



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ρομποτικά Συστήματα

Ενότητα 10: Ο αλγόριθμος SIFT

Αντώνιος Τζές – Ευάγγελος Δερματάς

Σχολή Πολυτεχνική

Τμήμα ΗΜ&ΤΥ

Σκοποί ενότητας

- Σκοπός της ενότητας είναι η παρουσίαση και εξοικείωση με τα ακόλουθα στοιχεία ρομποτικών συστημάτων:
- Αλγόριθμος SIFT



Περιεχόμενα ενότητας

- Αλγόριθμος SIFT



Έννοια του SHIFT

- Sift= Scale Invariant Feature Transformation



Παραδείγματα SIFT



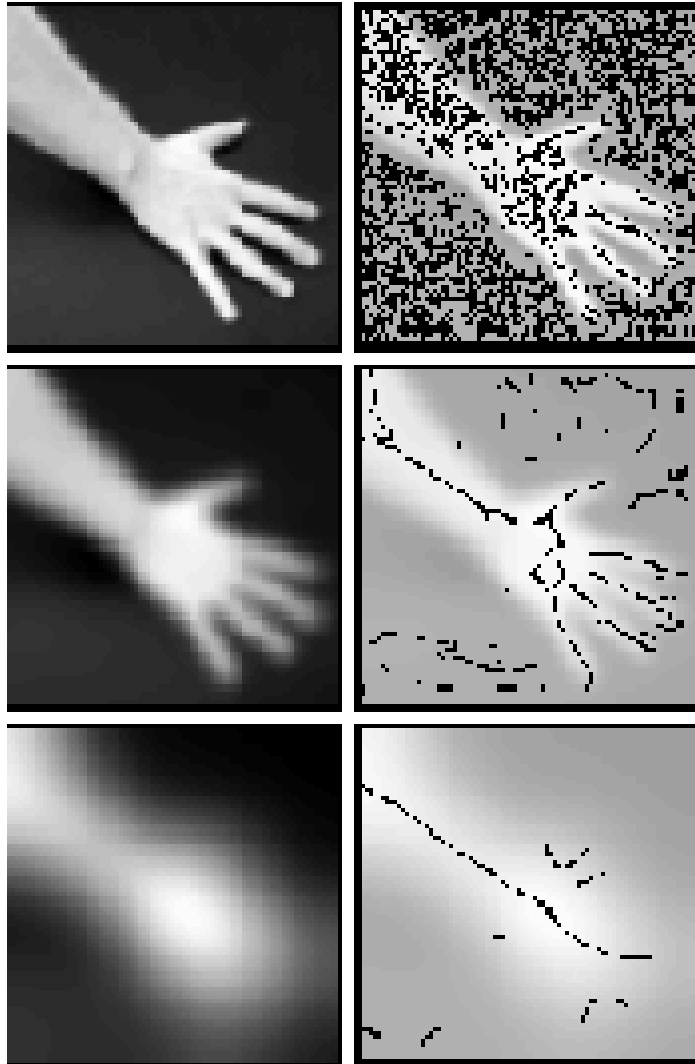
- Αποτέλεσμα αλγορίθμου SIFT

Πηγή: Tony Lindeberg , "Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales", in *Proc. CERN School of Computing, Egmond aan Zee, The Netherlands, 8-21 September, 1996*, doi: [10.1.1.49.2448](https://doi.org/10.1.1.49.2448)

Εικόνα 1: Αρχική εικόνα και επεξεργασία με Sift



Παραδείγματα SIFT



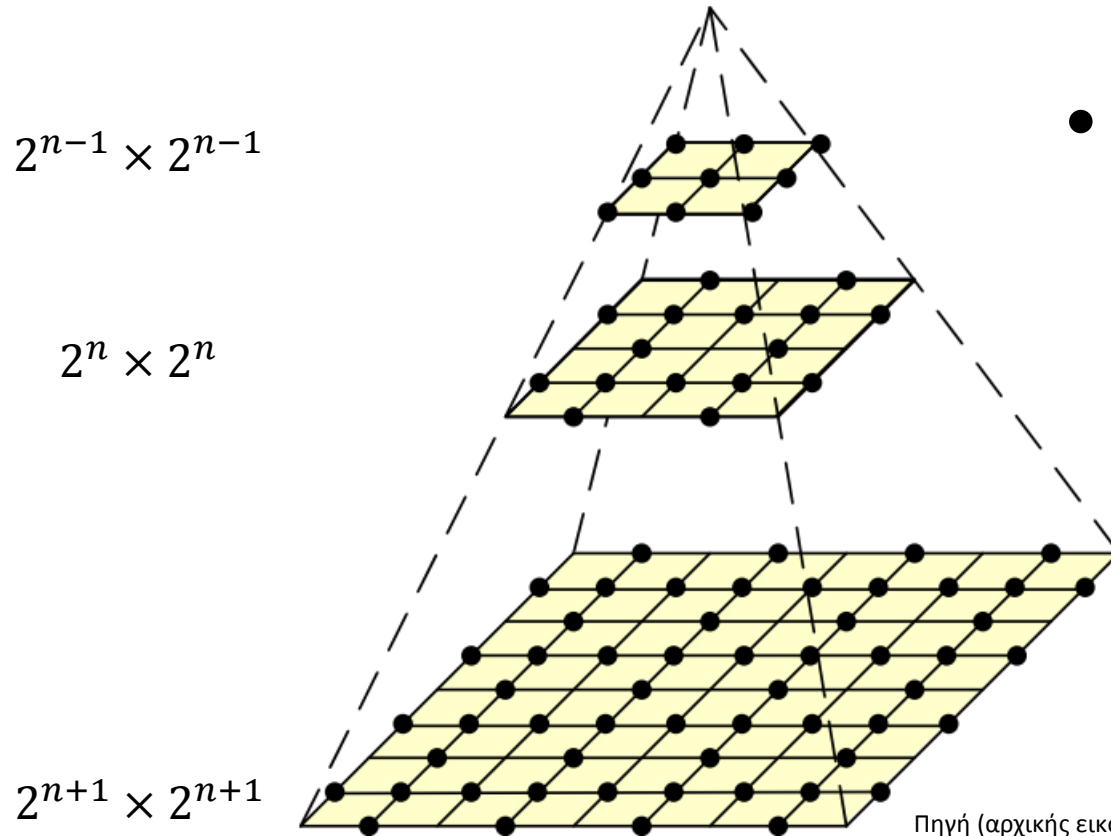
- Εφαρμογή αλγορίθμου για εύρεση άκρων με $t = 1.0, 16.0$ και 256.0
- Image compression?

Πηγή: Tony Lindeberg, "Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales", in *Proc. CERN School of Computing, Egmond aan Zee, The Netherlands, 8–21 September, 1996*, doi: [10.1.1.49.2448](https://doi.org/10.1.1.49.2448)

Εικόνα 2: Edges and bright ridges detected at scale levels $t = 1.0, 16.0$ and 256.0 , respectively



Δομή πυραμίδας



- Η δομή πυραμίδας επιτυγχάνεται μέσω συνεχούς μείωσης του μεγέθους της με τεχνικές εξομάλυνσης (smoothing) και υπό-δειγματοληψίας (subsampling)

Πηγή (αρχικής εικόνας): Richard Szeliski, "Computer Vision: Algorithms and Applications", © 2010 Springer, URL: <http://szeliski.org/Book/>

Εικόνα 3: Δομή πυραμίδας



Εφαρμογή

Πηγή: Tony Lindeberg & Bart M. ter Haar Romeny, "LINEAR SCALE-SPACE I: BASIC THEORY", in "Geometry-Driven Diffusion in Computer Vision" by Bart M Haar Romeny, 2013 Springer Science & Business Media Springer, URL: <http://www.springer.com/gp/book/9780792330875>



- Γκαουσιανή (lowpass) πυραμίδα μέσω εξομάλυνσης (smoothing) και υπό-δειγματοληψίας.
- Η πυραμίδα δημιουργείται με συνδυασμό της εξίσωσης:

$$f^{(k-1)} = REDUCE(f^{(k)})$$

$$f^{(k-1)}(x) = \sum_{n=-N}^N c(n) f^{(k)}(2x - n)$$

- Και του διπολικού (bipolar) φίλτρου με τιμές:

$$\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}\right)$$

Εικόνα 4: Εφαρμογή δομής πυραμίδας



Μαθηματικό μοντέλο space-scale

- In summary, for any two dimensional signal $f: R^2 \rightarrow R$, its scale-space representation $L: R^2 \times R_+ \rightarrow R$ is defined by:

$$L(x, y; t) = \int_{(\xi, \eta) \in R^2} f(x - \xi, y - \eta) g(\xi, \eta; t) d\xi d\eta$$

where $g: R^2 \times R_+ \rightarrow R$ denotes the Gaussian kernel

$$g(x, y; t) = \frac{1}{2\pi t} e^{-(x^2 + y^2)/2t}$$

and the variant $t = \sigma^2$ of this kernel is referred to as the scale parameter. Equivalently, the scale-space family can be obtained as the solution of the (linear) diffusion equation with initial condition $L(x, y; t) = f$. Then, based on this representation, scale-space derivatives at any scale can be computed either by differentiating the scale-space directly or by convolving the original image with Gaussian derivative kernels:

$$L_{x^n y^n}(-, -; t) = \left(\theta_{x^n y^n} g(-, -; t) \right) * f(-, -)$$



Παράδειγμα

Πηγή: Tony Lindeberg, "Scale-Space", Encyclopedia of Computer Science and Engineering (Benjamin Wah, ed), John Wiley and Sons, Volume IV, pages 2495–2504, Hoboken, New Jersey, 2009. [dx.doi.org/10.1002/9780470050118.ecse609](https://doi.org/10.1002/9780470050118.ecse609)

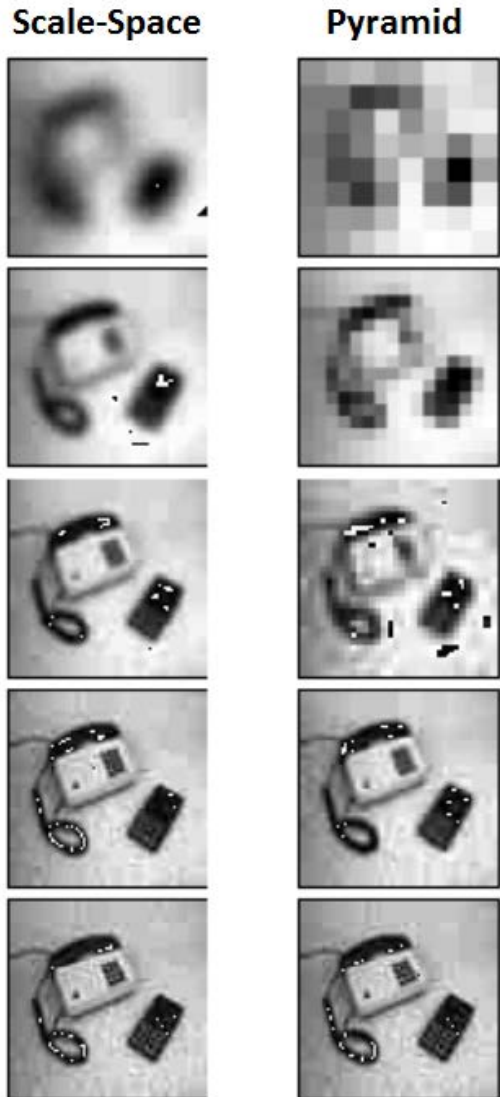


Εικόνα 5: Εφαρμογή scale-space σε εικόνα μεγέθους 560x240 για επίπεδο κλιμάκωσης $t=1,8,64$ (μεγέθη σε pixels)



Παράδειγμα

Πηγή: Tony Lindeberg & Bart M. ter Haar Romeny, "LINEAR SCALE-SPACE I: BASIC THEORY", in "Geometry-Driven Diffusion in Computer Vision" by Bart M Haar Romeny, 2013 Springer Science & Business Media Springer, URL: <http://www.springer.com/gp/book/9780792330875>



- Τμήματα αναπαράστασης scale-space που χρησιμοποιούνται για απεικόνιση της μεθόδου πυραμίδας.
- Τα επίπεδα κλιμάκωσης είναι τέτοια ώστε η τυπική απόκλιση της γκαουσιανής να είναι περίπου ισότιμη της αντίστοιχης συνέλιξης του συνδυασμού εξομάλυνσης και υποδειγματοληψίας
- Από κάτω προς τα πάνω:

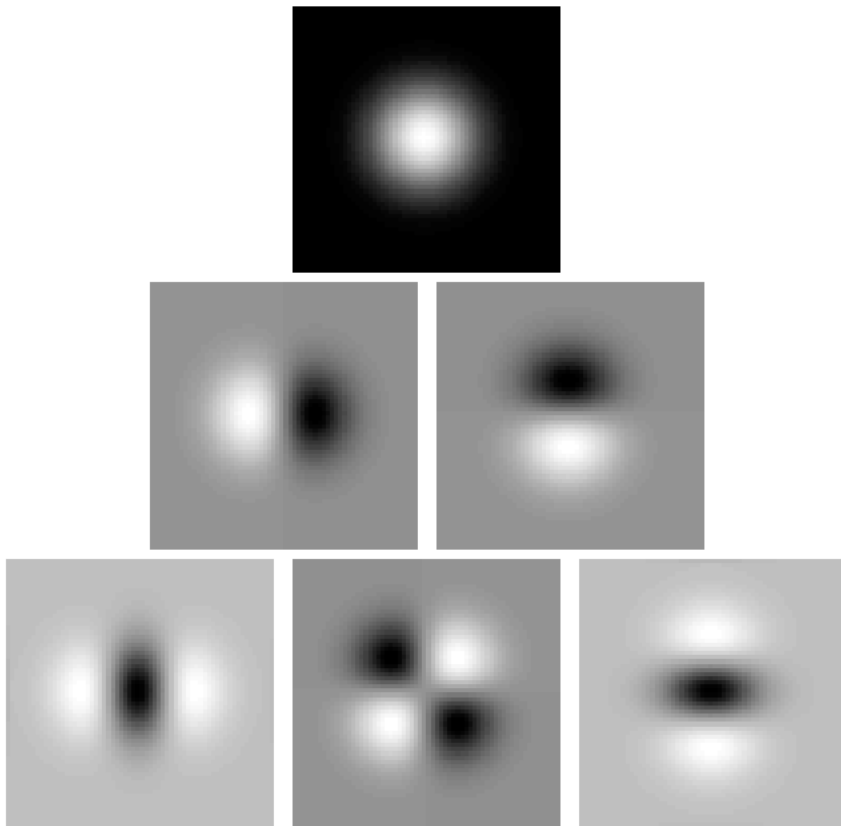
$$\sigma^2 = 0.5, 2.5, 10.5, 42.5, 270.5$$

Εικόνα 6: Εφαρμογή πυραμίδας και scale-space



Παράδειγμα

Πηγή: Tony Lindeberg, "Scale-Space", Encyclopedia of Computer Science and Engineering (Benjamin Wah, ed), John Wiley and Sons, Volume IV, pages 2495–2504, Hoboken, New Jersey, 2009. dx.doi.org/10.1002/9780470050118.ecse609



- Για κάθε κλιμάκωση οι μερικές παράγωγοι 2^{ης} τάξης είναι:

$$(L_x, L_y, L_{xx}, L_{xy}, L_{yy})$$

- Αντίστοιχα τα φίλτρα ανά διεύθυνση είναι:

$$\theta_\varphi L = \cos\varphi L_x + \sin\varphi L_y$$

$$\theta_{\varphi\varphi} L = \cos^2\varphi L_{xx} + \dots$$

$$\dots 2\cos\varphi\sin\varphi L_{xy} + \sin^2\varphi L_{yy}$$

Εικόνα 7: Γκαουσιανός «πυρήνας» και παράγωγοί του 2^{ης} τάξης για δισδιάστατη (2D) περίπτωση



Παράδειγμα

From the five components in the 2-jet, four differential invariants can be constructed, which are invariant to local rotations; the gradient magnitude $|\nabla L|$, the Laplacian $\nabla^2 L$, the determinant of the Hessian $\det \mathcal{H}L$ and the rescaled level curve curvature $\bar{\kappa}(L)$:

$$\left\{ \begin{array}{l} |\nabla L|^2 = L_x^2 + L_y^2, \\ \nabla^2 L = L_{xx} + L_{yy} \\ \det \mathcal{H}L = L_{xx}L_{yy} - L_{xy}^2 \\ \bar{\kappa}(L) = L_x^2 L_{yy} + L_y^2 L_{xx} - 2L_x L_y L_{xy} \end{array} \right.$$

A theoretically well-founded approach to feature detection is to use rotationally variant descriptors such as the N-jet, directional filter banks or rotationally invariant differential invariants as primitives for expressing visual modules. For example, with u denoting the gradient direction $(L_x, L_y)^T$, a different geometric formulation of edge detection at a given scale can be expressed from the image points for which the second-order directional derivative in the gradient direction L_{uu} is zero and the third-order directional derivative L_{uuu} is negative:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{L}_{uu} = L_x^2 L_{xx} + 2L_x L_y L_{xy} + L_y^2 L_{yy} = 0 \\ \bar{L}_{uuu} = L_x^3 L_{xxx} + 3L_x^2 L_y L_{xxy} + 3L_x L_y^2 L_{xyy} + L_y^3 L_{yyy} < 0 \end{array} \right.$$

A single-scale blob detector responds to bright and dark blobs can be expressed from the minima and the maxima of the Laplacian response $\nabla^2 L$. An affine covariant blob detector that also responds to saddles can be expressed from the maxima and the minima of the determinant of the Hessian $\det \mathcal{H}L$. A straightforward and affine covariant corner detector can be expressed from the maxima and the minima of the rescaled level curve curvature $\bar{\kappa}(L)$.



Παράδειγμα II

Πηγή: Tony Lindeberg, "Scale-Space", Encyclopedia of Computer Science and Engineering (Benjamin Wah, ed), John Wiley and Sons, Volume IV, pages 2495–2504, Hoboken, New Jersey, 2009. dx.doi.org/10.1002/9780470050118.ecse609



Εικόνα 8: Παράδειγμα εύρεσης ακμών

- (Αριστερά): Αρχική εικόνα μεγέθους 180x180 px
- (Μέση): Η αρνητική τιμή του πλάτους βάρθρωσης υπολογισμένη για $t=1$
- (Δεξιά): Διαφορικές γεωμετρικές ακμές για $t=1$ με τιμή κατωφλίσωσης $\sqrt{t}|\nabla L|$ στο πλάτος βάρθρωσης



Παράδειγμα III

Πηγή: Tony Lindeberg, "Scale-Space", Encyclopedia of Computer Science and Engineering (Benjamin Wah, ed), John Wiley and Sons, Volume IV, pages 2495–2504, Hoboken, New Jersey, 2009. dx.doi.org/10.1002/9780470050118.ecse609

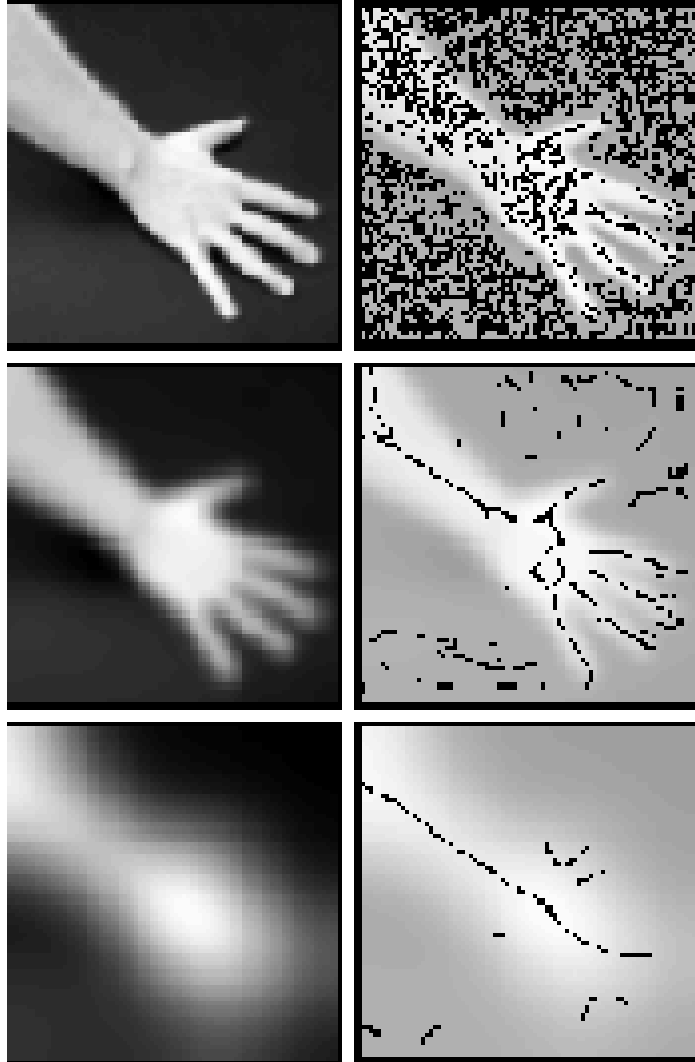


Εικόνα 9: Differential descriptors for blob/interest point detection

- (Αριστερά): Αρχική εικόνα μεγέθους 210x280 px
- (Μέση): Η λαπλασιανή $\nabla^2 L$ υπολογισμένη για $t=16$
- (Δεξιά): Η ορίζουσα της Εσιανής μήτρας $\det \mathcal{H}L$ υπολογισμένη για $t=16$



Παράδειγμα IV



- Επανεξέταση αρχικού παραδείγματος
- Εφαρμογή αλγορίθμου για εύρεση άκρων με $t = 1.0, 16.0$ και 256.0

Πηγή: Tony Lindeberg, "Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales", in *Proc. CERN School of Computing, Egmond aan Zee, The Netherlands, 8-21 September, 1996*, doi: [10.1.1.49.2448](https://doi.org/10.1.1.49.2448)

Εικόνα 10: Ακμές και φωτεινές ακμές για επίπεδα κλιμάκωσης $t = 1.0, 16.0$ and 256.0 , αντίστοιχα



Invariance(Αμεταβλητότητα)

- Στόχος:
 - Ανάγκη για σημεία-στοιχεία τα οποία θα παρουσιάζουν χαμηλό βαθμό ευαισθησίας ή αλλιώς υψηλό βαθμό σθεναρότητας σε ποικίλες μικρές μεταβολές που προκύπτουν μεταξύ δύο εικόνων.



Types of invariance

Πηγή: Michal Erel, "Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales", in Public domain, URL: <http://www.slideshare.net/wolf/michal-erels-sift-presentation>

- Illumination



Εικόνα 11: Επίδραση φωτισμού



Types of invariance

Πηγή: Michal Erel, "Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales", in Public domain, URL: <http://www.slideshare.net/wolf/michal-erels-sift-presentation>

- Illumination
- Scale



Εικόνα 12: Επίδραση κλιμάκωσης



Types of invariance

Πηγή: Michal Erel, "Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales", in Public domain, URL: <http://www.slideshare.net/wolf/michal-erels-sift-presentation>

- Illumination
- Scale
- Rotation



Εικόνα 13: Επίδραση περιστροφής



Types of invariance

Πηγή: Michal Erel, "Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales", in Public domain, URL: <http://www.slideshare.net/wolf/michal-erels-sift-presentation>

- Illumination
- Scale
- Rotation
- Affine



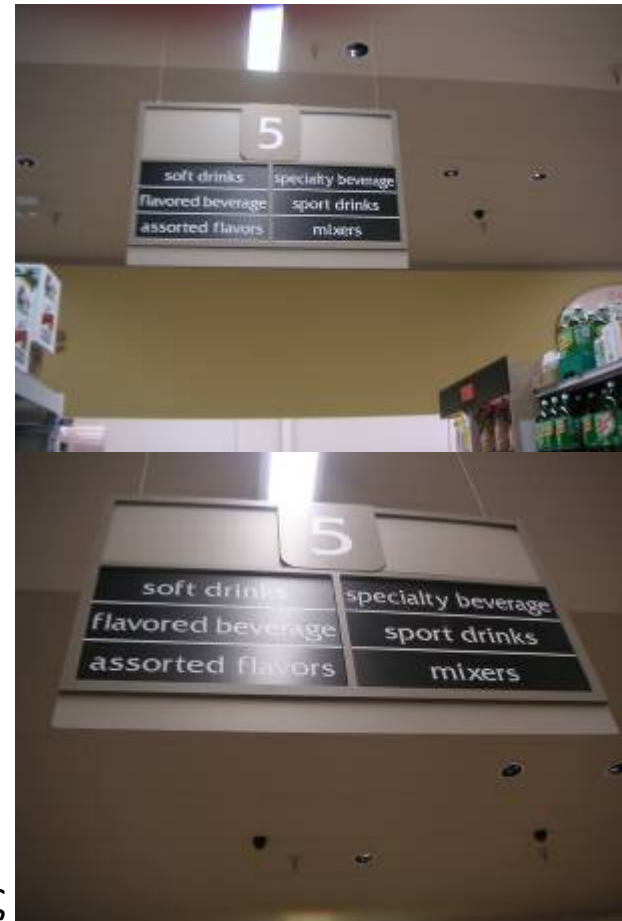
Εικόνα 14: Προ-καθορισμένη μεταβλητότητα



Types of invariance

Πηγή: Michal Erel, "Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales", in Public domain, URL: <http://www.slideshare.net/wolf/michal-erels-sift-presentation>

- Illumination
- Scale
- Rotation
- Affine
- Full Perspective



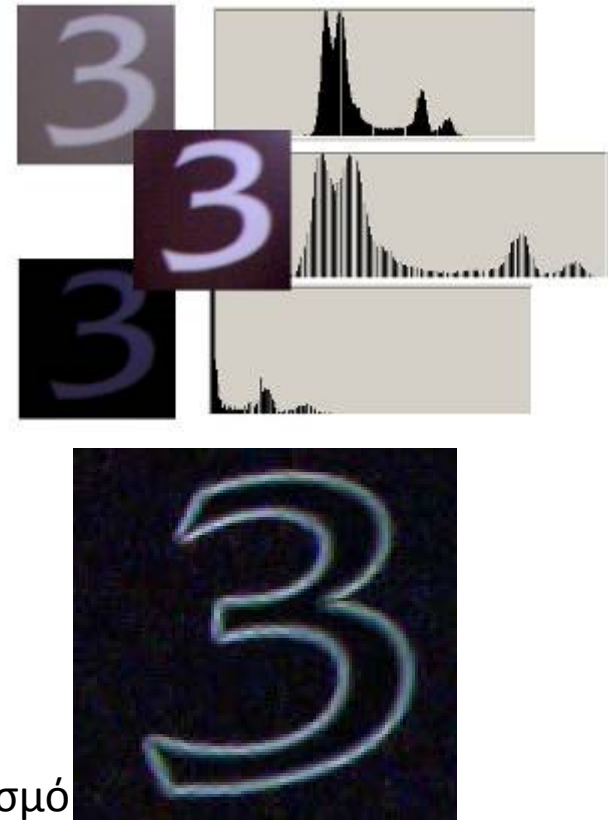
Εικόνα 15: Επίδραση αλλαγής θέασης



Achievement of illumination invariance

Πηγή: Qiang Ji, "Scale Invariant Feature Transform", Computer Vision lectures @ Rensselaer Polytechnic Institute, URL: <http://www.ecse.rpi.edu/Homepages/qji/CV/SIFTX.pdf>

- The easy way (normalized)
- Difference based metrics (random tree, Haar, and sift)



Εικόνα 16: Επίτευξη αμεταβλητότητας σε φωτισμό



Achievement of scale invariance

- Pyramids
 - Divide width and height by 2
 - Take average of 4 pixels for each pixel (or Gaussian blur)
 - Repeat until image is tiny
 - Run filter over each size image and hope its robust
- Scale Space (DOG method)



Μέθοδος πυραμίδων για σθεναρότητα σε κλιμάκωση

Πηγή: Qiang Ji, "Scale Invariant Feature Transform", Computer Vision lectures @ Rensselaer Polytechnic Institute, URL: <http://www.ecse.rpi.edu/Homepages/qji/CV/SIFTX.pdf>



Εικόνα 17: Μέθοδος πυραμίδων



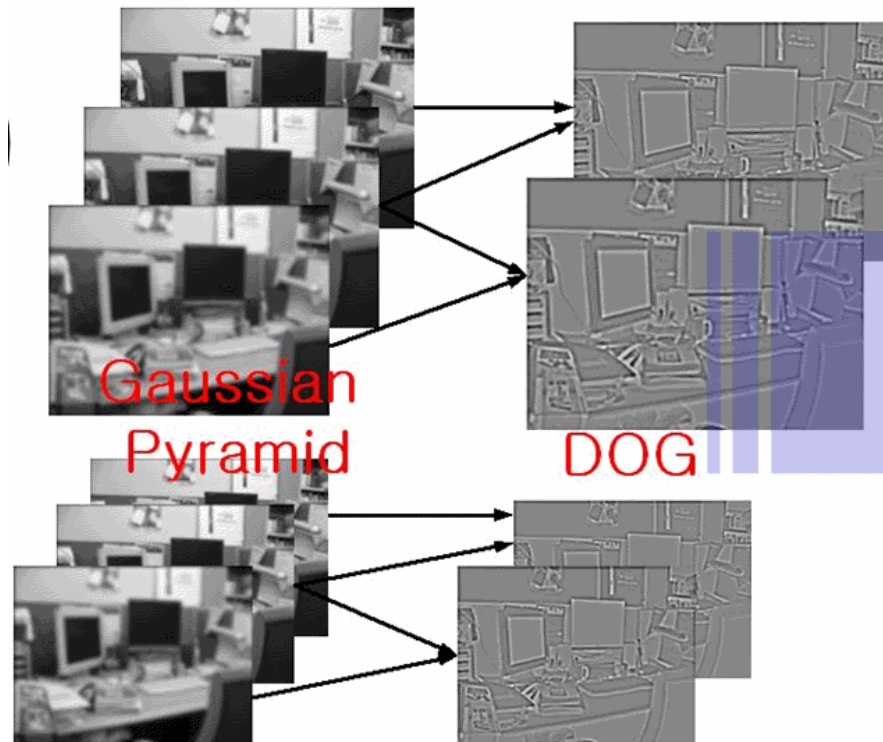
Achievement of scale invariance (II)

- Pyramids
- Scale Space (Difference Of Gaussians-DOG method)
 - Pyramid but fill gaps with blurred images
 - Like having a nice linear scaling without the expense
 - Take features from differences of these images
 - If the feature is repeatably present in between Difference of Gaussians it is Scale Invariant and we should keep it.



Achievement of scale invariance (DOG)

Πηγή: Qiang Ji, "Scale Invariant Feature Transform", Computer Vision lectures @ Rensselaer Polytechnic Institute, URL: <http://www.ecse.rpi.edu/Homepages/qji/CV/SIFTX.pdf>



Εικόνα 18: Gaussian pyramid vs dog method



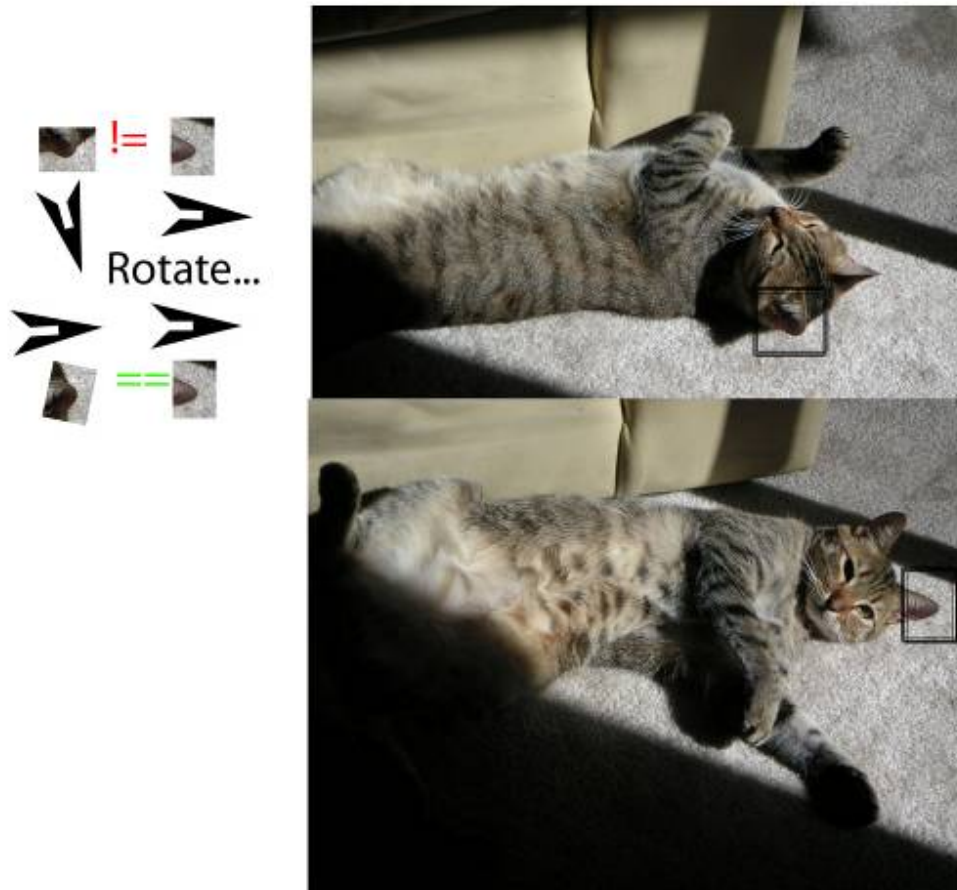
Rotation invariance

- Rotate all features to go the same way in a determined manner
- Take histogram of Gradient directions (36 in paper for 1 every 10 degrees)
- Rotate to most dominant (maybe second if its good enough, sub-Bin accuracy)



Rotation invariance

Πηγή: Qiang Ji, "Scale Invariant Feature Transform", Computer Vision lectures @ Rensselaer Polytechnic Institute, URL: <http://www.ecse.rpi.edu/Homepages/qji/CV/SIFTX.pdf>



Εικόνα 19: Rotation invariance example



Affine Invariance

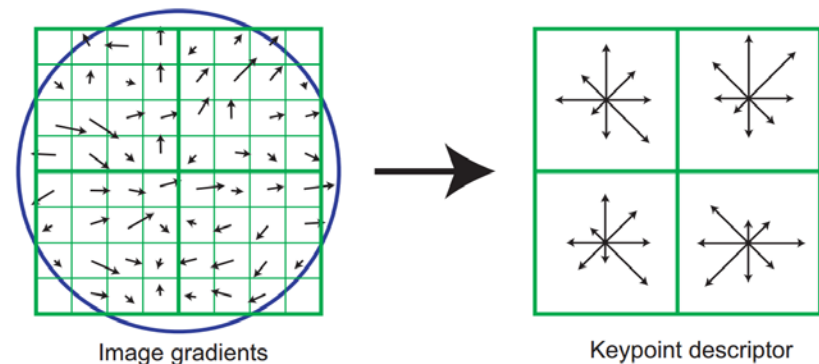
- Easy way: Warp your training and hope
- Fancy way: design your feature itself to be robust against affine transformations (SIFT method)



Actual SIFT features

- Remember the gradient histograms we used for rotation invariance?
- Same theory, except keep N^2 histograms (4 shown, 16 used)
- Note, use weighted contributions to avoid edge nastiness

Πηγή: David G Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints", in *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60,2 (2004), pp 91-110, URL: http://link.springer.com/article/10.1023%2FB%3A9780306478146%2Fch02%2Ffig%2F0000029664_99615_94



Εικόνα 20: Generating keypoint descriptors



SIFT overview

- Get tons of points from maxima+minima of DOGS
- Threshold on simple contrast (low contrast is generally less reliable than high for feature points)
- Threshold based on principal curvatures (technical term is lineyness)



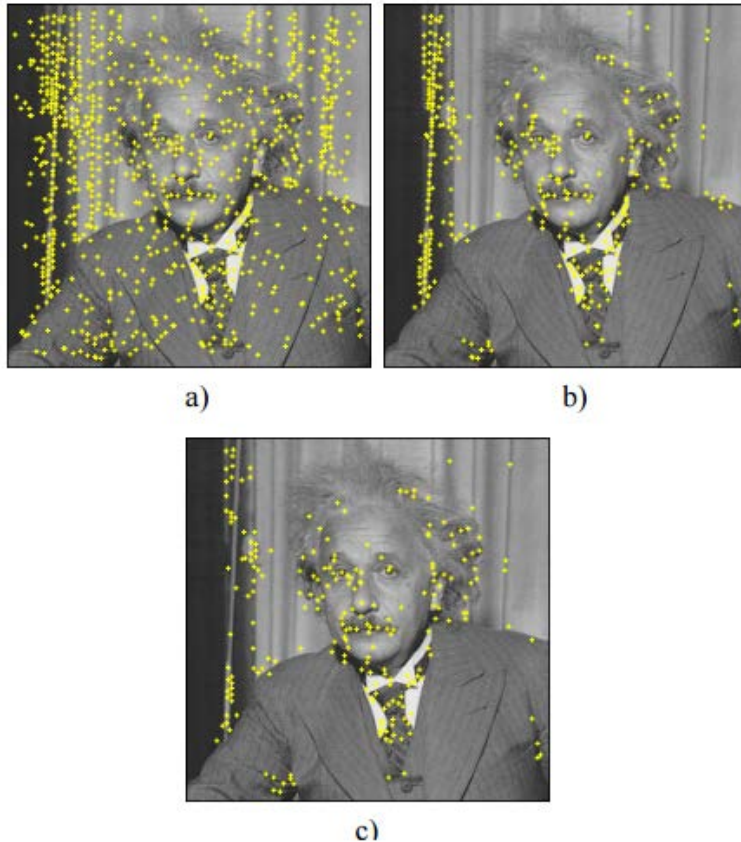
SIFT overview (II)

- Gradient, histogram, Rotate
- Take old gradient, histogram regions using Gaussian weighting
- Hand off beautiful robust feature to someone who cares (i.e. object recognizer, navigation software (SFM), or stereo matching algorithm)



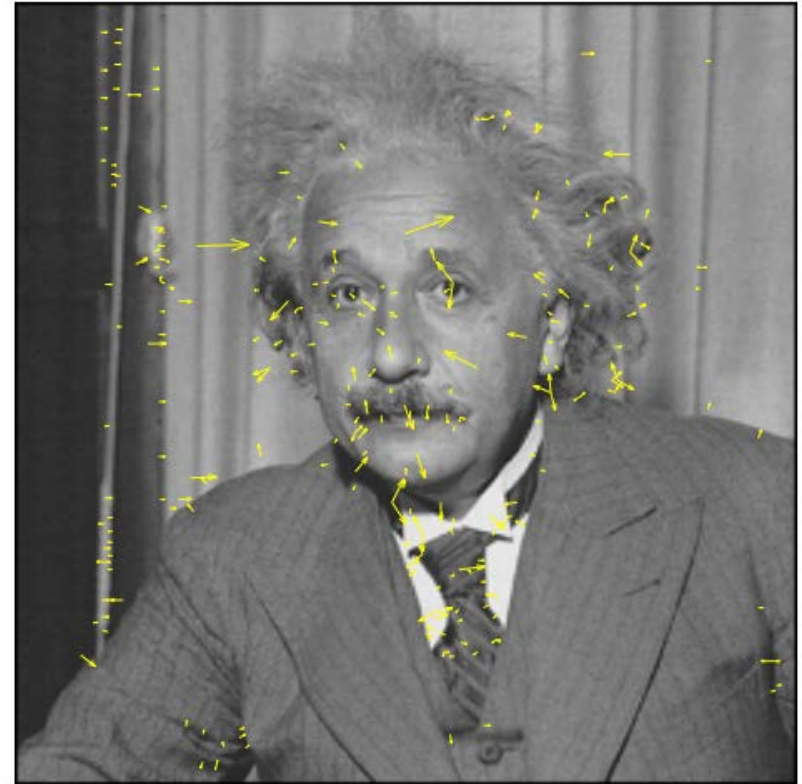
SIFT final output

Keypoint detection



Εικόνα 21: a) Maxima of DoG across scales. b) Remaining keypoints after removal of low contrast points. C) Remaining keypoints after removal of edge responses (bottom)

Final keypoints with selected orientation and scale



Εικόνα 22: Extracted keypoints, arrows indicate scale and orientation

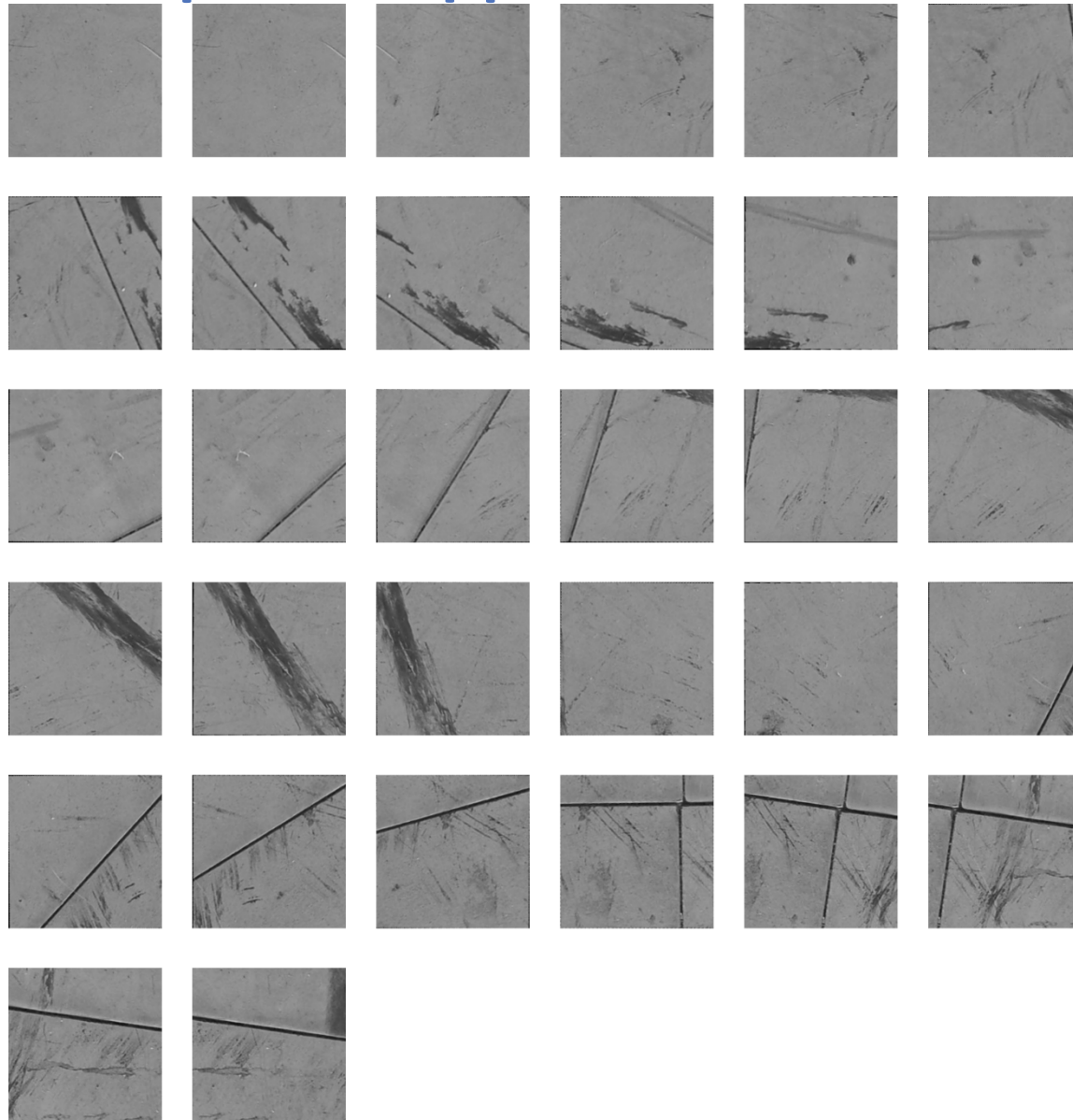


SIFT-Παράδειγμα e-class Project

- Στόχος: Εύρεση τροχιάς ενός κινούμενο ρομποτικού οχήματος δεδομένων των εικόνων που πάρθηκαν από αυτό κατά τη διάρκεια της κίνησής του.
- Κατεβάζουμε τον αλγόριθμο SIFT από το site:
<http://www.vlfeat.org/>



SIFT-Παράδειγμα e-class Project



Εικόνα 23: Αρχικό set εικόνων για εύρεση πορείας σχήματος



SIFT-Παράδειγμα e-class Project

Γενικά ο αλγόριθμός SIFT αποτελείται από τα εξής βήματα:

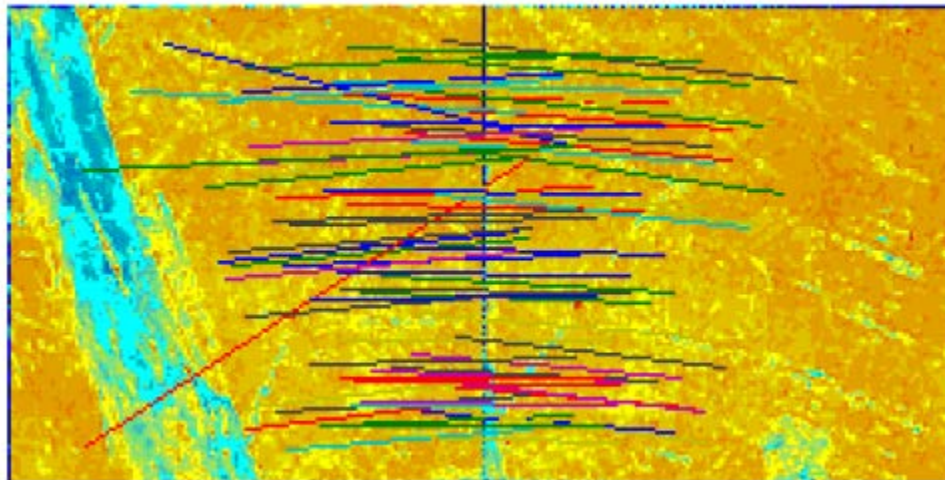
1. Ανίχνευση ακροτάτων στον χώρο της κλιμάκωσης(scale-space extrema detection). Αρχικά εφαρμόζεται ένα Gaussian φίλτρο σε κάθε pixel της εικόνας και στην συνέχεια βρίσκει τα ακρότατα της συνάρτησης διαφοράς του Gauss.
2. Εντοπισμός σημείων κλειδιών. Αρχικά χρησιμοποιείται για κάθε υποψήφιο σημείο-κλειδί παρεμβολή των κοντινών σημείων παίρνοντας το τετραγωνικό ανάπτυγμα Taylor της συνάρτησης διαφοράς του Gauss. Στην συνέχεια βρίσκει την παράγωγο της για κάθε υποψήφιο σημείο κλειδί. Εάν η απόσταση του ακροτάτου από το υποψηφιο σημείο κλειδί είναι μεγαλύτερη από ένα threshold τότε αυτο σημαίνει ότι το ακρότατο είναι πιο κοντά σε άλλο σημείο-κλειδί αλλιως η απόσταση προστίθεται στο υποψήφιο σημείο κλειδί για να πάρουμε την θέση του ακροτάτου.
3. Ανάθεση προσανατολισμού σε κάθε περιοχή ενδιαφέροντος που εντοπίστηκε γιατί πιθανόν το ίδιο αντικείμενο να έχει φωτογραφηθεί με διαφορετικές γωνίες περιστροφής.
4. Περιγραφή των σημείων κλειδιών με ένα διάνυσμα, το οποίο περιλαμβάνει πληροφορία για την θέση ,τον προσανατολισμό και την κλίμακά του.



SIFT-Παράδειγμα e-class Project

- Αρχικά εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο SIFT για διαδοχικές εικόνες ώστε να βρούμε κοινά χαρακτηριστικά:

86 tentative matches

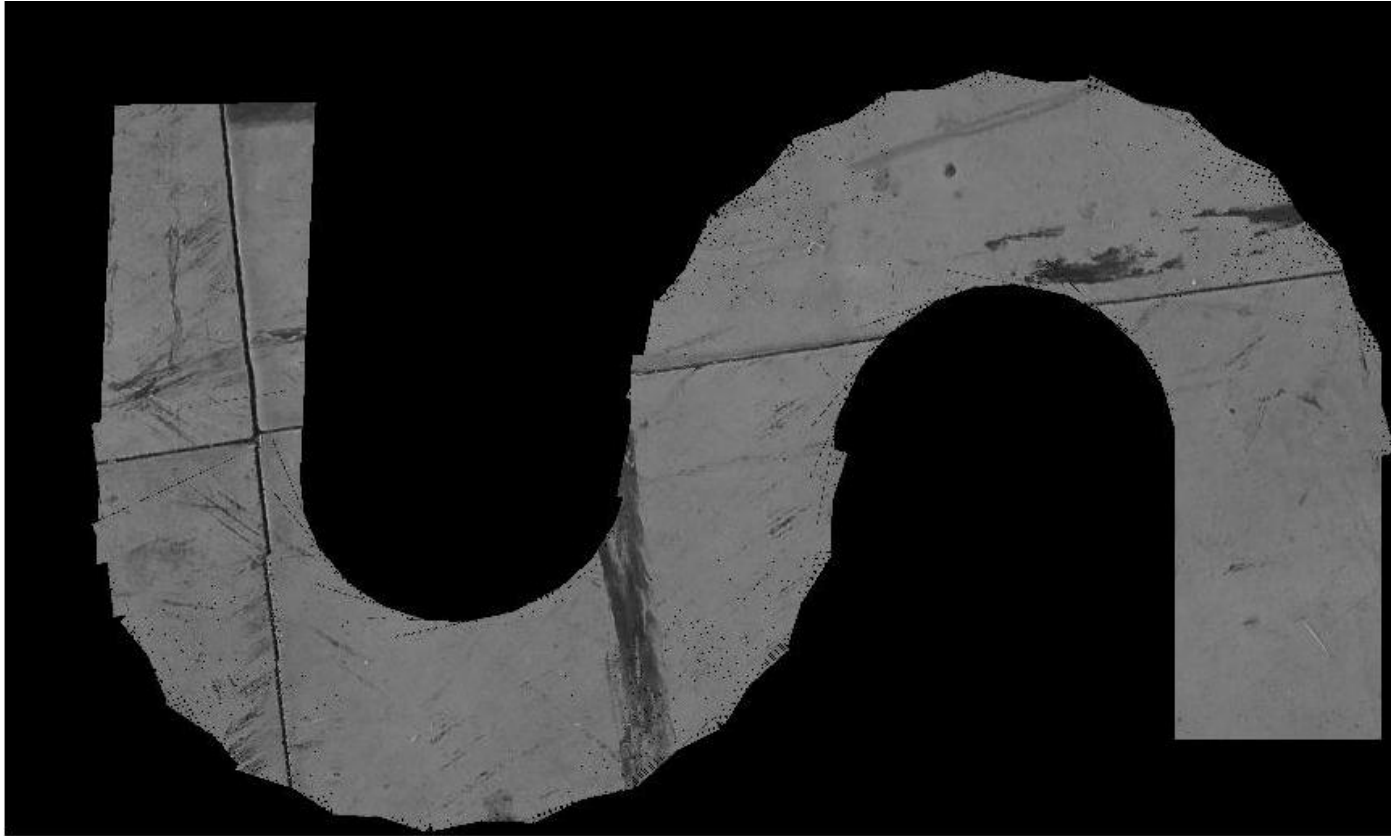


Εικόνα 24: Εφαρμογή SIFT για 2 διαδοχικές εικόνες



SIFT-Παράδειγμα e-class Project

- Παίρνοντας το μέσο όρο αυτών για κάθε διαδοχικό ζευγάρι εικόνων καταλήγουμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα:



Εικόνα 25: Αποτέλεσμα SIFT



SIFT-Παράδειγμα e-class Project

- Matlab κώδικας:




```

%Fakelos pou periexei to vlfeat toolbox
addpath([pwd '\vlfeat-0.9.8\toolbox']);
vl_setup;
%fakelos me fotografies
addpath([pwd '\ph']);
%diabazoume tis fotografies
for i=0:31
a=['im' num2str(i) '=imread(''im' num2str(i)
'.tiff'');'];
eval(a);
end
x=[0 0 1]';
X=[];
H=[];
h_t=1;
mosaic=im0;
%upologismos metatopishs kathe fotografias
for i=1:31
%sigrinoume thn trexousa eikona me thn
proigoumenh gia na broume poso metatopisthke
a=['[h]=sift_mosaic(im' num2str(i-1) ',im'
num2str(i) ',mosaic);'];
eval(a);
h=inv(h);
%olikh metatopish ths trexousas photografias apo
thn arxikh
h_t= h_t*h;
a=[ 'h' num2str(i) '=h_t;'];
eval(a);
x=h_t*[128 128 1]';
X=[X x];
H=[H; h];
hold on;
plot(x(1),x(2), 'o')
pause(0.2);

```

```

end
figure;
%dhmiourgoume thn eikona pou tha mpei sto mosaic
xp=abs(round(min(x(1))))+256;
yp=abs(round(min(x(2))))+256;
mosaic=zeros(1044 , 1728);
%Gia kathe eikona tuponoume ta stoixeia ths
metatopismena analoga
for i=1:31
disp(i)
a=[ 'aa=im' num2str(i) ';' ];
eval(a);
as=size(aa)
a=[ 'hc=(h' num2str(i) ');' ];eval(a);
for k=1:as(1)
for l=1:as(2)
%metatopish stoixeiwn
X=round(-hc*[1 k 1]')+1;
if(mosaic(X(1)+xp,X(2)+yp)==0)
mosaic(X(1)+xp,X(2)+yp)=aa(k,l);
end
end
end
imshow(mosaic,[1 255]);
pause(0.1);
end
mosaic=mosaic;
imwrite(mosaic,'unititle.jpg','JPEG')

```

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

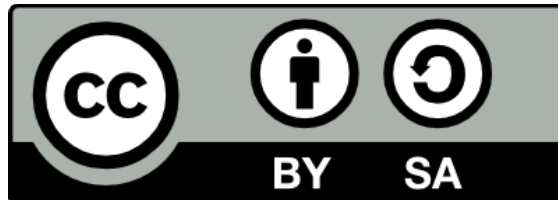
Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Αντώνιος Τζές, Ευάγγελος Δερματάς,
«Ρομποτικά Συστήματα. Ο αλγόριθμος SIFT». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015.
Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<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 (1/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 1: Αρχική εικόνα και επεξεργασία με Shift, Tony Lindeberg , “Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales”, in Proc. CERN School of Computing, Egmond aan Zee, The Netherlands, 8–21 September, 1996, doi: 10.1.1.49.2448

Εικόνα 2: Edges and bright ridges detected at scale levels $t = 1.0, 16.0$ and 256.0 , respectively, Tony Lindeberg , “Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales”, in Proc. CERN School of Computing, Egmond aan Zee, The Netherlands, 8–21 September, 1996, doi: 10.1.1.49.2448

Εικόνα 3: Δομή πυραμίδας, Richard Szeliski , “Computer Vision: Algorithms and Applications”, © 2010 Springer, URL: <http://szeliski.org/Book/>

Εικόνα 4: Εφαρμογή δομής πυραμίδας, Tony Lindeberg & Bart M. ter Haar Romeny, “LINEAR SCALE-SPACE I: BASIC THEORY”, in “Geometry-Driven Diffusion in Computer Vision” by Bart M Haar Romeny, 2013 Springer Science & Business Media Springer, URL: <http://www.springer.com/gp/book/9780792330875>

Εικόνα 5: Εφαρμογή scale-space σε εικόνα μεγέθους 560×240 για επίπεδο κλιμάκωσης $t=1,8,64$ (μεγέθη σε pixels), Tony Lindeberg, “Scale-Space”, Encyclopedia of Computer Science and Engineering (Benjamin Wah, ed), John Wiley and Sons, Volume IV, pages 2495–2504, Hoboken, New Jersey, 2009. dx.doi.org/10.1002/9780470050118.ecse609

Εικόνα 6: Εφαρμογή πυραμίδας και scale-space, Tony Lindeberg & Bart M. ter Haar Romeny, “LINEAR SCALE-SPACE I: BASIC THEORY”, in “Geometry-Driven Diffusion in Computer Vision” by Bart M Haar Romeny, 2013 Springer Science & Business Media Springer, URL: <http://www.springer.com/gp/book/9780792330875>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 7: Γκαουσιανός «πυρήνας» και παράγωγοί του 2^{ης} τάξης για δισδιάστατη (2D) περίπτωση, Tony Lindeberg, “Scale-Space”, Encyclopedia of Computer Science and Engineering (Benjamin Wah, ed), John Wiley and Sons, Volume IV, pages 2495–2504, Hoboken, New Jersey, 2009. [dx.doi.org/10.1002/9780470050118.ecse609](https://doi.org/10.1002/9780470050118.ecse609)

Εικόνα 8: Παράδειγμα εύρεσης ακμών, Tony Lindeberg, “Scale-Space”, Encyclopedia of Computer Science and Engineering (Benjamin Wah, ed), John Wiley and Sons, Volume IV, pages 2495–2504, Hoboken, New Jersey, 2009. [dx.doi.org/10.1002/9780470050118.ecse609](https://doi.org/10.1002/9780470050118.ecse609)

Εικόνα 9: Differential descriptors for blob/interest point detection, Tony Lindeberg, “Scale-Space”, Encyclopedia of Computer Science and Engineering (Benjamin Wah, ed), John Wiley and Sons, Volume IV, pages 2495–2504, Hoboken, New Jersey, 2009. [dx.doi.org/10.1002/9780470050118.ecse609](https://doi.org/10.1002/9780470050118.ecse609)

Εικόνα 10: Ακμές και φωτεινές ακμές για επίπεδα κλιμάκωσης $t = 1.0, 16.0$ and 256.0 , αντίστοιχα, Tony Lindeberg, “Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales”, in Proc. CERN School of Computing, Egmond aan Zee, The Netherlands, 8–21 September, 1996, doi: 10.1.1.49.2448

Εικόνα 11: Επίδραση φωτισμού, Michal Erel, “Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales”, in *Public domain*, URL: <http://www.slideshare.net/wolf/michal-erels-sift-presentation>

Εικόνα 12: Επίδραση κλιμάκωσης, Michal Erel, “Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales”, in *Public domain*, URL: <http://www.slideshare.net/wolf/michal-erels-sift-presentation>

Εικόνα 13: Επίδραση περιστροφής, Michal Erel, “Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales”, in *Public domain*, URL: <http://www.slideshare.net/wolf/michal-erels-sift-presentation>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 14: Προ-καθορισμένη μεταβλητότητα, Michal Erel, “Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales”, in *Public domain*, URL: <http://www.slideshare.net/wolf/michal-erels-sift-presentation>

Εικόνα 15: Επίδραση αλλαγής θέασης, Michal Erel, “Scale-space: A framework for handling image structures at multiple scales”, in *Public domain*, URL: <http://www.slideshare.net/wolf/michal-erels-sift-presentation>

Εικόνα 16: Επίτευξη αμεταβλητότητας σε φωτισμό, Qiang Ji, “Scale Invariant Feature Transform”, Computer Vision lectures @ Rensselaer Polytechnic Institute, URL: <http://www.ecse.rpi.edu/Homepages/qji/CV/SIFTX.pdf>

Εικόνα 17: Μέθοδος πυραμίδων, Qiang Ji, “Scale Invariant Feature Transform”, Computer Vision lectures @ Rensselaer Polytechnic Institute, URL: <http://www.ecse.rpi.edu/Homepages/qji/CV/SIFTX.pdf>

Εικόνα 18: Gaussian pyramid vs dog method, Qiang Ji, “Scale Invariant Feature Transform”, Computer Vision lectures @ Rensselaer Polytechnic Institute, URL: <http://www.ecse.rpi.edu/Homepages/qji/CV/SIFTX.pdf>

Εικόνα 19: Rotation invariance example, Qiang Ji, “Scale Invariant Feature Transform”, Computer Vision lectures @ Rensselaer Polytechnic Institute, URL: <http://www.ecse.rpi.edu/Homepages/qji/CV/SIFTX.pdf>

Εικόνα 20: Generating keypoint descriptors, David G Lowe, “Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints”, in *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60,2 (2004), pp 91-110, URL: <http://link.springer.com/article/10.1023%2FB%3AVISI.0000029664.99615.94>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 21: a) Maxima of DoG across scales. b) Remaining keypoints after removal of low contrast points. C) Remaining keypoints after removal of edge responses (bottom), 2004 F. Estrada & A. Jepson & D. Fleet, “Local Features Tutorial: Nov. 8, ’04”, from Lectures on Computer Vision in University of Toronto, Department of Computer Science, URL: <http://www.cs.toronto.edu/~jepson/csc2503/tutSIFT04.pdf>

Εικόνα 22: Extracted keypoints, arrows indicate scale and orientation, 2004 F. Estrada & A. Jepson & D. Fleet, “Local Features Tutorial: Nov. 8, ’04”, from Lectures on Computer Vision in University of Toronto, Department of Computer Science, URL: <http://www.cs.toronto.edu/~jepson/csc2503/tutSIFT04.pdf>

Εικόνα 23: Αρχικό set εικόνων για εύρεση πορείας οχήματος, ίδιο έργο

Εικόνα 24: Εφαρμογή SIFT για 2διαδοχικές εικόνες, ίδιο έργο

Εικόνα 25: Αποτέλεσμα SIFT, ίδιο έργο

