



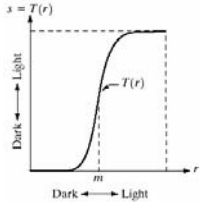
Κεφάλαιο 3

Βελτίωση Εικόνας στο Πεδίο του Χώρου (Image Enhancement in the Spatial Domain)



Εισαγωγή

- Τι σημαίνει βελτίωση;
 - Υποκειμενική
 - Ανάλογα με την εφαρμογή
- $g(x,y) = T[f(x,y)]$
- Μετασχηματισμοί της Κλίμακας του γκριζου (Gray level transformations)
 - $s = T(r)$
 - $s = g(x,y)$
 - $r = f(x,y)$
 - Βασίζεται σε ένα εικονοστοιχείο
- Μετασχηματισμοί σε μεγαλύτερες περιοχές (neighborhoods)

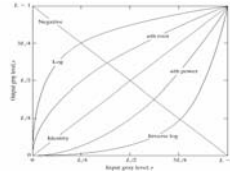
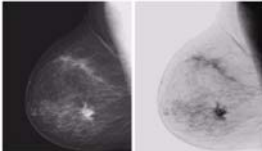


Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory



Μετασχηματισμοί της Κλίμακας του Γκριζου

- $s = T(r)$
- Αρνητική εικόνα (Image Negative)
 - $r = f(x,y) \in [0, L-1]$
 - $s = L-1-r$
- Μικρές ή διασπαστικές λεπτομέρειες είναι πιο ορατές (ειδικά όταν το μαύρο υπερσχύει στην αρχική εικόνα)

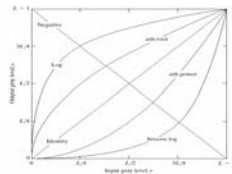
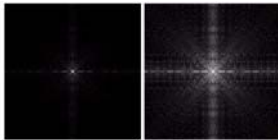
Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory



Μετασχηματισμοί της Κλίμακας του Γκριζου

Λογαριθμικοί Μετασχηματισμοί (Log Transformations)

- Λογαριθμική κλίμακα
 - $s = c \log(1+r)$
 - $c = \text{constant}$
 - $r \geq 0$
 - Διευρύνει (expand) και συμπτύζει (compress) περιοχές
 - Κατάλληλη κλίμακα για περιοχές με μεγάλο δυναμικό εύρος (dynamic range)
 - π.χ. $0-10^6$ εύρος με 256 επίπεδα γκριζου
- Αντίστροφος Λογάριθμος
 - $s = c (10^{-1})$

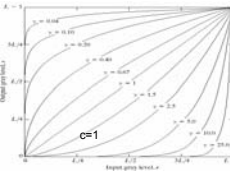
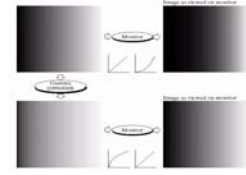
Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory



Μετασχηματισμοί της Κλίμακας του Γκριζου

Μετασχηματισμοί Δύναμης (Power Law Transformations)

- $s = c r^\gamma$
 - $c, \gamma = \text{constants}$
 - $r \geq 0$
- Διευρύνει (expand) και συμπτύζει (compress) περιοχές
 - $\gamma > 1$
 - $\gamma = 1$
 - $\gamma < 1$
- Διόρθωση γ
 - για οθόνες CRT $\gamma = 2.5$
 - $s = r^{1/2.5} = r^{0.4}$

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory



Μετασχηματισμοί της Κλίμακας του Γκριζου

- Παραδείγματα μετασχηματισμών δύναμης



$c=1, \gamma = 0.6, 0.4, 0.3$ $c=1, \gamma = 3.0, 4.0, 5.0$

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Μετασχηματισμοί της Κλίμακας του Γκριζου

- Γραμμικοί Τμηματικοί Μετασχηματισμοί (Piecewise Linear Transformations)**
 - Ο μετασχηματισμός μπορεί να πάρει διαφορετικές μορφές
 - Ευέλικτη μέθοδος, αλλά ...
 - Χρειάζεται καλή γνώση της φύσης της εικόνας
 - $r_1 \leq r_2$ και $s_1 \leq s_2$
 - μοναδική, μονotonικά αυξανόμενη τιμή (single monotonically increasing)
- Έκταση της αντίθεσης (Contrast stretching)**
 - Εικόνες χαμηλής αντίθεσης λόγω κακού φωτισμού
- Συνάρτηση Κατωφλίου (Thresholding function)**
 - Εικόνα γκριζου $\rightarrow$ Δυαδική εικόνα (binary image)

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Μετασχηματισμοί της Κλίμακας του Γκριζου

- Τεμαχισμός του γκριζου (gray level slicing)**
 - Επισημαίνει (highlights) διαστήματα του γκριζου
- Διαχωρισμός επιπέδων δυαδικών ψηφίων (bit-plane splicing)**
 - 8-bit εικόνα (00000000)
 - επίπεδο bit 7 (bit-plane 7)
 - 10000000, 10000001, ..., 11111111
 - 127 – 255

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Μετασχηματισμοί της Κλίμακας του Γκριζου

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Επεξεργασία Ιστογράμματος

- Ιστογράμμα (histogram)**
 - $h(r_k) = n_k$
 - $r_k = k$ επίπεδο γκριζου
 - $k \in [0, L-1]$
 - $n_k =$ αριθμός εικονοστοιχείων με επίπεδο k
- Κανονικοποιημένο Ιστογράμμα (normalized histogram)**
 - $p(r_k) = n_k/n$
 - $n =$ ολικός αριθμός εικονοστοιχείων
 - Αν $r_k =$ τυχαία μεταβλητή $\rightarrow p(r_k) =$ πυκνότητα πιθανότητας (probability density function)
- Χρήσεις**
 - Βελτίωση εικόνας
 - Στατιστικά στοιχεία για κατάτμηση
 - Συμπίεση εικόνας

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Επεξεργασία Ιστογράμματος

- Εξισορρόπηση ιστογράμματος (histogram equalization)**
- Προϋποθέσεις (assumptions)**
 - $s = T(r)$, $0 \leq r \leq 1$
 - $T(r) =$ μοναδική, μονotonικά αυξανόμενη τιμή (single monotonically increasing) για $0 \leq r \leq 1$
 - Αντιστρεφόμενος (invertible) μετασχηματισμός
 - $0 \leq T(r) \leq 1$ για $0 \leq r \leq 1$
 - Τιμές εξόδου = τιμές εισόδου
 - $r = T^{-1}(s)$, $0 \leq s \leq 1$

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Επεξεργασία Ιστογράμματος

- Εξισορρόπηση ιστογράμματος (histogram equalization)**
 - Στόχος: $p_s(s) =$ ομοιόμορφη κατανομή (uniform distribution)
- Για διακριτές εικόνες $\rightarrow$ κατά προσέγγιση**
- Τόσο το συνεχές όσο και το διακριτό μοντέλο**
 - μονotonικότητα
 - μοναδικότητα
 - αντιστρεψιμότητα

$$p_s(s) = p_r(r) \left| \frac{dr}{ds} \right|$$

$$s = T(r) = \int_0^r p_r(w) dw$$

$$\frac{ds}{dr} = \frac{dT(r)}{dr} = \frac{d}{dr} \left[\int_0^r p_r(w) dw \right] = p_r(r) \quad 0 \leq s \leq 1$$

$$p_s(s) = p_r(r) \left| \frac{dr}{ds} \right| = p_r(r) \left| \frac{1}{p_r(r)} \right| = 1$$

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{n} \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

$$s = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}$$

$$r_k = T^{-1}(s_k)$$

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Επεξεργασία Ιστογράμματος

- Παράδειγμα**
 - Διαφορετικός φωτισμός
 - Ίδιες πληροφορίες στις εικόνες
 - Πότε η εξισορρόπηση ιστογράμματος δεν λειτουργεί;

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Επεξεργασία Ιστογράμματος

- Καθορισμός ή ταύτιση ιστογράμματος (histogram specification or matching)**
 - Σε ποιες περιπτώσεις η εξισορρόπηση δεν έχει τα σωστά αποτελέσματα;
 - Καθορισμός ιστογράμματος εκ των προτέρων
- Διαδικασία αντιστοίχισης (mapping)**
 - Εξισορρόπηση (δηλ. αντιστοίχιση με τιμές ομοιόμορφης κατανομής)
 - Αντιστοίχιση με τιμές προκαθορισμένου ιστογράμματος

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Επεξεργασία Ιστογράμματος

- Διαδικασία αντιστοίχισης (mapping)**
 - Ιστογράμματα $p_r(r)$ από εικόνα
 - Μετασχηματισμός $s=T(r)$
 - ολοκλήρωμα
 - Από το επιθυμητό ιστογράμματα $p_z(z)$, μετασχηματισμός $v_k=G(z)$
 - ολοκλήρωμα
 - Αντίστροφο του μετασχηματισμού, $z_k=G^{-1}(v_k)$
 - επαναληπτική (iterative) διαδικασία:
 - $G(z_k) = s_k$ ή $(G(z_k) - s_k) \geq 0$ για ακέραιους
 - Αντιστοίχιση $r \rightarrow s \rightarrow z$

$$s = T(r) = \int_0^r p_r(w)dw$$

$$G(z) = \int_0^z p_z(t)dt = s$$

$$z = G^{-1}(s) = G^{-1}[T(r)]$$

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}$$

$$v_k = G(z_k) = \sum_{i=0}^k p_z(z_i) = s_k$$

$$z_k = G^{-1}[T(r_k)] = G(s_k)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Επεξεργασία Ιστογράμματος

- Διαδικασία αντιστοίχισης (mapping)**
 - Ιστογράμματα $p_r(r)$ από εικόνα
 - Μετασχηματισμός $s=T(r)$
 - Από το επιθυμητό ιστογράμματα $p_z(z)$, μετασχηματισμός $v_k=G(z)$
 - Αντίστροφο του μετασχηματισμού, $z_k=G^{-1}(v_k)$
 - Αντιστοίχιση $r \rightarrow s \rightarrow z$

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Επεξεργασία Ιστογράμματος

- Τοπική βελτίωση (local enhancement)**
 - Για μικρές περιοχές
 - Ιστογράμματα περιοχής
 - Διορθώνει το επίπεδο του γκρίζου στο κεντρικό εικονοστοιχείο της περιοχής
 - Προχωρεί στο επόμενο εικονοστοιχείο

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Επεξεργασία Ιστογράμματος

- Χρήση στατιστικών στοιχείων ιστογράμματος (histogram statistics) για βελτίωση**
 - r = διακριτή τυχαία μεταβλητή
 - n ροπή (n^{th} moment)
 - $\mu_r(r) = \sum_{i=0}^{L-1} (r_i - m)^n p(r_i)$
 - Μέσος όρος
 - $m = \sum_{i=0}^{L-1} r_i p(r_i)$
 - Διασπορά (variance), $n=2$
 - $\mu_2(r) = \sum_{i=0}^{L-1} (r_i - m)^2 p(r_i) = \text{var} = \sigma^2$
- Παράδειγμα**
 - Βελτίωση του δεύτερου (σκοτεινού) νημάτιου

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Επεξεργασία Ιστογράμματος

- Συνολικά στατιστικά (global statistics)**
 - M_0 = συνολικός μέσος όρος (global mean)
 - D_0 = συνολική τυπική απόκλιση (global standard deviation)
- Τοπικά στατιστικά (local statistics)**
 - m_{seg}
 - σ_{seg}
- Βελτίωση**
 - Σκοτεινές περιοχές
 - $m_{seg} \leq k_1 M_0$
 - Σχετικά ομοιόμορφες (όχι αιχμές) αλλά όχι εντελώς ομοιόμορφες
 - $k_1 D_0 \leq \sigma_{seg} \leq k_2 D_0, k_1 \leq k_2$
 - Συντελεστής βελτίωσης: E
 - $g(x,y) = \begin{cases} f(x,y) & \text{αν ισχύουν τα πιο πάνω} \\ E f(x,y) & \text{διαφορετικά} \end{cases}$
 - Εμπειρική επίλογη παραμέτρων
- Αποτελέσματα**
 - Βελτίωση
 - Τεχνητά σφάλματα (artifacts)

$k_1=0.4, k_2=0.02, k_3=0.4, E=4.0$

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Βελτίωση Εικόνας με Αριθμητικές και Λογικές Πράξεις

- Αντιστροφή εικόνας (inverting)**
 - NOT
- Χρήση Μάσκας (mask)**
 - AND, OR, $\times$
 - Μορφολογική επεξεργασία και αποκατάσταση (morphological operations and restoration)
- Βελτίωση εικόνας**
 - $+$, $-$

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Βελτίωση Εικόνας με Αριθμητικές και Λογικές Πράξεις

- Αφαίρεση (subtraction) εικόνων**
 - $g(x,y) = f(x,y) - h(x,y)$
 - πρέπει $0 \leq g(x,y) \leq 255$
 - $(g+255)/2$ (μπορεί να μην καλύπτει όλο το διάστημα $[0,255]$)
 - $[g + \min(g)] * 255 / \max(g)$

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Βελτίωση Εικόνας με Αριθμητικές και Λογικές Πράξεις

- Μέσος όρος (average) εικόνων**
 - $g(x,y) = f(x,y) + n(x,y)$
 - $\bar{g}(x,y) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K g_i(x,y)$
 - $E\{\bar{g}(x,y)\} = f(x,y)$
 - $\sigma_{\bar{g}(x,y)} = \frac{1}{\sqrt{K}} \sigma_{n(x,y)}$
 - Αν οι εικόνες δεν να είναι στοιχισμένες
 - Θάλωση
 - Τεχνητά σφάλματα
 - Μπορεί να γίνει και πάνω στη κάμερα (CCD)
 - Ψύξη της κάμερα βοηθά

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory