

Υπολογιστική Γεωμετρία & Εφαρμογές 3Δ Μοντελοποίησης

Τίτλος Εργασίας	1.Something_Changed
Επώνυμο	Μαρκοστάμος
Όνομα	Γεώργιος
Έτος	4ο
ΑΜ	1059391

Εισαγωγή	2
Στόχος της Εργασίας	2
Οδηγίες Χρήσης του προγράμματος	2
Δομή Προγράμματος	3
Αφαίρεση Εδάφους	4
Υλοποίηση με Threshold	4
Ο Αλγόριθμος RANSAC	5
Clustering	6
Πρώτες Δοκιμές με K-Means	6
Ο αλγόριθμος DBSCAN	7
Αφαίρεση background	8
Registration	9
Σύγκριση χρώματος	10
Classification	11

Εισαγωγή

Στόχος της Εργασίας

Ο βασικός στόχος της εργασίας είναι η επεξεργασία ζευγαριών Point Cloud που αναπαριστούν σκληρές δρόμων για τα έτη 2016 και 2020 ώστε να διαπιστωθεί αν υπάρχει σημαντική αλλαγή μεταξύ τους. Το τελικό πρόγραμμα θα ανιχνεύει την πιθανή αφαίρεση ή πρόσθεση αντικειμένων στο σημείο ενδιαφέροντος, αλλαγές στο χρώμα καθώς και σημαντικές αλλαγές στη γεωμετρία ενός αντικειμένου. Η κατηγοριοποίηση των αντικειμένων στις κατηγορίες (no_change, Added, Removed, Change, Color_change) θα γίνει μέσα από ένα pipeline διεργασιών.

Οδηγίες Χρήσης του προγράμματος



Με το αριστερό και δεξί βελάκι ο χρήστης μπορεί να αλλάζει το προς επεξεργασία αντικείμενο του φακέλου στον οποίο βρίσκεται. Με το πάνω και κάτω βελάκι αλλάζει ο ίδιος ο φάκελος.

Τα στάδια του Pipeline εκτελούνται με τους αριθμούς 1-6 και αντιστοιχούν στα παρακάτω.

1. Ground Removal
2. Clustering
3. Background Removal
4. Registration
5. Colour Comparison

6.Classification

Σε περίπτωση που για κάποιο από τα παραπάνω στάδια προτείνονται από το pdf της εκφώνησης δύο λύσεις η δεύτερη λύση εκτελείται με τον συνδυασμό alt + αριθμός.

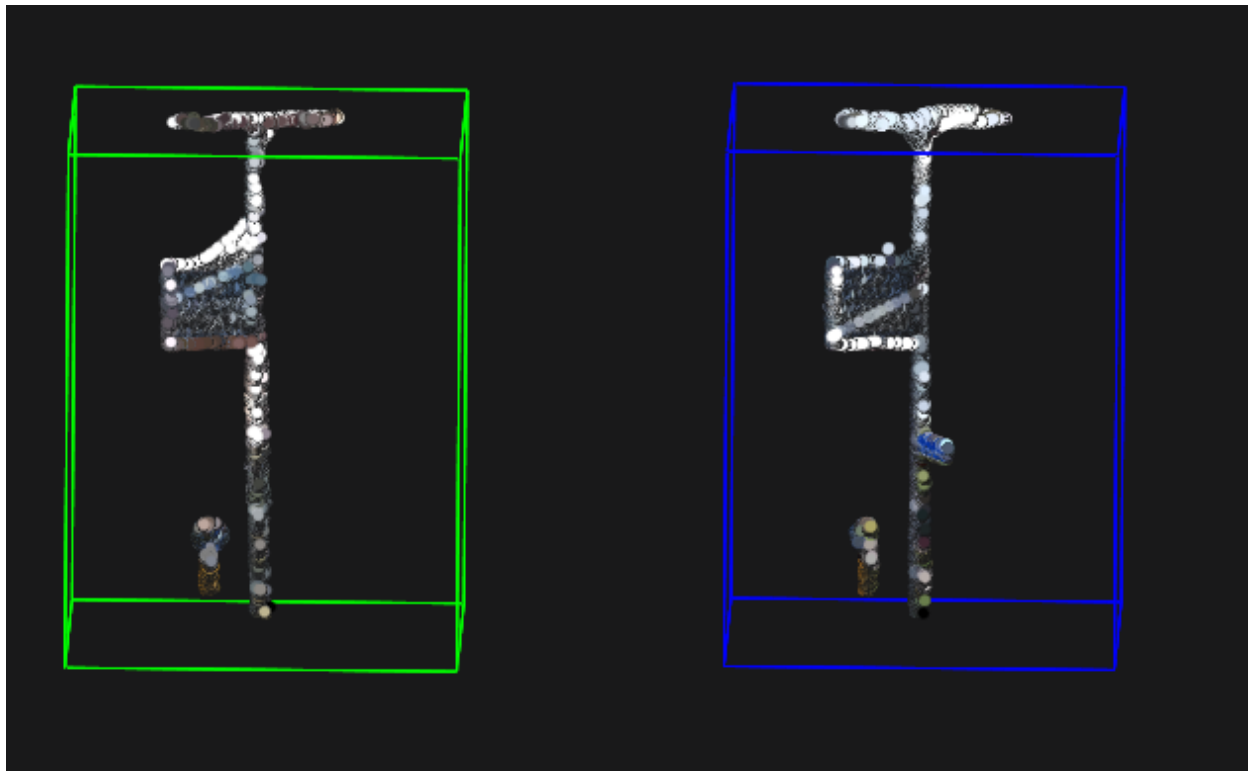
Για την σωστή επεξεργασία του point-Cloud θεωρείται πως ο χρήστης εκτελεί τα στάδια του pipeline με την σειρά. Το πάτημα κάθε αριθμού αντιστοιχεί στην εκτέλεση μόνο της συγκεκριμένης διεργασίας που αναφέρεται παραπάνω.

Ο χρήστης μπορεί επιπλέον να επιλέξει για το αν θα εμφανίζεται το bounding box(πληκτρο b) και το επίπεδο του εδάφους (alt + 1 και μετά πάτημα του πλήκτρου b για εμφάνιση του επιπέδου).

Δομή Προγράμματος

Το πρόγραμμα χωρίζεται σε τρία βασικά αρχεία. Το βασικό αρχείο του Project περιλαμβάνει μόνο συναρτήσεις που αφορούν την σκηνή(π.χ συναρτήσεις draw) και event-handling. Το αρχείο algorithms περιλαμβάνει τις υλοποιήσεις των αλγορίθμων για όλα τα στάδια του pipeline ενώ στο αρχείο utils υπάρχουν βασικές συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται σε διάφορα σημεία στο υπόλοιπο πρόγραμμα.

Αφαίρεση Εδάφους



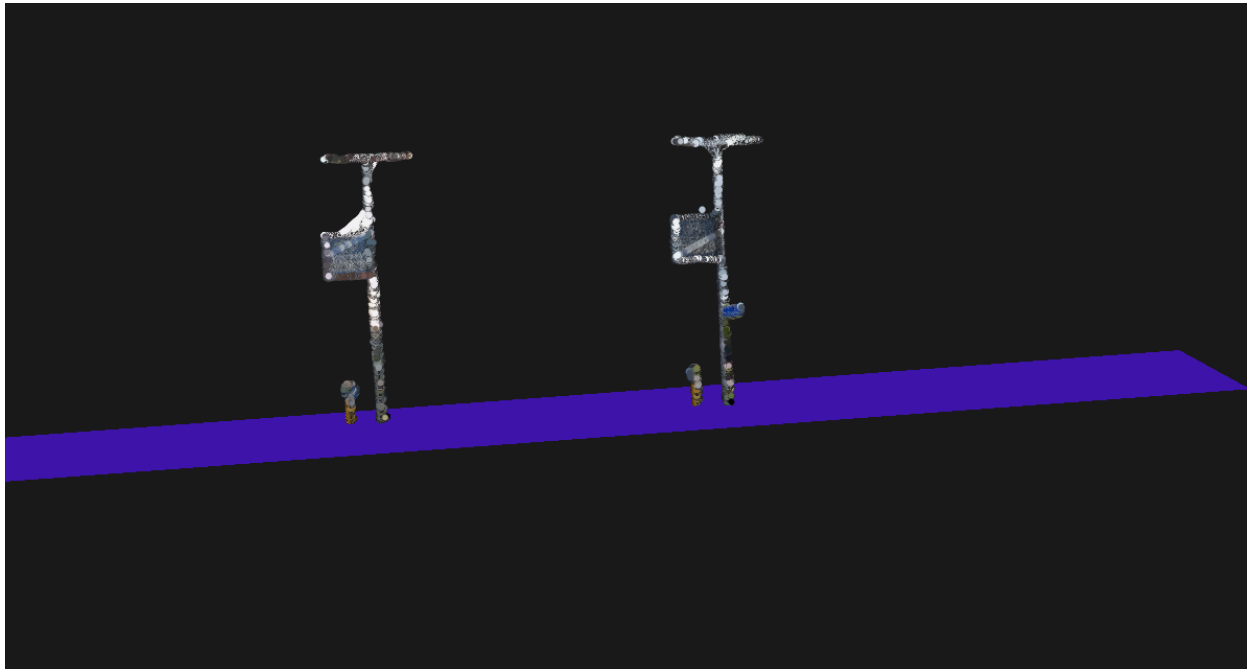
Το πρώτο στάδιο της επεξεργασίας των Point-Cloud είναι η αφαίρεση του εδάφους. Η διαδικασία αυτή γίνεται για δύο λόγους. Το έδαφος δεν δίνει κάποια πληροφορία σχετική με τον στόχο της εργασίας επομένως η αφαίρεση του μειώνει τον αριθμό των σημείων στο Point Cloud και επιταχύνει όλα τα επόμενα στάδια του Pipeline. Επιπλέον η διατήρηση του εδάφους μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τα αποτελέσματα των υπόλοιπων αλγορίθμων όπως π.χ. το Clustering.

Υλοποίηση με Threshold

Αυτή είναι η πιο απλή μέθοδος για την αφαίρεση του εδάφους σε ένα Point Cloud. Δεδομένου ότι ορίζεται το ύψος με τον άξονα Z θα αφαιρεθούν όλα τα σημεία για τα οποία ισχύει $z < Z_{th}$. Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται το threshold είναι επίσης απλός, αρχικά σπάει το εύρος των τιμών στον άξονα Z σε N κομμάτια (μπορούν να δοθούν ως είσοδο από τον χρήστη, αλλιώς $N=10$) και στη συνέχεια ξεκινώντας από το το ελάχιστο Z της σκηνής και με βήμα $\frac{\text{Εύρος στον άξονα Z}}{N}$ ψάχνουμε το παραλληλεπίπεδο με τα περισσότερα σημεία, δηλαδή το έδαφος.

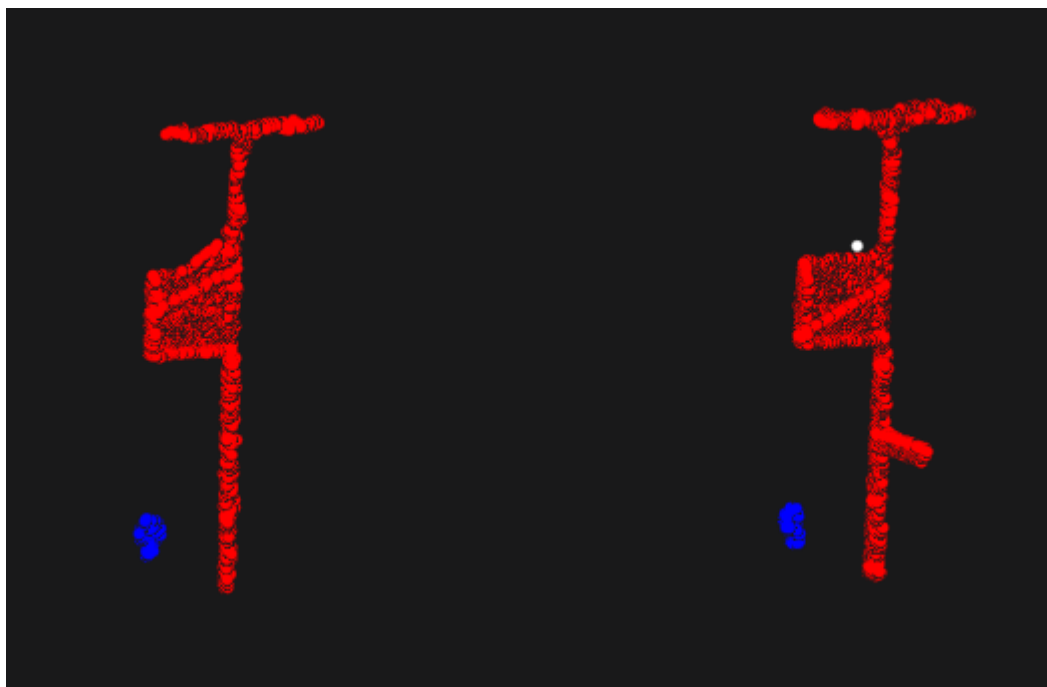
Ο λόγος που δεν διαγράφονται απλώς τα σημεία ανάμεσα στο $[Z_{min}, Z_{min} + \text{βήμα}]$ είναι ότι υπάρχει περίπτωση να έχουμε ένα κατηφορικό έδαφος ή να υπάρχει θόρυβος στο dataset που εσφαλμένα δίνει ως ελάχιστο Z της σκηνής αυτο που χρησιμοποιήσαμε. Επομένως το ζητούμενο είναι να διαχωρίσουμε το αντικείμενο ενδιαφέροντος από το έδαφος εκεί όπου υπάρχουν πολλά σημεία και θα επηρεάσουν τους υπόλοιπους αλγόριθμους. Αν κατά την διαδικασία αυτή υπάρξει ένα κομμάτι του εδάφους που δεν αφαιρεθεί τότε αυτό θα απορριφθεί στη συνέχεια από το στάδιο του Clustering.

Ο Αλγόριθμος RANSAC



Η δεύτερη μέθοδος αφαίρεσης εδάφους αντιμετωπίζει το παραπάνω πρόβλημα καθώς βρίσκει με πιθανοτικό τρόπο την εξίσωση που ορίζει το επίπεδο με τα περισσότερα inliers δηλαδή το επίπεδο του εδάφους. Είναι γνωστό ότι ένα επίπεδο στο χώρο ορίζεται από 3 σημεία. Επομένως ορίζεται ως N ένας αριθμός επαναλήψεων κατά τις οποίες επιλέγονται τυχαία 3 σημεία και υπολογίζεται το επίπεδο που αυτά δημιουργούν. Στη συνέχεια γίνεται μια μέτρηση των inliers του επιπέδου, δηλαδή των σημείων που βρίσκονται πάνω ή πολύ κοντά σε αυτό με βάση μια απόσταση threshold. Στο τέλος των επαναλήψεων το επίπεδο που θα έχει τους περισσότερους inliers θα είναι το επίπεδο που θα ορίζει το έδαφος και τα σημεία που βρίσκονται κάτω από αυτό μπορούν να αφαιρεθούν. Η μέθοδος αυτή έχει πολύ καλά αποτελέσματα ωστόσο υπάρχει πάντα η πιθανότητα να μην βρεθεί το σωστό επίπεδο επομένως χρειάζεται να επιλεγεί ένας αρκετά μεγάλος αριθμός επαναλήψεων και να συγκριθούν τα αποτελέσματα με τα αναμενόμενα.

Clustering



Το δεύτερο στάδιο του Pipeline είναι η συσταδοποίηση, δηλαδή ο διαχωρισμός των σημείων του Point Cloud σε ομάδες (αντικείμενα). Αυτό το στάδιο είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς επιτρέπει την απομόνωση του αντικειμένου ενδιαφέροντος από τα υπόλοιπα αντικείμενα της σκηνής.

Πρώτες Δοκιμές με K-Means

Πριν επιλεγθεί ο αλγόριθμος DBSCAN για την επίλυση του προβλήματος συσταδοποίησης έγιναν κάποιες δοκιμές με παραλλαγές του αλγορίθμου K-means οι οποίες αν και τελικά δεν έλυσαν ικανοποιητικά το πρόβλημα σε όλες τις περιπτώσεις οδήγησαν σε κάποια ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Στο ξεκίνημα της εργασίας εξαιτίας του μικρού αποθηκευτικού χώρου στον υπολογιστή μου, θεώρησα πως όλα τα αντικείμενα ενδιαφέροντος είχαν την μορφή του παραδείγματος της εκφώνησης. Δηλαδή ήταν αντικείμενα απλωμένα στον άξονα Z και εμφανώς διαχωρίσιμα στους άξονες X-Y. Με βάση αυτή τη θεώρηση υλοποιήθηκε ο εξής αλγόριθμος ο οποίος αν και δεν λειτουργεί σε ολο το dataset έχει πάρα πολύ μεγάλη ταχύτητα υπολογισμού των clusters ακόμη και χωρίς την χρήση των KD-Trees.

Αρχικά γίνεται μια έμμεση προβολή των σημείων στο έδαφος. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται αυτό είναι μια δειγματοληψία βάση ενός threshold απόστασης στους άξονες XY. Αυτό οδηγεί σε μια σημαντική μείωση των σημείων της κάθε σκηνής σε ποσοστό κοντά στο 95%.

Αφού γίνει η δειγματοληψία δημιουργούνται τα αρχικά κέντρα των Clusters απλωμένα στο XY επίπεδο και εκτελείται ο αλγόριθμος K-Means. Αν ένα κέντρο μείνει άδειο σε κάποια επανάληψη διαγράφεται για βελτίωση της ταχύτητας. Όταν συγκλίνει ο αλγόριθμος διατηρείται ο Cluster το κέντρο του οποίου βρίσκεται πιο κοντά στο σημείο ενδιαφέροντος και ενώνεται με τους κοντινούς του βάση ενός threshold απόστασης. Αφού βρεθούν τα κεντροειδή τότε γίνεται μια ταξινόμηση της αρχικής σκηνής ανάλογα με την απόσταση (στους άξονες XY) που έχουν τα σημεία αυτά με τα κεντροειδή των Clusters.

Ο αλγόριθμος DBSCAN

Η επιλογή του αλγορίθμου DBSCAN για την συσταδοποίηση των αντικειμένων έγινε για πολλούς λόγους. Αρχικά δεν χρειάζεται να οριστεί εξαρχής ο αριθμός των Clusters κάτι το οποίο συμφωνεί με τη λογική της εργασίας όπου το background μπορεί να είναι ένα η περισσότερα αντικείμενα. Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα να οριστεί ο ελάχιστος αριθμός σημείων που ορίζουν ένα Cluster (επιτρέπει την αφαίρεση θορύβου από το dataset) καθώς και η μέγιστη απόσταση που μπορεί να έχει ένα σημείο από ένα σημείο του cluster για να ανήκει στον Cluster.

Ο αλγόριθμος DBSCAN λειτουργεί ως εξής.

Για κάθε σημείο του Point Cloud αν αυτό δεν έχει ελεγχθεί (έχει label -1) τότε βρίσκει τους γείτονες του (γείτονες θεωρούνται τα σημεία που απέχουν απόσταση μικρότερη από ένα threshold που ορίζουμε εμείς). Αν οι γείτονες του σημείου είναι λίγοι τότε το σημείο χαρακτηρίζεται ως θόρυβος διαφορετικά αποκτά μια τιμή (1 αν είναι το πρώτο Cluster που εξετάζεται, ο αριθμός αυξάνεται μετά το loop για να δείξει επόμενους Clusters) και οι γείτονες μπαίνουν στην ουρά. Για κάθε σημείο στην ουρά αν αυτό έχει χαρακτηριστεί ως θόρυβος ή δεν έχει χαρακτηριστεί καθόλου αποκτά το label του Cluster που εξετάζεται ενώ αν ανήκει σε άλλο Cluster αγνοείται. Στη συνέχεια οι γείτονες του σημείου αν είναι αρκετοί σε αριθμό (όχι θόρυβος) εισέρχονται στην ουρά.

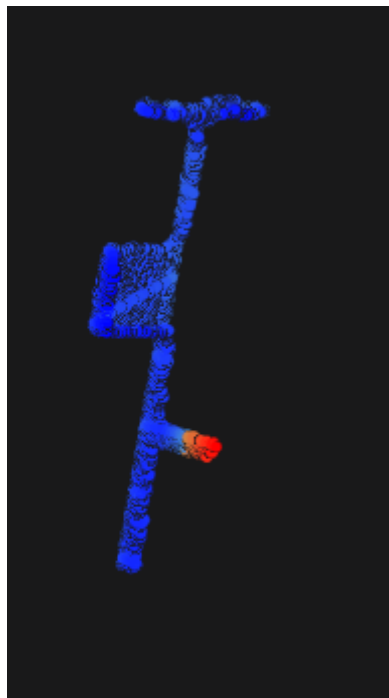
Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου είναι ένα vector από labels το οποίο διαχωρίζει το κάθε αντικείμενο σε μία κατηγορία ή το χαρακτηρίζει ως θόρυβο.

Αφαίρεση background



Η διατήρηση του αντικειμένου ενδιαφέροντος και η διαγραφή των υπολοίπων γίνεται με χρήση του ground truth απο το csv αρχείο. Η προηγούμενη διεργασία έχει ήδη χωρίσει τη σκηνή σε clusters αντικειμένων επομένως αρκεί να βρεθεί το αντικείμενο (cluster) που βρίσκεται πιο κοντά στο ground Truth. Το αντικείμενο αυτό διατηρείται και τα υπόλοιπα διαγράφονται..

Registration



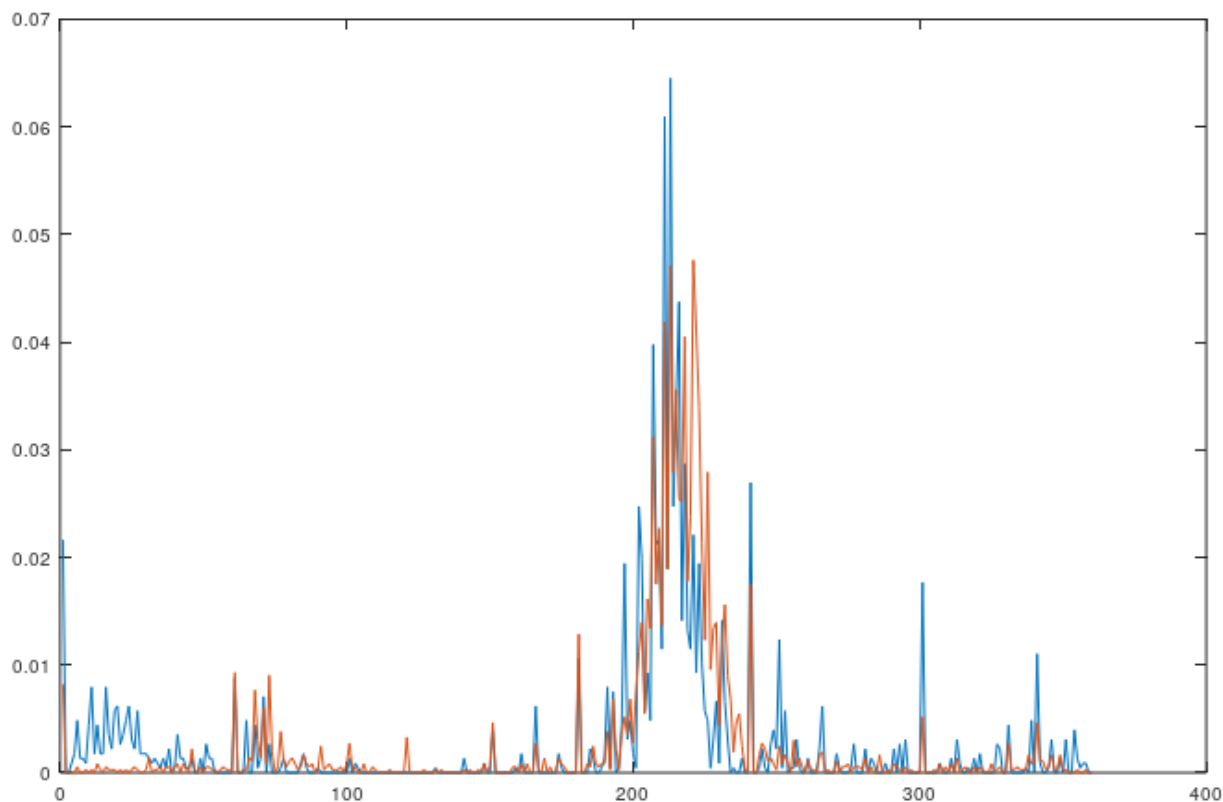
Σε αυτό το τμήμα της επεξεργασίας έγινε η παραδοχή πως τα Point Cloud των ετών 2016-2020 είναι ευθυγραμμισμένα με κοινά ground truth. Η δημιουργία του heatmap υλοποιήθηκε σε δύο στάδια. Αρχικά υπολογίστηκε το vector με τις μέσες αποστάσεις των N κοντινότερων γειτόνων του κάθε σημείου του ενός Point cloud με τα σημεία του άλλου. Στη συνέχεια έγινε κανονικοποίηση των τιμών αυτών στο εύρος [0,1] και μέσω γραμμικής παρεμβολής δημιουργήθηκαν τα χρώματα του heatmap όπου το 0 αντιστοιχεί σε μπλε και το 1 αντιστοιχεί σε κόκκινο.

Σύγκριση χρώματος

Η σύγκριση του χρώματος ανάμεσα στις δύο σκηνές εφαρμόστηκε στον χώρο HSV. Ο χώρος HSV είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για τέτοιου είδους επεξεργασίες καθώς απομονώνει το χρώμα από την φωτεινότητα και διευκολύνει την σύγκριση. Αφού υλοποιήθηκε ο κλασικός αλγόριθμος για την μετατροπή των χρωμάτων της σκηνής από RGB σε HSV έγινε υπολογισμός και του ιστογράμματος το οποίο στη συνέχεια διαιρέθηκε με τον αριθμό των σημείων ώστε να αναπαριστά μια κατανομή πυκνότητας πιθανότητας.

Η σύγκριση των δύο ιστογραμμάτων επιτεύχθηκε με την χρήση του chi-square test το οποίο δίνει μικρές τιμές για δυο ιστογράμματα που μοιάζουν στατιστικά μεταξύ τους και μεγαλύτερες σε ιστογράμματα που διαφέρουν.

$$\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - y_i)^2}{(x_i + y_i)}$$



[Το ιστόγραμμα έγινε με χρήση octave]

Στο ιστόγραμμα για το παραπάνω παράδειγμα φαίνεται πως δεν υπάρχει σημαντική χρωματική αλλαγή ανάμεσα στα δύο έτη και η τιμή chi-square είναι 0.38. Ωστόσο ένας από τους λόγους που είναι τόσο μεγάλη η τιμή είναι ότι υπάρχει γεωμετρική αλλαγή που εισάγει νέα σημεία. Σε παραδείγματα όπου δεν υπάρχει ούτε γεωμετρική ούτε χρωματική αλλαγή οι τιμές είναι συνήθως στο εύρος [0-0.25].

Classification

Το πρόβλημα του classification στη συγκεκριμένη περίπτωση αφορά κυρίως την εύρεση των κατάλληλων thresholds για την χρωματική και γεωμετρική αλλαγή. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω από διάφορες δοκιμές προέκυψε ότι ένα αποτέλεσμα chi square μεγαλύτερο του 0.25 σε αντικείμενα που δεν έχουν σημαντικές γεωμετρικές αλλαγές συνιστά μια σημαντική αλλαγή στο χρώμα. Η απόφαση για την ύπαρξη ή όχι γεωμετρικής αλλαγής ωστόσο είναι κάπως πιο περίπλοκη. Στο συγκεκριμένο dataset υπάρχουν πολλά αντικείμενα που δεν είναι σωστά ευθυγραμμισμένα για να λειτουργήσει σωστά η μέθοδος που προτείνεται στο pdf της εκφώνησης επομένως απαιτείται να προστεθεί ένα επιπλέον στάδιο πριν από αυτό του registration. Από δοκιμές και δεδομένου ότι τα περισσότερα αντικείμενα στο dataset έχουν σχεδόν το ίδιο μέγεθος bounding-box βρέθηκε ότι μια μέγιστη τιμή απόστασης (κατά το στάδιο εύρεσης των K-NN) της τάξης των 0.3-0.4 αντιστοιχεί σε πραγματικές γεωμετρικές αλλαγές στο αντικείμενο.

Επομένως η μέθοδος που προτείνεται για classification είναι η εξής:

Αν η μέγιστη απόσταση είναι μεγαλύτερη από 0.35 σε κάποια από τις δύο σκηνές τότε υπάρχει γεωμετρική αλλαγή(change). Αν κάποια από τις δύο σκηνές μετά την αφαίρεση του εδάφους

έχει ελάχιστα (κοντά στο μηδέν) στοιχεία τότε δίνεται η κατηγοριοποίηση added / removed ανάλογα με το έτος που παρατηρήθηκε η αλλαγή αυτή. Τέλος σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει γεωμετρική αλλαγή αν το αποτέλεσμα του chi-square είναι μεγαλύτερο από 0.25 τότε υπάρχει σημαντική αλλαγή στο χρώμα.

Η ακρίβεια της παραπάνω πρότασης δεν ήταν δυνατόν να βρεθεί εξαιτίας των errors που εμφάνισαν τα δεδομένα.