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

<i>Τηλεαίσθηση (Remote Sensing)</i>	<ul style="list-style-type: none">• Πρόβλεψη καιρού.• Αναγνώριση και παρατήρηση αστικών, γεωργικών, ή θαλάσσιων περιοχών.
<i>Αυτόματη Ανάκτηση Εικόνων (Content Based Image Retrieval)</i>	<ul style="list-style-type: none">• Χρησιμοποιείται σε βάσεις πολυμέσων. Επιτυγχάνει την ταξιθέτηση και την αναζήτηση κάθε εικόνας στη βάση αυτή με δείκτη (κλειδί) που κατασκευάζεται μετά την ανάλυση του περιεχομένου της εικόνας.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ ΜΟΡΦΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

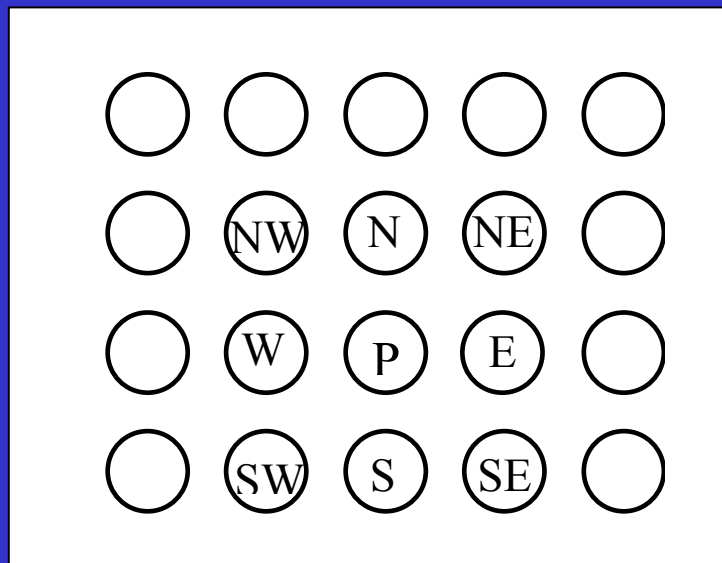
ΣΧΗΜΑΤΑ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ.

- Συντεταγμένες των pixels του περιγράμματος
- Συντεταγμένες και τιμές των pixels του εσωτερικού της περιοχής κωδικοποιημένα σε κατάλληλα σχήματα.

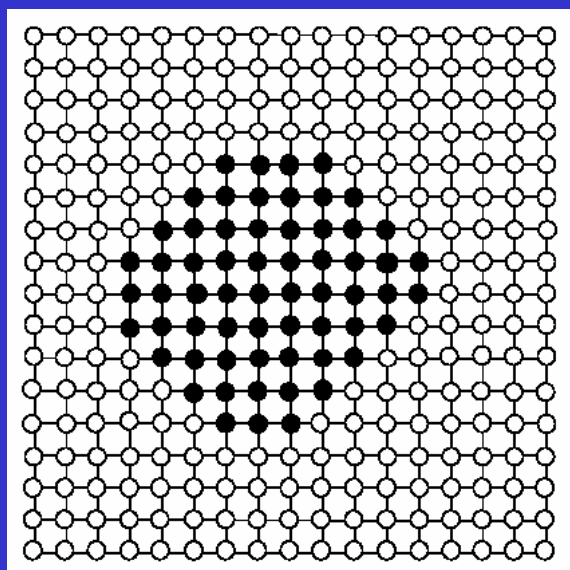
Περιγράφοντα Στοιχεία (Description Elements)

- Αριθμητικές τιμές, που περιγράφουν ιδιότητες όπως:
- Μήκος του περιγράμματος της περιοχής
 - Ροπές της περιοχής.
 - Υφή του εσωτερικού της περιοχής.

ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΧΡΩΜΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

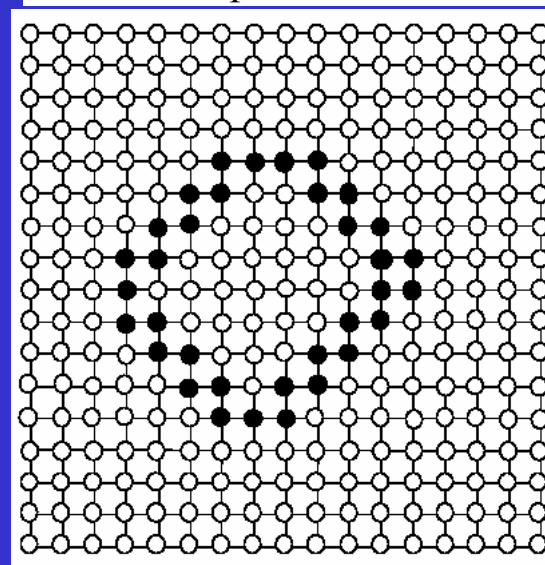


Ορθογώνιο Πλέγμα και
γειτονία των 4 pixels & 8
pixels



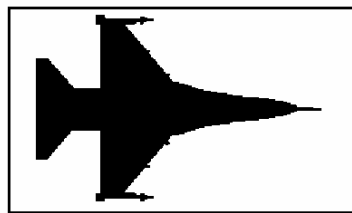
Περίγραμμα μιας περιοχής
R δίχρωμης εικόνας είναι
τα pixels της R που είναι
γειτονικά με ένα ή
περισσότερα pixels εκτός
της R.

Το περίγραμμα
υπολογίστηκε με βάση τον
ορισμό της γειτονίας των 8
pixels!

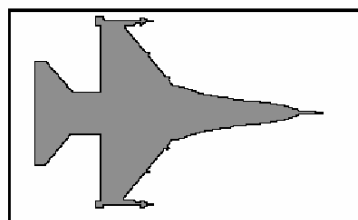


ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΔΙΧΡΩΜΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ $M \times K$

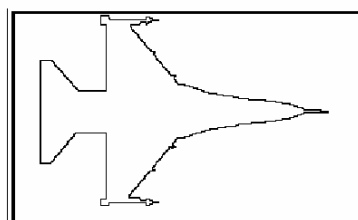
- Για $0 \leq k \leq K-1$
 - Για $0 \leq m \leq M-1$
 - Αν Αληθεύει ότι $v(k,m)=0$:
 - Αν Αληθεύει ότι κανένα από τα 8 γειτονικά pixels του $v(k,m)$ δεν έχει τιμή 255: **Θέσε** $v(k,m)=125$.
 - end
 - end
 - Για $0 \leq k \leq K-1$
 - Για $0 \leq m \leq M-1$
 - Αν Αληθεύει ότι $v(k,m)=125$: **Θέσε** $v(k,m)=255$
 - end
 - end



α

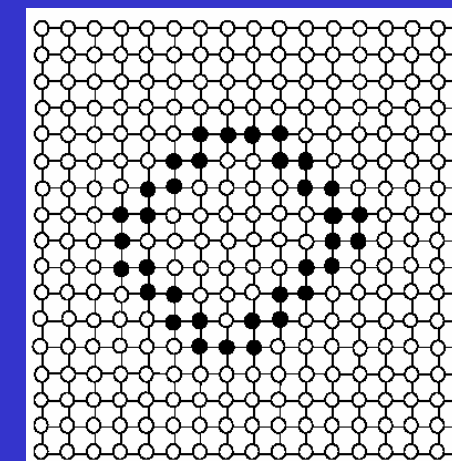
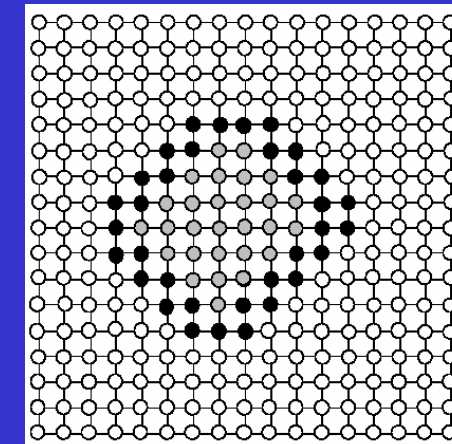
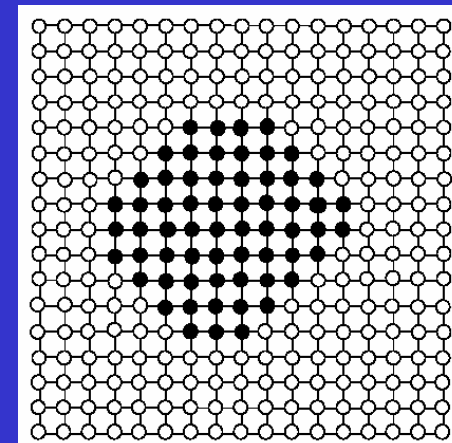


β



γ

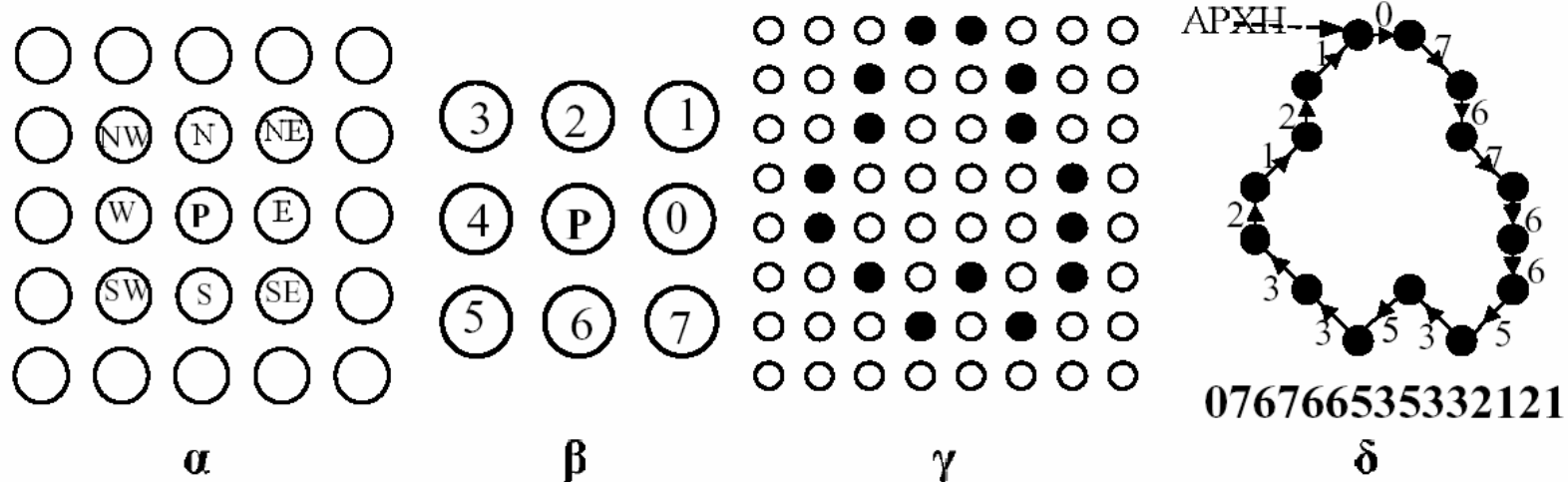
Σχήμα 2.2 Η εφαρμογή του αλγόριθμου του πίνακα 4.5 σε μονόχρωμη εικόνα. α) Η αρχική εικόνα. β) Ενδιάμεσο στάδιο, μετά το πρώτο σάρωμα. γ) Στην εικόνα έχει μείνει μόνο το περίγραμμα σημειωμένο με μαύρα pixels.



ΣΧΗΜΑΤΑ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

ΚΩΔΙΚΑΣ ΑΛΥΣΟΥ

Χρησιμοποιούμε τους Φυσικούς Αριθμούς 0-7 για να κωδικοποιήσουμε τις διευθύνσεις γειτονίας του περιγράμματος



Σχήμα 2.3 α) Οι 8 κατευθύνσεις γειτονίας ενός pixel P. β) Οι αριθμοί 0-7 κωδικοποιούν τις οκτώ διευθύνσεις γειτονίας. γ) Περίγραμμα περιοχής δ) Υπολογισμός του κώδικα αλυσού για το περίγραμμα του γ).

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΩΔΙΚΑ ΑΛΥΣΟΥ

Βήμα1: Εξετάζονται διαδοχικά τα σημεία της εικόνας με στόχο τον εντοπισμό ενός σημείου του περιγράμματος, έστω του S_0 .

Βήμα2: Χαρακτηρίζεται 'ΠΡΩΗΝ' το σημείο που είχε εξεταστεί στο βήμα 1 ακριβώς πριν να ανιχνευθεί το S_0 και 'ΤΡΕΧΟΝ' το σημείο S_0 . Η κατεύθυνση από το 'ΤΡΕΧΟΝ' στο 'ΠΡΩΗΝ' χαρακτηρίζεται 'ΚΑΤΕΥΘ'.

Βήμα3: Ξεκινώντας από την επόμενη κατεύθυνση της 'ΚΑΤΕΥΘ', με δεξιόστροφη κίνηση, εξετάζονται διαδοχικά οι γείτονες του 'ΤΡΕΧΟΝ' μέχρις ότου ανιχνευτεί γείτονας, που να ανήκει στο περίγραμμα. Ο γείτονας αυτός χαρακτηρίζεται 'ΕΠΟΜΕΝΟ'.

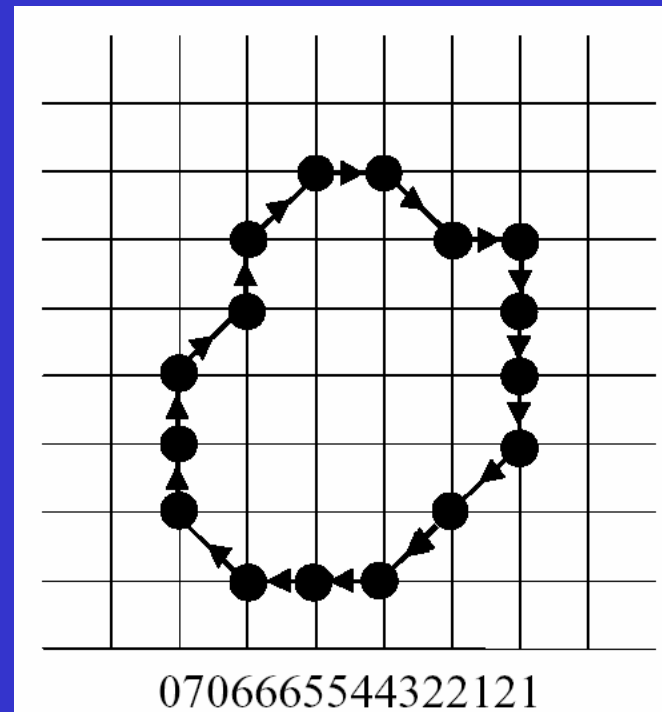
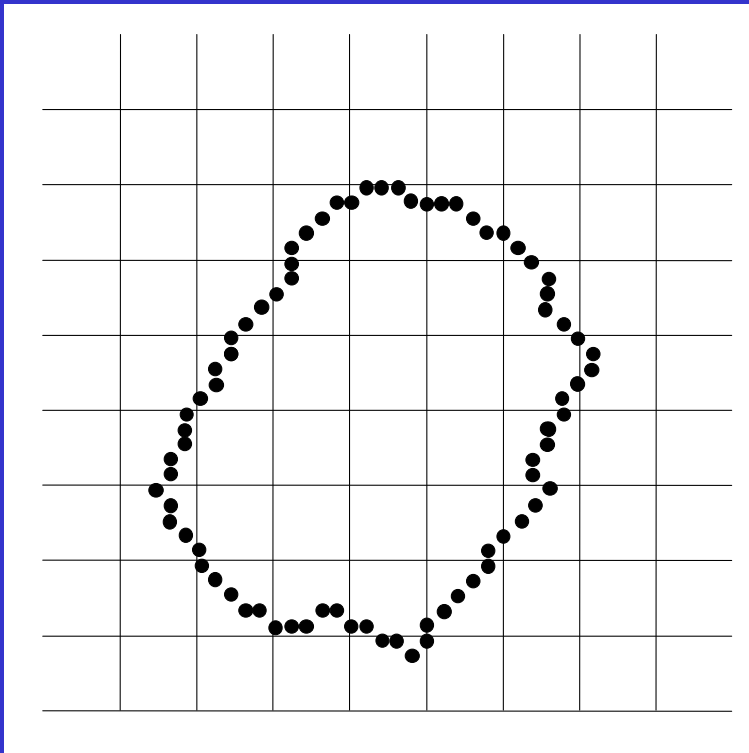
Βήμα4: Καταγράφεται ο κωδικός αριθμός της κατεύθυνσης 'ΤΡΕΧΟΝ'- 'ΕΠΟΜΕΝΟ', χαρακτηρίζεται 'ΠΡΩΗΝ' το 'ΤΡΕΧΟΝ', χαρακτηρίζεται 'ΤΡΕΧΟΝ' το 'ΕΠΟΜΕΝΟ', χαρακτηρίζεται 'ΚΑΤΕΥΘ' η διεύθυνση 'ΤΡΕΧΟΝ' - 'ΠΡΩΗΝ'.

Βήμα5: Αν το 'ΤΡΕΧΟΝ' είναι διαφορετικό από το S_0 συνεχίζεται ο αλγόριθμος με το Βήμα 3.

Βήμα5: Τέλος.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΩΔΙΚΑ ΑΛΥΣΟΥ

Υποδειγματολήπτηση Περιγράμματος για την
ελάττωση του μήκους του κώδικα.



Κάθε Pixel από το αρχικό περίγραμμα
αντικαθίσταται από τον πλησιέστερο
κόμβο του νέου πλέγματος.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΩΔΙΚΑ ΑΛΥΣΟΥ

Για να μην εξαρτάται ο κώδικας αλύσου από το σημείο του περιγράμματος, από το οποίο άρχισε η κωδικοποίηση, η κωδική λέξη αντικαθίσταται από την κυκλική της ολίσθηση με την ελάχιστη αριθμητική αξία:

Παράδειγμα:

407300--->004073

77725611525--->11525777256

Ο Κώδικας Αλύσου παραμένει αναλλοίωτος σε μεταφορά. Χρησιμοποιούμε το Διαφορικό Κώδικα Αλύσου (ΔΚΑ) ώστε οι κωδικές λέξεις να παραμένουν αναλλοίωτες σε στροφές πολλαπλάσιες του $\pi/2$.

Αν D_1, D_2, \dots, D_N η κωδική λέξη η αντίστοιχη λέξη του ΔΚΑ ορίζεται ως d_1, d_2, \dots, d_N με $d_i = \text{Mod}_8(D_{i+1} - D_i)$, για $i=1, 2, \dots, N-1$ και $d_N = \text{Mod}_8(D_1 - D_N)$,

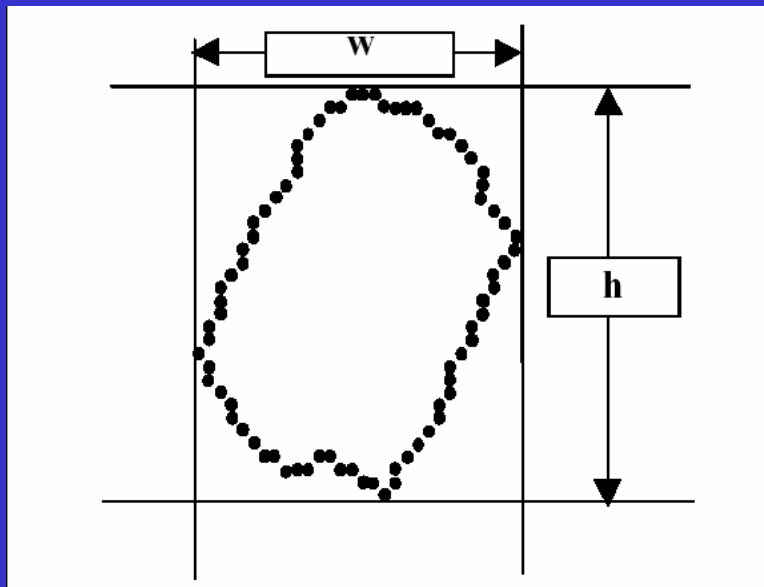
Παράδειγμα υπολογισμού ΔΚΑ:

407300 --->474504

76546312302---->77725611525

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΩΔΙΚΑ ΑΛΥΣΟΥ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΩΔΙΚΑ ΑΛΥΣΟΥ



Πλάτος w και ύψος h
περιγράμματος

$$w = \left(\max_{1 \leq j \leq N} \sum_{i=1}^j y_i - \min_{1 \leq j \leq N} \sum_{i=1}^j y_i \right) d$$

$$h = \left(\max_{1 \leq j \leq N} \sum_{i=1}^j z_i - \min_{1 \leq j \leq N} \sum_{i=1}^j z_i \right) d$$

Ψηφίο του κώδικα	0	1	2	3	4	5	6	7
y	1	1	0	-1	-1	-1	0	1
z	0	1	1	1	0	-1	-1	-1

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΩΔΙΚΑ ΑΛΥΣΟΥ

Μήκος Περιγράμματος:

$L=(n_A+1.41n_{\Pi})d$, όπου n_A το πλήθος των άρτιων ψηφίων και n_{Π} το πλήθος των περιττών ψηφίων του κώδικα αλύσου

Παράδειγμα:

Κ.Α. 076766535332121

D_i	0	7	6	7	6	6	5	3	5	3	3	2	1	2	1
y_i	1	1	0	1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	0	1
$\sum_1^j y_i$	1	2	2	3	3	3	2	1	0	-1	-2	-2	-1	-1	0
z_i	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1
$\sum_1^j z_i$	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-5	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0

Μήκος Περιγράμματος:

$$L=(6+9\sqrt{2})d, \text{ ήτοι } L=18,69d$$

$$\max_{1 \leq j \leq N} \sum_1^j y_i = 3, \quad \min_{1 \leq j \leq N} \sum_1^j y_i = -2, \quad \max_{1 \leq j \leq N} \sum_1^j z_i = 0, \quad \min_{1 \leq j \leq N} \sum_1^j z_i = -6$$

Τιμές πλάτους και ύψους: $w=5d$ $h=6d$

4. Χωρίς να σχεδιάσετε το αντίστοιχο περίγραμμα προσπαθήστε να ξεχωρίσετε ποιοι από τους πιο κάτω κώδικες αλύσου αντιστοιχούν σε κλειστό περίγραμμα και ποιοι όχι.

- 712311244466666
- 0665434320071
- 76664322045454333

Για να είναι κλειστό ένα περίγραμμα πρέπει να ισχύει:

$$\sum_{i=1}^N y_i = 0 \quad \& \quad \sum_{i=1}^N z_i = 0$$

Ή ισοδύναμα:

Ο αριθμός των κωδικών ψηφίων που ανήκουν στο σύνολο $\{1,0,7\}$ είναι ίδιος με αυτόν που ανήκουν στο $\{3,4,5\}$

&

Ο αριθμός των κωδικών ψηφίων που ανήκουν στο σύνολο $\{1,2,3\}$ είναι ίδιος με αυτόν που ανήκουν στο $\{5,6,7\}$

Εύκολα προκύπτει:

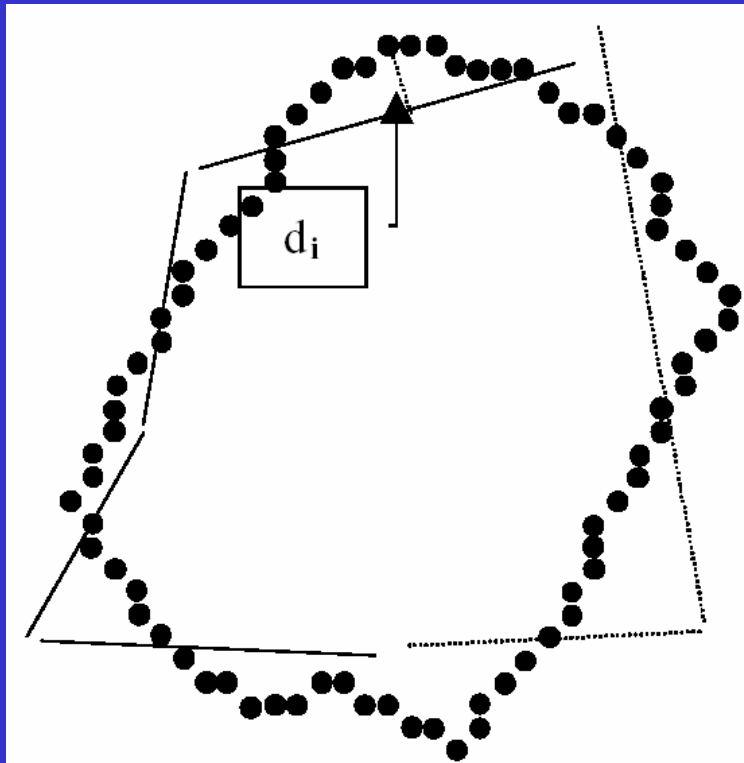
712311244466666 κλειστό, 0665434320071 κλειστό,

76664322045454333 ανοικτό

ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΟΛΥΓΩΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ

Η λεπτομέρεια του κώδικα αλύσου δεν είναι πάντα επιθυμητή!

Περίγραμμα με N pixels τα p_1, p_2, \dots, p_N ζητείται να προσεγγιστεί από πολύγωνο με μ πλευρές τις, $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_\mu$.



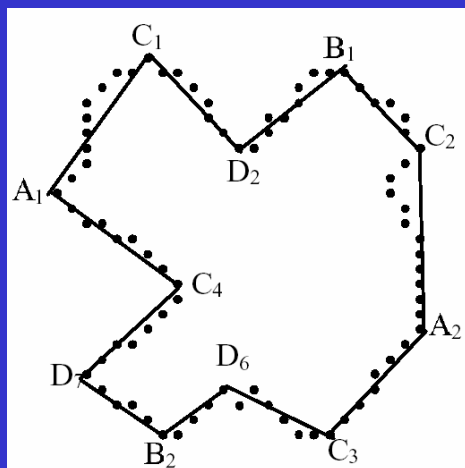
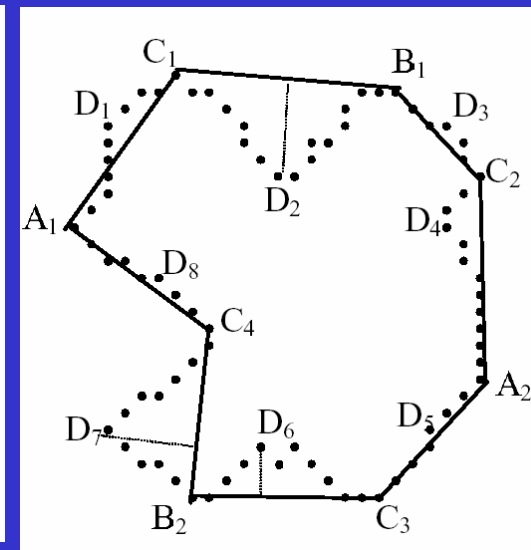
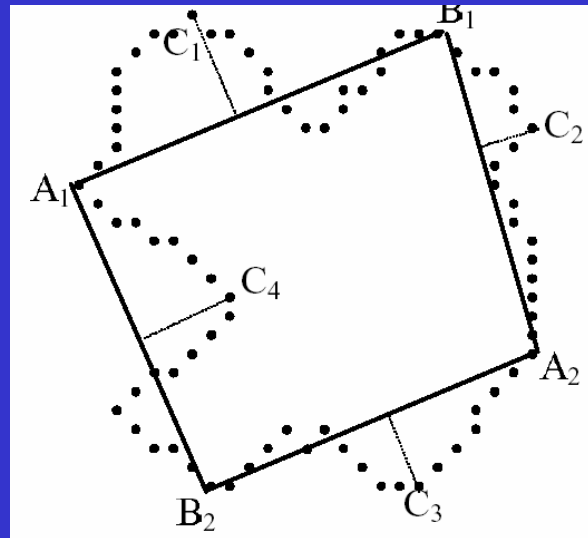
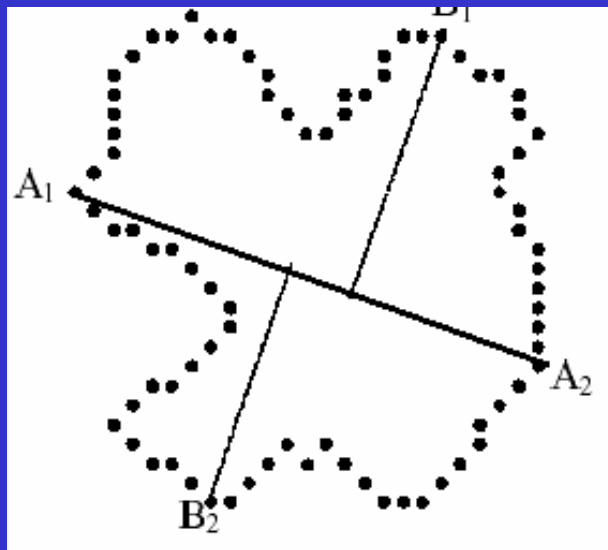
Σφάλμα προσέγγισης του σημείου p_i

$$d_i = \min_j \{ \text{distance}(P_i, \pi_j) \}$$

Σφάλμα προσέγγισης περιγράμματος

$$\varepsilon = \max_i \{ d_i \}$$

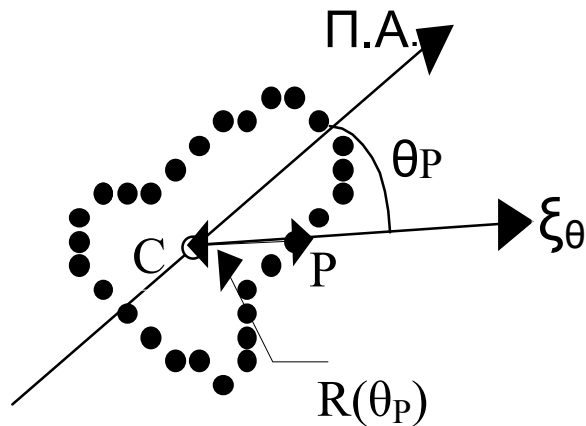
2.2.2.a Προσδιορισμός του Πολυγώνου Προσέγγισης με Διαδοχικές Υποδιαίρεσεις του Περιγράμματος.



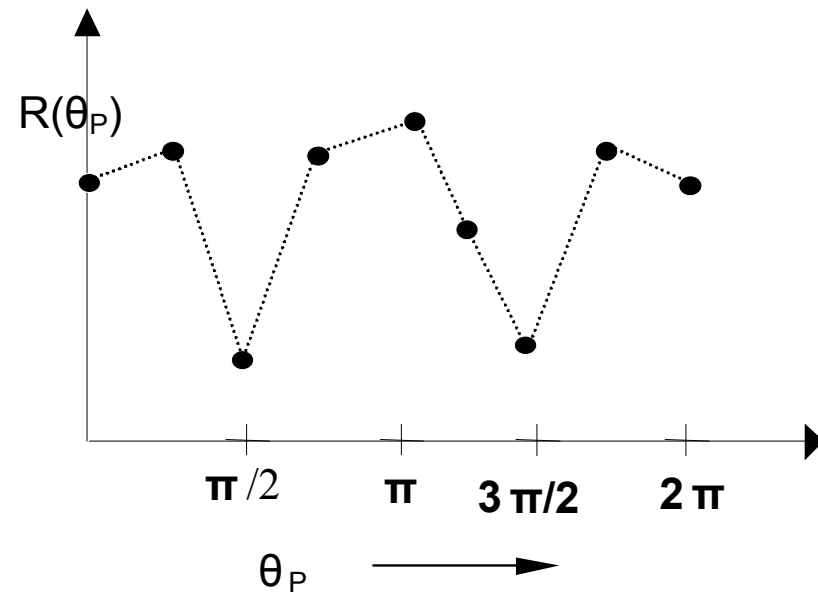
Η ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Η υπογραφή (*signature*) είναι ένα μονοδιάστατο σχήμα αναπαράστασης του περιγράμματος

- Σχέση Μήκους και Γωνίας Επιβατικής Ακτίνας των σημείων του Περιγράμματος.



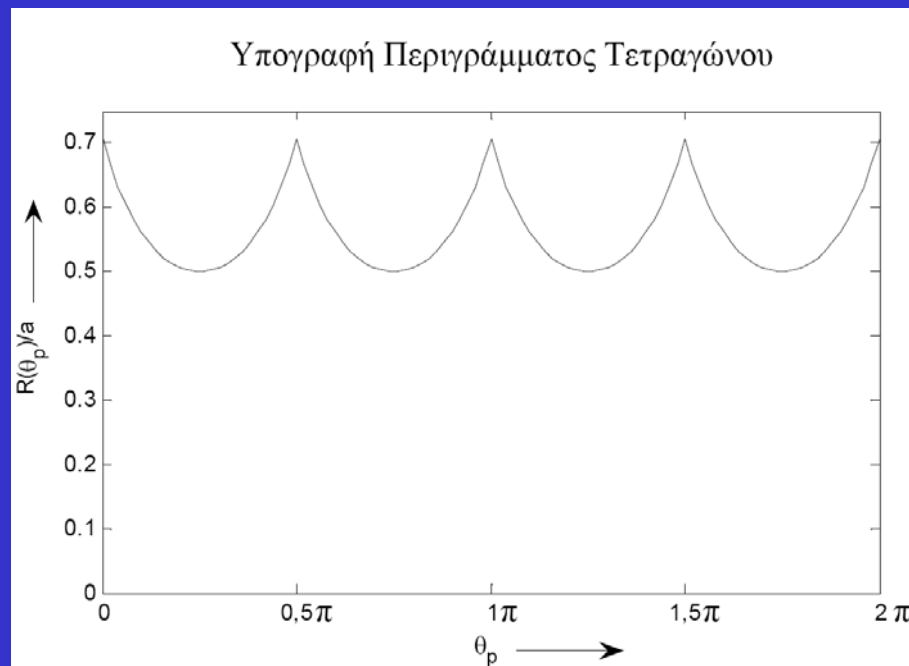
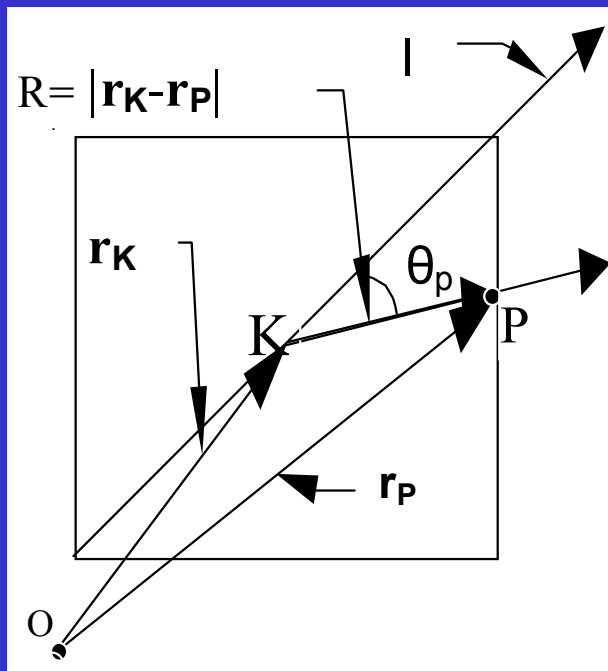
Περίγραμμα



Υπογραφή

Η ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Η υπογραφή περιγράφματος ενός τετραγώνου



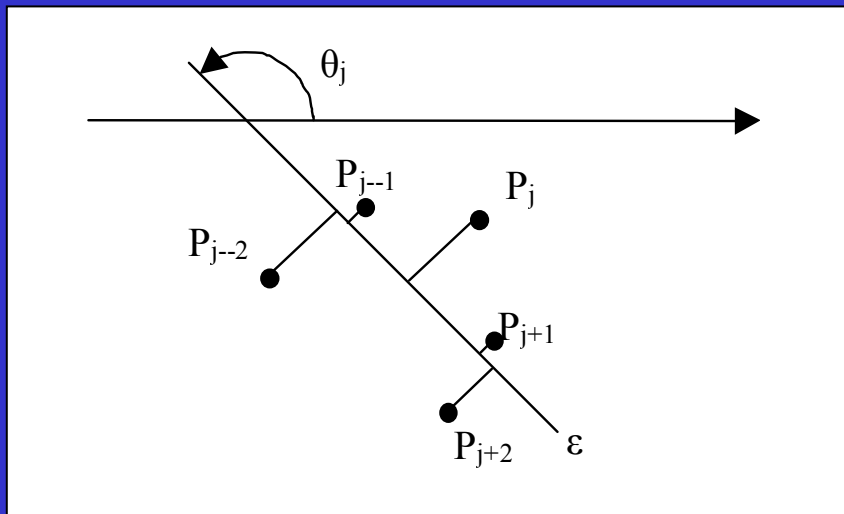
$$R(\theta_p) = (a/2) / \sin(\pi/4 + \theta_0), \quad \theta_0 = \text{mod}_{\pi/2}(\theta_p), \quad 0 \leq \theta_p < 2\pi$$

Η υπογραφή $R(\theta_p)$ παραμένει αναλλοίωτη στη μεταφορά, και τη στροφή!

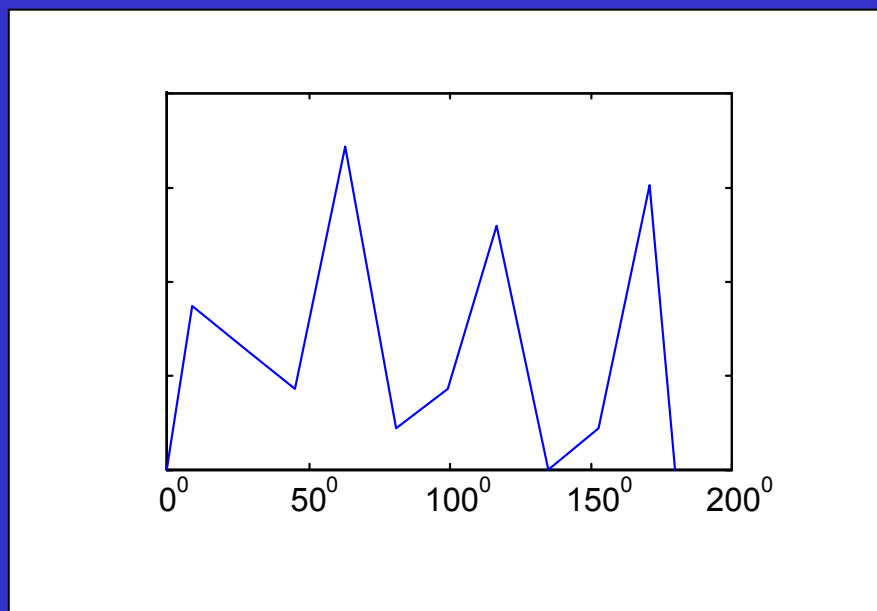
Για να γίνει αναλλοίωτη στην αλλαγή κλίμακας πρέπει να γίνει κανονικοποίηση ως προς τη μέγιστη τιμή της $R(\theta_p)$

Η ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Το Ιστόγραμμα Κλίσεων



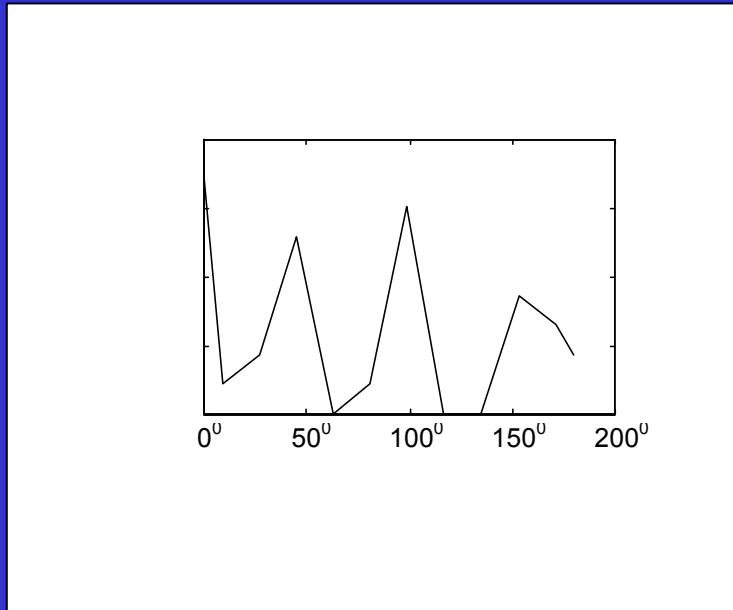
Η εφαπτομένη σε ένα σημείο του ιστογράμματος P_j φέρεται ως η ευθεία που απέχει ελάχιστη συνολική απόσταση από το P_j και τους 4 γείτονες του που βρίσκονται ανά 2 εκατέρωθεν.



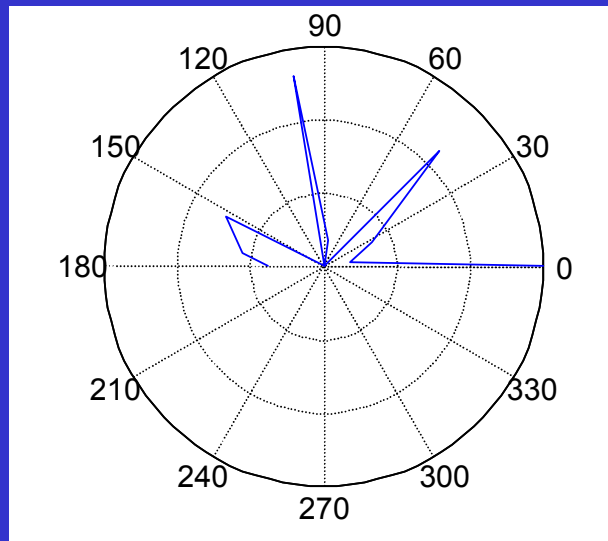
Κατασκευάζεται το ιστόγραμμα των κλίσεων του περιγράμματος. Αυτό είναι αναλλοίωτο στη μεταφορά και στην ομοιόμορφη αλλαγή κλίμακας! Αλλάζει όμως με την περιστροφή!

Η ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Το Ιστόγραμμα Κλίσεων



Η περιστροφή του ιστογράμματος ώστε η πρώτη στήλη να είναι η μεγαλύτερη κάνει την περιγραφή αυτή του περιγράμματος αναλλοίωτη και την περιστροφή!



Η υπογραφή περιγράμματος (ιστόγραμμα κλίσεων) σε πολικές συντεταγμένες.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

ΟΙ ΡΟΠΕΣ ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

ροπή (*moment*), τάξεως $i+j$

$$m_{ij} = \sum_{\mathfrak{R}} \sum x^i y^j a(x, y)$$

Ροπές με Ιδιαίτερο Φυσικό Περιεχόμενο:

$$m_{00} = \sum \sum_{\mathfrak{R}} a(x, y)$$

Πλήθος των Pixels της Περιοχής

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad \text{και} \quad y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

Κεντροειδές Περιοχής

Οι Ροπές μεταβάλλονται με ολίσθηση, περιστροφή και αλλαγή κλίμακας!

ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

ΟΙ ΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ

Υπολογίζονται με βάση τις αποστάσεις των pixels της περιοχής από το κεντροειδές, C , της περιοχής

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad \text{και} \quad y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

Κεντροειδές, C , Περιοχής

Κεντρική ροπή (*central moment*), τάξεως $i+j$

$$\mu_{ij} = \sum_R \sum (x - x_c)^i (y - y_c)^j a(x, y)$$

Αποδεικνύεται εύκολα: μ_{00} = Πλήθος των Pixels της Περιοχής
 $\mu_{01} = \mu_{10} = 0$

ΟΙ ΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ

Οι τιμές των Κεντρικών Ροπών διατηρούνται σε μετασχηματισμούς μεταφοράς, αλλά μεταβάλλονται σε μετασχηματισμούς στροφής και αλλαγής κλίμακας.

Οι κεντρικές κανονικοποιημένες ροπές:

$$n_{ij} = \frac{\mu_{ij}}{m_{00}^{\lambda}}, \quad \lambda = \frac{i+j}{2} + 1$$

Οι τιμές των Κεντρικών Κανονικοποιημένων Ροπών διατηρούνται σε μετασχηματισμούς μεταφοράς και αλλαγής κλίμακας, αλλά μεταβάλλονται σε μετασχηματισμούς στροφής.

ΟΙ ΡΟΠΕΣ ΗΥΕ (ΑΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΡΟΠΕΣ)

Έχουν οριστεί με τέτοιο τρόπο ώστε οι τιμές τους να παραμένουν αναλλοίωτες σε μετασχηματισμούς μεταφοράς, μετασχηματισμούς στροφής, και αλλαγής κλίμακας.

Οι ροπές Hue:

$$\varphi_1 = n_{20} + n_{02}$$

$$\varphi_2 = (n_{20} - n_{02})^2 + 4n_{11}^2$$

$$\varphi_3 = (n_{30} - 3n_{12})^2 + (3n_{21} - n_{03})^2$$

$$\varphi_4 = (n_{30} + n_{12})^2 + (n_{21} + n_{03})^2$$

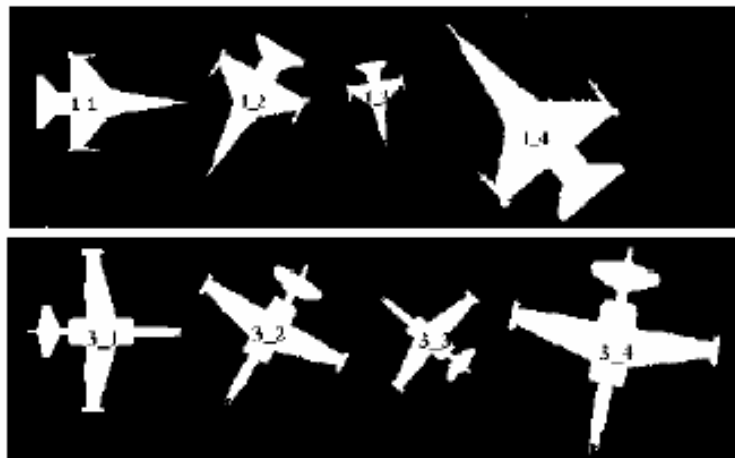
$$\varphi_5 = (n_{30} - 3n_{12})(n_{30} + n_{12})[(n_{30} + n_{12})^2 - 3(n_{21} + n_{03})^2] + \\ + (3n_{21} - n_{03})(n_{21} + n_{03})[3(n_{30} + n_{12})^2 - (n_{21} + n_{03})^2]$$

$$\varphi_6 = (n_{20} - n_{02})[(n_{30} + n_{12})^2 - (n_{21} + n_{03})^2] + 4n_{11}(n_{30} + n_{12})(n_{21} + n_{03})$$

$$\varphi_7 = (3n_{21} - n_{03})(n_{30} + n_{12})[(n_{30} + n_{12})^2 - 3(n_{21} + n_{03})^2] + \\ + (n_{30} - 3n_{12})(n_{21} + n_{03})[(n_{21} + n_{03})^2 - 3(n_{30} + n_{12})^2]$$

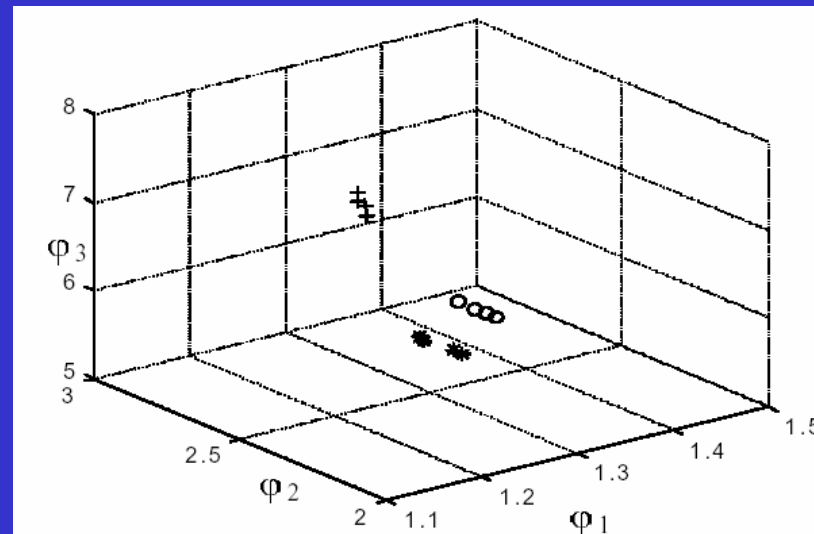
ΟΙ ΡΟΠΕΣ ΗΥΕ (ΑΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΡΟΠΕΣ)

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΡΟΠΩΝ Ηυε



Σχήμα 3.5 Τρεις ομάδες μορφών που έχουν προκύψει από περιστροφές και αλλαγές μεγέθους τριών διαφορετικών μορφών.

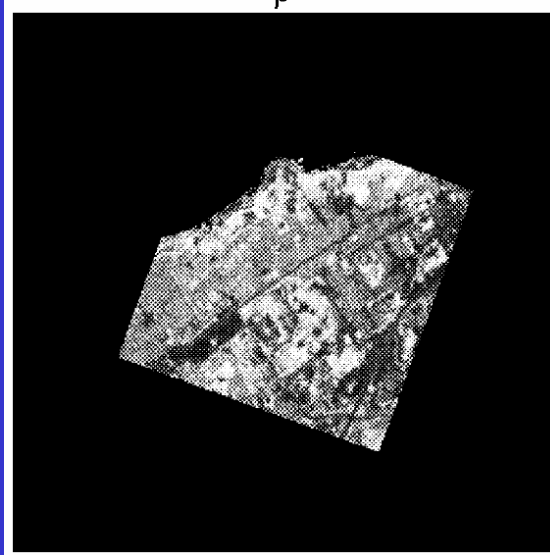
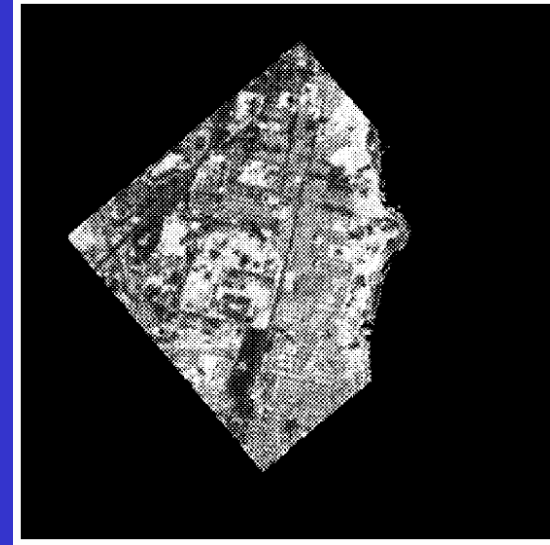
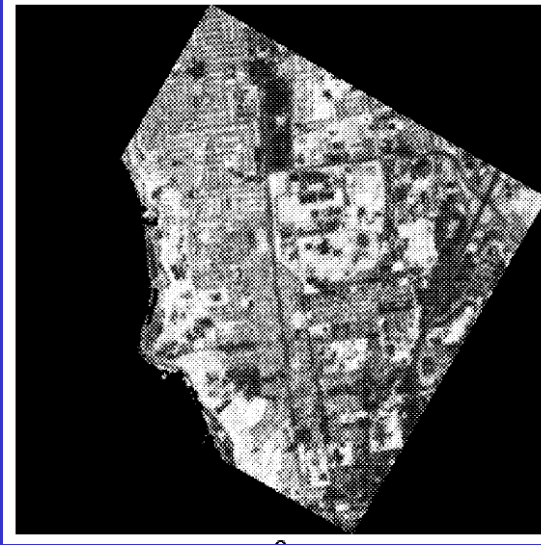
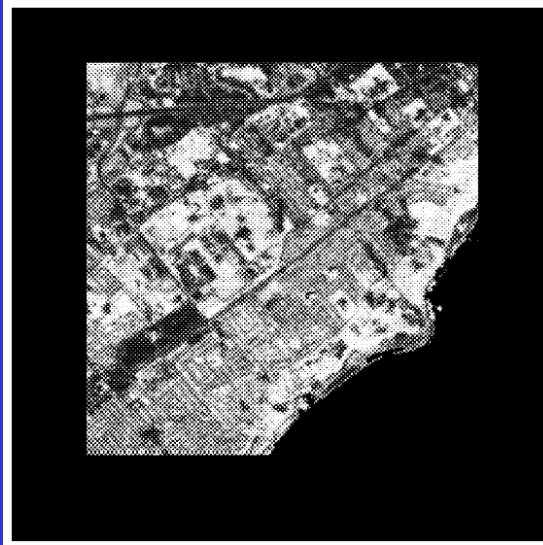
	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7
1_1	1.3475	2.6950	5.2453	5.7867	12.4194	8.7738	17.1818
1_2	1.3484	2.5795	5.2552	6.9577	12.4468	8.7910	16.8590
1_3	1.3394	2.6580	5.2644	5.8879	12.3968	8.7191	16.7141
1_4	1.3461	2.5418	5.2514	7.8378	12.4565	8.7944	17.3504
2_1	1.4512	2.9024	5.0881	5.7885	12.8577	9.3444	18.3461
2_2	1.4508	2.8480	5.0858	6.2088	12.8473	9.3367	19.9007
2_3	1.4508	2.7793	5.0837	7.4375	12.8262	9.3178	17.9940
2_4	1.4518	2.8105	5.0946	6.7681	12.8880	9.3699	18.3461
3_1	1.1782	2.3564	7.6866	8.4322	18.3009	12.5315	19.4925
3_2	1.1788	2.3346	7.6671	9.3261	18.2576	12.5147	20.2194
3_3	1.1785	2.3262	7.5577	9.8481	18.0920	12.3552	21.9966
3_4	1.1775	2.3517	7.7944	8.6326	18.4781	12.6013	19.4955



'*' Μορφή 1. 'o' Μορφή 2, '+' Μορφή 3

ΟΙ ΡΟΠΕΣ Hue (ΑΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΡΟΠΕΣ)

ΑΛΛΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΡΟΠΩΝ Hue



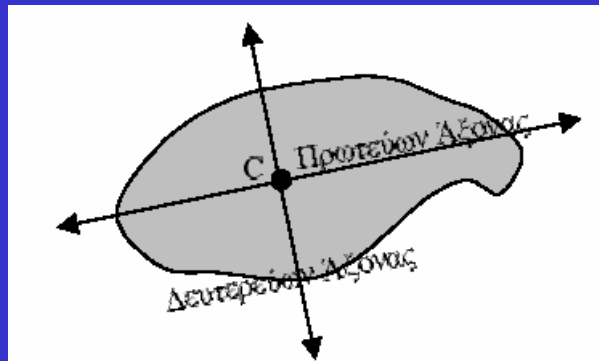
	$\varphi 1$	$\varphi 2$	$\varphi 3$	$\varphi 4$	$\varphi 5$	$\varphi 6$	$\varphi 7$
1	-1.1985	-5.3464	-5.7104	-10.0108	-18.0454	-16.8001	-18.4836
2	-1.1985	-5.3408	-5.7119	-9.9997	-18.0157	-17.1177	-18.5024
3	-1.1994	-5.3781	-5.7409	-10.0177	-18.1328	-16.8170	-18.3863
4	-1.2004	-5.3548	-5.7251	-9.9946	-18.0335	-16.7611	-18.4546

Στροφορμές και κύριοι άξονες

Έστω μορφή s με N pixels, τα $P_k (x_k, y_k)$ για $k=1,2,\dots,N$.
Έστω ευθεία ε του επιπέδου και d_k με $k=1,2,\dots,N$ οι αποστάσεις των pixels από την ε . Ορίζουμε ως **στροφορμή** I_ε της s ως προς την ε το άθροισμα:

$$\sum_{k=1}^N d_k^2$$

ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΚΚΕΝΤΡΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΠΡΩΤΕΥΩΝ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΕΥΩΝ ΑΞΟΝΑΣ



$$I_{\Pi} \leq I_{\varepsilon} \leq I_{\Delta}$$

ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ (Description Elements) ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

ΔΙΑΚΡΙΤΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ FOURIER (DFT)

Έστω ένα περίγραμμα με N pixels, των οποίων οι συντεταγμένες είναι:

$$(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_{N-1}, y_{N-1})$$

Ορίζουμε την ακολουθία των μιγαδικών αριθμών

$$s_i = x_i + jy_i, \quad i = 0, 1, \dots, N-1$$

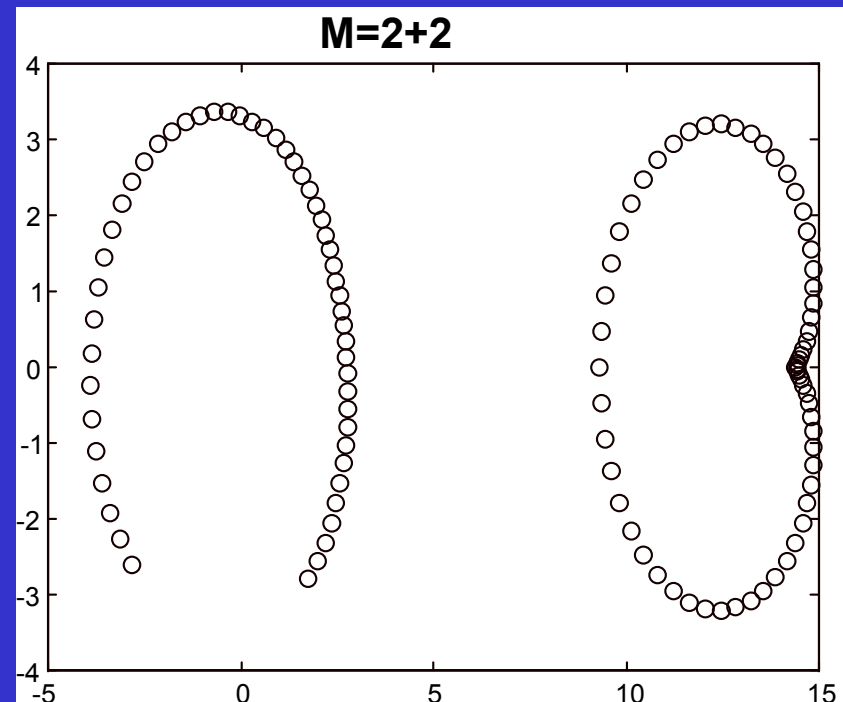
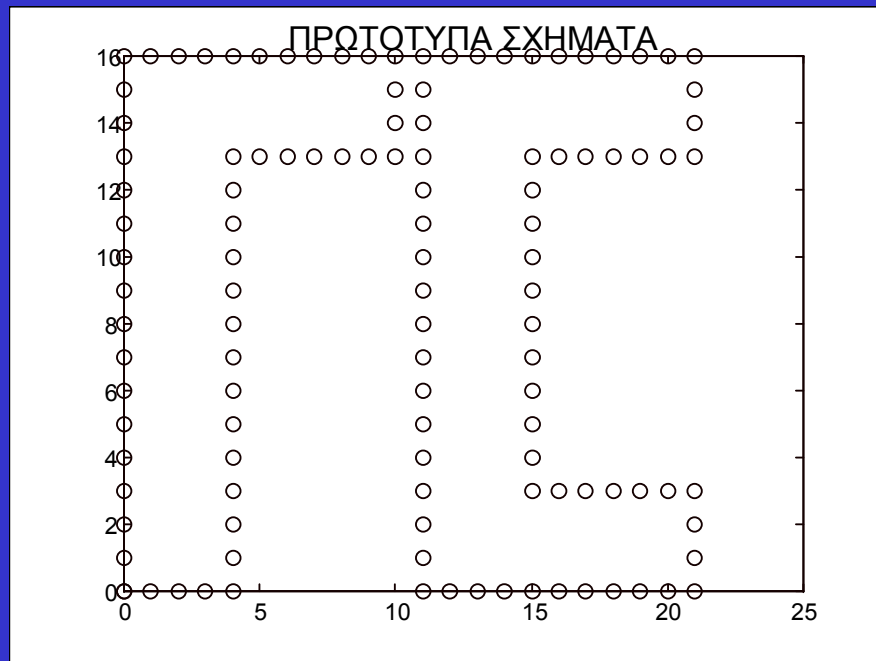
και το διακριτό μετασχηματισμό Fourier (DFT) της s_i , την ακολουθία:

$$a_u = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} s_i \exp[-j2\pi ui/N] \quad u = 0, 1, \dots, N-1$$

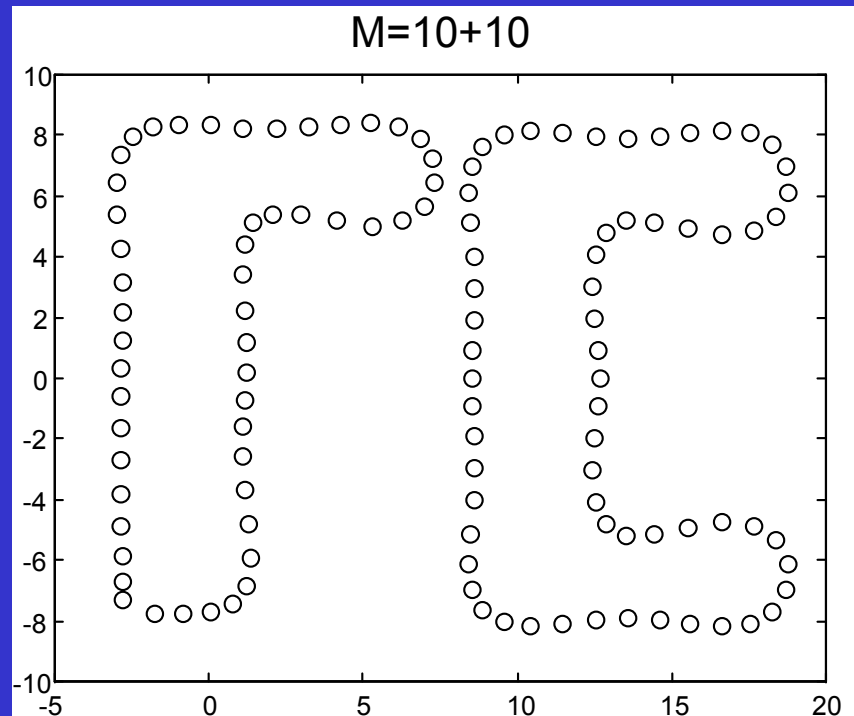
ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Όπως είναι γνωστό από τους όρους της ακολουθία α_u , που καλούνται και συντελεστές Fourier, είναι δυνατό να υπολογιστεί εκ νέου η ακολουθία s_i εφαρμόζοντας τη σχέση:

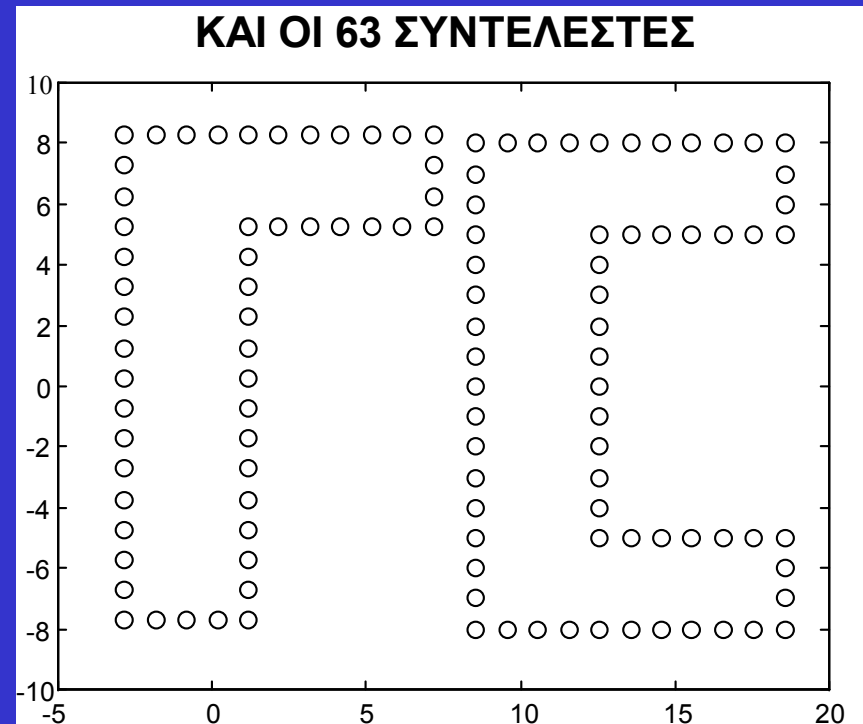
$$s_i = \sum_{u=0}^{N-1} \alpha_u \exp[j2\pi ui/N] \quad i=0,1,\dots,N-1$$



ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ



Ανακατασκευή Περιγράμματος
χρησιμοποιώντας τους 20 από
τους 63 συντελεστές



Ανακατασκευή Περιγράμματος
χρησιμοποιώντας τους 63 από
τους 63 συντελεστές

DFT ΩΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΝ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

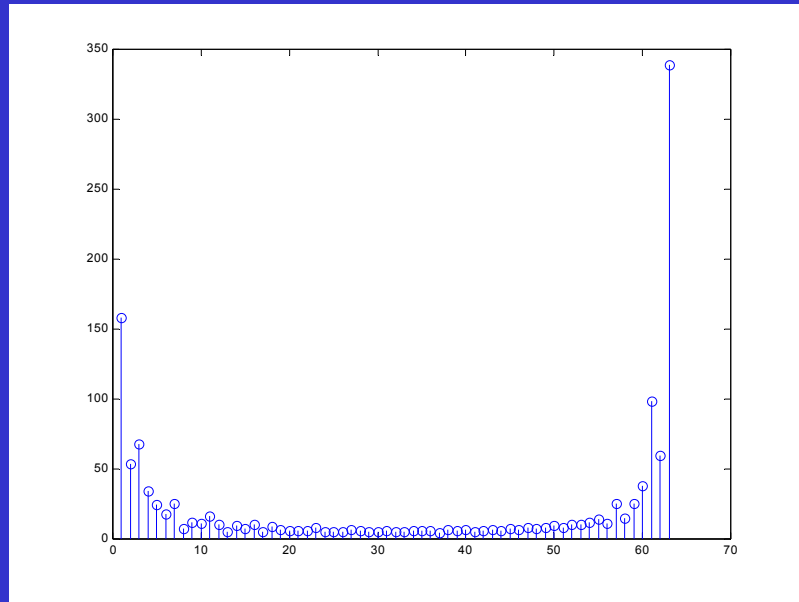
ΕΙΔΙΚΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ

18

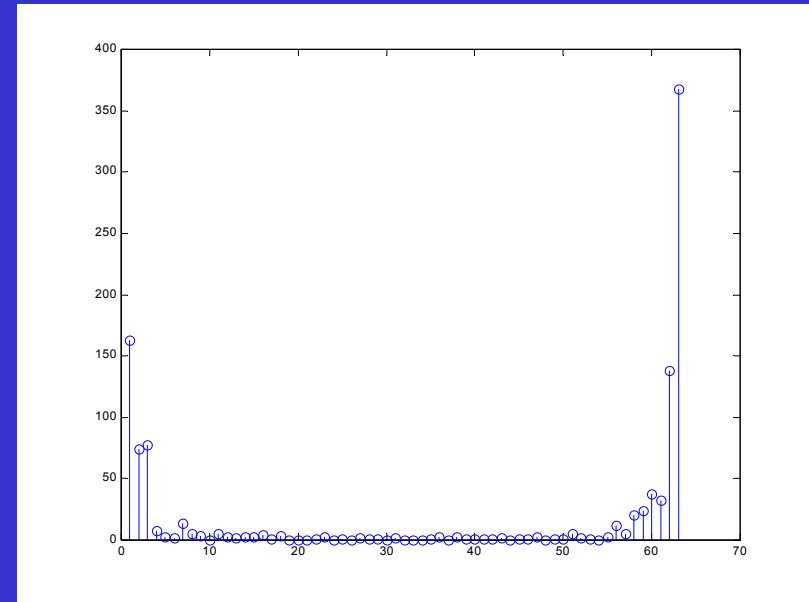
Είδος Μεταβολής	s_i	α_u	$ \alpha_u $
Μεταφορά κατά Δ_{xy}	$s_i^t = s_i + \Delta_{xy}$	$\alpha_u^t = \alpha_u + \Delta_{xy}\delta(u)$	
Περιστροφή κατά γωνία θ	$s_i^r = s_i e^{j\theta}$	$\alpha_u^r = \alpha_u e^{j\theta}$	$ \alpha_u^r = \alpha_u $
Αλλαγή Κλίμακας	$s_i^x = \lambda s_i$	$\alpha_u^x = \lambda \alpha_u$	$ \alpha_u^x = \lambda \alpha_u $
Αρχικό Σημείο p_0	$s_i^p = s_{i-p_0}$	$\alpha_u^p = \alpha_u e^{-j2\pi p_0 u / N}$	$ \alpha_u^p = \alpha_u $

Η χρήση του μέτρου των συντελεστών από τους οποίους έχει απομακρυνθεί ο πρώτος, εξασφαλίζει το αναλλοίωτο των στοιχείων σε:
μεταφορά, περιστροφή και αρχή δειγματοληψίας περιγράμματος.

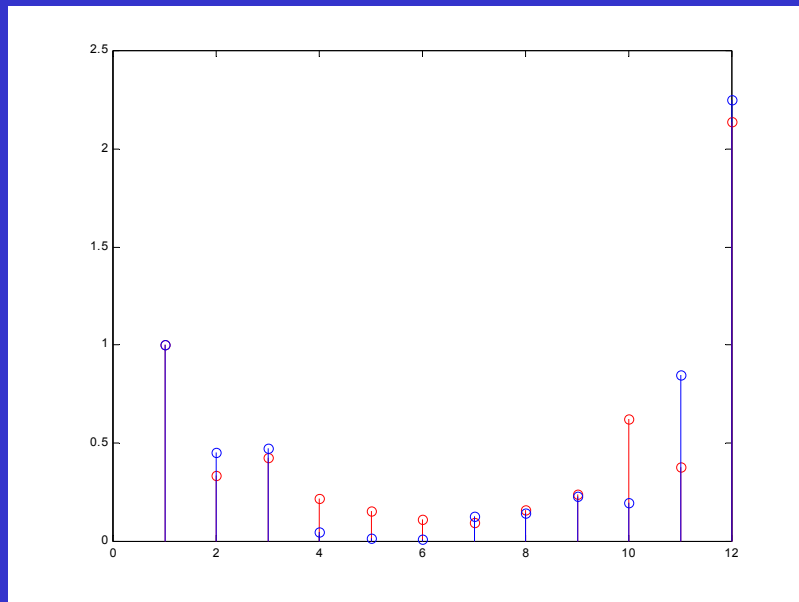
Η κανονικοποίηση ως προς τον μέγιστο συντελεστή εξασφαλίζει το αναλλοίωτο και ως προς την αλλαγή κλίμακας.



Μέτρα των συντελεστών DFT για
το γ



Μέτρα των συντελεστών DFT για
το c_i

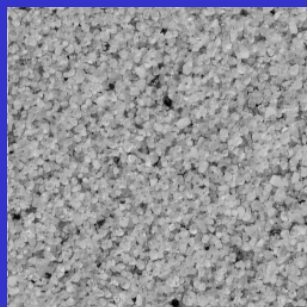


Μέτρα συντελεστών DFT 1:6 –58:63 του
 γ και c_i

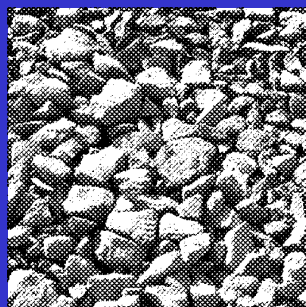
ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η Υφή του Εσωτερικού Περιοχής Εικόνας

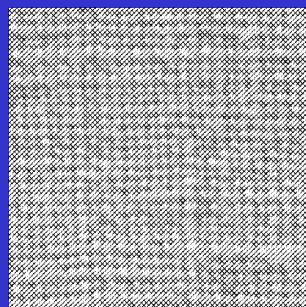
Ο ορισμός της έννοιας της υφής δεν μπορεί να δοθεί επακριβώς. Εν τούτοις στην καθημερινή πρακτική αυτή χρησιμοποιείται για να εκφραστούν οπτικές ιδιότητες της παρατηρούμενης περιοχής, όπως: *λεπτή υφή, τραχεία υφή, ινώδης και κοκκώδης υφή, κανονικά επαναλαμβανόμενη υφή κ.λ.π.*



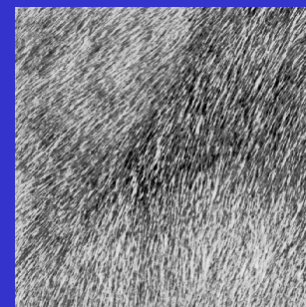
Λεπτή Υφή



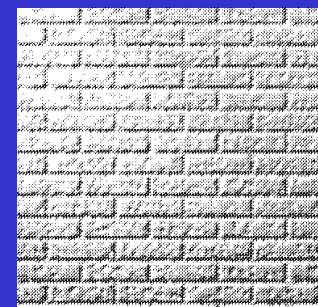
Τραχεία Υφή



Κανονικά
Επαναλαμβανόμενη
υφή



Ινώδης Υφή



Κανονικά
Επαναλαμβανόμενη
υφή

ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Τα περιγράφοντα στοιχεία ορίζονται χρησιμοποιώντας τρεις κύριες τεχνικές προσέγγισης:

τη **Στατιστική**

τη **Φασματική**

τη **Δομική**.

Στατιστική Προσέγγιση

Ιστόγραμμα - Πίνακες Συνεμφάνισης

Ιστόγραμμα Εικόνας-Μέση Τιμή Ιστογράμματος

$$V_m = \sum_{i=0}^{Q-1} i \cdot p(i)$$

ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Κεντρικές Ροπές Ιστογράμματος τάξης k

$$\mu_k = \sum_{i=0}^{Q-1} (i - v_m)^k \cdot p(i) .$$

Προφανώς: $\mu_0=1$, $\mu_1=0$!

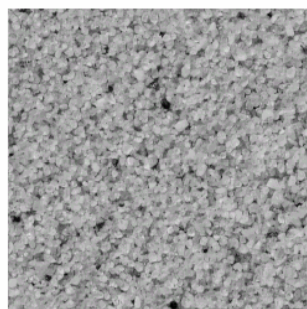
Τρεις ροπές με ιδιαίτερη Φυσική Σημασία

μ_2 =διασπορά=αντίθεση

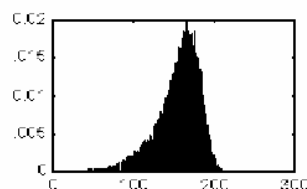
$|\mu_3|$ =ελαττώνεται με τη συμμετρία (για εντελώς συμμετρικά ιστογράμματα $|\mu_3|=0$)

μ_4 =μικρή για κυρτές μεγάλη για κοιλα ιστογράμματα.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΦΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΩΝ ΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΡΟΠΩΝ



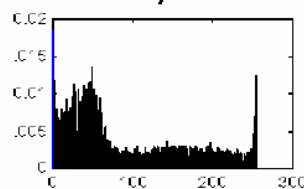
α



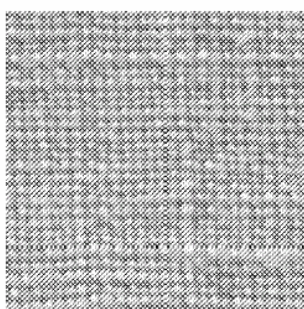
$$\begin{aligned}v_m &= 154.6 \\ \mu_2 &= 770 \\ \mu_3 &= -2,5 \cdot 10^4 \\ \mu_4 &= 3,0 \cdot 10^6\end{aligned}$$



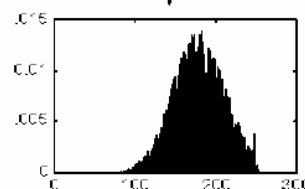
β



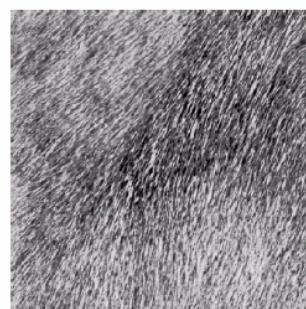
$$\begin{aligned}v_m &= 91.4 \\ \mu_2 &= 5,7 \cdot 10^3 \\ \mu_3 &= 3,3 \cdot 10^5 \\ \mu_4 &= 7,4 \cdot 10^7\end{aligned}$$



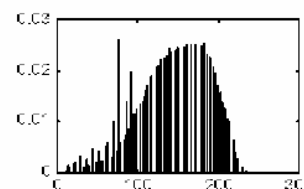
γ



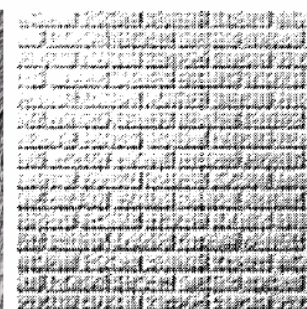
$$\begin{aligned}v_m &= 178.7 \\ \mu_2 &= 966 \\ \mu_3 &= -1,0 \cdot 10^3 \\ \mu_4 &= 2,5 \cdot 10^6\end{aligned}$$



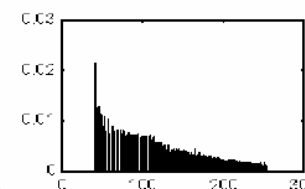
δ



$$\begin{aligned}v_m &= 134.0 \\ \mu_2 &= 2,2 \cdot 10^3 \\ \mu_3 &= -1,7 \cdot 10^4 \\ \mu_4 &= 1,1 \cdot 10^7\end{aligned}$$



ϵ



$$\begin{aligned}v_m &= 111.3 \\ \mu_2 &= 4,8 \cdot 10^3 \\ \mu_3 &= 2,7 \cdot 10^5 \\ \mu_4 &= 5,7 \cdot 10^7\end{aligned}$$

Παράδειγμα 3.1

α) Να αποδείξετε ότι για οποιοδήποτε ιστόγραμμα ισχύει: $\mu_0=1$ και $\mu_1=0$. β) Τα pixels μιας περιοχής έχουν κβαντιστεί με $Q=256$ στάθμες. Οι τιμές των ιστών του ιστογράμματος δίνονται από την ακολουθία $r(i)=c \cdot i$, $i=0,1,\dots,Q-1$. Να υπολογίσετε την τιμή της παραμέτρου c , τη μέση τιμή v_m , καθώς και μ_2 .

Δίνονται οι σχέσεις $1+2+\dots+N=N(N+1)/2$, $1^2+2^2+\dots+N^2=N(N+1)(2N+1)/6$, $1^3+2^3+\dots+N^3=N^2(N+1)^2/4$.

Λύση

α) Για τις ροπές μηδενικής και πρώτης τάξης ανεξάρτητα από την τιμή του Q και των όρων της ακολουθίας $p(i)$, ισχύει

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^{Q-1} (i - v_m)^0 \cdot p(i) = \sum_{i=0}^{Q-1} p(i) = 1, \text{ δηλαδή } \mu_0=1.$$

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \sum_{i=0}^{Q-1} (i - v_m)^1 \cdot p(i) = \sum_{i=0}^{Q-1} (i \cdot p(i) - v_m \cdot p(i)) = \sum_{i=0}^{Q-1} i \cdot p(i) - v_m \cdot \sum_{i=0}^{Q-1} p(i) = \\ &= v_m - v_m \cdot 1 = 0, \text{ δηλαδή } \mu_1=0. \end{aligned}$$

Παράδειγμα 3.1

α) Να αποδείξετε ότι για οποιοδήποτε ιστόγραμμα ισχύει: $\mu_0=1$ και $\mu_1=0$. β) Τα pixels μιας περιοχής έχουν κβαντιστεί με $Q=256$ στάθμες. Οι τιμές των ιστών του ιστογράμματος δίνονται από την ακολουθία $r(i)=c \cdot i$, $i=0,1,\dots,Q-1$. Να υπολογίσετε την τιμή της παραμέτρου c , τη μέση τιμή v_m , καθώς και μ_2 .

Δίνονται οι σχέσεις $1+2+\dots+N=N(N+1)/2$, $1^2+2^2+\dots+N^2=N(N+1)(2N+1)/6$, $1^3+2^3+\dots+N^3=N^2(N+1)^2/4$.

β) Για τη τιμή της παραμέτρου c ξεκινάμε με τη σχέση $\sum_{i=0}^{Q-1} p(i) = 1$, ή $c \cdot \sum_{i=0}^{Q-1} i = 1$, ή $c \cdot 255 \cdot 256 / 2 = 1$, ή $c = 3,1 \cdot 10^{-5}$.

Ισχύει επίσης $v_m = \sum_{i=0}^{Q-1} i \cdot p(i) = c \cdot \sum_{i=0}^{255} i^2 = 3,1 \cdot 10^{-5} \cdot 255 \cdot 256 \cdot (2 \cdot 255 + 1) / 6$, ή $v_m = 172,4$.

Τέλος

$$\begin{aligned} \mu_2 &= \sum_{i=0}^{Q-1} (i - v_m)^2 \cdot p(i) = c \cdot \sum_{i=0}^{Q-1} (i^2 + 2 \cdot i \cdot v_m + v_m^2) \cdot i \\ &= c \cdot \sum_{i=0}^{Q-1} (i^3 + 2 \cdot i^2 \cdot v_m + v_m^2 \cdot i) = c \cdot \left[\sum_{i=0}^{Q-1} i^3 + 2 \cdot v_m \cdot \sum_{i=0}^{Q-1} i^2 + v_m^2 \cdot \sum_{i=0}^{Q-1} i \right] = \\ &= 3,1 \cdot 10^{-5} \cdot [255^2 \cdot (255 + 1)^2 / 4 + 2 \cdot 172,4 \cdot 155 \cdot (155 + 1) \cdot (2 \cdot 155 + 1) / 6 + \\ &\quad + (172,4)^2 \cdot 155 \cdot (155 + 1) / 2] \end{aligned}$$

δηλαδή $\mu_2 = 5,76 \cdot 10^4$.

Πίνακα Συνεμφάνισης (*Coocurance Matrix*) (Π.Σ)

$\varepsilon =$

0	3	2	2	1	3	0	1
1	1	0	1	0	2	3	1
2	3	2	3	2	0	0	3
2	2	3	2	0	2	3	2
1	0	1	2	2	1	2	3
3	1	2	3	3	0	2	0
3	2	3	0	2	2	1	1
0	0	0	1	2	1	0	2

ε : Τμήμα Υφής 8X8 με Πεδίο
Τιμών των pixels {0,1,2,3}

$$\mathbf{A}_D = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 3 & 2 \\ 0 & 1 & 5 & 3 \\ 8 & 4 & 5 & 1 \\ 3 & 1 & 4 & 4 \end{pmatrix}$$

Πίνακας
Επαναλήψεων κατά
τη διεύθυνση D=SE

$$\mathbf{C}_D = \begin{pmatrix} 0,020 & 0,082 & 0,061 & 0,041 \\ 0,000 & 0,020 & 0,102 & 0,061 \\ 0,164 & 0,082 & 0,102 & 0,020 \\ 0,061 & 0,020 & 0,082 & 0,082 \end{pmatrix}$$

Πίνακας
Συνεμφάνισης

ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ ΠΙΝΑΚΑ ΣΥΝΕΜΦΑΝΙΣΗΣ

Η Μέγιστη Πιθανότητα:

$$\max_{i,j} \{C_D(i,j)\}$$

Η Εντροπία:

$$H = - \sum_{i=1}^Q \sum_{j=1}^Q C_D(i,j) \log_2(C_D(i,j))$$

Η Ενέργεια E:

$$E = \sum_{i=1}^Q \sum_{j=1}^Q [C_D(i,j)]^2$$

Οι ροπές Αδράνειας R_k

$$R_k = \sum_{i=1}^Q \sum_{j=1}^Q |i-j|^k C_D(i,j)$$

Φασματική Προσέγγιση

Μετασχηματισμός Fourier $F(u,v) \rightarrow F(r,\theta)$

$$\Phi_{\theta}(r) = \int_0^{2\pi} |F(r, \theta)| d\theta$$

$$\Phi_r(\theta) = \int_0^{\infty} |F(r, \theta)| dr$$

