



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ

Μελέτη Αλγορίθμων Τμηματοποίησης σε 3D Νέφη Σημείων Με Χρήση Αισθητήρα KINECT

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στέφανος Κ. Δουλφής

Επιβλέπων: Γεώργιος Ματσόπουλος
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ

Μελέτη Αλγορίθμων Τμηματοποίησης σε 3Δ Νέφη Σημείων Με Χρήση Αισθητήρα KINECT

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στέφανος Κ. Δουλφής

Επιβλέπων: Γεώργιος Ματσόπουλος
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 22η Ιουλίου 2016.

Γεώργιος Ματσόπουλος
Αν. Καθηγητής

Ουζούνογλου Νικόλαος
Καθηγητής

Ασβεστάς Παντελής
Επ. Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό.

Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Στέφανος Κ. Δουλφής

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © 2016 - Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση και ανάλυση πέντε αλγορίθμων τμηματοποίησης Τρισδιάστατων (3D) νεφών σημείων. Οι αλγόριθμοι θα εξετασθούν και θα συγκριθούν ως προς την αποδοτικότητα τους, την παραμετροποίηση τους, το χρόνο εκτέλεσης τους και το είδος της τμηματοποίησης που εκτελούν. Οι αλγόριθμοι που επιλέχθηκαν είναι οι: Planar Segmentation, Cylinder Segmentation, Min-Cut Segmentation, Cluster Extraction Segmentation και Region Growing Segmentation.

Η υλοποίηση αυτών των αλγορίθμων έγινε με τη βοήθεια της ανοικτής βιβλιοθήκης Point Cloud Library (PCL). Η βιβλιοθήκη αυτή παρέχει όλες τις απαραίτητες συναρτήσεις και εντολές που καθιστούν τη δημιουργία και εκτέλεση των αλγορίθμων τμηματοποίησης εφικτή. Για την παρούσα διπλωματική εργασία προστέθηκαν στους αλγόριθμους οι λειτουργίες δειγματοληψίας (down-sampling), μέτρησης χρόνου εκτέλεσης καθώς και η λειτουργία απεικόνισης στην οθόνη του υπολογιστή του αποτελέσματος της τμηματοποίησης μετά το πέρας του αλγορίθμου.

Ως είσοδος των αλγορίθμων αυτών λαμβάνονται σκηνές (scenes) που έχουν ληφθεί μέσω του αισθητήρα KINECT. Πρόκειται για έναν μεγάλης ακρίβειας και χαμηλού κόστους αισθητήρα, του οποίου το λογισμικό διατίθεται χωρίς επιπλέον κόστος. Ο αισθητήρας αυτός έχει τη δυνατότητα μέσω ενός συστήματος πομπού και δέκτη υπερύθρων να παράγει τρισδιάστατες εικόνες με πληροφορίες βάθους, οι οποίες αποτελούν τα εν λόγω νέφη σημείων.

Μαζί με κάθε σκηνή, οι αλγόριθμοι δέχονται και ένα πλήθος παραμέτρων ο καθένας, που είναι απαραίτητες για την εκτέλεση του. Βάσει αυτών των παραμέτρων, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσαρμόσει τον αλγόριθμο στις ανάγκες κάθε σκηνής ώστε να παραχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας λήφθηκαν 9 σκηνές οι οποίες και δοκιμάστηκαν με κάθε αλγόριθμο. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται είναι ποιοτικά (εικόνες) αλλά και αριθμητικά (χρόνοι εκτέλεσης) και προέκυψαν μετά από πολλαπλές εκτελέσεις των αλγορίθμων με δοκιμή μεγάλου εύρους των παραμέτρων τους για κάθε σκηνή.

Λέξεις-Κλειδιά :

Τμηματοποίηση, 3D νέφη σημείων, αισθητήρας KINECT, παραμετροποίηση, συστάδα, μοντέλο RANSAC, νόρμα σημείου νέφους, χρόνος εκτέλεσης

Abstract

The scope of this thesis is to demonstrate and analyze five segmentation algorithms on three-dimensional (3D) point clouds. These algorithms will be tested and compared according to their efficiency, customization, execution time and the type of segmentation they achieve. The selected algorithms are: Planar Segmentation, Cylinder Segmentation, Min-Cut Segmentation, Cluster Extraction Segmentation και Region Growing Segmentation.

The implementation of the algorithms was achieved with the help of the open library Point Cloud Library (PCL). This library contains all the required functions and commands that made the creation and execution of the segmentation algorithms possible. For this thesis extra functions were added to the algorithms, such as downsampling, time-of-execution measuring and depiction of the segmentation result on the computer screen after the algorithm's termination.

These algorithms receive scenes that have been captured through the KINECT sensor as input. KINECT is a low cost, high resolution sensor whose software is available without added cost. This sensor is capable of producing three dimensional images with depth information using a transmitter-receiver system. These images are used to form the point clouds.

Along with the scene, the algorithms require a plethora of parameters as input, which are vital for their execution. The user gains the capability to adjust the algorithms to the needs of every scene in order to produce the desired result, through the customization of the parameters.

For this thesis, nine scenes were captured and tested with each algorithm. The demonstrated results are both qualitative (images) and quantitative (execution time) and result from multiple executions of the algorithms along with a wide range of parameters for each scene.

Keywords:

Segmentation, 3D point clouds, KINECT sensor, customization, cluster, RANSAC model, point cloud normals, execution time

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα και Αναπληρωτή Καθηγητή του ΕΜΠ κ. Γεώργιο Ματσόπουλο που μου έδωσε την ευκαιρία να εκπονήσω την παρούσα διπλωματική εργασία και για τις πολύτιμες συμβουλές του κατά της διάρκεια της υλοποίησης της.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω εκ βαθέων τον συνεργάτη του εργαστηρίου Βιοϊατρικής Απεικόνισης και υποψήφιο Διδάκτωρ κ. Θοδωρή Οικονομόπουλο για την εξαιρετική συνεργασία και καθοδήγηση σε όλη την πορεία της διπλωματικής μου εργασίας. Η βοήθεια και οι συμβουλές του ήταν καταλυτικής σημασίας για την επιτυχή ολοκλήρωσή της και ελπίζω πραγματικά να μου δοθεί ξανά η ευκαιρία συνεργασίας μαζί του στο μέλλον.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στα μέλη της οικογένειάς μου και στους φίλους μου για την ψυχολογική και ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν σε όλα τα χρόνια της φοίτησης μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, όπως και σε όλους τους καθηγητές της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλ. Υπολογιστών για την επιστημονική και πνευματική καθοδήγηση τους.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	16
Τμηματοποίηση εικόνων.....	16
1.1 Εισαγωγή	16
1.2 Κυριότερες Τεχνικές Τμηματοποίησης	19
1.2.1 Κατωφλίωση (Thresholding)	19
1.2.2 Συσταδοποίηση (Clustering)	19
1.2.2.1 Αλγόριθμος K- means.....	20
1.2.2.2 Μέθοδοι Ιστογράμματος.....	21
1.2.3 Ανάπτυξη περιοχής (Region Growing)	22
1.2.3.1 Ανάπτυξη περιοχής με σπόρους	23
1.2.3.2 Ανάπτυξη περιοχής χωρίς σπόρους-Αλγόριθμος Haralick-Shapiro	24
Κεφάλαιο 2	25
3D Νέφη Σημείων – 3D Αισθητήρες	25
2.1 Τρισδιάστατα Νέφη Σημείων	25
2.2 Συσκευές Σάρωσης Νέφους Σημείων.....	26
2.2.1 Σαρωτής χειρός (Hand Held)	26
2.2.2 Κινητοί Σαρωτές (Mobile Scanners)	26
2.2.3 Επίγειοι Σαρωτές	27
2.2.4 Αισθητήρας KINECT	28
2.2.4.1 Έγχρωμη κάμερα	29
2.2.4.2 Πομπός και αισθητήρας υπερύθρων	29
2.2.4.3 Κινητήρας κλίσης.....	30
2.2.4.4 Λήψη Δεδομένων Βάθους.....	30
2.2.4.4.1 Μαθηματικό Μοντέλο εύρεσης βάθους.....	31
2.2.4.4.2 Σφάλματα	32
2.2.4.4.3 Πυκνότητα νέφους σημείων	33
Κεφάλαιο 3	34
Παρουσίαση των Αλγορίθμων Τμηματοποίησης.....	34
3.1 Plane Model Segmentation	35
3.2 Cylinder Model Segmentation.....	36

3.2.1 Υπολογισμός Νόρμας Σημείου	36
3.3 Min-Cut Segmentation	38
3.4 Cluster Extraction Segmentation.....	40
3.5 Region growing segmentation.....	40
Κεφάλαιο 4.....	42
Είσοδοι και αποτελέσματα αλγορίθμων.....	42
4.1 Παρουσίαση Σκηνών	42
4.2 Αποτελέσματα	49
4.2.1 Αποτελέσματα Planar Segmentation	49
4.2.2 Αποτελέσματα Cylinder Segmentation	55
4.2.3 Αποτελέσματα Min-Cut Segmentation	62
4.2.4 Αποτελέσματα Cluster Extraction Segmentation.....	71
4.2.5 Αποτελέσματα Region Growing Segmentation.....	77
Κεφάλαιο 5.....	85
Συμπεράσματα – Μελλοντικές επεκτάσεις.....	85
5.1 Συμπεράσματα και αποδόσεις αλγορίθμων.....	85
5.1.1 Απόδοση Planar Segmentation	85
5.1.2 Απόδοση Cylinder Segmentation	85
5.1.3 Απόδοση Min-Cut Segmentation	86
5.1.4 Αποτελέσματα Cluster Extraction	87
5.1.5 Απόδοση Region Growing Segmentation.....	88
5.2 Εντοπισμός ιδανικών παραμέτρων.....	88
5.2.1 Παράμετροι Planar segmentation.....	89
5.2.2 Παράμετροι Cylinder Segmentation	89
5.2.3 Παράμετροι Min-Cut Segmentation.....	92
5.2.4 Παράμετροι Cluster Extraction.....	95
5.2.5 Παράμετροι Region Growing.....	97
5.3 Μελλοντικές επεκτάσεις – Τρόποι εξέλιξης.....	98
Βιβλιογραφία	100

Πίνακας εκθεμάτων

Εικόνες

Εικόνα 1.1 Μοντέλο τμηματοποιημένου μηριαίου οστού.....	16
Εικόνα 1. 2 Παράδειγμα κατωφλίωσης	19
Εικόνα 1.3 Παράδειγμα συσταδοποίησης σε σύνολο σημείων	20
Εικόνα 1.4 Παράδειγμα αλγορίθμου K-means	21
Εικόνα 1.5 Παράδειγμα ιστογραμμικής τμηματοποίησης.....	22
Εικόνα 1.6 Αποτέλεσμα της τμηματοποίησης ιστογράμματος.....	22
Εικόνα 1.7 Παράδειγμα Region Growing	23
Εικόνα 1.8 Παράδειγμα Region Growing	23
Εικόνα 1. 9 Αλγόριθμος Haralick-Shapiro	24
Εικόνα 2.1 Σαρωτής χειρός.....	26
Εικόνα 2.2 Κινητός Σαρωτής.....	27
Εικόνα 2.3 Επίγειος Σαρωτής	27
Εικόνα 2. 4 Πρόσθια όψη του αισθητήρα KINECT	28
Εικόνα 2. 5 Πεδίο προβολής και λήψης των IR αισθητήρων	29
Εικόνα 2.6 Κινητήρας κλίσης του αισθητήρα KINECT	30
Εικόνα 2. 7 Υπερυθροί αισθητήρες KINECT	31
Εικόνα 2.8 Αναπαράσταση μαθηματικού υπολογισμού της ανισότητας.....	32
Εικόνα 2.9 Παράδειγμα λήψης εικόνας από αισθητήρα KINECT	34
Εικόνα 3.1 RANSAC.....	36
Εικόνα 3. 2 Γραφική αναπαράσταση της νόρμας σημείων της επιφάνειας.....	38
Εικόνα 3.3 Γραφική αναπαράσταση της νόρμας σημείων της επιφάνειας.....	38
Εικόνα 4.1 Σκηνή 1	42
Εικόνα 4.2 Σκηνή 2	43
Εικόνα 4.3 Σκηνή 3	44
Εικόνα 4.4 Σκηνή 4	45
Εικόνα 4.5 Σκηνή 5	45
Εικόνα 4.6 Σκηνή 6	46
Εικόνα 4.7 Σκηνή 7	47
Εικόνα 4.8 Σκηνή 8	47
Εικόνα 4.9 Σκηνή 9	48
Εικόνα 4.10 Planar Segmentation Σκηνή 1.....	49
Εικόνα 4.11 Planar Segmentation Σκηνή 2.....	50
Εικόνα 4.12 Planar Segmentation Σκηνή 3.....	51
Εικόνα 4.13 Planar Segmentation Σκηνή 4.....	51
Εικόνα 4.14 Planar Segmentation Σκηνή 5.....	52
Εικόνα 4.15 Planar Segmentation Σκηνή 6.....	53
Εικόνα 4.16 Planar Segmentation Σκηνή 7.....	54
Εικόνα 4.17 Planar Segmentation Σκηνή 8.....	54
Εικόνα 4.18 Planar Segmentation Σκηνή 9.....	55
Εικόνα 4.19 Cylinder Segmentation Σκηνή 1.....	56

Εικόνα 4.20 Cylinder Segmentation Σκηνή 2.....	57
Εικόνα 4.21 Cylinder Segmentation Σκηνή 3.....	57
Εικόνα 4.22 Cylinder Segmentation Σκηνή 4.....	58
Εικόνα 4.23 Cylinder Segmentation Σκηνή 5.....	59
Εικόνα 4.24 Cylinder Segmentation Σκηνή 6.....	60
Εικόνα 4.25 Cylinder Segmentation Σκηνή 7.....	60
Εικόνα 4.26 Cylinder Segmentation Σκηνή 8.....	61
Εικόνα 4.27 Cylinder Segmentation Σκηνή 9.....	62
Εικόνα 4.28a Min-Cut Segmentation Σκηνή 1.....	63
Εικόνα 4.28b Min-Cut Segmentation Σκηνή 1.....	64
Εικόνα 4.29a Min-Cut Segmentation Σκηνή 2.....	64
Εικόνα 4.29b Min-Cut Segmentation Σκηνή 2.....	65
Εικόνα 4.29c Min-Cut Segmentation Σκηνή 2.....	65
Εικόνα 4.30 Min-Cut Segmentation Σκηνή 3.....	66
Εικόνα 4.31a Min-Cut Segmentation Σκηνή 4.....	66
Εικόνα 4.31b Min-Cut Segmentation Σκηνή 4.....	67
Εικόνα 4.32 Min-Cut Segmentation Σκηνή 5.....	67
Εικόνα 4.33a Min-Cut Segmentation Σκηνή 6.....	68
Εικόνα 4.33b Min-Cut Segmentation Σκηνή 6.....	68
Εικόνα 4.34 Min-Cut Segmentation Σκηνή 7.....	69
Εικόνα 4.35 Min-Cut Segmentation Σκηνή 8.....	70
Εικόνα 4.36 Min-Cut Segmentation Σκηνή 9.....	70
Εικόνα 4.37 Cluster Extraction Σκηνή 1.....	72
Εικόνα 4.38 Cluster Extraction Σκηνή 2.....	72
Εικόνα 4.39 Cluster Extraction Σκηνή 3.....	73
Εικόνα 4.40 Cluster Extraction Σκηνή 4.....	74
Εικόνα 4.41 Cluster Extraction Σκηνή 5.....	74
Εικόνα 4.42 Cluster Extraction Σκηνή 6.....	75
Εικόνα 4.43 Cluster Extraction Σκηνή 7.....	76
Εικόνα 4.44 Cluster Extraction Σκηνή 8.....	76
Εικόνα 4.45 Cluster Extraction Σκηνή 9.....	77
Εικόνα 4.46 Region Growing Σκηνή 1.....	78
Εικόνα 4.47 Region Growing Σκηνή 2.....	79
Εικόνα 4.48 Region Growing Σκηνή 3.....	79
Εικόνα 4.49 Region Growing Σκηνή 4.....	80
Εικόνα 4.50 Region Growing Σκηνή 5.....	81
Εικόνα 4.51 Region Growing Σκηνή 6.....	81
Εικόνα 4.52 Region Growing Σκηνή 7.....	82
Εικόνα 4.53 Region Growing Σκηνή 8.....	83
Εικόνα 4.54 Region Growing Σκηνή 9.....	83
Εικόνα 5.1 Planar segmentation στη σκηνή 1.....	89
Εικόνα 5.2 Cylinder Segmentation στη σκηνή 5.....	90
Εικόνα 5.3 Cylinder Segmentation στη σκηνή 5.....	91
Εικόνα 5.4 Cylinder Segmentation στη σκηνή 5.....	92
Εικόνα 5.5 Min-cut segmentation στη σκηνή 6.....	93

Εικόνα 5.6 Min-cut segmentation στη σκηνή 6.....	94
Εικόνα 5.7 Min-cut segmentation στη σκηνή 6.....	94
Εικόνα 5.8 Cluster Extraction στη σκηνή 7.....	95
Εικόνα 5.9 Cluster Extraction στη σκηνή 7.....	96
Εικόνα 5.10 Region Growing σκηνή 3.....	97
Εικόνα 5.11 Region Growing σκηνή 3.....	98

Πίνακες

Πίνακας 4.1: Παράμετροι Planar Segmentation.....	49
Πίνακας 4.2: Παράμετροι Cylinder Segmentation.....	56
Πίνακας 4.3 Παράμετροι Min-Cut Segmentation.....	63
Πίνακας 4.4 Παράμετροι Cluster Extraction.....	71
Πίνακας 4.5 Παράμετροι Region Growing.....	78
Πίνακας 5.1 Χρόνοι Εκτέλεσης Planar Segmentation.....	85
Πίνακας 5.2 Χρόνοι Εκτέλεσης Cylinder Segmentation.....	86
Πίνακας 5.3 Χρόνοι Εκτέλεσης Min-Cut Segmentation.....	87
Πίνακας 5.4 Χρόνοι Εκτέλεσης Cluster Extraction.....	87
Πίνακας 5.5 Χρόνοι Εκτέλεσης Region Growing.....	88
Πίνακας 5.1 Δοκιμή παραμέτρων Cylinder Segmentation.....	90
Πίνακας 5.2 Δοκιμή παραμέτρων Cylinder Segmentation.....	91
Πίνακας 5.3 Δοκιμή παραμέτρων Cylinder Segmentation.....	92
Πίνακας 5.4 Δοκιμή παραμέτρων Min-Cut Segmentation.....	95
Πίνακας 5.5 Δοκιμή παραμέτρων Min-Cut Segmentation.....	95
Πίνακας 5.6 Δοκιμή Παραμέτρων Cluster Extraction.....	96
Πίνακας 5.7 Δοκιμή Παραμέτρων Region Growing.....	97
Πίνακας 5.8 Δοκιμή Παραμέτρων Region Growing.....	98

Κεφάλαιο 1

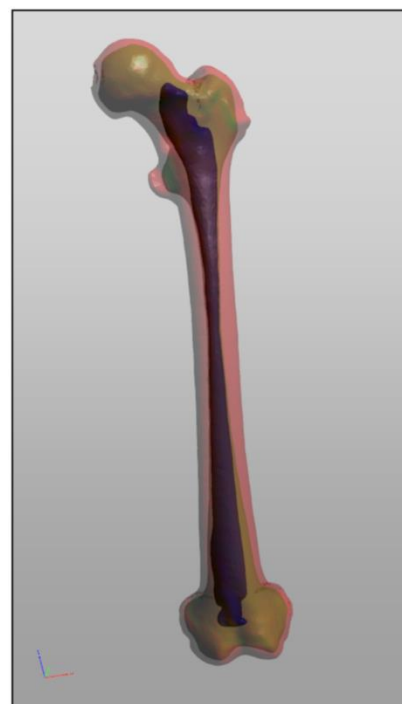
Τμηματοποίηση εικόνων

1.1 Εισαγωγή

Όταν αναφερόμαστε στη όραση υπολογιστών, η τμηματοποίηση εικόνας είναι η διαδικασία καταμερισμού μίας ψηφιακής εικόνας σε πολλαπλά τμήματα (σύνολα εικονοστοιχείων). Στόχος της τμηματοποίησης είναι να απλοποιήσει και/ή να αλλάξει την αναπαράσταση μιας εικόνας σε κάτι που θα έχει περισσότερο νόημα και θα είναι ευκολότερο να αναλυθεί. Η τμηματοποίηση εικόνας χρησιμοποιείται τυπικά στον εντοπισμό αντικειμένων και συνόρων (γραμμές, καμπύλες κτλ.). Πιο συγκεκριμένα η τμηματοποίηση εικόνας είναι η διαδικασία ανάθεσης μιας ταμπέλας σε κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας έτσι ώστε εικονοστοιχεία με την ίδια ταμπέλα να μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά.

Το αποτέλεσμα της τμηματοποίησης είναι ένα σύνολο τμημάτων που συλλογικά καλύπτουν όλη την εικόνα, ή ένα σύνολο από περιγράμματα που εξάγονται από την εικόνα (ανίχνευση ορίων). Κάθε εικονοστοιχείο μιας περιοχής είναι όμοιο όσον αναφορά κάποιο χαρακτηριστικό ή υπολογιζόμενη ποσότητα, όπως χρώμα, ένταση ή υφή. Η επαπτόμενες περιοχές είναι σημαντικά διαφορετικές όσον αφορά τα ίδια χαρακτηριστικά. Η επίτευξη όλων αυτών των επιθυμητών ιδιοτήτων είναι δύσκολη καθώς οι αυστηρά ομογενείς περιοχές είναι γεμάτες μικρές οπές και έχουν έντονα τεθλασμένα σύνορα. Αν επιμείνουμε στην επίτευξη μεγάλης διαφοράς μεταξύ επαπτόμενων περιοχών, μπορεί να προκληθεί ένωση περιοχών και απώλεια συνόρων.

Όταν η τμηματοποίηση εφαρμοσθεί σε μία στοίβα εικόνων, όπως είναι σύνηθες σε ιατρικές εικόνες, τα περιγράμματα που προκύπτουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή τρισδιάστατων ανακατασκευών με τη χρήση αλγορίθμων παρεμβολής.[1][2]



Εικόνα 1.1 Μοντέλο τμηματοποιημένου μηριαίου οστού. Φαίνεται η εξωτερική επιφάνεια (κόκκινο), η περιοχή μεταξύ συμπαγούς και πορώδους οστού (πράσινο) και η επιφάνεια του μυελού του οστού (μωβ).

Μερικές πρακτικές εφαρμογές της τμηματοποίησης εικόνων είναι :

- Όραση μηχανών

Είναι η τεχνολογία και η μέθοδοι που σκοπό έχουν να προσφέρουν αυτόματη επιθεώρηση, έλεγχο διαδικασιών και καθοδήγηση ρομπότ με χρήση εικόνας. Αν και η πλειοψηφία των εφαρμογών λειτουργούν με χρήση δισδιάστατης απεικόνισης, η χρήση τρισδιάστατων εικόνων είναι ένας ταχύτατα αναπτυσσόμενος τομέας στη βιομηχανία της όρασης μηχανών.[3][4]

- Ιατρική Απεικόνιση

Είναι οι τεχνικές και οι διαδικασίες μέσω των οποίων παράγονται οπτικές αναπαραστάσεις του εσωτερικού ενός σώματος για κλινική ανάλυση και ιατρική παρέμβαση, καθώς και οπτική αναπαραστάση των λειτουργιών πολλών οργάνων και ιστών.[5] Πιο συγκεκριμένα, η τμηματοποίηση εικόνας συνεισφέρει στις ακόλουθες ενέργειες :

- Εντοπισμός όγκων και άλλων παθολογιών
- Μέτρηση όγκου ιστών
- Ανατομική μελέτη
- Χειρουργικός προσχεδιασμός
- Εικονική προσομοίωση χειρουργείου
- Ενδοχειρουργική πλοήγηση

- Ανίχνευση αντικειμένου

Είναι τεχνολογία που αφορά την όραση υπολογιστών και την επεξεργασία εικόνας και βρίσκει χρήση στον εντοπισμό αντικειμένων που ανήκουν σε μια κλάση (πχ ανθρώπους, κτίρια, αυτοκίνητα κτλ) σε ψηφιακές εικόνες και βίντεο.[6] Μερικές πρακτικές εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας στις οποίες γίνεται χρήση τεχνικών τμηματοποίησης για την επίτευξη του αποτελέσματος είναι :

- Ανίχνευση πεζών
- Ανίχνευση φανού φρένων
- Εντοπισμός αντικειμένων σε εικόνες δορυφόρου

- Τεχνολογία αναγνώρισης

Είναι τεχνολογία που αφορά την αναγνώριση και ποσοτικοποίηση των βιομετρικών χαρακτηριστικών ενός ανθρώπου. Τυπικά η τεχνολογία αυτή εφαρμόζεται σε συστήματα ασφαλείας, αλλά τελευταία αυξάνεται η ανάπτυξη της λόγω της δυνατότητας εμπορικής χρήσης της (πχ αναγνώριση αποτυπώματος για ξεκλείδωμα κινητού).[7] Αναλόγως του βιομετρικού στο οποίο θέλουμε να εστιάσουμε, διακρίνουμε τις κάτωθι εφαρμογές αναγνώρισης:

- Αναγνώριση προσώπου
- Αναγνώριση δαχτυλικού αποτυπώματος
- Αναγνώριση ίριδας

- Συστήματα ελέγχου οδικής κυκλοφορίας

Με το συνδυασμό εικόνων, τεχνικών τμηματοποίησης και κατάλληλου λογισμικού ελέγχου κυκλοφορίας, τα συστήματα αυτά βελτιστοποιούν την οδική κυκλοφορία σε ένα συγκεκριμένο σημείο, πχ μια διασταύρωση. Τα χρονικά διαστήματα της πράσινης, πορτοκαλί και κόκκινης κατάστασης των φαναριών προσαρμόζονται στην υπάρχουσα κίνηση στη διασταύρωση ώστε να επιτυγχάνεται αποσυμφόρηση.[8]

- Συστήματα επιτήρησης

Πρόκειται για συστήματα που κάνουν χρήση κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης (CCTV) για την οπτική επιτήρηση μιας περιοχής. Με τη χρήση τεχνικών τμηματοποίησης μπορεί να γίνει αναγνώριση προτύπων και κινήσεων κατά τη λήψη των δεδομένων από το κύκλωμα κλειστής τηλεόρασης. Έτσι γίνεται αποθήκευση των δεδομένων μόνο όταν γίνει μια τέτοια ανίχνευση, με αποτέλεσμα μια πολύ σημαντική μείωση του απαιτούμενου αποθηκευτικού χώρου του συστήματος.[9]

1.2 Κυριότερες Τεχνικές Τμηματοποίησης

1.2.1 Κατωφλίωση (Thresholding)

Η απλούστερη μέθοδος τμηματοποίησης εικόνων είναι αυτή της κατωφλίωσης. Επιλέγεται μία τιμή κατωφλίου και σύμφωνα με αυτή μια εικόνα γκρι κλίμακας μετατρέπεται σε δυαδική εικόνα. Το σημείο κλειδί της μεθόδου είναι η επιλογή της τιμής κατωφλίου (ή τιμών όταν πρόκειται για πολλαπλά επίπεδα). Πρόσφατα έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι κατωφλίωσης υπολογιστικής τομογραφίας. Η βασική ιδέα είναι πως το κατώφλι προκύπτει από τα ραδιογραφήματα αντί της ανακατασκευασμένης εικόνας. [10][11]



Εικόνα 1. 2 Αριστερά είναι η αρχική εικόνα και δεξιά είναι το αποτέλεσμα της κατωφλίωσης

1.2.2 Συσταδοποίηση (Clustering)

Το βασικό πρόβλημα στη συσταδοποίηση είναι η ομαδοποίηση ενός συνόλου διανυσμάτων που έχουν παρόμοιες τιμές. Στην ανάλυση εικόνας, αυτά τα διανύσματα αναπαριστούν εικονοστοιχεία ή μικρές περιοχές γύρω από αυτά. Συνιστώσες αυτών των διανυσμάτων μπορεί να είναι :

1. Τιμές έντασης
2. Τιμές RGB και χρωματικές ιδιότητες που πηγάζουν από αυτές
3. Υπολογιζόμενες ιδιότητες
4. Μετρήσεις υφής

Κάθε γνώρισμα που μπορεί να σχετιστεί με ένα εικονοστοιχείο χρησιμοποιείται στην ομαδοποίηση του. Αφού τα εικονοστοιχεία έχουν

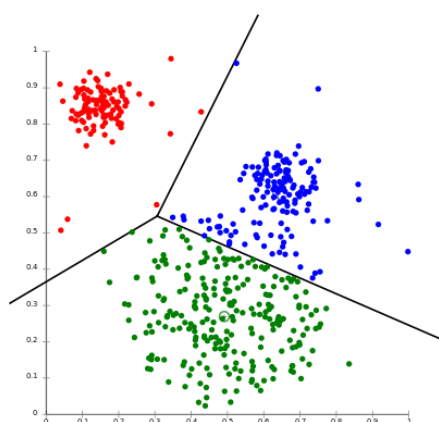
ομαδοποιηθεί σε συστάδες, είναι πλέον εύκολο να βρεθούν οι συνδεδεμένες περιοχές.[12]

Στην παραδοσιακή συσταδοποίηση, υπάρχουν K συστάδες C_1, C_2, \dots, C_K κάθε μία από τις οποίες αντιπροσωπεύεται από το μέσο διάνυσμα m_1, m_2, \dots, m_K αντίστοιχα. Ορίζοντας ως x_i το διάνυσμα κάθε εικονοστοιχείου, μια μέτρηση σφάλματος ελαχίστων τετραγώνων D μπορεί να οριστεί ως

$$D = \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in C_k} \|x_i - m_k\|^2 \quad (1.1)$$

που μετρά πόσο κοντά είναι τα δεδομένα στην κάθε συστάδα.

Μια διαδικασία συσταδοποίησης ελαχίστων τετραγώνων θα μπορούσε να θεωρήσει όλες τις δυνατές τμηματοποιήσεις σε K συστάδες και να επιλέξει εκείνη που ελαχιστοποιεί το D . Αφού κάτι τέτοιο όμως είναι ανέφικτο, οι δημοφιλείς μέθοδοι είναι οι προσεγγιστικές. Μία κρίσιμη παράμετρος είναι το αν το K είναι γνωστό εκ των προτέρων καθώς πολλοί αλγόριθμοι το απαιτούν για την εκτέλεση τους. Άλλοι προσπαθούν να βρουν το βέλτιστο K σύμφωνα με κάποιο κριτήριο, όπως τη διατήρηση της απόκλισης κάθε συστάδας κάτω από μια τιμή.[13]



Εικόνα 1.3 Παράδειγμα συσταδοποίησης σε σύνολο σημείων

1.2.2.1 Αλγόριθμος K- means

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος είναι από τους πιο πολυεφαρμοσμένους και είναι η ρίζα για πολλούς άλλους. Ανήκει στην κατηγορία της επίπεδης συσταδοποίησης διότι παράγει ένα σύνολο συσταδοποιήσεων οι οποίες δεν έχουν κάποια ιδιαίτερη

δομή-σχέση μεταξύ τους. Ο αλγόριθμος έχει ως στόχο τη βελτιστοποίηση της συνάρτησης κόστους.

Αρχικά έχουμε k -ομάδες, με την κάθε ομάδα να αντιπροσωπεύεται από το μέσο διάνυσμα. Ο αλγόριθμος λειτουργεί σε δύο βήματα:

1. Κατά τη φάση της διαμέρισης γίνεται προσπέλαση των διανυσμάτων και για κάθε διάνυσμα βρίσκουμε την απόστασή του από τις υπάρχουσες ομάδες. Η απόσταση μεταξύ ενός διανύσματος και μίας ομάδας είναι η ευκλείδεια απόσταση από το μέσο (m_j) διάνυσμα. Για $i=1,2,\dots,N$ υπολογίζουμε τις αποστάσεις ως εξής: $d(x_i, C_j) = ||x_i - m_j||$
 $\forall j=1,2,3,\dots,k$. Προσδιορίζονται N αριθμοί q , έτσι ώστε να ισχύει: $d(x_i, C_q) \leq d(x_i, C_j) \forall j=1,2,3,\dots,k$. Κατά την ολοκλήρωση αυτού του βήματος σχηματίζονται k -σύνολα διανυσμάτων, ένα σύνολο για κάθε ομάδα.
2. Κατά τη φάση της ενημέρωσης, γίνονται οι κατάλληλες τροποποιήσεις στα μέσα διανύσματα, δηλαδή $\forall j=1,2,\dots,m$: υπολογίζονται ξανά τα μέσα διανύσματα m_j για $i=1,2,\dots,k$. Στον υπολογισμό του νέου m_j συνεισφέρει το αντίστοιχο σύνολο διανυσμάτων που υπολογίστηκε κατά το παραπάνω βήμα.

Ο αλγόριθμος ολοκληρώνεται όταν οι ενημερώσεις που γίνονται σε κάθε m_j είναι αμελητέες. Σημαντικό σημείο του αλγορίθμου είναι η αρχικοποίηση των k -διανυσμάτων. Αν αντί για το μέσο διάνυσμα χρησιμοποιήσουμε ένα διάνυσμα x_j , με $x_j \in X$, τότε έχουμε τον αλγόριθμο k -εσωτερικών αντιπροσώπων.[14]



Εικόνα 1.4 Αριστερά είναι η αρχική εικόνα και δεξιά το αποτέλεσμα του αλγορίθμου K -means για $K=6$. Οι 6 συστάδες αντιστοιχούν στα 6 κύρια χρώματα της αρχικής εικόνας (σκούρο πράσινο, ανοιχτό πράσινο, σκούρο μπλε, άσπρο, ασημί και μαύρο).

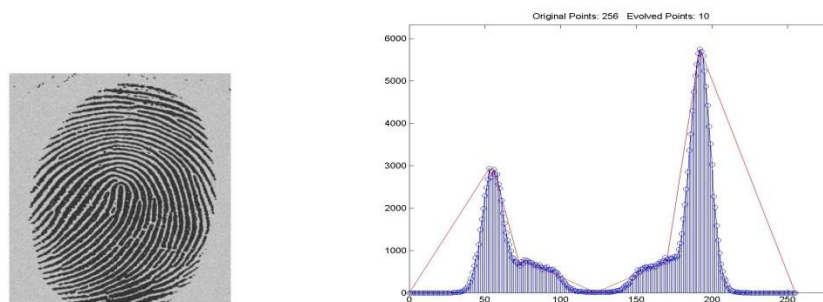
1.2.2.2 Μέθοδοι Ιστογράμματος

Αυτές οι μέθοδοι είναι πολύ αποδοτικές συγκριτικά με άλλες μεθόδους καθώς συνήθως απαιτούν μόνο μια προσπέλαση των εικονοστοιχείων της

εικόνας και κατ' επέκταση απαιτούν μικρή υπολογιστική ισχύ. Σε αυτήν την τεχνική κατασκευάζεται ένα ιστογράμμα από όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι συστάδες με τη χρήση των κορυφών και κοιλιών του ιστογράμματος. Το χρώμα και η ένταση μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως παράμετροι.

Μια βελτίωση της τεχνικής είναι η αναδρομική εφαρμογή της εύρεσης ιστογράμματος στις συστάδες της εικόνας, δημιουργώντας μικρότερες συστάδες έως ότου δεν μπορούν να παραχθούν μικρότερες. Ένα μειονέκτημα της μεθόδου εύρεσης ιστογράμματος είναι πως ενδέχεται η αναγνώριση σημαντικών κορυφών και κοιλιών να είναι δυσχερής.

Οι ιστογραμμικές προσεγγίσεις μπορούν εύκολα να επεκταθούν σε εφαρμογές πολλαπλών καρτέ, διατηρώντας την αποδοτικότητα μόνης προσέλασης. Αφού τα αποτελέσματα από κάθε καρτέ συγχωνευθούν, οι προηγουμένως δύσκολα αναγνωρίσιμες κορυφές και κοιλίες γίνονται ευκολότερα διακριτές.[15]



Εικόνα 1.5 Εικόνα δακτυλικού αποτυπώματος με υπόβαθρο και το αντίστοιχο ιστογράμμά της



Εικόνα 1.6 Αποτέλεσμα της τμηματοποίησης ιστογράμματος

1.2.3 Ανάπτυξη περιοχής (Region Growing)

Αντί να τμηματοποιεί την εικόνα, ένας αλγόριθμος ανάπτυξης περιοχής ξεκινά από ένα σημείο της εικόνας (κατά κανόνα πάνω αριστερά) και προσπαθεί να αναπτύξει κάθε περιοχή έως ότου τα εικονοστοιχεία υπό σύγκριση να

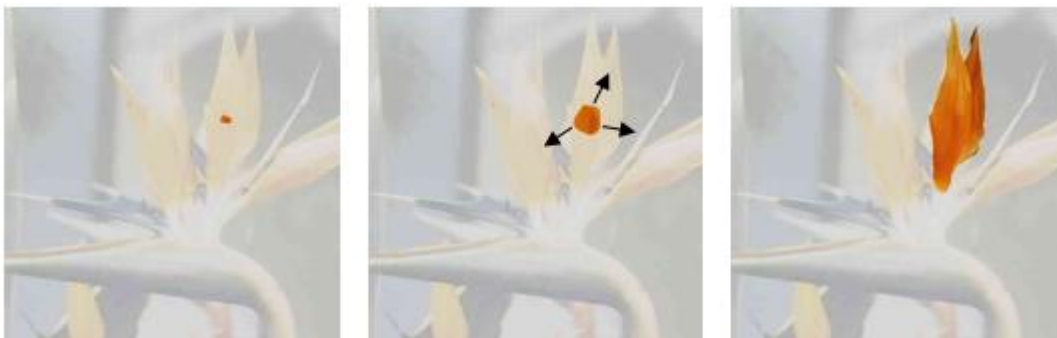
παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιότητα για να προστεθούν στην περιοχή. Η επιλογή του κριτηρίου σύγκρισης, το οποίο βασίζεται σε ένα στατιστικό μοντέλο, είναι πολύ σημαντική και τα αποτελέσματα επηρεάζονται από θόρυβο σε κάθε περίπτωση.[16]

1.2.3.1 Ανάπτυξη περιοχής με σπόρους

Αυτή η μέθοδος λαμβάνει και ένα σύνολο σπόρων ως είσοδο μαζί με την εικόνα. Οι σπόροι σηματοδοτούν το κάθε αντικείμενο προς τμηματοποίηση. Οι περιοχές αναπτύσσονται επαναληπτικά με σύγκριση των μη εντεταγμένων σε περιοχές γειτονικών εικονοστοιχείων. Η διαφορά της τιμής έντασης του εικονοστοιχείου με την μέση τιμή της περιοχής, δ , χρησιμοποιείται ως μέτρο ομοιότητας. Το εικονοστοιχείο με τη μικρότερη διαφορά τοποθετείται στην αντίστοιχη περιοχή. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου όλα τα εικονοστοιχεία να τοποθετηθούν σε περιοχή. Καθώς τα αποτελέσματα αυτής της τμηματοποίησης βασίζονται στην αρχική επιλογή σπόρων, ο θόρυβος στην εικόνα μπορεί να προκαλέσει την κακή τοποθέτηση των σπόρων.[17][18]



Εικόνα 1.7 Αρχική εικόνα



Εικόνα 1.8 Από αριστερά προς τα δεξιά : σπόρος, ανάπτυξη, τελική περιοχή

1.2.3.2 Ανάπτυξη περιοχής χωρίς σπόρους-Αλγόριθμος Haralick-Shapiro

Σε αυτή τη μέθοδο δεν απαιτούνται σαφώς ορισμένοι σπόροι. Ξεκινά με μια αρχική επιλογή περιοχής A_1 και σε κάθε επανάληψη ορίζονται ως σπόροι τα γειτονικά της περιοχής εικονοστοιχεία. Διαφοροποιείται από τη μέθοδο σπόρων στο ότι εάν η ελάχιστη δ είναι μικρότερη από ένα προκαθορισμένο κατώφλι T τότε προστίθεται στην αντίστοιχη περιοχή A_j . Αν όχι, τότε το εικονοστοιχείο θεωρείται ότι δεν ανήκει στις υπάρχουσες A_i περιοχές και δημιουργείται νέα A_{n+1} περιοχή που περιέχει το εν λόγω εικονοστοιχείο.

Μια παραλλαγή της τεχνικής προτάθηκε το 1985 από τους Haralick και Shapiro[1] και βασίζεται στην ένταση των εικονοστοιχείων. Η μέση τιμή και η διασπορά καθώς και η ένταση του υποψήφιου εικονοστοιχείου χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό ενός στατιστικού ελέγχου:

$$T = \left[\frac{(N-1)N}{(N+1)} (y - \bar{X})^2 / S^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

όπου N ο αριθμός εικονοστοιχείων της περιοχής, \bar{X} η μέση τιμή, S η διασπορά και y η ένταση γκρι κλίμακας.

Αν η τιμή αυτού του ελέγχου είναι επαρκώς μικρή, το εικονοστοιχείο προστίθεται στην περιοχή και η μέση τιμή και διασπορά της επαναυπολογίζονται. Σε διαφορετική περίπτωση, το εικονοστοιχείο απορρίπτεται και χρησιμοποιείται στη δημιουργία νέας περιοχής.



Εικόνα 1. 9 Στη δεξιά εικόνα φαίνεται το αποτέλεσμα του αλγορίθμου Haralick-Shapiro όταν εφαρμοσθεί στην αριστερή εικόνα

Κεφάλαιο 2

3D Νέφη Σημείων – 3D Αισθητήρες

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, στην παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρωνόμαστε στην τμηματοποίηση νεφών σημείων. Με την ανάπτυξη νέων, χαμηλού κόστους 3D αισθητήρων όπως αυτών που θα δούμε ακολούθως, η τρισδιάστατη αντίληψη αποκτά όλο και περισσότερη σημασία στη ρομποτική αλλά και σε άλλους τομείς. Η βιβλιοθήκη Point Cloud Library (PCL) μας προσφέρει μια πληθώρα εργαλείων και εφαρμογών μέσω των οποίων υλοποιήθηκαν κατάλληλοι αλγόριθμοι για τμηματοποίηση νεφών σημείων, όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 4.

2.1 Τρισδιάστατα Νέφη Σημείων

Στην όραση υπολογιστών είναι πολύ συνήθης η χρήση συνόλων σημείων για την εξαγωγή πληροφοριών, οι οποίες μας επιτρέπουν την ανακατασκευή ενός φυσικού αντικειμένου σε ψηφιακή τρισδιάστατη μορφή.

Ως νέφος σημείων ορίζουμε ένα σύνολο δεδομένων σημείων σε ένα σύστημα συντεταγμένων. Για τρισδιάστατες απεικονίσεις, αυτό το σύστημα συντεταγμένων είναι συνήθως το σύστημα αξόνων X, Y και Z. Το περιεχόμενο του νέφους σημείων μας βοηθά στην τρισδιάστατη απεικόνιση της εξωτερικής επιφάνειας ενός αντικειμένου ή του εσωτερικού του, αναλόγως με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται.

Τα νέφη σημείων βρίσκουν χρήση σε πολλούς τομείς, όπως για παράδειγμα στον κατασκευαστικό για διασφάλιση ποιότητας, σχεδίαση προϊόντων, οπτικοποίηση ή μαζική προσαρμογή. Για παράδειγμα, το νέφος σημείων ενός κατασκευασμένου εξαρτήματος μπορεί να ευθυγραμμιστεί με το μοντέλο CAD του αντικειμένου ώστε να διαπιστωθούν διαφορές μεταξύ σχεδιασμού και κατασκευής. Στον τομέα της ιατρικής τεχνολογίας, τα νέφη σημείων χρησιμοποιούνται στη συμπίεση δεδομένων για ανακατασκευή 3D ή 4D υπολογιστικών μοντέλων, όπως στην περίπτωση της τρισδιάστατης αξονικής τομογραφίας. Επιπλέον τα νέφη σημείων βρίσκουν εφαρμογή στη ρύθμιση των ιατρικών μηχανημάτων ώστε να ανταποκρίνονται και να προσαρμόζονται βέλτιστα στις ανάγκες του εκάστοτε ασθενή.

Πέραν των μορφολογικών ιδιοτήτων, επιπλέον πληροφορίες μπορούν να αποθηκευτούν σε ένα νέφος σημείων όπως χρώμα επιφάνειας, υφή, ένταση κτλ. Δίνεται έτσι στο χρήστη μια πληθώρα πληροφοριών που επιτρέπουν μια πιο

ρεαλιστική ψηφιακή ανακατασκευή αντικειμένων και κατ' επέκταση πιο ακριβή αποτελέσματα κατά την επεξεργασία των εν λόγω αντικειμένων.[19]

2.2 Συσκευές Σάρωσης Νέφους Σημείων

Για τη δημιουργία ενός νέφους σημείων είναι απαραίτητη η χρήση ενός αισθητήρα με τη δυνατότητα λήψης εικόνων με πληροφορία βάθους. Οι αισθητήρες αυτοί χωρίζονται στις εξής κατηγορίες :

2.2.1 Σαρωτής χειρός (Hand Held)

Ο σαρωτής χειρός βρίσκει κυρίως χρήση σε εφαρμογές που η σάρωση πρέπει να γίνει από μικρή απόσταση από το αντικείμενο προς σάρωση. Προσφέρει ακρίβεια της τάξης του 0.1mm και γίνεται ευρεία χρήση του σε εφαρμογές αντίστροφης μηχανικής μικρής κλίμακας όπως η ψηφιοποίηση μακέτας και η τρισδιάστατη σάρωση σε CAD.[20]



Εικόνα 2.1 Σαρωτής χειρός

2.2.2 Κινητοί Σαρωτές (Mobile Scanners)

Οι συσκευές αυτές προσφέρουν χαμηλό κόστος, μεγάλη ακρίβεια και μικρό χρόνο συλλογής δεδομένων και βρίσκουν χρήση κυρίως στις εφαρμογές χαρτογράφησης μεγάλης κλίμακας, πχ χαρτογράφηση πόλεων και οδικών δικτύων. Εφοδιάζονται συχνά με σύστημα GPS ώστε να υπάρχει η δυνατότητα μη επανδρωμένης χρήσης τους. Επίσης τοποθετούνται σε πλεούμενα για τη χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών και ακτογραμμής.[21]



Εικόνα 2.2 Κινητός Σαρωτής

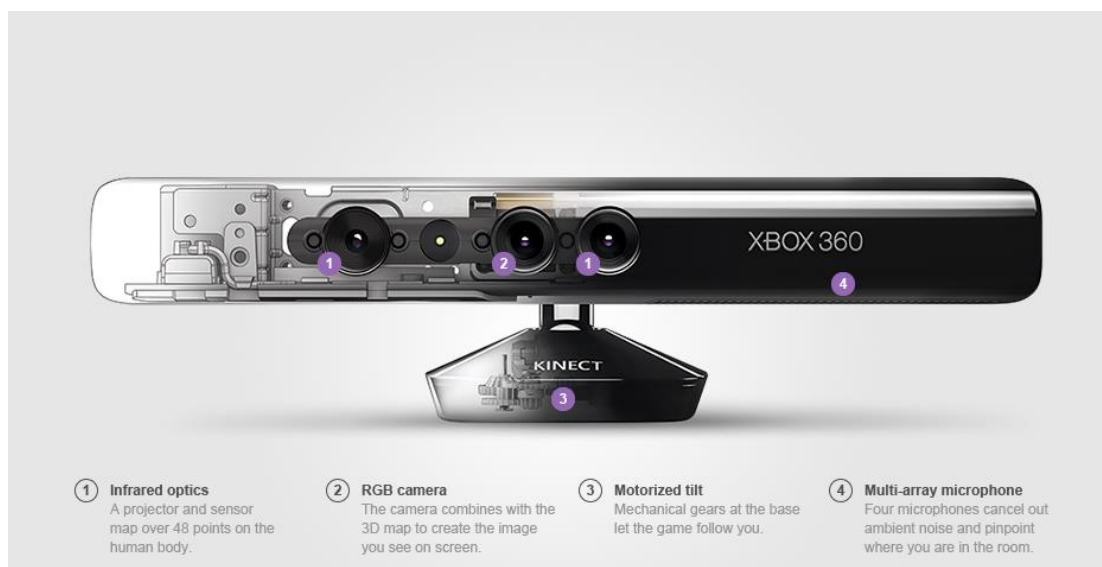
2.2.3 Επίγειοι Σαρωτές

Γνωστοί και ως LiDAR(light detection and ranging), τείνουν να γίνουν οι πιο δημοφιλείς σαρωτές λόγω της υψηλής ακρίβειας και ταχύτητας τους στη συλλογή τρισδιάστατων δεδομένων.[22] Με βάση τον τρόπο συλλογής των δεδομένων, οι σαρωτές αυτοί διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι αισθητήρες που μετρούν τη διαφορά φάσης της ακτίνας laser. Με αυτήν την τεχνική επιτυγχάνεται αύξηση του όγκου των συλλεγόμενων πληροφοριών (>1.000.000 σημεία/second). Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι σαρωτές που εκπέμπουν παλμούς φωτός και μετρούν το χρόνο επιστροφής τους. Το πλεονέκτημα αυτών των σαρωτών έναντι εκείνων της πρώτης κατηγορίας είναι η δυνατότητα λήψης δεδομένων από μεγάλη απόσταση. Ως συνέπεια χρησιμοποιούνται στη χαρτογράφηση εδάφους από αεροπλάνο και στη χαρτογράφηση βυθού από πλοίο.[23]



Εικόνα 2.3 Επίγειος Σαρωτής

2.2.4 Αισθητήρας KINECT



Εικόνα 2. 4 Πρόσθια όψη του αισθητήρα KINECT

Τα δεδομένα για την παρούσα εργασία παράχθησαν μέσω του αισθητήρα KINECT. Το KINECT αρχικά παρουσιάστηκε ως εξάρτημα κονσόλας παιχνιδιών αλλά στη συνέχεια, λόγω της κάμερας βάθους αρκετά υψηλής ακρίβειας, άρχισε να χρησιμοποιείται σε καινοτόμες εφαρμογές επεξεργασίας εικόνας ή να αντικαθιστά παλιές.[24] Ο αισθητήρας αποτελείται από δύο τμήματα : 1) το μηχανικό μέρος που επιτρέπει την κίνηση του οργάνου στον οριζόντιο άξονα για προσαρμογή γωνίας λήψης και 2) το κύριο μέρος που φέρει τους αισθητήρες και τις κάμερες, οι οποίοι είναι:

- RGB κάμερα
- Πομπός υπέρυθρων
- Υπέρυθρος αισθητήρας βάθους
- Μικρόφωνα
- LED

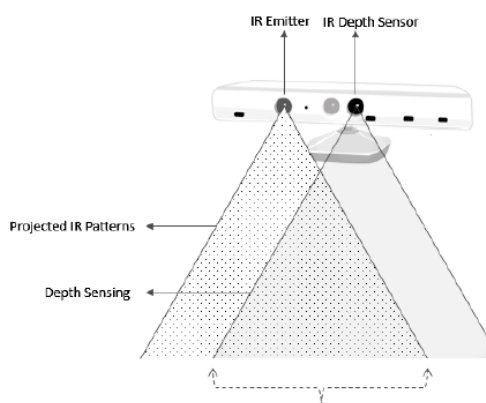
Για την παρούσα εργασία επικεντρωθήκαμε στους υπέρυθρους αισθητήρες καθώς μέσω αυτών γίνεται η λήψη των σκηνών που εν συνεχεία αποτελούν τα υπό εξέταση νέφη σημείων. Πιο αναλυτικά τα μέρη του αισθητήρα KINECT είναι:

2.2.4.1 Έγχρωμη κάμερα

Η έγχρωμη κάμερα είναι υπεύθυνη για την λήψη και μετάδοση των έγχρωμων δεδομένων. Η λειτουργία της είναι η ανίχνευση των βασικών χρωμάτων, κόκκινου, πράσινου και μπλε από την σκηνή η οποία θα απεικονιστεί. Η ροή των δεδομένων η οποία μεταδίδεται από την έγχρωμη κάμερα είναι μια διαδοχή των καρέ της εικόνας. Έχει την δυνατότητα ταχύτητας λήψης 30 καρέ το δευτερόλεπτο με ανάλυση εικόνας 640 x 480 pixels, ή 12 καρέ το δευτερόλεπτο το οποίο δίνει και την μέγιστη ανάλυσή του η οποία είναι 1280 x 960 pixels.

2.2.4.2 Πομπός και αισθητήρας υπέρυθρων

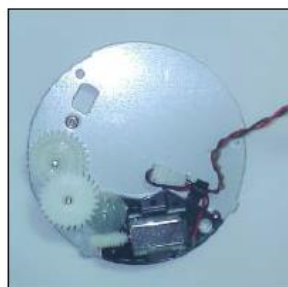
Για τον υπολογισμό του βάθους των σημείων ενός αντικειμένου, ο αισθητήρας KINECT χρησιμοποιεί τις δύο αυτές συσκευές υπέρυθρων. Συνοπτικά ο πομπός υπέρυθρων εκπέμπει ένα πλαίσιο από υπέρυθρες κουκκίδες στο οπτικό πεδίο του αισθητήρα των οποίων την αντανάκλαση ανιχνεύει ο υπέρυθρος αισθητήρας βάθους και μας παρέχει την επιθυμητή πληροφορία βάθους της σκηνής.



Εικόνα 2. 5 Πεδίο προβολής και λήψης των IR αισθητήρων

2.2.4.3 Κινητήρας κλίσης

Στη βάση του αισθητήρα βρίσκεται ένας κινητήρας του οποίου σκοπός είναι η ρύθμιση της κλίσης του οργάνου. Έτσι δίνεται η δυνατότητα προσαρμογής του οπτικού πεδίου του αισθητήρα για βέλτιστη λήψη εικόνων, 27° μοίρες προς τα πάνω και 27° μοίρες προς τα κάτω όταν είναι σταθερά τοποθετημένος (σύνολο 54° στην κάθετη διεύθυνση).

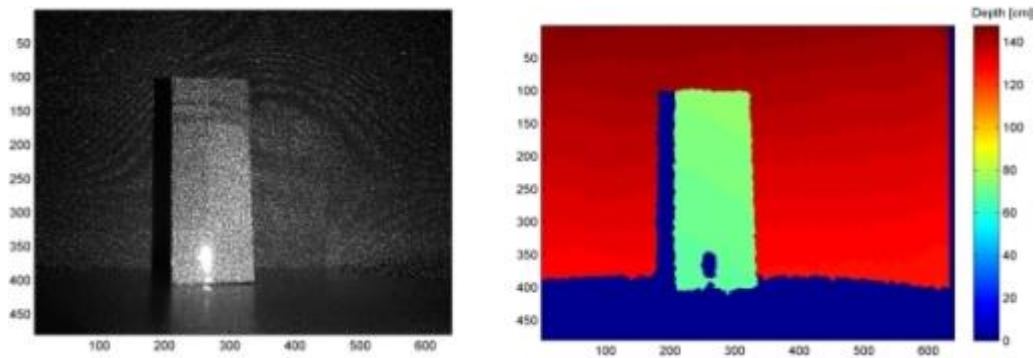


Εικόνα 2.6 Κινητήρας κλίσης του αισθητήρα KINECT

2.2.4.4 Λήψη Δεδομένων Βάθους

Η απεικόνιση βάθους είναι η διαδικασία σχηματισμού μιας εικόνας στην οποία το χαρακτηριστικό όπου ενδιαφέρει τον χρήστη είναι η απόσταση των σημείων από την κάμερα. Πρέπει να αναφέρουμε ότι στην απεικόνιση βάθους, η τιμή του κάθε εικονοστοιχείου είναι η απόσταση του σημείου του αντικειμένου που αντιπροσωπεύεται από το συγκεκριμένο εικονοστοιχείο σε σχέση με το σύστημα λήψης της απεικόνισης.

Ο αισθητήρας KINECT περιέχει ένα υπέρυθρο πομπό ακτινών laser, μια υπέρυθρη κάμερα και μία έγχρωμη κάμερα. Ο πομπός laser εκπέμπει μία δέσμη laser η οποία διαχωρίζεται σε πολλές δέσμες μετά την διάθλασή της για την δημιουργία ενός σταθερού μοτίβου από κουκκίδες οι οποίες προβάλλονται στην σκηνή. Αυτό το μοτίβο απεικονίζεται από την υπέρυθρη κάμερα και συσχετίζεται με ένα μοτίβο αναφοράς. Το μοτίβο αναφοράς αποκτάται από την απεικόνιση του χώρου σε μία γνωστή απόσταση από τον αισθητήρα και αποθηκεύεται στην μνήμη του αισθητήρα. Όταν μία κουκκίδα προβληθεί στο αντικείμενο προς απεικόνιση τότε αν η απόσταση της είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από την απόσταση όπου αποκτήθηκε το μοτίβο αναφοράς, η θέση της κουκκίδας στην υπέρυθρη εικόνα θα μετακινηθεί στην διεύθυνση προς την νοητή γραμμή που ενώνει την κάμερα με την πηγή υπερύθρων. Έτσι η απόσταση για κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να ανακτηθεί από την αντίστοιχη διαφορά.[25]



Εικόνα 2. 7 Αριστερά : απεικόνιση του υπέρυθρου μοτίβου που εκπέμπει ο πομπός στο χώρο

Δεξιά: Η αντίστοιχη απεικόνιση βάθους της εικόνας

2.2.4.4.1 Μαθηματικό Μοντέλο εύρεσης βάθους

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού του βάθους κάθε στοιχείου του νέφους. Στην πιο κάτω εικόνα παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ της απόστασης ενός αντικειμένου k από τον αισθητήρα και της επιφάνειας με τις κουκκίδες αναφοράς. Η απόσταση d του επιπέδου στο οποίο βρίσκεται το αντικείμενο με το επίπεδο αναφοράς, είναι η διαφορά η οποία θέλουμε να υπολογίσουμε. Ο υπολογισμός γίνεται στον τρισδιάστατο χώρο με αρχή των αξόνων στο κέντρο της κάμερας το οποίο συμπίπτει με το προβολικό κέντρο. Ο άξονας Z είναι κάθετος στο επίπεδο της εικόνας και εκτείνεται προς το αντικείμενο και ο άξονας X είναι παράλληλος με την νοητή γραμμή η οποία ενώνει την κάμερα με τον πομπό υπέρυθρων.

Υποθέτουμε ότι η κουκκίδα βρίσκεται στο επίπεδο αναφοράς με απόσταση Z_0 από τον αισθητήρα και η απεικόνισή της απεικονίζεται στο επίπεδο της εικόνας. Αν η κουκκίδα μετακινηθεί ως προς τον αισθητήρα, τότε η απεικόνισή της στο επίπεδο της εικόνας θα παρουσιάσει μια μετακίνηση στον άξονα X . αυτή την μετακίνηση μπορούμε να την υπολογίσουμε με την βοήθεια όμοιων τριγώνων:

$$\frac{D}{d} = \frac{Z_0 - Z_k}{Z_0} \quad (2.1)$$

και

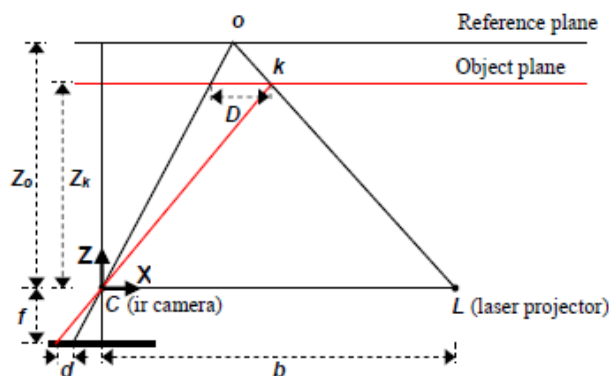
$$\frac{d}{f} = \frac{D}{Z_k} \quad (2.2)$$

όπου Z_k υποδηλώνει την νέα απόσταση την οποία έχει η κουκκίδα και κατά συνέπεια το επίπεδο του αντικειμένου, b είναι η απόσταση μεταξύ της κάμερας από τον πομπό υπέρυθρων, f είναι η εστιακή απόσταση της κάμερας, D είναι η μετακίνηση της κουκκίδας στο επίπεδο του αντικειμένου και d είναι η

μετακίνησης της κουκκίδας. Διαιρώντας το D από τις (2.1) και (2.2) και λύνοντας ως προς το Z_k έχουμε:

$$Z_k = \frac{Z_o}{1 + \frac{Z_o}{fb} d} \quad (2.3)$$

Η εξίσωση (2.3) είναι το μαθηματικό μοντέλο για την εξαγωγή του βάθους από την παρατηρούμενη διαφορά με όρους οι οποίοι είναι σταθεροί (Z_o, f και b) και μπορούν να υπολογιστούν.



Εικόνα 2.8 Αναπαράσταση μαθηματικού υπολογισμού της ανισότητας

Τότε οι συντεταγμένες του κάθε σημείου του αντικειμένου μπορούν να υπολογιστούν:

$$X_k = \frac{Z_k}{f} (x_k - x_0 + \delta x) \quad (2.4)$$

$$Y_k = \frac{Z_k}{f} (y_k - y_0 + \delta y)$$

όπου x_k και y_k είναι οι συντεταγμένες στην εικόνα του σημείου, x_0 και y_0 είναι οι συντεταγμένες του κέντρου της εικόνας στο επίπεδο εικόνας, δx και δy είναι οι διορθώσεις για την διαταραχή των φακών του αισθητήρα.

2.2.4.4.2 Σφάλματα

Υπάρχουν ποικίλες πηγές σφαλμάτων όπως είναι ο ίδιος ο αισθητήρας, οι συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται η μέτρηση και οι μορφολογία του αντικειμένου προς απεικόνιση.

Τα σφάλματα που οφείλονται στον αισθητήρα έχουν να κάνουν με προβληματική μέτρηση των ανισοτήτων. Αυτό θα οδηγήσει σε συστηματικά σφάλματα στις συντεταγμένες του αντικειμένου και αντιμετωπίζονται με βαθμονόμηση του αισθητήρα.

Σφάλματα λόγω συνθηκών οφείλονται κυρίως στο φωτισμό και τη γεωμετρία της διάταξης. Ο ισχυρός φωτισμός μειώνει την αντίθεση των κουκκίδων του πομπού laser με αποτέλεσμα κάποιες κουκκίδες να μην ανιχνεύονται και να δημιουργείται κενό στην εικόνα. Τα σφάλματα λόγω γεωμετρίας έχουν να κάνουν με το εύρος στο οποίο είναι σχεδιασμένος να κάνει μετρήσεις ο αισθητήρας, το οποίο σύμφωνα με τις προδιαγραφές είναι 0.5. έως 5 m, με τα σφάλματα να αυξάνονται όσο αυξάνεται η απόσταση του αντικειμένου.

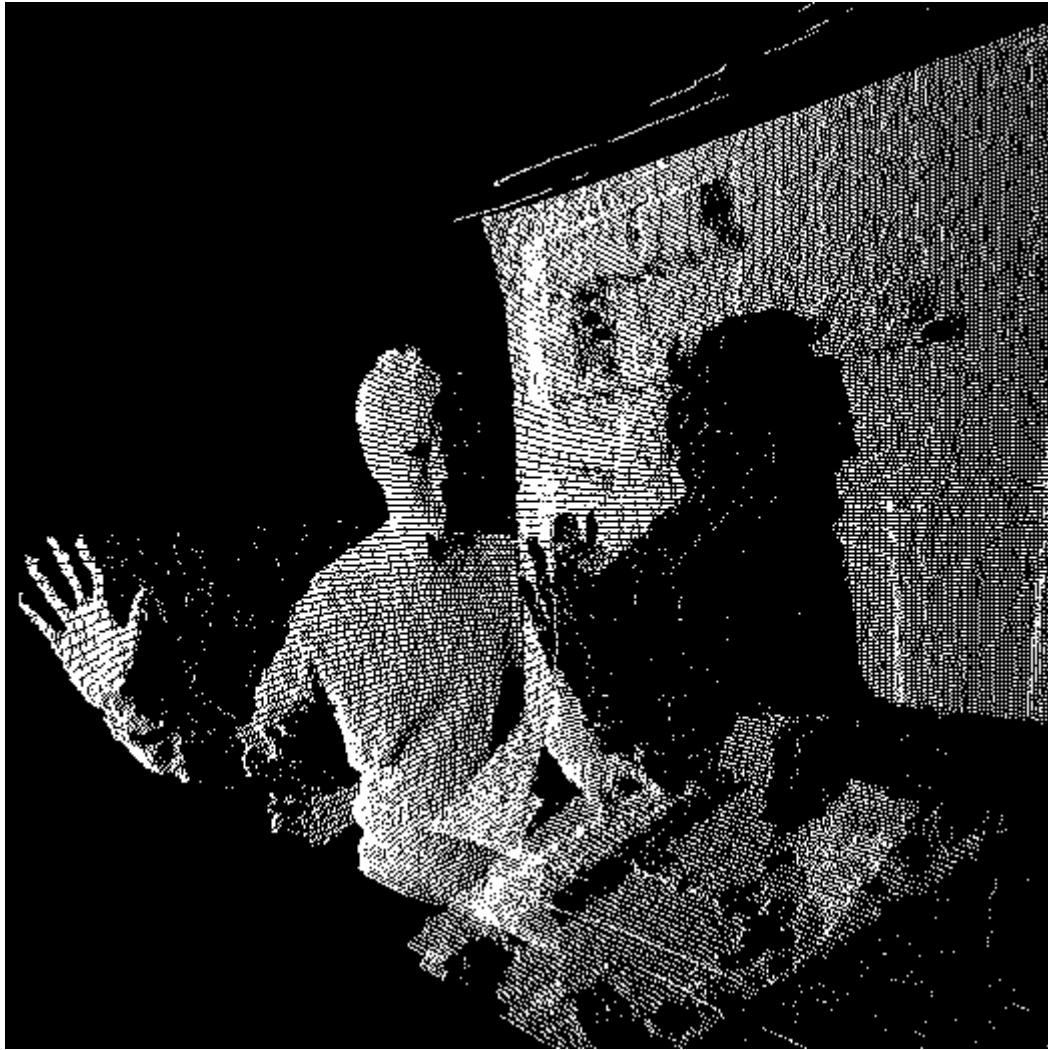
Επίσης η υφή μιας επιφάνειας, δηλαδή αν είναι λεία ή γυαλιστερή, μπορεί να παρεμποδίσει τη σωστή μέτρηση ανισοτήτων δημιουργώντας κενά στην εικόνα. Ως παράδειγμα, στην εικόνα 2.7, η δεξιά μεριά του απεικονιζόμενου κουτιού αφού δεν μπορεί να το «δει» η κάμερα υπεθύρων.

2.2.4.4.3 Πυκνότητα νέφους σημείων

Κάθε παραγόμενη εικόνα βάθους περιέχει σταθερά 480x640 εικονοστοιχεία. Θεωρώντας ως πυκνότητα των αριθμό σημείων σε μια περιοχή, αφού ο αριθμός των σημείων παραμένει σταθερός, η περιοχή είναι ανάλογη της απόστασης στο τετράγωνο των σημείων από την κάμερα. Άρα η πυκνότητα των σημείων σε ένα νέφος σημείων είναι αντιστρόφως ανάλογη της τετραγωνικής απόστασης από τον αισθητήρα:

$$\rho \propto \frac{1}{Z^2} \quad (2.5)$$

Ο αισθητήρας KINECT χρησιμοποιεί 11 bits για την αναπαράσταση κάθε εικονοστοιχείου, που καθορίζει και την διακριτική του ικανότητα. Ωστόσο ένα bit από αυτά δεσμεύεται για να σηματοδοτήσει το αν σε ένα εικονοστοιχείο μετρήθηκε ανισότητα ή όχι. Επομένως ο αισθητήρας διαθέτει $2^{10} = 1024$ επίπεδα για την αναπαράσταση της ανισότητας.[26]



Εικόνα 2.9 Παράδειγμα λήψης εικόνας από αισθητήρα KINECT

Κεφάλαιο 3

Παρουσίαση των Αλγορίθμων Τμηματοποίησης

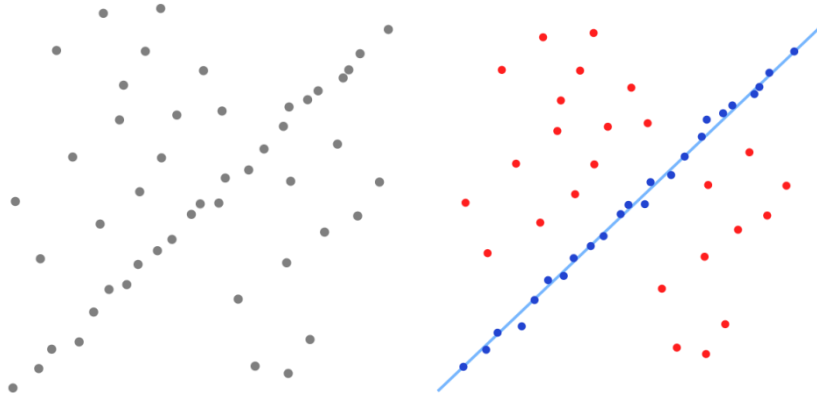
Στην παρούσα εργασία θα αναλυθούν και θα εξετασθούν ως προς την αποτελεσματικότητα τους πέντε αλγόριθμοι τμηματοποίησης. Ο κάθε αλγόριθμος βασίζεται σε διαφορετική μέθοδο και δίνει διαφορετικά αποτελέσματα από τους υπόλοιπους για ένα νέφος σημείων. Για όλους τους παρακάτω αλγόριθμους, οι απαιτούμενοι παράμετροι δίνονται από το χρήστη ώστε να επιτευχθεί η όσο κατά το δυνατόν μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα του αλγορίθμου στο εκάστοτε νέφος σημείων. Κατά το πέρας κάθε αλγορίθμου το αποτέλεσμα οπτικοποιείται μέσω ενός viewer της βιβλιοθήκης PCL ώστε να μπορούμε να έχουμε ποιοτική σύγκριση των αποτελεσμάτων.

3.1 Plane Model Segmentation

Ο αλγόριθμος αυτός βασίζεται στη μέθοδο RANSAC[27]. Είναι μια επαναληπτική μέθοδος που υπολογίζει τις παραμέτρους ενός μοντέλου από ένα σύνολο τυχαία επιλεγμένων δεδομένων. Είναι μια μη-ντετερμινιστική μέθοδος, υπό την έννοια ότι παράγει ένα λογικό αποτέλεσμα μόνο με συγκεκριμένη πιθανότητα, με την πιθανότητα να αυξάνεται με τις επαναλήψεις. Η βασική υπόθεση είναι ότι το σύνολο των δεδομένων αποτελείται από «inliers», δηλαδή σημεία που η κατανομή τους ανήκει σε ένα μοντέλο, και «outliers», δηλαδή δεδομένα που δεν ανήκουν σε αυτό το μοντέλο. Αυτά τα σημεία μπορεί να προέρχονται από ακραίες τιμές θορύβου ή λάθος μετρήσεις κατά τη δημιουργία των δεδομένων. Τα βήματα της μεθόδου είναι ως εξής:

- 1) Επιλέγεται τυχαία ένα μέρος των αρχικών δεδομένων. Αυτά λέγονται υποθετικά inliers.
- 2) Δημιουργείται ένα μοντέλο που προσαρμόζεται σε αυτά τα υποθετικά inliers.
- 3) Όλα τα δεδομένα συγκρίνονται με το μοντέλο. Τα σημεία που ταιριάζουν με το μοντέλο, σύμφωνα με συγκεκριμένη συνάρτηση απώλειας, θεωρείται ότι ανήκουν στο σύνολο παραδοχής.
- 4) Το υπολογιζόμενο μοντέλο θεωρείται αρκετά καλό αν επαρκής αριθμός σημείων έχουν συμπεριληφθεί στο σύνολο παραδοχής.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται συγκεκριμένο αριθμό φορών, όπου σε κάθε επανάληψη παράγεται ένα μοντέλο που απορρίπτεται λόγω λίγων σημείων στο σύνολο παραδοχής, ή ένα αποδεκτό μοντέλο μαζί με το αντίστοιχο μέγεθος συνόλου παραδοχής. Στην τελευταία περίπτωση κρατάμε το μοντέλο αν το μέγεθος του συνόλου παραδοχής είναι μεγαλύτερο από αυτό του προηγούμενου αποδεκτού μοντέλου.[28]



Εικόνα 3.1 Αριστερά : Σύνολο δεδομένων με πολλά outliers για τα οποία πρέπει να προσαρμοσθεί μια γραμμή

Δεξιά: Προσαρμοσμένη γραμμή κατά RANSAC. Τα outliers δεν επηρεάζουν το αποτέλεσμα.

Στη συγκεκριμένη υλοποίηση η επιλογή των inliers βασίζεται στην τιμή του κατωφλίου απόστασης, το οποίο καθορίζει ποια σημεία αποδεχόμαστε και ποιά όχι. Έπειτα το σύνολο των σημείων απεικονίζεται στην οθόνη, με τα inliers να είναι χρωματισμένα.

3.2 Cylinder Model Segmentation

Ο αλγόριθμος αυτός λειτουργεί ακριβώς με τον ίδιο τρόπο όπως ο plane model segmentation, με τη μόνη διαφορά πως το αρχικό μοντέλο που επιλέγουμε για τη σύγκριση με τα υπόλοιπα δεδομένα είναι κυλινδρικής μορφής. Αρχικά υπολογίζονται τα inliers του επίπεδου(planar) μοντέλου, αφαιρούνται από το συνολικό νέφος σημείων και η διαδικασία επαναλαμβάνεται για τα inliers του κυλινδρικού μοντέλου. Ο χρήστης καθορίζει την ακτίνα του κυλινδρικού μοντέλου και την τιμή κατωφλίου σύμφωνα με την οποία καθορίζονται τα αποδεκτά σημεία.. Για την εκτέλεση του αλγορίθμου απαιτείται επίσης ο υπολογισμός της νόρμας κάθε σημείου του νέφους.[29]

3.2.1 Υπολογισμός Νόρμας Σημείου

Ο παρών αλγόριθμος, αλλά και άλλοι όπως θα δούμε παρακάτω, χρησιμοποιεί τις νόρμες σημείων νέφους για τον υπολογισμό του τελικού αποτελέσματος τμηματοποίησης. Αυτές είναι σημαντικές ιδιότητες μιας γεωμετρικής επιφάνειας που εφαρμόζονται κυρίως για τη σωστή απόδοση των πηγών φωτός που παράγουν σκιάσεις και άλλα οπτικά φαινόμενα.

Δεδομένης γεωμετρικής επιφάνειας, είναι συνήθως εύκολο να συμπεράνουμε την κατεύθυνση της νόρμας σε ένα συγκεκριμένο σημείο της επιφάνειας ως ένα διάνυσμα κάθετο στην επιφάνεια σε εκείνο το σημείο.

Ωστόσο, επειδή τα νέφη σημείων που έχουμε στη διάθεση μας αναπαριστούν ένα δείγμα σημείων της πραγματικής επιφάνειας, πρέπει να γίνει χρήση προσεγγίσεων για να συμπεράνουμε τις νόρμες των σημείων κατευθείαν από το νέφος.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι υπολογισμού της νόρμας σημείου, ωστόσο στην παρούσα υλοποίηση έγινε χρήση της πλέον απλής. Το πρόβλημα εύρεσης νόρμας σημείου σε μια επιφάνεια ανάγεται σε πρόβλημα υπολογισμού της νόρμας επιπέδου εφαπτόμενο στην επιφάνεια, το οποίο είναι κατ' επέκταση πρόβλημα προσαρμογής επιπέδου με χρήση ελαχίστων τετραγώνων.

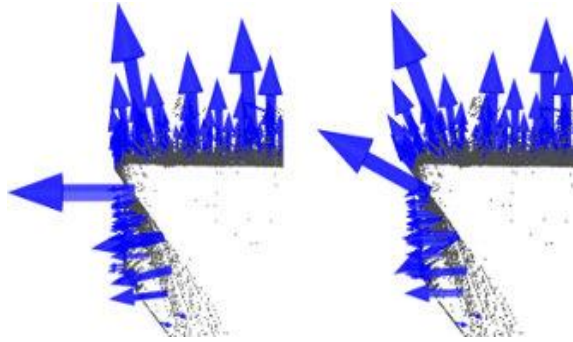
Η λύση του ανωτέρω προβλήματος καταλήγει σε ανάλυση ιδιοδιανυσμάτων και ιδιοτιμών μίας μήτρας συνδιακύμανσης που δημιουργείται από τους κοντινότερους γείτονες του υπό εξέταση σημείου. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε σημείο \mathbf{p}_i , συναρμολογούμε μια μήτρα \mathbf{C} ως εξής:

$$\mathbf{C} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\mathbf{p}_i - \bar{\mathbf{p}}) \cdot (\mathbf{p}_i - \bar{\mathbf{p}})^T, \quad \mathbf{C} \cdot \mathbf{v}_j = \lambda_j \cdot \mathbf{v}_j, \quad j \in \{0, 1, 2\}$$

όπου k είναι ο αριθμός των γειτόνων στη γειτονιά του \mathbf{p}_i , $\bar{\mathbf{p}}$ αναπαριστά το 3Δ κέντρο των κοντινότερων γειτόνων, λ_j είναι η j -στή ιδιοτιμή της μήτρας συνδιακύμανσης, και \mathbf{v}_j το j -στό ιδιοδιάνυσμα.

Όπως βλέπουμε ο υπολογισμός της νόρμας εξαρτάται από τα K γειτονικά σημεία (K - γειτονιά). Η τιμή του K , όπως είδαμε στον ανωτέρω αλγόριθμο ζητείται από το χρήστη, γεγονός που δημιουργεί το πρόβλημα επιλογής καταλληλότερου K .

Το πρόβλημα είναι μείζονος σημασίας και αποτελεί τροχοπέδη στην αυτοματοποίηση της διαδικασίας αφού είναι απαιτούμενη η παρεμβολή του χρήστη για την επιλογή του K . Για ακριβέστερη ανάδειξη του προβλήματος, οι παρακάτω εικόνες αναπαριστούν την επίδραση της επιλογής μικρής κλίμακας (μικρό K) έναντι μεγαλύτερης κλίμακας (μεγάλο K). Η αριστερή εικόνα δείχνει μια αρκετά καλή επιλογή κλίμακας, με τις υπολογιζόμενες νόρμες να είναι σχεδόν κάθετες στις επιφάνειες του αντικειμένου και οι κορυφές να είναι ευδιάκριτες. Αν ωστόσο αυξήσουμε την κλίμακα, με αποτέλεσμα το σύνολο των γειτόνων να καλύπτει γειτονικές περιοχές, τα υπολογιζόμενα μεγέθη παραμορφώνονται, με τις νόρμες των σημείων να είναι περιστρεμμένες στις άκρες των επιφανειών και έχουν αποσιωπηθεί οι λεπτομέρειες.



Εικόνα 3. 2 Γραφική αναπαράσταση της νόρμας σημείων της επιφάνειας

Εν τέλει, σημασία στην επιλογή του K έχει το επίπεδο της επιθυμητής λεπτομέρειας που θέλουμε να πάρουμε από τον αλγόριθμο τμηματοποίησης. Έτσι επιλέγουμε μικρή κλίμακα σε περίπτωση ανάγκης αναγνώρισης μικρών λεπτομερειών και μεγάλη κλίμακα σε αντίθετη περίπτωση.[30]

3.3 Min-Cut Segmentation

Ο αλγόριθμος βασίζεται στο θεώρημα max-flow min-cut.[31] Σύμφωνα με αυτό, σε ένα δίκτυο, η μέγιστη ποσότητα ροής που περνάει από το source (κορυφή χωρίς εισερχόμενες ακμές) στο sink (κορυφή χωρίς εξερχόμενες ακμές) είναι ίση με την ελάχιστη τομή, δηλαδή το μικρότερο συνολικό βάρος των ακμών οι οποίες αν αφαιρεθούν θα αποκόψουν το source από το sink.[32]

Για νέφη σημείων, ο αλγόριθμος κατασκευάζει το γράφημα που περιέχει όλα τα σημεία του νέφους ως ένα σύνολο κορυφών, και δύο ακόμα κορυφών ως sink και source. Κάθε κορυφή του γράφου που αντιστοιχεί σε σημείο συνδέεται με ακμές με το sink και το source. Επίσης, κάθε κορυφή έχει ακμές που συνδέει τα αντίστοιχα σημεία με τα γειτονικά του.



(α) Είσοδος (β) Γράφημα (γ) Ποινή παρασκηνίου (δ) Ποινή προσκηνίου (ε) Αποτέλεσμα

Εικόνα 3.3 Γραφική αναπαράσταση της νόρμας σημείων της επιφάνειας

Ο αλγόριθμος αποδίδει βάρη για κάθε ακμή. Υπάρχουν 3 διαφορετικά είδη βαρών:

- Καταρχάς αποδίδεται βάρος στις ακμές μεταξύ των σημείων του νέφους. Αυτό το βάρος λέγεται *smooth cost* και υπολογίζεται από :

$$smoothCost = e^{-\left(\frac{dist}{\sigma}\right)^2}$$

όπου *dist* είναι η απόσταση μεταξύ των σημείων. Όσο μεγαλύτερη η απόσταση μεταξύ των σημείων, τόσο πιθανότερο είναι η ακμή να κοπεί.

- Στη συνέχεια ο αλγόριθμος θέτει το *data cost*. Αποτελείται από ποινές προσκηνίου (*foreground*) και παρασκηνίου (*background*). Το πρώτο είναι το βάρος των ακμών που συνδέουν τα σημεία με την κορυφή *source* και έχει σταθερή τιμή καθορισμένη από το χρήστη. Το δεύτερο είναι το βάρος των ακμών που συνδέουν τα σημεία με το *sink* και υπολογίζεται από:

$$backgroundPenalty = \left(\frac{distanceToCenter}{radius}\right)$$

Το *distanceToCenter* είναι η απόσταση από το προσδοκώμενο κέντρο του αντικειμένου:

$$distanceToCenter = \sqrt{(x - centerX)^2 + (y - centerY)^2}$$

Το *radius* που βλέπουμε στην συνάρτηση είναι η παράμετρος εισόδου που καθορίζει την απόσταση από το κέντρο του αντικειμένου, πέραν της οποίας δεν υπάρχουν άλλα σημεία προσκηνίου. Μετά τους υπολογισμούς γίνεται η αναζήτηση της ελάχιστης τομής.[33] Με βάση αυτήν την τομή γίνεται ο διαχωρισμός του νέφους σημείων σε σημεία προσκηνίου και παρασκηνίου. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος, πέραν των παραμέτρων απαιτεί και επιλογή του κεντρικού σημείου του αντικειμένου προς τμηματοποίηση. Αυτή η δυνατότητα προστέθηκε κατάλληλα ώστε ο χρήστης να έχει τη δυνατότητα να επιλέγει διαφορετικό σημείο σε κάθε εκτέλεση του αλγορίθμου με τη χρήση του ποντικιού.

3.4 Cluster Extraction Segmentation

Σε αυτόν τον αλγόριθμο στόχος είναι η ομαδοποίηση των σημείων του νέφους σε συστάδες σημείων, κάθε μια εκ των οποίων θα αποτελεί ιδανικά ένα αντικείμενο. Για ελαχιστοποίηση του χρόνου εκτέλεσης, ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί ένα μοντέλο RANSAC για την εύρεση των planar inliers. Αφού αυτά αφαιρεθούν από το αρχικό νέφος σημείων, ακολουθεί η εξής διαδικασία :

- 1) Δημιουργείται μια αναπαράσταση σε δένδρο του εναπομείναντος νέφους P .
- 2) Δημιουργείται μια άδεια λίστα συστάδων C και μια ουρά σημείων προς έλεγχο Q .
- 3) Έπειτα για κάθε σημείο $p_i \in P$, εκτελούνται τα ακόλουθα βήματα:
 - Προσθέτουμε το p_i στην τρέχουσα λίστα Q .
 - Για κάθε σημείο $p_i \in Q$:
 - Αναζητούμε για το σύνολο P_k^i των γειτόνων του p_i σε σφαίρα με ακτίνα που έχει επιλεγεί από το χρήστη.
 - Για κάθε γείτονα $p_k^i \in P_k^i$, ελέγχεται αν το σημείο έχει ήδη ελεγχθεί και αν όχι, προστίθεται στη λίστα Q .
 - Όταν προσπελαστεί ολόκληρη η λίστα Q , το Q προστίθεται στη λίστα των συστάδων C , και η Q καθίσταται κενή.
- 4) Ο αλγόριθμος περατώνεται όταν όλα τα σημεία $p_i \in P$ έχουν προσπελαστεί και είναι μέρος της λίστας συστάδων C .

Στις παραμέτρους εισόδου επίσης δίνουμε και το επιθυμητό εύρος του μεγέθους των συστάδων (ελάχιστο και μέγιστο αριθμό περικλειόμενων σημείων). Μετά το πέρας του αλγορίθμου, κάθε συστάδα απεικονίζεται με διαφορετικό χρώμα για μεγαλύτερη ευκρίνεια.[34]

3.5 Region growing segmentation

Σκοπός αυτού του αλγορίθμου είναι η ομαδοποίηση των σημείων ενός νέφους σε συστάδες υπό τον περιορισμό της ομαλότητας. Έτσι η έξοδος του αλγορίθμου είναι ένα σύνολο συστάδων, όπου κάθε συστάδα είναι το σύνολο των σημείων που ανήκουν στην ίδια ομαλή επιφάνεια. Ο αλγόριθμος βασίζεται στη σύγκριση των γωνιών μεταξύ της νόρμας κάθε σημείου. Όπως είδαμε και παραπάνω, η νόρμα κάθε σημείου του νέφους πρέπει να υπολογιστεί και προσαρμόζεται από το χρήστη μέσω της επιλογής του K .

Καταρχάς τα σημεία του νέφους ταξινομούνται κατά τιμή κυρτότητας, ενέργεια απαραίτητη καθώς η περιοχή αναπτύσσεται από το σημείο με τη χαμηλότερη τιμή κυρτότητας. Ο λόγος είναι ότι το σημείο με τη χαμηλότερη κυρτότητα βρίσκεται στην επίπεδη περιοχή του αντικειμένου (ανάπτυξη από την πλέον επίπεδη περιοχή οδηγεί σε ελαχιστοποίηση των τμηματοποιήσεων). Έχοντας στη διάθεση μας το ταξινομημένο νέφος, ο αλγόριθμος επιλέγει το σημείο με την ελάχιστη κυρτότητα και ξεκινά την ανάπτυξη της περιοχής, έως ότου να μην υπάρχουν άλλα μη προσπελασμένα σημεία στο νέφος. Η διαδικασία εκτελείται ως εξής:

- Το επιλεγμένο σημείο προστίθεται στη λίστα «σπόροι».
- Για κάθε σημείο «σπόρο», ο αλγόριθμος βρίσκει τα γειτονικά σημεία.
 - Κάθε γείτονας ελέγχεται ως προς τη γωνία μεταξύ της νόρμας του και της νόρμας του σημείου «σπόρου». Εάν η γωνία είναι μικρότερη της τιμής κατωφλίου τότε το τρέχον σημείο προστίθεται στην τρέχουσα περιοχή.
 - Έπειτα κάθε γείτονας ελέγχεται ως προς την κυρτότητα. Εάν η κυρτότητα είναι μικρότερη της τιμής κατωφλίου τότε το σημείο αυτό προστίθεται ως «σπόρος».
 - Ο τρέχων «σπόρος» αφαιρείται από το σύνολο «σπόρων».

Εάν το σύνολο «σπόρων» αδειάσει τότε ο αλγόριθμος έχει ολοκληρώσει την ανάπτυξη μιας περιοχής και η διαδικασία επαναλαμβάνεται από την αρχή.[35]

Για την προσαρμογή του αλγορίθμου θέτουμε τον αριθμό των γειτόνων προς έλεγχο, το ελάχιστο και μέγιστο μέγεθος συστάδας καθώς και τις τιμές κατωφλίου για ομαλότητα και κυρτότητα.

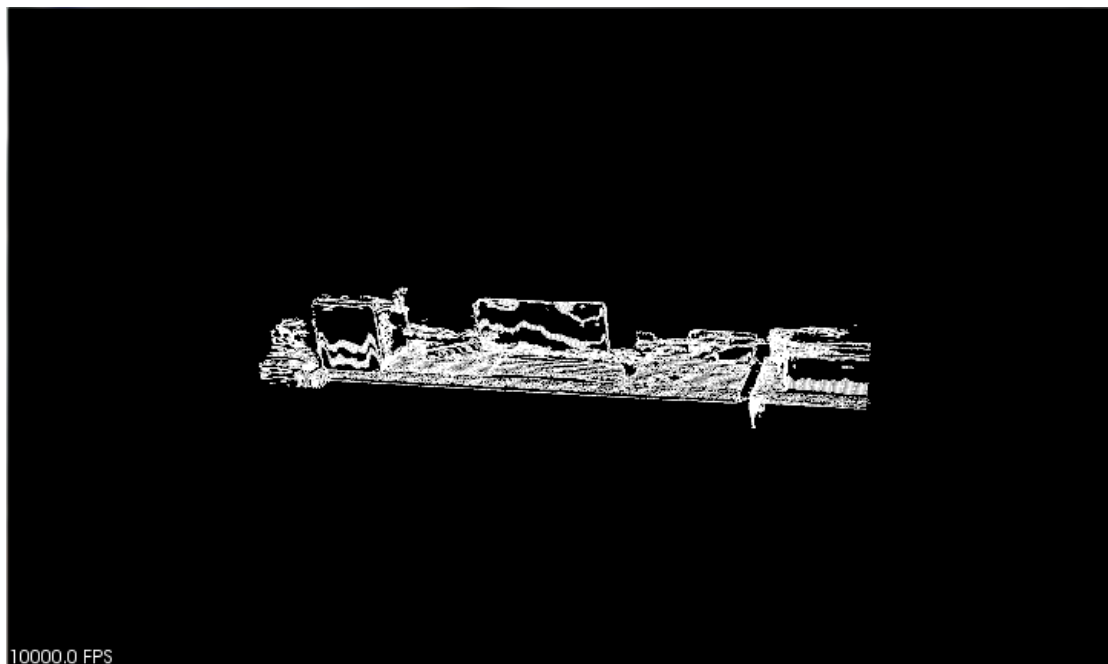
Κεφάλαιο 4

Είσοδοι και αποτελέσματα αλγορίθμων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα νέφη σημείων (σκηνές) που χρησιμοποιήθηκαν και στη συνέχεια τα αποτελέσματα του κάθε αλγορίθμου μετά την εφαρμογή του σε αυτά.

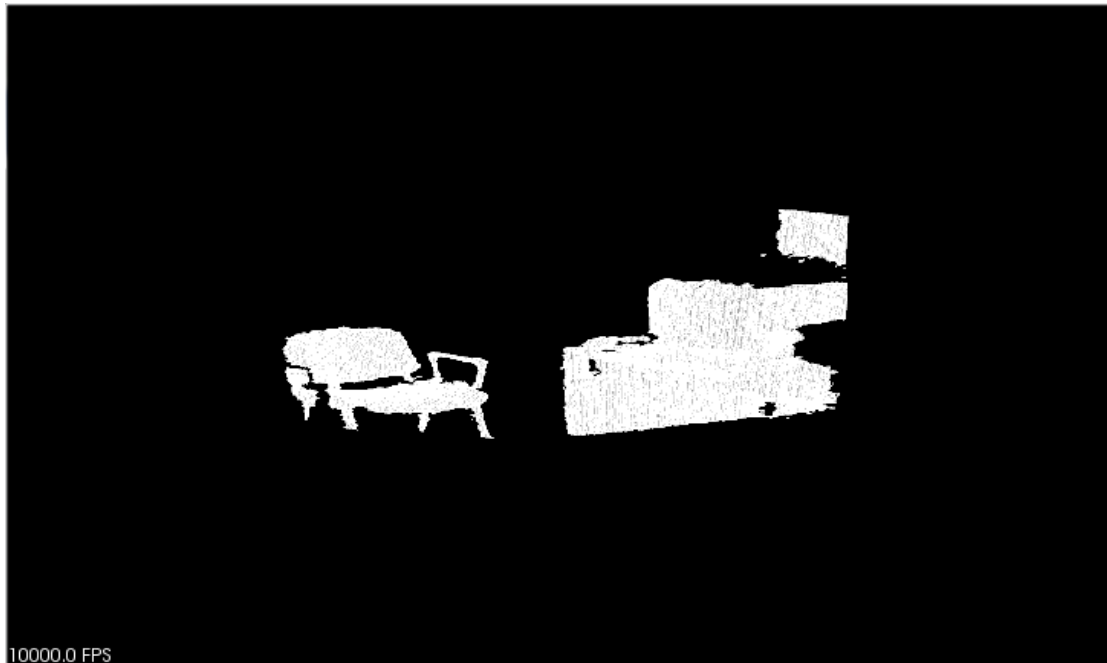
4.1 Παρουσίαση Σκηνών

Οι αλγόριθμοι υπό εξέταση λαμβάνουν ως είσοδο τα νέφη σημείων σε αρχείο μορφής .pcd ή .ply. Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν εννέα σκηνές που λήφθηκαν στο εργαστήριο της ομάδας Βιοϊατρικής Απεικόνισης του ΕΜΠ. Παρακάτω παρουσιάζεται η αρχική μορφή αυτών των σκηνών, προ τμηματοποίησης :



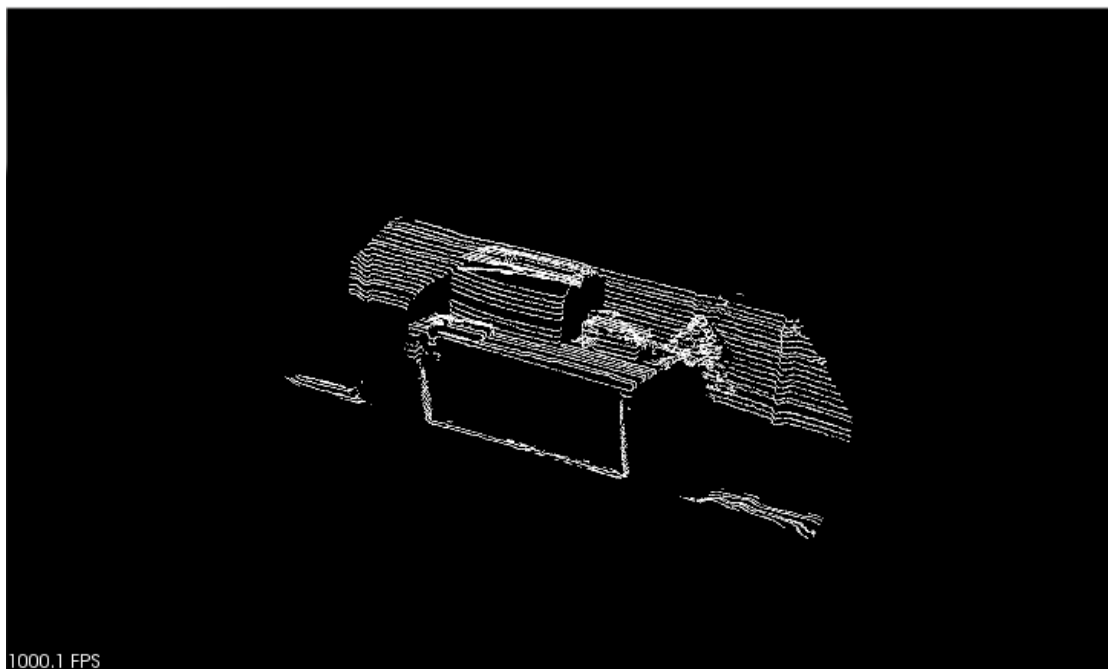
Εικόνα 4.1 Σκηνή 1

Στη σκηνή 1 μπορούμε να ξεχωρίσουμε ένα γραφείο, μια οθόνη, έναν υπολογιστή και κάποιους φακέλους, αντικείμενα τα οποία θα αποτελέσουν σημείο εστίασης των αλγορίθμων τμηματοποίησης.



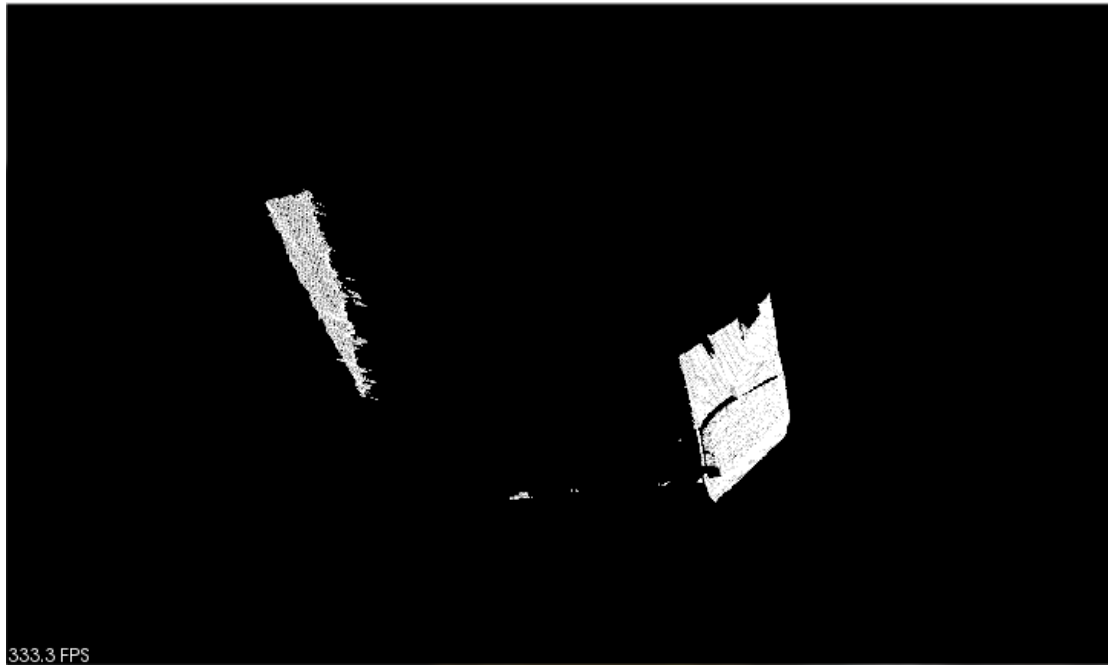
Εικόνα 4.2 Σκηνή 2

Στη σκηνή 2, μπορούμε να διακρίνουμε μια καρέκλα, ένα γραφείο και ένα εκτυπωτικό μηχάνημα.



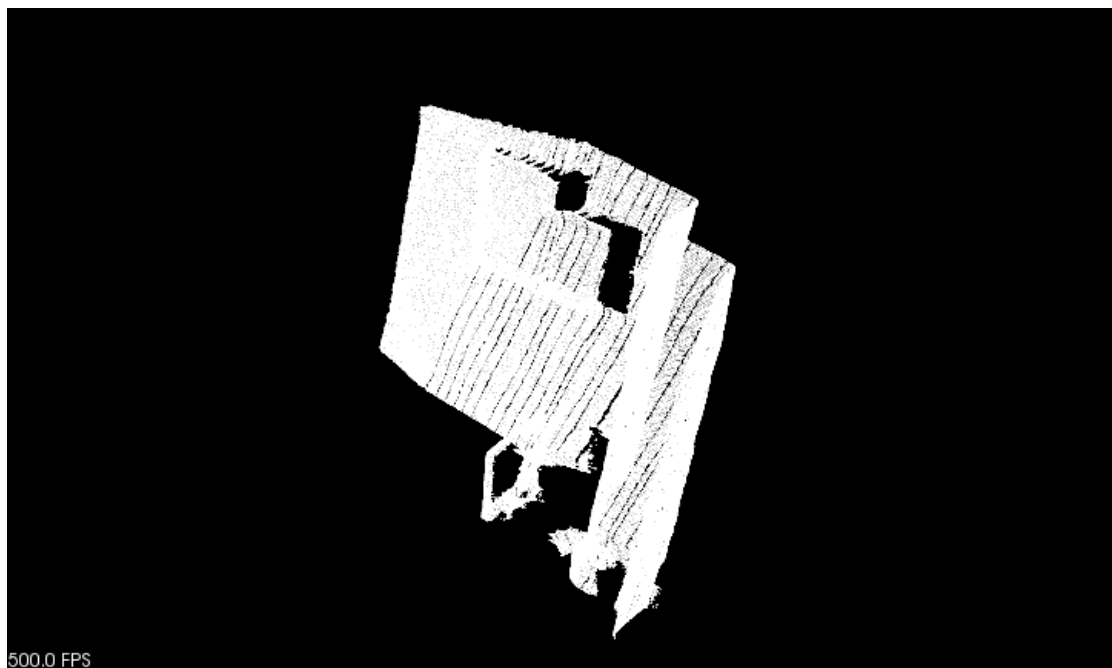
Εικόνα 4.3 Σκηνή 3

Στη σκηνή 3 διακρίνουμε τμήμα του τοίχου, ένα τραπέζι και μια συρταριέρα επί του τραπεζιού.



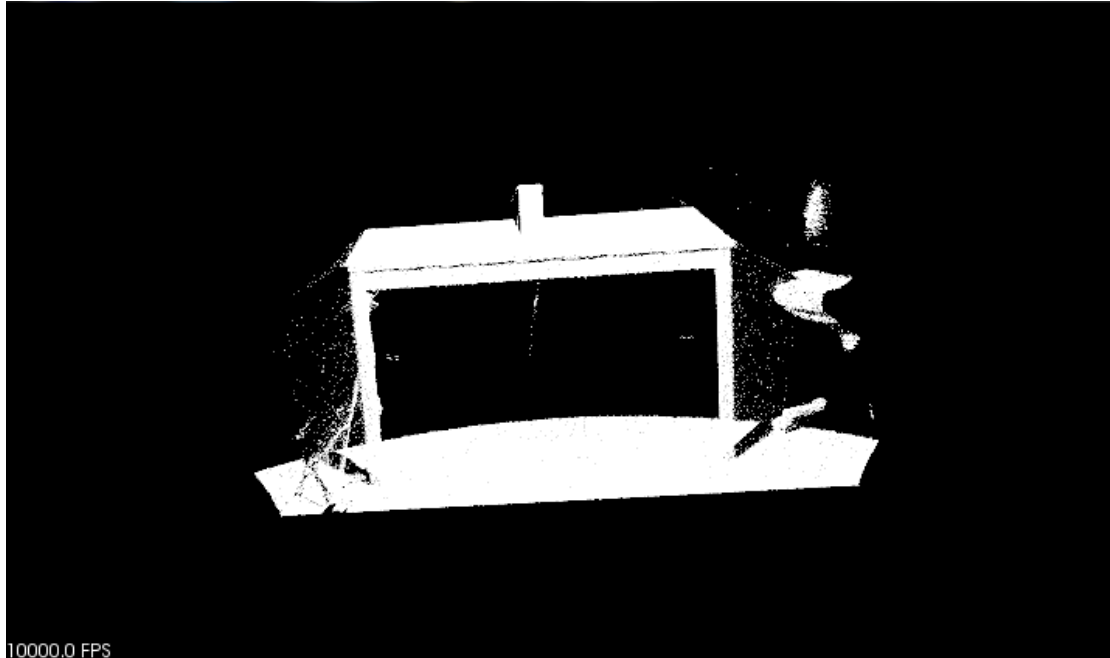
Εικόνα 4.4 Σκηνή 4

Στη σκηνή 4 διακρίνουμε το πίσω μέρος μιας οθόνης και ένα τμήμα του τοίχου.



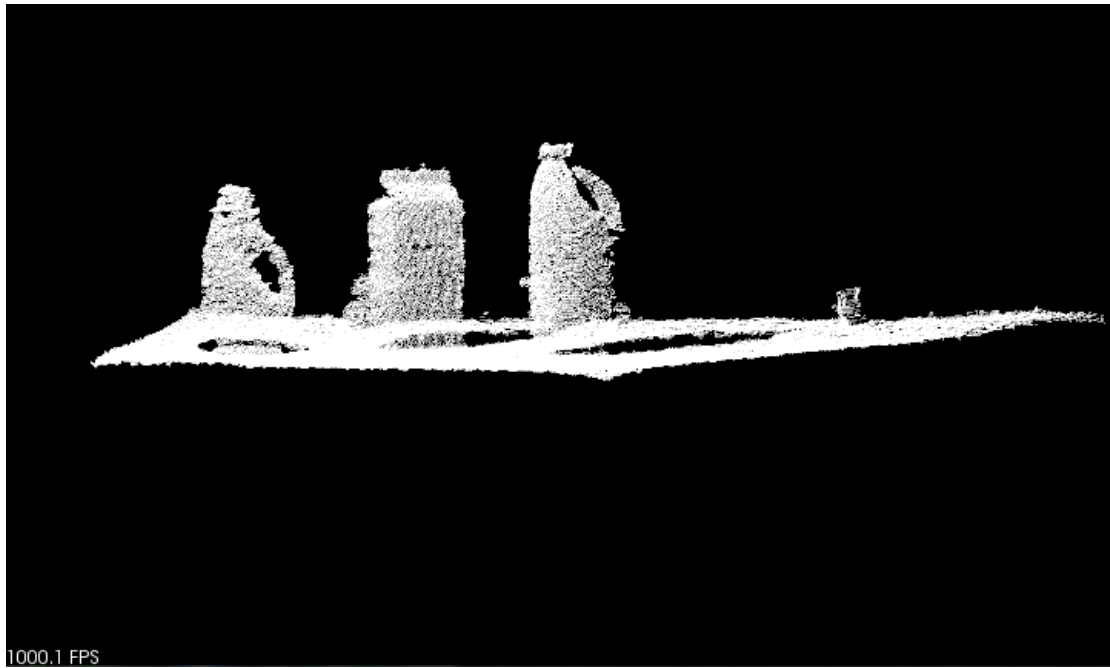
Εικόνα 4.5 Σκηνή 5

Στη σκηνή 5 διακρίνουμε ένα τμήμα του τοίχου, 2 ηλεκτρικούς πίνακες επί του τοίχου, μια οθόνη υπολογιστή και μερικά ακόμα αντικείμενα πίσω της.



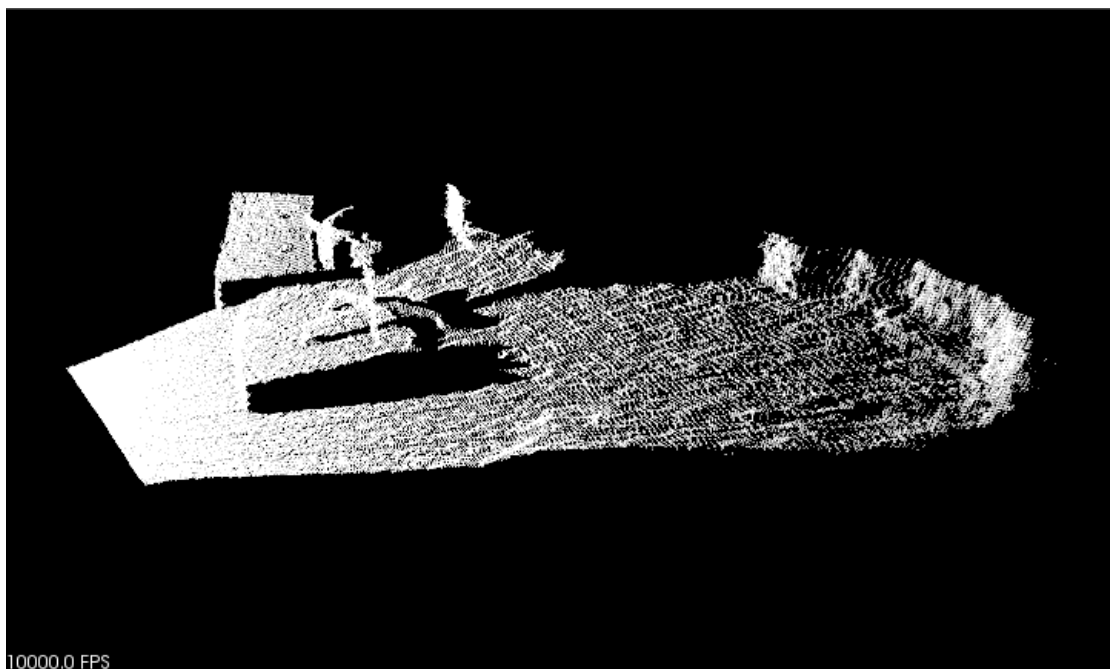
Εικόνα 4.6 Σκηνή 6

Στη σκηνή 6 διακρίνουμε ένα τραπέζι με διάφορα αντικείμενα πάνω και γύρω του, ένα τμήμα του πατώματος καθώς και θόρυβο γύρω από τα πόδια του τραπεζιού.



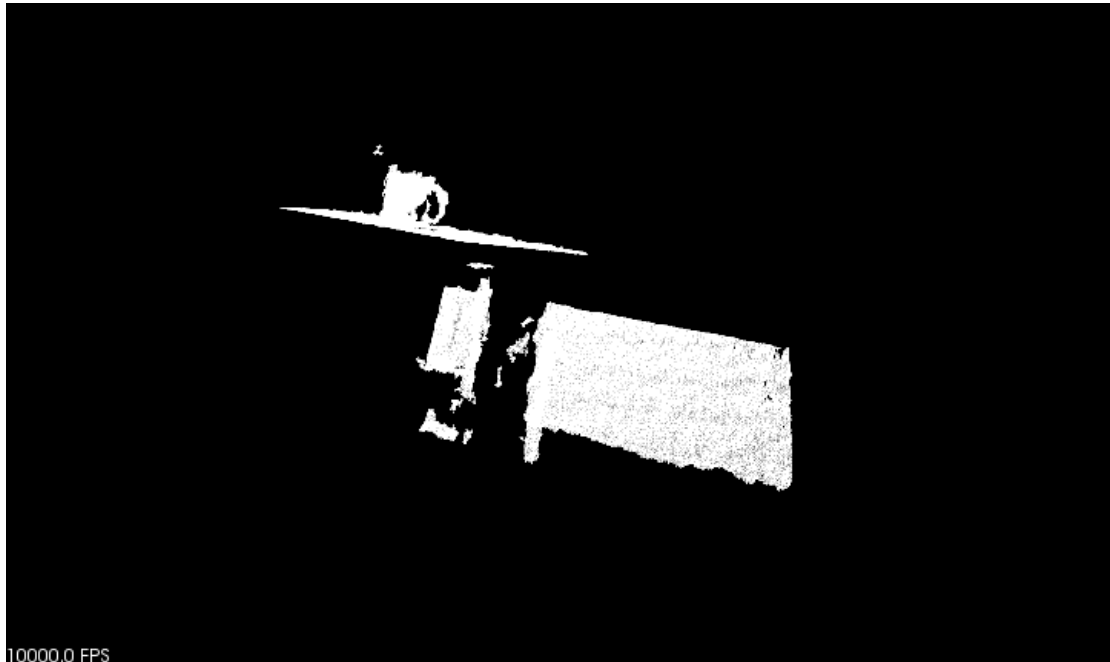
Εικόνα 4.7 Σκηνή 7

Στη σκηνή 7 διακρίνουμε δύο πλαστικά μπουκάλια και ένα χαρτονένιο κουτί εναποθετημένα στο δάπεδο.



Εικόνα 4.8 Σκηνή 8

Στη σκηνή 8 διακρίνουμε τμήμα του πατώματος και του τοίχου και μια συρόμενη καρέκλα.



Εικόνα 4.9 Σκηνή 9

Στη σκηνή 9 διακρίνουμε τμήμα τραπέζιου και επάνω του μια κούπα, καθώς και τμήματα διαφόρων αντικειμένων στο υπόβαθρο.

4.2 Αποτελέσματα

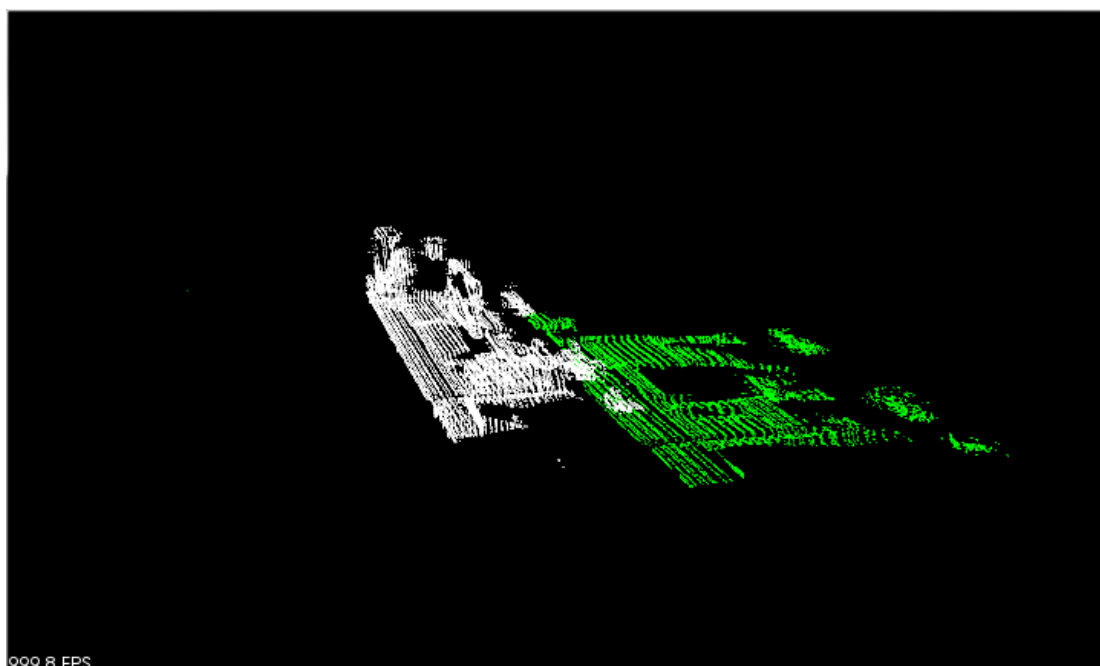
Παρακάτω θα παρατεθούν τα οπτικά αποτελέσματα όπως προκύπτουν μετά το πέρας κάθε αλγορίθμου και θα σχολιαστεί η απόδοση του καθενός.

4.2.1 Αποτελέσματα Planar Segmentation

Για καλύτερη κατανόηση και σαφήνεια, έχουμε διατηρήσει το αρχική μορφή του νέφους στην τελική εικόνα με άσπρο χρώμα. Με πράσινο χρωματίζονται τα σημεία εκείνα που ανήκουν σε ένα επίπεδο σύμφωνα με το μοντέλο RANSAC του αλγορίθμου. Οι τιμές των παραμέτρων του αλγορίθμου είναι:

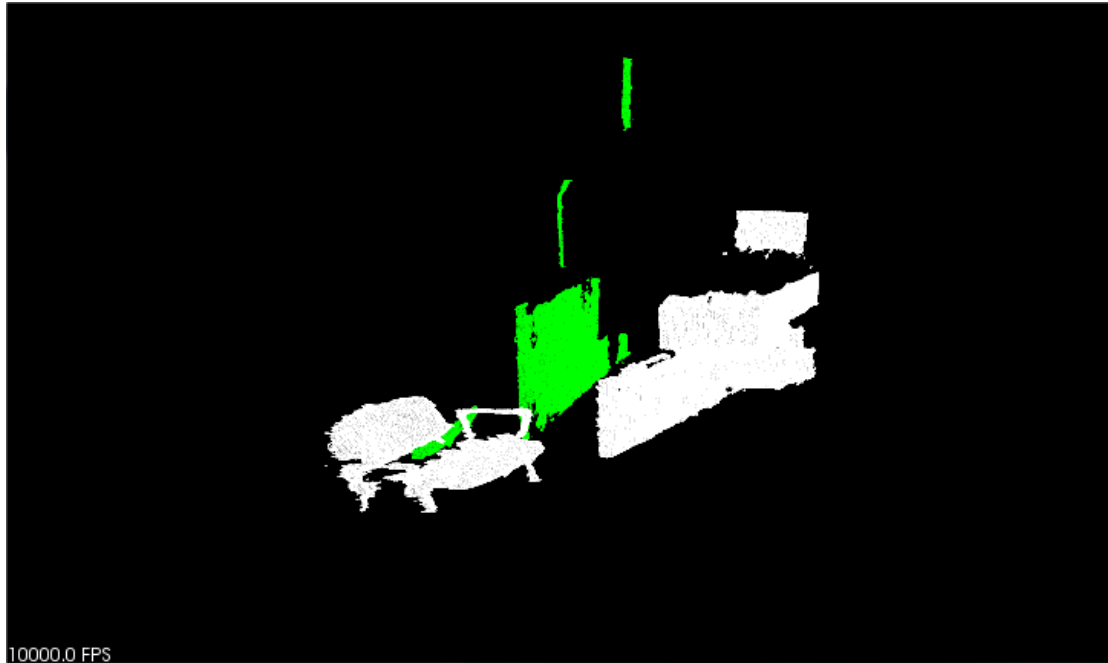
Νέφος Εισόδου	Σκηνή 1	Σκηνή 2	Σκηνή 3	Σκηνή 4	Σκηνή 5	Σκηνή 6	Σκηνή 7	Σκηνή 8	Σκηνή 9
Απόσταση κατωφλίου	0.035	0.01	0.02	0.01	0.05	0.01	0,015	0.01	0.01

Πίνακας 4.1: Παράμετροι Planar Segmentation



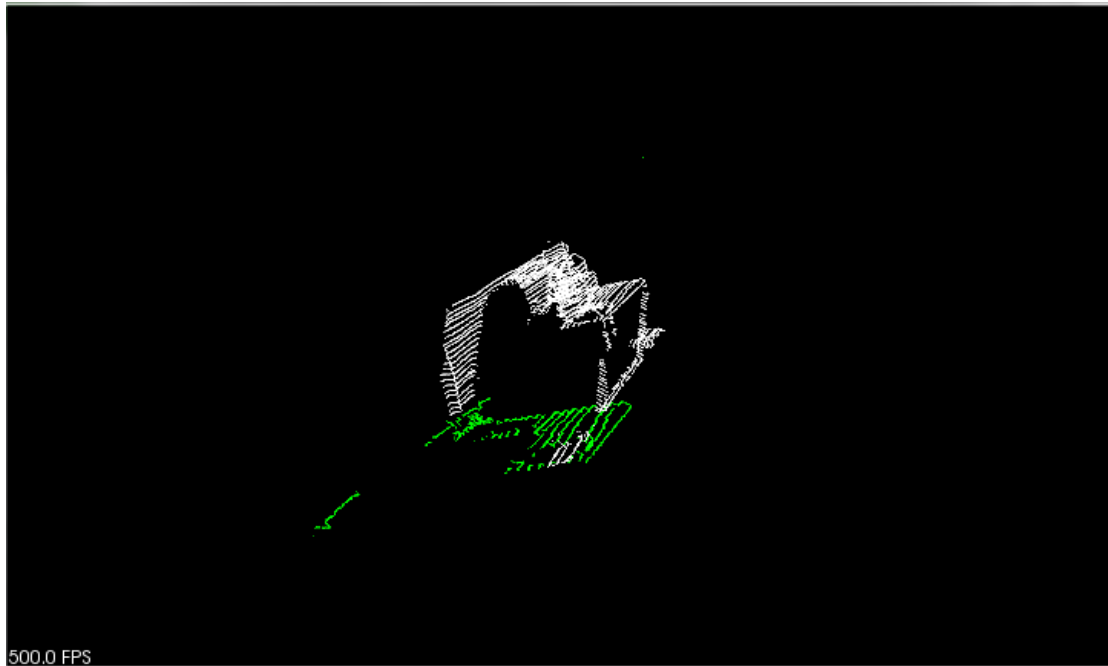
Εικόνα 4.10 Planar Segmentation Σκηνή 1

Παρατηρούμε πως το επίπεδο του γραφείου έχει χρωματιστεί με πράσινο χρώμα και έχει τμηματοποιηθεί από το υπόλοιπο νέφος. Η τμηματοποίηση έχει πετύχει σε ικανοποιητικό βαθμό αφού έχει εντοπίσει το επίπεδο του γραφείου αποκόπτοντας όλα τα υπόλοιπα αντικείμενα.



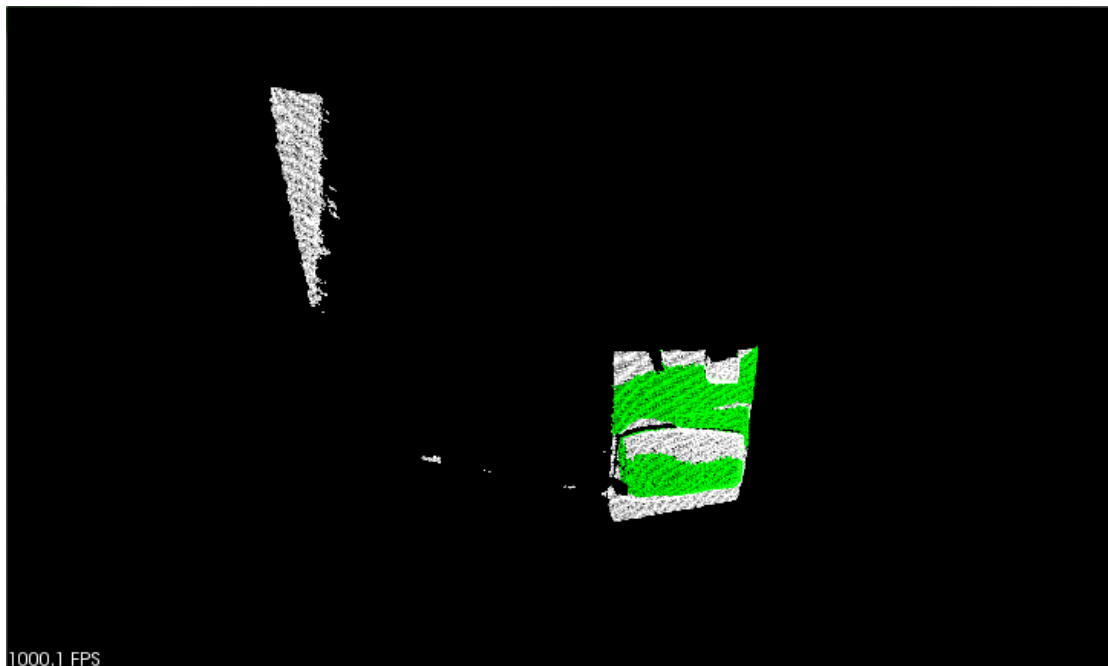
Εικόνα 4.11 Planar Segmentation Σκηνή 2

Στην εικόνα 5.12 έχει τμηματοποιηθεί το κάθετο τμήμα του γραφείου μαζί με τα τμήματα του εκτυπωτή που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Λόγω της μορφολογίας της εικόνας, το αποτέλεσμα της τμηματοποίησης δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλης αξίας καθώς περιέχει τμήματα από διαφορετικά αντικείμενα.



Εικόνα 4.12 Planar Segmentation Σκηνή 3

Εδώ έχει τμηματοποιηθεί το επίπεδο του γραφείου με αρκετή επιτυχία. Έχουν ωστόσο συμπεριληφθεί τμήματα του τοίχου στην τμηματοποίηση.



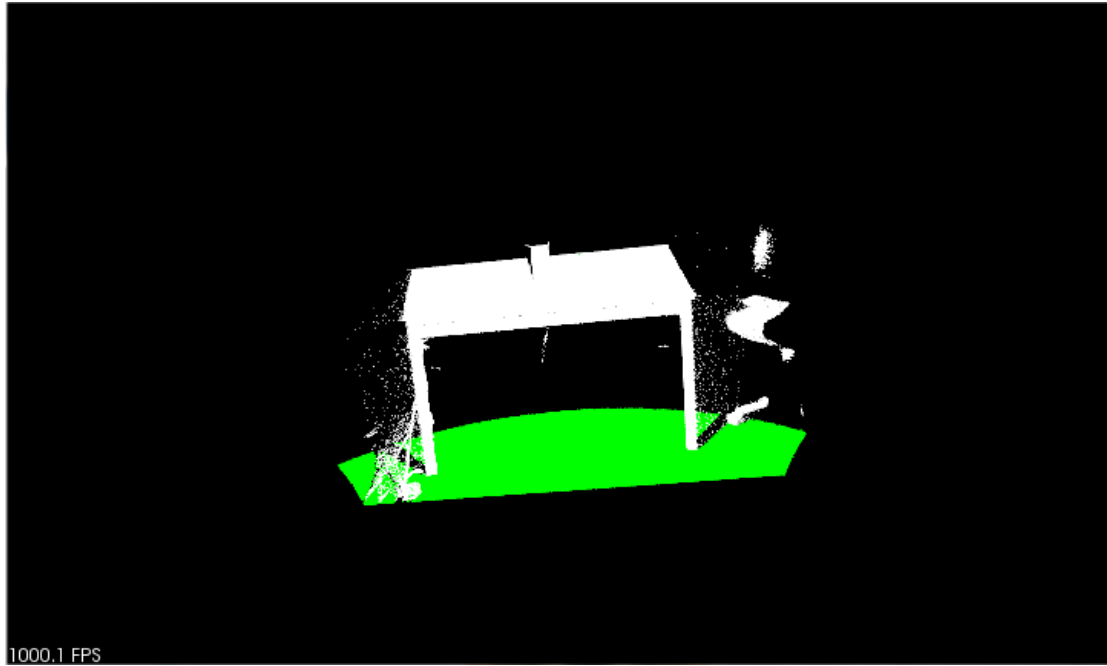
Εικόνα 4.13 Planar Segmentation Σκηνή 4

Σε αυτή τη σκηνή ο αλγόριθμος έχει εντοπίσει με επιτυχία τα συνεπίπεδα τμήματα της οθόνης.



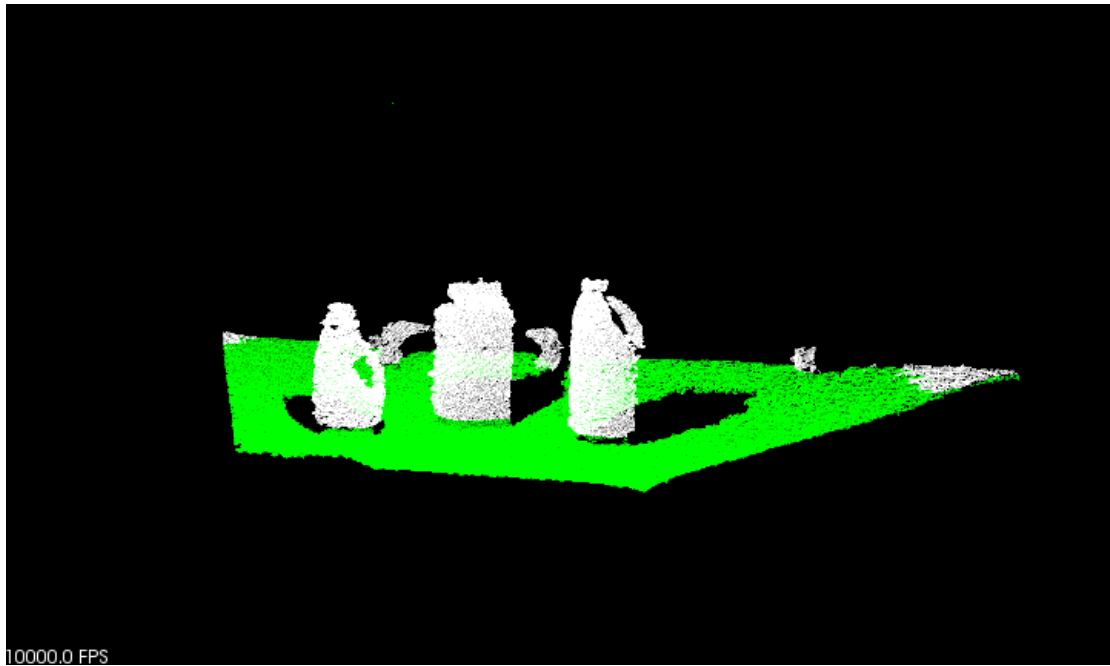
Εικόνα 4.14 Planar Segmentation Σκηνή 5

Λόγω του φωτισμού κατά τη λήψη της εικόνας, ο αλγόριθμος έχει εντοπίσει τα απεικονιζόμενα με πράσινο σημεία του τοίχου ως συνεπίπεδα. Όπως είναι προφανές, η απόδοση του αλγορίθμου σε αυτήν τη σκηνή είναι ιδιαίτερα χαμηλή.



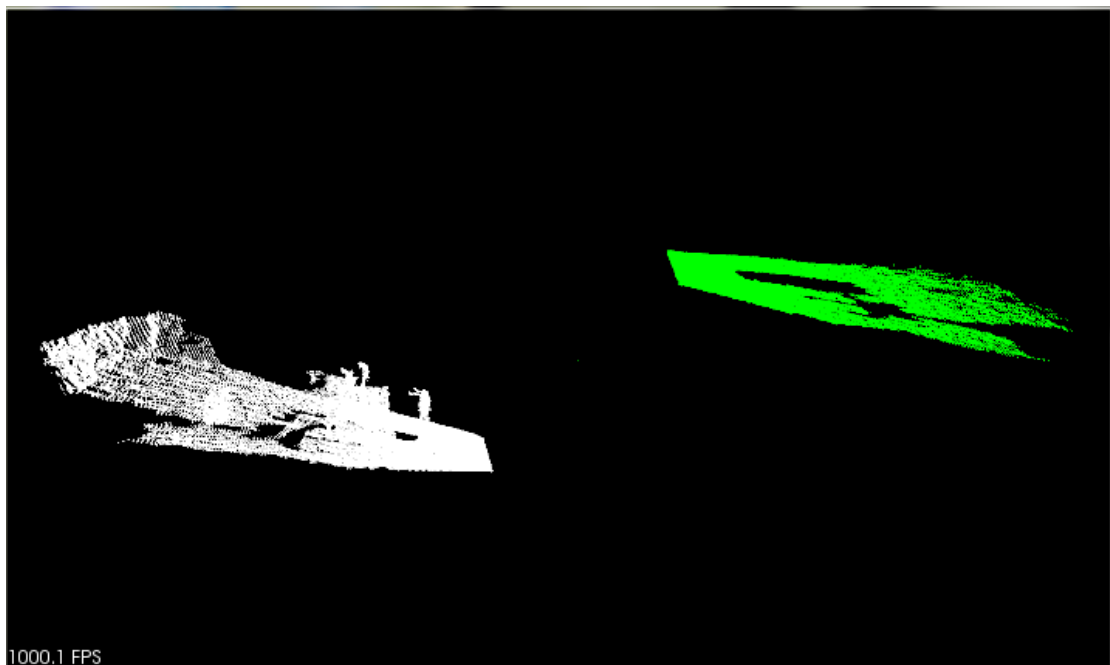
Εικόνα 4.15 Planar Segmentation Σκηνή 6

Σε αυτή τη σκηνή, ο αλγόριθμος έχει εντοπίσει επιτυχώς το επίπεδο του πατώματος. Καθώς η επιφάνεια του τραπεζιού έχει λιγότερα σημεία από το επίπεδο του πατώματος, η πρώτη απορρίπτεται από τον αλγόριθμο όπως εξηγήθηκε στο κεφάλαιο 3.1. Εάν επομένως ο στόχος της τμηματοποίησης είναι η επιφάνεια του πατώματος για τη σκηνή αυτή, τότε ο αλγόριθμος έχει εξαιρετική απόδοση. Σε περίπτωση που ο στόχος είναι η επιφάνεια του τραπεζιού, τότε ο αλγόριθμος έχει αστοχήσει πλήρως.



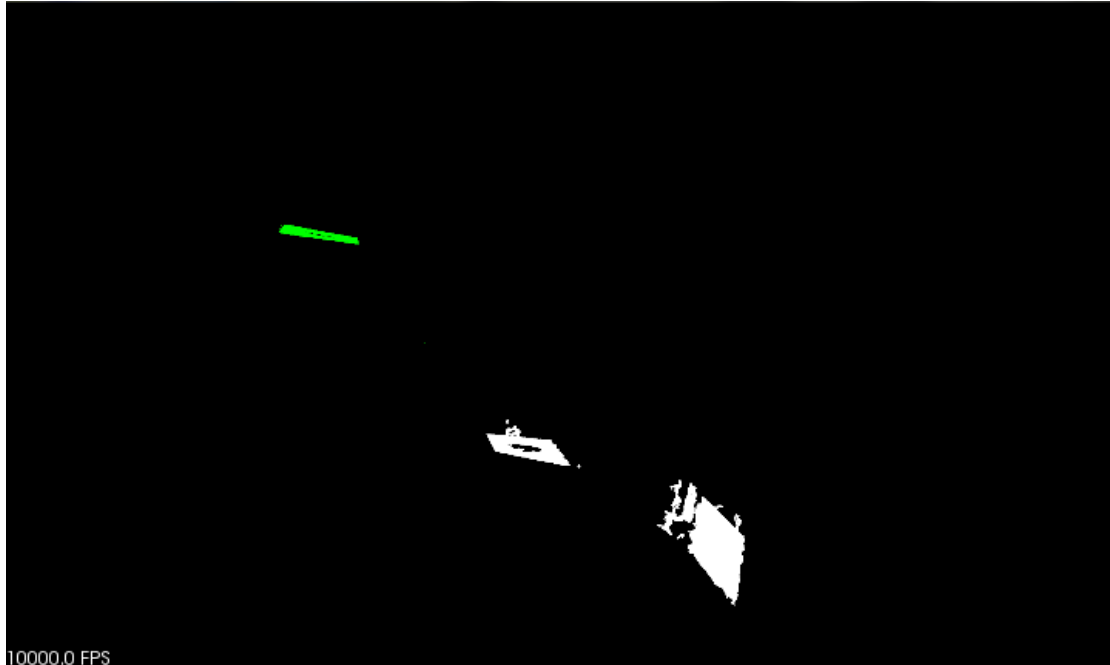
Εικόνα 4.16 Planar Segmentation Σκηνή 7

Στη σκηνή αυτή έχει τμηματοποιηθεί το δάπεδο ενώ τα υπόλοιπα αντικείμενα έχουν μείνει εκτός τμηματοποίησης.



Εικόνα 4.17 Planar Segmentation Σκηνή 8

Στη σκηνή αυτή έχει τμηματοποιηθεί το πάτωμα της αίθουσας και τα λοιπά αντικείμενα έχουν αποκοπεί πλήρως. Είναι σαφές πως ο αλγόριθμος έχει εξαιρετική συμπεριφορά στη σκηνή αυτή.



Εικόνα 4.18 Planar Segmentation Σκηνή 9

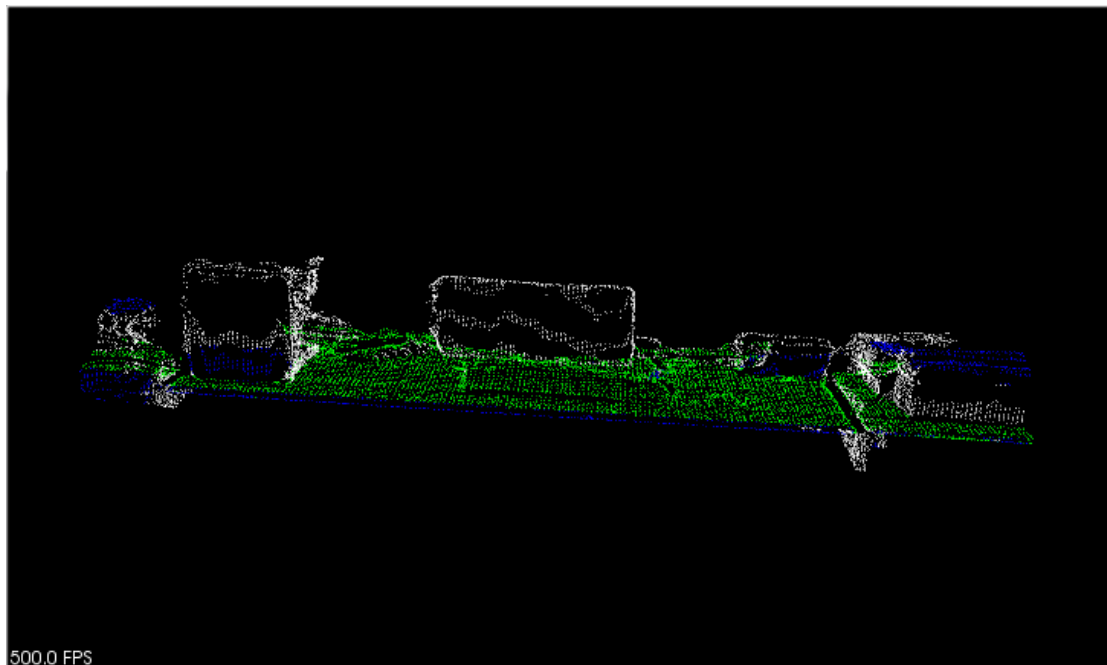
Σε αυτή τη σκηνή ο αλγόριθμος έχει εντοπίσει με επιτυχία το επίπεδο του τραπεζιού, αποκόπτοντας την κούπα και τα υπόλοιπα αντικείμενα της σκηνής από την τμηματοποίηση.

4.2.2 Αποτελέσματα Cylinder Segmentation

Στις εικόνες βλέπουμε με πράσινο χρώμα τα σημεία που ανήκουν σε ένα επίπεδο (όμοια με τον προηγούμενο αλγόριθμο), με μπλε χρώμα τα σημεία που εμφανίζουν κυλινδρική κατανομή και με άσπρο χρώμα τα σημεία που δεν ανήκουν σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες. . Οι τιμές των παραμέτρων του αλγορίθμου για κάθε σκηνή είναι:

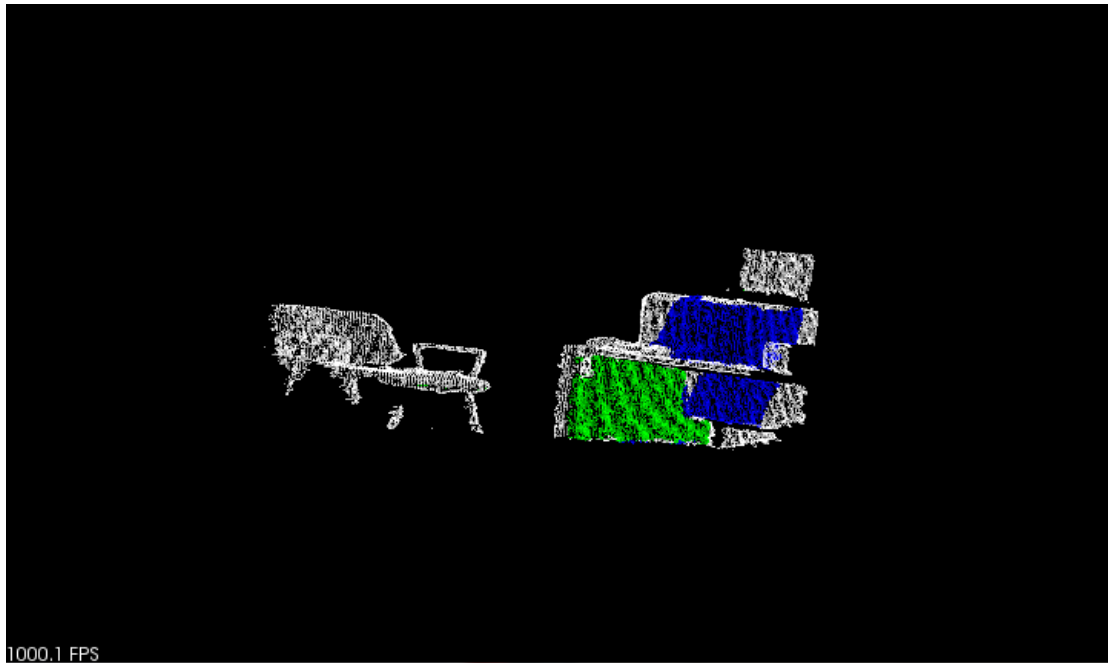
Νέφος εισόδου	Σκηνή 1	Σκηνή 2	Σκηνή 3	Σκηνή 4	Σκηνή 5	Σκηνή 6	Σκηνή 7	Σκηνή 8	Σκηνή 9
Κ γείτονες(νόρμα)	10	40	10	10	50	10	20	50	30
Απόσταση κατωφλίου(επίπεδο)	0.1	0.035	0.1	0.1	0,2	0.2	0.025	1.1	1.1
Βάρος νόρμας (κύλινδρος)	0.1	0.055	0.1	0.1	1	1	0.1	1.1	1.1
Απόσταση κατωφλίου(κύλινδρος)	0.1	0.081	0.1	0.1	1.3	0.25	0.2	1.5	1.2
Όρια ακτίνας	0.1	0.125	0.3	0.9	0.55	0.8	0.2	0.9	0.9
Βάρος νόρμας(επίπεδο)	0.1	0.105	0.1	0.1	0.25	0.1	0.1	0.1	0.1
Μέγεθος φύλλου	0.01	0.012	0.01	0.001	0.002	0.005	0.003	0.005	0.001

Πίνακας 4.2: Παράμετροι Cylinder Segmentation



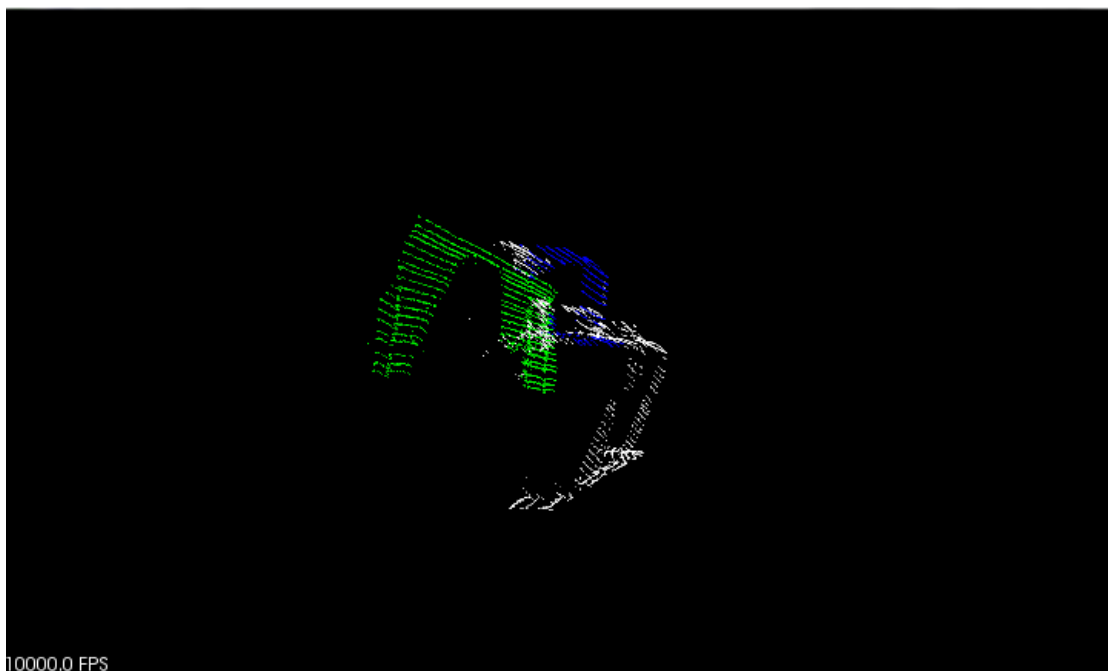
Εικόνα 4.19 Cylinder Segmentation Σκηνή 1

Όπως αναμένουμε, οι επίπεδες επιφάνειες εν πολλοίς συμπίπτουν με αυτές που ανιχνεύτηκαν από τον προηγούμενο αλγόριθμο, αφού γίνεται χρήση της ίδιας τεχνικής. Σε αυτή τη σκηνή, έχει ανιχνευθεί ως επίπεδη η επιφάνεια του γραφείου. Ωστόσο η πρόσοψη της έχει χρωματιστεί μπλε καθώς εμφανίζει καμπυλότητα. Ομοίως έχουν ανιχνευθεί ως κυλινδρικά τα μέρη των αντικειμένων που βρίσκονται πάνω στο γραφείο. Ο αλγόριθμος λειτουργεί σε ικανοποιητικό βαθμό στη σκηνή, αν και έχει αποτύχει στον εντοπισμό των καμπύλων μερών της οθόνης.



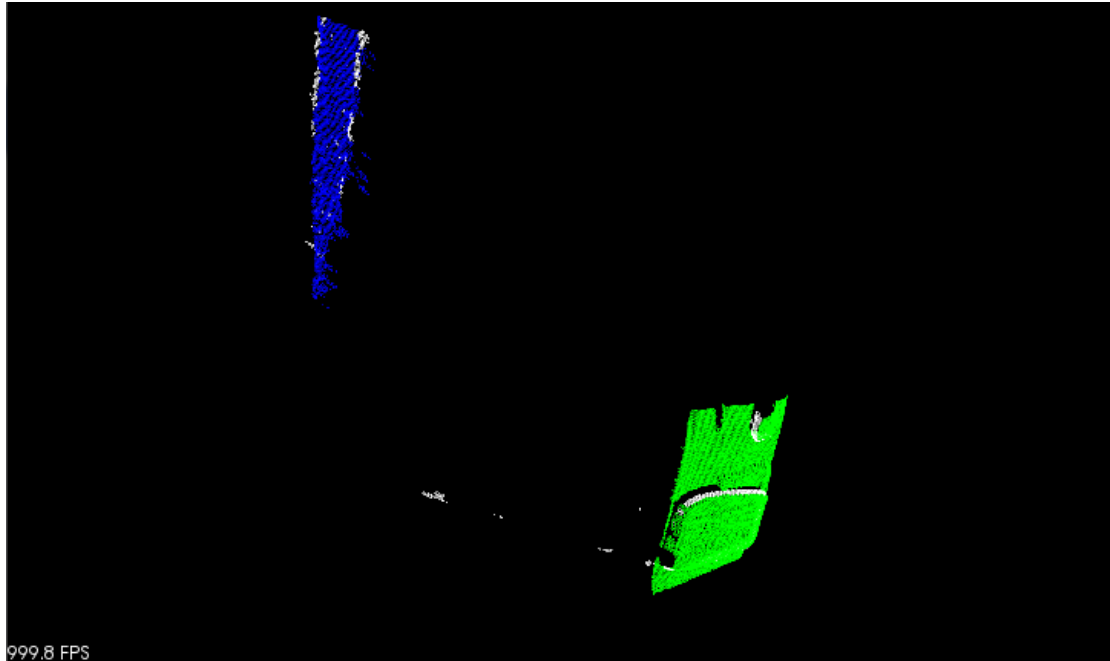
Εικόνα 4.20 Cylinder Segmentation Σκηνή 2

Σε αυτή τη σκηνή έχει τμηματοποιηθεί ως επίπεδο ένα μέρος του γραφείου και ως κυλινδρικά κάποια μέρη του εκτυπωτή και του γραφείου. Παρατηρούμε πως η καρέκλα δεν έχει τμηματοποιηθεί καθόλου από τον αλγόριθμο, επομένως μπορούμε να πούμε πως δεν έχουμε ιδιαίτερα μεγάλη απόδοση σε αυτή τη σκηνή.



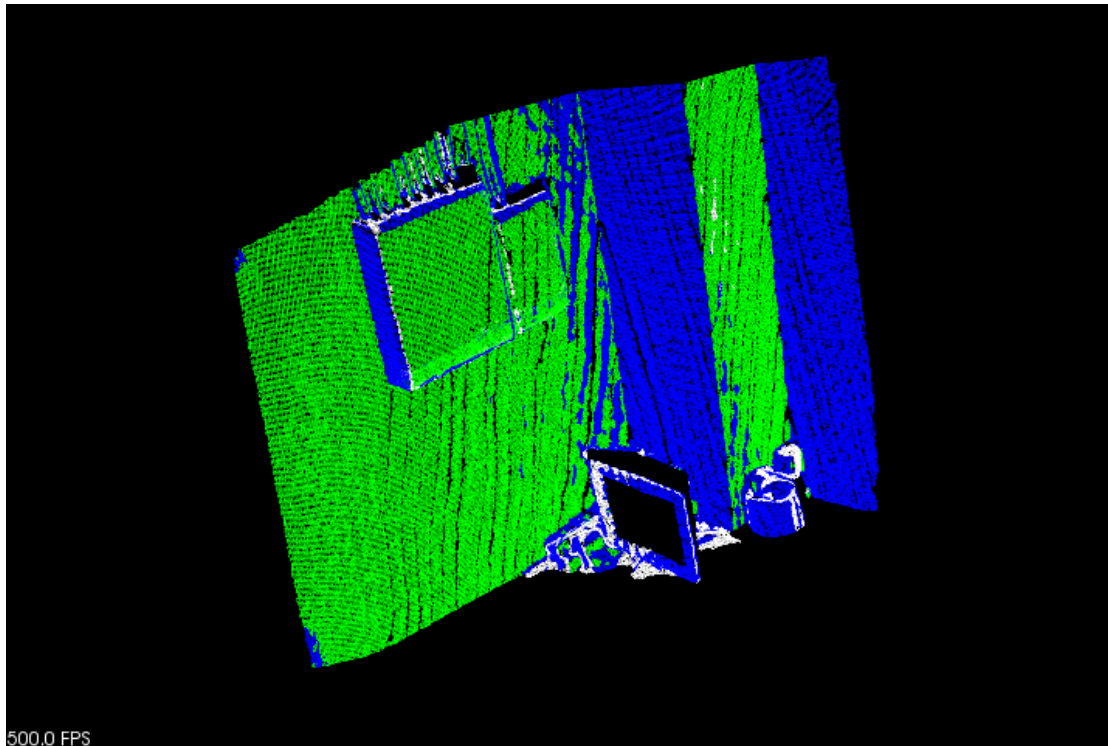
Εικόνα 4.21 Cylinder Segmentation Σκηνή 3

Σε αυτή τη σκηνή έχει τμηματοποιηθεί ως επίπεδο ο τοίχος και ως κυλινδρική επιφάνεια η συρταριέρα. Καθώς αυτή αποτελεί το κύριο αντικείμενο τμηματοποίησης στη σκηνή αυτή, ο αλγόριθμος λειτουργεί με ικανοποιητική απόδοση.



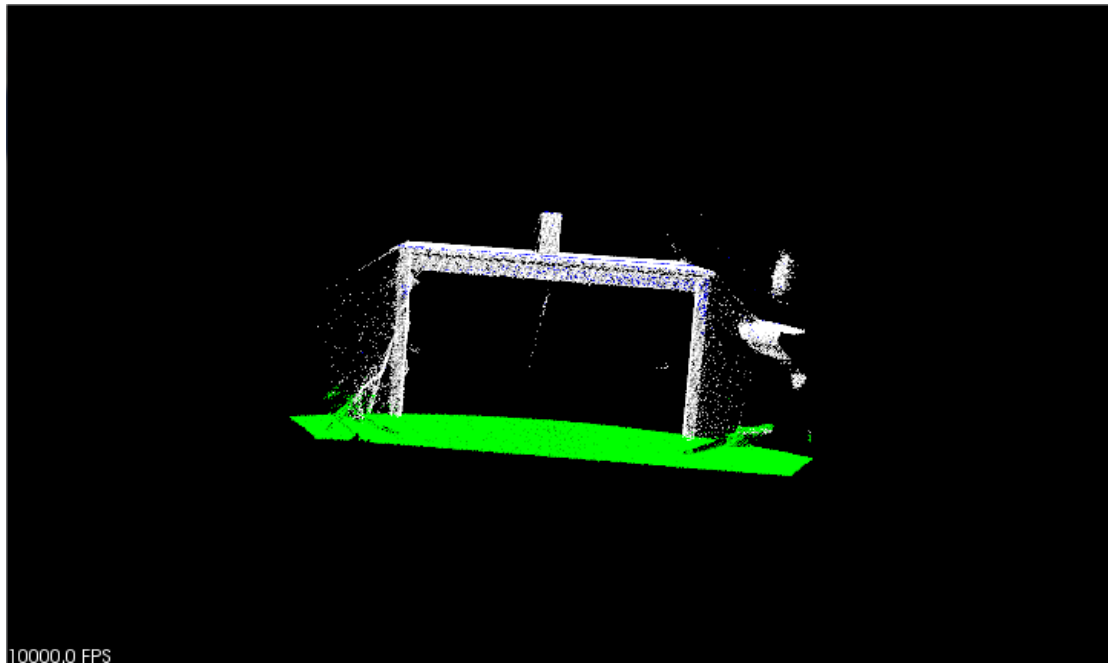
Εικόνα 4.22 Cylinder Segmentation Σκηνή 4

Στη σκηνή αυτή παρατηρούμε τη μέγιστη απόδοση του αλγορίθμου. Όπως βλέπουμε έχει τμηματοποιηθεί εξ ολοκλήρου η επιφάνεια της οθόνης ως επίπεδη και η επιφάνεια του τοίχου ως κυλινδρική.



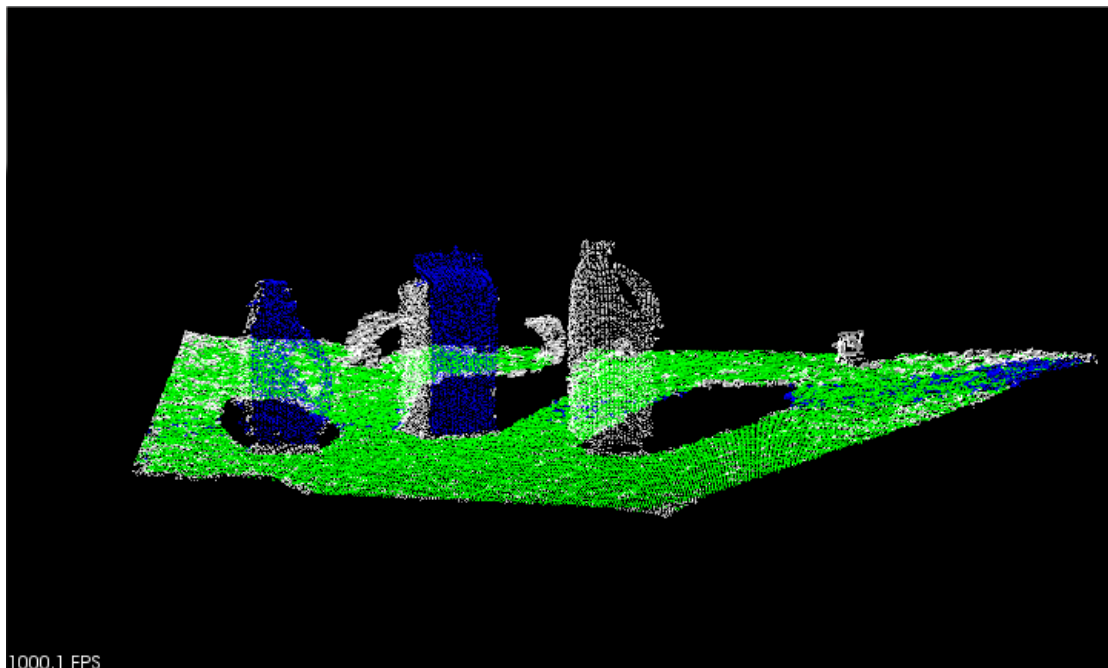
Εικόνα 4.23 Cylinder Segmentation Σκηνή 5

Στη σκηνή αυτή παρατηρούμε ταυτόχρονα αρκετές επιτυχίες αλλά και αστοχίες του αλγορίθμου. Ένα μεγάλο μέρος του τοίχου έχει ανιχνευθεί σωστά ως επίπεδο, αλλά έχουν συμπεριληφθεί οι επιφάνειες των κουτιών των πινάκων. Για τις κυλινδρικές επιφάνειες έχουν ανιχνευθεί σωστά οι καμπύλες επιφάνειες των κουτιών και των αντικειμένων του γραφείου, αλλά έχουν συμπεριληφθεί ως κυλινδρικά κάποια τμήματα του τοίχου.



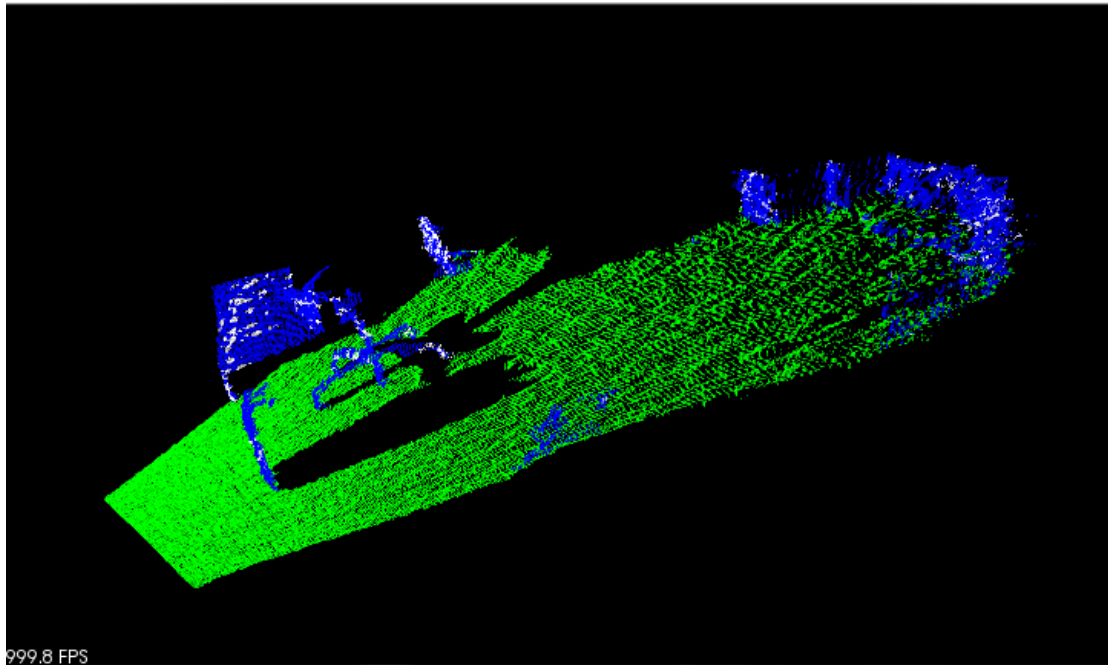
Εικόνα 4.24 Cylinder Segmentation Σκηνή 6

Σε αυτή τη σκηνή παρατηρούμε πως έχει ανιχνευθεί με επιτυχία το πάτωμα του δωματίου αλλά έχουν ανιχνευθεί ως κυλινδρικά κάποια μέρη του τραπέζιού ενώ κυλινδρικά μέρη των αντικειμένων δίπλα στο τραπέζι έχουν αγνοηθεί. Παρατηρούμε λοιπόν χαμηλή απόδοση στη σκηνή αυτή.



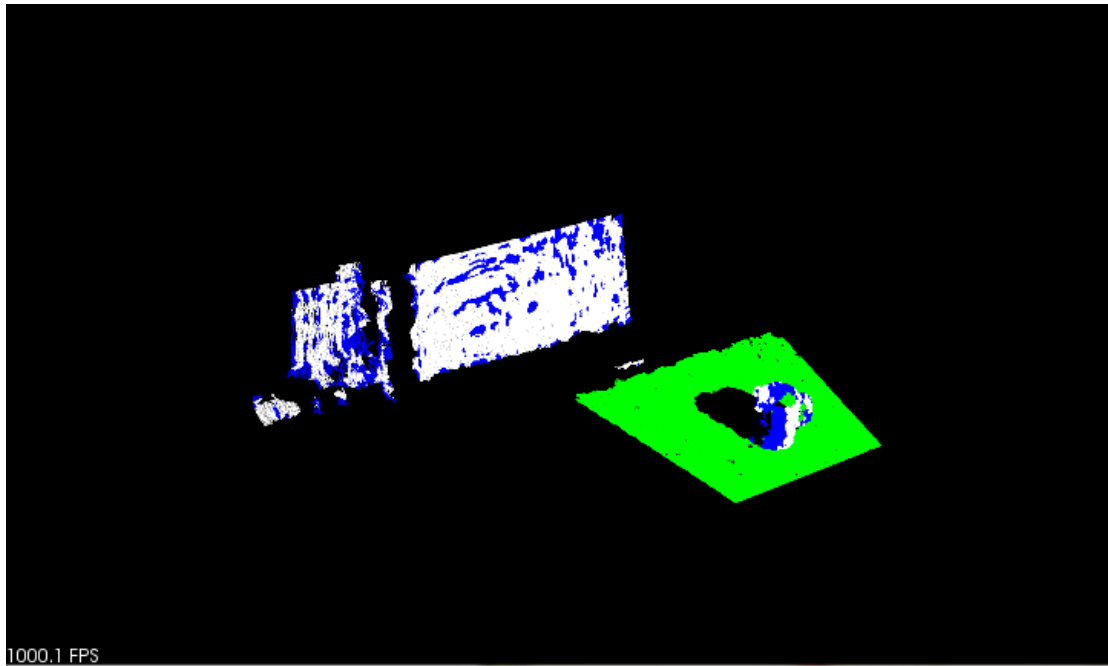
Εικόνα 4.25 Cylinder Segmentation Σκηνή 7

Στη σκηνή αυτή έχει τμηματοποιηθεί ως επίπεδη η επιφάνεια του δαπέδου και ως κυλινδρικές οι επιφάνειες του χαρτονένιου κουτιού και του μπουκαλιού στα αριστερά. Ωστόσο δεν έχει ανιχνευθεί η κυλινδρική επιφάνεια του δεξιού μπουκαλιού, που αποτελεί αστοχία για τον αλγόριθμο.



Εικόνα 4.26 Cylinder Segmentation Σκηνή 8

Σε αυτή τη σκηνή βλέπουμε πως έχει τμηματοποιηθεί ως επίπεδη η επιφάνεια του πατώματος και όλα τα υπόλοιπα αντικείμενα έχουν εν πολλοίς τμηματοποιηθεί ως κυλινδρικά. Επομένως μπορούμε να πούμε πως ο αλγόριθμος έχει πετύχει σε ικανοποιητικό βαθμό το στόχο του.



Εικόνα 4.27 Cylinder Segmentation Σκηνή 9

Σε αυτή τη σκηνή παρατηρούμε την ανίχνευση της επίπεδης επιφάνειας του τραπεζιού και την μερική επιτυχία στην ανίχνευση της κυλινδρικής επιφάνειας της κούπας. Επιπλέον, ο αλγόριθμος έχει εντοπίσει τα σημεία εκείνα των αντικειμένων του υποβάθρου στα οποία παρουσιάζουν καμπυλότητα. Τελικά μπορούμε να πούμε πως η απόδοση του αλγορίθμου στη σκηνή αυτή είναι ικανοποιητική.

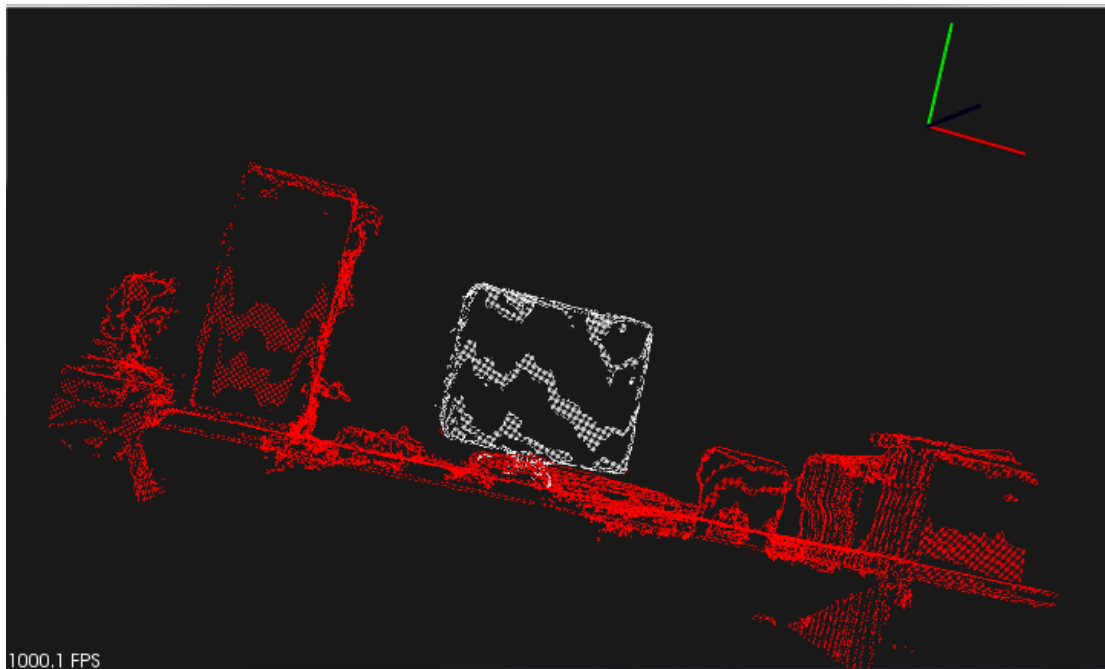
4.2.3 Αποτελέσματα Min-Cut Segmentation

Στις εικόνες βλέπουμε με άσπρο χρώμα το αντικείμενο το οποίο έχει επιλεχθεί να διαχωριστεί από τα υπόλοιπα και με κόκκινο τα εναπομείναντα σημεία του νέφους. Για τις περισσότερες σκηνές έχουμε παραπάνω από ένα αποτελέσματα του αλγορίθμου αναλόγως με το ποιο αντικείμενο θα επιλέξουμε ως κέντρο περιοχής προς διαχωρισμό. Οι τιμές των παραμέτρων του αλγορίθμου είναι:

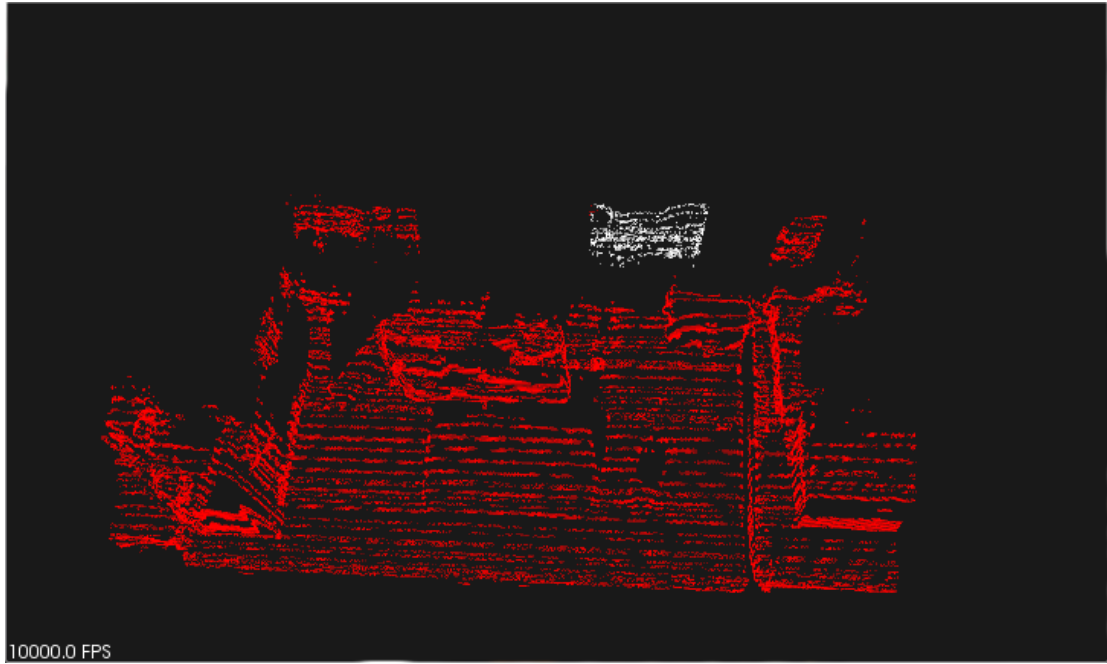
Νέφος εισόδου	Σκηνή 1a	Σκηνή 1b	Σκηνή 2a	Σκηνή 2b	Σκηνή 2c	Σκηνή 3	Σκηνή 4a
Σίγμα	0.5	20	10	20	30	0.5	20
Ακτίνα	0.2	0.2	0.65	0.3	0.5	0.6	0.3
Αριθμός γειτόνων	30	40	7	7	15	15	15
Βάρος source	1.4	1	0.8	0.8	0.7	0.68	1.65

Νέφος εισόδου	Σκηνή 4b	Σκηνή 5	Σκηνή 6a	Σκηνή 6b	Σκηνή 7	Σκηνή 8	Σκηνή 9
Σίγμα	20	0.5	20	20	0.5	10	10
Ακτίνα	0.3	0.575	0.225	0.225	0.15	4	3.5
Αριθμός γειτόνων	15	5	10	10	15	10	10
Βάρος source	1.65	0.6	1	1	1	0.1	0.1

Πίνακας 4.3 Παράμετροι Min-Cut Segmentation

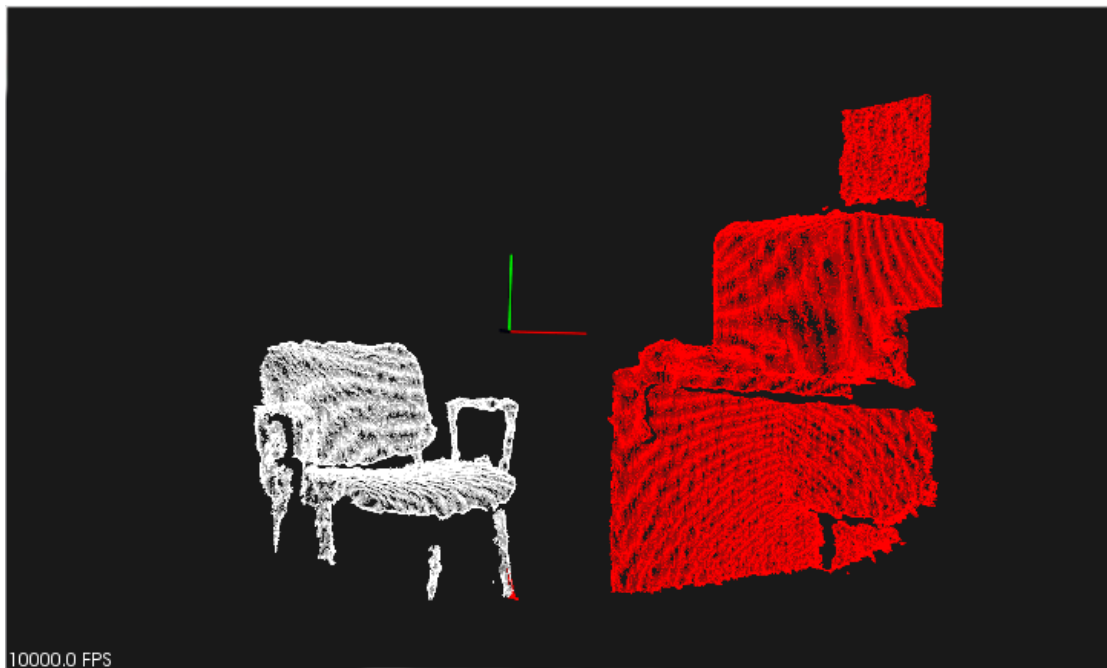


Εικόνα 4.28a Min-Cut Segmentation Σκηνή 1



Εικόνα 4.28b Min-Cut Segmentation Σκηνή 1

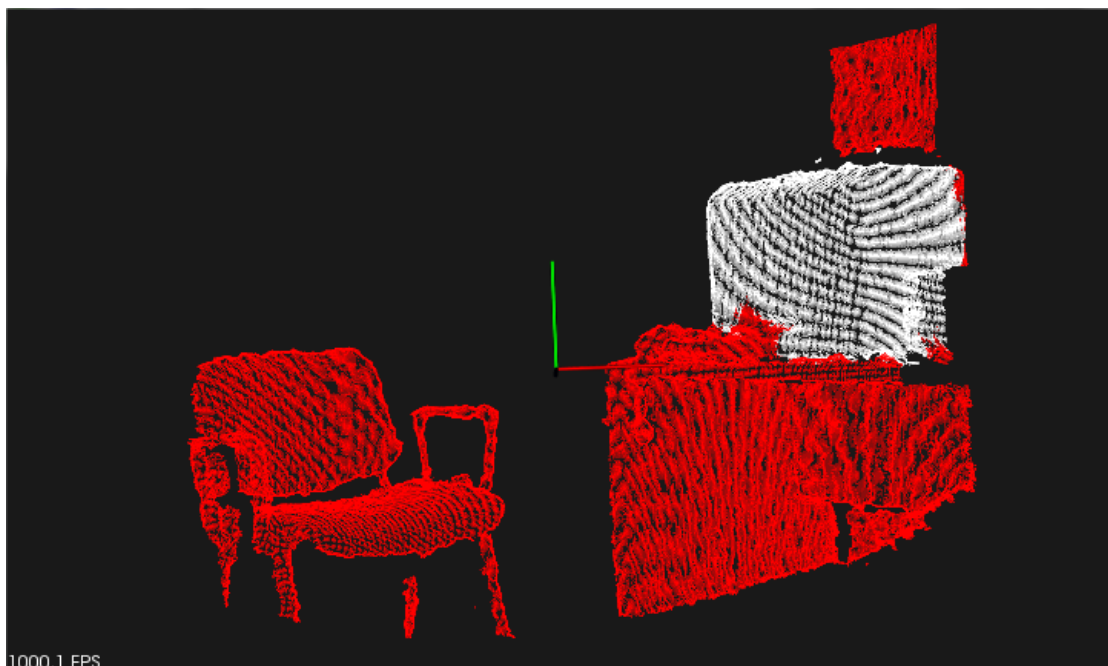
Για τη σκηνή αυτή επιλέξαμε να τμηματοποιήσουμε πρώτα την οθόνη και έπειτα το φάκελο στο πίσω μέρος του γραφείου. Και στις δύο περιπτώσεις ο αλγόριθμος επιτυγχάνει το στόχο του με αρκετά μεγάλη ακρίβεια.



Εικόνα 4.29a Min-Cut Segmentation Σκηνή 2

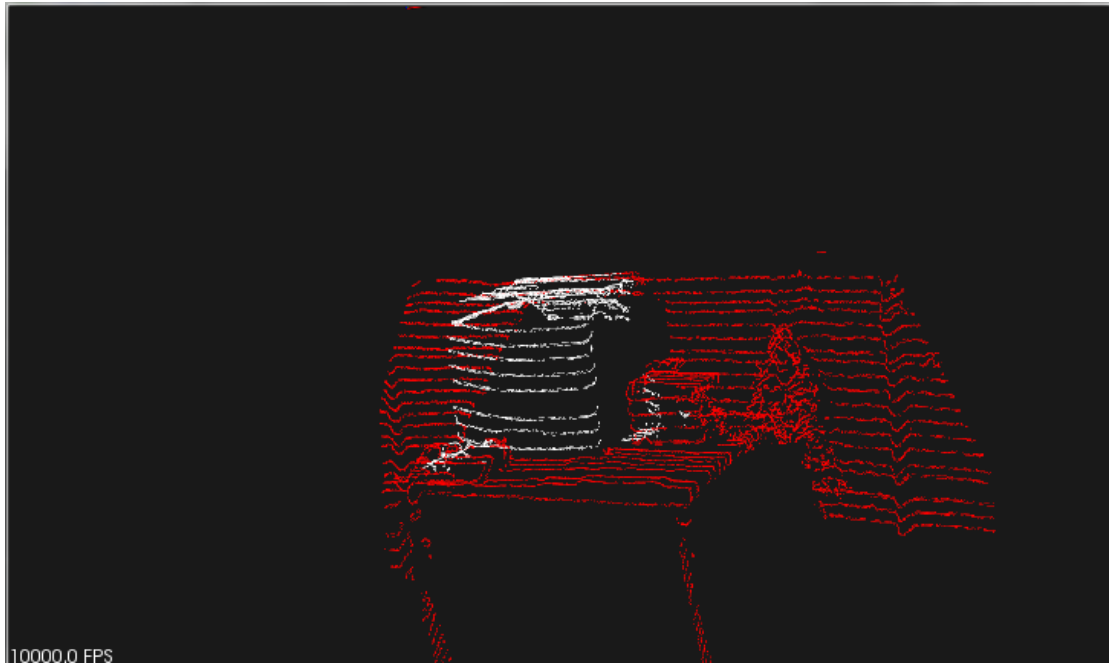


Εικόνα 4.29b Min-Cut Segmentation Σκηνή 2



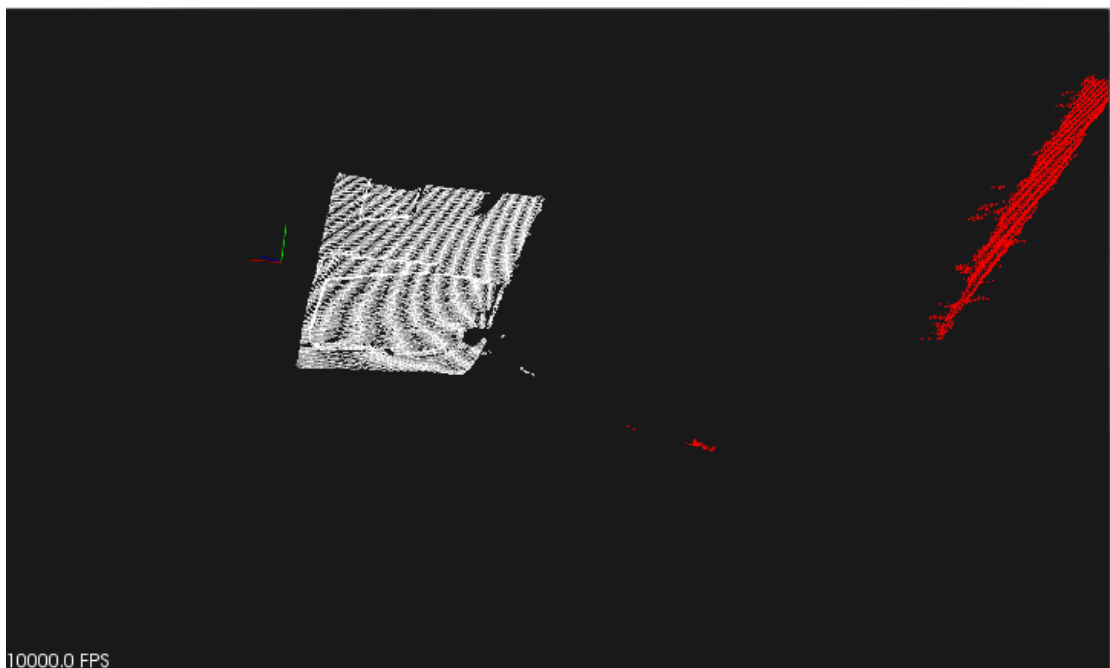
Εικόνα 4.29c Min-Cut Segmentation Σκηνή 2

Για τη σκηνή αυτή επιλέξαμε να τμηματοποιήσουμε την καρέκλα και τα μέρη του εκτυπωτή. Ο αλγόριθμος εντοπίζει με επιτυχία τα επιθυμητά αντικείμενα, με μια μικρή αστοχία στην περίπτωση του κυρίως τμήματος του εκτυπωτή (εικόνα 5.29c).

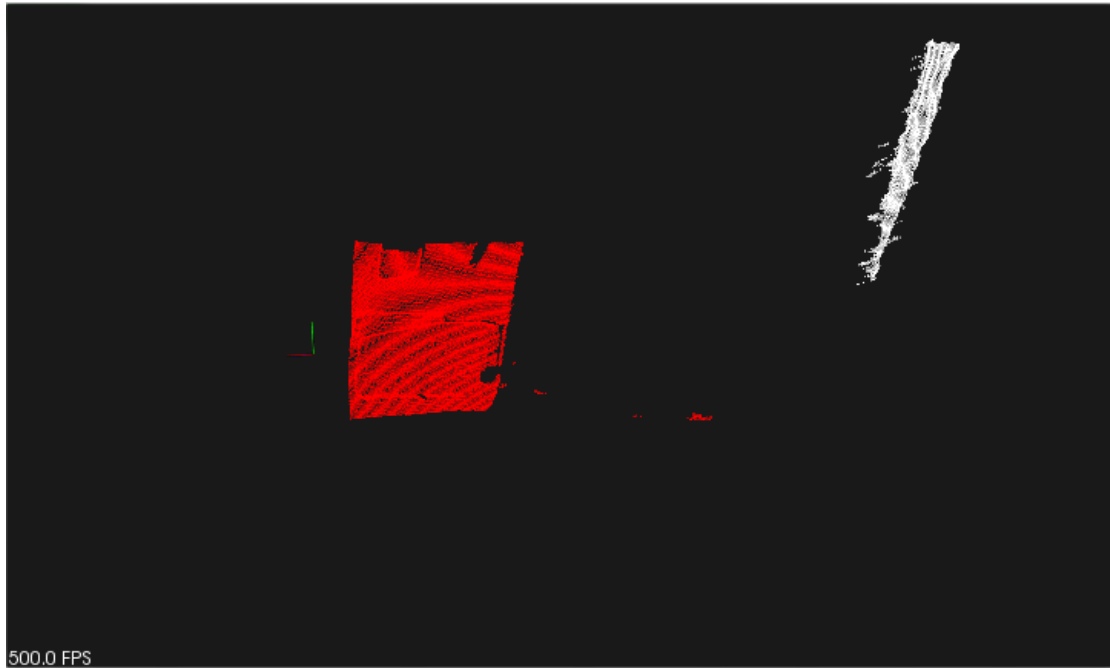


Εικόνα 4.30 Min-Cut Segmentation Σκηνή 3

Στη σκηνή αυτή ο αλγόριθμος εντοπίζει τη συρταριέρα με αρκετά μεγάλη ακρίβεια.

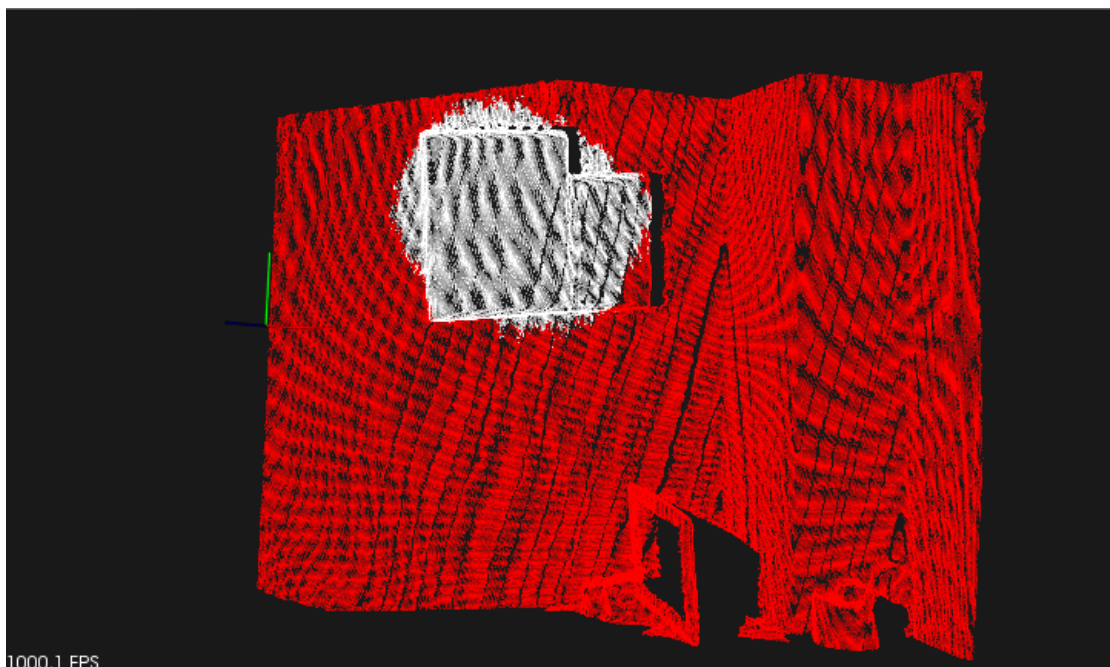


Εικόνα 4.31a Min-Cut Segmentation Σκηνή 4



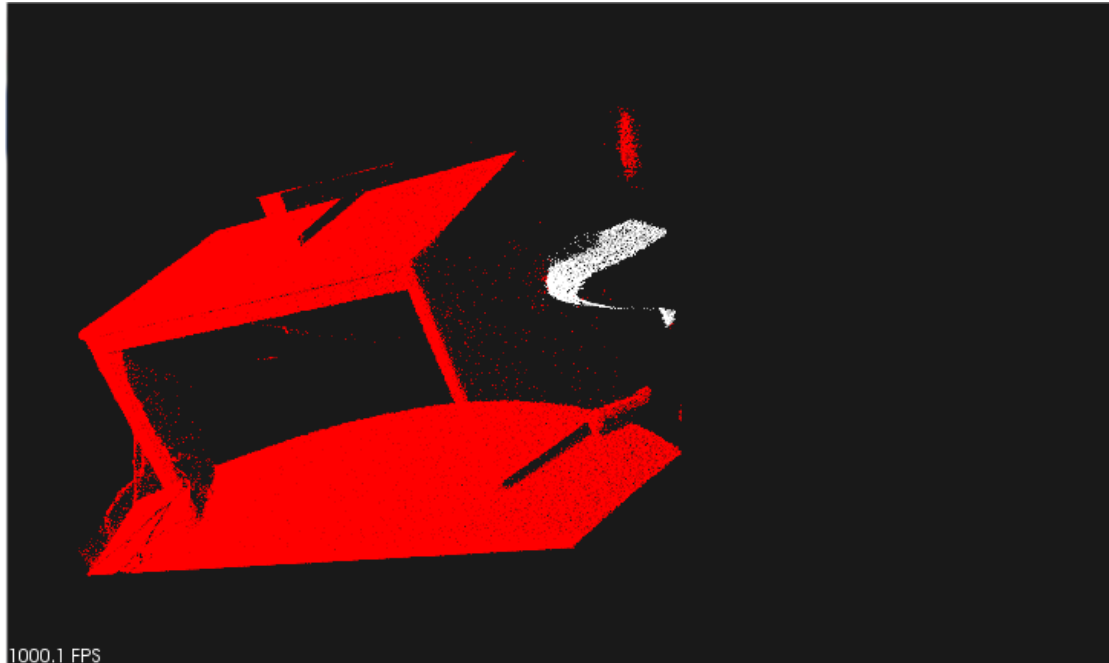
Εικόνα 4.31b Min-Cut Segmentation Σκηνή 4

Στη σκηνή αυτή παρατηρούμε πως ο αλγόριθμος εντοπίζει τα δυο αντικείμενα της σκηνής με μεγάλη ευστοχία και στις δυο περιπτώσεις.

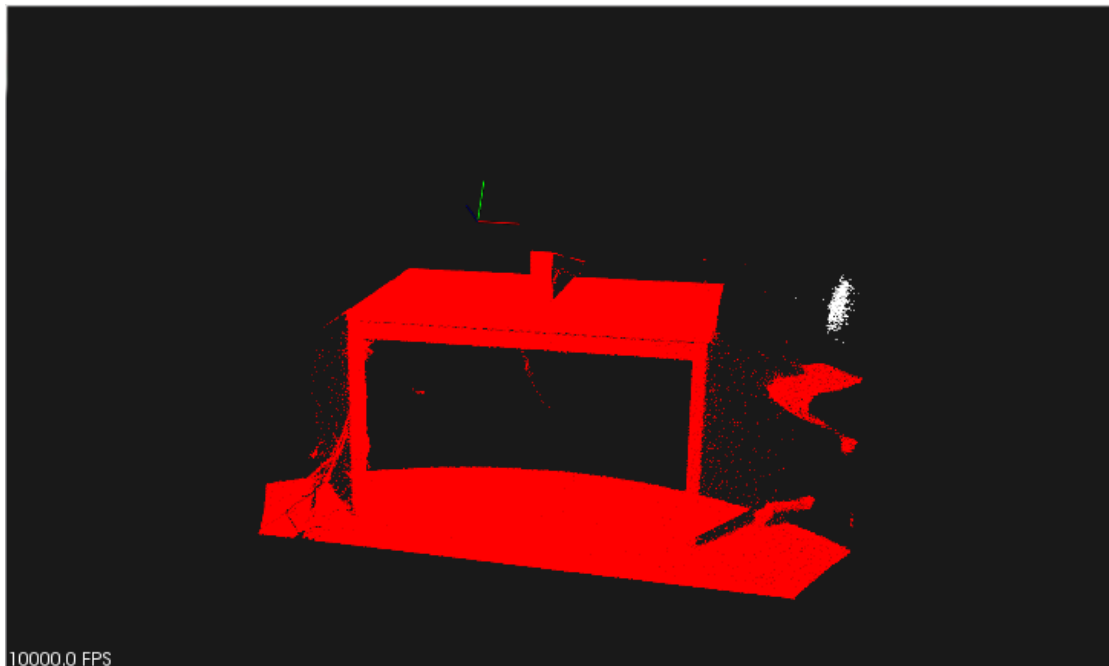


Εικόνα 4.32 Min-Cut Segmentation Σκηνή 5

Στη σκηνή αυτή στόχος της τμηματοποίησης είναι τα κουτιά των πινάκων. Αν και έχουν εν μέρει εντοπισθεί, ένα τμήμα του μικρότερου πίνακα έχει παραληφθεί και μέρη του τοίχου έχουν συμπεριληφθεί στην τμηματοποίηση. Επομένως ο αλγόριθμος έχει σχετικά χαμηλή απόδοση σε αυτή τη σκηνή.

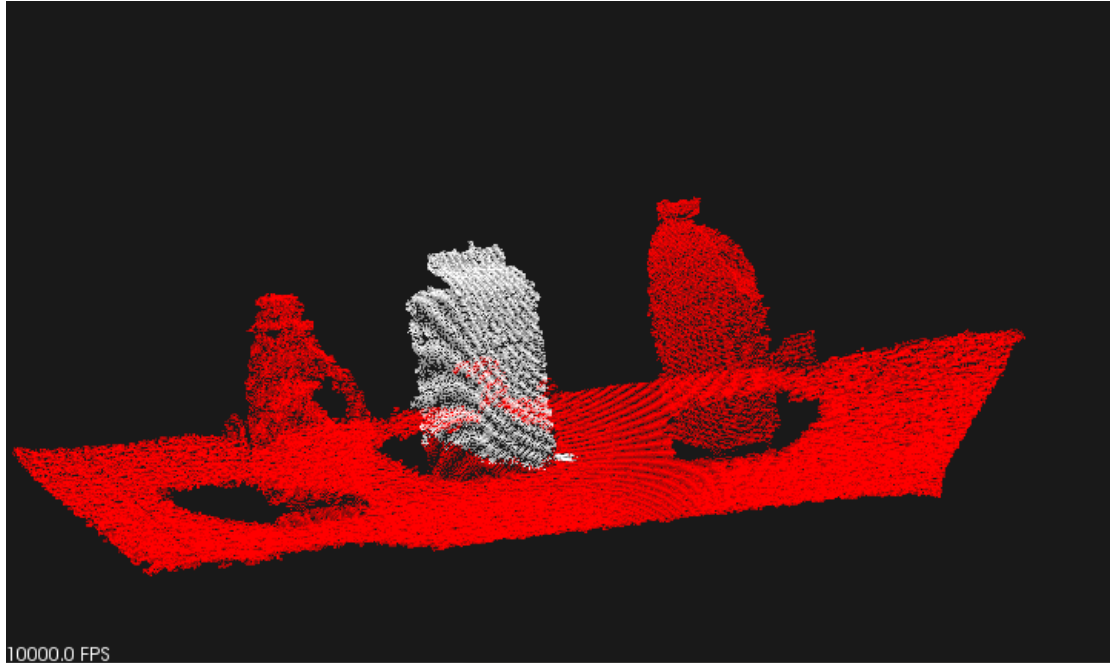


Εικόνα 4.33a Min-Cut Segmentation Σκηνή 6



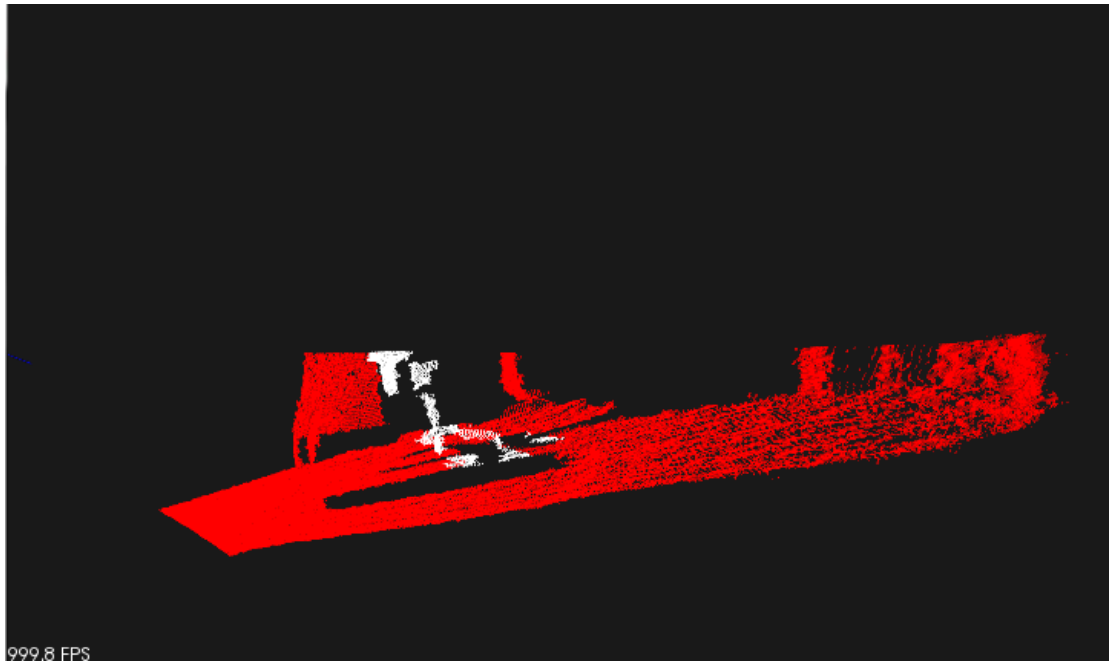
Εικόνα 4.33b Min-Cut Segmentation Σκηνή 6

Σε αυτή τη σκηνή στόχος της τμηματοποίησης είναι τα αντικείμενα δίπλα από το τραπέζι. Όπως παρατηρούμε ο αλγόριθμος τα εντοπίζει επιτυχώς, αφήνοντας εκτός τμηματοποίησης τον θόρυβο της εικόνας.



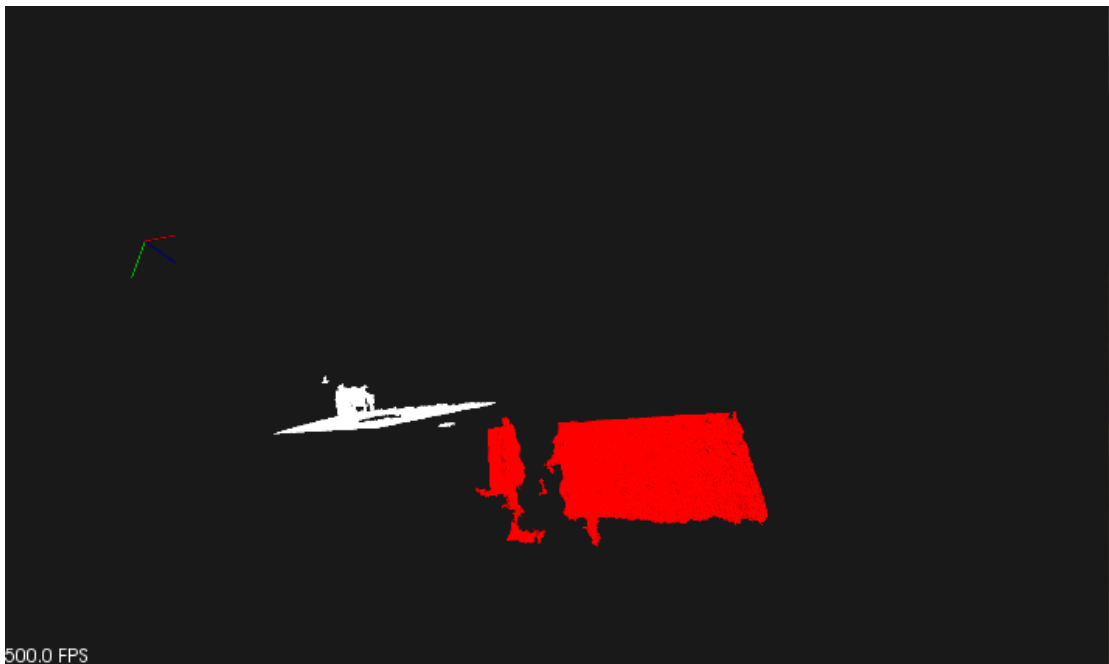
Εικόνα 4.34 Min-Cut Segmentation Σκηνή 7

Στη σκηνή αυτή επιλέχθηκε ως αντικείμενο προς τμηματοποίηση το χαρτονένιο κουτί. Ο αλγόριθμος έχει ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης με μόνο μια μικρή αστοχία στο κάτω μέρος του αντικειμένου, όπου κάποια σημεία του έχουν μείνει εκτός τμηματοποίησης.



Εικόνα 4.35 Min-Cut Segmentation Σκηνή 8

Στη σκηνή αυτή έχει επιλεχθεί ως στόχος της τμηματοποίησης η καρέκλα. Όπως βλέπουμε ο αλγόριθμος την ανιχνεύει με επιτυχία, συμπεριλαμβάνοντας μόνο λίγα σημεία του πατώματος στην τμηματοποίηση.



Εικόνα 4.36 Min-Cut Segmentation Σκηνή 9

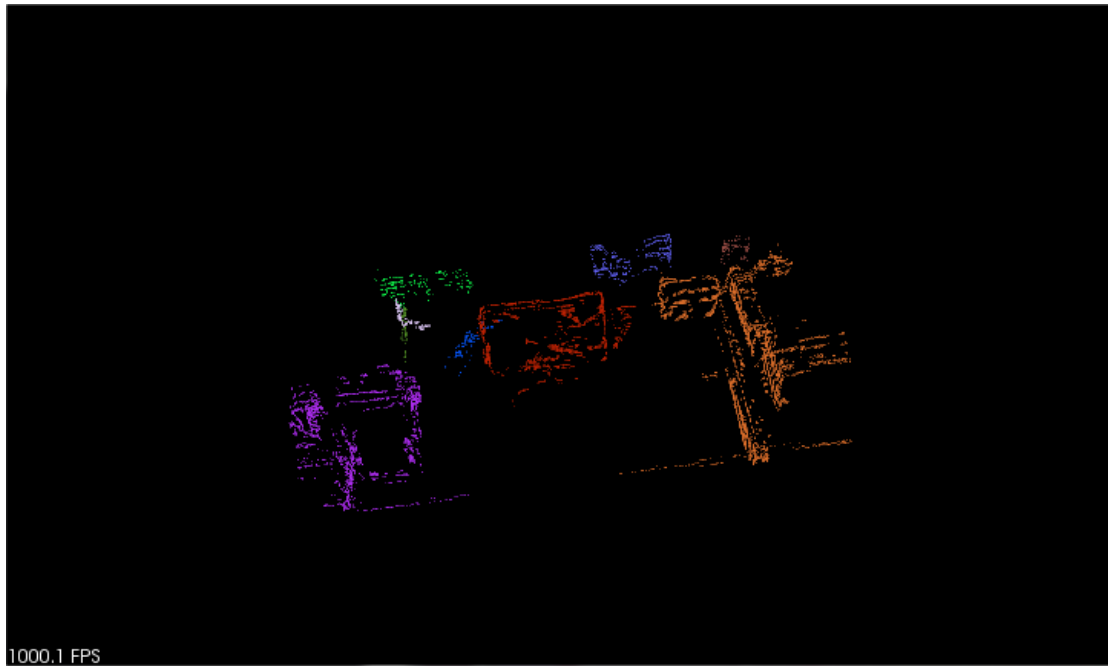
Στη σκηνή αυτή επιλέγουμε την κούπα ως στόχο της τμηματοποίησης. Παρατηρώντας την αδυναμία του αλγορίθμου να ξεχωρίσει την κούπα από το τραπέζι μπορούμε να πούμε πως ο αλγόριθμος έχει χαμηλή απόδοση στη σκηνή αυτή.

4.2.4 Αποτελέσματα Cluster Extraction Segmentation

Κάθε συστάδα σημείων του νέφους απεικονίζεται με διαφορετικό χρώμα στην οθόνη μετά το πέρας του αλγορίθμου. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.4, τα σημεία που ανήκουν σε ένα επίπεδο σύμφωνα με τη μέθοδο RANSAC δε θα απεικονίζονται στο τελικό αποτέλεσμα. Οι τιμές των παραμέτρων είναι οι εξής :

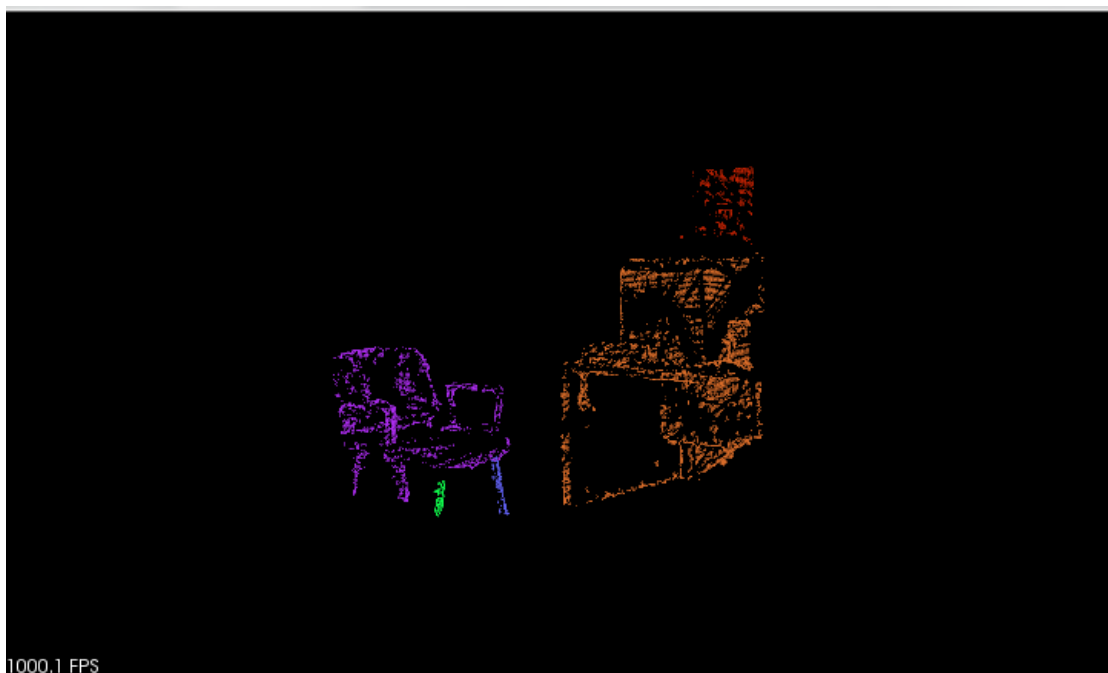
Νέφος εισόδου	Σκηνή 1	Σκηνή 2	Σκηνή 3	Σκηνή 4	Σκηνή 5	Σκηνή 6	Σκηνή 7	Σκηνή 8	Σκηνή 9
Μέγεθος φύλλου	0.005	0.008	0.008	0.002	0.007	0.01	0.003	0.01	0.003
Απόσταση κατωφλίου	0.005	0.1	0.1	0.1	0.001	0.02	1.5	0.01	0.02
Ανοχή συστάδας	0.06	0.08	0.08	0.03	0.025	0.02	0.01	0.05	0.05
Ελάχιστο μέγεθος συστάδας	100	100	100	100	100	100	3000	250	100
Μέγιστο μέγεθος συστάδας	7000	25000	25000	25000	25000	25000	6000	25000	200000

Πίνακας 4.4 Παράμετροι Cluster Extraction



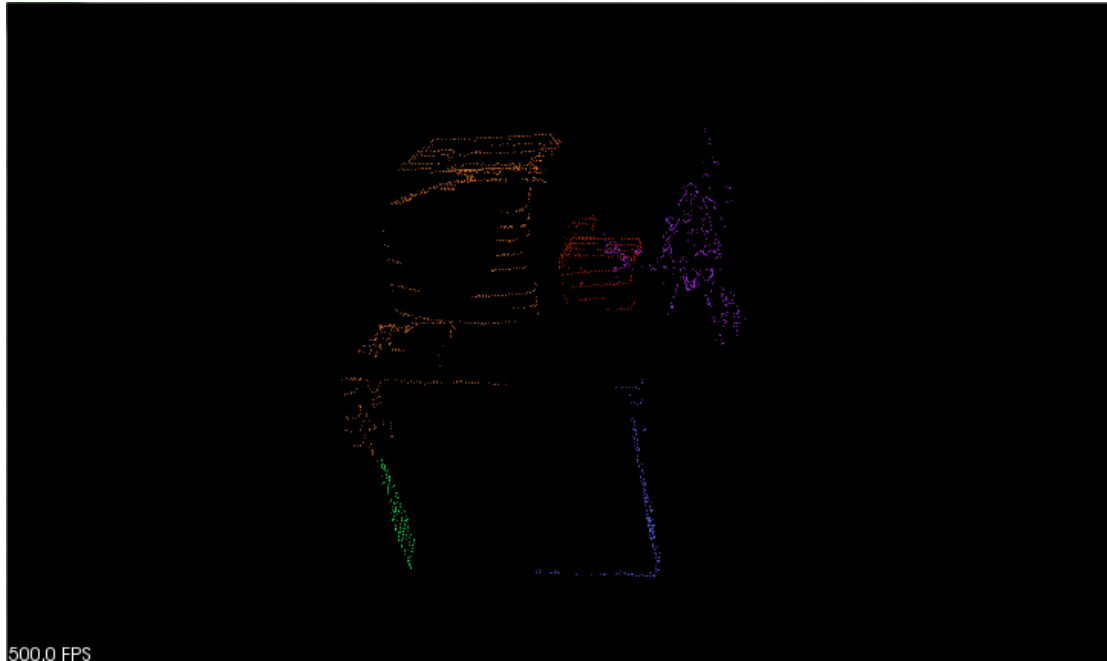
Εικόνα 4.37 Cluster Extraction Σκηνή 1

Στη σκηνή αυτή παρατηρούμε πως έχουν συσταδοποιηθεί σωστά η οθόνη και οι φάκελοι στο πίσω μέρος του γραφείου. Ωστόσο στην πορτοκαλί και μωβ συστάδα βλέπουμε πως περιλαμβάνονται περισσότερα από ένα αντικείμενα, γεγονός που μειώνει την απόδοση του αλγορίθμου.



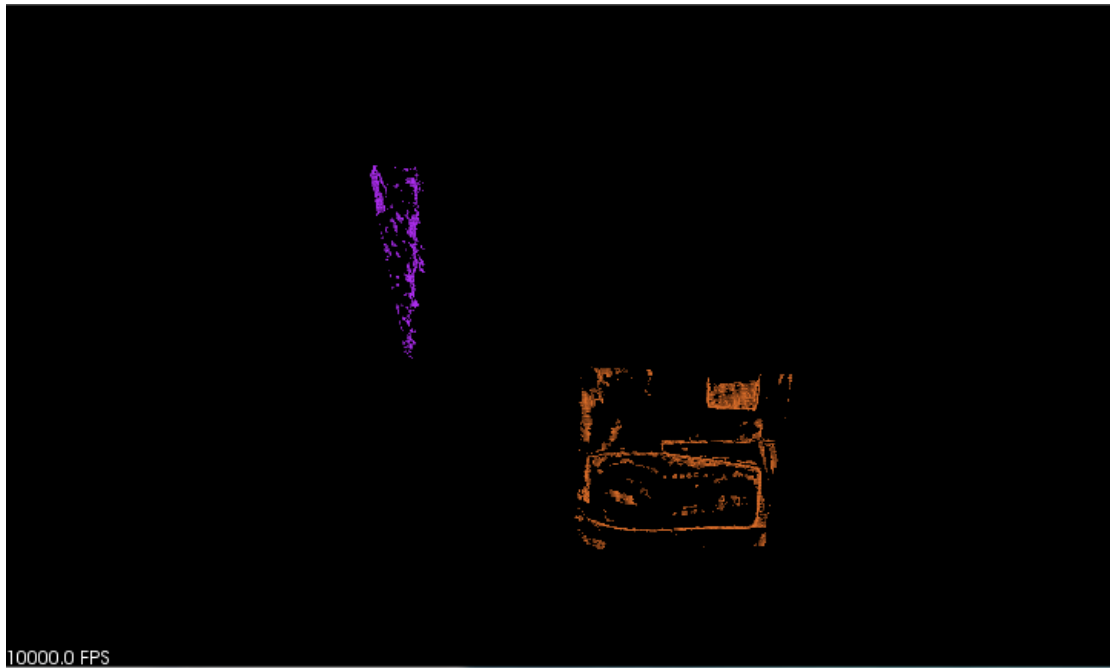
Εικόνα 4.38 Cluster Extraction Σκηνή 2

Στη σκηνή αυτή ο αλγόριθμος έχει συσταδοποιήσει την καρέκλα εξαιρώντας τα μπροστινά πόδια. Επίσης έχει ενοποιήσει τον εκτυπωτή με το γραφείο, τοποθετώντας το πάνω μέρος του εκτυπωτή σε άλλη συστάδα. Επομένως μπορούμε να πούμε πως ο αλγόριθμος έχει χαμηλή απόδοση στη σκηνή αυτή.



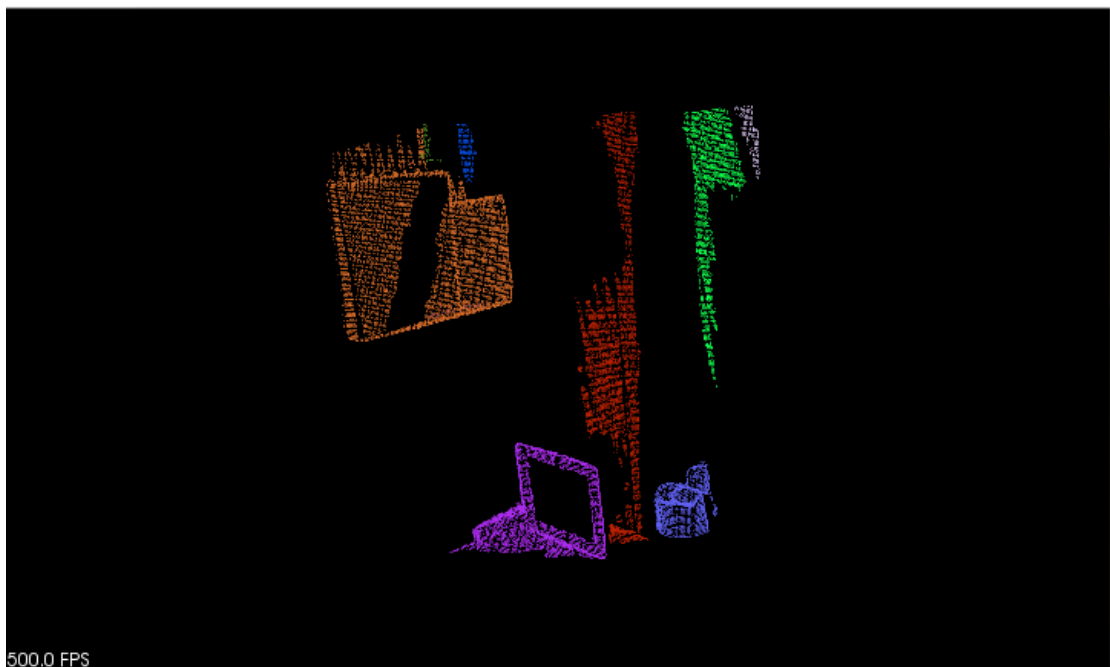
Εικόνα 4.39 Cluster Extraction Σκηνή 3

Στη σκηνή αυτή ο αλγόριθμος έχει τοποθετήσει τα πόδια του γραφείου σε διαφορετικές συστάδες όπως και τα αντικείμενα πάνω στο γραφείο. Υπάρχει ωστόσο μια αστοχία καθώς σημεία του γραφείου έχουν συμπεριληφθεί στη συστάδα της συρταριέρας.



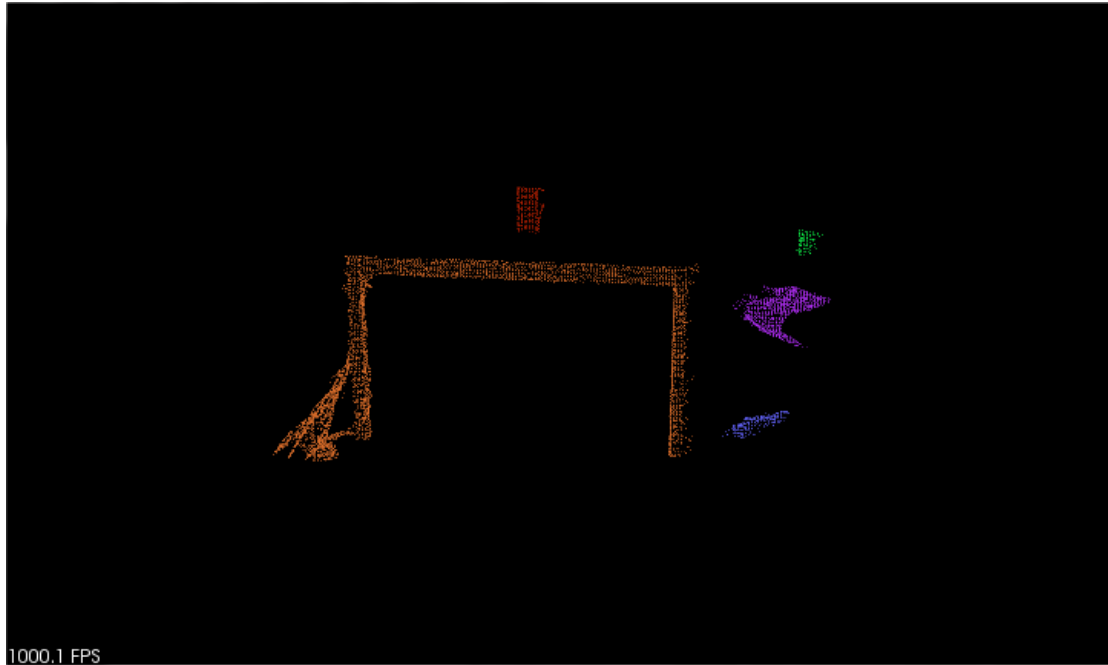
Εικόνα 4.40 Cluster Extraction Σκηνή 4

Στη σκηνή αυτή έχουν τμηματοποιηθεί επιτυχώς σε δύο διαφορετικές συστάδες τα δύο αντικείμενα της σκηνής, το τμήμα του τοίχου και η οθόνη.



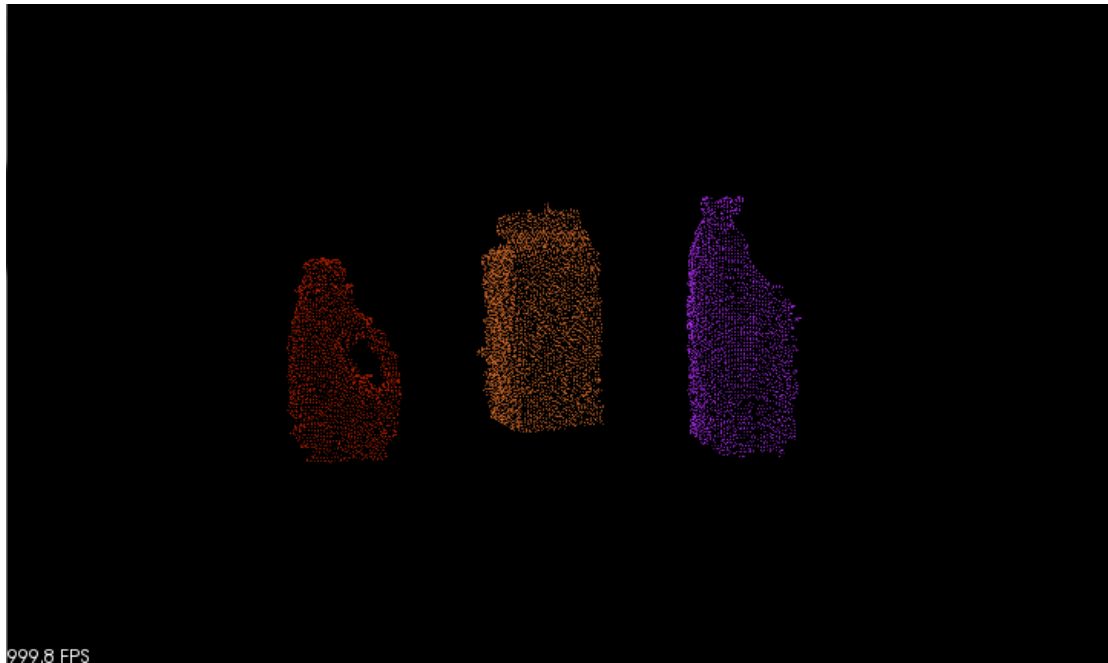
Εικόνα 4.41 Cluster Extraction Σκηνή 5

Σε αυτή τη σκηνή ο αλγόριθμος έχει τμηματοποιήσει με πολύ μεγάλη επιτυχία τα κουτιά των πινάκων (πορτοκαλί), την οθόνη (μωβ) και το δοχείο πάνω στο γραφείο (μπλε). Οι συστάδες με κόκκινο και πράσινο χρώμα είναι τα κομμάτια του τοίχου που δεν αποκόπηκαν από τη RANSAC.



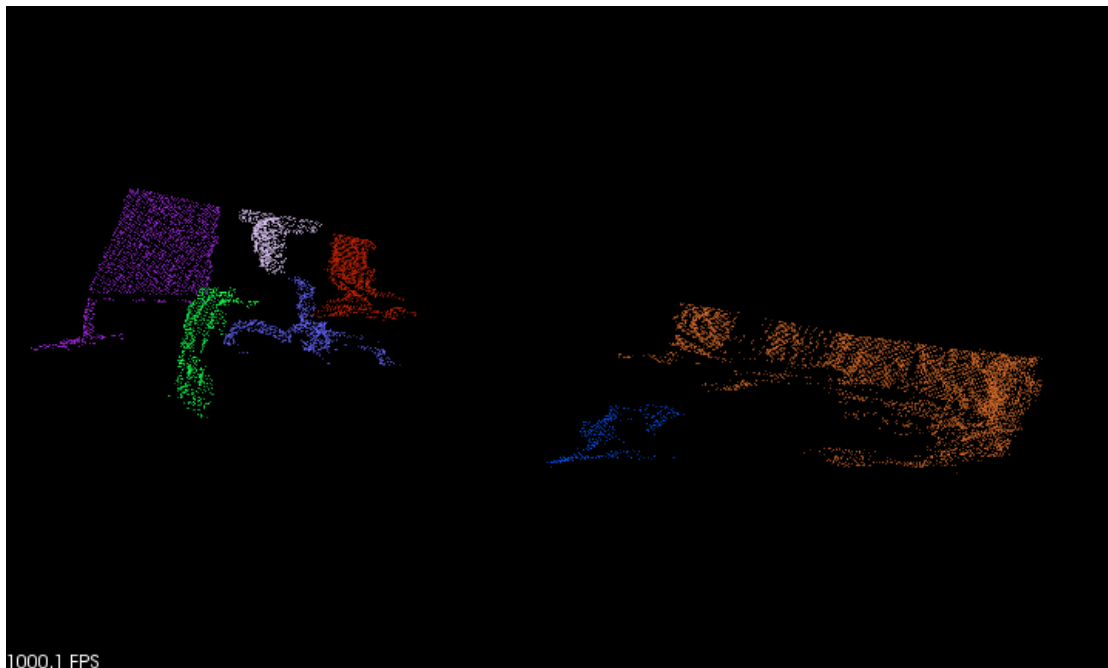
Εικόνα 4.42 Cluster Extraction Σκηνή 6

Σε αυτή τη σκηνή παρατηρούμε πως ο αλγόριθμος τμηματοποιεί επιτυχώς το κάθε αντικείμενο της σκηνής σε διαφορετική συστάδα, αγνοώντας το θόρυβο. Όπως αναμέναμε, το δάπεδο και η επιφάνεια του τραπεζιού έχουν αποκοπεί από το τελικό αποτέλεσμα.



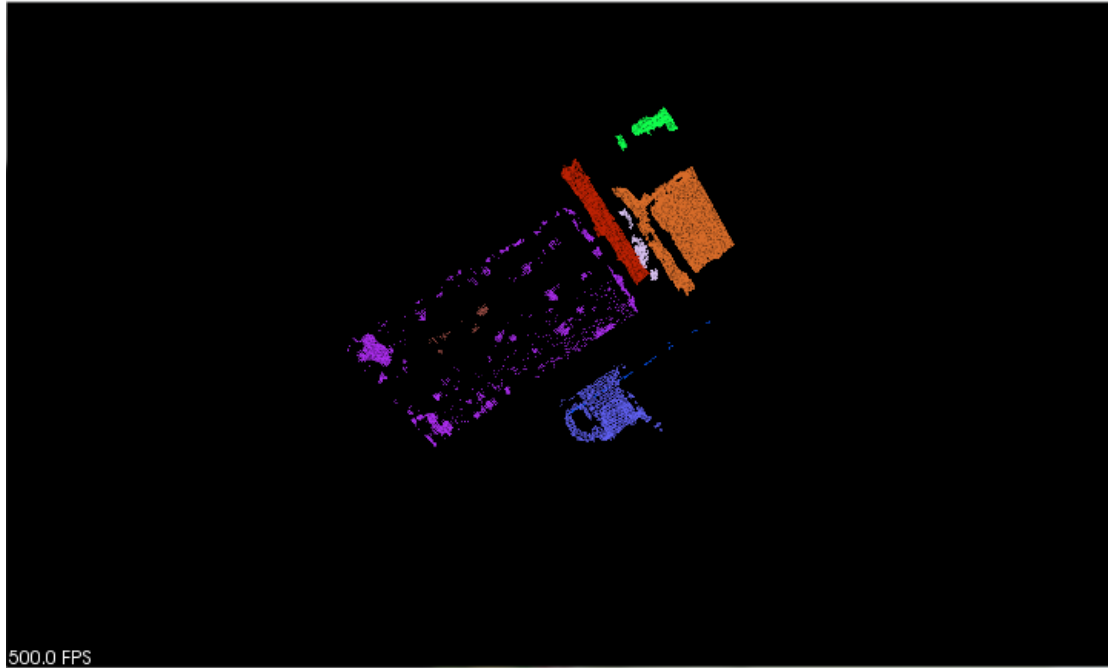
Εικόνα 4.43 Cluster Extraction Σκηνή 7

Στη σκηνή αυτή ο αλγόριθμος επιτυγχάνει σχεδόν απόλυτα το στόχο, δηλαδή χωρίζει τα τρία αντικείμενα της σκηνής σε τρεις διαφορετικές συστάδες με πολύ μικρή απώλεια σημείων (η λαβή του μπουκαλιού μωβ χρώματος έχει μείνει εκτός τμηματοποίησης).



Εικόνα 4.44 Cluster Extraction Σκηνή 8

Στη σκηνή αυτή ο αλγόριθμος έχει τμηματοποιήσει σε διαφορετικές συστάδες τα αντικείμενα της σκηνής καθώς και το τμήμα του τοίχου (πορτοκαλί συστάδα). Η καρέκλα της σκηνής έχει χωριστεί σε δύο συστάδες γεγονός που δικαιολογείται από έλλειψη απεικόνισης των σημείων που συνδέουν τα δύο μέρη της. Εν τέλει, ο αλγόριθμος έχει αρκετά ικανοποιητική απόδοση.



Εικόνα 4.45 Cluster Extraction Σκηνή 9

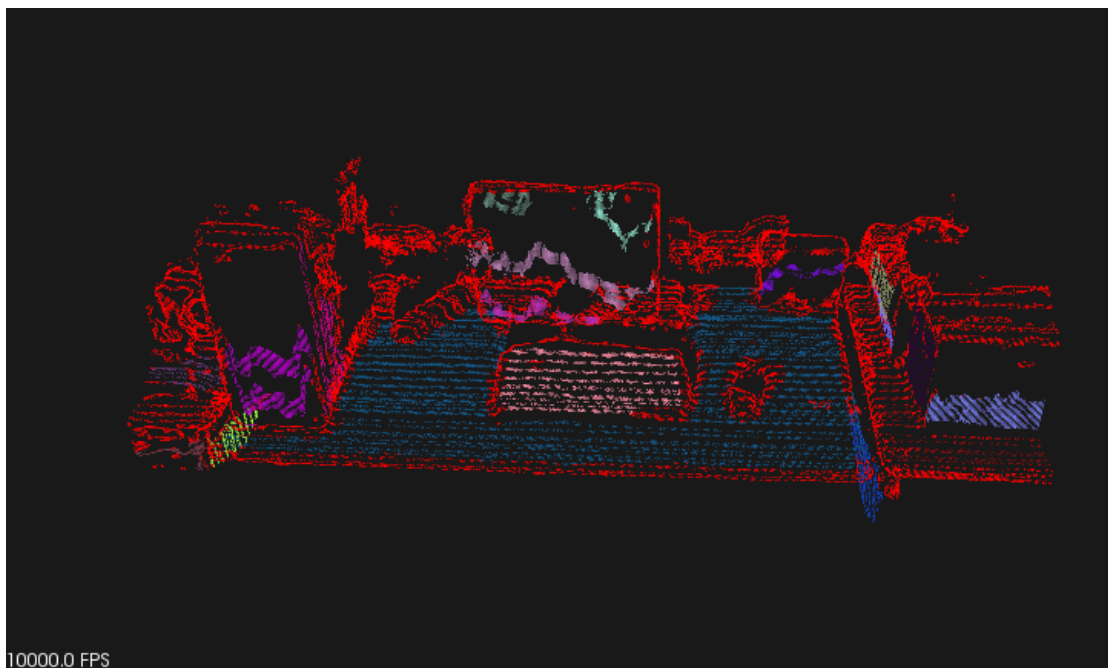
Σε αυτή τη σκηνή ο αλγόριθμος έχει τμηματοποιήσει σε διαφορετικές συστάδες το κάθε αντικείμενο του υποβάθρου. Το πιο σημαντικό όμως είναι πως είναι ο μόνος αλγόριθμος που καταφέρνει να τμηματοποιήσει αποτελεσματικά την κούπα της σκηνής.

4.2.5 Αποτελέσματα Region Growing Segmentation

Κάθε συστάδα σημείων με διαφορετικό χρώμα στην οθόνη. Τα σημεία που έχουν χρωματιστεί με κόκκινο χρώμα δεν ανήκουν σε κάποια συστάδα και κατ' επέκταση δεν ανήκουν σε κάποιο αντικείμενο. Οι τιμές των παραμέτρων του αλγορίθμου είναι :

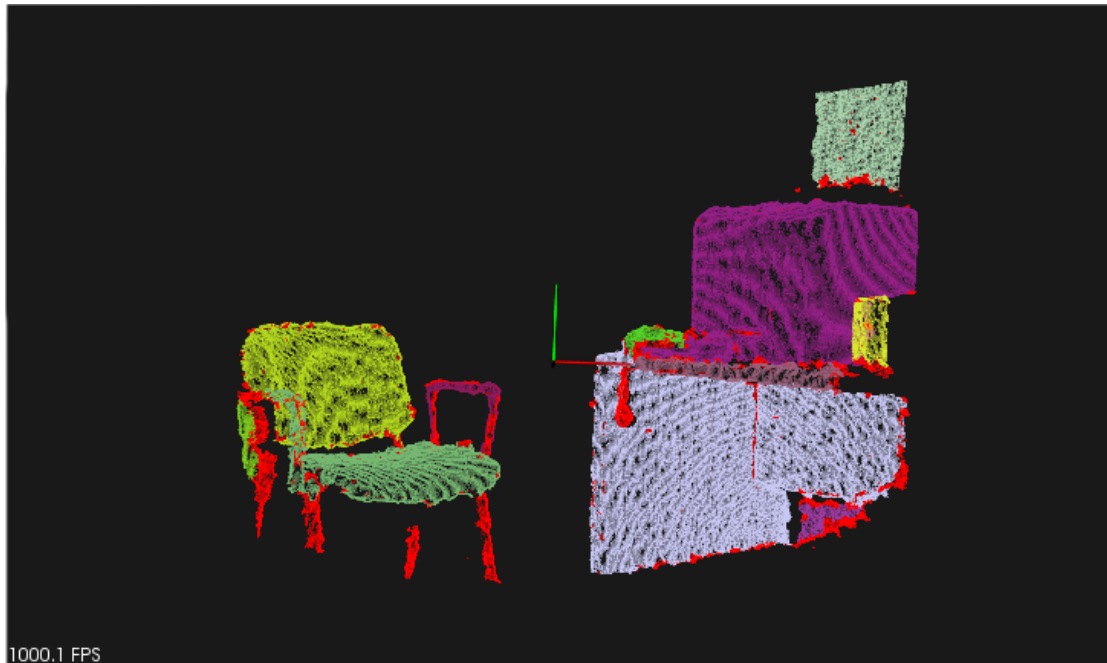
Νέφος εισόδου	Σκηνή 1	Σκηνή 2	Σκηνή 3	Σκηνή 4	Σκηνή 5	Σκηνή 6	Σκηνή 7	Σκηνή 8	Σκηνή 9
Κ γείτονες(νόρμα)	45	70	150	50	70	2	50	10	10
Ελάχιστο μέγεθος συστάδας	250	1000	100	100	250	200	500	250	20
Μέγιστο μέγεθος συστάδας	25000	400000	10000	25000	25000	45000	100000	10000	10000
Αριθμός γειτόνων	45	15	100	30	10	6	50	9	15
Ομαλότητα κατωφλίου	3.5	8	8.5	2	3.5	3	6	1	1.5
Κυρτότητα κατωφλίου	2.5	12	1.5	0.9	6	3	4	1	1.5

Πίνακας 4.5 Παράμετροι Region Growing



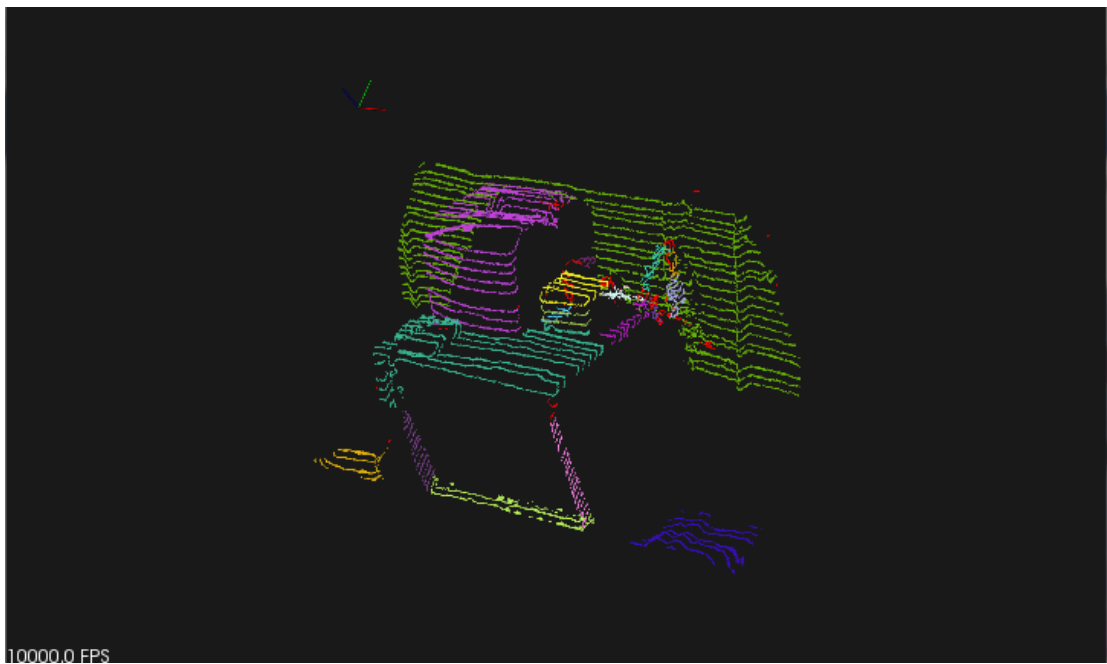
Εικόνα 4.46 Region Growing Σκηνή 1

Σε αυτή τη σκηνή βλέπουμε πως ο αλγόριθμος δεν έχει εντοπίσει με επιτυχία τα αντικείμενα της σκηνής όπως οι προηγούμενοι. Ωστόσο παρατηρούμε πως είναι ο μόνος αλγόριθμος που έχει καταφέρει να εντοπίσει το πληκτρολόγιο που υπάρχει στη σκηνή.



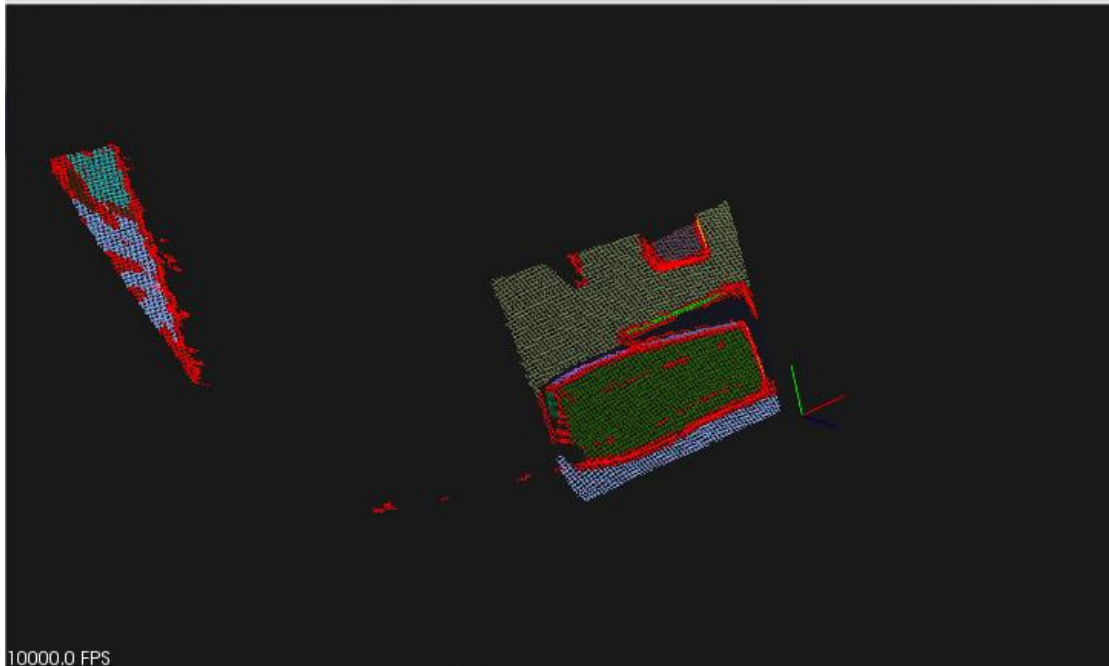
Εικόνα 4.47 Region Growing Σκηνή 2

Στη σκηνή αυτή βλέπουμε πως η καρέκλα έχει χωριστεί σε 2 συστάδες, μια για την πλάτη και μια για το κάθισμα, ενώ τα υπόλοιπα μέρη της καρέκλα έχουν μείνει εκτός τμηματοποίησης. Ο εκτυπωτής έχει τμηματοποιηθεί σε 2 συστάδες και το γραφείο έχει συμπεριληφθεί εξ ολοκλήρου σε μια. Συνολικά η απόδοση του αλγορίθμου στη σκηνή αυτή είναι αρκετά υψηλή.



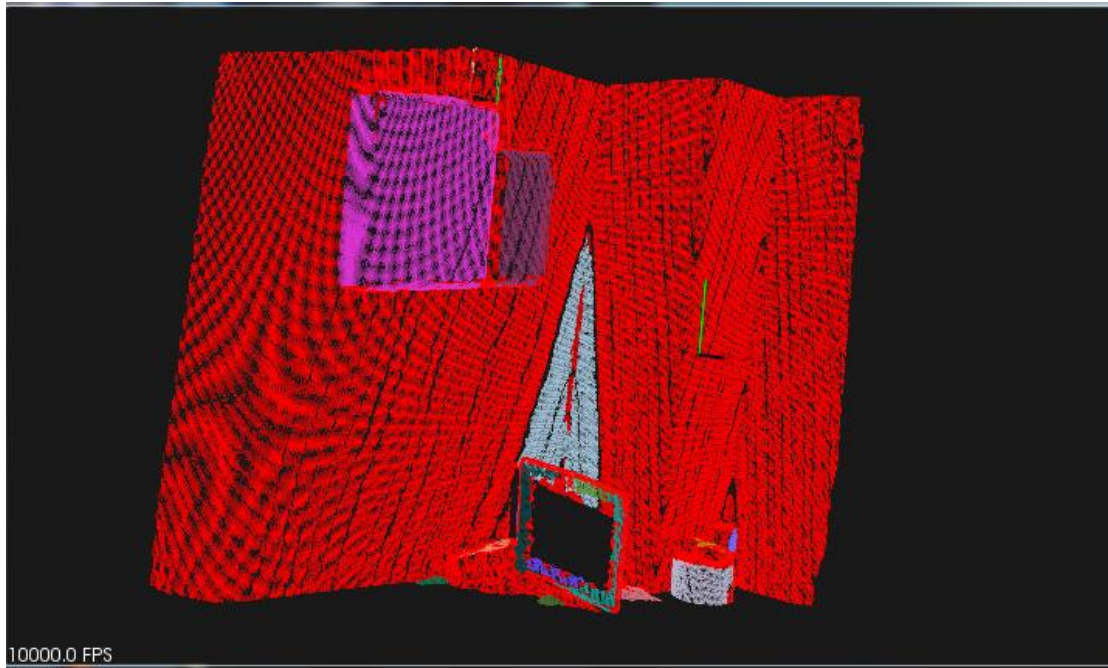
Εικόνα 4.48 Region Growing Σκηνή 3

Σε αυτή τη σκηνή βλέπουμε πως ο αλγόριθμος έχει αρκετά καλή απόδοση καθώς έχει τμηματοποιήσει τη συρταριέρα, το γραφείο, τα πόδια του γραφείου και το τμήμα του τοίχου σε διαφορετικές συστάδες..



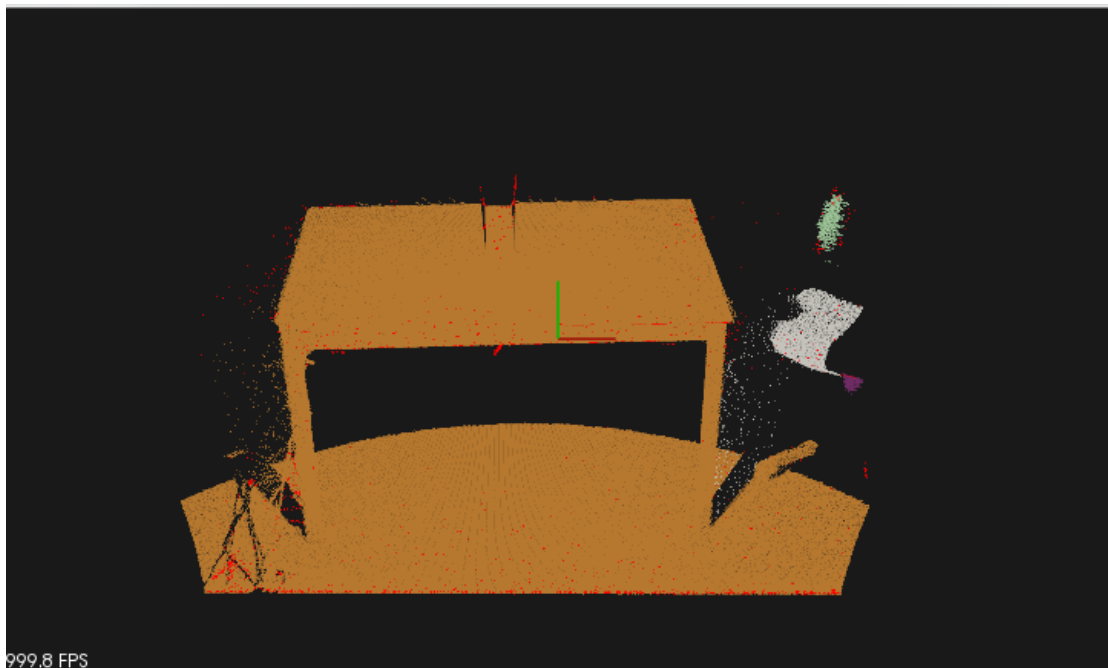
Εικόνα 4.49 Region Growing Σκηνή 4

Σε αυτή τη σκηνή ο αλγόριθμος έχει τμηματοποιήσει σε διαφορετική συστάδα το κάθε τμήμα της οθόνης, ενώ έχουν μείνει εκτός συστάδων τα σύνορα της κάθε περιοχής(κόκκινο χρώμα). Όσον αφορά το τμήμα του τοίχου που φαίνεται στη σκηνή ο αλγόριθμος έχει αστοχία, καθώς αυτό έχει τμηματοποιηθεί σε περισσότερες από μια συστάδες.



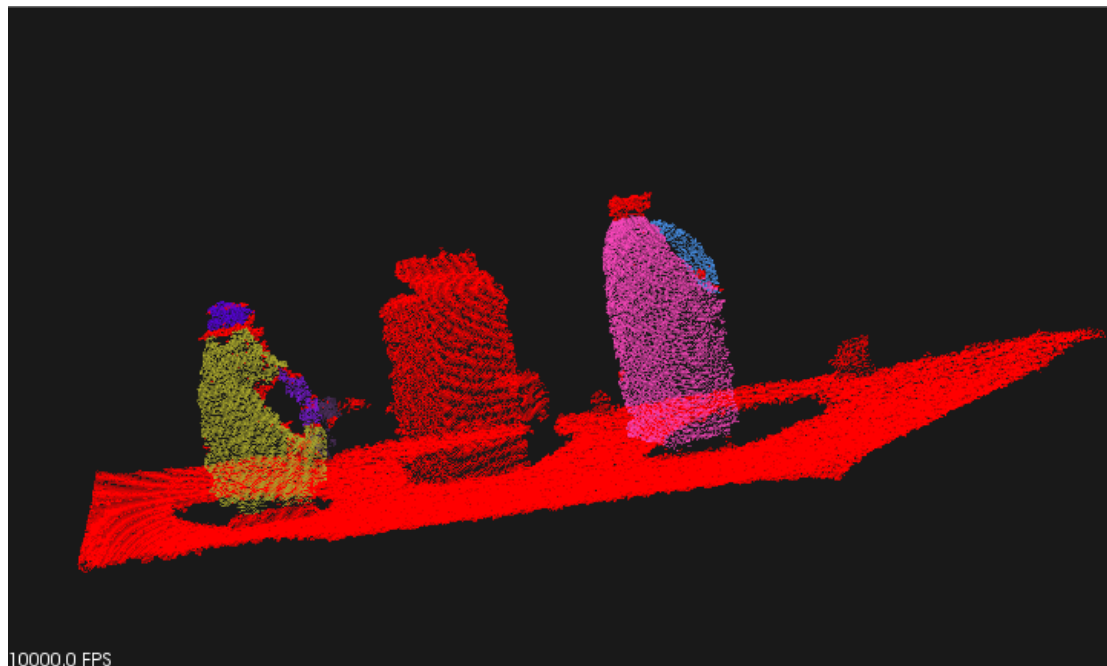
Εικόνα 4.50 Region Growing Σκηνή 5

Στη σκηνή αυτή ο αλγόριθμος έχει τμηματοποιήσει με μεγάλη ακρίβεια τον κάθε πίνακα σε μια συστάδα τον καθένα και έχει αφήσει τον τοίχο εκτός συστάδας. Ωστόσο, ένα τμήμα του τοίχου (τρίγωνο γκρι χρώματος) έχει εντοπισθεί ως αντικείμενο και η οθόνη έχει κατακερματιστεί σε πολλές συστάδες. Επομένως έχουμε μικτά αποτελέσματα για τη σκηνή αυτή.



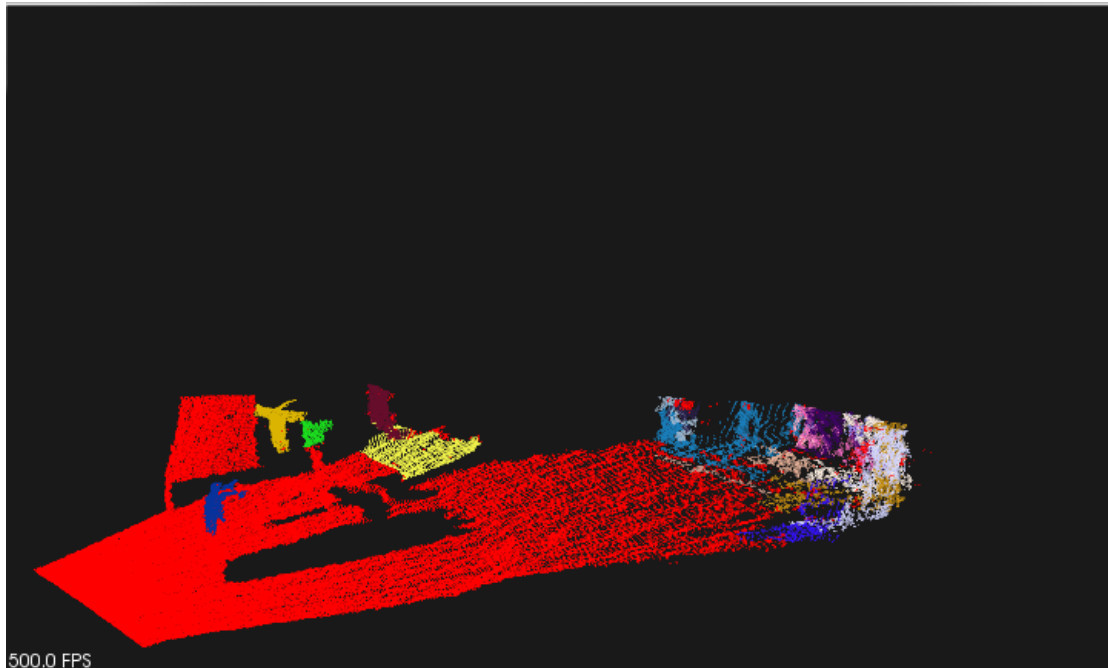
Εικόνα 4.51 Region Growing Σκηνή 6

Στη σκηνή αυτή έχει τμηματοποιηθεί σε μια συστάδα το τραπέζι, το αντικείμενο πάνω σε αυτό, το αντικείμενο που βρίσκεται στο δάπεδο και ο θόρυβος αριστερά του τραπεζιού. Στο αντικείμενο δεξιά του τραπεζιού έχει επίσης συμπεριληφθεί ο θόρυβος και έχει χωριστεί σε δυο συστάδες (μωβ και γκρι συστάδες). Συνολικά, ο αλγόριθμος έχει πολύ χαμηλή απόδοση στη σκηνή αυτή.



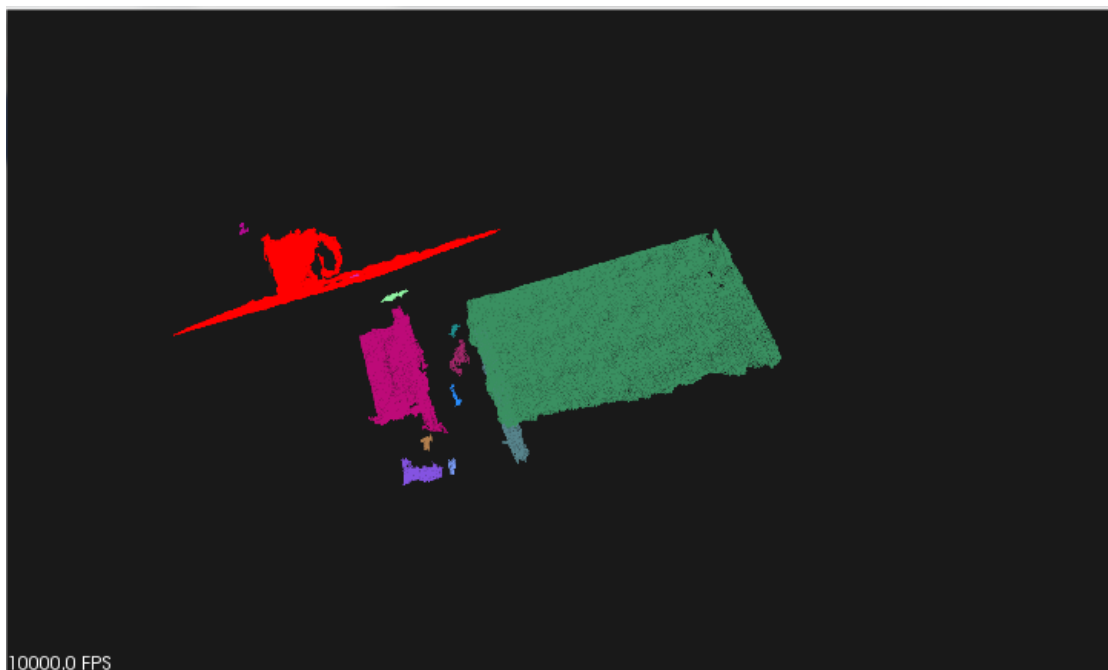
Εικόνα 4.52 Region Growing Σκηνή 7

Στη σκηνή αυτή ο αλγόριθμος έχει σχετικά χαμηλή απόδοση, καθώς το χαρτονένιο κουτί έχει μείνει εκτός κάποιας συστάδας. Όσον αφορά τα δύο μπουκάλια, ο αλγόριθμος έχει τμηματοποιήσει το μεγαλύτερο μέρος τους σε μια συστάδα για το καθένα, με αρκετές αστοχίες όμως όπως φαίνεται και στην εικόνα. Το δάπεδο έχει μείνει ορθώς εκτός συστάδας.



Εικόνα 4.53 Region Growing Σκηνή 8

Στη σκηνή αυτή παρατηρούμε πως το πάνω μέρος της καρέκλας έχει χωριστεί σε δυο συστάδες. Το κάτω μέρος της όμως, μαζί με το πάτωμα και άλλα αντικείμενα της σκηνής, έχει μείνει εκτός κάποιας συστάδας. Επίσης ο τοίχος που απεικονίζεται στη σκηνή έχει χωριστεί σε πολύ μεγάλο αριθμό συστάδων. Συνολικά ο αλγόριθμος έχει χαμηλή απόδοση στη σκηνή αυτή.



Εικόνα 4.54 Region Growing Σκηνή 9

Στη σκηνή αυτή έχουμε μικτά αποτελέσματα. Ο αλγόριθμος έχει τμηματοποιήσει με μεγάλη ακρίβεια τα αντικείμενα του υποβάθρου σε διαφορετικές συστάδες το καθένα, ακόμα και τα πολύ μικρά. Το κύριο αντικείμενο προς τμηματοποίηση όμως, η κούπα που απεικονίζεται στη σκηνή, έχει μείνει εκτός κάποιας συστάδας.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα – Μελλοντικές επεκτάσεις

5.1 Συμπεράσματα και αποδόσεις αλγορίθμων

5.1.1 Απόδοση Planar Segmentation

Ο αλγόριθμος ανιχνεύει μόνο τα σημεία που ανήκουν στο επίπεδο του μοντέλου RANSAC με τα περισσότερα inliers, το οποίο είναι και το μόνο επίπεδο που τελικά απεικονίζεται. Επομένως η πληροφορίες που μας δίνει για τη μορφολογία μιας σκηνής είναι περιορισμένες. Ωστόσο λόγω της απλότητας του και το μικρό αριθμό παραμέτρων μας δίνει μια γρήγορη απεικόνιση και ανιχνεύει τις επίπεδες τομές της σκηνής με αρκετά μεγάλη ακρίβεια.

Ακολουθούν οι χρόνοι εκτέλεσης του αλγορίθμου για κάθε σκηνή :

Σκηνή	Σκηνή 1	Σκηνή 2	Σκηνή 3	Σκηνή 4	Σκηνή 5	Σκηνή 6	Σκηνή 7	Σκηνή 8	Σκηνή 9
Χρόνος(s)	2.885	9.536	1.654	1.937	16.009	9.318	4.961	6.063	14.169

Πίνακας 5.1 Χρόνοι Εκτέλεσης Planar Segmentation

με μέσο χρόνο εκτέλεσης $T_{ps}=7.394$ seconds.

5.1.2 Απόδοση Cylinder Segmentation

Ο αλγόριθμος αυτός βλέπουμε πως είναι ουσιαστικά μια επέκταση του προηγούμενου, καθώς ανιχνεύει επίπεδες επιφάνειες με χρήση περισσότερων παραμέτρων και επιπροσθέτως ανιχνεύει κυλινδρικές επιφάνειες σε μία σκηνή. Η χρήση ωστόσο μεγάλου αριθμού παραμέτρων για την εκτέλεση του αλγορίθμου, ενώ αυξάνει την προσαρμοστικότητα του, αυξάνει κατά πολύ και

την πολυπλοκότητα του ως προς την επιλογή των παραμέτρων αλλά και του χρόνου εκτέλεσης του. Για το λόγω αυτό, στο συγκεκριμένο αλγόριθμο προστέθηκε η δυνατότητα δειγματοληψίας (downsampling) του νέφους με σκοπό τη μείωση του μεγέθους του και κατ' επέκταση του χρόνου εκτέλεσης. Αυτό γίνεται με την επιλογή ενός «φύλλου» βάση του οποίου γίνεται η δειγματοληψία. Φυσικά πρέπει να είμαστε προσεκτικοί στην επιλογή του ώστε να μη χάσουμε μεγάλο μέγεθος πληροφορίας από το νέφος.

Σχετικά με την απόδοση του αλγορίθμου, μπορούμε να πούμε πως συμπίπτει με τον αλγόριθμο Planar Segmentation όσον αφορά τις επίπεδες επιφάνειες. Στις περισσότερες σκηνές γίνεται με σχετική επιτυχία και η ανίχνευση κυλινδρικών επιφανειών, όπως στις εικόνες 1, 8 και 9. Ωστόσο ο αλγόριθμος έχει αισθητά χειρότερη απόδοση στις σκηνές 5 και 6, κυρίως λόγω φωτισμού και γωνία λήψης των σκηνών.

Ακολουθούν οι χρόνοι εκτέλεσης του αλγορίθμου για κάθε σκηνή :

Σκηνή	Σκηνή 1	Σκηνή 2	Σκηνή 3	Σκηνή 4	Σκηνή 5	Σκηνή 6	Σκηνή 7	Σκηνή 8	Σκηνή 9
Χρόνος (s)	28.141	32.974	6.949	11.499	119.279	110.29	16.25	54.128	87.904

Πίνακας 5.2 Χρόνοι Εκτέλεσης Cylinder Segmentation

με μέσο χρόνο εκτέλεσης $T_{cs}=51.935$ seconds.

5.1.3 Απόδοση Min-Cut Segmentation

Ο αλγόριθμος διαχωρίζει δυαδικά τις εικόνες, χρωματίζοντας κόκκινα τα σημεία του παρασκηνίου και άσπρα τα σημεία που ανήκουν στο επιθυμητό αντικείμενο. Σε κάποιες σκηνές λάβαμε περισσότερες από μια εικόνες επιλέγοντας διαφορετικό κέντρο αντικειμένου ώστε να γίνει φανερή η λειτουργία του αλγορίθμου. Πέραν του αρκετά καλού οπτικού αποτελέσματος που δίνει ο αλγόριθμος, η παραμετροποίηση του είναι σχετικά εύκολη. Η τιμή της ακτίνας του αντικειμένου ζητείται από τον χρήστη και είναι αυτή που κατά κύριο λόγο επηρεάζει το αποτέλεσμα και καθιστά απλή διαδικασία τον εντοπισμό πολλών αντικειμένων σε μια σκηνή καθώς είναι η μόνη παράμετρος που αλλάζει για κάθε επανάληψη. Παρατηρούμε πάντως πως ο αλγόριθμος έχει σαφώς μειωμένη απόδοση σε σκηνές με μη σαφή όρια των απεικονιζόμενων αντικειμένων.

Ακολουθούν οι χρόνοι εκτέλεσης του αλγορίθμου για κάθε σκηνή :

Σκηνή	Σκηνή 1a	Σκηνή 1b	Σκηνή 2a	Σκηνή 2b	Σκηνή 2c	Σκηνή 3	Σκηνή 4a
Χρόνος(s)	59.28	93.313	52.286	61.196	108.923	12.763	15.142

Σκηνή	Σκηνή 4b	Σκηνή 5	Σκηνή 6a	Σκηνή 6b	Σκηνή 7	Σκηνή 8	Σκηνή 9
Χρόνος(s)	14.61	71.919	140.864	143.768	134.6	94.764	71.1

Πίνακας 5.3 Χρόνοι Εκτέλεσης Min-Cut Segmentation

με μέσο όρο εκτέλεσης Tmcs=76.752 seconds.

5.1.4 Αποτελέσματα Cluster Extraction

Πέραν της μεγάλης ευστοχίας του αλγορίθμου στην αναγνώριση αντικειμένων, ένα ακόμα μεγάλο πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα χειρισμού του κάθε αντικειμένου ως ξεχωριστό νέφος σημείων. Ο αλγόριθμος είναι πολύ απλός στην παραμετροποίηση του με μόνο μία παράμετρο να παίζει βασικό ρόλο στο αποτέλεσμα, η οποία θέτει την ανεκτικότητα του αλγορίθμου στο να συμπεριλάβει ένα σημείο σε μια συστάδα. Επίσης έχει προστεθεί δυνατότητα δειγματοληψίας, η οποία μειώνει αισθητά το χρόνο εκτέλεσης χωρίς να αλλοιώνει το αποτέλεσμα. Όπως αναφέρθηκε στην ανάλυση του αλγορίθμου, η επίπεδες συνιστώσες έχουν αφαιρεθεί από το τελικό αποτέλεσμα για χάρη απλούστευσης. Αξίζει να σημειωθεί πως αυτός είναι ο μόνος αλγόριθμος που έδωσε ικανοποιητικό αποτέλεσμα για τη σκηνή 5.

Ακολουθούν οι χρόνοι εκτέλεσης του αλγορίθμου για κάθε σκηνή :

Σκηνή	Σκηνή 1	Σκηνή 2	Σκηνή 3	Σκηνή 4	Σκηνή 5	Σκηνή 6	Σκηνή 7	Σκηνή 8	Σκηνή 9
Χρόνος(s)	34.497	48.6	6.902	11.459	37.091	4.872	9.565	16.66	37.678

Πίνακας 5.4 Χρόνοι Εκτέλεσης Cluster Extraction

με μέσο χρόνο εκτέλεσης Tce=23.036 seconds.

5.1.5 Απόδοση Region Growing Segmentation

Το οπτικό αποτέλεσμα του αλγορίθμου είναι σε μεγάλο βαθμό ίδιο με το αποτέλεσμα του Cluster Segmentation για τα περισσότερα scenes. Εντούτοις πρέπει να παρατηρηθεί ότι ο αλγόριθμος δε δίνει τη δυνατότητα δειγματοληψίας, καθώς ακόμα και η επιλογή πολύ μικρού «φύλλου» επηρεάζει σε μη αποδεκτό βαθμό το αποτέλεσμα του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το μεγάλο χρόνο εκτέλεσης του αλγορίθμου. Ωστόσο ο αλγόριθμος έχει ιδιαίτερα αυξημένη ικανότητα αναγνώρισης συνόρων των ανιχνευόμενων αντικειμένων, όπως είναι φανερό στις σκηνές 1 και 4.

Ακολουθούν οι χρόνοι εκτέλεσης του αλγορίθμου για κάθε σκηνή :

Σκηνή	Σκηνή 1	Σκηνή 2	Σκηνή 3	Σκηνή 4	Σκηνή 5	Σκηνή 6	Σκηνή 7	Σκηνή 8	Σκηνή 9
Χρόνος(s)	35.45	144.299	32.263	14.667	260.953	29.817	387.718	219.24	447.354

Πίνακας 5.5 Χρόνοι Εκτέλεσης Region Growing

με μέσο χρόνο εκτέλεσης Trg=174.64 seconds.

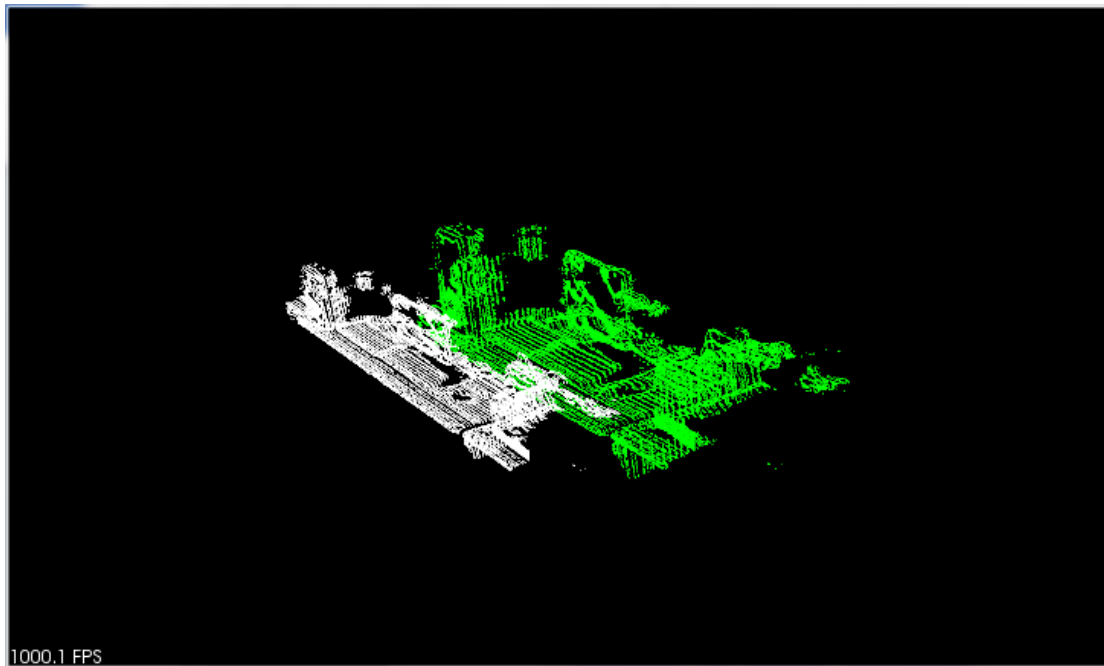
Είναι πλέον προφανές πως η επιλογή του καταλληλότερο αλγορίθμου τμηματοποίησης εξαρτάται τόσο από το είδος και τη φύση της σκηνής υπό εξέταση όσο και από την επιθυμητή πληροφορία που θέλουμε να εξάγουμε από την τμηματοποίηση.

5.2 Εντοπισμός ιδανικών παραμέτρων

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4 αποτελούν το βέλτιστο αποτέλεσμα που μπορεί να δώσει ο αλγόριθμος για κάθε σκηνή. Για την επίτευξη του αποτελέσματος αυτού πρέπει να προηγηθεί η εύρεση των ιδανικών τιμών των παραμέτρων που χρησιμοποιεί ο κάθε αλγόριθμος. Καθώς δεν υπάρχει αυτόματη διαδικασία για την εύρεση τους, ο χρήστης του αλγορίθμου πρέπει να δοκιμάσει ένα σύνολο αρχικών τιμών και κρίνοντας εκ του οπτικού αποτελέσματος να μεταβάλλει τις τιμές του αλγορίθμου ανάλογα. Όπως είναι λογικό, ο χρόνος εύρεσης των ιδανικών παραμέτρων διακυμαίνεται ανάλογα με τον αριθμό των παραμέτρων και το χρόνο εκτέλεσης του κάθε αλγορίθμου. Αυτός ο χρόνος μπορεί να είναι από λίγα λεπτά ανά σκηνή για απλούς αλγορίθμους μέχρι μερικές ώρες για τους πιο πολύπλοκους.

Παρακάτω θα παρατεθούν μερικά παραδείγματα επιλογής μη ιδανικών παραμέτρων για κάποιες σκηνές, ώστε να γίνει πιο σαφής η διαδικασία εντοπισμού των ιδανικών παραμέτρων.

5.2.1 Παράμετροι Planar segmentation

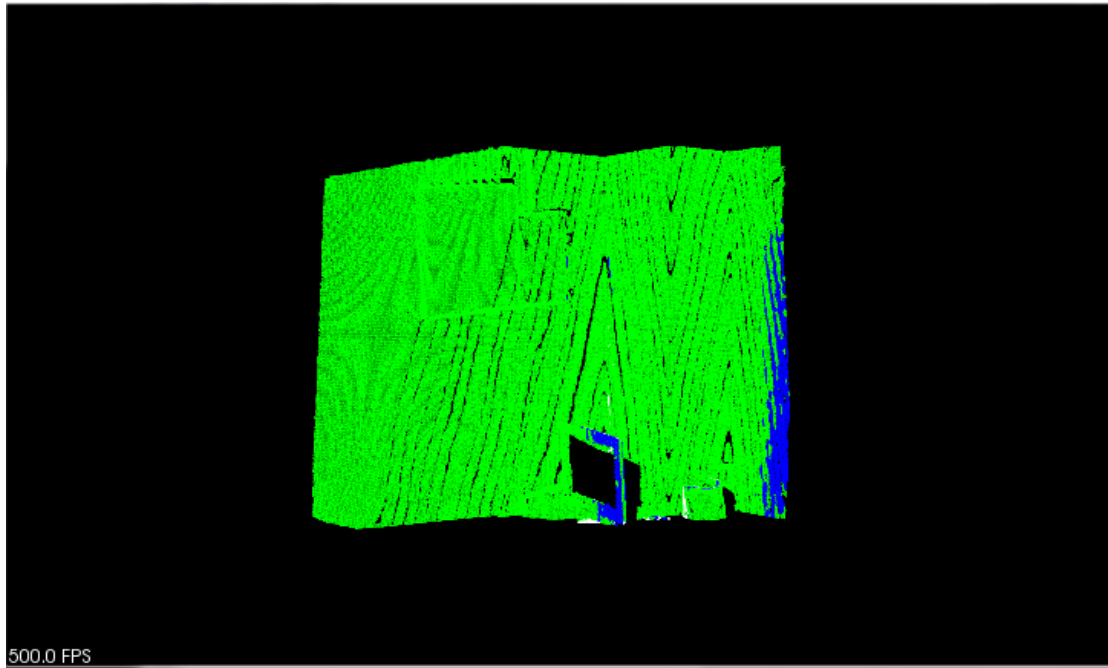


Εικόνα 5.1 Planar segmentation στη σκηνή 1

Σε αυτήν την εκτέλεση του αλγορίθμου έχουμε επιλέξει αποδεκτή απόσταση από το μοντέλο ίση με 0.5m. Παρατηρώντας πως ο αλγόριθμος έχει τμηματοποιήσει όλη τη σκηνή ως ένα επίπεδο, καταλαβαίνουμε πως πρέπει να μειώσουμε αυτήν την απόσταση, καταλήγοντας έτσι στο 0.035m. Ο αλγόριθμος planar segmentation έχει μόνο μια παράμετρο και μικρό χρόνο εκτέλεσης, καθιστώντας τη διαδικασία εύρεσης παραμέτρων ιδιαίτερα εύκολη.

5.2.2 Παράμετροι Cylinder Segmentation

Ο αλγόριθμος cylinder segmentation παρουσίασε ιδιαίτερη δυσκολία ως προς την εύρεση των ιδανικών παραμέτρων. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί δύο μοντέλα RANSAC, επομένως αν μια επιφάνεια τμηματοποιηθεί ως επίπεδη δεν μπορεί να είναι και κυλινδρική. Βλέπουμε λοιπόν πως οι παράμετροι του ενός μοντέλου επηρεάζουν τις παραμέτρους του άλλου. Για παράδειγμα:



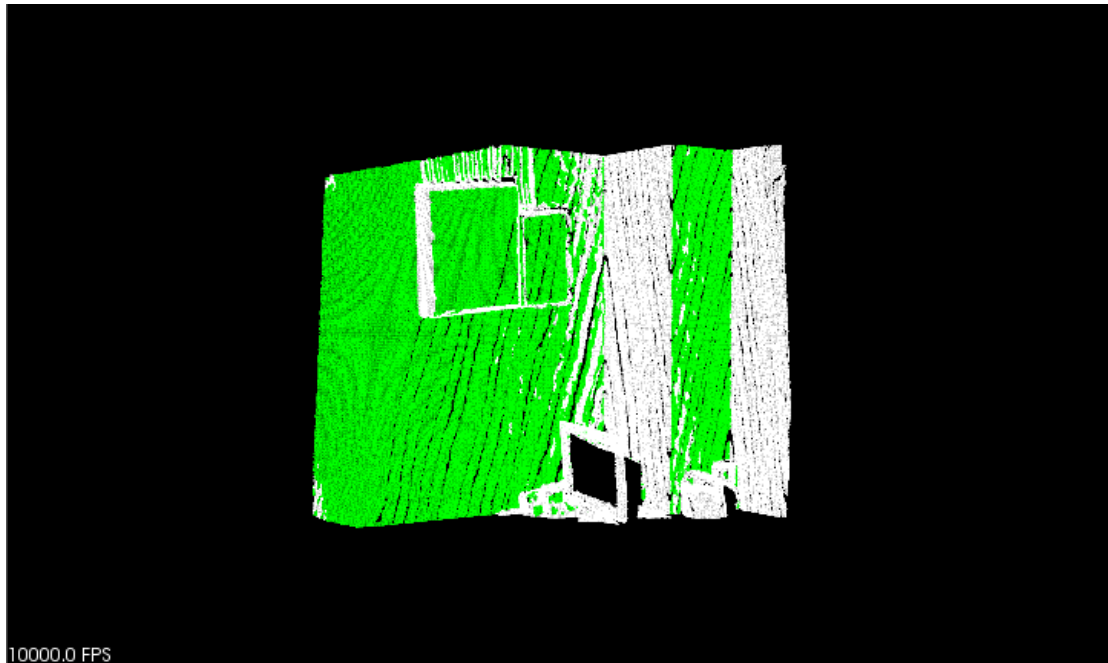
Εικόνα 5.2 Cylinder Segmentation στη σκηνή 5

Το αποτέλεσμα της εικόνας 5.2 προκύπτει από την επιλογή των εξής παραμέτρων:

Κ γείτονες(νόρμα)	50
Απόσταση κατωφλίου(επίπεδο)	0.5
Βάρος νόρμας (κύλινδρος)	0.5
Απόσταση κατωφλίου(κύλινδρος)	1
Όρια ακτίνας	0.1
Βάρος νόρμας(επίπεδο)	0.1
Μέγεθος φύλλου	0.002

Πίνακας 5.1 Δοκιμή παραμέτρων Cylinder Segmentation

Άμεσα παρατηρούμε το πρόβλημα με το επίπεδο μοντέλο. Επομένως μεταβάλλουμε τις τιμές της απόστασης κατωφλίου και του βάρους επίπεδου μοντέλου κατάλληλα και λαμβάνουμε :



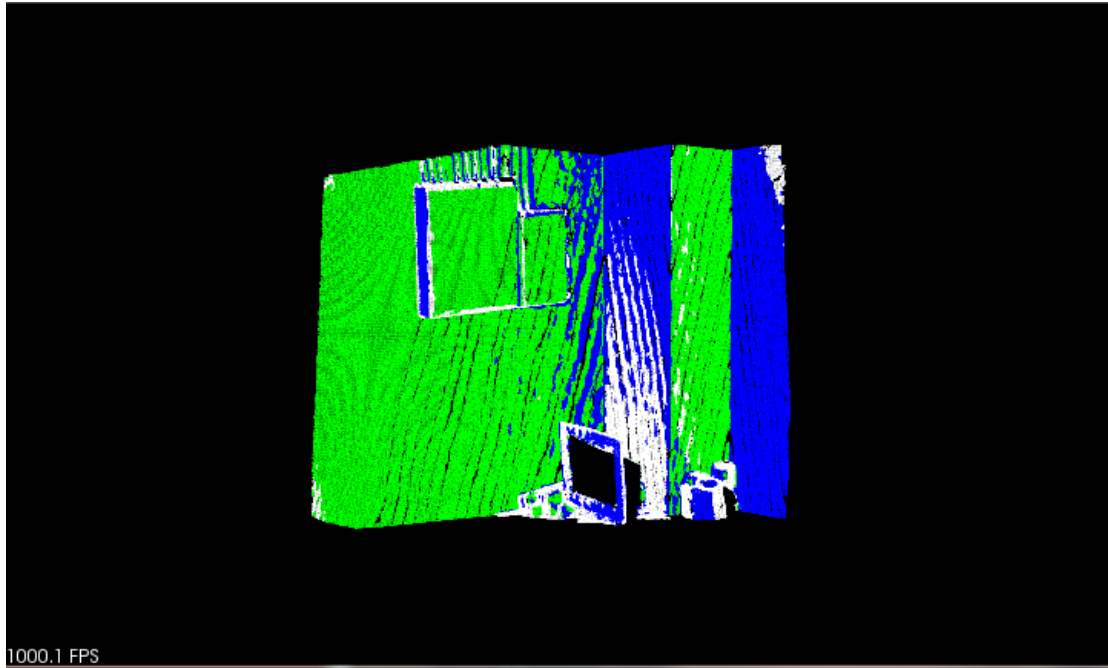
Εικόνα 5.3 Cylinder Segmentation στη σκηνή 5

με τις παραμέτρους για την εικόνα 5.3 :

Κ γείτονες(νόρμα)	50
Κατώφλι απόστασης(επίπεδο)	0.2
Βάρος νόρμας (κύλινδρος)	0.5
Απόσταση κατωφλίου(κύλινδρος)	1
Όρια ακτίνας	0.1
Βάρος νόρμας(επίπεδο)	0.25
Μέγεθος φύλλου	0.002

Πίνακας 5.2 Δοκιμή παραμέτρων Cylinder Segmentation

Αφού έχουμε τμηματοποιήσει όσο το δυνατόν καλύτερα το επίπεδο μοντέλο, επικεντρωνόμαστε στο κυλινδρικό. Παρατηρούμε πως ο αλγόριθμος δεν έχει εντοπίσει κυλινδρική συνιστώσα επομένως αυξάνουμε την ακτίνα του κυλινδρικού μοντέλου και την απόσταση κατωφλίου και παίρνουμε το εξής:



Εικόνα 5.4 Cylinder Segmentation στη σκηνή 5

με τις παραμέτρους για την εικόνα 5.4 :

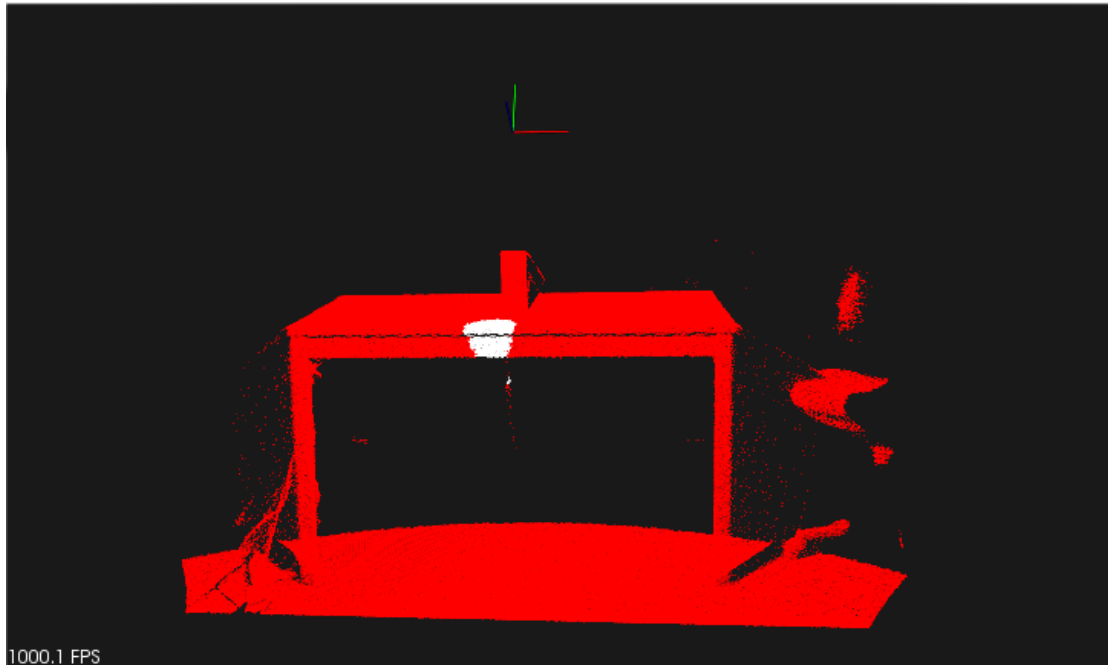
Κ γείτονες(νόρμα)	50
Κατώφλι απόστασης(επίπεδο)	0.2
Βάρος νόρμας (κύλινδρος)	0.5
Απόσταση κατωφλίου(κύλινδρος)	1.3
Όρια ακτίνας	0.55
Βάρος νόρμας(επίπεδο)	0.25
Μέγεθος φύλλου	0.002

Πίνακας 5.3 Δοκιμή παραμέτρων Cylinder Segmentation

Πλέον παρατηρούμε πως έχουμε φτάσει κοντά στο βέλτιστο αποτέλεσμα. Αυξάνοντας λίγο ακόμα την τιμή του βάρους του κυλινδρικού μοντέλου καταλήγουμε στο αποτέλεσμα του κεφαλαίου 4.

5.2.3 Παράμετροι Min-Cut Segmentation

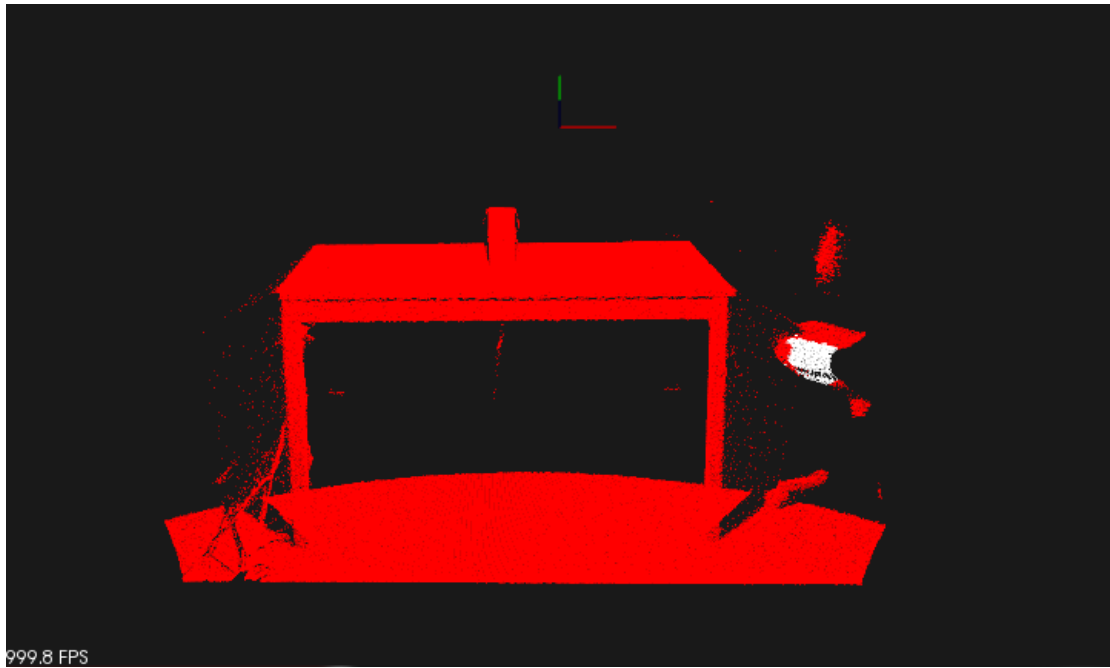
Όπως προαναφέρθηκε, για τον αλγόριθμο της min-cut segmentation πολύ σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή του κέντρου του αντικειμένου προς τμηματοποίηση. Για παράδειγμα :



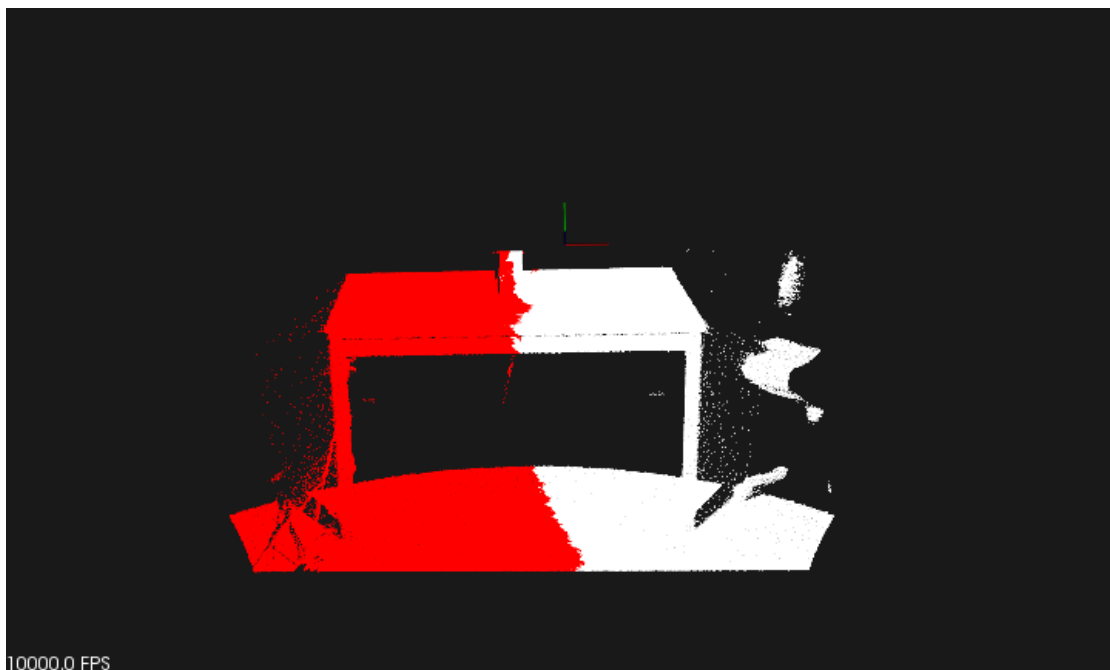
Εικόνα 5.5 Min-cut segmentation στη σκηνή 6

Για την συγκεκριμένη εκτέλεση του αλγορίθμου ως αντικείμενο τμηματοποίησης επιλέχθηκε το αντικείμενο πάνω στο τραπέζι. Ωστόσο ο αλγόριθμος δεν έχει τη δυνατότητα να το τμηματοποιήσει όπως βλέπουμε στην εικόνα 5.5. Επομένως επικεντρωνόμαστε στα υπόλοιπα αντικείμενα της σκηνής.

Για το αντικείμενο δεξιά του τραπεζιού, βλέπουμε τον ρόλο που παίζει η επιλογή της ακτίνας στην οποία ο αλγόριθμος θα τμηματοποιήσει το αντικείμενο :



Εικόνα 5.6 Min-cut segmentation στη σκηνή 6



Εικόνα 5.7 Min-cut segmentation στη σκηνή 6

Η εικόνα 5.6 προέκυψε με την επιλογή των παραμέτρων :

Σίγμα	20
Ακτίνα	0.1
Αριθμός γειτόνων	10
Βάρος source	1

Πίνακας 5.4 Δοκιμή παραμέτρων Min-Cut Segmentation

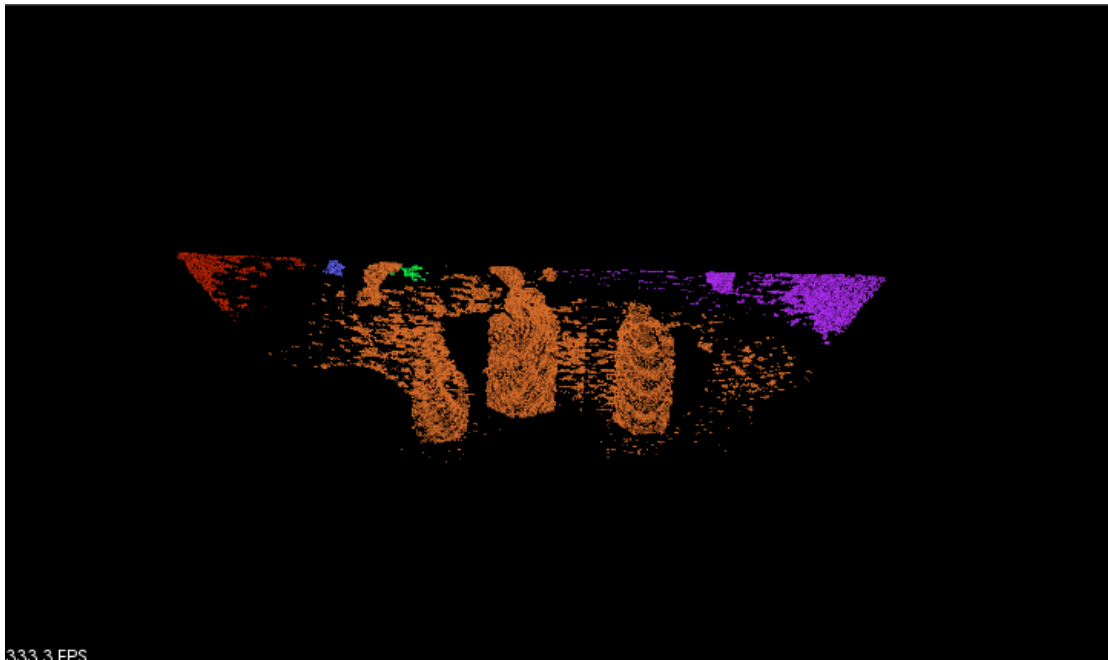
και για την εικόνα 5.7 :

Σίγμα	20
Ακτίνα	1
Αριθμός γειτόνων	10
Βάρος source	1

Πίνακας 5.5 Δοκιμή παραμέτρων Min-Cut Segmentation

Επομένως συμπεραίνουμε πως η ιδανική τιμή της ακτίνας είναι ανάμεσα σε 0.1 και 1. Με διαδοχικές δοκιμές καταλήγουμε στην τιμή 0.225 που μας δίνει το αποτέλεσμα του κεφαλαίου 4. Για τις υπόλοιπες παραμέτρους, μετά από δοκιμές που έγιναν σε μικρή περιοχή γύρω από τις αρχικές τους τιμές, παρατηρούμε πως δεν επηρεάζουν το αποτέλεσμα.

5.2.4 Παράμετροι Cluster Extraction



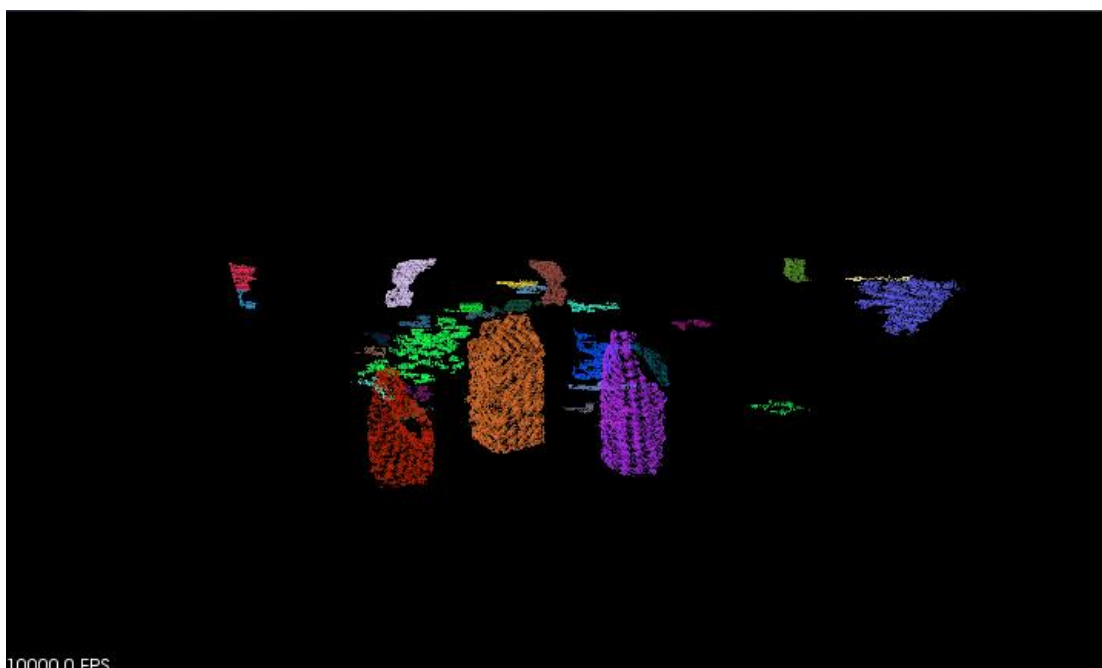
Εικόνα 5.8 Cluster Extraction στη σκηνή 7

Για τη συγκεκριμένη εκτέλεση ο αλγόριθμος καλέστηκε με τις ακόλουθες τιμές:

Μέγεθος φύλλου	0.003
Απόσταση κατωφλίου	1
Ανοχή συστάδας	0.05
Ελάχιστο μέγεθος συστάδας	100
Μέγιστο μέγεθος συστάδας	25000

Πίνακας 5.6 Δοκιμή Παραμέτρων Cluster Extraction

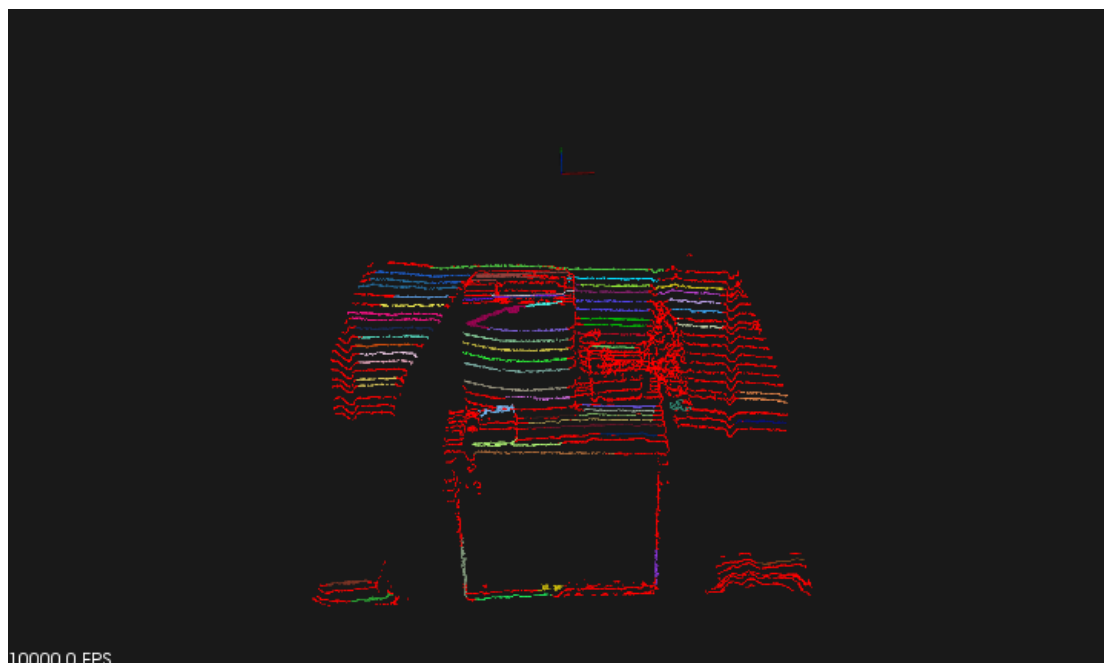
Όπως παρατηρούμε, στην εικόνα υπάρχουν ακόμα τμήματα του δαπέδου και τα αντικείμενα της σκηνής δεν έχουν τμηματοποιηθεί ιδανικά. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ανεκτικότητα ως προς τη συσταδοποίηση και στην απόσταση κατωφλίου. Άρα δοκιμάζοντας σε περιοχή γύρω από αυτές τις τιμές παίρνουμε:



Εικόνα 5.9 Cluster Extraction στη σκηνή 7

Παρατηρούμε πως ο αλγόριθμος έχει τμηματοποιήσει τα επιθυμητά αντικείμενα, έχοντας όμως συμπεριλάβει πολλές μικρές συστάδες από το υπόβαθρο. Μετά από δοκιμές, καταλήγουμε στον περιορισμό του αριθμού των σημείων ανά συστάδα μεταξύ 3000 και 6000 και λαμβάνουμε το αποτέλεσμα του κεφαλαίου 4.

5.2.5 Παράμετροι Region Growing



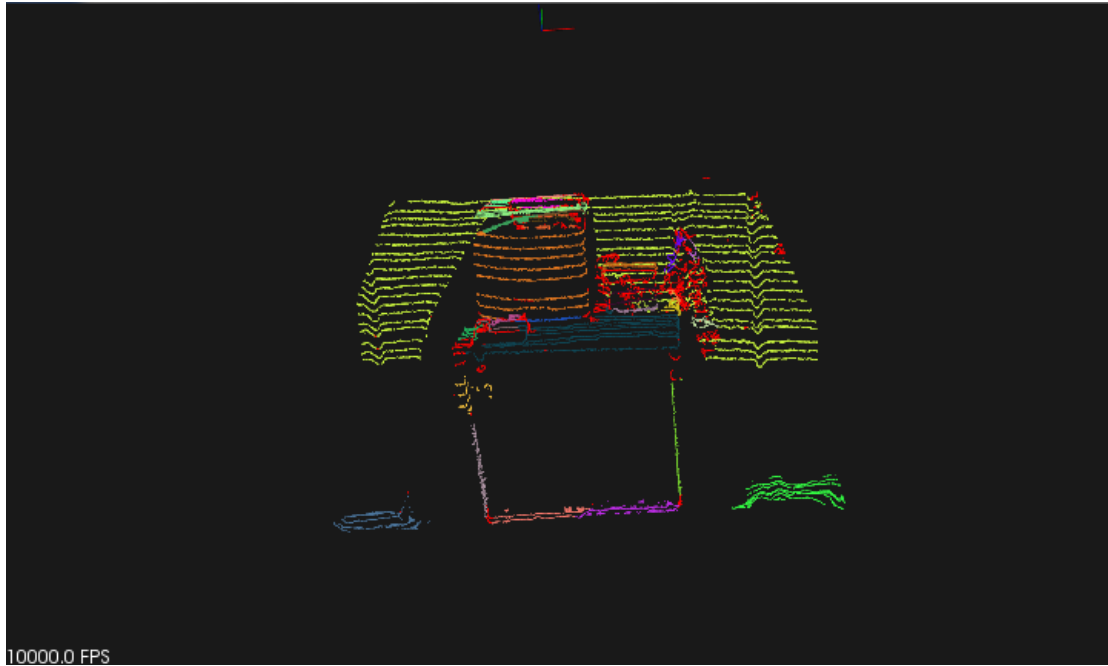
Εικόνα 5.10 Region Growing σκηνή 3

Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα προκύπτει με χρήση των παραμέτρων :

Κ γείτονες(νόρμα)	20
Ελάχιστο μέγεθος συστάδας	100
Μέγιστο μέγεθος συστάδας	100000
Αριθμός γειτόνων	15
Ομαλότητα κατωφλίου	3
Κυρτότητα κατωφλίου	1

Πίνακας 5.7 Δοκιμή Παραμέτρων Region Growing

Λόγω της αραιότητας του νέφους της σκηνής 3, υποπευόμαστε πως θα πρέπει καταρχάς να αυξήσουμε το Κ για τον υπολογισμό της νόρμας των σημείων καθώς αποκτά μεγαλύτερη βαρύτητα για αραιά νέφη. Επιπλέον θα πρέπει να αυξήσουμε τον αριθμό των γειτόνων. Μετά από δοκιμές φτάνουμε στο ακόλουθο αποτέλεσμα:



Εικόνα 5.11 Region Growing σκηνή 3

με τιμές παραμέτρων:

Κ γείτονες(νόρμα)	150
Ελάχιστο μέγεθος συστάδας	100
Μέγιστο μέγεθος συστάδας	100000
Αριθμός γειτόνων	100
Ομαλότητα κατωφλίου	3
Κυρτότητα κατωφλίου	1

Πίνακας 5.8 Δοκιμή Παραμέτρων Region Growing

Έχουμε φτάσει πλέον πολύ κοντά στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Αυξάνοντας τις τιμές κατωφλίων για ομαλότητα και κυρτότητα, φτάνουμε στο βέλτιστο αποτέλεσμα του κεφαλαίου 4.

5.3 Μελλοντικές επεκτάσεις – Τρόποι εξέλιξης

Όπως είδαμε, η μέθοδος RANSAC μας τμηματοποιεί εκείνο το επίπεδο της εικόνας το οποίο περιείχε τα περισσότερα inliers κατά την σύγκριση με το επιλεγμένο μοντέλο. Σε περίπτωση που μας ενδιαφέρει να εντοπίσουμε όλα τα σημεία που ανήκουν σε ίδιο επίπεδο σε μια σκηνή, μπορούμε να τροποποιήσουμε τον αλγόριθμο της Planar segmentation και της Cylinder

segmentation ώστε να αποθηκεύουν το αποτέλεσμα κάθε επανάληψης του αλγορίθμου. Στο τέλος θα γίνεται υπέρθεση αυτών των σημείων που προκύπτουν, που θα είναι τα σημεία που θα σχηματίζουν επίπεδες ή κυλινδρικές τομές. Φυσικά, μια τέτοια υλοποίηση θα απαιτεί πολύ περισσότερους υπολογιστικούς πόρους και κυρίως χώρου αποθήκευσης για τα δεδομένα κάθε επανάληψης.

Για τον αλγόριθμο της Min-Cut segmentation, ένα σημείο βελτίωσης αποτελεί η επιλογή του κέντρου προς τμηματοποίηση σημείου. Αντί να δίνεται κατευθείαν από το χρήστη, θα ήταν πιο ακριβές να δίνεται ένα σύνολο σημείων που ανήκουν στο εν λόγω αντικείμενο από το χρήστη. Με δεδομένα τα σημεία αυτά, ο αλγόριθμος θα υπολογίζει το κέντρο του αντικειμένου το οποίο και θα αποθηκεύεται και θα επαναχρησιμοποιείται για κάθε επανάληψη του αλγορίθμου που αποσκοπεί στην τμηματοποίηση του ίδιου αντικειμένου της σκηνής ώστε να αυξηθεί η συνάφεια των αποτελεσμάτων.

Βιβλιογραφία

1. Linda G. Shapiro and George C. Stockman (2001): "Computer Vision", pp 279-325, New Jersey, Prentice-Hall
2. Barghout, Lauren, and Lawrence W. Lee. "Perceptual information processing system." Paravue Inc. U.S. Patent Application 10/618,543, filed July 11, 2003.
3. Steger, Carsten; Markus Ulrich & Christian Wiedemann (2008). Machine Vision Algorithms and Applications. Weinheim: Wiley-VCH. p. 1. ISBN 978-3-527-40734-7
4. Graves, Mark & Bruce G. Batchelor (2003). Machine Vision for the Inspection of Natural Products. Springer. p. 5. ISBN 978-1-85233-525-0
5. Singh, Z.H. Cho ; Joie P. Jones ; Manbir (1993). Foundations of medical imaging
6. "Object Class Detection". Vision.eecs.ucf.edu
7. Kimmel, Ron. "Three-dimensional face recognition"
8. Grover, Sachin; Shankar Saxena, Vinay; Vatwani, Tarun: Design Of Intelligent Traffic Control System Using Image Segmentation, November 2014
9. Herman Kruegle, CCTV Surveillance: Video Practices and Technology
10. Batenburg, K J.; Sijbers, J. "Adaptive thresholding of tomograms by projection distance minimization". Pattern Recognition 42 (10): 2297–2305
11. Batenburg, K J.; Sijbers, J. (June 2009). "Optimal Threshold Selection for Tomogram Segmentation by Projection Distance Minimization" (PDF). IEEE Transactions on Medical Imaging 28 (5): 676–686
12. Barghout, Lauren, and Jacob Sheynin. "Real-world scene perception and perceptual organization: Lessons from Computer Vision." Journal of Vision 13.9 (2013): 709-709
13. Αναγνώριση Προτύπων , S.Theodoridis,K.Koutroumbas, Εκδόσεις Π.Χ.ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ.
14. <https://courses.cs.washington.edu/courses/cse576/book/ch10.pdf>
15. Ohlander, Ron; Price, Keith; Reddy, D. Raj (1978). "Picture Segmentation Using a Recursive Region Splitting Method". Computer Graphics and Image Processing 8 (3): 313–333.
16. R. Nock and F. Nielsen, Statistical Region Merging, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol 26, No 11, pp 1452-1458, 2004.
17. <http://www.di.ubi.pt/~agomes/cvm/teoricas/07-regionsegmentation.pdf>
18. Jianbo Shi and Jitendra Malik (2000): "Normalized Cuts and Image Segmentation", IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, pp 888-905, Vol. 22, No. 8

19. Rusinkiewicz, S. and Levoy, M. 2000. QSplat: a multiresolution point rendering system for large meshes. In Siggraph 2000. ACM , New York, NY, 343–352
20. M. Magnusson, «3D Scan Matching for Mobile Robots with Application to Mine Mapping,» Department of Technology at Örebro University, Örebro, 2006
21. L. Zhu, «THE USE OF MOBILE LASER SCANNING DATA AND UNMANNED AERIAL,» *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, September 2013.
22. Jamie Carter, «Data Produced by LiDAR Sensors,» σε *An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications*, 2012, pp. 13-25
23. Jens Kremer, «Performance of the StreetMapper Mobile LiDAR Mapping System,» Real World, 2006.
24. M. T. DRAELOS, «The Kinect Up Close: Modifications for Short-Range Depth,» 2012.
25. Jana, «Kinect for Windows SDK,» PACKT Publishing, BIRMINGHAM - MUMBAI, 2012
26. K. Khoshelham, «Accuracy Analysis of KINECT depth data,» *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 29 August 2011
27. A. Martin A. Fischler & Robert C. Bolles (June 1981). "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography" (PDF). *Comm. of the ACM* 24 (6): 381–395
28. http://www.pointclouds.org/documentation/tutorials/planar_segmentation.php#planar-segmentation
29. http://www.pointclouds.org/documentation/tutorials/cylinder_segmentation.php
30. http://pointclouds.org/documentation/tutorials/normal_estimation.php
31. Eugene Lawler (2001). "4.5. Combinatorial Implications of Max-Flow Min-Cut Theorem, 4.6. Linear Programming Interpretation of Max-Flow Min-Cut Theorem". *Combinatorial Optimization: Networks and Matroids*. Dover. pp. 117–120
32. Christos H. Papadimitriou, Kenneth Steiglitz (1998). "6.1 The Max-Flow, Min-Cut Theorem". *Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity*. Dover. pp. 120–128
33. http://www.pointclouds.org/documentation/tutorials/min_cut_segmentation.php#min-cut-segmentation
34. http://www.pointclouds.org/documentation/tutorials/cluster_extraction.php#cluster-extraction
35. http://www.pointclouds.org/documentation/tutorials/cluster_extraction.php#cluster-extraction