



## ΚΕΣ 03 – Αναγνώριση Προτύπων και Ανάλυση Εικόνας



# Μέθοδοι Αναπαράστασης Περιοχών

Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας  
Τηλεπικοινωνιών

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

## Περιεχόμενα – Βιβλιογραφία



### → Περιεχόμενα Ενότητας

- ◆ Εισαγωγή
- ◆ Χαρακτηριστικά χώρου
- ◆ Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- ◆ Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- ◆ Στατιστικά χαρακτηριστικά
- ◆ Χαρακτηριστικά υφής

### → Βιβλιογραφία:

- ◆ Παπαμάρκος [2005]: Κεφάλαιο 6
- ◆ Πήτας [1999]: Κεφάλαιο 11
- ◆ Gonzales [2002]: Chapter 10
- ◆ Gonzales [2004]: Chapter 10

★ Εισαγωγή

- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

## Εισαγωγή



### → Χαρακτηριστικά περιοχών

Ως χαρακτηριστικό εικόνας μπορεί να θεωρηθεί οποιοδήποτε μετρήσιμο μέγεθος εξάγεται από την εικόνα. Ομοίως χαρακτηριστικό μιας περιοχής μπορεί να θεωρηθεί οποιοδήποτε μετρήσιμο χαρακτηριστικό μπορεί να εξαχθεί από μια περιοχή της εικόνας

- Έχουμε ήδη μελετήσει **χαρακτηριστικά τα οποία εξάγονται από το όριο** (περίγραμμα περιοχών) όπως η **αναπαράσταση με πολικές συντεταγμένες, ο κώδικας αλυσίδας και περιγραφείς Fourier**
- Τα χαρακτηριστικά τα οποία εξάγονται από το εσωτερικό των περιοχών μιας εικόνας θα μας απασχολήσουν στη συγκεκριμένη ενότητα. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι στη γενική περίπτωση πιο χρήσιμα από τα χαρακτηριστικά περιγραμμάτων γιατί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για έγχρωμες και εικόνες αποχρώσεων του γκρι.

★ Εισαγωγή

- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

## Κατηγορίες χαρακτηριστικών



### → Τα χαρακτηριστικά περιοχών διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

- ♦ **Χαρακτηριστικά χώρου** (ή χωρικά χαρακτηριστικά). Αφορούν μετρήσεις των τιμών φωτεινότητας, χρώματος και παραγώγων αυτών. Τα χαρακτηριστικά χώρου μπορούν να χωρισθούν περαιτέρω στις εξής κατηγορίες:
  - ♦ Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
  - ♦ Στατιστικά χαρακτηριστικά
  - ♦ Χαρακτηριστικά υφής
- ♦ **Χαρακτηριστικά μετασχηματισμού** (transform features). Μετρήσεις που εξάγονται αφού πρώτα οι τιμές φωτεινότητας ή χρώματος μετασχηματιστούν σε ένα άλλο πεδίο (π.χ. πεδίο χωρικών συχνοτήτων μέσω του μετασχηματισμού Fourier) ώστε να παρουσιάζουν επιθυμητές ιδιότητες όπως η συμπαγής αναπαράσταση, η διαχωριστικότητα κλπ.

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

## Χαρακτηριστικά χώρου



- Αποτελούν χαρακτηριστικά που εξάγονται με βάση τη φωτεινότητα ή το χρώμα μιας περιοχής. Ενδεικτικά αναφέρονται:
  - ♦ Μέση φωτεινότητα (ή μέσο χρώμα)
  - ♦ Εντροπία
  - ♦ Ιστόγραμμα
- Διακρίνουμε δύο κατηγορίες χαρακτηριστικών χώρου
  - ♦ Χαρακτηριστικά τα οποία μπορούν να εξαχθούν από το ιστόγραμμα
  - ♦ Χαρακτηριστικά που βασίζονται σε συσχετισμούς ανάμεσα σε pixel της εικόνας (π.χ η συμμεταβλητότητα, αδράνεια κλπ)

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

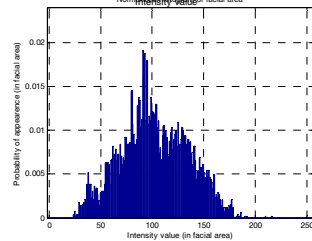
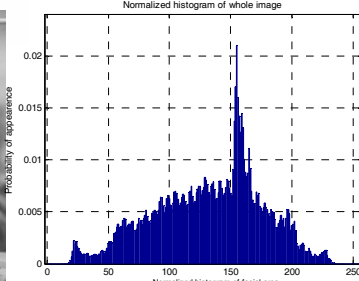
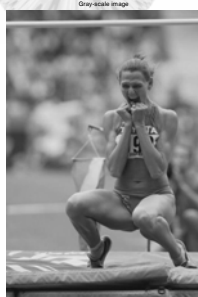
## Ιστόγραμμα περιοχής



- Το ιστόγραμμα μας δίνει την κατανομή των pixel στις διάφορες τιμές φωτεινότητας.
  - ♦ Έστω η εικόνα  $f(m,n)$  και  $R(k,l)$  μια περιοχή της ( $R(k,l) \subseteq f(m,n)$ ). Υποθέτουμε ότι η εικόνα παίρνει τιμές φωτεινότητας  $i$  στο διάστημα  $0 \leq i \leq L-1$
  - ♦ Το ιστόγραμμα της περιοχής  $R$  υπολογίζει τον αριθμό των pixels που ανήκουν στην περιοχή  $R$  και έχουν την τιμή φωτεινότητας  $i$  ( $0 \leq i \leq L-1$ )
  - ♦ Το κανονικοποιημένο ιστόγραμμα μιας περιοχής  $R$  (διαίρεση των τιμών του ιστογράμματος με το πλήθος των pixel που ανήκουν στην περιοχή  $R$ ) χρησιμοποιείται συχνά ως διάνυσμα χαρακτηριστικών για την περιοχή.
  - ♦ Πιο συχνά, και για πιο συμπαγή αναπαράσταση, υπολογίζουμε το ιστόγραμμα περιοχές τιμών φωτεινότητας (αντί για όλες τις δυνατές τιμές φωτεινότητας)

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

## Ιστογράμμο περιοχής (II)



Στα διπλανά σχήματα φαίνονται τα κανονικοποιημένα ιστογράμματα μιας εικόνας και ενός τμήματος (πρόσωπο) της εικόνας

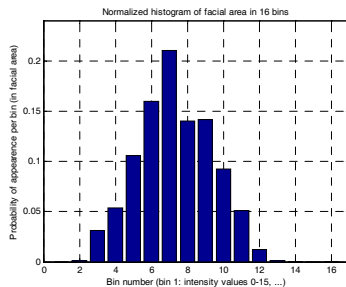
Οι επιμέρους τιμές πιθανότητας για κάθε τιμή φωτεινότητας μπορούν να αποτελέσουν ένα διάνυσμα χαρακτηριστικών (πόσο είναι το μήκος αυτού του διανύσματος;)

- Για να μειώσουμε το μήκος του διανύσματος χαρακτηριστικών μπορούμε να υπολογίσουμε το ιστογράμμο σε περιοχές τιμών φωτεινότητας

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

## Ιστογράμμο περιοχών τιμών φωτεινότητας

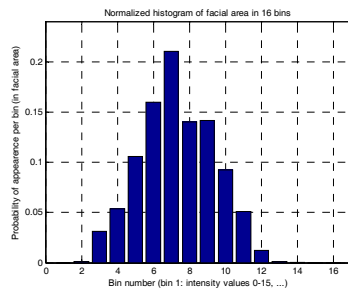


- Έστω ότι θέλουμε να υπολογίσουμε ένα διάνυσμα χαρακτηριστικών με βάση την κατανομή των τιμών φωτεινότητας για μια περιοχή της εικόνας. Έστω ότι θέλουμε το διάνυσμα χαρακτηριστικών μας να μην έχει περισσότερα από 16 στοιχεία.
- Μπορούμε να διαιρέσουμε το εύρος τιμών φωτεινότητας (το οποίο είναι συνήθως 0 – 255) σε 16 ίσα τμήματα (bin):
  - bin 1: τιμές φωτεινότητας από 0-15
  - bin 2: τιμές φωτεινότητας από 16 -31
  - ...
  - bin 16: τιμές φωτεινότητας από 240-255
- Υπολογίζουμε το ιστογράμμο στα ανωτέρω 16 bins (δηλαδή βρίσκουμε τον αριθμό των pixel, που ανήκουν στην υπό εξέταση περιοχή, σε κάθε ένα από τα bins).

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

## Ιστογράμμα περιοχών τιμών φωτεινότητας (II)



- Το διάνυσμα χαρακτηριστικών της περιοχής του προσώπου θα αποτελείται από 16 στοιχεία:
  - Στοιχείο 1: πιθανότητα εμφάνισης, στην περιοχή του προσώπου, τιμής φωτεινότητας που να ανήκει στο διάστημα 0-15
  - Στοιχείο 2: πιθανότητα εμφάνισης, στην περιοχή του προσώπου, τιμής φωτεινότητας που να ανήκει στο διάστημα 16-31
  - ...
  - Στοιχείο 16: πιθανότητα εμφάνισης, στην περιοχή του προσώπου, τιμής φωτεινότητας που να ανήκει στο διάστημα 240-255
- Στο παράδειγμα μας το διάνυσμα χαρακτηριστικών θα είναι  $\mathbf{x} = [0 \ 0.0011 \ 0.0311 \ 0.0538 \ 0.1058 \ 0.16 \ 0.2103 \ 0.1398 \ 0.1417 \ 0.0921 \ 0.0509 \ 0.0122 \ 0.0010 \ 0.0004 \ 0 \ 0]^T$

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

## Χαρακτηριστικά που μπορούν να εξαχθούν από το ιστογράμμα



- Πολλά στατιστικά χαρακτηριστικά που αφορούν τις τιμές φωτεινότητας μιας περιοχής  $R$  της εικόνας μπορούν να εξαχθούν από το ιστογράμμα περιοχής
- Έστω ότι  $h(i)$ ,  $0 \leq i \leq L-1$ , η πιθανότητα εμφάνισης, στην περιοχή  $R$ , της τιμής φωτεινότητας  $i$ . Οι πιο κάτω ποσότητες μπορούν να υπολογιστούν από το ιστογράμμα:

- Ροπές:

$$m_k = \sum_{i=0}^{L-1} i^k h(i) \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

- Κεντρικές ροπές

$$\mu_k = \sum_{i=0}^{L-1} (i - m_1)^k h(i) \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

- Απόλυτες κεντρικές ροπές

$$\hat{\mu}_k = \sum_{i=0}^{L-1} |i - m_1|^k h(i) \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

- Εντροπία:

$$H = - \sum_{i=0}^{L-1} h(i) \log_2(h(i))$$

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

## Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό



### → Βασική ιδέα:

- Η περιοχή της εικόνας υφίσταται ένα μαθηματικό μετασχηματισμό από το αρχικό πεδίο του χώρου (φωτεινότητες) σε ένα αφηρημένο πεδίο το οποίο είναι πιο κατάλληλο για την αναπαράσταση της με λιγότερους συντελεστές.
- Ένα τέτοιος μετασχηματισμός είναι ο μετασχηματισμός Fourier. Μέσω του μετασχηματισμού Fourier μια εικόνα  $f$  μπορεί να μετασχηματιστεί σε μια αναπαράσταση  $F$  στο πεδίο των συχνοτήτων.
- Μια παραλλαγή του μετασχηματισμού Fourier ο μετασχηματισμός DCT επιτυγχάνει πιο συμπαγή αναπαράσταση.

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

## Διακριτός μετασχηματισμός συνημίτονου



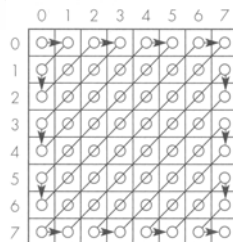
→ Ο διακριτός μετασχηματισμός συνημίτονου (Discrete Cosine Transform - DCT) για μια εικόνα  $N \times N$  pixels δίνεται από τη σχέση:

$$F(u, v) = C(u, v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} \left( f(x, y) \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right) \right)$$

- $F(u, v)$  είναι ο DCT συντελεστής για τη χωρική συχνότητα  $(u, v)$
- $f(x, y)$  είναι η αρχική ένταση φωτεινότητας στη θέση  $(x, y)$
- $C(u, v)$  είναι ο παράγοντας κανονικοποίησης που ορίζεται ως:
  - $C(0, 0) = 1/N$
  - $C(0, v) = C(u, 0) = 1/(N\sqrt{2})$
  - $C(u, v) = 2/N, \quad u \neq 0, v \neq 0$
- Προσοχή! Ο πίνακας των χωρικών συχνοτήτων  $F(u, v)$  έχει τις ίδιες διαστάσεις με την αρχική εικόνα ( $N \times N$ ).

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

## Σχηματισμός διανύσματος χαρακτηριστικών



- Οι συντελεστές DCT που περιέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας (πληροφορία) βρίσκονται στο πάνω αριστερό άκρο της μετασχηματισμένης περιοχής
  - Για το σχηματισμό ενός διανύσματος συντελεστών σαρώνουμε τους συντελεστές από πάνω αριστερά ακολουθώντας zig-zag διαδρομή (βλέπε σχήμα).
  - Συνήθως ο μετασχηματισμός εφαρμόζεται σε μπλοκ 8x8 pixels (διαίρεται η περιοχή R σε τέτοια μπλοκ) και για κάθε ένα από αυτά τα μπλοκ κρατάμε ένα μικρό υποσύνολο από τους 64 συντελεστές κάθε μπλοκ.

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

## Γεωμετρικά χαρακτηριστικά



- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά εστιάζουν περισσότερο στη μορφή των αντικειμένων. Χρησιμοποιούνται περισσότερο σε δυαδικές εικόνες
  - Συνηθισμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά:
    - Περίμετρος
      - Η περίμετρος μιας περιοχής μπορεί να υπολογιστεί απλά ως ο αριθμός των pixel του περιγράμματος.
      - Αν είναι γνωστός ο κώδικας αλυσίδας του περιγράμματος τότε η περίμετρος υπολογίζεται αθροίζοντας 1 για κάθε οριζόντια και κάθετη αλλαγή κατεύθυνσης (0,2,4,6) και  $\sqrt{2}$  για κάθε διαγώνια αλλαγή κατεύθυνσης (κώδικες 1,3,5,7)
      - **Παράδειγμα:** Να υπολογιστεί η περίμετρος του αντικειμένου με κώδικα αλυσίδας 0001712133443565567
- Λύση: ο κώδικας αλυσίδας αποτελείται από 19 στοιχεία εκ των οποίων τα 11 είναι διαγώνια. Άρα έχουμε  $\Pi = 8 + 11\sqrt{2} = 23.56$

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χρώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- \* Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

## Συνήθη γεωμετρικά χαρακτηριστικά



### → Επιφάνεια:

- Λαμβάνεται συνήθως ως ο αριθμός των pixels της περιοχής (για κανονικοποίηση ο αριθμός αυτός διαιρείται με το πλήθος των pixel της εικόνας)

### → Μέγιστη και ελάχιστη ακτίνα

- Η μέγιστη και η ελάχιστη ακτίνα ορίζουν την μέγιστη και ελάχιστη απόσταση του κέντρου μάζας του αντικειμένου από το περίγραμμά του

### → Αριθμός Euler

- Είναι το πλήθος των συνδεδεμένων περιοχών μείον το πλήθος των οπών



### → Καμπυλότητα

- Η καμπυλότητα ενός αντικειμένου ορίζεται από τη σχέση  $C = \frac{4\pi A}{P^2}$  όπου A = η επιφάνεια του αντικειμένου και P η περίμετρος του

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χρώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- \* Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

## Υπογραφές



→ Υπογραφή είναι ένα μονοδιάστατο σήμα το οποίο απεικονίζει τη μεταβολή της φωτεινότητας ή χρώματος κατά την σάρωση των pixels του αντικειμένου:

- Δεν υπάρχει συνήθως κάποιος εύκολος τρόπος για να διασχίσουμε όλα τα pixels του αντικειμένου ώστε γειτονικά pixels να εμφανίζονται συνεχόμενα
- Ένας τρόπος σάρωσης προκύπτει με χρήση fractals και συγκεκριμένα των καμπυλών Hilbert
- Στις δυαδικές εικόνες υπογραφή μπορεί να προκύψει με την αναπαράσταση ακτίνας - γωνίας

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

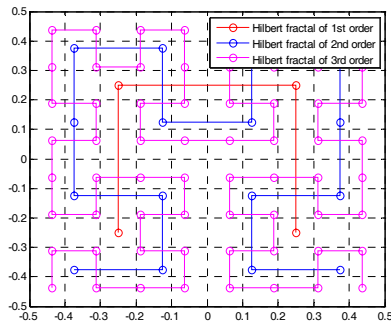


- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

## Δημιουργία υπογραφής με καμπύλες Hilbert



→ Τα fractals είναι καμπύλες οι οποίες δημιουργούνται με αναδρομική επανάληψη της μορφής τους:



- Οι καμπύλες Hilbert λόγω της μορφής τους μπορούν να σαρώνουν ένα τετραγωνικό πλέγμα αρκετά πυκνά. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία υπογραφών σε περιοχές εικόνων.
- Στο σχήμα δίνεται η μορφή των καμπυλών Hilbert μετά από μια (κόκκινο), δύο (μπλε), και τρεις (μωβ) αναδρομές

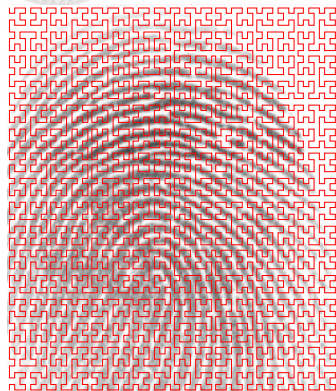
© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

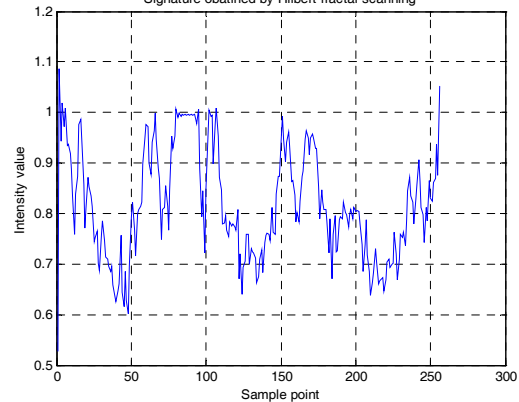
## Δημιουργία υπογραφής με καμπύλες Hilbert (II)



Image scanned using Hilbert fractal



Signature obtained by Hilbert fractal scanning



© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

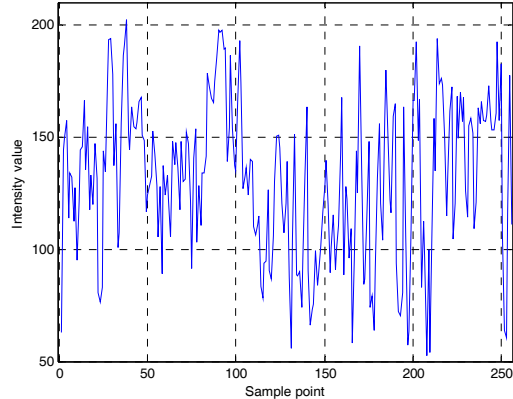
## Δημιουργία υπογραφής με καμπύλες Hilbert (III)



Image scanned using Hilbert fractal



Signature obtained by Hilbert fractal scanning



© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

## Στατιστικά χαρακτηριστικά



→ Τα συνηθέστερα στατιστικά χαρακτηριστικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την περιγραφή περιοχών είναι οι δυσδιάστατες γεωμετρικές ροπές

- Οι δυσδιάστατες γεωμετρικές ροπές τάξης  $p+q$  για μια ψηφιακή εικόνα  $f(x,y)$  ορίζονται από τη σχέση:

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y (x^p y^q f(x, y))$$

- Για μια περιοχή  $R(k,l) \subseteq f(x, y)$  η ανωτέρω σχέση μεταβάλλεται σε:

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y (x^p y^q R(x, y))$$

Όπου τα αθροίσματα λαμβάνονται μόνο για τα pixels που ανήκουν στη περιοχή R

© 2007 Nicolas Tsapatsoulis

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υψής

## Κεντρικές ροπές



- Οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους ενός αντικειμένου υπολογίζονται από τις γεωμετρικές ροπές μηδενικής και πρώτης τάξης:

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

- Με τη βοήθεια του κέντρου βάρους υπολογίζονται οι κεντρικές ροπές σύμφωνα με τη σχέση:

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y ((x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q R(x, y))$$

- Οι κεντρικές ροπές είναι ανεξάρτητες από τη μετατόπιση του αντικειμένου

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υψής

## Κανονικοποιημένες κεντρικές ροπές



- Οι κανονικοποιημένες κεντρικές ροπές ορίζονται έτσι ώστε συνδυασμοί τους να παρουσιάζουν ανεξαρτησία ως προς κλιμάκωση, μετατόπιση και περιστροφή:

$$n_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^\gamma} \quad \text{όπου } \gamma = \frac{p+q}{2} + 1$$

$$\text{με } p+q = 2, 3, \dots$$

- Οι συνδυασμοί των κανονικοποιημένων κεντρικών ροπών οι οποίοι εξασφαλίζουν την ανωτέρω ανεξαρτησία ονομάζονται ανεξάρτητες ροπές

- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά χώρου
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- Στατιστικά χαρακτηριστικά
- Χαρακτηριστικά υφής

## Ανεξάρτητες Ροπές



- Με βάση της κανονικοποιημένες κεντρικές ροπές ορίζονται οι ροπές  $\phi_1$ - $\phi_7$  οι οποίες είναι ανεξάρτητες από κλιμάκωση, μετατόπιση, και περιστροφή.

$$\phi_1 = n_{20} + n_{02}$$

$$\phi_2 = (n_{20} - n_{02})^2 + 4n_{11}^2$$

$$\phi_3 = (n_{30} - 3n_{12})^2 + (3n_{21} - n_{03})^2$$

$$\phi_4 = (n_{30} + n_{12})^2 + (n_{21} + n_{03})^2$$

$$\phi_5 = \dots$$

$$\phi_6 = \dots$$

$$\phi_7 = \dots$$