



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Ρομποτικά Συστήματα

Ενότητα 5: Κατάτμηση εικόνας-video οπτική ροή

Αντώνιος Τζές – Ευάγγελος Δερματάς

Σχολή Πολυτεχνική

Τμήμα ΗΜ&ΤΥ

# Σκοποί ενότητας

- Σκοπός της ενότητας είναι η παρουσίαση και εξοικείωση με τα ακόλουθα στοιχεία ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας:
  - Κατάτμηση εικόνας-video με τεχνικές οπτικής ροής (optical flow)



# Περιεχόμενα ενότητας

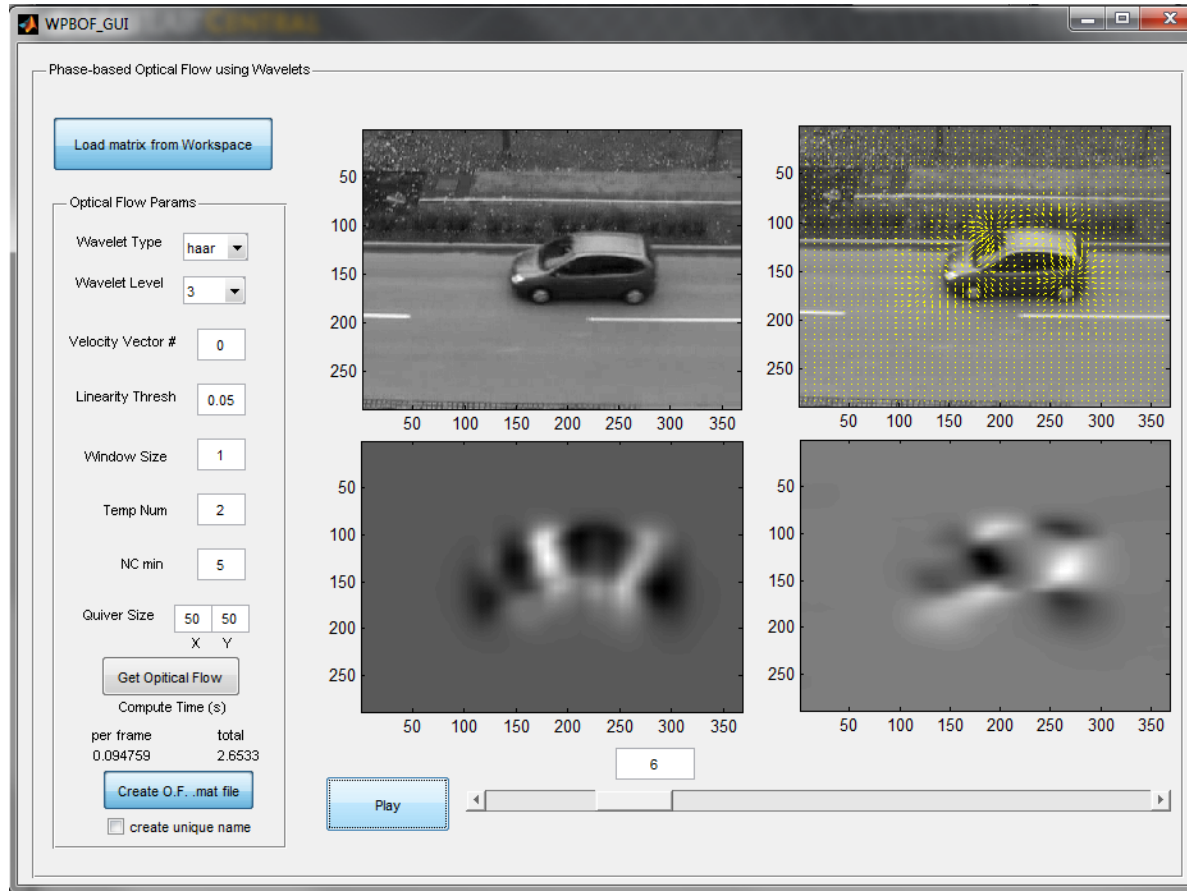
- Κατάτμηση εικόνας-video με τεχνικές οπτικής ροής



# Κατάτμηση εικόνας-video (Οπτική ροή)

Πηγή: Mathworks File Exchange, Wavelet Approximations Phase-based Optical Flow GUI

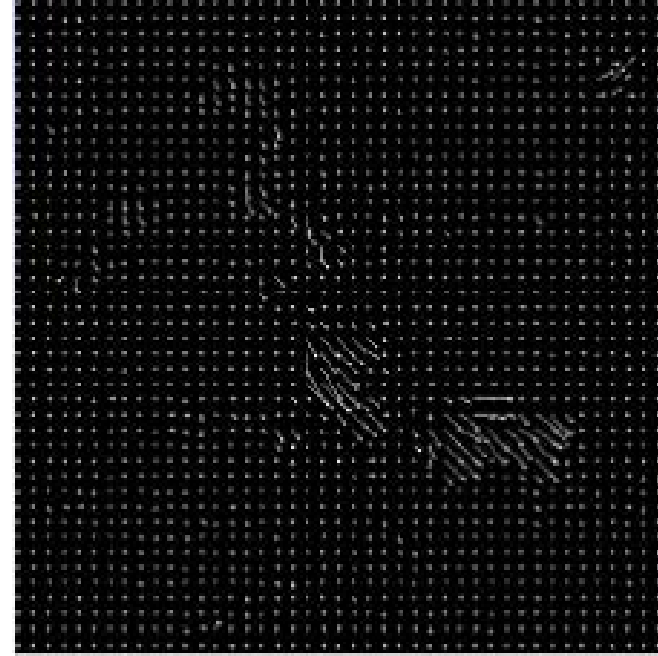
By Michael Dessauer, URL: [http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/26815-wavelet-approximations-phase-based-optical-flow-gui/content/PBOFgui/WPBOF\\_GUI.m](http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/26815-wavelet-approximations-phase-based-optical-flow-gui/content/PBOFgui/WPBOF_GUI.m)



Εικόνα 1: Εύρεση οπτικής ροής εικόνας βάση διαφοράς φάσης με λογισμικό Matlab



# Κατάτμηση εικόνας-video (Οπτική ροή)



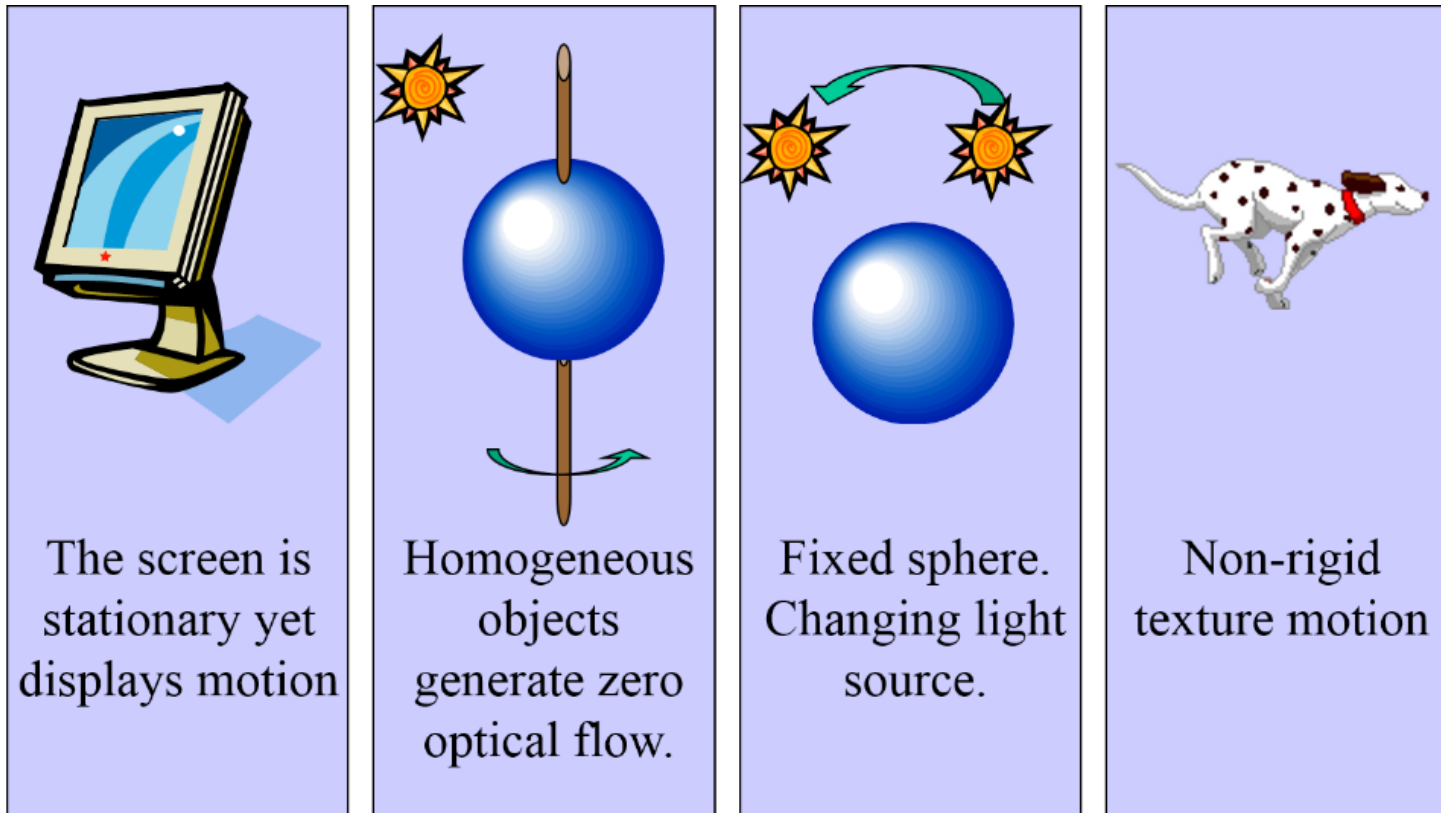
Εικόνα 2: Εύρεση οπτικής ροής εικόνας με λογισμικό Matlab

Πηγή (αρχικής εικόνας): Video & Image Processing Lab, School of Electronic Engineering, Xinbo Gao,  
URL: [http://see.xidian.edu.cn/vipsi/database\\_Video.html](http://see.xidian.edu.cn/vipsi/database_Video.html)



# Κίνηση αντικειμένων 3D- Περιοχές ομοιάζουσας κατανομής χρώματος

Πηγή: Lectures on Image Processing by Lihi Zelnik-Manor, Computational Vision @ Caltech 2004, Available at: <http://www.vision.caltech.edu/html-files/EE148-2005/uploads/OpticalFlow.pdf>, All images available in public domain at <http://www.vision.caltech.edu/archive.html>

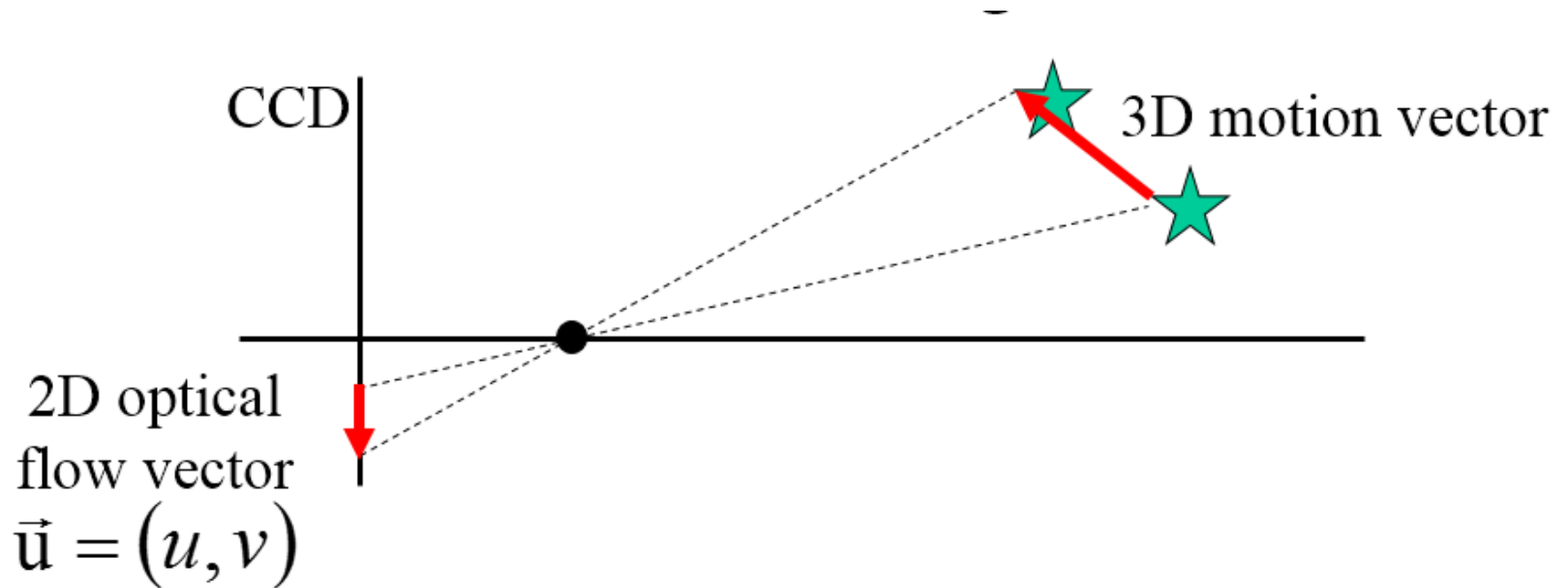


Εικόνα 3: Τυπικές μορφές κίνησης



# 3D- 2D οπτική ροή

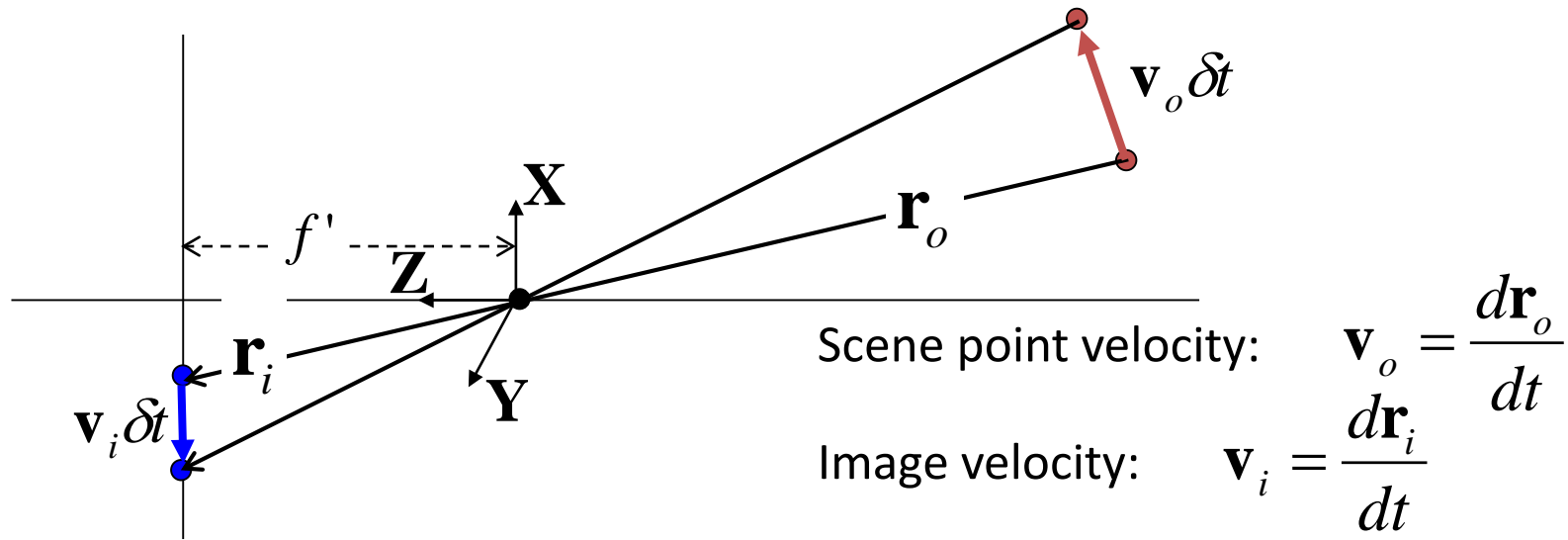
Πηγή: Lectures on Image Processing by Lihi Zelnik-Manor, Computational Vision @ Caltech 2004, Available at: <http://www.vision.caltech.edu/html-files/EE148-2005/uploads/OpticalFlow.pdf>, All images available in public domain at <http://www.vision.caltech.edu/archive.html>



Εικόνα 4: Μετατροπή 3-διάστατης κίνησης σε 2-διάστατη (μοντέλο Pinhole)



# 3D- 2D οπτική ροή



Εικόνα 5: Υπολογισμός ταχύτητας κινούμενου σημείου

Perspective projection:  $\frac{1}{f'} \mathbf{r}_i = \frac{\mathbf{r}_o}{\mathbf{r}_o \cdot \mathbf{Z}}$

Motion field

$$\mathbf{v}_i = \frac{d\mathbf{r}_i}{dt} = f' \frac{(\mathbf{r}_o \cdot \mathbf{Z})\mathbf{v}_o - (\mathbf{v}_o \cdot \mathbf{Z})\mathbf{r}_o}{(\mathbf{r}_o \cdot \mathbf{Z})^2} = f' \frac{(\mathbf{r}_o \times \mathbf{v}_o) \times \mathbf{Z}}{(\mathbf{r}_o \cdot \mathbf{Z})^2}$$





# 3D- 2D οπτική ροή

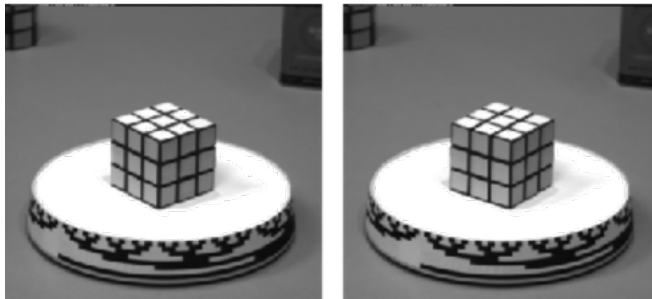
## Ideally Optical flow = Motion field

Αλλαγή φωτισμού -> Κίνηση αντικειμένων;

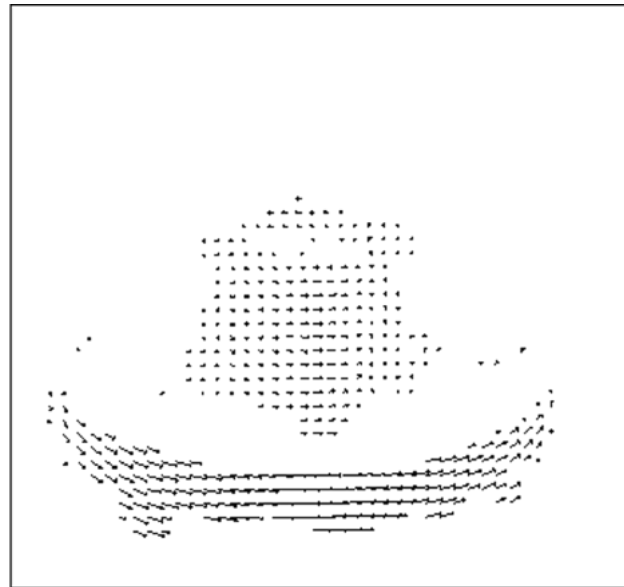
Κίνηση φωτιστικού σημείου -> Κίνηση αντικειμένων;

Κίνηση κάμερας -> Κίνηση αντικειμένων;

Αλλαγή εστίασης -> Κίνηση αντικειμένων;



Πηγή: Lectures on Computer Vision by [Khurram Hassan Shafique](http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/),  
Computer Vision Lab @ Univeristy of California (USF), Spring 2003,  
Available at: <http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

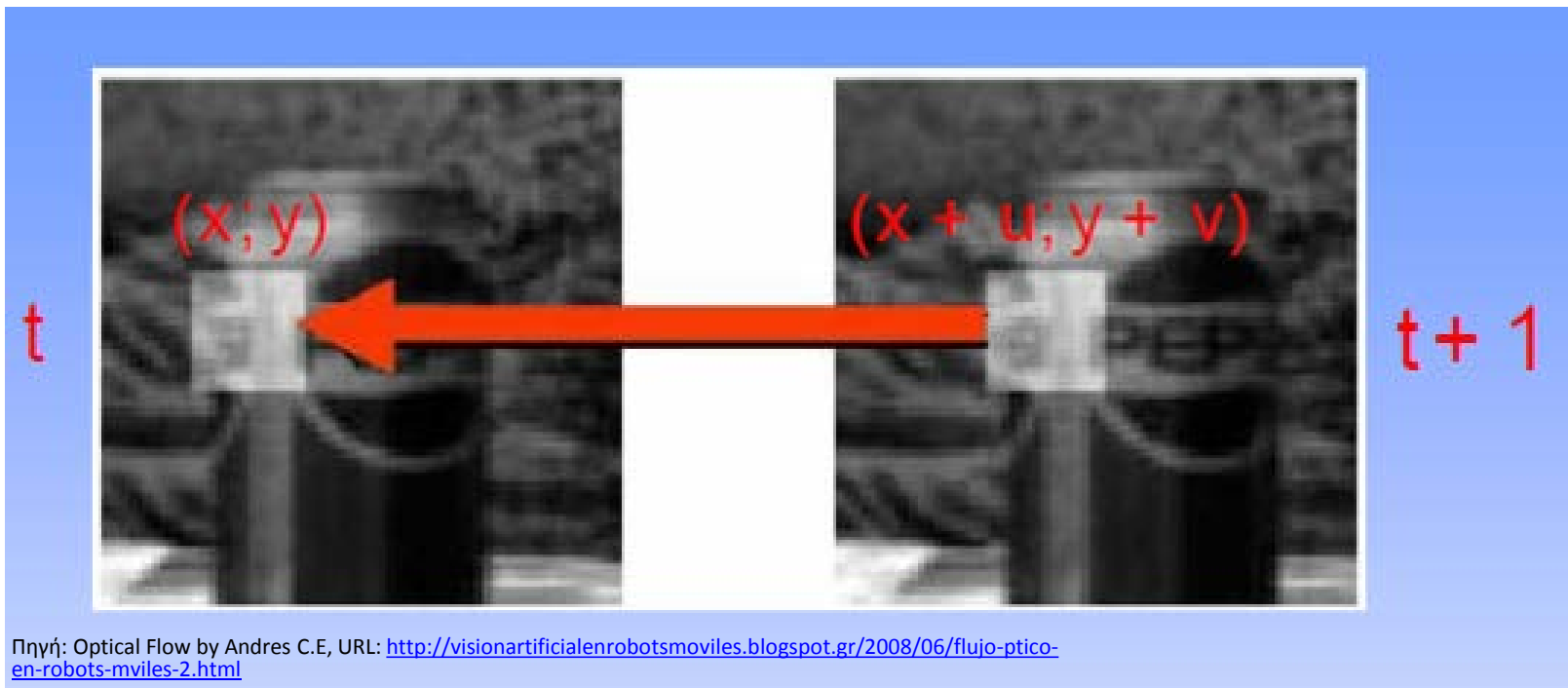


Εικόνα 6: Η περίπτωση ιδανικής οπτικής ροής



# Οπτική ροή - Υποθέσεις

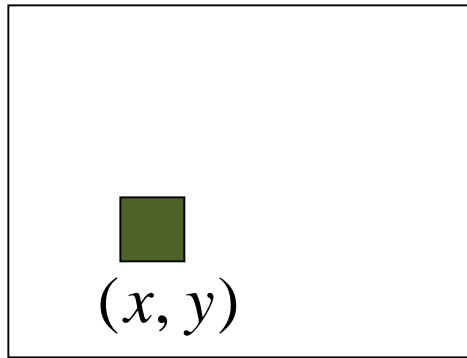
$$I(x, y, t) = I(x + dx, y + dy, t + 1)$$



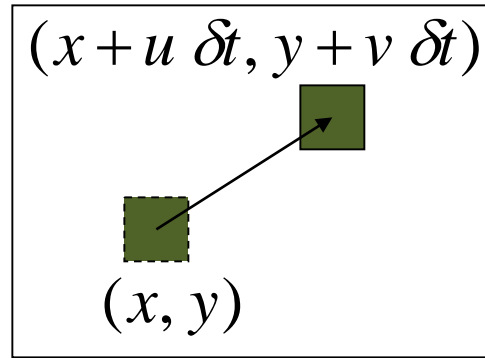
Εικόνα 7: Οπτική ροή - Υποθέσεις



# Οπτική ροή - Επίλυση



*time t*



*time t +  $\delta t$*

Optical Flow: Velocities  $(u, v)$

Displacement:

$$(\delta x, \delta y) = (u \delta t, v \delta t)$$

–Assume brightness of patch remains same in both images:

$$E(x + u \delta t, y + v \delta t, t + \delta t) = E(x, y, t)$$

–Taylor:

$$E(x, y, t) + \delta x \frac{\partial E}{\partial x} + \delta y \frac{\partial E}{\partial y} + \delta t \frac{\partial E}{\partial t} = E(x, y, t)$$



# Οπτική ροή - Επίλυση

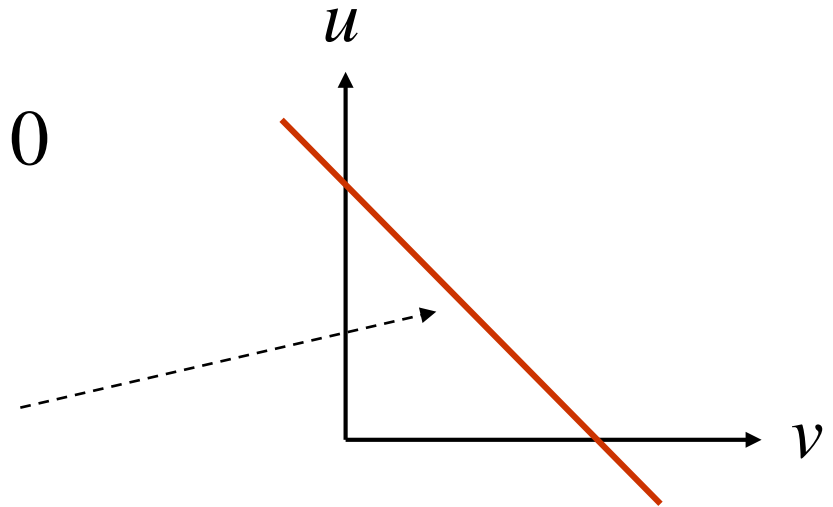
$$\delta x \frac{\partial E}{\partial x} + \delta y \frac{\partial E}{\partial y} + \delta t \frac{\partial E}{\partial t} = 0$$

Divide by  $\delta t$  and take the limit  $\delta t \rightarrow 0$

$$\frac{dx}{dt} \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{dy}{dt} \frac{\partial E}{\partial y} + \frac{\partial E}{\partial t} = 0$$

Constraint Equation

$$E_x u + E_y v + E_t = 0$$



Η εξίσωση δεν λύνεται διότι έχουμε δύο αγνώστους



# Οπτική ροή – Επίλυση Lucas Kanade – Solving the aperture problem

- Least squares problem:

$$\begin{bmatrix} I_x(\mathbf{p}_1) & I_y(\mathbf{p}_1) \\ I_x(\mathbf{p}_2) & I_y(\mathbf{p}_2) \\ \vdots & \vdots \\ I_x(\mathbf{p}_{25}) & I_y(\mathbf{p}_{25}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} I_t(\mathbf{p}_1) \\ I_t(\mathbf{p}_2) \\ \vdots \\ I_t(\mathbf{p}_{25}) \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} A & d = b \\ 25 \times 2 & 2 \times 1 & 25 \times 1 \end{matrix}$$

- When is this system solvable?

B. Lucas and T. Kanade, [An iterative image registration technique with an application to stereo vision.](#), In *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 674–679, 1981.



# Οπτική ροή – Lucas Kanade flow

$$\begin{bmatrix} \sum I_x I_x & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y I_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \sum I_x I_t \\ \sum I_y I_t \end{bmatrix}$$

$A^T A$   $A^T b$

- $M = A^T A$  is the *second moment matrix*
- The system is solvable by looking at the eigenvalues of the second moment matrix
  - The eigenvectors and eigenvalues of  $M$  relate to edge direction and magnitude
  - The eigenvector associated with the larger eigenvalue points in the direction of fastest intensity change, and the other eigenvector is orthogonal to it



# Οπτική ροή – Εφαρμογή

## Uniform region



- Gradients have small magnitude
- Small  $\lambda_1$ , small  $\lambda_2$
- System is ill-conditioned

Πηγή: Lectures on Computer Vision by Svetlana Lazebnik (lazebnik-at-cs.unc.edu), Lecture 25 (Optical Flow), Available at URL: <http://www.cs.unc.edu/~lazebnik/spring11/>, Αρχική εικόνα: Flower Garden sequence, Signal Analysis and Machine Perception Laboratory, Ohio State University, available at <http://sampl.ece.ohio-state.edu/data/motion/sflowg/index.htm> & Professor Black <http://cs.brown.edu/~black/>

Εικόνα 8: Οπτική ροή – Ομοιόμορφη περιοχή



# Οπτική ροή – Εφαρμογή

## Edge



- Gradients have one dominant region
- Large  $\lambda_1$ , small  $\lambda_2$
- System is ill-conditioned

Πηγή: Lectures on Computer Vision by Svetlana Lazebnik (lazebnik-at-cs.unc.edu), Lecture 25 (Optical Flow), Available at URL: <http://www.cs.unc.edu/~lazebnik/spring11/>, Αρχική εικόνα: Flower Garden sequence, Signal Analysis and Machine Perception Laboratory, Ohio State University, available at <http://sampl.ece.ohio-state.edu/data/motion/sflowg/index.htm> & Professor Black <http://cs.brown.edu/~black/>

Εικόνα 9: Οπτική ροή – Άκρο





# Οπτική ροή – Εφαρμογή

## High-texture or corner region



- Gradients have different directions, large magnitudes
- Large  $\lambda_1$ , Large  $\lambda_2$
- System is well-conditioned

Πηγή: Lectures on Computer Vision by Svetlana Lazebnik (lazebnik-at-cs.unc.edu), Lecture 25 (Optical Flow), Available at URL: <http://www.cs.unc.edu/~lazebnik/spring11/>, Αρχική εικόνα: Flower Garden sequence, Signal Analysis and Machine Perception Laboratory, Ohio State University, available at <http://sampl.ece.ohio-state.edu/data/motion/sflowg/index.htm> & Professor Black <http://cs.brown.edu/~black/>

Εικόνα 10: Οπτική ροή – Υψηλή μεταβλητότητα υφής



# Οπτική ροή – Σφάλματα μεθόδου Lucas-Kanade

- The motion is large (larger than a pixel)
  - Iterative refinement
  - Coarse-to-fine estimation
- A point does not move like its neighbors
  - Motion segmentation
- Brightness constancy does not hold
  - Exhaustive neighborhood search with normalized correlation



Τέλος Ενότητας

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0



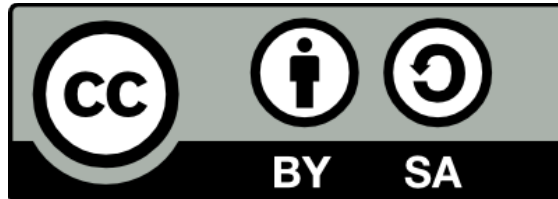
# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Αντώνιος Τζές, Ευάγγελος Δερματάς,  
«Ρομποτικά Συστήματα. Κατάτμηση εικόνας-video οπτική ροή». Έκδοση: 1.0.  
Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:  
<https://eclass.upatras.gr/courses/EE804/index.php>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

**Σύμφωνα με αυτήν την άδεια ο δικαιούχος σας δίνει το δικαίωμα να:**

**Μοιραστείτε** — αντιγράψετε και αναδιανέμετε το υλικό

**Προσαρμόστε** — αναμείξτε, τροποποιήστε και δημιουργήστε πάνω στο υλικό για κάθε σκοπό

**Υπό τους ακόλουθους όρους:**

**Αναφορά Δημιουργού** — Θα πρέπει να καταχωρίσετε αναφορά στο δημιουργό , με σύνδεσμο της άδειας

**Παρόμοια Διανομή** — Αν αναμείξετε, τροποποιήσετε, ή δημιουργήσετε πάνω στο υλικό, πρέπει να διανείμετε τις δικές σας συνεισφορές υπό την ίδια άδεια όπως και το πρωτότυπο



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

## Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

**Εικόνα 1:** Εύρεση οπτικής ροής εικόνας βάση διαφοράς φάσης με λογισμικό Matlab, Mathworks File Exchange, Wavelet Approximations Phase-based Optical Flow GUI By Michael Dessauer, URL:

[http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/26815-wavelet-approximations-phase-based-optical-flow-gui/content/PBOFgui/WPBOF\\_GUI.m](http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/26815-wavelet-approximations-phase-based-optical-flow-gui/content/PBOFgui/WPBOF_GUI.m), Αρχική εικόνα: Mathworks, Matlab, Image processing toolbox sample images,

Copyright © 2015, Image Analyst, All rights reserved, URL:

<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/25157-image-segmentation-tutorial>

**Εικόνα 2:** Εύρεση οπτικής ροής εικόνας με λογισμικό Matlab, Πηγή (αρχικής εικόνας): Video & Image Processing Lab, School of Electronic Engineering, Xinbo Gao, URL: [http://see.xidian.edu.cn/vipsi/database\\_Video.html](http://see.xidian.edu.cn/vipsi/database_Video.html)

**Εικόνα 3** Τυπικές μορφές κίνησης, Lectures on Image Processing by Lihi Zelnik-Manor, Computational Vision @ Caltech 2004, Available at: <http://www.vision.caltech.edu/html-files/EE148-2005/uploads/OpticalFlow.pdf>, All images available in public domain at <http://www.vision.caltech.edu/archive.html>

**Εικόνα 4:** Μετατροπή 3-διάστατης κίνησης σε 2-διάστατη (μοντέλο Pinhole), Lectures on Image Processing by Lihi Zelnik-Manor, Computational Vision @ Caltech 2004, Available at: <http://www.vision.caltech.edu/html-files/EE148-2005/uploads/OpticalFlow.pdf>, All images available in public domain at <http://www.vision.caltech.edu/archive.html>

**Εικόνα 5:** Υπολογισμός ταχύτητας κινούμενου σημείου, Lectures on Image Processing by Lihi Zelnik-Manor, Computational Vision @ Caltech 2004, Available at: <http://www.vision.caltech.edu/html-files/EE148-2005/uploads/OpticalFlow.pdf>, All images available in public domain at <http://www.vision.caltech.edu/archive.html>



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

## Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

**Εικόνα 6:** Η περίπτωση ιδανικής οπτικής ροής, Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (USF), Spring 2003, Available at: <http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

**Εικόνα 7:** Οπτική ροή - Υποθέσεις, <http://visionartificialenrobotsmoviles.blogspot.gr/2008/06/flujo-ptico-en-robots-mviles-2.html>

**Εικόνα 8:** Οπτική ροή – Ομοιόμορφη περιοχή, Πηγή: Lectures on Computer Vision by Svetlana Lazebnik (lazebnik -at- cs.unc.edu), Lecture 25 (Optical Flow), Available at URL: <http://www.cs.unc.edu/~lazebnik/spring11/>, Αρχική εικόνα: Flower Garden sequence, Signal Analysis and Machine Perception Laboratory, Ohio State University, available at <http://sampl.ece.ohio-state.edu/data/motion/sflowg/index.htm> and Professor Black <http://cs.brown.edu/~black/>

**Εικόνα 9:** Οπτική ροή – Άκρο, Πηγή: Lectures on Computer Vision by Svetlana Lazebnik (lazebnik -at- cs.unc.edu), Lecture 25 (Optical Flow), Available at URL: <http://www.cs.unc.edu/~lazebnik/spring11/>, Αρχική εικόνα: Flower Garden sequence, Signal Analysis and Machine Perception Laboratory, Ohio State University, available at <http://sampl.ece.ohio-state.edu/data/motion/sflowg/index.htm> and Professor Black <http://cs.brown.edu/~black/>

**Εικόνα 10:** Οπτική ροή – Υψηλή μεταβλητότητα υφής, Πηγή: Lectures on Computer Vision by Svetlana Lazebnik (lazebnik -at- cs.unc.edu), Lecture 25 (Optical Flow), Available at URL: <http://www.cs.unc.edu/~lazebnik/spring11/>, Αρχική εικόνα: Flower Garden sequence, Signal Analysis and Machine Perception Laboratory, Ohio State University, available at <http://sampl.ece.ohio-state.edu/data/motion/sflowg/index.htm> and Professor Black <http://cs.brown.edu/~black/>

