

ΤΕΧΝΗΤΗ ΟΡΑΣΗ ΤΠ70Υ2

4^η Διάλεξη

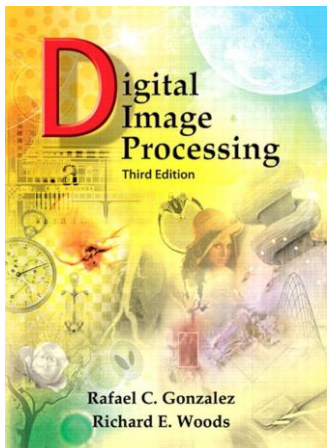
Κώστας Μαρίας
Αναπληρωτής Καθηγητής Επεξεργασίας Εικόνας

Αναφορές

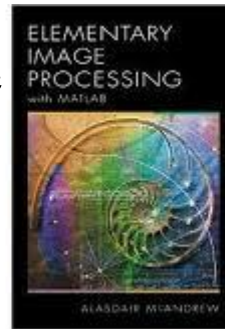
An Introduction to Digital Image Processing with Matlab, Alasdair McAndrew

N. Papamarkos, Ψηφιακή Επεξεργασία και Ανάλυση Εικόνας
Έκδοση 3η+ 2015

An Introduction to Digital Image
Processing with MATLAB
by Alasdair McAndrew



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



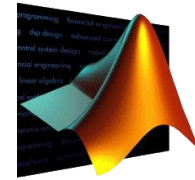
Περιεχόμενα Διάλεξης

- ⊕ Μορφολογία και Μορφολογική ανάλυση εικόνας
- ⊕ Βασικές έννοιες Μορφολογίας
- ⊕ Παραδείγματα Matlab

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



Basic



Matlab



Research

Μορφολογία

- ◆ Η Μορφολογία στη βιολογία πραγματεύεται τη μορφή και δομή των ζώων και των φυτών.
- ◆ Στην ΨΕΕ χρησιμοποιούμε τον ίδιο όρο στο πλαίσιο της μαθηματικής μορφολογίας ως εργαλείο για την εξαγωγή χαρακτηριστικών που έχουν να κάνουν με το σχήμα/μορφή της εικόνας.

Μορφολογία

- ◆ Μορφολογία, ή μαθηματική μορφολογία είναι ένας κλάδος της επεξεργασίας εικόνας η οποία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανάλυση σχήματος σε εικόνες.
- ◆ Παρά το γεγονός ότι η μορφολογία μπορεί να εφαρμοστεί σε εικόνες γκρι κλίμακας, θα ασχοληθούμε εδώ μόνο με μορφολογία σε δυαδικές εικόνες.
- ◆ Το Matlab έχει πολλά εργαλεία για δυαδική μορφολογία στην εικόνα εργαλειοθήκη επεξεργασίας τα περισσότερα από τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για εικόνες γκριζου.

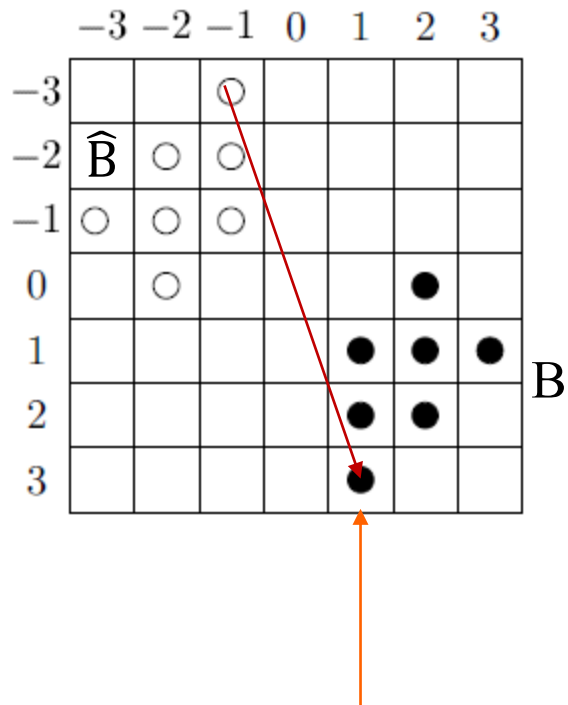
Βασικές έννοιες Μορφολογίας

- ◆ Για τη συνέχεια της διάλεξης θα ασχοληθούμε μόνο με δυαδικές εικόνες των οποίων οι τιμές των εικονοστοιχείων είναι στο δισδιάστατο χώρο ακεραίων Z^2 .
- ◆ Κάθε τέτοια εικόνα θεωρείτε π.χ. ως ένα σύνολο συντεταγμένων των pixels λευκού χρώματος.

Βασικές έννοιες Μορφολογίας

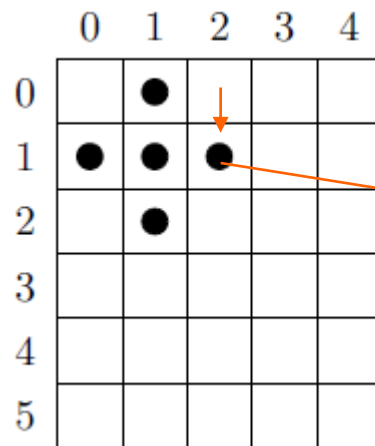
- ◆ Η ανάκλαση ενός συνόλου B (που περιέχει τις συντεταγμένες ενός αντικειμένου στην εικόνα), ορίζετε ως:
- ◆ $\hat{B} = \{(-x, -y) : (x, y) \in B\}$
- ◆ Δηλαδή το \hat{B} θα είναι το σύνολο των σημείων του B όπου οι συντεταγμένες κάθε (x, y) έχουν μετασχηματιστεί σε $(-x, -y)$

Βασικές έννοιες Μορφολογίας

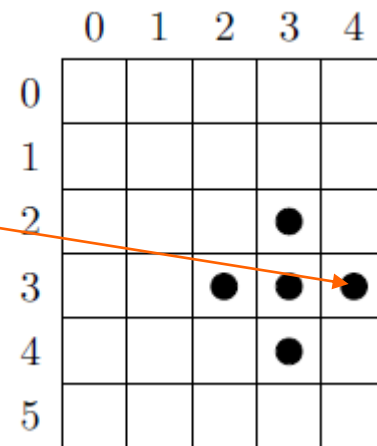


Βασικές έννοιες Μορφολογίας

- ◆ Η μετατόπιση του B (που περιέχει τις συντεταγμένες ενός αντικειμένου στην εικόνα) ως προς ένα σημείο $z = (z_1, z_2)$ ορίζεται ως:
$$(B)_z = \{(x + z_1, y + z_2) : (x, y) \in B\}$$



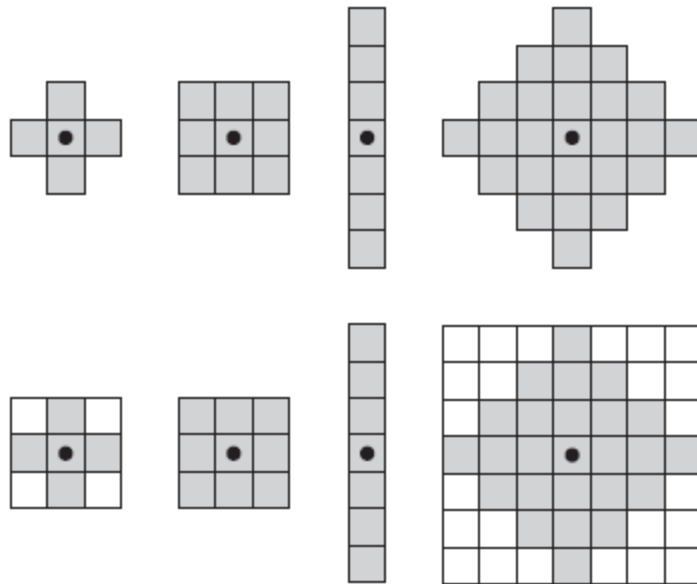
B



$(B)_z \quad z = (2,2)$

Μορφολογία: Δομικά Στοιχεία (Structuring Elements-SE)

- ◆ Δομικά Στοιχεία –SE ορίζονται ως μικρά σύνολα (υπο-εικόνες) που βοηθούν με την εφαρμογή μεθόδων μορφολογίας την ανάλυση σχήματος της εικόνας.



Πρώτη σειρά: Παραδείγματα Δομικών Στοιχείων

Δεύτερη σειρά: Δομικά Στοιχεία μετατρέπονται σε ορθογώνιους πίνακες.

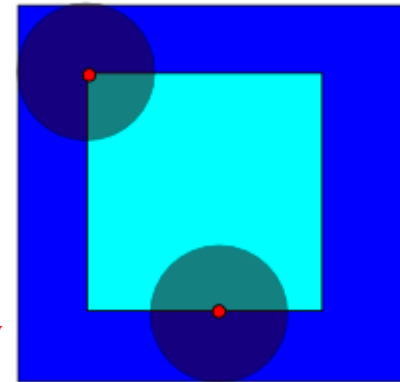
Οι κουκίδες υποδηλώνουν τα κέντρα των SE.

Μορφολογία: Συστολή

- ◆ Για δύο σύνολα A, B του χώρου Z^2 η συστολή (erosion) ορίζεται ως:
- ◆ $A \ominus B = \{z \mid (B)_z \subseteq A\}$
- ◆ Με απλά λόγια είναι το σύνολο όλων των σημείων z για τα οποία όταν μετατοπίζουμε το σύνολο B κατά z , όλο το B περιέχεται στο A .
- ◆ Το B υποθέτουμε ότι είναι δομικό στοιχείο

Η συστολή του σκούρου μπλε τετραγώνου με τον δίσκο, δίνει το ελαφρύ-μπλέ τετράγωνο.

https://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_morphology



Μορφολογία: Συστολή

◆ $A \ominus B = \{z \mid (B)_z \subseteq A\}$

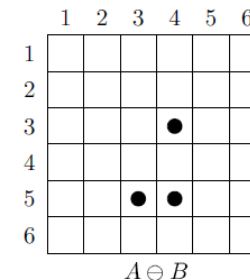
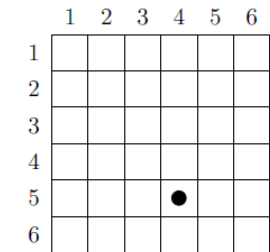
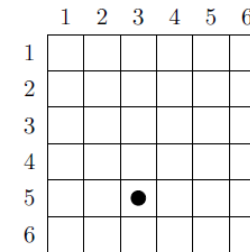
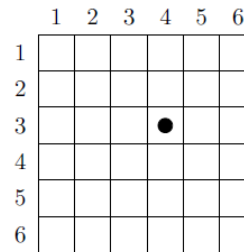
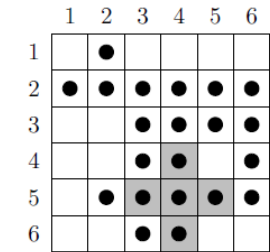
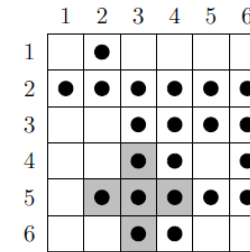
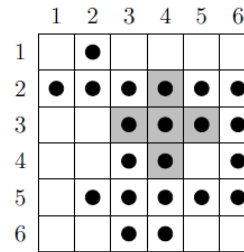
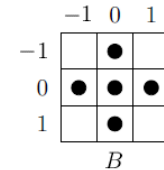
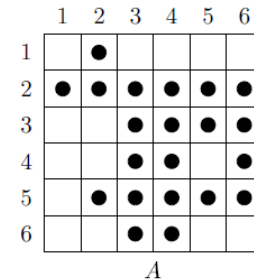
Έστω ότι το B είναι δομικό στοιχείο:

◆ $B = \{(-1,0), (0,-1), (0,0), (0,1), (1,0)\}$

◆ Αυτό το δομικό στοιχείο-σταυρός χωράει ολόκληρο στην εικόνα μόνο για τρεις μετατοπίσεις, όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα.

◆ Αυτές οι μετατοπίσεις (z) του B είναι $(3,4)$, $(5,3)$ και $(5,4)$ αντίστοιχα, οπότε το σύνολο αυτό ορίζει και τη συστολή $A \ominus B$

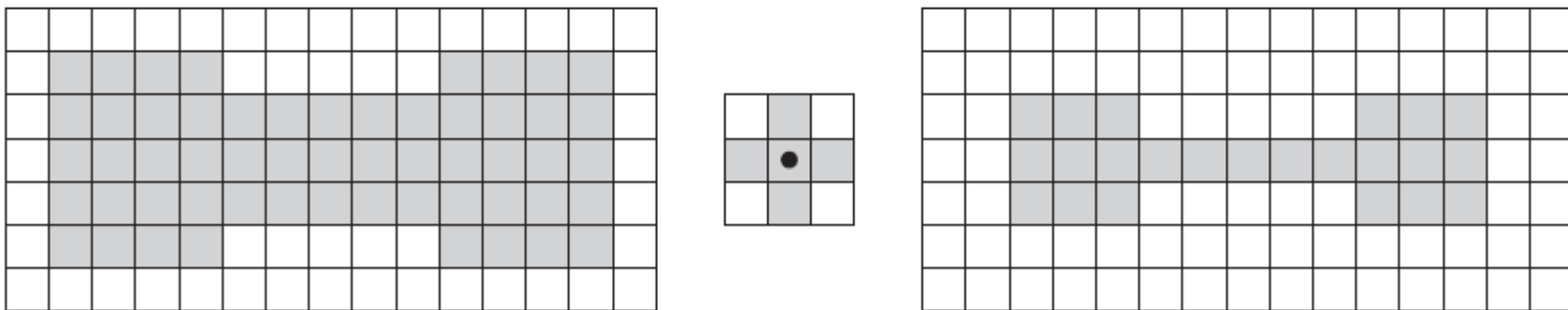
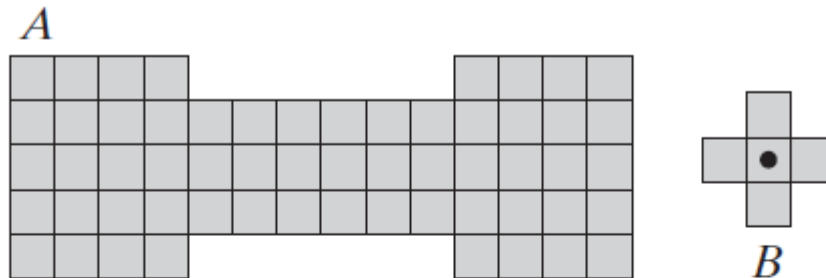
◆ Η Συστολή συρρικνώνει την εικόνα και συνήθως 'σπάει' κομμάτια της σε μικρότερα.



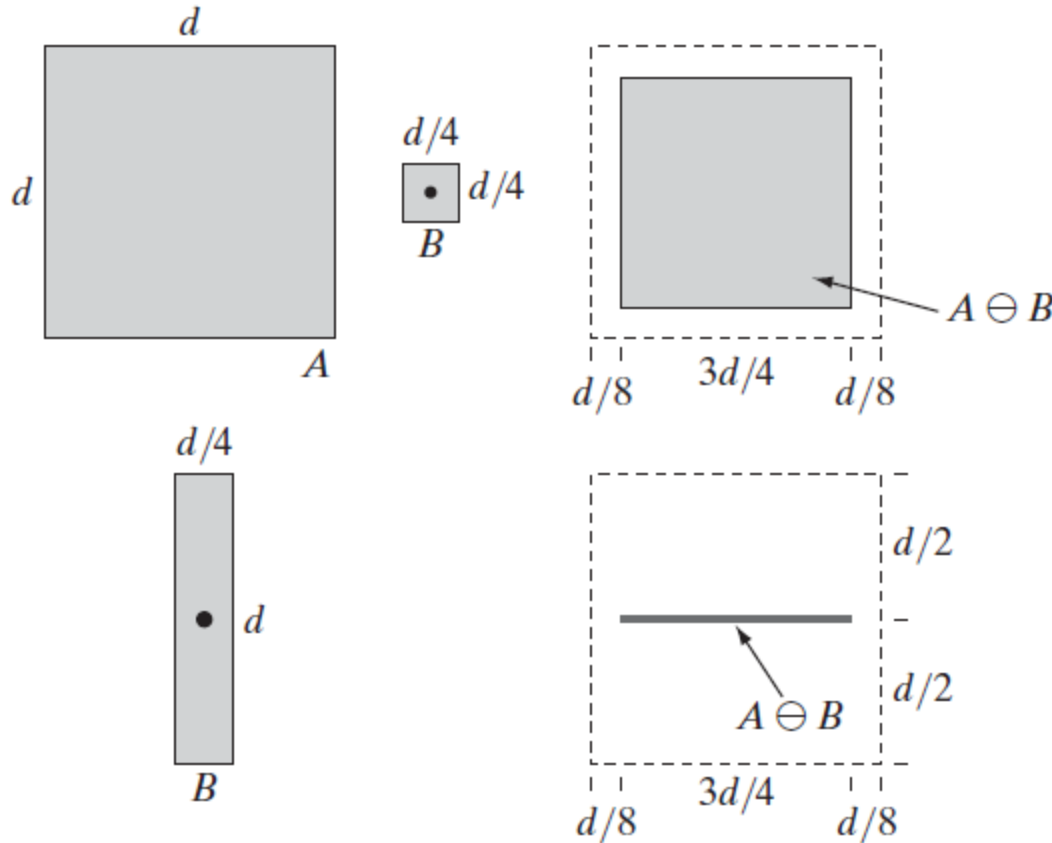
$A \ominus B$

Συστολή A με B

a) A set (each shaded square is a member of the set). (b) A structuring element. (c) The set padded with background elements to form a rectangular array and provide a background border. (d) Structuring element as a rectangular array. (e) Set processed by the structuring element.



Εξηγώντας τη συστολή



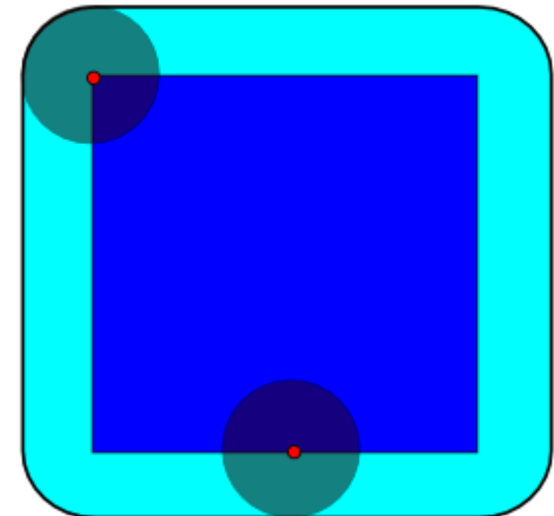
- ▶ (a) Set (b) Square structuring element, (c) Erosion of by shown
- ▶ shaded. (d) Elongated structuring element. (e) Erosion of by using this element.
- ▶ The dotted border in (c) and (e) is the boundary of set A , shown only for reference.

Μορφολογία: Διαστολή

- ◆ Για δύο σύνολα A, B του χώρου Z^2 η διαστολή(dilation) ορίζεται ως:
- ◆ $A \oplus B = \{ \cup (A)_z \text{ για καθε } z \in B \}$
- ◆ Με απλά λόγια είναι η ένωση όλων των σημείων που προκύπτουν από την μετατόπιση του A για κάθε στοιχείο z του B {το B υποθέτουμε ότι είναι δομικό στοιχείο}

Η διαστολή του σκούρο μπλε τετραγώνου από ένα δίσκο, έχει ως αποτέλεσμα το ανοιχτό μπλε τετράγωνο με στρογγυλεμένες γωνίες.

https://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_morphology



Μορφολογία: Διαστολή

$$A \oplus B = \{ \cup (A)_z \text{ για κάθε } z \in B \}$$

Έστω ότι το B είναι δομικό στοιχείο:

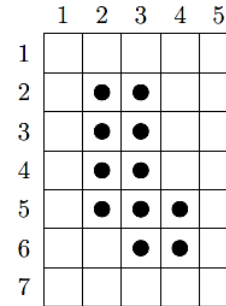
$$B = \{(0,0), (1,1), (-1,1), (1,-1), (-1,-1)\}$$

Η διαστολή είναι:

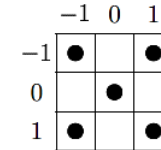
$$A \oplus B = (A)_{(1,1)} \cup (A)_{(-1,1)} \cup (A)_{(1,-1)} \cup (A)_{(-1,-1)}$$

□ Μετατοπίζουμε δηλ. το A κάθε φορά σύμφωνα με ένα από τα στοιχεία του B και με την ένωση όλων αυτών των μετατοπίσεων προκύπτει το $A \oplus B$

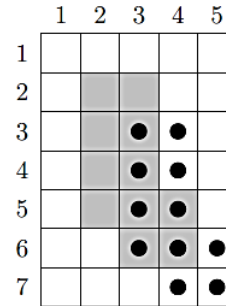
□ Ουσιαστικά η διαστολή μπορεί να υπολογιστεί αντικαθιστώντας κάθε σημείο (x,y) του A με ένα αντίγραφο του B 'κεντραρισμένο' ώστε το $(0,0)$ του B να συμπίπτει με το (x,y) .



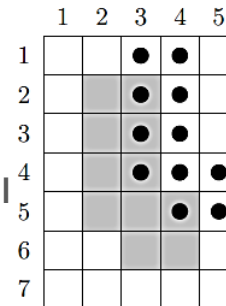
A



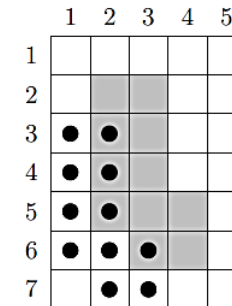
B



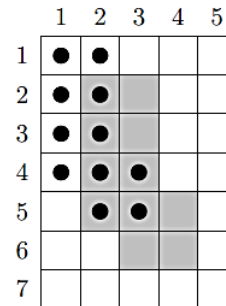
$A_{(1,1)}$



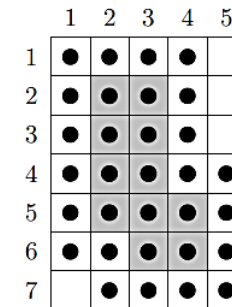
$A_{(-1,1)}$



$A_{(1,-1)}$



$A_{(-1,-1)}$



$A \oplus B$

Η Διαστολή διευρύνει την εικόνα και συνήθως 'ενώνει' κομμάτια της!

Παράδειγμα Συστολής-Διαστολής σε Matlab #1

```
t=imread('text.gif');
```

```
se=ones(2);
```

```
td=imdilate(t,se);
```

```
te=imerode(t,se);
```

figure

```
subplot(1,3,1),imshow(t,[]), title('original image');
```

```
subplot(1,3,2),imshow(td,[]), title('dilated image');
```

```
subplot(1,3,3),imshow(te,[]), title('eroded image');
```

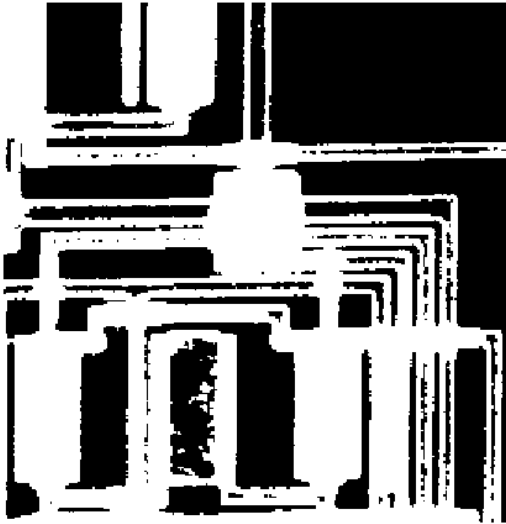
Παράδειγμα Συστολής-Διαστολής σε Matlab#2

```
c=imread('circbw.tif');  
se=ones(3);  
cd=imdilate(c,se);  
ce=imerode(c,se);
```

figure

```
subplot(1,3,1),imshow(c,[]), title('original image');  
subplot(1,3,2),imshow(cd,[]), title('dilated image');  
subplot(1,3,3),imshow(ce,[]), title('eroded image');
```

original image



dilated image



eroded image



Δοκιμάστε διάφορες παραλλαγές με διαφορετικά SE

-> Σταυρό

-> Κύκλο

```
A=zeros(100); A(30:50, 30:50)=1;
```

```
figure, imshow(A)
```

```
SE = strel('diamond',2)
```

```
Ad=imdilate(A,SE);
```

```
figure, imshow(Ad-A)
```

Μορφολογική ανάλυση με matlab

```
BW = zeros(9,10);
```

```
BW(4:6,4:7) = 1;
```

```
SE = strel('square',3);
```

```
BW2 = imdilate(BW,SE);
```

```
figure, imshow(BW)
```

```
figure, imshow(BW2)
```

```
'arbitrary', 'square', 'diamond',
```

```
'rectangle', 'octagon', 'line', 'pair',
```

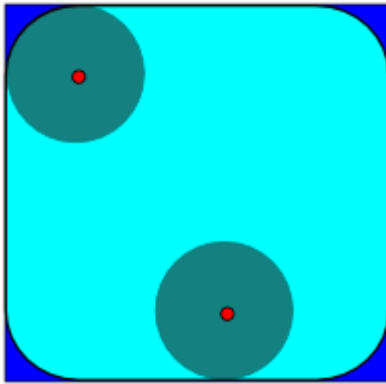
```
'periodicline', 'disk', 'ball'
```

```
%e.g. SE = strel('diamond',2)
```

Άνοιγμα και Κλείσιμο

- ◆ Το άνοιγμα ενός συνόλου A από το δομικό στοιχείο B ορίζεται ως:
- ◆ $A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$
- ◆ Είναι δηλαδή η συστολή του A με το $SE B$ και στη συνέχεια η διαστολή του αποτελέσματος από το B .
- ◆ Με εντελώς ανάλογο τρόπο ορίζεται το κλείσιμο του συνόλου A από το δομικό στοιχείο B :
- ◆ $A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$
- ◆ Το κλείσιμο είναι η Διαστολή του A από το B και στη συνέχεια συστολή του αποτελέσματος από το B .

Άνοιγμα και Κλείσιμο



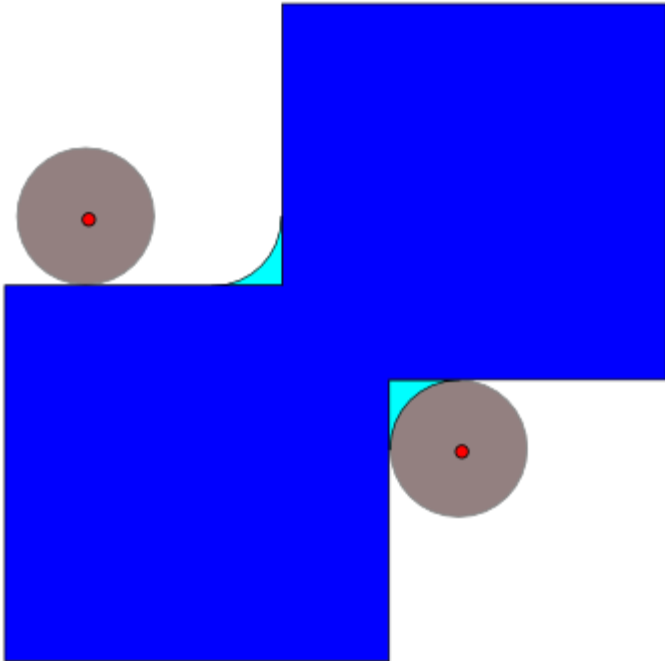
Το άνοιγμα του σκούρο μπλε τετραγώνου από ένα δίσκο, έχει ως αποτέλεσμα το ανοιχτό μπλε τετράγωνο με στρογγυλές γωνίες.

Με άλλα λόγια το άνοιγμα είναι το σύνολο των μετατοπίσεων του δομικού στοιχείου B μέσα στην εικόνα A .

Στην περίπτωση του τετραγώνου της πλευράς 10 και ενός δίσκου ακτίνας 2 ως δομικού στοιχείου, το άνοιγμα είναι ένα τετράγωνο της πλευράς 10 με στρογγυλεμένες γωνίες, όπου η ακτίνα γωνίας είναι 2

https://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_morphology

Άνοιγμα και Κλείσιμο



Το κλείσιμο του σκούρου μπλε σχήματος (ένωση δύο τετραγώνων) από ένα δίσκο, έχει ως αποτέλεσμα την ένωση του σκούρου μπλε σχήματος και των γαλαζοπράσινων περιοχών.

https://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_morphology

Βασικοί αλγόριθμοι μορφολογίας

- ◆ Εξαγωγή περιγράμματος
- ◆ Το περίγραμμα $\beta(A)$ του A δίνεται από τη σχέση:
- ◆ $\beta(A) = A - (A \ominus B)$
- ◆ Δηλαδή από το A αφαιρούμε το αποτέλεσμα της συστολής του A με το $SE B$.
- ◆ Δημιουργείστε μια δυαδική εικόνα σε matlab (π.χ. ένα άσπρο τετράγωνο ή κύκλο σε μαύρο background) και στη συνέχεια βρείτε το περίγραμμα με μορφολογία εικόνας!

Βασικοί αλγόριθμοι μορφολογίας

◆ A είναι η εικόνα και B το SE τότε το περίγραμμα της A μπορεί να οριστεί ως:

(i) $A - (A \ominus B)$

“internal boundary”

(ii) $(A \oplus B) - A$

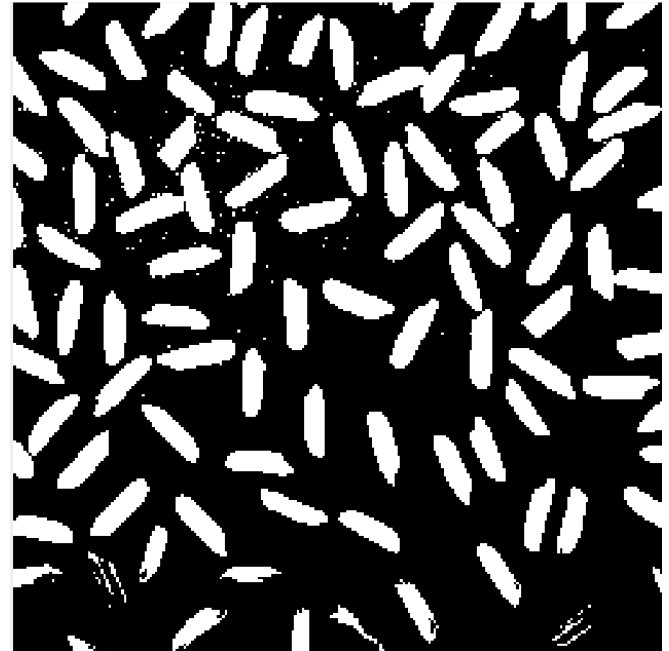
“external boundary”

(iii) $(A \oplus B) - (A \ominus B)$

“morphological gradient”

Εσωτερικό περίγραμμα

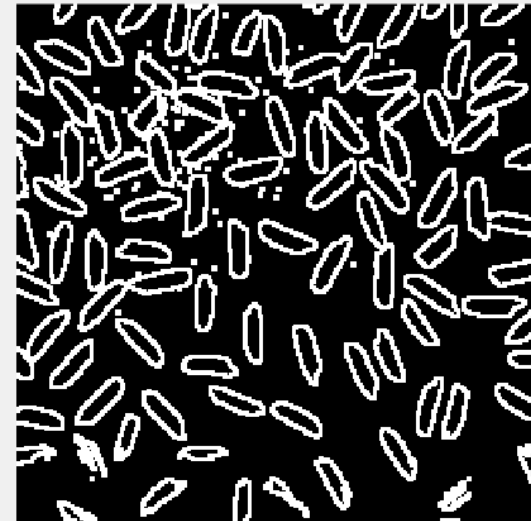
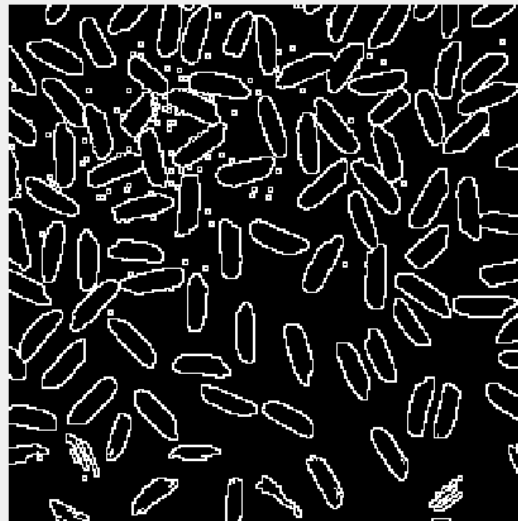
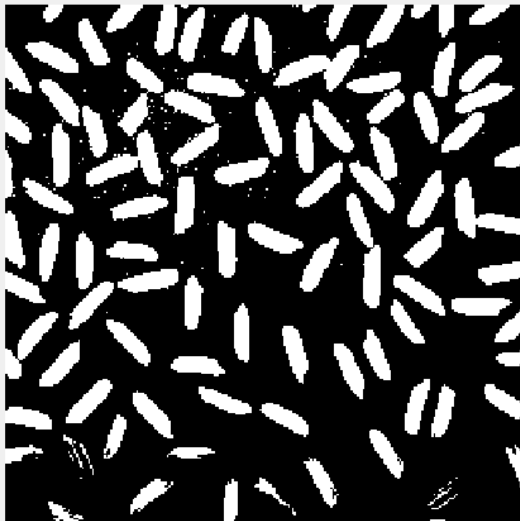
```
rice=imread('rice.png');  
r=im2bw(rice);  
sq=ones(3);  
re=imerode(r,sq);  
  
r_int=r-re;  
subplot(1,2,1),imshow(r)  
subplot(1,2,2),imshow(r_int)
```



Εξωτερικό και μορφολογικό περίγραμμα

```
rice=imread('rice.png');  
r=im2bw(rice);  
sq=ones(3);  
rd=imdilate(r,sq); re=imerode(r,sq);  
r_ext=rd-r; r_morph=rd-re;  
figure  
subplot(1,3,1),imshow(r)  
subplot(1,3,2),imshow(r_ext)  
subplot(1,3,3), imshow(r_morph)
```

Εξωτερικό και μορφολογικό περίγραμμα



Morphology Application in noise removal

- ◆ Έστω ότι η εικόνα A είναι μολυσμένη με θόρυβο (π.χ. η εικόνα....).
- ◆ Η απομάκρυνση θορύβου (μικρών περιοχών pixels) γίνεται με άνοιγμα και αμέσως μετακλείσιμο, όπως δίνεται από τη σχέση:

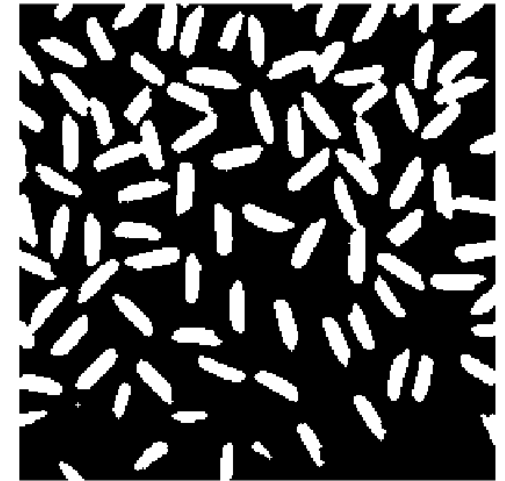
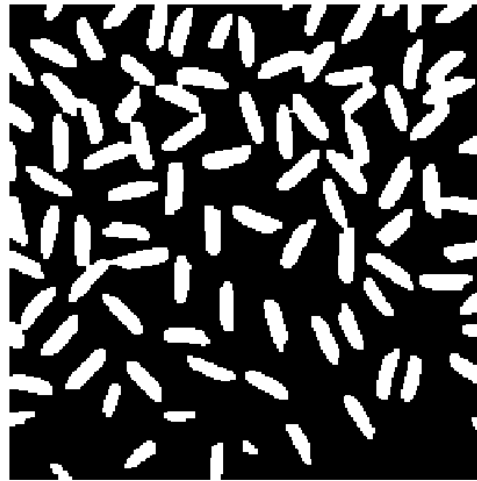
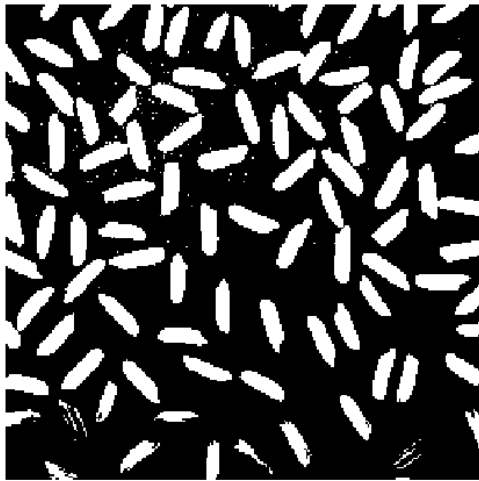
$$I_{NR} = (A \circ B) \bullet B$$

Morphology Application in noise removal

```
rice=imread('rice.png');  
r=im2bw(rice);  
sq=ones(3);  
cf1=imclose(imopen(r,sq),sq);  
cr=[0 1 0;1 1 1;0 1 0];  
cf2=imclose(imopen(r,cr),cr);  
figure  
subplot(1,3,1), imshow(r)  
subplot(1,3,2), imshow(cf1)  
subplot(1,3,3), imshow(cf2)
```

Δοκιμάστε το με
2 Δομικά
στοιχεία α)
τετράγωνο 3x3
και ένα σταυρό
3x3

Morphology Application in noise removal



Εύρεση Σκελετού σχήματος - skeletonization

- ◆ Μια σημαντική προσέγγιση για την απεικόνιση του δομικού σχήματος μιας επίπεδης περιοχής είναι να το μειώσουμε-ανάγουμε σε ένα γράφημα.
- ◆ Αυτή η μείωση μπορεί να επιτευχθεί με τον υπολογισμό του σκελετού της περιοχής μέσω ενός αλγόριθμου αραίωσης (που ονομάζεται επίσης σκελετοποίηση).
- ◆ Οι διαδικασίες αραίωση διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο σε ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων στην επεξεργασία εικόνας, π.χ. αυτοματοποιημένη επιθεώρηση των τυπωμένων κυκλωμάτων.

Εύρεση Σκελετού σχήματος - skeletonization

- ◆ Ο σκελετός μιας περιοχής μπορεί να οριστεί μέσω του μετασχηματισμού μέσου άξονα (MAT) που προτείνεται από τον Blum*
- ◆ Το MAT μιας περιοχής R με περίγραμμα B έχει ως εξής.
 - ⊕ Για κάθε σημείο p του R βρίσκουμε τον πλησιέστερο γείτονά του στο B .
 - ⊕ Στην περίπτωση που το p έχει περισσότερους από έναν τέτοιο γείτονα, λέγεται ότι ανήκει στον μέσο άξονα (σκελετό) του R .

*Blum, H. [1967]. "A Transformation for Extracting New Descriptors of Shape," In Models for the Perception of Speech and Visual Form, Wathen-Dunn, W. (ed.), MIT Press, Cambridge, Mass.

Εύρεση Σκελετού σχήματος - skeletonization

- ◆ Το MAT μιας περιοχής έχει έναν διαισθητικό ορισμό βασισμένο στη λεγόμενη "έννοια της πυρκαγιάς-λιβάδι."
- ◆ Θεωρήστε μια περιοχή εικόνας ως λιβάδι ομοιόμορφου, ξηρού γρασιδιού και υποθέστε ότι μια φωτιά ανάβει κατά μήκος των συνόρων της.
- ◆ Όλα τα μέτωπα πυρκαγιάς θα προχωρήσουν μέσα στην περιοχή με την ίδια ταχύτητα.
- ◆ Το MAT της περιοχής είναι το σύνολο των σημείων όπου φτάνουν ταυτόχρονα περισσότερα από ένα 'μέτωπα' της φωτιάς.

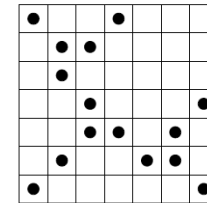
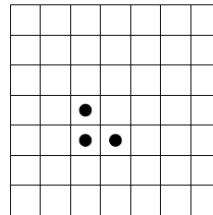
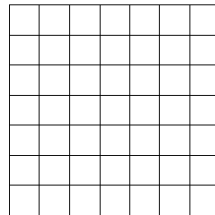
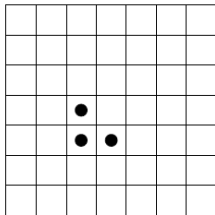
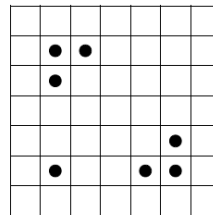
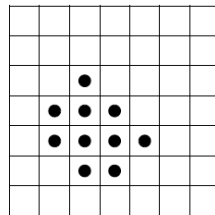
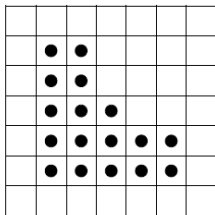
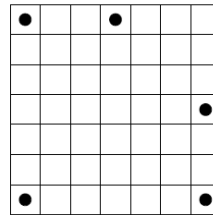
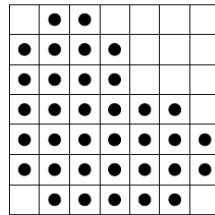
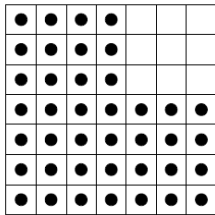
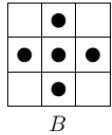
Εύρεση Σκελετού σχήματος - skeletonization

- ◆ Η υλοποίηση που θα παρουσιάσουμε είναι σύμφωνα με το βιβλίο *An Introduction to Digital Image Processing with MATLAB* του Alasdair McAndrew.

Erosions	Openings	Set differences
A	$A \circ B$	$A - (A \circ B)$
$A \ominus B$	$(A \ominus B) \circ B$	$(A \ominus B) - ((A \ominus B) \circ B)$
$A \ominus 2B$	$(A \ominus 2B) \circ B$	$(A \ominus 2B) - ((A \ominus 2B) \circ B)$
$A \ominus 3B$	$(A \ominus 3B) \circ B$	$(A \ominus 3B) - ((A \ominus 3B) \circ B)$
\vdots	\vdots	\vdots
$A \ominus kB$	$(A \ominus kB) \circ B$	$(A \ominus kB) - ((A \ominus kB) \circ B)$

- ◆ Εδώ χρησιμοποιούμε τη σύμβαση ότι μια ακολουθία k συστολών με το ίδιο δομικό στοιχείο B συμβολίζεται ως $A \ominus kB$. Συνεχίζουμε όπως στον πίνακα μέχρι το άνοιγμα $(A \ominus kB) \circ B$ να είναι κενό. Ο σκελετός δίνεται από την ένωση όλων των συνόλων διαφορών.

Εύρεση Σκελετού σχήματος - skeletonization



Erosions	Openings	Set differences
A	$A \circ B$	$A - (A \circ B)$
$A \ominus B$	$(A \ominus B) \circ B$	$(A \ominus B) - ((A \ominus B) \circ B)$
$A \ominus 2B$	$(A \ominus 2B) \circ B$	$(A \ominus 2B) - ((A \ominus 2B) \circ B)$
$A \ominus 3B$	$(A \ominus 3B) \circ B$	$(A \ominus 3B) - ((A \ominus 3B) \circ B)$
\vdots	\vdots	\vdots
$A \ominus kB$	$(A \ominus kB) \circ B$	$(A \ominus kB) - ((A \ominus kB) \circ B)$

End of today's lecture

Thank you for your attention!