



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ψηφιακή Επεξεργασία και Ανάλυση Εικόνας

Ενότητα 2^η: Δισδιάστατα Σήματα & Συστήματα –
Μέρος 2

Καθ. Κωνσταντίνος Μπερμπερίδης
Πολυτεχνική Σχολή
Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής

Σκοποί ενότητας

- Παρουσίαση πλάτους-φάσης μετασχηματισμού Fourier
- Παρουσίαση θεωρήματος projection-slice & ανακατασκευή από προβολές
- Συχνотικό περιεχόμενο εικόνας
- Δειγματοληψία εικόνας
- Κβαντισμός εικόνας



Περιεχόμενα ενότητας

- Πληροφορία πλάτους-φάσης
- Ανάκτηση πλάτους
- Θεώρημα projection-slice
- Ανακατασκευή από προβολές
- Περιγραφή συχνοτικού περιεχομένου
- Δειγματοληψία
- Κβαντισμός
- Διανυσματικός κβαντισμός



Πληροφορία πλάτους-φάσης (1/3)

- Ο μετασχηματισμός Fourier διακριτού χρόνου είναι μιγαδική ποσότητα και έτσι μπορεί να γραφεί σε πολική μορφή

$$\begin{aligned} X(\omega_1, \omega_2) &= \sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \sum_{n_2=-\infty}^{\infty} x(n_1, n_2) e^{-i\omega_1 n_1} e^{-i\omega_2 n_2} \\ &= |X(\omega_1, \omega_2)| e^{-i\Phi_x(\omega_1, \omega_2)} \end{aligned}$$

- Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να γραφτεί και ο 2D-DFT
- Η πληροφορία φέρεται κυρίως από την φάση $\Phi(\cdot)$



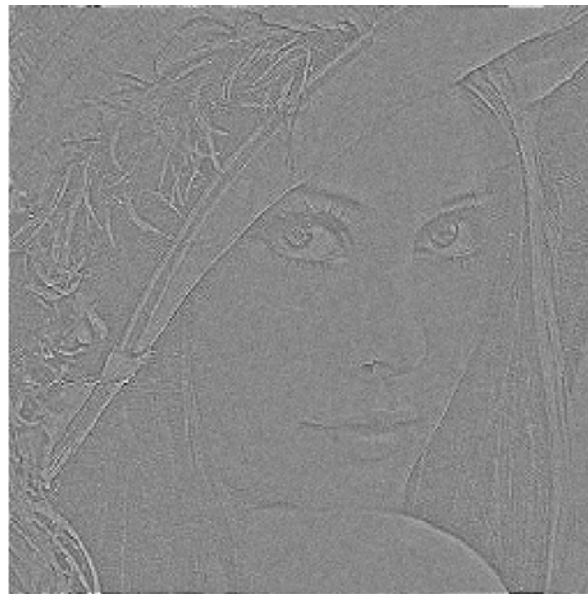
Πληροφορία πλάτους-φάσης (2/3)

- Έστω η εικόνα x με $F(x) = M_x e^{i\Phi_x}$. Δημιουργούμε τις εικόνες x_p, x_m ώστε $x_p = F^{-1}\{c e^{i\Phi_x}\}$, $x_m = F^{-1}\{M_x e^{if}\}$ όπου c, f σταθερές

Εικόνα x



Εικόνα x_p με $c=1$



Εικόνα x_m με $f=0.4\pi$



Πληροφορία πλάτους-φάσης (3/3)

- Έστω οι εικόνες x, y με $F(x) = M_x e^{i\Phi_x}$, με $F(y) = M_y e^{i\Phi_y}$.

Δημιουργούμε τις εικόνες z, w ώστε $z = F^{-1}\{M_y e^{i\Phi_x}\}$, $w = F^{-1}\{M_x e^{i\Phi_y}\}$

Εικόνα x



Εικόνα y



Εικόνα z



Εικόνα w



Το πρόβλημα της ανάκτησης πλάτους(1/4)

- Ο στόχος είναι η ανακατασκευή ενός σήματος $x(n_1, n_2)$ μόνο από την φάση Φ_x του μετασχηματισμού Fourier
- Το σήμα $\hat{x}(n_1, n_2)$ που προκύπτει ισούται με $ax(n_1, n_2)$
- Περιορισμοί:
 - Το $x(n_1, n_2)$ πραγματικό και πεπερασμένο
 - Ο μετασχηματισμός Fourier δεν παραγοντοποιείται σε γινόμενο πολυωνύμων των $e^{-i\omega_1}$ και $e^{-i\omega_2}$
- Συνήθως, στις εικόνες ισχύουν οι παραπάνω περιορισμοί



Το πρόβλημα της ανάκτησης πλάτους(2/4)

- Δύο λύσεις για το πρόβλημα:
 - Μέσω γραμμικού συστήματος
 - Μέσω επαναληπτικής μεθόδου

- Γραμμικό σύστημα

$$\tan \theta_x(\omega_1, \omega_2) = \frac{X_I(\omega_1, \omega_2)}{X_R(\omega_1, \omega_2)} = \frac{\sum_{(n_1, n_2) \in R_X} x(n_1, n_2) \sin(\omega_1 n_1 + \omega_2 n_2)}{\sum_{(n_1, n_2) \in R_X} x(n_1, n_2) \cos(\omega_1 n_1 + \omega_2 n_2)}$$

- Αν N^2 άγνωστοι, τότε δειγματοληπτούμε σε N^2 σημεία (ω_1, ω_2) , π.χ. με τον τρόπο που γίνεται στον 2D-DFT
- Το σύστημα που προκύπτει είναι της μορφής $Ax=0$, οπότε η λύση είναι της μορφής $ax(n_1, n_2)$



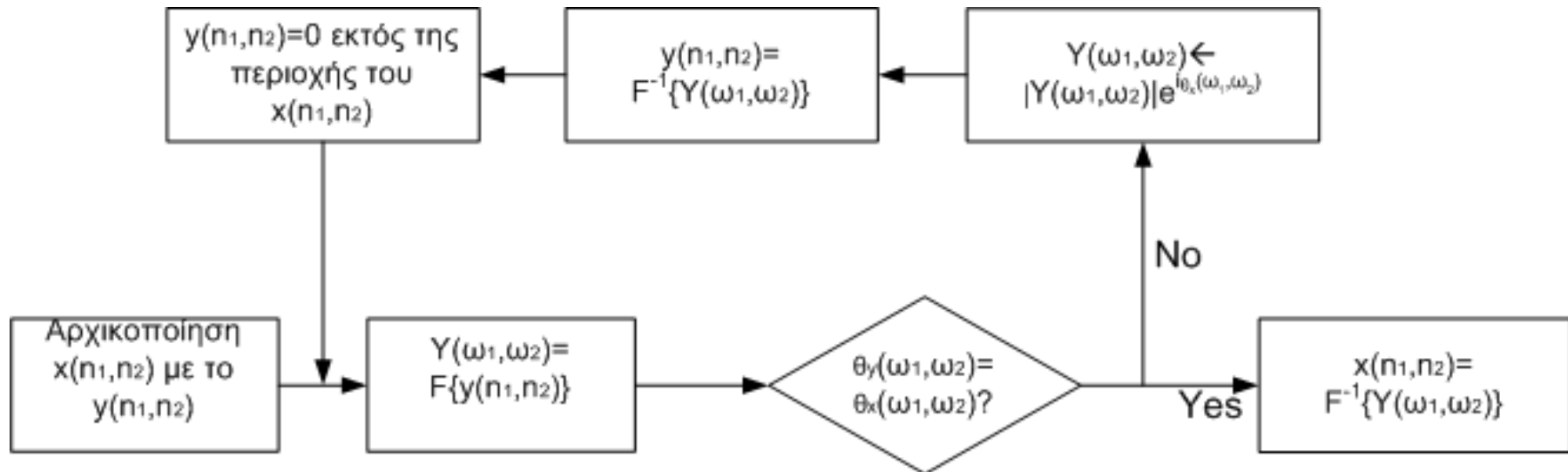
Το πρόβλημα της ανάκτησης πλάτους(3/4)

- Η μέθοδος γραμμικού συστήματος είναι κατάλληλη για μικρές μόνον εικόνες, αφού για παράδειγμα αν έχουμε εικόνα 10Mpixel τότε απαιτούνται 10M εξισώσεις!!!
- Επαναληπτική μέθοδος:
 - Θέτει περιορισμούς
 - Στον χωρικό πεδίο: πραγματικές τιμές και τα εκτός εικόνας εικονοστοιχεία μηδέν
 - Στο συχνοτικό πεδίο: ο μετασχηματισμός Fourier δεν πρέπει να παραγοντοποιείται
 - Κριτήριο σταματήματος: Η φάση του αποτελέσματος πρέπει να είναι ίση (ή \sim =) με αυτή της αρχικής εικόνας



Περιεχόμενα ενότητας

- Επαναληπτική διαδικασία



Projection-Slice Theorem (1/5)

- Χρησιμοποιείται στην υπολογιστική τομογραφία
 - Απεικόνιση του εσωτερικού στερεών σωμάτων (της τομής $f(x,y)$) με μη επεμβατικό τρόπο
- Μπορεί επίσης να βοηθήσει στη διαισθητική ερμηνεία των εικόνων στο πεδίο συχνοτήτων



Projection-Slice Theorem (2/5)

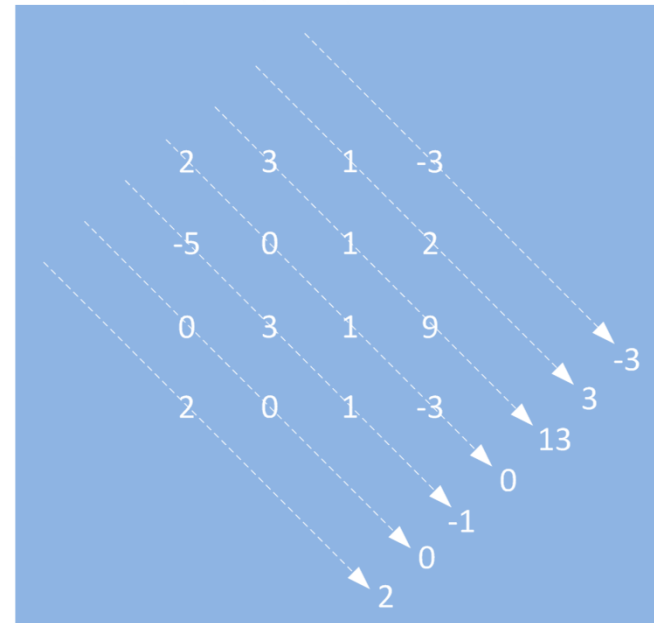
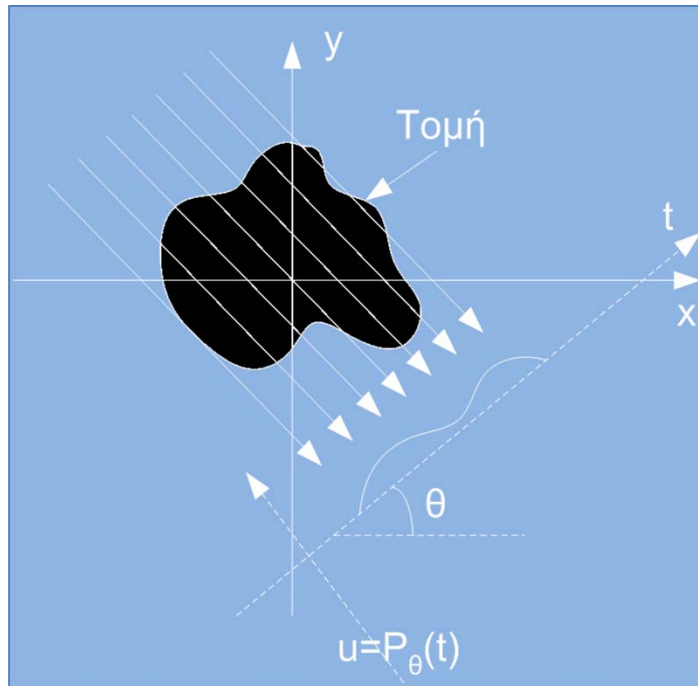
Θυμίζουμε ότι για τη συνεχή φυσική σκηνή $f(x,y)$ το ζεύγος Fourier είναι

$$F(\Omega_1, \Omega_2) = \int_{x=-\infty}^{\infty} \int_{y=-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-i\Omega_1 x} e^{-i\Omega_2 y} dx dy$$
$$f(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{\Omega_1=-\infty}^{\infty} \int_{\Omega_2=-\infty}^{\infty} F(\Omega_1, \Omega_2) e^{-i\Omega_1 x} e^{-i\Omega_2 y} d\Omega_1 d\Omega_2$$

Πρέπει η συνάρτηση $f(x,y)$ να είναι απόλυτα ολοκληρώσιμη



Projection-Slice Theorem (3/5)



- Κατασκευή της 1-D συνάρτησης $p_{\theta}(t)$
- Κάθε τιμή της $p_{\theta}(t)$ δίνεται από το άθροισμα των τιμών της τομής κατά μήκος των γραμμών που φαίνονται στο σχήμα



Projection-Slice Theorem (4/5)

- Μετασχηματισμός Radon (προβολή της $f(x,y)$ υπό γωνία θ)

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ u \end{bmatrix}$$

Αλλαγή συντεταγμένων από
το σύστημα t,u στο x,y

$$p_{\theta}(t) = \int_{u=-\infty}^{\infty} f(x,y) \Big|_{x=t\cos\theta-u\sin\theta, y=t\sin\theta+u\cos\theta} du$$

- Σε μία πραγματική εφαρμογή, η συνάρτηση $f(x,y)$ εξαρτάται από το υλικό της τομής αφού κάθε υλικό παρουσιάζει διαφορετικές ιδιότητες (π.χ., απορρόφηση σε κάποια ακτινοβολία)

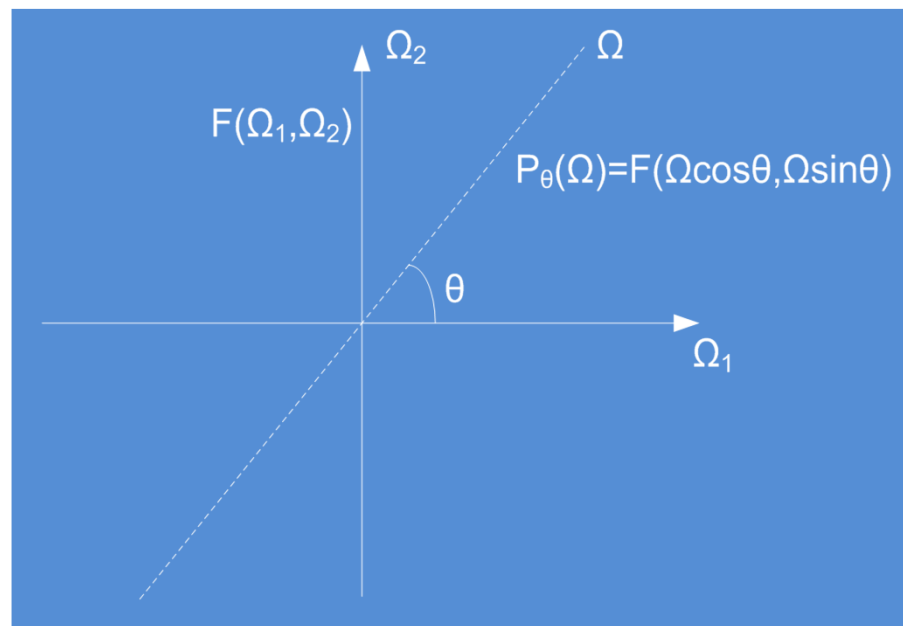


Projection-Slice Theorem (5/5)

- Το Θεώρημα:

$$P_{\theta}(\Omega) = \int_{t=-\infty}^{\infty} p_{\theta}(t) e^{-i\Omega t} dt$$

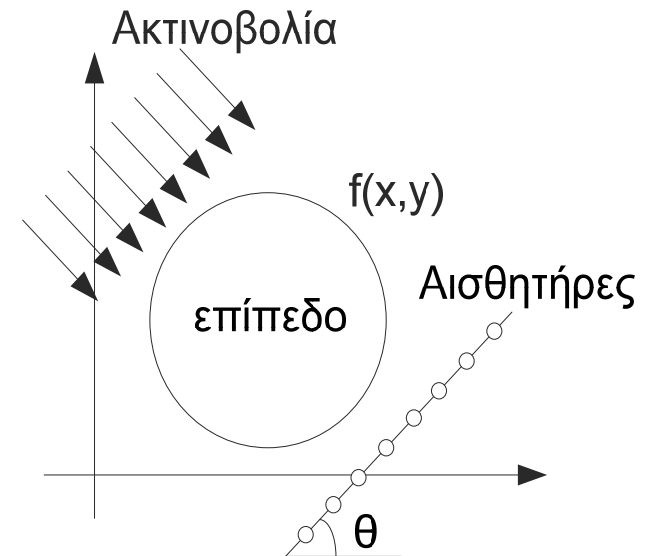
$$P_{\theta}(\Omega) = F(\Omega_1, \Omega_2) |_{\Omega_1 = \Omega \cos \theta, \Omega_2 = \Omega \sin \theta}$$



Ανακατασκευή από προβολές 1/2 (το παράδειγμα της αξονικής τομογραφίας)

- N_s : αριθμός εκπεμπομένων φωτονίων ανά χρονική μονάδα
- N_r : αριθμός λαμβανομένων φωτονίων ανά χρονική μονάδα
- Σύμφωνα με το νόμο Lambert - Beer :

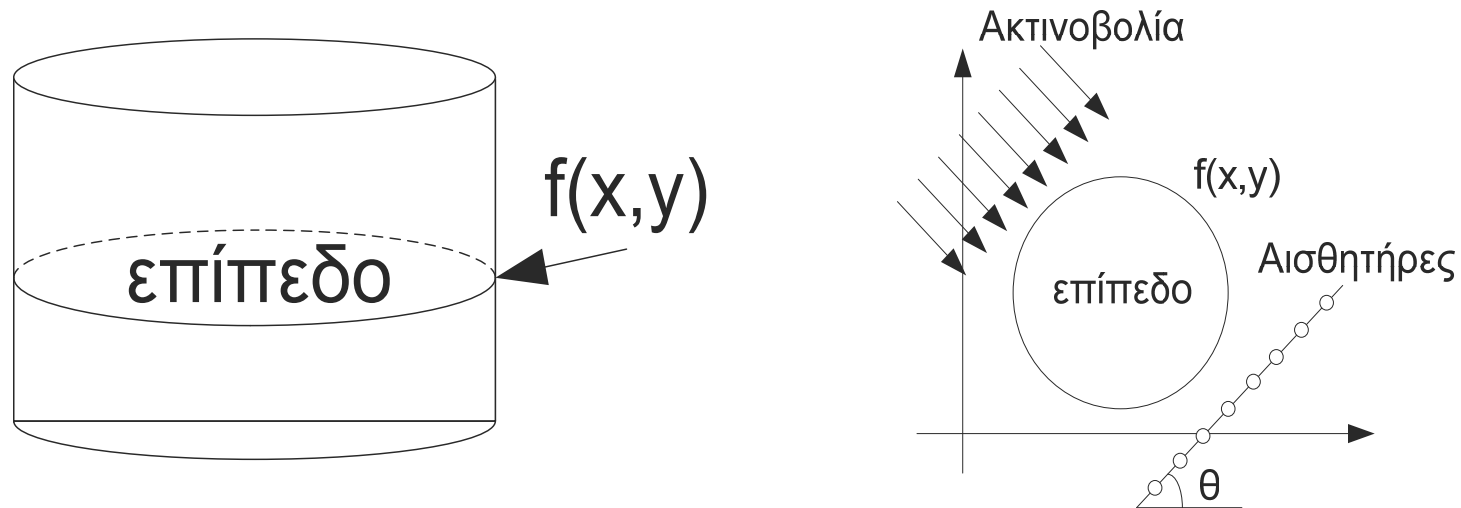
$$N_r = N_s e^{-a(d)}$$



- Όπου η $a(d)$ είναι η σταθερά εκθετικής απόσβεσης κατά μήκος της διαδρομής d και δίνεται ως $a(d) = \int_d f(x, y) ds$
- Αν πάρουμε φυσικό λογάριθμο και στις δύο πλευρές του Νόμου Lambert-Beer βρίσκουμε την απορροφητικότητα δια μέσου της συγκεκριμένης διαδρομής $a(d) = \ln \frac{N_s}{N_r}$



Ανακατασκευή από προβολές 2/2



- Για την πλήρη ανακατασκευή του στερεού σώματος
 - Εκτιμάται η $F(\Omega_1, \Omega_2)$ και κατ' επέκταση η $f(x, y)$ από τον υπολογισμό της $p_\theta(t)$ για διάφορες γωνίες στο διάστημα $[0, \pi]$
 - Εφαρμόζεται η παραπάνω διαδικασία για διάφορα παράλληλα επίπεδα (τομές) και στη συνέχεια γίνεται η κατάλληλη αντιστοίχισή τους



Σχέση Χώρου – Συχνότητας

- $F(\Omega_1, \Omega_2) = FT\{f(t_1, t_2)\}$

$f(t_1, t_2)$: απόλυτα ολοκληρώσιμη

- Εάν $f(t_1, t_2)$: ζωνοπεριορισμένη $\Rightarrow f(n_1, n_2)$

- $F(\omega_1, \omega_2) = DSFT\{f(n_1, n_2)\}$, (DS: discrete space)

- Εάν $f(n_1, n_2)$ περιορισμένης χωρικής επέκτασης
 $\Rightarrow F(k_1, k_2)$ (δειγματοληψία του DSFT)

- $F(k_1, k_2) = DFT\{f(n_1, n_2)\}$



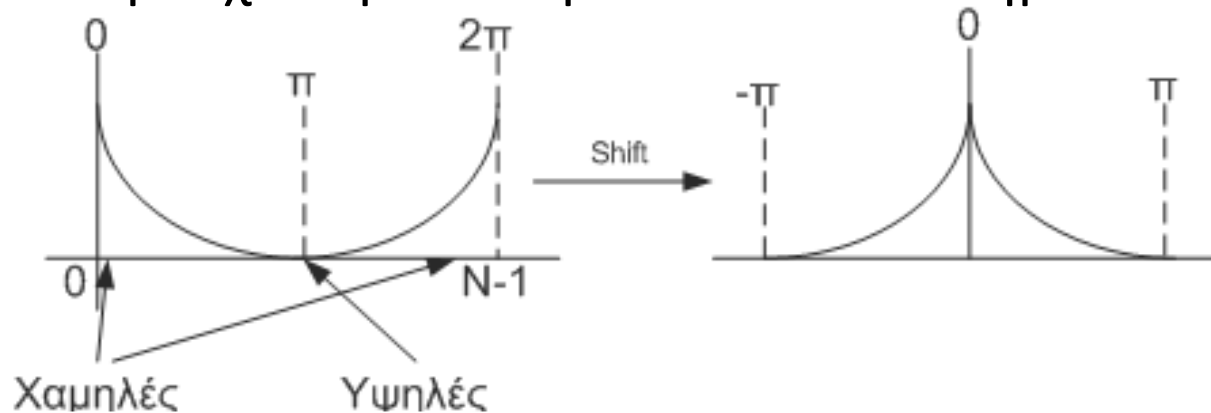
Περιγραφή συχνοτικού περιεχομένου (1/5)

- Το ζεύγος DFT για 2D σήματα είναι (με συμβολισμό πιο συνήθη σε ΨΕΑΕ):

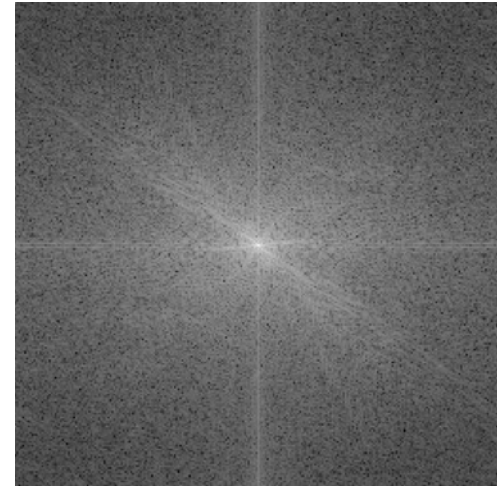
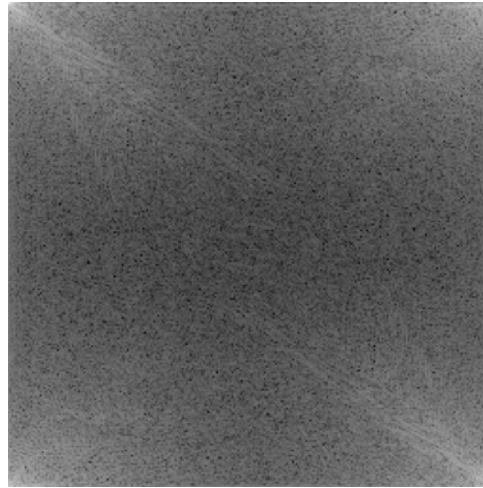
$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp\left(-i \frac{2\pi(ux + vy)}{N}\right)$$

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

- Εμφάνιση συχνοτήτων σε μονοδιάστατα σήματα



Περιγραφή συχνοτικού περιεχομένου (2/5)

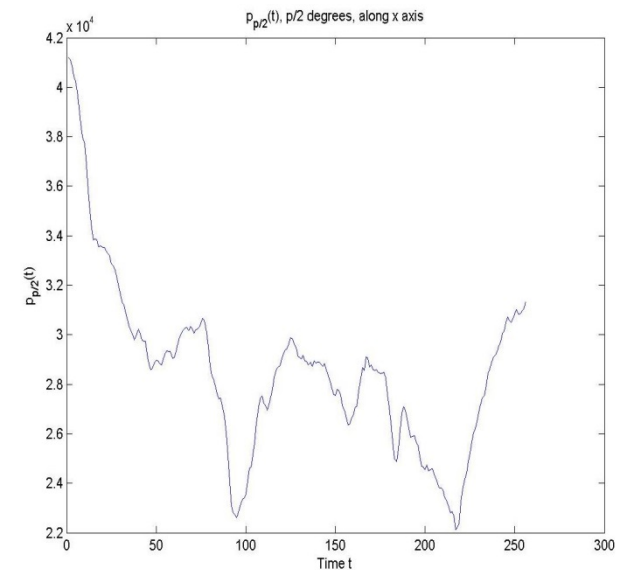
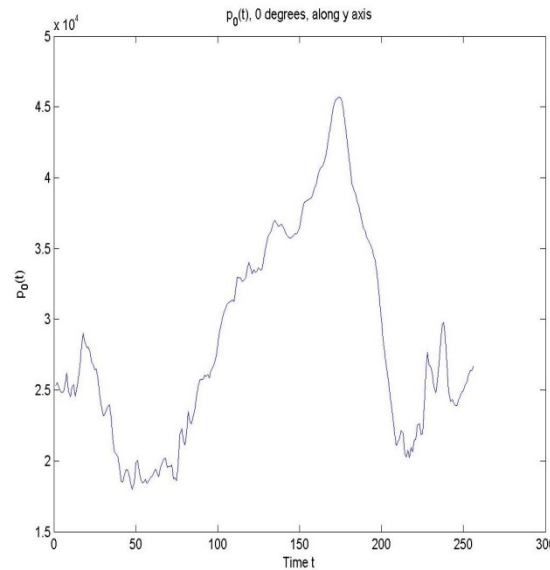
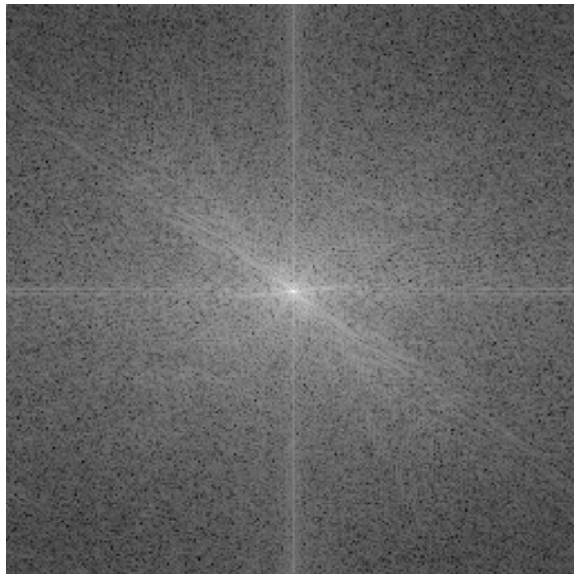


- Όμοια για τα δισδιάστατα σήματα
- Η ολίσθηση είναι της μορφής $F(u, v) \leftarrow F(u - \frac{N}{2}, v - N/2)$
- Χαμηλές συχνότητες
 - Ομαλές περιοχές στην εικόνα
- Υψηλές συχνότητες
 - Περιγράμματα και άκρα εικόνας λόγω παραθύρωσης



Περιγραφή συχνοτικού περιεχομένου (3/5)

- Μετασχηματισμός Fourier (στο σύστημα αξόνων u-v), $p_0(t)$ (κατά μήκος του άξονα v), $p_{\pi/2}(t)$ (κατά μήκος του άξονα u)

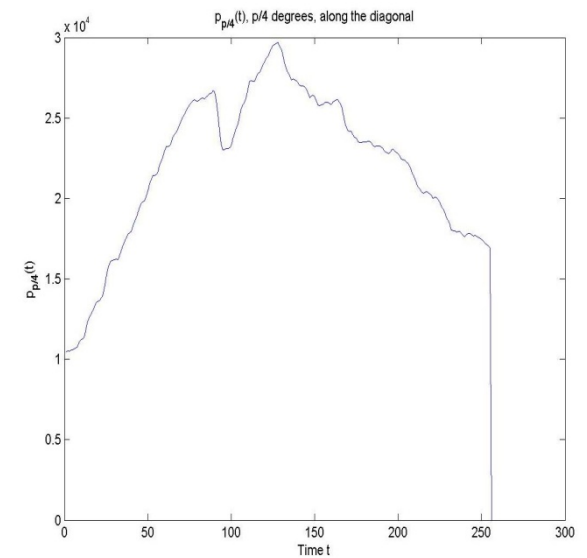
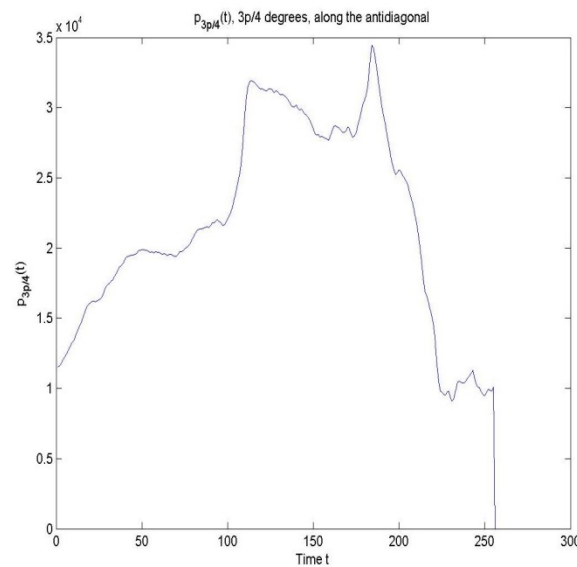
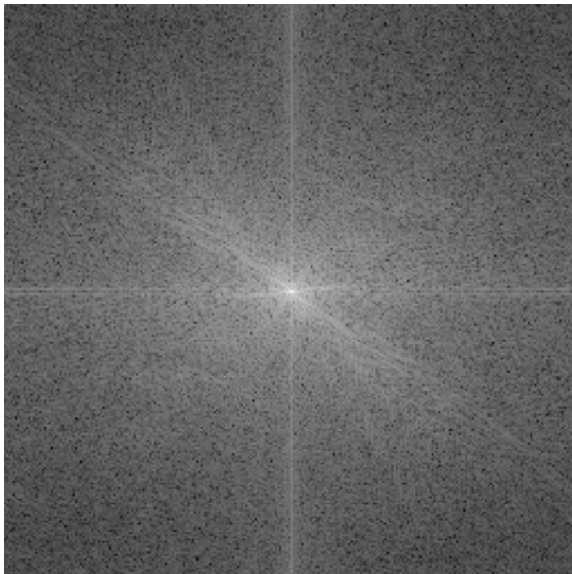


- Η υψηλή ενέργεια που εμφανίζεται στις υψηλές συχνότητες κατά μήκος των αξόνων δικαιολογείται από τις έντονες διακυμάνσεις και τις ασυνέχειες των καμπυλών $p_\theta(t)$ κατά μήκος των αξόνων



Περιγραφή συχνοτικού περιεχομένου (4/5)

- Μετασχηματισμός Fourier, $p_{3\pi/4}(t)$ (κατά μήκος της $v=-u$), $p_{\pi/4}(t)$ (κατά μήκος της $v=u$)

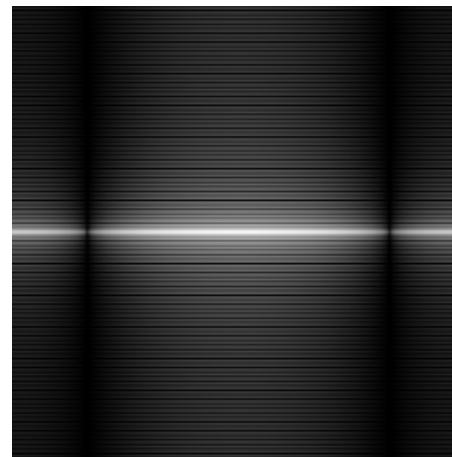
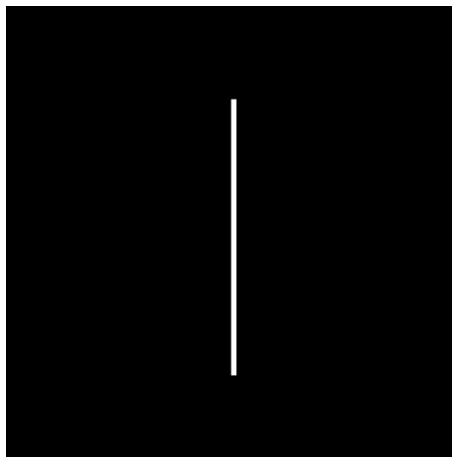
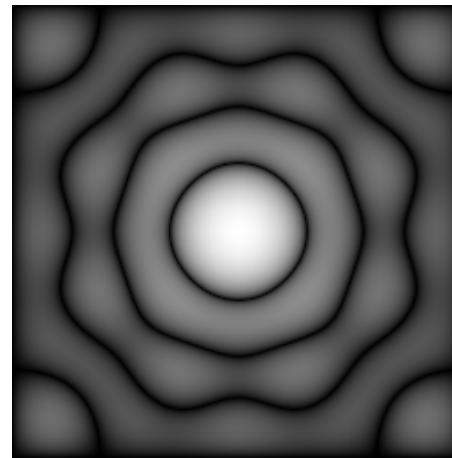
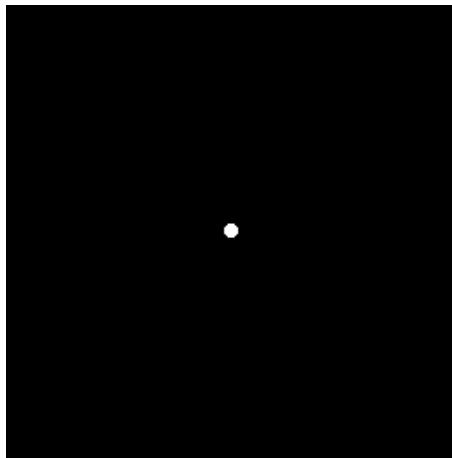


- Ενώ στο άξονα $v=-u$ υπάρχει ενέργεια στις υψηλές συχνότητες (η αντίστοιχη καμπύλη μεταβάλλεται γρήγορα) δεν συμβαίνει το ίδιο με τον άξονα $v=u$ (η αντίστοιχη καμπύλη είναι σαφώς ομαλότερη)



Περιγραφή συχνοτικού περιεχομένου (5/5)

Άλλα παραδείγματα:



Δειγματοληψία (1/5)

- Η εικόνα ψηφιοποιείται για να γίνει η επεξεργασία της από υπολογιστή
- Η δειγματοληψία αναφέρεται στην διακριτοποίηση των αξόνων x, y της εικόνας (δηλ. του πεδίου ορισμού)
- Από το σήμα $x_a(t_1, t_2)$ λαμβάνεται το σήμα $x(n_1, n_2)$
 - Ομοιόμορφη δειγματοληψία (εύκολη υλοποίηση)
 - Ανομοιόμορφη δειγματοληψία (π.χ., περισσότερα δείγματα στα περιγράμματα)
- Δυο ενδιαφέροντα προβλήματα
 - Σχέση φασμάτων συνεχούς και διακριτού σήματος
 - Ανακατασκευή συνεχούς από διακριτό σήμα



Δειγματοληψία (2/5)

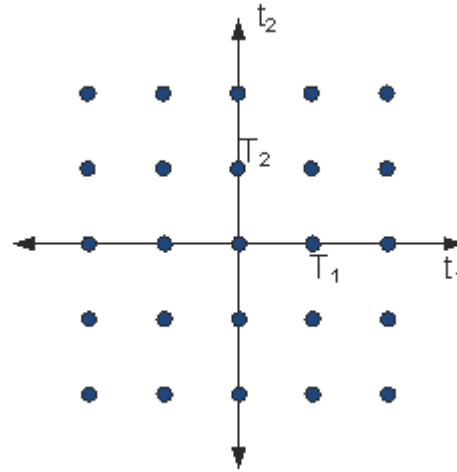
- Πλέγμα δειγματοληψίας

- $t = Vn, t = [t_1, t_2]^T, n = [n_1, n_2]^T, V = [v_{ij}]_{2 \times 2}$

- $x(n) = x_a(Vn)$

- Ορθογώνιο πλέγμα

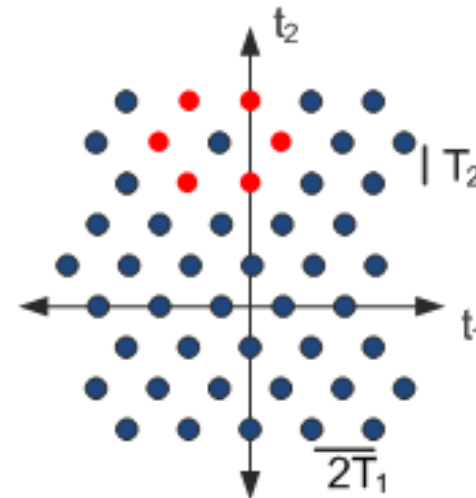
$$V = \begin{bmatrix} T_1 & 0 \\ 0 & T_2 \end{bmatrix}$$



- Εξαγωνικό πλέγμα

(βέλτιστο για κυκλικά φάσματα)

$$V = \begin{bmatrix} T_1 & T_1 \\ T_2 & -T_2 \end{bmatrix}, T_2 = T_1\sqrt{3}$$



Δειγματοληψία (3/5)

- Σχέση φασμάτων (FT – DSFT)

$$x(n) = x_a(Vn)$$

$$X(V^T \Omega) = \frac{1}{|\det V|} \sum_k X_a(\Omega - Uk), k = \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \end{bmatrix}, \Omega = \begin{bmatrix} \Omega_1 \\ \Omega_2 \end{bmatrix}, U^T V = 2\pi I$$

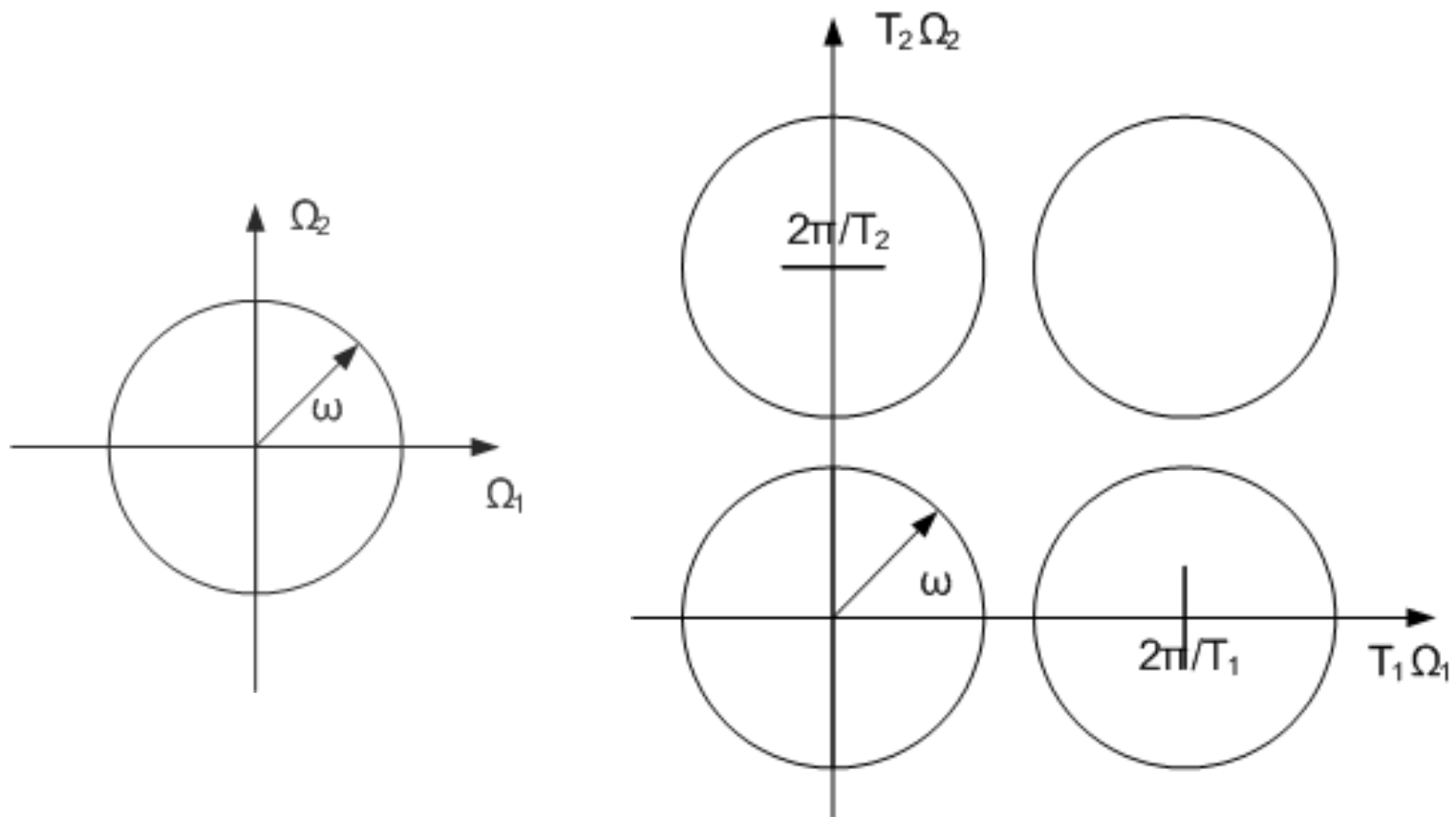
- Σχέση φασμάτων με χρήση ορθογώνιου πλέγματος
 - $x(n_1, n_2) = x_a(n_1 T_1, n_2 T_2), T = T_1 \times T_2$ (χωρική περίοδος)

$$X(\Omega_1 T_1, \Omega_2 T_2) = \frac{1}{T_1 T_2} \sum_{k_1} \sum_{k_2} X_a \left(\Omega_1 - \frac{2\pi k_1}{T_1}, \Omega_2 - \frac{2\pi k_2}{T_2} \right)$$



Δειγματοληψία (4/5)

Παράδειγμα συνεχούς και διακριτού φάσματος



Δειγματοληψία (5/5)

- Ανακατασκευή αναλογικού σήματος
 - Εφαρμογή ορίου Nyquist σε κάθε συνιστώσα κατά την δειγματοληψία για να αποφευχθεί η αναδίπλωση συχνότητας

$$x_a(t_1, t_2) =$$

$$\sum_{n_1} \sum_{n_2} x(n_1, n_2) \operatorname{sinc} \left(\frac{\pi}{T_1} (t_1 - n_1 T_1) \right) \operatorname{sinc} \left(\frac{\pi}{T_2} (t_2 - n_2 T_2) \right)$$



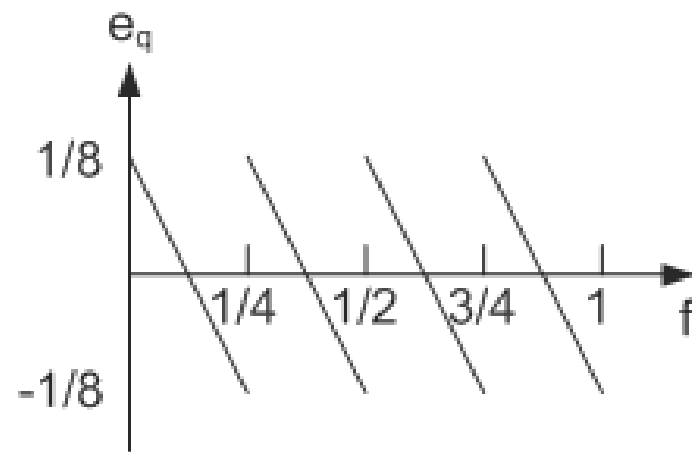
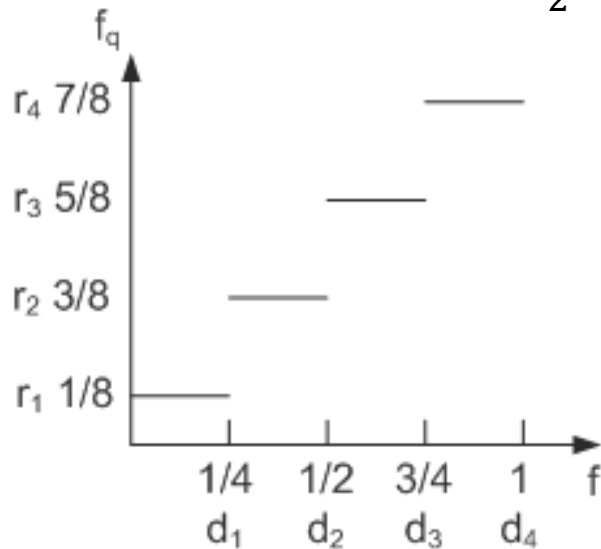
Κβαντισμός (1/3)

- Ο κβαντισμός αναφέρεται στη διακριτοποίηση της τιμής f του κάθε εικονοστοιχείου (δηλαδή του πεδίου τιμών)
- Διαδικασία κβαντισμού
 - Το πεδίο τιμών της f χωρίζεται σε L υποδιαστήματα
 - Οι ακραίες τιμές κάθε υποδιαστήματος είναι τα όρια απόφασης d_{i-1} d_i και μια τιμή μεταξύ αυτών ονομάζεται επίπεδο κβάντισης r_i
 - Αν $d_{i-1} \leq f \leq d_i$ τότε το $f_q = Q(f) = r_i$



Κβαντισμός (2/3)

- Θόρυβος κβαντισμού: $f = f_q + e_q$
 - Το e_q εξαρτάται από το σήμα και το L
- Ομοιόμορφος κβαντισμός
 - $d_i - d_{i-1} = \Delta, r_i = \frac{(d_i + d_{i-1})}{2}, 1 \leq i \leq L, \Delta = (d_L - d_0)/2^{(\#ψηφίων)}$



Παράδειγμα κβαντισμού (3/3)

- Επανα-κβαντισμός εύρους τιμών [0:255] στα πέντε επίπεδα [0:51:255] και αντιστοίχιση στην κεντρική τιμή
- Στη νέα εικόνα εμφανίζονται μόνο πέντε επίπεδα του γκρι



Διανυσματικός κβαντισμός (1/4)

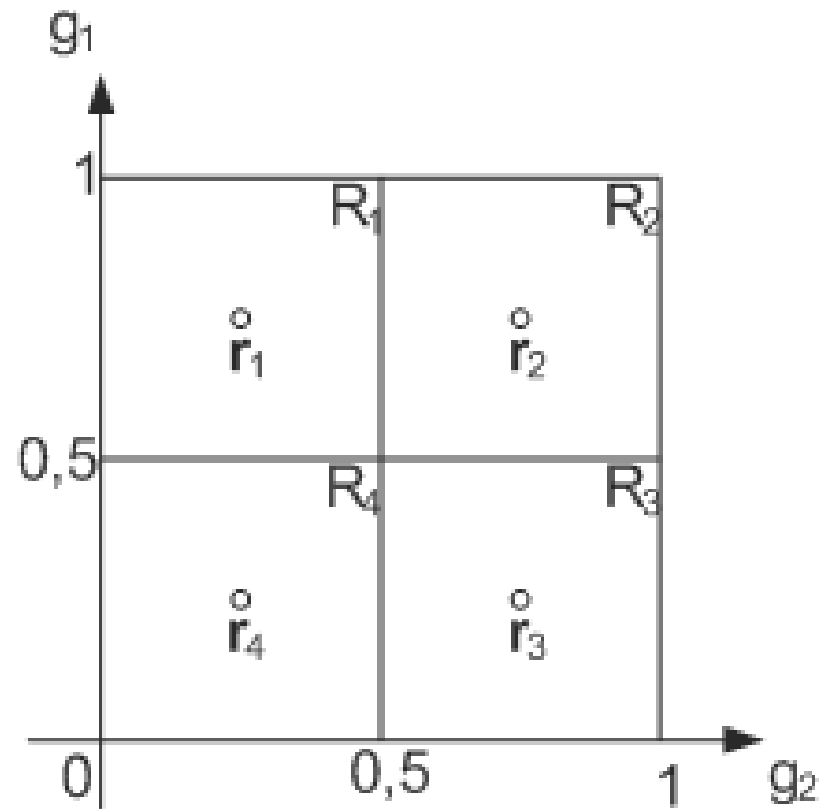
- Οι ποσότητες που κβαντίζονται είναι N -διάστατα διανύσματα που παράγονται είτε από μια διανυσματική πηγή είτε μετά από ομαδοποίηση βαθμωτών ποσοτήτων
- Δημιουργείται ένας N -διάστατος χώρος
- Διαδικασία κβαντισμού (δοθέντος του διαν. κβαντιστή)
 - Ο χώρος είναι διαχωρισμένος σε L υποπεριοχές R_i
 - Τα όρια αυτών των υποπεριοχών είναι τα όρια απόφασης και επιλέγεται κάποιο διάνυσμα εντός των ορίων που ονομάζεται επίπεδο κβάντισης \mathbf{r}_i (ή κεντροειδές της υποπεριοχής)
 - Αν το διάνυσμα \mathbf{g} ανήκει στην περιοχή R_i τότε:

$$\mathbf{g}_q = Q(\mathbf{g}) = \mathbf{r}_i \text{ και } \mathbf{g} = \mathbf{g}_q + \mathbf{e}_q$$



Διανυσματικός κβαντισμός (2/4)

- Έστω $\mathbf{g} = [\mathbf{g}_1 \mathbf{g}_2]^T$, $0 \leq \mathbf{g}_1, \mathbf{g}_2 \leq 1$ και $L = 4$.
- Οι περιοχές μπορούν να έχουν οποιοδήποτε σχήμα και τα διανύσματα \mathbf{r}_i μπορεί να μην είναι στο κέντρο κάθε περιοχής



Διανυσματικός κβαντισμός (3/4)

- Επιλογή R_i, \mathbf{r}_i
 - Βέλτιστη επιλογή με βάση κάποιο κριτήριο (π.χ. Ευκλείδιο απόσταση)
 - $D = E \{d(\mathbf{g}, \mathbf{g}_q)\}, d(\mathbf{g}, \mathbf{g}_q) = (\mathbf{g}_q - \mathbf{g})^T (\mathbf{g}_q - \mathbf{g})$
 - Για τον βέλτιστο διανυσματικό κβαντιστή πρέπει να ισχύουν οι εξής ιδιότητες
 - $\mathbf{g}_q = Q(\mathbf{g}) = \mathbf{r}_i$, αν και μόνο αν $d(\mathbf{g}, \mathbf{r}_i) \leq d(\mathbf{g}, \mathbf{r}_j), j \neq i, 1 \leq j \leq L$
 - Το \mathbf{r}_i πρέπει να είναι κεντροειδές, δηλαδή



Διανυσματικός κβαντισμός (4/4)

- Ο καθορισμός των r_i μπορεί να γίνει με τον αλγόριθμο K-means
 1. Επιλέγονται τυχαία M ($M \gg L$) διανύσματα \mathbf{g}_i (διανύσματα εκπαίδευσης)
 2. Από αυτά επιλέγονται L και θεωρούνται τα κεντροειδή διανύσματα.
 3. Χρησιμοποιώντας το MSE D (MSE Distance) κατηγοριοποιούνται τα διανύσματα στις L υποπεριοχές (ιδιότητα 1 του βέλτιστου κβαντιστή)
 4. Για κάθε υποπεριοχή υπολογίζονται τα νέα κεντροειδή
 - Όταν χρησιμοποιείται το MSE Distance τότε τα κεντροειδή υπολογίζονται από τον μέσο όρο των διανυσμάτων κάθε περιοχής
 5. Επιστροφή στο Βήμα 3 χρησιμοποιώντας να νέα κεντροειδή – αυτή η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου τα κεντροειδή παραμείνουν τα ίδια (ή σχεδόν ίδια)



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

