



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



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

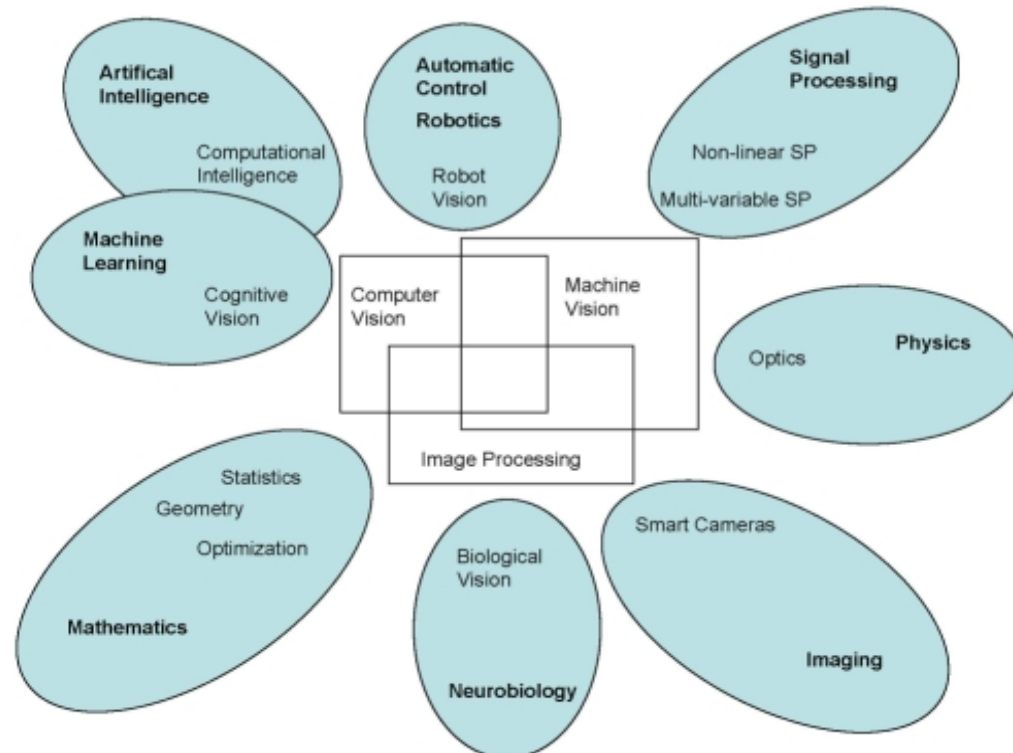
## Υπολογιστική Όραση

© Εισαγωγή

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

# Υπολογιστική Όραση

Το επιστημονικό πεδίο που ασχολείται με τη δημιουργία “**έξυπνων συστημάτων**” για την εξαγωγή πληροφοριών από πραγματικές εικόνες.



# Υπολογιστική Όραση & Γραφική: Νέες Εφαρμογές

## Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality)



# Υπολογιστική Όραση & Γραφική: Νέες Εφαρμογές

## Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality)



# Υπολογιστική Όραση & Γραφική: Νέες Εφαρμογές

## Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality)



# Υπολογιστική Όραση & Γραφική: Νέες Εφαρμογές

## Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality)



# Υπολογιστική Όραση & Γραφική: Νέες Εφαρμογές

**Γενικό πρόβλημα:** Αντιστοιχίσε το προφίλ αναφοράς  $I(x,y)$  με την προφίλ εισόδου  $J(x,y)$

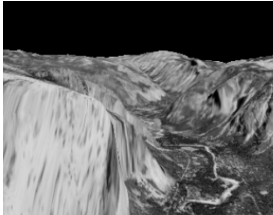
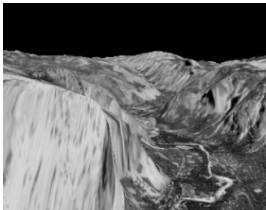
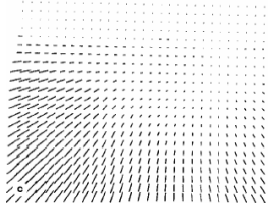
Πρόβλημα	$I(x,y)$	$J(x,y)$	Σκοπός
Αντιστοιχίση εικόνων (Image registration)	Δύο εικόνες της ίδιας σκηνής		Επαναπροβολή της μίας στο Σ.Σ. της άλλης (ή και των δύο σε κοινό Σ.Σ)





# Υπολογιστική Όραση & Γραφική: Νέες Εφαρμογές

**Γενικό πρόβλημα:** Αντιστοιχίσει το προφίλ αναφοράς  $I(x,y)$  με την προφίλ εισόδου  $J(x,y)$

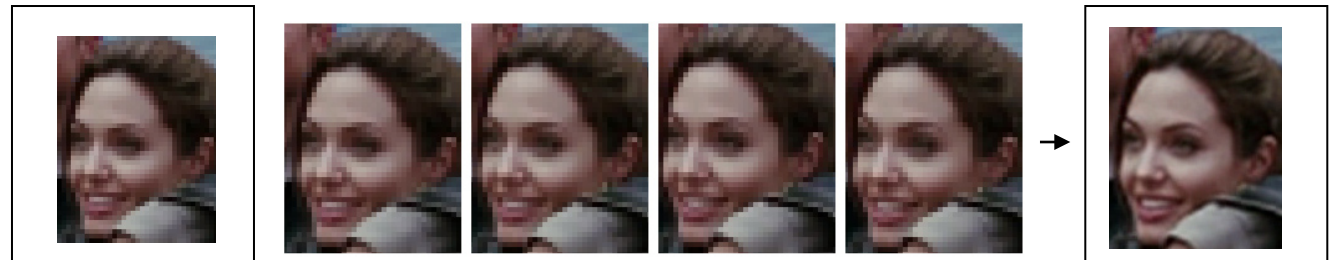
Πρόβλημα	$I(x,y)$	$J(x,y)$	Σκοπός
Εκτίμηση κίνησης Οπτική Ροή	Στιγμιότυπο ακολουθίας εικόνων $I(x,y,t_0)$	Στιγμιότυπο ακολουθίας εικόνων $I(x,y,t_0+1)$	Χάρτης ταχυτήτων (οπτικής ροής)
			



# Υπολογιστική Όραση & Γραφική: Νέες Εφαρμογές

**Γενικό πρόβλημα:** Αντιστοιχίσει το προφίλ αναφοράς  $I(x,y)$  με την προφίλ εισόδου  $J(x,y)$

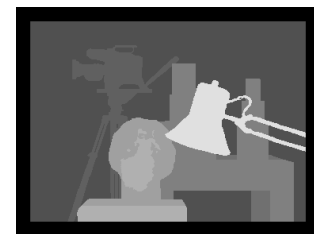
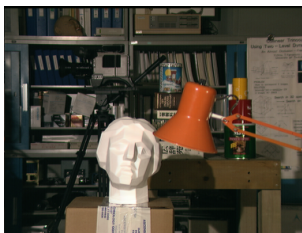
Πρόβλημα	$I(x,y)$	$J(x,y)$	Σκοπός
Super-Resolution	Χαμηλής ανάλυσης εικόνα $I(x,y,t_0)$	Χαμηλής ανάλυσης γειτονικές εικόνες $I(x,y,t_0 \pm \delta t)$	Υψηλής ανάλυσης εικόνα $I_0(x,y,t_0)$



# Υπολογιστική Όραση & Γραφική: Νέες Εφαρμογές

**Γενικό πρόβλημα:** Αντιστοιχίσε το προφίλ αναφοράς  $I(x,y)$  με την προφίλ εισόδου  $J(x,y)$

Πρόβλημα	$I(x,y)$	$J(x,y)$	Σκοπός
Στερεοσκοπική Αντιστοίχιση (Stereo Correspondence)	Αριστερή εικόνα $L(x,y)$	Δεξιά εικόνα $R(x,y)$	Χάρτης Ανομοιότητας



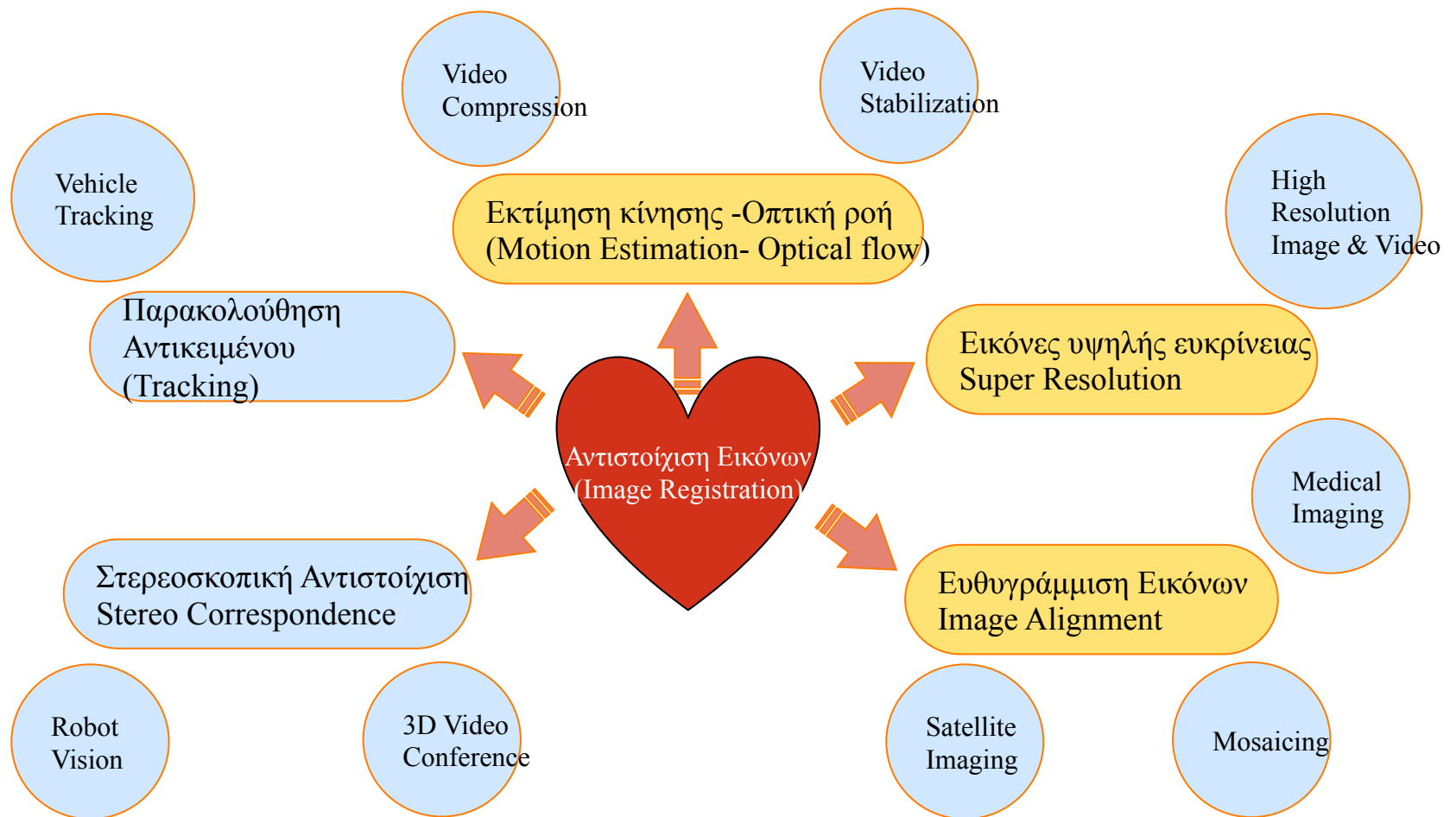
# Υπολογιστική Όραση & Γραφική: Νέες Εφαρμογές

**Γενικό πρόβλημα:** Αντιστοιχίσε το προφίλ αναφοράς  $I(x,y)$  με την προφίλ εισόδου  $J(x,y)$

Πρόβλημα	$I(x,y)$	$J(x,y)$	Σκοπός
Ιχνηλάτιση «αντικειμένου» (Tracking)	Τμήμα (εικόνας) ενός στιγμιότυπου ακολουθίας εικόνων τη χρονική στιγμή $t$	Οποιοδήποτε στιγμιότυπο της ακολουλουθίας εικόνων	Αναγνώριση αντικειμένου σε όλα τα στιγμιότυπα της ακολουθίας.



# Υπολογιστική Όραση: Αντιστοίχιση Εικόνων



# Υπολογιστική Όραση

## Αντιστοίχιση Εικόνων-Βασικό Ερώτημα

- Δοθέντων δύο εικόνων,
  - ποια είναι τα **αντίστοιχα σημεία** τους;
    - Αντίστοιχα σημεία: προβολές του ίδιου σημείου της σκηνής στις εικόνες
  - ποιος είναι ο μετασχηματισμός, που εφαρμοζόμενος στη μία εικόνα, παρέχει την άλλη;
- Η γεωμετρία του χώρου και ο προσανατολισμός του(ων) αισθητήρα(ων) όρασης **δεν** είναι γνωστά !
- **Μόνη** πηγή πληροφορίας: η ένταση φωτεινότητας των εικόνων !



# Υπολογιστική Όραση

## Αντιστοίχιση Εικόνων-Βασικό Ερώτημα

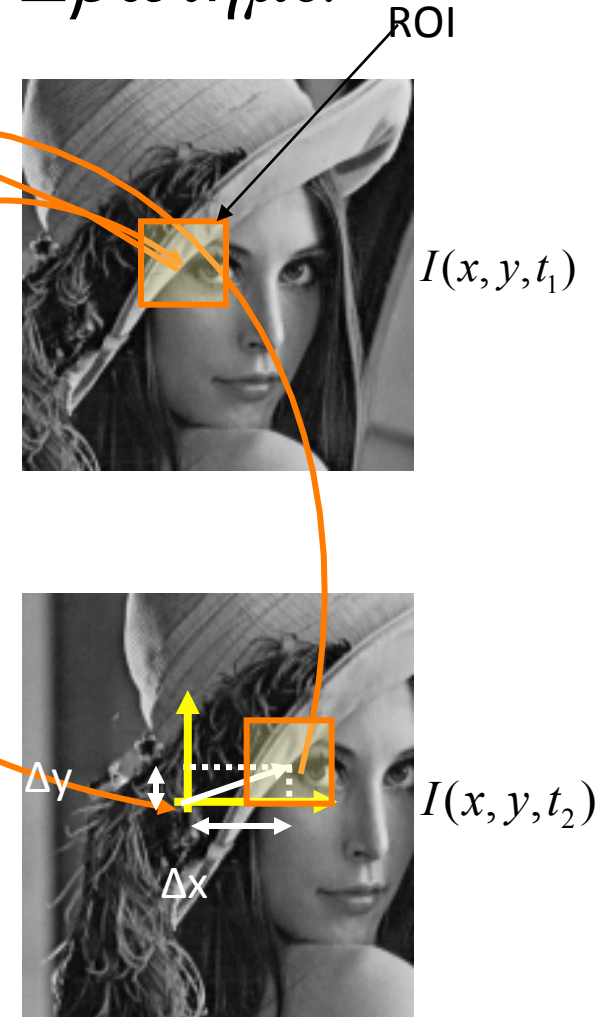
- Σταθερή ένταση φωτεινότητας (Brightness Constancy Assumption) [Horn and Schunk '81]
  - Ένα σημείο της σκηνής απεικονίζεται με την ίδια ένταση φωτεινότητας σε όλες τις εικόνες

$$I(x_0, y_0, t_1) = I(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta y, t_2)$$

- Αδυναμία ισχύος σε πρακτικές εφαρμογές
- Καλή προσέγγιση αν
  - $t_2 - t_1 \rightarrow 0$
  - $\Delta x \rightarrow 0$
  - $\Delta y \rightarrow 0$
  - Video με μεγάλο fps

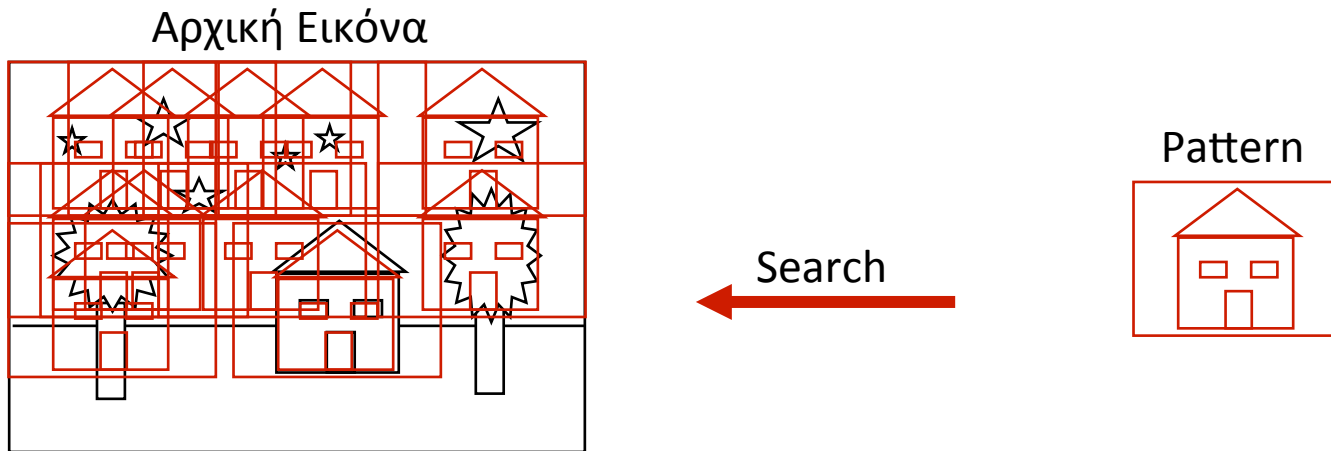
$$I(x, y, t_1); I(x + \Delta x, y + \Delta y, t_2)$$

$$\forall (x, y) \in ROI$$



# Υπολογιστική Όραση

## Αντιστοίχιση Εικόνων-*Pattern Matching*



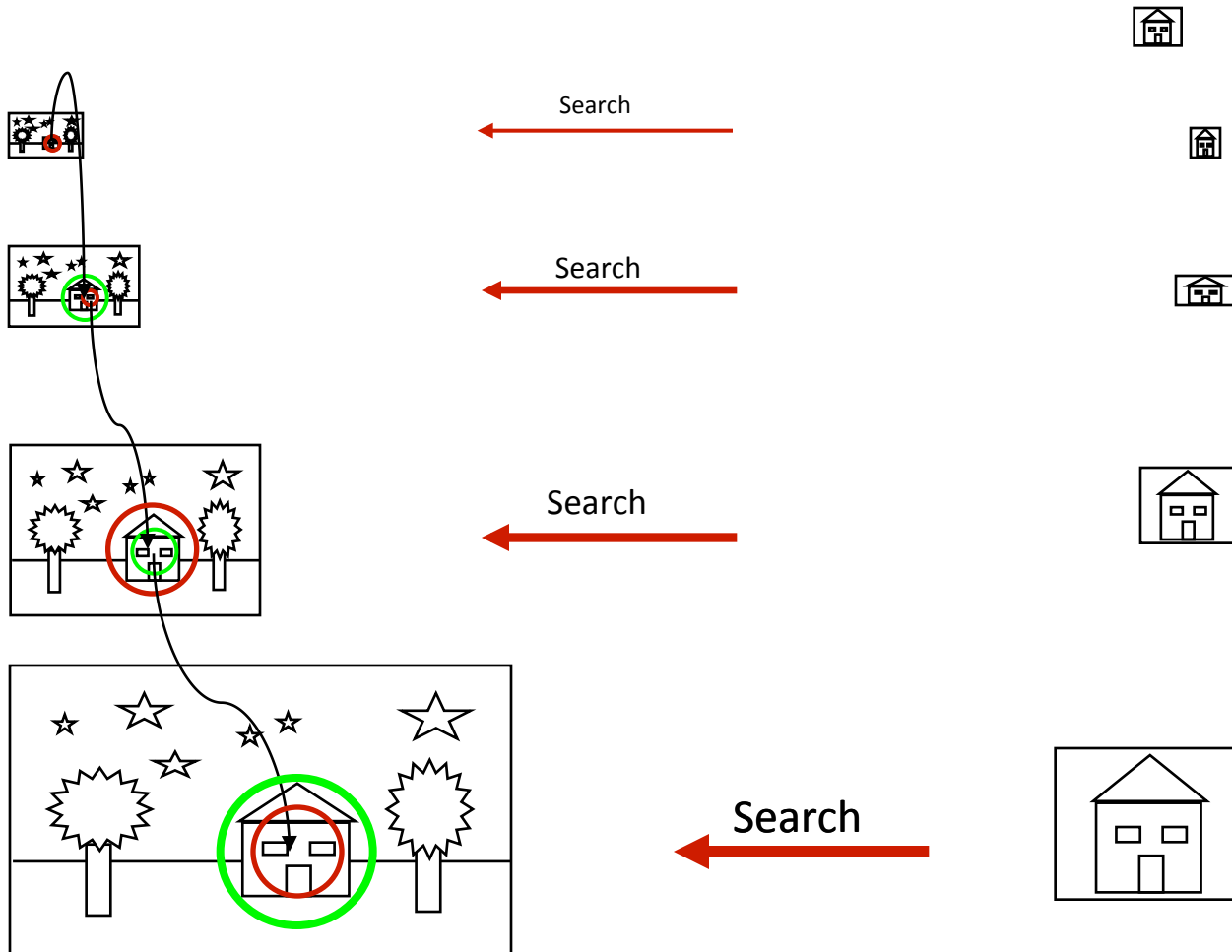
Λύσαμε το πρόβλημα, αλλά το υπολογιστικό κόστος;  
Μήπως υπάρχει κάποια εναλλακτική λύση;





# Υπολογιστική Όραση

## Αντιστοίχιση Εικόνων - *Fast Pattern Matching*



# Υπολογιστική Όραση: Στοιχίσιμη Εικόνων



Μετατόπιση της δεξιάς πάνω στην αριστερή



Μετατόπιση της αριστερής πάνω στην δεξιά



# Υπολογιστική Όραση: Στοίχιση Εικόνων



Οι μετατοπίσεις δεν αρκούν για τη στοίχιση των εικόνων



# Υπολογιστική Όραση

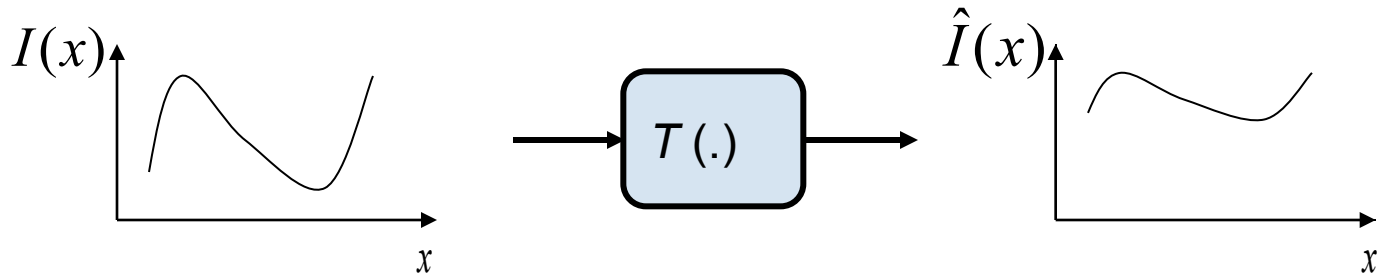
## Γεωμετρική Παραμόρφωση Εικόνων



# Υπολογιστική Όραση

## Παραμόρφωση Εικόνων-Φιλτράρισμα

Φιλτράρισμα Εικόνας: **Αλλαγή του Πεδίου Τιμών της Εικόνας.**



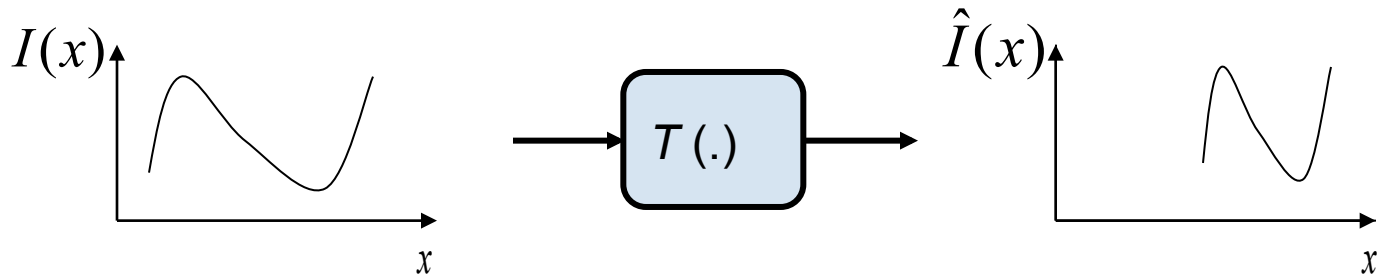
$$\hat{I}(x) = T(I(x))$$



# Υπολογιστική Όραση

## Παραμόρφωση Εικόνων-Φιλτράρισμα

Γεωμετρική Παραμόρφωση Εικόνας: **Αλλαγή του Πεδίου Ορισμού της Εικόνας.**

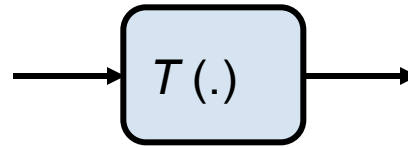


$$\hat{I}(x) = I(T(x))$$



# Υπολογιστική Όραση: *Παραμόρφωση Εικόνων*

$I(x, y)$

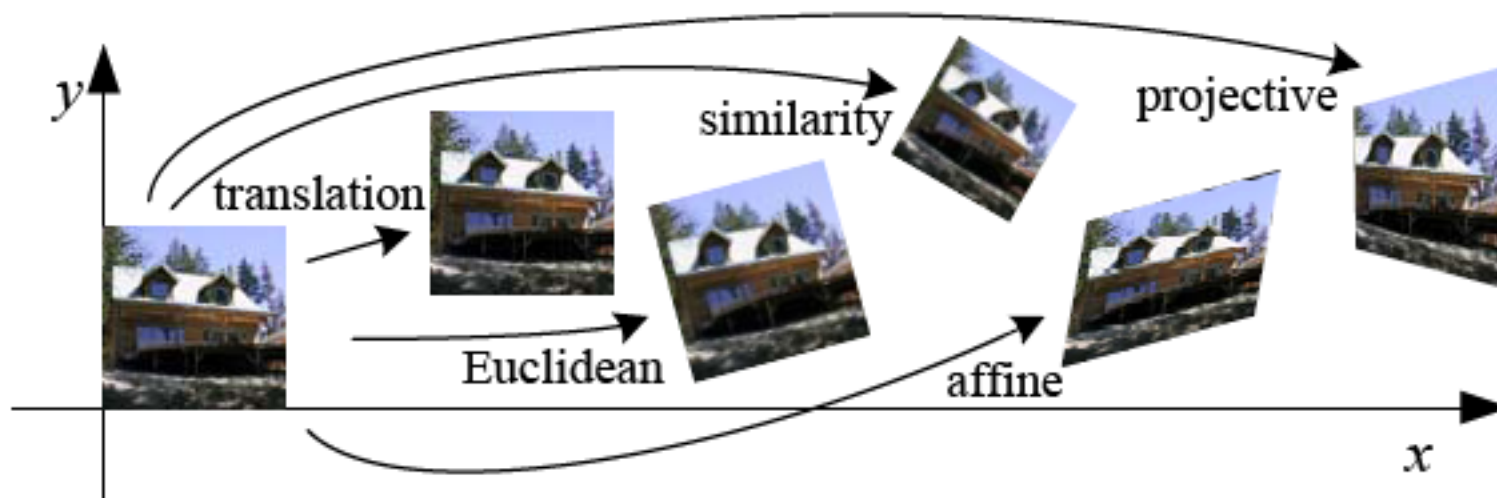


$\hat{I}(x, y)$



# Υπολογιστική Όραση: Παραμόρφωση Εικόνων- Παραμετρικά Μοντέλα

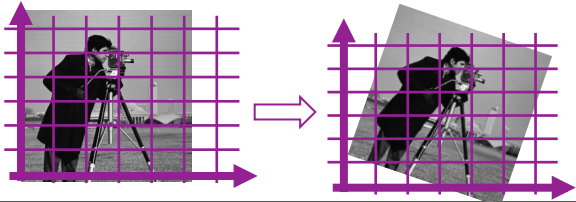
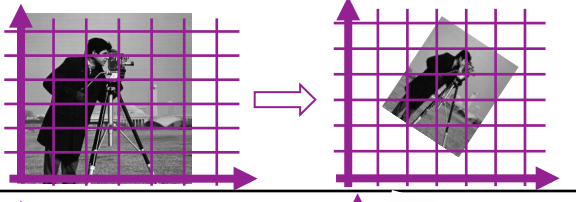
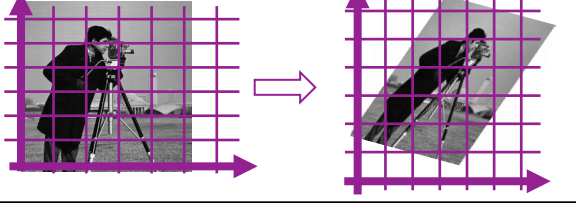
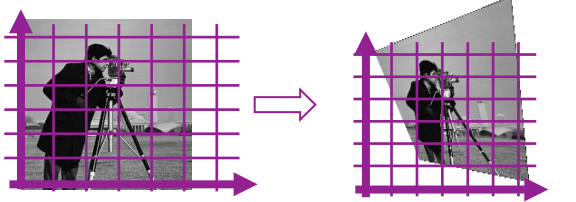
Παραδείγματα:





# Υπολογιστική Όραση

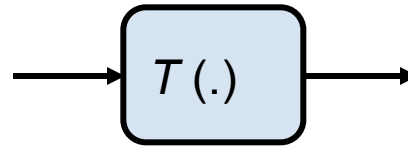
## Παραμετρικά Μοντέλα 2D Μετασχηματισμών

	Μετασχηματισμός	Διατηρεί	Βαθμοί Ελευθερίας
	Ευκλείδειος (2D rigid body)	Μήκη και γωνίες	3
	Ομοιότητας (similarity)	Γωνίες και αναλογίες μηκών	4
	Συγγένειας (affine)	Παραλληλία ευθειών	6
	Προβολής (projective)	Ευθείες γραμμές	8



# Υπολογιστική Όραση: *Παραμόρφωση Εικόνων*

$I(x, y)$

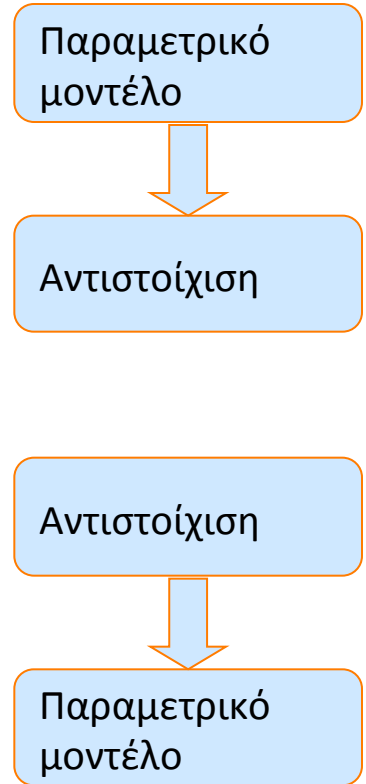


$\hat{I}(x, y)$



# Υπολογιστική Όραση: Παραμετρικές Τεχνικές

- Area-based (direct) τεχνικές
  - Αντιστοίχιση βασισμένη στην ένταση φωτεινότητας όλων των εικονοστοιχείων της ROI
    - Απευθείας αναζήτηση παραμετρικού μοντέλου
- Featured-based τεχνικές
  - Αντιστοίχιση βασισμένη σε επιλεγμένα χαρακτηριστικά (γωνίες, ακμές) της ROI
    - Χρήση τελεστή αναγνώρισης χαρακτηριστικών
    - Αντιστοίχιση κοινών χαρακτηριστικών
    - Χρήση παραμετρικού μοντέλου για τη συνολική αντιστοίχιση δοθείσης της αντιστοίχισης χαρακτηριστικών



# Υπολογιστική Όραση

## Area-based παραμετρικές τεχνικές

- Ορισμός παραμετρικού μοντέλου
  - Βάσει της φύσης και των απαιτήσεων του προβλήματος
- Ορισμός συνάρτησης κόστους
- Βελτιστοποίηση συνάρτησης κόστους
  - Υπολογισμός των παραμέτρων που βελτιστοποιούν τη συνάρτηση κόστους

### Παράδειγμα

$$W(\mathbf{x}; \mathbf{p}) = \begin{bmatrix} p_1 & p_2 & p_3 \\ p_4 & p_5 & p_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{x} = [x, y]^t, \mathbf{p} = [p_1, p_2, \dots, p_6]^t$$

$$E(\mathbf{p}) = \sum_{\mathbf{x} \in \text{ROI}} |I_1(\mathbf{x}) - I_2(W(\mathbf{x}; \mathbf{p}))|^2$$

$$\min_{\mathbf{p}} E(\mathbf{p})$$



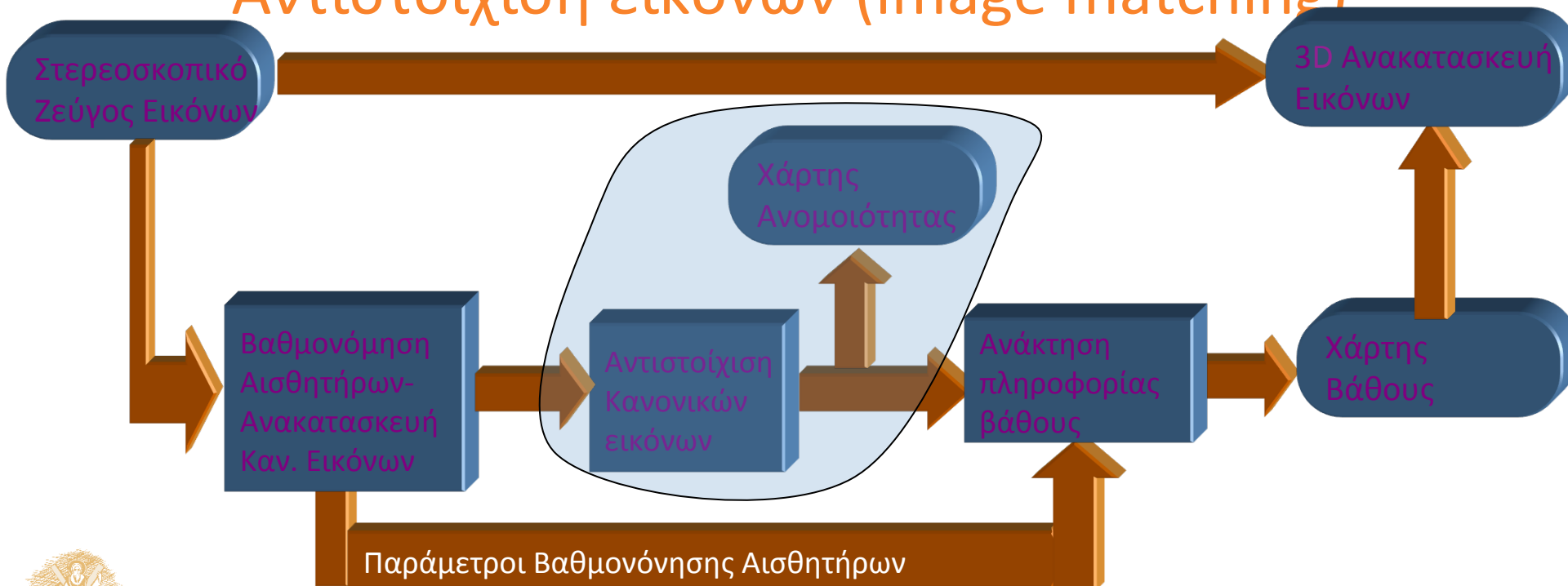
# Υπολογιστική Όραση: *Μέθοδοι Βελτιστοποίησης*

- Μέθοδοι πλήρους αναζήτησης (full search)
  - Αναλυτική αναζήτηση των  $n$  παραμέτρων στον  $n$ -D χώρο
  - Υψηλό υπολογιστικό κόστος
  - Πεπερασμένη ακρίβεια
  - Αντιστάθμιση μεγάλων μετατοπίσεων
- Μέθοδοι βασισμένες στην κλίση της έντασης των εικόνων (gradient-based)
  - Μεγαλύτερη ακρίβεια (θεωρητικά ίση με το  $\epsilon$  της μηχανής)
  - Μικρό υπολογιστικό κόστος
  - Δυνατότητα επαναληπτικού σχήματος
    - εγκλωβισμός
  - Αδυναμία διαχείρισης μεγάλων μετατοπίσεων
    - Χρήση πυραμιδικού σχήματος
- Υβριδικές μέθοδοι

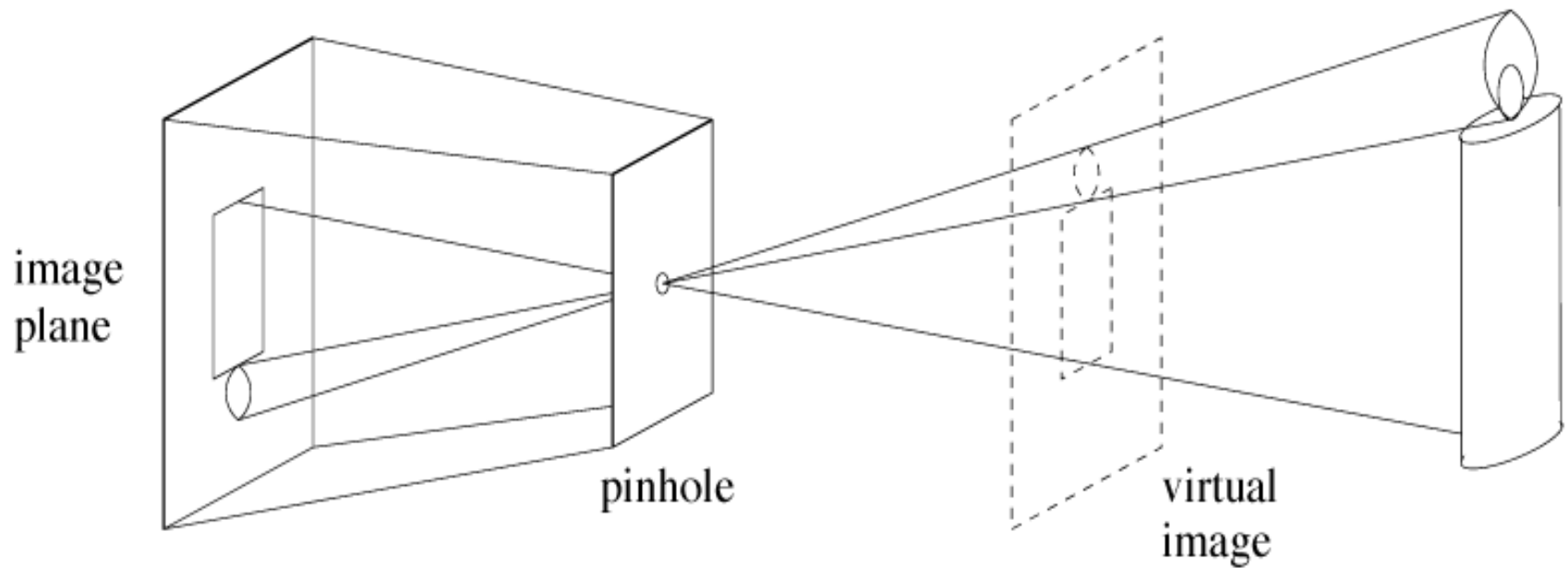


# Υπολογιστική Όραση: Στερεοσκοπική Όραση

- «Ευθυγράμμιση-Βαθμονόμηση» αισθητήρων όρασης (camera calibration)
- Αντιστοίχιση εικόνων (image matching)

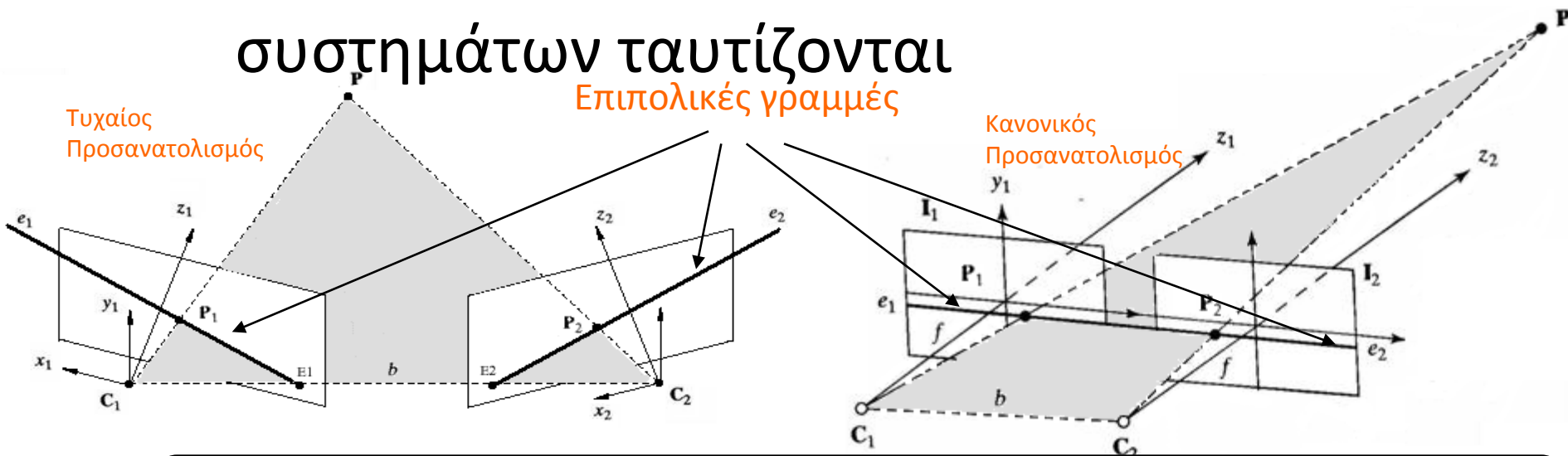


# Υπολογιστική Όραση: *Μοντέλο Κάμερας*



# Υπολογιστική Όραση: Κανονικό Στερεοσκοπικό Σύστημα

- Παράλληλοι οπτικοί άξονες
- Οι οριζόντιοι άξονες ( $x$ ) των δύο συστημάτων ταυτίζονται



Οι επιπολικές γραμμές ταυτίζονται με τις γραμμές των εικόνων





# Υπολογιστική Όραση: Στερεοσκοπική Αντιστοίχιση

- Υπολογισμός **ανομοιότητας** ως προς την εικόνα αναφοράς (π.χ. αριστερή)
  - Ανομοιότητα: η απόσταση σε εικονοστοιχεία συζυγών ζευγών όταν τοποθετήσουμε τη μία εικόνα πάνω από την άλλη

$$I_{left}(x, y) = I_{right}(x - dx, y - dy)$$

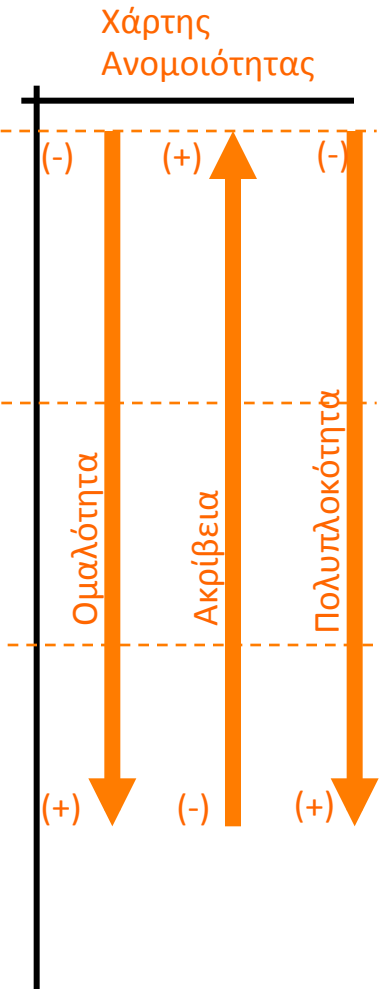
- Αναζήτηση συζυγών ζευγών (αντιστοιχών σημείων) κατά μήκος των **επιπολικών γραμμών**
- Επιλογή κανονικού συστήματος

$$dy = 0 \Rightarrow \begin{cases} I_{left}(x, y) = I_{right}(x - dx, y) \\ dx > 0 \end{cases}$$

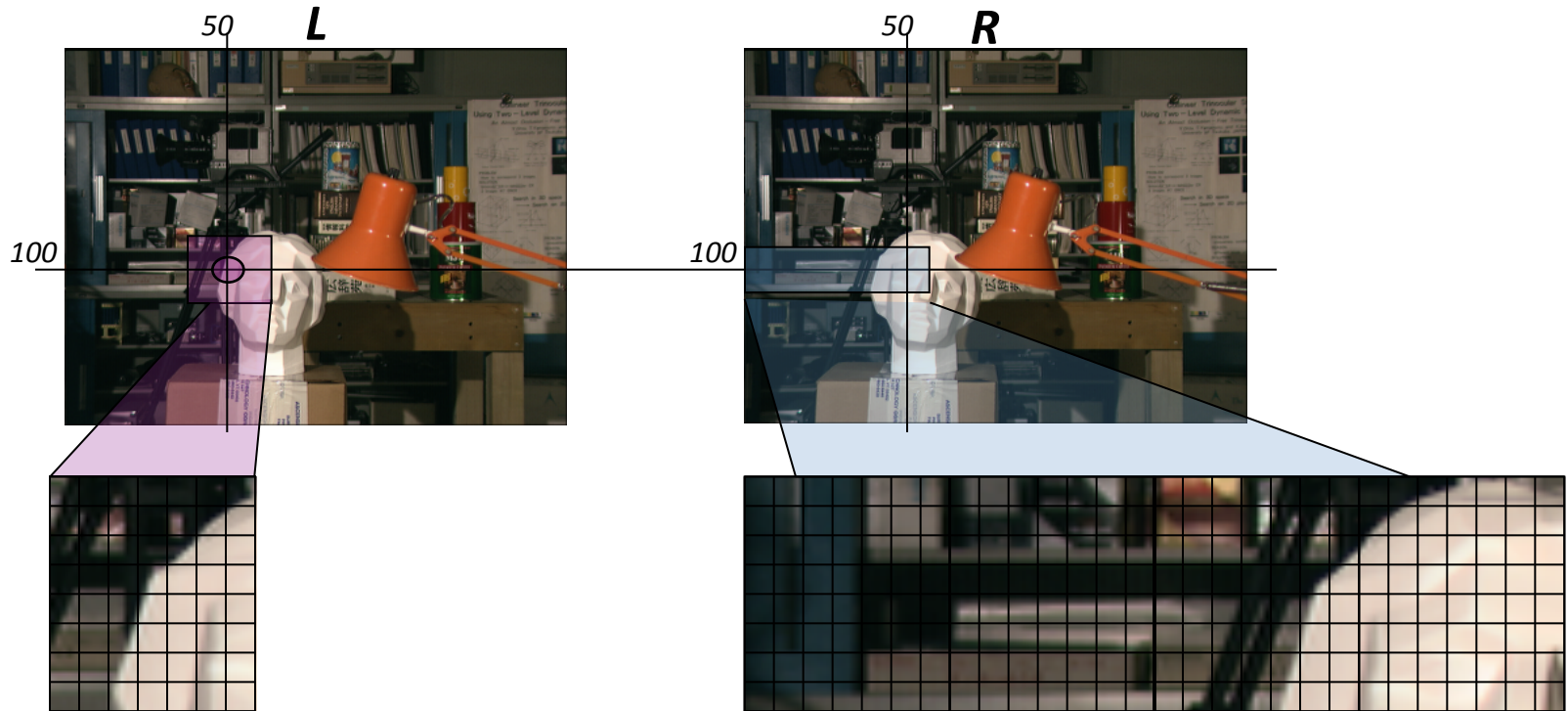


# Υπολογιστική Όραση: Μέθοδοι Στερεοσκοπικής Αντιστοίχισης

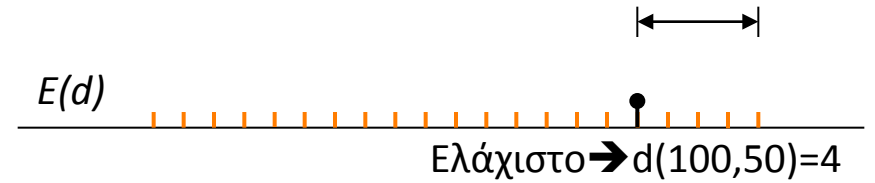
- Τοπικές μέθοδοι (pixel-wise)
  - Απαραίτητη χρήση παραθύρου (window-based)
  - Επιλογή αντίστοιχου σημείου από πολλά υποψήφια (winner takes all)
- Ημι-ολικές μέθοδοι
  - Δυναμικός προγραμματισμός (row by row)
  - Αναζήτηση βέλτιστου μονοπατιού στο επίπεδο
- Ολικές μέθοδοι
  - Αναζήτηση βέλτιστης επιφάνειας στο χώρο ανομοιότητας (disparity space image)



# Υπολογιστική Όραση: Τοπικές μέθοδοι



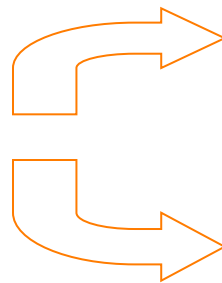
$$d(100,50)=4 \rightarrow L(100,50)=R(96,50)$$



# Υπολογιστική Όραση: *Περιορισμοί & Υποθέσεις*

- Περιορισμοί
  - Μοναδικότητα: κάθε σημείο της αριστερής εικόνας έχει μοναδικό αντίστοιχο στη δεξιά
- Υποθέσεις
  - Σειρά προβολής: η σειρά εμφάνισης δύο σημείων στην αριστερή και δεξιά εικόνα δεν αλλάζει.
  - Η ανομοιότητα σε γειτονικά σημεία δεν μπορεί να ποικίλει έντονα

Η υιοθέτηση  
περιορισμών  
και υποθέσεων



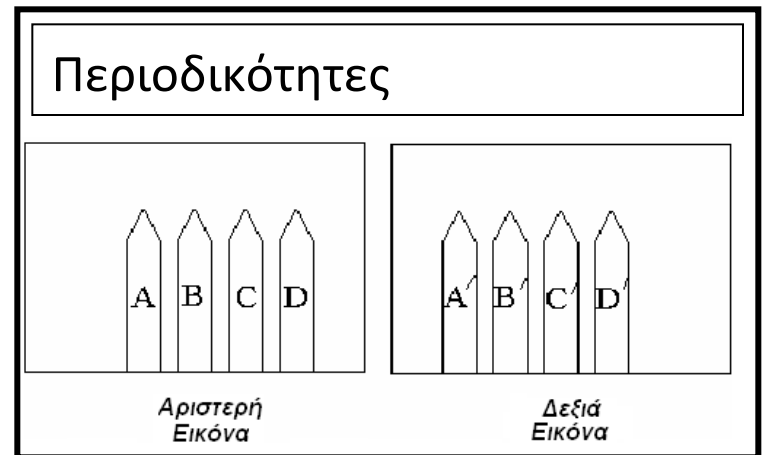
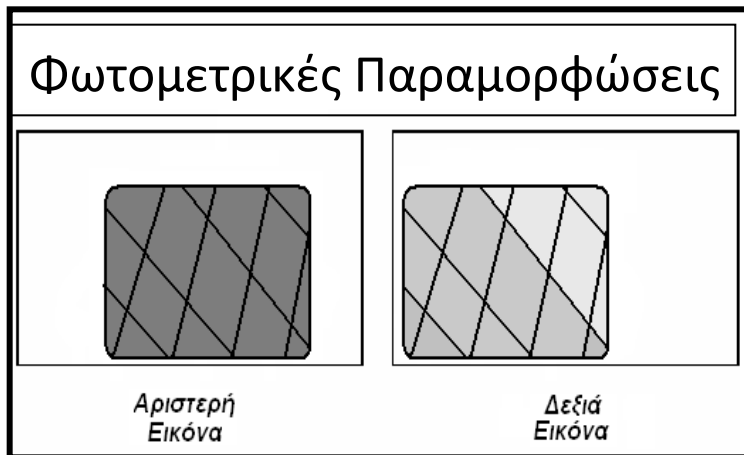
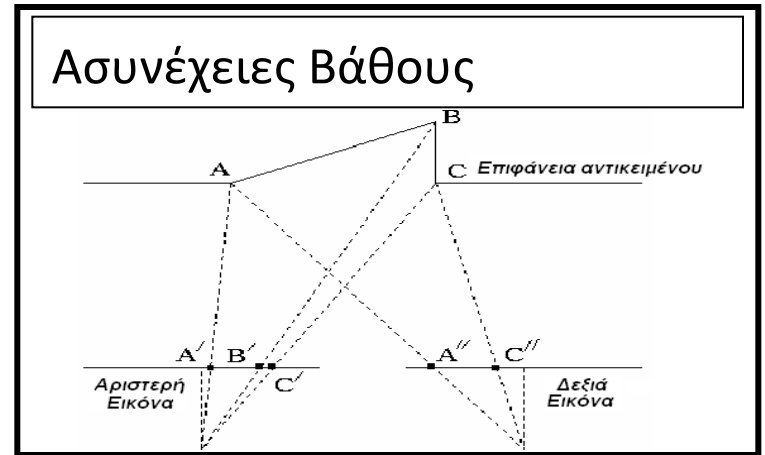
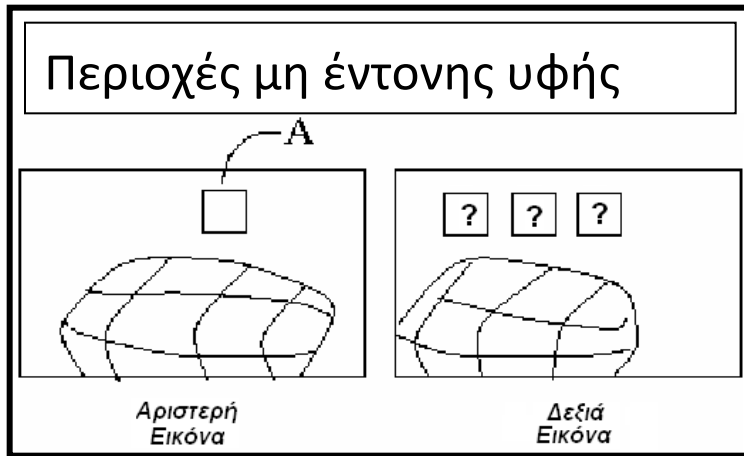
μειώνει το χώρο αναζήτησης  
αντίστοιχων σημείων



μπορεί να προκαλέσει  
διάδοση σφαλμάτων



# Υπολογιστική Όραση: Ανασταλτικοί Παράγοντες



# Υπολογιστική Όραση: *Επαναληπτικοί Αλγόριθμοι*

	Πολυπλοκότητα (N: αριθμός παραμέτρων K: αριθμός εικ/χίων)	Δυνατότητα Εφαρμογής	Ευαισθησία στο θόρυβο
Lucas-Kanade '81 (Forwards Additive LK)	$O(KN^2)$	Οποιοδήποτε μοντέλο	Μικρή
Haager-Belhumeur '98 (Inverse Additive LK)	$O(KN)$	Γραμμικό 2D	Μεγάλη
Shum-Szeliski '00 (Forwards – Compositional LK)	$O(KN^2)$	Ημι-ομάδα	Μικρή
Baker-Matthews '04 (Inverse Compositional LK)	$O(KN)$	Ομάδα	Μεγάλη
FA-ECC (2008)	$O(KN^2)$	Οποιοδήποτε μοντέλο	Μικρή
IC-ECC (2008)	$O(KN)$	Ομάδα	Μεγάλη



# Υπολογιστική Όραση: *Feature Based Σύνθεση Πανοράματος*



# Υπολογιστική Όραση: *Feature Based Σύνθεση Πανοράματος*

Πώς μπορούμε να συνθέσουμε ένα πανόραμα;

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

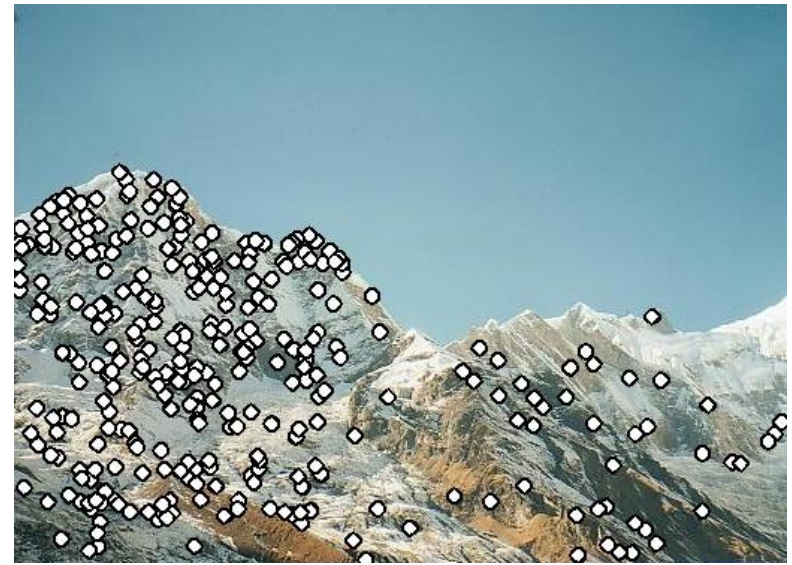
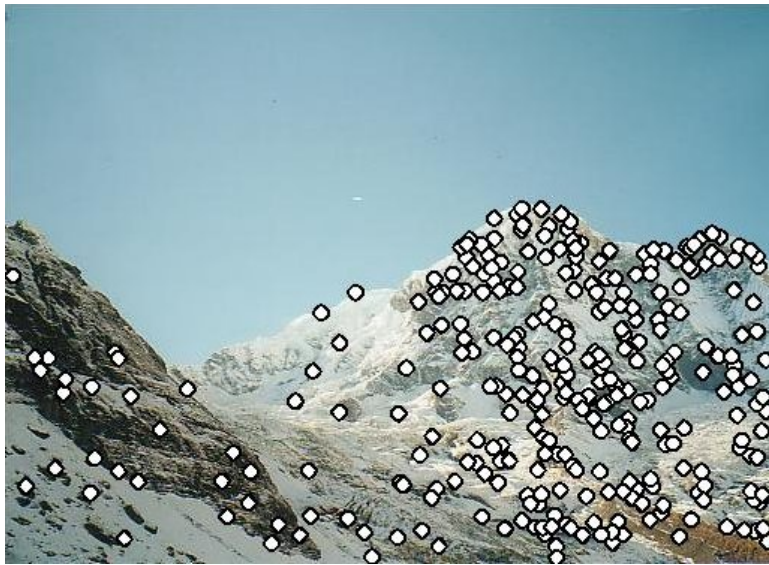




# Υπολογιστική Όραση: *Feature Based Σύνθεση Πανοράματος*

Αντιστοίχιση με χρήση Χαρακτηριστικών (Features)

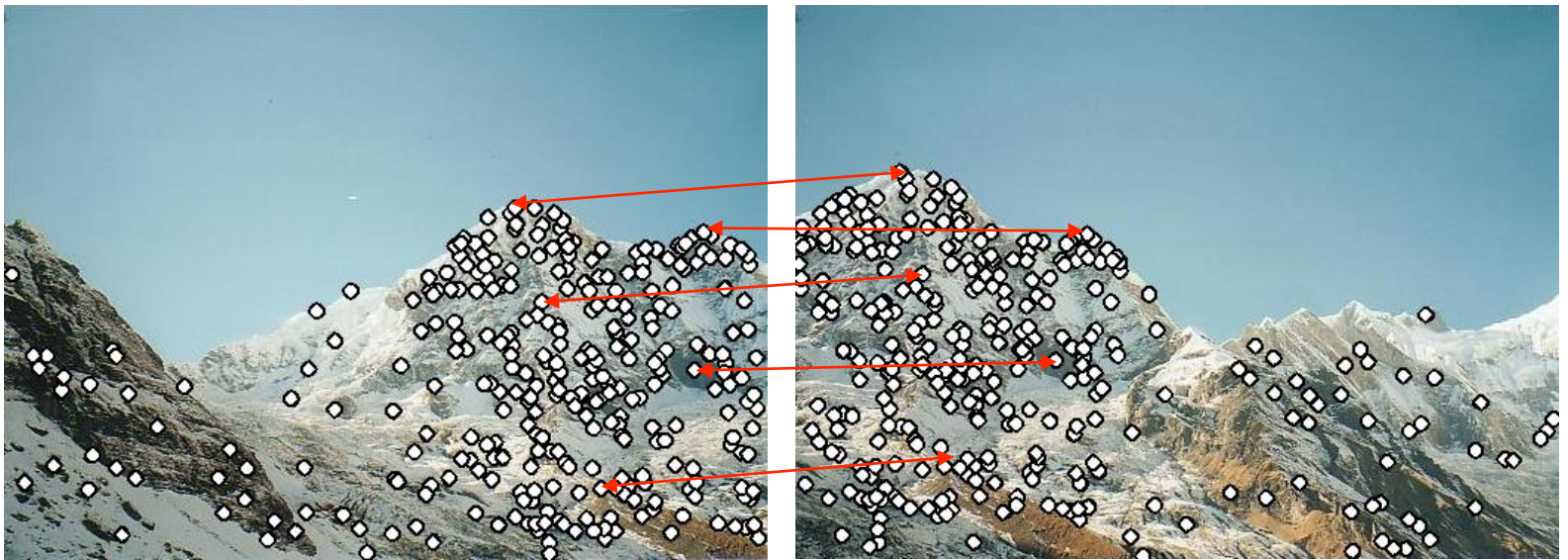
- **Εντοπισμός Χαρακτηριστικών** στις δύο εικόνες...



# Υπολογιστική Όραση: *Feature Based Σύνθεση Πανοράματος*

Αντιστοίχιση με χρήση Χαρακτηριστικών (Features)

- Εντοπισμός Χαρακτηριστικών στις δύο εικόνες
- Εύρεση *Αντίστοιχων* Χαρακτηριστικών



# Υπολογιστική Όραση: *Feature Based Σύνθεση Πανοράματος*

Αντιστοίχιση με χρήση Χαρακτηριστικών (Features)

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



# Υπολογιστική Όραση: *Feature Based Σύνθεση Πανοράματος*

## Πρώτο Πρόβλημα

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



*Δύσκολη αν όχι ακατόρθωτη η αντιστοίχιση...*

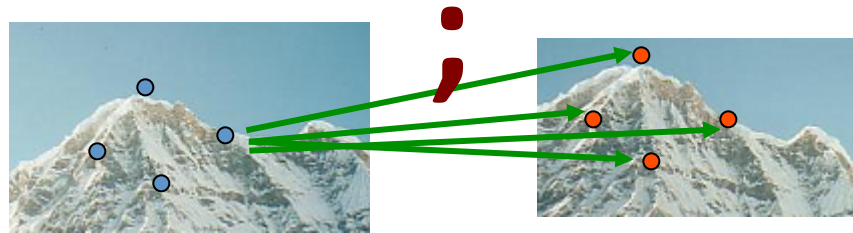
Χρειαζόμαστε κάτι επιπλέον... ένα επαναλαμβανόμενο ανιχνευτή



# Υπολογιστική Όραση: *Feature Based Σύνθεση Πανοράματος*

## Δεύτερο Πρόβλημα

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



Χρειαζόμαστε ένα αξιόπιστο και ξεχωριστό περιγραφέα



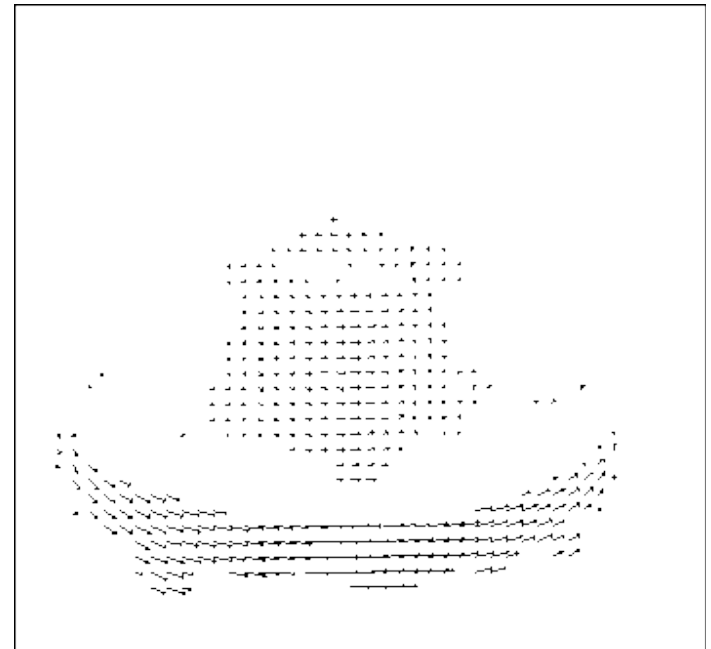
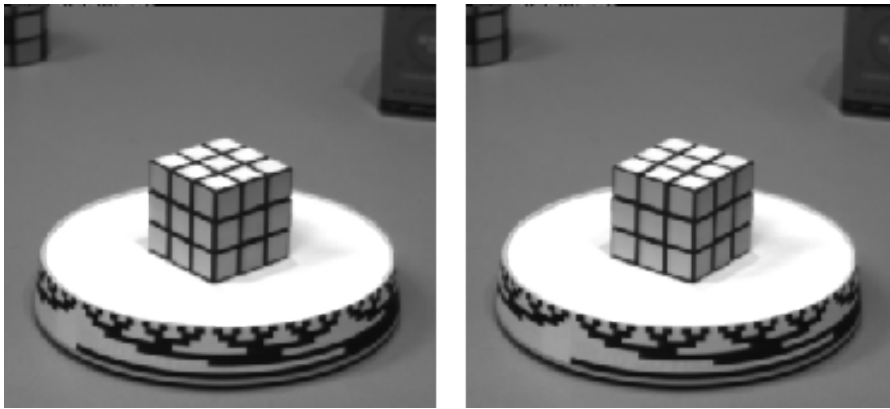
# Υπολογιστική Όραση: *Feature Based Σύνθεση Πανοράματος*

- 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: *Εκτίμηση Κίνησης*

## Οπτική Ροή (Optical Flow)



# Υπολογιστική Όραση: *Εκτίμηση Κίνησης*

## Εφαρμογές

- Ανίχνευση/Ανάλυση Κίνησης
- Κατάτμηση Εικόνων
- Αντιστάθμιση Κίνησης
- ....





# Υπολογιστική Όραση: Εκτίμηση Κίνησης

## Τέσσερις Γενικές Περιπτώσεις Κίνησης:

- *Σταθερή κάμερα-Κίνηση ενός αντικειμένου σε σταθερό φόντο* (συστήματα ελέγχου κίνησης οχημάτων, συστήματα ασφάλειας σε βιομηχανικά περιβάλλοντα).
- *Σταθερή κάμερα-Κίνηση πολλών αντικειμένων σε σταθερό φόντο.*
- *Ανάλυση κίνησης αθλητών ή ασθενών.*
- *Κινητή κάμερα-σχετικά σταθερή σκηνή* (δυνατότητα σύνθεσης πανοραμικής άποψης της σκηνής).
- *Κινητή κάμερα-πολλά κινούμενα αντικείμενα* (πλοήγηση robot σε περιβάλλοντα μεγάλης κίνησης).



## Προβλήματα Ανάλυσης Κίνησης

- *Πρόβλημα Αντιστοίχισης* (Correspondence Problem)
  - Παρακολούθηση αντίστοιχων σημείων/στοιχείων κατά μήκος των πλαισίων.
- *Πρόβλημα Ανακατασκευής* (Reconstruction Problem)
  - Δοθέντος ενός συνόλου αντίστοιχων σημείων και των παραμέτρων της κάμερας, τι μπορούμε να πούμε για την 3-Δ κίνηση και τη δομή της σκηνής;
- *Πρόβλημα Κατάτμησης* (Segmentation Problem)
  - Ταυτοποίηση των περιοχών της εικόνας που αντιστοιχούν σε διαφορετικά κινούμενα αντικείμενα.

