

# ΕΞΥΠΝΟ ΜΠΑΣΤΟΥΝΙ ΓΙΑ ΑΤΟΜΑ ΜΕ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΟΡΑΣΗΣ



ΔΕΛΗΜΠΑΛΤΑΔΑΚΗΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ **1084647**

ΔΙΑΣΑΚΟΣ ΔΑΜΙΑΝΟΣ **1084632**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## Περιεχόμενα

1	Περιγραφή εφαρμογής .....	3
1.1	Εισαγωγή.....	3
1.2	Προβλήματα .....	3
1.3	Στόχοι .....	3
2	Απαιτήσεις Χρήστη & Λειτουργίες .....	4
2.1	Απαιτήσεις Χρήστη .....	4
2.2	Προδιαγραφές Λειτουργιών.....	4
3	Προσέγγιση Αρχιτεκτονικής Υλικού .....	9
4	Προσέγγιση Αρχιτεκτονικής Λογισμικού .....	10
5	Αρχιτεκτονική Υλικού .....	11
5.1	Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ) .....	11
	Χρονισμός Επεξεργαστή .....	11
	Κατανάλωση ενέργειας .....	14
	Περιφερειακά .....	14
5.2	Μνήμη.....	14
	Κύρια Μνήμη .....	14
	Περιφερειακή Μνήμη .....	15
5.3	Αισθητήρες .....	16
	Υπερηχητικοί Αισθητήρες .....	16
	Αισθητήρας Νερού.....	16
5.4	Bluetooth.....	17
5.5	GPS.....	18
5.6	Συσκευές Εξόδου.....	18
6	Αρχιτεκτονική Λογισμικού .....	19
6.1	Λειτουργικό Σύστημα .....	19
6.2	Προγράμματα / Διεργασίες.....	19
7	Σχεδιασμός Συνολικού Συστήματος .....	21
7.1	Δομή Μπαστουνιού .....	21
7.2	Επικοινωνία Συσκευών .....	23
7.3	Λειτουργία Συστήματος.....	24
8	Σχεδιασμός Υποσυστημάτων .....	25

8.1	Υποσύστημα Αισθητήρων Γενικού Σκοπού .....	25
8.2	Υποσύστημα Εντοπισμού Εμποδίων από την Μέση έως το Κεφάλι .....	27
8.3	Υποσύστημα Εντοπισμού Λακκουβών και Σκαλιών.....	30
8.4	Υποσύστημα Εντοπισμού Νερού .....	32
8.5	Υποσύστημα Πλοήγησης .....	33
9	Υλοποίηση .....	35
9.1	Στοιχεία Υλοποίησης Υλικού .....	35
9.2	Στοιχεία Υλοποίησης Λογισμικού .....	39
10	Εκτίμηση Πειραματικών Μετρήσεων .....	40
10.1	Σενάρια Χρήσης Μπαστουνιού.....	40
11	Διαδικασία ελέγχου ορθής λειτουργίας. ....	45
11.1	Εισαγωγή στον έλεγχο ορθής λειτουργίας .....	45
11.2	Χρήση του πρότυπου ελέγχου IEEE 1149.1.....	45
12	Βελτιστοποίηση.....	47
12.1	Εισαγωγή στην Βελτιστοποίηση. ....	47
12.2	Βελτιστοποιήσεις .....	47
	Βιβλιογραφία .....	48

# 1 Περιγραφή εφαρμογής

## 1.1 Εισαγωγή

Αποφασίσαμε να εστιάσουμε στον τομέα της υγείας και συγκεκριμένα στην εξυπηρέτηση ατόμων με προβλήματα όρασης. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και την Διεθνή Υπηρεσία για την Πρόληψη της Τύφλωσης υπάρχουν περίπου 285 εκατομμύρια άτομα με προβλήματα όρασης, εκ των οποίων 39 εκατομμύρια είναι τελείως τυφλά και αυτός ο αριθμός θα συνεχίσει να αυξάνεται [1]. Σίγουρα λοιπόν υπάρχει ανάγκη για προηγμένες λύσεις στον κλάδο της υποβοηθούμενης πλοήγησης τυφλών ατόμων.

Ένα «έξυπνο» μπαστούνι είναι μια συσκευή η οποία βοηθάει τους τυφλούς να πλοηγηθούν ευκολότερα τον χώρο. Θα ανιχνεύει διάφορα εμπόδια γύρω από τον χρήστη και θα τον ενημερώνει πριν έρθει σε επαφή με αυτά, μέσω απτικής και ακουστικής ανάδρασης. Επιπλέον με χρήση ενός συστήματος GPS θα μπορεί να επιλέγει έναν προορισμό με την φωνή του και να δέχεται οδηγίες πλοήγησης μέχρι εκεί.

## 1.2 Προβλήματα

Ένα μεγάλο ποσοστό των ανθρώπων με προβλήματα όρασης αντιμετωπίζουν καθημερινά ορισμένες δυσκολίες πλοήγησης που δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν με το κλασικό μπαστούνι τυφλών.

Για παράδειγμα:

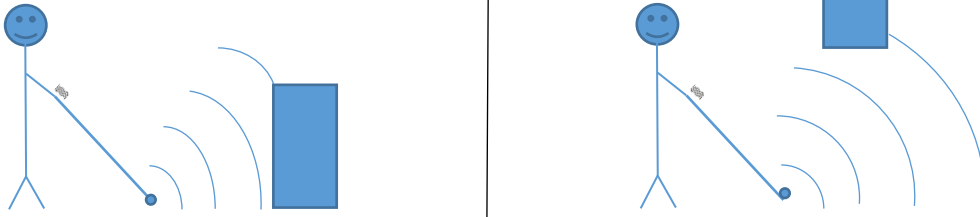
- Έλλειψη επαρκούς αντίληψης του περιβάλλοντα χώρου και των εμποδίων που δεν βρίσκονται στο μήκος του μπαστουιού.
- Αδυναμία αναγνώρισης εμποδίων στο ύψος του κεφαλιού.
- Φθορά του μπαστουιού από τις συνεχείς κρούσεις.
- Δυσκολία στην αναγνώριση σκαλιών και πεζοδρομίων.
- Η αναγνώριση εμποδίου με την επαφή δεν είναι πάντα ιδανική εάν το εμπόδιο δεν πρέπει ή δεν μπορεί να αγγιχθεί, πχ ακαθαρσίες, πεζοί, ζώα, σκουπίδια, κινούμενα αυτοκίνητα.
- Δυσκολία πλοήγησης σε άγνωστους προορισμούς.

## 1.3 Στόχοι

Οι σχεδιαστικοί στόχοι για το «έξυπνο» μπαστούνι είναι οι εξής:

- Εύκολη χρήση και εργονομική σχεδίαση του μπαστουιού.
- Χαμηλό κόστος & κατανάλωση ενέργειας.
- Έγκαιρος και έγκυρος εντοπισμός εμποδίων.
- Εύκολα κατανοητή μετάδοση μηνυμάτων στον χρήστη.





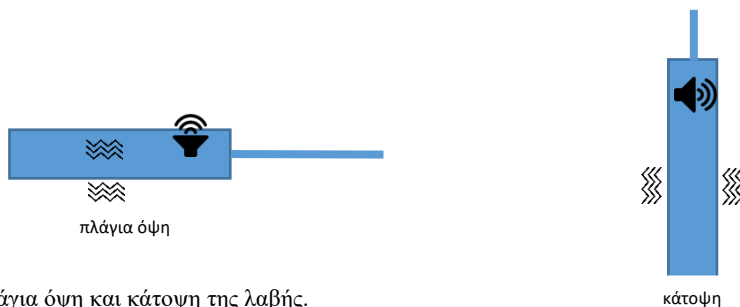
**Fig. 2.** Παραδείγματα εμποδίων

Παράλληλα ο χρήστης θα μπορεί με την χρήση ενός μικροφώνου να επιλέξει έναν προορισμό και σε συνδυασμό με ένα σύστημα GPS και μιας cloud based βάσης δεδομένων να δεχτεί σε ακουστικά που φοράει τα βήματα πλοήγησης σε αυτόν τον προορισμό.

## Μη Λειτουργικά Χαρακτηριστικά.

### Περιγραφή λαβής

Η λαβή διαθέτει τρεις συσκευές δόνησης. Κάτω, δεξιά και αριστερά της λαβής, με τέσσερα επίπεδα έντασης δόνησης για εσωτερικούς χώρους και πέντε για εξωτερικούς.



**Fig. 3.** Πλάγια όψη και κάτοψη της λαβής.

### Μήκος μαστουνιού

Θέλουμε μια τηλεσκοπική σχεδίαση, ώστε το μήκος του μαστουνιού να ρυθμίζεται για να ταιριάζει στο ύψος του κάθε χρήστη. Παράλληλα αυτή η σχεδίαση επιτρέπει την εύκολη αποθήκευση του μαστουνιού.

### Βάρος

$$\begin{aligned}
 \text{weight} &= us_{\text{sensor}} * 5 + water_{\text{sensor}} + vibration\ module * 3 + speaker \\
 &\quad + battery + mcu + bluetooth\ module + cane \\
 &= 10g * 5 + 9g + 30g * 3 + 80g + 50g + 6g + 7g + 360g \\
 &= 652g
 \end{aligned}$$

## Κόστος

$$\begin{aligned} \text{cost} &= us_{\text{sensor}} * 5 + \text{water}_{\text{sensor}} + \text{vibration module} * 3 + \text{speaker} \\ &\quad + \text{battery} + \text{mcu} + \text{bluetooth module} + \text{cane} \\ &= 3.6€ * 5 + 5.1€ + 1.6€ * 3 + 18€ + 2€ + 7.43€ + 7.8€ + 20€ \\ &= 83.13€ \end{aligned}$$

Περιβαλλοντολογικές προδιαγραφές:

- Λειτουργία σε θερμοκρασίες από -5°C έως 30°C.
- Μερική αδιαβροχοποίηση για προστασία από την βροχή.
- Αντοχή σε δονήσεις και κραδασμούς, μιας και ο χρήστης σέρνει το μπαστούνι στο έδαφος και χτυπάει αντικείμενα με αυτό.

## Λειτουργικά Χαρακτηριστικά.

Λειτουργία εσωτερικού χώρου

- Μέγιστη εμβέλεια: 1,5 μέτρα.
- Τέσσερα επίπεδα δόνησης.

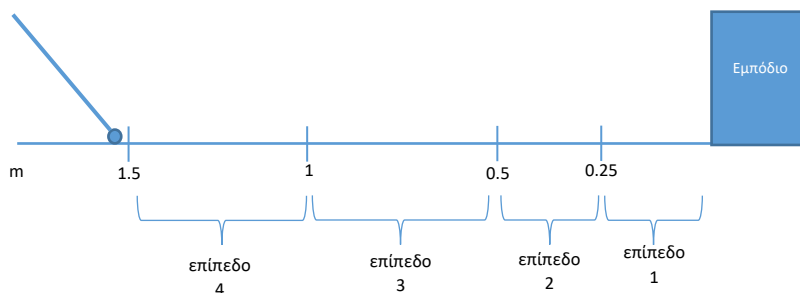


Fig. 4. Επίπεδα έντασης της δόνησης σε εσωτερικό περιβάλλον.

Λειτουργία εξωτερικού χώρου

- Μέγιστη εμβέλεια: 4 μέτρα.
- Πέντε επίπεδα δόνησης.

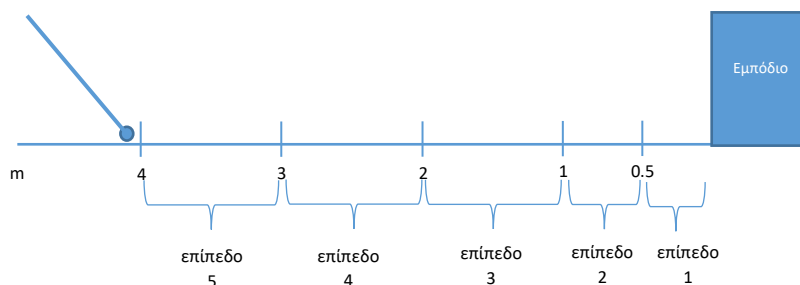
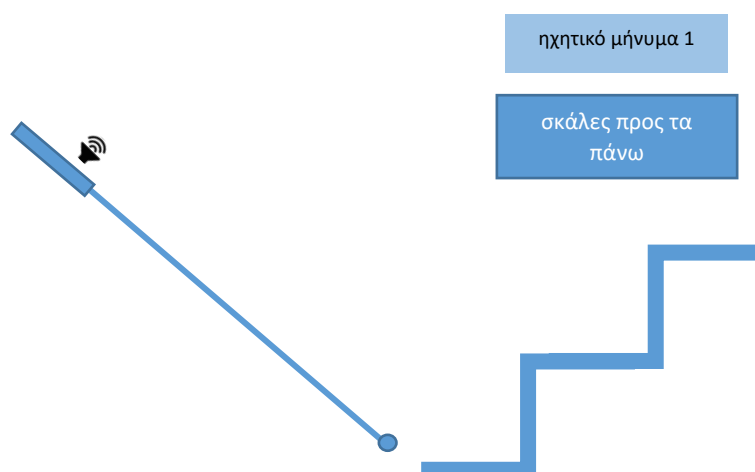
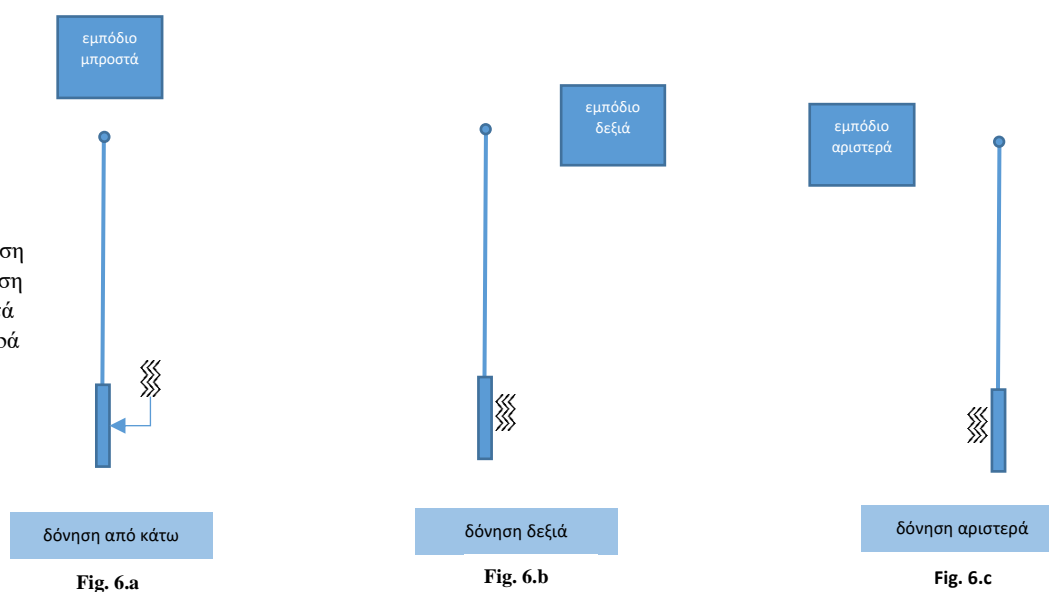


Fig. 5. Επίπεδα έντασης της δόνησης σε εξωτερικό περιβάλλον.

### Κοινές λειτουργίες

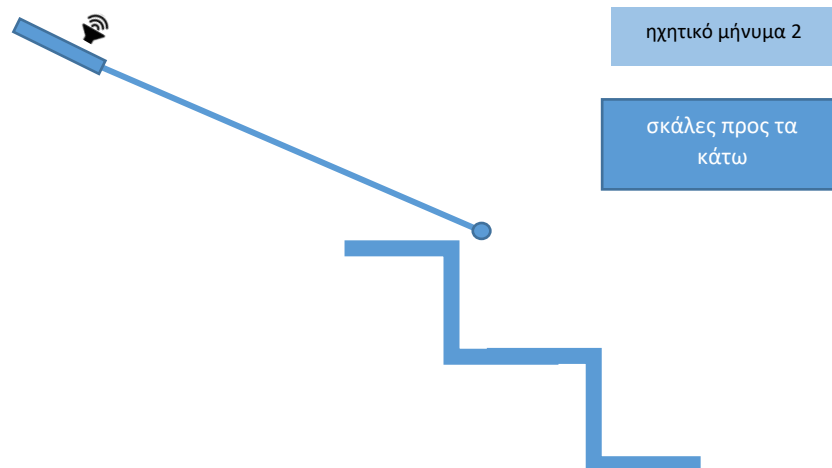
- Ξεχωριστή δόνηση κάτω, δεξιά και αριστερά της λαβής ανάλογα με την κατεύθυνση του εμποδίου.
- Ηχητικό μήνυμα στον εντοπισμό λακκούβας/σκαλιού και στον εντοπισμό νερού στο δάπεδο.

**Fig. 6.** Κάτοψη. Δόνηση λαβής με βάση την θέση του εμποδίου (μπροστά 6.a, δεξιά 6.b, αριστερά 6.c).

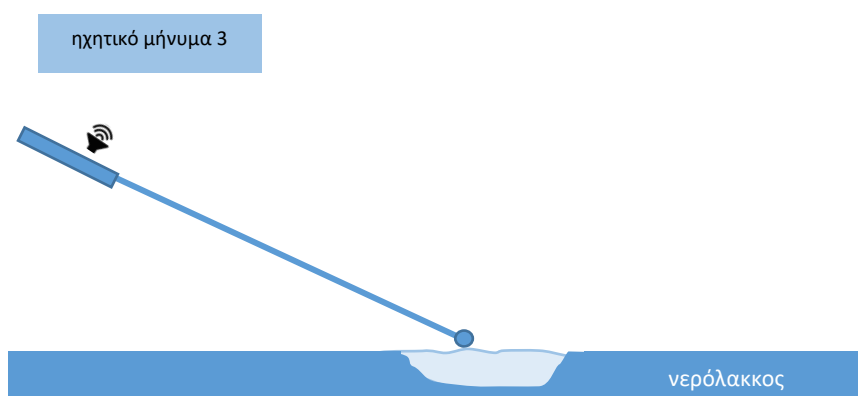


**Fig. 7.** Ηχητικό μήνυμα λαβής όταν πλησιάζουμε σκάλες προς τα πάνω.

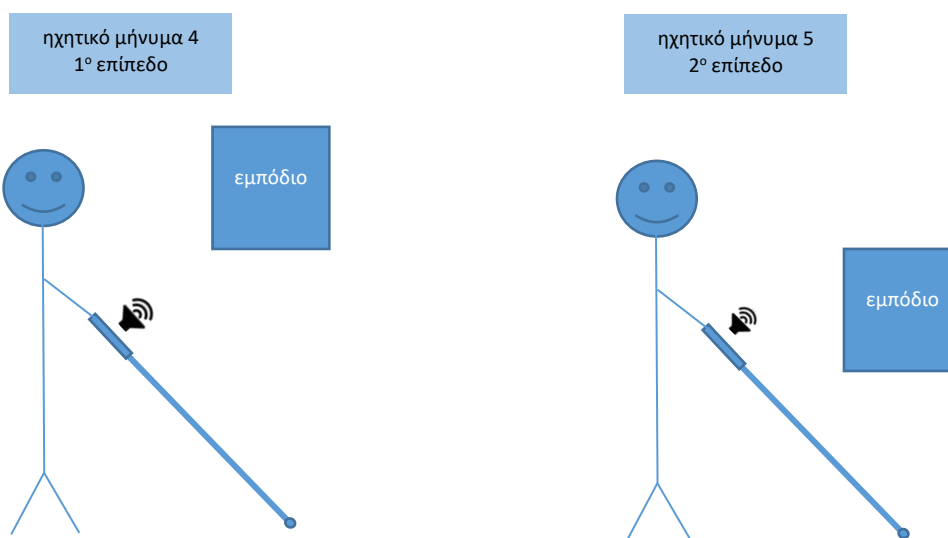




**Fig. 8.** Ηχητικό μήνυμα λαβής όταν πλησιάζουμε σκάλες προς τα κάτω.

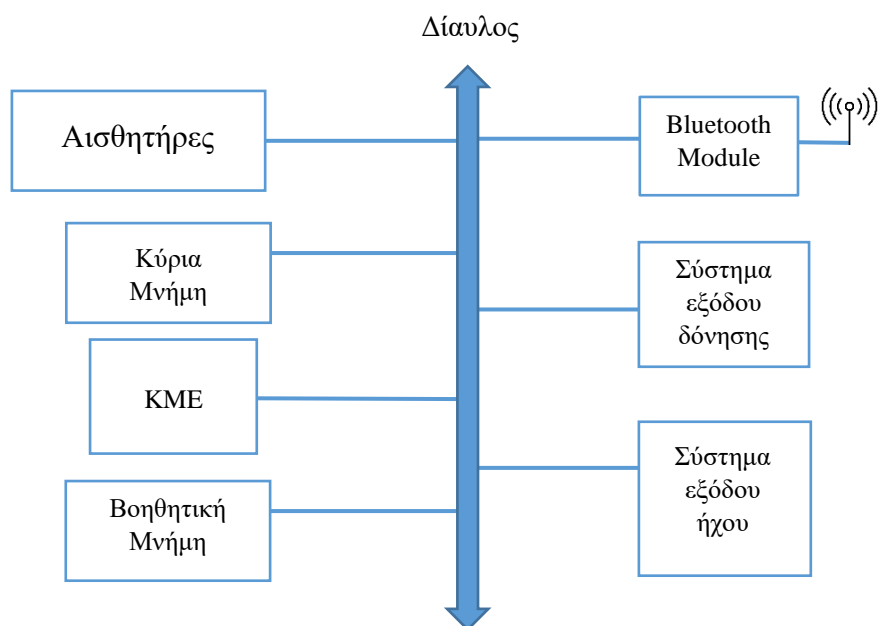


**Fig. 9.** Ηχητικό μήνυμα λαβής όταν αγγίζουμε νερόλακκο.



**Fig. 10.** Δυο διαφορετικά ηχητικά μηνύματα στον εντοπισμό εμποδίου από την μέση μέχρι τους ώμους και στο ύψος του κεφαλιού.

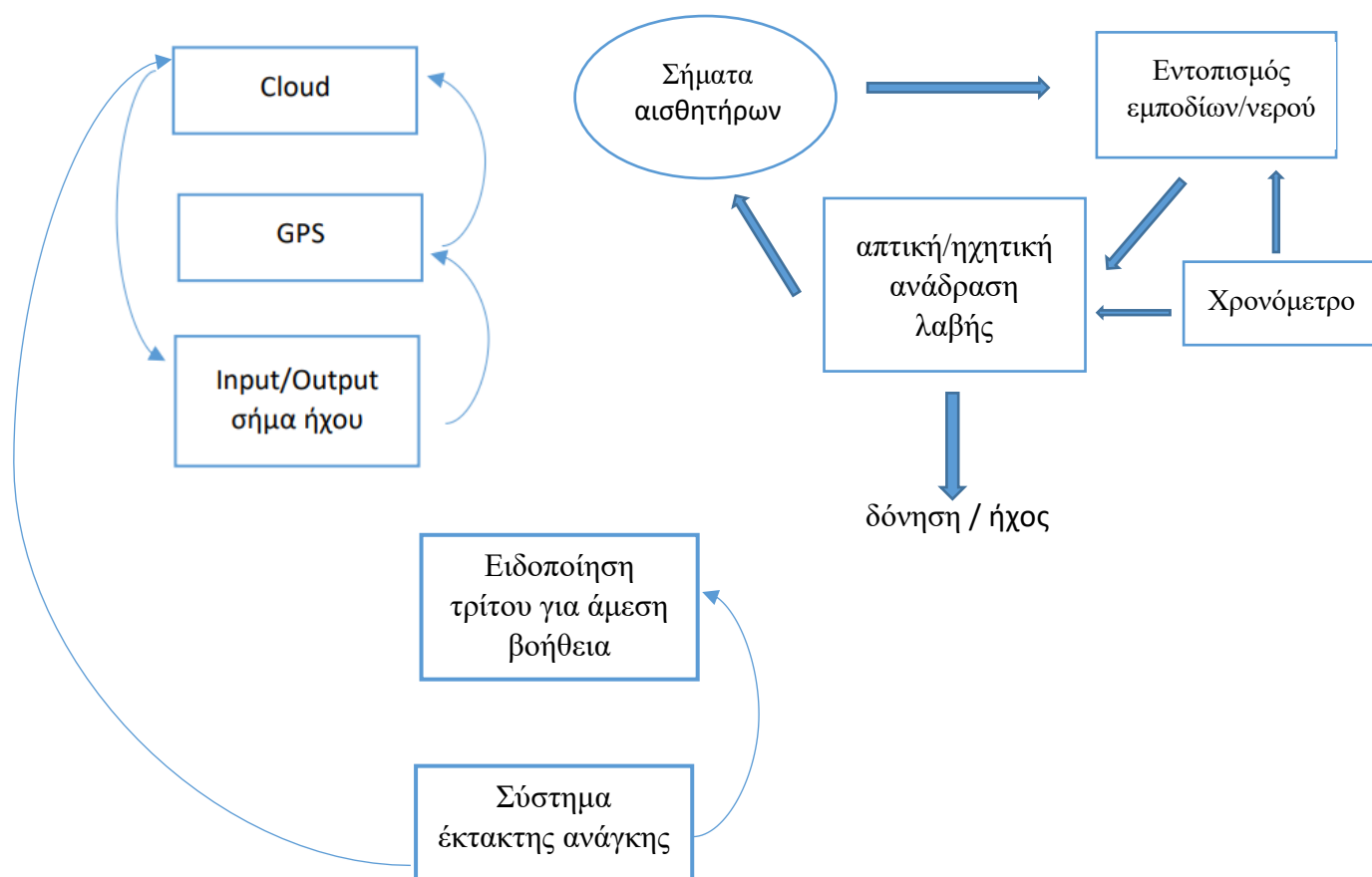
### 3 Προσέγγιση Αρχιτεκτονικής Υλικού



**Fig. 11.** Διάγραμμα προσέγγισης αρχιτεκτονικής υλικού.

Στο παραπάνω σχεδιάγραμμα (Fig.11) φαίνεται η προσέγγιση της αρχιτεκτονικής υλικού του συστήματός μας. Το σύστημα για να λειτουργεί χρειάζεται ορισμένη μνήμη έτσι ώστε να μπορεί να αποθηκεύσει και να διαχειριστεί τα δεδομένα των αισθητήρων, τα ηχητικά μηνύματα καθώς και τις εντολές των προγραμμάτων που ελέγχουν το μπαστούνι. Η ΚΜΕ διαχειρίζεται όλα τα σήματα εισόδου/εξόδου των περιφερειακών συσκευών και κάνει όλους τους απαραίτητους υπολογισμούς. Παράλληλα, έχουμε και βοηθητική μνήμη στην οποία θα είναι αποθηκευμένα τα ηχητικά μηνύματα που χρησιμοποιούνται, τα προγράμματα και το λειτουργικό σύστημα. Για την διαμοίραση δεδομένων και για την επικοινωνία των στοιχείων του συστήματος χρησιμοποιείται προσεγγιστικά έναν κοινόχρηστο ασύγχρονο δίαυλο. Με αυτόν τον τρόπο όλα τα στοιχεία του συστήματος μπορούν να επικοινωνούν την ίδια στιγμή χωρίς να χρειαστούν την εμπλοκή κάποιου καταχωρητή. Ως κύριο του διαύλου (master) θα έχουμε την ΚΜΕ η οποία θα καθορίζει κάθε φορά ποιος χρησιμοποιεί τον δίαυλο. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί η χρήση ενός Bluetooth module, το οποίο σε συνδυασμό με έναν transmitter στέλνει στο smartphone του χρήστη έναν προορισμό και από μία εφαρμογή GPS ενημερώνεται για τα βήματα μέχρι να φτάσει εκεί.

## 4 Προσέγγιση Αρχιτεκτονικής Λογισμικού



**Fig. 12.** Διάγραμμα προσέγγισης αρχιτεκτονικής λογισμικού.

Σε ένα ενσωματωμένο σύστημα το λογισμικό, όπως και το υλικό είναι απαραίτητο για την ορθή και έγκυρη λειτουργία του συστήματος. Θα χρειαστεί να υλοποιήσουμε το σύστημα μας έτσι ώστε να είναι σε θέση να διαχειρίζεται τα δεδομένα εισόδου (σήματα αισθητήρων, voice commands) σωστά, τα οποία θα επεξεργάζεται και μέσω αυτών θα παράγει τα κατάλληλα σήματα εξόδου (απτική/ηχητική ανάδραση) ή θα μεταδίδει κατάλληλα την πληροφορία. Επιπλέον, ένα ακόμη κρίσιμο μέρος το οποίο θα πρέπει να υλοποιηθεί είναι το σύστημα πλοήγησης. Ηχητικές εντολές θα μεταδίδονται στο κινητό του χρήστη από το σύστημα και στην συνέχεια το κινητό με την χρήση του GPS chip του και της υπηρεσίας 4g θα επικοινωνεί με έναν cloud based πάροχο χαρτών και διαδρομών και θα επιστρέφει σε ένα ακουστικό τα βήματα πλοήγησης. Τέλος, όπως φαίνεται στο Fig. 12 γίνεται υλοποίηση συστήματος ειδοποίησης κάποιας επαφής έκτακτης ανάγκης εάν ο χρήστης χρειάζεται άμεση βοήθεια.

## 5 Αρχιτεκτονική Υλικού

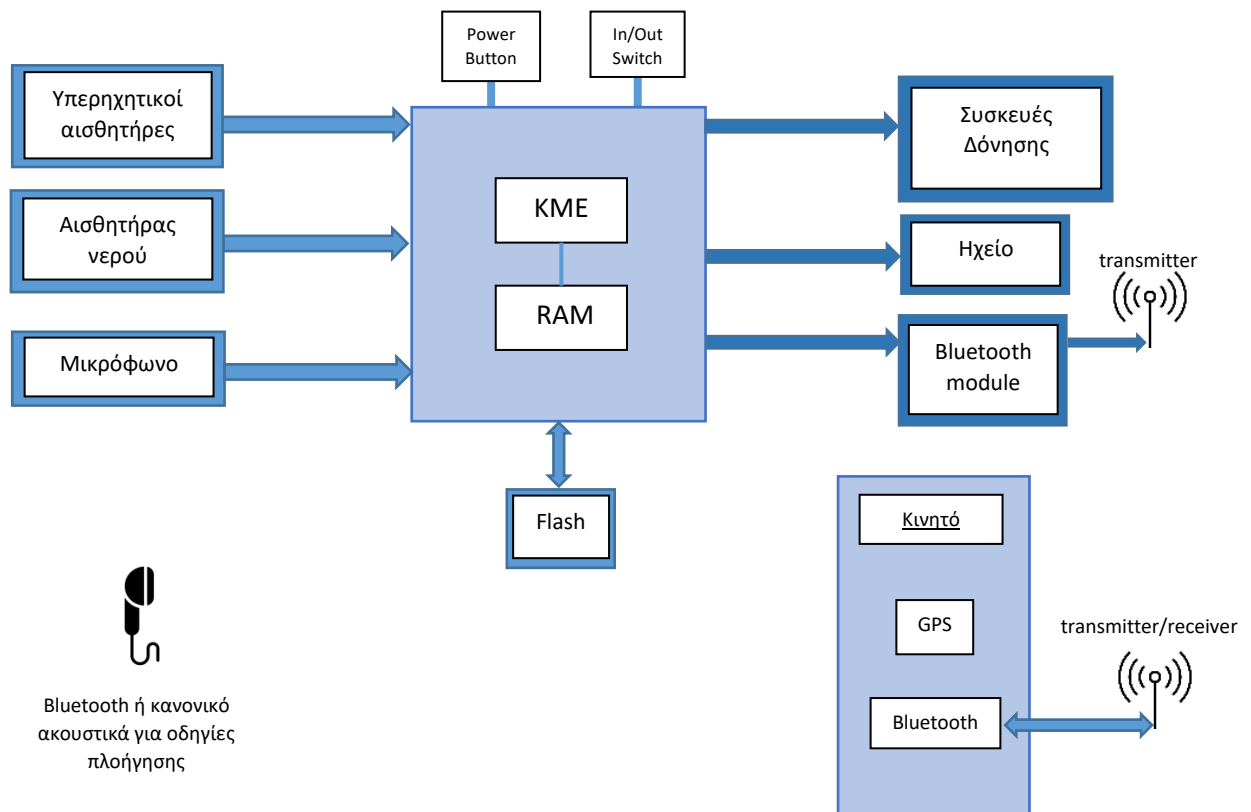


Fig. 13. Διάγραμμα αρχιτεκτονικής υλικού.

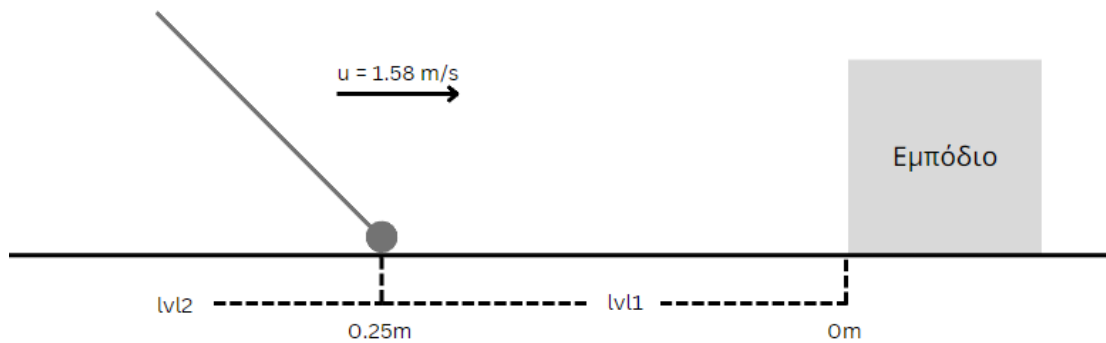
### 5.1 Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ)

Αρχικά εξετάζουμε την επιλογή του επεξεργαστή μας, μιας και αυτός θα ελέγχει όλες τις βασικές λειτουργίες του συστήματός μας.

#### Χρονισμός Επεξεργαστή

Ένας τρόπος να εκτιμήσουμε την συχνότητα λειτουργίας του επεξεργαστή μας είναι μελετήσουμε μια περίπτωση όπου απαιτούμε κάποια έξοδο από την ΚΜΕ σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Για παράδειγμα μπορούμε να δούμε της χρονικές απαιτήσεις της περίπτωσης που το μαστούνι βρίσκεται σε λειτουργία εσωτερικού χώρου και πρέπει να μεταβούμε από δόνηση επιπέδου 2 σε δόνηση επιπέδου 1, καθώς ο χρήστης περπατάει με ταχύτητα 1,58 m/s [4] Fig. 14.



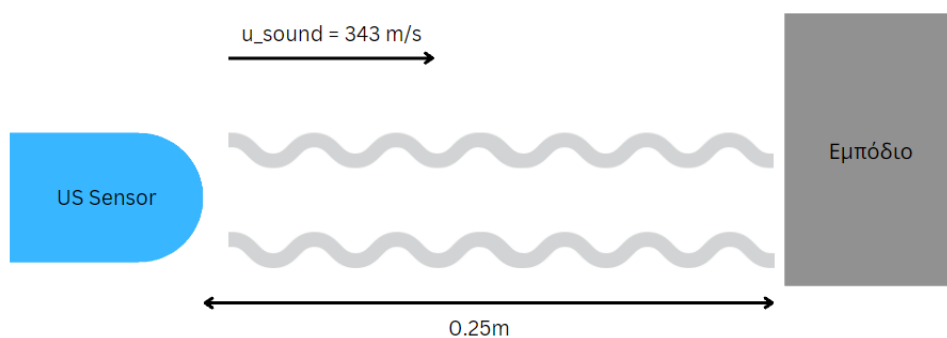
**Fig. 14.** Το μπαστούνι καθώς μπαίνει στην ζώνη δόνησης επιπέδου 1.

Εάν δεν ενημερώσουμε τον χρήστη με κάποιον τρόπο το μπαστούνι θα συγκρουστεί με το εμπόδιο σε  $t_{\text{κρούσης}}$ :

$$t_{\text{κρούσης}} = \frac{d_{\text{κρούσης}}}{u_{\text{χρήστη}}} = \frac{0.25\text{m}}{1.58\text{m/s}} = 0.158\text{s} = 158\text{ms}$$

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.1 για να αντιληφθεί ένας άνθρωπος ένα απτικό ερέθισμα απαιτούνται  $t_{\text{touch}} = 150\text{ ms}$ . Οπότε εμείς θα πρέπει να έχουμε εντοπίσει το εμπόδιο και να ενημερώσουμε τον χρήστη με το κατάλληλο επίπεδο δόνησης σε  $t_{\text{εκτέλεσης}} = t_{\text{κρούσης}} - t_{\text{touch}} = 8\text{ ms}$ .

Υπολογίζουμε τον χρόνο που θα κάνει ο υπερηχητικός αισθητήρας να εντοπίσει το εμπόδιο.



**Fig. 15.** Εντοπισμός εμποδίου με τον ηχητικό παλμό του αισθητήρα.

Με ταχύτητα 343 m/s το ηχητικό κύμα του αισθητήρα θα φτάσει στο εμπόδιο σε χρόνο:

$$t_{sound} = \frac{d_{obstacle}}{u_{sound}} = \frac{0.25m}{343 m/s} = 728 \mu s$$

Και θα κάνει άλλο τόσο για να επιστρέψει στον υπερηχητικό αισθητήρα. Οπότε συνολικά σε  $T_{sound} = t_{sound} * 2 = 728 \mu s * 2 = 1456 \mu s = 1.5 ms$ , ο αισθητήρας θα έχει εντοπίσει το εμπόδιο. Μπορούμε λοιπόν να αφαιρέσουμε αυτόν τον χρόνο από τον χρόνο εκτέλεσης μας  $t_{εκτέλεσης} = 6.5 ms$ . Ο  $T_{sound}$  μετριέται από τον επεξεργαστή και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόστασης από το εμπόδιο με τον παρακάτω τύπο.

$$distance = \frac{T_{sound} * u_{sound}}{2}$$

Δεν γνωρίζουμε την αρχιτεκτονική του επεξεργαστή μας αλλά ας υποθέσουμε πως αυτή η πράξη θα χρειαστεί τις παρακάτω εντολές σε ψευδοσυμβολική γλώσσα.

```
mov r1, T_sound
mov r2, u_sound
mul r1, r1, r2
logical shift right r1, #2
store r1, distance
```

Στην συνέχεια απαιτούνται 12 εντολές σύγκρισης για να καταλάβει το σύστημα σε ποια ζώνη απόστασης από το εμπόδιο βρίσκεται ο αισθητήρας.

# Συγκρίσεων	Συγκρίσεις
1	distance > 4m
3	distance ≥ 4m & distance < 3m
5	distance ≥ 3m & distance < 2m
6	distance ≥ 2m & distance < 1m
9	distance ≥ 1m & distance < 0.25m
11	distance ≥ 0.5m & distance < 2m
12	distance ≤ 0.25m

**Table 1.** Πίνακας προσδιορισμού αριθμού συγκρίσεων με βάση την ζώνη απόστασης.

Τέλος απαιτείται και μία εντολή ενεργοποίησης της συσκευής δόνησης.

Άρα έχουμε 1 εντολή ενεργοποίησης του αισθητήρα, 4 εντολές για τον υπολογισμό της απόστασης, 12 εντολές για τον προσδιορισμό του επιπέδου δόνησης που απαιτείται και 1 εντολή ενεργοποίησης της συσκευής δόνησης.

$$\#εντολών \text{ για έναν αισθητήρα } = 18$$

Συνολικά όμως έχουμε άλλους 4 αισθητήρες που εκτελούν παράλληλα αυτές τις λειτουργίες και έναν αισθητήρα νερού για τον οποίο μπορεί να εκτελεστούν 2 εντολές, για τον έλεγχο της τιμής εξόδου του και για την πιθανή μετάδοση ειδοποίησης.

Συνεπώς,

$$\begin{aligned}\#εντολών &= \#εντολών για έναν αισθητήρα * 5 + \#εντολών water sensor \\ &= 18 * 4 + 2 = 92\end{aligned}$$

Δηλαδή θέλουμε σε 6.5 ms να εκτελέσουμε 92 εντολές.

$$\begin{aligned}T_{clk} &= \frac{t_{εκτέλεσης}}{\#εντολών} = \frac{6.5 ms}{92} = 0.07 ms \\ f_{clk} &= \frac{1}{T_{clk}} = \frac{1}{0.07 ms} = 14.2 KHz\end{aligned}$$

Βλέπουμε λοιπόν ότι ένας επεξεργαστής με ταχύτητα της τάξης των KHz αρκεί για τις ανάγκες μας.

### Κατανάλωση ενέργειας

Θέλουμε χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, της τάξης των mWh, αφού η συσκευή μας είναι φορητή με μπαταρία περιορισμένης χωρητικότητας για λόγους βάρους. Αυτόν τον στόχο βοηθούν ιδιαίτερα οι σχετικά χαμηλές απαιτήσεις απόδοσης που περιεγράφηκαν παραπάνω.

### Περιφερειακά

Επιπλέον, θέλουμε έναν επεξεργαστή που να υποστηρίζει τις περιφερειακές συσκευές μας. Δηλαδή τους αισθητήρες (υπερηχητικούς και νερού), τις συσκευές δόνησης, το ηχείο και το bluetooth module.

## 5.2 Μνήμη

Για την μνήμη που θα χρησιμοποιήσουμε πρέπει να εξετάσουμε ξεχωριστά την κύρια μνήμη και βοηθητική.

### Κύρια Μνήμη

#### SRAM vs DRAM

Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε DRAM, αφού φαινομενικά οι απαιτήσεις μας σε ταχύτητα δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες. Όμως δεν έχουμε μεγάλες απαιτήσεις χώρου (1-16MB) [5] και το σύστημά μας είναι hard real time (αν δεν εξυπηρετηθούν οι διεργασίες στην ώρα τους μπορεί ο χρήστης να κινδυνέψει). Οπότε μια καλύτερη επιλογή θα ήταν μνήμη τύπου SRAM (Static Random Access Memory), η οποία είναι 4 φορές πιο γρήγορη από την DRAM [6].

#### Χωρητικότητα

Για την χωρητικότητα της SRAM που θα χρειαστούμε μπορούμε να βασιστούμε σε ένα παρόμοιο ενσωματωμένο [7], στο οποίο χρησιμοποιήθηκε ένας μικροελεγκτής με 2.8 KB μνήμη RAM. Όμως οι πραγματικές ανάγκες μας σε μνήμη θα φανούν πιο καθαρά όταν έχει προχωρήσει περισσότερο η διαδικασία του software development. Τότε θα φανούν πόσες μεταβλητές global και local θα πρέπει να αποθηκεύονται στο stack, πόσο χώρο θα χρειαστεί το heap, πόσα δεδομένα προγραμμάτων πρέπει να έχουμε προσκομίσει από την περιφερειακή μνήμη και πόσο μεγάλο μέρος του προγράμματος πρέπει να τρέχουμε από την RAM για ταχύτερη προσπέλαση.

## Περιφερειακή Μνήμη

Φυσικά το σύστημα μας χρειάζεται και μη πτητική (non-volatile) μνήμη για την αποθήκευση των δεδομένων που δεν πρέπει να χαθούν όταν σταματήσει η τροφοδοσία.

### *FLASH*

Τα προηγούμενα 20 χρόνια ενσωματωμένα συστήματα χρησιμοποιούσαν μνήμη EPROM όμως τα τελευταία χρόνια έχουν αντικατασταθεί από μνήμες FLASH [8]. Επιλέγουμε λοιπόν μνήμη τύπου FLASH, επειδή συνδυάζει τα θετικά των μνημών τύπου ROM και RAM. Έχει δηλαδή την δυνατότητα να διατηρεί αποθηκευμένη πληροφορία ακόμα και μετά την κατάργηση του ρεύματος και μπορεί να διαβάσει δεδομένα γρήγορα.

### *Χωρητικότητα*

Για την χωρητικότητα πρέπει να εξετάσουμε τα είδη της πληροφορίας που αποθηκεύεται στην περιφερειακή μνήμη. Έχουμε τον κώδικα των προγραμμάτων μας, δεδομένα και σταθερές, όπως τα ηχητικά μηνύματα που πρέπει να αναπαράγει το μπαστούνι, το λειτουργικό σύστημα, το boot loader, που κάνει εκκίνηση του λειτουργικού και πιθανότατα να υπάρξει ανάγκη η FLASH μνήμη να χρησιμοποιηθεί ως εικονική μνήμη.

*Κώδικα των προγραμμάτων:* Ένα σχετικά μικρό multitasking πρόγραμμα με χρήση RTOS θα είναι περίπου 1K εντολές [9]. Αν οι εντολές μας έχουν μέγεθος 14 bits τότε θα χρειαστούμε περίπου  $1K * 14 = 14000 \text{ bits} = 13.7 \text{ Kbit} = 1.7KB$ .

*Δεδομένα και σταθερές:* Αν δούμε το παράδειγμα των ηχητικών μηνυμάτων και υποθέσουμε ότι χρειαζόμαστε 10 μηνύματα των 2 δευτερολέπτων με sampling rate 32Kbit/s. Ένα ηχητικό μήνυμα είναι  $2s * 32Kbit/s = 64Kbit = 8KB$ . Άρα 10 μηνύματα θα καταλαμβάνουν 80KB στην μνήμη.

*Λειτουργικό σύστημα:* Ένα lightweight RTOS (Real Time Operating System) για single-chip microcontrollers με περιορισμένη μνήμη μπορεί να χρειαστεί 1KB για την αποθήκευσή του στο σύστημα [10].

Συνολικά βλέπουμε ότι από τις παραπάνω εκτιμήσεις χρειαζόμαστε περίπου 83KB FLASH memory. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι τα δεδομένα εφαρμογών ενδέχεται να είναι περισσότερα οπότε μπορούμε πάλι να βασιστούμε σε ένα παρόμοιο μπαστούνι [7] του οποίου ο μικροελεγκτής χρησιμοποιεί 200KB FLASH για storage.



## 5.3 Αισθητήρες

### Υπερηχητικοί Αισθητήρες

#### *Τρόπος Λειτουργίας*

Ο τρόπος που δουλεύει ένας υπερηχητικός αισθητήρας είναι να στέλνει έναν ηχητικό παλμό με μια συγκεκριμένη συχνότητα και όταν ένα αντικείμενο βρεθεί μέσα στην εμβέλεια του, το ανακλώμενο σήμα (ECHO) εντοπίζεται από τον αισθητήρα. Για να υπολογίσουμε την απόσταση μεταξύ του αντικειμένου και του αισθητήρα μετριέται από τον επεξεργαστή ο χρόνος μεταξύ μετάδοσης και εντοπισμού του παλμού με την εξίσωση :  $\text{Απόστασή} = \frac{1}{2} \text{Χρόνος} \times \text{Ταχύτητα του Ήχου}$ . Το  $\frac{1}{2}$  χρησιμοποιείται επειδή θέλουμε τον μισό χρόνο για τον οποίο ταξίδευε ο παλμός, δηλαδή από τον αισθητήρα μέχρι το αντικείμενο χωρίς να συμπεριλάβουμε τον χρόνο που έκανε να φτάσει από το αντικείμενο πίσω στον αισθητήρα.

Η χρήση υπερηχητικών αισθητήρων για τον εντοπισμό εμποδίων στο σύστημα μας, σε αντίθεση με έναν infrared αισθητήρα, ήταν μονόδρομος για τους παρακάτω λόγους [13].

- Μικρό μέγεθος και χαμηλό κόστος. Θέλουμε να μην προσθέσουμε πολύ βάρος στο μπαστούνι και να κρατήσουμε το κόστος όσο πιο χαμηλά γίνεται.
- Ανθεκτικότητα. Ο χρήστης σέρνει ουσιαστικά το μπαστούνι στο δάπεδο, οπότε αυτό δέχεται συχνές και σχετικά υψηλές δόνησης. Θέλουμε λοιπόν έναν αισθητήρα που να αντέχει λίγη κακομεταχείριση.
- Υψηλή ευαισθησία και μεγάλη εμβέλεια. Θέλαμε έναν αισθητήρα απόστασης με ακρίβεια εκατοστών, ο οποίος να έχει εμβέλεια μέχρι και 4 μέτρα, κάτι που παρέχουν οι ultrasonic sensors.
- Εντοπισμός εμποδίων ανεξαρτήτου υλικού, διαφάνειας, σχήματος και χρώματος. Αντιμετωπίζουν βέβαια δυσκολία με συγκεκριμένα υλικά που απορροφούν τον ήχο όπως σφουγγάρια, αφρολέξ, απαλά ρούχα. Δύσκολα όμως θα βρεθούν τέτοια υλικά στον δρόμο του χρήστη κατά την χρήση του μπαστούνιού.
- Αντοχή στο φως. Δεν επηρεάζονται από συνθήκες πολύ υψηλής ή χαμηλής φωτεινότητας.
- Δεν απαιτούν συντήρηση και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.

### Αισθητήρας Νερού

Για τον εντοπισμό νερού στο κάτω μέρος του μπαστούνιού χρησιμοποιούμε έναν αισθητήρα νερού. Θέλουμε αυτός ο αισθητήρας να είναι μικρός σε μέγεθος για να μην δυσκολέψουμε την κίνηση του μπαστούνιού και ανθεκτικός για να αντέχει τους συνεχείς κραδασμούς.

## 5.4 Bluetooth

Το Bluetooth είναι ένα τυποποιημένο πρωτόκολλο RF – based ασύρματης επικοινωνίας, που λειτουργεί στην συχνότητα 2.4 GHz ISM (Industrial, Scientific and Medical). Έχει σχεδιαστεί για την δημιουργία μικρής εμβέλειας Personal Area Networks (PAN) με χαμηλό κόστος και κατανάλωση [11].

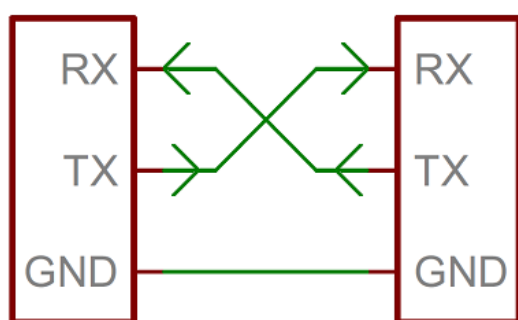
*Λόγοι που το χρησιμοποιήσαμε;*

Επιλέγουμε το πρωτόκολλο Bluetooth και συγκεκριμένα Bluetooth Low Energy (BLE) επειδή η κατανάλωση του είναι πολύ χαμηλή, η ταχύτητα του είναι αρκετά υψηλή για την εφαρμογή μας, με maximum raw bit rate 1Mbps [12] ενώ εμείς πρέπει να μεταφέρουμε ένα ηχητικό μήνυμα έστω δύο δευτερολέπτων που υπολογίσαμε στην ενότητα 5.2 ότι είναι μόλις 16 Kbit. Επιπλέον το Bluetooth προτιμάται για εφαρμογές μεταφοράς ήχου και για την εξασφάλιση επικοινωνίας λίγων ή μόνο δύο συσκευών όπως στην περίπτωση μας, σε αντίθεση με το πρωτόκολλο Zigbee που χρησιμοποιείται για την δίκτυα πολλών ασύρματων κόμβων που σπάνια ενεργοποιούνται [12].

### *Bluetooth Profile*

Τα Bluetooth Profiles είναι συμπληρωματικά πρωτόκολλα πάνω στο Bluetooth που καθορίζουν πιο ξεκάθαρα το είδος των δεδομένων που χρησιμοποιούνται.

Εμείς χρησιμοποιούμε το Serial Port Profile (SPP), το οποίο αντικαθιστά μία κλασική σειριακή διεπαφή όπως για παράδειγμα η RS-232 ή UART. Δηλαδή με το SPP δυο συνδεδεμένες συσκευές μπορούν να στέλνουν και να δέχονται δεδομένα σαν να υπήρχαν γραμμές RX και TX μεταξύ τους.



**Fig. 16.** Σειριακή επικοινωνία

## 5.5 GPS

Το GPS (Global Positioning System), είναι ένα παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης, ακίνητου ή κινούμενου χρήστη, το οποίο βασίζεται σε ένα πλέγμα εικοσιτεσσάρων δορυφόρων της Γης, εφοδιασμένων με ειδικές συσκευές εντοπισμού, οι οποίες ονομάζονται "πομποδέκτες GPS". Οι πομποδέκτες αυτοί παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για τη θέση ενός σημείου, το υψόμετρό του, την ταχύτητα και την κατεύθυνση της κίνησης του.

Στην σχεδίαση μας επιλέγουμε να μην συμπεριλάβουμε μονάδα GPS πάνω στο ενσωματωμένο μας αλλά να αναπτύξουμε μια εφαρμογή πλοήγησης στο κινητό του χρήστη, το οποίο θα επικοινωνεί με το μαστούνι μέσω Bluetooth. Αυτή η επιλογή έγινε, επειδή ο χρήστης έτσι κι αλλιώς έχει πάντα το κινητό του πάνω του και για να μειώσουμε το κόστος κατασκευής και την κατανάλωση του συστήματος.

## 5.6 Συσκευές Εξόδου

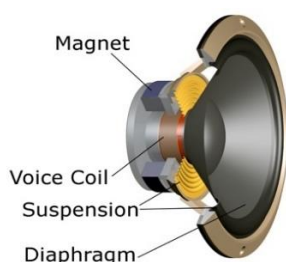
Προχωρώντας στις υποσυστήματα εξόδου θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσουμε συσκευές δόνησης (vibration motors) και ένα ηχείο (speaker).

### *Συσκευή Δόνησης*

Ο τρόπος που λειτουργεί ένα μοτέρ δόνησης είναι πως στον άξονα του έχει ένα βάρος που βρίσκεται εκτός του κέντρου μάζας του και έτσι με την περιστροφή του ασκούνται μη ισορροπημένες δυνάμεις στην συσκευή και αυτή δονείται.

### *Ηχείο*

Όσον αφορά το ηχείο αυτό που συμβαίνει είναι ότι περνάμε ένα εναλλασσόμενο σήμα από ένα πηνίο μέσα στο ηχείο το οποίο προκαλεί σε αυτό κίνηση μπροστά και πίσω. Πάνω σε αυτό το πηνίο είναι κολλημένο ένας κώνος, ο οποίος με την κίνηση αυτή δημιουργεί ηχητικά κύματα, δηλαδή ήχο.



**Fig. 17.** Εσωτερικό ηχείου

Επιλέξαμε δυο διαφορετικά είδη συσκευών εξόδου για να μπορεί ο χρήστης με ευκολία να ξεχωρίζει όλα τα διαφορετικά είδη εμποδίων που μπορεί να βρεθούν στον δρόμο του χωρίς να χρειάζεται πολύ σκέψη. Θα μπορούσαμε να έχουμε ένα ξεχωριστό ηχητικό μήνυμα για κάθε διαφορετικό είδος εμποδίου που εντοπίζει το σύστημά μας, όμως τότε θα χρειαζόμασταν περισσότερη μνήμη και διακινδυνεύουμε να φέρουμε τον χρήστη σε κίνδυνο αφού ένα ηχητικό μήνυμα τον ενημερώνει πολύ πιο αργά από ότι μια δόνηση στο χέρι του.

## 6 Αρχιτεκτονική Λογισμικού

### 6.1 Λειτουργικό Σύστημα

Εκτός από το υλικό μέρος του «έξυπνου» μπαστουνιού θα χρειαστεί να περιγράψουμε και το κομμάτι του λογισμικού. Αρχικά, κάθε ενσωματωμένο σύστημα πρέπει να έχει ένα ενσωματωμένο λειτουργικό σύστημα. Στις περισσότερες εφαρμογές ενσωματωμένων συστημάτων το λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιείται είναι κάποιο real-time operating system (RTOS). Ο πυρήνας ενός RTOS είναι αυτός που διαχειρίζεται τους πόρους του συστήματος και είναι υπεύθυνος για λειτουργίες όπως διαχείριση εργασιών, μνήμης και συγχρονισμού των εργασιών.

Ο λόγος που επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε ένα RTOS είναι ότι έχουν την δυνατότητα να εκτελούν ταυτόχρονα πολλές εργασίες μαζί και να ολοκληρώνουν διεργασίες σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα εγγυημένα. Επίσης, πολλά RTOS προσφέρουν διάφορες δυνατότητες όπως ενημέρωση των οδηγών των περιφερειακών συσκευών, χωρίς όμως αυτοί να είναι ενσωματωμένοι στον πυρήνα διότι κάτι τέτοιο θα μείωνε την απόδοση.

Επιπλέον, είναι απαραίτητο να περιγράψουμε πως μπορούμε να προγραμματίσουμε τις λειτουργίες του ενσωματωμένου συστήματός μας. Τα περισσότερα ενσωματωμένα συστήματα μπορούν να προγραμματιστούν σε C/C++ και σε ορισμένες περιπτώσεις Assembly, με τους αντίστοιχους compilers ή assemblers που υποστηρίζει το λειτουργικό.

### 6.2 Προγράμματα / Διεργασίες

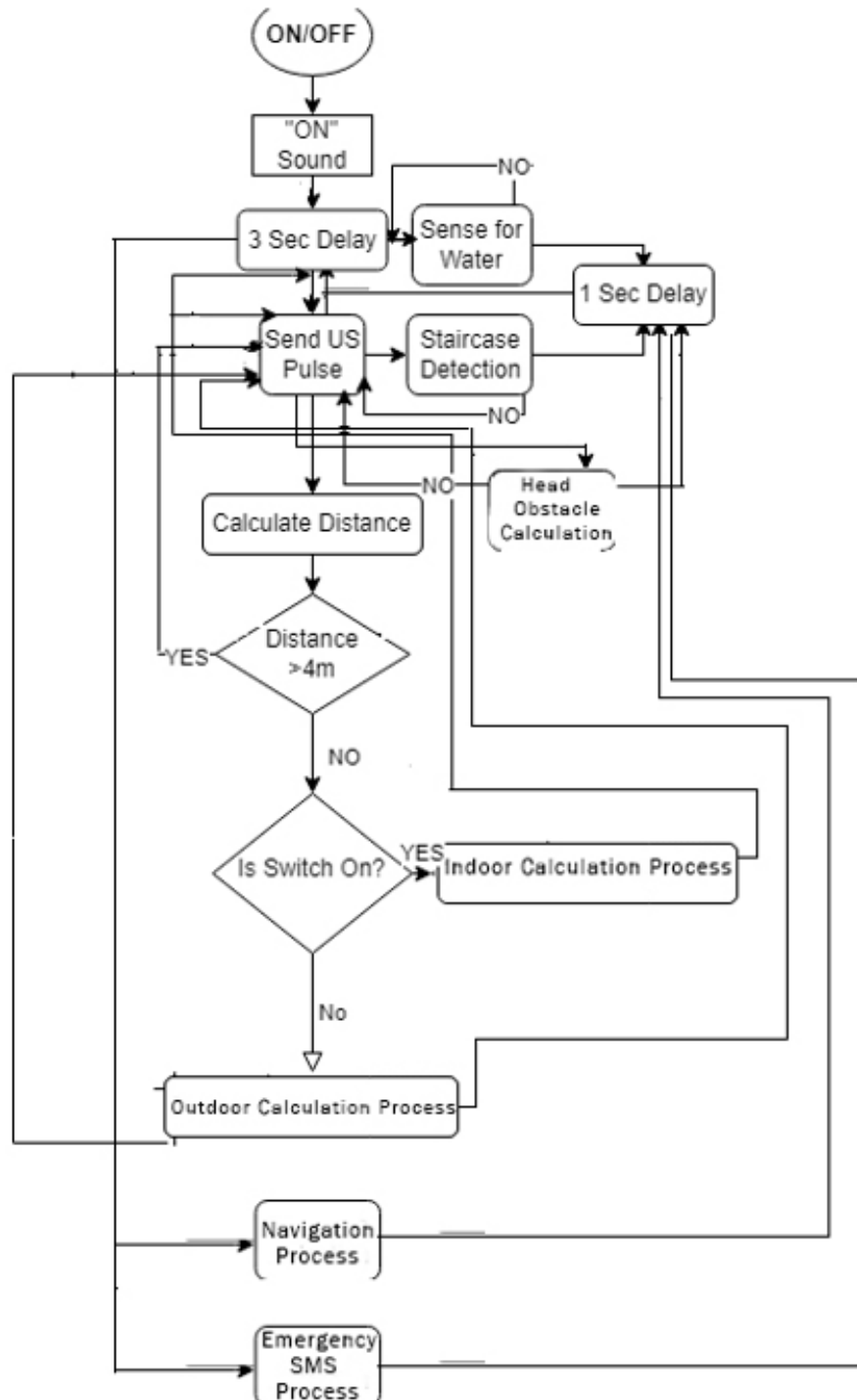
Τα προγράμματα που θα πρέπει να δημιουργηθούν για το «έξυπνο μπαστούνι», τα οποία θα εκτελούνται παράλληλα όπως έχει αναφερθεί στις ενότητες 2 και 4 θα είναι:

- a) Εντοπισμός εμποδίων στο ύψος του κεφαλιού.
- b) Με υπερηχητικούς αισθητήρες να εντοπίζει εμπόδια γύρω από τον χρήστη είτε σε εσωτερικά είτε σε εξωτερικά περιβάλλοντα.
- c) Ανίχνευση σκαλιών και λακκουβών.
- d) Ανίχνευση νερού.
- e) Πλοήγηση και αποστολή μηνύματος για άμεση βοήθεια.

Οι παραπάνω διεργασίες έχουν γραφτεί με αύξουσα σειρά προτεραιότητας.

Τα δύο τελευταία στοιχεία (πλοήγηση και μήνυμα έκτακτης ανάγκης) θα πραγματοποιηθούν μέσω εφαρμογής σε smartphone, λειτουργικού είτε IOS είτε ANDROID. Για το κομμάτι της πλοήγησης θα χρησιμοποιηθεί το πρωτοκόλλου μεταφοράς δεδομένων HTTP με το οποίο θα λαμβάνονται χάρτες και βήματα πλοήγησης από βάση δεδομένων παρόχου υπηρεσιών πλοήγησης. Όσον αφορά το μήνυμα έκτακτης ανάγκης θα γίνει χρήση της τεχνολογίας ευζωνικών κυψελοειδών δικτύων 4G.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα διάγραμμα (Fig.18) για το πως πρέπει να είναι διατεταγμένος ο κώδικας έτσι ώστε να λειτουργεί σωστά. Τα Indoor Calculation Process, Outdoor Calculation Process, Navigation Process και SMS Process εξηγούνται στον σχεδιασμό του συστήματος.



**Fig. 18.** Flowchart των διεργασιών του συστήματος

## 7 Σχεδιασμός Συνολικού Συστήματος

Το συνολικό σύστημα του μπαστούνι θα αποτελείται από 5 υπερηχητικούς αισθητήρες, έναν αισθητήρα νερού, έναν μικροελεγκτή, τρεις συσκευές δόνησης, ένα ηχείο στην λαβή και ένα Bluetooth module. Οι αισθητήρες θα λαμβάνουν πληροφορία από το περιβάλλον, ο μικροελεγκτής θα επεξεργάζεται τα δεδομένα των αισθητήρων και θα στέλνει αν χρειάζεται τα κατάλληλα σήματα στις συσκευές εξόδου. Οι 5 υπερηχητικοί αισθητήρες χωρίζονται σε 3 υποσυστήματα για τον εντοπισμό διαφορετικών ειδών εμποδίων, κάτι που εξηγείται αναλυτικότερα στην ενότητα 8 (Σχεδιασμός Υποσυστημάτων). Το υποσύστημα της πλοήγησης βασίζεται στην συνεργασία του συστήματος μας με το κινητό του χρήστη, ώστε να γίνει αξιοποίηση του on-board GPS chip του.

### 7.1 Δομή Μπαστουνιού

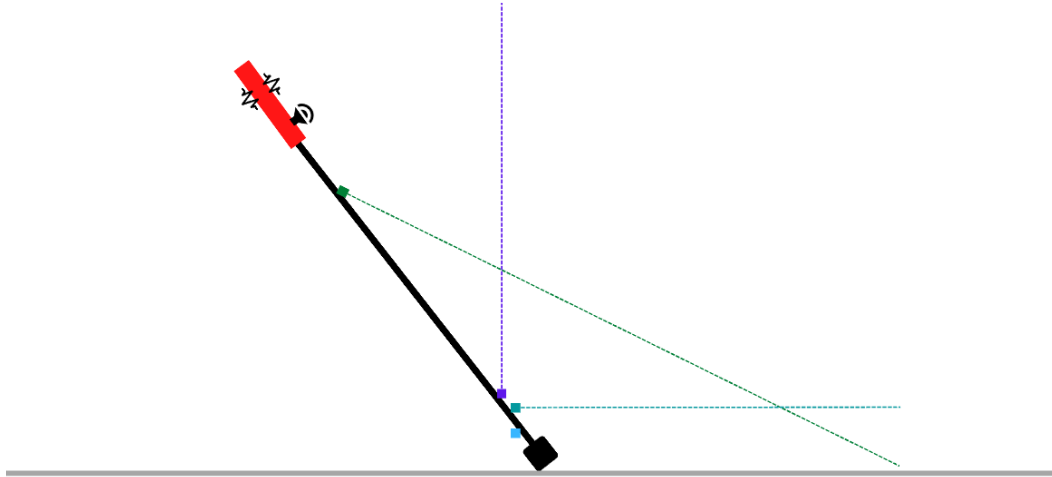
Στα (Fig. 19) και (Fig. 20) βλέπουμε την θέση των αισθητήρων και συσκευών εξόδου πάνω στο μπαστούνι. Συγκεκριμένα στο κάτω μέρος κοντά στην κάτω άκρη έχουμε τρεις ultrasonic αισθητήρες οι οποίοι εντοπίζουν εμπόδια μπροστά, δεξιά και αριστερά από τον χρήστη. Αυτοί οι αισθητήρες αποτελούν το βασικό υποσύστημα αίσθησης και θα χρησιμοποιούνται περισσότερο κατά την διάρκεια χρήσης. Η επιλογή να τοποθετηθούν στην άκρη του μπαστουνιού σε αντίθεση με άλλες σχεδιάσεις παρόμοιων μπαστουνιών [14],[15] έγινε επειδή οι τυφλοί χρήστες έχουν ήδη συνηθίσει να αισθάνονται την παρουσία εμποδίων με την άκρη του μπαστουνιού τους.

Κάτω από αυτούς τους τρεις αισθητήρες έχουμε έναν αισθητήρα νερού ο οποίος θα ενημερώνει τον χρήστη με κατάλληλο ηχητικό μήνυμα όταν έρθει σε επαφή με νερό.

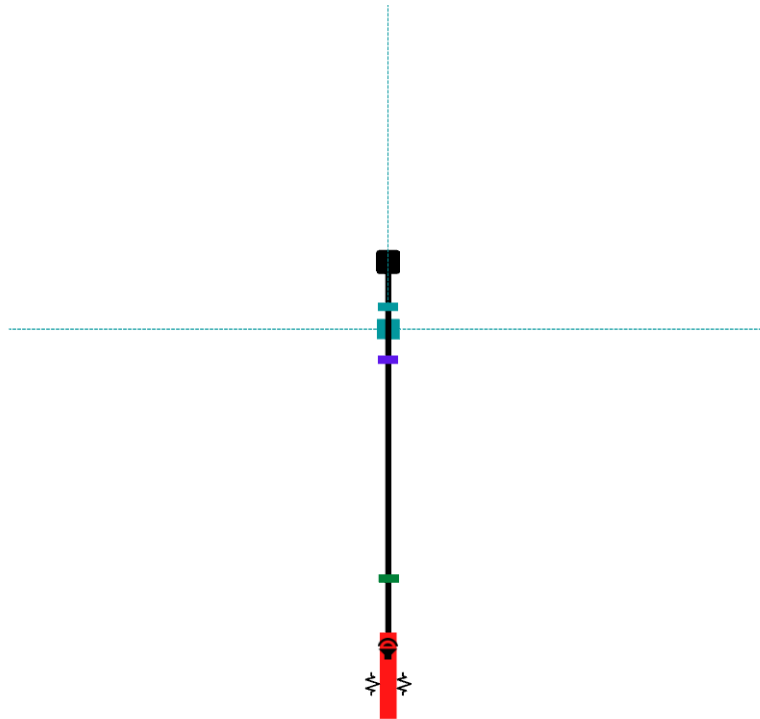
Πιο κάτω (fig. 19) βλέπουμε έναν υπερηχητικό αισθητήρα με κατεύθυνση προς τα πάνω, ο οποίος θα είναι υπεύθυνος για τον εντοπισμό εμποδίων από την μέση του χρήστη μέχρι το κεφάλι του, κάτι που δεν μπορούν να κάνουν οι υπόλοιποι αισθητήρες. Απαραίτητη προϋπόθεση για την σωστή λειτουργία αυτού του υποσυστήματος είναι να γνωρίζουμε το ύψος του χρήστη το οποίο θα εισάγεται στην FLASH μνήμη του μικροελεγκτή μέσω του μικροφώνου.

Λίγο πιο κάτω από την λαβή είναι τοποθετημένος σε κλίση ο τελευταίος υπερηχητικός αισθητήρας, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την αναγνώριση λακκουβών και σκαλιών διαφοροποιώντας την κατεύθυνση την κατεύθυνση τους (προς τα πάνω ή κάτω).

Τέλος, στην λαβή έχουμε τρεις συσκευές δόνησης που λειτουργούν με τους τρεις αισθητήρες γενικού σκοπού και ένα ηχείο που θα παίζει τα ακόλουθα ηχητικά μηνύματα: «νερό», «λακκούβα», «σκάλες πάνω», «σκάλες κάτω», «ενεργοποίηση», «απενεργοποίηση», τα ηχητικά μηνύματα της πλοήγησης και 2 τόνους. Τα ηχητικά μηνύματα θα αναπαράγονται ανάλογα με το εμπόδιο που εντοπίζει ο αισθητήρας σε κλίση και οι 2 τόνοι ανάλογα την απόσταση του αισθητήρα με φορά προς τα πάνω από ένα εμπόδιο.



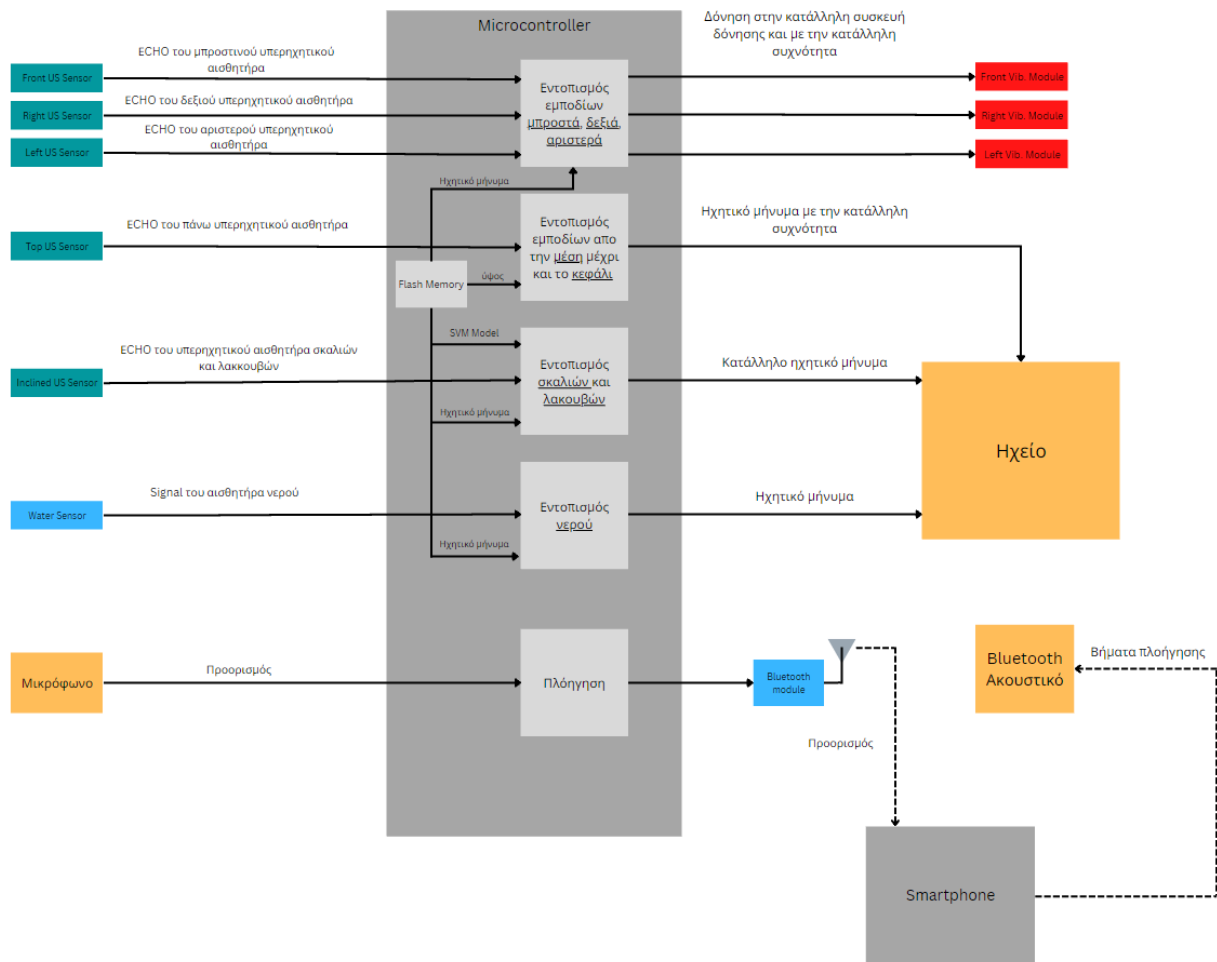
**Fig. 19.** Πλάγια όψη του μαστουνιού με την θέση του κάθε αισθητήρα.



**Fig. 20.** Κάτοψη του μαστουνιού με την θέση του κάθε αισθητήρα.

## 7.2 Επικοινωνία Συσκευών

Παρακάτω στο (Fig.21) φαίνεται ο τρόπος μεταφοράς μηνυμάτων μεταξύ όλων των στοιχείων του συστήματος μέσω ενός block diagram. Διακρίνουμε τα πέντε διαφορετικά υποσυστήματα του μπαστουινιού και τις συσκευές από τις οποίες αποτελούνται.

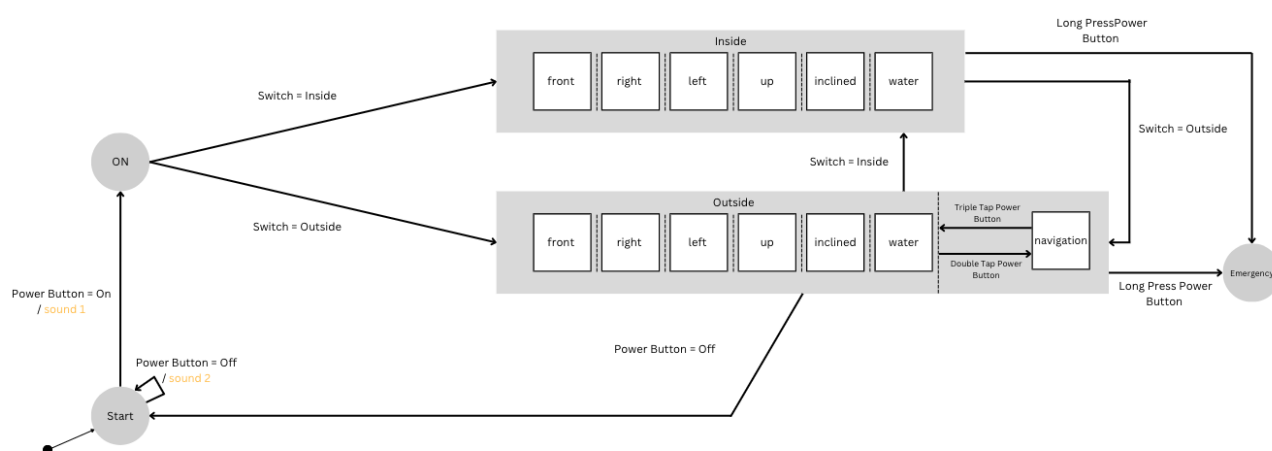


**Fig 21.** Block diagram του συνολικού συστήματος.



### 7.3 Λειτουργία Συστήματος

Το σύστημα έχει δύο λειτουργίες inside και outside τις οποίες μπορεί να εναλλάξει ο χρήστης μέσω ενός διακόπτη. Αυτές οι δύο λειτουργίες παρουσιάζονται στο FSM (finite state machine) του (Fig. 22) ως υπερ-καταστάσεις οι οποίες περιέχουν έξι (inside) και 7 (outside) υπο-καταστάσεις που λειτουργούν παράλληλα και αντιπροσωπεύουν τις λειτουργίες όλων των αισθητήρων. Όταν βρισκόμαστε στην κατάσταση “Outside” μπορούμε να μεταβούμε στην υπο-κατάσταση “navigation” με double click του power button. Βλέπουμε και μια κατάσταση “Emergency” στην οποία μεταβαίνουμε εάν κρατήσουμε παρατεταμένα το power button. Οι λειτουργία των 7 υπο-καταστάσεων περιγράφονται αναλυτικά στην ενότητα 8 με τις αντίστοιχες μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων.



**Fig. 22.** FSM του συνολικού συστήματος

Έξοδος	Ηχητικό Μήνυμα
sound 1	«Ενεργοποίηση»
sound 2	«Απενεργοποίηση»

**Table 2.** Πίνακας προσδιορισμού των ήχων του FSM του Fig. 20

Τα υποσυστήματα λειτουργούν παράλληλα με την υψηλότερη προτεραιότητα να δίνεται στο σύστημα εντοπισμού εμποδίων από την μέση του χρήστη μέχρι το κεφάλι του μιας και λόγω της τοποθέτησης του αισθητήρα, όταν εντοπίσει ένα εμπόδιο θα βρίσκεται σε απόσταση περίπου 1m από τον χρήστη. Οπότε πρέπει σε λιγότερο από 0.63s ο χρήστης να έχει ενημερωθεί. Αυτός ο χρόνος υπολογίστηκε με την υπόθεση ότι η μέση ταχύτητα ενός τυφλού ατόμου με μπαστούνι είναι 1.58 m/s [4] και ότι η απόσταση χρήστη αισθητήρα είναι 1m.

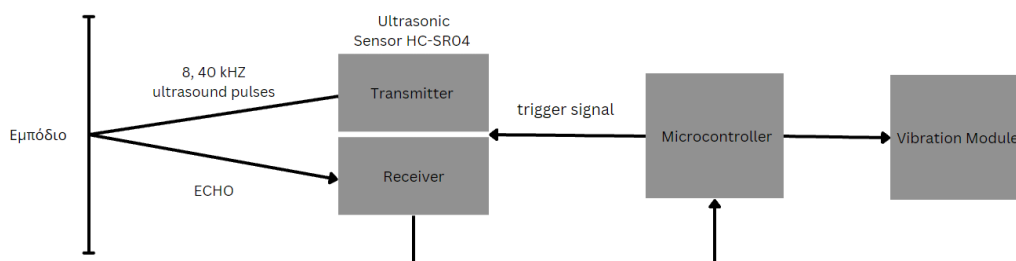
## 8 Σχεδιασμός Υποσυστημάτων

Σε αυτή την ενότητα θα γίνει μια πιο αναλυτική περιγραφή της δομής και της λειτουργίας των πέντε υποσυστημάτων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, με χρήση block diagrams και finite state machines.

### 8.1 Υποσύστημα Αισθητήρων Γενικού Σκοπού

Το υποσύστημα των αισθητήρων γενικού σκοπού αποτελείται από τρεις ultrasonic αισθητήρες, που εκτελούν παράλληλα την ίδια λειτουργία και διαφέρουν μόνο στην κατεύθυνση τους. Οπότε θα γίνει περιγραφή του ενός μόνο αισθητήρα. Το υποσύστημα έχει δύο modes λειτουργίας, ένα για εσωτερικούς και ένα για εξωτερικούς χώρους, στα οποία αλλάζει το εύρος εντοπισμού εμποδίων.

Όπως φαίνεται στο (Fig. 23) ο αισθητήρας δέχεται από το μικροελεγκτή ένα σήμα trigger που πρέπει να είναι high για 10μs και με την σειρά του αυτός στέλνει από τον transmitter του 8 υπερηχητικούς παλμούς στο περιβάλλον και θέτει το ECHO pin, το οποίο είναι συνδεδεμένο σε ένα GPIO pin του μικροελεγκτή, high. Εάν γίνει ανάκλαση των παλμών και την δεχτεί ο receiver, το echo pin πέφτει low και ο μ.ε. με βάση τον χρόνο που το echo pin ήταν high μπορεί να υπολογίσει την απόσταση από το εμπόδιο που αντανάκλασε τον παλμό. Τέλος ανάλογα με το mode του συστήματος (εσωτερικός / εξωτερικός χώρος) και την απόσταση από το εμπόδιο στέλνεται το κατάλληλο σήμα ενεργοποίησης της συσκευής δόνησης που αντιστοιχεί στον αισθητήρα.



**Fig. 23.** Block diagram του υποσυστήματος αισθητήρων γενικού σκοπού

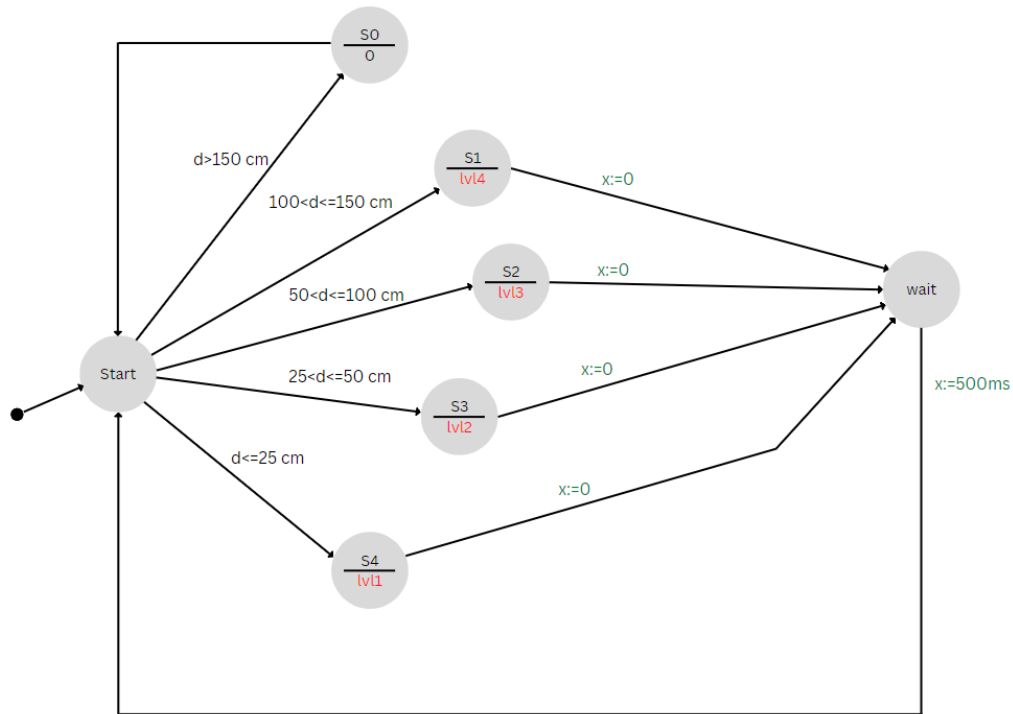
#### Λειτουργία εσωτερικού χώρου

Για να καταλάβει ο χρήστης την απόσταση του από ένα εμπόδιο ενεργοποιούμε την συσκευή δόνηση με σταδιακά αυξανόμενες συχνότητες όσο το πλησιάζει μέχρι το σημείο που είναι πολύ κοντά στο εμπόδιο, όπου η δόνηση είναι συνεχής (Table 3).

Απόσταση από εμπόδιο (d)	Τύπος δόνησης
$d > 150$ cm	καθόλου δόνηση
$100 < d \leq 150$ cm	level 4 = 2 Hz = 2 δονήσεις το δευτερόλεπτο
$50 < d \leq 100$ cm	level 3 = 3 Hz = 3 δονήσεις το δευτερόλεπτο
$25 < d \leq 50$ cm	level 2 = 4 Hz = 4 δονήσεις το δευτερόλεπτο
$d \leq 25$ cm	level 1 = συνεχής δόνηση

**Table 3.** Πίνακας των επιπέδων δόνησης στο mode εσωτερικού

Ο μικροελεγκτής ανάλογα με την απόσταση του αισθητήρα από ένα εμπόδιο, που έχει υπολογίσει, στέλνει το σήμα με την κατάλληλη συχνότητα στην συσκευή δόνησης για 500 ms. Αυτός ο χρόνος επιλέχθηκε επειδή θέλουμε το κάθε σήμα δόνησης να εκτελεστεί για τουλάχιστον μία περίοδο και η μεγαλύτερη περίοδος είναι 500 ms (level 4).



**Fig. 24.** FSM του υποσυστήματος αισθητήρων γενικού σκοπού σε εσωτερικού χώρους

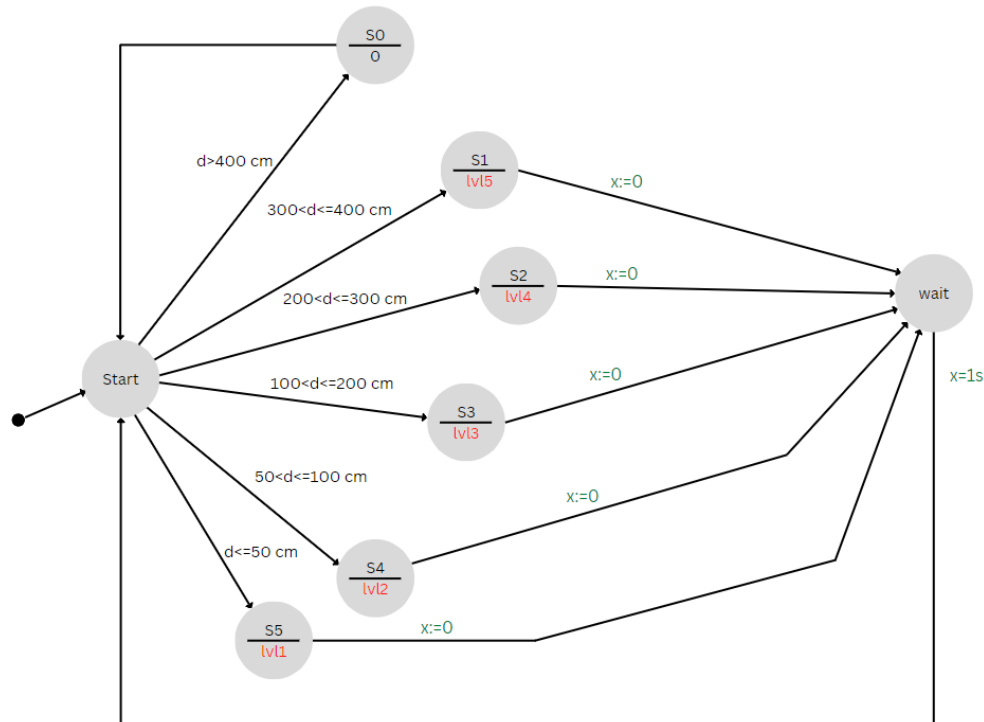
#### Λειτουργία εξωτερικού χώρου

Η λειτουργία εξωτερικού χώρου είναι παρόμοια, απλά το εύρος λειτουργίας επεκτείνεται μέχρι τα 4m (το όριο του αισθητήρα) και προστίθεται ένα επιπλέον επίπεδο δόνησης (Table 4).

Απόσταση από εμπόδιο (d)	Τύπος δόνησης
$d > 400$ cm	καθόλου δόνηση
$300 < d \leq 400$ cm	level 5 = 1 Hz = 1 δονήση το δευτερόλεπτο
$200 < d \leq 300$ cm	level 4 = 2 Hz = 2 δονήσεις το δευτερόλεπτο
$100 < d \leq 200$ cm	level 3 = 3 Hz = 3 δονήσεις το δευτερόλεπτο
$50 < d \leq 100$ cm	level 2 = 4 Hz = 4 δονήσεις το δευτερόλεπτο
$d \leq 50$ cm	level 1 = συνεχής δόνηση

**Table 4.** Πίνακας των επιπέδων δόνησης στο mode εξωτερικού χώρου

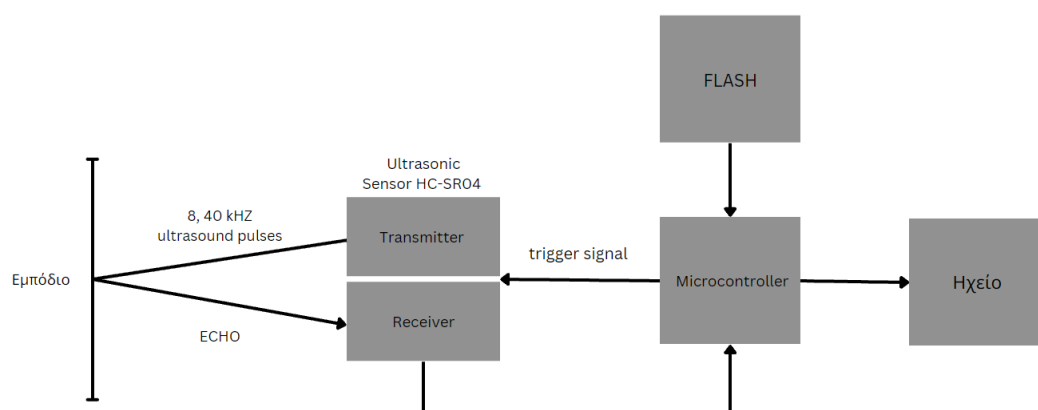
Σε αυτό το mode λειτουργίας η ελάχιστη διάρκεια του παλμού δόνησης καθορίζεται από το level 5 (1 Hz), οπότε θα είναι 1s.



**Fig. 25.** FSM του υποσυστήματος αισθητήρων γενικού σκοπού σε εξωτερικού χώρους

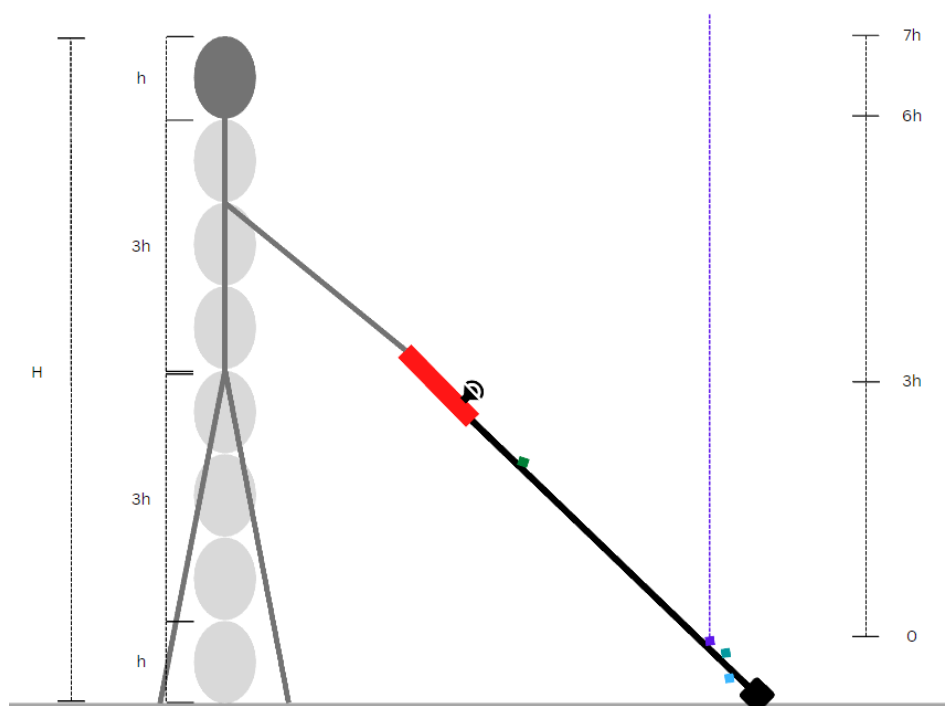
## 8.2 Υποσύστημα Εντοπισμού Εμποδίων από την Μέση έως το Κεφάλι

Αυτό το υποσύστημα είναι παρόμοιο με το προηγούμενο, όμως προστίθεται και η μεταβλητή του ύψους που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς, η οποία θα προσπελάσσεται από την FLASH μνήμη του μικροελεγκτή. Επιπλέον, συσκευή εξόδου είναι το ηχείο αυτή την φορά, το οποίο θα αναπαράγει δύο τόνους ανάλογα με την απόσταση του αισθητήρα από το εμπόδιο. Η επιλογή της ενημέρωσης του χρήστη με ηχητικό μήνυμα έγινε για να γίνεται αρκετά κατανοητή η διαφοροποίηση από τα υπόλοιπα υποσυστήματα μιας και η επικινδυνότητα των εμποδίων ειδικά στο ύψος του κεφαλιού είναι αυξημένη.



**Fig. 26.** Block diagram του υποσυστήματος αισθητήρα εντοπισμού εμποδίων από την μέση έως το κεφάλι.

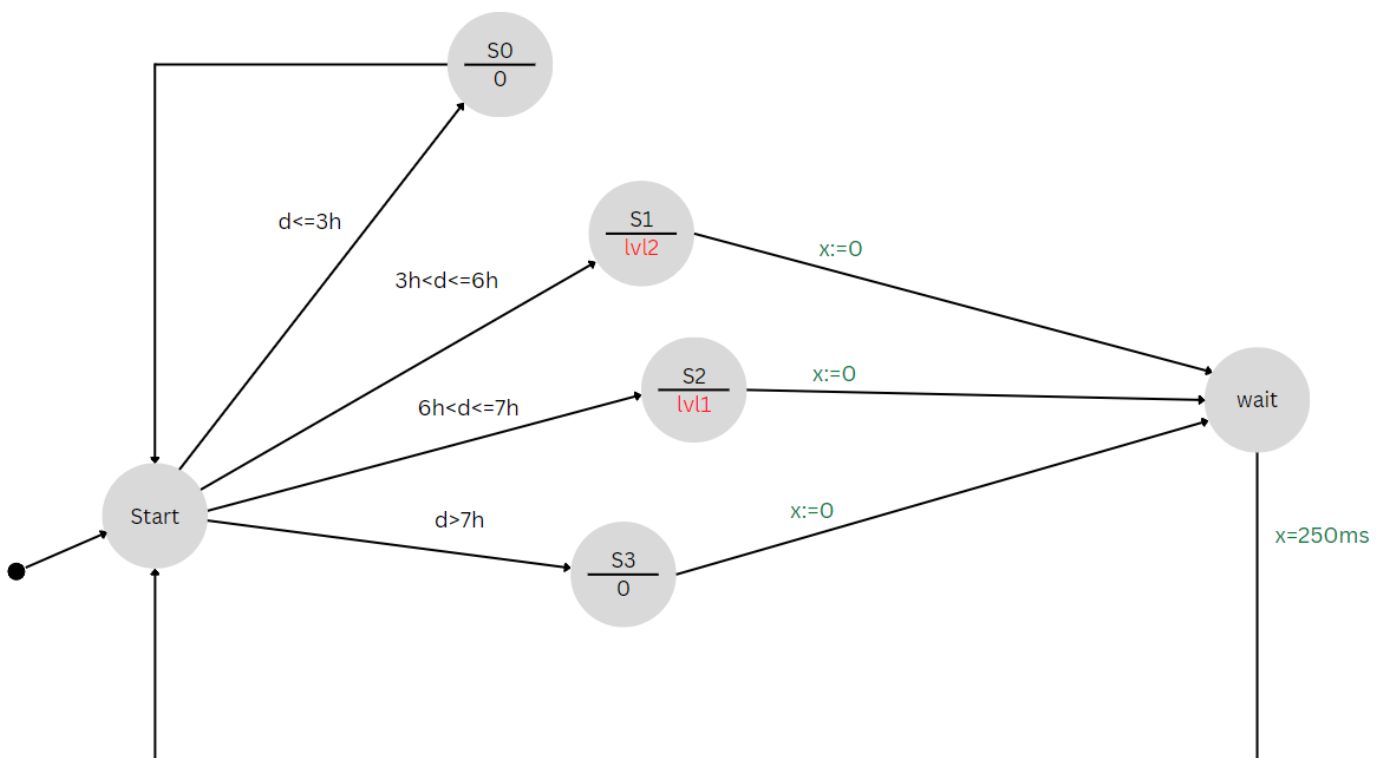
Μας ενδιαφέρουν εμπόδια που βρίσκονται σε δύο συγκεκριμένες ζώνες. Από την μέση του χρήστη μέχρι το πιγούνι και από το πιγούνι μέχρι την κορυφή του κεφαλιού (Fig. 26). Αυτές οι αποστάσεις μπορούν να υπολογιστούν με βάση το ύψος του χρήστη, την πληροφορία ότι το ύψος ενός ανθρώπου είναι 8 φορές το ύψος του κεφαλιού του [16] και την υπόθεση ότι τοποθετούμε τον αισθητήρα σε απόσταση ίση με ένα κεφάλι από το δάπεδο.



**Fig. 27.** Διάγραμμα αναλογίας ύψους κεφαλιού και ύψους και οι απαιτούμενες αποστάσεις

$$H = \text{ύψος χρήστη}, \quad h = \text{ύψος κεφαλιού} = H / 8$$

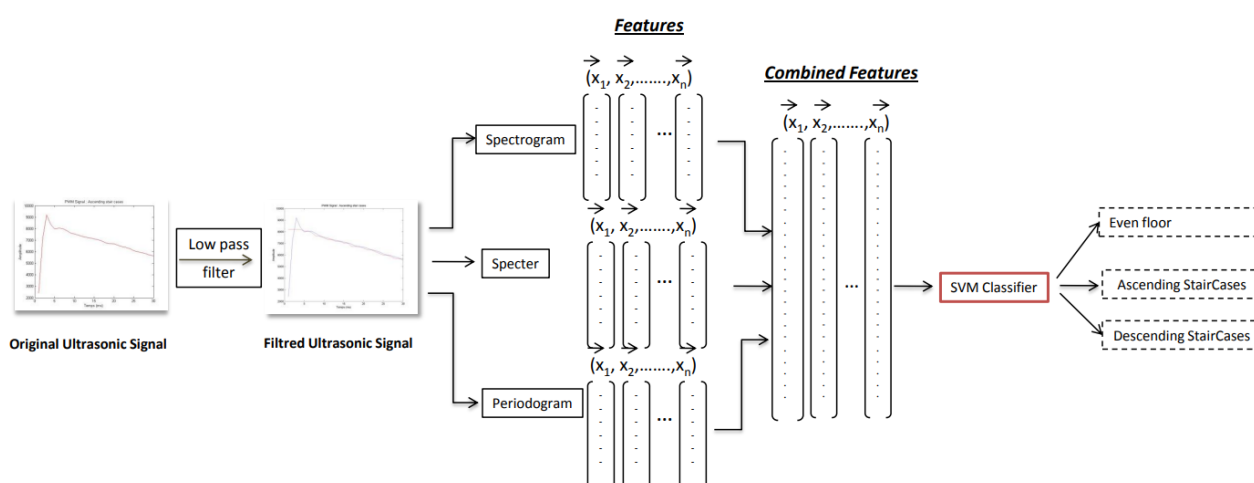
Όπως φαίνεται στο παρακάτω FSM (Fig. 28) λοιπόν, εάν υπολογιστεί πως η απόσταση εμποδίου - αισθητήρα είναι μεταξύ 3h και 6h ( $h$  = ύψος κεφαλιού = ύψος χρήστη / 8) μπαίνουμε στην κατάσταση S1 και έχουμε έξοδο έναν παλμικό τόνο συχνότητας 440Hz, ο οποίος θα επαναλαμβάνεται με ρυθμό 4 παλμών το δευτερόλεπτο (lv12). Αντίστοιχα όταν η απόσταση είναι στο εύρος (6h, 7h] μπαίνουμε στην κατάσταση S2 και έχουμε έξοδο έναν συνεχή τόνο 440Hz. Η διάρκεια της εξόδου μέχρι να ξαναβρεθεί στην αρχική κατάσταση το υποσύστημα είναι 250 ms επειδή τόση είναι η περίοδος της εξόδου της κατάστασης S1. Σε περίπτωση που η απόσταση δεν βρίσκεται σε αυτές τις δύο ζώνες δεν έχω καμία έξοδο.



**Fig. 28.** FSM του υποσυστήματος αισθητήρα εντοπισμού εμποδίων από την μέση έως το κεφάλι.

### 8.3 Υποσύστημα Εντοπισμού Λακκουβών και Σκαλιών

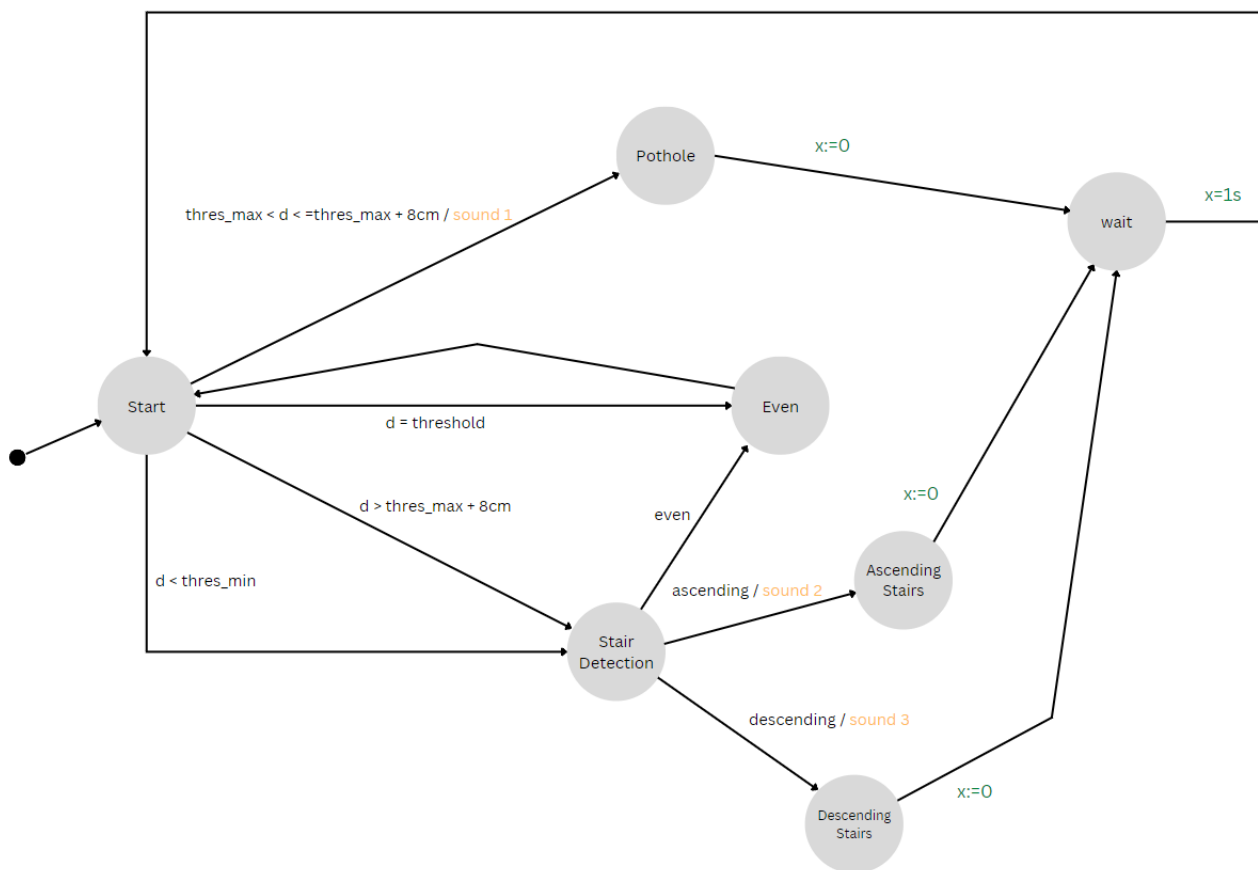
Το υποσύστημα αυτό με έναν αισθητήρα σε κλίση (Fig. 19), εντοπίζει σκάλες και το αν αυτές πάνε προς τα πάνω ή κάτω. Βασίζεται σε έναν κατάλληλα εκπαιδευμένο SVM classifier, ο οποίος κατηγοριοποιεί ένα αντικείμενο που εντοπίζεται σε μία από τις τρεις κατηγορίες, ascending, descending και even. Ένα Support Vector Machine Classifier είναι κατάλληλο για την σύστημα μας μιας και μπορεί να εκπαιδευτεί σε αραιό, υψηλών διαστάσεων χώρο με σχετικά λίγα training examples, κάτι που μας συμφέρει λόγω της περιορισμένης μνήμης μας. Η κατηγοριοποίηση επιτυγχάνεται με την εξαγωγή χαρακτηριστικών από την φασματική, φασμική και περιοδογραμμική αναπαράσταση του σήματος του υπερηχητικού αισθητήρα στο πεδίο συχνοτήτων. Με αυτή την μέθοδο μπορεί να επιτευχθεί ποσοστό επιτυχίας 72.41% [17].



**Fig. 29.** Εξαγωγή χαρακτηριστικών και κατηγοριοποίηση στον πεδίο συχνοτήτων

Για τον εντοπισμό λακκουβών αρκεί να αναγνωρίσουμε εάν η απόσταση του αισθητήρα υπερβεί ένα προκαθορισμένο threshold, δηλαδή εάν από εκεί που έχει μια σταθερή τιμή απόστασης από ένα λείο δάπεδο, ξαφνικά η απόσταση που υπολογίζεται αυξηθεί [18].

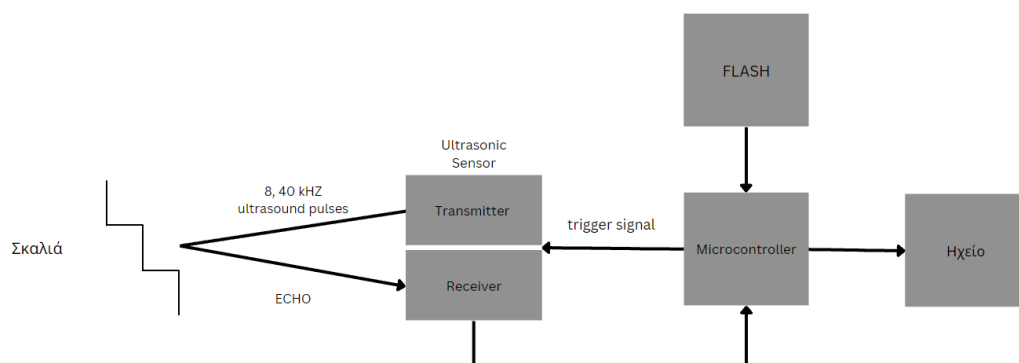
Συγκεκριμένα όπως φαίνεται στο (Fig. 30) όσο η απόσταση του αισθητήρα από το δάπεδο είναι εντός του threshold  $[df-5cm, df+5cm]$ , όπου  $df$  = απόσταση του αισθητήρα από λείο δάπεδο, βρισκόμαστε στην κατάσταση even και δεν έχουμε καμία έξοδο. Εάν η απόσταση  $d$  ξεπεράσει την μέγιστη τιμή του threshold κατά 8cm, που είναι το μέσο βάθος μιας λακκούβας εντός πόλεων [19], πρέπει να εκτελέσουμε τον αλγόριθμο μάθησης που περιεγράφηκε παραπάνω και ανάλογα με τη κατηγοριοποίηση μεταβαίνουμε στην αντίστοιχη κατάσταση και αναπαράγεται από το ηχείο το κατάλληλο ηχητικό μήνυμα. Διαφορετικά, εάν η απόσταση δεν υπερβεί την τιμή  $threshold\_max + 8cm$  ξέρουμε ότι το εμπόδιο είναι λακκούβα και αναπαράγεται το αντίστοιχο μήνυμα.



**Fig. 30.** FSM του υποσυστήματος εντοπισμού λακκουβών και σκαλιών.

Έξοδος	Ηχητικό Μήνυμα
sound 1	«λακκούβα»
sound 2	«σκάλες πάνω»
sound 3	«σκάλες κάτω»

**Table 5.** Πίνακας των ηχητικών

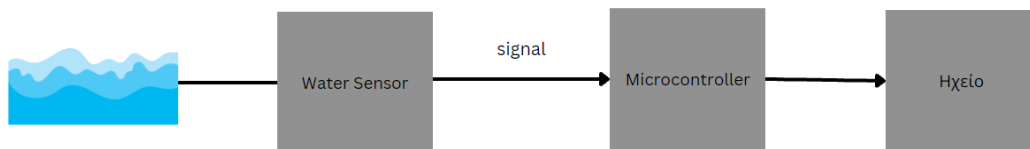


**Fig. 31.** Block diagram του υποσυστήματος εντοπισμού λακκουβών και σκαλιών

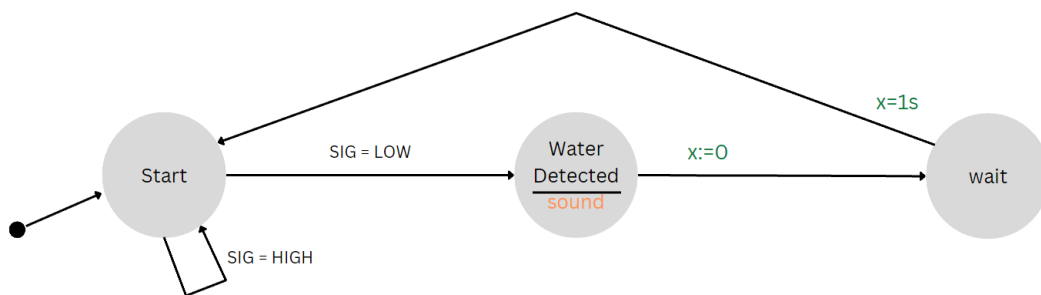


## 8.4 Υποσύστημα Εντοπισμού Νερού

Το τελευταίο υποσύστημα είναι υπεύθυνο για την αναγνώριση νερού στην άκρη του μπαστουνιού και λειτουργεί με βάση το σήμα SIG του αισθητήρα νερού. Όταν το σήμα αυτό είναι high δεν ακουμπάει νερό και όταν είναι low ακουμπάει και αναπαράγει ένα ηχητικό μήνυμα που ενημερώνει τον χρήστη για την παρουσία του. Η λειτουργία του φαίνεται και στο (Fig. 32).



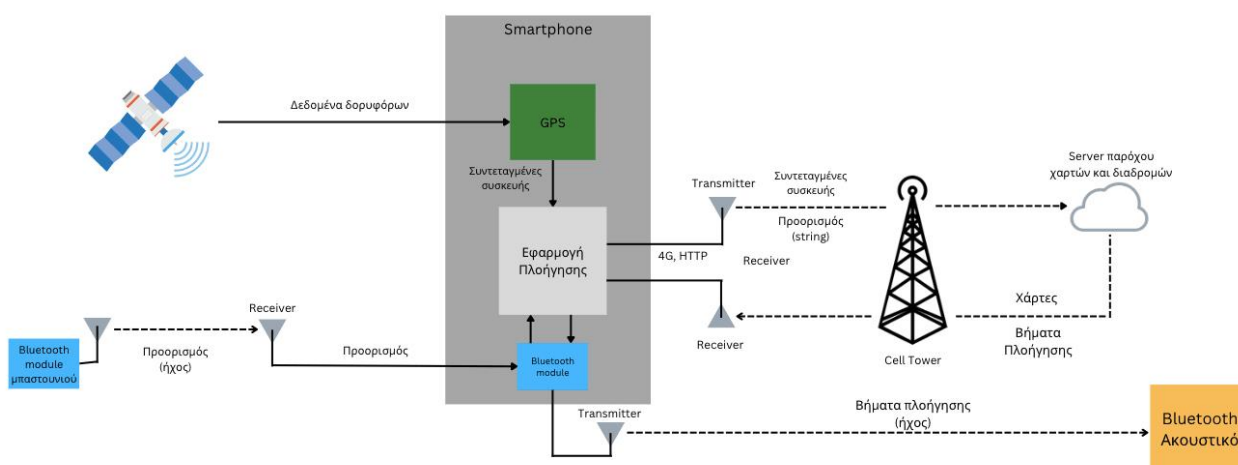
**Fig. 32.** Block diagram του υποσυστήματος εντοπισμού νερού



**Fig. 33.** FSM του υποσυστήματος εντοπισμού νερού

## 8.5 Υποσύστημα Πλοήγησης

Το σύστημα πλοήγησης αξιοποιεί το κινητό του χρήστη και συγκεκριμένα το GPS και την λειτουργία 4g που διαθέτει. Ηχογραφούμε με ένα μικρόφωνο που βρίσκεται πάνω στο μπάστονι ένα ηχητικό μήνυμα που περιλαμβάνει τον προορισμό του χρήστη και το στέλνουμε μέσω Bluetooth στο κινητό του χρήστη. Στην συνέχεια επεξεργαζόμαστε το μήνυμα κατάλληλα για να μετατρέψουμε τον προορισμό σε μορφή κειμένου και με χρήση του πρωτοκόλλου HTTP στέλνουμε τον προορισμό που επέλεξε και τις τρέχουσες συντεταγμένες του χρήστη (query) στον server ενός παρόχου διαδικτυακών χαρτών. Τέλος, λαμβάνουμε με αντίστοιχο τρόπο την σειρά των βημάτων που πρέπει να εκτελεστούν, για να φτάσει ο χρήστης στον προορισμό και τις στέλνουμε στο ακουστικό του χρήστη. Παρακάτω, Fig. 34, φαίνεται ένα block diagram που περιλαμβάνει όλες τις επικοινωνίες ανάμεσα σε μπάστονι, κινητό, server.



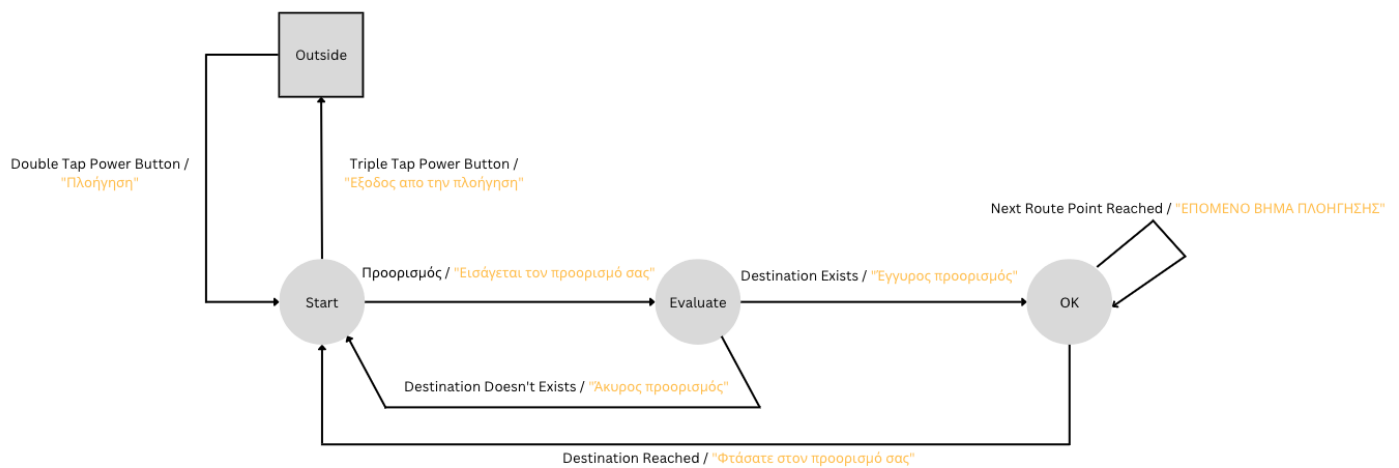
**Fig. 34.** Block diagram του υποσυστήματος πλοήγησης

Πιο αναλυτικά όπως βλέπουμε και στο FSM του Fig. 35 με double tap του power button μεταβαίνουμε από την υπερκατάσταση “Outside” στην αρχική κατάσταση της λειτουργίας πλοήγησης και με ηχητικό μήνυμα ενημερώνουμε τον χρήστη αυτή την αλλαγή. Η υπερκατάσταση Outside φαίνεται πιο αναλυτικά στο Fig. 22 και στην ενότητα 7.2. Έπειτα προστάζουμε τον χρήστη να εισάγει στο σύστημα με την φωνή του τον προορισμό του, τον οποίον αξιολογούμε και ανάλογα με τον αν ήταν έγκυρος ή όχι προχωράμε στην διαδικασία πλοήγησης ή μεταβαίνουμε στην αρχική κατάσταση μαζί με το αντίστοιχο ηχητικό μήνυμα.

Η διαδρομή που λαμβάνουμε από τον server του παρόχου διαδρομών χωρίζεται σε κάποιες ενδιάμεσες στάσεις (waypoints), σε φανάρια, στροφές, διασταυρώσεις κλπ. Όσο βρισκόμαστε στην κατάσταση “OK” λοιπόν, θέλουμε από την τρέχουσα θέση του χρήστη, που μπορούμε να δούμε μέσω του GPS, να μεταβαίνουμε κάθε φορά στο επόμενο waypoint μέχρι να φτάσουμε στον τελικό προορισμό. Ενημερώνουμε λοιπόν τον χρήστη σε κάθε ενδιάμεσο στάδιο για την κίνηση που πρέπει να κάνει με ηχητικό

μήνυμα (Table 6). Εάν φυσικά ο χρήστης απομακρυνθεί από το επόμενο waypoint η διαδρομή πρέπει να προσαρμοστεί κατάλληλα.

Τέλος, όταν φτάσει στον προορισμό του μεταβαίνουμε στην αρχική κατάσταση και ο χρήστης μπορεί να επιλέξει εάν θέλει να επιλέξει έναν νέο προορισμό η να μεταβεί στην υπερκατάσταση “Outside” πατώντας τρεις φορές το power button.



**Fig. 35.** FSM του υποσυστήματος πλοήγησης.

ΕΠΟΜΕΝΟ ΒΗΜΑ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ
«Προχωρήστε ευθεία»
«Στρίψτε δεξιά»
«Στρίψτε αριστερά»
«Φτάσατε στον προορισμό σας»

**Table 6.** Πίνακας πιθανών ηχητικών μηνυμάτων της κατάστασης «OK».

## 9 Υλοποίηση

### 9.1 Στοιχεία Υλοποίησης Υλικού

Το «έξυπνο» μπαστούνι θα αποτελείται από υπερηχητικούς (ultrasonic) αισθητήρες, αισθητήρα νερού, ηχείο, μικροελεγκτή (microcontroller), μπαταρία, απτική ανάδραση (vibration motor), κουμπί ON/OFF, διακόπτη για εσωτερική ή εξωτερική χρήση του μπαστουιού.

#### α) Υπερηχητικός (ultrasonic) αισθητήρας



Fig.36 HC-SR04 Ultrasonic Distance Sensor

Για την ανίχνευση των εμποδίων σε εσωτερικό και εξωτερικό χώρο θα χρησιμοποιηθεί ο αισθητήρας **HC-SR04 Ultrasonic Distance Sensor** ο οποίος έχει εμβέλεια από 2cm – 4m [20]. Ο αισθητήρας στέλνει έναν ηχητικό παλμό με συχνότητα 40Hz και όταν ένα αντικείμενο βρίσκεται μέσα στην εμβέλεια του, το ανακλώμενο σήμα θα διαβαστεί από τον αισθητήρα για να υπολογιστεί ο χρόνος μεταξύ εκπομπής και εντοπισμού. Αυτός ο αισθητήρας επιλέχθηκε διότι έχει ακριβώς την εμβέλεια μήκους που αναζητάμε.

#### β) Αισθητήρας νερού

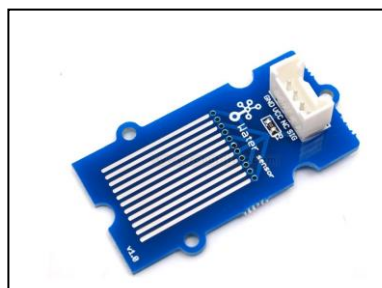


Fig.37 Grove Water Sensor

Το «έξυπνο» μπαστούνι όπως έχουμε προαναφέρει θα ανιχνεύει και νερόλακκους. Αυτό επιτυγχάνεται με τον **Grove Water Sensor** ο οποίος περιέχει «διαδρομές» (traces) συνδεδεμένες είτε στο GND είτε στο SIG pin το οποίο και διαβάζουμε. Το SIG pin χωρίς την παρουσία νερού είναι συνδεδεμένο στο VCC με έναν 1 MΩ

αντιστάτη. Όταν πέσει νερό στον αισθητήρα βραχυκυκλώνονται οι διαδρομές και οι διαδρομές SIG γειώνονται οπότε παίρνω σήμα εξόδου LOW. Επιλέγουμε τον συγκεκριμένο αισθητήρα λόγω του μικρού μεγέθους του που τον καθιστά ιδανικό για την εφαρμογή μας.

#### c) Ηχείο



**Fig.38** 50 mm x 90 mm Oval Wide Range Speaker

Το **50 mm x 90 mm Oval Wide Range Speaker** ένα wide range speaker με υψηλή ποιότητα ήχου που έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές περιορισμένου χώρου.

#### d) Συσκευή Δόνησης (vibration motor)



**Fig.39** Powerful Vibration Motor 20x25mm

Για την απτική ανάδραση θα χρειαστούμε ένα **Powerful Vibration Motor 20x25mm** το οποίο μπορεί να εκτελέσει 18000 στροφές/λεπτό και είναι φτιαγμένος από ανθεκτικό υλικό. Επιλέξαμε το συγκεκριμένο vibration motor και πάλι λόγω του μικρού μεγέθους του και της ανθεκτικής κατασκευής του.

#### e) Κουμπί ON/OFF



Fig.40 12x12x10mm Momentary Tactile Push Button

Για την ενεργοποίηση της συσκευής, την μετάβαση στην λειτουργία πλοήγησης αλλά και ως κουμπί κινδύνου θα χρησιμοποιήσουμε το **12x12x10mm Momentary Tactile Push Button Switch**. Το κουμπί όσο είναι πατημένο κλείνει ένας εσωτερικός διακόπτης και «αφήνει» το ρεύμα να περάσει ενώ όταν σταματάμε να το πιέζουμε ο διακόπτης ανοίγει. Για αυτό τον λόγο απαιτείται ειδικό προγραμματισμός για να δουλέψει σαν κουμπί toggle.

#### f) Μικροελεγκτής (microcontroller)



Fig.41 PIC16F877A

Ο μικροελεγκτής **PIC16F877A** διαθέτει έναν πυρήνα επεξεργασίας με συχνότητα λειτουργίας έως 20 MHz, μνήμη SRAM 368 Bytes, Flash Program Memory 8KB, EEPROM Data Memory 256 Bytes, Σειριακή Επικοινωνία με MSSP και USART (χρειάζεται για το Bluetooth), 8 input channels με 10-bit Analog-to-Digital (χρειάζεται για το μικρόφωνο) [21]. Φαίνεται η περιφερειακή μνήμη να μην είναι αρκετή για τις ανάγκες που περιεγράφηκαν στην ενότητα 5.2, οπότε μπορούμε να προσθέσουμε επιπλέον Flash μνήμη με την χρήση μίας κάρτας SD (Secure Digital). Χρησιμοποιούμε αυτόν τον μικροελεγκτή επειδή [22]:

- Έχει χαμηλό κόστος.
- Είναι ευρέως διαθέσιμος.
- Μπορεί να προγραμματιστεί με δωρεάν εργαλεία.
- Διαθέτει επαναπρογραμματίσιμη μνήμη Flash.

### g) Διακόπτης

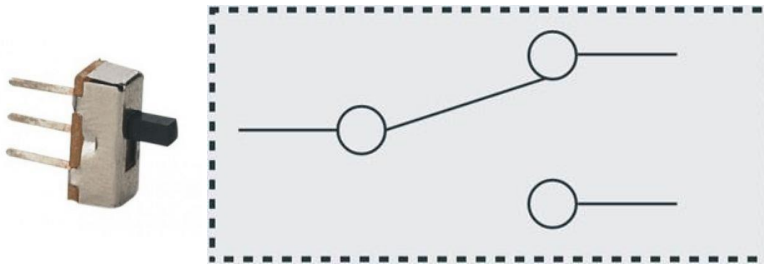


Fig.42 Slide Switch Mini SPDT Switch

Για την εναλλαγή ανάμεσα στις λειτουργίες εσωτερικού και εξωτερικού χώρου θα χρησιμοποιήσουμε έναν διακόπτη **Slide Switch Mini SPDT**. Στα 2 δεξιά points θα συνδέσουμε το GND και το VCC και το αριστερό θα συνδέεται σε GPIO pin του μικροελεγκτή για επιλογή της κάθε κατάστασης.

### h) Μπαταρία



Fig.43 LiPo 5V Battery

Επιλέγουμε μια **5v LiPo battery with 1200mAh** ως πηγή τάσης επειδή ο **PIC 16F877A** δουλεύει μεταξύ 4.2V – 5.5V. Για την χωρητικότητα των 1200mAh βασιστήκαμε σε ένα παρόμοιο έξυπνο μαστούνη για τυφλούς με battery life 20h [25], [26].

Επιλέγουμε μπαταρία τύπου Lithium-Polymer αντί για Lithium-Ion επειδή είναι πιο ελαφριές, δεν κινδυνεύουν από εκρήξεις και δεν χάνουν την χωρητικότητα φόρτισης τους τόσο γρήγορα, οπότε έχουν 1000 φορές μεγαλύτερο προσδόκιμο ζωής από τις Li-Ion μπαταρίες.

### i) Bluetooth Module

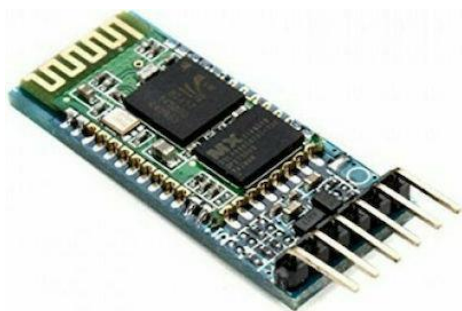


Fig.44 Bluetooth Module HC-06

Χρησιμοποιούμε το **Bluetooth Module HC-06** για να στείλουμε ασύρματα το ηχητικό μήνυμα με τον προορισμό του χρήστη στην εφαρμογή πλοήγησης στο κινητό του. Η επικοινωνία μεταξύ του PIC και του HC-06 γίνεται χρησιμοποιώντας το USART module του μικροελεγκτή.

## 9.2 Στοιχεία Υλοποίησης Λογισμικού

### a) RTOS

Για Real Time Operating System (RTOS) επιλέγουμε το **Salvo** επειδή είναι συμβατό με τον μικροελεγκτή μας και έχει μηδαμινές απαιτήσεις σε RAM. Επιπλέον το Salvo έχει μικρό κόστος, και έχει σχεδιαστεί για την ανάπτυξη real-time multitasking εφαρμογές σε single-chip microcontrollers [23].

### b) Compiler

Για compiler μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτόν που ενδείκνυται από το datasheet του μικροελεγκτή μας, δηλαδή τον **MPLAB-C18**, ο οποίος υποστηρίζεται και από το RTOS μας. Παράλληλα για την ανάπτυξη των προγραμμάτων μας μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε MPLAB IDE της Microchip [21].

### c) Πάροχος Διαδικτυακών Χαρτών και Διαδρομών

Για την δημιουργία της εφαρμογής πλοήγησης μας για smartphones μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα SDKs (Software Development Kits) της **Mapbox**. Επιλέγουμε το Mapbox, λόγω της ευκολίας χρήσης του και επειδή παρέχει πολύ καλό API (Application Programming Interface) step-by-step οδηγιών πλοήγησης με voice instructions [24].



## 10 Εκτίμηση Πειραματικών Μετρήσεων

Είναι απαραίτητο να αναλύσουμε ορισμένα σενάρια με τα οποία μπορεί να έρθει αντιμέτωπος ο χρήστης στην καθημερινή του ζωή εν χρήση του «έξυπνου» μπαστουνιού και πως αυτά τα σενάρια επηρεάζουν την προσδοκώμενη λειτουργία του συστήματος μας. Αυτό το στάδιο είναι απαραίτητο για να διαπιστώσουμε αν το σύστημα μας μπορεί να ανταπεξέλθει σε σενάρια της καθημερινότητας και να αποφασίσουμε αν είναι έτοιμο για παραγωγή.

### 10.1 Σενάρια Χρήσης Μπαστουνιού

#### 1. Αρχική επαφή του χρήστη με το μπαστούνι

Ο χρήστης φέρνει στα χέρια του το μπαστούνι και νιώθει πως δεν είναι ούτε πολύ βαρύ ούτε πολύ ελαφρύ (652g). Έπειτα, γίνεται η διαδικασία επιμήκυνσης του μπαστουνιού έτσι ώστε να έρθει στα μέτρα του χρήστη. Παρατηρούμε πως πείρε στον χρήστη 65 δευτερόλεπτα να πειραματιστεί και να βρει το κατάλληλο μήκος για αυτόν.

#### 2. Εκκίνηση του μπαστουνιού

Έχοντας στα χέρια του το μπαστούνι, ο χρήστης πιέζει το κουμπί ON/OFF και μετά από 3 δευτερόλεπτα το σύστημα τον ενημερώνει με το ηχητικό μήνυμα «ενεργοποίηση» πως είναι έτοιμο για χρήση. Ο χρήστης βρίσκεται σε έναν εσωτερικό χώρο και παρατηρούμε πως το μπαστούνι αρχίζει να δονείτε. Η αίσθηση της απτικής ανάδρασης στον χρήστη για πρώτη φορά προκαλεί μία μικρή δυσκολία σε αυτόν η οποία μπορεί να αντιμετωπιστεί με την συνεχή χρήση του μπαστουνιού για καλύτερη εξοικείωση με αυτό.

#### 3. Χρήση του μπαστουνιού σε εσωτερικό περιβάλλον.

Ο χρήστης είναι ήδη εξοικειωμένος με την εκκίνηση του μπαστουνιού και τώρα είναι σε θέση να το δοκιμάσει σε εσωτερικό χώρο. Ο διακόπτης εσωτερικό/εξωτερικό περιβάλλον είναι προεπιλεγμένος στην θέση 'εσωτερικό' και ο χρήστης ξεκινάει το σύστημα. Οι υπερηχητικοί αισθητήρες στέλνουν διαρκώς υπερηχητικά κύματα με ταχύτητα 340 m/s και ο χρήστης μετακινώντας το μπαστούνι καταλαβαίνει τα εμπόδια στον χώρο μέσω της απτικής ανάδρασης κάθε 150 ms. Στον εσωτερικό χώρο που βρίσκεται ο χρήστης, παρατηρούμε πως οι αποστάσεις είναι αρκετά μικρές και οι δονήσεις στην λαβή εναλλάσσονται διαρκώς στα επίπεδα 1 και 2. Επίσης στον χώρο έχουμε τοποθετήσει ένα αντικείμενο 1.5m μακριά και παρατηρούμε πως το σύστημα δεν το αναγνωρίζει και δεν δονείτε διότι θεωρεί πως η απόσταση είναι 1.6m. Σε αυτήν την περίπτωση η ακρίβεια του συστήματος μας είναι  $(1.5/1.6) \cdot 100\% = 93.33\%$ . Έπειτα αν φέρουμε το αντικείμενο πιο κοντά παρατηρούμε τα εξής:

<u>Πραγματική απόσταση</u>	<u>Μέτρηση του συστήματος</u>	<u>Ακρίβεια</u>
1.5m	1.6m	93.33%
1m	0.9m	90%
0.45m	0.51m	86.67%
0.25	0.23m	92%

**Table 7.** Πίνακας προσδιορισμού ακρίβειας πειράματος σε εσωτερικό περιβάλλον.

Παρατηρούμε πως σε εσωτερικό χώρο το σύστημα μας όσον αφορά την ακρίβεια των αποστάσεων είναι κατά μέσο όρο 90.5% ακριβές.

#### **4. Χρήση του μπαστουνιού σε εξωτερικό περιβάλλον (λιακάδα, θερμοκρασία 20°C, στεγνό έδαφος,)**

Σε εξωτερικό περιβάλλον ο χρήστης θέτει τον διακόπτη εσωτερικό/εξωτερικό σε 'εξωτερικό'. Ξεκινώντας το περπάτημα οι υπερηχητικοί αισθητήρες στέλνοντας τα υπερηχητικά κύματα αναγνωρίζουν πως σε απόσταση 4 μέτρα εμπρός υπάρχει ένα εμπόδιο, το οποίο είναι ένας τοίχος. Παρατηρούμε πως όσο ο χρήστης πλησιάζει το εμπόδιο τόσο πιο μεγάλη είναι η συχνότητα της δόνησης στην λαβή. Όταν είναι 20 cm μακριά από το εμπόδιο ήδη το μπαστούνι έχει αρχίσει να δονείτε στο επίπεδο 1. Στο παρακάτω πίνακα μετρήθηκαν τα παρακάτω.

<u>Πραγματική απόσταση</u>	<u>Μέτρηση του συστήματος</u>	<u>Ακρίβεια</u>
3.5m	3.7m	94.29%
2.95m	3.08m	95.59%
1.5m	1.59m	94%
0.25	0.23m	92%

**Table 8.** Πίνακας προσδιορισμού ακρίβειας πειράματος σε εξωτερικό περιβάλλον.

Παρατηρούμε πως σε εξωτερικό χώρο το σύστημα μας όσον αφορά την ακρίβεια των αποστάσεων είναι κατά μέσο όρο 93.97% ακριβές.

#### **5. Χρήση του μπαστουνιού σε εξωτερικό περιβάλλον (συννεφιά, θερμοκρασία 10°C, υγρό έδαφος)**

Το πείραμα αυτήν την φορά γίνεται σε μια χρονική περίοδο όπου υπήρχε βροχή πριν λίγες ώρες και ο δρόμος δεν είναι στεγνός. Ο χρήστης ενεργοποιεί το μπαστούνι και το ακουμπάει κάτω στο υγρό έδαφος. Παρατηρούμε πως το ηχητικό μήνυμα για την ανίχνευση του νερού ενεργοποιείται, διότι ο αισθητήρας νερού αντιλήφθηκε νερό. Παρατηρούμε πως το μήνυμα αναπαράγεται συνεχώς κάθε 5 δευτερόλεπτα, το οποίο είναι ενοχλητικό για τον χρήστη και για το γύρω περιβάλλον. Αυτό που αντιληφθήκαμε είναι πως υπάρχει ακόμα νερό στον

αισθητήρα το οποίο προκαλεί αυτό το αποτέλεσμα. Άρα παρατηρούμε πως ο αισθητήρας είναι πολύ ευαίσθητος όσον αφορά την επαφή του με νερό.

## **6. Χρήση του μαστουνιού σε εξωτερικό περιβάλλον (βροχόπτωση, θερμοκρασία 10°C, υγρό έδαφος)**

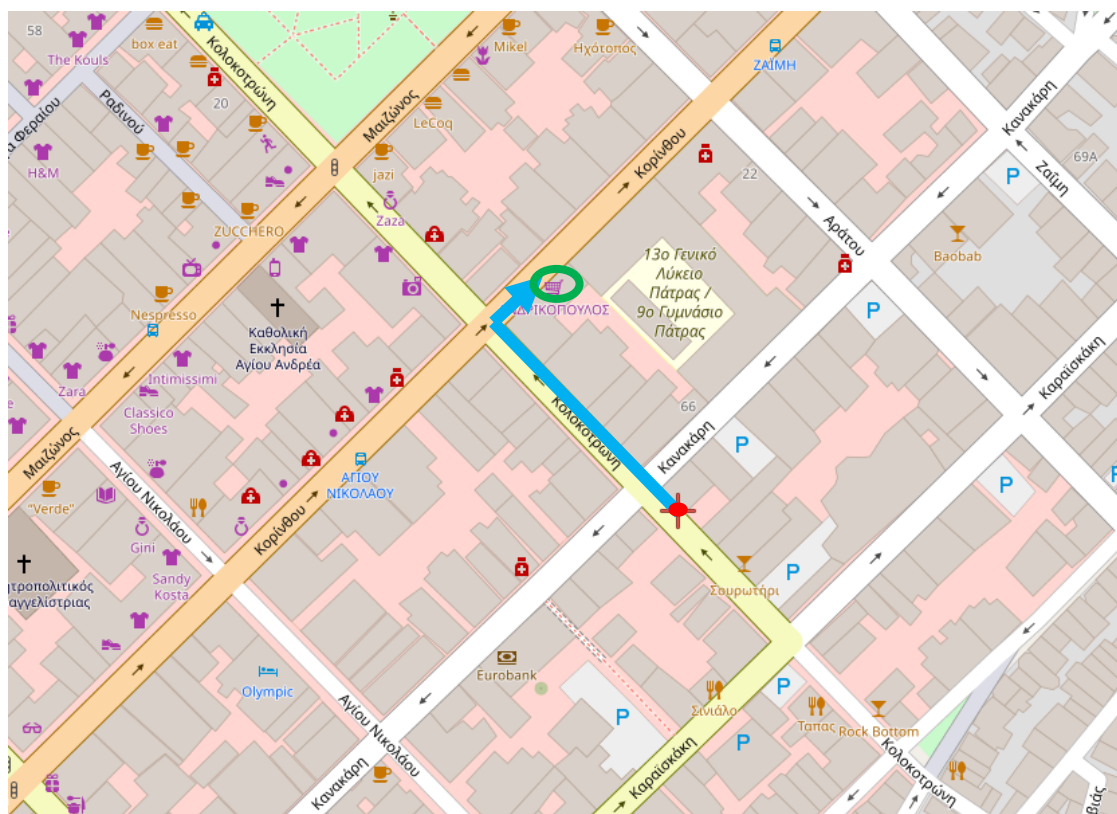
Το πείραμα αυτήν την φορά γίνεται σε μια χρονική περίοδο όπου βρέχει. Το σύστημα λειτουργεί σωστά όσον αφορά την ανίχνευση εμποδίων. Όμως όπως και στην περίπτωση του υγρού εδάφους με συνεφιά το σύστημα δεν σταματάει να αναπαράγει το ηχητικό μήνυμα για την ανίχνευση νερού διότι όπως συμπεράναμε είναι πολύ ευαίσθητος.

## **7. Χρήση της Πλοήγησης του μαστουνιού.**

Ο χρήστης βρίσκεται σε εξωτερικό χώρο και έχει γυρίσει τον διακόπτη στην αντίστοιχη λειτουργία. Έπειτα πατάει το power button δυο φορές για να ξεκινήσει το σύστημα της πλοήγησης. Μόλις ενεργοποιηθεί το σύστημα της πλοήγησης αναπαράγεται το μήνυμα “Welcome to Navigation.- Where do you want to go?”. Ο χρήστης απαντάει «Κοντινότερο Σούπερμαρκετ». Το αίτημα μαζί με την θέση του χρήστη αποθηκεύτε στο cloud και επεξεργάζεται. Το πείραμα γίνεται στην οδό Κολοκοτρώνη (Fig.44) και οι υπολογισμοί στο cloud ανίχνευσαν το supermarket στην οδό Κορίνθου. Μετά από 30 δευτερόλεπτα το μαστούνι αναπαράγει τον ήχο «Προχωρήστε ευθεία». Μόλις φτάσει στην διασταύρωση των 2 οδών το σύστημα αναπαράγει τον ήχο «Στρίψτε δεξιά». Μόλις φτάσει στον προορισμό τον σύστημα του Navigation τον ενημερώνει με το ηχητικό μήνυμα «Φτάσατε στον προορισμό σας» και με triple click του power button πραγματοποιείται έξοδος από το σύστημα πλοήγησης. Κατά την διάρκεια αυτού του πειράματος καταγράψαμε ορισμένες μετρήσεις:

<b><u>Πραγματική τοποθεσία</u></b> (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος)	<b><u>Μέτρηση τοποθεσίας</u></b> (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος)	<b><u>Απόκλιση</u></b>
38.247430, 21.738859	38.247430, 21.738861	0.1747m
38.247554, 21.738693	38.247560, 21.738680	1.317m
38.247917, 21.738274	38.247930, 21.738260	1.89m
38.248106, 21.738178	38.248116, 21.738198	2.07 m

**Table 9.** Πίνακας προσδιορισμού απόκλισης του συστήματος πλοήγησης.



**Fig.45** Πείραμα Πλοήγησης σε Supermarket

## 8. Χρήση της λειτουργίας Έκτακτης Ανάγκης του μπάστουνιού.

Σε αυτό το πείραμα έγινε χρήση του κουμπιού έκτακτης ανάγκης. Η αρχική δοκιμή έγινε σε εσωτερικό περιβάλλον όπου έπειτα από 7 δευτερόλεπτα στάλθηκε στον αριθμό που επιλέξαμε το μήνυμα πως ο χρήστης χρειάζεται βοήθεια καθώς και την ώρα και την τοποθεσία που πατήθηκε το κουμπί. Σε εξωτερικό περιβάλλον παρατηρήσαμε πως για το ίδιο αποτέλεσμα χρειάστηκε 5 δευτερόλεπτα. Παρακάτω είναι οι μετρήσεις που έγιναν:

<u>Προσπάθεια</u>	<u>Περιβάλλον</u>	<u>Χρονική Περίοδος</u>
1	Εσωτερικό (υψόμετρο 7m)	7s
2	Εξωτερικό (υψόμετρο 7m)	5s
3	Εσωτερικό (υψόμετρο 212m)	11s
4	Εξωτερικό (υψόμετρο 212m)	9s
5	Εσωτερικό (υψόμετρο -4m)	Αποτυχία

**Table 10.** Πίνακας προσδιορισμού αξιοπιστίας κουμπιού έκτακτης ανάγκης.

## 9. Χρήση του μπαστουνιού σε περίπτωση σκαλιών.

Σε αυτό το πείραμα έγινε χρήση του μπαστουνιού σε ανηφορικές και κατηφορικές σκάλες. Παρατηρήσαμε τα εξής αποτελέσματα:

<u>Προσπάθεια</u>	<u>Σκάλες</u>	<u>Ανίχνευση</u>
1	Ανηφορικές	Επιτυχία
2	Ανηφορικές	Επιτυχία
3	Ανηφορικές	Αποτυχία
4	Ανηφορικές	Επιτυχία
5	Ανηφορικές	Αποτυχία
6	Κατηφορικές	Επιτυχία
7	Κατηφορικές	Αποτυχία
8	Κατηφορικές	Επιτυχία
9	Κατηφορικές	Επιτυχία
10	Κατηφορικές	Επιτυχία

**Table 11.** Πίνακας προσδιορισμού αξιοπιστίας στην ανίχνευση σκαλοπατιών.

Με βάση το παραπάνω πείραμα εξάγουμε το συμπέρασμα πως η αναγνώριση ανηφορικών σκαλιών είναι επιτυχής 60% ενώ η αναγνώριση κατηφορικών σκαλοπατιών 80%.

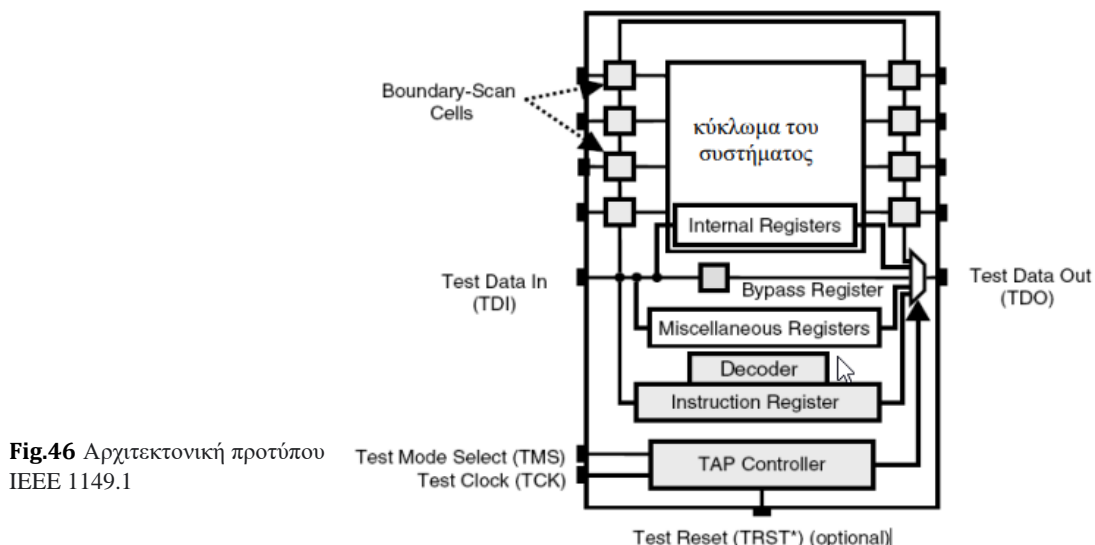
## 11 Διαδικασία ελέγχου ορθής λειτουργίας.

### 11.1 Εισαγωγή στον έλεγχο ορθής λειτουργίας

Είναι απαραίτητο σε ένα σύστημα/προϊόν να γίνει έλεγχος για το αν λειτουργεί ορθά ώστε να διαπιστώσουμε πιθανά λάθη και δυσλειτουργίες που έρχονται σε αντίθεση με τις αρχικές προδιαγραφές. Δηλαδή, χρειάζεται να βεβαιώσουμε αν κάθε στοιχείο του συστήματος λειτουργεί σωστά, αν τα διαφορετικά στοιχεία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και στην τελική αν όλα μαζί παράγουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Για να μπορέσουμε να ελέγξουμε το σύστημα μας θα πρέπει με κάποιο τρόπο να παραχθούν ορισμένα διανύσματα δοκιμής τα οποία αφού περάσουν από το υπό-έλεγχο κύκλωμα, θα συγκριθούν με τα αναμενόμενα αποτελέσματα για να διαπιστώσουμε τυχόν ελαττώματα [27]. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα απόκρισης για μια ακολουθία δοκιμών συμπίεζονται σε μια μοναδική τιμή, που ονομάζεται υπογραφή (signature). Έτσι, αν η υπογραφή ενός κυκλώματος που λαμβάνεται από κάποιον έλεγχο δεν είναι η σωστή, το κύκλωμά είναι εσφαλμένο [28].

### 11.2 Χρήση του πρότυπου ελέγχου IEEE 1149.1

Το IEEE 1149.1 είναι ένα πρότυπο το οποίο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ορθής λειτουργίας ψηφιακών κυκλωμάτων. Ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζεται σε ένα κύκλωμα είναι να προσθέσουμε σε κάθε ακροδέκτη του κυκλώματος ένα στοιχείο ολίσθησης (boundary-scan cell) έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργήσει σαν ένας καταχωρητής ολίσθησης [29]. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε μία πλακέτα τότε για να εξετάσουμε όλα τα ολοκληρωμένα κυκλώματα της πλακέτας, θα χρειαστεί να συνδέσουμε σειριακά την έξοδο ενός καταχωρητή ολίσθησης με την είσοδο ενός αλλού. Η αρχιτεκτονική του προτύπου δίνεται στο (Fig. 43). Η βασική διαδικασία, έχοντας εφαρμόσει το πρότυπο στο σύστημα μας, είναι να φορτωθεί μια εντολή σειριακά στον καταχωρητή εντολών IR μέσω της εισόδου δεδομένων δοκιμής TDI η οποία θα διαμορφώσει κατάλληλα τα κυκλώματα που υλοποιούν το πρότυπο. Στην συνέχεια, φορτώνουμε σειριακά το διάνυσμα δοκιμής και έπειτα η υπογραφή του μεταφέρεται έξω από το DUT και συγκρίνεται με την αναμενόμενη.



**Fig.46** Αρχιτεκτονική προτύπου IEEE 1149.1

### Εφαρμογή στον υπερηχητικό αισθητήρα

Για παράδειγμα στον υπερηχητικό αισθητήρα θα μπορούσαμε να παράγουμε διανύσματα τα οποία θα ενεργοποιούν τον TRIG ακροδέκτη για 10us (από 0us έως 10us, το οποίο το συμβολίζουμε παρακάτω 0us->10us ) και έπειτα θα μετράμε την ώρα που ο ECHO ακροδέκτης είναι HIGH. Θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα του ελέγχου με αυτά που περιμένουμε βάσει την σωστή λειτουργία του αισθητήρα και θα διαπιστώσουμε τυχόν δυσλειτουργίες.

Παρακάτω θα δώσουμε ένα παράδειγμα (Table 10) για αντικείμενο σε απόσταση 3.43m όπου VCC=5V, GND=0V και ECHO=HIGH (από 0 ms μέχρι 20 ms, σύμφωνα με τον τύπο στην ενότητα 5.3  $distance=(time/2)*speed\ of\ sound$  ).

Είσοδος	Απόκριση χωρίς σφάλμα	Απόκριση με σφάλμα			
TRIG(0us ->10us)	ECHO(0ms -> 20ms)	TRIG/0	ECHO/0	TRIG/1	ECHO/1
0->0	0 -> 0	0->0	0->0	1->1	1->1
1->0	1 -> 0	0->0	0->0	1->1	1->1

**Table 12.** Παράδειγμα καθορισμού διανυσμάτων δοκιμής και ανίχνευσης.

Σε αυτό το παράδειγμα ο συμβολισμός TRIG/0 σημαίνει πως το σήμα TRIG έχει κολλήσει στην τιμή 0, αντίστοιχα για το TRIG/1 στην τιμή 1. Ο ίδιος συμβολισμός ισχύει και για το ECHO/0 και ECHO/1. Κάθε πεδίο στις στήλες TRIG/0, TRIG/1, ECHO/0 και ECHO/1 συμβολίζει την κατάσταση που θα έχει η έξοδος μας, δηλαδή η ECHO.

Το κίτρινο χρώμα συμβολίζει το διάνυσμα TRIG=(1->0) το οποίο αν το εφαρμόσουμε θα μπορεί να μας ανιχνεύσει όταν το ECHO έχει κολλήσει στο 0.

Με κόκκινο συμβολίζουμε πάλι το διάνυσμα TRIG=(1->0) που μπορεί να ανιχνεύσει αν το ECHO έχει κολλήσει στο 1.

Το πράσινο συμβολίζει το διάνυσμα TRIG=(0->0) με το οποίο μπορούμε να καταλάβουμε αν το ECHO έχει κολλήσει στο 1.

Τέλος, το μωβ συμβολίζει το διάνυσμα ανίχνευσης TRIG=(0->0) που μπορούμε να εφαρμόσουμε για να δούμε αν το TRIG έχει κολλήσει στο 1.

### Παραγωγή διανυσμάτων δοκιμής

Για την παραγωγή διανυσμάτων δοκιμής μπορεί να χρησιμοποιηθεί η γλώσσα BSDL (Boundary Scan Description Language) που είναι συμβατή με το πρότυπο IEEE 1149.1. Η BSDL βασίζεται στο συντακτικό και στην γραμματική της VHDL αλλά χρησιμοποιείται κυρίως για ορθή έλεγχο ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και PCB με την χρήση περιφερειακής ολίσθησης.

Στο παράδειγμα μας θα μπορούσαμε να δημιουργήσουμε σαν μεταβλητή In το TRIG και σαν out το ECHO και να μετράμε τον χρόνο που παραμένει το ECHO στο 1.

## 12 Βελτιστοποίηση.

### 12.1 Εισαγωγή στην Βελτιστοποίηση.

Ένα σημαντικό μέρος στην κατασκευή ενός ενσωματωμένου συστήματος προτού βγεί στην αγορά είναι η βελτιστοποίηση. Η βελτιστοποίηση αναφέρεται σε αλλαγές που πρέπει να εφαρμοστούν στο σύστημα μας όπως αύξηση της ακρίβειας, μείωση χρόνου εκτέλεσης, κόστους κατασκευής, ενέργειας κ.α. Σύμφωνα με τις πειραματικές μετρήσεις που διεξήχθησαν θα είμαστε σε θέση να βγάλουμε ορισμένα συμπεράσματα για το σύστημα μας τα οποία αν τα αξιοποιήσουμε κατάλληλα θα μπορέσουν να μας βοηθήσουν σε μια πολύ ικανοποιητική βελτιστοποίηση.

### 12.2 Βελτιστοποιήσεις

1. Όσον αφορά τους υπερηχητικούς αισθητήρες, θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο US-100 που λειτουργεί μεταξύ 3-5V και 2mA, σε αντίθεση με το HC-SR04 που χρειάζεται απαραίτητα 5V και 15mA, έτσι ώστε να μειώσουμε την κατανάλωση ενέργειας. Επίσης, το μοντέλο US-100 μπορεί να αναγνωρίσει 3 φορές πιο αξιόπιστα τις ελάχιστες αλλαγές απόστασης και συγκεκριμένα έχει resolution 1mm σε σύγκριση με το προηγούμενο μοντέλο που είχε 3mm. Έτσι και θα έχουμε και μεγαλύτερη ακρίβεια αλλά και μικρότερο κόστος ενέργειας.
2. Όσον αφορά τον αισθητήρα νερού, θα χρειαστεί να τροποποιήσουμε τον τρόπο που διαχειριζόμαστε το δυναμικό που διαβάζει ο μικροελεγχτής από τον αισθητήρα έτσι ώστε να μην είναι τόσο ευαίσθητος. Επιπλέον, για την περίπτωση την βροχόπτωσης θα χρειαστεί να τροποποιήσουμε το σχέδιο του μπαστουνιού και να προσαρμόσουμε ένα μικρό κάλυμμα πάνω από τον αισθητήρα για να μην επηρεάζεται από την βροχή.
3. Για το σύστημα πλοήγησης θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε μια συσκευή που θα έχει μεγαλύτερη υπολογιστική δύναμη αλλά και να διαθέτει GPS που είναι πιο αξιόπιστο έτσι ώστε για να αυξήσουμε την ακρίβεια, την απόδοση και την ταχύτητα του υπολογισμού των διαδρομών καθώς και την ταχύτητα της ηχητικής ανάδρασης στον χρήστη. Επίσης, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν καλύτεροι αλγόριθμοι για τον υπολογισμό της μικρότερης διαδρομής.
4. Όσον αφορά το σύστημα έκτακτης ανάγκης μπορούμε αρχικά να χρησιμοποιήσουμε κάποιον άλλο πάροχο κινητής τηλεφωνίας που θα είναι πιο αξιόπιστος. Επίσης, θα μπορούσαμε σε θέμα υλικού να χρησιμοποιήσουμε ένα GSM σύστημα που είναι συμβατό με το GSM δίκτυο μας και έχει δυνατό σήμα καθώς και κεραίες που είναι πιο αξιόπιστες.
5. Τέλος, για το τρόπο που ανιχνεύουμε τις κατηφορικές και ανηφορικές σκάλες θα ήταν βέλτιστο να χρησιμοποιηθούν άλλες τεχνικές αναγνώρισης όπως image processing ή καλύτερα εκπαιδευμένα SVM classifiers.



## Βιβλιογραφία

1. World Health Organization. “Universal eye health: a global action plan 2014–2019.” World Health Organization 2014.
2. Mark D. Rodgers and Robert Wall Emerson, Human Factor Analysis of Long Cane Design: Weight and Length, October 2005 • Volume 99 • Number 10, page 2.
3. Backyard Brains “Experiment: How Fast Your Brain Reacts To Stimuli”.
4. D. D. CLARK-CARTER , A. D. HEYES & C. I. HOWARTH (1986) The efficiency and walking speed of visually impaired people, Ergonomics, 29:6, 779-789.
5. Matthew Martin, SRAM vs DRAM – Difference Between Them (November 26, 2022)
6. Risto Avila, “Memory Options for Embedded Systems: How to Select the Right Memory Configuration”, Dec 17<sup>th</sup> 2021
7. N. Dey, A. Paul, P. Ghosh, C. Mukherjee, R. De and S. Dey, "Ultrasonic Sensor Based Smart Blind Stick," 2018 International Conference on Current Trends towards Converging Technologies (ICCTCT), 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICCTCT.2018.8551067
8. Lily Hathaway, “Differences Between RAM, ROM, And Flash Memory: All You Need To Know”, May 28<sup>th</sup> 2021
9. “Salvo User Manual version 4.2.2”, page 51, What Resources Does Salvo Require?
10. “Salvo User Manual version 4.2.2”, page 238, Just how small is Salvo
11. Abu Ahmed Sayeem Reaz, Rajibul Alam, Bakhtiar Kamal and Fakhru Alam, “Application Development for Bluetooth Embedded Systems”, Department of Computer Science and Engineering, North South University 12 Kemal Ataturk Avenue, Banani, Dhaka-1213, Bangladesh
12. Jimblom, “Bluetooth Basics”, learn.sparkfun.com
13. robosavvy.co.uk, Knowledge Center – Robotics, “IR Sensor vs. Ultrasonic Sensor: What is the difference?”
14. Mithiles Kumar, Faysal Kabir, Sahadev Roy “Low Cost Smart Stick for Blind and Partially Sighted People”, in: International Journal of Advanced Engineering and Management, 2017, 2 (3), pp.65 – 68 fhal-01490750
15. WeWALK Smart Cane – Smart Cane for the Visually Impaired
16. Piva, Comes, Asadi, Regazzoni, “Grouped-People Splitting Based on Face Detection and Body Proportion Constraints”, in: Conference: Advanced Video and Signal Based Surveillance, 2006 IEEE International Conference on AVSS '06)At: Sydney, Australia.

17. S. A. Bouhamed, I. K. Kallel and D. S. Masmoudi, "Stair case detection and recognition using ultrasonic signal," 2013 36th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), 2013, pp. 672-676, doi: 10.1109/TSP.2013.6614021.
18. Stepheena Joseph , Mr.K.Edison Prabhu "ROLE OF ULTRASONIC SENSOR IN AUTOMATIC POTHOLE AND HUMP DETECTION SYSTEM", International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 8, Issue 7, July-2017 ISSN 2229-5518
19. "Potholes", Clermont County Ohio Government
20. ELECFREAKS "Ultrasonic Ranging Module HC - SR04" -Datasheet
21. Microchip, "PIC16F87XA Datasheet"
22. A. A. Nada, M. A. Fakhr and A. F. Seddik, "Assistive infrared sensor based smart stick for blind people," 2015 Science and Information Conference (SAI), 2015, pp. 1149-1154, doi: 10.1109/SAI.2015.7237289.
23. Pumkin, "Salvo User Manual version 4.2.2".
24. Damian Włodarczyk, How to Develop a GPS Navigation App like Waze in 2022 | Process and Tips, 10 January 2021.
25. Frizziero, L.; Liverani, A.; Donnici, G.; Papaleo, P.; Leon-Cardenas, C. Smart Cane Developed with DFSS, QFD, and SDE for the Visually Impaired. *Inventions* 2021, 6, 58, page 7, Table 6.
26. User Guide – WeWALK Smart Cane, Hardware Specifications
27. P . Marwedel "Embedded System Design" Embedded Systems, Foundations of Cyber-Physical Systems, and the Internet of ThingsThird Edition pages 367-378
28. Δημοσθένης Β. Λουκίσσας "Ανοικτοκυκλώματα γραμμών αλληλοσύνδεσης σε τεχνολογία CMOS" page 98, ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
29. Δ. Νικολός "ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΡΘΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΙΑ ΕΥΚΟΛΟ ΕΛΕΓΧΟ"