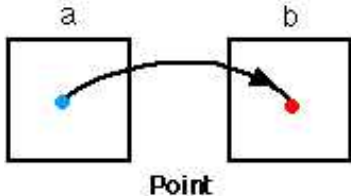
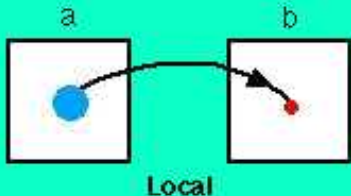
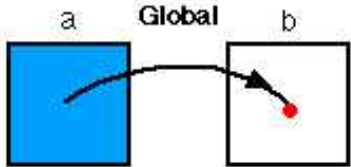


Χωρικά Φίλτρα Εξομάλυνσης

Τύποι Λειτουργιών

Οι λειτουργίες που μπορούν να εφαρμοσθούν σε ψηφιακές εικόνες για να μετασχηματίσουν την αρχική εικόνα $a[m,n]$ στην τελική εικόνα $b[m,n]$ (ή κάποια άλλη αναπαράσταση) ανήκουν σε 3 κατηγορίες:

Λειτουργία	Χαρακτηρισμός	Γραφική αναπαράσταση
σημειακή	η τελική τιμή στο (x, y) εξαρτάται μόνο από την αρχική τιμή στο (x, y) . Πολυπλοκότητα / pixel : <i>const</i>	
τοπική	η τελική τιμή στο (x, y) εξαρτάται από τις αρχικές τιμές μιας $P \times P$ γειτονιάς γύρω από το (x, y) . Πολυπλοκότητα / pixel : P^2	
καθολική	η τελική τιμή στο (x, y) εξαρτάται από όλες τις τιμές της αρχικής $N \times N$ εικόνας. Πολυπλοκότητα / pixel : N^2	

Χωρικό Φιλτράρισμα

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

- επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλου *φίλτρου* (ή, επίσης, *μάσκας*, *πυρήνα*, *μοτίβου* ή *παράθυρου*)
- οι τιμές w_i του φίλτρου ονομάζονται συντελεστές
- θα χρησιμοποιούμε μάσκες με περιττό πλήθος γραμμών και στηλών, π.χ. 3x3, 5x5, ...
- χάριν απλότητας, οι έννοιες θα παρουσιαστούν για φίλτρα 3x3

Χωρικό Φιλτράρισμα

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

- για χωρικό φιλτράρισμα, μετακινούμε τη μάσκα από σημείο σε σημείο στην εικόνα, και
- σε κάθε σημείο (x, y) υπολογίζουμε την απόκριση του φίλτρου σύμφωνα με τη σχέση:

$$R = w_1 z_1 + \dots + w_9 z_9 = \sum_{i=1}^9 w_i z_i$$

όπου z_1, z_2, \dots, z_9 είναι οι τιμές γκρίζου της εικόνας στο σημείο που βρίσκεται η μάσκα

Γραμμικό Φιλτράρισμα

- Το γραμμικό φιλτράρισμα μιας εικόνας $f(x, y)$ μεγέθους $M \times N$ με μια μάσκα διαστάσεων $m \times n$ δίνεται από την εξίσωση:

$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x + s, y + t)$$

όπου $a = (m-1)/2$ και $b = (n-1)/2$

- Για τη δημιουργία της τελικής φιλτραρισμένης εικόνας η εξίσωση αυτή πρέπει να εφαρμοσθεί για κάθε (x, y) , όπου $x = 0, 1, 2, \dots, M-1$ και $y = 0, 1, 2, \dots, N-1$



Φίλτρα εξομάλυνσης εικόνας

- χρησιμοποιείται για θόλωμα της εικόνας και ελάττωση του θορύβου
- το θόλωμα της εικόνας χρησιμοποιείται στο στάδιο της προεπεξεργασίας με σκοπό
 - την απαλειφή λεπτομέρειας από την εικόνα πριν την εξαγωγή αντικειμένων
 - την γεφύρωση μικρών κενών σε γραμμές ή ακμές της εικόνας
- η ελάττωση του θορύβου μπορεί να επιτευχθεί τόσο με γραμμικά φίλτρα εξομάλυνσης όσο και με μη-γραμμικά χωρικά φίλτρα



Γραμμικά φίλτρα εξομάλυνσης

- η έξοδος του φίλτρου (δηλαδή το $g(x, y)$) είναι απλά η μέση τιμή των τιμών γκρίζου των pixels που περιλαμβάνονται στη γειτονιά της μάσκας του φίλτρου
- τα φίλτρα αυτά ονομάζονται φίλτρα μέσης τιμής ή βαθυπερατά φίλτρα



Γραμμικά φίλτρα εξομάλυνσης

- η αντικατάσταση της τιμής γκρίζου κάθε pixel εικόνας με τον μέσο όρο των τιμών της γειτονιάς του ελαττώνει τις "οξείες" (απότομες) μεταβολές των τιμών γκρίζου της εικόνας
- οι οξείες μεταβολές μπορεί να αντιστοιχούν σε
 - τυχαίο θόρυβο που μολύνει την εικόνα
 - ακμές των αντικειμένων της εικόνας
- συνεπώς, η εξομάλυνση ελαττώνει τον θόρυβο (επιθυμητή λειτουργία) και θολώνει τις ακμές (συνήθως, ανεπιθύμητη λειτουργία)



3x3 Φίλτρα εξομάλυνσης

 $\frac{1}{9} \times$

1	1	1
1	1	1
1	1	1

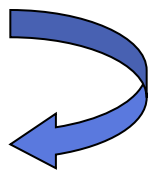
μάσκα μέσου όρου

 $\frac{1}{16} \times$

1	2	1
2	4	2
1	2	1

μάσκα σταθμισμένου Μ.Ο.

Το κεντρικό pixel είναι το πιο σημαντικό ενώ τα σταθμά για τα άλλα pixels είναι αντιστρόφως ανάλογα της απόστασής τους από το κέντρο της μάσκας. Η μάσκα αυτή ελαττώνει το θόλωμα της εικόνας.

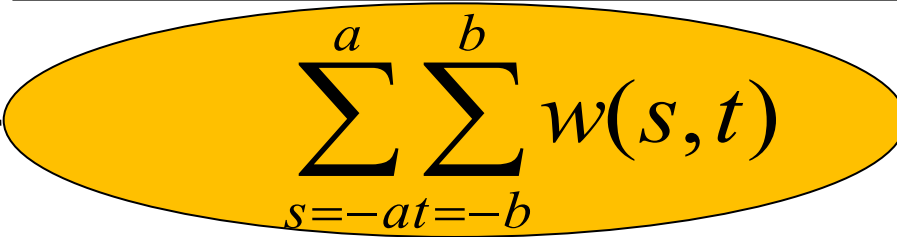




Γενικό φίλτρο εξομάλυνσης

- μέγεθος μάσκας $m \times n$, $a = (m-1)/2$, $b = (n-1)/2$

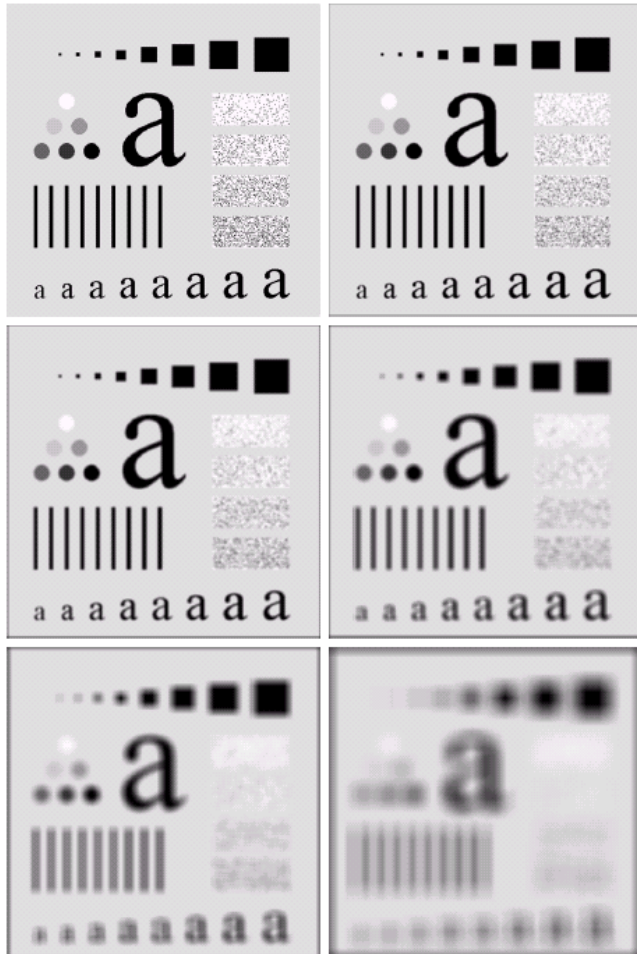
$$g(x, y) = \frac{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x + s, y + t)}{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t)}$$


$$\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t)$$

► το άθροισμα όλων των συντελεστών της μάσκας

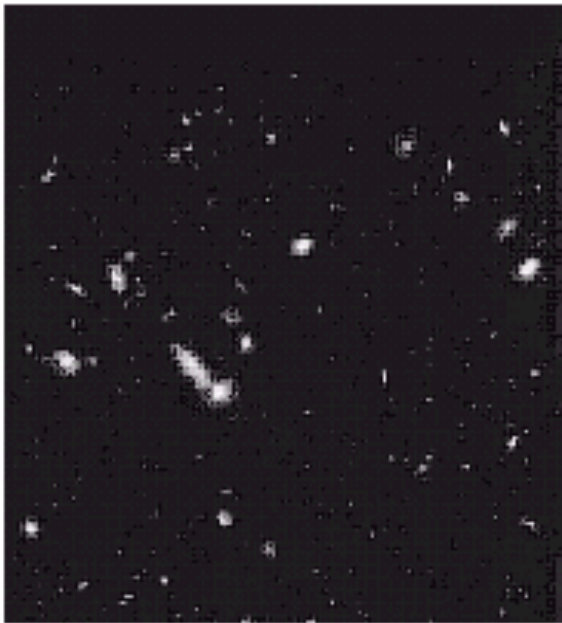
Παράδειγμα

a	b
c	d
e	f

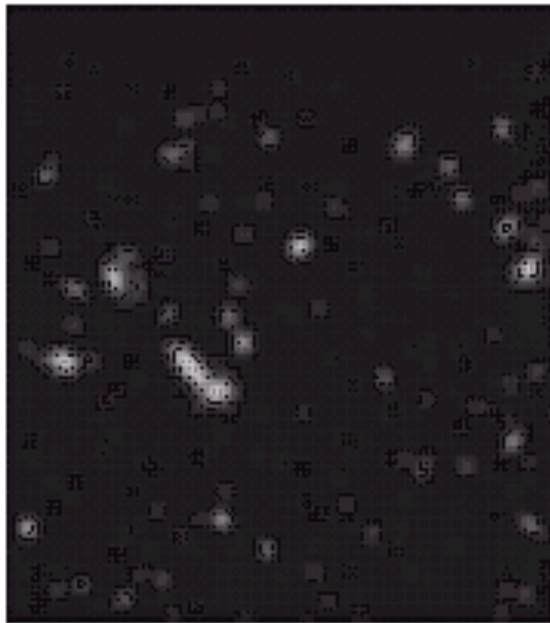


- a) αρχική εικόνα (500x500 pixels)
- b) - f) αποτελέσματα εξομάλυνσης με τετραγωνικές μάσκες $n \times n$ όπου $n = 3, 5, 9, 15$ και 35 , αντίστοιχα.
- Σημείωση:
 - Η μεγάλη μάσκα χρησιμοποιείται για να απαλείψουμε μικρά αντικείμενα.
 - Το μέγεθος της μάσκας προσδιορίζει το σχετικό μέγεθος των αντικειμένων που θα αναμιχθούν με το υπόβαθρο.

Παράδειγμα



αρχική εικόνα



αποτέλεσμα εξομάλυνσης με
15x15 μάσκα μέσου όρου



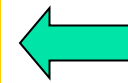
αποτέλεσμα
κατωφλίωσης

- Αυτά που παραμένουν μετά την εξομάλυνση και κατωφλίωση της αρχικής εικόνας είναι τα μεγαλύτερα και φωτεινότερα αντικείμενα της εικόνας.

Συνέλιξη (convolution)

$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x - s, y - t)$$

όπου $a = (m - 1)/2$ και $b = (n - 1)/2$



Ίδια με γραμμικό
φιλτράρισμα
όταν η μάσκα είναι
κυκλικά συμμετρική



Αρχική εικόνα



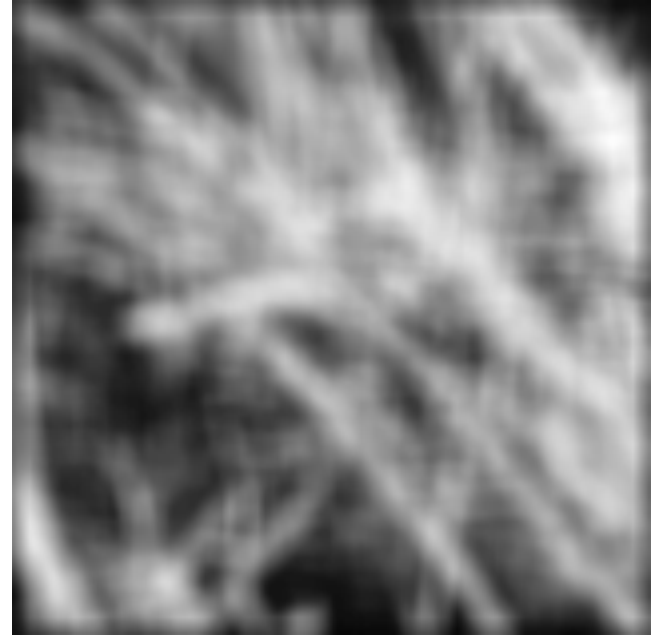
Εξομάλυνση



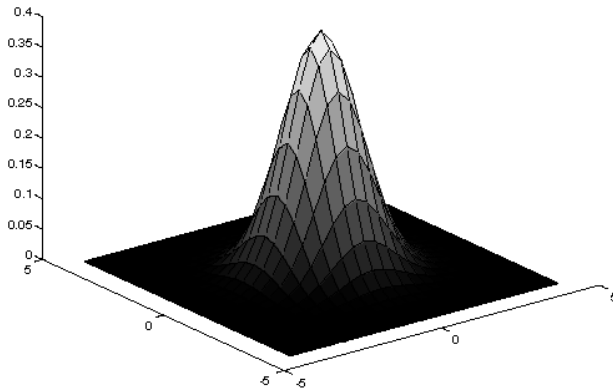
Μέτρο κλίσης (παραγώγου)



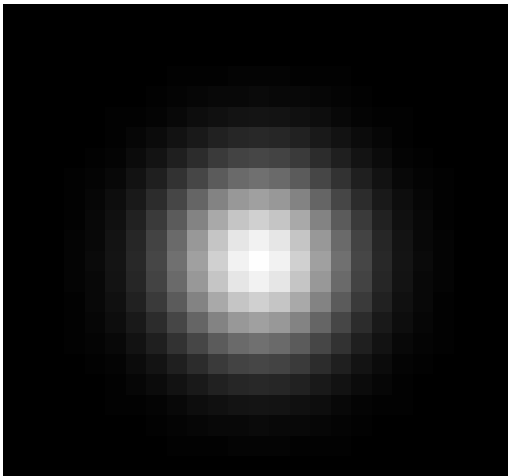
Εξομάλυνση με φίλτρο M.O.



Ισοτροπική γκαουσιανή μάσκα



- κυκλική συμμετρία
- μεγαλύτερα σταθμά για τα κοντινά pixels

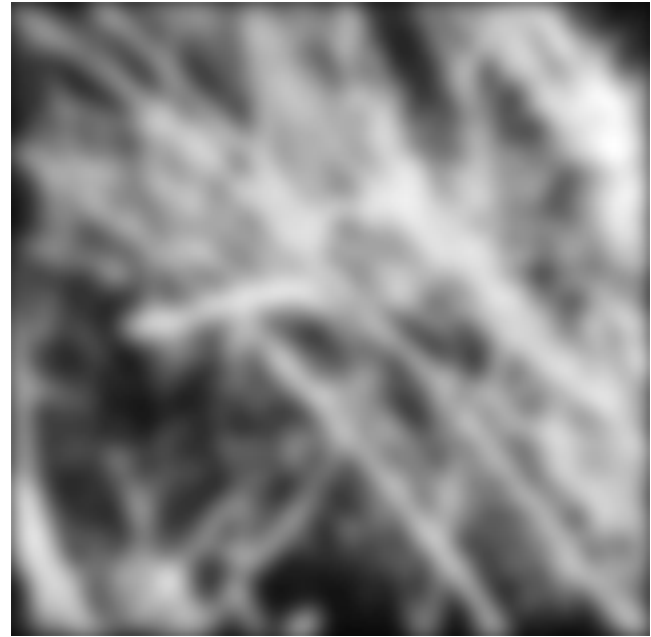


οι συντελεστές της
γκαουσιανής μάσκας
εξομάλυνσης είναι
ανάλογοι της

$$\exp \left(- \frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right)$$



Εξομάλυνση με γκαουσιανή



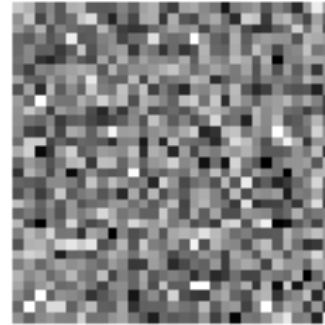
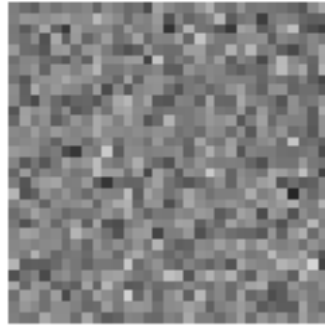
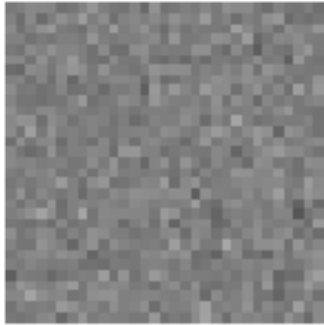
Απαλειφή θορύβου με γκαουσιανό φίλτρο

Εικόνες με γκαουσιανό θόρυβο τυπικής απόκλισης

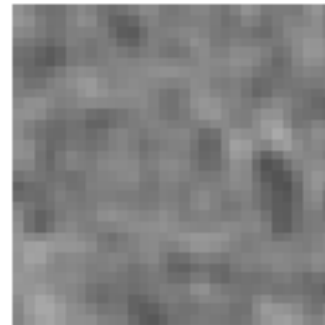
$\sigma=0.05$

$\sigma=0.1$

$\sigma=0.2$



αρχικές εικόνες
χωρίς εξομάλυνση



$\sigma=1$ pixel

σ γκαουσιανής
μάσκας

$\sigma=2$ pixels





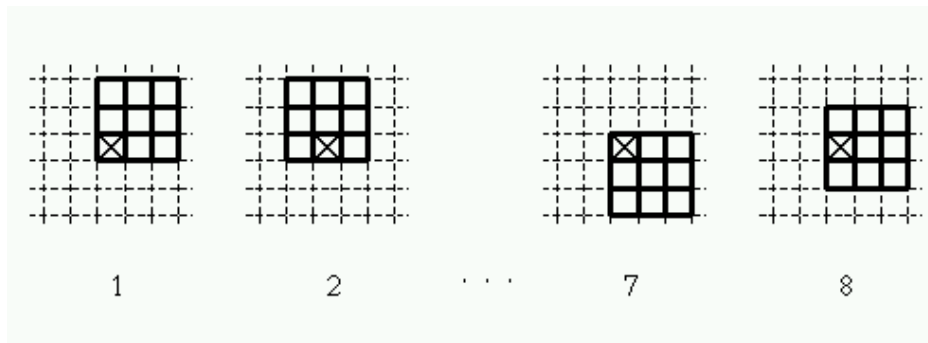
Εξομάλυνση με περιστρεφόμενη μάσκα

- Η μέθοδος αυτή αποφεύγει το θόλωμα των ακμών αναζητώντας το πιο ομοιογενές τμήμα της γειτονιάς του τρέχοντος pixel.
- Στην πράξη έχουμε ενίσχυση της εικόνας.
- Η μέση τιμή γκρίζου υπολογίζεται μόνο από τα pixels της ομοιογενούς περιοχής.
- Ως μετρική ομοιογένειας μιας περιοχής χρησιμοποιείται η διασπορά της φωτεινότητας σ^2 .
- Έστω n το πλήθος των pixels μιας περιοχής R και έστω $g(i, j)$ η αρχική εικόνα. Η διασπορά σ^2 υπολογίζεται από την

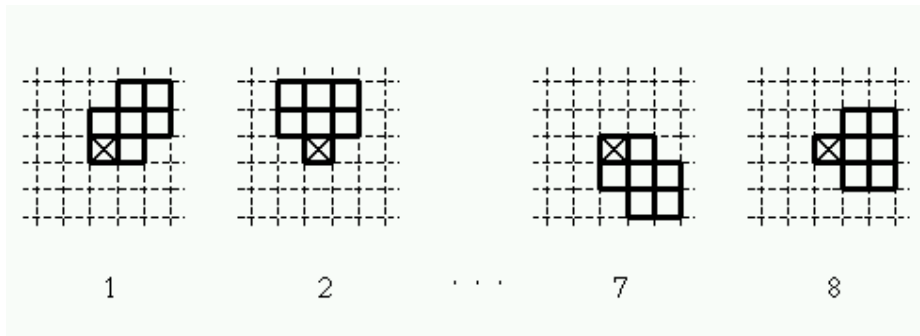
$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{(i, j) \in R} \left[g(i, j) - \frac{1}{n} \sum_{(i', j') \in R} g(i', j') \right]^2$$

Επιλογές περιστρεφόμενης μάσκας

- Οι οκτώ δυνατές 3x3 μάσκες που καλύπτουν μια γειτονιά 5x5 γύρω από το τρέχον pixel



- Άλλες μάσκες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν



Παράδειγμα



Αρχική εικόνα με
γκαουσιανό θόρυβο




Φιλτραρισμένη εικόνα
με 5x5 μάσκα Μ.Ο.



Φιλτραρισμένη εικόνα με
περιστρεφόμενη μάσκα

Βιβλιογραφία



Οι παρούσες διαφάνειες έχουν δημιουργηθεί από τον Καθηγητή κ. Ν. Βασιλά για το μάθημα «Επεξεργασία Εικόνας», ακαδημαϊκό έτος 2017-2018.