



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ψηφιακή Επεξεργασία και Ανάλυση Εικόνας

Ενότητα 8^η: Κατάτμηση Εικόνας

Καθ. Κωνσταντίνος Μπερμπερίδης

Πολυτεχνική Σχολή

Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής

Σκοποί ενότητας

- Εισαγωγή στην κατάτμηση εικόνας
- Τεχνικές κατάτμησης που βασίζονται στην κατωφλίωση
- Τεχνικές αύξησης, διέρεσης & συνένωσης περιοχών
- Τεχνικές περιγραφής υφής



Περιεχόμενα ενότητας

- Βασικές έννοιες στην κατάτμηση εικόνας
- Κατάτμηση με κατωφλίωση
- Κατωφλίωση με τη μέθοδο Otsu
- Τεχνικές αύξησης περιοχής
- Τεχνικές διαίρεσης & συνένωσης
- Χαλάρωση περιοχών
- Εύρεση συνδεδεμένων μερών
- Περιγραφή υφής



Εισαγωγή (1)

- Η κατάτμηση έχει ως στόχο να υποδιαιρέσει την εικόνα σε συνιστώσες περιοχές και αντικείμενα.
- Μία περιοχή αναμένεται να έχει ομοιογενή χαρακτηριστικά όπως ένταση, υφή κ.α.
- Έστω R η εικόνα. Η κατάτμηση χωρίζει την R σε N διακριτές περιοχές

$$R_1, R_2, \dots, R_N$$

με βάση τον κανόνα κατάτμησης $P(R)$ έτσι ώστε να ισχύουν τα παρακάτω:



Εισαγωγή (2)

- a) Οι περιοχές πρέπει να καλύπτουν όλη την εικόνα:

$$R = \bigcup_{i=1}^N R_i$$

- b) Κάθε R_i είναι συνδεδεμένη περιοχή με βάση έναν προκαθορισμένο κανόνα.

- c) Οι περιοχές είναι μη επικαλυπτόμενες:

$$R_i \cap R_j = \emptyset, \quad \forall i, j, i \neq j$$

- d) Όλα τα pixels μίας περιοχής πρέπει να έχουν τις ίδιες ιδιότητες:

$$P(R_i) = TRUE \quad \text{για } i = 1, 2, \dots, N$$

- e) Οι περιοχές είναι διακριτές:

$$P(R_i \cup R_j) = FALSE \quad \text{για γειτονικές περιοχές}$$



Εισαγωγή (3)

Μία περιοχή R είναι **συνεκτική** όταν για κάθε (x_A, y_A) και (x_B, y_B) υπάρχει μία διαδρομή

$$(x_A, y_A), \dots, (x_{i-1}, y_{i-1}), (x_i, y_i), (x_{i+1}, y_{i+1}), \dots, (x_B, y_B)$$

της οποίας τα στίγματα (x_i, y_i) ανήκουν στην R και κάθε (x_i, y_i) είναι στην άμεση γειτονιά του προηγούμενου (x_{i-1}, y_{i-1}) και του επόμενου (x_{i+1}, y_{i+1}) στίγματος της διαδρομής.



Κατάτμηση με κατωφλίωση (1)

Η απλούστερη μέθοδος κατάτμησης είναι αυτή της κατωφλίωσης.

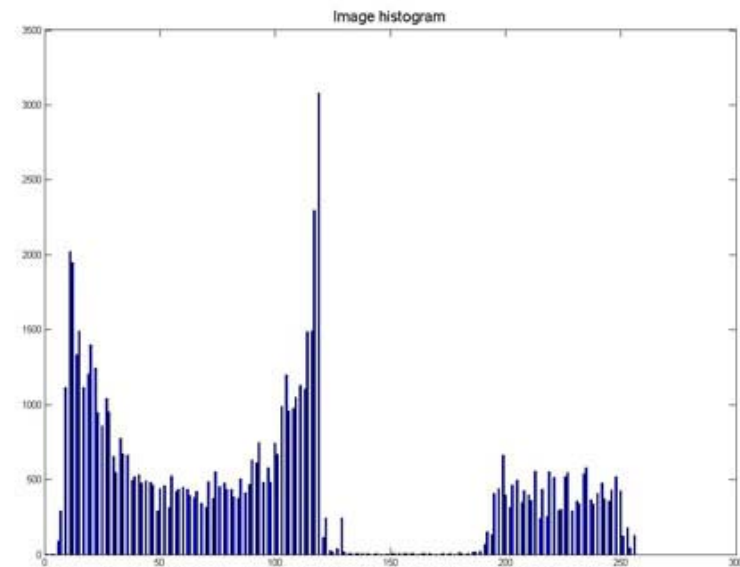
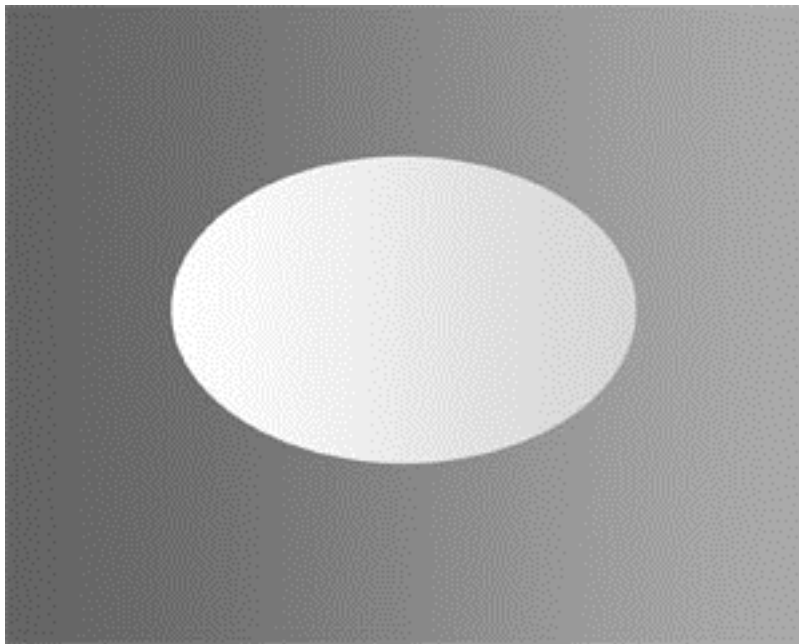
$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{αν } f(x, y) > T \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

Μπορούμε να ορίσουμε ένα ή περισσότερα κατώφλια, ολικά ή τοπικά.



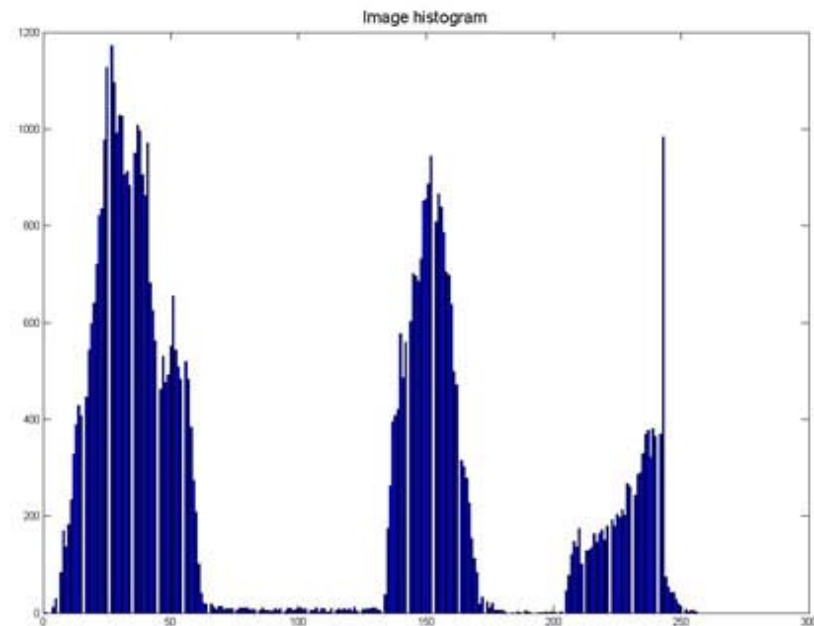
Κατάτμηση με κατωφλίωση (2)

Στην παρακάτω εικόνα η κατάτμηση με ένα ολικό κατώφλι είναι προφανής.

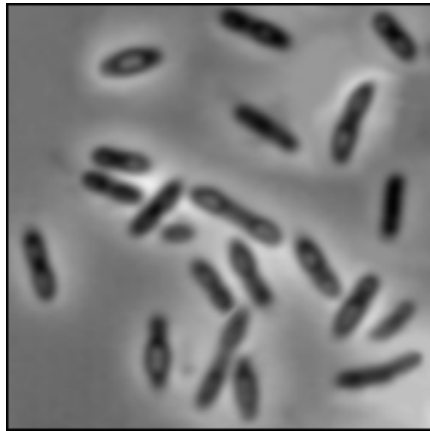


Κατάτμηση με κατωφλίωση (3)

Εάν το ιστόγραμμα έχει N περιοχές συγκέντρωσης, χρησιμοποιούμε $N-1$ κατώφλια που αντιστοιχούν στα τοπικά ελάχιστα μεταξύ των λοβών.



Κατάτμηση με κατωφλίωση (4)



Αρχική εικόνα



Κατωφλιωμένη εικόνα
με ολικό κατώφλι



Αρχική εικόνα



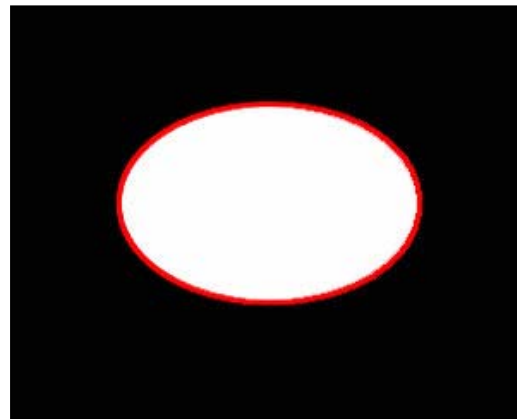
Κατωφλιωμένη εικόνα
με τοπικά κατώφλια



Κατάτμηση με κατωφλίωση (5)

Σε κάποιες εφαρμογές είναι επιθυμητό να βρεθεί το περίγραμμα μιας περιοχής παρά η ίδια η περιοχή

Για την ανίχνευση του περιγράμματος μίας περιοχής/αντικειμένου, εξετάζουμε την κατωφλιωμένη εικόνα και παρακολουθούμε τις μεταβάσεις μεταξύ των περιοχών.



Κατάτμηση με κατωφλίωση (6)

Εάν το ιστόγραμμα δεν έχει ξεκάθαρα τοπικά ελάχιστα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε:

- Εξομάλυνση ιστογράμματος
- Αποκλεισμό των στοιχείων των ακμών από τον υπολογισμό του ιστογράμματος («τροποποιημένο ιστόγραμμα»)
- Κατωφλίωση που μεταβάλλεται στον χώρο



Κατωφλίωση με τη μέθοδο Otsu (1)

- Για εικόνα δύο περιοχών (ένα κατώφλι):
 - Εύρεση του κατωφλίου που ελαχιστοποιεί το λεγόμενο *intra-class variance* (ή *within class variance*).
 - Ισοδύναμα, το κατώφλι αυτό μεγιστοποιεί το *inter-class variance*.
- Επέκταση για πολλαπλά κατώφλια



Κατωφλίωση με τη μέθοδο Otsu (2)

- Weighted within-class variance:

$$\sigma_w^2(t) = q_1(t)\sigma_1^2(t) + q_2(t)\sigma_2^2(t)$$

- Class probabilities (για συγκεκριμένο threshold t) :

$$q_1(t) = \sum_{i=1}^t P(i) \text{ και } q_2(t) = \sum_{i=t+1}^I P(i)$$

- Class means :

$$\mu_1(t) = \sum_{i=1}^t \frac{iP(i)}{q_1(t)} \text{ και } \mu_2(t) = \sum_{i=t+1}^I \frac{iP(i)}{q_2(t)}$$



Κατωφλίωση με τη μέθοδο Otsu (3)

Individual class variance:

$$\sigma_1^2(t) = \sum_{i=1}^t [i - \mu_1(t)]^2 \frac{P(i)}{q_1(t)}$$

$$\sigma_2^2(t) = \sum_{i=t+1}^I [i - \mu_2(t)]^2 \frac{P(i)}{q_2(t)}$$

Υλοποίηση της τεχνικής: Οι παραπάνω ποσότητες υπολογίζονται για όλα τα δυνατά κατώφλια t (με t από 1 έως N) και τελικά επιλέγεται αυτό που ελαχιστοποιεί την $\sigma_w^2(t)$.



Κατωφλίωση με τη μέθοδο Otsu (4)

Inter-class variance:

$$\sigma_B^2(t) = q_1(t)(\mu_1(t) - \mu_T)^2 + q_2(t)(\mu_2(t) - \mu_T)^2$$

$$\mu_T = \sum_{i=1}^I iP(i) \quad \longleftarrow \text{Total mean}$$

$$\sigma_T^2(t) = \sigma_W^2(t) + \sigma_B^2(t) = \text{constant}$$

Η ελαχιστοποίηση της Within-class variance ισοδυναμεί με μεγιστοποίηση της Inter-class variance. Η δεύτερη όμως ποσότητα μπορεί να υπολογιστεί αναδρομικά ως προς το κατώφλι.



Τεχνικές αύξησης περιοχής (1)

- Ξεκινάμε από «σπόρους» που είναι αντιπροσωπευτικοί των διαφορετικών περιοχών και αυξάνουμε συνενώνοντας τα γειτονικά στοιχεία που έχουν ίδια χαρακτηριστικά μέχρι να καλυφθεί όλη η εικόνα.
- Οι «σπόροι» επιλέγονται συνήθως από τον χρήστη (ένας τουλάχιστον για κάθε περιοχή της εικόνας).



Τεχνικές αύξησης περιοχής (2)

Για κάθε περιοχή $R_i, i = 1, \dots, N$, σε κάθε βήμα ελέγχουμε την οκταπλή γειτονιά του κάθε στίγματος του συνόρου της περιοχής για στίγματα που δεν έχουν ταξινομηθεί. Όταν βρεθεί ένα τέτοιο, ελέγχουμε την συνθήκη ομοιογενείας της περιοχής, $P(R_i \cup \{x\}) = \text{TRUE}$

Η αρχική επιλογή των «σπόρων» είναι σημαντική για την απόδοση του αλγορίθμου.



Τεχνικές αύξησης περιοχής (3)

Οι αρχικοί «σπόροι» μπορούν να είναι:

- Εικονοστοιχεία που επιλέγονται με εποπτικό τρόπο από τον χρήστη
- Εικονοστοιχεία που αντιστοιχούν σε κορυφές του ιστογράμματος

Όταν τελειώσει η διαδικασία μπορούμε να συνενώσουμε τις περιοχές που παρουσιάζουν παρόμοιες ιδιότητες.



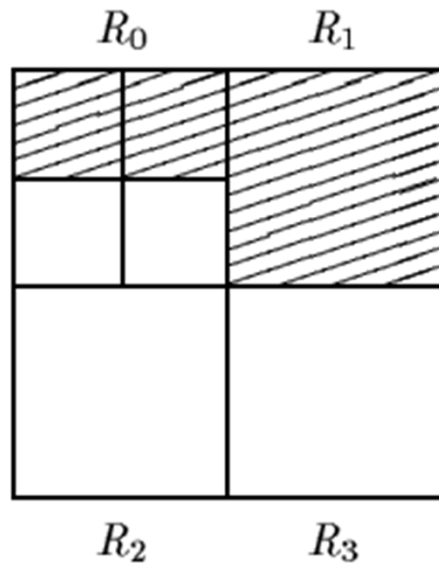
Τεχνικές διαίρεσης & συνένωσης (1)

Διαίρεση: Ξεκινάμε με ολόκληρη την εικόνα και εκτελούμε τα παρακάτω

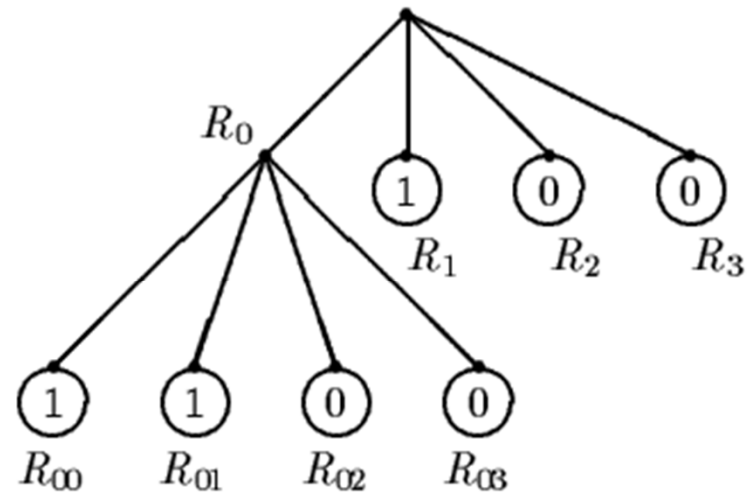
- Εξετάζουμε εάν είναι ομοιογενής η περιοχή. Εάν αυτό δεν ισχύει, την διαιρούμε σε 4 υποπεριοχές.
- Επαναλαμβάνουμε για τις υποπεριοχές.



Τεχνικές διαίρεσης & συνένωσης (2)



(α)



(β)

(α) Αρχική εικόνα. (β) Αναπαράσταση τετραδικού δέντρου.



Τεχνικές διαίρεσης & συνένωσης (3)

- Πλεονέκτημα: η μέθοδος μπορεί να αναπαρασταθεί από ένα τετραδικό δέντρο.
- Μειονέκτημα: γειτονικές περιοχές που έχουν παρόμοιες ιδιότητες, μπορεί να μην συνενώνονται.



Τεχνικές διαίρεσης & συνένωσης (4)

Διαίρεση & συνένωση: Ξεκινάμε με ολόκληρη την εικόνα και εκτελούμε τα παρακάτω

- Εξετάζουμε εάν είναι ομοιογενής η περιοχή. Εάν αυτό δεν ισχύει, τη διαιρούμε σε 4 υποπεριοχές.
- Εάν δύο γειτονικές περιοχές είναι ομοιογενείς, συνενώνονται.
- Επαναλαμβάνουμε για τις υποπεριοχές.

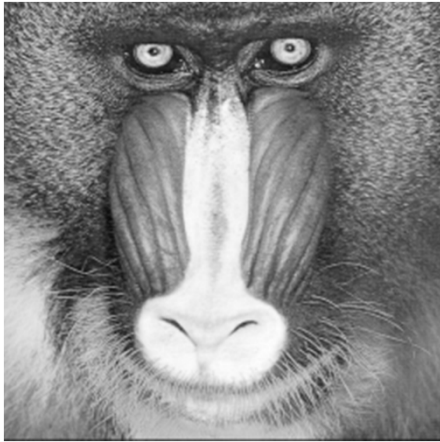


Τεχνικές διαίρεσης & συνένωσης (5)

- Πλεονέκτημα: οι περιοχές που ανιχνεύονται είναι πιο συμπαγείς .
- Μειονέκτημα: η διαδικασία δεν μπορεί πλέον να περιγραφεί από τετραδικό δέντρο.



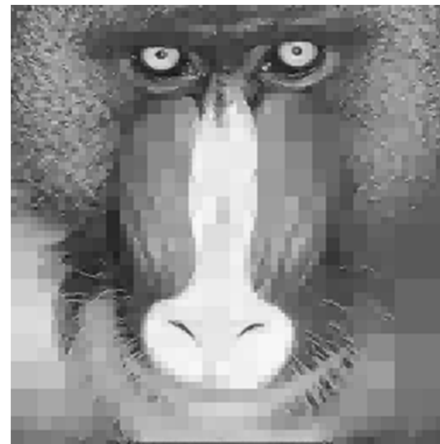
Παραδείγματα



Αρχική εικόνα



Αύξηση
περιοχών



Διαίρεση



Διαίρεση &
συνένωση



Χαλάρωση περιοχών (1)

- Ορίζουμε ως διάνυσμα εμπιστοσύνης το

$$\mathbf{p}_k = [p_k(1), p_k(2), \dots, p_k(N)]^T$$

Όπου $p_k(i)$ η πιθανότητα το k -στο στίγμα να ανήκει στην περιοχή $R_i, i = 1, \dots, N$

- Αρχική τιμή για τις πιθανότητες, που ονομάζονται επίσης **βάρη εμπιστοσύνης**.

$$p_k^0(i) = \left(\frac{1}{|f(n,l) - m_i|} \right) / \left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{|f(n,l) - m_i|} \right)$$



Χαλάρωση περιοχών (2)

Είναι σκόπιμο να χωρίσουμε τις περιοχές σε «συμβατές» και «ασύμβατες». Η συνάρτηση συμβατότητας είναι η εξής:

$$r(i, j) = \begin{cases} \in [-1, 0) & R_i, R_j \text{ είναι ασύμβατες} \\ 0 & R_i, R_j \text{ είναι ανεξάρτητες} \\ \in (0, 1] & R_i, R_j \text{ είναι συμβατές} \end{cases}$$

Τα βάρη εμπιστοσύνης μπορούν να επαναπροσδιοριστούν με βάση την $r(i, j)$



Χαλάρωση περιοχών (3)

Ο αλγόριθμος χαλάρωσης περιοχών περιγράφεται από τις εξισώσεις:

$$\Delta p_k^{(n)}(i) = \sum_l d_{kl} \left[\sum_{j=1}^N r_{kl}(i,j) p_l^{(n)}(j) \right]$$

$$p_k^{(n+1)}(i) = \frac{p_k^{(n)}(i) [1 + \Delta p_k^{(n)}(i)]}{\sum_{i=1}^N p_k^{(n)}(i) [1 + \Delta p_k^{(n)}(i)]}$$



Χαλάρωση περιοχών (4)

- Οι παράμετροι d_{kl} καθορίζουν τις συνεισφορές στο στίγμα x_k που προέρχονται από τα γειτονικά στίγματα x_l . Πρέπει να ισχύει: $\sum_l d_{kl} = 1$
- Μπορεί επίσης να γίνει μια καλύτερη εκτίμηση των συναρτήσεων συμβατότητας από τις αρχικές πιθανότητες:

$$r_{kl}(i, j) = \ln \frac{N^2 \sum_{k=1}^{N^2} p_k^0(i) p_l^0(i)}{\sum_{k=1}^{N^2} p_k^0(i) \sum_{l=1}^{N^2} p_l^0(i)}$$



Εύρεση συνδεδεμένων μερών (1)

Η εύρεση συνδεδεμένων μερών είναι η διαδικασία με την οποία ανιχνεύουμε τις διακριτές υποπεριοχές που έχουν κοινά χαρακτηριστικά και αποτελούν μία ενιαία περιοχή.



Εύρεση συνδεμένων μερών (2)

Οι αλγόριθμοι αυτοί χωρίζονται σε

➤ Τοπικής γειτονιάς

- η ιδέα της «φωτιάς στο γρασίδι»
- χαρακτηρισμός των στιγμάτων από την συνένωση των συντεταγμένων
- χρωματισμός μερών
- συρρίκνωση

➤ Διαίρει και βασίλευε

- διαίρεση και συνένωση



Περιγραφή υφής (1)

Οι τεχνικές χωρίζονται σε

- Στατιστικές τεχνικές
βασίζονται στα ιστογράμματα, τις επεκτάσεις των περιοχών και τις ροπές
- Φασματικές τεχνικές
βασίζονται στην ανίχνευση περιοδικότητας μέσω της αυτοσυσχέτισης ή της κατανομής ισχύος στο πεδίο συχνοτήτων
- Δομικές τεχνικές
χρησιμοποιούν πρότυπα και κανόνες τοποθέτησης



Περιγραφή υφής (2)

Κεντρικές ροπές

- Μέση τιμή $\mu = \sum_{k=1}^N f_k p_f(f_k)$
- Μεταβλητότητα $\sigma^2 = \sum_{k=1}^N (f_k - \mu)^2 p_f(f_k)$
- Κλίση $\mu_3 = \frac{1}{\sigma^3} \sum_{k=1}^N (f_k - \mu)^3 p_f(f_k)$
(μέτρο της συμμετρίας)
- Κύρτωση $\mu_4 = \frac{1}{\sigma^4} \sum_{k=1}^N (f_k - \mu)^4 p_f(f_k)$
(μεγάλη κύρτωση \Rightarrow μεγάλη ουρά)
Εντροπία : $H = - \sum_{k=1}^N p_f(f_k) \ln p_f(f_k)$



Περιγραφή υφής (3)

- Πλεονέκτημα: υπολογιστική απλότητα
- Μειονέκτημα: δεν μπορούν να εκφράσουν τα χωρικά χαρακτηριστικά της υφής (το πώς δηλαδή μεταβάλλεται στο χώρο κάποιο χαρακτηριστικό)



Περιγραφή υφής (4)

- Τα χωρικά χαρακτηριστικά μπορούν να εκφραστούν με περιγραφείς που κάνουν χρήση των ιστογραμμάτων των διαφορών επιπέδου του γκρι για συγκεκριμένες αποστάσεις από το εκάστοτε κεντρικό στίγμα

$$\mathbf{d} = [d_1, d_2]$$

$$g(\mathbf{d}) = |f(k, l) - f(k + d_1, l + d_2)|$$

$P_g(g, \mathbf{d})$: υπάρχει ένα διακεκριμένο ιστόγραμμα για κάθε απόσταση \mathbf{d}



Περιγραφή υφής (5)

- Χρησιμοποιούνται διάφορα μέτρα υφής που εξάγονται από το $P_g(g, \mathbf{d})$, όπως: μέση τιμή, μεταβλητότητα, αντίθεση, εντροπία κ.λπ.
- Η χωρική οργάνωση της υφής σχετίζεται επίσης με τις στατιστικές μήκους διαδρομών
(το μήκος διαδρομής των στιγμάτων με ένταση f σε μια διεύθυνση ϑ)
 - Έμφαση κοντών/μακρών διαδρομών
 - Κατανομή επιπέδων του γκρι
 - Κατανομή μήκους διαδρομών
 - Ποσοστά διαδρομών



Περιγραφή υφής (6)

Η τραχύτητα της υφής μπορεί να περιγραφεί από:

➤ τους πίνακες σύμπτωσης $C_d: c_{kl} = \hat{p}(f_k, f_l, \mathbf{d})$
(co-occurrence matrices)

➤ τη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης

$$R_{ff} = \frac{1}{(2N_1 + 1)(2N_2 + 1)} \sum_{i=-N_1}^{N_1} \sum_{j=-N_2}^{N_2} f(i, j) f(i + k, j + l)$$

➤ το περιοδόγραμμα $\hat{P}_{ff}(u, v) = \frac{1}{N_1 N_2} |F(u, v)|^2$



Πολλές άλλες τεχνικές

- Level set method
- K-means mutli-threshold
- Geometric modeling of the objects
- Probabilistic modeling
- Watershed transformation
- etc



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση **1.0**.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Κωνσταντίνος Μπερμπερίδης, 2015.

«Ψηφιακή Επεξεργασία & Ανάλυση Εικόνας. Εισαγωγή». Έκδοση: 1.0.

Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.upatras.gr/courses/CEID1033/>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Ι. Πήτας, «Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας», Θεσσαλονίκη, 2001

