



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ: Τομέας Τηλεπικοινωνιών και Τεχνολογίας Πληροφορίας (Τ.&Τ.Π.)

Διπλωματική Εργασία
του φοιτητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του
Πανεπιστημίου Πατρών

Νικολάου Αθανασόπουλου του Κωνσταντίνου

Αριθμός Μητρώου: 228263

Θέμα

**«Σύστημα υποβοήθησης ανθρώπων με προβλήματα
όρασης»**

Επιβλέπων

Κωνσταντίνος Μουστάκας, Αναπληρωτής Καθηγητής

Αριθμός Διπλωματικής Εργασίας:

Πάτρα, Ιούλιος 2019

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Πιστοποιείται ότι η Διπλωματική Εργασία με θέμα

«Σύστημα υποβοήθησης ανθρώπων με προβλήματα όρασης»

Του φοιτητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Νικολάου Αθανασόπουλου του Κωνσταντίνου

Αριθμός Μητρώου: 228263

Παρουσιάστηκε δημόσια και εξετάστηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών στις
04/06/2019

Ο Επιβλέπων

Κωνσταντίνος Μουστάκας,
Αναπληρωτής Καθηγητής

Ο Διευθυντής του Τομέα

Σταύρος Κωτσόπουλος,
Καθηγητής

Αριθμός Διπλωματικής Εργασίας:

Θέμα: «Σύστημα υποβοήθησης ανθρώπων με προβλήματα όρασης»

Φοιτητής:

Νικόλαος Αθανασόπουλος

Επιβλέπων:

Κωνσταντίνος Μουστάκας

Περίληψη

Tα τελευταία χρόνια γίνεται μια προσπάθεια αξιοποίησης των νέων τεχνολογιών προς όφελος των ευπαθών κοινωνικών ομάδων, και πιο συγκεκριμένα, των ανθρώπων με διάφορα είδη αναπηρίας. Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός συστήματος υποβοήθησης των ανθρώπων με προβλήματα όρασης. Βασική ιδέα αποτέλεσε ο τρόπος που συνεργάζονται οι σκύλοι-οδηγοί με τους τυφλούς ανθρώπους, μόνο που στην περίπτωσή μας οι αρμοδιότητες του σκύλου έχουν ανατεθεί στο ρομπότ Turtlebot3. Οι εν λόγω αρμοδιότητες του ρομπότ είναι βέβαια εμπλουτισμένες σε σχέση με τις αντίστοιχες του σκύλου, καθώς είναι σε θέση να αντιλαμβάνεται την ύπαρξη των εμποδίων στον χώρο τόσο στις δύο(2D), αλλά και στις τρεις διαστάσεις(3D). Η ειδοποίηση του ανθρώπου πραγματοποιείται είτε με την δόνηση του περιβραχιονίου που φοράει στο χέρι, είτε φωνητικά με την παραγωγή ομιλίας που ακούγεται από ένα ασύρματο γηρείο τοποθετημένο στο ρομπότ. Παράλληλα, παρέχεται η δυνατότητα στον χρήστη να αλλάζει την κατεύθυνση κατά την οποία κινείται το σύστημα, σε περίπτωση που δεν υπάρχει κάποιο εμπόδιο στην κατεύθυνση που έχει επιλέξει να κινηθεί. Ένα ακόμα στοιχείο που διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό την πλοήγηση του χρήστη στον χώρο είναι η δυνατότητα του ρομπότ να αναγνωρίζει πότε το σύστημα οδηγείται σε σκάλες που είναι κατηφορικές, ειδοποιώντας άμεσα τον ανθρωπο. Με την αξιοποίηση του εν λόγω συστήματος, οι χρήστες θα είναι σε θέση να κινούνται με ασφάλεια σε εσωτερικούς χώρους και να καταφέρνουν τελικά να αποφεύγουν τα εμπόδια που συναντούν στην πορεία τους. Για την εξακρίβωση της επιτυχούς λειτουργίας του συστήματος, παρατηρήθηκε η συμπεριφορά του κατά την πλοήγηση του ανθρώπου σε τρεις διαφορετικούς εσωτερικούς χώρους, παρέχοντας χρήσιμα συμπεράσματα.

Abstract

Over the last few years an attempt has been made to exploit new technologies for the benefit of vulnerable social groups ,and in particular, people with different types of disability. The aim of this diploma thesis is to create a system for assisting people with vision problems. The main idea was based on the way that guide-dogs cooperate with blind people, but in our case the responsibilities of the dog have been assigned to the Turtlebot 3 robot. These responsibilities though are enriched in comparison with dog's responsibilities, as Turtlebot is able to perceive the existence of obstacles in space not only in two(2D) but also in all three dimensions(3D). Human alert is succeeded either by the vibration of the armband wearing on his hand or by voicing with the speech production heard from a wireless speaker mounted on the robot. At the same time, the user is capable of changing the direction in which the system moves, if there is no obstacle in the direction that he has chosen to move. Another feature that greatly facilitates user navigation in space is the ability of the robot to recognize when the system is driven to downhill stairs, directly alerting the person. By exploiting this system, users will be able to move safely indoors and eventually manage to avoid the obstacles they encounter along the way. For the verification of the successful conduct of the system, the behavior of the system was observed while navigating a man in three different interiors, providing useful conclusions.

Ευχαριστίες

Θ Α ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κύριο Κωνσταντίνο Μουστάκα τόσο για την άφογη συνεργασία στο πλαίσιο της διπλωματικής μου εργασίας όσο και για τα κίνητρα που μου παρείχε ούτως ώστε να ασχοληθώ με τον συγκεκριμένο επιστημονικό ιλάδο. Θα ήθελα επίσης να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για την στήριξη που μου παρείχε καθόλη την διάρκεια της ακαδημαϊκής μου πορείας, καθώς και τους φίλους που στάθηκαν στο πλευρό μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος σχημάτων	ix
Κατάλογος πινάκων	xii
1 Εισαγωγή	1
1.1 Υπάρχοντα συστήματα υποβοήθησης ανθρώπων με προβλήματα όρασης	3
1.1.1 Indoor Navigation systems for blind people	3
1.1.2 A Navigation System for the Visually Impaired: A Fusion of Vision and Depth Sensor	7
1.2 Το προτεινόμενο σύστημα υποβοήθησης ανθρώπων με προβλήματα όρασης	15
2 Περιγραφή του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού	20
2.1 Ρομπότ Turtlebot 3 Burger	20
2.1.1 Πλακέτα OPENCR1.0	22
2.1.2 Raspberry pi 3	23
2.1.3 Two-dimensional (2D) 360° Lidar Distance Sensor . .	24
2.2 Περιβραχιόνιο μπράτσου Myo Gesture Control Armband System	26
2.3 Bluetooth speaker	30
2.4 Three-dimensional (3D) Occipital Structure Sensor	31
3 Παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας του συστήματος	35
3.1 Η διάταξη του ανθρώπου στον χώρο σε σχέση με το ρομπότ	36
3.1.1 Απουσία του ανθρώπου πίσω από το ρομπότ	37
3.1.2 Αναγνώριση του ανθρώπου πίσω από το ρομπότ . .	39
3.2 Άλλαγή της κατεύθυνσης του συστήματος από τον χρήστη .	40

3.2.1	Αλλαγή της κατεύθυνσης του συστήματος κατά μοίρες δεξιά	40
3.2.2	Αλλαγή της κατεύθυνσης του συστήματος κατά μοίρες αριστερά	44
3.3	2D Αποφυγή εμποδίων	48
3.3.1	Απόφαση της πλευράς από την οποία θα αποφευχθεί το εμπόδιο	49
3.3.1.1	Υπαρξη λιγότερων εμποδίων στην δεξιά πλευρά	51
3.3.1.2	Υπαρξη λιγότερων εμποδίων στην αριστερή πλευρά	60
3.3.2	Αποφυγή εμποδίων από αριστερά	64
3.3.3	Αποφυγή εμποδίων από δεξιά	69
3.4	Κώδικας επικοινωνίας ανθρώπου-ρομπότ μέσω του περιβραχιονίου	74
3.5	3D Αναγνώριση των εμποδίων	75
3.6	Αναγνώριση σκαλιών προς τα κάτω και ειδοποίηση του χρήστη	78
4	Πειραματικός έλεγχος της συμπεριφοράς του συστήματος	81
4.1	Πειραματικός Έλεγχος 2D συστήματος	81
4.1.1	Εσωτερικός χώρος No1	82
4.1.2	Εσωτερικός χώρος No2	85
4.1.3	Εσωτερικός χώρος No3	88
4.2	Πειραματικός Έλεγχος 3D συστήματος	92
5	Αποτελέσματα Πειραματικής διεργασίας	93
5.1	Αποτελέσματα πειραματικού ελέγχου 2D συστήματος . . .	93
5.2	Αποτελέσματα 3D Αποφυγής εμποδίων	94
5.3	Αποτελέσματα αναγνώρισης σκαλιών προς τα κάτω	96
6	Συμπεράσματα	98
	Βιβλιογραφία	100

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

1.1	Global predictions of numbers of people who are blind or moderately and severely vision impaired,from 1990-2050	2
1.2	Components of the system	5
1.3	Diagram of the system	6
1.4	Microsoft Kinect for Xbox 360	9
1.5	Results of local image feature detectors that can be used to develop a vision-based navigation system	11
1.6	Coloured Corner points	12
1.7	Components of the navigation system, excluding the laptop .	13
1.8	Hardware setup for testing the system	14
1.9	Guide dog for blind people	16
1.10	MELDOG MARK I	17
1.11	MELDOG MARK II	17
1.12	MELDOG MARK III	17
1.13	MELDOG MARK IV	17
2.1	Robot Turtlebot 3 Burger	21
2.2	OPENCR-board	22
2.3	Orientation of Gyroscope	23
2.4	Raspberry pi 3 Model B	24
2.5	2D 360° Lidar Distance Sensor	24
2.6	Lidar Distance Sensor Mechanism Layout	24
2.7	Επίπεδη επιφάνεια laser scanner	25
2.8	Πρώτη εκτίμηση του χώρου μέσω SLAM	26
2.9	Τελική εκτίμηση του χώρου μέσω SLAM	26
2.10	Myo Gesture Control Armband	27

2.11 eight electromyographic sensors - 8 EMG sensors	27
2.12 Τοποθέτηση Myo στο χέρι	27
2.13 Myo diagnostics - EMG Graphs	28
2.14 Myo EMG Graphs	28
2.15 Pyoconnect's Menu	29
2.16 Poses of Myo Armband	30
2.17 Wireless Bluetooth speaker Turbox	31
2.18 Occipital Structure Sensor	32
2.19 Structure Sensor's Technical specifications	32
2.20 Depth image	33
2.21 Structure Sensor's Technique	34
 3.1 Δομικά συστατικά του συστήματος	36
3.2 Lidar Distance Sensor Scanning Range(Degrees)	37
3.3 Εύρος μοιρών συνάρτησης get_scan_people	37
3.4 Λάθος τοποθέτηση ανθρώπου)	38
3.5 Σωστή τοποθέτηση ανθρώπου // Lidar Distance Sensor > 0.5	38
3.6 Σωστή τοποθέτηση ανθρώπου // Lidar Distance Sensor < 0.5	39
3.7 Σωστή τοποθέτηση ανθρώπου // Lidar Distance Sensor < 0.5	39
3.8 Επιτυχημένη εκκίνηση της πλοήγησης του ανθρώπου στον χώρο	39
3.9 Fist pose	41
3.10 Εύρος μοιρών συνάρτησης get_scan_pose_fist_right	41
3.11 Κίνηση του ρομπότ με fist pose	43
3.12 WaveIn pose	44
3.13 Εύρος μοιρών συνάρτησης get_scan_pose_fist_right	44
3.14 Κίνηση του ρομπότ με waveIn pose	46
3.15 Εύρος μοιρών συνάρτησης get_scan	48
3.16 Χωρισμός του χώρου σε δύο τμήματα	49
3.17 Εύρος μοιρών συνάρτησης get_scan_front_right_obstacles	50
3.18 Εύρος μοιρών συνάρτησης get_scan_front_left_obstacles	51
3.19 Εύρος μοιρών συνάρτησης get_scan_right_while_avoiding	52
3.20	52
3.21 Ο χώρος όταν ο άνθρωπος έχει εμπόδιο δεξιά του	53
3.22 "Make a step forward and turn right 90 degrees"	54
3.23 Εύρος μοιρών συνάρτησης get_scan_left_while_avoiding	55
3.24 Αδιέξοδο	56
3.25 Εύρος μοιρών συνάρτησης get_scan_space_back_left	57
3.26 Εμπόδιο αριστερά από τον άνθρωπο	58
3.27 "Make a step forward and turn left 90 degrees"	59
3.28 Εντοπισμός εμποδίου	65
3.29 Περιστροφή του ρομπότ 90° αριστερά	65
3.30 Δεν υπάρχει εμπόδιο δεξιά του ρομπότ	66
3.31 Περιστροφή του ρομπότ 90° δεξιά	66
3.32 Επιτυχής αποφυγή του εμποδίου από αριστερά	66

3.33 Τοποθέτηση του ρομπότ μπροστά από τον άνθρωπο κατά την αποφυγή εμποδίου από αριστερά	67
3.34 Εμπόδιο μπροστά και αριστερά από το ρομπότ κατά την αποφυγή εμποδίου από αριστερά	68
3.35 Εντοπισμός εμποδίου μπροστά από το ρομπότ	69
3.36 Περιστροφή του ρομπότ 90° δεξιά	69
3.37 Δεν υπάρχει εμπόδιο αριστερά του ρομπότ	70
3.38 Περιστροφή του ρομπότ 90° αριστερά	70
3.39 Επιτυχής αποφυγή του εμποδίου από δεξιά	71
3.40 Τοποθέτηση του ρομπότ μπροστά από τον άνθρωπο κατά την αποφυγή εμποδίου από δεξιά	72
3.41 Εμπόδιο μπροστά και δεξιά από το ρομπότ κατά την αποφυγή εμποδίου από δεξιά	73
3.42 Τοποθέτηση 3d occipital structure sensor στο ρομπότ	76
3.43 Τριπλέτα x, y, z κοντινότερου σημείου	77
3.44 Κοντινότερο σημείο (μπλε pixel) στον σένσορα	77
3.45 Τοποθέτηση 3d occipital structure sensor με κλίση προς τα κάτω για την αναγνώριση σκαλιών	79
3.46 Δομικά συστατικά του συστήματος	80
 4.1 Διαδρομή 1	83
4.2 Διαδρομή 2	86
4.3 Διαδρομή 3	89
 5.1 συντεταγμένη κοντινότερου σημείου $z > 800$	95
5.2 συντεταγμένη κοντινότερου σημείου $z < 800$ // Δόνηση Myo	95
5.3 Αναγνώριση καρέκλας	95
5.4 Αναγνώριση τραπεζιού	95
5.5 Το σύστημα κατευθύνεται προς τα σκαλιά	96
5.6 Το σύστημα πλησιάζει τα σκαλιά, αλλά $z=0$	96
5.7 Αναγνώριση των σκαλιών εφόσον $z=1024$ και άμεση ειδοποίηση του ανθρώπου	97

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

1.1	Commonly used sensory aids for visually impaired people	8
3.1	Κώδικας επικοινωνίας ανθρώπου-ρομπότ μέσω δονήσεων Myo Armband	75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1

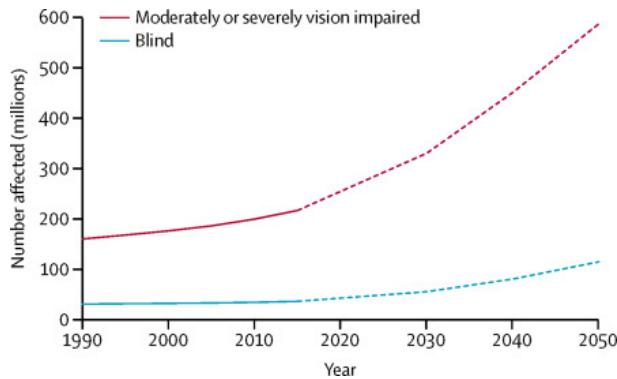
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Aείζει να σημειωθεί ότι ο αριθμός των ανθρώπων ανά τον κόσμο με πλήρη τύφλωση σύμφωνα με μελέτες και έρευνες που πραγματοποιήθηκαν το 2017 άγγιζε τους 36 εκατομμύρια ανθρώπους, ενώ ο αντίστοιχος αριθμός των ανθρώπων που έχουν μέτρια ή σοβαρή εξασθένιση όρασης κυμαίνεται περί τα 217 εκατομμύρια, σύμφωνα με ανάλυση δεδομένων που αφορούσε 188 χώρες. Κατά συνέπεια, ο συνολικός αριθμός των ανθρώπων με προβλήματα όρασης το χρονολογικό έτος 2017 υπολογίζεται ότι ήταν περίπου 253 εκατομμύρια ανθρώποι. Ωστόσο, ο αριθμός αυτός με το πέρασμα των χρόνων συνεχώς αυξάνεται και οι πιο πρόσφατες έρευνες που έχουν διεξαχθεί δείχνουν ότι εντός τεσσάρων δεκαετιών οι ανθρώποι με προβλήματα όρασης ανά τον κόσμο θα έχουν τριπλασιαστεί. Αναλυτικότερα, σύμφωνα με έρευνα που δημισεύτηκε στο BBC τόνιζεται ότι προβλέπεται πως ο αριθμός των ανθρώπων θα αυξηθεί από 36 εκατομμύρια σε 115 εκατομμύρια μέχρι το 2050. Πίσω από τα αυξανόμενα αυτά νούμερα βρίσκεται κυρίως το γεγονός ότι ο μέσος όρος ηλικίας των ανθρώπων μέσα στα επόμενα χρόνια θα αυξηθεί αισθητά, με αποτέλεσμα η ανάπτυξη και η αλλαγή της ηλικιακής δομής του παγκόσμιου πληθυσμού να επιταχύνει σημαντικά την αύξηση του αριθμού των ατόμων με τύφλωση και γενικότερα προβλήματα όρασης. Σε παγκόσμιο επίπεδο από τα 7,33 δισεκατομμύρια ανθρώπους που ζούσαν το 2015, 36 εκατομμύρια ανθρώποι είχαν πλήρη τύφλωση, αριθμός που αντιστοιχεί σε ποσοστό 0,5% του παγκόσμιου πληθυσμού. Η μέτρια ή σοβαρή εξασθένιση όρασης επηρέασε 216,6 εκατομμύρια άτομα που αντιστοιχεί σε ποσοστό 2,95% του παγκόσμιου πληθυσμού. Η απώλεια όρασης ήταν μεγαλύτερη σε άτομα ηλικίας 50 ετών και άνω: 31 εκατομμύρια (86%) από 36 εκατομμύρια τυφλούς,

172,3 εκατομμύρια (80%) από 216,6 εκατομμύρια άτομα με μέτρια και σοβαρή εξασθένιση όρασης. Τα δεδομένα που παρατίθενται παραπάνω είναι διαθέσιμα στην βάση δεδομένων παγκόσμιας όρασης - Global Vision Database και αναλύονται σε μεγάλο βαθμό στο εξής paper:

Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis (August 2, 2017).

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι παγκόσμιες προβλέψεις για τον αριθμό των ατόμων που θα είναι τυφλοί ή θα έχουν μέτρια είτε σοβαρή εξασθένιση όρασης, για κάθε δεκαετία μεταξύ 2020-50.



Σχήμα 1.1: Global predictions of numbers of people who are blind or moderately and severely vision impaired,from 1990-2050

Το πρόβλημα υγείας στο οποίο αναφερόμαστε περιορίζει σε μεγάλο βαθμό τις εκπαιδευτικές και οικονομικές ευκαιρίες των πασχόντων ανθρώπων. Λόγω της γήρανσης του πληθυσμού και της αύξησης των χρόνιων ασθενειών, αναμένουμε ότι το βάρος της τύφλωσης θα αυξηθεί κυρίως στις φτωχότερες χώρες του κόσμου. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι κυριότερες γεωγραφικές περιοχές του κόσμου στις οποίες εμφανίζονται μεγάλα ποσοστά τύφλωσης:

- 11,7 εκατομμύρια άνθρωποι στην Νότια Ασία
- 6,2 εκατομμύρια άνθρωποι στην Ανατολική Ασία
- 3,5 εκατομμύρια άνθρωποι στην Νοτιοανατολική Ασία
- περισσότερο από το 4% του πληθυσμού σε μέρη της υποσαχάριας Αφρικής
- περίπου 0,5% του πληθυσμού στην Δυτική Ευρώπη

1.1 Υπάρχοντα συστήματα υποβοήθησης ανθρώπων με προβλήματα όρασης

Όπως γίνεται αντιληπτό από τις έρευνες που παρατέθηκαν προηγουμένως, στην εποχή την οποία ζούμε οι άνθρωποι με προβλήματα όρασης δεν αποτελούν πλέον μια μειονότητα του ανθρώπινου πληθυσμού, αλλά συγκροτούν ένα σημαντικό μέρος των κοινωνιών σε παγκόσμιο επίπεδο, το οποίο αναμένεται να τριπλασιαστεί μέσα στα επόμενα χρόνια. Εντωμεταξύ, αν αναλογιστεί κανείς τον συνεχώς αυξανόμενο αριθμό των ανθρώπων με προβλήματα όρασης, και μάλιστα με ραγδαίο ρυθμό, σε συνδυασμό με την πολύ μεγάλη επίδραση που έχει η εν λόγω αναπηρία στην ποιότητα της ζωής τους, αναδεικνύεται η αναγκαιότητα εύρεσης κάποιας πρακτικής λύσης με στόχο την βελτίωση του τρόπου ζωής τους.

Η πιο αξιόπιστη λύση για την επίτευξη αυτού του σκοπού φαντάζει πως είναι η χρησιμοποίηση των νέων τεχνολογιών προς όφελος των ανθρώπων, όπως άλλωστε συμβαίνει στις μέρες μας εκτενώς για διάφορα προβλήματα για τα οποία οι άνθρωποι καλούνται να βρουν λύση. Το γεγόνος αυτό καθιστά επιτακτική την ανάγκη για την αξιοποίηση της τεχνολογίας, με σκοπό την βελτίωση του τρόπου ζωής των ανθρώπων με οποιουδήποτε είδους προβλήματα όρασης, καθώς και τον ρόλο που επιτελεί η τεχνολογία κομβικής σημασίας.

Προς αυτή την κατεύθυνση θα επιχειρηθεί σε πρώτο στάδιο η παρουσίαση ορισμένων ήδη υπαρχόντων συστημάτων υποβοήθησης ανθρώπων με προβλήματα όρασης που εντοπίστηκαν, τα οποία θα παρατεθούν μαζί με τις αντίστοιχες πηγές από τις οποίες αντλήθηκαν.

1.1.1 Indoor Navigation systems for blind people

Το πρώτο σύστημα που παρουσιάζεται έχει τίτλο "Indoor Navigation systems for blind people", που όπως δηλώνει και ο τίτλος της εργασίας αφορά την πλοήγηση τυφλών ανθρώπων σε εσωτερικούς χώρους. Εσωτερικούς χώρους αφορά και το σύστημα το οποίο κατασκευάστηκε στην παρούσα εργασία, όπως θα αναλυθεί και παραχάτω. Αρχικά τονίζεται ότι σε εσωτερικούς χώρους υπάρχει η δυσκολία της έλλειψης σημάτων GPS, τα οποία είναι διαθέσιμα μόνο σε εξωτερικούς χώρους, και ο δημιουργός του συστήματος θα πρέπει να πορευτεί χωρίς αυτά. Κατά συνέπεια, τα συστήματα εσωτερικών χώρων θα πρέπει να στηριχτούν σε εναλλακτικές τεχνικές ούτως ώστε να εντοπίζουν ανά πάσα στιγμή την θέση στην οποία βρίσκεται ο χρήστης. Οι τεχνικές αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι συστήματα υπερήχων, λύσεις βασισμένες σε RFID(Radio-Frequency IDentification), συστήματα πλοήγησης που υποστηρίζονται από τον υπολογιστή και εφαρμογές που βασίζονται σε smartphones. Ούτως ώστε να γνωστοποιηθεί στον χρήστη ο περιβάλλοντας χώρος χρησιμοποιείται ένα ευρύ φάσμα αισθητήρων. Το προτεινόμενο σύστημα αποτελείται από τα

εξής δομικά συστατικά:

- έναν μικροελεγκτή ως επεξεργαστή
- ένα επιταχυνσιόμετρο
- ένα διακόπτη ποδιού
- μία συσκευή σύνθεσης ομιλίας
- ένα δεκαεξαδικό πληκτρολόγιο
- έναν δικόπτη λειτουργίας
- ένα υπερηχητικό μπαστούνι
- δύο υπερηχητικούς σένσορες
- δύο δονητές
- ένα διακόπτη ρεύματος

Τρόπος λειτουργίας του συστήματος

Υπάρχουν δύο λειτουργίες στην συσκευή που δημιουργήθηκε: εγγραφή και αναπαραγωγή. Η αναπαραγωγή θα μπορούσε να επιλεγεί είτε προς τα εμπρός είτε προς τα πίσω, πράγμα που σημαίνει ότι το σύστημα έχει τρεις δυνατότητες συνολικά. Αυτές οι λειτουργίες θα μπορούσαν να επιλεγούν χρησιμοποιώντας το διακόπτη. Ενώ το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση εγγραφής, μετράται και καταγράφεται η απόσταση της διαδρομής που διανύθηκε από τον χρήστη. Εκτός αυτού, όταν ο χρήστης φτάσει σε ένα σημείο απόφασης όπως μια διασταύρωση ή μια πόρτα εισόδου, στην οποία ο χρήστης πρέπει να πάει αριστερά ή δεξιά, ο χρήστης πατάει ένα κουμπί και τόσο η διαδρομή όσο και η απόφαση αποθηκεύονται στη μνήμη. Με άλλα λόγια, η λειτουργία εγγραφής είναι η φάση εκμάθησης του συστήματος. Ο εντοπισμός του χρήστη για να τον βοηθήσει να βρει τον τρόπο του επιτυγχάνεται σε λειτουργία αναπαραγωγής που μπορεί να είναι είτε προς τα μπρος είτε προς τα πίσω. Το σημαντικό πράγμα για την αντίστροφη λειτουργία(προς τα πίσω) είναι η ανάγκη αλλαγής της εντολής, όπως η αλλαγή της εντολής "στρίψτε αριστερά" στην εντολή "στρίψτε δεξιά".

Το άλλο σημαντικό μέρος του συστήματος είναι το υποσύστημα ανίχνευσης εμποδίων. Η ανίχνευση εμποδίων περιλαμβάνει δύο φορητές συσκευές. Η πρώτη συσκευή, που πρέπει να τοποθετηθεί στον ώμο και τα χέρια των χρηστών, περιέχει δύο υπερηχητικούς πομπούς-δέκτες και δύο δονητές. Η δεύτερη συσκευή είναι ένα καλάμι εξοπλισμένο με υπερηχητικούς αισθητήρες και έναν τροχό. Ο τροχός πρέπει να έρχεται σε επαφή με το έδαφος και ο χρήστης μπορεί να αντιληφθεί τον τύπο εδάφους εάν

Υπάρχοντα συστήματα υποβοήθησης ανθρώπων με προβλήματα όρασης 5

είναι κοίλος ή σκάλες με την απτική αίσθηση του χεριού του διαισθητικά. Αξίζει ωστόσο να τονιστεί ότι το σύστημα αφήνει την τελική κρίση στον άνθρωπο, η οποία μπορεί να είναι και λανθασμένη σε κάποιες περιπτώσεις με αποτέλεσμα να υπάρχει ο κίνδυνος τραυματισμού του ανθρώπου. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί τον υπερηχητικό αισθητήρα στη συχνότητα 40Hz για να μεταδίδει παλμούς. Αν υπάρχει κάτι το οποίο μπορεί να εμποδίσει τον παλμό, που πιθανώς αποτελεί εμπόδιο, και επέστρεψε τον παλμό πίσω στον δέκτη, το σύστημα μπορεί να μετρήσει το χρόνο και την απόσταση μεταξύ τους. Η αποτελεσματική εμβέλεια αυτού του συστήματος ανίχνευσης εμποδίων είναι από 0,03 έως 6 μέτρα. Τα αποτελέσματα του υπολογισμού πρέπει να αποστέλλονται στον χρήστη χρησιμοποιώντας δονήσεις και σύνθεση ομιλίας.

Η αλληλεπίδραση του συστήματος με τον χρήστη και η παροχή ανατροφοδότησης πραγματοποιείται με τη χρήση συσκευής συνθέσεως δόνησης και ομιλίας, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση της παρούσας εργασίας όπως θα εξηγηθεί στα ακόλουθα Κεφάλαια. Ορισμένες πληροφορίες, όπως η απόσταση που διανύθηκε, η παρούσα θέση και οι αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν παρέχονται στο χρήστη με συνθετικό ομιλίας χρησιμοποιώντας ένα μικρό λεξιλόγιο. Η ανατροφοδότηση σχετικά με τα εμπόδια επιστρέφεται στο χρήστη με vibrotactile. Όταν το σύστημα βρει κάποιο εμπόδιο, ενεργοποιείται η vibrotactile και εμφανίζονται ορισμένοι παλμοί με ρυθμό που σχετίζεται με την απόσταση από το εμπόδιο. Οι πληροφορίες σχετικά με την πλευρά στην οποία βρίσκεται το εμπόδιο επιστρέφονται στο χρήστη με δόνηση μεταξύ της αριστερής και της δεξιάς πλευράς.

Στο σχήμα που ακολουθεί δείχνονται τα βασικά στοιχεία του συστήματος: ένα ενισχυμένο λευκό μπαστούνι (ζαχαροκάλαμο) με διάφορα ενσωματωμένα υπέρυθρα φώτα, δύο υπέρυθρες κάμερες (ενσωματωμένες σε μια μονάδα Wiimotes), έναν υπολογιστή που εκτελεί μια εφαρμογή λογισμικού που συντονίζει ολόκληρο το σύστημα και ένα smartphone που παρέχει τις πληροφορίες πλοήγησης στον χρήστη μέσω φωνητικών μηνυμάτων.



Figure 1: Components of the system (Guerrero et al., 2012)

Σχήμα 1.2: Components of the system

Η γενική ιδέα είναι ότι οι χρήστες ζητούν πληροφορίες πατώντας ένα κουμπί στο ζαχαροκάλαμο και σε αυτή την περίπτωση λαμβάνει ένα φωνητικό μήνυμα σχετικά με τις οδηγίες πλοήγησης στο τηλέφωνο. Καθώς πιέζεται το κουμπί ενεργοποιούνται οι υπέρυθρες λυχνίες LED, οι οποίες είναι δακτύλιοι φωτισμού γύρω από το ζαχαροκάλαμο, και μεταδίδουν παλμούς. Αυτά τα σήματα και οι παλμοί λαμβάνονται από το Wiimotes. Στην ουσία, το Wiimote διαθέτει υπέρυθρη κάμερα, η οποία μπορεί να ανιχνεύσει τους παλμούς από το ζαχαροκάλαμο και στη συνέχεια μεταδίδει τις ληφθείσες πληροφορίες μέσω Bluetooth στη μονάδα επεξεργασίας που είναι ένας φορητός υπολογιστής. Το λογισμικό του φορητού υπολογιστή διαθέτει χωρικά δεδομένα για το περιβάλλον και τα εμπόδια στην περιοχή, έτσι ώστε με βάση τη θέση του χρήστη και το σύστημα κατεύθυνσης επεξεργάζονται τα δεδομένα για να δημιουργήσουν ένα φωνητικό μήνυμα, το οποίο θα σταλθεί στον χρήστη.

Προκειμένου να χειριστεί τη διαδικασία πλοήγησης που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, το σύστημα χρησιμοποιήσε τρεις τύπους δεδομένων για να παράσχει τις πληροφορίες για τον χρήστη. Η πρώτη είναι η τρέχουσα θέση του χρήστη. Το σύστημα πρέπει επίσης να γνωρίζει σε ποια κατεύθυνση κινείται ο χρήστης, καθώς και να διαθέτει κάποιες πληροφορίες για την παρουσία οποιωνδήποτε πιθανών εμποδίων στο περιβάλλον. Το σχήμα που έπειται δείχνει τη διαδικασία των δεδομένων στο σύστημα, ούτως ώστε να υπάρξει μια καλύτερη κατανόηση του συστήματος το οποίο μελετάμε.

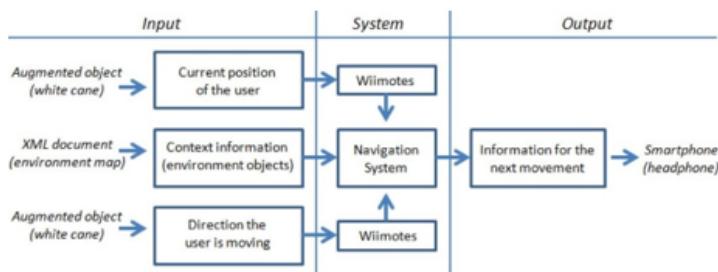


Figure 2: Diagram of detecting users position and movements (Guerrero et al., 2012)

Σχήμα 1.3: Diagram of the system

Σύγκριση με το σύστημα που δημιουργήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας

Συγκριτικά με το σύστημα που δημιουργήθηκε στην παρούσα εργασία, το οποίο αφορά και αυτό πλοήγηση σε κλειστό χώρο, το σύστημα που μελετήθηκε παραπάνω έχει σε πρώτο στάδιο το μειονέκτημα ότι χρησιμοποιεί περισσότερα εξαρτήματα, γεγονός που το καθιστά πιο πολύπλοκο. Σε δεύτερο στάδιο, δημιουργείται μια αρκετά μεγάλη βάση δεδομένων η οποία απαιτεί μεγάλες ποσότητες μνήμης για την αποθήκευση της εκάστοτε θέσης και κατεύθυνσης του χρήστη. Το μεγαλύτερο όμως μειονέκτημα

της εν λόγω εργασίας αποτελεί το γεγονός ότι στη μνήμη αποθηκεύονται επίσης οι θέσεις όλων των εμποδίων που βρίσκονται εντός του χώρου, με αποτέλεσμα το σύστημα αυτό να μπορεί να λειτουργήσει μόνο σε γνωστά περιβάλλοντα και κρίνεται αμφίβολη η επιτυχία του σε περιπτώσεις που ο χρήστης εισέρχεται σε καινούργιους κλειστούς χώρους. Η λογική ωστόσο της αλληλεπίδρασης του χρήστη με το σύστημα είναι παρόμοια με αυτής της εργασίας, δηλαδή μέσω δονήσεων και σύνθεσης ομιλίας(υπάρχουν και ηχητικές ειδοποιήσεις στην παρούσα εργασία).

Πηγή εξεταζόμενου paper:

Indoor navigation systems for blind people, Ali Hojjat ,City of Richmond - Local Government British Columbia, Canada (March 8, 2018).

1.1.2 A Navigation System for the Visually Impaired: A Fusion of Vision and Depth Sensor

Στο δεύτερο σύστημα που μελετάμε αναλύεται ένα πλήρες σύστημα πλοήγησης βασισμένο σε χαμηλού κόστους αισθητήρες, όπως είναι μια κάμερα και οι υπέρυθροι αισθητήρες. Το σύστημα βασίζεται σε γωνιακά σημεία και τιμές βάθους που λαμβάνονται από τον υπέρυθρο αισθητήρα της Kinect. Τα εμπόδια που συναντάει το εν λόγω σύστημα αναγνωρίζονται σε εικόνες που παρέχει η κάμερα, χρησιμοποιώντας την τεχνικής της ανίχνευσης γωνιών, ενώ ο αισθητήρας βάθους παρέχει την αντίστοιχη απόσταση. Το σύστημα όχι μόνο εντοπίζει εμπόδια, αλλά προτείνει και ασφαλή διαδρομή (αν υπάρχει) στην αριστερή ή τη δεξιά πλευρά του χρήστη και τον ειδοποιεί ανάλογα με την περίσταση να σταματήσει, να μετακινηθεί προς τα αριστερά ή να μετακινηθεί δεξιά.

Ένα σύστημα πλοήγησης για άτομα με προβλήματα όρασης περιλαμβάνει σε πρώτο στάδιο τον εντοπισμό της διάταξης του 3D χώρου γύρω τους, ενώ όταν βρίσκονται γύρω από εμπόδια τους βοηθά να διαπραγματευτούν την διαδρομή προς τον προορισμό τους. Η παραδοσιακή βοήθεια που παρέχεται στους ανθρώπους με οπτική αναπηρία είναι ένα λευκό ζαχαροκάλαμο, με το οποίο σαρώνεται η επιφάνεια μπροστά από το άτομο. Ωστόσο, η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να παρέχει πιο σύγχρονα και αποτελεσματικά βοηθήματα. Στον Πίνακα που παρατίθεται στο Σχήμα 1.4 παρέχονται ορισμένες πληροφορίες για μερικές από τις χρησιμοποιούμενες μεθόδους που έχουν ως στόχο την εξυπηρέτηση των ανθρώπων με προβλήματα όρασης.

Table 1: Commonly used sensory aids for visually impaired persons.

Sensor	Cost	Type	Usability
Guide dog	High	Genesis	Not easily available; needs care
White cane	Low	Mechanical	Slow and can only find obstacles through touch
Ultrasonic sensor	High	Electronic machine	Signal reflection or absorption may result in false information
Camera	Low	Electronic machine	Needs proper installation
Infrared sensor	Low	Electronic machine	Can only be used for short distances
Laser	High	Electronic machine	Sensitive to sunlight
GPS	Low	Electronic machine	Can only be used in outdoors
Mobile robots	High	Electromechanical	Can only be used on plain and smooth surfaces

Πίνακας 1.1: Commonly used sensory aids for visually impaired people

Δεν υπάρχει σαφής νικητής στην επιλογή του αισθητήρα, αλλά προσεγγίζεται μια λύση η οποία θα είναι σχετικά φθηνή και φιλική προς τον χρήστη. Η μέθοδος που επιλέχθηκε στην εργασία που αναλύουμε είναι η χρήση βιντεοκάμερας συναρμολογημένης στο σώμα του ανθρώπου σε συνδυασμό με την όραση του υπολογιστή. Δεδομένου ότι μία μόνο φωτογραφική μηχανή δεν είναι σε θέση να ανιχνεύσει την απόσταση, χρησιμοποιείται ένα ζευγάρι από κάμερες, οι οποίες επιτρέπουν την υπολογιστική στερεοφωνία για τον προσδιορισμό της απόστασης από τα εμπόδια ή τους ανθρώπους που συναντάει το εν λόγω σύστημα. Μια ακόμα πιο ελκυστική λύση θα ήταν να εντοπιστεί απευθείας η απόσταση, μια δυνατότητα που προσφέρεται από το Microsoft Kinect και παρόμοιες συσκευές. Αξίζει να τονιστεί ότι στην ίδια κατηγορία με το Microsoft Kinect συγκαταλέγεται και ο τρισδιάστατος σένσορας Occipital Structure Sensor που χρησιμοποιείται στην εργασία με τίτλο "Σύστημα υποβοήθησης ανθρώπων με προβλήματα όρασης".

Microsoft Kinect sensor

Το Kinect είναι ένας αισθητήρας που αναπτύχθηκε από τη Microsoft για να καταγράψει την ανθρώπινη κίνηση για την κονσόλα παιχνιδιών Xbox 360, που παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.5. Οι ερευνητές το χρησιμοποίησαν όχι μόνο για την ανάπτυξη παιχνιδιών 3D αλλά και για διάφορες άλλες ενδιαφέρουσες εφαρμογές, όπως είναι ο εντοπισμός του ανθρώπινου προσώπου. Το Kinect έχει γίνει δημοφιλές μεταξύ των ερευνητών όρασης, λόγω του χαμηλού κόστους και της διαθεσιμότητας του λογισμικού για την απόκτηση και επεξεργασία δεδομένων από αυτό. Διαθέτει δύο αισθητήρες, μια συμβατική έγχρωμη φωτογραφική κάμερα καθώς και έναν αισθητήρα βάθους υπέρυθρων, ο οποίος σχεδιάστηκε για να εκτιμήσει την κίνηση ενός χρήστη κατά την αναπαραγωγή παιχνιδιών.



Figure 1: Microsoft Kinect for Xbox 360.

Σχήμα 1.4: Microsoft Kinect for Xbox 360

Ο αισθητήρας Kinect είναι στατικός, με αποτέλεσμα το σύστημα να χρησιμοποιεί μόνο τα δεδομένα του αισθητήρα απόστασης για να καθορίσει την απόσταση ενός εμπόδιου από τον χρήστη. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι σε αυτή την έρευνα έχει χρησιμοποιηθεί μόνο ένας αισθητήρας Kinect, αλλά γίνεται επεξεργασία δεδομένων που έχουν αποκτηθεί τόσο από τον αισθητήρα βάθους όσο και από την κάμερα. Έχει γίνει προσπάθεια να αξιοποιηθεί η ισχύς και των δύο αισθητήρων στην ανίχνευση εμποδίων, χρησιμοποιώντας ανίχνευση γωνίας και στη συνέχεια υπολογίζοντας την απόστασή τους χρησιμοποιώντας τον χάρτη βάθους της ίδιας σκηνής.

Ωστόσο, πρέπει κανείς να είναι προσεκτικός κατά τη χρήση του Kinect για την ανάπτυξη συστημάτων πλογής, καθώς ο αισθητήρας δεν είναι πάντα ακριβής και υπόκειται σε κάποιους περιορισμούς. Για παράδειγμα, προβάλλει υπέρυθρο φως και χρησιμοποιεί την αντανάκλαση για τον υπολογισμό της εικόνας βάθους. Αυτές οι αντανακλάσεις μπορεί μερικές φορές να ληφθούν εσφαλμένα ή να απουσιάζουν λόγω ακανόνιστων ή μη αντανακλαστικών επιφανειών. Ομοίως, το υπέρυθρο φως μπορεί να κατακλυσθεί από ισχυρές πηγές φωτός, όπως είναι το φως του ήλιου, έχοντας ως άμεσο επακόλουθο οι τιμές βάθους από τους αισθητήρες να μην είναι σταθερές. Αυτά τα ανακριβή δεδομένα βάθους μειώνουν την ακρίβεια του συστήματος. Επιπλέον, αποκτώνται αντανακλάσεις από το πλήρες οπτικό πεδίο της κάμερας, συμπεριλαμβανομένου του πατώματος, οπότε η ανίχνευση εμποδίων καθίσταται δύσκολη χωρίς κατανόηση του περιεχομένου της εικόνας.

Για να γίνει βαθμονόμηση του Kinect, μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί μια ειδική εργαλειοθήκη του προγραμματιστικού περιβάλλοντος Matlab, είτε να προσδιοριστούν γωνιακά σημεία στις εικόνες χρωμάτων και βάθους. Η τελευταία μέθοδος χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την εργασία, καθώς είναι παρόμοια με τους αλγορίθμους που χρησιμοποιούνται στο σύστημα πλοή-

γησης. Για να εκτελεστεί η βαθμονόμηση, κάποιος καταγράφει εικόνες ενός στόχου βαθμονόμησης χρησιμοποιώντας και τους δύο αισθητήρες Kinect, ταυτίζοντας στη συνέχεια τα ίδια γωνιακά σημεία στις εικόνες χρωμάτων και αποστάσεων.

Χαρακτηριστικά χαμηλού επιπέδου εικόνας για συστήματα πλοήγησης

Η κατανόηση και η αντιστοίχιση των εικόνων αποτελούν μακροχρόνιες και σημαντικές ερευνητικές περιοχές για την ανάπτυξη συστημάτων πλοήγησης που είναι ασφαλή τόσο για τα ρομπότ όσο και για τον άνθρωπο. Τα συστήματα πλοήγησης βασισμένα σε όραση(vision-based) συνήθως χρησιμοποιούν αντιστοίχιση με βάση τα χαρακτηριστικά σε στιγμιότυμα από βίντεο. Αυτά τα χαρακτηριστικά εικόνας μπορεί να είναι τα ακόλουθα:

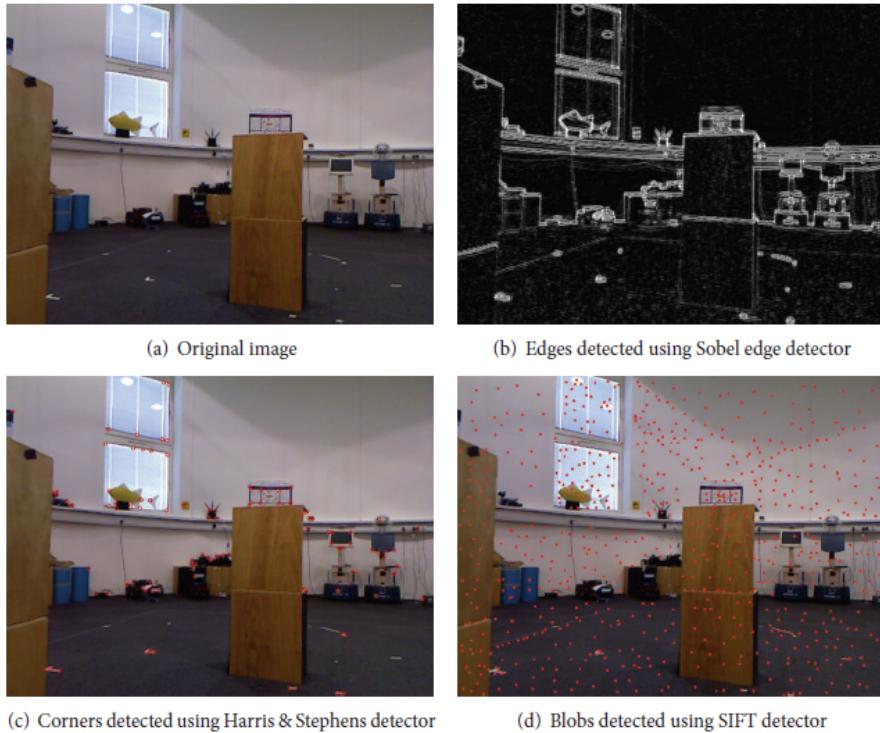
- κηλίδες-blobs
- άκρες-edges
- γωνίες-corners
- περιοχές-regions

Μία κηλίδα είναι μια περιοχή εικόνας με σημαντική διαφορά έντασης από τη γειτονιά της, για παράδειγμα, ένα σκοτεινό σημείο σε μια φωτεινή περιοχή ή ένα φωτεινό σημείο σε μια σκοτεινή περιοχή. Μια άκρη είναι το όριο μεταξύ των περιοχών εικόνας, που συνήθως αναγνωρίζονται από την άποψη της διαφοράς χρώματος ή έντασης, και είναι σημαντικό κατά την κατάτμηση των περιοχών της εικόνας. Τέλος, τα γωνιακά σημεία είναι οι περιοχές της εικόνας που αντιστοιχούν σε αιχμηρές αλλαγές στην κατεύθυνση των ορίων.

Παρόλο που οποιαδήποτε από αυτές τις τοπικές ιδιότητες εικόνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αυτή την εφαρμογή, η ευαισθησία του αισθητήρα υπερύθρων στα ανακλαστικά υλικά καθιστά την χρήση των κηλίδων για βάθος ικανή να υποβαθμίσει την απόδοση του συστήματος, ιδιαίτερα σε εξωτερικούς χώρους. Επιπλέον, οι περιοχές εξόρυξης χρειάζονται περισσότερο χρόνο από τις γωνίες, αλλά παρέχουν λιγότερες πληροφορίες σχετικά με το περιεχόμενο της εικόνας. Το Σχήμα 2.14[(b),(d)] δείχνει ότι αν τα ανιχνευόμενα χαρακτηριστικά είναι ακμές ή κηλίδες(edges or blobs), το αποτέλεσμα είναι κάθε περιοχή με υφή στην εικόνα. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για εφαρμογές όπου απαιτείται αναγνώριση ολόκληρου του περιεχομένου εικόνας. Ωστόσο, σε αυτή την εφαρμογή πλοήγησης, ορισμένες περιοχές της εικόνας, όπως τα εμπόδια, είναι σημαντικές και το αποτέλεσμα του σχήματος 2.14(c) δείχνει ότι τα γωνιακά σημεία προσδιορίζουν ένα σημαντικό περιεχόμενο εικόνας. Επιπλέον, οι γωνίες είναι ιδιαίτερα ελκυστικές επειδή είναι γρήγορες για να υπολογίζουν και να βρίσκουν τα

Υπάρχοντα συστήματα υποβοήθησης ανθρώπων με προβλήματα όρασης¹¹

όρια των εμποδίων. Συνεπώς, επιλέχθηκαν γωνιακές θέσεις για να βρεθούν οι περιοχές εικόνας που αντιστοιχούν σε εμπόδια. Το προτεινόμενο σύστημα χρησιμοποιεί τον ανιχνευτή γωνίας Harris Stephens για να βρει γωνίες σε εικόνες RGB που αποκτήθηκαν από την κάμερα του Kinect.



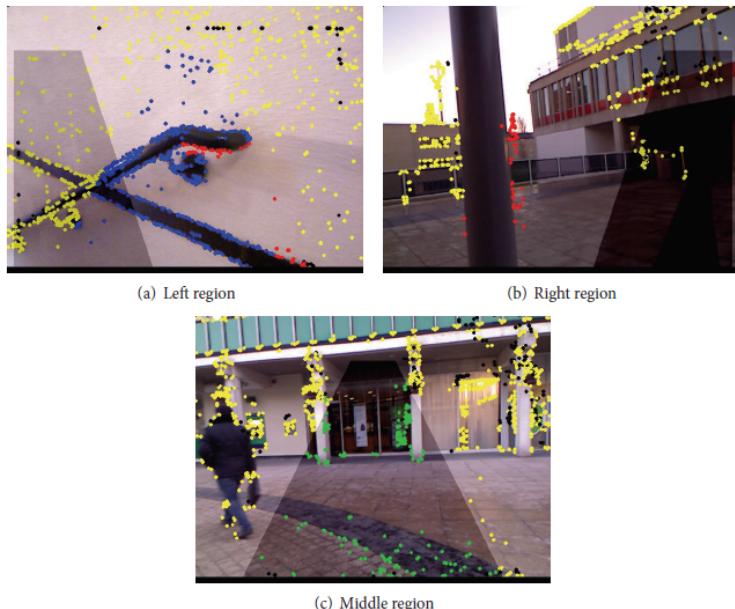
Σχήμα 1.5: Results of local image feature detectors that can be used to develop a vision-based navigation system

Τα γωνιακά σημεία εμφανίζονται με πέντε διαφορετικά χρώματα, όπως φοίνικες και στην ακόλουθη εικόνα, εκ των οποίων κάθε χρώμα έχει την εξής ερμηνεία:

- Τα κίτρινα σημεία είναι ακίνδυνες γωνίες που βρίσκονται εκτός των ασφαλών περιοχών πλοιήγησης
- Τα πράσινα σημεία αντιστοιχούν σε σημεία πιθανού κινδύνου(ο άνθρωπος απέχει απόσταση $d > 2.0m$ από εμπόδια που βρίσκονται εντός της ασφαλούς περιοχής πλοιήγησης)
- Τα μπλε σημεία αντιστοιχούν σε σημεία πιθανού κινδύνου(ο άνθρωπος απέχει απόσταση $2.0m > d > 1.85m$ από εμπόδια που βρίσκονται εντός της ασφαλούς περιοχής πλοιήγησης)
- Τα κόκκινα σημεία υποδηλώνουν άμεσο κίνδυνο(ο άνθρωπος απέχει

απόσταση $d < 1.85m$ από εμπόδια που βρίσκονται εντός της ασφαλούς περιοχής πλοϊγησης)

- Τα μαύρα pixels αντιστοιχούν σε τυφλά σημεία στην εικόνα βάθους, δηλαδή σε σημεία που δεν υπάρχει πληροφορία από τον αισθητήρα βάθους για την απόστασή τους.

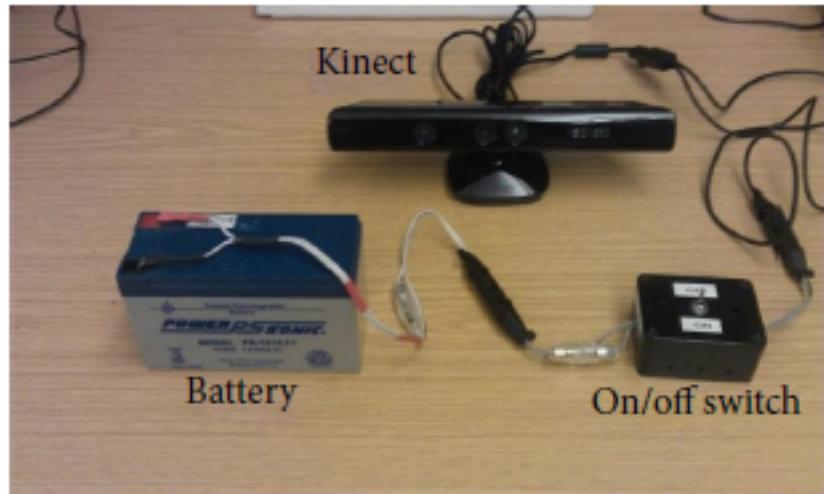


Σχήμα 1.6: Coloured Corner points

Το συστήμα πλοϊγησης βασισμένο στον σένσορα Kinect

Το σύστημα πλοϊγησης που περιγράφεται εδώ απαιτεί έναν τυπικό αισθητήρα Kinect, μια μπαταρία και έναν φορητό υπολογιστή / επεξεργαστή, τα οποία μεταφέρονται από τον χρήστη σε μια τσάντα ή ένα σακίδιο στον ώμο. Το Kinect τροφοδοτείται από μπαταρία 12 V, 7 A που παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.8. Ο αισθητήρας Kinect μεταφέρεται μπροστά από τον χρήστη χρησιμοποιώντας ένα λουράκι γύρω από το λαιμό του. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό το σύστημα που περιγράφεται δεν είναι πολύ πρακτικό, καθώς ο άνθρωπος καλείται να κουβαλάει ένα μεγάλο φορτίο, το οποίο δεν είναι σε θέση να υπομένει για αρκετή ώρα, εφόσον αποτελεί μια ιδιαίτερα επίπονη διαδικασία για το ανθρώπινο σώμα. Το σύστημα χρησιμοποιεί τις επεξεργασμένες εικόνες βάθους και χρώματος από το Kinect. Είναι σημαντικό, ωστόσο, να έχουμε κατά νου ότι δεν είναι σωστές όλες οι τιμές που λαμβάνονται από τον αισθητήρα απόστασης Kinect. Ακολούθως αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος.

Υπάρχοντα συστήματα υποβοήθησης ανθρώπων με προβλήματα όρασης13



Σχήμα 1.7: Components of the navigation system, excluding the laptop

Το σύστημα ελέγχει για δύο τύπους εμποδίων: εκείνα που μπορούν να εμποδίσουν εντελώς την πορεία του ανθρώπου και μικρότερα εμπόδια, όπως καρέκλες, που μπορούν να αποφευχθούν αλλάζοντας κατεύθυνση. Για την πρώτη κατηγορία, ο ανιχνευτής χαρακτηριστικών εικόνας μπορεί να αποτύχει εάν η επιφάνεια δεν είναι χαρακτηριστική, έτσι ώστε το σύστημα να ελέγχει όλες τις τιμές βάθους εντός της ασφαλούς περιοχής πλοήγησης, και εάν το μέσο βάθος είναι μικρότερο από ένα κατώφλι. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης ειδοποιείται να σταματήσει με χρήση φωνητικής σύνθεσης. Διαφορετικά, ο ανιχνευτής χαρακτηριστικών βρίσκει σημεία γωνίας και ανάλογα με το βάθος των γωνιών, αποστέλλονται προειδοποιήσεις προς τον χρήστη για την αλλαγή της κατεύθυνσης προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά. Η ενημέρωση του χρήστη πραγματοποιείται με την ενεργοποίηση ενός συναγερμού κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Η φωνητική σύνθεση χρησιμοποιείται για την προειδοποίηση του χρήστη, δημιουργώντας για παράδειγμα την λέξη "στάση", εάν υπάρχει εμπόδιο. Για κίνηση αριστερά ή δεξιά, το σύστημα παραγωγής φωνητικής ομιλίας, δημιουργεί αντίστοιχα τις λέξεις "αριστερά" ή "δεξιά". Το σύστημα που μελετάται δοκιμάστηκε από τυφλούς ανθρώπους για να προσδιοριστεί η αποτελεσματικότητά του και το συμπέρασμα που προέκυψε παρατίθεται στην επόμενη παράγραφο. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μια εικόνα στην οποία φαίνεται ένας άνθρωπος, ο οποίος έχει εγκαταστήσει το Hardware το οποίο κατασκευάστηκε για την δοκιμή του συστήματος.

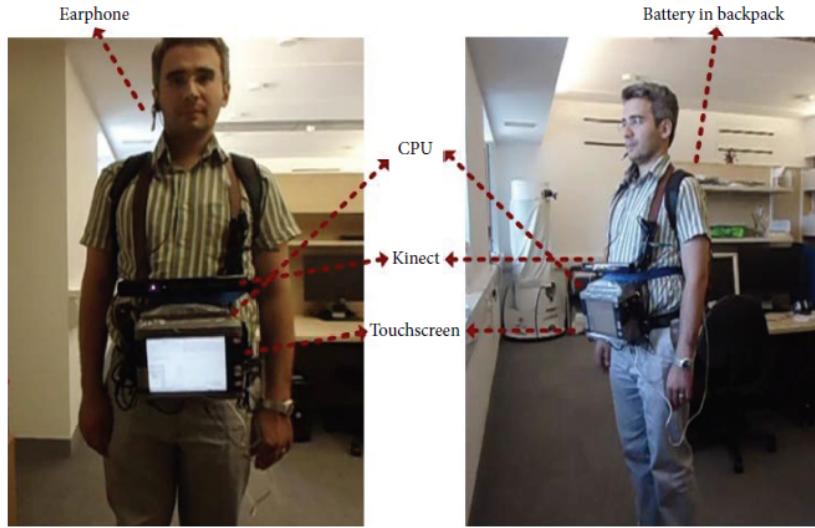


FIGURE 8: Hardware setup for testing the system.

Σχήμα 1.8: Hardware setup for testing the system

Συμπέρασμα - Τρέχοντες περιορισμοί και μελλοντικές βελτιώσεις του συστήματος

Το σύστημα είναι ικανό να εντοπίζει τα εμπόδια σε λογικές αποστάσεις και ταχύτητες. Ωστόσο, ο χρήστης που το δοκίμασε, πρότεινε τον συνδυασμό του εν λόγω αυτοματοποιημένου συστήματος πλοήγησης με ένα λευκό καλάμι, που συνεισφέρει στην κατασκευή ενός ασφαλούς και αξιόπιστου βιοηθήματος κινητικότητας. Η πρότασή του βασίστηκε στο γεγονός ότι αυτό το σύστημα πλοήγησης είναι σε θέση να εντοπίζει τα εμπόδια που βρίσκονται στο ύψος της μέσης του ανθρώπου, αλλά υπάρχει μεγάλη δυσκολία στην αναγνώριση του εδάφους, καθώς και των χαμηλών εμποδίων που συναντάει ο άνθρωπος στην διαδρομή. Το πρόβλημα ίσως μπορούσε να περιοριστεί με την χρήση ενός καλαμιού, αλλά είναι αλήθεια ότι περιορίζει σε μεγάλο βαθμό την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Επίσης, ένα ακόμα πολύ σημαντικό πρόβλημα είναι ότι ο αισθητήρας υπερύθρων δίνει τυφλά σημεία (χωρίς τιμές βάθους) κάτω από ισχυρό ηλιακό φως και σε αυτές τις περιπτώσεις δεν είναι σε θέση να γνωρίζει τι βρίσκεται μπροστά από τον χρήστη. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι η χρήση του αισθητήρα Kinect σε εξωτερικούς χώρους όπου επικρατούν ιδιαίτερες πειβαλλοντικές συνθήκες (ηλιακό φως, βροχή κλπ.) δεν είναι η ενδεδηγμένη. Τέλος, η αντικειμενικά πρώιμη προσπάθεια δημιουργίας ενός συστήματος υποβοήθησης ανθρώπων με προβλήματα όρασης που αναλύθηκε έχει το μειονέκτημα ότι το σύστημα τοποθετείται πάνω στον άνθρωπο, χωρίς να είναι αμελητέο το βάρος του εξοπλισμού με αποτέλεσμα ο χρήστης να καταπονείται εφόσον κουβαλάει μονίμως την μπαταρία. Συνοφίζοντας, υπάρχουν πολλά περιθώρια βελτιώσης του συστήματος που μελετήθηκε στο μέλλον.

Πηγή εξεταζόμενου paper:

A Navigation System for the Visually Impaired: A Fusion of Vision and Depth Sensor, Nadia Kanwal,¹ Erkan Bostanci,² Keith Currie,³ and Adrian F. Clark⁴.

1. Department of Computer Science, Lahore College for Women University, Jail Road, Lahore 54000, Pakistan

2. Computer Engineering Department, Ankara University, Göllbaşı, 06830 Ankara, Turkey

3. Department of Literature, Film and Theater Studies, University of Essex, Colchester, Essex CO4 3SQ, UK

4. School of Computer Science and Electronic Engineering, University of Essex, Colchester, Essex CO4 3SQ, UK

(July 29, 2015).

1.2 Το προτεινόμενο σύστημα υποβοήθησης ανθρώπων με προβλήματα ορασης

Από την παρουσίαση των δύο ανωτέρω συστημάτων πλοήγησης ανθρώπων με προβλήματα ορασης, γίνεται αντιληπτό ότι έχουν γίνει μέχρι σήμερα ορισμένες προσπάθειες ώστε να διευκολυνθεί η μετακίνησή τους όχι μόνο σε κλειστούς, αλλά και σε ανοιχτούς χώρους. Ωστόσο, καθίσταται σαφές το πολύ πρώιμο στάδιο της κατασκευής τέτοιου είδους συστημάτων στο οποίο βρισκόμαστε, καθώς τα συστήματα που παρουσιάστηκαν έχουν μεγάλα περιθώρια βελτίωσης ούτως ώστε να καταστούν απόλυτα φιλικά προς τον χρήστη. Το γεγονός αυτό υπογραμμίζει την ανάγκη για ενασχόληση όλο και μεγαλύτερου μέρους του επιστημονικού κοινού με την δημιουργία συστημάτων που θα διευκολύνουν την καθημερινότητα των ανθρώπων με αναπηρία. Προς αυτή την κατεύθυνση προασπανατολίζεται και η διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας.

Η υλοποίηση ενός συστήματος που θα συμβάλλει στην διευκόλυνση της καθημερινότητας των ανθρώπων με οπτική αναπηρία αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, η εργασία αυτή εκπονήθηκε με σκοπό την δημιουργία ενός συστήματος υποβοήθησης των ανθρώπων που έχουν προβλήματα ορασης, το οποίο να μην είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο για τον χρήστη, καθώς επίσης και να διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό τις μετακινήσεις του, συνδυάζοντας την ταχύτητα με την ασφάλεια. Απότερος στόχος είναι η παροχή της δυνατότητας στους ανθρώπους να έχουν μια καλύτερη αντίληψη του χώρου στον οποίο βρίσκονται, αποφεύγοντας την σύγκρουση με κάθε ειδών αντικείμενα, καθώς επίσης και η ειδοποίηση του ανθρώπου σε περίπτωση που βρεθεί κοντά σε

σκάλες.

Την θεμελιώδη ιδέα στην οποία βασίστηκε η παρούσα εργασία αποτέλεσε ο πιο διαδεδομένος τρόπος παροχής βοήθειας στους ανθρώπους με προβλήματα όρασης που εφαρμόζεται στις μέρες μας, δηλαδή η βοήθεια που τους παρέχουν τα σκυλιά-οδηγοί, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.10. Ωστόσο, αναπτύχθηκε ένα σύστημα, βασικό δομικό συστατικό του οποίου αποτέλεσε ένας ρομποτικός σκύλος-οδηγός που αντικατέστησε τον σκύλο-οδηγό. Για να είναι εφικτή η πλήρης λειτουργικότητα του συστήματος, ο ρομποτικός σκύλος συνδυάστηκε και με άλλα άλλα εξαρτήματα τα οποία θα παρουσιαστούν στο Κεφάλαιο 2, εμπλουτίζοντας με αυτό τον τρόπο το σύστημά μας και καθιστώντας το πλήρως λειτουργικό. Ο στόχος του έργου είναι η ενίσχυση των βιοηθημάτων κινητικότητας για τους τυφλούς, παρέχοντάς τους τις λειτουργίες των σκύλων-οδηγών, δηλαδή την καθοδήγηση ενός τυφλού ανθρώπου, την ανίχνευση και την αποφυγή εμποδίων στο δρόμο του και την καλά οργανωμένη ανθρώπινη-μηχανική επικοινωνία που δεν παρεμβαίνει στις υπόλοιπες αισθήσεις του. Το έργο αυτό δεν αποσκοπεί στην αναπαραγωγή του σκύλου-οδηγού, αλλά στην απόσπαση των βασικών λειτουργιών ενός σκύλου-οδηγού και στην παροχή της δυνατότητας στον ανθρώπο να κατανοήσει σε μεγαλύτερο βαθμό τη δομή του χώρου γύρω του μέσω της επικοινωνίας του με το ρομπότ με την παραγωγή φωνητικής ομιλίας αλλά και χρησημοποίηση δονήσεων για την ειδοποίηση του ανθρώπου.



Σχήμα 1.9: Guide dog for blind people

Ιστορική αναδρομή της εφαρμογής της ιδέας του ρομποτικού σκύλου-οδηγού

Η ανεξάρτητη πλοιόγγηση αποτελεί μία από τις ισχυρότερες επιθυμίες περίπου 217 εκατομμυρίων ανθρώπων που έχουν προβλήματα όρασης στον κόσμο. Δεδομένου ότι η έννοια της τεχνολογικής βοήθειας των τυφλών είναι πρόσφατης προέλευσης, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την πιο ευαίσθητη και λεπτή αξιοποίηση των υπόλοιπων αισθήσεων τους. Πολλοί τρόποι και μέσα έχουν χρησιμοποιηθεί από άτομα με προβλήματα όρασης για να ικανοποιήσουν τη βασική επιθυμία τους για αυτόνομη πλοιόγγηση τόσο σε γνωστά όσο και σε άγνωστα περιβάλλοντα. Από τα πρώτα κιό-

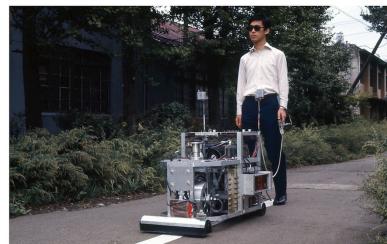
λας χρόνια έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι τρόποι για την επίτευξη διαφορετικών επιπέδων κινητικότητας. Ουσιαστικά, υπάρχουν τρεις κλασσικοί τρόποι να επιτευχθεί αυτό και είναι οι ακόλουθοι:

1. Με τη χρήση ενός ανθρώπινου οδηγού με όραση
2. Με τη χρήση καλαμιών ή ραβδιών
3. Με τη χρήση σκύλων-οδηγών

Η αποτελεσματικότητα, ωστόσο, των κλασσικών αυτών μεθόδων αρίνεται αμφισβητίσιμη με αποτέλεσμα οι ερευνητές να στραφούν σε πιο σύγχρονους τρόπους αντιμετώπισης του προβλήματος. Η έννοια της τεχνολογικής βοήθειας για τους τυφλούς έχει χρονολογικά τις ρίζες της μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο και η πρώτη προσπάθεια κατασκευής ενός συστήματος ρομποτικού σκύλου-οδηγού ξεκίνησε το 1977 στο MEL(Mechanical Engineering Laboratory, Ministry of International Trade and Industry) με την ανάπτυξη του πρότζεκτ Guide Dog Robot (1976-1983), που είναι γνωστό και ως MELDOG και αποτελεί το πρώτο του είδους του. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν τέσσερις προσπάθειες δημιουργίας του συστήματος MELDOG, οι οποίες ονομάστηκαν MELDOG MARK I, II, III και IV και φαίνονται ακολούθως.



Σχήμα 1.10: MELDOG MARK I



Σχήμα 1.11: MELDOG MARK II



Σχήμα 1.12: MELDOG MARK III



Σχήμα 1.13: MELDOG MARK IV

Το σύστημα MELDOG βέβαια είχε αρκετά προβλήματα τα οποία συνοψίζονται ως εξής:

1. Το μεγάλο μέγεθος του ρομπότ καθιστά το σύστημα δύσχορηστο.
2. Η επιλογή γενικών κριτηρίων για περιβαλλοντικά αντικείμενα ως ορόσημα πλοιήγησης, η μέθοδος ανίχνευσης των ορόσημων και η μέθοδος οργάνωσης και αξιοποίησης του χάρτη πλοιήγησης(navigation map) με τις πληροφορίες των επιλεγμένων ορόσημων.
3. Είναι αναγκαία η εύρεση μιας γενικότερης μεθόδου ανίχνευσης και αποφυγής εμποδίων.
4. Είναι αναγκαία η εύρεση μιας βέλτιστης επιλογής της μεθόδου εμφάνισης των πληροφοριών πλοιήγησης που αποκτήθηκαν από το ρομπότ.

Εφαρμογή της ιδέας του ρομποτικού σκύλου-οδηγού στην παρούσα εργασία

Ακόμα και σήμερα γίνονται προσπάθειες για την εύρεση ενός αξιόλογου συστήματος υποβοήθησης των ανθρώπων με προβλήματα όρασης, καθώς δεν έχει βρεθεί μέχρι τώρα ένα σύστημα που να καλύπτει επαρκώς τις ανάγκες των χρηστών. Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μια προσπάθεια κατασκευής ενός πλήρους συστήματος με σκοπό την ασφαλή πλοιήγηση των ανθρώπων με οπτική αναπηρία σε πραγματικό χρόνο(Real Time) σε εσωτερικούς χώρους(Indoor Navigation). Τα ρομπότ που διαθέτουν τροχούς έχουν το μειονέκτημα ότι δεν μπορούν να προσαρμόζονται στις μορφολογικές ιδιαιτερότητες του εδάφους οι οποίες ποικίλουν στους εξωτερικούς χώρους, όπως για παράδειγμα να κατεβαίνουν αυλάκια, σκαλιά κλπ. Ωστόσο, εφόσον αναφερόμαστε σε εσωτερικούς χώρους δεν τίθεται τέτοιου είδους πρόβλημα, καθιστώντας το ρομπότ ιδανικό τεχνολογικό βοήθημα για την υποστήριξη των ανθρώπων.

Η τμηματοποίηση των κεφαλαίων έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να δοθούν στον αναγνώστη οι απαιτούμενες γνώσεις για να κατανοήσει σε βάθος τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος. Σε πρώτο στάδιο, έγινε μια προσπάθεια να αποδομηθεί το σύστημά στα εξαρτήματα τα οποία χρησιμοποιούνται στην διεκπεραίωση της εργασίας. Αφού αναλυθεί λεπτομερώς το κάθε εξάρτημα, γίνεται παρουσίαση της φιλοσοφίας στην οποία βασίστηκε η κατασκευή του συστήματος υποβοήθησης των ανθρώπων με προβλήματα όρασης, καθώς και του τρόπου με τον οποίο αυτό τελικά λειτουργεί. Πιο συγκεκριμένα, εξηγείται λεπτομερώς ο τρόπος με των οποίοι επιτεύχθηκε η αποφυγή των εμποδίων που συναντώνται, εκμεταλλευόμενοι όχι μόνο την δυσδιάστατη αναγνώριση των εμποδίων που μας προσφέρει ο σένσορας με τον οποίο έιναι εφοδιασμένο το ρομπότ, αλλά και

την τρισδιάστατη αναγνώριση των εμποδίων την οποία είμαστε σε θέση να πετύχουμε με την βοήθεια του τρισδιάστατου σένσορα Occipital Structure Sensor. Παράλληλα, γίνεται αναφορά και στην σχετικά απλή τεχνογνωσία την οποία απαιτείται να έχει ο χρήστης από την μεριά του. Περιγράφεται, δηλαδή, ο κώδικας επικοινωνίας του ανθρώπου με το υπόλοιπο σύστημα. Έπειτα παρουσιάζονται τα πειράματα που διαδραματίστηκαν με απώτερο σκοπό τον έλεγχο της συμπεριφοράς του συστήματος άνθρωπος-ρομπότ σε πραγματικό χρόνο (Real Time), καθώς και σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Στο τέλος, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο αντιδρά το σύστημα μόλις βρεθεί μπροστά από σκάλες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Για την ορθή παρουσίαση της εργασίας αυτής κρίνεται επιβεβλημένη η παράθεση των τεχνολογικών εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην πορεία προς την κατασκευή του συστήματος υποβοήθησης των ανθρώπων με προβλήματα όρασης. Το σύνολο των εξαρτημάτων αυτών σε συνδυασμό με τον άνθρωπο αποτέλεσαν την τελική μορφή του συστήματος στο οποίο αναφερόμαστε. Η ανάλυση του εξοπλισμού ξεινάει με την περιγραφή του βασικού συστατικού του συστήματος, δηλαδή του ρομπότ Turtlebot 3, καθώς και των δυνατοτήτων που αυτό μας παρέχει.

2.1 Ρομπότ Turtlebot 3 Burger

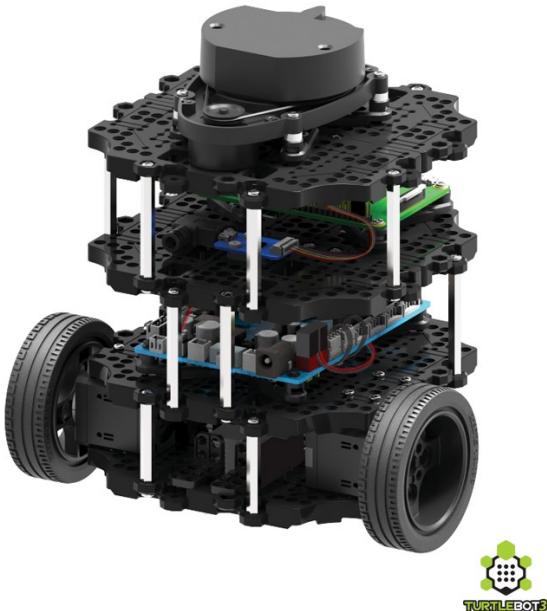
Το Turtlebot 3 είναι ένα ρομπότ βασισμένο στην πλατφόρμα ROS, η οποία είναι ένα μετα-λειτουργικό σύστημα ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται ευρέως για πολυποίκιλες εφαρμογές στον τομέα της ρομποτικής, όπως υποδηλώνει και το όνομά της: ROS - Robot Operating System. Με άλλα λόγια, η πλατφόρμα ROS είναι ένα σύνολο βοηθητικών προγραμμάτων και βιβλιοθηκών για την εφαρμογή όλων των διαφορετικών λειτουργιών στα ρομπότ. Αξίζει να τονιστεί ότι το ROS από μόνο του δεν είναι λειτουργικό σύστημα πραγματικού χρόνου (Real time OS), είναι εφικτό ωστόσο να αξιοποιηθεί με κώδικα πραγματικού-χρόνου γραμμένο σε διάφορες γλώσσες προγραμματισμού (c, c++, python κοκ), από τις οποίες

επιλέχθηκε η γλώσσα προγραμματισμού python.

Έχουν κυκλοφορήσει δύο μοντέλα Turtlebot 3:

- Turtlebot 3 Waffle
- Turtlebot 3 Burger

εκ των οποίων εργασθήκαμε με το μοντέλο Turtlebot 3 Burger, που φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Σχήμα 2.1: Robot Turtlebot 3 Burger

Δομικά συστατικά Turtlebot 3

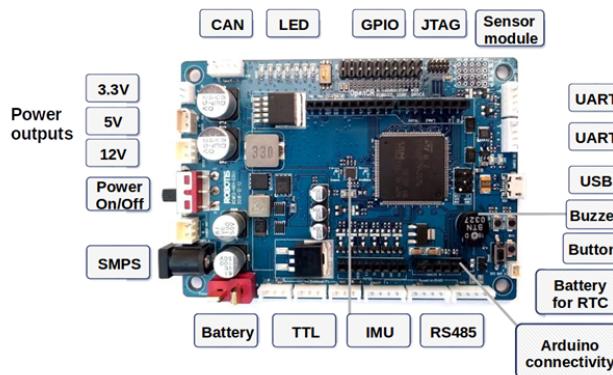
Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του Turtlebot 3 Burger είναι το μικρό μέγεθός του που μας διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό στην παρούσα εργασία, καθώς έχει διαστάσεις 138mm(Μήκος) x 178mm(Πλάτος) x 192mm(Υψος). Όπως φαίνεται και στην εικόνα που παρατέθηκε ανωτέρω, το ρομπότ έχει την μορφή ενός burger (όπως υποδηλώνει και το όνομά του) το οποίο αποτελείται από τέσσερα επίπεδα εκ των οποίων στο κατώτερο επίπεδο έχουν τοποθετηθεί οι δύο τροχοί και η μπαταρία. Τα κυριότερα μέρη από τα οποία δομείται το ρομπότ βρίσκονται στα τρία ανώτερα επίπεδα, παρουσιάζονται ονομαστικά ακολούθως και αναλύονται σε βάθος στις επόμενες υποπαραγράφους:

- OPENCR1.0 Board

- Raspberry pi 3
- Two-dimensional (2D) 360° Lidar Distance Sensor (LDS)

2.1.1 Πλακέτα OPENCR1.0

Στο αμέσως επόμενο επίπεδο, δηλαδή στο δεύτερο επίπεδο, του ρομπότ είναι τοποθετημένη η πλακέτα OPENCR1.0, η οποία παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.2.

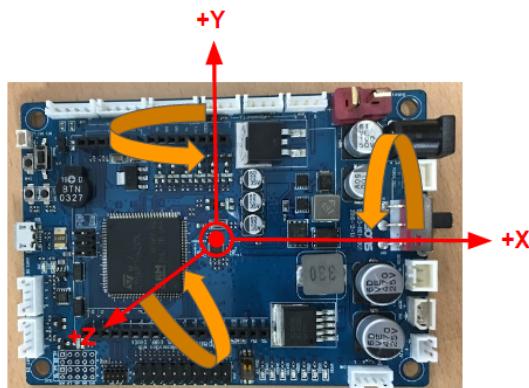


Σχήμα 2.2: OPENCR-board

Το OPENCR είναι ένας ελεγκτής ρομπότ ανοιχτού κώδικα που έχει σχεδιαστεί για ενσωματωμένα συστήματα ROS, όπως είναι και το δικό μας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σένσορες με τους οποίους είναι εξοπλισμένος ο εν λόγω ελεγκτής, οι οποίοι είναι οι ακόλουθοι:

- Γυροσκόπιο 3 αξόνων - Gyroscope 3Axis
- Επιταχυνσιόμετρο 3 αξόνων - Accelerometer 3Axis
- Μαγνητόμετρο 3 αξόνων - Magnetometer 3Axis

Από τους παραπάνω σένσορες ειδική αναφορά αξίζει να γίνει στο γυροσκόπιο, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον προσανατολισμό του ρομπότ, καθώς και την περιστροφή του κατά τον εκάστοτε αριθμό μοιρών που επιθυμούμε με σχετικά μικρό σφάλμα, όπως θα αναλυθεί και στα επόμενα κεφάλαια. Ο προσανατολισμός του γυροσκοπίου δείχνεται στην εικόνα που ακολουθεί:



Σχήμα 2.3: Orientation of Gyroscope

2.1.2 Raspberry pi 3

Το Raspberry Pi 3 είναι ένας μικρός υπολογιστής μεγέθους πιστωτικής κάρτας και η μορφή του φαίνεται στο Σχήμα 2.4. Όπως γίνεται αντιληπτό διαθέτει 4 θύρες USB, σε μια εκ των οποίων θα συνδεθεί αργότερα η τρισδιάστατη κάμερα Occipital Structure Sensor με στόχο την εξαγωγή εικόνων βάθους. Όσον αφορά το πρακτικό μέρος της ενασχόλησης με το raspberry, εγκαταστάθηκε το λειτουργικό σύστημα Ubuntu Mate (Linux), καθώς επίσης και η πλατφόρμα ROS, ούτως ώστε να επιτευχθεί η σύνδεση του REMOTE PC(του φορητού υπολογιστή στον οποίο γράφτηκε ο κώδικας) και του υπολογιστή TURTLEBOT 3 PC(του υπολογιστή raspberry pi 3). Η επίτευξη της σύνδεσης αυτής καθιστά εφικτό τον προγραμματισμό του ρομπότ για την επιτέλεση των λειτουργιών που του αναθέτουμε. Όσον αφορά το λειτουργικό σύστημα του REMOTE PC, δηλαδή του φορητού υπολογιστή που χρησιμοποιήσαμε για την διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκε το λειτουργικό σύστημα Ubuntu Linux και πιο συγκεκριμένα η έκδοση 14.04 LTS. Το Raspberry pi 3 βρίσκεται στο τρίτο επίπεδο του Burger Turtlebot.



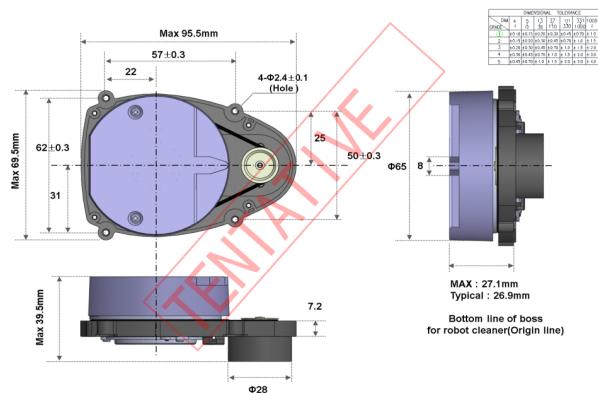
Σχήμα 2.4: Raspberry pi 3 Model B

2.1.3 Two-dimensional (2D) 360° Lidar Distance Sensor

Στο τελευταίο επίπεδο του ρομπότ είναι τοποθετημένος ο 360° Lidar Distance Sensor lds-01 (LDS), ο οποίος είναι ένας δύο διαστάσεων 2D laser scanner ικανός να ανιχνεύει την εμφάνιση αντικειμένων σε εμβέλεια 360 μοιρών, συγκεντρώνοντας ένα σύνολο δεδομένων που αντιστοιχούν στα αντικείμενα που έχει γύρω του το ρομπότ. Οι παρακάτω εικόνες προσφέρουν μια καλύτερη αντίληψη της μορφής του σε λόγω σένσορα.



Σχήμα 2.5: 2D 360° Lidar Distance Sensor



Σχήμα 2.6: Lidar Distance Sensor Mechanism Layout

Η αξιοποίηση του Lidar Distance Sensor για την διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι μεγάλης σημασίας, καθώς χρησιμοποιείται όχι μόνο για την αναγνώριση του ανθρώπου, αλλά και για τον εντοπισμό των διαφόρων εμποδίων που συναντάει το σύστημά μας, όπως θα αναλυθεί λεπτομερέστερα και στην συνέχεια.

Ανάλυση λειτουργίας Lidar Distance Sensor

Αναγκαία συνθήκη για την συλλογή δεδομένων γύρω από το ρομπότ είναι η περιστροφή του στρογγυλού εξαρτήματος που είναι τοποθετημένο στην κορυφή του σένσορα. Ουσιαστικά ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί ο LDS είναι ο εξής: Εντοπίζει την απόσταση στην οποία βρίσκεται οποιδήποτε αντικείμενο από το ρομπότ σε εμβέλεια 360 μοιρών. Ωστόσο, η λειτουργία αυτή συμβαίνει στις δύο διαστάσεις, δηλαδή αντιλαμβάνεται οτιδήποτε υπάρχει στον χώρο και βρίσκεται στο ύψος που είναι τοποθετημένος ο σένσορας. Με άλλα λόγια, είναι σαν να δημιουργείται μια επίπεδη επιφάνεια στον χώρο, εντός της οποίας εντοπίζονται τα αντικείμενα που βρίσκονται σε αυτήν, καθώς και η απόσταση την οποία απέχουν από το ρομπότ. Για να γίνει αντιληπτή σε μεγαλύτερο βαθμό η επίπεδη επιφάνεια την οποία σκανάρει ο σένσορας μας για τον εντοπισμό αντικειμένων, είναι παρόμοια με αυτή που δείχνεται στην ακόλουθη εικόνα σε εμβέλεια 360 μοιρών.

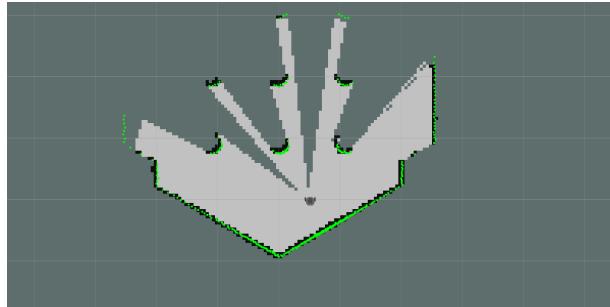


Σχήμα 2.7: Επίπεδη επιφάνεια laser scanner

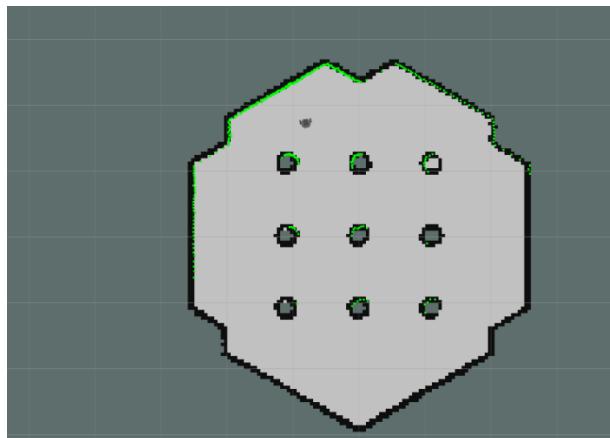
Εφαρμογή Lidar Distance Sensor

Άμεση εφαρμογή της χρησιμοποίησης του LDS αποτελεί το SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), το οποίο αποτελεί μια τεχνική για την σχεδίαση ενός χάρτη του χώρου που βρίσκεται το ρομπότ, βασισμένη στην εκτίμηση της τρέχουσας θέσης του σε έναν αυθαίρετο χώρο. Το SLAM είναι ένα γνωστό χαρακτηριστικό του TurtleBot από τους προκατόχους του. Στην πρώτη εικόνα που παρατίθεται φαίνεται μια πρώτη εκτίμηση του χώρου που κάνει το ρομπότ με την βοήθεια του LDS. Με γκρι χρώμα δείχνεται το δάπεδο, ενώ με μαύρο και πράσινο αντιπροσωπεύονται τα σημεία του χώρου στα οποία έχει εντοπίσει ο σένσορας ότι υπάρχουν εμπόδια. Τελικά,

όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.9, το ρομπότ αφού περιπλανηθεί στον χώρο ούτως ώστε να συλλέξει τα απαραίτητα δεδομένα, καταφέρνει να σχεδιάσει τον χάρτη του χώρου στον οποίο βρίσκεται με σχετικά μεγάλη επιτυχία αναδεικνύοντας την πολύτιμη αξία του 2D 360° Lidar Distance Sensor.



Σχήμα 2.8: Πρώτη εκτίμηση του χώρου μέσω SLAM



Σχήμα 2.9: Τελική εκτίμηση του χώρου μέσω SLAM

2.2 Περιβραχιόνιο μπράτσου Myo Gesture Control Armband System

Το επόμενο εξάρτημα του συστήματός μας με το οποίο θα ασχοληθούμε ονομάζεται Myo gesture control armband και χρησιμοποιείται για διαφόρων ειδών εφαρμογές, όπως είναι για παράδειγμα ο έλεγχος ρομποτικών συσκευών με σκοπό την εξυπηρέτηση ηλικιωμένων ανθρώπων ή ανθρώπων με κάποιους είδους αναπηρία σε καθήκοντα τα οποία περιλαμβάνουν την μεταφορά αντικειμένων. Είναι ένα περιβραχιόνιο μπράτσου, το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2.10, και ανήκει στις συσκευές που λειτουργούν μέσω των μυοηλεκτρικών σημάτων(myoelectric signals). Επίσης στο Σχήμα 2.12 δείχνεται ο τρόπος με τον οποίο προτείνεται να φοριέται το περιβραχιόνιο είτε στο δεξί είτε στο αριστερό χέρι. Το μυοηλεκτρικό σήμα είναι ένα

βιολογικό σήμα που παράγεται από την ηλεκτρική δραστηριότητα σε έναν μυ κατά τη διάρκεια της συστολής του και μπορεί να ανιχνευθεί μέσω ηλεκτρονίων που εφαρμόζονται στο δέρμα. Ο αλγόριθμος της συσκευής δουλεύει με δεδομένα τα οποία λαμβάνονται από οκτώ ηλεκτρομυογραφικούς σένσορες (electromyographic sensors - EMG sensors - Σχήμα 2.11), οι οποίοι διακρίνονται σε αισθητήρες αδρανείας και περιστροφής.



Σχήμα 2.10: Myo Gesture Control Armband



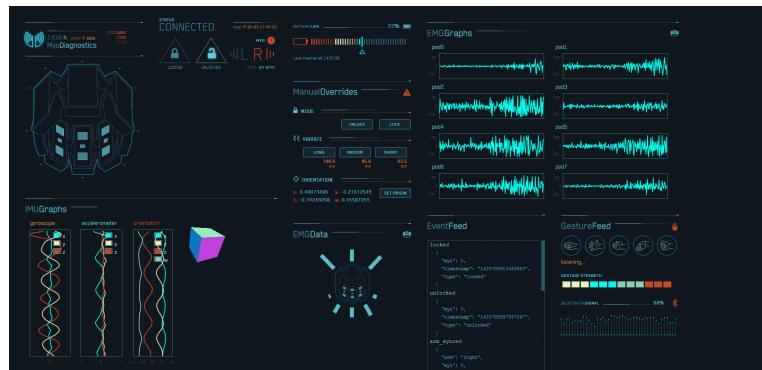
Σχήμα 2.11: eight electromyographic sensors - 8 EMG sensors



Σχήμα 2.12: Τοποθέτηση Myo στο χέρι

Myo diagnostics - Myo EMG Graphs

Τα δεδομένα raw EMG data τα οποία επεξεργάζεται το myo, προκύπτουν από τα γραφήματα EMG graphs. Είναι εφικτό, αφού γίνει η σύνδεση του μυο με τον υπολογιστή, να λαμβάνουμε σε πραγματικό χρόνο (real time) τα γραφήματα EMG graphs μεσω της πλατφόρμας myodiagnostic. Τα αποτελέσματα που παίρνουμε από το myodiagnostic, καθώς και η μορφή των γραφημάτων EMG τις οποίες επεξεργάζεται το Myo armband παρουσιάζονται στις εικόνες που ακολουθούν.



Σχήμα 2.13: Myo diagnostics - EMG Graphs



Σχήμα 2.14: Myo EMG Graphs

Σύνδεση Myo armband με υπολογιστή

Για την επίτευξη της σύνδεσης του περιβραχιονίου Myo armband με έναν υπολογιστή που διαθέτει λειτουργικό σύστημα Windows υπάρχει έτομος από την εταιρία Thalmic Labs, που κατασκευάζει τα armbands, ένας οδηγός σύνδεσης που ονομάζεται Myoconnect. Ωστόσο, εφόσον ο υπολογιστής REMOTE PC που χρησιμοποιήθηκε διαθέτει το λειτουργικό σύστημα Linux Ubuntu αναζητήθηκε ένας οδηγός που να είναι συμβατός με τα Linux. Τελικά καταλήξαμε στο Pyoconnect που είναι μια παραλλαγή του Myoconnect για Linux, βασισμένο σε γλώσσα προγραμματισμού Python. Το μενού το οποίο εμφανίζεται μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης έχει τελικά την ακόλουθη μορφή, και η σύνδεση επιτυγχάνεται μέσω Bluetooth:



Σχήμα 2.15: Pyoconnect's Menu

Poses - χειρονομίες Myo armband

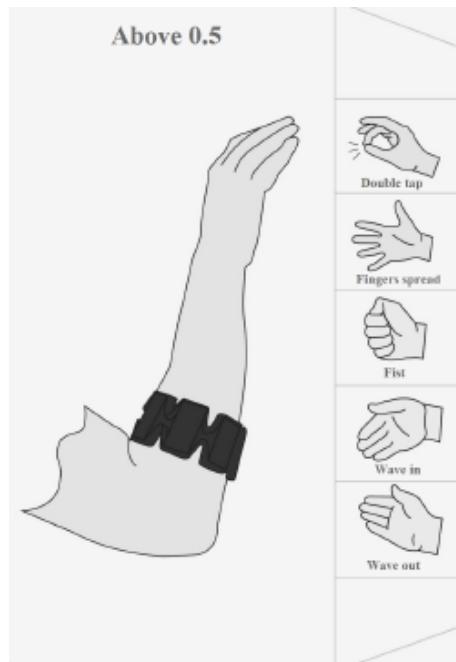
Με βάση τα δεδομένα που λαμβάνονται από αυτούς τους αισθητήρες το myo είναι σε θέση να αναγνωρίζει την χειρονομία(gesture ή pose) που κάνει ο άνθρωπος, η οποία μπορεί να είναι μια από τις ακόλουθες:

- Rest
- Fist
- Wave In
- Wave Out
- Doubletap

Η σχηματική αναπαράσταση των χειρονομιών-poses που αναφέρθηκαν παραπάνω φαίνεται στην εικόνα 2.16. Κάθε χειρονομία έχει το δικό της γράφημα με αποτέλεσμα το myo να είναι σε θέση να τις αναγνωρίζει.

Δόνηση myo armband - haptic feedback

Το κύριο χαρακτηριστικό του περιβραχιονίου Myo που χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό στην παρούσα εργασία είναι η δυνατότητά του να δονείται, γεγονός που βασίζεται στην απτική ανατροφοδότηση ή αλλιώς haptic feedback. Η απτική ανατροφοδότηση, όπως σηλώνει και το όνομά της είναι η χρήση της αφής για επικοινωνία με τους χρήστες. Τα ανθρώπινα όντα έχουν πέντε αισθήσεις, αλλά οι γλεκτρονικές συσκευές επικοινωνούν μαζί μας χρησιμοποιώντας κυρίως δύο: την όραση και την ακοή. Η απτική ανα-



Σχήμα 2.16: Poses of Myo Armband

τροφοδότηση επιχειρεί να το αλλάξει αυτό με προσομοίωση της αίσθησης της αφής. Τελικά όχι μόνο μπορεί ο άνθρωπος να αγγίξει έναν υπολογιστή ή κάποια άλλη συσκευή, αλλά και ο υπολογιστής με την σειρά του μπορεί να αγίξει τον άνθρωπο. Με άλλα λόγια, η απτική ανατροφοδότηση είναι ένας νέος τρόπος επικοινωνίας για τις μηχανές και τους ανθρώπους. Στα πλαίσια αυτής της λογικής το περιβραχιόνιο Myo διαθέτει τριών ειδών δονήσεις (vibrations) οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους στην διάρκεια και είναι οι ακόλουθες:

- Short vibration
- Medium vibration
- Long vibration

Ο συνδυασμός τελικά δονήσεων διαφορετικής χρονικής διάρκειας αποτελεί την βάση του κώδικα επικοινωνίας μεταξύ του ανθρώπου και του ρομπότ, όπως θα αναλυθεί και στο Κεφάλαιο 3.

2.3 Bluetooth speaker

Χρησιμοποιήθηκε επίσης ένα ηχείο πολύ μικρών διαστάσεων (περίπου 2x2cm) που μπορεί να συνδεθεί ασύρματα με τον υπολογιστή μέσω Bluetooth. Το εν λόγω ηχείο τοποθετήθηκε πάνω στο ρομπότ και φαίνεται στην ακό-

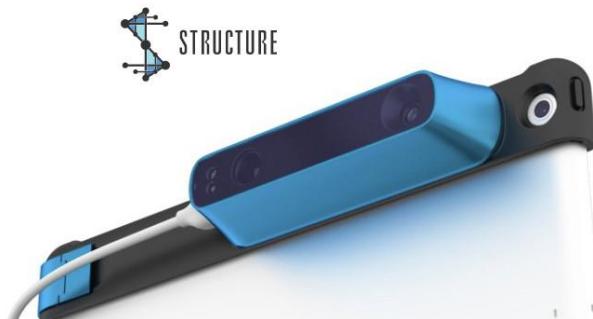
λουθη εικόνα. Μέσω αυτού αξιοποιήσαμε την αίσθηση της ακοής των ανθρώπων με προβλήματα όρασης, καθώς στα περιβάλλοντα τα οποία εκτελέστηκαν τα πειράματα, δηλαδή σε κλειστούς χώρους, δεν υπάρχει θόρυβος και γενικότερα ηχητικές παρεμβολές. Ο ήχος όπως αναφέρθηκε θα παραγεται από το ηχείο το οποίο βρίσκεται πάνω στο ρομπότ και θα ηχεί σε περίπτωση που ο άνθρωπος δεν έχει αντίληψη του που βρίσκεται το ρομπότ σε σχέση με την θέση του. Γενικότερα, η χρήση του ηχείου θα μπορούσε να καταστήσει πιο εύκολο τον κώδικα επικοινωνίας ανθρώπου-ρομπότ σε συνδυασμό με τις δονήσεις του περιβραχιονίου Myo, δίνοντάς του άμεσα φωνητικές οδηγίες που θα συμβάλλουν σε μια καλύτερη γνώση της δομής του χώρου στον οποίο βρίσκεται.



Σχήμα 2.17: Wireless Bluetooth speaker Turbox

2.4 Three-dimensional (3D) Occipital Structure Sensor

Τελευταίο δομικό στοιχείο του συστήματος αποτελεί ο τρισδιάστατος 3D Occipital Structure Sensor, ο οποίος χρησιμοποιείται στο τελευταίο Κεφάλαιο της εργασίας. Ο εν λόγω Structure sensor παρέχει την δυνατότητα λήψης 3D πληροφοριών, παρέχοντας την δυνατότητα της 3D όρασης στην συσκευή με την οποία συνδέεται και δίνοντάς της έναν νέο τρόπο κατανόησης του κόσμου γύρω της. Αυτό επιτρέπει ένα αυξανόμενο σύνολο προηγμένων δυνατοτήτων όπως η τρισδιάστατη σάρωση, η εσωτερική χαρτογράφηση και οι εμπειρίες μικτής πραγματικότητας. Η μορφή του 3D Occipital Strucure Sensor, καθώς και οι τεχνικές προδιαγραφές του παρουσιάζονται στις εικόνες που ακολουθούν.



Σχήμα 2.18: Occipital Structure Sensor

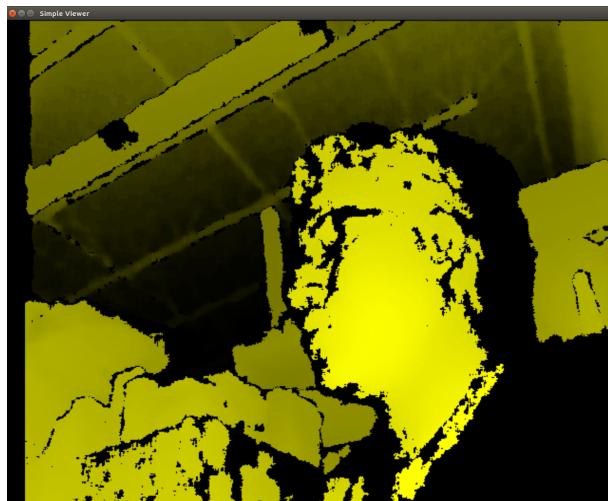
Technical Specifications

Dimensions	Resolution VGA (640 x 480), QVGA (320 x 240)
Weight 95g	Framerate 30 / 60 frames per second
Maximum Recommended Range 3.5m+	Battery Life 3-4 hours of active sensing, 1000+ hours of standby
Minimum Recommended Range 40cm	Illumination Infrared structured light projector, uniform infrared LEDs
Precision 0.5mm at 40cm (0.15%), 30mm at 3m (1%) More detail	Field of View Horizontal: 58 degrees, Vertical: 45 degrees
	Operating Temperature 0° to 35° C (32° to 95° F)

Σχήμα 2.19: Structure Sensor's Technical specifications

Ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται συνδεδεμένο με iPad καθώς υπάρχουν ήδη πολυάριθμες 3D εφαρμογές, η δημοφιλέστερη από τις οποίες είναι το canvas που έχει σχεδιαστεί για να παρέχει χώρο σε 3D. Ωστόσο είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και με άλλες συσκευές, όπως παραδείγματος χάριν στην περίπτωσή μας που το συνδέουμε με το Raspberry Pi 3, το οποίο αναλύθηκε στην υποενότητα 2.1.2, μέσω του USB καλωδίου που διαθέτει. Τελικά, είμαστε σε θέση να εξάγουμε εικόνες βάθους(depth images), οι οποίες μας παρέχουν πληροφορίες ανάλογα με το πόσο μακριά βρίσκονται τα διάφορα αντικείμενα της εικόνας, καθώς κάθε Pixel

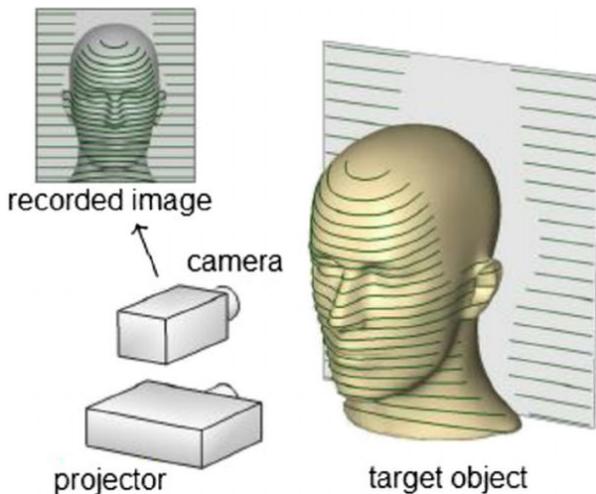
αναπαριστά την απόσταση από την κάμερα. Οι εικόνες βάθους έχουν την παρακάτω μορφή:



Σχήμα 2.20: Depth image

Τεχνική λειτουργίας του σένσορα

Ο σένσορας που αναλύουμε διαθέτει δύο υπέρυθρες λυχνίες LED, έναν υπέρυθρο δομημένο προβολέα φωτός, καθώς και μια υπέρυθρη κάμερα. Ο strcure sensor προβάλλει ένα μοναδικό υπέρυθρο μοτίβο από κουκίδες μπροστά του και η κάμερα υπέρυθρων καταγράφει το προβαλλόμενο μοτίβο καθώς αντανακλάται από τα αντικείμενα. Οι φαινομενικές παραλλαγές στη θέση των σημείων που έχουν ληφθεί ερμηνεύονται από το λογισμικό για να προσδιοριστεί η σχετική θέση μιας ληφθείσας εικόνας. Η εικόνα που ακολουθεί απεικονίζει την τεχνική που αναφερόμαστε σε ένα κινούμενο σχέδιο.



Σχήμα 2.21: Structure Sensor's Technique

Βιβλιοθήκη OpenNI2

Στο προγραμματιστικό κομμάτι για την εξαγωγή των εικόνων βάθους εργαστήκαμε στο Raspberry pi 3 και χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη OpenNI2(Open Natural Interaction). Η βιβλιοθήκη αυτή είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα που επικεντρώνεται στην πιστοποίηση και βελτίωση της διαλειτουργικότητας των φυσικών διεπαφών(NI-Natural Interactions). Συσκευές φυσικών διεπαφών είναι συσκευές που καταγράφουν τις κινήσεις του σώματος και τους ήχους για να επιτρέψουν μια πιο φυσική αλληλεπίδραση των χρηστών με τους υπολογιστές. Σε αυτή την κατηγορία γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι ανήκει και η συσκευή που χρησιμοποιούμε Occipital Structure Sensor.

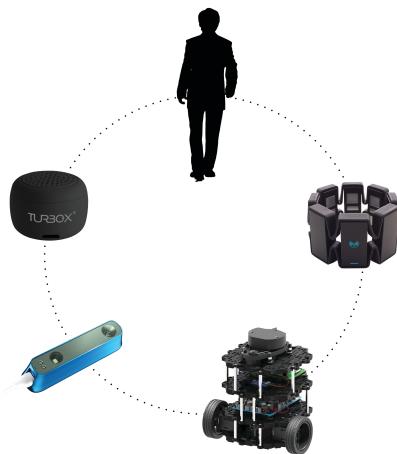
Αφού εγκαταστάθηκε επιτυχώς η βιβλιοθήκη OpenNI2 χρησιμοποιήσαμε σε πρώτο στάδιο το εργαλείο NiViewer που διαθέτει, το οποίο μας παρέχει τις εικόνες βάθους. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν και άλλα εργαλεία της βιβλιοθήκης OpenNI2 τόσο για την 3D αποφυγή εμποδίων όσο και για την αναγνώριση των σκαλιών, εκμεταλλευόμενοι τις πληροφορίες που μας παρέχουν οι εικόνες βάθους. Οι διεργασίες αυτές θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 5.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στο προηγούμενο Κεφάλαιο αναλύθηκαν λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά, καθώς και η χρησιμότητα, κάθε δομικού συστατικού του συστήματος το οποίο επιχειρούμε να κατασκευάσουμε. Για να αποκτήσει ο αναγνώστης μια καλύτερη αντίληψη της μορφής του συστήματος, παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1 μια σχηματική απεικόνιση όλων των τεχνολογικών εξαρτημάτων που συνετέλεσαν στην δημιουργία του συστήματος υποβοήθησης για ανθρώπους με προβλήματα όρασης που παρουσιάζεται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.



Σχήμα 3.1: Δομικά συστατικά του συστήματος

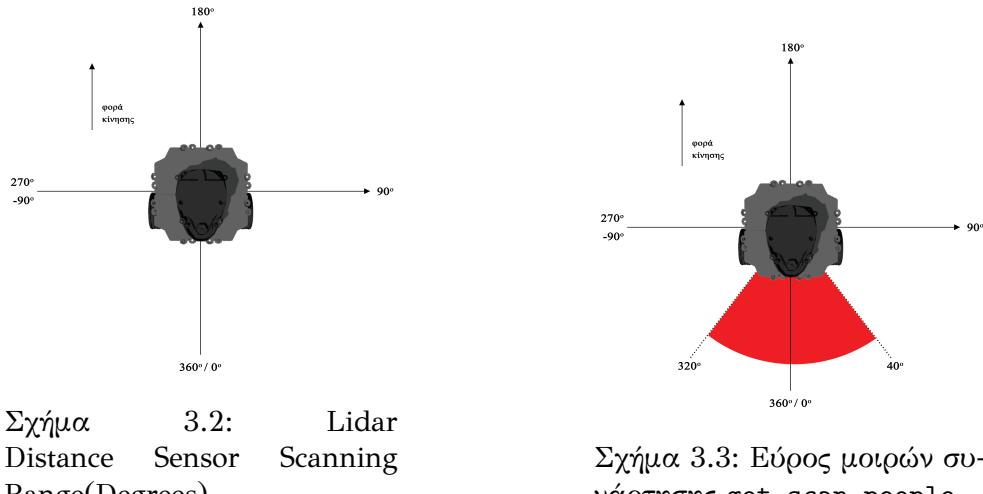
Το επόμενο βήμα είναι η παρουσίαση του τρόπου με τον οποίο συνδυάστηκαν τα παραπάνω εξαρτήματα για την επίτευξη της επιτυχημένης και ομαλής λειτουργίας του συστήματος. Η εν λόγω παρουσίαση περιλαμβάνει τις εξής θεματικές ενότητες:

- Σχετική θέση του ανθρώπου σε σχέση με το ρομπότ.
- Δυνατότητα στον χρήστη για αλλαγή της κατεύθυνσης του συστήματος.
- Παρουσίαση του κάθικα επικοινωνίας ανθρώπου-ρομπότ.
- 2D και 3D αποφυγή εμποδίων.
- Αναγνώριση σκαλιών.

3.1 Η διάταξη του ανθρώπου στον χώρο σε σχέση με το ρομπότ

Σε πρώτο στάδιο μελετάται η θέση που πρέπει να έχει ο άνθρωπος σε σχέση με το ρομπότ, έτσι ώστε να μπορεί αυτό να αντιληφθεί την ύπαρξη του ανθρώπου στον χώρο. Πιο συγκεκριμένα, για να γίνει αντιληπτός ο άνθρωπος από το ρομπότ θα πρέπει να τοποθετηθεί ακριβώς πίσω από αυτό. Η εν λόγω διάταξη προτιμήθηκε, καθώς με αυτό τον τρόπο το ρομπότ είναι ικανό να καθοδηγεί τον άνθρωπο στον χώρο και να τον ειδοποιεί σε περίπτωση που συναντήσει κάποιο εμπόδιο. Ο εντοπισμός του ανθρώπου από το ρομπότ Turtlebot 3 γίνεται μέσω του σένσορα 2D 360° Lidar Distance Sensor που διαθέτει, ο οποίος είναι σε θέση να αντιλαμβάνεται ανά πάσα χρονική στιγμή όχι μόνο αν υπάρχει κάποιο αντικείμενο

πίσω του, αλλά και πόση απόσταση απέχει από αυτό. Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο ο Lidar Distance Sensor του ρομπότ Turtlebot 3 αντιλαμβάνεται τον χώρο γύρω του και οι αντίστοιχες γωνίες μετρούμενες σε μοιρές. Για τον εντοπισμό του ανθρώπου πίσω από το ρομπότ, δημιουργήθηκε η συνάρτηση `get_scan_people(self)`, η οποία σκανάρει την ύπαρξη αντικειμένων ανά μια μοίρα, για το εύρος από 0° έως 40° και 320° έως 360° (Σχήμα 3.3). Τελικά, βρίσκει την ελάχιστη απόσταση σε αυτό το εύρος μοιρών, η οποία αναπαριστά την απόσταση που απέχει ο άνθρωπος από το ρομπότ. Το ρομπότ είναι σε θέση να αναγνωρίσει τον άνθρωπο μόλις αυτός πλησιάσει τόσο, ώστε η ένδειξη του Lidar Distance Sensor γίνει μικρότερη από 0.5.



Επομένων υπάρχουν δύο περιπτώσεις που αφορούν την πλαισίωση του ρομπότ από τον άνθρωπο στον χώρο, οι οποίες είναι οι ακόλουθες και αναλύονται στις υποενότητες που έπονται:

- Ο χρήστης να αδυνατεί να τοποθετηθεί ακριβώς πίσω από το ρομπότ.
- Ο χρήστης να έχει τοποθετηθεί σωστά πίσω από το ρομπότ.

3.1.1 Απουσία του ανθρώπου πίσω από το ρομπότ

Στην πρώτη περίπτωση το ρομπότ αντιλαμβάνεται την απουσία του ανθρώπου από πίσω του. Ωστόσο, σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν δύο λογικές εξηγήσεις:

1. Ο άνθρωπος αδυνατεί να συνειδητοποιήσει ποια είναι η θέση που έχει καταλάβει το ρομπότ στον χώρο, καθώς και ποιος είναι ο προσανατολισμός του, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.4.

2. Ο άνθρωπος έχει αντίληψη τόσο της θέσης όσο και του προσανατολισμού του ρομπότ, όντας τοποθετημένος πίσω από το ρομπότ, αλλά δεν βρίσκεται σε αρκετά κοντινή απόσταση. Πιο συγκεκριμένα, το ρομπότ αντιλαμβάνεται την ανθρώπινη ύπαρξη πίσω του, μόλις η τιμή που επιστρέφει ο Lidar Distance Sensor γίνεται μικρότερη από 0.5. Συνεπώς στην περίπτωση που ο άνθρωπος βρίσκεται μεν πίσω από το ρομπότ, αλλά σε απόσταση μεγαλύτερη από 0.5, δηλαδή:

$$\min(\text{get_scan_people}(\text{self})) > 0.5$$

,τότε το ρομπότ αδυνατεί να τον αναγνωρίσει. Η σχηματική απεικόνιση της περίπτωσης αυτής παρατίθεται στην εικόνα 3.5.



Σχήμα 3.4: Λάθος τοποθέτηση ανθρώπου

Σχήμα 3.5: Σωστή τοποθέτηση ανθρώπου // Lidar Distance Sensor > 0.5

Η λύση που προτάθηκε για την αποφυγή του εν λόγω προβλήματος βασίστηκε στην αξιοποίηση της οξυμένης ακουστικής ικανότητας την οποία διαθέτουν οι άνθρωποι με προβλήματα όρασης. Ανολυτικότερα, σε περίπτωση που ο άνθρωπος δεν είναι τοποθετημένος σε κοντινή απόσταση πίσω από το ρομπότ τότε παράγεται από το ασύρματο νησί Turbox, το οποίο είναι τοποθετημένο πάνω στο ρομπότ όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 2, ένας περιοδικά επαναλαμβανόμενος ήχος ο οποίος βοηθάει τον άνθρωπο να εντοπίσει την τοποθεσία του Turtlebot. Μόλις ο άνθρωπος βρεθεί σε απόσταση μικρότερη από 0.5 πίσω από το ρομπότ, τότε σταματάει αυτομάτως η παραγωγή του ήχου και ξεκινάει η κίνηση του συστήματος προς τα εμπρός, σηματοδοτώντας παράλληλα την έναρξη της πλοήγησης του χρήστη στον χώρο, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.6. Αξίζει να τονιστεί ότι στην περίπτωση που το σύστημα άνθρωπος-ρομπότ κινείται προς τα εμπρός και ξαφνικά χάνεται η σωστή τους διάταξη στον χώρο, δηλαδή αν ο άνθρωπος δεν βρίσκεται πλέον πίσω από το ρομπότ, τότε το ρομπότ ακινητοποιείται και παράγεται ο ίδιος ήχος με σκοπό την επαναφορά της σωστής διάταξης του συστήματος.

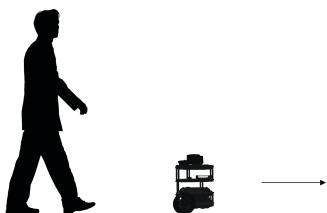


Σχήμα 3.6: Σωστή τοποθέτηση ανθρώπου // Lidar Distance Sensor < 0.5

3.1.2 Αναγνώριση του ανθρώπου πίσω από το ρομπότ

Η δεύτερη πετίπτωση αφορά την αναγνώριση της ανθρώπινης φιγούρας από το Turtlebot. Στην εικόνα που ακολουθεί παρατίθεται η σχετική θέση που πρέπει να έχει ονθρωπος σε σχέση με το ρομπότ, έτσι ώστε να αντιληφθεί το ρομπότ την ύπαρξη του χρήστη και να είναι σε θέση να ξεκινήσει την πλοϊγηση στον χώρο. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει να βρίσκεται ακριβώς πίσω από το ρομπότ και ο προσανατολισμός τους να ταυτίζεται. Βασική προϋπόθεση σε αυτή την περίπτωση αποτελεί η τιμή που επιστρέφει η συναρτηση `get_scan_people(self)`, δηλαδή η ελάχιστη τιμή του Lidar Distance Sensor που συμβολίζει την ελάχιστη απόσταση του ρομπότ από κάποιο αντικείμενο που βρίσκεται πίσω του, να είναι μικρότερη από 0.5, δηλαδή:

$$\min(\text{get_scan_people}(\text{self})) < 0.5$$



Σχήμα 3.7: Σωστή τοποθέτηση ανθρώπου // Lidar Distance Sensor < 0.5



Σχήμα 3.8: Επιτυχημένη εκκίνηση της πλοϊγησης του ανθρώπου στον χώρο

Εφόσον το ρομπότ έχει αναγνωρίσει την ανθρώπινη ύπαρξη, ξεκινάει να κινείται μπροστά με μια ενδεικτική ταχύτητα 0,09m/s. Την κίνηση

του ρομπότ ακολουθεί με την σειρά του και ο άνθρωπος, ο οποίος αρχίζει να περπατάει προς τα μπροστά. Σε αυτό το σημείο η εκκίνηση του συστήματος έχει στεφθεί με επιτυχία και έχει σηματοδοτήσει την εκκίνηση της πλοήγησης του ανθρώπου με προβλήματα όρασης στον εκάστοτε εσωτερικό χώρο. Ιδιαίτερη έμφαση αξίζει να δοθεί στο γεγονός πως η ταχύτητα του ρομπότ μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του ανθρώπου τον οποίο εξυπηρετεί. Παραδείγματος χάριν, η ταχύτητα μπορεί να είναι μικρότερη από 0,09m/s όταν το σύστημα εφαρμόζεται σε έναν ηλικιωμένο άνθρωπο, και μεγαλύτερη από 0,09m/s όταν εφαρμόζεται σε ανθρώπους νεαρής ηλικίας. Επίσης, μπορεί στην αρχή να είναι σχετικά χαμηλή ούτως ώστε ο άνθρωπος να μάθει πρώτα τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί το σύστημα, και αφού εκπαιδευτεί κατάλληλα να προχωρήσει σε αύξηση της ταχύτητας. Στον κάδικα που δημιουργήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Python, το μέγεθος της ταχύτητας αντιστοιχεί στην μεταβλητή πονε_cmd.linear.x, η οποία βρίσκεται εντός της συνάρτησης Normal_straight(self).

3.2 Αλλαγή της κατεύθυνσης του συστήματος από τον χρήστη

Παράλληλα, έχει δοθεί στον χρήστη η δυνατότητα, εφόσον το σύστημα κινείται προς μια κατεύθυνση, να αλλάξει την φορά κίνησης όποτε αυτός το επιθυμήσει. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό προτέρημα του συστήματος το οποίο κατασκευάστηκε, καθώς τον πρώτο λόγο στην κατεύθυνση κίνησης του συστήματος έχει ο άνθρωπος, και όχι το ρομπότ. Με αυτό τον τρόπο, το σύστημα αποτελεί ένα βοήθημα στην πλοήγηση του ανθρώπου σεβόμενο τις επιθυμίες του και όχι την απόλυτη αυθεντία. Επίσης, το ρομπότ δεν έχει τον κυριαρχικό ρόλο του οδηγού, αλλά δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει προς τα που θέλει να κινηθεί. Με άλλα λόγια το ρομπότ αποτελεί ένα μέσο εξυπηρέτησης για τον άνθρωπο. Η δυνατότητα αυτή δίνεται στον χρήστη μέσω του πειβραχιονίου Myo, το οποίο φοράει ο άνθρωπος στο μπράτσο σε όποιο χέρι επιθυμεί και αναλύθηκε λεπτομερώς στην υποενότητα 2.2.

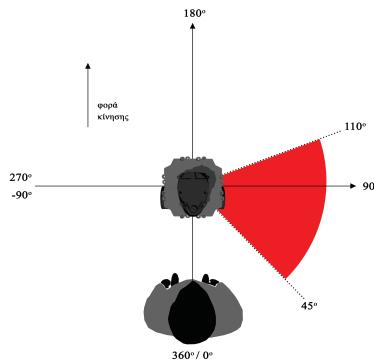
3.2.1 Αλλαγή της κατεύθυνσης του συστήματος κατά 90 μοίρες δεξιά

Πιο συγκεκριμένα, για να στρίψει το σύστημα δεξιά θα πρέπει ο άνθρωπος να πραγματοποιήσει στο χέρι που φοράει το Myo την χειρονομία Fist, η οποία δείχνεται και στην ακόλουθη εικόνα. Τονίζεται ότι οι χειρονομίες που κάνει ο άνθρωπος στο χέρι που φοράει το Myo λαμβάνονται κάθε χρονική στιγμή κατά την οποία ο άνθρωπος είναι τοποθετημένος σωστά πίσω από το ρομπότ και το σύστημα προχωράει προς τα μπροστά, όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα.



Σχήμα 3.9: Fist pose

Μόλις ο άνθρωπος κάνει την χειρονομία Fist το ρομπότ τοποθετείται δεξιά του, με κατεύθυνση 90 μοίρες προς τα δεξιά σε σχέση με πριν. Η συνάρτηση η οποία επιτελεί αυτή την λειτουργία στον κώδικα που γράφτηκε είναι η `self.RobotMoveRight(angle_base)`. Για να καταστεί βέβαια αυτό εφικτό θα πρέπει να μην υπάρχουν εμπόδια στην πλευρά την οποία επιθυμεί ο άνθρωπος να κινηθεί το σύστημα. Με άλλα λόγια, πάντα το ρομπότ ελέγχει την ύπαρξη εμποδίων στην πλευρά που έχει επιλέξει ο χρήστης να κατευθυνθεί το σύστημα. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της συνάρτησης `get_scan_pose_fist_right(self)`, στην οποία ελέγχεται με την βοήθεια του Lidar Distance Sensor ο χώρος στο εύρος μοιρών από 45° έως 110°, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.10, για την ύπαρξη εμποδίων δεξιά από το σύστημα.

Σχήμα 3.10: Εύρος μοιρών συνάρτησης `get_scan_pose_fist_right`

Αν η ελάχιστη τιμή του σένσορα για αυτό το εύρος μοιρών, που αντιστοιχεί στο κοντινότερο σημείο στο ρομπότ και κατά συνέπεια και τον άνθρωπο, είναι μεγαλύτερη του 0.8, δηλαδή:

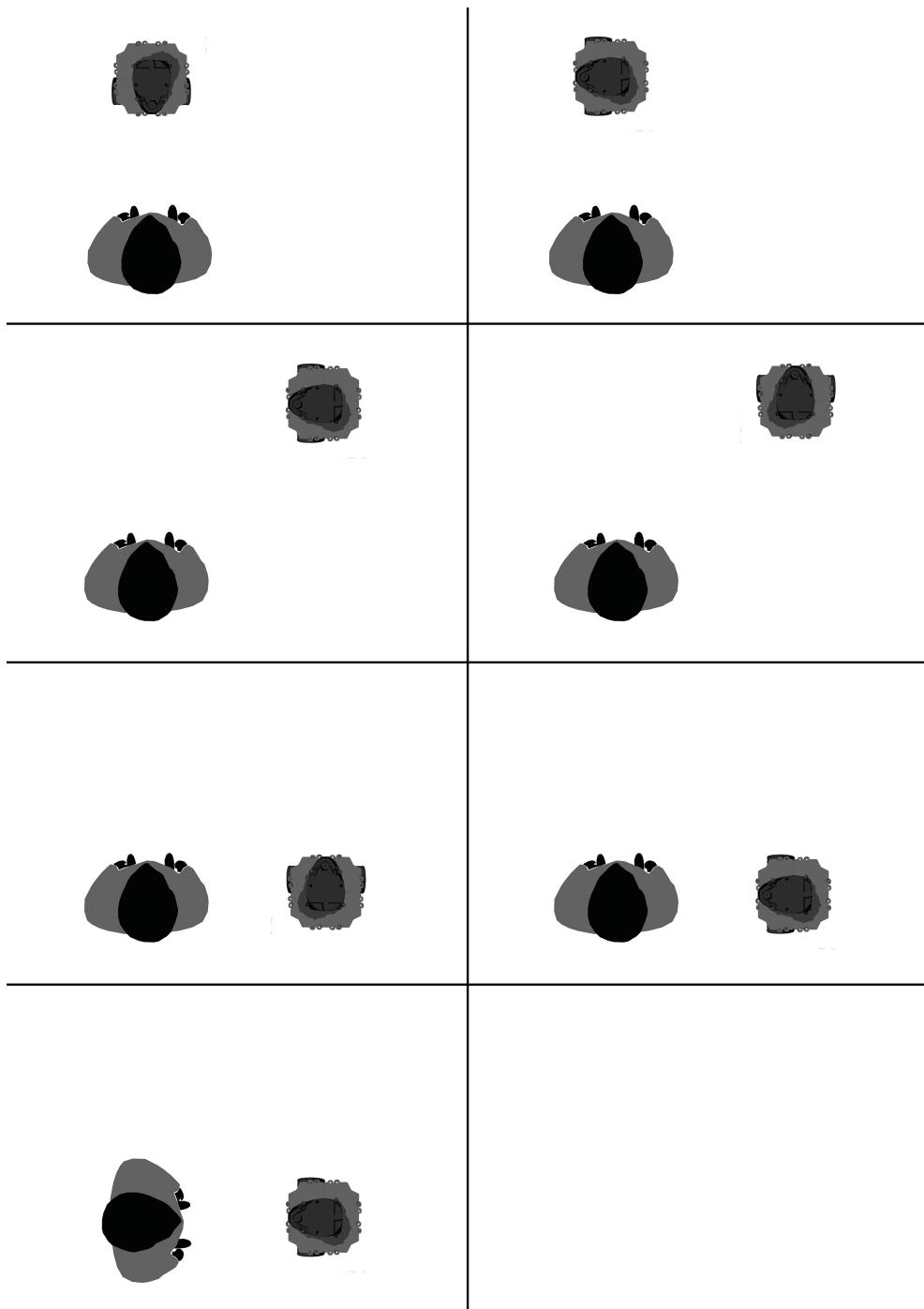
$$\min(\text{get_scan_pose_fist_right}(\text{self})) > 0.8$$

αυτό σημαίνει ότι η πλευρά που έχει επιλέξει να κινηθεί ο άνθρωπος δεν περιέχει εμπόδια σε κοντινή απόσταση, οπότε σε αυτή την περίπτωση το ρομπότ πραγματοποιεί την κίνηση που δείχνεται στο Σχήμα 3.11 και το σύστημα αλλάζει κατεύθυνση κατά 90° προς τα δεξιά. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή η τιμή του σένσορα είναι μικρότερη από 0.8, δηλαδή:

$$\min(\text{get_scan_pose_fist_right}(\text{self})) < 0.8$$

αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν εμπόδια στην πλευρά που έχει επιλέξει ο χρήστης να κινηθεί και ειδοποιείται άμεσα φωνητικά ο χρήστης, καθώς παράγεται φωνητικά η ακόλουθη έκφραση, η οποία ακούγεται από το ασύρματο γηρείο που έχει τοποθετηθεί στο ρομπότ:

”Cannot turn right”



Σχήμα 3.11: Κίνηση του ρομπότ με fist pose

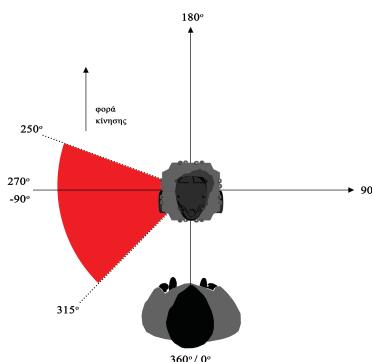
3.2.2 Αλλαγή της κατεύθυνσης του συστήματος κατά 90 μοίρες αριστερά

Αντιστοίχως, για να στρίψει το σύστημα αριστερά θα πρέπει ο άνθρωπος να πραγματοποιήσει στο χέρι που φοράει το Myo την χειρονομία waveIn, η οποία φαίνεται στην εικόνα 3.12.



Σχήμα 3.12: WaveIn pose

Την χρόνική στιγμή που ο άνθρωπος θα πραγματοποιήσει την χειρονομία waveIn το ρομπότ τοποθετείται αριστερά του, με κατεύθυνση 90 μοίρες προς τα αριστερά σε σύγκριση με τον προηγούμενο προσανατολισμό του. Η συνάρτηση η οποία επιτελεί αυτή την λειτουργία στον χώδικα που γράφτηκε είναι η `self.RobotMoveLeft(angle_base)`. Για να καταστεί ωστόσο δυνατή η εν λόγω αλλαγή της κατεύθυνσης του συστήματος θα πρέπει να μην υπάρχουν εμπόδια στην αριστερή πλευρά. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της συνάρτησης `get_scan_pose_waveIn_left(self)`, στην οποία ελέγχεται με την βοήθεια του Lidar Distance Sensor ο χώρος στο εύρος μοιρών από 250° έως 315° (Σχήμα 3.13) για την ύπαρξη εμποδίων αριστερά του συστήματος.



Σχήμα 3.13: Εύρος μοιρών συνάρτησης `get_scan_pose_fist_right`

Αν η ελάχιστη τιμή του σένσορα για αυτό το εύρος μοιρών, που αντιστοιχεί στο κοντινότερο σημείο στο ρομπότ και κατά συνέπεια και τον άνθρωπο, είναι μεγαλύτερη του 0.8, δηλαδή:

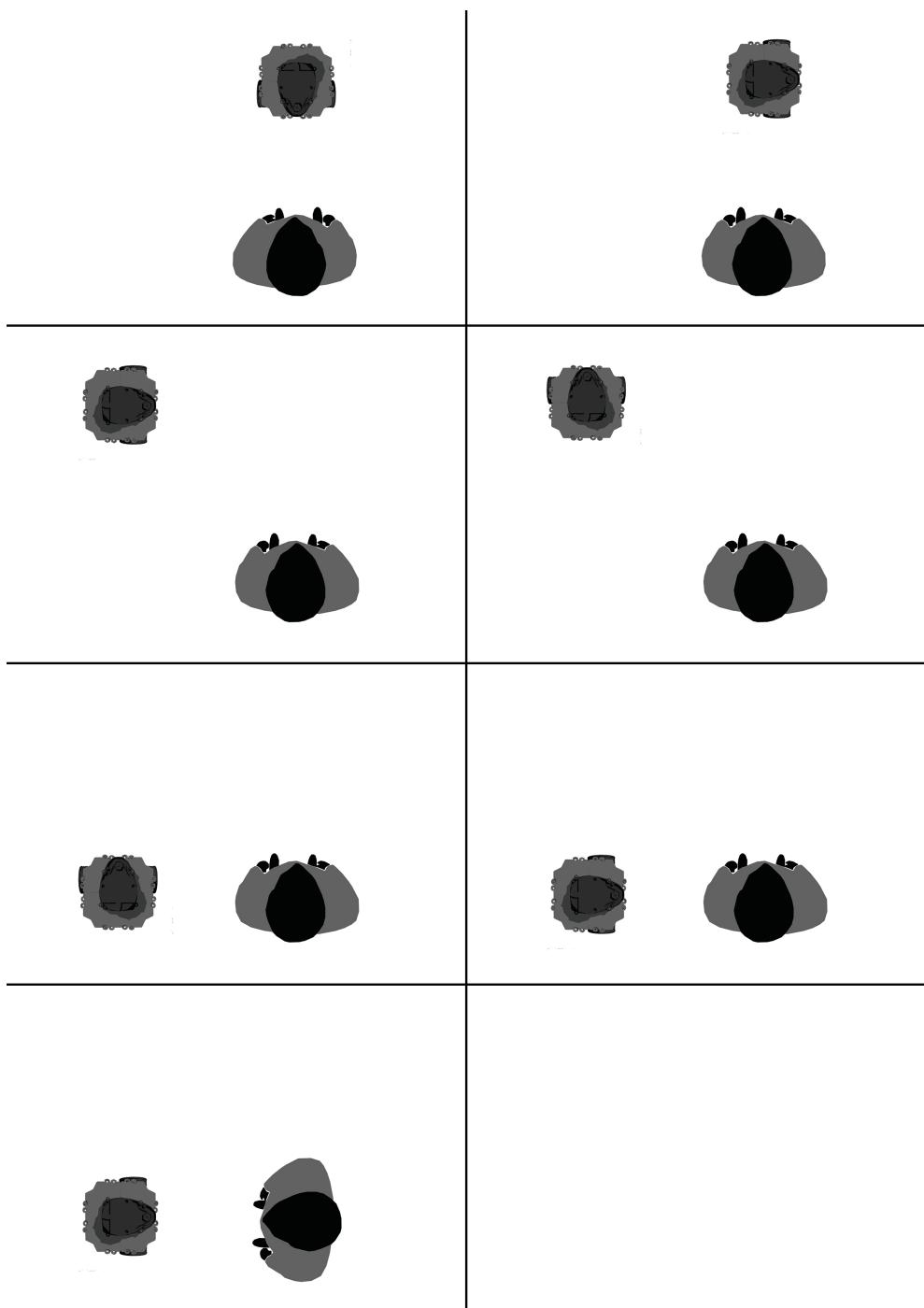
```
min(get_scan_pose_waveIn_left(self)) > 0.8
```

,αυτό μεταφράζεται ως ότι η αριστερή πλευρά δεν περιλαμβάνει εμπόδια σε κοντινή απόσταση, οπότε σε αυτή την περίπτωση το ρομπότ πραγματοποιεί την κίνηση που δείχνεται στο Σχήμα 3.14 και το σύστημα αλλάζει κατεύθυνση κατά 90° προς τα αριστερά. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή η τιμή του σένσορα είναι μικρότερη από 0.8, δηλαδή:

```
min(get_scan_pose_waveIn_left(self)) < 0.8
```

τότε υπάρχουν εμπόδια αριστερά από το σύστημα και ο χρήστης ειδοποιείται άμεσα, καθώς παράγεται φωνητικά η ακόλουθη έκφραση, η οποία ακούγεται από το ασύρματο ηχείο που έχει τοποθετηθεί στο ρομπότ:

”Cannot turn left”



Σχήμα 3.14: Κίνηση του ρομπότ με waveIn pose

Τελικά, ο χρήστης είναι σε θέση να καθορίζει την κατεύθυνση κίνησης του συστήματος και δεν ακολουθεί απλώς το ρομπότ, με αποτέλεσμα να έχει μεγαλύτερη ελευθερία κινήσεων.

Περιστροφή του ρομπότ κατά έναν συγκεκριμένο αριθμό μοιρών

Αξίζει να τονιστεί ότι όλες οι περιστροφές που κάνει το ρομπότ στην κίνηση που μελετάται, είτε δεξιά είτε αριστερά, είναι κατά 90 μοίρες. Σε αυτό το σημείο ειδική αναφορά θα γίνει στον τρόπο με τον οποίο επιτεύχθηκε η περιστροφή του ρομπότ κατά ένα συγκεκριμένο αριθμό μοιρών, όπως για παράδειγμα στην περίπτωσή μας κατά 90 μοίρες, ελαχιστοποιώντας το σφάλμα το οποίο υπάρχει έτσι κι αλλιώς από το ίδιο το ρομπότ. Στην υποενότητα 2.1.1 περιγράφηκε η πλακέτα OPENCR1.0, η οποία είναι εξοπλισμένη με γυροσκόπιο 3 αξόνων. Το γυροσκόπιο είναι μια συσκευή η οποία μπορεί να διατηρεί σταθερό τον προσανατολισμό της μέσω της περιστροφής των μερών της και της αρχής της διατήρησης της στροφορμής, και χρησιμοποιήθηκε για την ακριβή περιστροφή του ρομπότ κατά έναν συγκεκριμένο αριθμό μοιρών με σχετικά μικρό σφάλμα. Η μέτρηση της γωνίας υπό την οποία έχει στραφεί το ρομπότ σε σχέση με την αρχική θέση των 0° γίνεται σε rad, οπότε για να δώσουμε εντολή στο ρομπότ να στρίψει για παράδειγμα 90 μοίρες, μετατρέπουμε τις 90° σε rad, οι οποίες αντιστοιχούν περίπου σε 1.57rad. Μόλις το γυροσκόπιο μετρήσει ότι έχει στραφεί κατά 1.57 rad ή περισσότερο σταματάει την περιστροφή. Όσο περισσότερο από 1.57rad στραφεί το ρομπότ, αυτή η διαφορά αποτελεί το σφάλμα. Την ελαχιστοποίηση του σφάλματος την πετυχαίνουμε έχοντας αρκετά μεγάλη συχνότητα δειγματοληψίας. Η συνάρτηση η οποία επιτελεί την περιστροφή κατά έναν συγκεκριμένο αριθμό μοιρών είναι η Rotate(self, deg), η οποία δέχεται τις μοίρες deg σαν όρισμα. Εντός αυτής της συνάρτησης οι μοίρες που δίνονται σαν όρισμα μετατρέπονται σε rad μέσω της εντολής:

$$\text{goal_z} = \text{np.deg2rad(goal_z)}. \quad (3.1)$$

Εφόσον η συχνότητα δειγματοληψίας είναι αισθητά μεγάλη, δηλαδή $r = \text{rospy.Rate}(200)$ ή $r=200\text{Hz}$, λαμβάνονται οι γωνίες κατά τις οποίες στρίβει το ρομπότ κάθε 0.005seconds με αποτέλεσμα το ρομπότ να σταματάει την περιστροφή σε γωνία που είναι πολύ κοντινή με αυτή που δίνεται σαν όρισμα στην συνάρτηση. Τελικά, το πολύ μικρό σφάλμα το οποίο υπάρχει δεν γίνεται αντιληπτό, καθώς είναι της τάξης του 0.002rad.

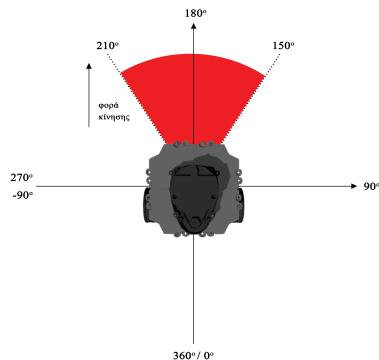
3.3 2D Αποφυγή εμποδίων

Η επόμενη λειτουργία του συστήματος που θα παρουσιαστεί είναι η δισδιάστατη αποφυγή των εμποδίων που συναντάει το σύστημα, που αποτελεί ίσως την σημαντικότερη λειτουργία του συστήματος πλοήγησης για ανθρώπους με προβλήματα όρασης. Έχει ονομαστεί 2D αποφυγή εμποδίων, επειδή τα εμπόδια εντοπίζονται από τον 2D 360° Lidar Distance Sensor, ο οποίος αναγνωρίζει τα εμπόδια σε μια επίπεδη επιφάνεια χωρίς βρίσκονται στο ίδιο ύψος με αυτόν, δηλαδή στις δύο διαστάσεις όπως δείχνεται και στην εικόνα 2.7. Ωστόσο, το ιδιαίτερα χαμηλό ύψος του ρομπότ Turtlebot3, και κατά συνέπεια του σένσορα Lidar, καθιστά ικανό τον εντοπισμό των μεγαλύτερου ποσοστού των αντικειμένων που είναι τοποθετημένα σε εσωτερικούς χώρους.

Αφού έχει πραγματοποιηθεί εκκίνηση του συστήματος προς κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση, το ρομπότ ελέγχει την ύπαρξη εμποδίων με την βοήθεια του Lidar Distance Sensor στο εύρος μοιρών (Σχήμα 3.2) από 150° έως 210°, δηλαδή ακριβώς μπροστά από το ρομπότ όπως δείχνεται στο Σχήμα 3.15, και κατά συνέπεια τον άνθρωπο. Η συνάρτηση η οποία πραγματοποιεί το σκανάρισμα στον χώρο για τον εντοπισμό εμποδίων μπροστά από το ρομπότ ονομάζεται `get_scan(self)`. Μόλις βρεθεί κάποιο εμπόδιο σε απόσταση μικρότερη από μισό μέτρο μπροστά από το ρομπότ, δηλαδή:

$$\min(\text{get_scan}(\text{self})) < 0.5$$

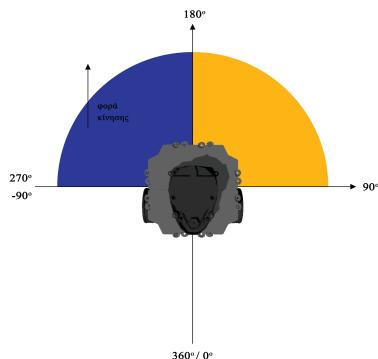
τότε σε πρώτο στάδιο ακινητοποιείται άμεσα το ρομπότ, το οποίο ακολούθως καλείται να αποφασίσει από ποιά πλευρά είναι προτιμότερο να αποφύγει το σύστημα το εμπόδιο το οποίο συνάντησε.



Σχήμα 3.15: Εύρος μοιρών συνάρτησης `get_scan`

3.3.1 Απόφαση της πλευράς από την οποία θα αποφευχθεί το εμπόδιο

Στη συνέχεια, ακολουθεί μια ανάλυση του χώρου στον οποίο έχει βρεθεί το σύστημα, χωρίζοντάς τον σε δύο τμήματα. Τα δύο αυτά τμήματα είναι ο χώρος μπροστά-δεξιά από το ρομπότ και ο χώρος μπροστά-αριστερά από το ρομπότ, όπως δείχνονται σχηματικά με διαφορετικά χρώματα στο Σχήμα 3.16. Μια εναλλακτική σκέψη θα ήταν να διαιρέσει κανείς τον χώρο σε 4 τεταρτημόρια, κοιτώντας την κάτοψη του προηγούμενου σχήματος. Τότε είναι εμφανές ότι ο μπροστά-δεξιά γηιχώρος αντιστοιχεί στο πρώτο τεταρτημόριο, ενώ ο γηιχώρος μπροστά-αριστερά στο δεύτερο τεταρτημόριο.

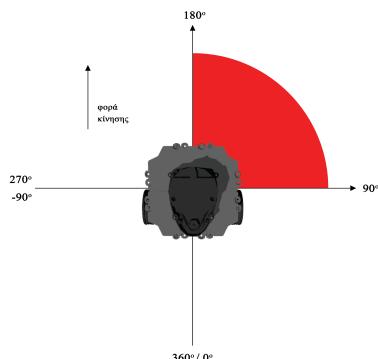


Σχήμα 3.16: Χωρισμός του χώρου σε δύο τμήματα

Πιο συγκεκριμένα, το ρομπότ εξετάζει με την βοήθεια του Lidar σένσορα σε ποιά πλευρά του χώρου(δεξιά ή αριστερά) υπάρχουν τα λιγότερα εμπόδια. Αυτή είναι και η πλευρά από την οποία θα αποφασίσει τελικά το σύστημά μου να αποφύγει το εμπόδιο που συνάντησε.

Σκανάρισμα της δεξιάς πλευράς

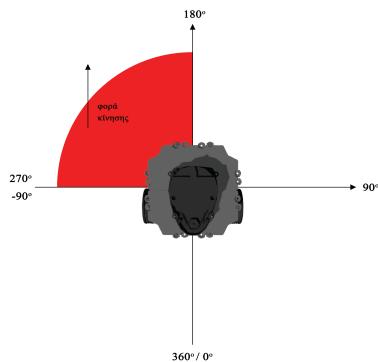
Το σκανάρισμα του δεξιού ημιχώρου πραγματοποιείται μέσω της συνάρτησης `get_scan_front_right_obstacles(self)`. Η εν λόγω συνάρτηση σκανάρει ανά μια μοίρα τον χώρο(Σχήμα 3.2) στο εύρος από 90° έως 180° (Σχήμα 3.17), και προσθέτει τις αποστάσεις των εμποδίων που αντιστοιχούν σε κάθε μοίρα, βρίσκοντας τελικά τον μέσο όρο τους, αφού διαιρεθεί το παραπάνω άθροισμα με το πλήθος τους. Έπειτα από αυτή την διαδικασία θα έχουμε ένα νούμερο που αντιστοιχεί στην μεταβλητή `x1`, το οποίο θα αναπαριστά τον μέσο όρο των αποστάσεων του ρομπότ από τα εμπόδια που βρίσκονται στο μπροστά-δεξιά χώρο.



Σχήμα 3.17: Εύρος μοιρών συνάρτησης `get_scan_front_right_obstacles`

Σκανάρισμα της αριστερής πλευράς

Αντίστοιχα, το σκανάρισμα του αριστερού ημιχώρου πραγματοποιείται μέσω της συνάρτησης `get_scan_front_left_obstacles(self)`. Και αυτή η συνάρτηση σκανάρει ανά μια μοίρα τον χώρο(Σχήμα 3.2) στο εύρος από 180° έως 270° (Σχήμα 3.18), και προσθέτει τις αποστάσεις των εμποδίων που αντιστοιχούν σε κάθε μοίρα, βρίσκοντας τελικά τον μέσο όρο τους αφού διαιρεθεί και πάλι με το πλήθος τους. Έπειτα από αυτή την διαδικασία θα έχουμε ένα νούμερο που αντιστοιχεί στην μεταβλητή `x2`, το οποίο θα αναπαριστά τον μέσο όρο των αποστάσεων του ρομπότ από τα εμπόδια που βρίσκονται στο μπροστά-αριστερά χώρο.



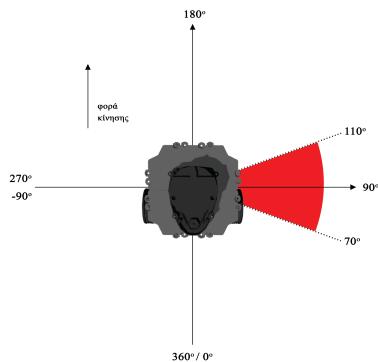
Σχήμα 3.18: Εύρος μοιρών συνάρτησης `get_scan_front_left_obstacles`

Ακολούθως, συγκρίνουμε τα νούμερα $x1$ και $x2$ που προέκυψαν, που συμβολίζουν τον μέσο όρο των εμποδίων που υπάρχουν στο δεξί και αριστερό ημιχώρο αντιστοίχως. Όποιο νούμερο είναι μεγαλύτερο, σημαίνει ότι από αυτή την πλευρά απέχουν κατά μέσο όρο μεγαλύτερες αποστάσεις τα εμπόδια από το σύστημα ή μπορεί η πλευρά αυτή να είναι απαλλαγμένη από εμπόδια. Αυτή η πλευρά είναι που θέτει την μεγαλύτερη υποψηφιότητα για να επιλεγεί ως η πλευρά αποφυγής των εμποδίων. Ωστόσο, θα πρέπει να αναλογιστούμε και κάποιες άλλες παραμέτρους στην τελική μας απόφαση, όπως για παράδειγμα τον τρόπο με τον οποίο είναι καταμερισμένα τα εμπόδια στην εκάστοτε πλευρά. Στη συνέχεια, περιγράφονται λεπτομερώς οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται σε κάθε περίπτωση, δηλαδή:

1. όταν το $x1$ είναι μεγαλύτερο(ή ίσο) από το $x2$, με αποτέλεσμα να υπάρχουν λιγότερα εμπόδια στην δεξιά πλευρά.
2. όταν το $x2$ είναι μεγαλύτερο από το $x1$, με αποτέλεσμα να υπάρχουν λιγότερα εμπόδια στην αριστερή πλευρά.

3.3.1.1 Ύπαρξη λιγότερων εμποδίων στην δεξιά πλευρά

Στην περίπτωση που έχει επιλεχθεί η δεξιά πλευρά ως η πλευρά με τα λιγότερα εμπόδια, σε πρώτο στάδιο ελέγχεται η ύπαρξη εμποδίων δεξιά από το ρομπότ. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζεται η ελάχιστη απόσταση που απέχει το ρομπότ από οποιοδήποτε εμπόδιο υπάρχει στο εύρος μοιρών από 70° έως 110° . Ο τρόπος με τον οποίο μεταφράζονται οι παραπάνω μοίρες στον χώρο δείχνεται στο Σχήμα 3.19. Την δουλειά αυτή επιτελεί η συνάρτηση `get_scan_right_while_avoiding(self)` και ο έλεγχος πραγματοποιείται γιατί παρόλο που υπάρχουν λιγότερα εμπόδια στην δεξιά πλευρά, αν υπάρχει εμπόδιο δεξιά από το ρομπότ, τότε το σύστημα δεν θα είναι σε θέση να αποφύγει το εμπόδιο από δεξιά.



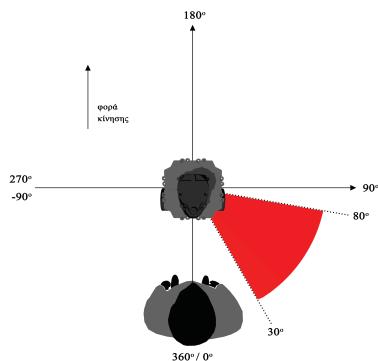
Σχήμα 3.19: Εύρος μοιρών συνάρτησης `get_scan_right_while_avoiding`

Στη συνέχεια, διακρίνουμε τις ακόλουθες δύο περιπτώσεις:

1. Να είναι απαλλαγμένος από εμπόδια ο χώρος δεξιά από το ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.8, δηλαδή τα εμπόδια που ίσως υπάρχουν να βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη από 0.8:

$$\min(\text{get_scan_right_while_avoiding}(\text{self})) > 0.8$$

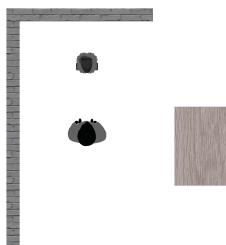
Σε αυτή την περίπτωση ελέγχεται και η πιθανή ύπαρξη εμποδίων στην δεξιά πλευρά του ανθρώπου μέσω της συνάρτησης `get_scan_space_back_right(self)`, η οποία υπολογίζει την ελάχιστη απόσταση που απέχει κάποιο εμπόδιο από το ρομπότ στο εύρος μοιρών από 30° έως 80° , δηλαδή στην δεξιά πλευρά του ανθρώπου και κατά συνέπεια την πίσω δεξιά πλευρά του ρομπότ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.20.



Σχήμα 3.20

Και πάλι διακρίνουμε τις δύο περιπτώσεις οι οποίες παρατίθενται στη συνέχεια:

- (α') Να μην υπάρχουν εμπόδια στην δεξιά πλευρά του ανθρώπου, οπότε συνολικά ο χώρος δεξιά από το σύστημα να είναι απαλλαγμένος από εμπόδια. Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα αποφεύγει το εμπόδιο από την δεξιά πλευρά, από την οποία υπήρχε εξ αρχής η πληροφορία ότι διαθέτει λιγότερα εμπόδια συγκριτικά με την αριστερή. Η ειδοποίηση του ανθρώπου για την αποφυγή του εμποδίου από δεξιά γίνεται και πάλι μέσω του περιβραχιονίου Myo, το οποίο εκτελεί δύο σύντομες δονήσεις (short vibrations).
- (β') Να υπάρχουν εμπόδια στην δεξιά πλευρά του ανθρώπου, οπότε ο χώρος έχει την μορφή που δείχνεται στο Σχήμα 3.21.



Σχήμα 3.21: Ο χώρος όταν ο άνθρωπος έχει εμπόδιο δεξιά του

Σε πρώτο στάδιο, εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή που έχει γραφεί ο κώδικας το μήνυμα:

”Make a step forward and turn right 90 degrees”

και ειδοποιείται ο χρήστης με την δόνηση του περιβραχιονίου Myo, το οποίο εκτελεί κατά σειρά τις ακόλουθες δονήσεις:

- σύντομη δόνηση - short vibration
- παρατεταμένη δόνηση - long vibration
- σύντομη δόνηση - short vibration

Με αυτό τον συνδυασμό δονήσεων καλείται ο άνθρωπος να κάνει ένα βήμα μπροστά και να στρέψει την κατεύθυνσή του 90 μοίρες δεξιά σε σχέση με τον προηγούμενο προσανατολισμό του. Το σύστημα περιμένει για 3 δευτερόλεπτα να ολοκληρώσει ο άνθρωπος την κίνησή του και έπειτα συνεχίζει κανονικά την πλοϊγηση στον χώρο, κινούμενο προς μια κατεύθυνση 90 μοιρές πιο δεξιά

από ότι προηγουμένως. Αξίζει να τονιστεί σε αυτό το σημείο ότι θα μπορούσε να παράγεται ηχητικά από το ασύρματο ηχείο η έκφραση "Make a step forward and turn right 90 degrees", με σκοπό την ειδοποίηση του χρήστη, αλλά προτιμήθηκε η επικοινωνία του ανθρώπου με το ρομπότ μέσω του myo, γιατί η εν λόγω έκφραση είναι σχετικά μεγάλη και θα μπορούσε να δημιουργηθεί ασυνεννοησία μεταξύ τους σε περιβάλλοντα στα οποία υπάρχουν ηχητικές παραμβολές. Η διαδοχή των κινήσεων που περιγράφηκαν, καθώς και η τελική μορφή του συστήματος μετά την αποφυγή του εμπόδιου παρουσιάζονται στην εικόνα που ακολουθεί:



Σχήμα 3.22: "Make a step forward and turn right 90 degrees"

2. Να υπάρχει τοποθετημένο εμπόδιο στην δεξιά πλευρά του ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.8, δηλαδή:

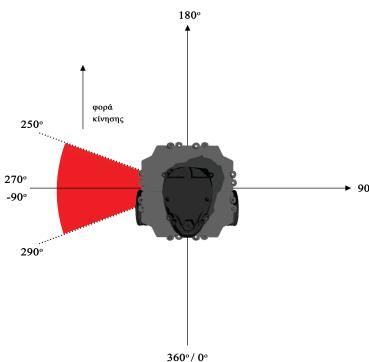
$$\min(\text{get_scan_right_while_avoiding}(\text{self})) < 0.8$$

τότε εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή που έχει γραφεί ο κώδικας το εξής μήνυμα:

"Cannot turn right"

και στην συνέχεια ελέγχεται αν το σύστημα μπορεί να αποφύγει από αριστερά το εμπόδιο, παρόλο που στην αριστερή πλευρά υπάρχουν περισσότερα εμπόδια από ότι στην δεξιά. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται με την συνάρτηση `get_scan_left_while_avoiding(self)`,

η οποία υπολογίζει την ελάχιστη απόσταση που απέχει κάποιο εμπόδιο από το ρομπότ στο εύρος μοιρών από 250° έως 290° , δηλαδή στην αριστερή πλευρά του ρομπότ (Σχήμα 3.23). Αυτό συμβαίνει καθώς αν υπάρχει εμπόδιο αριστερά από το ρομπότ, το σύστημα αδυνατεί να στρίψει είτε αριστερά είτε δεξιά.



Σχήμα 3.23: Εύρος μοιρών συνάρτησης `get_scan_left_while_avoiding`

Και σε αυτό τον έλεγχο διαχρίνουμε τις εξής δύο περιπτώσεις:

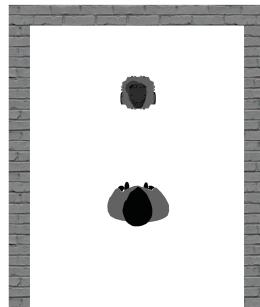
- (α') Να υπάρχει τοποθετημένο εμπόδιο στην αριστερή πλευρά του ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.8, δηλαδή:

$$\min(\text{get_scan_left_while_avoiding}(\text{self})) < 0.8$$

τότε εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή η έκφραση:

”Cannot turn right nor left”

και ειδοποιείται ο χρήστης με την βοήθεια του περιβραχιονίου Myo ότι το εμπόδιο δεν μπορεί να αποφευχθεί ούτε από την δεξιά ούτε από αριστερά. Με άλλα λόγια, το σύστημά μας έχει βρεθεί σε αδιέξοδο, όπως δείχνεται σχηματικά και στην ακόλουθη εικόνα.



Σχήμα 3.24: Αδιέξοδο

Έπειτα, το περιβραχιόνιο Myo που φοράει ο άνθρωπος εκτελεί μακρά δόνηση (long vibration) και αφού ολοκληρωθεί η δόνηση, εμφανίζεται το μήνυμα:

”Moving backwards, make 6 steps backwards!”

Σε αυτό το σημείο αξίζει να τονιστεί ότι κάθε συνδυασμός δονήσεων που έχει φτιαχτεί είναι μοναδικός και ειδοποιεί τον άνθρωπο για μία και μόνο συγκεκριμένη κίνηση. Ο άνθρωπος από την πλευρά του πρέπει πρώτα να εκπαιδευτεί έτσι ώστε να γνωρίζει σε ποιά κίνηση αντιστοιχεί η κάθε δόνηση. Ο κώδικας επικοινωνίας του ανθρώπου με το ρομπότ μέσω των δονήσεων του Myo θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα στην συνέχεια. Ωστόσο, έχει κατασκευαστεί έτσι ώστε να είναι ιδιαίτερα απλός για κάθε χρήστη.

Με την μακρά δόνηση του Myo ειδοποιείται, επομένως, ο χρήστης να κάνει 6 βήματα προς τα πίσω ούτως ώστε να απεγκλωβιστεί το σύστημα από το αδιέξοδο στο οποίο έχει οδηγηθεί. Ταυτόχρονα με την κίνηση του ανθρώπου, κινείται και το ρομπότ προς τα πίσω για ανάλογο χρονικό διάστημα ώστε να μην χαλάσει η διάταξη ανθρώπου-ρομπότ. Τέλος, εμφανίζεται το ακόλουθο μήνυμα στην οθόνη:

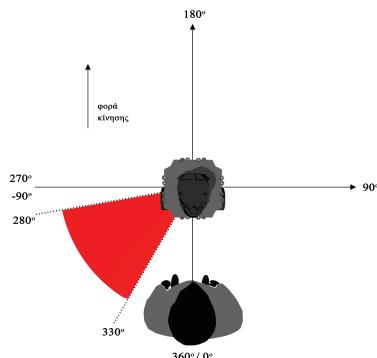
”Go right with fist or left with waveIn”

και ουσιαστικά ζητείται από τον χρήστη να σχηματίσει με το χέρι του είτε την χειρονομία fist είτε την χειρονομία waveIn με σκοπό να αλλάξει η κατεύθυνση του συστήματος αντιστοίχως είτε προς τα δεξιά είτε προς τα αριστερά, εφόσον ευθεία υπάρχει αδιέξοδο. Αφού αλλάξει η κατεύθυνση του συστήματος και αποφεύγει το αδιέξοδο, το σύστημα συνεχίζει κανονικά την πλοϊγγηση του ανθρώπου στον χώρο.

- (β') Να είναι απαλλαγμένος από εμπόδια ο χώρος σε απόσταση μικρότερη από 0.8 αριστερά του ρομπότ, δηλαδή:

$$\min(\text{get_scan_left_while_avoiding}(\text{self})) > 0.8$$

Σε αυτή την περίπτωση ελέγχεται για τον εντοπισμό εμποδίων και ο χώρος αριστερά του ανθρώπου. Τον έλεγχο αυτό τον πραγματοποιεί η συνάρτηση `get_scan_space_back_left(self)`, η οποία υπολογίζει την ελάχιστη απόσταση που απέχει κάποιο εμπόδιο από το ρομπότ στο εύρος μοιρών από 280° έως 330° , δηλαδή στην αριστερή πλευρά του ανθρώπου και κατά συνέπεια την πίσω αριστερά πλευρά του ρομπότ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.25.

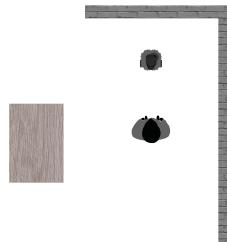


Σχήμα 3.25: Εύρος μοιρών συνάρτησης `get_scan_space_back_left`

Και σε αυτό τον έλεγχο διακρίνουμε δύο περιπτώσεις οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

- Να υπάρχει τοποθετημένο εμπόδιο στην αριστερή πλευρά του ανθρώπου σε απόσταση μικρότερη από 0.8, οπότε ο χώρος έχει την μορφή που δείχνεται στην ακόλουθη εικόνα και ισχύει:

$$\min(\text{get_scan_space_back_left}(\text{self})) < 0.8$$



Σχήμα 3.26: Εμπόδιο αριστερά από τον άνθρωπο

Τότε εμφανίζεται στην οθόνη η έκφραση:

”Make a step forward and turn left 90 degrees”

και ειδοποιείται ο χρήστης με την δύνηση του περιβραχιονίου Myo, το οποίο εκτελεί κατά σειρά τις ακόλουθες δονήσεις:

- σύντομη δύνηση - short vibration
- παρατεταμένη δύνηση - long vibration

Με αυτό τον τρόπο υποδεικνύεται στον άνθρωπο να κάνει ένα βήμα μπροστά και να στραφεί 90 μοίρες αριστερά σε σχέση με προηγουμένως. Το σύστημα περιμένει για 3 δευτερόλεπτα να ολοκληρώσει ο άνθρωπος την κίνησή του και έπειτα συνεχίζει κανονικά την πλοιάργηση στον χώρο, αφού αποφεύχθηκε με επιτυχία η ανωτέρω δυσκολία. Η διαδοχή των κινήσεων για την αποφυγή του εμποδίου παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα:



Σχήμα 3.27: "Make a step forward and turn left 90 degrees"

- ii. Να είναι απαλλαγμένος από εμπόδια ο χώρος σε απόσταση μικρότερη από 0.8 από την αριστερή πλευρά του ανθρώπου, δηλαδή:

$$\min(\text{get_scan_space_back_left}(\text{self})) > 0.8$$

Σε αυτή την περίπτωση έχουμε καταλήξει στο συμπέρασμα, παρόλο που στην δεξιά πλευρά του συστήματος υπάρχουν λιγότερα εμπόδια από ότι στην αριστερή, ότι τα εμπόδια που βρίσκονται στην αριστερή πλευρά είναι καλύτερα κατανεμημένα στον χώρο, εφόσον δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο όχι μόνο αριστερά από το ρομπότ, αλλά και αριστερά από τον άνθρωπο. Αντιθέτως, ο χώρος δεξιά από το ρομπότ, αν και περιέχει λιγότερα εμπόδια, αυτά είναι χειρότερα κατανεμημένα στον χώρο, αφού υπάρχει εμπόδιο δεξιά από το ρομπότ, με αποτέλεσμα να καθίσταται η αριστερή πλευρά προτιμότερη για την αποφυγή του εμποδίου που έχει συναντήσει το σύστημα. Το εμπόδιο συνεπώς, αποφεύγεται από την αριστερή πλευρά και αυτό γνωστοποιείται στον άνθρωπο, καθώς το περιβραχιόνιο Myo εκτελεί 4 συνεχόμενες σύντομες δονήσεις (short vibrations).

Επομένως, συνοψίζοντας, μόλις το σύστημα συναντήσει κάποιο εμπόδιο, ο χρήστης μπορεί να ειδοποιηθεί μέχρι στιγμής από το ρομπότ Turtlebot 3 μέσω του περιβραχιονίου Myo με πέντε δυνατούς τρόπους:

- Δύο σύντομες δονήσεις στην περίπτωση που το εμπόδιο θα αποφευχθεί από την δεξιά πλευρά
- Τέσσερις σύντομες δονήσεις στην περίπτωση που το εμπόδιο θα αποφευχθεί από την αριστερή πλευρά
- Μία παρατεταμένη δόνηση στην περίπτωση που το σύστημα έχει βρεθεί σε αδιέξοδο και πρέπει να οπισθιχωρήσει, αλλάζοντας κατεύθυνση μέσω του περιβραχιονίου εκτελώντας είτε την χειρονομία fist είτε την χειρονομία waveIn.
- Μία σύντομη δόνηση και ακολούθως μία τεταμένη δόνηση ούτως ώστε να ειδοποιηθεί ο χρήστης να κάνει ένα βήμα μπροστά και να στραφεί αριστερά κατά 90 μοίρες.
- Μία σύντομη δόνηση, έπειτα μία τεταμένη δόνηση και τέλος μία σύντομη δόνηση ούτως ώστε να ειδοποιηθεί ο χρήστης να κάνει ένα βήμα μπροστά και να στραφεί δεξιά κατά 90 μοίρες.

3.3.1.2 Ύπαρξη λιγότερων εμποδίων στην αριστερή πλευρά

Σε αυτή την υποενότητα εξετάζεται η περίπτωση κατά την οποία έχει επιλεγεί η αριστερή πλευρά ως η πλευρά που διαθέτει τα λιγότερα εμπόδια και κατά συνέπεια είναι υποψήφια σε μεγάλο βαθμό να επιλεγεί για την αποφυγή του εμποδίου. Όπως γίνεται αντιληπτό, η διαδικασία που παρουσιάζεται στην παρούσα ενότητα έχει την ίδια φιλοσοφία και μοιάζει στην δομή με την διαδικασία που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα. Ο πρώτος έλεγχος που πραγματοποιείται αφορά την εύρεση εμποδίων αριστερά από το ρομπότ. Ειδικότερα, υπολογίζεται η ελάχιστη απόσταση που απέχει το ρομπότ από οποιοδήποτε εμπόδιο υπάρχει στο εύρος μοιρών από 250° έως 290° (Σχήμα 3.23). Την λειτουργία αυτή επιτελεί η συνάρτηση `get_scan_left_while_avoiding(self)` και ο έλεγχος πραγματοποιείται γιατί παρόλο που υπάρχουν λιγότερα εμπόδια στην αριστερή πλευρά, μπορεί αυτά να είναι κατανεμημένα στον χώρο με χειρότερο τρόπο από ότι στην δεξιά, καθώς αν υπάρχει εμπόδιο αριστερά από το ρομπότ, τότε το σύστημα δεν θα είναι σε θέση να αποφύγει το εμπόδιο από αριστερά. Στη συνέχεια, διακρίνουμε τις ακόλουθες δύο περιπτώσεις:

1. Να είναι απαλλαγμένος από εμπόδια ο χώρος αριστερά από το ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.8, δηλαδή τα εμπόδια που ίσως υπάρχουν να βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη από 0.8:

$$\min(\text{get_scan_left_while_avoiding}(\text{self})) > 0.8$$

Σε αυτή την περίπτωση ελέγχεται και η πιθανή ύπαρξη εμποδίων στην αριστερά πλευρά του ανθρώπου μέσω της συνάρτησης `get_scan_space_back_left(self)`, η οποία υπολογίζει την ελάχιστη απόσταση

που απέχει κάποιο εμπόδιο από το ρομπότ στο εύρος μοιρών από 280° έως 330° (Σχήμα 3.25), δηλαδή στην αριστερά πλευρά του ανθρώπου και κατά συνέπεια την πίσω αριστερά πλευρά του ρομπότ. Και πάλι διακρίνουμε τις δύο περιπτώσεις οι οποίες παρατίθενται στη συνέχεια.

- (α') Να μην υπάρχουν εμπόδια στην αριστερή πλευρά του ανθρώπου, οπότε συνολικά ο χώρος αριστερά από το σύστημα να είναι απαλλαγμένος από εμπόδια. Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα αποφεύγει το εμπόδιο από την αριστερή πλευρά, από την οποία υπήρχε εξ αρχής η πληροφορία ότι διαθέτει λιγότερα εμπόδια συγκριτικά με την δεξιά. Η ειδοποίηση του ανθρώπου για την αποφυγή του εμποδίου από αριστερά πραγματοποιείται μέσω του περιβραχιονίου Myo, το οποίο εκτελεί τέσσερις σύντομες δονήσεις (short vibrations).
- (β') Να υπάρχουν εμπόδια στην αριστερή πλευρά του ανθρώπου, οπότε ο χώρος έχει την μορφή που παρουσιάστηκε στο σχήμα 3.26. Σε αυτή την περίπτωση, εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή που έχει γραφεί ο κώδικας το μήνυμα:

"Make a step forward and turn left 90 degrees"

και ειδοποιείται ο χρήστης με την δόνηση του περιβραχιονίου Myo, το οποίο εκτελεί κατά σειρά τις ακόλουθες δονήσεις:

- σύντομη δόνηση - short vibration
- παρατεταμένη δόνηση - long vibration

Έτσι, υποδεικνύεται στον άνθρωπο να κάνει ένα βήμα μπροστά και να στρέψει την κατεύθυνσή του 90° μοίρες αριστερά σε σχέση με τον προηγούμενο προσανατολισμό του, με τρόπο που παρουσιάστηκε λεπτομερώς στην προηγούμενη υποενότητα (Σχήμα 3.27). Το σύστημα περιμένει για 3 δευτερόλεπτα να ολοκληρώσει ο άνθρωπος την κίνησή του και έπειτα συνεχίζει κανονικά την πλοήγηση στον χώρο.

2. Να υπάρχει τοποθετημένο εμπόδιο στην αριστερή πλευρά του ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.8, δηλαδή:

$\min(\text{get_scan_left_while_avoiding}(\text{self})) < 0.8$

τότε εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή που έχει γραφεί ο κώδικας το εξής μήνυμα:

"Cannot turn left"

και στην συνέχεια ελέγχεται αν το σύστημα μπορεί να αποφύγει από δεξιά το εμπόδιο εφόσον δεν μπορεί να το αποφύγει από αριστερά, παρόλο που στην δεξιά πλευρά υπάρχουν περισσότερα εμπόδια από ότι στην δεξιά. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται με την συνάρτηση `get_scan_right_while_avoiding(self)`, η οποία υπολογίζει την ελάχιστη απόσταση που απέχει κάποιο εμπόδιο από το ρομπότ στο εύρος μοιρών από 70° έως 110° (Σχήμα 3.19), δηλαδή στην δεξιά πλευρά του ρομπότ. Αυτό συμβαίνει καθώς αν υπάρχει εμπόδιο δεξιά από το ρομπότ, το σύστημα τελικά αδυνατεί να στρίψει είτε αριστερά είτε δεξιά. Και σε αυτό τον έλεγχο διακρίνουμε τις εξής δύο περιπτώσεις:

- (α') Να υπάρχει τοποθετημένο εμπόδιο στην δεξιά πλευρά του ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.8, δηλαδή:

$$\min(\text{get_scan_right_while_avoiding}(\text{self})) < 0.8$$

τότε εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή η έκφραση:

"Cannot turn right nor left"

και ειδοποιείται ο χρήστης με την βοήθεια του περιβραχιονίου Myo ότι το εμπόδιο δεν μπορεί να αποφευχθεί ούτε από την δεξιά ούτε από αριστερά. Με άλλα λόγια, το σύστημά μας έχει βρεθεί σε αδιέξοδο, όπως και στην προηγούμενη ενότητα που φαίνεται στο Σχήμα 3.24. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι ακριβώς η ίδια με αυτή που αναλύθηκε στην προηγούμενη υποενότητα, όταν το σύστημα βρέθηκε σε αδιέξοδο. Με άλλα λόγια, το Myo εκτελεί μια μακρά δόνηση (long vibration) για να ειδοποιήσει τον άνθρωπο να κάνει έξι βήματα προς τα πίσω και στη συνέχεια να αλλάξει την κατεύθυνση του συστήματος, σχηματίζοντας στο χέρι που φοράει το Myo την χειρονομία fist ή waveIn.

- (β') Να είναι απαλλαγμένος από εμπόδια ο χώρος σε απόσταση μικρότερη από 0.8 δεξιά του ρομπότ, δηλαδή:

$$\min(\text{get_scan_left_while_avoiding}(\text{self})) > 0.8$$

Σε αυτή την περίπτωση ελέγχεται για τον εντοπισμό εμποδίων και ο χώρος δεξιά του ανθρώπου. Τον έλεγχο αυτό τον πραγματοποιεί η συνάρτηση `get_scan_space_back_right(self)`, η οποία υπολογίζει την ελάχιστη απόσταση που απέχει κάποιο εμπόδιο από το ρομπότ στο εύρος μοιρών από 30° έως 80° , δηλαδή στην δεξιά πλευρά του ανθρώπου και κατά συνέπεια την πίσω δεξιά πλευρά του ρομπότ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.20. Και σε αυτό τον έλεγχο διακρίνουμε δύο περιπτώσεις οι οποίες

είναι οι ακόλουθες:

- i. Να υπάρχει τοποθετημένο εμπόδιο στην δεξιά πλευρά του ανθρώπου σε απόσταση μικρότερη από 0.8, οπότε ο χώρος έχει την μορφή που παρουσιάστηκε στο Σχήμα 3.21, εφόσον δεξιά από το ρομπότ δεν υπάρχει κάποιο εμπόδιο, και ισχύει:

$$\min(\text{get_scan_space_back_left}(\text{self})) < 0.8$$

Τότε εμφανίζεται στην οθόνη η έκφραση:

"Make a step forward and turn right 90 degrees"

και ειδοποιείται ο χρήστης με την δόνηση του περιβραχιονίου Myo, το οποίο εκτελεί κατά σειρά τις ακόλουθες δονήσεις:

- σύντομη δόνηση - short vibration
- παρατεταμένη δόνηση - long vibration
- σύντομη δόνηση - short vibration

Με αυτό τον τρόπο υποδεικνύεται στον άνθρωπο να κάνει ένα βήμα μπροστά και να στραφεί 90 μοίρες δεξιά, μια διαδικασία που αναλύθηκε στην προηγουμένη υποενότητα (Σχήμα 3.22). Το σύστημα περιμένει για 3 δευτερόλεπτα να ολοκληρώσει ο άνθρωπος την κίνησή του και έπειτα συνεχίζει κανονικά την πλοήγηση στον χώρο.

- ii. Να είναι απαλλαγμένος από εμπόδια ο χώρος σε απόσταση μικρότερη από 0.8 στην δεξιά πλευρά του ανθρώπου, δηλαδή:

$$\min(\text{get_scan_space_back_left}(\text{self})) > 0.8$$

Σε αυτή την περίπτωση έχουμε καταλήξει στο συμπέρασμα, παρόλο που στην αριστερή πλευρά του συστήματος υπάρχουν λιγότερα εμπόδια από ότι στην δεξιά, ότι τα εμπόδια που βρίσκονται στην δεξιά πλευρά είναι καλύτερα κατανεμημένα στον χώρο, καθώς ολόκληρη η δεξιά πλευρά είναι απαλλαγμένη από εμπόδια. Αντιθέτως, ο χώρος αριστερά από το ρομπότ, αν και περιέχει λιγότερα εμπόδια, αυτά είναι κατανεμημένα στον χώρο, εφόσον υπάρχει εμπόδιο αριστερά από το ρομπότ, καθιστώντας προτιμότερη την δεξιά πλευρά για την αποφυγή του εμποδίου. Το εμπό-

διο, συνεπώς, αποφεύγεται από την δεξιά πλευρά και αυτό γνωστοποιείται στον άνθρωπο, καθώς το πειβραχιόνιο Myo εκτελεί 2 συνεχόμενες σύντομες δονήσεις (short vibrations).

3.3.2 Αποφυγή εμποδίων από αριστερά

Μετά το πέρας της διαδικασίας που αναλύθηκε λεπτομερώς στην προηγούμενη ενότητα, είμαστε πλέον σε θέση να γνωρίζουμε από ποιά πλευρά (δεξιά ή αριστερά) θα γίνει η αποφυγή του εμποδίου που έχει εντοπισθεί μπροστά από το σύστημα. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστεί ο τρόπος με τον οποίο αποφεύγονται τα εμπόδια από δεξιά, καθώς και από αριστερά. Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι οι κινήσεις που προτιμήθηκαν να εκτελεί το ρομπότ, και κατά συνέπεια και ο άνθρωπος, είναι τετραγωνικές. Με άλλα λόγια, το ρομπότ πραγματοποιεί περιστροφές γωνιών 90 μοιρών, προς αμφότερες τις κατευθύνσεις (δεξιά ή αριστερά), ή ακεραίων πολλαπλάσιων των 90 μοιρών, δηλαδή 180° και σπανιότερα 270° . Η κινησιολογία αυτή προτιμήθηκε λόγω της ευκολίας που υπάρχει στην ταυτόχρονη μετακίνηση του ανθρώπου και του ρομπότ Turtlebot 3 Burger, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα να χαθούν μεταξύ τους κατά την διάρκεια αποφυγής κάποιου εμποδίου. Αυτό συμβαίνει επειδή ο άνθρωπος είναι σε θέση να περιστραφεί κατά 90° ή 180° μοιρες με ακρίβεια, αλλά αν του ζητούνται κατά την αποφυγή ενός εμποδίου να στραφεί κατά έναν άλλο αριθμό μοιρών, όπως για παράδειγμα 60° , είναι σίγουρο ότι θα υπήρχε απόκλιση στον αριθμό των μοιρών που περιστράφηκε ο άνθρωπος από τον ζητούμενο, καθώς δεν θα μπορούσε να το υπολογίσει με ακρίβεια. Άμεσο επακόλουθο σε αυτή την περίπτωση αποτελεί ο διαφορετικός προσανατολισμός του ανθρώπου με το ρομπότ κατά έναν αριθμό μοιρών, που αποτελεί το σφάλμα, και μπορεί να είναι μικρό ή μεγάλο ανάλογα με την ικανότητα του κάθε χρήστη. Ωστόσο, σε βάθος χρόνου και αφού έχει αποφευχθεί το εμπόδιο, ανεξάρτητα από το μέγεθος του σφάλματος είναι βέβαιο πως ο άνθρωπος με το ρομπότ θα αποκλίνουν προς διαφορετικές κατευθύνσεις με αποτέλεσμα να χαθεί η σωστή διάταξη που υπήρχε μεταξύ τους. Το πρόβλημα που παρουσιάστηκε επιλύεται ολοκληρωτικά με την περιστροφή του ανθρώπου κατά 90° μοιρες και αυτός είναι ο λόγος που προτιμήθηκε η τετραγωνική κίνηση του συστήματός μας στον χώρο.

Την τετραπλή δόνηση του πειβραχιονίου Myo, που σηματοδοτεί τον εντοπισμό του εμποδίου και την αποφυγή του από αριστερά, ακολουθεί η περιστροφή του ρομπότ κατά 90° προς τα αριστερά που συνοδεύεται από την εμφάνιση του παρακάτω μηνύματος στην οθόνη του υπολογιστή που εκτελείται ο κώδικας σε γλωσσα προγραμματισμού Python:

"Turning left"

Η εν λόγω διαδικασία και η μορφή του συστήματος απεικονίζεται στο Σχήμα 3.29.



Σχήμα 3.28: Εντοπισμός εμποδίου

Σχήμα 3.29: Περιστροφή του ρομπότ 90° αριστερά

Στη συνέχεια, το ρομπότ αρχίζει να κινείται ευθεία, παράλληλα προς το εμπόδιο με κατεύθυνση προς τα αριστερά, ελέγχοντας παράλληλα αν υπάρχει ακόμα κάποιο εμπόδιο στην δεξιά πλευρά του ρομπότ μέσω της συνάρτησης `get_scan_right_while_avoiding(self)`, που αντιστοιχεί στον χώρο που βρίσκεται μπροστά από τον άνθρωπο. Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει την ελάχιστη απόσταση που απέχει κάποιο εμπόδιο από το ρομπότ στο εύρος μοιρών από 70° έως 110°(Σχήμα 3.19), όπως αναλύθηκε και στην υποενότητα 3.3.1. Και σε αυτό τον έλεγχο του χώρου από την συνάρτηση διακρίνουμε τις ακόλουθες δύο περιπτώσεις:

1. Να μην υπάρχει κάποιο εμπόδιο στην δεξιά πλευρά του ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.9, δηλαδή:

$$\min(\text{get_scan_right_while_avoiding}(\text{self})) > 0.9$$

Αυτή η περίπτωση σημαίνει ότι έχει αποφευχθεί το εμπόδιο το οποίο συνάντησε το σύστημα προηγουμένως. Κατά συνέπεια, το ρομπότ περιστρέφεται κατά 90 μοίρες δεξιά και ταυτόχρονα εμφανίζεται το ακόλουθο μήνυμα:

"Turning right"

Στις παρακάτω εικόνες δείχνονται οι κινήσεις που κάνει το σύστημα για να ξεπεραστεί το εμπόδιο, εφόσον έχει εμφανιστεί το μήνυμα "Turning right".

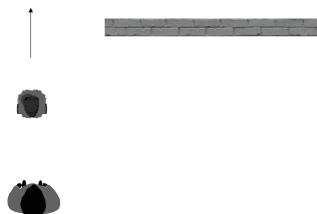


Σχήμα 3.30: Δεν υπάρχει εμπόδιο δεξιά του ρομπότ

Σχήμα 3.31: Περιστροφή του ρομπότ 90° δεξιά

Σε αυτό το σημείο και αφού ο άνθρωπος έχει κάνει ένα βήμα προς τα αριστερά (Σχήμα 3.32), εμφανίζεται στην οθόνη το μήνυμα:

”Go straight, obstacle avoided”



Σχήμα 3.32: Επιτυχής αποφυγή του εμποδίου από αριστερά

2. Να υπάρχει οκόμα κάποιο εμπόδιο στην δεξιά πλευρά του ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.9, και άρα μπροστά από τον άνθρωπο. Επικρατεί δηλαδή η εξής συνθήκη:

$$\min(\text{get_scan_right_while_avoiding}(\text{self})) < 0.9$$

Ο πρώτος έλεγχος που λαμβάνει χώρα σε αυτό το στάδιο είναι ο έλεγχος της ύπαρξης εμποδίου μπροστά από το ρομπότ, μέσω της συνάρτησης `get_scan(self)`, που υπολογίζει την ελάχιστη απόσταση που απέχει κάποιο εμπόδιο από το ρομπότ στο εύρος μοιρών από 150° έως 210° (Σχήμα 3.15). Οι δύο περιπτώσεις που υπάρχουν σε αυτό τον έλεγχο είναι οι εξής:

- (α') Να υπάρχει εμπόδιο μπροστά από το ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.6, δηλαδή:

$$\min(\text{get_scan}(\text{self})) < 0.6$$

Σε αυτή την περίπτωση εμφανίζεται στην οθόνη το εξής μήνυμα:

”Obstacle in front of the robot”

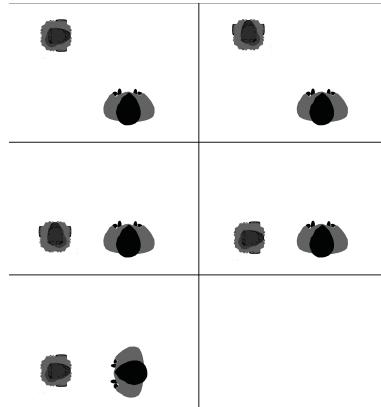
Ο άνθρωπος ειδοποιείται για την ύπαρξη του εμποδίου που εντοπίστηκε μπροστά από το ρομπότ μέσω του Myo armband, το οποίο εκτελεί κατά σειρά τις ακόλουθες δονήσεις:

- σύντομη δόνηση - short vibration
- σύντομη δόνηση - short vibration
- παρατεταμένη δόνηση - long vibration

Ακολούθως, εμφανίζεται στην οθόνη το μήνυμα:

”The Robot will be placed in front of the person”

και το ρομπότ τοποθετείται μπροστά από τον άνθρωπο με κατεύθυνση 90° αριστερά σε σύγκριση με την προηγούμενη φορά του συστήματος, όπως φαίνεται και στο Σχήμα που έπειται. Με αυτό τον τρόπο, το σύστημα είναι έτοιμο και πάλι για πλοήγηση στον χώρο και προστατεύεται ο άνθρωπος από το εμπόδιο το οποίο εντόπισε το ρομπότ, καθώς μετά το πέρας της συγκεκριμένης διαδικασίας το ρομπότ βρίσκεται και πάλι μπροστά του, οδηγώντας τον άνθρωπο στα σημεία του χώρου που δεν υπάρχουν εμπόδια.



Σχήμα 3.33: Τοποθέτηση του ρομπότ μπροστά από τον άνθρωπο κατά την αποφυγή εμποδίου από αριστερά

(β') Να μην υπάρχει εμπόδιο μπροστά από το ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.6, δηλαδή:

$$\min(\text{get_scan}(\text{self})) > 0.6$$

Σε αυτή την περίπτωση σκανάρεται ο χώρος μπροστά και αριστερά από το ρομπότ για την ύπαρξη εμποδίων. Αυτός είναι και ο χώρος στον οποίο θα κινηθεί ο άνθρωπος ούτως ώστε να αποφευχθεί το εμπόδιο. Η συνάρτηση που επιτελεί τον έλεγχο ονομάζεται `get_scan_front_left_obstacles(self)` με εύρος μοιρών από 180° έως 270° (Σχήμα 3.18). Οι δύο περιπτώσεις που υπάρχουν σε αυτό τον έλεγχο είναι:

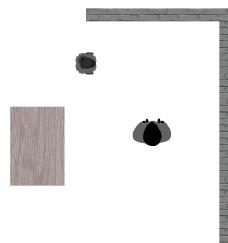
- i. Να μην υπάρχει εμπόδιο μπροστά και αριστερά από το ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.6, οπότε ισχύει:

$$\min(\text{get_scan_front_left_obstacles}(\text{self})) > 0.6$$

Σε αυτή την περίπτωση ο άνθρωπος ειδοποιείται να κάνει άλλο ένα πλάγιο βήμα προς τα αριστερά, καθώς δεν έχει ξεπεραστεί ακόμα το εμπόδιο. Η ειδοποίηση του ανθρώπου γίνεται μέσω του Myo armband, το οποίο εκτελεί μία μοναδική σύντομη δόνηση(short vibration). Αφού ο άνθρωπος κάνει το βήμα προς τα αριστερά ξεκινάει από την αρχή η διαδικασία που αναλύθηκε στην Ενότητα "Αποφυγή εμποδίων από αριστερά" έως ότου αποφευχθεί οριστικά το εμπόδιο το οποίο βρέθηκε στον δρόμο του συστήματος.

- ii. Να υπάρχει τοποθετημένο εμπόδιο μπροστά και αριστερά από το ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.6, οπότε ο χώρος έχει την μορφή που δείχνεται στην εικόνα 3.31 και ισχύει:

$$\min(\text{get_scan_front_left_obstacles}(\text{self})) < 0.6$$



Σχήμα 3.34: Εμπόδιο μπροστά και αριστερά από το ρομπότ κατά την αποφυγή εμποδίου από αριστερά

Τότε εμφανίζεται στην οθόνη η έκφραση:

"Obstacle in front of the person"

"Make a step forward and turn left 90 degrees"

και ο άνθρωπος ειδοποιείται για την κίνηση που καλείται να κάνει με την βοήθεια του Myo armband, το οποίο εκτελεί κατά σειρά τις ακόλουθες δονήσεις:

- σύντομη δόνηση - short vibration
- παρατεταμένη δόνηση - long vibration

Με τον συγκεκριμένο συνδυασμό δονήσεων, ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται ότι πρέπει να κάνει ένα βήμα μπροστά και να στραφεί κατά 90 μοίρες αριστερά ούτως ώστε να αποφύγει το εμπόδιο. Το σύστημα περιμένει για 3 δευτερόλεπτα να ολοκληρώσει ο άνθρωπος την κίνησή του και έπειτα συνεχίζει κανονικά την πλοήγηση στον χώρο. Με άλλα λόγια είναι ακριβώς η ίδια διαδικασία που περιγράφηκε στο Σχήμα 3.27

3.3.3 Αποφυγή εμποδίων από δεξιά

Κατόπιν, παρουσιάζεται η αποφυγή των εμποδίων, που συναντά το σύστημα, από δεξιά. Αποτελεί μια διαδικασία παρόμοια με την αποφυγή των εμποδίων από αριστερά που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα. Η δόνηση του Myo armband που σηματοδοτεί την αποφυγή του εμποδίου από δεξιά είναι διπλή και έπειται από την περιστροφή του ρομπότ κατά 90° προς τα δεξιά που συνοδεύεται από την εμφάνιση του παρακάτω μηνύματος στην οθόνη του υπολογιστή που εκτελείται ο κώδικας σε γλωσσα προγραμματισμού Python:

”Turning right”

Η εν λόγω διαδικασία και η μορφή του συστήματος απεικονίζεται στο Σχήμα 3.35.



Σχήμα 3.35: Εντοπισμός εμποδίου μπροστά από το ρομπότ

Σχήμα 3.36: Περιστροφή του ρομπότ 90° δεξιά

Έπειτα, το ρομπότ αρχίζει να κινείται ευθεία, παράλληλα προς το εμπόδιο με κατεύθυνση προς τα δεξιά, ελέγχοντας παράλληλα αν υπάρχει ακόμα κάποιο εμπόδιο στην αριστερή πλευρά του ρομπότ μέσω της συνάρτησης `get_scan_left_while_avoiding(self)`, που αντιστοιχεί στον χώρο που βρίσκεται μπροστά από τον άνθρωπο. Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει την ελάχιστη απόσταση που απέχει κάποιο εμπόδιο από το ρομπότ στο εύρος μοιρών από 250° έως 290° (Σχήμα 3.23), όπως αναλύθηκε και στην υποενότητα 3.3.1. Και σε αυτό τον έλεγχο του χώρου από την συνάρτηση διαχρίνουμε τις ακόλουθες δύο περιπτώσεις:

1. Να μην υπάρχει κάποιο εμπόδιο στην αριστερή πλευρά του ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.9, δηλαδή:

$$\min(\text{get_scan_left_while_avoiding}(\text{self})) > 0.9$$

Αυτή η περίπτωση σημαίνει ότι έχει αποφευχθεί το εμπόδιο το οποίο συνάντησε το σύστημα προηγουμένως. Κατά συνέπεια, το ρομπότ περιστρέφεται κατά 90 μοίρες αριστερά και ταυτόχρονα εμφανίζεται το ακόλουθο μήνυμα:

”Turning left”

Στις παρακάτω εικόνες δείχνονται οι κινήσεις που κάνει το σύστημα για να ξεπεραστεί το εμπόδιο, εφόσον έχει εμφανιστεί το μήνυμα ”Turning left”.



Σχήμα 3.37: Δεν υπάρχει εμπόδιο αριστερά του ρομπότ

Σχήμα 3.38: Περιστροφή του ρομπότ 90° αριστερά

Σε αυτό το σημείο και αφού ο άνθρωπος έχει κάνει ένα βήμα προς τα δεξιά, εμφανίζεται στην οθόνη το μήνυμα:

”Go straight, obstacle avoided”



Σχήμα 3.39: Επιτυχής αποφυγή του εμποδίου από δεξιά

2. Να υπάρχει κάποια κάποιο εμπόδιο στην αριστερή πλευρά του ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.9, και άρα μπροστά από τον άνθρωπο. Επικρατεί δηλαδή η εξής συνθήκη:

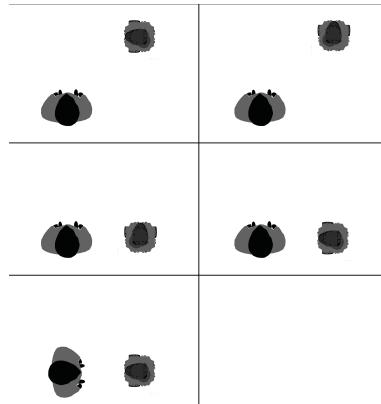
$$\min(\text{get_scan_left_while_avoiding}(\text{self})) < 0.9$$

Ο έλεγχος της ύπαρξης εμποδίου μπροστά από το ρομπότ αποτελεί την πρώτη προσπάθεια για την κατανόηση του χώρου στον οποίο έχει βρεθεί το σύστημα, μέσω της συνάρτησης `get_scan(self)`, που υπολογίζει την ελάχιστη απόσταση που απέχει κάποιο εμπόδιο από το ρομπότ στο εύρος μοιρών από 150° έως 210° (Σχήμα 3.15). Οι δύο περιπτώσεις που υπάρχουν σε αυτό τον έλεγχο είναι οι εξής:

- (α') Να υπάρχει εμπόδιο μπροστά από το ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.6, δηλαδή:

$$\min(\text{get_scan}(\text{self})) < 0.6$$

Σε αυτή την περίπτωση η διαδικασία είναι ίδια ακριβώς με την αντίστοιχη που αναλύθηκε στην προγούμενη ενότητα και ουσιαστικά το ρομπότ τοποθετείται μπροστά από τον άνθρωπο με κατεύθυνση 90° προς τα δεξιά σε σύγκριση με την προηγούμενη φορά του συστήματος, όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί, προστατεύοντας τον άνθρωπο και οδηγώντας τον στα σημεία του χώρου που δεν υπάρχουν εμπόδια.



Σχήμα 3.40: Τοποθέτηση του ρομπότ μπροστά από τον άνθρωπο κατά την αποφυγή εμποδίου από δεξιά

- (β') Να μην υπάρχει εμπόδιο μπροστά από το ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.6, δηλαδή:

$$\min(\text{get_scan}(\text{self})) > 0.6$$

Σε αυτή την περίπτωση σκανάρεται ο χώρος μπροστά και δεξιά από το ρομπότ για την ύπαρξη εμποδίων. Αυτός είναι και ο χώρος στον οποίο θα κινηθεί ο άνθρωπος ούτως ώστε να αποφευχθεί το εμπόδιο. Η συνάρτηση που επιτελεί τον έλεγχο ονομάζεται `get_scan_front_right_obstacles(self)` με εύρος μοιρών από 90° έως 180° (Σχήμα 3.17). Οι δύο περιπτώσεις που υπάρχουν σε αυτό τον έλεγχο είναι:

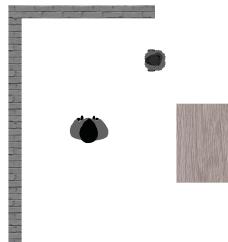
- i. Να μην υπάρχει εμπόδιο μπροστά και δεξιά από το ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.6, οπότε ισχύει:

$$\min(\text{get_scan_front_left_obstacles}(\text{self})) > 0.6$$

Σε αυτή την περίπτωση ο άνθρωπος ειδοποιείται να κάνει ένα βήμα δεξιά, καθώς δεν έχει ξεπεραστεί ακόμα το εμπόδιο. Η ειδοποίηση του ανθρώπου γίνεται μέσω του Myo armband, το οποίο εκτελεί μία μοναδική σύντομη δόνηση(short vibration). Ουσιαστικά και εδώ είναι η ίδια διαδικασία με την αποφυγή εμποδίων από αριστερά, επιστρέφοντας και τώρα στην αρχή της διαδικασίας "Αποφυγή εμποδίων από δεξιά" έως ότου αποφευχθεί οριστικά το εμπόδιο.

- ii. Να υπάρχει τοποθετημένο εμπόδιο μπροστά και δεξιά από το ρομπότ σε απόσταση μικρότερη από 0.6, οπότε ο χώρος έχει την μορφή που δείχνεται στην εικόνα 3.41 και ισχύει:

```
min(get_scan_front_left_obstacles(self)) < 0.6
```



Σχήμα 3.41: Εμπόδιο μπροστά και δεξιά από το ρομπότ κατά την αποφυγή εμποδίου από δεξιά

Τότε εμφανίζεται στην οθόνη η έκφραση:

”Obstacle in front of the person”

”Make a step forward and turn right 90 degrees”

και ο άνθρωπος ειδοποιείται για την κίνηση που καλείται να κάνει με την βοήθεια του Myo armband, το οποίο εκτελεί κατά σειρά τις ακόλουθες δονήσεις:

- σύντομη δόνηση - short vibration
- παρατεταμένη δόνηση - long vibration
- σύντομη δόνηση - short vibration

Με τον συγκεκριμένο συνδυασμό δονήσεων, όπως περιγράφηκε και νωρίτερα, ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται ότι πρέπει να κάνει ένα βήμα μπροστά και να στραφεί κατά 90 μοίρες δεξιά ούτως ώστε να αποφύγει το εμπόδιο. Το σύστημα περιμένει για 3 δευτερόλεπτα να ολοκληρώσει ο άνθρωπος την κίνησή του και έπειτα συνεχίζει κανονικά την πλοήγηση στον χώρο (Σχήμα 3.22).

Ουσιαστικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την αποφυγή του εμποδίου από δεξιά είναι παρόμοια με αυτή που πραγματοποιήθηκε για την αποφυγή από αριστερά. Μοναδικές διαφορές αποτελούν η χρησιμοποίηση διαφορετικών συναρτήσεων για το σκανάρισμα διαφορετικών σημείων του χώρου, καθώς και η κίνηση του συστήματος προς διαφορετικές κατευθύνσεις.

3.4 Κώδικας επικοινωνίας ανθρώπου-ρομπότ μέσω του περιβραχιονίου

Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο του συστήματος υποβοήθησης ανθρώπων με προβλήματα όρασης που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, αποτέλεσε ο τρόπος με τον οποίο επικοινωνεί ο άνθρωπος με το υπόλοιπο σύστημα, και κυρίως με το ρομπότ, το οποίο του παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες ούτως ώστε να κατανοήσει την δομή του χώρου στην οποίο κινείται, καθώς και να πλοιηγηθεί σε αυτόν με ασφάλεια. Για να καταστεί η επικοινωνία του ανθρώπου με το ρομπότ όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη, χρησιμοποιήθηκε τόσο η ειδοποίηση του ανθρώπου με παραγωγή φωνητικών μηνυμάτων από το ασύρματο ηχείο που έχει ενσωματωθεί στο ρομπότ, όσο και η ειδοποίησή του μέσω του περιβραχιονίου Myo armband κυρίως για την αποφυγή εμποδίων. Ο συνδυασμός των δύο προαναφερθέντων τρόπων επικοινωνίας συμβάλλει στην άμεση παροχή πληροφοριών στον χρήστη από το ρομπότ και κατά συνέπεια στην ιδανική αλληλεπίδραση μεταξύ τους.

Στην ενότητα ”2D Αποφυγή εμποδίων” αναφερθήκαμε συχνά στον τρόπο με τον οποίο ειδοποιείται ο άνθρωπος μέσω του Myo ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση. Στον Πίνακα 3.1 που φαίνεται ακολούθως, έχουν συγκεντρωθεί όλες οι πιθανές ειδοποιήσεις που δέχεται ο χρήστης κατά την πλοήγησή του στον χώρο. Όπως γίνεται αντιληπτό, ο μικρός αριθμός των ειδοποιήσεων, οι οποίες είναι μόνο 7 στο πλήθος, συμβάλλει στην εύκολη απομνημόνευσή τους από τον χρήστη καθώς και στην ελαχιστοποίηση της πιθανότητας να συμβεί κάποιο λάθος κατά την διάρκεια της πλοήγησης στον χώρο.

Κώδικας επικοινωνίας ανθρώπου-ρομπότ μέσω δονήσεων Myo Armband		
Προγραμματιστική εντολή	Δονήσεις	Σημασία
m.vibrate(1)	short vibration	Και άλλο βήμα προς την κατεύθυνση που αποφεύγεται το εμπόδιο
m.vibrate(1) m.vibrate(1)	short vibration short vibration	Αποφυγή εμποδίου από δεξιά
m.vibrate(1) m.vibrate(1) m.vibrate(1) m.vibrate(1)	short vibration short vibration short vibration short vibration	Αποφυγή εμποδίου από δεξιά
m.vibrate(3)	long vibration	Το σύστημα βρέθηκε σε αδιέξοδο Ο άνθρωπος πρέπει να κάνει 6 πίσω βήματα
m.vibrate(1) m.vibrate(3)	short vibration long vibration	Κάνε ένα βήμα μπροστά και στρίψε αριστερά 90°
m.vibrate(1) m.vibrate(3) m.vibrate(1)	short vibration long vibration short vibration	Κάνε ένα βήμα μπροστά και στρίψε δεξιά 90°
m.vibrate(1) m.vibrate(1) m.vibrate(3)	short vibration short vibration long vibration	"Obstacle in front of the person" Ο άνθρωπος στρίβει 90° προς την κατεύθυνση που αποφεύγεται το εμπόδιο και το ρομπότ τοποθετείται μπροστά του. Το σύστημα αλλάζει κατεύθυνση κίνησης.

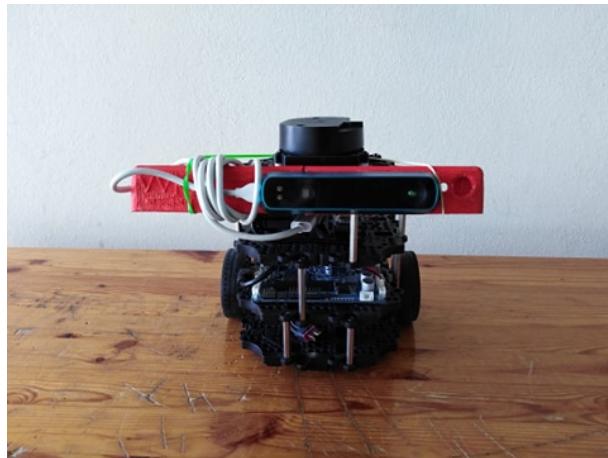
Πίνακας 3.1: Κώδικας επικοινωνίας ανθρώπου-ρομπότ μέσω δονήσεων Myo Armband

3.5 3D Αναγνώριση των εμποδίων

Σε αυτό το σημείο εισάγεται άλλο ένα δομικό συστατικό του συστήματος, το οποίο δεν έχει χρησιμοποιηθεί μέχρι τώρα στην πλοϊγηση του ανθρώπου με προβλήματα όρασης σε εσωτερικούς χώρους. Το στοιχείο αυτό είναι ο τρισδιάστατος Occipital Structure Sensor, όπως αυτός περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 2.4. Ουσιαστικά το κυριότερο μειονέκτημα του συστήματος που έχει κατασκευαστεί είναι ότι ο εντοπισμός των εμποδίων από το ρομπότ, και πιο συγκεκριμένα από τον Lidar Distance Sensor, γίνεται στις δύο διαστάσεις στο ύψος του σένσορα. Άμεσο συνεπακόλουθο αυτού αποτελεί η αδυναμία εντοπισμού των εμποδίων που βρίσκονται κάτω από τον σένσορα, που είναι ήδη βέβαια τοποθετημένος αρκετά χαμηλά, όπως για παράδειγμα μπορεί να είναι ένα σαμαράκι, καθώς και η αδυναμία εντοπισμού αντικειμένων που δεν είναι συμπαγή, όπως είναι για παράδειγμα μια καρέκλα τις οποίας θα εντοπιστούν μόνο τα πόδια και όχι το υπόλοιπο σώμα(κάθισμα, πλάτη).

Η εν λόγω αδυναμία του συστήματος ξεπεράστηκε με την εφαρμογή στο σύστημα των δυνατοτήτων του 3D Occipital Structure Sensor, που τοποθετήθηκε πάνω στο ρομπότ με τρόπο που φαίνεται στην παρακάτω

εικόνα.



Σχήμα 3.42: Τοποθέτηση 3d occipital structure sensor στο ρομπότ

Αναλυτικότερα, ο τρισδιάστατος σένσορας έχει την ικανότητα να συλλέγει τα δεδομένα από τις εικόνες βάθους που λαμβάνονται, με την βοήθεια της βιβλιοθήκης OpenNI2 που εγκαταστάθηκε, όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 2. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να γνωρίζουμε τις τρισδιάστατες καρτεσιανές συντεταγμένες για κάθε σημείο στον χώρο, οι οποίες είναι της μορφής (x, y, z). Αυτή η δυνατότητα που μας προσφέρει ο τρισδιάστατος σένσορας συμβάλλει τα μέγιστα στην τρισδιάστατη αναγνώριση των εμποδίων που συναντάει το σύστημα.

Μία άλλη δυνατότητα που μας παρέχεται από την βιβλιοθήκη OpenNI2 είναι η ανάδειξη σε πραγματικό χρόνο(Real Time) του κοντινότερου σημείου του χώρου στον σένσορα, μέσω της εντολής MWClosestPointApp. Αυτό αυτόματα αποτέλεσε ένα σημαντικό εργαλείο στην προσπάθεια για τον εντοπισμό των εμποδίων που βρίσκονται πιο κοντά στο ρομπότ Turtlebot 3, και κατά συνέπεια τον 3D occipital Structure Sensor. Ουσιαστικά, μέσω της εντολής MWClosestPointApp γίνεται αυτόματα η επεξεργασία των συντεταγμένων z των σημείων του χώρου και η ανάδειξη του σημείου με το μικρότερο z, που συμβολίζει το βάθος. Συνεπώς, το σημείο που διαθέτει την μικρότερη συντεταγμένη z θα βρίσκεται και πιο κοντά στον σένσορα. Πιο συγκεκριμένα, με την εκτέλεση της εντολής MWClosestPointApp επιστρέφεται κάθε χρονική στιγμή η τριπλέτα (x, y, z) των συντεταγμένων του κοντινότερου σημείου στον σένσορα, με τρόπο που φαίνεται στο Σχήμα 3.43.

143, 4, 339
139, 0, 341
140, 0, 339
143, 0, 336
143, 0, 336
143, 3, 340
143, 6, 339
143, 6, 339
144, 7, 337
143, 5, 340
143, 5, 339
145, 0, 328
143, 0, 336
143, 4, 340
141, 0, 342
140, 2, 339
143, 1, 339
143, 4, 339

Σχήμα 3.43: Τριπλέτα x, y, z κοντινότερου σημείου

Επίσης, στο Σχήμα 3.44 που ακολουθεί παρουσιάζεται σε μορφή εικόνας το αποτέλεσμα που προκύπτει από την εκτέλεση της εντολής MWClosestPointApp. Όπως γίνεται αντιληπτό, με μπλε χρώμα δείχνεται το pixel της εικόνας, δηλαδή το σημείο στον χώρο, που βρίσκεται πιο κοντά στην κάμερα, και κατά συνέπεια στο ρομπότ Turtlebot 3.



Σχήμα 3.44: Κοντινότερο σημείο (μπλε pixel) στον σένσορα

Ο έλεγχος που πραγματοποιήθηκε για την ειδοποίηση του ανθρώπου είναι μια απλή συνθήκη:

```
z_coordinate_of_the_closest_point < 800
```

Ειδικότερα, αν η τιμή της συντεταγμένης z του κοντινότερου σημείου στο ρομπότ γίνει μικρότερη από ένα κατώφλι, το οποίο τέθηκε κατόπιν δοκιμών στην τιμή 800, τότε να ειδοποιείται ο χρήστης με την βοήθεια του περιβραχιονίου Myo ότι το σύστημα βρίσκεται απέναντι από κάποιο εμπόδιο. Σε αυτή την περίπτωση το Myo εκτελεί μια σύντομη δόνηση (short vibration). Με αυτό τον τρόπο οτιδήποτε αντικείμενο και να συναντήσει το σύστημα, ο άνθρωπος θα ειδοποιείται αμέσως μέσω δόνησης. Εφόσον επιβεβαιώθει η ύπαρξη κάποιου εμποδίου, το σύστημα θα αποφεύγει το εμπόδιο με ακριβώς τον ίδιο τρόπο που αναλύθηκε στην ενότητα "2D Αποφυγή εμποδίων".

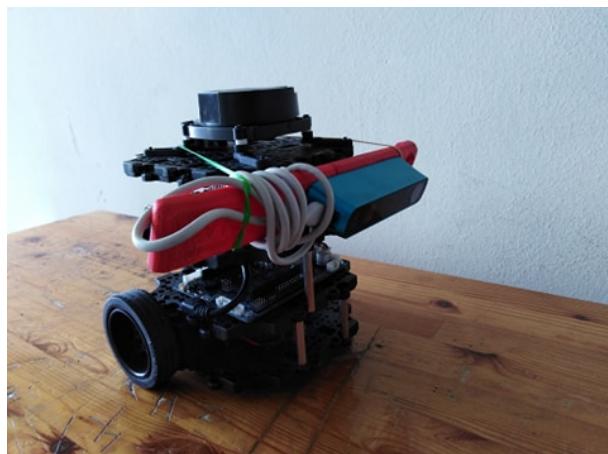
3.6 Αναγνώριση σκαλιών προς τα κάτω και ειδοποίηση του χρήστη

Η τελευταία υλοποίηση που πραγματοποιήθηκε για την βελτίωση της πλοήγησης των ανθρώπων με προβλήματα όρασης σε εσωτερικούς χώρους είναι η αναγνώριση των σκαλιών, όταν το σύστημα βρίσκεται μπροστά από αυτές. Πιο συγκεκριμένα, στους οικιακούς χώρους περιέχονται διαφορετικών τύπων εμπόδια σε διαφορετικές τοποθεσίες, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μερικές φορές προβλήματα ακόμη και για όσους δεν έχουν προβλήματα όρασης. Φανταστείτε τον βαθμό δυσκολίας λοιπόν που αντιμετωπίζουν οι άνθρωποι με προβλήματα όρασης. Υπάρχουν συσκευές που είναι σε θέση να ανιχνεύουν αντικείμενα τα οποία αναδύονται από το πάτωμα, αλλά ένας πραγματικός κίνδυνος προέρχεται επίσης από αντικείμενα τα οποία βρίσκονται σε χαμηλότερο υψομετρικό επίπεδο από το πάτωμα, όπως τρύπες ή σκάλες που κατεβαίνουν. Η πλειοψηφία των τυφλών ανθρώπων έχει δηλώσει ότι αυτή η κατηγορία αντικειμένων αποτελεί τον μεγαλύτερο κίνδυνο για την ασφάλειά τους. Ως εκ τούτου απαιτείται ένα έξυπνο σύστημα για να τους βοηθήσει και άρα υπάρχει μεγάλο κίνητρο για την ανάπτυξη συστημάτων που θα ειδοποιούν τους ανθρώπους και σε αυτές τις περιπτώσεις.

Κινύμενοι προς αυτή την κατεύθυνση, επιχειρήσαμε να αξιοποιήσουμε και πάλι τις δυνατότητες που μας παρέχει ο τρισδιάστατος Occipital Structure Sensor. Ειδικότερα, για τον σκοπό της αναγνώρισης των σκαλιών χρησιμοποιήθηκε μια άλλη εντολή της βιβλιοθήκης OpenNI2, με το όνομα EventBasedRead. Η εντολή αυτή επιστρέφει κάθε χρονική στιγμή την τιμή της συντεταγμένης βάθους z του μεσαίου pixel από το στιγμιότυπο της εικόνας βάθους που λαμβάνεται. Έτσι, τοποθετώντας τον occipital Structure sensor με τον τρόπο που δείχνεται στην ακόλουθη εικόνα, δηλαδή

με μια κλίση προς τα κάτω, είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε σε πραγματικό χρόνο(Real Time) πότε αλλάζει η επιφάνεια του δαπέδου, καθώς σε αυτή την περίπτωση θα μεταβάλλεται και η συντεταγμένη ζ του μεσαίου σημείου που λαμβάνεται. Μόλις μεταβληθεί αυτή η τιμή ειδοποιείται άμεσα ο χρήστης για την πιθανή ύπαρξη σκαλιών μπροστά του με παραγωγή ομιλίας ,που ακούγεται από το ασύρματο ηχείο το οποίο έχει τοποθετηθεί στο ρομπότ, και πιο συγκεκιμένα της έκφρασης:

”Be careful, Stairs”



Σχήμα 3.45: Τοποθέτηση 3d occipital structure sensor με κλίση προς τα κάτω για την αναγνώριση σκαλιών

Αξίζει να τονιστεί ότι σε περίπτωση που το δάπεδο είναι επίπεδο η τιμή που επιστρέφει η εντολή EventBasedRead είναι 0, ενώ σε περίπτωση που το σύστημα βρεθεί μπροστά από κατηφορικά σκαλιά η τιμή που επιστρέφει η εντολή EventBasedRead είναι μεταξύ 1500 και 2500, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.46.

[18152111]	0	
[71582792]	0	
[18218873]	0	
[71582791]	0	
[18285634]	0	
[71582788]	0	
[18352395]	0	
[71582788]	0	
[18419154]	0	
[71582791]	0	
[18485916]	0	
[71582789]	0	
[18552553]	0	
[71582788]	0	
[18619312]	0	
[71582788]	2028	
[18686064]	2042	
[71582781]	2162	
[18752826]	2429	
[71582782]	1898	
[18819587]	1816	
[71582782]	1816	
[18886224]	1794	
[71582783]	1794	
[18952983]	1794	
[71582782]	1805	
[19619743]	1805	
[71582782]	1805	
[19686504]	1805	
[71582782]	1805	
[19153267]	1839	
[71582782]	1862	
[19220026]	1886	
[71582783]	1910	
[19286662]	1935	
[71582784]	1922	
[19353421]	1922	
[71582782]	1922	
[19420184]	1922	
[71582782]	1922	
[19486943]	1935	
[71582782]	1935	
[19553703]	1948	
[71582782]	1948	
[19620346]	1948	
[71582782]	1948	
[19687106]	1961	
[71582783]	1948	

Σχήμα 3.46: Δομικά συστατικά του συστήματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

4

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στο τέταρτο κατά σειρά κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται οι πειραματικές διεργασίες που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τον έλεγχο του συστήματος υποβοήθησης ανθρώπων με προβλήματα όρασης που κατασκευάστηκε. Οι διεργασίες αυτές αφορούν όχι μόνο την πλοιήγηση του ανθρώπου στον χώρο με εντοπισμό των εμποδίων στις 2 διαστάσεις, αλλά και την παρουσίαση των επιπλέον δυνατοτήτων που παρέχει ο τρισδιάστατος Occipital Structure Sensor στο σύστημα. Αναλυτικότερα, εξετάσθηκε η συμπεριφορά του συστήματος σε διαφορετικά περιβάλλοντα εσωτερικών χώρων, τα οποία υποδειγματικά δημιουργήθηκαν και θα παρουσιαστούν στην συνέχεια.

4.1 Πειραματικός Έλεγχος 2D συστήματος

Πιο συγκεκριμένα, για να κριθεί η αποτελεσματικότητα του συστήματος δημιουργήθηκαν ορισμένοι χώροι στους οποίους κύριο στόχο αποτελεί η επιτυχής πλοιήγηση του ανθρώπου με κάποιο πρόβλημα όρασης. Οι χώροι αυτοί δημιουργήθηκαν έτσι ώστε να παρουσιαστούν οι δυνατότητες του συστήματος, ακόμα και στις πιο δύσκολες περιπτώσεις που μπορεί να εμφανιστούν στα πλαίσια ενός εσωτερικού χώρου. Με άλλα λόγια, οι τρεις διαδρομές που δημιουργήθηκαν συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στην

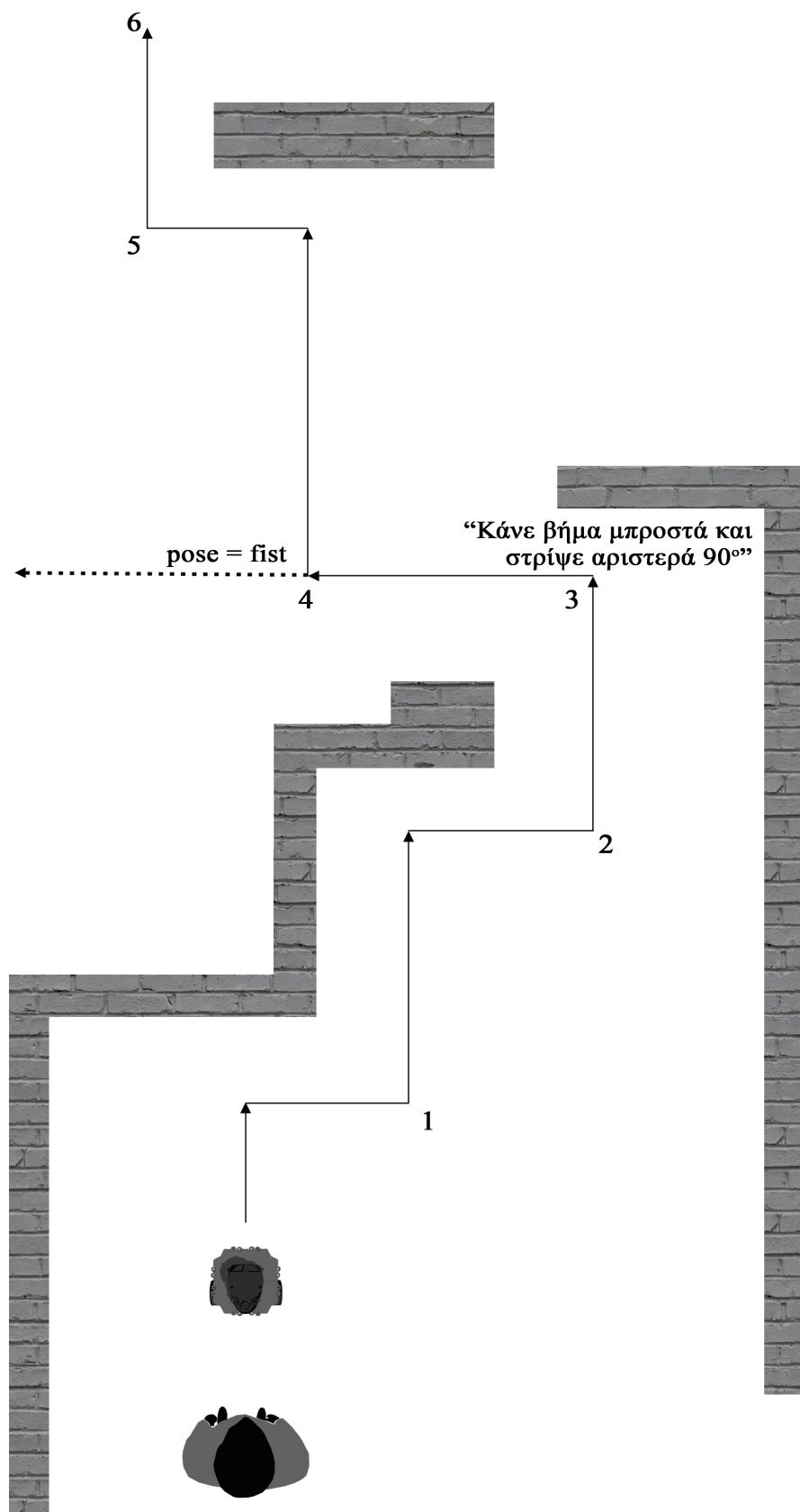
κατανόηση από τον αναγνώστη του τρόπου με τον οποίο το σύστημα επιτυγχάνει την 2D Αποφυγή εμποδίων, όπως αυτή αναλύθηκε στο προηγούμενο Κεφάλαιο, καθώς και της κινησιολογίας του χρήστη στον χώρο μέσω των ειδοποιήσεων που δέχεται. Οι ειδοποιήσεις αυτές, όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα Κεφάλαια μπορεί να είναι είτε φωνητικές είτε δονήσεις από το περιβραχιόνιο Myo.

Παράλληλα, έχει σχεδιαστεί στις διαδρομές με βέλος, η πορεία την οποία θα έπρεπε να ακολουθήσει θεωρητικά το σύστημα στον χώρο, με βάση τον κώδικα που έχει γραφτεί σε γλώσσα προγραμματισμού Python. Επιπλέον, έχουν γραφτεί και ορισμένα σχόλια σε κάθε διαδρομή, σε όποια σημεία κρίθηκε απαραίτητο, τα οποία εξηγούν είτε την ειδοποίηση που λαμβάνει σε αυτό το σημείο ο χρήστης, είτε την ενέργεια την οποία απαιτείται να εκτελέσει ο άνθρωπος ούτως ώστε να προκύψει η πορεία που έχει δημιουργηθεί.

Στις υποενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι τρεις εσωτερικοί χώροι - πίστες που δημιουργήθηκαν με σκοπό την πλοήγηση του ανθρώπου στον χώρο με δισδιάστατη αναγνώριση των εμποδίων από τον 2D Lidar Distance Sensor που έχει ενσωματωμένο το ρομπότ-οδηγός Turtlebot 3 Burger, καθώς και η συμπεριφορά του συστήματος για την βοήθηση του ανθρώπου στους χώρους αυτούς.

4.1.1 Εσωτερικός χώρος No1

Η μορφή του πρώτου εσωτερικού χώρου στον οποίο καλείται το σύστημα να πλοηγηθεί φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Στο κάτω μέρος της εικόνας δείχνονται ο άνθρωπος με το ρομπότ, οι οποίοι είναι ορθά διατεταγμένοι στον χώρο, δηλαδή ο άνθρωπος έχει τοποθετηθεί ακριβώς πίσω από το ρομπότ και αμφότεροι έχουν κοινή κατεύθυνση. Αυτό αποτελεί και το σημείο εκκίνησης του συστήματος για την πλοήγηση στον χώρο. Με γκρι χρώμα δείχνονται τα διάφορα εμπόδια που υπάρχουν στον χώρο, τα οποία μπορεί να είναι τοίχοι, τραπέζια, καρέκλες και γενικότερα οποιοδήποτε αντικείμενο μπορεί να περιέχεται σε εσωτερικούς χώρους.



Σχήμα 4.1: Διαδρομή 1

Ανάλυση της πορείας του συστήματος στην πρώτη πίστα

Σε περίπτωση που ο άνθρωπος αδυνατεί να τοποθετηθεί σωστά πίσω από το ρομπότ, ακούγεται ένας επαναληπτικός ήχος από το ηχείο που έχει τοποθετηθεί πάνω στο Turtlebot, που βοηθάει σε μεγάλο βαθμό τον χρήστη να αντιληφθεί την τοποθεσία του ρομπότ στον χώρο. Μόλις ο άνθρωπος τοποθετηθεί με τρόπο που φαίνεται στο Σχήμα 4.1 πίσω από το ρομπότ, τότε το σύστημά μου ξεκινάει να κινείται προς τα εμπρός με ταχύτητα 0.09m/s. Το σύστημα κινείται ευθεία μπροστά έως ότου συναντήσει το πρώτο εμπόδιο σε απόσταση μικρότερη από 0.5m. Τότε το ρομπότ ακινητοποιείται και αποφασίζει από ποια πλευρά είναι προτιμότερο να αποφύγει το εμπόδιο το σύστημα. Για να πάρει αυτή την απόφαση σκανάρει με την βοήθεια του 2D Lidar Distance Sensor τον χώρο μπροστά με τρόπο που αναλύθηκε στην υποενότητα 2D Αποφυγή εμποδίων. Στην συγκεκριμένη περίπτωσή κρίνεται προτιμότερο το σύστημα να αποφύγει το εμπόδιο από δεξιά, ειδοποιώντας άμεσα τον άνθρωπο μέσω του περιβραχιονίου Myo, το οποίο εκτελεί δύο σύντομες δονήσεις(short vibrations). Συνεπώς, αποφεύγεται το εμπόδιο από δεξιά όπως έχει δειχθεί και στις εικόνες 3.36-3.40 του Κεφαλαίου 3, και το σύστημα βρίσκεται στο σημείο 1 έχοντας την αρχική του κατεύθυνση. Τότε και πάλι το σύστημα ξεκινάει να κινείται ευθεία μπροστά, έως ότου συναντήσει το δεύτερο εμπόδιο σε απόσταση μικρότερη από 0.5m. Το ρομπότ αποφασίζει ότι είναι προτιμότερο να αποφευχθεί το εμπόδιο από δεξιά, καθώς αριστερά δεν υπάρχει ελεύθερος χώρος, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με πριν και ειδοποιώντας και πάλι τον άνθρωπο μέσω δύο σύντομων δονήσεων του Myo armband. Μετά το πέρας της εν λόγω διαδικασίας, το σύστημα βρίσκεται στο σημείο 2 έχοντας την αρχική κατεύθυνση. Εφόσον αποφεύχθηκε και το δεύτερο εμπόδιο, ξεκινάει και πάλι η πλοϊγηση προς τα μπροστά μέχρι να εμφανιστεί το τρίτο εμπόδιο σε απόσταση μικρότερη από 0.5m, που αποτελεί ωστόσο λίγο πιο περίπλοκη περίπτωση. Αναλυτικότερα, το ρομπότ σκανάρει τον χώρο και αντιλαμβάνεται ότι το εμπόδιο δεν μπορεί να αποφευχθεί από δεξιά, καθώς υπάρχουν εμπόδια, αλλά και αριστερά του συστήματος υπάρχει εμπόδιο δίπλα στον άνθρωπο, αλλά όχι δίπλα στο ρομπότ. Με άλλα λόγια, βρισκόμαστε στην περίπτωση που εμφανίζεται το μήνυμα:

"Make a step forward and turn left 90 degrees"

όπως αυτό φαίνεται και στο σχήμα 4.1 στο σημείο 3. Ο άνθρωπος ειδοποιείται άμεσα μέσω των παρακάτω δονήσεων που εκτελεί το περιβραχιόνιο Myo:

- σύντομη δόνηση - short vibration
- παρατεταμένη δόνηση - long vibration

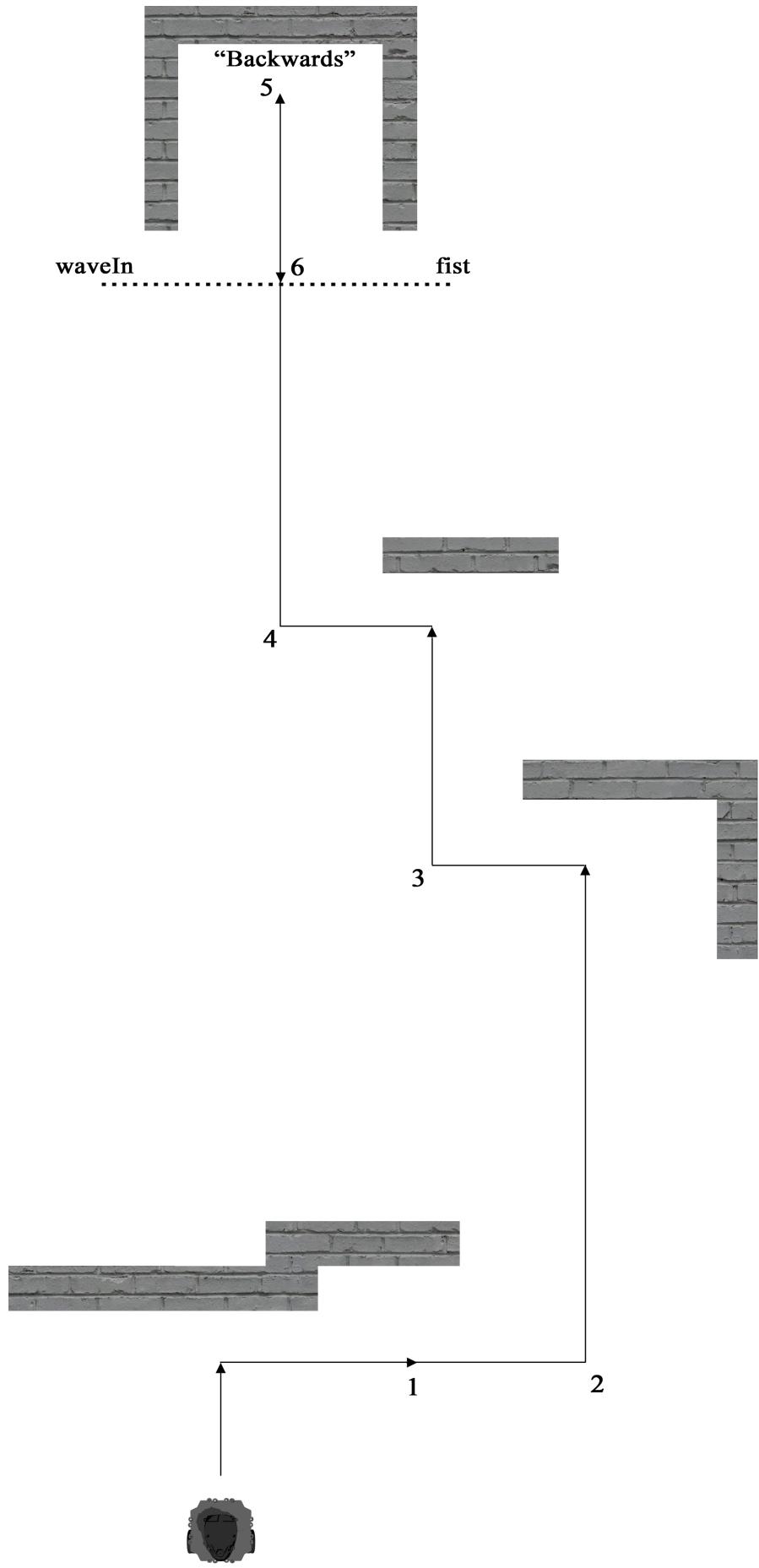
και καλείται να κάνει ένα βήμα μπροστά και να στρίψει 90 μοίρες αρι-

στερά. Αφού συμβεί αυτό, το εμπόδιο έχει ξεπεραστεί, αλλά αξίζει να τονιστεί ότι έχει αλλάξει η κατεύθυνση του συστήματος, η οποία είναι 90 μοίρες προς τα αριστερά σε σχέση με πριν. Ακολούθως, το σύστημα κινείται ευθεία μπροστά.

- Σε αυτό το σημείο έχει επιλεγεί να ελεγχθεί άλλη μια δυνατότητα που παρέχει στον χρήστη το σύστημα που κατασκευάστηκε, δηλαδή η αλλαγή της κατεύθυνσης του συστήματος από τον χρήστη όποτε αυτός το επιθυμήσει και είναι εφικτό, δηλαδή δεν υπάρχουν εμπόδια προς την πλευρά που επιθυμεί να κινηθεί. Πιο συγκεκριμένα, μόλις το ρομπότ φτάσει περίπου στο σημείο 4, ο άνθρωπος καλείται να πραγματοποιήσει την χειρονομία fist στο χέρι που φοραέι το Myo, με αποτέλεσμα να τοποθετηθεί το ρομπότ στην δεξιά πλευρά του ανθρώπου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.11 και να αλλάξει η κατεύθυνση του συστήματος 90 μοίρες προς τα δεξιά σε σχέση με προηγουμένως, εφόσον δεν υπάρχει κάποιο εμπόδιο σε κοντινή απόσταση δεξιά του ανθρώπου σε αυτό το σημείο. Συνεπώς, η κατεύθυνση του συστήματος είναι η ίδια με την αρχική. Στη συνέχεια, ξεκινάει και πάλι η κίνηση του συστήματος προς τα μπροστά έως ότου το ρομπότ συναντήσει το τέταρτο εμπόδιο σε απόσταση μικρότερη από 0.5m. Τότε, αποφασίζεται να αποφευχθεί το εμπόδιο από αριστερά, καθώς στην αριστερή πλευρά ανήκει μικρότερο μέρος του εμποδίου από ότι στη δεξιά πλευρά, ειδοποιώντας τον άνθρωπο για αυτή την απόφαση μέσω του περιβραχιονίου Myo που εκτελεί τέσσερις σύντομες δονήσεις(short vibrations). Με άλλα λόγια, λαμβάνει χώρα η διαδικασία που έχει δειχθεί στο Κεφάλαιο 3 και ειδικότερα στο Σχήμα 3.28 και το σύστημα καταλήγει στο σημείο 5. Εφόσον η διάταξη του συστήματος ρομπότ-άνθρωπος είναι σωστή, η πλοιόγηση θα συνεχιστεί ευθεία μπροστά στον χώρο καταλήγοντας στο σημείο 6 και συνεχίζοντας σε περιοχές οι οποίες δεν φαίνονται στο Σχήμα 4.1.
- Σε περίπτωση που ο άνθρωπος δεν έκανε το fist pose, τότε το σύστημα θα συνέχιζε την πλοιόγηση κατά μήκος της διακεκομένης ευθείας που φαίνεται στο σχήμα 4.1.

4.1.2 Εσωτερικός χώρος No2

Στη συνέχεια, παρατίθεται στο Σχήμα 4.2 η μορφή του δεύτερου εσωτερικού χώρου στον οποίο καλείται το σύστημα να πλοιηγηθεί. Αυτό το περιβάλλον σχεδιάστηκε χυρίως για να αναδείξει την συμπεριφορά του συστήματος σε περίπτωση που βρεθεί σε αδιέξοδο.



Ανάλυση της πορείας του συστήματος στην δεύτερη πίστα

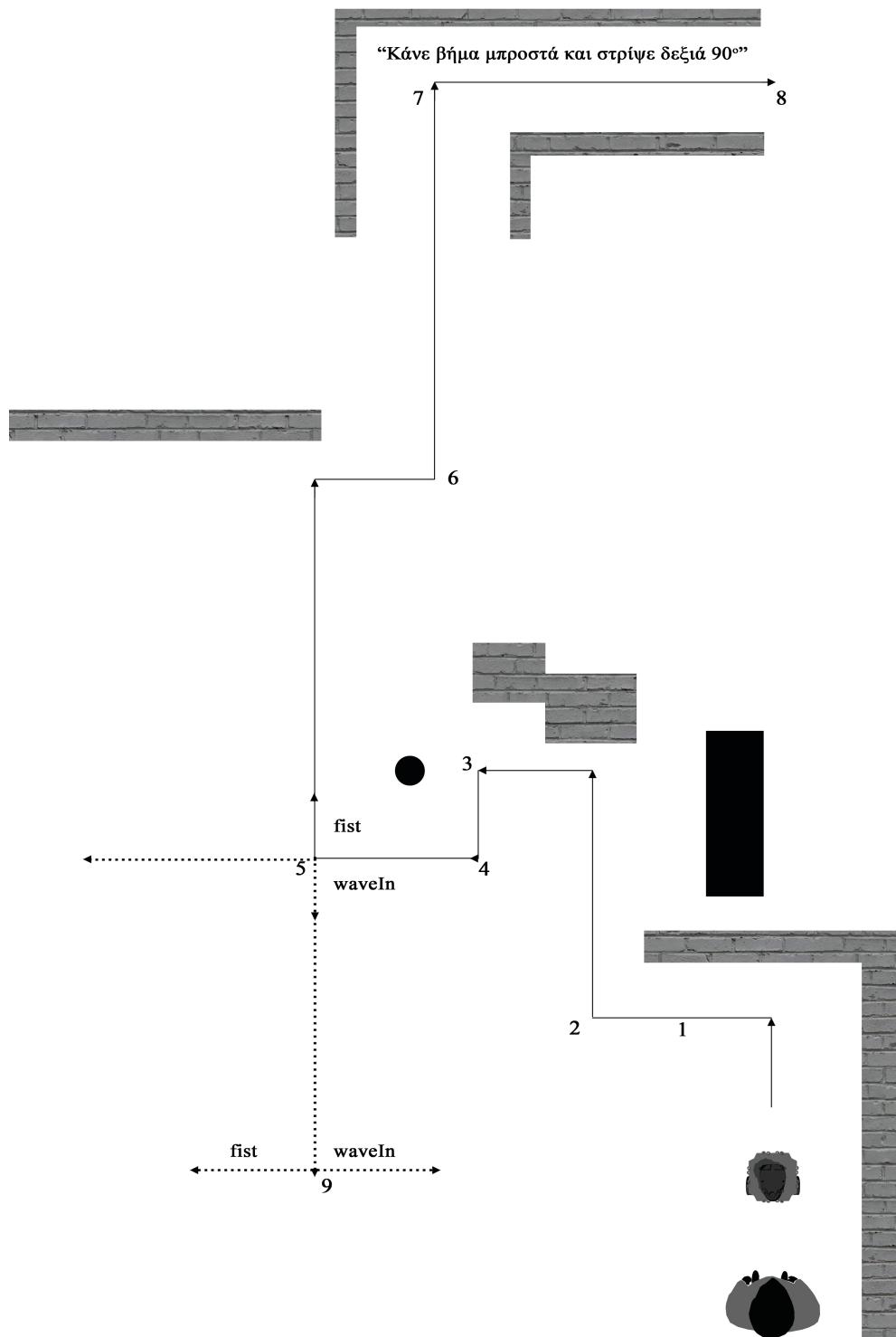
Την χρονική στιγμή που ο άνθρωπος τοποθετηθεί ορθά πίσω από το ρομπότ, όπως δείχνεται στο κάτω μέρος του σχήματος 4.2, το σύστημα ξεκινάει την πλοϊγγηση στον χώρο κινούμενο ευθεία μπροστά. Η κίνηση αυτή σταματάει μόλις το σύστημα εντοπίσει το πρώτο εμπόδιο σε απόσταση μικρότερη από 0.5m. Τότε, το ρομπότ ακινητοποιείται και σκανάρει τον χώρο για να αποφασίσει από ποια πλευρά είναι προτιμότερο να αποφευχθεί το εμπόδιο. Τελικά, καταλήγει στην απόφαση ότι το εμπόδιο είναι καλύτερα να αποφευχθεί από δεξιά, ειδοποιώντας αμέσως τον άνθρωπο μέσω των δύο σύντομων δονήσεων που εκτελεί το περιβραχιόνιο Myo. Συνεπώς, αποφευγεται το εμπόδιο με τρόπο αντίστοιχο με τις εικόνες 3.36-3.40 και έπειτα βρίσκεται στο σημείο 2, έχοντας την αρχική του κατεύθυνση. Ωστόσο, αξίζει να τονιστεί ότι για να βρεθεί το σύστημα στο σημείο 2, έγινε πρώτα ένας έλεγχος στο σημείο 1, αλλά επειδή δίπλα στο πρώτο εμπόδιο είναι τοποθετημένο άλλο ένα εμπόδιο πιο πίσω με αποτέλεσμα ο χώρος να μην είναι ελεύθερος, το ρομπότ ειδοποιεί τον άνθρωπο με μια σύντομη δόνηση του Myo ότι το εμπόδιο δεν έχει αποφευχθεί ακόμα και χρειάζεται να κάνει άλλο ένα βήμα προς τα δεξιά(δηλαδή 2 στο σύνολο) ούτως ώστε να βρεθεί στο σημείο 2. Στο σημείο 2 το ρομπότ σκανάρει τον χώρο και αντιλαμβάνεται ότι το εμπόδιο έχει αποφευχθεί, γυρίζοντας 90 μοίρες αριστερά και δίνοντας στο σύστημα και πάλι την αρχική του μορφή. Στη συνέχεια, το σύστημα κινείται ευθεία έως ότου συναντήσει το δεύτερο εμπόδιο, το οποίο θα αποφευχθεί όπως γίνεται έυκολα αντιληπτό από την αριστερή πλευρά(Σχήμα 3.29-3.33). Το ρομπότ ακινητοποιείται μόλις εντοπίσει το εμπόδιο σε απόσταση μικρότερη από 0.5m, και ειδοποιεί αμέσως τον χρήστη ότι το σύστημα θα αποφύγει το εμπόδιο από αριστερά, μέσω τεσσάρων σύντομων δονήσεων(4 short vibrations) του Myo armband. Μόλις ξεπεραστεί το δέυτερο εμπόδιο το σύστημα βρίσκεται στην θέση 3, έχοντας την αρχική κατεύθυνση και αρχίζει να κινείται ευθεία μπροστά έως ότου συναντήσει το τρίτο εμπόδιο το οποίο αποφεύγεται και πάλι από αριστερά, επαναλαμβάνοντας ακριβώς την ίδια διαδικασία με πριν για να βρεθεί τελικά στο σημείο 4 με την αρχική του κατεύθυνση. Ακολούθως, κινείται προς τα επάνω μέχρι να βρεθεί σε αδιέξοδο. Με το που φτάνει το σύστημα στο σημείο 5 και εντοπίζει εμπόδιο σε απόσταση μικρότερη από 0.5m, αρχίζει να σκανάρει τον χώρο για να αποφασίσει από που μπορεί να αποφευχθεί το εμπόδιο. Ωστόσο, βρίσκεται σε αδιέξοδο με αποτέλεσμα αριστερά και δεξιά να υπάρχουν εμπόδια, και άρα ειδοποιεί τον χρήστη μέσω μίας εκτεταμένης δόνησης του Myo(long vibration) ότι το σύστημα θα πρέπει αν οπισθοχωρήσει. Πιο συγκεκριμένα, εμανίζεται το ακόλουθο μήνυμα:

"Moving backwards, make 6 steps backwards!"

και ο άνθρωπος καλείται να κάνει 6 βήματα προς τα πίσω και να βρεθεί τελικά στο σημείο 6. Σε αυτό το σημείο, το ρομπότ που έχει οπισθοχωρήσει και αυτό αναλόγως για να βρίσκεται ακόμα μπροστά ακριβώς από τον χρήστη, ακινητοποιείται και περιμένει ο άνθρωπος να πραγματοποιήσει κάποια από τις χειρονιομίες fist ή waveIn, ούτως ώστε το ρομπότ να τοποθετηθεί αντίστοιχα δεξιά(Σχήμα 3.11) ή αριστερά(Σχήμα 3.14) του. Αφού ο άνθρωπος πραγματοποιήσει κάποιο pose με το χέρι στο οποίο φοράει το Myo και το ρομπότ κινηθεί αναλόγως, το σύστημα κινείται είτε προς τα δεξιά(fist) είτε προς τα αριστερά προς κατευθύνσεις οι οποίες διαφέρουν από την αρχική κατεύθυνση του συστήματος και δείχνονται στο Σχήμα 4.2 με διακεκομένες γραμμές.

4.1.3 Εσωτερικός χώρος No3

Η μορφή του τελευταίου εσωτερικού χώρου που δημιουργήθηκε και απαιτήθηκε από το σύστημα να πλοηγηθεί εντός αυτού με επιτυχία, παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3. Το εξεταζόμενο στατικό περιβάλλον είναι περισσότερο απαιτητικό από αυτά που παρατέθηκαν προηγουμένως, καθώς απαιτεί τον συνδυασμό πιο πολύπλοκων λειτουργιών από το ρομπότ, και κατά συνέπεια από τον άνθρωπο, χωρίς ωστόσο αυτές να είναι υπερβολικά δύσκολες.



Σχήμα 4.3: Διαδρομή 3

Ανάλυση της πορείας του συστήματος στην τρίτη πίστα

Μόλις το δίδυμο άνθρωπος-ρομπότ σχηματίσει την ορθά καθορισμένη διάταξή τους στον χώρο, με τον τρόπο που δείχνεται στο κάτω μέρος του σχήματος 4.3, το σύστημα ξεκινάει την πλοιήγησή του κινούμενο προς τα μπροστά. Μόλις εντοπιστεί το πρώτο εμπόδιο, το ρομπότ αποφασίζει ότι θα αποφευχθεί από αριστερά και ο άνθρωπος ειδοποιείται την ίδια στιγμή, καθώς το περιβραχιόνιο Myo δονείται 4 συνεχόμενες φορές, εκτελώντας σύντομες δονήσεις(short vibrations). Αρχικά, στο σημείο 1 εξετάζεται αν υπάρχει ακόμα εμπόδιο μπροστά από το σύστημα και εφόσον υπάρχει τότε ειδοποιείται ο άνθρωπος να κάνει ακόμα ένα πλάγιο βήμα προς τα αριστερά, φτάνοντας τελικά στο σημείο 2. Στο σημείο αυτό, το σύστημα αποκτά και πάλι την αρχική διάταξη στον χώρο, αφού έχει εκτελέσει τις κινήσεις που έχουν παρουσιαστεί στις εικόνες 3.29-3.33. Έπειτα, το σύστημα κινείται και πάλι ευθεία μέχρι να συναντήσει το δεύτερο εμπόδιο σε απόσταση μικρότερη από 0.5m. Το ρομπότ σκανάρει και πάλι τον χώρο για να αποφασίσει από ποια πλευρά θα αποφύγει το εμπόδιο που συνάντησε, και καταλήγει ότι το εμπόδιο πρέπει να αποφευχθεί από αριστερά. Ενώ αποφεύγεται το εμπόδιο και το ρομπότ κινείται προς τα αριστερά, εντοπίζεται από αυτό η ύπαρξη ενός εμποδίου ακριβώς μπροστά από το ρομπότ. Κατά συνέπεια, εμφανίζεται το μήνυμα:

"Obstacle in front of the robot"

Σε πρώτο στάδιο ειδοποιείται ο άνθρωπος για τον εντοπισμό εμποδίου μπροστά από το ρομπότ, καθώς το περιβραχιόνιο εκτελεί τις ακόλουθες δονήσεις:

- σύντομη δόνηση - short vibration
- σύντομη δόνηση - short vibration
- παρατεταμένη δόνηση - long vibration

και στη συνέχεια το ρομπότ τοποθετείται αριστερά από τον άνθρωπο. Ο άνθρωπος από την πλευρά του εκτελεί μια περιστροφή κατά 90° αριστερά και το σύστημα αποκτά και πάλι την αρχική του σωστή διάταξη, μόνο που τώρα η κατεύθυνση του συστήματος είναι 90° προς τα αριστερά σε σχέση με πριν, όπως δείχνεται αναλυτικά στο σχήμα 3.34. Η εν λόγω διαδικασία έχει σαν αποτέλεσμα το σύστημα να βρεθεί στο σημείο 4, κινούμενο με κατεύθυνση προς τα αριστερά και συνεχίζοντας την πλοιήγηση του ανθρώπου στον χώρο έως ότου φτάσει στο σημείο 5 όπου έχει τρεις επιλογές:

1. Πραγματοποιώντας την χειρονομία fist, να αλλάξει την κατεύθυνση της κίνησης του συστήματος 90 μοίρες προς τα δεξιά. Με άλλα λόγια, το σύστημα να αποκτήσει και πάλι την αρχική φορά κίνησης

στον χώρο, κινούμενο ευθεία έως ότου συναντήσει το τρίτο εμπόδιο, το οποίο και θα αποφύγει από δεξιά. Αντίστοιχα, ο χρήστης θα ειδοποιηθεί για αυτή την επιλογή μέσω δύο σύντομων δονήσεων(short vibrations) του Myo. Τελικά, το σύστημα θα βρεθεί στο σημείο 6 με φορά προς τα πάνω, μπαίνοντας στον διάδρομο που φαίνεται στο σχήμα 4.3. Εκεί το ρομπότ θα ακινητοποιηθεί μόλις εντοπίσει μπροστά του το εμπόδιο σε απόσταση μικρότερη από 0.5m και θα σκανάρει τον χώρο για να αντιληφθεί προς τα που μπορεί να κινηθεί το σύστημα. Όπως γίνεται αντιληπτό, υπάρχουν εμπόδια αριστερά από το σύστημα, ενώ στην δεξιά πλευρά υπάρχει εμπόδιο δίπλα στον άνθρωπο αλλά όχι δίπλα στο ρομπότ. Συνεπώς, εμφανίζεται το παρακάτω μήνυμα:

"Make a step forward and turn right 90 degrees"

που έχει επισημανθεί και στο σημείο 7 του σχήματος 4.3. Ο άνθρωπος ειδοποιείται άμεσα μέσω των παρακάτω δονήσεων που εκτελεί το περιβραχιόνιο Myo:

- σύντομη δόνηση - short vibration
- παρατεταμένη δόνηση - long vibration
- σύντομη δόνηση - short vibration

και καλείται να κάνει ένα βήμα μπροστά και να στρίψει δεξιά 90°. Αφού συμβεί αυτό, το εμπόδιο έχει ξεπεραστεί, αλλά αξίζει να τονιστεί ότι έχει αλλάξει η κατεύθυνση του συστήματος, η οποία είναι 90 μοίρες προς τα δεξιά σε σχέση με πριν. Τελικά, το σύστημα κινείται κατά μήκος του διαδρόμου, όπως δείχνεται και με βέλος στο σημείο 8 του Σχήματος 4.3.

2. Πραγματοποιώντας την χειρονομία waveIn, να αλλάξει την κατεύθυνση της κίνησης του συστήματος 90 μοίρες προς τα αριστερά, δηλαδή να κινηθεί σε αντίθετη κατεύθυνση από την αρχική. Στη συνέχεια, στο σημείο 9 δείχνεται η πορεία που θα ακολουθήσει το σύστημα σε περίπτωση που ο χρήστης επιθυμήσει να αλλάξει και πάλι την κατεύθυνση του συστήματος, εκτελώντας την χειρονομία fist ή waveIn.
3. Να μην εκτελέσει καμία χειρονομία ο χρήστης, με αποτέλεσμα το σύστημα να κινηθεί ευθεία προς την ίδια κατεύθυνση, όπως δείχνεται με διακεκομένη γραμμή στο Σχήμα 4.3.

4.2 Πειραματικός Έλεγχος 3D συστήματος

Με την χρησιμοποίηση του τρισδιάστατου Occipital Structure Sensor προσδώσαμε στο ρομπότ Turtlebot 3 Burger την ικανότητα όχι μόνο να εντοπίζει οποιοδήποτε εμπόδιο βρεθεί μπροστά από το σύστημα, συμπεριλαμβανομένων και των εμποδίων που βρίσκονται χαμηλότερα από τον 2D Lidar Distance Sensor, αλλά και να αναγνωρίζει την ύπαρξη σκαλιών που έχουν κατεύθυνση προς τα κάτω. Αυτές οι δύο επιπλέον δυνατότητες του συστήματος συμβάλλουν στην αντίκρουση κάθε είδους κινδύνου που πιθανόν να έρθει αντιμέτωπος ο χρήστης στα πλαίσια ενός εσωτερικού χώρου. Ο πειραματικός έλεγχος της επιτυχούς λειρουγίας των εν λόγω λειτουργιών του τρισδιάστατου συστήματος, είναι πολύ πιο απλός από τον αντίστοιχο του δισδιάστατου. Ουσιαστικά, καταγράφεται απλά η αντίδραση του συστήματος μόλις βρεθεί μπροστά είτε από αντικείμενα που δεν έχουν συμπαγή μορφή, όπως είναι για παράδειγμα μια καρέκλα ή ένα τραπέζι τα οποία δεν μπορεί να αναγνωρίσει ως ενιαία εμπόδια ο 2D Lidar Distance Sensor, είτε από σκάλες. Τα αποτελέσματα των εν λόγω πειραμάτων θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα στο επόμενο Κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ

Προηγουμένως παρουσιάστηκε η μορφή των εσωτερικών χώρων που δημιουργήθηκαν για τον έλεγχο της συμπεριφοράς του δισδιάστατου συστήματος. Στη συνέχεια, θα καταγραφούν σε πρώτο στάδιο τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πλοήγηση του ανθρώπου στους χώρους αυτούς, γεγονός που αποτελεί σημαντικό κριτήριο για τον προσδιορισμό του βαθμού της αποτελεσματικότητας του συστήματος υποβοήθησης ανθρώπων με προβλήματα όρασης που κατασκευάστηκε. Ακολούθως, παρατίθενται τα αποτελέσματα της πειραματικής διεργασίας του τρισδιάστατου συστήματος, και πιο συγκεκριμένα οι εξής ενότητες:

- Αποτελέσματα 3D Αποφυγής εμποδίων
- Αποτελέσματα αναγνώρισης σκαλιών προς τα κάτω

5.1 Αποτελέσματα πειραματικού ελέγχου 2D συστήματος

Η αποτελεσματικότητα τελικά του δισδιάστατου συστήματος σε κάθε διαδρομή προκύπτει από τον συνδυασμό των εξής παραγόντων:

- Την ικανότητα του συστήματος να αποφεύγει τα εμπόδια, μεριμνώντας για την ασφάλεια του χρήστη.

- Την διατήρηση της σωστής διάταξης του συστήματος άνθρωπος ρομπότ(αυτός ο παράγοντας επηρεάζεται βέβαια και σε μεγάλο βαθμό από τις ικανότητες του εκάστοτε χρήστη).
- Πόσο κοντά στην θεωρητικά σωστή πορεία είναι η πορεία την οποία πραγματοποίησε το σύστημα.

Τα συμπεράσματα τα οποία εξήγησαν από την πλοιήγηση του ανθρώπου στους εσωτερικούς χώρους που διαμορφώθηκαν, είναι ότι το σύστημα το οποίο κατασκευάστηκε αποτελεί μια πολύ σημαντική βοήθεια για τους ανθρώπους με μέτρια ή σοβαρή εξασθένιση όρασης. Πιο συγκεκριμένα, έχει την ικανότητα να ανταποκριθεί σε κάθε είδους χωρική ιδιομορφία που μπορεί να υπάρχει στα πλαίσια ενός εσωτερικού χώρου, καθοδηγώντας τον άνθρωπο με ασφάλεια και λαμβάνοντας τις αποφάσεις σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Αναλυτικότερα, στην πραγματική πλοιήγηση του ανθρώπου που πραγματοποιήθηκε σε εσωτερικούς χώρους οι οποίοι διαμορφώθηκαν για να ταυτίζονται με τα Σχήματα 4.1-4.3, παρατηρήθηκε ότι η πραγματική πορεία που διαγράφει το σύστημα είναι αρκετά κοντά στην θεωρητικά σωστή που παρουσιάστηκε στις προηγούμενες υποενότητες με βέλη, καταλήγοντας κάθε φορά στο σημείο που έχει ορισθεί σαν τελικό σημείο της διαδρομής. Το μόνο μειονέκτημα του συγκεκριμένου συστήματος, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, είναι η αδυναμία του ρομπότ να αναγνωρίσει τα αντικείμενα τα οποία βρίσκονται υψηλού σε χαμηλότερο ύψος από τον 2D 360° Lidar Distance Sensor που είναι υπεύθυνος για τον εντοπισμό των εμποδίων. Τα αντικείμενα που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι βέβαια ελάχιστα, καθώς ο εν λόγω σένσορας είναι ήδη τοποθετημένος αρκετά χαμηλά. Ωστόσο, το μειονέκτημα αυτό αντιμετωπίστηκε με την προσθήκη στο ρομπότ του τρισδιάστατου σένσορα Occipital Structure Sensor, όπως θα εξηγηθεί ακολούθως.

5.2 Αποτελέσματα 3D Αποφυγής εμποδίων

Όπως αναλύθηκε και στην ενότητα 3.5 με τίτλο ”3D Αναγνώριση των εμποδίων”, ο εντοπισμός των διαφόρων εμποδίων πραγματοποιείται μέσω της χρησιμοποίησης της συνάρτησης MWClosestPointApp που μας επιστρέφει τις τρισδιάστατες συντεταγμένες του κοντινότερου σημείου του χώρου στο ρομπότ υπό την μορφή (x, y, z). Μόλις η τιμή της συντεταγμένης z του κοντινότερου σημείου γίνει μικρότερη από 800, τότε ο άνθρωπος ειδοποείται ότι το σύστημα βρίσκεται μπροστά από κάποιο εμπόδιο. Η ειδοποίηση του ανθρώπου γίνεται μέσω του περιβραχιονίου Myo, το οποίο εκτελεί μία σύντομη δόνηση(short vibration). Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται κατά σειρά οι περιπτώσεις:

- που η συντεταγμένη z του κοντινότερου στο ρομπότ σημείου του χώρου, δηλαδή του εμποδίου, είναι μεγαλύτερη από 800.

- που η συντεταγμένη z του χοντινότερου στο ρομπότ σημείου του χώρου, δηλαδή του εμποδίου, είναι μικρότερη από 800, δηλαδή το σύστημα βρίσκεται αρκετά χοντά στο εμπόδιο και κατα συνέπεια το ρομπότ ακινητοποιείται και το περιβραχιόνιο Myo δονείται ούτως ώστε να ειδοποιηθεί ο άνθρωπος.



Σχήμα 5.1: συντεταγμένη χοντινότερου σημείου $z > 800$



Σχήμα 5.2: συντεταγμένη χοντινότερου σημείου $z < 800$ // Δόνηση Myo

Όπως είναι φανερό το ρομπότ είναι πλεόν σε θέση να αναγνωρίζει και εμπόδια τα οποία δεν έχουν συμπαγή υπόσταση, όπως είναι για παράδειγμα μια καρέκλα(Σχήμα 5.3) ή ένα τραπέζι(Σχήμα 5.4).



Σχήμα 5.3: Αναγνώριση καρέκλας



Σχήμα 5.4: Αναγνώριση τραπεζιού

Σχόλιο

Όσον αφορά την τρισδιάστατη αναγνώριση των εμποδίων από τον Occipital Structure Sensor παρατηρήθηκε ότι τα εμπόδια αναγνωρίζονται επιτυχώς και η ακρίβεια των συντεταγμένων των σημείων του χώρου είναι αρκετά καλή. Επίσης, σε περίπτωση που το σύστημα συναντήσει μπροστά του κάποιο εμπόδιο, η ειδοποίηση του ανθρώπου μέσω του περιβραχιονίου είναι άμεση.

5.3 Αποτελέσματα αναγνώρισης σκαλιών προς τα κάτω

Η επόμενη λειτουργία του συστήματος που επιχειρήθηκε πειραματικά είναι η αναγνώριση των σκαλιών με κατεύθυνση προς τα κάτω, μόλις το σύστημα βρεθεί μπροστά τους. Υπεύθυνος για την αναγνώριση είναι και πάλι ο τρισδιάστατος σένσορας Occipital Structure Sensor, τις δυνατότητες του οποίου εκμεταλλευόμαστε μέσω της εντολής EventBasedRead, η οποία επιστρέφει την τιμή της συντεταγμένης z του μεσαίου pixel της εικόνας. Μόλις αυτή η τιμή γίνει μεγαλύτερη του μηδενός τότε αυτό αυτομάτως σημαίνει ότι το σύστημα έχει βρεθεί μπροστά από σκάλες, καθώς η τιμή μηδέν αντιστοιχεί στην επιφάνεια του πατώματος. Η αύξηση της τιμής της συντεταγμένης z μεταφράζεται ως αύξηση της απόστασης του σένσορα από την επιφάνεια του πατώματος, δηλαδή από αυτό το σημείο και έπειτα το πάτωμα βρίσκεται υψημετρικά σε χαμηλότερο επίπεδο. Η ειδοποίηση του ανθρώπου αυτή την φορά για τον εντοπισμό των σκαλιών γίνεται μέσω του ασύρματου γχείου που έχει τοποθετηθεί πάνω στο ρομπότ Turtlebot 3. Ειδικότερα, παράγεται φωνητικά η έκφραση "Be careful, Stairs". Στην συνέχεια, παρατίθενται ορισμένες εικόνες από διαφορετικά στάδια της διαδικασίας της αναγνώρισης των σκαλιών, η οποία στέφθηκε με επιτυχία.



Σχήμα 5.5: Το σύστημα κατεύθυνεται προς τα σκαλιά



Σχήμα 5.6: Το σύστημα πλησιάζει τα σκαλιά, αλλά $z=0$



Σχήμα 5.7: Αναγνώριση των σκαλιών εφόσον $z=1024$ και άμεση ειδοποίηση του ανθρώπου

Σχόλιο

Η αναγνώριση των σκαλιών με κατεύθυνση προς τα κάτω στέφθηκε με επιτυχία, καθώς κάθε φορά που το σύστημα συναντά σκάλες ο άνθρωπος ειδοποιείται αμέσως. Αξίζει να αναφερθεί ότι το σύστημα είναι πλέον σε θέση να αναγνωρίζει οποιαδήποτε αλλαγή της επιφάνειας του εδάφους, είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω, ακόμα και σε περιπτώσεις που δεν είναι οι σκάλες η αιτία της αλλαγής του εδάφους, όπως για παράδειγμα μια ρωγμή ή τρύπα στο πάτωμα. Κατά συνέπεια, ο άνθρωπος είναι σε θέση να νιώσει ασφάλεια στα πλαίσια ενός εσωτερικού περιβάλλοντος εμπιστευόμενος τις συμβουλές που του δίνει διαρκώς το ρομπότ Turtlebot 3.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πλοήγηση του ανθρώπου σε εσωτερικούς χώρους χωρίς το σύστημα που κατασκευάστηκε

Έχει γίνει μέχρι τώρα στην παρούσα διπλωματική εργασία εκτεταμένη ανάλυση των δυσκολιών που συναντάνε καθημερινά οι άνθρωποι με μέτρια ή σοβαρότερη εξασθένιση όρασης. Πιο συγκεκριμένα, σε εσωτερικούς χώρους δεν είναι πολύ πρακτική η χρησιμοποίηση του μπαστουνιού, καθώς είναι πολύ δύσκολο για τον τυφλό να αναγνωρίσει αντικείμενα που δεν έχουν συμπαγή μορφή, όπως είναι οι καρέκλες και τα τραπέζια. Στο σύστημα το οποίο κατασκευάστηκε η δυσκολία αυτή ξεπεράστηκε με την βοήθεια του τρισδιάστατου Occipital Structure Sensor που είναι σε θέση να αναγνωρίζει κάθε ειδών αντικείμενα.

Επίσης, ακόμα και σε περιπτώσεις αντικειμένων που μπορούν να αναγνωρίσουν με την βοήθεια του μπαστουνιού, δεν έχουν κάποια αντίληψη για την δομή του χώρου, με αποτέλεσμα ακόμα και αν αναγνωρίσουν το εμπόδιο να αποφασίσουν να κινηθούν προς την πλευρά που περιέχονται τα περισσότερα εμπόδια στον χώρο. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με την χρήση του ρομπότ, το οποίο σκανάρει τον χώρο, και ειδοποιεί τον άνθρωπο μέσω του περιβραχιονίου Myo για την πλευρά του χώρου που περιέχει τα λιγότερα εμπόδια. Επιπρόσθετα, μια από τις μεγαλύτερες απειλές για τους ανθρώπους με προβλήματα όρασης αποτελεί η αλλαγή της επιφάνειας του εδάφους. Το παρόν σύστημα είναι σε θέση να αναγνωρίζει σκόλες που είναι κατηφορικές, ειδοποιώντας εγκαίρως τον άνθρωπο.

Όσα αναφέρθηκαν παραπάνω υπογραμμίζουν την αξία του συστήματος υποβοήθησης των ανθρώπων με προβλήματα όρασης που κατασκευάστηκε στην παρούσα εργασία, αλλά και τα συστήματα που έχουν κατασκευαστεί μέχρι τώρα σε γενικότερο πλαίσιο, παρόλο που δεν έχει βρεθεί κάποιο συγκεκριμένο σύστημα που να λειτουργεί υποδειγματικά. Ωστόσο, είναι ανάγκη να στραφούν όλο και περισσότεροι άνθρωποι στην κατασκευή τέτοιου είδους συστημάτων είτε για εσωτερικούς χώρους είτε για εξωτερικούς χώρους, καθώς ο αριθμός των ανθρώπων με οπτική αναπηρία αυξάνεται με ταχύτατους ρυθμούς.

Όπως κάθε πράγμα σε αυτή την ζωή έτσι και το σύστημα που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας επιδέχεται μελλοντικες βελτιώσεις. Ειδικότερα, είναι εφικτό να αναβαθμιστεί η συνεργασία του τρισδιάστατου σένσορα occipital structure sensor με το ρομποτ Turtlebot 3 Burger, και πιο συγκεκριμένα τον 2D Lidar Distance Sensor, με τον οποίο είναι εξοπλισμένο το ρομπότ. Σκοπός αυτής της συνεργασίας αποτελεί η παροχή ακόμα περισσότερων πληροφοριών στον χρήστη για την δομή του χώρου στον οποίο πλοηγείται. Μια ιδέα θα ήταν σε περίπτωση που ο 2D σένσορας αναγνωρίσει κάποιο εμπόδιο, να χρησιμοποιείται ο τρισδιάστατος σένσορας για την αναγνώριση των αντικειμένων που βρίσκονται μπροστά από το σύστημα στον χώρο, όπως για παράδειγμα ντουλάπες, πόρτες κλπ. Η ενημέρωση του χρήστη είναι δυνατή με έναν εκ των δύο τρόπων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία και προτιμότερα με την φωνητική παραγωγή των λέξεων των αντικειμένων που συναντάει ο άνθρωπος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ali Hojjat, "Indoor navigation systems for blind people", City of Richmond - Local Government , British Columbia, Canada ,8 March 2018.
- [2] Rupert R A Bourne*, Seth R Flaxman*, Tasanee Braithwaite, Maria V Cincinelli, Aditi Das, Jost B Jonas, Jill Keeffe, John H Kempen, Janet Leasher, Hans Limburg, Kovin Naidoo, Konrad Pesudovs, Serge Resnikoff, Alex Silvester, Gretchen A Stevens, Nina Tahhan, Tien YWong, Hugh RTaylor, "Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis", Vision Eye Research Unit, Anglia Ruskin University, Cambridge, UK , Department of Statistics, University of Oxford , Massachusetts Eye and Ear Infirmary, Boston, MA, USA ,8 August 2017.
- [3] Genci Capi,Member IEEE, Hideki Toda, Member IEEE , "A New Robotic System to Assist Visually Impaired People", Hosei University , 25 December 2014.
- [4] Nadia Kanwal, Erkan Bostanci, Keith Currie, Adrian F. Clark, "A Navigation System for the Visually Impaired: A Fusion of Vision and Depth Sensor" , Department of Computer Science, Lahore College for Women University Pakistan , Computer Engineering Department, Ankara University Turkey , School of Computer Science and Electronic Engineering, University of Essex UK , 29 July 2015.
- [5] SUSUMU TACHI , KAZUO TANIE , KIYOSHI KOMORIYA , MINORU ABE , " Electrocutaneous Communication in a Guide Dog Robot(MELDOG)" , IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, VOL. BME-32, NO. 7, July 1985.
- [6] Dr. Derek Molloy , "Exploring Raspberry Pi: Interfacing to the Real

- World with Embedded Linux” , 9 July 2016.
- [7] Gabriel Doretto Morais, Leonardo C. Neves , Andrey A. Masiero , Mario Claudia F. Castro , ”Application of Myo Armband System to Control a Robot Interface” , Centro Universitario da FEI, Av. Humberto Alencar Castelo Branco 3972, Sao Bernardo do Campo , Brazil , 24 August 2016.
 - [8] Sonda Ammar Bouhamed , Imene Khanfir , Dorra Sellami , ”Stair case detection and recognition using ultrasonic signal” , University of Sfax , July 2013.
 - [9] Bousbia-Salah, M., Bettayeb, M., Larbi, A., may 2011. A Navigation Aid for Blind People. *Journal of Intelligent Robotic Systems* 64 (3-4), 387–400.
 - [10] Cui, H., Bhatt, R., Jin, T., Sun, Y., Arbor, A., 2010. Virtual Sight: Haptic Device for Visually Impaired. *Tech. rep.*
 - [11] Gharani, P., Karimi, H. A., 2017. Context-aware obstacle detection for navigation by visually impaired. *Image and Vision Computing* 64, 103–115.
 - [12] Guerrero, L. a., Vasquez, F., Ochoa, S. F., 2012. An Indoor Navigation System for the Visually Impaired. *Sensors* 12 (6), 8236–8258.
 - [13] news service, J., 1994. Demographics update: Use of white long canes. *Journal of visual impairment blindness* 88 (1), 4–5.
 - [14] Ran, L., Helal, S., Moore, S., 2004. Drishti: An integrated indoor/outdoor blind navigation system and service. *Proceedings - Second IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communications, PerCom*, 23– 30.
 - [15] Roentgen, U. R., Gelderblom, G. J., Soede, M., De Witte, L. P., 2008. Invention of Electronic Mobility Aids for Persons with Visual Impairments : A Literature Review. *Journal of Visual Impairment Blindness* (November), 702–724.
 - [16] Borenstein, J., 2001. The GuideCane-applying mobile robot technologies to assist the visually impaired. *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on* 31 (2), 131–136.
 - [17] Makino, H. et al. (1997). Development of navigation system for the blind using GPS and mobile phone combination, *IEEE Int. Conf. of Engineering in Medicine and Biology*, vol.2, pp.506-507.
 - [18] Helal, A. et al. (2001). Dristi: an integrated navigation system for the visually impaired, *Int. IEEE Symposium on Wearable Computers*, pp.149-156.
 - [19] Kulyukin, V., C. Gharpure, J. Nicholson and S. Pavithran (2004). RFID in robot assisted indoor navigation for the visually impaired, *IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, Sandaï, Japan, Sept. 28 – Oct. 2, vol. 2, pp.1979-1984.
 - [20] S. Mann, J. Huang, R. Janzen et al., “Blind navigation with a wearable range camera and vibrotactile helmet,” in *Proceedings of the 19th*

- International Conference on Multimedia (MM '11), pp. 1325–1328, ACM, December 2011.
- [21] L. Xia, C.-C. Chen, and J. K. Aggarwal, “Human detection using depth information by Kinect,” in Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW '11), pp. 15–22, IEEE, June 2011.
- [22] Na, J. (2006). The blind interactive guide system using RFID-based indoor positioning system, 10th Int. Conf. on Computers Helping People with Special Needs, Linz, Austria, July 11-13, Lecture Notes in Computer Science, Vol.4061, Springer Berlin, pp.1298-1305.
- [23] F. Prattico, C. Cera, and F. Petroni, “A new hybrid infrared- ultrasonic electronic travel aids for blind people,” Sensors and Actuators A: Physical, vol. 201, pp. 363–370, 2013.
- [24] C. Feng, S. Azenkot, and M. Cakmak, “Designing a robot guide for blind people in indoor environments,” in Proceedings of the 10th Annual ACM/IEEE International Conference on Human- Robot Interaction Extended Abstracts, pp. 107–108, ACM, March 2015.
- [25] R. Tapu, B. Mocanu, A. Bursuc, and T. Zaharia, “A smartphone-based obstacle detection and classification system for assisting visually impaired people,” in Proceedings of the 14th IEEE Inter- national Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW '13), pp. 444–451, IEEE, Sydney, Australia, December 2013.
- [26] S. Shoval, I. Ulrich, and J. Borenstein, “Navbelt and the guide- cane [obstacle-avoidance systems for the blind and visually impaired],” IEEE Robotics Automation Magazine, vol. 10, no. 1, pp. 9–20, 2003.
- [27] 2 Stevens G, White R, Flaxman SR, et al, for the Vision Loss Expert Group. Global prevalence of visual impairment and blindness: magnitude and temporal trends, 1990–2010. Ophthalmology 2013; 120: 2377–84.
- [28] McCarty CA, Nanjan MB, Taylor HR. Vision impairment predicts 5 year mortality. Br J Ophthalmol 2001; 85: 322–26.
- [29] Updates, D., 1995. Demographics update: Alternate estimate of the number of guide dog users. Journal of Visual Impairment Blindness 89 (2), 4–6.
- [30] Tian, Y., Yang, X., Yi, C., Arditi, A., 2013. Toward a Computer Vision-based Wayfinding Aid for Blind Persons to Access Unfamiliar Indoor Environ- ments. Machine vision and applications 24 (3), 521–535.
- [31] Marston, J. R., Golledge, R. G., 2003. The Hidden Demand for Participation in Activities and Travel by Persons Who Are Visually Impaired. Journal of Visual Impairment Blindness 97 (8), 475.
- [32] E. B. Kaiser and M. Lawo, “Wearable navigation system for the visually impaired and blind people,” in Proceedings of the 11th International Conference on Computer and Information Science (ICIS '12), pp. 230–233, IEEE, Shanghai, China, June 2012.
- [33] M. Kalantari M. Nechifor (2016), ”Accuracy and utility of the Structure

- Sensor for collecting 3D indoor information”, Geo-spatial Information Science.
- [34] Ulrich, I., and Borenstein, J., 1998, “VFH+: Reliable Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots.” IEEE International Conference on Robotics and Automation, Leuven, Belgium, May 16-21, pp. 1572-1577.
 - [35] Brabyn, J. A., 1982, “New Developments in Mobility and Orientation Aids for the Blind.” IEEE Trans. on Biomedical Engineering, vol. BAM-29, No. 4, pp. 285-290.
 - [36] Benjamin, J. M., Ali, N. A., and Schepis, A. F., 1973, “A Laser Cane for the Blind.” Proceedings of the San Diego Biomedical Symposium, Vol. 12, pp. 53 - 57.
 - [37] Lebedev, V. V. and Sheiman, V. L., 1980, “Assessment of the Possibilities of Building an Echo Locator for the Blind.” Telecommunications and Radio Engineering, Vol. 34- 35, No. 3, pp. 97-100.
 - [38] Shao, S., 1985, “Mobility Aids for the Blind.” Electronic Devices for Rehabilitation, John Wiley Sons, New York, NY, pp. 79-100.

Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Γηπολογιστών
Νικόλαος Αθανασόπουλος του Κωνσταντίνου
© Ιούνιος 2019 – Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
