



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής & Υπολογιστών

Διδάσκων: ΤΡΙΓΚΑ ΜΑΡΙΑ

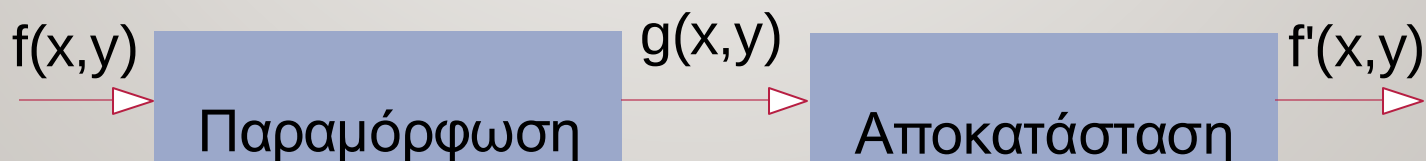
Διάλεξη 8η

Ακαδημαϊκό έτος 2024-2025

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αναίρεση υποβάθμισης που μπορεί να οφείλεται:

- Στο οπτικό σύστημα (θόλωμα λόγω κακής εστίασης, γεωμετρικές παραμορφώσεις ...)
- Σε ατέλειες στους αισθητήρες και τη διάταξή τους
- Στην παρουσία θορύβων (λευκού, χρωματισμένου, προσθετικού, πολλαπλασιαστικού ...)
- Σε παράγοντες περιβάλλοντος κατά την λήψη
- Στη σχετική κίνηση κάμερας – αντικειμένου
- ...



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- Η αποκατάσταση στοχεύει στην ανάκτηση της $f(x,y)$ από την $g(x,y)$, με εφαρμογή αντικειμενικών κριτηρίων.
- Απαιτείται η γνώση του είδους της υποβάθμισης ή τουλάχιστον κάποια καλή εκτίμηση της.
- Θα εξετάσουμε τις εξής περιπτώσεις του προβλήματος:
 - Προσθήκη λευκού θορύβου
 - Υποβάθμιση λόγω συνέλιξης με την PSF
 - PSF + λευκός θόρυβος
 - Σχετική κίνηση

ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΘΟΡΥΒΟΥ

Υποθέσεις:

- Ο θόρυβος είναι προσθετικός, δηλαδή

$$g(x,y)=f(x,y)+n(x,y)$$

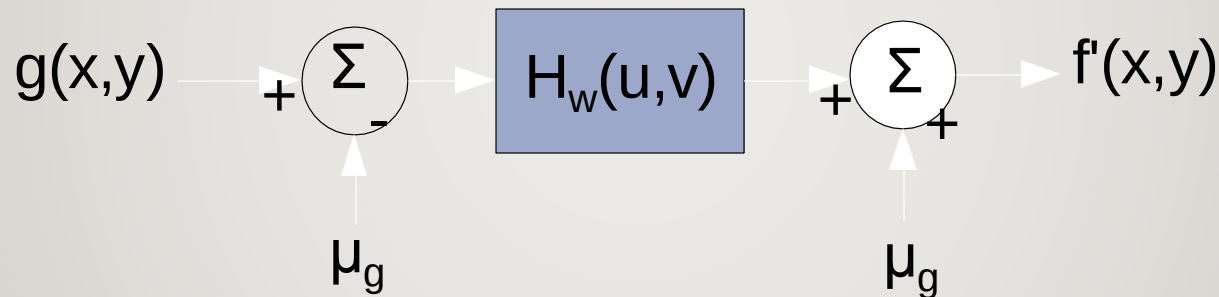
- Η $f(x,y)$ είναι 2-D στοχαστική διαδικασία, ασθενώς στάσιμη (τουλάχιστον με τη χωρική έννοια) και με μέση τιμή μηδέν
- Η $n(x,y)$ είναι λευκός θόρυβος (τουλάχιστον χωρικά) με μέση τιμή μηδέν, ασυσχέτιστος με την $f(x,y)$

ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΘΟΡΥΒΟΥ

- Φιλτράρισμα Wiener

$$f'(x,y) = h_w(x,y) ** g(x,y)$$

- Μοντέλο επεξεργασίας



- Ζητούμενο:** Να βρεθεί ο γραμμικός εκτιμητής $h_w(x,y)$ ο οποίος με είσοδο την $g(x,y)$ δίνει ως έξοδο την $f'(x,y)$ με τρόπο ώστε $f'(x,y) \cong f(x,y)$

ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΘΟΡΥΒΟΥ

Κριτήριο υπολογισμού $h_w(x,y)$

$$MMSE = \min_{h_w} (E[(f(x,y) - f'(x,y))^2])$$

Λύση (στο πεδίο συχνοτήτων) :

$$H_w(u,v) = \frac{P_{fg}(u,v)}{P_g(u,v)} = \frac{P_f(u,v)}{P_f(u,v) + P_n(u,v)}$$

Όπου:

$P_f(u,v)$: Πυκνότητα φάσματος ισχύος της $f(x,y)$

$P_n(u,v)$: Πυκνότητα φάσματος ισχύος της $n(x,y)$

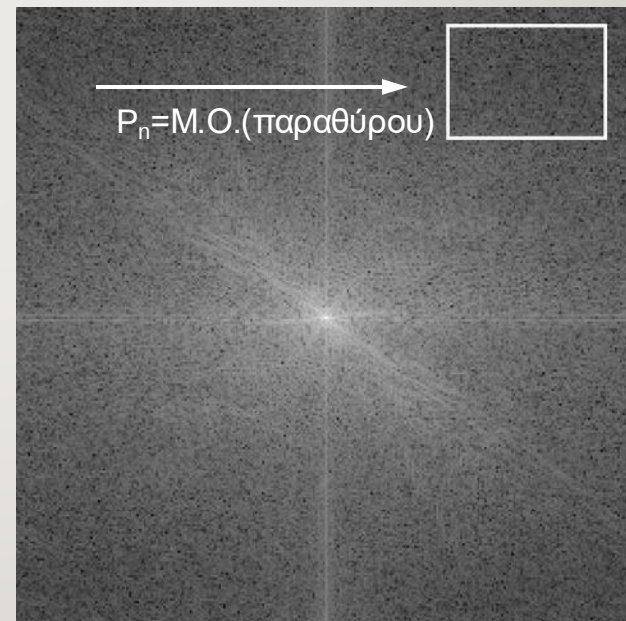
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΘΟΡΥΒΟΥ

Αν $N \times N$ σήμα x , τότε $P_x(u,v) = |X(u,v)|^2 / N^2$, όπου $|X(\cdot)|$ το μέτρο του DFT του X στο σημείο (u,v) .

Το P_f υπολογίζεται αφαιρώντας από το P_g το P_n

Υπολογισμός του P_n

Το P_n υπολογίζεται από την μέση τιμή ενός παραθύρου που καλύπτει κάποιες από τις υψηλές συχνότητες της εικόνας g .



ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΘΟΡΥΒΟΥ

Εικόνα με λευκό θόρυβο Gauss και το αποτέλεσμα της επεξεργασίας (αν θεωρηθούν γνωστά τα απαιτούμενα φάσματα ισχύος)



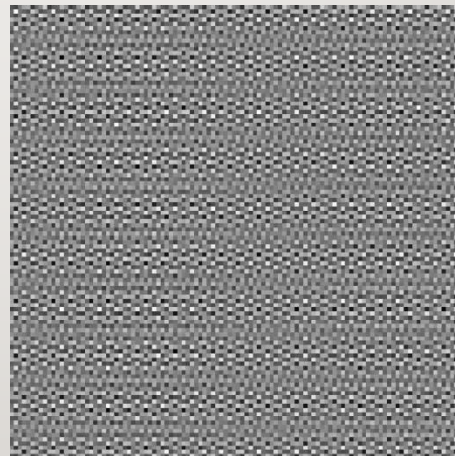
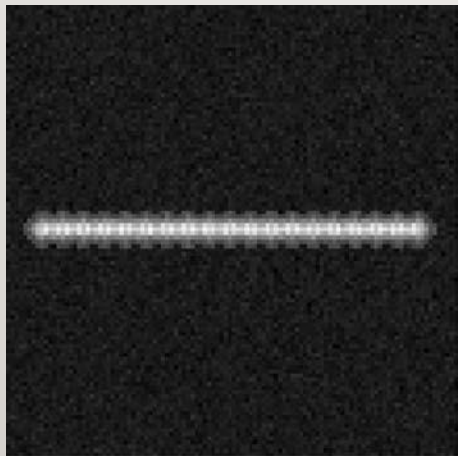
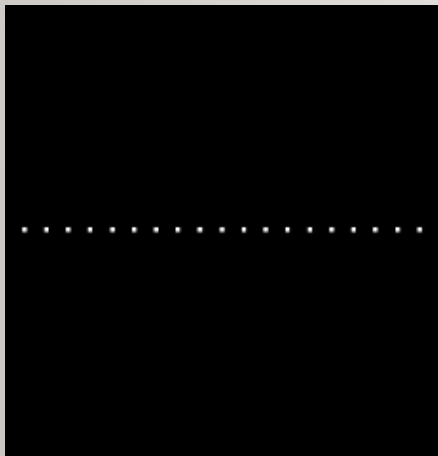
ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΛΟΓΩ ΣΥΝΕΛΙΞΗΣ

- Μοντέλο
 - $g(x,y)=f(x,y)**b(x,y)$, $G(u,v)=F(u,v)B(u,v)$, **: σύμβολο συνέλιξης 2D σημάτων , $b(x,y)$: το σύστημα υποβάθμισης που θεωρείται γνωστό
- Φιλτράρισμα με αντίστροφο φίλτρο
 - $H(u,v)=1/B(u,v)$ και άρα $H(u,v)G(u,v)=F(u,v)$
- Αν υπάρχει θόρυβος τότε
 - $H(u,v)G(u,v)=F(u,v)+N(u,v)/B(u,v)$
 - Χρήση κατωφλίου

$$H(u,v) = \begin{cases} 1/B(u,v), & (1/|B(u,v)|) < \gamma \\ \gamma |B(u,v)| / B(u,v), & (1/|B(u,v)|) \geq \gamma \end{cases}$$

ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΛΟΓΩ ΣΥΝΕΛΙΞΗΣ

1. Αρχική εικόνα
2. Εικόνα μετά από συνέλιξη και θόρυβο
3. Αντίστροφο φίλτρο χωρίς κατώφλι
4. Αντίστροφο φίλτρο με κατώφλι



ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΛΟΓΩ ΣΥΝΕΛΙΞΗΣ & ΘΟΡΥΒΟΥ

Πιθανές προσεγγίσεις:

- Χρήση αντίστροφου φίλτρου με κατώφλι
- Χρήση φίλτρου Wiener για την ελαχιστοποίηση του θορύβου και έπειτα αντίστροφου φίλτρου με κατώφλι για την αναίρεση της συνέλιξης
- Χρήση φίλτρου Wiener επί του συνόλου
 - Το μοντέλο σε αυτή την περίπτωση είναι:

$$g(x,y)=f(x,y)**b(x,y)+n(x,y)$$

ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΛΟΓΩ ΣΥΝΕΛΙΞΗΣ & ΘΟΡΥΒΟΥ

Το παραπάνω φίλτρο Wiener είναι ισοδύναμο με τη διαδοχική εφαρμογή ενός φίλτρου Wiener για τον θόρυβο και ενός αντίστροφου φίλτρου για το σύστημα υποβάθμισης.

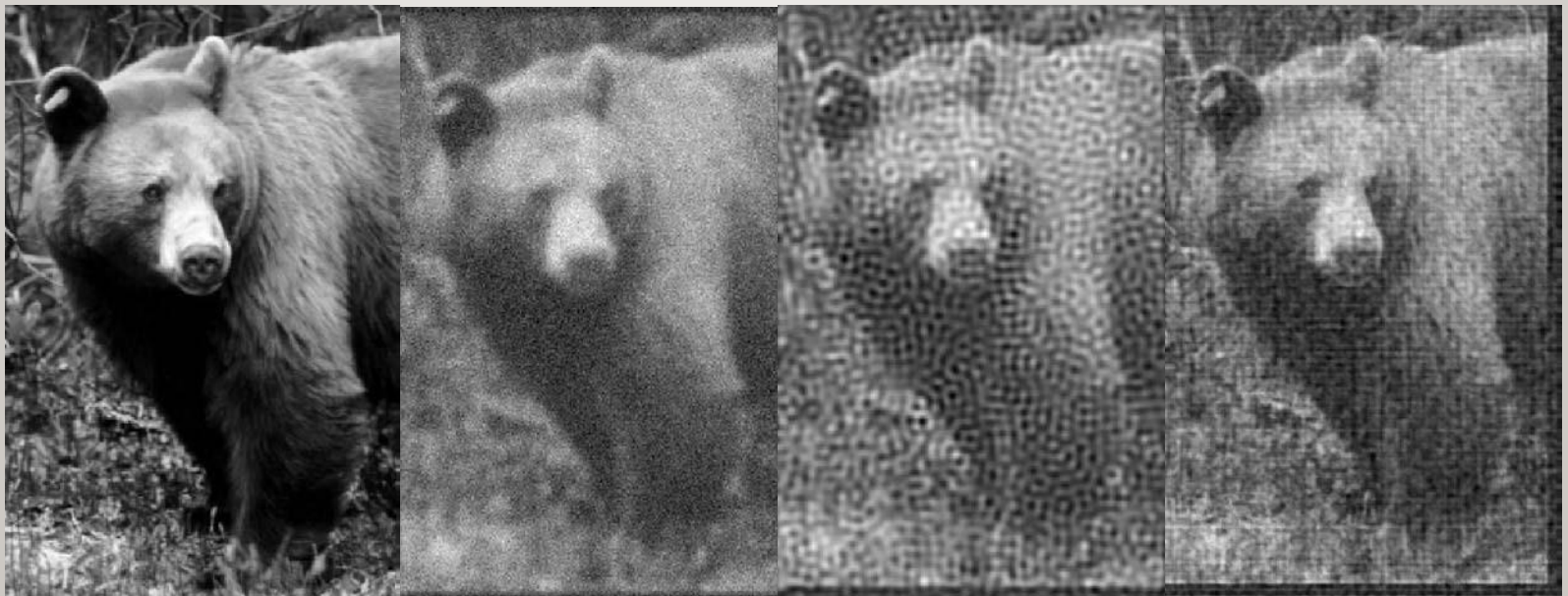
$$H_w(u, v) = \frac{P_f(u, v)B^*(u, v)}{P_f(u, v)|B(u, v)|^2 + P_n(u, v)}$$

Με χρήση του προηγούμενου μοντέλου και του σχετικού MMSE κριτηρίου προκύπτει ότι το φίλτρο Wiener δίνεται από την έκφραση:

$$H_w(u, v) = \left(\frac{P_r(u, v)}{P_r(u, v) + P_n(u, v)} \right) \left(\frac{1}{B(u, v)} \right), \quad P_r(u, v) = P_f(u, v) |B(u, v)|^2$$

ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΛΟΓΩ ΣΥΝΕΛΙΞΗΣ & ΘΟΡΥΒΟΥ

1. Αρχική εικόνα
2. Εικόνα μετά από συνέλιξη και θόρυβο
3. Αντίστροφο φίλτρο με κατώφλι
4. Φίλτρο Wiener



ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

- Επεξεργασία pixel-by-pixel με βάση τα τοπικά χαρακτηριστικά (μεγάλη πολυπλοκότητα)
- Επεξεργασία block-by-block (blocking effect: αντιμετωπίζεται με επικαλυπτόμενα μπλοκ και κατάλληλη παραθύρωση)
- Προσαρμοστικό φίλτρο Wiener (αλγόριθμος του Lee), περιγράφεται στη συνέχεια.

ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ WIENER

- Θεωρούμε μια υπο-περιοχή όπου η εικόνα είναι στάσιμη και θεωρείται ότι μπορεί να μοντελοποιηθεί ως

$$f(x,y) = m_f + \sigma_f \cdot w(x,y)$$

όπου m_f και σ_f είναι η τοπική μέση τιμή και τυπική απόκλιση, αντίστοιχα, ενώ $w(x,y)$ είναι λευκή διαδικασία με μέση τιμή μηδέν και διασπορά 1.

- Το φίλτρο Wiener που εφαρμόζεται στην $g(x,y)$ (θυμίζουμε ότι $g(x,y) = f(x,y) + n(x,y)$) είναι το

$$H_w(u,v) = \frac{P_f(u,v)}{P_f(u,v) + P_n(u,v)} = \frac{\sigma_f^2}{\sigma_f^2 + \sigma_n^2}$$

ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ WIENER

Η κρουστική απόκριση του φίλτρου Wiener είναι η

$$h_w(x, y) = \frac{\sigma_f^2}{\sigma_f^2 + \sigma_n^2} \delta(x, y)$$

Η εικόνα εξόδου του φίλτρου Wiener, και θεωρώντας ότι τα m_f και σ_f είναι χωρικά μεταβαλλόμενα, δίνεται από την σχέση:

$$\hat{f}(x, y) = m_f(x, y) + \frac{\sigma_f^2(x, y)}{\sigma_f^2(x, y) + \sigma_n^2} [g(x, y) - m_f(x, y)]$$

ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΛΟΓΩ ΚΙΝΗΣΗΣ

- Εξαιτίας του μη μηδενικού χρόνου απόκρισης των αισθητήρων η αποκτηθείσα ψηφιακή εικόνα παρουσιάζεται θολωμένη.
- Μοντέλο κίνησης – Υπέρθεση εικόνων που μετατοπίζονται

$$g(x, y) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(x - x_0(t), y - y_0(t)) dt$$

- T : Η χρονική διάρκεια έκθεσης στο φως
- $x_0(t), y_0(t)$: Η οριζόντια και κατακόρυφη μετατόπιση της $f(x, y)$ στο χρόνο t σε σχέση με το σύστημα καταγραφής

ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΛΟΓΩ ΚΙΝΗΣΗΣ

Συνεπώς θεωρούμε ότι η υποβάθμιση εισάγεται μέσω συστήματος με απόκριση συχνότητας :

$$H(\Omega_x, \Omega_y) = \left[\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} e^{-j\Omega_x x_0(t)} e^{-j\Omega_y y_0(t)} dt \right]$$

Το $H(\cdot)$ υπολογίζεται εύκολα αρκεί να είναι γνωστές οι συναρτήσεις $x_0(t)$, $y_0(t)$

– π.χ. αν $y_0(t)=0$ και $x_0(t)=k \cdot t$, τότε
 $H(\Omega_x, \Omega_y) = \text{sinc}(\Omega_x k T / 2)$

ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΛΟΓΩ ΚΙΝΗΣΗΣ

$$k = 4, T = 0.01 \text{ sec}$$

