# Επεξεργασία δυαδικών εικόνων
# Διάλεξη 3 – Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας

TEL750 – ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ

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

# Περιεχόμενα

- Εισαγωγή – Δυαδικές Εικόνες
- Γεωμετρικές Ιδιότητες
- Προβολές (οριζόντια, κατακόρυφη, Radon)
- Κωδικοποίηση κατά μήκος διαδρομής
- Δυαδικοί αλγόριθμοι
- Ονοματισμός στοιχείων (labeling)
- Μορφολογία εικόνων

# Δυαδικές εικόνες

- Αποτελούνται μόνο από μαύρα και λευκά εικονοστοιχεία.
- Λαμβάνονται, αποθηκεύονται και επεξεργάζονται ευκολότερα από τις άλλες
- Χρησιμοποιούν κωδικοποίηση 1bit σε αντίθεση με τις άλλες των 8, 24 bits
- Αποθηκεύουν πληροφορίες μόνο για την μορφή των αντικειμένων της εικόνας, συνεπώς είναι χρήσιμες μόνο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις.

# Που χρησιμοποιούνται;

- μέτρηση επιφανειών αντικειμένων
- εύρεση θέσης αντικειμένων
- εύρεση προσανατολισμού αντικειμένων

# Τι είναι δυαδική εικόνα;

- Αποτελείται από σειρά bit με τιμές 1 και 0.
- Δημιουργείται με χρήση:
  - απόλυτου κατωφλίου
  - δυαδικού κατωφλίου
- Χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό αντικειμένου από το φόντο της εικόνας

$$b(x,y) = \begin{cases} 1, T_1 \leq \alpha(x,y) \leq T_2 \\ 0, \alpha\lambda\lambda o\acute{\upsilon} \end{cases}$$

αν $T_1$=$T_2$ -> απόλυτο κατώφλι

α(x,y) είναι η τιμή του pixel x,y στην gray-level εικόνα
b(x,y) είναι η τιμή του pixel x,y στην δυαδική εικόνα
$T_1$ το κάτω όριο του κατωφλίου
$T_2$ το άνω όριο του κατωφλίου

# Παραδείγματα δυαδικών εικόνων

Απώλεια πληροφορίας της αρχικής εικόνας

# Γεωμετρικές ιδιότητες αντικειμένων

- Επιφάνεια αντικειμένου

$$A = \iint_I b(x,y)dxdy$$

- Θέση αντικειμένου
  - Επειδή τα αντικείμενα αποτελούνται από περισσότερα από ένα εικονοστοιχεία ορίζουμε το κέντρο του αντικειμένου στη θέση $(\bar{x}, \bar{y})$.

$$\bar{x}\iint_R b(x,y)dxdy = \iint_R xb(x,y)dxdy$$

$$\bar{y}\iint_R b(x,y)dxdy = \iint_R yb(x,y)dxdy$$

- Προσανατολισμός αντικειμένου
  - Υπολογίζεται σε περιπτώσεις που τα αντικείμενα είναι επιμήκη
  - Καθορίζεται ως η γωνία που σχηματίζει ο οριζόντιος άξονας με τον άξονα της ελάχιστης αδράνειας (άξονας δεύτερης ροπής)
  - Άξονας δεύτερης ροπής είναι η ευθεία για την οποία το άθροισμα του τετραγώνου των αποστάσεων των σημείων του αντικειμένου και της ευθείας είναι ελάχιστο.

Για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιούνται μαθηματικές σχέσεις (ροπές πρώτης και δεύτερης τάξης)

$$M(m,n) = \iint_R x^m y^n b(x,y)dxdy$$

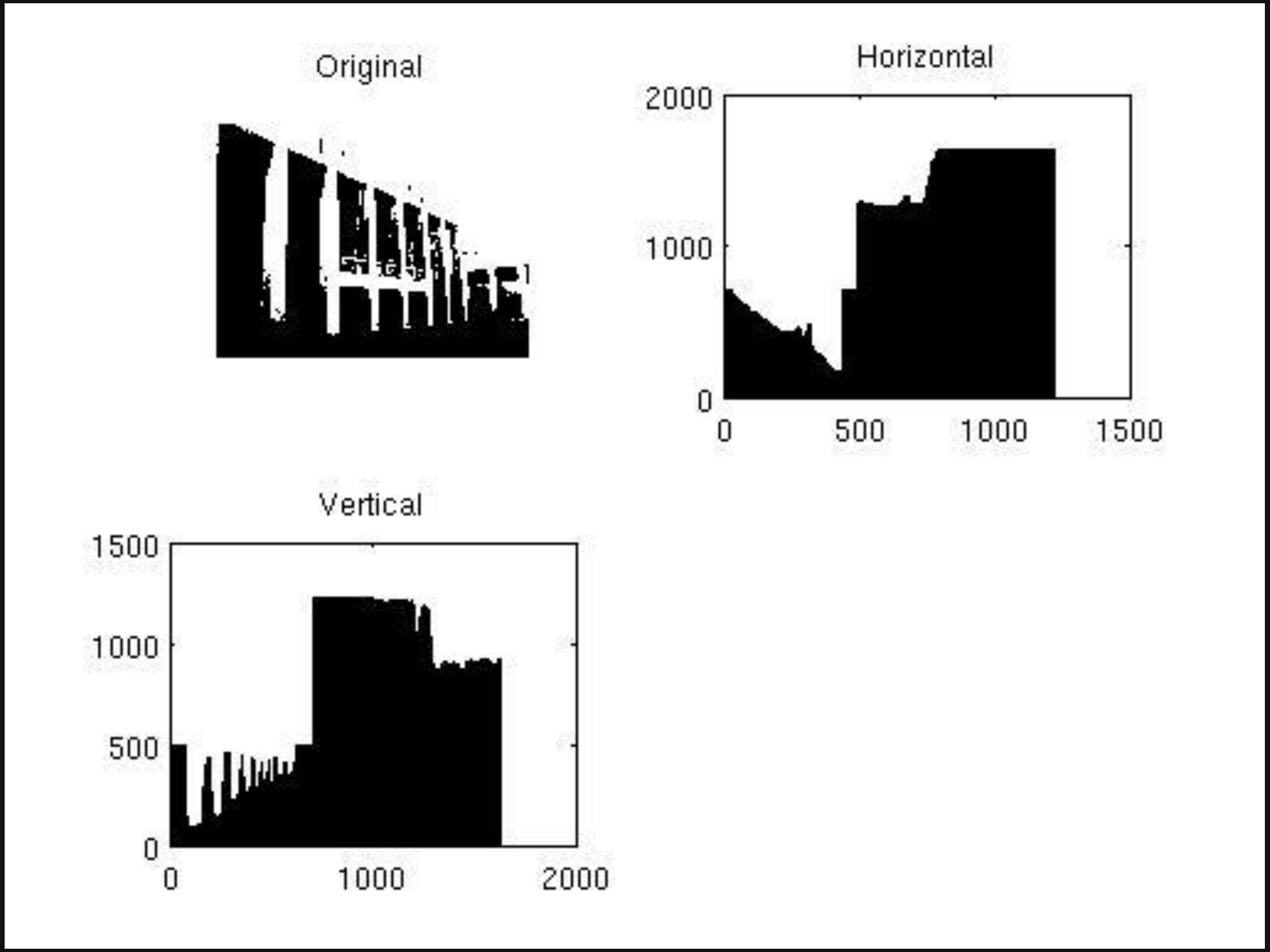
# Προβολή δυαδικής εικόνας

- Ο υπολογισμός της θέσης και του προσανατολισμού γίνεται με ροπές πρώτης και δεύτερης τάξης
- Το ίδιο μπορούμε να έχουμε με μικρότερο υπολογιστικό κόστος χρησιμοποιώντας την προβολή αντικειμένων.
- Προσδιορίζεται με τη διαίρεση της κάθε γραμμής της εικόνας διαστάσεων NxM σε κελιά και την εύρεση και άθροιση των pixel με τιμή 1 που βρίσκονται σε γραμμές κάθετες σε κάθε κελί.

$$H[i] = \sum_{j=1}^{M} B[i,j]$$ οριζόντια προβολή

$$V[i] = \sum_{i=1}^{N} B[i,j]$$ κατακόρυφη προβολή

# Παράδειγμα προβολής



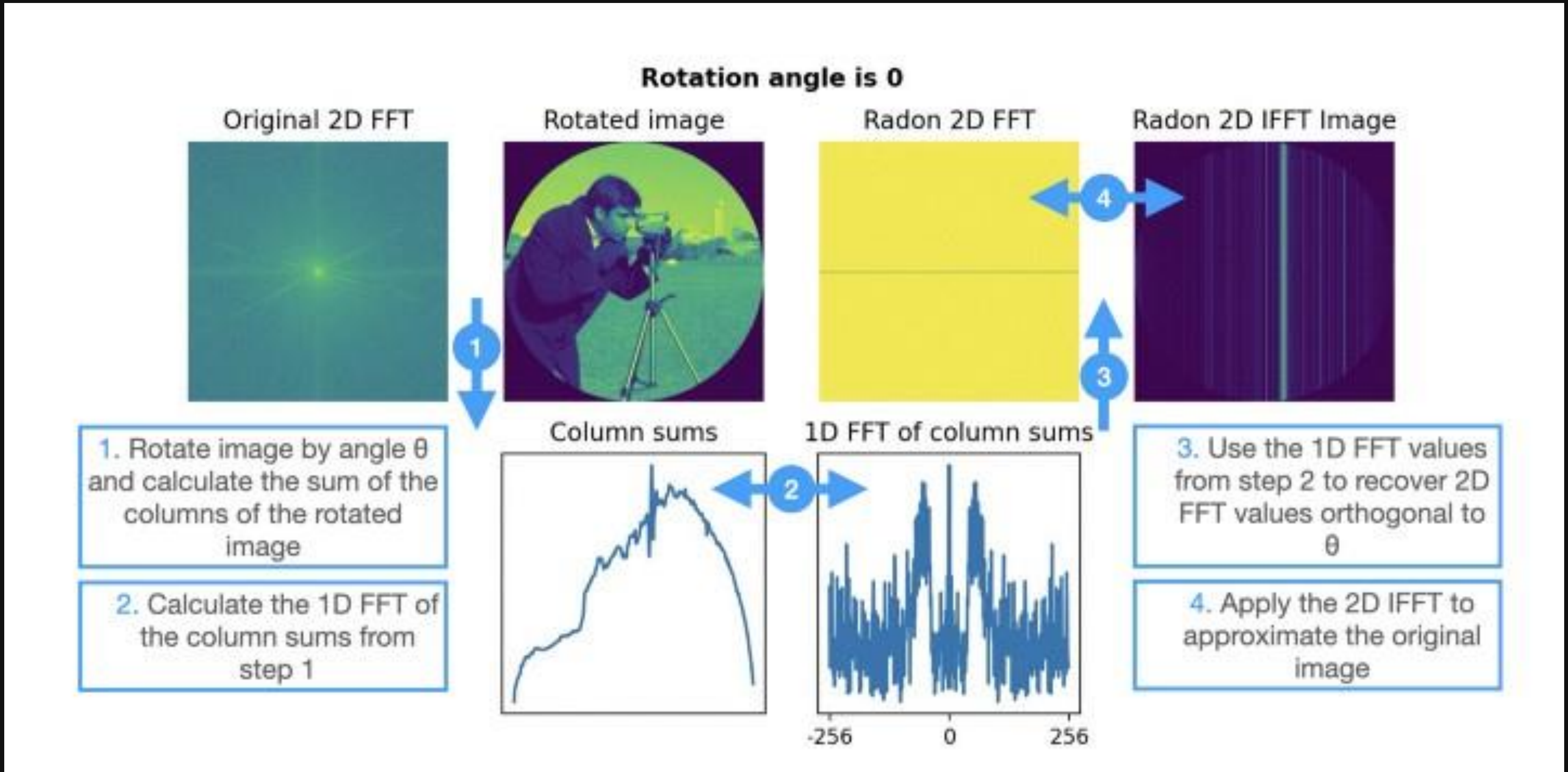
# Προβολή σε οποιαδήποτε κατεύθυνση

- Χρησιμοποιείται ο μετασχηματισμός Radon (RT) από τον Αυστριακό μαθηματικό Johann Radon (1887-1956)
- Επιτρέπει την εύρεση γραμμών στην εικόνα οι οποίες βρίσκονται σε κάποια κατεύθυνση.
- Ανθεκτικός στον θόρυβο
- Δεν μπορεί να κάνει εκτίμηση για το μέγεθος των γραμμών (μεγάλες – μικρές)

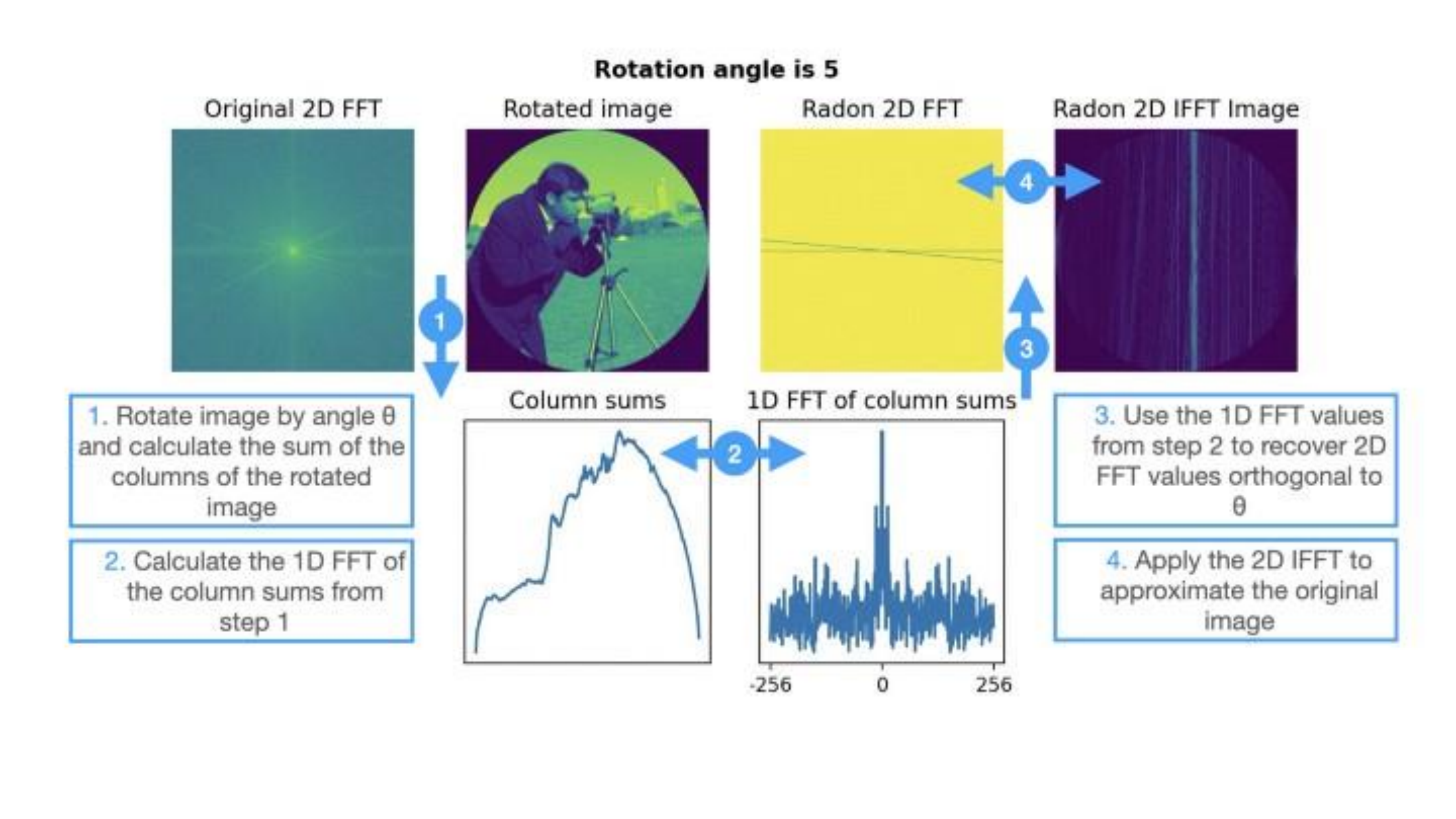
# Ο μετασχηματισμός Radon

- Η βασική αρχή του μετασχηματισμού αυτού μας επιτρέπει να ανακατασκευάζουμε τις τιμές του μετασχηματισμού Fourier μιας εικόνας, χρησιμοποιώντας τον μετασχηματισμό Fourier προβολών της εικόνας.

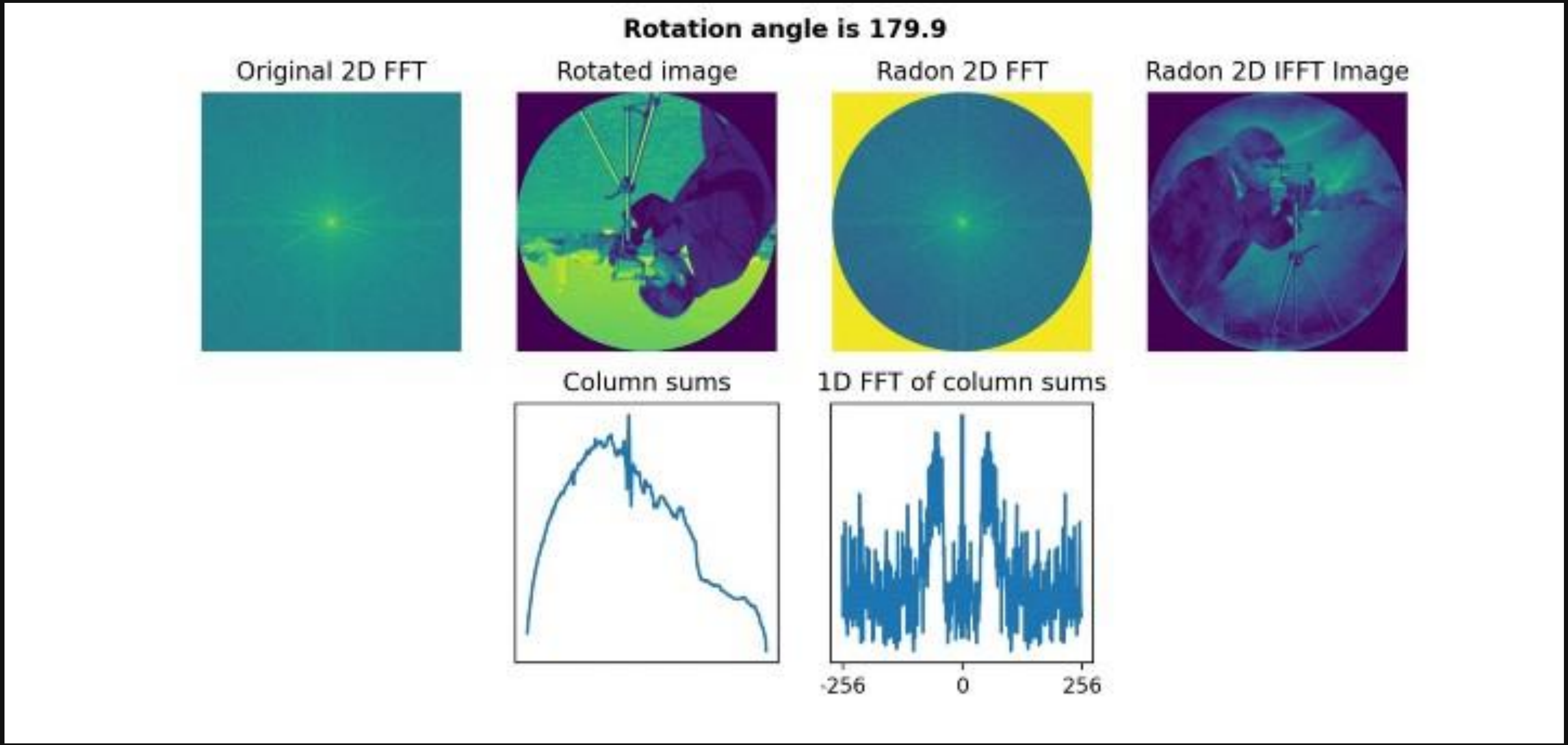
# Ο μετασχηματισμός Radon



# Ο μετασχηματισμός Radon



# Ο μετασχηματισμός Radon

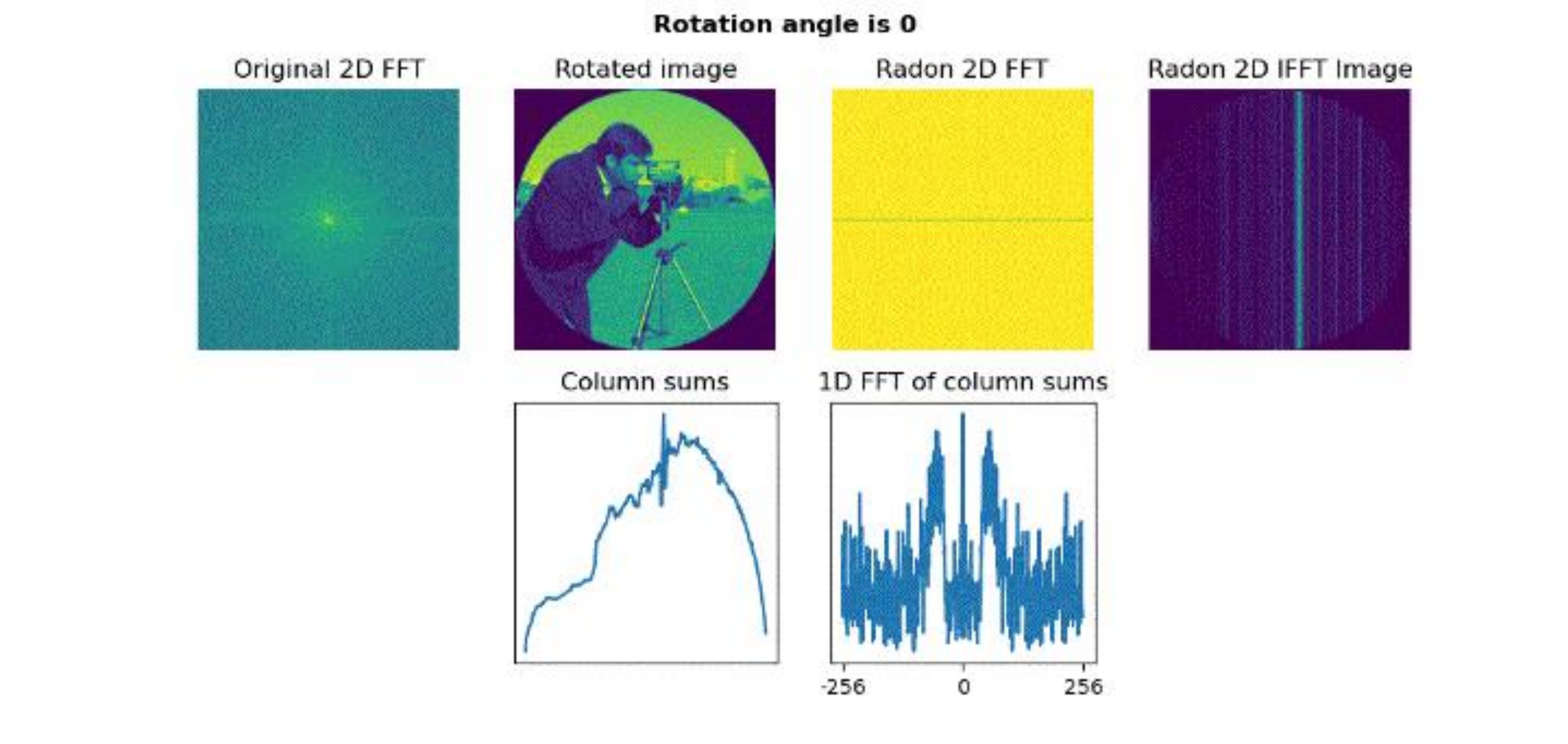


# Εφαρμογές του μετασχηματισμού Radon

- Σε βιοϊατρικές εφαρμογές για την ανάλυση σημάτων και την δημιουργία τρισδιάστατων απεικονίσεων οργάνων από 2D ακτινών X (computerized tomography CAT)
- Στην πραγματικότητα, δεν μπορούμε να έχουμε πολλές διαφορετικές απεικονίσεις λόγω κόστους, χρόνου (δύσκολο να καταγράψουμε 10.000 x-rays από ασθενή).

# Πρακτικές εφαρμογές Radon

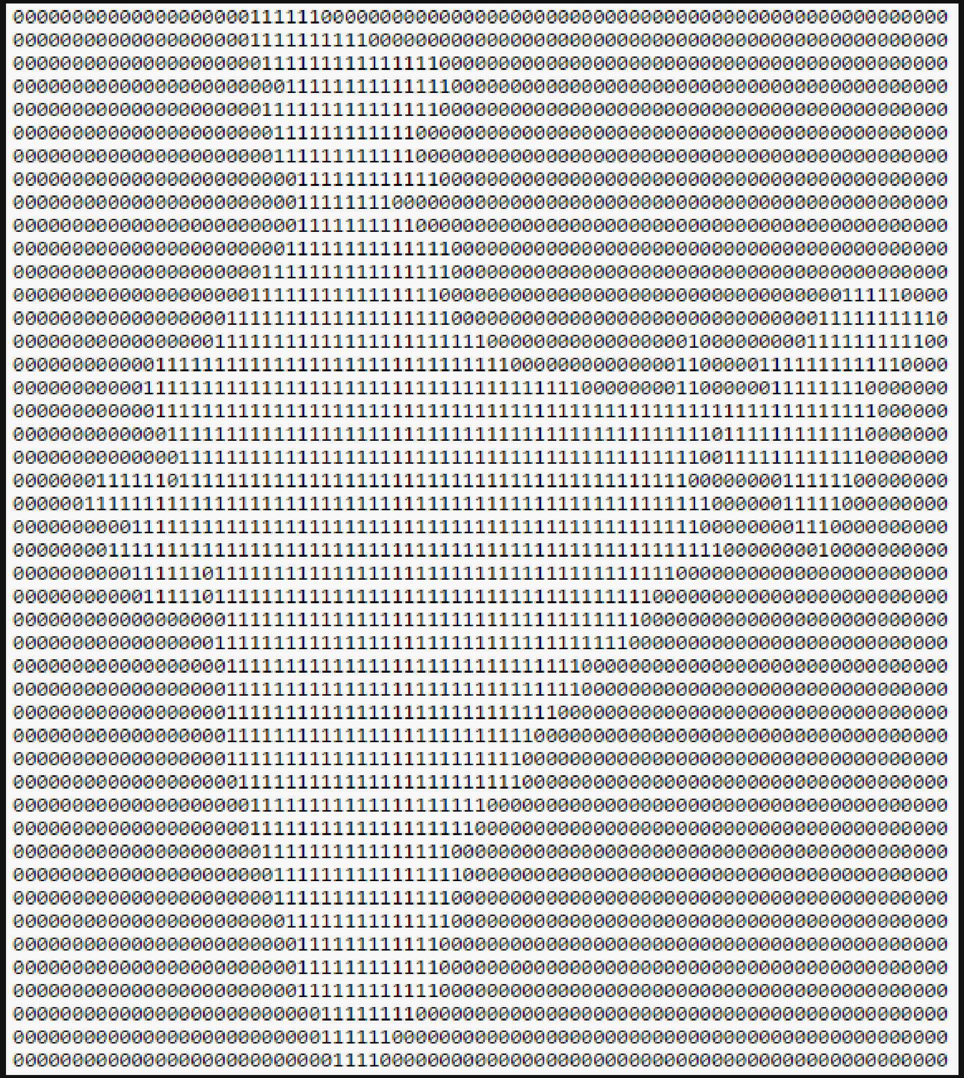
- Αν θεωρήσουμε στο προηγούμενο παράδειγμα βήματα των 5ο θα πάρουμε προσεγγιστικά κάποια από τα στοιχεία της αρχικής εικόνας:



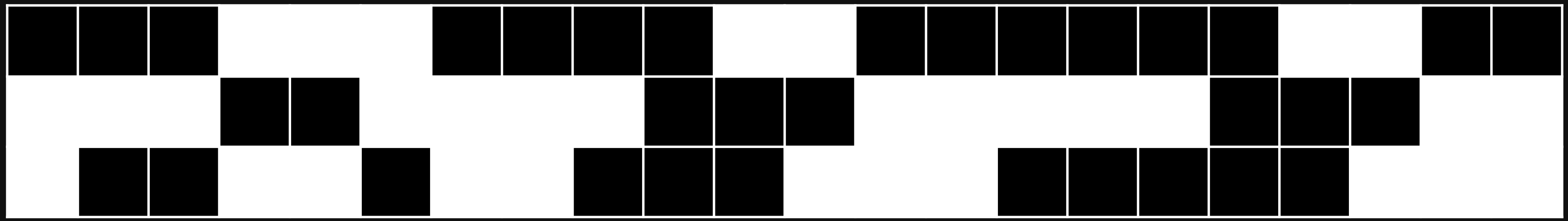
# Κωδικοποίηση κατά μήκος διαδρομής (RLE)

- Οδηγεί στην συμπίεση εικόνας και έχει χρησιμοποιηθεί για την μετάδοση, αποθήκευση και αναγνώριση δυαδικών εικόνων.
- Βασίζεται στην εύρεση συνεχών ομάδων από άσπρα και μαύρα pixel καθώς κινούμαστε γραμμή – γραμμή από αριστερά προς τα δεξιά.
- Ανιχνεύουμε τις θέσεις στις οποίες έχουμε αλλαγές φωτεινότητας και αυτές τις θέσεις κωδικοποιούμε.

# Κωδικοποίηση κατά μήκος διαδρομής (RLE)



# Παράδειγμα RLE



Αρχή και μήκος των διαδρομών 1

(1,3), (7,4), (13,6), (21,2)
(4,2), (10,12), (18,3)
(2,2), (6,1), (9,3), (15,5)

ή

1,1,3,7,10,13,18,21,22
2,4,5,10,12,18,20
3,2,3,6,6,9,11,15,19

μήκος των διαδρομών από 1 και 0

3, 3, 4, 2, 6, 2, 2
0, 3, 4, 3, 5, 3, 2
0, 2, 2, 1, 2, 3, 3, 5, 3

# Οριζόντια προβολή εικόνας

- Η περιοχή όλων των αντικειμένων στην εικόνα μπορεί να υπολογιστεί αθροίζοντας τα μήκη όλων των διαδρομών 1

$$A = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{\frac{m_i - 1}{2}} r_{i,2k+1}$$

όπου το $\boldsymbol{m_i}$ είναι ο αριθμός των διαδρομών στην i σειρά.

- Με τον RLE μπορούμε να προσδιορίσουμε και άλλα στοιχεία της εικόνας όπως η οριζόντια προβολή
- Δεν είναι απαραίτητη η αναπαραγωγή της αρχικής  εικόνας
- Μπορεί να υπολογιστεί οριζόντια και κατακόρυφη προβολή

# Δυαδικοί αλγόριθμοι

- Ο διαχωρισμός του αντικειμένου από το φόντο είναι πολύ δύσκολο πρόβλημα
- Θεωρούμε ότι έχει προσδιοριστεί το αντικείμενο ενδιαφέροντος και έχουν ονοματιστεί τα pixel που ανήκουν στο αντικείμενο αυτό (labeling)
- Θα πρέπει να ορίσουμε τον τρόπο σύνδεσης των pixel της εικόνας (4 ή 8 γειτονιάς).

# Διαδρομή

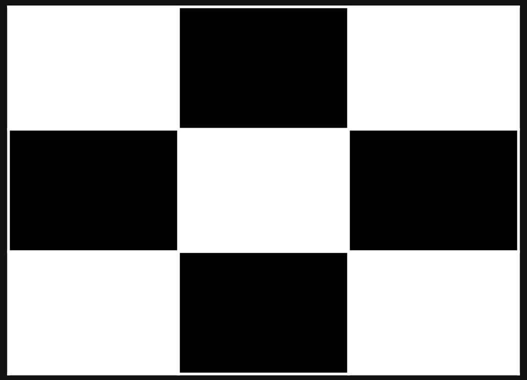
- Διαδρομή από το pixel $[i_0,j_0]$ στο pixel $[i_n, j_n]$ ορίζεται ώς η σειρά διαδοχικών pixel για τα οποία το κάθε ένα να είναι γειτονικό με το επόμενο.
- Αν η σύνδεση είναι 4-γειτονιάς, τότε η διαδρομή ονομάζεται 4-διαδρομή
- Αν η σύνδεση είναι 8-γειτονιάς, τότε η διαδρομή ονομάζεται 8-διαδρομή

# Τύποι pixel

- Τα pixel του αντικειμένου που έχουν τιμή 1, ονομάζονται foreground (προσκήνιο) και συμβολίζονται με το S
- ένα pixel $p \in S$ θεωρείται συνδεδεμένο με το $q \in S$ αν υπάρχει μια διαδρομή από το p στο q που αποτελείται μόνο από στοιχεία του συνόλου S.
- Για 3 pixel p, q, r ισχύουν:
  - Το p είναι συνδεδεμένο με το p (αυτοπάθεια)
  - Αν το p είναι συνδεδεμένο με το q, τότε και το q είναι συνδεδεμένο με το p (αντιμετάθεση)
  - Αν το p είναι συνδεδεμένο με το q και το q είναι συνδεδεμένο με το r, τότε και το p είναι συνδεδεμένο με το r (μεταβατικότητα).

# Συνδεδεμένα στοιχεία - Φόντο

- Το σύνολο των συνδεδεμένων στοιχείων του συνόλου $\bar{S}$ (συμπλήρωμα του S) που έχει συνοριακά σημεία με τα όρια της εικόνας λέγεται φόντο.
- Τα υπόλοιπα στοιχεία του συνόλου $\bar{S}$ ονομάζονται οπές.
- Συνήθως χρησιμοποιούμε διαφορετική συνδετικότητα για τα αντικείμενα και διαφορετική για το φόντο.



*Αν υποθέσουμε 4-γειτονιά, έχουμε 4 αντικείμενα, 1 οπή*

*Αν υποθέσουμε 8-γειτονιά, έχουμε 1 αντικείμενο και καμιά οπή.*

# Συνδεδεμένα στοιχεία (συνέχεια)

- Όριο

  Είναι το σύνολο των pixel του συνόλου $S$ που είναι γειτονικά με pixels που ανήκουν στο σύνολο $\bar{S}$ με συνδετικότητα 4-γειτονιάς. Τα pixels αυτά συμβολίζονται με $S'$

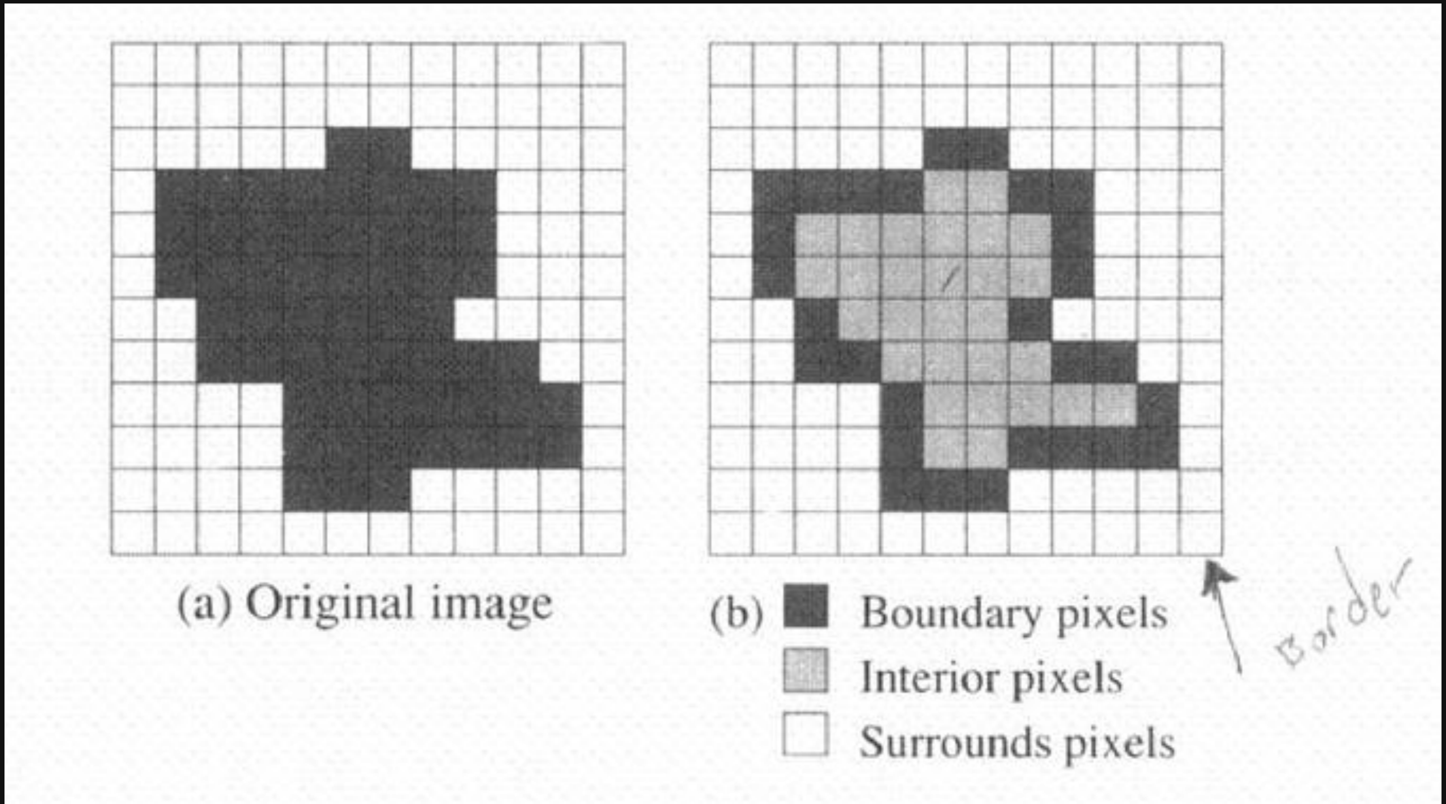
- Εσωτερική Επιφάνεια

  αποτελείται από όλα τα pixel του συνόλου $S$ που δεν ανήκουν στο όριο του. Η εσωτερική επιφάνεια του $S$ είναι ίση με $(S - S')$.

- Περίβλημα

  μια περιοχή Τ περιβάλει την περιοχή $S$ (ή το $S$ είναι μέσα στην $\mathrm{T}$ ) αν οποιαδήποτε 4-διαδρομή από οποιοδήποτε σημείο του $S$ προς τα όρια της εικόνας (εξωτερικό περίγραμμα) θα διασταυρωθεί με το $\mathrm{T}$.

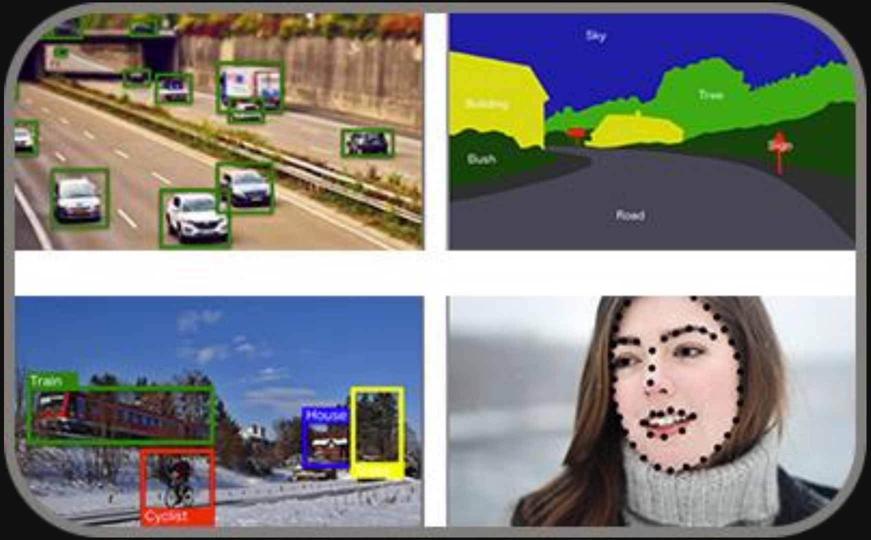
# Συνδεδεμένα στοιχεία (συνέχεια)

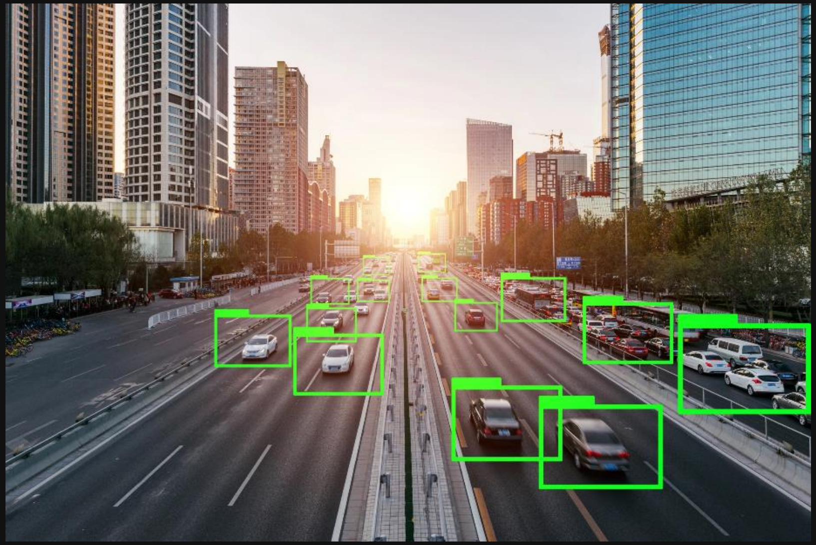


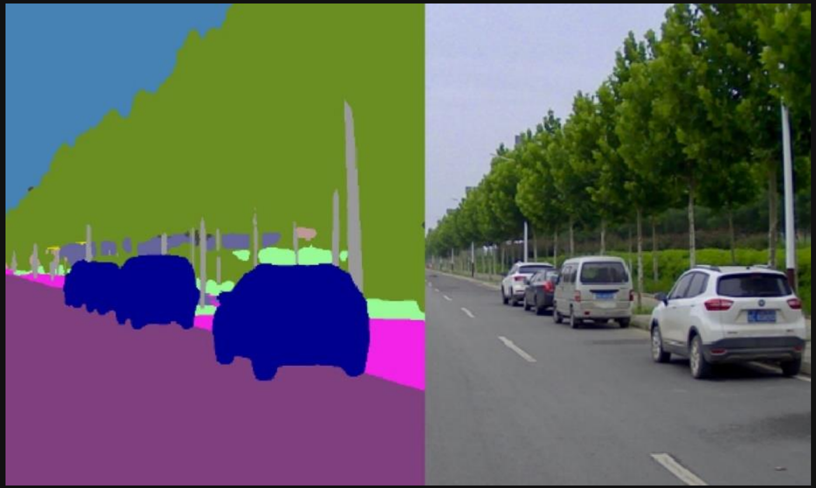
# Ονοματισμός Στοιχείων (Labeling)

- Προσδιορισμός των συνδεδεμένων στοιχείων μιας εικόνας.
- Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εύρεση αντικειμένων μέσα στην εικόνα.
- Μετά την εύρεση των αντικειμένων, ακολουθεί ο ονοματισμός αυτών.
- Σε αρκετές εφαρμογές μας ενδιαφέρει να υπολογίσουμε τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων όπως το μέγεθος, θέση, προσανατολισμός, περίγραμμα αντικειμένου (bounding box)
- Γίνεται με δύο τύπους αλγορίθμων:
  - Σειριακοί αλγόριθμοι
  - Αναδρομικοί Αλγόριθμοι

# Ονοματισμός Στοιχείων (Labeling)





# Αναδρομικός Αλγόριθμος

- **Βήμα 1**: Σαρώστε την εικόνα (από αριστερά προς τα δεξιά) για να βρεθεί το πρώτο στοιχείο (μη ονοματισμένο) με τιμή 1. Ονοματίστε το στοιχείο αυτό με την τιμή L
- **Βήμα 2**: Με χρήση της προκαθορισμένης συνδετικότητας προσδιορίστε όλα τα γειτονικά στοιχεία του L που έχουν τιμή ίση με 1 και ονοματίστε τα με L
- **Βήμα 3**: Σταματήστε αν δεν υπάρχουν άλλα μη ονοματισμένα εικονοστοιχεία
- **Βήμα 4**: Πηγαίνετε στο Βήμα 1.

# Σειριακός Αλγόριθμος

- Απαιτεί **δύο σαρώσεις** της εικόνας.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε περιπτώσεις στις οποίες οι εικόνες έχουν αποθηκευτεί.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν υπάρχει περιορισμός σε μνήμη.
- Λειτουργεί χρησιμοποιώντας μόνο δύο γραμμές της εικόνας την κάθε φορά
- Είναι ιδανικός αλγόριθμος σε περιπτώσεις μειωμένου χώρου και μνήμης

# Σειριακός αλγόριθμος (4-συνδετικότητα)

- **Βήμα 1**: Σαρώστε την εικόνα από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω
- **Βήμα 2**: Αν το στοιχείο έχει τιμή 1, τότε:
  - αν μόνο ένα από τα πάνω και αριστερά γειτονικά στοιχεία έχει ήδη ονοματιστεί, αντιγράψτε την τιμή της ετικέτας
  - αν και τα δύο έχουν τον ίδιο ονοματισμό, αντιγράψτε την τιμή της ετικέτας
  - αν τα δύο έχουν διαφορετικό ονοματισμό, αντιγράψτε την τιμή του επάνω και καταχωρίστε τις τιμές των ετικετών στον πίνακα ισοδυναμίας ως ισοδύναμο ονοματισμό
  - Δώστε νέα τιμή ετικέτας στο στοιχείο και καταχωρίστε τον ονοματισμό στον πίνακα ισοδυναμίας

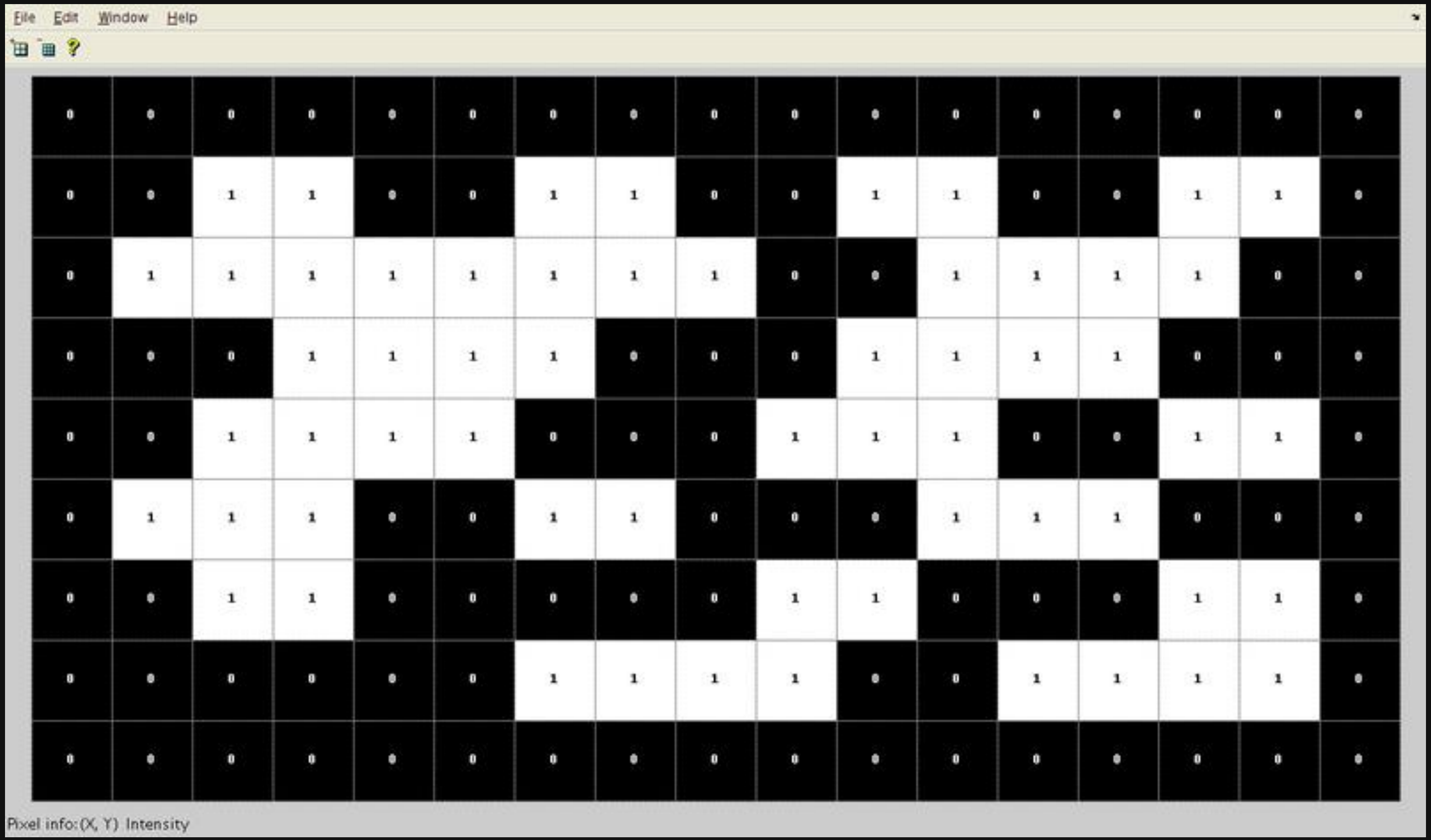
# Σειριακός αλγόριθμος (συνέχεια)

- **Βήμα 3**: Αν πρέπει να εξεταστούν περισσότερα στοιχεία πηγαίνετε στο Βήμα 2
- **Βήμα 4**: Αναζητείστε την μικρότερη τιμή ετικέτας για κάθε ισοδύναμο σύνολο στον πίνακα ισοδυναμίας
- **Βήμα** 5: Σαρώστε την εικόνα. Αντικαταστήστε κάθε τιμή ετικέτας με τη μικρότερη τιμή σε κάθε πίνακα ισοδυναμίας.
- Το δεύτερο πέρασμα αναθέτει μοναδική ετικέτα σε κάθε στοιχείο.

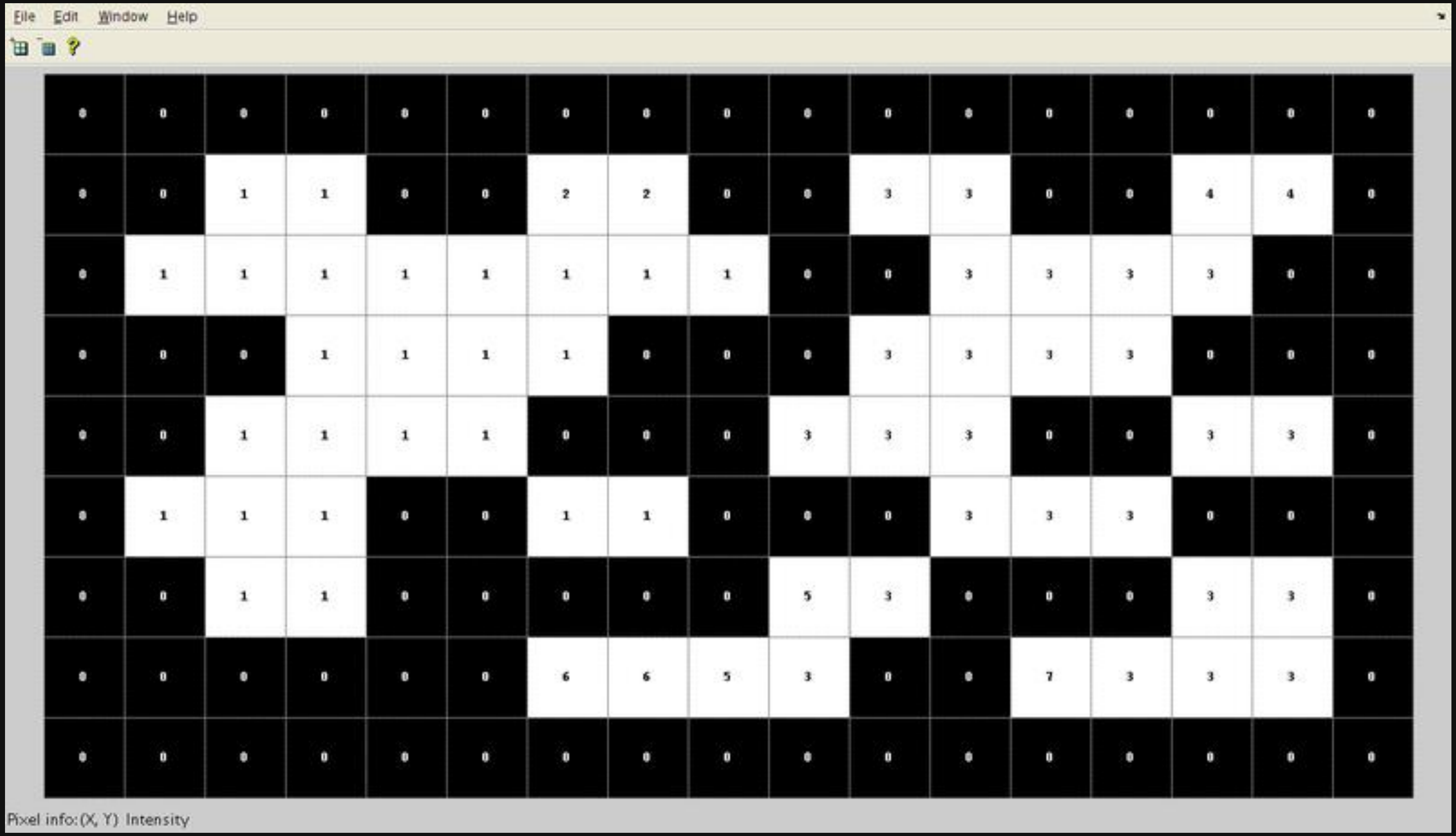
# Παράδειγμα (4-συνδετικότητα)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

# Παράδειγμα (2)

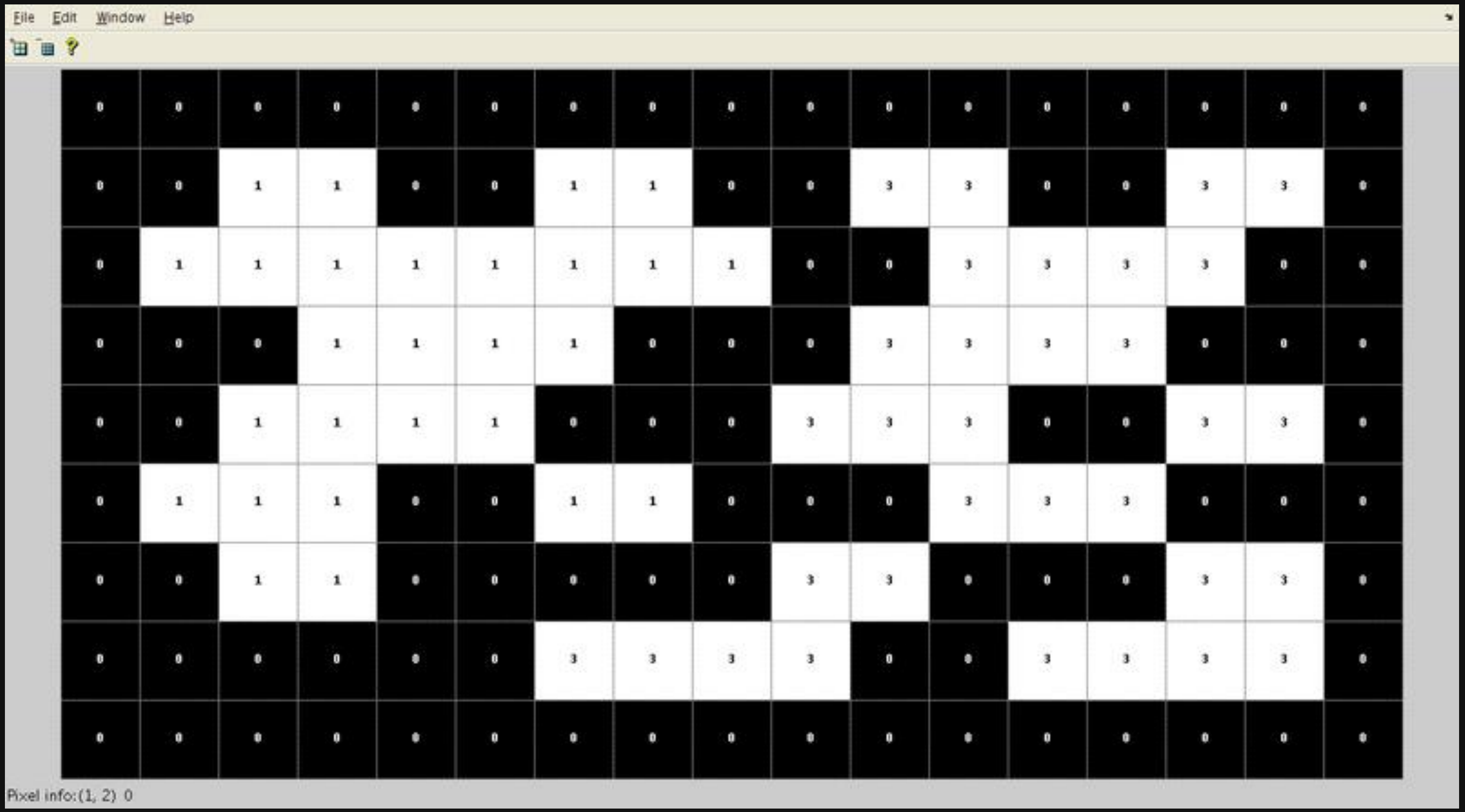


# Παράδειγμα (2)

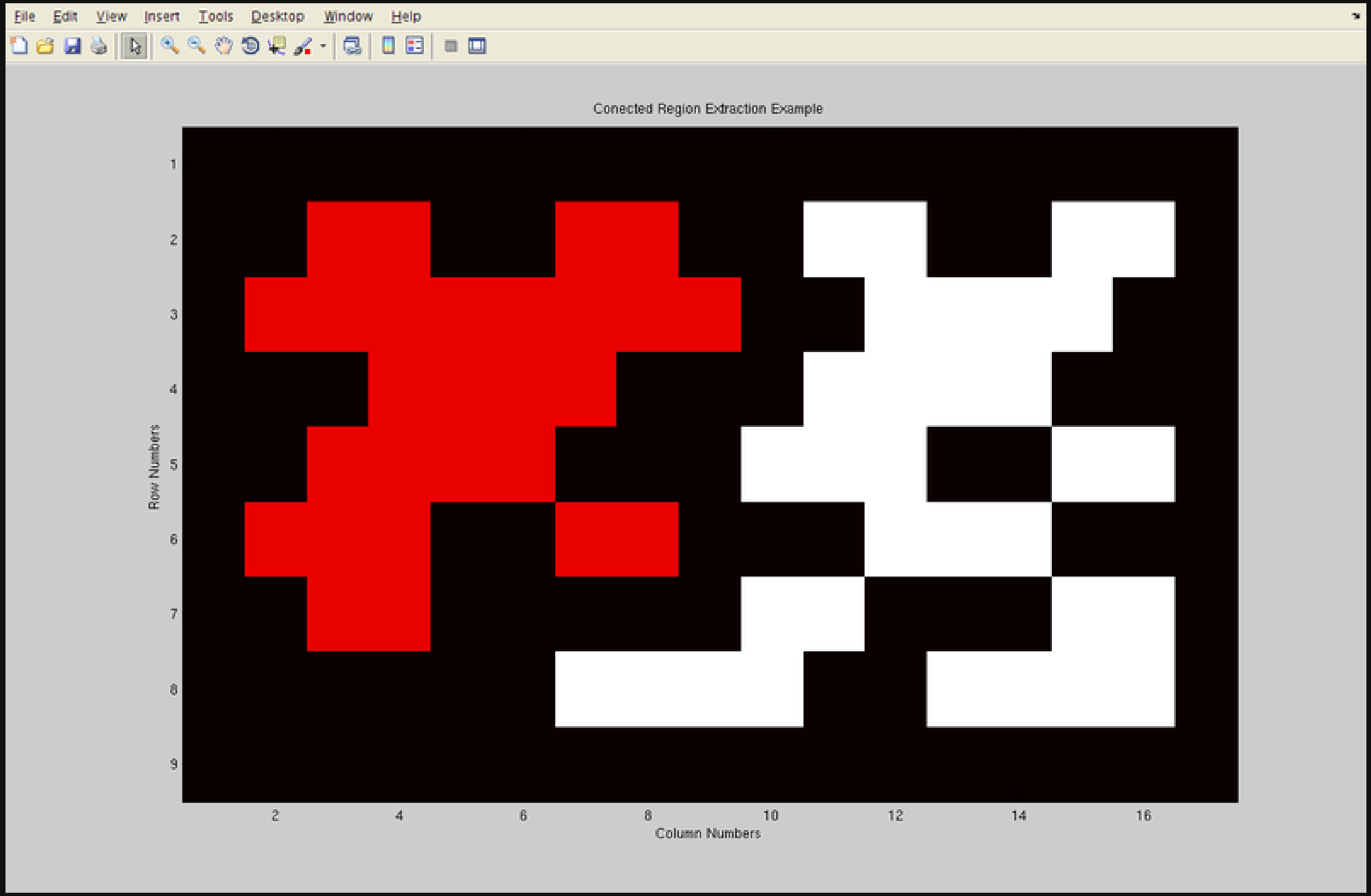


# Παράδειγμα (2)

| Set ID | Eq. Labels |
|---|---|
| 1 | 1,2 |
| 2 | 1,2 |
| 3 | 3,4,5,6,7 |
| 4 | 3,4,5,6,7 |
| 5 | 3,4,5,6,7 |
| 6 | 3,4,5,6,7 |
| 7 | 3,4,5,6,7 |



# Παράδειγμα (2)



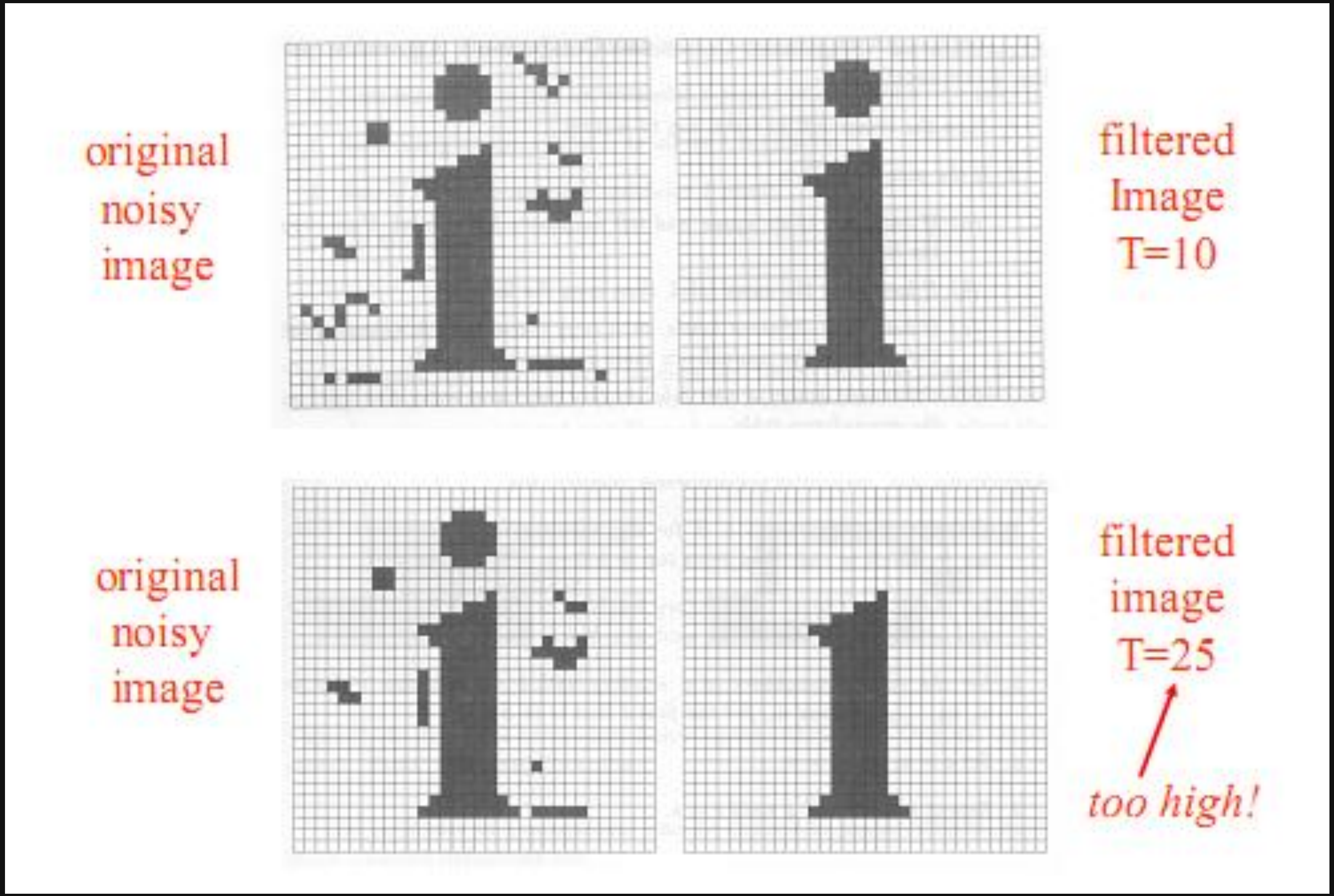
# Φίλτρο μεγέθους

- Η κατωφλίωση μετατρέπει μια εικόνα σε δυαδική.
- Σε περίπτωση θορύβου, μετατρέπει σε εικονοστοιχεία αντικειμένου, και εικονοστοιχεία που ανήκουν στο φόντο.
- Δημιουργούνται μικρές νησίδες με εικονοστοιχεία αντικειμένου.
- Χρησιμοποιούμε φίλτρο μεγέθους για να απορρίψουμε στοιχεία μεγέθους μικρότερου από $T_0$ μετατρέποντας τις τιμές τους σε 0.

# Φίλτρο μεγέθους

- Εξαρτάται από τον θόρυβο
- Πως υπολογίζεται το $T_0$;
- Αν το $T_0$ είναι μικρό, τότε παραμένει ο θόρυβος
- Αν το $T_0$ είναι μεγάλο, χάνεται χρήσιμη πληροφορία

# Φίλτρο μεγέθους - Παράδειγμα

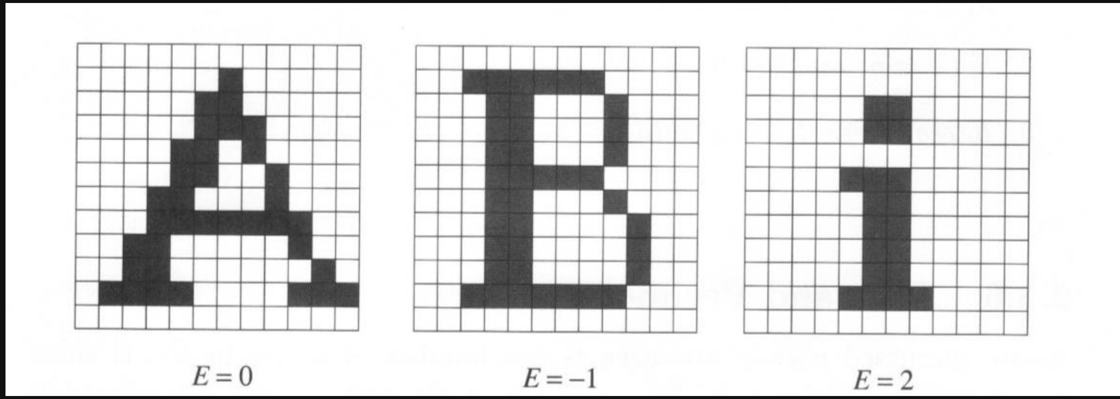


# Ο αριθμός Euler

- Γεωμετρικό – τοπολογικό χαρακτηριστικό μιας εικόνας.
- Παραμένει αμετάβλητο κατά τη μετάθεση, περιστροφή και κλιμάκωση της εικόνας.
- Είναι ίσο με τον αριθμό των συνδεδεμένων στοιχείων της εικόνας μείον τον αριθμό των οπών:

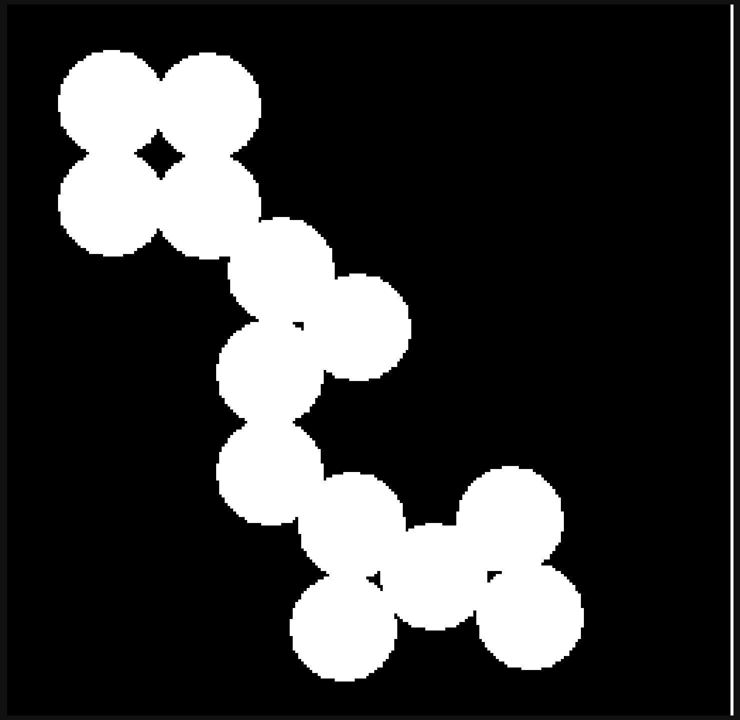
$$E = C - H$$

# Ο αριθμός Euler (παραδείγματα)



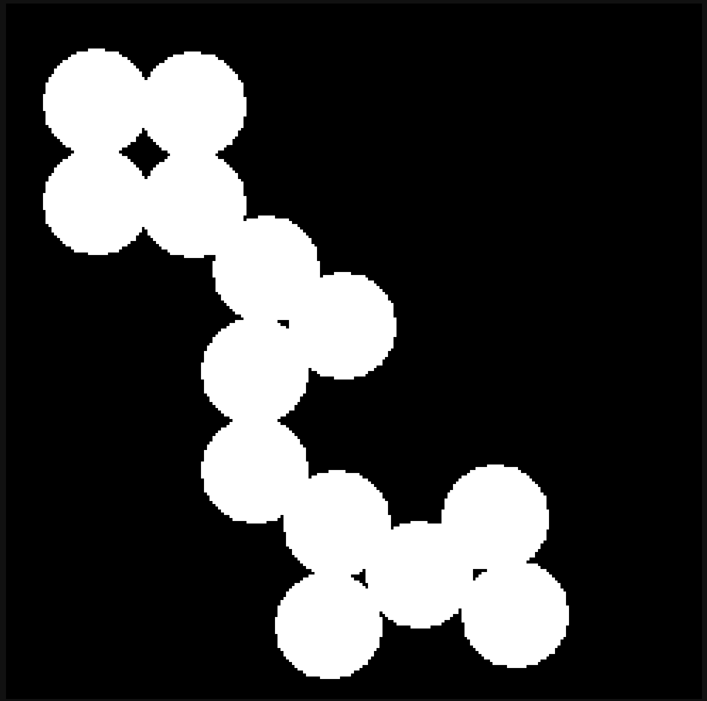

Για τον υπολογισμό των συνδεδεμένων στοιχείων θεωρούμε 8-συνδετικότητα για το προσκήνιο και 4-συνδετικότητα για το παρασκήνιο (φόντο)

# Ο αριθμός Euler (παραδείγματα)



Ποιος είναι ο αριθμός Euler σε αυτό το παράδειγμα;

# Ο αριθμός Euler (παραδείγματα)



Ποιος είναι ο αριθμός Euler σε αυτό το παράδειγμα;

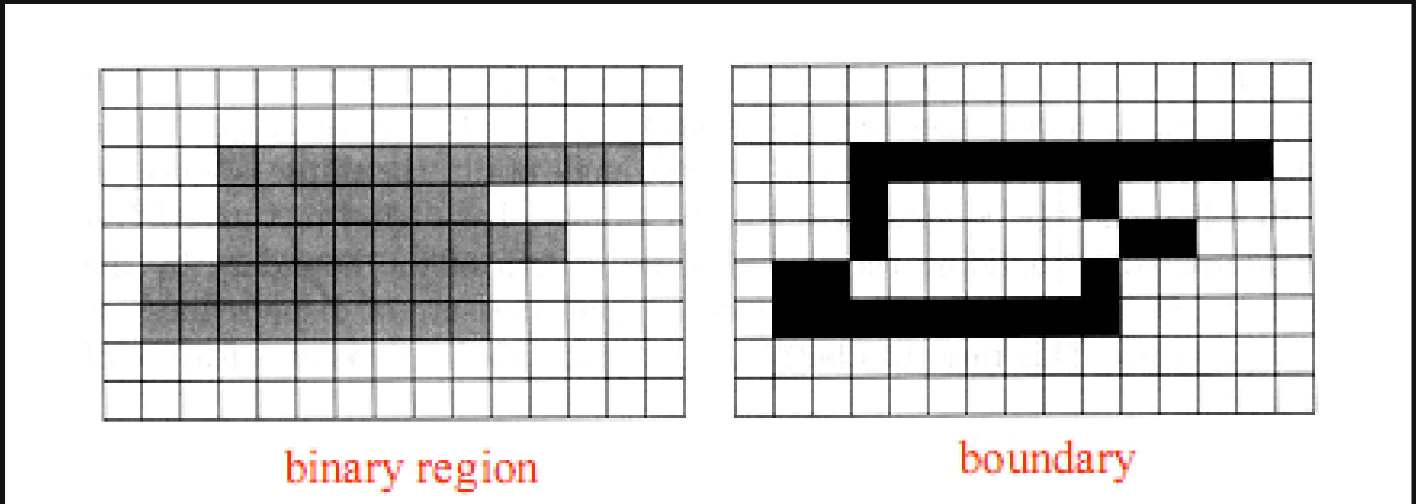
-3

# Κυρτό Κέλυφος

- Μια περιοχή είναι κυρτή όταν για κάθε ευθύγραμμο τμήμα AB με άκρα εντός της περιοχής, όλα τα σημεία του ανήκουν στην περιοχή.
- Κυρτό κέλυφος H είναι η μικρότερη κυρτή περιοχή που περιβάλει το αντικείμενο.
- Δεν είναι ανεξάρτητο μετασχηματισμών (περιστροφής)

# Όρια περιοχής

- Όρια ενός συνδεδεμένου στοιχείου $S$ είναι τα εικονοστοιχεία του $S$ που είναι συνδεδεμένα με το φόντο.



# Επιφάνεια αντικειμένων

- Επιφάνεια είναι το πλήθος των εικονοστοιχείων που ανήκουν στο σύνολο $S$.
- Θα πρέπει σε περίπτωση που υπάρχουν πολλά αντικείμενα $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ θα πρέπει να γίνει διαχωρισμός τους και ονοματοποίηση πριν την καταμέτρηση των pixels κάθε αντικειμένου.
- Ο υπολογισμός της επιφάνειας μπορεί τις περισσότερες φορές να γίνει σε ένα πέρασμα.
- Περίμετρος είναι το πλήθος των εικονοστοιχείων που ανήκουν στο όριο του αντικειμένου.

# Περίμετρος αντικειμένων

- Η περίμετρος αντικειμένου μπορεί να οριστεί με διαφορετικούς τρόπους.
- Συνήθως υπολογίζεται ως το πλήθος των εικονοστοιχείων που ανήκουν στο όριο του αντικειμένου.

# Πυκνότητα αντικειμένου

- Η περίμετρος αντικειμένου μπορεί να οριστεί με διαφορετικούς τρόπους.
- Συνήθως υπολογίζεται ως το πλήθος των εικονοστοιχείων που ανήκουν στο όριο του αντικειμένου.
- Η ισότητα ισχύει στην περίπτωση τέλεια κυκλικού αντικειμένου.

περίμετρος

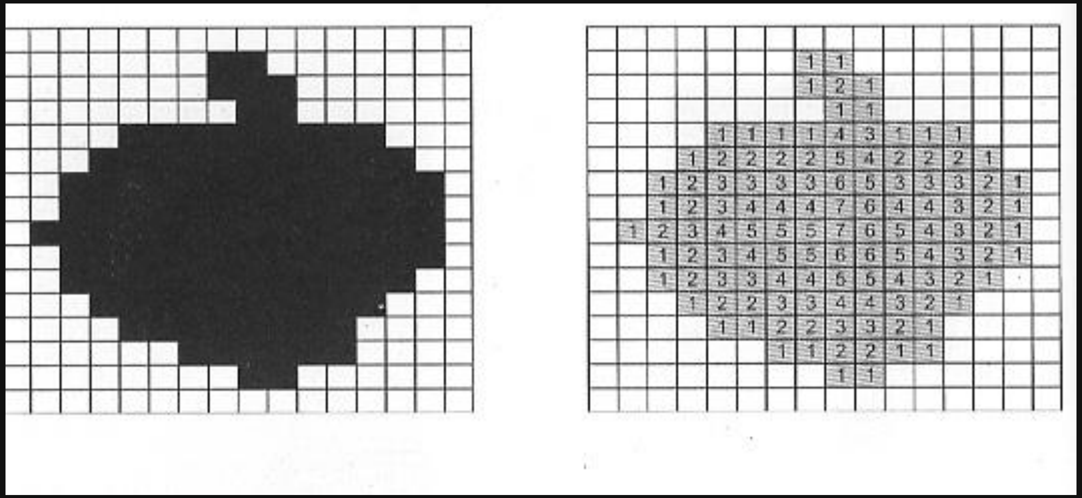
$$C = \frac{P^2}{A} \geq 4\pi$$

επιφάνεια

# Ενδιάμεσος Άξονας

- Προσδιορίζει τον σκελετό των αντικειμένων
- Υπολογίζεται η απόσταση του κάθε εικονοστοιχείου από το όριο του αντικειμένου.
- Τα εικονοστοιχεία τα οποία εμφανίζουν αποστάσεις τοπικά μέγιστες από τα όρια του σχήματος ανήκουν στον σκελετό, συμμετρικό άξονα ή ενδιάμεσο άξονα που συμβολίζεται με **S***.
- Ο θόρυβος παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό του.

# Ενδιάμεσος άξονας (παραδείγματα)

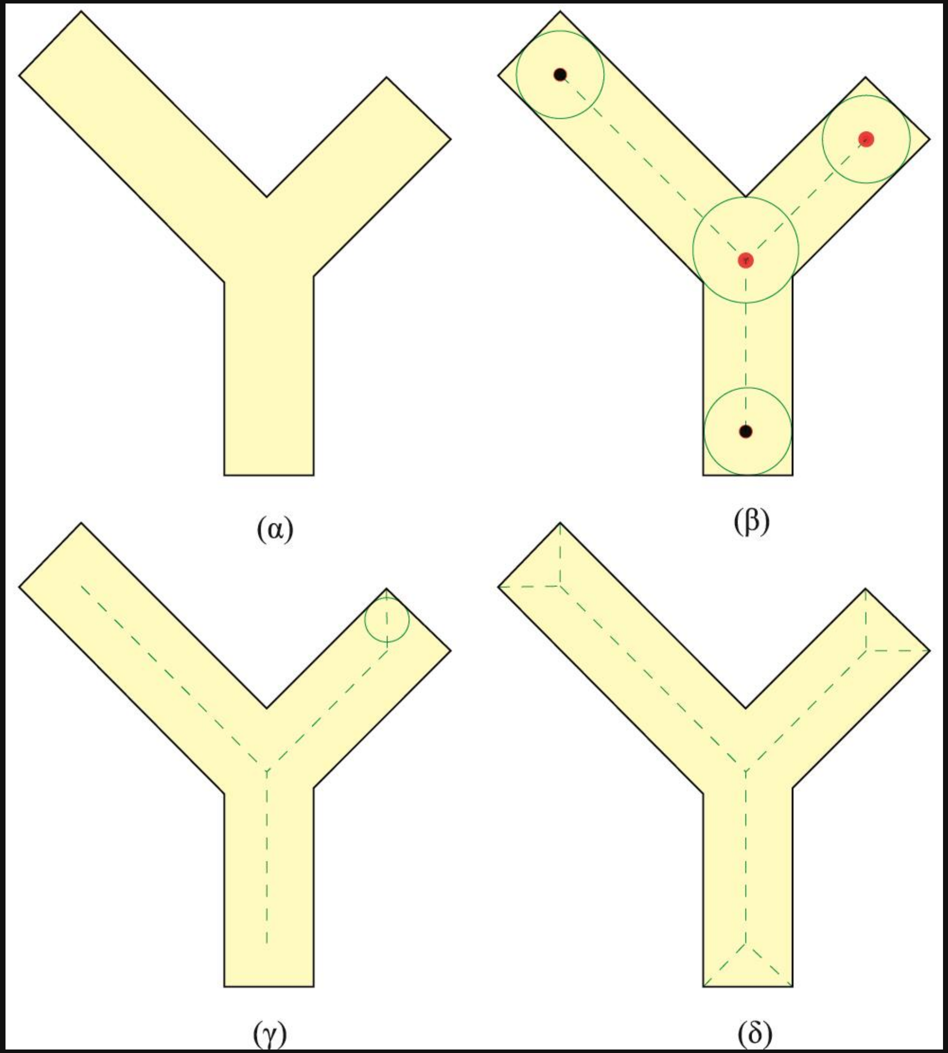


υπολογισμός αποστάσεων σημείων από το φόντο εικόνας

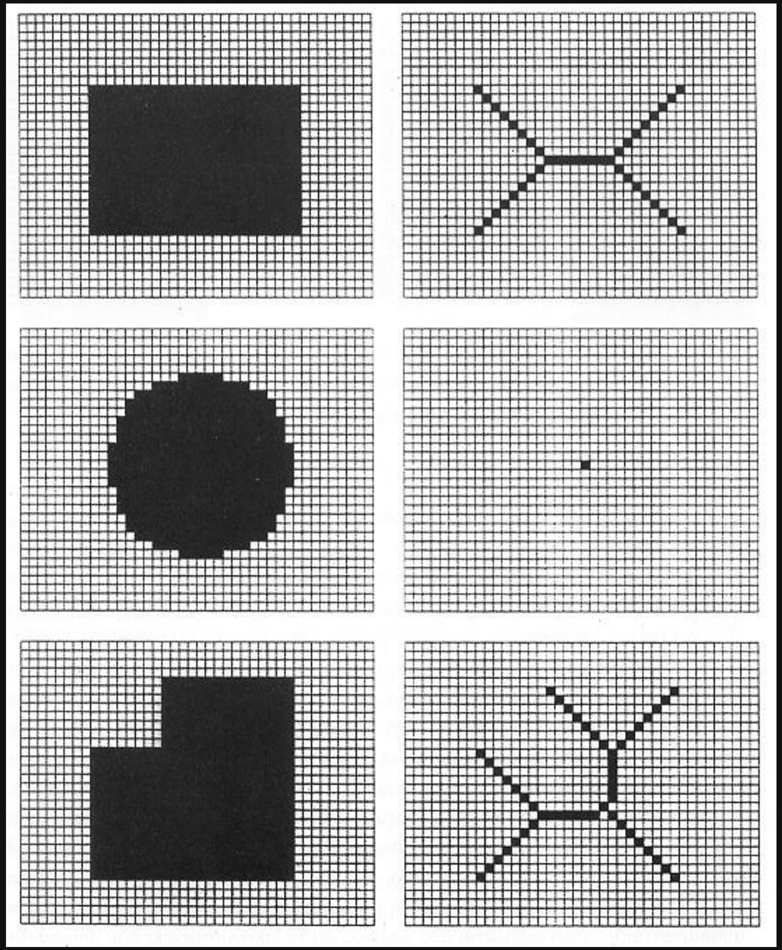
# Ενδιάμεσος Άξονας

- Χρησιμοποιείται ως μια συμπαγής αναπαράσταση των αντικειμένων μιας εικόνας.
- Εναλλακτικά, ο ενδιάμεσος άξονας μιας εικόνας μπορεί να υπολογιστεί ως το σύνολο των κέντρων των κύκλων (bi-tangent) οι οποίοι βρίσκονται εξολοκλήρου μέσα στο αντικείμενο και εφάπτονται στο περίγραμμα του αντικειμένου.

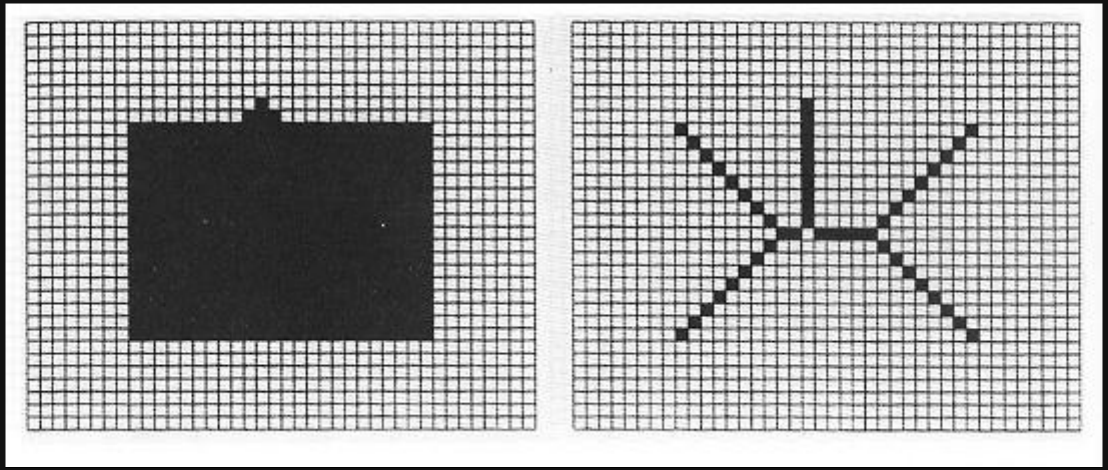
# σκελετός αντικειμένου



# Ενδιάμεσος άξονας (παραδείγματα)



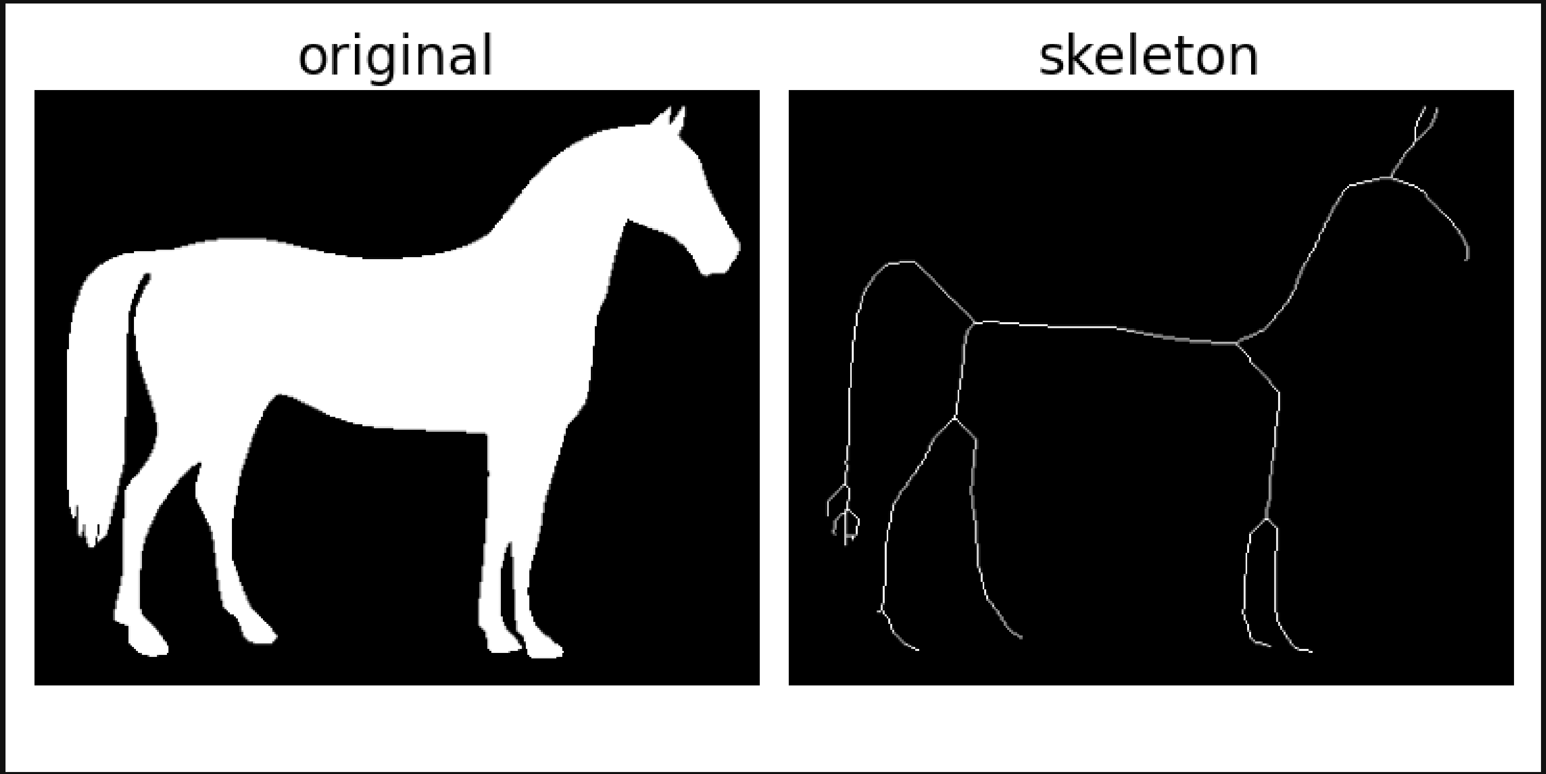
# Ενδιάμεσος άξονας (παραδείγματα)



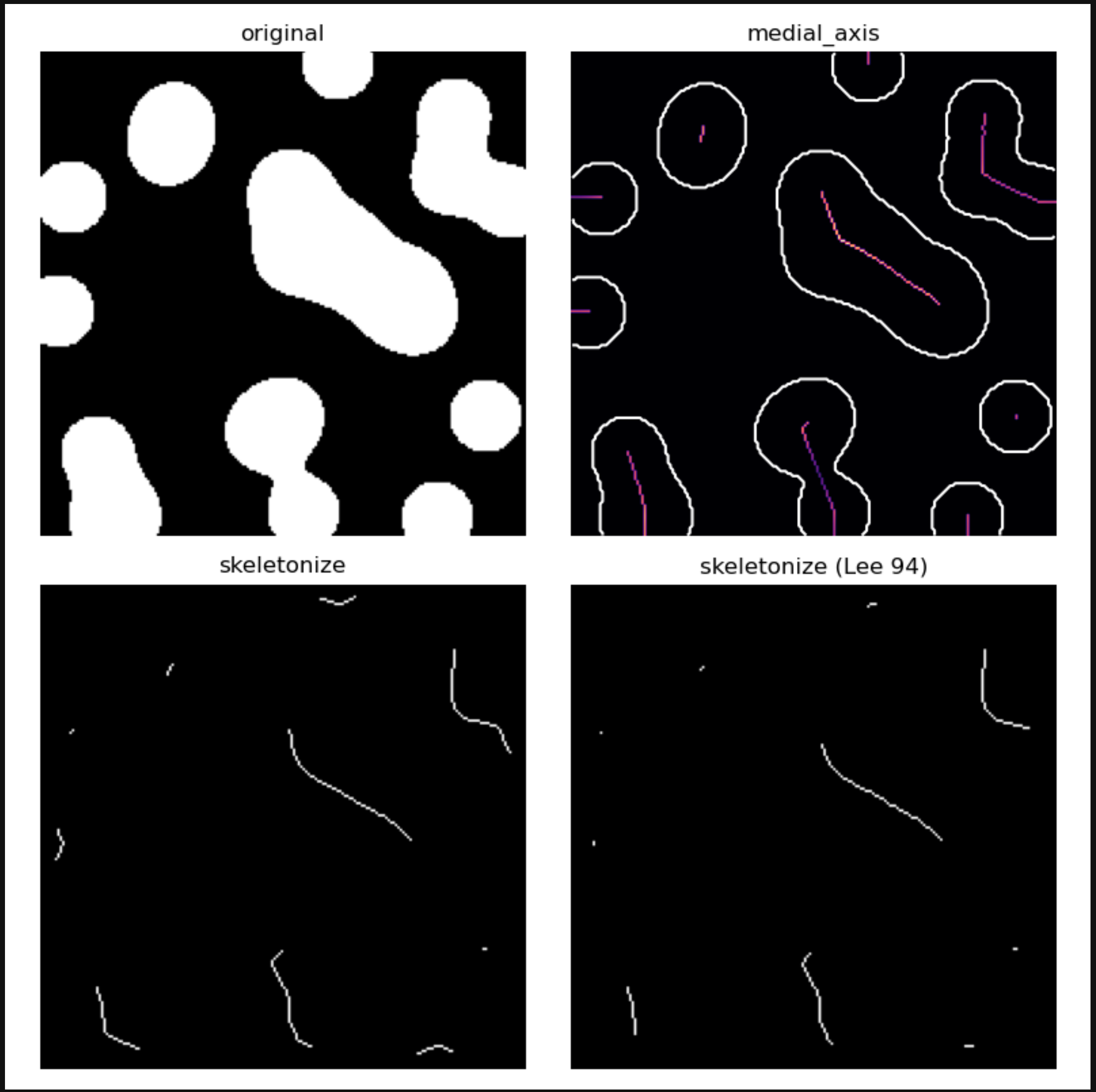
αρχική εικόνα (με θόρυβο)

σκελετός εικόνας με θόρυβο

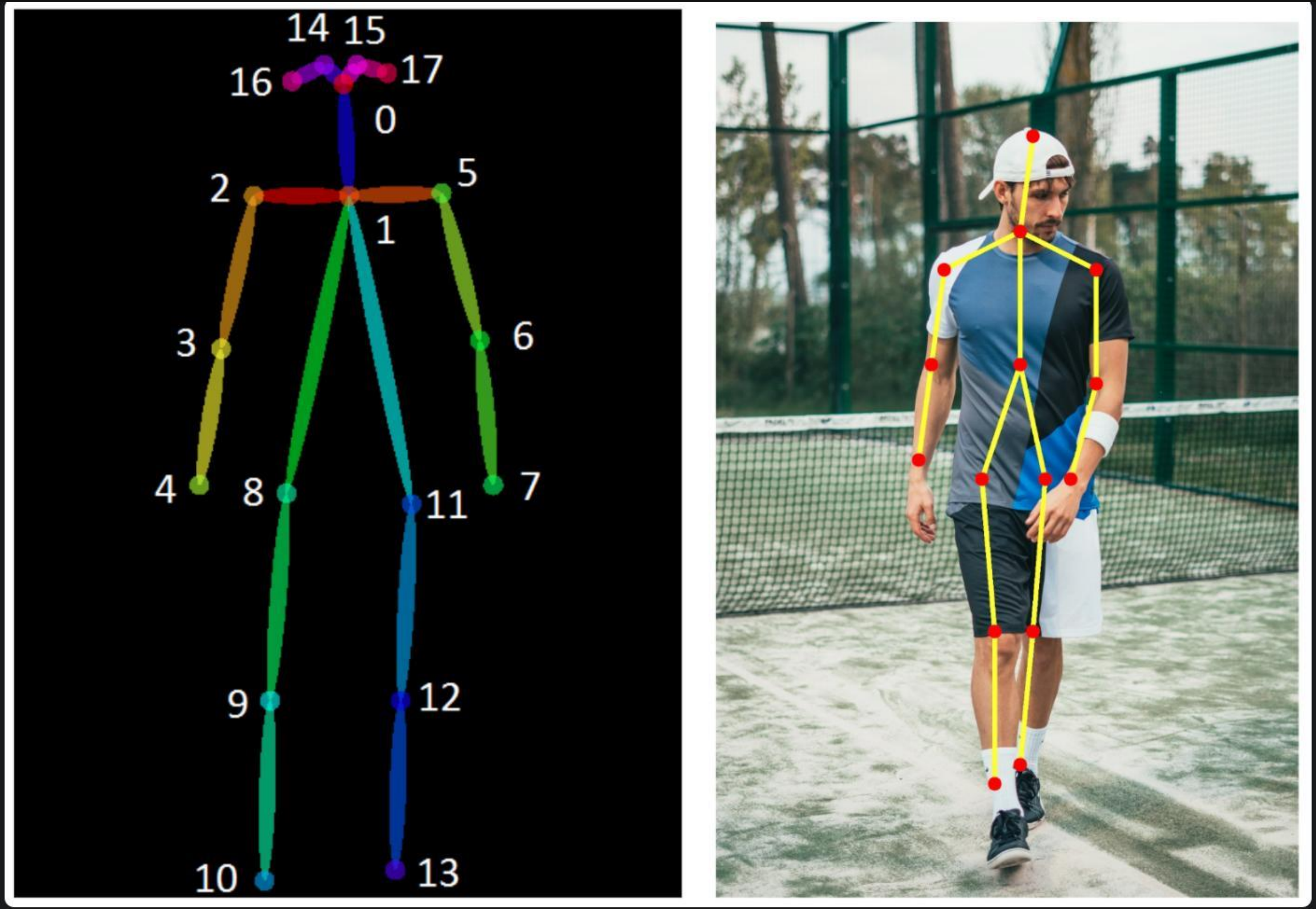
# Skeletonization process (παραδείγματα)



# Skeletonization process (παραδείγματα)



# Skeletonization process (παραδείγματα)



# Λέπτυνση (thinning)

- Οι δυαδικές περιοχές της εικόνας ελαχιστοποιούνται σε γραμμές οι οποίες προσεγγίζουν τις κεντρικές γραμμές (σκελετούς)
- Περιορίζει τα συστατικά της εικόνας στα απαραίτητα στοιχεία της για να γίνει πιο εύκολη η ανάλυση και αναγνώριση εικόνας.
- Χρησιμοποιείται σε σχήματα με επιμήκυνση παρά σε κυρτά (bloblike) αντικείμενα.

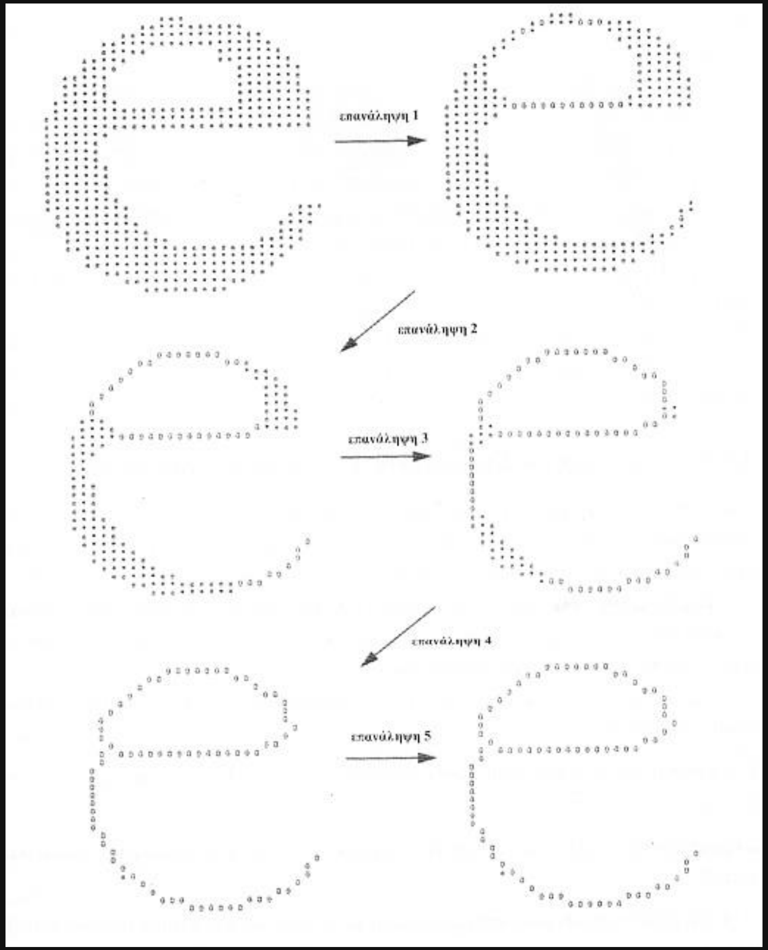
# Απαιτήσεις Λέπτυνσης

1. Συνδεδεμένες περιοχές εικόνας πρέπει να λεπτύνονται σε συνδεδεμένες δομές γραμμών
2. Το αποτέλεσμα θα πρέπει να ακολουθεί τον κανόνα της 8-συνδετικότητας
3. Οι προσεγγιστικές θέσεις των οριακών γραμμών πρέπει να διατηρούνται
4. Τα αποτελέσματα θα πρέπει να προσεγγίζουν τις κεντρικές γραμμές
5. Αιχμές που ξεπροβάλουν λόγω λέπτυνσης πρέπει να ελαχιστοποιούνται

# Διαδικασία Λέπτυνσης

- Εξέταση κάθε εικονοστοιχείου σε εικόνα μέσα στο πλαίσιο της περιοχής της γειτονιάς του (3X3 περιοχή)
- Αφαίρεση των ορίων των περιοχών (ένα στρώμα κάθε φορά) μέχρι να ελαχιστοποιηθούν σε λεπτές γραμμές
- Επαναληπτική διαδικασία μέχρι να μείνουν όρια πάχους ενός εικονοστοιχείου.
- Όρια πάχους ενός εικονοστοιχείου που δεν είναι απαραίτητο να διατηρούν την συνδεσιμότητα, αφαιρούνται.

# Λέπτυνση (παράδειγμα)



# Επέκταση και συρρίκνωση

- **Επέκταση**: Διαδικασία κατά την οποία εικονοστοιχεία φόντου σε μια εικόνα επιτρέπεται να μετατραπούν σε εικονοστοιχεία αντικειμένων

- **Συρρίκνωση**: Διαδικασία κατά την οποία εικονοστοιχεία αντικειμένου σε μια εικόνα επιτρέπεται να μετατραπούν σε εικονοστοιχεία φόντου

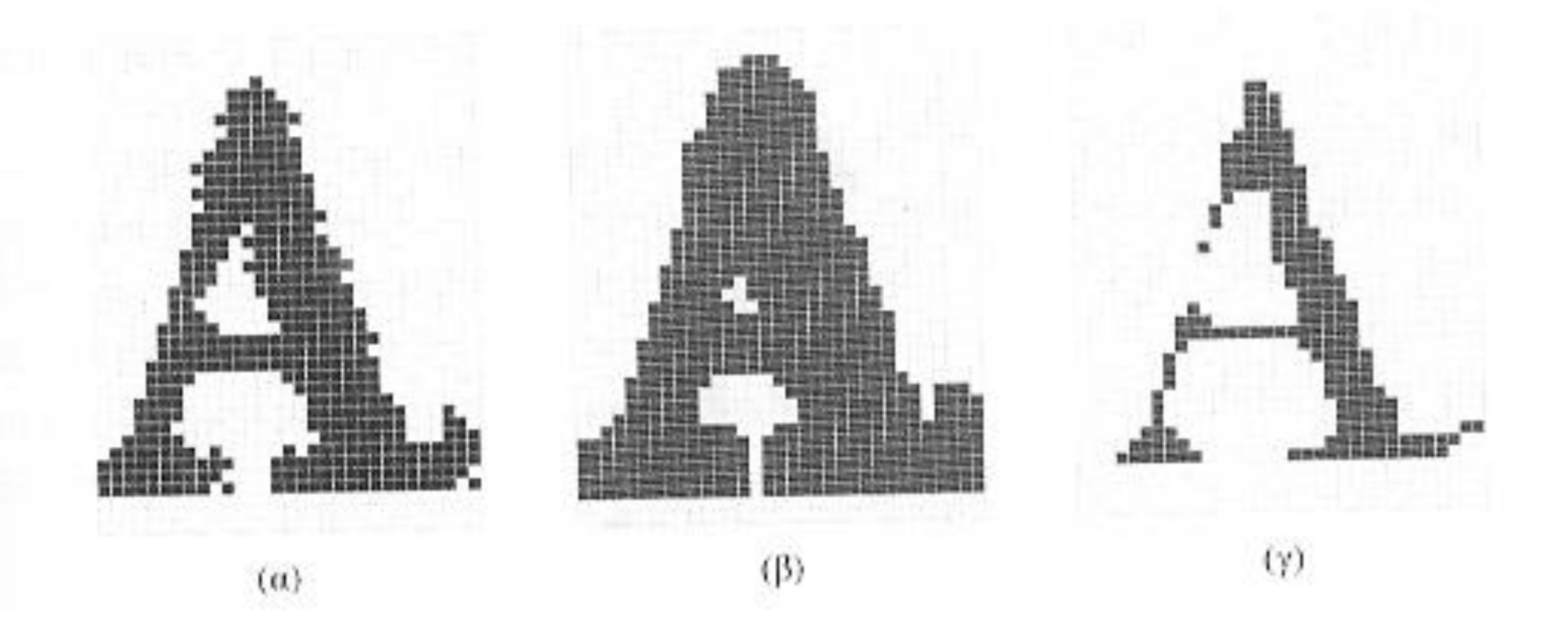
# Αλγόριθμος εφαρμογής

- **Επέκταση**: Αλλαγή της τιμής ενός εικονοστοιχείου από 0 σε 1 αν υπάρχουν γειτονικά με τιμή 1.

- **Συρρίκνωση**: Αλλαγή της τιμής ενός εικονοστοιχείου από 1 σε 0 αν υπάρχουν γειτονικά με τιμή 0.

*συχνά οι παραπάνω αναφέρονται και ως διαστολή / συστολή*

# Επέκταση / Συρρίκνωση (παράδειγμα)




αρχική εικόνα

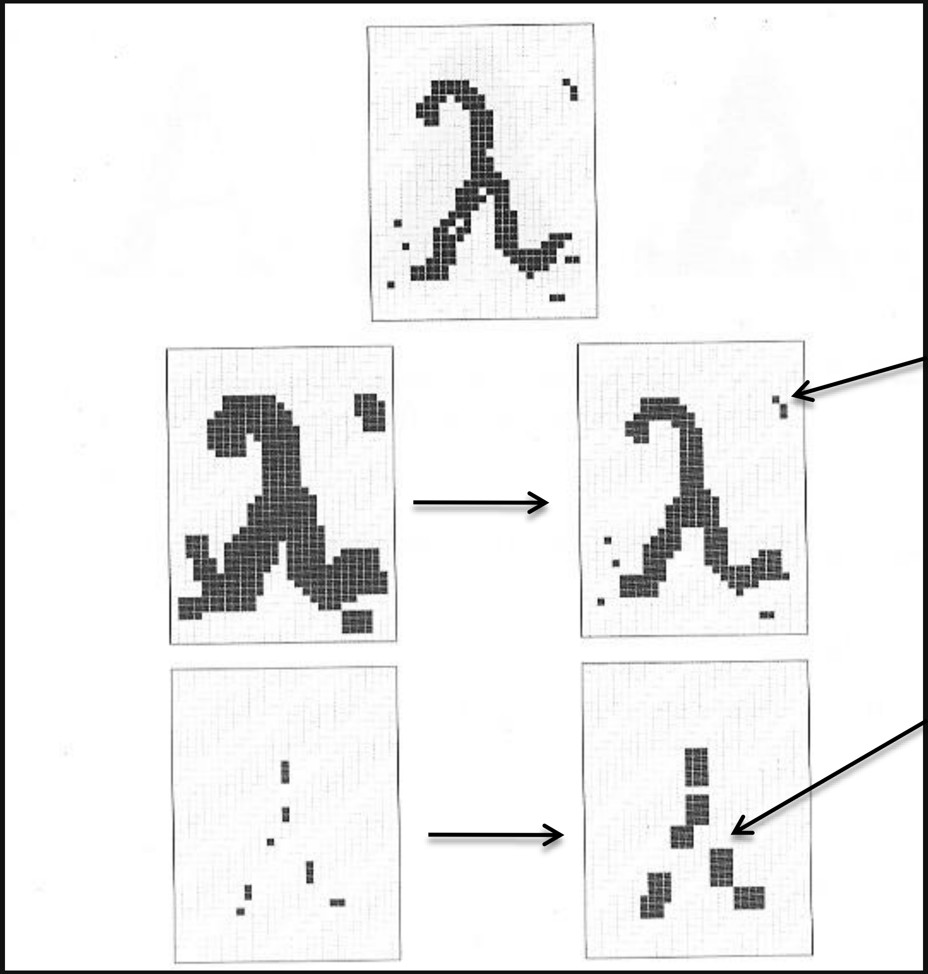
επεκτεταμένη εικόνα

συρρικνωμένη εικόνα

# Επέκταση / Συρρίκνωση (συν.)

- Η επέκταση μπορεί να ακολουθείται από συρρίκνωση για την πλήρωση ανεπιθύμητων οπών.
- Η συρρίκνωση μπορεί να ακολουθείται από επέκταση για την αφαίρεση απομονωμένων στοιχείων θορύβου.
- Χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό απομονωμένων στοιχείων και ομάδων

# Διαδοχική Επέκταση / Συρρίκνωση



αρχική εικόνα (με θόρυβο)

επέκταση

ο θόρυβος παραμένει

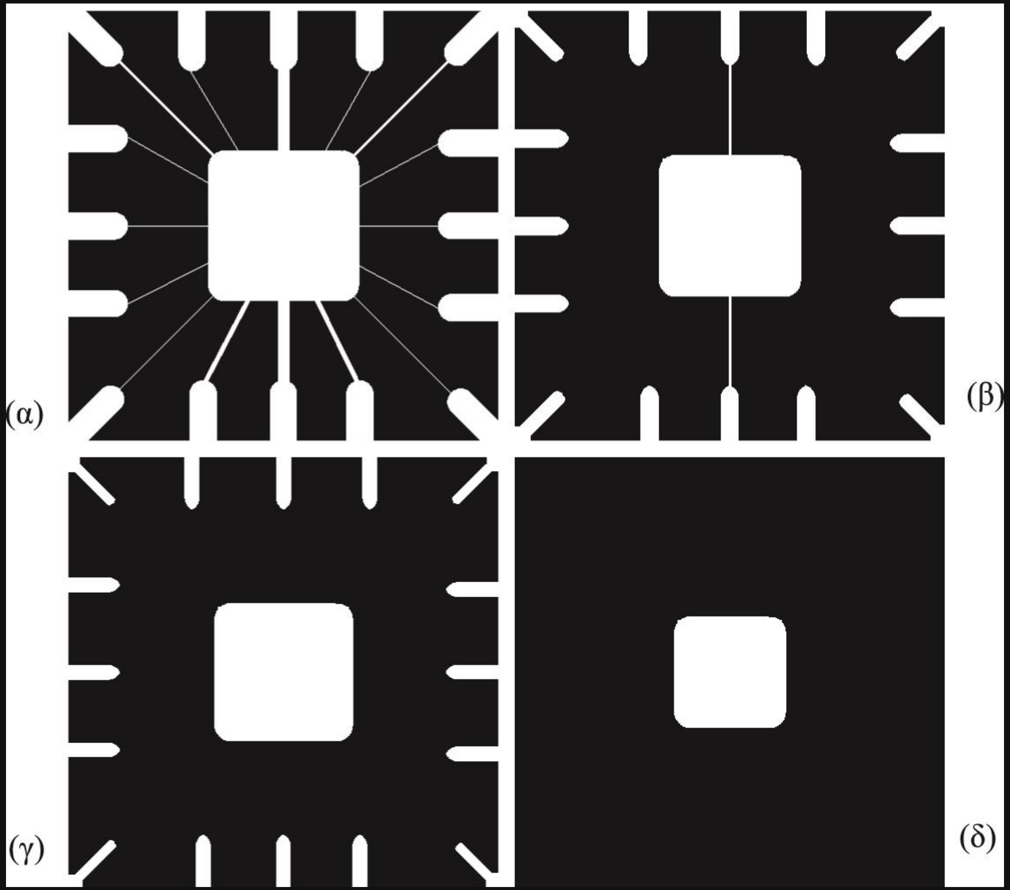
συρρίκνωση

συρρίκνωση

οι οπές παραμένουν

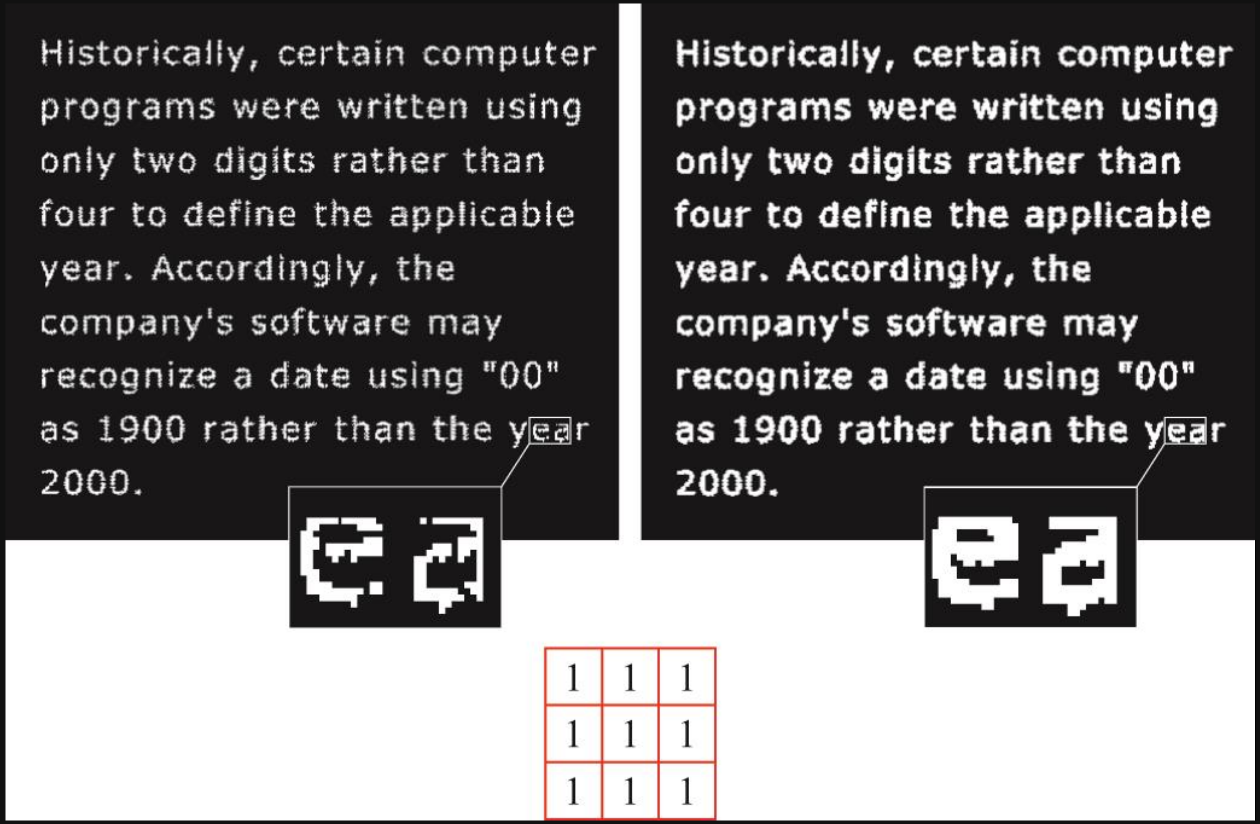
επέκταση

# Συρρίκνωση (erosion) - Παράδειγμα



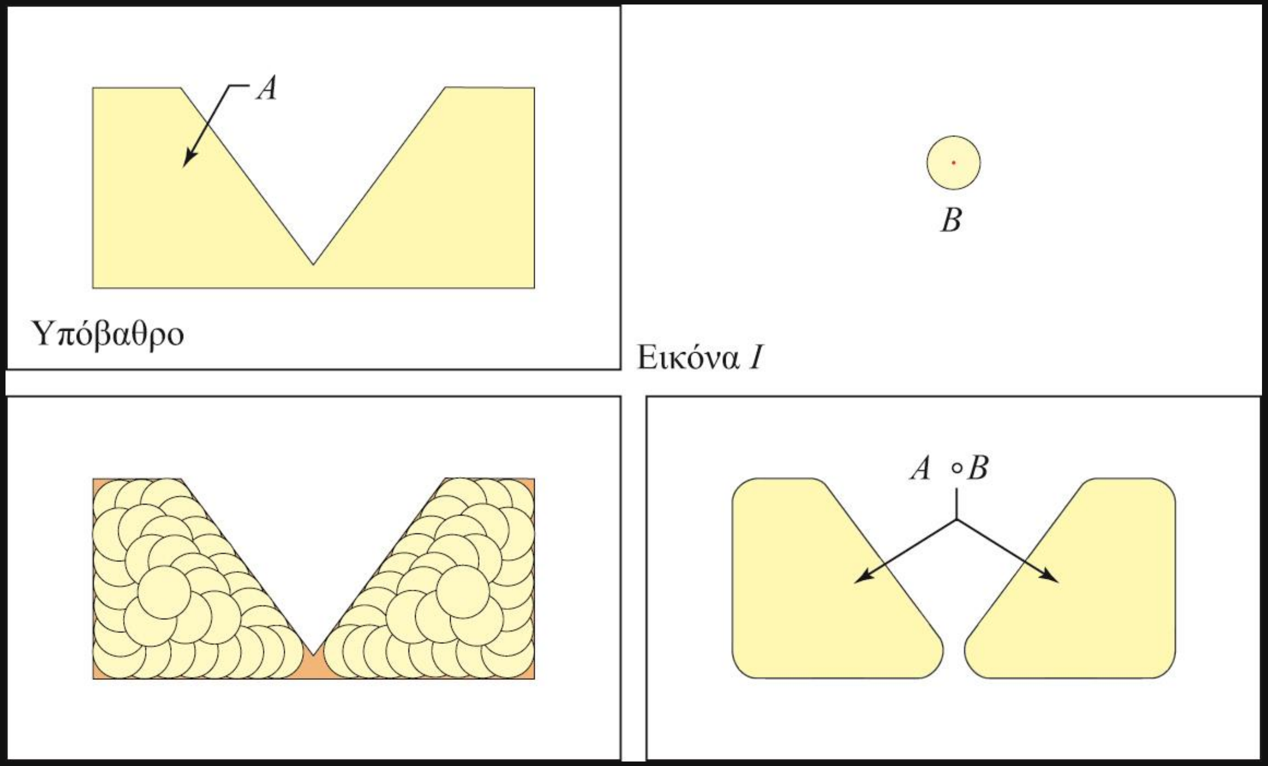

χρήση της συρρίκνωσης για την αφαίρεση στοιχείων εικόνας (α) μια δυαδική 486Χ486 εικόνα (β)-(δ) συρρικνωμένες εκδόσεις εικόνας με πυρήνες μεγέθους 11Χ11, 15Χ15 και 45Χ45 με τιμές ίσες με 1

# επέκταση (dilation) - Παράδειγμα



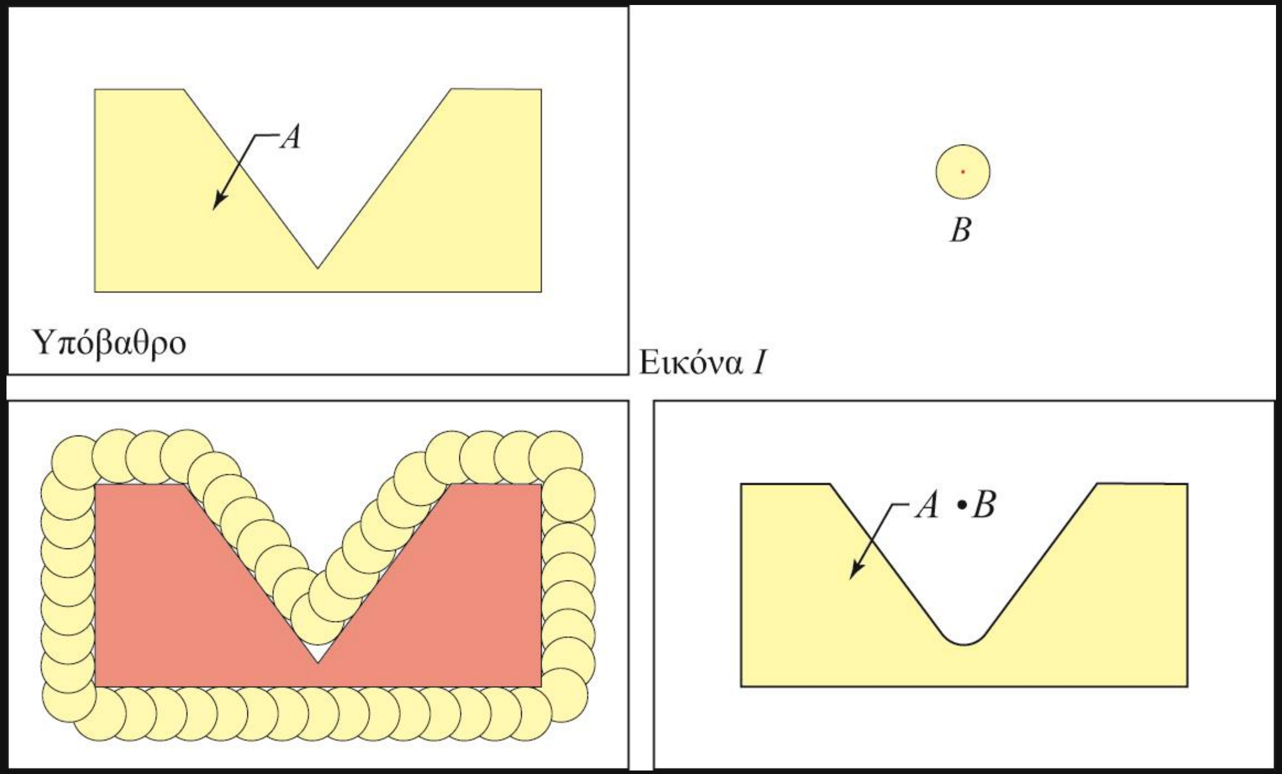

(α) σκαναρισμένη εικόνα χαμηλής ανάλυσης με εμφανείς τους σπασμένους χαρακτήρες (β) ο πυρήνας που χρησιμοποιείται (γ) επέκταση της (α) με τον πυρήνα αυτόν. Οι σπασμένοι χαρακτήρες εξαφανίζονται.

# άνοιγμα (opening)




(α) εικόνα που αποτελείται από το αντικείμενο A και το φόντο (β) ο πυρήνας που χρησιμοποιείται (γ) εφαρμογή του πυρήνα στο αντικείμενο (δ) αποτέλεσμα ανοίγματος του αντικειμένου A από τον πυρήνα B

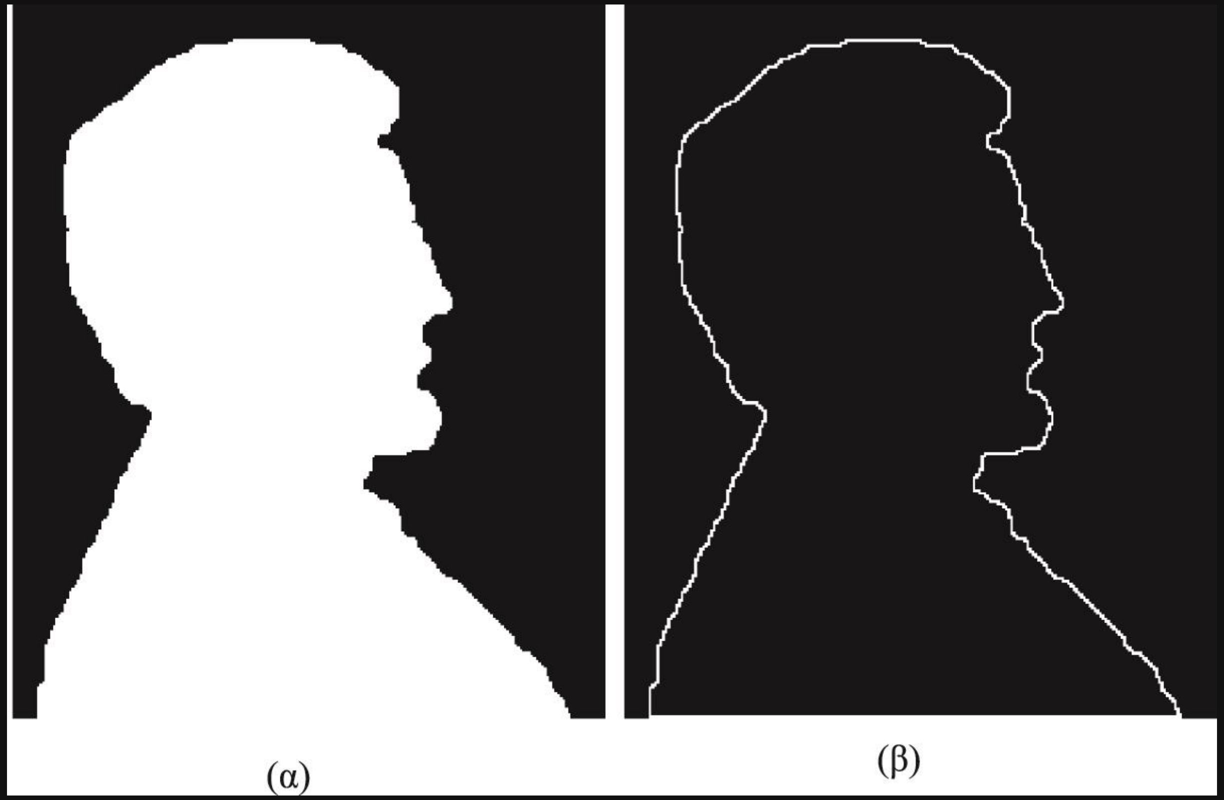
# κλείσιμο (closing) - Παράδειγμα




(α) εικόνα που αποτελείται από το αντικείμενο A και το φόντο (β) ο πυρήνας που χρησιμοποιείται (γ) εφαρμογή του πυρήνα στο αντικείμενο (δ) αποτέλεσμα κλεισίματος του αντικειμένου A από τον πυρήνα B

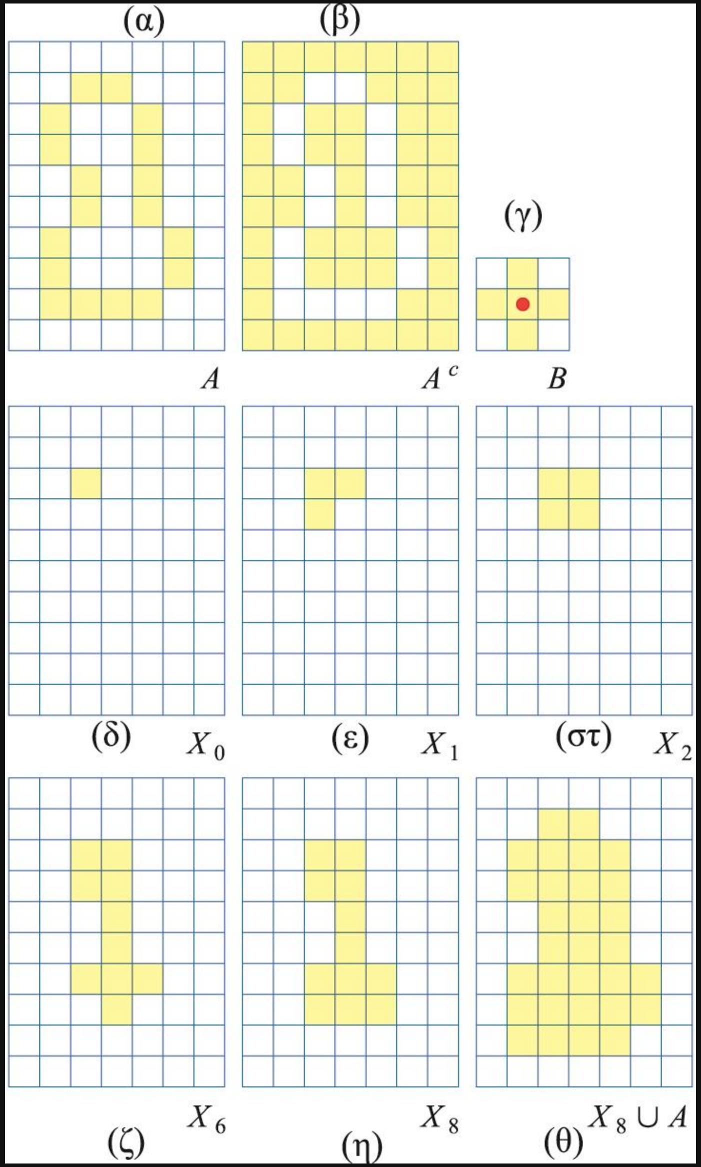
# εξαγωγή περιγράμματος

- μπορεί να πραγματοποιηθεί:
  - με συρρίκνωση του αντικειμένου
  - υπολογισμό διαφοράς του αντικειμένου από την συρρίκνωση του

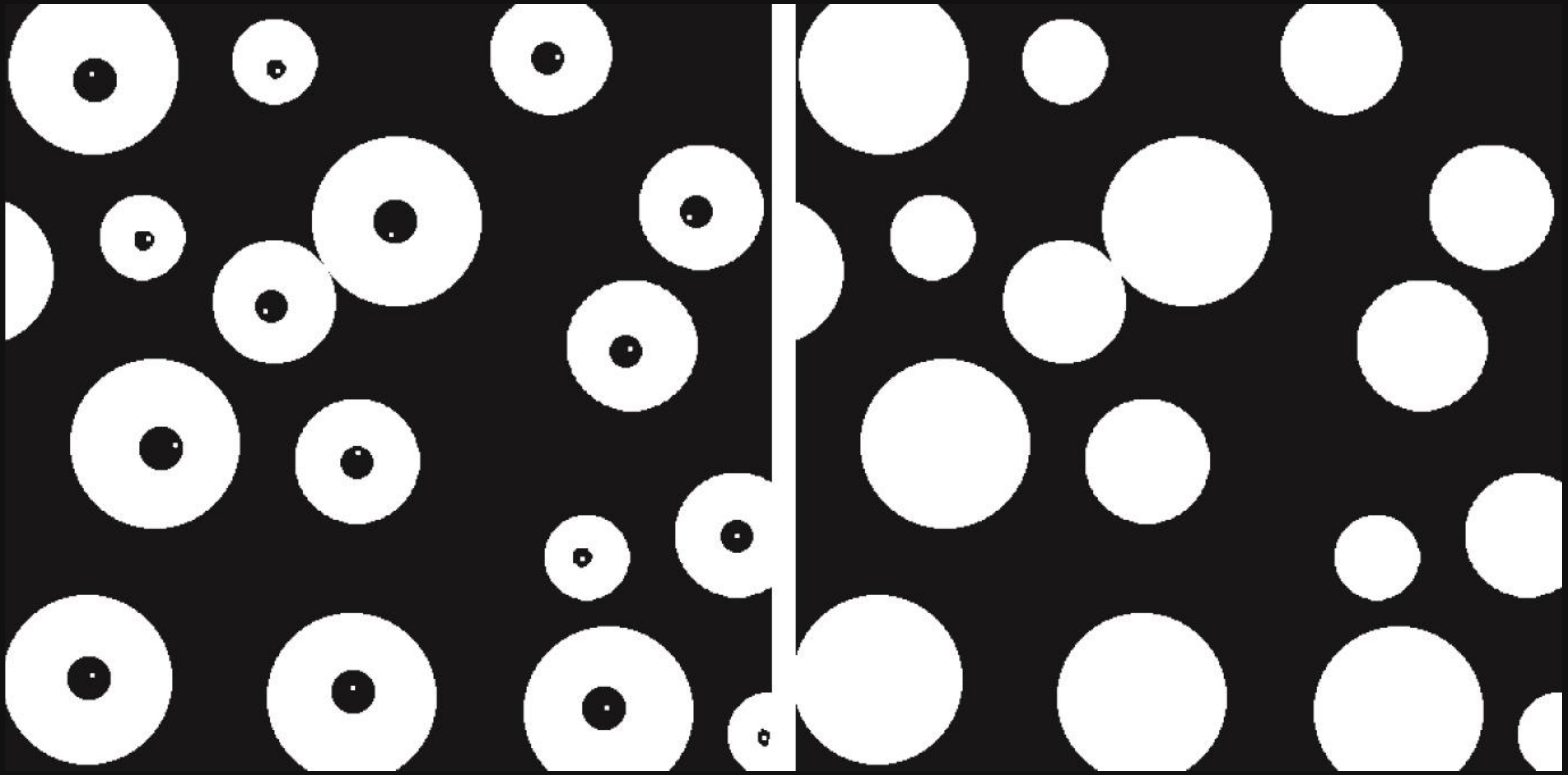


# γέμισμα οπών (hole filling)

- επιλέγουμε τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται στο συμπληρωματικό σύνολο του αντικειμένου
- επιλέγουμε αρχικό σημείο μέσα σε οπή του αντικειμένου
- με επαναληπτικό τρόπο υπολογίζουμε όλες τις συμπληρωμένες οπές
- η ένωση αυτών με την αρχική εικόνα δίνει την εικόνα με γεμισμένες τις οπές.



# γέμισμα οπών - Παράδειγμα



# Λίστα μορφολογικών λειτουργιών (1/5)

| Λειτουργία | Εξίσωση | Σχόλια (Οι Ρωμαϊκοί αριθμοί αφορούν στα στοιχεία της Εικόνας 9.33) |
|---|---|---|
| Μετατόπιση | $(B)_z = \{ w \mid w = b + z, \, b \in B \}$ | Μετατοπίζει την αρχή του B στο σημείο z. |
| Ανάκλαση | $\widehat{B} = \{ w \mid w = -b, \, b \in B \}$ | Αντανακλά όλα τα στοιχεία του B ως προς την αρχή αυτού του συνόλου. |
| Συμπλήρωμα | $A^c = \{ w \mid w \notin A \}$ | Επιστρέφει τα στοιχεία που δεν ανήκουν στο A. |
| Διαφορά | $A - B = \{ w \mid w \in A, \, w \notin B \} = A \cap B^c$ | Επιστρέφει τα στοιχεία που ανήκουν στο A αλλά όχι στο B. |
| Διαστολή | $A \otimes B = \{ z \mid (\hat{B}_z) \cap A \neq \emptyset \}$ | "Διευρύνει" το περίγραμμα του συνόλου A (I). |
| Συστολή | $A \ominus B = \{ z \mid (B)_z \subseteq A \}$ | "Συρρικνώνει" το περίγραμμα του συνόλου A (I). |
| Άνοιγμα | $A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$ | Εξομαλύνει περιγράμματα, σπάει τους στενούς δεσμούς και απομακρύνει μικρά "νησιά" και οξείες κορυφές (I). |
| Κλείσιμο | $A \bullet B = (A \otimes B) \ominus B$ | Εξομαλύνει περιγράμματα, συγχωνεύει στενά διάκενα και διαμήκεις λεπτούς "κόλπους" και απομακρύνει μικρές οπές (I). |
| Μετασχηματισμός hit - or miss | $I \circledast B = \{ z \mid (B)_z \subseteq I \}$ | Βρίσκει στιγμιότυπα του B στην εικόνα I. Το B περιέχει τόσο στοιχεία του προσκηνίου, όσο και στοιχεια του παρασκηνίου. |

# Λίστα μορφολογικών λειτουργιών (2/5)

| | | |
|---|---|---|
| Εξαγωγή περιγράμματος | $\beta(A) = A - (A \ominus B)$ | Επιστρέφει τα σημεία του περιγράμματος του συνόλου Α. |
| Πλήρωση οπών | $X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A^c$ <br> $k = 1, 2, 3, \ldots$ | Γεμίζει τις οπές του Α όπου $X_0$ ο πίνακας των μηδενικών τιμών με έναν άσσο σε κάθε οπή (II). |
| Συνδεδεμένες συνιστώσες | $X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap I$ <br> $k = 1, 2, 3, \ldots$ | Βρίσκει συνδεδεμένες συνιστώσες στο I. Το $X_0$ έχει το ίδιο μέγεθος με το I, με 1 σε κάθε συνδεδεμένη συνι-στώσα και 0 οπουδήποτε αλλού (I). |
| Κυρτό περίβλημα | $X_k^i = (X_{k-1}^i \circledast B^i) \cup X_{k-1}^i$ <br> $i = 1, 2, 3, 4 \quad k = 1, 2, 3, \ldots$ <br> $C(A) = \bigcup_{i=1}^{4} D^i \quad X_0^i = I$ και $D^i = X_{\mathrm{conv}}^i$ | Βρίσκει το κυρτό περίβλημα C(A) ενός συνόλου Α εικονοστοιχείων του προσκηνίου που περιέχονται στην εικόνα I. Το $X^i_{conv}$ σημαίνει $X_k^i = X_{k-1}^i$ (III) |
| Λέπτυνση | $A \otimes B = A - (A \circledast B) = A \cap (A \circledast B)^c$ <br> $A \otimes \{B\} = ((\cdots((A \otimes B^1) \otimes B^2) \cdots) \otimes B^n)$ <br> $\{B\} = \{B^1, B^2, B^3, \cdots B^n\}$ | Λεπτύνει το σύνολο Α. Οι δύο εξισώσεις δίνουν το βα-σικό της ορισμό, ενώ οι υπόλοιπες ορίζουν τη λέπτυν-ση από μία ακολουθία δομικών στοιχείων που είναι και αυτή που χρησιμοποιείται στην πράξη (IV). |
| Αύξηση πάχους | $A \odot B = A \cup (A \circledast B)$ <br> $A \odot \{B\} = ((\cdots(A \odot B^1) \odot B^2) \cdots) \odot B^n)$ | Αυξάνει το πάχος του συνόλου Α χρησιμοποιώντας μία ακολουθία δομικών στοιχείων, όπως και πριν. Χρησιμοποιεί το (IV). |

# Λίστα μορφολογικών λειτουργιών (3/5)

| | | |
|---|---|---|
| Σκελετοί | $S(A) = \bigcup_{k=0}^{K} S_k(A)$ <br> $S_k(A) = \bigcup_{k=0}^{K} \{(A \ominus kB) - [(A \ominus kB) \circ B]\}$ | Βρίσκει το σκελετό S(A) του A, με την τελευταία εξίσωση να μας λέει πως το A μπορεί να ανακατασκευαστεί από τα υποσύνολα σκελετού $S_k(A)$. Σε όλες τις εξισώσεις, το K είναι η τιμή του βήματος επανάληψης μετά την οποία το σύνολο A συστέλλεται στο κενό σύνολο. Ο συμβολισμός $(A \ominus kB)$ υποδηλώνει την υπ' αριθμόν k επανάληψη των διαδοχικών συστολών του A από το B (I) |
| | Ανακατασκευή του A | $A = \bigcup_{k=0}^{K} (S_k(A) \oplus kB)$ |

# Λίστα μορφολογικών λειτουργιών (4/5)

| Λειτουργία | Εξίσωση | Σχόλια (Οι Ρωμαϊκοί αριθμοί αφορούν στα στοιχεία της Εικόνας 9.33) |
|---|---|---|
| Κλάδεμα | $X_1 = A \otimes \{B\}$<br>$X_2 = \bigcap_{k=1}^{8} (X_1 \circledast B^k)$<br>$X_3 = (X_2 \oplus H) \cap A$<br>$X_4 = X_1 \cup X_3$ | Το $X_4$ εκφράζει το κλάδεμα σου συνόλου Α. Το πλήθος των επαναλήψεων εφαρμογής της πρώτης εξίσωσης για τον υπολογισμό του $X_1$ θα πρέπει να καθοριστεί. Στις δύο πρώτες εξισώσεις χρησιμοποιούνται τα δομικά στοιχεία τύπου (IV). Στην τρίτη εξίσωση, το Η εκφράζει το δομικό στοιχείο I. |
| Γεωδεσική διαστολή μεγέθους 1 | $D_G^{(1)}(F) = (F \oplus B) \cap G$ | Τα F και G ονομάζονται εικόνα σήμανσης και εικόνα μάσκα αντίστοιχα. |
| Γεωδεσική διαστολή μεγέθους n | $D_G^{(n)}(F) = D_G^{(1)}(F)[D_G^{(n-1)}(F)]$<br>$D_G^{(0)}(F) = F$ | Τα ίδια σχόλια με πριν |
| Γεωδεσική συστολή μεγέθους 1 | $E_G^{(1)}(F) = (F \ominus B) \cup G$ | Τα ίδια σχόλια με πριν |
| Γεωδεσική συστολή μεγέθους n | $E_G^{(n)}(F) = E_G^{(1)}(F)[E_G^{(n-1)}(F)]$<br>$E_G^{(0)}(F) = F$ | Τα ίδια σχόλια με πριν |

# Λίστα μορφολογικών λειτουργιών (5/5)

| | | |
|---|---|---|
| Μορφολογική ανακατασκευή με διαστολή | $R_G^D(F) = D_G^{(k)}(F)$ | Το k είναι τέτοιο ώστε $D_G^{(k)}(F) = D_G^{(k+1)}(F)$ |
| Μορφολογική ανακατασκευή με συστολή | $R_G^E(F) = E_G^{(k)}(F)$ | Το k είναι τέτοιο ώστε $E_G^{(k)}(F) = E_G^{(k+1)}(F)$ |
| Άνοιγμα με ανακατασκευή | $O_R^{(n)}(F) = R_F^D\ [(F \ominus nB)]$ | Η παράσταση $(F \ominus nB)$ περιγράφει n διαδοχικές συστολές από το B, ξεκινώντας από το F. Η μορφή του B εξαρτάται από την εφαρμογή. |
| Κλείσιμο με ανακατασκευή | $C_R^{(n)}(F) = R_F^F\ [(F \oplus nB)]$ | Η παράσταση $(F \oplus nB)$ περιγράφει n διαδοχικές διαστολές από το B ξεκινώντας από το F. Η μορφή του B εξαρτάται από την εφαρμογή. |
| Γέμισμα οπών | $H = [R_{f^c}^D(F)]^c$ | Το H εκφράζει την εικόνα εισόδου I αλλά με όλες τις οπές συμπληρωμένες. Για τον ορισμό της εικόνας σήμανσης F, δείτε την Εξίσωση (9.5-28). |
| Καθάρισμα περιγράμματος | | Το X είναι ίσο με την εικόνα εισόδου I, από την οποία όμως έχουν απομακρυνθεί όλα τα αντικείμενα που εφάπτονται του περιγράμματος (δηλαδή συνδέονται με αυτό). Για τον ορισμό της εικόνας σήμανσης F, δείτε την Εξίσωση (9-47). |

SIPPRE

SIGNAL AND IMAGE PROCESSING

PATTERN RECOGNITION GROUP

http://www.sippre-group.com