



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ, ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΩΝ

Τμήμα Εκπαιδευτικής και Κοινωνικής Πολιτικής
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Επιστήμες της Αγωγής: Ειδική Αγωγή, Εκπαίδευση και Αποκατάσταση»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΦΟΡΗΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ
ΡΟΜΠΟΤ ΣΤΗΝ ΠΛΟΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΤΟΜΩΝ ΜΕ
ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΠΗΡΙΑ**

Ορέστης Αλεξίου

AM: mea22052

Θεσσαλονίκη (2023)



Τμήμα Εκπαιδευτικής και Κοινωνικής Πολιτικής
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Επιστήμες της Αγωγής: Ειδική Αγωγή, Εκπαίδευση και Αποκατάσταση»
Κατεύθυνση: Οπτική Αναπηρία

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΦΟΡΗΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ ΣΤΗΝ ΠΛΟΗΓΗΣΗ
ΤΩΝ ΑΤΟΜΩΝ ΜΕ ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΠΗΡΙΑ
THE CONTRIBUTION OF PORTABLE DEVICES AND ROBOTS TO THE
NAVIGATION OF THE PEOPLE WITH VISUALLY IMPAIRMENT

Ορέστης Αλεξίου

Εξεταστική επιτροπή

Παπαδόπουλος Κωνσταντίνος, Καθηγητής (Επόπτης)

Κουστριάβα Ελένη, Επίκουρη Καθηγήτρια

Παπακωνσταντίνου Δόξα, Επίκουρη Καθηγήτρια

Θεσσαλονίκη (2023)

Ο συγγραφέας βεβαιώνει ότι το περιεχόμενο του παρόντος έργου είναι αποτέλεσμα προσωπικής εργασίας και ότι έχει γίνει η κατάλληλη αναφορά στην εργασία τρίτων, όπου κάτι τέτοιο ήταν απαραίτητο, σύμφωνα με τους κανόνες της ακαδημαϊκής δεοντολογίας.

(υπογραφή)

Ορέστης Αλεξίου

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΤΑ ΑΤΟΜΑ ΜΕ ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΠΗΡΙΑ ΚΑΙ Η ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ	11
1.1 Οπτική Αναπηρία	11
1.2 Επιπτώσεις της Οπτικής Αναπηρίας.....	12
1.3 Κοινωνικοί παράγοντες που επηρεάζουν τα ΑμΟΑ.....	13
1.4 Οι κυριότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα ΑμΟΑ κατά την πλοήγηση.....	14
Σκοπός της έρευνας	16
Ερευνητικά ερωτήματα	17
Μεθοδολογία	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΛΟΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑμΟΑ	20
2.1 Ταξινόμηση της Υποστηρικτικής Τεχνολογίας με βάση την υπηρεσία που παρέχει στον χρήστη.....	20
2.2 Ταξινόμηση της Υποστηρικτικής Τεχνολογίας με βάση την τεχνολογία που εφαρμόζει	21
2.2.1 Συστήματα οπτικής αναμετάδοσης	22
2.2.2 Μη Οπτικά Συστήματα Δεδομένων	28
2.2.3 Συστήματα που βασίζονται σε χάρτες.....	31
2.2.4 Συστήματα με στερεοφωνικό ήχο	31
2.2.5 Λύσεις που βασίζονται σε smartphone.....	32
2.3 «Έξυπνα» μαστούνια για την πλοήγηση των ΑμΟΑ (Smart Canes)	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ ΣΤΗΝ ΠΛΟΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑμΟΑ	37
3.1 Ρομπότ-Οδηγός.....	37
3.2 Ρομπότ-Οδηγοί τελευταίας τεχνολογίας	42

3.2.1 Spot.....	42
3.2.2 LIGHBOT.....	44
3.2.3 ANYmal	45
3.2.4 Aliengo	46
3.2.5 UC Berkeley Robotic Guide Dog.....	47
3.2.6 Alpha Dog	48
3.2.7 Jueying X 20.....	49
3.2.8 BBeep	50
3.2.9 Buddy	51
3.2.10 Ollie	51
3.3 Απαιτούμενα χαρακτηριστικά για ένα αποτελεσματικό Ρομπότ-Οδηγό	52
3.4 Ανοιχτές προκλήσεις για το μέλλον	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	55
4.1 Ποια είναι τα σύγχρονα διαθέσιμα μέσα υποστηρικτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους και ποιες είναι οι επικρατέστερες;	55
4.2 Ποιες είναι οι βασικότερες ελλείψεις και οι θετικότερες προοπτικές στον τομέα της ρομποτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ.....	56
4.3 Ποιες είναι οι διαφορές και οι ομοιότητες των ρομπότ με άλλα μέσα υψηλής υποστηρικτικής τεχνολογίας, όπως είναι οι φορητές συσκευές (wearable devices) και τα έξυπνα μαστούνια (smart canes);	58
4.4 Πώς μπορούν τα μέσα υποστηρικτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ να συμβάλλουν στη βελτίωση της συμπερίληψης των παιδιών με οπτική αναπηρία στην εκπαίδευση;	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	60
5.1 Συζήτηση και συμπεράσματα.....	60
5.1.1 Σχετικά με τα σύγχρονα διαθέσιμα μέσα υποστηρικτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους και τις επικρατέστερες από αυτές	60
5.1.2 Σχετικά με τις βασικότερες ελλείψεις και τις θετικότερες προοπτικές στον τομέα της ρομποτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ.....	62
5.1.3 Σχετικά με τις διαφορές και τις ομοιότητες των ρομπότ με άλλα μέσα υψηλής υποστηρικτικής τεχνολογίας.....	63
5.1.4 Σχετικά με το πώς μπορούν τα μέσα υποστηρικτικής τεχνολογίας της πλοήγησης των ΑμΟΑ να συμβάλλουν στη βελτίωση της συμπερίληψης των παιδιών με οπτική αναπηρία στην εκπαίδευση.....	64
5.2 Περιορισμοί της έρευνας	65
5.3 Προτάσεις	65

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....68

Περίληψη

Η παρούσα μελέτη επιχειρεί να παρουσιάσει στην ελληνική επιστημονική κοινότητα την τελευταία λέξη της σύγχρονης τεχνολογίας σχετικά με την πλοήγηση των Ατόμων με Οπτική Αναπηρία: από τις φορητές συσκευές πλοήγησης μέχρι τα υπερσύγχρονα ρομπότ-οδηγούς. Μέσα από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας διαπιστώνονται οι επικρατέστερες τάσεις στις διαθέσιμες υποστηρικτικές τεχνολογίες πλοήγησης, όπως είναι η ανάπτυξη εφαρμογών για smartphones, ενώ παράλληλα, αναδεικνύονται οι βασικότερες ελλείψεις, αλλά και οι θετικότερες προοπτικές στον τομέα της ρομποτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των Ατόμων με Οπτική Αναπηρία. Τέλος, συζητείται το πώς τα ρομπότ θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην βελτίωση της συμπερίληψης των παιδιών με οπτική αναπηρία στην εκπαίδευση. Γίνεται φανερό ότι παρόλο που η πλειοψηφία των διαθέσιμων ρομπότ τελευταίας τεχνολογίας δεν έχουν σχεδιαστεί με στόχο να καλύπτουν τις ανάγκες των Ατόμων με Οπτική Αναπηρία, ωστόσο έχουν θέσει γερά θεμέλια για το σχεδιασμό ενός πλήρως λειτουργικού ρομπότ-οδηγού εξωτερικών χώρων στο άμεσο μέλλον.

Λέξεις-κλειδιά: Οπτική Αναπηρία, Υποστηρικτική Τεχνολογία, Φορητές Συσκευές, Ρομπότ, Πλοήγηση

Abstract

This study attempts to present to the Greek scientific community the latest in modern technology regarding the navigation of the Visually Impaired: from portable navigation devices to state-of-the-art robot-guides. Through the review of the literature, the prevailing trends in the available assistive navigation technologies are identified, such as the development of applications for smartphones, while at the same time, the main shortcomings, but also the most positive perspectives in the field of robotic technology for the navigation of the Visually Impaired are highlighted. Finally, it is discussed how robots could contribute to improving the inclusion of visually impaired children in education. It is becoming clear that although the majority of available state-of-the-art robots are not designed to meet the needs of the Visually Impaired, they have nevertheless laid a solid foundation for the design of a fully functional outdoor guide-robot in the near future.

Key-words: Visual Impairment, Assistive Technology, Portable Devices, Robots, Navigation

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Κίνητρο και έναυσμα για την συγγραφή της παρούσας εργασίας μου έδωσε η ενασχόληση μου με την οπτική αναπηρία στο πλαίσιο της αντίστοιχης κατεύθυνσης του μεταπτυχιακού προγράμματος «Επιστήμες της Εκπαίδευσης: Ειδική Αγωγή και Αποκατάσταση» και ιδιαίτερα η συνεργασία μου με τον καθηγητή Κωνσταντίνο Παπαδόπουλο. Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους γονείς μου Πάυλο Αλεξίου και Στέλλα Ντουμάκη, και ιδιαίτερα τη σύντροφό μου Φωτεινή Σαλονικίδου, για την πολύτιμη βοήθεια, τις συμβουλές και την υποστήριξή τους.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Οπτική Αναπηρία πλήττει παγκοσμίως περισσότερα από δύο δισεκατομμύρια συνανθρώπους μας (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, 2021). Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις για την ανεξαρτησία των ατόμων με οπτική αναπηρία συνιστά αδιαμφισβήτητη η ασφαλής πλοήγησή τους στο περιβάλλον της καθημερινής ζωής (Zafar et al., 2022).

Πέραν των παραδοσιακών συστημάτων υποστήριξης των ατόμων με οπτική αναπηρία, όπως είναι τα λευκά μπαστούνια και οι σκύλοι-οδηγοί, η προηγμένη τεχνολογία τεχνητής νοημοσύνης και οι σύγχρονες συσκευές αναπτύσσονται διαρκώς με στόχο να ενισχύσουν την ικανότητα αντίληψης του περιβάλλοντα χώρου. Πρόκειται για μέσα υψηλής υποστηρικτικής τεχνολογίας, όπως είναι οι φορητές συσκευές και τα ρομπότ πλοήγησης. (Albogami & Aloitabi, 2021)

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας για την υποστήριξη του προσανατολισμού και της κινητικότητας των ΑμΟΑ τροφοδοτεί με τη σειρά της την εφαρμογή νέων στρατηγικών ώστε τα άτομα με οπτική αναπηρία να είναι σε θέση να βρίσκουν και να διατηρούν εργασία, καθώς και να συμπεριλαμβάνονται ισότιμα στην εκπαίδευση. Αυτή η προσπάθεια μπορεί να κομίσει στην παγκόσμια κοινότητα σημαντικά κοινωνικά και οικονομικά οφέλη (Marques et al., 2021).

Με βάση την αυξανόμενη σημασία της υποστηρικτικής τεχνολογίας για τη ζωή και τη συμπερίληψη των ατόμων με αναπηρία, η παρούσα εργασία πραγματεύεται τη συμβολή των φορητών συσκευών και των ρομπότ-οδηγών στην πλοήγηση των ατόμων αυτών. Παρουσιάζει τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες αιχμής, καθώς και τις ελλείψεις, τα κενά, αλλά και τις αξιοσημείωτες δυνατότητες και προοπτικές του ενεργού αυτού πεδίου επιστημονικής μελέτης.

Πιο αναλυτικά, στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση του προβλήματος της οπτικής αναπηρίας και των επιπτώσεων που επιφέρει σε ατομικό και κοινωνικό επίπεδο, αναλύονται οι σημαντικότεροι κοινωνικοί παράγοντες που επηρεάζουν τα ΑμΟΑ και αναδεικνύονται οι κυριότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν κατά την πλοήγησή τους σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους.

Στο Κεφάλαιο 2 επιχειρείται μία όσο το δυνατόν πιο πλήρης παρουσίαση της σύγχρονης τεχνολογίας και των υποστηρικτικών συσκευών για την πλοήγηση των ΑμΟΑ,

όπως είναι οι κάμερες, οι αισθητήρες υπερήχων και υπέρυθρης ακτινοβολίας, τα ηχητικά συστήματα, τα smartphone, τα "έξυπνα μαστούνια" κ.ά. Μέσα από σύγχρονες μελέτες, παρουσιάζονται οι ελλείψεις και οι δυνατότητες της κάθε τεχνολογικής πρότασης.

Στο Κεφάλαιο 3 διερευνάται η συμβολή των ρομπότ-οδηγών στην πλοήγηση των ΑμΟΑ. Συστήνονται στο ελληνικό επιστημονικό κοινό τα πιο σύγχρονα ρομπότ-οδηγοί που έχουν αναπτυχθεί παγκοσμίως -κυρίως σε ΗΠΑ και Κίνα. Παρουσιάζονται τόσο τα ρομπότ που είναι διαθέσιμα στην αγορά, όσο και εκείνα που βρίσκονται σε δοκιμαστικό στάδιο ανάπτυξης. Σημειώνονται οι δυνατότητες και οι αδυναμίες τους κάθε προϊόντος.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται αναλυτικά τα κυριότερα αποτελέσματα της έρευνας αναφορικά με κάθε ένα από τα τέσσερα ερευνητικά ερωτήματα που τίθενται στο Κεφάλαιο 1.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 5 εξάγονται τα συμπεράσματα της μελέτης και συζητούνται οι ελλείψεις και οι δυνατότητες στον τομέα της ρομποτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ατόμων με οπτική αναπηρία. Αναδεικνύεται ότι καθώς τα περισσότερα από αυτά δεν σχεδιάστηκαν με στόχο την εξυπηρέτηση των ατόμων με οπτική αναπηρία, διαθέτουν ελλείψεις και αδυναμίες, αλλά προσφέρουν και σημαντικές προοπτικές στην υπόθεση της πλοήγησης των ατόμων με οπτική αναπηρία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΤΑ ΑΤΟΜΑ ΜΕ ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΠΗΡΙΑ ΚΑΙ Η ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ

1.1 Οπτική Αναπηρία

Ως Οπτική Αναπηρία (στην αγγλική Visual Impairment) είναι η κατάσταση κατά την οποία ένα άτομο έχει χάσει πλήρως ή μερικώς την αίσθηση της όρασης εξαιτίας ψυχολογικών ή νευρολογικών παραγόντων. (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, 2021).

Η όραση είναι μια από τις πιο σημαντικές αισθήσεις του ανθρώπου, καθώς τα άτομα με προβλήματα όρασης αντιμετωπίζουν ποικίλους περιορισμούς λόγω της αδυναμίας τους να κινηθούν με ασφάλεια σε διαφορετικά περιβάλλοντα (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, 2021).

Σύμφωνα με τα πρόσφατα στοιχεία που περιλαμβάνει η σχετική έκθεση του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας για το 2021, πάνω από 2,2 δισεκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως πάσχουν από προβλήματα όρασης. Εξ αυτών, περίπου 1 δισεκατομμύριο άτομα αντιμετωπίζουν μέτρια ως σοβαρή Οπτική Αναπηρία ή τύφλωση. Τα κυριότερα αίτια σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας είναι:

- Διαθλαστικό σφάλμα που δεν έχει αντιμετωπιστεί (88,4 εκατομμύρια άνθρωποι)
- Καταρράκτης (94 εκατομμύρια άνθρωποι)
- Ηλικιακή εκφύλιση της ωχράς κηλίδας (8 εκατομμύρια άνθρωποι)
- Γλαύκωμα (7,7 εκατομμύρια άνθρωποι)
- Διαβητική αμφιβληστροειδοπάθεια (3,9 εκατομμύρια άνθρωποι)
- Διαταραχή κοντινής όρασης που προκαλείται από μη αντιμετωπισμένη πρεσβυωπία (826 εκατομμύρια άνθρωποι).

Η Διεθνής Ταξινόμηση Νοσημάτων ICD-11 του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (2018), διακρίνει δύο κατηγορίες Οπτικής Αναπηρίας: τη βλάβη της μακρινής και τη βλάβη της κοντινής όρασης.

Η βλάβη της μακρινής όρασης μπορεί να είναι:

- Ήπια – οπτική οξύτητα χειρότερη από 6/12 έως 6/18
- Μέτρια – οπτική οξύτητα χειρότερη από 18/6 έως 6/60

- Σοβαρή – οπτική οξύτητα χειρότερη από 6/60 έως 3/60
- Τύφλωση – οπτική οξύτητα χειρότερη από 3/60

Η βλάβη της κοντινής όρασης προϋποθέτει:

- Οπτική οξύτητα χειρότερη από N6 ή M.08 στα 40cm.

Στην παρούσα εργασία, τα άτομα που εμπίπτουν στις ανωτέρω κατηγορίες θα αναφέρονται για λόγους συντομίας ως ΑμΟΑ (Άτομα με Οπτική Αναπηρία).

1.2 Επιπτώσεις της Οπτικής Αναπηρίας

Τα μικρά παιδιά με πρόωμη έναρξη σοβαρής οπτικής αναπηρίας μπορεί να παρουσιάσουν καθυστερημένη κινητική, γλωσσική, συναισθηματική, κοινωνική και γνωστική ανάπτυξη, με συνέπειες δια βίου. Τα παιδιά σχολικής ηλικίας με προβλήματα όρασης μπορούν επίσης να βιώσουν χαμηλότερα επίπεδα εκπαιδευτικής επιτυχίας. (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, 2021)

Επιπλέον, η οπτική αναπηρία επηρεάζει σοβαρά την ποιότητα ζωής μεταξύ των ενήλικων πληθυσμών. Οι ενήλικες με οπτική αναπηρία έχουν συχνά χαμηλότερα ποσοστά συμμετοχής και παραγωγικότητας στο εργατικό δυναμικό και υψηλότερα ποσοστά κατάθλιψης και άγχους. (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, 2021)

Στην περίπτωση των ηλικιωμένων, η Οπτική Αναπηρία μπορεί να επιφέρει κοινωνική απομόνωση, δυσκολία στο περπάτημα, υψηλότερο κίνδυνο πτώσεων και καταγμάτων και μεγαλύτερη πιθανότητα πρόωρης εισόδου σε οίκους ευγηρίας ή φροντίδας. (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, 2021)

Πέραν των προσωπικών ψυχοκοινωνικών επιπτώσεων, η οπτική αναπηρία των ατόμων που βρίσκονται σε ηλικία εργασίας (15-64 ετών) έχει σημαντικό αντίκτυπο στην παραγωγικότητα και είναι ικανή να επιφέρει σοβαρή οικονομική ζημία παγκοσμίως. (Marques et al., 2021)

Πιο συγκεκριμένα, η μείωση της όρασης συνιστά τεράστια παγκόσμια οικονομική επιβάρυνση με εκτιμώμενη ετήσια παγκόσμια απώλεια παραγωγικότητας περίπου 411 δισεκατομμυρίων δολαρίων αγοραστικής δύναμης (Burton et al., 2021). Αυτός ο αριθμός

υπερβαίνει κατά πολύ το εκτιμώμενο οικονομικό κόστος για την περίθαλψη και την αντιμετώπιση των αναγκών των ΑμΟΑ που υπολογίζεται σε περίπου 25 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, 2021).

Αντίστοιχη μελέτη των των Marques et al. (2021) αναδεικνύει ότι περίπου 160,7 εκατομμύρια ΑμΟΑ βρίσκονται σε ηλικία εργασίας και υπολόγισε ότι το ετήσιο κόστος των πιθανών απωλειών παραγωγικότητας λόγω οπτικής αναπηρίας των ανθρώπων αυτών κυμαίνεται μεταξύ 322,1 και 518,7 δισ. δολαρίων αγοραστικής δύναμης, που μεταφράζεται σε απώλεια περίπου 0,3% του παγκόσμιου ΑΕΠ.

Γίνεται φανερό ότι η οπτική αναπηρία των ατόμων που βρίσκονται σε παραγωγική ηλικία έχει σημαντικό οικονομικό αντίκτυπο παγκοσμίως. Ως εκ τούτου, η ανάγκη για περαιτέρω ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογικών στρατηγικών που να βοηθούν τα άτομα με προβλήματα όρασης να συμμετέχουν ισότιμα στην κοινωνία, την εκπαίδευση και την εργασία μπορεί μεταξύ άλλων να προσφέρει σημαντικά οφέλη στην παγκόσμια οικονομία.

1.3 Κοινωνικοί παράγοντες που επηρεάζουν τα ΑμΟΑ

Παρατηρείται ότι τις τελευταίες δεκαετίες, το ποσοστό των ατόμων που έχουν χάσει την όρασή τους λόγω ασθένειας μειώνεται χάρις στα συστήματα πρόληψης και περίθαλψης που διαθέτουν οι σύγχρονες κοινωνίες (Zafar et al., 2022). Ωστόσο, σε απόλυτους αριθμούς, το καθαρό πλήθος των ΑμΟΑ αυξάνεται κάθε χρόνο διότι αυξάνονται τόσο ο παγκόσμιος πληθυσμός, όσο και το προσδόκιμο ζωής. Ιδιαίτερα στις ηλικίες άνω των 65 ετών η αύξηση της συχνότητας εμφάνισης της οπτικής αναπηρίας είναι συνεχής (Zafar et al., 2022).

Αντίστοιχα δεδομένα προκύπτουν και από την έκθεση των Collaborators G. B. D. & Rawal (2021) η οποία αναδεικνύει ότι οι συντονισμένες προσπάθειες των επιστημόνων τις τελευταίες δεκαετίες και συγκεκριμένα η πρωτοβουλία «Vision 2020: The Right to Sight» που ξεκίνησε από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας το 1999 για την πρόληψη της τύφλωσης, έχουν αποφέρει σημαντικά οφέλη, μειώνοντας κατά 27% τον επιπολασμό της τύφλωσης. Παρόλα αυτά, ο συνολικός αριθμός των ατόμων τόσο με τύφλωση, όσο και με μέτρια ή και σοβαρή οπτική αναπηρία, έχει αυξηθεί σημαντικά -κατά 51% και 92%, αντίστοιχα- κατά την ίδια περίοδο (Collaborators G. B. D. & Rawal, 2021).

Το κυριότερο αίτιο για την αύξηση αυτή είναι ότι τα συστήματα οφθαλμικής περίθαλψης δεν μπόρεσαν να συμβαδίσουν με τη γήρανση και την αύξηση του πληθυσμού, καθώς και με τις αλλαγές στον σύγχρονο τρόπο ζωής -όπως είναι η αυξημένη χρήση οθονών- που στις μέρες μας οδηγούν σε αύξηση του αριθμού των οφθαλμικών παθήσεων (Collaborators G. B. D. & Rawal, 2021). Εν κατακλείδι, ο βαθμός ανάπτυξης των συστημάτων περίθαλψης είναι καθοριστικής σημασίας την ποιότητα ζωής των ΑμΟΑ.

Επιπρόσθετα, ο επιπολασμός της τύφλωσης σε περιοχές της Δυτικής και της Ανατολικής Υποσαχάριας Αφρικής (11,1 και 10,7 ΑμΟΑ ανά 1000 άτομα, αντίστοιχα) και της Νοτιοανατολικής Ασίας (10 ΑμΟΑ ανά 1000 άτομα) είναι πέντε φορές υψηλότερος σε σχέση με τις ανεπτυγμένες οικονομικά χώρες όπου ο επιπολασμός της τύφλωσης δεν υπερβαίνει τα 2 ΑμΟΑ ανά 1000 άτομα (Keel & Cieza, 2021). Γενικότερα, ο αριθμός των ΑμΟΑ σε περιοχές χαμηλού και μεσαίου οικονομικού επιπέδου παρατηρείται να είναι ως και τέσσερις φορές υψηλότερος σε σχέση με τις περιοχές υψηλού οικονομικού επιπέδου (Collaborators G. B. D. & Rawal, 2021). Ως εκ τούτου, ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα ζωής των ΑμΟΑ είναι το επίπεδο ανάπτυξης της εκάστοτε χώρας.

Και βέβαια, σε σύνδεση με τα προηγούμενα η οικονομική κατάσταση του ίδιου του ΑμΟΑ και της οικογένειάς του μπορεί να επηρεάσει καθοριστικά την πρόσβασή του τόσο στην πρόληψη και τη θεραπεία, όσο και την πρόσβασή του στις νέες τεχνολογίες που θα μπορούσαν να διευκολύνουν την καθημερινότητά του (Jaggernath et al., 2014). Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό οι τεχνολογικές λύσεις που προτείνονται για τη διευκόλυνση της πλοήγησης των ΑμΟΑ να είναι οικονομικά προσιτές για τα ίδια τα άτομα και τις οικογένειές τους.

1.4 Οι κυριότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα ΑμΟΑ κατά την πλοήγηση

Οι κυριότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα ΑμΟΑ στην καθημερινότητά τους είναι η ανίχνευση της θέσης ενός αντικειμένου, η πλοήγηση σε άγνωστα περιβάλλοντα, η αντίληψη της κυκλοφορίας, η κινητικότητα, τα μη ασφαλή πεζοδρόμια, η ύπαρξη εμποδίων σε αυτά, ο φόβος της πτώσης, η δυσκολία στην ανάγνωση των αριθμών των λεωφορείων, ο αποπροσανατολισμός, η δυσκολία στην ανάγνωση των ονομάτων των δρόμων, η αναγνώριση προσώπων και η εκτέλεση δραστηριοτήτων της καθημερινής ζωής (Riazi et al., 2016).

Αδιαμφισβήτητα, τα προβλήματα όρασης ποικίλουν σε μορφή και σε βαθμό σοβαρότητας. Η οπτική οξύτητα από μόνη της δεν είναι πάντα καλός προγνωστικός δείκτης της λειτουργικότητας ενός ατόμου. Ένα ΑμΟΑ με σχετικά καλή οπτική οξύτητα μπορεί να έχει δυσκολίες στην καθημερινή του λειτουργία, ενώ ένα ΑμΟΑ με χειρότερη οπτική οξύτητα μπορεί να λειτουργεί αρκετά καλά εάν η ζωή του έχει χαμηλές οπτικές απαιτήσεις. Ως εκ τούτου, η μέτρηση της γενικής λειτουργικότητας ενός ατόμου εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες που σχετίζονται με τις απαιτήσεις της καθημερινότητας, την γενική κατάσταση της υγείας του και το είδος της οπτικής αναπηρίας, καθώς και από την πρόσβαση στη θεραπεία. (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, 2021)

Ωστόσο, η ασφαλής και αποτελεσματική πλοήγηση αποτελεί κοινό παρονομαστή της καθημερινής προσπάθειας που καταβάλλουν τα ΑμΟΑ και σχετίζεται τόσο με την ανάπτυξη δεξιοτήτων *προσανατολισμού και κινητικότητας* (Sánchez et al., 2013), όσο και με την τεχνολογική πρόοδο και τα διαθέσιμα μέσα πλοήγησης.

Πιο συγκεκριμένα, ο *προσανατολισμός* αναφέρεται στην ικανότητα γνώσης της τρέχουσας θέσης και της διαδρομής που σκοπεύει να κάνει ένα άτομο, προκειμένου να μεταφερθεί από ένα δωμάτιο σε ένα άλλο, ή να μεταβεί για παράδειγμα σε κάποιο κατάστημα. Από την άλλη, η *κινητικότητα* αναφέρεται στην ικανότητα του ΑμΟΑ για ασφαλή και αποτελεσματική μετακίνηση προκειμένου, για παράδειγμα, να μεταβεί σε μία στάση χωρίς να πέσει, να διασχίσει δρόμους και να κάνει ασφαλή χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς. (Kuriakose et al, 2020)

Μελέτες δείχνουν ότι οι άνθρωποι που χάνουν την όρασή τους σε μικρή ηλικία συχνά μαθαίνουν να χρησιμοποιούν τις ακουστικές τους δεξιότητες όπως ο ηχοεντοπισμός για την αποτελεσματική πλοήγησή τους στο περιβάλλον (Schenkman, 2017, Thaler & Goodale, 2016). Μερικά ΑμΟΑ χρησιμοποιούν τόσο τις ακουστικές, όσο και τις οσφρητικές τους αισθήσεις για να βοηθηθούν κατά την πλοήγησή τους (Tapu, Mocanu & Zaharia, 2020). Τα ορόσημα και οι ενδείξεις παίζουν ζωτικό ρόλο στην εύρεση του προσανατολισμού κατά την πλοήγηση. Τα δεδομένα των παραπάνω μελετών παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τον σχεδιασμό και την αναβάθμιση των συσκευών και των ρομπότ-οδηγών για τα ΑμΟΑ που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.

Σκοπός της έρευνας

Καθώς παγκοσμίως οι αριθμοί των ατόμων με προβλήματα όρασης αυξάνονται, έχει αυξηθεί και η ανάγκη ανεύρεσης λύσεων για την πλοήγηση και τον προσανατολισμό τους. Στην Ελλάδα ακόμη και σήμερα δεν υπάρχει μεγάλη ενημέρωση σχετικά με τις σύγχρονες τεχνολογίες πλοήγησης των ΑμΟΑ και τις δυνατότητες αξιοποίησής τους. Έχοντας υπ' όψιν αυτήν την κατάσταση, η παρούσα εργασία αποσκοπεί στο να συμβάλλει έστω και κατ' ελάχιστον στην πληροφόρηση παρουσιάζοντας με όσο γίνεται πιο κριτικό τρόπο τα αποτελέσματα των σύγχρονων ερευνητικών προσπαθειών σχετικά με την τεχνολογική καινοτομία στην υποστήριξη της πλοήγησης των ΑμΟΑ.

Με βάση τα παραπάνω, ο σκοπός της παρούσας βιβλιογραφικής ανασκόπησης, είναι η μελέτη και η παρουσίαση στην ελληνική επιστημονική κοινότητα μέσω υψηλής υποστηρικτικής τεχνολογίας, όπως είναι τα ρομπότ και ο ρόλος που διαδραματίζουν στην πλοήγηση των ΑμΟΑ. Είναι αναγκαίο να παρουσιαστεί η τρέχουσα κατάσταση αυτού του προβλήματος σε ερευνητές που θέλουν να συνεισφέρουν περαιτέρω σε αυτόν τον τομέα. Ως εκ τούτου, η παρούσα εργασία επιχειρεί να παρουσιάσει την τελευταία λέξη της τεχνολογίας βασισμένη σε μελέτες που έχουν γίνει μέχρι τώρα για την πλοήγηση των ΑμΟΑ, αναδεικνύοντας παράλληλα τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς αυτών των τεχνολογικών αυτών προτάσεων.

Ερευνητικά ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα τα οποία επιχειρεί να απαντήσει η παρούσα βιβλιογραφική μελέτη είναι τα ακόλουθα:

1. Ποια είναι τα σύγχρονα διαθέσιμα μέσα υποστηρικτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους και ποιες είναι οι επικρατέστερες;
2. Ποιες είναι οι βασικότερες ελλείψεις, αλλά και οι θετικότερες προοπτικές στον τομέα της ρομποτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ;
3. Ποιες είναι οι διαφορές και οι ομοιότητες των ρομπότ με άλλα μέσα υψηλής υποστηρικτικής τεχνολογίας, όπως είναι οι φορητές συσκευές (wearable devices) και τα έξυπνα μπαστούνια (smart canes);
4. Πώς μπορούν τα μέσα υποστηρικτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ να συμβάλλουν στη βελτίωση της συμπερίληψης των παιδιών με οπτική αναπηρία στην εκπαίδευση;

Μεθοδολογία

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη διερεύνηση των παραπάνω ερωτημάτων είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση.

Η αναζήτηση και η επιλογή των άρθρων έγινε σε βάσεις δεδομένων, όπως η Google Scholar, η Scopus, η Eric και η Science Direct καθώς και σε επιστημονικά περιοδικά σχετικά με τη θεματική της παρούσας εργασίας, όπως είναι το Disability and Rehabilitation: Assistive Technology και το Assistive Technology. Ως όροι ευρετηριασμού (λέξεις-κλειδιά) για την αναζήτηση των άρθρων χρησιμοποιήθηκαν συνδυαστικά οι εξής λέξεις-κλειδιά: Οπτική Αναπηρία (Visual Impairment), Τύφλωση (Blindness), Υποστηρικτική Τεχνολογία (Assistive Devices), Φορητές Συσκευές (Portable Devices), Έξυπνο Μπαστούνι (Smart Cane), Ρομπότ (Robots), Σκύλος-Ρομπότ (Robo-dog), Ρομπότ Αρωγής (Assistive Robots). Στην αναζήτηση αυτή χρησιμοποιήθηκαν τελεστές συνδυασμού των παραπάνω λέξεων-κλειδιών, όπως το OR και το AND (τελεστές Boole).

Για την τελική επιλογή των άρθρων τέθηκαν τα εξής κριτήρια συμπερίληψης και αποκλεισμού:

1. Οι έρευνες που εξετάστηκαν να είναι της τελευταίας 10ετίας, ούτως ώστε να συμπεριληφθούν όσο το δυνατόν οι πιο σύγχρονες επιστημονικές προσεγγίσεις πάνω στη θεματική της υποστηρικτικής τεχνολογίας σε άτομα με ΔΑΦ.
2. Η γλώσσα συγγραφής των άρθρων να είναι γραμμένη στα αγγλικά, τα ελληνικά, τα ισπανικά ή τα πορτογαλικά.
3. Τα υπό μελέτη άρθρα να έχουν δημοσιευθεί σε επιστημονικά περιοδικά, σε πρακτικά συνεδρίων ή σε συλλογικούς τόμους.
4. Ο τίτλος τους να είναι συναφής με το θέμα της παρούσας βιβλιογραφικής ανασκόπησης.
5. Να πληρούν το κριτήριο της αξιοπιστίας, καθώς ορίστηκε ως κριτήριο να έχουν δημοσιευθεί αυτές σε επιστημονικά περιοδικά, στα οποία αξιολογούνται από ομότιμους (peer-reviewed journals).

Με βάση το παραπάνω πλαίσιο αναζήτησης βρέθηκαν περίπου 18.000 άρθρα. Ωστόσο, έπειτα από την αφαίρεση των διπλότυπων, την επιλογή όσων είχαν πλήρη πρόσβαση και την αναζήτηση άρθρων από τις λίστες αναφορές των υπό μελέτη άρθρων, μελετήθηκαν 282 άρθρα. Εξ αυτών εξετάστηκαν στην παρούσα βιβλιογραφική επισκόπηση τα 116, διότι κρίθηκε ότι η θεματολογία τους ήταν πιο σχετική με την προβληματική, την οποία αποπειράθηκε να διερευνήσει η συγκεκριμένη εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΛΟΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑμΟΑ

Η υποστηρικτική τεχνολογία για την πλοήγηση των ΑμΟΑ αφορά τις τεχνολογίες, τον εξοπλισμό, τις συσκευές, τις υπηρεσίες, τα ψηφιακά συστήματα, τις διαδικασίες και τις παρεμβάσεις στον περιβάλλοντα χώρο που επιτρέπουν στα ΑμΟΑ να ξεπερνούν διάφορα φυσικά, κοινωνικά και άλλα εμπόδια προσβασιμότητας, ούτως ώστε να ζουν ενεργά, παραγωγικά και ανεξάρτητα ως ισότιμα μέλη της κοινωνίας (Bhowmick & Hazarika, 2017). Ως εκ τούτου, τα μέσα υποστηρικτικής τεχνολογίας πλοήγησης διαδραματίζουν ολοένα και σημαντικότερο ρόλο στη ζωή των ΑμΟΑ και έχουν αναδειχθεί σε σημαντική πρόκληση στον ερευνητικό τομέα των υποστηρικτικών τεχνολογιών.

Προκειμένου να γίνει κατανοητός ο σχεδιασμός και η λειτουργία συνθετότερων συστημάτων πλοήγησης για ΑμΟΑ, όπως είναι τα ρομπότ, είναι σημαντικό να δοθεί πρώτα μία ευρεία εικόνα των σύγχρονων διαθέσιμων τεχνολογιών που αυτά εφαρμόζουν. Για το σκοπό αυτό, το παρόν κεφάλαιο επιχειρεί μία συνοπτική παρουσίαση των σύγχρονων συσκευών και του λογισμικού υποστηρικτικής τεχνολογίας που αναπτύσσεται για την πλοήγηση των ΑμΟΑ.

2.1 Ταξινόμηση της Υποστηρικτικής Τεχνολογίας με βάση την υπηρεσία που παρέχει στον χρήστη

Οι συσκευές υποστηρικτικής τεχνολογίας για ΑμΟΑ μπορούν να διακριθούν σε συσκευές πλοήγησης για εξωτερικούς και εσωτερικούς χώρους (Cari & Toda, 2011). Οι περισσότερες συσκευές που αφορούν την πλοήγηση σε εξωτερικούς χώρους βασίζονται στο Global Positioning System (GPS) για τον εντοπισμό της θέσης του ατόμου και στο Laser Range Finder (LRF) για την αποφυγή εμποδίων. Ωστόσο, όσον αφορά την πλοήγηση σε εσωτερικούς χώρους, η οποία αποτελεί μία καθόλου αμελητέα πρόκληση για τα ΑμΟΑ (Feng et al., 2015), έχουν αναπτυχθεί ποικίλες τεχνολογίες που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.

Μια χρήσιμη ταξινόμηση συστημάτων πλοήγησης, συσκευών και μεθόδων αναγνώρισης σύμφωνα με τους Lin, Lee & Chiang (2017) περιλαμβάνει τρεις κατηγορίες ανάλογα με την υπηρεσία που παρέχουν στο χρήστη:

Τα Ηλεκτρονικά Βοηθήματα Προσανατολισμού (Electronic Orientation Aids - EOAs) έχουν σχεδιαστεί για να βοηθούν τα ΑμΟΑ στην εύρεση της επιθυμητής διαδρομής. Μία ή περισσότερες κάμερες και διαφορετικοί αισθητήρες συνήθως συνδυάζονται για τον εντοπισμό εμποδίων και διαθέσιμων διαδρομών (Hoang et al., 2015). Τα συστήματα EOAs απαιτούν συνήθως πληθώρα πληροφοριών για τον περιβάλλοντα χώρο. Βασικό τους μειονέκτημα είναι ότι προϋποθέτουν μία σύνθετη υπολογιστική συσκευή που να παρέχει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο η οποία δύσκολα συνδυάζεται με μια ελαφριά φορητή συσκευή πλοήγησης.

Οι Συσκευές Εντοπισμού Θέσης (Position Locator Devices - PLDs) χρησιμοποιούνται για να εντοπίζουν την ακριβή θέση του χρήστη εφαρμόζοντας τις τεχνολογίες του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού Θέσης (GPS) και του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Ένας συνδυασμός συστημάτων πλοήγησης που βασίζονται σε GPS και GIS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καθοδήγηση του ΑμΟΑ από την τρέχουσα τοποθεσία του προς τον επιθυμητό προορισμό. Ωστόσο, σύμφωνα με τους Lin, Lee & Chiang (2017), τα PLDs χρειάζεται συνήθως να συνδυαστούν και με άλλους αισθητήρες προκειμένου να ανιχνεύσουν τα πιθανά εμπόδια που υπάρχουν σε μία διαδρομή. Ένας επιπλέον περιορισμός των PLDs είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε εξωτερικούς χώρους και όχι σε εσωτερικούς χώρους, καθώς λαμβάνουν σήματα από δορυφόρο.

Τα Ηλεκτρονικά Ταξιδιωτικά Βοηθήματα (Electronic Travel Aids - ETAs) είναι γενικές βοηθητικές συσκευές που βοηθούν τα ΑμΟΑ να αποφεύγουν τα εμπόδια. Τα ETAs είναι σε θέση να βελτιώσουν το εύρος ανίχνευσης εμποδίων και μπορούν επίσης να παρέχουν καλύτερο προσανατολισμό στον χρήστη (Roentgen et al., 2012). Ως εκ τούτου, μπορούν να διευκολύνουν τις ασφαλείς, απλές και άνετες εργασίες πλοήγησης. Ένα ETA αποτελείται από τις μονάδες εισόδου ανίχνευσης για τη λήψη δεδομένων από το περιβάλλον και έναν ή περισσότερους τρόπους ανάδρασης για να παρέχουν πληροφορίες στον χρήστη κατά την πλοήγηση.

2.2 Ταξινόμηση της Υποστηρικτικής Τεχνολογίας με βάση την τεχνολογία που εφαρμόζει

Σύμφωνα με την μελέτη των Kuriakose et al. (2020) οι σύγχρονες τεχνολογίες πλοήγησης για ΑμΟΑ μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με το είδος της τεχνολογίας στο οποίο βασίζονται:

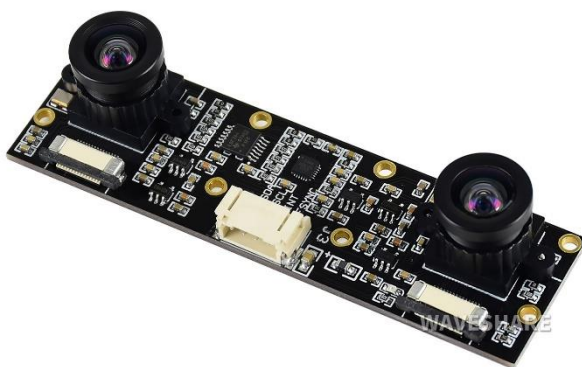
1. **Συστήματα οπτικής αναμετάδοσης**, όπως οι στερεο-κάμερες, οι κάμερες RGB-D, το δίκτυο καμερών παρακολούθησης IP, το VSLAM, το Microsoft Kinect και τα συστήματα χωρικής ανίχνευσης με λέιζερ LASS.
2. **Μη οπτικά συστήματα δεδομένων**, όπως τα ασύρματα δίκτυα ραδιοκυμάτων, οι φάροι Bluetooth, οι αισθητήρες υπερήχων και οι αισθητήρες υπερύθρων.
3. **Συστήματα που βασίζονται σε χάρτες**
4. **Συστήματα με στερεοφωνικό ήχο**
5. **Λύσεις που βασίζονται σε smartphone**

2.2.1 Συστήματα οπτικής αναμετάδοσης

Τα συστήματα οπτικής αναμετάδοσης χρησιμοποιούν αλγόριθμους όρασης μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή και οπτικούς αισθητήρες που περιλαμβάνουν διαφορετικούς τύπους κάμερας για τη λήψη των οπτικών δεδομένων από το περιβάλλον. Ένα σύστημα οπτικής αναμετάδοσης προσπαθεί να εντοπίσει πιθανά εμπόδια και στη συνέχεια να καθοδηγήσει τον χρήστη να κινηθεί με ασφάλεια παρέχοντάς του οδηγίες για την αποφυγή τους. Με βάση την διαθέσιμη συσκευή λήψης της οπτικής απεικόνισης, αξίζει να αναφερθούν τα παρακάτω συστήματα:

Στερεο-Κάμερα

Η στερεο-κάμερα, είναι μία κάμερα με δύο ή και περισσότερους φακούς που της επιτρέπουν να υπολογίζει πληροφορίες βάθους του τρισδιάστατου χώρου και χρησιμοποιείται πολύ συχνά στα σύγχρονα συστήματα πλοήγησης των ΑμΟΑ.



Εικόνα 1. Στερεο-κάμερα (IMX219-83 Camera)

Αξίζει να ανατρέξουμε πίσω στο 2001 όταν οι Bourbakis και Kavrakι παρουσίασαν ένα από τα πρώτα συστήματα πλοήγησης για την υποστήριξη των ΑμΟΑ το οποίο ονομάστηκε Tyflos. Το σύστημα Tyflos αποτελείτο από επτά βασικά στοιχεία: ένα ζευγάρι γυαλιά, κάμερες όρασης, λέιζερ σαρωτή περιβάλλοντος, μικρόφωνο, φορητό υπολογιστή, ηχείο

αυτιού και σύστημα επικοινωνίας. Δύο οπτικές κάμερες λάμβαναν τρισδιάστατες εικόνες από το περιβάλλον. Το σύστημα μπορούσε να καταγράφει τον περιβάλλοντα χώρο σε μορφή βίντεο, να μετατρέπει τα οπτικά δεδομένα σε λεκτικές περιγραφές και να παρέχει στον χρήστη την αντίστοιχη περιγραφή. Εναλλακτικά, το σύστημα παρείχε τη δυνατότητα διερεύνησης του περιβάλλοντος μέσω λεκτικής επικοινωνίας κατόπιν αιτήματος του χρήστη.

Αντίστοιχα, το σύστημα πλοήγησης που πρότειναν το 2016 οι Schwarze et al. ενσωματώνει μια διόφθαλμη στερεο-κάμερα, μία μονάδα μέτρησης αδράνειας (IMU), καθώς και ένα ζευγάρι ακουστικά σε ένα κράνος ποδηλάτου. Όταν ένα αντικείμενο ανιχνεύεται σε μια συγκεκριμένη θέση, μετατρέπεται σε πηγή ήχου και το ηχητικό σήμα μεταφέρεται στον χρήστη μέσω των ακουστικών. Η συγκεκριμένη τεχνική ονομάζεται Διφωνική Απόδοση (Binaural Rendering) και αναφέρεται στην τεχνική δημιουργίας ήχων που μπορούν να σηματοδοτήσουν την ύπαρξη αντικειμένων σε ορισμένη απόσταση και κατεύθυνση χρησιμοποιώντας ακουστικά. Το σύστημα είναι αντίστοιχο με αυτά που χρησιμοποιούν τα σύγχρονα αυτοκίνητα για την υποβοήθηση του πάρκινγκ και προορίζεται να λειτουργεί μόνο σε εξωτερικό περιβάλλον.

Το 2020, οι Yohannes et al., εφάρμοσαν μια μέθοδο πλοήγησης των ΑμΟΑ σε εξωτερικούς χώρους με τη βοήθεια μιας στερεο-κάμερας ZED. Πρότειναν ένα δίκτυο βαθιάς προσοχής (deep attention network) για την αυτόματη ανίχνευση και αναγνώριση αντικειμένων. Τα αντικείμενα δεν περιορίζονται μόνο σε ανθρώπους ή σε αυτοκίνητα, αλλά περιλαμβάνουν και παντοπωλεία και φανάρια, προκειμένου να βοηθήσουν τους τυφλούς να διασχίσουν έναν δρόμο ή να κάνουν αγορές σε ένα κατάστημα. Δεδομένου ότι οι δημόσιες βάσεις δεδομένων είναι λιγοστές, δημιούργησαν επίσης μία νέα βάση δεδομένων με εικόνες που λαμβάνονται από τη στερεο-κάμερα ZED και συλλέγονται από το Google Street View. Η μέθοδός των Yohannes et al. πέτυχε ποσοστό ακρίβειας ανίχνευσης ως και 81%.

Οι Ganesh και Sreekumar το 2022 πρότειναν ένα φορητό οπτικό βοήθημα που θα επιτρέπει σε άτομα με προβλήματα όρασης να κινούνται αυτόνομα χωρίς την ανάγκη περαιτέρω υποστήριξης, χρησιμοποιώντας μια διάταξη ανίχνευσης ζωντανών αντικειμένων. Για τον εντοπισμό πιθανών εμποδίων πρότειναν έναν μηχανισμό επεξεργασίας εικόνας μέσω κάμερας. Ο χρήστης ΑμΟΑ ειδοποιείται για την ύπαρξη ενός εμποδίου και για τη θέση στην οποία βρίσκεται μέσω φωνητικής εξόδου. Στην πλατφόρμα Open CV, η γλώσσα προγραμματισμού Python και το μοντέλο Raspberry Pi 3 - B συνδυάζονται για την

ανάπτυξη τεχνητής όρασης. Το σύστημα των Ganesh και Sreekumar παρουσιάζει ακρίβεια 80% στην ανάγνωση κειμένου και 90% στην ανίχνευση αντικειμένου στο περιβάλλον, ποσοστά εξαιρετικά υψηλά.

Κάμερες RGB-D

Η κάμερα RGB-D είναι μία κάμερα που μπορεί να παρέχει τόσο οπτικά δεδομένα βάθους, όσο και δεδομένα χρώματος (RGB) κατά τη χρήση της.



Εικόνα 2. Κάμερα RGB-D (SLAM ROS ZED Kinect 3D RGB-D Depth Camera)

Αρχικά, οι Lee Y. και Medioni το 2011 πρότειναν ένα εξάρτημα τύπου γιλέκου με ενσωματωμένη κάμερα RGB-D για πλοήγηση σε πραγματικό χρόνο με τη δυνατότητα αποφυγής εμποδίων. Η δυνατότητα διέλευσης για τον εντοπισμό ελεύθερων διαδρομών και κατειλημμένων χώρων (εμποδίων) επικοινωνείται στον χρήστη ΑμΟΑ με οδηγίες όπως «Go straight» και «Stop» οι οποίες παρέχονται μέσω τεσσάρων μικροκινητήρων δόνησης που βρίσκονται στερεωμένοι στο γιλέκο.

Το 2015 οι Xiao et al. πρότειναν ένα νέο σύστημα πλοήγησης για ΑμΟΑ που χρησιμοποιεί μία κάμερα RGB-D για την ανίχνευση αντικειμένων και την χαρτογράφηση του περιβάλλοντος χώρου η οποία επικοινωνεί με τον χρήστη, τόσο με ακουστική, όσο και με δονητική ανάδραση. Το σύστημα χρειάζεται πρόσβαση στο Διαδίκτυο για να λειτουργήσει, αλλά μπορεί να καθοδηγήσει ένα ΑμΟΑ, τόσο σε εσωτερικό, όσο και σε εξωτερικό χώρο.

Το 2016 το σύστημα που προτάθηκε από τους Lee και Medioni περιλάμβανε επίσης μια κάμερα RGB-D για τη διευκόλυνση της πλοήγησης σε εσωτερικούς χώρους. Επιπλέον, το σύστημα αποτελείτο από έναν τυπικό φορητό υπολογιστή που διαθέτει λογισμικό πλοήγησης, ένα smartphone και ένα γιλέκο απτικής ανάδρασης. Με βάση τις φωνητικές οδηγίες του χρήστη, το σύστημα μπορούσε να αναγνωρίσει τα σημεία έναρξης και προορισμού. Εκτός από την αποθήκευση των δεδομένων χαρτογράφησης του χώρου, το σύστημα μπορούσε επίσης να δημιουργεί χάρτες ενόσω ο χρήστης ταξιδεύει.

Ανάλογο σύστημα είχε προταθεί το 2015 από τους Joseph et al. το οποίο χρησιμοποιούσε έναν συνδυασμό φορητών αισθητήρων για την παροχή οδηγιών πλοήγησης σε ΑμΟΑ. Με τη χρήση φορητών καμερών RGB-D και IMU, το σύστημα παρείχε ανίχνευση αντικειμένων μέσω των λειτουργιών ανάδρασης ήχου και δόνησης. Επιπλέον, οι χρήστες ήταν σε θέση να λαμβάνουν αποφάσεις χρησιμοποιώντας αισθητήρες κοινωνικής δικτύωσης (όπως αναρτήσεις στο Facebook, tweets, κ.λπ.). Οι αισθητήρες κοινωνικής δικτύωσης ανέλυαν το περιεχόμενο που είχε δημοσιευτεί από τρίτους και μέσω αυτού τα ΑμΟΑ μπορούσαν να λάβουν για παράδειγμα προειδοποιήσεις για διάφορα περιστατικά ή ατυχήματα που συνέβησαν σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Αξιοποιώντας αυτές τις πληροφορίες, ο χρήστης ΑμΟΑ μπορούσε να αποφασίσει αν θα ακολουθήσει ή όχι τη διαδρομή που του προτείνει το σύστημα πλοήγησης.

Τέλος, το Έξυπνο Βοήθημα Επίγνωσης της Κατάστασης και Πλοήγησης (Intelligent Situational Awareness and Navigation Aid - ISANA) σύμφωνα με τους Li et al. (2018) αποτελεί ένα ηλεκτρονικό πρωτότυπο Έξυπνο Μπαστούνι (Smart Cane) που χρησιμοποιεί το λογισμικό Google Tango (Marder-Eppstein, 2016) ως φορητή πλατφόρμα υπολογιστών. Με τη βοήθεια μίας ενσωματωμένης κάμερας RGB-D, το ISANA εφάρμοσε μια αποτελεσματική μέθοδο ανίχνευσης και αποφυγής εμποδίων με βάση τον αλγόριθμο φίλτρου Kalman (TSM-KF). Οι ίδιοι ερευνητές σχεδίασαν επίσης μια πολυτροπική διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (Human-Machine Interface) με αλληλεπίδραση ομιλίας-ήχου και ισχυρή απτική αλληλεπίδραση μέσω ενός ηλεκτρονικού «έξυπνου» μπαστουιού για την ασφαλή πλοήγηση του χρήστη.

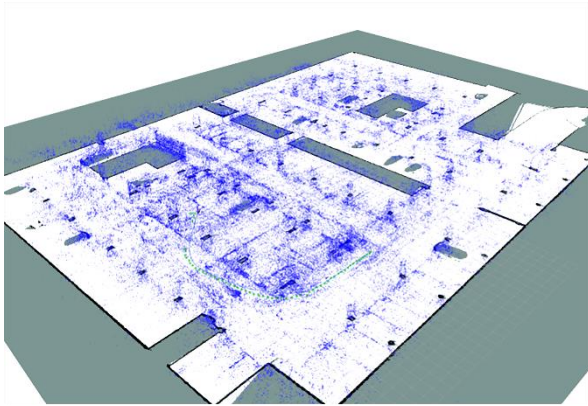
Δίκτυο καμερών παρακολούθησης IP

Στη βιβλιογραφία παρουσιάζονται συχνά συστήματα πλοήγησης εσωτερικών χώρων όπως είναι το σπίτι ή ο χώρος εργασίας, όπου χρησιμοποιούνται δίκτυα καμερών παρακολούθησης IP.

Ενδεικτικά, το σύστημα που πρότειναν οι Chaccour και Badr (2015) για την πλοήγηση των ΑμΟΑ σε εσωτερικό χώρο, περιλαμβάνει την τοποθέτηση καμερών στην οροφή του κάθε δωματίου. Οι φωτογραφίες που λαμβάνονται από τις κάμερες αναλύονται από έναν αλγόριθμο όρασης με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού. Έτσι, με τη βοήθεια μιας απλής διαδραστικής εφαρμογής για κινητά τηλέφωνα εγκατεστημένη στο smartphone,

ο χρήστης μπορεί να λαμβάνει πληροφορίες για τον εσωτερικό χώρο και να φτάσει στον προορισμό του χωρίς να χρειάζεται να επιβαρύνει με άλλες συσκευές στο σώμα του.

Οπτικός Ταυτόχρονος Εντοπισμός και Χαρτογράφηση (VSLAM)



Εικόνα 3. Ψηφιακή τρισδιάστατη απεικόνιση χώρου μέσω VSLAM. (Πηγή: Intermodalics, Visual SLAM and Cartographer)

Ο Οπτικός Ταυτόχρονος Εντοπισμός και Χαρτογράφηση (Visual Simultaneous Localization and Mapping - VSLAM) είναι ένας αλγόριθμος που προτάθηκε για πρώτη φορά από τους Karlsson et al. το 2005 με στόχο τον εντοπισμό αντικειμένων και τη χαρτογράφηση του περιβάλλοντος χώρου χρησιμοποιώντας κάμερα. Δεδομένου ότι το σύστημα αυτό απαιτεί μόνο έναν αισθητήρα κάμερας και μπορεί να

λειτουργήσει χωρίς άλλους αισθητήρες, έγινε πολύ δημοφιλές στον τομέα των συστημάτων πλοήγησης.

Βάσει αυτού, οι Bai et al. (2018) πρότειναν ένα σύστημα πλοήγησης των ΑμΟΑ που χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο VSLAM για την χαρτογράφηση εσωτερικών χώρων και στην κατασκευή εικονικών τυφλών δρόμων. Το σύστημα των Bai et al. χρησιμοποιεί μια δυναμική στρατηγική επιλογής μικρών ενδιάμεσων σταθμών για να βοηθήσει τους χρήστες να φτάσουν στον τελικό προορισμό τους αποφεύγοντας πιθανά εμπόδια κατά τη διαδρομή. Το VSLAM είχε δοκιμαστεί νωρίτερα επιτυχώς από τους Bai et al. το 2017 σε συνδυασμό με ένα κράνος με στερεοφωνικές κάμερες, ένα smartphone που βασίζεται σε Android, μια εφαρμογή διαδικτύου και μια διαδικτυακή πλατφόρμα cloud.

Microsoft Kinect

Το Microsoft Kinect υπάγεται στις κάμερες RGB-D και η χρήση του στο σχεδιασμό συστημάτων πλοήγησης για ΑμΟΑ έχει εγείρει ζωνρό ενδιαφέρον μεταξύ των ερευνητών (Bhowmick et al, 2014).



Εικόνα 4. Αισθητήρας Microsoft Kinect (Xbox 360 Console)

Το Kinect περιλαμβάνει μια σειρά συσκευών ανίχνευσης, κατάλληλων για την ανίχνευση αντικειμένων και επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη της πλοήγησης. Υποστηρίζει επίσης ένα ευρύ σύνολο χαρακτηριστικών και έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να λειτουργήσει σε περιβάλλοντα χαμηλού φωτισμού.

Ενδεικτικά, το σύστημα πλοήγησης για ΑμΟΑ που προτάθηκε από τον Sain το 2017 χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο που λαμβάνει τα δεδομένα εισόδου από το Microsoft Xbox Kinect 360 του Zhang (2012). Το σύστημα αυτό ήταν σε θέση να δημιουργήσει έναν τρισδιάστατο χάρτη του εσωτερικού χώρου και να ανιχνεύσει την απόσταση του χρήστη από ένα εμπόδιο ή άνθρωπο.

Ομοίως, οι Ali και Abou Ali το 2017 παρουσίασαν ένα σύστημα αποφυγής εμποδίων για τυφλούς που περιλαμβάνει μια κάμερα βάθους Kinect. Οι εικόνες που προέρχονται από την κάμερα Kinect υποβάλλονται σε επεξεργασία με τη χρήση υπολογιστή και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό διαφορετικών εμποδίων. Όταν το σύστημα αναγνωρίζει ένα εμπόδιο, στέλνει φωνητικά σχόλια στον χρήστη μέσω ακουστικών.

Σύστημα Υποβοήθησης Χωρικής Ανίχνευσης με χρήση λέιζερ (LASS)

Δεδομένου ότι η χρήση του λέιζερ LiDaR (Light Detection and Ranging) έγινε δημοφιλής στον σχεδιασμό αυτόνομων οχημάτων και στη ρομποτική, οι ερευνητές προσπάθησαν επίσης να πειραματιστούν με τη δυνατότητα εφαρμογής του στον σχεδιασμό των συστημάτων πλοήγησης των ΑμΟΑ.



Εικόνα 5. Αναπαράσταση χρήσης συστήματος LASS από κινούμενο όχημα. (Πηγή: SuperAnnotate)

Το Σύστημα Υποβοήθησης Χωρικής Ανίχνευσης μέσω LiDaR (LiDaR Assist Spatial Sensing - LASS) που προτάθηκε το 2018 από τους Ton et al. χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα LiDaR για να αναγνωρίσει τα εμπόδια και στη συνέχεια να τον μεταφράσει σε στερεοφωνικό ήχο. Οι χωρικές πληροφορίες από τον αισθητήρα, όπως ο προσανατολισμός και η απόσταση των εμποδίων, μεταφράζονται ως σχετικά βήματα.

Αντίστοιχα, το σύστημα που προτείνεται από τους O'Keeffe et al. (2018) περιλαμβάνει επίσης έναν αισθητήρα LiDaR ενσωματωμένο σε λευκό μαστούνι. Η σάρωση του χώρου από το μαστούνι για τον εντοπισμό εμποδίων έχει ως μειονέκτημα ότι αυξάνει το βάρος και το μέγεθος του μαστουνιού καθιστώντας το σύστημα λίγο άβολο. Αλλά τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το σύστημα LASS έχουν ελπιδοφόρες προοπτικές, δεδομένου ότι όλο και μικρότερου μεγέθους αισθητήρες αναπτύσσονται κάθε χρόνο.

2.2.2 Μη Οπτικά Συστήματα Δεδομένων

Τα μη οπτικά συστήματα πλοήγησης δεν βασίζονται σε αλγόριθμους όρασης ή κάμερες, αλλά χρησιμοποιούν εναλλακτικούς αισθητήρες όπως υπερήχους, φάρους Bluetooth, αισθητήρες υπερύθρων, κλπ.

Παρόλο που συχνά περιλαμβάνουν τόσο οπτικά, όσο και μη οπτικά δεδομένα, τα συστήματα πλοήγησης που παρουσιάζονται παρακάτω εξαρτώνται κυρίως από μη οπτικά χαρακτηριστικά για την παροχή καθοδήγησης στους χρήστες.

Δίκτυα ραδιοκυμάτων (ασύρματα δίκτυα)

Το 2023 οι Gharghan et al. σχεδίασαν ένα Ενεργειακά Αποδοτικό Σύστημα Εντοπισμού (Energy Efficient Localization System - EELS) για ΑμΟΑ το οποίο βασίζεται σε ένα ασύρματο δίκτυο Zigbee (εναλλακτικό του wi-fi) και σε ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (Artificial Neural Network - ANN) εγκατεστημένο σε εσωτερικούς χώρους. Ο αλγόριθμος ANN υιοθετήθηκε για τη βελτίωση της ακρίβειας εντοπισμού των αντικειμένων. Η κατανάλωση ενέργειας του EELS ελαχιστοποιήθηκε κατά πολύ με βάση έναν προτεινόμενο ενεργειακά αποδοτικό αλγόριθμο εντοπισμού (energy-efficient localization algorithm - EELA). Τα πειραματικά αποτελέσματα σε εσωτερικά περιβάλλοντα επαλήθευσαν τη δυνατότητα του συστήματος να μειώσει τα σφάλματα εντοπισμού αντικειμένων στα 0,55m και 0,65m κατά τη διάρκεια των δοκιμών.

Χαμηλής Ενέργειας Φάρου Bluetooth (BLE Beacons)

Συχνά στη βιβλιογραφία αναφέρονται συστήματα πλοήγησης για ΑμΟΑ που χρησιμοποιούν φάρους Bluetooth (Nair et al., 2018· Ishihara et al., 2017· Castillo-Cara et al., 2016).

Στο σύστημα πλοήγησης GuideBeacon των Cheraghi et al. (2017), ένα smartphone χρησιμοποιήθηκε ως συσκευή αλληλεπίδρασης με Χαμηλής Ενέργειας Φάρους Bluetooth που βρίσκονταν εγκατεστημένοι σε διαφορετικά σημεία του εσωτερικού χώρου προκειμένου να παρέχουν στους χρήστες οδηγίες πλοήγησης.

Το 2018 οι Nair et al. πρότειναν μια υβριδική λύση πλοήγησης σε εσωτερικούς χώρους που συνδυάζει δύο Χαμηλής Ενέργειας Φάρους Bluetooth (Bluetooth Low Energy Beacons - BLE Beacons) με το λογισμικό Google Tango για τη βελτιστοποίηση της ακρίβειας και παρέχει στιγμιαία αναγνώριση αντικειμένων μέσω κάμερας τοποθετημένης στο σώμα του χρήστη. Ο χρήστης προειδοποιείται για στατικά περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά -όπως πόρτες, τοίχους και εμπόδια- με φωνητικές ειδοποιήσεις.

Αισθητήρες Υπερήχων (Ultrasonic Sensors)



Εικόνα 6. Αισθητήρας Υπερήχων (HC SR04 Ultrasonic Distance Measuring Sensor)

Τα συστήματα πλοήγησης που βασίζονται σε αισθητήρες υπερήχων αποτελούν την συχνότερη επιλογή μετά τα οπτικά συστήματα που βασίζονται σε κάμερα (Patil et al., 2018). Σε αυτή την τεχνολογία βασίζονται και οι ανιχνευτές εμποδίων υπερήχων, όπως το Miniguide ή το BuzzClip, που είναι ηλεκτρονικές συσκευές χειρός που βοηθούν τον χρήστη να ανιχνεύει εμπόδια σε ποικίλα περιβάλλοντα. (Thiyagarajan et al., 2022)

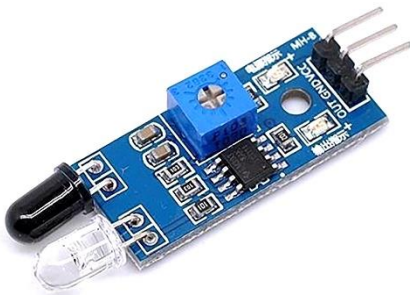
Αρχικά, το σύστημα GuideCane που εισήχθη το 2001 από τους Ulrich & Borenstein εφάρμοσε αισθητήρες υπερήχων σε ένα λευκό μαστούνι για την ανίχνευση εμποδίων κατά τη διάρκεια της πλοήγησης του ΑμΟΑ. Με τη βοήθεια ενός ενσωματωμένου υπολογιστή, το σύστημα μπορούσε να βρει την κατεύθυνση της κίνησης του χρήστη. Ωστόσο, το GuideCane δεν ήταν σε θέση να ανιχνεύει προεξέχοντα εμπόδια, αλλά ούτε και σημαντικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος όπως περιγράμματα πεζοδρομίων.

Τα σύγχρονα συστήματα όπως το NavGuide των Patil et al. (2018) μπορούν να κατηγοριοποιήσουν τα εμπόδια και τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας αισθητήρες υπερήχων. Συγκεκριμένα, το σύστημα NavGuide παρέχει πληροφορίες προτεραιότητας στον χρήστη χρησιμοποιώντας δονητικές και ηχητικές ειδοποιήσεις. Σχεδιάστηκε για να ανιχνεύει βρεγμένα πατώματα, εμπόδια στο επίπεδο του

δαπέδου και στα γόνατα. Ένας από τους περιορισμούς του συστήματος είναι ότι δεν μπορεί να ανιχνευθεί ένα λάκκο ή μια κατηφόρα. Επιπλέον, το NavGuide μπορεί να ανιχνευθεί το βρεγμένο δάπεδο μόνο αφού προηγουμένως το πατήσει ο χρήστης.

Όπως επισημαίνουν οι Thiagarajan et al. (2022) υπάρχουν ποικίλα οφέλη από τη χρήση συσκευών υπερήχων. Η λειτουργία τους ελέγχεται με τη χρήση ενός μόνο κουμπιού και έχουν μεγάλη διάρκεια μπαταρίας που μπορεί να διαρκέσει για αρκετούς μήνες. Είναι επίσης αποτελεσματικά στην ανίχνευση εμποδίων, χωρίς να απαιτείται σωματική επαφή, όπως είναι τα κρεμαστά εμπόδια, τα υπαίθρια τραπεζοκαθίσματα και τα σταθμευμένα αυτοκίνητα. Ωστόσο, οι συσκευές υπερήχων δεν καταφέρνουν να ανιχνεύσουν ενδεχόμενες ανωμαλίες της επιφάνειας του εδάφους και κινδύνους ατυχήματος, όπως σκάλες, πτώση σιδηροδρομικής πλατφόρμας και διασταυρώσεις δρόμων. Ως εκ τούτου, η πλειοψηφία των ατόμων επιλέγει τις συσκευές υπερήχων ως επικουρική συσκευή, παρά ως κύρια συσκευή πλοήγησης.

Αισθητήρες Υπέρυθρης Ακτινοβολίας (IR Sensors)



Εικόνα 7. Αισθητήρας Υπέρυθρης Ακτινοβολίας (4PIN IR Infrared Flame Detection Sensor Module)

Οι αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας IR προσφέρουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με τους αισθητήρες υπερήχων και ως εκ τούτου αποτελούν αντικείμενο πειραματισμού στο σχεδιασμό του συστήματος πλοήγησης. Ένα έξυπνο μαστούνη με ενσωματωμένο αισθητήρα IR έχει αναφερθεί στους Nada et al. (2015). Επίσης, οι αισθητήρες IR έχουν χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες όπως το Google Tango και το Unity (Jafri et al., 2017).

Το σύστημα πλοήγησης που προτείνουν οι Marzec και Kos το 2019 χρησιμοποιεί αισθητήρες υπέρυθρων IR οι οποίοι βοηθούν στην ανίχνευση διαφόρων αντικειμένων όπως κτίρια, τοίχοι, κ.λπ. Η συσκευή πρέπει να τοποθετηθεί στα χέρια του χρήστη και μπορεί να μεταδώσει σήματα πλοήγησης μέσω δονήσεων. Αυτά τα σήματα είναι σε θέση να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα βήματα μετακίνησης του ΑμΟΑ και τα πλησιέστερα εμπόδια που βρίσκονται στο διάβα του.

2.2.3 Συστήματα που βασίζονται σε χάρτες

Τα ΑμΟΑ συχνά χρησιμοποιούν εργαλεία αφής όπως χάρτες με ανάγλυφα σημεία, μακέτες μικρής κλίμακας ή πίνακες μαγνητών. Σύμφωνα με τους Ducasse et al. (2018) έχουν δοκιμαστεί διαφορετικοί πολυτροπικοί χάρτες για να βοηθήσουν την πλοήγηση των ΑμΟΑ. Αυτά τα εργαλεία είναι αποτελεσματικά στην αναγνώριση ενός ορισμένου χώρου, αλλά διαθέτουν περιορισμούς. Ένας από αυτούς είναι ότι δεν είναι δυνατή η ενημέρωση του περιεχομένου των χαρτών. Για να ξεπεραστούν αυτοί οι περιορισμοί, έχουν αναπτυχθεί προσβάσιμοι διαδραστικοί χάρτες.

Το SmartTactMaps που προτάθηκε από τους Götzelmann και Winkler το 2015 ήταν μια λύση βασισμένη σε smartphone για την υποστήριξη των ΑμΟΑ στην εξερεύνηση των απτικών χαρτών. Έναν τρισδιάστατο χάρτη περιβάλλοντος κατασκευασμένο με τη χρήση κάμερας RGB-D πρότειναν και οι Liu et al. το 2016 για την πλοήγηση των ΑμΟΑ στο σπίτι.

Ένας 3D Printed οπτικοακουστικός απτικός χάρτης που ονομάζεται LucentMap προτάθηκε επίσης για τα ΑμΟΑ από τον Götzelmann το 2016. Ο δημιουργός ισχυρίστηκε ότι απλοποίησε τον συνδυασμό κινητών συσκευών με απτικούς χάρτες. Στην ίδια λογική, το σύστημα VizMap του Gleason (2016) χρησιμοποιεί υπολογιστή και crowdsourcing για τη συλλογή διαφόρων πληροφοριών από εσωτερικούς χώρους. Για τη λειτουργία του απαιτούνται υγιείς εθελοντές οι οποίοι λαμβάνουν διάφορα βίντεο του χώρου. Αυτά τα βίντεο ενσωματώνονται με τη βοήθεια υπολογιστή σε ένα τρισδιάστατο χωρικό μοντέλο, το οποίο δημιουργεί μια χωρική αναπαράσταση του περιβάλλοντος με δυνατότητα αναζήτησης.

Το 2018 οι Albouys-Perrois et al. σχεδίασαν και ανέπτυξαν έναν χάρτη επαυξημένης πραγματικότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τάξεις εκπαίδευσης προσανατολισμού και κινητικότητας των ΑμΟΑ. Αυτό το σύστημα συνδυάζει προβολή, έξοδο ήχου και χρήση διακριτικών αφής. Επιτρέπει τόσο την εξερεύνηση του χάρτη όσο και την ανακατασκευή του κατά την πλοήγηση των ΑμΟΑ.

2.2.4 Συστήματα με στερεοφωνικό ήχο

Ένα από τα πρώτα συστήματα πλοήγησης με στερεοφωνικό ήχο που προτάθηκε για τα ΑμΟΑ είναι το Ηλεκτρονικό Ταξιδιωτικό Βοήθημα Stereo Vision-based Electronic Travel Aid (SVETA), ένα βοήθημα ταξιδιού που αποτελείται από ένα κάλυμμα κεφαλής

διαμορφωμένο με στερεοφωνικές κάμερες και ακουστικά. Το σύστημα μετατρέπει την εικόνα που λαμβάνει σε στερεοφωνικό μουσικό ήχο. Κάθε μουσικός ήχος αντιστοιχεί σε ορισμένες πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά του εμποδίου που αντιμετωπίζει ο χρήστης. Το σύστημα λειτουργεί καλά σε εσωτερικούς χώρους. Οι χρήστες ΑμΟΑ πρέπει να έχουν λάβει προηγουμένως σύντομη εκπαίδευση σχετικά με τις διαφορετικές έννοιες των στερεοφωνικών μουσικών ήχων προτού το χρησιμοποιήσουν (Balakrishnan et al., 2007).

Αργότερα, το 2017 οι Caraiman et al. πρότειναν το σύστημα Sound of Vision που είναι μια φορητή συσκευή υποκατάστασης αισθητηρίων που βοηθά στην πλοήγηση των ΑμΟΑ δημιουργώντας και μεταφέροντας μια ακουστική και απτική αναπαράσταση του περιβάλλοντος χώρου. Ο χρήστης λαμβάνει τόσο ηχητική, όσο και απτική ανατροφοδότηση. Οι δημιουργοί του συστήνουν βελτιώσεις στη χρηστικότητα και την ακρίβεια του συστήματος.

2.2.5 Λύσεις που βασίζονται σε smartphone

Λόγω των τεχνολογικών αλμάτων που γνώρισε η βιομηχανία κινητής τηλεφωνίας, οι κινητές συσκευές με επαρκή υπολογιστική ικανότητα και δυνατότητες αισθητήρων είναι σε θέση να παρέχουν δυνατότητες πλοήγησης. Σύμφωνα με τους Csaró et al. (2015), οι μεγαλύτερες και πιο γνωστές πλατφόρμες κινητής τηλεφωνίας εξελίσσονται γρήγορα ως τα de facto πρότυπα για την εφαρμογή υποστηρικτικών τεχνολογιών.

Τα σύγχρονα μέσα υποστηρικτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ που βασίζονται σε smartphone κερδίζουν συνεχώς έδαφος, καθώς οι λύσεις πλοήγησης που προσφέρουν παρέχουν φορητότητα και ευκολία χρήσης στους χρήστες.

Αρχικά, το πρότζεκτ ActiVis (Active Vision with Human-in-the-Loop for the Visually Impaired) όπως αξιοποιήθηκε και αναπροσαρμόστηκε στην ερευνητική δουλειά των Lock et al. (2017), πρότεινε μια πολυτροπική διεπαφή χρήστη που χρησιμοποιεί ενδείξεις ήχου και δόνησης για τη μετάδοση πληροφοριών πλοήγησης στον χρήστη. Η τρέχουσα έκδοση του συστήματος ActiVis είναι μια εφαρμογή Android που βασίζεται σε μια συσκευή Tango (Marder-Eppstein, 2016) και σε ένα ακουστικό που παρέχει ηχητικά σήματα.

Στην ίδια λογική, το Tactile Wayfinder που δημιούργησαν οι Heuten et al. το 2008 αποτελείται από μια ζώνη αφής και έναν Προσωπικό Ψηφιακό Βοηθό (Personal Digital Assistant - PDA) που παρέχει η εφαρμογή Wayfinder στο smartphone. Η εφαρμογή είναι σε θέση να διαχειρίζεται πληροφορίες τοποθεσίας και διαδρομής. Αφού προσδιοριστεί η κατεύθυνση της διαδρομής, οι πληροφορίες αποστέλλονται στην οθόνη αφής. Οι δονητές στη ζώνη αφής μπορούν να παρέχουν πληροφορίες και οδηγίες στον χρήστη ΑμΟΑ για την ασφαλέστερη πλοήγηση του σε εξωτερικό περιβάλλον.

Λίγο αργότερα, οι Ganz et al. (2014) πρότειναν την εφαρμογή PERCEPT-II στην οποία ο χρήστης λαμβάνει οδηγίες πλοήγησης προς τον επιθυμητό προορισμό όταν αγγίζει συγκεκριμένα σημεία αναφοράς στην εφαρμογή η οποία είναι εγκατεστημένη στο smartphone του. Τα σημεία προορισμού επισημαίνονται με ετικέτες Near Field Communication (NFC).

Το σύστημα ENVISION που πρότειναν στη συνέχεια οι Khenkar et al. (2016) είναι σε θέση να ανιχνεύει στατικά και δυναμικά εμποδίων με ακρίβεια σε πραγματικό χρόνο με τη βοήθεια βίντεο που καταγράφονται από το smartphone. Σύμφωνα με τους δημιουργούς, το σύστημα είναι δυναμικό και μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω εάν το λογισμικό αναγνώρισης και ταξινόμησης εμποδίων εμπλουτιστεί για να βοηθήσει τους χρήστες ΑμΟΑ σε ασφαλέστερη εξερεύνηση του περιβάλλοντος.

Ομοίως, το NavCog3 που προτάθηκε από τους Sato et al. το 2017 είναι ένα σύστημα πλοήγησης εσωτερικού χώρου που παρέχει οδηγίες βηματισμού και στρέψης στο χρήστη, ενώ προσφέρει άμεση ανατροφοδότηση όταν ανιχνεύει λανθασμένο προσανατολισμό. Παρέχει επίσης πληροφορίες για ορόσημα και σημεία ενδιαφέροντος σε κοντινές τοποθεσίες. Τέλος, το σύστημα παρέχει ηχητική ανάδραση στους χρήστες.

Το ίδιο έτος, οι Lin, Lee & Chiang (2017) πρότειναν μια εφαρμογή για smartphone που μπορεί να συνδυαστεί με ένα σύστημα αναγνώρισης εικόνας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ. Βάσει της διαθεσιμότητας του δικτύου wi-fi, το σύστημα μπορεί να επιλέξει δύο τρόπους λειτουργίας: έναν τρόπο λειτουργίας online και έναν τρόπο λειτουργίας εκτός σύνδεσης. Κατά την εκκίνηση, το smartphone καταγράφει μια εικόνα και στη συνέχεια τη στέλνει στον διακομιστή για επεξεργασία. Ο διακομιστής χρησιμοποιεί μερικούς αλγόριθμους βαθιάς εκμάθησης (Mataró et al., 2017· Redmon et al., 2016) για να ταυτοποιήσει διαφορετικά εμπόδια. Οι κύριοι περιορισμοί του συστήματος είναι η υψηλή

κατανάλωση ενέργειας και η ανάγκη για σύνδεση του smartphone σε δίκτυο wi-fi υψηλής ταχύτητας.

Αντίστοιχα, το σύστημα TARSIUS που προτάθηκε από τους Mataró et. al. (2017) στοχεύει στην ενίσχυση της ικανότητας των χρηστών στην οπτική σκηνική κατανόηση του εξωτερικού περιβάλλοντος. Περιλαμβάνει την εφαρμογή TARSIUS για κινητές συσκευές, έναν διακομιστή wi-fi, ένα κέντρο απομακρυσμένης βοήθειας, καθώς και φάρους Bluetooth LE/iBeacon που τοποθετούνται στους δρόμους σε διάφορα σημεία ενδιαφέροντος. Έτσι, καθώς ο χρήστης ΑμΟΑ κινείται σε εξωτερικό χώρο μπορεί να λαμβάνει ηχητικά μηνύματα που να βοηθούν την πλοήγησή του χάρη στις πηγές Bluetooth που βρίσκονται εγκατεστημένες στο περιβάλλον. Τα κύρια μειονεκτήματα του συστήματος TARSIUS είναι ότι προϋποθέτουν την τοποθέτηση φάρων Bluetooth σε κάθε δρόμο, εγχείρημα που απαιτεί υψηλό κόστος και επίσης ενδέχεται να οδηγήσει σε παρεμβολές σήματος.

Το 2023 οι Pundlik, Shivshanker & Luo (2023) μέσα από συστηματική μελέτη εντόπισαν τουλάχιστον 290 εφαρμογές για υποστήριξη της πλοήγησης των ΑμΟΑ και την ψηφιακή προσβασιμότητα που είναι σήμερα διαθέσιμες στο κοινό, εκ των οποίων το 66% διατίθεται εντελώς δωρεάν. Πιο συγκεκριμένα οι σύγχρονες εφαρμογές πλοήγησης για smartphone συνδυάζουν πληθώρα προσβάσιμων εφαρμογών GPS και χαρτών για πλοήγηση σε εξωτερικούς χώρους, εφαρμογές για πλοήγηση σε εσωτερικούς χώρους και εφαρμογές πλοήγησης που βασίζονται σε ανιχνευτές ραδιοσυχνότητας ή φάρους Bluetooth.

2.3 «Έξυπνα» μαστούνια για την πλοήγηση των ΑμΟΑ (Smart Canes)

Αρκετές τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των «έξυπνων» ηλεκτρονικών μαστουνιών έχουν σημειωθεί τα τελευταία χρόνια (Thiyagarajan et al., 2022) χάρη στην διαθέσιμη υποστηρικτική τεχνολογία που αναλύθηκε παραπάνω.

Ενδεικτικά, οι Maidenbaum et al. (2014) εισηγήθηκαν το EyeCane ένα «έξυπνο» μαστούνι που ενισχύει το παραδοσιακό λευκό μαστούνι με μία απτική και ακουστική έξοδο επιτρέποντας παράλληλα την ανίχνευση εμποδίων σε διαφορετικά ύψη και παρέχοντας ενισχυμένη χωρική αντίληψη του περιβάλλοντος στο χρήστη έπειτα από λίγα μόνο λεπτά εκπαίδευσης.

Για περιβάλλοντα με δυνατότητα χρήσης GPS, οι Guerrero et al. (2018) σχεδίασαν ένα «έξυπνο» μαστούνι που αξιοποιεί αισθητήρες υπερήχων προκειμένου να ανιχνεύει εμπόδια από 0,5m ως και 5m μπροστά από τον χρήστη και 90° αριστερά και δεξιά του χρήστη. Οι χρήστες ΑμΟΑ ειδοποιούνται για τα εντοπισμένα εμπόδια μέσω ακουστικού συναγερμού. Επιπλέον, η μονάδα GPS στο λευκό μαστούνι μπορεί να εντοπίσει την τοποθεσία του χρήστη. Σε χώρους όπου δε λειτουργεί το GPS, οι Barra et al. (2019) ενίσχυσαν το «έξυπνο» μαστούνι με ενσωματωμένους αισθητήρες μέτρησης αδράνειας (IMU) και ραντάρ Pulse-Doppler που είναι σε θέση να εντοπίσουν την τοποθεσία του χρήστη.

Τα σύγχρονα συστήματα που εφαρμόζουν αυτήν την τεχνολογία λειτουργούν σε συνδυασμό με ορισμένες ηλεκτρονικές πλακέτες όπως το Raspberry Pi ή το Arduino (Gupta et al., 2015). Για παράδειγμα, το 2016 οι Kaushalya et al. πρότειναν ένα ειδικό σύστημα προσαρμοσμένο σε μαστούνι για την πλοήγηση των ΑμΟΑ. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί Raspberry Pi, μια μονάδα GSM, αισθητήρα υπερήχων, ετικέτες RFID και έναν αναγνώστη. Η συσκευή ανάγνωσης RFID είναι προσαρτημένη στο κάτω μέρος του μαστουνιού. Στη μέση του μαστουνιού, έχει τοποθετηθεί ένας αισθητήρας υπερήχων, ενώ το κουτί που περιέχει μονάδες Raspberry Pi 2, το GPS και το GSM έχουν τοποθετηθεί πάνω από τον αισθητήρα. Επιπλέον, έχει αναπτυχθεί μια εφαρμογή για κινητά για την παρακολούθηση της τοποθεσίας του χρήστη ΑμΟΑ. Ωστόσο, το πρόβλημα που σχετίζεται με αυτό το σύστημα είναι ότι ο αισθητήρας υπερήχων δεν μπορεί να λειτουργήσει με ακρίβεια σε βρώμικα ή λασπωμένα περιβάλλοντα. Ομοίως, ένα μαστούνι με ρυθμιζόμενη ευαισθησία με τη βοήθεια ενός αισθητήρα εγγύτητας υπερήχων και μιας μονάδας GPS αναφέρεται και στους Sen et al. (2018).

Γενικότερα, οι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει ποικίλες νέες τεχνολογίες, όπως τρισδιάστατους εκτυπωμένους ενδοψηφιακούς αισθητήρες κλίσης που βασίζονται σε πυκνωτές (Ozioko et al., 2021), ηλεκτρομαγνητικούς αισθητήρες (Cardillo et al., 2018), οπτικούς αισθητήρες που βασίζονται στην ανίχνευση μέσω λέιζερ (LiDAR) (Yura et al., 2021) και αισθητήρες εγγύτητας προσαρτημένους σε ένα μαστούνι για να υποστηρίξουν την κινητικότητα των ανθρώπων ΑμΟΑ σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

Το 2020 πραγματοποιήθηκε μια συγκριτική μελέτη από τον Santos και τους συνεργάτες του με συμμετέχοντες ΑμΟΑ και υγιή άτομα με καλυμμένα μάτια με σκοπό τη σύγκριση της απόδοσης των ηλεκτρονικών μαστουνιών και των παραδοσιακών

μπαστουινών. Τα ευρήματα της έρευνας υποδηλώνουν ότι τα ηλεκτρονικά μπαστούνια έχουν σαφή πλεονεκτήματα, όπως το γεγονός ότι ενσωματώνουν τεχνολογίες που μπορούν να ανιχνεύσουν κρεμαστά εμπόδια που ένα παραδοσιακό μπαστούνι δεν μπορεί.

Όπως σημειώνουν οι Thiagarajan et al. (2022) τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης μπαστουινών με υποστηρικτική τεχνολογία αισθητήρων είναι ότι είναι οικεία στη χρήση, χαμηλού κόστους, αντικαθίστανται εύκολα και παρέχουν επίσης πληροφορίες σχετικά με το άμεσο περιβάλλον του χρήστη, όπως η επιφάνεια του εδάφους, οι κίνδυνοι και τα πιθανά εμπόδια στη διαδρομή. Αυτό επιτρέπει στον χρήστη ΑμΟΑ να κάνει έγκαιρες προσαρμογές στην κίνησή του και να διατηρεί τον προσανατολισμό του στο περιβάλλον.

Ωστόσο, όπως επισημαίνουν οι ίδιοι ερευνητές, το μπαστούνι ανιχνεύει περιβαλλοντικά στοιχεία κυρίως μέσω της επαφής. Αυτός ο τρόπος ανίχνευσης μπορεί να μην είναι πάντοτε ασφαλής ή μπορεί να είναι κοινωνικά ακατάλληλος, όπως στην περίπτωση ανίχνευσης εύθραυστων εμποδίων ή ανίχνευσης άλλων ανθρώπων– και μπορεί να αυξήσει τη δυσκολία μετακίνησης του χρήστη. Επιπλέον, οι καιρικές συνθήκες μπορεί να έχουν αντίκτυπο στον τρόπο με τον οποίο οι αισθητήρες αντιλαμβάνονται το περιβάλλον. Ως εκ τούτου, η εξέλιξη της υποστηρικτικής τεχνολογίας γύρω από τα «έξυπνα» μπαστούνια δεν αναιρεί την ανάγκη περεταίρω ανάπτυξης της υποστηρικτικής τεχνολογίας πλοήγησης των ΑμΟΑ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ ΣΤΗΝ ΠΛΟΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑμΟΑ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο δόθηκε μία γενική εικόνα των διαθέσιμων τεχνολογιών υποστήριξης για την πλοήγηση και τον προσανατολισμό των ΑμΟΑ, όπως το έξυπνο μαστούνι, οι συσκευές υπερήχων, κλπ. Παρά το γεγονός ότι τέτοια συστήματα βασίζονται σε έξυπνη ανίχνευση και σε ισχυρή τεχνολογία πλοήγησης, ωστόσο τα χαρακτηριστικά τους είναι συνήθως μονοδιάστατα, δηλαδή περιορίζονται σε μία μόνο λειτουργία.

Αντιθέτως, ο συνδυασμός πολλαπλών λειτουργιών σε ένα ενιαίο σύστημα, που να λαμβάνει υπόψη την τελευταία διαθέσιμη τεχνολογία, μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ικανότητα των ΑμΟΑ να μετακινούνται αποτελεσματικά, με ασφάλεια και σιγουριά. Ως εκ τούτου, ένα έξυπνο ρομπότ-οδηγός που εφαρμόζει διαφορετικά χαρακτηριστικά των διαθέσιμων τεχνολογιών είναι δυνατό να υπερβεί τους περιορισμούς των φορητών βοηθημάτων πλοήγησης.

Την τελευταία δεκαετία έχουν γίνει σημαντικά βήματα στο σχεδιασμό και την κατασκευή σύγχρονων ρομπότ πλοήγησης για τα ΑμΟΑ, η λειτουργία των οποίων βασίζεται σε συνδυασμούς των διαθέσιμων υποστηρικτικών τεχνολογιών που παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Ωστόσο, το αποτέλεσμα της υβριδικής εφαρμογής των νέων αυτών τεχνολογιών για το σχεδιασμό ρομπότ-βοηθών για τα ΑμΟΑ, είναι κάτι παραπάνω από το άθροισμα επί μέρους τεχνογνωσίας, είναι ένα πραγματικό έργο τέχνης.

Το παρόν κεφάλαιο επιχειρεί μία συνοπτική και όσο το δυνατόν πιο κατανοητή ανάλυση των προϋποθέσεων για το σχεδιασμό ενός κατάλληλου ρομπότ-οδηγού για ΑμΟΑ, καθώς και μία παρουσίαση των σύγχρονων ρομπότ που αναπτύσσονται και είναι διαθέσιμα στην αγορά, τόσο για την πλοήγηση του χρήστη σε εσωτερικούς, όσο και σε εξωτερικούς χώρους.

3.1 Ρομπότ-Οδηγός

Οι σκύλοι-οδηγοί αποτελούν σημαντικό μέρος της ζωής των ατόμων με προβλήματα όρασης. Ωστόσο, οι σκύλοι-οδηγοί απαιτούν μεγάλη δαπάνη ενέργειας και χρόνου για την εκπαίδευση και την διατήρηση της καλής τους υγείας.

Οι Εκπαιδευτές Κινητικότητας Σκύλων-Οδηγών (Guide Dog Mobility Instructors, GDMI) εκπαιδεύουν κάθε Σκύλο-Οδηγό να αναγνωρίζει εμπόδια, να κινείται μέσα σε μεγάλα πλήθη, να επιβιβάζεται στα μέσα μαζικής μεταφοράς και να οδηγεί τον χρήστη σχεδόν οπουδήποτε επιθυμεί. Αυτό το είδος υποστηρικτικής πλοήγησης από εκπαιδευμένο σκύλο-οδηγό επιτρέπει στον χρήστη ΑμΟΑ να κινείται ελεύθερα και με σιγουριά ανεξάρτητα από το επίπεδο όρασής του. Ωστόσο, οι σκύλοι-οδηγοί δεν είναι παγκοσμίως διαθέσιμοι. Για παράδειγμα, σύμφωνα με την Μη Κερδοσκοπική Οργάνωση "Guiding Eyes for the Blind" (2016), υπήρχαν μόνο 10.000 ομάδες σκύλων-οδηγών στις ΗΠΑ, ενώ ο συνολικός αριθμός των ατόμων με οπτική αναπηρία στις Η.Π.Α ανερχόταν στα 7.675.600 (National Federation of the Blind, 2016).

Επίσης, ενδέχεται να μην είναι κατάλληλοι οδηγοί για όλους τους χρήστες λόγω διαφόρων παραγόντων όπως οι προσδοκίες των χρηστών, τα μοτίβα ταξιδιού και η στάση του ΑμΟΑ απέναντι στους σκύλους. Παρά το υψηλό επίπεδο εκπαίδευσης που λαμβάνουν οι σκύλοι-οδηγοί, η αποτελεσματικότητά τους μπορεί να μην είναι συνεπής σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες ή λόγω ποικίλων παραγόντων όπως η υγεία του σκύλου, οι σωματικές και πνευματικές του ικανότητες, κλπ. (Thiyagarajan et al., 2022). Παράλληλα, δεν μπορούν ή δεν θέλουν όλα τα ΑμΟΑ να έχουν σκύλο-οδηγό. Έτσι, η ανάπτυξη μιας εναλλακτικής λύσης όπως ένα ρομπότ σκύλου-οδηγού αναδείχθηκε σταδιακά ως αναγκαιότητα για να βοηθήσει τα ΑμΟΑ στην καθημερινή τους ζωή.

Ιδιαίτερα όσον αφορά την πλοήγηση σε εσωτερικούς χώρους, έχουν αναπτυχθεί ρομπότ τα οποία χρησιμοποιούν φωνητικές εντολές και αναγνώριση αντικειμένων μέσω API cloud (Elseikh, 2021). Αυτές οι συσκευές ρομπότ είναι εξοπλισμένες με οπτικό αισθητήρα που χρησιμοποιεί πολλαπλές κάμερες υψηλής ευκρίνειας, ανιχνευτές εμβέλειας, λέιζερ, και ηχεία. Τα δεδομένα που καταγράφονται, αναλύονται στη συνέχεια με εξειδικευμένους αλγόριθμους, καθιστώντας εφικτό τον εντοπισμό εμποδίων, επιπέδων και σκαλοπατιών. Μέσω της χρήσης ενός οπτικού αισθητήρα, το σύστημα είναι ικανό να κάνει τη διάκριση μεταξύ συσκευών και ανθρώπων. Οι ενσωματωμένοι επεξεργαστές αναλύουν τις πληροφορίες των αισθητήρων και μεταφέρουν τις πληροφορίες στα ΑμΟΑ μέσω φυσικής γλώσσας ή ηχητικού σήματος (beep sign). (Elseikh, 2021)

Υπάρχουν διάφοροι τύποι οδηγών κινητών ρομπότ που έχουν αναπτυχθεί για να καλύπτουν τις ανάγκες διαφορετικών χρηστών. Ο πρώτος τύπος είναι το τροχοφόρο ρομπότ,

το οποίο χρησιμοποιεί ένα σύνολο τροχών για να κινείται και να περιηγείται στο περιβάλλον (Bruno et al., 2019). Το τροχοφόρο ρομπότ είναι συνήθως εξοπλισμένο με διάφορους αισθητήρες, όπως κάμερες, LIDAR και αισθητήρες υπερήχων, για να ανιχνεύει εμπόδια, μονοπάτια και ορόσημα (Wang et al., 2021). Το ρομπότ διαθέτει επίσης ένα σύνολο ηχείων και μικροφώνων για να επικοινωνεί με τον χρήστη, να αναγνωρίζει τις φωνητικές εντολές του και να παρέχει πληροφορίες (Ichikawa et al., 2022, Elmezghi et al., 2019).

Οι ερευνητές Guerreiro et al. το 2019 πρότειναν ένα ρομπότ πλοήγησης σε σχήμα βαλίτσας που ονομάζεται **Cabot** για να βοηθά τα ΑμΟΑ να πλοηγούνται προς έναν προορισμό-στόχο και να αποφεύγουν τα εμπόδια. Το ρομπότ Cabot περιλαμβάνει μια στερεοφωνική κάμερα, έναν αισθητήρα LIDAR, μια απτική λαβή, έναν φορητό υπολογιστή, μπαταρίες, έναν μηχανοκίνητο τροχό και έναν συμπλέκτη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη ανατροφοδότησης από τη χειρολαβή και για την παροχή πληροφοριών σχετικά με την απαιτούμενη κατεύθυνση. Ωστόσο, δεν λαμβάνει υπόψη δυναμικά στοιχεία, όπως περαστικούς ανθρώπους. Για να μπορέσει ένα ρομπότ να κινηθεί και να αναγνωρίσει ένα περιβάλλον, απαιτούνται πολλές τεχνικές και αλγόριθμοι.

Όπως για παράδειγμα το **Robotic Travel Aid (RoTA) “Harunobu”**, το οποίο καθοδηγεί άτομα με ΟΑ στο πεζοδρόμιο ή στην πανεπιστημιούπολη χρησιμοποιώντας κάμερα, σόναρ, διαφορικό σύστημα GPS και φορητό GIS, τα οποία τοποθετούνται σε ένα ωθούμενο αναπηρικό αμαξίδιο (Mori & Kotani, 1998, όπως αναφέρουν οι Carri & Toda, 2011). Έκτοτε, έχουν δημιουργηθεί και άλλα ρομποτικά συστήματα, όπως αυτό που πρότειναν οι Carri και Toda (2011), το οποίο αποτελείται από έναν υπολογιστή, δύο LRFs, μία κάμερα, έναν μικροεπεξεργαστή H8 και ένα τζόιστικ ποτενσιόμετρο. Ο υπολογιστής και οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι σε έναν περιπατητήρα με ροδάκια. Οι αισθητήρες λέιζερ σαρώνουν το περιβάλλον μπροστά από τον περιπατητήρα, σε οριζόντια και κάθετα επίπεδα, ενώ η κάμερα καταγράφει τις εικόνες του περιβάλλοντος. Ο υπολογιστής αναλύει συνεχώς τα δεδομένα των αισθητήρων, ανιχνεύει αντικείμενα που βρίσκονται μπροστά από το ρομπότ και μεταφέρει στον χρήστη αυτές τις πληροφορίες με φυσική γλώσσα ή με ηχητικά σήματα (beep signs), η ένταση των οποίων αυξάνεται καθώς το ρομπότ-οδηγός πλησιάζει τα εμπόδια.

Με αντίστοιχο τρόπο λειτουργεί το ρομπότ-συννοδός που χρησιμοποίησε μια ερευνητική ομάδα στην Ιαπωνία με σκοπό την πλοήγηση ατόμων με ΟΑ σε ένα περιβάλλον με εμπόδια, όπως τα νοσοκομεία (Tobita et al., 2017). Το συγκεκριμένο ρομπότ διαθέτει

μηχανισμό κίνησης με τροχούς, δημιουργεί διαδρομές, αποφεύγει εμπόδια, παρέχει φωνητικές εντολές και κινείται ανάλογα με τη δύναμη με την οποία το άτομο με σπρώχνει το ρομπότ.

Το 2021 οι Albogamy et al. πρότειναν ένα έξυπνο ρομπότ για την πλοήγηση των ΑμΟΑ, το **Intelligent Robot Assistant for the Visually Impaired (SRAVIP)**. Το SRAVIP περιλαμβάνει δύο υποσυστήματα:

1) ένα σύστημα που στοχεύει στην προετοιμασία του ρομπότ, στη δημιουργία ενός χάρτη περιβάλλοντος και στην εγγραφή του ατόμου με προβλήματα όρασης ως υποκείμενου χρήστη.

2) ένα λειτουργικό σύστημα που εφαρμόζεται για την πλοήγηση και την επικοινωνία με τον χρήστη σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας μια μηχανή επεξεργασίας ομιλίας και μια μονάδα οπτικής αναγνώρισης χαρακτήρων (Optical Character Recognition - OCR). Μια σημαντική συμβολή του προτεινόμενου SRAVIP είναι δεν εξαρτάται από τον χρήστη και μία συσκευή μπορεί να εξυπηρετεί απεριόριστους χρήστες. Το SRAVIP εγκαταστάθηκε σε ένα ρομπότ Turtlebot3 και στη συνέχεια δοκιμάστηκε από το Κολλέγιο Επιστημών Υπολογιστών και Πληροφοριών, το Πανεπιστήμιο King Saud και την Πανεπιστημιούπολη AlMuzahmiyah. Τα πειραματικά αποτελέσματα επιβεβαίωσαν ότι το προτεινόμενο σύστημα θα μπορούσε να λειτουργήσει με επιτυχία.

Ένας άλλος τύπος ρομπότ-οδηγού είναι το **τετράποδο ρομπότ**, το οποίο χρησιμοποιεί τέσσερα πόδια για να κινείται και να περιηγείται στο περιβάλλον. Το τετράποδο ρομπότ έχει σχεδιαστεί για να μιμείται τη συμπεριφορά και την κίνηση ενός πραγματικού σκύλου, παρέχοντας μια πιο φυσική και διαισθητική διεπαφή για τον χρήστη (Xiao et al., 2021, Zhu et al., 2019). Τα συστήματα αισθητήρων του τετράποδου ρομπότ είναι παρόμοια με αυτά των τροχοφόρων ρομπότ (Woo et al., 2019). Με το σύστημα αισθητήρων, το ρομπότ μπορεί να κατανοήσει το περιβάλλον χαρτογραφώντας (Gobee et al., 2022, Son et al., 2021), σχεδιάζοντας διαδρομές (Liu et al., 2022) και ελέγχοντας την ταχύτητα κίνησης για να κινηθεί προς τον επιθυμητό προορισμό χωρίς να συγκρουστεί με κανένα εμπόδιο. Επιπλέον, ο τετράποδος ρομπότ-σκύλος μπορεί να αλληλεπιδρά με τους χρήστες αναγνωρίζοντας φωνές, χειρονομίες και μαθαίνοντας τα μοτίβα κίνησης των χρηστών. (Saegusa et al., 2014)

Τα σύγχρονα ρομποτικά συστήματα, όπως είναι το **Mini Cheetah**, έχουν τέσσερα πόδια και είναι εξοπλισμένα με σύστημα χαρτογράφησης λέιζερ, κάμερες και αισθητήρες

για την ασφαλή καθοδήγηση των ατόμων με ΟΑ σε εξωτερικούς χώρους. Αυτά τα αυτόνομα ρομπότ τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να καθοδηγήσει με ασφάλεια τον χειριστή του σε δύσκολους και στενούς δρόμους που έχουν πολλά εμπόδια ακριβώς όπως ένας πραγματικός σκύλος-οδηγός. Το Mini Cheetah μπορεί να σχεδιάσει τη συντομότερη διαδρομή για ΑμΟΑ, μειώνοντας το χρόνο ταξιδιού και σαρώνοντας το μονοπάτι με τα λιγότερα εμπόδια (Kim et al., 2020).

Είναι γεγονός ότι στον τομέα της ρομποτικής μηχανικής, η πλειοψηφία των κινητών, αυτόνομων ρομπότ χρησιμοποιούν τροχούς για να επιτύχουν κίνηση (Steidel, 2018). Σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα, δηλαδή σε καθορισμένους εσωτερικούς χώρους όπως το σπίτι ή το γραφείο, στα οποία οι άνθρωποι είναι παρόντες για να διορθώσουν τυχόν βλάβες που μπορεί να προκύψουν, αυτά είναι συνήθως επαρκή. Ωστόσο, καθώς η χρήση κινητών, αυτόνομων ρομπότ γίνεται όλο και πιο διαδεδομένη, αρχίζουν να αντιμετωπίζουν όλο και περισσότερα σενάρια που είναι δύσκολο για αυτούς να ξεπεράσουν. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές σε καταστάσεις που αφορούν περιβάλλοντα που είναι ανεξερεύνητα ή αποτελούνται από ανώμαλο ή ασταθές έδαφος. Όταν ένα τροχοφόρο ρομπότ συναντά ένα σημαντικό εμπόδιο, πρέπει να κάνει ελιγμούς πάνω ή μέσα από αυτό ή να βρει ένα μονοπάτι γύρω του. Εάν καμία από αυτές τις λύσεις δεν είναι πιθανή, τότε το ρομπότ δεν μπορεί να συνεχίσει την πορεία του. Στην περίπτωση ενός ρομπότ με πόδια, το ρομπότ υπό ορισμένες προϋποθέσεις μπορεί απλώς να ξεπεράσει το εμπόδιο και να το αγνοήσει. (Steidel, 2018)

Ένα σύνηθες μειονέκτημα είναι ότι τα ρομπότ οδηγοί συνήθως εισέρχονται σε πιθανό κατειλημμένο χώρο αντικειμένων, όπως οι προσωπικοί χώροι των ανθρώπων και η περιοχή γύρω από μια πόρτα (Sardar et al., 2012). Ο δυνητικά καταλαμβανόμενος χώρος είναι μια περιοχή που χρησιμοποιείται δυνητικά από ένα αντικείμενο και έναν άνθρωπο, παρότι δεν υπάρχει πραγματικό αντικείμενο σε αυτήν την περιοχή. Ακόμα κι αν υπάρχει αρκετός χώρος για να περάσετε, συνήθως χρειάζεται να αποφύγετε την είσοδο για το ρομπότ, όπως η περιοχή μπροστά από ένα άτομο που παρακολουθεί τηλεόραση ή η περιοχή μεταξύ των ατόμων που συνομιλούν. Ο προσωπικός χώρος των ανθρώπων είναι ένα τυπικό παράδειγμα πιθανών κατειλημμένων χώρων, όπου οι άνθρωποι μπορεί να αισθάνονται άβολα όταν κάποιος μπαίνει σε αυτήν την ειδική περιοχή (Chugo et al., 2013). Τα αυτόνομα κινητά ρομπότ που συνυπάρχουν με τους ανθρώπους θα πρέπει επίσης να αποφεύγουν τη μετακίνηση σε πιθανούς κατειλημμένους χώρους, ώστε να μπορούν να γίνουν κοινωνικά αποδεκτά. Το κινητό ρομπότ οδηγός πρέπει να δημιουργήσει ένα μονοπάτι που να

αποφεύγει τους πιθανούς κατειλημμένους χώρους των αντικειμένων στο δρόμο και να μετακινηθεί στον προορισμό φυσικά. Επιπλέον, υπάρχουν περιπτώσεις όπου το ρομπότ προσπαθεί να μπει κάτω από ένα γραφείο ή μια καρέκλα για να φτάσει στον προορισμό με πιο σύντομο τρόπο (Zhang et al., 2019). Το ρομπότ μπορεί λανθασμένα να πιστεύει ότι μπορεί να περάσει από τα σημεία κάτω από τα εμπόδια αφού υπάρχει αρκετός χώρος για το ρομπότ. Ως αποτέλεσμα, όταν το ρομπότ κάνει σχεδιασμό διαδρομής, μπορεί να επιλέξει μια τέτοια διαδρομή και να προκαλέσει σύγκρουση μεταξύ του χρήστη και των εμποδίων.

Είναι αναμενόμενο ότι ένας ρομπότ-οδηγός υπολείπεται σε σχέση με την ψυχική εγγύτητα που μπορεί να αναπτύξει ένας άνθρωπος με ένα ζωντανό οδηγό σκύλο, η ενσυναίσθηση και η συντροφικότητα που παρέχει το ζώο και η συναισθηματική αλληλεπίδραση με τον ιδιοκτήτη του. Ωστόσο, μελέτη των Bonani et al. το 2018 έδειξε ότι γενικά τα ΑμΟΑ δέχονται με ευχαρίστηση την ένταξη των ρομπότ στην καθημερινή τους ζωή και καλωσορίζουν αυτού του τύπου την τεχνολογία. Μάλιστα, όσο περισσότερες δυνατότητες αλληλεπίδρασης με το χρήστη διαθέτει το ρομπότ, τόσο περισσότερη κάλυψη των αναγκών του βιώνει ο χρήστης, φτάνοντας να βιώνει ως και συναισθήματα ζεστασιάς και ευγνωμοσύνης. (Bonani et al., 2018)

3.2 Ρομπότ-Οδηγοί τελευταίας τεχνολογίας

Παρακάτω παρουσιάζονται σύγχρονα ρομπότ τελευταίας τεχνολογίας τα οποία είτε είναι διαθέσιμα στην αγορά, είτε βρίσκονται στη φάση του τελικού σχεδιασμού και θα μπορούσαν αποτελέσουν βάση για την ανάπτυξη ρομπότ-οδηγών για την πλοήγηση των ΑμΟΑ:

3.2.1 Spot

Το μοντέλο Spot® είναι ένα κινούμενο ρομπότ σκύλος από τη Boston Dynamics των ΗΠΑ (Boston Dynamics, 2021). Διατίθεται σε δύο μοντέλα: το SPOT EXPLORER και το SPOT ENTERPRISE. Και τα δύο μοντέλα διαθέτουν δυνατότητα αυτόματης βάρδισης η οποία τους επιτρέπει να κινούνται ανεξάρτητα για να ολοκληρώσουν εργασίες. Το SPOT EXPLORER μπορεί να



Εικόνα 8. Το Ρομπότ "Spot Explorer" της Boston Dynamics

ταξιδεύει έως και 1000 μέτρα για μία μόνο εργασία, ενώ το SPOT ENTERPRISE μπορεί να ολοκληρώσει εργασίες σε απεριόριστη απόσταση. Και τα δύο μοντέλα είναι ικανά να ισορροπούν δυναμικά ενώ μεταφέρουν φορτίο μέχρι και 14 κιλά. Χρησιμοποιούν σαρωτή 360 μοιρών για να χαρτογραφήσουν το έδαφος και να αποφύγουν τυχόν εμπόδια τα οποία προκύπτουν. Επιπλέον, έχουν την ικανότητα να κινούνται σε χαλίκι, γρασίδι, κράσπεδα και σκάλες.

Τα ρομπότ Spot® συνοδεύονται από ένα πακέτο λογισμικού που επιτρέπει στο χρήστη να διεξάγει προσαρμοσμένους ελέγχους, να προγραμματίζει αυτόνομες αποστολές και να αναλύσει αισθητηριακές πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί (π.χ. βίντεο) με εργαλεία ανάλυσης δεδομένων. Το ρομπότ μπορεί να λειτουργήσει σε διαφορετικά περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων εργοταξίων, εγκαταστάσεων πετρελαίου και φυσικού αερίου, πεδίων εξόρυξης και τοποθεσιών που είναι πολύ ηλεκτρισμένα ή εκτεθειμένα σε επικίνδυνη ακτινοβολία.

Τα ρομπότ Spot® έχουν την ικανότητα να εντοπίζουν εμπόδια στο περιβάλλον τους και να αποφεύγουν τη σύγκρουση με αυτά. Ωστόσο, αυτή η δυνατότητα περιορίζεται αποκλειστικά και μόνο στο περιβάλλον του ρομπότ, όχι στο περιβάλλον του χρήστη. Με κατάλληλο εκ των προτέρων προγραμματισμό, το ρομπότ μπορεί να κινείται με άνεση σε οικεία περιβάλλοντα και μπορεί να χρησιμοποιήσει εντοπισμό Wi-Fi και GPS για πλοήγηση σε άγνωστο περιβάλλον. Και τα δύο μοντέλα μπορούν να λειτουργήσουν χρησιμοποιώντας έναν υπολογιστή tablet που μπορεί να φέρει πάνω του ο χρήστης. Το tablet λαμβάνει πληροφορίες από το ρομπότ μέσω μετάδοσης βίντεο σε πραγματικό χρόνο, δυνατότητα η οποία δεν εξυπηρετεί έναν χρήστη που ΑμΟΑ, ωστόσο, ενδέχεται να εξυπηρετεί τρίτα πρόσωπα, όπως για παράδειγμα τους φροντιστές του ΑμΟΑ σε περίπτωση που πρόκειται για παιδί.

Όπως ένας τυπικός σκύλος-οδηγός, τα ρομπότ Spot® χρησιμοποιούν τέσσερα πόδια για να περπατήσουν. Τροφοδοτούνται από επαναφορτιζόμενες μπαταρίες και στην περίπτωση του μοντέλου SPOT ENTERPRISE, διαθέτουν λειτουργία αυτόματης φόρτισης η οποία επιτρέπει στο ρομπότ να συνδέεται ανεξάρτητα με έναν σταθμό φόρτισης. Ο χρόνος λειτουργίας του ρομπότ περιορίζεται σε περίπου 2 ώρες μέχρι την επαναφόρτιση. Λόγω των περιορισμένων λειτουργικών χαρακτηριστικών του εμπορικά διαθέσιμου πρωτοτύπου, το ρομπότ Spot® δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως ρομπότ-οδηγός για την υποστήριξη της πλοήγησης των ΑμΟΑ. Ωστόσο, ορισμένες από τις υπάρχουσες δυνατότητες του

συστήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη ενός βιώσιμου και λειτουργικού προϊόντος.

Το ρομπότ Spot διατίθεται από την Boston Dynamics' στην τιμή των 75.000 δολαρίων περίπου.

3.2.2 LIGHBOT

Το LIGHBOT είναι ένα ρομπότ-οδηγός για πλοήγηση σε εσωτερικούς χώρους από την NSK Ltd., Ιαπωνία (NSK Ltd, 2015). Σε εσωτερικούς χώρους, όπως νοσοκομεία, το LIGHBOT μπορεί να εντοπίσει και να αποφύγει εμπόδια κατά την πλοήγηση. Ωστόσο, δεν έχουν καταγραφεί πληροφορίες σχετικά με την απόδοσή του όσον αφορά τον εντοπισμό εμποδίων, την αποφυγή, την κινητικότητα και την πλοήγηση σε εξωτερικούς χώρους. Το ρομπότ δεν μοιράζεται καμία πληροφορία για το περιβάλλον του με τον χρήστη. Το LIGHBOT είναι εξοπλισμένο με πίνακα ελέγχου που επιτρέπει στους βλέποντες χρήστες να επιλέξουν από μια λίστα προκαθορισμένων προορισμών. Περιλαμβάνει επίσης ένα τηλεχειριστήριο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σταματήσει το ρομπότ κατά την πλοήγηση. Το ρομπότ έχει ύψος 110 εκατοστά και σχεδιάστηκε μόνο για πλοήγηση σε επίπεδες επιφάνειες σε εσωτερικούς χώρους.



Εικόνα 9. Το ρομπότ LIGHBOT της NSK Ltd.

Το LIGHBOT σχεδιάστηκε για εσωτερικούς χώρους, επομένως έχει ορισμένους περιορισμούς όσον αφορά την αναγνώριση και αποφυγή εμποδίων. Αυτό έχει σημαντική αρνητική επίπτωση στην λειτουργία του σε εξωτερικά περιβάλλοντα, μαζί με την αδυναμία πλοήγησης σε μη επίπεδες επιφάνειες. Επιπλέον, το ρομπότ δεν μοιράζεται πληροφορίες για το περιβάλλον του με τον χρήστη και έχει περιορισμένη δυνατότητα αναγνώρισης προθέσεων μέσω ενός πίνακα ελέγχου και ενός τηλεχειριστηρίου ακατάλληλου για ΑμΟΑ. Τέλος, η αντοχή του ρομπότ περιορίζεται από την ύπαρξη μιας εσωτερικής μπαταρίας. Ως αποτέλεσμα, η ανάπτυξη ενός ρομπότ-οδηγού για ΑμΟΑ με τα τρέχοντα λειτουργικά χαρακτηριστικά που διαθέτει το LIGHBOT θα ήταν πρόκληση.

3.2.3 ANYmal

Το ANYmal είναι ένα αυτόνομο τετράποδο ρομπότ που κατασκευάζεται από την ANYbotics στην Ελβετία (Anybotics, 2022). Το ρομπότ έχει ύψος 70 εκατοστά, μήκος 80 εκατοστά και πλάτος 60 εκατοστά, με πόδια που παρέχουν εξαιρετική κινητικότητα κατά την πλοήγηση σε σκάλες, καθώς και αποτελεσματική αποφυγή εμποδίων στο πέρασμά του. Το Λειτουργικό Σύστημα του ANYmal επιτρέπει την ανάπτυξη προσαρμοσμένου λογισμικού με σκοπό την επέκταση των δυνατοτήτων του. Το κύριο σώμα του ρομπότ είναι ανθεκτικό στο νερό και τη σκόνη.



Εικόνα 10. Το ρομπότ ANYmal της ANYbotics

Το ANYmal είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες που μπορούν να ανιχνεύσουν και να αποφύγουν εμπόδια στο κοντινό περιβάλλον του. Ωστόσο, απαιτούνται πρόσθετοι αισθητήρες για την ανίχνευση εμποδίων στο ύψος του χρήστη. Η κινητικότητα του ρομπότ είναι καλή σε οικεία περιβάλλοντα, όπως φαίνεται από την ικανότητά του να κινείται με ακρίβεια εκατοστών τόσο σε περιορισμένους όσο και σε μεγάλους ανοιχτούς χώρους. Επιπλέον, η κινητικότητα και η πλοήγησή του μπορούν να ενισχυθούν με ενσωματωμένο Wi-Fi 2,5 GHz ή 5 GHz, καθώς και με πρόσθεση μονάδα τηλεπικοινωνίας 4G/LTE, η οποία μπορεί να αγοραστεί ξεχωριστά. Σε συνδυασμό με τις ενσωματωμένες κάμερες, μπορεί να σταλεί βίντεο σε απομακρυσμένο σταθμό σε πραγματικό χρόνο. Ο χειρισμός του ρομπότ μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί με χειροκίνητο joystick, αν και αυτό μπορεί να μην είναι κατάλληλο για ΑμΟΑ. Το ANYmal έχει χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου έως 15 κιλά. Όταν φορτιστεί πλήρως, η μπαταρία του ρομπότ έχει διάρκεια λειτουργίας περίπου 90 λεπτά. Επιπλέον, μπορεί να συνδεθεί αυτόνομα με συσκευή επαναφόρτισης.

Το ANYmal διαθέτει ορισμένα χαρακτηριστικά απαραίτητα για χρήση ως ρομπότ-οδηγός. Ωστόσο, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας πλήρως λειτουργικός ρομπότ-οδηγός για ΑμΟΑ στην τρέχουσα φάση ανάπτυξής του. Αυτό το ρομπότ μπορεί να είναι ένας εύλογος υποψήφιος για την ίδρυση ενός πλήρως λειτουργικού ρομπότ-οδηγού στο μέλλον.

Το ρομπότ ANYmal διατίθεται από την ANYbotics στην τιμή των 150.000 δολαρίων περίπου.

3.2.4 Aliengo

Το Aliengo είναι ένα εξελιγμένο τετράποδο ρομπότ από την Unitree Robotics στην Κίνα (Unitree Robotics, 2022). Το ρομπότ μπορεί να λειτουργήσει σε διάφορα εδάφη. Υποστηρίζει τη γλώσσα κωδικοποίησης C/C++ και χρησιμοποιεί το λειτουργικό σύστημα Robot, το οποίο επιτρέπει την ανάπτυξη λογισμικού και την ανάλυση δεδομένων αισθητήρων. Το ρομπότ διαθέτει υποδοχές Ethernet, θύρες USB και θύρα HDMI. Η κινητικότητα του Aliengo είναι εξαιρετική σε οικείο χώρο αλλά



Εικόνα 11. Το ρομπότ Aliengo της Unitree

περιορισμένη σε άγνωστο περιβάλλον. Το GPS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πλοήγηση του ρομπότ σε εξωτερικό άγνωστο περιβάλλον. Οι ενσωματωμένοι αισθητήρες, όπως οι κάμερες βάθους, χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και την αποφυγή εμποδίων. Ωστόσο, η ανίχνευση και η αποφυγή είναι δυνατές μόνο στον κοντινό χώρο γύρω από το ρομπότ. Στην τρέχουσα κατάστασή του, μπορεί να είναι δύσκολο για το ρομπότ να αναγνωρίσει και να αποφύγει εμπόδια στο ύψος του χρήστη. Είναι δυνατή η μετάδοση βίντεο από τους αισθητήρες του ρομπότ, η οποία μπορεί να μην είναι χρήσιμη για ένα άτομο ΑμΟΑ. Το ρομπότ είναι εξοπλισμένο με μια μπαταρία λιθίου με μέγιστη περίοδο λειτουργίας τις 4,5 ώρες.

Παρότι το Aliengo διαθέτει ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά, δεν έχει σχεδιαστεί με στόχο να πληροί τις προϋποθέσεις για την ασφαλή πλοήγηση των ΑμΟΑ. Ωστόσο, μπορεί να αποτελέσει θεμέλιο για την ανάπτυξη ενός ρομπότ-οδηγού στο προσεχές μέλλον. Το ρομπότ Aliengo διατίθεται από την Unitree στην τιμή των 10.000 δολαρίων περίπου.

3.2.5 UC Berkeley Robotic Guide Dog

Οι ερευνητές του Πανεπιστημίου του Μπέρκλεϋ της Καλιφόρνια (University of California - UC) δημοσίευσαν πρόσφατα μια εργασία (Xiao, et al., 2021) που περιγράφει λεπτομερώς τις πρώτες φάσεις σχεδιασμού ενός ρομποτικού σκύλου-οδηγού. Το προτεινόμενο ρομπότ αποτελείται από ένα τετράποδο MiniCheetah (MIT) με προσαρμοσμένες



Εικόνα 12. Το ρομπότ Mini Cheetah της UC Berkeley (Πηγή: <https://techxplore.com/news/2021-04-laser-equipped-robotic-dog-people.html>)

προσθήκες. Το ρομπότ μπορεί να αναγνωρίσει και να αποφύγει τα εμπόδια σε κοντινή απόσταση και είναι σε θέση να πλοηγηθεί σε οικείους εσωτερικούς χώρους. Επιπλέον, μπορεί να έχει πρόσβαση σε GPS για πλοήγηση σε άγνωστα εξωτερικά περιβάλλοντα. Αλληλοεπιδρά με τους ανθρώπους μέσω της χρήσης ενός λουριού, το οποίο επιτρέπει στο ρομπότ να ανταποκρίνεται στον χρήστη με δυναμικό τρόπο και να δέχεται παραγγελίες.

Αυτό το ρομπότ φαίνεται να διαθέτει ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά που απαιτείται από ένα ρομπότ-οδηγό για ΑμΟΑ. Ωστόσο, η λειτουργία του συναντά επίσης αρκετούς περιορισμούς όπως είναι η πλοήγηση σε εξωτερικούς χώρους και η μικρή ανταπόκριση του ρομπότ στο χρήστη. Το έξυπνο λουρί μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά και μόνο σε λειτουργίες «τεντωμένο» και «χαλαρό» και είναι σχεδιασμένο να μεταδίδει περιορισμένες πληροφορίες αφής μεταξύ του χρήστη και του ρομπότ. Θα χρειαζόταν περαιτέρω βελτίωση για τη χρήση του προϊόντος ως λειτουργικού ρομπότ οδηγού.

3.2.6 Alpha Dog



Εικόνα 13. Το ρομπότ AlphaDog της Weilan.

Το AlphaDog είναι ένα τετράποδο ρομπότ που αναπτύχθηκε από τη Weilan, μια start-up με έδρα την Κίνα που ιδρύθηκε το 2019 (Weilan, 2022). Υπάρχουν τέσσερα μοντέλα: AlphaDog C100, AlphaDog C200, AlphaDog E300 και AlphaDog E400L. Τα ρομπότ Alphadog περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά όπως τεχνητή νοημοσύνη, Internet of Things, 5G, εικονική πραγματικότητα, αυτόνομη οδήγηση και νοημοσύνη σμήνους (swarm intelligence). Είναι εξοπλισμένα με

αισθητήρες που αναγνωρίζουν και αποφεύγουν εμπόδια στο περιβάλλον, αλλά δεν είναι σε θέση να ανιχνεύσουν εμπόδια έξω από το δικό τους άμεσο περιβάλλον. Τα Alphadogs μπορούν να προγραμματιστούν για να πλοηγούνται αποτελεσματικά σε οικεία περιβάλλοντα, αλλά μπορεί να δυσκολεύονται να ελιχθούν σε άγνωστα. Οι δυνατότητες 5G και GPS των ρομπότ μπορεί να διευκολύνουν την πλοήγηση, αλλά πρέπει να προγραμματιστούν χειροκίνητα για νέα περιβάλλοντα. Τα ρομπότ Alphadog παρέχουν αναμετάδοση βίντεο του περιβάλλοντός τους και μπορούν να ελεγχθούν ασύρματα, ωστόσο αυτές οι λειτουργίες δεν είναι χρήσιμες για τα ΑμΟΑ.

Τα Alphadogs είναι εξοπλισμένα με μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία λιθίου, η οποία παρέχει μέσο χρόνο βαδίσματος 1,5 ώρας για το AlphaDog C100, 3 ώρες για το AlphaDogC200 και το AlphaDog E300 και 5 ώρες για το AlphaDog E400L.

Τα ρομπότ Alphadog διαθέτουν ορισμένα επιθυμητά λειτουργικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται από έναν σκύλο-οδηγό, ωστόσο δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα ως οδηγοί ρομπότ στην τρέχουσα κατάστασή τους. Αυτά τα ρομπότ μπορεί να είναι χρήσιμα ως θεμέλιο για την ανάπτυξη ενός ρομπότ-οδηγού.

3.2.7 Jueying X 20



Εικόνα 14. Το ρομπότ Jueying X 20 από την Deep Robotics.

Η DEEP Robotics, που εδρεύει στην Κίνα, έχει αναπτύξει το τετράποδο ρομπότ Jueying X 20 (Deep Robotics, 2022). Το Jueying X 20 διαθέτει μια εκτενή σειρά αισθητήρων, συμπεριλαμβανομένης μιας κάμερας ανίχνευσης βάθους και ενός ραντάρ λέιζερ. Το Λειτουργικό Σύστημα Robotics που περιλαμβάνεται στο ρομπότ επιτρέπει την ανάπτυξη προσαρμοσμένου λογισμικού. Με το σύστημα «έξυπνης αντίληψης», το ρομπότ μπορεί να δημιουργήσει έναν τρισδιάστατο χάρτη του περιβάλλοντος χώρου και να τον χρησιμοποιήσει για να αναγνωρίσει και να αποφύγει τα εμπόδια στο πέρασμά του. Ωστόσο, αυτή η δυνατότητα περιορίζεται στο άμεσο περιβάλλον του ρομπότ και μπορεί να μην είναι χρήσιμη για τον εντοπισμό εμποδίων κατά την κίνηση του χρήστη. Το ρομπότ χρησιμοποιεί επίσης Wi-Fi, 4G/5G και GPS για να διευκολύνει την κίνησή του.

Όπως τα άλλα ρομπότ, έτσι και το Jueying X 20 παρέχει αναμετάδοση βίντεο ασύρματα στον χρήστη. Δεν είναι σε θέση να αναγνωρίσει τις προθέσεις των χρηστών σε αυτό το στάδιο. Η περίοδος λειτουργίας του είναι 4 ώρες με ωφέλιμο φορτίο έως 20 κιλά.

Το Jueying X 20 διαθέτει κάποια επιθυμητά λειτουργικά χαρακτηριστικά ενός ρομπότ καθοδήγησης, αλλά έχει αρκετούς περιορισμούς στην τρέχουσα μορφή του. Μπορεί να αποτελέσει τη βάση για τη μελλοντική ανάπτυξη ενός οδηγού ρομπότ. Το ρομπότ Jueying X 20 διατίθεται από την Deep Robotics στην τιμή των 3.000 δολαρίων περίπου.

3.2.8 BBeer



Εικόνα 16. Το ρομπότ BBeer του Carnegie Mellon και της Waseda (Πηγή: <https://www.cmu.edu/news/stories/archives/2019/may/suitcase-helps-navigate-airports.html>)

Ερευνητές από το Πανεπιστήμιο Carnegie Mellon των ΗΠΑ, το Πανεπιστήμιο του Τόκιο και το Ερευνητικό Ινστιτούτο Επιστήμης και Μηχανικής Waseda της Ιαπωνίας αναπτύσσουν το BBeer - ένα ηχητικό ρομπότ αποφυγής σύγκρουσης που λειτουργεί με μπαταρία για την πλοήγηση ΑμΟΑ σε χώρο αεροδρομίου (Kayukawa, et al., 2019). Αυτό το ρομπότ βρίσκεται ακόμα σε φάση έρευνας.

Το BBeer χρησιμοποιεί αισθητήρες RGB-D για να ανιχνεύει τη θέση των πεζών, να παρακολουθεί την κίνησή τους σε πραγματικό χρόνο, να προβλέπει τις μελλοντικές τους θέσεις και να αποφεύγει τη σύγκρουση μαζί τους. Ο εντοπισμός

και η αποφυγή εμποδίων εστιάζονται κυρίως στο ρομπότ και όχι στον χρήστη ΑμΟΑ.

Δεδομένου ότι αυτό το ρομπότ σχεδιάστηκε για οργανωμένα περιβάλλοντα, η κινητικότητα και η πλοήγησή του είναι περιορισμένες και ενδέχεται να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εξωτερικά μη δομημένα περιβάλλοντα.

Χρησιμοποιώντας ηχητικές ειδοποιήσεις, αυτό το ρομπότ μπορεί να παρέχει πληροφορίες για ενδεχόμενα εμπόδια στον χρήστη. Οι ήχοι ταξινομούνται ως ήχοι «χαμηλής ανάγκης», ήχοι «ενδιάμεσης επείγουσας ανάγκης» και ήχοι «σταματήματος» που εκπέμπονται όταν το ρομπότ βρίσκεται σε απόσταση 0,7 μέτρων από ένα εμπόδιο.

Η ικανότητα του ρομπότ να αναγνωρίζει την πρόθεση του χρήστη είναι αρκετά περιορισμένη. Η μορφή του ρομπότ προσομοιάζει σε βάλιτσα, η οποία μπορεί να μην είναι κατάλληλη για πλοήγηση σε διάφορα περιβάλλοντα.

Το BBeer έχει πολλά επιθυμητά λειτουργικά χαρακτηριστικά, όπως η αναγνώριση εμποδίων, η αποφυγή και η προειδοποίηση για πιθανούς κινδύνους, αλλά ο σχεδιασμός του θέτει σοβαρούς περιορισμούς στην ικανότητά του να λειτουργεί σε μια σειρά από εδάφη και επιφάνειες πλοήγησης. Παρόλο που μπορεί να συναντά περιορισμούς στη χρήση του ως ρομπότ-οδηγός, ωστόσο τα χαρακτηριστικά αυτού του ρομπότ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενημέρωση ενός βιώσιμου προϊόντος στο μέλλον.

3.2.9 Buddy

Το Buddy είναι ένα αυτόνομο ρομπότ που αναπτύχθηκε από την ισραηλινή εταιρεία Seamless Vision (Seamless Vision, 2022). Χρησιμοποιεί μια ποικιλία αισθητήρων για την ανίχνευση στατικών και δυναμικών εμποδίων σε αστικά περιβάλλοντα. Το Buddy λειτουργεί καλύτερα σε επίπεδες επιφάνειες και, ως εκ τούτου, η κινητικότητα και η πλοήγησή του είναι περιορισμένες. Το ρομπότ είναι σε θέση να κατευθύνει έναν χρήστη σε γνωστές τοποθεσίες σε μητροπολιτικές περιοχές. Προσφέρει περιορισμένες πληροφορίες για το περιβάλλον του και μπορεί να αναγνωρίσει τις προθέσεις του χρήστη μόνο σε περιορισμένο βαθμό. Δεν υπάρχουν δημόσια διαθέσιμες πληροφορίες για την αντοχή και τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας του ρομπότ. Αν και το Buddy δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ρομπότ-οδηγός στην παρούσα φάση ανάπτυξής του, ωστόσο ορισμένα χαρακτηριστικά θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την ανάπτυξη ενός οδηγού ρομπότ στο μέλλον.



Εικόνα 17. Το ρομπότ Buddy της Seamless Vision.

3.2.10 Ollie

Η Tencent Robotics, με έδρα την Κίνα, παρουσίασε πρόσφατα το Ollie – ένα τροχοφόρο ρομπότ (Ackerman, 2021). Τα δύο μεμονωμένα τροχοφόρα πόδια και η «ουρά» αυτού του ρομπότ του επιτρέπουν να ισορροπεί, να αναποδογυρίζει και να αντιμετωπίζει εύκολα τις σκάλες. Η ανάπτυξη του Ollie βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο ερευνητικό στάδιο, αν και έχουν γίνει κάποιες πειραματικές μελέτες για τον έλεγχο της ισορροπίας του ρομπότ (Wang, et al., 2021). Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις δυνατότητες του ρομπότ δεν είναι δημόσια προσβάσιμες αυτήν τη στιγμή. Η παρακολούθηση της μελλοντικής εξέλιξης αυτού του ρομπότ παρουσιάζει ενδιαφέρον.



Εικόνα 18. Το ρομπότ Ollie της Tencent Robotics

3.3 Απαιτούμενα χαρακτηριστικά για ένα αποτελεσματικό Ρομπότ-Οδηγό

Προκειμένου να διασφαλίζεται με συνέπεια η υποστήριξη περισσότερων ΑμΟΑ, είναι απαραίτητο ένας οδηγός-ρομπότ να συνδυάζει ποικίλα χαρακτηριστικά που να επιτρέπουν στο ρομπότ να κατανοεί και να αντιδρά αποτελεσματικά σε διάφορα περιβάλλοντα (Thiyagarajan et al., 2022).

Οι Thiyagarajan et al. (2022) αναζήτησαν τις προϋποθέσεις για την ανάπτυξη μιας οικονομικά αποδοτικής στρατηγικής για την όσο το δυνατόν πιο αυτόνομη πλοήγηση των ΑμΟΑ. Για το σκοπό αυτό συνδύασαν τα συμπεράσματα από αντίστοιχες μελέτες (Holmes & Prentice, 2015), πραγματοποίησαν συζητήσεις με εκπαιδευτές σκύλων-οδηγών, με ειδικούς προσανατολισμού και κινητικότητας και με ΑμΟΑ. Ως αποτέλεσμα εντόπισαν οκτώ θεμελιώδεις λειτουργικές απαιτήσεις για την υποστηριζόμενη κινητικότητα ατόμων που θα πρέπει ένας ρομποτ-οδηγός για ΑμΟΑ να παρέχει στο χρήστη:

1) Ανίχνευση και αποκωδικοποίηση του χώρου: Να μπορεί να ανιχνεύει στατικά και δυναμικά εμπόδια, από το έδαφος μέχρι το ύψος του κεφαλιού του χρήστη σε κατάλληλη απόσταση για να επιτρέπει την έγκαιρη αντίδραση του ΑμΟΑ.

2) Αποφυγή εμποδίων: Να μπορεί να αποφεύγει, τόσο στατικά, όσο και δυναμικά εμπόδια και να επιστρέφει στην προβλεπόμενη γραμμή διαδρομής όπου είναι αυτό δυνατόν.

3) Ροή και ευελιξία στην κίνηση: Να μπορεί να διαπραγματεύεται διαφορετικούς τύπους εδάφους (όπως χαλίκι, γρασίδι, κλπ), συμπεριλαμβανομένων των σκαλοπατιών και των αλλαγών στο επίπεδο της επιφάνειας.

4) Καθοδήγηση του χρήστη: Να καθοδηγεί έναν χρήστη ΑμΟΑ από τη μια τοποθεσία σε μία άλλη, τόσο σε γνωστά όσο και σε άγνωστα περιβάλλοντα.

5) Έξυπνη μετάδοση πληροφοριών στον χρήστη: Να ενημερώνει λεκτικά τον χρήστη για τις απαραίτητες πληροφορίες, σύντομα και περιεκτικά, ώστε να μπορεί μετακινηθεί στο περιβάλλον του έγκαιρα και με τον προτιμώμενο τρόπο. Ιδιαίτερα όσον αφορά τα εμπόδια, να σταματά σε απόσταση ενός χεριού ή ενός βήματος και να ανακοινώνει το αντικείμενο στον χρήστη ΑμΟΑ.

6) Πρόσληψη οδηγιών από τον χρήστη: Να λαμβάνει εντολές από τον χρήστη είτε με απτικά είτε με ακουστικά μέσα και διατηρεί στη μνήμη τις προτιμήσεις του για να βελτιώσει την εμπειρία πλοήγησης.

7) Βέλτιστη μορφή: Να διαθέτει μια κοινωνικά αποδεκτή σχεδίαση και παράλληλα, να είναι εργονομικό και λειτουργικό κατά την καθοδήγηση του ΑμΟΑ

8) Ανθεκτικότητα και αυτονομία: Να διαθέτει χαρακτηριστικά που συμβάλλουν στη βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη μακροζωία της συσκευής, καθώς και μεγάλη χωρητικότητα μπαταρίας που να επιτρέπει στο χρήστη ΑμΟΑ να ολοκληρώνει τις απαραίτητες εργασίες που επιθυμεί.

3.4 Ανοιχτές προκλήσεις για το μέλλον

Σημαντικά εργαλεία πλοήγησης που λειτουργούν τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους βασίζονται σε διαφορετική τεχνολογία. Ωστόσο, τα σύγχρονα συστήματα πλοήγησης που προτείνονται για τα ΑμΟΑ υπολείπονται ακόμη σε βασικά χαρακτηριστικά που είναι αρκετά σημαντικά για την ανεξάρτητη πλοήγηση (Kuriakose, Shrestha & Sandnes, 2022). Για παράδειγμα, για να φτάσει το ΑμΟΑ στον προορισμό του με ασφάλεια, πρέπει να αντιμετωπίσει επιτυχώς διάφορες προκλήσεις, όπως είναι ο εντοπισμός λάκκου σε ένα μονοπάτι, τα κρεμαστά εμπόδια, οι σκάλες, οι κόμβοι κυκλοφορίας, οι πινακίδες στο πεζοδρόμιο, το υγρό δάπεδο σε εσωτερικούς χώρους, τα ολισθηρά εξωτερικά μονοπάτια, κ.ά. (Riazi et al., 2016)

Επίσης, μπορεί να υπάρξουν περιπτώσεις στις οποίες οι κοινωνικές συνθήκες, όπως η ενόχληση ή η παρεμπόδιση άλλων ανθρώπων, πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό του συστήματος πλοήγησης. (Kuriakose, Shrestha & Sandnes, 2022)

Επιπλέον, η πρωτοποριακή μελέτη του Due το 2023 σύγκρινε τις αλληλεπιδράσεις των ΑμΟΑ με έναν ζωντανό σκύλο-οδηγό και με ένα σκύλο-ρομπότ (Spot) εξοπλισμένο με τεχνητή νοημοσύνη (AI) και με αισθητηριακές και ανιχνευτικές ικανότητες. Προηγούμενες μελέτες είχαν διεξαχθεί αποκλειστικά και μόνο με χρήση ρομποτικών πρωτοτύπων σε πειραματικές καταστάσεις και όχι με ένα πραγματικό ρομπότ που διατίθεται στην αγορά. Τόσο ο σκύλος-οδηγός όσο και το ρομπότ αποδείχθηκαν ικανοί οδηγοί, αλλά με πολύ διαφορετικούς τρόπους. Συνολικά, και οι δύο οδηγοί ήταν σε θέση να αισθανθούν και να επικοινωνήσουν αισθητηριακές πληροφορίες με τον χρήστη. Ωστόσο, ενώ ο σκύλος, ως ζωντανό πλάσμα, θεωρήθηκε υπεύθυνος για τυχόν πρωτοβουλίες που έλαβε για την αποφυγή των εμποδίων που συναντούσε, δεν ίσχυε το ίδιο για το ρομπότ. Στη δεύτερη περίπτωση, την ευθύνη την είχε ο χρήστης και το ρομπότ ως σύστημα. Παρόλο που το ρομπότ παρήγαγε μικρο-δράσεις αυτόνομα, με βάση τις αισθητηριακές του ικανότητες, και

παρόλο που αυτές οι ενέργειες μεταδόθηκαν ως απτικά σήματα (δονήσεις) μέσω του λουριού, στον χρήστη ΑμΟΑ η συνολική ευθύνη των κινήσεων αποδίδεται και στους δύο. Έτσι, στο ερώτημα αν «θα μπορούσε ένας σκύλος-οδηγός να αντικατασταθεί από έναν σκύλο ρομπότ;» η απάντηση που δίνει ο Due είναι «όχι», καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι ο χρήστης ΑμΟΑ δεν είναι ακόμα δυνατό να βασιστεί στην πρωτοβουλία του ρομπότ, όπως μπορεί να βασιστεί στην πρωτοβουλία ενός ζωντανού σκύλου και αντιστρόφως, δεν είναι σε θέση ακόμη τα ρομπότ να προσαρμόζουν ευέλικτα την δράση τους στις αντιδράσεις του χρήστη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Ποια είναι τα σύγχρονα διαθέσιμα μέσα υποστηρικτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους και ποιες είναι οι επικρατέστερες;

Αναφορικά με το ερευνητικό ερώτημα: «Ποια είναι τα σύγχρονα διαθέσιμα μέσα υποστηρικτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους και ποιες είναι οι επικρατέστερες;», μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης 72 άρθρων διαπιστώθηκαν οι ακόλουθες:

1. Συστήματα οπτικής αναμετάδοσης, όπως οι στερεο-κάμερες, οι κάμερες RGB-D, το δίκτυο καμερών παρακολούθησης IP, ο Οπτικός Ταυτόχρονος Εντοπισμός και Χαρτογράφηση (VSLAM), το Microsoft Kinect και τα συστήματα χωρικής ανίχνευσης με λέιζερ LASS.
2. Μη οπτικά συστήματα δεδομένων, όπως τα ασύρματα δίκτυα ραδιοκυμάτων, οι φάροι Bluetooth, οι αισθητήρες υπερήχων που εφαρμόζονται σε συστήματα όπως το NavGuide των Patil et al. (2018) και οι αισθητήρες υπερύθρων που ενσωματώνονται συχνά σε έξυπνα μαστούνια.
3. Συστήματα που βασίζονται σε τρισδιάστατους χάρτες, όπως το SmartFactMaps των Götzelmann και Winkler (2015) ή το LucentMap του Götzelmann (2016).
4. Συστήματα με στερεοφωνικό ήχο όπως το Ηλεκτρονικό Ταξιδιωτικό Βοήθημα SVETA των Balakrishnan et al. (2007) ή το Sound of Vision των Caraiman et al. (2017).
5. Συστήματα που βασίζονται σε smartphone, όπως το ActiVis των Lock et al. (2017), το Tactile Wayfinder των Heuten et al. (2008), η εφαρμογή PERCEPT-II των Ganz et al. (2014), το σύστημα ENVISION των Khenkar et al. (2016), το NavCog3 των Sato et al. (2017), το σύστημα TARSIUS των τους Mataró et al. (2017).
6. «Έξυπνα» μαστούνια (Smart Canes), όπως το EyeCane των Maidenbaum et al. (2014), το μαστούνι υπερήχων των Guerrero et al. (2018) και πιο σύγχρονα όργανα που συνδυάζουν νέες τεχνολογίες, όπως τρισδιάστατους εκτυπωμένους ενδοψηφιακούς αισθητήρες κλίσης που βασίζονται σε πυκνωτές (Ozioko et al., 2021), ηλεκτρομαγνητικούς αισθητήρες (Cardillo et al., 2018), οπτικούς αισθητήρες που βασίζονται στην ανίχνευση μέσω λέιζερ (LiDAR) (Yura et al., 2021) και αισθητήρες εγγύτητας προσαρτημένους στο μαστούνι.

7. Ρομπότ-οδηγοί όπως το τα τροχοφόρα, Cabot, Robotic Travel Aid (RoTA) “Harunobu”, Intelligent Robot Assistant for the Visually Impaired (SRAVIP), LIGHBOT, καθώς επίσης και το τετράποδο ρομπότ Mini Cheetah.

Τα παραπάνω ευρήματα αναδεικνύουν την μεγάλη ποικιλία των διαθέσιμων τεχνολογιών για την πλοήγηση και την υποστήριξη του προσανατολισμού των ΑμΟΑ, τόσο για τους εσωτερικούς, όσο και για τους εξωτερικούς χώρους. Προκειμένου να επιτευχθεί η πλοήγηση του χρήστη ΑμΟΑ συχνά απαιτείται συνδυασμός των διαθέσιμων τεχνολογιών.

Τα συστήματα που βασίζονται σε smartphone αποτελούν με διαφορά την επικρατούσα τάση στην υποστηρικτική τεχνολογία πλοήγησης των ΑμΟΑ. Οι εφαρμογές που βασίζονται σε smartphone αποτέλεσαν και τις πιο προσιτές οικονομικά λύσεις που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη, καθώς διατίθενται μέχρι και εντελώς δωρεάν.

Ακολουθούν τα οπτικά συστήματα που βασίζονται σε κάμερα, καθώς και τα μη οπτικά συστήματα που βασίζονται σε αισθητήρες υπερήχων τα οποία διαπιστώνουμε ότι χρησιμοποιούνται συνήθως ως επικουρική συσκευή, παρά ως κύρια συσκευή πλοήγησης.

4.2 Ποιες είναι οι βασικότερες ελλείψεις και οι θετικότερες προοπτικές στον τομέα της ρομποτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ

Αναφορικά με το ερευνητικό ερώτημα: «Ποιες είναι οι βασικότερες ελλείψεις, αλλά και οι θετικότερες προοπτικές στον τομέα της ρομποτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ;», μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης 28 άρθρων διαπιστώθηκαν οι ακόλουθες:

Τα περισσότερα από τα διαθέσιμα ρομπότ αλληλεπιδρούν με το χρήστη με οπτικά μέσα όπως η αναμετάδοση βίντεο σε τάμπλετ και κατευθύνονται με τηλεχειριστήριο. Ως εκ τούτου, η βασικότερη έλλειψη που αναδεικνύει η παρούσα μελέτη στον τομέα της υπάρχουσας ρομποτικής τεχνολογίας πλοήγησης είναι ότι δεν έχει σχεδιαστεί για ΑμΟΑ, όπως είναι το Spot της Boston Dynamics, το ANYmal της ANYbotics, το Aliengo της Unitree Robotics, το AlphaDog της Weilan, το Jueying X 20 της DEEP Robotics, το BBeep του του Carnegie Mellon και της Waseda, το Buddy της Seamless Vision και το Ollie της Tencent Robotics.

Παράλληλα, η δοσμένη τεχνολογία εγγυάται μόνο για την αποφυγή εμποδίων από το ρομπότ, αλλά όχι και από τον χρήστη ο οποίος το ακολουθεί και διαθέτει σαφώς μεγαλύτερο ύψος. Έτσι, η λειτουργία των περισσότερων διαθέσιμων ρομπότ και ιδιαίτερα των τροχοφόρων συναντά περιορισμούς στην πλοήγηση σε εξωτερικούς χώρους και άγνωστα περιβάλλοντα.

Επιπλέον, στις βασικές ελλείψεις σημειώνεται το γεγονός ότι η διάρκεια λειτουργίας των ρομπότ που έχουν αναπτυχθεί ως τώρα είναι περιορισμένη και κυμαίνεται στις 2-5 ώρες. Η χρόνος ζωής της μπαταρίας είναι αυτός που περιορίζει τις δυνατότητες πλοήγησης του χρήστη, αποτρέποντάς τον για παράδειγμα από το να πραγματοποιήσει μία πολύωρη βόλτα σε εξωτερικό χώρο.

Τέλος, σημαντικό μειονέκτημα της υπάρχουσας ρομποτικής τεχνολογίας αποτελεί το γεγονός ότι τα ρομπότ σκύλοι-οδηγοί παρουσιάζουν υψηλό κόστος αγοράς που κυμαίνεται από μερικές χιλιάδες δολάρια ως και 150.000 δολάρια.

Ως εκ τούτου, τα ρομπότ σκύλοι-οδηγοί συναντούν ακόμη αρκετούς περιορισμούς στην πλοήγηση των ΑμΟΑ στην πράξη, όπως είναι η χαμηλή ευελιξία στην κίνηση, η μικρή διάρκεια ζωής των μπαταριών και, κυρίως, το υψηλό κόστος αγοράς.

Οι θετικότερες προοπτικές στον τομέα της ρομποτικής τεχνολογίας, όπως αναδείχθηκε στο κεφάλαιο 2, αφορούν στην σημαντική εξέλιξη της τεχνολογίας φωνητικής και απτικής διάδρασης ορισμένων συσκευών υποστηρικτικής πλοήγησης με τους χρήστες ΑμΟΑ. Ως εκ τούτου, μπορούμε να δούμε ότι είναι απολύτως εφικτό στο μέλλον η διαθέσιμη αυτή τεχνολογία να ενσωματωθεί κατάλληλα σε ρομπότ που να στοχεύουν αποκλειστικά στην πλοήγηση των ΑμΟΑ.

4.3 Ποιες είναι οι διαφορές και οι ομοιότητες των ρομπότ με άλλα μέσα υψηλής υποστηρικτικής τεχνολογίας, όπως είναι οι φορητές συσκευές (wearable devices) και τα έξυπνα μαστούνια (smart canes);

Αναφορικά με το ερευνητικό ερώτημα: «Ποιες είναι οι διαφορές και οι ομοιότητες των ρομπότ με άλλα μέσα υψηλής υποστηρικτικής τεχνολογίας, όπως είναι οι φορητές συσκευές (wearable devices) και τα έξυπνα μαστούνια (smart canes)», μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης 17 άρθρων διαπιστώθηκαν οι ακόλουθες:

Όπως αναδείχθηκε στα Κεφάλαια 2 και 3, τα ρομπότ εφαρμόζουν τις ίδιες επιμέρους τεχνολογίες πλοήγησης με τις φορητές συσκευές και τα έξυπνα μαστούνια. Ως εκ τούτου, τα ρομπότ υπόκεινται στους ίδιους περιορισμούς που θέτουν τα περισσότερα διαθέσιμα μέσα υποστηρικτικής τεχνολογίας (βλ. χρόνος ζωής της μπαταρίας, «ευαισθησία» των αισθητήρων, κλπ).

Ωστόσο, ένα ρομπότ-οδηγός αποτελεί σύνθεση αυτών των τεχνολογιών και ως εκ τούτου συνδυάζει περισσότερες δυνατότητες ταυτόχρονα, ενώ είναι δυνατό να απαλλάξει το χρήστη από την ανάγκη να φέρει συσκευές στο σώμα του. Ως εκ τούτου, το αποτέλεσμα της υβριδικής εφαρμογής των νέων αυτών τεχνολογιών για το σχεδιασμό ρομπότ-βοηθών για τα ΑμΟΑ, είναι κάτι παραπάνω από το άθροισμα επί μέρους τεχνογνωσίας. Ένα ρομπότ-οδηγός έχει τις προδιαγραφές να προσφέρει μία ανώτερη ποιοτικά εμπειρία πλοήγησης.

4.4 Πώς μπορούν τα μέσα υποστηρικτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ να συμβάλλουν στη βελτίωση της συμπερίληψης των παιδιών με οπτική αναπηρία στην εκπαίδευση;

Αναφορικά με το ερευνητικό ερώτημα: «Πώς μπορούν τα μέσα υποστηρικτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ να συμβάλλουν στη βελτίωση της συμπερίληψης των παιδιών με οπτική αναπηρία στην εκπαίδευση», μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης 15 άρθρων διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα:

Ρομποτικά συστήματα όπως το SRAVIP των Albogamy et al. (2021) που παρουσιάστηκαν στην παρούσα εργασία θα μπορούσαν να βοηθήσουν τα ΑμΟΑ να φτάσουν στον προορισμό τους μέσα σε έναν εκπαιδευτικό χώρο. Ως εκ τούτου, μπορεί όταν ένας μαθητής με προβλήματα όρασης εισέρχεται σε ένα σχολείο, το κινητό ρομπότ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ενεργοποιήσει την πλοήγηση του παιδιού προς τον απαιτούμενο προορισμό σύμφωνα με τις εξατομικευμένες ανάγκες του κάθε μαθητή. Με αυτές τις

διαπιστώσεις συμφωνούν οι Albogamy et al. (2021) οι οποίοι θεωρούν ότι σύγχρονα ρομποτικά συστήματα όπως το SRAVIP θα μπορούσαν να εμπλουτιστούν με επιπλέον δυνατότητες όπως η αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων ή προσώπου και η υποστήριξη ξένων γλωσσών για την εύκολη και εξατομικευμένη πλοήγηση του χρήστη.

Από εκεί και πέρα, οι περισσότερες από τις διαθέσιμες τεχνολογίες πλοήγησης σε εσωτερικούς χώρους που παρουσιάστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, όπως η εγκατάσταση ασύρματων δικτύων ραδιοκυμάτων ή δικτύων Bluetooth σε συνδυασμό με εφαρμογές που βασίζονται σε smartphone για την φωνητική ή απτική ενημέρωση των ΑμΟΑ κατά την πλοήγηση στο χώρο, θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για τη διευκόλυνση της πλοήγησης των μαθητών ή των φοιτητών ΑμΟΑ στο εσωτερικό των εκπαιδευτικών χώρων συμβάλλοντας έτσι στο αίσθημα ασφάλειας και υποστήριξης που απαιτείται για την ουσιαστική συμπερίληψη των ΑμΟΑ στην εκπαιδευτική διαδικασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Συζήτηση και συμπεράσματα

5.1.1 Σχετικά με τα σύγχρονα διαθέσιμα μέσα υποστηρικτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους και τις επικρατέστερες από αυτές

Όπως αναδεικνύεται από την παρούσα βιβλιογραφική μελέτη οι τεχνολογίες πλοήγησης των ΑμΟΑ έχουν αναδειχθεί σε σημαντική πρόκληση στον ερευνητικό τομέα. Καθώς η ασφαλής πλοήγηση των ΑμΟΑ σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους είναι μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν στην καθημερινή τους ζωή, είναι σαφές ότι η περαιτέρω ανάπτυξη και αξιοποίηση της υποστηρικτικής τεχνολογίας πλοήγησης μπορεί να βελτιώσει το βαθμό της ισότιμης συμμετοχής τους στην κοινωνία, την εκπαίδευση και την εργασία προσφέροντας μεταξύ άλλων σημαντικά οφέλη στην παγκόσμια οικονομία.

Όπως διαπιστώνεται από τα ευρήματα της μελέτης, υπάρχει πληθώρα διαθέσιμων τεχνολογιών για την πλοήγηση και την υποστήριξη του προσανατολισμού των ΑμΟΑ, τόσο για τους εσωτερικούς, όσο και για τους εξωτερικούς χώρους. Μάλιστα, προκειμένου να επιτευχθεί η πλοήγηση του χρήστη ΑμΟΑ απαιτείται συνδυασμός μεγάλης ποικιλίας των διαθέσιμων τεχνολογιών.

Ωστόσο, όπως διαπιστώνεται από σύγχρονες μελέτες όπως αυτή του Due (2023), οι περισσότερες από τις τεχνολογικές προτάσεις που γίνονται, μπορεί να λειτουργούν καλά στη θεωρία, αλλά μπορεί να είναι πολύ δύσκολο να υιοθετηθούν από τον επιδιωκόμενο χρήστη στην πράξη. Το συμπέρασμα αυτό συμφωνεί με αντίστοιχη μελέτη των Kuriakose et al. (2020). Για παράδειγμα, το μέγεθος των περισσότερων φορητών συστημάτων που προσαρτώνται στο σώμα δεν είναι αρκετά πρακτικό για ένα άτομο να το μεταφέρει και έτσι κάνει τον χρήστη να μην επιλέγει να το χρησιμοποιήσει ως βοήθημα για την πλοήγηση (Ali & Abou Ali, 2017). Παράλληλα, το κόστος αγοράς του συστήματος, ο μεγάλος χρόνος εκμάθησης που χρειάζεται για να προσαρμοστεί ο χρήστης στο σύστημα είναι μερικοί ακόμη λόγοι για τους οποίους τα ΑμΟΑ βρίσκουν τη χρήση αρκετών σύγχρονων συστημάτων απογοητευτική και αποθαρρυντική (Kuriakose et al., 2020).

Επιπλέον, η πλειοψηφία των συστημάτων πλοήγησης για ΑμΟΑ που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα είναι σε θέση να υποστηρίζουν ικανοποιητικά την κινητικότητα σε εσωτερικούς χώρους, επιτυγχάνοντας υψηλά ποσοστά ακρίβειας ανίχνευσης πάνω από 80% (βλ. Yohannes et al., 2020), αλλά συναντούν αρκετούς περιορισμούς στη λειτουργία τους σε εξωτερικούς χώρους. Τέτοιοι περιορισμοί είναι το κόστος εγκατάστασης (βλ. δίκτυο καμερών παρακολούθησης IP, φάροι Bluetooth, κ.ά.), καθώς η εγκατάσταση επιπλέον εξοπλισμού ή αισθητήρων σε κτίρια ή δρόμους απαιτεί μεγάλα έξοδα και σοβαρή υποδομή (Cheraghi et al., 2017). Επίσης, ένα άλλος περιορισμός είναι η επίδραση των καιρικών συνθηκών στη λειτουργία των αισθητήρων ή η δυσκολία ανίχνευσης των διαφορετικών τύπων εδάφους (π.χ. λάσπες, ολισθηρό οδόστρωμα, κλπ). Ως εκ τούτου, δεν είναι παράξενο το γεγονός ότι οι περισσότερες από τις τεχνολογικές προτάσεις που περιλαμβάνονται στη σύγχρονη βιβλιογραφία φαίνεται να λειτουργούν καλά κυρίως σε εσωτερικά περιβάλλοντα όπως το σπίτι ή το γραφείο.

Η χρήση των "έξυπνων" μαστουνιών με υποστηρικτική τεχνολογία αισθητήρων παρουσιάζει σαφή πλεονεκτήματα έναντι του απλού μαστουνιού, καθώς παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το άμεσο περιβάλλον του χρήστη, όπως η επιφάνεια του εδάφους, οι κίνδυνοι και πιθανά εμπόδια στη διαδρομή που ένα απλό μαστούνι δεν μπορεί να εντοπίσει, όπως τα κρεμαστά εμπόδια. Επιπλέον, είναι οικεία για τα ΑμΟΑ στη χρήση, είναι χαμηλού κόστους και αντικαθίστανται εύκολα. Ωστόσο, τα μαστούνια γενικά απαιτούν κυρίως επαφή ως τρόπο ανίχνευσης, μέθοδος που μπορεί να μην είναι πάντοτε ασφαλής ή κοινωνικά αποδεκτή, ενώ η λειτουργία των αισθητήρων επηρεάζεται αρνητικά από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως οι κακές καιρικές συνθήκες. Ως εκ τούτου, η εξέλιξη της υποστηρικτικής τεχνολογίας γύρω από τα «έξυπνα» μαστούνια δεν αναιρεί την ανάγκη περαιτέρω ανάπτυξης της τεχνολογίας πλοήγησης για τα ΑμΟΑ.

Τα συστήματα που βασίζονται σε smartphone αποτελούν με διαφορά την επικρατούσα τάση στην υποστηρικτική τεχνολογία πλοήγησης των ΑμΟΑ και συνεχίζει να κερδίζει συνεχώς έδαφος έναντι άλλων συστημάτων, λόγω φορητότητας και ευκολίας στη χρήση. (Pundlik, Shivshanker & Luo, 2023)

Επιβεβαιώνοντας την παραπάνω διαπίστωση της παρούσας εργασίας, μια κριτική των Budrionis et al. (2022) περιελάμβανε 15 άρθρα σχετικά με ταξιδιωτικά βοηθήματα που βασίζονται σε smartphone για τα ΑμΟΑ, ενώ μια συστηματική ανασκόπηση από τους Tan et al. (2023) εντόπισε 65 ερευνητικά άρθρα που περιέγραφαν και αξιολογούσαν την

τεχνολογία smartphone για την υποστήριξη των ΑμΟΑ. Όσον αφορά το πλήθος των διαθέσιμων εφαρμογών, οι Pundlik, Shivshanker & Luo (2023) εντόπισαν τουλάχιστον 290 εφαρμογές για υποστήριξη της πλοήγησης των ΑμΟΑ και την ψηφιακή προσβασιμότητα που είναι σήμερα διαθέσιμες στο κοινό, εκ των οποίων το 66% διατίθεται δωρεάν.

Ενώ οι εφαρμογές για smartphone αυξάνονται σε πλήθος και σε δυνατότητες, οι αξιολογήσεις των εφαρμογών περιορίζονταν συνήθως σε απλές κριτικές χρηστών οι οποίες δεν είναι επιστημονικά τεκμηριωμένες. Λείπουν αυστηρές μελέτες αξιολόγησης σχετικά με την επίδραση των υποστηρικτικών εφαρμογών για smartphone στην καθημερινή απόδοση των εργασιών και στην ποιότητα ζωής των ΑμΟΑ. Επιπλέον, τα κριτήρια αξιολόγησης είναι δύσκολο να καθοριστούν, δεδομένης της ετερογένειας των οπτικών εργασιών και των οπτικών αναγκών των χρηστών. Έτσι, προκύπτει η αναγκαιότητα περαιτέρω διερεύνησης των οπτικών αναγκών και του βαθμού στον οποίο οι ψηφιακές εφαρμογές μέσω smartphone καλύπτουν τις ανάγκες των ΑμΟΑ προκειμένου να διευκολυνθεί η διεξαγωγή του ερευνητικού έργου στον τομέα αυτόν. (Pundlik et al., 2023)

5.1.2 Σχετικά με τις βασικότερες ελλείψεις και τις θετικότερες προοπτικές στον τομέα της ρομποτικής τεχνολογίας για την πλοήγηση των ΑμΟΑ

Διαπιστώθηκε από την παρούσα εργασία ότι η πλειονότητα των υπαρχόντων ρομπότ έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές γενικής χρήσης και όχι στοχευμένα για την πλοήγηση των ΑμΟΑ, ενώ τα ρομπότ που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για την πλοήγηση των ΑμΟΑ διαθέτουν ένα περιορισμένο πακέτο χαρακτηριστικών. (Thiyagarajan et al., 2022)

Ως εκ τούτου, τα περισσότερα ρομπότ είναι σε θέση να ανιχνεύουν εμπόδια στο περιβάλλον και να αποφεύγουν τη σύγκρουση με αυτά, ωστόσο η δυνατότητα αυτή περιορίζεται μόνο στο άμεσο κοντινό περιβάλλον του ρομπότ, όχι του χρήστη. Το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί και με την ταυτόχρονη χρήση ενός αισθητήρα στερεωμένου στο ίδιο το σώμα του χρήστη ΑμΟΑ. Επιπλέον, η λειτουργία των περισσότερων διαθέσιμων ρομπότ συναντά επίσης αρκετούς περιορισμούς στην πλοήγηση σε εξωτερικούς χώρους και άγνωστα περιβάλλοντα.

Ιδιαίτερα τα τροχοφόρα ρομπότ δεν είναι σε θέση να λειτουργήσουν σε ανώμαλα εδάφη με αποτέλεσμα να περιορίζονται αποκλειστικά και μόνο σε εσωτερικούς χώρους. Αυτό ωστόσο δε σημαίνει ότι δεν είναι απολύτως χρήσιμο να αξιοποιηθούν σε κλειστούς

χώρους όπως σχολεία, νοσοκομεία, γυμναστήρια, εμπορικά κέντρα, αεροδρόμια, κ.ά. Μάλιστα, στην περίπτωση των χώρων εκπαίδευσης όπως τα σχολεία και τα πανεπιστήμια, η χρήση τους θα μπορούσε να συμβάλλει καθοριστικά στην πιο ουσιαστική συμπερίληψη των ΑμΟΑ σε εκπαιδευτικό και κοινωνικό επίπεδο.

Η παρούσα εργασία, μέσα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση επιβεβαιώνει τις διαπιστώσεις των Thiagarajan et al. (2022) σχετικά με τα χαρακτηριστικά που χρειάζεται να διαθέτει ένας ολοκληρωμένος και λειτουργικός ρομπότ-οδηγός για την πλοήγηση των ΑμΟΑ στο μέλλον: Να μπορεί να ανιχνεύει και να αποφεύγει στατικά και δυναμικά εμπόδια και να επιτρέπει την έγκαιρη αντίδραση του ΑμΟΑ, να ανταπεξέρχεται σε διαφορετικούς τύπους εδάφους, τόσο σε οικεία όσο και σε άγνωστα περιβάλλοντα, να ενημερώνει τον χρήστη σύντομα και περιεκτικά, ώστε να μπορεί μετακινηθεί στο περιβάλλον του έγκαιρα και με τον προτιμώμενο τρόπο, να δέχεται εντολές από τον χρήστη, ώστε να λαμβάνει όσο το δυνατό καλύτερα υπόψη τις επιθυμίες του, να έχει μια λειτουργική και κοινωνικά αποδεκτή μορφή και να διαθέτει όσο το δυνατό μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και αυτονομία. Στις παραπάνω διαπιστώσεις θα συμπληρώναμε την ανάγκη τα σχεδιαζόμενα ρομπότ-οδηγοί να είναι οικονομικά προσιτά.

5.1.3 Σχετικά με τις διαφορές και τις ομοιότητες των ρομπότ με άλλα μέσα υψηλής υποστηρικτικής τεχνολογίας

Όπως επισημάνθηκε στο 3ο Κεφάλαιο, οι διαθέσιμες τεχνολογίες υποστήριξης της πλοήγησης των ΑμΟΑ, όπως το έξυπνο μαστούνι, οι συσκευές υπερήχων, κλπ, αποτελούν συστήματα τα οποία να βασίζονται σε έξυπνη ανίχνευση εμποδίων και σε ισχυρή τεχνολογία πλοήγησης.

Υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της τεχνολογίας των σχεδιαζόμενων ρομπότ-οδηγών και των απλούστερων συσκευών πλοήγησης. Προκειμένου να αναβαθμιστεί η λειτουργία ενός ρομπότ οφείλει πρώτα από όλα να εξελιχθεί η τεχνολογία των διαθέσιμων επι μέρους συσκευών και τεχνολογιών που αυτό εφαρμόζει. Για παράδειγμα ένα ρομπότ-οδηγός που είναι εξοπλισμένο με κάμερες υψηλής ευκρίνειας, ανιχνευτές λέιζερ και ηχεία, διαθέτει τόση ευαισθησία, ευκρίνεια, ή ανθεκτικότητα όση διαθέτουν οι αντίστοιχες συσκευές υποστηρικτικής τεχνολογίας που εφαρμόζει.

Όπως επισημαίνουν οι Wang, Zhao & Zhang (2021), σε αντίθεση με τα επιμέρους εξαρτήματα, τα ρομποτ-οδηγοί δίνουν έμφαση στην αλληλεπίδραση με τους ανθρώπους και ως εκ τούτου οι εφαρμογές τους εστιάζονται περισσότερο στην καθημερινή ζωή. Μάλιστα, μελέτη των Bonani et al. (2018) έδειξε ότι όταν το ρομπότ παρέχει, όχι μόνο στατικές προφορικές κι οδηγίες, αλλά και φυσική υποστήριξη με ενεργό τρόπο στην πλοήγηση των ΑμΟΑ, οι χρήστες είναι σε θέση να βιώνουν ακόμη και ζεστασιά ή ευγνωμοσύνη προς το ρομπότ-οδηγό κατά την αλληλεπίδραση μαζί του. Τα παραπάνω στοιχειοθετούν την δυνατότητα των ρομπότ-οδηγών να παρέχουν μία ανώτερη ποιοτικά εμπειρία πλοήγησης στον χρήστη.

5.1.4 Σχετικά με το πώς μπορούν τα μέσα υποστηρικτικής τεχνολογίας της πλοήγησης των ΑμΟΑ να συμβάλλουν στη βελτίωση της συμπερίληψης των παιδιών με οπτική αναπηρία στην εκπαίδευση

Παρά το γεγονός ότι προωθείται η κουλτούρα της συμπερίληψης στα σχολεία, τα παιδιά με προβλήματα όρασης εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν εμπόδια στην ολόπλευρη κοινωνική και εκπαιδευτική τους συμμετοχή. Στις μέρες μας, οι εσωτερικοί χώροι σε σχολεία και πανεπιστήμια, μετά βίας διαθέτουν πίνακες πληροφοριών και επιγραφές στις πόρτες με τη μορφή Braille. Με βάση την υφιστάμενη διαθέσιμη υποστηρικτική τεχνολογία πλοήγησης, στο μέλλον σχολές και σχολεία θα μπορούσαν να διαθέτουν συστήματα πλοήγησης των ΑμΟΑ στον προορισμό τους, όπως για παράδειγμα, σε περίπτωση που ένας μαθητής ΑμΟΑ αναζητά μια αίθουσα διδασκαλίας, τη βιβλιοθήκη, την τουαλέτα ή οποιοδήποτε άλλο χώρο ζωτικής σημασίας.

Ακόμη και κορυφαίες ακαδημαϊκές βιβλιοθήκες στο Ηνωμένο Βασίλειο και τις ΗΠΑ που έχουν ενσωματώσει διάφορα μέσα υποστηρικτικής τεχνολογίας σε υπηρεσίες βιβλιοθηκών για τη διευκόλυνση της χρήσης του υλικού από μαθητές ΑμΟΑ, σύμφωνα με μελέτη των Alabi & Mutula (2020), δεν διαθέτουν τεχνολογίες πλοήγησης στο χώρο, αλλά χρησιμοποιούν εφαρμογές που αφορούν κυρίως τη διευκόλυνση ανάγνωσης οθόνης όπως είναι το Job Access With Speech.

Το 2019 οι Metatla et al. διερεύνησαν με ποιον τρόπο οι φωνητικές διεπαφές χρήστη θα μπορούσαν να υποστηρίξουν τη συνεκπαίδευση, ιδιαίτερα για μαθητές με προβλήματα όρασης. Οι φωνητικές διεπαφές χρήστη (Voice User Interfaces - VUIs) είναι αρκετά διαδεδομένες για τη διευκόλυνση της καθημερινότητας των ΑμΟΑ, ιδιαίτερα μέσα στο

χώρο του σπιτιού. Ωστόσο, ελάχιστη έρευνα έχει γίνει σχετικά με τις δυνατότητες χρήσης τους σε άλλα περιβάλλοντα, όπως τα σχολεία, και ιδιαίτερα η ενσωμάτωσή τους σε έναν ρομπότ οδηγό σχεδιασμένο για την πλοήγηση μέσα στο περιβάλλον του σχολείου.

Με αυτές τις διαπιστώσεις συμφωνούν οι Albogamy et al. (2021) οι οποίοι θεωρούν ότι σύγχρονα ρομποτικά συστήματα όπως το SRAVIP θα μπορούσαν να εμπλουτιστούν με επιπλέον δυνατότητες όπως η αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων ή προσώπου και η υποστήριξη ξένων γλωσσών για την εύκολη και εξατομικευμένη πλοήγηση του χρήστη.

5.2 Περιορισμοί της έρευνας

Η αναζήτηση πραγματοποιήθηκε στην αγγλική γλώσσα, ενώ είναι σαφές ότι χώρες όπως η Κίνα και η Ιαπωνία παρουσιάζουν μεγάλη ερευνητική δραστηριότητα στους τομείς προηγμένης υποστηρικτικής τεχνολογίας. Ως εκ τούτου, πολλά από τα σύγχρονα ευρήματα στον τομέα της τεχνολογίας που αφορά στην πλοήγηση των ΑμΟΑ ενδέχεται να αγνοήθηκαν από την παρούσα εργασία.

5.3 Προτάσεις

Μέσα από τα στοιχεία της παρούσας έρευνας προκύπτει η αναγκαιότητα περαιτέρω διερεύνησης των οπτικών αναγκών και του βαθμού στον οποίο οι ψηφιακές εφαρμογές μέσω smartphone καλύπτουν τις ανάγκες των ΑμΟΑ προκειμένου να συστηματοποιηθεί και να ενταθεί η διεξαγωγή των ερευνών σε αυτόν τον τομέα αιχμής.

Από εκεί και πέρα, η ανάπτυξη και η εφαρμογή στρατηγικών που να βοηθούν τα ΑμΟΑ στην καθημερινή τους μετακίνηση, τόσο σε εξωτερικούς, όσο και σε εσωτερικούς χώρους (βλ. σχολείο, χώρος εργασίας) συνδέεται άρρηκτα με τη δυνατότητα των ατόμων αυτών να βρουν και να διατηρήσουν εργασία και μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά παγκόσμια οφέλη, τόσο κοινωνικά, όσο και οικονομικά. Η εφαρμογή ρομποτικών συστημάτων πλοήγησης για ΑμΟΑ, τόσο στους χώρους σπουδών, όσο και στο χώρο εργασίας θα αποτελούσε ένα σημαντικό μέτρο προς αυτή την κατεύθυνση.

Ιδιαίτερα όσον αφορά τη συμπερίληψη στο εκπαιδευτικό περιβάλλον, μελέτες που σχετίζονται με τα συστήματα πλοήγησης σε εκπαιδευτικούς χώρους για τη βελτίωση της συμπερίληψης που εφαρμόζεται στα ευρωπαϊκά εκπαιδευτικά συστήματα και μεταξύ αυτών, στη χώρα μας, πρέπει να ενταθούν.

Όσον αφορά τα ρομπότ-οδηγούς, μπορεί ο Due το 2023 να απαντά «όχι» στο ερώτημα αν «θα μπορούσε ένας σκύλος-οδηγός να αντικατασταθεί από έναν σκύλο ρομπότ;», ωστόσο, αρκεί να θυμίσουμε ότι η πλειοψηφία των διαθέσιμων ρομπότ τελευταίας τεχνολογίας, όπως ο Spot, δεν έχουν σχεδιαστεί με στόχο για να καλύπτουν τις ανάγκες των ΑμΟΑ. Ως εκ τούτου, υπάρχουν ακόμη πολλά ανεξερευνήτα περιθώρια αναβάθμισης των δυνατοτήτων πλοήγησης των ΑμΟΑ με τη βοήθεια των ρομπότ.

Άλλωστε, όπως διαπιστώνει ο Due, σήμερα οι περισσότερες μελέτες έχουν διεξαχθεί αποκλειστικά και μόνο με χρήση ρομποτικών πρωτοτύπων σε πειραματικές καταστάσεις και όχι με ένα πραγματικό ρομπότ που διατίθεται στην αγορά. Ως εκ τούτου, χρειάζεται να πραγματοποιηθούν περισσότερες έρευνες με πραγματικά ρομπότ τα οποία να χρησιμοποιούνται από πραγματικούς χρήστες ΑμΟΑ προκειμένου να διαπιστωθούν τα χαρακτηριστικά που χρίζουν βελτίωσης στη διαθέσιμη ρομποτική τεχνολογία.

Τα ρομποτικά συστήματα που παρουσιάστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι πολύ έξυπνα κατασκευασμένα και μπορούν στο μέλλον να προσαρμοστούν για τις ανάγκες πλοήγησης των ΑμΟΑ τόσο σε εξωτερικούς όσο και εσωτερικούς χώρους. Πέραν της ιδιωτικής χρήσης, θα μπορούσαν να βρίσκονται σε δημόσιους χώρους και να αξιοποιούνται από ΑμΟΑ χωρίς κάποια οικονομική επιβάρυνση με ευθύνη των αρμόδιων κρατικών φορέων και ιδιαίτερα όσον αφορά στους χώρους μάθησης και σπουδών. Γιατί όχι «smart schools», όπως λέμε «smart cities»;

Τέλος, γίνεται φανερό ότι ενώ η πλειοψηφία των σύγχρονων ρομπότ που αναπτύσσονται διαθέτουν χαρακτηριστικά πολύ ενδιαφέροντα και επιθυμητά για έναν ρομπότ-οδηγό για ΑμΟΑ, ωστόσο παρουσιάζουν βασικές ελλείψεις, καθώς δεν έχουν σχεδιαστεί με σκοπό να παρέχουν ασφαλή πλοήγηση σε ΑμΟΑ. Θα έλεγε κανείς ότι τα τεχνολογικά κομμάτια του παζλ υπάρχουν, αλλά δεν έχει δοθεί η απαραίτητη επιστημονική προσοχή στο να συνδεθούν μεταξύ τους. Μελλοντικές έρευνες θα πρέπει να εστιάσουν την προσοχή τους σε αυτή την προσπάθεια σύνδεσης, ενσωματώνοντας τις διαπιστώσεις των Thiagarajan et al. 2022 σχετικά με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ενός σύγχρονου ρομπότ-οδηγού.

Άλλωστε, τα τετράποδα ρομπότ που κυκλοφορούν στην αγορά διαθέτουν αρκετά από τα χαρακτηριστικά που απαιτούνται για το σχεδιασμό ενός άρτιου ρομπότ-οδηγού εξωτερικών χώρων. Πεποίθηση της παρούσας μελέτης είναι ότι τέτοια ρομπότ μπορούν να

χρησιμοποιηθούν ως βασική ρομποτική πλατφόρμα προκειμένου να σχεδιαστεί ένας πλήρως λειτουργικός ρομπότ-οδηγός για ΑμΟΑ στο άμεσο μέλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Ackerman, E. (2021, June 15). *Tencent's New Wheeled Robot Flicks Its Tail To Do Backflips*. IEEE Spectrum. <https://spectrum.ieee.org/tencents-new-wheeled-robot-flicks-its-tail-to-do-backflips>.
- Alabi, A. O., & Mutula, S. M. (2020). Digital inclusion for visually impaired students through assistive technologies in academic libraries. *Library Hi Tech News*, 37(2), 14-17. <https://doi.org/10.1108/LHTN-11-2019-0081>.
- Albogamy, F., Alotaibi, T., Alhawdan, G., & Mohammed, F. (2021). SRAVIP: Smart Robot Assistant for Visually Impaired Persons. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(7). <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120739>.
- Albouys-Perrois, J., Laviolle, J., Briant, C., & Brock, A. M. (2018). Towards a multisensory augmented reality map for blind and low vision people: A participatory design approach. *Proceedings of the 2018 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1-14). ACM Digital Library. <https://doi.org/10.1145/3173574.3174203>.
- Ali, A., & Abou Ali, M. (2017). Blind navigation system for visually impaired using windowing-based mean on Microsoft Kinect camera. *Fourth International Conference on Advances in Biomedical Engineering (ICABME)* (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2012.10.011>.
- Anybotics. (2022). *Meet ANYmal your new inspector*. <https://www.anybotics.com/anymal-autonomous-legged-robot/>.
- ARAN, (2022). *Buddy: Autonomous Robot*. <https://www.aran-rd.com/buddy-autonomous-robot>.
- Bai, J., Lian, S., Liu, Z., Wang, K., & Liu, D. (2018). Virtual-blind-road following-based wearable navigation device for blind people. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 64(1), 136-143. doi: 10.1109/TCE.2018.2812498.
- Bai, J., Liu, D., Su, G., & Fu, Z. (2017). A cloud and vision-based navigation system used for blind people. *Proceedings of the 2017 international conference on artificial*

- intelligence, automation and control technologies* (pp. 1-6). ACM Digital Library. <https://doi.org/10.1145/3080845.3080867>.
- Balakrishnan, G., Sainarayanan, G., Nagarajan, R., & Yaacob, S. (2007). *Wearable real-time stereo vision for the visually impaired*. *Engineering Letters*, 14(2). https://www.engineeringletters.com/issues_v14/issue_2/EL_14_2_2.pdf.
- Barra, J., Lesecq, S., Zarudniev, M., Debicki, O., Mareau, N., & Ouvry, L. (2019). Localization system in GPS-denied environments using radar and IMU measurements: Application to a smart white cane. *18th European Control Conference (ECC)* (pp. 1201-1206). IEEE. doi: 10.23919/ECC.2019.8795887.
- Bhowmick, A., & Hazarika, S. M. (2017). An insight into assistive technology for the visually impaired and blind people: state-of-the-art and future trends. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 11(2), 149-172. <https://doi.org/10.1007/s12193-016-0235-6>.
- Bhowmick, A., Prakash, S., Bhagat, R., Prasad, V., & Hazarika, S. M. (2014). Intellinavi: Navigation for blind based on kinect and machine learning. In Murty, M. N., He, X., Chillarige, R. R., Weng, P. (Eds.), *Multi-disciplinary Trends in Artificial Intelligence: 8th International Workshop, MIWAI 2014*, 8875 (pp. 172-183). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13365-2_1.
- Bonani, M., Oliveira, R., Correia, F., Rodrigues, A., Guerreiro, T., & Paiva, A. (2018). What my eyes can't see, a robot can show me: Exploring the collaboration between blind people and robots. *Proceedings of the 20th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* (pp. 15-27). <https://doi.org/10.1145/3234695.3239330>
- Boston Dynamics, (2021). *Spot® - The Agile Mobile Robot*. www.bostondynamics.com/products/spot.
- Bourbakis, N. G., & Kavraki, D. (2001). An intelligent assistant for navigation of visually impaired people. *2nd annual IEEE international symposium on bioinformatics and bioengineering (BIBE 2001)* (pp. 230-235). IEEE. doi: 10.1109/BIBE.2001.974434.
- Bruno, D. R., de Assis, M. H., & Osório, F. S. (2019). Development of a mobile robot: Robotic guide dog for aid of visual disabilities in urban environments. *Latin American*

Robotics Symposium (LARS), 2019 Brazilian Symposium on Robotics (SBR) and 2019 Workshop on Robotics in Education (WRE) (pp. 104-108). IEEE. doi: 10.1109/LARS-SBR-WRE48964.2019.00026.

Budrionis, A., Plikynas, D., Daniušis, P., & Indrulionis, A. (2022). Smartphone-based computer vision travelling aids for blind and visually impaired individuals: A systematic review. *Assistive Technology*, 34(2), 178-194. <https://doi.org/10.1080/10400435.2020.1743381>.

Burton, M. J., Ramke, J., Marques, A. P., Bourne, R. R., Congdon, N., Jones, I., ... & Faal, H. B. (2021). The Lancet global health Commission on global eye health: vision beyond 2020. *The Lancet Global Health*, 9(4), e489-e551. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30488-5](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30488-5).

Capi, G., & Toda, H. (2011). A new robotic system to assist visually impaired people. *2011 RO-MAN - 20th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Symposium Digest*, (pp. 259-263). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2011.6005259>.

Caraiman, S., Morar, A., Owczarek, M., Burlacu, A., Rzeszotarski, D., Botezatu, N., ... & Moldoveanu, A. (2017). Computer vision for the visually impaired: the sound of vision system. *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision workshops* (pp. 1480-1489). https://openaccess.thecvf.com/content_ICCV_2017_workshops/papers/w22/Caraiman_Computer_Vision_for_ICCV_2017_paper.pdf.

Caraiman, S., Zvoristeanu, O., Burlacu, A., & Herghelegiu, P. (2019). Stereo vision based sensory substitution for the visually impaired. *Sensors*, 19(12), 2771. <https://doi.org/10.3390/s19122771>.

Cardillo, E., Di Mattia, V., Manfredi, G., Russo, P., De Leo, A., Caddemi, A., & Cerri, G. (2018). An electromagnetic sensor prototype to assist visually impaired and blind people in autonomous walking. *IEEE Sensors Journal*, 18(6), 2568-2576. doi: 10.1109/JSEN.2018.2795046.

- Castillo-Cara, M., Huaranga-Junco, E., Mondragón-Ruiz, G., Salazar, A., Barbosa, L. O., & Antúnez, E. A. (2016). Ray: Smart indoor/outdoor routes for the blind using Bluetooth 4.0 BLE. *Procedia Computer Science*, 83, 690-694. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.153>.
- Chaccour, K., & Badr, G. (2015). Novel indoor navigation system for visually impaired and blind people. In *2015 International Conference on Applied Research in Computer Science and Engineering (ICAR)* (pp. 1-5). IEEE. doi: 10.1109/ARCSE.2015.7338143.
- Cheraghi, S. A., Namboodiri, V., & Walker, L. (2017). GuideBeacon: Beacon-based indoor wayfinding for the blind, visually impaired, and disoriented. *2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)* (pp. 121-130). IEEE. doi: 10.1109/PERCOM.2017.7917858..
- Chugo, D., Liu, Z., Muramatsu, S., Sakaida, Y., Yokota, S., & Hashimoto, H. (2013). A dynamic personal space of a pedestrian for a personal mobility vehicle. *IEEE 4th International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)* (pp. 223-228). IEEE. doi: 10.1109/PERCOM.2017.791785.
- Collaborators, G. B. D., & Rawal, L. (2021). Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet Global Health*, 9(2), e144-e160. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30489-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30489-7).
- Csapó, Á., Wersényi, G., Nagy, H., & Stockman, T. (2015). A survey of assistive technologies and applications for blind users on mobile platforms: a review and foundation for research. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 9, 275-286. <https://doi.org/10.1007/s12193-015-0182-7>.
- Deep Robotics (2022). *Jueying X 20*. https://www.deeprobotics.cn/en/products_jy_303.html
- Ducasse, J., Brock, A. M., & Jouffrais, C. (2018). Accessible interactive maps for visually impaired users. In Pissaloux, E., Velazquez, R. (Eds.), *Mobility of Visually Impaired People: Fundamentals and ICT Assistive Technologies*, 537-584. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54446-5_17.

- Due, B. L. (2023). Guide dog versus robot dog: assembling visually impaired people with non-human agents and achieving assisted mobility through distributed co-constructed perception. *Mobilities*, 18(1), 148-166. <https://doi.org/10.1080/17450101.2022.2086059>.
- Elmzaghi, M., Fahad, M., & Guo, Y. (2019). Implementing Robust Voice-Control for Human Robot Interaction for Autonomous Robot Guides. *IEEE MIT Undergraduate Research Technology Conference (URTC)* (pp. 1-6). IEEE. doi: 10.1109/URTC49097.2019.9660499.
- Elsheikh, A. (2022). Review of Robotics Systems Available to aid Visually Impaired Persons. *Nafath*, 6 (19). <https://nafath.mada.org.qa/nafath-article/review-of-robotics-systems-available-to-aid-visually-impaired-persons/>.
- Feng, C., Azenkot, S., & Cakmak, M. (2015). Designing a robot guide for blind people in indoor environments. *Proceedings of the Tenth Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction Extended Abstracts* (pp. 107-108). ACM Digital Library. <https://doi.org/10.1145/2701973.2702060>.
- Ganesh, B. A., & Sreekumar, N. R. (2022). Recognition of Impediments for Visually Impaired Using Open CV. *4th International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)* (pp. 1446-1451). IEEE. doi: 10.1109/ICIRCA54612.2022.9985505.
- Ganz, A., Schafer, J. M., Tao, Y., Wilson, C., & Robertson, M. (2014, August). PERCEPT-II: Smartphone based indoor navigation system for the blind. *36th annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society* (pp. 3662-3665). IEEE. doi: 10.1109/EMBC.2014.6944417.
- Gharghan, S. K., Al-Kafaji, R. D., Mahdi, S. Q., Zubaidi, S. L., & Ridha, H. M. (2023). Indoor Localization for the Blind Based on the Fusion of a Metaheuristic Algorithm with a Neural Network Using Energy-Efficient WSN. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(5), 6025-6052. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-07188-4>.
- Gleason, C., Guo, A., Laput, G., Kitani, K., & Bigam, J. P. (2016). VizMap: Accessible visual information through crowdsourced map reconstruction. *Proceedings of the 18th*

International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (pp. 273-274). ACM Digital Library. <https://doi.org/10.1145/2982142.2982200>.

Gobee, S., & Durairajah, V. (2022). Guided Vehicle based with Robot Operating System for Mapping and Navigation Task. *International Conference on Edge Computing and Applications (ICECAA)* (pp. 868-872). IEEE. doi: 10.1109/ICECAA55415.2022.9936362.

Götzelmann, T. (2016). LucentMaps: 3D printed audiovisual tactile maps for blind and visually impaired people. *Proceedings of the 18th international ACM Sigaccess conference on computers and accessibility* (pp. 81-90). ACM Digital Library. <https://doi.org/10.1145/2982142.2982163>.

Götzelmann, T., & Winkler, K. (2015). SmartTactMaps: a smartphone-based approach to support blind persons in exploring tactile maps. *Proceedings of the 8th ACM International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments* (pp. 1-8). ACM. Digital Library. <https://doi.org/10.1145/2769493.2769497>.

Guerreiro, J., Sato, D., Asakawa, S., Dong, H., Kitani, K. M., & Asakawa, C. (2019). Cabot: Designing and evaluating an autonomous navigation robot for blind people. *Proceedings of the 21st International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* (pp. 68-82). ACM. Digital Library. <https://doi.org/10.1145/3308561.3353771>.

Guerrero, J. C., Quezada-V, C., & Chacon-Troya, D. (2018). Design and implementation of an intelligent cane, with proximity sensors, GPS localization and GSM feedback. *2018 IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering (CCECE)* (pp. 1-4). IEEE. doi: 10.1109/CCECE.2018.8447741.

Guiding Eyes for the Blind (2016). *Who We Are*. <https://www.guidingeyes.org/who-we-are/>.

Gupta, S., Sharma, I., Tiwari, A., & Chitranshi, G. (2015). Advanced guide cane for the visually impaired people. In *2015 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT)* (pp. 452-455). IEEE. doi: 10.1109/NGCT.2015.7375159.

- Hernández, A. C., Gómez, C., Crespo, J., & Barber, R. (2016). Object detection applied to indoor environments for mobile robot navigation. *Sensors*, *16*(8), 1180. <https://doi.org/10.3390/s16081180>.
- Heuten, W., Henze, N., Boll, S., & Pielot, M. (2008). Tactile wayfinder: a non-visual support system for wayfinding. *Proceedings of the 5th Nordic conference on Human-computer interaction: building bridges* (pp. 172-181). ACM Digital Library. <https://doi.org/10.1145/1463160.1463179>.
- Hoang, V. N., Nguyen, T. H., Le, T. L., Tran, T. T. H., Vuong, T. P., & Vuillerme, N. (2015). Obstacle detection and warning for visually impaired people based on electrode matrix and mobile Kinect. *Vietnam J Comput Sci* *4*, 71–83. <https://doi.org/10.1007/s40595-016-0075-z>.
- Holmes, N., & Prentice, K. (2015). iPhone video link as an orientation tool: Remote O&M for people with vision impairment. *Vision Rehabilitation International*, *7*(1), 60-67. <https://doi.org/10.21307/ijom-2017-057>.
- ICD-11. (2018). International Classification of Diseases 11th Revision. <https://icd.who.int/en>
- Ichikawa, R., Zhang, B., & Lim, H. O. (2022). Voice expression system of visual environment for a guide dog robot. *8th International Symposium on System Security, Safety, and Reliability (ISSSR)* (pp. 191-192). IEEE. doi: 10.1109/ISSSR56778.2022.00041.
- Ishihara, T., Vongkulbhisal, J., Kitani, K. M., & Asakawa, C. (2017). Beacon-guided structure from motion for smartphone-based navigation. *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)* (pp. 769-777). IEEE. doi: 10.1109/WACV.2017.91.
- Jafri, R., Campos, R. L., Ali, S. A., & Arabnia, H. R. (2017). Visual and infrared sensor data-based obstacle detection for the visually impaired using the Google project tango tablet development kit and the unity engine. *IEEE Access*, *6*, 443-454. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2766579.

- Jaggernath, J., Øverland, L., Ramson, P., Kovai, V., Chan, V. F., & Naidoo, K. S. (2014). *Poverty and eye health*. *Health*, 2014. <http://dx.doi.org/10.4236/health.2014.614217>.
- Joseph, S. L., Xiao, J., Zhang, X., Chawda, B., Narang, K., Rajput, N., ... & Subramaniam, L. V. (2015). Being aware of the world: Toward using social media to support the blind with navigation. *IEEE transactions on human-machine systems*, 45(3), 399-405. doi: 10.1109/THMS.2014.2382582.
- Karlsson, N., Di Bernardo, E., Ostrowski, J., Goncalves, L., Pirjanian, P., & Munich, M. E. (2005). The vSLAM algorithm for robust localization and mapping. *Proceedings of the 2005 IEEE international conference on robotics and automation* (pp. 24-29). IEEE. doi: 10.1109/ROBOT.2005.157009.
- Kaushalya, V. S. S., Premarathne, K. D. D. P., Shadir, H. M., Krithika, P., & Fernando, S. G. S. (2016). Automated Help Aid for Visually Impaired People using Obstacle Detection and GPS Technology: AKSHI. *International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)*, 6(11), 2016. <https://www.ijsrp.org/research-paper-1116/ijsrp-p5983.pdf>.
- Kayukawa, S., Higuchi, K., Guerreiro, J., Morishima, S., Sato, Y., Kitani, K., & Asakawa, C. (2019). BBeep: A sonic collision avoidance system for blind travellers and nearby pedestrians. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-12). ACM Digital Library. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300282>.
- Keel, S., & Cieza, A. (2021). Rising to the challenge: estimates of the magnitude and causes of vision impairment and blindness. *The Lancet Global Health*, 9(2), e100-e111. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(21\)00008-5](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(21)00008-5).
- Khenkar, S., Alsulaiman, H., Ismail, S., Fairaq, A., Jarraya, S. K., & Ben-Abdallah, H. (2016). ENVISION: Assisted navigation of visually impaired smartphone users. *Procedia Computer Science*, 100, 128-135. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.132>.
- Kim, D., Carballo, D., Di Carlo, J., Katz, B., Bledt, G., Lim, B., & Kim, S. (2020). Vision Aided Dynamic Exploration of Unstructured Terrain with a Small-Scale Quadruped Robot. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. doi:10.1109/icra40945.2020.9196777.

- Kuriakose, B., Shrestha, R., Sandnes, F. E. (2020). Tools and Technologies for Blind and Visually Impaired Navigation Support: A Review. *IETE Technical Review*, 39 (3), 3-18. <https://doi.org/10.1080/02564602.2020.1819893>.
- Lee Y. H. and Medioni G. (2016). RGB-D camera based navigation for the visually impaired. *Computer Vision and Image Understanding*, 149, 3-20 <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2016.03.019>.
- Li, B., Munoz, J. P., Rong, X., Chen, Q., Xiao, J., Tian, Y., ... & Yousuf, M. (2018). Vision-based mobile indoor assistive navigation aid for blind people. *IEEE transactions on mobile computing*, 18(3), 702-714. doi: 10.1109/TMC.2018.2842751.
- Lin, B. S., Lee, C. C., & Chiang, P. Y. (2017). *Simple smartphone-based guiding system for visually impaired people*. *Sensors*, 17(6), 1371. <https://doi.org/10.3390/s17061371>.
- Liu, Q., Li, R., Hu, H., & Gu, D. (2016). Building semantic maps for blind people to navigate at home. *8th Computer Science and Electronic Engineering (CEECE)* (pp. 12-17). IEEE. doi: 10.1109/CEECE.2016.7835881.
- Liu, X., Liu, Z., Zan, F., Chen, W., & Zhang, X. (2022). Research on Path Planning Method of Intelligent Robot Based on A* Algorithm. *2022 IEEE 5th International Conference on Information Systems and Computer Aided Education (ICISCAE)* (pp. 536-539). IEEE. doi: 10.1109/ICISCAE55891.2022.9927590.
- Lock, J. C., Cielniak, G., & Bellotto, N. (2017). A portable navigation system with an adaptive multimodal interface for the blind. *AAAI Spring Symposium Series*. <https://cdn.aaai.org/ocs/15311/15311-68255-1-PB.pdf>.
- Maidenbaum, S., Hanassy, S., Abboud, S., Buchs, G., Chebat, D. R., Levy-Tzedek, S., & Amedi, A. (2014). The “EyeCane”, a new electronic travel aid for the blind: Technology, behavior & swift learning. *Restorative neurology and neuroscience*, 32(6), 813-824. <https://doi.org/10.3233/RNN-130351>.
- Marder-Eppstein, E. (2016). *Project tango*. *ACM SIGGRAPH 2016 Real-Time Live!* (pp. 25), 40. ACM Digital Library. <https://doi.org/10.1145/2933540.2933550>.

- Marques, A. P., Ramke, J., Cairns, J., Butt, T., Zhang, J. H., Muirhead, D., ... & Burton, M. J. (2021). Global economic productivity losses from vision impairment and blindness. *EClinicalMedicine*, 35. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2021.100852>.
- Marzec, P., & Kos, A. (2019). Low energy precise navigation system for the blind with infrared sensors. *MIXDES-26th International Conference "Mixed Design of Integrated Circuits and Systems"* (pp. 394-397). IEEE. doi: 10.23919/MIXDES.2019.8787093.
- Mataró, T. V., Masulli, F., Rovetta, S., Cabri, A., Traverso, C., Capris, E., & Torretta, S. (2017). An assistive mobile system supporting blind and visual impaired people when are outdoor. In *2017 IEEE 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI)* (pp. 1-6). IEEE. doi: 10.1109/RTSI.2017.8065886.
- Metatla, O., Bardot, S., Cullen, C., Serrano, M., & Jouffrais, C. (2020). Robots for inclusive play: Co-designing an educational game with visually impaired and sighted children. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-13). ACM Digital Library. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376270>.
- Metatla, O., Oldfield, A., Ahmed, T., Vafeas, A., & Miglani, S. (2019). Voice user interfaces in schools: Co-designing for inclusion with visually-impaired and sighted pupils. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-15). ACM Digital Library. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300608>.
- Nada, A. A., Fakhir, M. A., & Seddik, A. F. (2015). Assistive infrared sensor based smart stick for blind people *2015 Science and Information Conference (SAI)*, (pp. 1149-1154). IEEE. doi: 10.1109/SAI.2015.7237289.
- Nair, V., Budhai, M., Olmschenk, G., Seiple, W. H., & Zhu, Z. (2018). ASSIST: Personalized indoor navigation via multimodal sensors and high-level semantic information. *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV) Workshops, 11134*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11024-6_9.
- National Federation of the Blind (2016). *Blindness Statistics*. <https://nfb.org/resources/blindness-statistics>.

- NSK Ltd. (2015, December 2). *NSK Improves LIGHBOT™: Guide Robot with Indoor Navigation and Obstacle Avoidance*. <https://www.nsk.com/company/news/2015/press1202d.html>.
- O'Keefe, R., Gnechi, S., Buckley, S., O'Murchu, C., Mathewson, A., Lesecq, S., & Foucault, J. (2018). Long range LiDAR characterisation for obstacle detection for use by the visually impaired and blind. *IEEE 68th Electronic Components and Technology Conference (ECTC)* (pp. 533-538). IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/ECTC.2018.00084>.
- Ozioko, O., Nassar, H., & Dahiya, R. (2021). 3D printed interdigitated capacitor based tilt sensor. *IEEE Sensors Journal*, *21*(23), 26252-26260. doi: 10.1109/JSEN.2021.3058949.
- Patil, K., Jawadwala, Q., & Shu, F. C. (2018). Design and construction of electronic aid for visually impaired people. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, *48*(2), 172-182. doi: 10.1109/THMS.2018.2799588.
- Pundlik, S., Shivshanker, P., & Luo, G. (2023). Impact of Apps as Assistive Devices for Visually Impaired Persons. *Annual Review of Vision Science*, *9*. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-111022-123837>.
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 779-788). doi: 10.1109/CVPR.2016.91.
- Riazi, A., Riazi, F., Yoosfi, R., & Bahmeei, F. (2016). Outdoor difficulties experienced by a group of visually impaired Iranian people. *Journal of current ophthalmology*, *28*(2), 85-90. <https://doi.org/10.1016/j.joco.2016.04.002>.
- Roentgen, U. R., Gelderblom, G. J., & de Witte, L. P. (2012). User evaluation of two electronic mobility aids for persons who are visually impaired: a quasi-experimental study using a standardized mobility course. *Assistive Technology*, *24*(2), 110-120. <https://doi.org/10.1080/10400435.2012.659794>.
- Saegusa, R., Mamiya, S., Koiwa, Y., Itokazu, K., Igari, S., Shigematsu, K., ... & Miura, J. (2014). A robot-mediated information guide system. In *2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)* (pp. 2995-3000). IEEE. doi: 10.1109/SMC.2014.6974386.

- Sain, M. & Neculescu, D. (2017). Portable Monitoring and navigation Control system for helping visually impaired people. *Proceedings of the 4th International Conference of Control, Dynamic Systems, and Robotics (CDSR)*. doi: 10.11159/cdsr17.121.
- Sánchez, J., Espinoza, M., de Borba Campos, M., & Merabet, L. B. (2013). Enhancing orientation and mobility skills in learners who are blind through video gaming. *Proceedings of the 9th ACM Conference on Creativity & Cognition* (pp. 353-356). <https://doi.org/10.1145/2466627.2466673>.
- Santos, A. D. P. D., Medola, F. O., Cinelli, M. J. & Ramirez, A. R. G. (2020). Are electronic whitecanes better than traditional canes? A comparative study with blind and blindfolded participants. *Universal Access in the Information Society*, 20, pp. 93-103. <https://doi.org/10.1007/s10209-020-00712-z>.
- Sardar, A., Joose, M., Weiss, A., & Evers, V. (2012, March). Don't stand so close to me: users' attitudinal and behavioral responses to personal space invasion by robots. *Proceedings of the seventh annual ACM/IEEE international conference on Human-Robot Interaction* (pp. 229-230). ACM Digital Library. <https://doi.org/10.1145/2157689.2157769>.
- Sato, D., Oh, U., Naito, K., Takagi, H., Kitani, K., & Asakawa, C. (2017). Navcog3: An evaluation of a smartphone-based blind indoor navigation assistant with semantic features in a large-scale environment. *Proceedings of the 19th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* (pp. 270-279). ACM Digital Library. <https://doi.org/10.1145/3132525.3132535>.
- Schenkman, B. N. (2017). Human echolocation in different situations and rooms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 141(5_Supplement), 3452-3452. <https://doi.org/10.1121/1.4987156>.
- Schwarze, T., Lauer, M., Schwaab, M., Romanovas, M., Böhm, S., & Jürgensohn, T. (2016). A camera-based mobility aid for visually impaired people. *KI-Künstliche Intelligenz*, 30, 29-36. <https://doi.org/10.1007/s13218-015-0407-7>.

- Sen, A., Sen, K., & Das, J. (2018). *Ultrasonic blind stick for completely blind people to avoid any kind of obstacles. 2018 IEEE SENSORS* (pp. 1-4). IEEE. doi: 10.1109/ICSENS.2018.8589680.
- Son, T. J., Hassan, A. H. A., & Jairan, M. H. (2021). Optimized robot mapping and obstacle avoidance using stereo vision. *11th IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)* (pp. 279-284). IEEE. doi: 10.1109/ISCAIE51753.2021.9431769.
- Spice B. (2019, May 7). *Collision-Detecting Suitcase, Wayfinding App Help Blind People Navigate Airports*. <https://www.cmu.edu/news/stories/archives/2019/may/suitcase-helps-navigate-airports.html>.
- Steidel, M. (2018). *RoboDog*. Worcester Polytechnic Institute. <https://core.ac.uk/download/pdf/212967035.pdf>.
- Tan, H. L., Aplin, T., McAuliffe, T., & Gullo, H. (2022). An exploration of smartphone use by, and support for people with vision impairment: a scoping review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 1-26. <https://doi.org/10.1080/17483107.2022.2092223>.
- Tapu, R., Mocanu, B., & Zaharia, T. (2020). Wearable assistive devices for visually impaired: A state of the art survey. *Pattern Recognition Letters*, 137, 37-52. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2018.10.031>.
- Thaler, L., & Goodale, M. A. (2016). Echolocation in humans: an overview. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 7(6), 382-393. Thaler, L., & Goodale, M. A. (2016). Echolocation in humans: an overview. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 7(6), 382-393.
- Thiyagarajan, K., Kodagoda, S., Luu, M., Duggan-Harper, T., Ritchie, D., Prentice, K. & Martin, J. (2022). Intelligent Guide Robots for People who are Blind or have Low Vision: A Review. *Vision Rehabilitation International*, 13(1) 1-15. <https://doi.org/10.2478/vri-2022-0003>.

- Tobita, K., Sagayama, K., & Ogawa, H. (2017). Examination of a Guidance Robot for Visually Impaired People. *Journal Of Robotics and Mechatronics*, 29(4), 720-727. doi: 10.20965/jrm. 2017.p0720.
- Ton, C., Omar, A., Szedenko, V., Tran, V. H., Aftab, A., Perla, F., ... & Yang, Y. (2018). LIDAR assist spatial sensing for the visually impaired and performance analysis. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 26(9), 1727-1734. doi: 10.1109/TNSRE.2018.2859800.
- Ulrich, I., & Borenstein, J. (2001). The GuideCane-applying mobile robot technologies to assist the visually impaired. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A. Systems and Humans*, 31(2), 131-136. doi: 10.1109/3468.911370.
- Unitree Robotics, (2022). *Unitree Aliengo*. <https://www.unitree.com/products/aliengo>.
- Wang, L., Zhao, J., & Zhang, L. (2021). Navdog: robotic navigation guide dog via model predictive control and human-robot modeling. *Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on Applied Computing* (pp. 815-818). ACM Digital Library. <https://doi.org/10.1145/3412841.3442098>.
- Wang, Q., Zhang, K., Zhao, K., & Liao, M. (2021). Smart seeing eye dog wheeled assistive robotics. *3rd International Symposium on Robotics & Intelligent Manufacturing Technology (ISRIMT)* (pp. 104-108). IEEE. doi: 10.1109/ISRIMT53730.2021.9596792.
- Wang, S., Cui, L., Zhang, J., Lai, J., Zhang, D., Chen, K., ... & Jiang, Z. P. (2021, May). Balance control of a novel wheel-legged robot: Design and experiments. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 6782-6788). IEEE. doi: 10.1109/ICRA48506.2021.9561579.
- Woo, S., Shin, J., Lee, Y. H., Lee, Y. H., Lee, H., Kang, H., ... & Moon, H. (2019). Stair-mapping with Point-cloud Data and Stair-modeling for Quadruped Robot. *16th international conference on ubiquitous robots (UR)* (pp. 81-86). IEEE. doi: 10.1109/URAI.2019.8768786.
- World Health Organization [WHO]. (2021). *Blindness and Visual Impairment*. <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>.

- Xiao, A., Tong, W., Yang, L., Zeng, J., Li, Z., & Sreenath, K. (2021). Robotic guide dog: Leading a human with leash-guided hybrid physical interaction. *2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 11470-11476). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICRA48506.2021.9561786>.
- Xiao, J., Joseph, S. L., Zhang, X., Li, B., Li, X., & Zhang, J. (2015). An assistive navigation framework for the visually impaired. *IEEE transactions on human-machine systems*, *45*(5), 635-640. doi: 10.1109/THMS.2014.2382570.
- Yirka B. (2021, April 7). *A laser equipped robotic guide dog to lead people who are visually impaired*. <https://techxplore.com/news/2021-04-laser-equipped-robotic-dog-people.html>
- Yohannes, E., Lin, P., Lin, C. Y., & Shih, T. K. (2020). Robot eye: automatic object detection and recognition using deep attention network to assist blind people. *International Conference on Pervasive Artificial Intelligence (ICPAI)* (pp. 152-157). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICPAI51961.2020.00036>.
- Yupa, F., Pozo, N., & Ayala, E. (2021). Smart White Cane for Unevenness Detection Using an Optical Device for Visually Impaired People Assistance. In Á., Rocha, P. C. López-López, & J. P., Salgado-Guerrero (Eds.), *Communication, Smart Technologies and Innovation for Society: Proceedings of CITIS 2021* (pp. 659-671). https://doi.org/10.1007/978-981-16-4126-8_59.
- Zafar S., Asif, M., Bin Ahmad, M., Ghazal, T. M., Faiz, T., Ahmad. M., Khan. M. A. (2022). Assistive Devices Analysis for Visually Impaired Persons: A Review on Taxonomy, *IEEE Access*, *10* (pp. 13354-13366). doi: 10.1109/ACCESS.2022.3146728.
- Zhang, B., Kaneko, M., & Lim, H. O. (2019). Robust 2D mapping integrating with 3d information for the autonomous mobile robot under dynamic environment. *Electronics*, *8*(12), 1503. <https://doi.org/10.3390/electronics8121503>.
- Zhang, Z. (2012). Microsoft kinect sensor and its effect. *IEEE multimedia*, *19*(2), 4-10. doi: 10.1109/MMUL.2012.24.
- Zhao, Y., Kupferstein, E., Tal, D., & Azenkot, S. (2018). "It Looks Beautiful but Scary" How Low Vision People Navigate Stairs and Other Surface Level Changes. *Proceedings*

of the 20th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (pp. 307-320). ACM Digital Library. <https://doi.org/10.1145/3234695.3236359>.

Zhu, J., Chen, Y., Zhang, M., Chen, Q., Guo, Y., Min, H., & Chen, Z. (2019). An edge computing platform of guide-dog robot for visually impaired. *IEEE 14th International Symposium on Autonomous Decentralized System (ISADS)* (pp. 1-7). IEEE. doi: 10.1109/ISADS45777.2019.9155620.