

# Συμπίεση Δεδομένων

2014-2015

# Στοιχεία Επεξεργασίας Σήματος

# Εργοδικές Διαδικασίες

Δ6

- ▶ Η μέση τιμή διαφόρων στιγμιότυπων της διαδικασίας (στατιστική μέση τιμή) ταυτίζεται με τη χρονική μέση τιμή της διαδικασίας και είναι ανεξάρτητη του στιγμιότυπου και του χρόνου .
- ▶ Κατά την εύρεση μέσων τιμών μπορούμε να αξιοποιούμε τα δεδομένα από τη χρονική μέση τιμή

# ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗ

- ▶ Θεωρείστε την εργοδική ακολουθία τυχαίων αριθμών  $\{x(n)\}$ ,  $n=1,2,\dots$  με μέση τιμή μηδέν και διακύμανση  $E\{x^2(n)\}=\sigma_x^2$ .
- ▶ Ορίζεται η ακολουθία αυτοσυσχέτισης για  $k=0,\pm 1, \pm 2,\dots$  ως:

$$R_x(k)=E\{x(n)x(n-k)\}$$

- ▶ Ισχύει ότι  $R_x(0)=\sigma_x^2$  και  $R_x(k)=R_x(-k)$

# ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗ

- ▶ Λόγω της εργοδικότητας μπορεί να υπολογιστεί η αυτοσυσχέτιση και μέσω της σχέσης:

$$R_x(k) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2} x(n)x(n-k), k = 0, \pm 1, \dots$$

- ▶ Αντί για τη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης συνήθως χρησιμοποιείται ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης που δίνεται από τη σχέση

$$\rho_x(k) = R_x(k) / \sigma_x^2$$

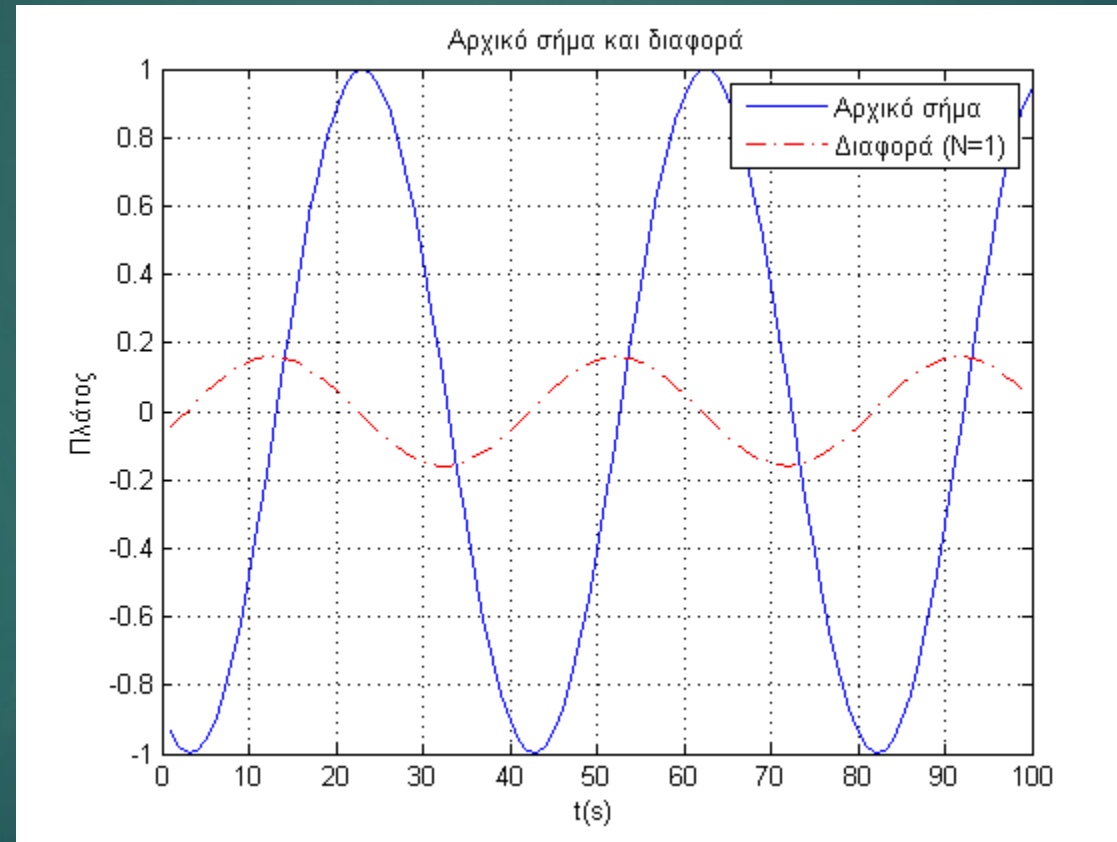
# Διαφορική Παλμοκωδική διαμόρφωση (DPCM)

Δ6

- ▶ Βελτιώνει την απόδοση του PCM εκμεταλλευόμενο το συσχετισμό γειτονικών δειγμάτων σε «πραγματικά» σήματα
- ▶ Κβαντίζονται διαφορές μεταξύ δειγμάτων του σήματος αντί για τα δείγματα του σήματος
- ▶ Πριν τον υπολογισμό της διαφοράς τα δείγματα κβαντίζονται για την αποφυγή σφαλμάτων διάδοσης και άρα θορύβου

# Διαφορική Παλμοκωδική διαμόρφωση (DPCM)

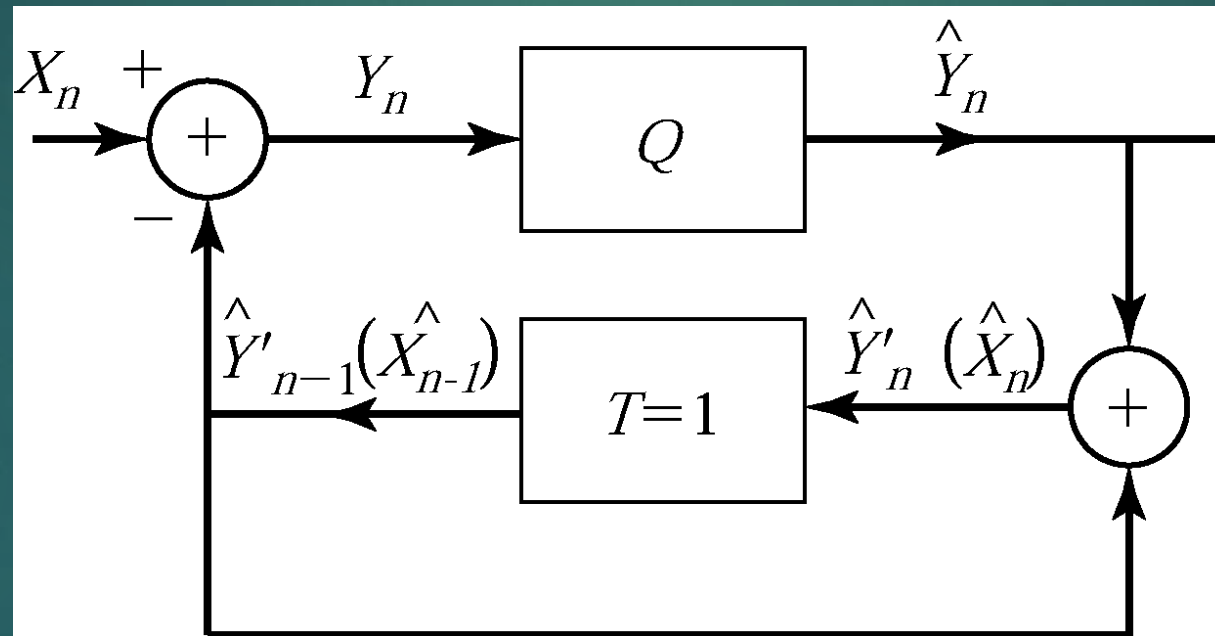
Δ6



# Διαφορική Παλμοκωδική διαμόρφωση (DPCM)

Δ6

► Πομπός

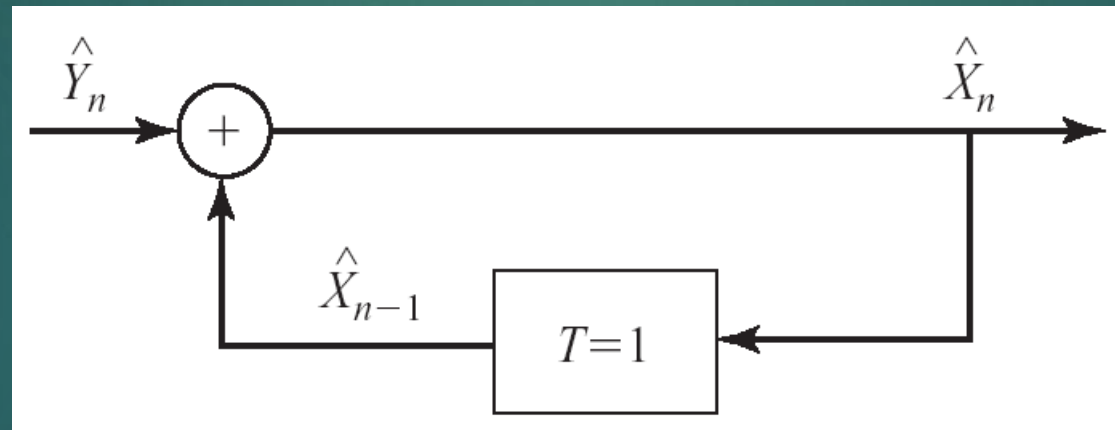




# Διαφορική Παλμοκωδική διαμόρφωση (DPCM)

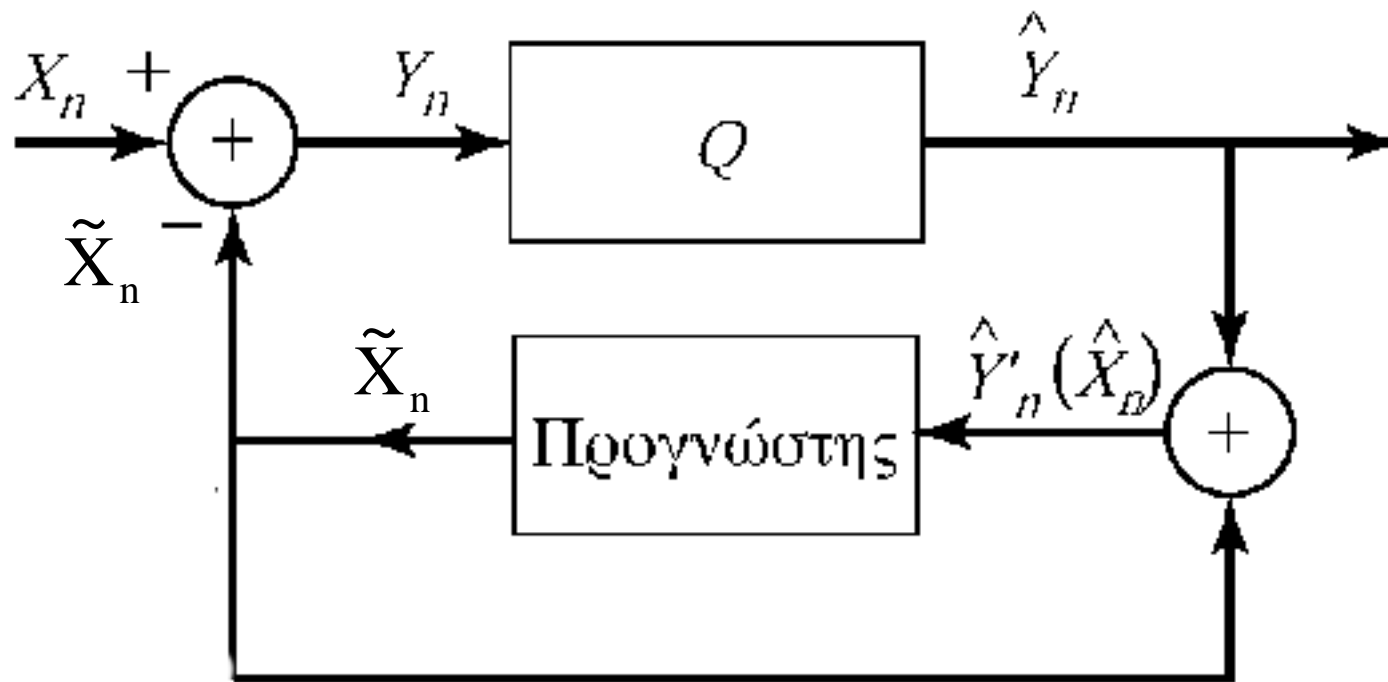
Δ6

► Δέκτης



# Διαφορική Παλμοκωδική διαμόρφωση (DPCM) – Γενικευμένη μορφή

Δ6

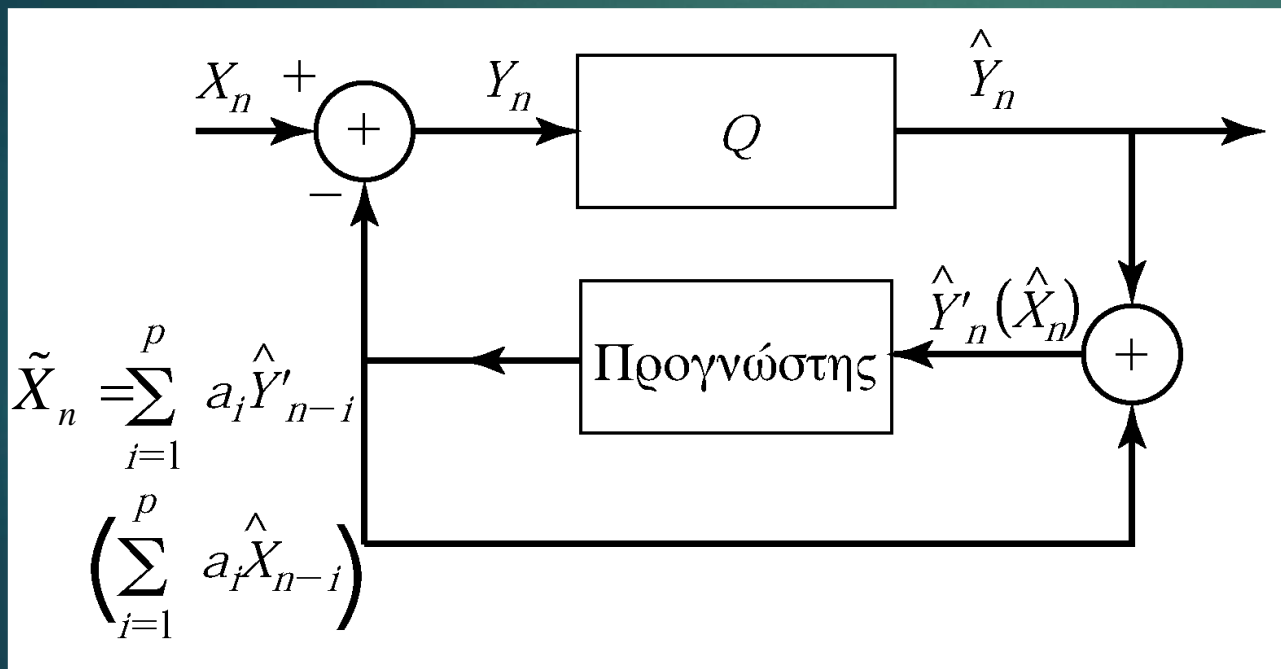


$$Y_n - \hat{Y}_n = X_n - \hat{X}_n$$

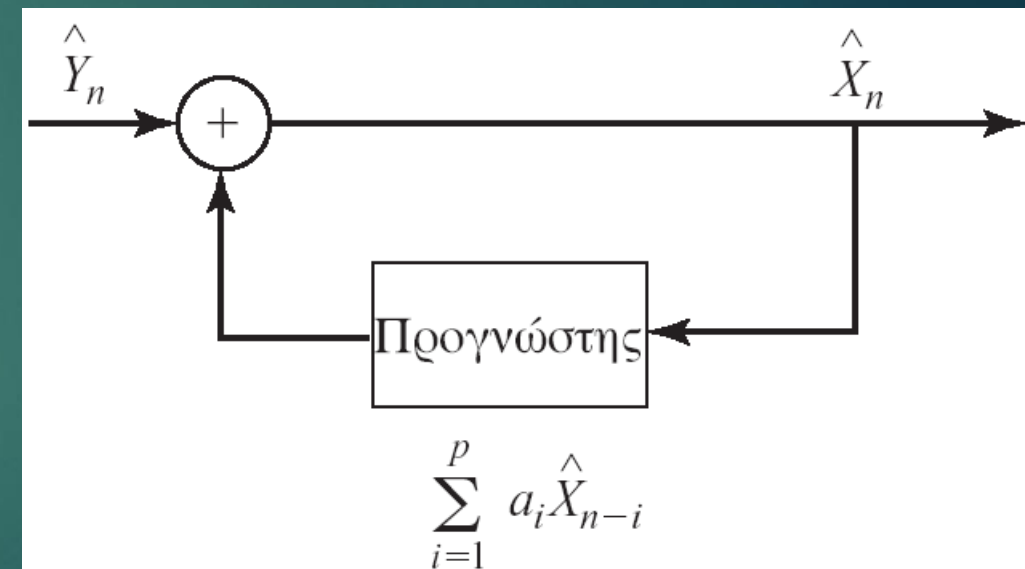
$\tilde{X}_n$  : Η πρόγνωση του  $X_n$

# Διαφορική Παλμοκωδική διαμόρφωση (DPCM) – Γενικευμένη μορφή

Δ6



Πομπός



Δέκτης

# Παράδειγμα 6.1

- ▶ Η ακολουθία δειγμάτων  $\{x_n\}$  ενός πραγματικού σήματος παρουσιάζει μέση τιμή μηδέν, διακύμανση  $\sigma_x^2$ , και η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης  $R_x(1)=0.95\sigma_x^2$ ,  $R_x(2)=(0.95)^2\sigma_x^2$ .
- ▶ Για τη δημιουργία ενός Συστήματος Διαβίβασης Αναλογικού Σήματος DPCM ορίζεται η ακολουθία  $\{y_n\}$   $y_n=x_n-a_1x_{n-1}-a_2x_{n-2}$  και αντί να κβαντίσουμε απευθείας την  $\{x_n\}$  κβαντίζουμε την  $\{y_n\}$ .
- ▶ Να προσδιοριστούν οι σταθεροί συντελεστές  $a_1$  και  $a_2$  έτσι ώστε  $\sigma_y^2$  να είναι ελάχιστο και στη συνέχεια για τις τιμές αυτές να υπολογιστεί η βελτίωση του QSNR αν χρησιμοποιήσετε τον ίδιο αριθμό  $N$  σταθμών κβάντισης.

# Παράδειγμα 6.1

$$\begin{aligned} y_n = X_n - \alpha_1 X_{n-1} - \alpha_2 X_{n-2} &\rightarrow E[y_n^2] = E[(X_n - \alpha_1 X_{n-1} - \alpha_2 X_{n-2})^2] = \\ &= \sigma_x^2 + \alpha_1^2 \sigma_x^2 + \alpha_2^2 \sigma_x^2 - 2\alpha_1 R(1) - 2\alpha_2 R(2) + 2\alpha_1 \alpha_2 R(1) = \\ &= \sigma_x^2 + \alpha_1^2 \sigma_x^2 + \alpha_2^2 \sigma_x^2 - 2 \cdot 0.95 \alpha_1 \sigma_x^2 - 2 \cdot (0.95)^2 \alpha_2 \sigma_x^2 + 2 \cdot 0.95 \alpha_1 \alpha_2 \sigma_x^2 = \\ &= \sigma_x^2 [1 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 - 1.9\alpha_1 - 1.805\alpha_2 + 1.9\alpha_1 \alpha_2] \end{aligned}$$

Για την ελαχιστοποίηση παραγωγίζουμε και εξισώνουμε με το μηδέν:

$$2\alpha_1 + 1.9\alpha_2 = 1.9$$

$$1.9\alpha_1 + 2\alpha_2 = 1.805$$

$$\alpha_1 = 0.95 \text{ και } \alpha_2 = 0 \rightarrow \sigma_y^2 = 0.0975 \sigma_x^2 \rightarrow (SQNR)_{DPCM} / (SQNR)_{PCM} = 1 / 0.0975 = 10.3$$

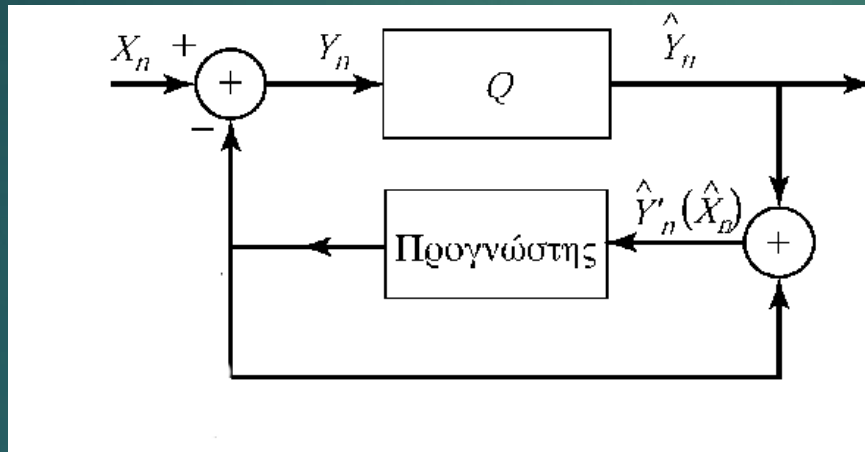
# Παράδειγμα 6.2

Δ6

- ▶ Για ένα σήμα  $x(n)$   $n=1,2,\dots$ , το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ότι περιγράφεται από τον τύπο  $x(n)=\rho x(n-1)+e(n)$  με  $e(n)$  Gaussian με ασυσχέτιστα δείγματα, μέσης τιμής  $\mu_e=0$  και  $\sigma_e^2=\beta^2$ , Ποια η σχέση που δίνει στο DPCM το  $\sigma_y^2$

# Παράδειγμα 6.2

Δ6



Κβαντιστής

$$\begin{aligned} \mathbb{E}[(y_n - \hat{y}_n)^2] &= \mathbb{E}[(x_n - \hat{x}_n)^2] \\ &= D = \sigma_q^2 = \sigma_y^2 f(R) \end{aligned}$$

# Παράδειγμα 6.2

- ▶ Θεωρώντας πρόγνωση :

$$\tilde{x}(n) = \rho \hat{x}(n-1)$$

- ▶ Το σφάλμα πρόγνωσης θα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$y(n) = x(n) - \tilde{x}(n) = x(n) - \rho \hat{x}(n-1)$$



# Παράδειγμα 6.2

- ▶ Για τη διακύμανση του θορύβου μπορούμε να γράψουμε

$$x(n) = \rho x(n-1) + e(n) \Rightarrow x(n)x(n) = \rho x(n)x(n-1) + x(n)e(n)$$

$$(x(n))^2 = \rho x(n)x(n-1) + \rho x(n-1)e(n) + (e(n))^2$$

$$\sigma_x^2 = \rho^2 \sigma_x^2 + 0 + \beta^2$$

- ▶ Άρα προκύπτει ότι

$$\beta^2 = (1 - \rho^2) \sigma_x^2$$

# Παράδειγμα 6.2

- ▶ Για την παραμόρφωση χρησιμοποιώντας το ίδιο μοντέλο πρόγνωσης θα έχουμε όπως και προηγούμενα ότι :

$$y(n) = x(n) - \tilde{x}(n) = x(n) - \rho \hat{x}(n-1) = \rho x(n-1) + e(n) - \rho \hat{x}(n-1)$$
$$y(n) = \rho (x(n-1) - \hat{x}(n-1)) + e(n)$$

- ▶ Όμως

$$D_x = E \left[ (x(n) - \hat{x}(n))^2 \right] = E \left[ (y(n) - \hat{y}(n))^2 \right] = D_y = D$$

# Παράδειγμα 6.2

- ▶ Με χρήση των παραπάνω προκύπτει ότι :

$$\sigma_y^2 = \rho^2 D + \beta^2 = \rho^2 \sigma_y^2 f(R) + (1 - \rho^2) \sigma_x^2$$

- ▶ Άρα

$$\sigma_y^2 = \sigma_x^2 \frac{(1 - \rho^2)}{1 - \rho^2 f(R)}$$

# Σύγκριση PCM-DPCM

- ▶ Για ίδιο ρυθμό

$$(SNR)_{\text{PCM}} = \left( \frac{\sigma_x^2}{D_x} \right) = \left( \frac{\sigma_x^2}{\sigma_x^2 f(R)} \right) = \left( \frac{1}{f(R)} \right)$$

$$(SNR)_{\text{DPCM}} = \left( \frac{\sigma_x^2}{D_x} \right) = \left( \frac{\sigma_x^2}{D_y} \right) = \left( \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2 f(R)} \right) = \left( \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} \right) \times \frac{1}{f(R)}$$

$$(SNR)_{\text{DPCM}} / (SNR)_{\text{PCM}} = \left( \sigma_x^2 / \sigma_y^2 \right) \Rightarrow (SNR)_{\text{DPCM,dB}} - (SNR)_{\text{PCM,dB}} = 10 \log_{10} \left( \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} \right) \text{ dB}$$

# Σύγκριση PCM-DPCM

- ▶ Για ίδιο SQNR

$$(SNR)_{DPCM} = (SNR)_{PCM} \Rightarrow \left( \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} \right) \times \frac{1}{f(R_{DPCM})} = \frac{1}{f(R_{PCM})}$$

- ▶ Θεωρώντας ότι:

$$f(R) = a \times 2^{-bR} \Rightarrow R = -\left[ \log_2(f(R)) - \log_2(a) \right] / b$$

- ▶ Προκύπτει

$$\left( \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} \right) \times \frac{1}{a 2^{-bR_{DPCM}}} = \frac{1}{a 2^{-bR_{PCM}}} \Rightarrow 2^{b(R_{PCM} - R_{DPCM})} = \left( \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} \right)$$

- ▶  $b=2$

$$R_{PCM} - R_{DPCM} = \frac{1}{2} \log_2 \left( \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} \right) \text{ bits/sample}$$

# Σύγκριση PCM-DPCM

Δ6

- ▶ Για ίδιο SQNR

$$R_{\text{PCM}} - R_{\text{DPCM}} = \frac{1}{2} \log_2 \left( \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} \right) \text{ bits/sample}$$

- ▶ Για ίδιο ρυθμό

$$(SNR)_{\text{DPCM.dB}} - (SNR)_{\text{PCM.dB}} = 10 \log_{10} \left( \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} \right) \text{ dB}$$

# Διαφορές Ηχητικών σημάτων

Δ6

- ▶ Κύριοι Τύποι
  - ▶ Κωδικοποίηση ομιλίας
  - ▶ Κωδικοποίηση Ήχου (Ομιλία + μουσική)
- ▶ Χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης
  - ▶ Ήχος - 0.02 – 20 kHz (Σύνολο ακουστικού φάσματος)
  - ▶ Ομιλία - Τηλεφωνία 0.2 – 3.4 kHz (Στενή ζώνη)
  - ▶ Ομιλία - Τηλεφωνία 0.05 – 7 kHz (Φωνή - Ευρεία ζώνη)
  - ▶ Εφαρμογές Διαδικτύου 0.05 – 14 kHz (Επαυξημένη ευρεία ζώνη)

# Μοντελοποίηση

Δ6

- ▶ Απαιτούνται μοντέλα:
  - ▶ Φωνητικής οδού (χορδές, γλώσσα, χείλη) – Πηγή
  - ▶ Ακουστικής οδού (έσω – μέσο - έξω αυτί) - Δέκτης



# Μοντέλο ομιλίας

- ▶ Για ένα τμήμα ομιλίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο ARMA (Auto regressive moving average)

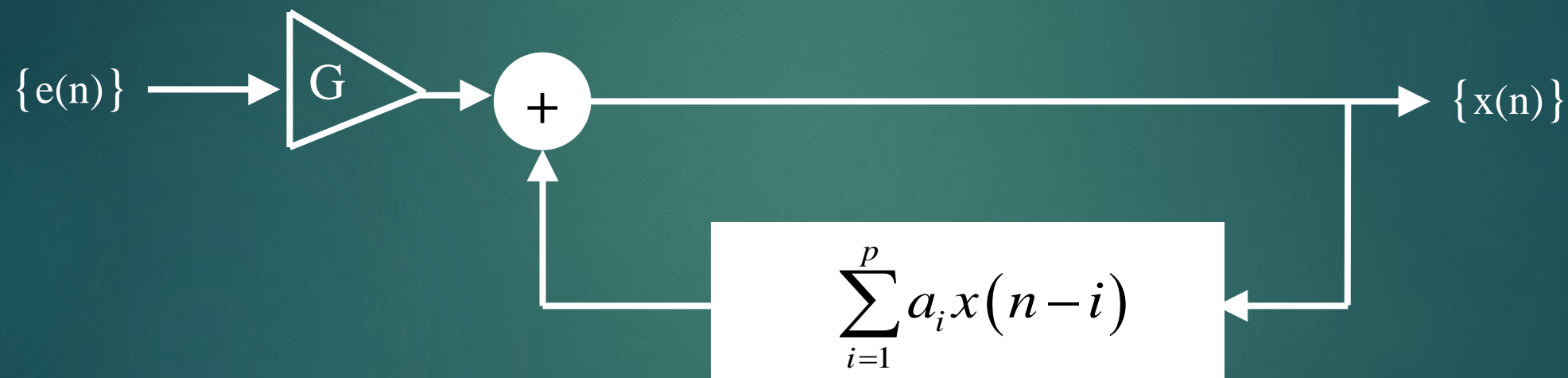
$$x(n) = \sum_{i=1}^p a_i x(n-i) + Ge(n).$$

- ▶  $a_i$  : σταθεροί συντελεστές
- ▶  $G$ : συντελεστής ενίσχυσης
- ▶  $e(n)$ : μοντέλο θορύβου (π.χ. Gaussian)

Για το θόρυβο ισχύει  $R_e(m)=0$  όταν  $m$  διάφορο το μηδενός και  $R_e(0)=\sigma_e^2=1$

# Μοντέλο ομιλίας

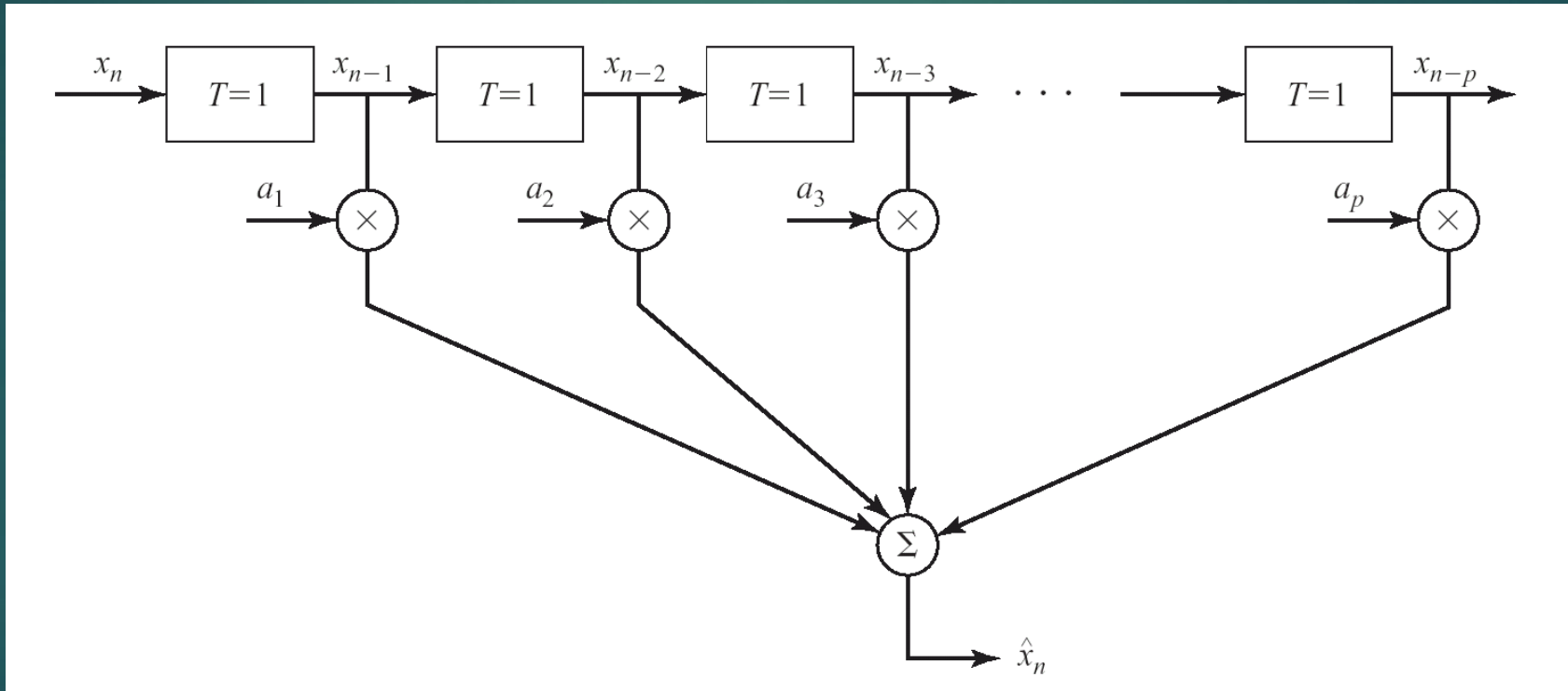
Δ6



# Μοντέλο ομιλίας

Δ6

$$\sum_{i=1}^p a_i x(n-i)$$



# Αναλογικές-Ψηφιακές εικόνες

- ▶ Μια συνεχής συνάρτηση :

$$f(x, y) \quad , \quad x \in [x_{\min}, x_{\max}] , \quad y \in [y_{\min}, y_{\max}] , \quad f \in [f_{\min}, f_{\max}]$$

- Δειγματοληψία :

$$x, y \rightarrow x_i, y_j \quad , \quad i = 1, \dots, N \quad , \quad j = 1, \dots, M$$

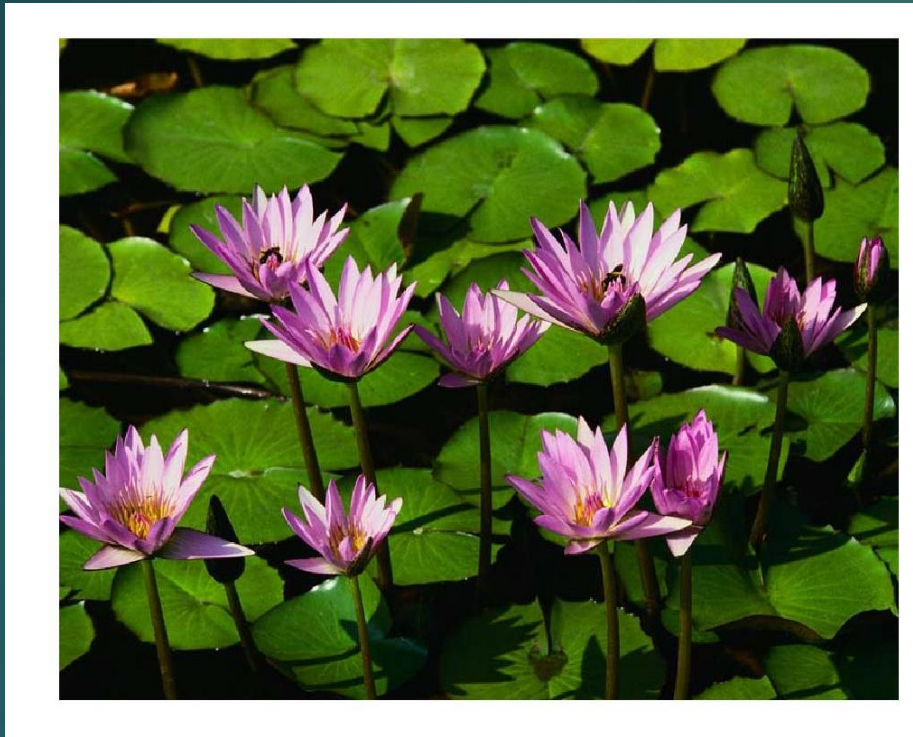
- Κβάντιση :

$$f(x, y) \rightarrow \hat{f}(x, y)$$

- Τελικά :  $f(x, y) \rightarrow \hat{f}(x_i, y_j) \rightarrow \hat{f}(i, j)$

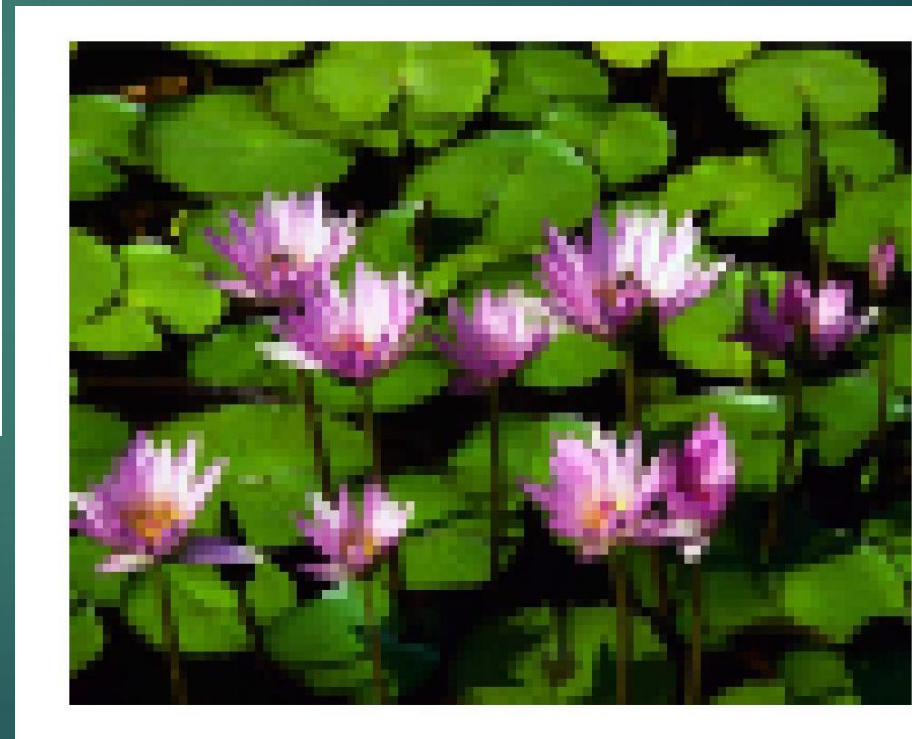
# Δειγματοληψία

Δ6



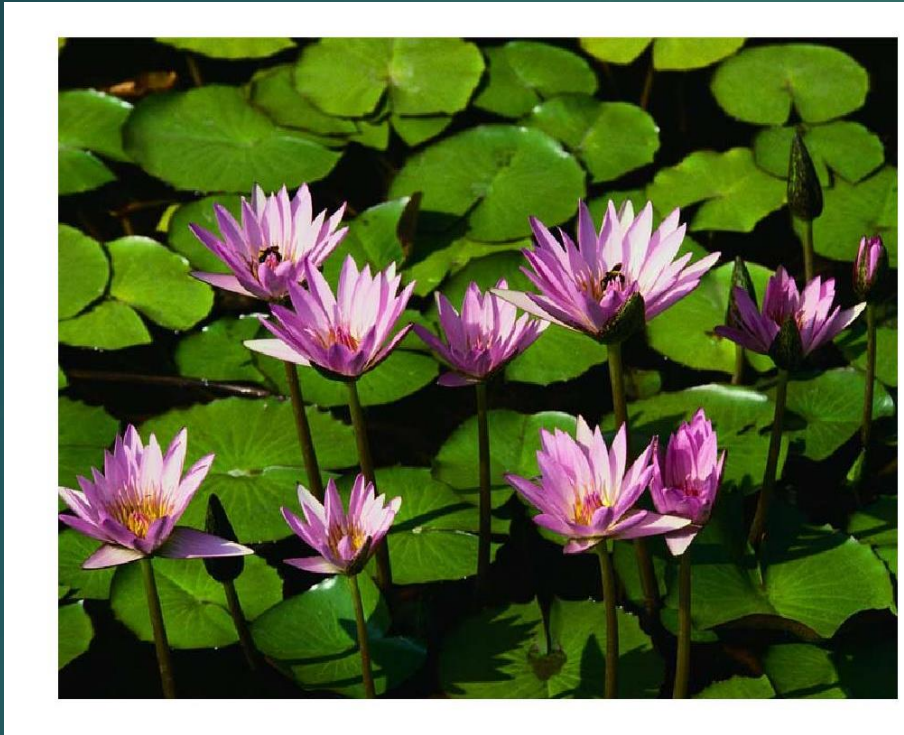
600x800 pixels

75x100 pixels



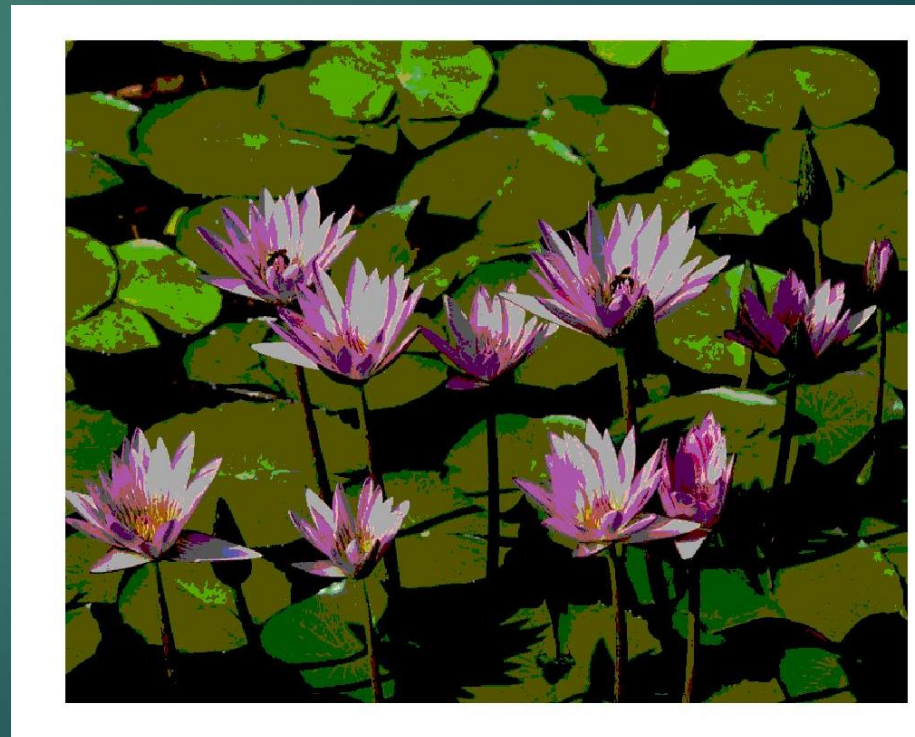
# Κβάντιση

Δ6



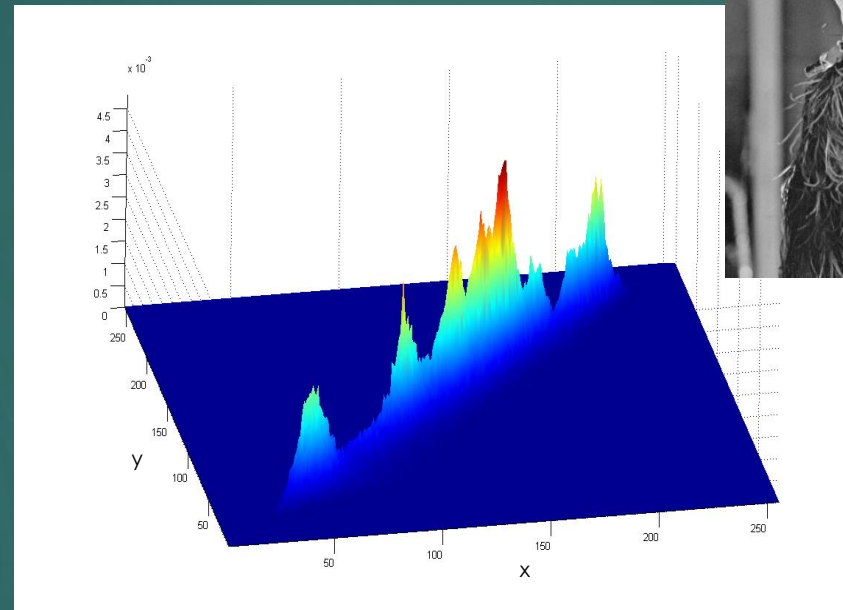
$256=2^8$  επίπεδα για κάθε χρώμα

$16=2^4$  επίπεδα για κάθε χρώμα



# Συσχέτιση δειγμάτων

Δ6



Οι τιμές φωτεινότητας για ζεύγη γειτονικών εικονοστοιχείων. Κάθε σημείο αναπαριστά ένα εικονοστοιχείο. Η συντεταγμένη  $x$  δίνει τη φωτεινότητα του εικονοστοιχείου, ενώ η συντεταγμένη  $y$  τη φωτεινότητα του δεξιού του γείτονα. Η τιμές της διαγωνίου  $x=y$  δείχνουν την ισχυρή συσχέτιση μεταξύ γειτονικών εικονοστοιχείων.

## ▶ Παρατηρήσεις

- ▶ Όλες οι εικόνες εμπεριέχουν πλεονασμό λόγω υψηλής συσχέτισης γειτονικών δειγμάτων.
- ▶ Η διασπορά για κάθε δείγμα είναι σταθερή.

## ▶ Στόχοι

- ▶ Ένας μετασχηματισμός αποτελεί έναν μηχανισμό αποσύζευξης , δημιουργώντας μία νέα μορφή του σήματος ισοδύναμη με την αρχική η οποία μπορεί να κωδικοποιηθεί αποτελεσματικότερα.
- ▶ Αναζητούμε αντιστρέψιμους μετασχηματισμούς.



# Μετασχηματισμοί

## Βασικό Παράδειγμα

- ▶ Θεωρήστε το διάνυσμα  $\mathbf{x} = [x_1, x_2]^T$  με:

$$\boldsymbol{\mu} = E[\mathbf{x}] \text{ και}$$

$$R_{xx} = C_{xx} = E[(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}) \cdot (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})^T]$$

- ▶ Ο πίνακας αυτοσυσχέτισης θα μπορεί να γραφεί με βάση τον πίνακα συνδιασποράς ως

$$R_{xx} = \sigma^2 \cdot \begin{bmatrix} 1 & \rho \\ \rho & 1 \end{bmatrix}$$

# Μετασχηματισμοί

## Βασικό Παράδειγμα

- ▶ Αν μετασχηματιστεί το διάνυσμα  $x$  με χρήση του πίνακα  $A$ :

$$v = A \cdot x, \quad A = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

- ▶ Προκύπτει ότι ο πίνακας αυτοσυσχέτισης μπορεί να γραφεί ως

$$R_{vv} = A \cdot R_{xx} \cdot A^T = \sigma^2 \cdot \begin{bmatrix} 1 + \rho & 0 \\ 0 & 1 - \rho \end{bmatrix}$$

- ▶ Σημείωση :

- ▶ Μοναδιακοί πίνακες :  $A^{-1} = A^*$  , όπου  $A^* = \bar{A}^T \forall A \in \mathbb{C}^{n \times m}$
- ▶ Ορθογώνιοι πίνακες:  $A^{-1} = A^T \forall A \in \mathbb{R}^{n \times m}$

# Ορθογώνιοι Μετασχηματισμοί

- ▶ Ευθύς μετασχηματισμός

$$\mathbf{y} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}$$

$N \times N$  συντελεστές σε μορφή διανύσματος  
 Πίνακας μετασχηματισμού διάστασης  $N^2 \times N^2$   
 Σήμα μεγέθους  $N \times N$  σε μορφή διανύσματος

- ▶ Αντίστροφος Μετασχηματισμός

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{y} = \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{y}$$

- ▶ Το  $\mathbf{x}$  αναπαριστάται σαν ένας γραμμικός συνδυασμός κάποιων διανυσμάτων βάσης
- ▶ Για τον υπολογισμό των συντελεστών απαιτείται ο πολλαπλασιασμός ενός διανύσματος διάστασης  $N^2 \times 1$  με ένα πίνακα  $N^2 \times N^2$  συνολικής πολυπλοκότητας  $O(N^4)$

# Διαχωρίσιμοι Ορθογώνιοι Μετασχηματισμοί

- ▶ Ένας ορθογώνιος μετασχηματισμός ενός σήματος  $N \times N$  είναι διαχωρίσιμος αν μπορεί να γραφεί στη μορφή:

$$\mathbf{y} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x} \cdot \mathbf{A}^T$$

$N \times N$  συντελεστές      Ορθογώνιος πίνακας μετασχηματισμού διάστασης  $N \times N$       Σήμα μεγέθους  $N \times N$

- ▶ Αντίστροφος Μετασχηματισμός

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{y} \cdot \mathbf{A}$$

- ▶ Για τον υπολογισμό των συντελεστών απαιτούνται δύο πολλαπλασιασμοί πινάκων διάστασης  $N \times N$  συνολικής πολυπλοκότητας  $O(N^3)$

# Κριτήρια Επιλογής Μετασχηματισμού

Δ6

- ▶ Υψηλή αποσυσχέτιση δεδομένων
- ▶ Χαμηλή υπολογιστική πολυπλοκότητα

# Μετασχηματισμός KLT

Δ6

## Πλεονεκτήματα

- ▶ Επιτυγχάνει υψηλή αποσυσχέτιση
- ▶ Οι συναρτήσεις βάσης του KLT είναι τα ιδιοδιανύσματα του πίνακα αυτοσυσχέτισης του αρχικού σήματος.

## Μειονεκτήματα

- ▶ Εξαρτάται από τη στατιστική του σήματος
- ▶ Δεν είναι πάντα διαχωρίσιμος  $\rightarrow O(N^4)$

# Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier

Δ6

- ▶ Ο DFT ενός μονοδιάστατου σήματος  $\{x(n)\}$  μήκους  $N$  δίνεται από τη σχέση:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot W_N^{kn}, \quad k = 0, \dots, N-1 \text{ με } W_N = e^{\frac{-j \cdot 2 \cdot \pi}{N}}$$

Ο πίνακας του μετασχηματισμού περιέχει τις συναρτήσεις βάσης

$$F = \frac{1}{\sqrt{N}} \begin{bmatrix} W_N^{00} & W_N^{01} & \dots & W_N^{0(N-1)} \\ W_N^{10} & W_N^{11} & \dots & W_N^{1(N-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_N^{(N-1)0} & W_N^{(N-1)1} & \dots & W_N^{(N-1)(N-1)} \end{bmatrix}$$

- Είναι διαχωρίσιμος και μπορεί να υπολογιστεί με χρήση του FFT με πολυπλοκότητα  $O(N^2 \log_2 N)$  [Cooley, Tuckey]
- Περιέχει μιγαδικούς αριθμούς
- Δεν παρέχει το ίδιο υψηλούς βαθμούς αποσυσχέτισης όπως άλλοι μετασχηματισμοί

# Διακριτός μετασχηματισμός Ημιτόνου

Δ6

- ▶ Χαρακτηριστικά
  - ▶ Για σήματα με χαμηλή συσχέτιση αποδίδει λίγο χειρότερα από τον KLT
  - ▶ Ο υπολογισμός του γίνεται με χρήση του FFT.



# Διακριτός μετασχηματισμός Συνημιτόνου

Δ6

- ▶ Χαρακτηριστικά
  - ▶ Έχει απόδοση κοντά στον KLT ειδικά για σήματα με υψηλό βαθμό συσχέτισης.
  - ▶ Ο υπολογισμός του γίνεται με χρήση του FFT.
- ▶ Είναι από τους επικρατέστερους μετασχηματισμούς που χρησιμοποιούνται στην κωδικοποίηση ακίνητης και κινούμενης εικόνας

# Άλλοι μετασχηματισμοί

Δ6

- ▶ Hadamard-Walsh
  - ▶ Έχει πολύ απλό πίνακα μετασχηματισμού (αποτελούμενο από  $-1,1$ )
  - ▶ Επιτυγχάνει γενικά μικρότερη αποσύζευξη από τους KLT,DST,DCT
- ▶ Haar
  - ▶ Πρόδρομος του μετασχηματισμού με χρήση Wavelets
  - ▶ Επιτυγχάνει γενικά μικρή συγκέντρωση ενέργειας

# Παράθυρο Μετασχηματισμού

Δ6

## ▶ Κριτήρια

- ▶ Μείωση συσχέτισης μεταξύ γειτονικών παραθύρων
- ▶ Το μέγεθος του παραθύρου να είναι δύναμη του 2 για απλοποίηση υπολογισμών

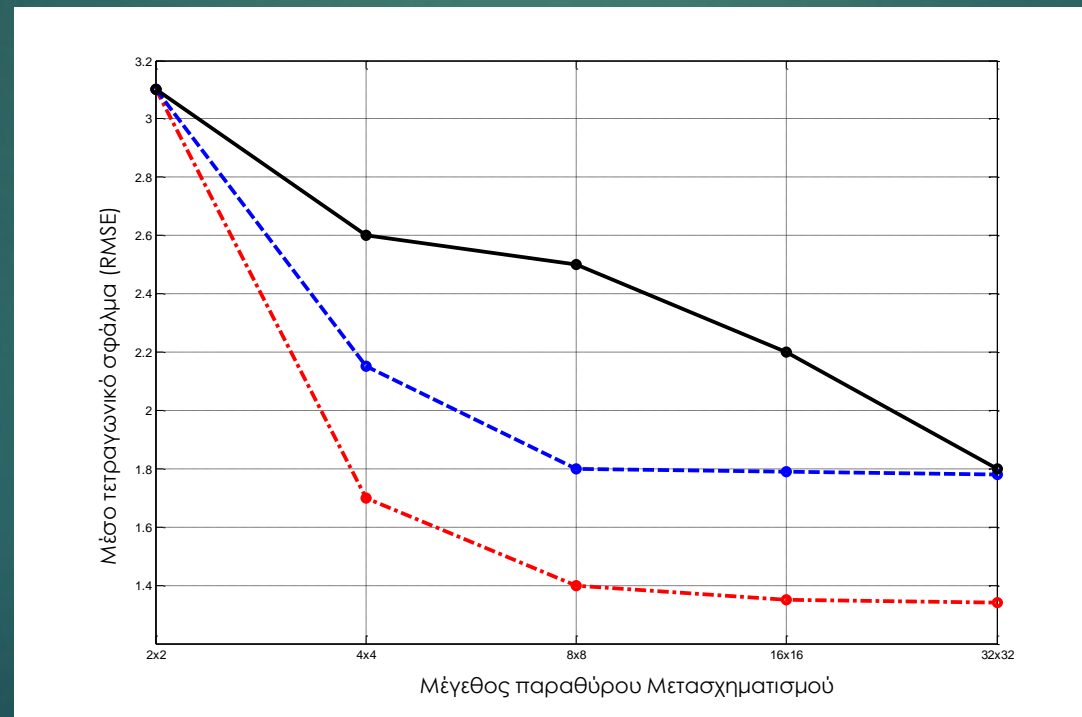
## ▶ Παρατήρηση

- ▶ Ο βαθμός συμπίεσης αλλά και η υπολογιστική πολυπλοκότητα αυξάνουν με αύξηση του μεγέθους του παραθύρου του μετασχηματισμού

# Παράθυρο Μετασχηματισμού

Δ6

- ▶ Οι μετασχηματισμοί Walsh-Hadamard και DCT συγκλίνουν γρήγορα στις τελικές τιμές τους για μεγέθη παραθύρου μεγαλύτερα από 8x8.
- ▶ Η καμπύλη του μετασχηματισμού Fourier συγκλίνει τελικά για μεγαλύτερες τιμές παραθύρου στην τιμή που δίνει ο DCT.



# Μέθοδοι Κατανομής Ρυθμού

Δ6

- ▶ Κατανομή ζώνης
- ▶ Κατανομή με βάση τη στατιστική των συντελεστών
- ▶ Κατανομή με βάση κάποιο κατώφλι
- ▶ Κατανομή με βάση ψυχο-οπτικά πειράματα (JPEG)

## ► Κατανομή ζώνης

- Επιλογή  $N_f$  συντελεστών σε κάθε μπλοκ που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη διασπορά με χρήση μιας μάσκας ζώνης. Αυτοί κβαντίζονται και μοιράζονται ανομοιογενώς ένα συγκεκριμένο πλήθος bits.

1	1	1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

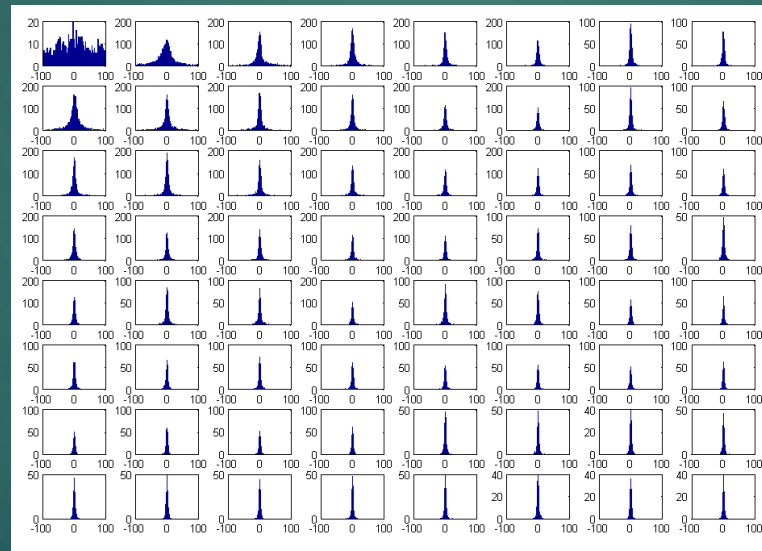
Παράδειγμα μάσκας ζώνης

8	7	6	4	3	0	0	0
7	6	5	4	0	0	0	0
6	5	4	0	0	0	0	0
4	4	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Παράδειγμα κατανομής bits με χρήση ζώνης

## ► Κατανομή με βάση τη στατιστική των συντελεστών

- Υπολογισμός της διασποράς σε κάθε θέση συντελεστή για όλα τα μπλόκ μετασχηματισμού της εικόνας. Κβάντιση και κατανομή των bits με βάση τη διασπορά του κάθε συντελεστή



Lena

# Μέθοδοι Κατανομής Ρυθμού

Δ6

## ► Κατανομή με βάση κάποιο κατώφλι

- Επιλογή  $N_f$  συντελεστών σε κάθε μπλοκ οι οποίοι βρίσκονται πάνω από ένα κατώφλι με χρήση μιας μάσκας κατωφλίου. Κβάντιση και κατανομή των bits με βάση κάποια στρατηγική (π.χ. ορίζοντας ζώνες)

1	1	0	1	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0
1	1	0	0	1	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Μάσκα κατωφλίου

8	7	0	6	0	0	0	0
7	6	5	4	0	0	0	0
6	5	0	0	3	0	0	0
5	4	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	3	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Κατανομή με βάση τη μάσκα

(Με κωδικοποίηση κατά ζώνη για την ανάθεση bits)



# Κωδικοποίηση συντελεστών

Δ6

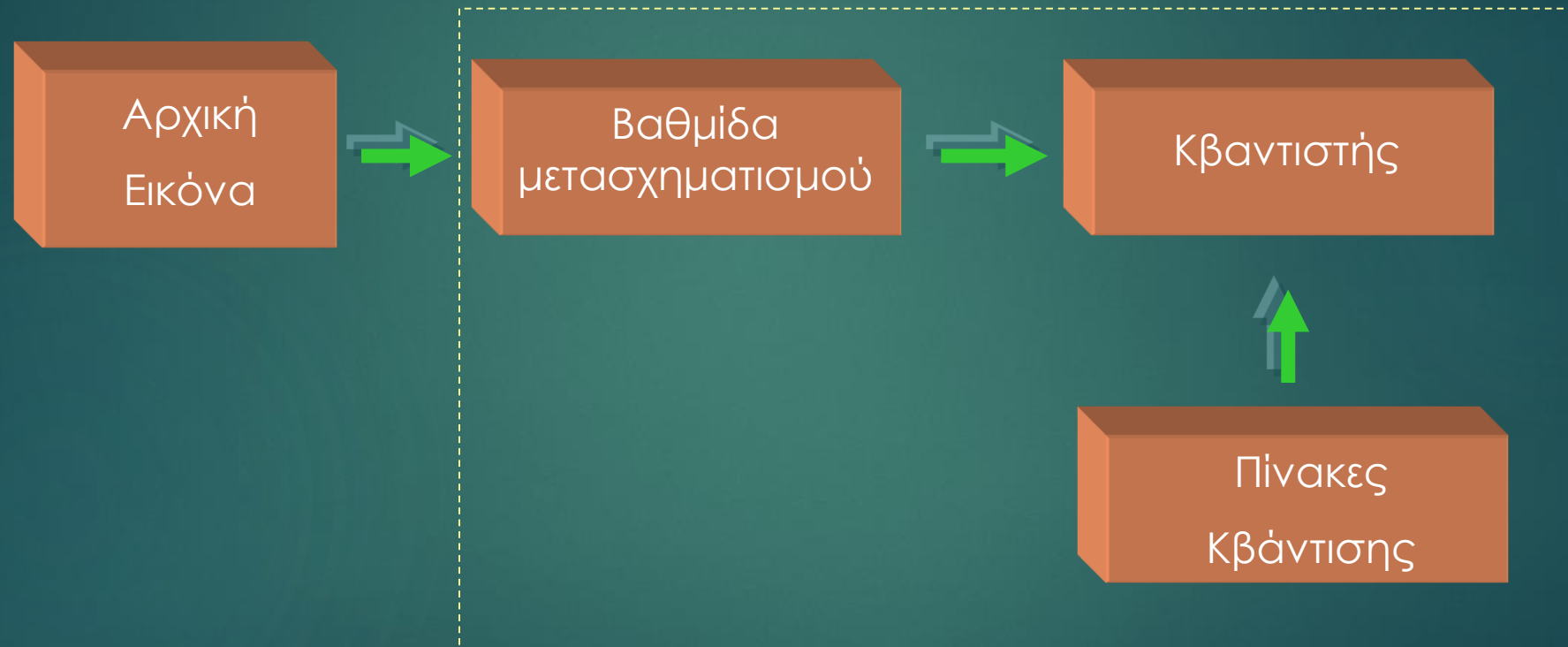
- ▶ Οι κβαντισμένοι συντελεστές τελικά αναδιατάσσονται σε μία 1-Δ ακολουθία ώστε να συγκεντρώνονται όσο το δυνατό περισσότεροι μη μηδενικοί όροι στην αρχή της ακολουθίας.
- ▶ Χρησιμοποιείται η τεχνική RLE για την περαιτέρω μείωση του πλεονασμού της ακολουθίας
- ▶ Στην περίπτωση που από ένα σημείο και έπειτα η ακολουθία έχει μόνο μηδενικά υπάρχουν ειδικά σύμβολα τερματισμού της

0	1	5	6	14	15	27	28
2	4	7	13	16	26	29	42
3	8	12	17	25	30	41	43
9	11	18	24	31	40	44	53
10	19	23	32	39	45	52	54
20	22	33	38	46	51	55	60
21	34	37	47	50	56	59	61
35	36	48	49	57	58	62	63

Παράδειγμα αναδιάταξης συντελεστών

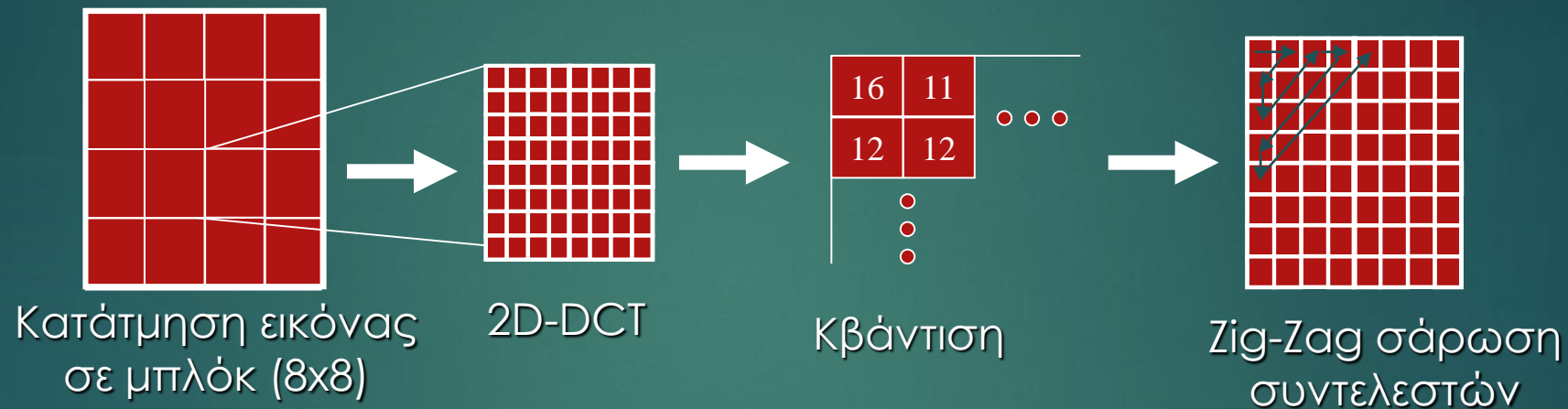
# Κωδικοποιητής JPEG

Δ6



# Ανάλυση κωδικοποιητή JPEG

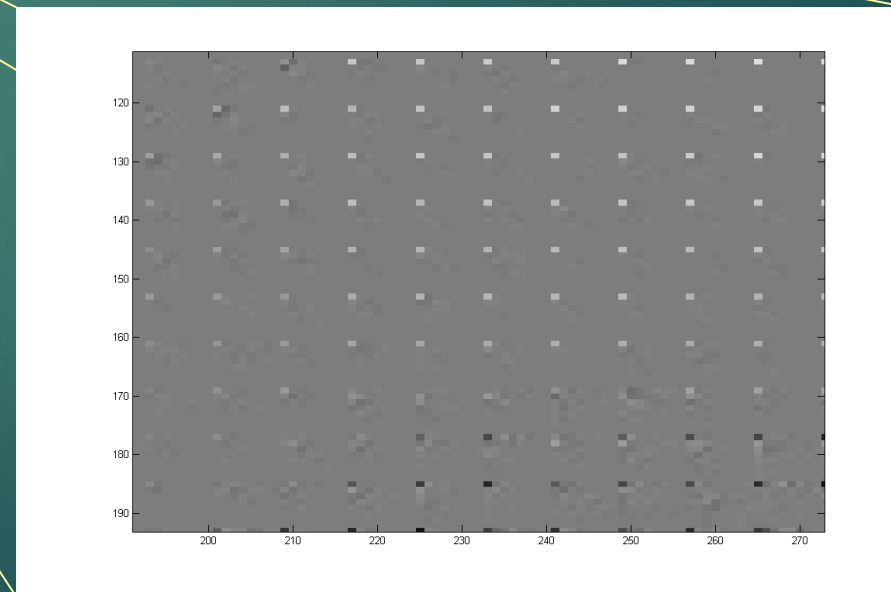
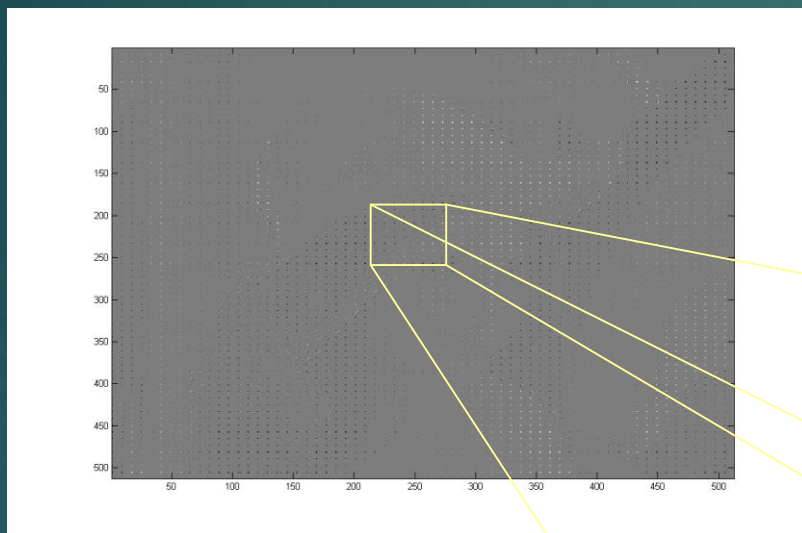
Δ6



- ▶ Η επιλογή παραθύρου 8x8 για το πρότυπο JPEG βασίζεται σε ένα συμβιβασμό μεταξύ της υπολογιστικής πολυπλοκότητας και του βαθμού συμπίεσης.

# Μετασχηματισμός σε μπλοκ 8x8

Δ6



# Συντελεστές Μετασχηματισμού

Δ6

- ▶ DC συνιστώσα
  - ▶ Κωδικοποιείται ξεχωριστά μετά την κβάντιση με χρήση DPCM
- ▶ AC συνιστώσες
  - ▶ Υλοποιείται κωδικοποίηση κατωφλίου με χρήση
    1. Κοινού κατωφλίου για όλα τα μετασχηματισμένα μπλοκ της εικόνας  
ή
    2. Διαφορετικού κατωφλίου για κάθε κωδικοποιημένο μπλοκ  
ή
    3. Μεταβλητού κατωφλίου εξαρτώμενου από τη θέση του συντελεστή μέσα στο μπλοκ.
  - ▶ Στο JPEG επιλέχθηκε η χρήση της τρίτης τεχνικής που συνδυάζει σε μια απλή λύση την κατωφλίωση και την κβάντιση των συντελεστών.

# Κβάντιση AC Συντελεστών

Δ6

- ▶ Έστω  $T$  ένα μπλοκ 8x8 των συντελεστών του DCT ΤΟΤΕ:

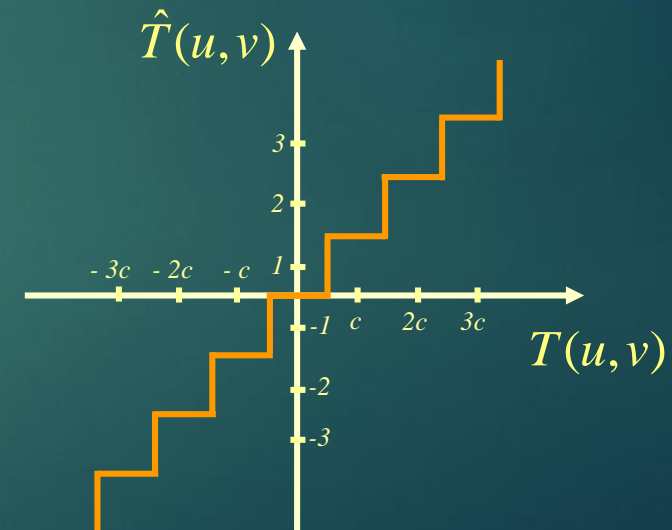
$$\hat{T}(u, v) = \left\lfloor \frac{T(u, v)}{Q(u, v)} \right\rfloor, \quad u, v = 1, \dots, 8$$

## Παρατηρήσεις

1. Αν  $Q(u, v) \geq 2T(u, v) \Rightarrow \hat{T}(u, v) = 0$
2. Αν ο πίνακας  $Q$  έχει σταθερή τιμή :  $Q(u, v) = c$  τότε

$$\text{Όταν } kc - \frac{c}{2} \leq T(u, v) < kc + \frac{c}{2}$$

$$\text{Προκύπτει ότι : } \hat{T}(u, v) = k$$



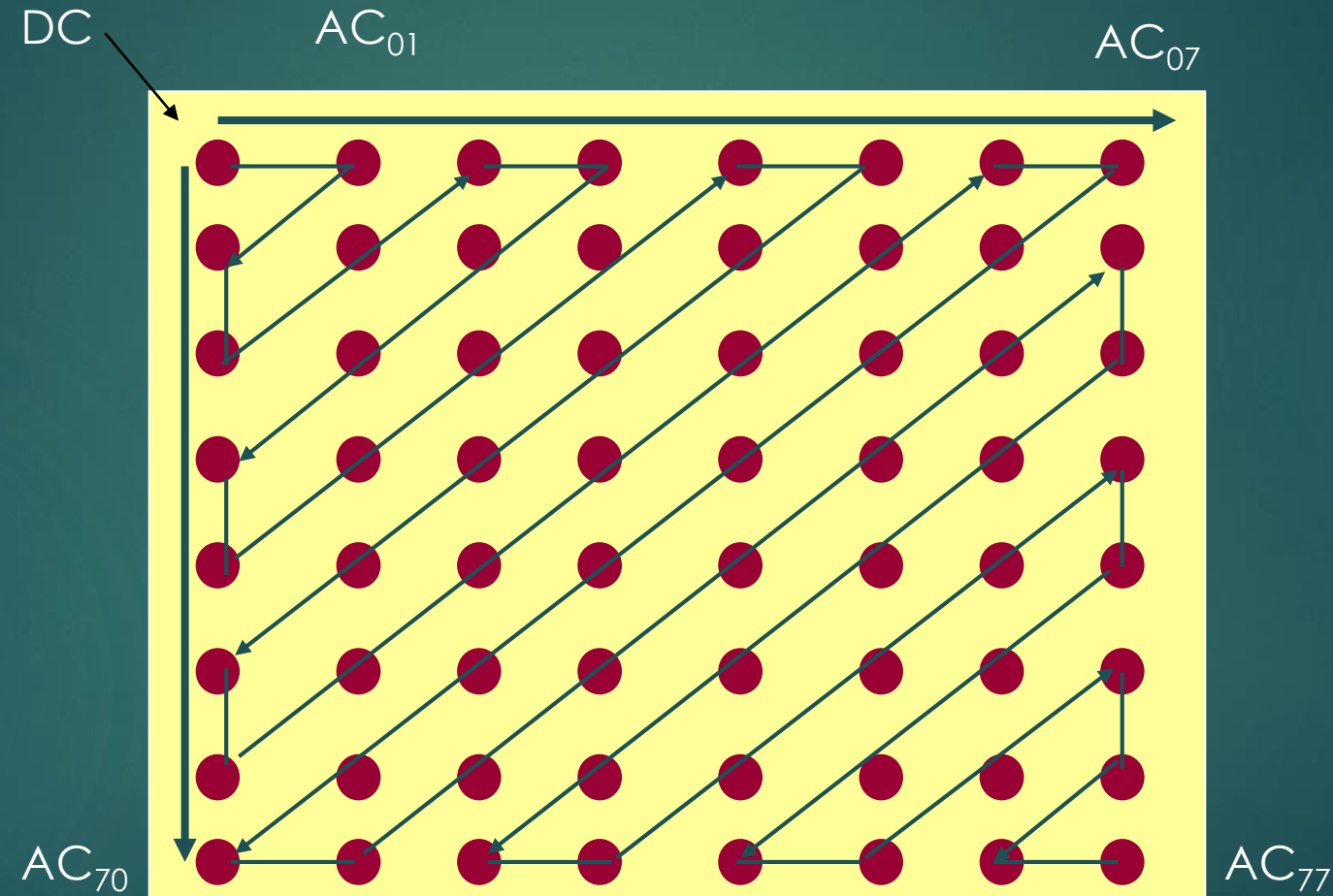
# Πίνακας κβάντισης

- ▶ Πίνακας κβάντισης συντελεστών για το JPEG με μεταβλητά βάρη ανα συντελεστή
- ▶ Οι τιμές του πίνακα διαμορφώνονται με βάση ψυχο-οπτικά κριτήρια!

$$Q = \begin{bmatrix} 16 & 11 & 10 & 16 & 24 & 40 & 51 & 61 \\ 12 & 12 & 14 & 19 & 26 & 58 & 60 & 55 \\ 14 & 13 & 16 & 24 & 40 & 57 & 69 & 56 \\ 14 & 17 & 22 & 29 & 51 & 87 & 80 & 62 \\ 18 & 22 & 37 & 56 & 68 & 109 & 103 & 77 \\ 24 & 35 & 55 & 64 & 81 & 104 & 113 & 92 \\ 49 & 64 & 78 & 87 & 103 & 121 & 120 & 101 \\ 72 & 92 & 95 & 98 & 112 & 100 & 103 & 99 \end{bmatrix}$$

# Αναδιάταξη συντελεστών (Zig-Zag)

Δ6





# Κωδικοποιητής-Αποκωδικοποιητής JPEG

Δ6

