



**Χρήση Φωνητικών Μεθόδων ως Είσοδο στα  
Βιντεοπαιχνίδια για Σκοπούς Προσβασιμότητας**

**Using Non-Speech Voice as Input in Video Games for  
Accessibility Purposes**

**Τμήμα:** BSc (Hons) Games Programming / GA7M5 19T2

**Κωδικός project:** CMN6302.S1 - Πτυχιακή Εργασία (Γραπτό)

**Συγγραφέας:** Αιμίλιος Σεϊμένης

**Επιβλέπων Καθηγητής:** Γεώργιος Τσατήρης

**Αριθμός μητρώου:** 13-12942

**Λέξεις-Κλειδιά:** Video Games, accessibility, voice interaction, acoustic input, non-speech control

**Σελίδες:** 49

Αύγουστος 2022

## Δηλώση

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η εκπόνηση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας έγινε δίχως να χρησιμοποιηθούν πηγές, μερικώς ή πλήρως, αυτολεξεί ή μη, οι οποίες δεν αναγράφονται στην βιβλιογραφική λίστα. Επιπλέον, αυτή η εργασία δεν έχει υποβληθεί σε τρέχουσα ή παρεμφερή μορφή σε άλλο εκπαιδευτικό ίδρυμα.

## Περίληψη

Η προσβασιμότητα πλέον αποτελεί σημαντικό κομμάτι του σχεδιασμού στην πληροφορική, τόσο σε επίπεδο υλικού όσο και λογισμικού. Τα βιντεοπαιχνίδια δεν αποτελούν εξαίρεση, και όντας μια από τις πιο δημοφιλείς ασχολίες των ατόμων με ειδικές ανάγκες, η ανάπτυξη τεχνολογιών που μπορεί να τους συμπεριλάβει αποτελεί σημαντικό στόχο της βιομηχανίας. Τα βιντεοπαιχνίδια που βασίζονται στον φωνητικό έλεγχο, εκτός από την ψυχαγωγία που μπορούν να προσφέρουν, αποτελούν και ένα ενδιαφέρον use case για την συμπερίληψη ατόμων με κινητικές δυσκολίες με έναν τρόπο ο οποίος δεν απαιτεί επιπλέον κόστη και χρησιμοποιεί hardware που ήδη διαθέτει κανείς. Παρόλο που οι φωνητικές μέθοδοι αποτελούν έναν αφύσικο τρόπο χρήσης της φωνής, οι εξελίξεις στην υπολογιστική ισχύ ανά τα χρόνια και η απλότητα της επεξεργασίας σήματος σαν διαδικασία τις καθιστούν πιο αποτελεσματικές σε σχέση με την αναγνώριση ομιλίας, και σε ένα gaming περιβάλλον η ταχύτητα της εισόδου είναι καθοριστικός παράγοντας. Σε αυτά τα πλαίσια, δημιουργήθηκε ένα παιχνίδι ελεγχόμενο μέσω της φωνής με σκοπό την συλλογή δεδομένων για την διαισθητικότητα, την ευκολία χρήσης και την ψυχαγωγία του. Στο παιχνίδι ο έλεγχος μέσω έντασης απέφερε πιο σταθερά αποτελέσματα σε σχέση με την αναγνώριση τονικότητας. Εν κατακλείδι, ενώ ο έλεγχος μέσω μικροφώνου είναι πολύ χρήσιμο εργαλείο για τους σχεδιαστές, τους προγραμματιστές, καθώς και τους ίδιους τους παίκτες, ενέχει απρόβλεπτους παράγοντες ως συσκευή εισόδου, λόγω της πληθώρας συνδυασμών λογισμικού, λειτουργικών συστημάτων, και διαρρύθμισης του υλικού του παίκτη, μεταξύ άλλων. Χρειάζονται αξιόπιστοι και αυτοματοποιημένοι μηχανισμοί βαθμονόμησης, ορισμένα delays για να επιβεβαιωθεί κάποια ενέργεια, εύρη συχνότητων που δουλεύουν κατάλληλα ανεξαρτήτως του φύλου του παίκτη, καθώς και φωνητικές μέθοδοι που δεν κουράζουν τους παίκτες.

## Abstract

Nowadays, accessibility is an important part of design in computer science, both in hardware and software level. Video games aren't an exception, and being one of the most popular hobbies amongst disabled people, the development of inclusive technologies is an important part of the industry. Sound-controlled video games, apart from the enjoyment they can provide, are also an interesting use case for the inclusion of disabled people that doesn't incur extra costs and using hardware one already has. Even though non-speech methods are an unnatural way of using the voice, the improvements in computing power over the years and the simplicity of signal processing has made them more efficient compared to speech recognition, and in a gaming environment input speed is a decisive factor. In this context, a sound-controlled video game was created in order to collect data on its intuitiveness, simplicity and entertainment factors. Generally speaking, volume-based mechanics achieved more stable results than pitch-based. In conclusion, while microphone control is a very useful tool for designers, programmers and players themselves, it involves unforeseen factors, because of the plethora of combinations of software, operating systems, and player hardware setup, among others. To combat this, reliable and automated calibration mechanisms, delays to confirm an action, frequency ranges that work properly irrespective of the player's gender, as well as non-speech methods that don't tire players are required.

## Αναγνωρίσεις

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Γιώργο Τσατήρη, για την καθοδήγηση και την βοήθεια που παρείχε κατά την εκπόνηση της εργασίας μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους playtesters του παιχνιδιού για τον πολύτιμο χρόνο και το feedback που προσέφεραν για το πρακτικό κομμάτι της εργασίας.

# Πίνακας Περιεχομένων

<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή</b>	<b>6</b>
1.1 Πρόλογος	6
1.2 Προσβασιμότητα στην Πληροφορική	6
1.3 Προσβασιμότητα στα Βιντεοπαιχνίδια	7
1.4 Έλεγχος μέσω μικροφώνου στα βιντεοπαιχνίδια	8
1.5 Δομή Πτυχιακής Εργασίας	8
<b>Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Πλαίσιο</b>	<b>9</b>
2.1 Εισαγωγή	9
2.2 Δημογραφικά δεδομένα	9
2.3 Ανάλυση ακαδημαϊκών εφαρμογών	10
2.3.1 Ακαδημαϊκή έρευνα Igarashi & Hughes	10
2.3.2 Ακαδημαϊκή έρευνα Sporka et al.	10
2.4 Ανάλυση πρακτικών εφαρμογών	11
2.4.1 Parrot.py (Kevin Te Raa)	11
2.4.2 Scream Go Hero (Ketchapp)	11
<b>Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία</b>	<b>12</b>
3.1 Σχεδιασμός του παιχνιδιού	12
3.2 Σχεδιασμός του μηχανισμού ελέγχου φωνής	13
3.2.1 Γενικές πληροφορίες	13
3.2.2 Έλεγχος μέσω έντασης	13
3.2.3 Έλεγχος μέσω τονικότητας	14
3.2.4 Ρύθμιση & Βαθμονόμηση	15
3.3 Υλοποίηση του μηχανισμού ελέγχου φωνής	15
3.3.1 Τεχνικές πληροφορίες	15
3.3.2 Αρχικοποίηση συσκευών	16
3.3.3 Αναγνώριση έντασης ήχου	16
3.3.4 Αναγνώριση τονικότητας ήχου	16
3.3.5 Προσαρμογή & βαθμονόμηση	17
3.4 Υλοποίηση λοιπών μηχανισμών	17
3.5 Υλοποίηση διεπαφών	19
3.6 Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση παιχνιδιού για πειραματικούς σκοπούς	21
3.7 Προβλήματα κατά την υλοποίηση	21
<b>Κεφάλαιο 4: Δοκιμές</b>	<b>23</b>
4.1 Δοκιμή με χρήστες	23
4.2 Εξαγωγή δεδομένων	23

4.3 Παρουσίαση δεδομένων	23
4.3.1 Δημογραφικά στοιχεία	23
4.3.2 Επιδόσεις παικτών	24
4.3.3 Βαθμονόμηση	24
4.3.4 Tutorial	26
4.3.5 Κίνηση διαστημοπλοίου μέσω φωνής (volume)	27
4.3.6 Χρήση μπλε ασπίδας (pitch)	28
4.3.7 Χρήση hyperdrive (pitch)	28
4.3.8 Ευχαρίστηση παιχνιδιού	29
4.3.9 Ήχος και αντιπερισπασμός	30
4.4 Προβλήματα κατά την πειραματική διαδικασία	31
<b>Κεφάλαιο 5: Ανάλυση δεδομένων</b>	<b>32</b>
5.1 Ευρήματα & πορίσματα	32
5.1.1 Επιδόσεις παικτών & play sessions	32
5.1.2 Βαθμονόμηση	32
5.1.3 Tutorial	32
5.1.4 Volume-based mechanics	33
5.1.5 Pitch-based mechanics	33
5.1.6 Ευχαρίστηση παιχνιδιού	34
5.1.7 Ήχος και αντιπερισπασμός	34
5.2 Τελικά συμπεράσματα	34
5.3 Περιορισμοί, αναπάντητα ερωτήματα & πιθανές μελλοντικές έρευνες	35
5.4 Επίλογος	36
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>37</b>
<b>Παραρτήματα</b>	<b>39</b>
Παράρτημα Α: Ερωτηματολόγιο	39
Παράρτημα Β: Δεδομένα από το Παιχνίδι	40

# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

## 1.1 Πρόλογος

Η παρούσα ερευνητική εργασία έχει ως στόχο την μελέτη των βιντεοπαιχνιδιών τα οποία ελέγχονται μέσω ήχου, και συγκεκριμένα μέσω της ανθρώπινης φωνής, με σκοπό την βιοήθεια ατόμων με ειδικές ανάγκες που δεν έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν μια συσκευή με τα παραδοσιακά μέσα εισόδου όπως πληκτρολόγιο, ποντίκι ή οθόνη αφής.

Στα πλαίσια της έρευνας, δημιουργήθηκε ένα prototype παιχνίδι που χρησιμοποιεί τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά και διεξήχθη έρευνα σε ένα δείγμα ανθρώπων για να βγει συμπέρασμα αν είναι αξιόλογη, βιώσιμη, και βιοηθητική η δημιουργία αυτού του είδους παιχνιδιών.

Σε μακροπρόθεσμο επίπεδο, η εργασία αποσκοπεί να συμβάλει στην γενικότερη μελέτη του μικροφώνου ως συσκευή εισόδου στο πλαίσιο των βιντεοπαιχνιδιών, καθώς και στην περαιτέρω ανάδειξη του τομέα της προσβασιμότητας, μέσω της εύρεσης εύκολων και φθηνών λύσεων που μπορούν να αξιοποιήσουν οι σχεδιαστές και προγραμματιστές παιχνιδιών για να συμπεριλάβουν την κοινότητα των ατόμων με ειδικές ανάγκες στον κόσμο του gaming.

## 1.2 Προσβασιμότητα στην Πληροφορική

Με τον όρο προσβασιμότητα χαρακτηρίζεται ο συνειδητός σχεδιασμός προϊόντων, υπηρεσιών, κτιρίων, περιβαλλόντων, και άλλων συστημάτων έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η ευκολία χρήσης τους από όλες τις πιθανές ομάδες χρηστών. Η περιγραφή ενός συστήματος ως “προσβάσιμο” έχει επικρατήσει να σημαίνει εύκολο στην χρήση για άτομα με ειδικές ανάγκες, όπως άτομα με ακουστικές, οπτικές, γνωστικές, νευρολογικές, ή/και ομιλητικές δυσκολίες, οι οποίες καθιστούν την χρήση ενός υπολογιστικού συστήματος από δυσχερή έως και ακατόρθωτη. Ένα υποσύνολο του τομέα της πληροφορικής, η Αλληλεπίδραση Ανθρώπου-Υπολογιστή, έχει ως αντικείμενο μελέτης τον σχεδιασμό και την υλοποίηση διεπαφών χρήστη ανάλογα με τις ανάγκες του. (Henry, Abou-Zahra and Brewer, 2014)

Οι περισσότερες συσκευές πλέον διαθέτουν δυνατότητες διευκόλυνσης ατόμων με ειδικές ανάγκες. Επιγραμματικά, για τα άτομα με προβλήματα όρασης, τα περισσότερα λειτουργικά συστήματα διαθέτουν θέματα υψηλής αντίθεσης, δυνατότητα υπερμεγέθυνσης

κέρσορα, εικόνων και κειμένου, καθώς και προγράμματα text-to-speech τα οποία εκφωνούν τα στοιχεία της οθόνης. Για τα άτομα με προβλήματα ακοής, υπάρχουν οι υπότιτλοι και ο μονοφωνικός ήχος. Επιπλέον, καινούργιο λογισμικό και υλικό δημιουργείται συνεχώς από ανεξάρτητους προγραμματιστές για να διευκολύνουν άτομα με ειδικές ανάγκες που έχουν πιο συγκεκριμένες περιπτώσεις αναπηρίας. (Computer Basics - Using Accessibility Features, n.d.)

### 1.3 Προσβασιμότητα στα Βιντεοπαιχνίδια

Τα βιντεοπαιχνίδια, όντας προϊόντα του τομέα της πληροφορικής, έρχονται αντίστοιχα με τα δικά τους μέσα διευκόλυνσης των ατόμων με ειδικές ανάγκες.

Πολλές από τις νέες κυκλοφορίες παρέχουν διαφόρων τύπων ρυθμίσεις, παραδείγματος χάρη αλλαγή παλέτας για τα άτομα με δυσκολίες στην όραση όπως αχρωματοψία ή προβολή κατεύθυνσης ήχου στην οθόνη για τα άτομα με δυσκολίες στην ακοή. Πέραν όμως από οπτικοακουστικές προσαρμογές, η ιδιαιτερότητα των βιντεοπαιχνιδιών είναι ότι μπορούν να δοθούν δυνατότητες στον παίκτη ώστε να παραμετροποιήσει το παιχνίδι στα μέτρα του, με αλλαγές που τροποποιούν τον θεμελιώδη σχεδιασμό του. Οι πιο συνήθεις είναι σχετικά απλές υλοποιήσεις όπως η προσθήκη μιας εύκολης λειτουργίας (easy mode), μιας λειτουργίας υποβοήθησης (assist mode) όπως για παράδειγμα αυτόματης στόχευσης, και η αλλαγή της κλίμακας του χρόνου (slow mode).

Ίσως η πιο σημαντική δυνατότητα που παρέχεται από τα βιντεοπαιχνίδια και πλέον natively και από τις κονσόλες είναι το λεγόμενο input remapping, δηλαδή η δυνατότητα να αλλάξουν τα απαιτούμενα κουμπιά που πρέπει να πατηθούν για να πραγματοποιηθεί μια δράση ή κίνηση. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για κινήσεις που δύσκολα θα κάνει ένα άτομο με ειδικές ανάγκες όπως παρατεταμένο πάτημα κάποιου κουμπιού σε κάποιο quick-time event, και επειδή κάθε τραυματισμός ή νευρολογική πάθηση είναι διαφορετική, κάθε άτομο έχει διαφορετικά κουμπιά πάνω σε ένα χειριστήριο που είναι πιο βολικά. (Game accessibility guidelines | Allow controls to be remapped / reconfigured, 2022)

Αν αυτές οι λειτουργίες είναι ανεπαρκείς, υπάρχουν και λύσεις στην μορφή εξοπλισμού (hardware), οι οποίες είναι σχεδιασμένες να καλύψουν τυχόν κενά και να προσαρμόσουν την χρήση της συσκευής στα μέτρα του παίκτη, καθώς ένα ποσοστό χρηστών, ιδιαίτερα τα άτομα με κινητικές δυσκολίες, δεν δύναται να χρησιμοποιήσει συσκευές εισόδου όπως πληκτρολόγιο/ποντίκι, χειριστήρια κονσολών ή οθόνες αφής. (Paige, 2020)

Τα πιο δημοφιλή είναι το Xbox Adaptive Controller, ένα προσαρμόσιμο χειριστήριο το οποίο είναι σχεδιασμένο για άτομα με ειδικές ανάγκες, με προγραμματιζόμενα κουμπιά και λειτουργία με δευτερεύουσες συσκευές (Xbox Adaptive Controller | Xbox, 2022), και το Tobii Eye Tracker, μια συσκευή που αναλύει την κατεύθυνση κεφαλιού και το βλέμμα του χρήστη, με αυτά τα δεδομένα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για real-time inputs σε βιντεοπαιχνίδια. (What is eye tracking? | How eye tracking works - Tobii, 2022)

## 1.4 Έλεγχος μέσω μικροφώνου στα βιντεοπαιχνίδια

Το μικρόφωνο στον χώρο του gaming διαθέτει κυρίως πολυμεσικό και επικοινωνιακό χαρακτήρα, με λειτουργίες όπως το voice chat να αποτελούν σημαντικό κομμάτι multiplayer παιχνιδιών. (Wadley, Carter and Gibbs, 2014)

Πέραν από κάποια minigames και παιχνίδια μουσικού χαρακτήρα, όπως στον τομέα του karaoke ή της εκμάθησης μουσικών οργάνων, το μικρόφωνο διαθέτει δευτερεύοντα χαρακτήρα και δεν είναι πρωτευόντως σχεδιασμένο για τον έλεγχο βιντεοπαιχνιδιών. (Parker and Heerema, 2008)

## 1.5 Δομή Πτυχιακής Εργασίας

Η δομή της πτυχιακής εργασίας είναι η εξής. Το παρόν κεφάλαιο είναι η εισαγωγή και έχει ως σκοπό την παρουσίαση του ερευνητικού στόχου, την αποσαφήνιση και επεξήγηση των βασικών εννοιών και ορισμών που θα αντικρίσει ο αναγνώστης μέσα στο κείμενο, και επιπροσθέτως την παρουσίαση της δομής της. Έπειτα, ακολουθεί το θεωρητικό πλαίσιο όπου παρουσιάζονται προηγούμενες έρευνες και δημογραφικά δεδομένα που άπτονται του θέματος της εργασίας, σε συνδυασμό με υπάρχουσες ακαδημαϊκές και πρακτικές εφαρμογές. Κατά τρίτον, το κεφάλαιο της μεθοδολογίας εξηγεί αναλυτικά τις προσεγγίσεις στον σχεδιασμό και την υλοποίηση του πειραματικού παιχνιδιού της εργασίας, καθώς και τις τροποποιήσεις που πραγματοποιήθηκαν ώστε το παιχνίδι να μπορεί να συλλέξει επιστημονικά δεδομένα. Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά τις δοκιμές με χρήστες, την πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε, καθώς και την εξαγωγή και παρουσίαση των δεδομένων που εξήχθησαν. Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο αναλύονται τα δεδομένα, παρουσιάζονται τα ευρήματα και τα πορίσματα που προκύπτουν από αυτά, μαζί με τα τελικά συμπεράσματα, τους περιορισμούς, τα αναπάντητα ερωτήματα, και τον επίλογο της εργασίας.

## Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Πλαίσιο

### 2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση του θεωρητικού πλαισίου της εργασίας όπως αυτό παρουσιάζεται σε υπάρχουσες πρακτικές εφαρμογές, ακαδημαϊκές έρευνες, και βιβλιογραφία.

### 2.2 Δημογραφικά δεδομένα

Τα τελευταία χρόνια ο τομέας της προσβασιμότητας των βιντεοπαιχνιδιών έχει βρεί ευρεία αναγνώριση, καθώς το ποσοστό ατόμων με ειδικές ανάγκες που έχουν το gaming ως κυρίαρχη ασχολία είναι σημαντικό. Έρευνες όπως του Accessibility Foundation στην Ουτρέχτη δείχνουν ότι τα ποσοστά των ανάπτηρων gamers αγγίζουν το 92% με μέσο όρο ενασχόλησης 10 ώρες την εβδομάδα. (Chin, 2015)

Σύμφωνα με έρευνα του SCOPE, ενός Βρετανικού φιλανθρωπικού οργανισμού, 66% των ατόμων με ειδικές ανάγκες αντιμετωπίζουν δυσκολίες ή προβλήματα σχετικά με το gaming. Τα πιο συχνά προβλήματα αφορούν οικονομικούς παράγοντες ή την έλλειψη τεχνογνωσίας για την εγκατάσταση ειδικού εξοπλισμού όπως ειδικευμένα χειριστήρια, και ένα μικρότερο ποσοστό αφορά την έλλειψη υποστήριξης μοντέρνων τίτλων. Στην συγκεκριμένη έρευνα επίσης αναφέρεται ότι 36% των ερωτηθέντων επιθυμεί πρόσβαση σε περισσότερες, καθώς και καλύτερες μεθόδους προσβασιμότητας. (Accessibility in gaming report | Disability charity Scope UK, 2022)

Επιπροσθέτως, η αναγνώριση για τον τομέα της προσβασιμότητας έχει φτάσει μέχρι και έγκριτες τελετές βραβείων, όπως τα “The Game Awards”, όπου το 2020 προστέθηκε κατηγορία που αναγνωρίζει καινοτομίες στον τομέα της προσβασιμότητας. Την πρώτη χρονιά αυτού του θεσμού πήρε το βραβείο το βιντεοπαιχνίδι The Last of Us: Part II, το οποίο παρείχε πάνω από 60 δυνατότητες προσβασιμότητας, πολλές από τις οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω. (Stedman, 2022)

## 2.3 Ανάλυση ακαδημαϊκών εφαρμογών

### 2.3.1 Ακαδημαϊκή έρευνα Igarashi & Hughes

Το 2001, ερευνητές από το Brown University δημοσίευσαν ένα paper που περιγράφει ένα μοντέλο ελέγχου για διαδραστικές εφαρμογές το οποίο συνδυάζει τεχνικές αναγνώρισης φωνής και τραγουδιστών ήχων. Αρχικά παρατήρησαν πως η αναγνώριση ομιλίας ως μόνη μέθοδος αλληλεπίδρασης είναι αρκετά χρονοβόρα, καθώς ο χρήστης πρέπει να περιμένει το υπολογιστικό σύστημα να ερμηνεύσει τα λεγόμενά του. Έτσι, υλοποίησαν συστήματα όπως τον Έλεγχο Συνεχούς Φωνής (Control by Continuous Voice) όπου το σύστημα πραγματοποιεί μια ενέργεια όσο ο χρήστης συνεχίζει να εκφωνεί κάποιο φωνήν, καθώς και τον Έλεγχο Παραμέτρων μέσω Τονικότητας (Rate-based Parameter Control by Pitch), όπου ο χρήστης ορίζει μια τιμή ανάλογα με την νότα της φωνής του. Οι τεχνικές ανάλυσης τόνου και έντασης χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να επιταχύνουν την αργή διαδικασία της αναγνώρισης φωνής. Τα θετικά αυτής της μεθόδου είναι η απλότητα, η γλωσσική ανεξαρτησία, και ο άμεσος και συνεχής έλεγχος. Επιπλέον, επειδή ο έλεγχος γίνεται μέσω απλής επεξεργασίας σήματος αυτή η μέθοδος τείνει να είναι συγκριτικά πιο ακριβής σε θορυβώδη περιβάλλοντα. Ως σημαντικούς περιορισμούς για την ανάλυση μέσω τραγουδιστών ήχων, παρατήρησαν ότι είναι αφύσικος τρόπος χρήσης της φωνής σε σχέση με την παραδοσιακή αναγνώριση ομιλίας, μπορεί να θεωρηθεί ενοχλητικός από τρίτους στον ίδιο χώρο και τείνει να κουράζει τις φωνητικές χορδές. (Igarashi and Hughes, 2001)

### 2.3.2 Ακαδημαϊκή έρευνα Sporka et al.

Το 2006, ερευνητές από τα πανεπιστήμια Czech Technical University in Prague και University of Manchester διεξήγαγαν μια έρευνα για την προσβασιμότητα στα βιντεοπαιχνίδια μέσω της φωνής. Συγκεκριμένα, μέσα σε ένα περιορισμένο δείγμα, χρησιμοποίησαν δυο διαφορετικές προσεγγίσεις audio-based input, αναγνώριση ομιλίας και τραγουδιστών ήχων για τον έλεγχο του παιχνιδιού Tetris. Οι συγκρίσεις έγιναν βάσει του χρόνου και της ακρίβειας των συμμετεχόντων στην εκάστοτε μέθοδο, και εν τέλει κατέληξαν ότι οι τραγουδιστοί ήχοι τείνουν να παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια και γρηγορότερη απόκριση, ιδιαίτερα σε δυσκολότερα επίπεδα. (Sporka, Kurniawan, Mahmud and Slavík, 2006)

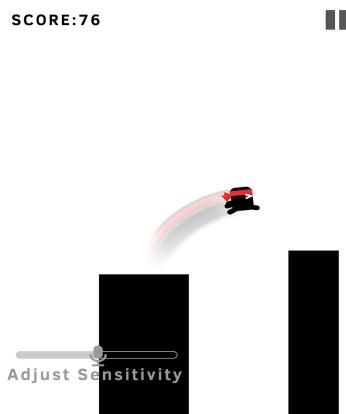
## 2.4 Ανάλυση πρακτικών εφαρμογών

### 2.4.1 Parrot.py (Kevin Te Raa)

Το parrot.py είναι ένα πρόγραμμα που δημιουργήθηκε από τον Ολλανδό προγραμματιστή Kevin te Raa, το οποίο ελέγχει τον υπολογιστή μέσω ήχων από το στόμα του χρήστη όπως σφυρίγματα, φυσήματα, φωνήντα και κλικ με την γλώσσα μεταξύ άλλων. Με τις κατάλληλες τροποποιήσεις, ο Te Raa προγραμμάτισε αυτό το εργαλείο έτσι ώστε να μπορεί να παίξει το παιχνίδι Hollow Knight, όμως καθώς αυτό το παιχνίδι είναι αρκετά ταχύρρυθμο, απαιτεί και την χρήση ενός EyeTracker για ακόμα πιο ακριβή inputs. Το σκεπτικό πίσω από την δημιουργία αυτού του εργαλείου ήταν οι χρόνιοι πόνοι του te Raa στον καρπό και στους ώμους που του απαγορεύουν την χρήση ενός κανονικού χειριστηρίου. (te Raa, 2021)

### 2.4.2 Scream Go Hero (Ketchapp)

Πέρα από ακαδημαϊκές και πρακτικές εφαρμογές του ελέγχου μέσω της φωνής, υπάρχουν και παιχνίδια που εκμεταλλεύονται τον “αφύσικο” και ψυχαγωγικό χαρακτήρα αυτής της λειτουργίας όπως το Scream Go Hero της Ketchapp, του οποίου η διασημότητα οφείλεται σε κωμικές δημοσιεύσεις παικτών στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, καθώς και σε εμφανίσεις του παιχνιδιού σε κωμικά σόου. Το συγκεκριμένο παιχνίδι είναι τύπου platformer και ο φωνητικός έλεγχος καθορίζει την κίνηση του παίκτη, όσο φωνάζει ο χαρακτήρας κουνιέται προς τα δεξιά και ανάλογα με την ένταση, κάνει και άλματα. (Feldman, 2019)



Εικόνα 1: Scream Go Hero (Ketchapp, 2022)

## Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία

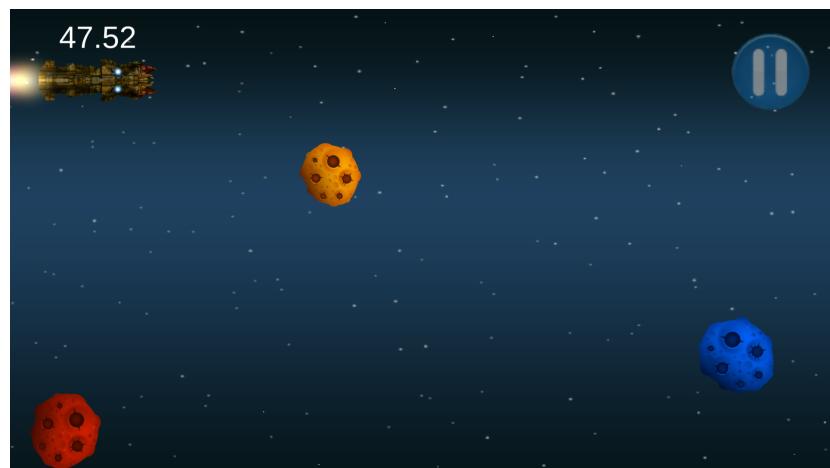
### 3.1 Σχεδιασμός του παιχνιδιού

Για να μελετηθεί το βασικό θέμα της εργασίας, αποφασίστηκε να δημιουργηθεί ένα παιχνίδι το οποίο έχει ως κύριο άξονα ελέγχου την ανθρώπινη φωνή.

Βασικός γνώμονας για να επιτευχθούν οι ερευνητικοί στόχοι της εργασίας, ήταν το εν λόγω παιχνίδι να διαθέτει όσο το δυνατόν πιο απλούς, κατανοητούς και ευκολοδίδακτους μηχανισμούς, και να μην απαιτεί πολλή ώρα για την ολοκλήρωσή του. Επιπλέον, ο σχεδιασμός του παιχνιδιού πρέπει να επιτρέπει την συλλογή μετρήσιμων και ποσοτικοποιήσιμων δεδομένων που θα βοηθήσουν στην κατάληξη εύλογων συμπερασμάτων μετά την έρευνα. Μετά από ενδελεχή ανασκόπηση στα προηγούμενα έργα του συγγραφέα, αποφασίστηκε ο σχεδιασμός του παιχνιδιού να βασιστεί στο παιχνίδι Nothing But Space (2015).

Το Nothing But Space είναι ένα παιχνίδι infinite runner στο οποίο ένα διαστημόπλοιο, κατά την διάρκεια του ταξιδιού του περνάει μέσα από μια ζώνη αστεροειδών. Ο παίκτης καλείται να αποφύγει τους αστεροειδείς με αυξανόμενη ταχύτητα και να επιβιώσει για τον μεγαλύτερο δυνατό χρόνο.

Παρότι το παιχνίδι βασίζεται σε προηγούμενη δουλειά, καταβλήθηκε μεγάλη προσπάθεια να μην είναι απλά μια αναδημιουργία, αλλά να προστεθούν και νούργιοι μηχανισμοί οι οποίοι σχετίζονται με το κομμάτι ελέγχου της φωνής αλλά είναι επιπλέον και μετρημένοι, απαραίτητοι και εύχρηστοι.



Εικόνα 2: Nothing But Space (2015)

## 3.2 Σχεδιασμός του μηχανισμού ελέγχου φωνής

### 3.2.1 Γενικές πληροφορίες

Στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού, μελετήθηκαν παρόμοιες ακαδημαϊκές αλλά και ψυχαγωγικές εφαρμογές ως προς τους μηχανισμούς εισόδου και τις παραμέτρους από τις οποίες ελέγχεται το παιχνίδι. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, οι πιο συνήθεις ήταν ο έλεγχος μέσω **έντασης φωνής** (volume), και ο έλεγχος μέσω **αναγνώρισης τονικότητας** (pitch recognition). Αυτές οι παράμετροι μπορούν να δοθούν σε αντικείμενα παιχνιδιού (game objects) και να έχουν αντίστοιχη επίδραση στο περιβάλλον παιχνιδιού.

### 3.2.2 Έλεγχος μέσω έντασης

Ο πρώτος μηχανισμός που μελετήθηκε ήταν η κάθετη κίνηση του διαστημοπλοίου, καθώς ήταν ο κύριος μηχανισμός του Nothing But Space. Η κίνησή του βασιζόταν σε μια boolean λογική που ελεγχόταν μέσω ενός input axis που ήταν διαφορετικός ανά πλατφόρμα. Στην έκδοση για υπολογιστή ήταν το πλήκτρο Space, ενώ στην έκδοση για κινητό ήταν το άγγιγμα σε οθόνη αφής. Όταν ικανοποιείται η εκάστοτε συνθήκη (πάτημα πλήκτρου ή άγγιγμα οθόνης), το διαστημόπλοιο εκτοξεύεται προς τα πάνω, με μια επίδραση παρόμοια με αυτή ενός προωθητήρα (thruster). Σε αντίθετη περίπτωση, το διαστημόπλοιο σταματάει να προωθείται και πέφτει, σαν να υπάρχει το φαινόμενο της βαρύτητας που το τραβάει προς τα κάτω. Δοκιμάστηκαν κάποιες παραλλαγές του συγκεκριμένου μηχανισμού όπου το βαρυτικό φαινόμενο θα καταργούνταν, όπως για παράδειγμα ένα “μαγνητικό” κεντράρισμα του διαστημοπλοίου και επιλεκτική κίνηση μέσω pitch ή διαφορετικών thresholds για το volume που θα καθόριζαν την κίνηση, όμως αποδείχθηκαν πολύ δύσχρηστα και πολύπλοκα συστήματα. Έτσι, η ιδέα που εν τέλει εφαρμόστηκε ήταν ίδια με την αρχική, με την διαφορά ότι το input axis θα το ήλεγχε ένα κατώφλι έντασης (volume threshold), το οποίο με το που ξεπεραστεί, θα στέλνει το διαστημόπλοιο προς τα πάνω. Επιπλέον, με την ένταση της φωνής σαν παράμετρο, η boolean λογική ενισχύθηκε περαιτέρω με την εισαγωγή μιας παραπάνω ώθησης (boost) ανάλογα με την ένταση της φωνής του παίκτη. Με άλλα λόγια, μια πιο δυνατή κραυγή στέλνει το διαστημόπλοιο προς τα πάνω πιο γρήγορα.

### 3.2.3 Έλεγχος μέσω τονικότητας

Καθώς ο σχεδιασμός της έντασης είχε ως επί το πλείστον αποφασιστεί και οριοθετηθεί στην κάθετη κίνηση του διαστημόπλοιου, ο δεύτερος τομέας στον οποίο έπρεπε να δοθεί βάση ήταν οι μηχανισμοί που θα ελέγχονταν μέσω της τονικότητας.

Για τον έλεγχο μέσω τονικότητας, δημιουργήθηκαν απλά mechanics που ενεργοποιούνται με το που ο παίκτης παράξει ήχους σε συγκεκριμένες συχνότητες. Καθώς οι άντρες και οι γυναίκες έχουν διαφορετικό εύρος συχνοτήτων στις φωνές τους, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν πιο ουδέτεροι ήχοι πού δεν εξαρτώνται από τις φωνητικές χορδές, όπως συριγμοί και άλλοι ήχοι που παράγονται με τα χείλη. Επίσης τα μικρόφωνα τείνουν να έχουν καλύτερη απόδοση στις συγκεκριμένες συχνότητες. (Facts about speech intelligibility: human voice frequency range, 2022)

Στον σκληρό συριγμό (“shh”) ανατέθηκε το mechanic της ασπίδας, που προστατεύει το διαστημόπλοιο από κάθε κρούση για περιορισμένο χρονικό διάστημα (3 δευτερόλεπτα συνεχόμενης χρήσης maximum), μαζί με ένα grace period ενός δευτερολέπτου για να διευκολύνει τον παίκτη. Στον απαλό συριγμό (“sss”) ανατέθηκε το mechanic του hyperdrive. Μετά από 15 δευτερόλεπτα συνεχούς κίνησης, γεμίζει η ανάλογη μπάρα, η οποία άμα ενεργοποιηθεί, κάνει άτρωτο το διαστημόπλοιο και του δίνει γρήγορα προώθηση προς τα μπροστά, μαζί με bonus στο σκορ και φανταχτερά γραφικά για να επιβραβεύσει τον παίκτη. Επιπλέον, ως δευτερεύων μηχανισμός βάσει της έντασης, όσην ώρα φωνάζει ο παίκτης κατά την λειτουργία του hyperdrive, αυτό επεκτείνεται και του δίνει ακόμα μεγαλύτερο σκορ.



Εικόνα 3: 2022 - A Space Audissey / Hyperdrive (2022)

### 3.2.4 Ρύθμιση & Βαθμονόμηση

Μετά την υλοποίηση των βασικών μηχανισμών, ήταν απαραίτητος ο σχεδιασμός ενός συστήματος μέσα από το οποίο ο παίκτης θα μπορούσε να ρυθμίσει το μικρόφωνο του με τον κατάλληλο τρόπο ώστε το παιχνίδι να αναγνωρίζει σωστά τα inputs του. Καθώς κάθε χρήστης δεν διαθέτει την ίδια διαρρύθμιση hardware και το ίδιο λογισμικό, δεν δοκιμάζει το παιχνίδι στο ίδιο περιβάλλον, και δεν έχει την ίδια φωνητική ικανότητα, είναι σημαντική η ρύθμιση των τιμών του παιχνιδιού έτσι ώστε αυτό να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις και τις προτιμήσεις του.

Κατά την διάρκεια του prototyping δημιουργήθηκε ένα βασικό debug menu, μέσα από το οποίο ο δοκιμαστής μπορούσε να ρυθμίσει το gain/boost και το volume threshold για τους μηχανισμούς μέσω έντασης, και αργότερα το pitch threshold για τους μηχανισμούς μέσω φωνής. Το συγκεκριμένο μενού φαίνεται στην Εικόνα 3.

Αργότερα κατά την ανάπτυξη, υπήρξε η ανάγκη αυτό το debug menu να εφαρμοστεί και στο κυρίως παιχνίδι χωρίς να είναι ένα “κρυμμένο” μενού για διορθώσεις αλλά ένα απαραίτητο κομμάτι για την ομαλή λειτουργία του παιχνιδιού, χωρίς να απαιτεί περίπλοκες τεχνικές γνώσεις από τον παίκτη. Έτσι, αρχικά δημιουργήθηκε ένα μενού επιλογών όπου εντάχθηκαν οι συγκεκριμένες ρυθμίσεις, και σε δεύτερη φάση σχεδιάστηκε ένα ολόκληρο tutorial επίπεδο όπου ο παίκτης μπορούσε να δοκιμάσει τους μηχανισμούς και να ρυθμίσει το παιχνίδι σε ένα ασφαλές περιβάλλον.

## 3.3 Υλοποίηση του μηχανισμού ελέγχου φωνής

### 3.3.1 Τεχνικές πληροφορίες

Για την υλοποίηση του παιχνιδιού χρησιμοποιήθηκε η μηχανή Unity 2020.3.21f1, με το JetBrains Rider ως IDE και προγραμματιστική γλώσσα C#.

Οι μηχανισμοί φωνής υλοποιήθηκαν με βιβλιοθήκες του Unity API, που επιτρέπουν την χρήση του μικροφώνου ως συσκευή εισόδου, καθώς και βασικές μεθόδους ψηφιακής επεξεργασίας σήματος σε κομμάτια ήχου.

Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν τα plugins DoTween για animation tweening, TextMeshPro για προβολή κειμένου, και SketchFab Importer για την εισαγωγή μοντέλων.

### 3.3.2 Αρχικοποίηση συσκευών

Αρχικά, κατά την έναρξη του παιχνιδιού, γίνεται ανάγνωση όλων των διαθέσιμων συσκευών εισόδου ήχου που είναι συνδεδεμένες στον υπολογιστή και αρχικοποιούνται όλες ώστε να είναι έτοιμες για χρήση. Αν είναι η πρώτη φορά που παίζεται το παιχνίδι σε αυτόν τον υπολογιστή, τότε το προεπιλεγμένο μικρόφωνο θα είναι το πρώτο στην λίστα, αλλιώς είναι αποθηκευμένο το τελευταίο χρησιμοποιημένο μικρόφωνο.

### 3.3.3 Αναγνώριση έντασης ήχου

Για την αναγνώριση έντασης ήχου, δημιουργήθηκε μια συνάρτηση η οποία επιστρέφει έναν float αριθμό με εύρος 0-1, που υποδεικνύει την τρέχουσα ένταση που προέρχεται από το μικρόφωνο. Μέσω του Unity API, εκχωρούνται σε έναν πίνακα όλες οι τιμές από τα audio samples, αθροίζονται οι απόλυτες τιμές τους σε μια μεταβλητή float, και έπειτα αυτή η μεταβλητή διαιρείται με τον συνολικό αριθμό των samples, για να καταλήξουμε σε μια τιμή έντασης που κυμαίνεται από το 0 έως το 1.

### 3.3.4 Αναγνώριση τονικότητας ήχου

Για την αναγνώριση τονικότητας χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος γνωστός ως Fast Fourier Transform (FFT). Ο FFT υπολογίζει τον Διακριτό Μετασχηματισμό Fourier (Discrete Fourier Transform, DFT), αποδομώντας ένα περίπλοκο σήμα και παρουσιάζοντάς το ως ένα άθροισμα ημιτονοειδών κυμάτων με διαφορετικά πλάτη και συχνότητες. Χρησιμοποιείται μια συνάρτηση που επιστρέφει δεδομένα του ηχητικού φάσματος από το μικρόφωνο, δηλαδή ένας πίνακας από float τιμές που αντιστοιχούν στην ένταση του ήχου σε ένα συγκεκριμένο πεδίο συχνοτήτων. Αυτό το πεδίο συχνοτήτων έχει μια συγκεκριμένη τιμή φασματικής διακριτικής ικανότητας, που βρίσκεται κάνοντας διαίρεση του sample rate με το sample window. Στην προκειμένη περίπτωση το παιχνίδι χρησιμοποιεί sample rate 48000 Hz και sample window 4096 Hz.

$$\text{Spectral Resolution} = \frac{\text{Sample Rate}}{\text{Sample Window}} \Rightarrow \frac{48000 \text{ Hz}}{4096 \text{ Hz}} = 11,71 \text{ Hz}$$

Αυτό σημαίνει ότι οι αισθητές διαφορές που μπορεί να αντιληφθεί ο αλγόριθμος είναι σε διαστήματα των 11,71 Hz τη φορά. Επιπλέον, για να επιτευχθεί πιο ακριβής εξαγωγή δεδομένων από τον αλγόριθμο FFT, εφαρμόζεται παράθυρο Hanning, το οποίο εξουδετερώνει τυχόν ασυνέχειες του σήματος που μπορεί να αλλοιώσουν τα δεδομένα. (Understanding FFTs and Windowing, 2022)

### 3.3.5 Προσαρμογή & βαθμονόμηση

Οι διαθέσιμες ρυθμίσεις που δίνονται στον παίκτη για να προσαρμόσει το παιχνίδι στις ανάγκες του είναι οι εξής:

- **Gain / Boost:** Ενισχύει τις volume τιμές του μικροφώνου έτσι ώστε να είναι πιο εναίσθητο στο input. Χρησιμεύει αν η ένταση είναι πολύ μικρή εξαρχής ή αν ο χρήστης θέλει να παίζει το παιχνίδι με χαμηλότερη ένταση φωνής.
- **Volume Threshold:** Το κατώφλι έντασης μετά από το οποίο θα κινείται το διαστημόπλοιο. Μικρότερη τιμή κάνει το διαστημόπλοιο πιο ευαίσθητο στην κίνηση, ενώ μεγαλύτερη τιμή το κάνει δυσκολότερο να κινηθεί, χρήσιμο εάν υπάρχει σημαντικό επίπεδο θορύβου στο περιβάλλον.
- **Pitch Threshold:** Το κατώφλι τόνου μετά από το οποίο θα αναγνωρίζονται οι λειτουργίες τονικότητας όπως η ασπίδα και το hyperdrive. Όπως και με το volume threshold, είναι χρήσιμο εάν υπάρχει σημαντικό επίπεδο θορύβου στο περιβάλλον, καθώς οι περιβαλλοντικοί ήχοι μπορεί να επικαλύπτουν τις συχνότητες των λειτουργιών του παιχνιδιών, και έτσι για παράδειγμα να ανάψουν την ασπίδα του παίκτη άσκοπα.

## 3.4 Υλοποίηση λοιπών μηχανισμών

Ο παράγοντας που καθορίζει την επίδοση ενός παίκτη είναι το σκορ. Το σκορ βασίζεται στον χρόνο κατά τον οποίο ο παίκτης παραμένει ζωντανός χωρίς να γίνει σύγκρουση με αστεροειδή. Ανάλογα με κάποιες ενέργειες του παίκτη, εφαρμόζεται στο σκορ ένα multiplier, της τάξης του 1/3 αν κάθεται συνέχεια στο κάτω μέρος της οθόνης ως αποτρεπτικός παράγοντας, ενώ το σκορ πολλαπλασιάζεται επί 3 στην περίπτωση που είναι σε hyperdrive mode ως μηχανισμός επιβράβευσης.

Για το φόντο, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Space 3D του Rye Terrell που δημιουργεί procedurally generated διαστημικά skyboxes με στοιχεία όπως αστέρια και νεφελώματα. (Terrell, 2015) Δημιουργήθηκαν διαφορετικά skyboxes τα οποία χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές φάσεις του παιχνιδιού όπως το intro screen, το menu screen, το tutorial level και το main level και υλοποιήθηκε ένας μηχανισμός συνεχούς περιστροφής με μεταβλητή ταχύτητα (για να ενισχυθεί το εφέ του hyperdrive) που στα gameplay levels δημιουργεί την ψευδαίσθηση της κίνησης στο αχανές διάστημα.

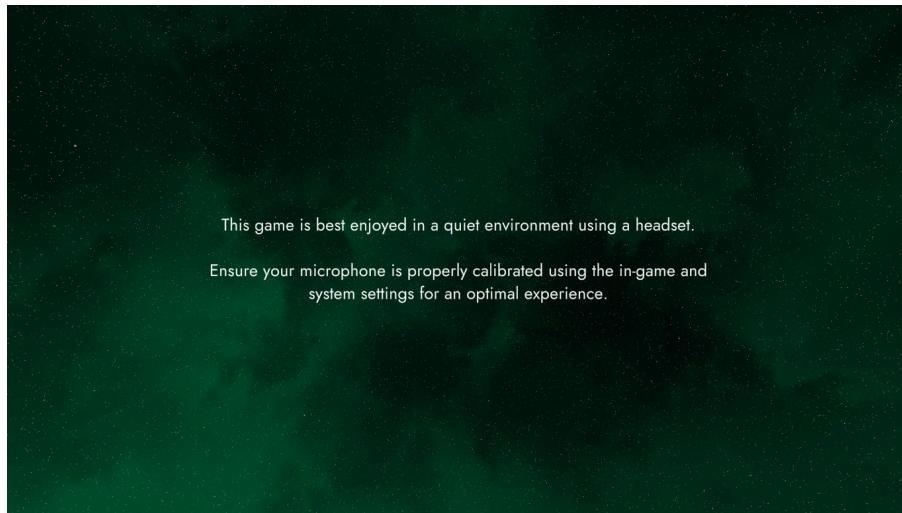
Επιπλέον, για την κλιμακούμενη δυσκολία του παιχνιδιού, δημιουργήθηκε ένας μηχανισμός εμφάνισης αστεροειδών με τυχαιότητα στην θέση, καθώς και αυξανόμενο χρόνο και ταχύτητα ανάλογα με τις επιδόσεις του παίκτη. Επειδή ο μηχανισμός της τυχαιότητας κυρίως αφορούσε αρνητικά στοιχεία του παιχνιδιού, συγκεκριμένα τους αστεροειδείς που θα έφερναν το lose condition, αποφασίστηκε να προστεθούν και θετικοί τυχαίοι παράγοντες με την μορφή των pickable shields. Με τον ίδιο μηχανισμό που εμφανίζονται οι αστεροειδείς, εμφανίζονται ασπίδες που μπορούν να παρθούν από τον παίκτη και να παρέχουν προστασία από κάθε χτύπημα για 10 δευτερόλεπτα.



Εικόνα 4: 2022 - A Space Audissey / Picked Shield (2022)

### 3.5 Υλοποίηση διεπαφών

Δημιουργήθηκε μια αρχική οθόνη με δυνατότητα παράκαμψης (Εικόνα 5), η οποία περιγράφει ότι για την ιδανική εμπειρία, το παιχνίδι παίζεται σε ένα ήσυχο περιβάλλον με ακουστικά. Έπειτα παρουσιάζεται το κυρίως μενού (Εικόνα 6) όπου ο παίκτης μπορεί να παίξει το main level, το tutorial level, να δει πληροφορίες σχετικά με το παιχνίδι, να περιηγηθεί στο ερωτηματολόγιο, να μπει στις επιλογές του παιχνιδιού ή να κλείσει το παιχνίδι.



Εικόνα 5: 2022 - A Space Audissey / Intro (2022)

Τα επίπεδα του παιχνιδιού είναι δύο, το κυρίως παιχνίδι και το επεξηγηματικό κομμάτι του, το λεγόμενο tutorial. Στο tutorial level ο παίκτης δεν χρειάζεται να αποφύγει αστεροειδείς, καθώς είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε ο παίκτης να μπορεί να δοκιμάσει τους μηχανισμούς του παιχνιδιού σε ένα ασφαλές και μη τιμωρητικό περιβάλλον. Υπάρχουν δύο στάδια στο tutorial, βαθμονόμηση έντασης (Gain/Boost & Volume Threshold), στην οποία ο παίκτης δοκιμάζει την κίνηση του διαστημοπλοίου και βαθμονόμηση τονικότητας (Pitch Threshold), στην οποία ο παίκτης δοκιμάζει την ενεργοποίηση ασπίδας και hyperdrive.

Στην σελίδα πληροφοριών για το παιχνίδι, που φαίνεται στην Εικόνα 7, επεξηγείται η βασική πλοκή του παιχνιδιού, καθώς και οι διαθέσιμοι μηχανισμοί και οι χειρισμοί τους.

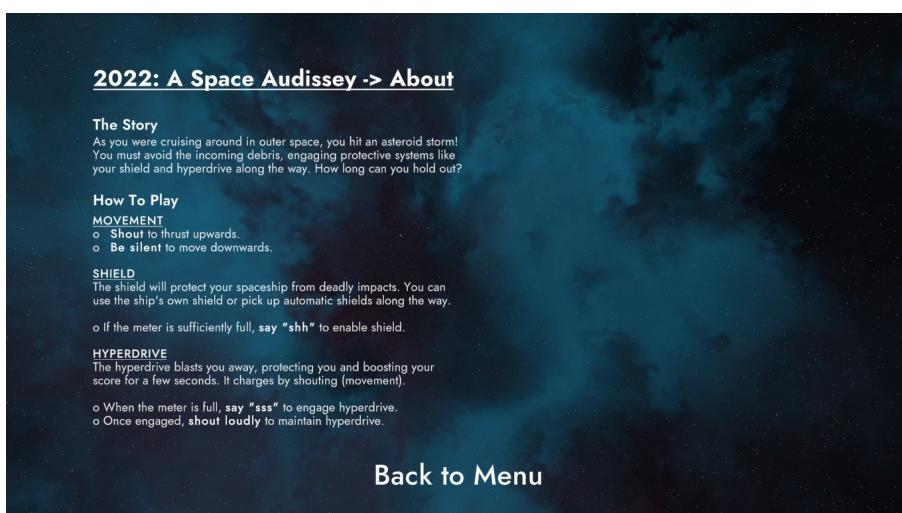
Στις επιλογές του παιχνιδιού, ο παίκτης μπορεί να αλλάξει τις ρυθμίσεις οι οποίες είναι χωρισμένες σε κατηγορίες. Οι ρυθμίσεις βίντεο περιλαμβάνουν την ανάλυση και τον ρυθμό ανανέωσης της οθόνης, την λειτουργία πλήρους οθόνης και το vertical sync. Οι ρυθμίσεις εξόδου ήχου περιλαμβάνουν έναν master volume slider. Οι ρυθμίσεις εισόδου ήχου

περιλαμβάνουν επιλογές για την συσκευή εισόδου, το gain/boost, το volume threshold και το pitch threshold, τα οποία συνοδεύονται από χρήσιμες ενδείξεις για τα inputs που λαμβάνουν, όπως έναν χρωματιστό volume indicator, και το pitch σε hertz το οποίο αναγνωρίζεται την συγκεκριμένη στιγμή. Οι επιλογές φαίνονται στην Εικόνα 8.

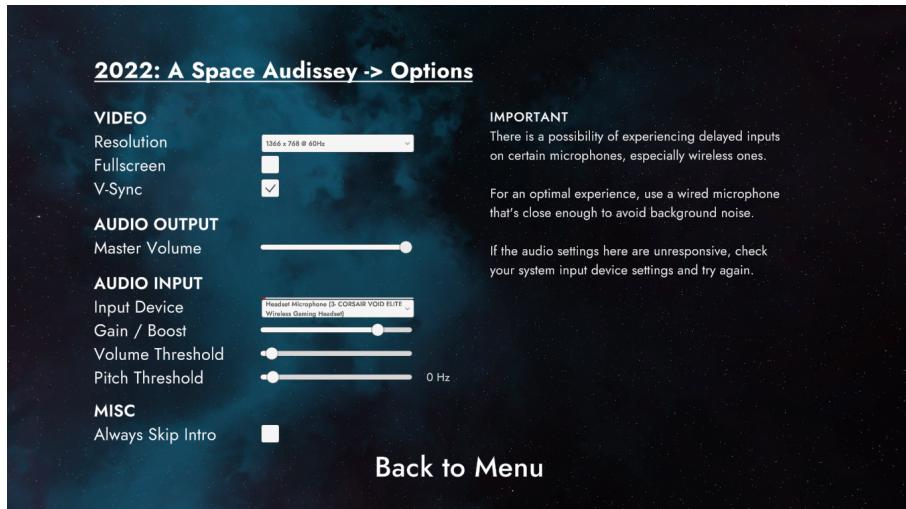
Υπήρχαν σχέδια για περαιτέρω προσβασιμότητα του αρχικού μενού μέσω της δυνατότητας speech recognition ή παρόμοιας φωνητικής μεθόδου με αυτής που χρησιμοποιείται στο κυρίως παιχνίδι, όμως λόγω χρονικών περιορισμών, υλοποιήθηκε ένα στάνταρ μενού που ελέγχεται μέσω ποντικιού.



Εικόνα 6: 2022 - A Space Audissey / Main Menu (2022)



Εικόνα 7: 2022 - A Space Audissey / About (2022)



Εικόνα 8: 2022 - A Space Audissey / Options (2022)

### 3.6 Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση παιχνιδιού για πειραματικούς σκοπούς

Πέρα από το ερωτηματολόγιο που θα κληθεί να συμπληρώσει ένας χρήστης, σε κάθε play session το παιχνίδι συλλέγει δεδομένα και τα αποθηκεύει στο αρχείο “data.csv”. Αυτά τα δεδομένα είναι ο αριθμός των play sessions, το σκορ που επετεύχθη, το καλύτερο σκορ που είναι αποθηκευμένο, το όνομα του μικροφώνου που χρησιμοποιείται, καθώς και οι τρεις ηχητικές παράμετροι: gain/boost, volume threshold, pitch threshold.

### 3.7 Προβλήματα κατά την υλοποίηση

Από άποψη ανάπτυξης και σχεδιασμού, η διαφοροποίηση μικροφώνων αποτέλεσε ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα. Το απρόβλεπτο hardware καθώς και η διαμόρφωση του κάθε συνδυασμού ρυθμίσεων λειτουργικού συστήματος και τεχνικών χαρακτηριστικών μικροφώνου, αποτελεί μεγάλη πρόκληση για τον σχεδιασμό ενός συστήματος που κατανοεί τα inputs ορθώς και συνεχώς.

Κάθε μικρόφωνο έχει διαφορετική απόκριση συχνότητας, αντίσταση (ohm), ένταση, και σε επίπεδο λογισμικού δεν υπάρχουν universal drivers στον ήχο. Ενδεχομένως μια έρευνα σε κάποια πλατφόρμα με ενοποιημένο hardware όπως κονσόλες, ή καλύτερο driver configuration όπως κινητά τηλέφωνα να ήταν πιο διαχειρίσιμη.

Επιπροσθέτως, θα ήταν αξιόλογη προσπάθεια σχεδίασης ενός συστήματος αυτόματης βαθμονόμησης (calibration) πάνω στην οποία θα έκανε διορθώσεις ο παίκτης, παρά στην εκχώρηση προεπιλεγμένων τιμών και τον απόλυτο χειροκίνητο έλεγχο στον παίκτη καθώς μπορεί να κάνει λάθη.

Το κομμάτι του Unity API που διαχειρίζεται το μικρόφωνο και την ψηφιακή επεξεργασία σήματος ήταν ελλιπές, δεν ήταν platform-agnostic, με ελάχιστη διαχείριση σφαλμάτων και πολλά αναπάντεχα αποτελέσματα, μέχρι και game crashes στην χειρότερη περίπτωση.

Η αναγνώριση τονικότητας (pitch detection) ήταν συχνά ανακριβής. Η ανακρίβεια αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η ανθρώπινη φωνή δεν είναι μια απλή κυματομορφή. Καθώς δεν είναι ένα αγνό σήμα, όπως για παράδειγμα μια ημιτονοειδής συνάρτηση, η δομή της είναι διαφορετική και μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τον αλγόριθμο. Συγκεκριμένα, αποτελείται από την λεγόμενη θεμελιώδη συχνότητα και μια σειρά υψηλότερων συχνοτήτων που ονομάζονται αρμονικές οι οποίες ακολουθούν αναλογικά. (Lemmetty, 1999) Συχνά κατά το gameplay, η δυνατότερη συχνότητα της φωνής του παίκτη θα είναι η αρμονική, οπότε πολλές φορές είναι πιθανό ο αλγόριθμος αναγνώρισης τονικότητας να πιάσει την αρμονική ως την επικρατούσα συχνότητα, παρουσιάζοντας ανακριβή τιμή η οποία οδηγεί σε λανθασμένα inputs. Για να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα, επιλέχθηκε συγκεκριμένη γκάμα συχνοτήτων όπου το περιθώριο λάθους θα ήταν το ελάχιστο δυνατό. Μια άλλη πιθανή λύση θα ήταν η ανάλυση των τόνων και ο χωρισμός τους σε ζώνες συχνοτήτων (frequency bands) με διαφορετικές εντάσεις, και η ανάθεση συγκεκριμένων ζωνών ανά gameplay mechanic.

## Κεφάλαιο 4: Δοκιμές

### 4.1 Δοκιμή με χρήστες

Στα τελικά στάδια της ανάπτυξης, το παιχνίδι δόθηκε σε ένα περιορισμένο δείγμα για να γίνουν αρχικές δοκιμές και να προσδιοριστεί η καταλληλότητά του για την ευρύτερη έρευνα.

Παράλληλα, δημιουργήθηκε ένα ερωτηματολόγιο στο Google Forms με ερωτήσεις που αφορούσαν την ευκολία του παίκτη ή της παίκτριας κατά την βαθμονόμηση, τον έλεγχο των επιμέρους λειτουργιών του παιχνιδιού, καθώς και τον παράγοντα της διασκέδασης και της έμφασης στα audio-based mechanics. Η πλήρης μορφή του ερωτηματολογίου είναι διαθέσιμη στο Παράρτημα A, ενώ τα πρωτογενή δεδομένα που συνέλεξε το παιχνίδι βρίσκονται στο Παράρτημα B.

Το σενάριο δοκιμής ήταν η κοινοποίηση του playable build στο διαδίκτυο, όπου οι δοκιμαστές μπορούσαν να παίξουν το παιχνίδι, αυτό να συλλέξει δεδομένα που αφορούσαν τις ρυθμίσεις τους και τις επιδόσεις τους, και έπειτα οι ίδιοι να αξιολογήσουν το παιχνίδι στο παρεχόμενο ερωτηματολόγιο. Η διαδικασία δοκιμών έλαβε χώρα μεταξύ 11 Ιουλίου και 17 Αυγούστου 2022.

### 4.2 Εξαγωγή δεδομένων

Η εξαγωγή και ανάλυση των δεδομένων έγινε μέσω της πλατφόρμας του Google Forms, όπου συγκεντρώθηκαν οι απαντήσεις και τα δοκιμαστικά δεδομένα όλων των συμμετεχόντων.

Στα παρεχόμενα αρχεία data.csv έγινε περαιτέρω ανάλυση μέσω του Google Sheets για να παραχθούν επιπλέον μετρήσεις όπως μέσος όρος και ενδιάμεσες τιμές που αφορούν τα σκορ των παικτών, τον αριθμό των play sessions τους, και των προτιμώμενων ρυθμίσεών τους.

### 4.3 Παρουσίαση δεδομένων

#### 4.3.1 Δημογραφικά στοιχεία

Το τελικό δείγμα αποτελείται από 21 άτομα, 18 άντρες και 3 γυναίκες. Επιπλέον, στην ερώτηση που αφορά την εξοικείωση των παικτών με τα βιντεοπαιχνίδια, 17 άτομα (81%)

δήλωσαν ότι παίζουν τακτικά, 2 άτομα (9.5%) παίζουν περιστασιακά, και άλλα 2 άτομα (9.5%) παίζουν σπάνια.

### 4.3.2 Επιδόσεις παικτών

Όσον αφορά τον αριθμό των play sessions, υπήρξαν κατά μέσο όρο 4.95 play sessions ανά παίκτη, με διάμεση τιμή 4 και επικρατούσα τιμή 4. Ελάχιστος αριθμός play sessions ήταν 1 ενώ ο μέγιστος ήταν 12.

Ο μέσος παίκτης κατάφερε σκορ 51.60, με διάμεση τιμή 34.89. Το ελάχιστο μέσο σκορ ανά παίκτη ήταν 13.07 και το μέγιστο μέσο σκορ ανά παίκτη ήταν 215.80. Το ελάχιστο καταγεγραμμένο σκορ ήταν 3.35, ενώ το μέγιστο ήταν 553.58. Το μέσο σκορ ανά play session ήταν 43.19, ενώ το διάμεσο σκορ ανά play session ήταν 19.48.

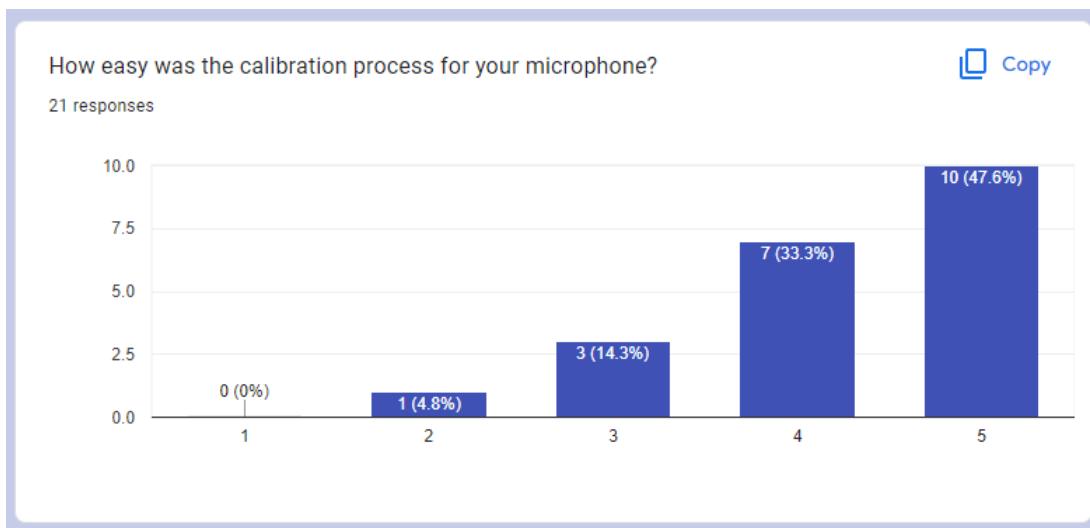
### 4.3.3 Βαθμονόμηση

Η πλειοψηφία των δοκιμαστών (80.9%, 17 άτομα) βρήκε την διαδικασία βαθμονόμησης εύκολη και κατανοητή, αποδίδοντας από μια κλίμακα 1-5, σκορ 4 και πάνω. Στην βαθμολογία από 1-5, η μέση τιμή ήταν 4.23, η διάμεση τιμή ήταν 4, και η επικρατούσα τιμή ήταν 5.

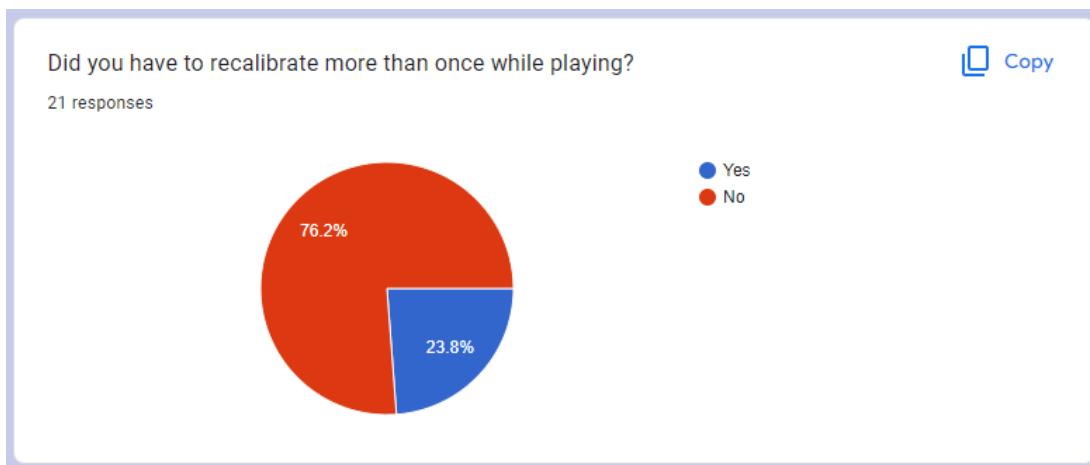
Τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν, τείνουν να αφορούν την βαθμονόμηση τονικότητας (pitch calibration), με δευτερεύοντα προβλήματα που αναφέρθηκαν να είναι προβλήματα που αποδίδονται στο λειτουργικό σύστημα, ή στο γεγονός ότι έπαιζαν το παιχνίδι σε ηχεία με δυνατή ένταση ή ευαίσθητο μικρόφωνο.

Το 76.2% των παικτών (16 άτομα) δήλωσε ότι δεν χρειάστηκε να κάνει επαναβαθμονόμηση σε κάποιο στάδιο του παιχνιδιού, ενώ το 23.8% (5 άτομα) δήλωσε πως χρειάστηκε. Όσον αφορά την πιο χρήσιμη μέθοδο επαναβαθμονόμησης, μεταξύ της πρόσβασης στο γρήγορο μενού μέσω του πλήκτρου Tab, την χρήση του μενού “Options”, και την επανάληψη στο tutorial επίπεδο, οι μισοί χρήστες που έκαναν recalibration (50%, 4 άτομα) επέλεξαν το τελευταίο, με το μενού επιλογών να έρχεται δεύτερο με 37.5% (3 άτομα), και το μενού στο πλήκτρο Tab τρίτο και τελευταίο με 12.5% (1 άτομο).

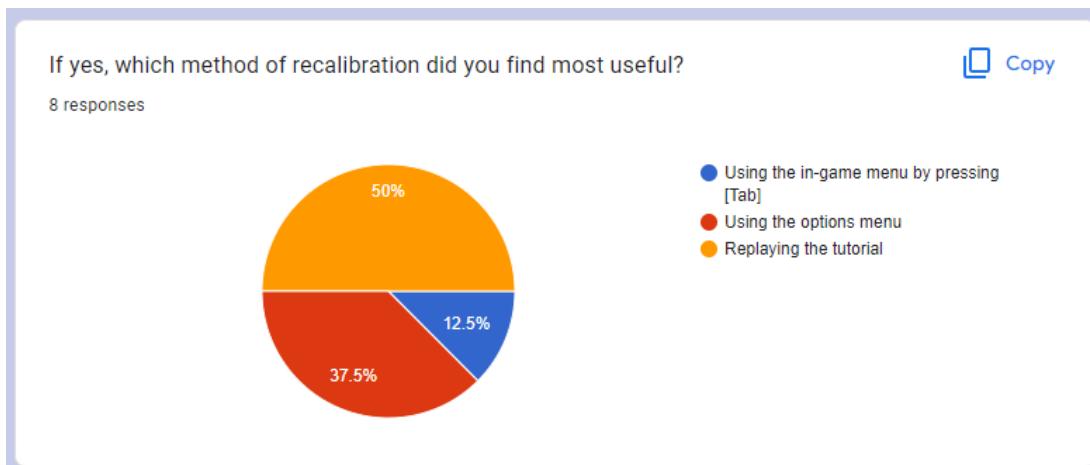
Κάποιες από τις παρεχόμενες ρυθμίσεις ενδεχομένως να ήταν ανεπαρκείς για την ομαλή λειτουργία του παιχνιδιού. 6 ερωτηθέντες απάντησαν, με 3 από αυτούς (50%) να θεωρούν ανεπαρκές το Gain/Boost, άλλους 2 (33%) να θεωρούν ανεπαρκές το Pitch Threshold και ένας (16.6%) να θεωρεί το Volume Threshold ανεπαρκές.



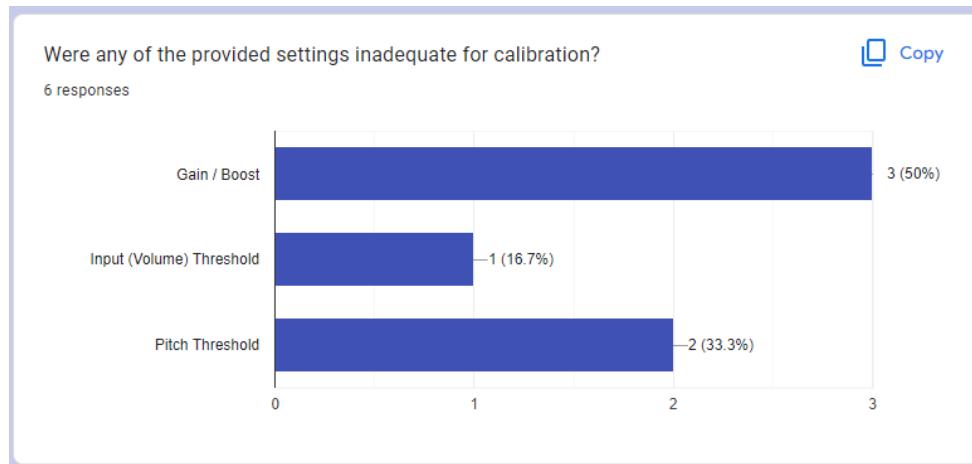
Εικόνα 9: Ερωτηματολόγιο (ευκολία βαθμονόμησης)



Εικόνα 10: Ερωτηματολόγιο (επαναβαθμονόμηση)



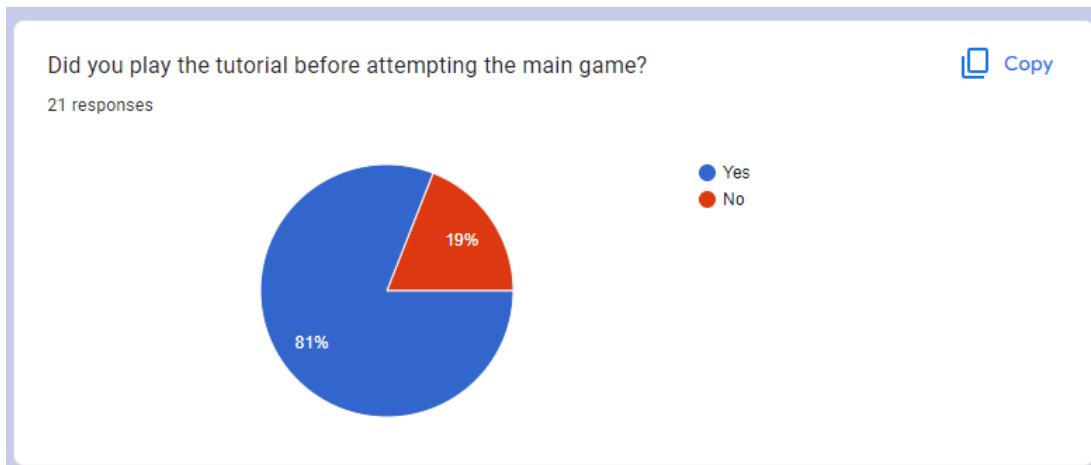
Εικόνα 11: Ερωτηματολόγιο (μέθοδος επαναβαθμονόμησης)



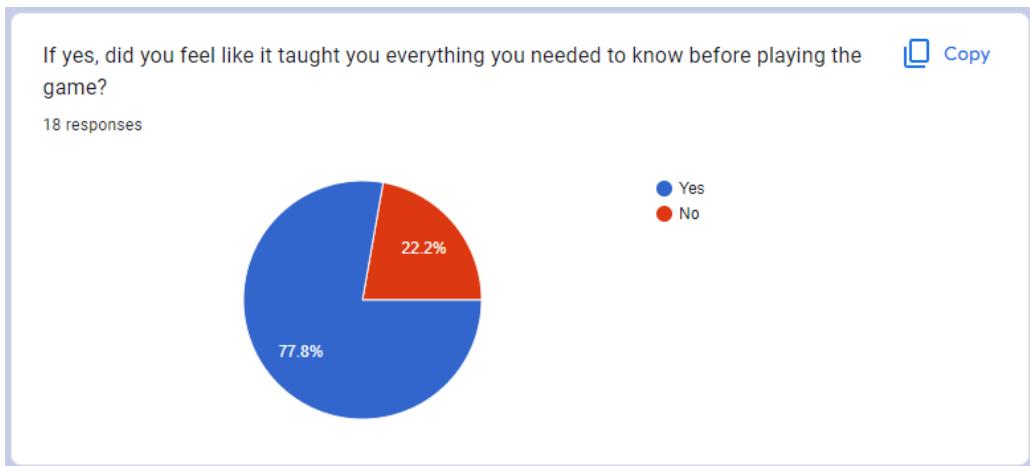
Εικόνα 12: Ερωτηματολόγιο (ανεπαρκείς μέθοδοι επαναβαθμονόμησης)

#### 4.3.4 Tutorial

Η πλειοψηφία των δοκιμαστών (81%, 17 άτομα) έπαιξε το tutorial επίπεδο για να μάθει τα mechanics του παιχνιδιού και να εξοικειωθεί με τον τρόπο χρήσης. Οι δοκιμαστές που έπαιξαν το tutorial δηλώνουν ως επί το πλείστον πως έμαθαν ότι χρειάστηκε πριν παίξουν το main game. (77.8%, 14 άτομα)



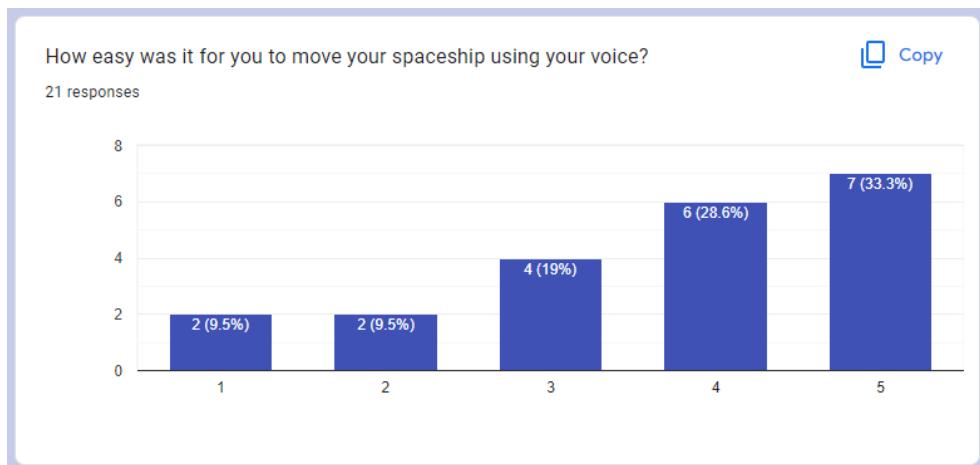
Εικόνα 13: Ερωτηματολόγιο (Tutorial)



Εικόνα 14: Ερωτηματολόγιο (Αποτελεσματικότητα Tutorial)

#### 4.3.5 Κίνηση διαστημοπλοίου μέσω φωνής (volume)

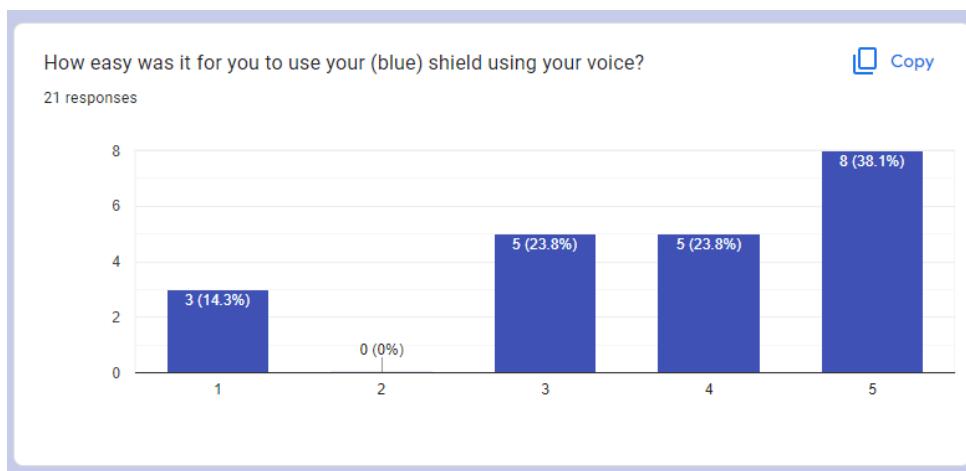
Τα δεδομένα για την κίνηση του διαστημοπλοίου μέσω της φωνής, το volume-based mechanic του παιχνιδιού, παρουσιάζουν μια ιδιαίτερη κατανομή. Η πλειοψηφία των παικτών (61.9%, 13 άτομα) βαθμολόγησαν την κίνηση μέσω φωνής με σκορ 4+ σε μια κλίμακα από το 1-5. Οι υπόλοιποι (38.1%, 8 άτομα) θεωρούν πως η κίνηση είναι από μέτρια έως ακατόρθωτη. Στην βαθμολογία από 1-5, η μέση τιμή ήταν 3.66, η διάμεση τιμή ήταν 4, και η επικρατούσα τιμή ήταν 5.



Εικόνα 15: Ερωτηματολόγιο (Volume-based mechanics)

#### 4.3.6 Χρήση μπλε ασπίδας (pitch)

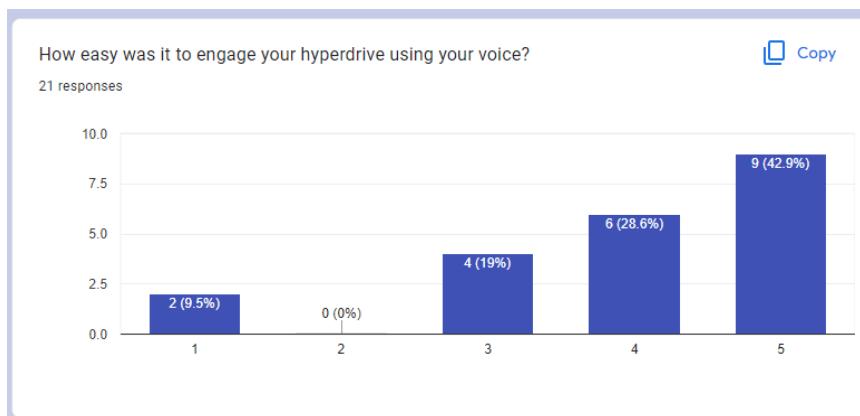
Η πλειοψηφία των παικτών (61.9%, 13 άτομα) βαθμολόγησαν την ενεργοποίηση της ασπίδας μέσω του pitch με σκορ 4+ σε μια κλίμακα από το 1-5. Οι υπόλοιποι (38.1%, 8 άτομα) θεωρούν πως η ενεργοποίηση της ασπίδας είναι από μέτρια έως ακατόρθωτη. Στην βαθμολογία από 1-5, η μέση τιμή ήταν 3.71, η διάμεση τιμή ήταν 4, και η επικρατούσα τιμή ήταν 5.



Εικόνα 16: Ερωτηματολόγιο (Pitch-based mechanics: Shield)

#### 4.3.7 Χρήση hyperdrive (pitch)

Η πλειοψηφία των παικτών (71.5%, 15 άτομα) βαθμολόγησαν την ενεργοποίηση του hyperdrive μέσω του pitch με σκορ 4+ σε μια κλίμακα από το 1-5. Οι υπόλοιποι (28.5%, 6 άτομα) θεωρούν πως η ενεργοποίηση του hyperdrive είναι από μέτρια έως ακατόρθωτη. Στην βαθμολογία από 1-5, η μέση τιμή ήταν 3.95, η διάμεση τιμή ήταν 4, και η επικρατούσα τιμή ήταν 5.

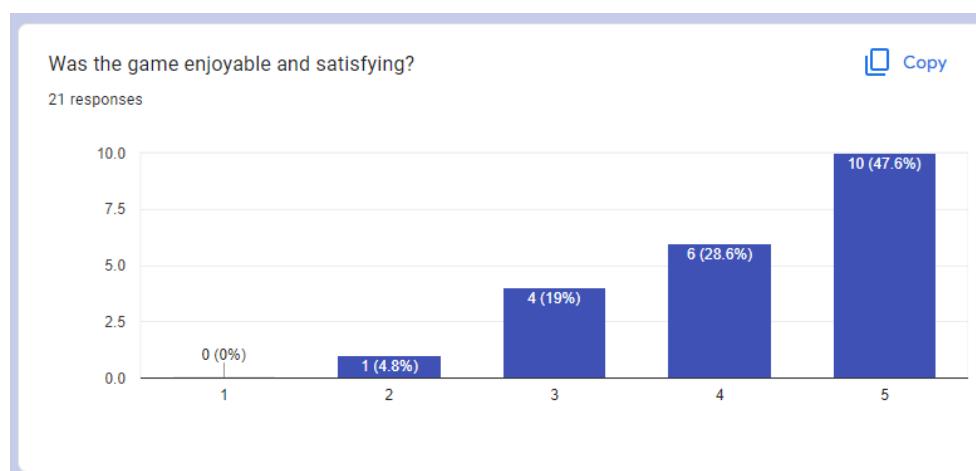


Εικόνα 17: Ερωτηματολόγιο (Pitch-based mechanics: Hyperdrive)

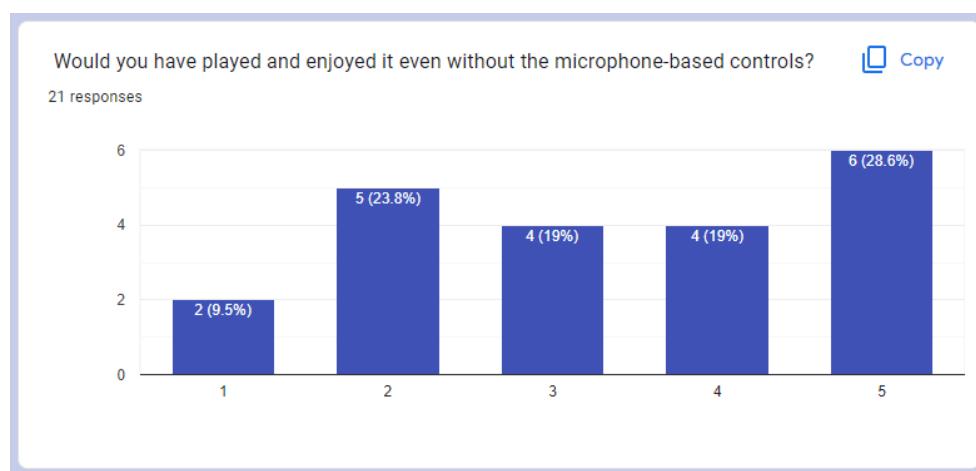
#### 4.3.8 Ευχαρίστηση παιχνιδιού

Το μεγαλύτερο ποσοστό των παικτών (76.2%, 16 άτομα), βρήκε το παιχνίδι γενικά ευχάριστο. Οι υπόλοιποι παίκτες το βρήκαν από μέτριο έως μη ικανοποιητικό. Όσον αφορά την ευχαρίστηση από το παιχνίδι, στην βαθμολογία από 1-5, η μέση τιμή ήταν 4.19, η διάμεση τιμή ήταν 4, και η επικρατούσα τιμή ήταν 5.

Μολονότι το παιχνίδι ήταν γενικά ευχάριστο, οι παίκτες φάνηκαν αβέβαιοι για το αν θα έπαιζαν το παιχνίδι αν δεν είχε έλεγχο μέσω μικροφώνου, με μόλις 47.6% (10 άτομα) να αποδίδει σκορ 4+. Στην βαθμολογία από 1-5, η μέση τιμή ήταν 3.33, η διάμεση τιμή ήταν 3, και η επικρατούσα τιμή ήταν 5.



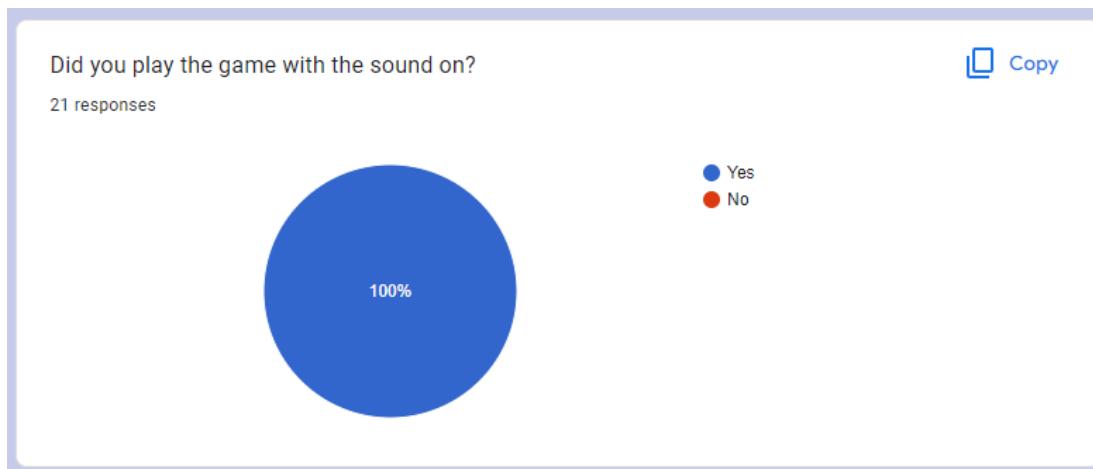
Εικόνα 18: Ερωτηματολόγιο (Ευχαρίστηση παιχνιδιού)



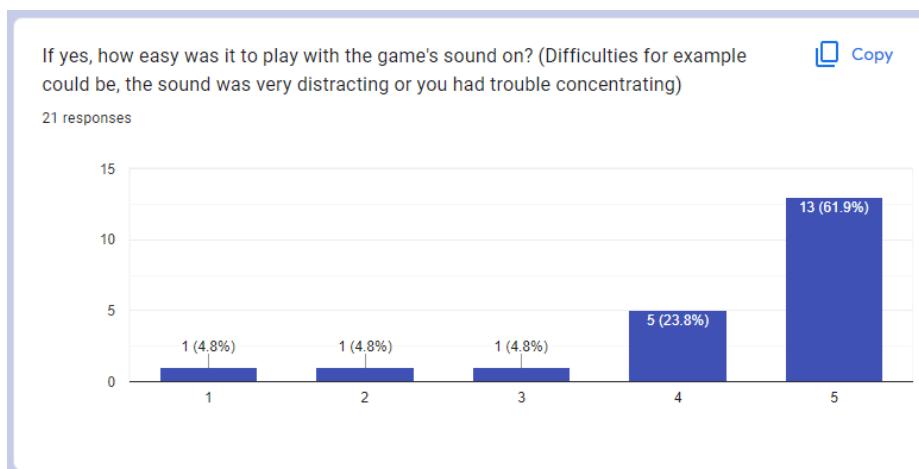
Εικόνα 19: Ερωτηματολόγιο (Προτίμηση ελέγχου μικροφώνου)

#### 4.3.9 Ήχος και αντιπερισπασμός

Όλοι οι συμμετέχοντες (100%, 21 άτομα) που έπαιξαν το παιχνίδι είχαν τον ήχο του παιχνιδιού ενεργοποιημένο. Το μεγαλύτερο ποσοστό των δοκιμαστών (61.9%, 13 άτομα) δεν βρήκε τον ήχο του παιχνιδιού εμπόδιο στο να παίξει το παιχνίδι, με τους υπόλοιπους να νιώθουν ελαφρώς αποσπασμένοι. Στην βαθμολογία από 1-5, με το 1 να σημαίνει ότι το παιχνίδι αποσυγκέντρωνε πλήρως τους παίκτες και το 5 ότι δεν υπήρξε κανένα πρόβλημα, η μέση τιμή ήταν 4,33, η διάμεση τιμή ήταν 5, και η επικρατούσα τιμή ήταν 5.



Εικόνα 20: Ερωτηματολόγιο (Ηχος)



Εικόνα 21: Ερωτηματολόγιο (Απόσπαση προσοχής από τον ήχο)

## 4.4 Προβλήματα κατά την πειραματική διαδικασία

Υπήρξαν ορισμένα τεχνικά προβλήματα σε υπολογιστές με πολλαπλά μικρόφωνα τα οποία κατέστησαν το παιχνίδι μη λειτουργικό. Αυτά ενδεχομένως να οφείλονται σε σφάλματα ή λανθασμένη χρήση του ηχητικού API της Unity όμως αυτό είναι ασαφές καθώς οι περιπτώσεις των συγκεκριμένων σφαλμάτων ήταν ελάχιστες. Επιπλέον τεχνικά προβλήματα προέκυψαν σε υπολογιστές οι οποίοι δεν είχαν Windows ως λειτουργικό σύστημα.

Κατά την διάρκεια κάποιων playtests σε περιβάλλοντα με κόσμο όπου ήταν παρών και ο συγγραφέας, παρατηρήθηκε μια μικρή ανασφάλεια από τους playtesters λόγω του γεγονότος ότι θα έκαναν θόρυβο και αυτό αποτυπώθηκε στα αποτελέσματα είτε ως χαμηλότεροι χρόνοι (λόγω αργότερων ή πιο διστακτικών κινήσεων) είτε ως συχνότερα calibrations έτσι ώστε το μικρόφωνο να μπορεί να παρατηρήσει input από μικρότερη ένταση.

## Κεφάλαιο 5: Ανάλυση δεδομένων

### 5.1 Ευρήματα & πορίσματα

#### 5.1.1 Επιδόσεις παικτών & play sessions

Τα play sessions και οι επιδόσεις του κάθε παίκτη είχαν μεγάλη ποικιλία. Οι επιδόσεις σχετίζονται με το learning curve του παιχνιδιού, καθώς και με τις σωστές ρυθμίσεις του εκάστοτε παίκτη, καθώς ένα κακορυθμισμένο παιχνίδι δεν ελέγχεται εύκολα, οπότε το lose condition πληρείται πιο γρήγορα. Γενικά μιλώντας, τα καλορυθμισμένα παιχνίδια έτειναν να προσφέρουν και καλύτερα σκορ.

#### 5.1.2 Βαθμονόμηση

Το σύστημα βαθμονόμησης που υλοποιήθηκε ήταν ως επί το πλείστον χρηστικό, όμως δεν κάλυψε τις ανάγκες όλων των χρηστών και σε κάποιους φάνηκε δυσνόητο. Σε άλλα παιχνίδια με φωνητικό έλεγχο, θα είχε χρησιμότητα η υλοποίηση ενός αυτοματοποιημένου συστήματος που θα ρύθμιζε τις εντάσεις και τα κατώφλια βάσει απλών δοκιμών, με ενδεχόμενες χειροκίνητες μικροδιορθώσεις.

Υπήρξε μια ασυμφωνία στα άτομα που δήλωσαν ότι έκαναν επαναβαθμονόμηση και τα άτομα που επέλεξαν την προτιμότερη μέθοδο επαναβαθμονόμησής τους (5 έναντι 8), πράγμα που σηματοδοτεί ότι η δομή του ερωτηματολογίου πιθανώς να ήταν ακατανόητη.

#### 5.1.3 Tutorial

Το tutorial επίπεδο αξιοποιήθηκε από την πληθώρα των χρηστών, όμως κάποιοι το προσπέρασαν τελείως και προχώρησαν κατευθείαν στο κυρίως επίπεδο χωρίς αρχική βαθμονόμηση. Αυτό ενδεχομένως να ευθύνεται στην ελεύθερη διαβάθμιση των επιλογών του μενού. Με άλλα λόγια, αν ήταν πιο απλοποιημένο και το tutorial φόρτωνε αυτόματα, λιγότεροι χρήστες θα το προσπερνούσαν.

Δεν παρατηρήθηκε ιδιαίτερη απόκλιση στις επιδόσεις των παικτών που έπαιξαν το tutorial σε σχέση με αυτούς που δεν το έπαιξαν, όμως εμφανίζεται μεγαλύτερο ποσοστό ατόμων

που αντιμετώπισαν δυσκολίες τόσο στην βαθμονόμηση, όσο και στον έλεγχο των μηχανισμών του παιχνιδιού.

### 5.1.4 Volume-based mechanics

Οι μηχανισμοί που ελέγχονταν βάσει της φωνής, ενώ είχαν άνω του μετρίου βαθμολογία από τους παίκτες, ήταν ελαφρώς δύσκολοι κατά τον έλεγχο. Από σχεδιαστικής άποψης, παρατηρήθηκε ότι πολλοί παίκτες επέλεγαν να μείνουν σε μια άκρη της οθόνης, είτε όντας απολύτως ήσυχοι (κάτω πλευρά), είτε φωνάζοντας συνέχεια (πάνω πλευρά). Παρόλο που η δεύτερη επιλογή είναι η πιο κερδοφόρα για τους παίκτες, καθώς δεν λαμβάνουν το score penalty, αυτό δεν ήταν προφανές, και θα μπορούσε να είχε γίνει πιο ξεκάθαρο, για παράδειγμα κοκκινίζοντας το σκορ.

Επιπλέον, στις δοκιμές που ήταν παρών και ο συγγραφέας, το μπόνους που δίνεται εάν ο παίκτης φωνάζει κατά την διάρκεια του hyperdrive, παρόλο που αναγράφεται στο tutorial και στην σελίδα about, πέρασε απαρατήρητο, οπότε μια πιο ξεκάθαρη σήμανση μέσω UI ή καλύτερη επεξήγηση στο tutorial θα βοηθούσε στην ανάδειξη του συγκεκριμένου μηχανισμού.

Τέλος, κάποιοι χρήστες ανέφεραν ότι αυτός ο μηχανισμός ήταν κουραστικός μετά από παρατεταμένα διαστήματα γιατί απαιτεί συνεχή αναπνοή.

### 5.1.5 Pitch-based mechanics

Τα pitch-based mechanics είχαν μικτά αποτελέσματα. Σύμφωνα με το ερωτηματολόγιο, η ασπίδα, η οποία ενεργοποιείται με σκληρό συριγμό (“shh”) ήταν ελαφρώς προβληματική, ενώ το hyperdrive με τον απαλό συριγμό (“sss”) είχε πιο θετικά και σταθερά αποτελέσματα.

Επιπλέον, κάποιοι παίκτες φάνηκαν συχνά να μπερδεύουν μεταξύ απαλών και σκληρών συριγμών, οπότε θα ήταν καλύτερο να αποφεύγεται ο συγκεκριμένος συνδυασμός ήχων.

Αξίζει να σημειωθεί πως παρουσιάζεται μια σοβαρή αναντιστοιχία στα δεδομένα των pitch-based mechanics. Παρότι τα δεδομένα από το ερωτηματολόγιο δείχνουν ότι είναι κατά μέσο όρο πιο εύχρηστα σε σύγκριση με τον έλεγχο μέσω έντασης, τα πιο πολλά παράπονα από τους χρήστες προήλθαν από τους μηχανισμούς τονικότητας, προσδίδοντας μια παραπάνω αμφιβολία για την ευχρηστία τους. Επίσης, εξετάζοντας τα πρωτογενή αριθμητικά δεδομένα που παρήγαγε το παιχνίδι, κάποιοι χρήστες δεν συμπλήρωσαν το απαιτούμενο σκορ για να

ενεργοποιήσουν την λειτουργία hyperdrive, όμως το βαθμολόγησαν θετικά, είτε λόγω της υποχρεωτικότητας της ερώτησης είτε επειδή δεν κατανόησαν πλήρως το ερωτηματολόγιο.

### 5.1.6 Ευχαρίστηση παιχνιδιού

Το παιχνίδι ήταν γενικά ευχάριστο, όμως οι χρήστες δεν θα το προτιμούσαν αν δεν είχε τον φωνητικό έλεγχο. Αυτό αφήνει περιθώρια περαιτέρω έρευνας με κάποιο παιχνίδι που θα ήταν παρομοίως δημοφιλές ανεξαρτήτως φωνητικού ελέγχου.

### 5.1.7 Ήχος και αντιπερισπασμός

Καθώς οι παίκτες έπρεπε να χρησιμοποιούν την φωνή τους κατά την διάρκεια του παιχνιδιού, υπήρξε ένα μικρό ποσοστό των παικτών που ένιωσαν αποσπασμένοι από τα ηχητικά στοιχεία του παιχνιδιού όπως τα εφέ και η μουσική. Παρόλο που αυτό δεν αποτέλεσε μεγάλο πρόβλημα, η χρήση πιο ουδέτερης μουσικής ενδεχομένως να βοηθούσε τους παίκτες να συγκεντρωθούν καλύτερα στο παιχνίδι. Επιπλέον, μια ρύθμιση self-monitoring, δηλαδή την δυνατότητα του παίκτη να ακούει τον εαυτό του ίσως να βοηθούσε τους παίκτες.

## 5.2 Τελικά συμπεράσματα

Το παιχνίδι που σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας παρείχε σημαντικά δεδομένα που είναι ένα καλό πρώτο βήμα για την ανάπτυξη παιχνιδιών με φωνητικές μεθόδους που θα είναι στοχευμένα για άτομα με ειδικές ανάγκες.

Τα pitch-based mechanics ήταν πιο απρόβλεπτα από τα volume-based, με τις υψηλότερες συχνότητες να είναι πιο εύκολο να αναγνωριστούν από το μικρόφωνο σε σχέση με τις χαμηλότερες. Ακόμη, οι συριστικοί ήχοι προκαλούσαν σύγχυση στους παίκτες και συχνά πραγματοποιούσαν λανθασμένες ενέργειες. Κατ' επέκταση, αν χρησιμοποιηθούν οι συγκεκριμένοι μηχανισμοί, οι συχνότητες που θα επιλέξουν οι σχεδιαστές και οι προγραμματιστές είναι υψίστης σημασίας για την ομαλή λειτουργία του παιχνιδιού.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε ήταν το θέμα της βαθμονόμησης. Το γεγονός ότι ο παίκτης καλείται να ρυθμίσει το μικρόφωνό του χωρίς κάποια αυτόματη προγενέστερη ανάθεση τιμών, σημαίνει πως οι ρυθμίσεις είναι επιρρεπείς σε σφάλματα, και ένα κακορυθμισμένο παιχνίδι προσφέρει μια αρκετά δυσάρεστη εμπειρία. Για τη σωστή λειτουργία

ενός παιχνιδιού με inputs μέσω της φωνής, είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός αυτόματου συστήματος με χειροκίνητη υποβοήθηση σε αντίθεση με ένα αμιγώς χειροκίνητο σύστημα.

Τέλος, η διστακτικότητα των παικτών να χρησιμοποιήσουν την φωνή τους φαίνεται να επιβεβαιώνει την θεωρία των Igarashi & Hughes για την αφυσικότητα της χρήσης της φωνής ως μεθόδου εισόδου.

### **5.3 Περιορισμοί, αναπάντητα ερωτήματα & πιθανές μελλοντικές έρευνες**

Ο σημαντικότερος περιορισμός της παρούσας εργασίας είναι ότι για την διευκόλυνση της εύρεσης δείγματος, η έρευνα έγινε αποκλειστικά σε άτομα με πλήρη αρτιμέλεια, και με θεωρητικά άριστη δυνατότητα στην φωνητική τους έκφραση. Επιπλέον, το συγκεκριμένο δείγμα παρουσιάζει μεγάλη ανισότητα ως προς τα φύλα. Τυχόν μελλοντικές έρευνες θα ήταν καλό να εξετάσουν τα παραπάνω θέματα με πιο ισορροπημένη αναλογία αντρών-γυναικών και feedback από τα ίδια τα άτομα με ειδικές ανάγκες.

Σε ερευνητικό επίπεδο, επειδή ένας σημαντικός παράγοντας της συλλογής δεδομένων αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι το ερωτηματολόγιο, ισχύουν οι μεθοδολογικοί περιορισμοί που ισχύουν σε κάθε έρευνα όπου έχει απαντήσεις απευθείας από το δείγμα, όπως η ύπαρξη εσφαλμένων απαντήσεων από τους συμμετέχοντες αλλά και λανθασμένες διατυπώσεις ερωτήσεων από τον συγγραφέα. (The Methodological Limitations of Survey Research - Voxco, 2022)

Σε τεχνολογικό επίπεδο, το CSV που παρήγαγε το παιχνίδι θα μπορούσε να είναι πιο περιεκτικό, με παράγοντες όπως πόσες φορές ενεργοποιήθηκε ο κάθε μηχανισμός. Επιπλέον, ενδεχομένως να είναι πιο εύκολο να αναπτυχθεί ένα τέτοιο παιχνίδι σε πλατφόρμες με ενοποιημένο και προκαθορισμένο hardware καθώς οι προγραμματιστές δεν θα χρειάζεται να προβλέπουν τις αστοχίες κάθε συνδυασμού λειτουργικού συστήματος, προγραμμάτων οδήγησης, μικροφώνου.

## 5.4 Επίλογος

Με το σημερινό hardware, η ακριβής real-time επεξεργασία σήματος δεν είναι δύσκολο εγχείρημα, και οι δυνατότητες που μπορεί να προσφέρει στον χώρο του gaming είναι πολυάριθμες. Το μικρόφωνο, παρότι δεν είναι σχεδιασμένο αμιγώς για τον έλεγχο μηχανισμών αλλά κυρίως για πολυμεσική χρήση, εξακολουθεί να αποτελεί μια απρόβλεπτη συσκευή που με το κατάλληλο τεχνικό υπόβαθρο μπορεί να αξιοποιηθεί και ως μέθοδος ελέγχου ενός βιντεοπαιχνιδιού, με διάφορες τεχνικές όπως ένταση και τονικότητα, με την κάθε τεχνική να παρουσιάζει τις δικές της ιδιαιτερότητες. Περαιτέρω έρευνα απαιτείται στο κομμάτι που αφορά αποκλειστικά την προσβασιμότητα, για την δημιουργία ενός παιχνιδιού που αξιοποιεί τους άνωθεν μηχανισμούς με δείγμα άτομα με ειδικές ανάγκες.

## Βιβλιογραφία

- 2021. Understanding FFTs and Windowing. National Instruments. Available at: <<https://download.ni.com/evaluation/pxi/Understanding%20FFTs%20and%20Windowing.pdf>> [Accessed 18 August 2022].
- Chin, W., 2015. Around 92% of people with impairments play games despite difficulties - Game accessibility. [online] Game accessibility. Available at: <<https://www.game-accessibility.com/documentation/around-92-of-people-with-impairments-play-games-despite-difficulties/>> [Accessed 6 March 2022].
- DPA Microphones. 2022. Facts about speech intelligibility: human voice frequency range. [online] Available at: <<https://www.dpamicrophones.com/mic-university/facts-about-speech-intelligibility>> [Accessed 21 August 2022].
- Feldman, B., 2019. Why Everyone Is Yelling at Their Phones for Fun. [online] Intelligencer. Available at: <<https://nymag.com/intelligencer/2019/03/what-is-scream-go-hero-and-why-is-it-popular.html>> [Accessed 6 March 2022].
- Game Accessibility Guidelines. 2022. Game accessibility guidelines | Allow controls to be remapped / reconfigured. [online] Available at: <<https://gameaccessibilityguidelines.com/allow-controls-to-be-remapped-reconfigured/>> [Accessed 20 August 2022].
- GCF Global. n.d. Computer Basics - Using Accessibility Features. [online] Available at: <<https://edu.gcfglobal.org/en/computerbasics/using-accessibility-features/1/>> [Accessed 16 August 2022].
- Henry, S., Abou-Zahra, S. and Brewer, J., 2014. The role of accessibility in a universal web. Proceedings of the 11th Web for All Conference on - W4A '14.,
- Igarashi, T. and Hughes, J., 2001. Voice as sound. Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '01.,
- Ketchapp, 2022. Scream Go Hero Screenshot (Google Play). [image] Available at: <[https://play-lh.googleusercontent.com/88LWv7visqLBGdKJnO3XySFFkI\\_CCHcyujSM](https://play-lh.googleusercontent.com/88LWv7visqLBGdKJnO3XySFFkI_CCHcyujSM)

- HCocix\_qB3KR8Stgn6WQD7jTMyhwQ=w2560-h1440-rw> [Accessed 20 August 2022].
- Lemmetty, S., 1999. Review of Speech Synthesis Technology. MSc. Helsinki University of Technology.
  - Paige, N., 2020. *Accessibility in Video Games*. [online] Medium. Available at: <<https://medium.com/@noahlandonpaige/accessibility-in-video-games-63bcb25ef79f>> [Accessed 16 August 2022].
  - Parker, J. and Heerema, J., 2008. Audio Interaction in Computer Mediated Games. International Journal of Computer Games Technology, 2008, pp.1-8.
  - Scope. 2022. *Accessibility in gaming report | Disability charity Scope UK*. [online] Available at: <<https://www.scope.org.uk/campaigns/research-policy/accessibility-in-gaming/>> [Accessed 16 August 2022].
  - Sporka, A., Kurniawan, S., Mahmud, M. and Slavík, P., 2006. Non-speech input and speech recognition for real-time control of computer games. *Proceedings of the 8th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - Assets '06*, pp.213–220.
  - Stedman, A., 2022. The Game Awards 2020: Complete Winners List. [online] Variety. Available at: <<https://variety.com/2020/digital/news/the-game-awards-winners-list-2020-1234850547/>> [Accessed 19 August 2022].
  - te Raa, K., 2021. *Can you beat Hollow Knight without using your hands?*. [video] Available at: <<https://www.youtube.com/watch?v=HwN5ttEm7nc>> [Accessed 5 March 2022].
  - Terrell, R., 2015. Space 3D. [online] Available at: <<https://tools.wwtYRO.net/space-3d/index.html>> [Accessed 19 August 2022].
  - Tobii.com. 2022. What is eye tracking? | How eye tracking works - Tobii. [online] Available at: <<https://www.tobii.com/group/about/this-is-eye-tracking/>> [Accessed 19 August 2022].
  - Voxco.com. 2022. The Methodological Limitations of Survey Research - Voxco. [online] Available at:

<<https://www.voxco.com/blog/the-methodological-limitations-of-survey-research/>>  
[Accessed 20 August 2022].

- Wadley, G., Carter, M. and Gibbs, M., 2014. Voice in Virtual Worlds: The Design, Use, and Influence of Voice Chat in Online Play. *Human–Computer Interaction*, 30(3-4), pp.336-365.
- Xbox.com. 2022. Xbox Adaptive Controller | Xbox. [online] Available at: <<https://www.xbox.com/en-US/accessories/controllers/xbox-adaptive-controller>> [Accessed 20 August 2022].

## Παραρτήματα

### Παράρτημα Α: Ερωτηματολόγιο

1. Please upload the "data.csv" file produced by the game. You can find it inside the installation folder.
2. What is your level of familiarity with video games?
3. How easy was the calibration process for your microphone?
4. Did you encounter any problems during calibration? If yes, what kind?
5. Did you have to recalibrate more than once while playing?
6. If yes, which method of recalibration did you find most useful?
7. Were any of the provided settings inadequate for calibration?
8. Did you play the tutorial before attempting the main game?
9. If yes, did you feel like it taught you everything you needed to know before playing the game?
10. How easy was it for you to move your spaceship using your voice?
11. How easy was it for you to use your (blue) shield using your voice?
12. How easy was it to engage your hyperdrive using your voice?
13. Was the game enjoyable and satisfying?
14. Would you have played and enjoyed it even without the microphone-based controls?
15. Did you play the game with the sound on?
16. If yes, how easy was it to play with the game's sound on? (Difficulties for example could be, the sound was very distracting or you had trouble concentrating)
17. Do you have any further comments on how the game could be improved?

## Παράρτημα Β: Δεδομένα από το Παιχνίδι

Αρχικά το data.csv, το αρχείο που εξήγαγε το παιχνίδι, είχε την εξής δομή:

Game Version	Time	Best Time	Microphone Name	Gain/Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
--------------	------	-----------	-----------------	------------	------------------	-----------------

Μετά από επεξεργασία των δεδομένων, αφαιρέθηκαν κάποια περιττά δεδομένα όπως το game version (εφόσον δεν υπήρξε μεταγενέστερο του version 1.0) και το μικρόφωνο που χρησιμοποιήθηκε κυρίως για debugging purposes, και προστέθηκαν άλλα όπως οι μέσοι χρόνοι.

Γενικά Δεδομένα (ανά Play Session):

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
3.17	553.38	43.19	19.48

Least Sessions	Most Sessions	Mean Sessions	Median Sessions	Mode Sessions
1	12	4.95	4	4

Γενικά Δεδομένα (από μέσους όρους ανά παίκτη):

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
7.27	215.8	48.75	30.58

**Συμμετέχων 1:**

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	7.27	10	0.2	0
2	30.58	10	0.2	0
3	7.78	5.09	0.02	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
7.27	30.58	15.21	7.78

**Συμμετέχων 2:**

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	15.96	10	0.2	0
2	15.16	10	0.2	0
3	63.27	10	0.2	0
4	45.17	10	0.2	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
15.16	63.27	34.89	30.56

**Συμμετέχων 3:**

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	32.8	17.54	0.17	0
2	61.23	17.54	0.17	0
3	553.38	17.54	0.17	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
32.8	553.38	215.80	61.23

Χρήση Φωνητικών Μεθόδων ως Είσοδο στα Βιντεοπαιχνίδια για Σκοπούς Προσβασιμότητας

**Συμμετέχων 4:**

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	50.21	5.36	0.13	0
2	36.42	5.36	0.13	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
36.42	50.21	43.31	43.31

**Συμμετέχων 5:**

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	31.09	50	1	0.01
2	26.71	50	1	0.01
3	6.8	50	1	0.01
4	71.51	50	1	0.01
5	9.07	50	1	0
6	14.04	50	1	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
6.8	71.51	26.53	20.37

Χρήση Φωνητικών Μεθόδων ως Είσοδο στα Βιντεοπαιχνίδια για Σκοπούς Προσβασιμότητας

### Συμμετέχων 6:

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	9.38	11.96	0.24	0
2	10.24	11.96	0.24	0
3	9.96	11.96	0.24	0
4	29.29	11.96	0.24	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
9.38	29.29	14.71	10.10

### Συμμετέχων 7:

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	7.52	5	0.08	0
2	6.5	5	0.08	0
3	17.46	5	0.08	0
4	5.39	5	0.08	0
5	18.27	5	0.08	0
6	56.06	5	0.08	0
7	15.14	5	0.08	0
8	29.34	5	0.08	0
9	114.13	5	0.08	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
5.39	114.13	29.97	17.46

**Συμμετέχων 8:**

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	27.87	10.36	0.2	0
2	49.01	10.36	0.2	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
27.87	49.01	38.44	38.44

**Συμμετέχων 9:**

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	7.67	26.16	1	0
2	21.98	26.16	1	0
3	19.87	26.16	1	0
4	38.08	26.16	1	0
5	157.29	32.09	0.21	0
6	82.97	18.71	0.21	0
7	22.94	18.71	0.21	0
8	7.41	18.71	0.21	0
9	14.98	18.71	0.21	0
10	44.63	23.79	0.21	0
11	273.22	23.79	0.21	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
7.41	273.22	62.82	22.94

**Συμμετέχων 10:**

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	27.66	10	0.2	0
2	12.71	10	0.2	0
3	7.33	10	0.2	0
4	15.47	18.13	0.55	0
5	35.13	18.13	0.55	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
7.33	35.13	19.66	15.47

**Συμμετέχων 11:**

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	18.85	5.89	0.19	0
2	140.64	5.89	0.19	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
18.85	140.64	79.74	79.74

**Συμμετέχων 12:**

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	19.1	10	0.06	0
2	21.55	10	0.06	0
3	417.01	10	0.06	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
19.1	417.01	152.55	21.55

Χρήση Φωνητικών Μεθόδων ως Είσοδο στα Βιντεοπαιχνίδια για Σκοπούς Προσβασιμότητας

### Συμμετέχων 13:

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	47	25.44	0.2	0
2	88.61	25.44	0.2	0
3	3.35	25.44	0.2	0
4	250	25.44	0.2	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
3.35	250	97.24	67.80

### Συμμετέχων 14:

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	13.85	5.89	0.19	0
2	6.22	5.89	0.19	0
3	20.42	5.89	0.19	0
4	66.67	18.48	0.19	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
6.22	66.67	26.79	17.13

### Συμμετέχων 15:

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	91.85	11.45	0.21	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
91.85	91.85	91.85	91.85

Χρήση Φωνητικών Μεθόδων ως Είσοδο στα Βιντεοπαιχνίδια για Σκοπούς Προσβασιμότητας

**Συμμετέχων 16:**

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	4.33	39.87	0.1	0
2	34.75	39.87	0.1	0
3	39.33	39.87	0.1	0
4	73.22	39.87	0.1	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
4.33	73.22	37.90	37.04

**Συμμετέχων 17:**

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	74.53	10.51	0.2	0
2	11.08	10.51	0.2	0
3	5.43	10.51	0.2	0
4	20.11	10.51	0.2	0
5	5.92	10.51	0.2	0
6	48.07	10.51	0.2	0
7	13.87	10.51	0.2	0
8	79.24	10.51	0.2	0
9	18.35	10.51	0.2	0
10	98.62	10.51	0.2	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
5.92	98.62	37.52	19.23

**Συμμετέχων 18:**

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	6.06	39.87	0.1	0
2	8.89	39.87	0.1	0
3	3.17	39.87	0.1	0
4	15.52	39.87	0.1	0
5	15.95	39.87	0.1	0
6	9.32	39.87	0.1	0
7	14.01	39.87	0.1	0
8	38.05	39.87	0.1	0
9	6.69	39.87	0.1	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
3.17	38.05	13.07	9.32

**Συμμετέχων 19:**

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	13.63	10	0.2	0
2	18.48	10	0.2	0
3	24.98	10	0.2	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
13.63	24.98	19.03	18.48

**Συμμετέχων 20:**

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	32.47	9.75	0.2	0
2	7.5	9.75	0.2	0
3	61.18	9.75	0.2	0
4	30.51	9.75	0.2	0
5	8.83	9.75	0.2	0
6	42.18	9.75	0.2	0
7	9.11	9.75	0.2	0
8	4.8	9.75	0.2	0
9	7.02	9.75	0.2	0
10	40.06	9.75	0.2	0
11	5.78	9.75	0.2	0
12	12.66	9.75	0.2	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
4.8	61.18	21.84	10.88

**Συμμετέχων 21:**

Play Session	Time	Gain / Boost	Volume Threshold	Pitch Threshold
1	12.22	10	0.05	0
2	11.18	10	0.05	0
3	26.9	10	0.05	0

Minimum Time	Maximum Time	Mean Time	Median Time
11.18	26.9	16.76	12.22