

Path Planning

Περίληψη

Η εργασία αυτή ασχολείται με την ανάλυση και επεξεργασία σκηνών εσωτερικών χώρων, χρησιμοποιώντας δεδομένα από το dataset S3DIS. Στο πρώτο μέρος, έγινε ανίχνευση επιπέδων για τον εντοπισμό των τοίχων, του πατώματος και του ταβανιού ενός κλειστού δωματίου, και απομόνωση των εσωτερικών αντικειμένων με αρχικά δεδομένα ένα mesh της σκηνής. Υλοποιήθηκε δειγματοληψία για τη δημιουργία ενός point cloud με ομοιόμορφη κατανομή σημείων στο οποίο εφαρμόστηκε ξανά η μέθοδος ανίχνευσης επιπέδων. Στο δεύτερο μέρος, υλοποιήθηκε και εφαρμόστηκε αλγόριθμος clustering για τον εντοπισμό αντικειμένων στο δωμάτιο. Επιπλέον, αναπτύχθηκε αλγόριθμος για τον υπολογισμό της βέλτιστης διαδρομής μεταξύ δυο σημείων εντός του δωματίου, αλλά και εντός ενός ορόφου ο οποίος αποτελείται από περισσότερα δωμάτια, λαμβάνοντας υπόψη την πλήρη γεωμετρία του χώρου.

1. Εισαγωγή

Η ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων τρισδιάστατων σκηνών εσωτερικών χώρων αποτελεί ένα κρίσιμο πεδίο στην υπολογιστική γεωμετρία και τις εφαρμογές της στην ρομποτική. Η εργασία αυτή εστιάζει στην ανίχνευση και επεξεργασία μιας σκηνής εσωτερικού χώρου, με σκοπό την απομόνωση αντικειμένων και τον υπολογισμό διαδρομών μέσα στο δωμάτιο.

Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε μια μέθοδος βασισμένη σε Voxel-Grid [1], η οποία επιτρέπει την ανακατασκευή μιας αναπαράστασης του εσωτερικού από τα αρχικά δεδομένα. Αυτή η μέθοδος είναι ευέλικτη και μπορεί να χειριστεί αρχικά τρισδιάστατα δεδομένα διαφόρων τύπων, όπως Point Clouds ή Triangle Meshes, τα οποία προέρχονται από αισθητήρες όπως Lidar ή RGB-D κάμερες. Με τη χρήση του Voxel-Grid, τα δεδομένα δεν χρειάζεται να είναι σε

συγκεκριμένη μορφή και δεν απαιτείται να γίνουν υποθέσεις, όπως ότι κάθε δωμάτιο έχει τέσσερις τοίχους κάθετους μεταξύ τους, για να λειτουργήσει η μέθοδος. Επιπλέον, η προσέγγιση αυτή λειτουργεί αποτελεσματικά ακόμα και σε σκηνές που περιέχουν περισσότερα από ένα δωμάτια, καθιστώντας την ιδανική για την ανακατασκευή και ανάλυση σύνθετων εσωτερικών χώρων. Για την υλοποίηση χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το Stanford Large-Scale 3D Indoor Scene Dataset [2] το οποίο χρησιμοποιήθηκε για παρόμοια επεξεργασία των δεδομένων σε εργασία [3].

Η παρούσα εργασία παρέχει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την κατανόηση και διαχείριση των γεωμετρικών δεδομένων των εσωτερικών χώρων, προσφέροντας χρήσιμα εργαλεία για την αναγνώριση και ανάλυση των χαρακτηριστικών του χώρου και την υποστήριξη εφαρμογών που απαιτούν ακριβή γεωμετρική αναπαράσταση όπως ο υπολογισμός διαδρομών σε εσωτερικούς χώρους.

2. Ανάπτυξη Θέματος

Σε αυτή την ενότητα, παρουσιάζονται οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν για την ανάλυση των δεδομένων των τρισδιάστατων χώρων από το dataset S3DIS [2], την αναγνώριση των αντικειμένων αφού έχουν αφαιρεθεί το πάτωμα, οι τοίχοι και το ταβάνι και τον υπολογισμό της διαδρομής στο εσωτερικό του δωματίου. Για την επεξεργασία των δεδομένων και την αναπαράσταση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η κυρίως η βιβλιοθήκη Open3D [4], με αρκετές προσθήκες χρήσιμων κομματιών από άλλες βιβλιοθήκες.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι βασισμένη σε Voxel-Grid και τα βήματα της συνοψίζονται στην εικόνα. Κάθε voxel στο grid αντιπροσωπεύει έναν μικρό κυβικό όγκο στον χώρο ο οποίος χαρακτηρίζεται ως κατειλημμένος αν σε αυτόν τον κύβο περιέχονται βασικά γεωμετρικά στοιχεία των αρχικών δεδομένων. Επίσης μπορεί να αποθηκεύσει διάφορους χαρακτηρισμούς οι οποίοι παρουσιάζονται στον Πίνακα I.

Πίνακας I. Χαρακτηρισμοί Voxel

Normal Direction	Voxel Class
Normal Vertical	Ceiling
Normal Horizontal	Floor
Normal Undefined	Wall
	Occupied
	Occupied Air
	Empty

2.1. Προεπεξεργασία

Τα αρχικά δεδομένα μας αποτελούσαν από το TriangleMesh ενός κλειστού δωματίου με μια ανοιχτή πόρτα και χωρίς ανοιχτά παράθυρα. Ως βήμα προ-επεξεργασίας κάνοντας χρήση δεδομένων αυτών και μέσω της βιβλιοθήκης Open3d, δημιουργήθηκε ένα Voxel-Grid για την αναπαράσταση των δεδομένων. Αφού έχουν υπολογιστεί οι κανονικές κατευθύνσεις κάθε τριγώνου, προσπελάζεται κάθε voxel του grid και ανατίθεται σε αυτό χαρακτηρισμός ανάλογα με το τρίγωνο το οποίο διέρχεται από αυτό και το

βαρύκεντρο του βρίσκεται πιο κοντά στο κέντρο του voxel (στην περίπτωση που πολλά τρίγωνα διέρχονται από ένα voxel). Οι αρχικοί αυτοί χαρακτηρισμοί αφορούν την διεύθυνση του κανονικού διανύσματος του τριγώνου και κάθε voxel ύστερα από αυτή τη διαδικασία αποκτά χαρακτηρισμό ως **‘Normal_Vertical’**, **‘Normal_Horizontal’** ή απλώς **‘Undefined’** αν η κατεύθυνση του normal δεν ανήκει σε καμία από τις προηγούμενες δυο κατηγορίες. Εδώ γίνεται η υπόθεση πως το οριζόντιο επίπεδο είναι αυτό του άξονα x-y, ενώ θα πρέπει τα αρχικά δεδομένα να προσανατολιστούν ώστε σε αυτό το επίπεδο ανήκουν το πάτωμα και το ταβάνι.

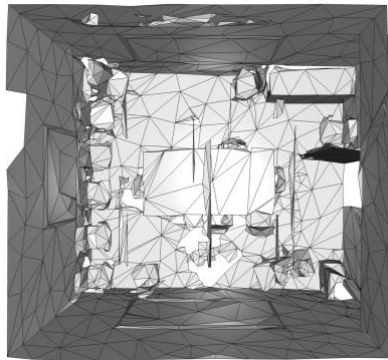
Το Voxel-Grid που έχει προκύψει χρησιμοποιείται ως είσοδος για τη μέθοδο κατά την οποία γίνεται ανακατασκευή του δωματίου καθώς ανιχνεύονται οι τοίχοι, το ταβάνι, το πάτωμα και τα αντικείμενα στο εσωτερικό του δωματίου.

2.2. Ανίχνευση τοίχων, πατώματος και οροφής

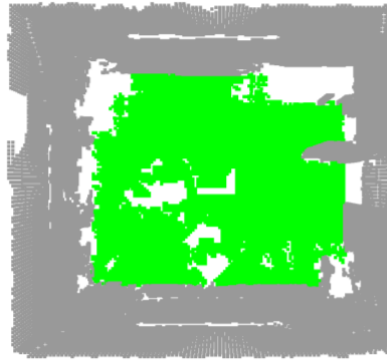
Ως πρώτο βήμα της επεξεργασίας διασχίζονται τα voxels του grid και φιλτράρονται οι τιμές των normals που έχουν ανατεθεί σε κάθε voxel ανάλογα με την τιμή με τις περισσότερες εμφανίσεις στην τρισδιάστατη γειτονιά του, με απόσταση προς κάθε κατεύθυνση ίση με 2.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τον ίδιο τύπο γειτονιάς, ομαδοποιούνται τα voxels που έχουν χαρακτηρισμό **‘Normal_Vertical’** και ελέγχονται τα τμήματα που έχουν επιφάνεια μεγαλύτερη από 1 τ.μ. όταν προβάλλονται στο οριζόντιο επίπεδο. Από αυτά, τα τμήματα που βρίσκονται πάνω από την μέση του δωματίου αποκτούν τον χαρακτηρισμό **‘Ceiling’**, ενώ από τα υπόλοιπα διατηρούνται αυτά που βρίσκονται κάτω από μια προκαθορισμένη απόσταση κατά μήκος του άξονα z και χαρακτηρίζονται ως **‘Floor’**. Τα εναπομείναντα voxels έχουν αρχικοποιηθεί με τον χαρακτηρισμό **‘Occupied’**.

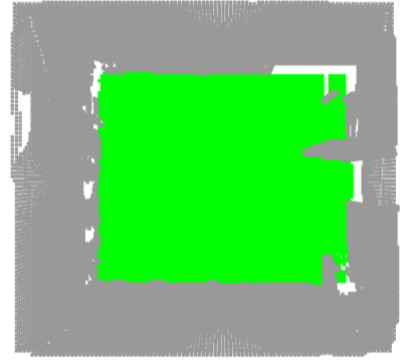
Ακολουθεί η επεξεργασία των voxels που έχουν normal με οριζόντια κατεύθυνση. Αφού έχουν ομαδοποιηθεί ακολουθώντας την ίδια τακτική, διατηρείται το τμήμα που καταλαμβάνει τον μεγαλύτερο όγκο, που έχει δηλαδή τον μεγαλύτερο αριθμό voxels. Υποθέτουμε εδώ πως



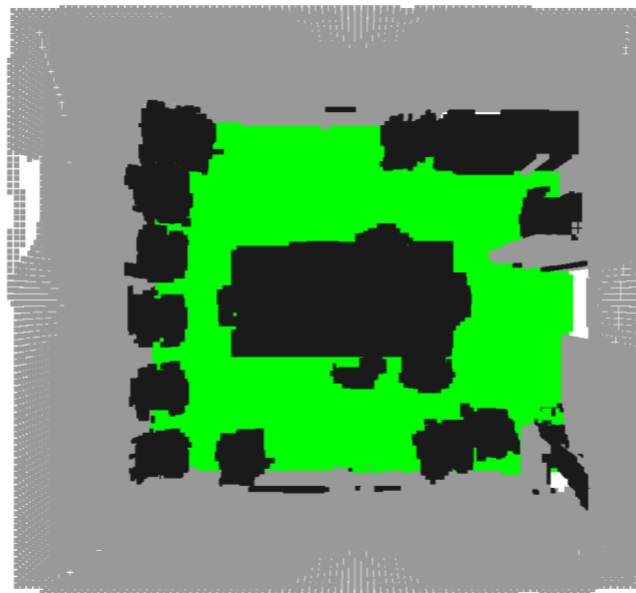
Εικόνα 1. Αρχικό mesh



Εικόνα 2. VoxelGrid μετά την αναγνώριση



Εικόνα 3. VoxelGrid μετά την επεξεργασία



Εικόνα 4. VoxelGrid μετά την επεξεργασία μαζί με τα εσωτερικά αντικείμενα

κάθε επιφάνεια τοίχου είναι συνδεδεμένη σε αυτό το τμήμα, γεγονός που ισχύει στις περισσότερες περιπτώσεις. Σε αυτό το τμήμα, εφαρμόζεται μια παραλλαγή του αλγορίθμου RANSAC [5] για ανίχνευση επιπέδων τα οποία είναι κάθετα στο οριζόντιο επίπεδο. Τα voxels που ανήκουν στα επίπεδα αυτά, εντός ενός ορίου σφάλματος, χαρακτηρίζονται ως **‘Wall’**. Αυτή η διαδικασία παρουσιάζει ένα βασικό σφάλμα: σε ορισμένες περιπτώσεις αναγνωρίζει κάθετες επιφάνειες όπως η πόρτα και τους προσδίδει τον χαρακτηρισμό τοίχου, ωστόσο το παρόν σφάλμα δεν επηρεάζει σημαντικά τον στόχο μας.

Αφού έχει ολοκληρωθεί ένα αρχικό στάδιο αναγνώρισης των τοίχων, του πατώματος και του ταβανιού, συνεχίζουμε την επεξεργασία με

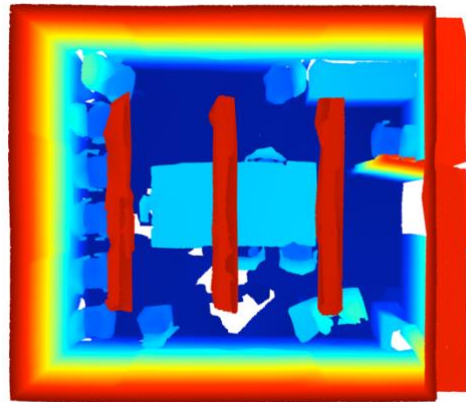
διαδοχικές προσπελάσεις με σκοπό την τελειοποίηση του Voxel-Grid όσον αφορά τον χαρακτηρισμό των voxels. Ξεκινάμε με τα voxels που αφορούν το ταβάνι με στόχο να αφαιρέσουμε τα voxels που έχουν χαρακτηριστεί εσφαλμένα ως **‘Occupied’** ενώ αφορούν τμήμα της οροφής. Αυτό επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας φίλτρο με βάση την διδιάστατη οριζόντια γειτονιά, απόστασης 5. Στη συνέχεια, τα τμήματα τοίχων που έχουν εντοπιστεί προβάλλονται στα τμήματα της οροφής τα οποία αλλάζουν τον χαρακτηρισμό τους από **‘Ceiling’** σε **‘Wall’**. Ακολουθεί η επεξεργασία του πατώματος. Εκεί αναγνωρίζονται τα voxels πληρούν τις παρακάτω προϋποθέσεις: **a)** βρίσκονται στο ύψος του πατώματος που αναγνωρίστηκε προηγουμένως

b) έχουν τον χαρακτηρισμό ‘Empty’ και **c)** έχουν σε οποιοδήποτε ύψος από πάνω τους voxel με τον χαρακτηρισμό οροφής. Τα voxel αυτά μετατρέπουν τον χαρακτηρισμό τους σε ‘Floor’. Επιπλέον, επαναλαμβάνεται η διαδικασία προβολής των τοίχων που ακολουθήθηκε για την οροφή και στο πάτωμα. Σ επεξεργαζόμαστε τους τοίχους και αλλάζουμε τον χαρακτηρισμό των voxel από ‘Occupied’ σε ‘Wall’ εάν από πάνω ή από κάτω τους υπάρχει voxel με τον χαρακτηρισμό ‘Wall’. Τέλος, διασχίζουμε τα εναπομείναντα voxels με χαρακτηρισμό ‘Occupied’ και μετατρέπουμε τον χαρακτηρισμό τους σε ‘Occupied_Air’, εάν σε συγκεκριμένη απόσταση από πάνω τους έχουν voxel με χαρακτηρισμό ‘Ceiling’. Η μέθοδος αυτή, επεξεργασίας των voxels σε συνδυασμό με την αναγνώριση των τοίχων, του πατώματος και του ταβανιού σε τρισδιάστατα δεδομένα επιτυγχάνει την παραγωγή μιας ακριβούς αναπαράστασης του εσωτερικού χώρου όπως παρουσιάζεται στην **Εικόνα 4**, η οποία είναι κρίσιμη για εφαρμογές που θα ακολουθήσουν στη συνέχεια.

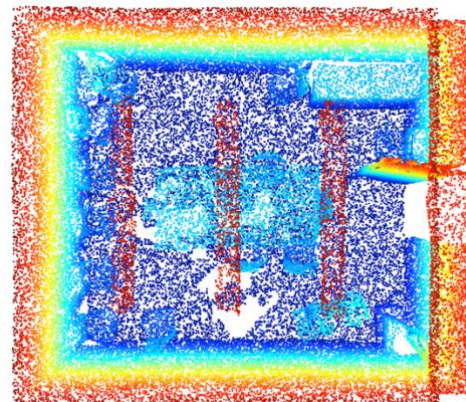
2.3. Δειγματοληψία mesh

Υλοποιήθηκε μια μέθοδος για τη δειγματοληψία του τρισδιάστατου TriangleMesh των αρχικών δεδομένων με ομοιόμορφη κατανομή σημείων και παραμετροποιήσιμο αριθμό σημείων. Αρχικά, υπολογίζονται τα εμβαδά των τριγώνων του mesh, με τη χρήση του διανυσματικού γινομένου των ακμών του κάθε τριγώνου. Έπειτα, γίνεται η δειγματοληψία τυχαία, με βάση αυτά τα εμβαδά, ώστε να εξασφαλιστεί ότι τα σημεία κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλο το mesh. Το τελικό αποτέλεσμα όπως φαίνεται στις **Εικόνες 5 και 6**, είναι ένα PointCloud που αποτελείται από τα δειγματοληπτημένα σημεία, παρέχοντας μια αναπαράσταση του αρχικού mesh με σημεία, διατηρώντας τη γεωμετρική του δομή των αρχικών δεδομένων.

Στη συνέχεια, αυτά τα σημεία χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδος στη την μέθοδο που αναλύθηκε προηγουμένως για την ανίχνευση των τοίχων, του πατώματος και της οροφής. Καθώς αποτελούν διαφορετικό τύπο δεδομένων από το mesh, απαιτούν διαφορετική προεπεξεργασία για την δημιουργία του Voxel-Grid. Συγκεκριμένα,

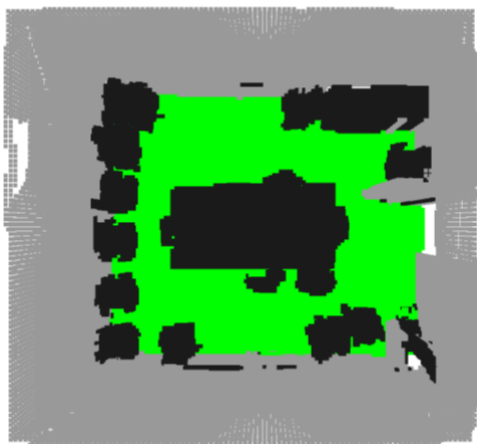


Εικόνα 5. Δειγματοληπτημένο PointCloud με 10^6 σημεία



Εικόνα 6. Δειγματοληπτημένο PointCloud με 10^5 σημεία

αυτό δημιουργείται όπως και προηγουμένως με την βοήθεια της βιβλιοθήκης Open3D, ωστόσο η διαφορά έγκειται στον χαρακτηρισμό του normal σε κάθε voxel. Αρχικά υπολογίζουμε την normal διεύθυνση του κάθε σημείου, στη συνέχεια για κάθε voxel αναζητούμε τα σημεία που απέχουν από το κέντρο του απόσταση μικρότερη από το μέγεθος του μέσω ενός KD-Tree με στόχο την μείωση του χρόνου αναζήτησης. Από αυτά σημεία βρίσκουμε ποια περιέχονται εντός του voxel και αναθέτουμε σε αυτό την μέση τιμή των normal διανυσμάτων των σημείων. Ακολουθεί χαρακτηρισμός των voxel όμοιος με αυτόν στην περίπτωση του mesh (Παράγραφος 2.1) και πλέον το Voxel-Grid είναι έτοιμο για την εφαρμογή της μεθόδου ανίχνευσης των δομικών στοιχείων του δωματίου. Όπως παρατηρούμε στην **Εικόνα 7** τα αποτελέσματα για τους δύο τύπους δεδομένων παρουσιάζουν σχεδόν απόλυτη ομοιότητα.



Εικόνα 7. Voxel Grid με PointCloud ως αρχικό δεδομένο

2.4. Εντοπισμός αντικειμένων

Με σκοπό τον εντοπισμό των διαφόρων αντικειμένων που υπάρχουν στο εσωτερικό του δωματίου, υλοποιήθηκε ο αλγόριθμος DBSCAN [6]. Ο αλγόριθμος, εντοπίζει περιοχές υψηλής πυκνότητας και τις θεωρεί ως clusters, ενώ σημεία που βρίσκονται σε περιοχές χαμηλής πυκνότητας χαρακτηρίζονται ως θόρυβος. Λειτουργεί με δύο βασικές παραμέτρους: την ελάχιστη απόσταση ϵ (επίσης γνωστή ως epsilon) που ορίζει την ακτίνα μιας γειτονιάς γύρω από ένα σημείο και τον ελάχιστο αριθμό σημείων που πρέπει να υπάρχουν σε αυτή τη γειτονιά για να θεωρηθεί το σημείο μέλος του cluster (minPts). Ο DBSCAN ξεκινά από ένα τυχαίο σημείο και επεκτείνει το cluster εφόσον υπάρχουν αρκετά κοντινά σημεία (εντός της ακτίνας ϵ). Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να εντοπιστούν όλα τα clusters. Ο DBSCAN είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός σε δεδομένα με τυχαία κατανομή και μπορεί να εντοπίζει clusters με αυθαίρετα σχήματα και μεγέθη, καθιστώντας τον ιδανικό για την περίπτωση μας. Τα σημεία εισόδου για τον εντοπισμό των αντικειμένων εντός του δωματίου είναι τα voxels που έχουν αποκτήσει τον χαρακτηρισμό **‘Occupied’**. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του παρουσιάζονται στην **Εικόνα 8**.

2.5. Εντοπισμός πόρτας

Η υλοποίηση μεθόδου για τον εντοπισμό της πόρτας παραλείφθηκε, εστιάζοντας στη βελτιστοποίηση των αλγορίθμων για την πλοήγηση εντός του χώρου.



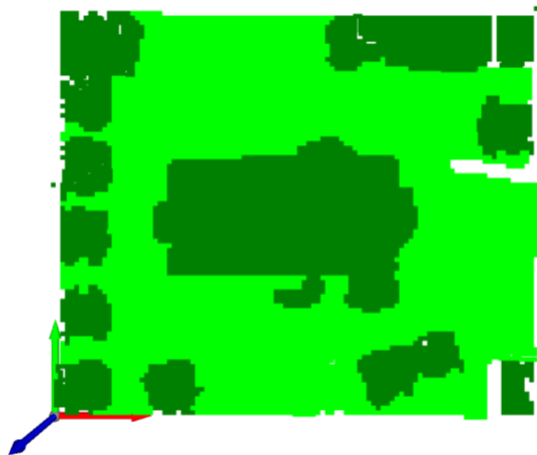
Εικόνα 8. Εντοπισμός clusters αντικειμένων με χρήση του αλγορίθμου DBSCAN

Πάραυτα διεξήχθη βιβλιογραφική αναζήτηση και διαπιστώθηκε πως μια λύση που θα μπορούσε να αποδώσει αποτελέσματα θα ήταν η προβολή των τμημάτων τοίχων που έχουν βρεθεί στις 2 διαστάσεις. Έπειτα η ανίχνευση περιγραμμάτων στα δεδομένα αυτά, σε συνδυασμό με εφαρμογή του Γενικευμένου Μετασχηματισμού Hough (GHT), θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση τετραγωνικών σχημάτων στα τμήματα των τοίχων, τα οποία θα υποδείκνυαν την θέση της πόρτας. Ωστόσο μια αρχική υλοποίηση της μεθόδου σε συνδυασμό με τα αρχικά δεδομένα από το dataset, παρουσίασαν δυσκολία στην υλοποίηση και για αυτό το λόγο δεν υλοποιήθηκαν πλήρως.

2.6. Εύρεση Διαδρομής

Εφόσον έχει γίνει η απαραίτητη επεξεργασία των αρχικών δεδομένων, υπάρχει ένα αρκετά καλό υπόβαθρο για την επίλυση του προβλήματος που αφορά την εύρεση μιας διαδρομής μεταξύ δύο σημείων στο εσωτερικό του δωματίου αποφεύγοντας τα οποιαδήποτε εμπόδια. Η διαδρομή αφορά ένα σημειακό αντικείμενο το ύψος του οποίου ωστόσο μπορεί να μεταβληθεί (Αυτό υλοποιήθηκε έτσι ώστε η διαδρομή να μπορεί να διέρχεται κάτω από εμπόδια, όπως για παράδειγμα κάποιο τραπέζι). Αρχικά, για την απλοποίηση του προβλήματος, επιλέχθηκε να γίνει προβολή των αντικειμένων στο πάτωμα του δωματίου, έτσι ώστε να μειωθεί η διάσταση του προβλήματος και η διαδρομή να βρεθεί στις δυο διαστάσεις. Έτσι, πρώτα βρέθηκε ένα

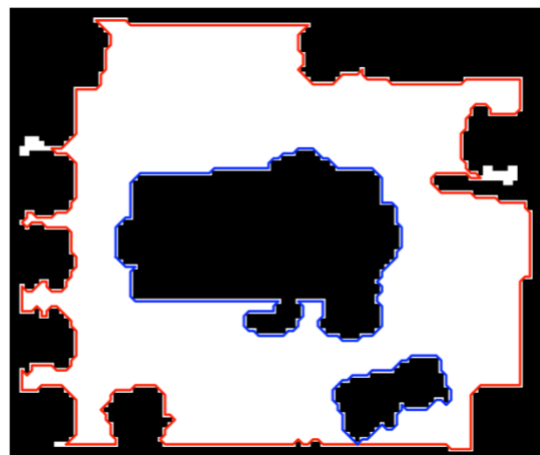
δισδιάστατο grid το οποίο περιέχει τις προβολές στο οριζόντιο επίπεδο των voxels που έχουν τον χαρακτηρισμό **‘Floor’**. Έπειτα, κάθε cluster αντικείμενου που εντοπίστηκε σύμφωνα με την Παράγραφο 2.5 προβλήθηκε επίσης στο οριζόντιο επίπεδο και αφαιρέθηκαν τα σημεία επικάλυψης από το grid του πατώματος που υπολογίστηκε προηγουμένως. Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας παρουσιάζονται στην **Εικόνα 9**, όπου με ανοιχτό πράσινο χρώμα απεικονίζεται η περιοχή του πατώματος η οποία είναι προσβάσιμη για την εύρεση της διαδρομής, ενώ η περιοχή με σκούρο πράσινο είναι κατειλημμένη από τα αντικείμενα.



Εικόνα 9. Προσβάσιμες και μη προσβάσιμες περιοχές του πατώματος

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε ανίχνευση περιγράμματος στο grid όπου είναι αποθηκευμένη η προσβάσιμη περιοχή, χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη OpenCV [7]. Με αυτόν τον τρόπο ανακτήθηκαν οι κορυφές των πολυγώνων που αναπαριστούν το περίγραμμα του πατώματος και των αντικειμένων. Αυτές οι κορυφές χρησιμοποιήθηκαν ώστε η προσβάσιμη περιοχή του πατώματος να αναπαρασταθεί από ένα βασικό πολύγωνο, το οποίο περιέχει τρύπες στο εσωτερικό του για να αναπαρασταθούν τα αντικείμενα του δωματίου. Έχοντας αποκτήσει την αναπαράσταση του επιθυμητού χώρου μέσω πολυγώνων, όπως παρουσιάζεται στην **Εικόνα 10** είναι εφικτό να προχωρήσουμε στην ανάπτυξη μεθόδων για την εύρεση της διαδρομής μεταξύ 2 σημείων εντός αυτού.

Αρχικός σκοπός ήταν η υλοποίηση ενός αλγορίθμου για τον υπολογισμό του γράφου ορατότητας μεταξύ των κορυφών εντός του κόκκινου πολυγώνου και στην συνέχεια η εφαρμογή ενός αλγορίθμου όπως ο Dijkstra ή ο A* για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής. Ωστόσο κατά την διάρκεια υλοποίησης ενός αλγορίθμου για την εύρεση του γράφου ορατότητας και καθώς τα αποτελέσματα αυτού δεν παρουσίασαν αρκετά καλές χρονικές επιδόσεις, συλλήφθηκε η ιδέα για την ανάπτυξη ενός αναδρομικού αλγορίθμου ο οποίος υπολογίζει απευθείας τη διαδρομή μεταξύ δύο σημείων. Οπότε επιδιώχθηκε η υλοποίηση αυτού.



Εικόνα 10. Πολύγωνα αναπαράστασης προσβάσιμης περιοχής

Η βασική ιδέα αυτού του αλγορίθμου παρουσιάζεται στον παρακάτω ψευδοκώδικα

Αλγόριθμος Ορατής Διαδρομής

1. Ελέγχουμε αν η ευθεία που συνδέει τα σημεία **p1p2** τέμνει το **πολύγωνο**
 2. βρίσκουμε την ακμή του πολυγώνου που τέμνεται με την **p1p2**
 3. διατρέχουμε τις κορυφές του πολυγώνου δεξιόστροφα και αριστερόστροφα ξεκινώντας από το σημείο τομής για την εύρεση δυο διαδρομών
 4. Σε κάθε κορυφή **v** ελέγχουμε:
 5. Αν η ευθεία **p1v** δεν τέμνει το πολύγωνο ορίζουμε ως διαδρομή την **[p1,v]**
-

6. Αν η ευθεία **vp2** τέμνει το πολύγωνο προσθέτουμε την κορυφή **v** στη διαδρομή
7. Αλλιώς προσθέτουμε τις κορυφές **v** και **p2** στη διαδρομή και τερματίζουμε
8. διατηρούμε την διαδρομή με την βέλτιστη απόσταση

Στην περίπτωση μας, χρησιμοποιήθηκε αυτή η βασική ιδέα με ορισμένες παραλλαγές και επιπλέον προσθήκες. Συγκεκριμένα, έγιναν επιπλέον έλεγχοι προκειμένου κάθε βήμα της διαδρομής να βρίσκεται εντός του βασικού πολυγώνου ενώ τα βήματα 5 και 7 αντικαταστάθηκαν με αναδρομικές κλήσεις της συνάρτησης με αρχή το την κορυφή **p1** και τέλος το σημείο **v** για το βήμα 5 και αρχή το **v** και τέλος το **p2** για το βήμα 7. Οι αναδρομικές κλήσεις προστέθηκαν για να αντιμετωπιστούν ενδεχόμενα που στο ενδιάμεσό των 2 σημείων υπάρχουν και άλλα πολύγωνα όπως στην περίπτωση του δικού μας «χάρτη». Ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε σε ορισμένες περιπτώσεις δεν υπολογίζει την βέλτιστη διαδρομή ή λόγω της αναδρομής το παγιδεύεται σε ατέρμονους βρόγχους. Το τελευταίο αντιμετωπίστηκε με ένα όριο στο μέγιστο βάθος των αναδρομικών κλήσεων. Η λύση αυτή δεν είναι βέλτιστη και πιθανότητα ευθύνεται για την αδυναμία εύρεσης της βέλτιστης διαδρομής, ωστόσο επιφέρει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα από πλευράς χρόνου αλλά και όσον αφορά την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής όπως φαίνεται στην . Για την εύρεση των τομών και τους διάφορους ελέγχους χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη *shapely*. [8]

Η μέθοδος που αναπτύχθηκε για την εύρεση της διαδρομής σε συνδυασμό με την επεξεργασία που δέχτηκαν τα αρχικά δεδομένα προηγούμενως , επιτρέπει απευθείας την εύρεση της διαδρομής μεταξύ δύο σημείων εντός οποιασδήποτε σκηνής με περισσότερα από ένα δωμάτια τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους. Αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στην επόμενη σελίδα.



Εικόνα 11. Εύρεση Διαδρομής

Τελικά, εφόσον είχε υλοποιηθεί ο αλγόριθμος για την απευθείας εύρεση της διαδρομής μεταξύ των 2 σημείων, βρέθηκε βιβλιογραφία σχετική με την παραπάνω μεθοδολογία [9], [10]

3. ΣΥΝΟΨΗ

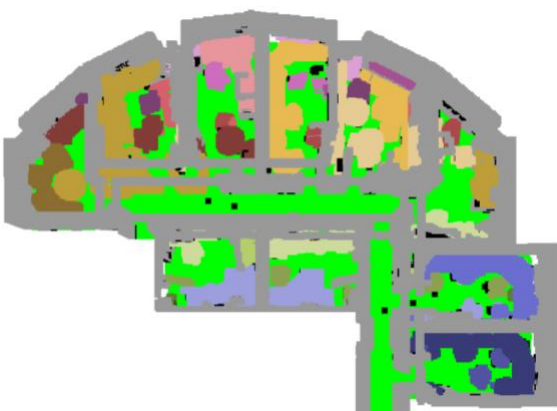
Η ανάλυση και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων της σκηνής εσωτερικού χώρου απέδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Είναι βέβαιο πως υπάρχουν αρκετά σημεία που δέχονται βελτίωση, όπως για παράδειγμα στην αρχική επεξεργασία των δεδομένων ή στην βελτίωση του αλγορίθμου για την εύρεση της διαδρομής. Παρόλα αυτά, οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν και υλοποιήθηκαν για την ανίχνευση επιπέδω, για τη δειγματοληψία του *esh*, για το *clustering* των αντικειμένων και τον υπολογισμό των διαδρομών προσέφεραν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την κατανόηση και διαχείριση γεωμετρικών αλγορίθμων των εσωτερικών χώρων.



Εικόνα 12. Αρχική Αναγνώριση



Εικόνα 13. Επεξεργασία



Εικόνα 13. Εντοπισμός Αντικειμένων



Εικόνα 15. Προσβάσιμη Περιοχή



Εικόνα 16. Διαδρομή 1



Εικόνα 17. Διαδρομή 2

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] P. Hübner, M. Weinmann, and S. Wursthorn, “Voxel-based indoor reconstruction from hololens triangle meshes,” in *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Copernicus GmbH, Aug. 2020, pp. 79–86. doi: 10.5194/isprs-Annals-V-4-2020-79-2020.
- [2] “Stanford Large-Scale 3D Indoor Scene Dataset (S3DIS).” [Online]. Available: <http://buildingparser.stanford.edu/dataset.html>
- [3] I. Armeni *et al.*, “3D Semantic Parsing of Large-Scale Indoor Spaces.” [Online]. Available: <http://buildingparser.stanford.edu/>
- [4] Q.-Y. Zhou, J. Park, and V. Koltun, “Open3D: A Modern Library for 3D Data Processing,” Jan. 2018, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1801.09847>
- [5] J. D. Foley, M. A. Fischler, and R. C. Bolles, “Graphics and Image Processing Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Apphcatlons to Image Analysis and Automated Cartography,” 1981.
- [6] M. Ester, H.-P. Kriegel, J. Sander, and X. Xu, “A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise,” 1996. [Online]. Available: www.aaai.org
- [7] G. Bradski, “The OpenCV Library,” *Dr. Dobb’s Journal of Software Tools*, 2000.
- [8] S. Gillies *et al.*, “Shapely.” Jul. 2024. doi: 10.5281/zenodo.5597138.
- [9] L. Blasi, E. D’Amato, M. Mattei, and I. Notaro, “Path planning and real-time collision avoidance based on the essential visibility graph,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 16, Aug. 2020, doi: 10.3390/app10165613.
- [10] Egidio D’Amato, Immacolata Notaro, and Massimiliano Mattei, “Optimal Flight Paths over Essential Visibility Graphs,” in *2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems : ICUAS’ 18 : June 12-15, 2018, Dallas Marriott City Center, 650 N. Pearl Str., Dallas, 75201*, 2018.