ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ (ΜΗΧ52)

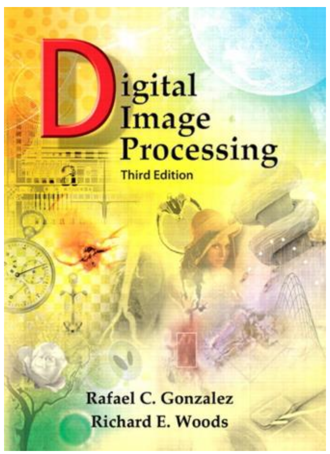
Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας 8η Διάλεξη

Κώστας Μαριάς
kmarias@staff.teicrete.gr

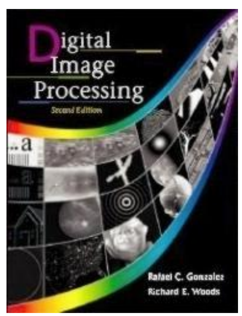
Αναφορές

An Introduction to Digital Image Processing with Matlab, Alasdair McAndrew

Nicolas Tsapatsoulis, “Βελτίωση Ποιότητας Εικόνας: Επεξεργασία στο πεδίο της Συχνότητας, Lecture notes in Digital Image Processing”, Image Processing Lectures, 2005.



“Digital Image Processing”, Rafael C.Gonzalez & Richard E. Woods, Addison-Wesley, 3rd edition



“Digital Image Processing”, Rafael C. Gonzalez & Richard E. Woods, Addison-Wesley, 2002

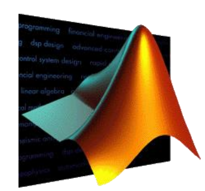
https://www.mathworks.com/examples/image

Περιεχόμενα Διάλεξης

- Η έννοια της Όξυνσης εικόνας – Image sharpening
- Τεχνικές όξυνσης εικόνας στο χωρικό αλλά και στο συχνοτικό πεδίο.

Για την καλύτερη παρακολούθηση έχουμε 3 ειδών διαφάνειες: Βασική πληροφορία (για προπτυχιακούς), Παραδείγματα Matlab για προπτυχιακούς και προχωρημένα ερευνητικά θέματα (research)


Basic


Matlab

Research

TEI Κρήτης
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Όξυνση εικόνας

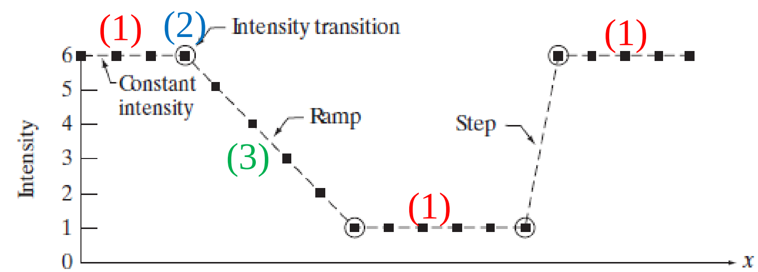
- Ο κύριος στόχος της όξυνσης είναι να αναδείξει τις μεταβάσεις στην ένταση.
- Χρήσεις της όξυνσης της εικόνας ποικίλλουν και περιλαμβάνουν εφαρμογές που κυμαίνονται από την ηλεκτρονική εκτύπωση και ιατρική απεικόνιση εως τη βιομηχανική επιθεώρηση και αυτόνομη καθοδήγηση σε στρατιωτικά συστήματα.
- Στις διαλέξεις 3-4 είδαμε ότι με χωρικό φιλτράρισμα π.χ. μέσου όρου σε μια οδηγούμαστε σε θόλωμα της εικόνας.
- Επειδή ο μέσος όρος επιτυγχάνεται με την ολοκλήρωση, είναι λογικό να συμπεράνουμε ότι όξυνση μπορεί να επιτευχθεί με χωρική διαφοροποίηση.

Όξυνση εικόνας

- Η δύναμη της απόκρισης ενός τελεστή παραγώγου είναι ανάλογη με το βαθμό της έντασης ασυνέχειας της εικόνας στο σημείο στο οποίο εφαρμόζεται.
- Έτσι, η διαφοροποίηση της εικόνας ενισχύει τα άκρα και άλλες ασυνέχειες (όπως ο θόρυβος) ενώ δεν δίνει έμφαση σε περιοχές με αργά μεταβαλλόμενες εντάσεις.
- Η παράγωγος μιας εικόνας ορίζεται με διαφορές στους γείτονες κάθε pixel. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να καθοριστούν αυτές οι διαφορές.

Όξυνση εικόνας

◆ Για την πρώτη παράγωγο:



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

Απαιτούμε κάθε ορισμός της στην εικόνα να ικανοποιεί τις παρακάτω συνθήκες:

(1) Να είναι μηδέν σε περιοχές σταθερής έντασης.

(2) Να είναι μη μηδενικό στην αρχή μιας ράμπας/ή σκαλοπατιού.

(3) Να είναι μη μηδενικό πάνω σε κάθε ράμπα έντασης.

'Digital Image Processing”, Rafael C.Gonzalez & Richard E. Woods, Addison-Wesley, 3rd edition’

Όξυνση εικόνας

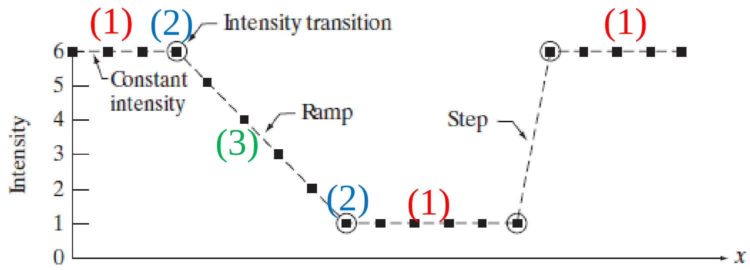
- Ομοίως, κάθε ορισμός μιας δεύτερης παραγώγου

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

(1) Να είναι μηδέν σε περιοχές σταθερής έντασης.

(2) Να είναι μη μηδενικό στην αρχή ΚΑΙ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ μιας ράμπας/ή σκαλοπατιού.

(3) Πρέπει να είναι μηδέν κατά μήκος ράμπας έντασης σταθερής κλίση.



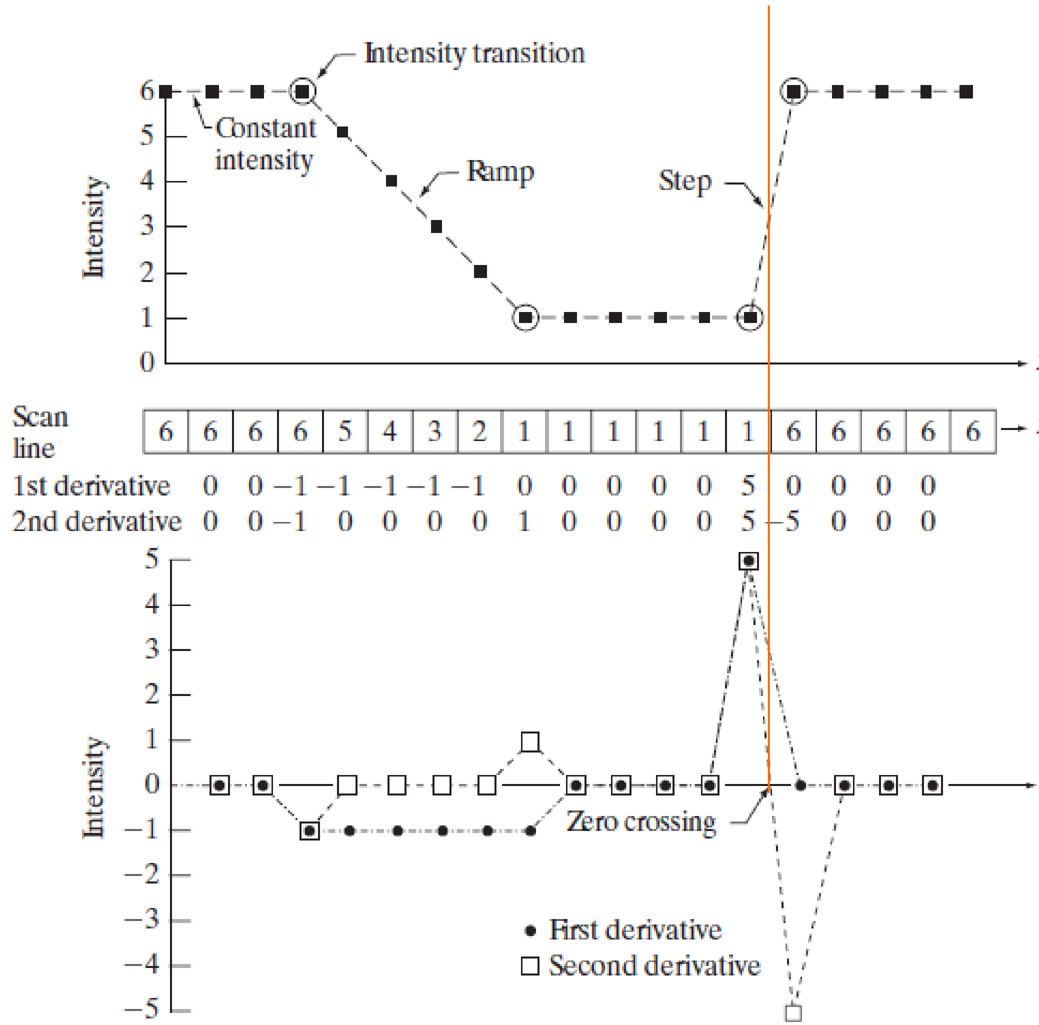
'Digital Image Processing", Rafael C.Gonzalez & Richard E. Woods, Addison-Wesley, 3rd edition'

Μορφή 1ης και 2ης παραγώγου

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

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

Επεξήγηση της πρώτης και δεύτερης παραγώγου μιας ψηφιακής συνάρτησης 1-D που αντιπροσωπεύει ένα τμήμα του οριζοντίου προφίλ έντασης από μια εικόνα (δηλαδή η ένταση κατά μήκος μιας γραμμής της εικόνας).



'Digital Image Processing'', Rafael C.Gonzalez & Richard E. Woods, Addison-Wesley, 3rd edition'

TEI Κρήτης
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Ακμές εικόνας

- Οι ακμές σε ψηφιακές εικόνες συχνά είναι μορφής ράμπας ως προς τις μεταβάσεις στην ένταση. Στις περιπτώσεις αυτές η πρώτη παράγωγος της εικόνας θα οδηγήσει σε παχιές ακμές επειδή η παράγωγος είναι μη μηδενική κατά μήκος μιας ράμπας.
- Από την άλλη πλευρά, η δεύτερη παράγωγος θα παράξει μια διπλή ακμή πάχους ενός pixel, με ενδιάμεσα μηδενικά.
- Γι'αυτό το λόγο συμπεραίνουμε ότι η δεύτερη παράγωγος τονίζει περισσότερο τις λεπτομέρειες πολύ καλύτερα από ότι η πρώτη παράγωγος.
- Επίσης είναι ευκολότερο να υλοποιήσουμε αριθμητικά και να εφαρμόσουμε τη δεύτερη παράγωγο.
- Για αυτούς τους λόγους τη χρησιμοποιούμε περισσότερο από την πρώτη για όξυνση της εικόνας.

Όξυνση εικόνας με τη δεύτερη παράγωγο (Λαπλασιανή – Laplacian)

- Η πιο απλή ισοτροπική παράγωγος είναι η Λαπλασιανή (Laplacian) η οποία για μια συνάρτηση 2Δ (εικόνα) ορίζεται ως:

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

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

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

Λαπλασιανή Μάσκα

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

$$= \boldsymbol{f(x+1,y)} + \boldsymbol{f(x-1,y)} + \boldsymbol{f(x,y-1)} + \boldsymbol{f(x,y+1)} - \boldsymbol{4f(x,y)}$$

f(x - 1, y - 1)	***f***(x - 1, y)	***f***(x - 1, y + 1)
f(x, y - 1)	***f***(x,y)	***f***(x, y + 1)
f(x + 1, y - 1)	***f***(x + 1, y)	***f***(x + 1, y + 1)

0	**1**	**0**
1	**-4**	**1**
0	**1**	**0**

Λαπλασιανή Μάσκα 2

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

$$= f(x+1,y) + f(x-1,y) + f(x,y-1) + f(x,y+1) + f(x+1,y+1) + f(x-1,y-1) + f(x+1,y-1) + f(x-1,y+1) - 8f(x,y)$$

***f*(x - 1, y - 1)**	***f*(x - 1, y)**	***f*(x - 1, y + 1)**
***f*(x, y - 1)**	***f*(x,y)**	***f*(x, y + 1)**
***f*(x + 1, y - 1)**	***f*(x + 1, y)**	***f*(x + 1, y + 1)**

1	**1**	**1**
1	**-8**	**1**
1	**1**	**1**

All the mask coefficients sum to zero, as expected of a derivative operator.

Όξυνση εικόνας με τη δεύτερη παράγωγο (Λαπλασιανή – Laplacian)

- Η Λαπλασιανή ως τελεστής παραγώγου ενισχύει ασυνέχειες έντασης στην εικόνα (π.χ. ακμές) ενώ παράλληλα αποσβένει περιοχές όπου οι εντάσεις μεταβάλλονται αργά.
- Το αποτέλεσμα είναι να έχουμε εικόνα με γκρίζες αποχρώσεις-γραμμμές στις ακμές και ασυνέχειες της εικόνας στο προσκήνιο, ενώ το υπόλοιπο εμφανίζεται ως σκοτεινό υπόβαθρο χωρίς ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.
- Τα χαρακτηριστικά του υποβάθρου μπορούν να «ανακτηθούν», μαζί με την επίδραση-όξυνση της Λαμπλασιανής απλά προσθέτοντας (ή αφαιρώντας) την Λαπλασσιανή εικόνα στην (από την) αρχική

Όξυνση εικόνας με τη δεύτερη παράγωγο (Λαπλασιανή – Laplacian)

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

- $f(x, y)\ και\ g(x, y)$ είναι οι εικόνες εισόδου και η βελτιωμένη εικόνα με όξυνση αντίστοιχα.
- Αν ο ορισμός που χρησιμοποιείται για τη Λαπλασιανή έχει αρνητικό συντελεστή κέντρο, τότε αφαιρούμε, αντί να προσθέσουμε τη Laplacian εικόνα για να έχουμε αποτέλεσμα όξυνσης=>

$$c = -1$$

Όξυνση εικόνας με τη δεύτερη παράγωγο (Λαπλασιανή – Laplacian)

```
A=imread('moon.tif');
h=fspecial('laplacian');
A2=conv2(double(A),h);
Acr=A2(2:538,2:359);

Asharp=mat2gray(mat2gray(A)-mat2gray(Acr));

subplot(1,2,1), imshow(A),title('Αρχική εικόνα φεγγάρι');
subplot(1,2,2), imshow(Asharp),title('Όξυνση εικόνας με Laplacian');
```

0.1667	**0.6667**	**0.1667**
0.6667	**-3.3333**	**0.6667**
0.1667	**0.6667**	**0.1667**

Matlab

Όξυνση εικόνας με τη δεύτερη παράγωγο (Λαπλασιανή – Laplacian)

Αρχική εικόνα φεγγάρι

Όξυνση εικόνας με Laplacian

Όξυνση εικόνας με μέθοδο unsharp

- Είναι μια διαδικασία που έχει χρησιμοποιηθεί για πολλά χρόνια από τη βιομηχανία εκτύπωσης και εκδόσεων για να οξύνει εικόνες. Αποτελείται από την αφαίρεση μιας εξομαλυμένης έκδοσης μιας εικόνας από την αρχική.
- Η διαδικασία ονομάζεται *unsharp masking*, και αποτελείτε από τα παρακάτω βήματα:
  - **1.** Θόλωμα της αρχικής εικόνας: $f(x,y) \,{-}{>}\, \bar{f}(x,y)$
  - **2.** Αφαίρεση της θολωμένης από την αρχική για να πάρουμε τη μάσκα:

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

  - **3.** Πρόσθεση της μάσκας στην αρχική:

$$g(x,y) = f(x,y) + k \cdot gmask(x,y)$$

k=1 → unsharp filtering

k>1 → highboost filtering

Όξυνση εικόνας με μέθοδο unsharp

```
I = imread('moon.tif');
%Create filter, using fspecial
h = fspecial('unsharp')

%Apply filter to image using imfilter .

I2 = imfilter(I,h);
%Display original image and filtered image for comparison.

subplot(1,2,1), imshow(I),title('Αρχική εικόνα φεγγάρι');
subplot(1,2,2), imshow(I2),title('Όξυνση εικόνας με Unsharp');
```

-0.1667	-0.6667	-0.1667
-0.6667	4.3333	-0.6667
-0.1667	-0.6667	-0.1667

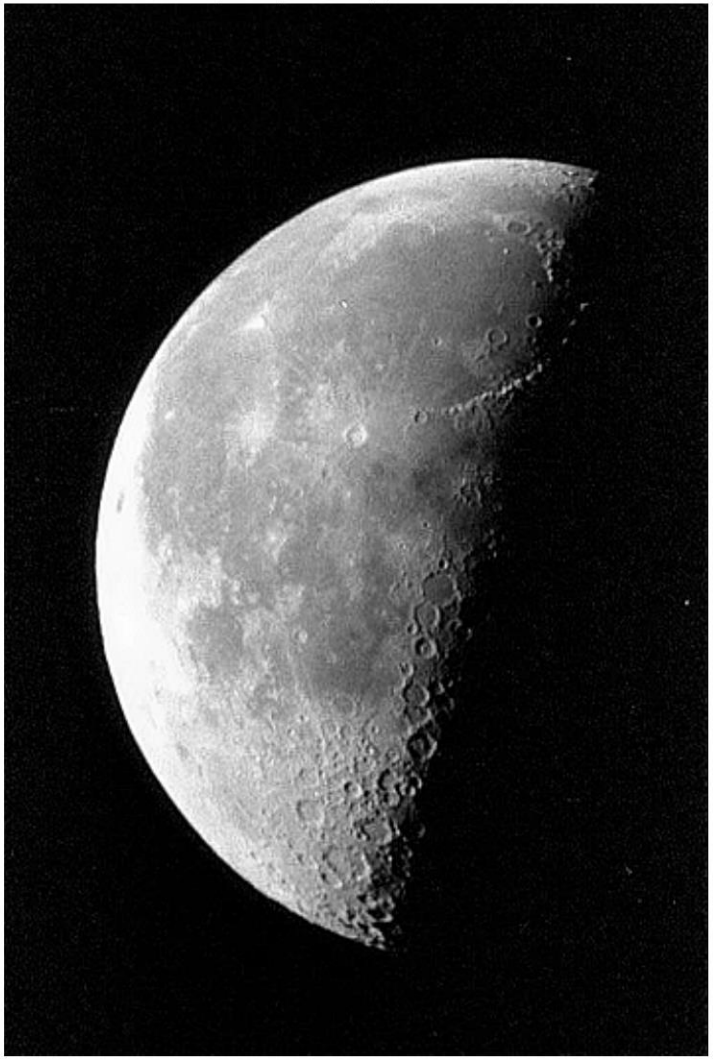
Matlab

TEI Κρήτης
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Όξυνση εικόνας με μέθοδο unsharp

Αρχική εικόνα φεγγάρι

Όξυνση εικόνας με Unsharp



Η πρώτη παράγωγος για μη γραμμική όξυνση εικόνας (Gradient-κλίση εικόνας)

- ΟΙ πρώτοι παράγωγοι στην επεξεργασία εικόνας μπορούν να υλοποιηθούν με χρήση του πλάτους του διανύσματος της κλίσης!
- Για μια εικόνα $f(x, y)$, η κλίσης της f στις συντεταγμένες (x, y) ορίζεται ως ο πίνακας στήλη:

$$\nabla f = grad(f) \equiv \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial f(x, y)}{\partial x} \\ \dfrac{\partial f(x, y)}{\partial y} \end{bmatrix}$$

Το πλάτος του $\delta\iota\alpha\nu\acute{\upsilon}\sigma\mu\alpha\tau o\varsigma\ \nabla f$ είναι η εικόνα κλίσης:

$$M(x, y) = mag(\nabla f) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2}$$

Η πρώτη παράγωγος για μη γραμμική όξυνση εικόνας (Gradient-κλίση εικόνας)

Το πλάτος του $διανύσματος\ \nabla f$ είναι η εικόνα κλίσης η οποία μπορεί να προσεγγιστεί ως ακολούθως:

$$M(x,y) = mag(\nabla f) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \approx |g_x| + |g_y|$$

Η πρώτη παράγωγος για μη γραμμική όξυνση εικόνας (Gradient-κλίση εικόνας)

- gradient image: $M(x,y) = mag(\nabla f) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \approx |g_x| + |g_y|$

$$|g_x| = |\boldsymbol{f(x+1, y-1) + 2f(x+1, y) + f(x+1, y+1) - f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1)}|$$

f(x - 1, y - 1)	***f***(x - 1, y)	***f***(x - 1, y + 1)
f(x, y - 1)	***f***(x,y)	***f***(x, y + 1)
f(x + 1, y - 1)	***f***(x + 1, y)	***f***(x + 1, y + 1)

→

-1	**-2**	**-1**
0	**0**	**0**
1	**2**	**1**

Sobel operator g_x

ΤΕΙ Κρήτης
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Η πρώτη παράγωγος για μη γραμμική όξυνση εικόνας (Gradient-κλίση εικόνας)

- gradient image: $M(x,y) = mag(\nabla f) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \approx |g_x| + |g_y|$

$$|g_y| = |f(x-1,y+1) + 2f(x,y+1) + f(x+1,y+1) - f(x-1,y-1) - 2f(x,y-1) - f(x+1,y-1)|$$

f(x - 1, y - 1)	*f*(x - 1, y)	*f*(x - 1, y + 1)
f(x, y - 1)	*f*(x,y)	*f*(x, y + 1)
f(x + 1, y - 1)	*f*(x + 1, y)	*f*(x + 1, y + 1)

→

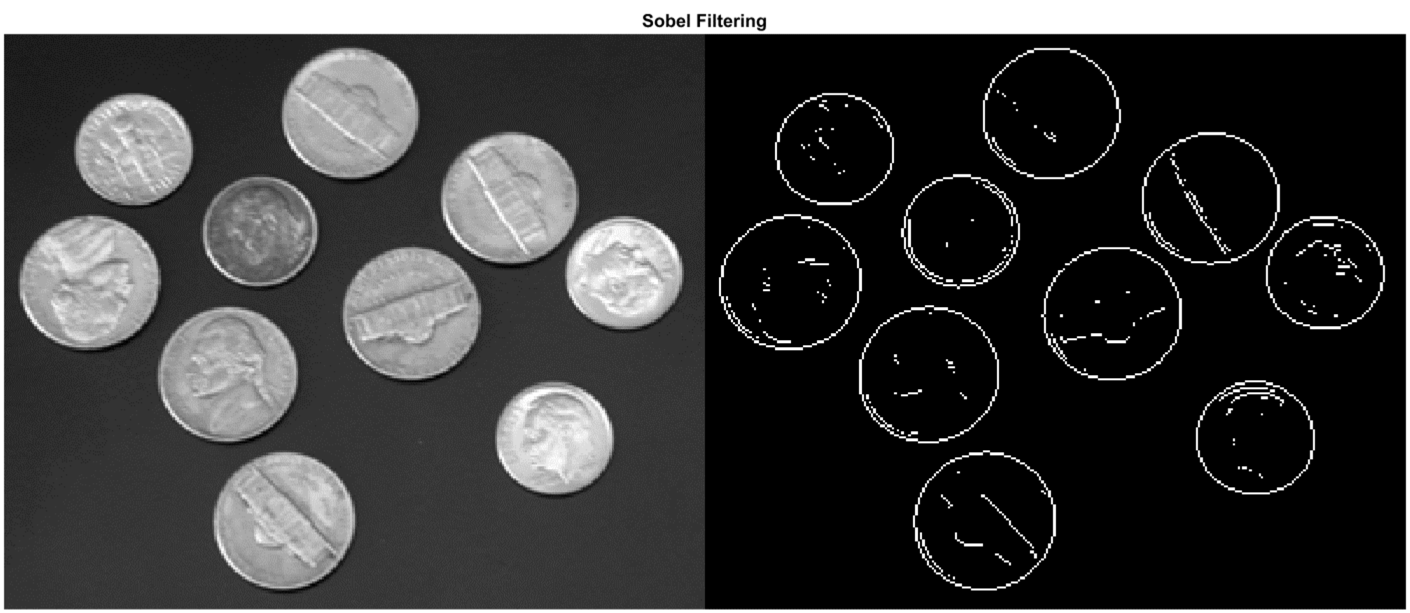
-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Sobel operator g_y

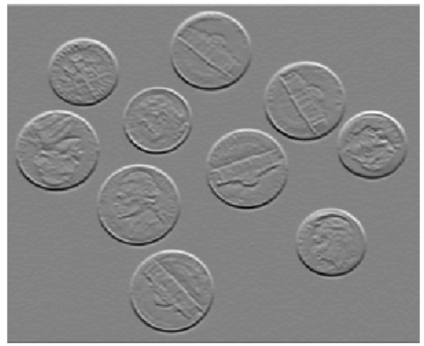
Η πρώτη παράγωγος για μη γραμμική όξυνση εικόνας (Gradient-κλίση εικόνας)

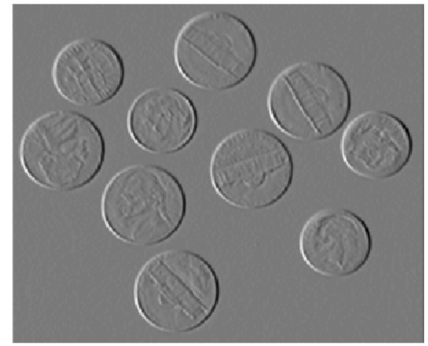
```
I = imread('coins.png');
BW1 = edge(I,'sobel');
figure;
imshowpair(I,BW1,'montage')
title('Sobel Filtering');
```

Matlab



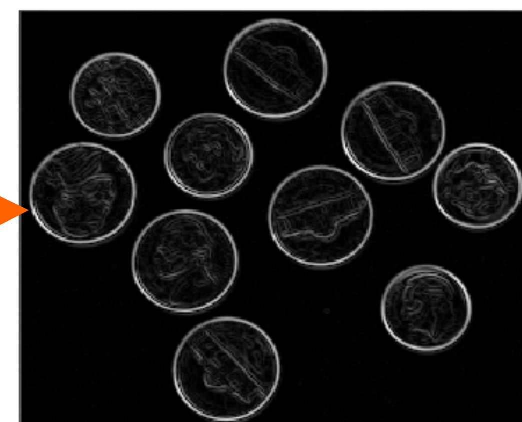
```
I = imread('coins.png');
```





```
sobelx=[-1 -2 -1; 0 0 0; 1 2 1];
Ix=filter2(sobelx,I);
sobely=sobelx';
Iy=filter2(sobely,I);
```

```
figure, imshow(mat2gray(Ix.^2+Iy.^2))
figure, imshow(mat2gray(sqrt(Ix.^2+Iy.^2)))
figure, imshow(mat2gray(abs(Ix)+abs(Iy)))
```



Όξυνση εικόνας με φίλτρα στο πεδίο συχνοτήτων

- Επειδή οι ακμές άλλα και οι απότομες μεταβολές στις εντάσεις συνδέονται με τα συστατικά υψηλών συχνοτήτων της εικόνας, μπορεί να γίνει όξυνση της εικόνας και στο πεδίο συχνοτήτων με υψιπερατό φιλτράρισμα, το οποίο εξασθενεί τα συστατικά χαμηλών συχνοτήτων χωρίς να αλλοιώνει πληροφορία υψηλής συχνότητας κατά τον μετασχηματισμό Fourier.
- Αυτό μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας Butterworth, και Gaussian φίλτρα υψηλής διέλευσης όπως συζητήσαμε στις διαλέξεις 5-7.

ΔΜF: Υψιπερατά Φίλτρα-ιδεατά

Matlab

```
[x,y]=meshgrid(-128:127,-128:127);
%z=sqrt(x.^2+y.^2);
%c1=(z>10); c2=(z>35);
c1=1-1./(1+((x.^2+y.^2)/35^2));
c2=1-1./(1+((x.^2+y.^2)/65^2));
I=imread('cameraman.tif');
F=fftshift(fft2(I));
cF1=F.*c1; cF2=F.*c2;
IcF1=ifft2(cF1); IcF2=ifft2(cF2);
subplot(2,4,1);imshow(I,[]), title('Original Image');
subplot(2,4,2);imshow(mat2gray(log(1+abs(F)))), title('DFT of Image');
subplot(2,4,3);imshow(mat2gray(log(1+abs(cF1)))), title('Highpass mask cutoff 35');
subplot(2,4,4);imshow(mat2gray(log(1+abs(cF2)))), title('Highpass mask cutoff 65');
subplot(2,4,6);imshow(mat2gray(abs(IcF1))), title('Filtered with mask HP35');
subplot(2,4,7);imshow(mat2gray(abs(IcF2))), title('Filtered with mask HP 65');
```

$$H(u,v) = \frac{1}{1+\left(\frac{D(u,v)}{D_0}\right)^{2n}}$$

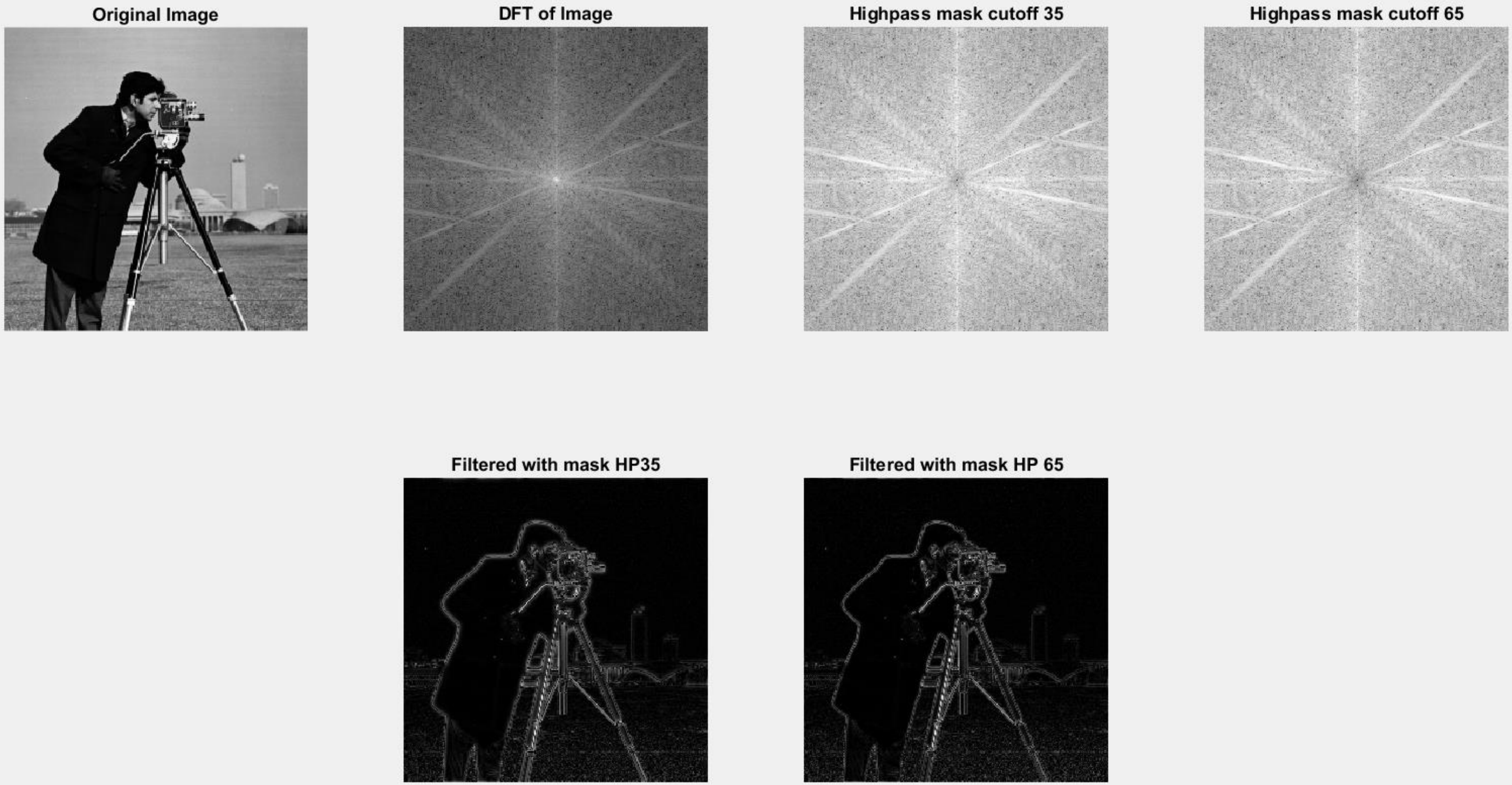
$$H(u,v) = c1, c2$$

$$n = 1$$

$$\left(\frac{D(u,v)}{D_0}\right)^2 = \left(\frac{\mathrm{sqrt(x.^\wedge 2 + y.^\wedge 2)}}{35}\right)^2$$

ΔΜF: Υψιπερατά Φίλτρα-ιδεατά

Matlab



Η Λαπλασιανή στο πεδίο Συχνοτήτων

- Ενώ η Λαπλασιανή βελτιώνει την εικόνα (με όξυνση εικόνας) στο χωρικό πεδίο μπορει να δώσει ανάλογα αποτελέσματα και στο πεδίο συχνοτήτων.
- Μπορεί να αποδειχτεί ότι η Laplacian υλοποιείίτε στο πεδίο συχνοτήτων χρησιμοποιώντας το φίλτρο:

$$\nabla^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2} \qquad H(u,v) = -4\pi^2(u^2 + v^2)$$

- Ή αν θεωρήσουμε τις αποστάσεις από το ‘κεντρο’ του συχνοτικού ορθογωνίου, χρησιμοποιώντας το φίλτρο:

$$H(u,v) = -4\pi^2\left[\left(u - \frac{P}{2}\right)^2 + \left(v - \frac{Q}{2}\right)^2\right] = -4\pi D^2_{(u,v)}$$

Η Λαπλασιανή στο πεδίο Συχνοτήτων

Matlab

$$H(u,v) = -4\pi D^{2}_{(u,v)}$$

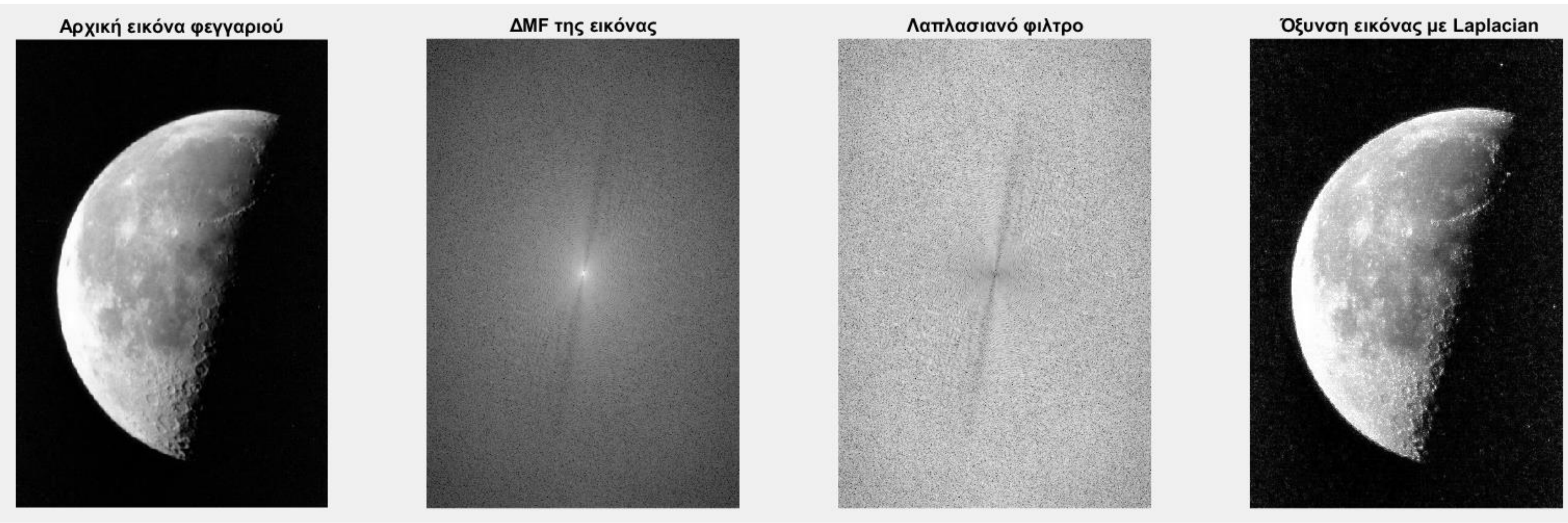
```
I=imread('moon.tif');
[m n]=size(I);
[x,y]=meshgrid(-n/2:n/2-1,-m/2:m/2-1);
c1=-4*(pi^2)*(x.^2+y.^2);
figure, imshow(c1,[])

F=fftshift(fft2(I));
cF1=F.*c1; IcF1=ifft2(cF1);

IF=mat2gray(abs(IcF1));
Isharp=mat2gray(I)+IF;

subplot(1,4,1);imshow(I,[]), title('Αρχική εικόνα φεγγαριού');
subplot(1,4,2);imshow(mat2gray(log(1+abs(F)))), title('ΔΜF της εικόνας');
subplot(1,4,3);imshow(mat2gray(log(1+abs(cF1)))), title('Λαπλασιανό φιλτρο');
subplot(1,4,4);imshow(Isharp), title(' Όξυνση εικόνας με Laplacian');
```

The Laplacian in the Frequency Domain



End of today's lecture

Thank you for your attention!