



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

© Εκτίμηση Κίνησης

Εμμανουήλ Ζ. Ψαράκης

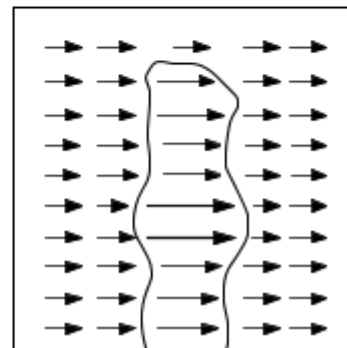
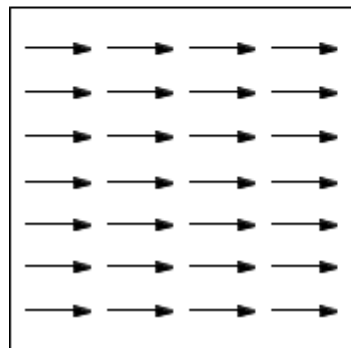
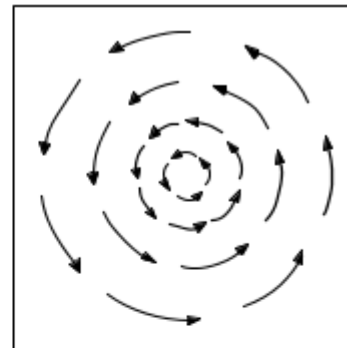
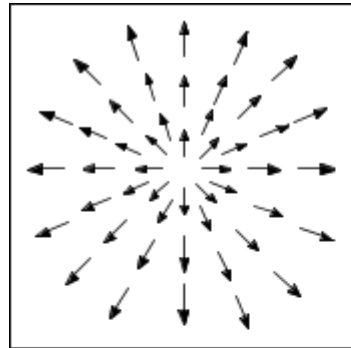
Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής

Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Παραδείγματα **Πεδίων Κίνησης** (Motion Fields)



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Εφαρμογές

- Ανίχνευση/Ανάλυσης Κίνησης
- Κατάτμηση αντικειμένων
- Αντιστάθμιση Κίνησης
-



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – *Motion Estimation*

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).



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

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.



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – *Motion Estimation*

Αλγόριθμος Ανίχνευσης αλλαγών σε δύο εικόνες

1. Για όλα τα pixels (r,c) των εικόνων εισόδου,

$$I_{out}(r,c) = \begin{cases} 1, & \text{αν } |I_{in}(r,c) - I_{out}(r,c)| > T \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Μοντελοποίηση του Φόντου

- Εξαιτίας της αλλαγής του περιβάλλοντος, η μοντελοποίηση του φόντου πρέπει να ενημερώνεται, για παράδειγμα:

$$I(r, c) \pm T$$

- Πώς μπορούμε να αντισταθμίσουμε γρήγορες αλλαγές του φόντου;



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Υπολογισμός Διανυσμάτων Κίνησης:

- Ένα 2-Δ μητρώο, 2-Δ διανυσμάτων που αναπαριστούν την κίνηση των 3-Δ σημείων της σκηνής ονομάζεται *Πεδίο Κίνησης* (motion field).
- Ο Υπολογισμός του Πεδίου Κίνησης μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση των αντικειμένων και στην ανάλυση της κίνησής τους.



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

- Το Πεδίο Κίνησης *εκχωρεί* ένα διάνυσμα ταχύτητας σε κάθε pixel της εικόνας.
- Οι ταχύτητες *προκύπτουν* από την *σχετική κίνηση* της κάμερας και της σκηνής.
- Το Πεδίο Κίνησης μπορούμε να το θεωρήσουμε σαν την *προβολή* των 3-Δ ταχυτήτων πάνω στο επίπεδο της εικόνας.

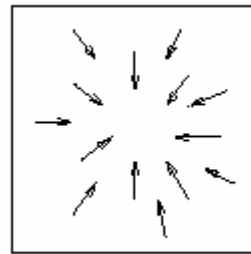


Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – *Motion Estimation*

Υπολογισμός Διανυσμάτων Κίνησης:

- *Εστίες Συστολής* (Focus Of Contraction (FOC)) είναι τα σημεία της εικόνας στα οποία *συγκλίνουν* όλα τα γειτονικά διανύσματα κίνησης.



Zoom out

FOC: είναι τα σημεία της σκηνής από τα οποία ο αισθητήρας (κάμερα) απομακρύνεται.

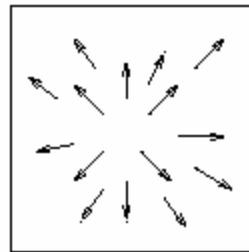


Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – *Motion Estimation*

Υπολογισμός Διανυσμάτων Κίνησης:

- *Εστίες Διαστολής* (Focus Of Expansion (FOE)) είναι τα σημεία της εικόνας στα οποία *αποκλίνουν* όλα τα γειτονικά διανύσματα κίνησης.



FOE: είναι τα σημεία της σκηνής στα οποία ο αισθητήρας (κάμερα) πλησιάζει.



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Υπολογισμός Διανυσμάτων Κίνησης: Υπόθεση

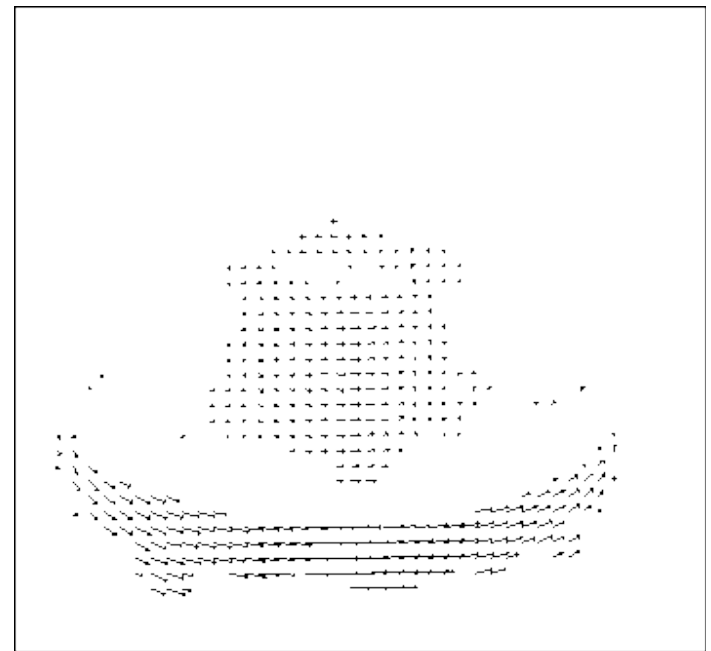
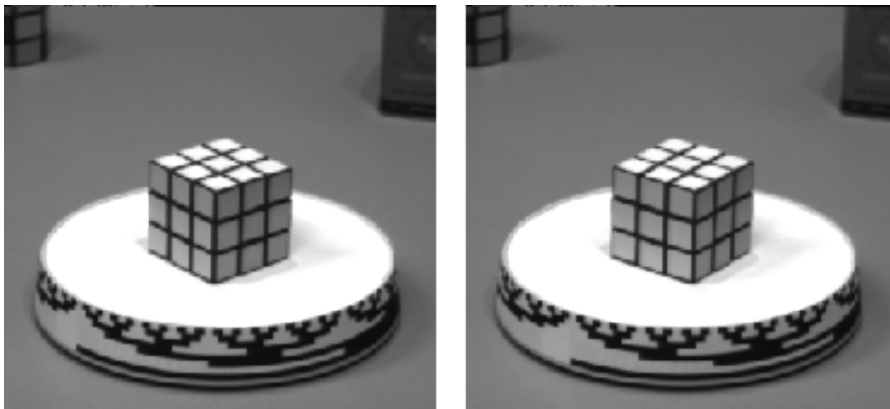
- Ο υπολογισμός του Πεδίου Κίνησης (Motion Field) γίνεται με την προϋπόθεση ότι οι φωτεινότητες των εικόνων κοντά σε αντίστοιχα σημεία είναι σχετικά σταθερές.



Υπολογιστική Όραση

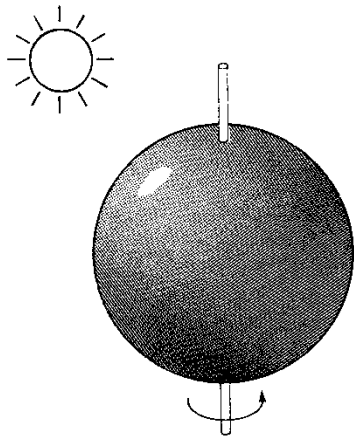
Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Οπτική Ροή (Optical Flow)

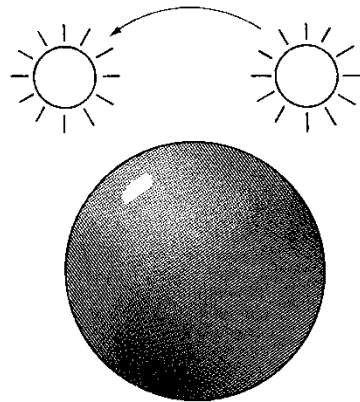


Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – *Motion Estimation*



(α)



(β)

(α): Μία ομαλή σφαίρα στρέφεται, με σταθερές συνθήκες φωτισμού. Επομένως, η *οπτική ροή* είναι μηδέν, αλλά το *πεδίο κίνησης* διάφορο του μηδενός.

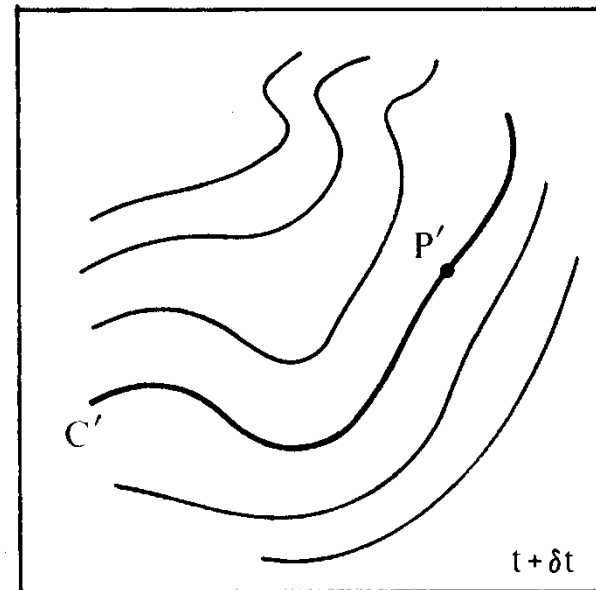
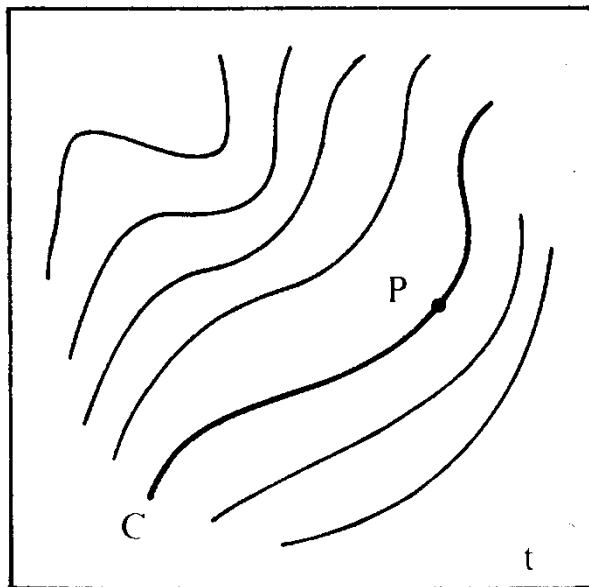
(β) Μια σταθερή σφαίρα φωτίζεται από κινούμενη πηγή και η σκίαση αλλάζει. Επομένως, το *πεδίο κίνησης* είναι μηδέν, αλλά η *οπτική ροή* όχι



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – *Motion Estimation*

Το Πρόβλημα της Οπής (Aperture Problem)



Δεν είναι εύκολο να αποφασίσουμε ποιά εικονοστοιχείο P' στην ισοϋψή C' του brightness στην δεύτερη εικόνα αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο σημείο στην αντίστοιχη ισοϋψη C της πρώτης εικόνας.



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Το Πρόβλημα της Οπής (Aperture Problem)

<http://web.mit.edu/persci/demos/Motion&Form/demos/one-square/one-square.html>



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Υπολογισμός Αραιών Πεδίων Κίνησης (Sparse Motion Fields).

- Ένα *αραιό πεδίο κίνησης* μπορεί να υπολογιστεί ταυτοποιώντας ζευγάρια “χαρακτηριστικών” σημείων που αντιστοιχούν σε δύο εικόνες που έχουν ληφθεί την χρονική στιγμή t_0 και την *χρονική στιγμή* $t_0 + \Delta t$.



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Εύρεση αντίστοιχων σημείων:

Ένα σύνολο «χαρακτηριστικών» σημείων ταυτοποιείται στην εικόνα που έχει ληφθεί την χρονική στιγμή t_0 , το Πρόβλημα έγκειται στο ότι *πρέπει να ταυτοποιηθεί στην εικόνα που έχει ληφθεί τη χρονική στιγμή $t_0 + \Delta t$ το αντίστοιχο σύνολο σημείων.*



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Εύρεση αντίστοιχων σημείων:

- 1-η Μέθοδος:

- Βρές χαρακτηριστικά σημεία στην εικόνα που έχει ληφθεί :
 - τη χρονική στιγμή t_0 και
 - τη χρονική στιγμή $t_0 + \Delta t$ και
- στη συνέχεια λύσε το *πρόβλημα αντιστοίχισης*.



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Εύρεση αντίστοιχων σημείων:

- 2-η Μέθοδος:
 - Βρές χαρακτηριστικά σημεία στην εικόνα που έχει ληφθεί τη **χρονική στιγμή** t_0 και στη συνέχεια ταυτοποίησε τη θέση κάθε σημείου στην εικόνα που έχει ληφθεί τη **χρονική στιγμή** $t_0 + \Delta t$ χρησιμοποιώντας για παράδειγμα τη μέθοδο της **συσχέτισης**.



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

- Έστω P ένα σημείο που κινείται στον 3-Δ χώρο:
 - Τη χρονική στιγμή t , το P έχει συν/νες $(X(t), Y(t), Z(t))$
 - έστω $x(t), y(t)$ οι συν/νες του στο επίπεδο της εικόνας.
 - Έστω $I(x(t), y(t), t)$ η φωτεινότητα την χρονική στιγμή t .
- **Υπόθεση της σταθερής φωτεινότητας:**
 - Καθώς το P κινείται, η $I(x(t), y(t), t)$ παραμένει σταθερή.



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Brightness Constancy Equation:

$$I(x(t), y(t), t) = c$$

Παραγωγίζοντας:
$$\frac{dI(x(t), y(t), t)}{dt} = 0$$

Ισοδύναμα:

$$\frac{\partial I(x(t), y(t), t)}{\partial x(t)} \frac{dx(t)}{dt} + \frac{\partial I(x(t), y(t), t)}{\partial y(t)} \frac{dy(t)}{dt} + \frac{\partial I(x(t), y(t), t)}{\partial t} = 0$$



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – *Motion Estimation*

Brightness Constancy Equation:

$$\frac{\partial I(x(t), y(t), t)}{\partial x(t)} \frac{dx(t)}{dt} + \frac{\partial I(x(t), y(t), t)}{\partial y(t)} \frac{dy(t)}{dt} + \frac{\partial I(x(t), y(t), t)}{\partial t} = 0$$

Gradient: $\nabla I(x(t), y(t), t) = \left[\frac{\partial I(x(t), y(t), t)}{\partial x(t)} \quad \frac{\partial I(x(t), y(t), t)}{\partial y(t)} \right]^t$

Οπτική Ροή: $u(x(t), y(t), t) = [u_x \quad u_y]^t = \left[\frac{dx(t)}{dt} \quad \frac{dy(t)}{dt} \right]^t$

Χρονική Παράγωγος: $I_t(x(t), y(t), t) = \frac{\partial I(x(t), y(t), t)}{\partial t}$



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Brightness Constancy Equation:

$$\frac{\partial I(x(t), y(t), t)}{\partial x(t)} \frac{dx(t)}{dt} + \frac{\partial I(x(t), y(t), t)}{\partial y(t)} \frac{dy(t)}{dt} + \frac{\partial I(x(t), y(t), t)}{\partial t} = 0$$

Αρ $\nabla^t I(x(t), y(t), t)u(x(t), y(t), t) + I_t(x(t), y(t), t) = 0$



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

- Πώς μπορούμε να βρούμε περισσότερες εξισώσεις για το εικονοστοιχείο;
 - **Βασική Ιδέα:** επιβολή επιπλέον συνθηκών
 - Υποθέτουμε ότι τοπικά το πεδίο κίνητης είναι ομαλό
 - Συγκεκριμένα: απαιτούμε οι γειτονιά του εικονοστοιχείου να κινείται με την ίδια ταχύτητα
 - Για παράδειγμα θεωρώντας ως γειτονιά ένα $N \times N$ παράθυρο, αποκτούμε $N \times N$ εξισώσεις ανά εικονοστοιχείο!!!



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Κατάστροψη Συστήματος

- Πρόβλημα: Έχουμε παραπάνω εξισώσεις από αγνώστους



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – *Motion Estimation*

Και πάλι η εμφάνιση του μητρώου Αυτό-Συσχέτισης!!!

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



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Μία μηδενική ιδιοτιμή \rightarrow Ακμή

Δύο μηδενικές ιδιοτιμές \rightarrow Ομογενής περιοχή

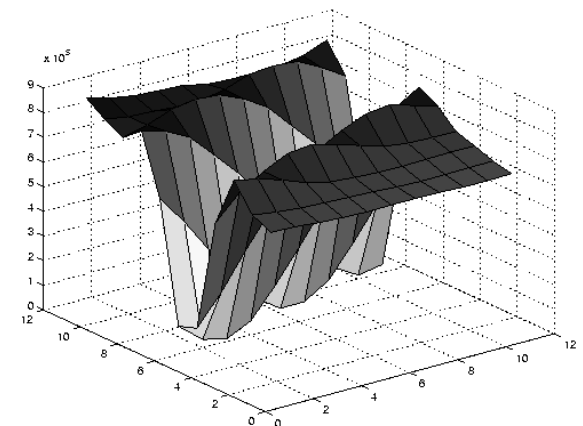
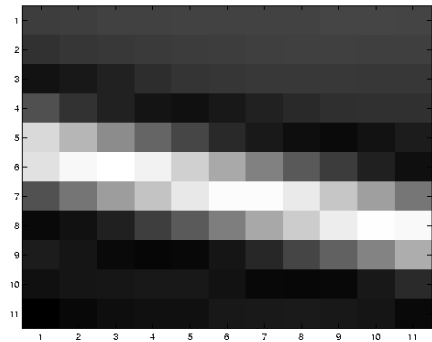
Δηλαδή στις παραπάνω περιπτώσεις εξακολουθεί να υφίσταται το *πρόβλημα της οπής!!!*



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – *Motion Estimation*

$$R(C) < 0$$

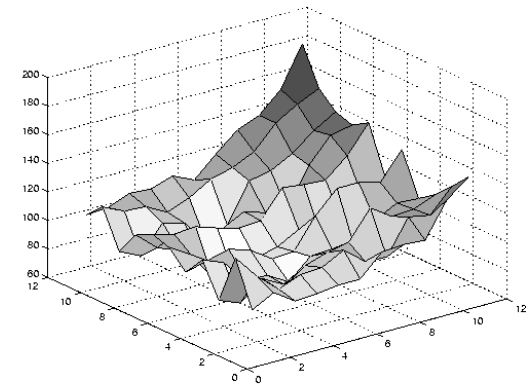
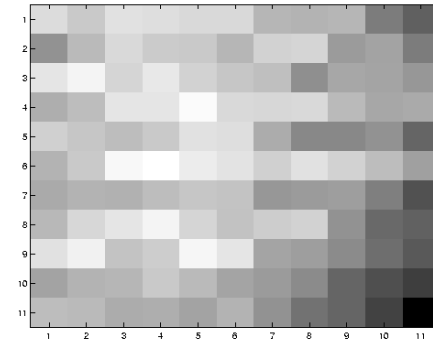


Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – *Motion Estimation*

χωρίς Υφή

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

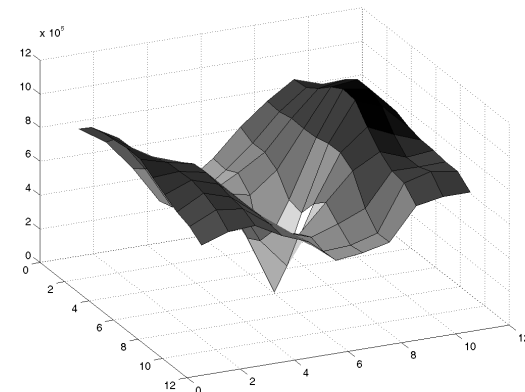
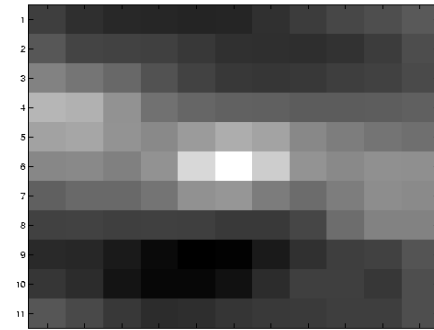
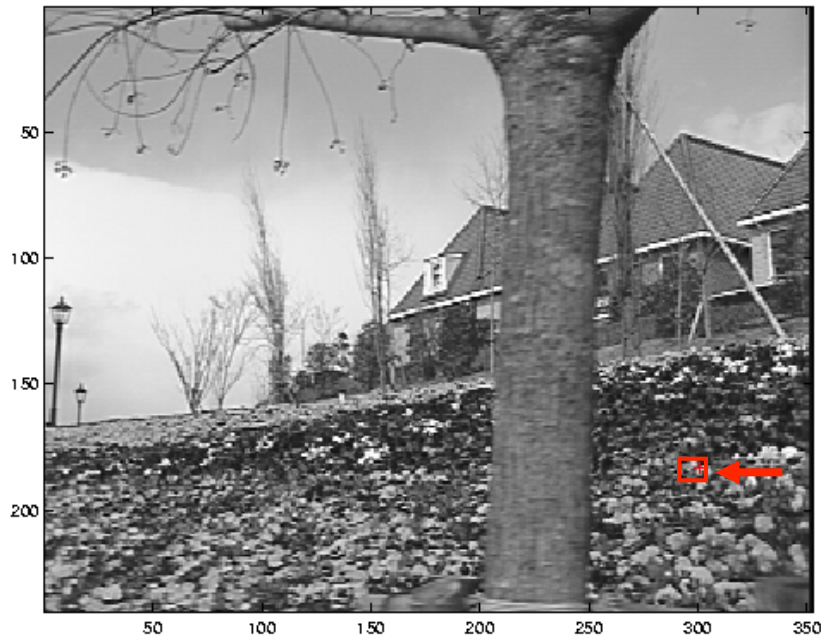


Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

με

$$R(C) \gg 0$$

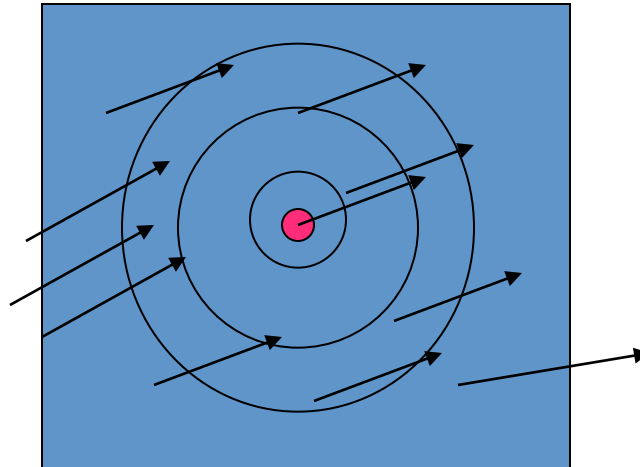


Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

1-η: Παρατήρηση ...

- Η υπόθεση της σταθερής οπτικής ροής όσο απομακρυνόμαστε από το κεντρικό εικονοστοιχείο, είναι πολύ πιθανόν να είναι λάθος!!!



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – *Motion Estimation*

2-η: Παρατήρηση ...

- Το πρόβλημα της εκτίμησης Κίνησης είναι ένα πρόβλημα δύο εικόνων... Όμως:
 - Μπορούμε να εκτιμήσουμε την ευαισθησία των εικονοστοιχείων εξετάζοντας μόνο την μία εικόνα !!!
 - Μπορούμε να δούμε ποια εικονοστοιχεία είναι εύκολο να ιχνηλατηθούν και ποιά όχι
 - Η παρατήρηση αυτή είναι πολύ χρήσιμη όταν θέλουμε να κάνουμε ιχνηλάτιση χαρακτηριστικών (feature tracking)...



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Επανεξέταση της υπόθεσης μικρών κινήσεων



- Μπορεί να χαρακτηριστεί η κίνηση αυτή αρκετά μικρή;
 - Μάλλον όχι...
 - Πώς μπορούμε να λύσουμε το πρόβλημα;



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Επαναληπτικοί Αλγόριθμοι

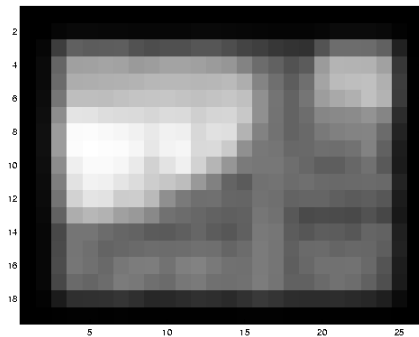
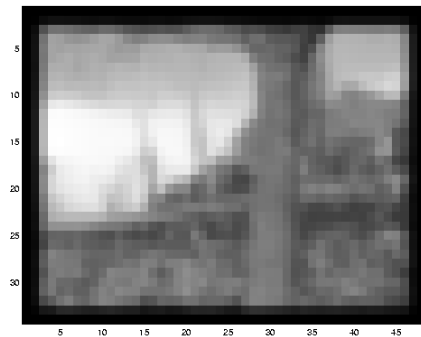
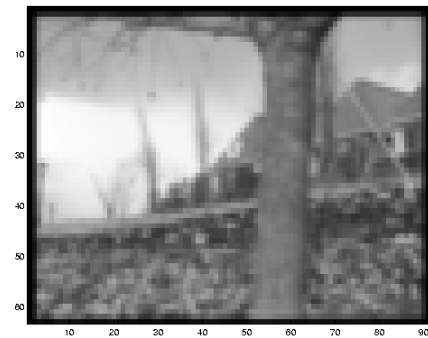
- Επαναληπτικός Αλγόριθμος των Lukas-Kanade
 1. Εκτίμηση ταχύτητας σε κάθε εικονοστοιχείο.
 2. Χρήση της εκτιμηθείσας ταχύτητας για την «ευθυγράμμιση» της μίας εικόνας στην άλλη
 3. Επανάληψη μέχρι σύγκλιση



Υπολογιστική Όραση

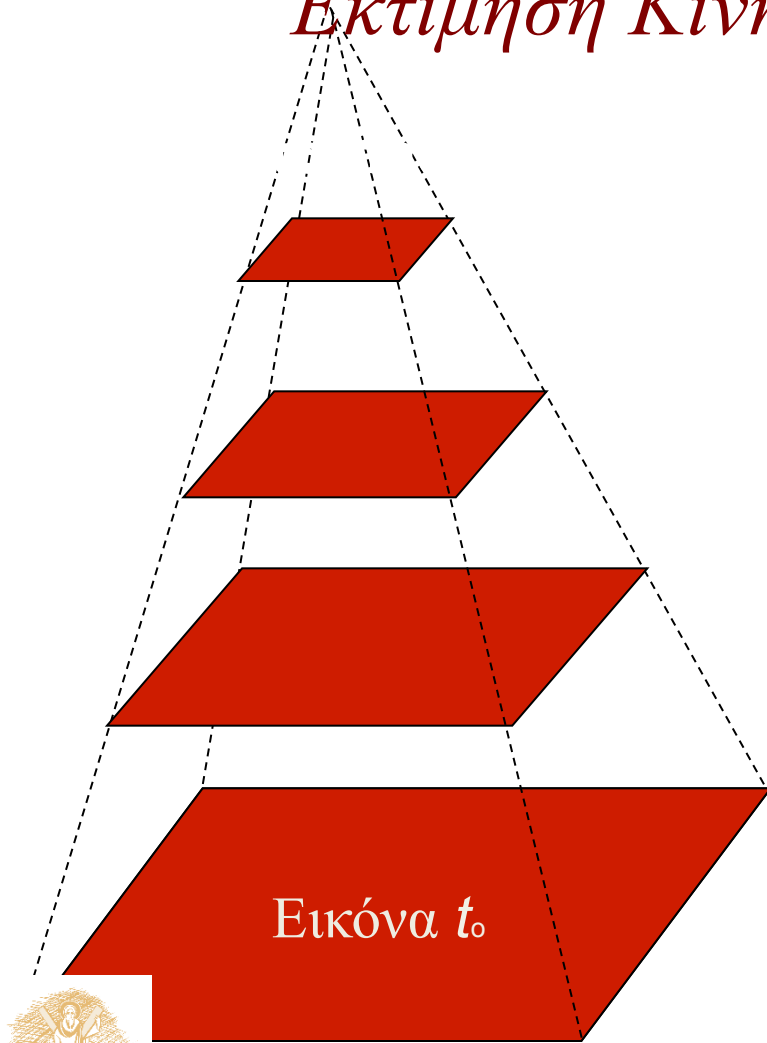
Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

Μείωση της ανάλυσης



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

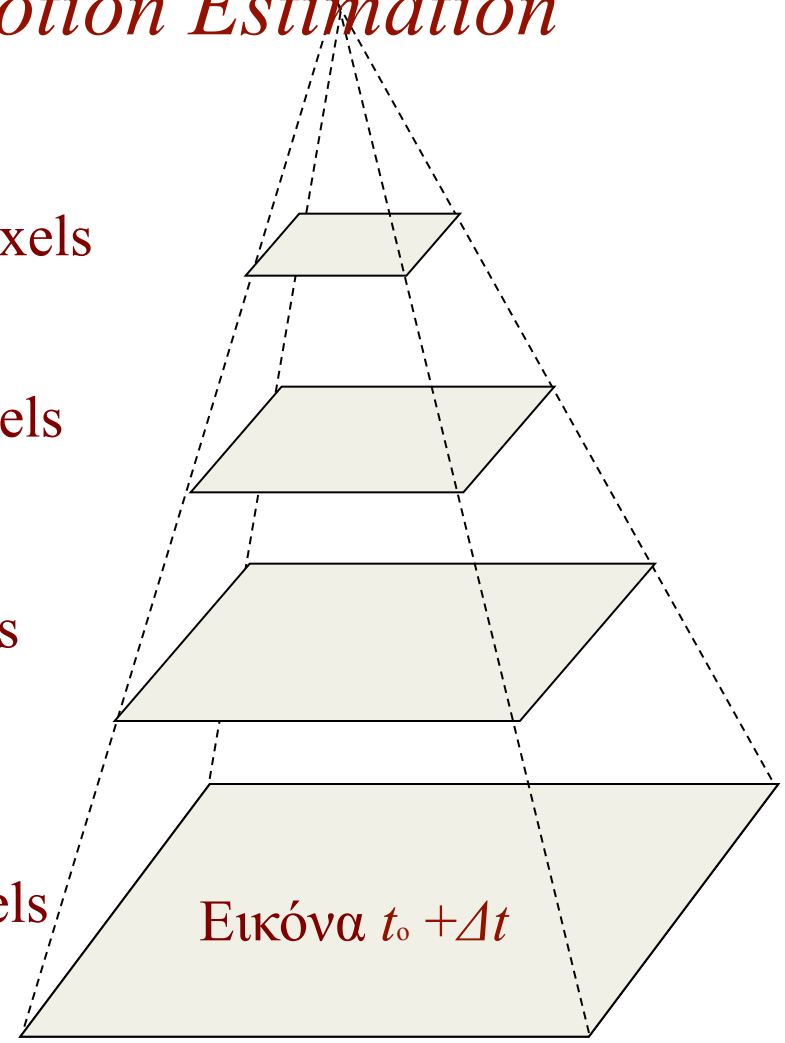


$u=1.25$ pixels

$u=2.5$ pixels

$u=5$ pixels

$u=10$ pixels



Gaussian Πυραμίδες



Υπολογιστική Όραση

Εκτίμηση Κίνησης – Motion Estimation

