

# Video tracking using Scale – Invariant Feature Transform (S.I.F.T.) algorithm

Αυγερινάκης Κωνσταντίνος

Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών  
Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



## ΣΥΝΟΨΗ

Η παρακολούθηση αντικειμένων σε κινούμενη εικόνα (**video tracking**) είναι μια διαδικασία κατά την οποία εντοπίζεται ένα κινούμενο αντικείμενο (ή και πολλά) στην μονάδα του χρόνου, χρησιμοποιώντας μια κάμερα. Ένας αλγόριθμος αναλύει τα πλαίσια του video (video frames) και επιστρέφει την θέση του κινούμενου στόχου ανάμεσα σε αυτά. Επίσης υπάρχει δυνατότητα κατηγοριοποίησης των ενεργειών του αντικειμένου έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν για αναγνώριση κίνησης (motion recognition). Σε μια τέτοια μελέτη επιτάσσεται να χρησιμοποιηθούν πρότυπα video έτσι ώστε να υπάρχει μεγαλύτερο ποσοστό ταυτοποίησης κίνησης μεταξύ των νέων video. Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αρχικά παρουσιάζεται μία προσέγγιση αναγνώρισης αντικειμένων και πιο συγκεκριμένα ανθρώπινων οντοτήτων σε video, χρησιμοποιώντας τον Scale – Invariant Feature Transform (Μετασχηματισμός Χαρακτηριστικών Σημείων Αμετάβλητα στην αλλαγή Μεγέθους) αλγόριθμο. Στην προτεινόμενη μέθοδο εντοπίζονται τα σημεία κλειδιά (Keypoints) του κάθε πλαισίου (Frame) του video, σύμφωνα με τους κανόνες του παραπάνω αλγορίθμου, και αντιστοιχίζονται διαδοχικά, με αυτά του ακριβώς επόμενου πλαισίου. Έτσι αντιστοιχίζονται τα σημεία κλειδιά του  $frame_n$  με αυτά του  $frame_{n+1}$ , ώστε να δημιουργηθεί για κάθε ανθρώπινη ενέργεια (κούνημα χεριών, χειροκρότημα, μποξ, κτλ..) ένα μαθηματικό μοντέλο κίνησης, το οποίο και καθορίζει την κάθε ενέργεια που βλέπουμε στο video.

# Περιεχόμενα

<b>1. Εισαγωγή.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Απαραίτητες Μαθηματικές Γνώσεις.....</b>	<b>9</b>
2.1. Συνέλιξη δύο συναρτήσεων.....	9
2.2. Gaussian Blur (θολές) εικόνες.....	9
2.3. Difference Of Gaussians - Διαφορά από Gaussians (DoG).....	9
2.4. Scale – Space Theory.....	14
2.5. Principal Curvatures.....	16
2.6. Best Bin First Algorithm.....	18
<b>3. Scale – Invariant Feature Transform Algorithm.....</b>	<b>26</b>
3.1. Τα προτερήματα του SIFT.....	27
3.2. Ο αλγόριθμος SIFT.....	27
3.2.1. Scale – Space Extrema Detection.....	27
3.2.2. Keypoint Localization.....	30
3.2.3. Orientation Assignment.....	35
3.2.4. Keypoint Descriptor.....	36
3.3. SIFT feature point detector – Ανιχνευτής χαρακτηριστικών σημείων χρησιμοποιώντας τον SIFT.....	39
<b>4. Tracking.....</b>	<b>45</b>
4.1. Tracking System – Σύστημα Ανίχνευσης.....	45
4.2. Ο αλγόριθμος ανίχνευσης (tracking).....	46
4.3. Tracking Experimental Results – Αποτελέσματα Πειραμάτων Ανίχνευσης.....	48
4.3.1. Hand Clapping.....	48
4.3.2. Man Walking.....	57
4.3.3. Hands Waving.....	67

4.3.4. Man Boxing.....	77
<b>5. Future Work – Μελλοντική Μελέτη.....</b>	<b>82</b>
5.1. Mutual Occlusion – Αμοιβαία Επικάλυψη Αντικειμένων.....	82
5.2. Actions Recognition – Αναγνώριση κινήσεων....	82
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>83</b>
<b>Appendix.....</b>	<b>85</b>
A. KD Tree Algorithm.....	85
B. SIFT Algorithm.....	86
C. Matching Algorithm.....	88
D. Εντολές της OpenCV που χρησιμοποιούμε και η λειτουργικότητα τους.....	93

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες συστημάτων οπτικού εντοπισμού. Η πρώτη είναι η Target Representation and Localization (Εντοπισμός και εμφάνιση Στόχου) και η Filtering and Data Association (Συσχέτιση και Φιλτράρισμα Δεδομένων).

Η **Target Representation and Localization** είναι μια ως επί τω πλείστον bottom-up διαδικασία. Η πολυπλοκότητα υπολογισμού των αλγορίθμων που ανήκουν σε αυτή είναι μικρή. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιοι κοινοί αλγόριθμοι της κατηγορίας :

A) **Blob Tracking (Εντοπισμός «σταγόνας»)** : Κατάτμηση ενός αντικειμένου στο εσωτερικό μιας εικόνας

B) **Kernel-Based Tracking** : Μια επαναληπτική διαδικασία εντοπισμού βασισμένη στην μεγιστοποίηση ενός μετρητή ομοιότητας (Bhattacharyya Coefficient)

Γ) **Contour Tracking** : Εντοπισμός και παρακολούθηση περιγράμματος αντικειμένου

Δ) **Visual Feature Matching**

Η δεύτερη κατηγορία **Filtering and Data Association** είναι μια ως επί των πλείστων top-down διαδικασία, η οποία εμπλέκει μια ενσωματωμένη αρχική πληροφορία η οποία αφορά την σκηνή ή το αντικείμενο, χρησιμοποιώντας δυναμικά αντικείμενα, και αξιολόγηση διάφορων υποθέσεων. Η υπολογιστική πολυπλοκότητα των αλγορίθμων αυτής της κατηγορίας είναι συνήθως πολύ

μεγαλύτερη. Παρακάτω ακολουθούν κάποιοι κοινοί αλγόριθμοι της εν λόγω κατηγορίας :

A) **Kalman Filter** : Ένα ανάστροφο Bayesian φίλτρο για γραμμικές συναρτήσεις αντικειμενικές στην συνάρτηση του Gaussian θορύβου.

B) **Particle Filter** : Χρήσιμο για δειγματοληψία του κατανεμημένου χώρου-κατάστασης μη-γραμμικών και μη-Gaussian διεργασιών.

Στην έρευνα μας θα χρησιμοποιήσουμε την τέταρτη περίπτωση της πρώτης κατηγορίας, την **Visual Feature Matching** . Σε αυτή την κατηγορία το μοντέλο περιγραφής ενός αντικειμένου αποτελείται από ένα σύνολο σημείων ενδιαφέροντος (Interest Points), στην αντίστοιχη περιοχή ενδιαφέροντος (Region Of Interest), τα οποία χαρακτηρίζονται από ένα διάνυσμα που περιέχει κάποιες τοπικές ιδιότητες. Οι πιο κοινοί περιγραφείς (descriptors) σημείων είναι οι : α) Ο **Local Jet** ο οποίος είναι ένα διάνυσμα συντελεστών οι οποίοι χαρακτηρίζουν την τοπική graylevel surface(γκρι στοιχείων επιφάνεια) χρησιμοποιώντας ανάπτυγμα Taylor. β) Ο **Differential Invariants**, ο οποίος συνδυάζει τα στοιχεία του Local Jet, για να επιτύχει σταθερότητα σε περίπτωση περιστροφής της εικόνας. γ) Και τέλος είναι ο **SIFT** ο οποίος παράγει ένα μεγάλο διάνυσμα χαρακτηριστικών σημείων (feature) που είναι ανεπηρέαστα από περιστροφή της εικόνας ή αλλαγή του μεγέθους της, και χαρακτηρίζονται επίσης από ανοχή σε μετατοπίσεις της εικόνας (translation), αλλαγή του φωτισμού, και αλλαγή της 3D οπτικής της. Λόγω των

πολλών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει ο SIFT αλγόριθμος, θα τον χρησιμοποιήσουμε για την περιγραφή των χαρακτηριστικών σημείων (features) των εικόνων. Τα προτερήματα του αλγορίθμου αναλύονται σε μεγαλύτερο βάθος και παρακάτω.

Αρχικά θα αναλύσουμε τον SIFT αλγόριθμο και τα τέσσερα στάδια αυτού, τα οποία χρησιμοποιούνται για την εύρεση του συνόλου των σημείων κλειδιών (features) και θα επεξηγηθούν λεπτομερώς παρακάτω.

A) Scale – Space Extrema Detection : Στο πρώτο στάδιο υπολογισμού τα κλειδιά αναζητούνται σε όλα τα μεγέθη και θέσεις των εικόνων. Το στάδιο αυτό είναι υλοποιημένο χρησιμοποιώντας Gaussian – Διαφορές (DoG) για την εύρεση των πιθανών σημείων ενδιαφέροντος, τα οποία μπορούν να είναι μεταβλητά σε μέγεθος και κατεύθυνση.

B) Keypoint Localization : Σε κάθε υποψήφια θέση, χρησιμοποιείται ένα λεπτομερές μοντέλο για να καθοριστεί η θέση και το μέγεθος του σημείου. Τα σημεία κλειδιά (keypoints) επιλέγονται βάση του μέτρου της σταθερότητας τους.

Γ) Orientation Assignment : Μία ή περισσότερες κατευθύνσεις δίνονται σε κάθε σημείο κλειδί(keypoint) βάσει των επιμέρους τοπικών κατευθύνσεων της εικόνας. Πρέπει να τονιστεί ότι όλες οι μετέπειτα λειτουργίες συντελούνται στα δεδομένα της εικόνας τα οποία έχουν πλέον μετασχηματιστεί στις δοσμένες κατευθύνσεις, μεγέθη, και θέσεις για κάθε σημείο κλειδί(feature).

Δ) Keypoint Descriptor : Για τον χαρακτηρισμό της εικόνας, δημιουργούμε τους λεγόμενους “keypoint descriptors”, που αποτελούνται από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των Keypoints. Αρχικά μετρούνται τα στοιχεία της εικόνας σε μια περιοχή συγκεκριμένου μεγέθους γύρω από κάθε σημείο κλειδί(keypoint). Αυτά μετασχηματίζονται σε μια παρουσίαση η οποία επιτρέπει για σημαντικά επίπεδα τοπικού σχήματος παραμόρφωση και αλλαγή στον φωτισμό.



Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε τα χαρακτηριστικά σημεία (features) που προκύπτουν μετά το τρέξιμο των τεσσάρων σταδίων του αλγορίθμου. Έχουν βρεθεί τα χαρακτηριστικά σημεία που χαρακτηρίζουν το αντικείμενο, έχουν αποκλειστεί κάποια σημεία κλειδιά μέσω των φίλτρων που χρησιμοποιήσαμε και τους έχει δοθεί κατάλληλη κατεύθυνση και μέγεθος (διανύσματα) έτσι ώστε να χαρακτηρίζουν μοναδικά το αντικείμενο της εικόνας. Από το σχήμα φαίνεται ότι ο SIFT όντως εντοπίζει σημεία με σημαντικά χαρακτηριστικά στον χώρο (χαρακτηριστικά σημεία του σώματος του ανθρώπου) και στον χρόνο (σημεία που κινούνται).



## 2. Απαραίτητες Μαθηματικές Γνώσεις

Πριν την παρουσίαση των μεθόδων υπολογισμού του SIFT είναι απαραίτητο να παρουσιαστεί το αναγκαίο μαθηματικό υπόβαθρο. Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται αναλυτικά οι αλγόριθμοι που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για το tracking με βάση τον SIFT.

### 2.1. Συνέλιξη δύο συναρτήσεων

Η Συνέλιξη δύο συναρτήσεων  $f$  και  $g$  γράφεται ως  $f * g$ . Καθορίζεται ως το ολοκλήρωμα του γινομένου δύο συναρτήσεων αφού η μία έχει αναστραφεί και μετατοπιστεί κατάλληλα.

$$\begin{aligned}(f * g)(t) &\stackrel{\text{def}}{=} \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) \cdot g(t - \tau) d\tau \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} f(t - \tau) \cdot g(\tau) d\tau\end{aligned}$$

Όπου το  $t$  χρησιμοποιείται για να συμβολίσει τον χώρο του χρόνου. Αλλά στην περίπτωση μας η συνέλιξη μπορεί να περιγραφεί ως ο σταθμικός μέσος της συνάρτησης  $f(\tau)$  την χρονική στιγμή  $t$ . Η συνάρτηση  $g(-\tau)$ , απλά μετατίθεται κατά ποσότητα  $t$ .

### 2.2. Gaussian Blur (θολές) εικόνες

Ο όρος **Gaussian Blur** περιγράφει το θόλωμα μιας εικόνας χρησιμοποιώντας μια Gaussian συνάρτηση. Η εν λόγω τεχνική χρησιμοποιείται ευρέως στο λογισμικό γραφικών, για την ελάττωση του θορύβου και των λεπτομερειών. Το οπτικό αποτέλεσμα της τεχνικής θόλωσης είναι ένα λείο

θόλωμα που μοιάζει με το να βλέπουμε την εικόνα μέσα από μια ημιδιαφανής οθόνη, ευκρινώς διαφορετικό από το “bokeh” (φωτογραφικός όρος που αναφέρεται στην τεχνικής θολούρας του background μιας φωτογραφίας) φαινόμενο. Η Gaussian θόλωση χρησιμοποιείται ευρέως στα αρχικά στάδια αλγορίθμων επεξεργασίας εικόνας (π.χ. SIFT) με σκοπό την ενίσχυση των δομών της εικόνας σε διαφορετικά μεγέθη. Μαθηματικά, εφαρμόζοντας μια Gaussian θόλωση σε μια εικόνα είναι παρόμοιο με το υπολογίσουμε την συνέλιξη της εικόνας με μια Gaussian συνάρτηση. Καθώς ο Μετασχηματισμός μιας Gaussian είναι μια άλλη Gaussian συνάρτηση, εφαρμόζοντας μια Gaussian θόλωση έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των υψηλής συχνότητας των στοιχείων μιας εικόνας, οπότε μια Gaussian θόλωση είναι ένα χαμηλο-περατό φίλτρο. Για τον υπολογισμό της Gaussian blur χρησιμοποιούμε την Gaussian συνάρτηση για να υπολογίσουμε τον μετασχηματισμό κάθε σημείου της εικόνας. Η εξίσωση της Gaussian συνάρτησης μιας διάστασης είναι :

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

Ενώ δύο διαστάσεων η συνάρτηση δίνεται από την

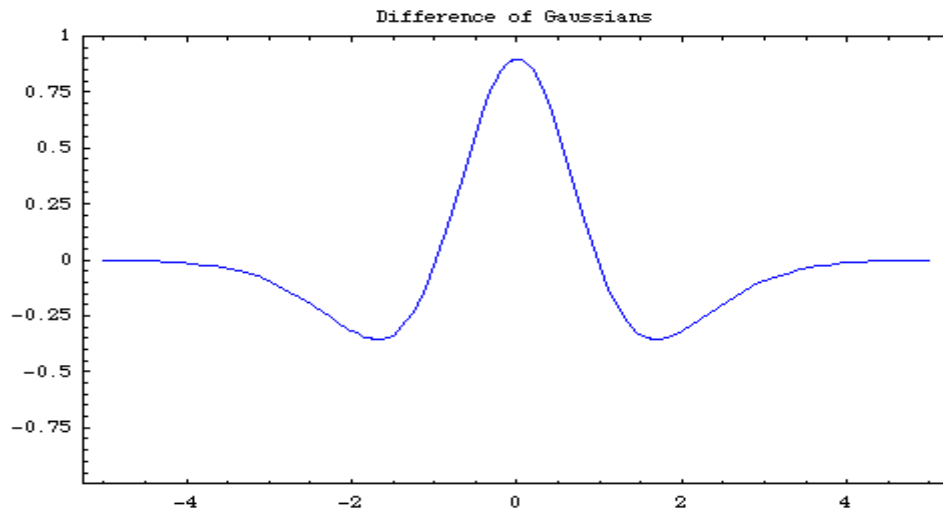
$$\text{εξίσωση: } G(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

Παράδειγμα εφαρμογής της Gaussian blur σε εικόνα :



### 2.3. Difference Of Gaussians - Διαφορά από Gaussians (DoG)

Στην επεξεργασία εικόνας, η DoG είναι ένας ενισχυτής γκρι μεγέθους (μονόχρωμης) εικόνας αλγόριθμος ο οποίος έχει ως προϋπόθεση την αφαίρεση μιας θολής απόδοσης μιας γκρι-μεγέθους εικόνας από μία άλλη λιγότερης θολής απόδοση της ίδιας αρχικής – πρότυπης εικόνας. Οι θολές (blur) εικόνες δημιουργούνται με συνέλιξη της αρχικής εικόνας με Gaussian kernels με διαφορετικές τυπικές αποκλίσεις το καθένα. Θολώνοντας μια εικόνα χρησιμοποιώντας έναν Gaussian Kernel αφαιρούμε μόνο τις πληροφορίες χώρου που αντιστοιχούν σε υψηλές συχνότητες. Αφαιρώντας την μια εικόνα από την άλλη διατηρείται η πληροφορία του χώρου που αντιστοιχεί στην περιοχή των συχνοτήτων που διατηρούνται στις δυο θολές εικόνες. Οπότε, η Gaussian διαφορά είναι παρόμοια με ένα φίλτρο περιοχής το οποίο αφαιρεί όλες τις συχνότητες, της μονόχρωμης εικόνας, οι οποίες βρίσκονται έξω από το εύρος της συχνότητας που καθορίζει. Το εν λόγω φίλτρο φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Η Gaussian διαφορά ορίζεται ως εξής :

$$f(x; \mu, \sigma_1, \sigma_2) = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma_1^2}} - \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma_2^2}}$$

Ως αλγόριθμος ενίσχυσης εικόνας, η Gaussian διαφορά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αυξήσει την ευκρίνεια των άκρων και άλλων λεπτομερειών που υπάρχουν σε μια ψηφιακή εικόνα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα το παρακάτω σχήμα :



*Η εικόνα πριν την εφαρμογή των Gaussian Διαφορών*



Η εικόνα μετά την εφαρμογή των Gaussian Διαφορών

## 2.4. Scale – Space Theory

Η ιδέα της scale – space θεωρίας εφαρμόζεται σε σήματα με τυχαίο αριθμό μεταβλητών. Η πιο κοινή περίπτωση είναι η εφαρμογή της σε εικόνες δύο διαστάσεων. Για μια εικόνα  $f(x, y)$ , η γραμμική της (Gaussian) scale-space απεικόνιση είναι μια οικογένεια σημάτων  $L(x, y; t)$ , ορισμένα από την συνέλιξη της  $f(x, y)$  με την θολή

$$\text{Gaussian : } g_t(x, y) = \frac{1}{2\pi t} e^{-\frac{x^2+y^2}{2t}}$$

τέτοια ώστε :  $L(x, y; t) = (g_t * f)(x, y)$

όπου το ερωτηματικό στο όρισμα του  $g$  υποδηλώνει ότι η συνέλιξη γίνεται μόνο μεταξύ των μεταβλητών  $x, y$ , ενώ η παράμετρος μεγέθους  $t$  μετά το ερωτηματικό απλά υποδεικνύει το επίπεδο μεγέθους (scale) της πράξης. Αυτός ο ορισμός του  $L$  λειτουργεί για συνεχή μεγέθη  $t \geq 0$ , αλλά στην πράξη μόνο ένα πεπερασμένο διακριτό σύνολο επιπέδων στην scale-space παρουσίαση μπορεί πραγματικά να εξεταστεί. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνονται παραδείγματα φιλτραρίσματος για διάφορα επίπεδα μεγέθους (scales) με  $\sigma L(x, y; t)$ :



t=0



t=1



t=4



t=16

## 2.5. Principal Curvatures

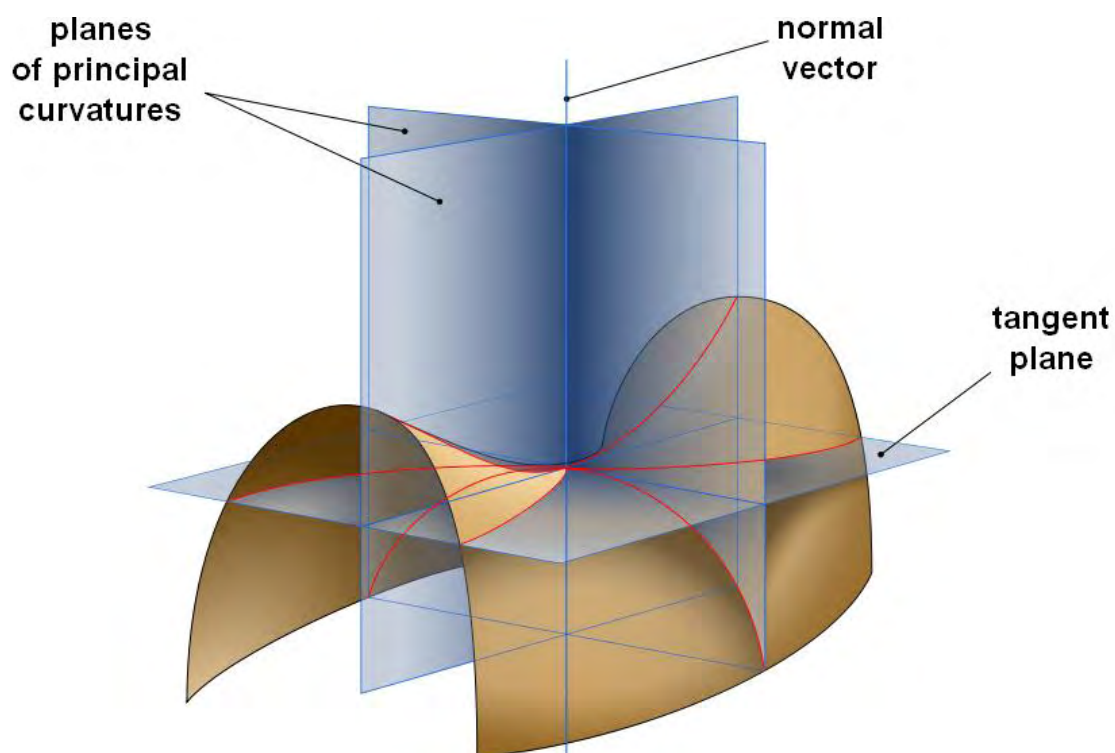
Στην διαφορική γεωμετρία, οι δύο κύριες καμπυλότητες (principal curvatures) σε ένα δοσμένο σημείο μιας επιφάνειας, μετράνε κατά πόσο η επιφάνεια κυρτώνει με την τοποθέτηση διαφορετικών τιμών σε διάφορες κατευθύνσεις σε αυτό το σημείο.

Σε κάθε σημείο  $p$  μιας διαφορικής επιφάνειας σε Ευκλείδειο χώρο τριών διαστάσεων, μπορεί να οριστεί ένα κάθετο διανύσμα. Ένα κάθετο επίπεδο στο σημείο  $p$  θα περιέχει μια μοναδική κατεύθυνση εφαπτομένη στην επιφάνεια και θα κόβει την επιφάνεια σε μία επίπεδη καμπύλη. Αυτή η καμπύλη γενικότερα θα έχει διαφορετικές καμπυλότητες για διαφορετικά κάθετα επίπεδα στο  $p$ . Οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές της καμπυλότητας στο  $p$  λέγονται κύριες καμπυλότητες, και υποδηλώνονται ως  $k_1$  και  $k_2$ .

Η καμπυλότητα μιας καμπύλης είναι εξ ορισμού η αντίστροφη της ακτίνας του συναπτόμενου κύκλου σε αυτή την καμπύλη. Η καμπυλότητα ορίζεται έτσι ώστε να είναι θετική σε περίπτωση που η καμπύλη στραφεί στην ίδια κατεύθυνση με την κάθετη της επιφάνειας, αλλιώς ορίζεται ως αρνητική. Οι κατευθύνσεις του κάθετου επιπέδου όπου οι καμπυλότητες παίρνουν τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές είναι πάντα κατακόρυφες, ως αποτέλεσμα του Euler, και αποκαλούνται **κύριες κατευθύνσεις (principal directions)**. Το γινόμενο  $k_1 \cdot k_2$  των δύο κύριων καμπυλοτήτων είναι η Gaussian καμπυλότητα,  $K$ , και ο μέσος όρος  $(k_1 + k_2)/2$



είναι η μέση καμπυλότητα,  $H$ . Για μια ελάχιστη επιφάνεια, η μέση καμπυλότητα είναι μηδέν σε κάθε σημείο.



Χαρακτηριστική επιφάνεια με κάθετα επίπεδα στις κατευθύνσεις των κύριων καμπυλοτήτων.

Έστω  $M$  είναι η επιφάνεια στον ευκλείδειο χώρο με δεύτερης τάξης μορφή  $\Pi(X, Y)$ , εννοώντας με αυτόν τον όρο ένα ομογενές πολυώνυμο δευτέρου βαθμού στο εφαπτόμενο επίπεδο μιας λείας επιφάνειας στον ευκλείδειο χώρο τριών διαστάσεων. Έστω ένα σημείο  $p \in M$ , και μία ορθοκανονική βάση  $X_1, X_2$  των εφαπτόμενων διανυσμάτων στο  $p$ . Τότε οι κύριες καμπύλες είναι οι ιδιοτιμές του

$$\text{συμμετρικού πίνακα : } [\Pi_{ij}] = \begin{bmatrix} \Pi(X_1, X_1) & \Pi(X_1, X_2) \\ \Pi(X_2, X_1) & \Pi(X_2, X_2) \end{bmatrix}$$

Αν  $X_1$  και  $X_2$  είναι επιλεγμένα έτσι ώστε ο πίνακας  $[\Pi_{ij}]$  είναι ένας διαγώνιος πίνακας, τότε αποκαλούνται κύριες κατευθύνσεις.

## 2.6. Best Bin First Algorithm

Ο Best Bin First (BBF) είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος σχεδιάστηκε για να βρίσκει αποδοτικά μια προσεγγιστική λύση στο πρόβλημα αναζήτησης κοντινότερου γείτονα (Nearest Neighbor Search Problem) σε πολύ μεγάλες διαστάσεις του χώρου. Ο αλγόριθμος είναι μια μετατροπή του K-d tree αλγόριθμου αναζήτησης τον οποίο θα περιγράψουμε παρακάτω και έπειτα θα εξηγήσουμε την μετατροπή που επιτελεί σε αυτόν ο BBF για να πάρει την τελική του μορφή.

### K-d tree search algorithm

Το kd-tree είναι ένα δυαδικό δένδρο στο οποίο κάθε κόμβος είναι ένα k-διαστάσεων σημείο. Κάθε κόμβος που δεν είναι φύλλο του δένδρου παράγει ένα διαχωρίζον υπερ-επίπεδο το οποίο χωρίζει τον χώρο σε δύο υποχώρους. Σημεία αριστερά της υπερ-επιφάνειας απεικονίζονται στο αριστερό υποδένδρο αυτού του κόμβου και αντίστοιχα τα σημεία δεξιά της υπερ-επιφάνειας αναπαριστούνται στο δεξί υποδένδρο του κόμβου. Η κατεύθυνση της υπερ-επιφάνειας επιλέγεται με τον εξής τρόπο : Κάθε διάσπαση του κόμβου σε υποδένδρα συνδέεται με μία από τις k-διαστάσεις, τέτοιες ώστε το υπερ-επίπεδο να είναι κάθετο σε αυτό το διάνυσμα διάστασης. Για παράδειγμα, αν για ένα συγκεκριμένο διαχωρισμό επιλεγεί ο "x" άξονας, όλα τα σημεία στο υποδένδρο με μικρότερο x από αυτό του κόμβου θα

εμφανιστούν στο αριστερό υποδένδρο και όλα τα σημεία με μεγαλύτερο  $x$  θα εμφανιστούν στο δεξιό υποδένδρο.

Καθώς υπάρχουν πολλοί πιθανοί τρόποι να διαλέξουμε έναν ευθύ άξονα που θα χωρίζει τα επίπεδα, υπάρχουν και πολλοί διαφορετικοί τρόποι να κατασκευάσουμε ένα kd-tree. Η κανονική μέθοδος της κατασκευής του kd-tree έχει τους παρακάτω περιορισμούς :

- Καθώς κάποιος διατρέχει το δένδρο από την ρίζα προς τα φύλλα, ένας κύκλος ανάμεσα στους άξονες χρησιμοποιείται για να επιλέξει τα διαχωριζόμενα επίπεδα. (Για παράδειγμα, η ρίζα θα έχει μία  $x$ -ευθεία που θα καθορίζει το επίπεδο, τα “παιδιά” της ρίζας θα έχουν αμφότερα μια  $y$ -ευθεία που θα καθορίζει το επίπεδο, κ.ο.κ. ).
- Σε κάθε βήμα του αλγορίθμου, το σημείο που επιλέγεται για να δημιουργήσει τα διαχωριζόμενα επίπεδα είναι ο μέσος αυτών των σημείων, σύμφωνα με τις συντεταγμένες του άξονα που χρησιμοποιείται.

Αυτή η μέθοδος μας δίνει ένα ζυγισμένο kd-tree, στο οποίο κάθε φύλλο έχει την ίδια απόσταση από την ρίζα. Ωστόσο, τα ισοζυγισμένα δένδρα δεν είναι αναγκαία για όλες τις εφαρμογές.

Αυτός ο αλγόριθμος δημιουργεί την ιδιότητα της αμεταβλητότητας για κάθε έναν κόμβο : όλοι οι κόμβοι στο αριστερό υποδένδρο είναι στην μια πλευρά του διαχωρισμένου επιπέδου, και όλοι οι κόμβοι στο δεξιό υποδένδρο είναι στην άλλη πλευρά του επιπέδου. Σημεία

τα οποία βρίσκονται πάνω στο διαχωριζόμενο επίπεδο μπορούν να εμφανιστούν είτε στο ένα υποδένδρο είτε στο άλλο.

Αρχικά γίνεται η **επιλογή της ρίζας** με την χρήση της μεσαίας τιμής (median) σύμφωνα με τις συντεταγμένες του άξονα που έχουμε επιλέξει.

Έπειτα γίνεται η **προσθήκη στοιχείων** στο kd-tree. Ένα νέο σημείο προστίθεται στο kd-tree με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο προστίθενται στοιχεία σε κάθε άλλο αλγόριθμο δένδρου αναζήτησης. Αρχικά, διατρέχουμε το δένδρο, αρχίζοντας από την ρίζα και κινούμεθα είτε στο αριστερό “παιδί” είτε στο δεξί ανάλογα με το σημείο που είναι να προστεθεί, αν είναι στο “δεξιό” μέρος του διαχωριζόμενου επιπέδου ή στο “αριστερό”. Όταν φτάσουμε στο φύλλο του δένδρου, προσθέτουμε το σημείο αναλόγως, στα αριστερά ή στα δεξιά αυτού.

Τέλος “τρέχουμε” τον **αλγόριθμο κοντινότερου γείτονα** ο οποίος έχει ως στόχο την εύρεση του σημείου στο δένδρο κοντύτερα στο υπό εξέταση σημείο. Ο αλγόριθμος είναι ο εξής:

- 1) Αρχίζοντας από τον κόμβο ρίζα, ο αλγόριθμος διατρέχει το δένδρο προς τα κάτω επαναληπτικά, με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο προσθέταμε σημεία.
- 2) Μόλις ο αλγόριθμος φτάσει σε ένα φύλλο του δένδρου, σώζει τον κοντινότερο κόμβο που βρήκε ως “τρέχων καλύτερο”.

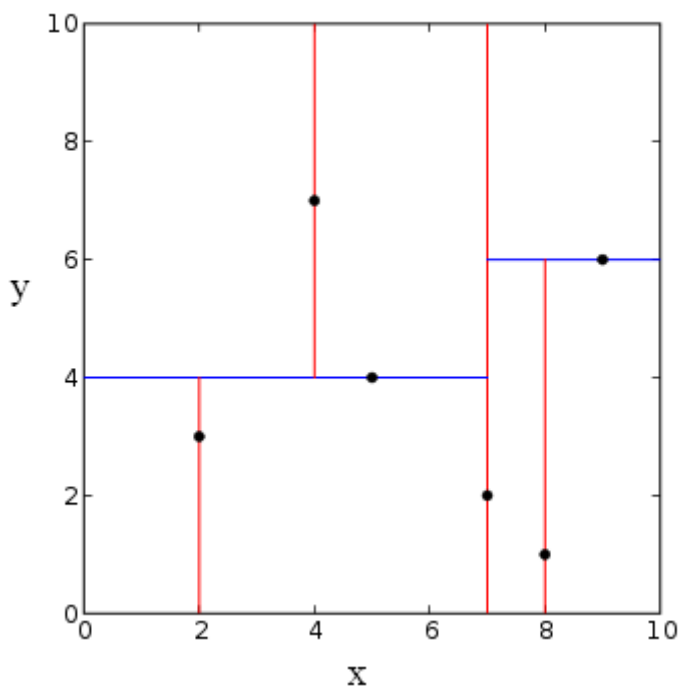
- 3) Ο αλγόριθμος εκτελεί επαναληπτικά την παρακάτω διαδικασία για κάθε κόμβο ξεχωριστά :
- a) Αν ο τρέχων κόμβος είναι κοντύτερα από το μέχρι τότε “τρέχον καλύτερο” σημείο, τότε γίνεται αυτό το τρέχον καλύτερο.
  - b) Ο αλγόριθμος ελέγχει αν υπάρχουν σημεία στην άλλη πλευρά του διαχωριζόμενου επιπέδου τα οποία είναι πιο κοντά στο υπό αναζήτηση σημείο το οποίο είναι τρέχον καλύτερο. Η διαδικασία σύγκρισης γίνεται διασταυρώνοντας το διαχωριζόμενο υπερ-επίπεδο με μία υπερ-σφαίρα γύρω από το υπό αναζήτηση κόμβο το οποίο έχει μια ακτίνα ίση με την τρέχουσα κοντινότερη απόσταση. Μιας και τα υπερ-επίπεδα είναι όλα αξονικά ευθυγραμμισμένα αυτό υλοποιείται σαν μια σύγκριση για την εύρεση του σημείου όπου η διαφορά μεταξύ των διαχωριζόμενων συντεταγμένων και του υπό αναζήτηση σημείου είναι μικρότερη από την απόσταση μεταξύ του υπό αναζήτηση σημείου και του τρέχοντος καλύτερου.
    - i) Αν η σφαίρα διαπερνάει το επίπεδο, θα μπορούσε να υπάρχει κοντινότερα σημεία στην άλλη πλευρά του επιπέδου. Τότε ο αλγόριθμος πρέπει να μετακινηθεί στον άλλο κλάδο του δένδρου (από τον τρέχον κόμβο) ψάχνοντας για κοντινότερα σημεία, ακολουθώντας την ίδια επαναληπτική διαδικασία που χρησιμοποιήσαμε παραπάνω.
    - ii) Αν η υπερ-σφαίρα (γενίκευση της σφαίρας για μεγαλύτερες διαστάσεις της μίας) δεν διασταυρωθεί με το διαχωριζόμενο επίπεδο, τότε ο

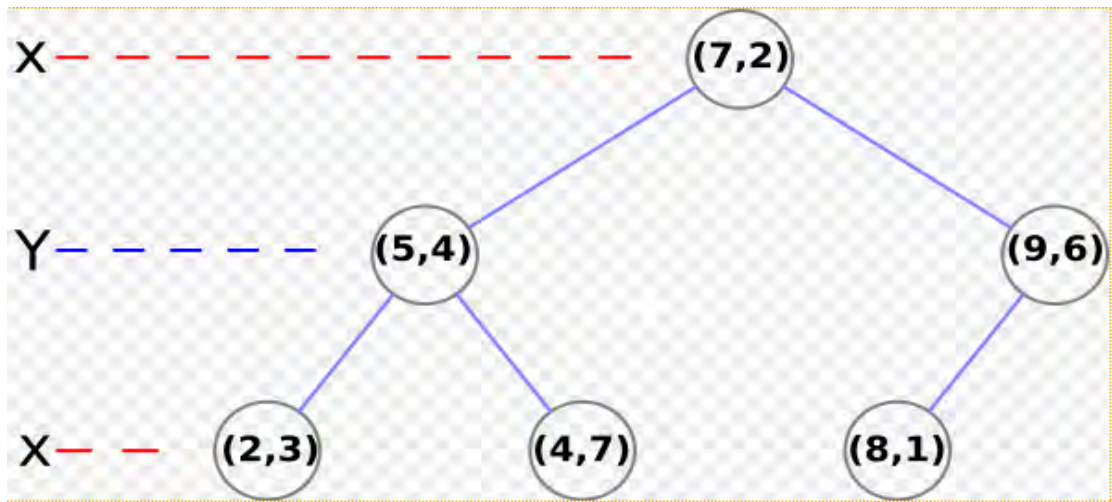
αλγόριθμος συνεχίζει να “ανεβαίνει” το δένδρο, και σε όλο τον κλάδο της άλλης πλευράς μέχρι ο κόμβος να απαλειφθεί.

4) Όταν ο αλγόριθμος τερματίσει την διαδικασία για την ρίζα, τότε ο αλγόριθμος έχει ολοκληρωθεί.

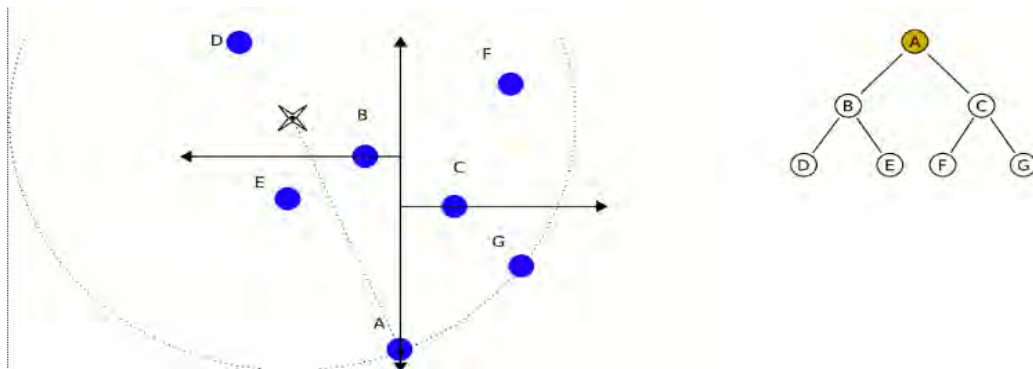
Γενικά ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τετραγωνικές αποστάσεις για την σύγκριση σημείων για να αποφύγει τον υπολογισμό τετραγωνικών ριζών. Επιπροσθέτως, μπορεί να σώσει υπολογιστικό χρόνο κρατώντας την τετραγωνική τρέχουσα καλύτερη απόσταση σε μια μεταβλητή για μετέπειτα σύγκριση.

Παράδειγμα του αλγορίθμου για το σύνολο σημείων :  $[(2,3), (5,4), (9,6), (4,7), (8,1), (7,2)]$  χρησιμοποιώντας την  $x,y$  εναλλαγή αξόνων ανά νέα αναζήτηση.

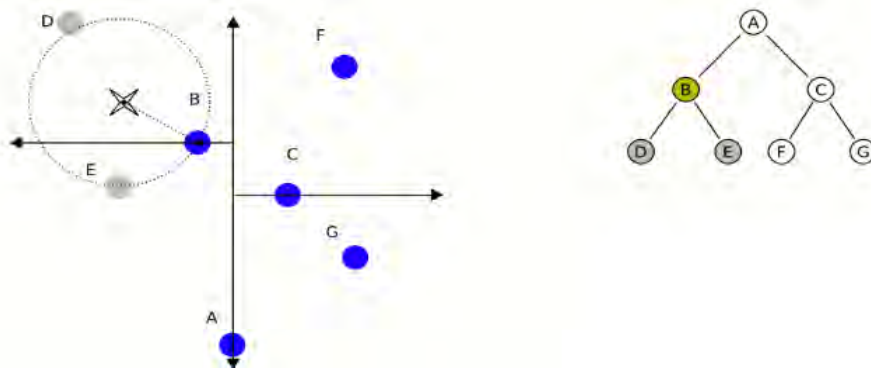




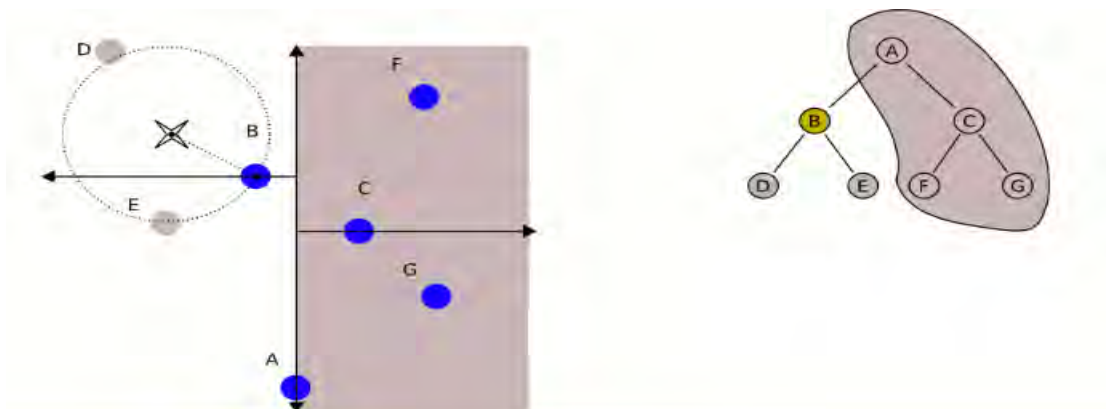
Αρχικά έχουμε την δημιουργία του kd-tree.



Αρχίζοντας με το  $A$ , έπειτα συνεχίζουμε σε βάθος αναζήτηση (διατηρώντας μια στοίβα από κόμβους γονείς). Θέτουμε ως καλύτερο τρέχων την απόσταση του  $A$ . Έπειτα ελέγχουμε το αριστερό κόμβο παιδί.



Οι κόμβοι  $D$  και  $E$  απορρίπτονται (έχουν επισκεφθεί ήδη) καθώς ο  $B$  είναι κοντύτερα. Ο  $B$  είναι η καλύτερη προσέγγιση για τον υποκλάδο του. Συνεχίζουμε τον αλγόριθμο επιστρέφοντας στη ρίζα.

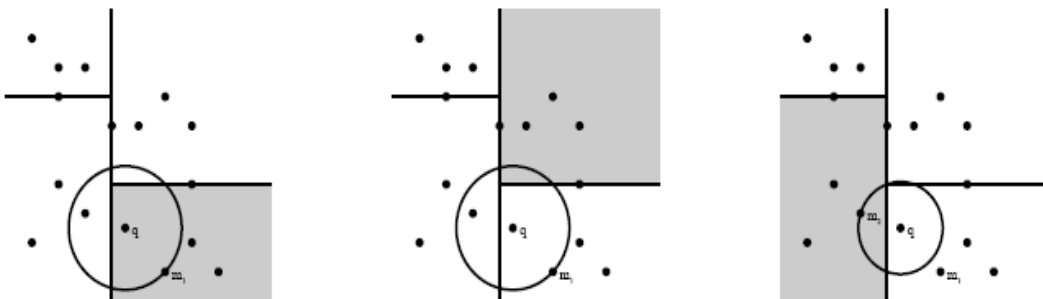


Καθώς η περιοχή δεν διασταυρώνεται δεν υπάρχει προσέγγιση κοντινότερου γείτονα από αυτή του  $B$ . Τα παιδιά του έχουν εξεταστεί όλα, το  $B$  είναι η καλύτερη προσέγγιση.



## Best Bin First

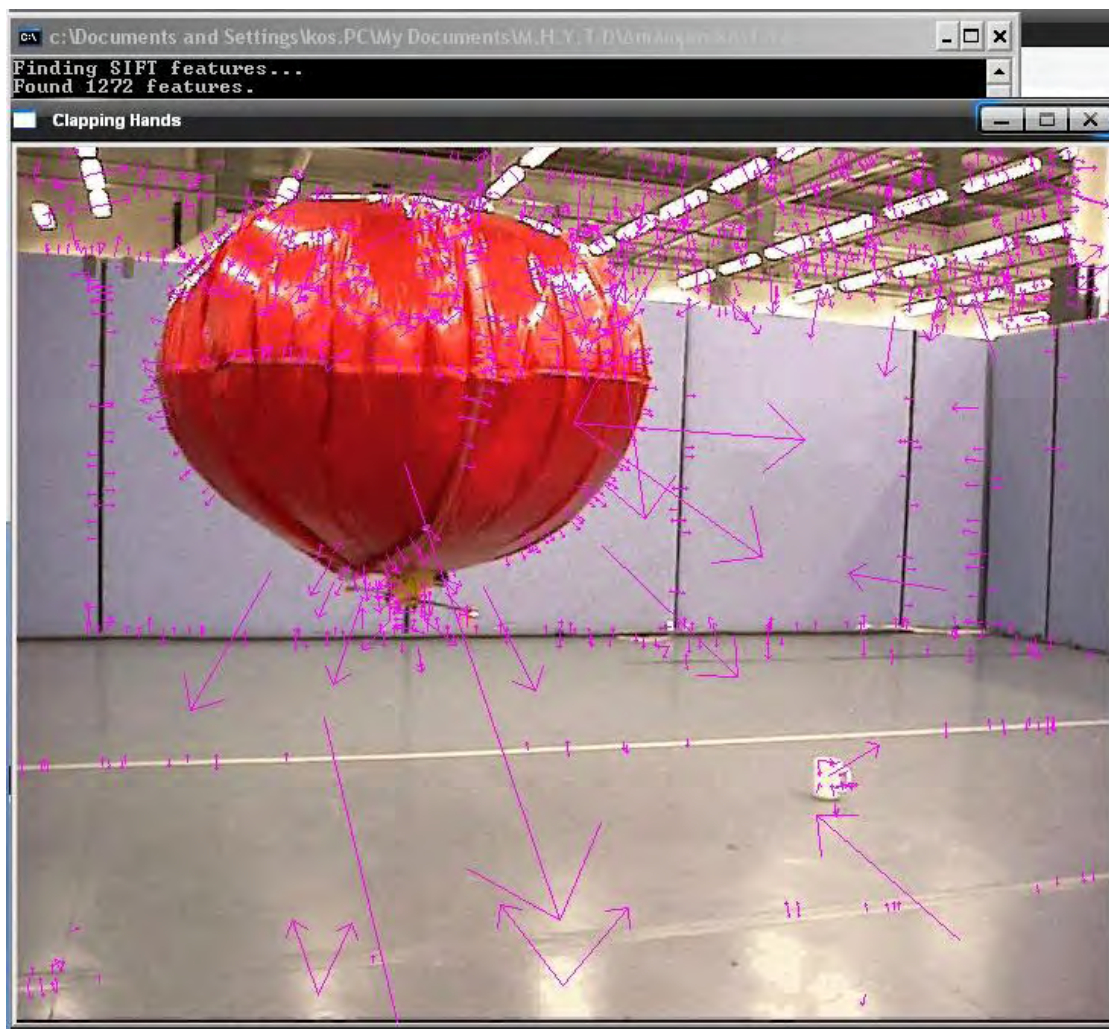
Ο παραπάνω αλγόριθμος μπορεί να μετατραπεί σε έναν προσεγγιστικό αλγόριθμο (BBF) για να “τρέχει” γρηγορότερα. Για παράδειγμα, η προσέγγιση κοντινότερου γείτονα μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας ένα άνω όριο στον αριθμό αναζήτησης σημείων του δένδρου. Ο BBF αλγόριθμος διατηρεί μια ουρά προτεραιοτήτων στοιχείων (bins) τα οποία δεν έχουν επισκεφθεί. Η εν λόγω προτεραιότητα βασίζεται στην απόσταση από το υπό εξέταση σημείο. Με αυτόν τον τρόπο, περιορίζεται η αναζήτηση προς τα πίσω στα σημεία τα οποία είναι κοντύτερα στο υπό εξέταση σημείο. Η ιδέα είναι ότι τα σημεία που είναι κοντύτερα έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα είναι ο κοντινότερος γείτονας.



Στο πρώτο σχήμα βρίσκουμε με την μέθοδο της υπερ-σφαίρας το κοντινότερο σημείο στο πρώτο bucket. Στο δεύτερο σχήμα αναζητούμε το επόμενο bucket που επικαλύπτει η σφαίρα. Και στο τρίτο σχήμα αναζητούμε σε ένα ακόμα επικαλύπτον bucket την εύρεση κοντινότερου γείτονα (σημείο μικρότερης ακτίνας από την ήδη υπάρχουσα). Ο BBF προσπερνάει την δεύτερη αναζήτηση.

### 3. Scale – Invariant Feature Transform Algorithm

Ο S.I.F.T. (Μετασχηματισμός Αμετάβλητου-Μεγέθους Σημείων) αλγόριθμος δημοσιεύθηκε από τον David Lowe το 1999, και βελτιωμένη έκδοση αυτού το 2004, <http://www.cs.ubc.ca/~lowe/keypoints/>. Ο εν λόγω αλγόριθμος χρησιμοποιείται στην επεξεργασία εικόνας για τον εντοπισμό και την περιγραφή χαρακτηριστικών σημείων (features) σε εικόνες.



*Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής του SIFT και εύρεση των features που καθορίζουν την εικόνα, και τα αντικείμενα αυτής.*

### **3.1. Τα προτερήματα του SIFT**

Τα χαρακτηριστικά σημεία (features) του S.I.F.T. αλγορίθμου είναι τοπικά και βασίζονται στην εμφάνιση του αντικειμένου σε συγκεκριμένα σημεία ενδιαφέροντος. Έχουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως το ότι παραμένουν αμετάβλητα σε αλλαγή μεγέθους της εικόνας η περιστροφή αυτής. Επιπλέον είναι ανθεκτικά σε αλλαγή φωτισμού ή θορύβου και μικρών αλλαγών της οπτικής γωνίας της κάμερας. Επί προσθέτως σε αυτές τις ιδιότητες εντάσσονται και η υψηλή σαφήνεια των σημείων, η σχετικά εύκολη εύρεση τους στις εικόνες, το ότι προσφέρουν την σωστή αναγνώριση αντικειμένων με μικρή πιθανότητα αστοχίας και το ότι είναι εύκολο να αντιστοιχηθούν έναντι μιας μεγάλης Βάσης Δεδομένων τοπικών χαρακτηριστικών σημείων. Η περιγραφή αντικειμένων από ένα σύνολο S.I.F.T. χαρακτηριστικών σημείων είναι επίσης ανθεκτική σε μερική επικάλυψη του υπό μελέτη αντικειμένου από κάποιο άλλο.

### **3.2. Ο αλγόριθμος SIFT**

Ο S.I.F.T. αλγόριθμος αποτελείται από 4 στάδια

#### **3.2.1. Scale – Space Extrema Detection**

Εύρεση ακρότατων στον χώρο (στην υπό μελέτη εικόνα) σε διάφορα μεγέθη. Σε αυτό το στάδιο εντοπίζονται τα σημεία

ενδιαφέροντος, τα οποία ονομάζονται και σημεία κλειδιά (keypoints) στον S.I.F.T. αλγόριθμο. Σε αυτό λοιπόν το στάδιο, βρίσκεται η συνέλιξη της εικόνας με τα Gaussian φίλτρα σε διάφορα μεγέθη, και παίρνεται η διαφορά των επιτυχών Gaussian – blur εικόνων. Έπειτα βρίσκουμε τα σημεία κλειδιά (keypoints) από την ελάχιστη/ μέγιστη Διαφορά των Gaussian (Difference Of Gaussian - DoG ) τα οποία δημιουργούνται σε πολλαπλά μεγέθη. Πιο συγκεκριμένα, μια DoG εικόνα  $D(x,y,\sigma)$  δίνεται από την εξίσωση:

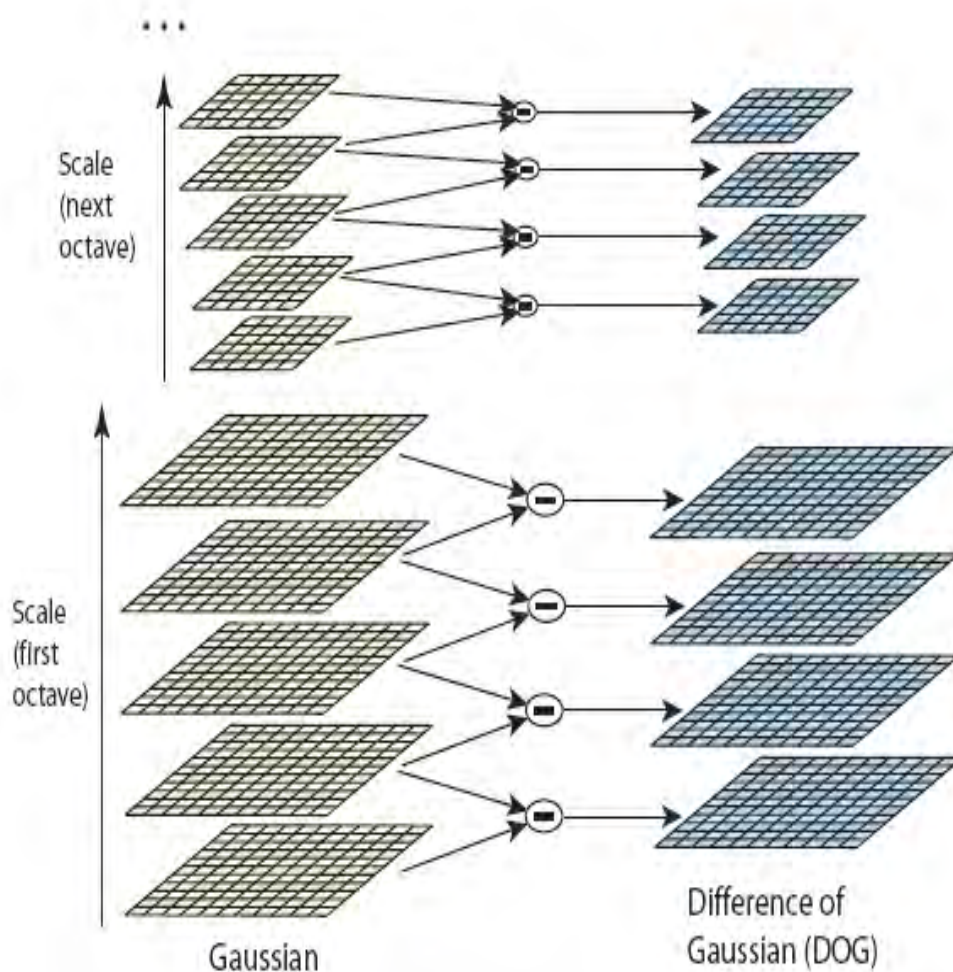
$$D(x,y,\sigma) = L(x,y,k_i\sigma) - L(x,y,k_j\sigma) .$$

Όπου  $L(x,y,k\sigma)$  είναι η συνέλιξη της αρχικής εικόνας  $I(x,y)$  με την Gaussian – blur  $G(x,y,k\sigma)$  σε μέγεθος  $k\sigma$ .

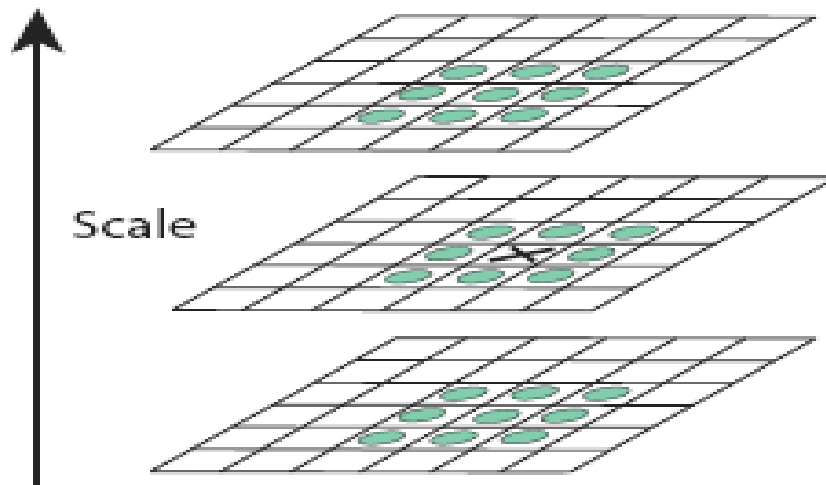
$$L(x,y,k\sigma) = G(x,y,k\sigma) * I(x,y).$$

Και η Gaussian – Blur : 
$$G(x,y,\sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}}$$

Άρα μια DoG εικόνα μεταξύ των μεγεθών  $k_i\sigma$  και  $k_j\sigma$  είναι απλά η διαφορά των Gaussian – blur εικόνων στα δυο αυτά μεγέθη. Για scale – space extrema detection στον S.I.F.T αλγόριθμο, αρχικά βρίσκεται η συνέλιξη της εικόνας με τους Gaussian – blur σε διάφορα μεγέθη. Οι πολλαπλασιασμένες εικόνες κατηγοριοποιούνται σε οκτάδες και επιλέγεται η  $k_i$  τιμή έτσι ώστε να πάρουμε συγκεκριμένο αριθμό εικόνων ανά οκτάδα. Έπειτα παίρνεται η Gaussian διαφορά (DoG) των εικόνων με κατάλληλη αποκοπή Gaussian - blur ανά οκτάδα.



Μετά την δημιουργία των DoG εικόνων, αναγνωρίζονται τα σημεία κλειδιά (keypoints) ως τοπικά ελάχιστα/ μέγιστα των Gaussian Διαφορών (DoG) των εικόνων ανάμεσα στα διάφορα μεγέθη. Αυτό γίνεται συγκρίνοντας κάθε pixel των DoG εικόνων με καθένα από τα 8 γειτονικά, στο ίδιο μέγεθος, και τα 9 αντίστοιχα γειτονικά pixels σε κάθε ένα από τα γειτονικά μεγέθη. Αν η τιμή του pixel είναι η μέγιστη ή η ελάχιστη μεταξύ των συγκρινόμενων pixels, τότε αυτή διαλέγεται ως υποψήφιο σημείο κλειδί (keypoint).



### 3.2.2. Keypoint Localization

Εντοπισμός των σημείων κλειδιών (keypoints). Το πρώτο στάδιο του αλγορίθμου παράγει πολλά υποψήφια σημεία κλειδιά(keypoint). Σε αυτό το βήμα του αλγορίθμου επιτελείται μια λεπτομερής εφαρμογή στα τριγύρω δεδομένα για την εύρεση της ακριβούς θέσης, του μεγέθους, και του λόγου των κύριων καμπυλοτήτων(principal curvatures) των σημείων κλειδιών. Αυτή η πληροφορία δίνει την δυνατότητα να εντοπιστούν και να απορριφθούν τα σημεία που έχουν χαμηλή αντίθεση (contrast), γιατί είναι ευαίσθητα στην παρουσία θορύβου. Επιπλέον, απορρίπτονται και τα σημεία που βρίσκονται κατά μήκος μιας κορυφής.

## Παρεμβολή των γειτονικών δεδομένων για ακριβή θέση

Αρχικά, για κάθε υποψήφιο σημείο κλειδί (keypoint), χρησιμοποιείται η συνάρτηση της παρεμβολής χρησιμοποιώντας τα γειτονικά δεδομένα, για ακριβή προσδιορισμό της θέσης αυτού. Η αρχική προσέγγιση ήταν απλά ο εντοπισμός κάθε σημείου κλειδιού (keypoint) στην θέση και το μέγεθος του υποψήφιου σημείου κλειδιού (keypoint). Η νέα προσέγγιση υπολογίζει την παρεμβάουσα θέση του μέγιστου, το οποίο με την σειρά του βελτιώνει την αντιστοίχιση (matching) και την σταθερότητα των σημείων. Η παρεμβολή γίνεται χρησιμοποιώντας το δεύτερο ανάπτυγμα Taylor της Gaussian Διαφοράς (DoG) scale-space συνάρτηση,  $D(x,y,\sigma)$  με το υποψήφιο κλειδί ως αρχική τιμή. Το εν λόγω ανάπτυγμα δίνεται από την συνάρτηση :

$$D(x) = D + \frac{dD}{dx} x + \frac{1}{2} x^T \frac{d^2D}{dx^2} x$$

Όπου  $D$  και οι παράγωγοι του υπολογίζονται στο υποψήφιο σημείο κλειδί (keypoint) και  $x = (x,y,\sigma)^T$  είναι η απόσταση του σημείου κλειδιού από το υπο εξέταση σημείο, με άλλα λόγια η απόσταση (offset) αυτού του σημείου από το keypoint. Η θέση του ακρότατου,  $\hat{x}$ , καθορίζεται βρίσκοντας την παράγωγο της  $D$  και θέτοντας

την ίση με μηδέν: 
$$\hat{x} = - \frac{d^2D^{-1}}{dx^2} \frac{dD}{dx}$$

Αν το offset  $\hat{x}$  είναι μεγαλύτερο από 0.5 σε κάθε διάσταση, τότε αυτό είναι μια ένδειξη ότι το ακρότατο βρίσκεται πιο κοντά σε κάποιο άλλο υποψήφιο σημείο κλειδί (keypoint).

Σε αυτή την περίπτωση, το υποψήφιο σημείο κλειδί (keypoint) αλλάζει και εκτελείται η παρεμβολή αντί αυτού του σημείου. Σε άλλη περίπτωση το offset προστίθεται στο υποψήφιο σημείο κλειδί (keypoint) για να πάρουμε την παρεμβολική εκτίμηση για την θέση του ακρότατου.

### **Διαγράφοντας τα χαμηλής-αντίθεσης σημεία κλειδιά**

Για την διαγραφή των σημείων κλειδιών (keypoints) με χαμηλό contrast, υπολογίζεται το δεύτερης τάξης

ανάπτυγμα Taylor  $D(x)$  στο offset  $\hat{x}$  :

$$D(\hat{x}) = D + \frac{1}{2} \frac{dD^T}{dx} \hat{x}.$$

Αν η τιμή είναι μικρότερη από 0.03, το υποψήφιο σημείο κλειδί διαγράφεται. Αλλιώς το κρατάμε, με τελική θέση  $\mathbf{y} + \hat{\mathbf{x}}$  και μέγεθος  $\sigma$ , όπου  $\mathbf{y}$  είναι η πραγματική θέση του σημείου κλειδί (keypoint) με μέγεθος  $\sigma$ .

### **Απαλείφοντας ακραίες αποκρίσεις**

Η DoG (Gaussian Διαφορές) συνάρτηση έχει υψηλές αποκρίσεις κατά μήκος των κορυφών αυτής, ακόμα και αν το υποψήφιο σημείο κλειδί (keypoint) είναι ασταθές σε μικρές ποσότητες θορύβου. Για να αυξήσουμε την σταθερότητα, χρειάζεται να απαλείψουμε τα σημεία κλειδιά (keypoints) τα οποία έχουν φτωχά καθορισμένες θέσεις αλλά έχουν υψηλές ακραίες αποκρίσεις.

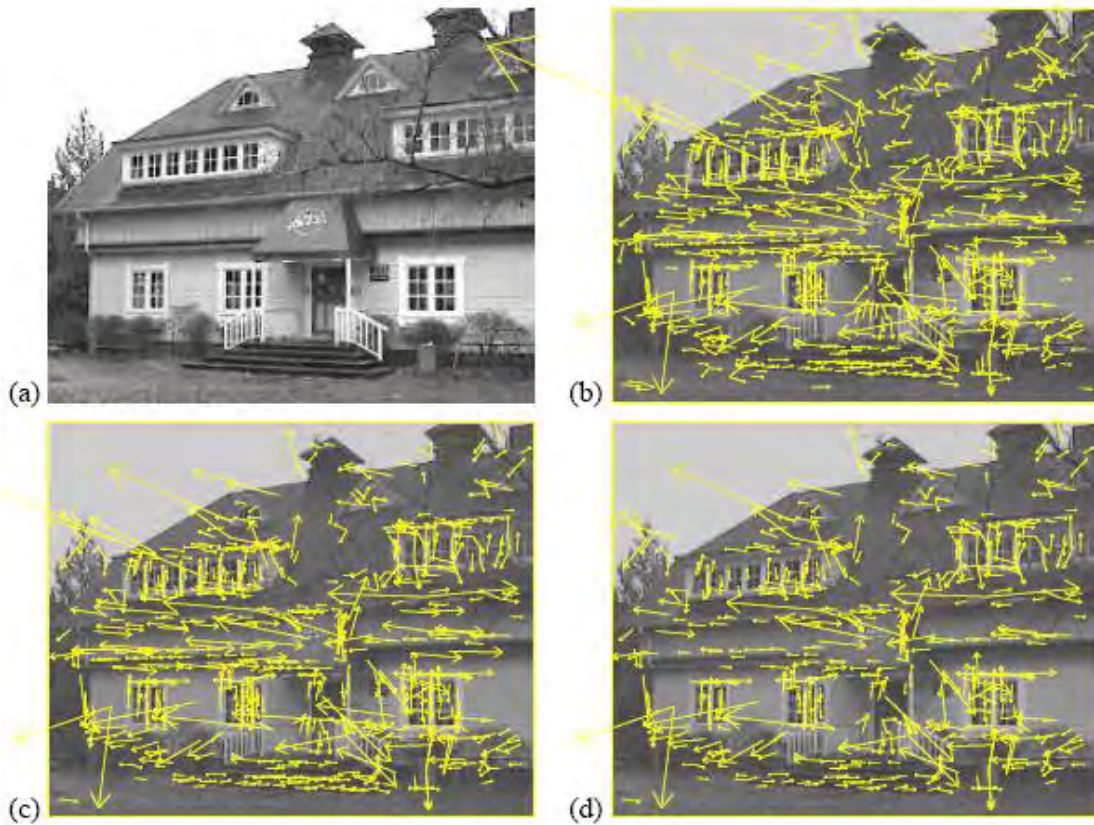
Για φτωχά καθορισμένες κορυφές (peaks), στην DoG (Gaussian Διαφορές) συνάρτηση, οι κύριες καμπυλότητες



διαμέσου των ακραίων σημείων θα είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από τις κύριες καμπυλότητες κατά μήκος αυτών. Ο αριθμός αυτών των κύριων καμπυλοτήτων βρίσκεται από την επίλυση των ιδιοτιμών του Hessian πίνακα δεύτερης τάξης  $\mathbf{H}$ :

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} \\ D_{xy} & D_{yy} \end{bmatrix}$$

Οι ιδιοτιμές του  $\mathbf{H}$  είναι ανάλογες των κύριων καμπυλοτήτων του  $D$ . Αν η μεγαλύτερη ιδιοτιμή είναι  $\alpha$  και η μικρότερη  $\beta$ , εξάγεται ο λόγος των δύο ιδιοτιμών,  $r = \alpha/\beta$ , που είναι επαρκής για του σκοπούς του SIFT αλγορίθμου. Το ίχνος του  $\mathbf{H}$  είναι  $\text{Tr}(\mathbf{H}) = D_{xx} + D_{yy}$ , και μας δίνει το άθροισμα των δύο ιδιοτιμών, ενώ η ορίζουσα τους  $\text{Det}(\mathbf{H}) = D_{xx}D_{yy} - D_{xy}^2$  δίνει το γινόμενο αυτών. Ο λόγος  $R = \text{Tr}(\mathbf{H})^2 / \text{Det}(\mathbf{H})$  μπορεί να αποδειχθεί ότι ισούται με  $(r+1)^2/r$ , το οποίο εξαρτάται μόνο από τον λόγο των ιδιοτιμών και όχι από τις ίδιες καθαυτές τιμές. Το  $R$  είναι ελάχιστο όταν οι ιδιοτιμές είναι ίσες μεταξύ τους. **Οπότε όσο μεγαλύτερη η απόλυτη διαφορά μεταξύ των δυο ιδιοτιμών, το οποίο συνεπάγεται σε μια υψηλότερη απόλυτη διαφορά μεταξύ των δυο κύριων καμπύλων του  $D$ , τόσο μεγαλύτερη και η τιμή του  $R$ .** Επακόλουθο είναι για κάποιο κατώφλι ιδιοτιμών λόγου  $r_{th}$ , αν  $R$  για κάποιο υποψήφιο σημείο κλειδί (keypoint) είναι μεγαλύτερο από  $(r_{th}+1)^2/r_{th}$ , το αντίστοιχο σημείο κλειδί (keypoint) είναι φτωχά τοποθετημένο άρα απορρίπτεται.



Η παραπάνω εικόνα δείχνει τα στάδια του *Keypoint Localization*. Στο α) βλέπουμε την πρωτότυπη εικόνα μεγέθους 233\*189 pixel. Στο β) βλέπουμε την θέση των 832 *keypoints* ως ακρότατα των *Gaussian* διαφορών. Στο γ) βλέπουμε την εικόνα μετά εφαρμογή κατωφλίου ελάχιστης αντίθεσης (*contrast*), με 729 *keypoints*. Στο δ) βλέπουμε το αποτέλεσμα μετά την προσθήκη κατωφλίου στον λόγο των βασικών καμπύλων, οπότε και έχουμε 536 *keypoints*.

### 3.2.3. Orientation Assignment

Ανάθεση κατεύθυνσης στα σημεία κλειδιά. Σε αυτό το βήμα, σε κάθε σημείο κλειδί (keypoint) ανατίθεται μία ή περισσότερες κατευθύνσεις βάσει των κατευθύνσεων των τοπικών στοιχείων της εικόνας. Αυτό το βήμα είναι το βασικό για την επίτευξη αμεταβλητότητας σε περίπτωση περιστροφής της εικόνας, καθώς ο περιγραφέας (descriptor) του σημείου κλειδιού (keypoint) μπορεί να απεικονιστεί αναφορικός σε αυτή την κατεύθυνση και έτσι να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα (σταθερότητα σε περίπτωση περιστροφής της εικόνας).

Αρχικά, παίρνεται η Gaussian-Smooth (Λεία Gaussian) εικόνα  $L(x,y,\sigma)$  σε περιοχή μεγέθους  $\sigma$  σε κάθε keypoint, έτσι ώστε όλοι οι υπολογισμοί να πραγματοποιηθούν με μια σταθερούς-μεγέθους μέθοδο. Για ένα δείγμα εικόνας  $L(x,y)$  μεγέθους  $\sigma$ , το διανυσματικό μέτρο (magnitude) των στοιχείων,  $m(x,y)$ , και η κατεύθυνση (orientation),  $\theta(x,y)$ , προϋπολογίζονται χρησιμοποιώντας διαφορές μεταξύ των pixel:

$$m(x,y) = \sqrt{(L(x+1,y) - L(x-1,y))^2 + (L(x,y+1) - L(x,y-1))^2}$$
$$\theta(x,y) = \tan^{-1} \left( \frac{L(x,y+1) - L(x,y-1)}{L(x+1,y) - L(x-1,y)} \right)$$

Ο υπολογισμός του διανυσματικού μέτρου (magnitude) και της κατεύθυνσης των στοιχείων γίνονται για κάθε pixel σε μια γειτονική περιοχή γύρω από το σημείο κλειδί (keypoint) στην Gaussian – Blur (θολή) εικόνα  $L$ .

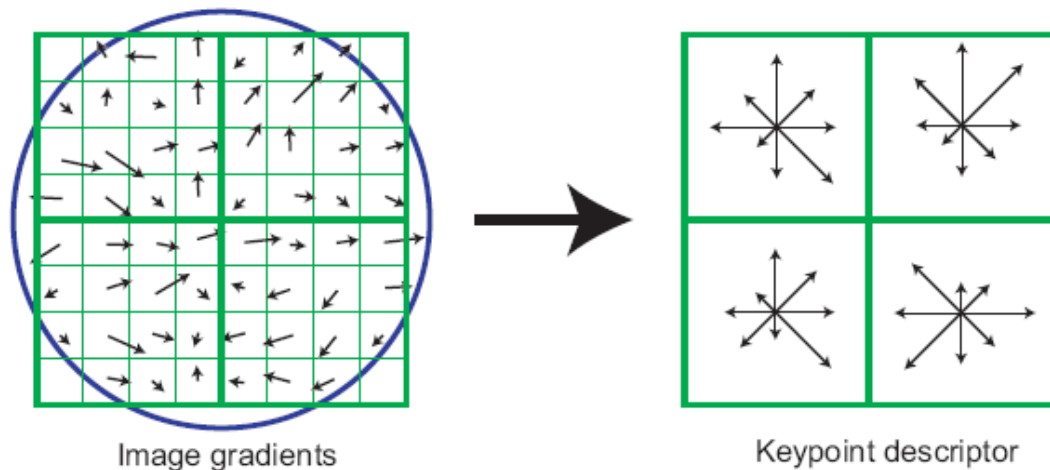
Σχηματίζεται ένα ιστόγραμμα κατεύθυνσης 36 στοιχείων (bins), με κάθε bin να καλύπτει εύρος 10 μοιρών. Κάθε δείγμα στο γειτονικό παράθυρο προστίθεται σε ένα ιστόγραμμα στοιχείων που καθορίζεται από το διανυσματικό μέτρο (magnitude) των στοιχείων του και από ένα ισοζυγισμένο Gaussian κυκλικό παράθυρο με  $\sigma$  1.5 φορά μεγαλύτερο του μεγέθους του σημείου κλειδιού (keypoint). Τα peaks σε αυτό το ιστόγραμμα αναφέρονται στις κυρίαρχες κατευθύνσεις. Από την στιγμή που το ιστόγραμμα γεμίσει, οι κατευθύνσεις που αναφέρονται στο υψηλότερο peak και τοπικά peaks που βρίσκονται μεταξύ 80% των υψηλότερων peaks ανατίθενται στο σημείο κλειδί (keypoint). Στην περίπτωση που έχουν ανατεθεί πολλές κατευθύνσεις, δημιουργείται ένα πρόσθετο keypoint με το ίδιο μέγεθος και θέση του πρωτότυπου keypoint για κάθε πρόσθετη κατεύθυνση.

### **3.2.4. Keypoint Descriptor**

Εύρεση του «περιγραφέα» των σημείων κλειδιών. Στα προηγούμενα στάδια του αλγορίθμου βρήκαμε τις θέσεις των σημείων κλειδιών (keypoints) σε συγκεκριμένα μεγέθη και αναθέσαμε σε αυτά κατευθύνσεις. Αυτό εξασφάλισε σταθερότητα στην αλλαγή της θέσης και του μεγέθους της εικόνας όσο και στην περιστροφή αυτής. Σε αυτό το στάδιο υπολογίζουμε τα διανύσματα του descriptor αυτών των κλειδιών έτσι ώστε να επιτύχουμε σταθερότητα των descriptors στα εναπομείναντα στοιχεία που μπορούν να προκαλέσουν μεταβλητότητα στο αποτέλεσμα, όπως η

αλλαγή φωτισμού, η αλλαγή της 3D οπτικής κ.α. Ο feature descriptor υπολογίζεται ως ένα σύνολο από ιστογράμματα κατεύθυνσης με  $4 \times 4$  σύγκριση γειτονικών pixel. Τα ιστογράμματα κατεύθυνσης σχετίζονται με την κατεύθυνση των keypoints και την κατεύθυνση των δεδομένων τα οποία μας δίνει η Gaussian εικόνα που είναι πιο κοντά σε μέγεθος με το μέγεθος των keypoints. Όπως και στο τρίτο βήμα, η συνεισφορά κάθε pixel καθορίζεται από το διανυσματικό μέγεθος κάθε στοιχείου (magnitude), και από μια Gaussian με  $\sigma$  ίσο με 1.5 φορές το μέγεθος του keypoint. Τα ιστογράμματα περιέχουν 8 bins το καθένα, και κάθε descriptor περιέχει έναν  $4 \times 4$  πίνακα από 16 ιστογράμματα γύρω από το keypoint. Οπότε ένα SIFT feature διάνυσμα έχει  $4 \times 4 \times 8 = 128$  στοιχεία. Αυτό το διάνυσμα εξομαλύνεται έτσι ώστε να ενισχύεται η σταθερότητα σε αλλαγές στον φωτισμό.

Αν και η διάσταση του descriptor δηλ. 128, δείχνει υψηλή, οι descriptors με μικρότερη διάσταση από αυτήν δεν αποδίδουν τόσο καλά στην περιοχή μελέτης αντιστοιχίας keypoints, και το υπολογιστικό κόστος παραμένει χαμηλό παρά του ότι προσεγγίζει την BBF (Best Bin First) μέθοδο που χρησιμοποιείται για την εύρεση του κοντινότερου γείτονα. Μεγαλύτεροι descriptors εξακολουθούν να κάνουν καλύτερη δουλειά αλλά η βελτίωση δεν είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτη. Επιπλέον υπάρχει ο κίνδυνος της αύξησης της ευαισθησίας σε περίπτωση διαστρέβλωσης των δεδομένων (distortion) ή απόκρυψης της εικόνας από κάποια άλλη (occlusion).



Ένας *keypoint descriptor* δημιουργείται αφού πρώτα υπολογίσουμε το διανυσματικό μέγεθος (*magnitude*) και την κατεύθυνση (*orientation*) των στοιχείων σε κάθε σημείο της εικόνας σε μια περιοχή γύρω από το *keypoint*, όπως φαίνεται στο αριστερό σχήμα. Αυτά υπολογίζονται από ένα *Gaussian* παράθυρο, ορισμένο από τον επικαλυπτόμενο κύκλο. Αυτά τα στοιχεία έπειτα συσσωρεύονται σε ένα ιστόγραμμα κατευθύνσεων συνοψίζοντας τα στοιχεία σε  $4 \times 4$  υποπεριοχές, όπως φαίνεται στο δεξιό σχήμα, με μήκος κάθε βέλους ίσο με το άθροισμα των διανυσματικών μεγεθών των στοιχείων κοντά σε αυτή την κατεύθυνση μέσα στην περιοχή.

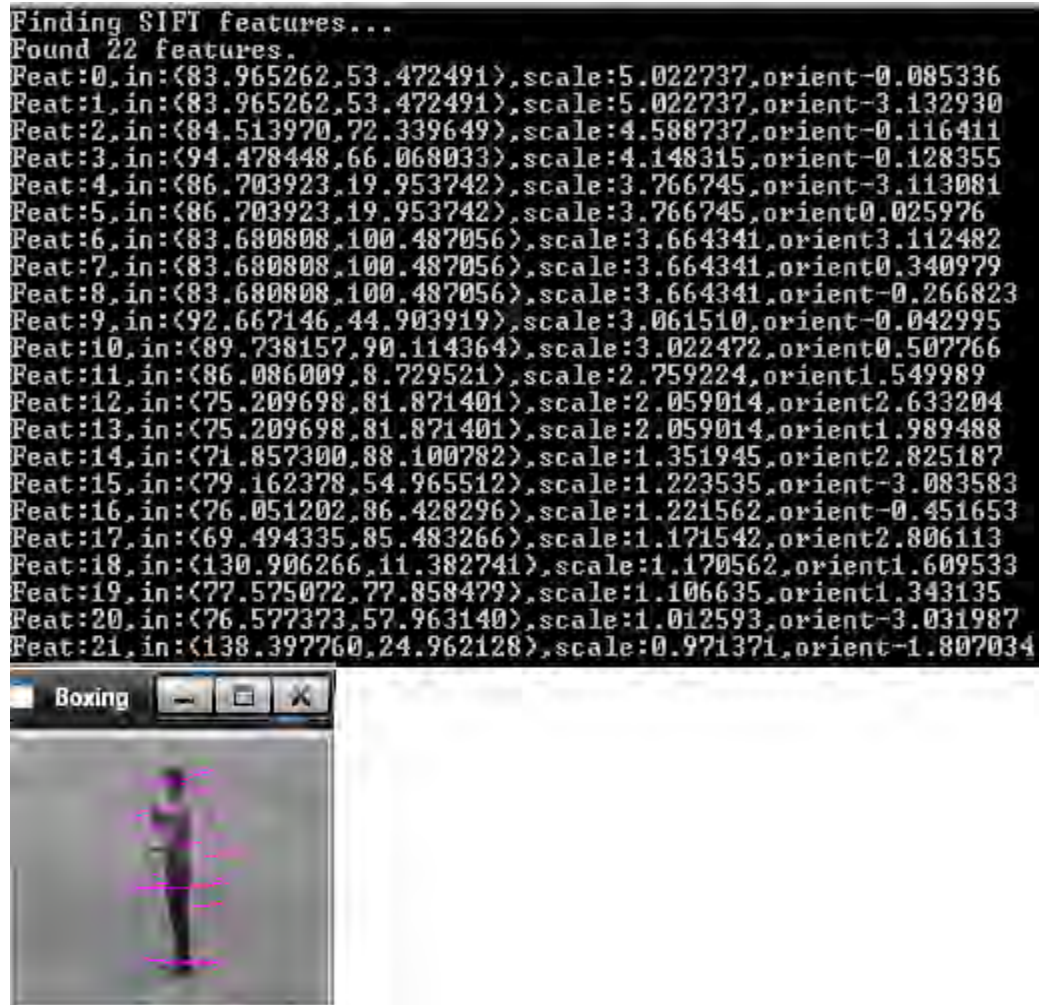
### **3.3. SIFT feature point detector – Ανιχνευτής χαρακτηριστικών σημείων χρησιμοποιώντας τον SIFT**

1. Αρχικά ορίζουμε το video το οποίο θέλουμε να μελετήσουμε αποθηκεύοντας το στην μνήμη του υπολογιστή σε μια μεταβλητή (Current Capture). Έπειτα ορίζουμε την εικόνα (frame) της αλληλουχίας του video που θέλουμε να μελετήσουμε και το αποθηκεύουμε σε μια μεταβλητή CurrentFrame. Η παραπάνω διαδικασία γίνεται χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις που προσφέρει ο OpenCV (cvCaptureFromFile, cvSetCaptureProperty, cvGetCaptureProperty, cvQueryFrame, cvReleaseCapture).
2. Καλούμε τον SIFT αλγόριθμο για την συγκεκριμένη εικόνα και τερματίζουμε τον αλγόριθμο. Η υλοποίηση του SIFT αναλύεται περαιτέρω στο Appendix.

Παρακάτω βλέπουμε κάποια παραδείγματα τρέχοντας τον αλγόριθμο SIFT. Στο παράθυρο παρουσιάζονται οι συντεταγμένες, το μέγεθος και η κατεύθυνση του κάθε feature. Στο παρακάτω παράδειγμα βλέπουμε Captures από ένα video όπου ένας άνθρωπος κάνει κινήσεις του box. Παρατίθενται τα πιο χαρακτηριστικά frame της κίνησης τα οποία επαναλαμβάνονται στο πέρασμα του χρόνου.

Επίσης τα διανύσματα τα οποία φαίνονται στο σχήμα είναι τα χαρακτηριστικά σημεία (features) της εικόνας και την χαρακτηρίζουν μοναδικά. Έχουν φορά και μέγεθος, το μέγεθος δείχνει πόσο σημαντικό είναι το feature για την εικόνα (όσο μεγαλύτερο μέγεθος έχουν τόσο σημαντικότερα είναι), ενώ η κατεύθυνση του διανύσματος δείχνει σε ποια επιφάνεια του αντικειμένου εφαρμόζεται το διάνυσμα, το οποίο είναι κάθετο σε αυτή. Επίσης αν το διάνυσμα έχει αρνητικό πρόσημο στο μέγεθος της κατεύθυνσης τότε σημαίνει ότι έχει αντίθετη φορά από αυτή της επιφάνειας, ενώ αν έχει θετικό πρόσημο το μέγεθος της κατεύθυνσης τότε έχει ίδια φορά με αυτή της επιφάνειας.



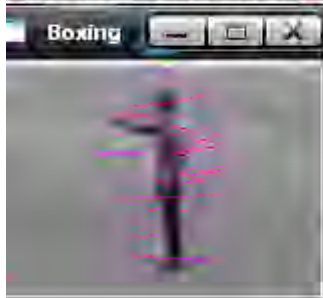


Τα feature για  $frame=0$  στο video : boxing, όπου ο άνθρωπος προωθεί προς τα μπροστά το δεξί του χέρι. Τα διανύσματα με φορά προς τα πίσω, χαρακτηρίζουν το πίσω μέρος του ανθρώπου (πλάτη, πίσω μέρος κεφαλιού, πίσω μέρος της μέσης και πίσω μέρος του ποδιού). Ενώ αυτά με φορά προς τα εμπρός χαρακτηρίζουν αντίστοιχα το εμπρός μέρος του ανθρώπου (εμπρός μέρος του κεφαλιού, εμπρός μέρος της μέσης και εμπρός μέρος των ποδιών), αλλά και την κατεύθυνση των χεριών αυτού (το χέρι τείνει να κινηθεί προς τα εμπρός). Επίσης υπάρχουν διανύσματα τα οποία δεν ανήκουν στο αντικείμενο, αυτά χαρακτηρίζουν την εικόνα και θεωρούνται στην μελέτη μας περιττή πληροφορία.

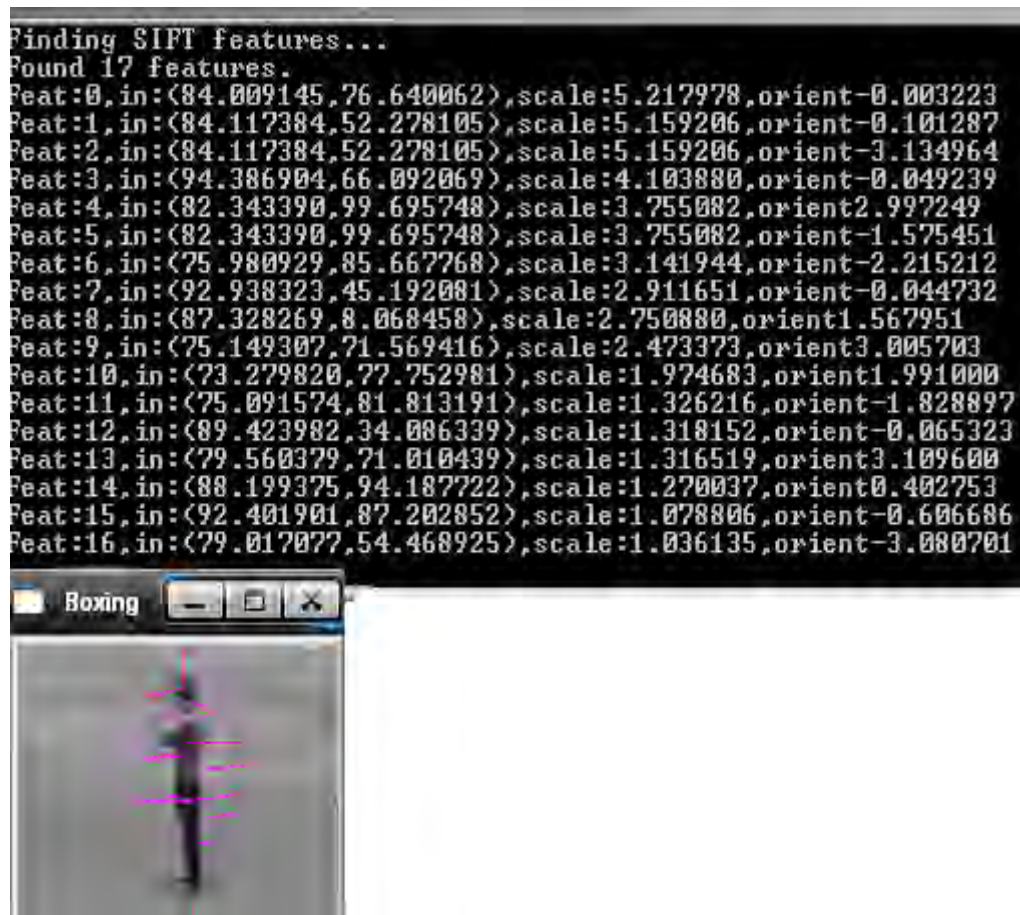
```

Found 29 features.
Feat:0, in:(72.276487,74.435854),scale:4.804590,orient-3.130598
Feat:1, in:(84.103033,51.409178),scale:4.757687,orient-0.052842
Feat:2, in:(84.103033,51.409178),scale:4.757687,orient-3.121091
Feat:3, in:(85.110941,74.255404),scale:4.722716,orient-0.174872
Feat:4, in:(86.405003,18.920999),scale:3.771319,orient0.050424
Feat:5, in:(86.405003,18.920999),scale:3.771319,orient-3.083827
Feat:6, in:(94.476807,63.007367),scale:3.516454,orient-0.136068
Feat:7, in:(82.167006,100.407895),scale:3.502906,orient-0.216524
Feat:8, in:(82.167006,100.407895),scale:3.502906,orient3.079702
Feat:9, in:(73.593923,93.776454),scale:3.244287,orient3.086202
Feat:10, in:(94.725615,78.559729),scale:3.037895,orient-0.345702
Feat:11, in:(79.961525,30.917336),scale:2.510784,orient3.032024
Feat:12, in:(87.968446,57.820262),scale:2.341970,orient-0.136244
Feat:13, in:(81.710249,109.255670),scale:2.031343,orient-1.575000
Feat:14, in:(85.932012,10.051701),scale:1.785042,orient1.535504
Feat:15, in:(88.070787,88.438837),scale:1.767972,orient0.343203
Feat:16, in:(2.842917,10.608718),scale:1.254502,orient1.039815
Feat:17, in:(63.223832,88.105827),scale:1.251307,orient2.056192
Feat:18, in:(83.151545,89.794822),scale:1.218595,orient0.570276
Feat:19, in:(84.005064,86.481991),scale:1.178037,orient0.574916
Feat:20, in:(82.238740,58.188098),scale:1.085909,orient-2.906009
Feat:21, in:(84.595091,95.472557),scale:1.081598,orient0.372737
Feat:22, in:(78.876048,45.102368),scale:1.049894,orient2.957272
Feat:23, in:(91.077407,64.080149),scale:1.011091,orient0.525418
Feat:24, in:(91.077407,64.080149),scale:1.011091,orient-0.306335
Feat:25, in:(87.979004,44.409727),scale:0.994188,orient-0.051955
Feat:26, in:(76.418733,82.958144),scale:0.986399,orient1.656150
Feat:27, in:(79.564343,59.604938),scale:0.933328,orient-2.994548
Feat:28, in:(23.307680,117.102632),scale:0.911430,orient-1.564194

```



Τα feature για frame=10 στο video : boxing, όπου ο άνθρωπος έχει σε πλήρη έκταση το δεξί του χέρι. Παρομοίως με την πρώτη εικόνα υπάρχουν διανύσματα τα οποία χαρακτηρίζουν το πίσω μέρος του ανθρώπου (πλάτη, πίσω μέρος κεφαλιού, πίσω μέρος της μέσης και πίσω μέρος του ποδιού). Και διανύσματα που χαρακτηρίζουν εμπρός μέρος του ανθρώπου (εμπρός μέρος του κεφαλιού, εμπρός μέρος της μέσης και εμπρός μέρος των ποδιών), Επίσης όμως παρατηρούμε πως τα διανύσματα στο χέρι του ανθρώπου τείνουν να γίνουν κάθετα ως προς το επίπεδο, πράγμα που υποδηλώνει πως το χέρι τείνει να γίνει παράλληλο με τον άξονα x'x. Τα σημεία τα οποία δεν ανήκουν στο αντικείμενο θεωρούνται περιττά.



Τα feature για frame=20 στο video : boxing, όπου ο άνθρωπος αρχίζει να ωθεί το αριστερό του χέρι προς τα μπροστά. Τα διανύσματα παρατηρούμε πως είναι παρόμοια με το πρώτο παράδειγμα, με μόνη διαφορά το διάνυσμα το οποίο καθορίζει τον αγκώνα του ανθρώπου, το διάνυσμα αυτό με την φορά που έχει υποδηλώνει πως ο αγκώνας τείνει να γίνει παράλληλος με τον χ'χ.

```

Found 27 features.
Feat:0, in:(84.700772,77.511849),scale:5.568470,orient2.986979
Feat:1, in:(84.700772,77.511849),scale:5.568470,orient-0.006692
Feat:2, in:(84.360488,52.047683),scale:5.110366,orient-0.096104
Feat:3, in:(84.360488,52.047683),scale:5.110366,orient-3.131215
Feat:4, in:(83.471397,99.766458),scale:3.791887,orient2.983313
Feat:5, in:(83.471397,99.766458),scale:3.791887,orient-0.436008
Feat:6, in:(83.471397,99.766458),scale:3.791887,orient-1.253911
Feat:7, in:(87.821012,19.214363),scale:3.734285,orient0.018724
Feat:8, in:(87.821012,19.214363),scale:3.734285,orient-3.138884
Feat:9, in:(90.052999,90.409631),scale:3.150985,orient0.391949
Feat:10, in:(90.052999,90.409631),scale:3.150985,orient-0.589231
Feat:11, in:(93.460346,44.364151),scale:2.943323,orient-0.066711
Feat:12, in:(87.625781,7.832510),scale:2.914707,orient1.546253
Feat:13, in:(76.122720,60.550333),scale:1.939997,orient-2.990074
Feat:14, in:(93.790361,23.515794),scale:1.863732,orient-0.037159
Feat:15, in:(86.219084,89.120207),scale:1.286677,orient-1.170286
Feat:16, in:(86.219084,89.120207),scale:1.286677,orient1.070236
Feat:17, in:(88.964593,6.882489),scale:1.183401,orient1.869368
Feat:18, in:(91.593454,50.097245),scale:1.170550,orient0.023223
Feat:19, in:(77.644978,106.049470),scale:1.147956,orient-2.278159
Feat:20, in:(91.383075,71.773263),scale:1.075235,orient1.377308
Feat:21, in:(91.383075,71.773263),scale:1.075235,orient0.052097
Feat:22, in:(82.553306,85.889861),scale:1.074238,orient-1.767373
Feat:23, in:(82.927944,29.207709),scale:1.043498,orient3.109558
Feat:24, in:(89.186413,95.486854),scale:0.993501,orient0.350330
Feat:25, in:(123.962072,40.374026),scale:0.949448,orient1.801619
Feat:26, in:(4.700188,10.700536),scale:0.936475,orient1.094002

```



Τα feature για frame=30 στο video : boxing, όπου ο άνθρωπος έχει σε πλήρη έκταση το αριστερό του χέρι. Τα διανύσματα έχουν την ίδια κατεύθυνση με το δεύτερο παράδειγμα, χωρίς κάποια ιδιαίτερη διαφορά.

Παρατηρούμε γενικότερα πως τα πιο πολλά (σχεδόν όλα) features βρίσκονται στον κορμό του αντικειμένου και είναι αυτά που χαρακτηρίζουν το αντικείμενο αυτό κάθε αυτό.

## 4. Tracking

Στην εν λόγω διπλωματική, όπως αναφέραμε και στη εισαγωγή, ενδιαφερόμαστε για την ανίχνευση και παρακολούθηση (tracking) πολλών αντικειμένων, κυρίως ανθρώπων, σε video δηλαδή σε συστήματα αλληλουχίας σκηνών, όπου τα αντικείμενα μπορούν να έχουν διαφορετικά μεγέθη, να είναι είτε ακίνητα είτε όχι. Επίσης, σε μελλοντική εργασία μπορεί να μελετηθεί η περίπτωση όπου τα αντικείμενα επικαλύπτουν το ένα το άλλο.

Στην μελέτη μας, ένα αντικείμενο χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο σημείων ενδιαφέροντος (Interest Points - IPs) τα οποία αντλούνται από τον SIFT αλγόριθμο. Κάθε IP χαρακτηρίζεται από την τοπική του εμφάνιση (ένα διάνυσμα τοπικών χαρακτηριστικών). Η χρήση του συνόλου των IPs μας δίνει την δυνατότητα να εντοπίσουμε ένα αντικείμενο σε μια εικόνα ακόμα και σε περίπτωση που έχει επικαλυφθεί από κάποιο άλλο.

### 4.1. Tracking System – Σύστημα Ανίχνευσης

Ο στόχος του προτεινόμενου συστήματος είναι η ανίχνευση αντικειμένων από frame σε frame σε μια αλληλουχία συνεχόμενων εικόνων ενός video. Στην αρχική εικόνα της αλληλουχίας (frame=0) υποθέτουμε ότι τα αντικείμενα, που θέλουμε να ανιχνεύσουμε, είναι καλά διαχωρισμένα και ορίζουμε μία περιοχή ενδιαφέροντος (Region Of Interest - ROI) γύρω από το καθένα. Έπειτα το

σύστημα εκτελείται αυτόματα αρχίζοντας από το δεύτερο frame (frame=2). Σε κάθε frame, καλούμε τον SIFT αλγόριθμο για κάθε μια περιοχή ROI. Για frame=0 αγνοούμε τα IPs τα οποία εντοπίζονται εκτός του ROI. Για την ανίχνευση αντικειμένων, αναζητούμε αντιστοιχίες μεταξύ των IPs του τρέχοντος frame με το επόμενο βασιζόμενοι στα στοιχεία του διανύσματος κάθε feature που μας δίνει ο SIFT αλγόριθμος.

## 4.2. Ο αλγόριθμος ανίχνευσης (tracking)

- 1) Με την υπόθεση ότι μελετούμε το video σε κάποια χρονική στιγμή  $t=frame$ , αρχικά ορίζουμε των αριθμό των κοντινότερων γειτόνων (features του  $frame+1$ ) τα οποία θα μελετηθούν κατά την εκτέλεση του BBF αλγόριθμου. Στην μελέτη μας το θέτουμε ίσο με 200.
- 2) Έπειτα τοποθετούμε ένα κατώφλι το οποίο ορίζει την απόσταση μεταξύ του πρώτου κοντινότερου γείτονα από τον δεύτερο κοντινότερο γείτονα. Αυτή η απόσταση είναι ο τετραγωνικός λόγος των δύο γειτόνων από το keypoint στον  $t=frame$ . Στην μελέτη μας το θέσαμε ίσο με 0.64.
- 3) Ορίζουμε κάποιους δείκτες για την αποθήκευση των features του κάθε frame και εκκινούμε τον αλγόριθμο.
- 4) Αρχικά με την χρησιμοποίηση εντολών της OpenCV (cvCaptureFromFile, cvSetCaptureProperty, cvGetCaptureProperty, cvQueryFrame, cvConvertImage ). αποθηκεύουμε το  $t=frame$  στην μεταβλητή CurrentFrame1 και το  $t=frame+1$  στην μεταβλητή

CurrentFrame2. Και έπειτα αποθηκεύουμε τις δύο δομές σε μια στοίβα για την μετέπειτα σύγκριση τους.

- 5) Βρίσκουμε τα features των δύο εικόνων χρησιμοποιώντας τον SIFT αλγόριθμο. Και έπειτα καλούμε τον kd-tree αλγόριθμο για την δημιουργία του kd-tree με ρίζα το πρώτο feature του frame+1 και στοιχεία του δένδρου τα feature του frame+1.
- 6) Για κάθε feature του frame :
  - a) Καλώντας τον BBF αλγόριθμο ψάχνουμε να βρούμε τους κοντινότερους γείτονες (κοντινότερα σημεία του frame) χρησιμοποιώντας το kd-tree που βρήκαμε στο προηγούμενο βήμα, με όριο ψαξίματος αυτό που ορίσαμε στην αρχή του αλγορίθμου, αλλά ο αλγόριθμος επιστρέφει αν βρει τουλάχιστον δύο.
    - i) Αν βρεθούν δύο γείτονες (features του frame+1) τότε βρίσκουμε την τετραγωνική απόσταση του καθενός από το feature του frame. Βρίσκουμε αυτό με την μικρότερη απόσταση και κάνουμε αντιστοίχιση (matching) με το feature του frame.
    - ii) Επίσης γίνεται έλεγχος των σημείων που αντιστοιχίζονται μέσω ενός κατωφλίου μετατόπισης. Όποια features το υπερβαίνουν αυτό απορρίπτονται.
- 7) Ο αλγόριθμος τερματίζει ελευθερώνοντας όλες τις δομές που χρησιμοποιήθηκαν.

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε δίνεται στο Appendix.

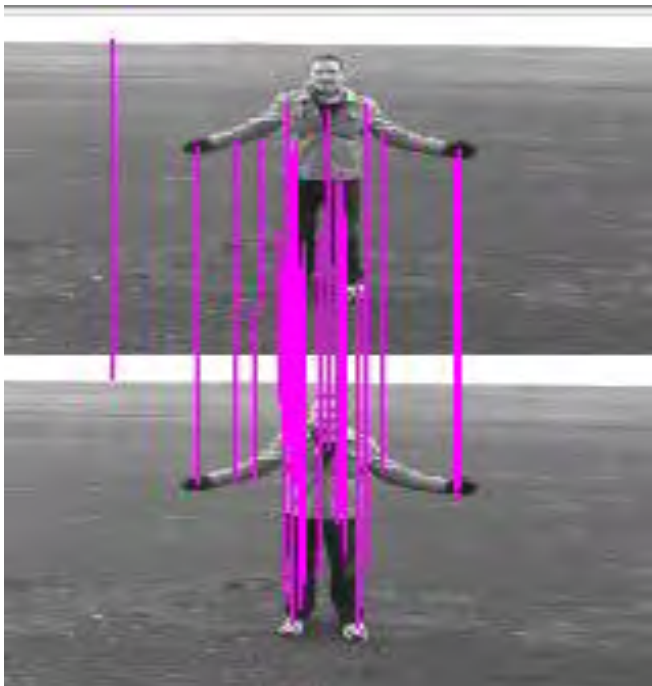
### 4.3. Tracking Experimental Results – Αποτελέσματα Πειραμάτων Ανίχνευσης

Στα παρακάτω πειράματα που εκτελέστηκαν, παρατηρήθηκε πως τα κύρια χαρακτηριστικά που εντοπίζουν το αντικείμενο (άνθρωπο), κυρίως σημεία του κορμού του ανθρώπου, βρίσκονται από τον αλγόριθμο σε κάθε αντιστοίχιση από frame σε frame. Επίσης παρατηρείται πως αντιστοιχίζονται σημεία τα οποία ανήκουν στα χέρια ή τα πόδια του ανθρώπου. Αυτές οι αντιστοιχίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μελλοντική μελέτη για την κατηγοριοποίηση των ενεργειών του ανθρώπου και περαιτέρω γενικευμένη αναγνώριση ενεργειών σε οποιοδήποτε video.

**4.3.1. Hand Clapping.** Αρχικά θα μελετήσουμε ένα video όπου το αντικείμενο (άνθρωπος) χτυπάει τα χέρια του παλαμάκια. Αντιστοιχώντας τα features από frame σε frame++. Επίσης θα χρησιμοποιήσουμε ένα κατώφλι μετατόπισης για να αποφύγουμε τυχόν ανεπιθύμητες αντιστοιχίσεις, με όριο τις 6 μονάδες μετατόπισης. Παρακάτω βλέπουμε πως αντιστοιχίζονται τα features στην Hands Clapping ενέργεια.



Παρακάτω έχουμε την αντιστοίχιση των features μεταξύ των frame=99 και frame=100. Στο παράθυρο παρακάτω βλέπουμε τις αντιστοιχήσεις που υπάρχουν και οι μετατοπίσεις τους στον χώρο, από frame σε frame. Επίσης παρατηρούμε πως υπάρχουν 29 αντιστοιχίες στη συγκεκριμένη αντιστοίχιση.

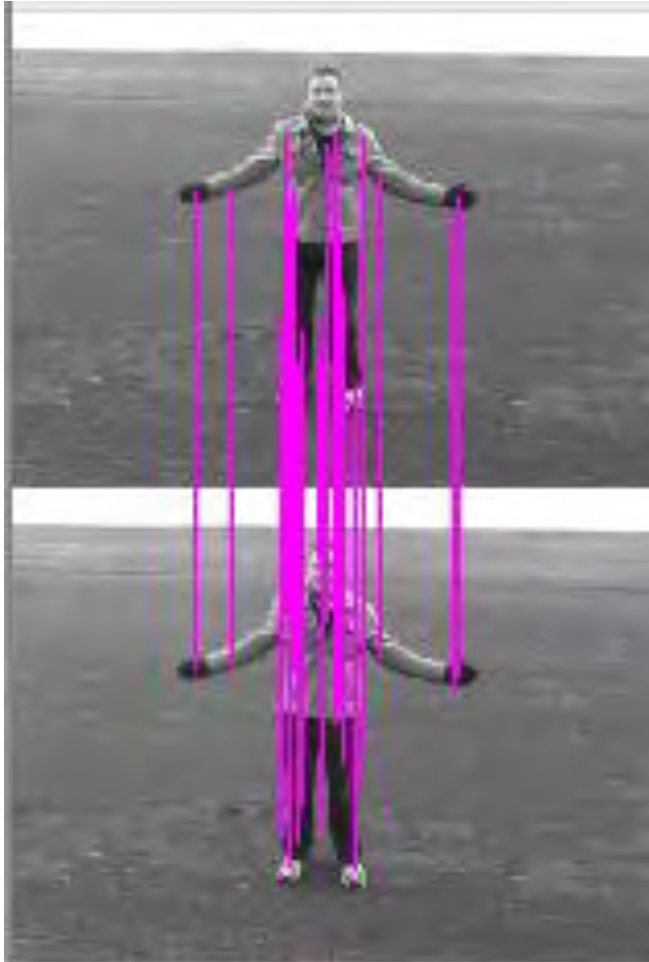


```

frame: 99.000000          Compare with frame: 100.000000
Frame:99 point:(80.710125,58.861802) (-) frame:100 point:(80.612244,58.920719)
The feature has been shifted [0.114245] distance
Frame:99 point:(88.030875,31.066543) (-) frame:100 point:(88.063205,31.096301)
The feature has been shifted [0.043941] distance
Frame:99 point:(82.640424,69.688740) (-) frame:100 point:(82.638472,69.790289)
The feature has been shifted [0.101568] distance
Frame:99 point:(84.025950,90.067983) (-) Doesn't match with any point
Frame:99 point:(67.056776,75.582456) (-) frame:100 point:(67.643806,75.629961)
The feature has been shifted [0.588950] distance
Frame:99 point:(71.765561,89.350362) (-) frame:100 point:(71.787531,89.300895)
The feature has been shifted [0.054126] distance
Frame:99 point:(71.765561,89.350362) (-) frame:100 point:(71.787531,89.300895)
The feature has been shifted [0.054126] distance
Frame:99 point:(87.975367,74.412254) (-) frame:100 point:(88.036381,74.335729)
The feature has been shifted [0.097872] distance
Frame:99 point:(111.041072,47.044981) (-) frame:100 point:(111.263640,46.422328)
The feature has been shifted [0.661237] distance
Frame:99 point:(79.309440,32.794356) (-) frame:100 point:(79.344412,32.777353)
The feature has been shifted [0.038886] distance
Frame:99 point:(79.309440,32.794356) (-) frame:100 point:(79.344412,32.777353)
The feature has been shifted [0.038886] distance
Frame:99 point:(72.799207,80.224515) (-) frame:100 point:(72.809940,80.228764)
The feature has been shifted [0.011543] distance
Frame:99 point:(70.643649,45.245160) (-) frame:100 point:(70.665161,45.182559)
The feature has been shifted [0.066194] distance
Frame:99 point:(70.643649,45.245160) (-) frame:100 point:(70.665161,45.182559)
The feature has been shifted [0.066194] distance
Frame:99 point:(47.238201,45.881515) (-) frame:100 point:(46.986827,45.257016)
The feature has been shifted [0.673192] distance
Frame:99 point:(63.102256,39.833459) (-) Doesn't match with any point
Frame:99 point:(82.127694,55.330668) (-) frame:100 point:(82.077526,55.345463)
The feature has been shifted [0.052304] distance
Frame:99 point:(88.264305,83.384253) (-) frame:100 point:(61.446920,44.402560)
The feature has been shifted [47.315373] distance
the distance is too big to match.
Frame:99 point:(77.491180,76.979972) (-) frame:100 point:(77.490537,77.013697)
The feature has been shifted [0.033732] distance
Frame:99 point:(77.491180,76.979972) (-) frame:100 point:(77.490537,77.013697)
The feature has been shifted [0.033732] distance
Frame:99 point:(69.881848,95.474486) (-) frame:100 point:(69.887943,95.372082)
The feature has been shifted [0.102584] distance
Frame:99 point:(48.207272,50.415098) (-) frame:100 point:(110.219438,51.234435)
The feature has been shifted [62.017579] distance
the distance is too big to match.
Frame:99 point:(55.662280,43.735403) (-) frame:100 point:(55.809826,43.509406)
The feature has been shifted [0.269897] distance
Frame:99 point:(55.662280,43.735403) (-) frame:100 point:(55.809826,43.509406)
The feature has been shifted [0.269897] distance
Frame:99 point:(28.705529,10.685122) (-) frame:100 point:(19.068492,10.744832)
The feature has been shifted [9.637221] distance
the distance is too big to match.
Frame:99 point:(85.772940,96.468001) (-) frame:100 point:(85.764682,96.321497)
The feature has been shifted [0.146737] distance
Frame:99 point:(91.528583,41.417460) (-) frame:100 point:(91.516989,41.354962)
The feature has been shifted [0.063565] distance
Frame:99 point:(105.704949,44.219667) (-) Doesn't match with any point
Frame:99 point:(105.704949,44.219667) (-) Doesn't match with any point
Frame:99 point:(109.708606,51.308975) (-) frame:100 point:(110.219438,51.234435)
The feature has been shifted [0.516242] distance
Frame:99 point:(70.209555,48.303117) (-) frame:100 point:(70.106160,48.471058)
The feature has been shifted [0.197217] distance
Frame:99 point:(70.209555,48.303117) (-) frame:100 point:(70.106160,48.471058)
The feature has been shifted [0.197217] distance
Frame:99 point:(102.793101,46.866620) (-) Doesn't match with any point
Frame:99 point:(68.936317,30.718246) (-) frame:100 point:(69.138283,30.634368)
The feature has been shifted [0.218691] distance
Frame:99 point:(67.901742,86.445273) (-) frame:100 point:(67.899124,86.398661)
The feature has been shifted [0.046685] distance
Frame:99 point:(25.617860,7.954077) (-) frame:100 point:(25.500662,7.956949)
The feature has been shifted [0.117233] distance
Frame:99 point:(73.531042,47.058957) (-) Doesn't match with any point
Frame:99 point:(61.513368,44.451883) (-) frame:100 point:(61.446920,44.402560)
The feature has been shifted [0.082753] distance
Found 29 total matches

```

Παρακάτω βλέπουμε την αντιστοίχιση των *features* του *frame=100* με αυτά του *frame=101*. Επίσης παρατηρούμε πως υπάρχουν 29 αντιστοιχίες μεταξύ αυτών.

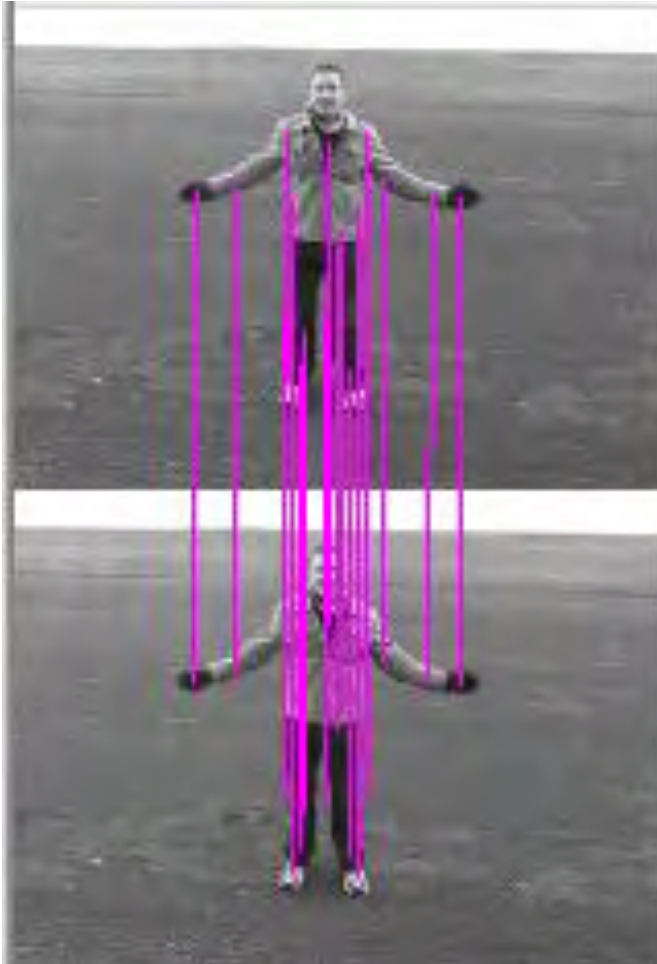


```

frame: 100.000000          Compare with frame: 101.000000
Frame:100 point:(80.612244,58.920719) (-) frame:101 point:(80.762820,58.954252)
The feature has been shifted [0.154265] distance
Frame:100 point:(88.063205,31.096301) (-) frame:101 point:(88.055966,30.887022)
The feature has been shifted [0.209404] distance
Frame:100 point:(82.638472,69.790289) (-) frame:101 point:(82.823371,69.334850)
The feature has been shifted [0.491541] distance
Frame:100 point:(84.061685,90.108938) (-) Doesn't match with any point
Frame:100 point:(84.061685,90.108938) (-) Doesn't match with any point
Frame:100 point:(84.061685,90.108938) (-) Doesn't match with any point
Frame:100 point:(84.061685,90.108938) (-) Doesn't match with any point
Frame:100 point:(88.036381,74.335729) (-) frame:101 point:(88.207042,74.343130)
The feature has been shifted [0.170821] distance
Frame:100 point:(71.787531,89.300895) (-) frame:101 point:(71.896497,89.266626)
The feature has been shifted [0.114227] distance
Frame:100 point:(71.787531,89.300895) (-) frame:101 point:(71.896497,89.266626)
The feature has been shifted [0.114227] distance
Frame:100 point:(111.263640,46.422328) (-) frame:101 point:(111.448152,46.599649)
The feature has been shifted [0.255905] distance
Frame:100 point:(79.344412,32.777353) (-) frame:101 point:(79.431211,32.707129)
The feature has been shifted [0.111649] distance
Frame:100 point:(79.344412,32.777353) (-) frame:101 point:(79.431211,32.707129)
The feature has been shifted [0.111649] distance
Frame:100 point:(67.643806,75.629961) (-) frame:101 point:(67.726523,75.784239)
The feature has been shifted [0.175054] distance
Frame:100 point:(72.809940,80.228764) (-) frame:101 point:(72.856398,80.177750)
The feature has been shifted [0.068998] distance
Frame:100 point:(46.986827,45.257016) (-) frame:101 point:(46.736576,45.450301)
The feature has been shifted [0.316203] distance
Frame:100 point:(70.665161,45.182559) (-) frame:101 point:(70.854163,45.300192)
The feature has been shifted [0.222620] distance
Frame:100 point:(70.665161,45.182559) (-) frame:101 point:(70.854163,45.300192)
The feature has been shifted [0.222620] distance
Frame:100 point:(82.077526,55.345463) (-) frame:101 point:(81.960018,55.448472)
The feature has been shifted [0.156266] distance
Frame:100 point:(19.068492,10.744832) (-) Doesn't match with any point
Frame:100 point:(69.887943,95.372082) (-) frame:101 point:(69.916320,95.457861)
The feature has been shifted [0.090351] distance
Frame:100 point:(77.490537,77.013697) (-) frame:101 point:(77.599560,77.047145)
The feature has been shifted [0.114038] distance
Frame:100 point:(77.490537,77.013697) (-) frame:101 point:(77.599560,77.047145)
The feature has been shifted [0.114038] distance
Frame:100 point:(110.219438,51.234435) (-) frame:101 point:(110.400964,51.210636)
The feature has been shifted [0.183079] distance
Frame:100 point:(77.504551,86.181479) (-) frame:101 point:(77.573630,86.024217)
The feature has been shifted [0.171765] distance
Frame:100 point:(77.504551,86.181479) (-) frame:101 point:(77.573630,86.024217)
The feature has been shifted [0.171765] distance
Frame:100 point:(55.809826,43.509406) (-) frame:101 point:(55.778603,43.846805)
The feature has been shifted [0.338841] distance
Frame:100 point:(91.516989,41.354962) (-) frame:101 point:(91.636203,41.532229)
The feature has been shifted [0.213625] distance
Frame:100 point:(85.764682,96.321497) (-) frame:101 point:(85.774262,96.413597)
The feature has been shifted [0.092597] distance
Frame:100 point:(70.106160,48.471058) (-) frame:101 point:(70.080661,48.437690)
The feature has been shifted [0.041995] distance
Frame:100 point:(70.106160,48.471058) (-) frame:101 point:(70.080661,48.437690)
The feature has been shifted [0.041995] distance
Frame:100 point:(69.138283,30.634368) (-) frame:101 point:(69.117432,30.726492)
The feature has been shifted [0.094454] distance
Frame:100 point:(67.899124,86.398661) (-) frame:101 point:(67.958579,86.361871)
The feature has been shifted [0.069917] distance
Frame:100 point:(80.546808,31.477852) (-) frame:101 point:(80.563481,31.491294)
The feature has been shifted [0.021417] distance
Frame:100 point:(25.500662,7.956949) (-) Doesn't match with any point
Frame:100 point:(61.446920,44.402560) (-) Doesn't match with any point
Frame:100 point:(60.416016,81.035555) (-) Doesn't match with any point
Frame:100 point:(60.416016,81.035555) (-) Doesn't match with any point
Found 29 total matches

```

Παρακάτω βλέπουμε την αντιστοίχιση του *frame=101* με το *frame=102*. Βλέπουμε πως υπάρχουν 27 αντιστοιχίες.

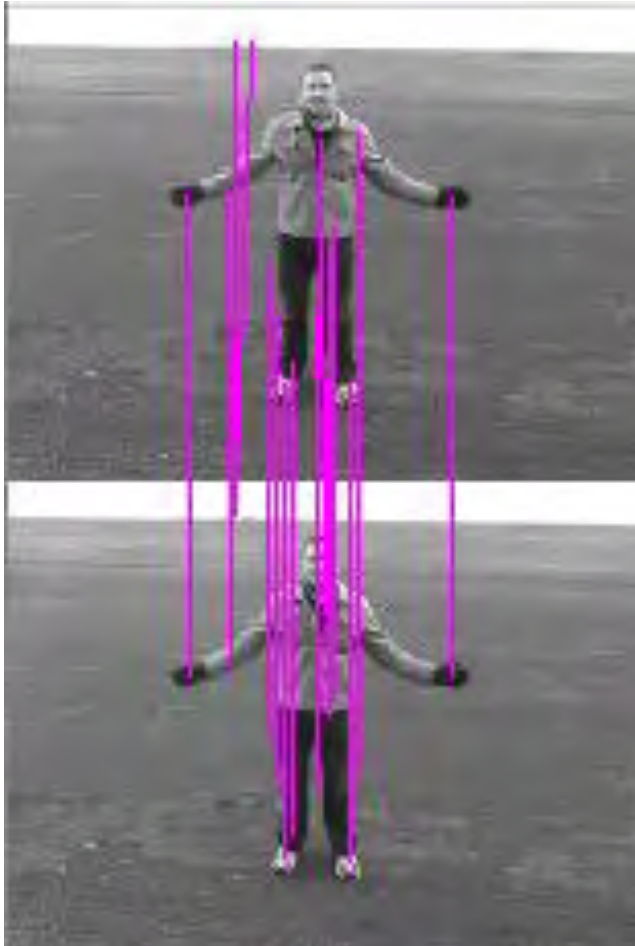


```

frame: 101.000000      Compare with frame: 102.000000
Frame:101 point:(80.762820,58.954252) (-) frame:102 point:(80.665183,58.768502)
The feature has been shifted [0.209847] distance
Frame:101 point:(88.055966,30.887022) (-) frame:102 point:(88.177772,31.427383)
The feature has been shifted [0.553920] distance
Frame:101 point:(82.823371,69.334850) (-) Doesn't match with any point
Frame:101 point:(84.161423,90.239161) (-) frame:102 point:(84.119119,90.441015)
The feature has been shifted [0.206239] distance
Frame:101 point:(84.161423,90.239161) (-) frame:102 point:(84.184235,90.581842)
The feature has been shifted [0.343439] distance
Frame:101 point:(84.161423,90.239161) (-) frame:102 point:(84.119119,90.441015)
The feature has been shifted [0.206239] distance
Frame:101 point:(84.161423,90.239161) (-) frame:102 point:(84.184235,90.581842)
The feature has been shifted [0.343439] distance
Frame:101 point:(88.207042,74.343130) (-) frame:102 point:(87.936190,74.607585)
The feature has been shifted [0.378546] distance
Frame:101 point:(71.896497,89.266626) (-) frame:102 point:(71.838287,89.398093)
The feature has been shifted [0.143777] distance
Frame:101 point:(71.896497,89.266626) (-) frame:102 point:(71.838287,89.398093)
The feature has been shifted [0.143777] distance
Frame:101 point:(111.448152,46.599649) (-) frame:102 point:(111.294561,47.620737)
The feature has been shifted [1.032575] distance
Frame:101 point:(67.726523,75.784239) (-) frame:102 point:(68.036395,75.763855)
The feature has been shifted [0.310541] distance
Frame:101 point:(72.856398,80.177750) (-) frame:102 point:(72.793054,80.428085)
The feature has been shifted [0.258224] distance
Frame:101 point:(46.736576,45.450301) (-) frame:102 point:(46.498062,47.059113)
The feature has been shifted [1.626396] distance
Frame:101 point:(79.431211,32.707129) (-) Doesn't match with any point
Frame:101 point:(79.431211,32.707129) (-) frame:102 point:(79.468912,32.709551)
The feature has been shifted [0.037779] distance
Frame:101 point:(70.854163,45.300192) (-) Doesn't match with any point
Frame:101 point:(70.854163,45.300192) (-) Doesn't match with any point
Frame:101 point:(88.709818,83.531334) (-) Doesn't match with any point
Frame:101 point:(81.960018,55.448472) (-) frame:102 point:(82.008539,55.390824)
The feature has been shifted [0.075350] distance
Frame:101 point:(69.916320,95.457861) (-) frame:102 point:(69.947047,95.473618)
The feature has been shifted [0.034531] distance
Frame:101 point:(77.599560,77.047145) (-) frame:102 point:(77.506571,77.076154)
The feature has been shifted [0.097409] distance
Frame:101 point:(77.599560,77.047145) (-) frame:102 point:(77.506571,77.076154)
The feature has been shifted [0.097409] distance
Frame:101 point:(77.573630,86.024217) (-) Doesn't match with any point
Frame:101 point:(77.573630,86.024217) (-) Doesn't match with any point
Frame:101 point:(91.636203,41.532229) (-) frame:102 point:(91.773074,42.193464)
The feature has been shifted [0.675252] distance
Frame:101 point:(55.778603,43.846805) (-) frame:102 point:(55.741723,44.919241)
The feature has been shifted [1.073070] distance
Frame:101 point:(85.774262,96.413597) (-) frame:102 point:(85.790833,96.431553)
The feature has been shifted [0.024434] distance
Frame:101 point:(110.400964,51.210636) (-) Doesn't match with any point
Frame:101 point:(70.080661,48.437690) (-) frame:102 point:(69.952931,48.760207)
The feature has been shifted [0.346889] distance
Frame:101 point:(70.080661,48.437690) (-) frame:102 point:(69.952931,48.760207)
The feature has been shifted [0.346889] distance
Frame:101 point:(103.650715,47.145465) (-) frame:102 point:(102.805545,48.191091)
The feature has been shifted [1.344487] distance
Frame:101 point:(69.117432,30.726492) (-) frame:102 point:(69.507541,30.748869)
The feature has been shifted [0.390749] distance
Frame:101 point:(67.958579,86.361871) (-) Doesn't match with any point
Frame:101 point:(80.563481,31.491294) (-) Doesn't match with any point
Frame:101 point:(86.047226,48.884568) (-) frame:102 point:(86.053064,49.052642)
The feature has been shifted [0.168175] distance
Frame:101 point:(86.047226,48.884568) (-) frame:102 point:(86.053064,49.052642)
The feature has been shifted [0.168175] distance
Frame:101 point:(73.492215,47.227064) (-) Doesn't match with any point
Frame:101 point:(81.289642,35.758927) (-) Doesn't match with any point
Found 27 total matches

```

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την αντιστοίχιση των *features* του *frame=102* με αυτά του *frame=103*. Βλέπουμε πως υπάρχουν 20 αντιστοιχίες.



```

frame: 102.000000          Compare with frame: 103.000000
Frame:102 point:(80.665183,58.768502) (-) frame:103 point:(80.792864,58.552997)
The feature has been shifted [0.250489] distance
Frame:102 point:(88.177772,31.427383) (-) frame:103 point:(88.274025,31.601442)
The feature has been shifted [0.198900] distance
Frame:102 point:(65.943884,65.255160) (-) frame:103 point:(65.955573,65.073948)
The feature has been shifted [0.181589] distance
Frame:102 point:(84.119119,90.441015) (-) Doesn't match with any point
Frame:102 point:(71.838287,89.398093) (-) frame:103 point:(71.867494,89.333701)
The feature has been shifted [0.070707] distance
Frame:102 point:(71.838287,89.398093) (-) frame:103 point:(71.867494,89.333701)
The feature has been shifted [0.070707] distance
Frame:102 point:(84.184235,90.581842) (-) Doesn't match with any point
Frame:102 point:(84.184235,90.581842) (-) Doesn't match with any point
Frame:102 point:(87.936190,74.607585) (-) frame:103 point:(88.090558,74.305277)
The feature has been shifted [0.339440] distance
Frame:102 point:(111.294561,47.620737) (-) frame:103 point:(110.648254,48.977194)
The feature has been shifted [1.502561] distance
Frame:102 point:(111.294561,47.620737) (-) Doesn't match with any point
Frame:102 point:(46.498062,47.059113) (-) frame:103 point:(47.110841,48.706392)
The feature has been shifted [1.757563] distance
Frame:102 point:(46.498062,47.059113) (-) frame:103 point:(47.110841,48.706392)
The feature has been shifted [1.757563] distance
Frame:102 point:(72.793054,80.428085) (-) Doesn't match with any point
Frame:102 point:(72.793054,80.428085) (-) frame:103 point:(56.848188,45.971481)
The feature has been shifted [37.967042] distance
the distance is too big to match.
Frame:102 point:(68.036395,75.763855) (-) frame:103 point:(67.986216,75.778245)
The feature has been shifted [0.052202] distance
Frame:102 point:(82.080508,55.294618) (-) frame:103 point:(81.858788,55.490874)
The feature has been shifted [0.296102] distance
Frame:102 point:(79.468912,32.709551) (-) frame:103 point:(79.605183,32.532480)
The feature has been shifted [0.223437] distance
Frame:102 point:(82.080539,55.390824) (-) frame:103 point:(81.858788,55.490874)
The feature has been shifted [0.180099] distance
Frame:102 point:(18.816497,10.886490) (-) frame:103 point:(58.149738,7.885152)
The feature has been shifted [39.447584] distance
the distance is too big to match.
Frame:102 point:(69.947047,95.473618) (-) frame:103 point:(69.916859,95.428302)
The feature has been shifted [0.054450] distance
Frame:102 point:(77.506571,77.076154) (-) frame:103 point:(77.509349,77.111302)
The feature has been shifted [0.035258] distance
Frame:102 point:(77.506571,77.076154) (-) frame:103 point:(77.509349,77.111302)
The feature has been shifted [0.035258] distance
Frame:102 point:(91.773074,42.193464) (-) Doesn't match with any point
Frame:102 point:(85.790833,96.431553) (-) frame:103 point:(85.799539,96.370917)
The feature has been shifted [0.061259] distance
Frame:102 point:(55.741723,44.919241) (-) frame:103 point:(56.848188,45.971481)
The feature has been shifted [1.526916] distance
Frame:102 point:(102.805545,48.191091) (-) Doesn't match with any point
Frame:102 point:(89.043172,39.376265) (-) Doesn't match with any point
Frame:102 point:(69.952931,48.760207) (-) Doesn't match with any point
Frame:102 point:(69.952931,48.760207) (-) Doesn't match with any point
Frame:102 point:(95.251857,39.475862) (-) Doesn't match with any point
Frame:102 point:(69.507541,30.748869) (-) Doesn't match with any point
Frame:102 point:(62.085260,7.956298) (-) frame:103 point:(58.149738,7.885152)
The feature has been shifted [3.936166] distance
Frame:102 point:(58.120547,7.914832) (-) frame:103 point:(58.149738,7.885152)
The feature has been shifted [0.041629] distance
Frame:102 point:(28.448856,10.458096) (-) Doesn't match with any point
Frame:102 point:(46.311210,8.014823) (-) frame:103 point:(58.149738,7.885152)
The feature has been shifted [11.839239] distance
the distance is too big to match.
Frame:102 point:(86.053064,49.052642) (-) Doesn't match with any point
Frame:102 point:(86.053064,49.052642) (-) Doesn't match with any point
Found 20 total matches

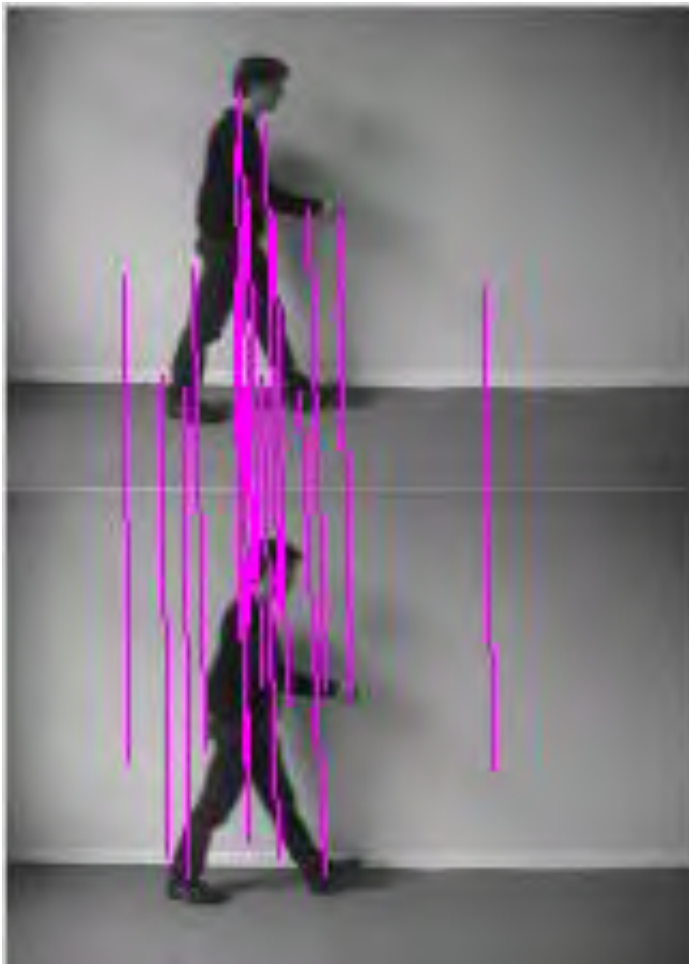
```

*Σημαντική παρατήρηση είναι ότι ο αλγόριθμος εντοπίζει τα features που καθορίζουν την ενέργεια, σε αυτή την περίπτωση είναι η κίνηση των χεριών.*



**4.3.2. Man Walking.** Έπειτα έχουμε ένα video στο οποίο το αντικείμενο περπατάει σε έναν διάδρομο. Το κατώφλι που χρησιμοποιούμε και σε αυτό το πείραμα είναι 6 μονάδες μετατόπισης.

*Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την αντιστοίχιση των features του frame=33 με αυτά του frame=34. Βλέπουμε πως υπάρχουν 20 αντιστοιχίες.*



```

frame: 33.000000          Compare with frame: 34.000000
Frame:33 point:(111.257259,70.263233) (-) frame:34  point:(113.299531,70.405034)
The feature has been shifted [2.047189] distance
Frame:33 point:(111.257259,70.263233) (-) frame:34  point:(113.299531,70.405034)
The feature has been shifted [2.047189] distance
Frame:33 point:(26.693874,67.453980) (-) frame:34  point:(27.916053,67.636644)
The feature has been shifted [1.235754] distance
Frame:33 point:(56.121331,48.179104) (-) frame:34  point:(58.514967,48.734453)
The feature has been shifted [2.457215] distance
Frame:33 point:(52.720644,67.964804) (-) frame:34  point:(55.052011,67.390156)
The feature has been shifted [2.401143] distance
Frame:33 point:(52.522580,34.706395) (-) frame:34  point:(55.617564,34.086791)
The feature has been shifted [3.156396] distance
Frame:33 point:(53.154604,88.451873) (-) frame:34  point:(55.510178,88.125631)
The feature has been shifted [2.378059] distance
Frame:33 point:(53.154604,88.451873) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(68.141937,96.049747) (-) frame:34  point:(73.624058,95.551858)
The feature has been shifted [5.504684] distance
Frame:33 point:(68.141937,96.049747) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(41.083118,95.088206) (-) frame:34  point:(41.884161,96.517113)
The feature has been shifted [1.638123] distance
Frame:33 point:(45.460607,79.821027) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(42.176025,88.157346) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(58.750499,91.527701) (-) frame:34  point:(62.812062,91.692073)
The feature has been shifted [4.064888] distance
Frame:33 point:(42.869747,64.630460) (-) frame:34  point:(46.352128,64.654004)
The feature has been shifted [3.482461] distance
Frame:33 point:(53.441215,77.883626) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(53.441215,77.883626) (-) frame:34  point:(56.109333,75.337876)
The feature has been shifted [3.687777] distance
Frame:33 point:(70.283778,49.662694) (-) frame:34  point:(74.110653,49.699955)
The feature has been shifted [3.827057] distance
Frame:33 point:(70.283778,49.662694) (-) frame:34  point:(74.110653,49.699955)
The feature has been shifted [3.827057] distance
Frame:33 point:(59.984850,28.943983) (-) frame:34  point:(63.010423,29.487523)
The feature has been shifted [3.074008] distance
Frame:33 point:(61.967314,53.122771) (-) frame:34  point:(65.026260,53.485069)
The feature has been shifted [3.080326] distance
Frame:33 point:(61.967314,53.122771) (-) frame:34  point:(65.026260,53.485069)
The feature has been shifted [3.080326] distance
Frame:33 point:(72.328655,91.859213) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(66.091197,80.305190) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(36.336526,91.955939) (-) frame:34  point:(36.852616,91.843557)
The feature has been shifted [0.528184] distance
Frame:33 point:(65.313426,19.468415) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(68.372164,89.491642) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(68.372164,89.491642) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(51.963817,26.452293) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(123.493680,96.103288) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(65.613158,80.479667) (-) frame:34  point:(42.868772,77.337577)
The feature has been shifted [22.960397] distance
the distance is too big to match.
Frame:33 point:(47.438617,85.155821) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(62.085968,64.459679) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(54.111588,21.413870) (-) frame:34  point:(57.087621,22.460108)
The feature has been shifted [3.154582] distance
Frame:33 point:(37.958480,95.306738) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(37.958480,95.306738) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(45.073498,49.968774) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(76.750981,51.424192) (-) frame:34  point:(80.373734,51.044343)
The feature has been shifted [3.642612] distance
Frame:33 point:(45.548754,46.238541) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(52.379510,14.214898) (-) Doesn't match with any point
Frame:33 point:(58.656480,24.881755) (-) Doesn't match with any point
Found 20 total matches

```

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε την αντιστοίχιση των *features* του *frame=34* με αυτά του *frame=35*. Βλέπουμε πως υπάρχουν 22 αντιστοιχίες.

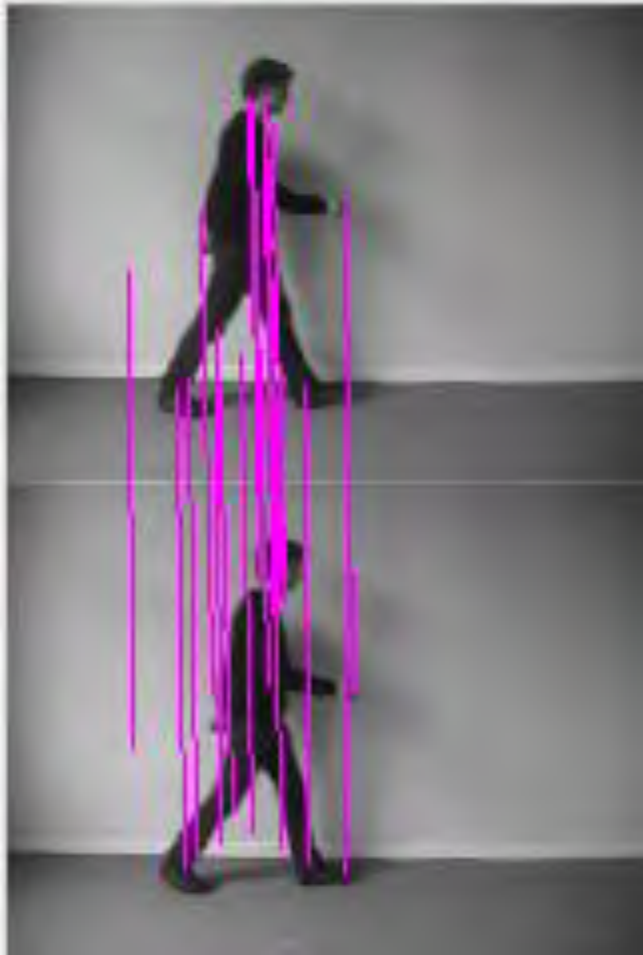


```

frame: 34.000000          Compare with frame: 35.000000
Frame:34 point:(113.299531,70.405034) (-) frame:35  point:(114.939418,70.501229)
The feature has been shifted [1.642706] distance
Frame:34 point:(113.299531,70.405034) (-) frame:35  point:(114.939418,70.501229)
The feature has been shifted [1.642706] distance
Frame:34 point:(27.916053,67.636644) (-) frame:35  point:(29.562389,67.170382)
The feature has been shifted [1.711089] distance
Frame:34 point:(58.514967,48.734453) (-) frame:35  point:(61.346656,49.995918)
The feature has been shifted [3.099961] distance
Frame:34 point:(55.052011,67.390156) (-) Doesn't match with any point
Frame:34 point:(39.240971,65.611771) (-) Doesn't match with any point
Frame:34 point:(73.624058,95.551858) (-) frame:35  point:(74.104226,95.879991)
The feature has been shifted [0.581577] distance
Frame:34 point:(55.510178,88.125631) (-) frame:35  point:(58.405262,87.792081)
The feature has been shifted [2.914235] distance
Frame:34 point:(55.617564,34.086791) (-) frame:35  point:(58.664191,34.542919)
The feature has been shifted [3.080583] distance
Frame:34 point:(41.884161,96.517113) (-) frame:35  point:(42.300101,96.726809)
The feature has been shifted [0.465809] distance
Frame:34 point:(65.833766,84.815287) (-) Doesn't match with any point
Frame:34 point:(87.641128,96.803381) (-) frame:35  point:(84.782058,97.162559)
The feature has been shifted [2.881544] distance
Frame:34 point:(62.812062,91.692073) (-) frame:35  point:(65.613368,91.801475)
The feature has been shifted [2.803441] distance
Frame:34 point:(48.293526,101.675069) (-) Doesn't match with any point
Frame:34 point:(65.026260,53.485069) (-) frame:35  point:(67.983994,54.019804)
The feature has been shifted [3.005683] distance
Frame:34 point:(65.026260,53.485069) (-) frame:35  point:(67.983994,54.019804)
The feature has been shifted [3.005683] distance
Frame:34 point:(74.110653,49.699955) (-) Doesn't match with any point
Frame:34 point:(74.110653,49.699955) (-) Doesn't match with any point
Frame:34 point:(63.010423,29.487523) (-) frame:35  point:(66.109772,30.301858)
The feature has been shifted [3.204545] distance
Frame:34 point:(46.352128,64.654004) (-) Doesn't match with any point
Frame:34 point:(36.852616,91.843557) (-) frame:35  point:(65.613368,91.801475)
The feature has been shifted [28.760783] distance
the distance is too big to match.
Frame:34 point:(47.675271,92.113098) (-) frame:35  point:(49.112701,92.054171)
The feature has been shifted [1.438638] distance
Frame:34 point:(51.553241,32.418456) (-) frame:35  point:(50.143596,50.840750)
The feature has been shifted [18.476147] distance
the distance is too big to match.
Frame:34 point:(42.868772,77.337577) (-) Doesn't match with any point
Frame:34 point:(56.109333,75.337876) (-) frame:35  point:(59.673714,74.079349)
The feature has been shifted [3.780040] distance
Frame:34 point:(56.109333,75.337876) (-) frame:35  point:(49.112701,92.054171)
The feature has been shifted [18.121462] distance
the distance is too big to match.
Frame:34 point:(38.671947,95.151983) (-) Doesn't match with any point
Frame:34 point:(72.580248,99.811634) (-) Doesn't match with any point
Frame:34 point:(80.476112,93.592764) (-) Doesn't match with any point
Frame:34 point:(80.476112,93.592764) (-) Doesn't match with any point
Frame:34 point:(47.301959,60.464992) (-) Doesn't match with any point
Frame:34 point:(49.199342,82.379489) (-) frame:35  point:(51.804667,82.448832)
The feature has been shifted [2.606248] distance
Frame:34 point:(58.297470,25.142138) (-) frame:35  point:(61.393320,25.758016)
The feature has been shifted [3.156516] distance
Frame:34 point:(62.989037,59.240618) (-) frame:35  point:(66.659157,59.958801)
The feature has been shifted [3.739729] distance
Frame:34 point:(60.599006,78.483931) (-) frame:35  point:(64.625969,78.857465)
The feature has been shifted [4.044250] distance
Frame:34 point:(80.373734,51.044343) (-) frame:35  point:(83.584551,51.459323)
The feature has been shifted [3.237523] distance
Frame:34 point:(44.990067,51.714271) (-) frame:35  point:(47.508777,51.855865)
The feature has been shifted [2.522687] distance
Frame:34 point:(57.087621,22.460108) (-) frame:35  point:(60.112708,23.021444)
The feature has been shifted [3.076727] distance
Found 22 total matches

```

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την αντιστοίχιση των *features* του *frame=35* με αυτά του *frame=36*. Βλέπουμε πως υπάρχουν 18 αντιστοιχίες.



```

frame: 35.000000          Compare with frame: 36.000000
Frame:35 point:(114.939418,70.501229) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(114.939418,70.501229) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(29.562389,67.170382) (-) frame:36 point:(31.068050,67.041935)
The feature has been shifted [1.511129] distance
Frame:35 point:(61.346656,49.995918) (-) frame:36 point:(64.885962,51.473038)
The feature has been shifted [3.835175] distance
Frame:35 point:(58.405262,87.792081) (-) frame:36 point:(61.350141,87.750140)
The feature has been shifted [2.945177] distance
Frame:35 point:(74.104226,95.879991) (-) frame:36 point:(74.992444,96.442836)
The feature has been shifted [1.051536] distance
Frame:35 point:(74.104226,95.879991) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(58.664191,34.542919) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(42.300101,96.726809) (-) frame:36 point:(43.697174,96.558826)
The feature has been shifted [1.407135] distance
Frame:35 point:(51.706834,91.081315) (-) frame:36 point:(53.266801,91.301376)
The feature has been shifted [1.575412] distance
Frame:35 point:(84.782058,97.162559) (-) frame:36 point:(83.549076,98.158686)
The feature has been shifted [1.585090] distance
Frame:35 point:(65.613368,91.801475) (-) frame:36 point:(67.623227,91.761981)
The feature has been shifted [2.010247] distance
Frame:35 point:(66.109772,30.301858) (-) frame:36 point:(69.024372,30.544493)
The feature has been shifted [2.924682] distance
Frame:35 point:(67.983994,54.019804) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(67.983994,54.019804) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(49.112701,92.054171) (-) frame:36 point:(63.560670,76.010961)
The feature has been shifted [21.590007] distance
the distance is too big to match.
Frame:35 point:(78.137204,92.316980) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(66.659157,59.958801) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(70.480313,72.266793) (-) frame:36 point:(75.425892,79.017507)
The feature has been shifted [8.368446] distance
the distance is too big to match.
Frame:35 point:(55.861973,75.375765) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(47.508777,51.855865) (-) frame:36 point:(50.870630,52.962233)
The feature has been shifted [3.539225] distance
Frame:35 point:(51.804667,82.448832) (-) frame:36 point:(55.997824,81.581016)
The feature has been shifted [4.282017] distance
Frame:35 point:(64.124283,23.312282) (-) frame:36 point:(67.519577,23.531015)
The feature has been shifted [3.402333] distance
Frame:35 point:(64.625969,78.857465) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(59.673714,74.079349) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(61.393320,25.758016) (-) frame:36 point:(64.491693,26.120518)
The feature has been shifted [3.119507] distance
Frame:35 point:(134.571758,95.978726) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(65.117914,26.348047) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(60.112708,23.021444) (-) frame:36 point:(63.433200,23.579172)
The feature has been shifted [3.367006] distance
Frame:35 point:(83.584551,51.459323) (-) frame:36 point:(85.629026,53.424081)
The feature has been shifted [2.835516] distance
Frame:35 point:(83.584551,51.459323) (-) frame:36 point:(85.629026,53.424081)
The feature has been shifted [2.835516] distance
Frame:35 point:(44.908811,94.491971) (-) frame:36 point:(46.533020,93.776330)
The feature has been shifted [1.774879] distance
Frame:35 point:(65.435230,64.045549) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(80.925208,50.321163) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(67.019930,26.033684) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(50.143596,50.840750) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(63.512436,32.745323) (-) frame:36 point:(66.381438,33.015147)
The feature has been shifted [2.881662] distance
Found 18 total matches

```

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την αντιστοίχιση των *features* του *frame=36* με αυτά του *frame=37*. Βλέπουμε πως υπάρχουν 21 αντιστοιχίες μεταξύ τους.



```

frame: 36.000000          Compare with frame: 37.000000
Frame:36 point:(31.068050,67.041935) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(64.885962,51.473038) (-) frame:37 point:(68.347427,52.097994)
The feature has been shifted [3.517430] distance
Frame:36 point:(61.350141,87.750140) (-) frame:37 point:(64.112804,88.584043)
The feature has been shifted [2.885776] distance
Frame:36 point:(47.594651,68.240172) (-) frame:37 point:(51.820517,69.944062)
The feature has been shifted [4.556444] distance
Frame:36 point:(43.697174,96.558826) (-) frame:37 point:(45.422120,96.005999)
The feature has been shifted [1.811369] distance
Frame:36 point:(74.992444,96.442836) (-) frame:37 point:(76.245536,96.991530)
The feature has been shifted [1.367956] distance
Frame:36 point:(67.712762,18.221065) (-) frame:37 point:(70.757006,18.102194)
The feature has been shifted [3.046564] distance
Frame:36 point:(83.549076,98.158686) (-) frame:37 point:(83.852824,98.459836)
The feature has been shifted [0.427731] distance
Frame:36 point:(53.266801,91.301376) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(67.623227,91.761981) (-) frame:37 point:(68.930766,91.857821)
The feature has been shifted [1.311047] distance
Frame:36 point:(63.560670,76.010961) (-) frame:37 point:(67.426832,76.123941)
The feature has been shifted [3.867812] distance
Frame:36 point:(70.908759,59.947029) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(48.769156,101.776451) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(68.462043,64.671487) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(69.024372,30.544493) (-) frame:37 point:(72.087177,30.411176)
The feature has been shifted [3.065705] distance
Frame:36 point:(38.458980,91.491895) (-) frame:37 point:(40.027379,91.868560)
The feature has been shifted [1.612994] distance
Frame:36 point:(50.593878,57.286926) (-) frame:37 point:(54.315600,52.944243)
The feature has been shifted [5.719276] distance
Frame:36 point:(80.333212,51.771521) (-) frame:37 point:(81.048745,53.512020)
The feature has been shifted [1.881841] distance
Frame:36 point:(80.333212,51.771521) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(67.519577,23.531015) (-) frame:37 point:(70.458429,23.447261)
The feature has been shifted [2.940045] distance
Frame:36 point:(67.519577,23.531015) (-) frame:37 point:(70.458429,23.447261)
The feature has been shifted [2.940045] distance
Frame:36 point:(57.290959,28.626669) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(48.959177,78.421649) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(78.107525,96.095341) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(66.381438,33.015147) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(53.651018,86.507588) (-) frame:37 point:(57.910780,86.663723)
The feature has been shifted [4.262623] distance
Frame:36 point:(50.870630,52.962233) (-) frame:37 point:(54.315600,52.944243)
The feature has been shifted [3.445017] distance
Frame:36 point:(47.219542,97.151898) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(47.219542,97.151898) (-) frame:37 point:(48.883262,97.314411)
The feature has been shifted [1.671638] distance
Frame:36 point:(64.491693,26.120518) (-) frame:37 point:(67.637584,25.949044)
The feature has been shifted [3.150561] distance
Frame:36 point:(75.425892,79.017507) (-) frame:37 point:(47.982079,83.547285)
The feature has been shifted [27.815135] distance
the distance is too big to match.
Frame:36 point:(56.089977,30.920034) (-) frame:37 point:(54.315600,52.944243)
The feature has been shifted [22.095570] distance
the distance is too big to match.
Frame:36 point:(55.997824,81.581016) (-) frame:37 point:(47.624709,87.120426)
The feature has been shifted [10.039627] distance
the distance is too big to match.
Frame:36 point:(46.533020,93.776330) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(85.629026,53.424081) (-) frame:37 point:(87.398387,55.498327)
The feature has been shifted [2.726377] distance
Frame:36 point:(85.629026,53.424081) (-) frame:37 point:(87.398387,55.498327)
The feature has been shifted [2.726377] distance
Frame:36 point:(63.433200,23.579172) (-) Doesn't match with any point
Found 21 total matches

```



Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την αντιστοίχιση των *features* του *frame=37* με αυτά του *frame=38*. Βλέπουμε πως υπάρχουν 16 αντιστοιχίες μεταξύ τους.



```

frame: 37.000000          Compare with frame: 38.000000
Frame:37 point:(68.347427,52.097994) (-) frame:38  point:(71.755800,52.029371)
The feature has been shifted [3.409063] distance
Frame:37 point:(65.028693,36.733092) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(51.820517,69.944062) (-) frame:38  point:(57.391002,72.429481)
The feature has been shifted [6.099804] distance
the distance is too big to match.
Frame:37 point:(64.112804,88.584043) (-) frame:38  point:(66.289308,89.873813)
The feature has been shifted [2.529956] distance
Frame:37 point:(45.422120,96.005999) (-) frame:38  point:(47.971692,94.515248)
The feature has been shifted [2.953414] distance
Frame:37 point:(76.245536,96.991530) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(70.757006,18.102194) (-) frame:38  point:(73.654750,17.823982)
The feature has been shifted [2.911069] distance
Frame:37 point:(83.852824,98.459836) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(53.691367,75.109777) (-) frame:38  point:(59.705403,75.915907)
The feature has been shifted [6.067823] distance
the distance is too big to match.
Frame:37 point:(54.888907,43.980534) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(74.973937,59.068364) (-) frame:38  point:(77.139702,59.174096)
The feature has been shifted [2.168344] distance
Frame:37 point:(62.170034,24.461904) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(62.170034,24.461904) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(68.930766,91.857821) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(55.995077,66.994698) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(72.087177,30.411176) (-) frame:38  point:(75.042680,29.911629)
The feature has been shifted [2.997423] distance
Frame:37 point:(55.991897,44.797266) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(81.048745,53.512020) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(81.048745,53.512020) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(67.426832,76.123941) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(67.426832,76.123941) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(54.315600,52.944243) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(79.469145,92.189930) (-) frame:38  point:(80.292805,92.114820)
The feature has been shifted [0.827078] distance
Frame:37 point:(40.370100,95.304822) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(52.435731,92.578015) (-) frame:38  point:(56.645456,92.416067)
The feature has been shifted [4.212839] distance
Frame:37 point:(74.336878,45.738298) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(48.883262,97.314411) (-) frame:38  point:(51.627058,97.568174)
The feature has been shifted [2.755506] distance
Frame:37 point:(48.883262,97.314411) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(40.027379,91.868560) (-) frame:38  point:(40.815077,91.812718)
The feature has been shifted [0.789675] distance
Frame:37 point:(56.304410,45.309425) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(70.458429,23.447261) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(57.910780,86.663723) (-) frame:38  point:(63.610001,86.608287)
The feature has been shifted [5.699490] distance
Frame:37 point:(47.624709,87.120426) (-) frame:38  point:(51.989207,86.439793)
The feature has been shifted [4.417251] distance
Frame:37 point:(67.637584,25.949044) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(47.982079,83.547285) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(87.398387,55.498327) (-) frame:38  point:(87.741905,58.574397)
The feature has been shifted [3.095192] distance
Frame:37 point:(87.398387,55.498327) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(73.050358,58.996917) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(73.050358,58.996917) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(84.908153,54.217006) (-) frame:38  point:(84.688889,58.021621)
The feature has been shifted [3.810928] distance
Frame:37 point:(76.874544,21.228030) (-) frame:38  point:(79.862043,20.986663)
The feature has been shifted [2.997233] distance
Frame:37 point:(123.652678,95.909409) (-) frame:38  point:(123.619482,95.942932)
The feature has been shifted [0.047178] distance
Found 16 total matches

```

Σημαντική παρατήρηση είναι ότι ο αλγόριθμος εντοπίζει τα *features* που καθορίζουν την ενέργεια, σε αυτή την περίπτωση είναι η κίνηση των ποδιών .

**4.3.3. Hands Waving.** Ένα ακόμα video που θα μελετήσουμε είναι αυτό όπου το αντικείμενο κουνάει κατακόρυφα, ως προς το έδαφος, τα χέρια του από το ύψος του κεφαλιού του έως κάτω άκρα του. Το κατώφλι μετατόπισης παραμένει ίσο με 6.

*Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τις αντιστοιχίες μεταξύ του  $frame=35$  με το  $frame=36$ . Παρατηρούμε 17 αντιστοιχίες.*

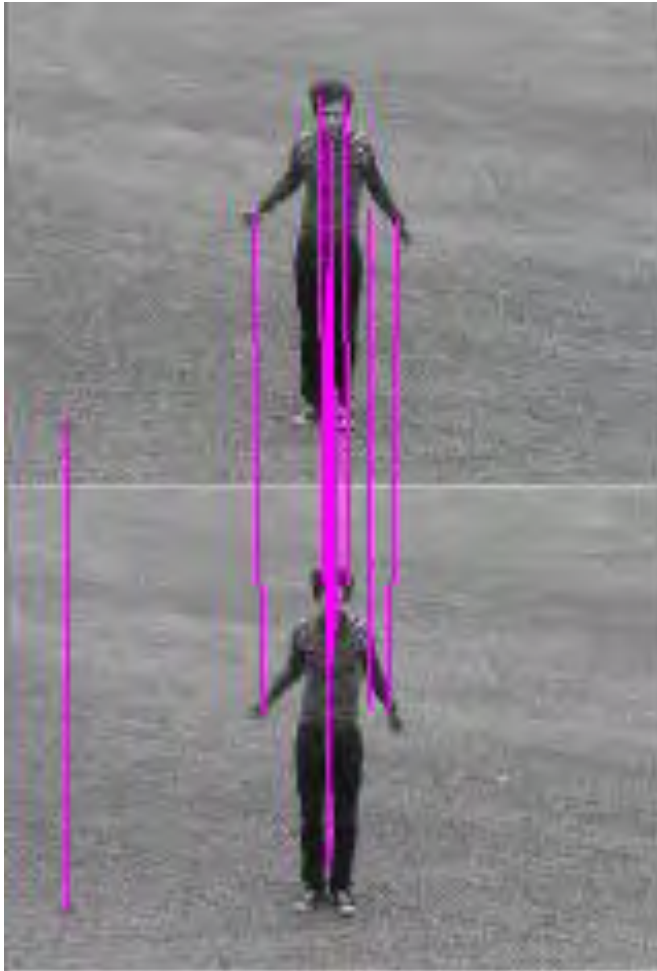


```

frame: 35.000000          Compare with frame: 36.000000
Frame:35 point:(80.425420,42.648169) (-) frame:36 point:(80.245477,42.990983)
The feature has been shifted [0.387170] distance
Frame:35 point:(80.425420,42.648169) (-) frame:36 point:(80.245477,42.990983)
The feature has been shifted [0.387170] distance
Frame:35 point:(78.977702,68.224653) (-) frame:36 point:(79.141345,68.209608)
The feature has been shifted [0.164333] distance
Frame:35 point:(78.524370,94.782683) (-) frame:36 point:(78.739383,94.213351)
The feature has been shifted [0.608579] distance
Frame:35 point:(78.524370,94.782683) (-) frame:36 point:(78.739383,94.213351)
The feature has been shifted [0.608579] distance
Frame:35 point:(89.307054,52.499347) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(80.046001,35.609089) (-) frame:36 point:(80.412968,35.137500)
The feature has been shifted [0.597545] distance
Frame:35 point:(80.046001,35.609089) (-) frame:36 point:(80.412968,35.137500)
The feature has been shifted [0.597545] distance
Frame:35 point:(70.212562,50.835849) (-) frame:36 point:(70.992201,50.610253)
The feature has been shifted [0.811622] distance
Frame:35 point:(77.185951,24.210548) (-) frame:36 point:(77.368705,23.718608)
The feature has been shifted [0.524789] distance
Frame:35 point:(64.704935,42.577623) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(74.607670,95.617139) (-) frame:36 point:(74.788983,95.643335)
The feature has been shifted [0.183195] distance
Frame:35 point:(82.178951,98.237981) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(68.488328,45.436702) (-) frame:36 point:(67.680748,47.998253)
The feature has been shifted [2.685839] distance
Frame:35 point:(68.488328,45.436702) (-) frame:36 point:(67.680748,47.998253)
The feature has been shifted [2.685839] distance
Frame:35 point:(72.413871,64.536464) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(87.749791,76.013539) (-) frame:36 point:(88.021443,81.825719)
The feature has been shifted [5.818524] distance
Frame:35 point:(64.346162,48.452714) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(64.346162,48.452714) (-) frame:36 point:(67.680748,47.998253)
The feature has been shifted [3.365412] distance
Frame:35 point:(83.210226,24.113883) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(83.210226,24.113883) (-) frame:36 point:(83.419137,24.035895)
The feature has been shifted [0.222992] distance
Frame:35 point:(83.210226,24.113883) (-) frame:36 point:(83.419137,24.035895)
The feature has been shifted [0.222992] distance
Frame:35 point:(95.577070,51.361176) (-) frame:36 point:(93.268645,50.972689)
The feature has been shifted [2.340886] distance
Frame:35 point:(69.334850,65.910072) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(84.932203,78.021550) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(57.944762,50.098551) (-) Doesn't match with any point
Frame:35 point:(100.314356,58.289515) (-) Doesn't match with any point
Found 17 total matches

```

Συνέχεια αυτής είναι η αντιστοιχία του  $frame=36$  με το  $frame=37$ , όπου έχουμε 15 αντιστοιχίες.



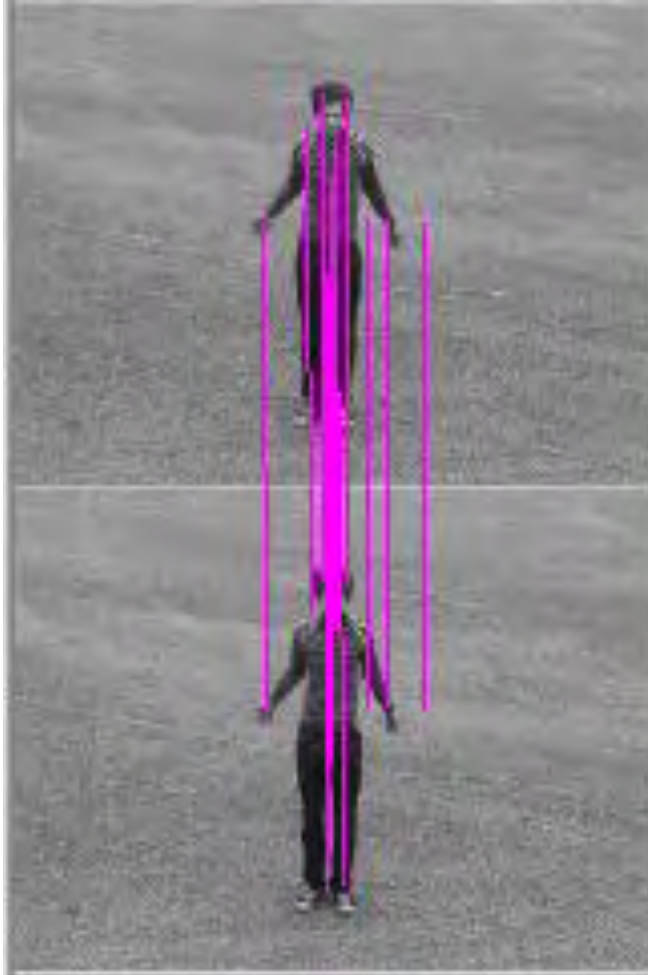
```

frame: 36.000000          Compare with frame: 37.000000
Frame:36 point:(80.245477,42.990983) (-) frame:37 point:(80.120595,43.391678)
The feature has been shifted [0.419704] distance
Frame:36 point:(80.245477,42.990983) (-) frame:37 point:(80.120595,43.391678)
The feature has been shifted [0.419704] distance
Frame:36 point:(79.141345,68.209608) (-) frame:37 point:(79.259037,68.231969)
The feature has been shifted [0.119798] distance
Frame:36 point:(79.141345,68.209608) (-) frame:37 point:(79.259037,68.231969)
The feature has been shifted [0.119798] distance
Frame:36 point:(78.739383,94.213351) (-) frame:37 point:(78.804522,93.965951)
The feature has been shifted [0.255832] distance
Frame:36 point:(78.739383,94.213351) (-) frame:37 point:(78.804522,93.965951)
The feature has been shifted [0.255832] distance
Frame:36 point:(89.152181,92.900134) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(80.412968,35.137500) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(80.412968,35.137500) (-) frame:37 point:(80.721899,34.728851)
The feature has been shifted [0.512282] distance
Frame:36 point:(88.852965,53.086242) (-) frame:37 point:(88.710333,53.939885)
The feature has been shifted [0.865477] distance
Frame:36 point:(88.824058,52.421033) (-) frame:37 point:(88.710333,53.939885)
The feature has been shifted [1.523104] distance
Frame:36 point:(88.824058,52.421033) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(77.368705,23.718608) (-) frame:37 point:(77.660995,23.256767)
The feature has been shifted [0.546563] distance
Frame:36 point:(70.992201,50.610253) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(74.788983,95.643335) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(88.021443,81.825719) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(67.680748,47.998253) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(67.680748,47.998253) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(88.588841,62.077737) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(87.604494,58.215849) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(83.419137,24.035895) (-) frame:37 point:(83.760669,23.870520)
The feature has been shifted [0.379465] distance
Frame:36 point:(76.223098,46.596217) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(93.268645,50.972689) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(93.268645,50.972689) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(85.005863,50.688888) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(95.840715,54.427930) (-) frame:37 point:(94.358581,54.447221)
The feature has been shifted [1.482259] distance
Frame:36 point:(95.840715,54.427930) (-) frame:37 point:(94.358581,54.447221)
The feature has been shifted [1.482259] distance
Frame:36 point:(64.271512,47.099162) (-) Doesn't match with any point
Frame:36 point:(60.562664,53.900260) (-) frame:37 point:(62.652877,55.282171)
The feature has been shifted [2.505727] distance
Frame:36 point:(15.860527,105.480588) (-) frame:37 point:(15.893798,104.785703)

The feature has been shifted [0.695681] distance
Frame:36 point:(15.860527,105.480588) (-) Doesn't match with any point
Found 15 total matches

```

Οι αντιστοιχίες των *features* του *frame=37* με αυτά του *frame=38*. Παρατηρούμε πως έχουμε 16 αντιστοιχίες.



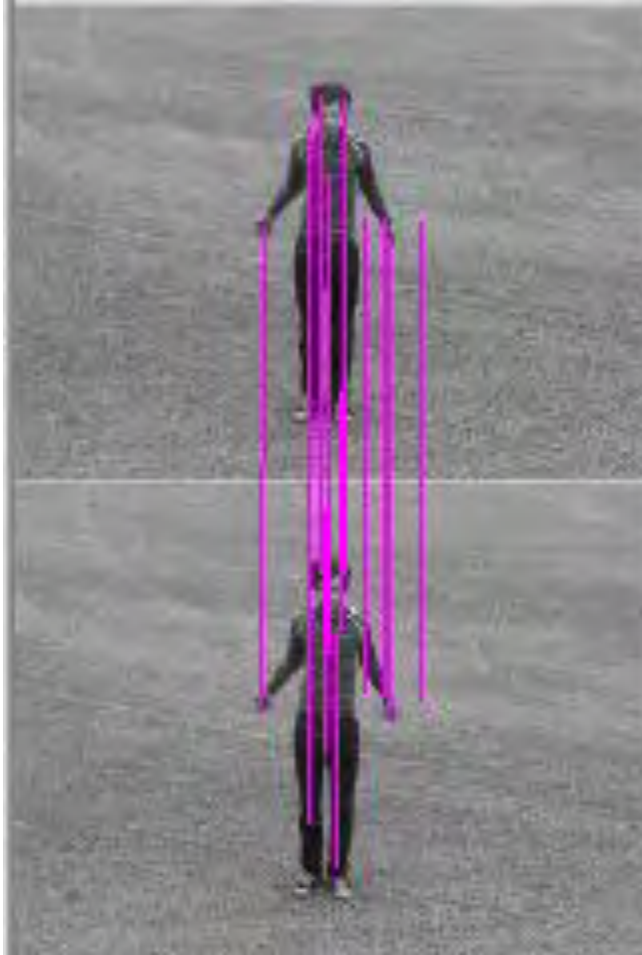
```

frame: 37.000000          Compare with frame: 38.000000
Frame:37 point:(103.218646,55.333600) (-) frame:38 point:(102.905154,55.014546)
The feature has been shifted [0.447295] distance
Frame:37 point:(80.120595,43.391678) (-) frame:38 point:(80.175982,43.319903)
The feature has been shifted [0.090660] distance
Frame:37 point:(80.120595,43.391678) (-) frame:38 point:(80.175982,43.319903)
The feature has been shifted [0.090660] distance
Frame:37 point:(79.259037,68.231969) (-) frame:38 point:(79.513674,68.211049)
The feature has been shifted [0.255495] distance
Frame:37 point:(79.259037,68.231969) (-) frame:38 point:(79.513674,68.211049)
The feature has been shifted [0.255495] distance
Frame:37 point:(78.804522,93.965951) (-) frame:38 point:(79.099585,93.369772)
The feature has been shifted [0.665201] distance
Frame:37 point:(78.804522,93.965951) (-) frame:38 point:(80.175982,43.319903)
The feature has been shifted [50.664614] distance
the distance is too big to match.
Frame:37 point:(80.721899,34.728851) (-) frame:38 point:(81.054167,34.537097)
The feature has been shifted [0.383630] distance
Frame:37 point:(88.710333,53.939885) (-) frame:38 point:(88.771778,54.089048)
The feature has been shifted [0.161323] distance
Frame:37 point:(73.920447,31.238310) (-) frame:38 point:(74.584905,31.028066)
The feature has been shifted [0.696927] distance
Frame:37 point:(77.660995,23.256767) (-) frame:38 point:(77.932377,23.014423)
The feature has been shifted [0.363839] distance
Frame:37 point:(77.660995,23.256767) (-) frame:38 point:(77.932377,23.014423)
The feature has been shifted [0.363839] distance
Frame:37 point:(71.888306,43.330527) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(82.289042,97.446808) (-) frame:38 point:(82.518579,97.528740)
The feature has been shifted [0.243721] distance
Frame:37 point:(93.000626,61.146695) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(72.057886,49.483673) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(83.760669,23.870520) (-) frame:38 point:(83.988332,23.565492)
The feature has been shifted [0.380621] distance
Frame:37 point:(15.893798,104.785703) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(62.652877,55.282171) (-) frame:38 point:(63.623481,56.022292)
The feature has been shifted [1.220595] distance
Frame:37 point:(62.652877,55.282171) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(73.941668,24.666047) (-) Doesn't match with any point
Frame:37 point:(94.358581,54.447221) (-) frame:38 point:(93.941225,54.294967)
The feature has been shifted [0.444260] distance
Frame:37 point:(94.358581,54.447221) (-) frame:38 point:(93.941225,54.294967)
The feature has been shifted [0.444260] distance
Found 16 total matches

```



Έπειτα έχουμε τις αντιστοιχίες των *features* του *frame=38* με αυτά του *frame=39* με 16 αντιστοιχίες.

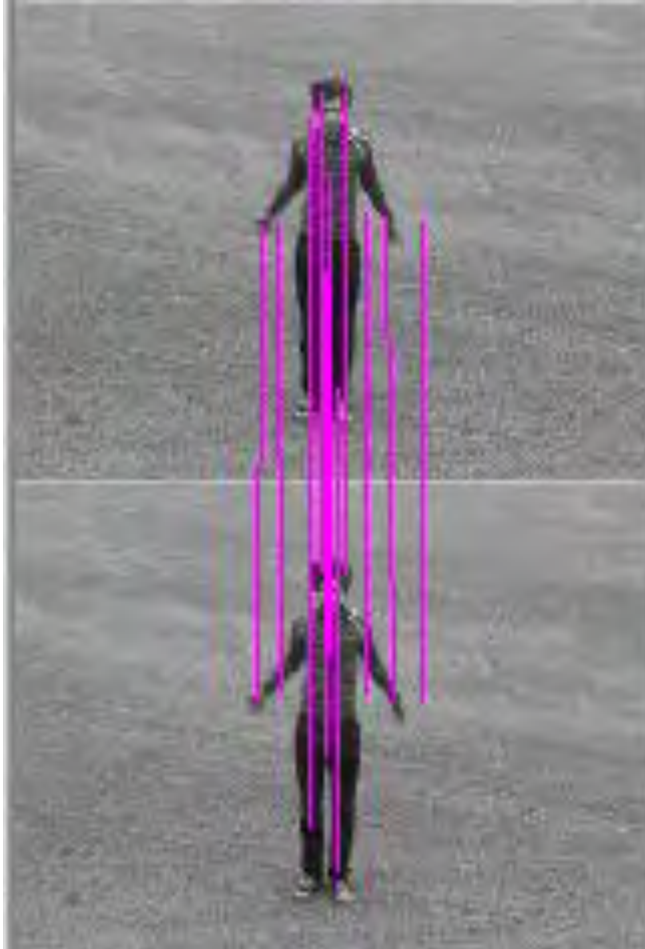


```

frame: 38.000000          Compare with frame: 39.000000
Frame:38 point:(102.905154,55.014546) (-) frame:39 point:(102.810111,54.650773)
The feature has been shifted [0.375984] distance
Frame:38 point:(80.175982,43.319903) (-) frame:39 point:(80.019959,43.136955)
The feature has been shifted [0.240444] distance
Frame:38 point:(80.175982,43.319903) (-) frame:39 point:(80.019959,43.136955)
The feature has been shifted [0.240444] distance
Frame:38 point:(79.513674,68.211049) (-) frame:39 point:(79.453138,67.804070)
The feature has been shifted [0.411457] distance
Frame:38 point:(79.513674,68.211049) (-) frame:39 point:(79.453138,67.804070)
The feature has been shifted [0.411457] distance
Frame:38 point:(79.099585,93.369772) (-) frame:39 point:(80.019959,43.136955)
The feature has been shifted [50.241248] distance
the distance is too big to match.
Frame:38 point:(89.777413,92.338623) (-) Doesn't match with any point
Frame:38 point:(81.054167,34.537097) (-) Doesn't match with any point
Frame:38 point:(84.644530,62.188859) (-) Doesn't match with any point
Frame:38 point:(88.771778,54.089048) (-) frame:39 point:(88.862535,53.435384)
The feature has been shifted [0.659934] distance
Frame:38 point:(77.932377,23.014423) (-) frame:39 point:(78.009278,22.664200)
The feature has been shifted [0.358566] distance
Frame:38 point:(77.932377,23.014423) (-) frame:39 point:(78.009278,22.664200)
The feature has been shifted [0.358566] distance
Frame:38 point:(74.584905,31.028066) (-) frame:39 point:(74.972622,30.115885)
The feature has been shifted [0.991160] distance
Frame:38 point:(75.130270,86.269365) (-) frame:39 point:(75.062877,86.144278)
The feature has been shifted [0.142087] distance
Frame:38 point:(89.202102,43.062089) (-) Doesn't match with any point
Frame:38 point:(82.518579,97.528740) (-) frame:39 point:(82.400781,97.314982)
The feature has been shifted [0.244067] distance
Frame:38 point:(88.063414,87.100475) (-) frame:39 point:(71.693919,90.706599)
The feature has been shifted [16.761995] distance
the distance is too big to match.
Frame:38 point:(83.988332,23.565492) (-) frame:39 point:(83.924152,22.893504)
The feature has been shifted [0.675046] distance
Frame:38 point:(63.623481,56.022292) (-) frame:39 point:(63.462270,55.899694)
The feature has been shifted [0.202532] distance
Frame:38 point:(63.623481,56.022292) (-) frame:39 point:(63.462270,55.899694)
The feature has been shifted [0.202532] distance
Frame:38 point:(86.336593,95.123075) (-) Doesn't match with any point
Frame:38 point:(94.929869,58.928154) (-) Doesn't match with any point
Frame:38 point:(94.929869,58.928154) (-) frame:39 point:(95.325081,58.412758)
The feature has been shifted [0.649480] distance
Frame:38 point:(93.941225,54.294967) (-) frame:39 point:(94.356600,53.943998)
The feature has been shifted [0.543798] distance
Frame:38 point:(93.941225,54.294967) (-) Doesn't match with any point
Frame:38 point:(102.494689,77.974667) (-) Doesn't match with any point
Frame:38 point:(102.494689,77.974667) (-) Doesn't match with any point
Frame:38 point:(102.494689,77.974667) (-) Doesn't match with any point
Frame:38 point:(71.623180,87.509147) (-) Doesn't match with any point
Found 16 total matches

```

Και τέλος τις αντιστοιχίες μεταξύ των *features* του *frame=39* με αυτά του *frame=40*. Παρατηρούμε 15 αντιστοιχίες.



```

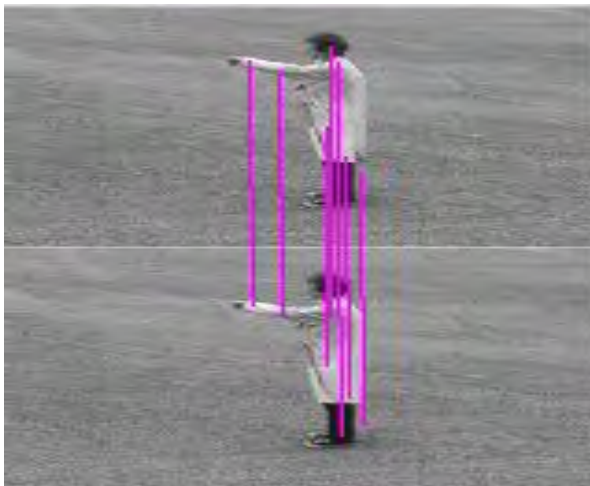
frame: 39.000000          Compare with frame: 40.000000
Frame:39 point:(102.810111,54.650773) (-) frame:40 point:(103.417711,55.111296)
The feature has been shifted [0.762404] distance
Frame:39 point:(80.019959,43.136955) (-) frame:40 point:(80.008364,42.212475)
The feature has been shifted [0.924552] distance
Frame:39 point:(80.019959,43.136955) (-) frame:40 point:(80.008364,42.212475)
The feature has been shifted [0.924552] distance
Frame:39 point:(79.453138,67.804070) (-) frame:40 point:(79.440004,67.652839)
The feature has been shifted [0.151800] distance
Frame:39 point:(79.453138,67.804070) (-) frame:40 point:(79.440004,67.652839)
The feature has been shifted [0.151800] distance
Frame:39 point:(68.185233,60.923224) (-) Doesn't match with any point
Frame:39 point:(88.862535,53.435384) (-) frame:40 point:(89.179249,53.447199)
The feature has been shifted [0.316934] distance
Frame:39 point:(78.009278,22.664200) (-) frame:40 point:(78.024015,22.496652)
The feature has been shifted [0.168194] distance
Frame:39 point:(78.009278,22.664200) (-) frame:40 point:(78.024015,22.496652)
The feature has been shifted [0.168194] distance
Frame:39 point:(72.199239,42.962220) (-) Doesn't match with any point
Frame:39 point:(75.062877,86.144278) (-) frame:40 point:(75.055548,86.083306)
The feature has been shifted [0.061410] distance
Frame:39 point:(74.972622,30.115885) (-) frame:40 point:(74.801563,30.235697)
The feature has been shifted [0.208845] distance
Frame:39 point:(82.400781,97.314982) (-) frame:40 point:(82.433376,97.267520)
The feature has been shifted [0.057577] distance
Frame:39 point:(71.693919,90.706599) (-) Doesn't match with any point
Frame:39 point:(83.924152,22.893504) (-) frame:40 point:(83.943324,22.722175)
The feature has been shifted [0.172399] distance
Frame:39 point:(63.462270,55.899694) (-) Doesn't match with any point
Frame:39 point:(63.462270,55.899694) (-) frame:40 point:(61.696556,55.121584)
The feature has been shifted [1.929560] distance
Frame:39 point:(72.472546,49.105165) (-) Doesn't match with any point
Frame:39 point:(95.325081,58.412758) (-) Doesn't match with any point
Frame:39 point:(94.356600,53.943998) (-) frame:40 point:(95.907383,53.753202)
The feature has been shifted [1.562476] distance
Frame:39 point:(66.900320,54.842297) (-) frame:40 point:(68.303999,51.561670)
The feature has been shifted [3.568308] distance
Frame:39 point:(74.330023,100.006951) (-) Doesn't match with any point
Frame:39 point:(64.687660,49.697356) (-) Doesn't match with any point
Found 15 total matches

```

*Σημαντική ρόλο για άλλη μια φορά, παίζει ο εντοπισμός των features, που καθορίζουν την ενέργεια, από τον αλγόριθμο. Σε αυτή την περίπτωση αυτά τα features είναι αυτά που καθορίζουν τα χέρια.*

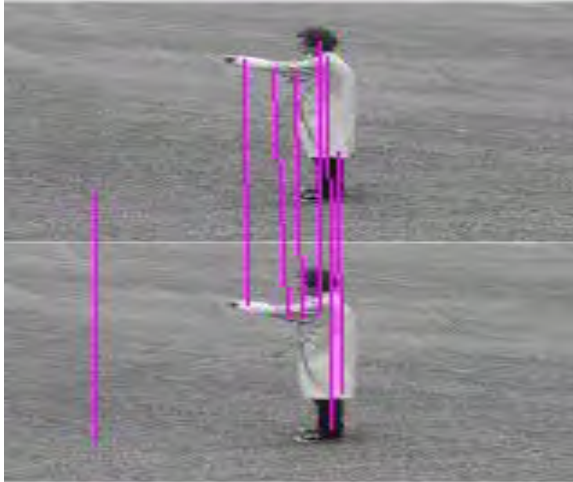
#### 4.3.4. Man Boxing. Τέλος θα μελετήσουμε την περίπτωση ενός video όπου το αντικείμενο πραγματοποιεί κινήσεις πυγμαχίας. Για ακόμα μια φορά το κατώφλι μετατόπισης είναι 6 μονάδες.

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την αντιστοίχιση των features του frame=77 με αυτά του frame=78. Βλέπουμε πως υπάρχουν 10 αντιστοιχίες.



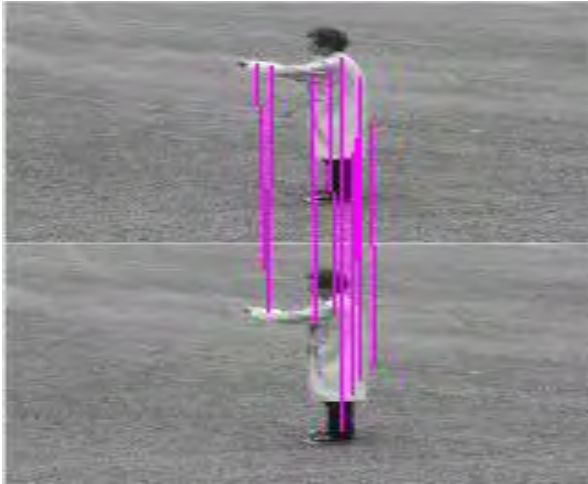
```
frame: 77.000000          Compare with frame: 78.000000
Frame:77 point:(90.467239,93.574343) (-) frame:78 point:(90.552853,93.780362)
The feature has been shifted [0.223101] distance
Frame:77 point:(90.467239,93.574343) (-) frame:78 point:(90.552853,93.780362)
The feature has been shifted [0.223101] distance
Frame:77 point:(87.626645,19.761637) (-) frame:78 point:(87.864476,19.840239)
The feature has been shifted [0.250483] distance
Frame:77 point:(87.649834,34.158864) (-) frame:78 point:(87.817211,33.949913)
The feature has been shifted [0.267724] distance
Frame:77 point:(86.945881,59.764930) (-) frame:78 point:(87.332534,59.345491)
The feature has been shifted [0.570465] distance
Frame:77 point:(90.249385,27.985055) (-) frame:78 point:(90.410542,28.023836)
The feature has been shifted [0.165758] distance
Frame:77 point:(91.715927,75.392173) (-) frame:78 point:(92.972965,74.811919)
The feature has been shifted [1.384500] distance
Frame:77 point:(73.384118,28.957691) (-) frame:78 point:(67.158657,28.827416)
The feature has been shifted [6.226824] distance
the distance is too big to match.
Frame:77 point:(73.384118,28.957691) (-) Doesn't match with any point
Frame:77 point:(95.670635,82.562167) (-) frame:78 point:(97.031871,88.081552)
The feature has been shifted [15.684767] distance
Frame:77 point:(66.035827,26.591643) (-) frame:78 point:(67.158657,28.827416)
The feature has been shifted [2.501885] distance
Frame:77 point:(74.370550,32.627893) (-) frame:78 point:(74.875175,34.015537)
The feature has been shifted [1.476551] distance
Frame:77 point:(62.027367,27.588192) (-) Doesn't match with any point
Found 10 total matches
```

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την αντιστοίχιση των *features* του *frame=78* με αυτά του *frame=79*. Βλέπουμε πως υπάρχουν 10 αντιστοιχίες.



```
frame: 78.000000          Compare with frame: 79.000000
Frame:78 point:(90.552853,93.780362) <-> frame:79 point:(90.631137,93.390941)
The feature has been shifted [0.397213] distance
Frame:78 point:(90.552853,93.780362) <-> frame:79 point:(90.631137,93.390941)
The feature has been shifted [0.397213] distance
Frame:78 point:(87.864476,19.840239) <-> frame:79 point:(87.916863,19.756019)
The feature has been shifted [0.099184] distance
Frame:78 point:(81.225813,36.626756) <-> frame:79 point:(82.846087,37.933697)
The feature has been shifted [2.081678] distance
Frame:78 point:(97.031871,88.081552) <-> Doesn't match with any point
Frame:78 point:(92.972965,74.811919) <-> frame:79 point:(93.877082,75.128312)
The feature has been shifted [0.957879] distance
Frame:78 point:(87.817211,33.949913) <-> frame:79 point:(87.828784,34.244143)
The feature has been shifted [0.294457] distance
Frame:78 point:(90.410542,28.023836) <-> frame:79 point:(90.654436,28.038778)
The feature has been shifted [0.244352] distance
Frame:78 point:(87.332534,59.345491) <-> Doesn't match with any point
Frame:78 point:(67.158657,28.827416) <-> frame:79 point:(67.964822,31.072103)
The feature has been shifted [2.385062] distance
Frame:78 point:(74.875175,34.015537) <-> frame:79 point:(79.041138,36.830486)
The feature has been shifted [5.027840] distance
Frame:78 point:(26.195245,97.663913) <-> frame:79 point:(26.408012,97.731396)
The feature has been shifted [0.223212] distance
Found 10 total matches
```

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την αντιστοίχιση των *features* του *frame=79* με αυτά του *frame=80*. Βλέπουμε πως υπάρχουν 12 αντιστοιχίες.

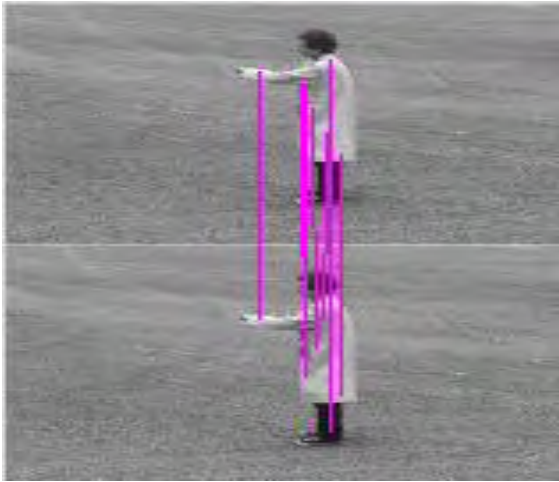


```

frame: 79.000000          Compare with frame: 80.000000
Frame:79 point:(90.677891,68.578499) (-) Doesn't match with any point
Frame:79 point:(90.631137,93.390941) (-) Doesn't match with any point
Frame:79 point:(90.631137,93.390941) (-) frame:80 point:(90.610304,93.464500)
The feature has been shifted [0.076453] distance
Frame:79 point:(87.916863,19.756019) (-) Doesn't match with any point
Frame:79 point:(82.846087,37.933697) (-) frame:80 point:(84.034455,40.374245)
The feature has been shifted [2.714496] distance
Frame:79 point:(90.550850,81.717749) (-) Doesn't match with any point
Frame:79 point:(90.550850,81.717749) (-) frame:80 point:(90.580165,82.071549)
The feature has been shifted [0.355012] distance
Frame:79 point:(90.550850,81.717749) (-) Doesn't match with any point
Frame:79 point:(93.877082,75.128312) (-) frame:80 point:(93.519229,74.686161)
The feature has been shifted [0.568820] distance
Frame:79 point:(79.649825,72.346514) (-) Doesn't match with any point
Frame:79 point:(90.654436,28.038778) (-) frame:80 point:(90.709625,28.323826)
The feature has been shifted [0.290341] distance
Frame:79 point:(87.828784,34.244143) (-) frame:80 point:(88.999507,34.613063)
The feature has been shifted [1.227474] distance
Frame:79 point:(79.041138,36.830486) (-) Doesn't match with any point
Frame:79 point:(67.964822,31.072103) (-) frame:80 point:(70.511152,34.170784)
The feature has been shifted [4.010688] distance
Frame:79 point:(95.091690,67.554081) (-) frame:80 point:(95.514798,67.870360)
The feature has been shifted [0.528255] distance
Frame:79 point:(72.281941,31.900876) (-) Doesn't match with any point
Frame:79 point:(72.281941,31.900876) (-) frame:80 point:(70.511152,34.170784)
The feature has been shifted [2.878920] distance
Frame:79 point:(81.051562,32.513943) (-) Doesn't match with any point
Frame:79 point:(99.496301,61.134609) (-) frame:80 point:(99.705305,61.113426)
The feature has been shifted [0.210075] distance
Frame:79 point:(84.071507,70.944127) (-) Doesn't match with any point
Frame:79 point:(95.906560,41.066141) (-) Doesn't match with any point
Frame:79 point:(95.906560,41.066141) (-) frame:80 point:(96.138036,38.606061)
The feature has been shifted [2.470946] distance
Frame:79 point:(96.004285,38.496124) (-) frame:80 point:(96.138036,38.606061)
The feature has been shifted [0.173135] distance
Frame:79 point:(96.004285,38.496124) (-) Doesn't match with any point
Frame:79 point:(83.388544,31.142874) (-) Doesn't match with any point
Frame:79 point:(83.388544,31.142874) (-) Doesn't match with any point
Frame:79 point:(83.388544,31.142874) (-) Doesn't match with any point
Frame:79 point:(88.557619,76.975385) (-) Doesn't match with any point
Frame:79 point:(26.408012,97.731396) (-) Doesn't match with any point
Frame:79 point:(26.408012,97.731396) (-) Doesn't match with any point
Found 12 total matches

```

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε την αντιστοίχιση των features του frame=80 με αυτά του frame=81. Βλέπουμε πως υπάρχουν 10 αντιστοιχίες.



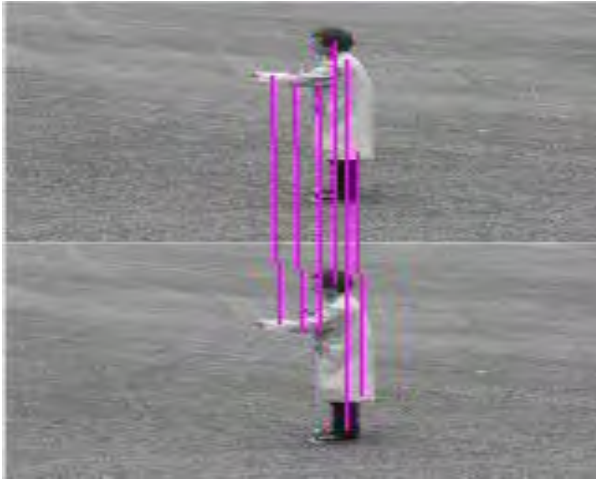
```

frame: 80.000000      Compare with frame: 81.000000
Frame:80 point:(90.610304,93.464500) (-> frame:81  point:(90.623091,93.432199)
The feature has been shifted [0.034740] distance
Frame:80 point:(84.034455,40.374245) (-> frame:81  point:(84.139365,41.888402)
The feature has been shifted [1.517787] distance
Frame:80 point:(93.519229,74.686161) (-> frame:81  point:(93.682693,74.571120)
The feature has been shifted [0.199888] distance
Frame:80 point:(90.580165,82.071549) (-> frame:81  point:(90.606743,82.414733)
The feature has been shifted [0.344212] distance
Frame:80 point:(70.511152,34.170784) (-> frame:81  point:(71.423042,36.801023)
The feature has been shifted [2.783829] distance
Frame:80 point:(90.709625,28.323826) (-> frame:81  point:(90.787651,28.647298)
The feature has been shifted [0.332749] distance
Frame:80 point:(88.999507,34.613063) (-> Doesn't match with any point
Frame:80 point:(88.205576,62.062416) (-> Doesn't match with any point
Frame:80 point:(95.514798,67.870360) (-> Doesn't match with any point
Frame:80 point:(69.026802,39.052547) (-> Doesn't match with any point
Frame:80 point:(99.705305,61.113426) (-> Doesn't match with any point
Frame:80 point:(86.146842,52.171719) (-> frame:81  point:(87.238994,51.710586)
The feature has been shifted [1.185512] distance
Frame:80 point:(90.994724,32.970426) (-> frame:81  point:(89.162524,35.036414)
The feature has been shifted [2.761388] distance
Frame:80 point:(92.907253,84.472728) (-> Doesn't match with any point
Frame:80 point:(96.138036,38.606061) (-> Doesn't match with any point
Frame:80 point:(83.445427,67.264527) (-> frame:81  point:(83.775629,65.935663)
The feature has been shifted [1.369274] distance
Frame:80 point:(81.223721,37.236389) (-> Doesn't match with any point
Frame:80 point:(95.352364,83.037026) (-> Doesn't match with any point
Frame:80 point:(94.080423,19.070286) (-> Doesn't match with any point
Frame:80 point:(83.447673,41.427500) (-> frame:81  point:(83.715091,42.891867)
The feature has been shifted [1.488584] distance
Frame:80 point:(80.862614,34.497611) (-> Doesn't match with any point
Found 10 total matches

```



Τέλος βλέπουμε την αντιστοίχιση των *features* του *frame=81* με αυτά του *frame=82*. Βλέπουμε πως υπάρχουν 8 αντιστοιχίες.



```
frame: 81.000000          Compare with frame: 82.000000
Frame:81 point:(90.623091,93.432199) <-> frame:82  point:(90.631711,93.401711)
The feature has been shifted [0.031683] distance
Frame:81 point:(88.039318,19.913189) <-> frame:82  point:(88.025669,19.911778)
The feature has been shifted [0.013722] distance
Frame:81 point:(93.682693,74.571120) <-> frame:82  point:(94.739613,75.772404)
The feature has been shifted [1.600050] distance
Frame:81 point:(90.606743,82.414733) <-> frame:82  point:(90.624479,82.744866)
The feature has been shifted [0.330609] distance
Frame:81 point:(84.139365,41.888402) <-> frame:82  point:(84.463737,44.129132)
The feature has been shifted [2.264087] distance
Frame:81 point:(90.787651,28.647298) <-> frame:82  point:(90.834449,29.022000)
The feature has been shifted [0.377613] distance
Frame:81 point:(71.423042,36.801023) <-> Doesn't match with any point
Frame:81 point:(71.423042,36.801023) <-> frame:82  point:(72.578495,39.696982)
The feature has been shifted [3.117956] distance
Frame:81 point:(89.162524,35.036414) <-> Doesn't match with any point
Frame:81 point:(77.444078,41.346341) <-> frame:82  point:(79.253574,43.713421)
The feature has been shifted [2.979488] distance
Frame:81 point:(87.238994,51.710586) <-> Doesn't match with any point
Frame:81 point:(83.775629,65.935663) <-> Doesn't match with any point
Frame:81 point:(83.715091,42.891867) <-> Doesn't match with any point
Frame:81 point:(88.416954,63.607853) <-> Doesn't match with any point
Found 8 total matches
```

Σημαντική παρατήρηση είναι ότι ο αλγόριθμος εντοπίζει τα *features* που καθορίζουν την ενέργεια, σε αυτή την περίπτωση είναι η κίνηση των χεριών.

## **5. Future Work – Μελλοντική Μελέτη**

Σε μελλοντική εργασία μπορούν να μελετηθούν περαιτέρω τα εξής θέματα :

### **5.1. Mutual Occlusion – Αμοιβαία Επικάλυψη**

#### **Αντικειμένων**

Σε συστήματα τα οποία περιέχουν πολλά αντικείμενα υπάρχει η περίπτωση το ένα αντικείμενο να επικαλύπτει το άλλο. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι να μην μπορούν να εντοπιστούν όλα τα features των αντικειμένων τα οποία θα μπορούσαν να τα χαρακτηρίσουν και επακολούθως ο αλγόριθμος θα έχανε κάποιες αντιστοιχίες μεταξύ των features ανά frame, με αποτέλεσμα να χάνονται τελικά πολύτιμες πληροφορίες οι οποίες θα βοηθούσαν στον εντοπισμό των αντικειμένων.

### **5.2. Actions Recognition – Αναγνώριση κινήσεων**

Χρησιμοποιώντας την αντιστοίχιση features από frame σε frame, χρησιμοποιώντας αρχικά κάποια video εκπαίδευσης, θα είχαμε την δυνατότητα κατηγοριοποίησης των κινήσεων και την αποθήκευση αυτών σε μία βάση προτύπων. Αυτή την βάση θα μπορούσαμε να την χρησιμοποιήσουμε για να κατηγοριοποιήσουμε κινήσεις τις οποίες παρατηρούμε σε ένα video και έτσι να έχουμε την δυνατότητα να χαρακτηρίσουμε πιθανοτικά τις κινήσεις τις οποίες εκτελούν τα αντικείμενα.

## Βιβλιογραφία

- [1] "Molecular Expressions Microscopy Primer: Digital Image Processing - Difference of Gaussians Edge Enhancement Algorithm", *Olympus America Inc., and Florida State University* Michael W. Davidson, Mortimer Abramowitz. & <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/digitalimaging/processing/diffgaussians/index.html>
- [2] For Gaussian Blur model : [http://en.wikipedia.org/wiki/Gaussian\\_blur](http://en.wikipedia.org/wiki/Gaussian_blur) & <http://web.archive.org/web/20071211124946/http://www.cee.hw.ac.uk/hipr/html/gsmooth.html>
- [3] For Scale-Space Theory : Lindeberg, Tony, Scale-Space Theory in Computer Vision, Kluwer Academic Publishers, 1994. & <http://en.wikipedia.org/wiki/Scale-space>
- [4] For Principal Curvatures model : [http://en.wikipedia.org/wiki/Principal\\_curvatures](http://en.wikipedia.org/wiki/Principal_curvatures)
- [5] For BBF algorithm : Beis, J. and Lowe, D. G. 1997. Shape indexing using approximate nearest-neighbour search in high-dimensional spaces. In Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Puerto Rico, pp.

1000-1006. & David Marshal, Nearest Neighbour Searching in High Dimensional Metric Space.

[6] For kd-tree algorithm : [Lee, D. T.](#); Wong, C. K. (1977), "Worst-case analysis for region and partial region searches in multidimensional binary search trees and balanced quad trees" & <http://en.wikipedia.org/wiki/Kd-tree>

[7] For SIFT algorithm : Lowe, David G. (1999). "Object recognition from local scale-invariant features". Proceedings of the International Conference on Computer Vision & David G. Lowe, Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints

[8] For object Tracking : Christian Thureau, Behavior Histograms for Action Recognition and Human Detection & P. Gabriel, J.-B. Hayet, J. Piater, and J. Verly, Object Tracking using Color Interest Points

[9] SIFT algorithm implementation on the link : <http://www.cs.ubc.ca/~lowe/keypoints/>

## APPENDIX

### A) KD Tree Algorithm

```
function kdtree (list of points pointList, int depth)
{
    if pointList is empty
        return null;
    else
    {
        // Select axis based on depth so that axis cycles
        // through all valid values
        var int axis := depth mod k;

        // Sort point list and choose median as pivot element
        select median from pointList;

        // Create node and construct subtrees
        var tree_node node;
        node.location := median;
        node.leftChild := kdtree(points in pointList before
median, depth+1);
        node.rightChild := kdtree(points in pointList after
median, depth+1);
        return node;
    }
}
```

## B) SIFT Algorithm

```
int _sift_features( IplImage* img, struct feature** feat, int
intvls, double sigma, double contr_thr, int curv_thr, int
img_dbl, int descr_width, int descr_hist_bins )
{
    IplImage* init_img;
    IplImage*** gauss_pyr, *** dog_pyr;
    CvMemStorage* storage;
    CvSeq* features;
    int octvs, i, n = 0;
    /* check arguments */
    if( ! img )
        fatal_error( "NULL pointer error, %s, line %d",
__FILE__, __LINE__ );

    if( ! feat )
        fatal_error( "NULL pointer error, %s, line %d",
__FILE__, __LINE__ );
    /* Δημιουργία της scale space πυραμίδας : ορίζουμε
τα 4 pixels ως την μικρότερη διάσταση του μέγιστου
επιπέδου*/
    //Ορισμός της αρχικής εικόνας με μέγεθος σ.
    init_img = create_init_img( img, img_dbl, sigma );
    //Ορισμός των οκτάβων της πυραμίδας
    octvs = log( MIN( init_img->width, init_img->height ) )
/ log(2) - 2;
    //Δημιουργία της πυραμίδας Gauss
    gauss_pyr = build_gauss_pyr( init_img, octvs, intvls,
sigma );
    //Δημιουργία της πυραμίδας των DoG
    dog_pyr = build_dog_pyr( gauss_pyr, octvs, intvls );
```

```

storage = cvCreateMemStorage( 0 );
//Εύρεση των ακροτάτων των DoG εικόνων
features = scale_space_extrema( dog_pyr, octvs,
intvls, contr_thr, curv_thr, storage );
calc_feature_scales( features, sigma, intvls );
if( img_dbl )
    adjust_for_img_dbl( features );
calc_feature_oris( features, gauss_pyr );
//Υπολογισμος των descriptors
compute_descriptors( features, gauss_pyr,
descr_width, descr_hist_bins );

/* Ταξινόμηση των features ελατώνοντας το μέγεθος και
τοποθετώντας τα στοιχεία από το CvSeq σε έναν πίνακα*/
cvSeqSort( features, (CvCmpFunc)feature_cmp, NULL );
n = features->total;
*feat = calloc( n, sizeof(struct feature) );
*feat = cvCvtSeqToArray( features, *feat,
CV_WHOLE_SEQ );
/*Τερματίζοντας ελευθερώνουμε τις μεταβλητές που
χρησιμοποιήσαμε */
for( i = 0; i < n; i++ )
{
    free( (*feat)[i].feature_data );
    (*feat)[i].feature_data = NULL;
}

cvReleaseMemStorage( &storage );
cvReleaseImage( &init_img );
release_pyr( &gauss_pyr, octvs, intvls + 3 );
release_pyr( &dog_pyr, octvs, intvls + 2 );
return n;
}

```

## C) Matching Algorithm

```
/* Ο μέγιστος αριθμός των υποψήφιων κοντινότερων
γειτόνων που θα ψάξει ο BBF αλγόριθμος */
#define KDTREE_BBF_MAX_NN_CHKS 200
/* Κατώφλι στον τετραγωνικό λόγο των αποστάσεων
μεταξύ του πρώτου κοντινότερου γείτονα και του δεύτερου
κοντινότερου γείτονα */
#define NN_SQ_DIST_RATIO_THR 0.64
/***** Main *****/
int main( int argc, char** argv )
{
    /* Οι δομές που χρησιμοποιούνται για προσωρινή
αποθήκευση των εικόνων, και η στοίβα σύγκρισης*/
    IplImage *img1, *img2, * stacked;
    /* Οι δομές που χρησιμοποιούνται για τη
αποθήκευση των features των δύο εικόνων */
    struct feature* feat1, * feat2, * feat;
    /* Η δομή που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση
των κοντινότερων γειτόνων NN */
    struct feature** nbrs;
    /* Οι δομές που χρησιμοποιεί ο kd-tree αλγόριθμος*/
    struct kd_node* kd_root;
    CvPoint pt1, pt2;
    double d0, d1;
    int n1, n2, k, i, m = 0;
    int frame;
    /*Μεταβλητές για τον έλεγχο μετατόπισης */
    double pointShift;
    double x1,y1;
    double x2,y2;
    double dx,dy;
    double dist;
```



```

    /*Οι δομές που αποθηκεύονται τα frame “σύλληψης”
από το video που μελετάμε*/
    CvCapture *CurrentCapture,*CurrentCapture2;
    IplImage *CurrentFrame1, *CurrentFrame2,
*CurrentFrame11,*CurrentFrame22;
    /* Το στοιχείο που αποθηκεύεται η ιδιότητα του video
στην περίπτωση μας το frame που θα χρησιμοποιηθεί */
    double proper;
    CurrentCapture=cvCaptureFromFile("...avi");
    CurrentCapture2=cvCaptureFromFile("...avi");
for(frame=0;;frame++){
    /*"Σύλληψη" του frame */
    cvSetCaptureProperty(CurrentCapture,CV_CAP_PROP
_POS_FRAMES,frame);
    proper = cvGetCaptureProperty( CurrentCapture,
CV_CAP_PROP_POS_FRAMES );
    /*Περιστροφή της εικόνας*/
    CurrentFrame11 = cvQueryFrame(CurrentCapture);
    CurrentFrame1 = cvQueryFrame(CurrentCapture);
    cvConvertImage( CurrentFrame11, CurrentFrame1,
CV_CVTIMG_FLIP );
    fprintf( stderr, "frame: %f \t", proper);
    /*"Σύλληψη" του frame+1 */
    cvSetCaptureProperty(CurrentCapture2,CV_CAP_PRO
P_POS_FRAMES,frame+1);
    proper = cvGetCaptureProperty( CurrentCapture2,
CV_CAP_PROP_POS_FRAMES );
    /*Περιστροφή της εικόνας*/
    CurrentFrame22 = cvQueryFrame(CurrentCapture2);
    CurrentFrame2 = cvQueryFrame(CurrentCapture2);
    cvConvertImage( CurrentFrame22, CurrentFrame2,
CV_CVTIMG_FLIP );
    fprintf( stderr, "Compare with frame: %f \n", proper);

```

```

/*Αποθήκευση των frame στις δομές img */
img1 = CurrentFrame1;
if( ! img1 )
    fatal_error( "unable to load image from %s",
CurrentFrame1 );
img2 = CurrentFrame2;
if( ! img2 )
    fatal_error( "unable to load image from %s",
CurrentFrame2 );
/* Τοποθέτηση των δύο δομών στην στοίβα */
stacked = stack_imgs( img1, img2);
/* Εύρεση των features των εικόνων*/
n1 = sift_features( img1, &feat1 );
n2 = sift_features( img2, &feat2 );
/*Δημιουργία του kd-tree με στοιχεία του frame+1*/
kd_root = kdtree_build( feat2, n2 );
for( i = 0; i < n1; i++ )
{
    feat = feat1 + i;
    fprintf(stderr, "Frame:%d
point:(%f,%f)", frame, feat->x, feat->y);
    /*Αρχικοποίηση των μεταβλητών του feat1*/
    x1 = feat->x;
    y1 = feat->y;
    /*Αν υπάρχουν έστω 2 κοντινότεροι γείτονες
(features του frame+1) στο feature του frame τότε το
πρόγραμμα εκτελεί την if{} */
    k = kdtree_bbf_knn( kd_root, feat, 2, &nbrs,
KDTREE_BBF_MAX_NN_CHKS );
    if( k == 2 )
    {

```

```

/*Υπολογισμός των δύο αποστάσεων, σύγκριση
και matching σε αυτό που είναι κοντύτερα*/
d0 = descr_dist_sq( feat, nbrs[0] );
d1 = descr_dist_sq( feat, nbrs[1] );
if( d0 < d1 * NN_SQ_DIST_RATIO_THR )
{
    fprintf(stderr, " <-> frame:%d
point:(%f,%f)\n",frame+1,nbrs[0]->x,nbrs[0]->y);
    /*Υπολογισμός του κατωφλίου*/
    x2 = nbrs[0]->x;
    y2 = nbrs[0]->y;
    dx = (x2-x1)*(x2-x1);
    dy = (y2-y1)*(y2-y1);
    dist = dx+dy;
    pointShift = sqrt(dist);
    fprintf(stderr, "The feature has been
shifted [%f] distance \n",pointShift);
    /*Έλεγχος Κατωφλίου*/
    if(pointShift>6){
        fprintf(stderr, "the distance is too
big to match.\n");
    }
    else{
        //To img1 feature that match (pt1)
        pt1 = cvPoint( cvRound( feat->x ),
cvRound( feat->y ) );
        //With the img2 feature point (pt2)
        pt2 = cvPoint( cvRound( nbrs[0]->x ),
cvRound( nbrs[0]->y ) );
        pt2.y += img1->height;
        cvLine( stacked, pt1, pt2,
CV_RGB(255,0,255), 1, 8, 0 );
        m++;
    }
}

```

```

        feat1[i].fwd_match = nbrs[0];
    }
}
else
{
    fprintf(stderr, "<-> Doesn't match with
any point\n");
}
}
free( nbrs );
}

```

```

fprintf( stderr, "Found %d total matches\n", m );
m=0;

```

```

cvNamedWindow( "Matches", 1 );
cvShowImage( "Matches", stacked);

```

//You must push a button from keyboard otherwise we 've got an error

```

cvWaitKey( 0 );

```

```

/*Απελευθέρωση των δομών που δεσμεύτηκαν*/
cvReleaseImage( &stacked );
kdtree_release( kd_root );
free( feat1 );
free( feat2 );
}
cvReleaseCapture(&CurrentCapture);
fprintf(stderr, "CurCapture released\n");
return 0;
}

```

## D) Εντολές της OpenCV που χρησιμοποιούμε και η λειτουργικότητά τους.

### 1. cvCaptureFromFile

Αρχικοποιεί το αρχείο video το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε για μελέτη, λαμβάνοντας εικόνες από αυτό.

```
CvCapture* cvCaptureFromFile( const char* filename );
```

Όπου filename είναι το όνομα του αρχείου video.

Η συνάρτηση [cvCaptureFromFile](#) προσδιορίζει και αρχικοποιεί την δομή του CvCapture για να αναγνώσει το video stream από κάποιο συγκεκριμένο αρχείο.

Μετά τον προσδιορισμό της δομής πρέπει να απελευθερωθεί η μνήμη που χρησιμοποιεί η συνάρτηση, από την συνάρτηση [cvReleaseCapture](#), καθώς δεν χρησιμοποιείται πλέον.

### 2. cvReleaseCapture

Απελευθερώνει την δομή CvCapture.

```
void cvReleaseCapture( CvCapture** capture );
```

Όπου capture είναι ο δείκτης που χρησιμοποιεί η συνάρτηση CvCapture.

### 3. cvQueryFrame

Παίρνει και έπειτα επιστρέφει ένα frame από κάποιο αρχείο video.

```
IplImage* cvQueryFrame( CvCapture* capture );
```

Όπου capture είναι το video το οποίο μας επιστρέφει η συνάρτηση cvCaptureFromFile().

Η συνάρτηση [cvQueryFrame](#) παίρνει ένα frame από ένα αρχείο video, το αποσυμπιέζει και το επιστρέφει στο πρόγραμμα.

#### 4. cvGetCaptureProperty

Παίρνει τις ιδιότητες της “σύλληψης” του video τις οποίες θέλει ο χρήστης.

```
double cvGetCaptureProperty( CvCapture* capture, int  
property_id );
```

Όπου capture είναι το video το οποίο μας επιστρέφει η συνάρτηση cvCaptureFromFile().

Και όπου property\_id είναι ένα από τα παρακάτω:

CV\_CAP\_PROP\_POS\_MSEC – Η τρέχουσα του film θέση σε milliseconds ή χρονοσφραγίδα (timestamp) της “σύλληψης” του video.

CV\_CAP\_PROP\_POS\_FRAMES – Ο δείκτης του επόμενου frame που θα μελετηθεί.

CV\_CAP\_PROP\_POS\_AVI\_RATIO – Η σχετική θέση του video αρχείου (0 – αρχή του film, 1 – τέλος του film).

CV\_CAP\_PROP\_FRAME\_WIDTH – Το πλάτος των frames στην ροή του video.

CV\_CAP\_PROP\_FRAME\_HEIGHT – Το ύψος των frames στην ροή του video.

CV\_CAP\_PROP\_FPS – Η συχνότητα των frame.

CV\_CAP\_PROP\_FOURCC – Ο τεσσάρων χαρακτήρων

κωδικός που χρησιμοποιεί ο κωδικοποιητής.  
CV\_CAP\_PROP\_FRAME\_COUNT – Ο αριθμός των frames σε ένα video αρχείο.

Η συνάρτηση [cvGetCaptureProperty](#) παραλαμβάνει τις συγκεκριμένες ιδιότητες του video αρχείου.

## 5. cvSetCaptureProperty

Θέτει τις ιδιότητες της “σύλληψης” του video.

```
int cvSetCaptureProperty( CvCapture* capture, int  
property_id, double value );
```

Όπου capture είναι το video το οποίο μας επιστρέφει η συνάρτηση cvCaptureFromFile().

Και όπου property\_id είναι ένα από τα παρακάτω:

CV\_CAP\_PROP\_POS\_MSEC – Η τρέχουσα του film θέση σε milliseconds ή χρονοσφραγίδα (timestamp) της “σύλληψης” του video.

CV\_CAP\_PROP\_POS\_FRAMES – Ο δείκτης του επόμενου frame που θα μελετηθεί.

CV\_CAP\_PROP\_POS\_AVI\_RATIO – Η σχετική θέση του video αρχείου (0 – αρχή του film, 1 – τέλος του film).

CV\_CAP\_PROP\_FRAME\_WIDTH – Το πλάτος των frames στην ροή του video.

CV\_CAP\_PROP\_FRAME\_HEIGHT – Το ύψος των frames στην ροή του video.

CV\_CAP\_PROP\_FPS – Η συχνότητα των frame.

CV\_CAP\_PROP\_FOURCC – Ο τεσσάρων χαρακτήρων κωδικός που χρησιμοποιεί ο κωδικοποιητής.

CV\_CAP\_PROP\_FRAME\_COUNT – Ο αριθμός των frames σε ένα video αρχείο.

Όπου value ορίζει την ιδιότητα.

Η συνάρτηση [cvSetCaptureProperty](#) θέτει τις συγκεκριμένες ιδιότητες της “σύλληψης” του video. Στην παρούσα η συνάρτηση υποστηρίζει μόνο τις παρακάτω ιδιότητες:

CV\_CAP\_PROP\_POS\_MSEC, CV\_CAP\_PROP\_POS\_FRAMES,  
CV\_CAP\_PROP\_POS\_AVI\_RATIO

## 6. cvConvertImage

Μετατρέπει μια εικόνα σε μια άλλη δίνοντας στον χρήστη να επιλέξει την μετατροπή που θέλει να γίνει.

```
void cvConvertImage( const CvArr* src, CvArr* dst, int  
flags=0 );
```

Όπου src είναι η αρχική εικόνα.

Όπου dst είναι η εικόνα, αποτέλεσμα της συνάρτησης.

Όπου flags είναι οι μετατροπές που μπορούν να γίνουν :

CV\_CVTIMG\_FLIP – 180 μοίρες περιστροφή της εικόνας.

CV\_CVTIMG\_SWAP\_RB – Αλλαγή του κόκκινου και μπλε καναλιού μετάδοσης της εικόνας. Στην OpenCV οι χρωματιστές εικόνες έχουν BGR διάταξη καναλιών, ωστόσο σε μερικά συστήματα η διάταξη πρέπει να αλλάξει πριν απεικονιστεί η εικόνα.