

3D Ψηφιοποίηση με τη μέθοδο Structure from Motion (Δομή από κίνηση)



Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Η SFM ως μέθοδος 3D ανακατασκευής...

- Προσπαθεί να αντιμετωπίζει το **πρόβλημα αντιστοίχισης των κοινών** (ομόλογων) σημείων ανάμεσα στις εικόνες
- Η ανακατασκευή του 3D μοντέλου βασίζεται στον εντοπισμό της θέσης λήψης της φωτογραφικής μηχανής χωρίς να υπάρχει κάποια προηγούμενη γνώση για αυτή
- Από μόνη της η μέθοδος οδηγεί σε παραγωγή χαμηλής πυκνότητας νέφη σημείων
 - Σε συνδυασμό όμως... βλέπε επόμενη διαφάνεια
- Υποφέρει από τον **θεμελιώδη περιορισμό** της 3D ψηφιοποίησης
Λειτουργεί μόνο για τα σημεία του αντικειμένου που είναι ορατά στο φωτογραφικό φακό

Ισχύει → Αν δεν υπάρχει οπτική επαφή με την επιφάνεια τότε αυτή δεν μπορεί να αποτυπωθεί

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Η SFM ως μέθοδος 3D ανακατασκευής...

- Σε συνδυασμό με **πολυεικονική στερεοφωτογράφιση (Multiple View Stereo)** (περισσότερες από 2 γειτονικές φωτογραφίες) (SFM-MVS) αποτελεί σήμερα την πλέον διαδεδομένη μέθοδο αποτύπωσης κινητών αλλά και ακίνητων μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς.
- Η δημιουργία 3D ψηφιακών αντιγράφων αντικειμένων που προέρχονται από το χώρο της πολιτιστικής μας κληρονομιάς → τα τελευταία **πέντε χρόνια** πιο δημοφιλής λύση από μεθόδους **τριγωνισμού λέιζερ (laser triangulation)** και **σχήμα-από-δομημένο-φως (structured light)**.
- Ο συνδυασμός αυτός είναι αποτέλεσμα σχετικά πρόσφατης έρευνας
 - Ωρίμανση υλικοτεχνικού εξοπλισμού → Διαθέσιμη η απαραίτητη υπολογιστική ισχύ
- Βασικά χαρακτηριστικά
 - Κόστος – αποτελεσματικότητα / υλικοτεχνικές απαιτήσεις
 - Σχετικά χαμηλές απαιτήσεις σε γνωσιακό υπόβαθρο για εφαρμογή της SFM
 - Εξυπηρετεί μεγάλο εύρος έργων (**μικρά κινητά ευρήματα, αγάλματα, μνημεία, αρχιτεκτονικά σύνολα, αρχαιολογικούς χώρους, αστικές περιοχές με πολιτιστική-αρχιτεκτονική δυναμική, κ.α.**).

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Η SFM ως μέθοδος 3D ανακατασκευής...

- Παρουσιάζει ευρωστία σε
 - Μικρές μεταβολές φωτισμού
 - Ένταση των χρωμάτων που εμφανίζονται μέσα στις φωτογραφίες

Άρα χαρακτηρίζεται ως ακόμα πιο φιλική για αποτυπώσεις που πραγματοποιούνται σε

- Εξωτερικούς χώρους
- όπου δεν υπάρχει δυνατότητα ελέγχου φωτισμού

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Η SFM ως μέθοδος 3D ανακατασκευής...

- Προαπαιτούμενα για την εφαρμογή της SFM-MVS:
 - Κατανόηση του τρόπου λειτουργίας
 - Περιορισμοί κατά την
 - **συλλογή δεδομένων** (τρόπος δημιουργίας εικονοσειρών)
 - **επεξεργασία** των δεδομένων
 - Ποιότητα αποτελέσματος αλληλένδετη με:
 - Χαρακτηριστικά επιφάνειας
 - Πλούτος χαρακτηριστικών σημείων (Feature Richness)
 - Την **ποιότητα λήψης** των φωτογραφιών
 - Χαρακτηριστικά φωτογραφιών
 - Τρόπος λήψης (θέση, απόσταση, κλπ)
 - Ποιότητα υλικοτεχνικού εξοπλισμού (φακός, αισθητήρας μηχανής)
 - Διαθέσιμη **υπολογιστική ισχύ** (μνήμη, κάρτες 3D γραφικών)

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Τα βασικά βήματα κατά την SfM-MVS...



Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Τα βασικά βήματα κατά την SFM-MVS...

- i. Ανίχνευση χαρακτηριστικών σημείων με SIFT ή SURF («καλά» χαρακτηριστικά γωνίες, ευθύγραμμα τμήματα)
- ii. Σύγκριση και αναγνώριση αντίστοιχων (ομόλογων) σημείων μέσω της ανάλυσης όλων των δυνατών συνδυασμών εικόνων
 - i. Αυστηρές διαδικασίες → τετραγωνική αντιστοίχιση (quadratic matching)
 - ii. Γρήγορη προσέγγιση → αναζήτηση κατά k-d tree.
- iii. Εφαρμογή του Bundle Adjustment → καρδιά της μεθόδου
Λειτουργεί ως μια μέθοδος 3D ανακατασκευής όπου λαμβάνοντας υπόψη :
 - i. συντεταγμένες των ομόλογων σημείων
 - ii. θέση της φωτογραφικής μηχανής στο χώρο για κάθε μια φωτογραφία
 - iii. συντελεστές βαθμονόμησης της φωτογραφικής μηχανήςΟδηγεί στη βέλτιστη (βασιζόμενη σε μια συνάρτηση κόστους) 3D δομή και οπτικοποίηση της (εκτίμηση των θέσεων και προσανατολισμού των φωτογραφικών μηχανών στο χώρο και των παραμέτρων βαθμονόμησης τους)
- iv. Εφαρμογή πυκνής πολυεικονικής στερεοφωτογράφησης (MVS) χρησιμοποιώντας γειτονικές (χωρικά) εικόνες → προκύπτει πυκνό νέφος σημείων

Σχεδόν αυτοματοποιημένη διαδικασία επεξεργασίας δεδομένων

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

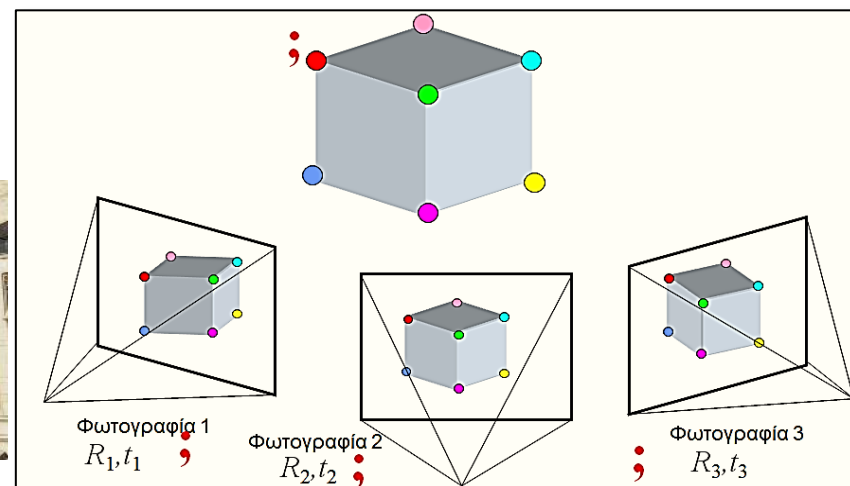
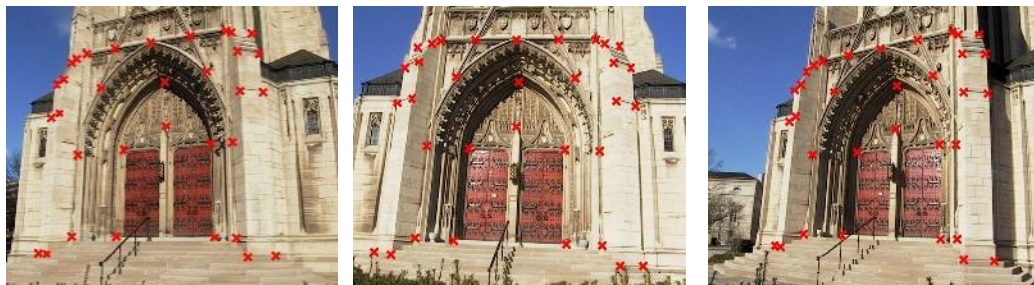
Τα βασικά βήματα κατά την SFM-MVS...

Υποθέτουμε πως υπάρχει ένα πλήθος m σημείων στον 3D χώρο που είναι ορατά από ένα πλήθος n διαφορετικών οπτικών γωνιών (φωτογραφίες)

Με ένα πλήθος ομόλογων σημείων >2 εικόνες υπολογίζουμε \rightarrow

Εσωτερικό και **Εξωτερικό** προσανατολισμό της φωτογραφικής μηχανής
Συντεταγμένες (θέσεις) των σημείων στο 3D χώρο

Υπολογισμός μετασχηματισμών (περιστροφής, μετατόπισης) των θέσεων λήψης των φωτογραφιών και των σημείων με μια μη-γραμμική συνάρτηση κόστους ελαχίστων τετραγώνων



Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Τα βασικά βήματα κατά την SFM-MVS...

Υποθέτουμε πως υπάρχει ένα πλήθος n σημείων στον 3D χώρο που είναι ορατά από ένα πλήθος m διαφορετικών οπτικών γωνιών (φωτογραφίες)

τότε ισχύει

$$x_{ij} = P_i X_j, \quad i=1, \dots, m \text{ και } j=1, \dots, n$$

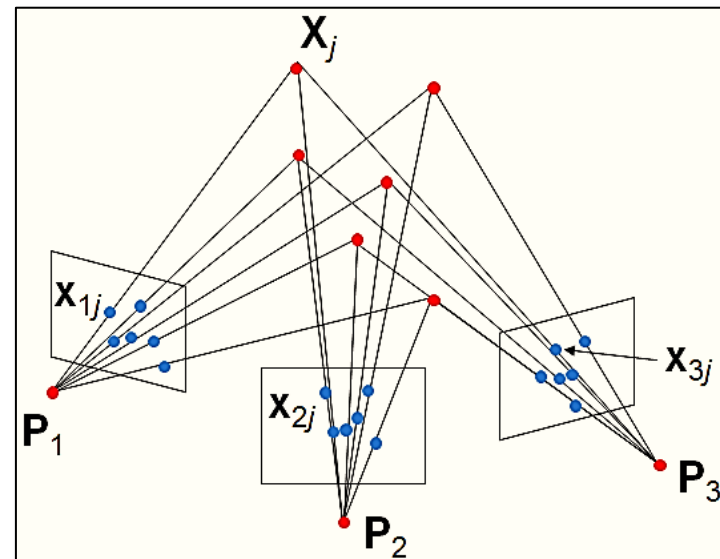
$P_i \rightarrow$ πίνακας μετασχηματισμού

X_j το διάνυσμα των συντεταγμένων του σημείου j στον 3D χώρο

Πρέπει να υπολογιστούν :

Πίνακες μετασχηματισμού P_i

Συντεταγμένες όλων των σημείων (X_j) στο χώρο όλων των Ομόλογων σημείων x_{ij} σε όλες τις φωτογραφίες!!!



Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Τα βασικά βήματα κατά την SFM-MVS...

Το **bundle adjustment** εκφράζεται από μία συνάρτηση κόστους που προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει το συνολικό σφάλμα επαναπροσδιορισμού (re-projection) όλων των σημείων και όλων των παραμέτρων της φωτογραφικής μηχανής (εξωτερικός και εσωτερικός προσανατολισμός)

$$g(C, X) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij} \| \mathbf{q}_{ij} - P(C_i, \mathbf{X}_j) \|^2$$

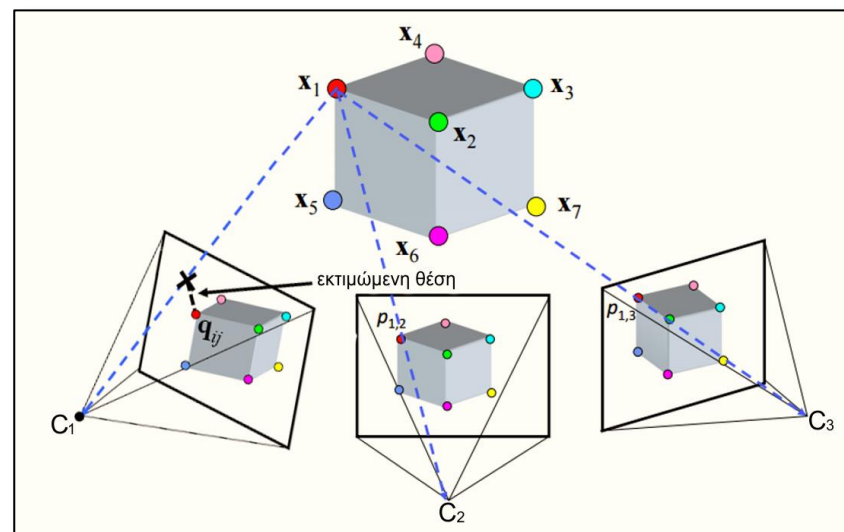
Έστω x_{ij} είναι η προβολή του σημείου j στην εικόνα i
 τότε $w_{ij} = 1$ αν το σημείο j υπάρχει στην εικόνα i
 $w_{ij} = 0$ όταν είναι μη ορατό

C_i η κάθε φωτογραφία

X_j η θέση του σημείου στον 3D χώρο

$\| \mathbf{q}_{ij} - P(C_i, \mathbf{X}_j) \|^2$ απόσταση ανάμεσα σε

εκτιμώμενη θέση (\mathbf{q}_{ij}) του σημείου j στην φωτογραφία i και της $x_{ij} = P_i X_j$.



Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3Δ ανακατασκευής....

Άλλα χαρακτηριστικά της μεθόδου...

- Βασίζεται στην αναγνώριση σημείων πάνω στην επιφάνεια των αντικειμένων
- Η ποιότητα της 3Δ ανακατασκευής σχετίζεται με την ύπαρξη έντονων μορφολογικών χαρακτηριστικών
 - Τέτοια είναι: **Συχνές χρωματικές-έντασης μεταβολές & η χαμηλή ανακλαστικότητα**
- Τι συμβαίνει όταν χρησιμοποιείται σε επιφάνειες χωρίς έντονα χαρακτηριστικά;
 - Λανθασμένες αντιστοιχίες σημείων (όχι πραγματικά ομόλογα σημεία)
 - Εμφάνιση έντονου θορύβου στα δεδομένα → (άρα χαμηλής ποιότητας 3Δ ανακατασκευή)
- Σε ανακλαστικές επιφάνειες → Χρήση φίλτρων (π.χ. πολωτικών)

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Άλλα χαρακτηριστικά της μεθόδου...

- Δεν αποτελεί πανάκεια καθώς όπως και κάθε άλλη μέθοδος έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα
- Εμπορικά και ανοικτού κώδικα λογισμικά που υλοποιούν την SFM-MVS
- Μια διαδεδομένη εμπορική λύση Agisoft Photoscan και το πρόσφατο CapturingReality
- Ο συνδυασμός της με άλλες μεθόδους ψηφιοποίησης-τοπογραφίας προτείνεται ανεπιφύλακτα για έργα ψηφιοποίησης με υψηλές απαιτήσεις

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

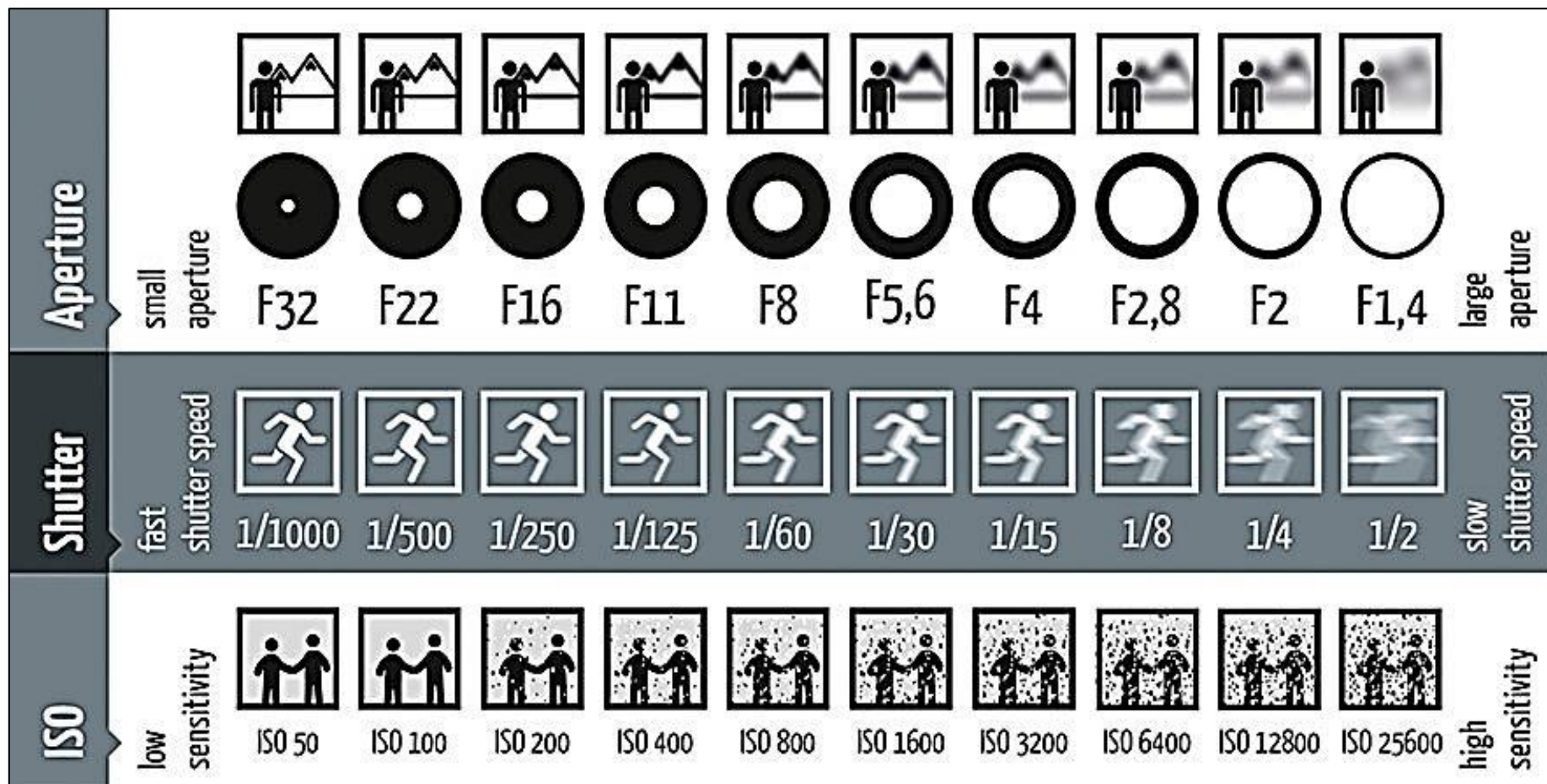
Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...

- Απαραίτητη η κατανόηση λειτουργίας της φωτογραφικής μηχανής
 - Η φωτογραμμετρία είναι **τέχνη και επιστήμη**
 - Ανάγκη για λήψη *ορθών* φωτογραφιών → Γνώση βασικών παραμέτρων
 - Διάφραγμα (aperture)
 - Ταχύτητα κλείστρου (shutter speed)
 - Τιμές ISO
 - Επηρεάζουν δραματικά το περιεχόμενο της φωτογραφίας
- Διάφραγμα → μέγεθος ανοίγματος στο φακό → Ποσότητα φωτός στον αισθητήρα
- Ταχύτητα κλείστρου (χρόνος έκθεσης) → Χρονικό διάστημα που παραμένει ανοικτό

Structure from Motion

Μια πολυεικονική φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

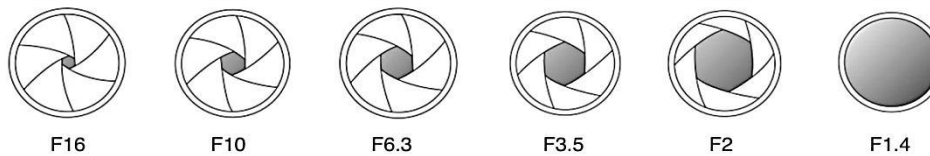
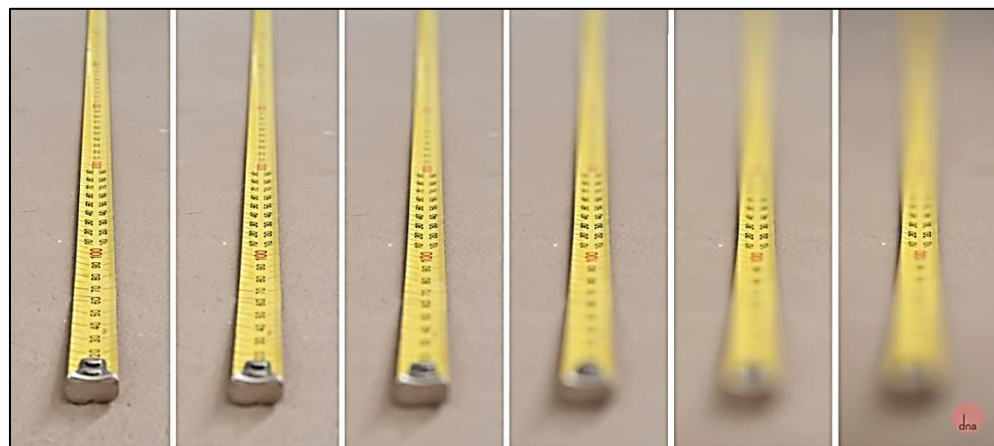
Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...Συσχετισμός βασικών παραμέτρων



Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...Συσχετισμός βασικών παραμέτρων (Διάφραγμα – Βάθος πεδίου)



F16

F10

F6.3

F3.5

F2

F1.4



f/1.8

f/2.8

f/4.0

f/5.6

f/8.0

f/11

f/16

Structure from Motion

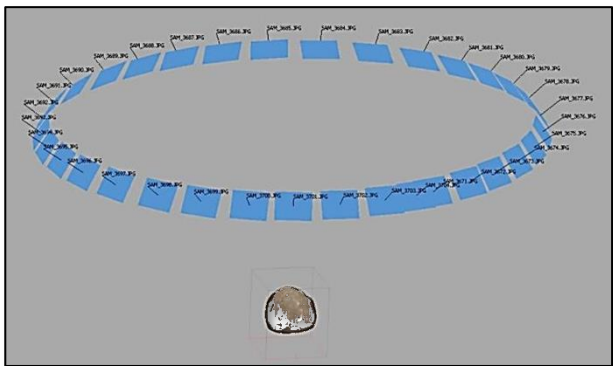
Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...Τρόποι συλλογής δεδομένων

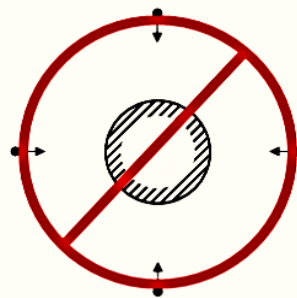
Φωτογράφιση κινητού αντικειμένου

Δημιουργία πολλαπλών κλειστών βρόχων από φωτογραφίες που προβάλουν το αντικείμενο από διαφορετικές οπτικές γωνίες τοποθετημένες πάνω σε ένα νοητό κύκλο

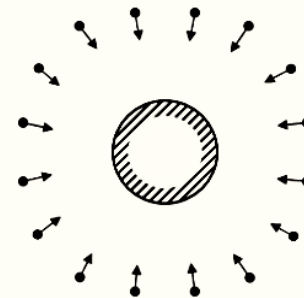
Απόσταση 10° - 15° ανάμεσα σε δύο γειτονικές φωτογραφίες
Ανάλογη των αναγκών που προκύπτουν από την πολυπλοκότητα της επιφάνειας
(π.χ. κοιλότητες)



Isolated Object (Incorrect)



Isolated Object (Correct)



Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...Τρόποι συλλογής δεδομένων

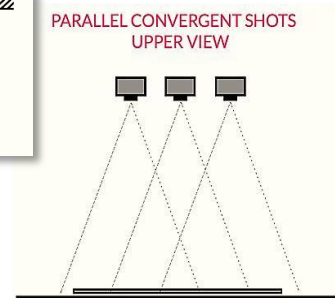
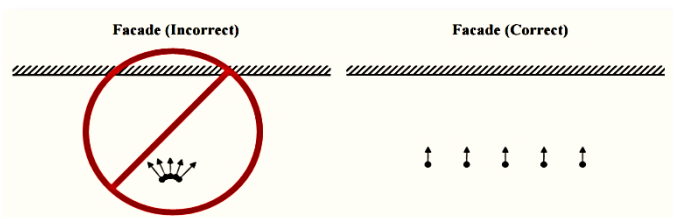
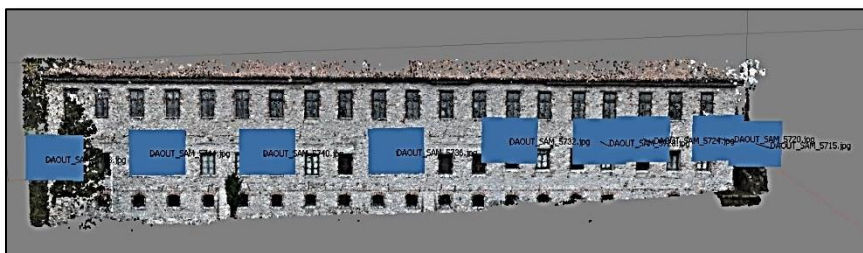
Φωτογράφιση πρόσοψης κτιρίου

Παράλληλες συγκλίνουσες λήψεις με χρήση τρίποδα ή μεταβλητού ύψους μονόποδου

Η φωτογραφική μηχανή μετακινείται πάνω σε νοητή ευθεία στο χώρο

Λήψη φωτογραφίας σε τακτά διαστήματα (ανάγκη για 60% επικάλυψη)

Κίνηση συστηματικά → αριστερά προς δεξιά και δεξιά προς αριστερά (κάποια λογισμικά το εκμεταλλεύονται)



Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

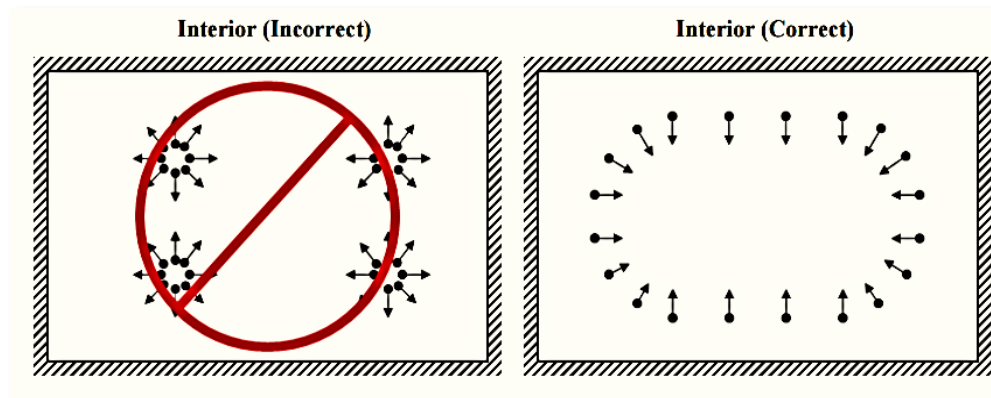
Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...Τρόποι συλλογής δεδομένων

Φωτογράφιση εσωτερικού χώρου

Ανακατασκευή ενός δωματίου ή του εσωτερικού χώρου ενός μνημείου

Διαφορετικά ύψη λήψης φωτογραφιών

Συνδυασμός με λήψη καθετής παράθεσης για πάτωμα – οροφή



Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

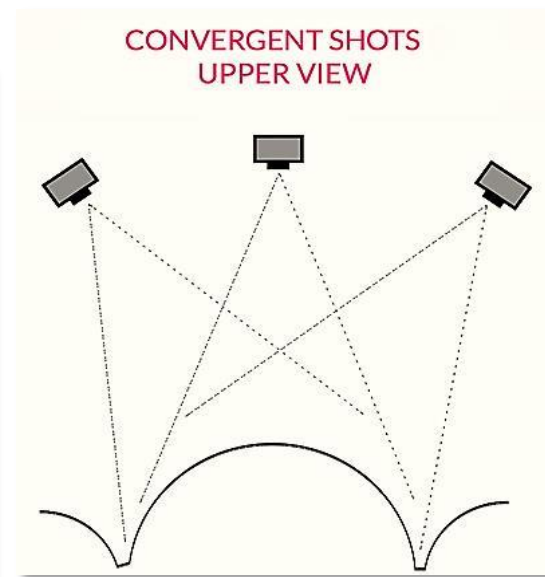
Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...Τρόποι συλλογής δεδομένων

Φωτογράφιση με συγκλίνουσες λήψεις

Ανακατασκευή αντικειμένων ή μνημείων με έντονο ανάγλυφο στις εξωτερικές επιφάνειες

Πλήρη κάλυψη των πτυχών χωρίς να υπάρχουν έντονες γωνίες προοπτικής κατά τη λήψη

Διαφορετικά ύψη λήψης φωτογραφιών



Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...Τρόποι συλλογής δεδομένων

Απόσταση φωτογράφισης και διαστασιολόγηση αντικειμένων

Κάποιες γενικές κατευθυντήριες γραμμές

Μικρά αντικείμενα που κυμαίνονται από μερικά εκατοστά έως και 30cm

10cm - 50cm συνδυασμένη με μια εστιακή απόσταση ανάμεσα στα 3mm με 12mm

Μεγαλύτερα αντικείμενα όπως ένα άγαλμα ή ακόμα μεγαλύτερα όπως ένα μνημείο

Ένα εφαρμοσμένο εύρος αποστάσεων κυμαίνεται μεταξύ των 3 και 6 μέτρων.

Ποια είναι η σχέση της απόστασης φωτογράφισης και της ανάλυσης του τελικού 3D μοντέλου;

Απάντηση δίνεται από τη μετρική απόσταση δείγματος εδάφους (Ground Sampling Distance - GSD)

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...Τρόποι συλλογής δεδομένων

Απόσταση φωτογράφισης και διαστασιολόγηση αντικειμένων

Ground Sampling Distance (GSD)

Η απόσταση από το κέντρο ενός εικονοστοιχείου μίας φωτογραφίας έως την επιφάνεια του αντικειμένου

Όσο υψηλότερη είναι η τιμή της GSD τόσο μικρότερη είναι η χωρική ανάλυση (spatial resolution) της φωτογραφίας και άρα λιγότερες λεπτομέρειες θα εμφανίζονται στις φωτογραφίες.

Μία GSD στα 5cm υποδεικνύει πως το ένα εικονοστοιχείο αναπαριστά 5cm του εδάφους (στον πραγματικό κόσμο).

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...Τρόποι συλλογής δεδομένων

Απόσταση φωτογράφισης και διαστασιολόγηση αντικειμένων

Ground Sampling Distance (GSD)

Σε ένα σύνολο από φωτογραφίες η GSD είναι **αδύνατο** να παραμένει σταθερή

Ακόμα και στην περίπτωση της **μίας φωτογραφίας** η μορφολογία της επιφάνειας ενός αντικειμένου **μεταβάλλεται** με αποτέλεσμα να υπάρχει ένα **εύρος αποστάσεων** (ελάχιστο και μέγιστο) μέσα στο **οποίο ορίζεται** η GSD

Κατά τη συλλογή δεδομένων → Προσπάθεια περιορισμού αυτού του εύρους → Σχετίζεται με την ανάλυση του 3D μοντέλου

Γενικός κανόνας : Η τιμή της GSD πρέπει να είναι 2-3 φορές μικρότερη από το μέγεθος της μικρότερης λεπτομέρειας της οποίας πρέπει να αποτυπώσουμε

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3Δ ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...Τρόποι συλλογής δεδομένων

Απόσταση φωτογράφισης και διαστασιολόγηση αντικειμένων

Ground Sampling Distance (GSD)...υπολογισμός

Για τον υπολογισμό της GSD για φωτογραφικές μηχανές μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει τον παρακάτω τύπο :

$$\text{GSD} = h_g / c_k \times \text{CCD μέγεθος εικονοστοιχείου αισθητήρα}$$

όπου h_g = απόσταση από την επιφάνεια του αντικειμένου και
 c_k = εστιακή απόσταση (focal length)

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3Δ ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...Τρόποι συλλογής δεδομένων

Απόσταση φωτογράφισης και διαστασιολόγηση αντικειμένων

Ground Sampling Distance (GSD)...παράδειγμα υπολογισμού μέγεθος εικονοστοιχείου

Μέγεθος αισθητήρα **23.5 x 15.7mm**

Ανάλυση φωτογραφίας **5472 x 3647** (λόγος 3:2)

Μέγεθος εικονοστοιχείου πάνω στον αισθητήρα είναι $23.5/5472 = 0.0042945 \text{ mm} = 4.2945 \mu\text{m}$.

Ανάλογα με τον κατασκευαστή των αισθητήρων το μέγεθος ενός εικονοστοιχείου κυμαίνεται μεταξύ **4μm** και **12 μm**.

Το **προφίλ λειτουργίας** μιας ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής χαρακτηρίζεται ως ο συνδυασμός εστιακής απόστασης και μέγεθος εικονοστοιχείου.

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...Τρόποι συλλογής δεδομένων

Απόσταση φωτογράφισης και διαστασιολόγηση αντικειμένων

Η SFM-MVS μέθοδος παράγει 3D μοντέλα τα οποία έχουν σωστές αναλογίες αλλά βρίσκονται σε ένα τοπικό σύστημα συντεταγμένων αναφοράς.

Με τη χρήση φωτοσταθερών, στόχων και κάποιων κλιμάκων μπορούμε να κλιμακώσουμε το 3D μοντέλο ώστε οι αποστάσεις ανάμεσα στις κορυφές του να ταυτίζονται με αυτές του πραγματικού κόσμου.



Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...Τρόποι συλλογής δεδομένων

Γεωαναφορά 3D μοντέλων

Σημεία ελέγχου εδάφους (ground control points - GCPs)

Οι θέσεις τους (συντεταγμένες) υπολογίζονται με συστήματα GNSS DGPS – Global Navigation Satellite System - Differential Global Positioning Systems)

Εκτός από υπολογισμό αποστάσεων ανάμεσα σε σημεία πάνω στο μοντέλο μπορεί κανείς να εντοπίσει και τη θέση αυτών των σημείων στο κόσμο αφού μπορεί να εξάγει το γεωγραφικό μήκος και πλάτος.



Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...

Φιλικά και μη υλικά προς τη μέθοδο

Η αναφορά τους σε μία από τις δύο κατηγορίες δεν είναι απόλυτη και ως εκ τούτου οι παρακάτω λίστες θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μόνο ενδεικτικά

Φιλικά υλικά: φυσική πέτρα, επεξεργασμένη πέτρα, έδαφος, μάρμαρο (όχι λευκό), κόκκαλο, ξύλο, δέρμα, ψαμμίτης, σίδηρο, μπρούντζος, χαλκός, χρυσό, γύψος, κεραμικά, τούβλα

Μη-φιλικά υλικά: νερό, γυαλί, βλάστηση, φυτά (σε ελεγχόμενο περιβάλλον μπορούν να αποτυπωθούν), βερνίκι, ατσάλι, μονοχρωματικές πλαστικές-γυαλιστερές επιφάνειες, γυαλιστερός χρυσός-χαλκός-μπρούντζος-σίδηρο.

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...

Παραδείγματα φωτογραφιών που παρουσιάζουν προβλήματα κατά την επεξεργασία τους



- Χρήση flash – Έντονα λευκά χρώματα και σκιές
- Κακό φόντο με ανακλαστικές επιφάνειες

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...

Παραδείγματα φωτογραφιών που παρουσιάζουν προβλήματα κατά την επεξεργασία τους



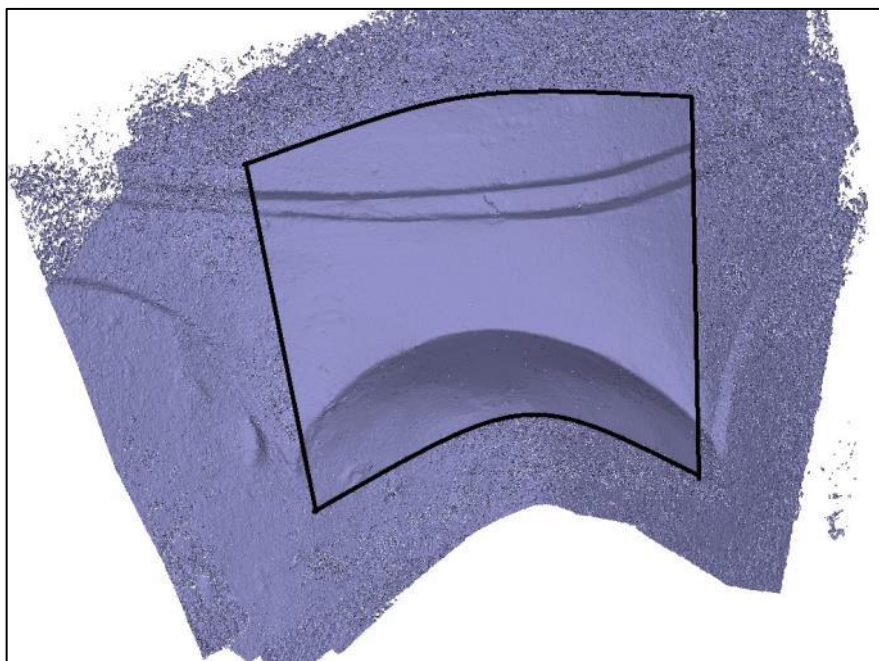
- Ανακλαστική επιφάνεια
- Επιφάνεια χωρίς χρωματικές μεταβολές (λευκό)

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...

Παρένθεση – Αποτύπωση μη-φιλικών επιφανειών



A. Koutsoudis, G. Ioannakis, B. Vidmar, F. Arnaoutoglou, C. Chamzas, *Using Noise Function-Based Patterns to Enhance Photogrammetric 3D Reconstruction Performance of Featureless Surfaces*, Journal of Cultural Heritage, Volume 16, Issue 5, September–October 2015, pp. 664–670.

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...

Παραδείγματα φωτογραφιών που παρουσιάζουν προβλήματα κατά την επεξεργασία τους



- Πολύ σκούρα χρώματα
- Έντονες σκιές
- Ανακλάσεις

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...

Παραδείγματα φωτογραφιών που παρουσιάζουν προβλήματα κατά την επεξεργασία τους



- Υπερβολική γωνία λήψης (προοπτική)
- Φωτογράφιση απέναντι σε ηλιακό φως
- Αντηλιά και ανακλάσεις σε γυάλινες επιφάνειες

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...

Παραδείγματα φωτογραφιών που παρουσιάζουν προβλήματα κατά την επεξεργασία τους



- Φωτογράφιση απέναντι σε ηλιακό φως
- Αντηλιά και ανακλάσεις του φακού
- Μη-κεντραρισμένο αντικείμενο

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...

Παραδείγματα φωτογραφιών που παρουσιάζουν προβλήματα κατά την επεξεργασία τους



- Το αντικείμενο εμφανίζεται πολύ μακριά
- Το μνημείο είναι πολύ μεγάλο για να ανακατασκευαστεί σωστά με μικρό πλήθος φωτογραφιών (βλέπε απόσταση λήψης) Θα μπορούσε να προκύψει ένα χαμηλής ποιότητας 3D μοντέλο

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...

Παραδείγματα φωτογραφιών που παρουσιάζουν προβλήματα κατά την επεξεργασία τους



- Χαμηλός φωτισμός
- Χρήση φλας – Δημιουργία υπερφωτισμένων / υποφωτισμένων περιοχών

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Εφαρμόζοντας την SFM-MVS...

Παραδείγματα φωτογραφιών που παρουσιάζουν προβλήματα κατά την επεξεργασία τους



- Χαμηλός φωτισμός
- Το αντικείμενο εμφανίζεται πολύ μακριά

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Συνοψίζοντας... κάποια σημαντικά συμπεράσματα

Η μέθοδος Structure from Motion χρησιμοποιεί ένα πλήθος από ψηφιακές φωτογραφίες που παρουσιάζουν την ίδια στατική σκηνή από άγνωστες γωνίες λήψης και αναλαμβάνει να ανακτήσει μέσα από αυτές χαρακτηριστικά των ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών που χρησιμοποιήθηκαν για τη λήψη των φωτογραφιών αλλά και ένα 3D νέφος σημείων που αναπαριστά την ίδια την σκηνή.

Η χρήση ενός πολωτικού φίλτρου κυκλικής πόλωσης στη διαδικασία συλλογής των φωτογραφιών από ένα αντικείμενο που διαθέτει κάποιου βαθμού ανακλαστική επιφάνεια οδηγεί στον περιορισμό των ανακλάσεων στην επιφάνεια του αντικειμένου με αποτέλεσμα την καλύτερη αποτύπωση του στις φωτογραφίες και κατά συνέπεια στην καλύτερη 3D ανακατασκευή

Τα υψηλά επίπεδα απωλεστικής συμπίεσης (π.χ. JPEG) των ψηφιακών φωτογραφιών που χρησιμοποιούνται σε φωτογραμμετρικές μεθόδους 3D ανακατασκευής οδηγούν στην εισαγωγή τεχνικών σφαλμάτων (artefacts) στις φωτογραφίες με αποτέλεσμα τη μείωση της ποιότητας και των λεπτομερειών και αναπόφευκτα στη μείωση ακρίβειας εντοπισμού (ασάφεια) των ομόλογων σημείων ανάμεσα στο σύνολο των ψηφιακών φωτογραφιών.

Structure from Motion

Μια πολυεικονικής φωτογραμμετρίας μέθοδος 3D ανακατασκευής....

Συνοψίζοντας... κάποια σημαντικά συμπεράσματα

Η χρήση **υπερ-ευρυγώνιων φακών** (ultra wide angle lens) για τη **συλλογή φωτογραφιών** που θα χρησιμοποιηθούν για την 3D ανακατασκευή του περιεχομένου τους με τη Structure from Motion επιτρέπουν την 3D ανακατασκευή του περιεχομένου των φωτογραφιών με **μικρότερο πλήθος φωτογραφιών** αρά και με μικρότερες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, μνήμη και διάρκεια χρόνου παραγωγής του μοντέλου αλλά οδηγούν στη **μείωση της ακρίβειας** υπολογισμού της θέσης των ομόλογων σημείων λόγω της υπερβολικής παραμόρφωσης που εισάγουν οι συγκεκριμένοι φακοί στα άκρα τους (radial distortion).

Η μέθοδος παρουσιάζει **ευρωστία απέναντι σε μικρές μεταβολές φωτισμού** και έντασης των χρωμάτων που εμφανίζονται μέσα στις φωτογραφίες και αυτό την κάνει ακόμα πιο φιλική για αποτυπώσεις που πραγματοποιούνται σε εξωτερικούς χώρους ή σε χώρους όπου δεν υπάρχει η δυνατότητα ελεγχόμενου φωτισμού.

Όπως και με κάθε άλλη μέθοδο, έτσι και η SFM-MVS έχει τα όρια της. Καθώς βασίζεται στην αναγνώριση σημείων πάνω στην επιφάνεια των αντικειμένων, η **ποιότητα της 3D ανακατασκευής** σχετίζεται με την **ύπαρξη έντονων μορφολογικών χαρακτηριστικών** στην επιφάνεια του αντικειμένου.

Structure from Motion

Ας δούμε βήμα βήμα ένα παράδειγμα 3D ανακατασκευής...



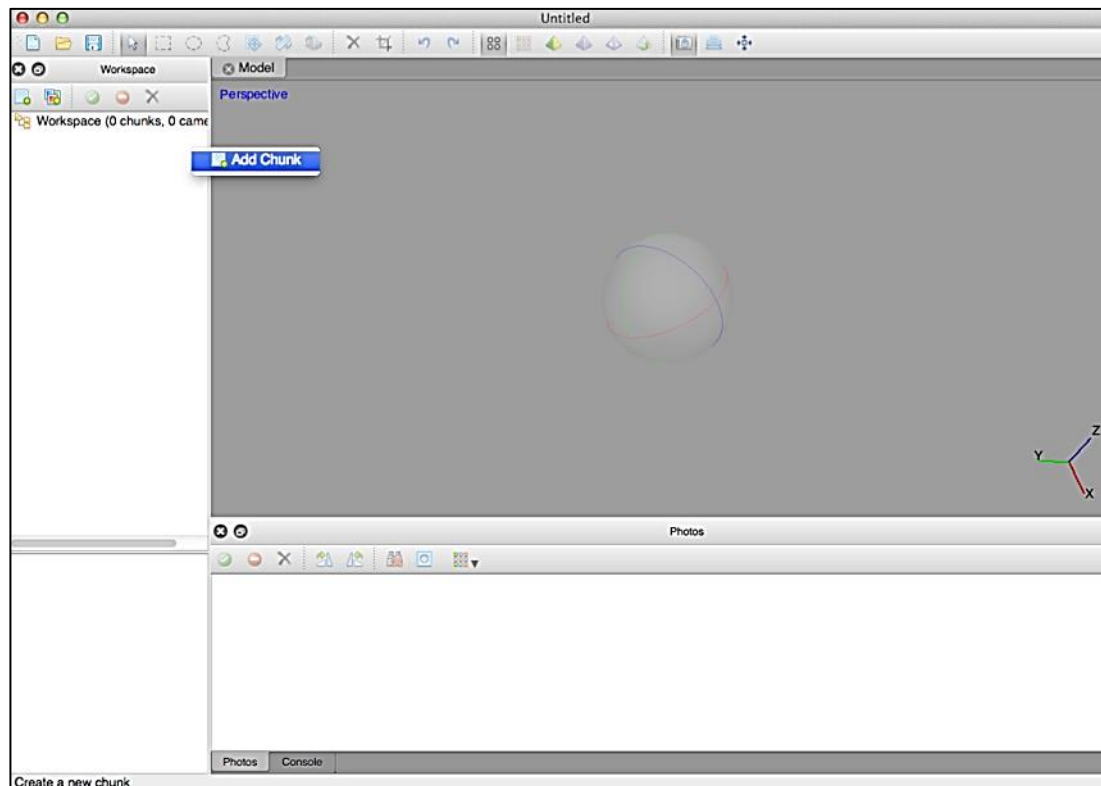
Structure from Motion

Ροή εργασιών

- i. Φωτογράφιση
- ii. Φωτογραμμετρία και δημιουργία 3D μοντέλου
- iii. Επεξεργασία 3D μοντέλου
- iv. Δημοσίευση 3D μοντέλου στο Web

Structure from Motion

...χρησιμοποιώντας το Agisoft Photoscan



Αυτοματοποιημένη υλοποίηση του SFM

Ευθυγράμμιση
εικόνων

Δημιουργία
πυκνού
νέφους

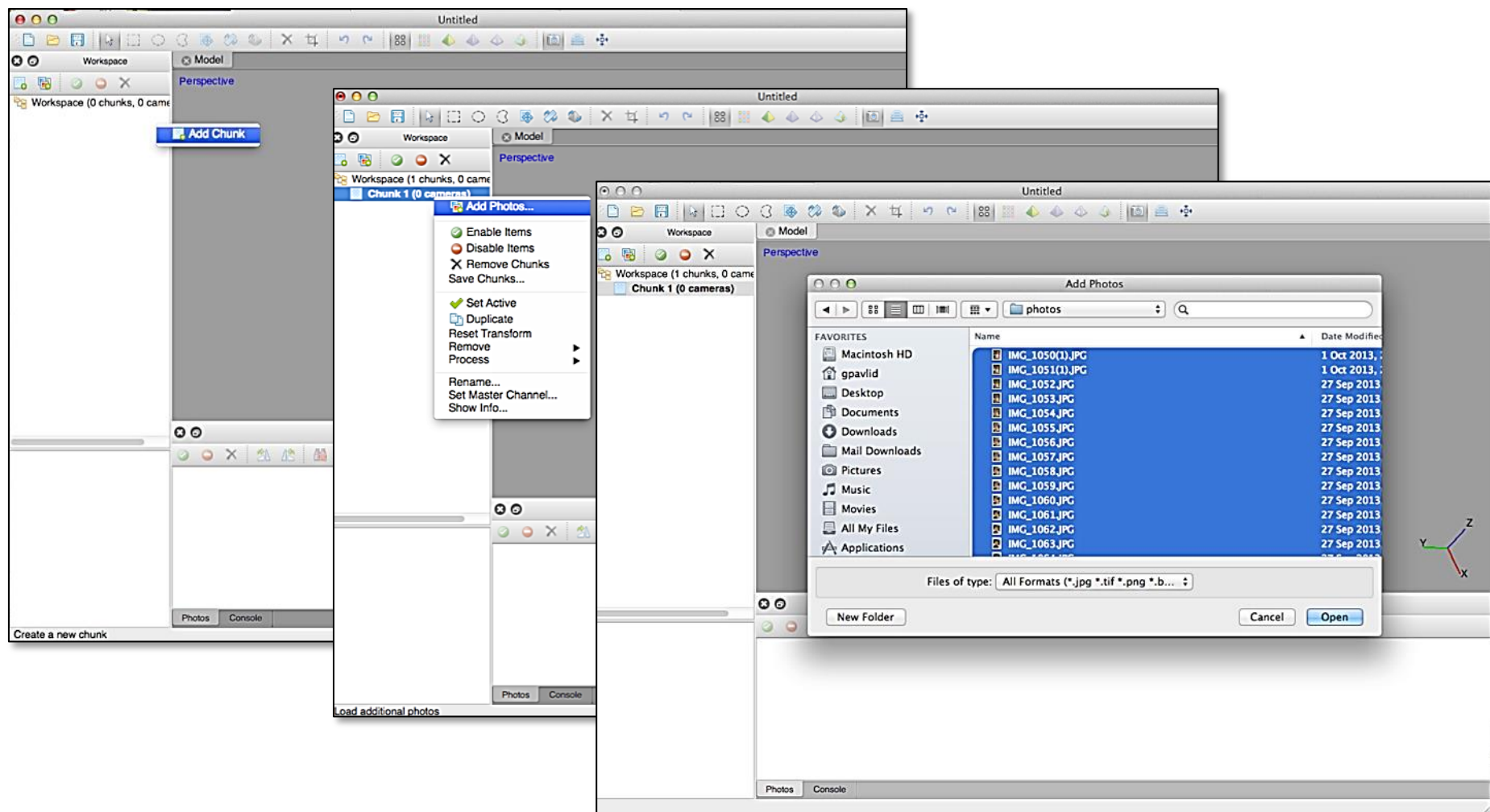
Δημιουργία
πλέγματος

Δημιουργία
υφής

Εξαγωγή
μοντέλου

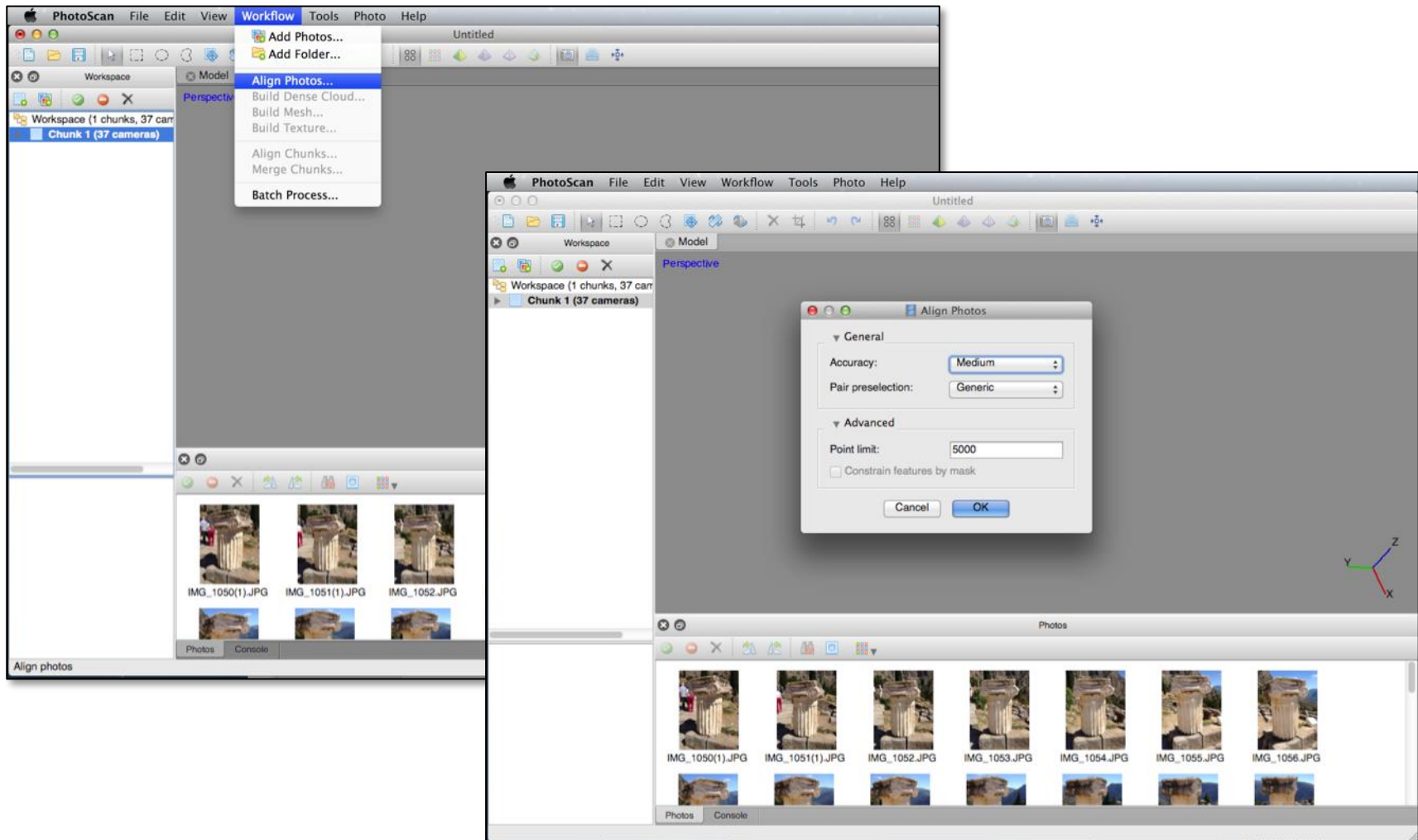
Structure from Motion

Ευθυγράμμιση εικόνων



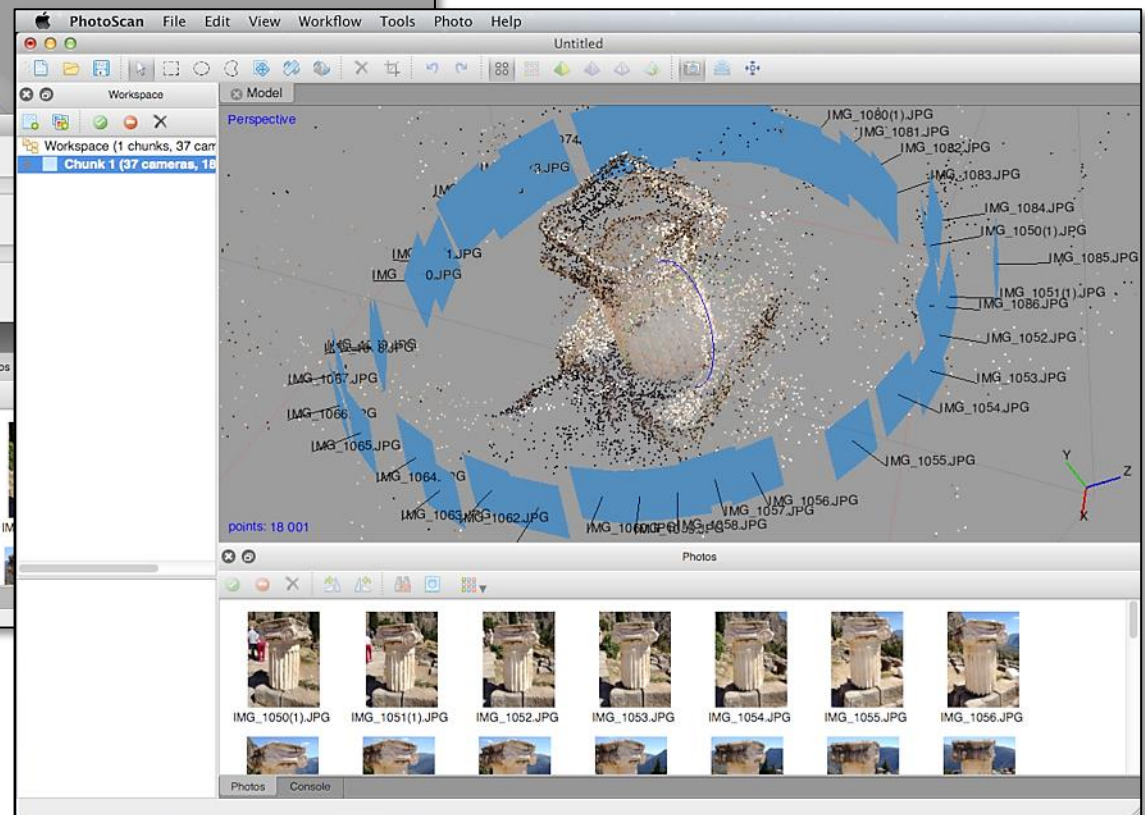
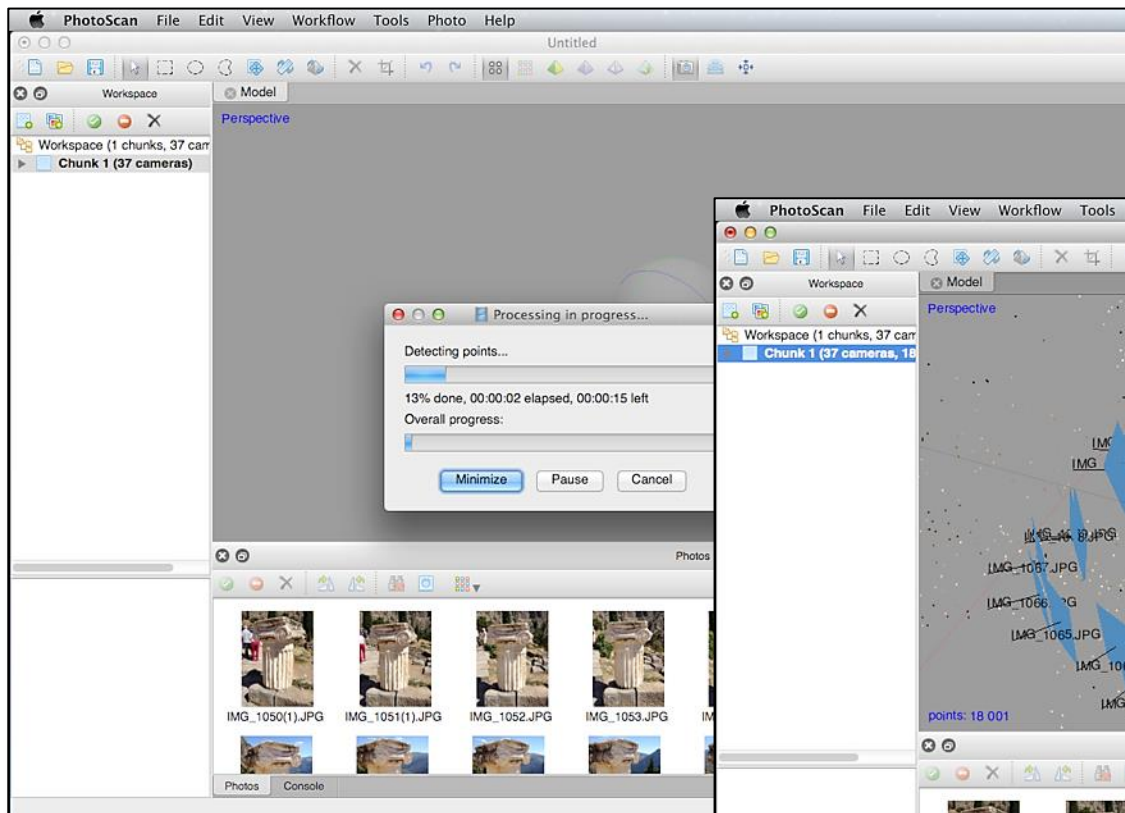
Structure from Motion

Ευθυγράμμιση εικόνων



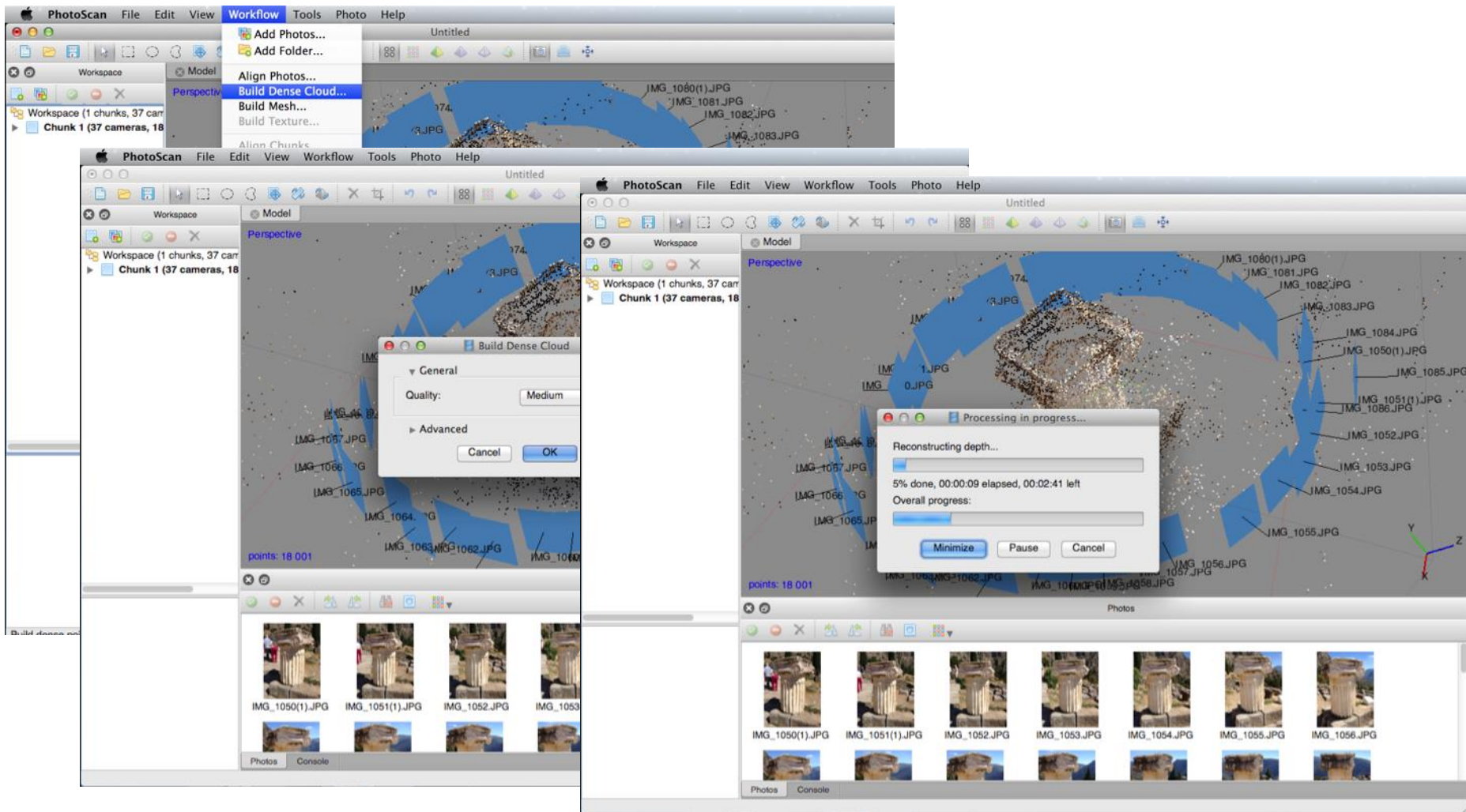
Structure from Motion

Ευθυγράμμιση εικόνων



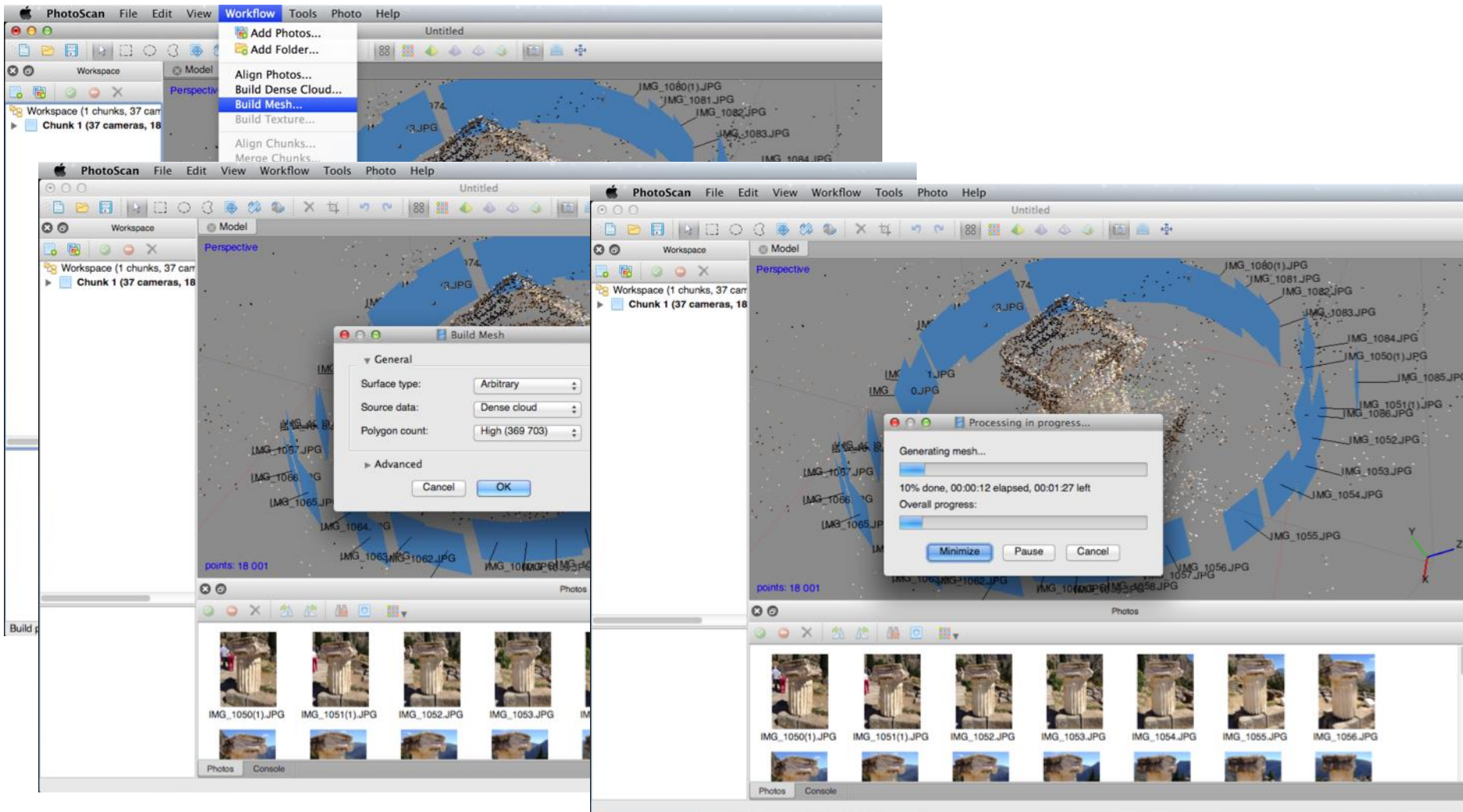
Structure from Motion

Δημιουργία πυκνού νέφους



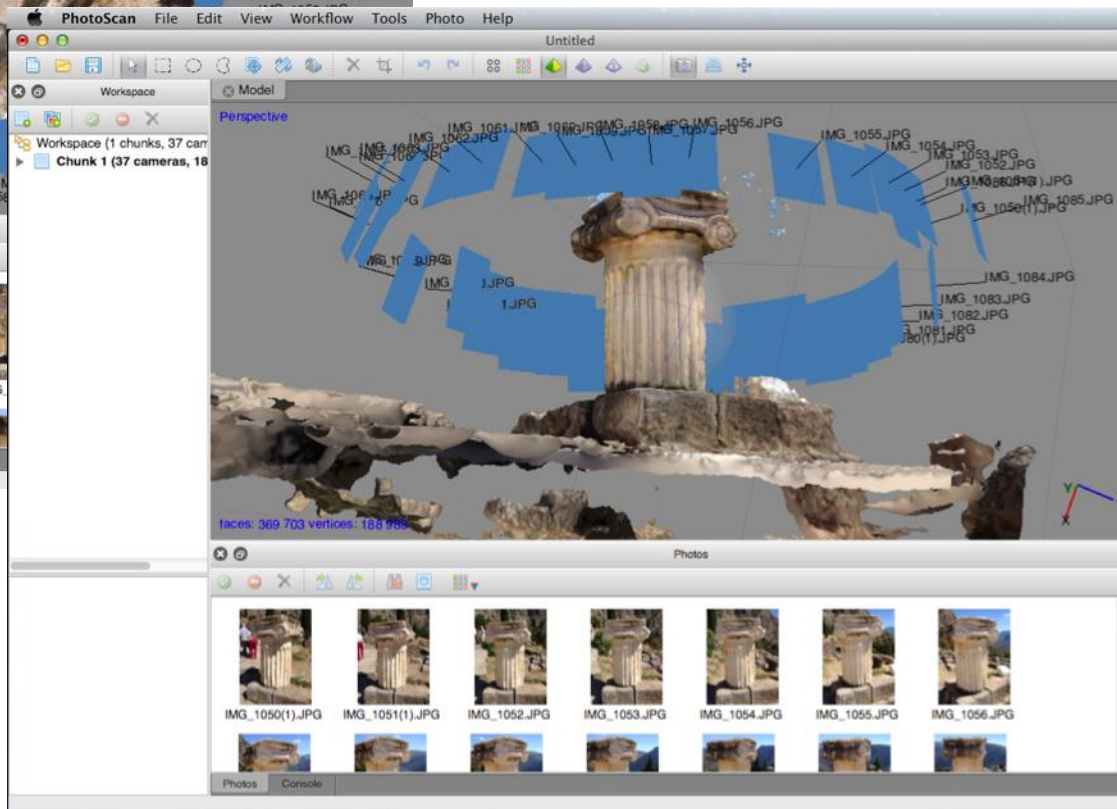
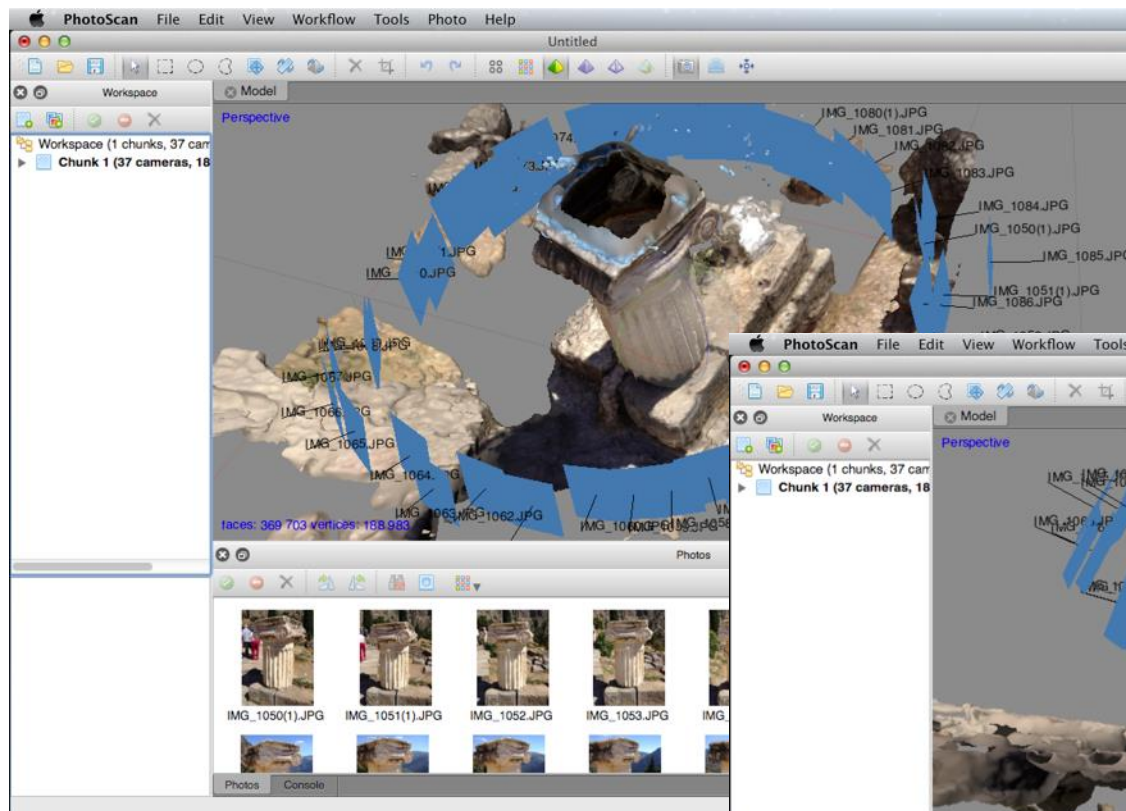
Structure from Motion

Δημιουργία πλέγματος



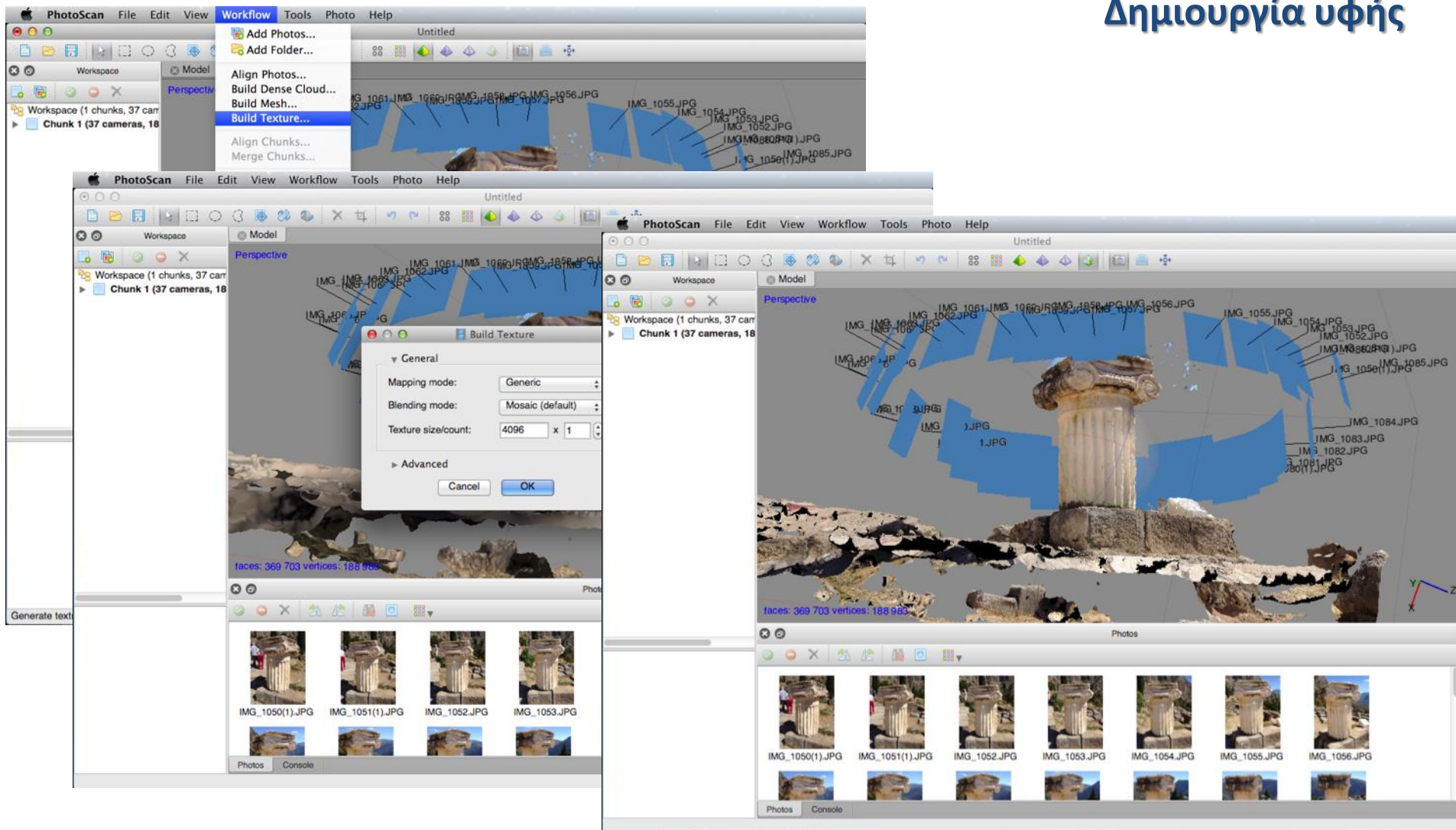
Structure from Motion

Δημιουργία πλέγματος



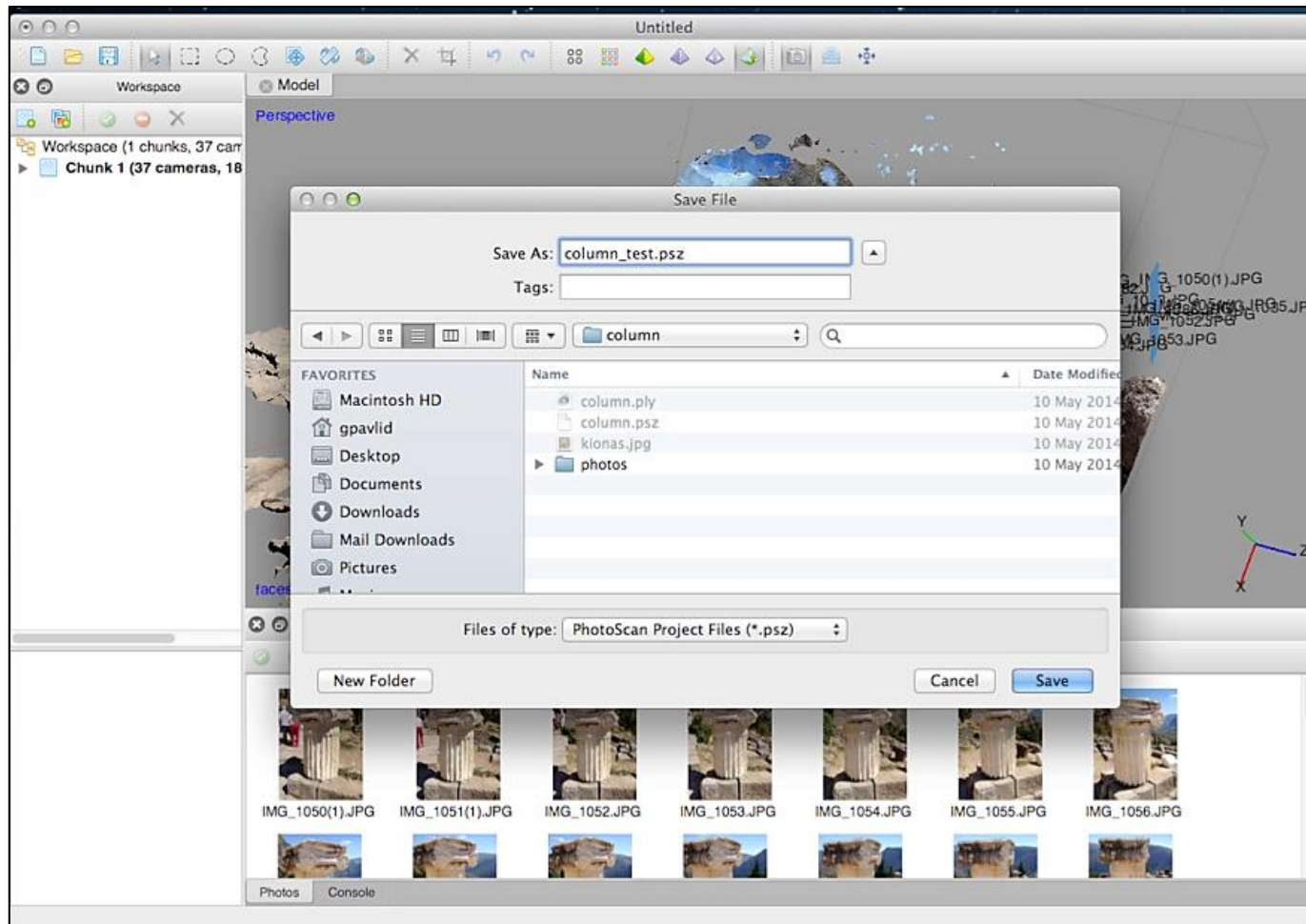
Structure from Motion

Δημιουργία υφής



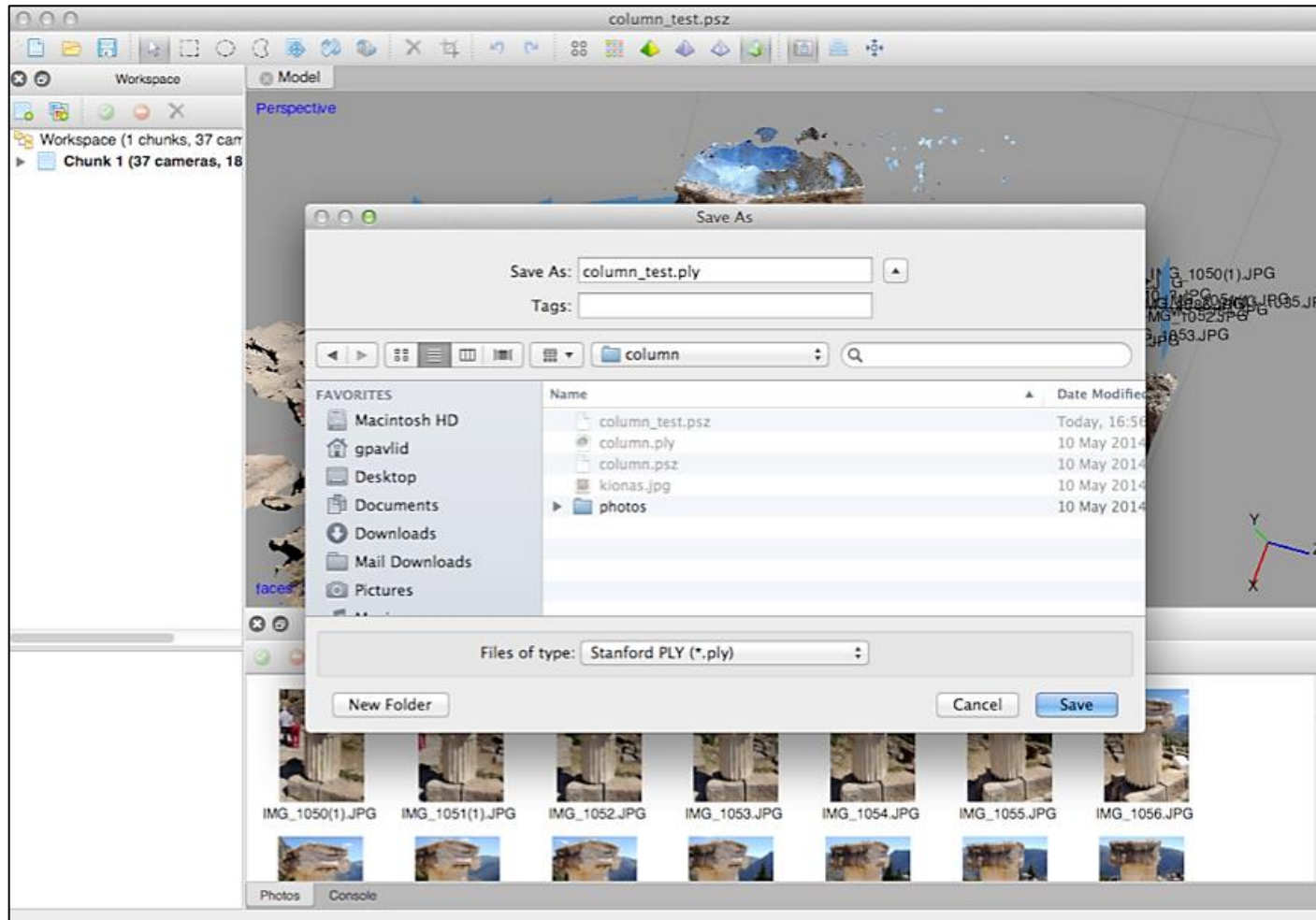
Structure from Motion

Αποθήκευση Photoscan Project



Structure from Motion

Αποθήκευση 3D μοντέλου



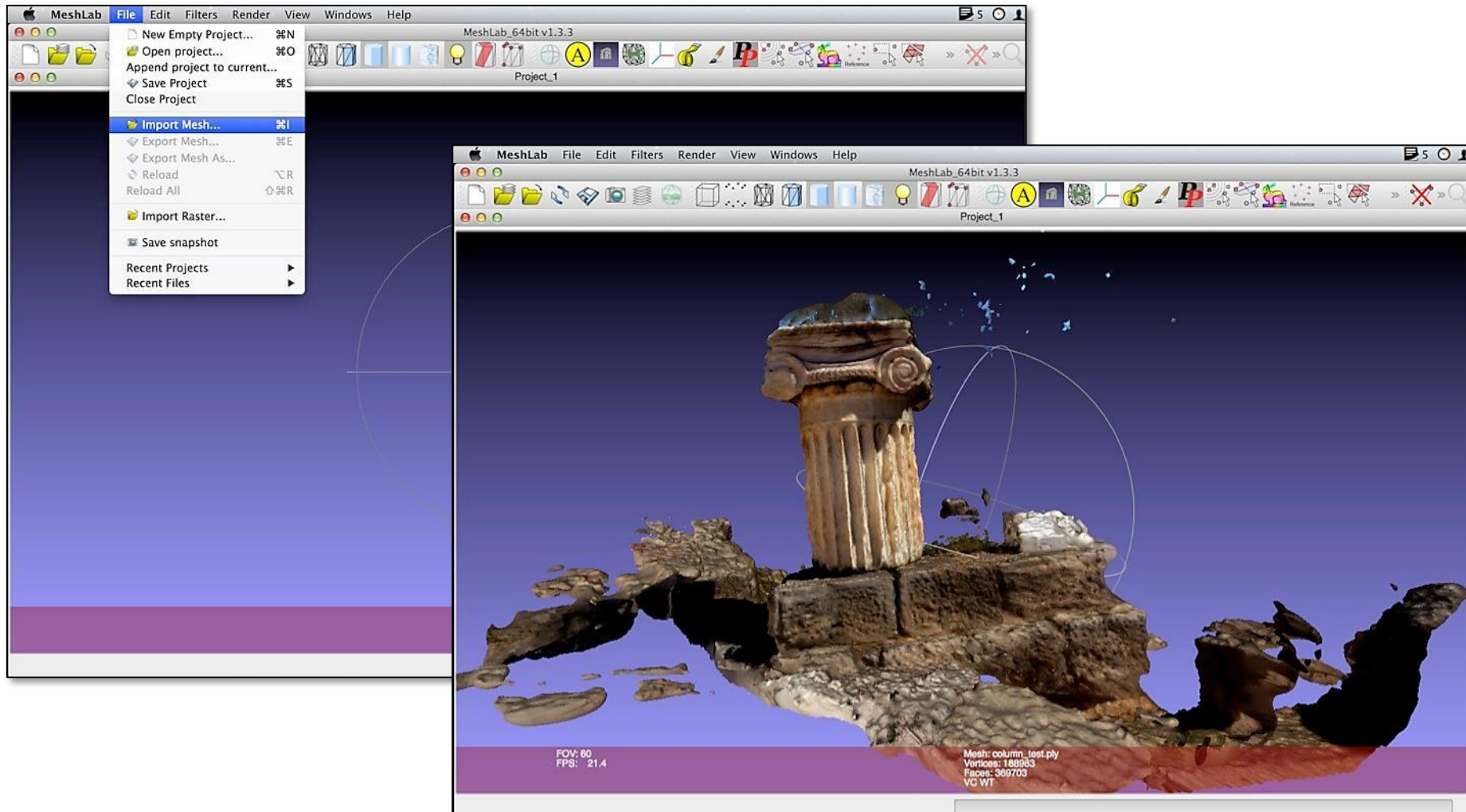
Structure from Motion

Επεξεργασία 3D μοντέλου



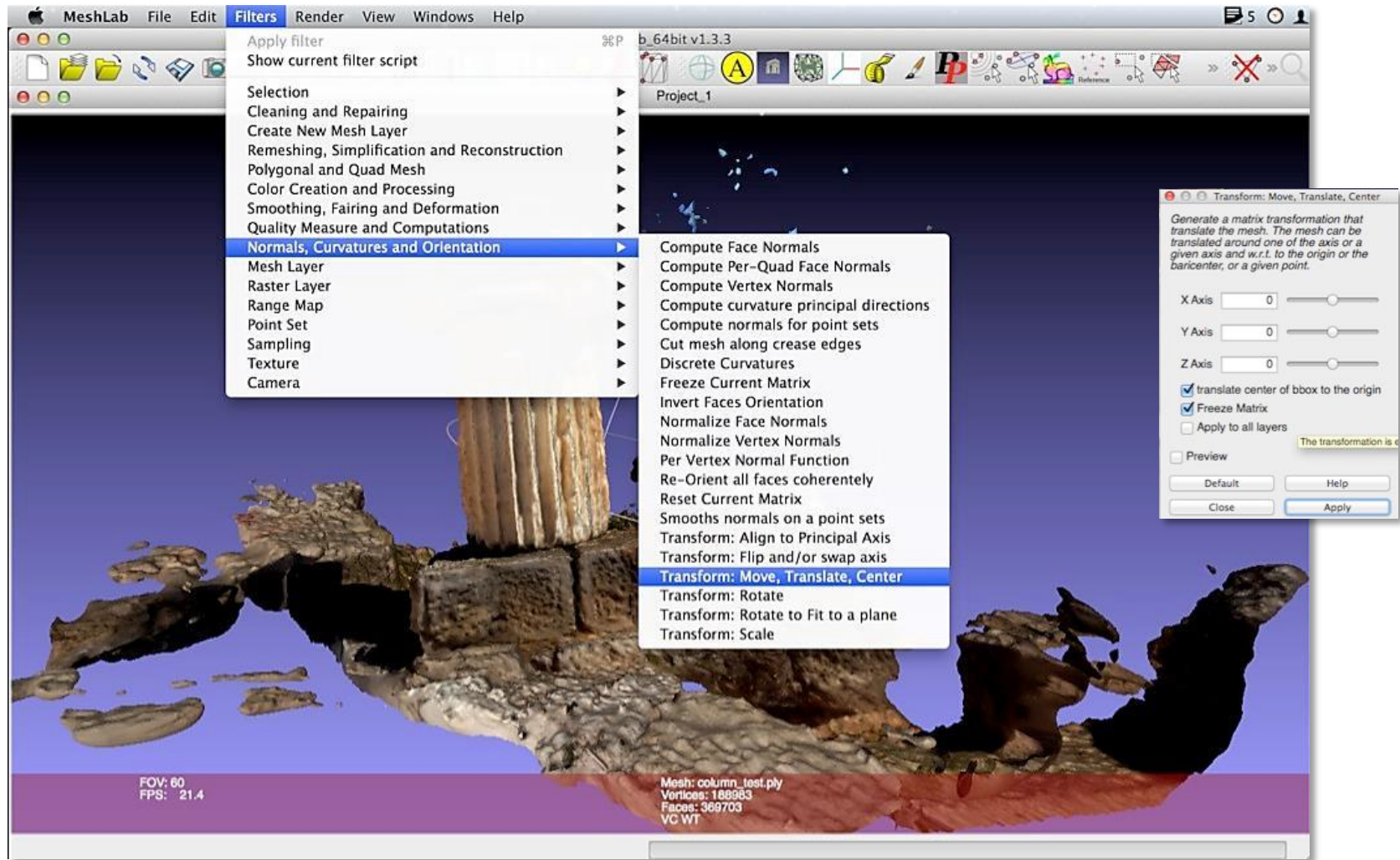
Structure from Motion

Επεξεργασία με το MeshLab



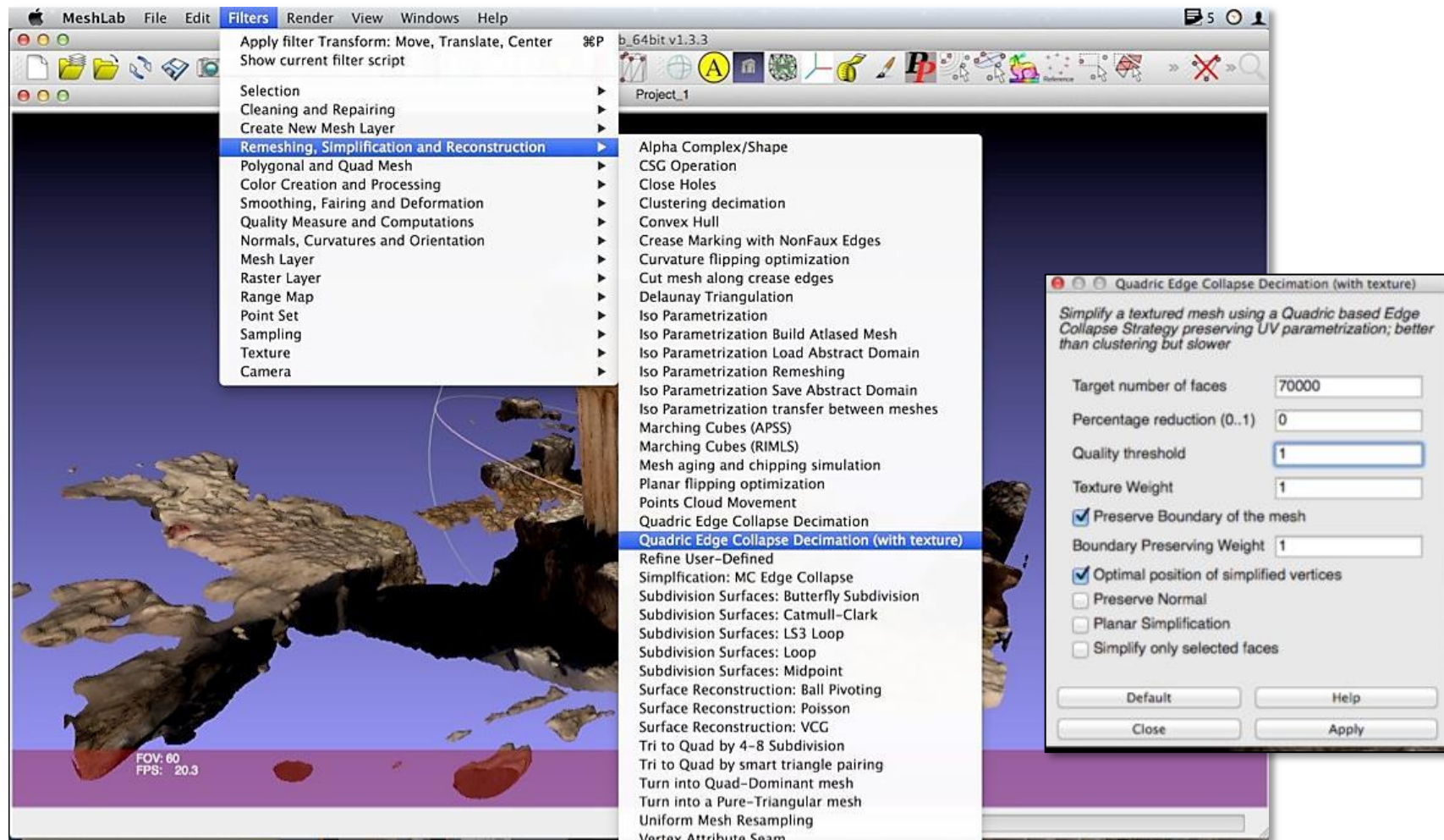
Structure from Motion

Τοποθέτηση στο κέντρο του συστήματος συντεταγμένων



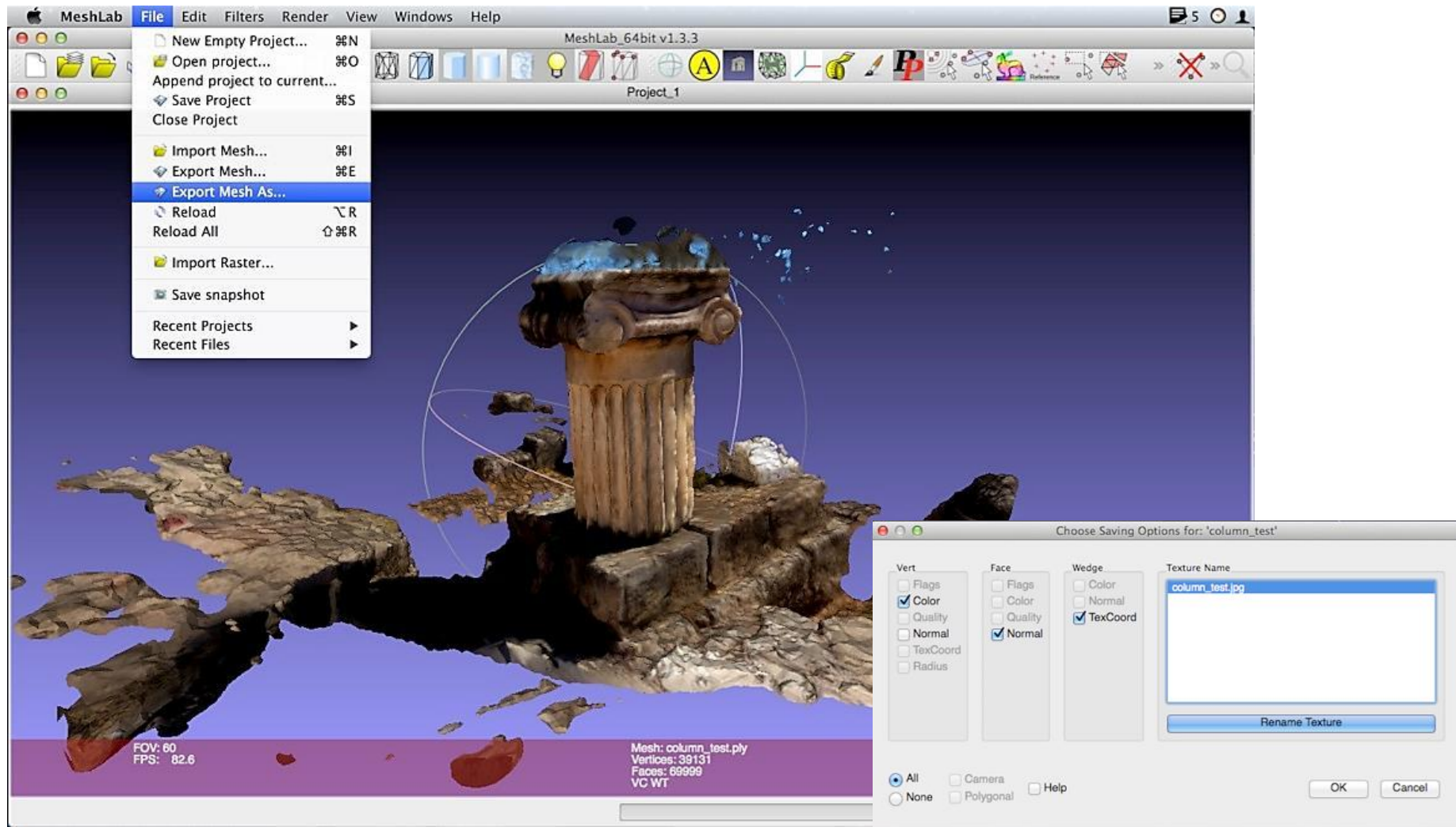
Structure from Motion

Απλοποίηση του μοντέλου



Structure from Motion

Αποθήκευση για το Web



Structure from Motion

Μια απλή 3D ιστοσελίδα

```
<html>
<head>
<meta http-equiv='Content-Type' content='text/html;charset=utf-8'></meta>
<link rel='stylesheet' type='text/css'
href='http://www.x3dom.org/x3dom/release/x3dom.css'></link>
<script type='text/javascript'
src='http://www.x3dom.org/x3dom/release/x3dom.js'></script>
</head>
<body bgcolor=black text=white leftmargin=0 topmargin=0 marginwidth=0
marginheight=0>
<x3d id='3d_model' showStat='false' showLog='false' x='0px' y='0px'
style='width:100%; height:100%;'>
<scene>
<Background skyColor='0 0 0'></Background>
<inline url='column.x3d' ></inline>
<scene>
</x3d>
</body>
</html>
```