



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ρομποτικά Συστήματα

Ενότητα 7: Στερεοσκοπική απεικόνιση

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:
- Στερεοσκοπική απεικόνιση



Περιεχόμενα ενότητας

- Στερεοσκοπική απεικόνιση



Binocular stereo

- Given a calibrated binocular stereo pair, fuse it to produce a depth image

image 1



image 2



Dense depth map



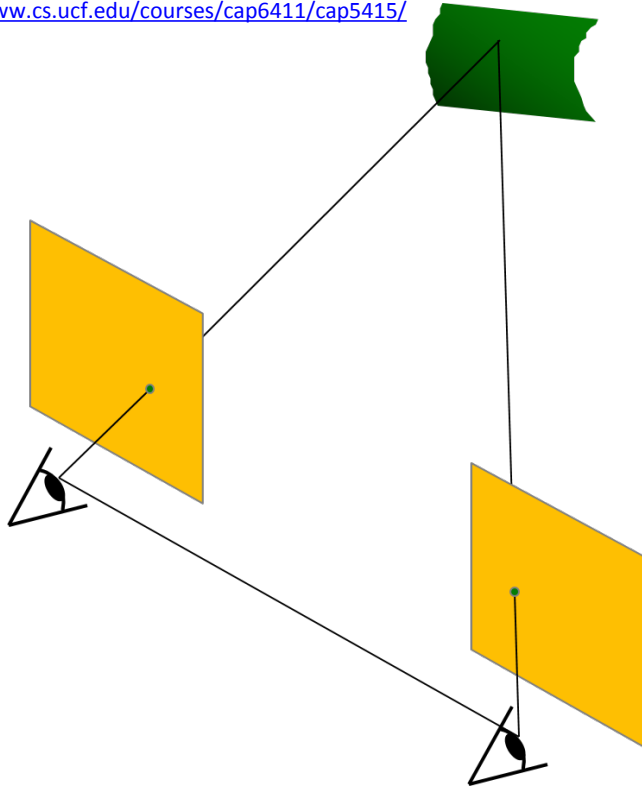
Πηγή: Lectures on Computer Vision by [Khurram Hassan Shafique](http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/),
Computer Vision Lab @ University of California (USF), Spring 2003,
Available at: <http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 1: Παρουσίαση στόχου στερεοσκοπικής όρασης



Simplest case: Parallel images

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



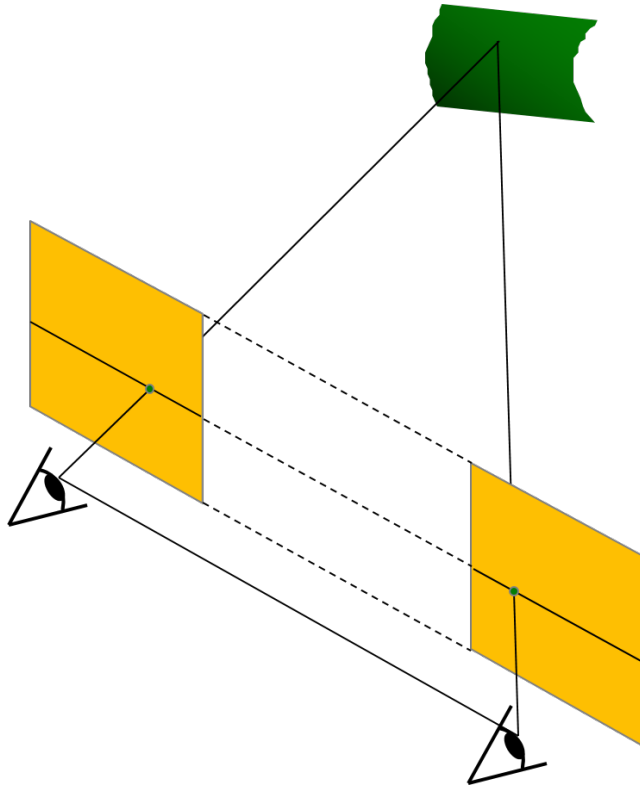
- Image planes of cameras are parallel to each other and to the baseline
- Camera centers are at the same height
- Focal lengths are the same

Εικόνα 2: Μεθοδολογία εύρεσης βάθους (I)



Simplest case: Parallel images

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



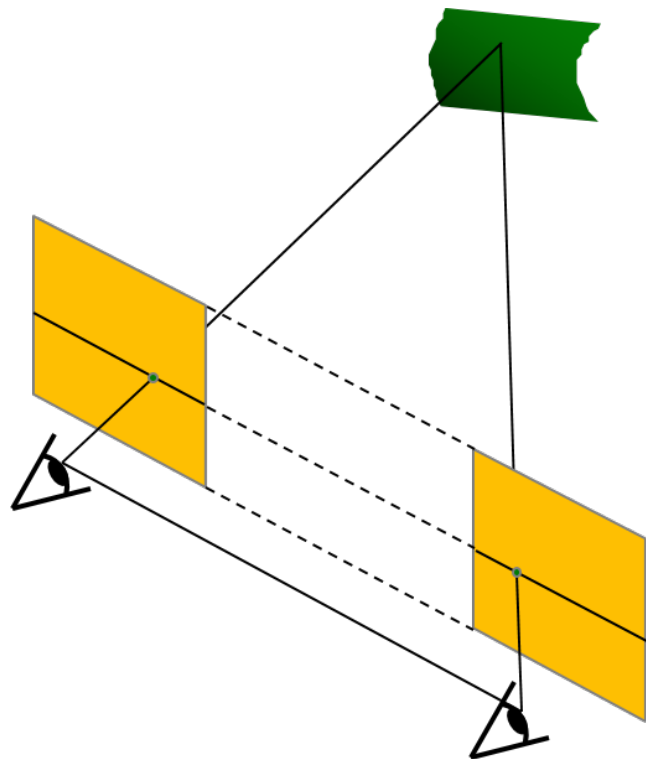
- Image planes of cameras are parallel to each other and to the baseline
- Camera centers are at the same height
- Focal lengths are the same
- Then, epipolar lines fall along the horizontal scan lines of the images

Εικόνα 3: Μεθοδολογία εύρεσης βάθους (II)



Essential matrix for parallel images

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



Epipolar constraint:

$$x^T E x' = 0, \quad E = [t_{\times}] R$$

$$R = I \quad t = (T, 0, 0)$$

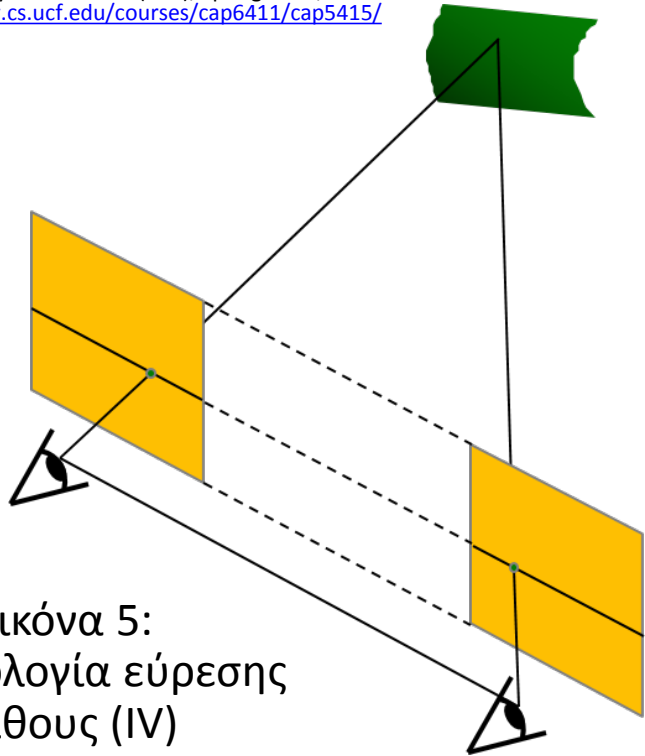
$$E = [t_{\times}] R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -T \\ 0 & T & 0 \end{bmatrix}$$

Εικόνα 4: Μεθοδολογία εύρεσης βάθους (III)



Essential matrix for parallel images

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



Εικόνα 5:
Μεθοδολογία εύρεσης
βάθους (IV)

Epipolar constraint:

$$x^T E x' = 0, \quad E = [t_{\times}] R$$

$$R = I \quad t = (T, 0, 0)$$

$$E = [t_{\times}] R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -T \\ 0 & T & 0 \end{bmatrix}$$

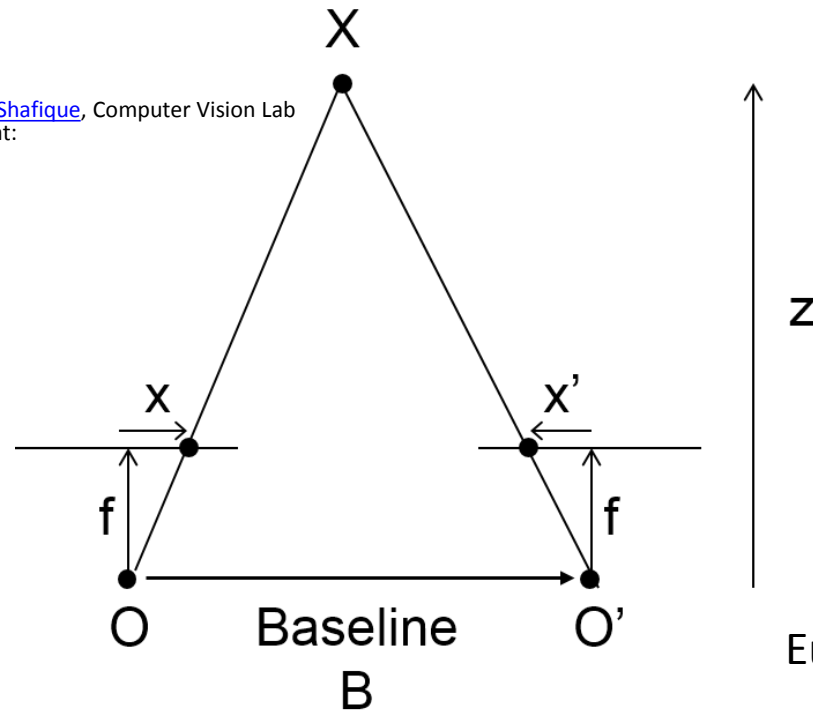
$$(u \quad v \quad 1) \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -T \\ 0 & T & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} u' \\ v' \\ 1 \end{pmatrix} = 0 \quad (u \quad v \quad 1) \begin{pmatrix} 0 \\ -T \\ Tv' \end{pmatrix} = 0 \quad Tv = Tv'$$

The y-coordinates of corresponding points are the same!



Depth from disparity

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



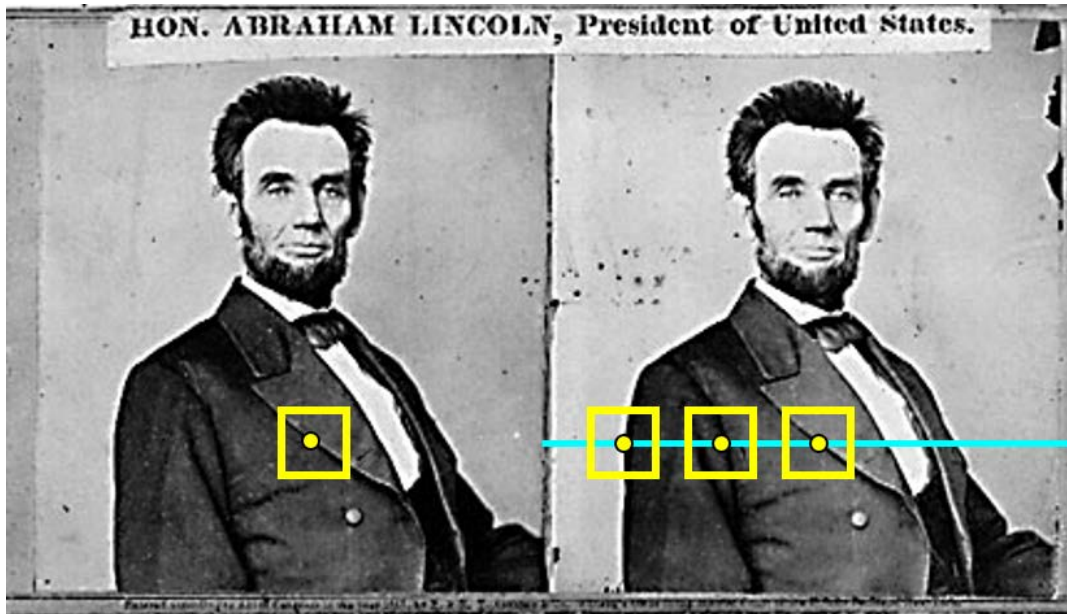
Εικόνα 6: Μεθοδολογία εύρεσης βάθους (z)

$$disparity = x - x' = \frac{B \cdot f}{z}$$

Disparity is inversely proportional to depth!



Basic stereo matching algorithm



- If necessary, rectify the two stereo images to transform epipolar lines into scanlines
- For each pixel x in the first image
 - Find corresponding epipolar scanline in the right image
 - Examine all pixels on the scanline and pick the best match x'
 - Compute disparity $x-x'$ and set $\text{depth}(x) = 1/(x-x')$

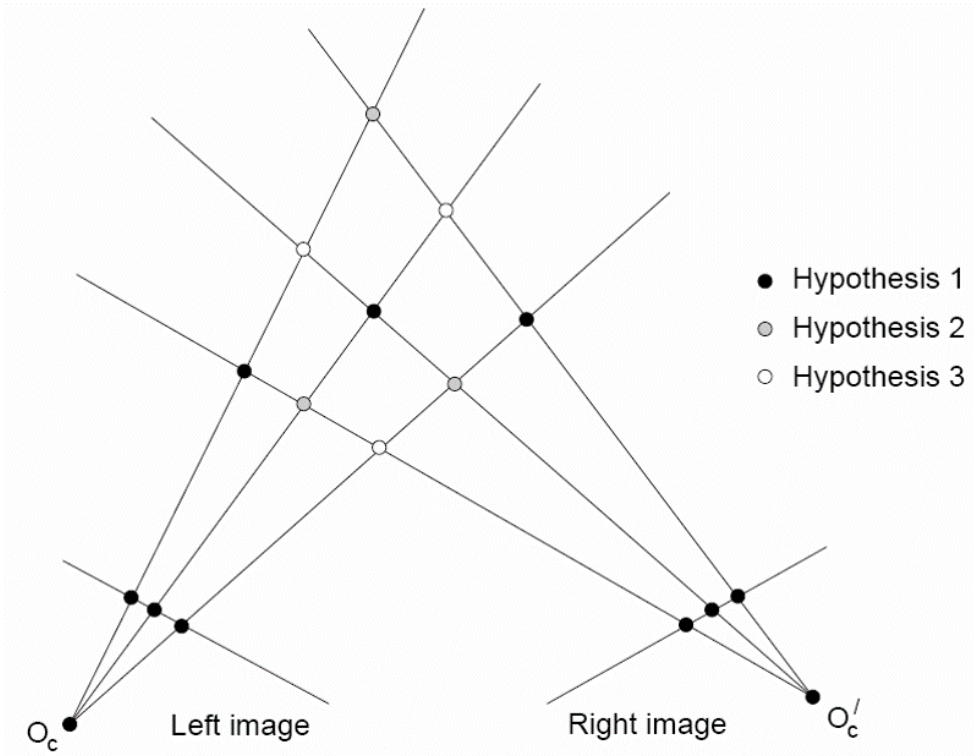
Πηγή: Lectures on Computer Vision by [Khurram Hassan Shafique](http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/), Computer Vision Lab @ University of California (USF), Spring 2003, Available at: <http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 7: Η περίπτωση της διόρθωσης εικόνας για εύρεση βάθους



Correspondence problem

- Multiple matching hypotheses satisfy the epipolar constraint, but which one is correct?

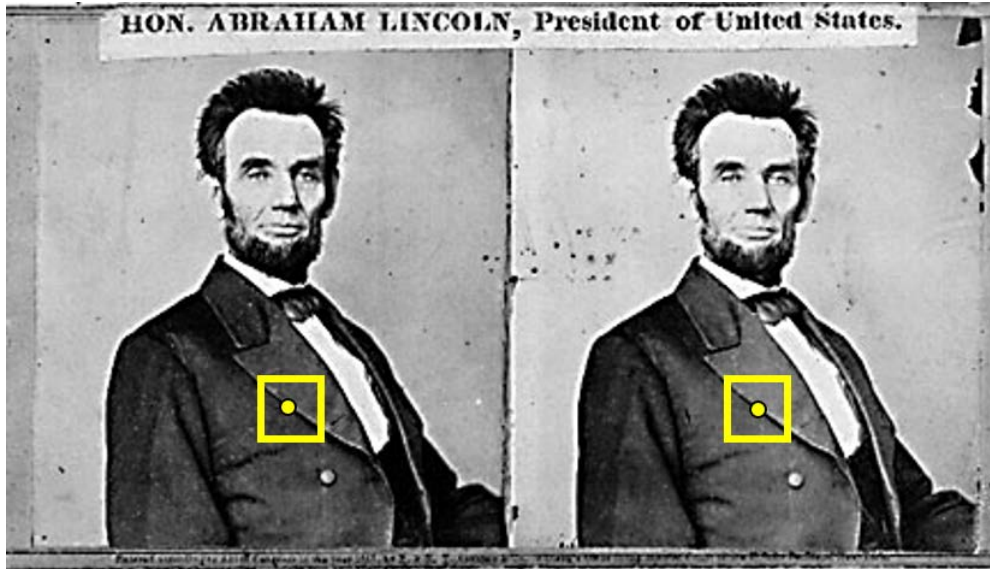


Πηγή: Lectures on Computer Vision by [Khurram Hassan Shafique](#), Computer Vision Lab @ University of California (USF), Spring 2003, Available at: <http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 8: Πρόβλημα πολλαπλών αντιστοιχίσεων



Correspondence problem



- Let's make some assumptions to simplify the matching problem
 - The baseline is relatively small (compared to the depth of scene points)
 - Then most scene points are visible in both views
 - Also, matching regions are similar in appearance

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

Εικόνα 9: Παραδοχές επίλυσης προβλήματος πολλαπλών αντιστοιχίσεων



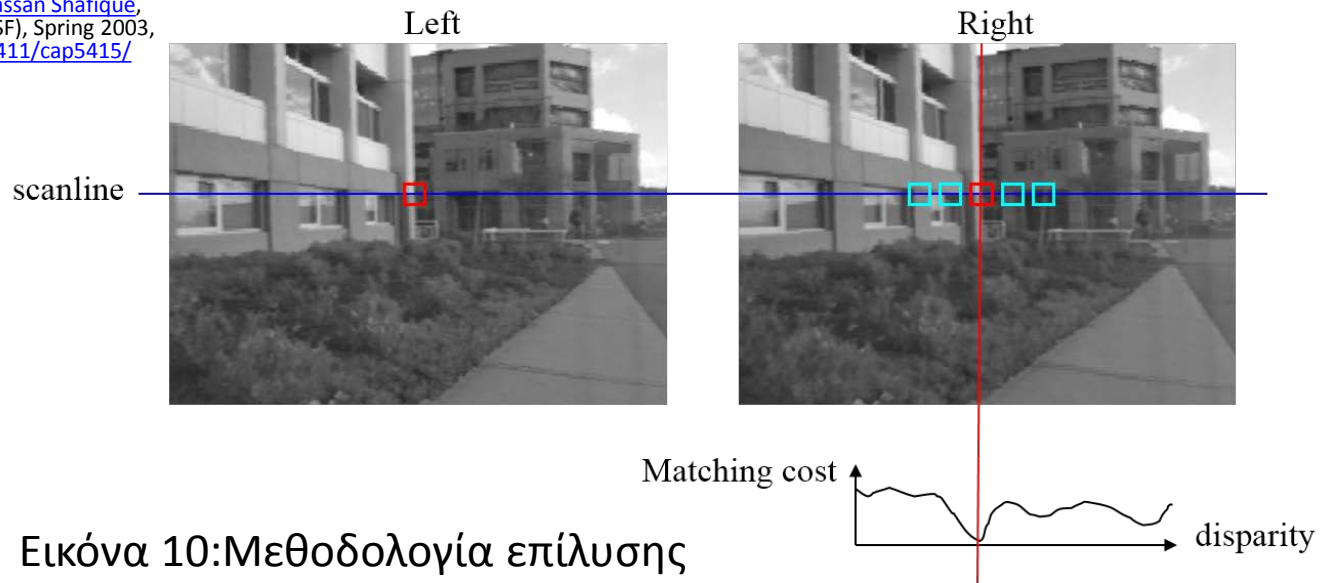
Correspondence problem

- Let's make some assumptions to simplify the matching problem
 - The baseline is relatively small (compared to the depth of scene points)
 - Then most scene points are visible in both views
 - Also, matching regions are similar in appearance



Correspondence search with similarity constraint

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

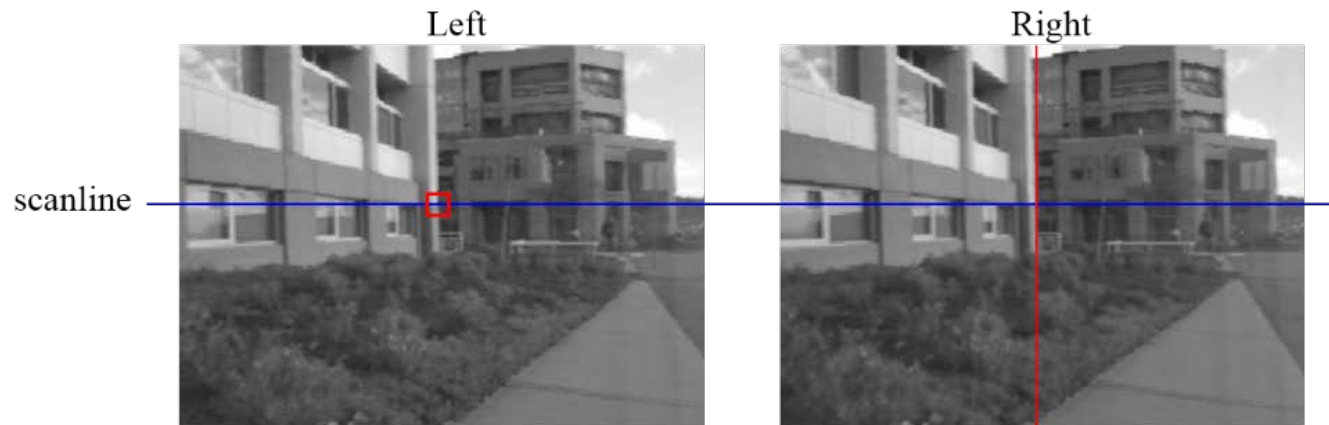


Εικόνα 10: Μεθοδολογία επίλυσης
προβλήματος πολλαπλών αντιστοιχίσεων (I)

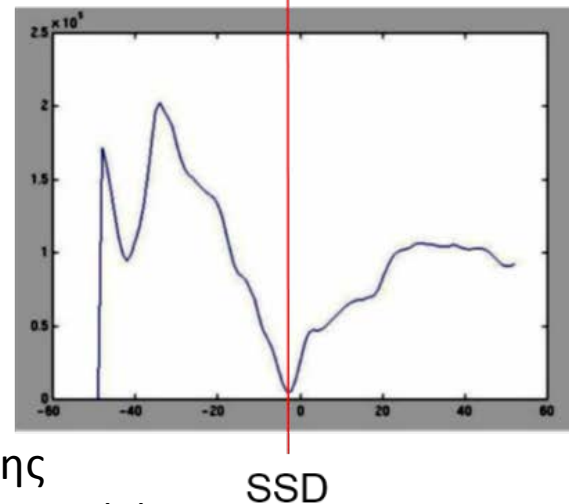
- Let's make some assumptions to simplify the matching problem
 - The baseline is relatively small (compared to the depth of scene points)
 - Then most scene points are visible in both views
 - Also, matching regions are similar in appearance



Correspondence search with similarity constraint



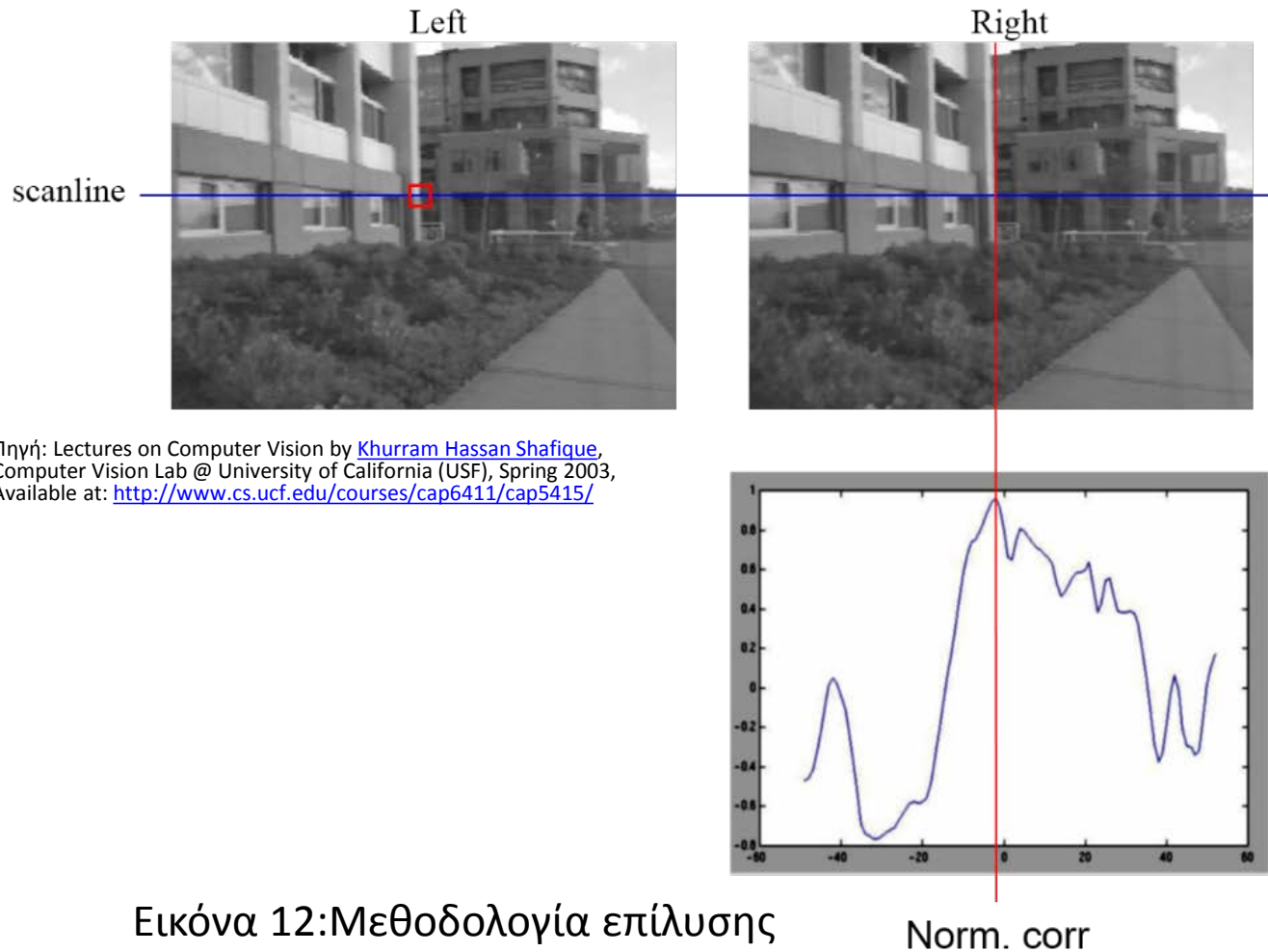
Πηγή: Lectures on Computer Vision by [Khurram Hassan Shafique](http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/),
Computer Vision Lab @ University of California (USF), Spring 2003,
Available at: <http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>



Εικόνα 11: Μεθοδολογία επίλυσης
προβλήματος πολλαπλών αντιστοιχίσεων (II)



Correspondence search with similarity constraint



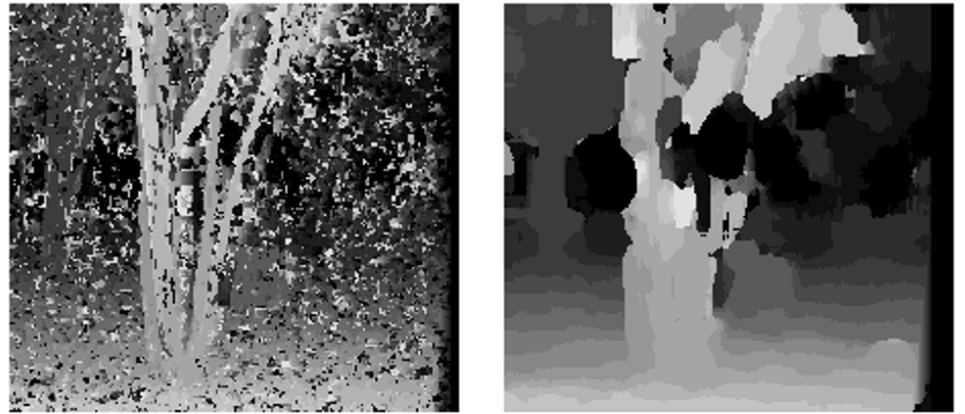
Πηγή: Lectures on Computer Vision by [Khurram Hassan Shafique](http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/),
Computer Vision Lab @ University of California (USF), Spring 2003,
Available at: <http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 12: Μεθοδολογία επίλυσης
προβλήματος πολλαπλών αντιστοιχίσεων (III)



Effect of window size

- Smaller window
 - + More detail
 - More noise
- Larger window
 - + Smoother disparity maps
 - Less detail



$W = 3$

$W = 20$

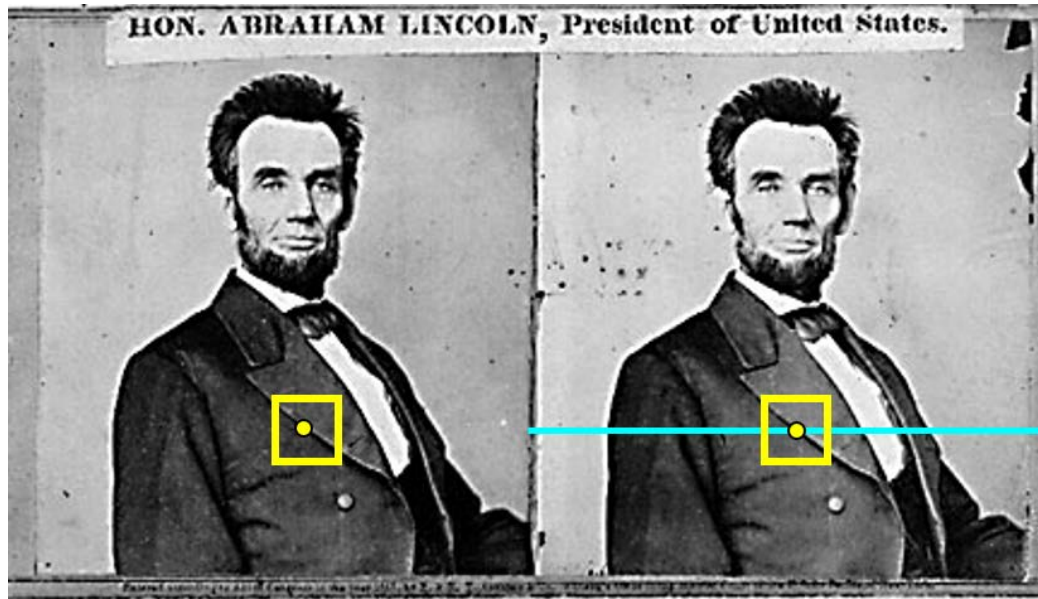


Πηγή: Lectures on Computer Vision by [Khurram Hassan Shafique](http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/),
Computer Vision Lab @ University of California (USF), Spring 2003,
Available at: <http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 13: Μεθοδολογία επίλυσης
προβλήματος πολλαπλών αντιστοιχίσεων (IV)



The similarity constraint



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

Εικόνα 14: Παράδειγμα αποτυχίας μεθόδου

- Corresponding regions in two images should be similar in appearance
- ...and non-corresponding regions should be different
- When will the similarity constraint fail?



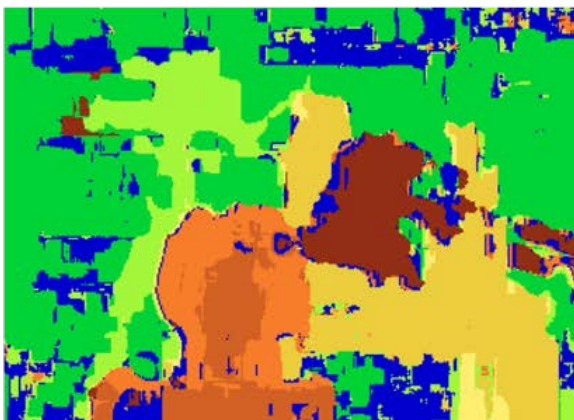
Results with window search

Data



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

Window-based matching



Ground truth



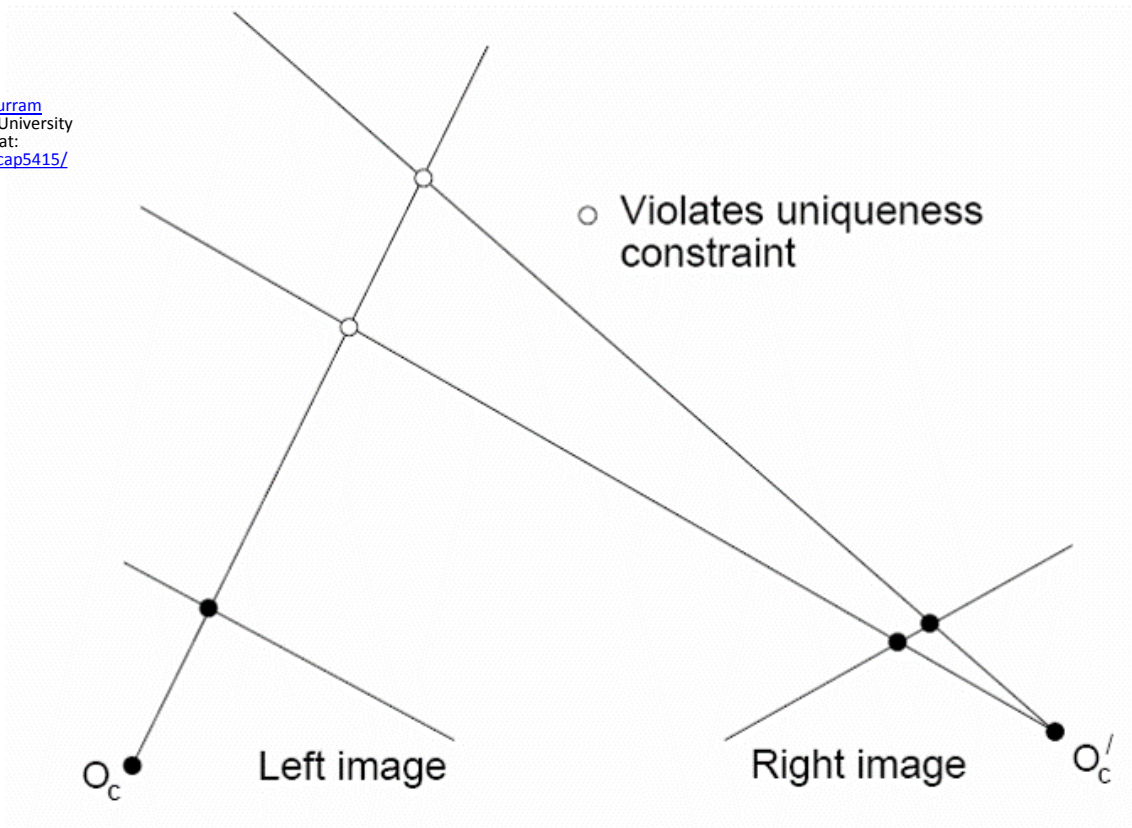
Εικόνα 15: Αποτελέσματα με αναζήτηση παραθύρου



Non-local constraints

- Uniqueness
 - For any point in one image, there should be at most one matching point in the other image

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



Εικόνα 16: Η περίπτωση μη-τοπικών περιορισμών (I)



Non-local constraints



Εικόνα 17: Η περίπτωση μη-τοπικών περιορισμών (II)



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

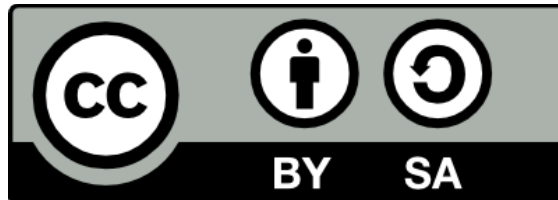
Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Αντώνιος Τζές, Ευάγγελος Δερματάς,
«Ρομποτικά Συστήματα. Στερεοσκοπική απεικόνιση». Έκδοση: 1.0. Πάτρα
2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<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 (1/3)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 1: Παρουσίαση στόχου στερεοσκοπικής όρασης, Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (UCF), Spring 2003, Available at:

<http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 2: Μεθοδολογία εύρεσης βάθους (I), Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (UCF), Spring 2003, Available at:

<http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 3: Μεθοδολογία εύρεσης βάθους (II), Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (UCF), Spring 2003, Available at:

<http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 4: Μεθοδολογία εύρεσης βάθους (III), Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (UCF), Spring 2003, Available at:

<http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 5: Μεθοδολογία εύρεσης βάθους (IV), Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (UCF), Spring 2003, Available at:

<http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 6: Μεθοδολογία εύρεσης βάθους (V), Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (UCF), Spring 2003, Available at:

<http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/3)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 7: Η περίπτωση της διόρθωσης εικόνας για εύρεση βάθους, Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (UCF), Spring 2003, Available at:

<http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 8: Πρόβλημα πολλαπλών αντιστοιχίσεων, Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (UCF), Spring 2003, Available at: <http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 9: Παραδοχές επίλυσης προβλήματος πολλαπλών αντιστοιχίσεων, Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (UCF), Spring 2003, Available at:

<http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 10: 10:Μεθοδολογία επίλυσης προβλήματος πολλαπλών αντιστοιχίσεων (I) , Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (UCF), Spring 2003, Available at:

<http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 11: Μεθοδολογία επίλυσης προβλήματος πολλαπλών αντιστοιχίσεων (II) , Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (UCF), Spring 2003, Available at:

<http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 12: Μεθοδολογία επίλυσης προβλήματος πολλαπλών αντιστοιχίσεων (III) , Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (UCF), Spring 2003, Available at:

<http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/3)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 13: Μεθοδολογία επίλυσης προβλήματος πολλαπλών αντιστοιχίσεων (IV) , Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (UCF), Spring 2003, Available at: <http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 14: Παράδειγμα αποτυχίας μεθόδου, Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (UCF), Spring 2003, Available at: <http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 15: Αποτελέσματα με αναζήτηση παραθύρου, Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (UCF), Spring 2003, Available at: <http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 16: Η περίπτωση μη-τοπικών περιορισμών (I), Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (UCF), Spring 2003, Available at: <http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

Εικόνα 17: Η περίπτωση μη-τοπικών περιορισμών (II), Lectures on Computer Vision by Khurram Hassan Shafique, Computer Vision Lab @ Univeristy of California (UCF), Spring 2003, Available at: <http://www.cs.ucf.edu/courses/cap6411/cap5415/>

