



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ειδικά Θέματα Υπολογιστικής Όρασης & Γραφικής

Εμμανουήλ Ζ. Ψαράκης & Αθανάσιος Τσακαλίδης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής



Υπολογιστική Όραση

© Σύνθεση Πανοράματος

Εμμανουήλ Ζ. Ψαράκης

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής

Υπολογιστική Όραση

Σύνθεση Πανοράματος



Υπολογιστική Όραση

Σύνθεση Πανοράματος

Πώς μπορούμε να συνθέσουμε ένα πανόραμα;

- πρέπει να **αντιστοιχίσουμε (στοιχίσουμε)** εικόνες...

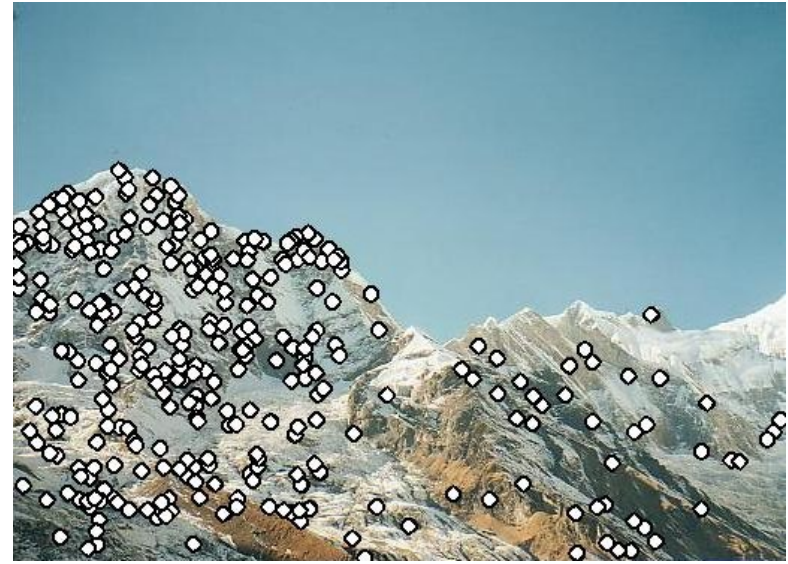
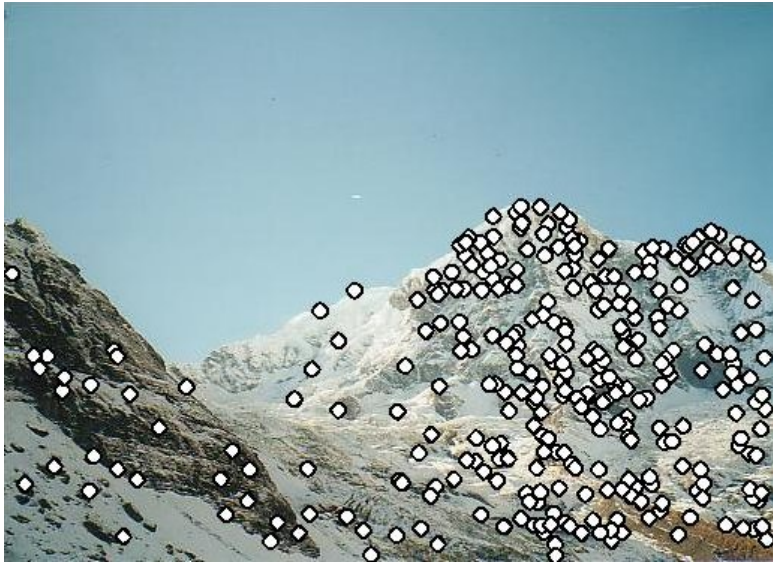


Υπολογιστική Όραση

Σύνθεση Πανοράματος

Αντιστοίχιση με χρήση Χαρακτηριστικών (Features)

- Εντοπισμός Χαρακτηριστικών στις δύο εικόνες...

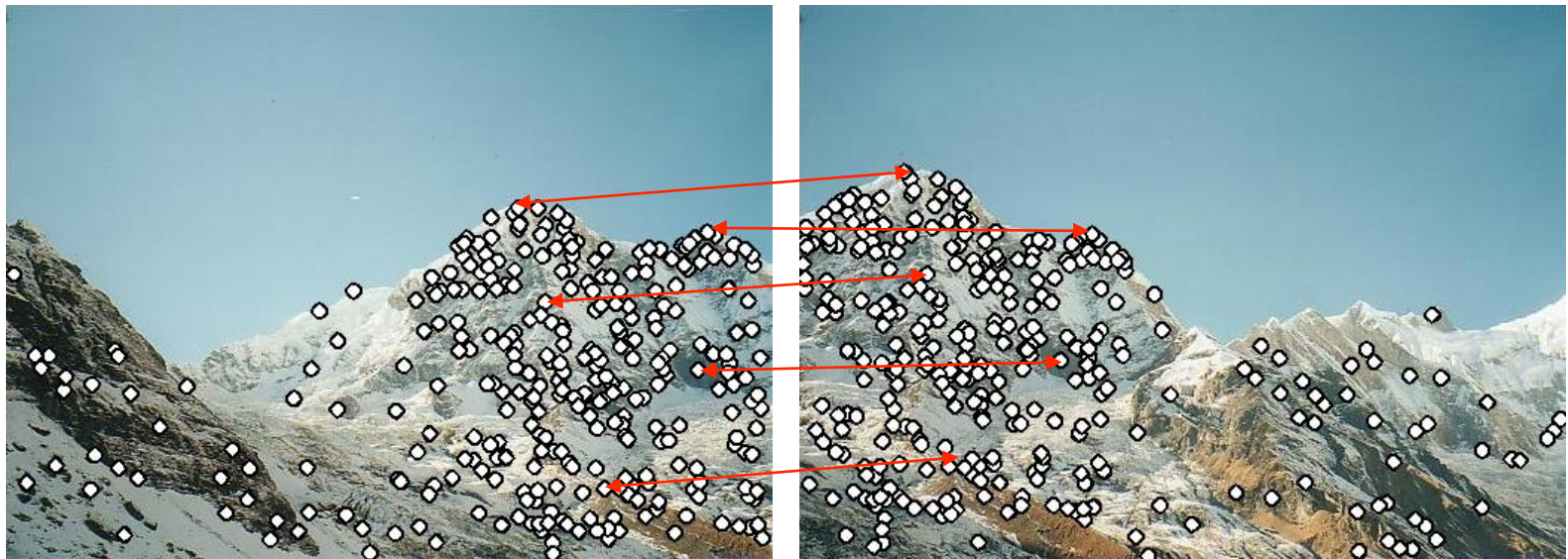


Υπολογιστική Όραση

Σύνθεση Πανοράματος

Αντιστοίχιση με χρήση Χαρακτηριστικών (Features)

- Εντοπισμός Χαρακτηριστικών στις δύο εικόνες
- Εύρεση Αντίστοιχων Χαρακτηριστικών



Υπολογιστική Όραση

Σύνθεση Πανοράματος

Αντιστοίχιση με χρήση Χαρακτηριστικών (Features)

- Εντοπισμός Χαρακτηριστικών στις δύο εικόνες
- Εύρεση Αντίστοιχων Χαρακτηριστικών
- Χρήση των Αντίστοιχων σημείων για Στοιίχιση



Υπολογιστική Όραση

Σύνθεση Πανοράματος

Πρώτο Πρόβλημα

- Εντόπισε *το ίδιο* σημείο *ανεξάρτητα* στις δύο εικόνες



Δύσκολη αν όχι ακατόρθωτη η αντιστοίχιση...

Χρειαζόμαστε κάτι επιπλέον... έναν επαναλαμβανόμενο ανιχνευτή

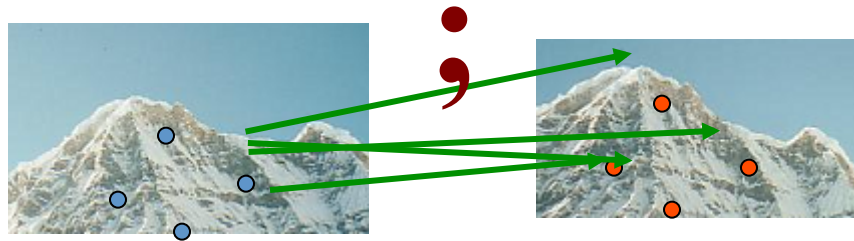


Υπολογιστική Όραση

Σύνθεση Πανοράματος

Δεύτερο Πρόβλημα

- Εντόπισε για κάθε σημείο το *σωστό αντίστοιχό του...*



Χρειαζόμαστε έναν αξιόπιστο και ξεχωριστό περιγραφέα



Υπολογιστική Όραση

Σύνθεση Πανοράματος

- Τα χαρακτηριστικά σημεία χρησιμοποιούνται επίσης στη:
 - Στοίχιση Εικόνων (Image alignment)
 - 3-Δ ανακατασκευή
 - Ιχνηλάτιση κίνησης (Motion tracking)
 - Αναγνώριση αντικειμένων (Object recognition)
 - Δεικτοδότηση και ανάκτηση από βάση δεδομένων (Indexing and database retrieval)
 - Καθοδήγηση ρομπότ (Robot navigation)



Υπολογιστική Όραση

Σύνθεση Πανοράματος

Επιθυμούμε να:

- *Ανιχνεύουμε τα ίδια ενδιαφέροντα σημεία ανεξάρτητα από τις*
 - *Γεωμετρικές και*
 - *Φωτομετρικές**αλλαγές (παραμορφώσεις) της εικόνας...*

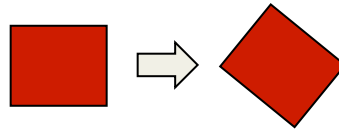


Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτές (*Detectors*)

- Γεωμετρικά

- Περιστροφής



- Ομοιότητας (περιστροφή + ομοιόμορφη κλιμάκωση)

- Συγγένειας



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτές (Detectors)

- Φωτομετρικά

Μοντέλο γραμμικών παραμορφώσεων

$$\hat{I}(x, y) = aI(x, y) + \beta$$



Υπολογιστική Όραση

Σύνθεση Πανοράματος

Επιλέγοντας «*σωστά*» Χαρακτηριστικά ...

- Ποιό είναι ένα «*καλό Χαρακτηριστικό*»;
 - Ικανοποιεί την υπόθεση της «brightness constancy»
 - Έχει υφή (αλλά δεν μεταβάλλεται πάρα πολύ).
 - Δεν παραμορφώνεται πολύ με το πέρασμα του χρόνου.



Υπολογιστική Όραση

Σύνθεση Πανοράματος



Κομμάτια με μικρή διακρισιμότητα:



Διακριτά κομμάτια:



Ανιχνευτής “Γωνίας” : ανιχνεύει σημεία με διακριτούς γείτονες κατάλληλους για επιβεβαίωση αντιστοιχίσεων.



Υπολογιστική Όραση

Επισκόπηση Μαθήματος

- Ανιχνευτής Γωνιών του Harris (Corner Detector)
 - Περιγραφή
 - Ανάλυση
- Επιθυμητές Ιδιότητες Ανιχνευτών (Detectors). Αναισθησία σε:
 - Περιστροφή
 - Αλλαγή Κλίμακας
 - Φωτομετρικές Παραμορφώσεις
- Επιθυμητές Ιδιότητες Περιγραφέων (Descriptors). Αναισθησία σε:
 - Περιστροφή
 - Αλλαγή Κλίμακας
 - Φωτομετρικές Παραμορφώσεις



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

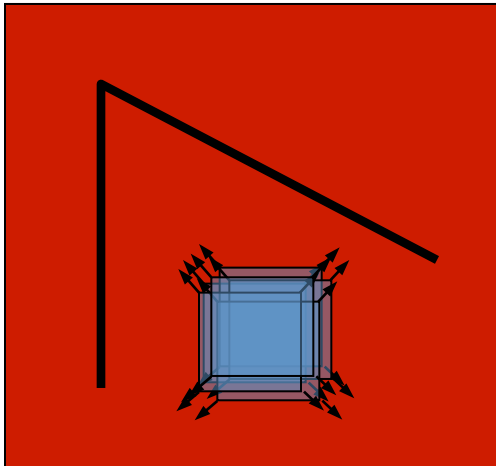
Απαιτήσεις:

- Θα πρέπει να αναγνωρίζουμε το «σημείο» κοιτάζοντας μέσα από ένα μικρό παράθυρο.
- Ολίσθηση του παραθύρου προς οποιαδήποτε κατεύθυνση θα πρέπει να έχει ως αποτέλεσμα την έντονη αλλαγή της φωτεινότητας.

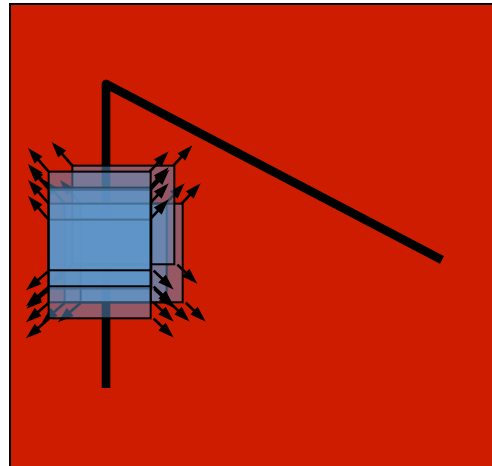


Υπολογιστική Όραση

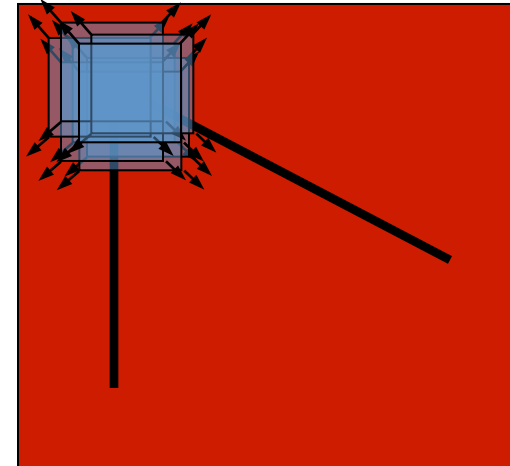
Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα



“Επίπεδη” περιοχή:
καμιά αλλαγή.



“Ακμή”:
καμιά αλλαγή
κατά την κατεύθυνση
της ακμής.



“Γωνία”:
Σημαντικές
αλλαγές προς όλες τις
κατευθύνσεις.



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

Βασίζεται στην ιδέα της αυτοσυσχέτισης (auto-correlation)



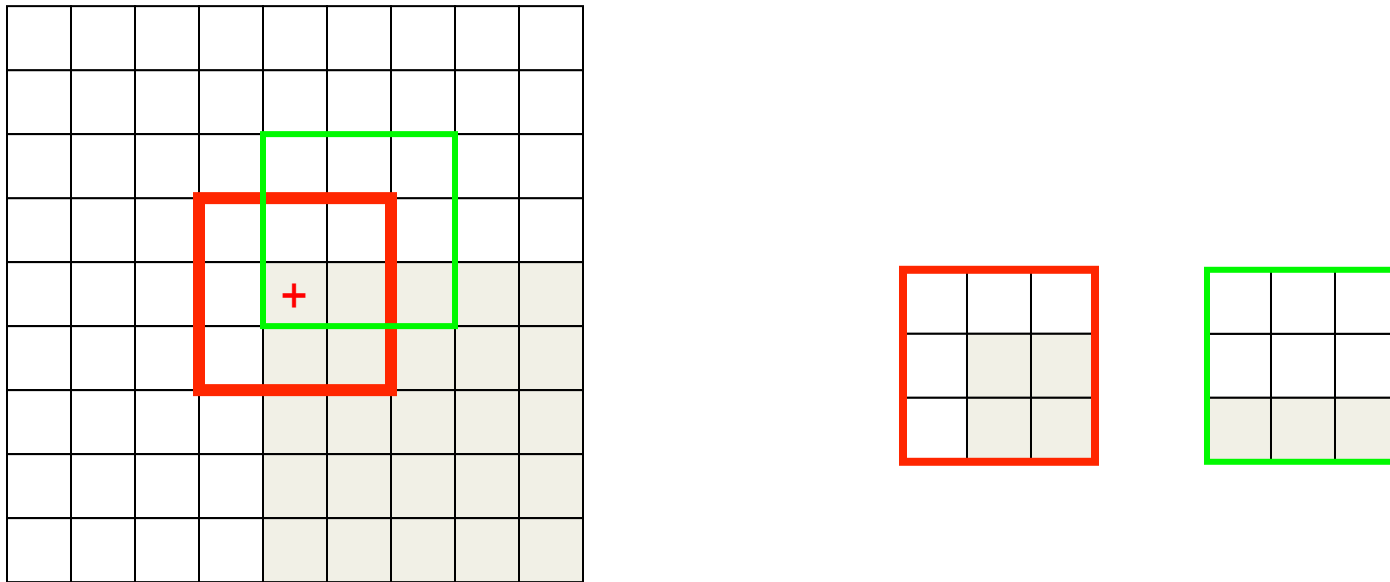
Σημαντικές Διαφορές προς όλες τις ατευθύνσεις \rightarrow Ενδιαφέρον Σημείο



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

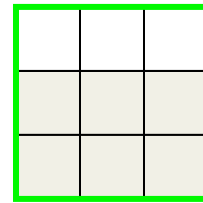
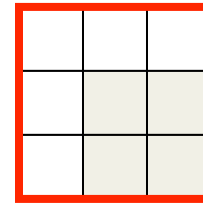
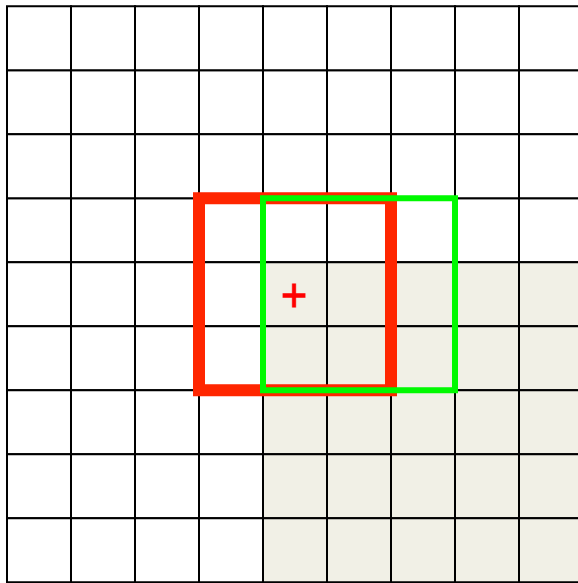
Demo ενός σημείου (+) με ξεχωριστούς γείτονες.



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

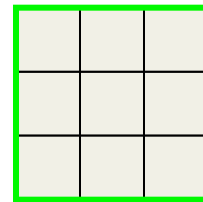
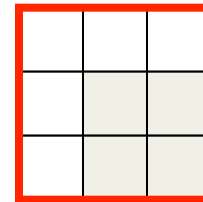
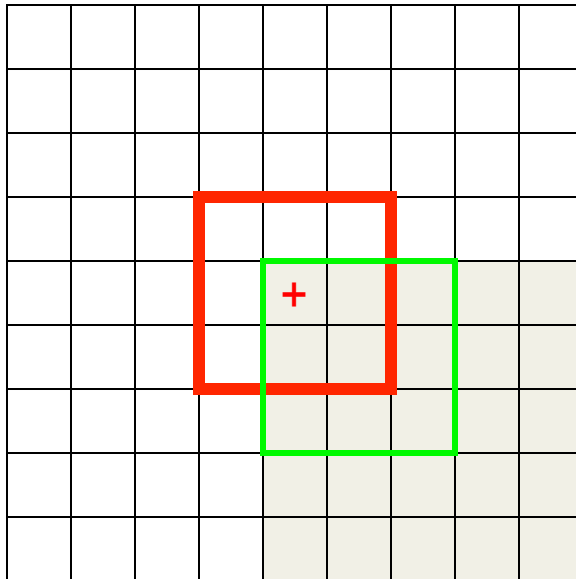
Demo ενός σημείου (+) με ξεχωριστούς γείτονες.



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

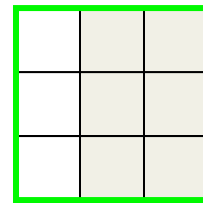
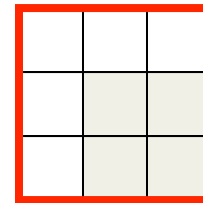
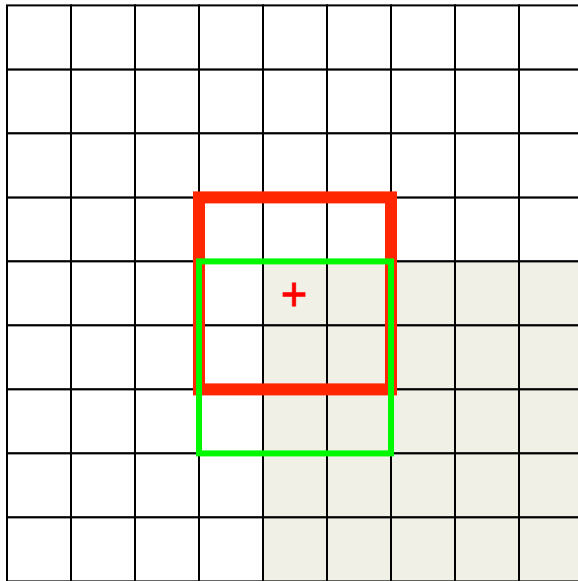
Demo ενός σημείου (+) με ξεχωριστούς γείτονες.



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

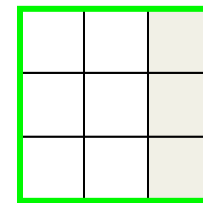
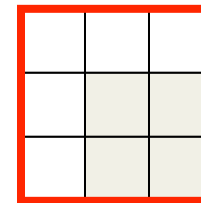
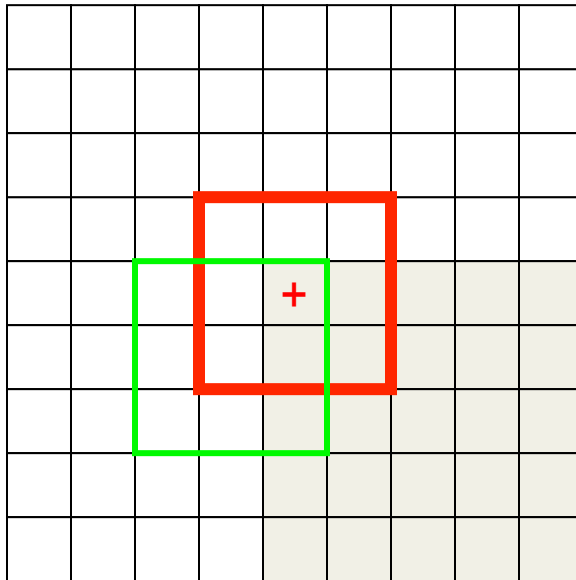
Demo ενός σημείου (+) με ξεχωριστούς γείτονες.



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

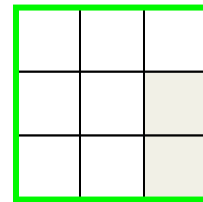
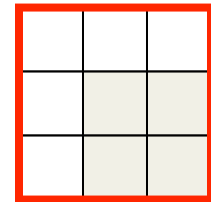
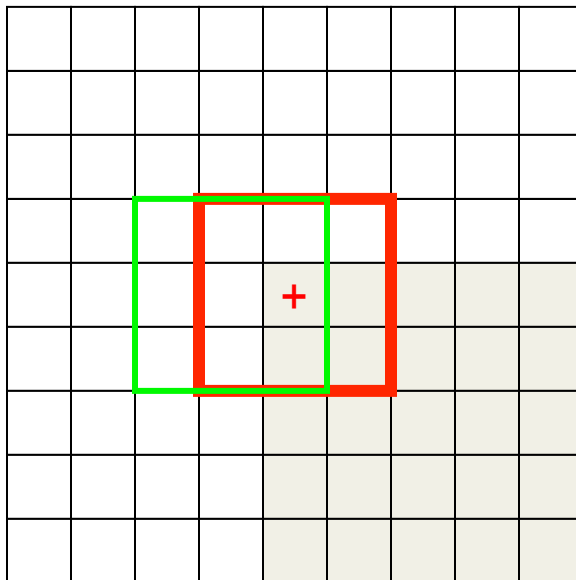
Demo ενός σημείου (+) με ξεχωριστούς γείτονες.



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

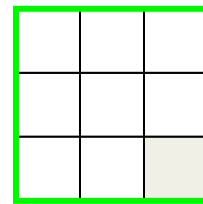
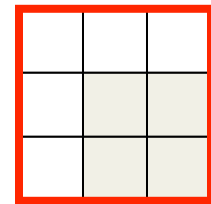
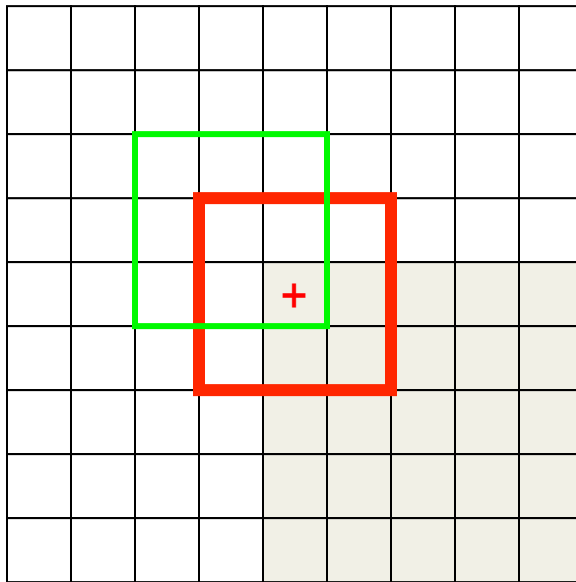
Demo ενός σημείου (+) με ξεχωριστούς γείτονες.



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

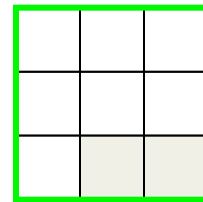
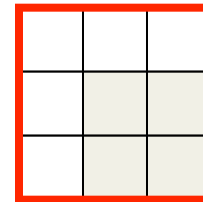
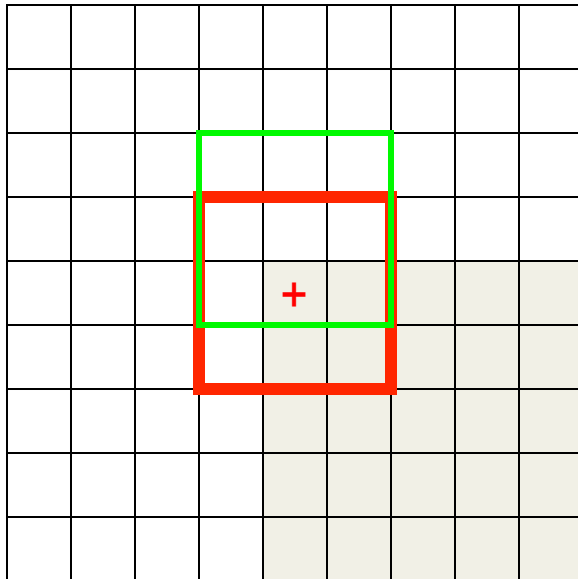
Demo ενός σημείου (+) με ξεχωριστούς γείτονες.



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

Demo ενός σημείου (+) με ξεχωριστούς γείτονες.



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

Ιδανικές Συνθήκες:

- Μητρώο Αυτο-συσχέτισης
 - Περιέχει «πληροφορία» για τη δομή της γειτονιάς
 - Χρήση Μέτρου βασισμένου στις ιδιοτιμές του μητρώου
 - Δύο (2) μη μηδενικές ιδιοτιμές ➡ *ενδιαφέρον σημείο*
 - Μία (1) μη μηδενική ιδιοτιμή ➡ *ακμές*
 - Μηδέν (0) μη μηδενικές ιδιοτιμές ➡ *ομοιόμορφη περιοχή*



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

Πραγματικές Συνθήκες:

- Ανίχνευση Ενδιαφέροντος Σημείου
 - Ορισμός κατωφλίου στις ιδιοτιμές
 - Τοπικό μέγιστο για τοπικότητα (local maximum for localization)



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

Υλοποίηση της Βασικής Ιδέας:

Συνάρτηση αυτο-Συσχέτισης για ένα σημείο (x, y)
και μια ολίσθησή του κατά $(\Delta x, \Delta y)$:

$$f_{xy}(\Delta x, \Delta y) = \sum_{(x_k, y_k) \in W} (I(x_k, y_k) - I(x_k + \Delta x, y_k + \Delta y))^2$$



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

Υλοποίηση της Βασικής Ιδέας:

Προσέγγιση Taylor και Μητρώο Αυτο-Συσχέτισης:

$$I(x_k + \Delta x, y_k + \Delta y) = I(x_k, y_k) + \begin{pmatrix} I_x(x_k, y_k) & I_y(x_k, y_k) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix}$$

Άρα:

$$f_{xy}(\Delta x, \Delta y) = \sum_{(x_k, y_k) \in W} \left(\begin{pmatrix} I_x(x_k, y_k) & I_y(x_k, y_k) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} \right)^2$$



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

Υλοποίηση της Βασικής Ιδέας:
Ορίζοντας:

- το μητρώο Αυτο-Συσχέτισης

$$C = \begin{bmatrix} \sum_{(x_k, y_k) \in W} (I_x(x_k, y_k))^2 & \sum_{(x_k, y_k) \in W} I_x(x_k, y_k) I_y(x_k, y_k) \\ \sum_{(x_k, y_k) \in W} I_x(x_k, y_k) I_y(x_k, y_k) & \sum_{(x_k, y_k) \in W} (I_y(x_k, y_k))^2 \end{bmatrix}$$

- και το Διάνυσμα $\Delta = [\Delta x \ \Delta y]^t$, έχουμε:

$$f_{xy}(\Delta) = \Delta^t C \Delta$$



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

Μέση αλλαγή φωτεινότητας για ολίσθηση Δ :

$$f_{xy}(\Delta) = \sum_{(x_k, y_k) \in W} w(x_k, y_k) (I(x_k + \Delta x, y_k + \Delta y) - I(x_k, y_k))^2$$

Συνάρτηση
Παραθύρου

Ολισθημένη
Εικόνα

Αρχική Εικόνα

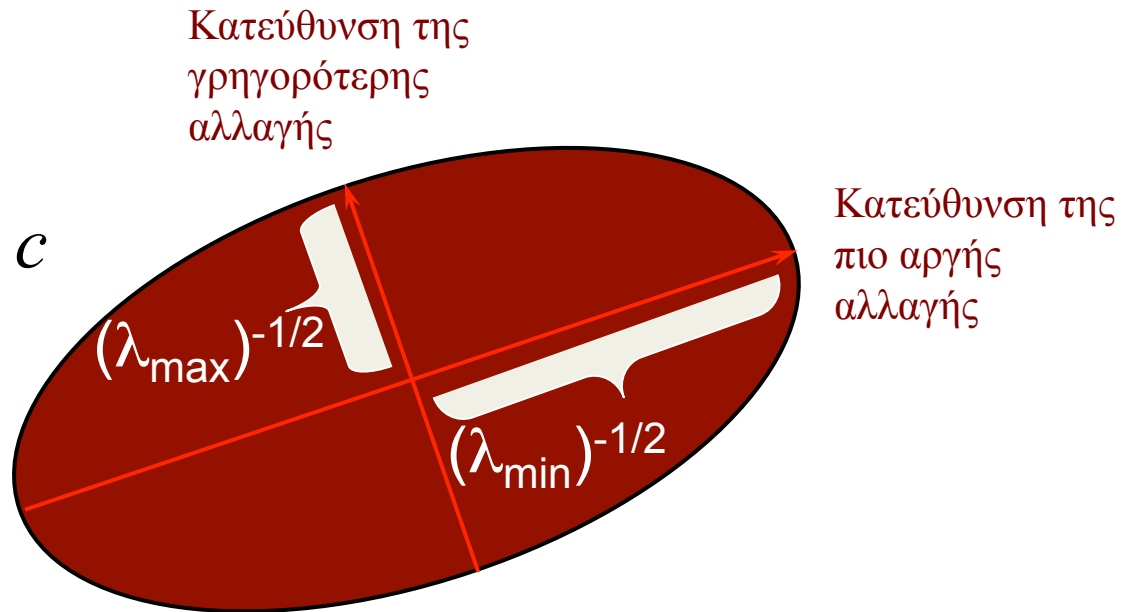


Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

Έστω $f_{xy}(\Delta) = \Delta^t C \Delta$ και λ_1, λ_2 οι ιδιοτιμές του C .

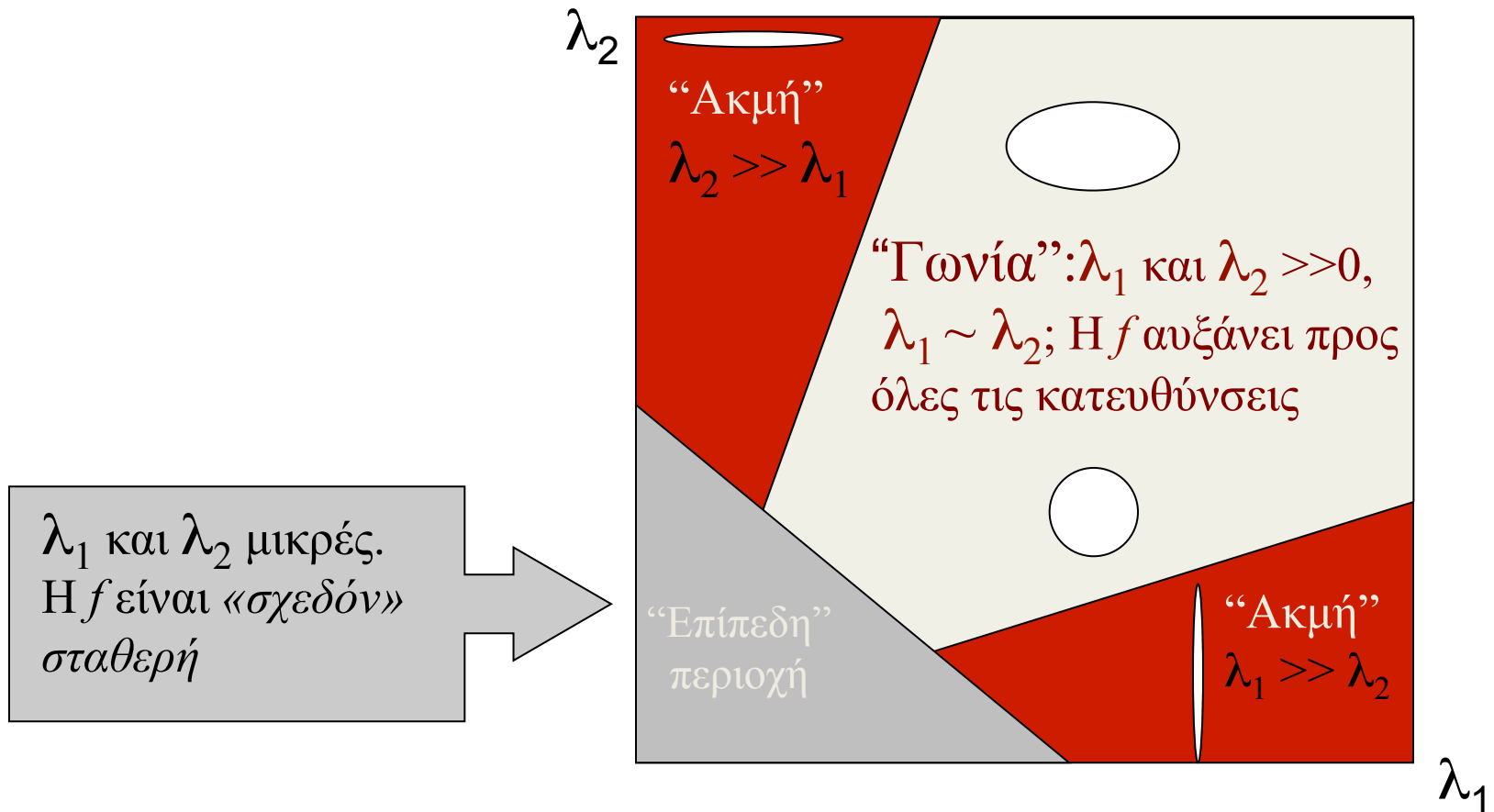
Έλλειψη: $f_{xy}(\Delta) = c$



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

Κατηγοριοποίηση των σημείων της εικόνας βάσει των ιδιοτιμών του Μητρώου C :



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

$$\det(C) = \lambda_1 \lambda_2$$
$$\text{trace}(C) = \lambda_1 + \lambda_2$$

Μέτρο απόκρισης «*Γωνίας*»:

$$R(C) = \det(C) - k(\text{trace}(C))^2$$

όπου k – εμπειρική σταθερά, $k = 0.04-0.06$



Υπολογιστική Όραση

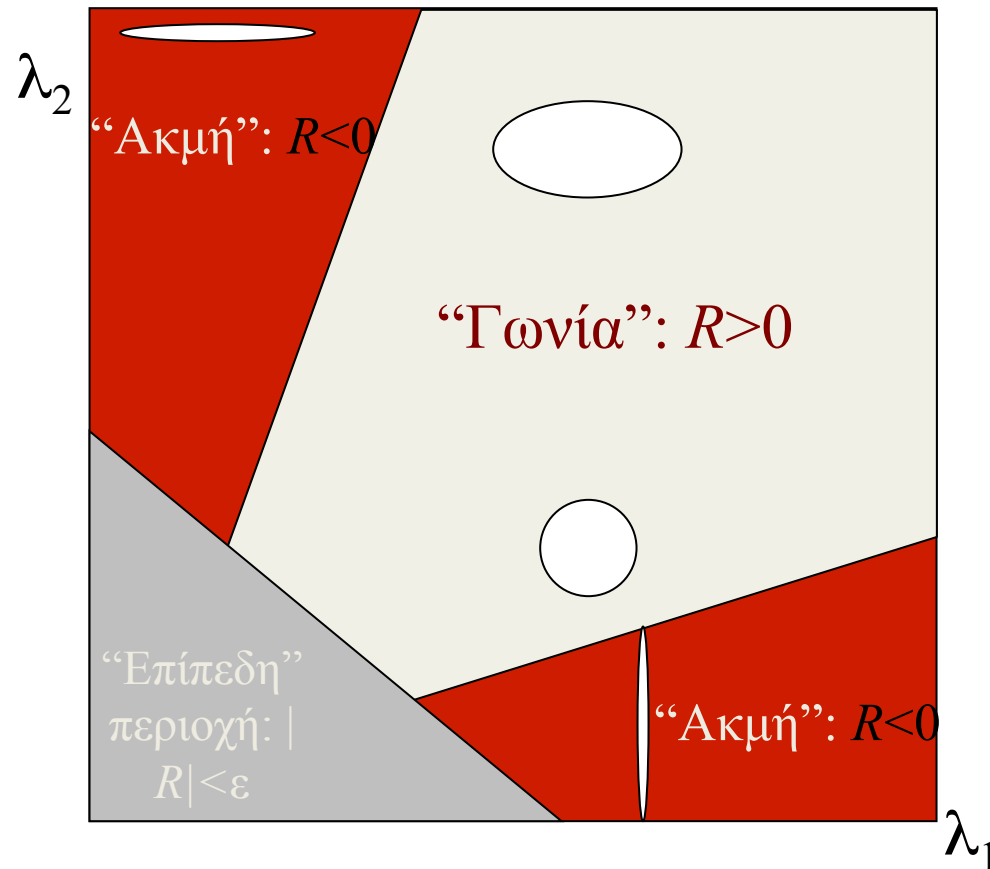
Ανιχνευτής του Harris-Βασική Ιδέα

- Το $R(C)$ εξαρτάται *αποκλειστικά* από τις ιδιοτιμές του μητρώου Αυτο-Συσχέτισης.
- Το $R(C)$ παίρνει *μεγάλες* (θετικές) τιμές σε γωνίες.
- Το $R(C)$ είναι *αρνητικό* στις ακμές.
- Το $|R(C)|$ είναι *μικρό* σε ομοιόμορφες περιοχές φωτεινότητας.



Υπολογιστική Όραση

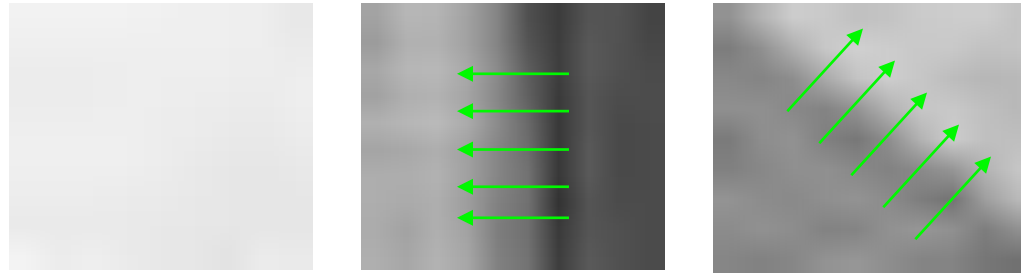
Ανιχνευτής του Harris-Ανάλυση Ιδιοτιμών



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Ανάλυση Ιδιοτιμών

Μη διακριτά τμήματα:



Η βαθμίδα (ανάδελτα) της εικόνας σε **μη διακριτά τμήματά** της είναι:

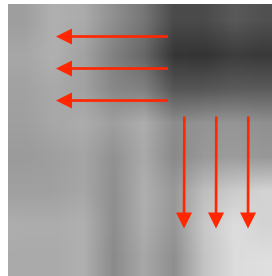
- είτε μηδενική
- είτε έχει ένα κύριο στοιχείο.



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Ανάλυση Ιδιοτιμών

Διακριτά τμήματα:



Η βαθμίδα (ανάδελτα) της εικόνας σε *διακεκριμένα τμήματά* της έχει δύο κύρια στοιχεία:

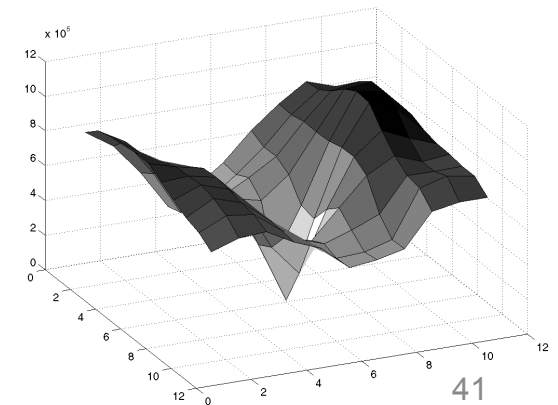
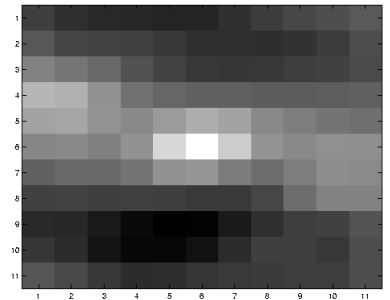
$$\rightarrow \text{rank}(C) = 2$$



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Ανάλυση Ιδιοτιμών

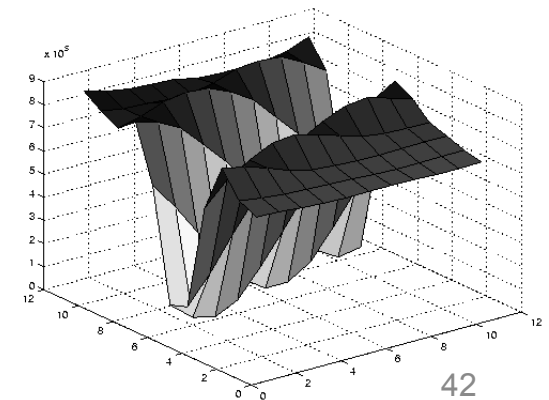
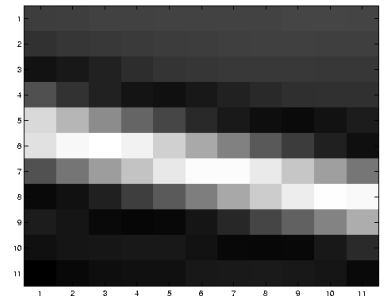
$$R(C) \gg 0$$



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Ανάλυση Ιδιοτιμών

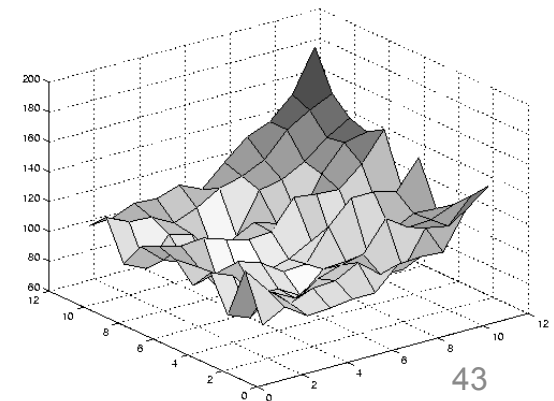
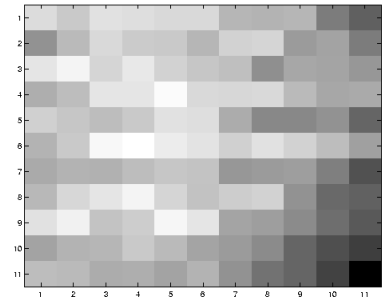
$$R(C) < 0$$



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Ανάλυση Ιδιοτιμών

$$|R(C)| < \epsilon$$



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος

(R. Harris, 1988)

- Ο Αλγόριθμος:
 - Βρίσκει σημεία που έχουν *μεγάλες τιμές* του «μέτρου» $R(C)$ ($R(C) > T$ (κατώφλι)).
 - Κρατάει τα *τοπικά μέγιστα* της $R(C)$.



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος

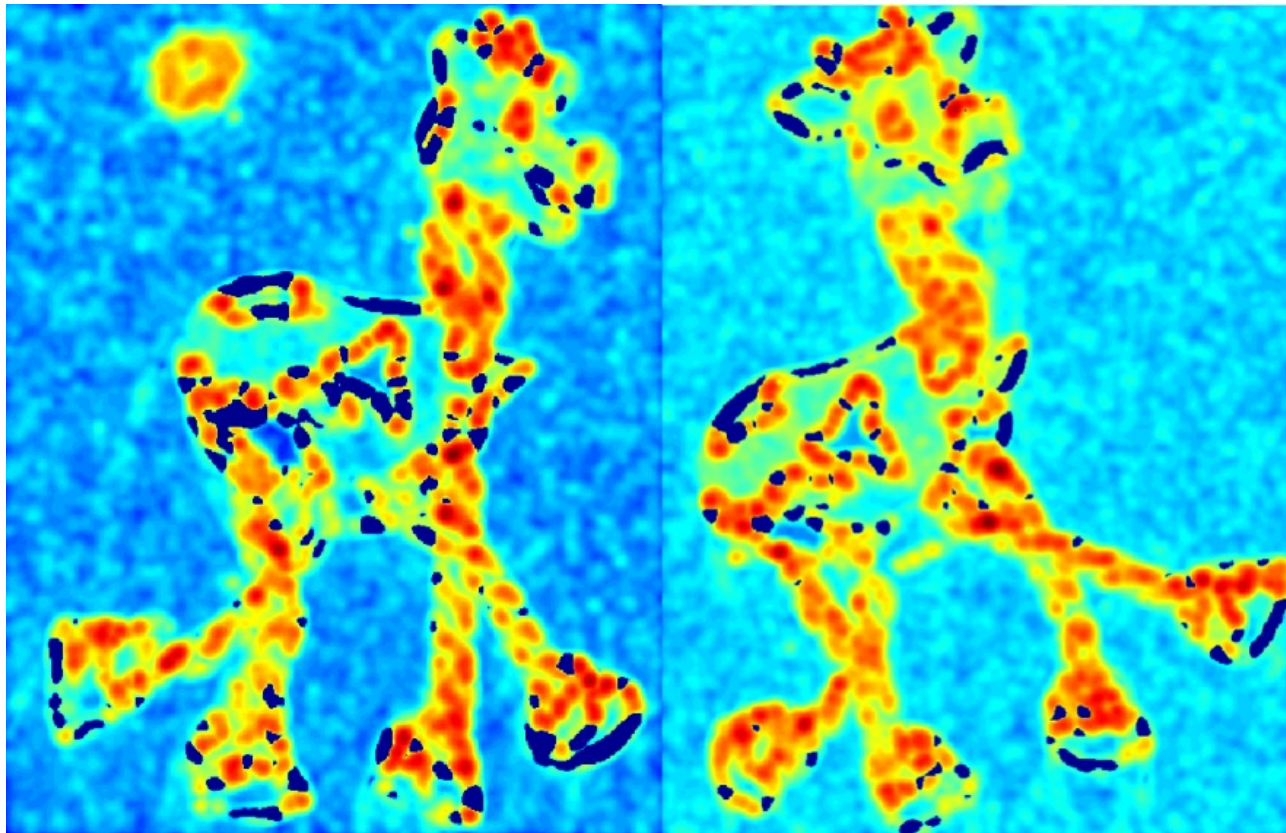
(R. Harris, 1988)



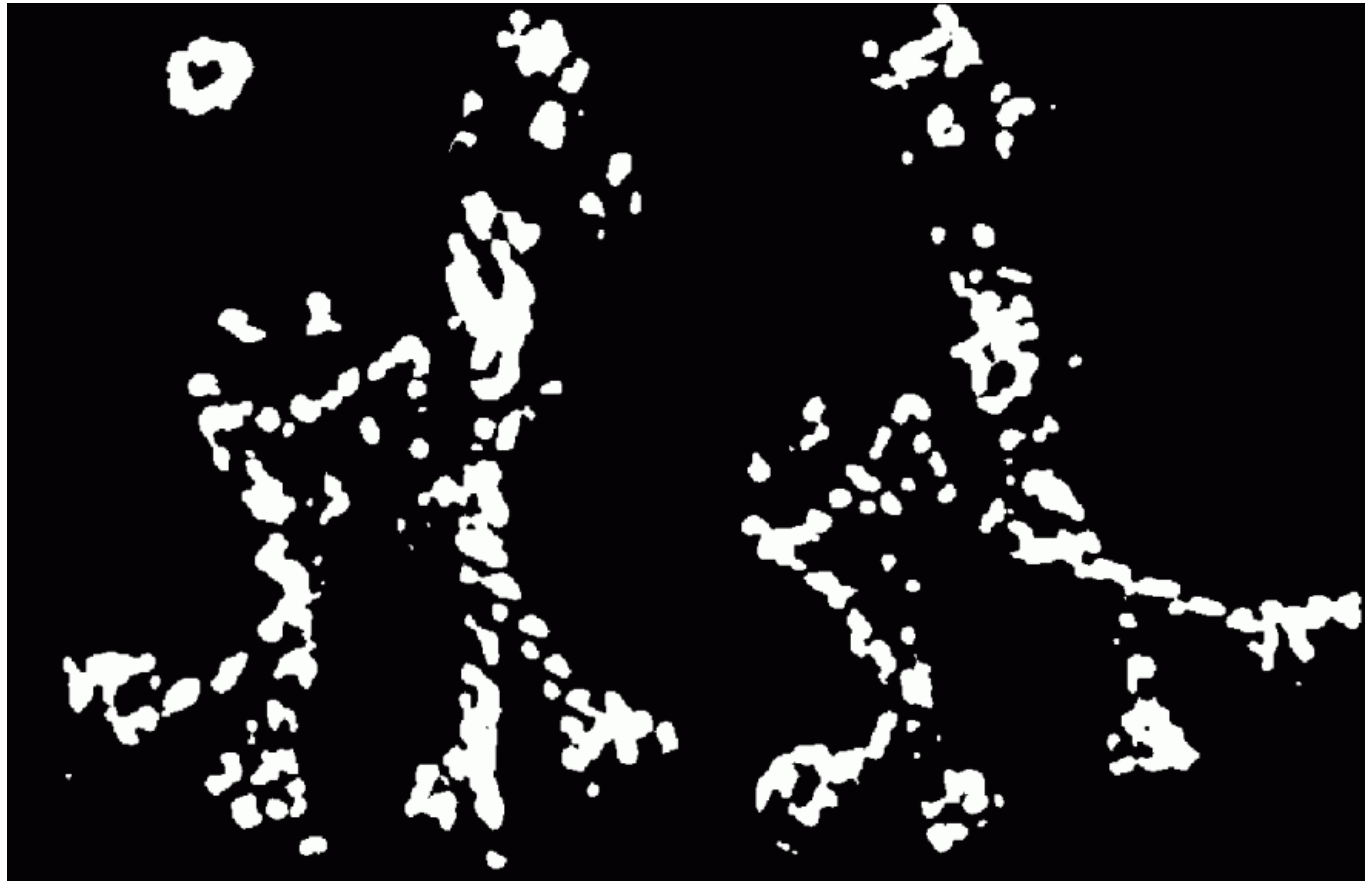
Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος

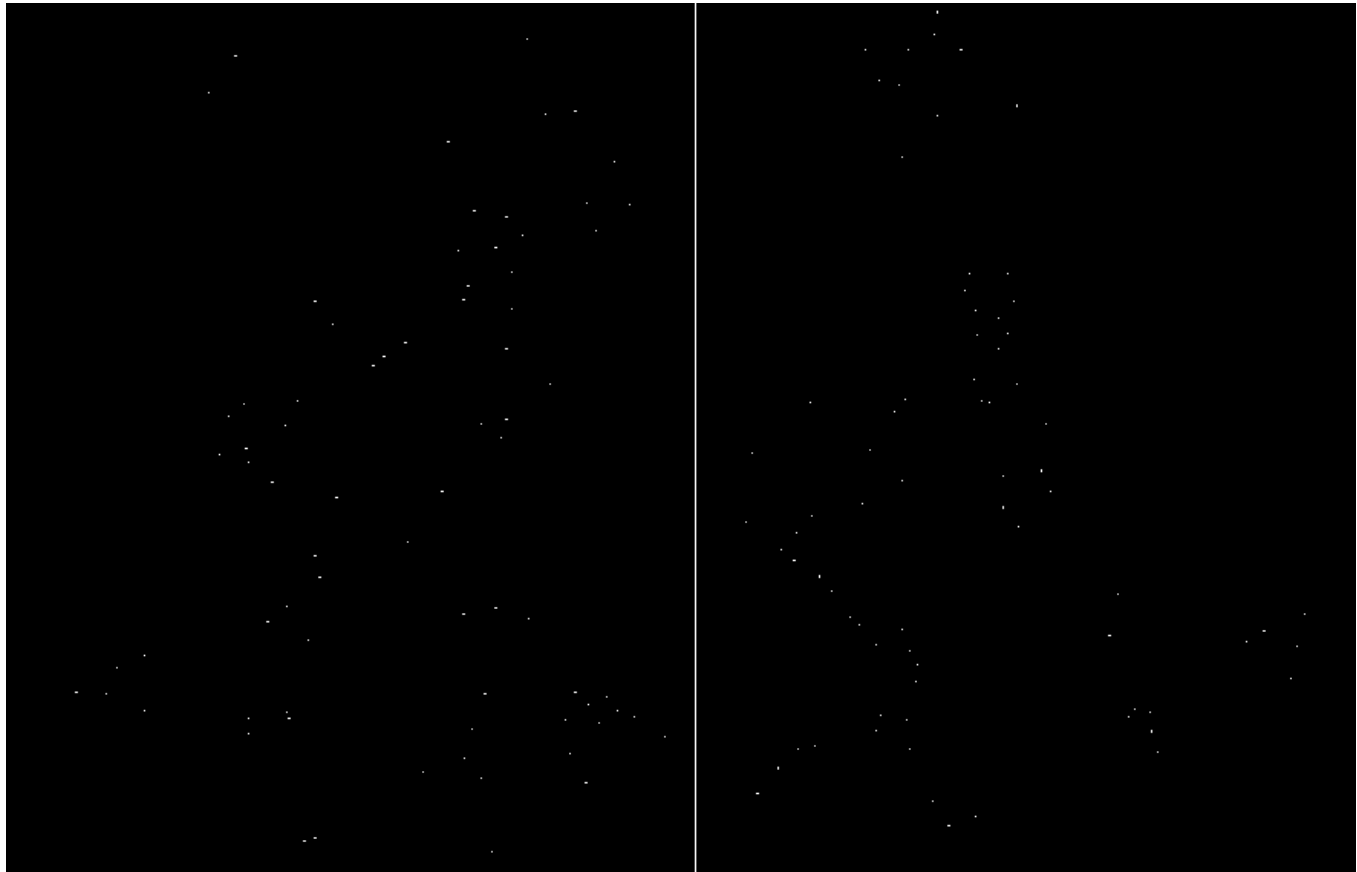
(R. Harris, 1988)



Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος
(R. Harris, 1988)



Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος
(R. Harris, 1988)



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος

(R. Harris, 1988)



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος

(R. Harris, 1988)

1. Φιλτράρισμα της εικόνας με ένα Gaussian φίλτρο: $G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_d^2}}$
2. Υπολογισμός της βαθμίδας της εικόνας.
3. Για κάθε pixel της εικόνας και για παράθυρο εύρους γίνεται ο υπολογισμός του μητρώου Αυτο-Συσχέτισης:

$$C = \sum_{x,y \in W} \nabla I(x,y) \nabla I(x,y)^t \sigma_w$$

και του «μέτρου»: $R(C)$

4. Επιλογή των καλύτερων υποψήφιων χαρακτηριστικών.



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος (R. Harris, 1988)



1. Φιλτράρισμα της εικόνας με ένα Gaussian φίλτρο: $G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_d^2}}$



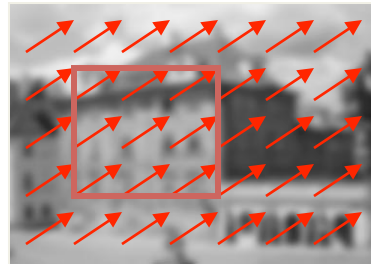
Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος

(R. Harris, 1988)



2. Υπολογισμός του ανάδελτα $\nabla I(x, y)$ της εικόνας.



Υπολογιστική Όραση

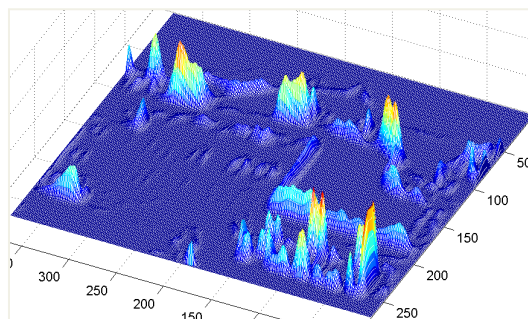
Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος

(R. Harris, 1988)



3. Για κάθε pixel της εικόνας και για παράθυρο εύρους σ_w γίνεται ο υπολογισμός:

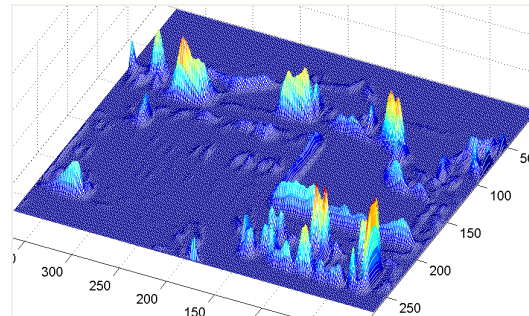
- του μητρώου Αυτο-Συσχέτισης:
$$C = \sum_{x,y \in W} \nabla I(x,y) \nabla I(x,y)^t$$
- και του «μέτρου»: $R(C)$



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος

(R. Harris, 1988)



4. Επιλογή των καλύτερων υποψήφιων χαρακτηριστικών.



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος

(R. Harris, 1988)



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος

(R. Harris, 1988)



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος

(R. Harris, 1988)

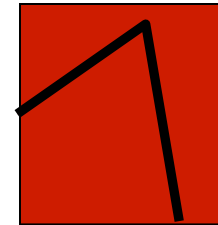
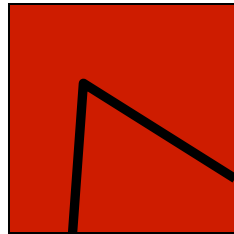


Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος

(R. Harris, 1988)

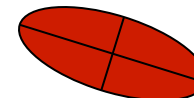
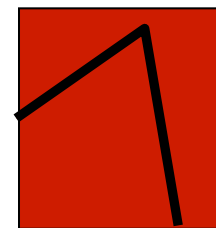
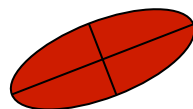
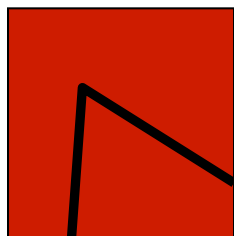
- Αναισθησία σε Περιστροφές;



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος (R. Harris, 1988)

- Αναισθησία σε Περιστροφές;



Η έλλειψη περιστρέφεται αλλά το σχήμα της (δηλαδή οι ιδιοτιμές) παραμένουν οι ίδιες!!!

Το «μέτρο» $R(C)$ είναι αναισθητο σε περιστροφές της εικόνας.



Υπολογιστική Όραση
Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος
(R. Harris, 1988)

- Αναισθησία σε Φωτομετρικές Παραμορφώσεις;



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος

(R. Harris, 1988)

- Αναισθησία σε Φωτομετρικές Παραμορφώσεις;

Αναισθησία σε αλλαγές της *λαμπερότητας* (brightness):

$$\hat{I}(x, y) = I(x, y) + \beta$$

αλλα *ευαισθησία* σε αλλαγές της *αντίθεσης* (contrast)

$$\hat{I}(x, y) = \alpha I(x, y)$$



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος

(R. Harris, 1988)

- Αναισθησία σε αλλαγές Κλίμακας;



Υπολογιστική Όραση

Ανιχνευτής του Harris-Αλγόριθμος (R. Harris, 1988)

- Ευαισθησία σε αλλαγές Κλίμακας

