ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΣΚΑΦΗΣ ΜΩΣΑΪΚΩΝ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΉΜΑΤΟΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ: ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δ. ΣΚΑΡΛΑΤΟΣ

Λεμεσός 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής κ. Δημήτριο Σκαρλάτο που μου δίδαξε το μάθημα της Φωτογραμμετρίας και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για όλες τις υποδείξεις και συμβουλές του, καθώς για την προθυμία και για τις γνώσεις που αποκόμισα καθ' όλη την διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τους συμφοιτητές μου και φίλους μου Χρίστο Ζένιο, Μαρία Αποστόλου και Κωνσταντίνο Κωνσταντινίδι. Τους πρώτους δυο για την συνεργασία τους και την μεγάλη βοήθεια που μου παρείχαν στο πεδίο για την λήψη των απαραίτητων μετρήσεων, και το τρίτο για τις γνώσεις που μου παρείχε σε θέματα λογισμικών.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω και στην Μαρίνα Γρηγορίου για την βοήθεια, την υπομονή αλλά και τις γνώσεις που μου προσέφερε σχετικά με το λογισμικό PhotoScan.

Ιδιαίτερα θερμές ευχαριστίες θέλω να δώσω στην οικογένεια μου για την συνεχείς συμπαράσταση του, για τις πολύτιμες συμβουλές τους και για όλα όσα μου έχουν προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια της ζωής μου αλλά και των σπουδών μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ την Αρχαιολογική Λειτουργός Α' του Τμήματος Αρχαιοτήτων δρ Ελένη Προκοπίου και τον κ. Λευτέρη Χαραλάμπους υπεύθυνο για την συντήρηση των μωσαϊκών, για την άδεια αποτύπωσης του μνημείου, δίνοντας έτσι την δυνατότητα για την τεκμηρίωση της παρούσας διπλωματικής.

Περίληψη

Η έρευνα στο πεδίο της Φωτογραμμετρίας τα τελευταία χρόνια έχει θεμελιώσει έννοιες και μεθόδους για την υλοποίηση των εργασιών πεδίου και τη γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων. Η Φωτογραμμετρία επίσης είναι επιστήμη που μεταλλάσσεται συνεχώς και προσαρμόζεται στις τεχνολογικές εξελίξεις και στο αντικείμενο αποτύπωσης.
Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο για γεωμετρική τεκμηρίωση, τα μωσαϊκά δαπέδου από ένα σχετικά πρόσφατο μνημείο που ανακαλύφθηκε στο Ακρωτήρι. Με την βοήθεια γεωδαιτικών και φωτογραμμετρικών μετρήσεων και λήψη φωτογραφιών, έγινε η τρισδιάστατη απεικόνιση του στο χώρο. Παρόλο του ότι αφορούσε, την τεκμηρίωση ενός επίγειου μνημείου, υπήρχαν αρκετοί περιορισμοί στο χώρο και σημαντικά προβλήματα για την επιλογή των διαδικασιών. Μερικά προβλήματα που παρουσιάστηκαν ήταν, η τοποθεσία που βρίσκονταν τα μωσαϊκά (δάπεδο), να υλοποιηθεί μια μέθοδος που δεν θα επίφερε διάφορες καταστροφές ή φθορές, η επιθυμητή ακρίβεια και λεπτομέρεια, και ο ελάχιστος χρόνος που υπήρχε στην διάθεση μας. Αυτά τα προβλήματα οδήγησαν στην επιλογή της μεθόδου λήψης, που ήταν η χρήση της Φωτογραμμετρίας, και με λήψη κεκλιμένων φωτογραφιών.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα αναλυθεί η νέα αυτή προσέγγιση της διαδικασία που ακολουθήθηκε στο πεδίο, αλλά και η διαδικασία δημιουργίας ορθοφωτοχάρτη στο λογισμικό Agidoft PhotoScan. Παράλληλα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα με την χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ **2**
Περίληψη **3**
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ **6**
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ **7**
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ **8**
ΕΙΣΑΓΩΓΗ **9**
1. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ **11**
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 11
1.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ 12
1.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ 13
1.4 ΕΥΡΗΜΑΤΑ 13
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ **15**
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ 15
2.2 ΣΥΝΤΑΥΤΙΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ 15
2.2.1 Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ SIFT 17
2.3 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ 19
2.4 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ 21
2.5 ΑΠΟΛΥΤΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ – ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ 23
3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ **25**
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 25
3.2 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 25
3.3 ΙΔΡΥΣΗ ΣΤΑΣΕΩΝ 27
3.4 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΛΗΨΕΩΝ 28
3.4.1 ΚΕΚΛΙΜΕΝΕΣ ΛΗΨΕΙΣ 30
4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ **31**
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ PHOTOSCAN 31
4.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 31
4.2.1 ΓΕΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 36
4.3 ΦΟΡΤΩΣΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ 37
4.4 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ 37
4.6 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 3D ΜΟΝΤΕΛΟΥ 41

4.6 ΑΠΟΛΥΤΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ - ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ (Ground Control) . 46
4.7 ΕΞΑΓΩΓΗ ΟΡΘΟΦΩΤΟΧΑΡΤΗ 47
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ **48**
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 48
5.2 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ PHOTOSCAN 48
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ **57**
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 57
6.2 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ 57
6.3 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ AGISOFT PHOTOSCAN 58
6.4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ 59
6.5 ΕΠΙΛΟΓΟΣ 59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ **60**
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 ..... **61**
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ **76**

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα ροής 4.1: Γενική ροή προγράμματος.....36

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

2D:	Δισδιάστατο
3D:	Τρισδιάστατο
RMS:	Root-Mean-Square Error
SIFT:	Scale – Invariant Feature Transform
MVS:	Multi View Stereo

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Bundle adjustment:	Προσανατολισμός
Multi view stereo:	Πολλαπλή Εμπροσθοτομία
Ground points:	Φωτοσταθερά
Align Select Photo:	Προσανατολισμός της επιλεγμένης φωτογραφίας
Pixel:	Εικονοστοιχείο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια από τις κύριες και πιο ενδιαφέρουσες εφαρμογές της Φωτογραμμετρίας αποτελεί η γεωμετρική τεκμηρίωση – αποτύπωση μνημείων, δίνοντας έτσι την δυνατότητα να διαφυλαχθεί και να συντηρηθεί η πολιτική μας κληρονομιά.

Η τρισδιάστατη απεικόνιση από φωτογραφίες αναφέρεται σε τεχνικές που δημιουργούν ένα τρισδιάστατο μοντέλο ενός αντικειμένου ή μιας σκηνής έχοντας σαν είσοδο τις 2D φωτογραφίες αυτού του αντικειμένου ή της σκηνής.

Η δεδομένη τεχνική αν και εξασφαλίζει την επιθυμητή ακρίβεια, δεν παύει να είναι αρκετά χρονοβόρα και επίπονη. Αφού οι συνηθισμένες τεχνικές δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν σε αυτή την περίπτωση, για την λήψη των φωτογραφιών έχει γίνει μια σχετικά εύκολη και γρήγορη διαδικασία αφού πάρθηκαν με το ανθρώπινο χέρι.

Στόχος της παρούσας διπλωματική εργασίας είναι η τρισδιάστατη ανακατασκευή μοντέλου, με περιοχή μελέτης τα μωσαϊκά ενός μνημείου. Το οποίο ανακαλύφθηκε πρόσφατα από το Τμήμα Αρχαιοτήτων Κύπρου στη θέση «Καταλύματα των Πλακωτών» στο Ακρωτήρι Λεμεσού, στην Κύπρο. Σύμφωνα με τους ειδικούς αρχαιολόγους, μιλάνε για σημαντικό μνημείο της πρωτοβυζαντινής περιόδου που ίσως να χρησιμοποιούταν, για την εναπόθεση και απόδοση τιμών σε άγια λείψανα Για την τεκμηρίωση τους χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια, λόγο και των ιδιαιτεροτήτων του μνημείου αλλά και των μικρών ψηφίδων που αποτελούν τα ψηφιδωτά.

Για τη διευκόλυνση του αναγνώστη, η παρούσα διπλωματική είναι χωρισμένη σε κάποια βασικά κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αφορά κυρίως την ιστορική περιγραφή του αντικειμένου όπου θα αποτυπωθεί

Το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει το θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτούνται για την ανακατασκευή ενός τρισδιάστατου μοντέλου. Το ‘ποίο είναι χωρισμένο σε τρεις θεματικές ενότητες.

Η πρώτη περιλαμβάνει τον εντοπισμό σημείων των φωτογραφιών που έχουν κάποια χαρακτηριστικά γνωρίσματα (χαρακτηριστικά σημεία) και σε μέθοδο για την εύρεση αντιστοιχιών μεταξύ τους, που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την εύρεση της θέσης των 3D σημείων τα οποία προβάλλονται σε αυτές τις θέσεις των εικόνων.

Στην δεύτερη ενότητα, παρουσιάζεται, η ανάπλαση της γεωμετρίας μιας τρισδιάστατης σκηνής από φωτογραφίες, όπου αναλύεται η μέθοδος bundle

adjustment. Χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα για την ανακατασκευής της σκηνής και είναι υπεύθυνη για την ανάκτηση των παραμέτρων της κάμερας και της τρισδιάστατης θέσης της κατά την λήψη των φωτογραφιών.

Η τρίτη και τελευταία ενότητα, αφορά τους αλγόριθμους πολλαπλής εμπροσθοτομίας, γνωστοί και ως multi view stereo (MVS) που έχουν ως στόχο την ανακατασκευή ενός πλήρες 3D μοντέλου του χώρου ή του αντικειμένου από την επεξεργασία συλλογής φωτογραφιών. Η εκτίμηση του υλοποιείται με την εξεύρεση εικονοστοιχείων που να ταυτίζονται στις εικόνες, δίνοντας έτσι την δυνατότητα μετατροπής της 2D θέσης σε 3D βάθη.

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται οι εργασίες πεδίου όπως έχουν υλοποιηθεί, δηλαδή η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την συλλογή τον δεδομένων και για τον προσδιορισμό των φωτοσταθερών

Τέλος το τέταρτο κεφάλαιο, που ουσιαστικά αποτελεί σημαντικό αντικείμενο της διπλωματικής, περιλαμβάνει την αναλυτική επεξεργασία των φωτογραφιών στο λογισμικό PhotoScan. Όπου αφορούν την περιγραφή των βημάτων που ακολουθήθηκαν για τον σχεδιασμό και την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου, καθώς επίσης και την εξαγωγή ορθοφωτοχάρτη.

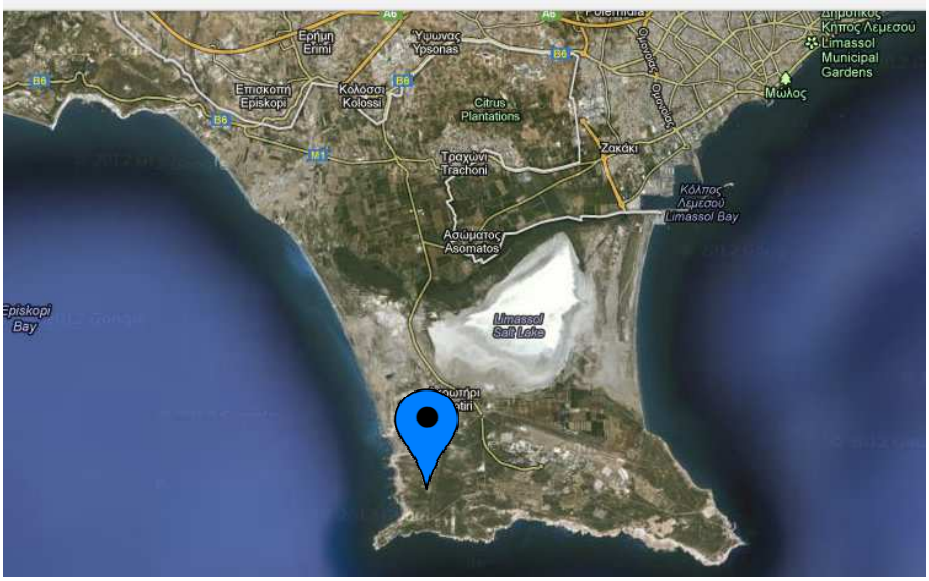
Στο παράρτημα της εργασίας παρουσιάζονται τα επιμέρους μωσαϊκά όπως έχουν χωριστή, επίσης και το τελικό παραδοτέο, σε μορφή χάρτη.

1. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μία από τις πιο σημαντικές αρχαιολογικές ανακαλύψεις των τελευταίων χρόνων πιστεύει ότι έχει κάνει με ανασκαφές του το Τμήμα Αρχαιοτήτων Κύπρου στη θέση «Καταλύματα των Πλακωτών», η οποία εμπίπτει στην περιοχή δικαιοδοσίας των βρετανικών βάσεων Ακρωτηρίου. Η θέση βρίσκεται μέσα στο δάσος της δυτικής ακτής της χερσονήσου.

Εικόνα 1.1: Η τοποθεσία της κοινότητα Ακρωτηρίου εμφανίζεται με μπλε σύμβολο, ο χάρτης προέρχεται από το Google earth.



Εικόνα 1.2: Κομμάτι τις εικόνας 1.1, σε μεγέθυνση στην περιοχή ενδιαφέροντος

Πρόκειται, σύμφωνα με τους ειδικούς αρχαιολόγους, για σημαντικό μνημείο της πρωτοβυζαντινής περιόδου, που αναδύεται μέσα από τον χρόνο, αφού η ανασκαφή άρχισε το 2007 και, όπως εκτιμάται, θα συνεχιστεί για αρκετά ακόμη χρόνια.
Το όλο οικοδόμημα καλύπτεται από πέπλο μυστήριου. «Το μόνο που γνωρίζαμε μέχρι το 1996» όπως μας είπε η επικεφαλής των ανασκαφών, η Αρχαιολογική Λειτουργός Α' του Τμήματος Αρχαιοτήτων δρ Ελένη Προκοπίου, «ήταν για την ύπαρξη αρχαιοτήτων με ψηφιδωτά και για κάποιες δεισιδαιμονίες κατοίκων της γύρω περιοχής, που… άκουγαν να κτυπούν καμπάνες από τον συγκεκριμένο μέρος».

1.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Χαρακτηρίζεται ως «μνημειώδες οικοδόμημα με τον κυρίως ναό, οι διαστάσεις και η μορφή του οποίου δεν έχουν ακόμα εξακριβωθεί». Έχει ήδη αποκαλυφθεί μεγάλο τμήμα ενός εκκλησιαστικού συγκροτήματος, στο οποίο συμπεριλαμβάνεται ένα «μαρτύριο», δηλαδή ένα ταφικό μνημείο, που έχει τη μορφή βασιλικής με εγκάρσιο κλίτος (σχήμα Τ), σε αντίστροφη διάταξη, το οποίο φέτος διαπιστώθηκε ότι εφάπτεται της δυτικής στοάς ενός περίστυλου μάλλον αιθρίου.

Εικόνα 1.3: Φωτογραφία του μνημείου από το UAV του τμήματος

1.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ

Δεν αποκλείεται, μας δήλωσε η δρ Ελένη Προκοπίου «αν υπάρξει βέβαια η απαραίτητη επιγραφική μαρτυρία, να υπάρξει ταύτιση, και δεν αποκλείεται αυτή να σχετίζεται με τον θεϊκό οίκο, που γνωρίζουμε ότι κάπου στην περιοχή της Βυζαντινής Επαρχίας Αμαθούντας ανήγειρε ο Άγιος Πατριάρχης, για την εναπόθεση και απόδοση τιμών σε άγια λείψανα, που παρέλαβε από το εμπερίστατο τότε Πατριαρχείο των Ιεροσολύμων, και ανήκαν στον Πρωτομάρτυρα Στέφανο και τον αδελφόθεο Ιακώβο (υιό του Ιωσήφ από τον πρώτο του γάμο και πρώτο Πατριάρχη Ιεροσολύμων)».

Οι διαστάσεις, ο αρχιτεκτονικός τύπος, η πολυτέλεια στην διακόσμηση των ψηφοθετημένων δαπέδων και των επενδυμένων με μάρμαρα της Κωνσταντινούπολης τοίχων, σε συνδυασμό με την ιδιαίτερη τιμή που φαίνεται να αποδίδεται στους φιλοξενηθέντες νεκρούς των αψίδων, αποτελούν ισχυρές ενδείξεις γι' αυτή την περίπτωση.

1.4 ΕΥΡΗΜΑΤΑ

Κατά την διάρκεια των ανασκαφών αποκαλύφθηκε μια σειρά λειψάνων τοποθετημένα σε μικρές, ειδικά σχεδιασμένες εξέχουσες αψίδες. Στη θέση της νότιας αψίδας αποκαλύφθηκε επίσης, λάρνακα με αδιατάρακτη ταφή γέροντος, το κάλυπτρο της οποίας φέρει στο κέντρο λαξευτό σταυρό με οπή προσφορών. Το οικοδόμημα κοσμείται με καλοδιατηρημένα ψηφιδωτά δάπεδα σε 24 διαφορετικά μοτίβα γεωμετρικών κυρίως συνθέσεων.

Η ύπαρξη δε συμβόλων στα μοτίβα των ψηφιδωτών δαπέδων (ασπίδα Δαυίδ – Ηράκλειος ο νέος Δαυίδ), που μπορούν να συνδεθούν με την προπαγάνδα του Ηρακλείου για τον εν εξελίξει πόλεμο εναντίον των Περσών, το εντάσσει σε ένα πολύ συγκεκριμένο ιστορικό πλαίσιο δραματικών γεγονότων της εποχής εκείνης, ως συνέπεια των περσικών επιδρομών και καταλήψεων σημαντικών εδαφών της αυτοκρατορίας στην Ανατολή, που φαίνεται να επηρέασαν το νησί μας, αφού έγινε χώρος υποδοχής προσφύγων

Σε άριστη κατάσταση σώζεται η επιγραφή στη μικρή ασπίδα του νοτίου κλίτους, στην οποίαν αναγράφεται ο πρώτος στίχος από τον 142ο ψαλμό του Δαυίδ «Κύριε εισάκουσον της προσευχής μου».

Ο κ. Λευτέρης Χαραλάμπους, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την συντήρηση των μωσαϊκών που αναβρέθηκαν, μας δήλωσε ότι αναφορικά με την τεχνολογία και τα

μοτίβα των ψηφιδωτών έχουμε γνώση για την καλλιτεχνική τους αξία. «Τα ψηφιδωτά είναι ξεχωριστά και μοναδικά και δεν τα συναντάμε συχνά στο νησί μας», τόνισε.

Τα δεδομένα αυτά, καθώς και ο περίτεχνος διάκοσμος των ψηφιδωτών του δαπέδων, αλλά και των υπόλοιπων μερών του, υποδεικνύουν ότι πρόκειται για κορυφαίο μνημείο της εποχής του.

Η επιτυχής έκβαση του πολέμου εναντίον των Περσών σήμανε και το τέλος του μνημείου αφού οι πρόσφυγες επέστρεψαν στις πατρίδες τους. Την χαριστική βολή στο εκκλησιαστικό συγκρότημα έδωσε ο καταστροφικός σεισμός των μέσων του 7ου αιώνα.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Για την καλύτερη κατανόηση αυτής της ενότητας, παρατίθεται στην εισαγωγή μια συνοπτική αναφορά των βημάτων που ακολουθήθηκαν για την δημιουργία 3D μοντέλου από φωτογραφίες.

Έχοντας συγκεντρώσει τις φωτογραφίες που απεικονίζουν το αντικείμενο μελέτης ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

1. Αρχικά γίνεται ανίχνευση των σημείων ενδιαφέροντος και η εξαγωγή των χαρακτηριστικών σημείων για κάθε εικόνα με τη μέθοδο SIFT.
2. Υπολογισμός των παραμέτρων των καμερών και των τρισδιάστατων σημείων με τη μέθοδο Bundle Adjustment.
3. Ανακατασκευή ενός πλήρες 3D μοντέλου του χώρου.
4. Τέλος, γίνεται γεωαναφορά για την ένταξη της 3D επιφάνειας σε ένα σύστημα αναφοράς.

2.2 ΣΥΝΤΑΥΤΙΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ

Η Συνταύτιση Χαρακτηριστικών Σημείων ορίζεται ως η διαδικασία αυτόματου εντοπισμού ομόλογων σημείων μεταξύ δύο ή περισσότερων επικαλυπτόμενων εικόνων, η οποία εκτελείται με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Πρώτα όμως για να είναι δυνατή η κατανόηση της συνταύτισης χαρακτηριστικών σημείων, θα πρέπει να διευκρινιστεί η έννοια του «σημείου». Δεδομένου του ορισμού του από την γεωμετρία, στο χώρο της ψηφιακής εικόνας ως σημείο μπορεί να θεωρηθεί κάθε ένα εικονοστοιχείο (pixel), αφού αυτό είναι η μικρότερη διακριτή οντότητα.

Η θέση (x,y) ενός pixel σε μια ψηφιακή φωτογραφία είναι απλά ένα γεωμετρικό σημείο στο επίπεδο της εικόνας. Τα σημεία αυτά θα πρέπει να διακρίνονται έτσι ώστε να μπορούν να εντοπιστούν και να αντιστοιχιστούν σε διαφορετικές εικόνες. Κάθε pixel έχει την δική του ταυτότητα, η οποία είναι η ένταση του ή τα χαρακτηριστικά του. Ωστόσο, η ένταση αυτή είναι μια σύνθετη συνάρτηση πολλών παραμέτρων κατά

τον σχηματισμό της εικόνας. Ο στόχος είναι η αναγνώριση αυτών των διαφορετικών εικονοστοιχείων από τα χαρακτηριστικά του, φυσικά μαζί με τη γύρω περιοχή του και όχι μεμονωμένα.

Τα χαρακτηριστικά μιας εικόνας να χωριστούν σε τρία είδη:

- τα σημεία ενδιαφέροντος,
- στις ακμές και
- στις περιοχές ενδιαφέροντος.

Τα σημεία ενδιαφέροντος είναι τα χαρακτηριστικά της εικόνας που μοιάζουν με σημεία και έχουν δισδιάστατη δομή. Οι ακμές είναι σημεία της εικόνας όπου διακρίνονται τα όρια ανάμεσα σε δυο περιοχές ή αντικείμενα και μπορούν επίσης να συνδυαστούν με βάση τον προσανατολισμό τους και την τοπική τους ένταση. Τέλος, οι περιοχές ενδιαφέροντος είναι οι περιοχές που δομούν μια εικόνα, και παρουσιάζουν μεταξύ τους μεγάλη ομοιότητα στη τονική ένταση.

Τα χαρακτηριστικά σημεία μιας εικόνας είναι τα σημεία που προσδιορίζουν περιοχές με μεγάλη διακύμανση, δηλαδή περιοχές που είναι χρήσιμες κατά την συνταύτιση.

Η συνταύτιση χαρακτηριστικών εκτελείται σε δυο στάδια. Το πρώτο στάδιο έχει να κάνει με την εξαγωγή των χαρακτηριστικών της κάθε εικόνας ξεχωριστά και το δεύτερο αφορά την συνταύτιση των χαρακτηριστικών υπολογίζοντας ομοιότητες μεταξύ των ιδιοτήτων τους.

Τα χαρακτηριστικά, στο πρώτο στάδιο, εξάγονται με την εφαρμογή σημειακών τελεστών ανίχνευσης (local / interest operators) και περιλαμβάνουν περιγραφικές ιδιότητες (attributes). Η κλίση της συνάρτησης έντασης του τόνου γύρω από τα σημεία είναι μια ιδιότητα που τα συνοδεύει κατά την εξαγωγή τους.

Στο δεύτερο στάδιο όπου γίνεται η συνταύτιση χαρακτηριστικών, η αναζήτηση ομολογιών περιορίζεται σε δυο λίστες περιγραφικών χαρακτηριστικών και δεν γίνεται σε όλη την εικόνα. Αυτό φέρνει ως αποτέλεσμα την μεγάλη μείωση της πληροφορίας άρα και μείωση του απαιτούμενου χρόνου.

Τα στάδια αυτά σχετίζονται μεταξύ τους λόγο του ότι η επιλογή των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων τους, συνδυάζονται έτσι ώστε στην συνέχεια να είναι εύκολη, γρήγορη και ακριβής η εύρεση των ομολογιών.

Όμως για να γίνονται αποδεκτά τα χαρακτηριστικά και οι περιγραφικές τους ιδιότητες θα πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες προϋποθέσεις (Förstner, 1986, Baltsavias, 1991, Remondino, 2006):

- Ευκρίνεια (Distinctness): να είναι σαφώς σαφώς ορισμένα και να διαχωρίζονται από τα γειτονικά τους.
- Σπανιότητα (Seldomness): να είναι μοναδικά ή σπάνια σε σχέση με όλη την εικόνα.
- Σταθερότητα (Stability): να είναι όσο το δυνατό λιγότερη ευαίσθητα απέναντι στο θόρυβο και να αναμένεται να εμφανίζονται σε όσο το δυνατό περισσότερες εικόνες.
- Ανεξαρτησία (Invariance): να διατηρούνται αναλλοίωτα σε γεωμετρικές και ραδιομετρικές μεταβολές.
- Ερμηνεία (Interpretability): να επιδέχονται φυσική ερμηνεία.
- Πυκνότητα (Density): να είναι τέτοιο το πλήθος τους και η κατανομές τους ώστε να είναι δυνατή η εύρεση ομολογιών στο δεύτερο στάδιο.
- Ακρίβεια (Precision): να είναι προσδιορισμένη με ακρίβεια η θέση τους πάνω στην εικόνα.
- Ταχύτητα (Speed): να είναι γρήγορη η εξαγωγή τους.

Στην διεθνή βιβλιογραφία μπορεί κανείς να βρει πλήθος αλγορίθμων για την ανίχνευση των χαρακτηριστικών σημείων που αποσκοπούν στην υπολογιστική εξαγωγή πληροφοριών από εικόνες και στην διαπίστωση, εάν ένα σημείο της εικόνας είναι χαρακτηριστικό σημείο, ή όχι. Το αποτέλεσμα θα είναι ένα υποσύνολο σημείων της εικόνας, με μορφή μεμονωμένων σημείων.

2.2.1 Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ SIFT

Ο αλγόριθμος SIFT (Scale – Invariant Feature Transform) αναπτύχθηκε από τον David Lowe (1999) και αφορά την εξαγωγή σημειακών χαρακτηριστικών από εικόνες.

Ουσιαστικά εξάγει από τις εικόνες μια συλλογή σημείων, τα οποία συνοδεύονται από ένα διάνυσμα περιγραφικών ιδιοτήτων (με την δισδιάστατη θέση, την κλίμακα και τον προσανατολισμό τους), προκειμένου να είναι δυνατή η συνταύτιση σε επόμενο στάδιο όμοιων χαρακτηριστικών σε διαφορετικές εικόνες.

Ο αλγόριθμος που προτείνει ο Lowe, αποτελεί μια ολοκληρωμένη μέθοδο έτσι ώστε τα χαρακτηριστικά που εντοπίζονται, να διατηρούνται αναλλοίωτα σε στροφές της εικόνας (rotation invariance) και σε μεταβολές της κλίμακας (scale invariance). Επιπλέον, δεν επηρεάζονται, σε μεγάλο βαθμό, σε μεταβολές της φωτεινότητας, σε αφινικούς μετασχηματισμούς και στην παρουσία θορύβου στην εικόνα.

Η λειτουργία του SIFT ακόλουθα ορισμένα βήματα για την εξαγωγή και ταύτιση των σημείων ενδιαφέροντος, τα οποία συνοψίζονται πιο κάτω:

- Δημιουργείται μια πυραμίδα εικόνων σε όλες τις πιθανές κλίμακες, εφαρμόζοντας στην τελευταία μια συνεχή συνάρτηση μεταβολής κλίμακας (scale – space). Σε κάθε επίπεδο της πυραμίδας εφαρμόζονται γκαουσιανά φίλτρα εξομάλυνσης διαφορετικής τυπικής απόκλισης. Ως σημεία ενδιαφέροντος επιλέγονται εκείνα που διαφέρουν σημαντικά από των σύνολο των 26 γειτονικών εικονοστοιχείων (με τις 8 γειτονικές τους εικονοψηφίδες και με τις 9 γειτονικές τους στο ανώτερο και κατώτερο επίπεδο της πυραμίδας.
- Η θέση των σημείων ενδιαφέροντος προσδιορίζεται με υποψηφιδική ακρίβεια παρεμβάλλοντας πολυώνυμα δευτέρου βαθμού στη συνάρτηση διαφοράς των εικόνων.
- Μετά τον εντοπισμό των σημείων, υπολογίζεται ο προσανατολισμός και το μέτρο των τοπικών κλίσεων της εικόνας, στην κλίμακα του επιπέδου της πυραμίδας που αυτό εντοπίστηκε. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας, είναι η δημιουργία ενός διανύσματος nx4 (όπου n: το πλήθος των εξαγόμενων σημείων), με το κάθε εξαγόμενο σημείο να συνοδεύεται από τις συντεταγμένες της θέσης του σε δεκαδική μορφή, την κλίμακα και τον προσανατολισμό του.
- Ακολουθεί η δημιουργία του διανύσματος των περιγραφικών χαρακτηριστικών του κάθε σημείου, ορίζοντας ένα παράθυρο που στρέφεται βάσει του προσανατολισμού της επικρατούσας κλίσης. Μέσα σε αυτό το παράθυρο υπολογίζονται τα μέτρα και οι διευθύνσεις των τοπικών κλίσεων της εικόνας. Τα δεδομένα της εικόνας διαμορφώνονται, έτσι ώστε να παραμένουν αναλλοίωτα σε μελλοντικούς μετασχηματισμούς.
- Στο τελευταίο στάδιο γίνεται η αντιστοίχιση των χαρακτηριστικών χρησιμοποιώντας ως μέτρο ομοιότητας, την ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων των ιδιοτήτων τους. Για την εύρεση των ομολογιών,

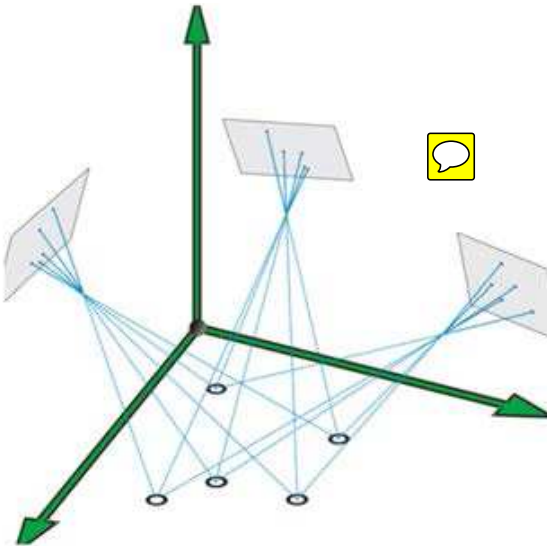
εφαρμόζεται η μέθοδος του εγγύτερου γείτονα, δηλαδή αντιστοιχίζονται χαρακτηριστικά που έχουν την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων τους.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει ο συγκεκριμένος αλγόριθμος, είναι ότι εντοπίζει μεγάλο πλήθος χαρακτηριστικών που διατηρούνται αναλλοίωτα σε γεωμετρικές και ραδιομετρικές παραμορφώσεις. Ακόμη και όταν οι εικόνες παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, τα αποτελέσματα της συνταύτισης είναι ικανοποιητικά. Ωστόσο λόγω του μεγάλου ποσοστού δεδομένων που παράγει κατά την εκτέλεση του, απαιτεί μεγάλη χωρητικότητα μνήμης ενός υπολογιστή.

2.3 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Η ανάπλαση της γεωμετρίας μιας τρισδιάστατης σκηνής από εικόνες, αποτελεί σημαντικό κεφάλαιο στην επεξεργασία της εικόνας.
Από μία μόνο εικόνα μπορούν να εξαχθούν αρκετές πληροφορίες, εντούτοις αυτές δεν είναι αρκετές για να αναδημιουργηθεί η αντίστοιχη τρισδιάστατη σκηνή (τουλάχιστον όχι χωρίς να γίνει ένας σημαντικός αριθμός υποθέσεων στη δομή της σκηνής). Αυτό οφείλεται στη φύση της διαδικασίας από την οποία προκύπτει η εικόνα.
Εάν λάβουμε μια προβολή της παρατηρηθείσας τρισδιάστατης σκηνής, επάνω σε μια δισδιάστατη εικόνα, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χαθεί το βάθος. Το τρισδιάστατο σημείο που αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο σημείο της εικόνας, είναι αναγκασμένο να είναι πάνω στον οπτικό άξονα. Όμως, ενώ ξέρουμε την ευθεία πάνω στην οποία βρίσκεται το τρισδιάστατο σημείο, δεν γνωρίζουμε την ακριβή θέση του.
Οι μέθοδοι «δομής από κίνηση» (Structure from Motion) μπορούν να εκτιμήσουν τις θέσεις των καμερών και των τρισδιάστατων σημείων από μια ακολουθία δύο ή περισσότερων όψεων. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται επίσης τρισδιάστατη ανακατασκευή και συνήθως βασίζεται στα αντίστοιχα χαρακτηριστικά σημεία που έχουν εντοπιστεί στις διάφορες εικόνες. Τελικός σκοπός είναι η απόκτηση περισσότερων και σωστότερων χαρακτηριστικών σημείων, γεγονός που οδηγεί στη μοναδική πυκνή προσέγγιση ανακατασκευής.
Στο πρόβλημα αυτό, δίνεται η λύση από την μέθοδο βελτιστοποίησης ρύθμιση δέσμης (bundle adjustment).

Δεδομένου ενός συνόλου εικόνων που απεικονίζουν έναν αριθμό τρισδιάστατων σημείων από διάφορες οπτικές γωνίες, η ρύθμιση δέσμης (bundle adjustment) μπορεί να ορισθεί ως το πρόβλημα της άμεσης βελτιστοποίησης των τρισδιάστατων συντεταγμένων που περιγράφουν τη γεωμετρία της σκηνής, τις παραμέτρους της σχετικής κίνησης και τα οπτικά χαρακτηριστικά της κάμερας που χρησιμοποιήθηκε για την απόκτηση των εικόνων, σύμφωνα με ένα κριτήριο βελτιστοποίησης. Το κριτήριο αυτό περιλαμβάνει τις αντίστοιχες προβολές εικόνας όλων των σημείων.



Σχήμα 2.1: Τρισδιάστατα σημεία από διάφορες οπτικές γωνίες

Στην ουσία, προσδιορίζονται οι παράμετροι της κάμερας και της σκηνής, έτσι ώστε να υπολογισθεί σετ παραμέτρων, που να προβλέπουν τις θέσεις των σημείων, στο σετ φωτογραφιών που τίθεται υπό επεξεργασία.

Η bundle adjustment χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα ως το τελευταίο στάδιο τρισδιάστατης ανακατασκευής της σκηνής (που βασίζεται σε χαρακτηριστικά σημεία (features)) και είναι υπεύθυνη για την ανάκτηση των παραμέτρων της κάμερας και της τρισδιάστατης θέσης της κατά την λήψη των φωτογραφιών. Αναγάγετε σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης της τρισδιάστατης δομής και των παραμέτρων προβολής (π.χ. τη στάση της μηχανής και πιθανόν την εσωτερική βαθμονόμηση και την ακτινική παραμόρφωση), για να δημιουργήσει μια ανακατασκευή που είναι βέλτιστη υπό ορισμένες προϋποθέσεις σχετικά με το θόρυβο που αναφέρεται στα συγκεκριμένα features της εικόνας: εάν το σφάλμα της εικόνας είναι μια Γκαουσσιανή με μέση τιμή μηδέν, τότε το bundle adjustment είναι ο Μέγιστος Δείκτης Πιθανότητας.

Η ονομασία της μεθόδου προέρχεται από τις δέσμες (bundle) ακτινών του φωτός, που προέρχονται από κάθε σημείο και συγκλίνουν στο οπτικό κέντρο της μηχανής, οι

οποίες προσαρμόζονται βέλτιστα τόσο ως προς τη δομή αλλά και στις παραμέτρους προβολής. Η μέθοδος bundle adjustment χρησιμοποιήθηκε στην φωτογραμμετρία την δεκαετία του 1950 με σκοπό να ελαχιστοποιεί τα σφάλματα επαναπροβολής μεταξύ των θέσεων των σημείων που παρατηρήθηκαν και προβλέφθηκαν.

Το σφάλμα αυτό εκφράζεται ως το άθροισμα των τετραγώνων ενός μεγάλου αριθμού μη γραμμικών, πραγματικών συναρτήσεων. Έτσι, η ελαχιστοποίηση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας μη γραμμικούς αλγορίθμους ελαχίστων τετραγώνων. Αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί για να κερδίσουμε τεράστια υπολογιστικά οφέλη αποφεύγοντας την αποθήκευση και την επεξεργασία μηδενικών στοιχείων.

2.4 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

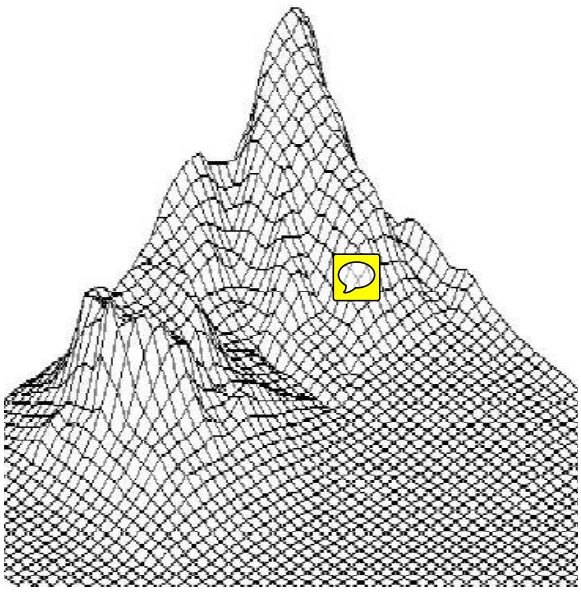
Από τις πρώτες έρευνες στην οπτική αντίληψη, ήταν γνωστό ότι αντιλαμβανόμαστε το βάθος, με βάση τις διαφορές στην εμφάνιση μεταξύ του αριστερού και δεξιού ματιού. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα ο κόσμος να ενδιαφέρεται όλο και περισσότερο για την τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου ή κάποιου αντικειμένου.

Οι αλγόριθμοι πολλαπλής εμπροσθοτομίας, γνωστοί και ως multi view stereo (MVS) έχουν ως στόχο την ανακατασκευή ενός πλήρες 3D μοντέλου του χώρου ή του αντικειμένου από συλλογή φωτογραφιών που λαμβάνονται από γνωστές θέσεις της φωτογραφικής. Η εκτίμηση του υλοποιείται με την εξεύρεση εικονοστοιχείων που να ταυτίζονται στις εικόνες, δίνοντας έτσι την δυνατότητα μετατροπής της 2D θέσης σε 3D βάθη. Τα τελευταία χρόνια κατασκευάστηκε μεγάλος αριθμός αλγορίθμων MVS υψηλής ποιότητας, που βοήθησαν στην ανάπτυξη της τέχνης τρισδιάστατης ανακατασκευής.

Το 3D πλέγμα με την χρήση είτε πολυγωνικών πλεγμάτων είτε με την χρήση τριγωνικών πλεγμάτων αποτελεί τον πιο αντιπροσωπευτικό και ευρέως διαδεδομένο αλγόριθμο οπτικής αναπαράστασης τρισδιάστατων επιφανειών. Στόχος του αλγορίθμου είναι η μετατροπή ενός νέφους σημείων σε μια συνεχόμενη επιφάνεια.

Τα πολυγωνικά πλέγματα χρησιμοποιούνται πολύ συχνά για την αναπαράσταση επιφανειών, ως ένα σύνολο συνδεδεμένων επίπεδων πλευρών, λόγω της ευρείας υποστήριξής τους στα αρχεία VRML1 , OpenGL 2, καθώς και σε άλλους τύπους αρχείων και βιβλιοθήκες γραφικών.

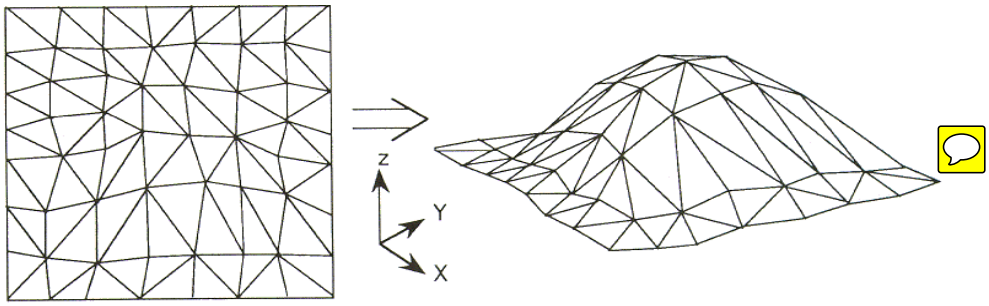
Ένα πολυγωνικό πλέγμα (polygonal mesh) αποτελείται από τρία διαφορετικά είδη πλεγματικών στοιχείων : τις ακμές (edges), τις κορυφές (vertices)και τις έδρες (faces). Τα πλεγματικά στοιχεία περιγράφουν πληροφορία που αποτελείται από την γεωμετρία του πλέγματος (mesh geometry) και την συνδεσιμότητα του πλέγματος (mesh connectivity).Η σχέση πρόσπτωσης μεταξύ των πλεγματικών στοιχείων περιγράφεται από την πλεγματική συνδεσιμότητα.



Σχήμα 2.2: Πολυγωνικό πλέγμα

Η σχέση πρόσπτωσης καθορίζει για κάθε έδρα τις κορυφές και τις ακμές του σχηματιζόμενου βρόχου, για κάθε ακμή τις κορυφές και τις έδρες στις οποίες πρόσκειται η ακμή, και για κάθε κορυφή τις προσκείμενες ακμές και έδρες. Ο αριθμός των ακμών που προσπίπτουν σε μία κορυφή αποτελεί το σθένος (valence) της κορυφής, και ο αριθμός των ακμών που προσπίπτουν σε μία έδρα ισοδυναμεί με τον βαθμό (degree) της έδρας. Η πλεγματική γεωμετρία προσδιορίζει μία θέση στο χώρο για κάθε κορυφή.

Τα τριγωνικά πλέγματα (triangular meshes) είναι μία ειδική περίπτωση των πολυγωνικών πλεγμάτων, στα οποία ο βαθμός κάθε έδρας είναι ίσος με 3, δηλαδή κάθε έδρα είναι τριγωνική: αποτελείται από τρεις κορυφές και τρεις ακμές. Το τρίγωνο είναι το βασικό γεωμετρικό στοιχειώδες συστατικό που χρησιμοποιείται στα διάφορα υποσυστήματα γραφικών και σε πολλούς αλγορίθμους προσομοίωσης. Συνήθως όλοι οι κόμβοι συνδέονται με τους δυο πλησιέστερους, όπως διακρίνεται και στο σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3: Τριγωνικό πλέγμα

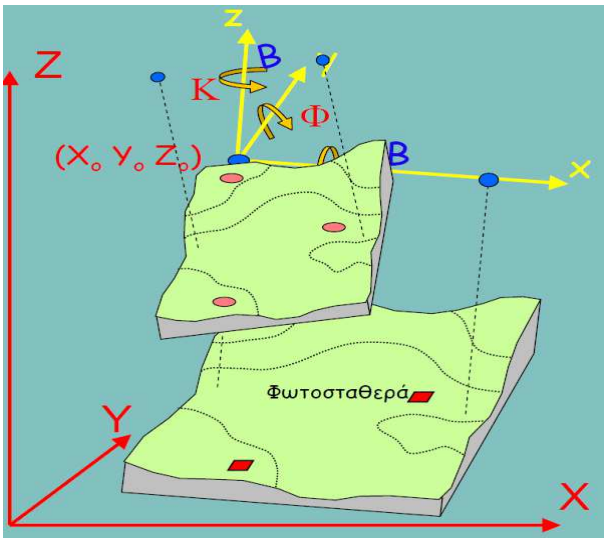
Και τα δυο πλέγματα, είναι κατάλληλα για προβολή των αποτελεσμάτων και αποτελούν κύρια μέθοδο αντιπροσώπευσης αποτελεσμάτων σε ορισμένους αλγόριθμους.

Οι αλγόριθμοι αυτοί απαιτούν την είσοδο βαθμονομημένων φωτογραφιών και γεωμετρικής έκτασης του αντικειμένου ή της σκηνής που θα ανακατασκευαστεί. Ουσιαστικά συσχετίζουν τις μετρήσεις από πολλές εικόνες ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα την τρισδιάστατη κατασκευή της επιφάνειας, με μεγάλη ακρίβεια.

Η επιφάνεια που δημιουργείται απεικονίζει το αντικείμενο στις τρις διαστάσεις του, όμως θα ήταν επίσης πολύ χρήσιμη αν είχε την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή και χαρτογραφικών πληροφοριών.

2.5 ΑΠΟΛΥΤΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ – ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ

Ο Απόλυτος Προσανατολισμός ορίζεται η διαδικασία αλλαγής κλίμακας, μεγέθους και περιστροφής ενός στερεού σώματος, έτσι ώστε αυτό να εφαρμοσθεί σε ένα συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς. Η εικόνα που προκύπτει από την εφαρμογή της πιο πάνω μεθοδολογίας ονομάζεται γεωαναφερομένη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή χαρτογραφικών πληροφοριών.



Σχήμα 2.4: Απόλυτος Προσανατολισμός

Οι παράμετροι που μας ενδιαφέρουν σε αυτή την διαδικασία είναι οι τρεις μετατοπίσεις (Xo,Yo,Zo), οι τρεις στροφές (Ω,Φ,K) καθώς και η κλίμακα m, σύνολο επτά παράμετροι

Επομένως απαιτεί την ύπαρξη ικανού αριθμού σημείων ελέγχου - φωτοσταθερών (control points) από την φωτογραφία, των οποίων οι συντεταγμένες σε ένα ορισμένο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς είναι ήδη γνωστές, που θα εξασφαλίζουν τις επτά

απαραίτητες εξισώσεις, για την αποκατάσταση της κλίμακας, της θέσης και του προσανατολισμού του στερεοσκοπικού μοντέλου.

Έτσι τα ελάχιστα απαραίτητα φωτοσταθερά για τον Απόλυτο Προσανατολισμό είναι δυο οριζοντιογραφικά που θα διασφαλίζουν την κλίμακα και μερικώς την θέση, και τρία υψομετρικά που θα διασφαλίζουν την οριζοντίωση (π.χ X,Y,Z, Xo,Yo,Zo, και Z1).

Η επιλογή των θέσεων και των σημείων στο έδαφος για φωτοσταθερά χρειάζεται προσοχή και μελέτη, αφού η κατανομή τους στην επικαλυπτόμενη περιοχή λαμβάνει σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματα των σφαλμάτων μας.

Κατά την εκτέλεση του Απόλυτου Προσανατολισμού σημαντικό στοιχείο αποτελεί και η εκτίμηση του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (Root-Mean-Square Error,RMS). Το RMS που υπολογίζετε στην προσπάθεια απόδοσης συντεταγμένων του πραγματικού κόσμου σε μια εικόνα, μέσω του κατάλληλου λογισμικού, αποτελεί ένδειξη τόσο για την επιτυχή επιλογή των σημείων ελέγχου, όσο και για την συνολική εκτίμηση της ακρίβειας της διαδικασίας.

Τα σφάλματα που εισέρχονται σε αυτή την διαδικασία, οφείλονται σε:

- Ατελή εσωτερικό προσανατολισμό
- Ατελή σχετικό προσανατολισμό
- Αβεβαιότητες στις μετρήσεις
- Αβεβαιότητες στους υπολογισμού

3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για τον σκοπό της γεωμετρικής τεκμηρίωσης του αρχαιολογικού μνημείου Βασιλική στο Ακρωτήρι της Κύπρου, με την εφαρμογή της φωτογραμμετρίας, απαραίτητες ήταν οι εργασίες πεδίο, αλλά και η μελέτη της περιοχής. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, παρατίθεται η ιδιαιτερότητα της περιοχής καθώς και η ροή των εργασιών πεδίου που ακολουθήθηκαν, τόσο των τοπογραφικών όσο και των φωτογραμμετρικών εργασιών. Με σκοπό την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων για τη μετέπειτα κατεργασία τους. Επιπλέον, περιγράφεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των εργασιών.

3.2 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η μελέτη της περιοχής και του αντικειμένου που θα αποτυπωθούν αποτελεί την βάση των εργασιών του πεδίου.

Μελετώντας το αντικείμενο, διαπιστώνονται οι τρόποι με τους οποίους υπάρχει η δυνατότητα να αποτυπωθεί. Αφού μιλάμε στην περίπτωση αύτη για ένα μνημείο, σκέφτεσαι παράλληλα και τις μεθόδους εκείνες οι οποίες δεν θα του προκαλέσουν οποιαδήποτε ζημία ή φθορά.

Σε αυτή την περίπτωση, όπου το αντικείμενο μελέτης ήταν ψηφιδωτά τα οποία βρίσκονται στο δάπεδο, μας δημιουργείται αμέσως την αντίληψη της φωτογράφησης από ψηλά, δηλαδή αεροφωτογράφησης. Κάπου εδώ λοιπόν αρχίζει να φέρνεις στο μυαλό τον εξοπλισμό που είναι διαθέσιμος, είτε από το πανεπιστήμιο είτε από το τμήμα Αρχαιοτήτων, Καθώς και τους περιορισμούς της περιοχής, όπου βρίσκεται το μνημείο.

Αρχικά θα αναφερθεί ο λόγος που οδηγηθήκαμε στην επιλογή της πιο πάνω μεθόδου, δηλαδή της Φωτογραμμετρίας.

Όπως έχει αναφερθεί και πιο πριν το ζητούμενο ήταν να γίνει μια αποτύπωση των μωσαϊκών της περιοχής, με μεγάλη ακρίβεια και λεπτομέρεια. Όποτε με βάση τα πιο πάνω, θα έπρεπε να δημιουργηθεί ένας ορθοφωτοχάρτης με την χρήση της Φωτογραμμετρίας έτσι ώστε να υπάρχει η ευχέρεια της απόδοσης, των λεπτομερειών

και της ακρίβειας που ζητήθηκε να υπάρχει, στο τελικό παραδοτέο. Επίσης κάποιοι άλλοι λόγοι που μας ώθησαν στην Φωτογραμμετρία είναι το είδος του αντικειμένου και η περιοχή του. Το είδος του αντικειμένου όπως έχει γίνει γνωστό είναι τα μωσαϊκά δαπέδου που έχουν ανεβ[illegible]εί. Όποτε υπάρχει η ανάγκη αποτύπωσης των σχημάτων και των χρωμάτων που απεικονίζονται σε αυτά. Σίγουρα δεν θα ήταν σωστό και λογικό να δημιουργηθεί ένα pixel size μεγαλύτερο από την ψηφίδα. Εάν το μέγεθος θα ήταν μεγαλύτερο από την ψηφίδα θα είχε ως αποτέλεσμα να χαθεί σχηματική και χρωματική πληροφορία. Άρα λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος του μωσαϊκού αλλά και το μέγεθος του pixel που θα ήταν σωστό να δημιουργηθεί, καταλήγουμε σε ένα μικρότερο pixel, και από αυτό το ψηφίδων του μωσαϊκού. Επομένως, για να το επιτύχουμε αυτό θα έπρεπε η λήψη των φωτογραφιών να γίνει από χαμηλό ύψος.

Όσο αφορά την περιοχή, όπως θα έπρεπε να είναι γνωστό σε όλους μας, είναι αναγκαίο να υπάρχει ευαισθησία στα μνημεία μας έτσι ώστε να μην καταστρέφονται μέρη της πολιτιστικής μας κληρονομιάς. Το λογικό είναι να γίνει η χρήση μιας μεθόδου που δεν ήταν αναγκαία η χρήση αρκετών οργάνων τα οποία θα δημιουργήσουν, άθελα φυσικά, κάποιες φθορές ακόμα και ζημίες στο μνημείο.

Συγίζοντας αυτά καθώς επίσης και την διαθεσιμότητα σε εξοπλισμό όπου αναλύεται πιο κάτω, αποφάνθηκε η χρήση της Φωτογραμμετρικής μεθόδου.

Το τμήμα δεν είχε κάποιο απαραίτητο εξοπλισμό ή όργανα που θα μας ήταν χρήσιμα για την υλοποίηση των εργασιών , σε αντίθεση με το πανεπιστήμιο που διαθέτει πλούσι εξοπλισμό τόσο για τις τοπογραφικές όσο και για τις φωτογραμμετρικές εργασίες πεδίου.

Διαπιστώνοντας ότι οι τοπογραφικές εργασίες καλύπτονταν, η αμέσως επόμενη κίνηση είναι να βρεθούν λύσεις και για τις φωτογραμμετρικές.

Ο εξοπλισμός που μπορούσε να παρέχει το πανεπιστήμιο για την λήψη φωτογραφιών είναι:

α) το UAV (unmanned autonomous vehicle),

β) το Z-Scan και

γ) βαθμονομημένες φωτογραφικές.

Επιπλέον λύσεις θα μπορούσαν να ήταν:
α) ένα μπαλόνι με ήλιο, που θα μετέφερε την φωτογραφική σε ένα συγκεκριμένο ύψος, β) ένας γερανός που θα ανύψωνε ένα άτομο με την φωτογραφική ή
γ) ένας ίδιος εξοπλισμός που θα κατασκευαζόταν για αυτή την περίπτωση.

Μελετώντας τις επιλογές που έχεις στην διάθεση σου, αρχίζεις να αποκλείεις εκείνες τις λύσεις που δεν μπορούν να εφαρμοστούν.
Το UAV δεν είχε την δυνατότητα να πετάξει στο μικρό ύψος που ήταν το ζητούμενο, ενώ με το Z-scan δεν είναι πρακτικά εύκολο να παρθούν κατακόρυφες φωτογραφίες στο δάπεδο. Επίσης δεν είχαμε στην διάθεση μας κάποιο μπαλόνι, ούτε ήταν εύκολη η χρήση κάποιας άλλης κατασκευής λόγω του ότι θα δημιουργούσε σκιές στις φωτογραφίες. Όσο αφορά την μεταφορά στην περιοχή κάποιου γερανού, δεν ήταν εφικτό, καθώς θα χρειαζόταν να έρθει σε κοντινή απόσταση από το μνημείο, όπου το οποίο στη περίμετρο του έχει πυκνή βλάστηση.

Επίσης σημαντικός παράγοντας που λήφθηκε υπόψη για την επιλογή της μεθόδου ήταν και η πίεση του χρόνου, καθώς του ότι, για την προστασία των ψηφιδωτών, θα καλύπτονταν σε σύντομο χρονικό διάστημα από άμμο και τσακήλι. Όποτε χρειαζόταν μια γρήγορη μέθοδος λήψεις φωτογραφιών.

Επομένως, η μόνη εφικτή λύση λήψεων εικόνων, είναι η επίγεια λήψη κεκλιμένων φωτογραφιών με το ανθρώπινο χέρι, με τη προσπάθεια η βάση της φωτογραφικής, δηλαδή το χέρι, να μένει όσο πιο σταθερό γίνεται.

3.3 ΙΔΡΥΣΗ ΣΤΑΣΕΩΝ

Από τα σημαντικότερα ίσως βήματα εργασιών για την υλοποίηση της αποτύπωσης ενός μνημείου και όχι μόνο είναι η ίδρυση των στάσεων. Μετά από την μελέτη της περιοχής κρίθηκε αναγκαία η ίδρυση μόνο δυο στάσεων, μια για το μηδενισμό του οργάνου και μια στάση για την λήψη των μετρήσεων, καθώς του ότι υπήρχε η οπτική επαφή με όλα τα σημεία του χώρου, με μέγιστη κεκλιμένη απόσταση στα 32,5772 m.

Η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού έχει να κάνει σε πολύ σημαντικό βαθμό με την επιθυμητή ακρίβεια, λαμβάνοντας υπόψη το τελικό παράγωγο, τον οικονομικό παράγοντα καθώς και την διαθεσιμότητα του Πανεπιστημίου σε εξοπλισμό.

Η ίδρυση των στάσεων υλοποιήθηκε με την χρήση ενός Παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης (GPS).

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση των στάσεων ήταν ο εξής:

- ένα παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης GPS της Leica Viva,
- στειλεός για τον δέκτη GPS.

3.4 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΛΗΨΕΩΝ

Ο προγραμματισμός λήψεων ο οποίος ακολουθήθηκε χωρίζεται σε δυο εργασίες,
α) λήψη φωτοσταθερών και β) λήψη φωτογραφιών.

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα πρέπει να τονιστεί ότι η λήψη φωτογραφιών έγινε σε δυο διαφορετικές μέρες και ώρες, με αποτέλεσμα να υπάρχουν οπτικές διαφορές ανάμεσα στους ορθοφωτοχάρτες των δυο ημερών.

Όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω, η λήψη φωτογραφιών έγινε με το ανθρώπινο χέρι και το μόνο εξοπλισμό, την καλιμπραρισμένη φωτογραφική Nikon D90.

Η διαδικασία που πραγματοποιήθηκε, στηρίζεται πολύ στον κλασσικό επίγειο προγραμματισμό με κεκλιμένες φωτογραμμετρικές λήψεις. Η μεθοδολογία λήψης, είναι στοιχείο που την διαφοροποιούν από τη κλασσική μέθοδο, όπως είναι ο περιορισμός της απόστασης που σε αυτή την περίπτωση είναι το ύψος του παρατηρητή και η βάση της φωτογραφικής που είναι το ανθρώπινο χέρι με την προσπάθεια να παραμένει όσο πιο σταθερό γίνεται. Ταυτόχρονα γινόταν και η προσπάθεια να υπάρχει η επικάλυψη που χρειάζεται ώστε να μην υπάρχουν κενά στο τρισδιάστατο μεντέλο.

Αφού ολοκληρώθηκε η λήψη των φωτογραφιών ακολούθησε η λήψη των φωτοσταθερών.

Με βάση την ιδιαιτερότητα του μνημείου και με σεβασμό προς τα ψηφιδωτά, δεν τοποθετήθηκαν προσημασμένα φωτοσταθερά, αλλά μετρήθηκαν φυσικά σημεία λεπτομερειών για την αποφυγή τυχόν καταστροφών ή φθορών.

Η υλοποίηση των μετρήσεων για τα φωτοσταθερά ήταν χρονοβόρα και επίπονη, καθώς δεν ήταν δυνατόν να θυμόμασταν όλα τα φυσικά σημεία που μετρήθηκαν. Επομένως τοποθετούταν μια πένα στα σημεία που υλοποιούταν η μέτρηση, η οποία μας έδειχνε με την «μύτη» της τα φυσικά σημεία που μετρήθηκαν. Στην συνέχεια γινόταν η λήψη δυο φωτογραφιών, μια ευρείας περιοχής και μια πιο κοντινής, για την μετέπειτα εύρεση των σημείων.

Εικόνα 3.1: Φυσικό σημείο λεπτομερειών

Η διαδικασία λήψης φωτοσταθερών ακολούθησε την πιο κάτω ροή:

- στήσιμο οργάνου στη στάση όπου μετρήθηκε,
- μηδενισμός οργάνου στην στάση που μετρήθηκε,
- επιλογή κατάλληλων φυσικών σημείων λεπτομερειών,
- η στοχεύσει σημείων είτε με κατάφωτο είτε με reflectorless.

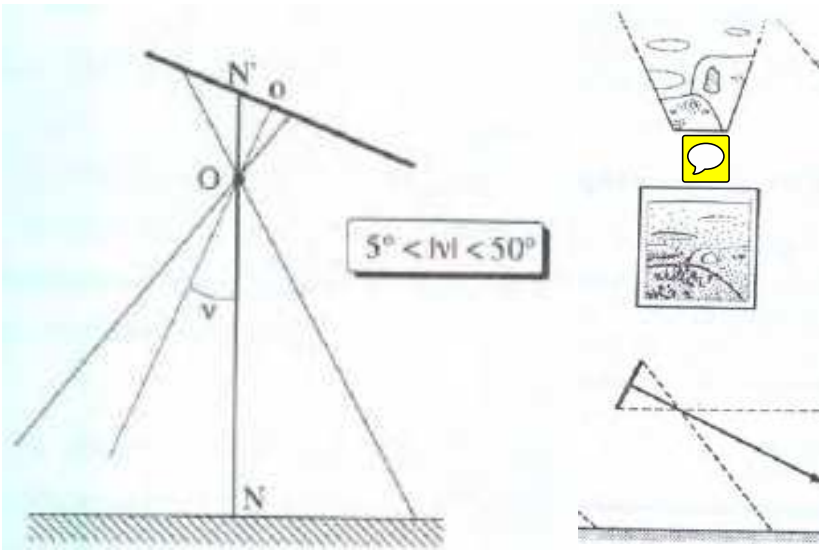
Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση των στάσεων ήταν ο εξής:

- ένα παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης GPS της Leica Viva,
- ένα ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό της Leica TPS 1203, 3”. Ο οποίος έχει τη δυνατότητα μέτρησης χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα (reflectorless).
- ένα ανακλαστήρα της Leica το Circ Prism,
- δυο τρίποδες,

- απαραίτητα παρελκόμενα (μεταλλική μετροταινία, τρικόχλιο, στειλεός για το κατάφωτο)

3.4.1 ΚΕΚΛΙΜΕΝΕΣ ΛΗΨΕΙΣ

Η κεκλιμένη φωτογραφία όπως παρουσιάζεται και στο πιο κάτω σχήμα 3.1 είναι λήψη η οποία σχηματίζει γωνία με την κατακόρυφο μεγαλύτερη από 5º και μικρότερη από 50º. Η μετρητική αξιοποίηση των κεκλιμένων φωτογραφιών ή αεροφωτογραφιών αποτελεί σήμερα μία από τις πιο υποσχόμενες εφαρμογές, τόσο ως τεχνική που δρα συμπληρωματικά της κλασικής φωτογραμμετρικής αποτύπωσης, όσο και ως αυτόνομη μεθοδολογία που αποσκοπεί στην παραγωγή σύγχρονων και με μεγάλη ακρίβεια χαρτογραφικών προϊόντων. Η προοπτική απεικόνιση της πραγματικότητας είναι πιο οικεία για τον χρήστη απ' ότι η ορθή προβολή.



Σχήμα 3.1. Κεκλιμένη λήψη

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα πρέπει να αναφερθεί ότι δεν υπήρχε η δυνατότητα ορθών λήψεων.

Ο κυρίως λόγος είναι η υπάρξει αχρείαστων δεδομένων στις φωτογραφίες. Δηλαδή θα απεικονίζονταν δεδομένα τα οποία θα παρουσίαζαν διάφορα προβλήματα ή ακόμη και απώλεια πληροφορίας. Μερικά από αυτά τα δεδομένα τα οποία θα εμφανίζονταν, θα ήταν τα πόδια του φωτογράφου καθώς τα παπούτσια και η σκιά του.

4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ PHOTOSCAN

Το Agisoft PhotoScan είναι ένα ψηφιακό πρόγραμμα φωτογραμμετρίας με το οποίο ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει με ακρίβεια τρισδιάστατα μοντέλα αντικειμένων του πραγματικού κόσμου μέσω της ψηφιοποίησης κοινών σημείων σε σειρές φωτογραφιών οι οποίες λαμβάνονται από διαφορετικές θέσης. Τόσο ο προσανατολισμός των εικόνων όσο και το 3D μοντέλο είναι μια διαδικασία πλήρως αυτοματοποιημένη.

4.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Το λογισμικό PhotoScan έχει ως κύρια δεδομένα τις φωτογραφίες που εμείς του εισάγουμε. Επομένως υπάρχουν και κάποιοι περιορισμοί / προϋποθέσεις που πρέπει να τηρούν έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα από το πρόγραμμα, να τις αναγνωρίσει και να τις επεξεργαστεί.
Θα πρέπει λοιπόν να ελεγχθούν και να επιλεχθούν όσες φωτογραφίες είναι κατάλληλες για την δημιουργία 3D μοντέλου πριν τις τοποθετηθούν για προσανατολισμό.

Οι φωτογραφίες μπορούν να ληφθούν από οποιαδήποτε τυπική ψηφιακή φωτογραφική μηχανή, αρκεί να ακολουθούνται κάποιες συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές λήψης.
Αυτή η ενότητα περιγράφει τις γενικές αρχές για τη λήψη και την επιλογή των φωτογραφιών που παρέχουν τα πιο κατάλληλα στοιχεία για την παραγωγή 3D μοντέλου όπως τις προτείνει το λογισμικό.

Βασικοί κανόνες:
• Χρησιμοποιήστε μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή με αρκετά υψηλή ανάλυση (5 Mpix ή περισσότερο).
• Ευρυγώνιους φακούς που να ταιριάζουν καλύτερα για την ανακατασκευή χωρικών σχέσεων μεταξύ των αντικειμένων από τηλεφακό.
• Αποφεύγετε να μην υπάρχει υφή και επίπεδα αντικείμενα ή σκηνές.
• Αποφύγετε λαμπερά και διαφανή αντικείμενα.

• Αποφύγετε τα ανεπιθύμητα προσκήνια και την μετακίνηση των αντικειμένων όσο το δυνατόν περισσότερο.

• Αν υπάρχουν λαμπερά αντικείμενα τραβήξτετα κάτω από ένα συννεφιασμένο ουρανό.

• Τραβήξτε φωτογραφίες της σκηνής με πολλές επικαλύψεις.

• Τραβήξτε αρκετές φωτογραφίες από το πιο σημαντικό περιεχόμενο της σκηνής και από πολλαπλές οπτικές γωνίες (3 ή περισσότερα).

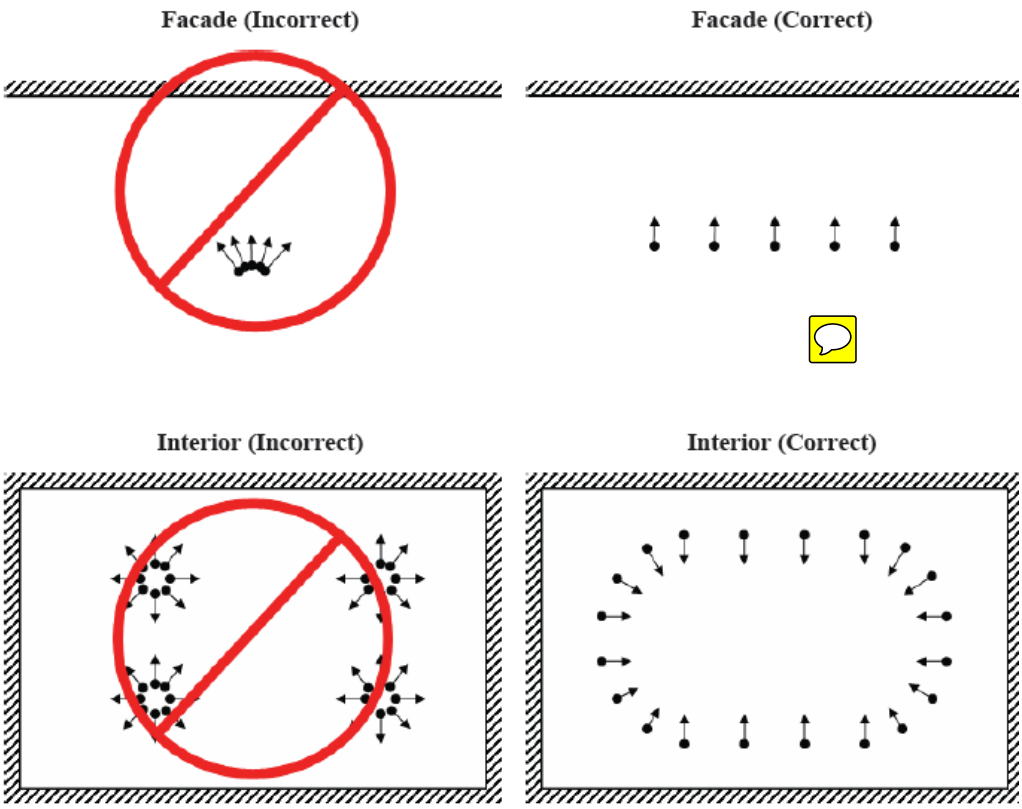
• Μην περικόψετε ή να μετατρέψετε γεωμετρικά τις εικόνες.

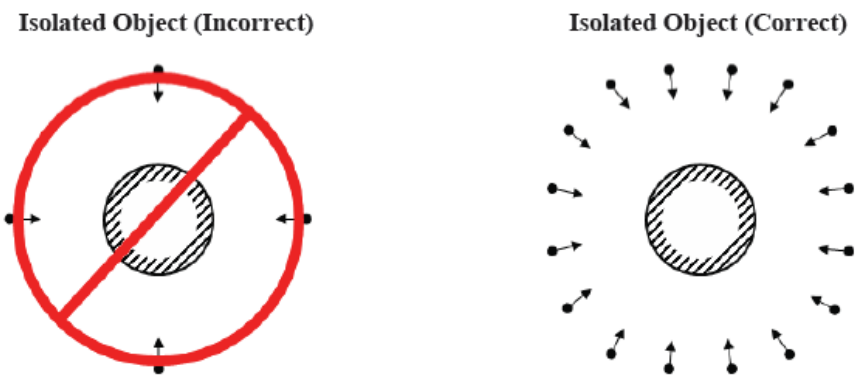
• Περισσότερες φωτογραφίες είναι καλύτερα από το να μην υπάρχει επικάλυψη.

• Πάρε τον απαραίτητο χρόνο έξω στο πεδίο για να προγραμματίσεις σωστά και πλήρως την λήψη των φωτογραφιών.

Σενάρια σύλληψης

Τα παρακάτω σχεδιαγράμματα στο σχήμα 4.1, αντιπροσωπεύουν διάφορα σενάρια λήψης φωτογραφιών για την 3D τεκμηρίωση:





Σχήμα 4.1. Σενάρια λήψης

Περιορισμοί:

Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να είναι πολύ δύσκολο ή ακόμη και αδύνατο να χτίσει ένα σωστό τρισδιάστατο μοντέλο από ένα σύνολο φωτογραφίες.

Πιο κάτω δίνετε μια σύντομη λίστα των τυπικών λόγων για την ακαταλληλότητα των φωτογραφιών.

Τροποποιήσεις των φωτογραφιών

Το PhotoScan μπορεί να επεξεργαστεί μόνο μη τροποποιημένα φωτογραφίες που είχαν ληφθεί από μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή. Οι φωτογραφίες που περικόπηκαν ή γεωμετρικά διαστρεβλώθηκαν με το χέρι είναι πιθανό να αποτύχουν ή να παράγουν πολύ ανακριβή αποτελέσματα. Οι φωτομετρικές τροποποιήσεις δεν επηρεάζουν τα αποτελέσματα της ανασυγκρότησης.

Έλλειψη δεδομένα EXIF

Για να εκτιμηθεί το οπτικό πεδίο για κάθε φωτογραφία από το PhotoScan, χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που αποθηκεύονται στο τμήμα της κάθε EXIF εικόνα. Αν τα EXIF δεδομένα είναι διαθέσιμα, τότε μπορείτε να περιμένετε ότι θα πάρετε 3D ανακατασκευή. Ωστόσο 3D σκηνή μπορεί επίσης να ανακατασκευαστεί εάν απουσιάζουν τα δεδομένα EXIF. Σε αυτή την περίπτωση PhotoScan υποθέτει ότι τα 35mm εστιακό μήκος (φιλμ) ισοδυναμεί με 50 mm φακό προσπαθώντας να ευθυγραμμίσει τις φωτογραφίες σύμφωνα με την παρούσα υπόθεση. Εάν η σωστή τιμή εστιακού μήκους διαφέρει σημαντικά από τα 50 mm, η ευθυγράμμιση μπορεί να δώσει λανθασμένα αποτελέσματα ή ακόμα και να αποτύχει. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται να καθοριστεί η αρχική βαθμονόμηση της κάμερας χειροκίνητα.

Διαστροφή του φακού

Η διαστροφή του φακού που χρησιμοποιείται για την λήψη των φωτογραφιών πρέπει να είναι καλά μοντελοποιημένες χρησιμοποιώντας τον Brown's model παραμόρφωσης. Διαφορετικά, είναι σχεδόν αδύνατο να χτίσει με ακρίβεια το 3D μοντέλο.

Στόχος του λογισμικού

Σε γενικές γραμμές ο τελικός στόχος της επεξεργασίας φωτογραφιών από το PhotoScan είναι να δημιουργηθεί ένα 3D μοντέλο ή και ορθοφωτοχάρτης του αντικειμένου.

Η διαδικασία επεξεργασίας των φωτογραφιών και η κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου αποτελείται από τρία κύρια στάδια:

1. Το πρώτο στάδιο είναι ο προσανατολισμός των φωτογραφιών.

Σε αυτό το στάδιο, το λογισμικό αναζητά για κοινά σημεία στις φωτογραφίες, να υπολογίζει τη θέση της φωτογραφικής μηχανής για τη κάθε εικόνα καθώς και να εξευγενίζει τις παραμέτρους βαθμονόμησης της μηχανής. Το αποτέλεσμα σε αυτό το στάδιο είναι ένα αραιό νέφος σημείων και το σύνολο των θέσεων λήψης των φωτογραφιών.

Το νέφος σημείων παριστά τα αποτελέσματα του προσανατολισμού των φωτογραφιών και δεν θα χρησιμοποιηθεί άμεσα στην περαιτέρω διαδικασία κατασκευής 3D μοντέλου. Για παράδειγμα, το μοντέλο νέφος σημείων μπορεί να είναι χρησιμοποιηθεί σε ένα 3D επεξεργαστή ως αναφορά. Αντίθετα, το σύνολο των θέσεων λήψεις, απαιτείται για την περαιτέρω κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου στο PhotoScan.

2. Το επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία 3D μοντέλου.

Με βάση τις εκτιμώμενες θέσεις της κάμερας και τις εικόνες δημιουργείται ένα 3D πλέγμα πολυγώνων, που αντιπροσωπεύει την επιφάνεια του αντικειμένου. Στο PhotoScan διατίθενται τέσσερις αλγοριθμικές μεθόδους οι οποίες μπορούν να εφαρμοστού για την δημιουργία 3D πλέγματος:

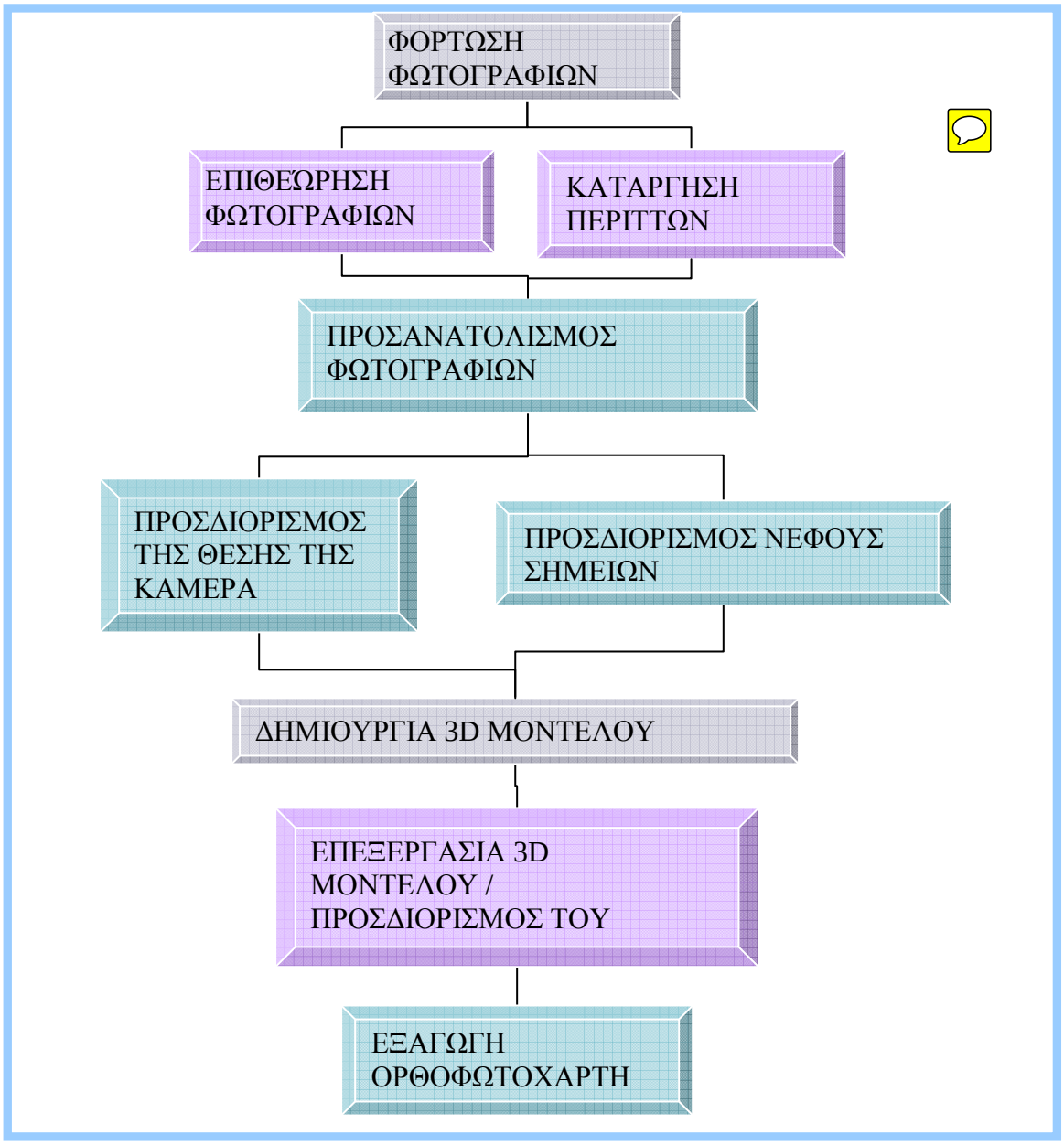
- Arbitrary - Smooth,
- Arbitrary - Sharp,
- Height field – Smooth και

- Height field - Sharp methods.

Όταν δημιουργηθεί το πλέγμα στην συνέχεια πολύ πιθανών να χρειαστεί να υποστεί επεξεργασία. Ορισμένες διορθώσεις που μπορεί να πραγματοποιηθούν από το λογισμικό είναι: ο αποδεκατισμός του πλέγματος, η αφαίρεση των στοιχείων που δεν χρειάζονται, το κλείσιμο των οπών στο πλέγμα, κλπ.
Για πιο σύνθετες επεξεργασίες θα πρέπει να συμμετάσχουν εξωτερικά 3D εργαλεία επεξεργασίας. Το PhotoScan επιτρέπει να εξάγετε το πλέγμα, να επεξεργαστεί με άλλο λογισμικό και να το εισαχθεί ξανά.
3. Μετά την γεωμετρία (δηλ. το πλέγμα) που έχει κατασκευαστεί, δημιουργείται η υφή – προβολή των εικόνων πάνω στην επιφάνεια η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή ορθοφωτοχαρτών.

4.2.1 ΓΕΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Συνοψίζοντας με πιο απλά λόγια στο Διάγραμμα ροής 4.1, η επεξεργασία των εικόνων από το PhotoScan περιλαμβάνει τα πιο κάτω βασικά βήματα:



Διάγραμμα ροής 4.1: Γενική ροή προγράμματος

Το πιο πάνω διάγραμμα ροής αντιπροσωπεύει όλα τα απαραίτητα βήματα που εμπλέκονται στην κατασκευή ενός υφή 3D μοντέλο από τις φωτογραφίες σας.

4.3 ΦΟΡΤΩΣΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Η φόρτωση των φωτογραφιών στο πρόγραμμα είναι μια πολύ απλή διαδικασία, όπως και στα πλείστα λογισμικά.
Φυσικά, πρώτα θα έχουν μελετηθεί όπως προαναφέρθηκε έτσι ώστε να αφαιρεθούν οι ανεπιθύμητες λήψης. Αν αυτό όμως δεν έχει γίνει ή προκύψει ανάγκη αφαίρεσης φωτογραφίας το πρόγραμμα παρέχει την δυνατότητα μετέπειτα αφαίρεσης.

Οι φωτογραφίες που εμφανίζονται στο παράθυρο του χώρου εργασίας, μαζί με τις σημαίες, αντανακλούν την κατάστασή τους.
Οι ακόλουθες σημειώσεις μπορεί να εμφανιστούν δίπλα στο όνομα της καθε φωτογραφία:

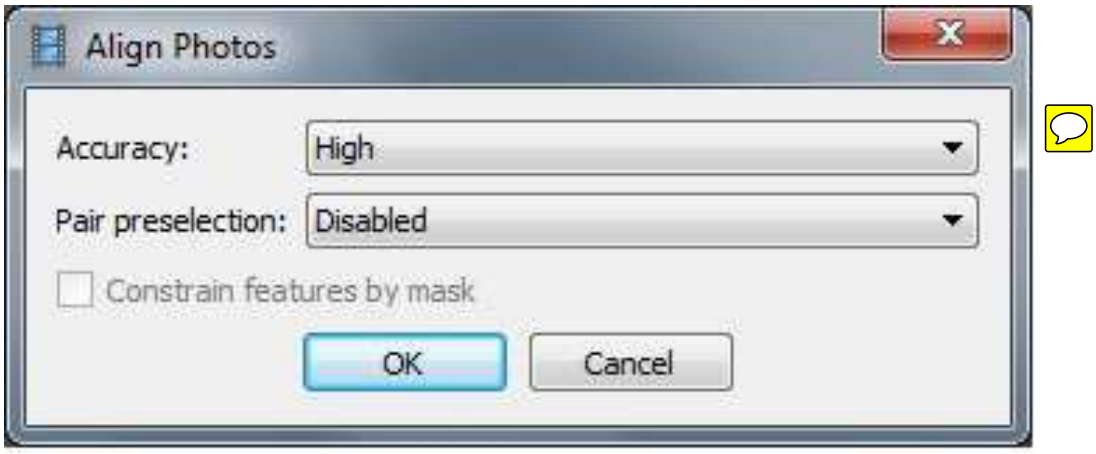
NC (Δεν βαθμονομήθηκε), γνωστοποιεί ότι τα δεδομένα EXIF που διαθέτει δεν είναι επαρκή για να εκτιμηθεί η εστιακή απόσταση της φωτογραφικής μηχανής. Σε αυτή την περίπτωση το PhotoScan υποθέτει ότι η αντίστοιχη φωτογραφία, τραβήχτηκε, χρησιμοποιώντας φακό 50mm (ισοδύναμο με 35mm φιλμ).
Εάν η πραγματική εστιακή απόσταση διαφέρει σημαντικά από την τιμή αυτή, τότε θα χρειαστεί χειροκίνητη βαθμονόμηση.

NA (δεν είναι ευθυγραμμισμένες) γνωστοποιεί ότι οι εξωτερικοί παράμετροι προσανατολισμού της μηχανής δεν υπολογίσθηκαν για την τρέχουσα φωτογραφία.

Οι εικόνες που φορτώθηκαν στο PhotoScan δεν θα ευθυγραμμιστούν μέχρι να εκτελέσει το επόμενο βήμα – Προσανατολισμού των φωτογραφιών.

4.4 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Μόλις οι φωτογραφίες φορτώνονται στο PhotoScan, θα πρέπει να ευθυγραμμιστούν, εμφανίζοντας το παράθυρο που απεικονίζεται στην Εικόνα 4.1. Σε αυτό το στάδιο το PhotoScan βρίσκει τη θέση της κάμερας για κάθε φωτογραφία και χτίζει ένα μοντέλο νέφους σημείων.

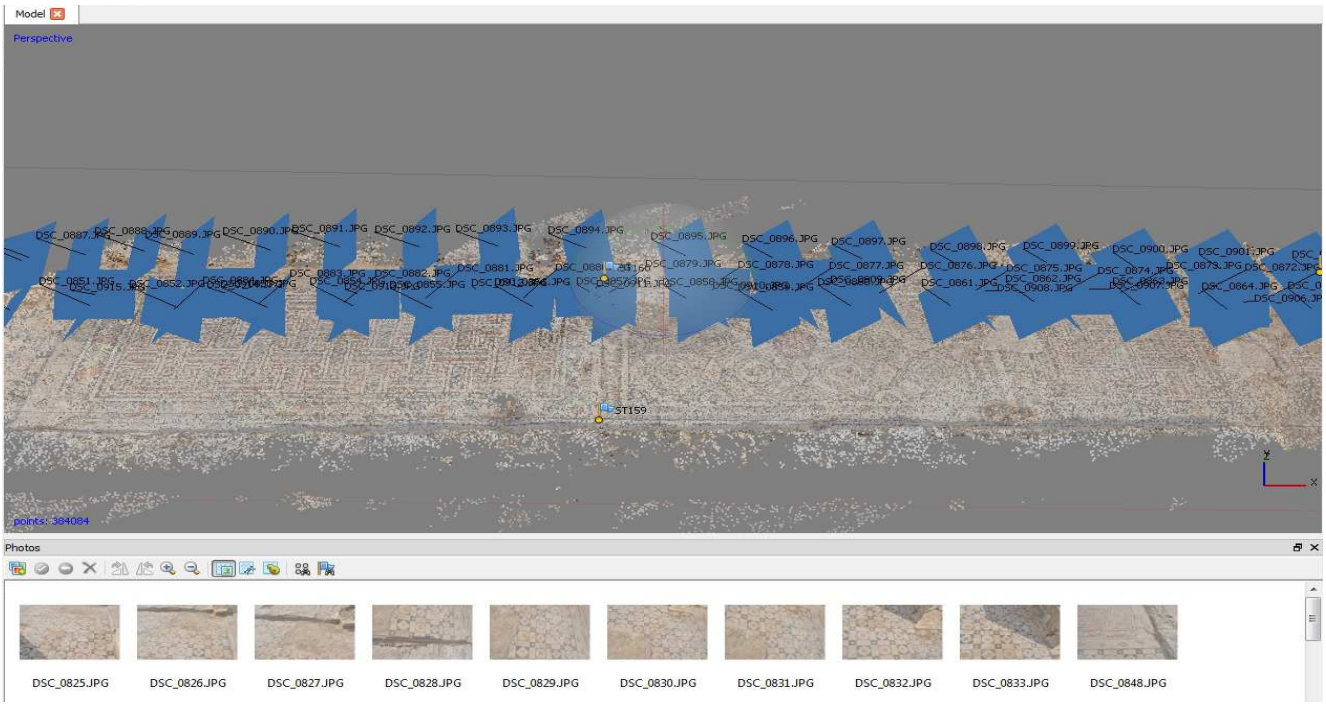


Εικόνα 4.2: Παράθυρο Align Photo

Στην εικόνα παρουσιάζεται το παράθυρο που θα ανοίξει για την επιλογή ποιότητας του προσανατολισμού.

Όταν η ευθυγράμμιση έχει ολοκληρωθεί, θα έχουν υπολογισθεί και εμφανιστεί η θέσεις της κάμερας, την ώρα της λήψης, και ένα αραιό σύννεφο σημείων. Υπάρχει η δυνατότητα να επιθεωρηθούν τα αποτελέσματα της ευθυγράμμισης και να αφαιρεθούν, αν υπάρχουν, λανθασμένες τοποθετήσεις φωτογραφιών.

Στην πιο κάτω εικόνα 4.2 παρουσιάζεται η κατάληξη του Align photo με τις θέσεις λήψης της φωτογραφικής και το νέφος σημείων όπως υπολογίστηκαν.



Εικόνα 4.2: Αποτέλεσμα του προσανατολισμού από το πρόγραμμα

Το νέφος σημείων και η εκτιμώμενες θέσεις της κάμερας μπορούν, αν χρειαστεί, να εξαχθούν για την επεξεργασία με άλλο λογισμικό.

Οι λανθασμένα τοποθετημένες φωτογραφίες μπορούν να επαναπροσδιοριστούν. Για να επαναπροσδιορίσουμε ένα υποσύνολο των φωτογραφιών:
1. Επαναφορά ευθυγράμμισης για κακώς τοποθετημένα φωτογραφίες χρησιμοποιώντας την εντολή Επαναφορά Ευθυγράμμισης Φωτογραφίας (Reset Photo Alignment) από το μενού.
2. Ορισμός σημείων δεικτών (τουλάχιστον 4 ανά φωτογραφία), σε αυτές τις φωτογραφίες που είναι λανθασμένες, τοποθετούμε σημεία τα οποίο είναι τα ίδια και σε τουλάχιστον δύο φωτογραφίες από εκείνες που έχουν ήδη ευθυγραμμιστεί.

3. Επιλέξτε φωτογραφίες που είναι για να επαναπροσδιοριστούν, και με τη χρήση της εντολής Align Selected Photos από το μενού. Γίνεται ξανά ο προσανατολισμός τους για την ταύτιση τους, με τις είδη ευθυγραμμισμένες φωτογραφίες.

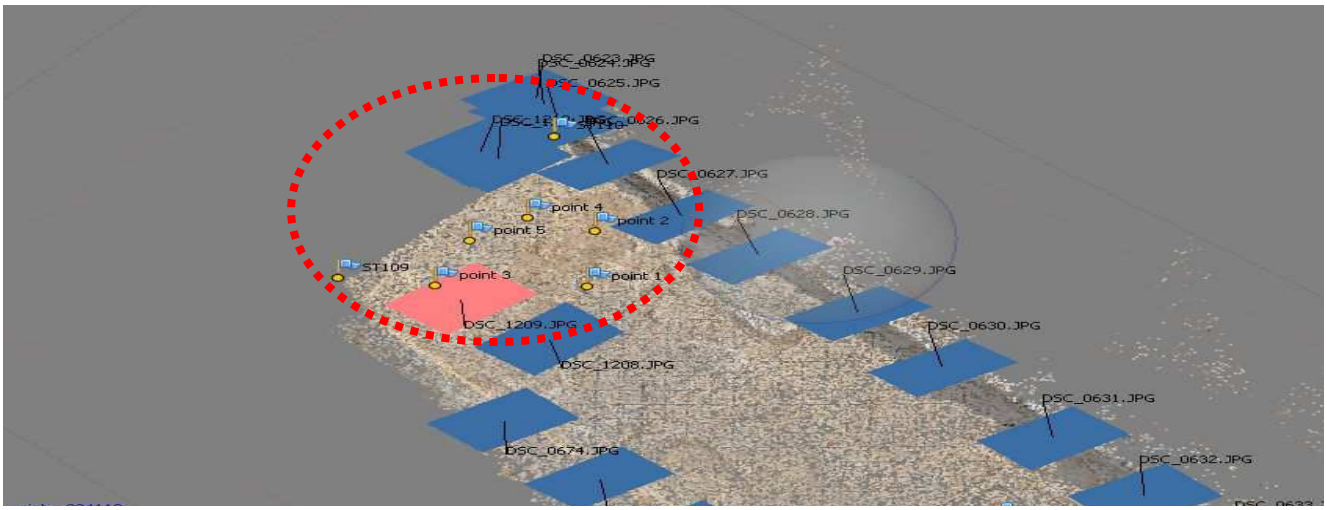
Όσο αφορά των προσανατολισμό των φωτογραφιών που είχαν παρθεί για την απεικόνιση του μνημείου, υπήρχαν περιπτώσεις που μερικές φωτογραφίες χρειαζόταν να ευθυγραμμιστούν ξανά λόγο της λανθασμένης τοποθέτησης τους.

Αρχικά σαν πρώτο βήμα είχε γίνει η προσπάθεια της επιλογής Reset Photo Alignment, όμως η ευθυγράμμιση δεν διορθώθηκε, με αποτέλεσμα, να γίνει η χρήσει των σημείων δεικτών.

Όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω ο προσδιορισμός αυτών των σημείων δεικτών είναι μια διαδικασία τοποθέτησης σημείων σε τουλάχιστον τρεις φωτογραφίες. Η μια είναι η μη ευθυγραμμισμένη και οι άλλες δυο είναι φωτογραφίες που έχουν προσδιοριστή σωστά. Επίσης θα πρέπει να έχουν αρκετή επικάλυψη ανάμεσα τους για να υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης τουλάχιστον τεσσάρων κοινών σημείων.

Αφού έχουν επιλεγεί τα σημεία δείκτες, το πρόγραμμα τα λαμβάνει υπόψη του και με την χρήση της εντολής Align Selected Photos υλοποιείται νέα ευθυγράμμιση της συγκεκριμένη φωτογραφίας.

Στην εικόνα 4.3 παρουσιάζεται η περιοχή, από το νέφος σημείων, όπου τοποθετήθηκαν σημεία δείκτες για την σωστή ευθυγράμμιση της φωτογραφία, η οποία είναι ελαφρός κόκκινη.



Εικόνα 4.3: Τοποθέτειση των σημείων δεικτών για τον προσανατολισμό εικόνας

Εικόνα 4.4: Σημεία Δείκτες για την ευθυγράμμιση

Στην πιο πάνω εικόνα 4.4 διακρίνονται τα σημεία δείκτες που έχουν τοποθετηθεί, ώστε έπειτα να ευθυγραμμισθεί σωστά η εικόνα με τις ήδη ευθυγραμμισμένες.

4.6 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 3D ΜΟΝΤΕΛΟΥ

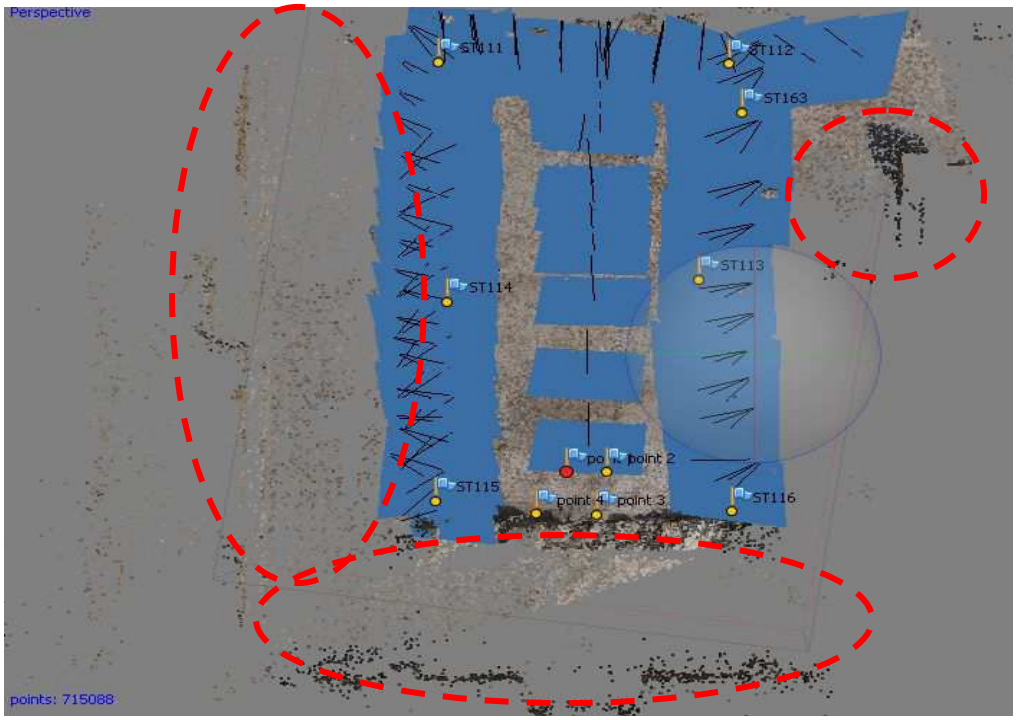
Η 3D ανακατασκευή είναι μια υπολογιστική εντατική λειτουργία και μπορεί να διαρκέσει για μεγάλο χρονικό διάστημα, ανάλογα με την ποσότητα και την επίλυση των φωτογραφιών.

Συνιστάται, πρώτα να οικοδομείτε ένα μοντέλο με τη χαμηλότερη ποιότητα, να εκτιμηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της επιλεγείσας μεθόδου ανασυγκρότησης, και στη συνέχεια να υπολογισθούν ξανά τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας μια υψηλότερη ποιότητα.

Για να οικοδομήσουμε ένα 3D μοντέλο:

1. Πρώτα ελέγχετε το πλαίσιο οριοθέτησης. Προσαρμόζουμε το πλαίσιο οριοθέτησης χρησιμοποιούν τις επιλογές Resize Region και Rotate Region από τη γραμμή εργαλείων, με αποτέλεσμα να μικραίνουμε και να μετακινήσουμε το πλαίσιο

οριοθέτησης. Προσαρμόζοντας μέσα σε αυτό, την επιθυμητή περιοχή αφαιρώντας τυχών θόρυβο.



Εικόνα 4.5: Διάφοροι θόρυβοι που υπάρχουν από τις εικόνες

Η εικόνα 4.5 παρουσιάζει, μέσα στα κόκκινα οβάλ, τους θορύβους που έχει και οι οποίοι θα καθαριστούν με τον καθορισμό του πλαισίου οριοθέτησης.

2. Επιλέγετε την εντολή Build Geometry από το Workflow μενού για την δημιουργία του γεωμετρικού μοντέλου.

3. Στο παράθυρο διαλόγου του Build Geometry επιλέγετε τις επιθυμητές παραμέτρους ανασυγκρότησης.

Οι μέθοδοι της ανακατασκευής

Το PhotoScan υποστηρίζει μεθόδους ανακατασκευής και διάφορες ρυθμίσεις, οι οποίες βοηθούν στο να παράγετε η βέλτιστη ανακατασκευή για ένα δεδομένο σύνολο δεδομένων.

Object type

Arbitrary

Arbitrary είναι ο τύπος των αντικειμένων που είναι αυθαίρετα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση κάθε είδους αντικειμένου.

Θα πρέπει να επιλέγονται για τα κλειστά αντικείμενα, όπως αγάλματα, κτίρια, κλπ. Δεν κάνει υποθέσεις σχετικά με το είδος του αντικειμένου. Επιπλέον αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως για λήψης που πάρθηκαν επί γης. Απαιτεί μεγάλη ποσότητα μνήμης.

Height field

Το Height field είναι βελτιστοποιημένη μέθοδος για τη μοντελοποίηση των επίπεδων επιφανειών, όπως είναι εδάφη ή bas-reliefs. Επιλέγεται για επεξεργασία της εναέριας φωτογράφησης, ενώ απαιτεί μικρότερα ποσότητα μνήμης και επιτρέπει την επεξεργασία για τα μεγαλύτερα σύνολα δεδομένων.

Geometry type

Sharp

Η Sharp επιλογή για τον τύπο γεωμετρίας, οδηγεί σε πιο ακριβή αποτελέσματα της ανασυγκρότησης και δεν εισάγει επιπλέον γεωμετρία, όπως "μπαλώματα". Συνήθως απαιτείται χειροκίνητη συμπλήρωση των τρυπών που δημιουργούνται στο στάδιο της επεξεργασίας.

Smooth

Η επιλογή Smooth χρησιμοποιείται για τον τύπο γεωμετρίας που παράγουν ανακατασκευές χωρίς ή με μικρές τρύπες, στην επιφάνεια που προκύπτει. Μεγάλες περιοχές της γεωμετρίας θα μπορούσαν επιπλέον να παραχθούν με τη μέθοδο αυτή, αλλά θα μπορούσαν εύκολα να αφαιρεθούν αργότερα, χρησιμοποιώντας το selection and cropping tools. Η ομαλή ρύθμιση συνιστάται για την παραγωγή ορθοφωτοχαρτών.

Ανακατασκευή των παραμέτρων

Quality (Ποιότητα)

Καθορίζει την επιθυμητή ποιότητα της ανασυγκρότησης. Οι υψηλότερες ρυθμίσεις ποιότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόκτηση πιο λεπτομερής και ακριβής γεωμετρία, αλλά απαιτείται περισσότερος χρόνος για την επεξεργασία. Η ρύθμιση της ποιότητας Point Cloud χρησιμοποιείται για γρήγορη ανακατασκευή 3D του μοντέλου όπου η ποιότητα βασίζεται αποκλειστικά στο αραιό νέφος σημείων. Η επιλογή είναι διαθέσιμη μόνο για τον ομαλό τύπο γεωμετρίας.

Face count

Καθορίζει το μέγιστο αριθμό τριγώνου που θα έχει στο τελικό πλέγμα. Εάν δεν απαιτείται αποδεκατισμό τότε η τιμή είναι ίση με το 0, οπότε θα κάνει όσα τρίγωνα «νομίζει» το λογισμικό

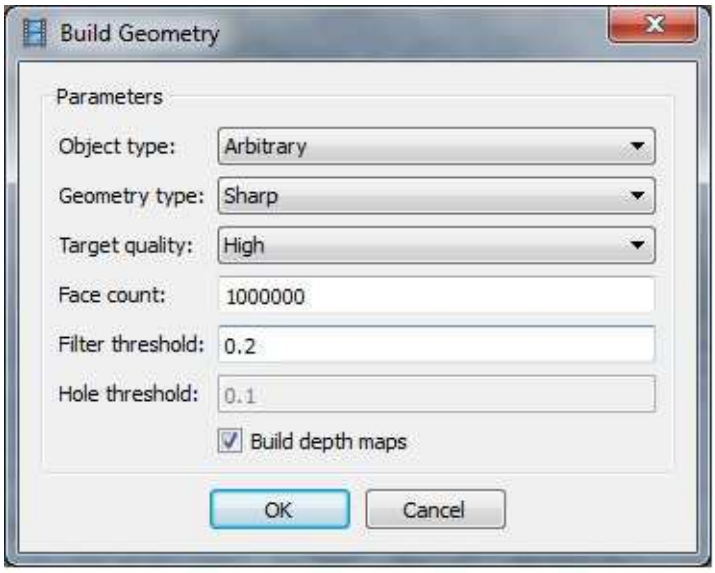
.

Filter threshol

Καθορίζει το μέγιστο face count των μικρών εξαρτημάτων που συνδέονται και θα πρέπει να αφαιρεθούν μετά την ανασυγκρότηση της επιφάνειας (επί τοις εκατό του συνολικού face count). Αν η τιμή είναι ίση με το 0, απενεργοποιούνται τα σχετικά φίλτρα οπότε δεν θα γίνει καθόλου φιλτράρισμα. Όμως κατά τη δημιουργία επιφάνειας, λόγω πολύπλοκων γεωμετρίας που μπορεί να υπάρχει και λόγου της ύπαρξης θορύβων καλό θα ήταν να υπάρχει πάντα μια μικρή απόκλιση τέτοιων λανθασμένων τριγώνων.

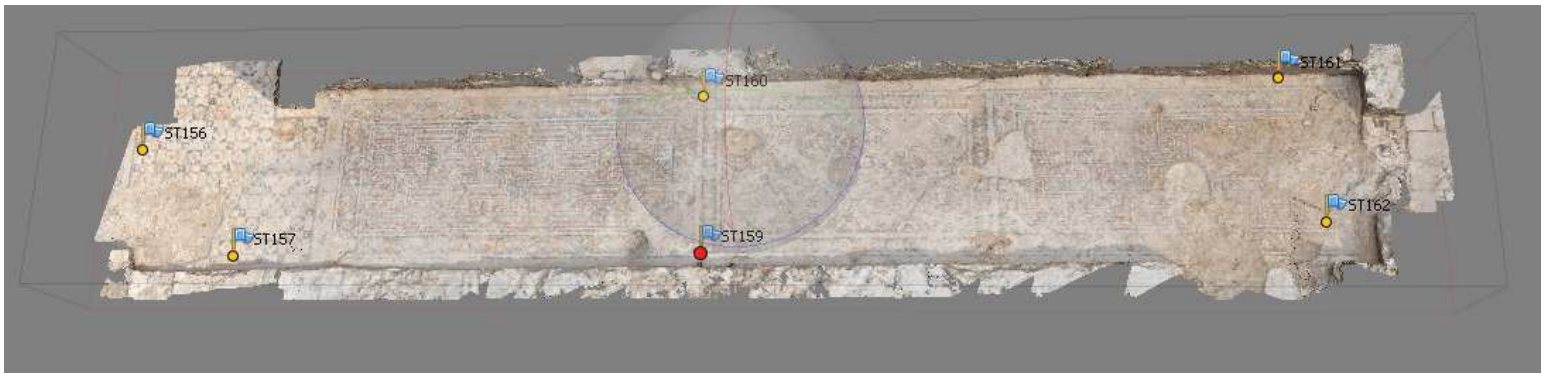
Hole threshold (μέθοδος μόνο για υψηλά πεδία)

Καθορίζει το μέγιστο μέγεθος των κενών που πρέπει να συμπληρωθεί μετά την ανασυγκρότηση της επιφάνειας (σε ποσοστό της συνολικής επιφάνειας). Η τιμή 0 απενεργοποιεί την αυτόματη πλήρωση των τρύπων (κενών). Εξαιρείται η περίπτωση που το ζητούμενο είναι η δημιουργία ορθοφωτοχάρτη και όχι το 3D.



Εικόνα 4.6: Παράθυρο του Build Geometry

Στην πιο πάνω εικόνα 4.6 παρουσιάζεται το παράθυρο με τους διάφορους παραμέτρους για την δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου (κτήσιμο γεωμετρίας).



Εικόνα 4.7: Παρουσιάζει το τελικό αποτέλεσμα του τρισδιάστατου μοντέλου.

Το PhotoScan τείνει να παράγει 3D μοντέλα με υπερβολική ανάλυση γεωμετρίας, γι 'αυτό συνιστάται να εκτελείτε αποδεκατισμό των πλεγμάτων μετά από των υπολογισμό της. Επιπλέον το PhotoScan παρέχει την δυνατότητα ορισμού συστήματος αναφοράς στην γεωμετρία του τρισδιάστατου μοντέλου, με αποτέλεσμα να υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης ή εξαγωγής πραγματικού μεγέθους από το μοντέλο.

4.6 ΑΠΟΛΥΤΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ - ΓΕΩΑΝΑΦΟΡΑ (Ground Control)

Ο ορισμός συστήματος αναφοράς ουσιαστικά, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο του Θεωρητικού Υποβάθρου, είναι η διαδικασία αλλαγής κλίμακας, μεγέθους και περιστροφής ενός στερεού σώματος, έτσι ώστε αυτό να εφαρμοσθεί σε ένα συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς. Η Γεωαναφορά μέσω του λογισμικού υλοποιείται εύκολα με την τοποθέτηση τουλάχιστον τριών φωτοσταθερών (σημαίες, όπως είναι το εικονίδιο τους στο λογισμικό) σε όσες φωτογραφίες υπάρχουν ή διακρίνονται εύκολα, αποφεύγετε η τοποθέτηση των φωτοσταθερών στις άκρες των φωτογραφιών, λόγο της κλίσης λήψης όπου τα σχήματα ίσως παραμορφώνονται.
Αρχικά για την σκόπευση των φωτοσταθερών θα πρέπει να δημιουργηθεί κάποιο .txt αρχείο που θα περιέχονται τα ονόματα και οι συντεταγμένες τους, έτσι ώστε να διαβάζονται από το πρόγραμμα και να τις αντιστοιχεί με τα σωστά φωτοστεθερά.
Αφού έχει επιλογή η θέση μιας σημαίας θα πρέπει να μετονομαστεί με το όνομα – κωδικό που είναι και στο .txt αρχείο για να γίνει η κατάλληλη αντιστοίχηση.

Στην συνέχεια αν ο προσανατολισμός του μοντέλου είναι σωστός, όταν τοποθετηθεί η σημεία σε μια φωτογραφία, τότε εμφανίζεται το αντίστοιχο σύμβολο πάνω και από τις υπόλοιπες φωτογραφίες. Γνωρίζοντας λοιπόν ποίες φωτογραφίες περιέχουν το συγκεκριμένο φωτοσταθερό το οποίο τοποθετείται αυτόματα από το πρόγραμμα, τις ανοίγουμε, για την τοποθέτηση τις σημαίας στο σωστό σημείο και σε αυτές.

Εικόνα 4.8: Εύρεση φωτογραφιών με τα ίδια Ground point

Στην εικόνα 4.8 διακρίνονται με μικρές σημαίες, που τοποθετεί το λογισμικό ως σύμβολο για να τονίσει ότι οι συγκεκριμένες εικόνες, έχουν το σημείο το οποίο ορίσαμε ως φωτοσταθερό.

Όταν λοιπόν επιλεγούν όλα τα ground points υλοποιούμε την γεωαναφορά, (που είναι το τελικό βήμα πριν την εξαγωγή) όπου εμφανίζονται τα σφάλματα για κάθε σημείο και το συνολικό σε μέτρα, ενώ σαν αποτέλεσμα έχουμε το μετασχηματισμό του 3D μοντέλου στο σύστημα αναφοράς.

Ground Control

Markers	X/East	Y/North	Z/Altitude	Error (m)	Projections	Error (pix)
ST104	194974.269300	327744.938500	-0.693600	0.001599	6	1.209
ST105	194974.389400	327746.649400	-0.668800	0.002352	9	0.582
ST106	194976.103400	327745.063100	-0.685900	0.002734	11	0.598
ST107	194974.273600	327753.292000	-0.661800	0.002720	7	0.986
ST108	194975.675500	327752.937000	-0.654100	0.001608	7	0.348
ST109	194974.354000	327757.993200	-0.584500	0.002385	5	0.551
ST110	194976.537200	327758.126900	-0.598500	0.001490	5	1.392
Total Error				0.002186		0.832

Εικόνα 4.9: Παράθυρο σφαλμάτων των σημείων

Στην εικόνα 4.9, διακρίνονται τα ground points με τις συντεταγμένες τους και τα σφάλματα τους μετά την υλοποίηση του απόλυτου προσανατολισμού.

4.7 ΕΞΑΓΩΓΗ ΟΡΘΟΦΩΤΟΧΑΡΤΗ

Με την εξαγωγή του Ορθοφωτοχάρτη η δουλεία στο λογισμικό PhotoScan έχει τελείωση, αφού αυτή είναι η μορφή του επιθυμητού αποτελέσματος όπου θα επεξεργαστούμε στη συνέχεια.

Κατά την εξαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου σε Ορθοφωτοχάρτη, επιλέγουμε το μέγεθος του pixel size που θα δημιουργηθεί. Αρχικά το πρόγραμμά μας προτείνει το μέγεθος που μπορεί να εξάγει με βάση τα δεδομένα που έχουν περαστεί σε αυτό, τα σφάλματα και το αποτέλεσμα τις ποιότητας του μοντέλου που δημιουργείται.

Στην περίπτωση μας αυξήσαμε το μέγεθος που μας πρωτινέ το λογισμικό, θέτοντας το pixel size ίσο με 0,0005 m. Επιλέξαμε αυτό το μέγεθος για να υπάρχει η επιθυμητή ακρίβεια στα ψηφιακά δεδομένα αφού στο αναλογικό παραδοτέων δεν θα παρουσιάζεται αυτό το μέγεθος

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην ενότητα αυτή γίνεται η προσπάθεια ανακεφαλαίωσης των βασικών λειτουργιών του λογισμικού PhotoScan με την εξαγωγή συμπερασμάτων κατά την διάρκεια εκτέλεσης των βημάτων του προγράμματος. Τα αποτελέσματα που θα ακολουθήσουν, αφορούν στην παραγωγή τρισδιάστατου νέφους σημείων και του ορθοφωτοχάρτη. Τέλος παρουσιάζονται κάποια από τα προβλήματα που εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής.

5.2 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ PHOTOSCAN

Όπως και στα περισσότερα λογισμικά ή συστήματα, παραδοσιακά παρουσιάζονται προβλήματα υφής. Όπου είναι βασικό πρόβλημα των λογισμικών, κατά την εφαρμογή των διαδικασιών αυτόματης συνταύτισης και δημιουργίας επιφάνειας του μοντέλου από επικαλυπτόμενα τμήματα φωτογραφιών. Στην παρούσα εργασία, που αφορούσε τα μωσαϊκά της περιοχής, υπάρχει το θετικό ότι δεν υπάρχουν αρκετά μεγάλες επιφάνειες όπου θα οδηγούσαν σε τέτοια προβλήματα υφής. Δηλαδή οι επιφάνειες όπου αποτυπώθηκαν έχουν συνεχώς χρωματικές αλλαγές, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν επιφάνειες με το ίδιο χρώμα, οι οποίες είναι και ο κυρίως λόγος για την δημιουργία προβλημάτων υφής.

Η αποτύπωση των μωσαϊκών είναι μια δύσκολη και επίπονη εργασία λόγο του ότι χρειάζεται αρκετή ακρίβεια στο τελικό παραδοτέο. Επομένως χρειαζόμαστε ένα λογισμικό το οποίο θα πληρούσε τις απαιτήσεις για την ακρίβεια και το οποίο θα ήταν εύχρηστο. Στο λογισμικό PhotoScan υπάρχουν αρκετές δυνατότητες που αφορούν την ανακατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου Όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο «επεξεργασία των δεδομένων», μια εφαρμογή που παρέχεται στο λογισμικό αυτό είναι ο χειροκίνητος προσανατολισμός των φωτογραφιών.

Ο χειροκίνητος προσανατολισμός φωτογραφιών ή εικόνων οι οποίες δεν είναι σωστά προσανατολισμένες είναι ένα ισχυρό πλεονέκτημα του λογισμικού, καθώς του ότι υπάρχει η δυνατότητα να προσανατολιστεί η φωτογραφία από τον χρήστη όπως αυτός θέλει και πιστεύει πως είναι σωστό. Αν ο προσανατολισμός των φωτογραφιών

και σε συνέπεια των σημείων, γίνει λανθασμένα τότε και στην υπόλοιπη διαδικασία θα παρουσιάζονται λάθη.

Για παράδειγμα, στην επιφάνεια του μοντέλου δεν θα παρουσιάζονται τα σχήματα στην αληθινή τους μορφή, αλλά αλλοιωμένα, με την τοποθέτηση άσχετων σημείων (εικόνα 5.1).

Εικόνα 5.1: Αλλοιωμένα σχήματα από λάθος προσανατολισμένη φωτογραφία

Επίσης στην εισαγωγή των σημείων για την γεωαναφορά, θα προτείνονται, από το λογισμικό, λανθασμένα σημεία για την τοποθέτηση τους με αποτέλεσμα να υπάρξει μεγάλο σφάλμα σε ορισμένα φωτοσταθερά, και στο τέλος ο απόλυτος προσανατολισμός να υλοποιείται λανθασμένα.

Ένα σοβαρό μειονέκτημα που υπάρχει στην όλη διαδικασία, όπως και σε αυτό το λογισμικό είναι η επικάλυψη ανάμεσα στις γειτονικές φωτογραφίες. Σίγουρα για να παρουσιαστεί σωστά το τρισδιάστατο μοντέλο των φωτογραφιών είτε χειροκίνητα είτε αυτοματοποιημένα, μέσα από κάποιο πρόγραμμα, χρειάζονται τρεις λήψης από διαφορετική βάση. Μέσα από την λήψη των τριών διαφορετικών βάσεων υπάρχει η δυνατότητα υπολογισμού των τριών διαστάσεων ενός σημείου και την τοποθέτηση του στο χώρο. Οπότε για το προσδιορισμό της θέσεις ενός σημείου, χρειάζεται οι φωτογραφίες που λαμβάνονται να έχουν επικάλυψη μεταξύ τους τουλάχιστον 30% (άλλοι υποστηρίζουν μέχρι το 20%). Η επικάλυψη αυτή εξασφαλίζει, το ότι ένα σημείο θα εμφανίζεται σε τουλάχιστον τρεις φωτογραφίες, άρα θα είναι δυνατός ο προσδιορισμός των συντεταγμένων του.

Όπως είχε αναφερθεί, ο μέθοδος για την λήψη των φωτογραφιών στην περίπτωση μας έγινε με το ανθρώπινο χέρι και με οπτικό υπολογισμό (υπολογισμός με το μάτι εκείνη την στιγμή) για την επικάλυψη ανάμεσα στις γειτονικές λήψης. Συνεπώς, ήταν επόμενο να υπάρχουν μικρά προβλήματα στην επικάλυψη των φωτογραφιών. Σε περιπτώσεις όπου η επικάλυψη δεν ήταν αρκετή, δεν υπήρχε η δυνατότητα υπολογισμού της θέσεις των σημείων με αποτέλεσμα να υπάρχει η εμφάνιση κενών (τρύπες) στο μωσαϊκό όπως και στην εικόνα 5.2.

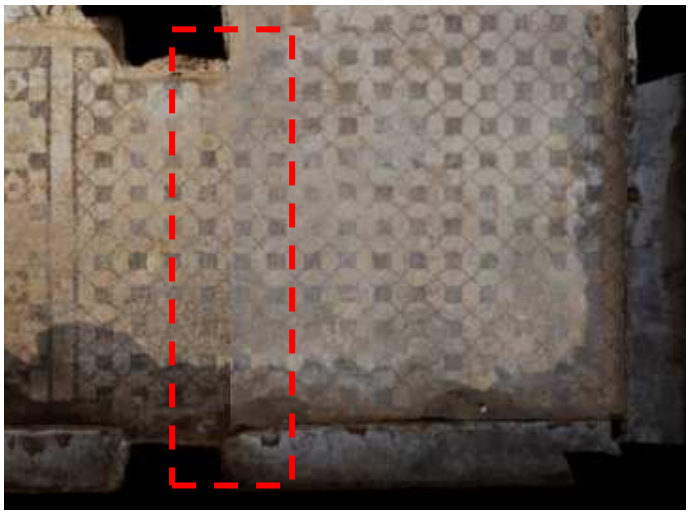
Εικόνα 5.2: Εμφάνιση κενών (δεν υπάρχουν δεδομένα από τις φωτογραφίες)

Στην εξαγωγή των ορθοφωτοχαρτών, που είναι το παραγωγό του λογισμικού έγινε διαφοροποίηση των μωσαϊκών σε 16 διαφορετικά τρισδιάστατα μοντέλα έτσι ώστε να καθιστούσε δυνατή την υλοποίηση των 3D μοντέλων σε ορθοφωτοχάρτες. Όπως έχει αναφέρθη και στο κεφάλαιο του λογισμικού, το PhotoScan τείνει να παράγει τρισδιάστατα μοντέλα με υπερβολική ανάλυση της γεωμετρίας, γι 'αυτό συνιστάται να εκτελείτε αποδεκατισμό των πλεγμάτων μετά από των υπολογισμό της γεωμετρικής ανάλυσης. Πιο κάτω στην εικόνα 5.3 παρουσιάζεται η ένωση τριών διαφορετικών ορθοφωτοχαρτών, στην οποία διαπιστώνετε η πολύ καλή δουλεία που έχει γίνει από το χρήστη και το λογισμικό αφού δεν παρουσιάζεται καμία αλλαγή ή μετάθεση (εικόνα 5.4).

Εικόνα 5.3: Ένωση τριών ορθοφωτοχαρτών σε ένα

Εικόνα 5.4: Περιοχή συνένωσης δυο ορθοφωτοχαρτών (καμία στροφή ή σμίκρυνση)

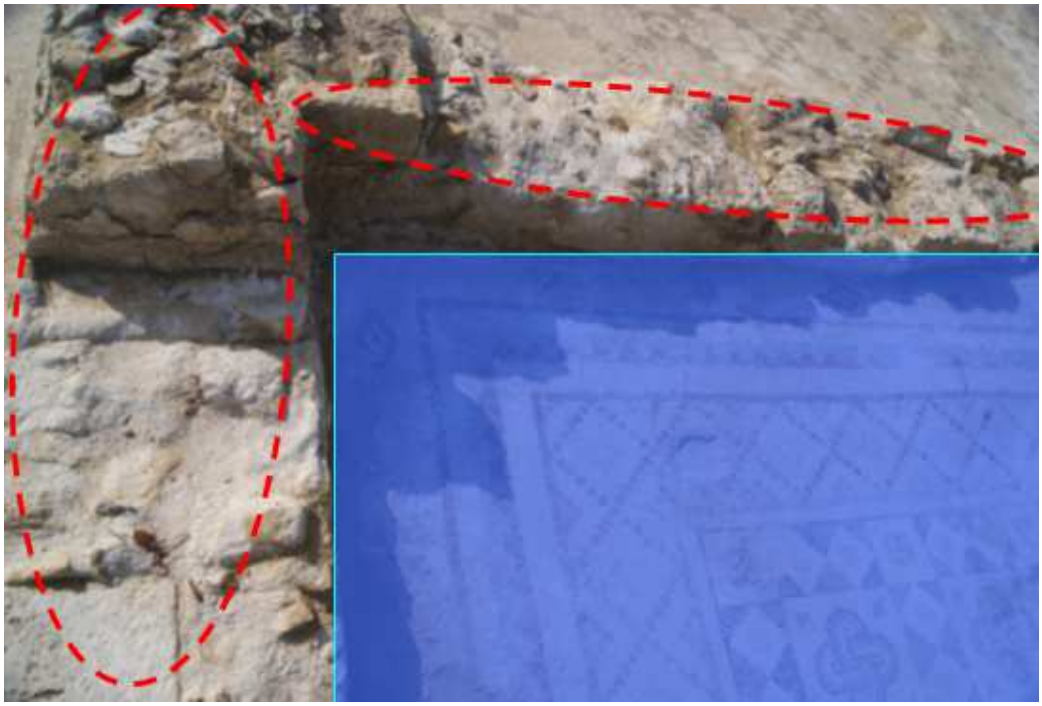
Στην εικόνα 5.5 που παρουσιάζονται δυο διαφορετικοί ορθοφωτοχάρτες που έχουν δημιουργηθεί με την βοήθεια του λογισμικού, από διαφορετική ημέρα και ώρα λήψης φωτογραφιών. Διαφαίνονται οι προβλεπόμενες χρωματικές διαφορές που δημιουργούνται.



Εικόνα 5.5: Χρωματική διαφορά

Να σημειωθεί ότι έγινε προσπάθεια, μέσο του λογισμικού Irfanview, να μειωθούν αυτές οι διαφορές.

Τέλος, το τελικό παράγωγο που θα δοθεί στους Αρχαιολόγους θα είναι ορθοφωτοχάρτης, ο οποίος θα παρουσιάζει μόνο τα μωσαϊκά, τόσο για το λόγο του ότι το θέμα είναι η αποτύπωση των μωσαϊκών αλλά και για λόγους οπτικής καλαισθησίας. Στην παρακάτω εικόνα 5.6, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή του 3D μοντέλου και σε συνέπεια, ενός από τους ορθοφωτοχάρτες διακρίνονται τοιχία (μέσα σε κόκκινα οβάλ) τα οποία θα έπρεπε στην συνέχεια να αφαιρεθούν, δηλαδή να μην είναι ορατά από τον ορθοφωτοχάρτη. Περιορίζοντας παράλληλα και την περιοχή ενδιαφέροντος στα μωσαϊκά (το γαλάζιο χρώμα).



Εικόνα 5.6: Απεικονίζονται στην φωτογραφία τα ανεπιθύμητα τοιχία

Είναι φυσικό, λόγο του μεγάλου όγκου πληροφορίας (φωτογραφίες) που είχαμε στην διάθεση μας, να μην κόβονται τα τοιχία χειροκίνητα από όσες φωτογραφίες τα απεικόνιζαν. Έτσι επιλέγηκε να δημιουργηθούν τα 3D μοντέλα και να εξαχθούν οι ορθοφωτοχάρτες των μωσαϊκών από το λογισμικό PhotoScan, περιλαμβάνοντας και τα τοιχία. Στην συνέχεια, μέσο του προγράμματος AutoCad Map 3D, θα εισαχθούν οι ορθοφωτοχάρτες, και οι οποίοι θα κοπούν χειροκίνητα με το εργαλείο clip image που διαθέτει το λογισμικό. Πιο κάτω υπάρχει η εικόνα 5.7 που παρουσιάζει τους ορθοφωτοχάρτες πριν και μετά την αποκοπή

Πριν την αποκοπή

Μετά την αποκοπή

Εικόνα 5.7: Πριν και μετά την αποκοπή των τοιχίων

Πριν να εισαχθούν οι ορθοφωτοχάρτες στο AutoCad Map 3D για την αφαίρεση των τοιχίων, προηγήθηκε η εισαγωγή τους σε ένα ευρέως γνωστό πρόγραμμα, το Irfanview για να τονιστούν τα χρώματα των μωσαϊκών (εικόνα 5.8). Ζωντανεύοντας τα χρώματα που υπάρχουν στο μωσαϊκό, γίνεται και το ενδιάφερον για των παρατηρητή μεγαλύτερο, παρά να παρουσιάζονται χλωμά χρώματα με χαμηλή αντίθεση μεταξύ των σχημάτων του μωσαϊκού. Ο κύριος λόγος της χρήσης του συγκεκριμένου view είναι να δοθεί έτσι περισσότερη ένταση των χρωμάτων στο τελικό παραδοτέο δίνοντας, στους ενδιαφερόμενους και τους αναγνώστες μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τα μωσαϊκά και τους ορθοφωτοχάρτες τους.

Εικόνα 5.8: Πριν και μετά την ένταση των χρωμάτων

Πλέον έχοντας τους χρωματικά διαφοροποιημένους ορθοφωτοχάρτες, αρχίζει η εισαγωγή τους στο AutoCad Map 3D για την αφαίρεση των τοιχίων. Σαν αποτέλεσμα της κοπής, έχουμε τους ορθοφωτοχάρτες όπως διαφαίνονται στην εικόνα 5.9. οι οποίοι απεικονίζουν μόνο τα μωσαϊκά, καταλήγοντας αισίως στην επιθυμητή μορφή των τελικών παραδοτέων.

Εικόνα 5.9: Όλα τα μωσαϊκά μαζί, κομμένα

Με την χρήση και πάλι του λογισμικού AutoCad Map 3D, θα απεικονιστούν όλοι οι ορθοφωτοχάρτες μαζί σε αναλογική μορφή (χάρτη).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα από την εφαρμογή της μεθόδου αποτύπωσης μνημείου στη θέση «Καταλύματα των Πλακωτών». Ταυτόχρονα αναπτύσσονται προτάσεις για μελλοντικές αποτυπώσεις, και αποφυγή τυχόν προβλημάτων που αντιμετωπίθηκαν.

6.2 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ

Βγαίνοντας στο πεδίο ο κυρίως σκοπός ήταν να παρθούν φωτογραφίες για να είναι δυνατή η τεκμηρίωση τρισδιάστατου νέφους για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας. Η παρούσα διπλωματική εκμεταλλεύεται την επιστήμη της Ψηφιακής Φωτογραμμετρίας, χρησιμοποιώντας μια απλή και γρήγορη μέθοδο, η οποία μπορεί να δώσει ισοδύναμα αν όχι, τα ίδια αποτελέσματα με τις κλασσικές μεθόδους σάρωσης. Σίγουρα η αστάθεια του ανθρώπινου σώματος και χεριού, δεν βοηθάει αρκετά στην λήψη σταθερών φωτογραφιών για την χρήση τους στην τελική δημιουργία του τρισδιάστατου νέφους σημείων. Πιθανόν η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε να αποτελέσει παράδειγμα για την υλοποίηση τρισδιάστατου μοντέλου σε παρόμοιες αρχαιολογικές ανασκαφές.

Για το λόγο αυτό, ο προγραμματισμός λήψης είναι ίσως το πιο σημαντικό θέμα για την παραγωγή και την ποιότητα του τελικού ορθοφωτοχάρτη. Ένα λάθος στις εργασίες πεδίου θα μπορούσε να προκαλέσουν την απώλεια πληροφορίας, αφού στην συνέχεια πρόκειται για μια σημαντικά αυτοματοποιημένη μέθοδο. Σε αυτή την περίπτωση, οι λήψης που έγιναν δεν είχαν το περιθώριο λάθους, γνωρίζοντας ότι τα μωσαϊκά θα σκεπάζονταν με άμμο και τσακήλι.

Επομένως είναι κατανοητό ότι εάν αυτές που πάρθηκαν δεν ήταν ικανοποιητικές τότε δεν υπήρχε η δυνατότητα να παρθούν συμπληρωματικές λήψης του μωσαϊκού.

Ένα σημαντικό λάθος που συναντάτε συχνά στις εργασίες πεδίου είναι η επικάλυψη ανάμεσα στις γειτονικές φωτογραφίες. Η επικάλυψη των φωτογραφιών που πάρθηκαν αποτέλεσε είναι από του πονοκεφάλους που απασχολεί τους εμπλεκόμενους. Λόγο του ότι σε αυτή την μέθοδο η επικάλυψη, κυρίως υπολογιζόταν με το μάτι υπήρχε σοβαρό ενδεχόμενο λάθους.

Ο μόνος έλεγχος των φωτογραφιών που μπορεί να γίνει, είναι η προεπισκόπηση τους κατά τη διάρκεια της συλλογής των δεδομένων.

Όπως αναφέρθηκε και στο τρίτο κεφάλαιο, η επιλογή ενός εξοπλισμού γίνεται σύμφωνα με το επιθυμητό αποτέλεσμα, τον οικονομικό παράγοντα αλλά και την διαθεσιμότητα σε όργανα και λογισμικό. Η μέθοδος με τις κεκλιμένες λήψεις και με τον ανθρώπινο παράγοντα όσο αφορά τις εργασίες πεδίου, πλεονεκτεί στο θέμα του κόστους αλλά και στην ώρα που χρειάζεται να αφιερωθεί στην ύπαιθρο. Μειονεκτεί όμως όσο αφορά την λήψη και την επικάλυψη καθώς δεν είναι ένας υπολογιστικός τρόπος, είτε για την επικάλυψη είτε και για την λήψη, αφού βασίζεσαι στο ανθρώπινο μάτι.

6.3 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ AGISOFT PHOTOSCAN

Όλα τα λογισμικά συστήματα που έχουν δημιουργηθεί μέχρι τώρα, φαίνεται ότι απλοποιούν την προσπάθεια και διευκολύνουν, ολοένα και περισσότερο την εργασία του Τοπογράφου Μηχανικού. Το λογισμικό PhotoScan ανήκει σε αυτή την κατηγορία, όμως δεν παύει η λειτουργία του, να είναι επίπονη και να χρειάζεται αρκετές ώρες επεξεργασίας.

Το εν λόγο πρόγραμμα έχει αρκετές δυνατότητες, όμως δεν μπόρεσα να εκμεταλλευτώ όσες περισσότερες μπορούσα σε αυτή την διπλωματική εργασία. Αυτό αφορά κυρίως τον περιορισμένο χρόνο που υπήρχε στην διάθεση μας, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει η δυνατότητα πειραματισμού.

Επίσης είναι εύχρηστο και κατανοητό προς τον χρήστη. Διαθέτει διάφορες και απλές εντολές για την υλοποίηση της κάθε χρήσης. Η χρήση του στην περίπτωση αυτή έλυσε τυχόν προβλήματα που υπήρχαν, ενώ άλλα λογισμικά πολύ πιθανόν να μην είχαν την ευελιξία ή τις εντολές για την επίλυση του.

Η χρήση του λογισμικού Agisoft PhotoScan με την μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε, φάνηκε αντάξιο των δυνατοτήτων του και να μην έχει καμία ατέλεια έναντι των κλασσικών μεθόδων. Αντιθέτως παρουσίασε μεγάλη γεωμετρική ανάλυση, με αποτέλεσμα να μας αναγκάσει να μοιράσουμε τα επιμέρους μωσαϊκά, για την εξαγωγή τους σε ορθοφωτοχάρτη.

6.4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Όταν ένα έργο έρθει εις πέρας υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις που αναρωτιέσαι ή πιστεύεις ότι αν υλοποιούταν διαφορετικά, ίσως να υπήρχε καλύτερη κατάληξη ή ίσως και πιο σύντομη. Στην περίπτωση αυτής της διπλωματικής πιστεύω ότι χρήζει βελτιώσει σε μικρά θέματα, που είναι πιθανόν το αποτέλεσμα της να έδινε καλλίτερο κυρίως αισθητικό αποτέλεσμα. Μερικά από αυτά τα σημεία που χρήζουν βελτίωση κατά την άποψη μου είναι:

- να υπήρχε η γνώση του λογισμικού,
- λήψη φωτογραφιών κάτω από τις ίδιες συνθήκες,
- περισσότερος χρόνος για την λήψη και των έλεγχο των φωτογραφιών (εδώ να αναφέρω ότι δεν υπήρχε η δυνατότητα περισσότερου χρόνου, λόγο του ότι θα καλύπτονταν τα μωσαϊκά),
- περισσότερος χρόνος για επεξεργασία στο λογισμικό.

6.5 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η αποτύπωση ενός μνημείου καταγράφει την ιστορία και την πολιτισμική κληρονομιά, αλλά παράλληλα και την κατάσταση που βρίσκεται το μνημείο σε συγκεκριμένο χρόνο. Οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό μπορούν να βελτιωθούν ακόμη περισσότερο. Η παρούσα διπλωματική μου προσέφερε αρκετές γνώσεις και δεξιότητες για την υλοποίηση τρισδιάστατου μοντέλου, καθώς επίσης περισσότερη κατανόηση της Φωτογραμμετρίας, που ακολουθείτε στο πεδίο. Επίσης η παρούσα εργασία με έμαθε ότι η παρακολούθηση ενός αντικειμένου είτε μέσο της Φωτογραμμετρίας, είτε μέσο της Τηλεπισκόπισης, ξεφεύγει από τις κλειστόμυαλες απόψεις και εφαρμογές που ένας Τοπογράφος Μηχανικός έχει την ικανότητα να υλοποίηση. Δίνεται λοιπόν η δυνατότητα μεγαλύτερου φάσματος εφαρμογών για τον Τοπογράφο που είναι χρήσιμες και μερικές φορές αναγκαίες, για τον μέσο άνθρωπο.

Στο τέλος αυτής της διπλωματικής εργασίας παραδίδεται ως παράρτημα η γεωμετρική τεκμηρίωση των μωσαϊκών αλλά και αναλογικός ορθοφωτοχάρτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γεωργόπουλος., 2011. Φωτογραμμετρία Ι. Σπουδαστικές σημειώσεις ΠΟΜΗΓΕ ΤΕΠΑΚ.

Σκαρλάτος Δ., 2012. Φωτογραμμετρία ΙΙ. Σπουδαστικές σημειώσεις ΠΟΜΗΓΕ ΤΕΠΑΚ.

Κυπαρισσή Β., 2011. *Συνένωση Σημείων από Ομολογίες Εικόνων*. Διπλωματική Εργασία, ΣΑΤΜ ΕΜΠ.

Γεωργίου Μ., 2012. Ταχεία τρισδιάστατη αποτύπωση εναλίας αρχαιολογικής τομής : Η περίπτωση του Μαζωτού, Διπλωματική Εργασία, ΠΟΜΗΓΕ ΤΕΠΑΚ.

Baltsavias E.,1991. Multiphoto geometrically constraint matching. PhD thesis, Institute of geodesy and photogrammetry, Zyrich

Förstner W., 1986. A Feature based correspondence algorithm for image matching and least squares matching. International Archives of Photogrammetry 26 (3/3), pp. 150-166

Romendino F., 2006. Detectors and descriptors for photogrammetric applications. International Archives of Photommetry and Remote Sensing, Commission III Symposium, Germany. In press.

Szeliski R., 2010. Computer Vision: Algorithms and Applications, (Texts in computer science). Springer.

Ιστοσελίδες

Ιστορικά στοιχεία

http://www.foni-lemesos.com/topika/eidiseis/7259-anakalyfthike-sto-akrotiri-to-simantikotero-stin-kypro-protovyzantino-mnimeio.html

http://www.archaiologia.gr/blog/2011/10/26/%CE%BC%CE%BD%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%8E%CE%B4%CE%B5%CF%82-%CF%80%CF%81%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CF%85%CE%B6%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BD%CF%8C-%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%B4%CF%8C%CE%BC%CE%B7%CE%BC/

Bundle Adjustment

http://en.wikipedia.org/wiki/Bundle_adjustmen

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζονται όλοι οι επιμέρους ορθοφωτοχάρτες.

Λωρίδας APart1 & part2 (ανάμεσά τους υπάρχει μικρή επικάλυψη).

Λωρίδας Β

Λωρίδας C

Λωρίδα D

Λωρίδας D

Λωρίδας D

Λωρίδας Ε

Λωρίδας F part1 & part 2

Λωρίδας F part3

Λωρίδας G part1 & part2

Λωρίδας Η part1 & part2

Λωρίδας J

Λωρίδας Κ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

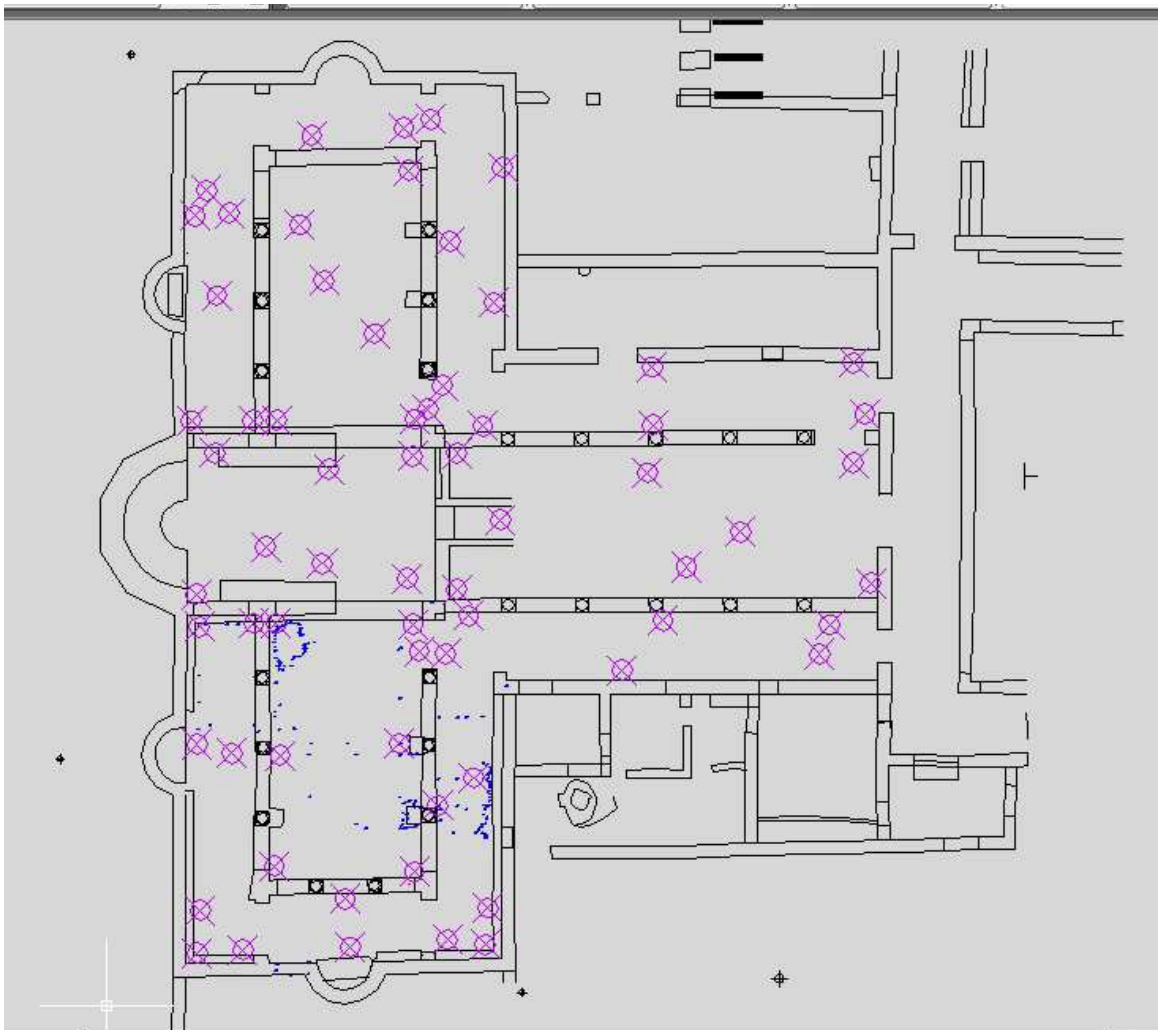
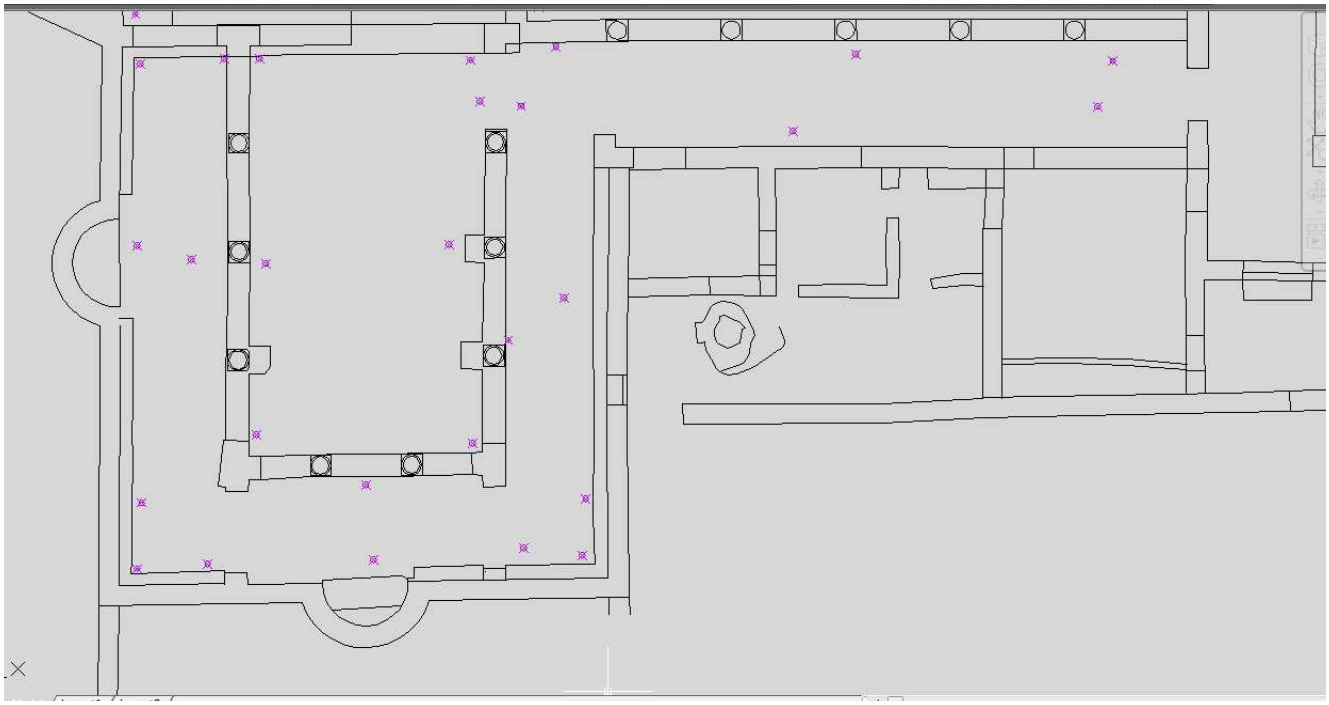
Στο παράρτημα 2 δίνετε σε μορφή πίνακα τα σημεία με τα ονόματα τους και τις συντεταγμένες τους. Επίσης δίνετε μια εικόνα από το λογισμικό AutoCad με την τοποθέτηση τους στο χώρο του μνημείου.

ΗΜΕΡΑ	ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ
4 ΚΥΡΙΑΚΗ	11	2012

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ
ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΩΣΑΪΚΩΝ

Α/Α Φωτοσταθερών	X	Y	Z
ST100	194985.8174	327745.2837	-0.7036
ST101	194985.9098	327746.7449	-0.7181
ST102	194980.4057	327745.1714	-0.7204
ST103	194980.1984	327747.1140	-0.6497
ST104	194974.2693	327744.9385	-0.6936
ST105	194974.3894	327746.6494	-0.6688
ST106	194976.1034	327745.0631	-0.6859
ST107	194974.2736	327753.2920	-0.6618
ST108	194975.6755	327752.9370	-0.6541
ST109	194974.3540	327757.9932	-0.5845
ST110	194976.5372	327758.1269	-0.5985
ST111	194977.4426	327758.1283	-0.618
ST112	194982.9177	327758.0919	-0.6298
ST113	194982.3632	327753.3193	-0.6863
ST114	194977.6040	327752.8361	-0.6669
ST115	194977.3562	327748.4095	-0.7123
ST116	194982.9792	327748.1813	-0.6718
ST117	194984.2923	327745.4792	-0.7189
ST118	194983.8987	327750.8508	-0.7103
ST119	194985.3506	327751.9393	-0.7666
ST120	194984.2315	327756.9044	-0.6818
ST121	194985.1377	327758.4380	-0.7107
ST122	194992.9118	327758.2454	-0.7895
ST123	194991.2837	327756.2632	-0.7901
ST124	194999.5892	327758.0682	-0.7734
ST125	194999.1948	327756.8965	-0.8049
ST126	195001.2459	327759.7261	-0.7802
ST127	195000.5476	327764.5308	-0.8305
ST128	194992.2996	327764.1438	-0.7649

ST129	194993.8579	327760.3763	-0.8056
ST130	194984.6622	327764.9309	-0.7155
ST131	194984.6773	327759.4690	-0.7092
ST132	194982.6929	327759.9216	-0.3977
ST133	194982.8941	327764.8103	-0.3774
ST134	194979.5475	327764.2756	-0.3191
ST135	194979.2817	327760.5083	-0.3724
ST136	194974.2262	327759.2919	-0.3222
ST137	194974.9831	327764.9324	-0.3192
ST138	194974.0481	327766.2321	-0.587
ST139	194976.5185	327766.2458	-0.5556
ST140	194975.0735	327771.2234	-0.6969
ST141	194974.1927	327774.4287	-0.687
ST142	194974.6477	327775.4386	-0.7239
ST143	194975.5655	327774.5372	-0.6645
ST144	194977.4524	327766.2403	-0.6147
ST145	194983.0008	327766.2876	-0.6063
ST146	194982.7441	327776.2390	-0.6365
ST147	194978.3730	327774.0660	-0.6245
ST148	194979.3500	327771.8362	-0.6433
ST149	194981.3913	327769.7096	-0.6309
ST150	194978.8666	327777.6191	-0.7918
ST151	194982.5408	327777.9504	-0.8362
ST152	194983.6182	327778.2901	-0.8333
ST153	194986.4966	327776.3601	-0.8484
ST154	194984.3848	327773.3825	-0.7231
ST155	194986.1641	327770.9397	-0.7563
ST156	194984.1067	327767.6282	-0.6629
ST157	194985.7018	327766.0271	-0.7131
ST158	194983.5033	327766.6772	-0.6219
ST159	194992.5226	327766.0484	-0.7507
ST160	194992.4801	327768.3754	-0.8243
ST161	195000.5324	327768.5418	-0.8979
ST162	195001.0039	327766.5015	-0.9152
ST163	194983.1698	327757.0200	-0.6565
ST164	194977.0088	327761.1850	-0.2373
ST165	194996.0323	327761.7892	-0.7034
ST166	194986.4111	327762.2563	-0.6708



Και σε μεγέθυνση