Βελτιστοποίηση Εικόνας (Β μέρος)
Διάλεξη 5 - Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας

TEL750 – ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ

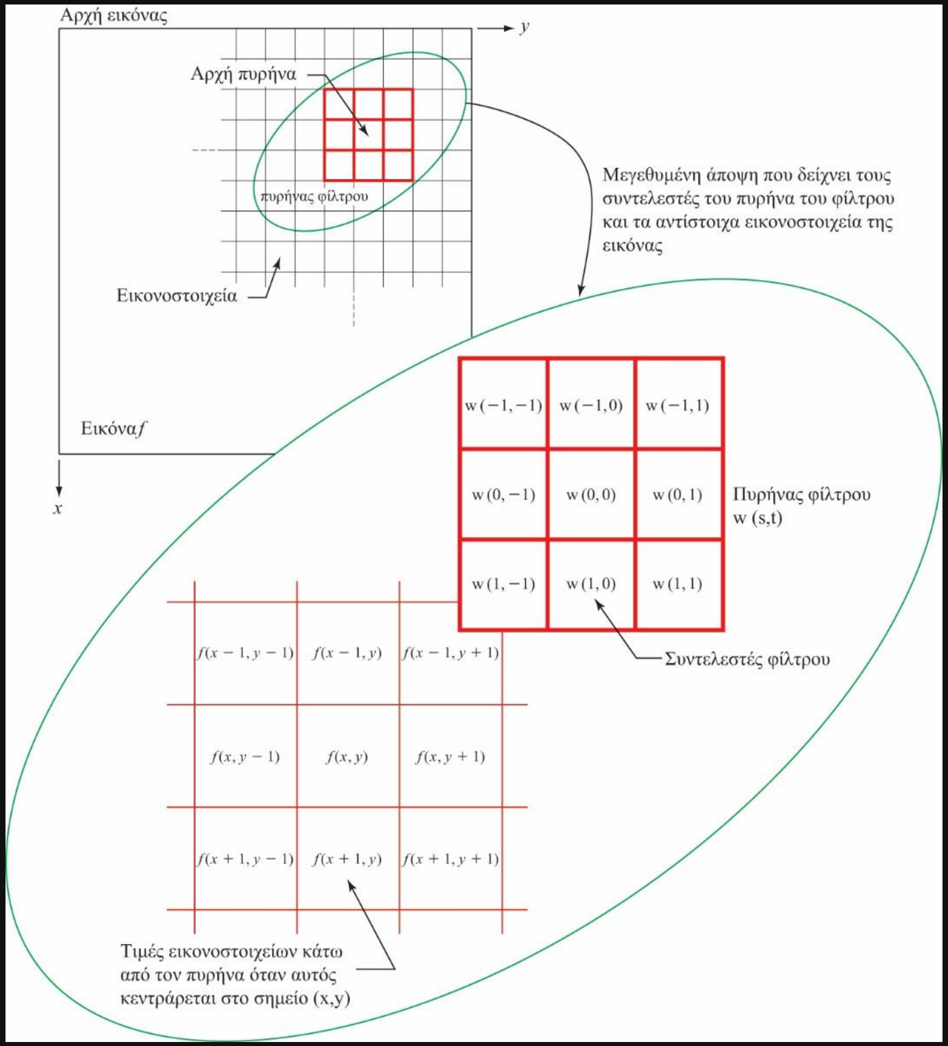
Δρ. Α. Κούτρας, Αναπληρωτής Καθηγητής
koutras@uop.gr

Περίγραμμα διάλεξης

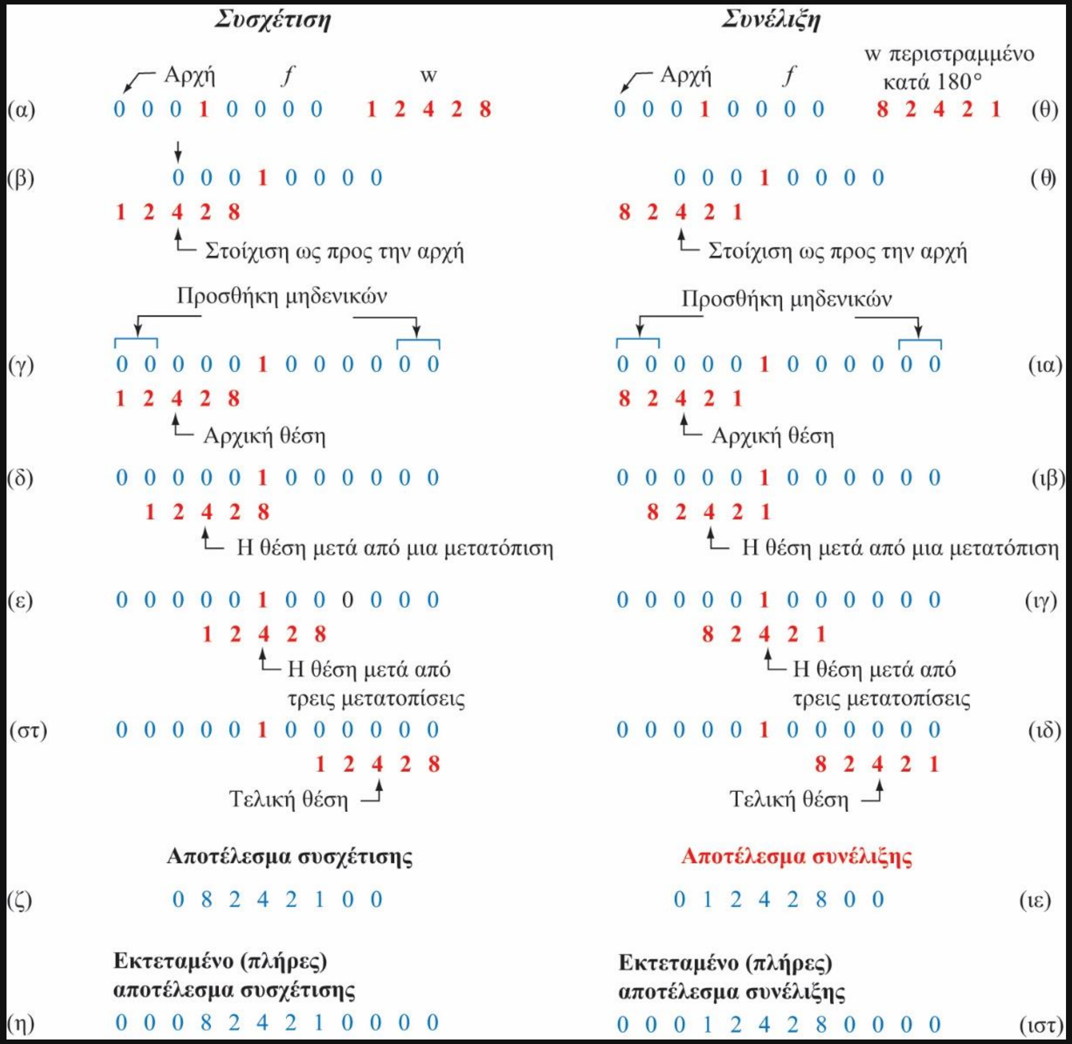
- Χωρικό φιλτράρισμα
- Κατωδιαβατά φίλτρα εξομάλυνσης εικόνων
- Χωρικά φίλτρα αύξησης οξύτητας εικόνων
- Κατασκευή τύπων φίλτρων από κατωδιαβατά φίλτρα

Το γραμμικό χωρικό φιλτράρισμα

$$g(x,y) \\ = w(-1,-1)f(x-1,y-1) \\ + w(-1,0)f(x-1,y) + \cdots + w(0,0)f(x,y) \\ + \cdots + w(1,1)f(x+1,y+1)$$



Χωρική συσχέτιση – Χωρική συνέλιξη



Παρατηρήσεις - Συσχέτιση

- Η συσχέτιση εξαρτάται από την απόσταση του πυρήνα σε σχέση με την εικόνα.
- Η πρώτη τιμή της υπολογίζεται για μηδενική μετακίνηση, η δεύτερη για μοναδιαία μετατόπιση κλπ.
- Η συσχέτιση ενός πυρήνα με μια συνάρτηση που περιέχει όλα τα στοιχεία της μηδενικά εκτός από ένα και μοναδικό 1, έχει σαν αποτέλεσμα την αντιγραφή του w, αλλά με περιστροφή 180^{o}.
- Συνεπώς η συσχέτιση ενός πυρήνα με μια κρουστική, έχει ως αποτέλεσμα την περιστροφή του κατά 180o

Παρατηρήσεις - Συνέλιξη

- Η συνέλιξη υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως και η συσχέτιση, μόνο που έχουμε περιστρέψει τον πυρήνα κατά 180^o από πριν.
- Στην περίπτωση συνέλιξης με μια κρουστική, το αποτέλεσμα είναι ο ίδιος ο πυρήνας στο σημείο που έχουμε την κρουστική.

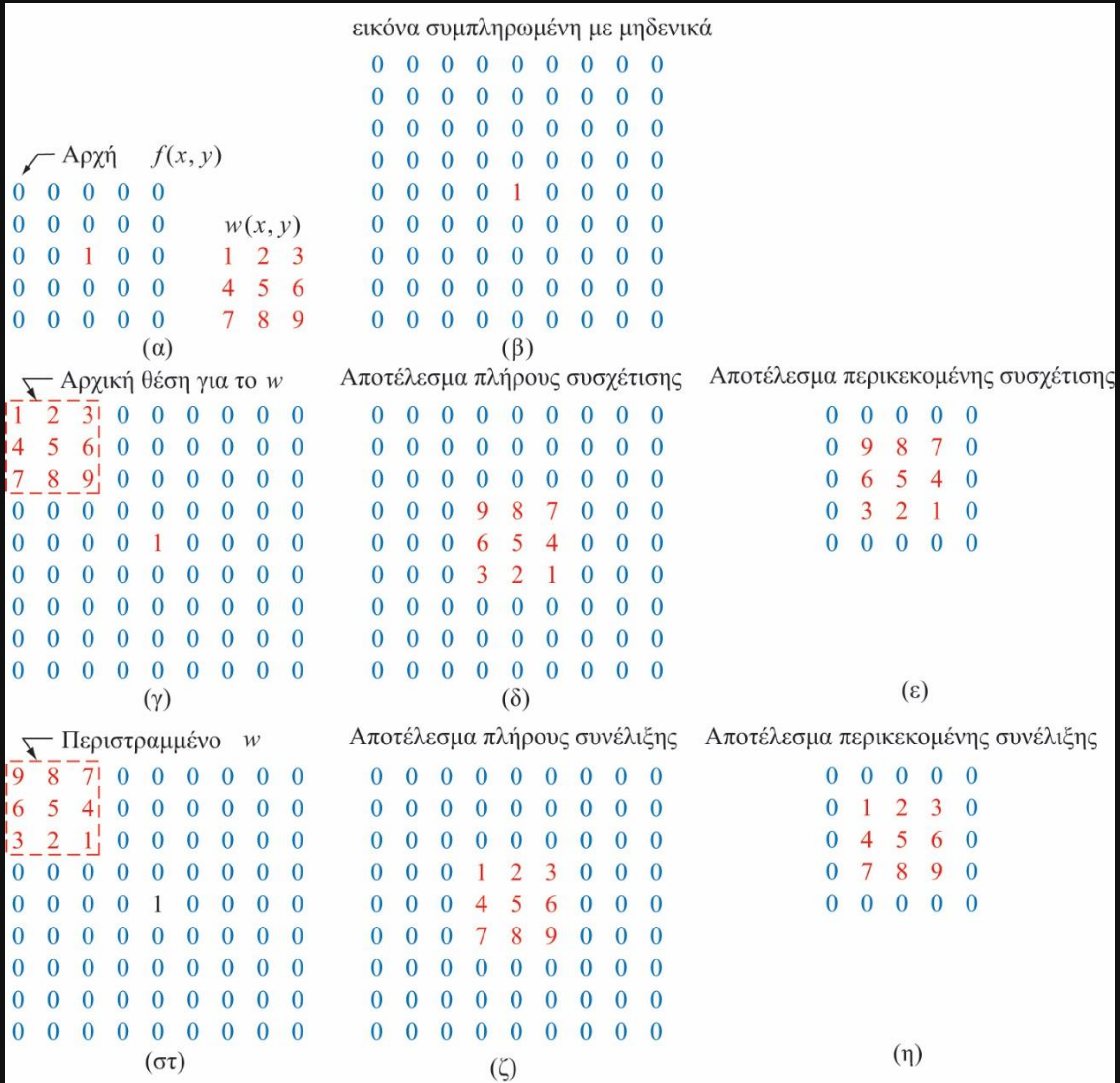
2-D συσχέτιση και συνέλιξη

Χωρική συσχέτιση

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

Χωρική συνέλιξη

Υπολογίζεται με παρόμοιο τρόπο, μόνο που περιστρέφουμε τον πυρήνα (μάσκα) κατά 180^0



Ιδιότητες συνέλιξης

- Για να μπορέσουμε να εφαρμόσουμε τα παραπάνω, θα πρέπει να επεκτείνουμε τις εικόνες μας κατά $(m-1)$ στοιχεία πάνω και κάτω από την εικόνα αλλά και $(n-1)$ στοιχεία αριστερά και δεξιά της εικόνας.
- Η συμπλήρωση αυτή μπορεί να γίνει αντιγράφοντας τις τιμές φωτεινοτήτων των άκρων της εικόνας ή με συμπλήρωση μηδενικών.
- Συνεπώς καταλήγουμε μετά την διαδικασία του φιλτραρίσματος με μια εικόνα που έχει μεγαλύτερο μέγεθος.

Ιδιότητα	Συνέλιξη	Συσχέτιση
Μεταθετική	$f \star g = g \star f$	—
Προσεταιριστική	$f \star (g \star h) = (f \star g) \star h$	—
Επιμεριστική	$f \star (g + h) = (f \star g) + (f \star h)$	$f \,☆\, (g + h) = (f \,☆\, g) + (f \,☆\, h)$

Πυρήνες εξομάλυνσης φωτεινοτήτων

- Οι παρακάτω πυρήνες χρησιμοποιούνται για την εξομάλυνση των φωτεινοτήτων των εικόνων

$$\frac{1}{9} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \qquad \frac{1}{4.8976} \times \begin{bmatrix} 0.3679 & 0.6065 & 0.3679 \\ 0.6065 & 1.0000 & 0.6065 \\ 0.3679 & 0.6065 & 0.3679 \end{bmatrix}$$

Διαχωρίσιμοι πυρήνες φίλτρων

- Γνωρίζουμε ότι μια διδιάστατη συνάρτηση $G(x, y)$είναι διαχωρίσιμη όταν μπορεί να γραφεί ως γινόμενο δύο μονοδιάστατων συναρτήσεων $G_1(x)$, $G_2(x)$
- Ένας πυρήνας ενός φίλτρου είναι διαχωρίσιμος αν μπορεί να γραφεί ως εξωτερικό γινόμενο δύο διανυσμάτων
- Ο διαχωρίσιμος πυρήνας διαστάσεων $m \times n$ μπορεί να εκφραστεί ως $w = vv^T$
- Η χρήση διαχωρίσιμων πυρήνων έχει υπολογιστικά πλεονεκτήματα

Τρόποι δημιουργίας πυρήνων

- Με χρήση φίλτρων που στηρίζονται σε μαθηματικούς ορισμούς/περιγραφές. Παράδειγμα το φίλτρο που υπολογίζει τον μέσο όρο των φωτεινοτήτων στην γειτονιά μιας εικόνας.
- Με δειγματοληψία μιας 2D χωρικής συνάρτησης που το σχήμα της έχει τις επιθυμητές ιδιότητες.
- Με σχεδιασμό ενός φίλτρου με συγκεκριμένη απόκριση συχνότητας.

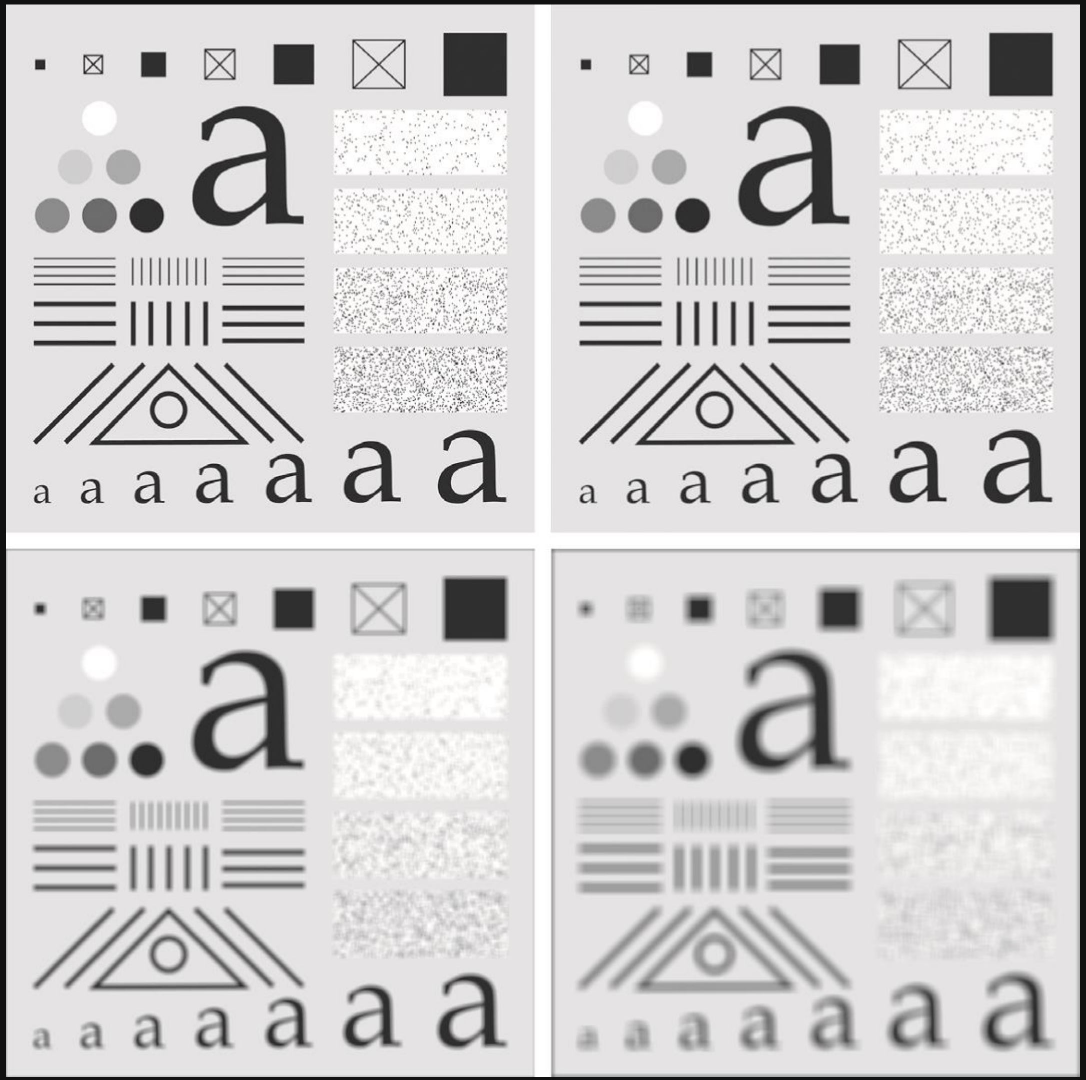
Χαμηλοπερατά χωρικά φίλτρα

- Χρησιμοποιούνται για να εξομαλύνουν απότομες αλλαγές της φωτεινότητας
- Ο τυχαίος θόρυβος συνήθως αποτελείται από απότομες αλλαγές στην φωτεινότητα και αποτελεί το βασικό πεδίο εφαρμογής αυτών των φίλτρων.
- Τα φίλτρα αυτά διώχνουν τις άσχετες περιοχές της εικόνας, αυτές που είναι μικρές σε σχέση με το μέγεθος του φίλτρου.
- Μια άλλη εφαρμογή είναι η εξομάλυνση των λανθασμένων περιγραμμάτων μιας εικόνας που έχουν προκύψει από λάθος αριθμό επιπέδων φωτεινότητας στην εικόνα.
- Η εφαρμογή αυτών των φίλτρων έχει ως αποτέλεσμα θολές εικόνες, με το θόλωμα να εξαρτάται από το μέγεθος του φίλτρου.
- Θα δούμε φίλτρα που βασίζονται σε ορθογώνιους (box) και Gaussian πυρήνες και τα οποία είναι πλήρως διαχωρίσιμα.

Φίλτρα με ορθογώνιο πυρήνα (box filters)

- Η πιο απλή μορφή φίλτρων είναι τα box φίλτρα.
- Πήραν το όνομα τους καθώς μοιάζουν με κουτιά αν τα δούμε σε 3 διαστάσεις.
- Έχουν συντελεστές που (συνήθως) έχουν όλοι την ίδια τιμή.
- Τα φίλτρα αυτά έχουν συνήθως την τιμή 1, και είναι κανονικοποιημένα με το άθροισμα όλων των τιμών τους.
- Η κανονικοποίηση γίνεται επειδή:
  - Θα πρέπει η μέση φωτεινότητα μιας περιοχής με ίδιες φωτεινότητες, να είναι ίση με τις φωτεινότητες της περιοχής.
  - Εμποδίζει την εισαγωγή πόλωσης κατά τη διάρκεια του φιλτραρίσματος: το άθροισμα των pixels στην αρχική και την φιλτραρισμένη εικόνα θα είναι το ίδιο.

Χαμηλοπερατά χωρικά φίλτρα με ορθογώνιο πυρήνα



Δοκιμαστική εικόνα 1024X1024

Αποτέλεσμα χαμηλοπερατού φίλτρου με box φίλτρα μεγέθους 3X3

Αποτέλεσμα χαμηλοπερατού φίλτρου με box φίλτρα μεγέθους 11X11

Αποτέλεσμα χαμηλοπερατού φίλτρου με box φίλτρα μεγέθους 21X21

Χαμηλοπερατά Gaussian φίλτρα

- Η προηγούμενη κατηγορία φίλτρων είναι απλή και χρησιμοποιείται συχνά.
- Η χρήση τους έχει ως αποτέλεσμα εξομάλυνση εικόνων αλλά και μειωση του φαινομένου της εξομάλυνσης των άκρων της εικόνας.
- Μειονεκτήματα των φίλτρων αυτών είναι ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσεγγίσουν χαρακτηριστικά θολώματος (πχ αντίστοιχα χαρακτηριστικά φακών)
- Επιπλέον ενισχύουν το θόλωμα σε κάθετες κατευθύνσεις.
- Σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη λεπτομέρεια, τα φίλτρα αυτά δεν χρησιμοποιούνται

Πυρήνες των Gaussian φίλτρων

- Οι πυρήνες που επιλέγουμε παρουσιάζουν κυκλική συμμετρία (ονομάζονται και ισοτροπικοί) καθώς η απόκριση τους δεν εξαρτάται από τον προσανατολισμό τους.

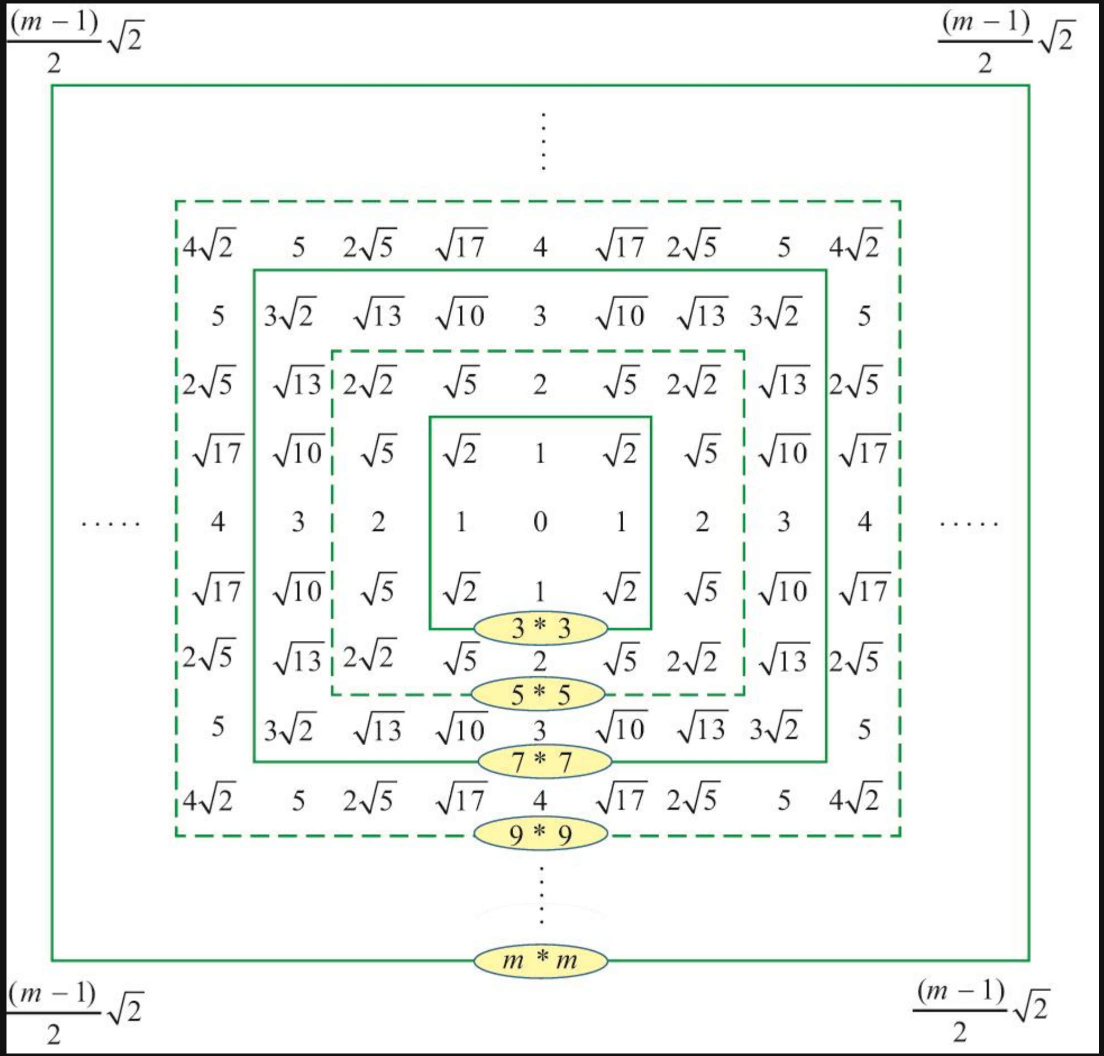
$$w(s,t) = G(s,t) = Ke^{-\frac{s^2+t^2}{2\sigma^2}}$$

- Οι πυρήνες της μορφής αυτής είναι οι μόνοι διαχωρίσιμοι και κυκλικά συμμετρικοί.
- Αν θεωρήσουμε ότι $r = [s^2 + t^2]^{1/2}$ τότε η πιο πάνω σχέση του πυρήνα γίνεται:

$$G(r) = Ke^{\left\{-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right\}}$$

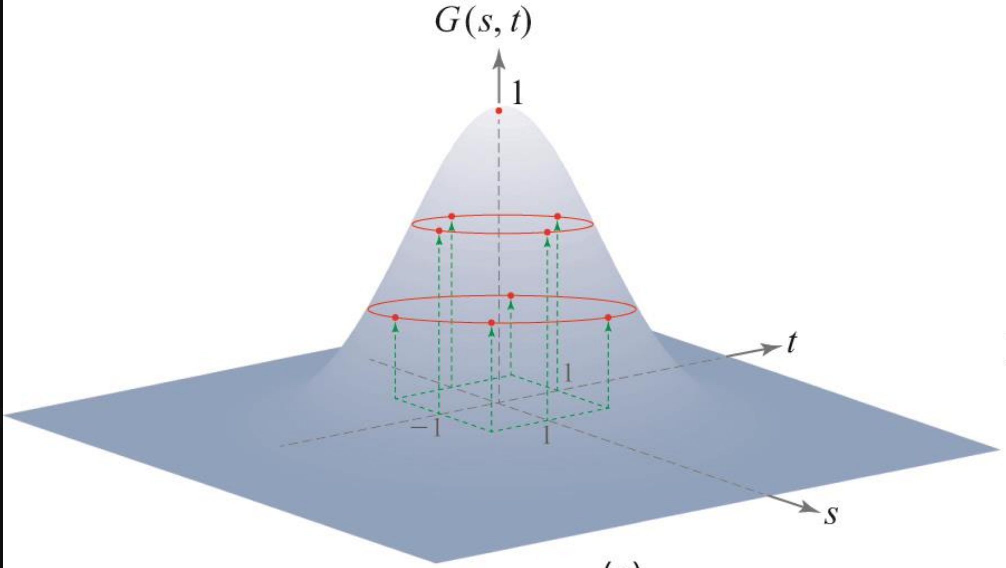
- Η τιμή r είναι η απόσταση από το κέντρο προς ένα οποιοδήποτε σημείο της συνάρτησης

Αποστάσεις από το κέντρο για διαφορετικές τιμές τετραγωνικών πυρήνων



Δημιουργία Gaussian πυρήνα

- Οι συντελεστές του φίλτρου (αριστερά), επιλέχθηκαν μετά από δειγματοληψία τιμών στην συνάρτηση Gauss, για διαφορετικές επιλογές των τιμών των παραμέτρων s και t και διαβάζοντας για αυτές την τιμή της συνάρτησης Gauss.



(α)

$$\frac{1}{4.8976} \times \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0.3679 & 0.6065 & 0.3679 \\ \hline 0.6065 & 1.0000 & 0.6065 \\ \hline 0.3679 & 0.6065 & 0.3679 \\ \hline \end{array}$$

(β)

Δημιουργία Gaussian πυρήνα

- Οι τιμές μιας συνάρτησης Gauss σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 3σ από τον μέσο όρο είναι αρκετά μικρές και μπορούν να αγνοηθούν
- Γνωρίζουμε ότι οι τιμές μιας συνάρτησης Gauss είναι πρακτικά αμελητέες για αποστάσεις μεγαλύτερες από 6σ.
- Αυτό σημαίνει ότι παρόλο που μπορούμε να επιλέξουμε μέγεθος φίλτρου μεγαλύτερου από $\lceil 6\sigma \rceil \times \lceil 6\sigma \rceil$, αυτό δεν θα έχει κανένα απολύτως αποτέλεσμα
- Επειδή χρησιμοποιούμε περιττό αριθμό μεγέθους του φίλτρου, καταλήγουμε στον μικρότερο περιττό ακέραιο που ικανοποιεί την συνθήκη αυτή (π.χ 43X43 για σ=7)

Μέση και τυπική απόκλιση γινομένου (×) και συνέλιξης (★) συναρτήσεων τύπου Gauss

- Μια σημαντική ιδιότητα του φίλτρου αυτού είναι ότι η συνέλιξη ή το γινόμενο δύο Gaussian φίλτρων, δημιουργεί ένα νέο Gaussian φίλτρο.

	f	g	$f \times g$	$f \star g$
Μέσος όρος	m_f	m_g	$m_{f \times g} = \dfrac{m_f s_g^2 + m_g s_f^2}{s_f^2 + s_g^2}$	$m_{f \star g} = m_f + m_g$
Τυπική απόκλιση	s_f	s_g	$s_{f \times g} = \sqrt{\dfrac{s_f^2 s_g^2}{s_f^2 + s_g^2}}$	$s_{f \star g} = \sqrt{s_f^2 + s_g^2}$

Χαμηλοπερατά Gaussian φίλτρα

- Τα φίλτρα αυτής της κατηγορίας θα πρέπει να είναι μεγαλύτερα από τα box για να πετύχουν τον ίδιο βαθμό θολώματος.
- Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα Gaussian φίλτρα έχουν συντελεστές που μειώνονται όσο απομακρύνονται από το κέντρο, σε αντίθεση τα box έχουν παντού τους ίδιους συντελεστές.

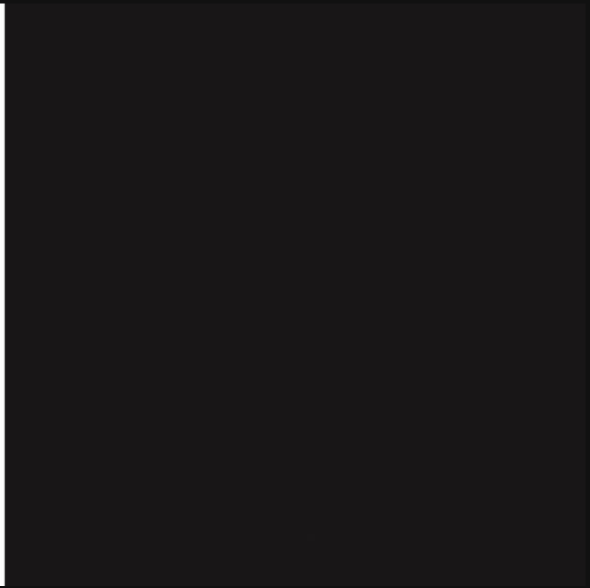
Δοκιμαστικό μοτίβο | Gaussian filter, 21X21 με σ=3.5 | Gaussian filter 43X43 με σ=7

Χρήση διαφορετικών παραμέτρων

- Αναφέραμε ότι δεν κερδίζουμε πολλά πράγματα αν χρησιμοποιήσουμε πυρήνα τύπου Gauss με διαστάσεις μεγαλύτερες από $\lceil 6\sigma \rceil \times \lceil 6\sigma \rceil$

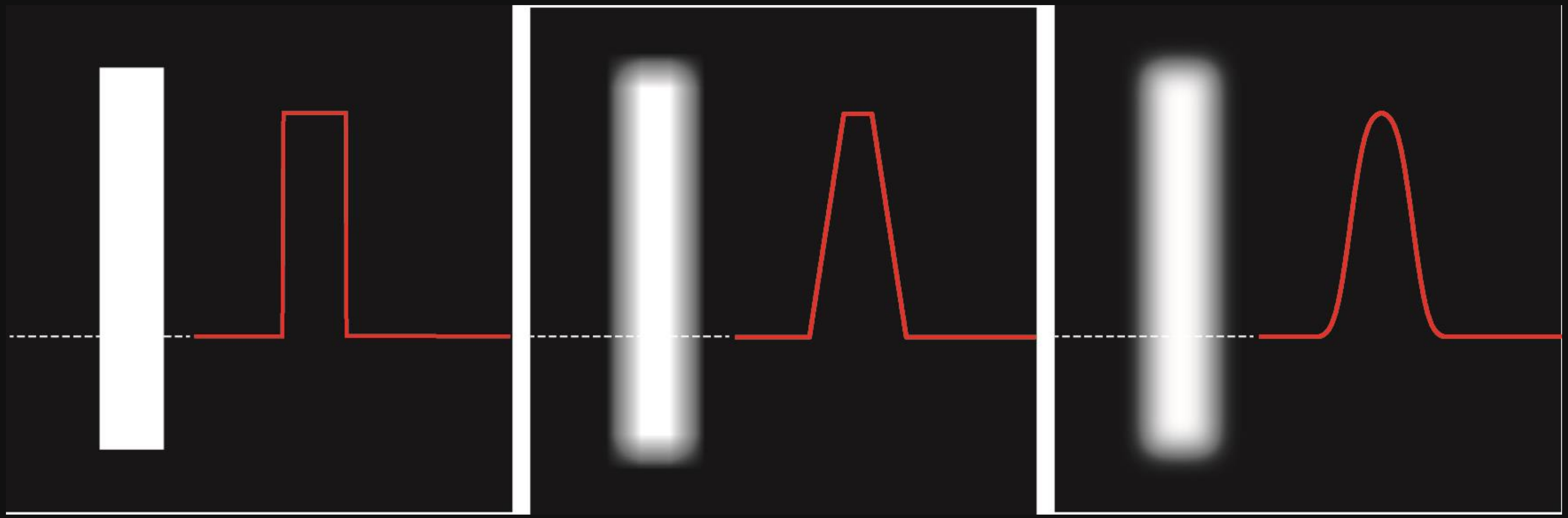
Αποτέλεσμα φιλτραρίσματος με πυρήνα 43Χ43 και σ=7

Αποτέλεσμα φιλτραρίσματος με πυρήνα 85Χ85 και σ=7



Η εικόνα διαφορά (0.75)

Σύγκριση χαρακτηριστικών εξομάλυνσης του box και του Gaussian

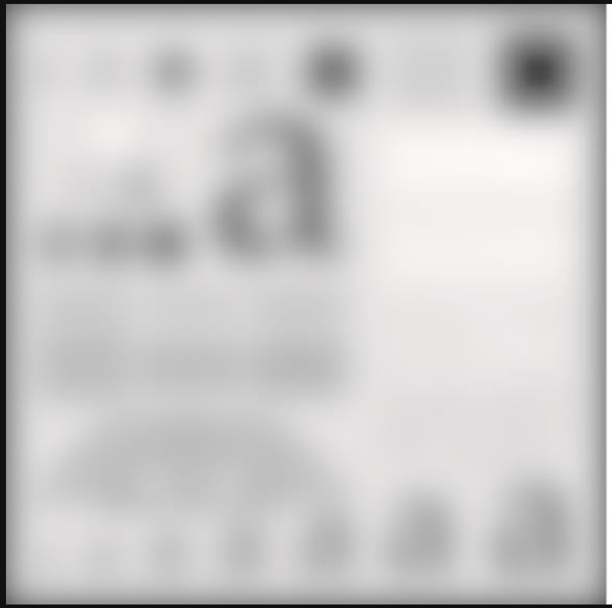


Εικόνα μιας λευκής περιοχής σε ένα μαύρο υπόβαθρο

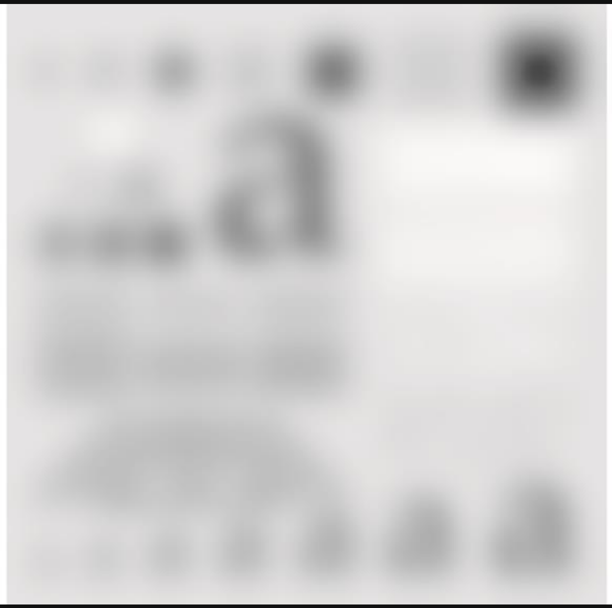
Εξομάλυνση με χρήση box filter 71X71

Εξομάλυνση με χρήση Gaussian φίλτρου 151X151 και K=1 και σ=25

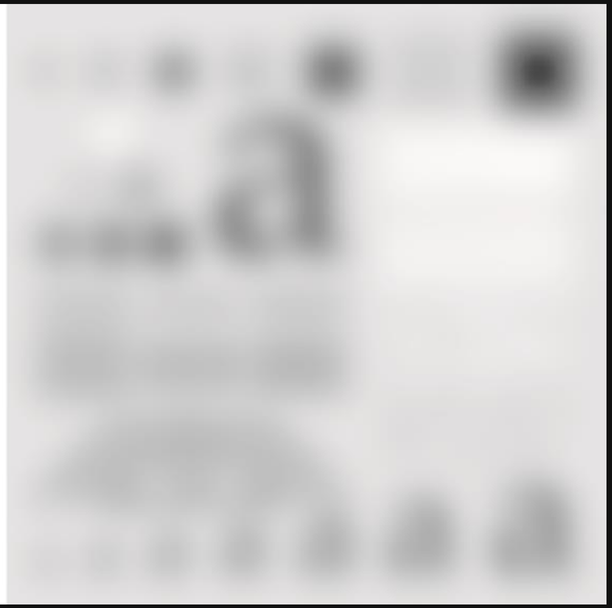
Φίλτρα εξομάλυνσης και περιγράμματα της εικόνας



Αποτέλεσμα φιλτραρίσματος με χρήση γεμίσματος με μηδενικά



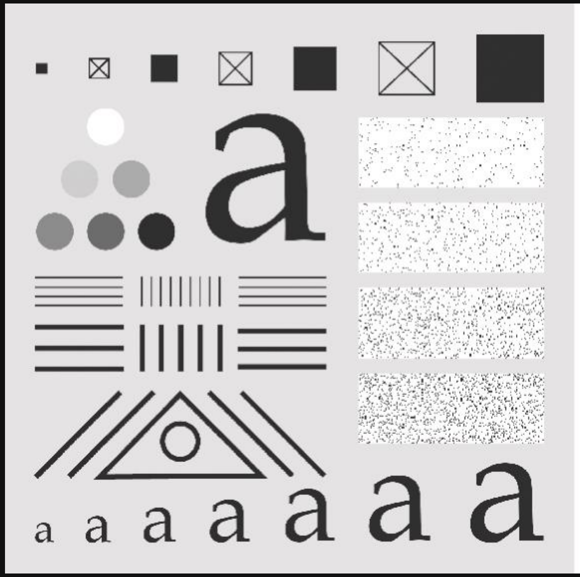
Κατοπτικό γέμισμα



Γέμισμα με επανάληψη

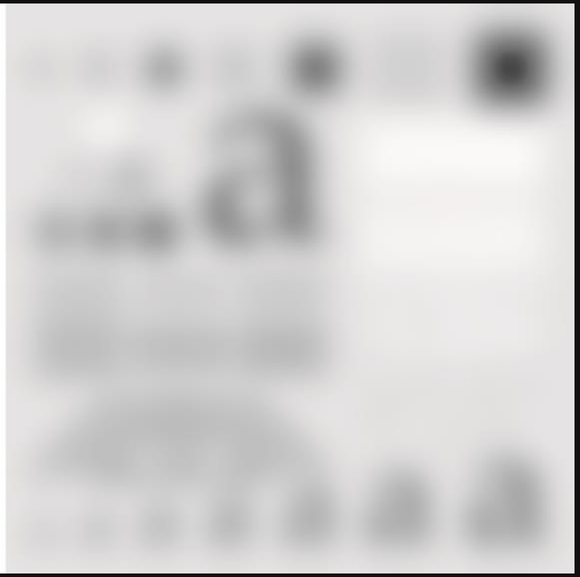
Χρήση φίλτρου Gauss 187X187, K=1, σ=31

Απόδοση εξομάλυνσης ως συνάρτηση του μεγέθους πυρήνα και εικόνας



Δοκιμαστική εικόνα 4096X4096
(τετραπλάσια σε μέγεθος)

Φιλτράρισμα με φίλτρο Gauss
187X187, K=1, σ=31

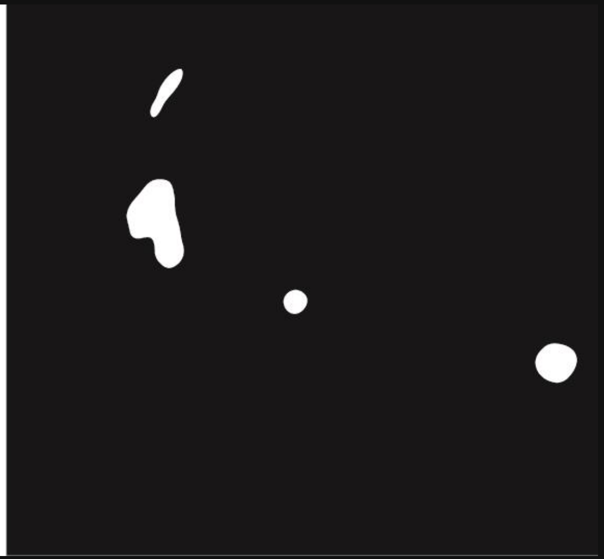


Φιλτράρισμα με φίλτρο Gauss
745X745, K=1, σ=124
(τετραπλάσια)

Χαμηλοπερατό φιλτράρισμα και κατωφλίωση για εξαγωγή περιοχών

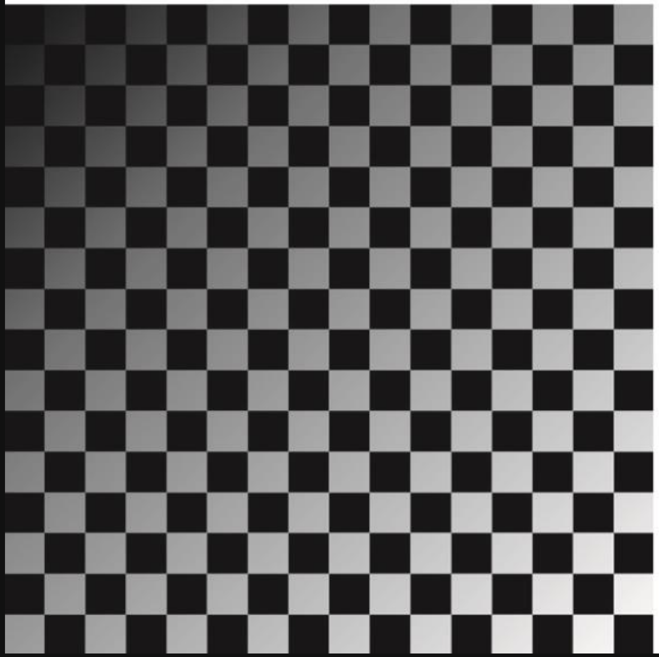
Εικόνα 2566X2758 του Hubble του Hickson Compact Group

Φιλτράρισμα με φίλτρο Gauss 151X151 σ=25 για την ανάδειξη τεσσάρων περιοχών



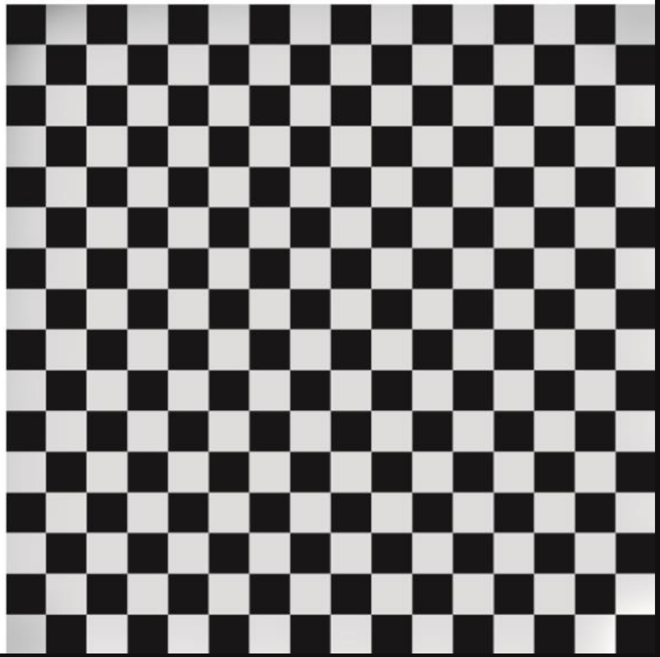
Αποτέλεσμα κατωφλίωσης της φιλτραρισμένης εικόνας με κατώφλι T=0.4 (κλιμάκωση φωτεινοτήτων στο [0,1])

Διόρθωση σκίασης με χαμηλοπερατό φιλτράρισμα



Εικόνα 2048X2048 σκιασμένη με ένα πρότυπο σκίασης προσανατολισμένο κατά τη διεύθυνση -45^{o}. Το μοτίβο σκακιέρας έχει διαστάσεις 128X128

Εκτίμηση των προτύπων σκίασης με χρήση χαμηλοπερατού φιλτραρίσματος με πυρήνα Gauss 512X512 (4-πλάσιο του μοτίβου σκακιέρας), K=1, σ=128 (ίση με το μέγεθος των τετραγώνων)



Το αποτέλεσμα της διαίρεσης της εικόνας (α) με το πρότυπο (β)

Υπολογιστικά πλεονεκτήματα διαχωρίσιμων φίλτρων

- Στην προηγούμενη εικόνα, το υπολογιστικό πλεονέκτημα του διαχωρίσιμου φίλτρου είναι 262:1
- Αν για παράδειγμα απαιτούνται 30 δευτερόλεπτα για το φιλτράρισμα της προηγούμενης εικόνας με διαχωρίσιμη μάσκα, θα θέλαμε 2.2 ώρες για το ίδιο αποτέλεσμα στην περίπτωση μη διαχωρίσιμου κατωδιαβατού φίλτρου

Χωρικά φίλτρα αύξησης της οξύτητας εικόνας

- Η οξύτητα τονίζει μεταπτώσεις της έντασης της εικόνας.
- Τα χωρικά φίλτρα αύξησης της οξύτητας:
  - Τονίζουν τις λεπτομέρειες της εικόνας
  - Τονίζουν περιοχές που έχουν υποστεί θόλωμα.
  - Είναι το αντίθετο από το θόλωμα εικόνας.
  - Είναι υψηπερατά φίλτρα.
  - Εφαρμόζονται με χωρική διαφόριση.

Χωρικά φίλτρα αύξησης της οξύτητας εικόνας

- Φίλτρα πρώτης παραγώγου
  - Μηδενικά σε επίπεδες περιοχές φωτεινότητας
  - Μη-μηδενικά στην έναρξη μεταβολής έντασης (ράμπας / βηματικής συνάρτησης φωτεινοτήτων)
  - Μη-μηδενικά κατά μήκους μιας ράμπας έντασης (γραμμική μεταβολή φωτεινότητας)
- Φίλτρα δεύτερης παραγώγου
  - Μηδενικά σε επίπεδες περιοχές φωτεινότητας
  - Μη-μηδενικά στην έναρξη και τέλος μεταβολής έντασης (ράμπας ή βηματικής συνάρτησης φωτεινοτήτων)
  - μηδενικά κατά μήκους μιας μεταβολής τύπου ράμπας σταθερής κλίσης (γραμμική μεταβολή φωτεινότητας).

Χωρικά φίλτρα αύξησης της οξύτητας εικόνας

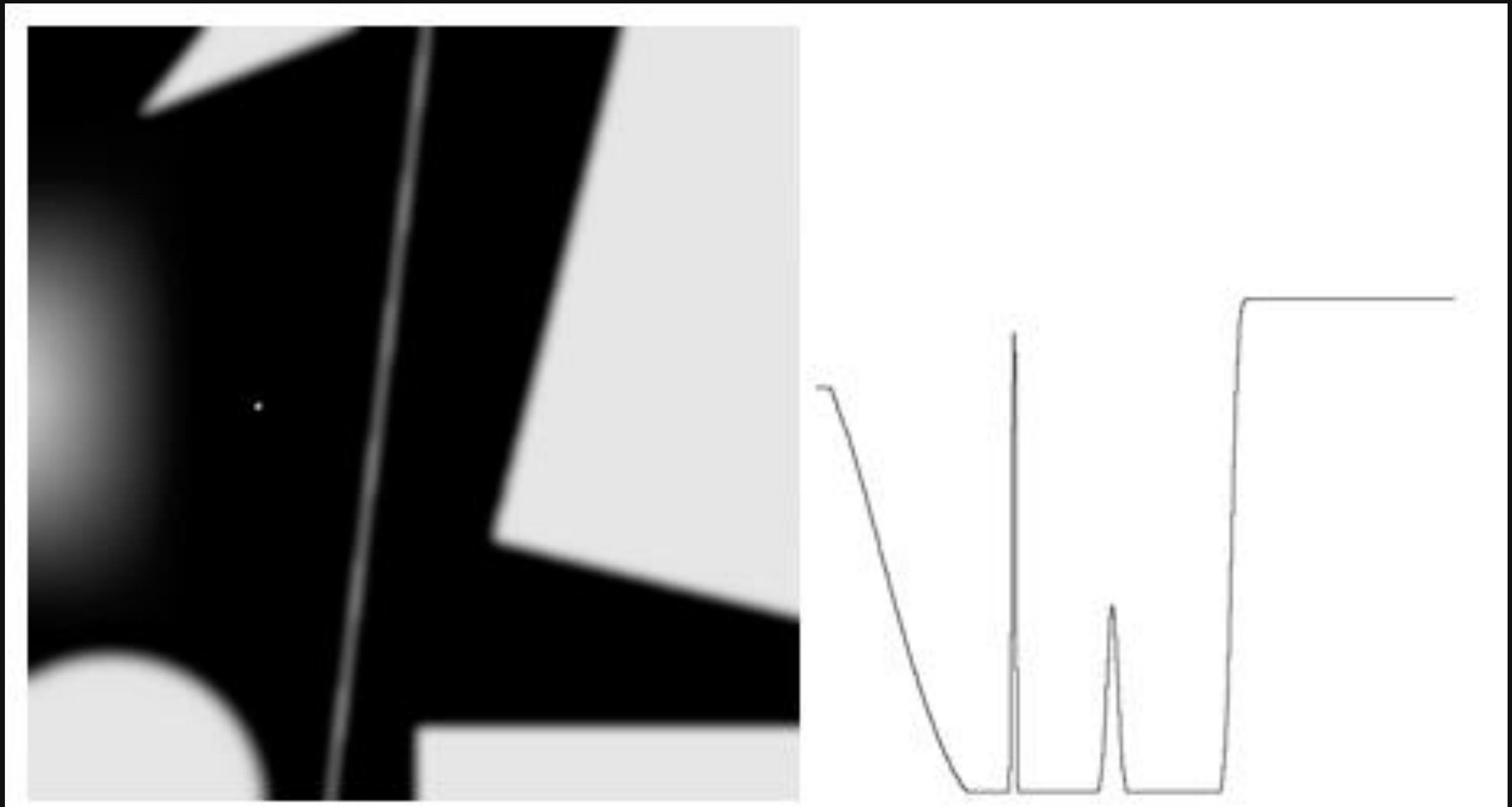
- Πρώτης τάξης 1-D

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1) - f(x)$$

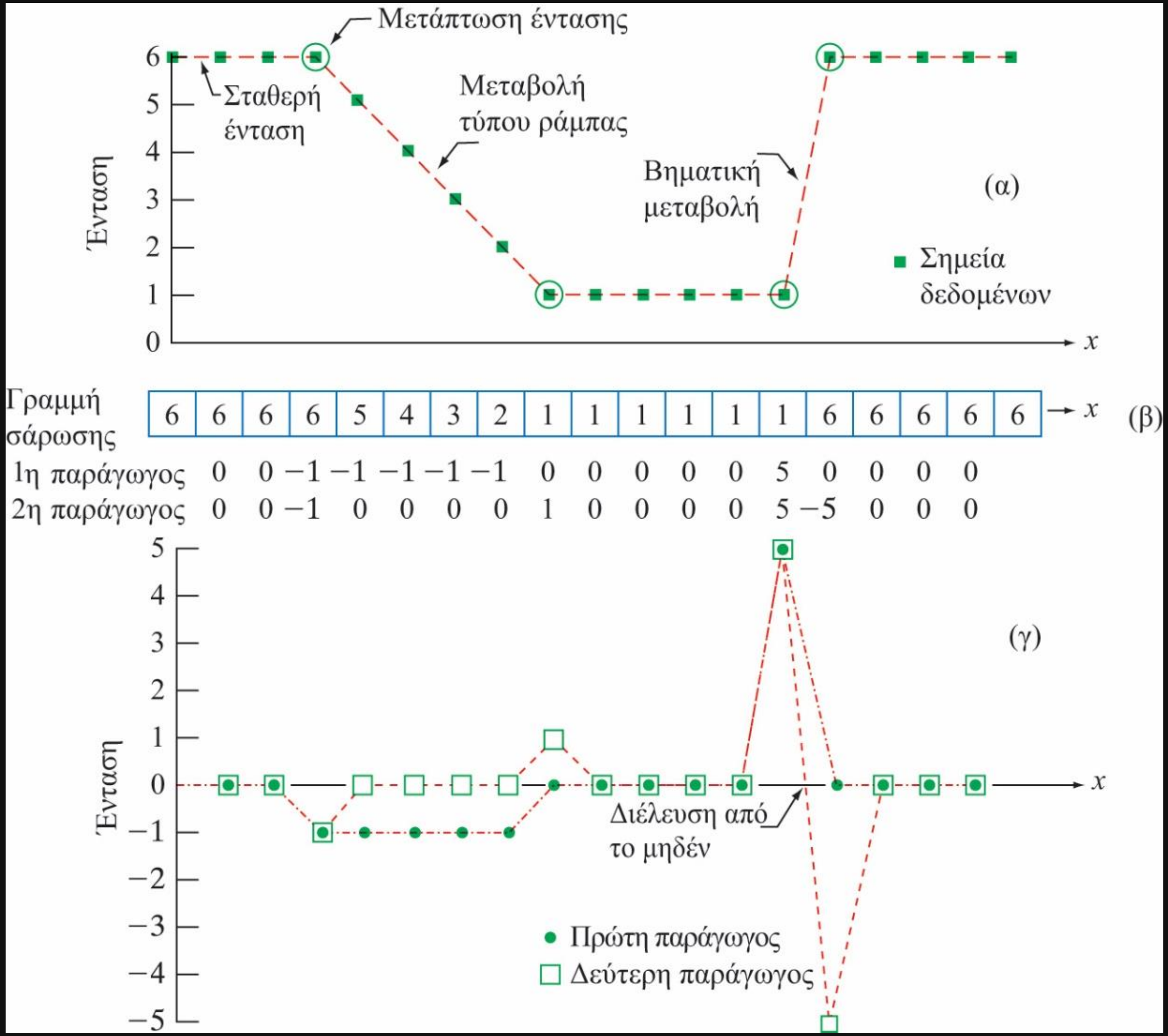
- Δεύτερης τάξης 2-D

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1) + f(x-1) - 2f(x)$$

Παράδειγμα υπολογισμού παραγώγων



Παράδειγμα



Μετάπτωση έντασης
Σταθερή ένταση
Μεταβολή τύπου ράμπας
Βηματική μεταβολή
(α)
Σημεία δεδομένων
Ένταση
Γραμμή σάρωσης
6 6 6 6 5 4 3 2 1 1 1 1 1 1 6 6 6 6 6
(β)
1η παράγωγος 0 0 −1 −1 −1 −1 −1 0 0 0 0 0 5 0 0 0 0
2η παράγωγος 0 0 −1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 5 −5 0 0 0
(γ)
Διέλευση από το μηδέν
Πρώτη παράγωγος
Δεύτερη παράγωγος

Συμπεράσματα

- Η παράγωγος 1ης τάξης δημιουργεί πιο χοντρές ακμές στην εικόνα.
- Η παράγωγος 2ης τάξης παρουσιάζει καλύτερη απόκριση σε λεπτές γραμμές και απομονωμένα σημεία.
- Η παράγωγος 2ης τάξης παρουσιάζει διπλή απόκριση σε βηματική αλλαγή φωτεινοτήτων.
- Η παράγωγος 1ης τάξης έχει πιο ισχυρή απόκριση σε βηματική αλλαγή φωτεινότητας.

Συμπεράσματα

- Χρησιμοποιούμε δεύτερης τάξης παραγώγους γιατί:
  - Απαιτούν λιγότερες πράξεις σε σχέση με αυτές της πρώτης τάξης
  - Ενισχύουν μικρολεπτομέρειες εικόνας καλύτερα από της πρώτης τάξης
  - Στη βηματική μεταβολή η γραμμή που ενώνει τις ακραίες τιμές έντασης της δεύτερης τάξης, τέμνει τον οριζόντιο άξονα σε κάποιο σημείο μεταξύ αυτών
  - Η διέλευση από το μηδέν χρησιμοποιείται σε διαδικασίες εντοπισμού ακμών σε εικόνες.

Laplacian παράγωγος 2ης τάξης

Διδιάστατες παράγωγοι δεύτερης τάξης

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

$$\downarrow$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y)$$

$$\downarrow$$

$$\nabla^2 f = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y)$$

Πυρήνες Laplacian φίλτρου

Φίλτρο Laplacian

0	1	0
1	−4	1
0	1	0

Φίλτρο Laplacian που χρησιμοποιεί διαγώνιους γείτονες

1	1	1
1	−8	1
1	1	1

Άλλες υλοποιήσεις του φίλτρου Laplacian

0	−1	0
−1	4	−1
0	−1	0

−1	−1	−1
−1	8	−1
−1	−1	−1

Πυρήνες Laplacian φίλτρου

- Ο πυρήνας (α) είναι ισότροπος για περιστροφές με βήμα μεταβολής 90^o ως προς τους άξονες x και y
- Ο πυρήνας (β) είναι ισότροπος για περιστροφές με βήμα μεταβολής 45^o ως προς τους άξονες x και y
- Η εφαρμογή τους τονίζει ασυνέχειες έντασης σε μια εικόνα και υπο-τονίζει περιοχές που τα επίπεδα έντασης μεταβάλλονται αργά.

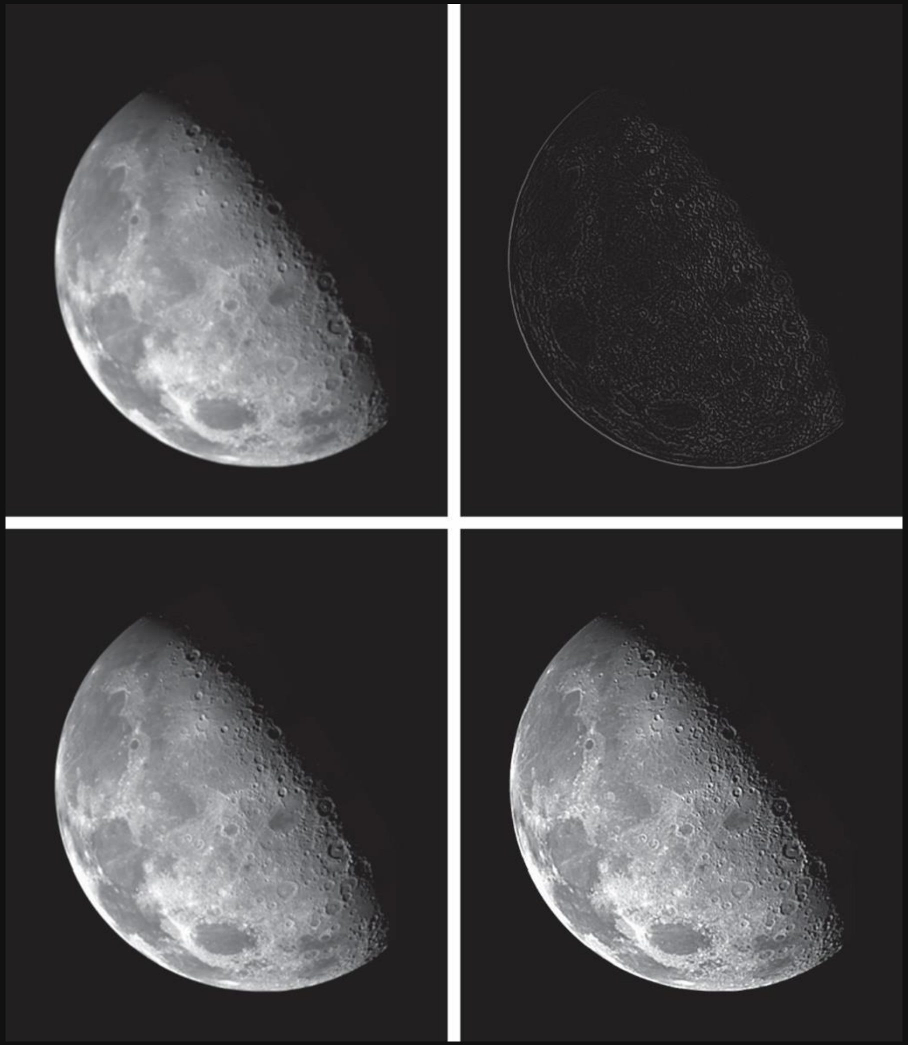
Εφαρμογή Laplacian φίλτρου

- Αποτέλεσμα έχει την δημιουργία εικόνων με γκριζωπές γραμμές ακμών και άλλων ασυνεχειών, οι οποίες είναι σε υπέρθεση με σκοτεινό υπόβαθρο χωρίς κάποια χαρακτηριστικά.
- Για την ανάκτηση των χαρακτηριστικών, πρέπει να προσθέσουμε το αποτέλεσμα αυτό, στην αρχική εικόνα
- Αν χρησιμοποιούμε αρνητικό τελεστή, τότε αφαιρούμε την επεξεργασμένη εικόνα κατά Laplace από την αρχική
- Αν χρησιμοποιούμε θετικό τελεστή, τότε προσθέτουμε την επεξεργασμένη εικόνα κατά Laplace στην αρχική

$$g(x,y) = f(x,y) + c[\nabla^2 f(x,y)]$$

Παράδειγμα – όξυνση με τη βοήθεια της Λαπλασιανής

Αρχική εικόνα Βόρειου Πόλου της Σελήνης

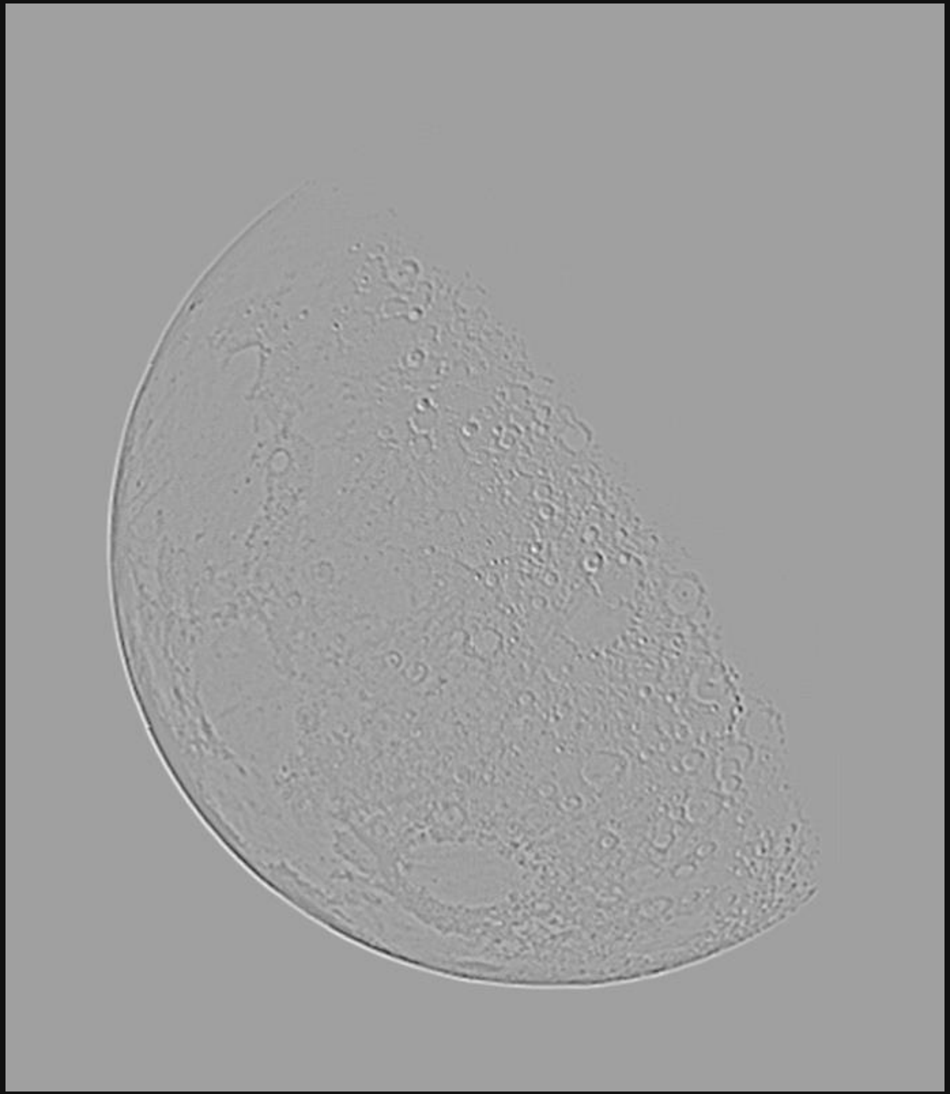


Φιλτραρισμένη με τον πυρήνα (α) (βλ. προηγούμενες διαφάνειες)

Φιλτραρισμένη εικόνα που προέκυψε μετά την υπέρθεση σην αρχική (c<0)

Φιλτραρισμένη με τον πυρήνα (β) (βλ. προηγούμενες διαφάνειες)

Η Λαπλασιανή εικόνα που σχηματίζεται με τον πυρήνα (β), κλιμακωμένη στην περιοχή [0,255]



Αφαίρεση εξομάλυνσης και ενισχυτικό φιλτράρισμα εικόνας

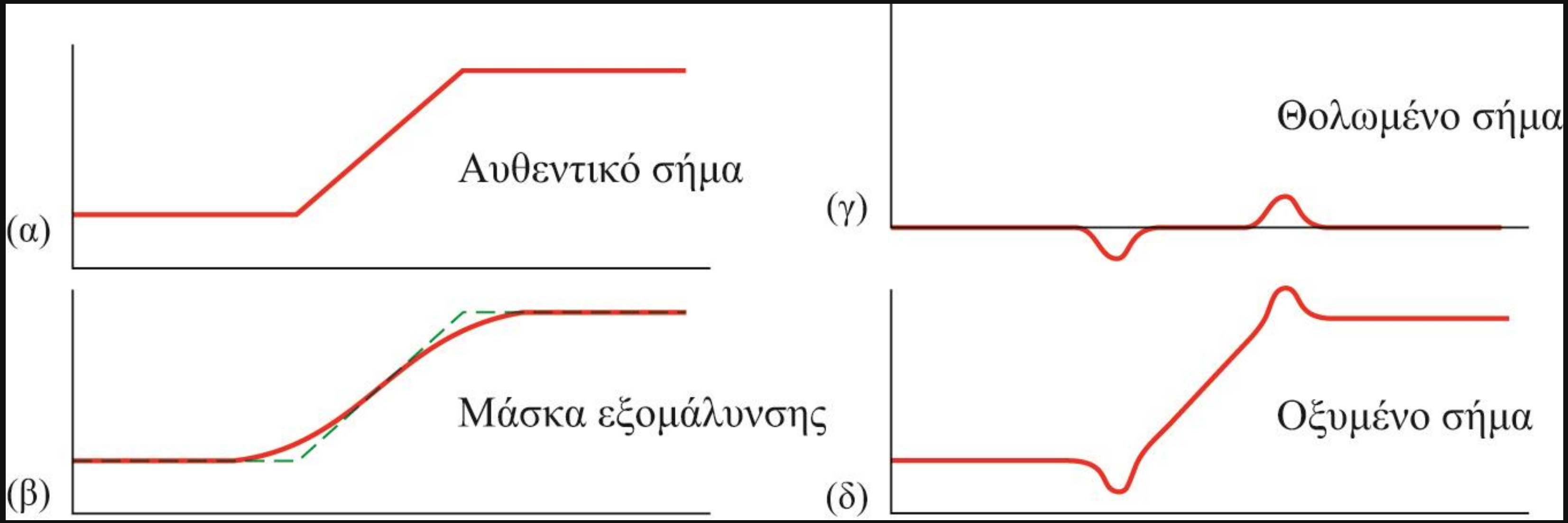
- Η αφαίρεση εξομάλυνσης μιας εικόνας μπορεί να γίνει ακολουθώντας τα ακόλουθα βήματα:
  - Η αρχική εικόνα υφίσταται θόλωση
  - Η θολωμένη εικόνα αφαιρείται από την αρχική. Η εικόνα που προκύπτει ονομάζεται μάσκα
  - Η παραπάνω μάσκα προστίθεται στην αρχική εικόνα.

$$g_{mask} = f(x,y) - \bar{f}(x,y)$$

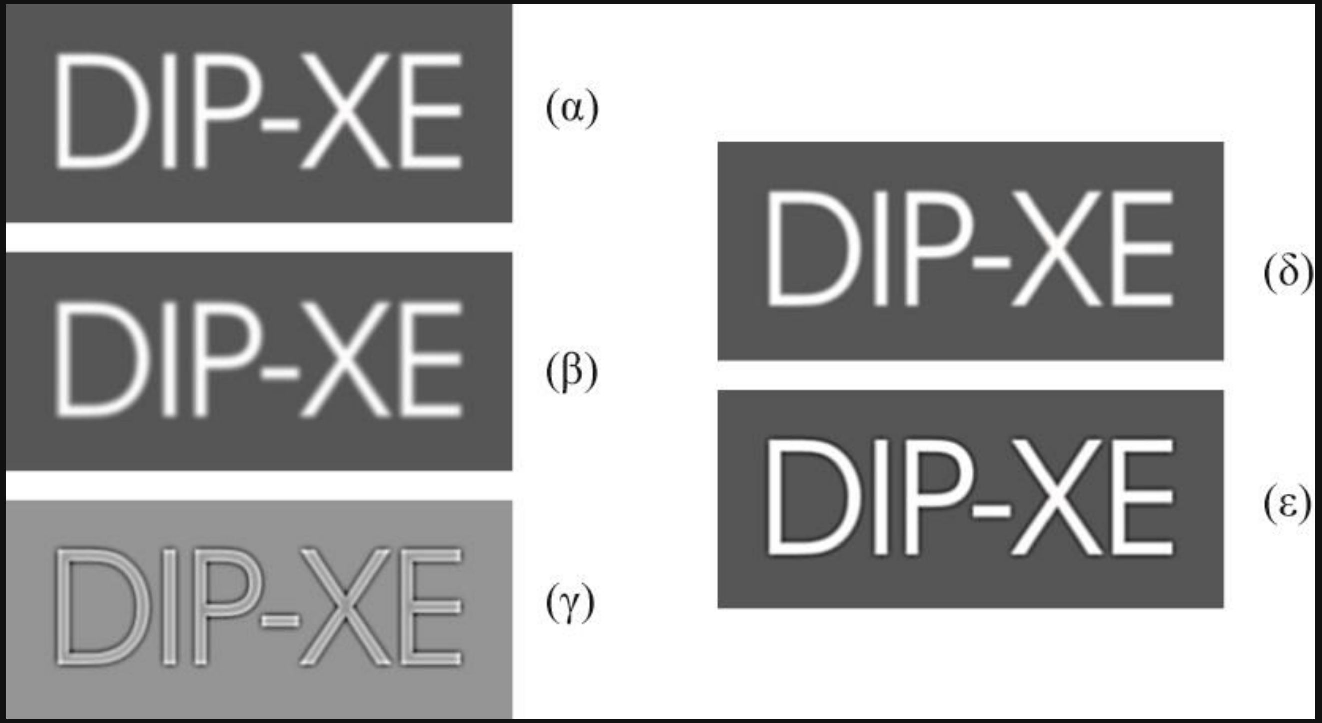
$$g(x,y) = f(x,y) + k * g_{mask}(x,y)$$

  - Όταν η παράμετρος k =1, τότε έχουμε αφαίρεση εξομάλυνσης
  - Όταν η παράμετρος k >1, τότε έχουμε ενισχυτικό φιλτράρισμα (highboost filtering)
  - Όταν η παράμετρος k<1, υπο-τονίζει την συνεισφορά της μεθόδου

Μονοδιάστατη επίδειξη μηχανισμού αφαίρεσης εξομάλυνσης



Αφαίρεση εξομάλυνσης και ενισχυτικό φιλτράρισμα εικόνας



(α) αρχική εικόνα 600X259 (β) το αποτέλεσμα της θόλωσης της εικόνας με χρήση τύπου Gauss 31X31, σ=5 (γ) η μάσκα αφαίρεσης εξομάλυνσης (δ) αποτέλεσμα της εφαρμογής με k=1 (ε) το αποτέλεσμα της εφαρμογής με k=4.5

Χρήση παραγώγων 1ης τάξης για όξυνση της εικόνας – η κλίση

$$\nabla \mathbf{f} = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial f}{\partial x} \\ \dfrac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}.$$

Η κλίση μιας εικόνας f(x,y) είναι διδιάστατο διάνυσμα και δείχνει προς την κατεύθυνση του μέγιστου ρυθμού μεταβολής της συνάρτησης f στην θέση (x,y)

$$\begin{aligned} \nabla f &= \mathrm{mag}(\nabla \mathbf{f}) \\ &= \left[G_x^2 + G_y^2\right]^{1/2} \\ &= \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2\right]^{1/2}. \end{aligned}$$

Το μέτρο του διανύσματος είναι μια εικόνα ίδιου μεγέθους με την αρχική (εικόνα – κλίση)

$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y|.$$

Προσέγγιση του μέτρου του διανύσματος (δεν ισχύει η ιδιότητα της ισοτροπικότητας)

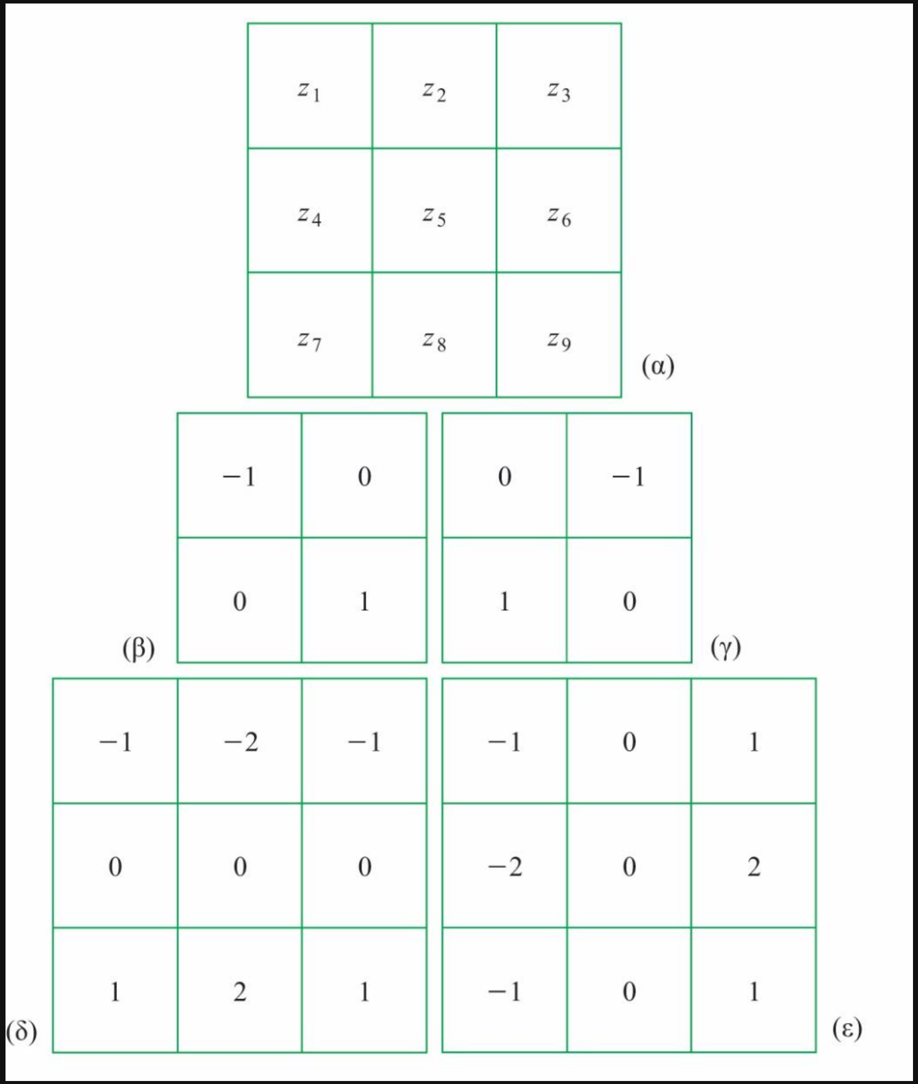
Spatial sharpening filters 1ης τάξης - Μάσκες

(α) μια περιοχή 3X3 εικόνας

(β)-(γ) οι τελεστές κλίσης Roberts και

(δ)-(ε) οι τελεστές του Sobel.

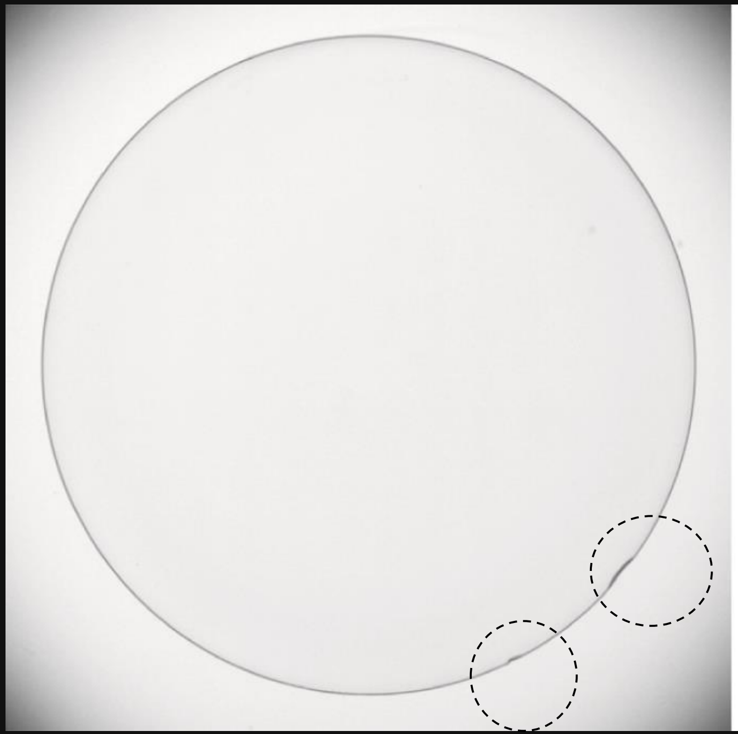
Το άθροισμα όλων των συντελεστών είναι ίσο με 0
όπως αναμένεται για έναν τελεστή παραγώγισης



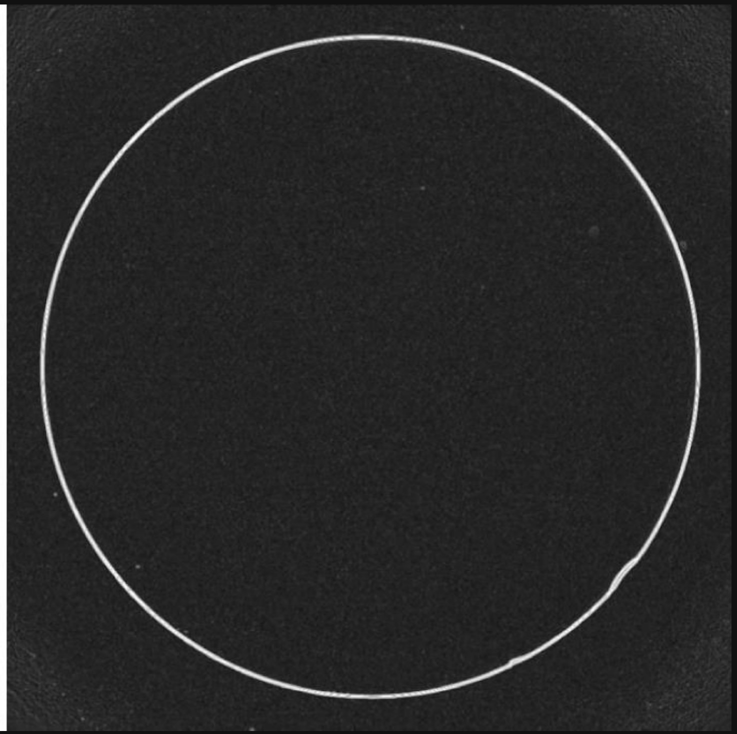
Μάσκες 1ης παραγώγου

- Το άθροισμα των στοιχείων τους είναι ίσο με ΜΗΔΕΝ.
- Σε περίπτωση σταθερής φωτεινότητας, το αποτέλεσμα της μάσκας θα είναι μηδέν αφού δεν υπάρχει διαφορά στη φωτεινότητα (1st order derivative).
- Οι μάσκες 3x3 καλούνται μάσκες Sobel.
- Οι διαφορές στις φωτεινότητες των pixel μεταξύ της 3ης και 1ης γραμμής προσεγγίζουν την παράγωγο στην x- κατεύθυνση.
- Οι διαφορές στις φωτεινότητες των pixel μεταξύ της 3ης και 1ης στήλης προσεγγίζουν την παράγωγο στην y- κατεύθυνση.
- Ο συντελεστής ίσος με 2 χρησιμοποιείται για να επιτύχει smoothing δίνοντας περισσότερη έμφαση στα κεντρικά pixel.

Παράδειγμα

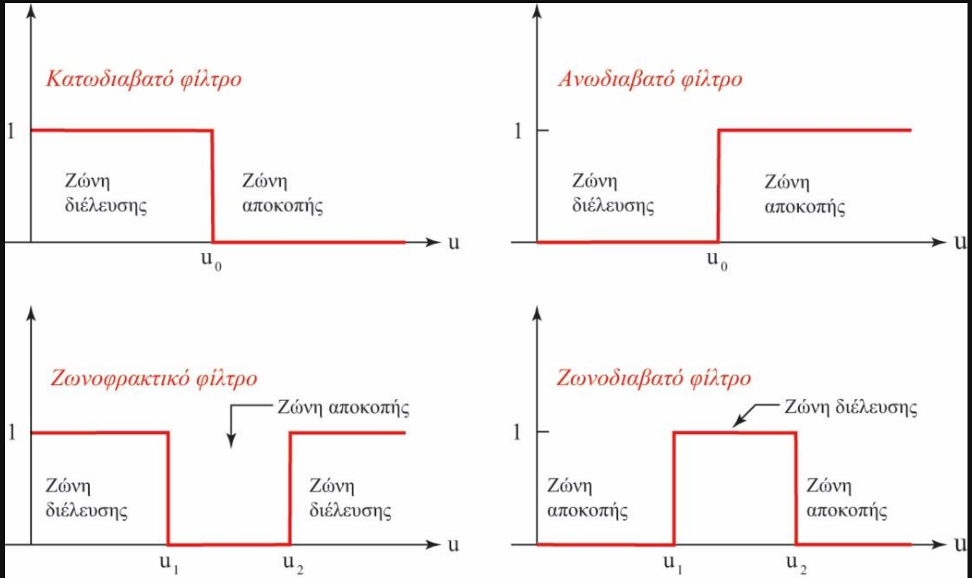


ΠΡΙΝ



ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ SOBEL

Κατασκευή διαφόρων τύπων φίλτρων από χαμηλοπερατά φίλτρα

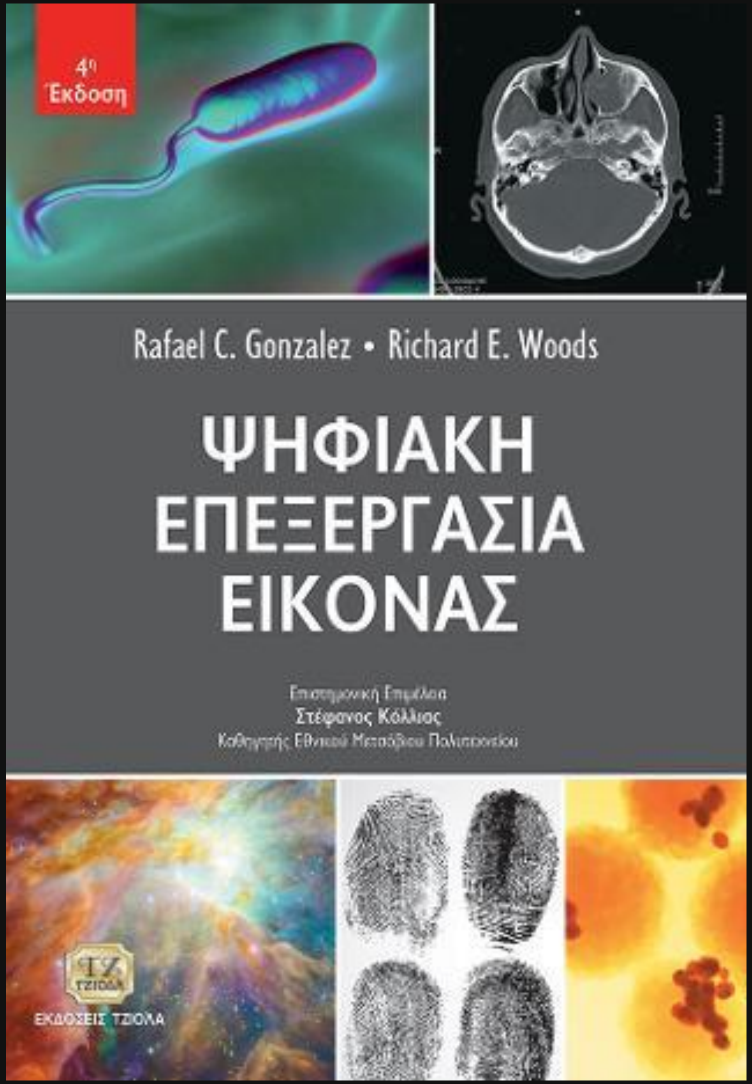


Συναρτήσεις μεταφοράς ιδανικών μονοδιάστατων φίλτρων στο πεδίο της συχνότητας

Οι τέσσερις βασικοί τύποι χωρικών φίλτρων που εκφράζονται με την βοήθεια χαμηλοπερατών φίλτρων

Τύπος φίλτρου	Χωρικός πυρήνας συναρτήσει του κατωδιαβατού πυρήνα, lp
Κατωδιαβατό	$lp(x,y)$
Ανωδιαβατό	$hp(x,y)=\delta(x,y)-lp(x,y)$
Ζωνοφρακτικό	$br(x,y)=lp_1(x,y)+hp_2(x,y)$ $=lp_1(x,y)+\left[\delta(x,y)-lp_2(x,y)\right]$
Ζωνοδιαβατό	$bp(x,y)=\delta(x,y)-br(x,y)$ $=\delta(x,y)-\left[lp_1(x,y)+\left[\delta(x,y)-lp_2(x,y)\right]\right]$

- Rafael Gonzalez, Richard Woods, Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας, 4η έκδοση, Κεφάλαιο 3, σελ 118-153



SIPPRE

SIGNAL AND IMAGE PROCESSING

PATTERN RECOGNITION GROUP

http://www.sippre-group.com