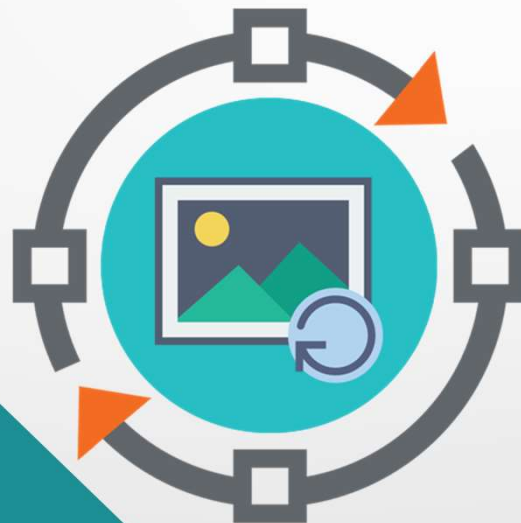




Επεξεργασία Εικόνας & Βίντεο

10. Σύνοψη Μαθήματος

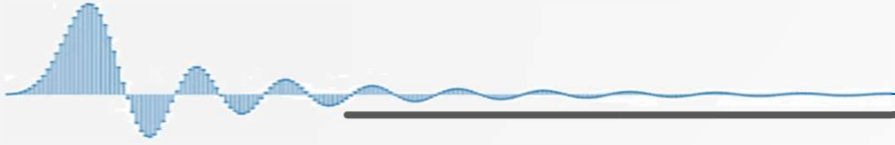
Εισηγητής: Νικόλαος Γιαννακέας
Επίκουρος Καθηγητής, Σημάτων & Συστημάτων



- Ορισμός Εικόνας
- Εισαγωγή στην Επεξεργασία
- Βελτίωση/Προεπεξεργασία Εικόνας
 - Στο πεδίο φωτεινότητας (Φίλτρα Συνέλιξης)
 - Στο πεδίο συχνότητας (Fourier – DCT)
 - Γεωμετρικοί μετασχηματισμοί (Affine T.)
 - Βελτίωση ιστογράμματος (Μετασχημ. & Ισοστάθμιση
- Κατάτμηση Εικόνας
 - Κατωφλίωση Ιστογράμματος
 - Μορφολογία
 - Εντοπισμός Ακμών
 - Μηχανική Μάθηση (Ομαδοποίηση σε επίπεδο εικονοστοιχείου)
- Ποσοτικοποίηση
- Ερμηνεία αντικειμένων με μηχανική μάθηση

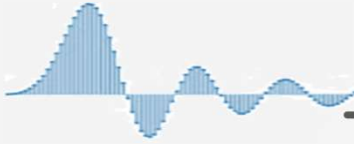


Ύλη
Μαθήματος

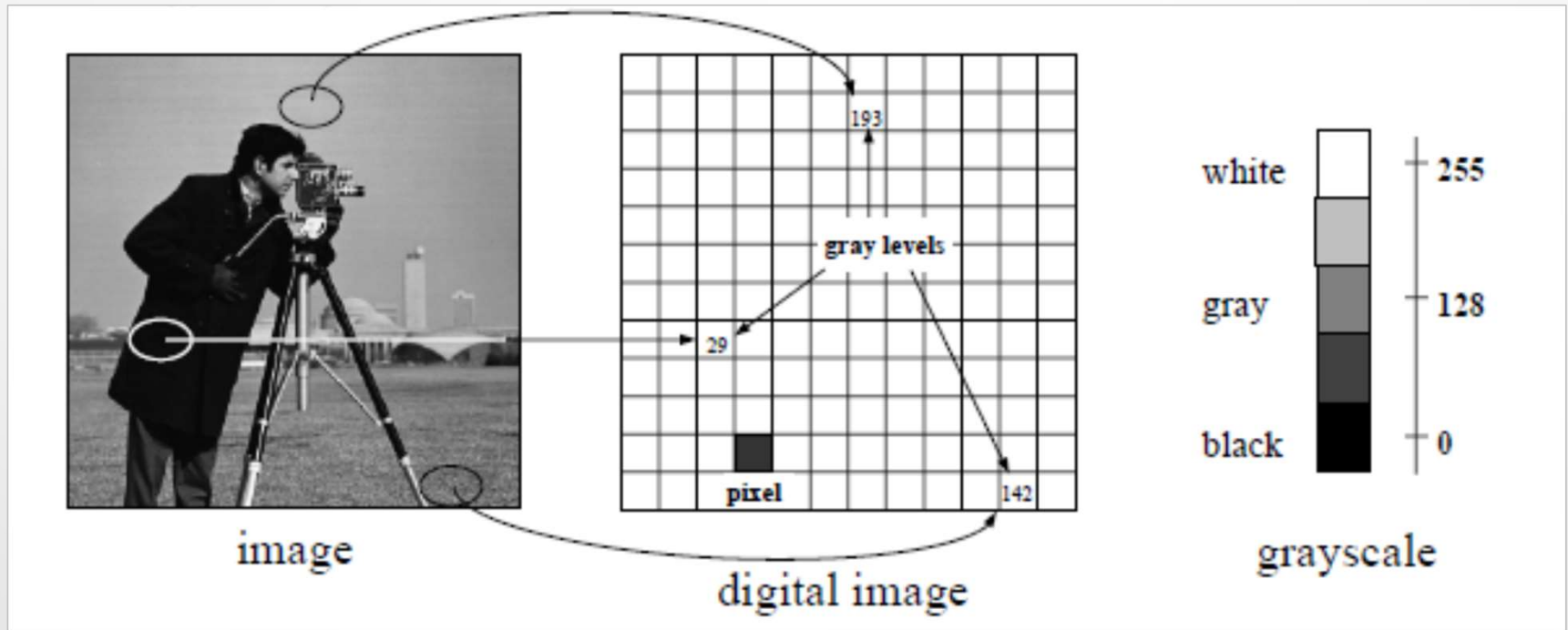


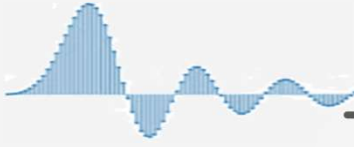
Ορισμός Ψηφιακής Εικόνας

- ✓ Η ψηφιακή εικόνα είναι μια **εικόνα $f(x, y)$** που έχει ψηφιοποιηθεί τόσο ως προς τις χωρικές συντεταγμένες όσο και ως προς την φωτεινότητα.
- ✓ Μια ψηφιακή εικόνα μπορεί να θεωρηθεί ως **ένας πίνακας** του οποίου οι δείκτες **γραμμής και στήλης** προσδιορίζουν ένα **σημείο της εικόνας**
- ✓ Η **τιμή** του αντίστοιχου στοιχείου προσδιορίζει την **απόχρωση του γκριζου** (δηλαδή την φωτεινότητα εκπεφρασμένη σε μια κλίμακα ακεραίων) σ' εκείνο το σημείο.
- ✓ Τα στοιχεία του πίνακα θα ονομάζονται **εικονοστοιχεία ή pixels**



Ορισμός Ψηφιακής Εικόνας

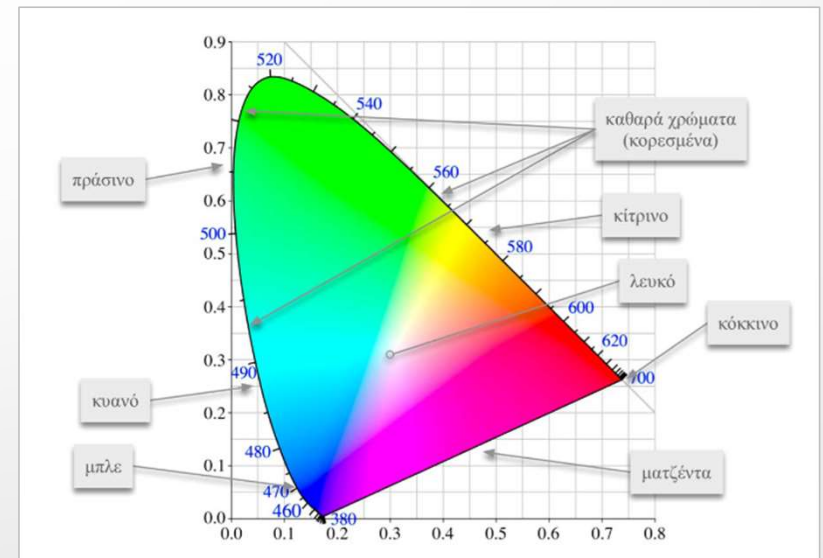


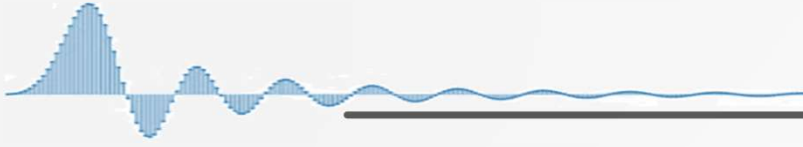


Ορισμός Ψηφιακής Εικόνας

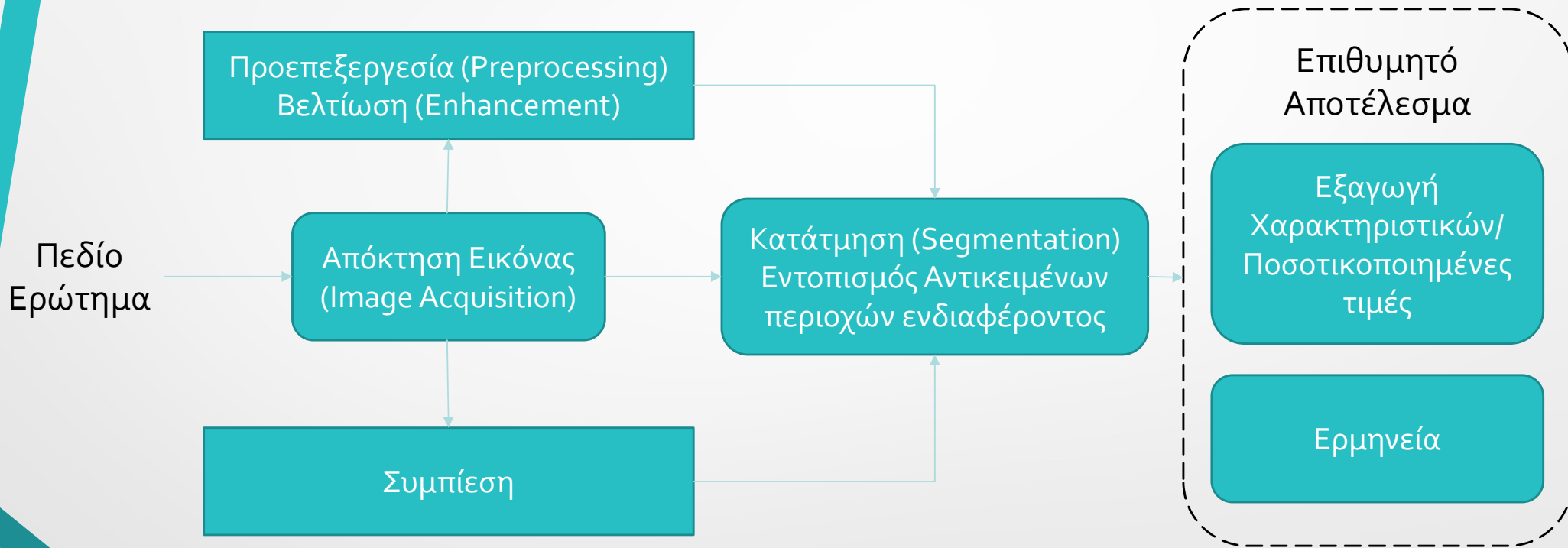
Χρωματικοί Χώροι/ Χρωματικά Μοντέλα

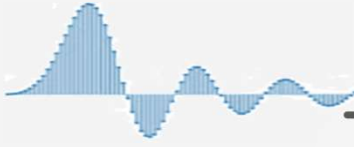
- ✓ Μοντέλα για υλικό
 - RGB (red - green - blue)
 - οθόνες, κάμερες
 - CMY (cyan - magenta - yellow)
 - έγχρωμους εκτυπωτές
 - YIQ (Y - luminance, In phase, Quadrature)
 - τηλεοπτική μετάδοση
- ✓ Μοντέλα για εφαρμογές διαχειρ. χρωμάτων
 - HIS (Hue, Saturation, Intensity)
 - HSV (Hue, Saturation, Value)





Εισαγωγή στην Επεξεργασία

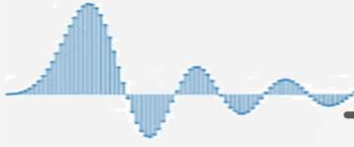




Εισαγωγή στην Επεξεργασία

Τύποι Επεξεργασίας Εικόνας

Λειτουργία	Χαρακτηρισμός	Γραφική Αναπαράσταση
Σημειακή	η τελική τιμή στο (x, y) εξαρτάται μόνο από την αρχική τιμή στο (x, y) Πολυπλοκότητα / pixel : $const$	
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	



Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

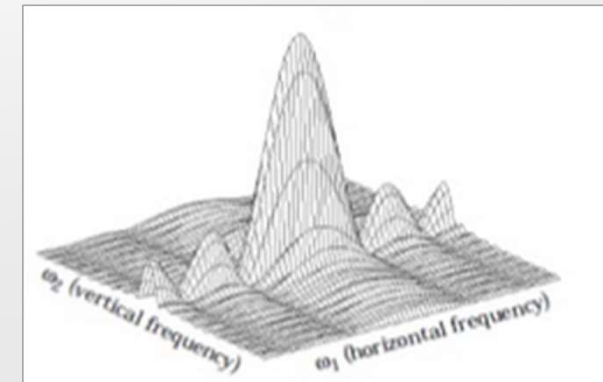
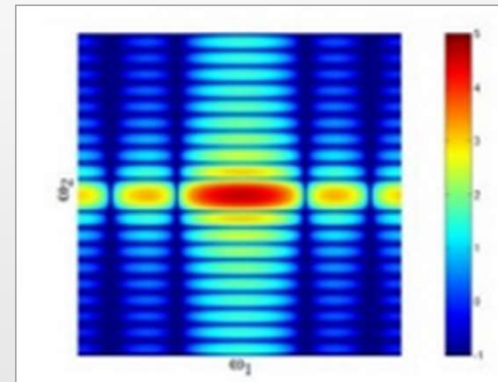
Τύποι Βελτίωσης Εικόνας

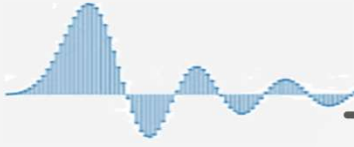
- Δύο βασικές κατηγορίες βελτίωσης των φωτεινότητων

Στο Χωρικό Πεδίο της Εικόνας:
Διαχειρίζεται τις φωτεινότητες των εικονοστοιχείων της εικόνας



Στο πεδίο της Συχνότητας: Διαχειρίζεται τον ρυθμό εναλλαγής των φωτεινότητων της εικόνας





Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

Βελτίωση στο πεδίο του Χώρου

- Πράξη Συνέλιξης

x_1	x_2	x_3	*	a	b	c
x_4	x_5	x_6		d	e	f
x_7	x_8	x_9		g	h	i

Μαθηματικός τύπος Συνέλιξης

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

$$x'_5 = x_1 a + x_2 b + x_3 c + x_4 d + x_5 e + x_6 f + x_7 g + x_8 h + x_9 i$$

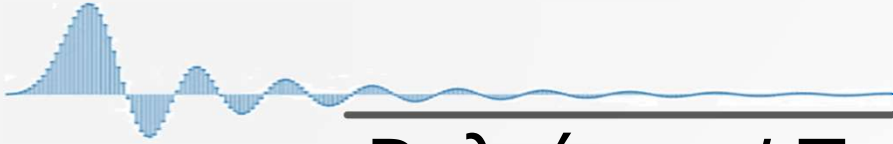
- Πράξη Συσχέτισης

x_1	x_2	x_3	⊗	a	b	c
x_4	x_5	x_6		d	e	f
x_7	x_8	x_9		g	h	i

Μαθηματικός τύπος Συσχέτισης

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

$$x'_5 = x_1 i + x_2 h + x_3 g + x_4 f + x_5 e + x_6 d + x_7 c + x_8 b + x_9 a$$



Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

Συνέλιξη στην Εικόνα

Εικόνα Εισόδου



Φίλτρο



Εικόνα Εξόδου

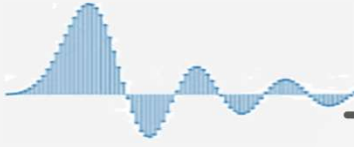
0	123	127	167	124
54	45	124	136	163
64	76	65	241	188
36	235	222	215	171
23	221	124	199	34

Είσοδος

2	-1	2
-1	3	-1
2	0	2

Φίλτρο (filter) ή
Πυρήνας (kernel) ή
μάσκα (mask)

Εξόδου ή Χάρτης
Χαρακτηριστικών (feature map)



Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

Συνέλιξη στην Εικόνα

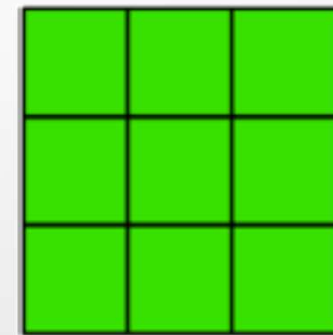
- Ένα απλό παράδειγμα εφαρμογής συνέλιξης

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

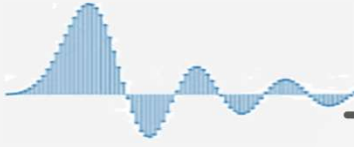
• Input

0	1	0
1	0	-1
0	1	0

• Convolution



• Output or Feature Map



Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

Συνέλιξη στην Εικόνα

- Ένα απλό παράδειγμα εφαρμογής συνέλιξης

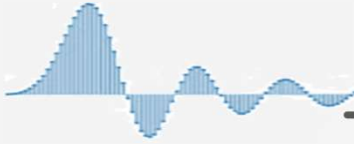
1x0	0x1	1x0	0	1
1x1	0x0	0x-1	1	1
0x0	1x1	1x0	0	0
1	0	0	1	0
0	0	1	1	0

$$(1 \times 0) + (0 \times 1) + (1 \times 0) + (1 \times 1) + (0 \times 0) + (0 \times -1) + (0 \times 0) + (1 \times 1) + (1 \times 0)$$

$$0 + 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 + 1 + 0 = 2$$

2		

● Output or Feature Map



Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

Συνέλιξη στην Εικόνα

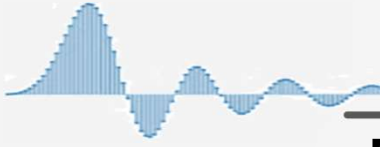
- Ένα απλό παράδειγμα εφαρμογής συνέλιξης

1	0x0	1x1	0x0	1
1	0x1	0x0	1x-1	1
0	1x0	1x1	0x1	0
1	0	0	1	0
0	0	1	1	0

$$(0 \times 0) + (1 \times 1) + (0 \times 0) + (0 \times 1) + (0 \times 0) + (1 \times -1) + (1 \times 0) + (1 \times 1) + (0 \times 1)$$

$$0 + 1 + 0 + 0 + 0 - 1 + 0 + 1 + 0 = 1$$

2	1	



Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

Φίλτρα Εξομάλυνσης vs. Τόνωσης

Ανάλογα με τα βάρη, τα φίλτρα επιτυγχάνουν διαφορετικό αποτέλεσμα σε μια εικόνα

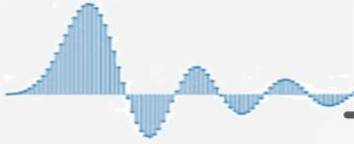
Φίλτρα Εξομάλυνσης (Smoothing)

- 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

Φίλτρα Τόνωσης (Sharpening)

- χρησιμοποιείται για **τόνωση των ακμών** των αντικειμένων
- Η τόνωση των ακμών καθιστά πιο ευδιάκριτά τα αντικείμενα με αποτέλεσμα να μπορούν να εντοπιστούν τα αντικείμενα με μεγαλύτερη ευκολία από τις μεθόδους κατάτμησης*
- Συνήθως είναι μάσκες οι οποίες προκαλούν την παραγωγή (1^η ή 2^η Παράγωγο) της εικόνας)

**Γι αυτό θα τα μελετήσουμε στις μεθόδους κατάτμησης*

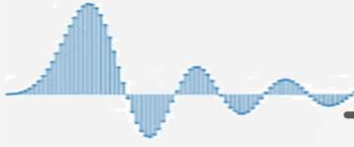


Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

Φίλτρα Εξομάλυνσης vs. Τόνωσης

Identity	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	
Edge detection	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	
	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	
	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$	

Sharpen	$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$	
Box blur (normalized)	$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	
Gaussian blur (approximation)	$\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	



Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

Φίλτρα Εξομάλυνσης

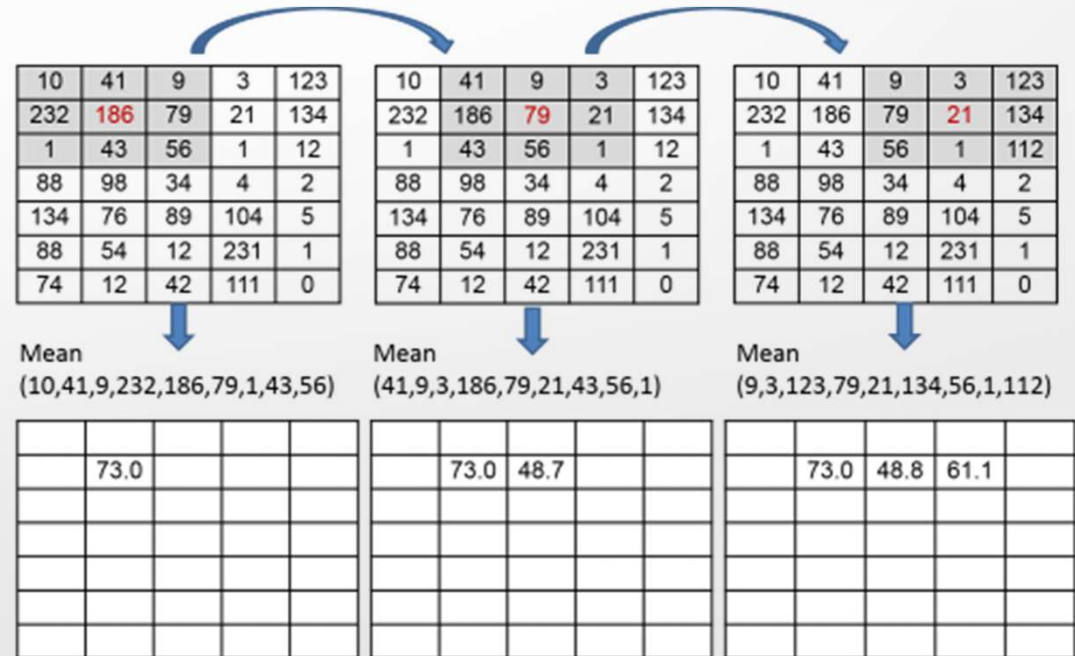
Mean Filter

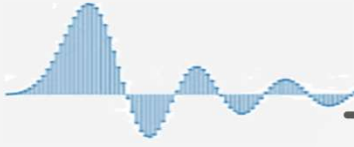
Φίλτρο Μέσου

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{mn} \sum_{(s,t) \in S_{x,y}} g(s, t)$$

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

Στην πραγματικότητα γίνεται συνέλιξη με την μάσκα





Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

Βελτίωση στο πεδίο συχνοτήτων

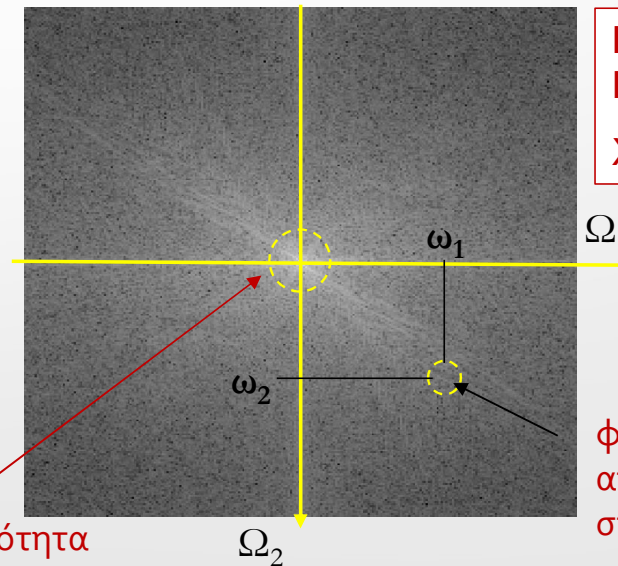
- Ο μετασχηματισμός Fourier εφαρμόζεται και σε πιο πολύπλοκες εικόνες: Οι φωτεινές περιοχές στην DFT “εικόνα” αντιστοιχούν στις συχνότητες με μεγάλο μέτρο (ισχύ) στην πραγματική εικόνα

Αρχική Εικόνα

$x(n_1, n_2)$



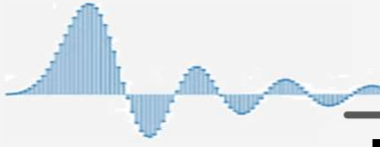
Μέση
φωτεινότητα
εικόνας



**Μετασχηματισμός
Fourier**

$X(\omega_1, \omega_2)$

φωτεινότητα
αυτής της
συχνότητας

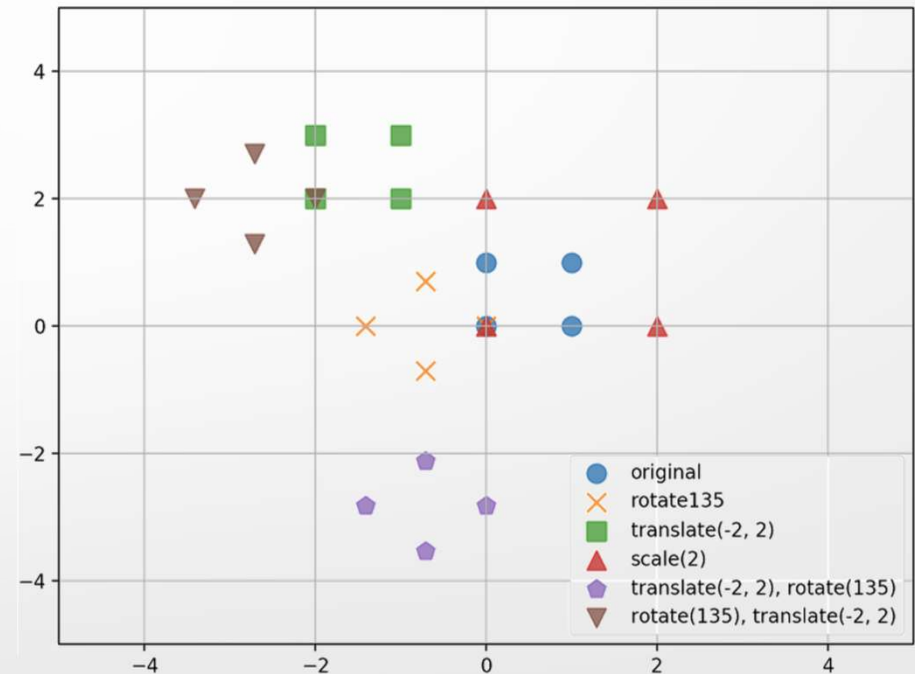


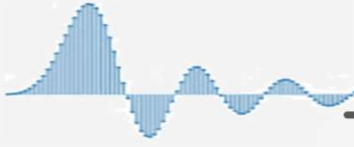
Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

Γεωμετρικοί Μετασχηματισμοί

Ο Αγκίγραμμας Μετασχηματισμός με επιτρέπει με **χρήση πινάκων** να εφαρμόσουμε πολλούς γεωμετρικούς μετασχηματισμούς είτε μεμονωμένα είτε όλους μαζί:

- Κλιμάκωση (Scaling)
- Κατοπτρισμός (Reflection)
- Περιστροφή (Rotation)
- Μετατόπιση (Translation)
- Οριζόντια παραμόρφωση (Horizontal Shear)
- Κατακόρυφη Παραμόρφωση (Vertical Shear)





Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

Γεωμετρικοί Μετασχηματισμοί

- Ταυτότητα (Identity)

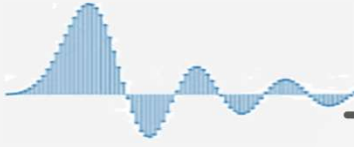
$$\begin{bmatrix} x_{transformed} \\ y_{transformed} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{initial} \\ y_{initial} \\ 1 \end{bmatrix}$$

- Κατοπτρισμός (mirroring) με βάση τον οριζόντιο άξονα

$$\begin{bmatrix} x_{transformed} \\ y_{transformed} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{initial} \\ y_{initial} \\ 1 \end{bmatrix}$$

- Κατοπτρισμός (mirroring) με βάση τον κατακόρυφο άξονα

$$\begin{bmatrix} x_{transformed} \\ y_{transformed} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{initial} \\ y_{initial} \\ 1 \end{bmatrix}$$



Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

Γεωμετρικοί Μετασχηματισμοί

- Κλιμάκωση (Scaling)

$$\begin{bmatrix} x_{transformed} \\ y_{transformed} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{initial} \\ y_{initial} \\ 1 \end{bmatrix}$$

S_x : Πολλαπλασιάζει το μέγεθος στην οριζόντια διάσταση

S_y : Πολλαπλασιάζει το μέγεθος στην κατακόρυφη διάσταση

- Περιστροφή (Rotation)

$$\begin{bmatrix} x_{transformed} \\ y_{transformed} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{initial} \\ y_{initial} \\ 1 \end{bmatrix}$$

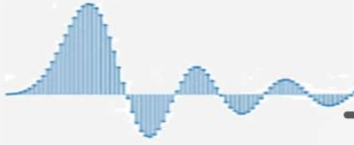
θ : περιστροφή σε μοίρες

- Μετατόπιση (Translation)

$$\begin{bmatrix} x_{transformed} \\ y_{transformed} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{initial} \\ y_{initial} \\ 1 \end{bmatrix}$$

t_x : απόσταση στον οριζόντιο άξονα σε pixels

t_y : απόσταση στον κατακόρυφο άξονα σε pixels



Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας Γεωμετρικοί Μετασχηματισμοί

- Παραμόρφωση (Shear) στον κατακόρυφο άξονα

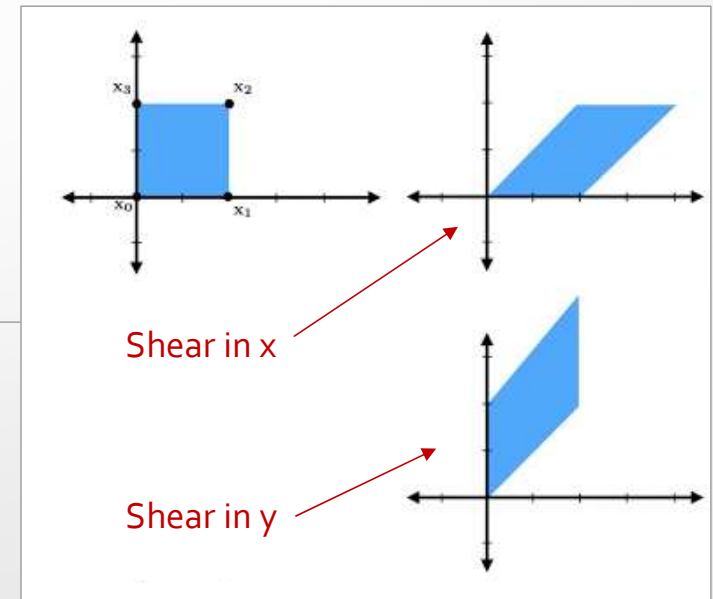
$$\begin{bmatrix} x_{transformed} \\ y_{transformed} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ Sh_y & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{initial} \\ y_{initial} \\ 1 \end{bmatrix}$$

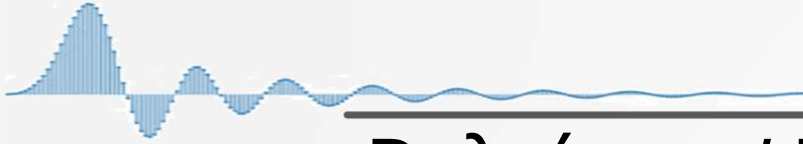
Sh_x : Εκφράζει το μέγεθος της παραμόρφωσης στην οριζόντια διάσταση

- Παραμόρφωση (Shear) στον οριζόντιο άξονα

$$\begin{bmatrix} x_{transformed} \\ y_{transformed} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Sh_x & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{initial} \\ y_{initial} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Αρχικό Σχήμα





Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας Γεωμετρικοί Μετασχηματισμοί

- Τι γίνεται σε περίπτωση που απαιτείται πολλαπλός μετασχηματισμός;
- ΑΠ: Μπορούμε να πολλαπλασιάσουμε τους πίνακες από τους γεωμετρικούς μετασχηματισμούς που θέλουμε να εφαρμόσουμε

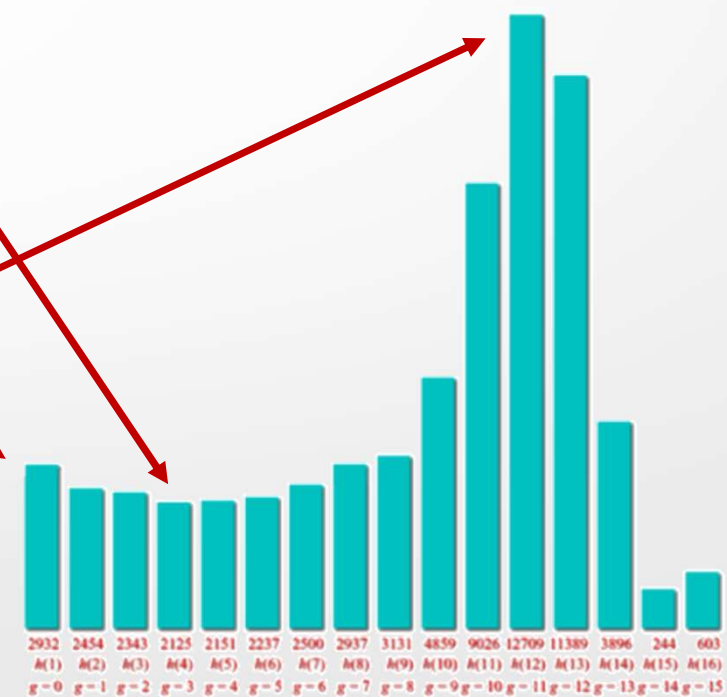
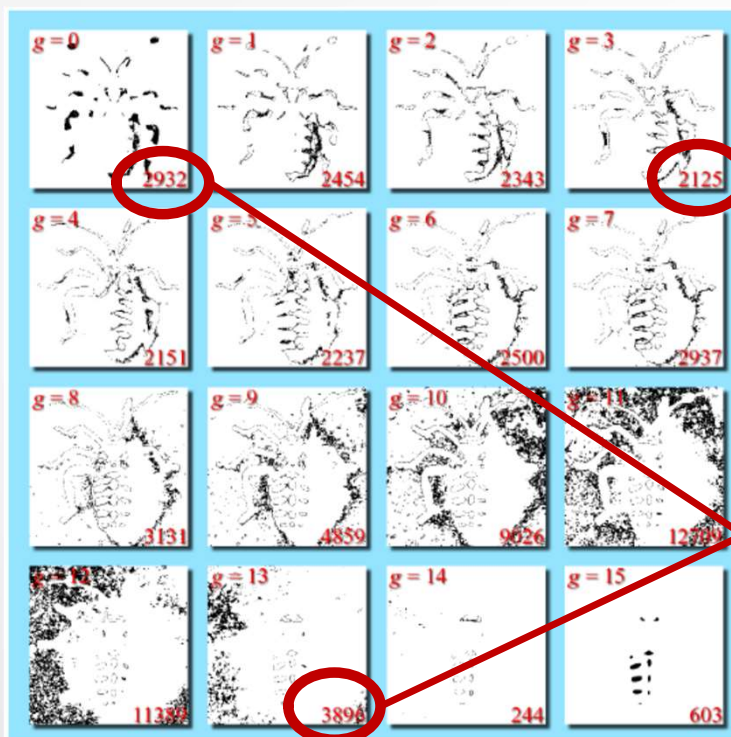
Παράδειγμα (Μετατόπιση – Κλιμάκωση – Περιστροφή μαζί)

$$\begin{aligned} \mathbf{p}' = (\mathbf{T} \cdot \mathbf{R} \cdot \mathbf{S}) \cdot \mathbf{p} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & t_x \\ \sin \theta & \cos \theta & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{R}' & \mathbf{t} \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{S}' & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{R}'\mathbf{S}' & \mathbf{t} \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$



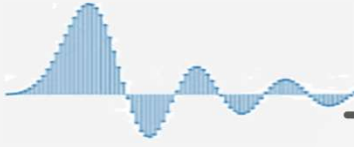
Άξονας γ: Η συχνότητα εμφάνισης της φωτεινότητας αυτής
= Πόσα pixels έχουν αυτή την φωτεινότητα

Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας Ιστόγραμμα



- Οπτικοποιούμε σε διάγραμμα τις τιμές της κάθε φωτεινότητας

Άξονας x: Τα επίπεδα του Γκρι = Φωτεινότητες



Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

Ισοστάθμιση Ιστογράμματος

Παράδειγμα με εικόνα 4x4 (16 εικονοστοιχεία) και 10 επίπεδα του γκρι
(χάριν ευκολίας γιατί γνωρίζουμε ότι τα επίπεδα γκρι είναι πάντα δύναμη του 2)

Επίπεδα του Γκρι

Αριθμός εικονοστοιχείων σε κάθε επίπεδο

Σωρευμένο άθροισμα εικονοστοιχείων

Κανονικοποίηση ως προς το σύνολο των εικονοστοιχείων της εικόνας

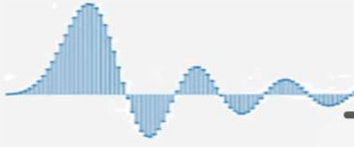
Κανονικοποίηση ως προς το σύνολο επιπέδων του γκρι

$$\sum_{j=0}^k n_j$$

$$s = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}$$

$$s \times 9$$

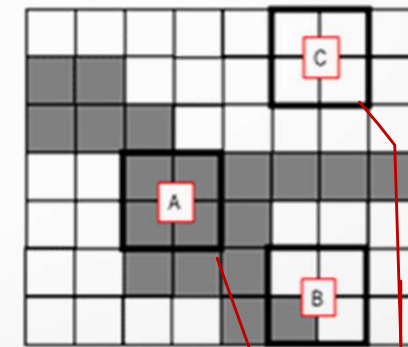
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	6	5	4	1	0	0	0	0
0	0	0	6	11	15	16	16	16	16	16
0	0	0	6 16	11 16	15 16	16 16	16 16	16 16	16 16	16 16
0	0	0	3.3 ≈3	6.1 ≈6	8.4 ≈8	9	9	9	9	9



Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

Μορφολογικές Πράξεις

- Οι μορφολογικοί τελεστές **ανιχνεύουν** σε μια εικόνα το **πρότυπο σχήμα** του δομικού στοιχείου
- Το δομικό στοιχείο τοποθετείται σε όλες τις πιθανές θέσεις της εικόνας και συγκρίνεται με την αντίστοιχη γειτονιά των εικονοστοιχείων.
- Ελέγχει αν **ταιριάζει (fit)** μέσα στη γειτονιά, ή αν **χτυπά (hit)** - τέμνει τη γειτονιά.



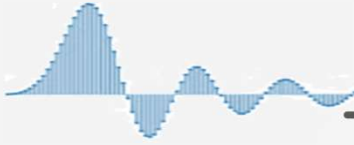
Δομικό στοιχείο



Το Δομικό στοιχείο ούτε «Χτυπά» ούτε «ταιριάζει» με την εικόνα

Το Δομικό στοιχείο «Ταιριάζει» (fit) με την εικόνα

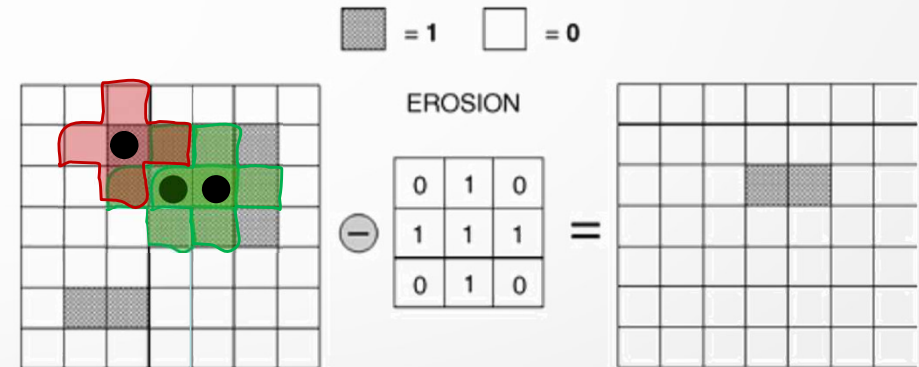
Το Δομικό στοιχείο «Χτυπά» (hit) με την εικόνα



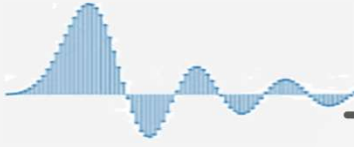
Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

Μορφολογικές Πράξεις

- Αυστηρός Μαθηματικό Ορισμός:
$$A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A\}$$
- Είναι το σύνολο των σημείων για τα οποία όταν το σύνολο B μετατοπιστεί κατά z να περιέχεται στο A



Πρακτικά: Στην τελική περιοχή παραμένουν μόνο τα σημεία τα για τα οποία το δομικό στοιχείο έκανε "fit" στην εικόνα



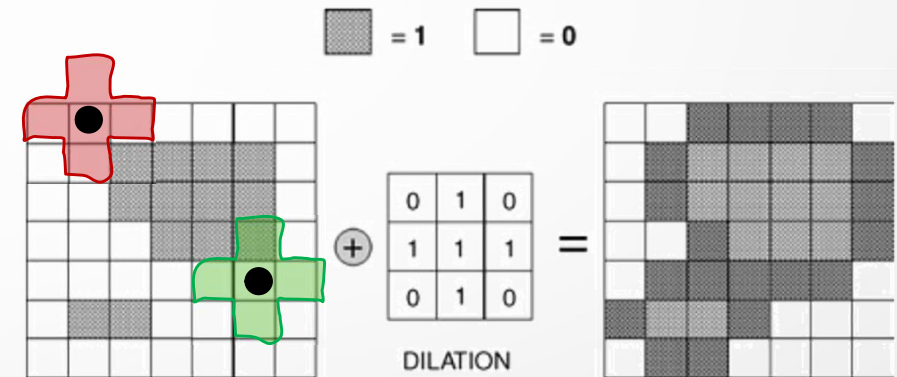
Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

Μορφολογικές Πράξεις

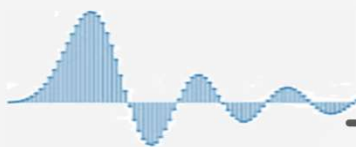
- Αυστηρός Μαθηματικό Ορισμός:

$$A \oplus B = \{z | (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\}$$

- Είναι το σύνολο των σημείων για τα οποία όταν το συμπληρωματικό σύνολο του B μετατοπιστεί κατά z έχει τομή με σύνολο A το κενό σύνολο



Πρακτικά: Στην τελική περιοχή παραμένουν μόνο τα σημεία για τα οποία το δομικό στοιχείο έκανε "hit" στην εικόνα



Βελτίωση/ Προεπεξεργασία Εικόνας

Μορφολογικές Πράξεις

Άνοιγμα

- Συστολή της περιοχής A με το δομικό στοιχείο B και στην συνέχεια διαστολή του αποτελέσματος με το ίδιο αντικείμενο

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$$

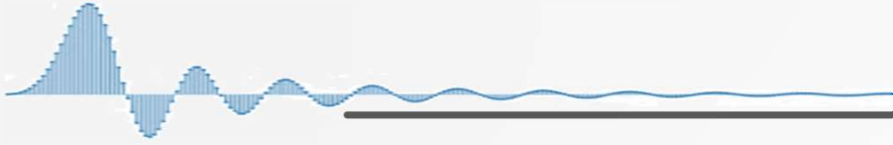
Κλείσιμο

- Διαστολή της περιοχής A με το δομικό στοιχείο B και στην συνέχεια συστολή του αποτελέσματος με το ίδιο αντικείμενο

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$



$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$



Κατάτμηση Εικόνας

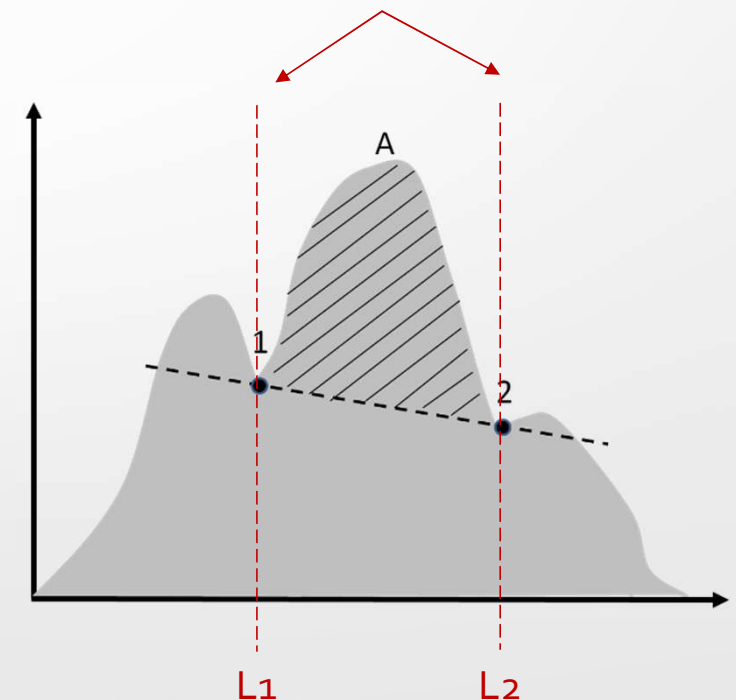
Κατωφλίωση Ιστογράμματος

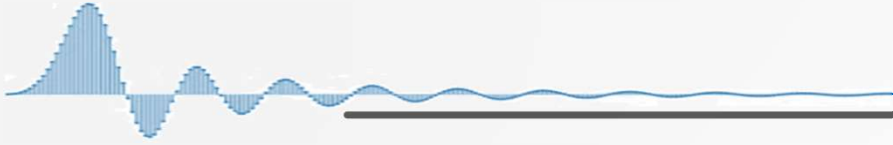
- Η **κατωφλίωση ιστογράμματος** αξιοποιεί το γεγονός ότι μια εικόνα συνήθως **περιέχει πεπερασμένο αριθμό αντικειμένων** και υποβάθρου όποτε και το ιστόγραμμα παρουσιάζει **κορυφές και κοιλάδες** (τοπικά ελάχιστα και μέγιστα)
- Εντοπίζοντας τα τοπικά μέγιστα και ελάχιστα είναι δυνατός ο **καθορισμός τμημάτων (περιοχών) της εικόνας** τα οποία περιέχουν εικονοστοιχεία με παρόμοια φωτεινότητα

Παράδειγμα:

- Οι φωτεινότητες μεταξύ των επιπέδων γκρι L1 και L2 του ιστογράμματος συντελούν πιθανότατα έναν αντικείμενο στην εικόνα

Κατώφλια (Thresholds) Φωτεινότητας



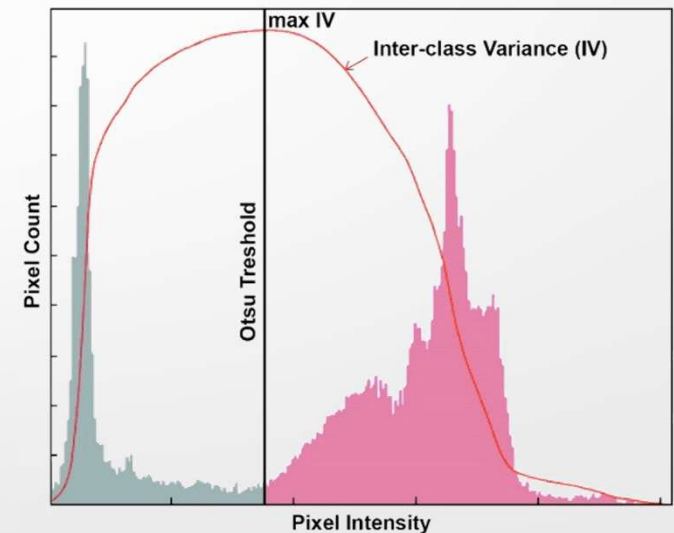


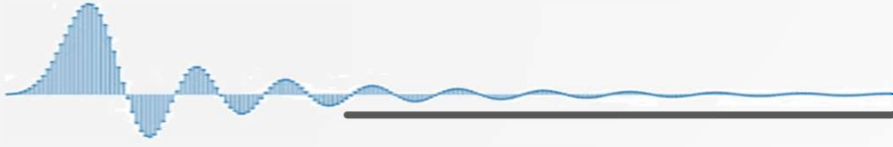
Κατάτμηση Εικόνας

Μέθοδοι Κατωφλίωσης Ιστογράμματος

- Η μέθοδος Otsu επιλέγει το **βέλτιστο όριο κατωφλίου t** , μεγιστοποιώντας τη διακύμανση μεταξύ των κλάσεων (interclass variance)
- Ταυτόχρονα ελαχιστοποιείται το άθροισμα των διακυμάνσεων εντός των κλάσεων
- Επομένως το κατώφλι ορίζεται από τον τύπο:

$$t = \arg \left\{ \max_{0 \leq t \leq L-1} \left\{ \sigma_B^2(t) \right\} \right\} = \arg \left\{ \min_{0 \leq t \leq L-1} \left\{ \sigma_w^2(t) \right\} \right\}$$





Κατάτμηση Εικόνας

Ανίχνευση Ακμών με Παραγωγή

- Η ολική παράγωγος $\nabla f(x, y)$ μιας εικόνας στο σημείο (x, y) είναι το διάνυσμα:

$$\nabla f(x, y) = \left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right)^T = (G_x, G_y)^T$$

- Η κατεύθυνση της κλίσης (κατεύθυνση μέγιστης μεταβολής φωτεινότητας) δίνεται από την

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right)$$

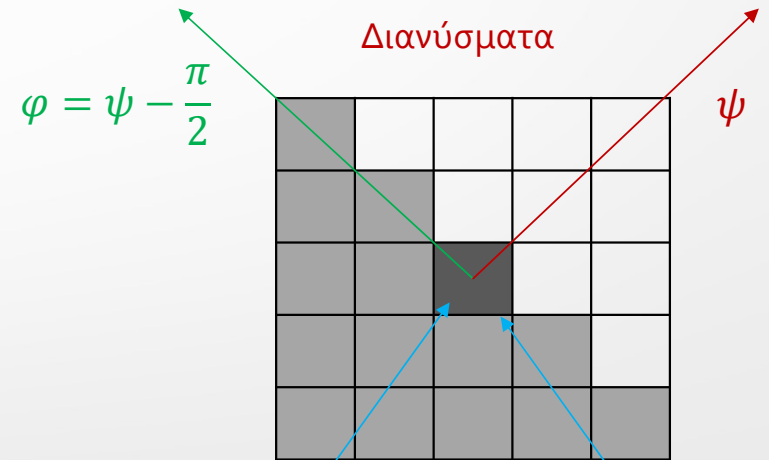
- Το μέτρο της κλίσης δίνεται από την

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

Η κλίση είναι κάθετη στην κατεύθυνση της ακμής

Διεύθυνση της ακμής
(Edge direction)

Διεύθυνση μεταβολής
(Edge Normal)

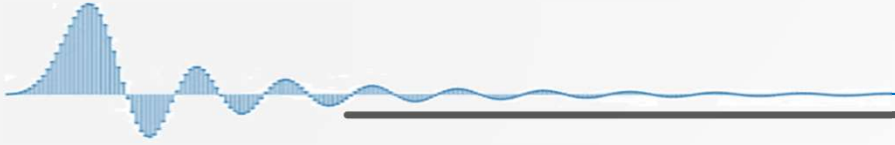


Θέση ακμής
(Edge position)

Μέτρο ακμής
(Edge strength)

Συντεταγμένες

Βαθμωτό



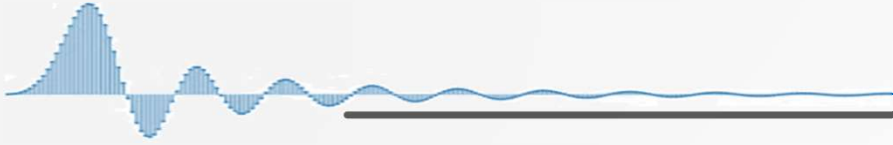
Κατάτμηση Εικόνας

Ανίχνευση Ακμών με Παραγωγή

- Οι παράγωγος στην υπολογίζεται ως η **διαφορά φωτεινότητων** διαδοχικών εικονοστοιχείων
- Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά στις φωτεινότητες δύο γειτονικών εικονοστοιχείων τόσο μεγαλύτερη είναι η κλίση της φωτεινότητας
- Αφού οι ψηφιακές εικόνες είναι σήματα σε δύο διαστάσεις, η παράγωγος θα πρέπει να υπολογιστεί κατά **την οριζόντια αλλά και κατά την κατακόρυφη διεύθυνση**
- Όπως και στην μονοδιάστατη περίπτωση η διαδικασία επιτυγχάνεται με την **συνέλιξη της εικόνας με μάσκες**

$$G_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} G(x, y) & G(x, y+1) \\ G(x+1, y) & G(x+1, y+1) \end{bmatrix}$$

$$G_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} G(x-1, y-1) & G(x-1, y) & G(x-1, y+1) \\ G(x, y-1) & G(x, y) & G(x, y+1) \\ G(x+1, y-1) & G(x+1, y) & G(x+1, y+1) \end{bmatrix}$$



Κατάτμηση Εικόνας

Ανίχνευση Ακμών με Παραγωγή

Μάσκες 1^{ης} Παραγώγου

Prewitt

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Roberts

$$G_x = \begin{bmatrix} +1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$G_y = \begin{bmatrix} 0 & +1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Sobel

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

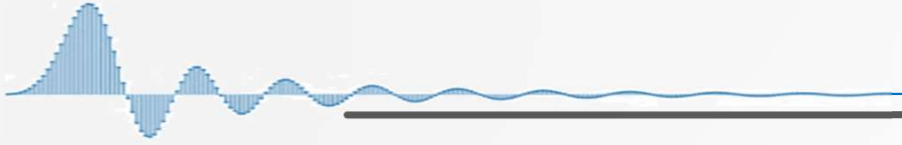
Μάσκες 2^{ης} Παραγώγου

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

Λαπλασιανή
Μάσκα

1	1	1	0	-1	0	-1	-1	-1
1	-8	1	-1	4	-1	-1	8	-1
1	1	1	0	-1	0	-1	-1	-1

Άλλες υλοποιήσεις 2^{ης} παραγώγου

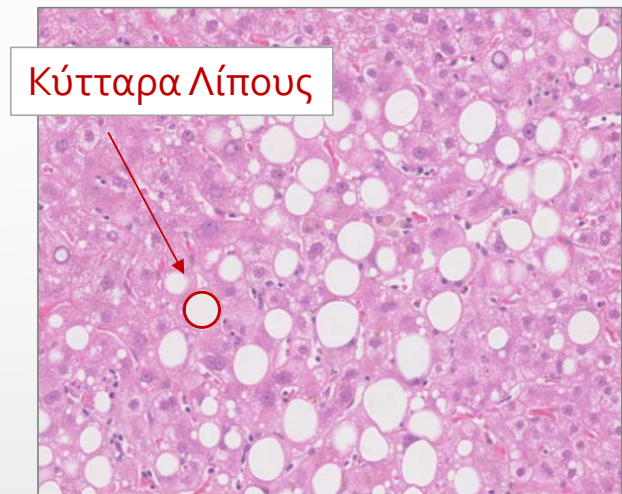


Ποσοτικοποίηση της εικόνας

Στόχος της Ποσοτικοποίησης

1. **Μέτρηση ποσοτήτων** που αφορούν αντικείμενα της εικόνας επειδή αυτός είναι ο σκοπός της επεξεργασίας
2. **Εξαγωγή των χαρακτηριστικών** αυτών των περιοχών με σκοπό να τροφοδοτήσουν κάποιο αλγόριθμο Μηχανικής Μάθησης ο οποίος θα **ερμηνεύσει την φύση** του αντικειμένου

Παράδειγμα 1: Βιοψία Ήπατος



Κύτταρα Λίπους

Σκοπό των γιατρών να μετρήσουν:

1. Ποσά είναι
2. Πόσο μεγάλα είναι
3. Τι ποσοστό του ιστού καταλαμβάνουν



Ποσοτικοποίηση της εικόνας

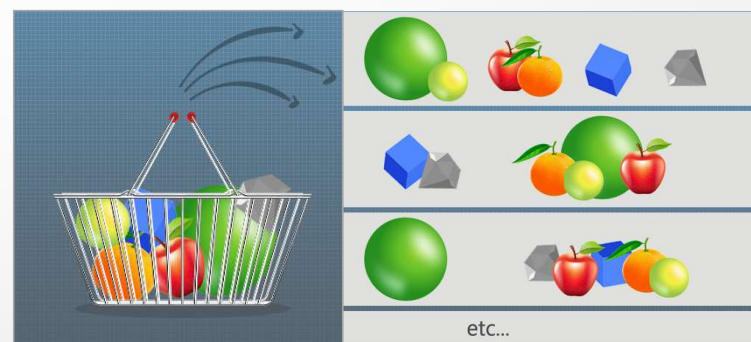
Στόχος της Ποσοτικοποίησης

1. **Μέτρηση ποσοτήτων** που αφορούν αντικείμενα της εικόνας επειδή αυτός είναι ο σκοπός της επεξεργασίας
2. **Εξαγωγή των χαρακτηριστικών** αυτών των περιοχών με σκοπό να τροφοδοτήσουν κάποιο αλγόριθμο Μηχανικής Μάθησης ο οποίος θα **ερμηνεύσει την φύση** του αντικειμένου



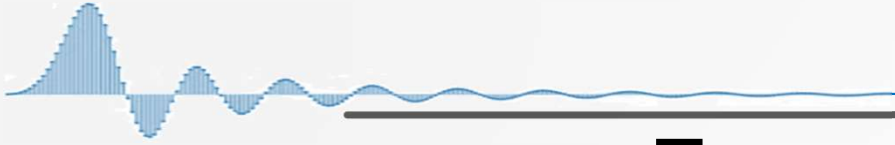
Μηχανική Όραση
(Machine Vision)

Παράδειγμα 2: Διαχωρισμός Αντικειμένων



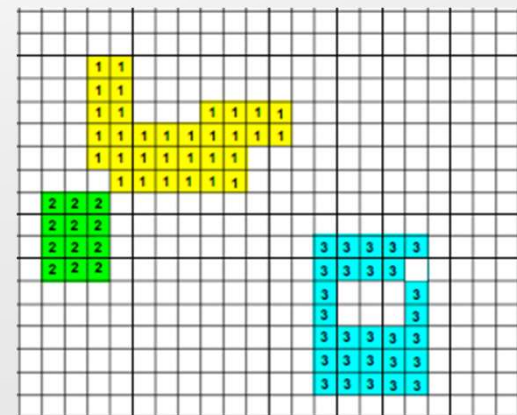
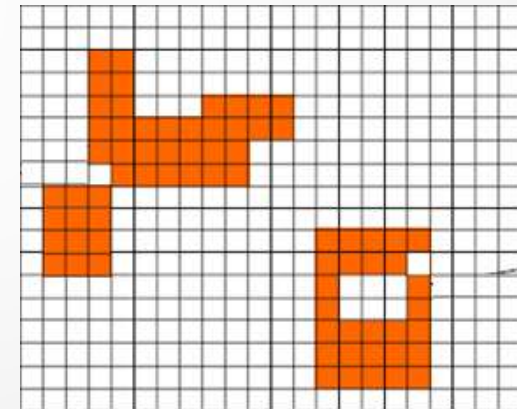
Σκοπό είναι να ξεχωρίσουμε αντικείμενα:

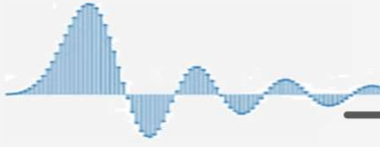
1. Πόσο μεγάλα είναι;
2. Τι χρώμα έχουν;
3. Τι σχήμα έχουν;



Ποσοτικοποίηση της εικόνας Ονοματισμός/ Ετικετοποίηση (Labeling)

- Ένας ενδεικτικός σειριακός αλγόριθμος ονοματισμού:
 - απαιτεί 2 σαρώσεις της εικόνας
 - χρησιμοποιεί 2 σειρές της εικόνας τη φορά (ιδανικός σε συνθήκες περιορισμένης μνήμης)
 - εξετάζει γειτονιά ενός pixel και ονοματίζει όσα έχουν τιμή 1 με ήδη χρησιμοποιημένες ετικέτες
 - Αν υπάρχουν 2 διαφορετικές ετικέτες στην γειτονιά ενός pixel, φτιάχνει πίνακα ισοδυναμίας με όλες τις ισοδύναμες ετικέτες
 - Στη 2^η διέλευση θα παραχωρήσει μια μοναδική ετικέτα στα pixel του στοιχείου.





Ποσοτικοποίηση της εικόνας

Ενδεικτικά Χαρακτηριστικά

Χαρακτηριστικές Ποσότητες Θέσης

1. Κεντροειδές & Κέντρο Μάζας
2. Συντεταγμένες ακραίων γωνιών (Extrema)
3. Περιγεγραμμένο κουτί (Bounding box)
4. Κυρτό Πολύγωνο (Convex hull)
5. Προσανατολισμός (Orientation)

Χαρακτηριστικές Ποσότητες Μεγέθους

1. Εμβαδόν Περιοχής (Area)
2. Περίμετρος (Perimeter)

Χαρακτηριστικές Ποσότητες Σχήματος

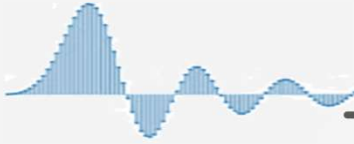
1. Κυκλικότητα (Roundness)
2. Εκκεντρότητα (Eccentricity)
3. Έκταση περιγεγραμμένου κουτιού (Extent)

Χαρακτηριστικές Ποσότητες Φωτεινότητας

1. Μέγιστη & Ελάχιστη Φωτεινότητα (max/min intensity)
2. Μέση & Διάμεσος Φωτεινότητα (mean/median intensity)

Χαρακτηριστικές Ποσότητες Υφής

1. Τυπική Απόκλιση φωτεινότητας (Std of intensities)
2. Εντροπία Φωτεινότητας (Entropy of intensities)
3. Αριθμός Euler (Euler number)
4. Πίνακας Συνεμφάνισης (Co-occurrence Matrix)



Ερμηνεία της Εικόνας

Εφαρμογή Μηχανικής Μάθησης

Δείγματα (Samples, Instances)
Κάθε γραμμή ένα δείγμα

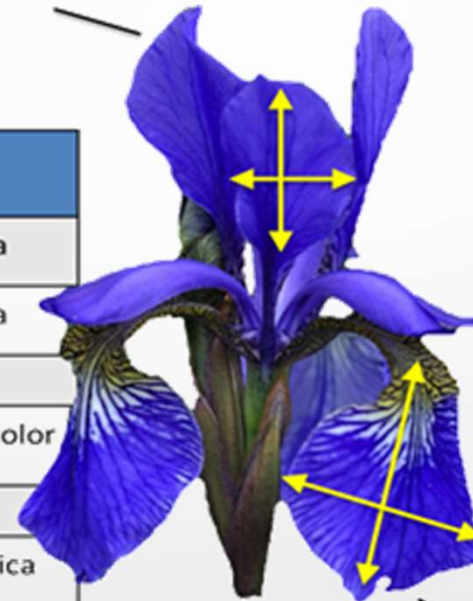
	Sepal length	Sepal width	Petal length	Petal width	Class label
1	5.1	3.5	1.4	0.2	Setosa
2	4.9	3.0	1.4	0.2	Setosa
...					
50	6.4	3.5	4.5	1.2	Versicolor
...					
150	5.9	3.0	5.0	1.8	Virginica

Κάθε στήλη ένα χαρακτηριστικό

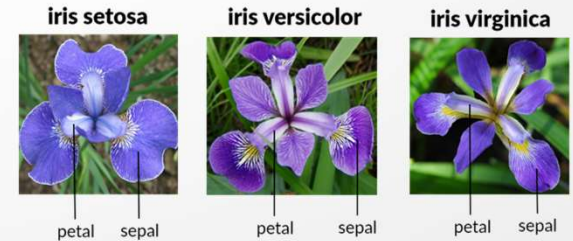
Χαρακτηριστικά (Features, Attributes)
Διανύσματα Χαρακτηριστικών κάθε δείγματος

Κλάση (Class)
Συνηθίζεται να είναι η τελευταία στήλη

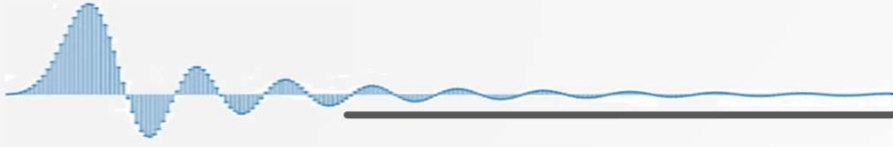
πέταλα (στεφάνη)



Ράτσες Φυτού Ίριδας



σέπαλα (κάλυκας ανθού) – Sepal



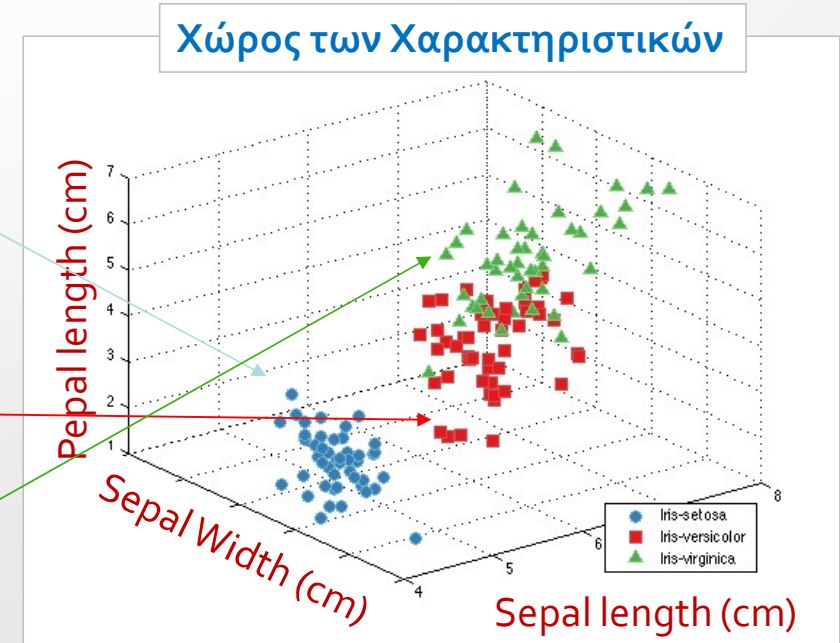
Ερμηνεία της Εικόνας

Εφαρμογή Μηχανικής Μάθησης

Ο **αριθμός των χαρακτηριστικών** καθορίζει την διάσταση του χώρου του προβλήματος. Κάθε χαρακτηριστικό προσθέτει μια διάσταση

	Sepal Length	Sepal Width	Petal Length	Class
1	5.1	3.5	0.2	Setosa
2	4.9	3.0	0.2	Setosa
...				
50	6.4	3.5	1.2	Versicolor
...				
150	5.9	3.0	1.8	Virginica

Κάθε δείγμα αναπαρίσταται στον χώρο ως ένα σημείο





Ερμηνεία της Εικόνας Εφαρμογή Μηχανικής Μάθησης

Ομαδοποίηση

dataset

	Sepal Length	Sepal Width	Petal Length	Class
1	5.1	3.5	0.2	Setosa
2	4.9	3.0	0.2	Setosa
...
50	6.4	3.5	1.2	Versicolor
...
150	5.9	3.0	1.8	Virginica

Δεν αξιοποιεί καθόλου την κλάση παρά μόνο χαρακτηριστικά

Αλγόριθμος Ομαδοποίησης:
Με βάση τις θέσεις των δειγμάτων στο χώρο του προβλήματος τα ομαδοποιεί

Ομαδοποίηση σε K ομάδες

Cluster 1

Cluster 2



Cluster K

Ταξινόμηση

Φάση Εκπαίδευσης

	Sepal Length	Sepal Width	Petal Length	Class
1	5.1	3.5	0.2	Setosa
2	4.9	3.0	0.2	Setosa
...
50	6.4	3.5	1.2	Versicolor
...
150	5.9	3.0	1.8	Virginica

Σύνολο Εκπαίδευσης

Αλγόριθμος Ταξινόμησης:
Με βάση χαρακτηριστικά και κλάσεις εκπαιδεύεται

Φάση Ελέγχου

	Sepal Length	Sepal Width	Petal Length
1	5.1	3.5	0.2

Νέο δείγμα

Αλγόριθμος Ταξινόμησης:
Νέα δείγματα ελέγχονται και προβλέπεται η κλάση τους με βάση μόνο τα χαρακτηριστικά του

Class 1

Class 2



Class K



Ερμηνεία της Εικόνας

Εφαρμογή Μηχανικής Μάθησης

1. Σε επίπεδο εικονοστοιχείου

- Κάθε **εικονοστοιχείο** της εικόνας θεωρείται δείγμα
- Χαρακτηριστικά που μπορούν να εξαχθούν
 - Φωτεινότητες R,G,B
 - Στατιστικά μεγέθη φωτεινοτήτων της γειτονίας
 - Θέση του εικονοστοιχείου

Οδηγεί σε κατάτμηση
(Segmentation)

Παρατηρήσεις

- Εφαρμόζονται κυρίως τεχνικές ομαδοποίησης διότι:
 1. Οι τεχνικές ταξινόμησής **απαιτούν επισημείωση (annotation) σε επίπεδο εικονοστοιχείου** (ετικετοποιημένες εικόνες όπου το κάθε εικονοστοιχείο έχει σημειωθεί σε τι αντικείμενο ανήκει)
 2. Οι τεχνικές ταξινόμησής **είναι πιο απαιτητικές σε πόρους** (λόγω της εκπαίδευσης) σε συνδυασμό με το τεράστιο αριθμό των εικονοστοιχείων/δειγμάτων (π.χ. εικόνα 3000x3000 pixels = 9,000,000 δείγματα)



Ερμηνεία της Εικόνας Εφαρμογή Μηχανικής Μάθησης

2. Σε επίπεδο Περιοχής

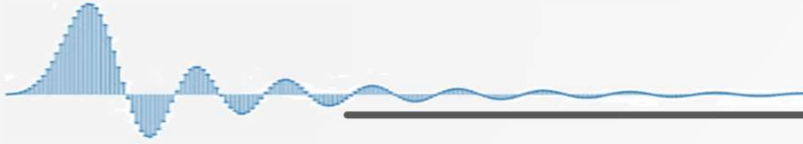
- **Συνεκτικές κατατμημένες περιοχές** θεωρούνται δείγματα
- Χαρακτηριστικά που μπορούν να εξαχθούν
 - Θέσης της περιοχής
 - Μεγέθους της περιοχής
 - Σχήματος της περιοχής
 - Φωτεινότητας της περιοχής
 - Υφής της περιοχής

Βλέπε Προηγούμενό
μάθημα

Οδηγεί σε ερμηνεία
περιοχών (Computer
Vision)

Παρατηρήσεις

- Εφαρμόζονται κυρίως τεχνικές ταξινόμησης διότι:
 1. Είναι σχετικά εύκολο να επισημειωθούν ένας επαρκής αριθμός περιοχών σε μια εικόνας και να χρησιμοποιηθούν με σκοπό την εκπαίδευση του αλγορίθμου
 2. Ο αριθμός των περιοχών σε μια εικόνα είναι διαχειρίσιμος για να εφαρμοστούν τεχνικές ταξινόμησης



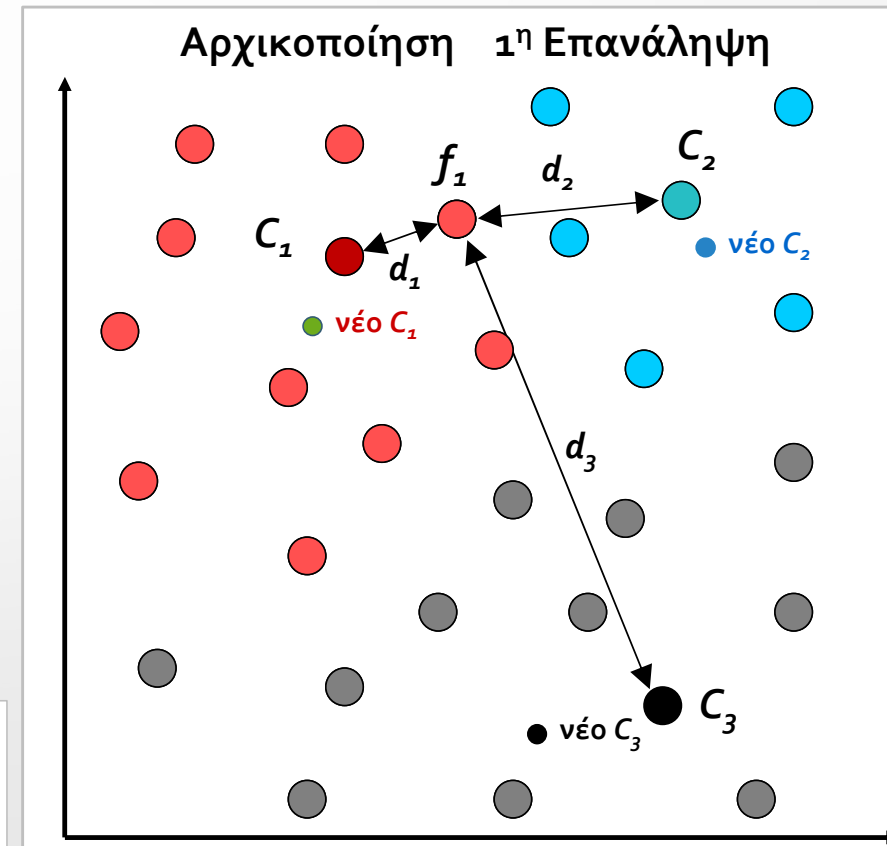
Ερμηνεία της Εικόνας Αλγόριθμος K-μέσων (K-means)

Έστω παράδειγμα με $K = 3$, με δύο χαρακτηριστικά (άρα χώρος = 2D επίπεδο)

Κατά την διάρκεια της 1^{ης} επανάληψης

1. Αρχικοποιούνται τυχαία τα κεντροειδή
2. Κάθε διάνυσμα χαρακτηριστικών καταχωρείται σε μια ομάδα σύμφωνα με την μικρότερη απόσταση
3. Υπολογίζονται ξανά τα νέα κεντροειδή

C_i : Κεντροειδή
 f_i : Διανύσματα χαρακτηριστικών
 i : Επανάληψη



Σημαντικές Ασκήσεις

1. Να πραγματοποιηθούν οι πράξεις φίλτρων μέσου ή διαμέσου
2. Να πραγματοποιηθούν οι πράξεις συνέλιξης εικόνας με μάσκα
3. Να υπολογίσετε τον πίνακα μετασχηματισμού ο οποίος στρέφει, μετατοπίζει, μεγεθύνει κτλ
4. Ισοστάθμιση ιστογράμματος άσκηση
5. Εφαρμογή Μορφολογικών Πράξεων σε εικόνα
6. Υποτυπώδη εξαγωγή κάποιων χαρακτηριστικών από περιοχή
7. Υποτυπώδη ομαδοποίηση

- Οι διαφάνειες βασίζονται στο υλικό του Καθηγητή κ. Ν. Βασιλά για το μάθημα «Επεξεργασία Εικόνας», ακαδημ. έτος 2017-2018, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.
- Διαφάνειες Πέτρος Καρβέλης, από μάθημα Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
- Βιβλίο Gonzales

Σημαντικές Ασκήσεις