



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Πρόγραμμα Σπουδών
Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε. Λάρισας

**ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΙΚΟΣ
ΣΑΡΩΤΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟΣ ΣΕ ARDUINO**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χλωρός Πάρης (ΑΜ: 4418256)

Επιβλέπων: Αδάμ Γεώργιος, Καθηγητής

ΛΑΡΙΣΑ 2023

«Εγώ ο Χλωρός Πάρης, δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα Πτυχιακή Εργασία με τίτλο «Τρισδιάστατος Φωτογραμμικός Σαρωτής Βασισμένος σε Arduino» είναι δική μου και βεβαιώνω ότι:

- Σε όσες περιπτώσεις έχω συμβουλευτεί δημοσιευμένη εργασία τρίτων, αυτό επισημαίνεται με σχετική αναφορά στα επίμαχα σημεία.
- Σε όσες περιπτώσεις μεταφέρω λόγια τρίτων, αυτό επισημαίνεται με σχετική αναφορά στα επίμαχα σημεία. Με εξαίρεση τέτοιες περιπτώσεις, το υπόλοιπο κείμενο της πτυχιακής αποτελεί δική μου δουλειά.
- Αναφέρω ρητά όλες τις πηγές βοήθειας που χρησιμοποίησα.
- Σε περιπτώσεις που τμήματα της παρούσας πτυχιακής έγιναν από κοινού με τρίτους, αναφέρω ρητά ποια είναι η δική μου συνεισφορά και ποια των τρίτων.
- Γνωρίζω πως η λογοκλοπή αποτελεί σοβαρότατο παράπτωμα και είμαι ενήμερος(-η) για την επέλευση των νόμιμων συνεπειών»

< υπογραφή >

< ονοματεπώνυμο >

Ο φοιτητής εντάχθηκε αυτοδίκαια στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σύμφωνα με την παρ. 1 του άρθρου 6 του Ν.4589/2019 (ΦΕΚ 13/Α'/29.01.2019). Η εκπαιδευτική λειτουργία του ανωτέρου προγράμματος σπουδών συνεχίζεται μεταβατικά σύμφωνα με την παρ. 2 του άρθρου 6 του Ν.4589/2019 (ΦΕΚ 13/Α'/29.01.2019).

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Τόπος:

Ημερομηνία:

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1.

2.

3.

Περίληψη

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη και η κατασκευή ενός σαρωτή, ως απόδειξη εφικτότητας, για τη συλλογή πληροφοριών από αντικείμενα, μέσω φωτογραφιών, με τελικό σκοπό τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων. Παράλληλα, αναλύεται η μέθοδος της φωτογραμμετρίας με τη χρήση της σε πραγματικά δεδομένα, ανάπτυξη προσαρμοσμένου κώδικα για την λειτουργία του σαρωτή καθώς η επεξεργασία των παραχθέντων αποτελεσμάτων. Γίνεται εκτενής περιγραφή των διαφόρων εξαρτημάτων που συμβάλουν στην σωστή λειτουργία του σαρωτή, τόσο στον υλισμικό τομέα όσο και στο λογισμικό. Τέλος, παρουσιάζονται οι πιθανές χρήσεις της συσκευής, τα αποτελέσματα αλλά και πιθανές βελτιώσεις που μπορούν να τεθούν ως βάση για την μελλοντική ανάπτυξη του τρισδιάστατου σαρωτή.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με στήριξαν στις φοιτητικές μου υποχρεώσεις κατά την ακαδημαϊκή εκπαίδευση μου. Ευχαριστώ την οικογένεια μου και τους φίλους μου για τη παρότρυνση επίτευξης του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος της παρούσας εργασίας.

Ένα ακόμη ευχαριστώ στον καθηγητή μου, τον κύριο Αδάμ, για την εμπιστοσύνη και την υπομονή που έδειξε έτσι ώστε να ολοκληρωθεί η παρούσα εργασία.

ονοματεπώνυμο

ημερομηνία

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	III
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	V
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2 ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ.....	3
2.1 ΟΡΙΣΜΟΙ	3
2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ.....	3
2.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	4
3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	5
3.1 ΒΑΣΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	5
3.1.1 Σχεδιασμός πλάνου εργασίας.....	5
3.1.2 Συλλογή δεδομένων.....	6
3.1.3 Περιβάλλον.....	6
3.2 ΠΟΙΚΙΛΟΜΟΡΦΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	7
3.2.1 Θόρυβος.....	7
3.2.2 Ανομοιομορφία Λεπτομερειών.....	9
3.3 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	10
4 ΥΛΙΚΟΛΟΓΙΣΜΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΣΑΡΩΤΗ.....	13
4.1 ΦΥΣΙΚΗ ΥΠΟΣΤΑΣΗ ΣΑΡΩΤΗ	13
4.2 ΌΡΓΑΝΟ ΛΗΨΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ.....	14
4.3 ΚΙΝΗΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΚΙΝΟΥΜΕΝΑ ΜΕΡΗ.....	16
4.3.1 Κινητήρια Μέρη: Βηματικοί Κινητήρες.....	16
4.3.2 Κινούμενα Μέρη.....	16
4.4 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΈΛΕΓΧΟΣ	17
4.4.1 Ηλεκτρονικοί Ελεγκτές.....	17
4.4.2 Κώδικας Ελέγχου Συστήματος.....	19

5	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	25
5.1	ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	25
5.1.1	Έλεγχος συνδεσιμότητας εξαρτημάτων	25
5.1.2	Έναρξη λειτουργίας	26
5.1.3	Λήξη Λειτουργίας	27
5.2	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	27
5.2.1	Επιλογή Λογισμικού Επεξεργασίας	27
5.2.2	Περιβάλλον Meshroom	28
5.3	ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ	30
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	37
6.1	ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	37
6.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ	38
6.2.1	Αποτελέσματα	38
6.2.2	Χρήσεις	39
6.3	ΠΙΘΑΝΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ	40
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	41
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

1 Εισαγωγή

Στη σύγχρονη εποχή, η τεχνολογική εξέλιξη έχει επηρεάσει κάθε πτυχή της ζωής μας, ανασχηματίζοντας τον τρόπο που ζούμε και εργαζόμαστε. Αυτή η εξέλιξη δημιουργεί νέες δυνατότητες, αλλά και αναγκάζει προσαρμογή και βελτίωση. Ένα παράδειγμα αυτής της εξέλιξης αφορά τη φωτογραφία. Οι νέες τεχνολογίες μεταμορφώνουν τις μορφές αρχείων και τις χρήσεις της φωτογραφίας, επιτρέποντας νέους τρόπους εξερεύνησης και αναπαράστασης της πραγματικότητας. Η προκειμένη εργασία, λόγω της πειραματικής φύσης της, ασχολείται με τη κατασκευή μιας συσκευής με σκοπό τη μοντελοποίηση των φωτογραφιών.

Η εργασία χωρίζεται σε έξι κεφάλαια, συμπεριλαμβανομένου του κεφαλαίου *Εισαγωγή*. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρει τη φωτογραμμετρία κάνοντας μια ιστορική αναφορά και παραθέτοντας τομείς που χρησιμοποιείται η φωτογραμμετρική μέθοδος. Το τρίτο κεφάλαιο εστιάζει στην ανάλυση της φωτογραμμετρικής μεθόδου και στα πιθανά προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει ο χρήστης. Στη συνέχεια, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι συνολικές απαιτήσεις για την κατασκευή της συσκευής. Ακολουθεί το πέμπτο κεφάλαιο στο οποίο αναλύεται η διαδικασία μετατροπής των πληροφοριών σε τρισδιάστατη μορφή, τη παραμετροποίηση τους και την επεξεργασία τους. Τέλος, το έκτο κεφάλαιο παρουσιάζει τα αποτελέσματα, τις χρήσεις, τις δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν αλλά και πιθανές βελτιώσεις που μπορούν επιτευχθούν στο μέλλον.

2 Φωτογραμμετρία

2.1 Ορισμοί

«Φωτογραμμετρία ονομάζεται μια ιδιαίτερη μέθοδος – τεχνική προσδιορισμού διαστάσεων αντικειμένων με χρήση φωτογραφιών» (<https://el.wikipedia.org/wiki/Φωτογραμμετρία>) [1].

«Η τέχνη, επιστήμη και τεχνολογία της ανάκτησης έγκυρης πληροφορίας φυσικών αντικειμένων αλλά και του περιβάλλοντος μέσω διαδικασιών καταγραφής, μετρήσεων και παρεμβολής φωτογραφικών εικόνων ή/και εικόνων ανακλώμενης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας» σύμφωνα με το American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) [2].

2.2 Εφαρμογές Φωτογραμμετρίας

Σήμερα, η φωτογραμμετρία χρησιμοποιείται για την σχεδίαση τρισδιάστατων ή δυσδιάστατων χαρτών σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Μερικά παραδείγματα αποτελούν:

- Αεροφωτογραφία: Οι αεροφωτογραφίες λαμβάνονται από αεροσκάφη, επανδρωμένα ή UAV και χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό του εδάφους, την αγροτική χαρτογραφία και την ανίχνευση αλλαγών σε αστικά κέντρα.
- Αρχαιολογία: Τρισδιάστατα μοντέλα αρχαιολογικών χώρων καθώς και την ψηφιοποίηση τους για περιήγηση με τη χρήση εξοπλισμού εικονικής πραγματικότητας (Virtual Reality ή VR).
- Αυτοκινητοβιομηχανία: Βελτίωση των διαδικασιών κατασκευής και του σχεδιασμού αυτοκινήτων.
- Πληροφορική: Φωτο-ρεαλισμός σε μέσα διασκέδασης όπως κινηματογράφος και βίντεο-παιχνίδια. Άντληση πληροφοριών και εκπαίδευση τεχνητής νοημοσύνης.

2.3 Ιστορική Αναδρομή

Σύμφωνα με τη Διεθνή Εταιρεία Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (IRSPRS)[3], μια άποψη για τα πρώτα βήματα ύπαρξης της φωτογραμμετρίας έγιναν από τον Έλληνα φιλόσοφο Αριστοτέλη (350 π.Χ.). Μία άλλη άποψη είναι πως ο Λεονάρντο Ντα Βίντσι διερεύνησε τις επιστήμες της γεωμετρίας και οπτικής καθώς το 1492 παρουσίασε τις αρχές οπτικής προοπτικής, που αποτελούν την βάση της φωτογραμμετρίας ακόμα και σήμερα.

Ο Αλμπερτ Ντύρερ (1471-1528) το 1525 κατασκεύασε μηχανικές συσκευές που αποσκοπούσαν για την παραγωγή πραγματικών σχεδίων της φύσης, καθώς και για τη παραγωγή στερεοσκοπικών πεδίων.

Ο Γερμανός αστρονόμος Ιωάννης Κέπλερ το 1600 έδωσε μια ακριβή ορισμό της στερεοσκοπίας. Τον όρο "φωτογραμμετρία" εισήγαγε ο Kersten το 1855, με την πρώτη εμφάνισή του στη διεθνή βιβλιογραφία από τον Meydenbauer το 1867. Η πρώτη γερμανική εγκυκλοπαίδεια για τη φωτογραμμετρία εκδόθηκε από τον Korpe το 1889, και το κλασικό έργο του Aime Laussedat για τη γαλλική φωτογραμμετρία κυκλοφόρησε το 1898.

Η πιο βασική γεωμετρική έννοια εδραιώθηκε από τον Hauck το 1883 όταν ανακάλυψε την σχέση μεταξύ της προβολικής γεωμετρίας και της φωτογραμμετρίας. Οι εκτεταμένες μελέτες οπτικών σημείων ξεκίνησαν από τον Ernst Abbe, με τον Carl Pulfrich να αναπτύσσει μια εφαρμόσιμη μέθοδο παραγωγής χωρικών διαστάσεων από εικόνες με κινούμενα στοιχεία.

Ο Sebastian Finsterwalder (1862-1951) σε μια σειρά δημοσιεύσεων από το 1899 έως το 1937 έθεσε μια πολύ ισχυρή βάση για την αναλυτική φωτογραμμετρία. Σε αυτές, ανέδειξε τις γεωμετρικές σχέσεις που διέπουν την ανάλυση και τον τομέα, καθώς και τις σχετικές και απόλυτες προσανατολισμούς.

Ο Eduard Dalezal (1862-1955) από τη Βιέννη της Αυστρίας παρείχε μεγάλη διεθνή κινητήρια δύναμη ως ο ιδρυτής πρόεδρος της Διεθνούς Εταιρείας Φωτογραμμετρίας το 1909. Επίσης, δημιούργησε τα Διεθνή Αρχεία Φωτογραμμετρίας.

3 Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρική διαδικασία

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τα βήματα που απαιτούνται για την υλοποίηση της φωτογραμμετρικής διαδικασίας, καθώς και τα εργαλεία για τη διαδικασία.

3.1 Βασικά βήματα της φωτογραμμετρικής διαδικασίας

3.1.1 Σχεδιασμός πλάνου εργασίας

Στη διαδικασία σχεδιασμού του πλάνου εργασίας για την ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου μοντέλου, η επιλογή του κατάλληλου υλικού (hardware) και λογισμικού (software) που θα χρησιμοποιηθεί αποτελεί ένα σημαντικό βήμα για την επιτυχή υλοποίηση του έργου.

Όσον αφορά το υλικό, απαιτείται η εκτίμηση και επιλογή εξοπλισμού που θα ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της ανάπτυξης του τρισδιάστατου μοντέλου. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει υπολογιστές με ισχυρή επεξεργαστική ισχύ, μεγάλη μνήμη και γραφικές κάρτες υψηλής απόδοσης. Επιπλέον, στο υλικό εντάσσονται και τα όργανα λήψεως φωτογραφιών τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν απλούς φωτογραφικούς αισθητήρες ή και επαγγελματικές φωτογραφικές μηχανές.

Όσον αφορά το λογισμικό, υπάρχουν διάφορες επιλογές που μπορούν να υποστηρίξουν τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου. Οι σχεδιαστές και οι μηχανικοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν ειδικευμένα λογισμικά σχεδίασης 3D, όπως το AutoCAD, το SketchUp, το SolidWorks ή και το Meshroom, τα οποία παρέχουν πλούσια εργαλεία για τη δημιουργία, τροποποίηση και απεικόνιση των μοντέλων.

Η ορθή επιλογή υλικού και λογισμικού θα μας βοηθήσει σε μείωση του χρόνου κατασκευής και επεξεργασίας του τρισδιάστατου μοντέλου.

3.1.2 Συλλογή δεδομένων

Στη φωτογραμμετρία τα δεδομένα αποτελούν οι φωτογραφικές λήψεις ανεξαρτήτου φύσεως του οργάνου που χρησιμοποιείται. Η αδιάκοπη εξέλιξη της τεχνολογίας στην εποχή που διανύουμε μας παρέχει ελευθερία στην επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού. Οι λήψεις μπορούν να πραγματοποιηθούν με τη χρήση οποιασδήποτε φωτογραφικής συσκευής όπως τη κάμερα ενός κινητού, μιας επαγγελματικής φωτογραφικής μηχανής (DSLR) ή ακόμα και κάμερας προσωπικού υπολογιστή (USB Web-camera). Παρακάτω θα δούμε πως επηρεάζονται τα τελικά αποτελέσματα από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε φωτογραφικής συσκευής.

3.1.3 Περιβάλλον

Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 3.1.2, η φωτογραμμετρία κάνει χρήση φωτογραφιών για τον υπολογισμό και την κατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου βάσει των πληροφοριών που περιέχονται στις εικόνες. Για την ορθή λειτουργία των λογισμικών, που αναλαμβάνουν την παραγωγή 3D μοντέλων, είναι απαραίτητο οι εικόνες που δίνονται ως πληροφορία προς επεξεργασία να πληρούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Μερικές από αυτές αποτελούν:

- Ευκρίνεια: Οι φωτογραφίες καλούνται να είναι «καθαρές» με το αντικείμενο που απεικονίζεται να βρίσκεται εστιασμένο από τον φωτογραφικό φακό. Μια θολή εικόνα ενδέχεται να παρέχει ψευδείς πληροφορίες στον αλγόριθμο του λογισμικού μας, με άμεσο αποτέλεσμα την παραμόρφωση του τελικού σχεδίου. (Βλέπε 3.2)
- Φωτεινότητα: Σε συνδυασμό με την ευκρίνεια, η φωτεινότητα κατέχει εξίσου σημαντικό ρόλο στην παράδοση της πληροφορίας. Μια σκοτεινή εικόνα θα αναγκάσει τον αλγόριθμο μας να προβεί σε υπολογισμούς που θα βλάψουν το τελικό αποτέλεσμα με ατέλειες ή και κενά σημεία.
- Όργανα λήψης: Για εξοικονόμηση χρόνου μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε παραπάνω από ένα όργανο λήψης φωτογραφιών. Όμως, οι εικόνες διαφορετικών μέσων χρειάζονται ομαδοποίηση κατά φωτογραφικό μέσο για την εύκολη διαχείριση από το λογισμικό επεξεργασίας.

3.2 Ποικιλομορφία αποτελεσμάτων

Η φωτογραμμετρία προσφέρει πληθώρα αποτελεσμάτων αλλά πολλές φορές η μη επαρκής προετοιμασία μπορεί να αποφέρει αρνητικά στοιχεία όπως:

- Θόρυβος
- Ανομοιομορφία λεπτομερειών τελικού 3D μοντέλου

Μπορούμε όμως να προβούμε σε ενέργειες που θα μειώσουν σε σημαντικό βαθμό ή θα εξαλείψουν τα παραπάνω προβλήματα. Η χρήση ενός καλού φωτογραφικού μέσου, όπως η κάμερα ενός κινητού ή ακόμα και μιας επαγγελματικής φωτογραφικής μηχανής, θα έχει άμεσο αντίκτυπο στην παραγωγή του τελικού αποτελέσματος. Όπως προαναφέρθηκε, σημαντικό ρόλο στην συνολική διαδικασία έχει το περιβάλλον στο οποίο πραγματοποιείται η συλλογή δεδομένων. Στο παρακάτω παράδειγμα φωτογραμμετρικής διαδικασίας θα εξετάσουμε δύο παρόμοια 3D μοντέλα με τις κύριες διαφορές τους να αποτελούν την διαφορά πλήθους πληροφορίας και φωτισμού.

3.2.1 Θόρυβος

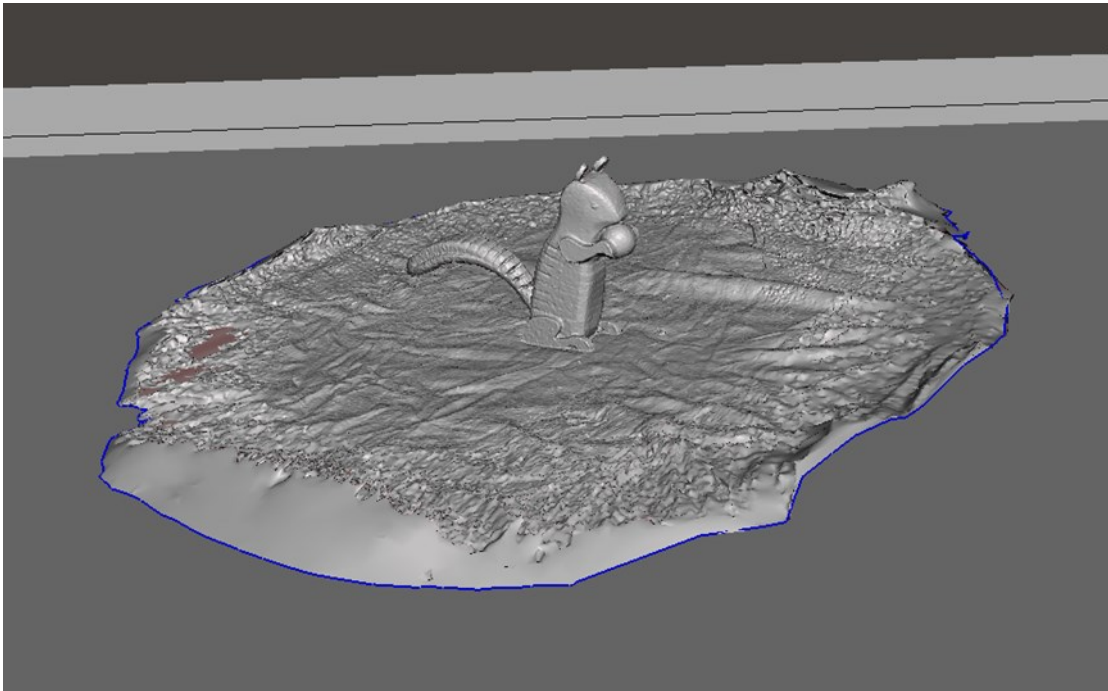
Με τον όρο θόρυβο εννοούμε τις ανωμαλίες της φωτεινότητας της φωτογραφίας που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια λήψης. Επίσης, εκτός από το φαινόμενο των ανωμαλιών στη φωτεινότητα, θόρυβος ονομάζεται η ακραία αλλαγή της χρωματικής πληροφορίας μιας εικόνας. (R.N.Clark, 2006)[4]

Ο θόρυβος παρατηρείται μόνο στις εικόνες δύο διαστάσεων (2D image) και όχι στις εικόνες των τριών διαστάσεων (3D image) όπως ένα τρισδιάστατο μοντέλο καθώς αποτελεί ένα τελικό αποτέλεσμα συνδυασμού 2D φωτογραφιών. Όμως, τυχόν υπάρχων θόρυβος στην συλλογή των εικόνων, που θα πάρουν μέρος στην φωτογραμμετρική διαδικασία, θα μεταφραστεί ως απώλεια πληροφορίας ή ανωμαλία.

Η ύπαρξη θορύβου συνδέεται άμεσα με την φύση του περιβάλλοντος που συλλέγεται η πληροφορία. Για παράδειγμα, επιλέγουμε να συλλέξουμε πληροφορίες σε ένα χώρο όπου υπάρχει ποικιλομορφία αντικειμένων όπως μία αποθήκη. Στο τελικό ακατέργαστο αποτέλεσμα καλούμαστε να επεξεργαστούμε το αρχείο σε πολύ μεγάλο βαθμό έτσι ώστε να κρατήσουμε το επιθυμητό τμήμα του. Ακόμη, η παρουσία θορύβου απαιτεί περισσότερους πόρους, υπολογιστικούς και αποθηκευτικούς, καταναλώνοντας παραπάνω χρόνο χωρίς σημαντική ποιοτική βελτίωση.

Η εικόνα 1 απεικονίζει το τρισδιάστατο μοντέλο ενός ξύλινου σκίουρου. Το αντικείμενο έχει τοποθετηθεί πάνω σε ύφασμα για την εξασφάλιση εξαφάνισης πιθανών

ανωμαλιών που μπορούν να δημιουργηθούν από την αντανάκλαση της γυάλινης επιφάνειας του τραπεζιού.



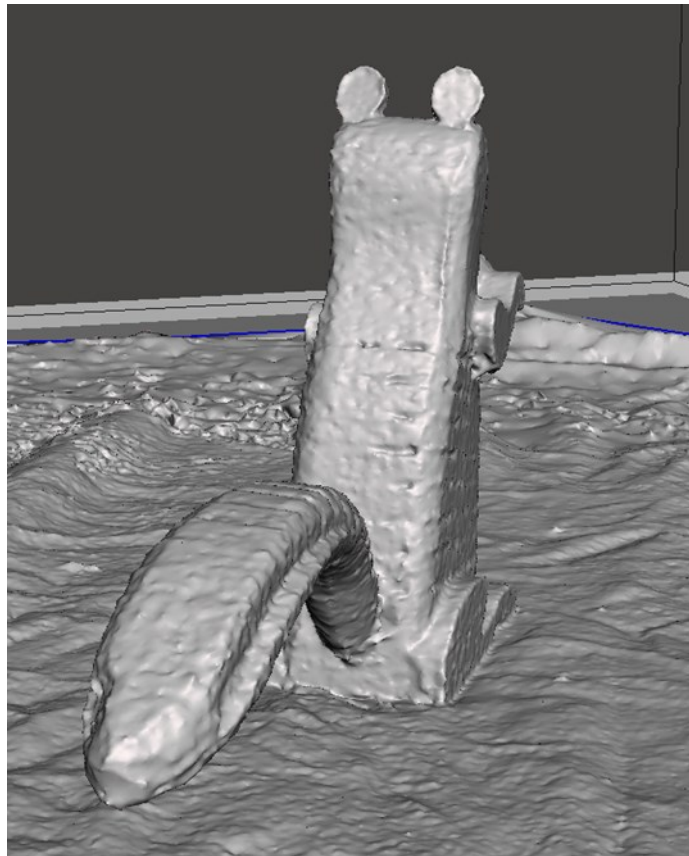
Εικόνα 1: 3D μοντέλο σκίουρου

Η κοινότητα της ερασιτεχνικής ενασχόλησης με τη φωτογραμμετρία συνήθως αποφεύγει την παραγωγή μοντέλων στα οποία εμπλέκονται διάφανες ή ανακλαστικές επιφάνειες. Αυτό συμβαίνει διότι τα περισσότερα φωτογραμμετρικά λογισμικά χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο Structure-from-Motion (SfM) ο οποίος υπολογίζει την τρισδιάστατη δομή μιας «σκηνής» από μια συλλογή 2D φωτογραφιών, τραβηγμένων από διαφορετικές γωνίες λήψης. (J.L. Schönberger, 2016)[5]. Δηλαδή ο SfM συγκρίνει τις φωτογραφίες υπολογίζοντας τις αποστάσεις μεταξύ επιλεγμένων χαρακτηριστικών που υπάρχουν στις εικόνες. Η ύπαρξη ενός αντικειμένου ή επιφάνειας που δεν διαχέει το φως θα μπερδέψει τον αλγόριθμο, με άμεσο αποτέλεσμα την εμφάνιση ανωμαλιών στο τελικό αποτέλεσμα.

3.2.2 Ανομοιομορφία Λεπτομερειών

Κατά την πρώτη μας επαφή με το τρισδιάστατο μοντέλο του ξύλινου σκίουρου παρατηρούμε ένα πολύπλοκο, λεπτομερές και ενιαίο σχήμα. Εμβαθύνοντας για την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών του μοντέλου παρατηρούμε πως το μοντέλο υστερεί σε πολλά σημεία.

Για παράδειγμα στο αρχικό μοντέλο, τα χαρακτηριστικά της ουράς του ομοιώματος φαίνονται πως πρόκειται για ένα καλώς κατασκευασμένο κομμάτι του 3D μοντέλου. Εμβαθύνοντας παρατηρούμε πως η ποιότητα του μοντέλου βρίσκεται σε ένα αισθητά χαμηλό επίπεδο. Οι ρωγμές, που επιτρέπουν την ύπαρξη καμυλότητας στο ομοίωμα, έχουν επικαλυφθεί κάνοντας το να φαίνεται ενιαίο.



Εικόνα 2: Πίσω όψη 3D μοντέλου

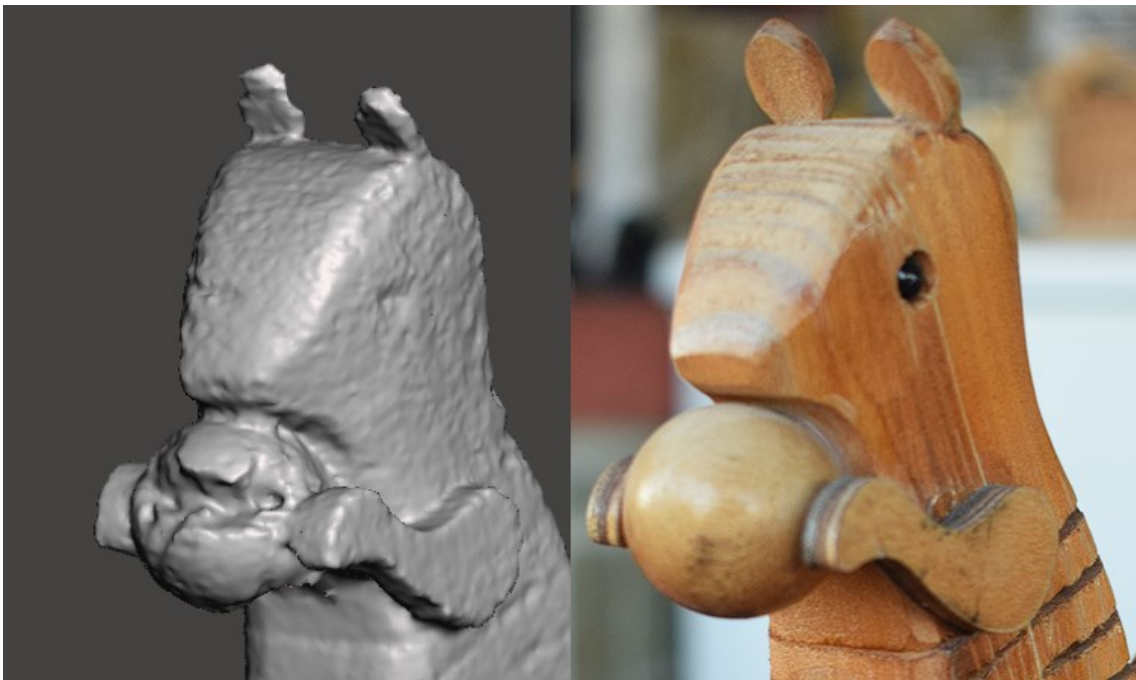
Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε εμφανή απώλεια πληροφορίας στην διαδικασία παραγωγής του 3D μοντέλου. Αυτό το αποτέλεσμα δημιουργήθηκε από την έλλειψη αρκετών φωτογραφιών που καλύπτουν τη συγκεκριμένη περιοχή, έτσι ώστε ο αλγόριθμος SfM δεν τροφοδοτήθηκε με την απαραίτητη ποσότητα πληροφορίας για την ανακατασκευή της συγκεκριμένης περιοχής.

3.3 Βελτίωση Ποιότητας

Όπως είδαμε στις προηγούμενες εικόνες (Εικόνα 1, Εικόνα 2), συμπεραίνουμε πως η φωτογραμμετρία πρόκειται για μία εξαιρετικά πληροφοριακά ευαίσθητη διαδικασία που χρήζει προσοχή και μελέτη κατά τη διάρκεια της.

Το μοντέλο του ξύλινου ομοιώματος σκίουρου που χρησιμοποιήθηκε στις παραπάνω ενότητες απαρτίζεται από τη συλλογή 121 διαφορετικών φωτογραφικών λήψεων, με τη χρήση προσωπικής επαγγελματικής φωτογραφικής κάμερας (Nikon D3300 με φακό 18mm). Η παράγωγος της φωτεινότητας έμεινε αμετάβλητη, με τον ήλιο να δρα ως τη μοναδική πηγή φωτός. Στη παρακάτω εικόνα παρατηρούμε το αποτέλεσμα του συνδυασμού έλλειψης επαρκούς πληροφορίας και μη ιδανικής φωτεινότητας.

Στη δεξιά πλευρά της εικόνας 3 βλέπουμε την φωτογραφία του ξύλινου ομοιώματος και μπορούμε να διακρίνουμε με ευκολία τα χαρακτηριστικά του. Βέβαια, κοιτώντας την αριστερή πλευρά της εικόνας που απεικονίζεται το 3D μοντέλο του ομοιώματος δυσκολευόμαστε να διακρίνουμε πολλά χαρακτηριστικά, όπως την απουσία ματιών, έλλειψη υλικού και τη τραχεία επιφάνεια.



Εικόνα 3: Σύγκριση 3D μοντέλου και φωτογραφίας

Χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο μοντέλο σε οποιαδήποτε διαδικασία θα μας αποφέρει ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, εάν γίνει χρήση 3D εκτυπωτή για την δημιουργία πιστού αντίγραφου θα αποκτήσουμε ένα αντικείμενο που μοιάζει με το ξύλινο ομοίωμα, αλλά στη πραγματικότητα, πρόκειται για ένα μειωμένης ποιότητας αντικείμενο.

Η αύξηση της ποιότητας του εκάστοτε μοντέλου μας επιτρέπει την χρήση του σε διαφορετικές διαδικασίες. Η επίτευξη της αύξησης ποιότητας μπορεί να γίνει με:

- Περισσότερη οπτική πληροφορία: Η συλλογή περισσότερων φωτογραφικών λήψεων αποτελεί την πιο αποδοτική λύση, καθώς κάθε παραπάνω εικόνα συμβάλει στη παροχή πληροφορίας στον αλγόριθμο επεξεργασίας. Πρέπει να σημειωθεί πως η επέκταση του πλήθους των φωτογραφιών αυξάνει τις απαιτήσεις του αποθηκευτικού χώρου και τον χρόνο επεξεργασίας.
- Βέλτιστες ρυθμίσεις: Δεδομένης της αύξησης του πλήθους φωτογραφιών που θα ληφθούν χρειάζεται να ρυθμίσουμε κατάλληλα το οπτικό μας μέσο, αν αυτό μας το επιτρέπει. Απαιτείται η αύξηση του φωτός που εισέρχεται στον ψηφιακό φακό κάτι που επιτυγχάνεται με το «άνοιγμα» του κλείστρου.
- Φωτεινότητα: Η φωτεινότητα κατέχει πρωταρχικό ρόλο στη διαδικασία καθώς, όπως προαναφέρθηκε, τα σκοτεινά σημεία ζημιώνουν το τελικό αποτέλεσμα. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το φλας της φωτογραφικής μηχανής (αν διαθέτει) ή και να τοποθετήσουμε τεχνητές πηγές φωτός γύρω από το αντικείμενο που φωτογραφίζουμε για την αποφυγή δημιουργίας σκιών.

4 Υλικολογισμικές Απαιτήσεις του Φωτογραμμικού Σαρωτή

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τις υλικολογισμικές απαιτήσεις για την κατασκευή και απόδειξη-της-ιδέας (proof-of-concept) ενός αυτόνομου σταθμού λήψης φωτογραφιών, που θα χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία 3D μοντέλων.

4.1 Φυσική Υπόσταση Σαρωτή

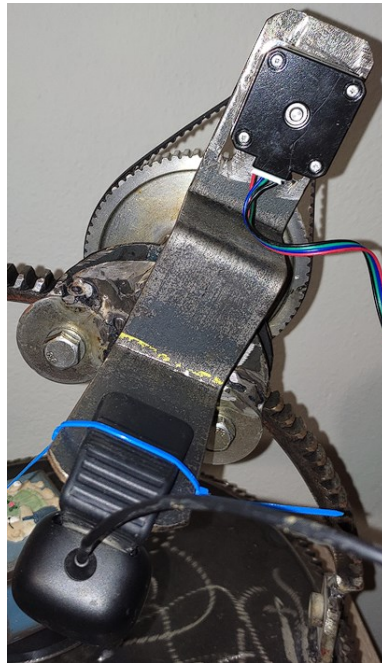
Στη κατασκευή του φωτογραμμικού σαρωτή εμπλέκεται πληθώρα διαφορετικών εξαρτημάτων που χρειάζεται να λειτουργούν με απόλυτη αρμονία για την παραγωγή χρήσιμης πληροφορίας. Ο σαρωτής βρίσκεται τοποθετημένος πάνω σε ξύλο με λαβές για την σταθερή του τοποθέτηση σε επιφάνεια όπως και την μετακίνηση του. Η ξύλινη βάση λειτουργεί και ως μέρος στερέωσης ειδικών εξαρτημάτων ελέγχου του σαρωτή. Από την ξύλινη βάση υψώνεται μεταλλική ράβδος που στο τέλος της έχει τοποθετηθεί έδρανο κύλισης (ρουλεμάν). Με αυτόν τον τρόπο επιτρέπεται η ελεύθερη κίνηση 360ο γύρω από την εξωτερική επιφάνεια του εδράνου, κρατώντας την εσωτερική επιφάνεια σταθερή.

Στην εξωτερική επιφάνεια του εδράνου τοποθετείται οδοντωτός δακτύλιος για την μετάδοση κίνησης στον άξονα X. Η εσωτερική, σταθερή επιφάνεια, του εδράνου χρησιμοποιείται ως βάση για το αντικείμενο που επιθυμούμε να φωτογραφίσουμε.



Εικόνα 4: Μηχανισμός κίνησης άξονα X

Η επίτευξη κίνησης στον άξονα Y πραγματοποιείται με την τοποθέτηση οδοντωτού ημικύκλιου κάθετα στον οδοντωτό τροχό. Σε αυτό το εξάρτημα στηρίζεται η συσκευή που είναι υπεύθυνη για τη λήψη φωτογραφιών. Με ελεύθερη κίνηση στους δυο άξονες επιτυγχάνονται λήψεις από ένα μεγάλο εύρος γωνιών θέασης. Ο σχεδιασμός της ανατομίας των αξόνων X και Y είναι εμπνευσμένος από τα σταθερά τηλεσκόπια με το φωτογραφικό μέσο στραμμένο αντίθετα.



Εικόνα 5: Όργανο λήψης και μηχανισμός κίνησης

Η ακολουθία συλλογής δεδομένων έχει ρυθμιστεί με τη συνεχόμενη λήψη φωτογραφιών κατά τη λειτουργία του σαρωτή. Με την ολοκλήρωση 180° του άξονα X, αλλάζει η φορά του X για τις επόμενες 360° . Όταν συμπληρωθούν οι 360° κίνησης το εξάρτημα που στηρίζει την κινητή συσκευή μετατοπίζεται κατά μια μοίρα κάθετα στον άξονα Y, αρχίζοντας ξανά την διαδικασία του X. Η λήψη δεδομένων σταματά όταν ο άξονας X ολοκληρώσει 360 περιστροφές.

4.2 Όργανο Λήψης Φωτογραφικού Υλικού

Η διαδικασία συλλογής δεδομένων που απαρτίζεται από τη συνεχή φωτογράφιση του αντικειμένου μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς τρόπους. Χάρη στη τεχνολογική εξέλιξη των τελευταίων 20 ετών μπορούμε να επιλέξουμε το όργανο λήψεων μέσα από ένα τεράστιο εύρος συσκευών, μερικές από τις οποίες είναι:

- Η ψηφιακή κάμερα του προσωπικού μας κινητού, καθώς χάρη στην τεχνολογική εξέλιξη των τελευταίων 10 ετών, οι φωτογραφικοί αισθητήρες των κινητών τηλεφώνων έχουν βελτιωθεί ραγδαία. Το προσωπικό μας τηλέφωνο αποτελεί την πιο προσιτή επιλογή επειδή δεν προσθέτει κόστος και προσφέρει ικανοποιητική ποιότητα εικόνας.
- Μια επαγγελματική φωτογραφική μηχανή αποτελεί την βέλτιστη επιλογή για την διαδικασία της συλλογής δεδομένων. Υψηλή ανάλυση, διαφορετικοί τύποι αρχείων και μεγαλύτερη ευκρίνεια των φωτογραφιών μας προσφέρουν άμεσο και διακριτό αποτέλεσμα στην παραγωγή μοντέλων. Όμως η απόκτηση επαγγελματικής φωτογραφικής μηχανής προσθέτει ένα επιπλέον κόστος στον σαρωτή μας. Επίσης τα μεγαλύτερα αρχεία περιορίζουν τον αποθηκευτικό χώρο του υπολογιστή και χρειάζονται περισσότερο χρόνο επεξεργασίας από το λογισμικό.
- Μια κάμερα υπολογιστή (USB Web-Camera) αποτελεί μια επαρκής λύση στο πρόβλημα επιλογής συσκευής. Οι περισσότερες κάμερες υπολογιστή έχουν μέτρια ανάλυση και ποιότητα λήψης, κυρίως για να καλύψουν την ανάγκη της επικοινωνίας, γεγονός που θα φανεί στο τελικό μας αποτέλεσμα εάν δεν γίνει εκτενής κάλυψη του αντικειμένου που φωτογραφίζεται.

Ο φωτογραμμικός σαρωτής θα υλοποιηθεί με τη χρήση της ψηφιακής κάμερας που χρησιμοποιείται για να καλύψει τις ανάγκες ενός σταθερού υπολογιστή. Η συσκευή μπορεί να προσφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα καλύπτοντας τις ανάγκες του project χωρίς να προσθέτει περαιτέρω κόστος στην υλοποίηση του σαρωτή. Η κάμερα που θα χρησιμοποιηθεί είναι η Microsoft LifeCam HD-3000, με αισθητήρα 2MP και ανάλυση 1280 pixel κατά τον οριζόντιο άξονα και 720 pixel κατά τον κατακόρυφο.

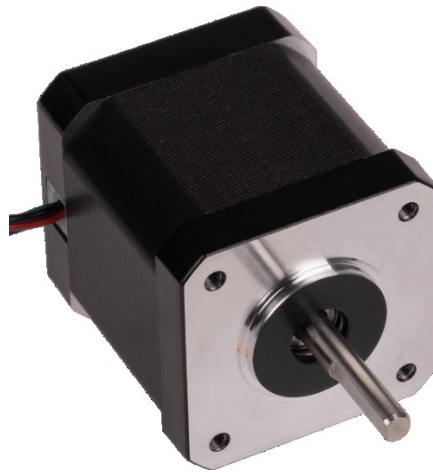


Εικόνα 6: Microsoft LifeCam HD-3000

4.3 Κινητήρια και Κινούμενα Μέρη

4.3.1 Κινητήρια Μέρη: Βηματικοί Κινητήρες

Ο σαρωτής μας χρειάζεται να κινείται με ακρίβεια πάνω στους άξονες X και Y προκειμένου να φέρει εις πέρας την διεργασία για την οποία είναι κατασκευασμένος. Την αρμοδιότητα της κίνησης σε κάθε ξεχωριστό άξονα αναλαμβάνουν δύο ξεχωριστοί βηματικοί κινητήρες (stepper motors). Πιο συγκεκριμένα, οι βηματικοί κινητήρες που θα χρησιμοποιηθούν είναι ίδιοι μεταξύ τους με τύπο Nema 17, μια δημοφιλή επιλογή μεταξύ των ατόμων που ανήκουν στην κοινότητα DIY (Do-It-Yourself ή Κάνε-Το-Μόνος-Σου).



Εικόνα 7: Βηματικός κινητήρας τύπου Nema 17

Οι διαστάσεις του πλαισίου τους ανέρχονται στα 42 χιλιοστά μήκους και πλάτους με το βάθος να βρίσκεται στα 39 χιλιοστά. Το συνολικό μήκος, λαμβάνοντας υπόψη το μήκος του κινητήριου άξονα ανέρχεται στα 62.5 χιλιοστά.

Το βάρος του εκάστοτε κινητήρα είναι 280 γραμμάρια και η στατική του ροπή αγγίζει τα 0.42 Nm. Το βήμα ή η απόσταση που διανύει ο κινητήριος άξονας σε κάθε του κίνηση είναι 1.8° σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του κατασκευαστή.

4.3.2 Κινούμενα Μέρη

Η μεταλλική φύση του σαρωτή κάνει ιδιαίτερα δύσκολη την κίνηση των δύο αξόνων. Αυτό οφείλεται στην μετατόπιση βάρους που σε πολλές περιπτώσεις ξεπερνά την στατική ροπή που προσφέρουν οι βηματικοί κινητήρες. Λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα παρέχει η χρήση οδοντωτών τροχών που αυξάνουν την ροπή των κινητήρων για τη συνολική μετατόπιση του σαρωτή πάνω στους δύο άξονες.

Όπως προαναφέρθηκε, στο εξωτερικό μέρος του εδράνου που επιτρέπει ελεύθερη κίνηση 360° τοποθετήθηκε οδοντωτός τροχός 138 δοντιών, ο οποίος κινείται με τη βοήθεια τροχαλίας 72 δοντιών που βρίσκεται συνδεδεμένη με τον βηματικό κινητήρα που ευθύνεται για την κίνηση του άξονα X. Παρόμοιο σύστημα λειτουργίας έχει τοποθετηθεί για την κίνηση του άξονα Y, με τη μόνη διαφορά πως ο βηματικός κινητήρας κινείται μαζί με το φωτογραφικό όργανο

4.4 Ηλεκτρονικός Έλεγχος

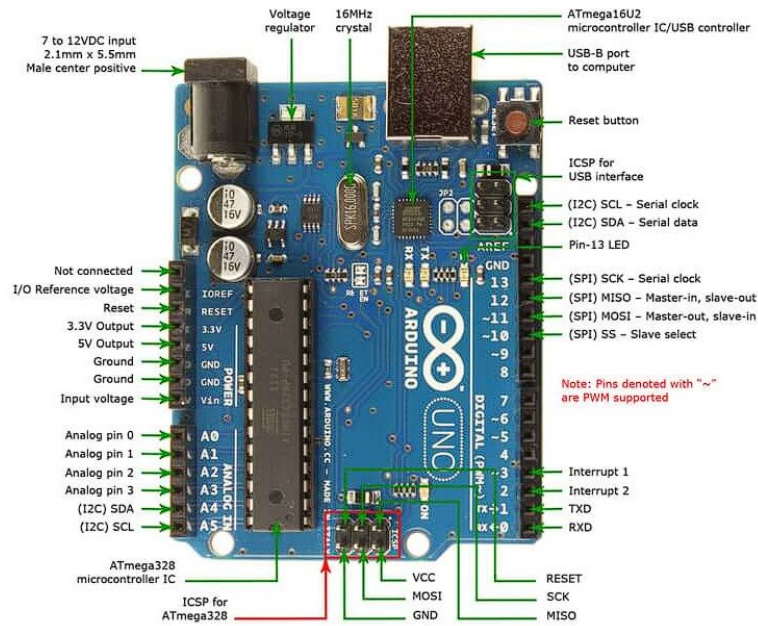
Για τη συνολική λειτουργία του φωτογραμμετρικού σαρωτή χρειαζόμαστε πλήρη έλεγχο των εξαρτημάτων του. Η λήψη των φωτογραφιών από τη κάμερα γίνεται αυτόματα από εφαρμογή, έτσι δεν απαιτείται περαιτέρω επέμβαση. Ακολουθούν οι κινήσεις του σαρωτή πάνω στους δύο άξονες, οι οποίες επιτυγχάνονται μέσω των βηματικών κινητήρων. Για τον έλεγχο τους απαιτούνται ειδικοί ηλεκτρονικοί ελεγκτές και εξατομικευμένος κώδικας.

4.4.1 Ηλεκτρονικοί Ελεγκτές

Η κεντρική μονάδα ελέγχου ολόκληρου του συστήματος απαιτείται να πληροί ορισμένες προϋποθέσεις, όπως:

- Περιβάλλον ανοικτού κώδικα (Open Source) για την ελεύθερη και μη περιοριστική ανάπτυξη κώδικα. Όλα τα εργαλεία που προσφέρει ένα περιβάλλον για την υλοποίηση του συγκεκριμένου project χρειάζεται να είναι διαθέσιμα προς τον χρήστη.
- Θύρες εισαγωγής-εξαγωγής δεδομένων και θύρες διαμόρφωσης πλάτους παλμού (PWM)
- Ευκολία επικοινωνίας χρήστη-ελεγκτή μέσω προτύπου USB.

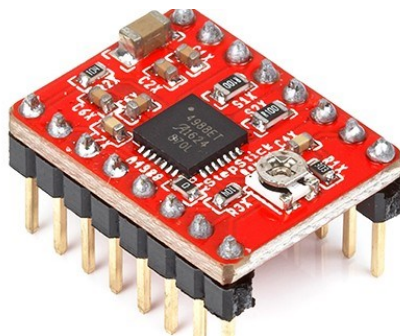
Η συσκευή που επιλέχθηκε και πληροί τις παραπάνω βασικές προϋποθέσεις για την υλοποίηση του παρών project είναι το Arduino Uno. Ο ελεγκτής ATMEGA328P που διαχειρίζεται και συμβάλει στις λειτουργίες του Arduino Uno αρκεί για τον έλεγχο κινήσεων που καλείται να κάνει ο σαρωτής.



Εικόνα 8: Arduino Uno με διάγραμμα συνδέσεων

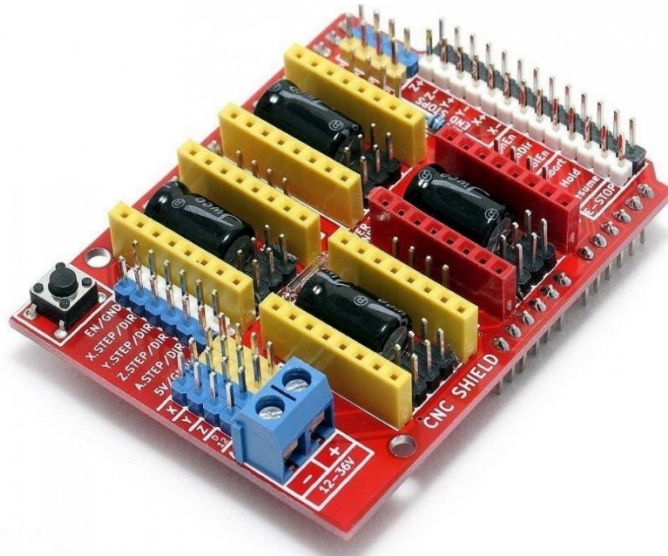
Το Arduino Uno αποτελεί μία εξαιρετική επιλογή ελεγκτή (controller) καθώς υποστηρίζεται σε μεγάλο επίπεδο από τους δημιουργούς του (Μασσίμο Μπάντζι και Δαβίδ Κουαρτιέλες) όπως και την κοινότητα του «φτιάξε το μόνος σου», γνωστή ως DIY Community (Do-it-Yourself). Χάρη στον επεξεργαστή που βρίσκεται τοποθετημένος στην πλακέτα (ATmega328p), η συσκευή είναι ικανή για την ανάπτυξη προγράμματος σε γλώσσα C.

Για τον πλήρη έλεγχο των βηματικών κινητήρων θα χρειαστεί να συνδυάσουμε τις δυνατότητες του Arduino Uno με ελεγκτές μεγαλύτερης εξειδίκευσης. Επιδιώκουμε έλεγχο δύο φάσεων, γεγονός που απαιτεί τη χρήση PWM σήματος. Η συγκεκριμένη διαδικασία έχει ανατεθεί σε δύο κυκλώματα A4988 Driver Modules.



Εικόνα 9: Ελεγκτής A4988

Ταυτόχρονα, για την αποφυγή εσφαλμένων συνδέσεων μεταξύ των A4988 ελεγκτών και των βηματικών κινητήρων προσθέτουμε τη πλακέτα Engraver CNC που έχει δημιουργηθεί για να λειτουργεί αρμονικά μεταξύ των Arduino Uno και A4988.



Εικόνα 9: Ελεγκτής Engraver CNC

4.4.2 Κώδικας Ελέγχου Συστήματος

Όλα τα παραπάνω μέρη του συστήματος είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθούν, για τη παραγωγή έργου, με την απουσία των απαραίτητων οδηγιών. Στη προκειμένη περίπτωση οι οδηγίες αποτελούνται από κώδικα ανεπτυγμένο σε γλώσσα C με τη χρήση του Arduino IDE περιβάλλοντος.

Ο κώδικας είναι υπεύθυνος αποκλειστικά για τις κινήσεις του τρισδιάστατου σαρωτή κατά το μήκος των αξόνων X και Y. Τη λήψη φωτογραφιών ελέγχει η εφαρμογή «Κάμερα» την οποία διαχειρίζεται ο υπολογιστής στον οποίο είναι φυσικά συνδεδεμένη η συσκευή.

Παρακάτω θα δούμε και θα αναλύσουμε τον κώδικα που έχει αναπτυχθεί για τον έλεγχο του συστήματος.

```
#include <Stepper.h>
const int enPin = 8;
const int stepXPin = 2;
const int dirXPin = 5;
const int stepYPin = 3;
const int dirYPin = 6;
int stepPin = stepXPin;
int dirPin = dirXPin;
bool directionChange = false;
int pulseWidthMicros = 1000;
```

```

int millisBtwSteps = 1000;
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(enPin, OUTPUT);
  digitalWrite(enPin, LOW);
  pinMode(stepPin, OUTPUT);
  pinMode(dirPin, OUTPUT);
  pinMode(dirXPin, OUTPUT);
  pinMode(stepXPin, OUTPUT);
}
void loop() {
  int rotationCount = 0;
  digitalWrite (dirPin, HIGH);
  for (int x=0; x<37; x++){
    for (int i=0; i<7400; i++){
      digitalWrite(stepPin, HIGH);
      delayMicroseconds(pulseWidthMicros);
      digitalWrite(stepPin, LOW);
      delayMicroseconds(millisBtwSteps);
    }
  }
  delay (1000);
  digitalWrite(dirPin, LOW);
  for (int x=37; x<111; x++){
    for (int i=0; i<14800; i++){
      digitalWrite(stepPin, HIGH);
      delayMicroseconds(pulseWidthMicros);
      digitalWrite(stepPin, LOW);
      delayMicroseconds(millisBtwSteps);
    }
    delay (1000);
  }
  rotationCount++;
  if (rotationCount < 360) {
    digitalWrite(dirYPin, HIGH);
    for (int f=0; f<25; f++) {
      for (int v=0; v<7400; v++) {
        digitalWrite(stepYPin, HIGH);
        delayMicroseconds(pulseWidthMicros);
        digitalWrite(stepYPin, LOW);
        delayMicroseconds(millisBtwSteps);
      }
    }
  }
  else {
    exit(0);
  }
}

```

Οι πρώτες 11 σειρές του κώδικα αποσκοπούν στην ενσωμάτωση της βιβλιοθήκης «Stepper», η οποία είναι υπεύθυνη για τη δυνατότητα επικοινωνίας του Arduino ελεγκτή με τους βηματικούς κινητήρες του σαρωτή, καθώς και τη δήλωση των ψηφιακών θυρών που απαιτούνται. Επιπλέον ορίζεται και ο βηματισμός των κινητήρων, δηλαδή η εναλλαγή τροφοδοσίας ρεύματος μεταξύ των δύο διαφορετικών φάσεων των κινητήρων για την επίτευξη κίνησης.

```

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(enPin, OUTPUT);
  digitalWrite(enPin, LOW);
  pinMode(stepPin, OUTPUT);
  pinMode(dirPin, OUTPUT);
  pinMode(dirXPin, OUTPUT);
  pinMode(stepXPin, OUTPUT);
}

```

Στο περιβάλλον ανάπτυξης κώδικα Arduino IDE υπάρχουν δύο κύριες διαδοχικές συναρτήσεις με όνομα «setup» και «loop» αντίστοιχα. Το παραπάνω κομμάτι κώδικα αναφέρεται στη λειτουργία της συνάρτησης «setup» η οποία θα εκτελεστεί αυστηρά μόνο μία φορά κατά την έναρξη λειτουργίας του Arduino ελεγκτή. Ο σκοπός της είναι η ενεργοποίηση της σειριακής θύρας επικοινωνίας υπολογιστή με Arduino και ο ορισμός των θυρών, που απασχολούνται από τους κινητήρες, σε θύρες εξόδου.

```

void loop() {
  int rotationCount = 0;
  digitalWrite (dirPin, HIGH);
  for (int x=0; x<37; x++){
    for (int i=0; i<7400; i++){
      digitalWrite(stepPin, HIGH);
      delayMicroseconds (pulseWidthMicros);
      digitalWrite(stepPin, LOW);
      delayMicroseconds (millisBtwnSteps);
    }
  }
}

```

Η συνάρτηση «loop» στο Arduino IDE αποτελεί τη συνάρτηση η οποία θα εκτελείται πολλές φορές, άρα και οι οδηγίες που περιέχει θα επαναλαμβάνονται όσες φορές επιθυμούμε ή ως τήρησης ενός περιορισμού.

Στο παραπάνω κομμάτι του κώδικα αρχικά κατασκευάζεται ένας μετρητής με την πρώτη του τιμή να αποτελείται από το μηδέν. Η μεταβλητή *dirPin*, που χειρίζεται την φυσική κατεύθυνση περιστροφής του κινητήρα που χειρίζεται τον άξονα X, ορίζεται σε *HIGH* με αποτέλεσμα η φορά να είναι δεξιόστροφη. Ο πρώτος βρόγχος *for* είναι υπεύθυνος για τον διαχωρισμό της απόστασης, η οποία αναλογίζεται στο μισό μίας ολόκληρης περιστροφής του οδοντωτού τροχού, σε 37 τμήματα.

Ο δεύτερος βρόγχος *for* αποτελεί τον χρόνο λειτουργίας του κινητήρα για την συνολική περίοδο μετατόπισης του σαρωτή. Η τιμή 7400 είναι εμπειρικά τοποθετημένη και μπορεί να γίνει είτε αύξηση είτε μείωση της, όμως η αλλαγή της έχει άμεσο

αποτέλεσμα στην ομαλότητα περιστροφής του κινητήρα και στην απόσταση που θα διανύσει ο σαρωτής.

```
delay (1000);
digitalWrite(dirPin, LOW);
for (int x=0; x<74; x++){
  for (int i=0; i<14800; i++){
    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds (pulseWidthMicros);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    delayMicroseconds (millisBtwnSteps);
  }
}
```

Έπειτα το πέρας ενός δευτερολέπτου (χιλίων millisecond) ο κώδικας μας έχει προχωρήσει στη δεύτερη ομάδα βρόγχων *for*. Εδώ η τιμή της μεταβλητής *dirPin* ορίζεται ως *LOW* θέτοντας την φορά του κινητήρα σε αριστερόστροφη. Ο πρώτος βρόγχος *for* λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο όπως και στη προηγούμενη ομάδα, είναι υπεύθυνος για την απόσταση που έχει διανυθεί. Η φύση της κατασκευής του σαρωτή αποτρέπει τη συνεχόμενη κίνηση με μοναδική κατεύθυνση καθώς η καλωδίωση του κινητήρα, που είναι υπεύθυνος για τον άξονα Y, θα τραυματιστεί.

Λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα δίνει η εναλλαγή κατεύθυνσης της περιστροφής του σαρωτή ανά δεδομένη απόσταση. Όπως μελετήσαμε παραπάνω η εκκίνηση λειτουργίας μετατοπίζει τον σαρωτή 180° δεξιόστροφα. Παρατηρούμε πως στη προκειμένη περίπτωση η τιμή της μεταβλητής X είναι διπλάσια (74) και αυτό συμβαίνει διότι ο σαρωτής καλείται να καλύψει διπλάσια απόσταση με αριστερόστροφη κατεύθυνση, έτσι ώστε να εκτελέσει μία πλήρη περιστροφή.

Σε περίπτωση προγραμματιστικού σφάλματος, για παράδειγμα ορισμός της μεταβλητής με τον αριθμό 37 όπως στην πρώτη ομάδα βρόγχων *for*, ο σαρωτής θα εκτελούσε διαδοχικά 180° μοίρες δεξιόστροφης περιστροφής και 180° αριστερόστροφης περιστροφής. Το όργανο λήψεως φωτογραφιών θα μπορούσε να συλλέξει δεδομένα μόνο από τη μία πλευρά του αντικειμένου το οποίο φωτογραφίζει, καθώς ο σαρωτής δεν θα εκτελούσε πλήρη περιστροφή. Έτσι το τελικό μας τρισδιάστατο μοντέλο θα ήταν ημιτελές.


```

    delay (1000);
}
rotationCount++;
if (rotationCount < 30) {
    digitalWrite(dirYPin, HIGH);
    for (int f=0; f<20; f++) {
        for (int v=0; v<7400; v++) {
            digitalWrite(stepYPin, HIGH);
            delayMicroseconds(pulseWidthMicros);
            digitalWrite(stepYPin, LOW);
            delayMicroseconds(millisBtwnSteps);
        }
    }
}
else {
    exit(0);
}
}

```

Μόλις ολοκληρωθεί η λειτουργία της δεύτερης ομάδας βρόγχων και η καθυστέρηση ενός δευτερολέπτου, ο μετρητής *rotationCount*, που αναπαριστά τις συνολικές πλήρεις περιστροφές του σαρωτή, αυξάνεται κατά μία μονάδα. Έπειτα αν η τιμή του μετρητή είναι μικρότερη του 30 τότε ενεργοποιείται ο κινητήρας που έχει τεθεί υπεύθυνος για την κίνηση του οργάνου λήψεως στον άξονα Y.

Λόγω βάρους και τριβών στον οδοντωτό τροχό του άξονα Y, που περιστασιακά αποτρέπουν την κίνηση του οργάνου λήψεως, η μεταβλητή *f* του πρώτου βρόγχου *for* έχει οριστεί σε 20 για την ελάχιστη δυνατή μεταβολή θέσεως. Έτσι, όταν η προϋπόθεση της *if*, δηλαδή οι συνολικές περιστροφές του σαρωτή να είναι κάτω των 30, σταματήσει να ικανοποιείται το όργανο λήψης θα βρίσκεται κοντά στην επιθυμητή τελική θέση.

5 Διαδικασία Παραγωγής Τρισδιάστατου Μοντέλου

Στα προηγούμενα κεφάλαια μελετήσαμε τα βήματα της φωτογραμμετρικής διαδικασίας όπως και τις προϋποθέσεις που καλούμαστε να τηρήσουμε έτσι ώστε να έχουμε ουσιαστικό αποτέλεσμα. Επίσης μελετήσαμε τις ανάγκες της δημιουργίας ενός τρισδιάστατου φωτογραμμικού σαρωτή που θα διευκολύνει τη συλλογή δεδομένων για τον χρήστη. Αυτό το κεφάλαιο έχει ως στόχο τη χρήση του τρισδιάστατου σαρωτή και τη διαδικασία παραγωγής 3D μοντέλου.

5.1 Συλλογή Δεδομένων

Για την εκκίνηση της φωτογραμμετρικής διαδικασίας το πρώτο βήμα αποτελείται από τη συλλογή δεδομένων. Στη προκειμένη περίπτωση τα δεδομένα που θα συλλέξουμε αποτελούνται από ψηφιακές φωτογραφίες. Αυτή η διεργασία, στο παρόν project, έχει αυτοματοποιηθεί από τη δημιουργία του τρισδιάστατου σαρωτή που κατασκευάσαμε και παρακάτω θα δούμε τη σειρά με την οποία λειτουργεί.

5.1.1 Έλεγχος συνδεσιμότητας εξαρτημάτων

Για να βεβαιωθούμε πως ο σαρωτής μας είναι σε κατάσταση ετοιμότητας χρειάζεται να βεβαιωθούμε πως όλες οι ηλεκτρονικές συσκευές, που συμμετέχουν στη λειτουργία του σαρωτή, τροφοδοτούνται με ρεύμα.

Arduino Uno: Ο ελεγκτής Arduino έχει δύο διαφορετικές, εύκολες στην πρόσβαση, συνδέσεις για τροφοδοσία. Η πρώτη απαρτίζεται από μια θύρα USB τύπου B των 5 Volt η οποία ταυτόχρονα λειτουργεί και ως Input (Εισαγωγή Δεδομένων). Η δεύτερη αποτελείται από μία τυπική θύρα τροφοδοσίας ρεύματος. Για τις ανάγκες του project θα χρησιμοποιηθεί η θύρα USB τύπου B.

Engrave CNC: Ο συγκεκριμένος ελεγκτής λειτουργεί ως γέφυρα μεταξύ των A4988 και του Arduino, εφαρμόζοντας σε όλες τις διαθέσιμες θύρες σήματος του Arduino. Διαθέτει δύο υποδοχές καλωδίων, για θετικό και αρνητικό καλώδιο αντίστοιχα, και η τροφοδοσία του καλύπτεται με 12 - 36 Volt.

A4988 Drivers: Οι δύο βηματικοί ελεγκτές τοποθετούνται σε προκαθορισμένες θέσεις που υπάρχουν πάνω στον ελεγκτή Engrave CNC. Είναι σημαντική η φορά τοποθέτησης τους στις θέσεις καθώς η εσφαλμένη τοποθέτηση θα οδηγήσει σε βραχυκύκλωμα που πιθανώς θα τους αχρηστέψει.

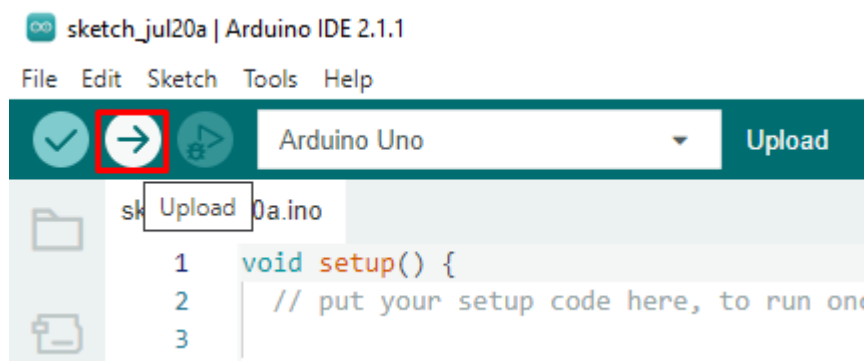
5.1.2 Έναρξη λειτουργίας

Εφόσον έχουμε βεβαιωθεί για την ορθή συνδεσιμότητα μεταξύ των εξαρτημάτων του σαρωτή μπορούμε να ξεκινήσουμε τη διαδικασία της συλλογής δεδομένων.

Αρχικά τοποθετούμε το αντικείμενο που επιθυμούμε να σαρώσουμε στη σταθερή βάση που βρίσκεται στο κέντρο του σαρωτή. Χρειάζεται να βεβαιωθούμε πως οι διαστάσεις του αντικειμένου δεν θα αποτελέσουν εμπόδιο στην κίνηση του μηχανισμού του άξονα Y.

Τοποθετούμε την κάμερα που θα χρησιμοποιήσουμε για τη καταγραφή φωτογραφιών στη βάση που έχουμε κατασκευάσει πάνω στον άξονα Y. Οι περισσότερες συσκευές δεν υποστηρίζουν συνεχή λήψη φωτογραφιών με διαφορά χρονικού διαστήματος. Λύση σε αυτό το πρόβλημα δίνει η χρήση της εφαρμογής «Κάμερα» που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λειτουργικό σύστημα Windows. Η επιλογή διαφοράς χρονικού διαστήματος που επιλέγουμε είναι 1 δευτερόλεπτο ανά λήψη.

Έπειτα, σε υπολογιστή εκκινούμε το πρόγραμμα ανοικτού κώδικα «Arduino IDE» έχοντας σε άμεση διαθεσιμότητα το αρχείο στο οποίο βρίσκεται ο κώδικας ελέγχου του σαρωτή. Συνδέουμε το καλώδιο USB-B στην αντίστοιχη θύρα του Arduino ελεγκτή για την παροχή ρεύματος και την προετοιμασία για τη μεταφόρτωση του ειδικευμένου κώδικα στον ελεγκτή. Εφόσον έχουμε βεβαιωθεί πως ο σαρωτής βρίσκεται σε πλήρη ετοιμότητα για την εκκίνηση της διαδικασίας επιλέγουμε τη λειτουργία Upload (Μεταφόρτωση) όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα 10:



Εικόνα 10: Μεταφόρτωση Arduino IDE

Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία μεταφόρτωσης του αρχείου θα ξεκινήσει άμεσα η εκτέλεση του και ως αποτέλεσμα η έναρξη της συλλογής δεδομένων.

5.1.3 Λήξη Λειτουργίας

Με την ολοκλήρωση της λειτουργίας του σαρωτή χρειάζεται να προβούμε σε ορισμένα βήματα πριν προχωρήσουμε στη διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων. Πρώτα αφαιρούμε το καλώδιο USB-B από τη θύρα του Arduino διακόπτοντας τη τροφοδοσία και τη λειτουργία του.

Αμέσως μετά αποσυνδέουμε τη τροφοδοσία ρεύματος από τον Engrave CNC και ο σαρωτής βρίσκεται εκτός λειτουργίας έχοντας εκτελέσει την λειτουργία για την οποία σχεδιάστηκε.

Τέλος διακόπτουμε την αυτόματη λήψη φωτογραφιών τερματίζοντας την λειτουργία της εφαρμογής των Windows. Οι φωτογραφίες, κατά κανόνα, έχουν αποθηκευτεί στον φάκελο «Άλμπουμ Κάμερας». Αργότερα, ο φάκελος θα εισαχθεί στο λογισμικό που θα αναλάβει την δημιουργία του 3D μοντέλου.

5.2 Επεξεργασία Δεδομένων

Το κεφάλαιο της επεξεργασίας δεδομένων περιλαμβάνει ολόκληρη τη διαδικασία και τα βήματα που απαιτούνται για την παραγωγή τρισδιάστατου μοντέλου, από μία συλλογή φωτογραφιών ως το τελικό αποτέλεσμα.

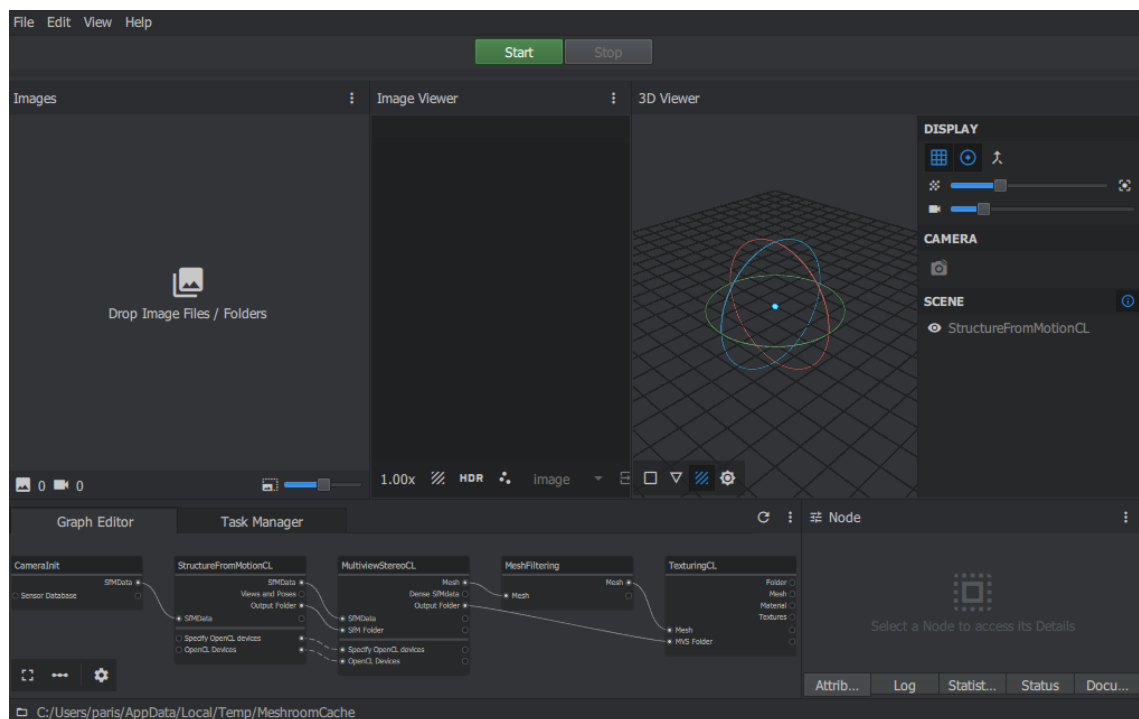
5.2.1 Επιλογή Λογισμικού Επεξεργασίας

Ενώ υπάρχουν πολλά, διαφορετικά μεταξύ τους, λογισμικά ειδικευμένα για χρήση στη φωτογραμμετρία, για τις ανάγκες του project επιλέγουμε το «Meshroom» (δημιούργημα της AliceVision). Η επιλογή πραγματοποιείται στα πλαίσια του χαμηλού κόστους προς τον τελικό χρήστη, καθώς η εφαρμογή είναι ανοικτού κώδικα και διατίθεται δωρεάν. Επίσης, η εφαρμογή δεν απαιτεί εξονυχιστική γνώση όλων των διαδικασιών παρασκηνίου κατά τη παραγωγή του 3D μοντέλου αλλά προσφέρει ένα απλό περιβάλλον, που βρίσκεται σε θέση να παραδώσει ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Το εν λόγω λογισμικό διατίθεται στην ιστοσελίδα της AliceVision. (<https://alicevision.org/#meshroom>)

5.2.2 Περιβάλλον Meshroom

Έχοντας επιλέξει το λογισμικό παραγωγής φωτογραμμικών μοντέλων είμαστε μπορούμε να ξεκινήσουμε την διαδικασία επεξεργασίας δεδομένων. Είναι αναγκαίο να σημειωθεί πως η συγκεκριμένη διαδικασία είναι αρκετά χρονοβόρα, ανάλογα το μέγεθος και το πλήθος των φωτογραφιών αλλά και την συνολική υπολογιστική του υπολογιστή στον οποίο λειτουργούμε το λογισμικό.

Η πρώτη επαφή με το περιβάλλον του προγράμματος δεν γεννά πολλές ερωτήσεις καθώς όλα τα εργαλεία που χρειαζόμαστε για την υλοποίηση του έργου βρίσκονται διαθέσιμα σε ένα, μοναδικό παράθυρο.



Εικόνα 11: Περιβάλλον Meshroom

Αρχικά, στο αριστερό μέρος του παραθύρου κάτω από τον τίτλο «Images» βρίσκεται η περιοχή εισόδου των φωτογραφιών που συλλέξαμε. Σε αυτή τη περιοχή μπορούμε να μετακινήσουμε τον φάκελο, που προηγουμένως δημιουργήσαμε, με τις φωτογραφικές λήψεις. Το πρόγραμμα θα εμφανίσει ξεχωριστά όλες τις διαφορετικές φωτογραφίες και επιλέγοντας οποιαδήποτε από αυτές η περιοχή που ανήκει κάτω από το «Image Viewer» θα εμφανίσει την επιλεγμένη εικόνα.

Η δεξιά πλευρά του παραθύρου απαρτίζεται από την περιοχή με όνομα «3D Viewer» η οποία μας προσφέρει πληροφορίες που αφορούν το 3D μοντέλο που παράγεται. Σε αυτές τις πληροφορίες ανήκουν οι τοποθεσίες του οπτικού οργάνου κατά τη στιγμή λήψης της εκάστοτε φωτογραφίας και μετέπειτα σημεία του φωτοχάρτη.

Στη κάτω πλευρά του προγράμματος παρατηρούμε δύο διαφορετικές καρτέλες με τα ονόματα «Graph Editor» και «Task Manager». Εμείς θα ασχοληθούμε μόνο με την καρτέλα του «Graph Editor» η οποία περιέχει μια απλή μορφή ολόκληρης φωτογραμμικής διεργασίας, με τα διαφορετικά της στάδια, εικονιζόμενη σε μορφή διαγράμματος. Το συγκεκριμένο γράφημα υπόκειται επεξεργασία από τον χρήστη, αν ο ίδιος επιθυμεί, και κάθε ξεχωριστή ομάδα εργασιών που υφίσταται στο διάγραμμα μπορεί να εκτελεσθεί ανεξάρτητα από οποιαδήποτε άλλη.

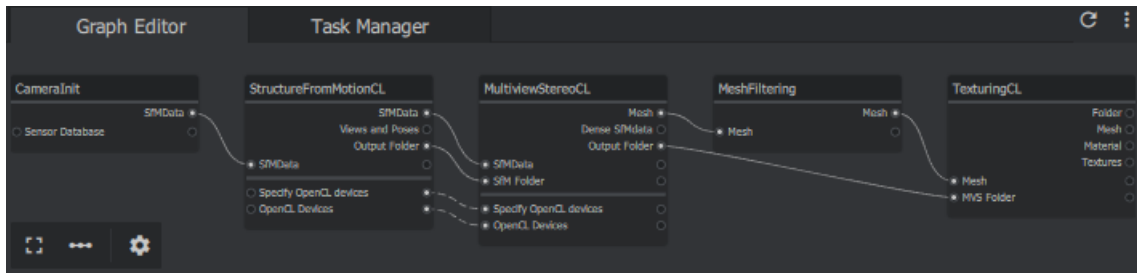
Η πάνω περιοχή του προγράμματος απαρτίζεται από δύο διαφορετικά κουμπιά, το πρώτο «Start» δηλαδή εκκίνηση της διαδικασίας και το δεύτερο «Stop» δηλαδή διακοπή της διαδικασίας.



Εικόνα 12: Κουμπιά εκκίνησης-τερματισμού

Σε αυτό το σημείο παρουσιάζεται ένα από τα ελαττώματα του λογισμικού καθώς ένας άπειρος χρήστης, που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για πρώτη φορά, είναι απολύτως φυσιολογικό να πατήσει το κουμπί της εκκίνησης μετά την εισαγωγή του φακέλου φωτογραφιών. Η εκκίνηση της διαδικασίας με το κουμπί «Start» αποτελεί τον προκαθορισμένο τρόπο έναρξης αλλά όχι τον βέλτιστο.

Όπως είδαμε παραπάνω, οι ομάδες εργασιών που βρίσκονται στην καρτέλα του «Graph Editor» μπορούν να εκτελούνται ανεξάρτητα τη σειρά που έχουν πάνω στο γράφημα. Βάζοντας σε λειτουργία το πρόγραμμα με το κουμπί της εκκίνησης καλούμαστε να περιμένουμε τα αποτελέσματα κατά τη λήξη της τελευταίας ομάδας, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 13.



Εικόνα 13: Διάγραμμα ροής εργασιών

Με αυτό το τρόπο το λογισμικό δεν μας πληροφορεί περί της διεργασίας στη περιοχή «3D Viewer» παρά μόνο σε περίπτωση σφάλματος της συνολικής διαδικασίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σπατάλη χρόνου, η κατανομή του οποίου θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας. Έτσι αντί της χρήσης του κουμπιού εκκίνησης επιλέγουμε την ομάδα εργασιών «StructureFromMotionCL» η οποία θα ξεκινήσει από την ομάδα «CameraInit». Έτσι η συνολική διαδικασία θα έρθει σε παύση ακριβώς μετά τη λήξη της ομάδας «StructureFromMotionCL». (Το CL ανήκει σε διαφορετική έκδοση του λογισμικού για υπολογιστές που δεν υποστηρίζουν το πρωτόκολλο CUDA)

Με την ολοκλήρωση της ομάδας εργασιών «StructureFromMotionCL» και εξετάζοντας τη συνοπτική εικόνα του point-cloud χάρτη που παρουσιάζεται μέσω του 3D Viewer, συνεχίζουμε την διαδικασία. Σε περίπτωση μη ικανοποιητικής πληρότητας χρειάζεται πρόσθετη πληροφορία, δηλαδή επανάληψη της διαδικασίας συλλογής δεδομένων. Όταν η εικόνα που παρουσιάζεται στην περιοχή του 3D Viewer είναι ικανοποιητική επιλέγουμε την ομάδα «TexturingCL».

Κατά την ολοκλήρωση όλων των ομάδων που συμμετέχουν στην διαδικασία παραγωγής του τρισδιάστατου μοντέλου το MeshRoom θα δημιουργήσει φακέλους που περιέχουν τα αποτελέσματα κάθε διαφορετικής ομάδας. Το τελικό αρχείο που αποτελεί το αποτέλεσμα της εν λόγω φωτογραμμικής διαδικασίας βρίσκεται στον φάκελο με όνομα TexturingCL.

5.3 Προσαρμογή αποτελέσματος

Με την λήξη της ομάδας διεργασιών «TexturingCL» έχει τερματιστεί η φωτογραμμική διαδικασία ως σύνολο. Στη κατοχή μας υπάρχει ένα ακατέργαστο 3D αρχείο το οποίο είναι διαθέσιμο για πληθώρα εργασιών, όμως η ακατέργαστη φύση του

περιορίζει τη λειτουργικότητα του. Αυτό οφείλεται στον θόρυβο που δημιουργείται κατά τη σύνθεση του 3D μοντέλου όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.

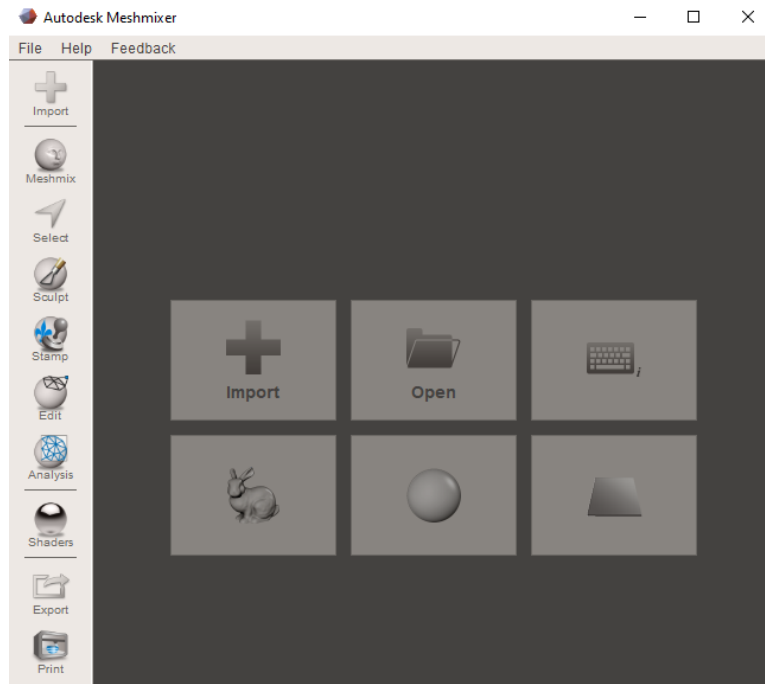


Εικόνα 14: Ακατέργαστο 3D μοντέλο

Ο θόρυβος αποτελεί αναπόφευκτο αποτέλεσμα της συνολικής διαδικασίας καθώς προέρχεται από το περιβάλλον των φωτογραφιών που έχουν χρησιμοποιηθεί ως επεξεργάσιμη πληροφορία από το Meshroom. Στη παραπάνω εικόνα 14 ο θόρυβος αποτελείται από στοιχεία του περιβάλλοντος που χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη δεδομένων.

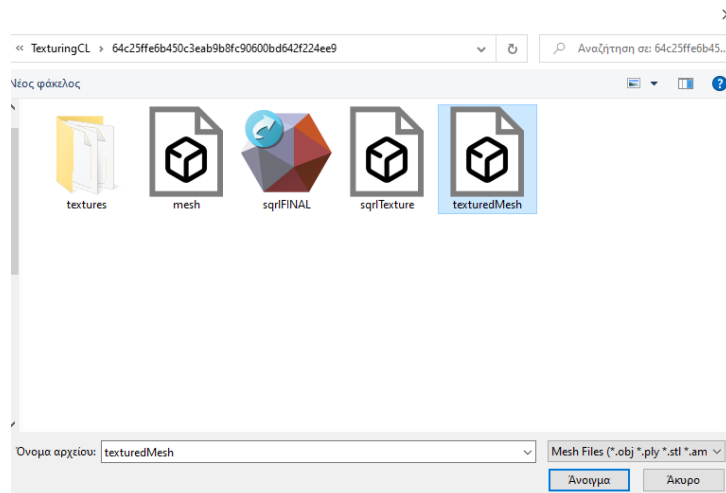
Για την εξάλειψη του προβλήματος θορύβου μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διάφορα εργαλεία μορφοποίησης όπως το MeshMixer που παρέχεται δωρεάν από την εταιρία Autodesk. Εφόσον έχουμε κατεβάσει και εγκαταστήσει το πρόγραμμα είμαστε έτοιμοι για την επεξεργασία του 3D μοντέλου. Ο στόχος μας κατά το τέλος της επεξεργασίας είναι ένα τρισδιάστατο αντικείμενο χωρίς θόρυβο.

Κατά την εκκίνηση του προγράμματος αντικρίζουμε το παρακάτω εικονιζόμενο περιβάλλον. Θα επικεντρωθούμε μόνο στην εισαγωγή και βασική επεξεργασία του μοντέλου καθώς τα βήματα που θα ακολουθήσουν εστιάζουν στην αφαίρεση θορύβου που έχει δημιουργηθεί κατά τη διάρκεια της σάρωσης.



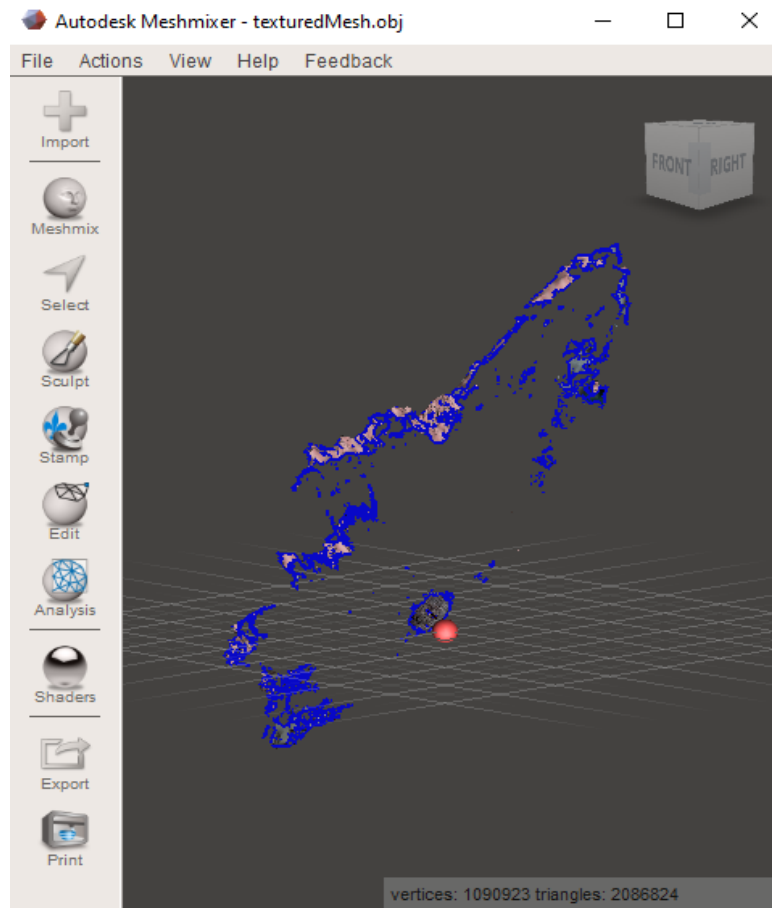
Εικόνα 15: Περιβάλλον Meshmixer

Η εισαγωγή του ακατέργαστου 3D αρχείου που δημιουργήσαμε γίνεται πατώντας την επιλογή *Import*, η οποία θα ανοίξει την εξερεύνηση αρχείων έτσι ώστε να επιλέξουμε το αρχείο που επιθυμούμε.



Εικόνα 16: Επιλογή αρχείου

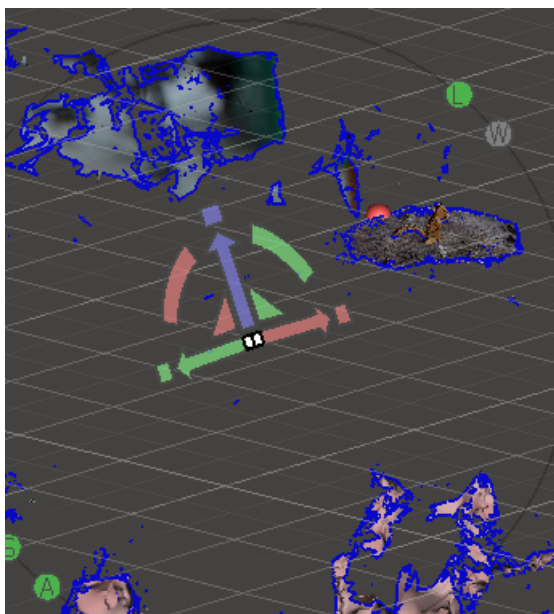
Όταν επιλέξουμε το αρχείο που θα υποβληθεί σε επεξεργασία, το πρόγραμμα θα μεταφορτώσει το αρχείο στο τρισδιάστατο περιβάλλον του. Η ταχύτητα αυτής της διαδικασίας εξαρτάται από την υπολογιστική δύναμη του εκάστοτε υπολογιστή που τη διαχειρίζεται. Κατά την ολοκλήρωση της μεταφόρτωσης το μοντέλο ενδέχεται να εμφανίζεται με λανθασμένη φορά σε σχέση με το εικονικό πλέγμα του προγράμματος.



Εικόνα 17: 3D μοντέλο στο Meshmixer

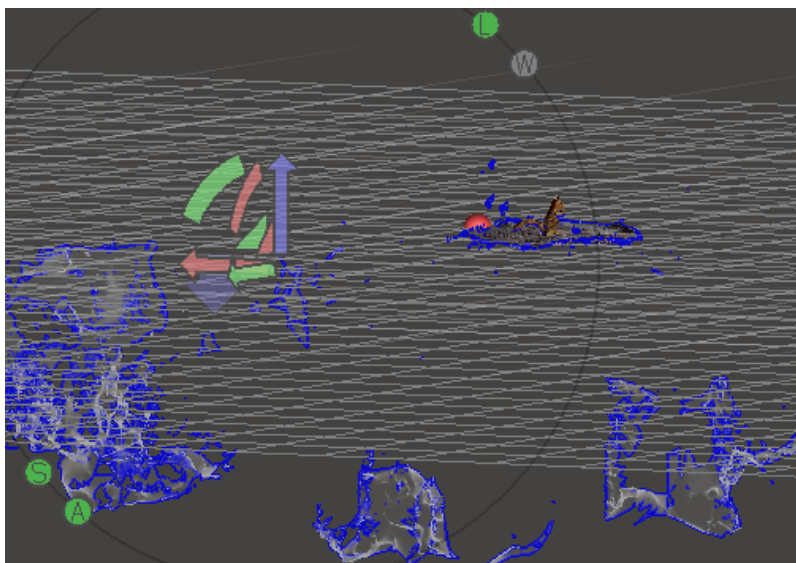
Ξεκινώντας για την αφαίρεση του θορύβου, είναι αναγκαία η ευθυγράμμιση του αντικειμένου με το πλέγμα που αποτελεί τη βάση του εικονικού περιβάλλοντος για την βέλτιστη χρήση των εργαλείων επεξεργασίας. Για αυτό το σκοπό επιλέγουμε το εικονίδιο *Edit* και από τη λίστα επιλογών εμφανίζεται επιλέγουμε *Transform*, προσφέροντας μας την δυνατότητα μετακίνησης του μοντέλου στους άξονες X, Y, Z καθώς και τον έλεγχο περιστροφής 360°. Όταν αποφασίσουμε πως το μοντέλο έχει την κατάλληλη θέση στο πλέγμα επιλέγουμε *Accept*.

Μετά την επιλογή του *Accept* το πρόγραμμα, ανάλογα τις δυνατότητες του εκάστοτε υπολογιστή στον οποίο εκτελείται, ενδέχεται να παγώσει. Αυτό είναι ένα φυσιολογικό φαινόμενο καθώς η επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων όπως το τρισδιάστατο μοντέλο της παραπάνω εικόνας, καταναλώνει σχεδόν όλους τους υπολογιστικούς πόρους που βρίσκονται διαθέσιμοι.



Εικόνα 18: Ευθυγράμμιση μοντέλου

Έχοντας ολοκληρώσει τη διαδικασία της ευθυγράμμισης το επόμενο βήμα είναι η διαδικασία αφαίρεσης του θορύβου, δηλαδή τμήματα του μοντέλου που δεν επιθυμούμε να συμμετέχουν στο τελικό αποτέλεσμα. Το καταλληλότερο εργαλείο για τη συγκεκριμένη διαδικασία βρίσκεται στο εικονίδιο *Edit* με όνομα *Plane Cut*, εμφανίζοντας ένα καινούργιο μετακινούμενο πλέγμα. Το εργαλείο μοιράζεται την ίδια ελευθερία κινήσεων του πλέγματος με το εργαλείο *Transform* και αφαιρεί όλες τις οντότητες που βρίσκονται πίσω από αυτό. Για την αποφυγή λανθασμένης αφαίρεσης, όταν το πλέγμα επικαλύπτει τμήματα του μοντέλου το χρώμα αυτών αλλάζει σε γκρι, όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 19: Εργαλείο *Plane Cut*

Επιλέγοντας *Accept*, όλα τα τμήματα που βρίσκονται στην πλευρά διαγραφής αφαιρούνται από το συνολικό μοντέλο. Η συγκεκριμένη διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί όσες φορές επιθυμεί ο εκάστοτε χρήστης για την προσαρμογή του μοντέλου στις προσωπικές του προτιμήσεις. Σε περίπτωση που ο χρήστης αφαιρέσει κατά λάθος μέρος του μοντέλου ή ακόμα και ολόκληρο το πρόγραμμα έχει την επιλογή αναίρεσης.

Τέλος, επιλέγουμε το εικονίδιο *Export*, στο αναδυόμενο παράθυρο δίνουμε ονομασία στο αρχείο και το αποθηκεύουμε ως αρχείο *Object* (.obj). Εφόσον το αρχείο έχει αποθηκευτεί έχουμε επισήμως ένα 3D μοντέλο ενός φυσικού αντικειμένου έτοιμο προς χρήση. Οι παρακάτω εικόνα 20 παρουσιάζει την τελική τρισδιάστατη μορφή του ξύλινου σκίουρου που χρησιμοποιήθηκε ως παράδειγμα.



Εικόνα 20: Τελικό 3D μοντέλο

6 Συμπεράσματα

Στόχος της εργασίας ήταν η δημιουργία ενός 3D σαρωτή, λειτουργία του οποίου αποτελεί η αυτοματοποιημένη περιμετρική λήψη φωτογραφιών 360^o ενός αντικειμένου για την δημιουργία 3D μοντέλου με μεγάλο εύρος χρήσεων. Στο κεφάλαιο 6 θα αναλύσουμε τις δυσκολίες που παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, τα αποτελέσματα που παράχθηκαν με τη χρήση του σαρωτή και τις πιθανές βελτιώσεις που μπορούν να διευκολύνουν την κατασκευή από τρίτους.

6.1 Δυσκολίες κατά τη κατασκευή

Λόγω της πειραματικής φύσης της εργασίας και της προσωπικής απειρίας με τους ηλεκτρονικούς ελεγκτές, η κατασκευή της φυσικής υπόστασης αλλά και η συνδεσιμότητα για την επίτευξη κίνησης κρίθηκε ιδιαίτερα δύσκολη. Αρχικά, για την κατασκευή της πλατφόρμας, του συστήματος κίνησης τόσο του άξονα X αλλά και του Y χρησιμοποιήθηκαν εξαρτήματα τα οποία δεν είχαν σχεδιαστεί για τον συγκεκριμένο σκοπό.

Το υψηλό βάρος των εξαρτημάτων περιορίζει την κίνηση του άξονα Y, γεγονός που καλεί για συμβιβασμούς κατά την επιλογή των υπόλοιπων εξαρτημάτων που συμβάλλουν στην συνολική σύνθεση του σαρωτή. Για την επίτευξη κίνησης, δεδομένου του βάρους, η αρχική ιδέα του σαρωτή για κίνηση μίας μοίρας σταδιακά και στους δύο άξονες χρειάστηκε να απορριφτεί, καθώς το βάρος του μηχανισμού στον άξονα Y ξεπερνά τη στατική ροπή του κινητήρα. Ταυτόχρονα η ανομοιομορφία των επιπέδων τριβής του άξονα Y σε συνδυασμό με την έλλειψη επαρκούς ροπής, σε ορισμένες περιπτώσεις, εγκλώβιζε τον μηχανισμό του οπτικού μέσου σε μερικά σημεία κατά μήκος του άξονα. Συνεπώς οι κινήσεις του σαρωτή δεν συμβάδιζαν με τους μετρητές του κώδικα, με τελικό αποτέλεσμα τη λήξη της διαδικασίας χωρίς τη πλήρη λήψη πληροφοριών.

Ο πιο σημαντικός συμβιβασμός αποτελείται από την επιλογή του οπτικού μέσου που είναι υπεύθυνο για την συλλογή πληροφοριών, δηλαδή το κυριότερο στοιχείο που συμβάλλει στην λειτουργία του σαρωτή. Η τελική εκδοχή της κατασκευής χρησιμοποιεί

μια τυπική κάμερα κατάλληλη για σταθερό υπολογιστή και χρήση σε διαδικτυακές κλήσεις, η οποία αδυνατεί στη λήψη φωτογραφιών υψηλής ανάλυσης. Ως αποτέλεσμα, η διαδικασία απαιτεί περισσότερη πληροφορία και πόρους για τη δημιουργία ενός αποδεκτού αποτελέσματος.

Οι ηλεκτρονικοί ελεγκτές των βηματικών κινητήρων καθώς και οι βηματικοί κινητήρες δεν συνοδεύονται με εγχειρίδιο χρήσης ή παραπομπές για την ορθή συνδεσμολογία, μέτρα προστασίας τόσο σε ατομικό επίπεδο όσο και σε υλικό. Η πρώτη απόπειρα λειτουργικής δοκιμής στα πρωταρχικά στάδια της εργασίας κατέληξε με τη καταστροφή των δύο βηματικών ελεγκτών λόγω λανθασμένης συνδεσμολογίας.

6.2 Αποτελέσματα και χρήσεις

6.2.1 Αποτελέσματα

Στο κεφάλαιο 5 μελετήσαμε την συνολική φωτογραμμετρική διαδικασία με τη χρήση του σαρωτή για την άντληση πληροφορίας σε μορφή φωτογραφιών. Μέσω της επεξεργασίας των δεδομένων φωτογραφιών δημιουργήσαμε ένα τρισδιάστατο μοντέλο ενός ξύλινου ομοιώματος σκίουρου. Παρατηρώντας το μοντέλο διακρίνουμε με ευκολία τα χαρακτηριστικά του χωρίς ιδιαίτερη προσπάθεια, όμως υπάρχουν ελλιπή σημεία στην ανατομία του.



Εικόνα 21: Σημεία έλλειψης πληροφορίας

Συγκεκριμένα, η περιοχή κάτω από το αντικείμενο που κρατά το ομοίωμα ως τροφή και ορισμένες περιοχές κάτω από την ουρά του δεν έχουν δημιουργηθεί. Αυτό

οφείλεται στην ικανότητα του μηχανισμού που κινεί το οπτικό μέσο του σαρωτή καθώς το τερματικό μήκος του άξονα Y δεν είναι χαμηλότερο από το ύψος που βρίσκεται το ομοίωμα. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό για τα δεδομένα του σαρωτή και την πολυπλοκότητα του επιλεγμένου αντικείμενο. Παρακάτω θα αναλύσουμε περιπτώσεις χρήσεως ενός 3D σαρωτή για τη δημιουργία 3D μοντέλων.

6.2.2 Χρήσεις

Ο 3D σαρωτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα διεργασιών που απαιτείται σχεδιασμός και παραγωγή μοντέλων. Για παράδειγμα μερικά από τα πεδία χρήσεως είναι:

Αυτοκίνητο-βιομηχανία: Όταν αναφέρουμε τον όρο αυτοκίνητο-βιομηχανία εννοούμε ολόκληρο το εύρος που συνεπάγεται με τον όρο, από το εργοστάσιο παραγωγής ως το συνεργείο αυτοκινήτων. Έτσι, η σάρωση και η μοντελοποίηση διάφορων εξαρτημάτων ενδέχεται να βοηθήσει σε περεταίρω βελτίωση μελλοντικών εξαρτημάτων ή τον χώρο στον οποίο λειτουργούν. Επίσης, οι λάτρεις του μηχανοκίνητου αθλητισμού αποτελούν μια κατηγορία ατόμων που μπορούν να αξιοποιήσουν τη λειτουργία του 3D σαρωτή για την εξ ολοκλήρου δημιουργία ή και βελτίωση εξαρτημάτων. Σε αυτό το τομέα μπορεί να δοθεί παραπάνω έμφαση στην επεκτασιμότητα ενός τρισδιάστατου σαρωτή τόσο στην αξιοποίηση περισσότερου χώρου όσο στη χρήση καλύτερων οπτικών μέσων.

Βιομηχανία Ηλεκτρονικών Βίντεο Παιχνιδιών: Είναι γνωστό πως τα βίντεο-παιχνίδια αποτελούν ένα κερδοφόρο χώρο, έτσι οι εταιρίες που τα δημιουργούν αγωνίζονται για ολοένα και καλύτερη τελική ποιότητα. Στην εξίσωση πλέον έχει προστεθεί ο παράγοντας του φωτο-ρεαλισμού, δηλαδή το απεικονιζόμενο περιβάλλον να δίνει την ψευδαίσθηση πως είναι αληθινό. Η επίτευξη του επιπέδου ρεαλισμού που απαιτεί αυτή η διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί με έναν 3D σαρωτή κατάλληλο για διάφορες διαστάσεις και πολυπλοκότητα αντικειμένων.

Μαθησιακό εργαλείο: Παρά τις εργασίες που μπορεί να αναλάβει ένας τρισδιάστατος σαρωτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μαθησιακό εργαλείο ανεξαρτήτως ηλικίας. Αυτό εμπεριέχει ολόκληρη τη διαδικασία της κατασκευής, προγραμματισμού, εκμάθησης της φωτογραμμετρικής διαδικασίας και τέλος την παραγωγή ενός 3D μοντέλου. Σε συνδυασμό με έναν 3D εκτυπωτή είναι σε θέση να φέρει στη πραγματικότητα αντίγραφα αντικειμένων για διάφορες χρήσεις.

6.3 Πιθανές βελτιώσεις

Παραπάνω παρατηρήσαμε πως ο σαρωτής που κατασκευάσαμε μπορεί να βελτιωθεί περεταίρω από την αρχική του δομή, με στοχευμένες αλλαγές υλικού και λογισμικού. Με αυτό το τρόπο, εκτός από την εκπλήρωση του proof-of-concept (απόδειξη-της-ιδέας) η παρούσα πτυχιακή εργασία μπορεί να θεμελιώσει ένα πρότυπο δημιουργίας ενός τρισδιάστατου σαρωτή για τρίτους.

Ξεκινώντας από τον υλικό τομέα, με την κυριότερη μεταβλητή που χρήζει αλλαγή να είναι το συνολικό φυσικό βάρος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής (3D printer) για την δημιουργία και την προσαρμογή όλων των σταθερών εξαρτημάτων. Το σημείο στο οποίο ο αρχικός μας σαρωτής υστερεί είναι ο άξονας Y όπου, λόγω μη ύπαρξης ανοχών, εμφανίζεται ανομοιόμορφη τριβή κατά το μήκος του άξονα, γεγονός που σε ορισμένες περιπτώσεις διακόπτει την κίνηση του φωτογραφικού μέσου.

Αντικαθιστώντας τα μεταλλικά μέρη με πλαστικά τύπου PLA (Polylactic Acid) μειώνεται το βάρος το οποίο χρειάζεται να μετατοπισθεί από τους βηματικούς κινητήρες. Επίσης στον άξονα Y μπορεί να προστεθεί μηχανισμός καστάνιας ο οποίος επιτρέπει κίνηση μόνο σε μία κατεύθυνση αποτρέποντας τη διακοπή κίνησης του οργάνου λήψεως. Ταυτόχρονα μπορούμε να αντικαταστήσουμε το όργανο λήψεως με μία επαγγελματική φωτογραφική κάμερα η οποία θα έχει λειτουργία λήψης φωτογραφιών με χρονόμετρο. Με αυτό το τρόπο αφαιρούμε έναν παράγοντα από τον ηλεκτρονικό τομέα καθώς η λήψη θα είναι μια ξεχωριστή και αυτόνομη διαδικασία.

Ακόμη, στον ηλεκτρονικό τομέα μπορούμε να βελτιώσουμε τον τρόπο με τον οποίο κινείται η κατασκευή, καθώς στον αρχικό σαρωτή ο κώδικας είναι ειδικά προσαρμοσμένος χωρίς περιθώρια σφαλμάτων. Η πρόσθεση αισθητήρα στον άξονα X ως σημείο εναλλαγής φοράς περιστροφής αλλά και ως μετρητή σημαίνει λιγότερες προγραμματιστικές απαιτήσεις για την λειτουργία. Ακόμη, στον άξονα Y μπορεί να προστεθεί ένας ίδιος αισθητήρας στο σημείο των 180° ως περιοχή τερματισμού.

Με τις παραπάνω βελτιώσεις θα έχουμε στη κατοχή μας ένα εργαλείο που θα μπορεί να σαρώσει ένα αντικείμενο με ακρίβεια για την μετατροπή του σε ψηφιακή μορφή.

Βιβλιογραφία

1. <https://el.wikipedia.org/wiki/Φωτογραμμετρία> Ορισμός φωτογραμμετρίας 03/01/2023.
2. <https://www.asprs.org/a/society/about.html> Ορισμός φωτογραμμετρίας 03/01/2023.
3. https://www.isprs.org/proceedings/xxix/congress/part6/311_xxix-part6.pdf Ιστορικά δεδομένα φωτογραμμετρίας 06/01/2023.
4. <https://clarkvision.com/imagedetail/does.pixel.size.matter2> Περιγραφή θορύβου 08/01/2023.
5. <https://demuc.de/papers/schoenberger2016sfm.pdf> Johannes L. Schonberger (2016) «Structure-from-Motion Revisited» 23/02/2023

Διαδικτυακές Πηγές

1. <https://github.com/openphotogrammetry/meshroomcl> Πρόγραμμα Meshroom για υπολογιστές με πρωτόκολλο OpenCL 26/11/2022.
2. <https://meshmixer.com> Πρόγραμμα Meshmixer 1/12/2022.
3. <https://www.omc-stepperonline.com/download/17HS16-2004S1.pdf> Τεχνικά χαρακτηριστικά βηματικού κινητήρα. 05/03/2023.
4. <https://grobotronics.com/arduino-cnc-shield-v3.html?sl=en> Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλεκτρονικού ελεγκτή 05/03/2023.
5. <https://www.jameco.com/Jameco/workshop/CircuitNotes/CN-Arduino-uno.html> Arduino Uno με περιγραφή ιδιοτήτων κάθε θύρας 05/03/2023.
6. <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interface-a4988-stepper-motor-driver-with-arduino> Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλεκτρονικού ελεγκτή A4988 05/03/2023.
<https://www.arduino.cc/en/software> Περιβάλλον ανάπτυξης κώδικα 12/03/2023.

