



Επεξεργασία Εικόνας & Βίντεο

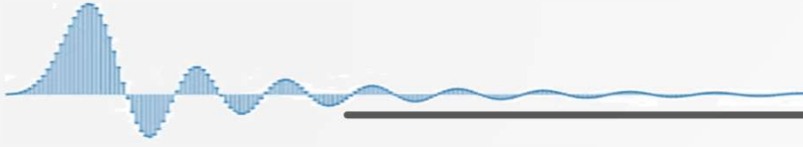
ο6. Μορφολογία

Εισηγητής: Νικόλαος Γιαννακέας
Επίκουρος Καθηγητής, Σημάτων & Συστημάτων



- Εισαγωγή στην Μορφολογία
- Βασικοί Ορισμοί και Έννοιες
- Βασικές Μορφολογικές πράξεις & τελεστές
- Εφαρμογές μορφολογικών πράξεων
- Μορφολογικός Μετασχηματισμός Υδροκρίτη

Περιεχόμενα
Παρουσίασης



Μορφολογία - Εισαγωγή

Όρος **Μορφολογία**¹ χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες επιστήμες

1. (**βιολογία**) η εξωτερική μορφή και δομή των φυσικών όντων

1. η αντίστοιχη επιστήμη που μελετά τα εξωτερικά χαρακτηριστικά των όντων

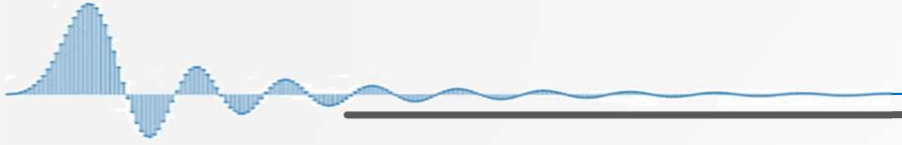
2. (**γεωγραφία**) η διαμόρφωση και οι σχηματισμοί της επιφάνειας της **Γης**

1. η επιστημονική μελέτη της διαμόρφωσης της γήινης επιφάνειας και των μεταβολών που παρουσιάζονται σε αυτήν

3. (**γλωσσολογία**) η επιστημονική εξέταση του σχηματισμού των λέξεων, της κλίσης και των μεταβολών τους σε διάφορες φράσεις

4. (**μουσική**) κλάδος που μελετά και αναλύει τις μουσικές μορφές και τα μέσα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους

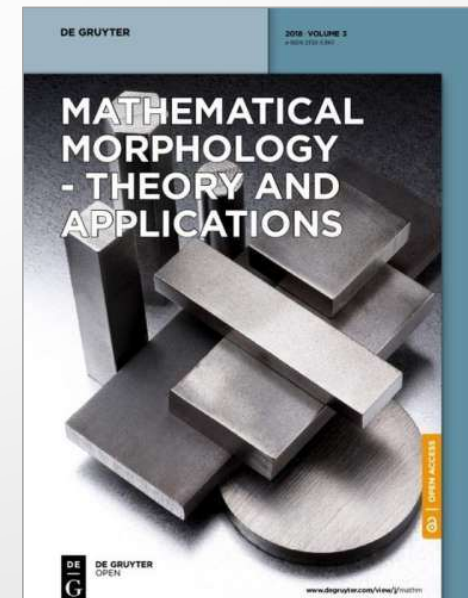
¹<https://el.wiktionary.org/>

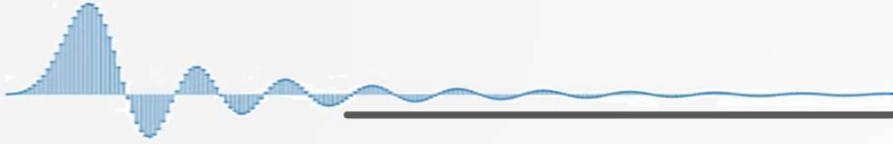


Μορφολογία - Εισαγωγή

Μελετάμε την Μορφολογία με βάση την **μαθηματική της έννοια** για την εφαρμογή της σε Επεξεργασία Εικόνας

- **Μαθηματική Μορφολογία** παρέχει εργαλεία και την θεωρία για την ανάλυση και την επεξεργασία γεωμετρικών δομών
- Σε εικόνες για την **αναπαράσταση και περιγραφή περιοχών** της εικόνας (π.χ. όρια, περίγραμμα, σκελετός, κυρτό περίβλημα κ.α.)
- Παρέχει τεχνικές για πριν ή μετά την επεξεργασία της εικόνας ενώ έχει εφαρμογές τόσο σε δυαδικές όσο και σε εικόνες επιπέδων γκρι





Βασικοί Ορισμοί και Έννοιες

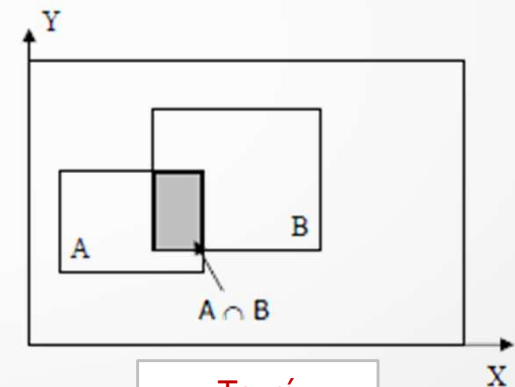
Όπως και στο πεδίο των μαθηματικών έτσι και στο πεδίο της εικόνας ορίζεται η τομή και η ένωση χωρικών περιοχών

- **Τομή** (intersection) δύο περιοχών A και B:

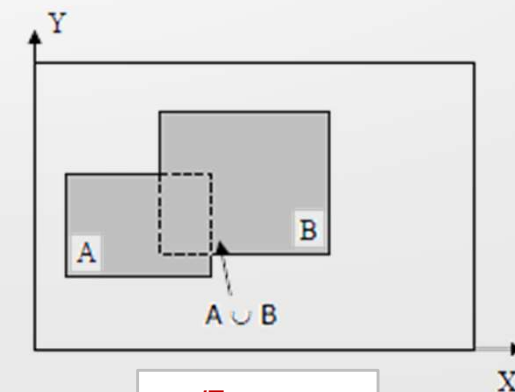
$$A \cap B = \{x \mid x \in A \text{ and } x \in B\}$$

- **Ένωση** (union) δύο περιοχών A και B:

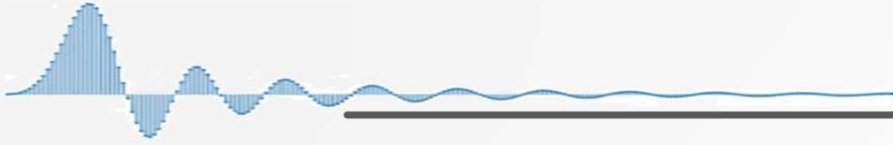
$$A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ or } x \in B\}$$



Τομή



Ένωση



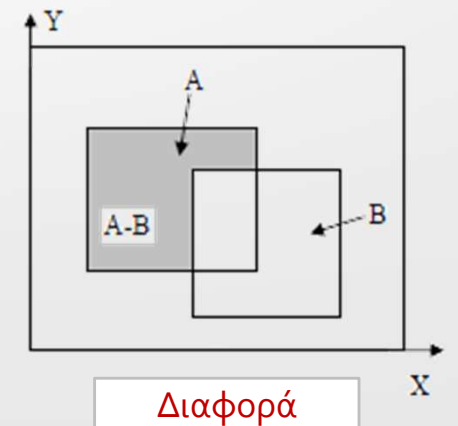
Βασικοί Ορισμοί και Έννοιες

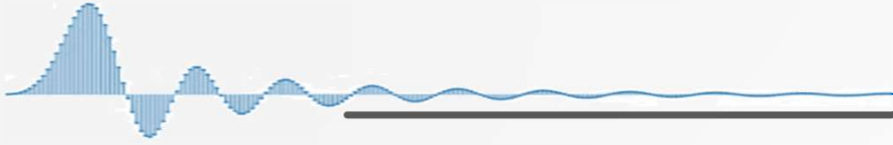
- Το **συμπλήρωμα** (Complement) της περιοχής A:

$$A^c = \{x \mid x \notin A\}$$

- Η **διαφορά** (difference) της περιοχής A από την περιοχή B:

$$A - B = \{x \mid x \in A, x \notin B\} = A \cap B^c$$





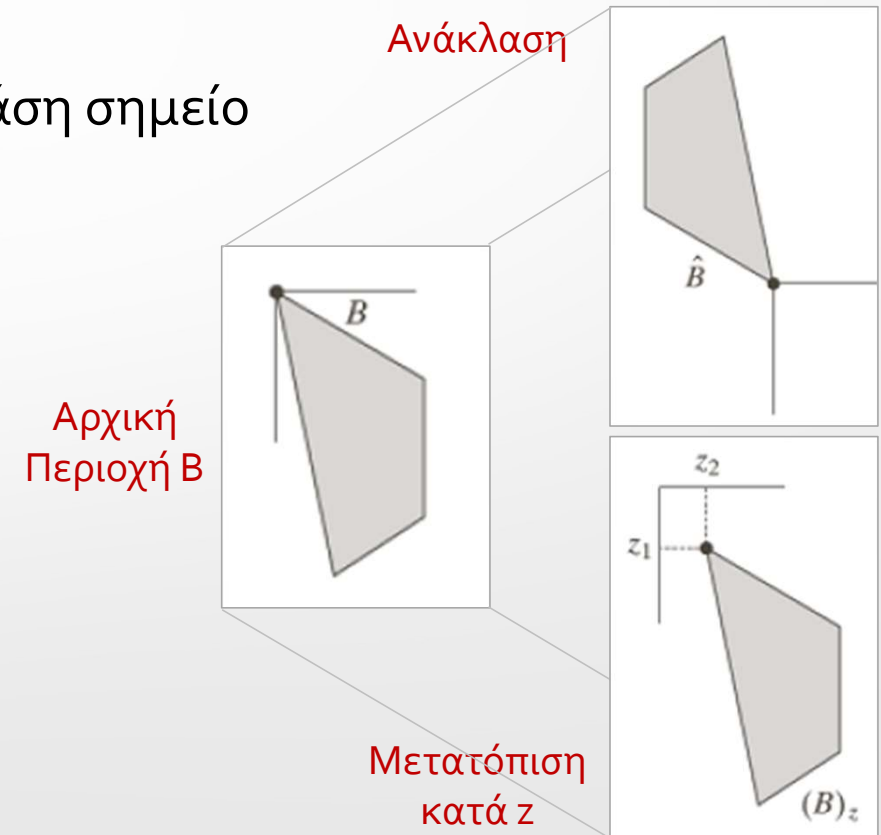
Βασικοί Ορισμοί και Έννοιες

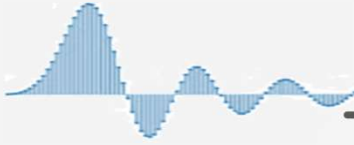
- **Ανάκλαση** (reflection) της περιοχής με βάση σημείο

$$\hat{B} = \{w \mid w = -b, \text{ για } b \in B\}$$

- **Μετατόπιση** της περιοχής κατά z

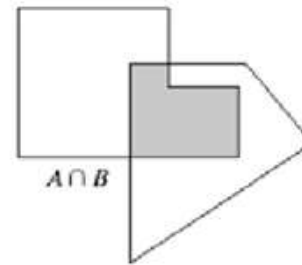
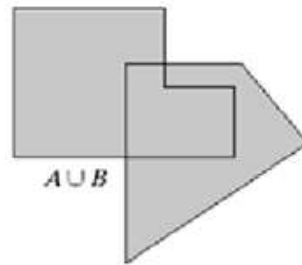
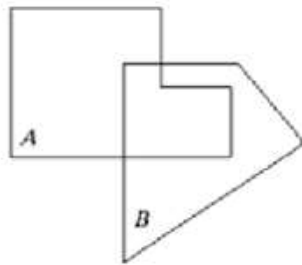
$$(B)_z = \{c \mid c = b + z, \text{ για } b \in B\}$$





Βασικοί Ορισμοί και Έννοιες

Έστω Δύο
περιοχές A
και B



Ένωση (Union)

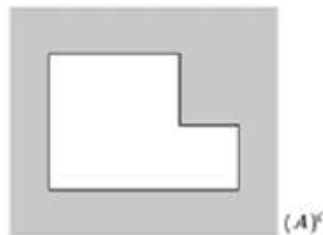
Τομή (Intersection)

$$A \cup B = \{w \mid w \in A \text{ OR } w \in B\}$$

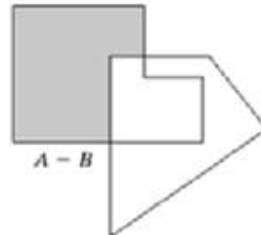
$$A \cap B = \{w \mid w \in A \text{ AND } w \in B\}$$

$$A^c = \{w \mid w \notin A\}$$

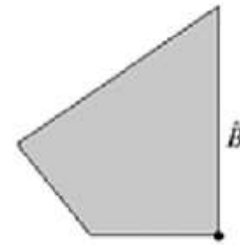
$$A \cap B = \{w \mid w \in A, w \notin B\} = A \cap B^c$$



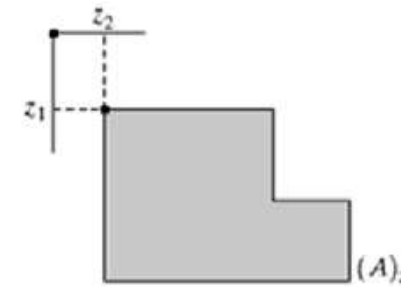
Συμπλήρωμα
(Complement)



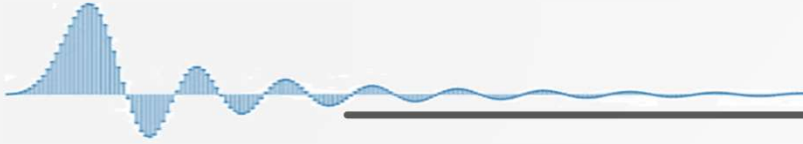
Διαφορά
(Difference)



Ανάκλαση
(Reflection)



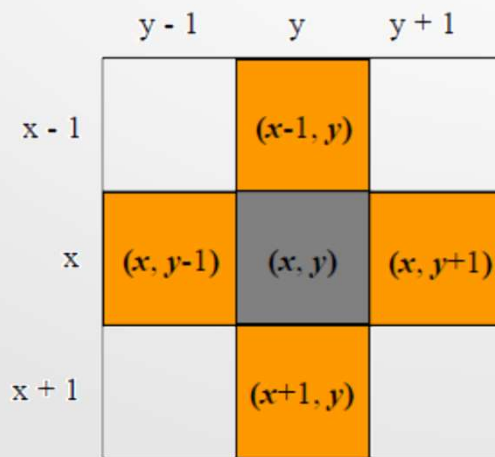
Μετατόπιση
(Translation)



Βασικοί Ορισμοί και Έννοιες

Γειτνίαση Εικονοστοιχείων: 4-γείτονων

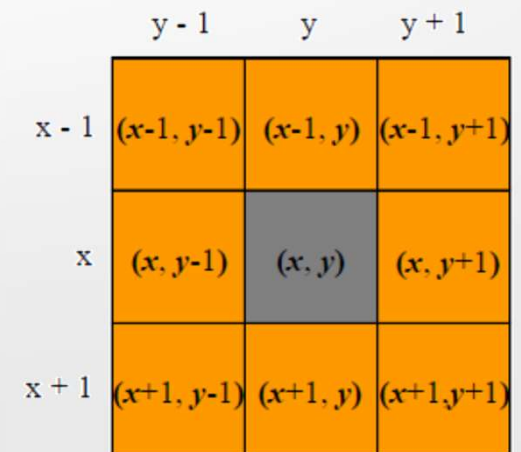
Δύο pixels ονομάζονται 4-γείτονες αν έχουν μεταξύ τους απόσταση "Manhattan" 1



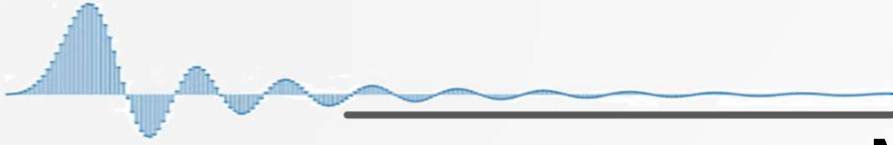
4-γείτονες (4-neighbors)

Γειτνίαση Εικονοστοιχείων: 8-γείτονων

Δύο pixels ονομάζονται 8-γείτονες αν έχουν μεταξύ τους απόσταση σκακιέρας 1



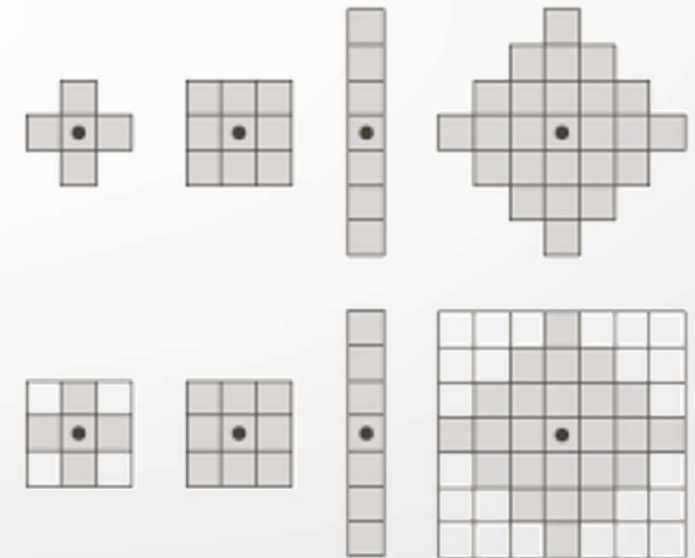
8-γείτονες (8-neighbors)



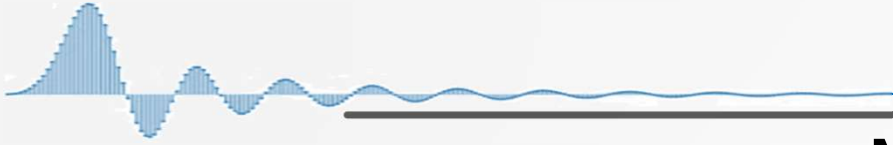
Μορφολογικές Πράξεις

Δομικά στοιχεία

- Οι **μορφολογικές πράξεις** εφαρμόζονται μεταξύ μιας περιοχής της εικόνας και ενός **Δομικού Στοιχείου** (Structural Element - SE)
- Τα Δομικά στοιχεία δημιουργούνται **σε διάφορα σχήματα** αναλόγως με τα σχήματα των δομών που επιθυμούμε να **«ευνοηθούν»** κατά την επεξεργασία
- Ένα σημείο του δομικού στοιχείου ονομάζεται **«αρχή»** (Origin) και με βάση αυτό γίνονται οι κινήσεις το δομικού στοιχείου στην εικόνα
- Η αρχή δεν είναι απαραίτητα στο κέντρο του δομικού στοιχείου



Όποτε απαιτείται οι περιοχές γεμίζουν με μηδενικά



Μορφολογικές Πράξεις

Δομικά στοιχεία

- Οι **μορφολογικές πράξεις** εφαρμόζονται μεταξύ μιας περιοχής της εικόνας και ενός **Δομικού Στοιχείου** (Structural Element)
- Τα Δομικά στοιχεία δημιουργούνται **σε διάφορα σχήματα** αναλόγως με τα σχήματα των δομών που επιθυμούμε να **«ευνοηθούν»** κατά την επεξεργασία
- Ένα σημείο του δομικού στοιχείου ονομάζεται **«αρχή»** (Origin) και με βάση αυτό γίνονται οι κινήσεις το δομικού στοιχείου στην εικόνα
- Η αρχή δεν είναι απαραίτητα στο κέντρο του δομικού στοιχείου

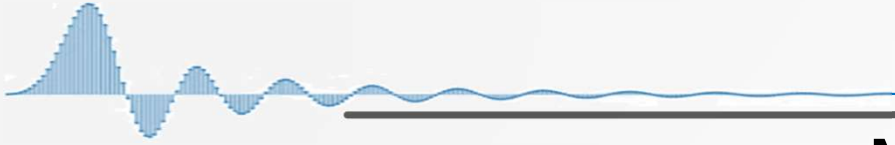
7x7 Περιοχή – Δομικό Στοιχείο ρόμβου

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

Αρχή (Origin)

Όποτε απαιτείται οι περιοχές γεμίζουν με μηδενικά

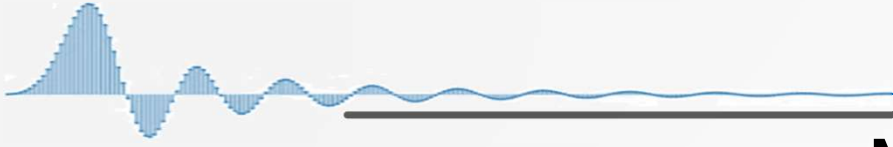
Θυμάμαι..... Περιοχή όπου οι άσσοι απέχουν απόσταση Μανχάταν = 3 από την αρχή



Μορφολογικές Πράξεις Εφαρμογή των τελεστών/ πράξεων

Διαδικασία – Αλγόριθμος

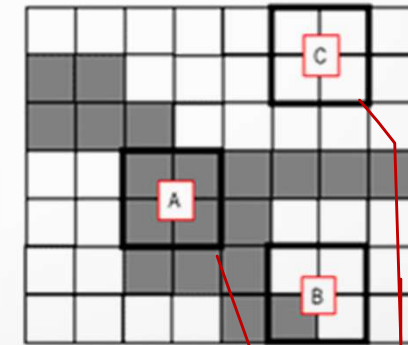
1. Η αρχή (origin) του δομικού στοιχείου B «επισκέπτεται» κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας A
2. Στην **κάθε θέση εκτελείται μια διαδικασία** (ανάλογα με τον τελεστή) μεταξύ των στοιχείων του δομικού στοιχείου και των εικονοστοιχείων της εικόνας
3. Η διαδικασία αποφασίζει αν το εικονοστοιχείο που συμπίπτει με την αρχή του δομικού στοιχείου θα ανήκει στην τελική περιοχή ή όχι.



Μορφολογικές Πράξεις

Εφαρμογή των πράξεων

- 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.



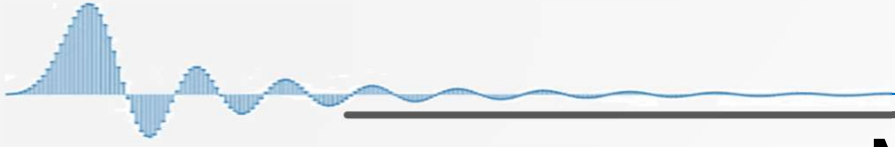
Δομικό στοιχείο



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



Μορφολογικές Πράξεις

Εφαρμογή των πράξεων

Βασικοί Μορφολογικοί Τελεστές ή πράξεις (Morphological Operations)

- Μορφολογική Συστολή (Morphological Erosion):
- Μορφολογική Διαστολή (Morphological Dilation):
- Μορφολογικό Άνοιγμα (Morphological Opening):
- Μορφολογικό Κλείσιμο (Morphological Closing):

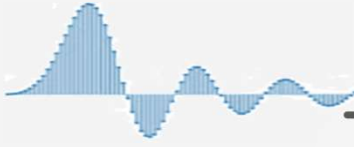
Morphology

Morphology

Morphology

Morphology

Morphology

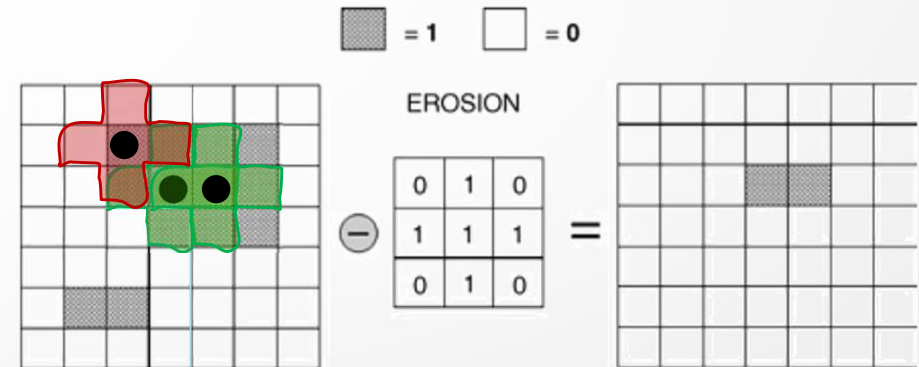


Μορφολογικές Πράξεις Συστολή

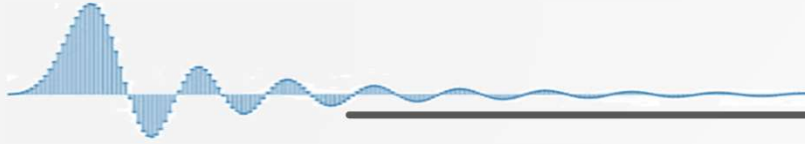
- Αυστηρός Μαθηματικό Ορισμός:

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

- Είναι το σύνολο των σημείων για τα οποία όταν το σύνολο B μετατοπιστεί κατά z να περιέχεται στο A

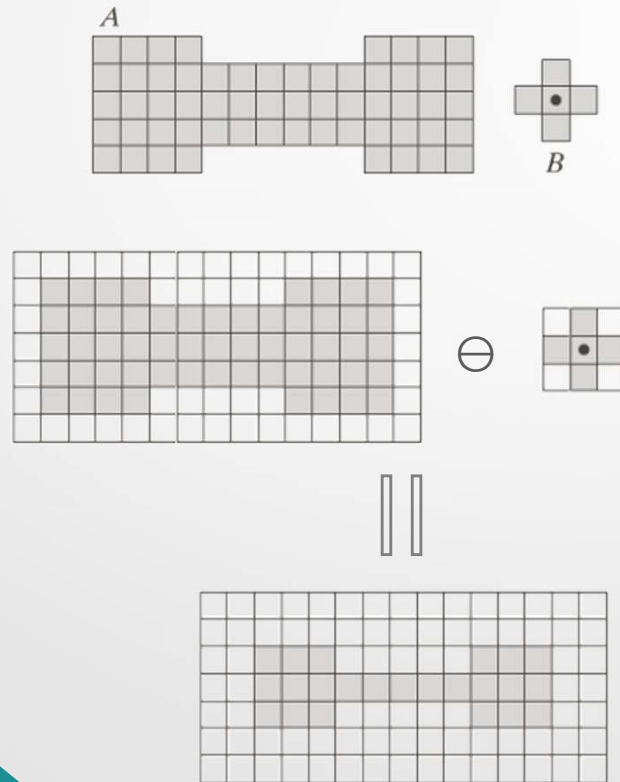


Πρακτικά: Στην τελική περιοχή παραμένουν μόνο τα σημεία τα για τα οποία το δομικό στοιχείο έκανε "fit" στην εικόνα

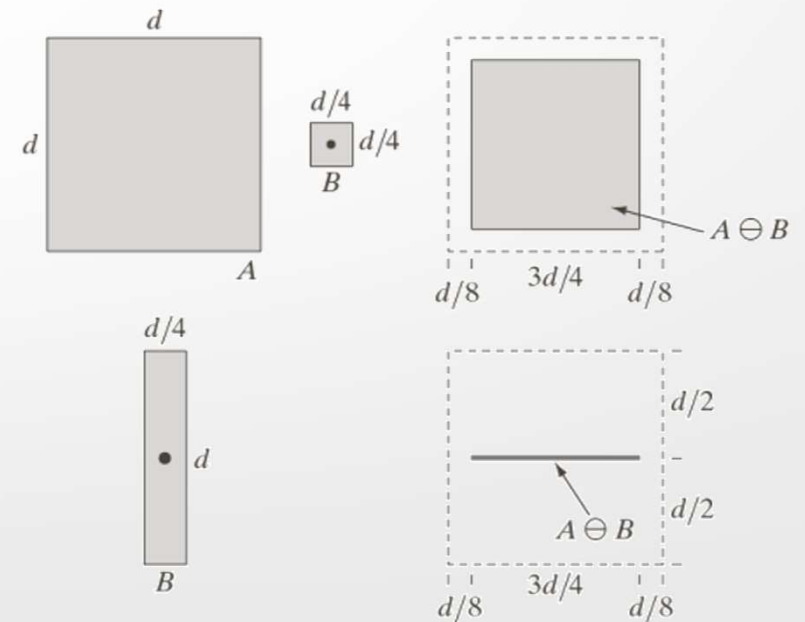


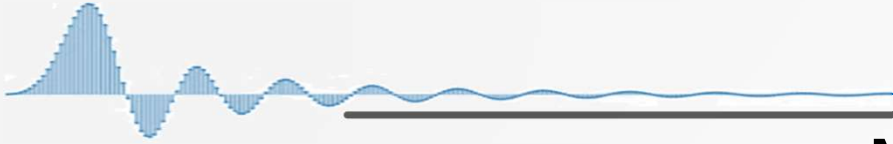
Μορφολογικές Πράξεις Συστολή

Παράδειγμα 1



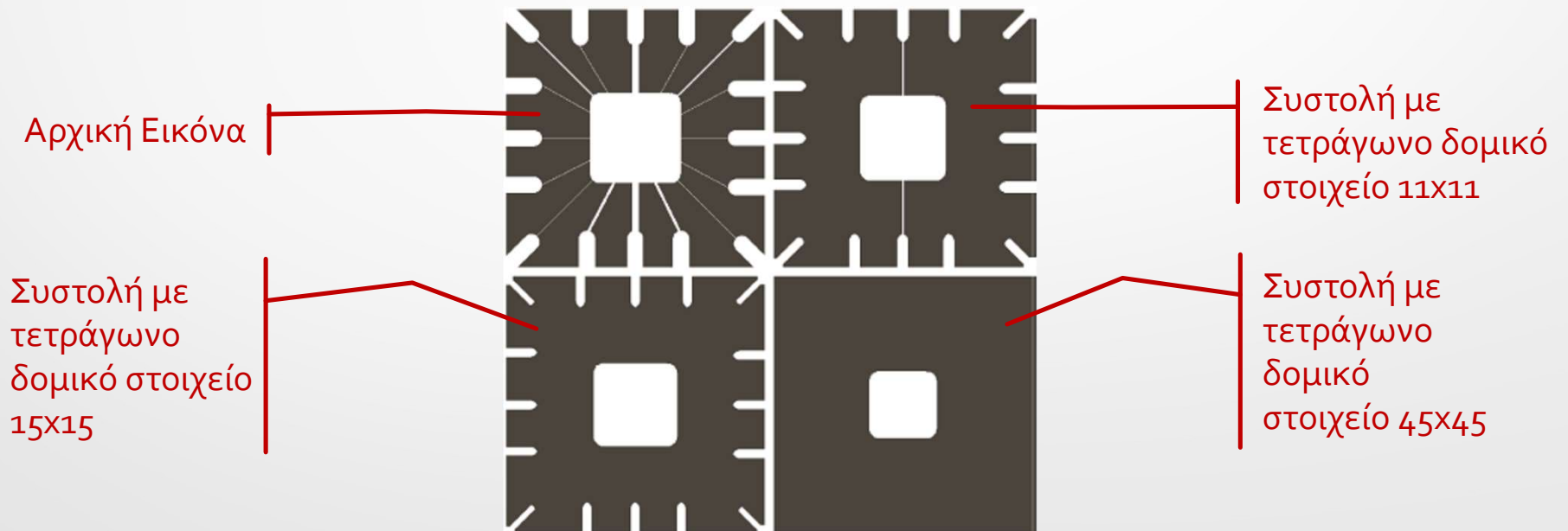
Παράδειγμα 2

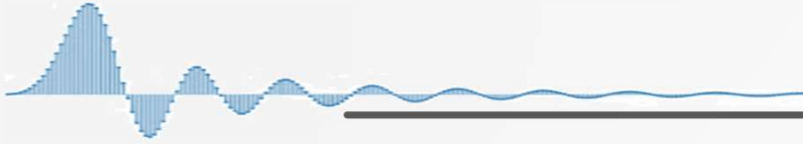




Μορφολογικές Πράξεις Συστολή

Παράδειγμα 3: Σε δυαδική Εικόνας και αυξάνοντας το μέγεθος του δομικού στοιχείου





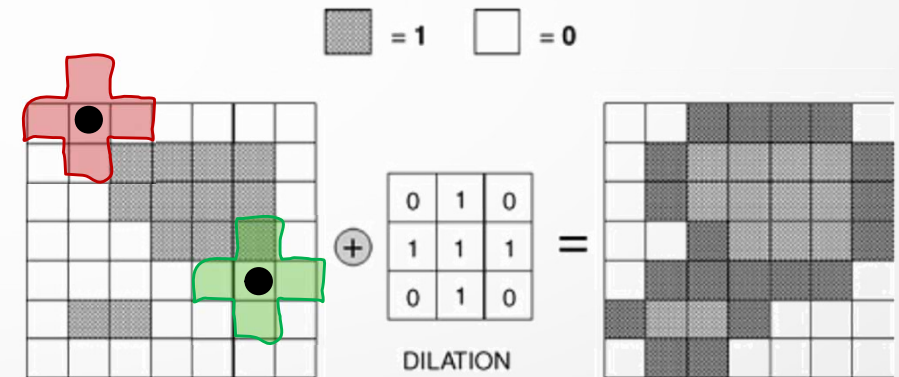
Μορφολογικές Πράξεις

Διαστολή

- 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

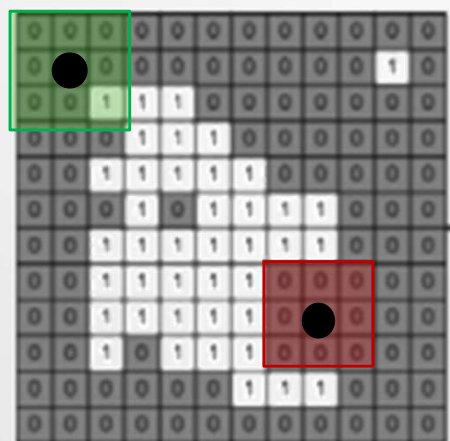


Πρακτικά: Στην τελική περιοχή παραμένουν μόνο τα σημεία για τα οποία το δομικό στοιχείο έκανε "hit" στην εικόνα

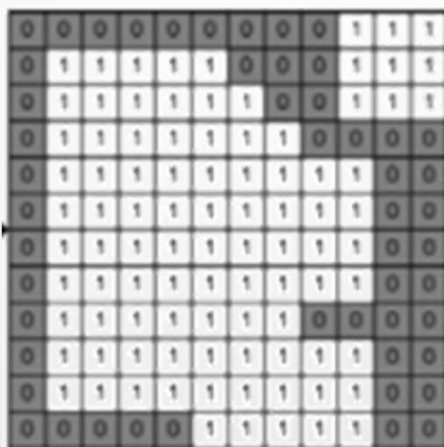


Μορφολογικές Πράξεις Διαστολή

Παράδειγμα 1



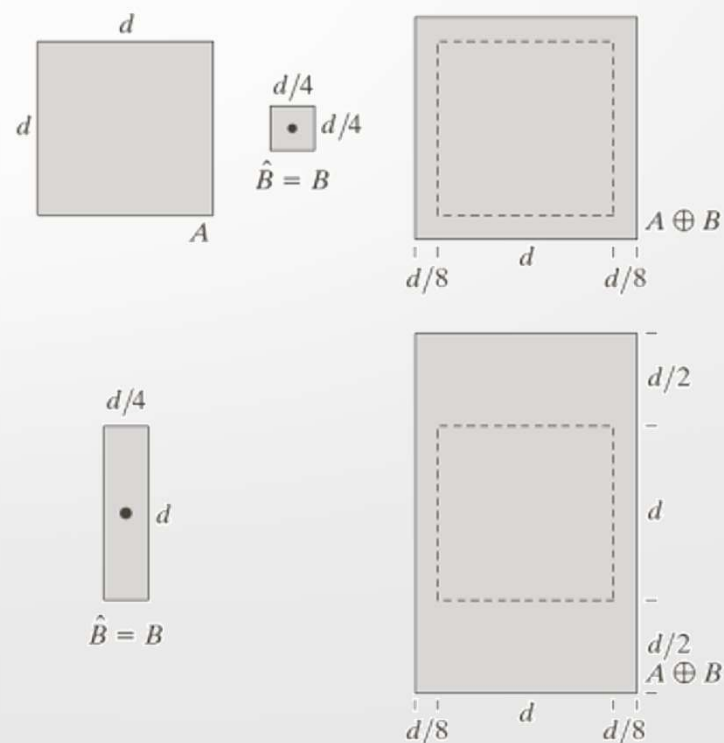
=

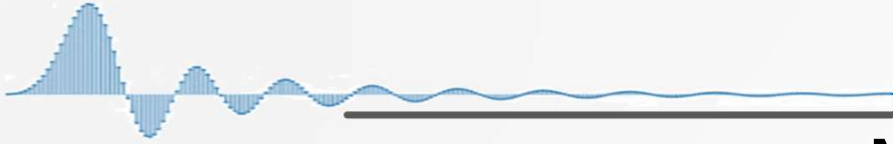


\oplus



Παράδειγμα 2





Μορφολογικές Πράξεις

Άνοιγμα και κλείσιμο

Άνοιγμα

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

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

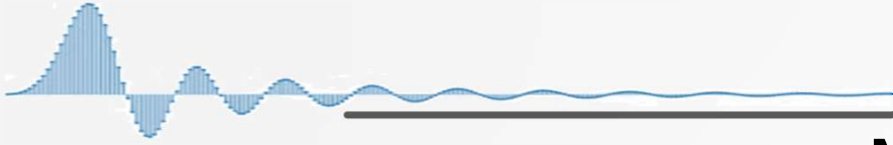
Κλείσιμο

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

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



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

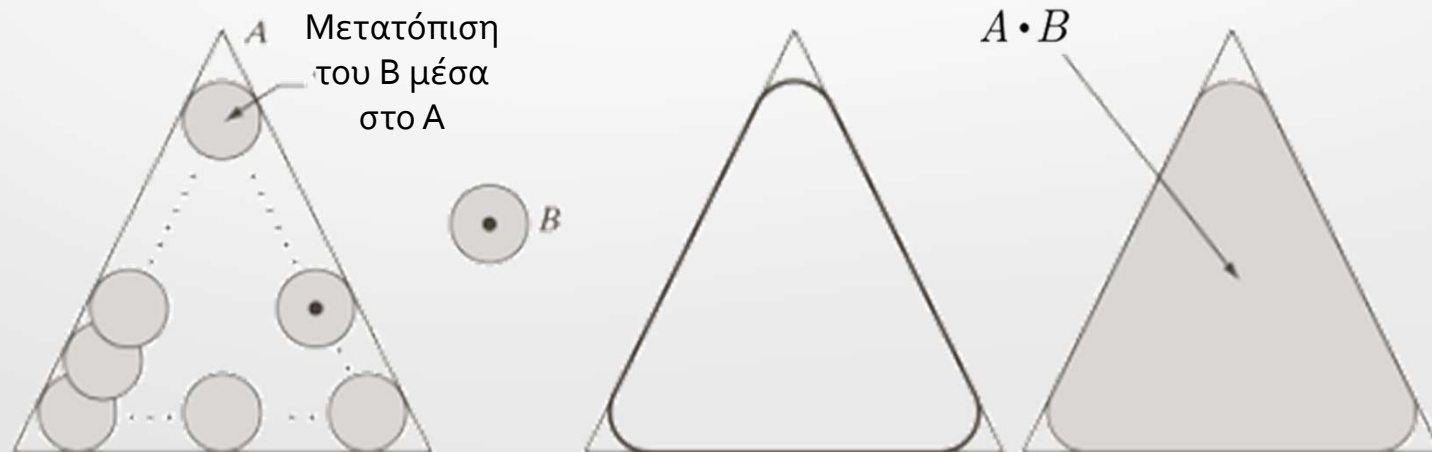


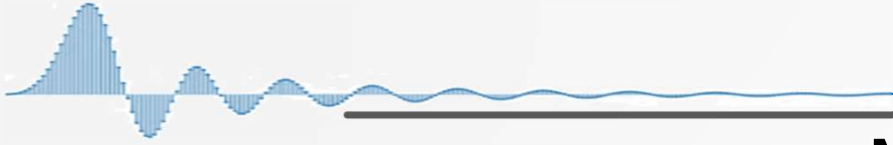
Μορφολογικές Πράξεις

Άνοιγμα και κλείσιμο

Γεωμετρική Ερμηνεία - Άνοιγμα

- Το περίγραμμα του ανοίγματος προκύπτει από τα σημεία του Δομικού Στοιχείου, τα οποία φτάνουν στην πλέον απομακρυσμένη θέση μέσα στο περίγραμμα του A καθώς το B κυλά κατά μήκος του εσωτερικού του περιγράμματος του A .



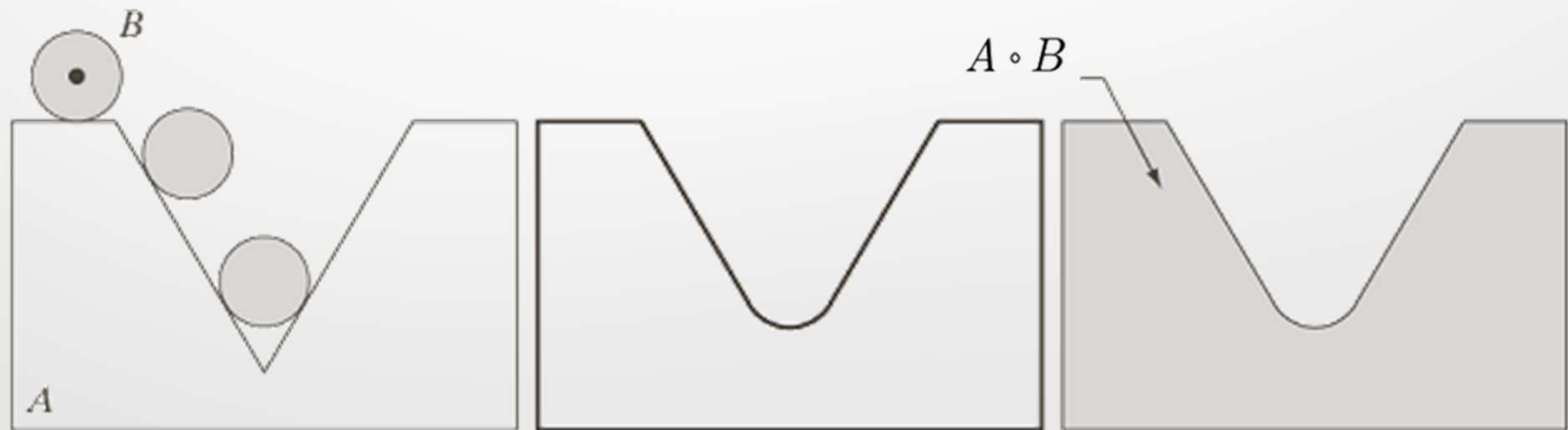


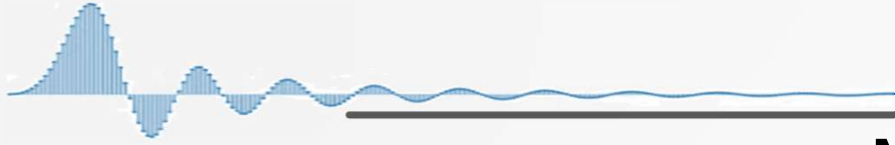
Μορφολογικές Πράξεις

Άνοιγμα και κλείσιμο

Γεωμετρική Ερμηνεία - Κλείσιμο

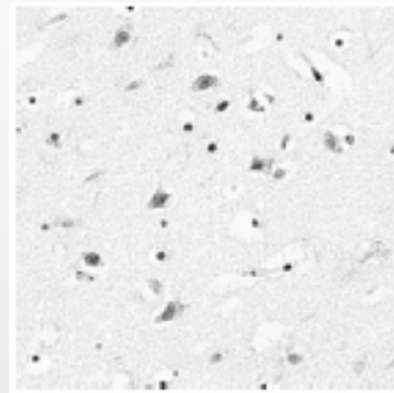
- Το περίγραμμα του κλεισίματος προκύπτει από τα σημεία του Δομικού Στοιχείου, τα οποία φτάνουν στην πλέον απομακρυσμένη θέση έξω από περίγραμμα του A καθώς το B κυλά κατά μήκος του εξωτερικού του περιγράμματος του A.



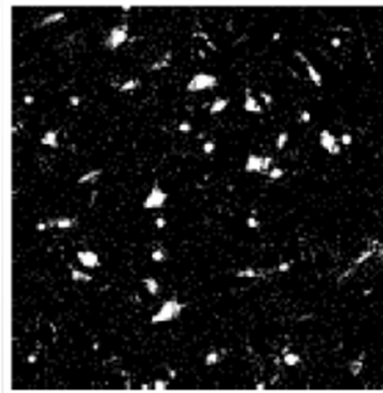


Μορφολογικές Πράξεις Εφαρμογές

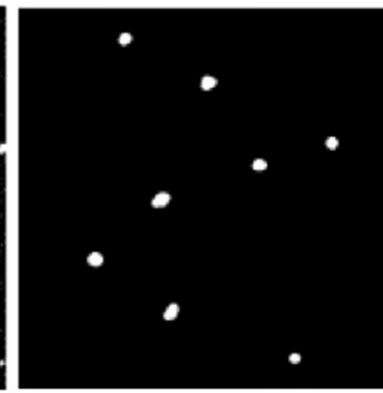
1. Αφαίρεση μικρών αντικειμένων που πιθανότατα **με Συστολή**



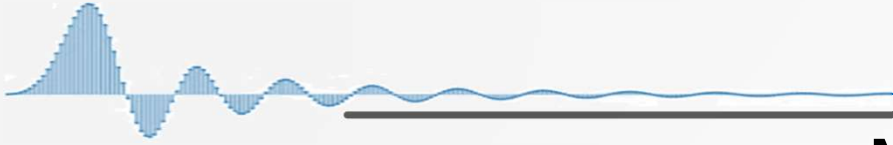
Αρχική Εικόνα



Διαδική Εικόνα



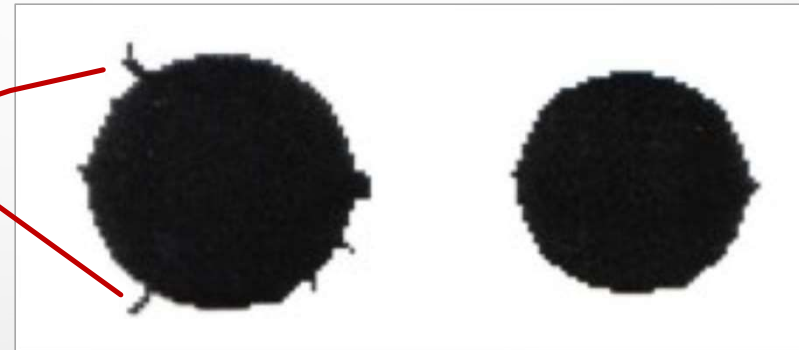
Καθαρισμός από
μικρά αντικείμενα με
συστολή



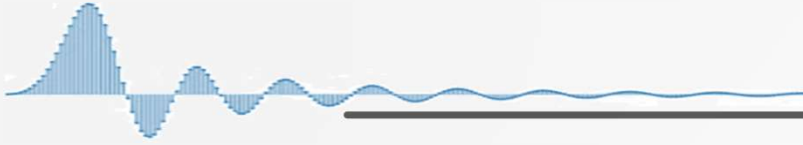
Μορφολογικές Πράξεις Εφαρμογές

2. Αφαίρεση μικρών προεξοχών σε αντικείμενα και λείανση του περιγράμματος αντικειμένων **με Συστολή**

Προεξοχές στην
επιφάνεια (περίγραμμα)
της κυκλικής περιοχής

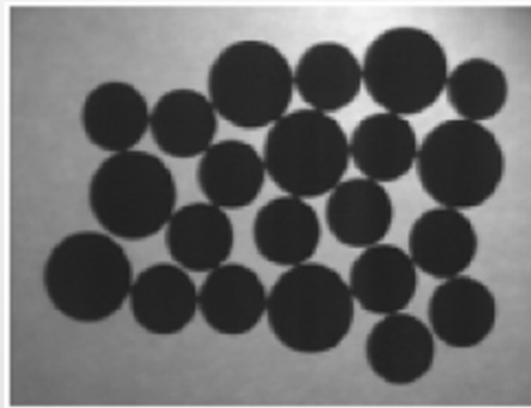


Στην προκειμένη περίπτωση θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα κυκλικό δομικό στοιχείο το οποίο με σκοπό να μην αλλοιωθεί και η φύση των αντικειμένων

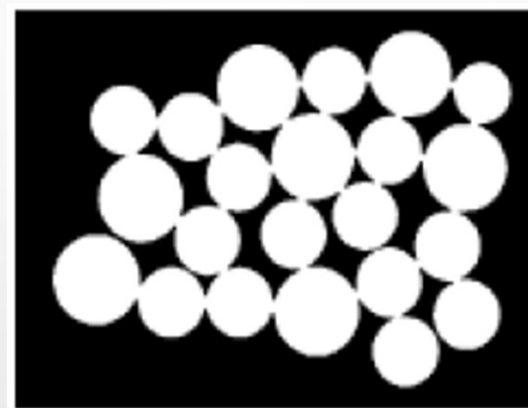


Μορφολογικές Πράξεις Εφαρμογές

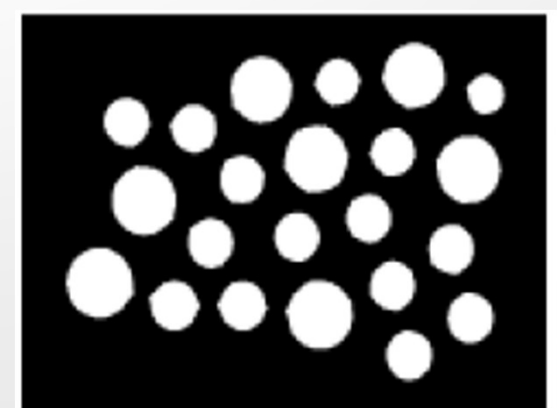
3. Διαχωρισμός αντικειμένων τα οποία ακουμπούν μεταξύ τους και λαμβάνονται ως ολόκληρες συνεκτικές περιοχές ενώ στην πραγματικότητα είναι ξεχωριστά **με Συστολή**



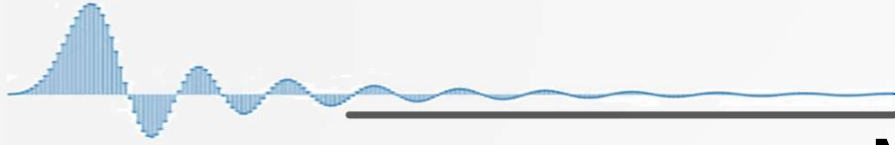
Αρχική Εικόνα



Διαδική Εικόνα



Διαχωρισμός αντικείμενων με
συστολή



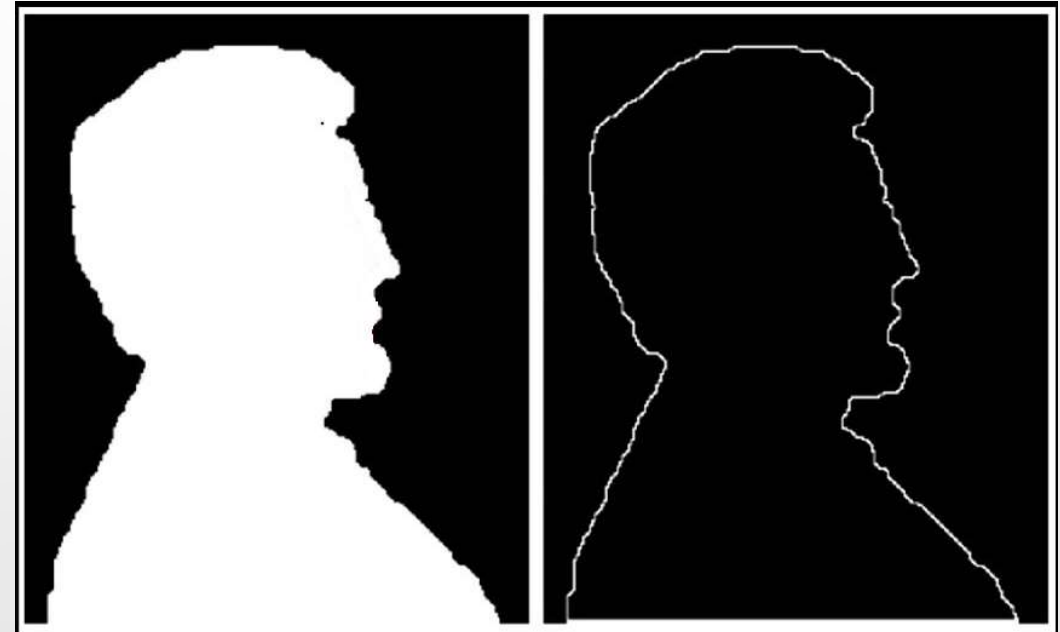
Μορφολογικές Πράξεις Εφαρμογές

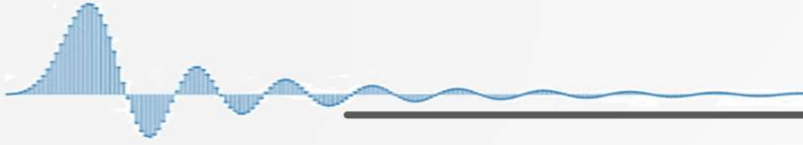
4. Εντοπισμός Περιγράμματος (ακμών) αντικειμένων

Εκτελώντας διαδοχικά μια μορφολογική συστολή του αντικειμένου και μετά μια αφαίρεση του αποτελέσματος της συστολής από την αρχική εικόνα

Εντοπισμός Περιγράμματος

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





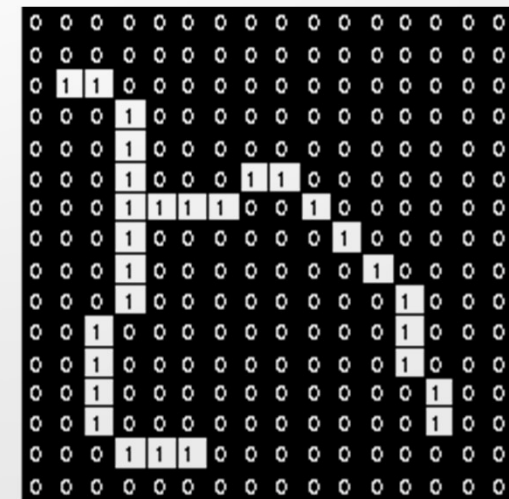
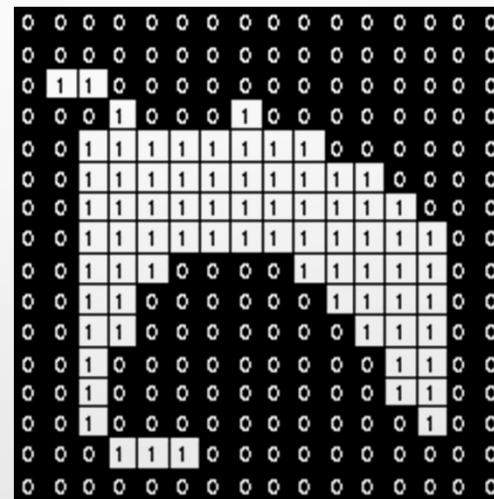
Μορφολογικές Πράξεις Εφαρμογές

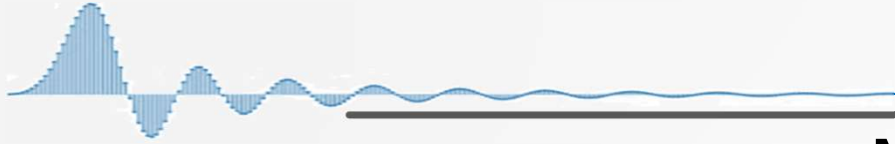
5. Λέπτυνση ή «σκελετοποίηση» αντικειμένων

Με χρήση μορφολογικών πράξεων είναι εφικτή η λέπτυνση αντικειμένων, ή και η εξαγωγή του «σκελετού» αντικειμένων

Morphological Skeleton

$$S(X) = \bigcup_{\rho > 0} \bigcap_{\mu > 0} [(X \ominus \rho B) - (X \ominus \rho B) \circ \mu \bar{B}]$$

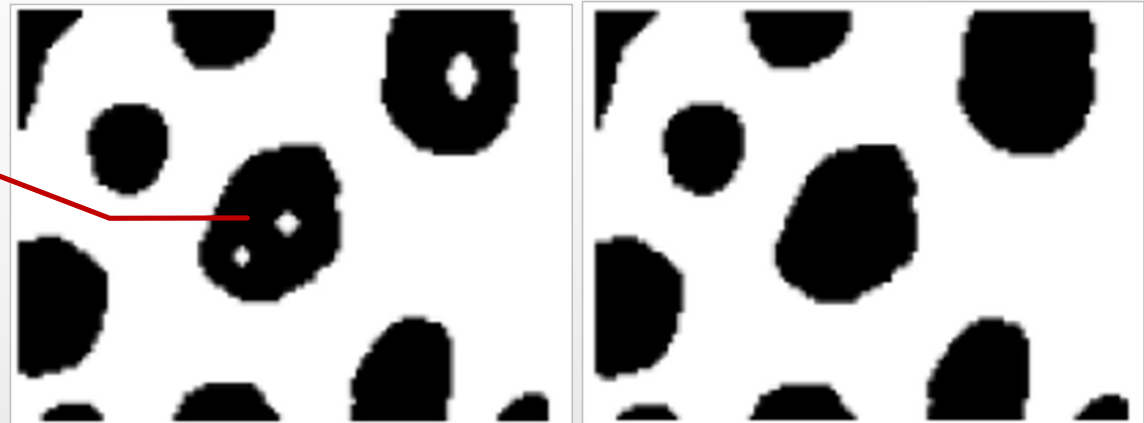


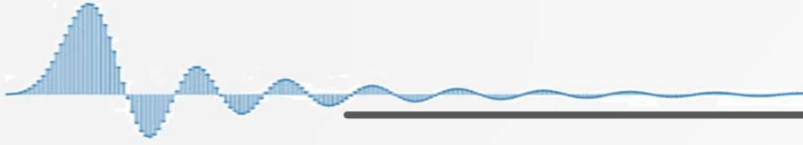


Μορφολογικές Πράξεις Εφαρμογές

6. Επαλειφή μικρών οπών (τρυπών) σε αντικείμενα με Διαστολή

Οπές μέσα σε περιοχή

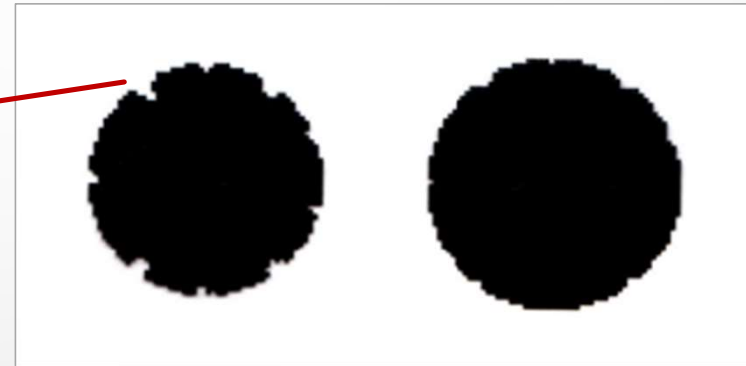




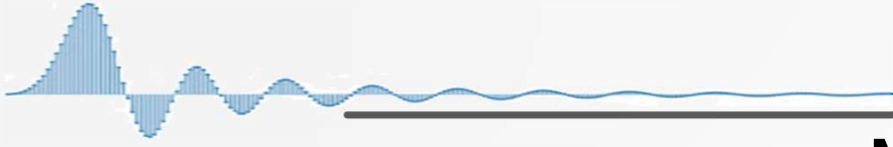
Μορφολογικές Πράξεις Εφαρμογές

7. Επαλειφή μικρών εγκοπών στο περίγραμμα αντικειμένων με Διαστολή

Εγκοπές στο περίγραμμα
αντικειμένων



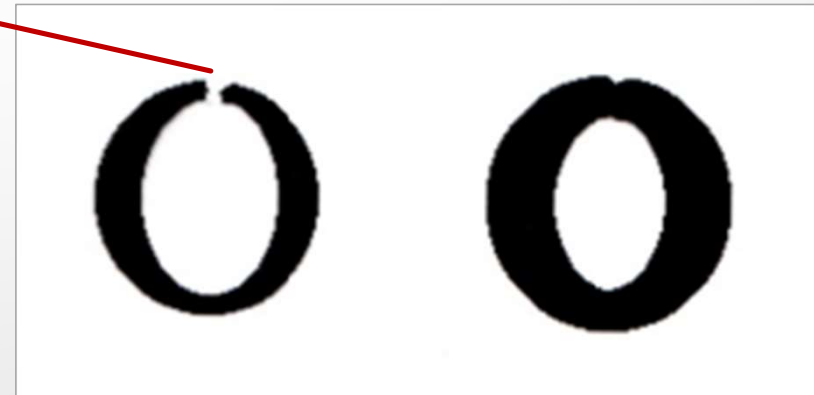
Και σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα κυκλικό δομικό στοιχείο το οποίο με σκοπό να μην αλλοιωθεί και η φύση των αντικειμένων



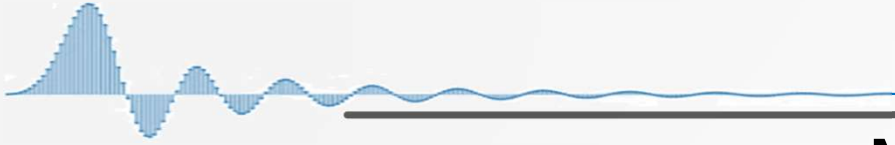
Μορφολογικές Πράξεις Εφαρμογές

8. Ενώνει περιοχές - κλείνει μικρές διώρυγες σε αντικείμενο με διαστολή

Διώρυγα σε αντικείμενο



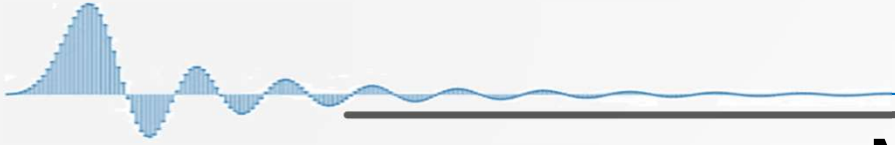
Παρατηρήστε πόσο πολύ μεγάλωσε το μέγεθος του αντικειμένου λόγω της πράξης της διαστολής που εφαρμόστηκε με σκοπό να κλείσει η «διώρυγα»



Μορφολογικές Πράξεις Εφαρμογές

Παρατηρήσεις και Μειονεκτήματα Συστολής & Διαστολής

- Οι τελεστές συστολής και διαστολής έχουν **πολλαπλές εφαρμογές** και μπορούν κατά το δοκούν α) να **διαχωρίσουν περιοχές** β) να **ενώσουν περιοχές** γ) να **εξαλείψουν μικρά αντικείμενα** θορύβου ή δ) **μικρές οπές** σε συμπαγή αντικείμενα
- Ωστόσο όταν εφαρμόζονται **τροποποιούν συνολικά το μέγεθος** όλων των αντικειμένων (η συστολή μειώνει το μέγεθος όλων των αντικειμένων ενώ η διαστολή το αυξάνει)
- Ένα η τροποποίηση του μεγέθους δεν είναι επιθυμητή τότε εφαρμόζεται μορφολογικό άνοιγμα ή κλείσιμο



Μορφολογικές Πράξεις Εφαρμογές

Παράδειγμα Κλεισίματος

Κατά **μορφολογικό κλείσιμο** εφαρμόζεται

- Πρώτο βήμα: **διαστολή**, ενώνοντας της **περιοχές** και
- Δεύτερο βήμα: **συστολή** επαναφέροντας **τα μεγέθη** όλων των αντικειμένων στα αρχικά μεγέθη

Αρχική Εικόνα με πολλά «σπασίματα»

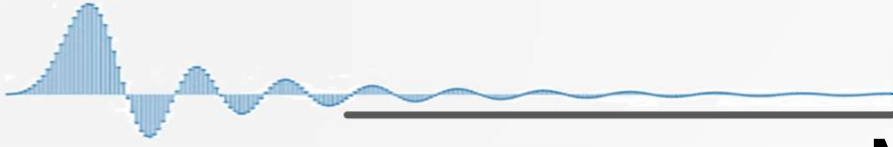


Αρχικά Διαστολή: Ένωση περιοχών



Μετά την συστολή: Επαναφορά μεγεθών





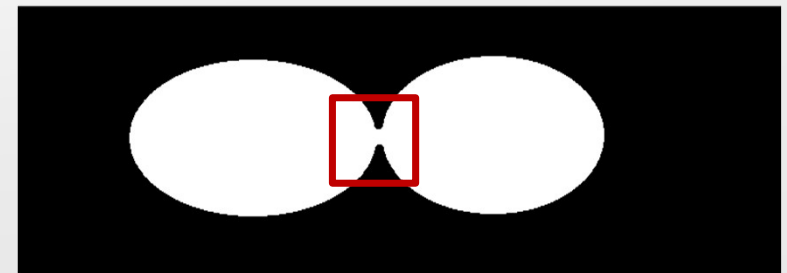
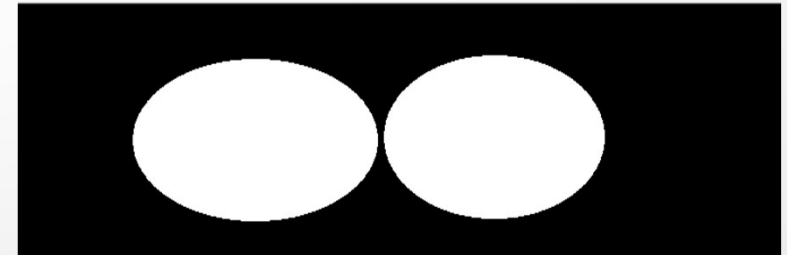
Μορφολογικές Πράξεις Εφαρμογές

10. Ενώνει περιοχές και κλείνει διώρυγες αφήνοντας το μέγεθος των αντικειμένων αναλλοίωτο

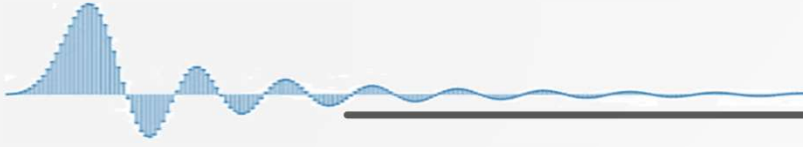
Για το λόγο αυτό ονομάστηκε μορφολογικό κλείσιμο

Δύο συνεκτικές περιοχές της αρχικής εικόνας μετά το μορφολογικό κλείσιμο ενώθηκαν σε μια συνεκτική περιοχή

Αρχική Εικόνα



Εικόνα μετά το μορφολογικό κλείσιμο



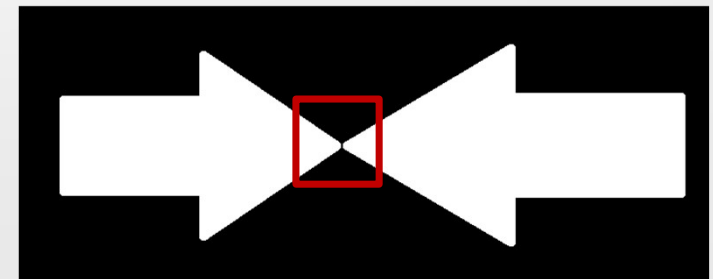
Μορφολογικές Πράξεις Εφαρμογές

11. Διαχωρισμός Περιοχών ή άνοιγμα ισθμών αφήνοντας το μέγεθος των αντικειμένων αναλλοίωτο

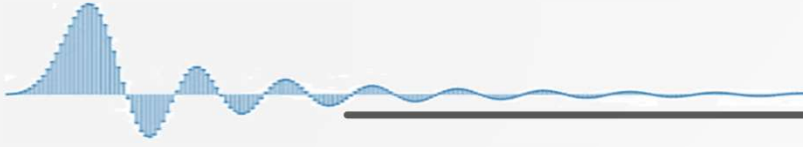
Για το λόγο αυτό ονομάστηκε μορφολογικό Άνοιγμα

Μία συνεκτική περιοχή της αρχικής εικόνας μετά το μορφολογικό άνοιγμα διαχωρίστηκε σε δύο συνεκτικές περιοχές

Αρχική Εικόνα



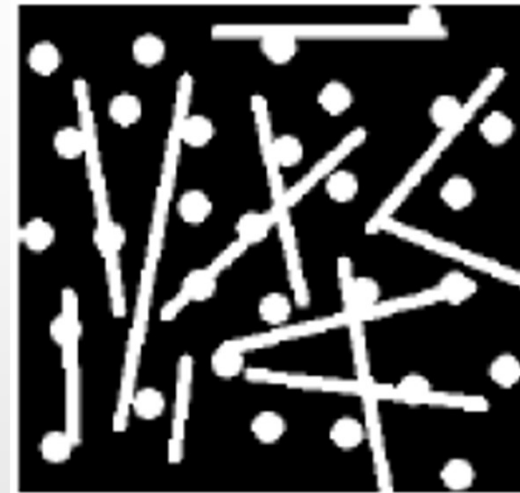
Εικόνα μετά το μορφολογικό άνοιγμα



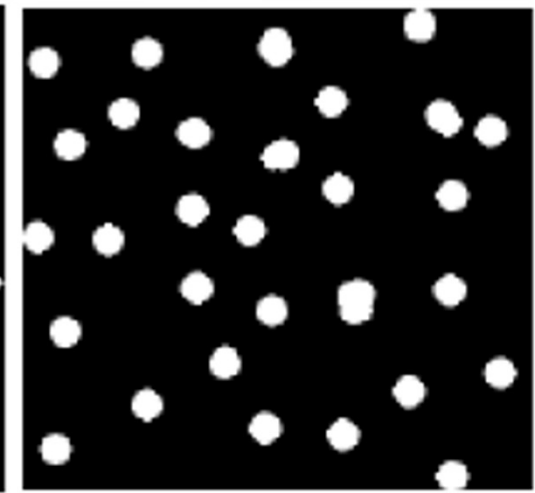
Μορφολογικές Πράξεις Εφαρμογές

12. Επικράτηση περιοχών συγκεκριμένης μορφής σε σχέση με άλλες περιοχές

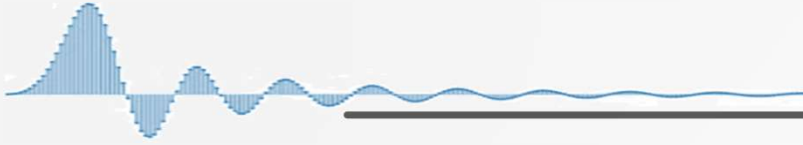
Εφαρμόζοντας μορφολογικό άνοιγμα με κυκλικό Δομικό στοιχείο απαλείφονται όλες οι ράβδοι της εικόνας αφήνοντας αναλλοίωτους κυκλικούς δίσκους



Αρχική Εικόνα



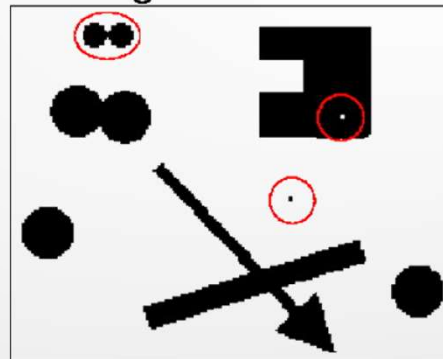
Εικόνα μετά το μορφολογικό κλείσιμο



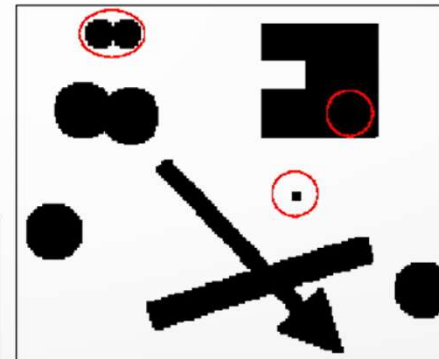
Μορφολογικές Πράξεις Εφαρμογές

Ένα συνοπτικό
Διάγραμμα

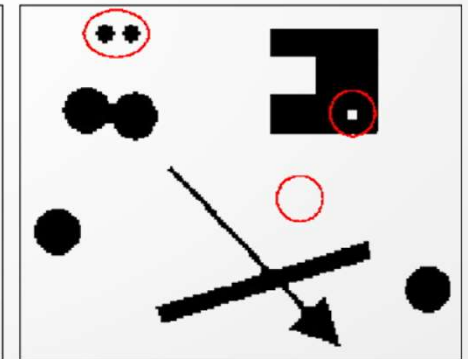
A Original



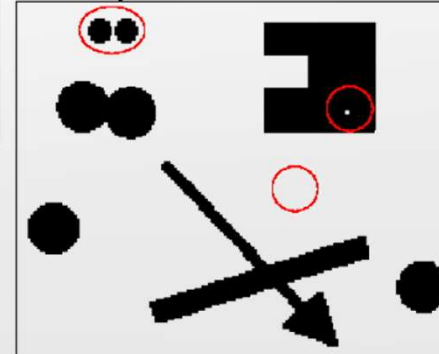
B Dilate



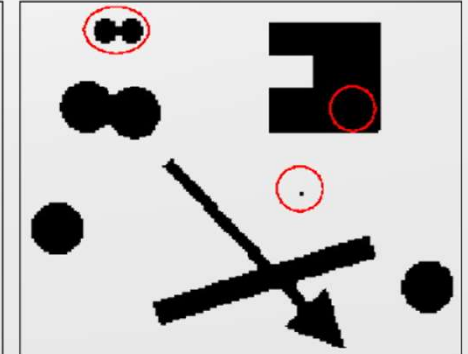
C Erode

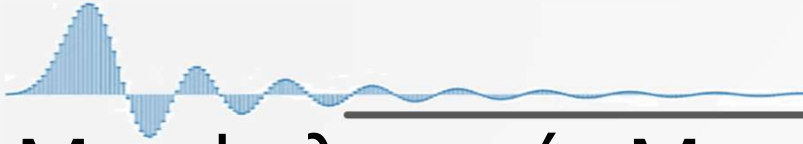


D Open



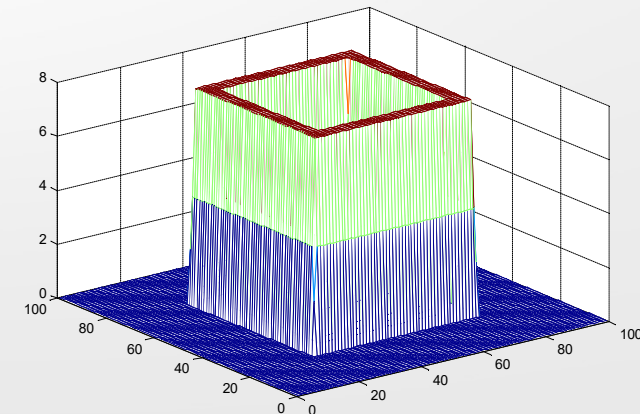
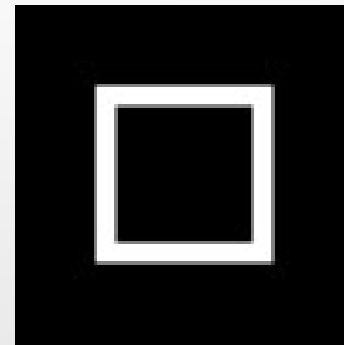
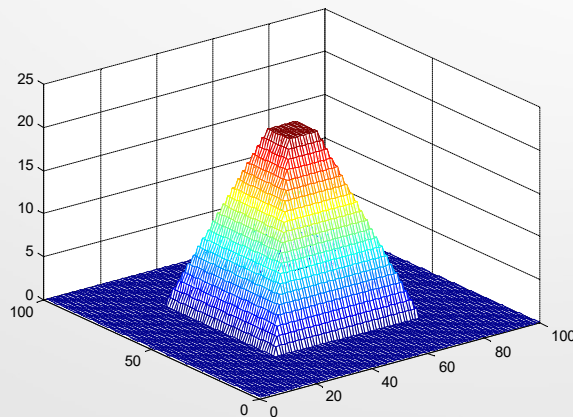
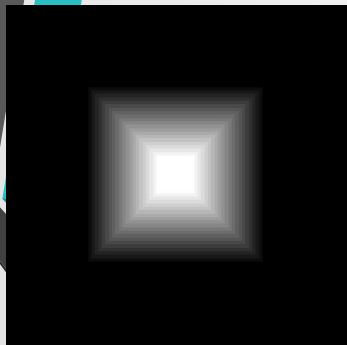
E Close





Μορφολογικός Μετασχηματισμός Υδροκρίτη (Watershed Transform)

- Ο μετασχηματισμός του Υδροκρίτη είναι εμπνευσμένος από την μελέτη της απορροής των υδάτων σε μια ανάγλυφη γεωφυσική περιοχή
- Για τον σκοπό αυτό η εικόνα μετατρέπεται σε τρισδιάστατη ανάγλυφη περιοχή

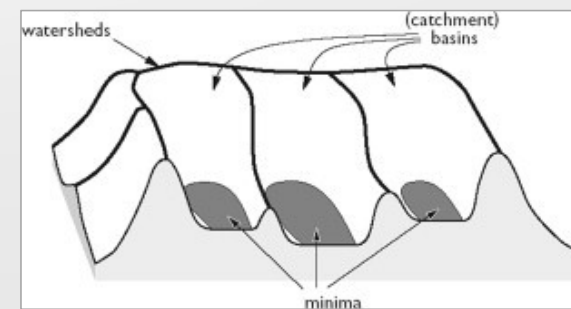
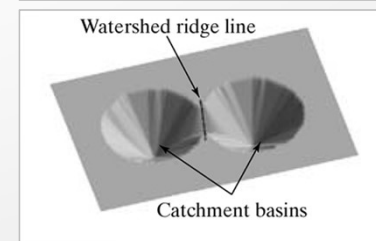
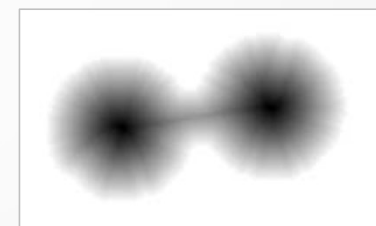




Μορφολογικός Μετασχηματισμός Υδροκρίτη (Watershed Transform)

Στην ανάγλυφη περιοχή διακρίνονται τριών διαφορετικών τύπων σημεία:

1. **Σημεία τοπικών ελαχίστων:** Στην περίπτωση που μια σταγόνα νερό προσπέσει σε ένα τέτοιο σημείο είναι σίγουρο ότι θα παραμείνει στην θέση αυτή και δεν θα μετακινηθεί
2. **Σημεία λεκάνης απορροής (catchment basin):** Στην περίπτωση που μια σταγόνα νερό προσπέσει σε ένα τέτοιο σημείο είναι σίγουρη η κίνηση που θα κάνει προς ένα σημείο τοπικού ελαχίστου
3. **Σημεία διαχωριστικής γραμμής (Watershed lines):** Στην περίπτωση που μια σταγόνα νερό προσπέσει σε ένα τέτοιο σημείο τότε δεν είναι σίγουρη η κίνηση που θα κάνει καθώς βρίσκεται στο όριο δύο ή περισσότερων λεκανών απορροής



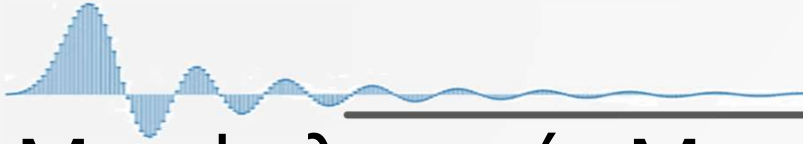


Μορφολογικός Μετασχηματισμός Υδροκρίτη (Watershed Transform)

Αλγόριθμός

1. Δημιουργούνται τρύπες σε κάθε τοπικό ελάχιστο
2. Η τρισδιάστατη τοπογραφία πλημμυρίζει σταδιακά από κάτω
3. Όταν πρόκειται να συγχωνευθεί το ανερχόμενο νερό σε ξεχωριστές λεκάνες απορροής, δημιουργείται ένα φράγμα για να αποφευχθεί η συγχώνευση

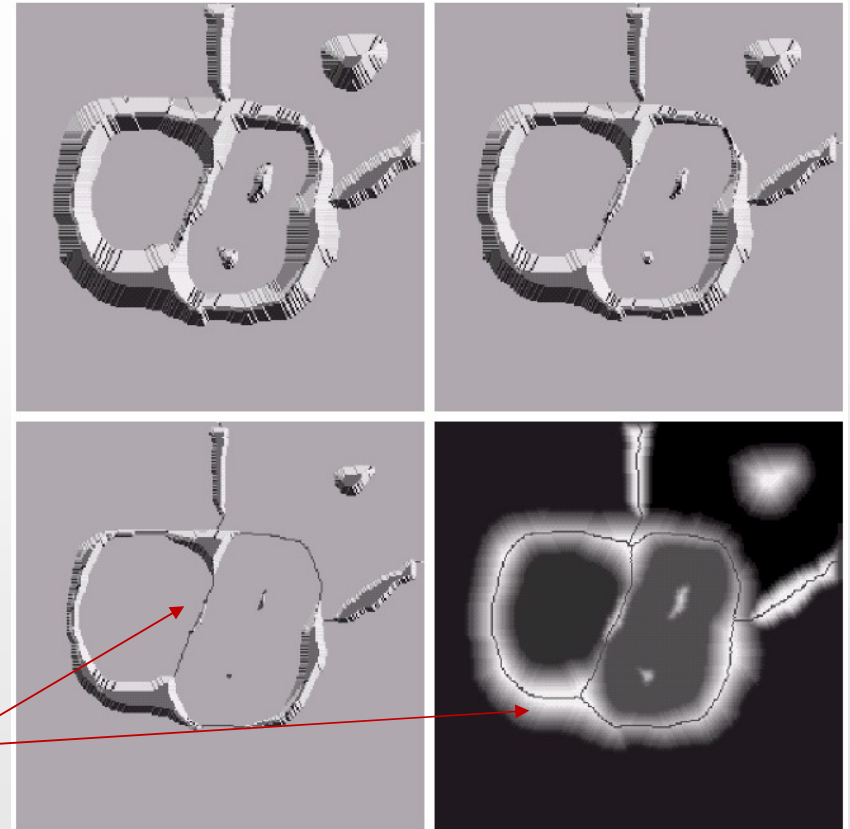




Μορφολογικός Μετασχηματισμός Υδροκρίτη (Watershed Transform)

- Τα όρια του φράγματος αντιστοιχούν στις γραμμές λεκάνης απορροής εξάγονται από τον αλγόριθμο κατάτμησης
- Τελικά μπορούν να φανούν μόνο κατασκευασμένα φράγματα από ψηλά

Φράγματα





Μορφολογικός Μετασχηματισμός Υδροκρίτη (Watershed Transform)

M_1, M_2 :

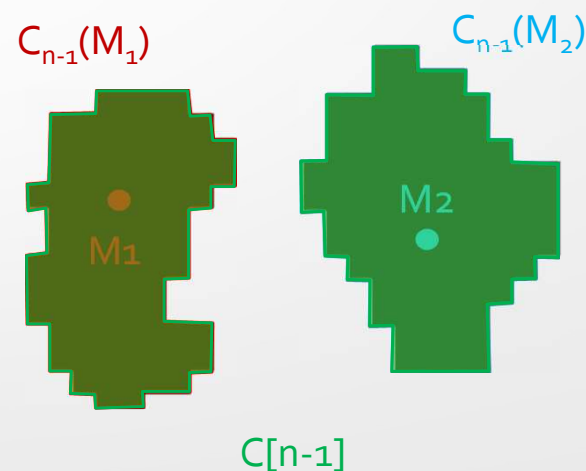
- Είναι οι συντεταγμένες των τοπικών ελαχίστων

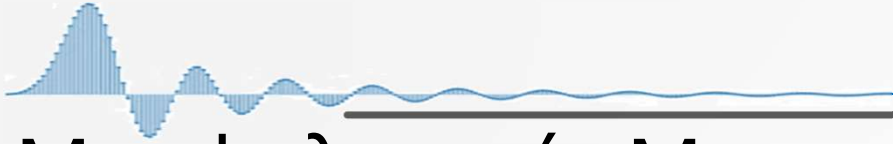
$C_{n-1}(M_1), C_{n-1}(M_2)$

- Το σύνολο των σημείων που βρίσκονται εντός της λεκάνης απορροής που αντιστοιχούν στα τοπικά ελάχιστα M_1 και M_2 αντίστοιχα (Οι λεκάνες απορροής είναι γεμάτες έως το τρέχουν επίπεδο γκρι $n-1$)

$C[n-1]$

- Η ένωση των $C_{n-1}(M_1), C_{n-1}(M_2)$





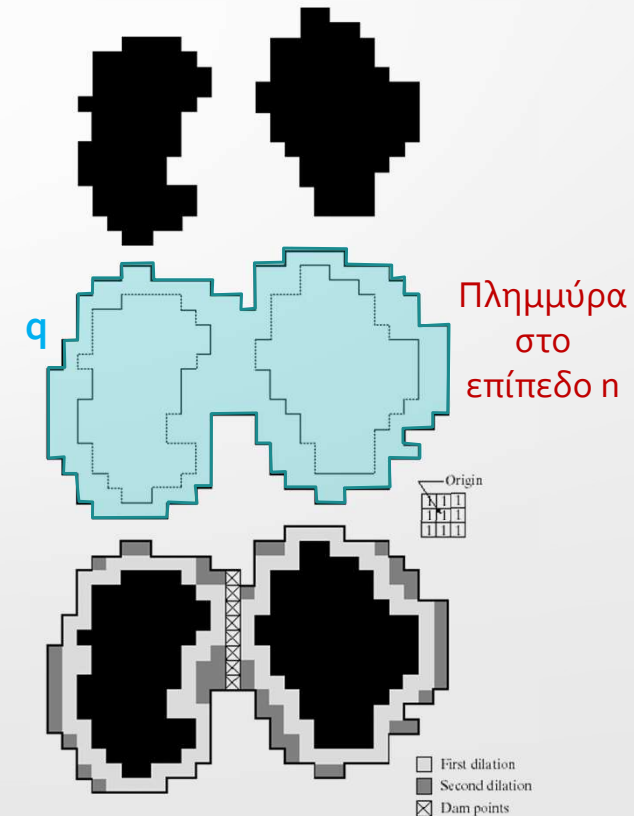
Μορφολογικός Μετασχηματισμός Υδροκρίτη (Watershed Transform)

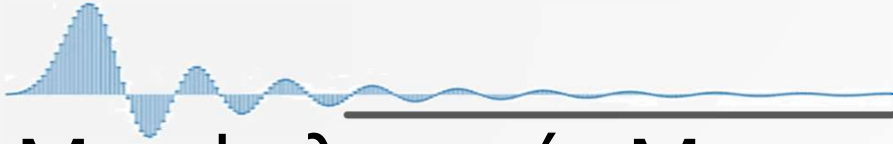
- Στο στάδιο πλημμύρας $n-1$ υπάρχουν δύο συνεκτικές περιοχές, ενώ στο βήμα πλημμύρας n , υπάρχει μόνο μια συνεκτική περιοχή (περιοχή q)
- Το νερό μεταξύ των δύο λεκανών απορροής έχει συγχωνευθεί στο στάδιο πλημμύρας n
- Στο αν εντοπιστεί ότι συγχωνεύονται δυο περιοχές τότε ενεργοποιείται ο μηχανισμός κατασκευής φράγματος

Βήματα

1. Επαναληπτική διαστολή των περιοχών C_{n-1} (M_1), C_{n-1} (M_2) με το δομικό στοιχείο 3×3 υπό συνθήκη:
2. Περιορισμένη διαστολή με την αρχή (origin) του δομικού στοιχείου να κινείται μόνο εντός του q

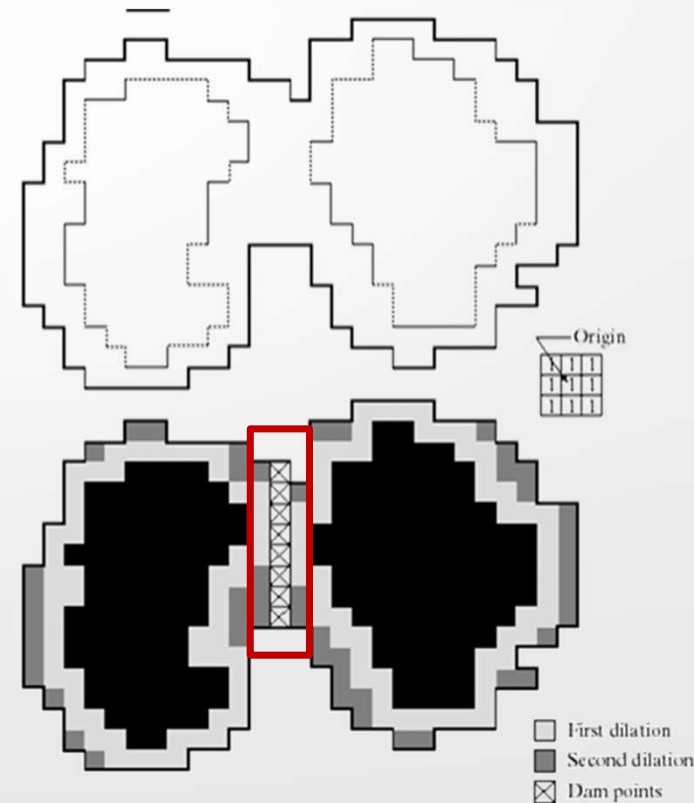
Πλημύρα στο επίπεδο $n-1$

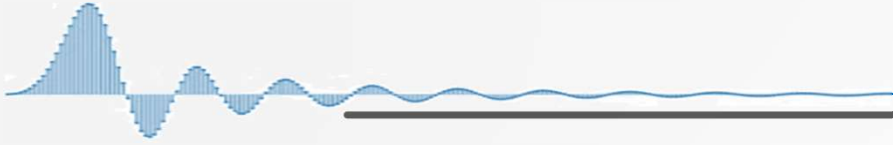




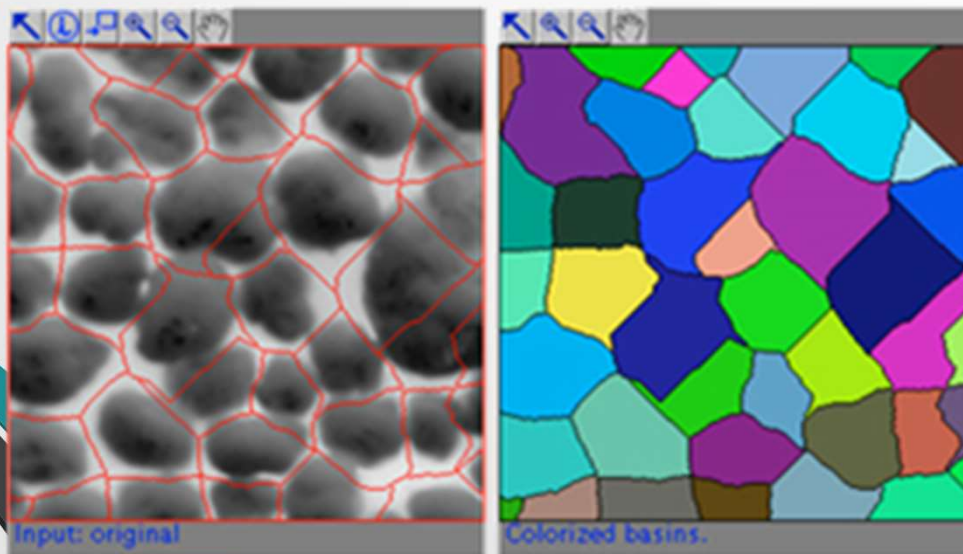
Μορφολογικός Μετασχηματισμός Υδροκρίτη (Watershed Transform)

- Το φράγμα κατασκευάζεται από τα σημεία στα οποία η διαστολή θα προκαλούσε τη συγχώνευση των περιοχών $C_{n-1}(M_1)$, $C_{n-1}(M_2)$ διαστολής.
- Αποτέλεσμα συνδεδεμένης διαδρομής πάχους ενός εικονοστοιχείων
- Στα σημεία αυτά ορίζεται φωτεινότητα μεγαλύτερη από την μεγαλύτερη φωτεινότητα της εικόνας. Συνήθως $\max+1$





- Παραδείγματα εφαρμογής Υδροκρίτη για την κατάτμηση περιοχών



- 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

Βιβλιογραφία