



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ  
ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία  
**Διερεύνηση Παραμέτρων Εφαρμογής Πολυεικονικής  
Φωτογραμμετρίας**

**Βασιλείου Α. Ραφαήλ - Τιμολέων**

Επιβλέπων καθηγητής: Ανδρέας Γεωργόπουλος

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2021

## Ευχαριστίες

Η περαίωση της παρούσας εργασίας σηματοδοτεί το κλείσιμο ενός μεγάλου κεφαλαίου της ζωής μου. Για αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με βοήθησαν και στάθηκαν δίπλα μου, ιδιαίτερα τα δύσκολα τελευταία τέσσερα χρόνια που ήταν τα πιο καθοριστικά για την ευθυγράμμιση της από εδώ και πέρα πορείας μου, ως μηχανικό αλλά και ως άνθρωπο.

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω από καρδιάς τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ανδρέα Γεωργόπουλο, για την βοήθεια, την εμπιστοσύνη, την καθοδήγηση και τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω και για τα όσα μου μετέφερε ως διδάσκοντας καθηγητής στις διαλέξεις του, που είχα το προνόμιο να παρακολουθήσω ως φοιτητής της σχολής μας.

Ευχαριστώ θερμά επίσης όλους τους καθηγητές της σχολής μας, που συνέβαλαν ο καθένας με τον τρόπο του, στην διαμόρφωση του γνωστικού μου υποβάθρου πάνω στις δραστηριότητες του Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού.

Οφείλω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Δημήτριο Μεγρέμη ΑΤΜ ΕΜΠ, για την διάθεση ενός μέρους από τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία και για την ευκαιρία που μου έδωσε, τα τελευταία τρία χρόνια, στο να αποκτήσω τριβή με τα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο σύγχρονος Τοπογράφος Μηχανικός και να νιώθω μεγαλύτερη αυτοπεποίθηση ως νέος μηχανικός.

Επίσης δεν θα μπορούσα να μην κάνω ειδική αναφορά στον παιδικό μου φίλο Στυλιανό Τζανιδάκη Πολιτικό Μηχανικό Παν. Πατρών και να μην τον ευχαριστήσω θερμά για την στήριξη του όλα αυτά τα χρόνια.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω από καρδιάς την Μυρτώ για την στήριξη της στις επιλογές μου και την αστείρευτη υπομονή της τα τελευταία χρόνια.

Τέλος, αφιερώνω τον κόπο μου για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας στους φίλους και στην οικογένεια μου, οι οποίοι συμπαράσταθηκαν στις αντικειμενικές δυσκολίες, με στήριξαν σε όλες τις επιλογές μου και έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση της προσωπικότητας μου, όποια και αν είναι αυτή.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στην διερεύνηση των παραμέτρων που καλούνται οι χρήστες λογισμικών τρισδιάστατης ανακατασκευής αντικειμένων να τροποποιήσουν για να εξαγάγουν τα αποτελέσματα που ταιριάζουν στις ανάγκες της δουλειάς τους. Οι παράμετροι αυτές αναφέρονται ουσιαστικά στην εφαρμογή των τεχνικών Structure From Motion (SfM) και Multi View Stereo (MVS) από τα λογισμικά που προαναφέρθηκαν. Οι τεχνικές αυτές διερευνώνται ξεχωριστά, όσο μπορεί αυτό να καταστεί εφικτό αν λάβει κανείς υπόψη ότι για την εκκίνηση της MVS είναι απαραίτητα τα δεδομένα που προκύπτουν από την SfM.

Για την διερεύνηση αυτή διενεργήθηκαν πολλαπλές δοκιμές συνδυασμών παραμέτρων στο λογισμικό της Agisoft, το Metashape (v1.7.1). Για τις δοκιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν τρία σύνολα δεδομένων των οποίων τα βασικά χαρακτηριστικά διαφέρουν. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε ένα σύνολο δεδομένων που έχει ως αντικείμενο ενδιαφέροντος έναν αρχαίο ναό, ένα σύνολο δεδομένων που έχει ως αντικείμενο ενδιαφέροντος ένα μικρό αντικείμενο το οποίο περιστρεφόταν κατά την διάρκεια των λήψεων και ένα σύνολο δεδομένων εναέριας φωτογραμμετρίας.

Μετά το πέρας της διαδικασίας των δοκιμών, αξιολογούνται τα αποτελέσματα και σχολιάζονται. Επίσης, με βάση τα αποτελέσματα δημιουργήθηκε μια σχέση εκτιμήσεων των βασικών μεγεθών που ενδιαφέρουν τους χρήστες για την εφαρμογή της μεθόδου MVS, η οποία είναι η πιο απαιτητική. Δηλαδή τις μέγιστες ποιοτικές δυνατότητες που έχουν για τον υπολογιστή που θα χρησιμοποιήσουν για την εργασία, πόσο χρόνο θα πάρει η επεξεργασία και πώς αυτός ο χρόνος μεταφράζεται σε χρηματικό κόστος. Η σχέση αυτή αποτελεί στατιστικό προϊόν, επομένως με μόνο αυτά τα τρία σύνολα δεδομένων είναι προφανές ότι είναι περιορισμένης αξιοπιστίας. Όμως αποτελεί μια βάση πάνω στην οποία μπορεί να στηριχτεί μια μελλοντική βελτίωση της με την προσθήκη μεγάλου αριθμού παρατηρήσεων για να βελτιωθεί η αξιοπιστία της φόρμουλας.

## ***Abstract***

National Technical University of Athens, Greece  
School of Rural, Surveying & Geoinformatics Engineering  
Laboratory of Photogrammetry

### **An Investigation of Multi-Stereo Photogrammetry Application Parameters**

Vasiliou Raphael-Timoleon

Diploma Thesis

July 2021, Athens, Greece

This thesis refers to the investigation of the parameters that users of the three-dimensional reconstruction software have to deal with in order to extract results that fit the needs of the projects that they are working on. These parameters actually refer to the execution of the Structure from Motion (SfM) and Multi-View Stereo (MVS) algorithms by the previously referred software. Knowing that these algorithms are interconnected and the results of the one (SfM) affects the results of the other (MVS), an effort is made to investigate the behavior of these algorithms partially.

In order to investigate these techniques, a lot of experiments of different combinations of parameters took place using the software made by Agisoft, Metashape (v.1.7.1). For these experiments three datasets of different types are used. More specifically, the first dataset that is used, has as object of interest an ancient Greek temple, the second one, has as object of interest a small decorative object that was photographed on a turning table and the third is an example of aerial photogrammetry.

After the experimental process, the results are getting analyzed and commented. Also, using the results as statistical data, a formula was created. The role of this formula is to make estimations of the most interested values that a user wants to know before he executes the MVS algorithm, which is the most demanding among the two. More specifically, the formula estimates the best quality that someone can achieve with a given dataset and computer, how much time the computer will need to finish the process and how this time refers to money cost. This formula is made using statistical data, so it's obvious that using only three datasets to create it, makes the formula less reliable. Even though that the formula is not very reliable, the study that was made to create it can be used as a starting point to create one more reliable formula using more statistical data from multiple experiments.



## *Πίνακας Περιεχομένων*

<i>Ευχαριστίες</i> .....	<i>i</i>
<i>Περίληψη</i> .....	<i>ii</i>
<i>Abstract</i> .....	<i>iii</i>
<i>Πίνακας Περιεχομένων</i> .....	<i>iv</i>
<b><i>Κεφάλαιο 0: Εισαγωγή</i></b> .....	<b><i>1</i></b>
0.1 Αντικείμενο της εργασίας – Στόχος.....	1
0.2 Δομή της εργασίας .....	2
<b><i>Κεφάλαιο 1: Θεωρητικό υπόβαθρο</i></b> .....	<b><i>4</i></b>
1.1 Εισαγωγή.....	4
1.2 Συνοπτική περιγραφή SfM.....	4
1.2.1 Βασικές Αρχές.....	5
1.2.2 Κεντρική Προβολή .....	5
1.2.3 Συστήματα Αναφοράς .....	6
1.2.4 Γεωμετρία των δύο λήψεων .....	7
1.2.5 Εντοπισμός χαρακτηριστικών σημείων και συνταύτιση εικόνων. .....	9
1.2.6 Βαθμονόμηση και αυτοβαθμονόμηση .....	13
1.2.7 Τριγωνισμός .....	13
1.2.8 Ανακατασκευή από πολλές εικόνες .....	14
<b><i>1.3 Η τεχνική της πυκνής πολυεικονικής στερεοσκοπικής     συνταύτισης (MVS)</i></b> .....	<b><i>15</i></b>
1.3.1 Ανακατασκευή χαρτών βάθους .....	16
1.3.1 Ανακατασκευή πυκνού νέφους σημείων.....	19
<b><i>Κεφάλαιο 2: Λογισμικά SfM/MVS</i></b> .....	<b><i>23</i></b>
2.1 Λογισμικά ανοιχτού κώδικα .....	23
2.2 Εμπορικά λογισμικά .....	24

<b>2.3 Agisoft Metashape</b> .....	<b>27</b>
2.3.1 Εισαγωγή και προσανατολισμός εικόνων .....	27
2.3.2 Δημιουργία πυκνού νέφους σημείων .....	32
<b>Κεφάλαιο 3: Περιγραφή των συνόλων δεδομένων (Datasets)</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1 Αρχαίος Ναός της Θεάς Δήμητρας στη Νάξο</b> .....	<b>34</b>
<b>3.2 Μινιατούρα Κουκουβάγια</b> .....	<b>35</b>
<b>3.3 Αποτύπωση ιδιοκτησίας στο Μαρμάρι Ευβοίας</b> .....	<b>37</b>
<b>Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία – Πειραματική Διαδικασία</b>	<b>40</b>
<b>4.1 Υπολογιστικό Σύστημα</b> .....	<b>41</b>
<b>4.2 Σύνολο Δεδομένων 1 (Αρχαίος Ναός της Θεάς     Δήμητρας)</b> .....	<b>42</b>
4.2.1 Alignment .....	42
4.2.2 Build Dense Cloud .....	75
4.2.4 Διερεύνηση ευαισθησίας χρωμάτων του λογισμικού .....	89
<b>4.3. Σύνολο Δεδομένων 2 (Μινιατούρα Κουκουβάγια)</b> .....	<b>91</b>
4.3.1 Alignment .....	91
4.3.2 Build Dense Cloud .....	96
<b>4.4. Σύνολο Δεδομένων 3 ( Ιδιοκτησία στο Μαρμάρι     Ευβοίας)</b> .....	<b>97</b>
4.4.1 Alignment .....	97
4.4.2 Build Dense Cloud .....	103
<b>4.5. Ανάλυση των αποτελεσμάτων – Σύνοψη</b> .....	<b>105</b>
4.5.1 Alignment .....	105
4.5.2 Build Dense Cloud .....	107
<b>Κεφάλαιο 5: Συμπερασματικά Σχόλια -Προτάσεις ..</b>	<b>119</b>
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	<b>120</b>

## Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Pinhole Projection.....	5
Εικόνα 2: Παράδειγμα από μια τυχαία εφαρμογή του RANSAC παρουσιάζει τα στοιχεία εκείνα που αντιπροσωπεύουν το μοντέλο που έχει επιλέξει. ....	8
Εικόνα 3 : Στην αριστερή εικόνα φαίνεται επίπεδη περιοχή χωρίς αλλαγή έντασης. Στην μεσαία εικόνα φαίνεται ακμή με καμία μεταβολή κατά μήκος της διεύθυνση της ακμής. Στην δεξιά εικόνα φαίνεται γωνία και μεγάλη αλλαγή έντασης σε τουλάχιστον δύο κατευθύνσεις. (Πηγή: Δάβαρης 2015).....	9
Εικόνα 4: Παράγωγος αρχικής εικόνας μετά την εφαρμογή Prewitt κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου Canny.....	10
Εικόνα 5: Παράδειγμα ανίχνευσης με SIFT.....	10
Εικόνα 6: Συγκρίση ASIFT και SIFT σε ζεύγη με μεγάλες στροφές. (Πηγή: Mohsin et.al,2019).....	11
Εικόνα 7 : Ομολογίες πριν και μετά την εφαρμογή του RANSAC (Πηγή: <a href="https://stackoverflow.com/questions/62280342/image-alignment-with-orb-and-ransac-in-scikit-image">https://stackoverflow.com/questions/62280342/image-alignment-with-orb-and-ransac-in-scikit-image</a> ) .....	12
Εικόνα 8 : Αναπαράσταση προσθήκης νέας εικόνας .....	14
Εικόνα 9: Παράδειγμα του Winner Takes All (Πηγή: Furukawa & Hernández,2015).....	17
Εικόνα 10: Παράδειγμα του Robust Photo Consistency (Πηγή: Furukawa & Hernández,2015) .....	18
Εικόνα 11: Παράδειγμα συγχώνευσης σημείων και της δημιουργίας συστάδων (Πηγή: Furukawa et. al. 2010).....	20
Εικόνα 12: Παράδειγμα ανίχνευσης σημείων με Harris/DoG (Πηγή: (Furukawa & Ponce. 2009).....	22
Εικόνα 13: Πάνελ παραμέτρων Align στο Metashape.....	31
Εικόνα 14: Ένας Χάρτης Βάθους.....	32
Εικόνα 15: Πάνελ παραμέτρων Build Dense Cloud στο Metashape.....	33
Εικόνα 16: Ο ναός της Θεάς Δήμητρας στην Νάξο (Εικόνα που αποτελεί μέρος του συνόλου δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε). ....	34
Εικόνα 17: Κωδικοποιημένοι στόχοι για αυτόματο εντοπισμό από το λογισμικό. ....	35
Εικόνα 18: Εικόνα του αντικειμένου ενδιαφέροντος (Εικόνα που αποτελεί μέρος του συνόλου δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε) .....	35
Εικόνα 19 : Δείγμα από το σύνολο δεδομένων (Μαρμάρι).....	37
Εικόνα 20: Περιοχή ενδιαφέροντος (Μαρμάρι). ....	37
Εικόνα 21 : Θέση της ιδιοκτησίας (Πηγή: Google Maps).....	38
Εικόνα 22: Το WingtraOne (Πηγή: Google Images).....	38
Εικόνα 23: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report του λογισμικού (Δοκιμή 1). ....	42
Εικόνα 24: Camera Overlap .....	43
Εικόνα 25: Alignment Report μετά την επανάληψη του Align με τις ίδιες παραμέτρους (Δοκιμή 1) .....	44
Εικόνα 26: Αραιό Νέφος Σημείων με τις παραμέτρους της πρώτης δοκιμής. ....	44
Εικόνα 27: Επίπεδο αναφοράς των συγκρίσεων (Κόκκινο τετράγωνο στην εικόνα 4.3). ....	45
Εικόνα 28: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report της δεύτερης δοκιμής(Δοκιμή 2).....	45

Εικόνα 29:Αραιό Νέφος Σημείων με τις παραμέτρους της δεύτερης δοκιμής.....	46
Εικόνα 30: Επίπεδο αναφοράς των συγκρίσεων προ απομόνωσης (Δοκιμή 2) .....	46
Εικόνα 31: Απομονωμένο επίπεδο αναφοράς, πάνω εικόνα σε κάτοψη κάτω σε όψη (Δοκιμή 2).....	47
Εικόνα 32: Σύγκρισή απομονωμένου επιπέδου στο Matlab (Το πάνω νέφος είναι η δοκιμή 1 και το κάτω η δοκιμή 2). .....	48
Εικόνα 33: Το νέφος σημείων χωρίς τα σημεία που εντοπίστηκαν ως μέρος του επιπέδου. Πάνω εικόνα δοκιμή 1 κάτω εικόνα δοκιμή 2.....	49
Εικόνα 34: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report της δοκιμής 3.	50
Εικόνα 35: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 4). ....	51
Εικόνα 36:Αραιό Νέφος Σημείων με τις παραμέτρους της τέταρτης δοκιμής. ....	51
Εικόνα 37: Απομονωμένο επίπεδο αναφοράς, πάνω εικόνα σε κάτοψη κάτω σε όψη (Δοκιμή 4).....	52
Εικόνα 38: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 5). ....	53
Εικόνα 39: Αραιό Νέφος πέμπτης δοκιμής. ....	53
Εικόνα 40: Σύγκρισή στο Cloud Compare (Το άσπρο νέφος είναι η δοκιμή 5 και το πολύχρωμο η τέταρτη). .....	54
Εικόνα 41: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 6) .....	55
Εικόνα 42: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 7) .....	56
Εικόνα 43: Αραιό Νέφος έβδομης δοκιμής.....	56
Εικόνα 44 : Απομονωμένο επίπεδο αναφοράς, πάνω εικόνα σε κάτοψη κάτω σε όψη (Δοκιμή 7).....	57
Εικόνα 45: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report της (Δοκιμή 8)	58
Εικόνα 46: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 9) .....	59
Εικόνα 47 : Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 10) ..	60
Εικόνα 48 : Απομονωμένο επίπεδο αναφοράς, πάνω εικόνα σε κάτοψη κάτω σε όψη (Δοκιμή 10).....	61
Εικόνα 49: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 11) ...	62
Εικόνα 50: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 12). ..	63
Εικόνα 51 : Αραιό Νέφος δωδέκατης δοκιμής.....	63
Εικόνα 52: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 13) ...	64
Εικόνα 53: Αραιό Νέφος δέκατης-τρίτης δοκιμής.....	65
Εικόνα 54: Αραιό Νέφος δέκατης-τρίτης δοκιμής (0 Key Point Limit - Tie Point Limit).....	65
Εικόνα 55: Απομονωμένο επίπεδο αναφοράς (Πάνω), περιοχή γύρω από το επίπεδο αναφοράς χωρίς το επίπεδο αναφοράς(Κάτω) (Δοκιμή 13).....	66
Εικόνα 56: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 14) ...	67
Εικόνα 57: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 15) ...	68
Εικόνα 58: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 16) ...	69
Εικόνα 59: Αραιό Νέφος δέκατης-έκτης δοκιμής.....	69
Εικόνα 60: Απομονωμένο επίπεδο αναφοράς (Πάνω), περιοχή γύρω από το επίπεδο αναφοράς χωρίς το επίπεδο αναφοράς(Κάτω) (Δοκιμή 16).....	70
Εικόνα 61: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 17) ...	71
Εικόνα 62: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 18) ...	72
Εικόνα 63: Σύγκριση των καλύτερων δοκιμών για διαφορετικές τιμές Accuracy.....	74

Εικόνα 64: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Dense Cloud Report της πρώτης δοκιμής του Build Dense Cloud .....	75
Εικόνα 65: Πυκνό νέφος πρώτης δοκιμής (Πάνω), Πυκνό νέφος πρώτης δοκιμής με τιμές Point Confidence σε κάθε σημείο (Κάτω).....	76
Εικόνα 66: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Dense Cloud Report της δεύτερης δοκιμής του Build Dense Cloud .....	77
Εικόνα 67: Πυκνό νέφος δεύτερης δοκιμής (Πάνω), Πυκνό νέφος δεύτερης δοκιμής με τιμές Point Confidence σε κάθε σημείο (Κάτω).....	77
Εικόνα 68: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Dense Cloud Report της τρίτης δοκιμής του Build Dense Cloud .....	78
Εικόνα 69: Πυκνό νέφος τρίτης δοκιμής (Πάνω), Πυκνό νέφος τρίτης δοκιμής με τιμές Point Confidence σε κάθε σημείο (Κάτω). .....	78
Εικόνα 70: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Dense Cloud Report της τέταρτης δοκιμής του Build Dense Cloud .....	79
Εικόνα 71: Πυκνό νέφος τέταρτης δοκιμής (Πάνω), Πυκνό νέφος τέταρτης δοκιμής με τιμές Point Confidence σε κάθε σημείο (Κάτω).....	79
Εικόνα 72: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Dense Cloud Report της πέμπτης δοκιμής του Build Dense Cloud .....	80
Εικόνα 73: Πυκνό νέφος πέμπτης δοκιμής (Dense Cloud) .....	80
Εικόνα 74: Πυκνό νέφος τέταρτης δοκιμής σε μεγέθυνση σε μια περιοχή (Κάτω), Πυκνό νέφος πέμπτης δοκιμής σε μεγέθυνση σε μια περιοχή (Πάνω).....	81
Εικόνα 75: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Dense Cloud Report της πέμπτης δοκιμής του Build Dense Cloud. ....	82
Εικόνα 76: Πυκνό νέφος έκτης δοκιμής(Dense Cloud) .....	82
Εικόνα 77: Πυκνό νέφος από Lowest Quality έως Medium Quality (Από κάτω προς τα πάνω) .....	83
Εικόνα 78: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Dense Cloud Report της έβδομης δοκιμής του Build Dense Cloud. ....	84
Εικόνα 79: Πυκνό νέφος έβδομης δοκιμής (Dense Cloud).....	84
Εικόνα 80: Πυκνό νέφος έκτης δοκιμής σε μεγέθυνση σε μια περιοχή (Κάτω), Πυκνό νέφος έβδομης δοκιμής σε μεγέθυνση σε μια περιοχή (Πάνω). ....	85
Εικόνα 81: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Dense Cloud Report της όγδοης δοκιμής του Build Dense Cloud. ....	86
Εικόνα 82: Πυκνό νέφος όγδοης δοκιμής. ....	86
Εικόνα 83: Πυκνό νέφος έβδομης δοκιμής σε μεγέθυνση σε μια περιοχή (Κάτω), Πυκνό νέφος όγδοης δοκιμής σε μεγέθυνση σε μια περιοχή (Πάνω).....	87
Εικόνα 84 : Αραιά νέφη που προκύπτουν από τα κανάλια των αρχικών εικόνων.....	89
Εικόνα 85: Καμπύλη ορατού φάσματος. ....	90
Εικόνα 86: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report της πρώτης δοκιμής. ....	92
Εικόνα 87: Αραιό Νέφος πρώτης δοκιμής .....	92
Εικόνα 88: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report της δεύτερης δοκιμής. ....	93
Εικόνα 89: Αραιό Νέφος δεύτερης δοκιμής.....	93
Εικόνα 90: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report της τρίτης δοκιμής. ....	94

Εικόνα 91: Αραιό Νέφος τρίτης δοκιμής .....	94
Εικόνα 92: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report της τέταρτης δοκιμής. ....	95
Εικόνα 93: Αραιό Νέφος τρίτης δοκιμής .....	95
Εικόνα 94: Αραιό νέφος πέμπτης δοκιμής (Σύνολο Δεδομένων 3) .....	100
Εικόνα 95: Αραιό νέφος ενδέκατης δοκιμής.(Σύνολο Δεδομένων 3) .....	101
Εικόνα 96: Αραιό νέφος δέκατης-έβδομης δοκιμής.(Σύνολο Δεδομένων 3).....	102
Εικόνα 97: Πυκνό νέφος High Quality.(Σύνολο Δεδομένων 3).....	104
Εικόνα 98 : Ενδεικτική συσχέτιση αριθμού εικόνων με δέσμευση μνήμης RAM (Πηγή: <a href="https://www.agisoft.com/pdf/tips_and_tricks/PhotoScan_Memory_Requirements.pdf">https://www.agisoft.com/pdf/tips_and_tricks/PhotoScan_Memory_Requirements.pdf</a> ). ....	106
Εικόνα 99: Ενδεικτικές απαιτήσεις μνήμης RAM για την παραγωγή 3D Model (Arbitrary Method) με χρήση διαφορετικών τιμών ποιότητας πυκνού νέφους. Τα παραπάνω νούμερα αναφέρονται σε εικόνες ανάλυσης 12Mpix (Πηγή: <a href="https://softbooks.pl/agisoft/files/download/PhotoScan_Memory_Requirements.pdf">https://softbooks.pl/agisoft/files/download/PhotoScan_Memory_Requirements.pdf</a> ). ....	109

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1:Τεχνικά Χαρακτηριστικά Canon EOS 1Ds Mark III (Πηγή: <a href="https://www.dpreview.com/">https://www.dpreview.com/</a> ) .....	34
Πίνακας 2 :Τεχνικά Χαρακτηριστικά Canon EOS 6D (Πηγή: <a href="https://www.dpreview.com/">https://www.dpreview.com/</a> ). 36	
Πίνακας 3:Τεχνικά Χαρακτηριστικά Wingtra one (Πηγή: <a href="https://wingtra.com/">https://wingtra.com/</a> ) .....	39
Πίνακας 4 :Τεχνικά Χαρακτηριστικά Sony RX1R II (Πηγή: <a href="https://www.dpreview.com/">https://www.dpreview.com/</a> )... 39	
Πίνακας 5:Χαρακτηριστικά υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα.....	41
Πίνακας 6: Βέλτιστες δοκιμές μετά τα πειράματα στο σύνολο δεδομένων 1 .....	72
Πίνακας 7: Αποτελέσματα δοκιμών για παραγωγή πυκνού νέφους χρησιμοποιώντας ως βάση το αραιό νέφος της 11ης δοκιμής του Alignment και τιμή Depth Filtering: Aggressive.....	88
Πίνακας 8 : Αποτελέσματα δοκιμών για παραγωγή πυκνού νέφους χρησιμοποιώντας ως βάση το αραιό νέφος της 17ης δοκιμής του Alignment και τιμή Depth Filtering: Aggressive.....	88
Πίνακας 9 : Αποτελέσματα δοκιμών alignment με χρήση των καναλιών των αρχικών εικόνων και σύγκρισή τους με την δοκιμή 17 .....	89
Πίνακας 10: Αποτελέσματα δοκιμών παραγωγής πυκνού νέφους (Σύνολο Δεδομένων 2) ....	96
Πίνακας 11: Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές με Low Accuracy (Σύνολο Δεδομένων 3) .....	97
Πίνακας 12: Αποτελέσματα δοκιμών Low Accuracy(Σύνολο Δεδομένων 3).....	97
Πίνακας 13 : Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές με Medium Accuracy (Σύνολο Δεδομένων 3) .....	98
Πίνακας 14 : Αποτελέσματα δοκιμών Medium Accuracy (Σύνολο Δεδομένων 3) .....	98
Πίνακας 15: Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές με High Accuracy (Σύνολο Δεδομένων 3) .....	99
Πίνακας 16: Αποτελέσματα δοκιμών High Accuracy (Σύνολο Δεδομένων 3).....	99
Πίνακας 17 : Αποτελέσματα δοκιμών για παραγωγή πυκνού νέφους (Σύνολο Δεδομένων 3) .....	103
Πίνακας 18 : Ενδεικτική πρόταση επιλογής παραμέτρων Alignment.....	106
Πίνακας 19: Σύγκριση υπολογιστικής επιβάρυνσης των πειραμάτων που έγιναν. ....	108
Πίνακας 20: Ποσοστιαία κλιμάκωση των χρόνων παραγωγής πυκνού νέφους για κάθε πείραμα.....	112
Πίνακας 21: Αντιστοίχιση βαθμολογίας με τιμή Quality.....	114
Πίνακας 22 : Ποσοστιαία κλιμάκωση των χρόνων παραγωγής πυκνού νέφους με τιμή αναφοράς τους χρόνους Lowest Quality. Δεδομένα που προκύπτουν από τα πειράματα. ...	115
Πίνακας 23 : Μέσοι όροι ποσοστιαία κλιμάκωση των χρόνων παραγωγής πυκνού νέφους με τιμή αναφοράς τους χρόνους Lowest Quality. Δεδομένα που προκύπτουν από τα πειράματα. ....	115
Πίνακας 24 : Τιμές RAM/Αριθμός Εικόνων για κάθε σύνολο δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε.(Με Bold οι υψηλότερες τιμές). ....	117

## ***Ευρετήριο Πινάκων***

Σχήμα 1: Σύστημα εικονοσυντεταγμένων και σύστημα εικόνας (Πέτσα 2000) .....	6
Σχήμα 2: Η συνθήκη συγγραμικότητας.....	6
Σχήμα 3: Απεικόνιση Επιπολικής Γεωμετρίας δύο εικόνων .....	7
Σχήμα 4: Γενικό διάγραμμα ροής SfM.....	15
Σχήμα 5: Διάγραμμα Ροής CMVS .....	21
Σχήμα 6: Διάγραμμα Ροής Βασικών Εργασιών Agisoft Metashape .....	27
Σχήμα 7: Σχηματική αναπαράσταση υποβάθμισης εικόνας με συντελεστή 4 .....	28



## ***Ευρετήριο Γραφημάτων***

Γράφημα 1 : Γράφημα RAM-Quality στα διαφορετικά σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν και των δεδομένων που δίνει η Agisoft.....	110
Γράφημα 2 : Γράφημα RAM-Quality στα διαφορετικά σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν.....	111
Γράφημα 3 : Οι υψηλότερες τιμές RAM/Αριθμός Εικόνων, τοποθετημένες γραφικά.(Η γραφική απεικόνιση έγινε στο <a href="https://www.desmos.com/calculator">https://www.desmos.com/calculator</a> ) .....	117
Γράφημα 4 :Η συνάρτηση $y = 10 - 3x^2 + 0.05$ .(Η γραφική απεικόνιση έγινε στο <a href="https://www.desmos.com/calculator">https://www.desmos.com/calculator</a> ) .....	118

## Κεφάλαιο 0: Εισαγωγή

### 0.1 Αντικείμενο της εργασίας – Στόχος

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι, η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο το λογισμικό Agisoft Metashape (v1.7.1) εκτελεί τους αλγορίθμους των μεθόδων, Δομή από Κίνηση (Structure From Motion) και Πυκνής Πολυεικονικής Στερεοσκοπικής Συνταύτισης (Multi View Stereo) με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων για την όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη χρήση τους, ανάλογα με το προϊόν που καλείται κάποιος να παραγάγει, τον διαθέσιμο χρόνο, τα διατιθέμενα μέσα και την πολυπλοκότητα του αντικειμένου ενδιαφέροντος.

Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου έγιναν πειράματα χρησιμοποιώντας τρία datasets τα οποία είχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους ως προς την πολυπλοκότητα του αντικειμένου, το μέσο συλλογής των εικόνων, τον τρόπο συλλογής των πρωτογενών δεδομένων, για παράδειγμα στατικό και περιστρεφόμενο αντικείμενο κ.λπ.).

Αντικείμενο των πειραμάτων ουσιαστικά ήταν η εφαρμογή των διαφόρων παραμέτρων που προσφέρει το λογισμικό για την εφαρμογή των τεχνικών SFM-MVS με σκοπό την εύρεση των καλύτερων συνδυασμών για κάθε περίπτωση.

Είναι προφανές πως κάθε σύστημα αντικείμενο-δέκτης-περιβάλλον είναι ξεχωριστό και σίγουρα είναι αδύνατο να καλυφθούν όλες οι περιπτώσεις, άλλα η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να αποτελέσει έναν οδηγό για τον αναγνώστη που θα την χρησιμοποιήσει για να κάνει αποτελεσματικότερη την εργασία του, στον καλύτερο δυνατό καλύτερο χρόνο και να μπορέσει να κατανοήσει το πώς συμπεριφέρεται το λογισμικό σε διαφορετικές χαρακτηριστικές περιπτώσεις με σκοπό να κρίνει πώς μπορεί να το χρησιμοποιήσει στην συγκεκριμένη περίπτωση που τον ενδιαφέρει κάθε φορά.

Με την αυτοματοποίηση των διαδικασιών που έχει επιτευχθεί τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια τάση σε όλες τις ειδικότητες μηχανικών, να μην ελέγχονται τα αποτελέσματα που παράγονται από τα λογισμικά, αλλά να γίνονται αποδεκτά. Η παρούσα εργασία εκτός των άλλων, παρουσιάζει μια ενδεικτική μεθοδολογία διερεύνησης παραμέτρων που μπορεί να αναχθεί σε οποιοδήποτε αντίστοιχο λογισμικό ανακατασκευής της τρισδιάστατης δομής αντικειμένων με πολυεικονική μέθοδο. Είναι πολύ σημαντικό, τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται και αυτοματοποιούν τις διαδικασίες παραγωγής προϊόντων να μπορούν να ελεγχθούν από τον μηχανικό έτσι ώστε αυτός να έχει τον έλεγχο των προϊόντων που θα παραδώσει σε κάθε βήμα της επεξεργασίας, εφόσον έχει την διάθεση, αλλά και την γνώση να το κάνει. Η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να δώσει έναν “μπούσουλα” στους ενδιαφερόμενους για να κάνουν την δική τους αξιολόγηση στα λογισμικά που χρησιμοποιούν.

## 0.2 Δομή της εργασίας

Η δομή της εργασίας είναι τέτοια ώστε ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης θα μπορέσει να παρακολουθήσει και να κατανοήσει τα όσα περιγράφονται στα κεντρικά κεφάλαια της εργασίας, έχοντας αντλήσει τις πληροφορίες που παρέχονται στα θεωρητικά κεφάλαια τα οποία αποτελούν και την βάση για την επεξήγηση των πειραματικών αποτελεσμάτων. Πιο αναλυτικά στο πρώτο (1) κεφάλαιο παρατίθενται οι βασικές αρχές πάνω στις οποίες θα στηριχθεί η περιγραφή της μεθόδου Δομή από Κίνηση (Structure from Motion – SFM), καθώς περιγράφεται και η τεχνική της Πυκνής Πολυεικονικής Στερεοσκοπικής Συνταύτισης (Multi View Stereo – MVS). Στο δεύτερο (2) κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε ένα πλήθος από λογισμικά αυτοματοποιημένης 3-D μοντελοποίησης που χρησιμοποιούν την SFM-MVS, αιτιολογείται γιατί επιλέχθηκε το Metashape ως το λογισμικό στο οποίο εστιάζει η εργασία και αναλύονται οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται από τον χρήστη για να εκτελεστούν οι εργασίες του λογισμικού μέχρι την δημιουργία του πυκνού νέφους. Στο τρίτο (3) κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή των συνόλων δεδομένων (dataset) που χρησιμοποιούνται για την πειραματική διαδικασία, δηλαδή τα αντικείμενα που απεικονίζονται, τα μέσα λήψης, τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτών και τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες κατά τις λήψεις των εικόνων. Στο τέταρτο (4) κεφάλαιο παρατίθεται ουσιαστικά όλη η πειραματική διαδικασία με λεπτομέρεια και καταγράφονται αναλυτικά οι παρατηρήσεις που γίνονται με αιτιολόγηση των αποτελεσμάτων τους. Η εργασία ολοκληρώνεται στο πέμπτο (5) κεφάλαιο στο οποίο παρατίθενται κάποια σχόλια συμπερασματικού χαρακτήρα για τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά το πέρας των πειραμάτων.



## **Κεφάλαιο 1: Θεωρητικό υπόβαθρο**

### **1.1 Εισαγωγή**

Με την πάροδο των χρόνων και την ανάπτυξη της τεχνολογίας σε όλους τους τομείς παρατηρείται μια προσπάθεια και στον κλάδο του Τοπογράφου Μηχανικού για αυτοματοποίηση των εργασιών σε όλους τους τομείς που αυτός εμπλέκεται. Ειδικότερα τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερη άνθηση έχει γνωρίσει ο τομέας της τρισδιάστατης μοντελοποίησης αντικειμένων του φυσικού χώρου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πληθώρα από επιστήμες και κλάδους επωφελούνται από την τεχνολογία αυτή, επομένως περισσότεροι επιστήμονες και ερευνητές έχουν στρέψει την προσοχή τους στην αναζήτηση νέων, πιο ευέλικτων και πιο οικονομικών μεθόδων τρισδιάστατης ανακατασκευής αντικειμένων, εκμεταλλευόμενοι και την ολοένα και πιο εύκολη πρόσβαση του μέσου χρήστη σε ισχυρά υπολογιστικά συστήματα. Η τεχνική Δομή Από Κίνηση (Structure From Motion) σε συνδυασμό με την τεχνική της Πυκνής Πολυεικονικής Στερεοσκοπικής Συνταύτισης (Multi View Stereo – MVS) σήμερα έχει δώσει λύσεις στα προβλήματα του κόστους, της ταχύτητας και της εξειδίκευσης των χρηστών καθώς πλέον είναι εύκολο για έναν μη εξειδικευμένο χρήστη να χρησιμοποιήσει μια κοινή εμπορική κάμερα (έστω και κινητού τηλεφώνου), να την κινήσει γύρω από κάποιο αντικείμενο ενδιαφέροντος και με την χρήση ενός από τα δεκάδες λογισμικά που έχουν αναπτυχθεί να παραγάγει 3D μοντέλα υψηλής ανάλυσης με υφή απλά τηρώντας κάποιους απλούς κανόνες, μέσα σε λίγες ώρες.

Ο όρος Structure from Motion προέρχεται από την επιστήμη της όρασης των υπολογιστών και αναφέρεται στην αναζήτηση σημείων από μια ακολουθία εικόνων που έχουν ληφθεί από διαφορετικές θέσεις. (Spetsakis & Aloimonos, 1999). Η SfM και η MVS οφείλουν την ύπαρξή τους σε καινοτομίες και μαθηματικά μοντέλα που αναλύθηκαν πολλά χρόνια πριν κυρίως από τον κλάδο της Φωτογραμμετρίας. Για παράδειγμα η συνθήκη συγγραμμικότητας που χρησιμοποιείται για την χωρική συσχέτιση σημείων και εικόνων αναπτύχθηκε τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, η συνόρθωση δέσμης η οποία χρησιμοποιεί την συνθήκη συγγραμμικότητας αναπτύχθηκε αργότερα από τον Brown (1971,1976), Kenefick et al. (1972) και τον Granshaw (1980) και γενικότερα όλες οι βασικές αρχές που διέπουν την κλασική στερεοσκοπική φωτογραμμετρία υπήρξαν τα θεμέλια για την ανάπτυξη των τεχνικών αυτών.

### **1.2 Συνοπτική περιγραφή SfM**

Για τον προσδιορισμό της τρισδιάστατης θέσης σημείων στον χώρο η κλασική φωτογραμμετρία απαιτεί την *a-priori* γνώση του εξωτερικού προσανατολισμού ή την τρισδιάστατη θέση φωτοσταθερών σημείων. Με γνώση του εξωτερικού προσανατολισμού και με γνωστή την θέση ενός σημείου επιτυγχάνεται η ανακατασκευή της γεωμετρίας της σκηνής (εμπροσθοτομία) ενώ με γνώση της θέσης τουλάχιστον τριών φωτοσταθερών γίνεται ο υπολογισμός του εξωτερικού προσανατολισμού (οπισθοτομία). Επίσης έχοντας ως δεδομένα σημεία σύνδεσης πάνω σε ένα μπλοκ εικόνων και τις συντεταγμένες των φωτοσταθερών, μπορεί να προσδιοριστούν ο εξωτερικός προσανατολισμός και οι συντεταγμένες των σημείων σύνδεσης ταυτόχρονα (αεροτριγωνισμός). Η τεχνική SfM δεν απαιτεί την άμεση γνώση των παραπάνω δεδομένων για να πετύχει την ανακατασκευή της γεωμετρίας της σκηνής. Οι παράμετροι της κάμερας και η γεωμετρία της σκηνής επιλύονται ταυτόχρονα μέσω μιας διαδικασίας αυτόματης συνταύτισης σημείων σε πολλαπλές λήψεις. Τα σημεία αυτά εντοπίζονται από εικόνα σε εικόνα δίνοντας μια αρχική εκτίμηση των παραμέτρων της μηχανής και της τρισδιάστατης θέσης των σημείων και στην συνέχεια με την χρήση μεθόδων συνόρθωσης η εκτίμηση αυτή βελτιώνεται.

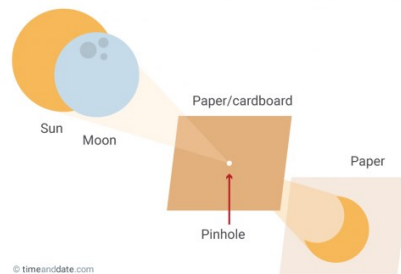
Σε αντίθεση όμως με την κλασική φωτογραμμετρία η οποία απαιτεί την χρήση φωτοσταθερών σημείων γνωστών συντεταγμένων, τα νέφη που προκύπτουν από την SfM βρίσκονται σε ένα αυθαίρετο σύστημα αναφοράς και είναι χωρίς κλίμακα. Γενικά ο μη προσδιορισμός θέσης και κλίμακας δεν αποτελεί πρόβλημα σε αρκετές εφαρμογές (π.χ. ηλεκτρονικά παιχνίδια), όμως σε πολλές εφαρμογές του ATM είναι απαραίτητος. Για να επιτευχθεί αυτό είναι αναγκαίος ο προσδιορισμός θέσης κάποιων εύκολα αναγνωρίσιμων σημείων του μοντέλου με χρήση γεωδαιτικών μεθόδων. Στην πράξη αυτά τα σημεία “τοποθετούνται” στην σκηνή με χρήση σήμανσης πριν την φωτογράφιση. Με χρήση αυτών των μεθόδων μπορεί να γίνει μετασχηματισμός από οποιοδήποτε σύστημα αναφοράς στο επιθυμητό σύστημα που απαιτεί κάθε εφαρμογή.

### 1.2.1 Βασικές Αρχές

Η πιο απλή περίπτωση που αντιμετωπίζει η ψηφιακή Φωτογραμμετρία είναι αυτή του ενός στερεοζεύγους. Η περίπτωση αυτή έχει μελετηθεί εκτενώς και είναι ο πιο απλός τρόπος εξήγησης της μεθόδου SfM. Αφού μελετηθεί το πώς γίνεται επίλυση σε δυο εικόνες θα εξηγηθεί πώς γίνεται εισαγωγή πολλών εικόνων σε αυτό το μοντέλο.

### 1.2.2 Κεντρική Προβολή

Το μοντέλο που περιγράφει την γεωμετρία του συστήματος κάμερα-αντικείμενο κατά την λήψη μιας φωτογραφίας ονομάζεται Pinhole Projection (Προβολή Σημειακής Οπής) ή κοινώς Κεντρική Προβολή. Η χρήση του μοντέλου αυτού είναι μια καλή προσέγγιση της συμπεριφοράς των περισσότερων καμερών.



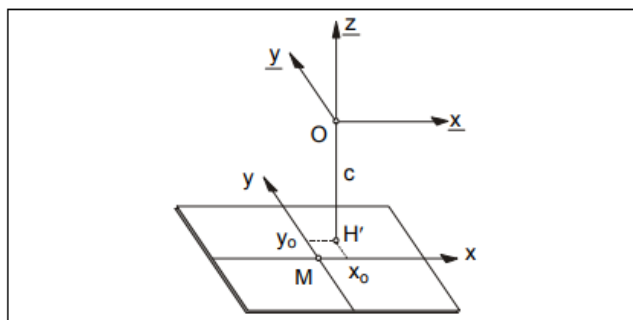
Εικόνα 1: Pinhole Projection

Η σημασία ορισμού του προβολικού μοντέλου έγκειται στον καθορισμό εκείνων των μετασχηματισμών που πρέπει να γίνουν για να προσδιοριστούν οι μαθηματικές εξισώσεις που συνδέουν τα σημεία στην εικόνα με τα σημεία στον τρισδιάστατο χώρο. Μαθηματικά το μοντέλο αυτό περιγράφεται μέσω του προβολικού πίνακα  $P$  (ή πίνακας της κάμερας) ο οποίος περιέχει όλες τις πληροφορίες του εσωτερικού προσανατολισμού της μηχανής.

### 1.2.3 Συστήματα Αναφοράς

Στα μοντέλα περιγραφής καμερών χρησιμοποιούνται τρία συστήματα αναφοράς.

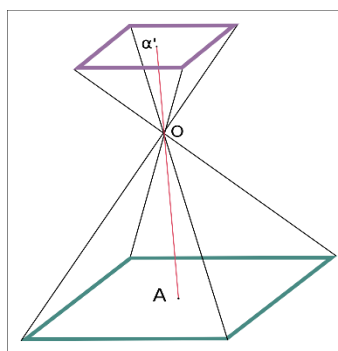
1. **Το σύστημα των εικονοσυντεταγμένων:** Ορίζεται πάνω στο επίπεδο του αρνητικού της μηχανής, είναι ένα καρτεσιανό δεξιόστροφο δισδιάστατο σύστημα  $(x,y)$  με αρχή το κέντρο της εικόνας. Οι μετρήσεις πάνω σε αυτό εκφράζονται σε mm ή σε pixels και εάν γίνονται σε διαφορετικό σύστημα θα πρέπει να μετασχηματιστούν σε αυτό.
2. **Το σύστημα αναφοράς της εικόνας:** Είναι ένα τρισσορθογώνιο δεξιόστροφο σύστημα  $xyz$  με αρχή το προβολικό κέντρο (σημείο λήψης)  $O$ . Ο άξονας  $z$  είναι κάθετος στο επίπεδο της εικόνας και οι άξονες  $x,y$  είναι παράλληλοι με τους αντίστοιχους άξονες του συστήματος εικονοσυντεταγμένων. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό είναι ότι η τιμή  $z$  σε όλα τα σημεία του συστήματος αυτού ισούται με  $-c$ . Επίσης το σύστημα της εικόνας είναι μετατοπισμένο κατά  $x_0$  και  $y_0$  όσο δηλαδή οι συντεταγμένες του πρωτεύοντος σημείου (που είναι η προβολή του σημείου λήψης). Σχηματικά τα δύο συστήματα (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1: Σύστημα εικονοσυντεταγμένων και σύστημα εικόνας (Πέτσα 2000)

3. **Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς :** Είναι ένα δεξιόστροφο σύστημα αναφοράς  $XYZ$  του χώρου, το οποίο μπορεί να είναι κάποιο ευρέως γνωστό σύστημα (π.χ. ένα κρατικό σύστημα) ή μπορεί να είναι και αυθαίρετο.

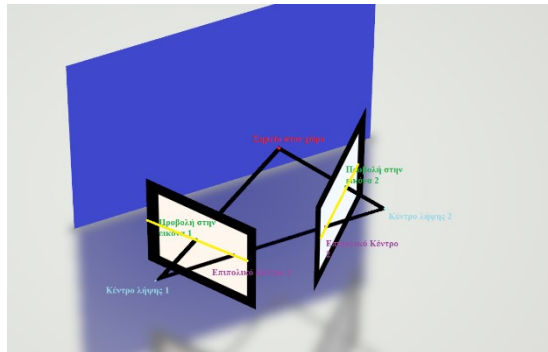
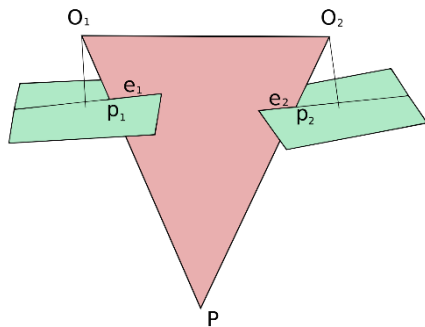
Η βασική σχέση που συνδέει αυτά τα τρία συστήματα γενικά είναι η συνθήκη συγγραμμικότητας η οποία πολύ γενικά λέει ότι αν  $A$  ένα σημείο του τρισδιάστατου χώρου και  $\alpha'$  η προβολή του στο σύστημα των εικονοσυντεταγμένων (αρνητικό) τότε η γραμμή που ορίζουν αυτά περνάει οπωσδήποτε από το κέντρο προβολής  $O$  (Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Η συνθήκη συγγραμμικότητας

### 1.2.4 Γεωμετρία των δύο λήψεων

Το μοντέλο της μιας λήψης περιγράφεται από την κεντρική προβολή που αναφέρθηκε παραπάνω, ενώ η γεωμετρία των δύο λήψεων περιγράφεται από την έννοια της επιπολικής γεωμετρίας. Η γεωμετρία αυτή όπως φαίνεται στο σχήμα 3, λέει, σε γενικές γραμμές, ότι εάν είναι γνωστή η προβολή ενός σημείου του τρισδιάστατου χώρου πάνω σε μια εικόνα η οποία αποτελεί εικόνα στερεοζεύγους, αυτό μπορεί να περιορίσει την θέση της προβολής του στην δεύτερη εικόνα του ζεύγους.



Σχήμα 3: Απεικόνιση Επιπολικής Γεωμετρίας δύο εικόνων

Πιο αναλυτικά, από την συνθήκη συγγραμμικότητας είναι γνωστό ότι ένα σημείο του χώρου, η προβολή του στην εικόνα και το προβολικό κέντρο είναι συνευθειακά, επομένως η θέση ενός άγνωστου σημείου το οποίο προβάλλεται πάνω σε μια εικόνα περιορίζεται πάνω στην ευθεία που δημιουργεί η προβολή του με το προβολικό κέντρο της εικόνας. Αν αυτή η ευθεία προβληθεί πάνω στην δεύτερη εικόνα του ζεύγους στην οποία απεικονίζεται το εν λόγω σημείο, η προβολή του σημείου στην δεύτερη εικόνα περιορίζεται στην προβαλλόμενη ευθεία αυτή. Εάν είναι γνωστά, το οπτικό κέντρο μιας εικόνας και η προβολή ενός σημείου πάνω σε αυτήν, προσδιορίζεται εύκολα η ευθεία πάνω στην οποία κινείται το σημείο στον πραγματικό χώρο αλλά και σε ποια ευθεία κινείται πάνω σε κάποια εικόνα η οποία σχηματίζει στερεοζεύγος με αυτήν.

Μαθηματικά η γεωμετρία αυτή εκφράζεται μέσω του θεμελιώδους επιπολικού πίνακα  $F$  (Fundamental Matrix), ο οποίος αποτελεί μια πολύ σημαντική οντότητα στην φωτογραμμετρική διαδικασία και την όραση υπολογιστών. Αυτό γιατί ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει όλη την απαραίτητη πληροφορία προκειμένου να γίνει ανακατασκευή της γεωμετρίας της σκηνής, έχοντας ως δεδομένες μόνο τις ομολογίες των εικόνων μεταξύ τους.

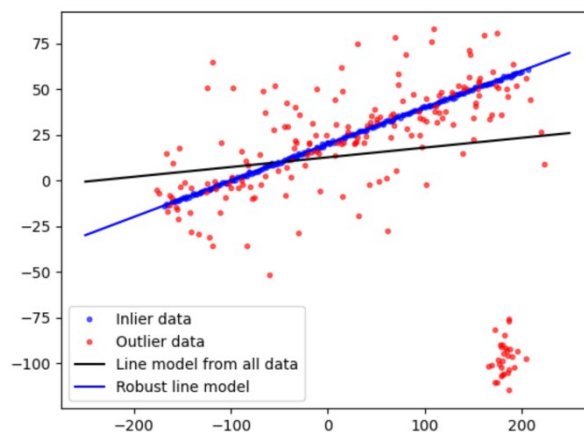
Ο επιπολικός πίνακας αποτελεί γενίκευση του δεσμευμένου επιπολικού πίνακα (Essential Matrix). Παρά τις παρόμοιες μαθηματικές τους εκφράσεις, οι δύο αυτοί πίνακες έχουν διαφορετικές ιδιότητες και περιγράφουν διαφορετικές γεωμετρικές δεσμεύσεις. Ο επιπολικός πίνακας είναι ένας ομογενής πίνακας  $3 \times 3$  με μηδενική ορίζουσα (7 βαθμοί ελευθερίας, έναντι 5 του δεσμευμένου επιπολικού πίνακα), υπολογίζεται από 7 κατ' ελάχιστον ομόλογα εικονοσημεία και περιγράφει την προβολική σχέση μεταξύ δύο επίπεδων δεσμών ακτίνων (δέσμες ομόλογων επιπολικών ευθειών). Μέσω αυτού ορίζονται οι πόλοι του στερεοζεύγους ( $e_1, e_2$ , Σχήμα 1.3) και εκφράζεται η σχέση των σημείων μιας εικόνας με τις αντίστοιχες επιπολικές ευθείες της άλλης. (Kalisperakis, 2010).

Ο δεσμευμένος επιπολικός πίνακας περιγράφει την σχέση των δύο εικόνων εάν είναι γνωστός ο εσωτερικός προσανατολισμός τους ενώ ο θεμελιώδης εάν ο εσωτερικός προσανατολισμός είναι άγνωστος. Για να βρεθεί ο θεμελιώδης επιπολικός πίνακας χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι εύρεσης ομολογιών καθώς με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι απαιτούνται τουλάχιστον 7 ζεύγη σημείων για να βρεθεί ο πίνακας. Για την εύρεση του



fundamental matrix χρησιμοποιούνται γραμμικοί και μη γραμμικοί αλγόριθμοι. Οι αλγόριθμοι αυτοί διαφέρουν ως προς τον αριθμό ελάχιστων ομολογιών που απαιτούν για να δώσουν λύση καθώς και ως προς το υπολογιστικό κόστος. Ενδεικτικά στην κατηγορία των γραμμικών αλγορίθμων ανήκουν ο αλγόριθμος των 8 σημείων που απαιτεί 8 ομολογίες και ο αλγόριθμος των 7 σημείων που απαιτεί 7. Οι μη γραμμικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούν αλγεβρικές και γεωμετρικές μεθοδολογίες προκειμένου να διορθώσουν τις αδυναμίες των γραμμικών αλγορίθμων καθώς αυτοί δείχνουν αδυναμίες ως προς τον θόρυβο των εικόνων. Η πιο δημοφιλής μεθοδολογία προσδιορισμού του επιπολικού πίνακα συνδυάζει την χρήση του αλγορίθμου των 7 σημείων και του RANSAC.

Η βασική ιδέα του RANSAC είναι ότι τα δεδομένα εισόδου του αποτελούνται από «inliers», δηλαδή από δεδομένα που η κατανομή τους μπορεί να εξηγηθεί βάσει κάποιων παραμέτρων ενός μοντέλου και από «outliers», δηλαδή από δεδομένα που δεν ταιριάζουν σε ένα συγκεκριμένο μοντέλο. Επιπλέον, θεωρείται ότι τα δεδομένα μπορεί να έχουν πειραχτεί από θόρυβο. Τα outliers μπορεί να έχουν προέλθει από υψηλές τιμές θορύβου ή από λανθασμένες μετρήσεις ή ακόμα και από λανθασμένες υποθέσεις σχετικά με την ερμηνεία των δεδομένων. Ο RANSAC επίσης υποθέτει ότι δοσμένου ενός μικρού αριθμού inliers, υπάρχει διαδικασία υπολογισμού των παραμέτρων ενός μοντέλου στο οποίο αυτά ταιριάζουν. Δηλαδή, ακόμα και αν ο θόρυβος έχει επηρεάσει μεγάλο ποσοστό των δεδομένων εισόδου, ο αλγόριθμος RANSAC είναι ικανός να βρει λύση. (Κωνσταντινίδης, 2009).



Εικόνα 2: Παράδειγμα από μια τυχαία εφαρμογή του RANSAC παρουσιάζει τα στοιχεία εκείνα που αντιπροσωπεύουν το μοντέλο που έχει επιλέξει.

### 1.2.5 Εντοπισμός χαρακτηριστικών σημείων και συνταύτιση εικόνων.

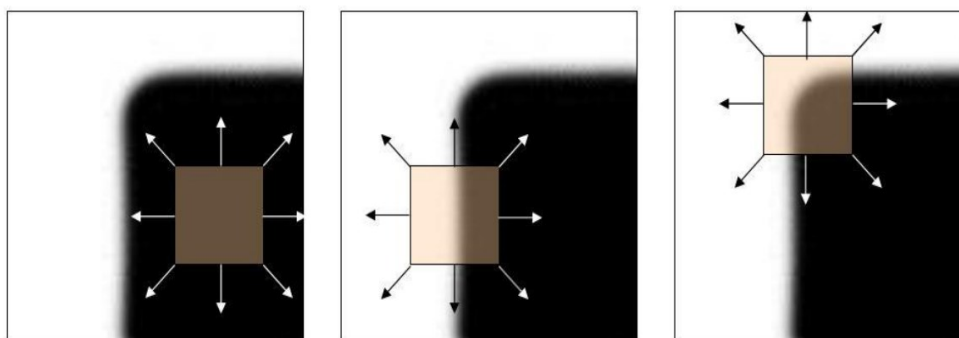
Όπως έγινε κατανοητό από τα παραπάνω ένα από τα πλέον βασικά προβλήματα στην Φωτογραμμετρική διαδικασία είναι ο εντοπισμός και το ταίριασμα των ομολογων σημείων, δηλαδή σημείων που απεικονίζονται σε δύο και παραπάνω εικόνες έτσι ώστε να μπορεί να προσδιοριστεί ο επιπολικός πίνακας και να επιτευχθεί η αποκατάσταση της γεωμετρίας της σκηνής και των λήψεων. Ο εντοπισμός αυτών των σημείων μπορεί να γίνει χειροκίνητα στις επικαλυπτόμενες εικόνες από κάποιον εξειδικευμένο χρήστη, διαδικασία γενικά χρονοβόρα παρόλο που το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται γρήγορα τα κοινά σημεία ανάμεσα σε δυο εικόνες και αντιλαμβάνεται τον θόρυβο, αλλά και αυτόματα με χρήση κατάλληλων αλγορίθμων που αναπτύχθηκαν για να λύσουν το πρόβλημα της αυτοματοποίησης της συνταύτισης που απασχολεί την φωτογραμμετρία και την επιστήμη της όρασης των υπολογιστών πολλές δεκαετίες.

Για την αυτόματη αναγνώριση και συνταύτιση των ομολογιών αρχικά εντοπίζεται ένα πλήθος από χαρακτηριστικά σημεία τα οποία διέπονται από κάποιες ιδιότητες αυτές είναι :

1. Αμετάβλητα σε μετασχηματισμούς κλίμακας των εικόνων.
2. Αμετάβλητα σε μετασχηματισμούς στροφής των εικόνων.
3. Αμετάβλητα στις αλλαγές φωτισμού των γειτονικών τους περιοχών ή ολόκληρων των εικόνων.

Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

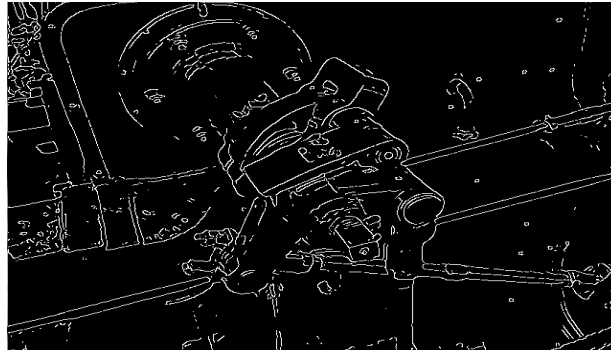
- Αλγόριθμοι Εντοπισμού γωνιών. Οι πιο διαδεδομένοι είναι:
  - **Harris (Harris & Stephens,1988):** Η βασική λογική είναι ότι για κάθε pixel ελέγχεται η φωτεινότητά του για μικρές μετακινήσεις στην γειτονιά του και ως γωνίες χαρακτηρίζονται τα σημεία εκείνα στα οποία οι μεταβολές της τιμής φωτεινότητας είναι μεγάλες. Ένα σημείο θα μπορούσε να αναγνωρισθεί αν είναι γωνία κοιτώντας το από ένα μικρό παράθυρο (Εικόνα 3). Μετατοπίζοντας το παράθυρο σε οποιαδήποτε κατεύθυνση θα πρέπει να δώσει μεγάλη αλλαγή στην ένταση σε τουλάχιστον δύο κατευθύνσεις.



Εικόνα 3 : Στην αριστερή εικόνα φαίνεται επίπεδη περιοχή χωρίς αλλαγή έντασης. Στην μεσαία εικόνα φαίνεται ακμή με καμία μεταβολή κατά μήκος της διεύθυνση της ακμής. Στην δεξιά εικόνα φαίνεται γωνία και μεγάλη αλλαγή έντασης σε τουλάχιστον δύο κατευθύνσεις. (Πηγή: Δάβαρης 2015)

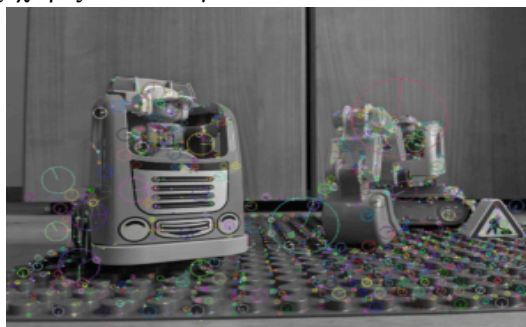
- **Canny (Canny,1986):** Ο αλγόριθμος Canny επιτυγχάνει με καλή ακρίβεια την αφαίρεση του θορύβου στις εικόνες και την ανίχνευση ακμών. Χρησιμοποιεί φίλτρα

όπως το Sobel, Roberts και Prewitt για να υπολογίσει την παράγωγο της εικόνας στην οποία προσδιορίζει πιθανές ακμές με την χρήση των τοπικών μεγίστων και ελαχίστων. Απορρίπτει δε τα σημεία τα οποία επιλέχθηκαν λανθασμένα, μέσω μιας διαδικασίας ελέγχου που εκτελεί πάνω στα σημεία.



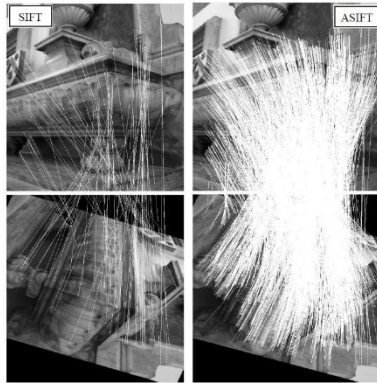
Εικόνα 4: Παράγωγος αρχικής εικόνας μετά την εφαρμογή Prewitt κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου Canny.

- Αλγόριθμοι εντοπισμού σημείων ενδιαφέροντος. Οι πιο διαδεδομένοι είναι:
  - **SIFT (Lowe ,1999):** Αποτελεί έναν από τους πιο αξιόπιστους αλγορίθμους εντοπισμού και περιγραφής χαρακτηριστικών τα οποία παραμένουν αναλλοίωτα σε μεταβολές κλίμακας (scale invariance) της εικόνας, σε στροφές της εικόνας (rotation invariance), και μερικώς αμετάβλητα στις αλλαγές του φωτισμού (illumination) καθώς και του σημείου θέασης (viewpoint)(Lowe, 2004). Στα αρνητικά αξίζει να επισημανθεί ότι, παρόλο που δίνει αποτελέσματα υψηλής ανάλυσης, έχει σχετικά υψηλούς χρόνους υπολογισμού. Συνοπτικά εκτελεί τα παρακάτω βήματα: αρχικά κάνει ανίχνευση ακροτάτων σε διαφορετικές κλίμακες χρησιμοποιώντας φίλτρα εξομάλυνσης. Τα φίλτρα εξομάλυνσης τα χρησιμοποιεί για την δημιουργία παραγών της αρχικής εικόνας, με διαφορετική κλίμακα, έχοντας ως στόχο την δημιουργία της πυραμίδας DoG (Difference of Gaussians), ώστε να μπορέσει να κάνει συγκρίσεις και να εντοπίσει σημεία ενδιαφέροντος. Έπειτα απορρίπτει σημεία που έχουν βρεθεί εάν ο αλγόριθμος κρίνει ότι είναι προϊόντα θορύβου. Μετά υπολογίζει τιμές για την ένταση και την γωνία προσανατολισμού των σημείων στην εικόνα που αυτά εντοπίστηκαν αρχικά. Τέλος χρησιμοποιεί αυτές τις τιμές για την δημιουργία μιας ταυτότητας για κάθε σημείο, δηλαδή ορίζει ένα διάνυσμα που ονομάζεται feature descriptor που εμπεριέχει αυτές τις τιμές με σκοπό κάθε σημείο ενδιαφέροντος να ξεχωρίζει από τα γειτονικά του.



Εικόνα 5: Παράδειγμα ανίχνευσης με SIFT

- **ASIFT (Yu & Morel, 2011):** Ο ASIFT αποτελεί μια παραλλαγή του SIFT. Ουσιαστικά εισάγει μια νέα παράμετρο η οποία βοηθάει στον εντοπισμό χαρακτηριστικών σημείων σε δύσκολες περιοχές των εικόνων, δηλαδή σε περιοχές πιο κοντά στα άκρα που λόγω της κεντρικής προβολής έχουν υποστεί παραμορφώσεις ή τα αντικείμενα αποτυπώθηκαν με μεγάλη κλίση από τον φακό.



Εικόνα 6: Συγκρίση ASIFT και SIFT σε ζεύγη με μεγάλες στροφές. (Πηγή: Mohsin et.al, 2019)

- **SURF (Bay et al., 2006):** Χρησιμοποιεί τον ίδιο τρόπο αντιστοίχισης σημείων με τον SIFT, με μια επιπλέον βελτίωση. Περιλαμβάνει τη Λαπλασιανή (the sign of the Laplacian), δηλαδή επιτρέπει μια γρήγορη διαφοροποίηση μεταξύ φωτεινών χαρακτηριστικών σημείων σε σκοτεινό υπόβαθρο και σκοτεινών χαρακτηριστικών σημείων σε φωτεινό υπόβαθρο, το οποίο έχει ως απόρροια τη γρηγορότερη αντιστοίχιση των χαρακτηριστικών σημείων. Τα αποτελέσματα που δίνει είναι πολλές φορές καλύτερα σε σχέση με αυτά του SIFT, ενώ δίνει αποτελέσματα με μικρότερο υπολογιστικό χρόνο (Valgren, Lilienthal, 2014).

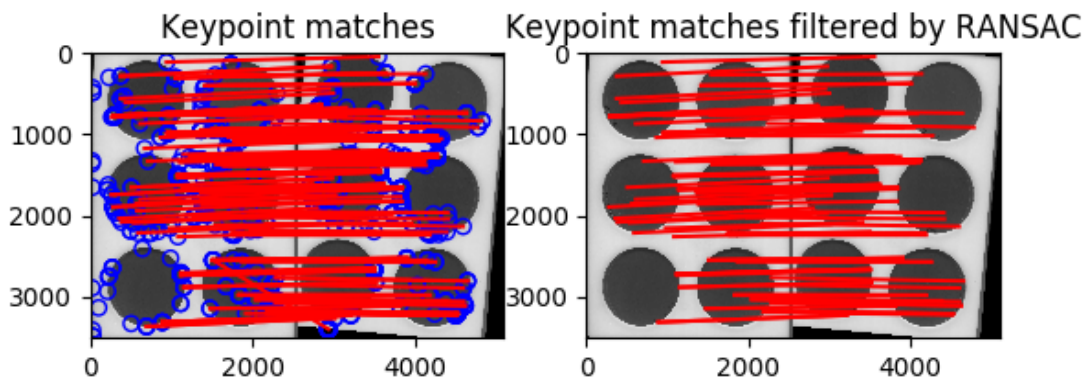
Μετά την εύρεση και την εξαγωγή των χαρακτηριστικών σημείων ακολουθεί η αντιστοίχιση ή αλλιώς η συνταύτιση των εικόνων. Για την αυτόματη επίτευξη αυτής της διαδικασίας έχουν αναπτυχθεί πολλοί αλγόριθμοι, οι οποίοι χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες: Στους αλγόριθμους επιφανειακής συνταύτισης (Area Based Matching) και στους αλγόριθμους συνταύτισης χαρακτηριστικών (Feature Based Matching), η προσέγγιση που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από τα διαθέσιμα δεδομένα. Πιο αναλυτικά:

- **Επιφανειακή Συνταύτιση:** Χρησιμοποιεί τις τιμές τόνων του γκρι των pixel. Αρχικά ορίζεται μια εικόνα αναφοράς, μια εικόνα αναζήτησης και ορίζεται ένα παράθυρο αναφοράς. Το παράθυρο αναφοράς ορίζει την περιοχή στην εικόνα αναφοράς γύρω από χαρακτηριστικά σημεία που θα αναζητηθεί στην εικόνα αναζήτησης. Το μέγεθος και η θέση του εξαρτάται από τον σχετικό προσανατολισμό και αξιοποιείται η επιπολική γεωμετρία των εικόνων εφόσον αυτά είναι γνωστά. Εάν είναι άγνωστα, η περιοχή αναφοράς απλώνεται σε όλη την εικόνα δημιουργώντας αβεβαιότητα για την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου. Ο περιορισμός αυτής της περιοχής είναι χρήσιμος γιατί μια εικόνα αποτελείται από εκατοντάδες χιλιάδες μέχρι πολλά εκατομμύρια pixel επομένως είναι προφανές ότι ακόμα και στις πιο πολύπλοκες εικόνες που εμπεριέχουν μεγάλη ποικιλομορφία σε τόνους του γκρι οι τιμές 0-255 θα εμφανιστούν πολλαπλές φορές με αποτέλεσμα να συνταυτιστούν σημεία που δεν θα έπρεπε. Με την χρήση της περιοχής αναζήτησης αντί για μεμονωμένα pixel συγκρίνονται περιοχές οι οποίες έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες μοναδικότητας

πάνω στις εικόνες. Προφανώς σε δύο διαφορετικές εικόνες πολλά κοινά σημεία εμφανίζονται με διαφορετικές τιμές και το ίδιο και οι γειτονιές τους, επομένως χρησιμοποιούνται δείκτες που δημιουργούν προφίλ περιοχών που ονομάζονται μέτρα συσχέτισης.

- **Συνταύτιση Χαρακτηριστικών:** Σε αυτήν την κατηγορία οι αλγόριθμοι δημιουργούν μια λίστα από ζεύγη χαρακτηριστικών σημείων τα οποία είναι πιθανό να αντιστοιχίζονται χρησιμοποιώντας κυρίως γεωμετρικά κριτήρια ομοιότητας στις γειτονιές αυτών των σημείων. Ουσιαστικά ο αλγόριθμος ψάχνει σημεία, γραμμές, ακμές και γεωμετρικά σχήματα έτσι ώστε να μπορέσει να εντοπίσει περιοχές που μοιάζουν και να τις αντιστοιχίσει.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της συνταύτισης των εικόνων ακολουθεί η γεωμετρική επαλήθευση της συνταύτισης με σκοπό να απορριφθούν λανθασμένες ομολογίες που προέρχονται για παράδειγμα από επαναλαμβανόμενα μοτίβα πάνω στις εικόνες. Για αυτήν την διαδικασία χρησιμοποιούνται γενικά δύο αλγόριθμοι, ώστε να γίνει διαλογή των σωστών ομολογιών και να απορριφθούν οι λανθασμένες, ο αλγόριθμος του Εγγύτερου Γείτονα (Agya et.al., 1998) για να επαληθεύσει ομολογίες χρησιμοποιώντας τις ευκλείδειες αποστάσεις των γειτονιών κάθε χαρακτηριστικού σημείου (pixel) στις δύο εικόνες και ο RANSAC (Fischler & Bolles, 1981), για να απορρίψει λανθασμένες αντιστοιχίσεις και να επαληθεύσει τις σωστές μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας δοκιμών βασισμένων στην γεωμετρία που συνδέει τις εικόνες, έως ότου καταλήξει στο καλύτερο αποτέλεσμα που μπορεί να δώσει ο σχεδιασμός του αλγορίθμου.



Εικόνα 7 : Ομολογίες πριν και μετά την εφαρμογή του RANSAC

(Πηγή: <https://stackoverflow.com/questions/62280342/image-alignment-with-orb-and-ransac-in-sikit-image>)

### 1.2.6 Βαθμονόμηση και αυτοβαθμονόμηση

Με βάση τα παραπάνω, είναι προφανές ότι η γνώση των παραμέτρων του εσωτερικού προσανατολισμού είναι πολύ σημαντικό προαπαιτούμενο για να προκύψουν αποτελέσματα υψηλής ακρίβειας που ενδιαφέρουν τον τοπογράφο μηχανικό. Ο προσδιορισμός αυτών των παραμέτρων εξασφαλίζει την μαθηματική μοντελοποίηση των μη γραμμικών φαινομένων που εισαγάγουν σφάλματα στα αποτελέσματα και η γνώση αυτών επιτρέπει διορθώσεις που εξασφαλίζουν την ορθότητα των αποτελεσμάτων. Επίσης, για την εφαρμογή της συνθήκης συγγραμμικότητας είναι απαραίτητο να είναι γνωστά: η απόσταση ( $c$ ) του προβολικού κέντρου από το αρνητικό της μηχανής και η θέση ( $x_0$ ,  $y_0$ ) του πρωτεύοντος σημείου στο σύστημα αναφοράς της εικόνας. Η διαδικασία που ακολουθείται για τον προσδιορισμό των παραπάνω ονομάζεται βαθμονόμηση μηχανής και αποτελεί μια χρονοβόρα διαδικασία που περιέχει την φωτογράφιση ενός αντικείμενου βαθμονόμησης με γνωστή θέση και γεωμετρία (π.χ. μια σκακιέρα).

Όπως αναφέρθηκε η μέθοδος δομή από κίνηση (SfM) δεν απαιτεί την *a-priori* γνώση των παραμέτρων του εσωτερικού προσανατολισμού για να δώσει αποτελέσματα καθώς και καμία γνώση για την σχετική θέση ομόλογων σημείων μεταξύ τους. Ο προσδιορισμός των παραμέτρων του εσωτερικού προσανατολισμού γίνεται με αυτοβαθμονόμηση. Η αυτοβαθμονόμηση είναι μια διαδικασία βαθμονόμησης της μηχανής που βασίζεται στα ομόλογα σημεία και στις πληροφορίες που δίνονται από τα EXIF tags των εικόνων και εκτελείται ταυτόχρονα με άλλες φωτογραμμετρικές διαδικασίες (π.χ. φωτοτριγωνισμό). Γενικά ακολουθούνται διαφορετικές προσεγγίσεις στην επίτευξη της αυτοβαθμονόμησης, σε γενικές γραμμές η επίτευξη της αυτοβαθμονόμησης πραγματοποιείται κατά την διαδικασία της συνόρθωσης κατά δέσμες, κατά την οποία οι αρχικές εκτιμώμενες παράμετροι βελτιώνονται συνεχώς.

### 1.2.7 Τριγωνισμός

Ο τριγωνισμός χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των παραμέτρων του εξωτερικού προσανατολισμού των εικόνων. Χρησιμοποιεί τις ευθείες που δημιουργούν τα προβολικά κέντρα με τις προβολές των σημείων και η τομή αυτών των ευθειών είναι η αναμενόμενη θέση του σημείου στον χώρο. Δηλαδή με μετρήσεις πάνω στις εικόνες προκύπτουν αποτελέσματα στον χώρο με χρήση της συνθήκης συγγραμμικότητας, είτε σε γνωστό είτε σε αυθαίρετο σύστημα αναφοράς.

Σπάνια η αναμενόμενη θέση των σημείων που προκύπτουν από τριγωνισμό ταυτίζεται με την πραγματική θέση τους, καθώς σε όλες τις μετρήσεις εμπεριέχονται σφάλματα. Στις μετρήσεις που αφορούν στον τριγωνισμό (μετρήσεις πάνω στις εικόνες) τα σφάλματα προκύπτουν από την ύπαρξη θορύβου πάνω στις εικόνες.

Για τον περιορισμό των σφαλμάτων χρησιμοποιείται η Συνόρθωση κατά Δέσμες (Bundle Adjustment). Η συνόρθωση κατά δέσμες αποτελεί μια επαναληπτική διαδικασία συνόρθωσης των εκτιμώμενων παραμέτρων. Η συνόρθωση γίνεται με χρήση της μεθόδου των έμμεσων παρατηρήσεων χρησιμοποιώντας την συνθήκη συγγραμμικότητας ως εξίσωση παρατήρησης. Άγνωστα στοιχεία για την συνόρθωση θεωρούνται οι συντεταγμένες (είτε σε κάποιο γνωστό σύστημα, είτε σε κάποιο αυθαίρετο) των ομόλογων σημείων. Στην περίπτωση που είναι αναγκαία η αυτοβαθμονόμηση, στους αγνώστους προστίθενται και οι άγνωστες παράμετροι του εσωτερικού προσανατολισμού. Παρατηρούμενα μεγέθη θεωρούνται οι μετρήσεις πάνω στις εικόνες, δηλαδή οι εικονοσυντεταγμένες των ομόλογων σημείων ή εάν υπάρχουν φωτοσταθερά και οι εικονοσυντεταγμένες αυτών.



Οι αρχικές τιμές που χρησιμοποιούνται για την συνόρθωση προέρχονται από την σταθεροποίηση μιας εικόνας (εικόνα αναφοράς) με την οποία συσχετίζεται η δεύτερη. Έπειτα συσχετίζεται η τρίτη με το μπλοκ που έχει δημιουργηθεί από τις προηγούμενες δύο κ.ο.κ. Σε ό,τι αφορά την αυτοβαθμολόγηση οι αρχικές τιμές συνήθως προκύπτουν από τα EXIF tags των εικόνων που περιέχουν πληροφορίες για την σταθερά της μηχανής από την οποία προέρχονται οι εικόνες, με γνώση της σταθεράς μπορεί να υπολογιστεί η θέση του πρωτεύοντος σημείου καθώς και οι συντελεστές του πολυώνυμου της ακτινικής διαστροφής. Ουσιαστικά η συνόρθωση κατά δέσμες συνορθώνει τις θέσεις των σημείων στον χώρο, την κίνηση και τις παραμέτρους της μηχανής.

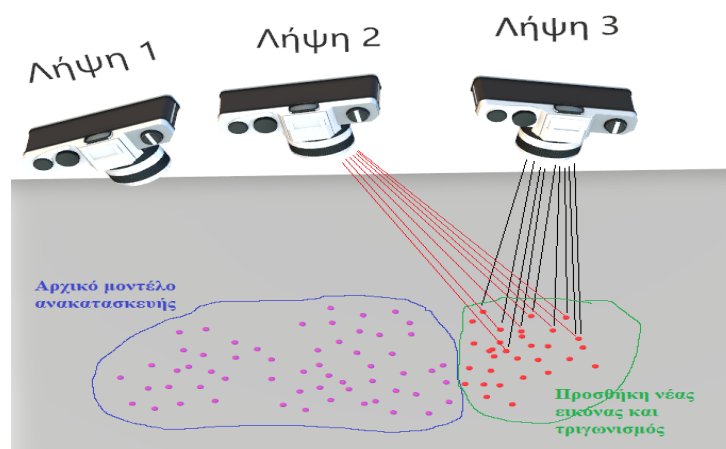
### 1.2.8 Ανακατασκευή από πολλές εικόνες

Στα προηγούμενα έγινε συνοπτική αναφορά στην γεωμετρία και την επίλυση ενός στερεοζεύγους. Εδώ θα δοθεί συνοπτικά η διαδικασία που ακολουθείται από τους αλγορίθμους της SfM για να επιτύχουν την ανακατασκευή του αντικειμένου ενδιαφέροντος.

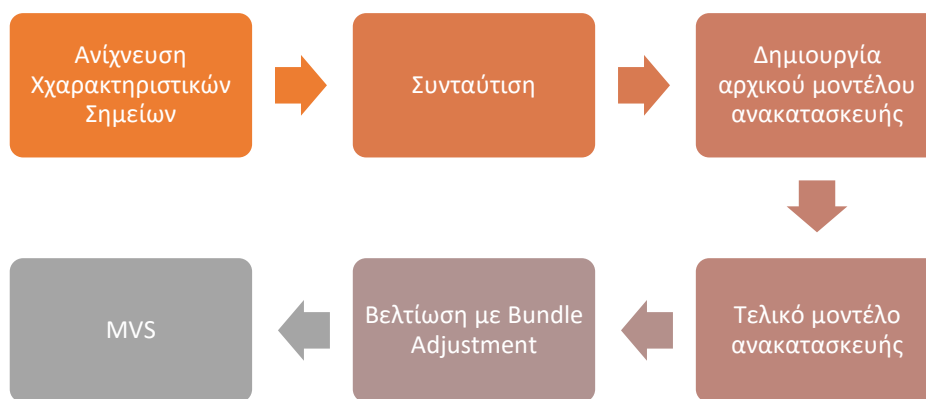
Αρχικά επιλέγεται ένα κατάλληλο ζεύγος εικόνων για να δημιουργήσει ένα αρχικό μοντέλο ανακατασκευής το οποίο θα ανανεώνεται και θα βελτιώνεται με την προσθήκη κάθε νέας εικόνας στην επεξεργασία.

Ένα στερεοζεύγος θεωρείται κατάλληλο όταν οι εικόνες που το αποτελούν μπορούν να συνδεθούν με αρκετά ομόλογα σημεία και η απόσταση των σημείων λήψης τους δεν είναι πολύ μικρές. Ουσιαστικά μετατρέπεται το πρόβλημα από πολυεικονικό σε διεικονικό. Εφόσον το πρόβλημα γίνεται διεικονικό επιλύεται χρησιμοποιώντας τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω.

Στην συνέχεια ανάμεσα στις εικόνες που είναι διαθέσιμες γίνεται αναζήτηση για εικόνες που έχουν έναν μεγάλο αριθμό από χαρακτηριστικά σημεία με γνωστή σχετική θέση με τις κάμερες (δηλαδή να αποτελούν και ομόλογα σημεία του προηγούμενου ζεύγους). Έπειτα υπολογίζεται ο προβολικός και η επιπολική γεωμετρία για την νέα εικόνα χρησιμοποιώντας τα γνωστά σημεία και επαναλαμβάνεται ο τριγωνισμός αυτήν την φορά για το ζευγάρι που αποτελείται από την νέα εικόνα και μια εκ των προηγούμενων δύο, αυτή που για την οποία υπάρχουν οι περισσότερες ομολογίες. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου ολοκληρωθεί η ανακατασκευή με όλες τις εικόνες, έπειτα εκτελείται άλλη μια επανάληψη της συνόρθωσης κατά δέσμες για να βελτιστοποιηθεί όσο το δυνατόν καλύτερα το νέφος που προκύπτει.



Εικόνα 8 : Αναπαράσταση προσθήκης νέας εικόνας



Σχήμα 4: Γενικό διάγραμμα ροής SfM

### 1.3 Η τεχνική της πυκνής πολυεικονικής στερεοσκοπικής συνταύτισης (MVS)

Η γενεσιουργός αιτία της τεχνικής είναι η προσπάθεια μαθηματικής έκφρασης της ανθρώπινης στερεοσκοπικής αντίληψης η οποία ξεκίνησε από τους David Marr και Tomaso A. Poggio το 1979 (Marr & Poggio, 1979). Από τότε μέχρι και σήμερα η ανάπτυξη αλγορίθμων στερεοσκοπικής όρασης αποτελεί έναν πολύ ενεργό ερευνητικό τομέα.

Παρόλο που η MVS βασίζεται στις ίδιες αρχές με την κλασσική στερεοσκοπική φωτογραμμετρία, οι αλγόριθμοι MVS έχουν σχεδιαστεί για να επεξεργάζονται εικόνες με μεγαλύτερο εύρος γωνιών λήψης και να επεξεργάζονται και σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό εικόνων ακόμα και της τάξεως των εκατομμυρίων εικόνων (Furukawa & Hernández, 2015). Μια μεγάλη διαφορά επίσης έγκειται στο γεγονός ότι η φύση της τεχνικής έχει επιτρέψει την ανάπτυξη πολύ μεγάλου αριθμού διαφορετικών αλγορίθμων για την εφαρμογή της ανάλογα με τις εφαρμογές που θα χρησιμοποιηθεί (Furukawa & Hernández, 2015).

Οι τεχνικές MVS και SfM στην ουσία είναι συμπληρωματικές δεδομένου ότι η MVS προϋποθέτει την SfM για να παραγάγει ένα τελικό προϊόν. Οι δύο τεχνικές διαφέρουν στα εισαγόμενα δεδομένα που απαιτούν για να λειτουργήσουν, δηλαδή για να δώσει αποτελέσματα η MVS χρειάζεται τις παραμέτρους της μηχανής οι οποίες προσδιορίζονται από την SfM όπως προαναφέρθηκε.

Ο αλγόριθμος MVS χρειάζεται μια a-priori γνώση των παραμέτρων της μηχανής προκειμένου να εντοπίσει και να αντιστοιχίσει χαρακτηριστικά σημεία ανάμεσα στις εικόνες.

Πιο αναλυτικά, εφόσον είναι γνωστές οι παράμετροι της μηχανής, είναι γνωστή και η επιπολική γεωμετρία της σκηνής και έτσι ένα δεδομένο pixel σε μια εικόνα είναι η προβολή μιας ευθείας σε μια άλλη γειτονική της. Με αυτόν τον τρόπο η MVS μετατρέπει το πρόβλημα αντιστοίχισης χαρακτηριστικών σημείων από αναζήτηση σε όλη την εικόνα (2D) σε αναζήτηση πάνω σε μια γραμμή (1D) κάνοντάς το απλούστερο. Για να γίνει ο έλεγχος των αντιστοιχίσεων χρησιμοποιείται μια διαδικασία που ονομάζεται Μετρήσεις Φωτογραφικής Συνέπειας (Photo Consistency Measures). (Furukawa & Hernández, 2015). Έχει αναπτυχθεί πληθώρα αλγορίθμων για την διαδικασία της Φωτογραφικής Συνέπειας με τον πλέον διάσημο να είναι ο Normalized Cross Correlation (NCC). (Furukawa & Hernández, 2015).

Επίσης έχει αναπτυχθεί μεγάλος αριθμός αλγορίθμων για την εφαρμογή της MVS οι οποίοι ουσιαστικά εκτελούν 4 βήματα: Ανακατασκευή Χαρτών Βάθους, Ανακατασκευή πυκνού νέφους σημείων, ογκομετρική απεικόνιση και βελτίωση πλέγματος. Τα βήματα που αφορούν στην παρούσα διπλωματική είναι η Ανακατασκευή Χαρτών Βάθους, η οποία βασίζεται στην δημιουργία χαρτών βάθους (Depth Maps) χρησιμοποιώντας στερεοζεύγη και η



Ανακατασκευή Πυκνού Νέφους Σημείων, η οποία εκμεταλλεύεται την χωρική συνέχεια των αντικειμένων. Ο συνδυασμός αυτών χρησιμοποιείται από τα σχετικά λογισμικά και φυσικά και από αυτό με το οποίο πραγματοποιήθηκε η πειραματική διαδικασία της εργασίας, χωρίς όμως να είναι ακριβώς γνωστό ούτε ποιους αλγορίθμους κάθε κατηγορίας χρησιμοποιεί ούτε το πώς ακριβώς συνδυάζονται αυτοί, για προφανείς εμπορικούς λόγους. Για λόγους γενικής κατανόησης της τεχνικής θα παρατεθούν κάποιοι αλγόριθμοι από τα δύο πρώτα βήματα.

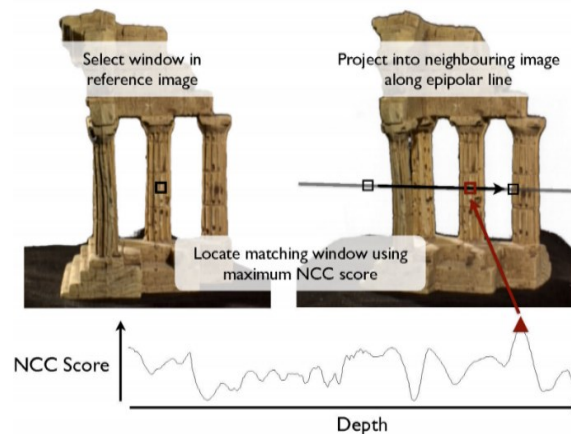
### 1.3.1 Ανακατασκευή χαρτών βάθους

Θεωρώντας ως δεδομένα έναν μεγάλο αριθμό εικόνων και τον εσωτερικό τους προσανατολισμό, μπορούν να παραχθούν χάρτες βάθους για κάθε εικόνα με την χρήση μικρού αριθμού γειτονικών εικόνων και την αξιοποίηση των αλγορίθμων Μετρήσεων Φωτογραφικής Συνέπειας. Με δεδομένα τα παραπάνω, οι αλγόριθμοι παραγωγής χαρτών βάθους υπολογίζουν ένα εύρος βάθους σε κάθε εικόνα χρησιμοποιώντας έναν πεπερασμένο αριθμό σημείων και ανακατασκευάζουν την τρισδιάστατη δομή μιας εικόνας αναφοράς η οποία επιλέγεται ως χαρακτηριστική για το εύρος που έχει υπολογιστεί χρησιμοποιώντας όλες τις εικόνες. Για απλά και συμπαγή αντικείμενα χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις στο ανάγλυφό τους, η επιλογή εικόνας αναφοράς είναι εύκολη καθώς το εύρος βάθους σε κάθε εικόνα είναι πανομοιότυπο. Για πιο μεγάλα και πολύπλοκα αντικείμενα (π.χ. μια πόλη) η επιλογή εικόνας αναφοράς είναι σημαντική υπόθεση για την ποιότητα των αποτελεσμάτων και την ταχύτητα επεξεργασίας (Furukawa & Hernández, 2015).

Γενικά οι χάρτες βάθους αποτελούν προϊόντα που απεικονίζουν τρισδιάστατη πληροφορία με δισδιάστατο τρόπο, ακριβώς όπως και οι φωτογραφίες, επομένως η παραγωγή πολλών χαρτών βάθους που απεικονίζουν το ίδιο αντικείμενο μπορούν να παραγάγουν νέφη σημείων. Στα παραπάνω τείνουν να συγκλίνουν όλοι οι αλγόριθμοι συγχώνευσης χαρτών βάθους για την δημιουργία συγχωνευμένων χαρτών βάθους, στην συνέχεια της επεξεργασίας όμως υπάρχουν διαφορές. Ενδεικτικά παρατίθενται μερικοί αλγόριθμοι όπως έχουν διατυπωθεί από τους Furukawa & Hernández(2015):

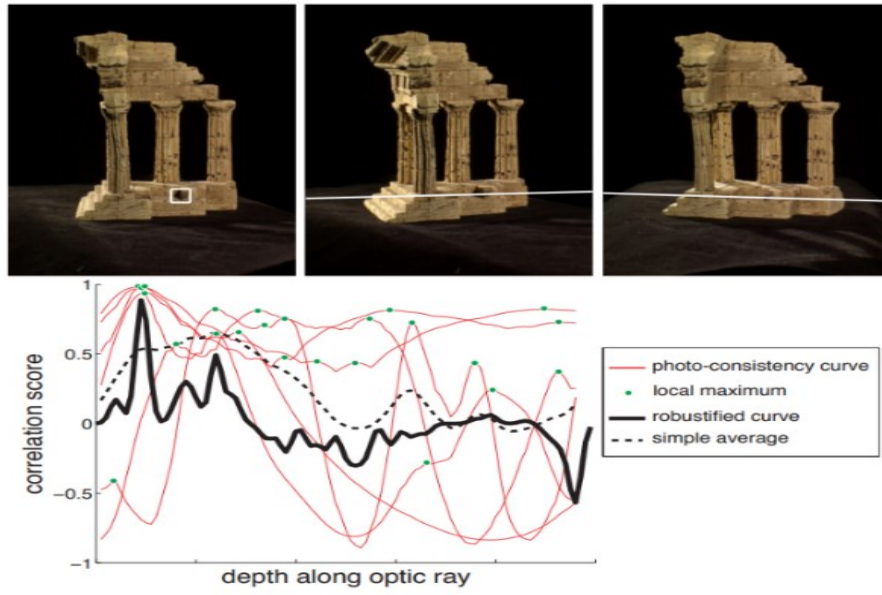
- ❖ **Winner Takes All Depth maps (Hernández&Schmitt,2004):** Με δεδομένη μια εικόνα αναφοράς, έναν αριθμό από γειτονικές σε αυτήν εικόνες και το εύρος βάθους, ο αλγόριθμος αυτός αξιολογεί τις τιμές Φωτογραφικής Συνέπειας για κάθε pixel της αρχικής εικόνας αναφοράς ξεχωριστά και επιλέγει την καλύτερη τιμή Φωτογραφικής Συνέπειας ώστε να επιλέξει από ποια εικόνα θα πάρει το εκάστοτε pixel για να το συμπεριλάβει σε έναν συγχωνευμένο χάρτη βάθους. Ο αλγόριθμος φωτογραφικής συνέπειας που χρησιμοποιεί είναι ο Normalized Cross Correlation (NCC) ο οποίος

είναι πολύ αποτελεσματικός σε περιπτώσεις που υπάρχει ποικιλία υλικών και έντασης φωτισμού στην σκηνή.



Εικόνα 9: Παράδειγμα του Winner Takes All (Πηγή: Furukawa & Hernández, 2015)

- ❖ **Robust Photo-Consistency Depth maps (Vogiatzis et al., 2007):** Αναπτύχθηκε με σκοπό να ξεπεράσει τα προβλήματα που δημιουργούνται σε ορισμένες περιπτώσεις από τον Winner takes all Depth Maps. Πιο συγκεκριμένα λόγω του ότι ο Winner Takes All Depth Maps χρησιμοποιεί ένταση, στις περιπτώσεις που ο φωτισμός αλλάζει από διαφορετικές οπτικές γωνίες θα δώσει κακής ποιότητας αποτελέσματα. Έχοντας δεδομένη μια εικόνα αναφοράς, έναν αριθμό από γειτονικές σε αυτήν εικόνες και τις καμπύλες Φωτογραφικής Συνέπειας τους, χρησιμοποιώντας τα μέγιστα σε όλες τις καμπύλες, τις τιμές βάθους σε αυτά, τις τιμές φωτογραφικής συνέπειας κάθε εικόνας και μια στατιστική συνάρτηση Kernel, δημιουργείται η συνάρτηση του αλγορίθμου που τα εμπεριέχει. Η συνάρτηση απεικονίζεται γραφικά ως μια καμπύλη η οποία χρησιμοποιείται ως μοντέλο για την επιλογή των καλύτερων βαθών που θα επιλεγθούν για τον τελικό χάρτη βάθους. Η διαδικασία αυτή μοιάζει με την λογική του RANSAC που αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο (1.2.2) με inliers και outliers. Ο αλγόριθμος φωτογραφικής συνέπειας που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των μεγίστων είναι και εδώ ο NCC. Τέλος να σημειωθεί ότι επειδή ο αλγόριθμος αυτός αναπτύχθηκε με την λογική να διορθώσει την ασυνέπεια του Winner Takes All Depth Maps σε αρκετές περιπτώσεις, παρόλο που είναι σε θέση να παράγει αποτελέσματα μόνοι του, στην πλειονότητα των περιπτώσεων αυτοί οι δύο αλγόριθμοι συνεργάζονται και λειτουργούν συμπληρωματικά.



Εικόνα 10: Παράδειγμα του Robust Photo Consistency (Πηγή: Furukawa & Hernández, 2015)

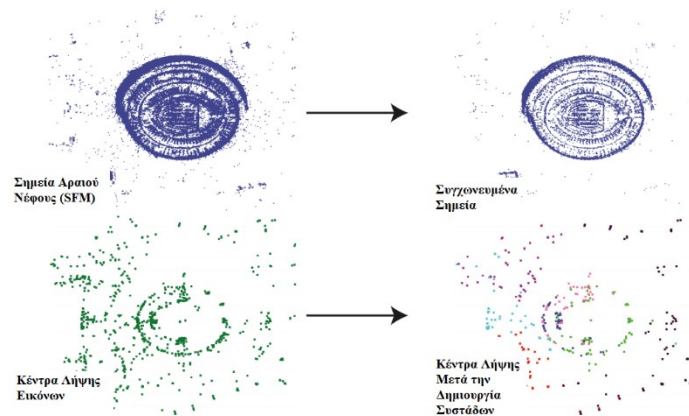
### 1.3.1 Ανακατασκευή πυκνού νέφους σημείων

Παρόλο που οι χάρτες βάθους είναι ένα αρκετά χρήσιμο προϊόν για την μελέτη και απεικόνιση της γεωμετρίας της σκηνής και παρά το γεγονός ότι έχουν αναπτυχθεί τεχνικές για το πως θα μπορούσαν να δημιουργήσουν τρισδιάστατα μοντέλα ολόκληρης της σκηνής, το πρόβλημα αυτό ουσιαστικά παραμένει καθώς υπάρχουν πολλές προϋποθέσεις και περιορισμοί προκειμένου αυτά τα μοντέλα να είναι ικανοποιητικής ποιότητας. Για παράδειγμα η ποιότητα των μοντέλων τείνει να μειώνεται όταν υπάρχουν ασυνέχειες βάθους στο αντικείμενο ενδιαφέροντος (Furukawa & Hernández, 2015).

Τα προβλήματα που προκύπτουν από μοντέλα που προκύπτουν αποκλειστικά με χρήση των χαρτών βάθους έρχονται να λύσουν οι αλγόριθμοι ανακατασκευής πυκνών νεφών σημείων παράγοντας εύκολα διαχειρίσιμα μοντέλα με φυσιολογικό για την σημερινή εποχή υπολογιστικό κόστος. Ο πιο δημοφιλής αλγόριθμος σε αυτήν την κατηγορία είναι ο CMVS-PMVS (Clustering MVS-Patch-Based MVS) (Furukawa et. al. 2009 & 2010).

- ❖ **Clustering MVS-Patch-based MVS:** Πρόκειται για συνδυασμό αλγορίθμων, τον CMVS και τον PMVS. Ο CMVS παίρνει ως δεδομένα τα αποτελέσματα της SfM (Εσωτερικός Προσανατολισμός, Αραιό Νέφος Σημείων). Τα σημεία του αραιού νέφους τα αντιμετωπίζει σαν προσχέδιο του πυκνού νέφους που θα παραχθεί από τον PMVS και τα χρησιμοποιεί για να ομαδοποιήσει τις εικόνες σε Συστάδες Εικόνων (image clusters) με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε σημείο του αραιού μοντέλου να μπορεί να ανακατασκευαστεί ακριβώς, τουλάχιστον από μια συστάδα (Furukawa et. al. 2010). Ο αλγόριθμος CMVS εκτελεί 4 βήματα:

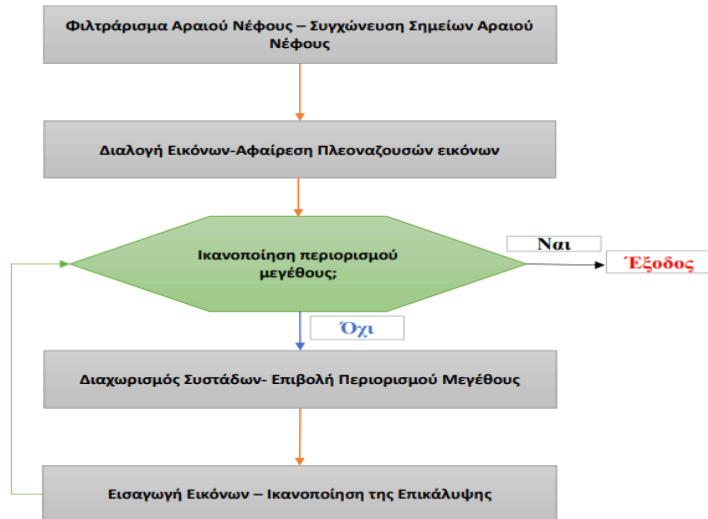
1. **Φιλτράρισμα Αραιού Νέφους – Συγχώνευση Σημείων Αραιού Νέφους:** Σε αυτό το βήμα ο αλγόριθμος προσπαθεί να περιορίσει το πλήθος των εισαγόμενων δεδομένων για λόγους υπολογιστικής οικονομίας. Για να το καταφέρει αυτό εκτελεί μια επαναληπτική διαδικασία αραιώσης του νέφους διαλέγοντας αρχικά ένα τυχαίο σημείο, το συγχωνεύει με τα γειτονικά του σημεία, αφαιρεί αυτό το σημείο και τα γειτονικά από το νέφος και στην θέση τους μπαίνει το καινούργιο σημείο, επαναλαμβάνει την διαδικασία μέχρι όλα τα σημεία να έχουν επηρεαστεί από αυτήν την διαδικασία και να έχει μείνει μια γενικευμένη έκδοση του αρχικού αραιού μοντέλου (Furukawa et. al. 2010).
2. **Διαλογή Εικόνων-Αφαίρεση Πλεοναζουσών εικόνων:** Μετά την συγχώνευση των σημείων με σκοπό την ελάφρυνση του επεξεργαστικού φόρτου, ακολουθεί η διαδικασία διαλογής και αφαίρεσης εικόνων για τον ίδιο σκοπό. Ο αλγόριθμος ανατρέχει σε όλες τις εικόνες μια προς μια και ελέγχει εάν αφαιρεθεί μια μεμονωμένη εικόνα τι επίδραση θα έχει αυτό στην πληρότητα κάλυψης του αντικείμενου. Εάν η πληρότητα είναι ικανοποιητική, η εικόνα αφαιρείται. Πριν από αυτό ο αλγόριθμος έχει ταξινομήσει τις εικόνες με βάση την ανάλυση με σκοπό οι εικόνες με χαμηλή ανάλυση να αφαιρεθούν πρώτες (Furukawa et. al. 2010).



Εικόνα 11: Παράδειγμα συγγένευσης σημείων και της δημιουργίας συστάδων (Πηγή: Furukawa et. al. 2010).

3. **Διαχωρισμός Συστάδων- Επιβολή Περιορισμού Μεγέθους:** Ο αλγόριθμος σε αυτό το βήμα βαθμολογεί την σημασία των εικόνων που εμπεριέχονται στις συστάδες, χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο που ονομάζεται “*Normalized Cuts Algorithm*” (Shi & Malik, 2000). Οι εικόνες με την χαμηλότερη βαθμολογία κόβονται από τις συστάδες με την προϋπόθεση ότι ικανοποιούνται οι περιορισμοί μεγέθους των συστάδων. Αυτό το βήμα αγνοεί εντελώς το κριτήριο της επικάλυψης των εικόνων με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη πιθανότητα αυτό να παραβιάζεται (Furukawa et. al. 2010).
4. **Εισαγωγή Εικόνων – Ικανοποίηση της Επικάλυψης:** Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο βήμα, κατά πάσα πιθανότητα οι συστάδες έχουν κοπέι με τέτοιο τρόπο ώστε σε πολλά τμήματα της σκηνής να μην υπάρχει επικάλυψη. Σε αυτό το βήμα ο αλγόριθμος ξανά-προσθέτει εικόνες στις συστάδες και βαθμολογεί την αποτελεσματικότητα κάθε προσθήκης στην ικανοποίηση της ελάχιστης απαιτούμενης επικάλυψης που πρέπει να υπάρχει από τις νέες συστάδες που ανακατασκευάζονται. Εφόσον βαθμολογηθεί κάθε προσθήκη, διατηρούνται αυτές με την υψηλότερη βαθμολογία και οι υπόλοιπες αφαιρούνται. Να σημειωθεί ότι το κριτήριο της επικάλυψης ορίζεται από τα σημεία του αραιού νέφους που προέκυψαν από την SfM (Furukawa et. al. 2010).

Τα βήματα (3) και (4) επαναλαμβάνονται έως ότου βρεθεί η “χρυσή τομή” που να ικανοποιεί τα κριτήρια μεγέθους και επικάλυψης με τις λιγότερες δυνατές εικόνες. Όλη η φιλοσοφία πίσω από τον CMVS είναι να μειωθεί όσο το δυνατόν γίνεται ο φόρτος επεξεργασίας κατά την εκτέλεση του PMVS που ακολουθεί, χωρίς δυσμενείς συνέπειες στην ποιότητα των αποτελεσμάτων.

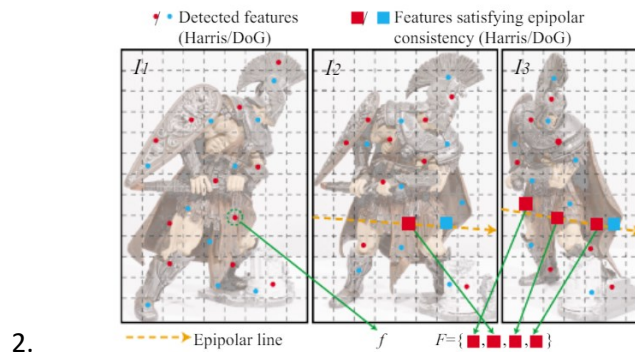


Σχήμα 5: Διάγραμμα Ροής CMVS

Ο αλγόριθμος PMVS εκτελεί 3 μεγάλα βήματα ή καλύτερα, παράγει 3 προϊόντα. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που εξάγονται από τον CMVS. Αρχικά παράγει ένα πυκνό νέφος σημείων (Dense Cloud), μετά χρησιμοποιεί το πυκνό νέφος για να δημιουργήσει ένα πολυγωνικό τρισδιάστατο μοντέλο πλέγματος (Mesh Model) και τέλος βελτιώνει το Mesh χρησιμοποιώντας αλγόριθμους MVS βελτίωσης πλέγματος. Όπως αναφέρθηκε στην παρούσα διπλωματική εξετάζονται αραιά και πυκνά νέφη επομένως τα δύο τελευταία βήματα του αλγορίθμου είναι έξω από τα όρια μελέτης της εργασίας. Γενικά ο σκοπός του αλγορίθμου κατά την δημιουργία του πυκνού νέφους είναι να πυκνώσει το ήδη υπάρχον αραιό νέφος, δηλαδή να γεμίσει τα κενά ανάμεσα στα σημεία εξάγοντας τελικά ένα πυκνό νέφος.

Για την παραγωγή πυκνού νέφους ο αλγόριθμος εκτελεί 3 βήματα:

- 1. Αντιστοίχιση:** Σε αυτό το βήμα γίνεται ανίχνευση και αντιστοίχιση χαρακτηριστικών σημείων πάνω στις εικόνες που εισήχθησαν από τον CMVS. Η ανίχνευση γίνεται με χρήση των αλγορίθμων Difference of Gaussians (DoG) και Harris. Ο DoG ανιχνεύει μάζες αντικειμένων στον χώρο και ο Harris ακμές. Αφού γίνει η αντιστοίχιση των σημείων, αυτή αξιολογείται με την χρήση του RANSAC. Η αντιστοίχιση γίνεται με σκοπό την εξαγωγή των σημείων που θα συνθέσουν ένα νέφος πύκνωσης. Κάθε χαρακτηριστικό σημείο που έχει ανιχνευτεί από τον Harris και τον DoG εντοπίζεται στις γειτονικές εικόνες, αντιστοιχίζεται και γίνεται ο προσδιορισμός του στον τρισδιάστατο χώρο με τριγωνισμό. Μόλις ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία, κάθε σημείο βαθμολογείται και αντιστοιχίζεται με γνώμονα την απόστασή του από το σημείο λήψης της εικόνας (Furukawa & Ponce. 2009).



Εικόνα 12: Παράδειγμα ανίχνευσης σημείων με Harris/DoG (Πηγή: (Furukawa & Ponce, 2009).

3. **Επέκταση:** Στόχος αυτού του βήματος είναι η επέκταση του νέφους πύκνωσης στα γειτονικά του κενά και να καλυφθούν όσο γίνεται όλες οι περιοχές που απεικονίζονται στις εικόνες με σημεία και εν τέλει δημιουργεί ένα μεγαλύτερο νέφος πύκνωσης. Το γέμισμα των γειτονιών κάθε σημείου του νέφους πύκνωσης επιτυγχάνεται με την χρήση κάποιων γεωμετρικών κριτηρίων τα οποία αναλύονται από τους Furukawa και Ponce (2009). Να σημειωθεί ότι αυτό το βήμα εκμεταλλεύεται τους χάρτες βάθους που αναλύθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο.
4. **Φιλτράρισμα:** Το βήμα αυτό εστιάζει στην αφαίρεση από το νέφος πύκνωσης σημείων που βρίσκονται έξω από το αντικείμενο ενδιαφέροντος, χρησιμοποιώντας την λογική inliers και outliers αντίστοιχα με τον τρόπο που αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια. Χωρίζεται σε δύο απλά βήματα, τον εντοπισμό και την αφαίρεση σημείων που βρίσκονται έξω (δηλαδή πιο κοντά στα κέντρα λήψης των εικόνων) από την επιθυμητή επιφάνεια του αντικειμένου και τον εντοπισμό και την αφαίρεση σημείων που βρίσκονται μέσα.

## **Κεφάλαιο 2: Λογισμικά SfM/MVS**

Τα τελευταία χρόνια, με τον συνδυασμό της ανάγκης για πιο οικονομικές επεξεργασίες, της ραγδαίας αύξησης της υπολογιστικής ισχύος και την ταχέως εξελισσόμενη ανάπτυξη και βελτίωση των αλγορίθμων SfM και MVS, έχουν αναπτυχθεί πληθώρα λογισμικών που ενσωματώνουν την τεχνογνωσία αυτή. Παρακάτω παρατίθενται τα πιο δημοφιλή ανοιχτού κώδικα και εμπορικά λογισμικά με μια συνοπτική περιγραφή για το καθένα καθώς και οι λόγοι που επιλέχθηκε το εμπορικό λογισμικό Metashape της Agisoft για την διεξαγωγή των πειραμάτων της παρούσας εργασίας.

### **2.1 Λογισμικά ανοιχτού κώδικα**

- **Colmap:** Το Colmap είναι σχεδιασμένο από τον Johannes Lutz Schonberger, Dr.sc ETH Zurich και της ερευνητικής του ομάδας. Μπορεί να εκτελεστεί είτε από τη γραμμή εντολών είτε να χρησιμοποιηθεί από κάποιο άλλο πρόγραμμα με GUI. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα να ανακατασκευάσει τα 3D αντικείμενα αυτόματα είτε από μια κάμερα είτε από στερεοσκοπικές διαδικασίες. Είναι ανεπτυγμένο από ερευνητές και διαθέτει πολλές εξειδικευμένες ρυθμίσεις. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο δεν απευθύνεται σε κοινό που απλώς θέλει να δημιουργήσει ένα νέφος σημείων και πλέγμα (mesh cloud) με σχετικά εύκολο τρόπο. Για τον χρήστη που τον ενδιαφέρει, οι ρυθμίσεις αυτές είναι σημαντικό εργαλείο για βελτιστοποίηση της εργασίας του. Να σημειωθεί ότι για τον καθαρισμό και την τελειοποίηση του νέφους είναι απαραίτητη η χρήση και άλλων λογισμικών.

<https://colmap.github.io/>

- **Meshroom:** Το Meshroom είναι σχεδιασμένο πάνω στην δομή του AliceVision. Πρόκειται για ένα αρκετά φιλικό στον χρήστη λογισμικό καθώς το περιβάλλον του και το workflow των λειτουργιών του είναι πολύ εύκολο στην χρήση ακόμα και από χρήστη που δεν έχει καταπιαστεί ποτέ με την τεχνολογία αυτή. Ουσιαστικά μπορεί κάποιος να κάνει εισαγωγή των εικόνων, να πατήσει ένα κουμπί και απλά να περιμένει ο υπολογιστής να εκτελέσει τον αλγόριθμο. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι, εφόσον κάποιος επιθυμεί, μπορεί να αλλάξει παραμέτρους και ρυθμίσεις στον τρόπο με τον οποίο το πρόγραμμα θα τρέξει τον αλγόριθμο αυξάνοντας την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος ανάλογα πάντα με το hardware που διαθέτει. Μια καθοριστική και σημαντική λεπτομέρεια είναι ότι για την λειτουργία του απαιτεί κάρτες γραφικών NVIDIA που να είναι συμβατές με το cuda toolkit της έκδοσης 2.0 και μεταγενέστερης. Τέλος δίνει την δυνατότητα σύνδεσης με άλλα προγράμματα που συμπληρώνουν την διαδικασία παραγωγής ψηφιακών μοντέλων ή ορθοφωτογραφιών μέσω ενός συστήματος plug-in που διαθέτει.

<https://alicevision.org/>

- **MicMac:** Το MicMac έχει αναπτυχθεί από το Γαλλικό Γεωγραφικό Ινστιτούτο (IGN) και το Γαλλικό Εθνικό Σχολείο Γεωγραφικών Επιστημών. Είναι κατάλληλο κυρίως για επαγγελματίες ή ακαδημαϊκούς χρήστες αλλά είναι επίσης προσβάσιμο στους γενικούς χρήστες. Έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε τομείς όπως η χαρτογραφία, η προστασία του περιβάλλοντος, η δασοκομία, η διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς και οι ιδιωτικές βιομηχανίες. Με τη χρήση του MicMac είναι δυνατή η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων και ορθοφωτογραφιών. Το λογισμικό μπορεί να διαχειριστεί κάθε τύπου αντικείμενο σε οποιαδήποτε κλίμακα εισαχθεί σε αυτό. Επεξεργάζεται



τόσο επίγειες λήψεις όσο και αεροφωτογραφίες. Επίσης προσφέρει πληθώρα από εργαλεία επεξεργασίας που μπορούν να δώσουν λύσεις στην μετρολογία και στην κλασική τοπογραφία (π.χ. παράγωγη τοπογραφικών διαγραμμάτων). Τέλος είναι άξιο αναφοράς το γεγονός ότι είναι πολύ εύκολη η πρόσβαση σε tutorial και video στο διαδίκτυο για κάποιον που θέλει να εξοικειωθεί με το λογισμικό.

<https://micmac.ensg.eu/index.php/Accueil>

- **Multi-View Enviroment:** Το λογισμικό αυτό αποτελεί ένα πλήρες φωτογραμμετρικό λογισμικό, ενσωματώνει αλγορίθμους SfM, MVS και ανακατασκευής επιφανειών. Προσφέρει την δυνατότητα αυτοματοποίησης των διαδικασιών για τον γνώστη προγραμματιστικών τεχνικών αλλά είναι λειτουργικό και από την χρήση του περιβάλλοντος του το οποίο όμως δεν είναι ιδιαίτερα φιλικό.

<https://www.gcc.tu-darmstadt.de/home/proj/mve/>

- **OpenMVG:** Το λογισμικό OpenMVG είναι ιδιαίτερα δημοφιλές στην επιστημονική κοινότητα της Computer Vision. Επικεντρώνεται κατά κύριο λόγο στην εφαρμογή αλγορίθμων SfM μαζί με έναν αριθμό εργαλείων να την πλαισιώνουν. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του είναι ότι όλες οι λειτουργίες του και τα μοντέλα που χρησιμοποιεί για την παραγωγή φωτογραμμετρικών προϊόντων έχουν δοκιμαστεί σε ρεαλιστικές συνθήκες εργασίες και σε ρεαλιστικά αντικείμενα ενδιαφέροντος για να ρυθμιστούν αναλόγως από τους προγραμματιστές. Τέλος το συγκεκριμένο λογισμικό απαιτεί την συνεργασία του με άλλα λογισμικά για την κάλυψη των περισσότερων αναγκών και απαιτεί ένα καλό υπολογιστικό σύστημα για να είναι λειτουργικό ικανοποιητικά.

<https://github.com/openMVG/openMVG>

- **Regard3D:** Το Regard3D χρησιμοποιεί την SfM για την παραγωγή 3D μοντέλων. Αποτελεί εξαιρετικό πρόγραμμα αν ληφθεί υπόψη ότι είναι ανοιχτού κώδικα. Παρόλο που απαιτεί χρόνο εξοικείωσης για τον νέο χρήστη όσον αφορά στις παραμέτρους και τις ρυθμίσεις που εμπεριέχει, αποτελεί εξαιρετική επιλογή για κάποιον αρχάριο. Να προστεθεί ότι υπάρχει πληθώρα tutorial και video στο διαδίκτυο που βοηθούν στην εξοικείωση.

<http://www.regard3d.org/index.php>

- **VisualSFM:** Όπως φαίνεται από το όνομά του, το συγκεκριμένο λογισμικό χρησιμοποιεί την SfM για την παραγωγή νεφών σημείων. Παρέχει την επιλογή λειτουργίας σε cmd για τους έμπειρους με τον προγραμματισμό χρήστες καθώς και σε GUI για όποιον δεν ενδιαφέρεται για μια τέτοια επιλογή. Το λογισμικό αυτό παρέχει τεράστιο αριθμό από επιλογές παραμέτρων που μπορούν όμως να αποθαρρύνουν τον χρήστη. Η ρύθμιση των παραμέτρων αυτών αποτελεί προαιρετική επιλογή για κάποιον που αναζητά πιο εξειδικευμένες ρυθμίσεις για κάθε περίπτωση που εξετάζει, καθώς μπορεί μέσα σε πολύ μικρό χρόνο από την στιγμή εισαγωγής του dataset το πρόγραμμα να ξεκινήσει να εκτελεί τους αλγορίθμους SfM. Να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα δεν παρέχεται για εμπορική χρήση.

<http://ccwu.me/vsfm/>

## 2.2 Εμπορικά λογισμικά

- **3DF Zephyr:** Το συγκεκριμένο λογισμικό σχεδιάστηκε για να είναι φιλικό προς τον χρήστη. Το περιβάλλον του δεν αποθαρρύνει τον νέο χρήστη να ξεκινήσει να το

χρησιμοποιεί και ενσωματώνει βοηθούς που αναλύουν την διαδικασία και εξηγούν στον χρήστη πώς να επιλέξει τις κατάλληλες ρυθμίσεις επεξεργασίας. Από την άλλη, οι έμπειροι χρήστες μπορούν να κάνουν πιο αναβαθμισμένες ρυθμίσεις και να έχουν μεγαλύτερο έλεγχο στο ποιο θα είναι το αποτέλεσμα που θα προκύψει. Το 3DF Zephyr προσφέρει την δυνατότητα συνένωσης φωτογραμμετρικών δεδομένων με δεδομένα σαρωτών. Με αυτόν τον τρόπο αναβαθμίζεται η ακρίβεια των μοντέλων και ταυτόχρονα διατηρείται η υφή. Παρόλο που η συνηθισμένη διαδικασία είναι εντελώς αυτοματοποιημένη ο χρήστης μπορεί να παρέμβει χειροκίνητα αν επιθυμεί την εξαγωγή σχεδίων με χρήση κάποιου προγράμματος CAD. Το λογισμικό επιτρέπει στον χρήστη να σχεδιάζει πάνω από εικόνες και το αποτέλεσμα να το επεξεργάζεται σε λογισμικά όπως το Autodesk Revit. Το πρόγραμμα προσφέρει δωρεάν trial έκδοση με όριο τις 50 εικόνες για την ανακατασκευή και περιορισμένο αριθμό εργαλείων επεξεργασίας.

<https://www.3dflow.net/>

- **Autodesk ReCap:** Το λογισμικό αυτό έχει δύο βασικές λειτουργίες μια για επίγεια φωτογραμμετρία και μια για αεροφωτογραφίες. Στην λειτουργία για επεξεργασία των επίγειων λήψεων το ReCap μπορεί να επεξεργαστεί σαρώσεις και να τις συνταυτίσει με projects επίγεια φωτογραμμετρίας για την παραγωγή 3D μοντέλων. Εκτός από την δημιουργία μεγάλων μοντέλων το λογισμικό είναι εφοδιασμένο με υψηλής ποιότητας αναλυτικά εργαλεία, ανεπτυγμένου editing και εξειδικευμένα εργαλεία για UAV/Drone projects. Εντός του λογισμικού επίσης είναι ενσωματωμένοι έξυπνοι αλγόριθμοι που είναι κατασκευασμένοι να διαχειρίζονται νέφη σημείων. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το Auto Cleanup που αναγνωρίζει και αφαιρεί ανεπιθύμητα αντικείμενα (π.χ. αυτοκίνητα, δέντρα, ανθρώπους, κ.ο.κ.) και κάποιον θόρυβο από το νέφος.

<https://www.autodesk.com/products/recap/overview>

- **Pix4D:** Το Pix4D είναι ένα λογισμικό που έχει την δυνατότητα να συμμετέχει σε όλες τις διαδικασίες της φωτογραμμετρικής ροής εργασιών. Από την λήψη των εικόνων μέχρι την εξαγωγή των τελικών προϊόντων. Αυτό σημαίνει ότι το λογισμικό δεν ασχολείται μόνο με την παραγωγή νεφών, πολυγωνικών μοντέλων ή ψηφιακών μοντέλων εδάφους, αλλά μπορεί να συμμετέχει και στην σωστή λήψη των εικόνων με την βοήθεια της ειδικά ανεπτυγμένης εφαρμογής Pix4DCapture που μέσω αυτής μπορεί να ελεγχθεί η πορεία πτήσης ενός drone για να διασφαλιστεί η επικάλυψη των εικόνων μεταξύ τους. Μετά την λήψη των εικόνων, αυτές εισάγονται στο λογισμικό και μέσω μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας μπορεί να γίνει παραγωγή φωτογραμμετρικών προϊόντων. Για τον έλεγχο των διαδικασιών ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αλλάξει παραμέτρους που επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο επεξεργάζεται το λογισμικό τα δεδομένα. Τέλος το λογισμικό παρέχει εργαλεία ειδικά διαμορφωμένα και για εφαρμογές γεωργίας, αρχιτεκτονικής και real estate.

<https://www.pix4d.com/>

- **Reality Capture:** Το λογισμικό Reality Capture της CapturingReality αποτελεί μια δημοφιλή επιλογή εμπορικών λογισμικών φωτογραμμετρίας. Υποστηρίζει μεγάλη ποικιλία από διαφορετικού τύπου δεδομένα εισόδου προς επεξεργασία. Είναι γνωστό για το απλό και φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον εργασίας στο οποίο υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός από επιλογές. Το λογισμικό επίσης αυτό-προσαρμόζεται στις δυνατότητες του υπολογιστή που το τρέχει κάνοντας το λογισμικό ιδανική επιλογή για τον μέσο χρήστη που διαθέτει έναν μέσο υπολογιστή. Τέλος διαθέτει την δυνατότητα συγχώνευσης δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικές πηγές (π.χ. σκαναρίσματα και φωτογραφίες) με σκοπό την σύνθεση ολοκληρωμένων εργασιών.  
<https://www.capturingreality.com/Home>
- **Agisoft Metashape:** Το Metashape (πρώην photoscan) αποτελεί δημοφιλή επιλογή για GIS εφαρμογές, αποτυπώσεις μνημείων, σχεδίαση ηλεκτρονικών παιχνιδιών και παραγωγή ψηφιακών εφέ. Χρησιμοποιείται τόσο για επίγεια όσο και για εναέρια φωτογραμμετρία. Περιέχει ολοκληρωμένα εργαλεία για την επεξεργασία νεφών σημείων πριν από την δημιουργία του 3D πλέγματος. Αυτό περιλαμβάνει αυτόματες ταξινομήσεις νεφών για την προσαρμογή της γεωμετρίας του αντικείμενου ενδιαφέροντος με τέτοιον τρόπο ώστε το πρόγραμμα μπορεί να ξεχωρίσει αντικείμενα όπως δέντρα και ανεπιθύμητα αντικείμενα και επιτρέπει στον χρήστη να τα αφαιρέσει. Μέσα από τις συνεχείς αναβαθμίσεις του το λογισμικό βελτιώνει συνεχώς τις ταχύτητες επεξεργασίας και την ποιότητα των αποτελεσμάτων χρησιμοποιώντας αλγορίθμους που χρησιμοποιώντας τα δεδομένα χρηστών βελτιώνονται συνεχώς. Θεωρητικά το λογισμικό θα συνεχίσει να βελτιώνεται όσο συνεχίσει να χρησιμοποιείται από την ολοένα και αυξανόμενη κοινότητα που το υποστηρίζει. Λόγω αυτής υπάρχουν και πολλά tutorial και video στο διαδίκτυο καθώς και ένα πολύ ενεργό forum με πληροφορίες και απορίες από πολλούς χρήστες έτσι ώστε να ξεκινήσει κάποιος να χρησιμοποιεί το πρόγραμμα «από το μηδέν».

Το Metashape προκρίθηκε να χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία για τους εξής λόγους:

1. Είναι ένα ολοκληρωμένο λογισμικό που καλύπτει τις περισσότερες ανάγκες στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση (3D Modeling) που αφορά στον Τοπογράφο Μηχανικό.
2. Οι επιλογές και οι παράμετροι που καλείται να εισάγει ο χρήστης είναι αρκετές, ώστε να έχει πολλές δυνατότητες ρυθμίσεων στο πρόγραμμα αλλά παράλληλα δεν είναι τόσο πολλές ώστε ο χρήστης να χάνεται. Για αυτόν τον λόγο το κάνει ιδανικό πρόγραμμα για κάποιον που θέλει να ξεκινήσει να ενστερνίζεται την γενικότερη φιλοσοφία που διέπει τα λογισμικά αυτά.
3. Το εργαστήριο φωτογραμμετρίας της ΣΑΤΜ διαθέτει δύο άδειες του λογισμικού.
4. Το εργαστήριο φωτογραμμετρίας της ΣΑΤΜ χρησιμοποιεί το λογισμικό σε αρκετές εφαρμογές και μαθήματα, επομένως μια τέτοια εργασία είναι χρήσιμη για τους μελλοντικούς νέους χρήστες που θα γνωρίσουν το πρόγραμμα μέσω κάποιου μαθήματος της σχολής.
5. Η βάση χρηστών του συγκεκριμένου λογισμικού είναι τεράστια παγκοσμίως, αλλά και στην Ελλάδα, και έτσι τα συμπεράσματα αυτής της εργασίας, μπορεί να φανούν χρήσιμα σε μεγάλο αριθμό χρηστών, ώστε να αποφεύγεται η παραγωγή εσφαλμένων αποτελεσμάτων

<https://www.agisoft.com/>

## 2.3 Agisoft Metashape

Στο υποκεφάλαιο αυτό περιγράφεται η βασική ροή εργασιών του λογισμικού μαζί με την θεωρητική σύνδεση κάθε εργασίας με τον τρόπο που τα δίνουν οι προγραμματιστές του λογισμικού στο βιβλίο χρήσης και στο Forum. Η αξιολόγηση αυτών θα γίνει στα επόμενα κεφάλαια κατά την πειραματική διαδικασία. Η παρούσα εργασία εξετάζει την ροή εργασιών του λογισμικού μέχρι την δημιουργία του πυκνού νέφους. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η έκδοση 1.7.1 του λογισμικού.



Σχήμα 6: Διάγραμμα Ροής Βασικών Εργασιών Agisoft Metashape

### 2.3.1 Εισαγωγή και προσανατολισμός εικόνων

Πριν γίνει οποιαδήποτε επεξεργασία πρέπει να γίνει η επιλογή των εικόνων που θα χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία. Στην πραγματικότητα το λογισμικό φορτώνει τις εικόνες τις οποίες χρειάζεται κάθε φορά που του ζητείται να εκτελέσει μια εργασία, που σημαίνει ότι όταν ο χρήστης προσθέσει τις εικόνες μέσα στο λογισμικό στην πραγματικότητα το λογισμικό απλώς διαβάξει τις εικόνες από την τοποθεσία του υπολογιστή στην οποία βρίσκονται. Αυτό δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να κάνει την επιλογή των εικόνων εντός του περιβάλλοντος του λογισμικού χωρίς με κάποιον τρόπο να το επιβαρύνει. Όταν επιλεγθούν οι κατάλληλες εικόνες, οι ανεπιθύμητες πολύ εύκολα μπορούν να εξαιρεθούν από το project και ο χρήστης να συνεχίσει να δουλεύει με τις φωτογραφίες που έχει επιλέξει. Το πρόγραμμα υποστηρίζει τα παρακάτω format: JPEG, JPEG 2000, TIFF, DNG, PNG, OpenEXR, BMP, TARGA, PPM, PGM, SEQ, ARA και MPO.

Οι θέσεις των καμερών την στιγμή των λήψεων προσδιορίζονται από τις εσωτερικές και τις εξωτερικές παραμέτρους τους. Σε περίπτωση που ένα dataset έχει δημιουργηθεί με την χρήση πολλών διαφορετικών φωτογραφικών μηχανών συνιστάται ο χρήστης να ομαδοποιήσει τις εικόνες με κριτήριο τις διαφορετικές κάμερες.

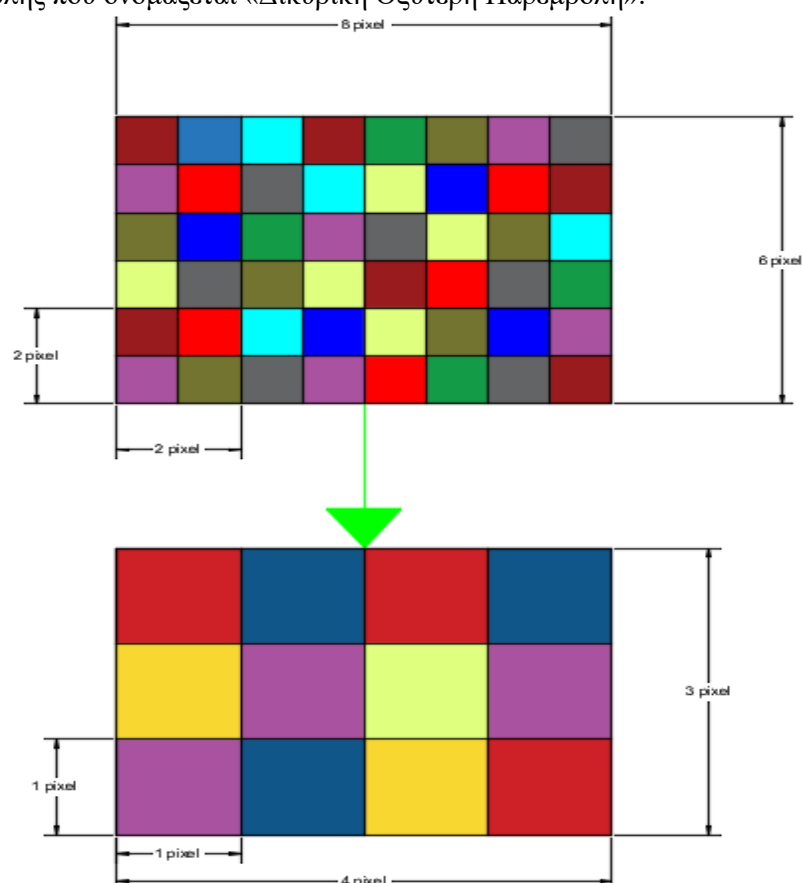
Για τον υπολογισμό αυτών των παραμέτρων ο χρήστης θα πρέπει να εκτελέσει την διαδικασία του προσανατολισμού, που το λογισμικό την ονομάζει alignment. Το λογισμικό ξεκινά την διαδικασία του εντοπισμού χαρακτηριστικών σημείων χρησιμοποιώντας στην συγκεκριμένη περίπτωση έναν αλγόριθμο παραλλαγή του SIFT. Έπειτα πραγματοποιεί συνταύτιση των εικόνων με την χρήση των χαρακτηριστικών σημείων και με την χρήση τριγωνισμού και συνόρθωση κατά δέσμες. Έτσι υπολογίζει τις εσωτερικές και τις εξωτερικές παραμέτρους των καμερών καθώς και ένα αραιό νέφος σημείων που αποτελείται από τα σημεία που συνταυτίστηκαν επιτυχώς. Ουσιαστικά εκτελεί όλα όσα αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο (1) που αφορούν την SfM. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να προσαρμόσει το πώς το λογισμικό θα εκτελέσει τον αλγόριθμο αλλάζοντας κάποιες παραμέτρους στις οποίες θα γίνει αναλυτική αναφορά στα επόμενα κεφάλαια.

Εφόσον ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία τα αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν σε άλλο περιβάλλον εκτός του Metashape, σε περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί να τα χρησιμοποιήσει.

Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να προσαρμόσει το πώς το λογισμικό θα εκτελέσει τον αλγόριθμο αλλάζοντας κάποιες παραμέτρους οι οποίες είναι:

- **Accuracy:** Λαμβάνει 5 διαφορετικές τιμές (Lowest, Low, Medium, High, Highest) όσο πιο υψηλή είναι η παράμετρος accuracy τόσο πιο ακριβής είναι η εκτίμηση των θέσεων της μηχανής, όσο πιο χαμηλή τόσο λιγότερο χρόνο χρειάζεται το λογισμικό για να επεξεργαστεί τα δεδομένα σε αυτό το βήμα με κόστος στην ακρίβεια προσδιορισμού των παραμέτρων της μηχανής. Στην επιλογή «High» το λογισμικό δουλεύει με τις εικόνες όπως αυτές εισήχθησαν στο λογισμικό, στο «Medium» υποβαθμίζει την εικόνα με συντελεστή 4, στο «Low» με συντελεστή 16 και στο «Lowest» 4 φορές ακόμα. Η επιλογή «Highest» αναβαθμίζει την εικόνα με συντελεστή 4.

Τα παραπάνω σημαίνουν ότι για μια αρχική εικόνα με 6000x6000 pixel αν ζητηθεί από το λογισμικό να εκτελέσει το Align με Medium Accuracy η εικόνα θα υποβαθμιστεί σε εικόνα 3000x3000 pixels χρησιμοποιώντας δικυβική παρεμβολή για τον υπολογισμό των νέων συγχωνευμένων pixel. Αντιστοίχως δουλεύει και στην περίπτωση της αναβάθμισης χρησιμοποιώντας μια παραλλαγή της δικυβικής παρεμβολής που ονομάζεται «Δικυβική Οξύτερη Παρεμβολή».



Σχήμα 7: Σχηματική αναπαράσταση υποβάθμισης εικόνας με συντελεστή 4

- **Generic Preselection:** Η επιλογή αυτή μειώνει σημαντικά τους χρόνους επεξεργασίας και συγκεκριμένα τους χρόνους συνταύτισης των σημείων πάνω στις

εικόνες. Για να το επιτύχει αυτό κάνει εσωτερικά υποβάθμιση των εικόνων με τον εξής στόχο: αντί να ελέγχει όλες τις εικόνες μεταξύ τους για να τις συνταυτίσει, κάθε υποβαθμισμένη εικόνα συγκρίνεται μόνο με όσες εικόνες είναι πιθανά ζευγάρια της (αναζητεί επικαλυπτόμενες περιοχές), δηλαδή αναζητεί σε χαμηλή ανάλυση, περιοχές που μοιάζουν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας τις τιμές των *pixel* τους. Στην συνέχεια τα ζευγάρια που θα προκύψουν από αυτήν την διαδικασία θα αναλυθούν στο επίπεδο *quality* που εισήγαγε ο χρήστης στο *Quality Setting* και θα συνεχίσει την διαδικασία κανονικά. Όπως αναφέρθηκε, αυτή η επιλογή γλιτώνει σημαντικό χρόνο επεξεργασίας, ειδικά για μεγάλα *datasets*. Παρόλα αυτά μπορεί να παραλείψει αντιστοιχίες σε περιπτώσεις που το αντικείμενο παρουσιάζει ομοιομορφία με τέτοιον τρόπο που η υποβάθμιση των εικόνων θα αλλοιώσει τα χαρακτηριστικά των εικόνων και περιοχές που στην πραγματικότητα διαφέρουν “στις λεπτομέρειες” να αντιστοιχίζονται.

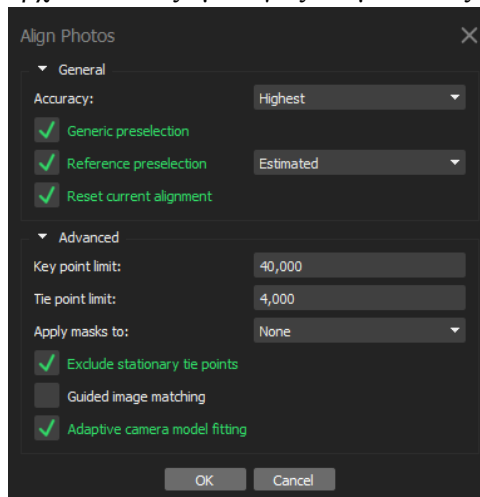
- **Reference Preselection:** Ο σκοπός του είναι να χρησιμοποιήσει την πληροφορία θέσης της κάμερας κατά την στιγμή της λήψης κάθε εικόνας -εφόσον αυτή υπάρχει στο ψηφιακό αρχείο- για να κάνει μια εκτίμηση για το ποιες εικόνες θα ελέγξει μεταξύ τους για πιθανές συνταυτίσεις. Έχει τρεις διαφορετικές επιλογές ανάλογα την πηγή της πληροφορίας θέσης των εικόνων. Αυτές οι επιλογές είναι:
  1. **Source:** Εάν οι εικόνες που θα εισάγονται στο λογισμικό είναι γεωαναφερμένες (π.χ. οι λήψεις έχουν γίνει με drone με ενσωματωμένο GNSS).
  2. **Estimated:** Εάν έχει προηγηθεί προσανατολισμός (*alignment*) στο project για κάποιο συγκεκριμένο μπλοκ το λογισμικό γνωρίζει τις παραμέτρους του εσωτερικού και του εξωτερικού προσανατολισμού, επομένως και τις σχετικές θέσεις των λήψεων μεταξύ τους. Χρησιμοποιεί αυτήν την πληροφορία σε αυτήν την επιλογή για να επιταχύνει την επεξεργασία.
  3. **Sequential:** Αυτή η επιλογή επιλέγει τις εικόνες που θα συσχετίσει με βάση την ονομασία που τους έχει δοθεί από τον χρήστη. Εάν ο χρήστης γνωρίζει ποιες φωτογραφίες δημιουργούν ζεύγη μπορεί να τις ονομάσει αναλόγως και να επιλέξει *Sequential Reference Preselection*. Αξίζει να σημειωθεί ότι με αυτήν την επιλογή γίνεται σύγκριση και της τελευταίας φωτογραφίας με την πρώτη.
- **Reset Current Alignment:** Από το όνομα καταλαβαίνει κανείς ποιος είναι ο σκοπός της συγκεκριμένης επιλογής. Όταν είναι επιλεγμένη κρατά μόνο τις υπολογισμένες εσωτερικές και εξωτερικές παραμέτρους, τα υπόλοιπα τα σβήνει και τα υπολογίζει από την αρχή με τις ρυθμίσεις που έχουν επιλεγθεί.
- **Key Point Limit:** Καθορίζει πόσο αναλυτικά θα ψάξει το λογισμικό κάθε εικόνα για χαρακτηριστικά σημεία καθορίζοντας ένα άνω όριο σημείων που μπορεί να βρει. Ενδεχομένως το αποτέλεσμα γίνεται καλύτερο όσο μεγαλύτερο είναι αυτό το όριο, όμως στην πράξη εάν τεθεί πολύ ψηλά ή δεν τεθεί καθόλου όριο (δηλαδή να μπει η τιμή 0 στο *limit*) να αναγνωρίσει πολλά αμφιλεγόμενα σημεία. Η εταιρία προτείνει, με βάση δικές της δοκιμές, ότι για τον μέσο όρο των εργασιών η τιμή 40.000 είναι ο καλύτερος συνδυασμός ποσότητας σημείων και χρόνου επεξεργασίας. Όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή του ορίου τόσο αυξάνει ο χρόνος επεξεργασίας και ταυτόχρονα αυξάνεται και ο συνολικός αριθμός σημείων που θα αποτελούν το νέφος. Όμως για πολύ μικρές

τιμές σε πολλές περιπτώσεις δύναται να μην βρεθούν ομολογίες στα επόμενα στάδια, εκεί που θα έπρεπε με αποτέλεσμα σημεία που θα έπρεπε να βρίσκονται στο πυκνό νέφος να μην βρεθούν και να δημιουργηθεί ένα λειψό νέφος. Επίσης μπορεί να μην κατασκευαστούν οι χάρτες βάθους καθώς το λογισμικό έχει θέσει ένα όριο ομολογιών (100) στα ζεύγη ώστε να μπορεί να τους κατασκευάσει. Παρόλα αυτά κάποιος απαιτητικός χρήστης με καλό υπολογιστικό σύστημα μπορεί να πειραματιστεί σε κάθε δουλειά ξεχωριστά για να βρει το ιδανικό για την περίπτωση της εργασίας του όριο.

- **Tie Point Limit:** Εδώ το πρόγραμμα θέτει το όριο των ομολογων σημείων που θα εντοπίσει από το σύνολο των χαρακτηριστικών σημείων (Key Points). Γίνεται σαφές ότι η τιμή του Tie Point Limit εξαρτάται από την τιμή του Key Point Limit ακόμα και εάν ο χρήστης βάλει την τιμή μηδέν καθώς δεν γίνεται να βρει περισσότερες ομολογίες από χαρακτηριστικά σημεία σε κάθε εικόνα.
- **Apply Mask to:** Οι μάσκες στις φωτογραφίες χρησιμεύουν στο να αποκλειστούν από την επεξεργασία περιοχές που μπορεί να μπερδέψουν το λογισμικό ή να το οδηγήσουν σε λανθασμένα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, αυτό συμβαίνει αν το αντικείμενο ενδιαφέροντος είναι μικρό ή αν δεν είναι στατικό, δηλαδή κινείται σε σχέση με την μηχανή. Στην διαδικασία του Align υπάρχουν τρεις επιλογές για τις μάσκες:
  1. **None:** Δεν χρησιμοποιούνται οι μάσκες στην εκτέλεση του Align.
  2. **Key Points:** Όσες περιοχές είναι «μασκαρισμένες» στις εικόνες θα εξαιρεθούν από την διαδικασία εντοπισμού σημείων ενδιαφέροντος.
  3. **Tie Points:** Αυτή η επιλογή έχει νόημα εάν μια ανεπιθύμητη περιοχή δεν έχει μασκαριστεί σε όλες τις εικόνες. Αρκεί να μασκαριστεί μια περιοχή σε μια εικόνα για να εξαιρεθεί από την συνταύτιση. Αυτή η επιλογή γλιτώνει χρόνο στην χειροκίνητη επεξεργασία όσον αφορά στο μασκάρισμα, αλλά η επεξεργασία είναι πιο αργή συγκριτικά με το Apply Mask to Key Points αν και εφόσον όλες οι ανεπιθύμητες περιοχές είναι μασκαρισμένες σε όλες τις φωτογραφίες. (Εφόσον στην περίπτωση του Apply Mask to Tie Points όλες οι περιοχές χωρίς μάσκες δεν θα εξαιρεθούν από την αναγνώριση σημείων ενδιαφέροντος, απλά τα σημεία που θα βρίσκονται έστω σε μια μάσκα θα αγνοηθούν στην συνταύτιση).
- **Exclude Stationary Tie Points:** Η επιλογή αυτή εξαιρεί τα στατικά σημεία. Δηλαδή αντικείμενα που φαίνονται στις ίδιες περιοχές πάνω στις εικόνες εξαιρούνται από το Alignment. Σχεδιάστηκε ουσιαστικά για να μπορεί να τρέξει ο χρήστης Alignment χωρίς μάσκες σε περιπτώσεις που το περιβάλλον γύρω από το αντικείμενο είναι στατικό και το αντικείμενο κινείται. Ακόμα ενεργοποιώντας αυτήν την επιλογή βοηθά το λογισμικό να απορρίψει λανθασμένα ομόλογα σημεία που έχουν προκύψει από φαινόμενα όπως η ακτινική διαστροφή.
- **Guided image matching:** Επιτρέπει τον εντοπισμό χαρακτηριστικών που πιθανότατα να έχουν παραλειφθεί από τον ανιχνευτή που χρησιμοποιεί το λογισμικό,

σε εικόνες που έχουν ληφθεί με υψηλής ανάλυσης μηχανές. Σε μέτριας και χαμηλής ανάλυσης εικόνες αυξάνει τους χρόνους επεξεργασίας χωρίς κάποιο ουσιαστικό αποτέλεσμα. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται εδώ δεν είναι γνωστοί για προφανής εμπορικούς λόγους.

- **Adaptive camera model fitting:** Επιτρέπει στις παραμέτρους του εσωτερικού και του εξωτερικού προσανατολισμού να είναι προσαρμόσιμες και να βελτιώνεται η εκτίμησή τους. Για μπλοκ με καλή γεωμετρία βοηθά στο να εκτιμηθούν καλύτερα αυτές οι παράμετροι, ενώ για μπλοκ με κακή γεωμετρία βοηθά στο να διορθωθούν οι πολύ αποκλίνουσες τιμές στις παραμέτρους αυτές. Η επιλογή αυτή δεν βοηθά στην περίπτωση που δεν υπάρχουν πολλές ομοιογένειες ανάμεσα στις εικόνες.



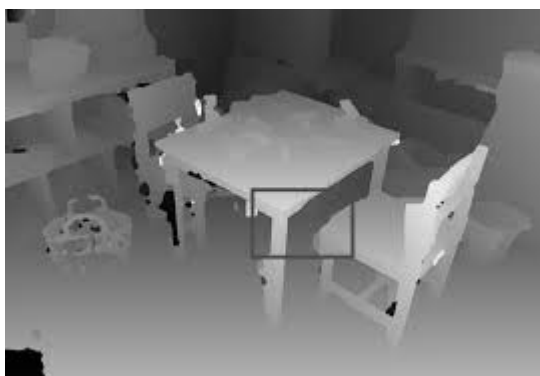
Εικόνα 13: Πάνελ παραμέτρων Align στο Metashape.



### 2.3.2 Δημιουργία πυκνού νέφους σημείων

Μετά τον υπολογισμό των παραμέτρων του εσωτερικού και του εξωτερικού προσανατολισμού το λογισμικό μπορεί πλέον να δημιουργήσει το πυκνό νέφος σημείων.

Η παραγωγή του πυκνού νέφους από το λογισμικό βασίζεται αρχικά στους χάρτες βάθους που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας αλγόριθμους παραγωγής χαρτών βάθους χωρίς να είναι γνωστοί οι αλγόριθμοι MVS που χρησιμοποιεί το λογισμικό. Για κάθε στερεοζεύγος παράγεται ένας χάρτης βάθους για κάθε εικόνα του ζεύγους χρησιμοποιώντας την γεωμετρία του εκάστοτε ζεύγους. Οι δύο χάρτες βάθους του ζεύγους συγχωνεύονται σε έναν συγχωνευμένο χάρτη βάθους κάθε ζεύγους και χρησιμοποιούν τις πληροφορίες που μπορούν να αντληθούν στις επικαλυπτόμενες περιοχές με σκοπό να φιλτράρουν τις μη σωστές μετρήσεις βάθους.



Εικόνα 14: Ένας Χάρτης Βάθους

Οι συγχωνευμένοι χάρτες βάθους που παράχθηκαν για κάθε ζεύγος μετασχηματίζονται σε ξεχωριστά πυκνά νέφη που έπειτα συγχωνεύονται για να παραγάγουν το τελικό πυκνό νέφος σημείων, με ένα επιπρόσθετο φίλτρο θορύβου να εφαρμόζεται στις επικαλυπτόμενες περιοχές. Τα χρώματα του νέφους λαμβάνονται από τις εικόνες. Οι συγχωνευμένοι χάρτες βάθους ουσιαστικά είναι νέφη που παράγονται από τα ζεύγη των χαρτών βάθους.

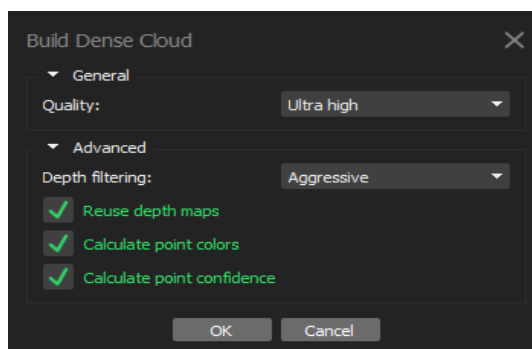
Κάθε σημείο στο τελικό νέφος αποθηκεύεται με μια τιμή εμπιστοσύνης η οποία χρησιμοποιείται για περαιτέρω φιλτράρισμα του νέφους από τον χρήστη, χρησιμοποιώντας τα εργαλεία του λογισμικού και θέτοντας μια τιμή εμπιστοσύνης ως αποδεκτό όριο.

Το λογισμικό τείνει να παράγει νέφη τα οποία είναι εξίσου πυκνά ή και πυκνότερα από τα νέφη σημείων προερχόμενα από συσκευές LIDAR. Το πυκνό νέφος μπορεί να υποστεί επεξεργασία εντός του λογισμικού και να χρησιμοποιηθεί ως βάση για τα υπόλοιπα βήματα της ροής εργασιών που προσφέρει το λογισμικό, ενώ μπορεί επίσης να εξαχθεί και να χρησιμοποιηθεί σε κάποιο άλλο λογισμικό κατά το δοκούν.

Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να προσαρμόσει το πώς το λογισμικό θα δομήσει το πυκνό νέφος αλλάζοντας κάποιες παραμέτρους, οι οποίες είναι:

- **Quality:** Εδώ καθορίζεται η ποιότητα των χαρτών βάθους και η παράμετρος παίρνει τιμές Lowest, Low, Medium, High, Ultra High. Η λογική είναι αντίστοιχη με τις επιλογές του Accuracy στο βήμα Align με την διαφορά ότι η επιλογή Ultra High αναφέρεται στην χρήση των εικόνων με το κανονικό τους μέγεθος και κάθε χαμηλότερη επιλογή υποβαθμίζει την εικόνα κατά 4 φορές σε σχέση με την προηγούμενη. Αντίστοιχα, με υψηλότερη τιμή στο Quality αποδίδεται καλύτερο αποτέλεσμα σε μεγαλύτερο επεξεργαστικό χρόνο.

- Depth Filtering:** Κύριος στόχος αυτής της επιλογής είναι να ορίσει σε τι βάθος θα ψάξει το λογισμικό για σημεία που θα βρίσκονται εκτός της επιφάνειας του αντικειμένου, τα λεγόμενα outliers τα οποία έχουν προκύψει από θολές εικόνες ή από θόρυβο στις εικόνες. Ο τελικός σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι να τα αφαιρέσει. Η παράμετρος αυτή παίρνει 4 τιμές.
  - **Disabled:** Όπως είναι προφανές επιλέγοντας την τιμή αυτή το λογισμικό δεν θα χρησιμοποιήσει καθόλου φίλτρα.
  - **Mild:** Εάν στην σκηνή υπάρχουν επιθυμητές λεπτομέρειες οι οποίες είναι χωρικά διάσπαρτες αλλά ταυτόχρονα είναι επιθυμητό να γίνει το φιλτράρισμα, τότε η επιλογή αυτή είναι η κατάλληλη καθώς τα κριτήρια φιλτραρίσματος είναι αρκετά ελαστικά.
  - **Aggressive:** Αυτή η επιλογή είναι το ακριβώς αντίθετο από την επιλογή Mild καθώς τα κριτήρια φιλτραρίσματος είναι πολύ αυστηρά και μικρές λεπτομέρειες στα αντικείμενα μπορεί να θεωρηθούν και αυτές outliers.
  - **Moderate:** Αποτελεί την μέση λύση ανάμεσα στο Mild και το Aggressive.
- Reuse Depth Maps:** Στην περίπτωση που έχουν ήδη κατασκευαστεί χάρτες βάθους και είναι επιθυμητή η αλλαγή των παραμέτρων του Dense Cloud, τότε αυτή η επιλογή θα αντικαταστήσει τους παλαιούς χάρτες βάθους με τους νέους.
- Calculate Point Colors:** Η επιλογή αυτή χρησιμοποιείται για να δώσει χρώμα στο νέφος. Σε περίπτωση που δεν ενδιαφέρει η ύπαρξη χρώματος μπορεί να απενεργοποιηθεί αυτή η επιλογή για την εξοικονόμηση χρόνου. Γενικά δεν κοστίζει περισσότερο από το 10% του χρόνου επεξεργασίας σύμφωνα με την εταιρία. Σε περίπτωση που κάποιος θέλει να κάνει δοκιμές και δεν τον ενδιαφέρει η ύπαρξη χρώματος σε αυτές τις δοκιμές, το λογισμικό δίνει την δυνατότητα να αποδοθεί χρώμα στο νέφος σε δεύτερο χρόνο, αφού έχει καταλήξει ο χρήστης στο σετ παραμέτρων που θα χρησιμοποιήσει.
- Calculate Point Confidence:** Επιλέγοντας αυτήν την επιλογή το λογισμικό υπολογίζει τιμές εμπιστοσύνης για κάθε σημείο με σκοπό, εάν το επιθυμεί ο χρήστης, να χρησιμοποιήσει αυτήν την πληροφορία για να επεξεργαστεί το νέφος σε δεύτερο χρόνο (π.χ. αφαίρεση σημείων με χαμηλό δείκτη εμπιστοσύνης). Αυτή η τιμή υπολογίζεται με βάση το πόσοι χάρτες βάθους δείχνουν ένα συγκεκριμένο σημείο.



Εικόνα 15: Πάνελ παραμέτρων Build Dense Cloud στο Metashape

## Κεφάλαιο 3: Περιγραφή των συνόλων δεδομένων (Datasets)

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μια περιγραφή των συνόλων δεδομένων (dataset) που χρησιμοποιήθηκαν για την διερεύνηση των παραμέτρων του Metashape. Δηλαδή ποιο είναι το αντικείμενο ενδιαφέροντος, το μέσο και ο τρόπος λήψης, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες κατά την λήψη των εικόνων και τους λόγους που το κάθε ένα από αυτά χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία.

### 3.1 Αρχαίος Ναός της Θεάς Δήμητρας στη Νάξο

Το σύνολο δεδομένων αυτό, έχει ως αντικείμενο ενδιαφέροντος τον ναό της Θεάς Δήμητρας στην Νάξο. Οι λήψεις έγιναν για μεταπτυχιακή εργασία (Στεφάνου, 2018) σε μορφή JPG. Το σύνολο των εικόνων που χρησιμοποιούνται είναι 36. Για την λήψη των εικόνων χρησιμοποιήθηκε η κάμερα Canon EOS 1Ds Mark III και φακός 24mm.



Εικόνα 16: Ο ναός της Θεάς Δήμητρας στην Νάξο (Εικόνα που αποτελεί μέρος του συνόλου δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε).

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μηχανής παρατίθενται στον πίνακα. 3.1

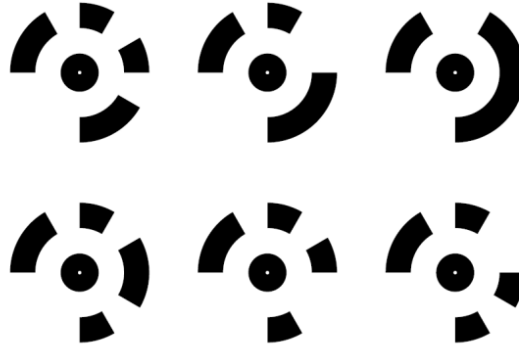
<b>Sensor</b>	
Max resolution	5616 x 3744
Other resolutions	4992 x 3328, 4080 x 2720, 2784 x 1856
Effective pixels	21 megapixels
Sensor photo detectors	22 megapixels
Sensor size	Full frame
Sensor type	CMOS
Pixel size	6.4 μm
<b>Image</b>	
ISO	100 - 1600 in 1/3 stops, plus 50, 3200 as option
Boosted ISO (minimum)	50
Boosted ISO (maximum)	3200
White balance presets	8
Custom white balance	Yes
Image stabilization	No
Uncompressed format	RAW
JPEG quality levels	Fine, Normal

Πίνακας 1: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Canon EOS 1Ds Mark III (Πηγή: <https://www.dpreview.com/>)

Κατά την λήψη των εικόνων ο φωτισμός ήταν καλός και δεν υπάρχουν εμφανείς διαφορές στον φωτισμό στις διαφορετικές λήψεις. Επίσης πάνω στο αντικείμενο

τοποθετήθηκαν ειδικοί στόχοι ως φωτοσταθερά, οι οποίοι αναγνωρίζονται αυτόματα από το Metashape, γεγονός που βοηθά το λογισμικό στον προσανατολισμό των εικόνων. Θεωρώντας ως δεδομένο ότι έχει προηγηθεί προγραμματισμός λήψης και οι λήψεις έγιναν προσεκτικά, το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων θεωρείται καλό για την εξέταση λήσεων εξωτερικού χώρου με αντικείμενο ενδιαφέροντος κάποιο μνημείο που αποτελεί πολύ συχνό αντικείμενο μελέτης.

Σε αυτό το σύνολο δεδομένων πραγματοποιήθηκε λεπτομερής διερεύνηση όλων των παραμέτρων του προσανατολισμού και της δημιουργίας αραιού νέφους.



Εικόνα 17: Κωδικοποιημένοι στόχοι για αυτόματο εντοπισμό από το λογισμικό.

### 3.2 Μινιατούρα Κουκουβάγια

Αντικείμενο ενδιαφέροντος αποτελεί μια διακοσμητική μινιατούρα που φωτογραφήθηκε σε περιστρεφόμενο φορείο με στατική την κάμερα από την υποψήφια διδάκτορα του Τομέα Τοπογραφίας της ΣΑΤΜ Γεωργία Κοντογιάννη για τις ανάγκες της διδακτορικής της διατριβής. Οι εικόνες παραχωρήθηκαν από την ίδια σε format JPG και ο αριθμός του είναι 36 εικόνες. Για την λήψη των εικόνων χρησιμοποιήθηκε η μηχανή Cannon EOS 6D και φακός 50mm.



Εικόνα 18: Εικόνα του αντικειμένου ενδιαφέροντος (Εικόνα που αποτελεί μέρος του συνόλου δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε)

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μηχανής παρατίθενται στον πίνακα 3.2.

Sensor	
Max resolution	5472 x 3648
Other resolutions	3648 x 2432, 2736 x 1824, 1920 x 1280, 720 x 480
Effective pixels	20 megapixels
Sensor photo detectors	21 megapixels
Sensor size	Full frame
Sensor type	CMOS
Pixel size	6.55 μm
Image	
ISO	Auto, 100 - 25600 in 1/3 stops, plus 50, 51200, 102400 as option
Boosted ISO (minimum)	50
Boosted ISO (maximum)	102400
White balance presets	6
Custom white balance	Yes
Image stabilization	No
Uncompressed format	RAW
JPEG quality levels	Fine, Normal

Πίνακας 2 :Τεχνικά Χαρακτηριστικά Canon EOS 6D (Πηγή: <https://www.dpreview.com/>)

Κατά την λήψη των εικόνων η μηχανή ήταν σταθερή και το αντικείμενο περιστρεφόταν πάνω σε ένα περιστρεφόμενο φορείο καλυμμένο με στόχους, γεγονός που αναμένεται να βοηθήσει το λογισμικό να συνταυτίσει τις εικόνες. Ο φωτισμός είναι ομοιόμορφα κατανομημένος σε όλη την σκηνή γεγονός που αναμένεται να βοηθήσει το λογισμικό να δώσει καλά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά στους χάρτες βάθους. Ο εντοπισμός των χαρακτηριστικών σημείων δεν επηρεάζεται σοβαρά από τον φωτισμό, θεωρώντας ως δεδομένο ότι χρησιμοποιείται ο SIFT ή μια παραλλαγή του. Το εν λόγω σύνολο δεδομένων έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την διερεύνηση της συμπεριφοράς των παραμέτρων σε στατικό υπόβαθρο και περιστρεφόμενο αντικείμενο. Επομένως η διερεύνηση σε αυτό το σύνολο δεδομένων επικεντρώνεται στις παραμέτρους που είναι σχεδιασμένες για τέτοιου τύπου σύνολα δεδομένων.



### 3.3 Ιδιοκτησία στο Μαρμάρι Ευβοίας

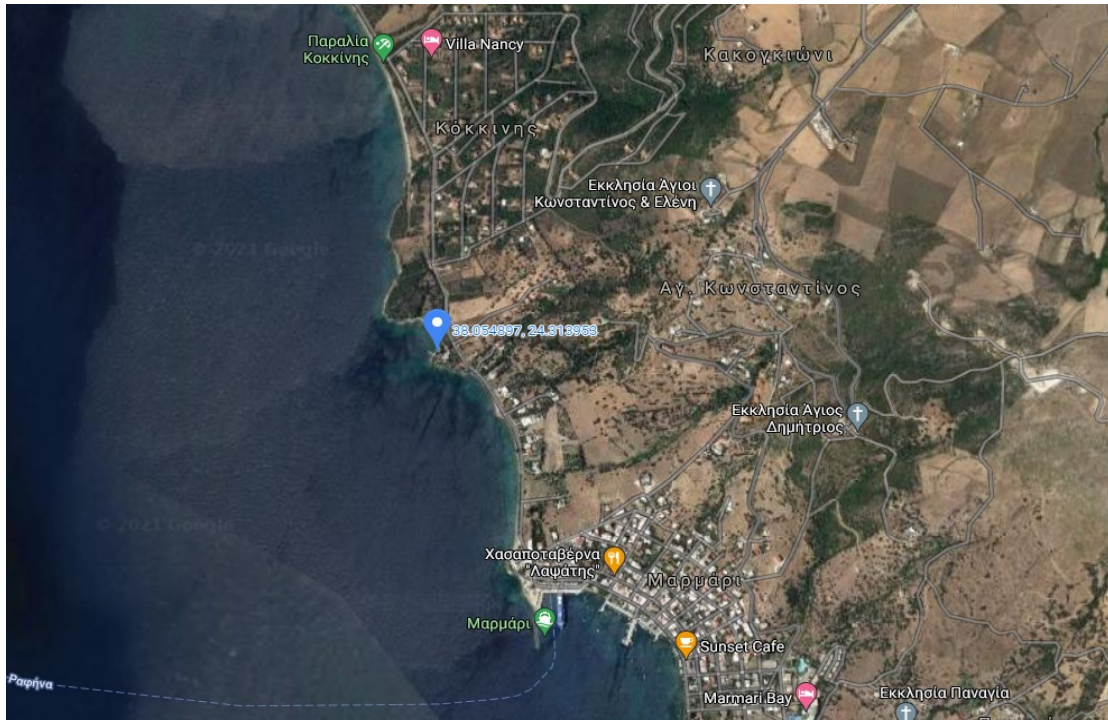
Αντικείμενο ενδιαφέροντος σε αυτό το σύνολο δεδομένων αποτελεί μια έκταση περίπου 11 στρεμμάτων η οποία φωτογραφήθηκε με drone από τον ΑΤΜ Δημήτριο Μεγρέμη με σκοπό την παραγωγή ορθοφωτοχάρτη ο οποίος θα πλαισιώνει το τοπογραφικό διάγραμμα που εκπονήθηκε σε προηγούμενο χρόνο, για τις ανάγκες μιας αρχιτεκτονικής μελέτης. Οι εικόνες παραχωρήθηκαν από τον ίδιο σε format JPG και είναι 76 σε σύνολο. Το drone που χρησιμοποιήθηκε είναι το Wingtra One το οποίο φέρει την μηχανή Sony RX1R II με φακό 35mm.



Εικόνα 19 : Δείγμα από το σύνολο δεδομένων (Μαρμάρι).



Εικόνα 20: Περιοχή ενδιαφέροντος (Μαρμάρι).



Εικόνα 21 : Θέση της ιδιοκτησίας (Πηγή: Google Maps).



Εικόνα 22: Το WingtraOne (Πηγή: Google Images).



## Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Wingtra One και της μηχανής του.

Μοντέλο	Wingtra one
Τύπος	Κατακόρυφης προσγείωσης και απογείωσης (VTOL)
Βάρος με μπαταρίες	4.5 kg
Μέγιστη Ταχύτητα	16 m/s
Αντοχή στον άνεμο	Έως 8 m/s άνεμοι εδάφους (αντιστοιχεί σε περίπου 10 m/s στο μέσο ύψος πτήσης)
Αυτονομία πτήσης	Έως 1 ώρα, εξαρτάται από τις συνθήκες και τις ρυθμίσεις πτήσης
Ενδειγμένη Θερμοκρασία	-10°C έως +40 °C
Καιρικές Συνθήκες	Δεν συστήνεται να πετάει σε ομίχλη, βροχή και χιονόπτωση
Ενσωματωμένο GNSS	Ναι (GNSS PPK δέκτης)
Ακρίβεια αυτό-προσγείωσης	<5 m

Πίνακας 3: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Wingtra one (Πηγή: <https://wingtra.com/>)

Sensor	
Max resolution	7952 x 5304
Effective pixels	42 megapixels
Sensor photo detectors	44 megapixels
Sensor size	Full frame
Sensor type	BSI-CMOS
Pixel size	4.5 μm
Image	
ISO	Auto, 100-25600, expandable to 50-102400
Boosted ISO (minimum)	50
Boosted ISO (maximum)	102400
White balance presets	9
Custom white balance	Yes (with fine-tuning)
Image stabilization	No
Uncompressed format	RAW
JPEG quality levels	Extra fine, fine, standard

Πίνακας 4 : Τεχνικά Χαρακτηριστικά Sony RX1R II (Πηγή: <https://www.dpreview.com/>)

Κατά την λήψη των εικόνων από το drone οι καιρικές συνθήκες ήταν ιδανικές χωρίς ισχυρούς ανέμους. Το συγκεκριμένο drone ακολουθεί την μορφολογία του αναγλύφου για να διατηρεί σταθερό το ύψος πτήσης. Λαμβάνοντας υπόψη και την πολύ καλή κάμερα που έχει το drone θεωρείται ότι οι λήψεις είναι καλές. Επίσης οι εικόνες είχαν ικανοποιητική επικάλυψη μεταξύ τους (>60%).

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης δουλειάς, τοποθετήθηκαν και μετρήθηκαν φωτοσταθερά για τον έλεγχο της ακρίβειας γεωαναφοράς των εικόνων από το GNSS Rover receiver που ενσωματώνεται στο drone. Το Rover του drone έπαιρνε δεδομένα από ένα GNSS Base (μοντέλο GR5 της Topcon) που είχε τοποθετηθεί στο έδαφος, σε πολυγωνομετρικό σημείο που είχε χρησιμοποιηθεί για τις επίγειες μετρήσεις που διενεργήθηκαν μερικές ημέρες πριν.

Κατά την επεξεργασία που έγινε στο πλαίσιο της παρούσης εργασίας δεν χρησιμοποιήθηκε η γεωαναφορά των εικόνων καθώς η τοποθέτηση σε γνωστό σύστημα αναφοράς των νεφών δεν ενδιαφέρει στην παρούσα φάση. Η χρήση του συγκεκριμένου συνόλου δεδομένων για τα πειράματα γίνεται για να εξεταστεί ένα σύνολο δεδομένων που προέρχεται από λήψεις αέρος. Ταυτόχρονα το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων χρησιμοποιείται για στατιστικούς λόγους ώστε να βγουν κάποια πιο ασφαλή συμπεράσματα, καθώς αποτελεί ένα μέσου μεγέθους σύνολο δεδομένων από μια πραγματική εφαρμογή της καθημερινής τριβής του τοπογράφου μηχανικού.



## Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία – Πειραματική Διαδικασία

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται όλες οι επεξεργασίες που έγιναν στο Agisoft Metashape. Αυτές και τα αποτελέσματά τους σχολιάζονται και αιτιολογούνται με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο. Εφόσον η ποιότητα του Dense Cloud εξαρτάται αρκετά από την ποιότητα του Alignment και την ακρίβεια προσδιορισμού του εσωτερικού προσανατολισμού της μηχανής, η πειραματική διαδικασία θα εστιαστεί στην εύρεση των καλύτερων παραμέτρων για την εκτέλεση του Align και στην συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν αυτές για την μετάβαση στην παραγωγή του πυκνού νέφους.

Σε ό,τι αφορά στα πειράματα στο βήμα του Align χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τιμές παραμέτρων:

- Accuracy: Low έως High, η επιλογή Highest δημιουργεί πληροφορία που δεν υπάρχει επομένως θεωρείται ότι δεν αφορά στον Τοπογράφο Μηχανικό που θέλει να έχει τον έλεγχο των αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα, είναι γνωστό ότι η ποιότητα των αποτελεσμάτων δεν μπορεί να είναι καλύτερη από την ποιότητα των πρωτογενών δεδομένων που συλλέγονται. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο (2) η επιλογή αυτή πολλαπλασιάζει την ανάλυση των εικόνων χρησιμοποιώντας πληροφορία από την πρωτογενή εικόνα δημιουργώντας ουσιαστικά νέα pixel που δεν προέρχονται απευθείας από την σκηνή, αλλά από μια μαθηματική διαδικασία που “γεννάει” πληροφορία η οποία αποτελεί συγχώνευση της ήδη υπάρχουσας πληροφορίας. Πρόκειται για επιλογή που κυρίως αναφέρεται σε δημιουργούς περιεχομένου που η μετρική πληροφορία ή η πιστή απεικόνιση δεν είναι απαραίτητη. Η επιλογή Lowest συνήθως χρησιμοποιείται για να υπάρχει μια αρχική εικόνα για το αποτέλεσμα και να γίνει μια αρχική εκτίμηση των παραμέτρων του εσωτερικού προσανατολισμού σε πολύ μικρό χρόνο επεξεργασίας. Στις περιπτώσεις που απασχολούν την παρούσα διπλωματική εργασία αυτά δεν ενδιαφέρουν καθώς ο αριθμός των εικόνων είναι πολύ μικρός για τις ανάγκες των πειραμάτων.
- Tie Point Limit: 40.000 και 100.000 και Key Point Limit: 4.000 και 10.000 έχοντας γίνει αρχικά διερεύνηση των υπόλοιπων καλύτερων παραμέτρων.
- Apply Masks To (Όταν έχει γίνει χρήση масκών): Key Points για να επιταχυνθεί η επεξεργασία και να αποφευχθούν τυχόν κακές ομολογίες από παρασκηνακές κινήσεις και θόρυβο.

Σε ό,τι αφορά στο βήμα του Build Dense Cloud έγιναν πειράματα με όλες τις διαθέσιμες τιμές χρησιμοποιώντας ως βάση τα καλύτερα αραιά νέφη που προέκυψαν από τα πειράματα στο βήμα του Align.

## 4.1 Υπολογιστικό Σύστημα

Για να υπάρχει σημείο αναφοράς στους χρόνους, παρατίθενται οι προδιαγραφές του υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε για την περαίωση της εργασίας αυτής (Πίνακας 4.1)

Tower Case	Fractal Design Define R5 White
Power Supply	Corsair TX-M Series TX750M
Motherboard	MSI X470 Gaming Pro Max
Central Processing Unit (CPU)	AMD Ryzen 7 3800X
Graphics Processing Unit (GPU)	MSI GeForce RTX 2060 Super 8GB Gaming X
Random Access Memory (RAM)	G.Skill Trident Z RGB 32GB DDR4-3200MHz (2x16gb)
Solid State Drive 1 (SSD)	M.2 Silicon Power 256gb
Solid State Drive 2 (SSD)	Kingston 480gb
CPU Cooler	CoolerMaster MasterAir MA620P
OS	Windows 10 Professional
Monitor	AOC 27v2q 27"

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα.

Πρόκειται για μεσαίας κατηγορίας σύστημα που κρίνεται αρκετό για τις ανάγκες τις εργασίας. Την περίοδο σύνταξης της παρούσας εργασίας για την σύνθεση του παραπάνω συστήματος κάποιος θα πληρώσει περίπου 1.500-1.700 ευρώ.

Πιο γενικά, σε ό,τι αφορά στις μέγιστες δυνατότητες ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων και μέγεθος των συνόλων δεδομένων τα χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων είναι το μέγεθος της μνήμης RAM και η κάρτα γραφικών. Σε ό,τι αφορά στον χρόνο επεξεργασίας ο επεξεργαστής παίζει πρωταρχικό ρόλο, με τους πολυπύρηνους να έχουν το προβάδισμα καθώς το λογισμικό Agisoft Metashape έχει σχεδιαστεί για να εκμεταλλεύεται τους διαθέσιμους πυρήνες. Επομένως οι επεξεργαστές της AMD στην παρούσα φάση είναι οι πιο ενδεδειγμένοι για την σύνθεση workstation για τέτοιες εργασίες σε αυτό το λογισμικό, σε σύγκριση με τους επεξεργαστές της Intel. Ο αριθμός των πυρήνων είναι το κύριο χαρακτηριστικό στο οποίο οι δύο εταιρίες διαφέρουν. Πιο συγκεκριμένα η Intel προσφέρει επεξεργαστές με λιγότερους αλλά πιο ισχυρούς πυρήνες και η AMD προσφέρει επεξεργαστές με πολλαπλάσιους πυρήνες αλλά χαμηλότερων συχνοτήτων. Το να γνωρίζει κάποιος με ποιόν τρόπο εκμεταλλεύεται το εκάστοτε λογισμικό τις δυνατότητες του επεξεργαστή μπορεί να μεγιστοποιήσει την απόδοση του κεφαλαίου που θα διαθέσει για την σύνθεση ενός υπολογιστή που προορίζεται για την συγκεκριμένη χρήση.

Σε ό,τι αφορά στις κάρτες γραφικών, κάποια λογισμικά απαιτούν συγκεκριμένα toolbox που υποστηρίζονται από κάρτες γραφικών συγκεκριμένων εταιριών, επομένως η έρευνα για το ποιας εταιρίας κάρτα γραφικών πρέπει ένας χρήστης να αγοράσει καθώς και η αναζήτηση benchmarks για την απόδοση των μοντέλων σε συγκεκριμένα λογισμικά, είναι αναγκαία για την κατάλληλη επιλογή. Το Agisoft Metashape δεν απαιτεί την χρήση καρτών γραφικών συγκεκριμένης εταιρίας, αλλά τα benchmarks δίνουν ξεκάθαρο προβάδισμα στους επεξεργαστές της NVIDIA έναντι των AMD, στην παρούσα φάση.

## 4.2 Σύνολο Δεδομένων 1 (Αρχαίος Ναός της Θεάς Δήμητρας)

### 4.2.1 Alignment

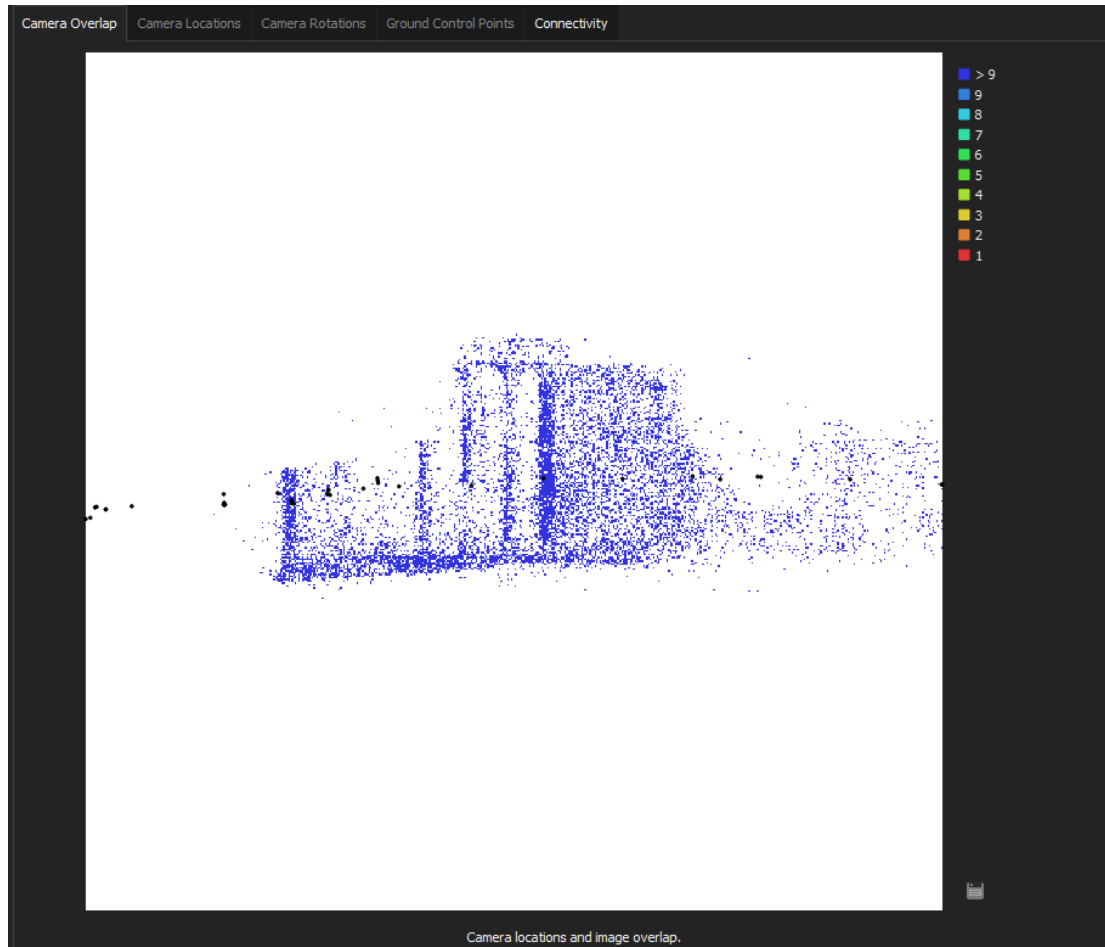
Αμέσως μετά την εισαγωγή των εικόνων πραγματοποιήθηκε διερεύνηση των παραμέτρων χωρίς την χρήση των στόχων. Δηλαδή χωρίς καμία παρέμβαση πάνω στις εικόνες εκτός των масκών. Οι μάσκες χρησιμοποιήθηκαν για την επιτάχυνση των διεργασιών και να μην επηρεαστεί το αντικείμενο ενδιαφέροντος από το παρασκηνακό περιβάλλον. Για να βοηθηθεί η διαδικασία αξιολόγησης ορίζεται ένα επίπεδο αναφοράς και με την βοήθεια ενός αλγορίθμου που έχει πολλά κοινά με τον RANSAC, απομονώνεται το επίπεδο και αξιολογείται ο γύρω από αυτό θόρυβος και η πυκνότητα των σημείων πάνω σε αυτό με μια κοινή τιμή Threshold για όλες τις δοκιμές. Ο ορισμός ενός επιπέδου αναφοράς πάνω στον βασικό όγκο του αντικειμένου και η δυνατότητα απομόνωσής του αποτελεί αξιόπιστο τρόπο αξιολόγησης της επεξεργασίας. Αυτό γιατί όσο περισσότερα σημεία ορίζουν μια επιφάνεια πάνω στο αντικείμενο ενδιαφέροντος τόσο πιο λεπτομερής είναι η απόδοση της επιφάνειας αυτής και αποτελεί ένα δείγμα για το πόσο λεπτομερής είναι και η απόδοση ολοκληρου του αντικειμένου.

#### Δοκιμή 1

The image shows the 'Align Photos' dialog box on the left and its 'Alignment Report' on the right. The dialog box has two sections: 'General' and 'Advanced'. In the 'General' section, 'Accuracy' is set to 'Low', 'Reference preselection' is 'Estimated', and 'Reset current alignment' is unchecked. In the 'Advanced' section, 'Key point limit' is 40,000, 'Tie point limit' is 4,000, 'Apply masks to' is 'Key points', and 'Exclude stationary tie points', 'Guided image matching', and 'Adaptive camera model fitting' are all unchecked. The 'Alignment Report' table on the right lists various properties and their values.

Property	Value
<b>Tie Points</b>	
Points	12,131 of 14,118
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	3.23842
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	Low
Generic preselection	No
Reference preselection	Estimated
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Exclude stationary tie points	No
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	10 seconds
Matching memory usage	139.70 MB
Alignment time	5 seconds
Alignment memory usage	1.51 MB
Software version	1.7.1.11797
File size	1.36 MB

Εικόνα 23: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report του λογισμικού (Δοκιμή 1).



Εικόνα 24: Camera Overlap

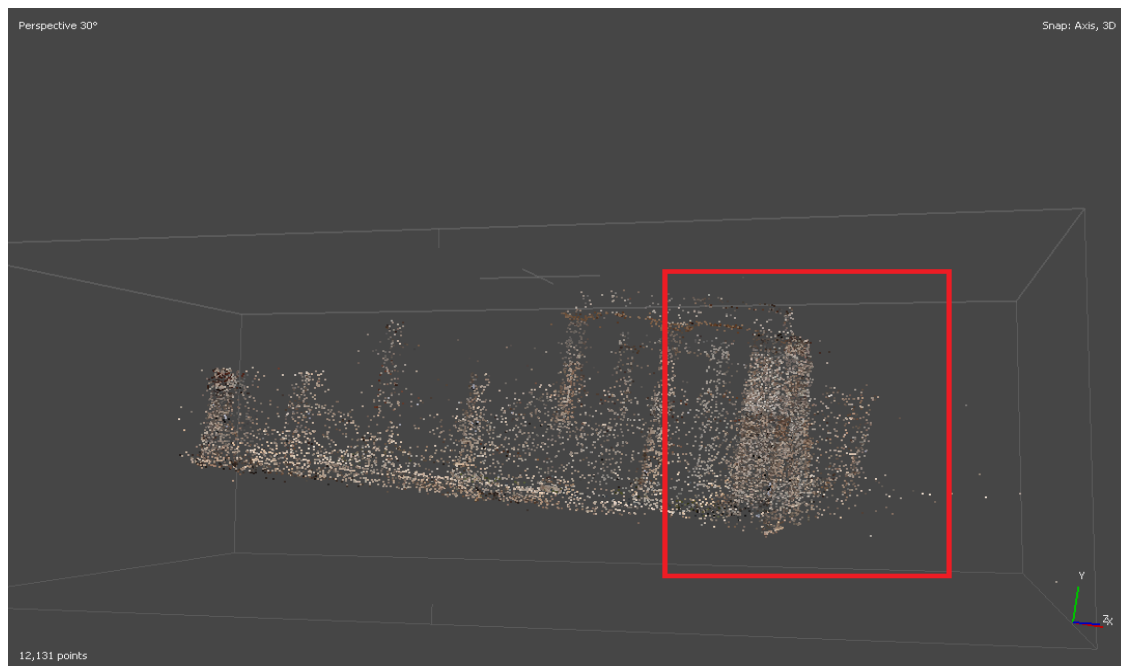
Μια πρώτη ανάγνωση που μπορεί να γίνει χωρίς να εξεταστεί η εικόνα του νέφους, είναι ότι το 14.1% των αρχικών αντιστοιχίσεων θεωρήθηκε εσφαλμένη αντιστοιχίση από τον RANSAC. Οι χρόνοι επεξεργασίας είναι ελάχιστοι και το παραγόμενο νέφος καταλαμβάνει ελάχιστο όγκο στην μνήμη. Επίσης από την εικόνα 24 φαίνεται ότι σχεδόν όλος ο όγκος του αντικειμένου ενδιαφέροντος καλύπτεται από 8 και πάνω εικόνες, επομένως η γεωμετρία της σκηνης είναι καλή. Τώρα που έχει γίνει αρχική εκτίμηση των παραμέτρων του εσωτερικού προσανατολισμού θα εκτελεστεί άλλη μια φορά με τις ίδιες ακριβώς ρυθμίσεις για να διερευνηθεί κατά πόσο αυτή η αρχική εκτίμηση μπορεί να βελτιώσει το αποτέλεσμα.

Η μόνη διαφορά θα είναι στο Reference Preselection που θα πάρει την τιμή estimated, και θα επιλεγθεί το Reset Current Alignment.

Property	Value
<b>Tie Points</b>	
Points	12,131 of 14,118
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	3.23842
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	Low
Generic preselection	No
Reference preselection	Estimated
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Exclude stationary tie points	No
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	10 seconds
Matching memory usage	150.00 MB
Alignment time	5 seconds
Alignment memory usage	2.34 MB
Software version	1.7.1.11797
File size	1.36 MB

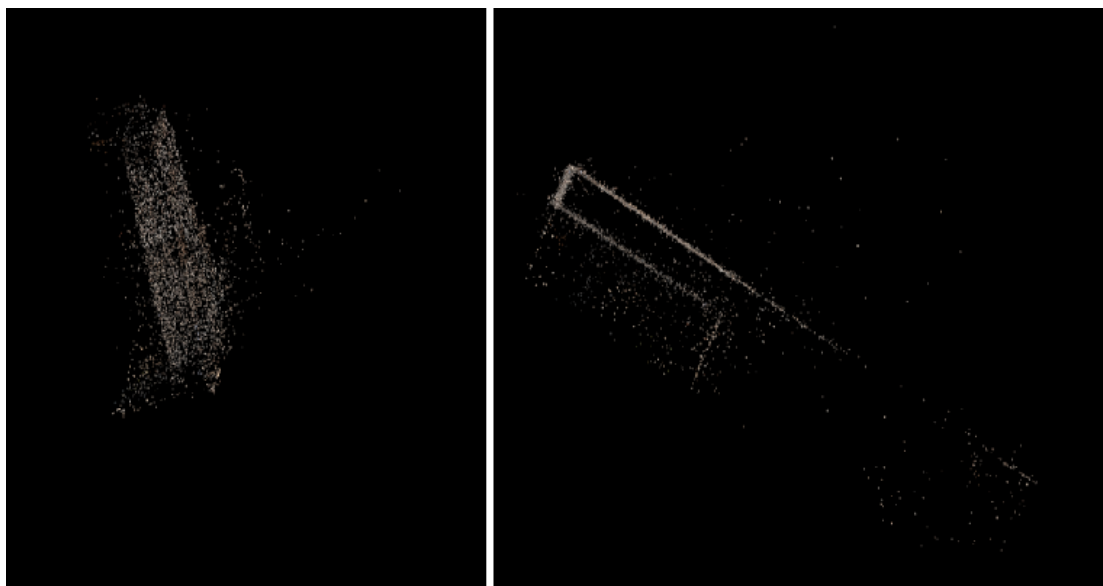
Εικόνα 25: Alignment Report μετά την επανάληψη του Align με τις ίδιες παραμέτρους (Δοκιμή 1)

Όπως φαίνεται εκ του αποτελέσματος, ούτε ο χρόνος μειώθηκε ούτε το αποτέλεσμα άλλαξε και δεσμεύτηκε παραπάνω μνήμη RAM κατά την επεξεργασία. Φυσικά σε τόσο μικρούς χρόνους ακόμα και να είχε βελτιωθεί ο χρόνος έστω και λίγο δεν θα μπορούσε να είναι φανερό. Το νέφος που παρήχθη φαίνεται στην Εικόνα 26.



Εικόνα 26: Αραιό Νέφος Σημείων με τις παραμέτρους της πρώτης δοκιμής.

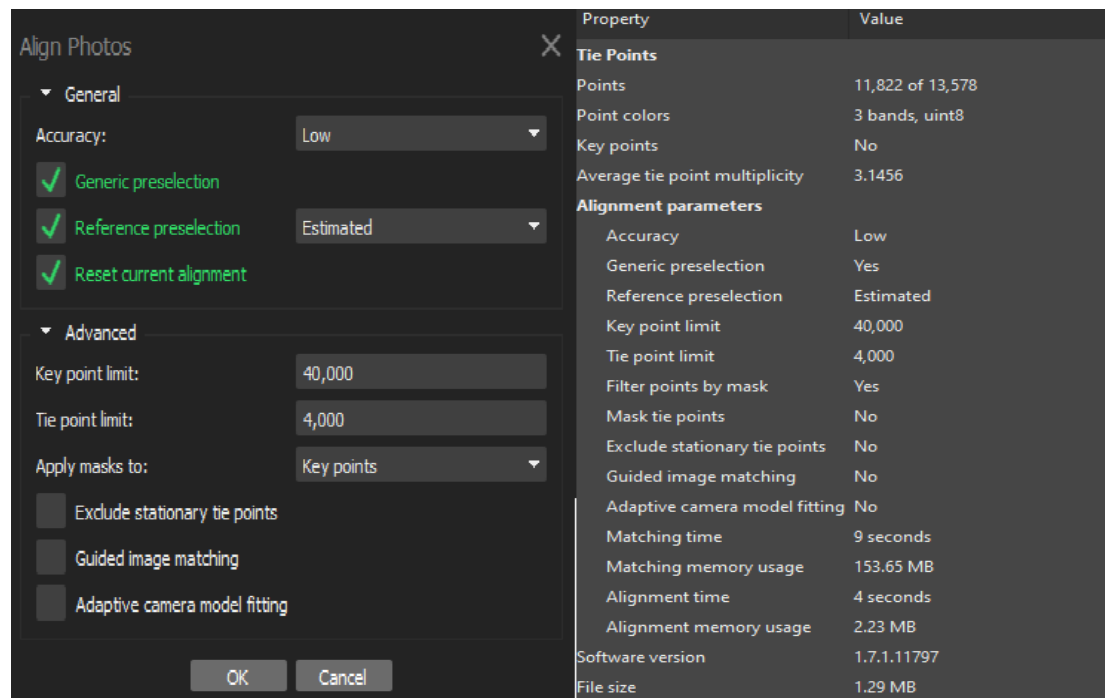
Για να μπορεί να γίνει μια σύγκριση των αποτελεσμάτων ανάμεσα στις εικόνες των διαφόρων δοκιμών επιλέγεται ένα επίπεδο πάνω στο αντικείμενο (κόκκινο τετράγωνο Εικόνα 26) για τις συγκρίσεις αυτές.



Εικόνα 27: Επίπεδο αναφοράς των συγκρίσεων (Κόκκινο τετράγωνο στην εικόνα 4.3).

## Δοκιμή 2

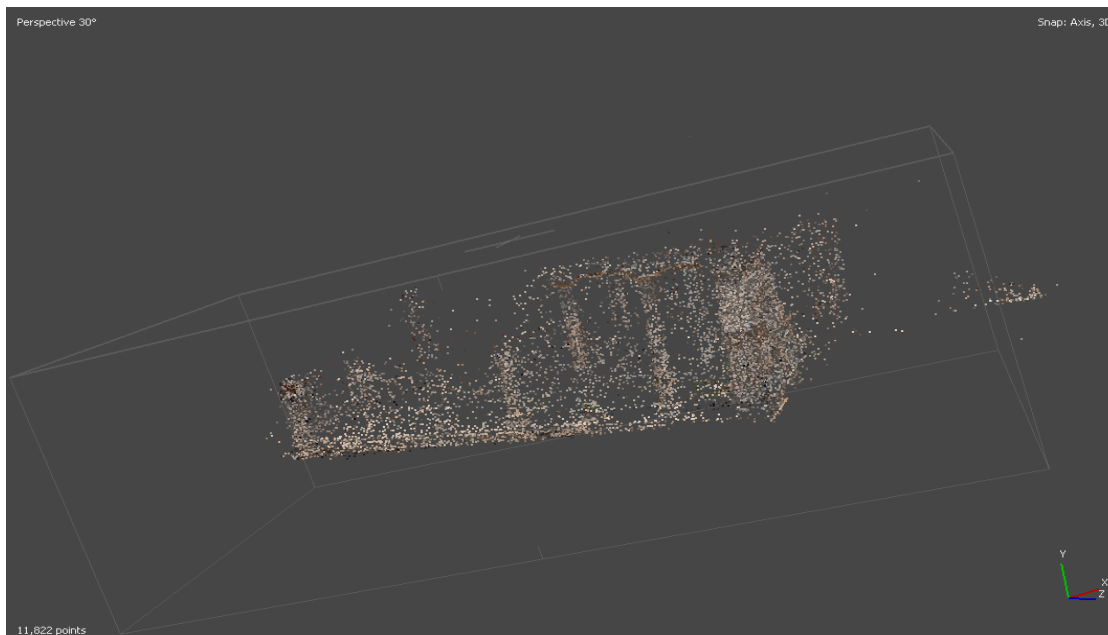
Σε αυτήν την δοκιμή θα προστεθεί η επιλογή του Generic Preselection στα προηγούμενα.



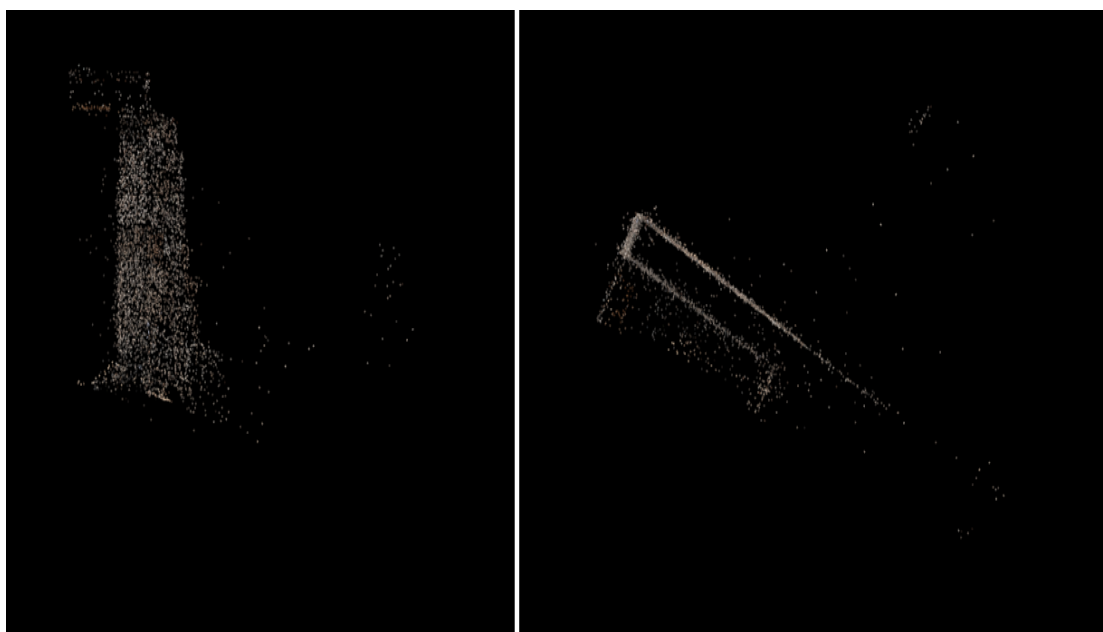
Εικόνα 28: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report της δεύτερης δοκιμής(Δοκιμή 2).

Αρχικά, έχει γίνει εντοπισμός λιγότερων αντιστοιχίσεων με την χρήση του Generic Preselection. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς πριν ξεκινήσει την συνταύτιση ο αλγόριθμος έχει ήδη επιλέξει με τον τρόπο που αναφέρεται στο κεφάλαιο 2 ποιες εικόνες θα προσπαθήσει να

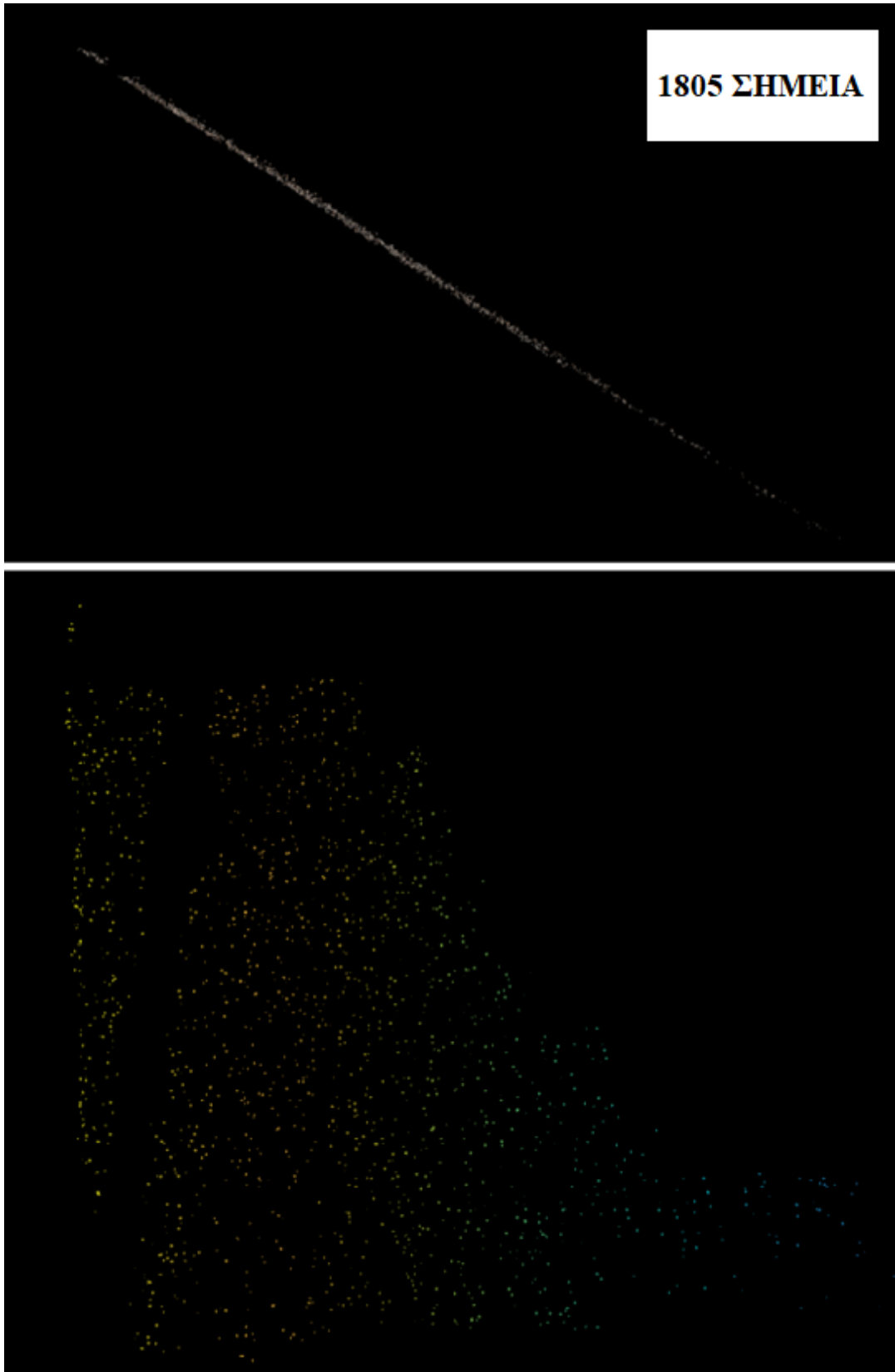
συντατίσει, με αποτέλεσμα πιθανές ομολογίες (σωστές και μη) ανάμεσα σε απομακρυσμένες εικόνες να χάνονται. Το γεγονός ότι το 12.9% του συνόλου των αντιστοιχίσεων απορρίφθηκε δείχνει ότι συγκριτικά με την Δοκιμή 1 η συγκεκριμένη επιλογή έδωσε καλύτερα αποτελέσματα. Επίσης παρατηρείται μείωση του συνολικού χρόνου κατά 13% με μεγαλύτερη δέσμευση των πόρων του υπολογιστή κατά 84%, το οποίο να σημειωθεί ότι και στην μια και στην άλλη περίπτωση είναι ελάχιστο μπροστά στην προσωρινή μνήμη (RAM) του συγκεκριμένου υπολογιστή και γενικότερα του μέσου μη επαγγελματικού υπολογιστικού συστήματος. Συμπερασματικά το Generic Preselection θα επιλεγθεί σε όλες τις επόμενες δοκιμές καθώς θεωρείται ότι βοηθά σημαντικά στην απόδοση του λογισμικού τόσο ποιοτικά όσο και χρονικά.



Εικόνα 29: Αραιό Νέφος Σημείων με τις παραμέτρους της δεύτερης δοκιμής

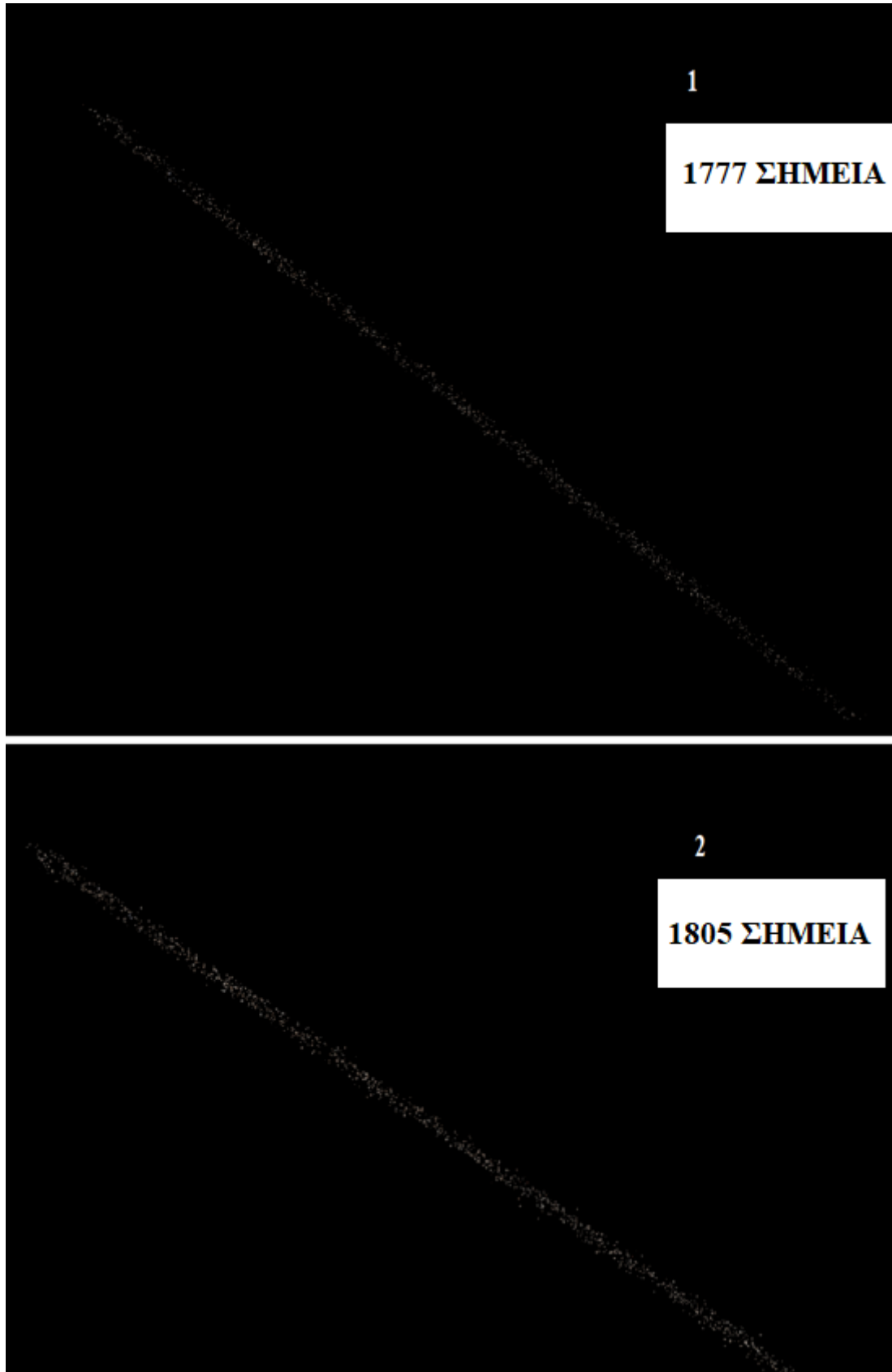


Εικόνα 30: Επίπεδο αναφοράς των συγκρίσεων προ απομόνωσης (Δοκιμή 2)

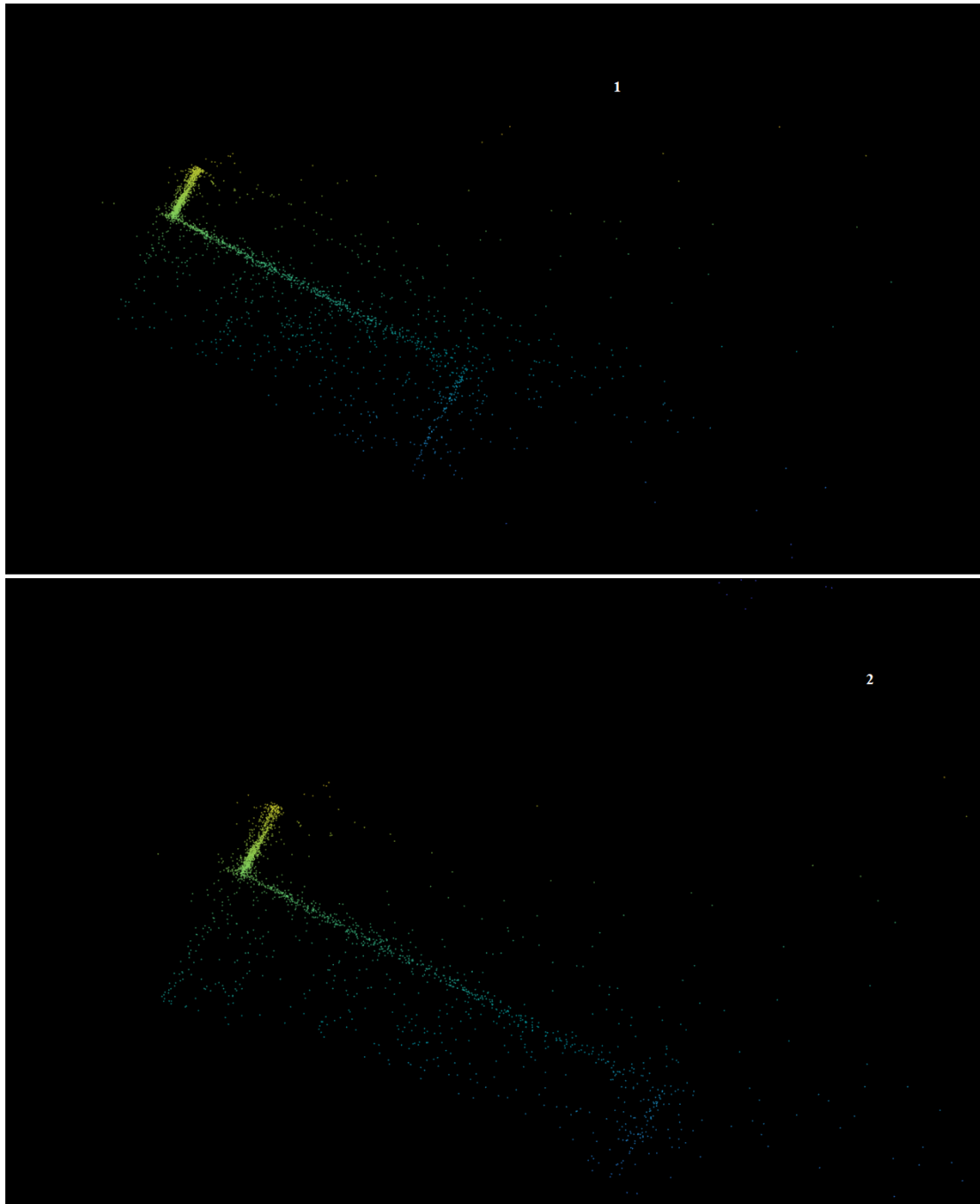


Εικόνα 31: Απομονωμένο επίπεδο αναφοράς, πάνω εικόνα σε κάτοψη κάτω σε όψη (Δοκιμή 2)





Εικόνα 32: Σύγκριση απομονωμένου επιπέδου στο Matlab ( Το πάνω νέφος είναι η δοκιμή 1 και το κάτω η δοκιμή 2).



*Εικόνα 33: Το νέφος σημείων χωρίς τα σημεία που εντοπίστηκαν ως μέρος του επιπέδου. Πάνω εικόνα δοκιμή 1 κάτω εικόνα δοκιμή 2.*

Είναι φανερό ότι το Generic Preselection δίνει καλύτερα αποτελέσματα, καθώς φαίνεται (Εικόνα 33) ότι μετά τον εντοπισμό και την αφαίρεση του επιπέδου, το νέφος που έμεινε είναι λιγότερο θορυβώδες στην περιοχή του επιπέδου σε σχέση με την πρώτη δοκιμή.

### Δοκιμή 3

Θα προστεθεί η επιλογή Exclude Stationary Tie Points στα προηγούμενα για να γίνει διερεύνηση εάν όντως απορριφθούν σημεία που προέρχονται από τα μη γραμμικά φαινόμενα όπως υποστηρίζουν οι δημιουργοί του λογισμικού.

Property	Value
<b>Tie Points</b>	
Points	11,813 of 13,567
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	3.14638
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	Low
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Estimated
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	9 seconds
Matching memory usage	140.17 MB
Alignment time	4 seconds
Alignment memory usage	6.48 MB
Software version	1.7.1.11797
File size	1.29 MB

Εικόνα 34: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report της δοκιμής 3.

Παρατηρείται μια πολύ μικρή μείωση των αντιστοιχίσεων πράγμα που αποδεικνύει ότι όντως η επιλογή του Exclude Stationary Tie Points έχει κάποια χρησιμότητα και πέρα από τις περιπτώσεις που το αντικείμενο ενδιαφέροντος περιστρέφεται. Οι χρόνοι δεν μεταβλήθηκαν αλλά η δέσμευση RAM σχεδόν τριπλασιάστηκε. Φυσικά οι ποσότητες είναι πολύ μικρές για να είναι αξιοσημείωτες καθώς οι εικόνες είναι πολύ λίγες και η τιμή του Accuracy πολύ χαμηλή.

Η οπτική σύγκριση δεν έχει νόημα, οι διαφορές είναι αμελητέες.

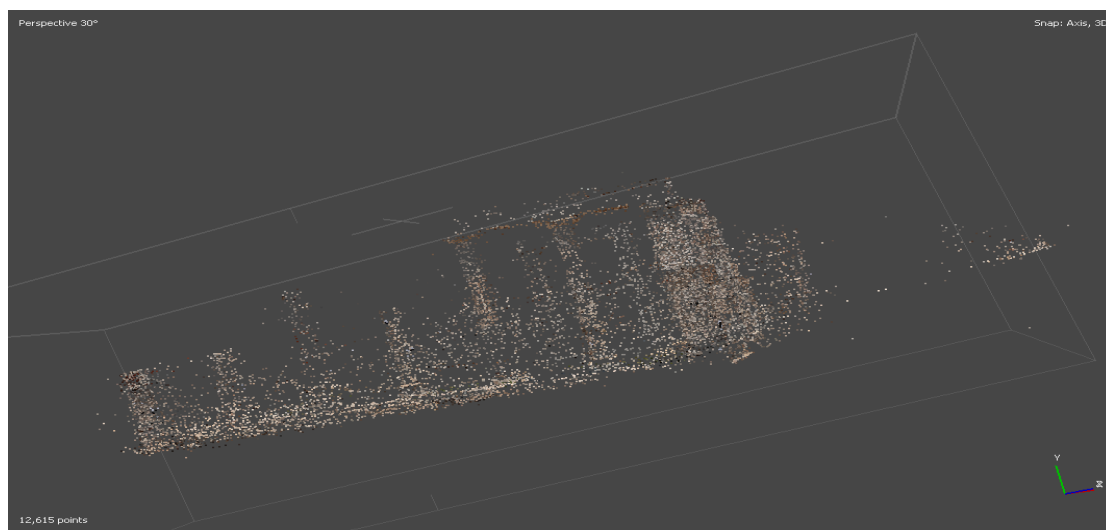
#### Δοκιμή 4

Στα προηγούμενα προστίθεται η επιλογή Guided Image Matching και, εφόσον οι εικόνες έχουν ληφθεί με καλή μηχανή, αναμένεται να αυξηθούν οι ομολογίες σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2.

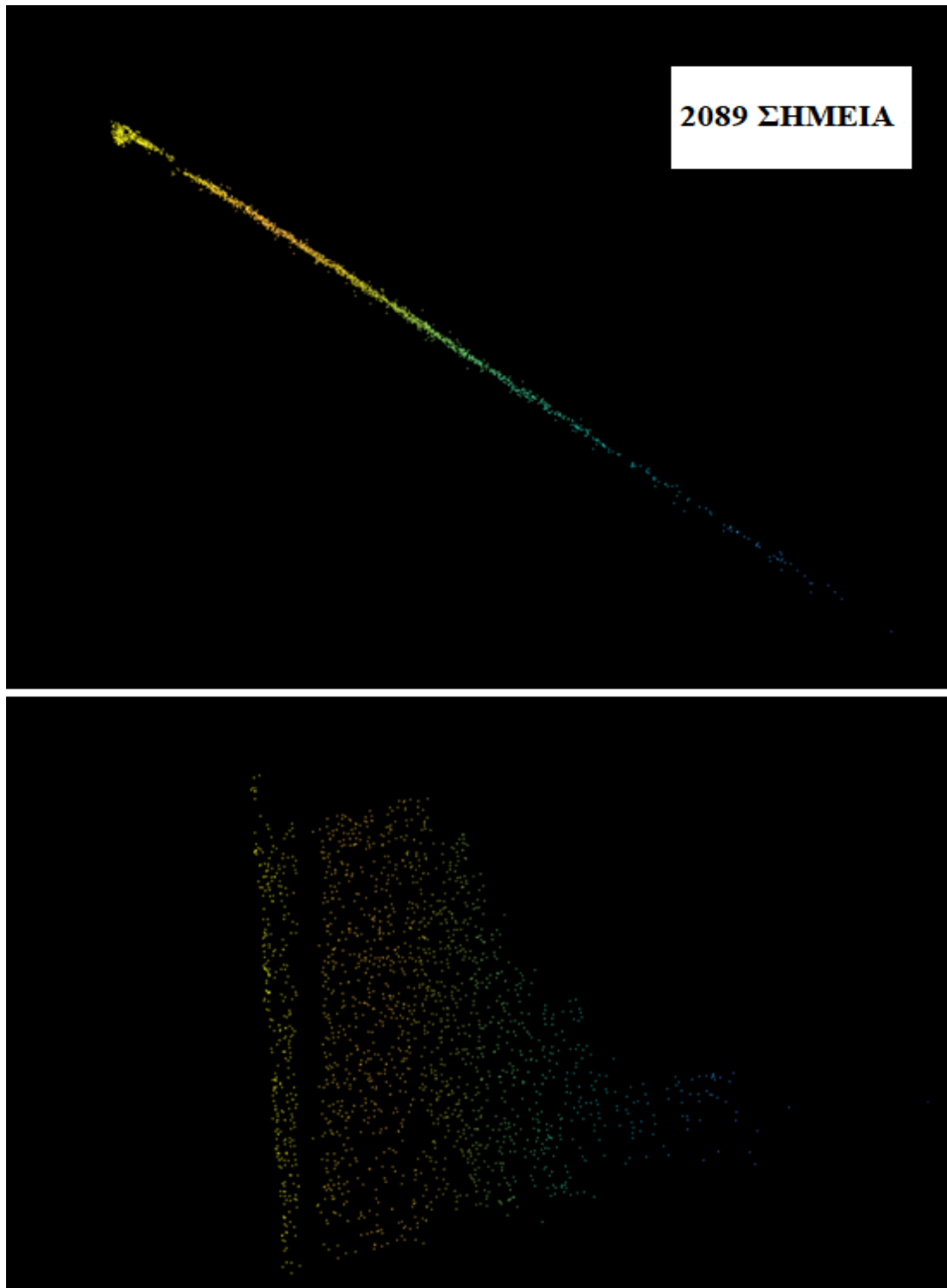
Property	Value
<b>Tie Points</b>	
Points	12,615 of 14,429
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	3.1034
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	Low
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Estimated
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	Yes
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	10 seconds
Matching memory usage	136.96 MB
Alignment time	5 seconds
Alignment memory usage	1.78 MB
Software version	1.7.1.11797
File size	1.35 MB

Εικόνα 35: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 4).

Παρατηρείται αύξηση του συνολικού αριθμού ομολογιών κατά 6.35% καθώς και αύξηση των συνολικών αποδεκτών ομολογιών που αποτελούν το 87.4% των συνολικών. Για να βγουν ασφαλή συμπεράσματα θα πρέπει να γίνει και έλεγχος με Alignment στο High Accuracy στην συγκεκριμένη παράμετρο καθώς δεν διευκρινίζεται από τους προγραμματιστές του λογισμικού, εάν χρησιμοποιεί τις αρχικές πλήρεις διαστάσεις των εικόνων ή τις υποβαθμισμένες στην περίπτωση που η τιμή του Accuracy είναι κάτω από High.



Εικόνα 36: Αραιό Νέφος Σημείων με τις παραμέτρους της τέταρτης δοκιμής.

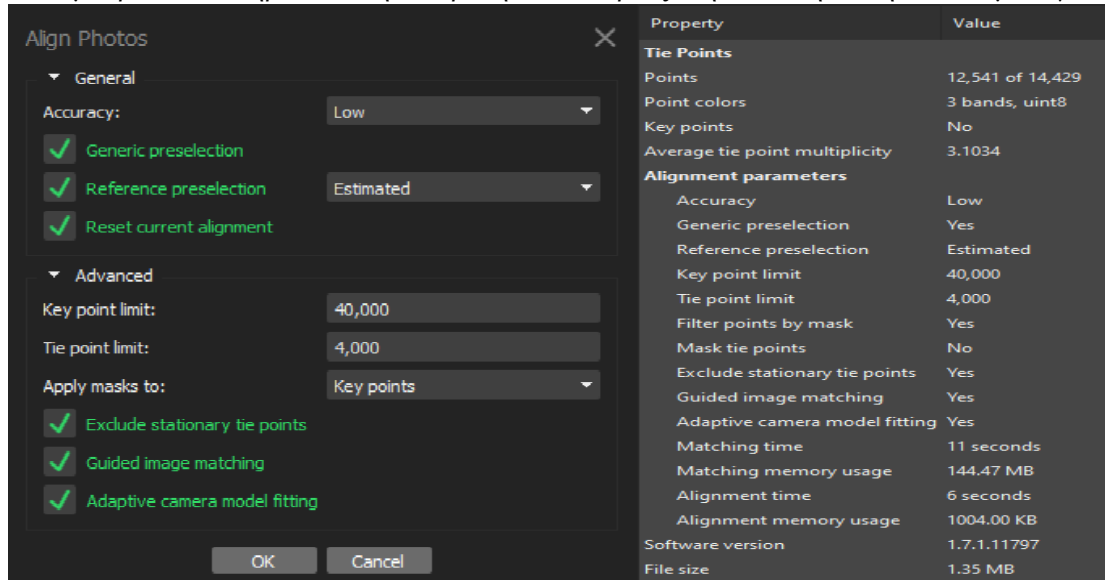


Εικόνα 37: Απομονωμένο επίπεδο αναφοράς, πάνω εικόνα σε κάτωψη κάτω σε όψη (Δοκιμή 4)

Συγκρίνοντας τα απομονωμένα επίπεδα αναφοράς των δοκιμών 4 και 2 παρατηρείται ότι τα inliers είναι πιο πολλά στην δοκιμή 4 γεγονός που δείχνει ότι οι παραπάνω ομολογίες που προκύπτουν από την επεξεργασία στην δοκιμή αυτή, προσδίδουν παραπάνω σωστή πληροφορία στο νέφος με κόστος στον χρόνο επεξεργασίας 13.3%.

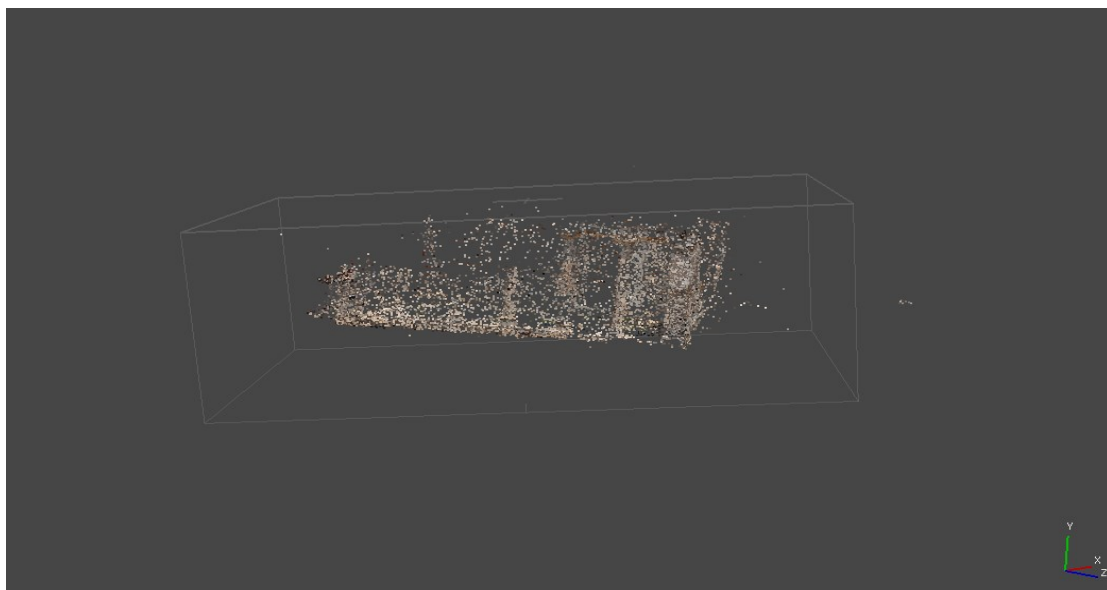
## Δοκιμή 5

Στα προηγούμενα προστίθεται η επιλογή Adaptive Camera Model Fitting. Η συγκεκριμένη επιλογή επηρεάζει τις εκτιμήσεις των παραμέτρων του εσωτερικού προσανατολισμού και κυρίως τα μη γραμμικά φαινόμενα όπως η ακτινική διαστρόφη γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την εύρεση και κυρίως την επαλήθευση των ομολογιών.

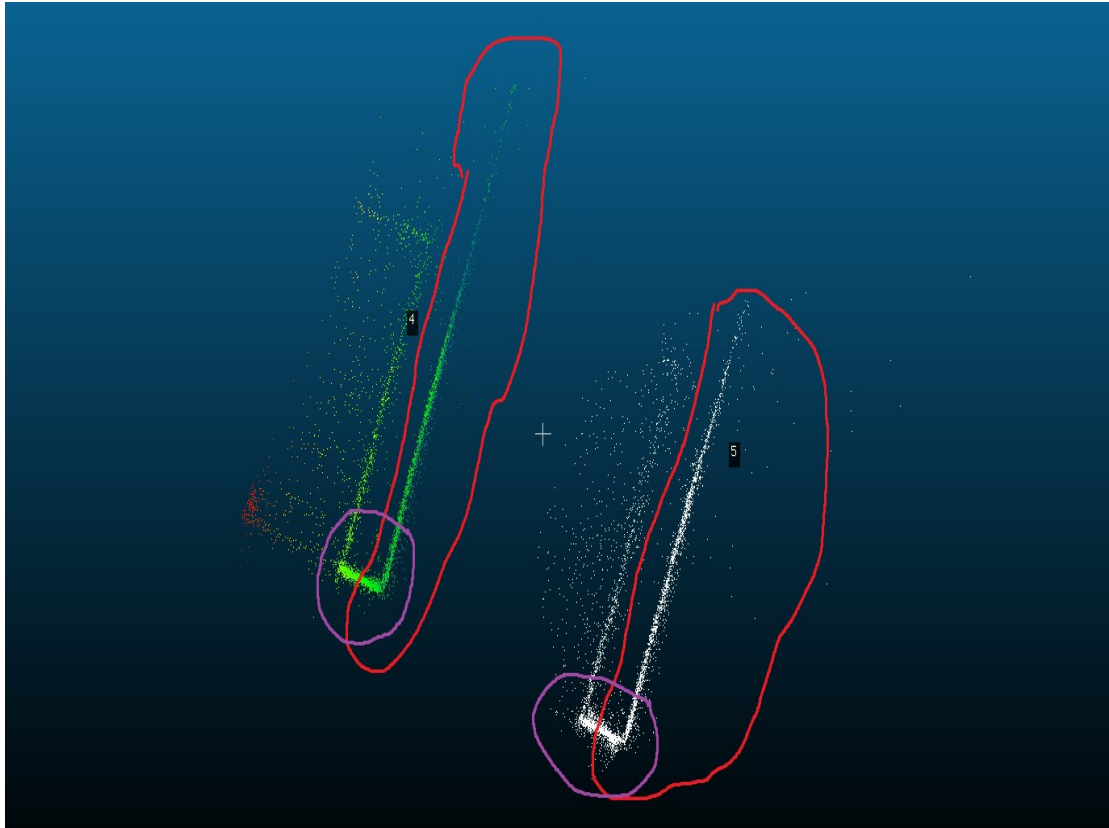


Εικόνα 38: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 5).

Παρατηρείται ότι ο συνολικός αριθμός των εντοπισμένων ομολογιών έμεινε σταθερός, όμως υπάρχει μια μικρή απαλοιφή στις φιλτραρισμένες ομολογίες που, θεωρώντας ως δεδομένα τα όσα υποστηρίζουν οι προγραμματιστές του λογισμικού, θεωρείται απαλοιφή εσφαλμένων ομολογιών που οφείλονται σε θόρυβο και μη γραμμικά φαινόμενα. Ταυτόχρονα αυξήθηκε αρκετά ο χρόνος επεξεργασίας (ποσοστιαία 23.5%) και λίγο οι δεσμευμένοι πόροι του υπολογιστή. Παρόλα αυτά, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σε απόλυτες τιμές αυτές οι διαφορές είναι μικρές σε μικρά σύνολα εικόνων και με χαμηλό accuracy.



Εικόνα 39: Αραιό Νέφος πέμπτης δοκιμής.



Εικόνα 40: Σύγκριση στο Cloud Compare (Το άσπρο νέφος είναι η δοκιμή 5 και το πολύχρωμο η τέταρτη).

Φαίνεται ότι η τελευταία δοκιμή εισήγαγε θόρυβο καθώς μειώθηκαν τα σημεία του νέφους και αυξήθηκε ο χρόνος επεξεργασίας. Συμπερασματικά η τέταρτη δοκιμή θεωρείται η πιο αποδοτική στο Low Accuracy τόσο από άποψη χρόνου όσο και από άποψη ποιότητας. Οι βέλτιστοι χρόνοι επιτυγχάνονται στην δοκιμή 3 αλλά με μεγάλη ποσοστιαία διαφορά στην πυκνότητα του νέφους.

**Δοκιμή 6**

Σε αυτήν την δοκιμή θα εξεταστεί η αύξηση των ορίων εντοπισμού χαρακτηριστικών και ομολόγων σημείων βάζοντας τιμή 100.000 και 10.000 αντίστοιχα χρησιμοποιώντας πάλι τις παραμέτρους της τέταρτης δοκιμής ως τις πιο αποδοτικές για τα μέχρι στιγμής πειράματα.

The image shows the 'Align Photos' dialog box with the 'Advanced' section expanded. The 'Key point limit' and 'Tie point limit' are both set to 100,000. The 'Apply masks to:' dropdown is set to 'Key points'. The 'Advanced' section includes checkboxes for 'Exclude stationary tie points' (checked), 'Guided image matching' (checked), and 'Adaptive camera model fitting' (unchecked). The 'General' section includes 'Accuracy' set to 'Low', 'Generic preselection' (checked), 'Reference preselection' set to 'Estimated', and 'Reset current alignment' (checked). To the right, the 'Alignment Report' table is visible.

Property	Value
<b>Tie Points</b>	
Points	12,615 of 14,429
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	3.10347
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	Low
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Estimated
Key point limit	100,000
Tie point limit	100,000
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	Yes
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	11 seconds
Matching memory usage	349.71 MB
Alignment time	6 seconds
Alignment memory usage	49.75 MB
Software version	1.7.1.11797
File size	1.35 MB

Εικόνα 41: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 6)

Παρατηρείται το ίδιο ακριβώς αποτέλεσμα σε μεγαλύτερο χρόνο και με περισσότερη δέσμευση πόρων του υπολογιστή. Αυτό οφείλεται στο ότι οι εικόνες έχουν υποβαθμιστεί τόσο που οι τιμές των 40.000-4.000 είναι πολύ ανώτερες από τις δυνατότητες της ανάλυσης των εικόνων. Σε πείραμα που έγινε χωρίς καθόλου όριο προέκυψαν τα ίδια αποτελέσματα με ακόμα μεγαλύτερο κόστος χρόνου και υπολογιστικής ισχύος.



### Δοκιμή 7

Στην συνέχεια θα γίνουν δοκιμές αλλάζοντας την τιμή του Accuracy σε Medium ξεκινώντας από τις αντίστοιχες τιμές της δοκιμής 1.

The image shows the 'Align Photos' dialog box on the left and an 'Alignment Report' on the right. The dialog box has two sections: 'General' and 'Advanced'. In the 'General' section, 'Accuracy' is set to 'Medium', 'Reference preselection' is 'Estimated', and 'Reset current alignment' is checked. In the 'Advanced' section, 'Key point limit' is 40,000, 'Tie point limit' is 4,000, and 'Apply masks to' is 'Key points'. The 'Alignment Report' on the right lists various parameters and their values.

Property	Value
<b>Tie Points</b>	
Points	29,271 of 33,892
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.62189
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	Medium
Generic preselection	No
Reference preselection	Estimated
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Exclude stationary tie points	No
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	18 seconds
Matching memory usage	217.90 MB
Alignment time	10 seconds
Alignment memory usage	29.17 MB
Software version	1.7.1.11797
File size	4.35 MB

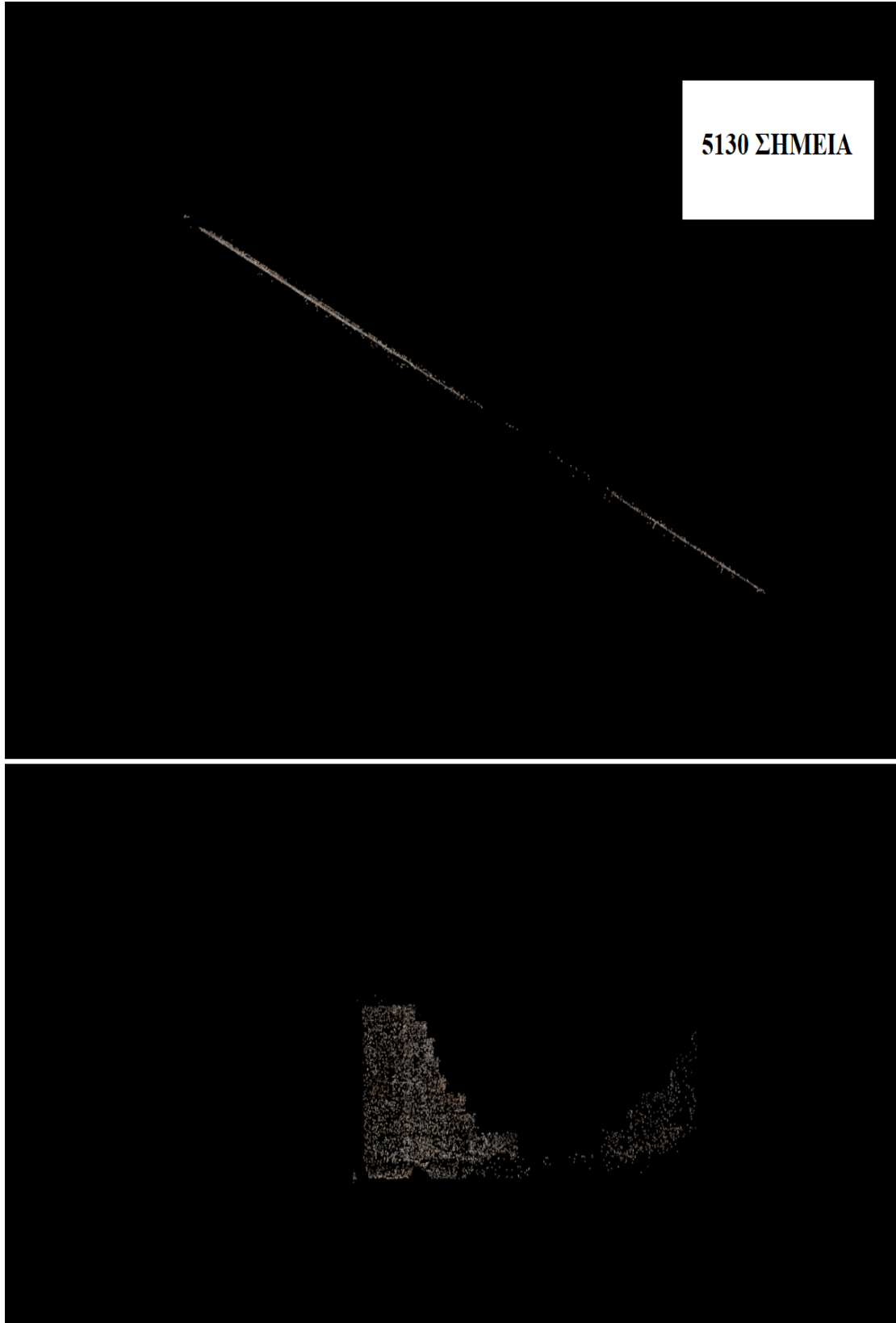
Εικόνα 42: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 7)



Εικόνα 43: Αραιό Νέφος έβδομης δοκιμής

Αντιμετωπίζοντας τις δοκιμές με την νέα τιμή του Accuracy ξεχωριστά καθώς θα γίνει συνολική αξιολόγηση όλων των πειραμάτων στο τέλος παρατηρείται ότι το 13.6% των ομολογίων που συνταυτίστηκαν θεωρήθηκαν λανθασμένες και ότι οι χρόνοι επεξεργασίας δεν

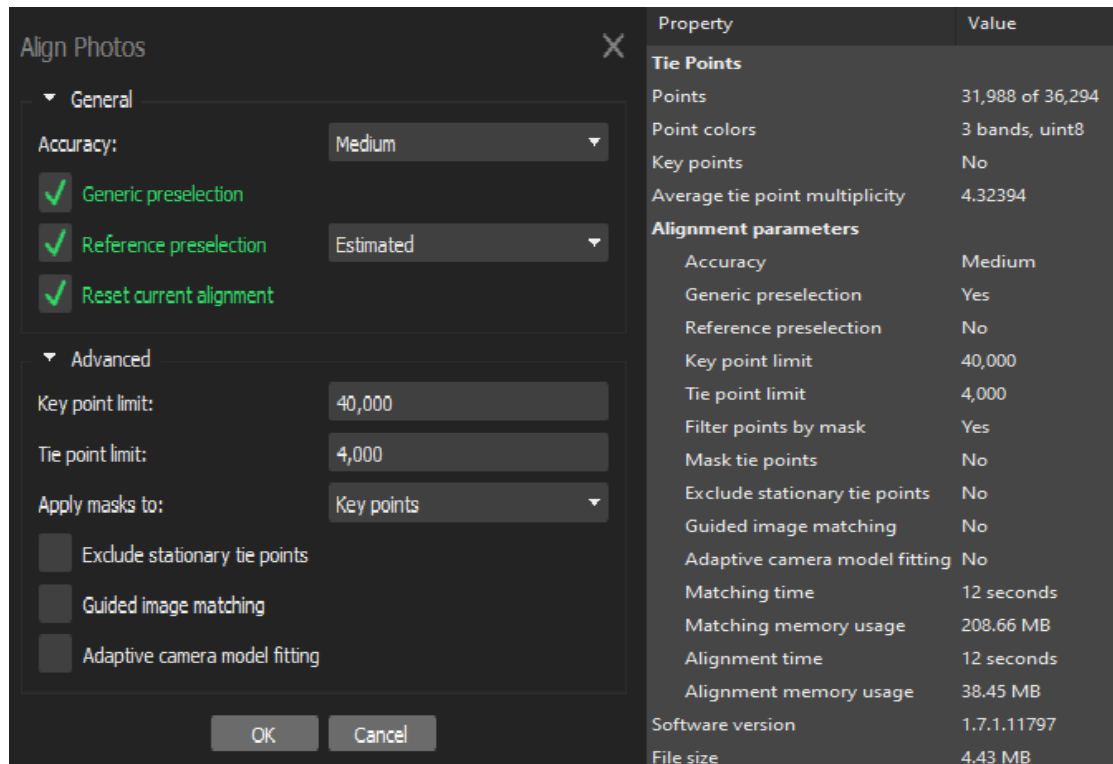
ξεπερνούν το μισό λεπτό και ότι η δέσμευση της υπολογιστικής ισχύος ήταν πολύ μικρή σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του υπολογιστή.



Εικόνα 44 : Απομονωμένο επίπεδο αναφοράς, πάνω εικόνα σε κάτοψη κάτω σε όψη (Δοκιμή 7)

**Δοκιμή 8**

Στα προηγούμενα προστίθεται η επιλογή Generic Preselection.



Εικόνα 45: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report της (Δοκιμή 8)

Παρατηρείται αύξηση 7% στον συνολικό αριθμό των αντιστοιχίσεων. Το 11.8% του συνολικού αριθμού των αντιστοιχίσεων απορρίφθηκε. Συγκρίνοντάς το με την δοκιμή 8 φαίνεται να αυξάνεται η πυκνότητα του νέφους με πιο πολλά φιλτραρισμένα σημεία σε 14% μικρότερο χρόνο και με σχεδόν ίδια δέσμευση των πόρων του υπολογιστή. Για το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων θα χρησιμοποιηθεί σε όλες τις υπόλοιπες δοκιμές αυτή η παράμετρος καθώς συμπεραίνεται ότι ωφελεί την επεξεργασία.

**Δοκιμή 9**

Προστίθεται η επιλογή Exclude Stationary Points στα προηγούμενα.

Property	Value
<b>Tie Points</b>	
Points	31,984 of 36,290
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.32422
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Estimated
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	12 seconds
Matching memory usage	163.72 MB
Alignment time	13 seconds
Alignment memory usage	40.96 MB
Software version	1.7.1.11797
File size	4.43 MB

Εικόνα 46: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 9)

Παρατηρείται ελάχιστη διαφορά, γεγονός αναμενόμενο, στο νέφος και μικρή αύξηση στους χρόνους Έτσι δεν έχει νόημα κάποια σύγκριση με την 8<sup>η</sup> δοκιμή. Όπως προαναφέρθηκε, να μεν βοηθάει στο να αποφευχθούν εσφαλμένες ομολογίες που προκύπτουν από μη γραμμικά φαινόμενα και τυχών κινήσεις στο προσκήνιο (στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν υπάρχει κάτι τέτοιο), άλλα σε μεγάλα datasets φαίνεται ότι μπορεί να αυξήσει αρκετά τους χρόνους επεξεργασίας.

## Δοκιμή 10

Θα προστεθεί η επιλογή Guided Image Matching στα προηγούμενα και θα αφαιρεθεί η επιλογή Exclude Stationary Tie Points, καθώς θεωρείται ότι δεν βοηθάει ιδιαίτερα την επεξεργασία.

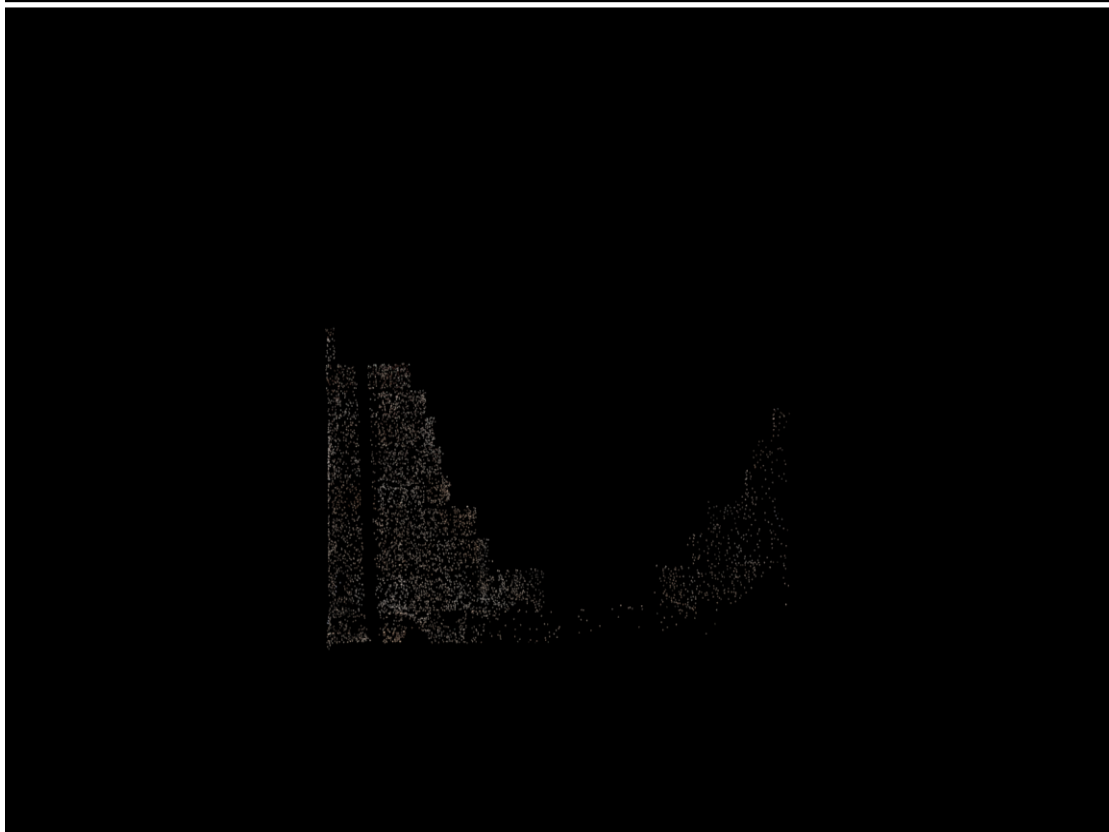
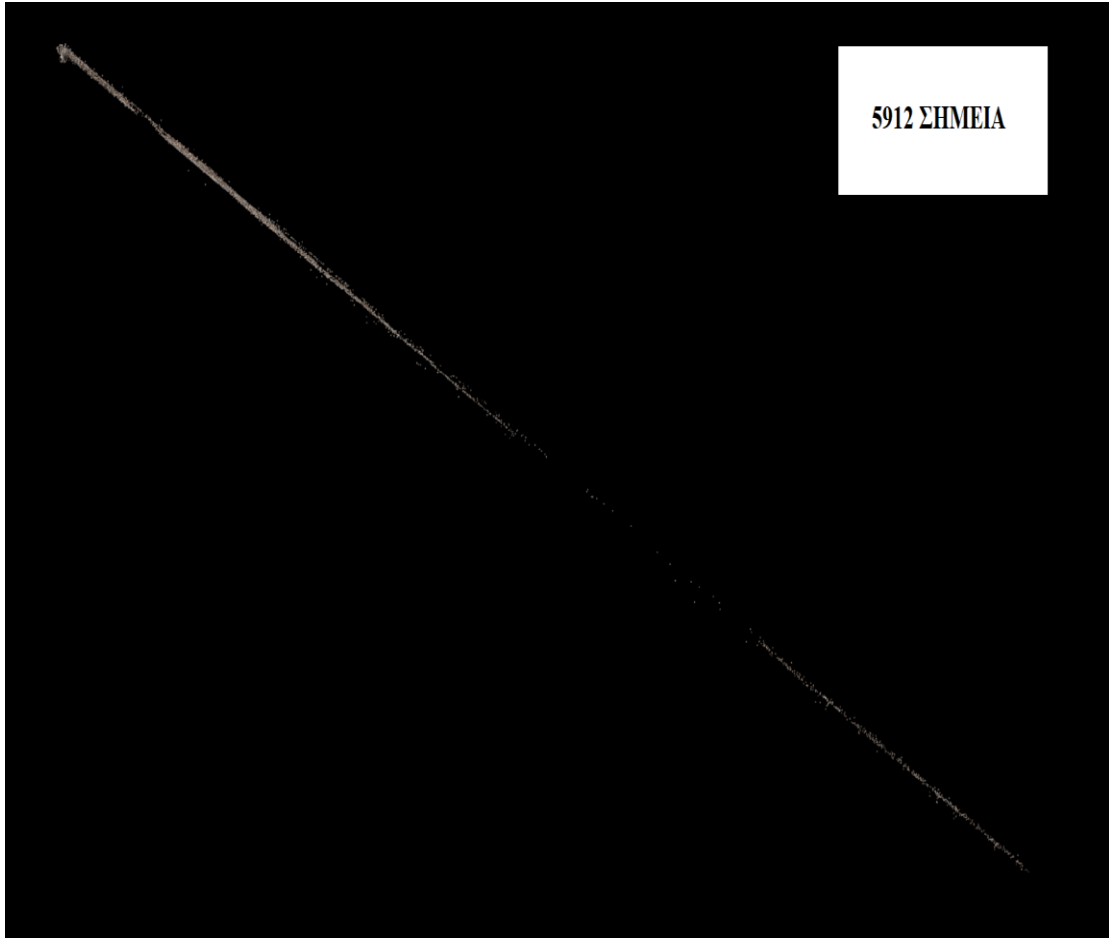
The image shows the 'Align Photos' dialog box with the 'Advanced' section expanded. The 'Accuracy' is set to 'Medium', 'Generic preselection' is checked, 'Reference preselection' is set to 'Estimated', and 'Reset current alignment' is checked. In the 'Advanced' section, 'Key point limit' is 40,000, 'Tie point limit' is 4,000, 'Apply masks to' is 'Key points', 'Exclude stationary tie points' is unchecked, 'Guided image matching' is checked, and 'Adaptive camera model fitting' is unchecked. To the right, the 'Alignment Report' table is visible, showing various properties and their values.

Property	Value
<b>Tie Points</b>	
Points	31,777 of 36,442
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.36774
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Estimated
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Exclude stationary tie points	No
Guided image matching	Yes
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	22 seconds
Matching memory usage	195.47 MB
Alignment time	12 seconds
Alignment memory usage	40.95 MB
Software version	1.7.1.11797
File size	4.47 MB

Εικόνα 47 : Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 10)

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα με αυτά της δοκιμής 8, διακρίνεται σημαντική αύξηση στον χρόνο επεξεργασίας (41.66%), μικρή αύξηση στον συνολικό αριθμό ομολογιών που εντοπίστηκαν (0.4%), όμως ταυτόχρονα μείωση στα σημεία που επαληθεύτηκαν από τον αλγόριθμο γεωμετρικής επαλήθευσης. Επομένως μένει να διερευνηθεί οπτικά εάν αυτά τα λιγότερα σημεία δημιουργούν ένα λιγότερο θορυβώδες νέφος και αν ο παραπάνω χρόνος έδωσε καλύτερα αποτελέσματα. Πράγματι όπως φαίνεται (Εικόνα 48) στο επίπεδο αναφοράς φαίνεται αύξηση στα inliers που σε συνδυασμό με την μείωση των επαληθευμένων ομολογιών συγκριτικά με την δοκιμή 8 δίνουν ένα λιγότερο θορυβώδες νέφος.

5912 ΣΗΜΕΙΑ



*Εικόνα 48 : Απομονωμένο επίπεδο αναφοράς, πάνω εικόνα σε κάτωψη κάτω σε όψη (Δοκιμή 10)*

**Δοκιμή 11**

Στα προηγούμενα προστίθεται η επιλογή Adaptive Camera Model Fitting.

The image shows the 'Align Photos' dialog box on the left and its 'Alignment Report' on the right. The dialog box has two sections: 'General' and 'Advanced'. In the 'General' section, 'Accuracy' is set to 'Medium', and 'Generic preselection', 'Reference preselection', and 'Reset current alignment' are all checked. In the 'Advanced' section, 'Key point limit' is 40,000, 'Tie point limit' is 4,000, 'Apply masks to' is 'Key points', 'Exclude stationary tie points' is unchecked, 'Guided image matching' and 'Adaptive camera model fitting' are checked. The 'Alignment Report' on the right lists various properties and their values.

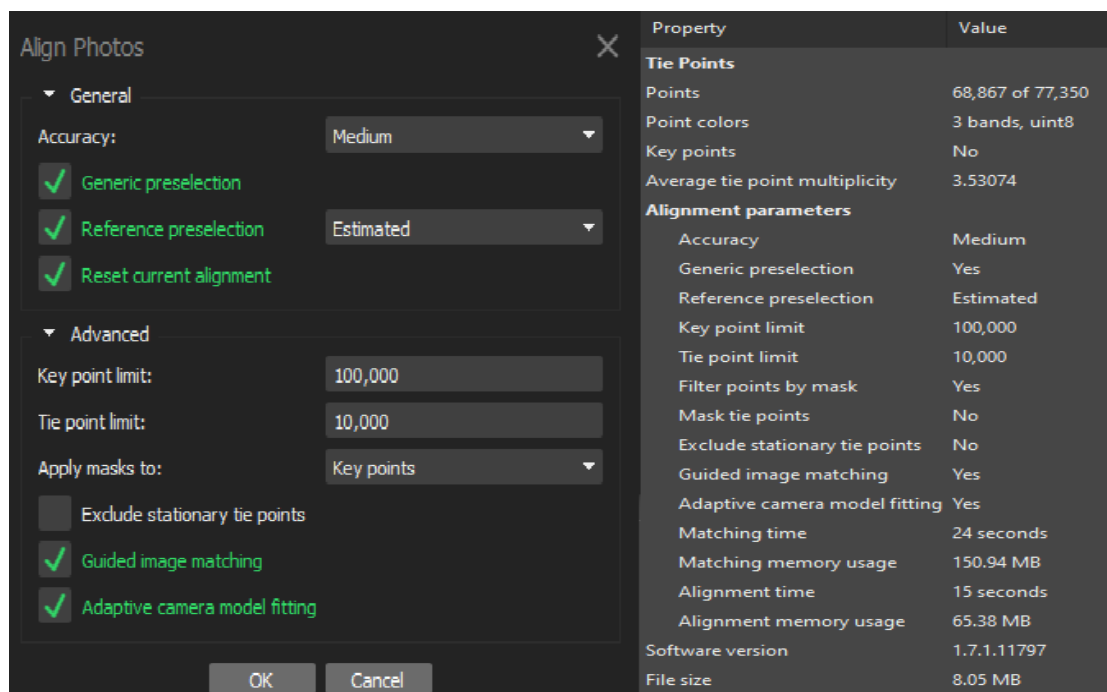
Property	Value
<b>Tie Points</b>	
Points	31,761 of 36,442
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.36774
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Estimated
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Exclude stationary tie points	No
Guided image matching	Yes
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	21 seconds
Matching memory usage	168.74 MB
Alignment time	9 seconds
Alignment memory usage	42.62 MB
Software version	1.7.1.11797
File size	4.47 MB

Εικόνα 49: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 11)

Παρατηρείται ότι δεν επηρεάστηκε ο αριθμός των συνολικών αντιστοιχίσεων και οι επαληθευμένες αντιστοιχίσεις μειώθηκαν. Παρόλο που οι διαφορές είναι πολύ μικρές, υπήρξε μια επιρροή στους χρόνους επεξεργασίας των εικόνων της τάξεως του 11.7 % και ελάχιστη διαφορά στην δέσμευση των πόρων. Επομένως συμπεραίνεται ότι ο συνδυασμός των παραμέτρων αυτών είναι ο καλύτερος στο συγκεκριμένο dataset για το Medium Accuracy λαμβάνοντας υπόψη και τον χρόνο επεξεργασίας και την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Εφόσον οι χρόνοι σε απόλυτες τιμές είναι μικροί θα μπορούσε να γίνει χρήση και του Exclude Stationary Tie Points για μια μικρή βελτίωση των αποτελεσμάτων, αλλά με σημαντική ποσοστιαία επίπτωση στους χρόνους επεξεργασίας, πράγμα που σε μεγάλα datasets θα αποτελέσει πρόβλημα.

**Δοκιμή 12**

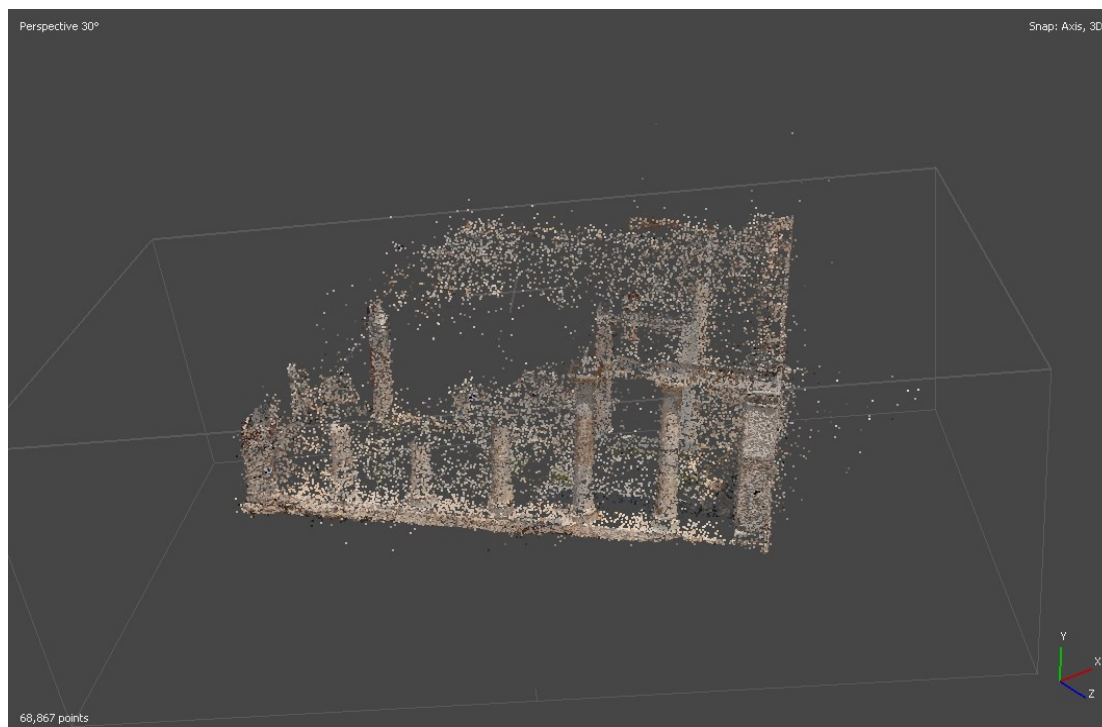
Σε αυτήν την δοκιμή θα εξεταστεί η αύξηση των ορίων εντοπισμού χαρακτηριστικών και ομόλογων σημείων βάζοντας τιμή 100.000 και 10.000 αντίστοιχα χρησιμοποιώντας πάλι τις παραμέτρους της ενδέκατης δοκιμής.



Property	Value
<b>Tie Points</b>	
Points	68,867 of 77,350
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	3.53074
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Estimated
Key point limit	100,000
Tie point limit	10,000
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Exclude stationary tie points	No
Guided image matching	Yes
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	24 seconds
Matching memory usage	150.94 MB
Alignment time	15 seconds
Alignment memory usage	65.38 MB
Software version	1.7.1.11797
File size	8.05 MB

Εικόνα 50: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 12).

Με την αύξηση των ορίων αυξάνονται, οι αντιστοιχίσεις και αυξάνει ο χρόνος επεξεργασίας όπως είναι αναμενόμενο.



Εικόνα 51 : Αραιό Νέφος δωδέκατης δοκιμής



Με την αύξηση των ορίων πυκνώνεται το νέφος και ως προς τον θόρυβο και ως προς τις επιφάνειες του αντικείμενου ενδιαφέροντος. Ο μεγαλύτερος αριθμός σημείων επηρεάζει την ποιότητα, τους χρόνους επεξεργασίας και τις υπολογιστικές απαιτήσεις των επόμενων διαδικασιών της ροής εργασιών του λογισμικού. Θα μπορούσε ένας χρήστης να αφαιρέσει τον θόρυβο με αποτέλεσμα να πάρει ένα καλύτερο νέφος που θα δώσει πιο ποιοτικά αποτελέσματα στα επόμενα στάδια. Παραβλέποντας τους περιορισμούς χρόνου και υπολογιστικού κόστους, ποιοτικά η καλύτερη λύση θα δοθεί εάν εισαχθεί η τιμή 0 στα όρια (δηλαδή χωρίς όριο) και γίνει μια επεξεργασία παραπάνω από τον χρήστη για την αφαίρεση του θορύβου. Ουσιαστικά όμως και αυτόν τον ρόλο παίζουν τα όρια στις αντιστοιχίσεις καθώς η οριοθέτηση λειτουργεί ως ένας μηχανισμός διαλογής των σημείων καθώς οι τιμές που δίνονται είναι άμεσα συνδεδεμένες με έναν αλγόριθμο που επιλέγει ποια είναι τα καλύτερα σημεία με βάση τον περιορισμό που θέτει ο χρήστης. Επομένως έχει νόημα η εισαγωγή περιορισμού ακόμα και αν πρόκειται να γίνει αφαίρεση του θορύβου σε επόμενο χρόνο. Το ποιος θα είναι αυτός εξαρτάται από όλα τα χαρακτηριστικά του Dataset και από τις απαιτήσεις της δουλειάς.

Συνοψίζοντας, σε ό,τι αφορά στις υπόλοιπες παραμέτρους για Medium Accuracy η δοκιμή 11 δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα στον καλύτερο δυνατό χρόνο, ενώ αν τεθεί ως κριτήριο μόνο ο χρόνος η πιο γρήγορη δοκιμή είναι η 8.

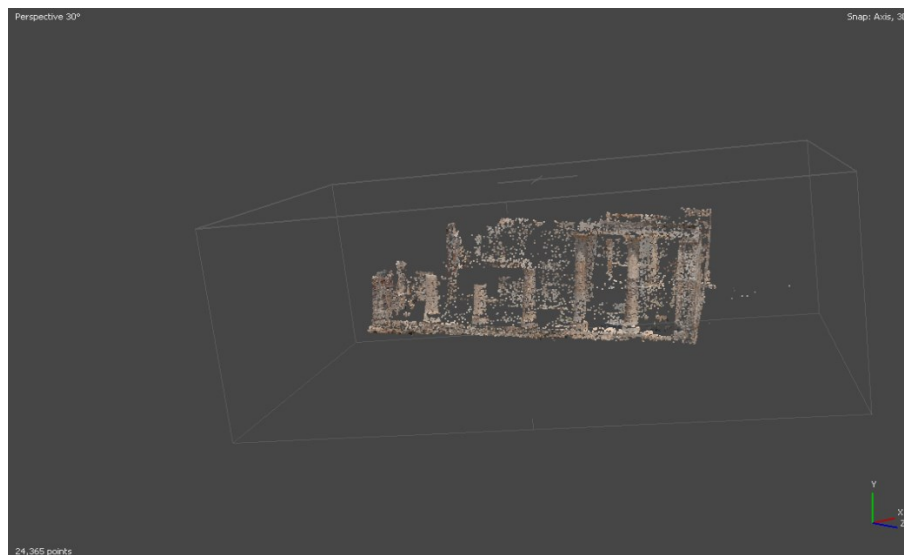
### Δοκιμή 13

Στην δοκιμή αυτή ξεκινάει η διερεύνηση του High Accuracy επαναλαμβάνοντας τα παραπάνω πειράματα. Όπως προαναφέρθηκε και στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο η τιμή High επιτρέπει στο λογισμικό να χρησιμοποιήσει τις κανονικές αναλύσεις των εικόνων χωρίς καμία υποβάθμιση.

The image shows a screenshot of the 'Align Photos' dialog box on the left and its 'Alignment Report' on the right. The dialog box has a 'General' section with 'Accuracy' set to 'High', 'Generic preselection' and 'Reference preselection' unchecked, and 'Reset current alignment' checked. The 'Advanced' section has 'Key point limit' at 40,000, 'Tie point limit' at 4,000, and 'Apply masks to' set to 'Key points'. Other options like 'Exclude stationary tie points', 'Guided image matching', and 'Adaptive camera model fitting' are unchecked. The 'Alignment Report' on the right lists various properties and their values.

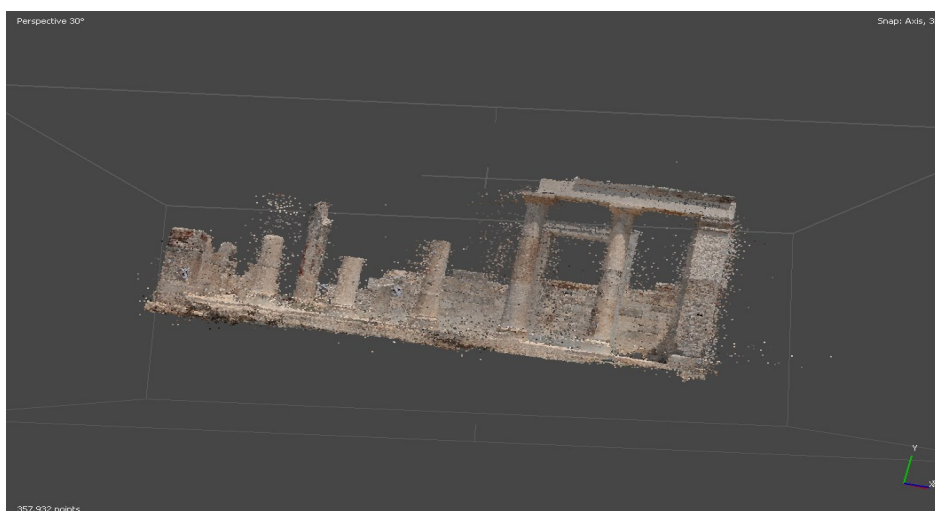
Property	Value
<b>Tie Points</b>	
Points	24,365 of 27,925
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	6.25185
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	High
Generic preselection	No
Reference preselection	No
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Exclude stationary tie points	No
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	1 minutes 14 seconds
Matching memory usage	192.60 MB
Alignment time	5 seconds
Alignment memory usage	52.71 MB
Software version	1.7.1.11797
File size	4.63 MB

Εικόνα 52: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 13)

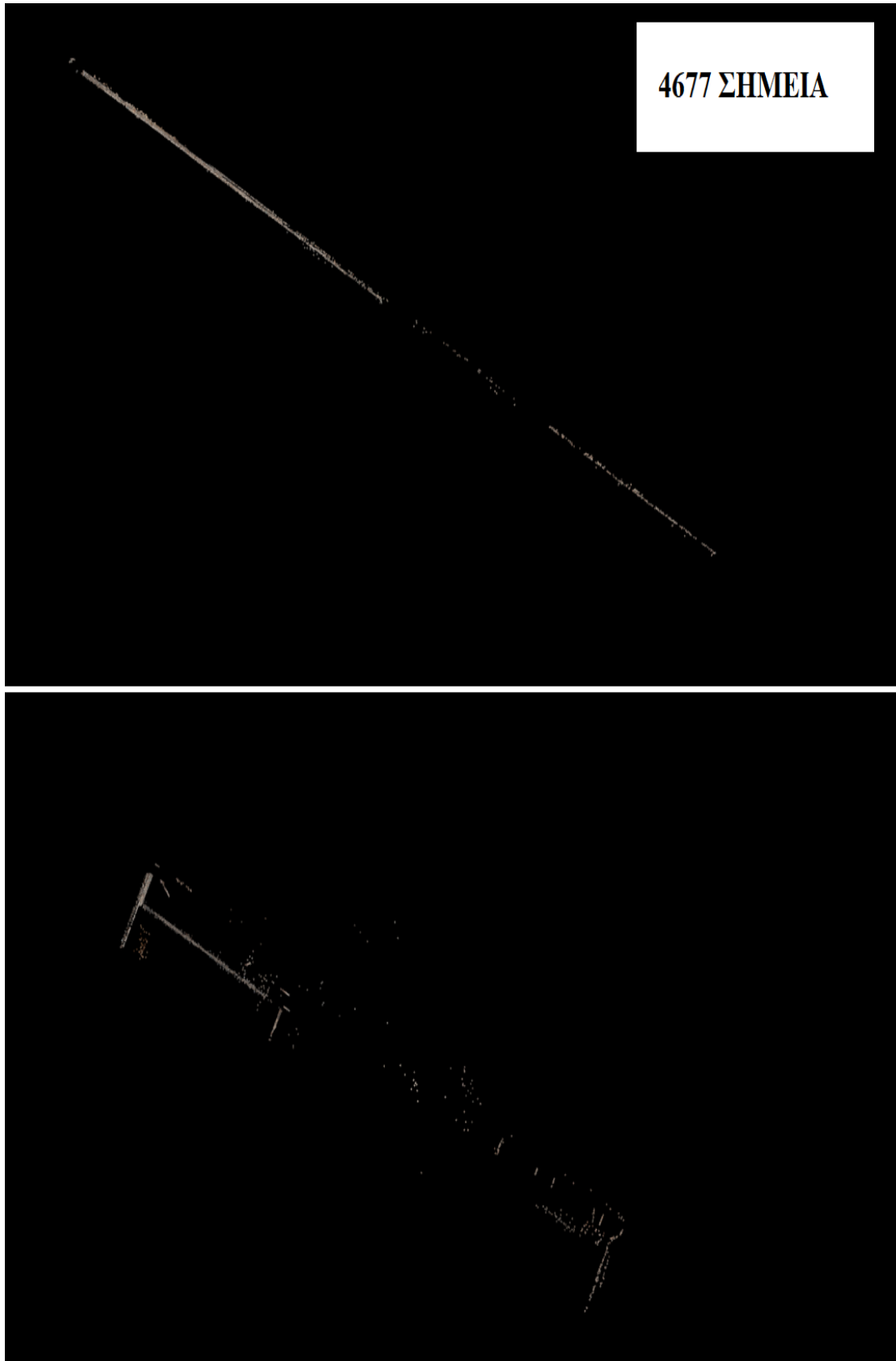


Εικόνα 53: Αραιό Νέφος δέκατης-τρίτης δοκιμής

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Αρχικά φαίνεται ότι συγκριτικά με τις προηγούμενες δοκιμές προκύπτει ένα νέφος με πολύ λιγότερο θόρυβο. Το ότι τα σημεία είναι λιγότερα, επαληθεύει το γεγονός, ότι τα όρια που μπαίνουν στα Key-Tie Points επηρεάζουν και κάποιον αλγόριθμο διαλογής των σημείων ο οποίος χρησιμοποιεί την τιμή του ορίου για να θέσει κάποιους περιορισμούς στις αντιστοιχίσεις που εν τέλει θα εντάξει στο παραγόμενο νέφος. Για παράδειγμα, ποια από τον συνολικό αριθμό σημείων είναι καλύτερα σε κάθε εικόνα για τιμή ορίου 4.000. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να δημιουργεί ένα λιγότερο πυκνό νέφος, αλλά ταυτόχρονα το “καθαρίζει” όσο γίνεται από θόρυβο. Για την ενίσχυση του εν λόγω ισχυρισμού έγινε μια δοκιμή με τιμές 0 στα όρια (Εικόνα 54) στην οποία φαίνεται ότι με απενεργοποίηση ουσιαστικά αυτού του μηχανισμού φιλτραρίσματος οι δυνατότητες της ανάλυσης των εικόνων και η γεωμετρία της σκηνής δίνουν έναν μεγάλο αριθμό σημείων (357.932) συμπεριλαμβάνοντας και θόρυβο. Βέβαια ο θόρυβος μπορεί να καθαριστεί ειδικά σε περιπτώσεις που η μηχανή και η γεωμετρία της σκηνής είναι καλές, αλλά σε σύνολα δεδομένων με περισσότερες εικόνες που θα παραγάγουν πολύ μεγαλύτερα αραιά νέφη, η υπολογιστική ισχύς και ο χρόνος που χρειάζεται για να εκτελεστεί η ροή εργασιών του λογισμικού στα παρακάτω βήματα, αυξάνεται, όσο αυξάνονται τα σημεία του αραιού νέφους. Αυτό κάνει την κατάλληλη επιλογή ορίων την πιο αποδοτική επιλογή συνυπολογίζοντας χρόνο επεξεργασίας και ποιότητα προϊόντος.



Εικόνα 54: Αραιό Νέφος δέκατης-τρίτης δοκιμής (0 Key Point Limit - Tie Point Limit)



Εικόνα 55: Απομονωμένο επίπεδο αναφοράς (Πάνω), περιοχή γύρω από το επίπεδο αναφοράς χωρίς το επίπεδο αναφοράς(Κάτω) (Δοκιμή 13)

**Δοκιμή 14**

Προστίθεται η επιλογή Generic Preselection.

The image shows the 'Align Photos' dialog box on the left and an 'Alignment Report' table on the right. The dialog box has two sections: 'General' and 'Advanced'. In the 'General' section, 'Accuracy' is set to 'High', 'Generic preselection' is checked, 'Reference preselection' is set to 'Estimated', and 'Reset current alignment' is checked. In the 'Advanced' section, 'Key point limit' is 40,000, 'Tie point limit' is 4,000, 'Apply masks to' is 'Key points', and 'Exclude stationary tie points', 'Guided image matching', and 'Adaptive camera model fitting' are unchecked. The 'Alignment Report' table lists various properties and their values.

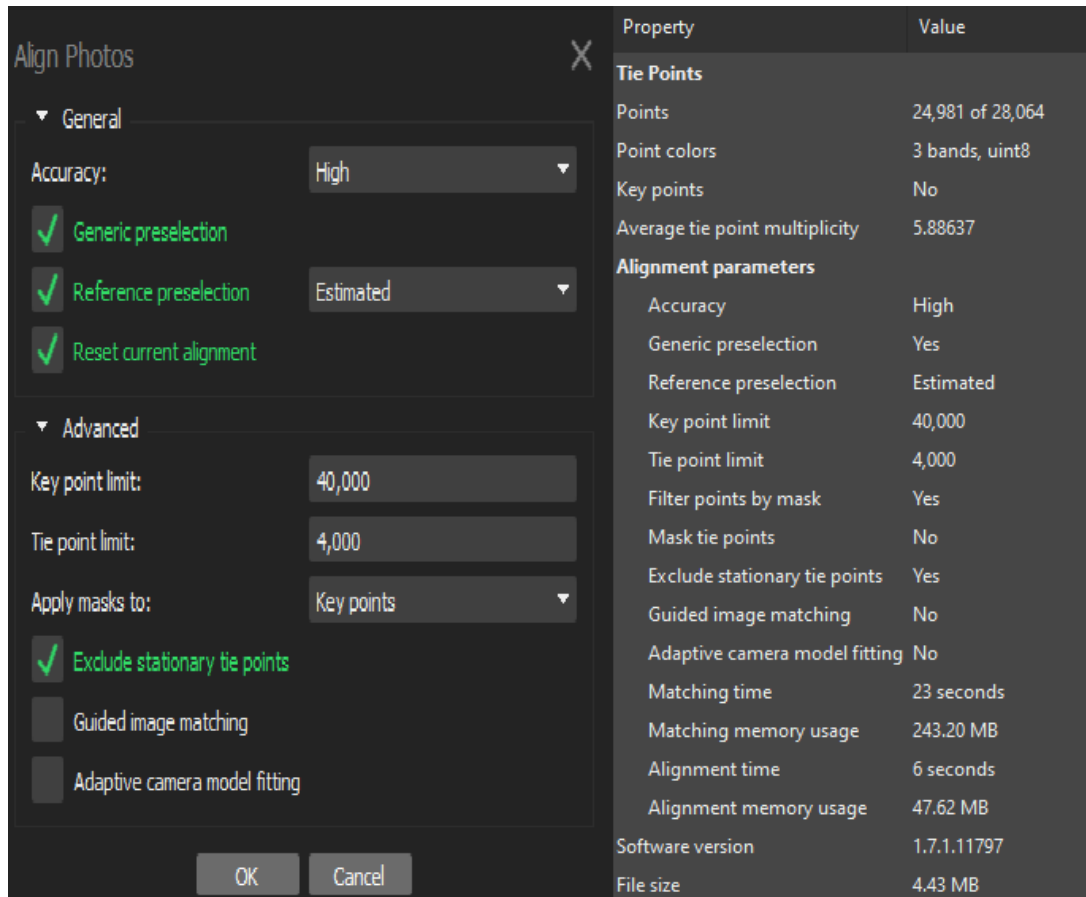
Property	Value
<b>Tie Points</b>	
Points	24,981 of 28,064
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	5.88637
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Estimated
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Exclude stationary tie points	No
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	24 seconds
Matching memory usage	244.30 MB
Alignment time	6 seconds
Alignment memory usage	46.07 MB
Software version	1.7.1.11797
File size	3.18 MB

Εικόνα 56: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 14)

Φαίνεται ξεκάθαρα εδώ η επίπτωση στους χρόνους επεξεργασίας που έχει η επιλογή αυτή. Η μεγάλη αυτή διαφορά (62%), οφείλεται σε όσα αναφέρθηκαν στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο για την συγκεκριμένη παράμετρο, δηλαδή η προεργασία που κάνει το λογισμικό με υποβαθμισμένες εικόνες εξοικονομεί χρόνο. Πέρα από αυτά, οι διαφορές στο νέφος είναι μικρές. Να σημειωθεί ότι υπάρχει μια παραπάνω δέσμευση των πόρων του υπολογιστή αλλά ακόμα μικρή σε κάθε περίπτωση, η οποία ίσως αποτελέσει πρόβλημα σε πολύ μεγάλα dataset για ένα αδύναμο υπολογιστικό σύστημα.

**Δοκιμή 15**

Προστίθεται η επιλογή Exclude Stationary Tie Points στα προηγούμενα.



The screenshot shows the 'Align Photos' dialog box with the following settings:

- General:** Accuracy: High; Generic preselection: checked; Reference preselection: Estimated; Reset current alignment: checked.
- Advanced:** Key point limit: 40,000; Tie point limit: 4,000; Apply masks to: Key points; Exclude stationary tie points: checked; Guided image matching: unchecked; Adaptive camera model fitting: unchecked.

Next to the dialog is the 'Alignment Report' table:

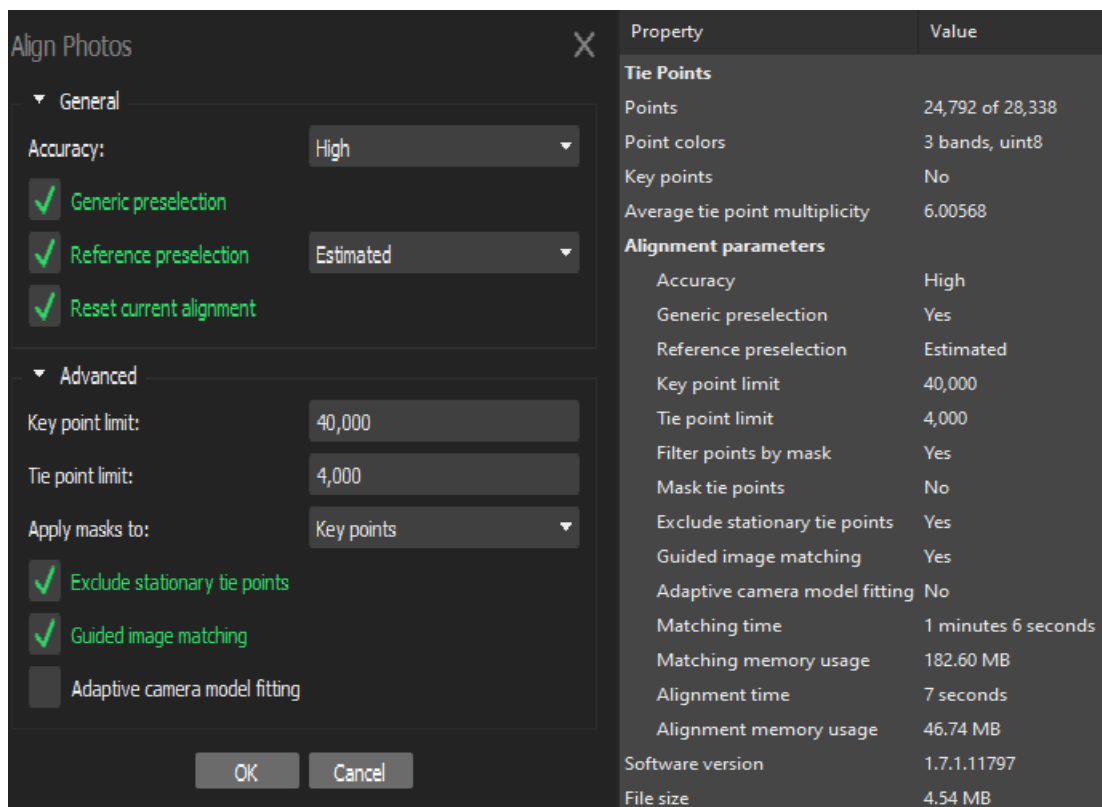
Property	Value
<b>Tie Points</b>	
Points	24,981 of 28,064
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	5.88637
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Estimated
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	23 seconds
Matching memory usage	243.20 MB
Alignment time	6 seconds
Alignment memory usage	47.62 MB
Software version	1.7.1.11797
File size	4.43 MB

Εικόνα 57: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 15)

Δεν παρατηρείται καμία διαφορά στο παραγόμενο νέφος και υπάρχει μια μικρή μείωση στον χρόνο επεξεργασίας. Θεωρείται ότι επιδρά θετικά στην επεξεργασία παρόλο που δεν έχει κάποιο φανερό αποτέλεσμα στην ποιότητα του νέφους, κάτι αναμενόμενο καθώς πρόκειται για στατικό αντικείμενο ενδιαφέροντος, με καλή ποιότητα εικόνων και προσεκτική δειγματοληψία.

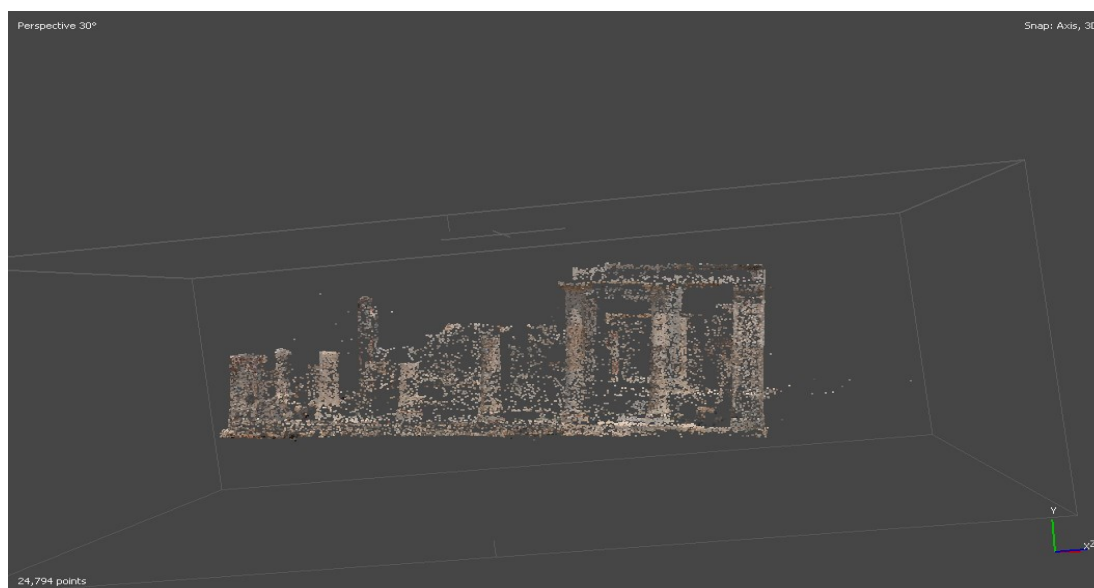
**Δοκιμή 16**

Προστίθενται η επιλογή Guided Image Matching στα προηγούμενα.



Εικόνα 58: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 16)

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι αναμενόμενα λαμβάνοντας υπόψη και τις προηγούμενες δοκιμές. Το νέφος είναι βελτιωμένο ελαφρώς αντίστοιχα όπως έγινε με την δοκιμή 10, όμως ο χρόνος επεξεργασίας αυξήθηκε πολύ.



Εικόνα 59: Αραιό Νέφος δέκατης-έκτης δοκιμής



Εικόνα 60: Απομονωμένο επίπεδο αναφοράς (Πάνω), περιοχή γύρω από το επίπεδο αναφοράς χωρίς το επίπεδο αναφοράς (Κάτω) (Δοκιμή 16)

**Δοκιμή 17**

Ενεργοποιείται η επιλογή Adaptive Camera Model Fitting.

The screenshot shows the 'Align Photos' dialog box with the following settings:

- General:** Accuracy: High, Generic preselection: checked, Reference preselection: Estimated, Reset current alignment: checked.
- Advanced:** Key point limit: 40,000, Tie point limit: 4,000, Apply masks to: Key points, Exclude stationary tie points: checked, Guided image matching: checked, Adaptive camera model fitting: checked.

The 'Alignment Report' table is as follows:

Property	Value
<b>Tie Points</b>	
Points	24,826 of 28,338
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	6.00568
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Estimated
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	Yes
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	1 minutes 5 seconds
Matching memory usage	191.67 MB
Alignment time	6 seconds
Alignment memory usage	40.37 MB
Software version	1.7.1.11797
File size	4.54 MB

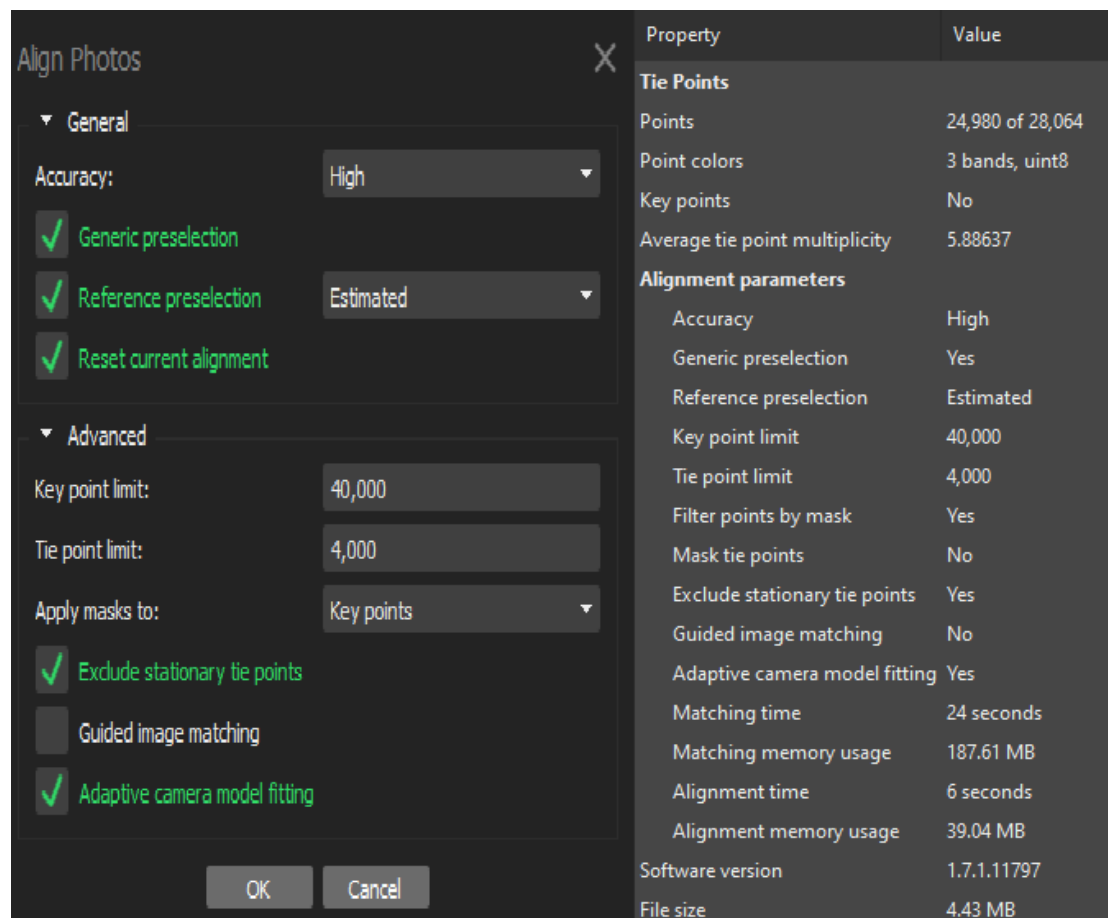
Εικόνα 61: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 17)

Παρατηρείται ελάχιστη διαφοροποίηση στο νέφος. Λαμβάνοντας υπόψη τις προηγούμενες δοκιμές και τα όσα αναφέρθηκαν για την συγκεκριμένη επιλογή στο κεφάλαιο 2 θεωρείται ότι αυτή η μικρή διαφορά είναι ποιοτική βελτίωση του νέφους, έστω και λίγο. Ο χρόνος επεξεργασίας επηρεάστηκε ελάχιστα. Αυτός ο συνδυασμός παραμέτρων θεωρείται ότι δίνει τα πιο ποιοτικά αποτελέσματα στο High Quality για το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων. Για τον εντοπισμό του συνδυασμού παραμέτρων που δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα στον καλύτερο δυνατό χρόνο απαιτείται να γίνει μια δοκιμή ακόμα, καθώς παρατηρήθηκε ότι η παράμετρος Guided Image Matching αυξάνει σημαντικά τους χρόνους επεξεργασίας.



**Δοκιμή 18**

Απενεργοποιείται η επιλογή Guided Image Matching.



Εικόνα 62: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report (Δοκιμή 18)

Πράγματι αυτός ο συνδυασμός δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα στον καλύτερο δυνατό χρόνο στο High Accuracy. Θεωρείται ότι το θέμα με τα Key Point Limit – Tie Point Limit έχει εξαντληθεί παραπάνω επομένως δεν απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

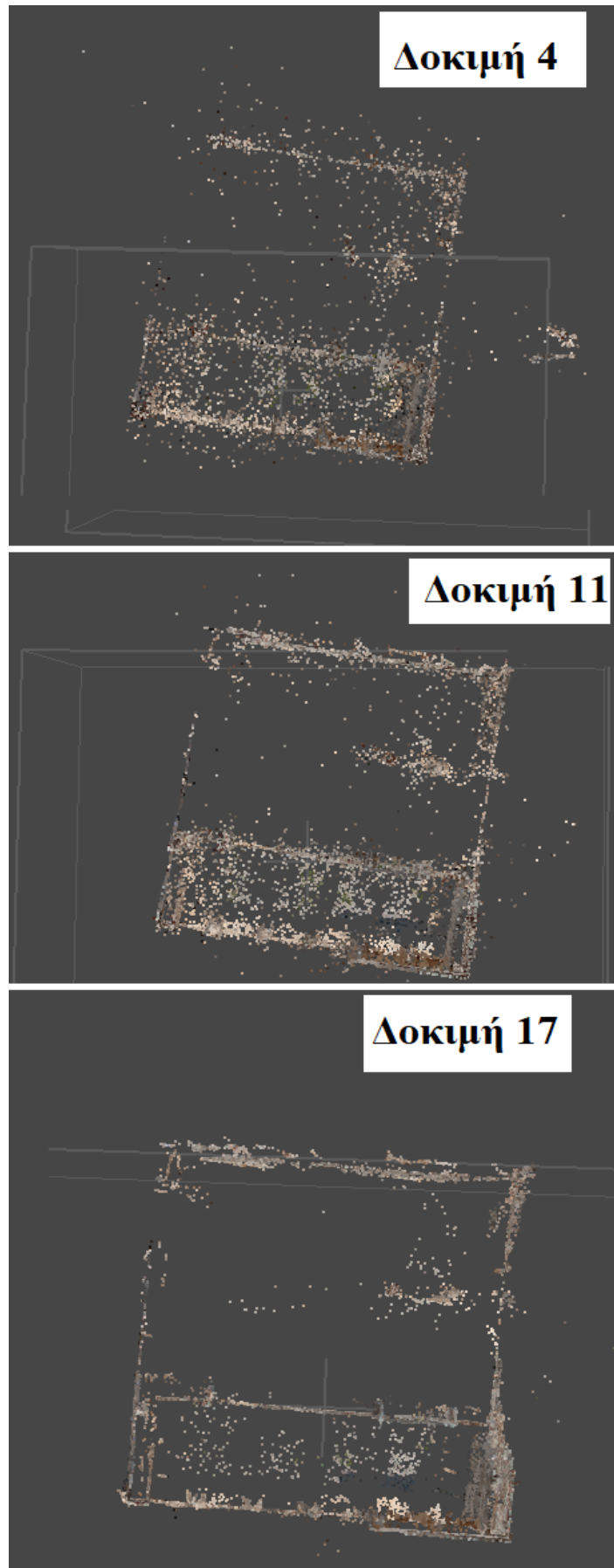
Accuracy	Low	Medium	High
<b>Βέλτιστοι Χρόνοι επεξεργασίας</b>	Δοκιμή 3	Δοκιμή 8	Δοκιμή 15
<b>Βέλτιστο ποιοτικό αποτέλεσμα</b>	Δοκιμή 4	Δοκιμή 11	Δοκιμή 17
<b>Καλύτερος συνδυασμός Χρόνου-Ποιότητας</b>	Δοκιμή 4	Δοκιμή 11	Δοκιμή 18

Πίνακας 6: Βέλτιστες δοκιμές μετά τα πειράματα στο σύνολο δεδομένων 1

Συμπερασματικά, οι παράμετροι που δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα σε κάθε διαφορετική τιμή Accuracy δείχνουν να συγκλίνουν με μικροδιαφορές, οι οποίες οφείλονται στις διαφορές ανάλυσης των εικόνων που χρησιμοποιούνται για τις διαφορετικές τιμές Accuracy. Σε κάθε περίπτωση, συστήνεται κάθε επεξεργασία να γίνεται με τιμή Accuracy High, εφόσον αυτό δεν καθίσταται απαγορευτικό από το πλήθος των εικόνων σε συνδυασμό με το υπολογιστικό σύστημα που είναι διαθέσιμο σε κάθε εργασία. Αυτό γιατί η συγκεκριμένη τιμή κάνει χρήση των πραγματικών εικόνων και η ποιότητα των αποτελεσμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο που πραγματοποιήθηκαν οι λήψεις σε συνδυασμό με την μηχανή που χρησιμοποιήθηκε.

Όπως φαίνεται και από τις δοκιμές, υπάρχουν εμφανείς διαφορές στα νέφη όσο αλλάζει η τιμή Accuracy (Εικόνα 63) πράγμα που κάνει την συγκεκριμένη παράμετρο την πιο σημαντική για το τελικό νέφος. Προτείνεται επομένως για σύνολα δεδομένων παρόμοια με το παραπάνω να χρησιμοποιούνται οι παράμετροι της Δοκιμής 17 ή 18. Εάν αυτό κάνει τους χρόνους επεξεργασίας απαγορευτικούς ή εάν ο εκάστοτε υπολογιστής δεν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις αυτών των παραμέτρων, τότε προτείνεται να επιλέγονται οι επιλογές των καλύτερων δοκιμών για χαμηλότερες τιμές Accuracy.

Παρόλα αυτά, αυτό που έχει σημασία είναι η ποιότητα και ο έλεγχος των τελικών προϊόντων. Λογικά όσο καλύτερο είναι το αραιό νέφος και όσο πιο ακριβής είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων που υπολογίζονται κατά την διαδικασία SfM, τόσο καλύτερα θα είναι τα αποτελέσματα στα επόμενα βήματα της ροής εργασιών του λογισμικού. Αυτή η λογική θα διερευνηθεί στην συνέχεια κατά πόσο αληθεύει εκ του αποτελέσματος.

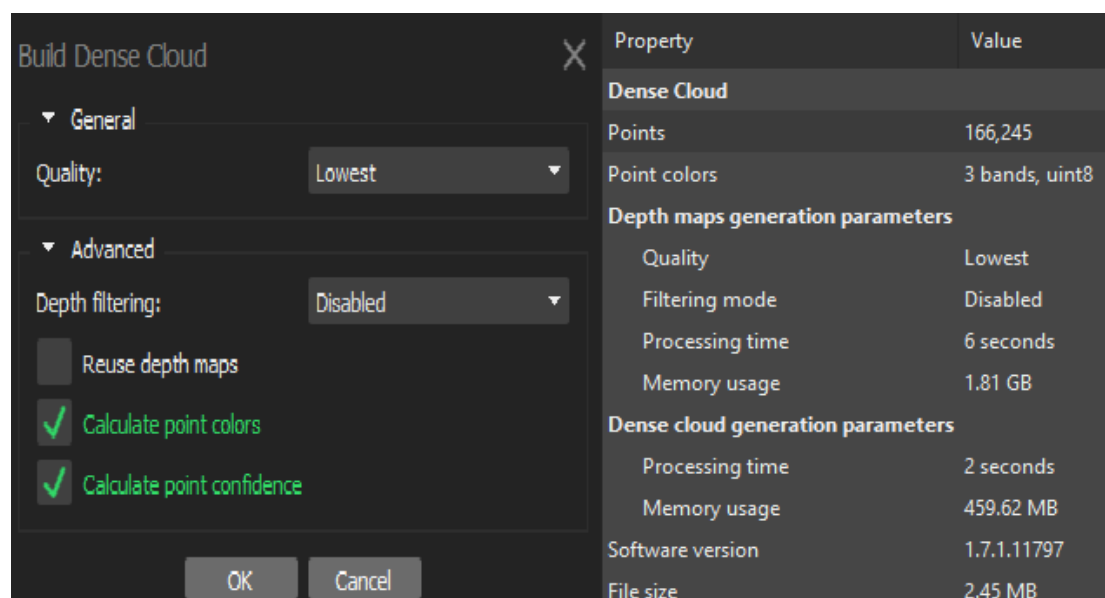


Εικόνα 63: Σύγκριση των καλύτερων δοκιμών για διαφορετικές τιμές Accuracy

## 4.2.2 Build Dense Cloud

Πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές δοκιμών, μια για κάθε καλύτερο αραιό νέφος των διαφορετικών τιμών Accuracy από τα πειράματα του Align. Δηλαδή χρησιμοποιήθηκαν τα νέφη της δοκιμής 4, 11 και 17 με την σειρά αυτή. Οι επιλογές Calculate Point Colors και Calculate Point Confidence θα είναι ενεργοποιημένες σε όλα τα πειράματα καθώς δεν επηρεάζουν την πυκνότητα και την ποιότητα του νέφους και ο υπολογισμός του Point Confidence είναι χρήσιμος για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Αρχικά διεξάγεται διερεύνηση της κατάλληλης τιμής Depth Filtering με χρήση του Lowest Quality καθώς η κατάλληλη τιμή για την παράμετρο αυτή είναι κοινή για όλες τις δοκιμές. Αυτό γιατί το βάθος φιλτραρίσματος που θα επιλεγεί εξαρτάται κυρίως από το αντικείμενο και τις λεπτομέρειες συνολικά στην σκηνή που ενδιαφέρουν.

### Δοκιμή 1



The screenshot shows the 'Build Dense Cloud' dialog box with the following settings:

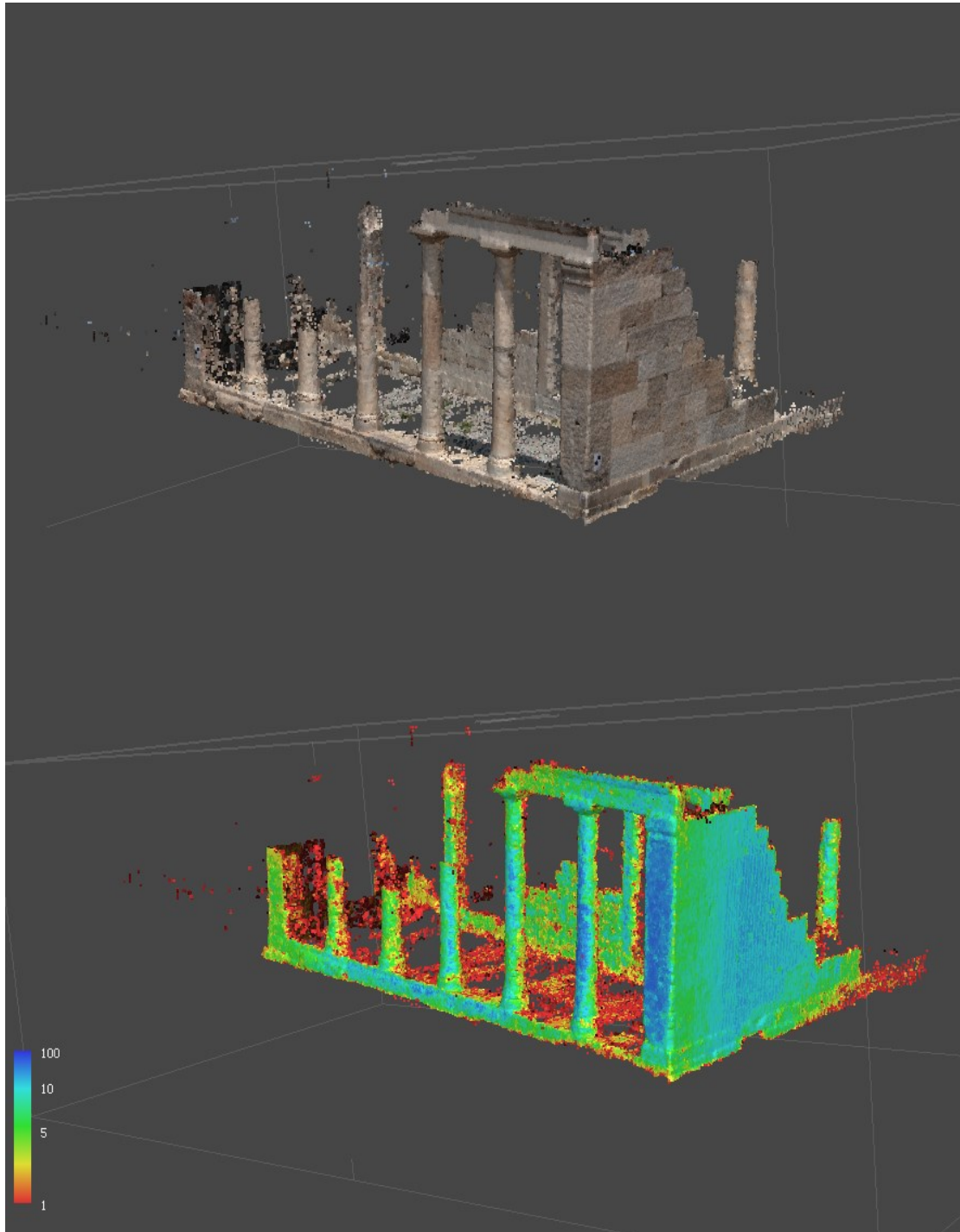
- General:** Quality: Lowest
- Advanced:** Depth filtering: Disabled
- Reuse depth maps
- Calculate point colors
- Calculate point confidence

At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons. To the right is a 'Dense Cloud Report' table:

Property	Value
<b>Dense Cloud</b>	
Points	166,245
Point colors	3 bands, uint8
<b>Depth maps generation parameters</b>	
Quality	Lowest
Filtering mode	Disabled
Processing time	6 seconds
Memory usage	1.81 GB
<b>Dense cloud generation parameters</b>	
Processing time	2 seconds
Memory usage	459.62 MB
Software version	1.7.1.11797
File size	2.45 MB

Εικόνα 64: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Dense Cloud Report της πρώτης δοκιμής του Build Dense Cloud

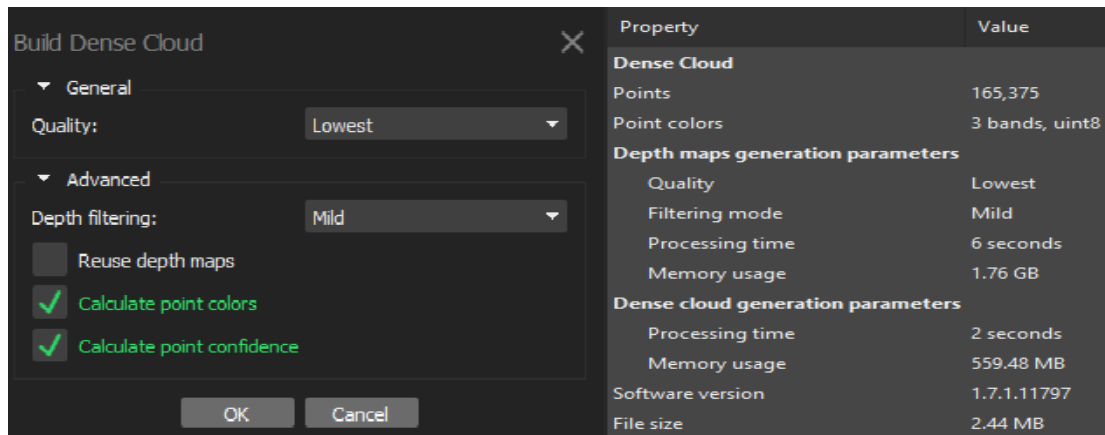
Όπως είναι αναμενόμενο η συγκεκριμένη διαδικασία δεσμεύει πολύ παραπάνω πόρους του υπολογιστή για να ολοκληρωθεί. Επίσης αναμενόμενοι είναι και οι πολύ χαμηλοί χρόνοι επεξεργασίας καθώς χρησιμοποιούνται πολύ χαμηλές ρυθμίσεις ποιότητας. Σε ό,τι αφορά στο παραγόμενο πυκνό νέφος φαίνεται (Εικόνα 65) ότι με την απενεργοποίηση του Depth filtering υπάρχει φανερός θόρυβος στο νέφος. Στις επόμενες δοκιμές γίνεται διερεύνηση της κατάλληλης τιμής φίλτρου για το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων. Από την κάτω εικόνα της εικόνας 65 φαίνονται τα σημεία με τα επίπεδα εμπιστοσύνης τους με τον τρόπο που τα υπολογίζει το λογισμικό. Η χρησιμότητα του συγκεκριμένου τρόπου απεικόνισης είναι το να μπορεί να κρίνει ο χρήστης το νέφος με βάση κάποια αξιολόγηση που κάνει το λογισμικό και εάν επιθυμεί να φιλτράρει το νέφος επιλέγοντας από ποια τιμή εμπιστοσύνης και πάνω επιθυμεί να κρατήσει στο νέφος. Η διαδικασία αυτή γίνεται αυτοματοποιημένα μέσα από τα εργαλεία διαχείρισης των νεφών που προσφέρει το λογισμικό.



Εικόνα 65: Πυκνό νέφος πρώτης δοκιμής (Πάνω), Πυκνό νέφος πρώτης δοκιμής με τιμές Point Confidence σε κάθε σημείο (Κάτω).

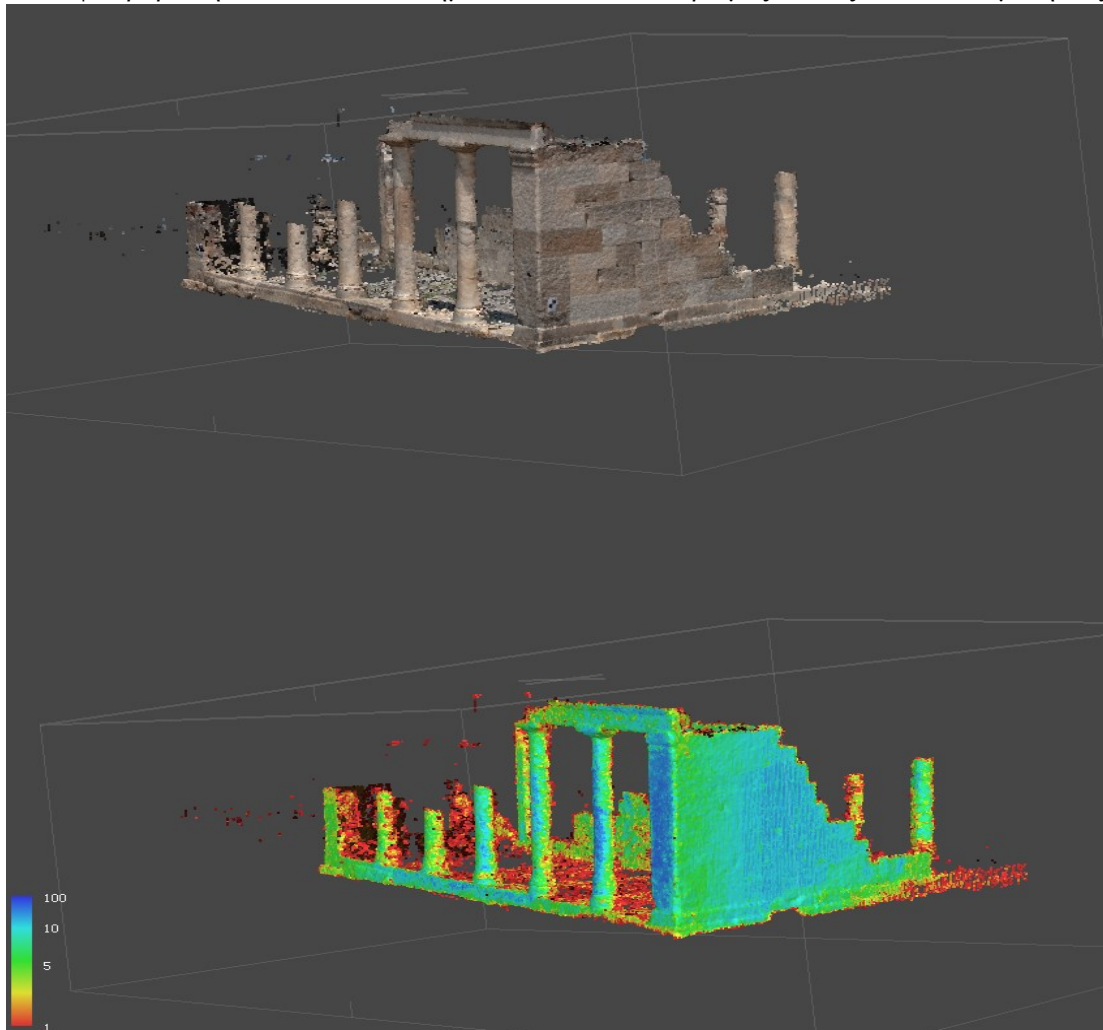
Δοκιμή 2

Γίνεται διερεύνηση της τιμής Mild του Depth Filtering.



Εικόνα 66: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Dense Cloud Report της δεύτερης δοκιμής του Build Dense Cloud

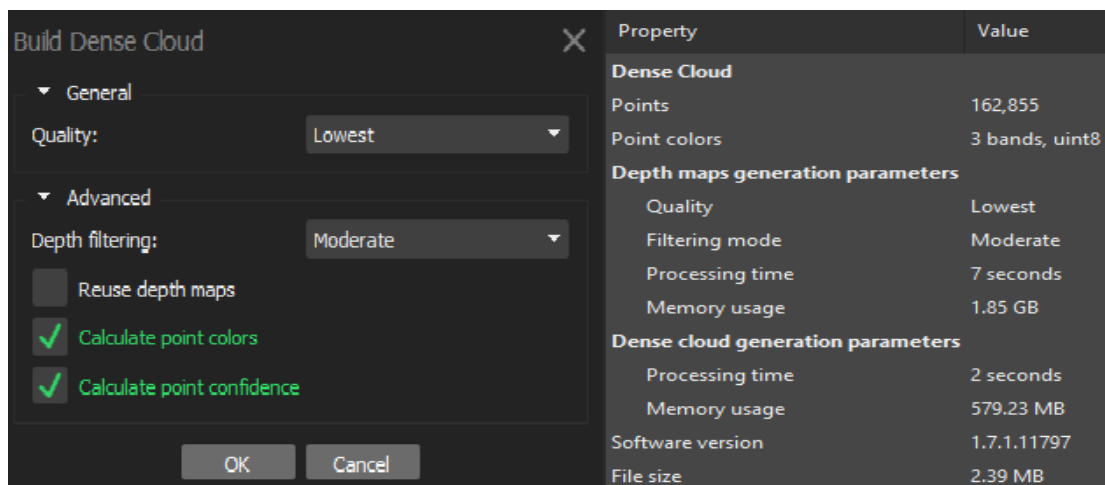
Φαίνεται ότι το πρόβλημα του θορύβου παραμένει (Εικόνα 67). Από το Report φαίνεται ότι φιλτραρίστηκαν κάποια σημεία αλλά ο αριθμός τους είναι αμελητέος.



Εικόνα 67: Πυκνό νέφος δεύτερης δοκιμής (Πάνω), Πυκνό νέφος δεύτερης δοκιμής με τιμές Point Confidence σε κάθε σημείο (Κάτω).

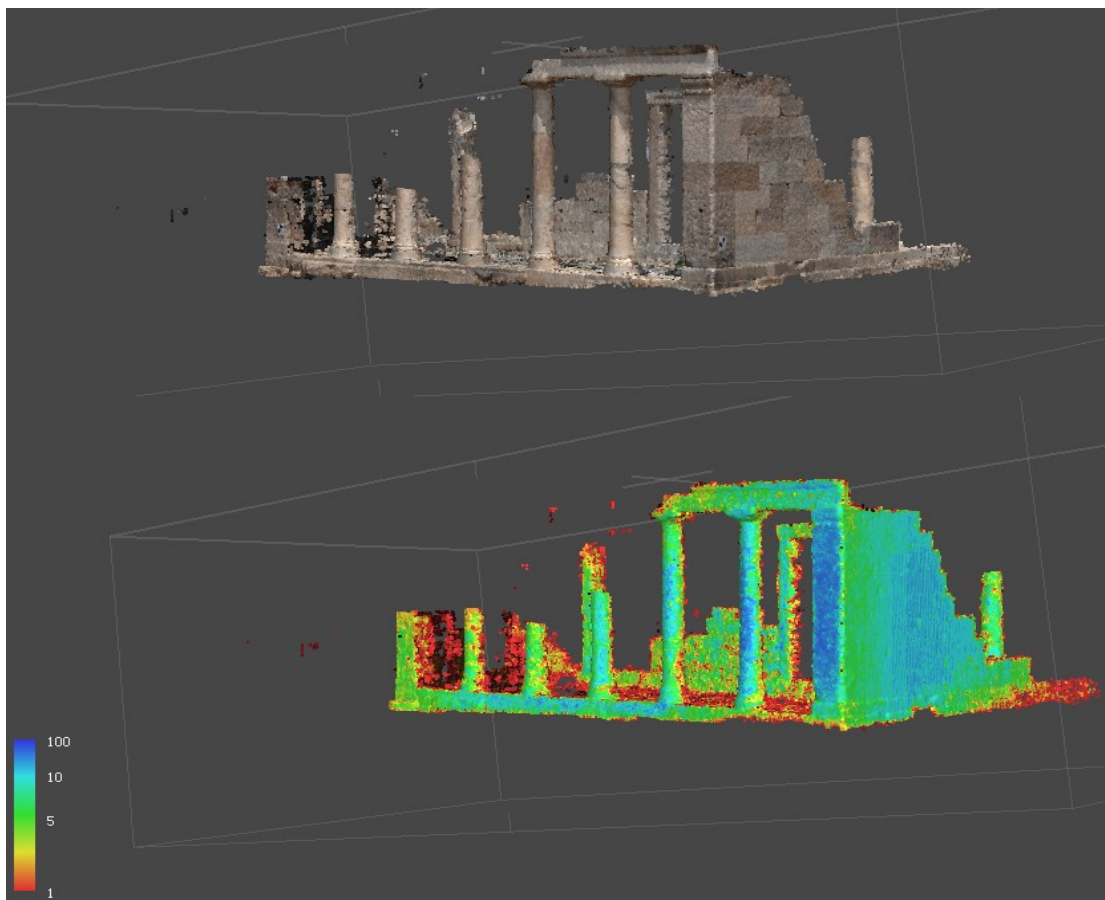
**Δοκιμή 3**

Γίνεται διερεύνηση της τιμής Moderate του Depth Filtering.



Εικόνα 68: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Dense Cloud Report της τρίτης δοκιμής του Build Dense Cloud

Παρατηρείται αύξηση του χρόνου επεξεργασίας και φιλτράρισμα παραπάνω σημείων. Οπτικά φαίνεται (Εικόνα 69) ότι ο θόρυβος που υπήρχε μειώθηκε αλλά εξακολουθεί να υπάρχει ένα μέρος του.

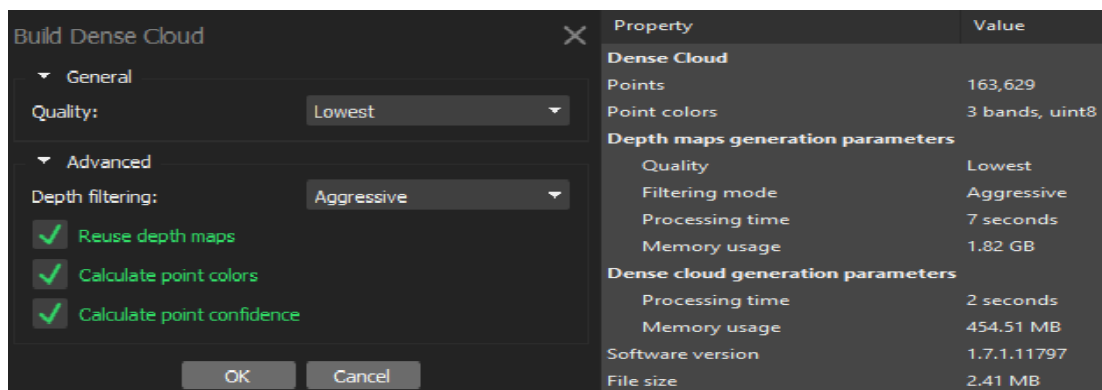


Εικόνα 69: Πυκνό νέφος τρίτης δοκιμής (Πάνω), Πυκνό νέφος τρίτης δοκιμής με τιμές Point Confidence σε κάθε σημείο (Κάτω).



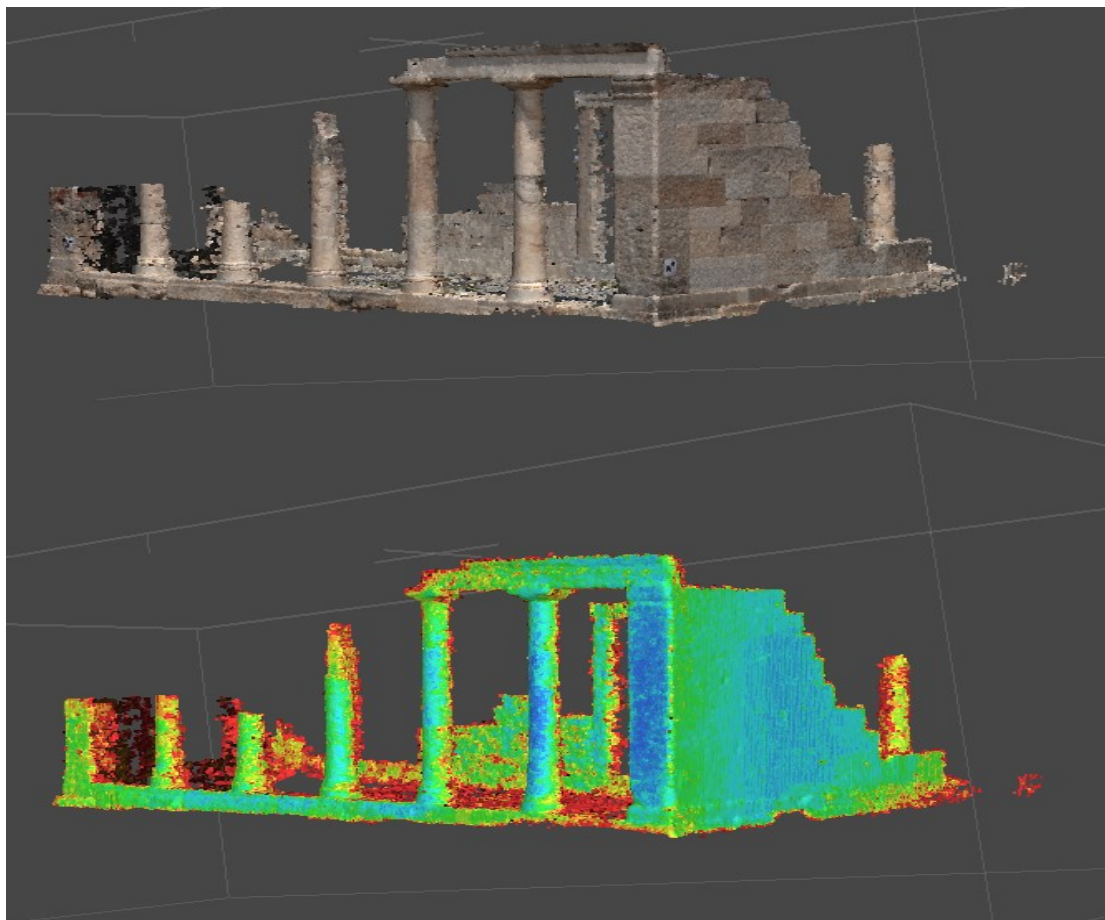
**Δοκιμή 4**

Γίνεται διερεύνηση της τιμής Aggressive του Depth Filtering.



Εικόνα 70: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Dense Cloud Report της τέταρτης δοκιμής του Build Dense Cloud

Φαίνεται ότι φιλτραρίστηκαν λιγότερα σημεία συγκριτικά με την δοκιμή 3, όμως φαίνεται (Εικόνα 71) να έχει εξαλειφθεί μεγάλο μέρος του θορύβου που υπήρχε και αυτός περιορίστηκε στα “όρια” της μάζας του αντικειμένου ενδιαφέροντος. Αυτή η παράμετρος θεωρείται η κατάλληλη για το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων και θα χρησιμοποιείται στην συνέχεια των δοκιμών.

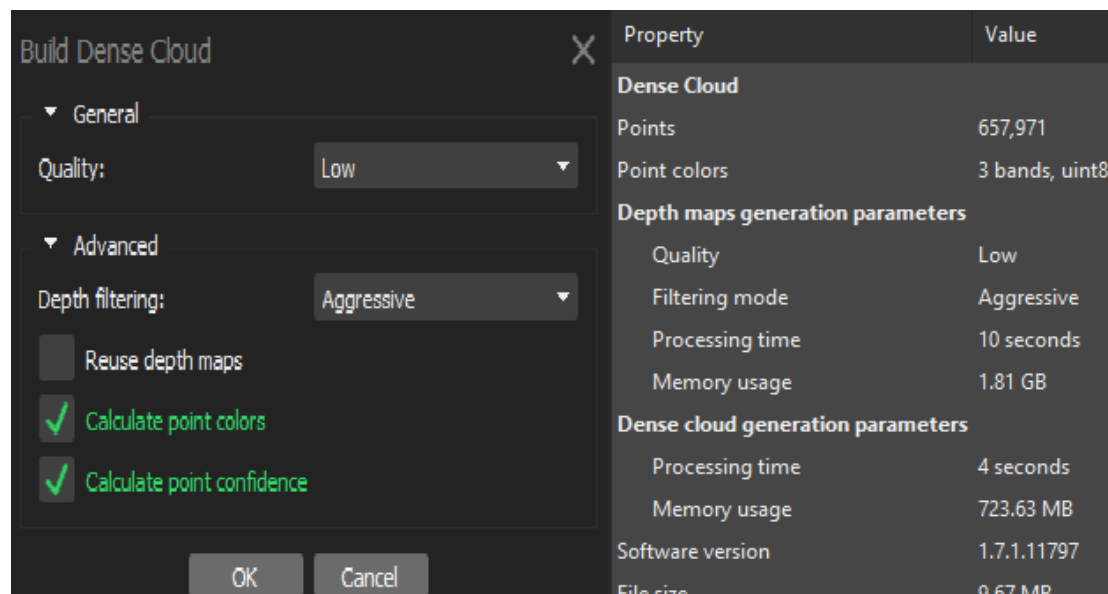


Εικόνα 71: Πυκνό νέφος τέταρτης δοκιμής (Πάνω), Πυκνό νέφος τέταρτης δοκιμής με τιμές Point Confidence σε κάθε σημείο (Κάτω).



**Δοκιμή 5**

Αφού έγινε διερεύνηση των παραμέτρων του Depth Filtering και θεωρήθηκε η τιμή Aggressive ως η καταλληλότερη, θα γίνει διερεύνηση των τιμών Quality ξεκινώντας από την τιμή Low.



Εικόνα 72: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Dense Cloud Report της πέμπτης δοκιμής του Build Dense Cloud

Όπως είναι αναμενόμενο το νέφος που προκύπτει είναι πιο πυκνό κατά 302% και ο χρόνος επεξεργασίας αυξήθηκε κατά 55%. Εκ πρώτης όψεως δεν φαίνεται ιδιαίτερη διαφορά στο νέφος, όμως η αυξημένη πυκνότητα η οποία φαίνεται στην εικόνα 74 θα επιτρέψει την δημιουργία καλύτερων προϊόντων στα επόμενα στάδια της επεξεργασίας. Επομένως δεν αναμένονται ιδιαίτερες διαφορές εξετάζοντας οπτικά τα νέφη που θα προκύπτουν από τις δοκιμές αυτές, όμως αναμένονται μεγάλες διαφορές στην πυκνότητά τους και στους χρόνους επεξεργασίας. Εκεί είναι το σημείο που θα εστιάσουν οι δοκιμές.



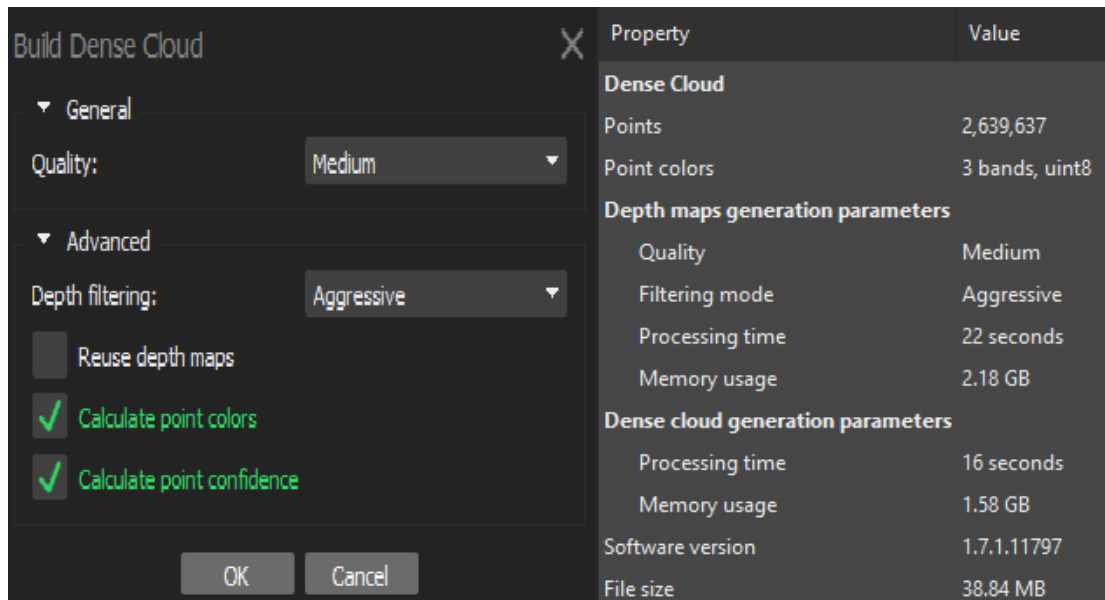
Εικόνα 73: Πυκνό νέφος πέμπτης δοκιμής (Dense Cloud)



Εικόνα 74: Πυκνό νέφος τέταρτης δοκιμής σε μεγέθυνση σε μια περιοχή (Κάτω), Πυκνό νέφος πέμπτης δοκιμής σε μεγέθυνση σε μια περιοχή (Πάνω).

**Δοκιμή 6**

Διερεύνησή της τιμής Medium Quality.



The screenshot shows the 'Build Dense Cloud' dialog box on the left and a 'Dense Cloud Report' table on the right.

**Build Dense Cloud Dialog:**

- General: Quality: Medium
- Advanced: Depth filtering: Aggressive
- Reuse depth maps:
- Calculate point colors:
- Calculate point confidence:

**Dense Cloud Report Table:**

Property	Value
<b>Dense Cloud</b>	
Points	2,639,637
Point colors	3 bands, uint8
<b>Depth maps generation parameters</b>	
Quality	Medium
Filtering mode	Aggressive
Processing time	22 seconds
Memory usage	2.18 GB
<b>Dense cloud generation parameters</b>	
Processing time	16 seconds
Memory usage	1.58 GB
Software version	1.7.1.11797
File size	38.84 MB

Εικόνα 75: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Dense Cloud Report της πέμπτης δοκιμής του Build Dense Cloud.

Αναμενόμενα παρατηρείται ένα πυκνότερο νέφος κατά 301% που προκύπτει από μια υπολογιστική διαδικασία που είναι πιο χρονοβόρα κατά 171%.



Εικόνα 76: Πυκνό νέφος έκτης δοκιμής(Dense Cloud)

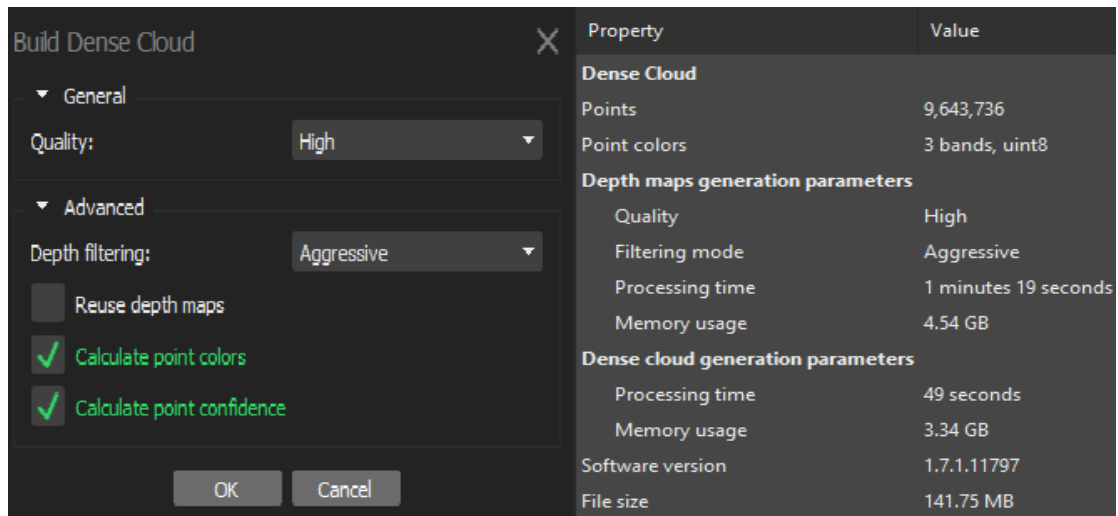




Εικόνα 77: Πυκνό νέφος από *Lowest Quality* έως *Medium Quality* (Από κάτω προς τα πάνω)

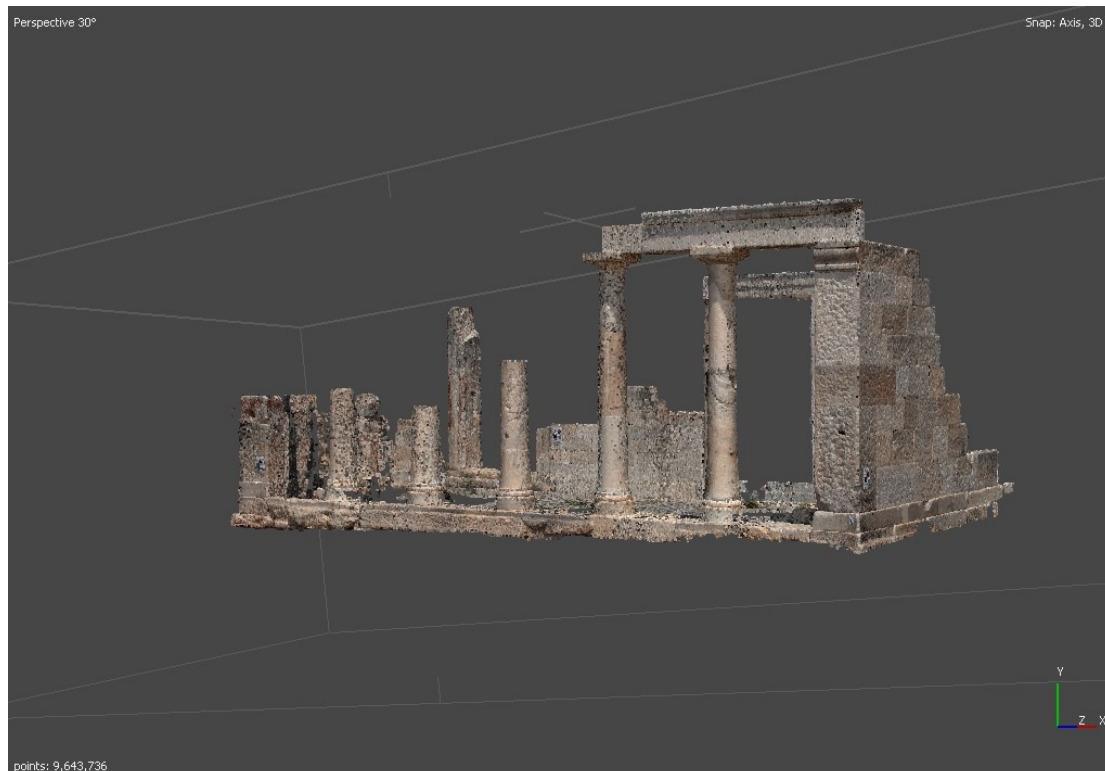
**Δοκιμή 7**

Διερεύνησή της τιμής High Quality.



Εικόνα 78: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Dense Cloud Report της έβδομης δοκιμής του Build Dense Cloud.

Αναμενόμενα και εδώ παρατηρείται πύκνωση του νέφους κατά 265% και αύξηση του χρόνου επεξεργασίας κατά 236%. Αξίζει να σημειωθεί και ο σχεδόν διπλασιασμός των πόρων που δεσμεύει η επεξεργασία αυτή σε σχέση με την προηγούμενη.



Εικόνα 79: Πυκνό νέφος έβδομης δοκιμής (Dense Cloud)

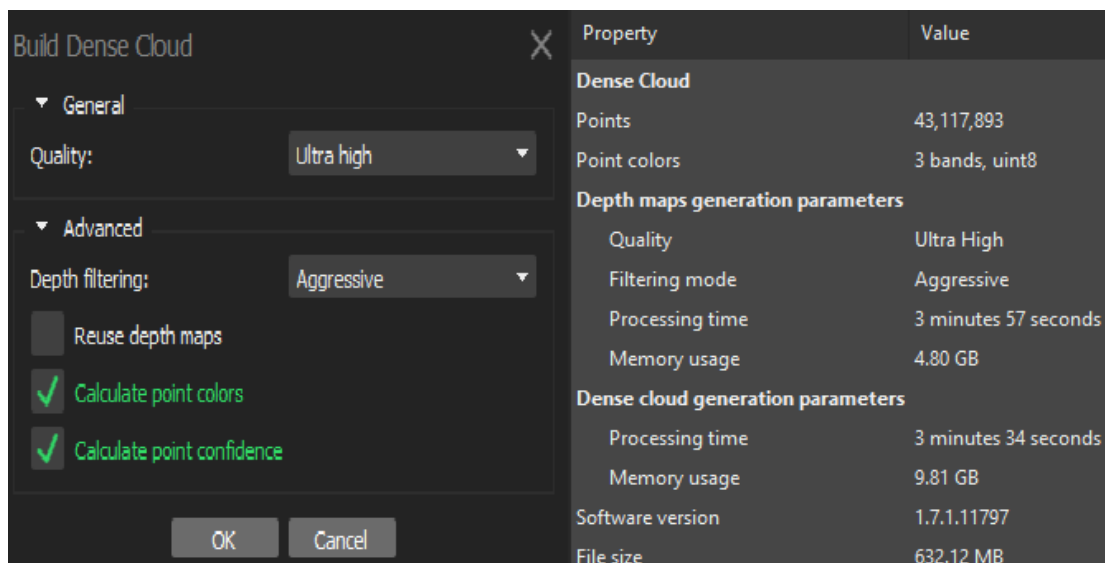




*Εικόνα 80: Πυκνό νέφος έκτης δοκιμής σε μεγέθυνση σε μια περιοχή (Κάτω), Πυκνό νέφος έβδομης δοκιμής σε μεγέθυνση σε μια περιοχή (Πάνω).*

**Δοκιμή 8**

Τέλος διερευνάται η τιμή Ultra High Quality.



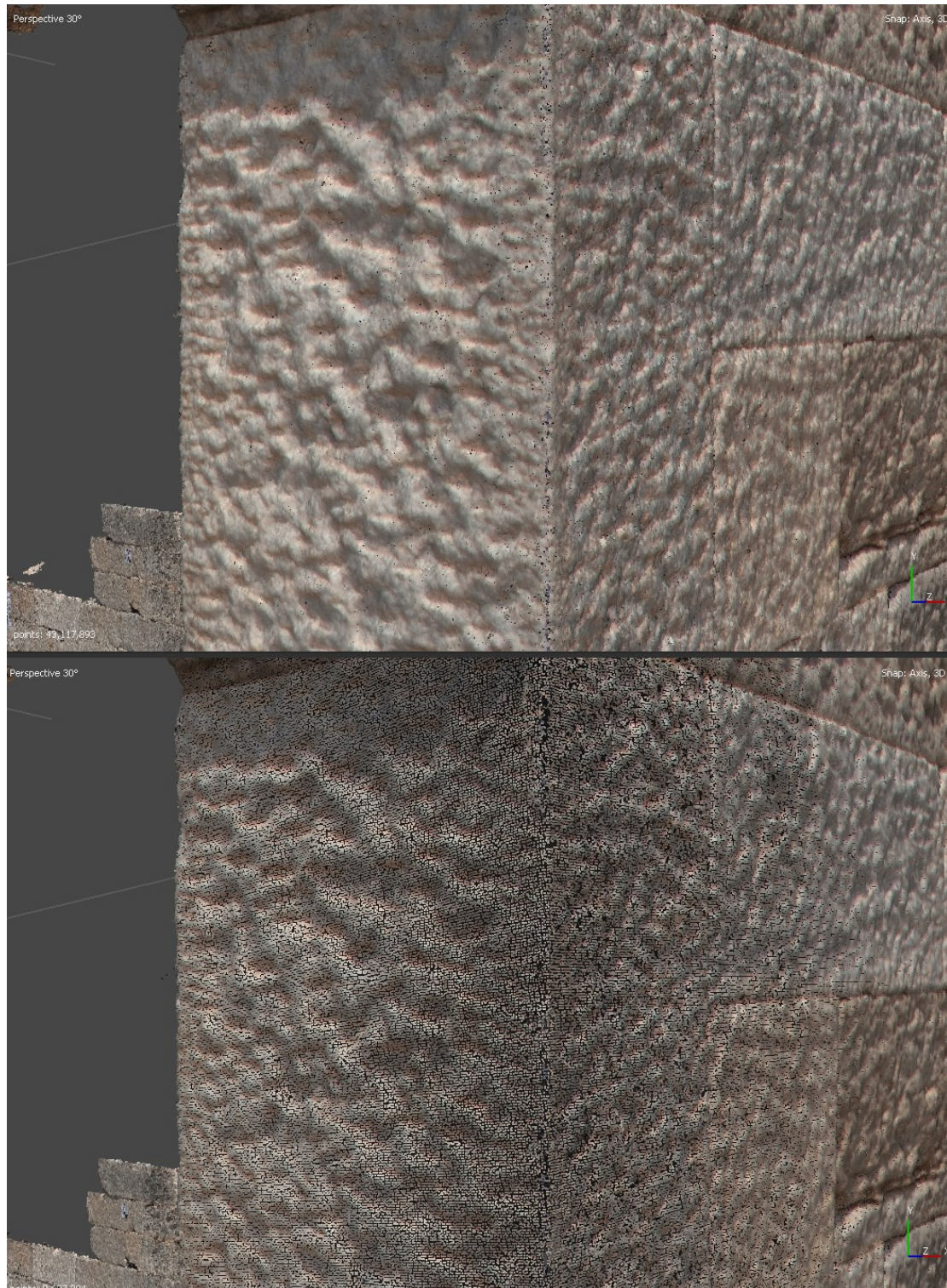
Εικόνα 81: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Dense Cloud Report της όγδοης δοκιμής του Build Dense Cloud.

Παρατηρείται πολύ μεγάλη πύκνωση του νέφους συγκριτικά με την δοκιμή 7 (347%), αύξηση του χρόνου επεξεργασίας κατά 252%. Ακόμα παρατηρείται σημαντική αύξηση των δεσμευμένων πόρων του υπολογιστή για την εκτέλεση αυτής της δοκιμής.



Εικόνα 82: Πυκνό νέφος όγδοης δοκιμής.





*Εικόνα 83: Πυκνό νέφος έβδομης δοκιμής σε μεγέθυνση σε μια περιοχή (Κάτω), Πυκνό νέφος όγδοης δοκιμής σε μεγέθυνση σε μια περιοχή (Πάνω).*



Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις δοκιμές με αρχικά αραιά νέφη των δοκιμών 11 και 17 του βήματος Alignment, είναι αντίστοιχα, με διαφοροποιήσεις στις απόλυτες τιμές των χρόνων επεξεργασίας, των συνολικών σημείων και των πόρων του υπολογιστή. Για λόγους συντομίας και επειδή θεωρείται ότι δεν έχει να προσφέρει κάποιο επιπλέον συμπέρασμα η αναλυτική παρουσίασή τους, τα αποτελέσματα αναγράφονται στους πίνακες 7 και 8. Αυτό γιατί, η πιστότητα απόδοσης εξαρτάται κυρίως από το αραιό νέφος που χρησιμοποιείται ως δεδομένο εισόδου στον αλγόριθμο MVS. Ο αλγόριθμος MVS ουσιαστικά πυκνώνει το αραιό νέφος γεμίζοντας τα “κενά” ανάμεσα στα σημεία του αραιού νέφους και ταυτόχρονα εκτελεί και κάποιες διαδικασίες φιλτραρίσματος για να απορρίψει τον θόρυβο. Επομένως είναι προφανές ότι τα καλύτερα από άποψη ποιότητας, πυκνά νέφη, θα προκύψουν από τα καλύτερα αραιά νέφη που θα χρησιμοποιηθούν ως βάση. Αυτό που πραγματικά ενδιαφέρει την αξιολόγηση των παραμέτρων σε αυτό το βήμα είναι, το φιλτράρισμα βάθους, η πυκνότητα των παραγόμενων πυκνών νεφών και η αποδοτικότητα κάθε παραμέτρου με σκοπό να βρεθεί ο καλύτερος συνδυασμός χρόνου-ποιότητας.

Accuracy	Points	Ποσοστιαία Διαφορά Points (%)	Processing Time (SUM) (seconds)	Ποσοστιαία Διαφορά Time (%)	Memory Usage (SUM) (GB)
Lowest Quality	177.697	0	8	0	2.45
Low Quality	382.329	115	15	88	2.61
Medium Quality	2.682.348	601	40	166	3.93
High Quality	9.723.731	352	136	240	8.09
Ultra High Quality	42.317.847	335	504	270	14.9

Πίνακας 7: Αποτελέσματα δοκιμών για παραγωγή πυκνού νέφους χρησιμοποιώντας ως βάση το αραιό νέφος της 11ης δοκιμής του Alignment και τιμή Depth Filtering: Aggressive.

Accuracy	Points	Ποσοστιαία Διαφορά Points (%)	Processing Time (SUM) (seconds)	Ποσοστιαία Διαφορά Time (%)	Memory Usage (SUM) (GB)
Lowest Quality	168.817	0	9	0	2.45
Low Quality	656.513	288	15	66	2.58
Medium Quality	2.595.369	195	40	166	4.03
High Quality	9.385.103	261	143	257	8.52
Ultra High Quality	40.897.600	351	526	268	14.91

Πίνακας 8 : Αποτελέσματα δοκιμών για παραγωγή πυκνού νέφους χρησιμοποιώντας ως βάση το αραιό νέφος της 17ης δοκιμής του Alignment και τιμή Depth Filtering: Aggressive.

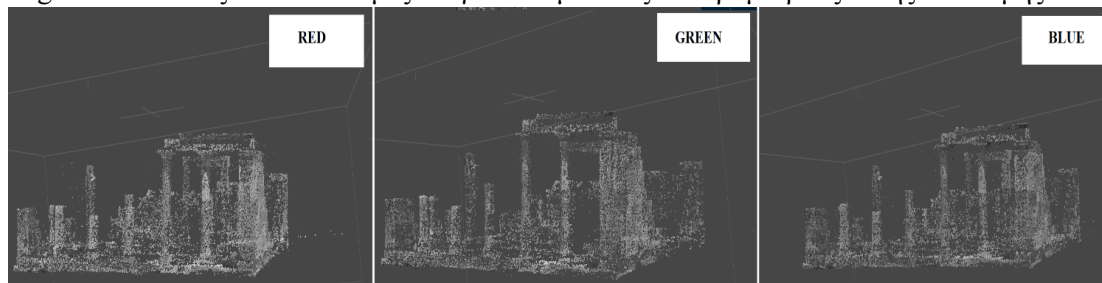
Από τα όσα προαναφέρθηκαν, είναι προφανές ότι το καλύτερο αποτέλεσμα συνδυάζοντας ποιότητα και πυκνότητα προκύπτει, χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους της δοκιμής 17 στο βήμα του Align και τις τιμές Ultra High στην παράμετρο Quality και Aggressive στην Depth Filtering. Όμως τίθενται σοβαροί περιορισμοί οι οποίοι αναλύονται αργότερα.

#### 4.2.4 Διερεύνηση ευαισθησίας χρωμάτων του λογισμικού

Μετά την διερεύνηση των διαφόρων παραμέτρων της παραγωγής αραιού και πυκνού νέφους σημείων, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της ευαισθησίας χρωμάτων του λογισμικού. Δηλαδή σε ποιο από τα τρία κανάλια που συνθέτουν τις εικόνες (Red-Green-Blue) το λογισμικό έχει μεγαλύτερη ευκολία εντοπισμού σημείων ενδιαφέροντος. Για να γίνει αυτό αρχικά έγινε κατάτμηση των εικόνων στα τρία κανάλια τους στο λογισμικό GIMP v.2.10 και οι τρεις ομάδες εικόνων που προέκυψαν χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου στο βήμα του Align. Έπειτα συγκρίθηκε ο αριθμός των σημείων των νεφών που προέκυψαν με τον αριθμό των σημείων του νέφους των αρχικών εικόνων.

Όλες οι ασπρόμαυρες εικόνες που προκύπτουν από την κατάτμηση των αρχικών απεικονίζουν το ίδιο αντικείμενο στην ίδια θέση σε κάθε εικόνα και το μόνο που αλλάζει είναι η τιμή τόνου του γκρι στο κάθε pixel. Επομένως θεωρείται ότι η σύγκριση είναι αξιόπιστη. Έχοντας ως δεδομένο ότι δεν είναι γνωστό με σιγουριά πώς ακριβώς έχει προγραμματιστεί το λογισμικό, αυτό το πείραμα δεν μπορεί να οδηγήσει σε τελεσίδικο συμπέρασμα, αλλά είναι μια ισχυρή ένδειξη. Για να βγουν ασφαλή συμπεράσματα πρέπει να γίνουν πειράματα σε πολλαπλά σύνολα δεδομένων ή πειράματα σχεδιασμένα καθαρά για την διερεύνηση αυτή.

Διενεργήθηκαν τρεις νέες δοκιμές που συγκρίθηκαν με την δοκιμή 17 της φάσης του alignment. Όλες οι δοκιμές έγιναν με τις παραμέτρους της δοκιμής 17.

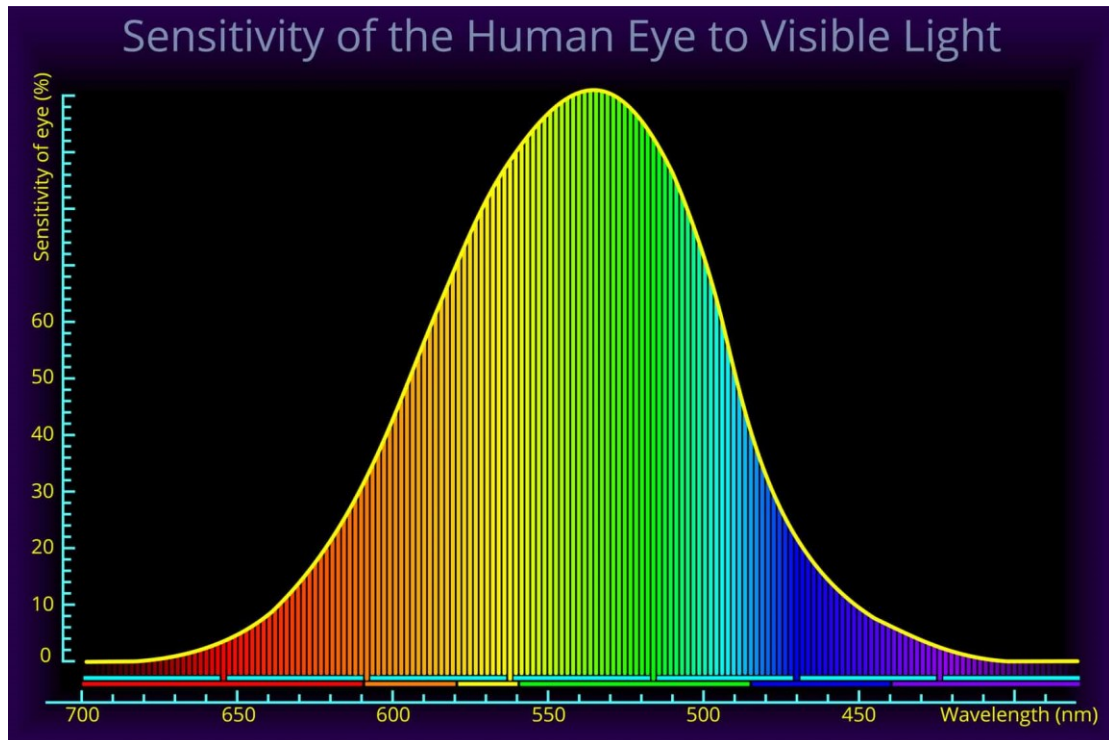


Εικόνα 84 : Αραιά νέφη που προκύπτουν από τα κανάλια των αρχικών εικόνων.

ΟΜΑΔΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	Σημεία Αραιού Νέφους
Αρχικές εικόνες	24.826
Κόκκινο Κανάλι	27.374
Πράσινο Κανάλι	24.572
Μπλε Κανάλι	26.071

Πίνακας 9 : Αποτελέσματα δοκιμών alignment με χρήση των καναλιών των αρχικών εικόνων και σύγκρισή τους με την δοκιμή 17

Από τα αποτελέσματα αυτά η ένδειξη που προκύπτει είναι ότι το λογισμικό είναι πιο ευαίσθητο στο πράσινο κανάλι. Μπορεί με βάση αυτό και χρησιμοποιώντας την γνώση ότι το ανθρώπινο μάτι, υπό συνθήκες κανονικού φωτισμού, είναι πιο ευαίσθητο στο πράσινο χρώμα (Εικόνα 85), να γίνει η υπόθεση ότι μάλλον το λογισμικό είναι σχεδιασμένο να “αντιλαμβάνεται” τα χρώματα περίπου όπως ο μέσος άνθρωπος.



Εικόνα 85: Καμπύλη ορατού φάσματος.

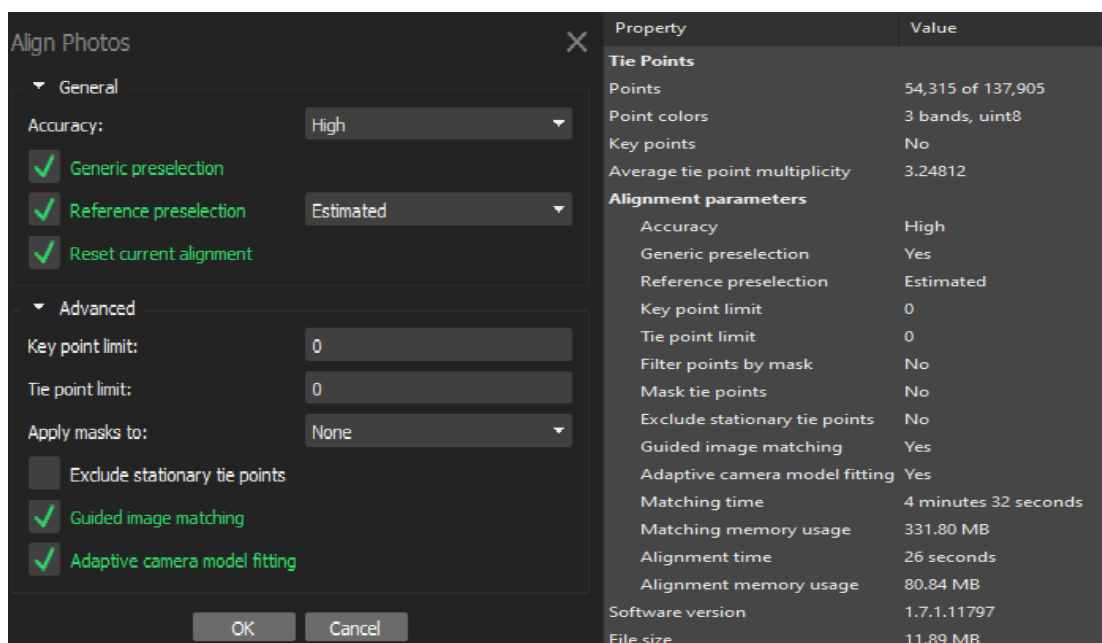
## 4.3. Σύνολο Δεδομένων 2 (Μινιατούρα Κουκουβάγια)

### 4.3.1 Alignment

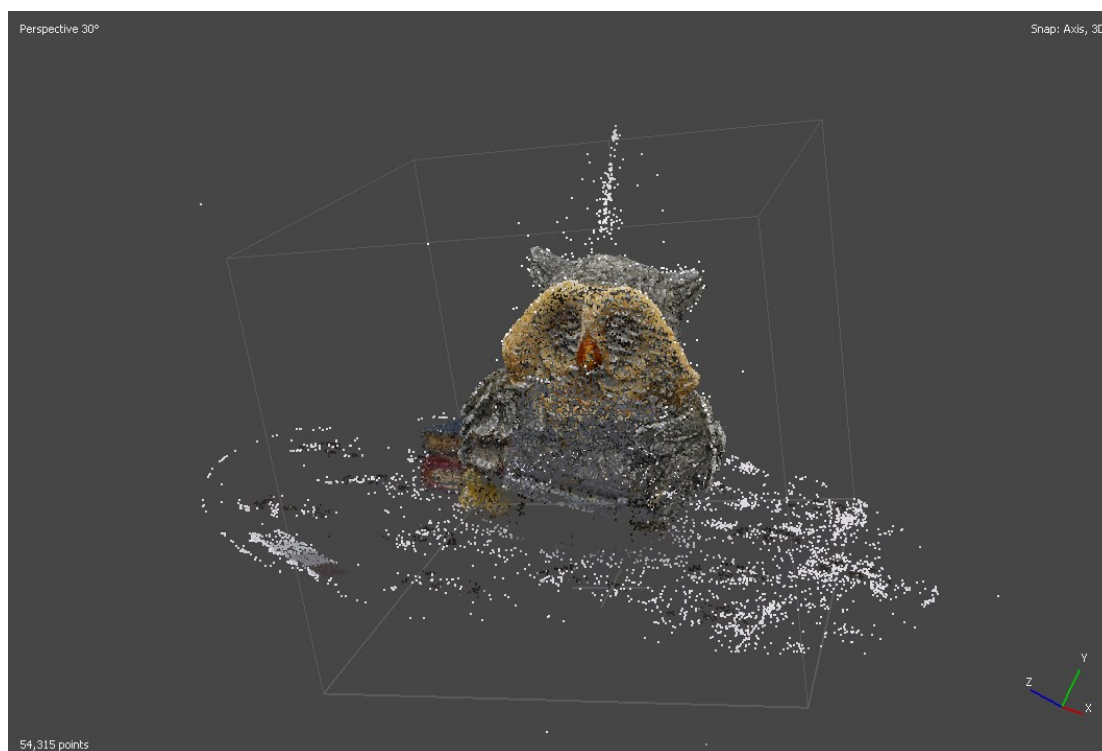
Όπως προαναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3, το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων χρησιμοποιήθηκε με σκοπό την διερεύνηση της παραμέτρου Stationary Tie Points. Το dataset αυτό θεωρείται κατάλληλο για την διερεύνηση αυτής της παραμέτρου καθώς το αντικείμενο περιστρέφεται γύρω από έναν σταθερό άξονα και το περιβάλλον γύρω του μένει σταθερό. Επομένως αναμένεται η χρήση αυτής της παραμέτρου να φιλτράρει το παρασκήνιο του αντικειμένου.

Η πειραματική διαδικασία επομένως, επικεντρώνεται σε αυτήν την παράμετρο. Οι υπόλοιπες παράμετροι, που χρησιμοποιήθηκαν για τα πειράματα αυτά, προέκυψαν από διερεύνηση και δοκιμές αντίστοιχες με αυτές που διενεργήθηκαν για το σύνολο δεδομένων 1. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, ήταν αντίστοιχα με το προηγούμενο σύνολο δεδομένων, κάτι αναμενόμενο καθώς και η κάμερα είναι καλή και η γεωμετρία της σκηνής επίσης καλή. Ό,τι δηλαδή ίσχυε και για το σύνολο δεδομένων 1.

Από την παραπάνω διερεύνηση επιλέχθηκαν ως καλύτερος συνδυασμός παραμέτρων οι παράμετροι της δοκιμής 17 (Εδάφιο 4.2.1), εξαιρουμένης της παραμέτρου που εξετάζεται. Έγιναν 4 δοκιμές, δυο με μάσκες και δυο χωρίς μάσκες και σε όλες δεν χρησιμοποιήθηκαν όρια στα χαρακτηριστικά σημεία και στα ομόλογα.

Δοκιμή 1

Εικόνα 86: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report της πρώτης δοκιμής.

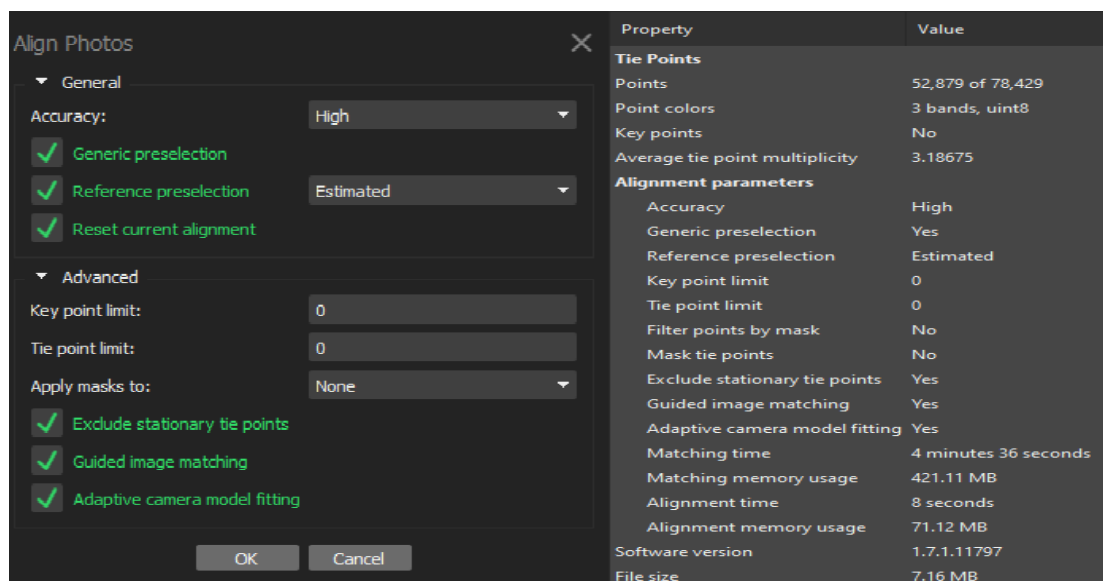


Εικόνα 87: Αραιό Νέφος πρώτης δοκιμής

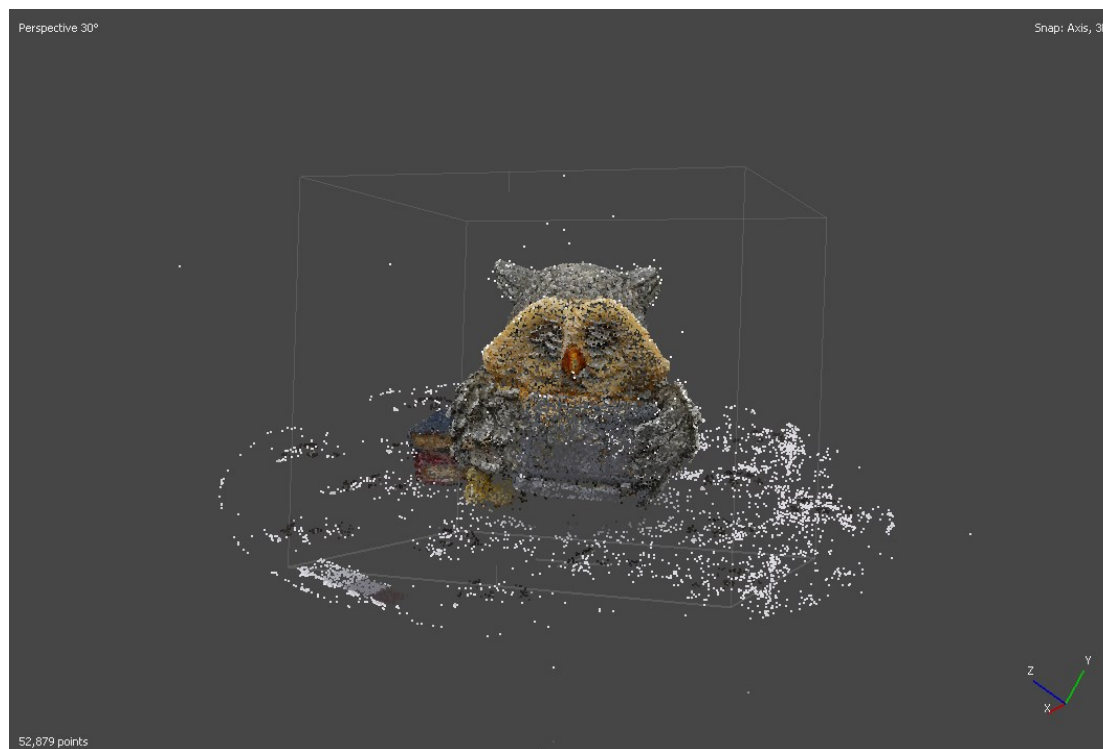
Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 87, το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι εμφανώς θορυβώδες. Ταυτόχρονα, από το report φαίνεται ότι πάνω από τα μισά σημεία ενδιαφέροντος θεωρήθηκαν θόρυβος από τον αλγόριθμο γεωμετρικής επαλήθευσης του λογισμικού, κάτι αναμενόμενο λόγω της φύσης της συγκεκριμένης δειγματοληψίας. Παρόλα αυτά ο αλγόριθμος γεωμετρικής επαλήθευσης δεν κατάφερε να εξαλείψει εντελώς τον θόρυβο.

**Δοκιμή 2**

Προστίθενται η επιλογή Exclude Stationary Tie Points στα προηγούμενα.



Εικόνα 88: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report της δεύτερης δοκιμής.

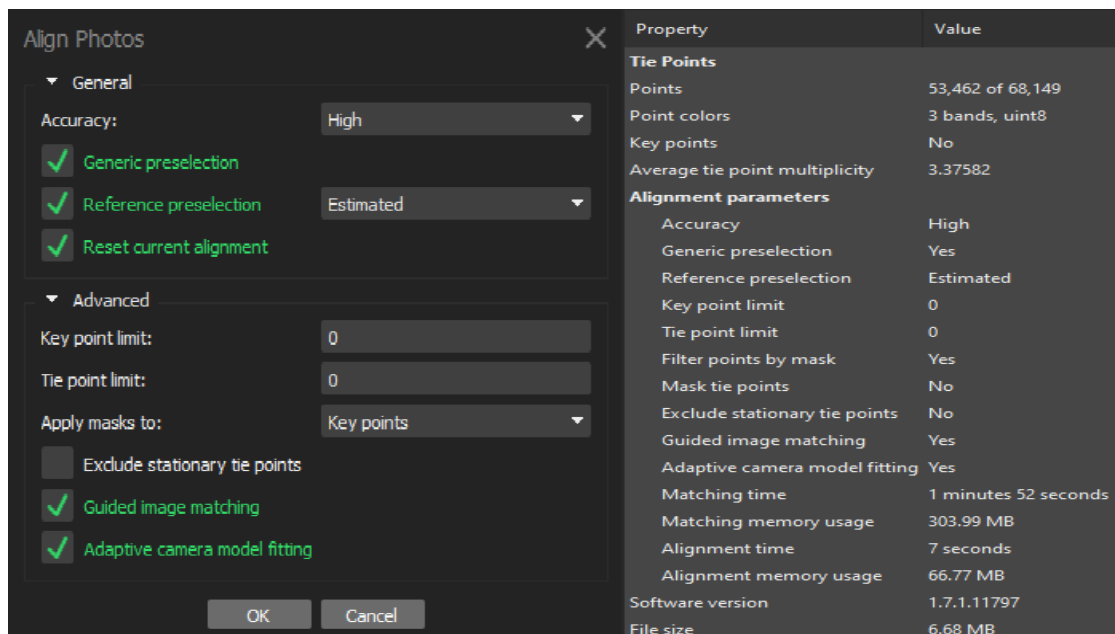


Εικόνα 89: Αραιό Νέφος δεύτερης δοκιμής.

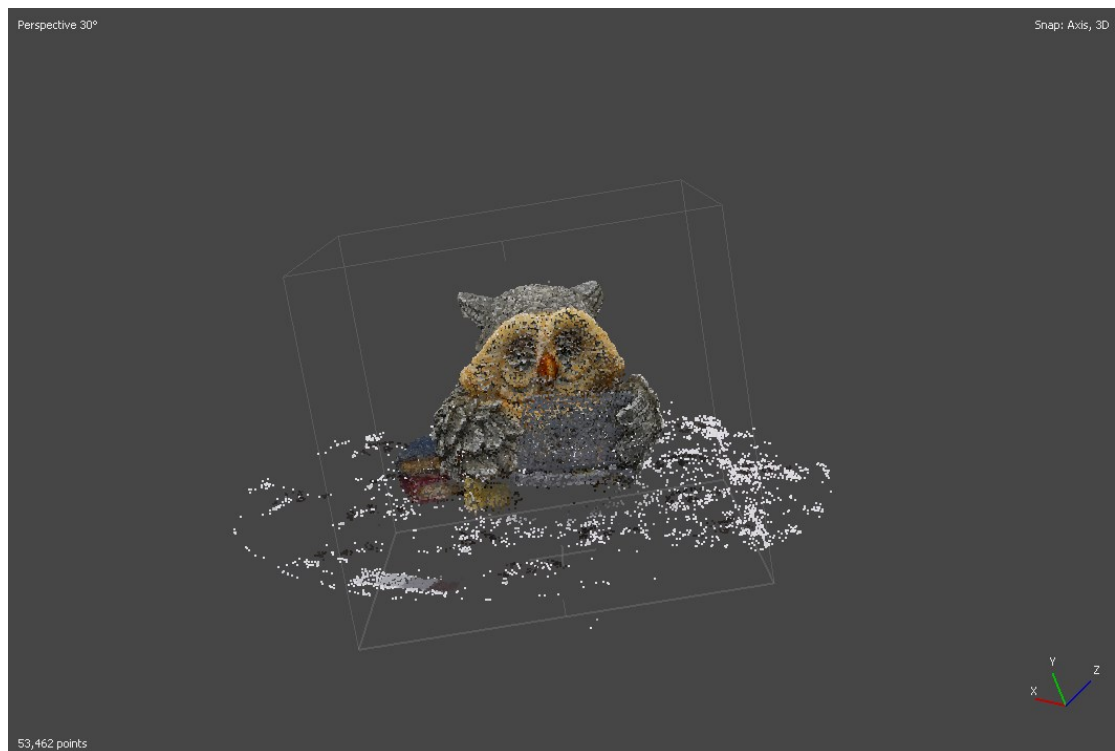
Όπως αναμενόταν το αραιό νέφος που προέκυψε είναι εμφανώς βελτιωμένο αλλά όχι εντελώς απαλλαγμένο από θόρυβο (λευκά σημεία πάνω στο αντικείμενο ενδιαφέροντος). Επίσης τα συνολικά σημεία ενδιαφέροντος μειώθηκαν κατά 43% και τα ομόλογα κατά 2.6%. Ο χρόνος επεξεργασίας μειώθηκε επίσης.

**Δοκιμή 3**

Επαναλήφθηκαν τα παραπάνω πειράματα με χρήση масκών.



Εικόνα 90: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report της τρίτης δοκιμής.

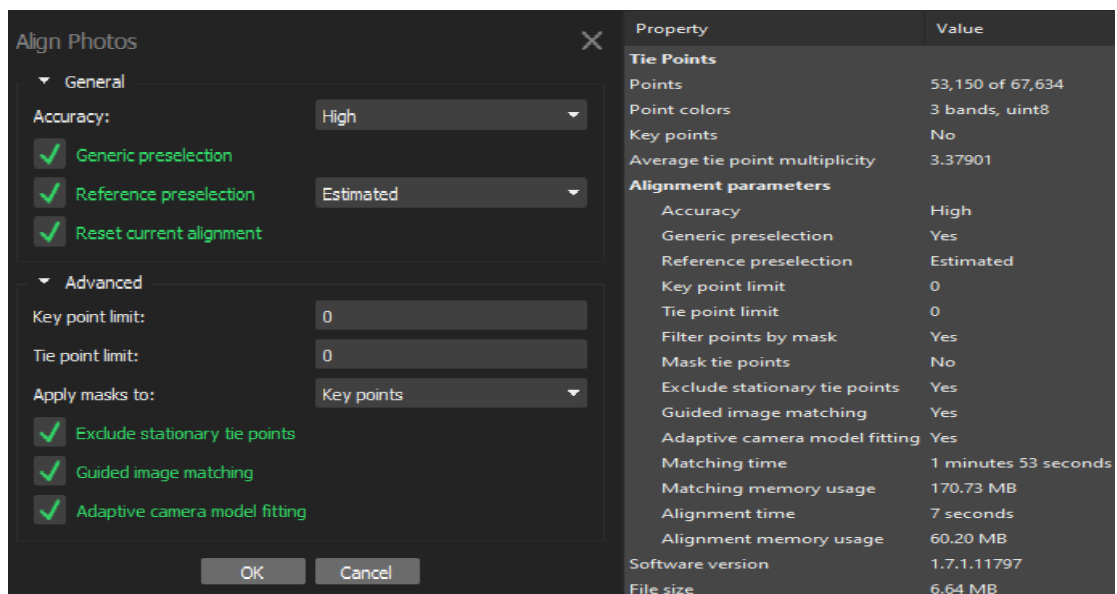


Εικόνα 91: Αραιό Νέφος τρίτης δοκιμής

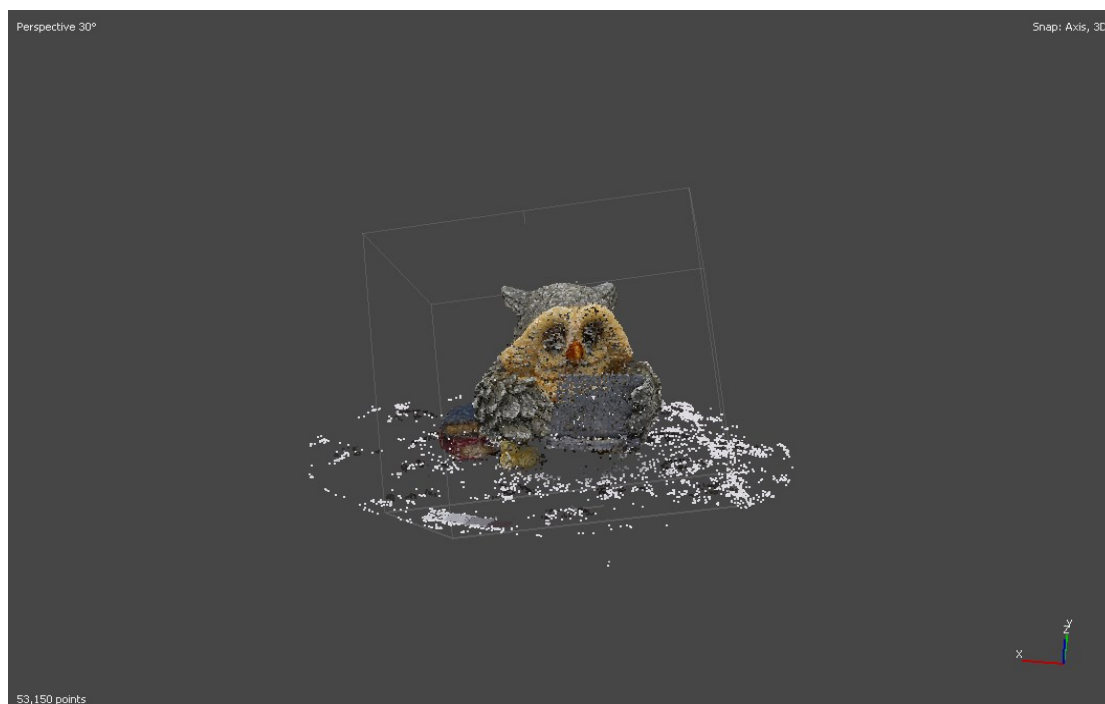
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 91, οι μάσκες επέδρασαν θετικά στο νέφος, εξαλείφθηκε σχεδόν όλος ο θόρυβος, ακόμα και με απενεργοποιημένη την παράμετρο Exclude Stationary Tie Points.

#### Δοκιμή 4

Ενεργοποιείται η παράμετρος Exclude Stationary Tie Points.



Εικόνα 92: Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν και το Alignment Report της τέταρτης δοκιμής.



Εικόνα 93: Αραιό Νέφος τρίτης δοκιμής

Συμπερασματικά η επιλογή Exclude Stationary Tie Points βοηθά σημαντικά στις περιπτώσεις που δεν εφαρμόζονται μάσκες και λιγότερο όταν έχουν τοποθετηθεί μάσκες. Ακόμα και τότε όμως σε σύνολα δεδομένων το αντικείμενο ενδιαφέροντος κινείται η χρήση της παραμέτρου είναι ενδεδειγμένη καθώς μπορεί να βελτιώσει έστω και λίγο το αποτέλεσμα.



### 4.3.2 Build Dense Cloud

Η λεπτομερής ανάλυση για την παραγωγή πυκνών νεφών έχει γίνει στα πειράματα του προηγούμενου συνόλου δεδομένων. Αντιστοίχως και εδώ εφόσον εντοπιστεί μετά από δοκιμές με Lowest Quality η ιδανική τιμή φιλτραρίσματος για το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων, όσο ανεβαίνει η τιμή του Quality τόσο πυκνώνεται με σημεία το νέφος και αυξάνεται το κόστος. Το νόημα των πειραμάτων εδώ έχουν στατιστικό χαρακτήρα. Ο στόχος είναι στο τέλος να συνυπολογιστούν όλα τα αποτελέσματα όλων των πειραμάτων για να βγουν κάποια συμπεράσματα για το ποιες τιμές Quality πρέπει να χρησιμοποιεί ο χρήστης σε κάθε περίπτωση που τον ενδιαφέρει. Χρησιμοποιείται μόνο το νέφος που προκύπτει από το High Accuracy με την επιλογή Stationary Tie Points ενεργοποιημένη και γίνεται χρήση των масκών. Σε ότι αφορά το φιλτράρισμα βάθους χρησιμοποιείται η τιμή Mild.

Accuracy	Points	Ποσοστιαία Διαφορά Points (%)	Processing Time (SUM) (seconds)	Ποσοστιαία Διαφορά Time (%)	Memory Usage (SUM) (GB)
Lowest Quality	38.157	0	8	0	1.97
Low Quality	142.536	273	11	38	2.29
Medium Quality	542.767	280	30	173	2.91
High Quality	1.915.310	252	97	223	6.55
Ultra High Quality	10.337.915	440	347	258	13.64

Πίνακας 10: Αποτελέσματα δοκιμών παραγωγής πυκνού νέφους (Σύνολο Δεδομένων 2)

## 4.4. Σύνολο Δεδομένων 3 ( Ιδιοκτησία στο Μαρμάρι Ευβοίας)

### 4.4.1 Alignment

Τα αποτελέσματα από τα πειράματα που έγιναν για την φάση της παραγωγής του αραιού νέφους, συγκλίνουν με τα πειράματα που έγιναν και στα προηγούμενα σύνολα δεδομένων. Για να μην επαναλαμβάνονται ίδια μοτίβα που δεν προσφέρουν ουσία θα παρατεθούν τα αποτελέσματα των δοκιμών σε πίνακες και όπου κρίνεται απαραίτητο γίνεται λεπτομερής αναφορά. Επισημαίνεται ότι το σύνολο των εικόνων είναι 76 και ότι όλες οι δοκιμές έγιναν με τιμές ορίων Key και Tie Points, 40.000 και 4.000 αντίστοιχα.

#### Δοκιμές Low Accuracy

ΔΟΚΙΜΗ	Generic Preselection	Exclude Stationary Tie Points	Guided Image Matching	Adaptive Camera Model Fitting
1	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
2	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
3	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι
4	Ναι	Όχι	Ναι	Όχι
5	Ναι	Όχι	Ναι	Ναι
6	Ναι	Όχι	Όχι	Ναι

Πίνακας 11: Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές με Low Accuracy (Σύνολο Δεδομένων 3)

ΔΟΚΙΜΗ	Ομόλογα Σημεία	Χαρακτηριστικά Σημεία	Ποσοστιαία Διαφορά Ομόλογων Σημείων(%)	Χρόνος επεξεργασίας (sec)	Ποσοστιαία Διαφορά Χρόνου(%)	Δέσμευση Προσωρινής Μνήμης RAM (GB)
1	64.746	71.239	0	97	0	0.32
2	65.659	70.969	+1.4	37	-61.8	0.19
3	65.658	70.966	-0.001	39	+5.4	0.19
4	68.522	74.789	+4.4	60	+53.8	0.24
5	69.072	74.790	+0.8	60	0	0.19
6	66.159	70.969	-4.2%	38	-36.6	0.19

Πίνακας 12: Αποτελέσματα δοκιμών Low Accuracy(Σύνολο Δεδομένων 3)

Δοκιμές Medium Accuracy

ΔΟΚΙΜΗ	Generic Preselection	Exclude Stationary Tie Points	Guided Image Matching	Adaptive Camera Model Fitting
7	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
8	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
9	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι
10	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι
11	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
12	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι

Πίνακας 13 : Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές με Medium Accuracy (Σύνολο Δεδομένων 3)

ΔΟΚΙΜΗ	Ομόλογα Σημεία	Χαρακτηριστικά Σημεία	Ποσοστιαία Διαφορά Ομόλογων Σημείων(%)	Χρόνος επεξεργασίας (sec)	Ποσοστιαία Διαφορά Χρόνου(%)	Δέσμευση Προσωρινής Μνήμης RAM (GB)
7	69.313	76.124	0	275	0	0.29
8	72.347	78.251	+4.3	61	-77.8	0.28
9	72.347	78.251	0	61	0	0.24
10	72.533	79.938	+0.3	139	+127.9	0.26
11	72.530	79.938	-0.004	136	-2.1%	0.25
12	72.356	78.251	-0.2	62	-54.4	0.24

Πίνακας 14 : Αποτελέσματα δοκιμών Medium Accuracy (Σύνολο Δεδομένων 3)

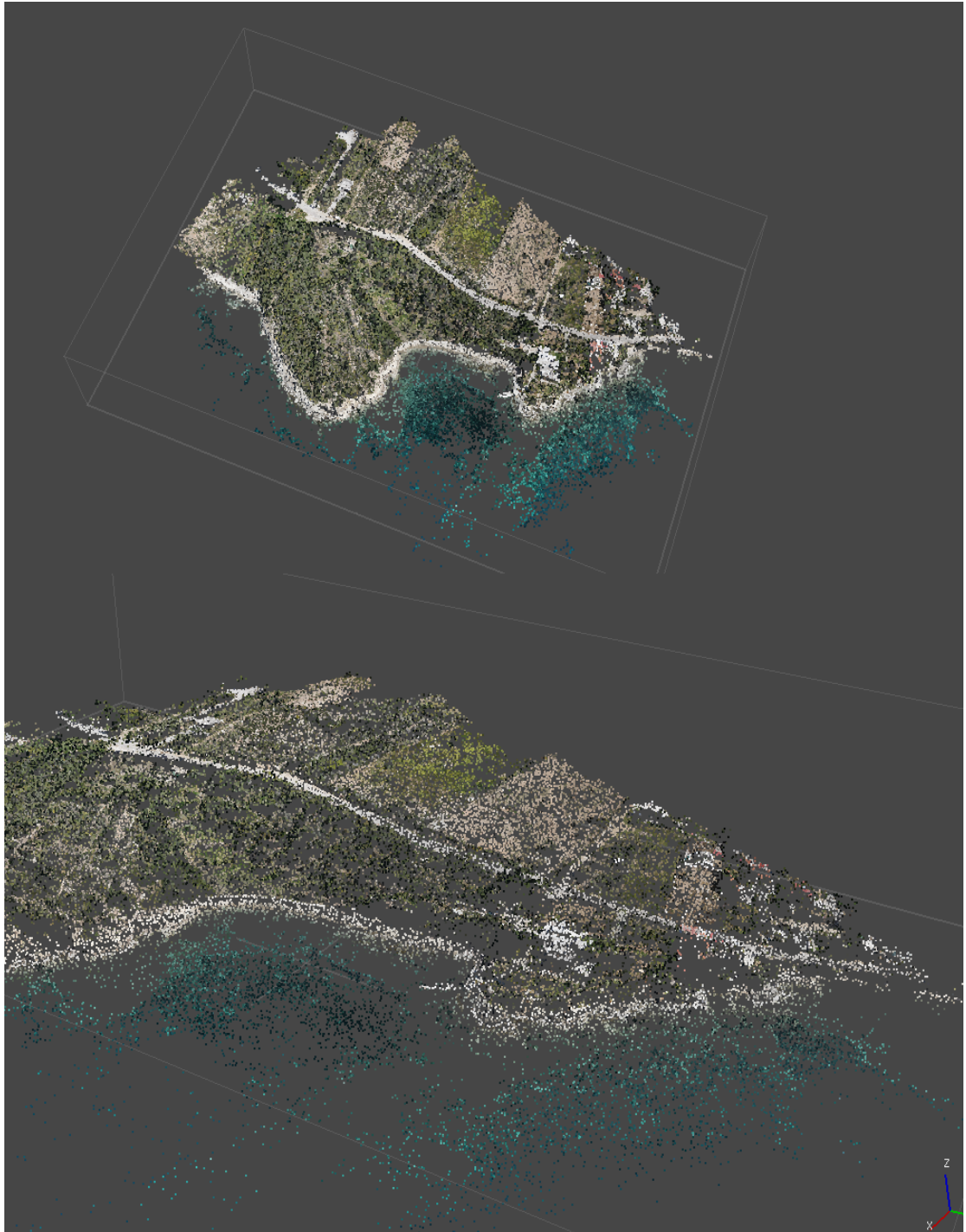
**Δοκιμές High Accuracy**

ΔΟΚΙΜΗ	Generic Preselection	Exclude Stationary Tie Points	Guided Image Matching	Adaptive Camera Model Fitting
13	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
14	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
15	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι
16	Ναι	Όχι	Ναι	Όχι
17	Ναι	Όχι	Ναι	Ναι
18	Ναι	Όχι	Όχι	Ναι

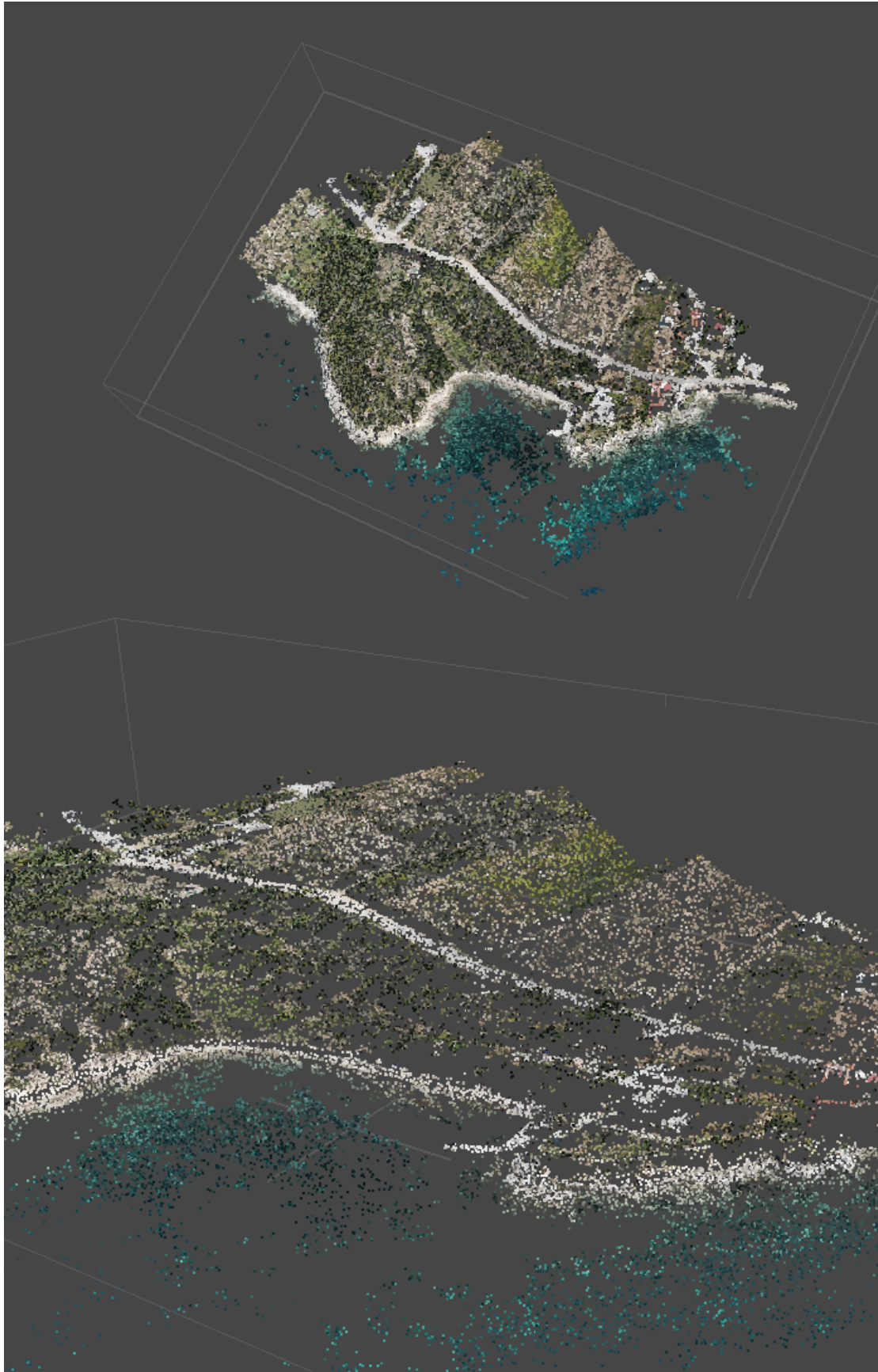
Πίνακας 15: Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές με High Accuracy (Σύνολο Δεδομένων 3)

ΔΟΚΙΜΗ	Ομόλογα Σημεία	Χαρακτηριστικά Σημεία	Ποσοστιαία Διαφορά Ομόλογων Σημείων(%)	Χρόνος επεξεργασίας (sec)	Ποσοστιαία Διαφορά Χρόνου(%)	Δέσμευση Προσωρινής Μνήμης RAM (GB)
13	67.624	73.109	0	272	0	0.31
14	70.318	75.003	+3.9	66	-75.7	0.24
15	70.318	75.003	0	66	0	0.24
16	72.486	79.044	+3.1	128	+93.9	0.24
17	72.494	79.044	+0.01	135	+5.4	0.24
18	70.313	75.003	-3.0	68	-49.6	0.24

Πίνακας 16: Αποτελέσματα δοκιμών High Accuracy (Σύνολο Δεδομένων 3)

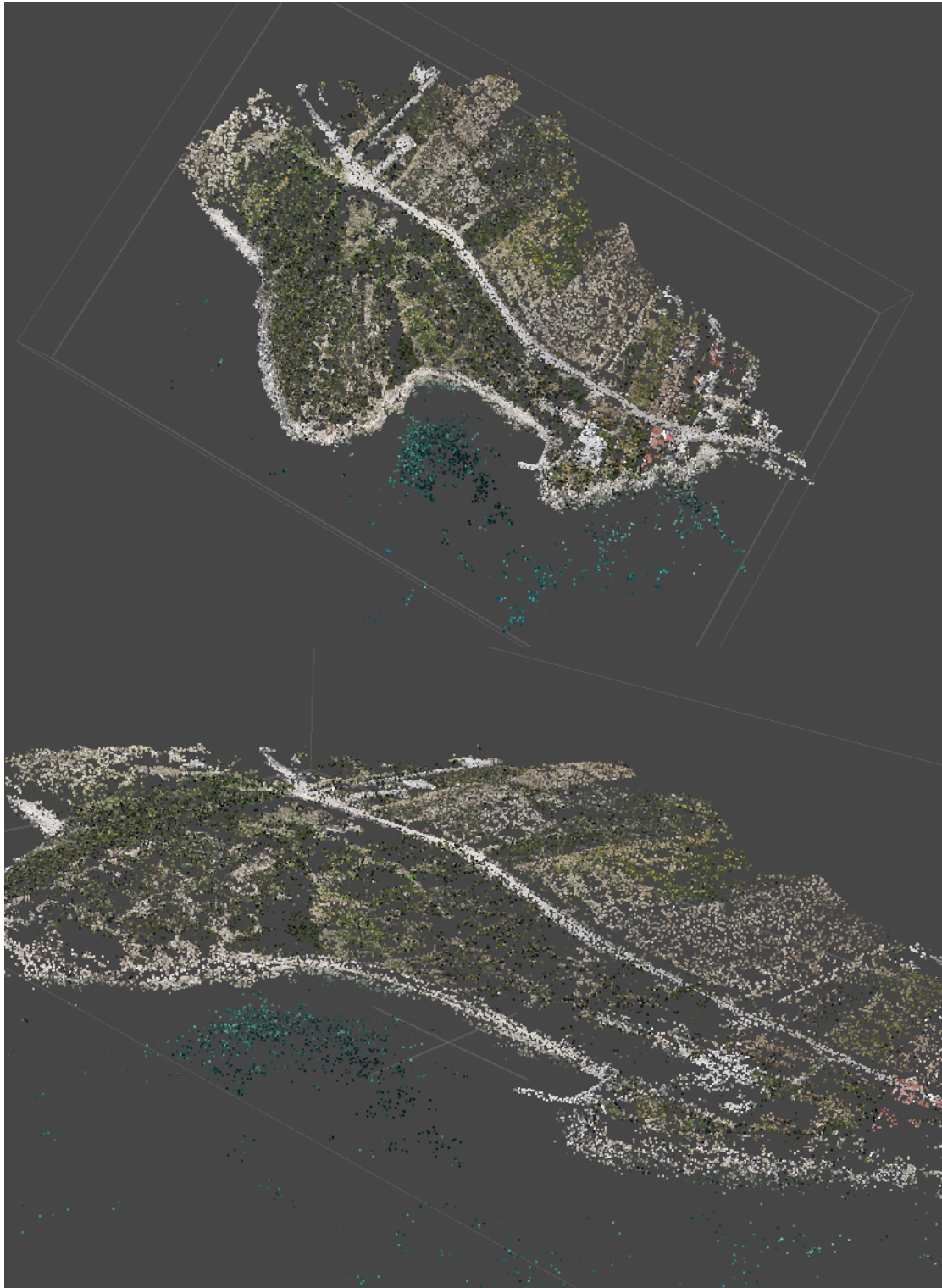


Εικόνα 94: Αραιό νέφος πέμπτης δοκιμής (Σύνολο Δεδομένων 3)



Εικόνα 95: Αραιό νέφος ενδέκατης δοκιμής. (Σύνολο Δεδομένων 3)





Εικόνα 96: Αραιό νέφος δέκατης-έβδομης δοκιμής. (Σύνολο Δεδομένων 3)

#### 4.4.2 Build Dense Cloud

Αντιστοίχως, όπως και στο σύνολο δεδομένων 2, τα πειράματα δημιουργίας πυκνού νέφους γίνονται για στατιστικούς λόγους. Χρησιμοποιείται το καλύτερο αραιό νέφος που προκύπτει από τις δοκιμές με High Accuracy και στο φιλτράρισμα βάθους με αντίστοιχη με τα προηγούμενα μεθοδολογία προέκυψε η τιμή Mild ως η καλύτερη. Αυτήν άλλωστε προτείνουν και οι κατασκευαστές του λογισμικού για εναέρια φωτογραμμετρία.

Accuracy	Points	Ποσοστιαία Διαφορά Points (%)	Processing Time (SUM) (seconds)	Ποσοστιαία Διαφορά Time (%)	Memory Usage (SUM) (GB)
Lowest Quality	1.807.278	0	39	0	4.43
Low Quality	6.947.301	284	72	84	5.74
Medium Quality	26.355.947	279	219	204	8.83
High Quality	99.525.719	278	834	281	21.04
Ultra High Quality	-	-	-	-	-

Πίνακας 17 : Αποτελέσματα δοκιμών για παραγωγή πυκνού νέφους (Σύνολο Δεδομένων 3)

Η δοκιμή με την παράμετρο Ultra High Quality όπως φαίνεται και από τον τρόπο που κλιμακώνεται η δέσμευση της μνήμης RAM ξεπερνάει τα 32 GB. Στην πραγματικότητα ο υπολογιστής έχει διαθέσιμα λιγότερα από 32, όπως είναι προφανές, καθώς λειτουργούν πολλά παρασκηνιακά προγράμματα και το λειτουργικό σύστημα. Επομένως ο συγκεκριμένος υπολογιστής δεν μπορεί να εκτελέσει αυτήν την εργασία.





Εικόνα 97: Πυκνό νέφος High Quality. (Σύνολο Δεδομένων 3)

## 4.5. Ανάλυση των αποτελεσμάτων – Σύνοψη

Στο παρόν εδάφιο επιχειρείται η συγκέντρωση των παραπάνω επί μέρους αποτελεσμάτων, συνυπολογίζοντας κάποια δεδομένα που έχουν δημοσιευτεί από τους κατασκευαστές του λογισμικού, έτσι ώστε να δοθούν κάποιες κατευθυντήριες προτάσεις για να μπορεί ο κάθε χρήστης να βρει τις βέλτιστες παραμέτρους σε κάθε επί μέρους εργασία. Σε ένα ιδεατό σενάριο που ο χρόνος επεξεργασίας και το υπολογιστικό σύστημα δεν περιορίζουν τον χρήστη, η μεθοδολογία διερεύνησης που παρουσιάζεται σε αυτήν την εργασία μπορεί να οδηγήσει τον νέο χρήστη στο καλύτερο αποτέλεσμα. Ένας έμπειρος χρήστης μπορεί, από ένα σημείο και μετά, γνωρίζοντας καλά την θεωρία της πολυεικονικής φωτογραμμετρίας και τον τρόπο λειτουργίας του λογισμικού, να αντιλαμβάνεται για κάθε διαφορετικό σύνολο δεδομένων τι παραμέτρους πρέπει να χρησιμοποιήσει για να πάρει τα ποιοτικότερα αποτελέσματα.

Το ιδεατό αυτό σενάριο όμως, δεν είναι ρεαλιστικό για την πλειονότητα των περιπτώσεων. Πολλοί παράγοντες θέτουν πραγματικούς περιορισμούς με τέτοιον τρόπο που σπάνια επιτρέπουν την διερεύνηση και την ελεύθερη χρήση των καλύτερων παραμέτρων από πλευράς ποιότητας. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη να γίνει μια ανάλυση που να εμπεριέχει τους πιο συχνούς παράγοντες περιορισμού και να έχει ως στόχο την εξαγωγή ενός μοντέλου που με βάση αυτό ο κάθε χρήστης, γνωρίζοντας τους περιορισμούς του, να βρίσκει εύκολα και γρήγορα τον πιο αποδοτικό συνδυασμό παραμέτρων.

### 4.5.1 Alignment

Πλην εξαιρετικών περιπτώσεων, η διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων των προσανατολισμών και η παραγωγή του αραιού νέφους, αποτελεί μια “ελαφριά” υπολογιστικά και χρονικά επεξεργασία. Στα παραπάνω πειράματα οι απόλυτες τιμές δέσμευσης των πόρων του υπολογιστή και του χρόνου επεξεργασίας είναι κάθε άλλο από απαγορευτικές.

Για παράδειγμα, στο μεγαλύτερο σύνολο δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία (Μαρμάρι), αποτελείται από 76 εικόνες υψηλής ανάλυσης. Ο μέγιστος χρόνος εκτέλεσης του Align ήταν τα 4.5 λεπτά και αυτό με κακή επιλογή παραμέτρων. Η μέγιστη δέσμευση μνήμης RAM ήταν 0.32 GB. Λαμβάνοντας υπόψη και τα ενδεικτικά δεδομένα που δίνει η Agisoft για την αναλογία Μνήμης RAM-Αριθμός εικόνων (Εικόνα 98), εύκολα βγαίνει το συμπέρασμα ότι στην πλειονότητα των εργασιών του μέσου χρήστη οι απόλυτες τιμές χρόνου επεξεργασίας και δέσμευσης μνήμης RAM θα είναι μικρές (συγκριτικά πάντα με τον χρόνο και την μνήμη που απαιτούνται για τα υπόλοιπα βήματα της ροής εργασιών). Αυτό οδηγεί σε δύο ευκόλως συνεπαγόμενα συμπεράσματα:

1. Ο μέσος χρήστης μπορεί (πλην εξαιρετικών περιπτώσεων) να χρησιμοποιήσει τις καλύτερες δυνατές παραμέτρους από πλευράς ποιότητας των αποτελεσμάτων στο βήμα αυτό, χωρίς να περιορίζεται χρονικά και υπολογιστικά
2. Οι μικροί αυτοί χρόνοι επεξεργασίας δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να πειραματιστεί με τις παραμέτρους σε κάθε επί μέρους εργασία με στόχο την διερεύνηση του βέλτιστου συνδυασμού.

Επομένως, εάν κάποιος χρησιμοποιεί για πρώτη φορά το λογισμικό αυτό, μπορεί πολύ γρήγορα να διερευνήσει τις παραμέτρους αυτές κάνοντας πολλαπλά πειράματα σε μικρό σχετικά χρόνο.

Πέρα από το γεγονός ότι οι ελάχιστες απαιτήσεις και οι ελάχιστοι χρόνοι επεξεργασίας είναι κατά κάποιον τρόπο “βολικοί”, είναι σημαντικό να δίνεται πολύ προσοχή στο

συγκεκριμένο βήμα και στα παραγόμενα του. Αυτό γιατί όλα τα μεγέθη που υπολογίζονται και το αραιό νέφος που προκύπτει, αποτελούν τα εισαγόμενα δεδομένα του επόμενου βήματος, δηλαδή της δημιουργίας του πυκνού νέφους σημείων, το οποίο αποτελεί την βάση για το επόμενο κ.ο.κ. Δηλαδή, θεωρώντας δεδομένα τα πρωτογενή δεδομένα (εικόνες, μετρήσεις φωτοσταθερών κλπ.) η επεξεργασία αυτή είναι ο πρώτος κρίκος μιας αλυσίδας επεξεργασιών που η κάθε επόμενη εξαρτάται από τις προηγούμενες.

Photos	100	200	500	1000	2000	5000	10000
Memory consumption	500 MB	1 GB	2.5 GB	5 GB	10 GB	25 GB	50 GB

Εικόνα 98 : Ενδεικτική συσχέτιση αριθμού εικόνων με δέσμευση μνήμης RAM (Πηγή: [https://www.agisoft.com/pdf/tips\\_and\\_tricks/PhotoScan\\_Memory\\_Requirements.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/tips_and_tricks/PhotoScan_Memory_Requirements.pdf)).

Με βάση τα παραπάνω πειράματα δίνεται ένας ενδεικτικός συνδυασμός παραμέτρων ο οποίος, πιθανότατα, ταιριάζει σε μεγάλο αριθμό περιπτώσεων:

Παράμετρος	Τιμή	Σύντομη Περιγραφή
<b>Accuracy</b>	High	Καθορίζει την ανάλυση των εισαγόμενων δεδομένων. Αποτελεί την πιο σημαντική παράμετρο για την ποιότητα των αποτελεσμάτων.
<b>Generic Preselection</b>	Ναι	Βοηθά στην γρήγορη εύρεση επικαλυπτόμενων εικόνων με σκοπό την αποφυγή περιττών υπολογισμών.
<b>Exclude Stationary Tie Points</b>	Ναι/Όχι (εξαρτάται)	Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που η γεωμετρική σχέση των σημείων του αντικειμένου με σταθερά σημεία του παρασκηνίου, αλλάζει κατά την διάρκεια της λήψης των εικόνων.
<b>Guided Image Matching</b>	Ναι	Βοηθά στον εντοπισμό ομολόγων που μπορεί να έχουν παραλειφθεί. Δεν είναι γνωστός ο ακριβής τρόπος λειτουργίας αυτής της παραμέτρου.
<b>Adaptive Camera Model Fitting</b>	Ναι	Βελτιώνει την εκτίμηση των παραμέτρων των μηχανών.

Πίνακας 18 : Ενδεικτική πρόταση επιλογής παραμέτρων Alignment

#### 4.5.2 Build Dense Cloud

Από τις δύο διαδικασίες που διερευνήθηκαν η πιο απαιτητική υπολογιστικά και ταυτόχρονα πιο χρονοβόρα, είναι η παραγωγή του πυκνού νέφους. Ταυτόχρονα είναι η μόνη που μπορεί να διερευνηθεί εξ ολοκλήρου χρησιμοποιώντας μόνο τα νούμερα χωρίς να γίνει οπτική αξιολόγηση των παραγόμενων νεφών. Το γιατί συμβαίνει αυτό εξαντλήθηκε παραπάνω και είναι προφανές. Η επεξεργασία αυτή έχει δύο βασικές παραμέτρους: Depth Filtering και Quality.

Σε ό,τι αφορά στην παράμετρο του φιλτραρίσματος βάθους, εξηγήθηκε παραπάνω γιατί αυτή πρέπει να διερευνάται κάθε φορά σε διαφορετικά σύνολα δεδομένων. Ένας έμπειρος χρήστης θα μπορούσε να κρίνει ποια είναι η κατάλληλη επιλογή, αλλά η ενδεδειγμένη μεθοδολογία είναι να προηγηθεί μια διερεύνηση της παραμέτρου αυτής “τρέχοντας” μια επεξεργασία με Lowest Quality.

Εύκολα προκύπτει ότι η πιο σημαντική παράμετρος σε αυτήν την επεξεργασία είναι η “Quality”. Η τιμή αυτής της παραμέτρου καθορίζει το πόσο πυκνό θα είναι το τελικό πυκνό νέφος και ταυτόχρονα πόσο χρονοβόρα και κοστοβόρα θα είναι αυτή και οι επόμενες επεξεργασίες. Είναι προφανές ότι το καλύτερο αποτέλεσμα προκύπτει χρησιμοποιώντας το καλύτερο αραιό νέφος ως βάση και θέτοντας την τιμή Ultra High στο Quality. Όπως προαναφέρθηκε και φάνηκε και από τα πειράματα, η χρήση του καλύτερου αραιού νέφους ενδείκνυται ανεξάρτητα της επιλογής παραμέτρων που θα γίνει στα επόμενα βήματα. Όμως η χρήση υψηλών τιμών Quality για μεγάλα σύνολα δεδομένων χωρίς την χρήση πολύ δυνατών υπολογιστικών συστημάτων πολλές φορές είναι απαγορευτική. Είναι σημαντικό σε όλα τα στάδια της ροής εργασιών να λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι κάθε επόμενο βήμα μέχρι την παραγωγή τελικών προϊόντων είναι και πιο απαιτητικό χρονικά και σε μερικές περιπτώσεις (αναλόγως το αντικείμενο) υπολογιστικά. Πολλές φορές τα αποτελέσματα που προκύπτουν από μια πιο “έξυπνη” επιλογή παραμέτρων είναι ικανοποιητικά, χωρίς απαραίτητα να εξαντληθούν τα υπολογιστικά όρια (ειδικά αν γίνει και ανθρώπινη παρέμβαση στα παραγόμενα νέφη π.χ. εξάλειψη θορύβου ή αφαίρεση τμημάτων που δεν ενδιαφέρουν την εργασία).

Επομένως εύκολα προκύπτει ότι η επιλογή της κατάλληλης τιμής Quality για κάθε διαφορετική εργασία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Το διαθέσιμο υπολογιστικό σύστημα, το κόστος του χρόνου του υπολογιστή, πόσες εικόνες θα συμμετέχουν στην επεξεργασία, την ποιότητα των εικόνων αυτών, το χρονοδιάγραμμα της εργασίας και τις απαιτήσεις πιστότητας αυτής. Για να μπορέσει λοιπόν κάποιος να ξέρει ποια επιλογή Quality θα επιλέξει για την παραγωγή του πυκνού νέφους κάποιες παράμετροι από αυτές θα πρέπει να μοντελοποιηθούν και να αναλυθούν οι παράγοντες αυτοί.



**Διερεύνηση των μέγιστων ορίων επεξεργασίας**

Τα χαρακτηριστικά του υπολογιστή σε συνδυασμό με τον αριθμό και την ποιότητα των εικόνων που θα χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία αποτελούν το πρώτο κριτήριο για να τεθεί το άνω όριο των δυνατοτήτων που μπορεί να επιτύχει κάποιος χρήστης χωρίς να ληφθούν υπόψη οι υπόλοιποι περιορισμοί. Με χρήση όλων των διαθέσιμων αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα πειράματα αλλά και των δεδομένων που παρέχει η Agisoft, μπορεί να βγει κάποιο συμπέρασμα για τα άνω όρια.

Επομένως χρησιμοποιώντας τα δεδομένα τα δεδομένα των παραπάνω πειραμάτων δημιουργείται ο πίνακας 19.

<b>Αριθμός Εικόνων</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>76</b>
<b>Ανάλυση Εικόνων</b>	21 Mpix	20 Mpix	42 Mpix
<b>Lowest Quality</b>	2.45 GB	1.97 GB	4.43 GB
<b>Low Quality</b>	2.58 GB	2.29 GB	5.74 GB
<b>Medium Quality</b>	4.03 GB	2.91 GB	8.83 GB
<b>High Quality</b>	8.52 GB	6.55 GB	21.04 GB
<b>Ultra High Quality</b>	14.91 GB	13.64 GB	>32 GB

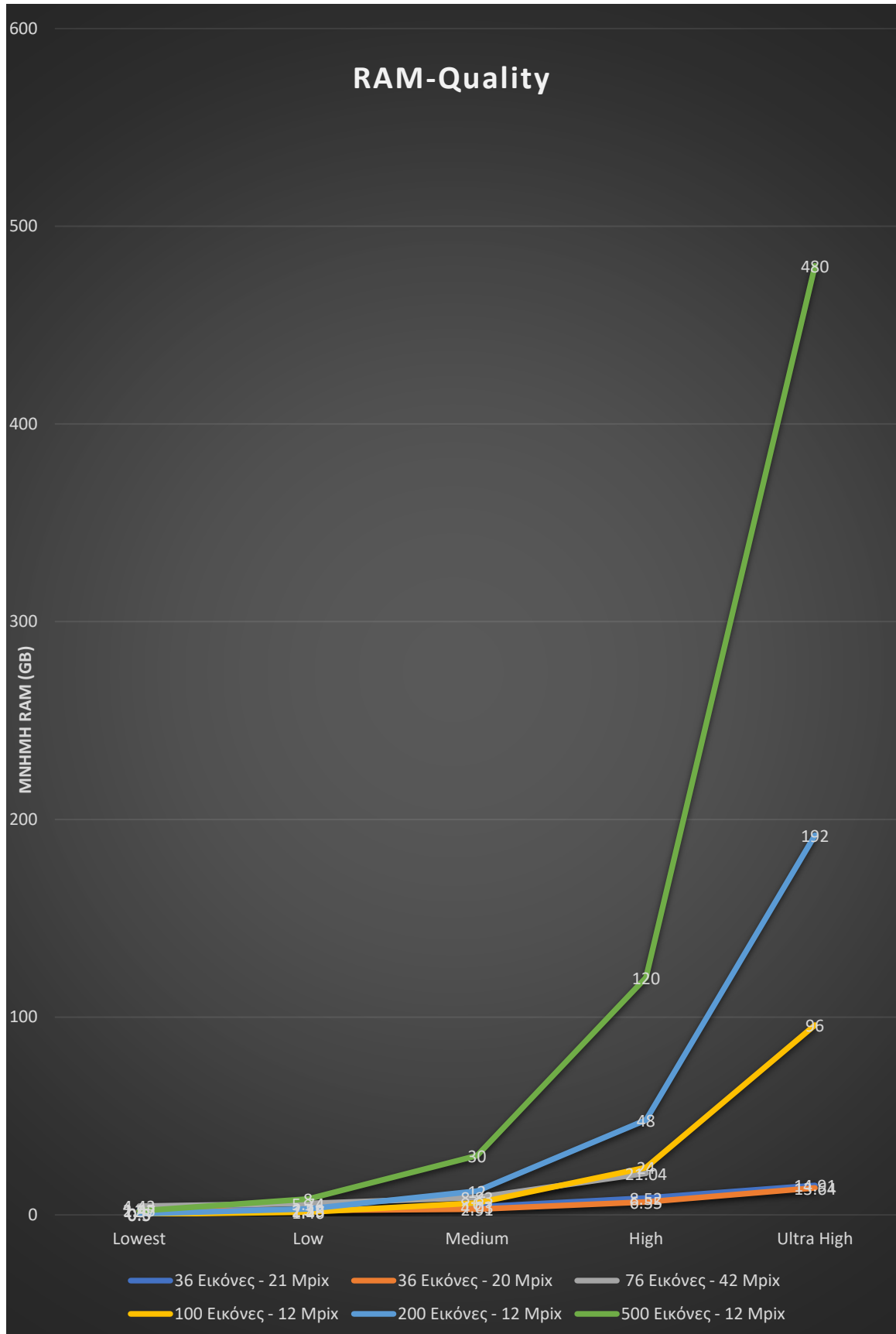
*Πίνακας 19: Σύγκριση υπολογιστικής επιβάρυνσης των πειραμάτων που έγιναν.*

Μαζί με τα παραπάνω δεδομένα διερευνώνται και τα δεδομένα που δίνει η Agisoft για τις απαιτήσεις παραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων με χρήση διαφορετικών τιμών Quality στο βήμα της δημιουργίας πυκνού νέφους με εικόνες ανάλυσης 12Mpix (Εικόνα 99). Οι απαιτήσεις για την παραγωγή πυκνών νεφών είναι περίπου αντίστοιχες με αυτές με αυτές, επομένως ο συγκεκριμένος πίνακας μπορεί να δώσει μια γενική εικόνα. Τα διαστήματα δίνονται γιατί οι τιμές αυτές εξαρτώνται πολύ από την γεωμετρία του αντικειμένου. Στην παρούσα ανάλυση θα χρησιμοποιηθούν οι μέσες τιμές, κάνοντας την παραδοχή ότι είναι οι πιο κοντινές στις μέσες απαιτήσεις παραγωγής πυκνών νεφών.

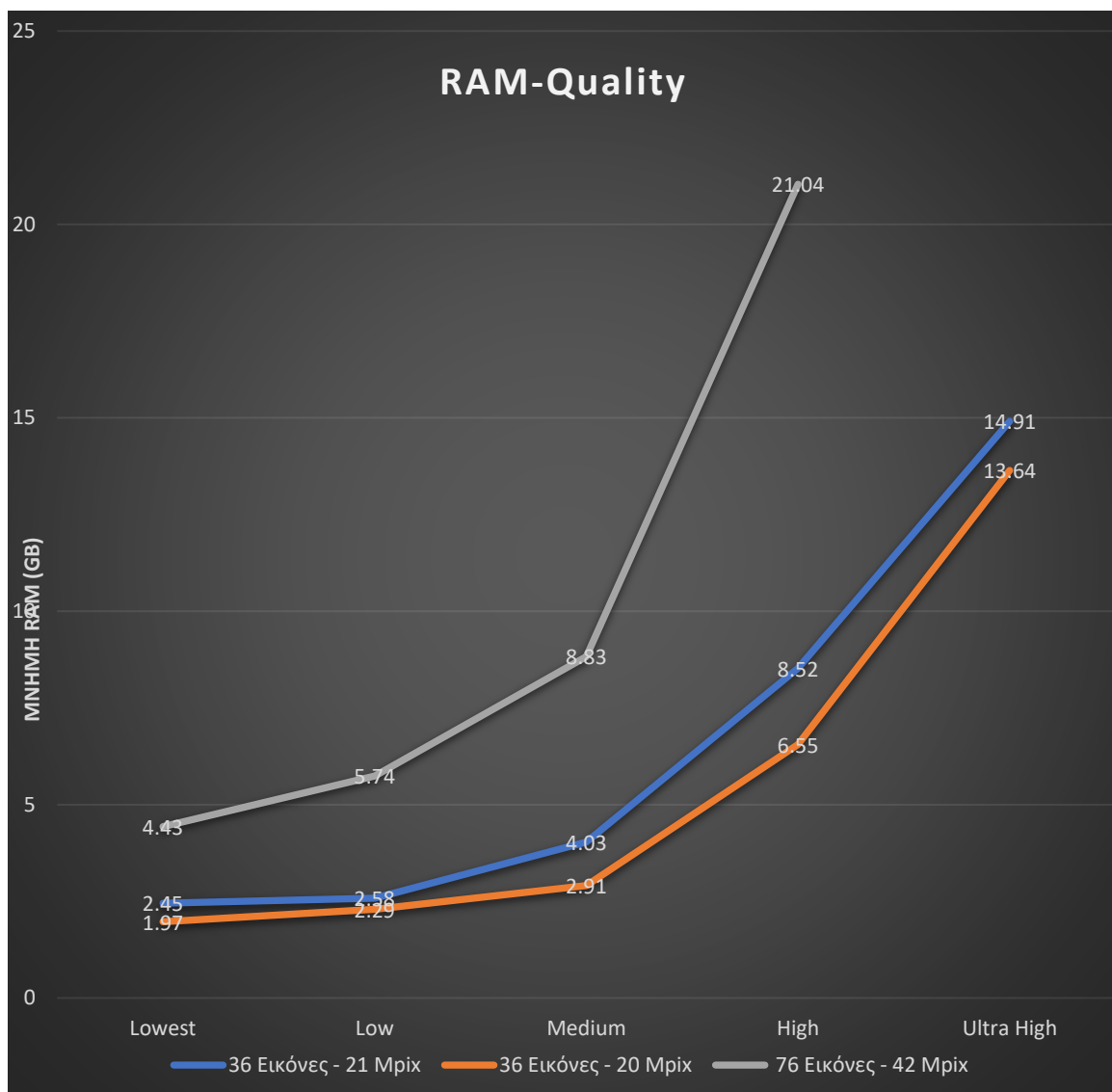
Photos	20 - 50	100	200	500
Lowest quality	100 MB - 300 MB	150 MB - 450 MB	300 MB - 1 GB	1 GB - 3 GB
Low quality	500 MB - 1.5 GB	750 MB - 2.2 GB	1.5 GB - 4.5 GB	4 GB - 12 GB
Medium quality	2 GB - 6 GB	3 GB - 9 GB	6 GB - 18 GB	15 GB - 45 GB
High quality	8 GB - 24 GB	12 GB - 36 GB	24 GB - 72 GB	60 GB - 180 GB
Ultra high quality	32 GB - 96 GB	48 GB - 144 GB	96 GB - 288 GB	240 GB - 720 GB

Εικόνα 99: Ενδεικτικές απαιτήσεις μνήμης RAM για την παραγωγή 3D Model (Arbitrary Method) με χρήση διαφορετικών τιμών ποιότητας πυκνού νέφους. Τα παραπάνω νούμερα αναφέρονται σε εικόνες ανάλυσης 12Mpix (Πηγή: [https://softbooks.pl/agnosisoft/files/download/PhotoScan\\_Memory\\_Requirements.pdf](https://softbooks.pl/agnosisoft/files/download/PhotoScan_Memory_Requirements.pdf)).

Επομένως με βάση τα παραπάνω μπορεί να φτιαχτεί το παρακάτω διάγραμμα το οποίο φιλοδοξεί να δώσει μια ένδειξη στον χρήστη για τις δυνατότητες που έχει για την παραγωγή πυκνών νεφών ανάλογα με το υπολογιστικό σύστημα που διαθέτει.



Γράφημα 1 : Γράφημα RAM-Quality στα διαφορετικά σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν και των δεδομένων που δίνει η Agisoft.



Γράφημα 2 : Γράφημα RAM-Quality στα διαφορετικά σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν.

Από την γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων είναι άξια αναφοράς η παρατήρηση ότι σε όλες τις γραμμές υπάρχει ένα μοτίβο. Παρατηρείται μια υποτυπώδης ομαλότητα στον τρόπο που κλιμακώνεται η αύξηση των αναγκών RAM για κάθε επόμενη τιμή Quality μέχρι την τιμή Medium. Από την τιμή Medium και μετά παρατηρείται απότομη αύξηση. Επίσης παρατηρείται, ότι ακόμα και στην περίπτωση των 500 εικόνων στο Medium Quality η απαίτηση RAM είναι ρεαλιστική για τα δεδομένα των σημερινών υπολογιστών (βέβαια τα αποτελέσματα αναφέρονται σε χαμηλής ανάλυσης εικόνες). Για να δοθεί μια εικόνα, την περίοδο σύνταξης της παρούσας εργασίας, η σύνθεση ενός υπολογιστή με σκοπό εργασίες τέτοιου είδους έχει ως starting level τα 32GB RAM. Σαν μια πρώτη ανάγνωση λοιπόν θα μπορούσε κάποιος να πει ότι οι απαιτήσεις της τιμής Medium καλύπτει το μεγαλύτερο εύρος των περιπτώσεων παραγωγής πυκνών νεφών.



Διερεύνηση των χρόνων επεξεργασίας

Οι απόλυτοι χρόνοι επεξεργασίας εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες. Την υπολογιστική ισχύ, τον αριθμό των εικόνων, την ανάλυση των εικόνων, τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται και την πολυπλοκότητα του αντικειμένου ενδιαφέροντος. Η διερεύνηση των χρόνων επεξεργασίας επομένως, πρέπει να γίνει με ορισμένες παραδοχές. Αυτό γιατί τα στατιστικά δεδομένα που είναι διαθέσιμα από τα πειράματα προέρχονται από έναν και μόνο υπολογιστή και ταυτόχρονα είναι πολύ λίγα σε αριθμό. Επομένως όλες οι παρατηρήσεις στους χρόνους θα μελετηθούν με βάση τις ποσοστιαίες μεταβολές για κάθε τιμή Quality με την τιμή Lowest. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούν να μοντελοποιηθούν στο τέλος. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι αρχικές τιμές με χρήση lowest quality και μετά η ποσοστιαία μεταβολή τους με κάθε αλλαγή της τιμής της παραμέτρου σε σχέση με την τιμή Lowest.

Αριθμός Εικόνων	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>76</b>
Ανάλυση Εικόνων	21 Mpix	20 Mpix	42 Mpix
Lowest Quality	9 Seconds	8 Seconds	39 Seconds
Low Quality	+66%	+38%	+84%
Medium Quality	+344%	+275%	462%
High Quality	+1489%	+1113%	2038%
Ultra High Quality	+5744%	+4237%	-

Πίνακας 20: Ποσοστιαία κλιμάκωση των χρόνων παραγωγής πυκνού νέφους για κάθε πείραμα.

Φαίνεται ότι υπάρχουν κάποιες σημαντικές διαφοροποιήσεις και αυτό είναι λογικό γιατί πρόκειται για 3 διαφορετικά σύνολα δεδομένων. Όμως επειδή τα δεδομένα είναι λίγα και ταυτόχρονα στατιστικά ανεξάρτητα, εξετάζεται η κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Δηλαδή θα προσδιοριστεί μια συνάρτηση υπολογισμού με σκοπό την εκ των προτέρων εκτίμηση του χρόνου επεξεργασίας και ο χρήστης θα εισάγει τον χρόνο επεξεργασίας από μια επεξεργασία με τιμή Lowest. Έπειτα θα επιλέγει την τιμή Quality που επιθυμεί να εξετάσει με την βοήθεια της συνάρτησης που εκτιμά το άνω όριο Quality που μπορεί να χρησιμοποιήσει και με χρήση των δεδομένων του παραπάνω πίνακα στον τύπο εκτίμησης του χρόνου θα μπορεί να έχει κάποιες εκτιμήσεις για τον χρόνο.

Διερεύνηση του κόστους του χρόνου του υπολογιστή

Σε κάθε δουλειά είναι απαραίτητο να υπολογίζεται το κόστος σε χρήμα και χρόνο των επιμέρους εργασιών. Το κόστος του χρόνου του υπολογιστή, είναι κάπως περίπλοκο θέμα καθώς συνήθως δεν υπολογίζεται και δεν λαμβάνεται υπόψη. Επίσης ο υπολογισμός του δεν είναι εύκολος καθώς συντρέχουν πολλοί παράγοντες που τον διαμορφώνουν. Εδώ επιχειρείται να ενταχθεί στην μοντελοποίηση το κόστος του χρόνου του υπολογιστή αγνοώντας το κόστος του ρεύματος καθώς αυτό είναι πολύ ευμετάβλητο και αλλάζει ανάλογα την περίπτωση.

Ένας υπολογιστής για να εκτελέσει εργασίες σαν αυτές που μελετάει η παρούσα εργασία χρειάζεται συνήθως να μείνει ανοιχτός και να δουλεύει κάποιο χρονικό διάστημα. Σε πάρα πολλές περιπτώσεις επίσης, οι πόροι που δεσμεύονται, δεν επιτρέπουν στον χρήστη να εκτελέσει άλλη επαγγελματική εργασία, επομένως γίνεται και η παραδοχή ότι ο υπολογιστής μένει αχρησιμοποίητος όση ώρα εκτελεί κάποια εργασία. Για να εκτελεστεί η οποιαδήποτε εργασία επίσης πρέπει κάποιος να αφιερώσει χρόνο να επιλέξει τις κατάλληλες παραμέτρους και να ξεκινήσει την κάθε επεξεργασία. Ταυτόχρονα εφόσον οι ανάγκες κάθε δουλειάς είναι τέτοιες, θα πρέπει κάποιος να ελέγχει σε τακτικά χρονικά διαστήματα τον υπολογιστή εάν αυτός τελείωσε την επεξεργασία και να ρυθμίσει τις κατάλληλες παραμέτρους για την επόμενη επεξεργασία. Όπως είναι κατανοητό, κάποιος μπορεί να τα λάβει υπόψη του όλα αυτά για μια επιμέρους εργασία, όμως είναι τόσο ευμετάβλητα που είναι αδύνατο να μουν σε ένα μοντέλο, ειδικά με τόσο λίγα στατιστικά δεδομένα.

Επομένως εδώ θα διερευνηθεί πόσα χρήματα χρειάζεται να υπολογιστούν στο κόστος του υπολογιστή λαμβάνοντας υπόψη μόνο τον χρόνο που αυτός εργάζεται. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται προσεγγιστικά λόγω των λίγων στατιστικών δεδομένων που είναι διαθέσιμα. Όμως ένας ενδιαφερόμενος μπορεί με βάση το μοντέλο που θα παρουσιαστεί εδώ να φτιάξει μια βάση δεδομένων που θα περιέχει τα δεδομένα των εργασιών του και να την χρησιμοποιήσει βελτιώνοντας την προσέγγιση. Το τελευταίο ισχύει για όλες τις παραμέτρους που διερευνώνται στην μοντελοποίηση.

Ο μέσος εμπορικός υπολογιστής θεωρείται παρωχημένος στην πενταετία. Επομένως κατά μέσο όρο η απόσβεση της τιμής του πρέπει να γίνει μέσα σε περίπου 1300 εργάσιμες ημέρες. Κάνοντας την παραδοχή ότι θα δουλεύει μέχρι 8 ώρες την ημέρα η απόσβεση του πρέπει να γίνει μέσα σε 10.400 ώρες. Επομένως το κόστος της μιας ώρας χρήσης του υπολογιστή είναι το Κόστος Αγοράς/10.400 ώρες. Για παράδειγμα, ο υπολογιστής στον οποίο εκπονήθηκε η παρούσα εργασία κόστισε 1.800€, επομένως το κόστος της ώρας του υπολογιστή είναι περίπου 0.17€/h. Πολύ εύκολα υπολογίζεται το κόστος του υπολογιστή για μια εργασία, πολλαπλασιάζοντας τον συνολικό χρόνο της εργασίας με το αντίστοιχο κόστος της ώρας του υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε.

**Μοντελοποίηση και τελικές προτάσεις**

Εδώ επιχειρείται όλα τα παραπάνω να μοντελοποιηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε, με βάση τα στατιστικά δεδομένα που παρουσιάστηκαν στην παρούσα εργασία, να μπορεί ο οποιοσδήποτε θέλει να μπορεί να λάβει μια εκτίμηση για το ποια παράμετρο παραγωγής πυκνού νέφους πρέπει να χρησιμοποιήσει, σύμφωνα με τις ανάγκες του.

Η μοντελοποίηση αυτή έχει ως εξής. Αρχικά εντοπίζεται η συνάρτηση η οποία περιγράφει καλύτερα τα δεδομένα που αφορούν την σχέση RAM-(Αριθμός Εικόνων\* Ανάλυση). Σκοπός της είναι να εξάγει μια βαθμολογία η οποία καθορίζει την καλύτερη δυνατή τιμή Quality που μπορεί ο χρήστης να πετύχει με αυτά τα δεδομένα. Η βαθμολογία θα παίρνει τιμές  $[0.05, +\infty)$  και οι αντιστοιχίσεις δίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 21). Έπειτα με βάση την επιλογή τιμής Quality που θα κάνει ο χρήστης υπολογίζεται ο εκτιμώμενος χρόνος επεξεργασίας και πάλι με βάση τα στατιστικά δεδομένα που είναι διαθέσιμα από τα πειράματα. Τέλος έχοντας τον εκτιμώμενο χρόνο επεξεργασίας μπορεί να γίνει μια εκτίμηση του κόστους του χρόνου του υπολογιστή.

<b>Lowest Quality</b>	[0.05-2)
<b>Low Quality</b>	[2-3)
<b>Medium Quality</b>	[3-4)
<b>High Quality</b>	[4,5)
<b>Ultra High Quality</b>	[5, $+\infty$ )

Πίνακας 21: Αντιστοίχιση βαθμολογίας με τιμή Quality.

Τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα, όπως είναι προφανές, είναι τα πειράματα που έγιναν. Επομένως ο παρακάτω τύπος είναι προϊόν μόνο των παραπάνω πειραμάτων. Επίσης λόγω του ότι είναι τύπος προσεγγιστικός, οι εκτιμήσεις που δίνει είναι αυστηρές, κάτι που σημαίνει ότι αν βγάλει κάποια βαθμολογία πολύ κοντά σε κάποια τιμή Quality υπάρχει ισχυρό ενδεχόμενο να μπορεί να τρέξει την συγκεκριμένη τιμή αλλά θα βρίσκεται κοντά στα όρια του υπολογιστή. Η συγκεκριμένη μοντελοποίηση όπως προαναφέρθηκε, επιδέχεται βελτιώσεις, αρκεί να προστεθούν σε αυτήν πολλά στατιστικά δεδομένα. Τα δεδομένα της εικόνας 99 επειδή δεν αποτελούν δεδομένα συγκεκριμένου παραδείγματος και δεν αναφέρονται στην διαδικασία παραγωγής πυκνού νέφους δεν λαμβάνονται υπόψη. Πιο αναλυτικά:

Οι μέγιστες δυνατότητες του υπολογιστικού συστήματος που θα χρησιμοποιηθεί για ένα σύνολο δεδομένων προκύπτουν από τον τύπο :

$$Q_{max} = \frac{\ln\left(\frac{R-2.5}{0.16}\right)}{0.95} \quad (1)$$

Όπου,  $R = \frac{(RAM(GB)*1024)(MB)}{\text{Αριθμός Εικόνων}*Μπιξ}$ , σε MB, και  $R \geq 2.5$ .

Ο εκτιμώμενος χρόνος προκύπτει από τον τύπο:  $t = t_{lowest} + t_{lowest} * \frac{\Pi}{100}$  (2)

Όπου,  $t_{lowest}$  ο χρόνος επεξεργασίας με τιμή Quality Lowest. Και όπου  $\Pi$  οι τιμές του πίνακα 22 ή του πίνακα 23. Ο πίνακας 23 προέκυψε με χρήση βαρών. Τα βάρη που χρησιμοποιήθηκαν βασίστηκαν στον αριθμό των εικόνων.

Τέλος το κόστος σε χρήμα από την δέσμευση του υπολογιστή για χρόνο  $t$  προκύπτει από τον τύπο :  $K = (K_{αγοράς}/h_{5-ετίας}) * t$  (3)

Όπου,  $h_{5-ετίας}$  οι εκτιμώμενες ώρες λειτουργίας του υπολογιστή στην 5ετία. Για πενθήμερο 8-ώρο η τιμή αυτή είναι ίση με 1303 ώρες.

Ανάλυση Εικόνων	21 Mpix	20 Mpix	42 Mpix
Lowest Quality	9 Seconds	8 Seconds	39 Seconds
Low Quality	+66%	+38%	+84%
Medium Quality	+344%	+275%	+462%
High Quality	+1489%	+1113%	+2038%
Ultra High Quality	+5744%	+4237%	-

Πίνακας 22 : Ποσοστιαία κλιμάκωση των χρόνων παραγωγής πυκνού νέφους με τιμή αναφοράς τους χρόνους Lowest Quality. Δεδομένα που προκύπτουν από τα πειράματα.

Μέσος Όρος	
Lowest Quality	$t_{lowest}$
Low Quality	+47.94%
Medium Quality	+279.32%
High Quality	+1189.29%
Ultra High Quality	+4990.5%

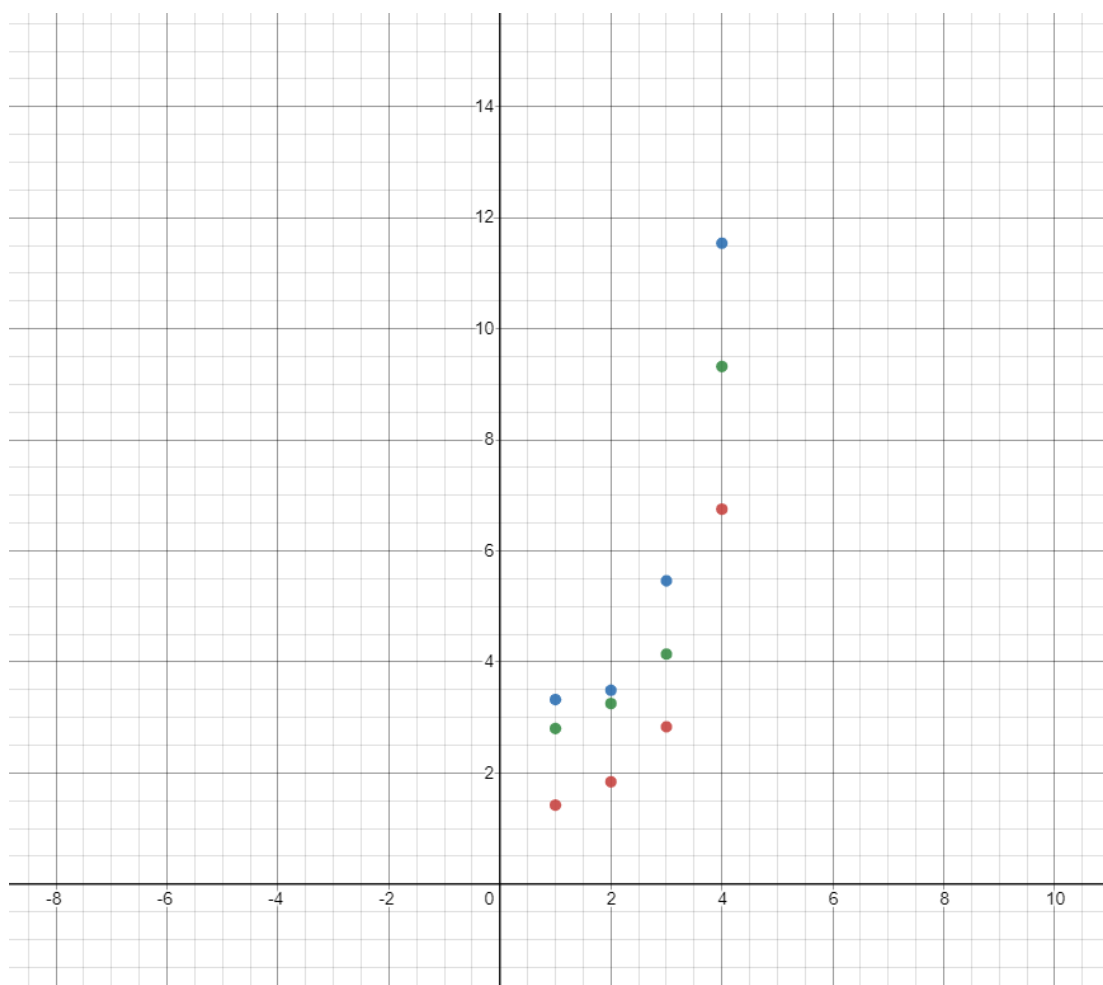
Πίνακας 23 : Μέσοι όροι ποσοστιαία κλιμάκωση των χρόνων παραγωγής πυκνού νέφους με τιμή αναφοράς τους χρόνους Lowest Quality. Δεδομένα που προκύπτουν από τα πειράματα.

Τέλος πρέπει να γίνει αναφορά στο πώς προσδιορίστηκε η σχέση (1). Αρχικά υπολογίστηκε ο πίνακας 24 που εμπεριέχει τις τιμές RAM/(Αριθμός Εικόνων\* Ανάλυση Εικόνων) για κάθε σύνολο δεδομένων. Έπειτα για κάθε Quality πάρθηκαν οι τιμές από αυτόν τον πίνακα και τοποθετήθηκαν σε ένα ορθοκανονικό σύστημα αξόνων σαν σημεία (Γράφημα

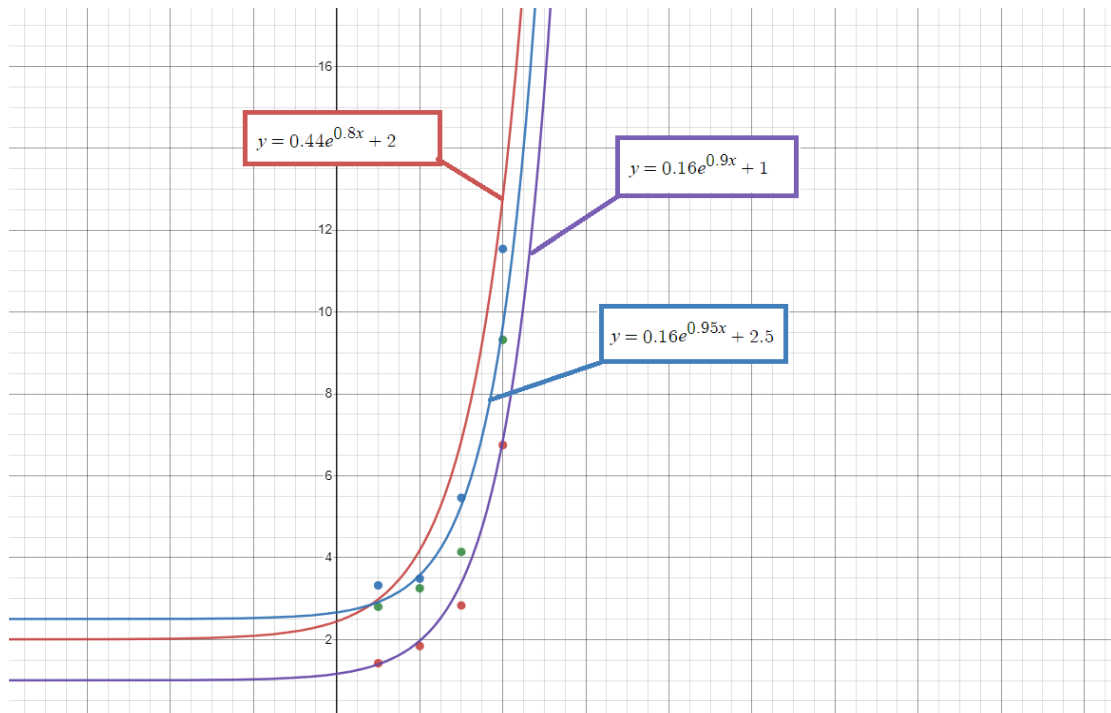
3). Ως τιμές τετμημένης τοποθετήθηκαν ακαίριες τιμές που συμβολίζουν τις τιμές Quality με εύρος [1,5]. Ως τιμές τεταγμένης χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές που προαναφέρθηκαν. Αυτό έγινε με σκοπό την εύρεση της συνάρτησης που περιγράφει αυτά τα σημεία μέσω δοκιμών. Όπως φαίνεται (Γράφημα 3) η σχέση των σημείων είναι μη γραμμική, επομένως διερευνήθηκαν μη γραμμικές γνωστές συναρτήσεις. Μετά από δοκιμές αποφασίστηκε ότι η συνάρτηση που εκφράζει καλύτερα τα δεδομένα είναι η:  $y = 0.16e^{0.95x} + 2.5$  (Μπλε Καμπύλη Γράφημα 4). Λύνοντας ως προς  $x$  προκύπτει η σχέση (1). Στο γράφημα 4 δίνονται και άλλες λιγότερο αντιπροσωπευτικές συναρτήσεις που είναι κοντά στο μοντέλο των σημείων. Για μια ασφαλή εκτίμηση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η  $y = 0.44e^{0.8x} + 2$ , η οποία θα δώσει πιο αυστηρές εκτιμήσεις από την συνάρτηση που επιλέχθηκε, λύνοντας ως προς  $x$ . Η συνάρτηση  $y = 0.16e^{0.9x} + 1$ , θα δώσει πιο αισιόδοξα αποτελέσματα λύνοντας ως προς  $y$ .

Αριθμός Εικόνων	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>76</b>
Lowest Quality	3.32	2.80	1.42
Low Quality	3.49	3.25	1.84
Medium Quality	5.46	4.14	9.32
High Quality	11.54	9.32	6.75
Ultra High Quality	20.20	19.40	-

Πίνακας 24 : Τιμές RAM/Αριθμός Εικόνων για κάθε σύνολο δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε. (Με Bold οι υψηλότερες τιμές).



Γράφημα 3 : Οι τιμές του πίνακα 24, τοποθετημένες γραφικά. (Η γραφική απεικόνιση έγινε στο <https://www.desmos.com/calculator>)



Γράφημα 4 :Η συνάρτηση  $y = 0.16e^{0.95x} + 2.5$ , μαζί με δύο άλλες συναρτήσεις που δοκιμάστηκαν. (Η γραφική απεικόνιση έγινε στο <https://www.desmos.com/calculator>)



## Κεφάλαιο 5: Συμπερασματικά Σχόλια - Προτάσεις

Ολοκληρώνοντας το σύνολο των επεξεργασιών και των διερευνήσεων, σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια αποτίμηση των πειραμάτων της εργασίας, αξιολογώντας το κατά πόσο οι στόχοι που τέθηκαν έχουν επιτευχθεί. Επίσης παρουσιάζονται μερικές προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση που προέκυψαν μέσα από την τριβή με τα θέματα που έθιξε η εργασία.

Ο βασικός στόχος που τέθηκε ήταν η εύρεση των καλύτερων παραμέτρων εφαρμογής των τεχνικών SfM-MVS στο λογισμικό Agisoft Metashape (v1.7.1) σε πολλές διαφορετικές περιπτώσεις. Σε ό,τι αφορά στην εφαρμογή της τεχνικής SfM θεωρείται ότι ο προσεκτικός αναγνώστης μπορεί να αντλήσει σημαντικές πληροφορίες και να καταλάβει τις λειτουργίες των διαφορετικών παραμέτρων του λογισμικού, στις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις που παρουσιάστηκαν, ώστε να τις χρησιμοποιήσει όπως επιθυμεί στην εργασία του. Σε ό,τι αφορά στην εφαρμογή της MVS θεωρείται ότι αναλύθηκαν οι παράγοντες που επηρεάζουν την εφαρμογή της. Επίσης έγινε μια προσπάθεια μοντελοποίησης κάποιων από αυτές τις παραμέτρους με τέτοιο τρόπο ώστε κάποιος να μπορέσει χρησιμοποιώντας τα δεδομένα αυτής της εργασίας να κάνει εκτιμήσεις με σκοπό να ρυθμίσει τις ανάγκες της εργασίας του.

Βέβαια, αν λάβει κανείς υπόψη ότι ο αριθμός των δεδομένων είναι μικρός, οι εκτιμήσεις που προαναφέρθηκαν θεωρούνται χοντρικές. Όμως με βάση τα όσα παρουσιάζονται σε αυτήν την εργασία, μπορεί, κάποιος μελλοντικός ερευνητής να δημιουργήσει μια βάση δεδομένων στην οποία θα αποθηκεύονται δεδομένα επεξεργασιών με στόχο αυτά να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση των εκτιμήσεων που έγιναν στην παρούσα εργασία. Έτσι θα μπορεί να δημιουργηθεί ένα πιο αξιόπιστο μοντέλο εκτίμησης των αναγκών μιας μελλοντικής επεξεργασίας δεδομένων.

Στο εδάφιο 4.2.4, έγινε μια προσπάθεια να διερευνηθεί η ευαισθησία του λογισμικού στα τρία κανάλια RGB των εικόνων. Παρόλο που με βάση την προσωπική παρατήρηση υπήρχε μια υποψία και αυτή επιβεβαιώθηκε, χρειάζεται να γίνει μια πιο επιστημονική προσέγγιση αυτής της διερεύνησης. Δηλαδή να διεξαχθεί αυτός ο έλεγχος σε εικόνες με τέλεια μοιρασμένα τα χρώματα πάνω τους, σε κάποιου είδους πεδίο ελέγχου. Βέβαια αυτή η πρόταση είναι μετά από πρόχειρη σκέψη, ίσως αποδειχτεί μετά από βιβλιογραφική μελέτη, ότι κάποιος άλλος τρόπος είναι επιστημονικά πιο ορθός. Με αυτόν τον τρόπο θα βγουν πιο ασφαλή συμπεράσματα για αυτό το αντικείμενο διερεύνησης.

Γενικά θεωρείται ότι η παρούσα εργασία πέτυχε τους στόχους της. Ο αναγνώστης μπορεί, μελετώντας την εργασία να εξαγάγει συνδυασμούς παραμέτρων με γνώση: 1) των βασικών χαρακτηριστικών των συνόλων δεδομένων, 2) το διαθέσιμο υπολογιστικό σύστημα και 3) τις ανάγκες της εργασίας σε χρόνο και σε ποιότητα. Όπως όμως έχει πολλαπλώς επαναληφθεί ο αριθμός των δεδομένων δεν αρκεί για να βγουν ασφαλή συμπεράσματα.

Επομένως, η παρούσα εργασία δεν δίνει κατά κανόνα ακριβείς εκτιμήσεις, ειδικά σε περιπτώσεις που τα σύνολα δεδομένων διαφέρουν πολύ από αυτά που παρουσιάζονται. Όμως παρουσιάζει μια μεθοδολογία μελέτης και ελέγχου του λογισμικού αυτού, αλλά και άλλων αντίστοιχων λογισμικών. Το τελευταίο είναι πολύ σημαντικό καθώς είναι πολύ σημαντικό ο μηχανικός να ελέγχει τα εργαλεία που χρησιμοποιεί και όχι τα εργαλεία να ελέγχουν τον μηχανικό.

## Βιβλιογραφικές Αναφορές

### Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Αδάμ Α., 2011. Γεωμετρία του Στερεοζεύγους από Βαθμονομημένες και από Μη Βαθμονομημένες Μηχανές. Διπλωματική Εργασία, ΤΑΤΜ ΕΜΠ.
2. Δάβαρης Κ., (2015), Διπλωματική Εργασία, Τεχνικές εξαγωγής σημείων ενδιαφέροντος σε τούνελ από σκυρόδεμα, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
3. Κακογιάννου Μ., (2017), Διπλωματική Εργασία, Προγραμματισμός και Αξιολόγηση Φωτοτριγωνισμού με Αυτοβαθμονόμηση σε Εικόνες Άγνωστης Διάταξης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π), Αθήνα
4. Καλησπεράκης Η., (2010), Διδακτορική διατριβή, Η Επιπολική Γεωμετρία στον Προβολικό και τον Ευκλείδειο Χώρο, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π), Αθήνα.
5. Κακογιάννου Μ., (2017), Διπλωματική Εργασία, Προγραμματισμός και Αξιολόγηση Φωτοτριγωνισμού με Αυτοβαθμονόμηση σε Εικόνες Άγνωστης Διάταξης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π), Αθήνα
6. Κωνσταντινίδης Δ., (2009), Διπλωματική Εργασία, Αντιστοίχιση σημείων με τη μέθοδο RANSAC, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
7. Μεγαρίτης Δ., (2018), Διδακτορική Διατριβή, Συγκριτική αξιολόγηση για την εφαρμογή μεθόδων δημιουργίας χαρτών παράλλαξης Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π), Αθήνα
8. Πέτσα Ε., (2000), Θεμελιώδεις Έννοιες και Θεμελιώδη Προβλήματα της Φωτογραμμετρίας, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής (ΠΑ.Δ.Α), Αθήνα
9. Στεφάνου, Α.-Β., 2018. Η Συμβολή των Νέων Τεχνολογιών στην Αρχαιολογία - Η Περίπτωση του Ναού της Δήμητρας στο Σαγκρί Νάξου. Μεταπτυχιακή Εργασία, ΔΠΜΣ «Αρχαιολογία της Ανατολικής Μεσογείου από την προϊστορική Εποχή έως την Ύστερη Αρχαιότητα: Ελλάδα, Αίγυπτος, Εγγύς Ανατολή», Τμήμα Μεσογειακών Σπουδών, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
10. Φάκα Σ., (2010), Ειδική Επιστημονική Εργασία, Τρισδιάστατη ανακατασκευή αντικειμένων από φωτογραφίες (με χρήση Matlab), Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα

### Διεθνής Βιβλιογραφία

11. Arya, S., Mount, D.M., Netanyahu, N.S., Silverman, R., Wu, A.Y., 1998. An optimal algorithm for approximate nearest neighbour searching fixed dimensions. *Journal of the Association for Computing Machinery* 45, 891–923.
12. Bay H., Tuytelaars T., van Goo, L. (2006). URF: Speeded up robust features. *European Conference on Computer Vision*, 404-417.
13. D. Marr and T. Poggio. A computational theory of human stereo vision. *Proceedings of Royal Society of London*, 204(1156):301–328, 1979.
14. Furukawa, Y., Curless, B., Seitz, S.M. and Szeliski, R., 2010, June. Towards internet-scale multi-view stereo. In *2010 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1434-1441). IEEE

15. Furukawa Y, Hernandez C, et. al., Multi-view stereo: A tutorial. CGV, 9(1-2):1–148, 2015.
16. Furukawa, Y. and Ponce, J., 2009. Accurate, dense, and robust multiview stereopsis. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 32(8), pp.1362-1376.
17. Fischler M., Bolles R., 1981. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. Communications of the Association for Computing Machinery, 24(6), pp. 381-395.
18. Harris, C., Stephens, M., 1988. A combined corner and edge detector. Proceedings of the Fourth Alvey Vision Conference, Manchester, pp. 147–151.
19. J. Canny (1986) "A computational approach to edge detection", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol 8, pages 679-714.
20. Lowe D., 2004. Distinctive image features from scale invariant keypoints. International Journal of Computer Vision, 2(60), pp. 91-110.
21. Lowe, D.G. 1999. Object recognition from local scale-invariant features. In International Conference on Computer Vision, Corfu, Greece, pp. 1150–1157.
22. Morel J.-M., Yu G. (2009). ASIFT: a new framework for fully affine invariant image comparison. SIAM Journal of Imaging Sciences, 2(2), 438-469.
23. Snavely, N., 2008. Scene reconstruction and visualization from Internet photo collections, unpublished PhD thesis, University of Washington, USA.
24. Spetsakis, M.E., Aloimonos, Y., 1991. A multi-frame approach to visual motion perception. International Journal of Computer Vision 6, 245–255.
25. Westoby, Matt & Brasington, James & Glasser, Neil & Hambrey, Michael & Reynolds, John. (2012). Structure-from-Motion photogrammetry: a novel, low-cost tool for geomorphological applications. 936.

### **Ιστοσελίδες-Χρήσιμο Υλικό-Βίντεο**

- ✓ <https://all3dp.com/> (Τελευταία Επίσκεψη 04/07/21)
- ✓ <https://www.dpreview.com/> (Τελευταία Επίσκεψη 04/07/21)
- ✓ [https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_photogrammetry\\_software](https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_photogrammetry_software) (Τελευταία Επίσκεψη 04/07/21)
- ✓ <https://wingtra.com/> (Τελευταία Επίσκεψη 04/07/21)
- ✓ <https://stackoverflow.com/> (Τελευταία Επίσκεψη 04/07/21)
- ✓ <https://www.desmos.com/calculator> (Τελευταία Επίσκεψη 04/07/21)
- ✓ [https://scikit-image.org/docs/dev/auto\\_examples/transform/plot\\_ransac.html](https://scikit-image.org/docs/dev/auto_examples/transform/plot_ransac.html) (Τελευταία Επίσκεψη 04/07/21)
- ✓ <https://www.agisoft.com/forum/> (Τελευταία Επίσκεψη 04/07/21)
- ✓ [https://www.agisoft.com/pdf/tips\\_and\\_tricks/PhotoScan\\_Memory\\_Requirements.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/tips_and_tricks/PhotoScan_Memory_Requirements.pdf) (Τελευταία Επίσκεψη 04/07/21)

- ✓ <https://www.youtube.com/channel/UCi1TC2fLRvgBQNe-T4dp8Eg> *(Τελευταία Επίσκεψη 04/07/21)*
- ✓ [https://www.youtube.com/channel/UCVn1ie5K\\_ivJETRwFqsB4fA/videos](https://www.youtube.com/channel/UCVn1ie5K_ivJETRwFqsB4fA/videos) *(Τελευταία Επίσκεψη 04/07/21)*
- ✓ [https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3493/1/02\\_chapters\\_04.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3493/1/02_chapters_04.pdf) *(Τελευταία Επίσκεψη 04/07/21)*
- ✓ Σημειώσεις Μαθημάτων Φωτογραμμετρίας I, II, III στο MyCourses *(Τελευταία Επίσκεψη 04/07/21)*