



UNIUNEA EUROPEANĂ



Instrumente Structurale
2014-2020

PROGRAMUL OPERATIONAL CAPITAL UMAN 2014-2020

Sprijin pentru doctoranzi și cercetători postdoctorat

Dezvoltarea competențelor de antreprenoriat ale doctoranzilor și postdoctoranzilor – cheia a
succesului în carieră

A-SUCCES

Axa Prioritară 6- Educație și competențe

Cod MySMIS: 125125

**Universitatea Națională de Știință și Tehnologie
POLITEHNICA București**

Școala doctorală de Automatică și Calculatoare

TEZĂ DE DOCTORAT

**Innovative gamification techniques based on sound for the training and
entertainment of visually impaired people**

**Tehnici inovative de gamificare bazate pe sunet pentru antrenarea și
divertismentul nevăzătorilor**

Autor: Ing. Silviu-Nicolae IVAȘCU

Conducător de doctorat: Prof. Dr. Ing. Florica MOLDOVEANU

DOCTORAL COMMITTEE

Președinte	Prof. dr. ing. Dan Popescu	De la	UNȘT POLITEHNICA București
Conducător de doctorat	Prof. dr. ing. Florica Moldoveanu	De la	UNȘT POLITEHNICA București
Referent	Prof. dr. ing. Vasile-Ion Manta	De la	Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași
Referent	Prof. dr. ing. Costin Bădică		Universitatea din Craiova
Referent	Conf. dr. inf. Florina-Oana Mitruț	De la	UNȘT POLITEHNICA București

București, 2023



Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Capital Uman

Cuprins

Listă figuri.....	5
Listă tabele	7
Mulțumiri	8
Sinopsis	9
Abstract	10
1. Introducere.....	11
1.1 Context și motivație	11
1.2 Obiective	13
1.3 Publicațiile autorului.....	13
1.4 Proiecte și premii	14
1.5 Structura tezei	15
2. Deficiențe de vedere.....	15
3. Stadiul curent al cercetării în domeniul tezei	21
3.1 Soluții pentru persoanele cu deficiență de vedere aplicate în jocurile video	21
3.2 Soluții software și hardware dedicate persoanelor cu deficiențe de vedere.....	24
3.2.1 VoiceOver	26
3.2.2 Sound of Vision	27
3.2.3 Accesibilitatea ecranelor tactile.....	27
3.2.4 Access overlays	29
3.3 Jocuri pentru nevăzători	33
3.3.1 Cercetarea în domeniul jocurilor pe calculator pentru nevăzători.....	33
3.3.2 Jocuri recreative.....	35
3.3.3 Jocuri serioase.....	44
3.4 Modele de sonificare, concepte de design al sunetului și metode de înregistrare a sunetului.....	50
3.4.1 Modele de sonificare discrete (iterative).....	51
3.4.2 Modele de sonificare continue.....	53
3.4.3 Indicatori sonori adiționali modelelor de sonificare	54
3.4.4 Concepte și tehnici de design al sunetului	55
3.4.5 Metode de înregistrare a sunetului.....	64
4. Contribuțiile autorului în cadrul proiectului Sound Of Vision.....	68
4.1 Dispozitivul Sound of Vision	68

4.2	Mediul virtual de antrenament.....	68
4.3	Program de antrenare bazat pe mediul virtual	74
5.	Joc de orientare și mobilitate bazat pe stimuli audio	76
5.1	Descrierea cerințelor jocului.....	76
5.2	Proiectarea Jocului	77
5.2.1	Cerințele tehnice	77
5.2.2	Fluxul global al controlului	79
5.3	Implementarea jocului.....	80
5.3.1	Concepția scenelor.....	80
5.3.2	Interacțiunea cu utilizatorul	81
5.3.3	Modul de învățare	83
5.3.4	Modul de joc (Gameplay).....	83
5.3.5	Sonificarea și tehnicile folosite	83
5.4	Sistemul de achiziție a datelor statistice.....	88
5.5	Evaluarea jocului cu utilizatori.....	93
5.5.1	Evaluarea progresului utilizatorilor pe baza datelor statistice colectate in timpul utilizării jocului	94
5.5.2	Îmbunătățirea jocului pe baza datelor statistice.....	95
5.5.3	Feedback-ul folosind chestionare	97
6.	Joc colaborativ de divertisment pentru nevăzători	106
6.1	Descrierea cerințelor jocului.....	106
6.2	Povestea jocului	107
6.3	Implementarea jocului.....	108
6.3.1	Concepția scenelor.....	108
6.3.2	Modul de învățare	109
6.3.3	Modul de joc (Gameplay)	110
6.3.4	Modul multiplayer	110
6.3.5	Testarea modului multiplayer	113
6.3.6	Modelul de sonificare	114
6.3.7	Tehnici de design sonic folosite	119
6.4	Evaluarea jocului cu utilizatori.....	127
6.4.1	Evaluarea jocului cu utilizatori legați la ochi	128
6.4.2	Evaluarea jocului cu utilizatorul nevăzător	132

6.5	Abilitățile pe care jocul le poate dezvolta utilizatorului	134
7.	Concluzii și cercetări viitoare	135
7.1	Contribuții originale.....	135
7.2	Cercetări viitoare.....	135
	Bibliografie	137
	Acronime.....	148
	Anexe	149
	Anexa 1 – Chestionar selectie utilizatori (inainte de joc).....	149
	Anexa 2 – Chestionar Joc de orientare și mobilitate bazat pe stimuli audio	153
	Anexa 3 – Chestionar Joc colaborativ de divertisment pentru nevăzători – Teste utilizatori legați la ochi.....	158
	Anexa 4 – Chestionar Joc colaborativ de divertisment pentru nevăzători – Teste nevăzător	

Listă figuri

<i>Figura 1 Formarea imaginii pe retină [8].....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2 Cele trei tipuri de ochi [8].....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3 Mod normal de afișare în jocul Overwatch</i>	<i>22</i>
<i>Figura 4 Mod specific de afișare în jocul Overwatch pentru persoane cu daltonism.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 5 Selectarea schemei de culori pentru daltoniști în funcție de tipul daltonismului.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 6 Selectarea culorii și texturii în jocul Auralux.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 7 Wearable Virtual White Cane [25]</i>	<i>26</i>
<i>Figura 8 Access overlays permit unui utilizator nevăzător să localizeze cu precizie locații pe o hartă a ecranului tactil 2-D. [49].....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 9 Edge Projection.Țintele sunt proiectate la marginea ecranului. Liniile ilustrează corespondența dintre margine și ținta asociată acestuia[49]......</i>	<i>30</i>
<i>Figura 10 Neighborhood browsing folosește o teselație Voronoi pentru a crește dimensiunea țintei. Aliasarea regiunilor este un artefact vizual și nu a afectat funcționalitatea[49]......</i>	<i>31</i>
<i>Figura 11 Distribuția bibliografiei în timp. Evoluția numărului de articole publicate în acest domeniu în funcție de an și categorie.[54].....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 12 Primul caz de poziționare spațială (stânga). Ilustrarea cazurilor 2 și 3 a poziționării spațiale a sunetelor (dreapta).....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 13 Interfața vizuală cu utilizatorul jocului Tic-Tac-Toe</i>	<i>38</i>
<i>Figura 14 Interfața grafică a X-tune</i>	<i>41</i>
<i>Figura 15 Vocabularul sonic triumfiular.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 16 Modulele senzoriale.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 17 Compresie audio.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 18 Modulul software(stânga) emulează compresorul audio hardware (dreapta)</i>	<i>56</i>
<i>Figura 19 Egalizatorul Solid EQ.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 20 Egalizatorul implicit Ableton</i>	<i>57</i>
<i>Figura 21 Saturator Native Instruments Driver (stânga) și Saturator Ableton (dreapta).....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 22 Reverb convoluțional Ableton</i>	<i>58</i>
<i>Figura 23 Sintetizator Moog</i>	<i>59</i>
<i>Figura 24 Forme de undă sinusoidală.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 25 Sintetizator Vital.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 26 Modele de captare a sunetului</i>	<i>64</i>
<i>Figura 27 Orientare microfoane pentru tehnica M/S.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 28 Orientare virtuală a 4 microfoane pentru tehnica ambisonică de înregistrare.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 29 Utilizarea mediului virtual de antrenament.</i>	<i>69</i>
<i>Figura 30 Scenă cu un singur atribut pentru învățarea lățimii unui obiect îngust.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 31 Scenă cu un singur atribut pentru învățarea lățimii unui obiect lat</i>	<i>71</i>
<i>Figura 32 Scenă cu attribute aleatoare</i>	<i>71</i>
<i>Figura 33 Scenă complexă</i>	<i>72</i>
<i>Figura 34 Scenă slalom.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 35 Scenă pickup.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 36 Componente necesare utilizării aplicației (Versiunea Android).....</i>	<i>78</i>

<i>Figura 37 Fluxul global al controlului în joc.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 38 Exemple scene joc.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 39 Controlul vehiculului virtual în varianta inițială a aplicației</i>	<i>81</i>
<i>Figura 40 Modelul de control al vehiculului virtual in versiunea finala a jocului</i>	<i>82</i>
<i>Figura 41 Exemple forme de undă.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 42 Structura bazei de date folosite pentru sistemul de achiziție al datelor statistice .</i>	<i>90</i>
<i>Figura 43 Script Php pentru adăugarea unui punct de traiectorie în baza de date.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 44 Funcția C# pentru adăugarea punctelor traiectoriei utilizatorului în baza de date</i>	<i>91</i>
<i>Figura 45 Adăugarea punctelor traiectoriei utilizatorului</i>	<i>92</i>
<i>Figura 46 Traiectorie utilizator înainte (sus) și după (jos) repararea scenei cu probleme ...</i>	<i>96</i>
<i>Figura 47 Explicarea problemei din scenă</i>	<i>97</i>
<i>Figura 48 Rezultate experiență tehnologie</i>	<i>98</i>
<i>Figura 49 Rezultate utilizare telefon mobil.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 50 Rezultate utilizare calculator</i>	<i>98</i>
<i>Figura 51 Rezultate utilizare aplicatii navigare mobile</i>	<i>99</i>
<i>Figura 52 Rezultate experiență jocuri video</i>	<i>99</i>
<i>Figura 53 Rezultate jocuri telefon mobil</i>	<i>99</i>
<i>Figura 54 Rezultate jocuri pe calculator</i>	<i>100</i>
<i>Figura 55 Rezultate utilizare dispozitive.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 56 Rezultate mod control vehicul virtual.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 57 Rezultate sunete deranjante</i>	<i>102</i>
<i>Figura 58 Rezultate utilitate sunete</i>	<i>102</i>
<i>Figura 59 Rezultate utilitate model sonificare</i>	<i>103</i>
<i>Figura 60 Rezultate dificultate scene antrenament</i>	<i>104</i>
<i>Figura 61 Rezultate dificultate scene joc</i>	<i>104</i>
<i>Figura 62 Exemplu de scenă din joc.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 63 Butoane gamepad</i>	<i>110</i>
<i>Figura 64 Poartă și buton</i>	<i>111</i>
<i>Figura 65 Comportament poartă cu un singur jucător</i>	<i>111</i>
<i>Figura 66 Comportament poartă cu doi jucători</i>	<i>112</i>
<i>Figura 67 Exemplu utilizare poartă și buton</i>	<i>112</i>
<i>Figura 68 Problemă sonificare obstacol cu o singură rază.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 69 Sonificare obstacol cu con adaptiv.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 70 Redarea sunetelor vehiculului în funcția Update.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 71 Microfon Zoom tip shotgun.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 72 Exemplu de prelucrare a vocii</i>	<i>122</i>
<i>Figura 73 Structura obiectelor Conversation si VOLine.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 74 Microfon ambisonic (stânga), poziționarea tetraedrică a microfoanelor (dreapta)</i>	<i>125</i>
<i>Figura 75 Cele 4 canale audio din Audacity (sus) prelucrate în Ableton ca 4 semnale mono (Jos).....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 76 Headerul fișierului .wav al unei înregistrări ambisonice Zoom</i>	<i>127</i>

<i>Figura 77 Rezultate calitate sunete</i>	128
<i>Figura 78 Rezultate rotire cap telefon mobil</i>	129
<i>Figura 79 Rezultate frecvență utilizare frână</i>	129
<i>Figura 80 Rezultate modificare altitudine</i>	130
<i>Figura 81 Rezultate utilitate model sonificare utilizatori legați la ochi.....</i>	130
<i>Figura 82 Rezultate dificultate scene antrenament</i>	131
<i>Figura 83 Rezultate dificultate scene joc</i>	131
<i>Figura 84 Rezultate sonificare nevăzător</i>	133

Listă tabele

Tabelul 1 Scheme de culori pentru deficitul de vedere	20
Tabelul 2 Numărul de lucrări din fiecare categorie	33
Tabelul 3 Date statistice pentru utilizatorul 2.....	94
Tabelul 4 Modelul de sonificare al scenei.....	114
Tabelul 5 Conținut fișier CSV redare fișiere audio replici.....	123

Mulțumiri

În primul rând, doresc să îmi exprim recunoștința față de doamna profesor Dr. Ing. Florica Moldoveanu, coordonatoarea acestei lucrări, pentru dedicarea, sprijinul și atenția acordată fiecărui detaliu al acestei teze. Nu aș fi putut realiza această cercetare fără sprijinul dumneaei atât din punct de vedere profesional cât și moral.

În al doilea rând, aș dori să mulțumesc și celorlalți membri ai comisiei de îndrumare care m-au ajutat de fiecare dată când a fost nevoie: Anca Morar, Alin Moldoveanu și Victor Asavei.

În final aș dori să mulțumesc familiei mele, cei care mi-au dat o educație, m-au susținut și cei care sunt convins că mă vor susține în continuare: Ovidiu, Maria și Alina.

Rezultatele prezentate în această lucrare au fost obținute cu sprijinul Ministerului Fondurilor Europene prin Programul Operațional Capital Uman, Contract nr. 51675/09.07.2019, cod SMIS 125125.

Sinopsis

Teza prezintă rezultatele cercetării efectuate de autor în domeniul soluțiilor informatice dedicate persoanelor nevăzătoare, având ca scop antrenarea sau divertismentul acestora în medii virtuale, pe baza substituției senzoriale. Soluțiile dezvoltate de autor și prezentate în capitolele 5 și 6 ale tezei se bazează pe înlocuirea simțului vizual pentru orientarea în mediile virtuale cu simțul auditiv. De aceea, principalele contribuții ale tezei sunt cele privind concepția și redarea sunetelor.

Capitolul dedicat stadiului curent al cercetării (capitolul 3) conține o sinteză a unui număr mare de lucrări selectate din baze de date cunoscute - Scopus, IEEE Xplore și SpringerLink. Sunt prezentate diverse soluții folosite în jocurile pe calculator sau pe dispozitive mobile care se adresează persoanelor cu diferite deficiențe de vedere, soluții software și hardware dedicate creșterii accesibilității persoanelor cu deficiențe de vedere sau ghidării acestora. Tot în capitolul 3 se prezintă o evoluție a cercetării în domeniul jocurilor pe calculator pentru nevăzători, jocuri recreative și jocuri serioase descrise în lucrările selectate, precum și modele de sonificare, principii de design sonic și metode de înregistrare a sunetului.

În capitolul 4 sunt conturate contribuțiile aduse de autor în cadrul proiectului Sound of Vision, mai precis Mediului Virtual de Antrenament.

În continuare sunt prezentate cele 2 jocuri dezvoltate de autor: jocul de orientare și mobilitate bazat pe stimuli audio și jocul colaborativ de divertisment destinat nevăzătorilor. Pentru fiecare sunt descrise cerințele, concepția, echipamentele necesare, implementarea, strategiile de sonificare aplicate, și evaluarea jocului cu utilizatori.

În încheiere, teza sumarizează contribuțiile originale aduse domeniului și conturează direcțiile viitoare ale cercetării.

Abstract

The thesis presents the results of the author's research in the field of information solutions dedicated to visually impaired individuals, with the aim of training or entertaining them in virtual environments through sensory substitution. The solutions developed by the author and presented in chapters 5 and 6 of the thesis are based on replacing the visual sense for orientation with the auditory sense in virtual environments. Therefore, the main contributions of the thesis are related to the conception and rendering of sounds.

The chapter dedicated to the current state of research (chapter 3) contains a synthesis of a large number of selected works from well-known databases - Scopus, IEEE Xplore, and SpringerLink. Various solutions used in computer games or on mobile devices targeting individuals with various visual impairments, software and hardware solutions dedicated to increasing accessibility for people with visual impairments, or guiding them, are presented. Chapter 3 also presents the evolution of research in the field of computer games for the visually impaired, recreational games, and serious games described in the selected works, as well as models of sonification, sound design principles, and methods of sound recording.

Chapter 4 outlines the contributions made by the author within the Sound of Vision project, specifically the Virtual Training Environment.

Next, the thesis presents the two games developed by the author: the orientation and mobility game based on audio stimuli and the collaborative entertainment game designed for the visually impaired. For each game, the requirements, conception, necessary equipment, implementation, applied sonification strategies, and user evaluations of the game are described.

In conclusion, the thesis summarizes the original contributions to the field and outlines future directions for research.

1. Introducere

1.1 Context și motivație

Conform raportului efectuat de Organizația Mondială a Sănătății în 2019 [1], există 2.2 miliarde de oameni care au probleme de vedere (inclusiv miopie, hipermetropie sau astigmatism). Dintre aceștia există cel puțin un miliard care prezintă un deficit de vedere care ar fi putut să fie prevenit sau care poate fi tratat folosind tehnici de reabilitare. La nivel global există peste 200 de milioane de persoane care suferă de o deficiență gravă de vedere sau chiar de orbire.

În ciuda succeselor moderate în reducerea deficiențelor de vedere rezultate din boli, numărul total de VIP (visually impaired person) este, de fapt, în creștere. Motivul este dublu: nou-născuții cu tot felul de dizabilități, inclusiv vizuale, sunt salvați de la moarte; speranța de viață este în creștere - cu o populație în vârstă în creștere în multe țări, mai multe persoane devin expuse riscului de deficiență vizuală legată de vârstă. Statisticile europene [2] sunt alarmante: peste 30 de milioane de europeni suferă de handicapuri vizuale (2,5 milioane fiind declarate legal nevăzători), 1 din 30 europeni au pierderi de vedere, iar numărul persoanelor cu pierdere parțială de vedere este de patru ori mai mare decât numărul nevăzătorilor. Pierderea de vedere este în strânsă legătură cu înaintarea în vârstă. Unul din trei cetățeni seniori cu vârstă peste 65 de ani au pierderi de vedere iar 90% din persoanele cu deficiențe de vedere depășesc această vârstă. Astfel, persoanele cu deficiențe de vedere din Europa formează al doilea grup mare de persoane cu handicap, după persoanele cu handicap fizic.

Organizația Mondială a Sănătății clasifică funcțiile vizuale în câteva categorii distincte: vedere normală, vedere scăzută (deficiențe de vedere moderate sau severe) și orbire. Cauzele deficiențelor de vedere sunt diverse, inclusiv erori de refracție, cataractă, glaucom [3].

În ultimii 30 de ani, datorită numărului mare de studii de cercetare, reabilitarea și asistarea persoanelor nevăzătoare a cunoscut un progres considerabil. Simțul văzului, fiind cel mai important dintre simțurile noastre, îndeplinește un rol deosebit în viețile noastre. Din punct de vedere social, fără acest simț, interacțiunile interpersonale nu includ stimuli non-verbali cum ar fi expresii faciale și gesturi. Dacă acest deficit apare timpuriu, pentru oamenii aflați în această conjunctură, impactul formativ este mai mare datorită diversității reduse a materialelor și metodelor educative. Acest lucru determină dezvoltarea limitată a abilităților sociale, stimă de sine scăzută și perturbații în bunăstarea lor.

Văzul are, de asemenea, un rol deosebit în activități sociale și sportive esențiale pentru sănătatea fizică și mentală, pentru socializare și formarea caracterului.

În cazul multor adulți simțul vizual ajută la intrarea în câmpul muncii și contribuția la economie. Multe activități la locul de muncă nu se pot desfășura fără acest simț. Aceste activități contribuie la dezvoltarea individului, independența sa și contactul social, menținând bunăstarea sa, prin urmare, contribuind la bunăstarea societății.

Conform euroblind.org, rata șomajului persoanelor cu deficiențe de vedere este critică, chiar și în țările dezvoltate: peste 75%. Există mai multe femei nevăzătoare care nu lucrează iar femeile au un risc mai mare de a deveni nevăzătoare decât bărbații.

Stimulii vizuali sunt foarte importanți și în dezvoltarea copilului, deoarece trezesc curiozitatea acestuia de a explora în continuare prin ascultare, atingere și degustare. Deficiențele de vedere privează copiii să obțină astfel de stimuli. Copiii cu această dizabilitate au nevoie de o educație adecvată, pe măsura cerințelor speciale. Aceasta înseamnă că deficiența de vedere poate necesita materiale în format alternativ, cum ar fi Braille sau imprimarea mărită, ori echipamente adaptive, ca dispozitivele hardware de mărire sau soluții software accesibile. Pe lângă materialele de specialitate și curriculumul obișnuit, nevăzătorii trebuie să dobândească abilități specifice stării lor, cum ar fi lectura Braille, utilizarea unor tehnologii adaptate, abilități de orientare și mobilitate.

Orientarea și mobilitatea pot fi definite ca fiind capacitatea de a se mișca independent, în siguranță și eficient dintr-un loc în altul. Acest lucru se traduce adesea prin capacitatea de a fi independent, de a traversa strada, de a folosi transportul în comun, de a se deplasa de acasă la serviciu, etc. În timpul școlii, elevii cu deficiențe de vedere trebuie să-și dezvolte conceptele și abilitățile ce fac ca obiectivele menționate mai sus să fie atinse la maturitate, făcând astfel posibilă o viață activă și independentă.

După cum menționează Dela Torre și Khaliq în lucrarea lor [4], jocurile de obicei nu sunt accesibile comunității nevăzătorilor. Anumite tehnici prezentate în lucrarea acestora cum ar fi navigarea auditivă, sunetul binaural și tehnici de sonificare au fost studiate și prezentate în cadrul acestei teze.

Odată cu trecerea timpului tehnologia a căpătat un ritm tot mai alert al evoluției, îmbrăcând diverse forme și fiind indispensabilă activităților noastre. Această evoluție a simplificat diverse procese și a îmbunătățit mult domenii de activitate, unele dezvoltându-se chiar prin prisma tehnologiei. Dacă ar fi să analizăm situația din prezent, cel mai probabil am spune că nimic nu mai este ușor de realizat în lipsa tehnologiei. Dacă am descrie evoluția domeniului realității virtuale și augmentate, am putea spune că acesta a simplificat și inovat activitatea multor domenii, precum arhitectura, medicina, educația și multe altele.

Antrenarea nevăzătorilor se poate realiza în diverse medii virtuale [5]. Acest lucru este posibil prin substituția senzorială, însemnând înlocuirea unuia dintre cele 7 simțuri cu un altul. Dacă lipsește simțul vizual pentru orientarea în mediile virtuale, acesta poate fi înlocuit cu simțul auditiv, fiind antrenat cu ajutorul tehnicilor folosite în sound design. Chiar dacă acest lucru părea imposibil, deoarece nevăzătorii nu reușeau să utilizeze tehnologia la nivelul maxim de eficiență, acest lucru s-a schimbat, cercetătorii folosind resursele și pentru îndeplinirea acestui scop. Chiar dacă realizarea activităților pentru relaxare, precum jocurile video, nu erau accesibile acestei categorii de oameni, acest aspect se poate schimba cu ajutorul substituției senzoriale. Poate suna ireal, dar un nevăzător, cu ajutorul acestei tehnologii, poate simți experiența unui joc pe calculator și multe altele.

În 2018 Ministrul Muncii afirma că în România sunt 95.889 de persoane nevăzătoare, din care 2.770 sunt copii [6]. Această statistică ne arată că există un procent destul de mare de persoane care ar putea beneficia și ar putea fi ajutate de aplicațiile de realitate virtuală. Un exemplu ar fi mediile virtuale pentru antrenarea nevăzătorilor în folosirea dispozitivului de substituție senzorială din proiectul Sound of Vision [7]. De asemenea, această tehnologie poate fi folosită și cu scop de divertisment pentru a crește stima de sine a nevăzătorilor sau pentru o mai bună integrare din punct de vedere social a acestora prin stimularea conversațiilor cu persoanele fără acest deficit.

În ceea ce privește procentul reprezentat de copiii nevăzători, acestora le-ar putea fi simplificat modul de predare prin intermediul tehnologiei avansate și nu în ultimul rând, ar putea fi simplificat și procesul de integrare în sistemul de învățământ.

Toate aceste aspecte sunt importante pentru societatea în care trăim, necesitând folosirea tuturor resurselor de care dispunem și utilizarea la nivel maxim a beneficiilor oferite de evoluția tehnologiei pentru atingerea obiectivelor propuse.

1.2 Obiective

Principalele obiective propuse pentru cercetare au în vedere următoarele aspecte:

- Înțelegerea nevoilor persoanelor nevăzătoare în ce privește divertismentul, educația, antrenarea pentru navigare și antrenarea copiilor pentru localizarea sunetelor
- Dezvoltarea de unelte intuitive de interacțiune cu utilizatorii nevăzători
- Sonificare inovativă
- Realizarea de jocuri pentru nevăzători
- Testarea și îmbunătățirea jocurilor

1.3 Publicațiile autorului

1. Silviu Ivascu; Florica Moldoveanu; Alin Moldoveanu; Anca Morar; Ana-Maria Tugulea; Victor Asavei, *Flying a Quadcopter—An Audio Entertainment and Training Game for the Visually Impaired*, *Applied Sciences-Basel* (Q2) 2023, Volume 13, Issue 11, 6769, WOS:001005011000001.
2. Silviu Ivascu, Alin Moldoveanu, Florica Moldoveanu, Anca Morar, Victor Asavei, Cristian Lambriu, Ana-Maria Tugulea. *Virtual Reality game for training the visually impaired in sensory substitution*. University Politehnica Of Bucharest Scientific Bulletin U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 84, Iss. 2, 2022, pp.15-30, WOS:000805648400028
3. Cristian LAMBRU, Anca MORAR, Florica MOLDOVEANU, Victor ASAVEI, Silviu IVAȘCU. *Hybrid global illumination: a novel approach combining screen and light*

- space information*. University Politehnica of Bucharest Scientific Bulletin Series C-Electrical Engineering and Computer Science 83.2 (2021): 3-20, WOS:000692193500001
4. A. Prazaru, O. Balan, A. Moldoveanu, F. Moldoveanu, A. Morar, S. Ivascu. *Overview On Visually Impaired Gamers And Game Accessibility*, EDULEARN20 Proceedings Pages: 5491-5501, 2020 ISBN: 978-84-09-17979-4, ISSN: 2340-1117. doi: 10.21125/edulearn.2020.1439
 5. Oana Bălan, Ștefania Cristea, Gabriela Moise, Livia Petrescu, Silviu Ivașcu, Alin Moldoveanu, Florica Moldoveanu, Marius Leordeanu. *eTher – An Assistive Virtual Agent for Acrophobia Therapy in Virtual Reality*. HCI International 2020 – Late Breaking Papers: Virtual and Augmented Reality 2020 | Book chapter. DOI: 10.1007/978-3-030-59990-4_2
 6. IVASCU Silviu, MOLDOVEANU Alin, MOLDOVEANU Florica, MORAR Anca, BALAN Oana. *Virtual Interaction for Visually Impaired and Sighted People*. eLearning & Software for Education. 2019, Vol. 1, p209-214. 6p. The 15th International Scientific Conference eLearning and Software for Education Bucharest, April 11-12, 2019. DOI: 10.12753/2066-026X-19-028. WOS: 000473322400028
 7. Silviu Ivascu, Alin Moldoveanu, Florica Moldoveanu, Maria-Iuliana Dascalu. *Virtual training and testing environments for visually impaired people*. Revista Romana de Interactiune Om-Calculator 10 (2) 2017, 89-104
 8. Alin Dragos Bogdan Moldoveanu, Silviu Ivascu, Iulia Stanica , Maria-Iuliana Dascalu, Robert Lupu, Gabriel Ivanica, Oana Balan, Simona Caraiman, Florina Ungureanu, Florica Moldoveanu, Anca Morar. *Mastering an Advanced Sensory Substitution Device for Visually Impaired through Innovative Virtual Training*. 2017 IEEE 7th International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin) 2017-09. DOI: 10.1109/ICCE-Berlin.2017.8210608, WOS:000425845400037
 9. Oana Bălan, Alin Moldoveanu, Florica Moldoveanu, Anca Morar, and Silviu Ivașcu. *Perceptual Feedback Training for Improving Spatial Acuity and Resolving Front-Back Confusion Errors in Virtual Auditory Environments*. 2017 40th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP). 2017-07 | Journal article DOI: 10.1109/tsp.2017.8075999 ISBN: 9781509039821, WOS:000425229000073

1.4 Proiecte și premii

Proiecte:

- Membru în echipa de dezvoltare a proiectului internațional Sound of Vision, pentru facilitarea deplasării și orientării persoanelor nevăzătoare (Sound of Vision - Horizon 2020) – Responsabil medii virtuale pentru antrenarea nevăzătorilor (VTE – Virtual Training Environments).

- Lead Sound Designer și Sound Programmer în proiectul *Open Country*, în colaborare cu companiile de dezvoltare de jocuri video FunLabs și 505 Games.
- Lead Sound Designer și Sound Programmer în proiectul *Nerf Legends*, în colaborare cu companiile de dezvoltare de jocuri video FunLabs, Game Mill și Game Can.

Premii:

- Proiectul „Sound of Vision” a primit premiul “Tech for Society” Award la Imagine Digital - Connect Europe 2018;

1.5 Structura tezei

Teza este structurată în 7 capitole și prezintă două aplicații originale de realitate virtuală (jocuri) destinate nevăzătorilor (capitolele 5 și 6) precum și tehnici noi de sonificare și tehnici de design sonic. Capitolul 1 prezintă motivația și obiectivele cercetării în contextul actual, precum și publicațiile științifice ale autorului. Capitolul 2 este un studiu al deficiențelor de vedere des întâlnite. Capitolul 3 prezintă atât soluții existente pentru tratarea deficiențelor specificate în Capitolul 2, cât și soluții software și hardware destinate nevăzătorilor. De asemenea, Capitolul 3.3 include un studiu al jocurilor pentru nevăzători, organizat după scopul principal al acestora: Jocuri recreative - 3.3.2 și Jocuri serioase - 3.3.3. În subcapitolul 3.4 se prezintă modele de sonificare existente, cu precădere cele implementate în sistemul Sound of Vision, metode și concepte de design al sunetului folosite în industria jocurilor video și în industria cinematografică, precum și metode de înregistrare a sunetelor. Capitolul 4 conține contribuțiile autorului în cadrul proiectului Sound of Vision. În capitolele 5 și 6 sunt descrise cele 2 jocuri dezvoltate de autor, dedicate persoanelor cu deficiențe de vedere, care permit antrenarea acestora prin divertisment pentru orientare și mobilitate cu ajutorul stimulilor auditivi. Subcapitolele 5.5 și 6.4 conțin evaluările celor două jocuri, rezultatele testelor, o scurtă interpretare a acestor rezultate și cum au condus la îmbunătățirea diferitelor aspecte ale celor 2 aplicații. În ultimul capitol al tezei se prezintă concluziile, evidențiindu-se atât contribuțiile teoretice și practice originale, cât și posibile îmbunătățiri viitoare ale celor 2 jocuri dezvoltate de autor și descrise în cadrul tezei.

2. Deficiențe de vedere

Rolul principal al sistemului vizual este detectarea luminii, formei și culorii obiectelor din mediul înconjurător. Pentru a putea fi percepută ca imagine, stimulul vizual trece prin mai multe medii: o *cameră obscură*, respectiv camera posterioară a globului ocular, un *sistem de lentile*, respectiv aparatul dioptric al ochiului și o *suprafață fotosensibilă*, reprezentată de stratul celulelor cu conuri și bastonașe din retină, unde se desfășoară procesele fotochimice ale recepției vizuale.

Cameră obscură: razele de lumină nu sunt reflectate în interiorul acestei camere datorită straturilor de celule pigmentare din coroida și retină. Lipsa melaninei, la persoanele albinos, provoacă tulburări ale vederii diurne deoarece celulele cu con și bastonaș sunt înconjurată de prelungiri citoplasmice ale celulelor stratului pigmentar retinian, care formează o multitudine de mici camere obscure.

Aparatul dioptric ocular este format din corneea (cu o putere de refracție de aprox. 40 dioptrii) și cristalin (cu o putere de refracție de aprox. 20 dioptrii). Simplificând, aparatul dioptric al ochiului poate fi considerat ca o singură lentilă convergentă cu o putere totală de aproximativ 59 dioptrii și cu centrul optic la 17 mm în fața retinei. Razele paralele ce vin de la o distanță mai mare de 6 m se vor focaliza la 17 mm în spatele centrului optic, dând pe retină o imagine reală și răsturnată (Figura 1). Cea mai mare parte a puterii de refracție a aparatului dioptric ocular aparține feței anterioare a corneei. Motivul principal este diferența mare între indicele de refracție al corneei (1,38) și cel aerului (1). Indicele de refracție al cristalinului este în raport cu cel al aerului, dar cristalinul este în mod normal înconjurat de umoarea apoasă (anterior) și cea vitroasă (posterior), ambele având un indice de refracție de 1.33, ceea ce face puterea de refracție a cristalinului să fie în mod normal mai mică decât a corneei.

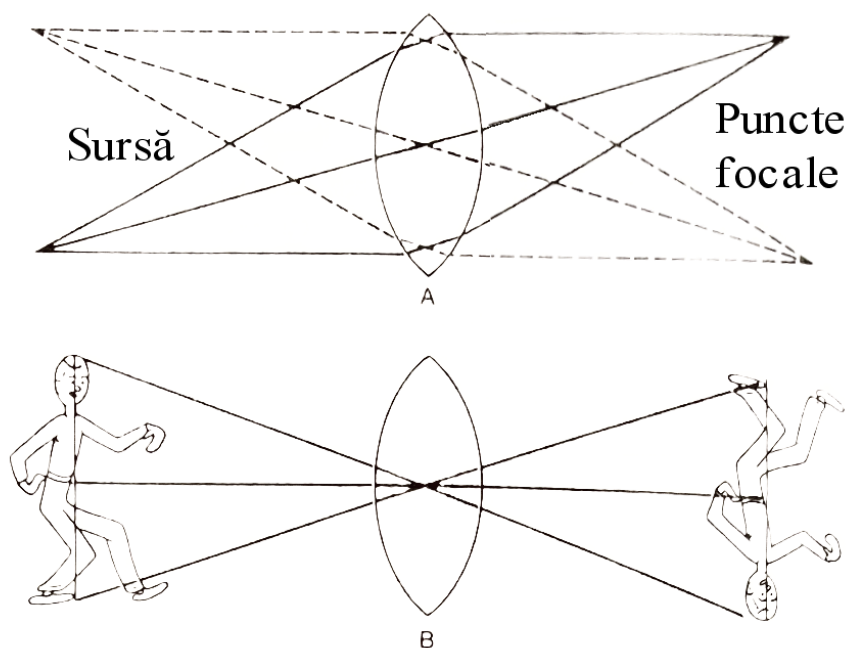


Figura 1 Formarea imaginii pe retină [8]

Cristalinul este important deoarece raza lui de curbură poate fi mult crescută, realizând procesul de acomodare. Cu cât trec anii, puterea de convergență scade, deoarece cristalinul devine mai gros și mai puțin elastic, în parte și datorită denaturării proteinelor constituente. Din acest motiv, puterea de acomodare a cristalinului scade de la 14 dioptrii la 2 dioptrii în jurul vârstei de 50 de ani și la 0 dioptrii la 70 ani. Deci, cristalinul practic nu se mai acomodează, nici pentru vederea de aproape și nici pentru vederea la distanță, situație numită presbiopie (presbiție).

Acomodarea este un act reflex, reglat de centrii corticali și de coliculi cvadrigemeni superiori, care, prin intermediul nucleului vegetativ parasimpatic anexat nervului oculomotor din mezencefal, comandă contracția mușchiului ciliar.

În funcție de distanța la care se află retina față de centrul optic, există trei tipuri de ochi, prezentate și în Figura 2:

Ochiul emetrop, la care retina se află la 17 mm în spatele centrului optic, iar imaginea obiectelor plasate la infinit este clară, fără acomodare;

Ochiul hipermetrop, care are retina situată la mai puțin de 17 mm de centrul optic;

Ochiul miop (hipometrop), cu retina situată la distanțe mai mari de 17 mm.

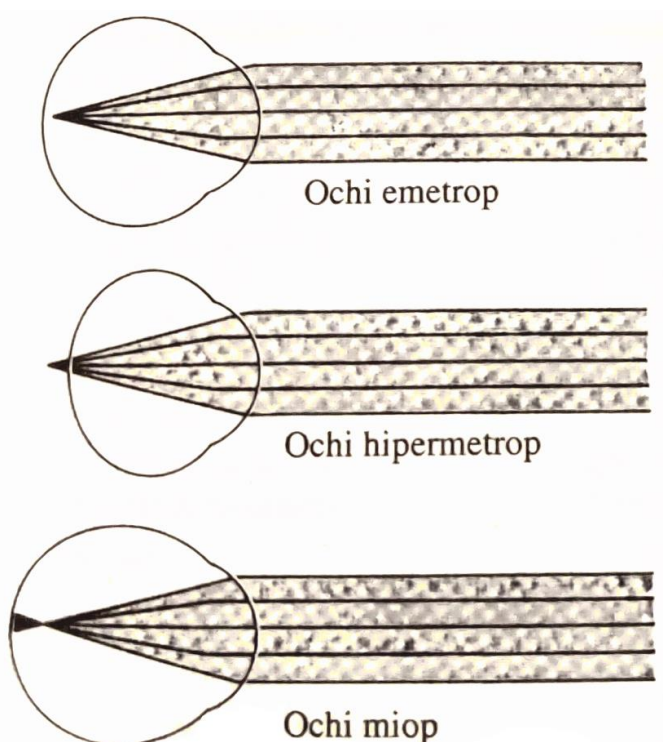


Figura 2 Cele trei tipuri de ochi [8]

Astigmatismul este un viciu de refracție datorat existenței mai multor raze de curbură ale suprafeței corneei. Având un meridian cu putere de convergență anormală, corneea va

determina formarea unor imagini retiniene neclare pentru punctele aflate în meridianul spațial corespunzător.

Pe parcursul vieții, mulți oameni se confruntă cu un fel de problemă vizuală. Unii oameni au probleme în a vedea obiectele îndepărtate. Alții au probleme să citească litere mici. Lentilele de contact sau ochelarii sunt adesea tratamente eficiente pentru aceste tipuri de tulburări. Dar pierderea severă sau completă a vederii se poate întâmpla atunci când una sau mai multe componente de procesare a imaginii ale creierului sau ale ochiului se îmbolnăvesc sau se deteriorează. În anumite situații, îngrijirea medicală, intervenția chirurgicală sau lentilele corective, cum ar fi ochelarii sau lentilele de contact, nu vor putea restabili complet vederea. Experții folosesc expresia „deficiență de vedere” pentru a se referi la orice grad de pierdere a vederii, inclusiv orbirea totală și pierderea parțială a vederii. Deși au încă resturi de vedere, aceasta a fost diminuată până la punctul în care ar trebui să fie la 20 de metri distanță de un obiect pentru a-l vedea la fel de clar pe cât ar putea cineva cu o vedere perfectă de la 200 de metri distanță.

Rareori oamenii își pierd vederea când sunt adolescenți. Când o fac, de obicei se datorează unui accident care implică o mașină sau un vehicul, o lovitură la cap sau ochi de o minge sau orice alt tip de lovitură. Orbirea congenitală sau deficiența vizuală la naștere afectează unii sugari. Orbirea congenitală poate fi provocată de o varietate de factori, inclusiv genetici și infecții care sunt transmise de la mamă la fătul în curs de dezvoltare în timpul sarcinii, cum ar fi rujeola germană.

Condiții care pot provoca pierderea vederii, conform [9], [10]:

Ambliopia: este tulburarea vederii la un ochi cauzată de neglijarea aceluși ochi în copilărie. Ochii unui copil pot comunica diferit cu creierul din cauza anumitor tulburări (de exemplu, un ochi se poate concentra mai bine decât celălalt). Vederea ochiului mai slab poate înceta să crească în mod normal, deoarece creierul poate opri sau suprima imaginile sale. Un alt nume pentru aceasta este „ochi leneș”. Ambliopia este adesea cauzată de strabism (ochi încrucișați sau nealiniati), ceea ce face ca creierul să înceapă să ignore semnalele care vin de la unul dintre ochii nepotriviiți.

Cataracta: are zone tulburi în parte sau în întregimea cristalinului ochiului. La persoanele fără cataractă, cristalinul este transparent și permite luminii să treacă și să se concentreze asupra retinei. Cataracta face dificilă trecerea luminii prin cristalin, ceea ce duce la pierderea vederii. Cataracta se dezvoltă adesea lent și afectează în mod obișnuit persoanele între 60 și 70 de ani, deși pot fi prezente și în mod congenital la nou-născuți. Vederea dublă, vederea încetșoșată sau neclară, problemele de vedere în zonele slab luminate și culorile estompate sunt toate simptome.

Retinopatie diabetică: vasele de sânge microscopice din retină sunt deteriorate din cauza diabetului. Inițial, pacienții cu retinopatie pot avea probleme de vedere. Cu toate acestea, dacă boala se agravează, ei riscă să devină orbi. Deoarece nu există semne de avertizare timpurie pentru diabet, adolescenților care suferă de această afecțiune ar trebui să li se asigure frecvent examene oftalmologice. Persoanele cu diabet ar trebui, de asemenea, să se abțină de la fumat,

să-și controleze tensiunea arterială și să mențină un nivel stabil de zahăr din sânge pentru a ajuta la prevenirea retinopatiei.

Glaucom: creșterea presiunii în interiorul ochiului. Vederea este îngreunată de deteriorarea nervului optic de presiunea crescută. Cu toate acestea, bebelușii se pot naște cu această boală, iar copiii și adolescenții se pot îmbolnăvi ocazional. Glaucomul este observat în principal la adulții în vârstă.

Degenerescenta maculară: provoacă deteriorarea treptată a maculei, zona cea mai sensibilă a retinei. Pierderea progresivă a vederii centrale este rezultatul tulburării (abilitatea de a vedea detalii fine direct în față). Degenerescenta maculară afectează frecvent persoanele în vârstă (în special pe cei peste 60 de ani), dar poate lovi și persoanele mai tinere ocazional. Fumatul și expunerea excesivă la soare cresc riscul de degenerescentă maculară legată de vârstă. Dificultatea crescută de a citi sau de a privi la televizor poate fi un simptom, precum și vederea încetșoșată atunci când obiectele par mai mari sau mai mici decât de obicei sau liniile drepte par ondulate.

Trahom: atunci când ochiul devine inflamăat, o bacterie foarte contagioasă numită *Chlamydia trachomatis* produce trahom. Se găsește frecvent în zonele rurale subdezvoltate, cu locuințe aglomerate, acces redus la apă și condiții de igienă precare.

Majoritatea persoanelor cu dizabilități de vedere întâmpină dificultăți în interacțiunea cu jocurile video, acest segment al iubitorilor de jocuri fiind în mare măsură ignorat de marile companii. În lucrarea [4], autorii investighează modalități de accesibilitate a jocurilor pentru persoanele cu deficiențe de vedere. Lucrarea investighează mai multe tehnici și opțiuni utilizate cu succes în diferite jocuri populare ce vizează creșterea accesibilității pentru persoanele cu deficiențe de vedere. Aceste abordări sunt susținute de studii de caz, precum și de cercetări și experimente actuale care implementează astfel de tehnici ce au drept utilizator final astfel de persoane.






Deficiența de vedere este o deficiență de tip senzorial și constă în diminuarea în grade diferite (până la pierderea totală) a acuității vizuale. Deficiența de vedere este clasificată, în funcție de gravitate, în: vedere scăzută, orbire și daltonism [11]. Fiecare dintre aceste deficiențe are un impact unic asupra capacității unei persoane de a juca un joc video.

Vederea scăzută, (cunoscută și ca vedere slabă sau deficiență de vedere) este o dizabilitate vizuală care nu se poate corecta complet cu mijloace chirurgicale, tratamente medicale, sau lentile. Persoanele care suferă de această tulburare de vedere pot reacționa la stimulii vizuali și auditivi, dar mărirea implicită a elementelor care apar pe ecran limitează numărul de obiecte care pot fi vizualizate simultan.

Daltonismul este un defect moștenit ce afectează dezvoltarea celulelor specializate în detectarea culorilor. Se estimează că 1 din 12 bărbați (8%) și 1 din 200 de femei (0,5%) sunt afectați de daltonism. Efectele daltonismului constau în tulburarea vederii cromatice, determinând incapacitatea de a deosebi unele culori de altele (mai ales roșu și verde, culorile complementare). În această afecțiune fie receptorul responsabil pentru culoarea verde, fie cel pentru culoarea roșie, nu funcționează și astfel persoanele văd în nuanțe de negru sau gri.

Distingerea galbenului și a albastrului poate fi, de asemenea, problematică, deși această formă de daltonism este mai puțin frecventă. Efectele daltonismului sunt mai pronunțate în anumite scheme de culori ale jocului (Tabelul 1), astfel: Tricromazia (normală) – o persoană care nu are deficiențe de vedere a culorilor poate vedea toate culorile din curcubeu. Tritanopia (orbire albastru-galben) – o percepție deficitară a culorii în care există absența pigmentului sensibil la albastru în celulele cu con. Albastrul apare verde și galbenul apare violet sau gri . Acromatopsie (daltonism complet) – o tulburare vizuală non-progresivă și ereditară, care se caracterizează prin scăderea vederii, sensibilitatea la lumină și absența vederii culorilor . Protanopia (orbirea roșie) – astfel de persoane sunt insensibile la lumina roșie , în timp ce Deuteranopia (orbirea verde) este insensibilă la lumina verde .

Tabelul 1 Scheme de culori pentru deficitul de vedere

1.	Tricromazia	
2.	Tritanopia	
3.	Acromatopsia	
4.	Protanopia	
5.	Deuteranopia	

Orbirea este de obicei definită ca pierderea completă a vederii, care nu poate fi corectată. Este evident că oamenii care sunt total orbi nu pot juca majoritatea jocurilor, întrucât majoritatea jocurilor se bazează pe indicii vizuale pentru a ghida jucătorul. Persoanele nevăzătoare trebuie să se bazeze pe sunete sau pe echipamente hardware speciale pentru a putea interacționa cu jocul. Există 2 categorii importante de nevăzători: **nevăzători congenitali** (nevăzători din naștere, din engleză „early blind”) și **nevăzători târzii** (care au devenit orbi pe parcursul vieții, din engleză „late blind”).

Există soluții informatice descrise în capitolul 3.2 care adresează deficiențele prezentate în acest capitol.

3. Stadiul curent al cercetării în domeniul tezei

Cercetarea desfășurată în perioada studiilor doctorale a început cu o analiză sistematică a stadiului curent în domeniul tezei: soluții hardware și software dedicate nevăzătorilor, jocuri pe calculator dedicate nevăzătorilor, modele de sonificare, tehnici de înregistrare și redare a sunetelor în aplicațiile dedicate nevăzătorilor. Rezultatele acestui studiu, care se bazează pe lucrări din trei baze de date cunoscute - Elsevier (Scopus), IEEE Xplore și SpringerLink, sunt sintetizate în acest capitol.

3.1 Soluții pentru persoanele cu deficiență de vedere aplicate în jocurile pe calculator

Progresele tehnologiei au dus la o largă răspândire a jocurilor video [12], care adesea nu sunt pe deplin accesibile persoanelor cu deficiențe de vedere. Cele mai multe jocuri pot fi jucate pe o gamă largă de dispozitive, de la un computer personal la un telefon mobil. Pe orice platformă sau dispozitiv, un joc video este, de obicei, puternic bazat pe canalul de comunicare vizuală. Multe dintre aspectele jocurilor, cum ar fi interacțiunea jucător - joc, peisaj și scenariu, îndrumări, tutorial și altele, sunt comunicate în primul rând prin culori, forme, text și obiecte vizuale. Canalul audio de comunicare pare a fi utilizat mai puțin, în ciuda faptului că s-a dovedit eficient ca interfață [13], ca mijloc de divertisment și ca modalitate de a oferi ghidare.

Copiii, adolescenții, tinerii și adulții maturi joacă jocuri pentru divertisment. Persoanele cu deficiențe de vedere se pot găsi, cu toate acestea, în imposibilitatea de a juca jocuri ce se bazează pe feedback vizual. Mai ales în cazul copiilor cu deficiență de vedere, impactul faptului că nu pot juca la fel ca ceilalți, poate avea efecte secundare sociale semnificative, ca de exemplu alienarea. Astfel de probleme pot fi remediate prin utilizarea de noi tehnici de realizare a interfeței cu utilizatorul.

Accesibilitatea este o caracteristică importantă a unui joc, întrucât poate îmbunătăți calitatea vieții pentru jucător. Permite persoanelor cu dizabilități, în special a tinerilor, să se angajeze în activități obișnuite pentru o persoană fără dizabilități le poate reduce suferința emoțională și sentimentul de alienare și inacceptare.

În cadrul acestui paragraf sunt sintetizate mai multe soluții eficiente pentru creșterea accesibilității jocurilor, grupate în trei mari categorii, în funcție de necesitățile jucătorului: vizual, auditiv și tactil.

Din categoria tehnicilor vizuale, se abordează următoarele:

Iconografia. Această tehnică este utilă doar pentru utilizatorii cu deficiențe de vedere și nu pentru nevăzători. Spre exemplu, în jocurile „Dynomite” și „Zuma”[14], [15] identificarea informațiilor importante se realizează aproape exclusiv prin intermediul culorilor. Deoarece dinamica jocului se bazează exclusiv pe potrivirea culorilor, astfel de jocuri nu sunt accesibile persoanelor daltoniste. Soluția pentru această problemă ar fi încorporarea unui mijloc

suplimentar de transmitere a informației, precum: simboluri, informație de tip text sau alegerea unei palete de culori compatibilă persoanelor cu aceste deficiențe. Jocurile ”Candy Crush” [16] și ”Bejeweled” [15] sunt un exemplu pentru utilizarea simbolurilor ca formă de prezentare a informației pentru jucător.

Utilizarea filtrelor. Folosite în special pentru a sublinia culorile pe care persoanele nu le pot identifica. Dezvoltatorii jocului ”Overwatch” au implementat modele prietenoase pentru persoanele care suferă de deficiențe de vedere, în special daltonism. Un astfel exemplu este ilustrat în figurile 3 și 4.



Figura 3 Mod normal de afișare în jocul Overwatch



Figura 4 Mod specific de afișare în jocul Overwatch pentru persoane cu daltonism

Personalizarea culorilor. Pentru a afișa diferite informații importante despre joc, dezvoltatorul poate folosi un sistem prin care sunt puse la dispoziția utilizatorului combinații de culori configurabile sau simboluri implicite personalizabile pentru tipurile de daltonism. Această tehnică este implementată în jocul ”Destiny” (Figura 5). Un alt exemplu excelent este jocul ”Auralux”, care permite jucătorilor să modifice în mod liber culoarea și aspectul informațiilor fiecărei planete, alegând dintr-o varietate de culori și texturi (Figura 6).



Figura 5 Selectarea schemei de culori pentru daltoniști în funcție de tipul daltonismului.



Figura 6 Selectarea culorii și texturii în jocul Auralux

În ceea ce privește accesarea jocului de către persoane cu vedere scăzută, autorii identifică următoarele modalități de creștere a accesibilității:

Utilizarea de stiluri personalizabile pentru fontul text-ului. Utilizarea fonturilor specifice, caracteristice temei, sunt des întâlnite în grafica jocului. Cu toate că acestea reflectă într-o manieră unică tema jocului respectiv, utilizarea unui font detaliat poate reprezenta un impediment pentru jucătorii cu deficiențe de vedere. Înlocuirea fonturilor mai complicate cu unele mai simple va permite identificarea mai facilă a informațiilor pe ecran pentru un jucător cu vedere redusă.

Posibilitatea dimensionării fontului în funcție de necesități. Majoritatea jocurilor video nu oferă opțiunea, dar dacă aceasta este implementată, jucătorii cu deficiențe de vedere, inclusiv cei care sunt parțial nevăzători, pot juca majoritatea jocurilor. De exemplu, în jocul Everquest, utilizatorii pot schimba nu numai dimensiunea fontului, ci și fontul și culoarea fontului în fereastra de chat.

HUD (heads-up display) personalizabil. Jucătorii cu deficiențe de vedere vor beneficia foarte mult de capacitatea de personalizare a afișajului heads-up. Această metodă permite utilizatorului să aranjeze și să realoce fiecare element HUD separat, în funcție de domeniul vizual. În jocul "Skyrim"[17] a fost introdusă această opțiune ce permite personalizarea HUD-ului.

Substituția senzorială. Este o metodă prin care tehnologia este utilizată pentru a converti un tip de stimul senzorial în altul și poate fi utilizată pentru a face un joc mai accesibil persoanelor cu deficiențe de vedere. De exemplu, un comentariu verbal care transmite elemente vizuale și informații este cunoscut sub numele de descriere audio. În acest caz se substituie stimulul vizual cu unul auditiv. Un alt exemplu poate fi substituirea stimulului vizual cu o vibrație. Multe sisteme informatice de astăzi folosesc această tehnică. Potrivit unui studiu [18], descrierea audio funcționează cel mai bine atunci când utilizatorul nu este conștient de aceasta. Jocurile "Mortal Kombat"[19] și "Guilty Gear"[20] utilizează descrierea audio ca metodă de substituție senzorială.

Navigare auditivă. Utilizarea sunetului spațial permite utilizatorului nevăzător să navigheze în mediul jocului. De asemenea, oferă nevăzătorului o idee aproximativă despre poziționarea în raport cu un obiect. Există numeroase abordări ale navigației spațiale auditive, una dintre acestea fiind folosirea înregistrărilor binaurale.

Sunetul Binaural. Utilizarea sunetului binaural într-un joc va îmbunătăți conștientizarea spațială a utilizatorului. O versiune auditivă a jocului "Pong" a fost creată pentru un studiu care utilizează această tehnică de navigare spațială auditivă [21]. Jocul „Pong” este o abstractizare a jocului „Ping Pong”. Cercetătorii au implementat un sistem în care sunetul binaural 3D și urmărirea mișcării capului sunt utilizate în timpul jocului. Participanții la joc au localizat ușor „paleta”, deoarece se auzea doar în timpul mișcării. Astfel, experimentul a concluzionat că tehnicile avansate de spațializare, cum ar fi înregistrările binaurale, pot îmbunătăți experiența de joc.

Sonificare. Transmiterea informației sub formă audio non-verbală este cunoscută sub numele de sonificare. Majoritatea utilizatorilor pot interpreta reprezentări spațiale și pot construi eficient hărți mentale pe baza semnalelor acustice prin asocierea acestora cu informații spațiale.

Tehnici tactile. Accesibilitatea tactilă este una dintre cele mai comune forme de accesibilitate pentru persoanele cu deficiențe de vedere. De cele mai multe ori, este necesar un dispozitiv pentru a implementa un sistem tactil. În general, cele mai frecvent utilizate dispozitive tactile sunt destinate limbajului Braille, dar există o varietate de noi dispozitive haptice avansate care permit, pe lângă transmiterea unui mesaj de tip text, ca în cazul Braille și feedback cu privire la formă, textură și chiar vibrații și mișcare. Un astfel de dispozitiv (mănușă) a fost adaptat pentru jocul "Blind Hero"[22].

Tehnicile menționate mai sus sunt susținute de studii de caz, experimente și de lucrări de cercetare, care demonstrează în mod clar eficiența lor. Abordarea vizuală se concentrează mai mult pe tehnicile de corecție vizuală pentru grafica jocului, în timp ce celelalte două abordări, audio și tactilă, se încadrează în substituția senzorială.

Jocurile accesibile au fost cercetate și dezvoltate de mulți ani, totuși nevăzătorii au încă un acces foarte limitat în cunoașterea acestora. Acest lucru poate reprezenta o limitare serioasă, mai ales pentru copiii nevăzători, deoarece în ultimii ani jocurile electronice au devenit unul dintre cele mai comune și mai larg răspândite mijloace de divertisment și socializare.

Jocurile audio sunt jocuri ce se joacă pe un dispozitiv electronic, de exemplu, pe un computer personal sau un dispozitiv mobil, care utilizează canalul audio ca interfață principală. Astfel de jocuri folosesc elemente auditive în locul elementelor vizuale, pentru transmiterea de informații către utilizator și interacțiunea cu acesta. De aceea, elementul cheie al jocurilor audio este designul sonic, care trebuie să asigure acuratețea și eficiența a interacțiunii om - calculator.

3.2 Soluții software și hardware dedicate persoanelor cu deficiențe de vedere

Deficiența de vedere reprezintă o problemă gravă în zilele noastre, și, prin urmare, în fiecare zi sunt dezvoltate diverse dispozitive electronice pentru a ajuta persoanele nevăzătoare și pentru a le îmbunătăți calitatea vieții.

Una dintre cele mai interesante categorii este reprezentată de dispozitivele electronice utilizate pentru citire sau pentru identificarea obiectelor. O parte dintre ele au scopul de a mări sau ameliora caracteristicile specifice, urmărind să ajute persoanele cu vedere scăzută, în timp ce altele sunt așa-numitele dispozitive "al treilea ochi", funcționând ca înlocuitori ai vederii pentru nevăzători. Cercetările datează încă din 1969, când a fost produs un sistem de substituție a vederii revoluționar: acesta folosea o cameră pentru a scana și identifica obiecte în fața persoanelor cu deficiențe de vedere. În prezent, numărul cercetărilor și al dispozitivelor prototip pentru persoanele cu deficiență de vedere este în continuă creștere. De exemplu, a fost dezvoltat de către cercetătorii turci un cititor revoluționar Braille, ce funcționează ca "al treilea ochi" pentru o persoană nevăzătoare [23]. Un cititor Braille este un dispozitiv ce îi ajută pe oameni să citească orice document digital – textul este transmis de la computer la dispozitivul electronic, ce folosește așa-numitele celule Braille, pentru a-l reda în format Braille. Avantajele dispozitivului creat de cercetătorii turci sunt: portabilitatea, vocalizarea, ergonomia și multifuncționalitatea. Alte abordări propuse includ aplicații mobile pentru identificarea obiectelor [24].

Există cercetări și prototipuri în acest domeniu, deoarece companiile ce au scopul de a crea electronice de larg consum pentru persoanele cu deficiență de vedere sunt în continuă creștere. De exemplu, Eschenbach Optik, una dintre cele mai mari companii care dezvoltă ajutoare pentru vederea scăzută, creează electronice de larg consum care ajută persoanele cu deficiențe de vedere, concentrându-se și pe procesul de instruire și pe experiența utilizatorilor. O categorie a produselor lor este aceea a lupelor video-electronice, utilizate pentru mărirea imaginii diferitelor obiecte și îmbunătățirea diferitelor caracteristici ale acestora, cum ar fi contrastul, luminozitatea sau culoarea. Ele utilizează o camera pentru a citi cărți, ziare și alte documente digitale, putând identifica și corecta documentele nealiniat și, de asemenea, detecta în mod automat limba. Fiecare dispozitiv electronic dezvoltat de Eschenbach Optik vine cu broșuri detaliate, care oferă informații tehnice, instrucțiuni de utilizare sau informații de siguranță. Cu toate acestea, de multe ori aceste instrucțiuni nu sunt suficiente pentru a-i ajuta pe oameni să se obișnuiască cu noile dispozitive și să înțeleagă cum să le folosească funcționalitatea la potențial maxim. Eschenbach Optik oferă o serie de „Module de formare” pentru profesioniști, care prezintă informații generale despre deficiențe de vedere, o prezentare detaliată a electronicelor, precum și un modul de instruire pentru persoanele cu deficiență de vedere.

O dificultate majoră, probabil cea mai gravă problemă ce apare în viața unei persoane cu deficiențe de vedere este mobilitatea. Bastonul alb a fost și este folosit de zeci de ani, ajutându-i pe nevăzători să detecteze obstacole sau diverse obiecte din jurul lor. Au fost dezvoltate dispozitive electronice ca instrumente de mobilitate, încercând să rezolve unele dintre problemele bastonului alb (cum ar fi distanța mică de detectare a obiectelor, limitarea vitezei de mers sau imposibilitatea detectării obiectelor în mișcare). Un astfel de exemplu este "bastonul alb virtual purtabil", care este un dispozitiv handsfree, cu mai mulți senzori plasați pe corpul persoanei: o curea și niște benzi pentru încheieturile mâinii și glezne (Figura 7). Principiul este simplu: ultrasunetele sunt folosite pentru localizare și feedbackul tactil și audio care este furnizat purtătorului. Feedbackul audio constă în note muzicale bazate pe proximitatea

obiectelor aflate în fața utilizatorului. Feedback-ul tactil constă în presiune generată de centura aflată pe talia utilizatorului [25].

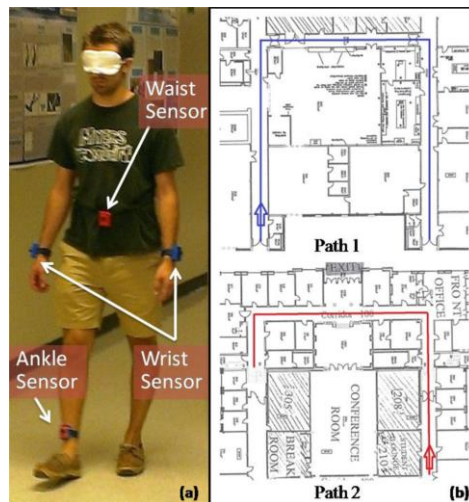


Figura 7 Wearable Virtual White Cane [25]

Un alt dispozitiv similar, bazat pe același principiu al senzorilor cu ultrasunete este SmartWand. El trebuie folosit împreună cu un baston alb tradițional, dispozitivul măbind raza de detecție, oferind funcționalități suplimentare, cum ar fi detectarea culorii și a luminozității și creând astfel o versiune îmbunătățită a bastonului convențional [26]. Alte prototipuri includ un dispozitiv de detecție a obiectelor bazat pe principiul unui senzor de parcare a vehiculului, ce trebuie folosit împreună cu un baston alb [27], respectiv cu un echipament complet (pălărie, pantofi și baston alb – white cane) bazat tot pe principii ultrasonice [28].

3.2.1 VoiceOver

VoiceOver [29] este o aplicație de tip „screen reader” des utilizată de nevăzători, accesibilă doar pe următoarele dispozitive Apple: iPhone, iPad, Mac, Apple Watch, Apple TV, HomePod, iPod touch. Participanții la studiul din [29] au întâmpinat mai multe probleme la utilizarea VoiceOver. Astfel, ei au considerat că cele două moduri de selecție (glisarea pentru a se deplasa prin lista de ținte și atingerea directă a unei ținte pentru a o selecta) sunt deosebit de confuze și adesea nu erau siguri pe care dintre cele două acțiuni au întreprins-o. Adesea, participanții au efectuat un gest de glisare, auzeau numele unei ținte pe care au selectat-o și apoi erau nedumeriți despre cum să localizeze de fapt această țintă pe ecran. Gesturile de glisare au fost, de asemenea, efectuate cu variații considerabile și astfel, au fost uneori recunoscute greșit. Deși lista de ținte a fost ordonată de la stânga la dreapta și astfel, participanții puteau trece prin listă pentru a răspunde rapid la întrebările conexe, puțini au făcut acest lucru.

3.2.2 Sound of Vision

Un proiect cu deosebită importanță este proiectul **Sound of Vision** [30]. În cadrul proiectului a fost dezvoltat un dispozitiv care ajută oamenii nevăzători să folosească sunete și vibrații pentru a simți mediul înconjurător.

Universitatea POLITEHNICA din București a fost coordonatorul tehnic al proiectului, iar Comisia Europeană l-a clasat ca unul dintre primele 10 proiecte europene benefice din punct de vedere social, în cadrul competiției Innovation Radar Prize 2018. Dispozitivul portabil [30] ajută persoanele nevăzătoare să se deplaseze și să perceapă împrejurimile în mod eficient și în siguranță. În proiect au participat nouă parteneri din cinci țări europene, iar managementul proiectului a fost asigurat de Universitatea din Islanda.

„Idea proiectului Sound of Vision a venit din dorința de a folosi tehnologiile contemporane pentru a construi un gadget portabil care să permită nevăzătorilor să-și perceapă imediat și organic împrejurimile. Cel mai bun rezultat va fi o realizare remarcabilă pentru România, una care va recunoaște și să avansăm în cercetarea țării, dar, mai important, ne va permite să comercializăm produsul către piața țintă a nevăzătorilor”, a spus Alin Dragoș Bogdan Moldoveanu, coordonatorul tehnic al proiectului.

Testarea prototipului s-a realizat cu ajutorul a 45 de nevăzători și a produs rezultate pozitive. Majoritatea nevăzătorilor pot folosi aparatul eficient după aproximativ 1-2 săptămâni (bastonul alb necesită 3-6 luni pentru a-l stăpâni). „Sound of Vision” nu necesită utilizarea mâinilor, are o rază de detectare de 5 metri, poate detecta obstacole la înălțimea capului sau a toracelui, trimite alerte de proximitate și poate detecta o varietate de alte obiecte speciale de interes, inclusiv uși, scări, texte și semne. Crearea unui dispozitiv portabil care le permite nevăzătorilor să perceapă mediul printr-o reprezentare alternativă, bazată pe sunete și vibrații, este obiectivul final al proiectului european Horizon 2020 Sound of Vision. După trei ani de cercetări, „Sound of Vision” a fost finalizat. Sistemul care a fost creat este în stadiul de prototip (TRL 7-8) și este o soluție integrată care include hardware, software și proceduri de instruire.

3.2.3 Accesibilitatea ecranelor tactile

Pentru persoanele nevăzătoare, accesarea interfețelor cu ecran tactil rămâne o provocare semnificativă, deoarece majoritatea ecranelor tactile se bazează pe interacțiune vizuală și nu sunt utilizabile doar prin atingere și audio.

Multe ecrane tactile rămân inaccesibile utilizatorilor nevăzători iar metodele existente oferă suport minim pentru interacțiune cu ecrane tactile mari.

În ciuda acestor probleme semnificative, ecranele tactile sunt din ce în ce mai des întâlnite în tehnologiile de consum, cum ar fi dispozitivele mobile, electrocasnicele și computerele din spațiile publice (de exemplu, bancomatele, chioșcurile de bilete din aeroport

și hărțile interactive). Inaccesibilitatea ecranelor tactile poate avea efecte profunde, împiedicând independența persoanelor nevăzătoare de a-și îndeplini sarcinile de rutină fără ajutor, ceea ce poate genera sentimente de jenă [31]. Consumatorii nevăzători au răspuns la răspândirea inaccesibilității tehnologiei prin evenimente de presă [32] și au organizat procese și boicoturi [33]. În plus, inaccesibilitatea atingerii ecranelor nu afectează numai milioane de nevăzători (mai mult de 1.3 milioane doar în SUA), dar și seniorii sau alte persoane cu vedere deficitară.

Interfețele cu ecran tactil sunt populare de peste 20 de ani [34], iar preocupările legate de accesibilitatea acestor ecrane s-au menținut de-a lungul timpului [35]. Cercetarea privind accesibilitatea ecranului tactil a luat în considerare o serie variată de factori legați de dispozitive. Cercetările de început au explorat accesibilitatea pentru dispozitive cum ar fi chioșcurile de informații [36] și tabletele de desen [37]. Aceste tehnici se bazează pe modificări hardware, cum ar fi mărirea unui ecran tactil cu butoane fizice deasupra ecranului. Asemenea abordări pot fi costisitoare la instalare, pot limita flexibilitatea software-ului de bază (prin impunerea unor structuri fizice) și pot interfera cu utilizarea de către persoanele cu o vedere normală; deloc surprinzător, astfel de tehnici nu au fost adoptate pe scară largă.

Eforturi mai recente s-au concentrat pe utilizarea gesturilor pentru a oferi utilizatorilor nevăzători acces la ecranele tactile, fără a modifica hardware-ul de bază. De exemplu, Slide Rule [38] a folosit gesturi multi-touch pentru a permite utilizatorilor să răsfoiască și să exploreze conținutul pe un ecran tactil.

Din fericire, unele dispozitive cu ecran tactil oferă acum caracteristici de accesibilitate pentru nevăzători. Multe ecrane tactile, cum ar fi ATM-urile oferă o interfață alternativă bazată pe butoane și o mufă pentru căști pentru utilizatorii nevăzători. În ultimii ani, mai multe proiecte de cercetare (de exemplu [38], [39]) și instrumente comerciale, precum VoiceOver de la Apple pentru iOS2 și Eyes-Free de la Google Shell pentru Android 3 au introdus interfețe de accesibilitate a ecranelor tactile, care combină introducerea gesturilor cu vorbirea.

Interfețe similare apar acum pe dispozitivele de consum, cum ar fi Apple iPhone [40] și smartphone-urile bazate pe Android [41]. Cercetătorii au explorat, de asemenea, tehnici de abordare a aspectelor specifice ale interacțiunii nevăzătorilor cu ecranul tactil, cum ar fi introducerea textului [39], [41], [42] și selecția gesturilor [43]. Cu toate acestea, aceste tehnici s-au concentrat adesea pe ecrane mici, de dimensiunea unui telefon mobil. În plus, multe dintre aceste tehnici modifică aspectul fundamental al ecranului, pentru a îmbunătăți accesibilitatea.

Dispozitivele cu ecran tactil mai mari devin din ce în ce mai comune, și apar provocări suplimentare de interacțiune. Mai ales mărirea ecranului poate duce la creșterea timpului de căutare pentru a găsi ținte pe ecran, iar multe interacțiuni cu ecranele tactile mari pot necesita ca un utilizator nevăzător să înțeleagă aspectul spațial al ecranului, cum ar fi cazul în care explorează o hartă sau lucrează în colaborare cu un partener văzător.

Astfel, munca actuală abordează interacțiunea cu ecranele tactile mai mari și explorează metode pentru a păstra înțelegerea de către utilizatori a aspectului ecranului.

În timp ce unele tehnici de accesibilitate a ecranului tactil se bazează pe schimbarea aspectului ecranului pentru a îmbunătăți gradul de utilizare, cercetătorii au explorat, de asemenea, metode de îmbunătățire a accesibilității informației spațiale, cum ar fi hărți, indicații de mers pe jos [44], [45] și diagrame [46]–[48]. Cu toate acestea, aceste tehnici au vizat de obicei domenii specifice și nu se pot generaliza pentru toate interfețele cu ecran tactil. În plus, multe dintre aceste tehnici necesită controlere haptice sau alt hardware specializat.

3.2.4 Access overlays

Access overlays (AO) [49] sunt implementate ca ferestre semi-transparente ce se află deasupra ferestrei unei aplicații standard. Când este activată, aplicația colectează informații despre locația din fereastră și oferă acces la aceste locații (Figura 8). Modul în care se oferă accesul la informații legate de locație sunt descrise în paragrafele 3.2.4.1, 3.2.4.2 și 3.2.4.3

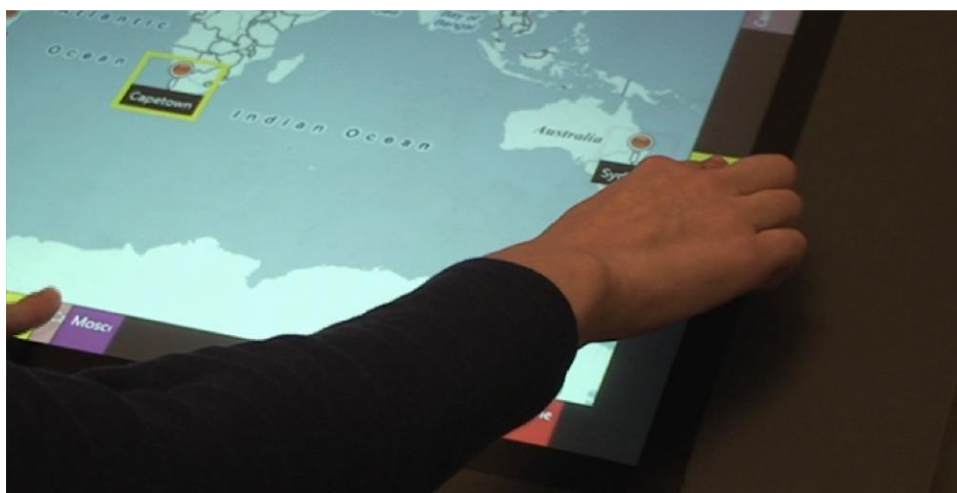


Figura 8 Access overlays permit unui utilizator nevăzător să localizeze cu precizie locații pe o hartă a ecranului tactil 2-D. [49]

AO sunt în întregime bazate pe software și nu necesită modificări ale hardware-ului ecranului tactil. Ele sunt concepute pentru a îmbunătăți accesibilitatea hardware-ului ecranului tactil existent. Au fost dezvoltate o serie aplicații AO, cele mai promițătoare fiind: Edge projection, Neighborhood browsing și Touch-and-speak. Acestea vor fi descrise pe scurt în paragrafele următoare.

3.2.4.1 Edge projection

O strategie utilizată de tehnicile de acces la ecranul tactil (de exemplu [36], [38]), numită liniarizare, este de a converti o interfață bidimensională într-o listă liniară de ținte. Liniarizarea permite utilizatorilor nevăzători să scaneze rapid o listă de elemente de pe ecran, fără a fi nevoie să caute pe întreg ecranul, dar elimină informații despre aspectul original al ecranului. Overlay-ul edge projection (Figura 9) oferă beneficiile liniarizării, menținând în același timp aspectul spațial original al ecranului. Când edge projection este activă, atingerea oricărui punct de interes de pe ecran citește numele acelei punct. În plus, Overlay-ul edge projection afișează un dreptunghi încadrator al ecranului. Fiecare punct de interes de pe ecran

are coordonate spațiale asociate, poziționate pe marginea ecranului, de-a lungul fiecărei margini a ecranului. Atingerea punctului de interes evidențiază ținta corespunzătoare de pe ecran și citește numele acesteia. Utilizatorii nevătători pot răsfoi rapid lista de puncte de interes, glisând cu degetul pe meniul aflat pe margine. Întrucât poziția proxy-ului de margine corespunde poziției x sau y a țintei, utilizatorii își pot retrage degetele de la un proxy de margine spre interiorul ecranului, pentru a putea localiza ținta dorită.

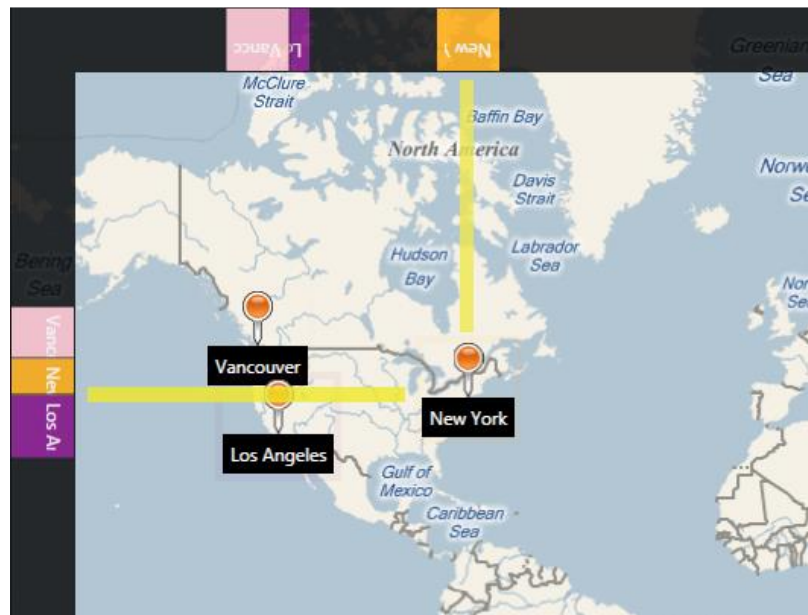


Figura 9 Edge Projection. Țintele sunt proiectate la marginea ecranului. Liniile ilustrează corespondența dintre margine și ținta asociată acestuia[49].

Edge projection valorifică interacțiunea bimanuală, permițând utilizatorului să localizeze ținte de pe ecran folosind două mâini. De exemplu, utilizatorul poate localiza o țintă pe marginea de jos cu o mână, poate localiza aceeași țintă pe marginea dreaptă cu altă mână și mișca mâini împreună spre interiorul ecranului pentru a localiza ținta.

Edge projection a fost inspirată de tendința participanților la interviu de a plasa obiecte în marginile și colțurile spațiilor de lucru. Edge projection păstrează aspectul original al conținutului de pe ecran, reduce spațiul de căutare și valorifică interacțiunea bimanuală. Edge projection sprijină, de asemenea, colaborarea, permițând utilizatorilor să exploreze ecranul utilizând marginea cea mai apropiată de ei, evitând conflictul cu alți utilizatori.

Participanții au comentat adesea pozitiv în legătură cu această tehnică în timp ce o foloseau. Majoritatea participanților s-au bazat în principal pe marginea inferioară cea mai apropiată de ei, ceea ce pare rezonabil, deoarece le cerea să se întindă cel mai puțin, deși un participant stângaci a folosit în principal marginea stângă. Uneori, participanții "au ratat" un articol atunci când au navigat de-a lungul marginii, deoarece și-au început căutarea dintr-un punct arbitrar de-a lungul marginii, decât din colț. Un motiv pentru acest comportament ar fi putut fi evitarea activării accidentale a butonului "Terminare sarcină", deși participanților li s-a spus că nimic "rău" nu se va întâmpla dacă ar apăsa în mod accidental butonul. Foarte puțini participanți au folosit ambele mâini pentru a triangula țintele de pe ecran. În plus, deși a fost posibil să se folosească poziția proxy-urilor pe margine, pentru a găsi rapid ținta cea mai din

stânga sau cea mai de sus în sarcina de corelare, majoritatea participanților nu a descoperit această strategie avansată, ci au localizat fiecare țintă separată pe ecran.

3.2.4.2 Neighborhood browsing

O dificultate majoră în explorarea fără vedere a unui ecran tactil este găsirea țintelor pe ecran. Majoritatea interfețelor vizuale utilizează spațiul gol pentru a separa și grupa ținte. Fără feedback proiectat corespunzător, o persoană nevăzătoare care atinge o zonă goală a unui ecran tactil ar putea să nu știe unde atinge sau chiar dacă sistemul a înregistrat atingerea. Localizarea țintelor pe ecran necesită, de asemenea, navigarea prin acel spațiu gol.

Neighbourhood browsing overlay (Figura 10) abordează problema căutării pe un ecran tactil mare prin creșterea dimensiunii țintelor și recuperarea spațiului gol. Navigarea prin vecinătate utilizează o teselare Voronoi [50] pentru a defini o vecinătate în jurul fiecărei ținte de pe ecran. Dacă se atinge oriunde pe ecran, apare numele celei mai apropiate ținte. Utilizatorii pot localiza cu precizie o țintă, atingând în vecinătatea țintei și efectuând un gest de atingere cu al doilea deget [38]. Ulterior, sistemul oferă indicații către cea mai apropiată țintă.

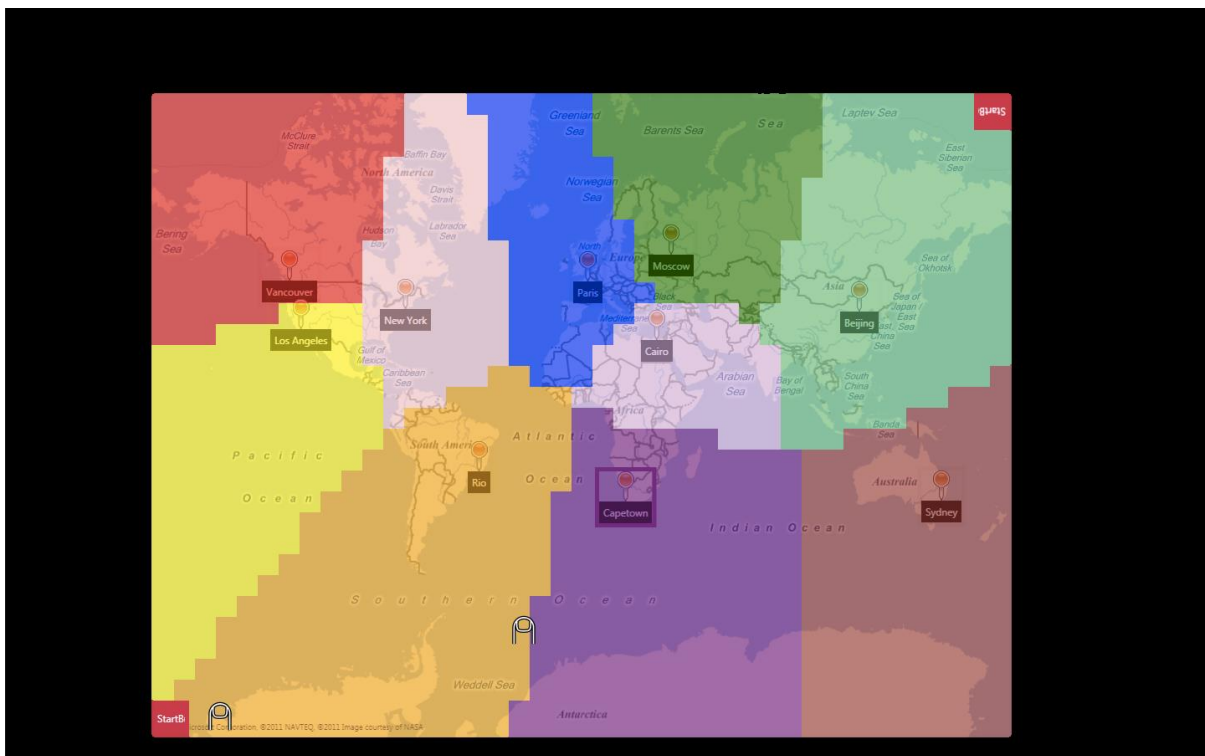


Figura 10 Neighborhood browsing folosește o teselație Voronoi pentru a crește dimensiunea țintei. Aliasarea regiunilor este un artefact vizual și nu a afectat funcționalitatea[49]

Neighborhood browsing (navigarea în vecinătate) a fost inspirată de tendința nevăzătorilor de a-și aminti locația aproximativă a articolelor în spațiul lor de lucru și de a căuta local în acea locație aproximativă pentru a găsi elemente. Este, de asemenea, inspirată de cursorul cu bule [51]. Neighborhood browsing păstrează aspectul spațial și reduce spațiul de căutare.

Deși navigarea în vecinătate a fost populară în rândul participanților (trei au ales-o ca tehnică preferată, iar alți trei au ales-o ca a doua tehnică favorită), participanții au fost adesea

lenți în utilizarea ei. Navigarea în vecinătate a fost deosebit de lentă în activitățile de numărare, deoarece participantul trebuia să exploreze întregul ecran pentru a număra toate elementele. O posibilă explicație ar fi că participanții au avut dificultăți în a crea modelul mental adecvat pentru aspectul ecranului. De asemenea, participanții au folosit adesea mai mult de un deget sau întreaga mână pentru a căuta pe ecran (conform cercetărilor anterioare, [52]) și, făcând acest lucru, au activat accidental funcția de "Direcții ghidate". În ciuda acestor dificultăți, instrucțiunile ghidate au fost extrem de populare, iar participanții au fost în general destul de eficienți în a le urma. Mulți participanți au comentat pozitiv această caracteristică: de exemplu, un participant a declarat: "Îmi place doar instruirea, pentru a găsi lucruri pe ecran".

3.2.4.3 Touch and speak

Utilizatorii nevăzători de PC se bazează adesea pe comenzile rapide de la tastatură, ce pot fi efectuate vără vedere. Deoarece multe dispozitive bazate pe ecran tactil nu au tastaturi, utilizatorii nevăzători trebuie să le utilizeze prin parcurgerea unui meniu vocal, care poate fi lent și plictisitor. Combinarea interacțiunii tactile cu cea verbală permite utilizatorilor să efectueze acțiuni mult mai rapid. Utilizatorii inițiază o comandă vocală, efectuând un gest de atingere pe ecran și rostind o comandă.

În lucrarea [49] sunt utilizate trei comenzi:

- rostirea "listă" citește toate țintele de pe ecran de la stânga la dreapta;
- rostirea "în apropiere" citește toate țintele din cadranul ecranului atins de utilizator;
- rostirea numelui unei ținte oferă direcții ghidate de la degetul utilizatorului la ținta numită.

Deoarece comenzile vocale încep cu un gest de atingere, comenzile pot fi legate de locația tactilă, iar acuratețea recunoașterii poate fi îmbunătățită luând în considerare doar opțiunile relevante pentru locația curentă [53]

Touch and speak a fost inspirată din interviurile formative cu nevăzători și din aplicațiile anterioare care au utilizat comenzi de vorbire pentru a îmbunătăți precizia punctării [53]. Touch and speak păstrează aspectul spațial și reduce spațiul de căutare, permițând utilizatorului să găsească orice țintă din orice locație a ecranului.

Această tehnică a fost populară, iar participanții au putut să o folosească rapid. Ca și în cazul navigării în vecinătate, participanților le-a plăcut să urmeze instrucțiunile ghidate. Unii participanți au încercat fără succes să inventeze comenzi suplimentare, cum ar fi rostirea "Listă hoteluri", pentru a enumera numai hotelurile de pe hartă, sau au efectuat interogări în limbaj natural, cum ar fi "La ce oră se deschide magazinul X?" totuși, aceste probleme au fost rezolvate rapid. Mulți participanți au remarcat că le-a plăcut această tehnică, dar că nu ar fi folosit-o în toate situațiile, ca de exemplu în mediile zgomotoase sau în locurile publice (din cauza problemelor de confidențialitate).

3.3 Jocuri pentru nevăzători

3.3.1 Cercetarea în domeniul jocurilor pe calculator pentru nevăzători

În lucrarea [54] autorii prezintă o serie de articole care explorează diferite tendințe în domeniul jocurilor pe calculator accesibile pentru nevăzători sau cu deficiențe de vedere. Articolele revizuite sunt distribuite în patru categorii care acoperă următoarele 4 subiecte: 1- design și arhitectură de jocuri pe calculator, 2-adaptări ale jocurilor video, 3-jocuri accesibile ca instrumente de învățare și 4-navigare și interacțiune în medii virtuale. Sunt de asemenea analizate tendințele actuale în designul jocurilor accesibile și sunt prezentate date privind utilizarea cuvintelor cheie și evoluția tematică în timp. Se detectează o stagnare relativă în domeniul interacțiunii om-calculator pentru nevăzători. Cu toate acestea, pe măsură ce industria jocurilor video devine din ce în ce mai interesată de accesibilitate, încep să apară noi oportunități de cercetare.

Progresele recente, cum ar fi tehnicile de accesibilitate deosebit de realiste pe care jucătorii le pot experimenta în "The Last of Us: Part II" [55], au primit o atenție considerabilă atât din partea utilizatorilor, cât și a mass-media. Adaptările de asemenea anvergură sunt încă greu de realizat, deoarece majoritatea companiilor nu vor aloca resurse suficiente pentru a acoperi nevoile unei părți relativ mici a clientelei lor. Acesta este motivul pentru care cercetările în domeniul accesibilității pentru nevăzători sau cu deficiențe de vedere sunt relativ rare.

Pentru a clasifica tipurile de contribuții aduse de fiecare publicație s-a efectuat un sondaj ce a vizat patru contribuții de interes în prezenta analiză: 1) contribuția teoretică adusă domeniului, 2) proiectarea unui instrument, 3) dezvoltarea unui instrument sau 4) realizarea unui studiu experimental. Pe baza clasificării s-au obținut 66 de lucrări care conțin o etapă de design a instrumentelor, 61 de lucrări care sintetizează partea de dezvoltare a acestui domeniu, 65 de lucrări care includ o parte experimentală și doar 26 de articole care oferă o contribuție pur teoretică.

Tabelul 2 Numărul de lucrări din fiecare categorie

Categorie	Teoretic	Design	Dezvoltare	Experimental
Design și arhitectură de jocuri video pentru jucători nevăzători sau cu deficiențe de vedere	15	28	24	19
Jocuri de adaptare pentru persoanele cu deficiențe de vedere	2	12	11	10
Jocurile video ca instrument de învățare sau ca tratament pentru persoanele cu deficiențe de vedere	3	3	4	7
Navigarea și interacțiunea jucătorilor cu deficiențe de vedere în medii virtuale	6	23	22	29
TOTAL	26	66	61	65

Analizarea variațiilor tematiche ale articolelor publicate în domeniul accesibilității și al jocurilor video oferă informații esențiale despre modul în care acesta a evoluat în ultimii 27 de ani. Figura 11 ilustrează evoluția numărului de lucrări publicate (clasificate pe teme) pentru perioada luată în considerare.

Până în anul 2015 pionieri în domeniu au fost lucrările ce abordează tehnici de navigație și interacțiune. Prima lucrare a fost publicată în 1994. Designul și arhitectura jocurilor video au început să atragă interesul cercetătorilor din 2004 până în prezent (prima lucrare legată de acest subiect a fost publicată în 1996). Cu toate acestea, lucrările academice care integrează jocurile pe calculator ca instrumente de învățare pentru persoanele cu deficiențe de vedere au devenit mult mai frecvente în ultimii ani, în special din 2014. Odată cu creșterea capacităților instrumentelor software se așteaptă o creștere a numărului de lucrări în acest domeniu.

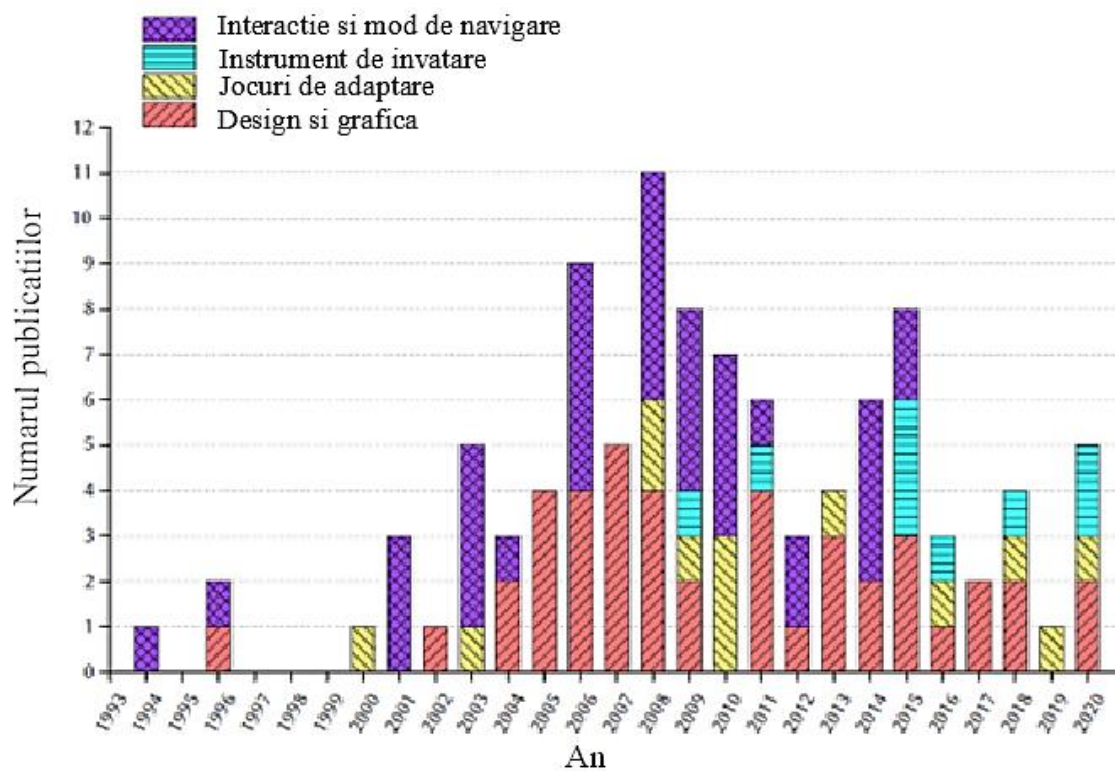


Figura 11 Distribuția bibliografiei în timp. Evoluția numărului de articole publicate în acest domeniu în funcție de an și categorie.[54]

„Navigarea” se remarcă și ca un concept esențial; multe articole fac referire la acest termen în diferite moduri. Cele mai frecvente utilizări pentru navigarea spațială sunt legate fie de orientarea jucătorilor în medii virtuale, fie de ghidarea acestora pentru a deplasare în lumea reală. Majoritatea autorilor urmăresc să creeze aplicații interactive accesibile prin ușurarea folosirii interfețelor. De asemenea, sunt identificate articole în care accesibilitatea jocurilor pe calculator se obține prin utilizarea diferiților senzori.

3.3.2 Jocuri recreative

Un exemplu de joc accesibil nevăzătorilor, care implementează tehnici similare cu cele utilizate în aplicațiile dezvoltate de mine și descrise în această teză este 1-2 Switch[56]. Aplicația 1-2 Switch include 28 de jocuri care folosesc mecanisme de joc bazate pe hardware-ul gamepad-ului, cum ar fi accelerometrul din gamepad. Aceste jocuri se pot juca atât de nevăzători cât și de oameni care nu au acest deficit. Prin înlăturarea interfeței grafice cu utilizatorul, aplicația încă poate fi utilizată datorită stimulilor auditivi verbali care confirmă stări ale jocului cum ar fi starea de câștig iar, în cazul navigării, aceasta este posibilă datorită butoanelor, accelerometrului și stimulilor haptici oferți de gamepad. Un aspect important de menționat în cazul jocului 1-2 Switch este că poate fi jucat simultan de 2 jucători și este de tip competitiv. Jocul nu prezintă situații din viața reală deci scopul principal este divertismentul.

O altă aplicație cu scop de divertisment este Audio Game Hub prezentată în lucrarea lui Fizek et al. [57]. Această lucrare descrie 8 jocuri pentru platformele mobile și desktop și oferă și un studiu amănunțit asupra tehnicilor de design al sunetului. RS Games [58] reprezintă o altă platformă cu jocuri de masă, cărți și zaruri, multiplayer, gratuite, cum ar fi Monopoly, Uno, Rummy sau Bingo, care sunt accesibile comunității nevăzătorilor prin interacțiunea text-voce.

Deși nu sunt educaționale, AudioPuzzle și Terraformers sunt jocuri accesibile copiilor nevăzători, prin urmare ele trebuie menționate [59], [60]. AudioPuzzle constă dintr-un puzzle muzical, în care jucătorii folosesc un ecran haptic al telefonului Android, pentru a sorta piesele muzicale. Terraformers utilizează vorbirea și sunetul spațializat 3D pentru mai multe funcționalități, cum ar fi în meniurile vocale ierarhice și pentru a stimula o busolă acustică sau un sonar. Acest joc arată faptul că o componentă audio poate fi foarte eficientă, fiind folosită în multe și diferite forme pentru a oferi informații utilizatorilor nevăzători în moduri alternative.

Cât despre jocurile de orientare și mobilitate, de asemenea, au fost propuse doar câteva jocuri. Blindfarm [61] este un joc pentru iOS, ce folosește atât GPS-ul, cât și accelerometrul și busola. Scopul acestui joc este de a-i ajuta pe copiii cu deficiențe de vedere să învețe căi pe care să le utilizeze în viața de zi cu zi. Pentru aceasta, jocul include o funcție pe care adulții o pot utiliza pentru a marca o cale virtuală a animalelor în anumite locații. Apoi, jucătorii trebuie să urmeze calea corectă, ascultând onomatopeele animalelor virtuale în spațializare stereo. Aceste sunete semnalizează direcția spre care va merge copilul.

Un alt exemplu a fost prezentat de Sanchez et al., într-un proiect al cărui scop era să analizeze gradul de utilizare a unui joc audio-haptic și influența lui în abilitățile de orientare și mobilitate [62]. Acesta este un joc pe calculator, în care jucătorii trebuie să navigheze un spațiu virtual, în timp ce colectează obiecte. Deși lumea virtuală este tridimensională, sunetul nu era tridimensional, spațializat, ceea ce, în mod cert, a limitat localizarea sunetelor din joc.

Ambelor jocuri le lipsește imersiunea necesară pentru a antrena abilitățile de orientare și mobilitate. Niciunul dintre ele nu utilizează sunet tridimensional, care este de mare importanță având în vedere condiția specială a utilizatorilor țintă. De asemenea, rezultatele

prezentate de către autori nu sunt concludente și nu dovedesc faptul că jocurile lor au putut influența în mod pozitiv abilitățile de orientare ale copiilor.

Smith și Nayar [63] introduc o interfață audio bazată pe sunet pentru jocurile de curse. Afișajul auditiv al jocului de curse conține două tehnici de sonificare: un cursor sonor care permite persoanelor cu deficiențe de vedere să înțeleagă viteza și traiectoria mașinii, și sistemul de indicatori de viraj, care informează jucătorul despre proprietățile virajelor viitoare. AudioDoom [64] reprezintă un „Hyperstory” (o poveste care se desfășoară într-un mediu virtual acustic 3D) pentru copiii cu deficiențe de vedere. Prin împărțirea spațiului navigabil în voxeli și utilizarea reprezentărilor acustice 3D ale mediului, AudioDoom [64] permite jucătorilor să navigheze într-un set de coridoare și să interacționeze cu obiecte și personaje virtuale. Entombed [65] este un joc de rol audio de tip rogue-like pentru persoanele cu deficiențe de vedere. Interacțiunea principală a utilizatorului se bazează pe indicii audio (activate de un motor de sinteză vocală încorporat) și comenzi de la tastatură. Blind Hero [22] reprezintă o adaptare a jocului de ritm Guitar Hero. Autorii au înlocuit stimulii vizuali din jocul original cu stimuli haptici prin utilizarea unei mănuși haptice cu motoare vibratorii atașate la vârful fiecărui deget.

Rovithis et al. [66] descriu "Audio Legends" ca fiind un joc audio de realitate augmentată care prezintă o fază de explorare bazată pe navigație auditivă și o fază de acțiune în care jucătorii lovesc sau blochează ținte sonice virtuale prin interacțiune bazată pe gesturi. Enclosing Dark [67] este un joc de aventură auditivă în realitate virtuală care beneficiază de caracteristicile încorporate ale sistemelor VR (cum ar fi Oculus Rift), audio spațial și feedback haptic. Printre tehnicile audio utilizate în acest joc, menționăm narativa pentru explicații și instrucțiuni, sunetul spațial pentru simularea unui mediu natural, ecoul pentru transmiterea informațiilor despre distanța până la obiectele din mediul înconjurător (pentru acțiunile de tragere cu arma) și sonarul pasiv pentru a ajuta în procesul de navigare (trimiterea informațiilor despre distanța jucătorului până la pereții din mediul înconjurător).

În lucrarea [68] este prezentată o aplicație dezvoltată anterior, doar audio, versiune-prototip a jocului Tic-Tac-Toe prin includerea de afișaje sonice pentru a-l face atractiv pentru copiii nevăzători. Au fost efectuate teste de utilizator cu copiii nevăzători pentru a evalua sunetele nou adăugate și interfața audio în general.

După cum se poate deduce, interacțiunea audio este o componentă cheie în lucrarea de față. Sunetul perceput de utilizator trebuie să comunice toate elementele necesare jocului, în ordine, pentru a înlocui canalul vizual, fără a utiliza sunete verbale. Acest ultim termen este denumit sonificare [69]. În acest scop, în literatura de specialitate existentă au apărut două concepte principale:

Motorul audio dezvoltat s-a bazat pe mediul Unity Game Engine 2 și a servit ca API pentru utilizarea audio. În plus, motorul audio era responsabil pentru gestionarea setărilor audio ale jocului Tic-Tac-Toe. O setare includea, printre altele, seturi de sunete ce au fost generate și proiectate. Au fost utilizate două seturi de sunete. Unul cu afișaje auditive și unul cu earconuri. Pentru fiecare au existat trei opțiuni de plasare, pe care le voi prezenta mai târziu, în această

secțiune. Acest lucru a dus la 6 setări audio, toate capabile să fie accesate și utilizate de aplicație, prin intermediul motorului audio.

Concentrându-ne pe motorul audio, există două sarcini distincte: selectarea redărilor sonice adecvate și procesarea binaurală de sunete. Primul servește ca interfață audio principală între jucător și joc, în timp ce al doilea este folosit pentru a transmite eficient informații spațiale cu privire la tabla Tic-Tac-Toe. Datorită publicului vizat, copiii, selecția și dezvoltarea display-ului sonic s-a bazat pe preferințele acestora în ceea ce privește sunetele. Din acest motiv, contextul semantic al redării sonice a fost căutat în special printre efectele provenite din desenele animate. Mai precis, earconurile s-au bazat pe sunete sintetizate anterior și utilizate doar într-un joc audio Tic-Tac-Toe [70]. În ceea ce privește afișajele auditive, au fost create 5 sunete provenite din sunete corespunzătoare și asemănătoare celor din desenele animate. Acestea sunt:

a) Plasarea X; b) Plasarea 0; c) Atingerea limitei de spațiu; d) pătrat gol; e) acțiune greșită; f) mișcare la pătrat. Pentru afișajele a) și b), sunetul original a fost un sunet de arc, ca effect audio. Pentru primul sunet, acesta a fost extras dintr-un cuțit ce a lovit într-un lemn, iar al doilea, un arc ce sare. Pentru atingerea limitei de spațiu, afișarea sonică s-a bazat pe o minge ce lovește un obiect de lemn. Procesarea binaurală a materialului audio selectat a fost realizată prin utilizarea bibliotecii KEMAR HRTF [71]. Toate sunetele folosite au fost redare pentru următoarele poziții spațiale:

1. 0° altitudine și azimuturi de de 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315 grade, unde s-a făcut lovirea graniței cu azimuturi 0, 90, 180 și 270 de grade;
2. Altitudine de 40° , 20° și -30° pentru vârful, mijloc și, respectiv, rândurile de jos de scânduri și azimuturi de 270, 0 și 45 de grade pentru stânga, mijloc și dreapta coloane, respectiv. Atingerea limitei a fost redată cu perechi elevație/azimut de 40/0, 20=0 și -30/0 și 20/300 de grade pentru sus, dreapta, jos și stânga lovirea de graniță, respectiv.
3. La fel ca în 2, dar cu pitch shifting. Pentru sunetele de top și bottom s-a folosit pitch shifting (modificarea frecvenței de bază) în comparație cu sunetele de mijloc (mid). Pentru sunetele de top frecvența de bază a fost crescută cu o octavă (dublă frecvența) iar pentru cele de bottom a fost micșorată cu o octavă (înjumătățită). Loviturile de limită au fost aceleași ca la punctul 2.

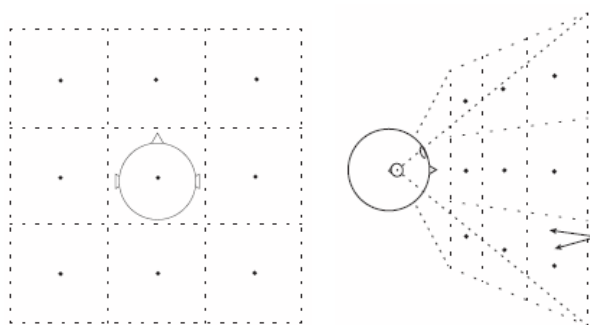


Figura 12 Primul caz de poziționare spațială (stânga). Ilustrarea cazurilor 2 și 3 a poziționării spațiale a sunetelor (dreapta)

Pentru a se adapta pe cât posibil nevoilor de accesibilitate a cât mai multor persoane (ca să abordeze provocarea jucătorilor parțial afectați), a fost utilizată o interfață grafică simplistă, accesibilă. Aceasta utilizează elemente vizuale mari și cu un puternic contrast. Jocul rezultat nu este impresionant din punct de vedere vizual, dar el permite utilizatorilor cu restricții vizuale severe să-l joace vizual.

Interfața audio se concentrează pe oferirea unui feedback direct utilizatorului privind acțiunile sale și efectele lor. Nu există fundal muzical, pentru a acorda mai multă prioritate sunetelor individuale care descriu starea jocului. Cel mai important la implementarea motorului audio este faptul că oferă versiuni ale fiecărui sunet în ordine, pentru a le oferi jucătorilor un sens al spațiului tridimensional și al direcției. Localizarea se bazează pe algoritmi audio binaurali, care creează reprezentări ale fiecărui sunet și poziția acestuia față de jucător. În Figura 13 este o captură de ecran a interfeței vizuale cu utilizatorul de Tic-Tac-Toe.

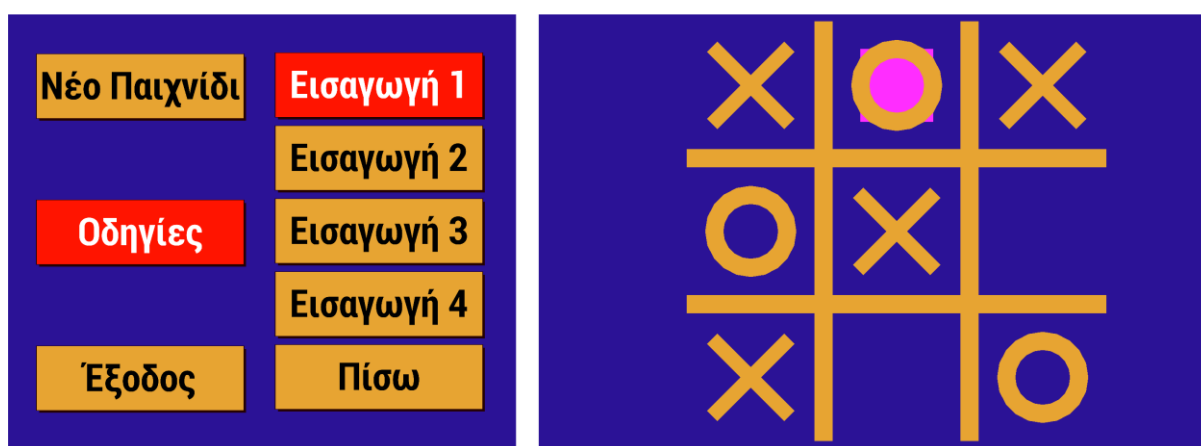


Figura 13 Interfața vizuală cu utilizatorul jocului Tic-Tac-Toe

Pentru a asigura că jocul poate fi jucat de orice jucător, fără a ține cont de experiența sau îndrumările anterioare, fiecare componentă a jocului conține instrucțiuni audio înregistrate. Pentru a înfrunța provocările de joc, a stării de joc și înțelegerea regulilor, au fost implementate patru tutoriale diferite, cu dificultate progresivă. Fiecare tutorial utilizează mesaje audio pre-înregistrate, în vederea ghidării și urmărește fie să predea o parte din jocul Tic-Tac-Toe, fie să-l ajute pe jucător să interpreteze feedback-ul audio.

În cadrul proiectului TiM (Tactile Interactive Multimedia)[72], SITREC [73] a dezvoltat trei jocuri bazate pe sunet, ce indică noi direcții în ceea ce privește designul jocurilor audio. Jocurile TiM demonstrează diferite moduri în care jocurile pot fi concepute pe baza unei experiențe auditive. Sunt prezentate mai multe caracteristici unice ale jocurilor audio, subliniindu-se potențialele pentru interactivitate și sugerând zone viitoare de dezvoltare.

SITREC propune o abordare a designului interfețelor auditive, care iau în considerare trei moduri de ascultare: ascultarea ocazională, ascultarea semantică și ascultarea redusă. Este prezentat un model semiotic ce ilustrează această viziune privind designul obiectelor sonore și modalitățile prin care sunetele pot fi combinate. Lucrarea se concentrează pe probleme de

afișare continuă, muzicalitate și claritate și introduce noțiunea ”coloane sonore de joc spațializate”, spre deosebire de fundalul muzical separat și efectele sonore ale jocului.

Principala provocare în dezvoltarea interfețelor auditive este de a echilibra funcționalitatea și estetica. Alte probleme importante se referă la includerea de informații meta pentru a atinge un nivel ridicat de complexitate și care să ofere elemente de deschidere. Acestea se referă la planificarea generală a jocului, precum și la proiectarea obiectelor sonore individuale și combinarea lor în peisaje sonore complexe și interactive.

Disponibile în comerț, jocurile clasice pe computer nu pot, în general, fi jucate de către persoanele cu deficiențe de vedere, deoarece conținutul esențial al acestora este transmis grafic. Prin urmare, proiectul TiM (Tactile Interactive Multimedia) [74] a fost dedicat producției de prototipuri de jocuri pe calculator pentru copiii cu deficiențe de vedere. În cadrul TiM, SITREC (Centrul Internațional de Cercetare a Jucăriilor din Stockholm, la KTH, Royal Institute of Technology) [73] este responsabil pentru proiectarea a trei jocuri audio: Mudsplat, X-tune și Tim’s Journey.

Jocurile din proiectul TiM ilustrează diferite aspecte ale designului audio al jocurilor. Mudsplat are o interfață ușor de învățat și alte elemente caracteristice acestui gen de joc de tip arcade. X-Tune este un secvențiator muzical de jucărie, construit pe o interfață cu meniu extensibil.

Cel mai atent examinat joc în această lucrare este *Tim’s Journey*. Acesta este un joc de aventură sonoră de tip surround, ce combină elemente de narațiune neliniară cu jocul cu final deschis, în care jucătorul explorează o insula și descoperă încet un mister. Narațiunea neliniară este un tip de narațiune cu multiple fire narrative. În funcție de deciziile jucătorului, acesta poate ajunge pe unul din firele narrative. Există și posibilitatea de a avea diferite finaluri ale unei povești. Dacă jucătorul reia jocul și ia alte decizii pe parcursul poveștii, aceasta se va schimba pentru a reflecta deciziile luate.

Utilizatorii, ca și dezvoltatorii de astăzi, acordă o mare atenție conținutului sonor al jocurilor pe calculator [75]. Sunetul este un mediu narativ expresiv ca flexibilitate, grafică și animație. Peisajele sonore (”soundscape-urile”) pot fi la fel de captivante ca și mediile vizuale avansate tridimensionale. Sunetele pot comunica, de asemenea, informații foarte specifice și generează medii muzicale sugestive sau stări subtile.

Se pare că există o tendință din ce în ce mai mare de utilizare atentă a conținuturilor audio în jocurile pe calculator. Dintre jocurile de top la ora actuală, *Myst III - Exile* [76] și *Halo* [77], prezintă coloane sonore ambițioase și avansate, ce urmează dezvoltarea narativă a jocurilor. În plus, în ultimii doi ani au apărut mai multe jocuri pe calculator în care sunetul este un element central. O importantă categorie de jocuri astăzi sunt jocurile muzicale, în special așa-numitele jocuri ”rhythm action”, în care jucătorii își coordonează acțiunile cu ritmul coloanei sonore. Acest gen include jocuri cum ar fi *PaRappa the Rapper 2* [78] și *Dance Dance Revolution* [79]. Alte jocuri ce gravitează în jurul experiențelor muzicale sunt *Rez* [80], *Amplitude* [81] și *Vib Ribbon* [82].

În ciuda acestor tendințe, conținutul audio al jocurilor pe calculator este, în general, precar în comparație cu cel vizual. Acest lucru se datorează probabil atât utilizatorilor, cât și prejudecăților dezvoltatorului și, în consecință, sunetul rămâne relativ neexplorat în aplicațiile multimedia interactive.

Totuși, există o piață în creștere pentru jocurile cu sunet, ce transmit toate informațiile necesare prin interfețe auditive. Printre cele mai populare se numără jocurile *Shades of Doom* [83] și *Terraformers* [84]. Un efect al acestui lucru este acela că se pot construi noi jocuri audio, din jocuri mai vechi, ce pot deveni tot mai avansate.

În *Mudsplat*[72], jucătorul controlează un avatar care trebuie să învingă monștrii ce încearcă să arunce cu noroi în jucător. Pentru a se proteja, avatarul are un furtun cu care poate stropi cu apă monștrii. Jucătorul atinge anumite niveluri ale jocului prin înfrângerea unui anumit număr de monștri. Pentru a câștiga în jocul *Mudsplat*, trebuie localizați rapid monștrii și să se tragă în aceștia înainte ca ei să arunce cu noroi.

Mudsplat este un joc complet audio. În total, există 25 de niveluri diferite ale *Mudsplat*, împărțite în "cinci lumi", cu cinci niveluri fiecare. Fiecare dintre lumi se caracterizează printr-un anumit fond muzical, ce continuă să crească în intensitate, ceea ce face mai dificilă localizarea monștrilor. La finalul celui de-al cincilea nivel al fiecărei lumi, jucătorul trebuie să învingă un "șef", cel mai greu și mai dificil monstru.

Mudsplat utilizează multe dintre convențiile jocurilor de tip arcade. Terminologia și caracteristicile utilizate sunt, de exemplu, niveluri, șefi, vieți suplimentare și power-up-uri. Jocul este planificat pentru a fi foarte ușor de învățat: obiectivul poate fi înțeles rapid, ca și sistemul simplu de input, ce utilizează doar trei taste pentru a controla avatarul.

Este esențial ca jucătorul să obțină o imagine mentală asupra spațiului de joc. Acest lucru se poate face prin mutarea avatarului în jur, pentru a localiza limitele spațiului disponibil. Toate sunetele sunt auzite la persoana I, iar panoramarea stereo și intensitatea sunetului sunt continuu modificate pentru a oferi o impresie realistă a distanței și a mișcării, astfel încât jucătorul să poată estima de câți pași are nevoie pentru a mișca avatarul pentru a întâlni și înfrunța monstrul.

Mudsplat este dezvoltat pentru a vedea dacă un întreg concept/gen de joc poate fi "redat" doar în informații audio. Principala provocare în acest proces este de a explica jucătorului modul de joc. Deoarece numai câteva dintre sunetele folosite în joc se explică de la sine, acordurile trebuie stabilite din timp și, pe cât posibil să se construiască pe bază de metafore și modele asociative. *Mudsplat* conține diverse exemple de astfel de acorduri, de la sunetele auzite la deplasarea în spatele meniului la sunetele menite să ofere jucătorului date despre dimensiunea monștrilor, cât de periculoși sunt și scorurile acordate la fiecare dintre înfrângerile monștrilor.

X-Tune [72] este mai mult o jucărie software, decât un joc tradițional pe calculator, deoarece nu conține competiție ori sarcini specifice care trebuie rezolvate. *X-Tunes* este deschis, în sensul că poate fi utilizabil în mai multe moduri care nu sunt predefinite. Aceasta

include realizarea de compoziții muzicale prin înregistrarea și manipularea de sunete sau voci, creând colecții de sunet sau pur și simplu jucându-se cu sunete.

În X-tune, se joacă cu diferite medii sonore sau ”stiluri”. Aceste stiluri constau în 15 sunete dintr-o temă, cum ar fi ”bucătăria” sau ”casa fantomă”. Jucătorul creează muzica prin manipularea sunetelor și aranjarea lor în șabloane/modele ritmice. Jucătorul poate manipula sunetele, adăuga efecte și, în final, salva compozițiile sale, pentru a partaja prietenilor fișierele.

Software-ul conține un ”editor de stil”, în care jucătorul își poate crea propriile stiluri. Acest lucru se face fie prin combinarea sunetelor din stilurile predefinite, fie prin înregistrarea și încărcarea unor noi sunete. Motorul jocului utilizează un fișier de sunet tip .wav, ceea ce înseamnă că jucătorul poate utiliza sunete găsite pe internet sau pe computerul utilizatorului și încărcate în editorul de stil.

X-tune are două interfețe, una bazată pe sunet și una grafică (Figura 14), chiar dacă jocul poate fi jucat integral fără a utiliza grafica

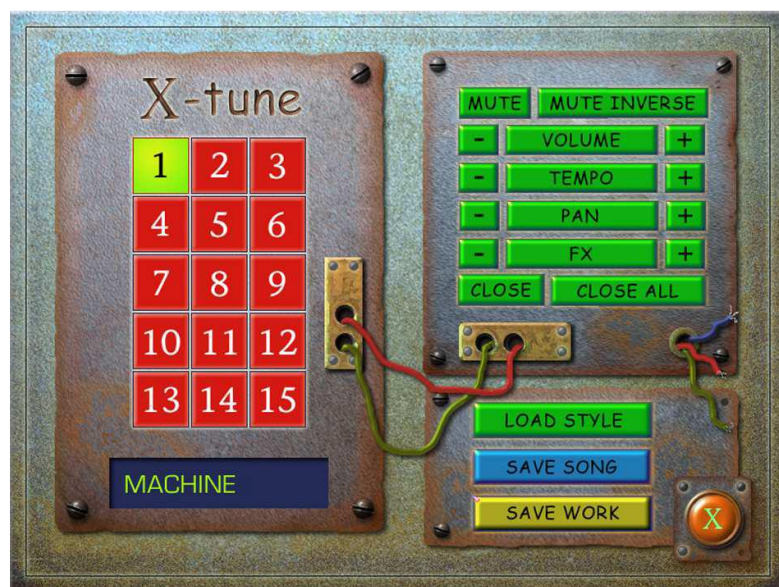


Figura 14 Interfața grafică a X-tune

Interfața auditivă utilizează sfaturi audio atunci când este evidențiată o postare într-un meniu. Aceasta înseamnă că jucătorul primește feedback la toate mișcările din meniuri și pentru fiecare alegere pe care o face. Sfaturile audio sunt înregistrate sub formă de explicații verbale ale meniului postat.

Structura interfeței bazată pe meniu permite dezvoltatorilor să adauge sau să elimine funcții din X-tune. Astfel, X-tune oferă un cadru de caracteristici ce pot fi modificate și recombinate în diferite instrumente și jucării bazate pe sunet, ce nu necesită afișaje vizuale. Această abordare oferă posibilități pentru ajustări ușoare ale software-ului, pentru a viza nevoile diferitelor categorii de vârstă.

Chion sugerează că este posibil să ascultăm o secvență de sunet utilizând simultan mai mult de un mod de ascultare [89]. Acest aspect este esențial pentru Tim's Journey, deoarece sunetele sunt frecvent incluse pentru a încuraja mai mult de un mod de ascultare, cum ar fi

atunci când sunt ascunse coduri în sunetul de picurare a apei, sau adăugarea de obiecte ornamentale ce pot funcționa ca ajutoare de navigație. Încercarea de a îndeplini o anumită funcție estetică sau funcțională, adesea se consideră că este util să se ”deseneze” sunete autentice, în funcție de context. Când nu poate fi găsit niciun sunet autentic care să însoțească evenimentul sau obiectul dorit, sunetele se pot baza pe sunete-metafore sau pe sunete create de la 0 [90].

Mișcându-se liber între modurile de ascultare, mixurile autentice, sunete consacrate și sunetele absolute, ne putem imagina un ”vocabular” sonic triangular, bazat pe un sistem tip desene animate și benzile desenate Scott McCloud [91]. Modelul semiotic McCloud's descrie vocabularul vizual disponibil pentru caricaturiști și se datorează în mod clar teoriilor lui Pierce despre pictograme, simboluri și indici [92].

Prin înlocuirea celor trei vârfuri ale triunghiului McCloud cu modurile de ascultare ale lui Chion, obținem un model al vocabularului sonic disponibil design-erilor de sunet. Astfel, un sistem conceput inițial pentru a clasifica diferite moduri de creare a benzilor desenate, ne ajută să vizualizăm flexibilitatea modurilor în care sunetele pot fi ”desenate”. Cu cele trei moduri de ascultare ca vârfuri, acest sistem acoperă sunetele muzicale, sunetele autentice, sunetele desenate și vorbirea (Figura 15). Aceasta este sugerată și de McCloud [91], deși se referă la textul scris.

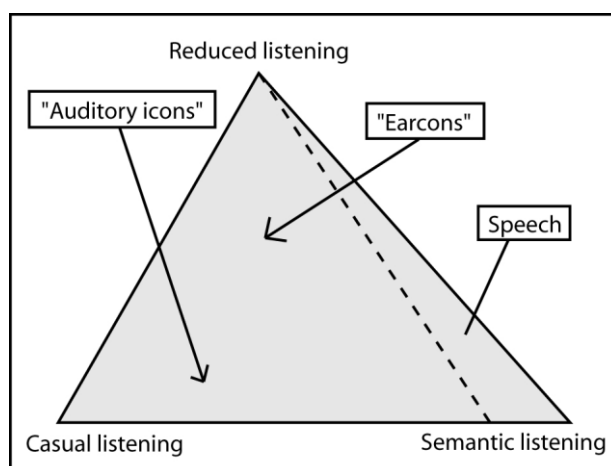


Figura 15 Vocabularul sonic triunghiular

Această viziune asupra celor trei moduri de ascultare ne ajută să ilustrăm mai multe probleme de design cu care se confruntă Tim's Journey. În funcție de ce materiale sonore sunt disponibile și de modul în care sunt subliniate funcționalitatea și estetica, menținem anumite ”câmpuri” ale triunghiului, uneori ce vizează medii cu ”sunet natural”, alteori pentru o mai mare ”desenare ” sau abstractizare a peisajelor sonore. În general, ascultarea ocazională este accentuată în ceea ce privește obiectele sonore individuale, în timp ce, la o scară mai mare, sunetele sunt combinate și secvențializate într-un mod menit să încurajeze ascultarea redusă.

Întrucât toate sunetele sunt declanșate o dată sau de mai multe ori într-o buclă, este posibil să se creeze în pattern-urile ritmice rezultate diferite niveluri de realism sau efecte de ”desene animate”. Acest lucru înseamnă o mai mare libertate pentru dezvoltatorii de jocuri de a încărca peisajul sonor cu informații pe diferite straturi.

Informații stratificate

Arta vizuală se bazează pe interpretări subiective, utilizează și exploatează convenții, pentru a crea situații ce provoacă privitorul. Lipsa unor convenții stabilite pentru afișajul auditiv ne determină să găsim alte modalități de a menține o experiență de joc deschis și cu mai multe fațete.

În jocurile convenționale, reprezentările grafice oferă jucătorului informații complexe, în timp ce informația audio este simplificată și redusă la foarte puține surse. Această simplificare a conținutului audio trivializează informațiile, prin reducerea posibilităților jucătorului de a face interpretări subiective. Nici simplificarea nu facilitează utilizarea potențialului mare al sunetului, ca furnizor de conținut interactiv.

Pe lângă faptul că un context poate adăuga noi sensuri unui obiect sau extinde posibilitățile de interpretare, dezvoltatorii jocului au posibilitatea de a include mai multe straturi de informații în unele sunete, atunci când se intenționează să se crească complexitatea acestuia. Obiectele sonore din *Tim's Journey* poartă adesea diferite straturi de informații suplimentare față de aspectele lor funcționale principale. Această informație meta este subiectivă și nu se bazează întotdeauna pe acorduri stabilite anterior cu jucătorul, cum se întâmplă în general în cazul informațiilor funcționale. În plus, mașina poate fi, de asemenea, și periculoasă în joc, poate avea disfuncționalități, iar sunetul său poate reflecta acest lucru la nivelul meta. Aceste straturi de informații pot fi transmise prin ajustări fie ale sunetului în sine, după modelul său ritmic în timp, fie prin combinarea ambelor. Informațiile stratificate sunt puternic dependente de context, dar indispensabile atunci când încercăm să oferim un nivel ridicat de libertate și, de asemenea, să ne menținem ambițiile artistice.

Obiectele sonore ale unui joc audio sunt întotdeauna auzite într-un context. În primul rând există contextul intrigii jocului, unde sunetele individuale ar trebui să fie inteligibile și distincte.

Există un context muzical unde fiecare obiect sonor este acompaniat de alte sunete din joc. Ultimul context este destul de rar reprezentat în construirea jocurilor audio, mai ales în jocurile destinate deficiențelor de vedere, unde nu este indicat. Totuși, în *Tim's Journey*, modul în care obiectele sonore interacționează ritmic este o caracteristică cheie ce afectează întregul design al jocului.

Există mai multe moduri posibile de a reprezenta prezența obiectelor în joc, utilizând afișarea auditivă [93]. O opțiune este aceea de a face obiectele să emită un sunet continuu, așa că jucătorul poate auzi toate lucrurile prezente în orice moment. Cu toate acestea, ascultarea paralelă a mai multor semnale audio simultane poate crea confuzii. Sunetele autentice ale obiectelor tind să fie foarte scurte, iar transformând un sunet autentic într-un semnal care se poate repeta (loopable) poate reduce nivelul de realism. O abordare mai realistă este aceea de a asocia sunetelor scurte ale obiectelor un anumit tip impact (transient). Cu toate acestea, aceasta este nesatisfăcător pentru majoritatea jocurilor audio, deoarece nu oferă cu ușurință jucătorului o privire de ansamblu asupra spațiului de joc.

Cu cele trei jocuri TiM Mudsplat, X-Tune și Tim's Journey, SITREC își propune să demonstreze că sunt încă multe utilizări ale jocurilor audio ce trebuie explorate. În timp ce evoluțiile recente în jocurile audio de tip mainstream și în jocurile pentru deficienții de vedere implică utilizarea creativă a sunetului, mediul nu este încă utilizat la potențialul său maxim. SITREC consideră că o abordare constructivă este aceea de a îmbina abordarea bazată pe designul funcțional al sunetului cu cea a designului sunetului ornamental al jocurilor mainstream.

Testările celor trei jocuri cu copiii cu deficiență de vedere realizate în Suedia, Marea Britanie și Franța indică, în afară de un mare interes din partea copiilor pentru aceste jocuri și faptul că soluțiile de proiectare sunt funcționale. Jocurile confirmă faptul că în cazul copiilor cu deficiențe de vedere, aceștia pot face față interfețelor complexe.

Proiectul TiM intenționează să demonstreze că jocurile ce se bazează pe sunet nu trebuie dezvoltate numai pentru jucătorii cu deficiențe de vedere. Când se dezvoltă audio pentru orice tip de aplicație interactivă, considerăm că vocabularul triangular al designului jocului, bazat pe teoriile lui Chion [89] și McCloud [91] poate fi un model util. Acest sistem poate ajuta designerii de interfețe audio să prezinte diferite tipuri de informații pe care obiectele sonore le pot transmite. Prin țintirea unui număr mai mare decât un singur mod de ascultare, sunetele pot transmite mai multe straturi de informații, rezultând un conținut audio al jocului multiplu, multifacetat, și atrăgător.

3.3.3 Jocuri serioase

Jocurile serioase pot fi un instrument excelent de transmitere a cunoștințelor și oferă o motivație suplimentară, inclusiv antrenarea abilităților de orientare. Cu toate acestea, au fost propuse puține jocuri care sunt accesibile copiilor nevăzători. Aceste jocuri nu au ca scop principal divertismentul ci sunt create, de cele mai multe ori, cu scopul de a transmite anumite cunoștințe, pot fi jocuri de învățare sau simulatoare de anumite situații reale cum ar fi, de exemplu, simulatoarele de zbor folosite în aviație.

Accesibilitatea poate fi definită ca "utilizabilitatea unui produs, serviciu, mediu sau facilitare de către oameni cu cea mai largă gamă de capacități" [94]. În plus, accesibilitatea la jocurile video este un factor ce ar trebui luat în considerare [95].

Jocurile serioase permit oamenilor să învețe prin intermediul unor activități distractive. Există la ora actuală o cerere tot mai mare a acestui tip de jocuri video, aceste jocuri pătrunzând și în sfera educațională. Se remarcă o dezvoltare a companiilor ce creează jocuri de asemenea tip, care au fost preocupate de accesibilizarea acestor jocuri pentru mai multe tipuri de deficiențe.

Jocurile serioase sunt o categorie de jocuri menite să susțină procesele educaționale. Jocurile serioase le permit profesorilor să aplice noi metode de predare, aceste jocuri având un considerabil potențial de a stimula și susține învățarea activă [96].

Jocurile serioase devin o afacere de succes, ele ajungând în diverse domenii, cum ar fi instruirea în apărare, educație, medicină și politică [97]. O serie de domenii, cum ar fi educația, sănătatea, apărarea și chiar politica, utilizează aceste jocuri serioase ca antrenament pentru atingerea anumitor scopuri [98].

Autorii lucrării [99] au realizat un studiu ce a urmărit impactul integrării activității fizice în jocuri accesibile pentru persoanele cu dizabilități asupra incluziunii elevilor cu dizabilități pe parcursul orelor de educație fizică. În acest sens au dezvoltat module senzoriale ce permit elevilor cu deficiențe de vedere să participe la jocuri augmentate digital accesibile, bazate pe mișcare.

Elementele de bază ale lucrării [99] se bazează în mare măsură pe conceptul de interacțiune tangibilă. Interacțiunea tangibilă este promițătoare pentru persoanele cu deficiențe de vedere, deoarece simțul lor tactil este mult mai dezvoltat. Ca urmare, au fost propuse numeroase abordări ale interacțiunii tangibile pentru persoanele cu deficiențe de vedere. Accentul se pune aici pe interacțiunea tangibilă care permite persoanelor cu deficiențe de vedere (în special copiilor) să creeze sau să învețe ceva. Rezultatele obținute în acest studiu au fost obținute prin realizarea a două workshop-uri în care studenții au folosit modulele senzoriale (building Blocks). Primul atelier s-a desfășurat într-o sală de sport, pe parcursul unui curs de educație fizică. Au fost implicați 9 elevi (7 băieți și 2 fete dintre care 2 orbi, 2 cu deficiențe severe de vedere și 5 cu daltonism). Al doilea atelier s-a desfășurat în timpul unei tabere școlare și a vizat 6 elevi, 3 băieți și 3 fete, toți orbi. În cadrul activităților fizice, elevii au fost încurajați să dezvolte propriile jocuri utilizând modulele senzoriale. Autorii au analizat cu precădere aspecte legate de componenta socială a jocurilor ce cuprinde incluziunea și posibilitatea activităților în echipă. Deoarece feedback-ul auditiv și tactil sunt utilizate în mod obișnuit în tehnologiile pentru persoanele cu deficiențe de vedere, autorii au vizat stimularea acestor două simțuri.

Modulele senzoriale folosite au fost sub forma unor cuburi cu laturi de 6.5 cm (Figura 16). A fost folosit un PCB (printed circuit board) care a integrat un Arduino Micro; un modul de vibrații și sunet pentru feedback; un modul Zig-Bee și Ultra High Frequency Radio-Frequency Identification (UHF-RFID) pentru comunicare.

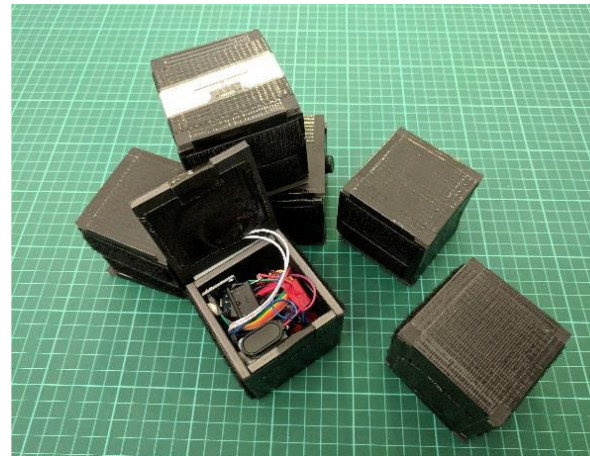
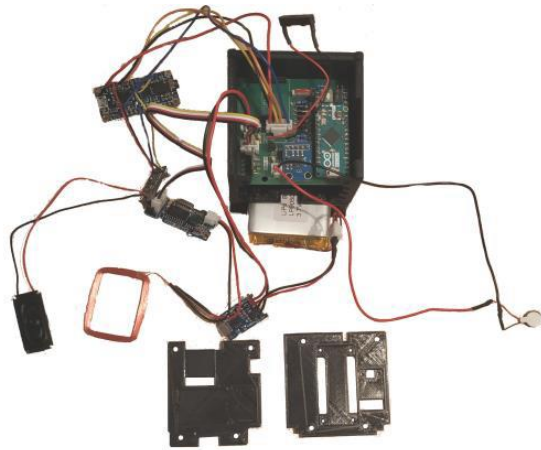


Figura 16 Modulele senzoriale

Prin participarea la cele două ateliere elevii au creat în total 5 jocuri pe care le-au denumit sugestiv: "I Try to Reach you", "Memory", "Slow Stafe Race", "Circular Training" și "Collecting a Story". Utilizarea modulelor senzoriale s-a realizat prin intermediul următoarelor acțiuni: "Balancing", "Countdown", "Ball Enhanced with Sound", "Silent Movement", "Mark a Target", "Flip a Building Block".

În lucrarea [100] autorii propun un joc serios pentru consolidarea calculului binar, cu caracteristici de accesibilitate pentru persoanele cu deficiențe de vedere. În acest fel, elevii cu acest tip de dizabilitate pot utiliza jocul la fel de bine ca cei care nu au niciun handicap. Pentru a dezvolta jocul serios, autorii au propus un model bazat pe împușcături, deoarece este cel mai ușor de construit și adaptat pentru selectarea diferitelor opțiuni. În plus, jocurile cu împușcături și cele de tip puzzle au fost cel mai bine vândute jocuri video în Statele Unite în 2022, în conformitate cu datele statistice preluate din [101].

Mulți oameni învață jucându-se. Nu este de mirare, deci, că jocurile video educaționale sunt, de asemenea, realizate și pentru persoanele care au un anumit handicap și care îi găsesc un loc ca instrument recreativ.

Ainscow, Booth și Dyson [102] se referă la trei variabile pentru oricare viață școlară a elevului: prezență, învățare și participare. Participarea, în acest caz, a fost neglijată în dezvoltarea de jocuri video ce vizează educarea persoanelor cu anumite tipuri de dizabilități.

Cu toate acestea, experiența utilizării jocurilor serioase poate diferi de la un utilizator la altul, ca și în cazul oricărui tip de material de învățare. Din acest motiv, articolul [103] propune o soluție care se alătură unei liste vaste de încercări de a realiza o educație din ce în ce mai incluzivă. Cerințele utilizatorului sunt colectate în funcție de nevoile de accesibilitate ale fiecărui individ.

În lucrarea [104] se discută despre dezvoltarea unui joc serios conceput pentru a facilita interacțiunea socială prin crearea colaborativă de muzică. Jocul utilizează pad-uri de tobe MIDI (Musical Instrument Digital Interface), permițând utilizatorilor să creeze muzică împreună, chiar fără cunoștințe muzicale anterioare. Sistemul analizează ritmul în timp real și oferă feedback muzical pentru a îmbunătăți experiența estetică a interacțiunii.

Motivația din spatele jocului prezentat în [104] derivă din beneficiile educaționale și terapeutice recunoscute ale muzicii, în special în dezvoltarea abilităților sociale, stimularea stimei de sine și satisfacție. Terapia prin muzică, care implică adesea interacțiuni între un terapeut și un pacient, poate fi eficientă în atingerea acestor beneficii, dar necesită expertiză specializată. Jocul serios își propune să ofere o experiență similară fără a avea nevoie de instruire muzicală extensivă sau îndrumare profesională.

Interfața jocului constă din două pad-uri de tobe MIDI conectate la un calculator care rulează software-ul jocului. Jucătorii încep prin a cânta la pad-uri și a crea ritmuri fără nicio augmentare muzicală. Sistemul evaluează calitatea interacțiunii dintre jucători și oferă feedback în formă de puncte (scor) și augmentare muzicală. Feedback-ul muzical urmează tempo-ul și ritmul stabilit de jucători, dar adaugă o dimensiune melodică și armonică la ieșire, îmbunătățind experiența generală și încurajând o mai bună interacțiune.

În ansamblu, articolul prezintă un joc serios care permite interacțiunea socială prin crearea colaborativă de ritmuri. Evaluarea sistemului prin intermediul unui chestionar arată o primire pozitivă. Cercetarea contribuie la domeniul terapiei prin muzică și oferă o unealtă potențial valoroasă pentru promovarea interacțiunii sociale și a experiențelor muzicale în rândul persoanelor fără expertiză muzicală.

Articolul [105] discută despre dezvoltarea unui prototip de joc serios numit "Hungry Cat" conceput pentru a ajuta copiii cu deficiențe de vedere să dobândească abilități de navigare spațială într-un mediu virtual. Prototipul jocului "Hungry Cat" implică ghidarea unui personaj felin prin intermediul unei camere virtuale. Jucătorii primesc feedback audio și haptic pentru a naviga prin niveluri și a găsi hrana pentru pisică. Feedback-ul audio oferă informații despre obstacolele și reperele din jur, iar feedback-ul haptic furnizează informații despre direcția în care se îndreaptă jucătorul. Prin intermediul acestui feedback, jucătorii pot dezvolta o înțelegere spațială a mediului și pot naviga cu precizie mai mare.

Au fost efectuate două teste pentru a evalua eficacitatea instrumentului de învățare. Primul test implică găsirea hranei în cadrul nivelului jocului, în timp ce al doilea test evaluează capacitatea participanților de a crea o hartă mentală spațială a camerei. Evaluările inițiale ale prototipului jocului au arătat rezultate pozitive. Participanții au învățat să folosească feedback-ul audio și haptic pentru a naviga și au dezvoltat o înțelegere mai bună a mediului virtual. Jocul a fost considerat distractiv și stimulant, iar participanții și-au exprimat interesul de a juca mai mult și de a explora mai multe niveluri.

Lucrarea evidențiază cele două metode de navigare: navigarea bazată pe repere și integrarea traseului. Navigarea bazată pe repere implică adunarea informațiilor din reperele mediului utilizând simțurile, în timp ce integrarea traseului se bazează pe simțul mișcării pentru a determina orientarea și poziția. Persoanele cu deficiențe de vedere preferă adesea integrarea traseului, deoarece nu se bazează în mod excesiv pe indicii vizuale.

Acest joc serios își propune să fie o soluție accesibilă și interactivă, care poate fi jucată pe un dispozitiv mobil obișnuit.

Articolul [106] prezintă un joc serios numit "A walk in the park" conceput pentru cercetarea de substituție senzorială auditiv-vizuală (AVSS – Audio Visual Sensory Substitution) în beneficiul persoanelor cu deficiențe de vedere.

Jocul a fost dezvoltat utilizând motorul de joc Unity 3D. Jocul se desfășoară într-un mediu virtual similar unui parc, unde jucătorul navighează printre diverse obiecte și obstacole pentru a ajunge la ieșire. Jocul integrează instrucțiuni auditive și feedback pentru jucătorii cu deficiențe de vedere. Autorii descriu design-ul modular al jocului, flexibilitatea acestuia de a se adapta la diferite tehnici AVSS și capacitatea de a genera jurnale pentru analiza performanței.

În ansamblu, lucrarea [106] demonstrează potențialul utilizării motoarelor de joc 3D ca platformă de cercetare și instruire pentru soluțiile AVSS. Jocul "A walk in the park" oferă un mediu controlat pentru evaluarea diferitelor conversii AVSS și poate contribui la dezvoltarea tehnologiilor de asistență pentru persoanele cu deficiențe de vedere.

Lucrarea [107] se concentrează asupra implementării unui joc bazat pe locație, asemănător unei vânătoare de comori, conceput pentru a susține antrenamentul de orientare și mobilitate (O&M) pentru elevii cu deficiențe de vedere. Antrenamentul tradițional O&M implică parcurgerea repetată a aceleiași rute și memorarea punctelor de reper și a punctelor de orientare. În contrast, jocurile au potențialul de a face procesul de antrenament mai plăcut și mai captivant, contribuind astfel la motivare și învățare.

Jocul mobil bazat pe locație se joacă în lumea reală cu ajutorul unui telefon mobil și implică navigarea prin clădirea școlii, fiecare locație oferind elemente narrative, puzzle-uri sau obiecte de colectat. Autorii lucrării și-au propus să investigheze eficiența unui joc mobil bazat pe locație pentru antrenamentul O&M în comparație cu un joc jucat într-o lume virtuală. Pentru aceasta jocul a fost implementat atât în clădirea școlii reale, cât și într-un model virtual 3D al clădirii.

De asemenea, ei explorează acceptarea acestor jocuri printre elevii cu deficiențe de vedere și identifică eventualele probleme care pot apărea. În plus, autorii examinează preferința elevilor între utilizarea unei aplicații mobile bazate pe locație și solicitarea asistenței unei persoane în timpul antrenamentului.

Majorității jocurilor dedicate nevăzătorilor le lipsește gradul ridicat de complexitate și provocare, neavând tehnici avansate de joc pentru a interacționa cu jucătorii în mod eficient. Acestea folosesc, de asemenea, strategii de sunet de bază, rezultând o interacțiune, conținut și imersiune reduse. Interacțiunea în joc se bazează în principal pe text-voce, ceea ce poate fi dificil. Multe jocuri se confruntă cu probleme de compatibilitate pe platformele suportate și lipsa de portabilitate.

Jocul cu insecte [108] este un joc audio capabil să ajute la învățarea abilităților de orientare pentru studenții cu deficiențe de vedere. Jocul utilizează sunet spațial 3D ce este implementat cu funcții de transfer în relație cu capul (HRTF – Head Related Transfer Function). Aceste sunete oferă utilizatorilor oportunitatea de a-și antrena abilitățile de localizare audio, cum ar fi localizarea sunetelor față-spate, stânga-dreapta, aproape-departe,

într-un mediu distractiv. Pe lângă principalele obiective educaționale, caracteristicile distractive ale jocului îi ajută pe copii să-și depășească problemele de încredere în sine resimțite în mod obișnuit de copiii cu asemenea tip de dizabilitate.

Jocul a fost dezvoltat pentru sistemul de operare Android, folosind motorul grafic Unity 3D, ceea ce îl face foarte accesibil pentru publicul larg. Pentru confortul profesorului de mobilitate sau al părintelui, jocul are o interfață vizuală opțională. Ca cerințe, este nevoie de un dispozitiv Android cu un senzor giroscop și de un set de căști. Pentru a procesa sunetele cu HRTF, a fost integrat OpenAL în Unity3D cu ajutorul unui plug-in.

Jocul constă dintr-un set de trei provocări, concepute pentru a forma abilități de orientare, cum ar fi performanța de localizare corectă a sunetului și alte concepte de orientare. Tema este atractivă pentru o gamă largă de vârste: este despre un om de știință ce călătorește într-o navă spațială, care trebuie să captureze sau să fotografieze insecte extraterestre vii pentru analiza ulterioară. Provocările constau în urmărirea câtorva tipuri de insecte sau de a îndeplini alte sarcini în nava spațială. Deoarece jocul este conceput pentru utilizatorii nevăzători și cu vederea slabă, nu este nevoie să vezi grafica pentru a juca. Sunetul (vorbirea și sunetul 3D spațializat) și vibrațiile dispozitivului sunt utilizate pentru a transmite informații utilizatorilor. Utilizatorii interacționează cu jocul atingând ecranul și rotind dispozitivul. Jucătorii trebuie să se deplaseze într-un mediu virtual rotind dispozitivul către insectă. Ei nu trebuie să meargă, dar trebuie să se întoarcă ținând dispozitivul fix (cu ecranul îndreptat către față sau către piept). Informațiile de la giroscopul dispozitivului sunt folosite pentru a determina în ce direcție se îndreaptă utilizatorul.

În fiecare dintre cele trei provocări, jucătorul trebuie să-și folosească intens auzul. Scopul primei provocări este de a captura gândaci spațiali care au scăpat dintr-un laborator de știință. Pentru a realiza acest lucru, jucătorul trebuie să detecteze direcția de unde provin sunetele creaturilor. Acestea sunt sunete spațializate 3D. Dacă jucătorului îi ia prea mult timp să captureze gândacul, aparatul vibrează și gândacul dispare. A doua provocare este foarte asemănătoare cu prima, singura diferență fiind faptul că este vorba despre albine extraterestre ce zboară în jurul poziției jucătorului, în timp ce descrie o mișcare sinusoidală (zburând în sus și-n jos). Din nou, este utilizat sunetul spațializat 3D în această provocare. Ambele provocări au opțiunea de a fi jucate pe grade de dificultate adaptive, adică nivelul de dificultate poate crește sau scădea, în funcție de performanța jucătorilor. În cea de-a treia provocare, numită provocarea Soundpath, sunetele au încă o dimensiune: distanța. În această provocare, jucătorul trebuie să identifice direcția de unde vine sunetul, dar și distanța sursei sunetului. Scopul acestei provocări este de a naviga într-o camera virtuală pentru a căuta obiecte ce permit jucătorului să completeze sarcini simple, cum ar fi să deschidă o ușă sau să activeze o mașinărie. Pentru a ajunge la obiecte, jucătorul navighează prin camera virtuală. Interacțiunea este foarte simplă: jucătorul trebuie să rotească dispozitivul pentru a merge. Pentru a oferi jucătorilor noțiunea de mișcare, când aceștia aleg modul "mergi", este reprodus sunetul pașilor. Pentru a crește dificultatea provocării, unele obstacole pot fi prezentate în cameră, cerându-le utilizatorilor să le identifice și să le evite. Obstacolele sunt sonificate, astfel încât să poată fi identificate în mediu doar prin sunet. Această provocare are două moduri de joc distincte: normal și puzzle. Modul normal constă dintr-un set fix de sarcini, a căror dificultate crește în mod progresiv.

Modul puzzle necesită unele amintiri auditive ale jucătorului. La pornirea acestui mod, este reprodusă o secvență de sunete, iar apoi jucătorul trebuie să caute în cameră și să găsească sunetele în ordinea corectă.

Sonificarea tridimensională a jocului a fost, de asemenea, implicit testată și aprobată de toți subiecții. Prima provocare, cea cu gândacii statici, a dovedit faptul că sunetele sunt mai ușor de localizat în plan orizontal, în timp ce a doua provocare, cea cu albinele zburătoare, a demonstrat că mișcările sursei sonore atât pe orizontală, cât și pe verticală au fost, de asemenea, ușor de observat.

Performanța subiecților și comentariile acestora referitoare la această provocare a dovedit că motorul audio Unity3D nu este adecvat pentru acest joc, deoarece nu poate produce sunet tridimensional real. Acest lucru se întâmplă deoarece Unity3D doar rotește sunetul între cele două semnale de ieșire (stânga-dreapta). Panorama sonoră este în mod clar insuficientă, deoarece nu oferă suficiente indicii sonore pentru a determina dacă un sunet este în față sau în spatele subiectului; la fel se întâmplă cu sunetele în plan vertical. Pe de altă parte, sunetele procesate de HRTF s-au dovedit a fi eficiente.

3.4 Modele de sonificare, concepte de design al sunetului și metode de înregistrare a sunetului

Un model de sonificare este un mod de a transforma datele sau informațiile în sunet. Modelele de sonificare valorifică simțul auditiv pentru a reprezenta și comunica informații. În cazul aplicațiilor create și prezentate în această teză, procesul de sonificare implică atribuirea sunetelor pentru anumite atribute ale unor obiecte, cum ar fi înălțimea, lățimea sau locația spațială. Modelele de sonificare pot fi utilizate în diverse domenii pentru a îmbunătăți explorarea, analiza și comunicarea datelor. Ele oferă o modalitate alternativă sau complementară de reprezentare a informațiilor, în special pentru persoanele cu deficiențe de vedere.

Modelele de sonificare au fost clasificate în două categorii:

- Modele de sonificare discrete (iterative): oferă informații despre obiectele din scenă secvențial, pe rând. Anumite modele de sonificare discrete oferă informații despre scenă de la stânga la dreapta cum ar fi Horizontal Sweep (3.4.1.3) iar altele oferă informații începând cu cel mai apropiat obiect până la cel mai îndepărtat obiect cum ar fi Depth Scanning (3.4.1.2)
- Modele de sonificare continue: Oferă informații despre întreaga scenă în mod continuu. Avantajul acestui mod este că oferă informații despre multiple obiecte simultan. Dezavantajul este că poate fi obositor.

3.4.1 Modele de sonificare discrete (iterative)

Un proiect important de menționat în privința sonificării mediului 3D este proiectul Sound of Vision (SoV)[7]. Experiența autorului cu modelele de sonificare dezvoltate în cadrul proiectului SoV [109] a stat la baza creării modelelor de sonificare pentru jocurile prezentate în capitolele 5 și 6 ale acestei teze. Cele mai des întâlnite asocieri între obiecte și proprietățile acestora care pot fi sonificate au legătură cu poziția lor în spațiu. Astfel, în SOV poziția unui obiect este redată sonor prin:

- Azimut: se sonifică prin panoramare stereo (deplasarea sunetului din casca stângă în casca dreaptă sau invers, în funcție de poziția sunetului) sau Head Related Transfer Function (HRTF – funcție complexă pentru modelarea procesului prin care sunetul este filtrat și modificat de către capul și urechile umane)
- Elevație: se sonifică prin înălțimea sunetului (pitch) filtrând cu HRTF
- Distanță: Se sonifică prin amplitudinea sunetului și se filtrează cu HRTF

În subcapitolele următoare se vor detalia modelele de sonificare create de membrii proiectului SoV cu ajutorul voluntarilor nevăzători și a specialiștilor în antrenarea și reabilitarea nevăzătorilor. Ajustarea modelelor a fost realizată după o investigație preliminară folosind metode de evaluare psihofizice [7].

3.4.1.1 Modelul „impact sounds”

Modelul propune tratarea fiecărui obiect aflat în emisfera frontală a utilizatorului ca un obiect virtual independent care emite un sunet de impact similar cu momentul în care nevăzătorul l-ar lovi cu bastonul alb. Înălțimea și timbrul sunetului rezultat din sunetul de „impact” sunt în directă legătură cu lățimea și categoria obiectului. Amplitudinea sunetului este direct proporțională cu distanța dintre obiect și utilizator, altfel spus, cu cât utilizatorul este mai aproape de obiect, cu atât sunetul se aude mai tare.

Sunete individuale de impact sunt generate printr-un model fizic de impact neliniar între două obiecte simulate. Acest model face parte din modelele de sintetizare a sunetului incluse în Sound Design Toolkit (SDT) [110], un software open-source (GPLv2) potrivit pentru cercetare și educație din Sonic Interaction Design [111]. SDT este o bibliotecă de algoritmi de sintetizare a sunetului, pusă la dispoziție cu ajutorul celor două limbaje de programare vizuale Max și Pure Data[110]. Pentru implementarea modelului „impact sounds” din cadrul SoV a fost folosit Pure Data.

Modelul „impact sounds” primește ca parametri de intrare informații legate de obiectul care lovește (obiectul simulat 1) și obiectul lovit (obiectul simulat 2), cât și tipul interacțiunii dintre cele două obiecte. Cei mai relevanți parametri stabiliți sunt viteza de lovire, fixată la 1,85 m/s și masa obiectului care lovește, fixată la 0.6 kg. Acești parametri au fost aproximați în concordanță cu bastonul alb care ar lovi un obiect. Valorile parametrilor obiectului care trebuie reprezentat sonic (obiectul lovit), depind de lățimea și categoria obiectului.

Frecvența sunetului este direct proporțională cu lățimea obiectului. Pentru a folosi întreaga plajă de frecvențe, aceasta variază, pentru modelul de sonificare „impact sounds”, de la 50 Hz (obiecte foarte late cum ar fi pereți) la 4 kHz (obiecte înguste de 20 cm) după următoarea formulă, unde w reprezintă lățimea obiectului măsurată în metri:

$$f = \frac{840}{w} [Hz]$$

Diferitele categorii de obiecte sunt reprezentate prin timpi de decay (timpul dintre momentul în care se produce sunetul și momentul în care se oprește complet incluzând și cazul de reflexie a sunetului) diferiți. Obiectele sunt clasificate în funcție de material, de exemplu, obiectele din cauciuc, lemn, sticlă au durate mai mari de decay [112]). Obiectele mai sunt clasificate după tip, de exemplu, pereți, copaci, găuri, etc. Având definită categoria $C = 1,2,3...$ timpul de decay (t_d) se calculează cu formula:

$$t_d = 0,02C [secunde]$$

Distanța dintre utilizator și obiect este, de asemenea un parametru pentru modelul „impact sound”. Presupunând că toate obiectele care trebuie sonificate se află la o distanță mai mare de 1m (deoarece obiectele mai apropiate de 1 m pot fi atinse cu bastonul alb), amplitudinea sunetului este calculată cu formula clasică de atenuare a presiunii [113], $1/\text{distanță}$. Numărul total al obiectelor sonificate (n din formulă) influențează numărul de repetiții ale sunetului, astfel, perioada T între două impacturi consecutive ale aceluiași obiect este setată la:

$$T = 0,2(n - 1) [secunde]$$

Direcția obiectului în concordanță cu direcția de privire a utilizatorului se măsoară în coordonate unghiulare (azimut, elevație), iar acești parametri sunt folosiți pentru HRTF furnizat de Pure Data binaural synthesis. Pe scurt, filtrul HRTF redă poziția unghiulară a sursei de sunet în relație cu ascultătorul, printr-o funcție de convoluție din baza de date MIT KEMAR. În acest fel, sunetul este spațializat și se poate face diferența între sunete emise de obiecte aflate deasupra sau în spatele ascultătorului, spre deosebire de panoramarea stereo clasică unde nu se poate face diferența între sunetele obiectelor aflate în spatele utilizatorului și de cele ale obiectelor din față.

Au existat două motive pentru alegerea modelului „impact sounds” ca mod de sonificare a obiectelor. Primul motiv este modul de generare a sunetelor bazat pe fenomene fizice care, prin natura sa, poate fi asociat direct cu lovirea reală a obiectelor cu bastonul alb. În al doilea rând, modelul având un sunet scurt ca durată și fiind bogat în frecvențe, oferă posibilitatea de a localiza cu precizie obiectele aflate în plan orizontal. Alegerile de asociere a obiectelor cu proprietățile lor sonificate au fost făcute și pe baza literaturii de specialitate. Asocierea înălțimii sunetului cu obiectele înguste se bazează pe [113].

3.4.1.2 Depth scanning

Această metodă de sonificare a fost descrisă în lucrarea scrisă de Bujacz et al. [114]. Metoda se bazează pe faptul ca nevăzătorii, în special cei născuți cu această dizabilitate, se

orientează memorând locurile prin care au trecut. Metoda principală de orientare este cu un plan virtual de scanare, de exemplu, nevăzătorii se orientează după un plan frontal care se îndepărtează de el/ea prin scenă. Pe măsură ce suprafața se intersectează cu elemente din scenă, sunt redade sunetele care au originea în punctele de intersecție. Suprafața de scanare se deplasează pe o distanță de 5 m în 1,5 s iar, după o pauză de 0.5 s, pornește din nou din poziția utilizatorului. Această viteză a fost aleasă de majoritatea nevăzătorilor la teste cu prototipul [114]. În experimentul din articol viteza de deplasare a suprafeței de scanare a fost mărită la 3 cicluri în 5 s. Au fost adăugate și sunete de „ticăit” la fiecare 1m parcurs de plan.

Sunetele sunt create în așa fel încât să corespundă cu parametrul obiectului. Cel mai important parametru, distanța, este modelată atât prin timpul scurs de la începerea avansării planului cât și prin volumul și înălțimea sunetului. De exemplu, dacă un obiect aflat la distanță apare mai târziu pe parcursul ciclului de scanare, sunetul emis va avea volum mai mic și înălțime mai mică. Locația obiectului este filtrată cu HRTF, iar dimensiunea acestuia sonificată prin durata sunetului. Sunetele sunt generate cu ajutorul Microsoft General MIDI calliope synthesizer (no. 83) modulată cu 5% zgomot (14 dB SNR). Testele precedente din acest articol au demonstrat că semnalul de tip „zgomot” îmbunătățește localizarea spațială a sunetului [115]. Sunetele au fost stocate în fișiere .wav de 5s. Gama aleasă este cea diatonică (octavele de la 2 la 4). Sunetele au fost filtrate folosind HRTF-urile generice MIT KEMAR și modulate cu envelope ADSR (Attack, Decay, Sustain, Release)

3.4.1.3 Horizontal Sweep

Abordarea „horizontal sweep” a fost folosită și în studii precedente (de exemplu, Navbelt [116]), și este denumită și „scanarea de tip pian”. La bază, sonifică distanța ca înălțime a sunetului, pe mai multe direcții față de ascultător. Abordarea este foarte similară cu cea descrisă la depth scanning, diferența principală fiind la planul de scanare. Planul de scanare nu se îndepărtează de nevăzător ci scanează de la stânga la dreapta, axa verticală fiind în poziția ascultătorului. Planul de scanare se mișcă de la stânga -45° la dreapta $+45^\circ$ în 1,5 s. „Ticăitul” de referință este redat de fiecare dată când planul parcurge 15° .

Acest model de sonificare generează sunete folosind un sintetizator Moog și ADSR envelope. Înălțimile sunetelor sunt alese din octavele de mijloc ale gamei pentatonice. O diferență importantă față de abordarea „depth scan” este că spațiul a fost împărțit în regiuni de 15° , iar planul de scanare nu se deplasează continuu. Pentru fiecare regiune se redă un sunet corespunzător celui mai apropiat obiect.

3.4.2 Modele de sonificare continue

Tot în proiectul Sound of Vision au fost dezvoltate modele de sonificare continue. În acest mod de sonificare semnalele audio care conțin informația despre scenă sunt redade în mod continuu, simultan. Aceasta este o modalitate naturală de a oferi informația audio dar există posibilitatea de a obosi utilizatorul. Folosind această modalitate de sonificare, este posibil să redăm informații despre mai multe obiecte în același timp cu performanță ridicată în ceea ce

privește percepția obiectelor, iar mulți utilizatori au găsit această modalitate ca fiind utilă pentru găsirea drumului corect, navigând scena populată cu obstacole.

Sonificarea “Bubblestream” este un model de sonificare continuă. Acesta simulează formarea unei cantități mari de bule asemănătoare cu sunetul scos de apa când atinge punctul de fierbere. Sunetele bulelor se formează pe suprafața obiectului.

Sunetele generate sunt plăcute și nu deranjează. Modelul primește informație de la o hartă de adâncime generată de dispozitivul SoV. Cu cât utilizatorul este mai aproape de obiect, cu atât cantitatea de sunete de bule este mai mare, similar cu mărirea temperaturii apei care fierbe. La fel se întâmplă și în cazul în care numărul de obstacole crește.

3.4.3 Indicatori sonori adiționali modelelor de sonificare

3.4.3.1 Frontal Selector

Acest “modificator”, cum este numit în documentația SoV, se poate activa sau dezactiva oricând și se aplică peste informația deja oferită de modelul de sonificare activ, similar cu „access overlays” prezentate în capitolul 3.2.4. Când acest mod este activ, modelul de sonificare funcționează doar pe direcția de privire a utilizatorului cu un câmp de vizualizare mai restrâns. Se sonifică doar obiectele care intersectează direcția de privire. Obiectele care nu intersectează linia de privire nu sunt sonificate.

Cu alte cuvinte, modificatorul *Frontal Selector* limitează obiectele redade utilizatorului prin modelul de sonificare (Continuu sau Iterativ). Doar obiectele aflate fix în fața acestuia vor fi redade. Acest modificator nu aduce alte schimbări la modul de sonificare al obstacolelor.

3.4.3.2 Flashlight

Acest modificator redă distanța până la cel mai apropiat punct pe direcția de privire a utilizatorului. În cazul stimulilor audio s-a folosit zgomotul alb continuu pentru redarea distanței. Intensitatea zgomotului este invers proporțională cu distanța. De asemenea, acest modificator este actualizat continuu cât timp este activ.

3.4.3.3 Best free space

“Free space” (spațiu liber) este considerat ca fiind o deschidere de un anumit unghi al emisferei frontale pe direcția de privire a utilizatorului, destul de mare încât acesta să poată naviga fără a se lovi de obstacole. Direcția este relativă la capul nevăzătorului, nu relativă la direcția de deplasare.

Cel mai bun spațiu liber, în acest caz poate fi definit în mai multe moduri:

- Cel mai apropiat spațiu prin care nevăzătorul poate trece
- Cel mai larg spațiu prin care nevăzătorul poate trece
- Spațiul cu cele mai puține obstacole

Dispozitivul SoV are implementată soluția care oferă informații despre cel mai apropiat spațiu prin care nevăzătorul poate trece. Stimulii audio sunt redați prin sunete de „ticăit” cu amplitudinea și repetiția sunetului invers proporționale cu distanța până la deschidere.

3.4.4 Concepte și tehnici de design al sunetului

3.4.4.1 Dispozitive hardware și instrumente software de procesare a sunetului

În domeniul ingineriei audio, în trecut, se foloseau multe dispozitive hardware specializate pentru procesare de semnal în spectrul auditiv (20 Hz – 20 kHz). Odată cu avansarea tehnologiei au fost create instrumente software care imită comportamentul dispozitivelor hardware din trecut sau sunt strict software cu comportament descris în cod, fără a imita comportamentul unor dispozitive hardware din trecut. Acestea sunt dezvoltate folosind SDK-uri (Software developer kit) cum ar fi VST SDK [117] sau JUCE[118]. **În acest subcapitol vom descrie principalele instrumente software folosite în cadrul tezei și voi da exemple de dispozitive cum ar fi cele produse de Native Instruments [119].**

Compresia audio

Compresorul audio oferă posibilitatea de a controla **dinamica** semnalului audio. „Dinamica” semnalului reprezintă diferența dintre amplitudinea maximă și cea minimă a semnalului într-un interval de timp. Compresorul reduce această dinamică. În momentul în care amplitudinea semnalului trece de un anumit **prag** (parametrul 4, „threshold” din Figura 17) setat în interfața dispozitivului, amplitudinea semnalului este redusă după un **raport** (parametrul 6, „ratio” din Figura 17) față de semnalul de intrare. Alți doi parametri importanți la orice compresor sunt **timpul de atac** și **timpul de release**. Timpul de atac reprezintă durata dintre momentul în care semnalul a trecut de prag și momentul în care compresorul începe să reducă amplitudinea semnalului iar timpul de release reprezintă durata dintre momentul în care amplitudinea semnalului scade sub valoarea de prag până când compresorul aduce semnalul la amplitudinea inițială. Această durată este măsurată în milisecunde. Unele tipuri de compresoare prezintă și parametrul **makeup gain** care reprezintă cu cât este amplificat semnalul rezultat, după reducerea dinamicii. Un exemplu de folosire a compresorului este: în momentul în care o persoană înregistrează, pe parcursul rostirii unei replici este posibil să nu rămână în aceeași poziție față de microfon, având ca rezultat o înregistrare care variază mult ca volum al sunetului. Se poate seta pragul compresiei și parametrul makeup gain astfel încât să uniformizăm amplitudinea semnalului înregistrat, să avem o înregistrare cu volum constant pe tot parcursul ei.

Un exemplu de instrument software de compresie este Solid Bus Comp, comercializat de Native Instruments (Figura 17). Acesta este un exemplu de compresor care simulează comportamentul unui dispozitiv hardware din trecut, și anume, compresorul SSL VCA. Un alt exemplu de două compresoare, (varianta software și varianta hardware) sunt compresorul Native Instruments VC 2A și compresorul LA-2A din Figura 18



Figura 17 Compresie audio



Figura 18 Modulul software(stânga) emulează compresorul audio hardware (dreapta)

Egalizatorul

Egalizatorul reprezintă o serie de filtre audio de diferite tipuri. Egalizatoarele software care imită comportamentul celor hardware sunt puțin mai limitate deoarece „moștenesc” limitările hardware din trecut. În Figura 19 avem un exemplu de egalizator Native Instruments Solid EQ care imită comportamentul hardware al SSL 500-Series 611 EQ. Acestea prezintă 6 filtre dintre care unul trece-jos (punctul 5 din Figura 19), 4 filtre de tipul trece-bandă (punctele 1,2,3,4 din Figura 19) și unul trece-sus (punctul 7 din Figura 19). Pentru fiecare filtru în parte putem regla frecvența de tăiere, în partea de jos a interfeței Solid EQ. De asemenea, tot în partea de jos a Figura 19 putem regla pentru filtrele(punctele) 2 și 3 factorul Q (plaja de frecvențe afectată în jurul frecvenței de tăiere a filtrului). Pentru fiecare din cele 4 filtre trece-bandă putem amplifica sau reduce frecvențele selectate (parametrii LF – Low Frequency, LMF – Low Mid Frequency, HMF – High Mid Frequency și HF – High Frequency)

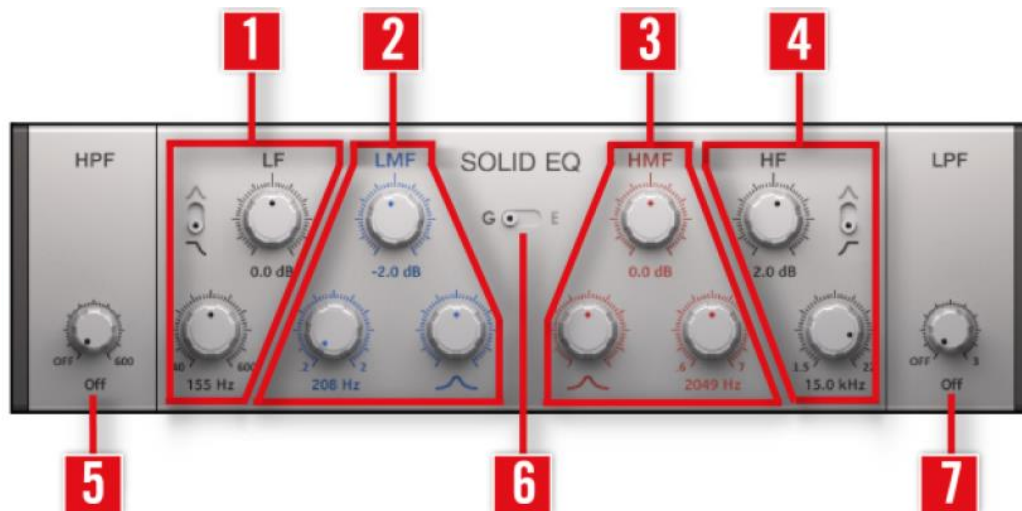


Figura 19 Egalizatorul Solid EQ

Egalizatoarele software sunt mai utile și pot ajuta în prelucrarea mult mai detaliată a sunetului fiind, de obicei, însoțite de un analizor spectral și de mai multe tipuri de filtre. Exemplu: egalizatorul implicit Ableton (Figura 20).

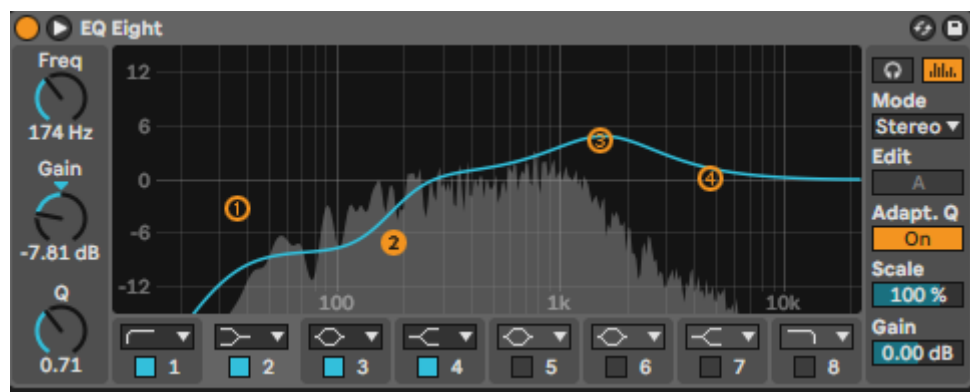


Figura 20 Egalizatorul implicit Ableton

Saturator

Aceste dispozitive imită amplificatoarele audio intrate în saturație. De cele mai multe ori imită comportamentul unui semnal care este amplificat de diferite tipuri de tranzistori sau amplificatoare care folosesc lămpi, scopul lor fiind de a adăuga armonice semnalului de intrare. Două exemple de astfel de dispozitive sunt Native Instruments Driver și Ableton Saturator. Un exemplu de mod de utilizare al acestor dispozitive se va detalia în subsecțiunea „Sintetizatoare”.



Figura 21 Saturator Native Instruments Driver (stânga) și Saturator Ableton (dreapta)

Reverb convoluțional

Dispozitivul de reverb convoluțional este folosit pentru a imita reverberațiile sunetului dintr-o cameră. Există diferite tipuri de reverb cum ar fi: spring (reverb cu arc), plate (reverb cu placă de metal), hall și convoluțional. Nu voi intra în detalii despre cele folosite în trecut cum ar fi spring sau plate. În capitolul 5.3.5 voi vorbi despre reverbul convoluțional (Figura 22) și cum a fost folosit pentru simularea reverberațiilor dintr-o încăpere.

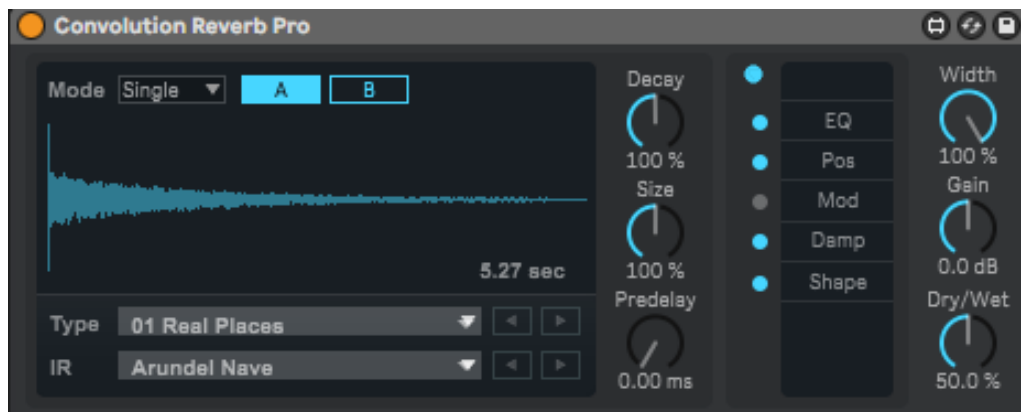


Figura 22 Reverb convoluțional Ableton

Sintetizoare

Până în prezent, sintetizatoarele au avut parte de cel mai mare interes în acest domeniu, acesta fiind o sursă de sunet, un instrument muzical al cărui sunet poate fi schimbat în foarte multe moduri, lucru imposibil, de altfel, în cazul instrumentelor clasice. Există foarte multe variații ale sintetizatoarelor în funcție de producător dar voi exemplifica doar funcții de bază, comune acestora. Un sintetizator hardware celebru este cel comercializat de Moog începând cu perioada Beatles, 1960, până în prezent (Figura 23).



Figura 23 Sintetizator Moog

Sintetizatorul pe care l-am utilizat în cadrul tezei este unul software datorită funcțiilor avansate cum ar fi envelopes și LFO (low frequency oscillator) și ușurinței cu care acesta poate fi folosit. Acesta se numește **Vital**.

Componentele principale ale oricărui sintetizator audio modern sunt următoarele: **Oscilatoarele** – în număr de 3, de obicei, **Envelopes** de tipul ADSR (Attack Decay Sustain Release), **LFO** (Low Frequency Oscillator) și diferite tipuri de **filtre audio** (trece-jos, trece-sus, trece-bandă).

Cele 3 **oscilatoare** reprezintă sursele de sunet de la care se pornește crearea oricărui tip de sunet. Acestea pot avea formele de undă de bază (sinus, triunghiular, etc.) sau pot avea forme de undă mai complexe, generate în trecut de sintetizatoarele hardware cum ar fi cel prezentat mai sus. Sintetizatorul este capabil să utilizeze 1, 2 sau 3 oscilatoare simultan. Un mod comun de a utiliza aceste oscilatoare este, de exemplu, un oscilator cu o formă de undă bogată în armonici, cum ar fi semnalul triunghiular, cu frecvența de bază de 880 Hz (Nota La/A), alt oscilator cu frecvența de 1760 Hz (Nota La/A cu o octavă mai sus ca precedenta notă) iar cel de-al treilea oscilator cu un semnal cu puține armonici setat la 440 Hz sau chiar 220Hz. În momentul în care sintetizatorul primește semnal pentru a emite sunet, cele 3 semnale de la oscilatoare se însumează rezultând un semnal care se aude într-un mod „plăcut”. Pe de-o parte, din punct de vedere muzical, sunt trei note la distanță de o octavă, unele față de altele (interval perfect), iar din punct de vedere al frecvențelor, cele 3 semnale, în momentul în care se însumează, punctele în care amplitudinea acestora este 0 vor coincide(Figura 24)

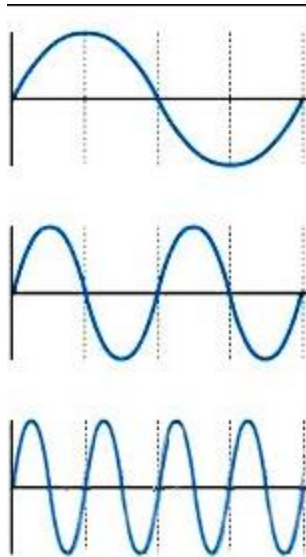


Figura 24 Forme de undă sinusoidală

Envelopes (Figura 25 dreapta sus, ENV 1) reprezintă uneltele cu care putem varia în timp orice parametru al sintetizatorului. Cei 4 parametri de bază ai unei envelope funcționează în felul următor: Parametrul **attack** reprezintă timpul din momentul acționării unei comenzi de a porni oscilatorul până când envelope ajunge la valoarea maximă (Valori cuprinse între 0-100%). Acest parametru este măsurat în milisecunde dar poate fi setat și la valori mai mari cum ar fi secunde. **Decay** reprezintă timpul din momentul în care s-a ajuns la valoarea maximă (după terminarea timpului de attack) până în momentul în care se ajunge la valoarea de **sustain**. Parametrul sustain reprezintă o valoare procentuală la care se ajunge după timpul de attack + timpul de sustain. Parametrul **release** reprezintă timpul din momentul opririi semnalului care a pornit oscilatorul până în momentul în care envelope ajunge la valoarea 0. Un exemplu de utilizare al unei envelope este să o asociem amplitudinii semnalului generat de oscilator cum ar fi: $A = 100\text{ms}$, $D=50\text{ms}$, $S=50\%$, $R=2\text{s}$. În cazul valorilor exemplificate, dacă asociem envelope amplitudinii oscilatorului, comportamentul va fi următorul: se acționează comanda de pornire a oscilatorului, durează 100ms până în momentul în care oscilatorul ajunge la amplitudinea maximă, după 50ms amplitudinea va fi redusă la jumătate iar după încetarea semnalului de comandă a oscilatorului va dura 2s până când amplitudinea acestuia va ajunge la 0 din nou.

Putem asocia o envelope oricărui parametru al sintetizatorului, de exemplu o putem asocia frecvenței de tăiere a unui filtru iar, urmărind exemplul de mai sus, frecvența de tăiere a filtrului poate varia în timp.

Un **LFO** (LFO în Figura 25) reprezintă un oscilator de frecvență joasă. Acesta este o componentă a sintetizatorului similară cu o envelope. Diferența între cele două componente este că LFO-ul este periodic. Cel mai important parametru al acestuia este notat în Figura 25 „frequency” și reprezintă frecvența oscilatorului. Fiind un oscilator de frecvență joasă, de cele mai multe ori informația utilă este, de fapt, perioada acestui oscilator măsurată în secunde. Un exemplu în care am utilizat un LFO este în momentul în care am creat sunetul care este emis de anumite obiecte din aplicația descrisă în capitolul 5. Am asociat oscilatorul de frecvență

joasă amplitudinii unui semnal de tip triunghi generat de un oscilator, astfel am obținut un semnal căruia îi variază volumul în timp.

Cele două **filtre** ale acestui sintetizator se pot configura să funcționeze atât ca filtre clasice de tip trece-sus, trece-jos etc. cât și filtre moderne cum ar fi comb filter (filtrul pieptene). Avantajul acestor filtre este că pot fi dinamice în timp, folosind componentele descrise mai sus.



Figura 25 Sintetizator Vital

Acest mod de a obține sunete se numește **additive synthesis** deoarece „adăugăm” elemente sonice cum ar fi cele descrise în acest subcapitol. Opusul acestei metode se numește **subtractive synthesis**. Cea din urmă presupune obținerea unui sunet pornind de la un semnal cu foarte multe armonice, inclusiv un semnal de tip „zgomot alb”, și înlăturând treptat din acele armonice pentru a ajunge la sunetul dorit. În această lucrare am folosit doar prima tehnica și, prin urmare, cea de-a doua nu va fi explicată în detaliu.

3.4.4.2 Moduri de utilizare a dispozitivelor audio și alte tehnici folosite

Pitch shifting este o tehnică de prelucrare a sunetului aplicată doar pentru înregistrări existente. Această metodă constă în prelucrarea eșantioanelor de sunet și presupune redarea acestora la o viteză mai mică sau mai mare. Redarea poate fi în același interval de timp sau se poate varia și durata pe parcursul căreia se redă sunetul. De exemplu, dacă alegem să redăm sunetul la o viteză mai mică decât cea originală, automat durata redării sunetului va fi mai mare. Cazul în care durata de redare a sunetului este mai mică presupune înlăturarea anumitor eșantioane din înregistrare. Cu cât sunetul este eșantionat la o rată mai mare, de exemplu 192 kHz față de standardul 44,1 kHz, cu atât avem mai multe eșantioane pe care le putem prelucra.

Layering reprezintă o tehnică des utilizată pentru care nu avem nevoie de niciun dispozitiv. Similar cu tehnica „additive synthesis”, folosim mai multe „straturi” de sunete sau înregistrări din natură pentru a ajunge la un rezultat dorit. De exemplu, pentru a imita sunetul motorului unui avion putem înregistra folosind o brichetă și un recipient cu orice lichid inflamabil cum ar fi un deodorant. Acestui sunet îi putem aplica tehnica de pitch shifting descrisă mai sus pentru a obține un sunet mai grav, mai bogat în spectrul inferior al frecvențelor. Suplimentar, putem înregistra sunete de foi de metal pentru a imita diferite elemente ale fuzelajului avionului care scot sunete la care, de asemenea, putem aplica pitch shifting pentru a da impresia de plăci mai mari de metal. Suplimentar, momentul în care motorul avionului pornește poate fi simulat cu sintetizatorul descris la capitolul 3.4.4.1. Această tehnică se mai întâlnește și sub denumirea de „foley recording”, denumire dată după Jack Foley, primul artist care a utilizat aceste tehnici în industria filmului [120].

Toate aceste tehnici au fost descrise strict din prisma modului de utilizare și de obținere a sunetelor utile tezei și nu vor fi detaliate din punct de vedere matematic sau din punct de vedere al creării programelor pentru procesare de sunet.

3.4.4.3 Interfețe auditive

Toate proiectările de interfețe se referă la stabilirea de acorduri între designer (cel care proiectează) și utilizatori. Acest proces devine mai facil în timp, pe măsură ce convențiile se dezvoltă și mai multe aplicații încep să utilizeze interfețe similare. Astăzi, majoritatea persoanelor văzătoare pot interpreta numeroase simboluri și pictograme în aplicațiile pe calculator. De obicei, această comunicare are loc cu un efort atât de mic, încât nu ne mai gândim la acordurile și convențiile care stau la baza simplificării imaginii. Cu toate acestea, când vine vorba de interfețele auditive, există o mare lipsă de asemenea convenții. Pentru designerii preocupați de non-verbal, interfețe auditive, există doar o mica iconografie auditivă din care să se extragă material, precum semnalele telefonice, alarmele sau fanfarele. Prin urmare, multe dintre interfețele auditive trebuie stabilite de la 0.

Din cauza diferențelor fundamentale dintre văz și auz, niciun element al al interfeței vizuale a computerului nu poate fi tradus instantaneu în adaptări audio, fără a opera modificări majore în caracteristicile acestora. Chiar și în structuri simple, așa cum sunt meniurile jocurilor TiM, omologii vizuali și auditivi funcționează destul de diferit. În cazul utilizatorilor văzători, este posibil ca ei să vizualizeze meniuri întregi, în timp ce utilizatorii deficienți de vedere se pot concentra doar pe un articol din meniu, la un moment dat. Este dificil de comunicat cât de lungă este lista itemilor într-un meniu auditiv. În esență, meniurile auditive ale jocurilor TiM corespund mai îndeaproape meniurilor vizuale în care elementele din meniu sunt dezvăluite pe scurt, pe rând, atunci când jucătorul mișcă indicatorul sau ”focalizarea” cu un pas.

Multe interfețe vizuale se bazează pe o analogie de tip ”buton”, unde o suprafață pe care se poate face click este proiectată să arate ca un buton, convenția este ca făcând click pe un buton virtual se provoacă un eveniment virtual, cum ar fi pornirea sau oprirea a ceva sau mutarea într-un sub-meniu.

Analogia de tip ”buton” a interfeței vizuale se bazează pe o metaforă spațială, care, la rândul ei, se bazează pe posibilitatea de a muta cursorul mouse-ului pe o suprafață

bidimensională. Interfețele auditive ale meniurilor din jocurile TiM, inclusiv interfața principală a lui X-Tune, sunt non-spațiale. Totuși, prin utilizarea tastelor săgeți pentru a naviga prin listele de elemente din meniu, jucătorii ar putea imagina un tip de reprezentare spațială a aspectului meniului. Jocurile TiM demonstrează mai multe moduri în care conținutul sunetului și interfețele auditive pot fi proiectate. Totuși, există un potențial mare, neexplorat de dezvoltare în acest domeniu și există mai multe motive ca designerii de divertisment pe computer să ia în considerare posibilitățile oferite de utilizarea extinsă a conținutului audio [74].

În primul rând, sunetul oferă libertate spațială, deoarece el nu se limitează la domeniul ecranului computerului. În jocurile bazate pe sunet, spațiul de joc poate acoperi camere întregi și chiar spații mai mari, fără a depinde de echipamente foarte scumpe. Jucătorii de jocuri bazate pe sunet pot fi încurajați să se deplaseze, întrucât aspectele omni-direcționale ale sunetului îi eliberează de situația de a sta jos, cu fața la ecran. Folosind căști și un controller de joc portabil, dispozitivele hardware permit jocurilor audio să fie extrem de mici, fără niciun afișaj.

În al doilea rând, flexibilitatea spațială a sunetelor deschide posibilitatea de a dezvolta noi interfețe de intrare la computer, care să încurajeze mișcarea. Această dezvoltare a început deja cu comercializarea unor covorașe de dans sensibile la presiune, pentru jocurile de acțiune ritmică, cum ar fi Dance Dance Revolution [121] și senzori de mișcare bazați pe camera, cum ar fi Sony Eye Toy [122].

În plus, jocurile audio pot oferi și alte avantaje ergonomice față de jocurile video conventionale (mainstream), cum ar fi odihna ochilor când joci jocuri pe calculator.

Deoarece sunetul este un mediu mai puțin explorat decât contextele grafice în jocul pe computer, credem că el are un mare potențial ca sursă de conținut pentru un nou joc. Cu sunete, pot fi dezvoltate povești sugestive, ce evocă pe viu viziunea interioară pentru ascultător.

Coloanele sonore ale jocurilor pe calculator sunt în ziua de azi adesea compoziții generative, poziționate în centrul spațiului de joc. Acest lucru creează un fundal auditiv avansat, ce este completat cu câteva avataruri și sunete ale personajelor, ocazional și cu obiecte sonore, poziționate individual în spațiul de joc. În majoritatea jocurilor, ascultarea ocazională este astfel net separată de ascultarea redusă. Considerăm că o abordare a designului sunetului similar cu cea din Tim's Journey ar putea îmbunătăți utilizarea audio în jocurile mainstream, integrând îndeaproape sunetul cu modul de joc și oferind peisaje de joc cu mai multe fațete, ce se bazează pe mai multe moduri de ascultare.

Jocurile audio pentru jucătorii cu deficiențe de vedere ar putea beneficia și de o preocupare mai mare pentru aspectele estetice. Astăzi, majoritatea jocurilor audio sunt foarte puternic orientate spre funcționalitate și încurajează jucătorii să înțeleagă spațiul de joc utilizând ascultarea ocazională și ascultarea semantică. Prin introducerea ascultării reduse în aceste jocuri, este posibil să se creeze experiențe de joc mai captivante și mai deschise.

3.4.5 Metode de înregistrare a sunetului

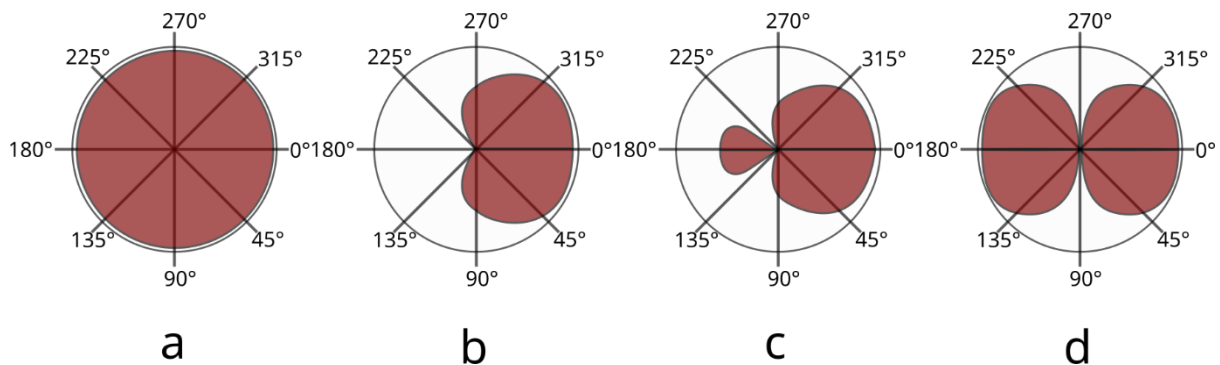


Figura 26 Modele de captare a sunetului

Bazându-ne pe direcția din care microfonul captează sunetul, acestea pot fi clasificate în 4 mari categorii descrise în figura de mai sus. Un microfon **omnidirecțional** (Figura 26 a) preia sunetul din toate direcțiile din jurul acestuia. De obicei acestea sunt folosite pentru înregistrarea sunetelor ambientale dintr-o încăpere sau din natură. Microfoanele omnidirecționale nu trebuie confundate cu microfoanele 360 sau ambisonice. Microfoanele de tip **cardioid** (Figura 26 b) și **hypercardioid** (Figura 26 c) sunt, de obicei, microfoane cu diafragmă mare, de tip condenser (cu condensator). Acestea sunt cel mai des utilizate în studiourile de înregistrări pentru a capta atât voci cât și instrumente muzicale. Au avantajul de a capta sunetul dintr-o direcție specifică, sunetele din spatele microfonului fiind captate la un volum mult mai scăzut decât cele din față. Microfoanele **bidirecționale** sau **figure-8** sunt cel mai des utilizate pentru înregistrarea interviurilor sau a situațiilor în care sunetele de înregistrat vin din direcții diametral opuse. O observație foarte importantă este că aceste microfoane înregistrează **mono**. La finalul înregistrării obținem un singur semnal audio. Aceste modele polare nu sunt singurele. Fiecare producător poate varia aceste modele în funcție de modelul de microfon pe care îl produce. De exemplu, un microfon **unidirecțional**, de tip **shotgun** are o variație a modelului hypercardioid și se caracterizează printr-un unghi foarte mic de captare a sunetului. Aceste tipuri de microfoane sunt foarte utile pentru a capta sunet în aer liber unde subiectul este înconjurat de zgomot. Alte modele sunt subcardioid sau supercardioid.

3.4.5.1 Tehnici de înregistrare stereo (Stereofonie)

Folosind 2 sau mai multe microfoane putem înregistra diferite semnale **stereo**. Inginerii de sunet organizează tehnicile de stereofonie după cum urmează:

Tehnica A-B (timpul de sosire). Orice tip de microfon poate fi folosit pentru a obține acest rezultat. Cele două microfoane se poziționează la o distanță unul față de celălalt. Cu cât distanța este mai mare, cu atât mai accentuat va fi rezultatul. De exemplu, dacă avem 1m distanță între cele 2 microfoane și sursa de sunet este mai aproape de primul microfon, sunetul va ajunge la cel de-al doilea microfon cu aproximativ 2ms mai târziu. Un mod practic pentru a folosi această tehnică este prin poziționarea unei persoane care vorbește sau cântă în fața primului microfon și măririi distanța între cele două microfoane (5m sau mai mult). Dacă persoana vorbește sau cântă la volum mic, va fi captată doar de primul microfon. Mărind

volumul, vocea va fi captată de ambele microfoane, cel de-al doilea înregistrând și reverberațiile camerei.

Tehnica X-Y. Pentru aceasta tehnică se pot folosi doar microfoanele **unidirecționale**. Cele două microfoane trebuie puse în aceeași poziție la un unghi de 90° sau mai mare unul față de celălalt. Acest tip de stereofonie provine din diferența de amplitudine dintre cele două semnale. Aceasta tehnică este mai puțin proeminentă față de tehnica A-B dar se distinge față de înregistrările mono din punct de vedere auditiv.

Tehnica M/S (Mid/Side). Pentru acest tip de înregistrări avem nevoie de un microfon **unidirecțional** (cardioid sau similar) și un microfon **bidirecțional**. Microfonul unidirecțional se plasează spre sursa de sunet iar cel bidirecțional se poziționează paralel cu sursa de sunet.

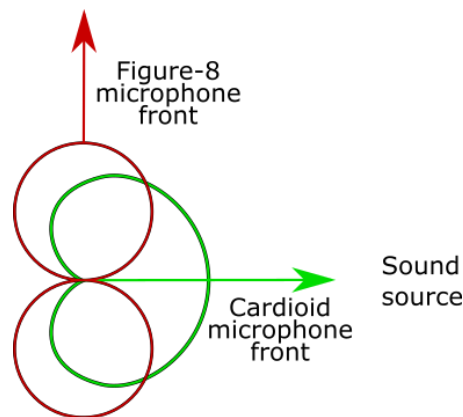


Figura 27 Orientare microfoane pentru tehnica M/S

Acest tip de înregistrare audio produce unul dintre cele mai versatile rezultate, motivul fiind posibilitatea de a folosi doar sunetul captat de microfonul cardioid (variante mono a înregistrării) sau semnalul stereo, semnalul ambelor microfoane care se calculează folosind următoarea formulă:

$$\text{Semnal_Stânga} = \text{Semnal_Cardioid} + \text{Semnal_Figure8}$$

$$\text{Semnal_Dreapta} = \text{Semnal_Cardioid} - \text{Semnal_Figure8}$$

Oricare dintre metodele de mai sus pot fi folosite în mod diferit pentru a obține ca rezultat un nou tip de înregistrare audio. De exemplu, o tehnică M/S diferită poate fi folosirea unui microfon omnidirecțional și un alt microfon de tip cardioid îndreptat la 180° de sursa de sunet.

Înregistrări binaurale. Una dintre primele tehnici pentru a înregistra binaural este tehnica Discului Jecklin și este o variație a tehnicii X-Y. Luând ca punct de plecare tehnica X-Y, poziționăm microfoanele la un unghi de 180°. Microfoanele trebuie să fie direcționale, de obicei de tip cardioid. Elementul definitoriu metodei Jecklin este poziționarea unui obiect izolator fonic între cele două microfoane (discul Jecklin). Metode mai moderne de a înregistra binaural folosesc microfoane specializate cum ar fi Neuman KU100 sau 3DIO.

3.4.5.2 Înregistrări ambisonice

O înregistrare de tip ambisonic este echivalentul unei înregistrări tridimensionale. Folosind tehnica M/S ca punct de plecare, din punct de vedere tehnic, avem nevoie de 3 microfoane bidirecționale/Figure-8 și un microfon omnidirecțional pentru a înregistra ambisonic. Avem nevoie de cele 4 microfoane în aceeași poziție. În Figura 28 de mai jos avem microfonul omnidirecțional notat **W**(Sfera albă). Microfoanele bidirecționale trebuie poziționate ca în figură pentru fiecare axă. (X-Roșu, Y-Verde, Z-Albastru)

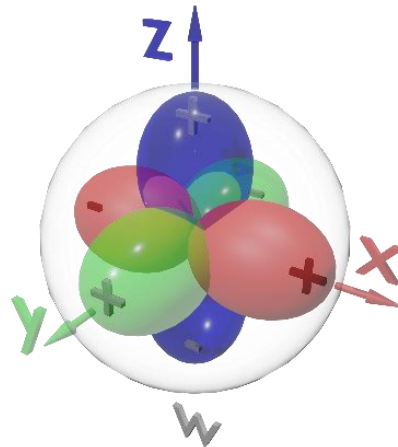


Figura 28 Orientare virtuală a 4 microfoane pentru tehnica ambisonică de înregistrare

Acest tip de înregistrări ambisonice se mai numesc și înregistrări ambisonice de ordinul întâi. W este denumit “presiunea” sunetului, echivalentul canalului “Mid” din înregistrările M/S. Componentele X,Y,Z reprezintă variația presiunii pe fiecare axă. Encoder-ul ia în considerare doi parametri: θ (azimut) și ϕ (elevație). În cazul nostru, azimutul și elevația sunt date de rotirea vehiculului virtual sau rotirea ascultătorului în mediul virtual. Ca date de intrare avem giroscopul telefonului mobil. Acest format de înregistrări se numește Ambisonic B. Pentru un encoder de bază avem următoarele formule:

$$X = \text{Valoarea_Semnalului_Sursă} \times \cos \theta \times \cos \phi$$

$$Y = \text{Valoarea_Semnalului_Sursă} \times \sin \theta \times \cos \phi$$

$$Z = \text{Valoarea_Semnalului_Sursă} \times \sin \phi$$

$$W = \text{Valoarea_Semnalului_Sursă} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

În practică, acest tip de înregistrări nu sunt posibile datorită construcției microfoanelor. Nu putem poziționa 4 microfoane în aceeași poziție. Prin urmare, înregistrările ambisonice făcute în acest fel (Ambisonics B) nu vor fi precise. În practică se înregistrează folosind o matrice tetraedrică de 4 microfoane. Numărul minim de microfoane pentru a obține înregistrări ambisonice de ordinul întâi este 4. Microfoanele sunt denumite FLU – Front Left Up, FRD – Front Right Down, BRU – Back Right Down and BRU – Back Right Up. O soluție posibilă pentru a converti înregistrările Ambisonics A în formatul Ambisonics B:

$$X = FLU + FRD - BLD - BRU$$

$$Y = FLU - FRD + BLD - BRU$$

$$Z = FLU - FRD - BLD + BRU$$

$$W = FLU + FRD + BLD + BRU$$

Formatul Ambisonics B reprezintă informația audio utilă care poate fi folosită pentru spațializarea corectă a sunetelor într-un mediu virtual.

4. Contribuțiile autorului în cadrul proiectului Sound Of Vision

Cercetarea și realizările practice descrise în acest capitol au fost publicate în [123]. În zilele noastre, oamenii trebuie să facă față unui număr foarte mare de provocări pentru a se familiariza cu toate funcționalitățile dispozitivelor electronice. Procesul de instruire devine astfel esențial, mai ales când ne referim la electronicele de larg consum create pentru persoanele cu dizabilități. O componentă importantă a proiectului Sound Of Vision a fost instruirea persoanelor cu deficiențe de vedere pentru un dispozitiv avansat de substituție senzorială. Folosind avantajele realității virtuale, au fost dezvoltate o serie de scene virtuale 3D, pentru a ușura procesul de antrenament pentru dispozitiv. Programul de instruire care a fost realizat în cadrul proiectului a avut rezultate încurajatoare și ne-a ajutat să tragem concluzii relevante pentru dezvoltarea unui dispozitiv revoluționar. **Autorul tezei a dezvoltat mediul virtual de antrenament descris în acest capitol.**

4.1 Dispozitivul Sound of Vision

Proiectul Sound of Vision (SoV)[30], [123] a avut scopul de a crea un sistem hardware și software [7] inovator pentru a ajuta nevăzătorii. Dispozitivul SoV este o componentă portabilă pe capul utilizatorului, conținând camere video care preiau imagini din mediul înconjurător și câști prin care utilizatorul primește informații despre mediul înconjurător codificate prin sunet. Aceleași informații pot fi primite de utilizator și purtând o centură haptică. Astfel, cele două componente alcătuiesc un sistem de substituție senzorială care redau mediul înconjurător codificat prin sunete și semnale haptice. În cadrul proiectului au fost create modele haptice și audio pentru redarea mediului înconjurător [109]. Deși intuitive, aceste modele trebuie învățate de către utilizator pentru ca dispozitivul să fie utilizat la capacitatea maximă. Prin urmare, este recomandabil un program de antrenament.

Ne-am dorit să diminuăm stresul determinat de antrenamentul direct al nevăzătorilor în mediile reale, așa că am dezvoltat un program de antrenament inovator folosind Realitatea Virtuală (VR). Abordarea este originală, bazată pe ideea creării unui mediu virtual, în care experiența utilizatorului să conțină elemente gamificate, pentru a-l face să perceapă procesul de antrenament ca pe o activitate plăcută.

4.2 Mediul virtual de antrenament

Utilizarea sistemului SOV necesită o modalitate de a simula circumstanțele din lumea reală, precum și o modalitate de a antrena treptat utilizatorul cu scenarii simple înainte de a-l utiliza în viața reală. Un mediu virtual care să susțină toate caracteristicile unui program de instruire și o simulare a lumii reale devine astfel obligatoriu.

Virtual Training Environment (VTE) a fost dezvoltat folosind motorul grafic Unity 3D și C# ca limbaj de programare. Arhitectura programului a fost concepută astfel încât să fie

scalabilă și ușor de modificat. Modulele pot fi adăugate și îndepărtate cu ușurință din arhitectură. Arhitectura programului include un streamer TCP care transmite fluxul video de la VTE la SoV Runtime, care este nucleul software-ului SoV [109]. VTE transmite, de asemenea, comenzi, de exemplu schimbarea modelelor audio sau setarea intensității haptice pentru modelele haptice.

Utilizatorul poartă dispozitivul SoV și centura haptică și folosește un joystick pentru a se deplasa în scenele virtuale din VTE (Figura 29). Joystick-ul include posibilități de interacțiune a utilizatorului cu sistemul, cum ar fi butoanele necesare pentru a răspunde la întrebări și pentru a schimba modelele audio și haptice.

Software-ul de bază SoV (SoV Runtime) și VTE sunt instalate pe un calculator din apropiere, unde un antrenor poate asista nevăzătorul.

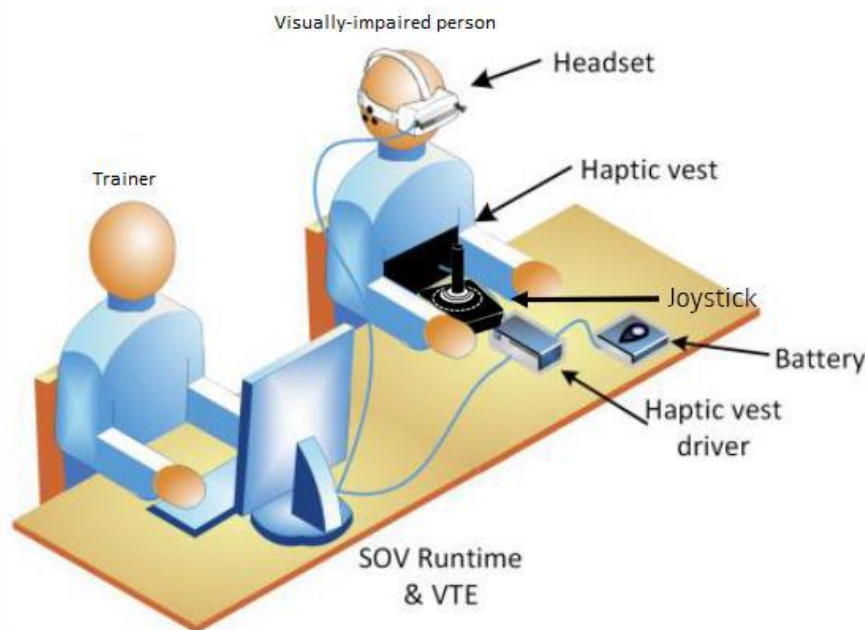


Figura 29 Utilizarea mediului virtual de antrenament.

Utilizatorul se "vede" pe el însuși sau își percepe poziția în scena virtuală prin intermediul unui dispozitiv de măsurare a inerției (IMU – inertial measurement unit) care este atașat la dispozitivul purtat pe cap. Astfel, pe măsură ce cursantul își mișcă capul, poziția sa în spațiul virtual se schimbă, odată cu percepția audio. Sunetele transmise prin căști sunt sunete 3D procesate cu funcții de transfer în relație cu capul (HRTF – Head Related Transfer Function) neindividualizate, cu parametri variabili în planul vertical și orizontal.

VTE include scene statice, de exemplu scene în care cursantul răspunde la întrebări referitoare la scenă, și scene de navigare, în care cursantul are de îndeplinit anumite sarcini.

Scenele statice de bază includ exerciții pentru proprietățile obiectelor din scena 3D, cum ar fi: lățimea, înălțimea, distanța față de utilizator, direcția în care se află, înălțimea, numărul de obiecte.

Celelalte scene statice combină antrenarea percepției mai multor proprietăți simultan.

Scenele de navigare includ:

- Atingerea, încercuirea unui obiect, trecerea printre două obiecte
- Slalom printre obiecte
- Mersul pe lângă un zid
- Evitarea obstacolelor pentru a ajunge la un obiect
- Evitarea obstacolelor care vin spre utilizator.

Feedback-ul multi-senzorial (în acest caz, audio și haptic) asigură o asociere între simțuri – auditiv și tactil, întărind relevanța stimulilor într-un mod semnificativ pentru utilizator și completându-se reciproc. Într-un mediu zgomotos, aglomerat, în care feedback-ul audio nu poate fi distins clar, feedback-ul haptic poate furniza informații relevante utilizatorului, crescând astfel nivelul de încredere și de satisfacție al acestuia.

Performanța utilizatorului în scenariile virtuale și în cele din lumea reală sunt corelate prin utilizarea aceluiași modele audio și haptice în ambele „lumi” și prin replicarea scenelor reale cât mai similar posibil în scenele virtuale, pentru a transfera abilitățile dobândite în setările fizice. Ratele de succes ale utilizatorilor calculate în mediul virtual îi pot determina pe aceștia să își evalueze punctele forte și punctele slabe, ajutându-i să se adapteze chiar și la scenariile imprevizibile din lumea reală.

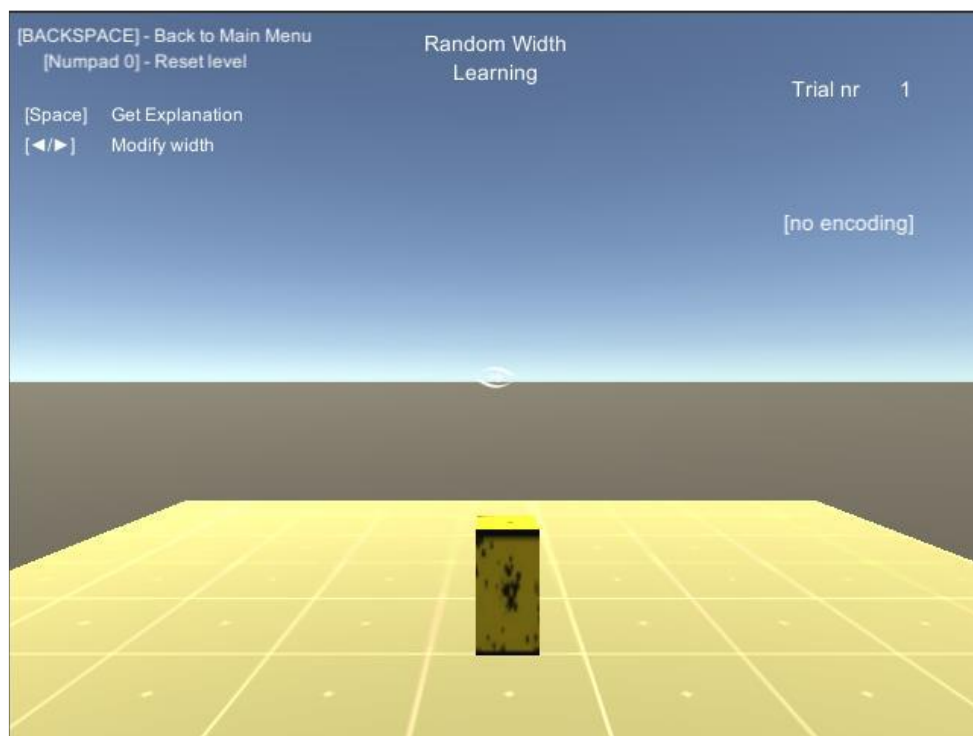


Figura 30 Scenă cu un singur atribut pentru învățarea lățimii unui obiect îngust

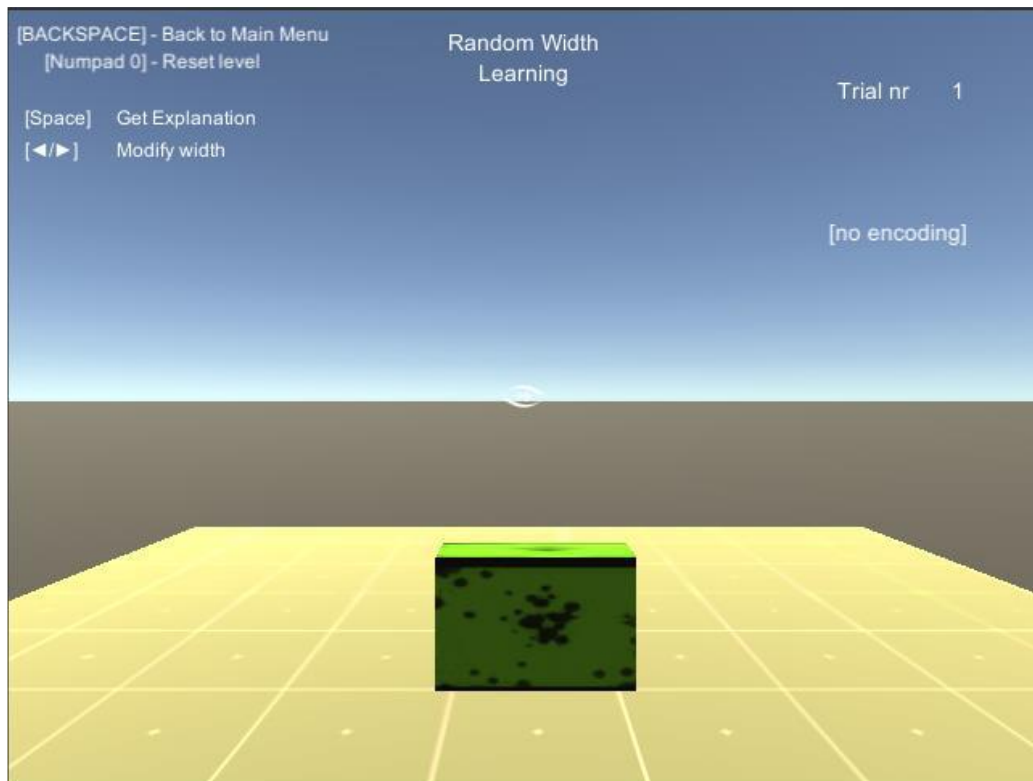


Figura 31 Scenă cu un singur atribut pentru învățarea lățimii unui obiect lat

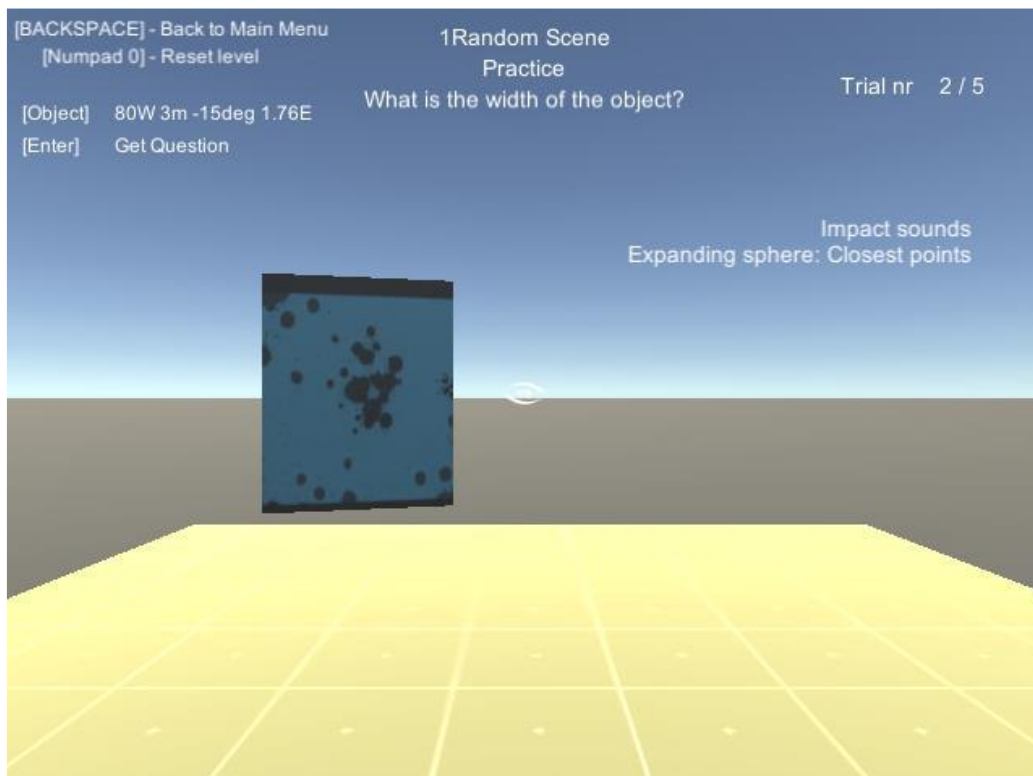


Figura 32 Scenă cu atribute aleatoare

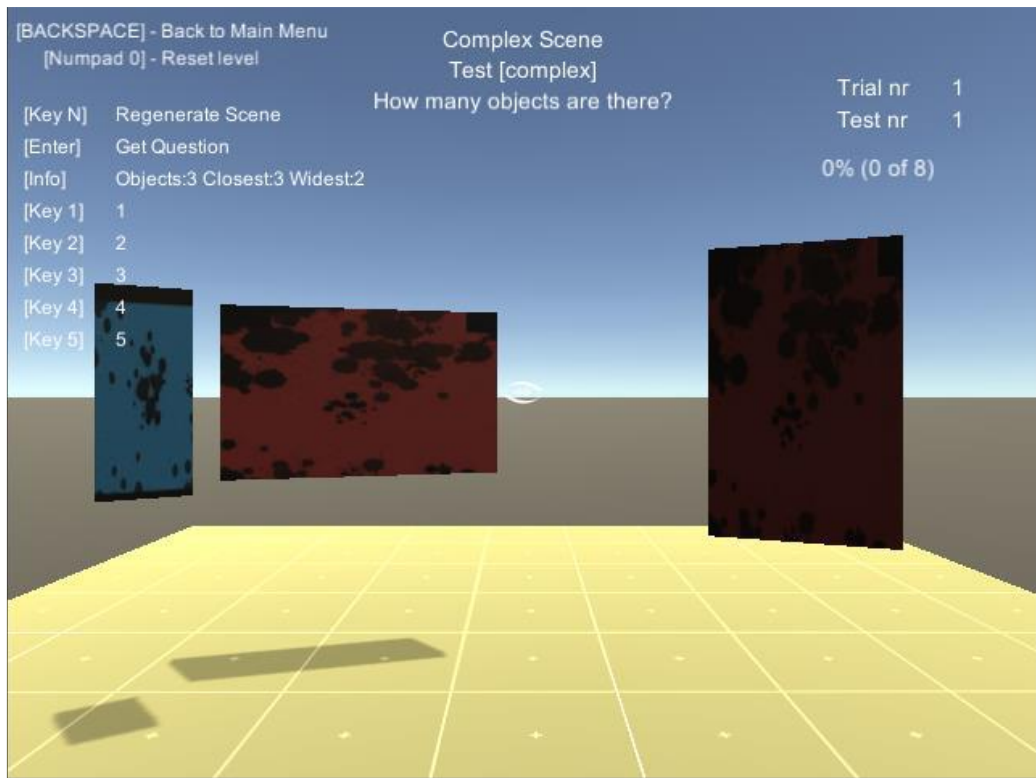


Figura 33 Scenă complexă

Scenele de navigare de bază simulează situații apropiate de situațiile din lumea reală. Prin ele utilizatorul este antrenat să evite obstacolele și să atingă un anumit scop. Următoarele scene sunt incluse în categoria Navigare de bază:

Atingerea unui obiect:

- Un obiect este generat în fața cursantului;
- Scopul este de a ajunge aproape de obiect fără a-l atinge;

Trecerea pe lângă un obiect:

- Obiectul este generat în câmpul vizual al utilizatorului;
- Scopul este de a trece de fiecare parte a obiectului fără a-l atinge;

Încercuirea unui obiect:

- Obiectul este generat în câmpul vizual al utilizatorului;
- Scopul este de a încercui obiectul ajungându-se la punctul de unde s-a început.

Trecerea printre obiecte:

- Mai multe (două până la patru) obiecte sunt generate în câmpul vizual al utilizatorului;
- Scopul este de a trece printre oricare două obiecte alese de utilizator;

Slalom –Figura 34:

- Trei până la cinci obiecte sunt generate în fața utilizatorului;
- Scopul este de a trece alternativ printre ele până ajunge la ultimul obiect.

Pickup-uri –Figura 35:

- Obiectele sunt generate aleatoriu în scenă și utilizatorul trebuie să le colecteze;
- Această scenă are trei niveluri de dificultate, în funcție de locul în care apar obiectele: în vedere, în fața jucătorului sau în jurul acestuia.

Mersul pe lângă un zid:

- Utilizatorul trebuie să treacă pe lângă un perete pentru a ajunge la obiectivul situat la capătul peretelui, menținând o distanță fixă față de perete.

Navigare pe marginea camerei

- Scopul acestei scene este de a merge pe părțile laterale ale unei camere pătrate și de a reveni la punctul de unde utilizatorul a început.

Ultima parte a mediului de antrenament, scenele de navigare avansată, utilizează cunoștințele și instruirea din experiența anterioară a utilizatorului pentru a îndeplini sarcini specifice, cum ar fi găsirea unui obiect, evitarea obstacolelor statice și combinarea modelelor audio și haptice după cum doresc nevăzătorii. Ultimele trei scene sunt următoarele:

- Boxes navigation;
- Frogger;
- Asteroids.

Scena de navigare Boxes are trei niveluri de dificultate. Obstacolele sunt generate aleator, iar nivelul de dificultate este determinat de spațiul dintre obstacole.

Frogger este o scenă în care utilizatorul merge constant înainte pe trei benzi, dintre care două au întotdeauna obstacole. Utilizatorul trebuie să găsească banda goală.

În scena Asteroizilor, utilizatorul are o poziție fixă în centru și obiectele se generează constant în jurul lui. Dificultatea crește treptat, similar cu scena pickup-urilor. Scopul este de a viza și „împușca” obstacolele care vin spre utilizator.

Atât scenele de navigare de bază, cât și cele avansate au un puternic caracter de gamificare.

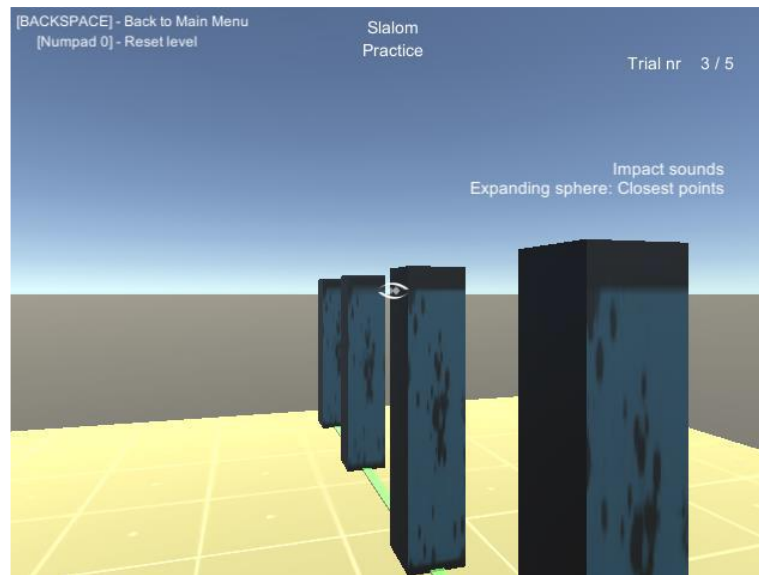


Figura 34 Scenă slalom

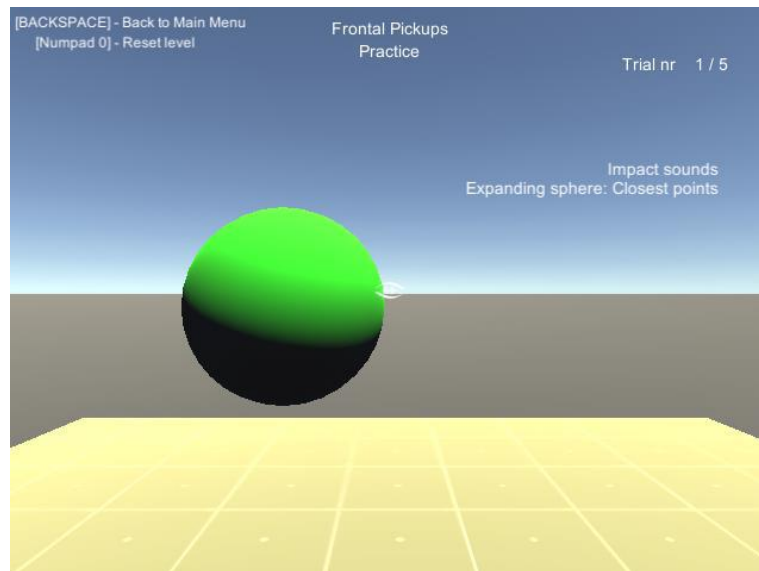


Figura 35 Scenă pickup

4.3 Program de antrenare bazat pe mediul virtual

Programul de antrenare a avut loc în București și Iași, România. Au fost instruiți patru utilizatori cu deficiențe de vedere, trei bărbați și o femeie, cu vârste cuprinse între 38 și 54 de ani. Programul de antrenament a durat 6 săptămâni. Utilizatorii au fost instruiți 3 zile pe săptămână, 6 ore pe zi. Ei au practicat 12 exerciții diferite în fiecare zi, folosind formula de 20 de minute de practică / 10 minute de pauză. Un exercițiu este echivalent cu o scenă descrisă în secțiunea anterioară.

După pregătirea preliminară, toți utilizatorii au găsit exercițiile cu un singur atribut ca fiind foarte utile, mai ales pentru identificarea direcției obiectelor dintr-o scenă. Pentru scenele de navigare, au obținut rezultate și au furnizat feedback diferit, pe baza a două aspecte: vârsta

utilizatorului și starea sa de nevăzător timpuriu sau nevăzător târziu (care a dobândit dizabilitatea pe parcursul vieții). Persoanele mai tinere și nevăzătorii care au dobândit deficiența mai târziu sunt fie mai răbdători, fie au o orientare spațială mai dezvoltată, ceea ce îi face să performeze mai bine în scenele de navigare. Prin urmare, programul de antrenament și exercițiile trebuie să fie personalizate și adaptate, în funcție de caracteristicile și nevoile utilizatorilor.

Feedback-ul pozitiv primit de la cei patru nevăzători a fost încurajator. După terminarea întregului program VTE, rezultatele au fost analizate statistic. Următorul pas în programul de antrenament a fost instruirea utilizatorilor în medii reale, mai întâi în medii interioare, apoi în cele exterioare, la început permițându-le să folosească atât bastonul alb, cât și dispozitivul SoV și apoi doar dispozitivul SoV și centura haptică.

5. Joc de orientare și mobilitate bazat pe stimuli audio

Aspecte ale realizării acestei aplicații au fost diseminate în [124].

Jocul are ca obiectiv antrenarea persoanelor cu deficiențe de vedere în substituția senzorială. Chiar dacă aplicația a fost creată pentru utilizatori nevăzători, aceasta poate fi folosită și de oamenii care nu au această dizabilitate. Aplicația poate fi clasificată ca un **joc de orientare și mobilitate** și un **joc serios** unde utilizatorii percep mediul virtual înconjurător doar prin stimuli audio. Pentru a mări gradul de realism, au fost încorporate tehnici avansate de design al sunetului. Evaluarea jocului a fost efectuată prin utilizarea sa de către un grup de utilizatori și colectarea datelor privind modul în care utilizatorii au folosit aplicația, cu ajutorul unui sistem de achiziție. Datele au fost colectate în timp real și stocate într-o bază de date pentru o mai bună înțelegere atât din punct de vedere al intuitivității cât și al opiniei utilizatorilor despre aplicație și abilitatea lor de a folosi sunetele pentru a se orienta și a îndeplini sarcinile din joc. Interpretarea datelor este detaliată în capitolul 5.5. Rezultatele obținute demonstrează că utilizatorii s-au adaptat cu ușurință la modelul de sonificare și, ca urmare, au reușit să îndeplinească sarcinile din joc.

5.1 Descrierea cerințelor jocului

Utilizatorii țintă ai jocului sunt nevăzătorii târzii de diferite vârste (inclusiv copii), cu precădere cei interesați de folosirea tehnologiei moderne.

Scopul principal al jocului este de antrenare a utilizatorului nevăzător în localizarea sunetelor pe baza unui model de sonificare. Scopul secundar este de a-l familiariza cu modul de control al unui vehicul de tip dronă. Pentru aceasta, se va crea un mediu virtual în care utilizatorul poate naviga folosind un vehicul virtual de tip dronă.

Modelul de sonificare va fi îmbunătățit în mai multe iterații folosind feedbackul utilizatorilor. De asemenea, sistemul de control al vehiculului va fi îmbunătățit iterativ, pe baza feedbackului. Se va testa iterativ abilitatea nevăzătorului de a îndeplini sarcini simple cum ar fi navigarea printr-un spațiu ușor de navigat, doar cu curbe la 90° și colectarea unor obiecte de interes.

Jocul va funcționa atât pe echipamente PC cât și pe dispozitive mobile Android. Pentru interacțiunea nevăzătorului (**jucătorului**) cu aplicația se vor folosi numai echipamente disponibile în comerț la prețuri accesibile.

Utilizatorul aplicației trebuie învățat gradual cum funcționează modelul de sonificare și cum poate să îl folosească pentru a pilota vehiculul virtual. Modul de control al vehiculului trebuie să fie unul intuitiv și, pe cât posibil, similar cu moduri de control ale vehiculelor reale.

În urma antrenamentului, după ce utilizatorul se simte confortabil cu modul de control al vehiculului și modelul de sonificare, aceștia i se pot da obiective simple de realizat. Scenele de joc în care utilizatorul folosește vehiculul pentru îndeplinirea obiectivelor vor avea dificultate graduală.

Aplicația, fiind destinată nevăzătorilor târzii (cei care au devenit nevăzători pe parcursul vieții), se poate folosi și de concepte din lumea reală, cunoscute nevăzătorilor pentru a putea facilita o mai bună înțelegere a modelului de sonificare, a modului de control al vehiculului sau a obiectivelor pe care trebuie să le îndeplinească utilizatorul. Putem presupune că utilizatorul va asocia anumite concepte din lumea reală cu conceptele din joc.

Utilizatorul poate începe fie cu scenele de învățare (Tutorialul) fie cu scenele în care are de îndeplinit obiective. De asemenea, utilizatorul se poate opri oricând dintr-o scenă de joc și poate intra într-o scenă de învățare dacă simte nevoia de a recapitula anumite noțiuni. Nu este obligatoriu ca acesta să înceapă cu scenele de învățare dar este recomandat mai ales pentru primele sesiuni de folosire a aplicației.

5.2 Proiectarea Jocului

5.2.1 Cerințele tehnice

Un obiectiv important urmărit în proiectarea aplicației a fost să folosesc numai dispozitive electronice accesibile, găsite în comerț. Folosind dispozitive de larg consum, când această aplicație va fi pregătită pentru a fi comercializată, va fi ușor de distribuit publicului larg. Componentele necesare variantei pentru dispozitive mobile a aplicației sunt următoarele (Figura 36):

1. Telefon Android (Figura 36 a)
2. Căști stereo (Figura 36 b)
3. Gamepad (teste efectuate cu gamepad de Xbox One și Xbox X/S) (Figura 36 c)
4. Headset mobile (optional) (Figura 36 d)



Figura 36 Componente necesare utilizării aplicației (Versiunea Android)

Din punct de vedere al izolării fonice, folosirea căștilor de tipul „over the ear” este superioară pentru o mai bună reducere a nivelului zgomotului exterior, spre deosebire de căștile de tip „hands free” pentru telefon. De asemenea, căștile cu fir au latență mult mai mică, comparativ cu cele wireless, ceea ce poate avea impact pozitiv asupra nevăzătorului, acesta primind stimulii audio rapid. Din testele pe care le-am efectuat, inclusiv căștile moderne cu tehnologie „true wireless” au latență considerabil mai mare față de cele cu fir. Aplicația nu funcționează corespunzător folosind căștile care implementează diferite tehnologii de tipul „îmbunătățiri” ale sunetului cum ar fi „noise cancelation”, „surround” etc. Acestea pot avea efecte negative asupra modelului de sonificare, existând posibilitatea de a ajunge la nefuncționalitatea sistemului.

Varianta desktop a aplicației are nevoie de următoarele componente:

1. Calculator
2. Căști stereo
3. Gamepad (teste efectuate cu Xbox One și X/S)

Varianta Android a aplicației va beneficia de accelerometrul telefonului pentru a sincroniza rotirea capului nevăzătorului cu rotirea observatorului din mediul virtual.

În cazul versiunii desktop, aplicația nu urmărește rotația capului utilizatorului și din acest motiv se recomandă păstrarea unei poziții fixe a capului. Rotirea vehiculului virtual se face folosind numai gamepad-ul.

Tehnologiile folosite în implementare sunt: motorul de joc Unity, SDK-ul Google Resonance pentru Unity, Ableton Live 11 ca Digital Audio Workstation (DAW) și XAMPP ca server web. De asemenea, pentru salvarea datelor statistice am folosit limbajul php și o baza de date MySQL. Singura diferență între aplicația pentru PC și cea pentru dispozitive mobile este că cea din urmă este capabilă să capteze mișcările capului utilizatorului folosind accelerometrul telefonului.

Implementarea pentru dispozitivele mobile a ținut cont de scenariul de joc al unei persoane care stă în interiorul vehiculului virtual în timp ce mișcările de rotație ale capului reprezintă o libertate de percepție relevantă. În acest caz doar rotațiile sunt luate în considerare, nu și mișcările de deplasare ale capului sau corpului utilizatorului.

5.2.2 Fluxul global al controlului

Bucloa principală a jocului implementează navigarea utilizatorului printr-un labirint cu scopul de a colecta ținte fixe. Utilizatorul navighează cu un vehicul virtual aerian - pe care-l vom numi în continuare vehicul - folosind un gamepad.

Diagrama UML de activitate din Figura 37 ilustrează fluxul global al controlului în joc.

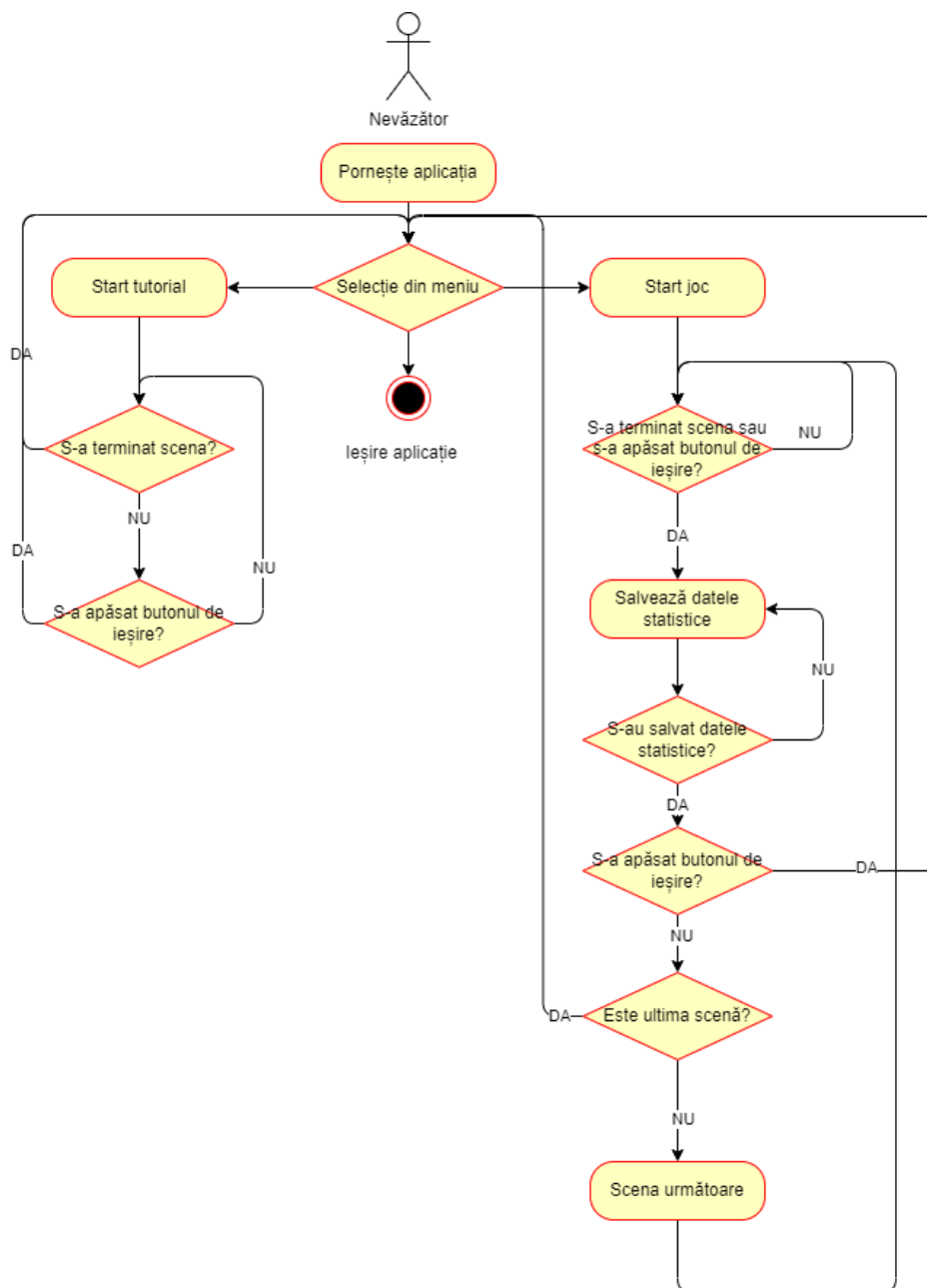


Figura 37 Fluxul global al controlului în joc

5.3 Implementarea jocului

5.3.1 Concepția scenelor

Mediul virtual este compus din scene relativ simple, similare cu un labirint. Curbele acestui labirint sunt doar la 90°. Dificultatea fiecărui nivel este dată de:

1. Numărul țintelor de colectat
2. Numărul de curbe pe care le are scena
3. Numărul de căi interconectate sau căile ciclice care se formează

Folosind acești parametri s-au creat 5 scene de joc cu nivele de dificultate în creștere pentru a testa abilitățile utilizatorilor de a naviga folosind sistemul creat. O cale prin labirint are 20m înălțime x 20 m lățime iar ținta de colectat este un cub de 2m³. Vehiculul utilizatorului are aceleași dimensiuni cu ținta care trebuie colectată. Țintele sunt întotdeauna plasate departe de pereți. Figura 38 ilustrează vederi de sus ale diferitelor labirinturi.

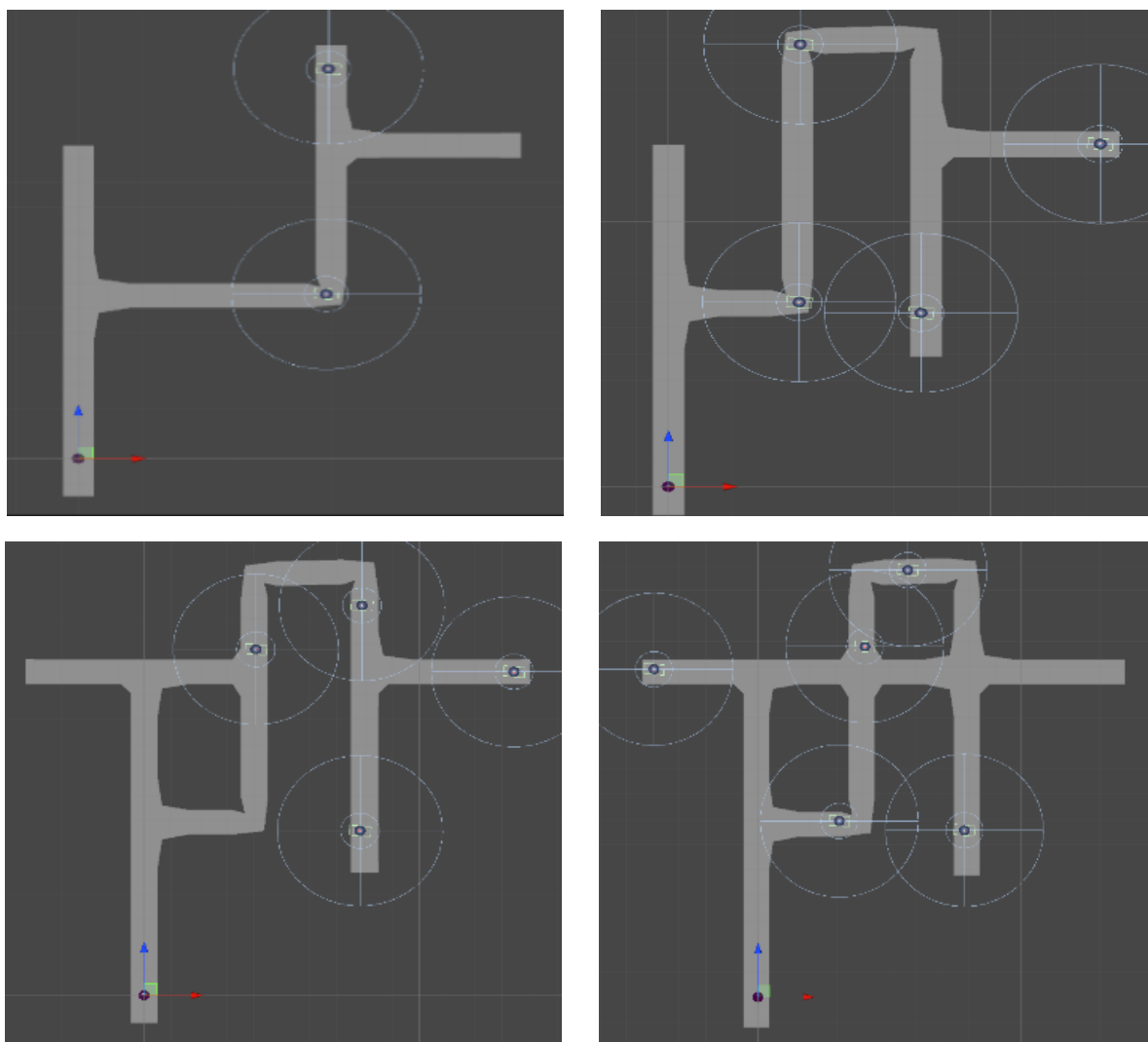


Figura 38 Exemple scene joc

5.3.2 Interacțiunea cu utilizatorul

În proiectarea interacțiunii cu utilizatorul s-a urmărit analogia cu concepte din realitate. Astfel, în versiunea inițială a aplicației s-a implementat controlul vehiculului virtual asemănător cu controlul unui avion (Figura 39).

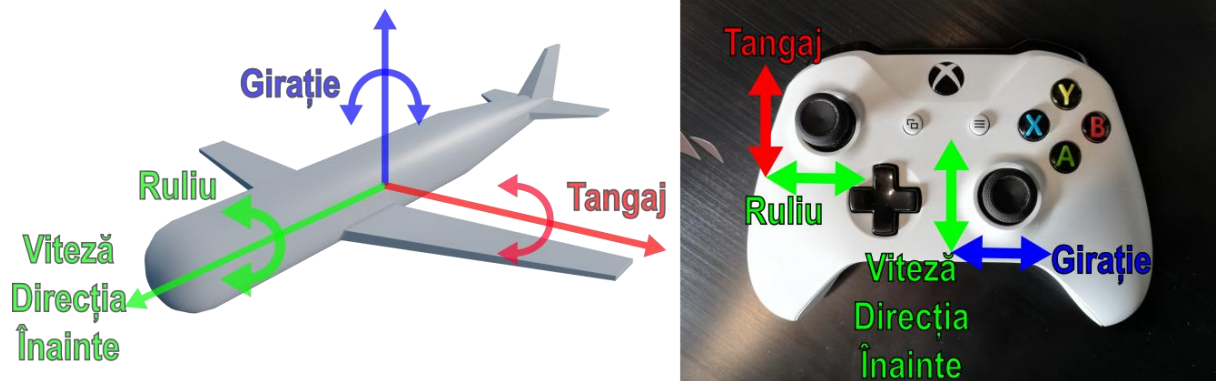


Figura 39 Controlul vehiculului virtual în varianta inițială a aplicației

Vehiculul virtual de tip avion avea o viteză constantă, mică, aplicată implicit. Această viteză putea fi modificată mișcând joystick-ul din dreapta pe axa Y înainte sau înapoi. Mișcând joystick-ul pe direcția înainte se mărea viteza de deplasare iar mișcând înapoi se micșora viteza de deplasare dar niciodată nu devenea 0. Dezavantajul acestui concept de control al vehiculului virtual este că utilizatorul nu putea sta pe loc pentru a percepe mediul înconjurător. Mișcând același joystick pe axa X se modifica yaw-ul (girația) vehiculului. Din punctul de vedere al utilizatorului, această mișcare „muta” vârful vehiculului virtual spre stânga sau spre dreapta.

Mișcarea joystick-ului din stânga era folosită pentru a modifica pitch-ul (tangajul) și roll-ul (ruliul) vehiculului asemenea cu manșa unui avion. Mișcând joystick-ul pe direcția înainte, din punctul de vedere al utilizatorului, vârful vehiculului se mișca în jos iar mișcând joystick-ul spre utilizator, vârful vehiculului se ridica modificând astfel altitudinea. Mișcând joystick-ul spre stânga sau spre dreapta se modifica roll-ul (ruliul) vehiculului. Această mișcare putea aduce vehiculul în situația de a zbura cu capul în jos, situație ce se dovedea de fiecare dată a fi dificilă din punct de vedere al orientării utilizatorilor.

În urma evaluării cu utilizatori a acestei versiuni inițiale, pe baza feedbackului obținut, am modificat modelul de control (Figura 39) astfel încât în versiunea finală modelul de control este cel prezentat în Figura 40. Am ajustat modul de control al vehiculului pentru a fi mai apropiat de controlul unui quadcopter sau dronă folosită în filmări profesionale.



Figura 40 Modelul de control al vehiculului virtual in versiunea finala a jocului

În varianta actuală, folosind joystick-ul din dreapta, utilizatorul poate mișca vehiculul spre stânga, spre dreapta sau în direcția față – spate (axele de culoare verde și roșie din Figura 40). Mișcând joystick-ul în față se aplică o forță de mers înainte a vehiculului, mișcând joystick-ul înapoi, vehiculul se deplasează înapoi. Similar și direcția de deplasare stânga – dreapta, se deplasează vehiculul și nu se modifică yaw-ul (girația).

Joystick-ul din stânga se folosește pentru a modifica altitudinea și yaw-ul (girația) vehiculului virtual. Mișcând joystick-ul spre stânga vehiculul se rotește pe axa Z (albastră) în sensul invers acelor de ceas. Mișcând joystick-ul în față crește altitudinea vehiculului, mișcându-l spre utilizator scade altitudinea sa.

Principalele avantaje ale acestui tip de control:

1. Utilizatorul poate să își mențină o poziție statică pentru a asculta mediul înconjurător.
2. Viteza de deplasare poate fi controlată mult mai eficient.
3. Ruliul vehiculului nu se modifică niciodată, planeitatea vehiculului rămâne constantă, asemenea poziției utilizatorului în lumea reală și astfel se exclude cazul în care utilizatorul putea să se deplaseze cu capul în jos.

În urma testelor, acest tip de control a obținut rezultate mult mai bune și feedback pozitiv din partea subiecților, rămânând singurul mod de control al vehiculului.

Meniul principal al aplicației prezintă trei opțiuni: Start Training (începe antrenamentul), Start Game (Începe jocul) și Quit Application (Ieșire din aplicație). Înainte de a intra în aplicație se redă un mesaj audio pentru a explica utilizatorului că aplicația funcționează doar cu un gamepad de Xbox, să folosească joystick-ul stâng pentru a naviga și butonul „A” pentru a selecta opțiunea din meniu. De asemenea, pentru a nu mai asculta acel mesaj data viitoare când intră în aplicație i se spune la finalul mesajului să miște joystick-ul drept al gamepad-ului înainte de afișarea meniului principal. Odată ce aplicația intră în meniul principal, după terminarea mesajului audio, utilizatorul poate naviga meniul, iar aplicația oferă feedback audio pentru opțiunea din meniu selectată de utilizator.

5.3.3 Modul de învățare

Aplicația îi oferă utilizatorului posibilitatea de a controla un vehicul zburător pentru navigarea prin mediul virtual. Vehiculul se poate deplasa numai în plan orizontal. Vehiculul este capabil să frâneze de urgență și este dimensionat în așa fel încât să poată naviga prin mediul virtual fără a lovi obstacolele. Aplicația sonifică atât obiectele de interes pentru utilizator, țintele și obstacolele, cât și coliziunile cu obstacolele.

La intrarea în modul de învățare este afișată scena de învățare. Această scenă este identică cu prima scenă de joc. În modul de învățare nu se salvează date în baza de date. Scena de învățare începe cu învățarea elementelor de navigare de bază. Utilizatorul primește instrucțiuni verbale de la cel care îl asistă cu privire la funcționalitatea ambelor joystick-uri și cum funcționează frâna și vehiculul. Un aspect important de menționat utilizatorului este faptul că vehiculul nu se oprește în momentul în care nu se mai acționează joystick-ul. Pentru oprirea vehiculului este necesară acționarea frânei.

După această etapă se continuă cu învățarea modelului de sonificare prin redarea situațiilor întâlnite în scenele de joc, cum ar fi întâlnirea unui obstacol, ascultarea sunetului emis de ținta următoare și alte sunete, cum ar fi sunetul de coliziune.

Prezența persoanei care asistă nevăzătorul și îi explică funcționalitatea aplicației este necesară numai în modul de învățare.

5.3.4 Modul de joc (Gameplay)

Utilizatorul avansează secvențial în scenele de joc, în fiecare scenă având de colectat țintele care emit sunete. Scenele de joc urmăresc folosirea abilităților dobândite în scena de învățare. Utilizatorul are posibilitatea de a începe direct cu scenele de joc dacă acesta este obișnuit cu astfel de aplicații și are experiență cu utilizarea dispozitivelor de substituție senzorială.

Scenele de joc nu oferă feedback sonor cu privire la modul în care utilizatorul navighează, ele având scopul de a testa abilitățile dobândite. Pentru această aplicație am preferat ca navigarea să se efectueze prin scene simple, cu schimbarea azimutului în pași de 90°, fără ca utilizatorul să fie nevoit să modifice altitudinea.

Scopul principal al utilizatorului este de a termina toate scenele de joc. Pentru a îndeplini acest obiectiv trebuie să dobândească abilitățile de a naviga folosind modelul de sonificare și modul de control al vehiculului.

5.3.5 Sonificarea și tehnicile folosite

Având în vedere că informațiile oferite de aplicație sunt transmise către utilizator prin intermediul sunetelor, acestea au fost create după criterii foarte clar stabilite. Sunetele pot fi clasificate în 2 categorii, în funcție de frecvența cu care sunt folosite în aplicație.

1. Sunetele continue sau care sunt folosite des. Acestea trebuie înregistrate sau concepute pentru a nu deranja sau obosi utilizatorul aplicației. De exemplu, un sunet cu volum mare pentru a indica direcția țintei următoare poate avea un efect nedorit. Utilizatorul are nevoie de poziția spațială a țintei pe tot parcursul aplicației iar volumul mare al sunetului poate obosi nevăzătorul sau poate chiar deranja pe măsură ce folosește aplicația timp îndelungat.
2. Sunete de avertizare sau sunete rar folosite. Avertizarea cu privire la un pericol, cum ar fi coliziunea cu un obstacol, trebuie să fie redată cu ajutorul unui sunet care trebuie recunoscut rapid, caracteristic, asemenea unui sunet de eroare generat de un calculator sau sunetul de claxon al unei mașini. Astfel de sunete sunt recunoscute rapid, au caracteristicile de a pune utilizatorul în alertă și nu îl obosesc, fiind folosite rar.

Modelul de sonificare pe care l-am conceput și implementat are scopul de a ghida utilizatorul în navigarea cu vehiculul prin mediul virtual. Acesta include sunetele următoarele:

1. **Sunetele pentru coliziune**, au 4 nivele de intensitate în funcție de viteza cu care utilizatorul a intrat în coliziune cu obstacolul sau peretele. O coliziune declanșează, de asemenea, un stimul haptic care variază în funcție de platforma pe care se utilizează jocul. În varianta PC a aplicației vibrează gamepad-ul iar în varianta Android vibrează telefonul.
2. **Distanța** dintre utilizator și cel mai apropiat obstacol față de utilizator este sonificată cu un sunet foarte similar cu cel de la senzorii de parcare ai unui autovehicul. Forma semnalului este dreptunghiulară. Amplitudinea are valoare de 0 sau 1. Modulația în frecvență este în funcție de distanța până la obstacol. Cu cât distanța de la utilizator la obstacol este mai mică, cu atât frecvența semnalului este mai mare. Am ales acest model de sonificare a distanței, **fiind frecvent întâlnit în situații reale**.
3. **Țintele de colectat** emit constant un sunet care este reflectat de suprafețele din scena virtuală, cum ar fi pereții. Atunci când utilizatorul privește o țintă pe care trebuie să o colecteze, adică unghiul dintre direcția de privire a utilizatorului și direcția dată de coordonatele utilizatorului și coordonatele țintei este sub o anumită valoare prestabilită, se emite **un sunet adițional**, de frecvență mai mare ca cel inițial pentru a se distinge. Acesta este modulat în amplitudine în funcție de unghiul menționat mai sus. Cu cât unghiul este mai mic (direcția este mai precisă către ținta de colectat) cu atât sunetul se aude mai tare.

Pentru a folosi cu acuratețe modelul de sonificare descris mai sus, utilizatorii au nevoie de antrenament repetat. Modelul de sonificare acționează asemănător cu un dispozitiv de substituție senzorială[109].

Sonificarea distanței față de obstacole

Pentru sonificarea distanței față de obstacole am ales o metodă simplă dar intuitivă. Prin prisma presupunerii că nevăzătorii sunt obișnuiți cu sunetele emise de sistemul de senzori de parcare ai unei mașini, am decis să implementez o soluție similară pentru vehiculul virtual descris în acest capitol.

Vehiculul virtual trimite o **rază** pe o distanță de 50 m din centrul vehiculului pe direcția frontală a **vehiculului**. Este foarte important de menționat că „senzorul” virtual al vehiculului „scanează” pe direcția vehiculului și nu pe direcția în care utilizatorul privește. Dacă această rază întâlnește un obstacol pe direcția ei de propagare începe să redea sunetul descris mai sus. Numărul de repetiții al sunetului este direct proporțional cu distanța de la vehicul la obstacol. Revenind la durata sunetului, fiind scurtă putem „atenționa” utilizatorul cu repetiții la intervale mari de timp sau putem „avertiza” cu un număr mare de repetiții cu privire la un impact iminent. Sunetul produs de senzorul de obstacole este **2D**, nespațializat, se aude în ambele căști cu aceeași amplitudine.

Pentru generarea sunetului am folosit sintetizatorul Vital prezentat în capitolul 3.4.4.1, subsecțiunea în care se vorbește despre sintetizatoare. Fiind nevoie de un sunet frecvent auzit în joc, am decis crearea unui sunet scurt ca durată și cu puține armonice pentru a nu crea disconfort utilizatorului. Durata scurtă de 0.2 secunde a sunetului a fost aleasă pentru a putea fi redat atât la intervale mari cât și la intervale mici de timp, maximum de repetiții putând fi de 5 ori pe secundă.

Sonificarea coliziunii cu obstacole

Coliziunea cu obstacolele este sonificată folosind sunete înregistrate și create folosind tehnica de „layering” descrisă în 3.4.4.2. Au fost înregistrate sunete de lovituri în metal, geam spart și alte sunete care dau impresia de impact al unui vehicul cu o suprafață dură. Acestea au fost create pentru a putea fi redat pe trei nivele de intensitate în funcție de viteza cu care se deplasează vehiculul în momentul coliziunii.

Suplimentar față de sunetele de impact, vehiculul are replici înregistrate tot în funcție de viteza cu care se deplasează în momentul coliziunii.

Sonificarea deplasării vehiculului

Pentru simularea deplasării vehiculului am creat 3 tipuri de sunete:

1. Sunet repetitiv de vânt
2. Sunet repetitiv care imită funcționarea motorului
3. Sunetul emis de propulsoarele vehiculului

Sunetul de vânt este înregistrat din natură, înregistrarea este făcută să fie repetitivă folosind Ableton. Înregistrarea pornește odată cu mărirea vitezei de deplasare a vehiculului. Pe măsură ce vehiculul capătă viteză mai mare, volumul acestei înregistrări de vânt se mărește, iar în momentul în care viteza vehiculului ajunge la 0, sunetul se oprește. Acest sunet este independent de sunetul propulsoarelor vehiculului, astfel că dacă utilizatorul nu mai accelerează, sunetul de vânt se va auzi pentru a sugera utilizatorului că vehiculul încă se deplasează, iar dacă trebuie oprit vehiculul, acesta va fi nevoit să acționeze frâna.

Sunetul care imită funcționarea motorului este unul repetitiv, ambiental, care pornește treptat la începutul jocului pentru a introduce utilizatorul într-o atmosferă în care se simte în interiorul aceluși vehicul.

Propulsoarele vehiculului sunt oprite în starea normală. În momentul în care utilizatorul acționează unul din joystick-urile gamepad-ului, propulsoarele emit 3 sunete: un sunet de deschidere al propulsoarelor, unul de pornire, după care se redă sunetul de propulsor care se repetă atâta timp cât utilizatorul acționează unul din joystick-uri pentru a accelera. În momentul în care utilizatorul nu mai „acelerează”, propulsoarele emit un sunet care sugerează închiderea acestora. Acest comportament folosește 3 sunete sub forma „Start – Loop – End”. De asemenea, volumul sunetului este direct proporțional cu mișcarea joystick-ului. Joystick-urile au valori între 0-1 pe fiecare axă, X și Y. De exemplu, dacă utilizatorul îndreaptă joystick-ul din stânga în cel mai de sus punct (valoarea 1, Figura 40) atunci sunetul de propulsor se va auzi la volum maxim, altfel volumul se va auzi în funcție de poziția joystick-ului. Dacă joystick-ul se află în poziția (0, 0), volumul sunetului repetitiv devine 0.

Sunet frecare perete

Acest sunet a fost creat folosind tehnica de layering descrisă în 3.4.4.2. Am înregistrat sunete de foi de metal care se deplasează pe diferite suprafețe prin frecare. Sunetele obținute le-am asociat cu momentul în care vehiculul se află în coliziune cu un obstacol, cum ar fi o clădire, și se deplasează pe suprafața clădirii, încă fiind în contact cu aceasta. Scopul este de a informa utilizatorul ca încă este în coliziune cu un obstacol mare. Implementarea este similară cu cea a sunetului de vânt.

Pentru a folosi cu acuratețe modelul de sonificare descris mai sus, utilizatorii au nevoie de antrenament repetat. Modelul de sonificare acționează asemănător cu un dispozitiv de substituție senzorială[109].

Implementarea modelului de sonificare

Pentru sonificarea scenelor am folosit SDK-ul Google Resonance Audio care oferă o implementare de HRTF, diferite modele de ocluziune a sunetului și reverb convoluțional calculat în funcție de spațiul în care se află ascultătorul. Diferitele modele de ocluziune a sunetului se disting prin nivelul de acuratețe direct proporțional cu cantitatea de resurse consumată. Simularea reverberațiilor ia în calcul dimensiunile și materialele din care sunt făcute încăperile și obstacolele.

HRTF folosită este cea din SDK. Pentru a simplifica procesul de învățare al sunetelor aplicației am decis să folosesc același material pentru pereți și pentru țintele de colectat, cu scopul de a menține caracteristici similare ale sunetului în spectrul frecvențelor. Google Resonance Audio SDK aplică filtre de frecvență automat dacă între ascultător și sursa de sunet se află un obstacol. Având același material pentru toate obiectele din scena, acest filtru este identic pentru sunetele din scena. Astfel obținem caracteristici sonice ușor de reținut datorită caracterului lor similar. HRTF ne ajută să simulăm modul în care sunetul este auzit, luând în considerare forma capului uman. Spre deosebire de spațializarea stereo standard, scopul HRTF este de a diferenția între sunetele care se află înaintea, respectiv în spatele ascultătorului. De asemenea, se disting și sunetele care nu se află la aceeași altitudine cu utilizatorul.

Reverbul convoluțional este un tip special de simulare a reverberației sunetului. Aceasta se bazează pe o operație de convoluție matematică și are nevoie de o înregistrare în

prealabil a încăperii care se dorește a fi simulată. „Înregistrarea încăperii” presupune o înregistrare mono a unui sunet scurt și de amplitudine mare în interiorul încăperii care se dorește a fi simulată. Un exemplu des folosit în practică este înregistrarea spargerii unui balon în cadrul încăperii. Există și tehnici mai complexe de a înregistra acest sunet dar detaliile acestea nu reprezintă scopul acestei teze. Operația de convoluție este o metodă matematică de a combina două semnale pentru a forma un al treilea semnal, rezultat. Înregistrarea făcută în prealabil se numește **răspuns la impuls** (Impulse Response Recording) și este folosită pentru a obține simularea reverberației sunetului din încăperea. Google Resonance este capabil să folosească înregistrări și să simuleze aceste răspunsuri la impuls având ca date de intrare materialul din care sunt făcuți pereții încăperii și dimensiunile acesteia. Exemple de materiale pentru care SDK-ul are deja filtre audio asociate: Lemn, Beton, Gresie, Stâncă. Pentru această aplicație am folosit metoda de calcul automat al reverbului încăperilor. Această metodă este mai eficientă din punct de vedere al performanțelor deoarece este de tip *baked* și ia în considerare doar geometria statică. Varianta *baked* de reverb are avantajul de a fi realistă și consumă mai puține resurse computaționale dar, ca dezavantaj, nu ia în considerare obstacolele în mișcare. Singurul obiect dinamic din aplicație fiind vehiculul jucătorului, am decis că această metodă este cea mai potrivită pentru cazul de față.

Am folosit Ableton Live Suite 11 ca DAW (Digital Audio Workstation) pentru că oferă toate uneltele necesare pentru procesare audio fără a folosi software de la terți. Ableton include un egalizator digital de frecvență, compresie, un sintetizator de semnal pentru a genera sunetele necesare și posibilitatea de a prelucra sunete înregistrate în prealabil pentru a simula procese reale cum ar fi diferitele nivele de intensitate ale coliziunii. Tehnici similare sunt descrise și în lucrările scrise de Rovithis et al. [66], Zattra et al. [125] și Della Monache et al. [126].

O unealtă des folosită în tehnicile de design sonic sunt sintetizatoarele care au tabele de semnale. Acestea sunt folosite pentru consumul redus de resurse. Un alt motiv pentru care am folosit un sintetizator cu tabelă de semnale (wavetable synthesizer) este că îmi oferă posibilitatea de a alege dintr-o varietate mai mare de semnale.

Alt mod prin care puteam genera semnale audio este prin adăugarea de armonice unui semnal sinusoidal. Prin variația frecvenței semnalelor armonicilor adăugate putem obține forme de undă diverse. Acest procedeu se numește **additive synthesis**. Procesul opus se numește **subtractive synthesis**. Acesta din urmă constă în scoaterea armonicilor de diferite frecvențe dintr-un semnal de bază cu foarte multe armonice. Datorită numărului mare de calcule matematice, acest proces de a obține un semnal specific este mai rar folosit deoarece necesită mai multe resurse computaționale.

Armonicile dominante ale semnalelor generate în acest proces sunt descrise în lucrările scrise de Nan. Et al. [127], Spöndlin și Schrott [128], Riecke et al. [129] și Siningher et al. [130]. Pentru modelul de sonificare la care am lucrat, pentru sunetele repetitive am generat sunete cu puține armonice, semnalul rezultat predominând în partea inferioară a spectrului auditiv (<1000 Hz). Motivul pentru care am ales astfel de sunete este folosirea repetitivă a lor. Utilizatorii percep acest sunet ca fiind mai puțin deranjant. Rezultatul este un semnal mai „neted” din punct de vedere al formei de undă (Figura 41 stânga). Pentru sunete cu prioritate

întă, care au nevoie de atenția imediată a utilizatorului am amplificat frecvențele cuprinse între 1000 și 2000 Hz și mai înalte. Drept rezultat avem o formă de undă mai „dură” și un sunet mai puțin plăcut (Figura 41 dreapta). Sunetele au fost generate și apoi prelucrate bazându-mă pe cercetarea autorilor menționați mai sus și pe baza răspunsurilor utilizatorilor la chestionarele de feedback.

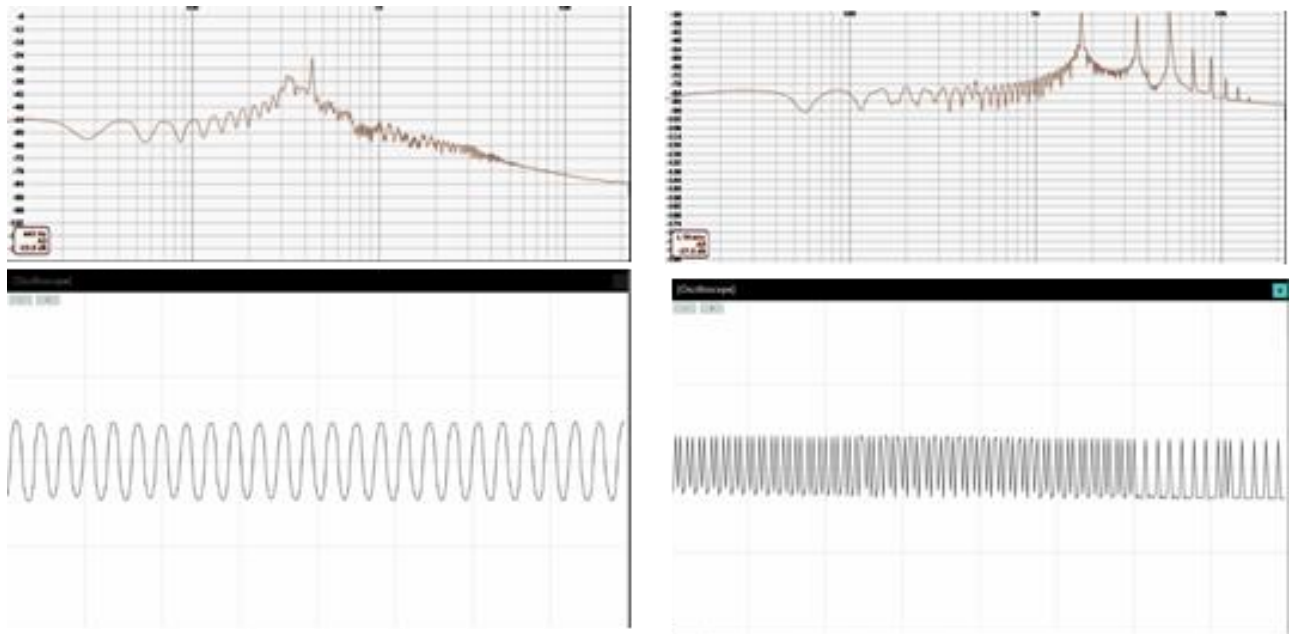


Figura 41 Exemple forme de undă

5.4 Sistemul de achiziție a datelor statistice

Sistemul de achiziție a datelor statistice a fost dezvoltat cu scopul de a oferi informații suplimentare pentru îmbunătățirea aplicației. Pe lângă formularele de feedback, de unde dezvoltatorul își poate da seama că **există o problemă**, datele statistice oferă **detalii** pentru a remedia problema respectivă sau pentru a crea o soluție diferită, mai potrivită pentru necesitățile nevăzătorului.

Pentru urmărirea progresului și a posibilelor probleme care pot apărea pe parcursul folosirii aplicației s-a implementat un sistem care salvează următoarele date pentru fiecare utilizator înregistrat în baza de date:

- Timpul petrecut în aplicație
- Timpul petrecut în fiecare scenă
- Timpul mediu de atingere a țintelor (ATCT), calculat ca timpul dintre momentul colectării primei ținte până la colectarea ultimei ținte împărțit la numărul total de ținte. Acest parametru poate fi considerat și ca un indicator de performanță.
- Traectoria utilizatorului pentru fiecare scenă
- Numărul coliziunilor pentru fiecare scenă

Tehnologiile folosite pentru implementarea sistemului de achiziție sunt:

- Server web XAMPP
- Php
- MySQL

Initial am dorit ca sistemul de achiziție să ruleze pe un server, pentru a stoca date provenite de la mai multe jocuri jucate simultan. La prima iterație a aplicației web au apărut și primele probleme legate de **securitate**. Presupunând că aplicația este la început și scopul este doar de a testa funcționalitatea, nu am depus un efort pentru a securiza serverul web și l-am expus pe internet cu o adresa de IP publică. Serverul a fost atacat cu un atac de tip ransomware, datele statistice adunate până în momentul respectiv au fost șterse, iar atacatorul a lăsat un mesaj pentru răscumpărarea datelor.

Serverul respectiv a fost șters complet iar sistemul de achiziție a datelor statistice a fost rescris. Varianta finală a sistemului este o aplicație web care rulează pe un server din aceeași rețea cu dispozitivele pe care rulează jocul.

Varianta finală a bazei de date este ilustrată în Figura 42. Structura bazei de date este simplă:

1. Tabelul „users” conține date specifice utilizatorilor care au participat la teste. Informațiile stocate se pot vedea în Figura 42
2. Tabelul „sessioninfo” salvează informații despre sesiunea de rulare a aplicației. Am denumit o „sesiune” ca fiind perioada de rulare a aplicației. O sesiune începe în momentul deschiderii aplicației. Dacă aplicația se închide, se termină „sesiunea” respectivă și nu mai poate fi reluată.
3. Tabelul „levelinfo” colectează informații legate de nivelul în care se află utilizatorul. Prin „nivel” înțelegem scena 3D cu obiectele aferente. Pentru a avansa, utilizatorul trebuie să termine un nivel. După ce colectează țintele din nivelul curent, avansează la următorul nivel/scenă de joc.
4. Tabelul „session_level” este tabelul de legătură dintre tabelele sessioninfo și levelinfo
5. În tabelul „pointtrajectories” se salvează periodic punctele traiectoriei parcurse de utilizator la fiecare nivel. De asemenea, în acest tabel se salvează și intervalul de timp „TimeDelta”. Acesta reprezintă parametrul Time.deltaTime din Unity, timpul scurs de la începutul nivelului. Asocierea corectă a traiectoriei cu informațiile din joc se face pe baza ID_Level, ID_USER și ID_Session deoarece fiecare traiectorie aparține unui singur user care a parcurs un anumit nivel într-o anumită sesiune.

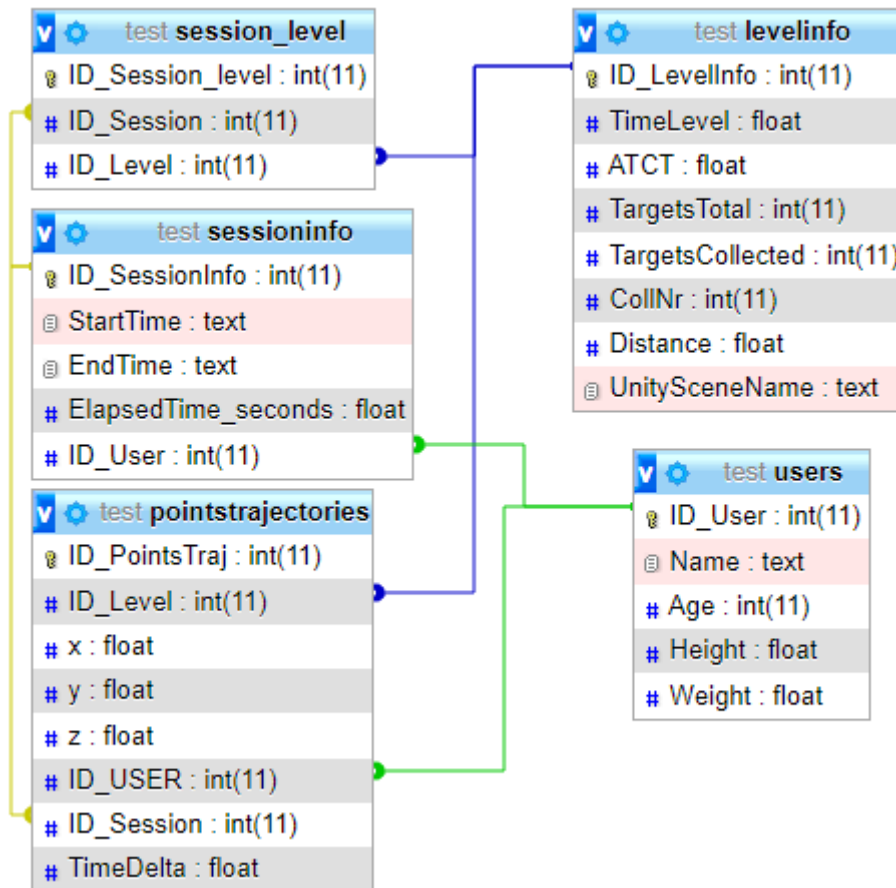


Figura 42 Structura bazei de date folosite pentru sistemul de achiziție al datelor statistice

Pentru colectarea și stocarea acestor date în baza de date s-a creat o aplicație web simplă, independentă de joc. Jocul se conectează la baza de date și trimite comenzi prin intermediul unor scripturi Php. Un exemplu de astfel de script poate fi văzut în Figura 43, iar funcția în C# care apelează acest script poate fi văzută în Figura 44.

```

1 <?php
2 $link = mysqli_connect('localhost','PhdUser','ox1l0oip1b49TWyS','test');
3 if (mysqli_connect_errno()) {
4     printf("Connect failed: %s\n", mysqli_connect_error());
5     exit();
6 }
7 $sql =
8 "INSERT INTO PointsTrajectories (ID_Level,ID_User,ID_Session,x,y,z,TimeDelta) " .
9 "VALUES (" .
10 $_POST["ID_Level"] . "," .
11 $_POST["ID_User"] . "," .
12 $_POST["ID_Session"] . "," .
13 $_POST["x"] . "," .
14 $_POST["y"] . "," .
15 $_POST["z"] . "," .
16 $_POST["TimeDelta"] . ")";
17
18 if(mysqli_query($link, $sql)){
19     //$lastId = $link->insert_id;
20     //echo $lastId;
21 } else{
22     echo "ERROR: Could not able to execute $sql. " . mysqli_error($link);
23 }
24
25 mysqli_close($link);
26
27
28 // ?>

```

Figura 43 Script Php pentru adăugarea unui punct de traiectorie în baza de date

```

79 IEnumerator<UnityWebRequestAsyncOperation> InsertPointTraj()
80 {
81     Vector4[] pos = new Vector4[Positions.Count];
82     Positions.CopyTo(pos);
83     foreach (Vector4 item in pos)
84     {
85         WWWForm form = new WWWForm();
86         form.AddField("ID_Level", curentLevelDbId.ToString());
87         form.AddField("ID_User", curentUserId.ToString());
88         form.AddField("ID_Session", curentSessionDbId.ToString());
89         form.AddField("x", item.x.ToString());
90         form.AddField("y", item.y.ToString());
91         form.AddField("z", item.z.ToString());
92         form.AddField("TimeDelta", item.w.ToString());
93
94         using (UnityWebRequest www = UnityWebRequest.Post(
95             "http://192.168.1.205/SQLConnect/InsertPointTraj.php", form))
96         {
97             yield return www.SendWebRequest();
98
99             if (www.isNetworkError || www.isHttpError)
100             {
101                 Debug.Log(www.error);
102             }
103             else
104             {
105                 Debug.Log(www.downloadHandler.text);
106                 Debug.Log("Form upload complete!");
107             }
108         }
109     }

```

Figura 44 Funcția C# pentru adăugarea punctelor traiectoriei utilizatorului în baza de date

La începutul unei scene de joc se creează o listă de Vector4 în care se salvează coordonatele x,y,z ale jucătorului în scenă. Pe poziția 4 a lui Vector4 se salvează timestamp-ul punctului. Pentru a evita redundanța punctelor salvate în listă am folosit două condiții de salvare:

1. Unghiul dintre vectorul viteză de la frame-ul curent și vectorul viteză de la frame-ul precedent trebuie să fie mai mare sau egal cu 0.5° ; Această valoare a fost aleasă experimental.
2. Distanța dintre punctul salvat anterior și poziția curentă a jucătorului trebuie să fie mai mare de 1 metru.

Cele 2 condiții trebuie îndeplinite simultan pentru a se salva un punct în Listă. Prima condiție a fost aleasă pentru a evita situațiile în care utilizatorul se deplasa foarte încet pe aceeași direcție iar cea de-a doua condiție a fost aleasă pentru evitarea adăugării punctelor când utilizatorul stă pe loc.

```
Vector3 curVel = GameManager.Instance.ThisPlayerInstance.GetComponent<Rigidbody>().velocity;
if (photonView.IsMine)
{
    if (!GameManager.Instance.DBManagerInstance.isDBBusy)
    {
        float angle = Vector3.Angle(curVel, m_LastFrameVelocity);
        if (angle >= .5f && Vector3.Distance(m_LastSavedPos, transform.position) >= 1f)
        {
            if (!m_isCLIReset)
            {
                GameManager.Instance.DBManagerInstance.Positions = new List<Vector4>();
            }
            m_isCLIReset = true;
            GameManager.Instance.DBManagerInstance.AddTrajPoint(transform.position);
            if (LR != null)
            {
                LR.positionCount = GameManager.Instance.DBManagerInstance.Positions.Count;
                for (int i = 0; i < LR.positionCount; i++)
                {
                    LR.SetPosition(i, GameManager.Instance.DBManagerInstance.Positions[i]);
                }
            }
            m_LastSavedPos = transform.position;
        }
    }
}
```

```
public void AddTrajPoint(Vector4 pos)
{
    pos.w = Time.time;
    if (!isDBBusy)
    {
        Positions.Add(pos);
    }
}
```

Figura 45 Adăugarea punctelor traiectoriei utilizatorului

5.5 Evaluarea jocului cu utilizatori

Testarea jocului s-a realizat pe un lot de 3 subiecți legați la ochi. Motivul pentru care jocul nu a fost testat cu utilizatori nevăzători sau cu deficiențe de vedere a fost situația pandemică din perioada în care a fost dezvoltat. Testele au durat o lună, cu timp acordat modificării jocului în urma unor rezultate nesatisfăcătoare ale testelor.

Testarea a inclus și o serie de întrebări tip chestionar din care s-au extras informații cu privire la calitatea sunetelor auzite și nivelul de satisfacție pe care l-au avut utilizatorii în legătură cu diferite aspecte, cum ar fi meniul principal, cât de deranjante au fost sunetele, dacă a fost util modul de control al vehiculului, etc.. Chestionarele de feedback au fost folosite înaintea utilizării jocului (anexa 1), după fiecare zi de testare și la finalul testării aplicațiilor (anexa 2).

Lotul de subiecți a fost format dintr-un utilizator fără experiență notabilă în utilizarea aplicațiilor de tip jocuri pe calculator și 2 utilizatori mediu experimentați. Vârstele acestora au fost de 22, 29 și, respectiv 53 de ani.

În urma feedback-ului utilizatorilor, dacă era necesară o schimbare, cum a fost în cazul interacțiunii utilizatorului cu testarea, se oprea testarea și se acorda timp pentru modificările necesare. Un alt tip de modificare apărută în urma testelor dar pentru care nu a fost nevoie de reluarea testelor de la început a fost modificarea sau înlocuirea sunetelor. Modificările sunetelor au apărut în urma chestionarelor zilnice pe baza răspunsurilor libere ale utilizatorilor în care se cerea explicit reducerea volumului sau schimbarea sunetului. Pentru anumite sunete au fost reduse frecvențele mai proeminente iar alte sunete au fost înlocuite cu totul. Decizia de a înlocui sunete se lua în momentul în care un utilizator sugera sunete întâlnite în cazuri reale, în viața de zi cu zi, acest lucru fiind catalogat ca o problema de design al aplicației.

După modificarea sunetelor am avut rezultate pozitive în reducerea oboselei timpurii pe parcursul testării. Au existat cazuri repetate în care utilizatorul nu a reușit să termine niciun nivel, motiv pentru care au fost întrerupte testele cu toți utilizatorii pentru remedierea problemelor.

Scenele virtuale de testare au avut dificultate graduală dar, în cazul utilizatorului neexperimentat, s-a simțit nevoia mării granularității. Acest lucru ar fi fost posibil prin mărirea numărului de scene dar, luând în considerare timpul necesar pentru dezvoltarea lor și timpul necesar pentru reluarea testelor s-a luat decizia de a rămâne cu numărul inițial de scene. Acest utilizator a reușit, în cele din urmă, finalizarea testării. O altă soluție pentru modificarea dificultății luată în considerare a fost modificarea numărului de ținte pe care utilizatorul este nevoit să le colecteze. Un număr redus de ținte de colectat avea ca rezultat terminarea cu ușurință a testelor pentru doi dintre utilizatori. Micșorarea suplimentară a numărului de ținte putea duce la rezultate neconcludente.

Pe măsură ce utilizatorii oboseau, de obicei la ultimele scene, se observau greșeli în decizii pe care aceștia le luau fără probleme la începutul testării. În primele variante ale jocului

oboseala subiecților a dus la multe teste neconcludente, motiv pentru care s-a simțit nevoia reluării unor aspecte ale jocului deja învățate de utilizatori, cum ar fi modelul de sonificare.

5.5.1 Evaluarea progresului utilizatorilor pe baza datelor statistice colectate în timpul utilizării jocului

Indicatorii de performanță folosiți pentru evaluarea progresului utilizatorilor au fost: parametrul ATCT (Average Time to Collect Target – Timpul Mediu Pentru Colectarea Țintei) și numărul de coliziuni. La fiecare parcurgere a unei scene se calculează o medie a timpului de colectare a țintelor pentru fiecare utilizator (ATCT). Acest calcul se efectuează și se ia în considerare doar la finalizarea scenei.

După cum se pot observa rezultatele din Tabelul 3, pentru scena cu numărul 2, utilizatorul cu ID-ul 2 a reușit să progreseze. Numărul coliziunilor este în scădere pe măsură ce utilizatorul se obișnuiește cu modelul de sonificare și cu metodele de interacțiune cu vehiculul virtual. Analizând în continuare datele din tabel putem afirma că pentru scena 3, parametrul ATCT nu oferă informații concludente și coliziunile sunt în creștere. Aceste date au fost interpretate ca fiind rezultatul creșterii oboselii subiectului și datorită feedbackului verbal în care utilizatorul spunea că a uitat tehnici de interacțiune cu vehiculul virtual, tehnici cunoscute la începutul sesiunii de testare.

Deși jocul este mai puțin la îndemâna utilizatorilor văzători, acesta poate fi antrenant datorită imersiunii pe care o oferă, în special varianta dezvoltată pentru sistemul Android. Imersiunea este rapidă datorită simplității modului de control al vehiculului virtual și logicii simple de joc dar, pentru a termina toate scenele de joc, subiecții au nevoie de timp pentru a se obișnui cu modelul de sonificare. Datorită acestui aspect pot menționa că aplicațiile se încadrează în categoria „easy to learn, hard to master” (Ușor de învățat, greu de a obține performanță). Odată ce modelul de sonificare și modalitățile de control devin reflexe, utilizatorul dobândește abilitățile de a se orienta cu adevărat în mediul virtual.

Jocul adresează cu succes problema învățării de către utilizatori a modelului de sonificare, a metodelor de control, a tehnicilor și strategiilor de navigare a scenelor. Utilizatorii pot diferenția țintele, obstacolele și pot recunoaște calea pe care au ales-o în timpul navigării.

Tabelul 3 Date statistice pentru utilizatorul 2

Time Level (seconds)	ATCT (seconds)	Total Targets	Targets Collected	Collisions	Distance (meters)	Scene ID	Session ID	Elapsed Time (seconds)	User ID
117.009	58.5046	2	2	4	263.173	2	5	459.214	2
94.8204	47.4102	2	2	2	260.585	2	6	409.613	2
62.5521	31.2761	2	2	1	252.956	2	7	692.818	2
58.0107	29.0053	2	2	0	244.106	2	8	1380.52	2

115.367	38.4557	3	3	1	419.689	3	6	409.613	2
137.357	45.7856	3	3	6	419.997	3	7	692.818	2
110.719	36.9064	3	3	4	407.297	3	8	1380.52	2
296.416	74.104	4	4	8	794.485	4	8	1380.52	2
473.689	118.422	4	4	23	1117.52	5	8	1380.52	2
369.916	73.9833	5	5	18	696.821	6	8	1380.52	2

Parametrul **Time Level** reprezintă timpul petrecut în scena curentă, măsurat în secunde. **Elapsed time** reprezintă timpul petrecut în aplicație (inclusiv în meniuri).

5.5.2 Îmbunătățirea jocului pe baza datelor statistice

Multe decizii pentru îmbunătățirea scenelor s-au luat și în urma analizei datelor provenite din sistemul de achiziție al datelor statistice. Având în vedere aspectele mai sus-menționate despre traiectoria parcursă de utilizatori în diferite scene, am putut lua decizia de a modifica poziția țintelor pentru a evita situațiile în care utilizatorul se rătăcea. În Figura 46 se poate observa cum un utilizator se poate rătăci în mediul virtual (sus) față de traiectoria precisă din partea de jos a figurii.

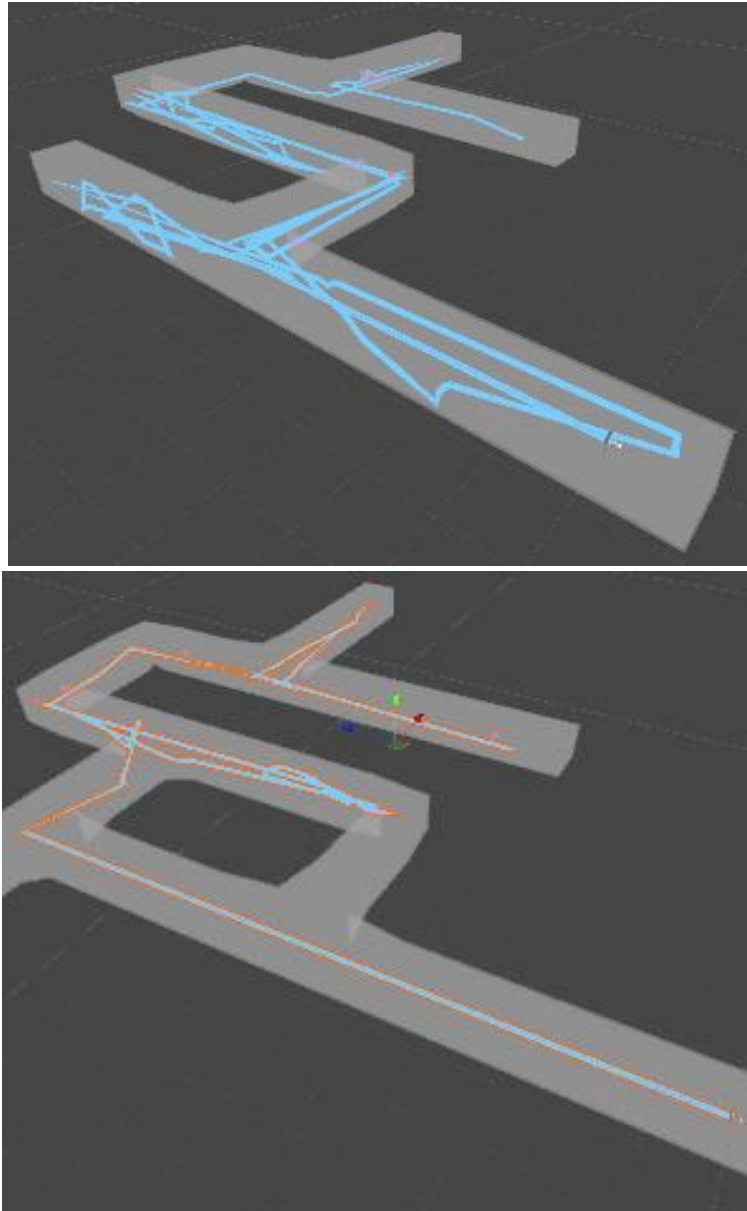


Figura 46 Traiectorie utilizator înainte (sus) și după (jos) repararea scenei cu probleme

O altă problemă legată de designul aplicației, pe care sistemul de reprezentare 3D al traiectoriei m-a ajutat să o remediez, a fost la scena numărul 3 de testare din Figura 47. Subiecții, de obicei, se orientau spre direcția sunetului generat de ținte și încercau să se deplaseze în linie dreaptă spre țintă. De exemplu, în Figura 47 utilizatorul este poziționat în partea stânga jos a figurii. Primele două ținte sunt ușor de găsit. După colectarea celei de-a doua ținte apare dificultatea găsirii următoarelor ținte. Urmărind traiectoria albastru-deschis putem observa că utilizatorul încearcă să se îndrepte spre următoarea țintă dar revine spre zona de început a scenei.

Problema găsirii ultimelor două ținte putea fi adresată în două moduri. Se putea modifica modelul de sonificare pentru a aduce o confirmare dacă utilizatorul se află pe calea „corectă” sau acesta poate fi ajutat prin modificarea poziției țintei 2 spre dreapta figurii. S-a decis

modificarea poziției țintei cu numărul 2 pentru a lăsa factorul decizional al „corectitudinii traseului” la utilizatorul aplicației.

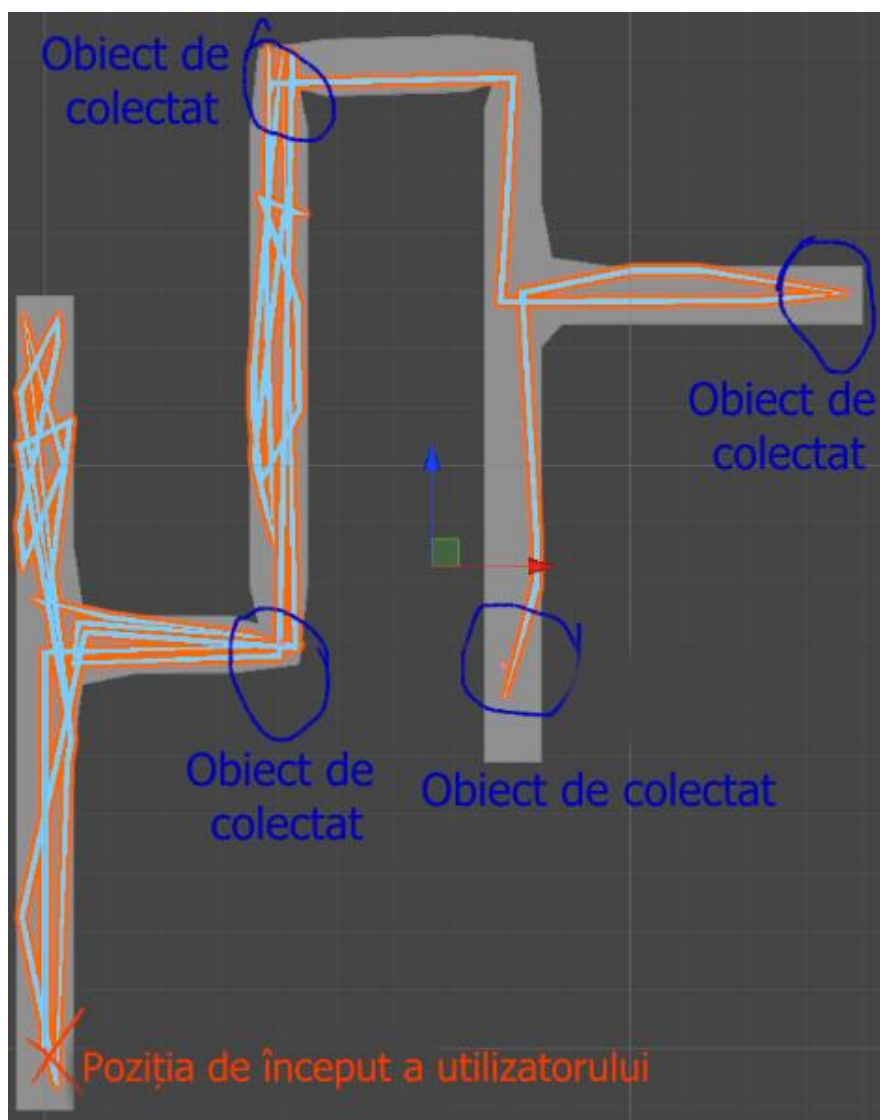


Figura 47 Explicarea problemei din scenă

În urma feedback-ului verbal al utilizatorilor, s-a concluzionat că tipul inițial de interacțiune cu utilizatorul nu poate fi utilizat cu succes pentru a obține rezultate pozitive. Feedback-ul utilizatorilor a fost că vehiculul nu răspunde comenzilor.

5.5.3 Feedback-ul folosind chestionare

Chestionarele oferite înainte începerii testelor cu utilizatorii legați la ochi au avut ca rezultat selecția relevantă a utilizatorilor, aceștia având diferite nivele de experiență în ceea ce privește tehnologia, jocurile video și diferitele platforme.

Rezultatele din această secțiune se bazează pe răspunsurile la întrebările din Anexa 1 – Chestionar selecție utilizatori (înainte de joc) și Anexa 2 – Chestionar Joc de orientare și mobilitate bazat pe stimuli audio.

Care este experiența dumneavoastră cu tehnologia în viața de zi cu zi?

3 responses

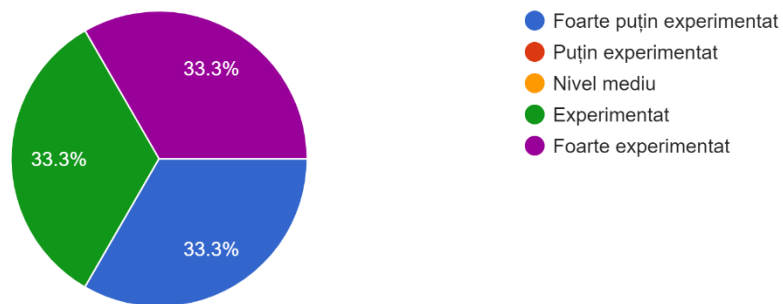


Figura 48 Rezultate experiență tehnologie

Cât de des folosiți telefonul mobil?

3 responses

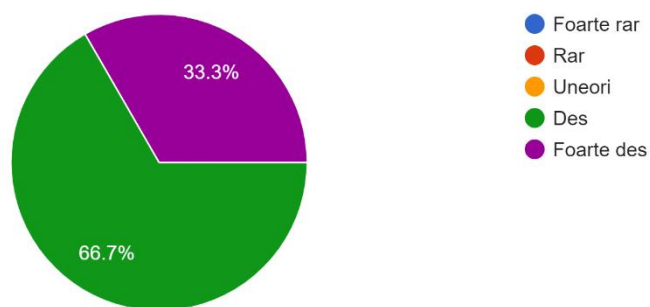


Figura 49 Rezultate utilizare telefon mobil

Cât de des folosiți calculatorul personal (Desktop/laptop)

3 responses

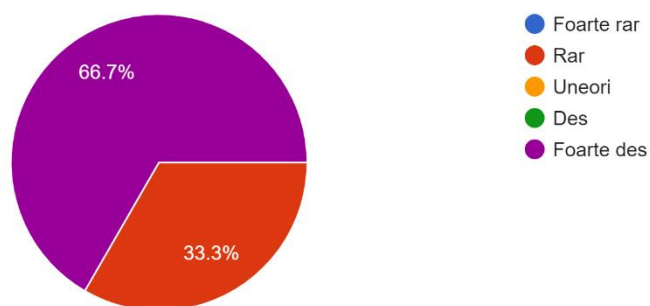


Figura 50 Rezultate utilizare calculator

Cât de des folosiți aplicații de navigare pe telefonul mobil? (Google Maps, Waze sau altele)

3 responses

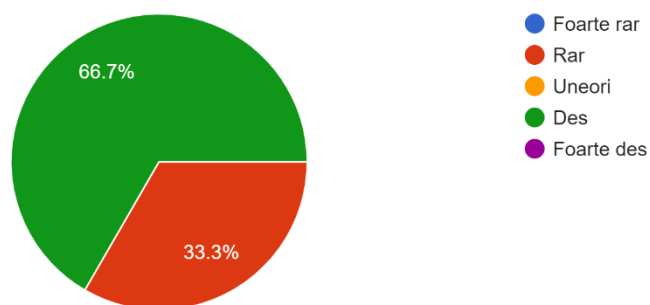


Figura 51 Rezultate utilizare aplicatii navigare mobile

Care este experiența dumneavoastră cu jocurile video?

3 responses

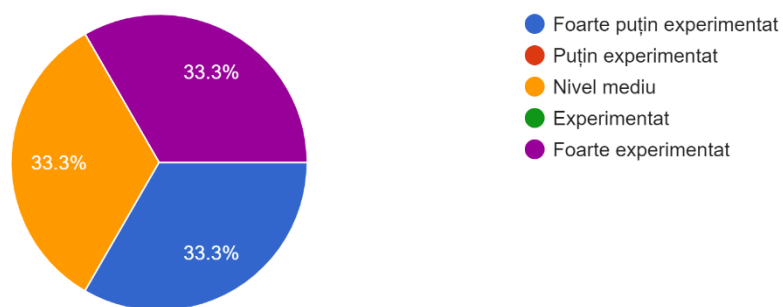


Figura 52 Rezultate experiență jocuri video

Cât de des vă jucați pe telefon?

3 responses

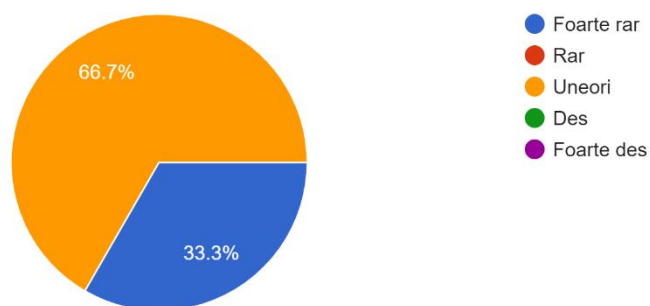


Figura 53 Rezultate jocuri telefon mobil

Cât de des vă jucați pe calculator?

3 responses

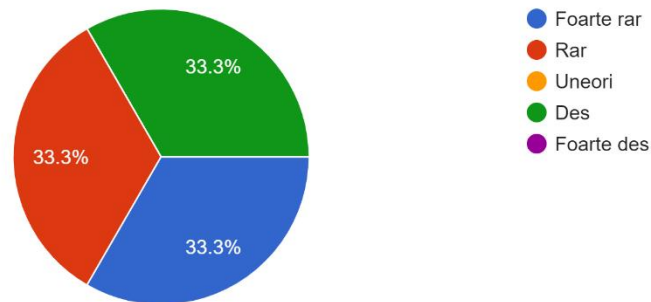


Figura 54 Rezultate jocuri pe calculator

Ce dispozitiv considerați că folosiți mai des?

3 responses

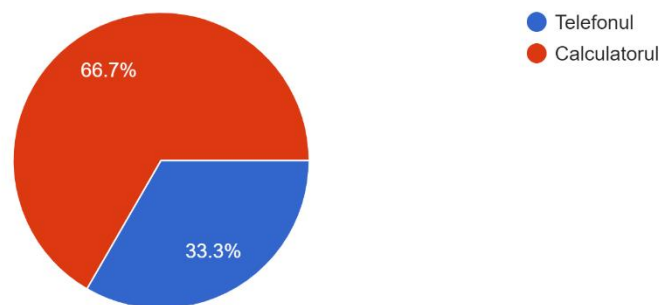


Figura 55 Rezultate utilizare dispozitive

Din chestionarele fiecărei sesiuni de joc m-au ajutat foarte mult răspunsurile în scris care au oferit posibilitatea utilizatorilor să contribuie direct la dezvoltarea aplicației.

Modul de control

Având în vedere rezultatele nesatisfăcătoare ale primului mod de control al aplicației, cel similar unui avion, scopul întrebărilor legate de controlul vehiculului (Anexa 2 – Chestionar Joc de orientare și mobilitate bazat pe stimuli audio) a fost să obținem feedback despre noul mod de control al vehiculului. Rezultatele nesatisfăcătoare ale primelor teste s-au datorat modului de control deficitar similar cu al unui avion și vitezei mari de deplasare.

Considerați util acest mod de a controla vehiculul?

78 responses

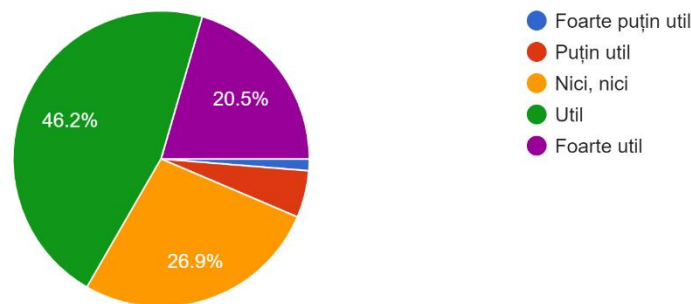


Figura 56 Rezultate mod control vehicul virtual

La întrebarea opțională “Ați modifica modalitatea de control a vehiculului? Dacă da, în ce mod?” au fost oferite 78 de răspunsuri, dintre care cele mai utile sunt enumerate mai jos. Comparațiile de tipul „este mai ușor” sau „mai util” este făcută cu varianta precedentă a prototipului care s-a dovedit inutilizabilă.

1. Nu. Este mult mai ușor acum ca vehiculul poate staționa
2. Nu deocamdată
3. Nu. Deocamdată imi e greu sa ma obișnuiesc.
4. Nu. Simt nevoia de mai mult antrenament pentru a ma obișnui
5. Nu. Este mult mai util fata de primul
6. Nu. Trebuie sa ma obișnuiesc din nou
7. Nu. Am uitat ca ma pot orienta si rotind capul
8. Nu, pare ca pot controla vehiculul acum dar trebuie sa ma obișnuiesc
9. Nu stiu. Inca nu ma pot obișnui
10. Inca nu.
11. Nu as modifica deocamdata. Ma obișnuiesc mai greu
12. Am inceput sa ma obișnuiesc
13. Este mult mai bun fata de prima varianta
14. nu. trebuie sa ma obișnuiesc iar
15. poate as scadea viteza
16. Încă nu. Trebuie sa îl înțeleg
17. Nu. Încep sa înțeleg mai bine
18. Nu dar am uitat complet cum se folosește
19. Nu. Trebuie sa ma obișnuiesc din nou
20. Nu. Încep sa îmi aduc aminte cum ma orientam

Calitatea sunetelor și utilitatea modelului de sonificare

Un alt aspect important urmărit în cadrul testelor a fost dacă sunetele sunt deranjante. Utilizatorul expus un timp îndelungat la sunete deranjante poate obosi timpuriu, poate crește senzația de disconfort care poate duce la refuzul utilizării aplicației.

Sunetele vi s-au părut deranjante?

78 responses

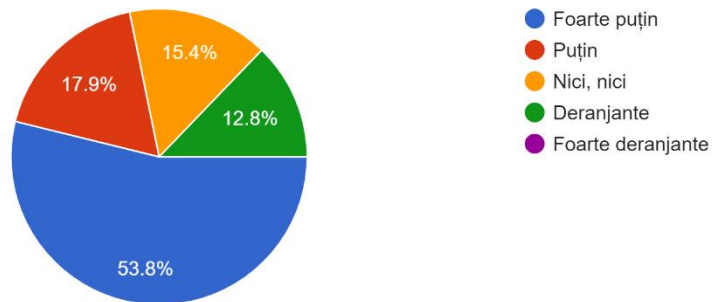


Figura 57 Rezultate sunete deranjante

Ați considerat utile sunetele din aplicație?

78 responses

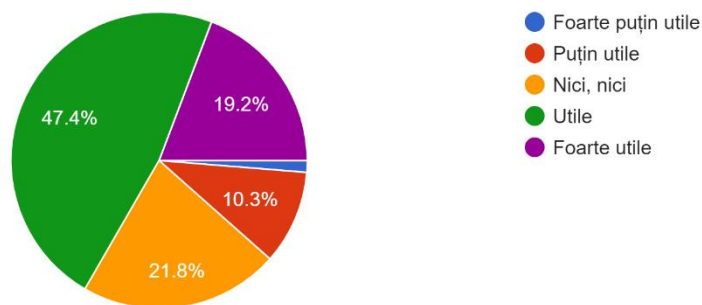


Figura 58 Rezultate utilitate sunete

Pentru întrebarea opțională “Ce observații sau schimbări ați aduce sunetelor?” au fost oferite 8 răspunsuri care au concluzionat că sunetele generate de aplicație sunt foarte puțin deranjante și, drept urmare, nu au mai fost aduse modificări ulterioare sunetelor. Răspunsuri:

1. Unele par puțin ascuțite dar nu deranjează
2. Par puțin ascuțite unele sunete. Când sunt aproape de țintă
3. Nu prea înțeleg cum le folosesc
4. Când mă apropiu de țintă par prea tare
5. Trebuie să mă obișnuiesc iar
6. Nu înțeleg cum trebuie să le folosesc
7. Sunt utile dar îmi e greu să le folosesc cum trebuie
8. Parcă nu m-a mai durut capul la final

Pe parcursul utilizării aplicației subiecții au avut dificultăți în a înțelege cum funcționează modelul de sonificare dar răspunsurile la chestionare demonstrează că în timp au reușit să depășească acest disconfort.

Considerați util modelul de sonificare?

78 responses

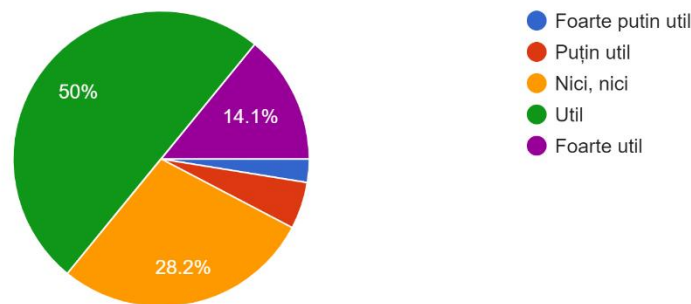


Figura 59 Rezultate utilitate model sonificare

Cele 10 răspunsuri date la întrebarea opțională “Ce schimbări ați aduce modelului de sonificare?” au fost utile pentru înțelegerea faptului că utilizatorii se obișnuiesc greu cu modelul de sonificare și este necesar mai mult timp pentru a concluziona dacă modelul de sonificare este util sau nu.

1. Deocamdata nimic
2. Incep sa inteleg cum funcționează
3. Aș adăuga informații suplimentare cum ar fi informații despre direcția corectă sau greșită
4. Aș adăuga informații despre scenă
5. Mai multe informații despre scenă. Direcția corectă sau greșită
6. Informatii despre directia de deplasare. Daca este corecta sau nu
7. Cateodata ma ratacesc. Ar fi utile informatii legate de orientarea in scena, nu doar directia catre țintă
8. As vrea o solutie cand ma ratacesc
9. Nu inteleg cum se folosesc sunetele foarte clar
10. Încep sa înțeleg ce trebuie sa fac dar îmi e greu

Dificultatea scenelor

Care considerați că este nivelul de dificultate pentru scenele de antrenament?

78 responses

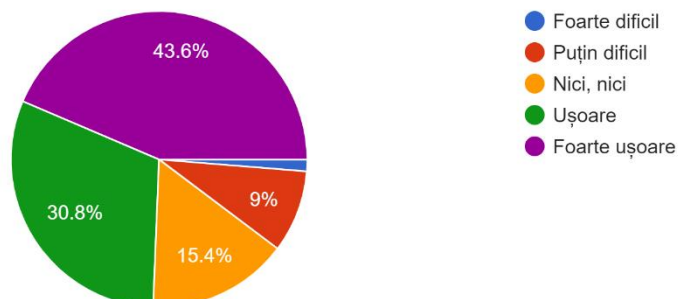


Figura 60 Rezultate dificultate scene antrenament

Care considerați că este nivelul de dificultate pentru scenele de test?

78 responses

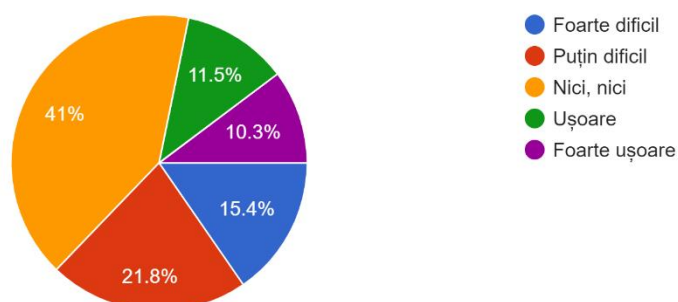


Figura 61 Rezultate dificultate scene joc

Procentajul mare de răspunsuri „Foarte ușoare” al întrebării legate de dificultatea scenelor de antrenament denotă faptul că subiecților le-a fost ușor de înțeles modelul de sonificare și ușor de parcurs scenele de antrenament. Împreună cu răspunsurile de la întrebările precedente legate de modelul de sonificare am ajuns la concluzia că modelul de sonificare este ușor de înțeles dar greu de memorat pe parcursul scenelor de joc. Procentul de 41% de dificultate medie („Nici, nici”) reflectă situația ideală în care dificultatea scenelor de joc creează o experiență plăcută, nici prea ușoară, nici prea dificilă. Datorită acestor răspunsuri și cele 18 răspunsuri la întrebarea „Ce schimbări legate de dificultate ați aduce nivelelor?” am luat decizia de a nu modifica modelul de sonificare, fiind o problemă de adaptare dificilă a utilizatorilor.

Răspunsuri:

1. Scena de antrenament este utilă acum pentru ca pot controla vehiculul. Inca nu se par grele scenele de joc
2. Scene mai mari
3. Scene mari

4. Loc mai mult pentru navigare
5. Simt nevoia de scene mai mari
6. Exista o scena. Cred ca e aceeași in care ma ratacesc
7. Exista o scena in care ma ratacesc. Pare a fi același loc
8. Pentru antrenament cred ca trebuie facut mai des. Scenele de joc par inghesuite
9. Ma obisnuiesc mai greu dar am inteles cum pot folosi sunetele sa ma orientez
10. Nivele mai mari
11. Trebuie sa repet scenele de antrenament
12. Mi se pare greu sa ma deplasez
13. Am nevoie de mai mult antrenament
14. Cred ca trebuie sa exersezi mai mult dar obosești repede
15. Scenele propriu-zise mi se par grele
16. Ma lovesc des de pereți
17. Parca am nevoie de mai mult spațiu
18. Cred ca doar eu nu ma descurc. Nu știu ce as schimba. Poate nivelele mai spațioase

De asemenea, răspunsul „*Exista o scena in care ma ratacesc. Pare a fi același loc*” la întrebarea de mai sus este foarte important, întrucât este motivul pentru care am interogat baza de date pentru aflarea traiectoriei utilizatorului în scena dificilă.

6. Joc colaborativ de divertisment pentru nevăzători

Jocul este conceput ca o soluție de antrenare a nevăzătorilor pentru navigarea liberă într-un spațiu 3D prin învățarea unui model de sonificare care redă prin sunete mediul înconjurător. Totodată, jocul poate fi folosit și cu scop de divertisment. Din acest motiv, jocul poate fi folosit și de persoane fără deficiențe de vedere, contribuind astfel la integrarea socială a persoanelor nevăzătoare.

Aplicația include mai multe contribuții originale ale autorului, cele mai importante fiind legate de sonificarea spațiului virtual al jocului și metodele de înregistrare a sunetelor. Alte contribuții originale sunt desigur concepția jocului, a spațiului virtual 3D și a modului de interacțiune dintre utilizatorul nevăzător și joc. În acest capitol sunt descrise concepția și implementarea jocului, fiind detaliate tehnicile și metodele folosite pentru implementarea modelului de sonificare, înregistrarea și redarea sunetelor și a vocilor personajelor din joc.

Aspecte ale realizării acestui joc au fost diseminate în [131].

6.1 Descrierea cerințelor jocului

Utilizatorii țintă ai jocului sunt persoanele nevăzătoare, în special nevăzătorii târzii, care sunt familiarizați sau interesați de folosirea tehnologiei moderne. Aplicația poate fi folosită și de copii, ca un mijloc de a exersa localizarea sunetelor.

Jocul are ca scop antrenarea nevăzătorilor pentru orientare și navigare în spațiul 3D, folosind un model de sonificare a spațiului. Jocul va oferi un cadru distractiv și colaborativ.

Jucătorul va conduce un vehicul zburător de tip quadcopter (un tip de dronă). Spațiul virtual 3D al jocului va fi un urban, cu străzi și clădiri de diferite înălțimi. Jucătorul va trebui să navigheze cu vehiculul printre clădiri și pe deasupra lor, evitând impactul cu clădirile. Pentru aceasta, vehiculul va avea capacități de mișcare atât pe orizontală, cât și pe verticală. Similar cu o aeronavă, vehiculul va fi capabil să execute manevre de girație și să frâneze în caz de urgență. Vehiculul va putea staționa într-un punct fix în aer.

Modul de control al vehiculului virtual trebuie să fie simplu și, pe cât posibil, să semene cu modurile de control ale vehiculelor reale.

Atât modelul de sonificare cât și modul de control al vehiculului vor fi învățate gradual de utilizator. Pentru aceasta, jocul va oferi scene de învățare care permit familiarizarea utilizatorului cu modelul de sonificare și interacțiunea cu vehiculul virtual. După parcurgerea scenelor de învățare, utilizatorul poate continua cu scenele de joc, acestea oferind nivele de dificultate crescânde. Totodată, se va da posibilitatea jucătorului să se întoarcă oricând la scenele de învățare.

Modelul de sonificare și modul de control al vehiculului vor fi îmbunătățite iterativ, pe baza feedback-ului primit de la utilizatori.

Jocul va oferi și un mod multiplayer în care 2 nevăzători pot coopera pentru a îndeplini sarcini comune.

Jocul trebuie să motiveze jucătorul printr-o poveste simplă și apropiată de realitate. Motivul pentru crearea unei povești este de a determina utilizatorul să continue chiar dacă ajunge în situații care par imposibil de rezolvat.

Jocul va fi dezvoltat pentru dispozitive PC și pentru platforma mobilă Android. Pentru implementarea jocului se propune folosirea configurației hardware descrisă în capitolul 5 pentru jocul anterior:

Pentru varianta Android a aplicației:

1. Telefon cu sistem de operare Android
2. Căști stereo
3. Un dispozitiv de realitate virtuală pentru telefon, similar cu Google Cardboard
4. Un gamepad de consolă Xbox (One sau Series X/S).
5. Accelerometrul telefonului va fi folosit pentru a sincroniza rotația capului nevăzătorului cu capul observatorului din lumea virtuală.

Pentru varianta PC a aplicației:

6. PC cu specificații tehnice minime
7. Căști stereo
8. Un gamepad de consolă Xbox (One sau Series X/S).

Ca software se recomandă Unity dar nu se exclud alte variante de game engine cum ar fi Unreal Engine sau Godot.

6.2 Povestea jocului

Am creat o scurtă poveste cu situații apropiate de cele din realitate sau posibile în viitor. Utilizatorul pilotează un vehicul virtual similar cu un quadcopter capabil de mai multe acțiuni. În mediul virtual, utilizatorul este angajatul unei companii de curierat. Compania are angajați nevăzători care pilotează quadcoptere pentru a expedia colete.

Utilizatorul primește informații de la două personaje: operatorul punctului de control și vehiculul. În mediul virtual personajul vehicul poate vorbi și este unul dintre „actorii” acestei scurte povești. În aplicație, operatorul punctului de control oferă rezumatul misiunii iar vehiculul oferă detalii pe parcursul misiunii despre sarcini individuale pe care utilizatorul trebuie să le îndeplinească pentru a avansa. Exemple de sarcini:

1. Colectarea unor pachete dintr-o locație și distribuirea lor la destinatari, similar curierilor
2. Colectarea coletelor pierdute de alți angajați și distribuirea lor la destinatari. Destinatarii sunt țintele unei misiuni.

Vehiculul oferă detalii legate de starea curentă a misiunii și modul în care utilizatorul controlează vehiculul. Exemple:

3. „Mai ai X colete de expediat”
4. „Ai avut o coliziune! Ține minte să folosești frânele! Butonul Left Bumper de pe gamepad”

Operatorul punctului de control oferă rezumatul misiunii la început. De exemplu:

5. „Trăim vremuri grele în perioada asta de izolare. Dar ține minte, tu și alți angajați ca și tine faceți parte din soluție, nu parte din problemă ca majoritatea cetățenilor. Trebuie să zbori cu quadcopterul tău până la depozit și să iei câteva filtre de apă. Cineva o să te aștepte acolo să te ajute. Poți începe. Îți spun ce ai de făcut când ajungi acolo”

Aceste elemente de divertisment au fost adăugate cu scopul de a forma mai rapid deprinderile de a controla vehiculul, utilizatorul fiind concentrat pe sarcina de lucru și mai puțin pe îmbunătățirea performanței. De asemenea, în varianta multiplayer jocul nu are un caracter competitiv ci unul colaborativ, care va fi detaliat în continuarea acestui capitol.

6.3 Implementarea jocului

6.3.1 Concepția scenelor

Scenele sunt construite asemenea unui oraș mare cu străzi și clădiri de diferite înălțimi (Figura 62).

Nivelul de dificultate al unei scene este determinat de numărul țintelor și pozițiile lor în scenă. De exemplu, destinatarul (ținta) se poate afla la parterul blocului sau la ultimul etaj al unei clădiri cu 100 de etaje, ținta poate fi pe acoperișul unei clădiri sau între două clădiri foarte apropiate.

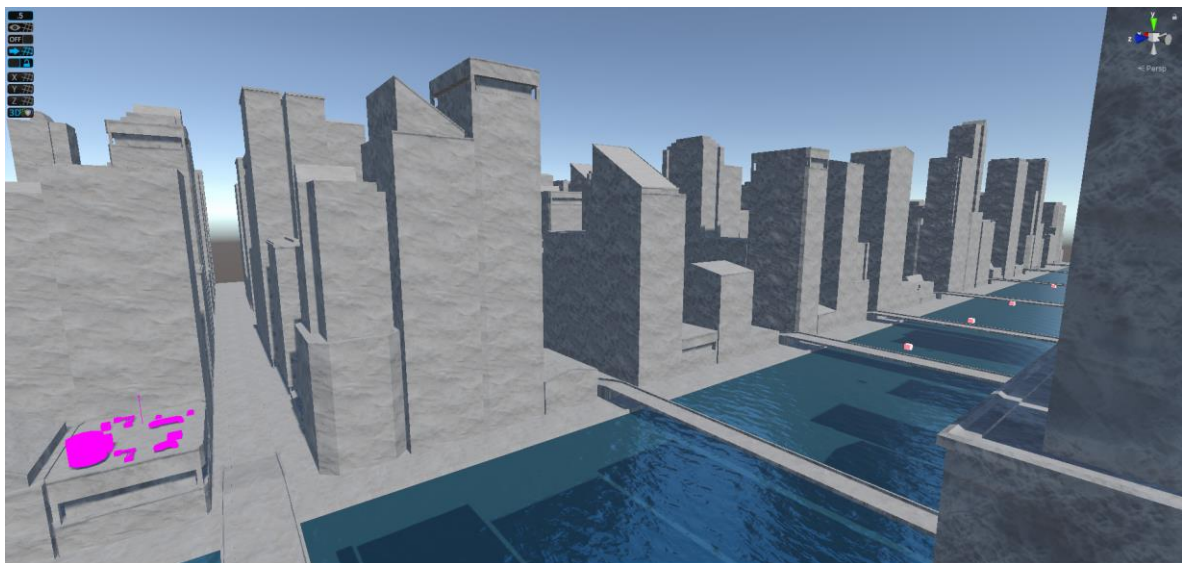


Figura 62 Exemplu de scenă din joc

6.3.2 Modul de învățare

Modul de învățare se desfășoară într-o scenă separată și diferită față de cele de joc. Această scenă are scopul de a introduce treptat elementele necesare pentru a juca, astfel încât nevăzătorul să poată folosi aplicația de unul singur. Elementele necesare pentru a juca jocul sunt împărțite în 2 categorii: navigație și modelul de sonificare. Scena începe cu elementele de navigație ale vehiculului. Jocul redă instrucțiuni audio. În joc, instrucțiunile oferă mai multe detalii legate de operația pe care trebuie să o efectueze jucătorul dar, pe scurt, instrucțiunile pentru navigație sunt următoarele:

1. „Folosește joystick-ul din dreapta pentru a te mișca înainte, înapoi și stânga-dreapta. Hai să încercăm.
2. Hai să folosim joystick-ul din stânga pentru a mișca vehiculul în sus sau în jos.

După fiecare instrucțiune, jucătorul este lăsat să încerce comanda respectivă. Dacă acesta greșește, primește instrucțiuni audio pentru a mai încerca o dată. Acest procedeu se repetă până când utilizatorul trece prin tot procesul de învățare. După elementele de navigare, jocul începe introducerea elementelor care aparțin modelului de sonificare și determină utilizatorul să se deplaseze către ținte. Instrucțiunile audio sunt următoarele:

1. Hai să ne deplasăm spre sunetul aflat direct în față.
2. Hai să încercăm asta pentru mai multe ținte. Navighează către țintă.
3. Mișcă joystick-ul din stânga în stânga sau în dreapta pentru a roti vehiculul spre sunet.

După fiecare instrucțiune, dacă jucătorul se îndepărtează de țintă prea mult, acesta este adus într-o poziție mai apropiată de țintă și este informat că trebuie să mai încerce o dată. După sunetele țintei, jocul oferă informații despre sonificarea obstacolelor. Instrucțiunea audio este următoarea:

1. Acum ai un perete în față. Încearcă să te apropii încet pentru a asculta sonificarea distanței față de un obstacol. Poți folosi butonul „Bumper Dreapta” pentru a frâna dacă viteza este prea mare. Pentru a trece mai departe, colizionează cu peretele de 3 ori.

Dacă utilizatorul termină cu succes acești pași, se trece la o etapă a procesului de învățare cu o singură țintă. Scopul acestei etape este de a recapitula toate elementele învățate și a le folosi în practică. Instrucțiunea audio este următoarea:

1. Dacă se acționează frâna se va intra în modul „Listening”. Acesta permite ascultarea țintelor din depărtare. Frâna se folosește cu butonul „Bumper Dreapta”. (Figura 63)
2. Navighează prin mediul virtual pentru a colecta țintele.



Figura 63 Butoane gamepad

Utilizatorul trebuie să învețe cum să conducă vehiculul atât în plan orizontal, cât și pe verticală, și să folosească frâna de urgență, pentru a finaliza scena de învățare. După atingerea acestor obiective, utilizatorul trebuie să învețe cum funcționează modelul de sonificare: sonificarea țintelor, a obstacolelor și diferitele sunete ajutătoare.

Dobândirea abilităților obținute în etapele de învățare se va reflecta în scenele de joc, cu nivele de dificultate crescândă.

6.3.3 Modul de joc (Gameplay)

Jucătorul trebuie să navigheze cu vehiculul între două sau mai multe poziții ale scenei evitând obstacolele. În timpul navigării este ajutat de sistemul de sonificare pentru evitarea impactului cu clădirile, pentru identificarea direcției în care se află următoarea țintă și găsirea acesteia. Totodată, vehiculul îl ajută pe jucător cu indicații despre schimbarea altitudinii, necesitatea de frânare și informații despre starea curentă a misiunii (câte ținte mai are de colectat). Navigarea într-o scenă se termină atunci când jucătorul a ajuns la ultima țintă. Cele patru scene de joc sunt de dificultate crescândă.

Obiectivul principal al utilizatorului este să finalizeze ultima scena de joc. El trebuie să dezvolte abilitățile de a naviga folosind modelul de sonificare și modul de control al vehiculului pentru a realiza acest lucru. Anumiți utilizatori ar putea fi motivați de aflarea poveștii.

6.3.4 Modul multiplayer

Un aspect important al aplicației descrise în acest capitol este cel colaborativ. Doi utilizatori pot lucra simultan cu aplicația, colaborând pentru a îndeplini anumite sarcini. Comportamentul încurajat este unul de cooperare și nu competitivitate între cei doi nevăzători.

Numărul de utilizatori care interacționează simultan cu jocul se poate schimba în orice moment al jocului. Pentru aceasta, anumite elemente ale jocului își schimbă comportamentul în mod dinamic, în funcție de numărul de utilizatori simultani. Astfel de elemente sunt **porțile**.

Intrarea în modul multiplayer pentru un jucător care joacă singur are loc atunci când un alt jucător apasă butonul „Start joc”. Jucătorul curent și cel care intră în joc vor forma o pereche care va juca în modul multiplayer. În joc pot exista la un moment dat mai multe perechi care joacă în modul multiplayer.

În anumite zone ale hărții au fost create porți pe care utilizatorul este nevoit să le deschidă pentru a îndeplini anumite sarcini în mediul virtual. Porțile se comportă diferit în funcție de numărul utilizatorilor din sesiunea de joc.

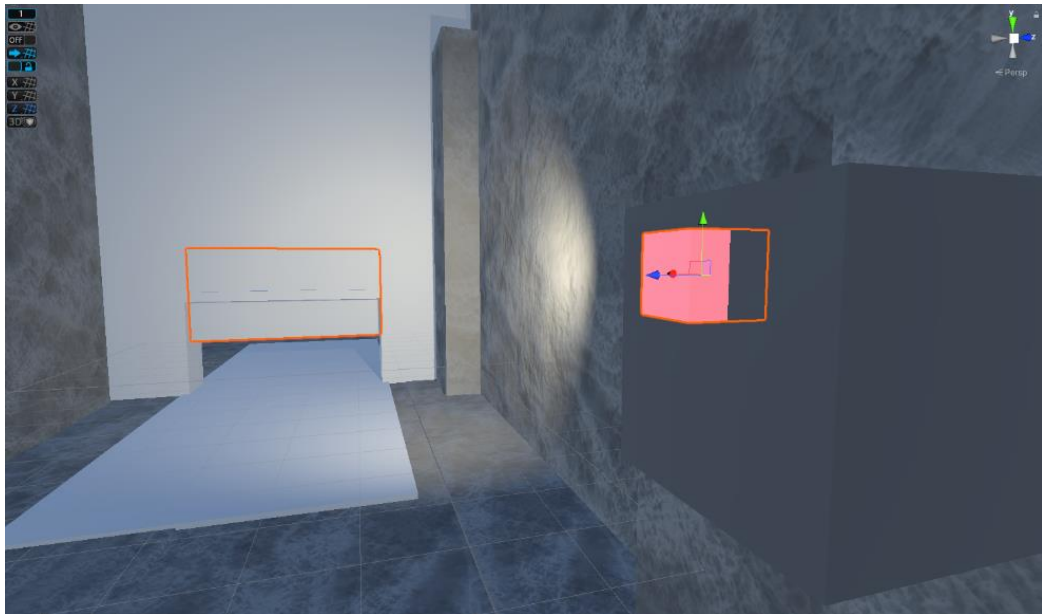


Figura 64 Poartă și buton

Comportamentul porților în modul single player (Figura 65):

1. Utilizatorul interacționează cu unul din butoanele care deschid poarta
2. Poarta se deschide în timp de 3 secunde de la apăsarea butonului, pentru a avea timp să fie interpretat feedbackul auditiv de către utilizator. În timpul acestor 3 secunde poarta emite un sunet spațializat pentru a fi interpretat de utilizator.
3. Din momentul în care poarta este deschisă, subiectul are timp 15 secunde să treacă prin poarta deschisă.
4. După acest interval poarta se închide

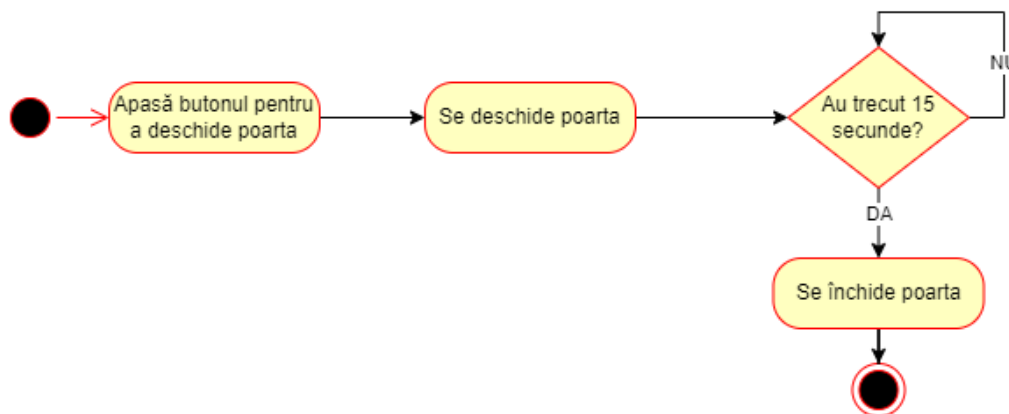


Figura 65 Comportament poartă cu un singur jucător

Când în aceeași sesiune sunt prezenți doi utilizatori, comportamentul tuturor porților din mediul virtual se schimbă. Procedura de a trece prin poartă este următoarea (Figura 66):

1. Un utilizator interacționează cu unul dintre butoanele care deschid poarta și ține apăsat butonul pentru a menține poarta deschisă
2. În timp ce poarta este menținută deschisă de primul utilizator, cel de-al doilea poate avansa
3. Cel de-al doilea utilizator trebuie să interacționeze cu butonul aflat pe cealaltă parte a porții pentru a o menține deschisă pentru primul utilizator.
4. Dacă unul dintre utilizatori nu mai ține butonul apăsat, poarta se închide imediat și emite un sunet spațializat pentru a notifica utilizatorii că poarta s-a închis

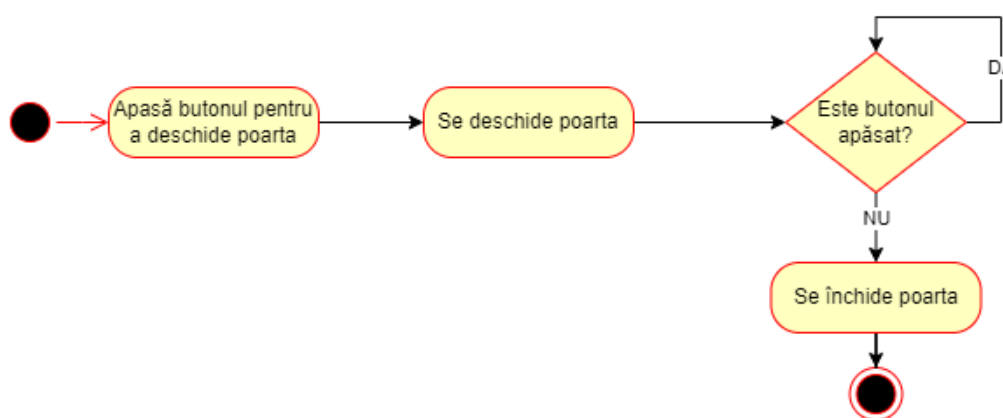


Figura 66 Comportament poartă cu doi jucători

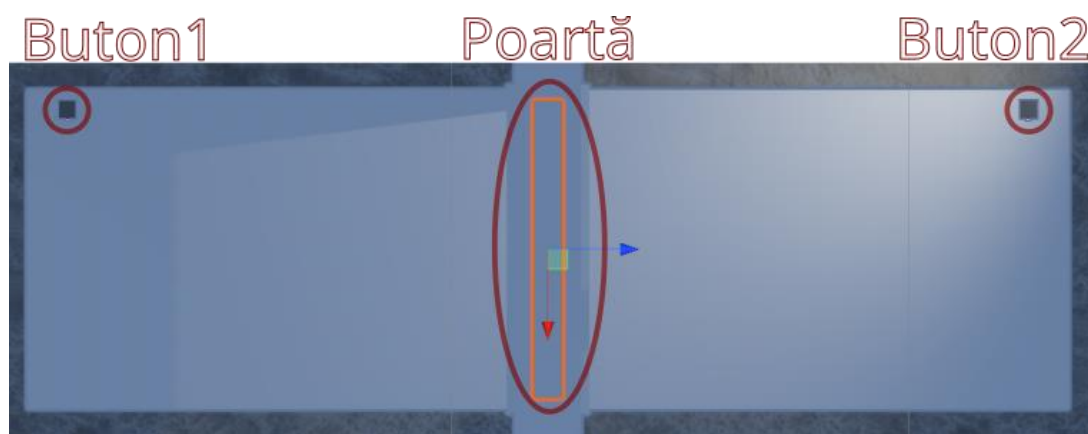


Figura 67 Exemplu utilizare poartă și buton

Butoanele de acționare a porților emit sunete specifice. Sunetele care comunică deschiderea și închiderea porților sunt înregistrate din realitate. Acestea reprezintă zgomotul produs de o ușă de garaj atunci când se închide sau se deschide.

Cele două vehicule sunt simulate în spațiul virtual astfel încât pot intra în coliziune unul cu celălalt iar sunetele emise de fiecare vehicul sunt spațializate în mediul virtual comun astfel încât dacă cei doi jucători se află la distanță relativ mică unul față de celălalt, pot auzi evenimente precum coliziunile celuilalt jucător sau motoarele vehiculelor.

Un alt element sonic colaborativ al jocului este modalitatea de comunicare între cei doi jucători. Utilizatorii pot apăsa un buton pe gamepad sau tastatură pentru a emite un sunet suplimentar din vehicul. Acesta nu are limită de număr de apăsări și poate fi folosit în diferite moduri de jucător, pentru a se exprima. De exemplu, pentru a comunica un eveniment urgent cum ar fi o coliziune, butonul poate fi apăsat repetitiv la intervale de timp scurte. Pentru a comunica doar poziția în cazul evitării unei coliziuni între cei doi jucători, butonul poate fi apăsat periodic, rar. Acest tip de interacțiune minimă are avantajul de a fi universal, indiferent de limba vorbită de cei doi jucători și a fost implementat și testat în jocul Journey [132].

Pentru implementarea modului multiplayer am folosit pachetul Photon pentru Unity. Jocul poate fi folosit de maxim 2 jucători simultan. Utilizatorul „principal” este utilizatorul care a pornit aplicația iar cel „secundar” este cel care intră în sesiunea multiplayer creată de utilizatorul principal. Dacă utilizatorul principal părăsește sesiunea multiplayer, utilizatorul secundar va deveni cel principal și va putea continua îndeplinirea sarcinilor. Aplicația oferă, de asemenea, feedback auditiv pentru starea curentă și evenimente care se petrec în mediul virtual cum ar fi momentele în care un utilizator intră sau părăsește sesiunea. De asemenea, pentru un număr mai mare de 2 utilizatori simultani, aplicația are comportamentul următor: primul utilizator conectat este „principal”, al doilea va intra în sesiunea primului, pentru al treilea utilizator se va crea o sesiune nouă iar acesta devine utilizator „principal” în acea sesiune, cel de-al patrulea intrând în sesiunea utilizatorului cu numărul 3. În acest moment, aplicația este limitată la un număr de 100 de utilizatori concomitenți prin pachetul gratis oferit de Photon.

6.3.5 Testarea modului multiplayer

Modul multiplayer al jocului a fost testat intern timp îndelungat pentru a mă asigura că poate fi testat cu utilizatori nevăzători. În timpul testelor au apărut probleme care au fost rezolvate, dar încă există probleme nerezolvate, care necesită participarea unei echipe de testare extinse. Voi descrie câteva scenarii de utilizare care au produs probleme în timpul testării și posibilele lor rezolvări în dezvoltarea ulterioară a aplicației.

1. Jucătorul care deschide poarta nu menține butonul apăsat suficient timp pentru ca celălalt să treacă, astfel încât acesta se află sub poartă la momentul închiderii.
Soluție: mutarea jucătorului în fața porții și avertizarea celui care trebuie să mențină poarta deschisă
2. Utilizatorul secundar se deconectează. Dacă se reconectează, unde va fi poziționat?
Soluții: a) poziționare în poziția la care se afla în momentul deconectării; b) poziția în care jucătorul a fost plasat la începutul jocului. O altă întrebare care poate veni în acest caz este dacă vom lăsa alți utilizatori să se conecteze la sesiunea de joc începută de cei doi sau vom lăsa acces doar celor care au început sesiunea de joc. Deocamdată, cel mai eficient mod pare a fi să lăsăm un timp pentru acces exclusiv utilizatorului care s-a deconectat, urmând ca accesul să fie oferit celorlalți utilizatori ulterior.

- Fiind o conexiune de tip peer-to-peer, în cazul deconectării utilizatorului principal avem de ales dacă utilizatorul secundar devine principal și dacă la reconectare, rolurile vor deveni cele inițiale sau nu. Conceptul este denumit „Server migration”.

6.3.6 Modelul de sonificare

Similar cu alte tehnici de sonificare [7], [109], [133], [134], modelul de sonificare conceput pentru acest joc atribuie informații audio obiectelor, personajelor și evenimentelor din joc, precum poziția vehiculului virtual, poziția următoarei ținte și sunetele legate de modul în care utilizatorul interacționează cu mediul, așa cum este prezentat sintetic în Tabelul 4 și detaliat mai jos. În tabel nu sunt incluse sunetele specifice modului de joc cu 2 jucători, pe care le-am descris în secțiunea 6.3.4: sunetul de acționare a butoanelor porților, cel de deschidere/închidere a porților și sunetele de comunicare între jucători.

Tabelul 4 Modelul de sonificare al scenei

Sunet	Semnificație	Redare	Detalii	Activat
Obstacol	Există un obstacol în direcția în care se deplasează jucătorul.	Scurt bip sonor cu frecvența invers proporțională cu distanța dintre obstacol și jucător.	Zona de scanare a mediului are forma unui con, iar unghiul și distanța de scanare variază în funcție de viteză, așa cum este detaliat în continuare.	Întotdeauna
Țintă	Direcția poziției următoarei ținte.	Ținta emite un sunet de clic din poziția sa.	Sunetul este spațializat și procesat prin intermediul HRTF Google Resonance, așa cum este explicat mai jos în acest capitol	Întotdeauna
Altitudine	Transmite diferența de altitudine dintre poziția vehiculului și următoarea țintă în felul următor: Dacă ținta se află la o altitudine mai mare decât aceea a vehiculului, la aceeași altitudine cu vehiculul, la o altitudine mai mică decât a vehiculului.	Ținta la o altitudine mai mare: bipuri crescătoare Ținta la o altitudine mai mică: bipuri descrescătoare Ținta la aceeași altitudine cu vehiculul: 4 bipuri constante.	Frecvențele bipurilor sunt specificate mai jos, în acest capitol	Mod ascultare
Coliziune	Sunet generat atunci când vehiculul se ciocnește cu un obstacol.	Se folosesc 3 înregistrări diferite pentru 3 intensități de coliziune: slabă, medie, mare.		Întotdeauna

		Inregistrarea se alege în funcție de viteza vehiculului la momentul coliziunii.		
Motor	Sonifică răspunsul vehiculului la intenția utilizatorului de a-l deplasa.	Imită sunetul real al unui motor.	Intensitatea sunetului este direct proporțională cu înclinarea joystick-ului din dreapta (pentru deplasarea în plan orizontal, similar cu pedala de accelerație a unei mașini)	Cât timp vehiculul este în mișcare
Mediu înconjurător	Nu oferă informații utile pentru navigație. Scopul său este de a crește imersiunea.	Înregistrări de sunete de păsări și alt sunete specifice unui spațiu urban.	Înregistrare ambisonică ce ține cont de rotația capului utilizatorului.	Întotdeauna
Vânt	Mișcarea vehiculului.	Sunetul crește în intensitate pe măsură ce viteza vehiculului este mai mare.	Scopul său este de a comunica faptul că vehiculul se deplasează și după ce jucătorul nu mai înclină joystick-ul. Fără acest sunet, jucătorul va avea impresia că vehiculul se oprește imediat ce eliberează joystick-ul.	Cât timp vehiculul este în mișcare

Pentru **avertizarea utilizatorului în legătură cu distanța până la obstacolul cel mai apropiat** sunt generate sunete similare cu cele declanșate de senzorii de parcare ai unei mașini. Frecvența de redare a sunetului se mărește invers proporțional cu distanța față de obstacol.

Con adaptiv de orientare

În urma testelor cu utilizatorul nevăzător am întâmpinat o problemă la modul de sonificare cu o singură rază de scanare, descris în 5.3.5. Problema este ilustrată în Figura 68.

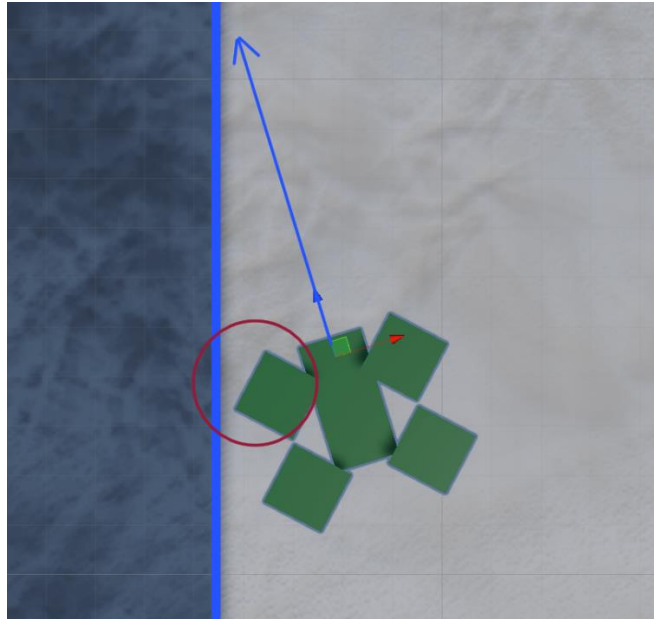


Figura 68 Problemă sonificare obstacol cu o singură rază

În Figura 68 utilizatorul se deplasează pe direcția săgeții albastre. Linia verticală albastră din partea stângă reprezintă suprafața unui obstacol. Scanarea cu o singură rază va avertiza utilizatorul că are un obstacol la o distanță mai mare decât aceea la care este obstacolul în realitate. Utilizatorul se va lovi cu partea stângă a vehiculului dacă va continua direcția de deplasare înainte, fără a fi avertizat ci doar „atenționat” (număr mic de repetiții ale sunetului).

Soluția pe care am implementat-o constă în crearea unui **con adaptiv de scanare** a mediului înconjurător orientat către **direcția de deplasare** a vehiculului. Astfel, dacă viteza utilizatorului tinde către 0, atunci conul de scanare este dezactivat pentru a facilita ascultarea sunetelor emise de ținte. În momentul în care viteza utilizatorului crește peste un anumit prag:

1. Se începe emiterea razelor de scanare a mediului
2. Se reglează unghiul și direcția conului pentru a scana zonele de interes în funcție de viteza de deplasare

Acest comportament s-a obținut prin trimiterea razei obișnuite la 50 m, ca în cazul precedent, dar în direcția vectorului vitezei al vehiculului. În plus față de această rază, vehiculul mai trimite alte 4 raze din centru spre direcțiile sus, jos, stânga și dreapta. Tuturor vectorilor razelor li se adună vectorul vitezei al vehiculului. În Figura 69 este ilustrat acest comportament în funcție de viteza cu care se deplasează utilizatorul: în stânga, vehiculul staționează, iar în dreapta se deplasează cu viteză mare. De menționat că în figură, vehiculul se deplasează pe direcția înainte dar conul se poate orienta și dacă utilizatorul se deplasează cu spatele sau în lateral.

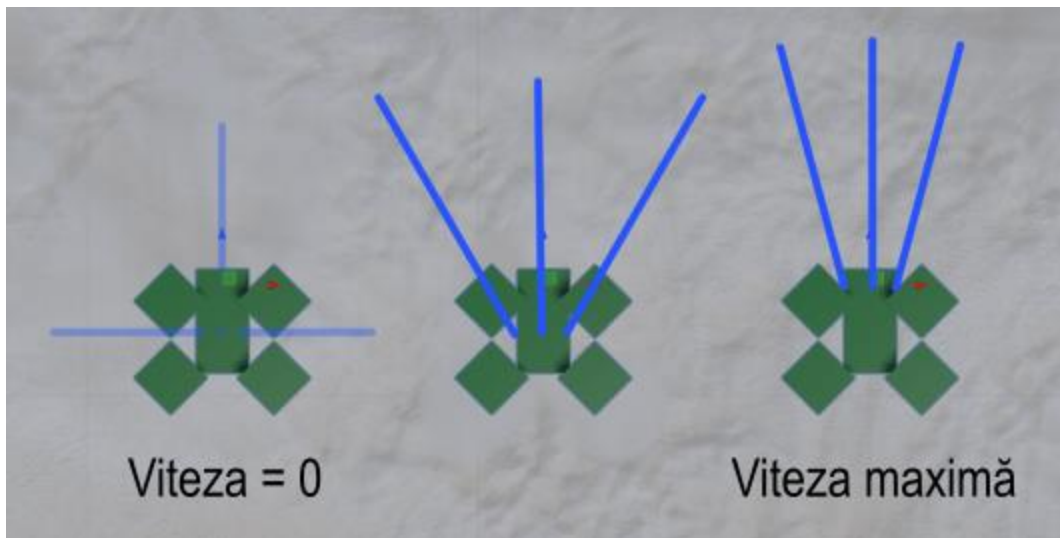


Figura 69 Sonificare obstacol cu con adaptiv

În acest mod de sonificare, sunetele distanței până la obstacol sunt spațializate, filtrate cu ajutorul HRTF și se emit din punctul în care razele întâlnesc obstacolul.

Sunetele emise de ținte au două moduri în care pot fi percepute de jucător:

1. În modul normal, activ implicit, sunetele țintelor sunt spațializate și au o curbă logaritmică de atenuare a amplitudinii sunetului. În acest mod, utilizatorul poate auzi sunetul doar dacă este în proximitatea ținte și poate auzi reflexii ale sunetului de pe diferite suprafețe cum ar fi străzile sau blocurile învecinate cu ținta.
2. Cel de-al doilea mod este activ doar în momentul în care utilizatorul ține apăsat butonul de frânare al vehiculului virtual. Acest mod este denumit și „Modul de ascultare”.

Modul ascultare

Modul ascultare ajută utilizatorul să se orienteze în momentul în care sunetul emis de țintă este prea departe pentru a fi auzit.

Suplimentar față de oprirea vehiculului, dacă utilizatorul ține butonul de frână apăsat, un filtru de tip trece-jos se aplică treptat pe majoritatea sunetelor la o frecvență de tăiere care se modifică într-un timp scurt de la 20000 Hz la 200 Hz. Ocluziunea sunetelor țintelor cauzată de clădiri este, de asemenea, anulată. Atenuarea sunetului nu mai este prezentă, țintele putând fi auzite din orice locație în care se află ascultătorul. În acest fel, jucătorul percepe mai bine direcția din care provine sunetul și din punct de vedere al designului aplicației Această tranziție treptată a frecvenței de tăiere este foarte similară cu efectul scufundării cu capul sub apă. Am ales să folosesc această tranziție în detrimentul dezactivării totale a sunetelor care nu sunt importante pentru orientare, pentru a comunica utilizatorului că acele sunete încă sunt prezente dar nu are nevoie de ele în modul de ascultare.

Când modul de ascultare este activ, utilizatorul poate auzi sunetul emis de țintă de la orice distanță. O singură țintă este activă la un moment dat. În momentul în care utilizatorul colectează o țintă, aceasta nu mai emite niciun sunet și se „activează” ținta următoare. Aceste sunete nu mai sunt spațializate folosind HRTF. De asemenea, în modul de ascultare este activ și modul de sonificare a altitudinii față de țintă. În acest mod de ascultare este activată și sonificarea altitudinii față de țintă descrisă mai jos.

Sonificarea altitudinii față de țintă

Pentru sonificarea altitudinii s-a ales o modalitate care oferă informații despre diferența de altitudine între ținta următoare și altitudinea curentă a vehiculului. Astfel, avem 3 sunete care corespund situațiilor: vehiculul se află la o altitudine mai mare, mai mică sau aproximativ la aceeași altitudine cu ținta următoare. Sunetul țintelor a fost generat folosind un sintetizator cu tabelă de semnale în Ableton. Semnalul generat crește în frecvență dacă ținta se află la o altitudine mai mare și scade în frecvență dacă aceasta se află la o altitudine mai mică față de vehicul. Creșterea sau scăderea frecvenței semnalului se realizează în pași „muzicali” pentru a fi mai plăcut. De exemplu, frecvența notei Re3 (D3) este de 146,83 Hz. Sunetul care crește în frecvență folosește următoarele frecvențe secvențial sau arpeggiat: 146,83 Hz (Re3 sau D3), 349,228 Hz (Fa4 sau F4), 391,995 Hz (Sol4 sau G4) și 1174,66 Hz (Re6 sau D6). Incrementând frecvența semnalului, bazându-ne pe aceste intervale, sunetul generat este unul melodios și reprezintă acordul G7sus (Sol 7 Suspendat).

Sunetul care redă coliziunea vehiculului virtual cu un obstacol este generat folosind mai multe înregistrări ale unor foi de metal și bare metalice lovite de alte obiecte.

În Figura 70 se ilustrează selecția sunetelor redată în cadrul curent al jocului (ca aplicație Unity).

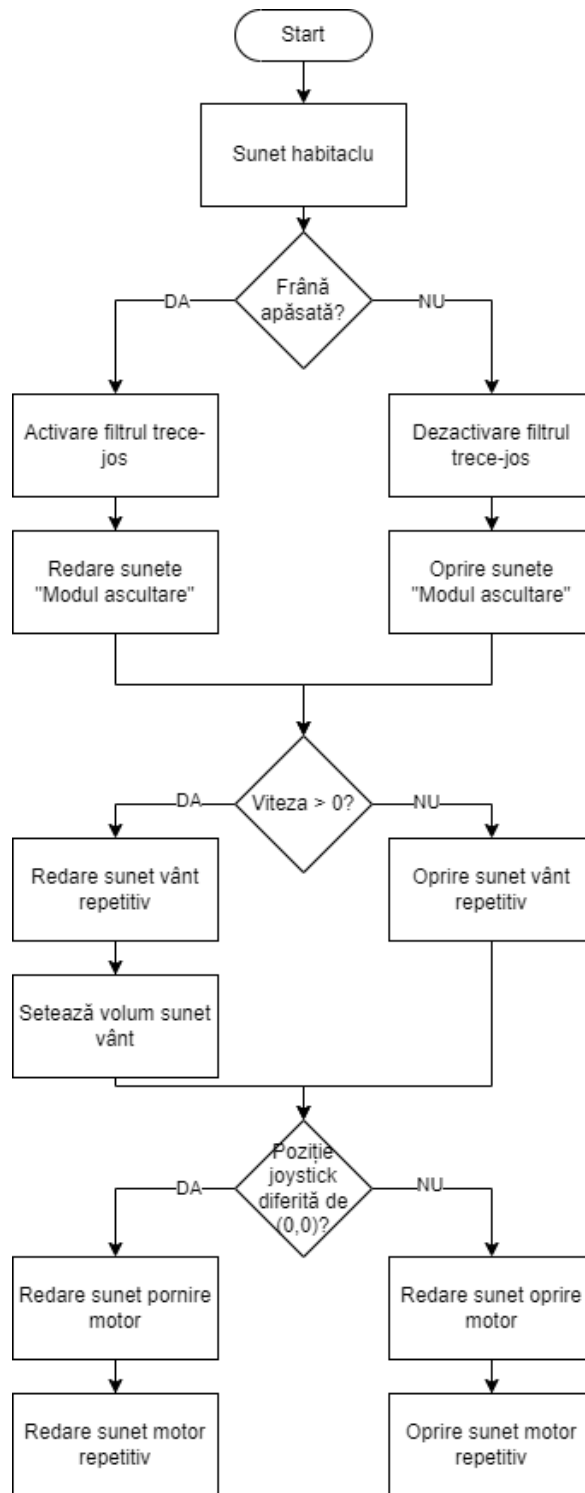


Figura 70 Redarea sunetelor vehiculului în funcția Update

6.3.7 Tehnici de design sonic folosite

Am folosit Ableton Live Suite 11 și Audacity Digital Audio Workstation (DAW) [135], [136] pentru a crea sunetele folosite în această aplicație. Pentru spațializarea sunetelor am folosit SDK-ul Google Resonance pentru Unity. Acesta oferă o implementare de Funcție de

Transfer în Relație cu Capul (HRTF), metode de ocluziune a sunetului care pot fi optimizate din punct de vedere al performanței și modalității de simulare a reverberațiilor sunetelor. Pentru înregistrarea vocilor și simularea interiorului vehiculului am avut nevoie de echipament de înregistrare profesional. Am folosit un microfon de tip shotgun/unidirecțional pentru a achiziționa sunete cotidiene (Figura 71) și un microfon **ambisonic** pentru a înregistra sunete din mediul înconjurător în format ambisonic (Figura 74 - stânga).



Figura 71 Microfon Zoom tip shotgun

Pentru simularea reverberațiilor sunetelor am folosit două tipuri de metode:

1. Simulare în timp real: Am folosit Google Resonance pentru simularea dinamică a reflexiilor sunetelor de pe suprafețele obstacolelor din mediul virtual. Această metodă a fost aplicată pentru sunetele generate de vehicul cum ar fi sunetele de coliziune și sunetele emise de motorul virtual. Acest tip de sunete se modifică în funcție de acțiunile efectuate de utilizator în aplicație. De exemplu, sunetul emis de țintă va fi filtrat prin HRTF, iar utilizatorul îl va auzi diferit, în funcție de poziția în care se află cu vehiculul virtual.
2. Simulare precalculată: Sunetele din interiorul vehiculului fiind statice, nu depind de interacțiunea utilizatorului cu mediul și nu se modifică în funcție de comportamentul utilizatorului cum este cazul sunetelor simulate. Am ales să procesez sunetele și să simulez spațiul în Ableton Live, apoi să le redau în aplicație ca sunete 2D, fără a fi spațializate în mediul virtual. În acest caz am înregistrat diferite sunete IR (Impulse response - răspuns la impuls) pentru a fi folosite cu modulul de reverb convoluțional din Ableton. Sunetele fiind preprocesate în Ableton și exportate ca fișier .wav, am optimizat aplicația și din punct de vedere al performanței: Unity nu mai utilizează resurse pentru simularea acestor sunete.

6.3.7.1 Înregistrările vocale și redarea vocilor

Tehnici de procesare voce

Pentru înregistrarea replicilor celor două personaje am folosit Ableton Live 11 și am avut nevoie doar de un singur actor. Variația timbrului pentru cele două personaje s-a obținut prin modificarea înregistrărilor folosind tehnici consacrate din designul sonic.

Pentru **operatorul punctului de control**, am folosit două modalități de a procesa vocea în funcție de sursa virtuală de sunet care emitea sunetul, difuzorul stației radio a vehiculului sau comunicarea față în față cu operatorul:

1. Pentru comunicarea verbală față în față am aplicat înregistrării filtre trece-jos și trece-sus pentru a reduce zgomotul de fond produs de microfon și echipamentul de înregistrare, un compresor pentru a reduce dinamica sunetului și o poartă de zgomot. A fost folosit, de asemenea, un DeEsser pentru a elimina frecvențele cauzate de aerul expirat în timpul consoanelor actorului.
2. Pentru comunicarea prin stația radio, am folosit aceleași filtre dar cu frecvențe de tăiere alese în așa fel încât să simuleze un sunet de difuzor sau receptor de telefon. Au fost amplificate, de asemenea, frecvențe în intervalul 800 Hz – 1500 Hz. De asemenea, am folosit și un saturator pentru a simula sunetul produs de un amplificator care a intrat în saturație. Am ales acest tip de procesare pentru a simula capacitatea scăzută a difuzoarelor vechi de a reproduce un spectru larg de frecvențe.

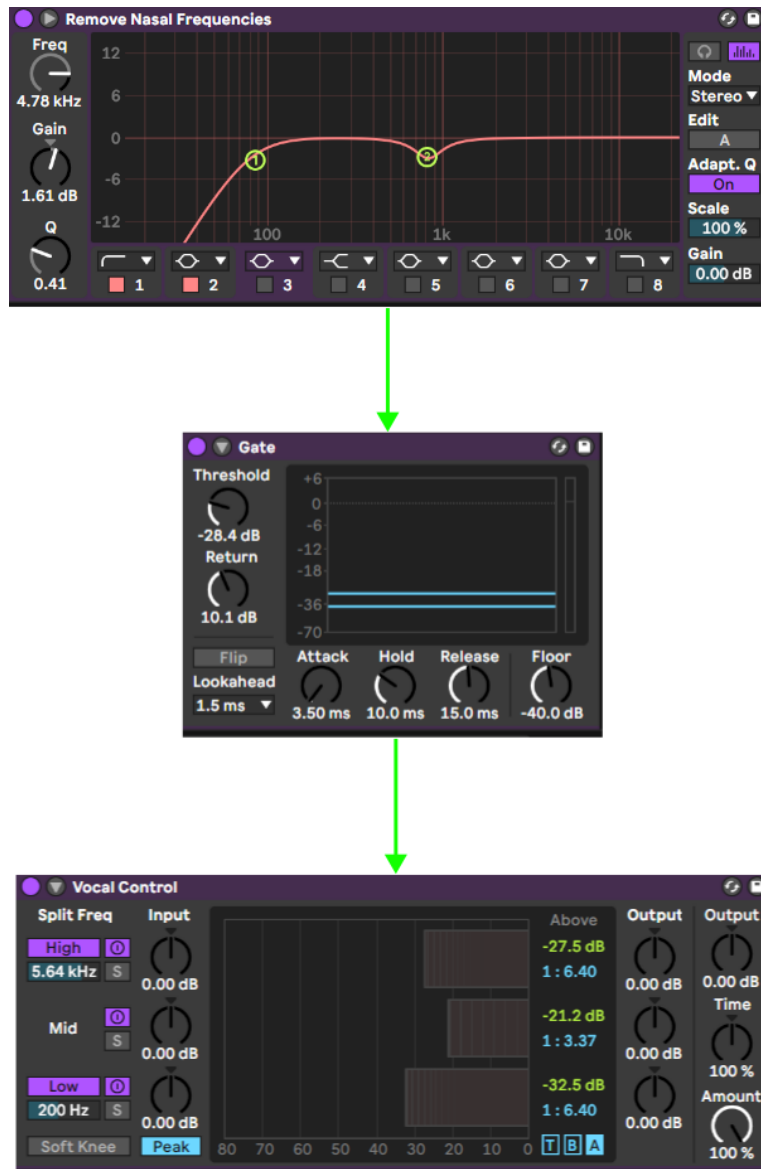


Figura 72 Exemplu de prelucrare a vocii

În Figura 72, fluxul audio este de sus în jos. Pentru personajul **vehicul**, s-a procesat sunetul similar, diferența principală fiind creșterea înălțimii sunetului. Acest lucru se obține mărind frecvența semnalului, folosind metodele implementate în Ableton deoarece putem obține un sunet cu o frecvență mai mare dar de aceeași durată. De asemenea, am folosit delay cu diferite intervale de timp pentru a obține o voce „robotică”.

Toate replicile care se aud prin difuzorul stației radio de la bordul vehiculului trec printr-un modul de reverb convoluțional din Ableton care simulează reverbul din interiorul unei camere de comandă a vehiculului. A fost înregistrat un sunet de tip „impuls la răspuns” dintr-o camera a unei fabrici pentru a putea fi folosit la simularea camerei de comandă a vehiculului. Camera respectivă a fost aleasă pentru a simula reverberația sunetului din habitacul vehiculului virtual folosind instrumentul software de reverb convoluțional prezentat în secțiunea 3.4.4.1. Camera fabricii prezenta elemente cu caracteristici sonice care se apropiau

mult de cum ne doream să sune interiorul vehiculului. Această cameră a fost plină cu foi metalice iar dimensiunile aproximative ale camerei erau de 1,5 m pe 2 m.

Implementarea redării vocilor

Am creat un instrument pentru a reda cu ușurință cele 57 de replici înregistrate. Acesta a fost folosit pentru a reda atât replicile predictibile, cele care descriu misiunea, cât și replicile care vin ca răspuns la modul în care utilizatorul navighează, de exemplu, când acesta se lovește de obstacole. Instrumentul include un parser de fișier CSV cu următoarea structură:

Tabelul 5 Conținut fișier CSV redare fișiere audio replici

VO_ID	Text	Character	Conversation ID	Moment of play
VO_AI_01_04	You have 2 more packages to deliver	Vehicle	3	When delivering package #3
VO_AI_00_13	OW! Use the breaks please. Right bumper on the gamepad. CTRL on the keyboard.	Vehicle	29	Collision lvl 3

Acest sistem a fost creat pentru a ușura implementarea. Pe fiecare linie a fișierului CSV se memorează datele despre un fișier audio care conține una dintre replicile înregistrate. Prima coloană (VO_ID – Voice Over ID) a fișierului CSV reprezintă numele fișierului audio. Acesta va fi folosit de sistemul de redare a vocilor pentru a asocia fișierul audio corespunzător cu sursa de sunet din mediul virtual. Informația corespunzătoare coloanei „Text” va fi folosită de către actorii din studio-ul de înregistrări pentru a înregistra vocile. Producătorul audio va avea, la finalul sesiunii de înregistrare, numărul de fișiere audio din fișierul CSV cu denumirea fiecăruia corespunzătoare coloanei VO_ID. Coloana Character va fi folosită de către sistemul de redare al vocilor pentru asocierea fișierului audio cu sursa virtuală. Replicile personajelor sunt organizate în conversații. Coloana Conversation_ID este folosită pentru identificarea acestor

converșii. Astfel, sistemul este capabil să redea replici individuale (redare după id-ul fișierului) sau o succesiune de replici (o conversație, redare după Conversation ID).

Jocul citește fișierul CSV în momentul în care pornește și crează o listă de obiecte de tip „Conversation” și un dicționar cu cheia de tip string și valoarea de tip VOLine. Cheia dicționarului este numele fișierului .wav. În dicționar se salvează toate sunetele cu scopul de a reda o singură replică după nume. Lista de obiecte Conversation este creată cu scopul de a reda o succesiune de înregistrări. Structura obiectelor VOLine și Conversation sunt prezentate în Figura 73.

```
147 [Serializable]
    6 references
148 public class Conversation
149 {
150     public List<VOLine> LinesList;
151 }
152 [Serializable]
    12 references
153 public class VOLine
154 {
155     public string ActorName;
156     public string VOText;
157     public int ConvId;
158     public string VO_ID;
159     public bool HasNext = false;
160     public AudioClip clip;
161 }
```

Figura 73 Structura obiectelor Conversation si VOLine

În urma citirii fișierului CSV avem ca rezultat două structuri de date care sunt folosite în timpul rulării jocului pentru a reda dialogurile dintre personaje. Câmpurile din structura obiectului VOLine au următoarele funcții:

1. ActorName – Este utilizat pentru asocierea fișierului wav cu sursa audio din spațiul virtual (Un personaj se aude din partea stângă a vehiculului, iar celălalt personaj din partea dreaptă a vehiculului).
2. VOText – Aici este stocat textul din înregistrarea audio. Nu are nicio utilitate în prezent dar poate fi folosit în eventualitatea generării subtitrărilor.
3. ConvId – Acest id este asociat replicii pentru a vedea cărei conversații îi aparține
4. VO_ID – Acesta este numele fișierului .wav care trebuie stocat în variabila „clip”
5. HasNext – Această valoare este „false” doar în momentul în care este ultima replică dintr-o conversație. Pentru celelalte cazuri, valoarea acestei variabile este „true”
6. Clip – aici este stocat fișierul .wav

6.3.7.2 Metodă de înregistrare a sunetului ambisonic repetitiv

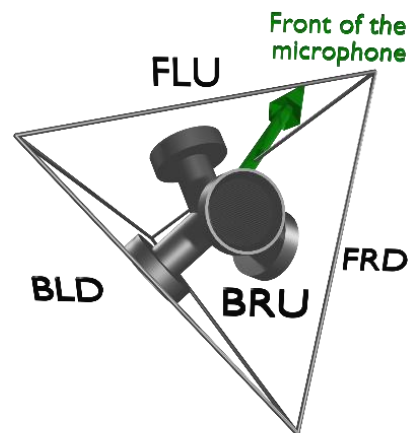


Figura 74 Microfon ambisonic (stânga), poziționarea tetraedrică a microfoanelor (dreapta)

În cadrul aplicației prezentate în acest capitol, înregistrările în format ambisonic (descrie în secțiunea 3.4.5.2) au fost obținute folosind dispozitivul Zoom H3-VR. Înregistrările din mediul înconjurător au fost procesate folosind Ableton Live 11 Suite pentru a obține sunete repetitive. În acest proces, înregistrările au fost convertite din formatul Ambisonics A în formatul Ambisonics B (Ambix).

Problema principală a provenit din faptul că Ableton este capabil să proceseze doar fișiere mono și stereo (nu și în format ambisonic).

Pentru obținerea de înregistrări ambisonice repetitive utile în aplicație am folosit următoarea metodă:

1. Înregistrările produse de Zoom H3-VR au fost deschise în Audacity și salvate ca 4 fișiere .wav separate. Motivul folosirii softului Audacity este separarea fișierului care conține 4 canale audio în 4 fișiere .wav, mono, separate (Figura 75).
2. Fișierele .wav au fost prelucrate în Ableton Live pentru a putea fi repetitive în mediul virtual, evitându-se zgomotele generate de momentul în care un fișier audio s-a terminat și pornește redarea de la început. Acest lucru este posibil folosind Ableton Live și setând în Unity ca sunetele să înceapă redarea de la început de fiecare dată când se termină. Avem ca rezultat un fișier audio cu înregistrarea mediului înconjurător care se poate reda pe tot parcursul rulării unei aplicații, indiferent de timpul de rulare al acesteia.
3. Sunetele procesate în Ableton au fost importate ca 4 fișiere .wav în Audacity pentru a obține fișierul .wav pe 4 canale, cu sunetul ambisonic repetitiv ce poate fi redat pe parcursul unei aplicații, indiferent de timpul de rulare al acesteia.

Fișierul cu sunetul repetitiv rezultat este în format Ambisonics A. În acest format avem pe fiecare canal semnalele fiecărui microfon din matricea tetraedrică Figura 74 dreapta. Acest format nu prezintă informația utilă pe care o putem folosi în aplicație și, prin urmare, a trebuit să găsim o metodă de a converti fișierele în formatul Ambisonics B descrie în capitolul 3.4.5.2

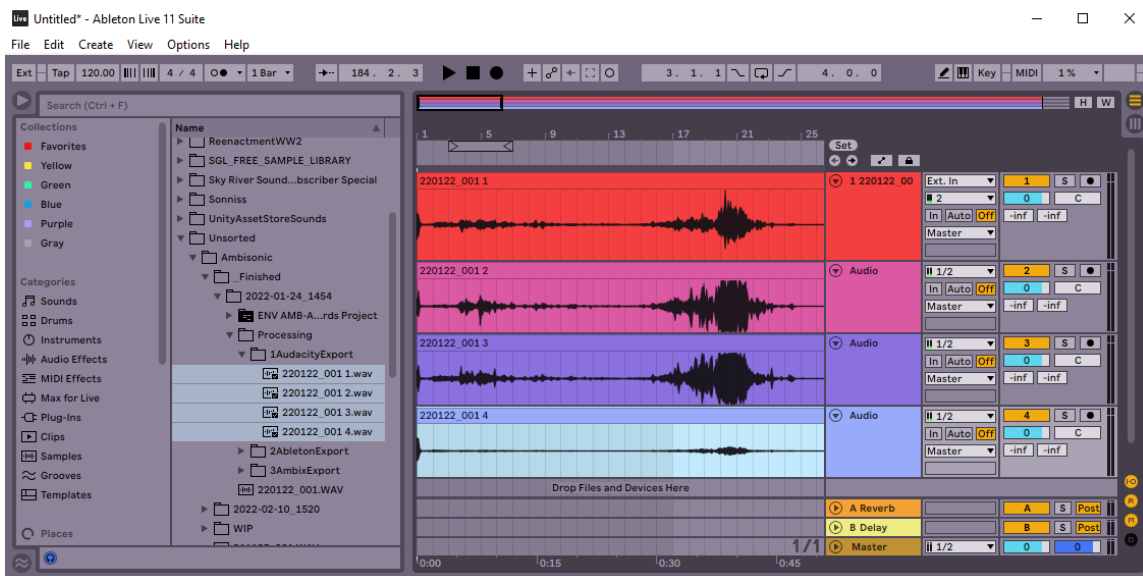
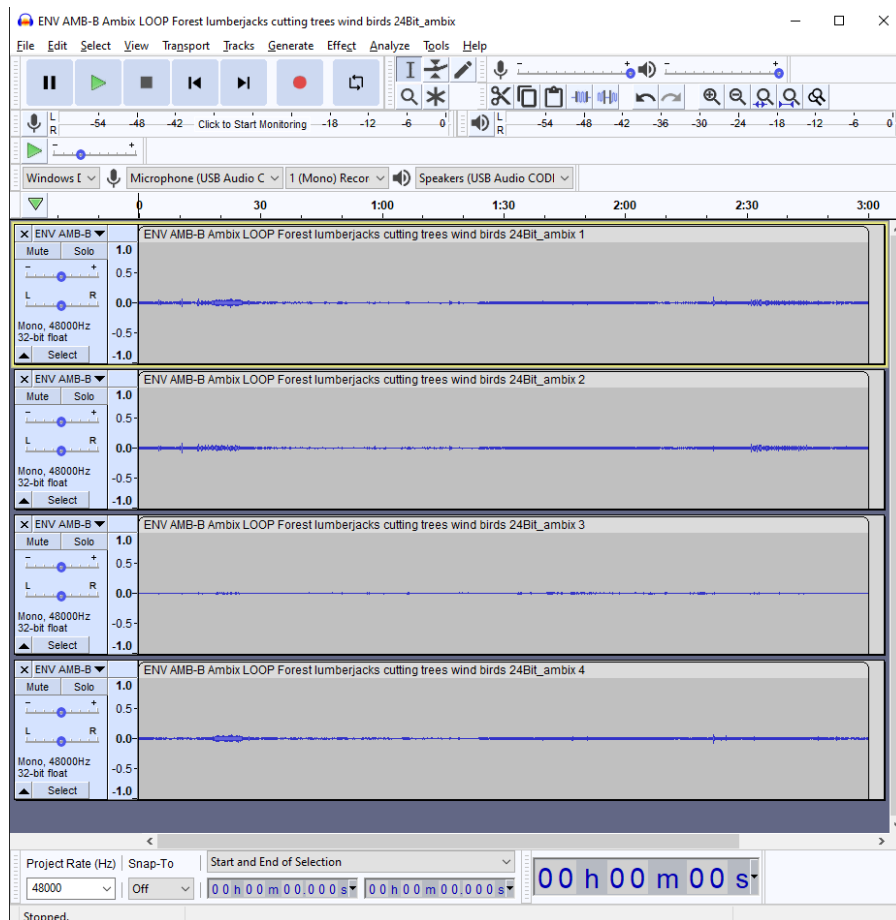


Figura 75 Cele 4 canale audio din Audacity (sus) prelucrate în Ableton ca 4 semnale mono (Jos)

Pentru a converti fișierul în Ambisonics tip B se poate folosi software-ul furnizat de Zoom cu mici modificări. Fișierul procesat de Ableton și apoi Audacity nu este recunoscut de soft-ul “Zoom Ambisonics Player” pentru a putea fi convertit.

vehiculul virtual. După cum am prezentat în cadrul secțiunii 6.3.6, feedback-ul nevăzătorului în cadrul acestor teste a avut o contribuție semnificativă pentru dezvoltarea modelului de sonificare cu con adaptiv.

Rezultatele din această secțiune se bazează pe răspunsurile la chestionarele din Anexa 3 – Chestionar Joc colaborativ de divertisment pentru nevăzători – Teste utilizatori legați la ochi și Anexa 4 – Chestionar Joc colaborativ de divertisment pentru nevăzători – Teste nevăzător.

6.4.1 Evaluarea jocului cu utilizatori legați la ochi

Chestionarul folosit pentru testarea jocului cu utilizatorii legați la ochi este adăugat în Anexa 3 – Chestionar Joc colaborativ de divertisment pentru nevăzători – Teste utilizatori legați la ochi. Prima parte a chestionarului are scopul de a verifica dacă sunetele sunt deranjante pentru jucător. Dacă sunetele sunt deranjante, acestea pot cauza oboseala prematură a utilizatorului cât și luarea deciziilor eronate. Rezultatele legate de calitatea sunetelor pentru acest joc sunt următoarele:

Sunetele vi s-au părut deranjante?

75 responses

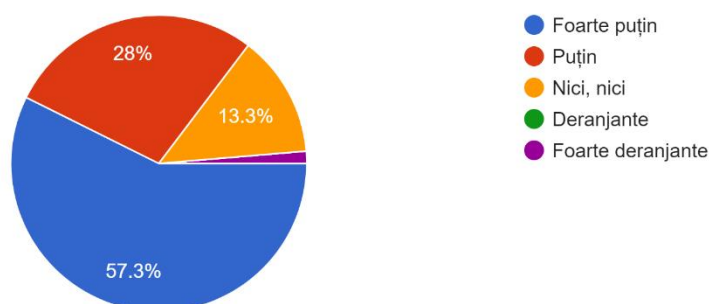


Figura 77 Rezultate calitate sunete

Suplimentar față de sunete am dorit să aflăm dacă jocul rulat pe dispozitive mobile a fost preferat față de cel rulat pe desktop și dacă utilizatorul a rotit capul sau a controlat vehiculul doar utilizând gamepad-ul pentru a asculta sunetele. În cazul jocului rulat pe telefoane mobile, jucătorul avea posibilitatea de a roti capul iar jocul replică acest comportament conform capitolului 6.1.

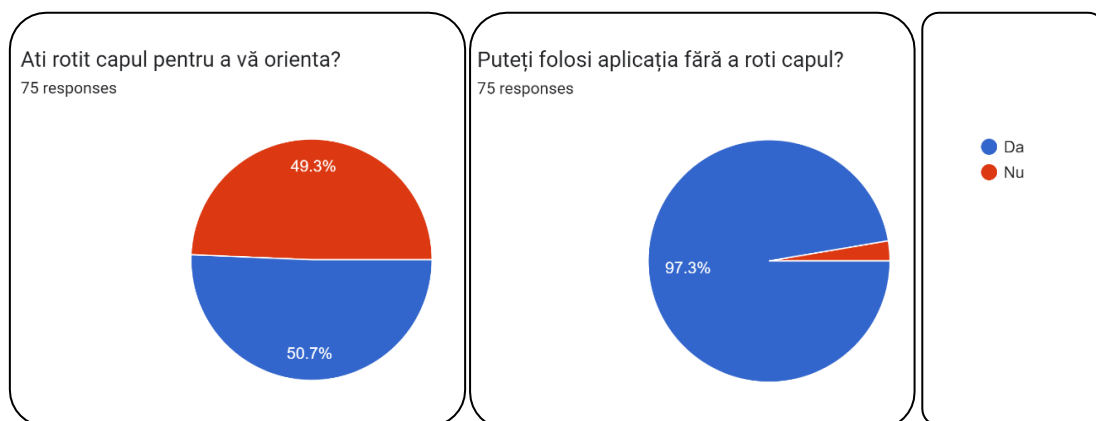


Figura 78 Rezultate rotire cap telefon mobil

Legat de **modul de control** al vehiculului și **navigarea în scenă**, acest joc a avut nevoie de moduri suplimentare de a controla vehiculul virtual. Scenele fiind mai mari și 3D, am mărit viteza maximă de deplasare a vehiculului, am adăugat posibilitatea de a frâna de urgență și posibilitatea de a schimba altitudinea de deplasare a vehiculului.

Pe baza răspunsurilor la chestionare, se observă necesitatea schimbării altitudinii vehiculului, precum și a folosirii frânei de urgență.

Cât de des ați folosit frâna
75 responses

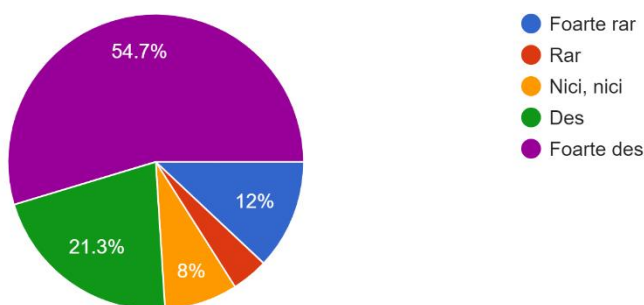


Figura 79 Rezultate frecvență utilizare frână

Cat de des ati modificat altitudinea?

75 responses

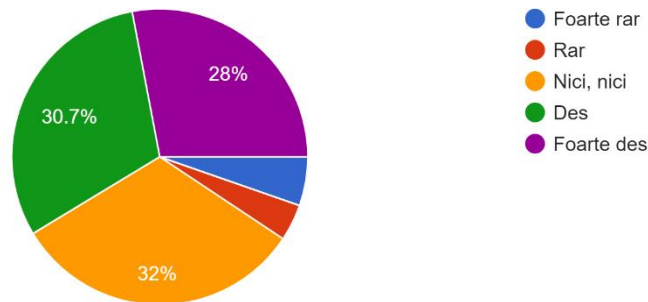


Figura 80 Rezultate modificare altitudine

Pentru evaluarea **modelului de sonificare**, am redactat chestionare care au conținut și întrebări asemănătoare celor folosite pentru aplicația descrisă în capitolul 5. Scopul acestor întrebări a fost de a afla dacă sunetele sunt deranjante pentru utilizator. De exemplu, un sunet poate fi deranjant în momentul în care se aude la volum mult mai mare față de celelalte sunete. Întrebările care au avut rezultate similare cu cele descrise anterior nu vor fi reluate în acest subcapitol. De exemplu, întrebările despre sunetele deranjante sau gradul de utilitate al sunetelor au avut rezultate similare cu cele ale aplicației precedente. Răspunsurile la întrebările legate de modelul de sonificare (Anexa 3) au scos în evidență diferența dintre utilizatorii legați la ochi și cel nevăzător, care era familiarizat cu un model de sonificare, prin participare la testele cu dispozitivul SOV.

Considerați util modelul de sonificare?

75 responses

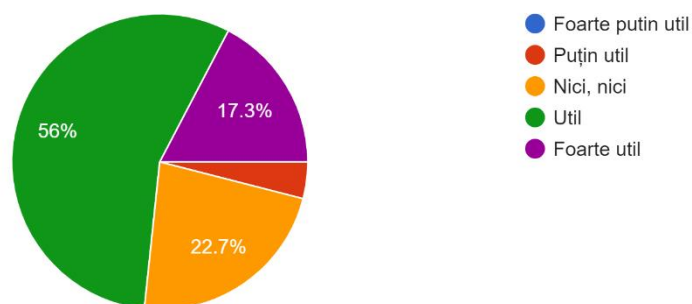


Figura 81 Rezultate utilitate model sonificare utilizatori legați la ochi

Ce schimbări ați aduce modelului de sonificare? (opțional)

1. Încep să înțeleg cum funcționează dacă țin apăsată frâna
2. Este util. Dar îmi e mie greu să rețin ce înseamnă fiecare sunet
3. El este foarte util dacă îmi mai amintește cineva ce înseamnă fiecare sunet

4. El pare foarte util dar o sa imi ia timp sa il invat
5. De multe ori nu aud tintele la care trebuie sa ajung
6. Acum nu ma mai ratacesc daca tin frana apasata.
7. Nu as aduce schimbari dar cateodata uit
8. Pare mai lucrat decat cel de la aplicatia precedenta.
9. Potin util pentru ca am uitat cum se foloseste
10. Deocamdata nu as aduce schimbări

Asemănător cu jocul de orientare și mobilitate bazat pe stimuli audio prezentat anterior, putem observa dificultatea medie a scenelor de joc dar în cazul acestei aplicații avem procentaj mult mai mare pentru răspunsurile „Puțin dificil” și „Foarte dificil”. Acest procentaj denotă faptul că utilizatorilor le este mai greu să se obișnuiască, posibil datorită modelului de sonificare mai complex și a scenelor de dimensiuni mai mari. Deși scopul nu este de a mări dificultatea, scenele acestea de testare sunt mult mai apropiate de situații reale decât scenele primei aplicații.

Care considerați că este nivelul de dificultate pentru scenele de antrenament?

75 responses

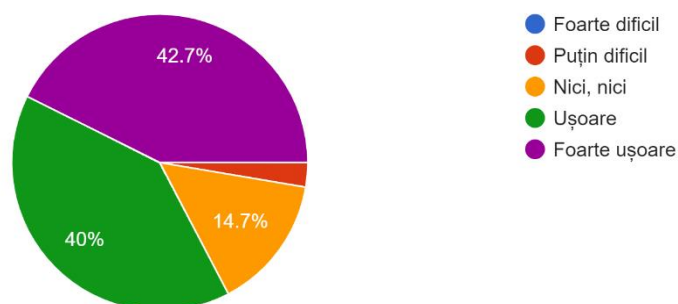


Figura 82 Rezultate dificultate scene antrenament

Care considerați că este nivelul de dificultate pentru scenele de test?

75 responses

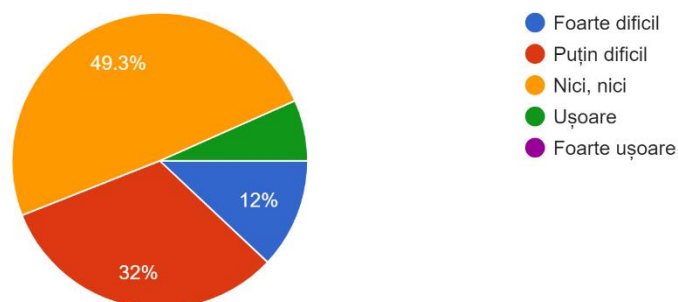


Figura 83 Rezultate dificultate scene joc

6.4.2 Evaluarea jocului cu utilizatorul nevăzător

Pentru testele cu nevăzătorul, chestionarele au fost modificate pentru a obține informații specifice cu privire la modelul de sonificare. Comparând Anexele 3 și 4 putem observa că întrebările adăugate pentru chestionarele nevăzătorului sunt următoarele:

„Vi s-a părut deranjant sunetul de coliziune?”

„Considerați util modul de control al altitudinii și rotației (modificarea azimutului, joystickul din partea stângă)?”

„Considerați util modul de control al deplasării (modificarea poziției în plan orizontal, joystickul din partea dreaptă)?”

„Ați folosit modul de ascultare ținând frâna apăsată?”

„Considerați util modelul de sonificare al distanței față de obstacol?”

„Considerați util modelul de sonificare al altitudinii față de țintă?”

„Considerați util sunetul de localizare a țintei, cel care oferă direcția spre țintă?”

„Considerați utilă spațializarea țintelor?”

Sesiunile de testare au fost în număr de 3 iar procentajele răspunsurilor au fost identice pentru anumite întrebări. De exemplu, pentru întrebarea „Ați folosit modul de ascultare ținând frâna apăsată?” rezultatele chestionarului au fost următoarele:

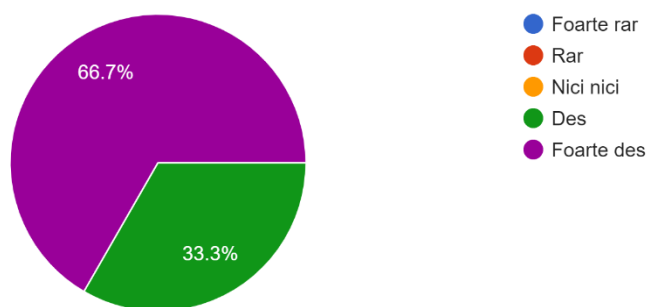


Figura 84 Rezultate mod ascultare nevăzător

Pentru întrebările „Considerați util modelul de sonificare al distanței față de obstacol?” și „Considerați util modelul de sonificare?” procentajele au fost următoarele:

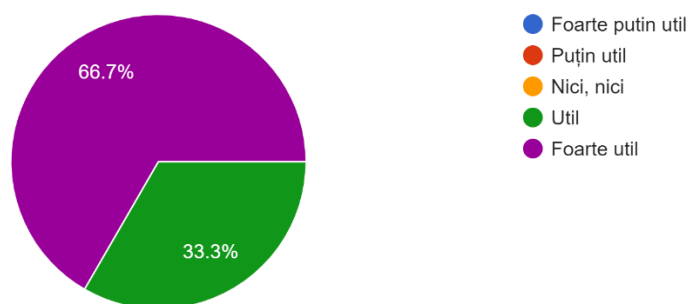


Figura 85 Rezultate sonificare nevăzător

Similar pentru întrebările „Considerați util modelul de sonificare al altitudinii față de țintă?”, „Considerați util sunetul de localizare al țintei, cel care oferă direcția spre țintă?” și „Considerați utilă spațializarea țintelor?” procentajul a fost de 100% Foarte util.

De asemenea, cele 2 răspunsuri la întrebarea opțională „Ce schimbări ați aduce modelului de sonificare?” au contribuit la îmbunătățirea modelului de sonificare inițial. Modificările aduse modelului de sonificare sunt descrise în capitolul 6.3.6 – Con Adaptiv De Orientare. Răspunsurile la întrebare sunt următoarele:

Drona se misca foarte repede. Sunt prea ample miscarile dronei.
 Informatii despre obstacole in stanga, dreapta, sus sau jos

6.5 Abilitățile pe care jocul le poate dezvolta utilizatorului

Conexiuni. Viziunea pe care am dorit ca nevăzătorii să o asocieze aplicației este zborul cu drona printr-o metropolă pentru a livra colete oamenilor. Similar unui curier, acesta are un coleg (personaj fictiv, înregistrări vocale predefinite) la depozitul central cu care comunică. Conceptele pe care le-am implementat în joc au scopul de a apela la empatia utilizatorului aplicației, presupunând că acesta este un nevăzător târziu. Fiind nevăzător târziu, are nevoie de concepte de bază de înțelegere a unui spațiu 3D, de vizualizarea și imaginația unui oraș-metropolă sau a zborului cu drona. Aceste conexiuni cu concepte din realitate pot fi făcute cu dificultate mai mare de persoanele născute nevăzătoare.

Asocierea. Baza navigării în mediul virtual este asocierea butoanelor cu mișcările vehiculului virtual. De exemplu, dacă utilizatorul dorește să ajusteze înălțimea vehiculului, dar folosește greșit joystick-ul din partea stângă a gamepad-ului pentru acest lucru, cel mai probabil se va ciocni cu un obstacol. Asocierea dintre sunetele produse de aplicație și obiectele virtuale precum țintele sau obstacolele este un alt aspect important. O problemă mare care poate apărea ar fi asocierea greșită a unor sunete. De exemplu, dacă utilizatorul asociază sunetul țintei cu sunetul obstacolului. Este crucial să se creeze sunete care să poată fi ușor de înțeles și clasificate ca fiind negative sau pozitive, bine individualizate.

Memoria. Înainte de a utiliza vehiculul, utilizatorul trebuie să fie capabil să memoreze modul în care acesta funcționează. El poate stăpâni butoanele doar exersându-le în mod repetat atât în scenele de învățare, cât și în scenele de testare, dacă nu este obișnuit să folosească un gamepad Xbox.

Strategia. Utilizatorul trebuie să își dezvolte propriile tehnici sau strategii pentru a utiliza cu succes modelul de sonificare. Scenele de instruire nu au scopul de a educa persoana nevăzătoare cum să folosească modelul de sonificare ci să explice ce informații oferă modelul de sonificare. Strategiile de folosire a modelului de sonificare îi aparțin utilizatorului aplicației.

7. Concluzii și cercetări viitoare

7.1 Contribuții originale

Prezenta teză include contribuții teoretice și practice originale, în direcția dezvoltării de medii virtuale interactive cu scopul antrenării nevăzătorilor pentru substituție senzorială. Principalele contribuții ale tezei sunt următoarele:

1. **Analiză cuprinzătoare a diferitelor jocuri serioase și de divertisment precum și a soluțiilor hardware și software pentru nevăzători**, prezentate în secțiunile 3.1, 3.2 și 3.3. O parte din informațiile cuprinse în aceste secțiuni au fost diseminate în [137] și [138].
2. **Analiză a modelelor de sonificare și a tehnicilor de design sonic folosite în special în aplicațiile dedicate nevăzătorilor**, prezentată în secțiunea 3.4.4 Analiza se bazează nu numai pe informațiile obținute din literatura de specialitate ci și pe experiența autorului dobândită prin participarea la proiectele menționate în secțiunea 1.4. Analiza a fost parțial diseminată în [5], [123], [137] și a stat la baza modelelor de sonificare și a tehnicilor de sonificare dezvoltate de autor și prezentate în capitolele 5 și 6.
3. **Jocul de orientare și mobilitate** prezentat în capitolul 5. Jocul a fost prezentat în articolul [124]. Pentru îmbunătățirea sa, a fost implementat un sistem de achiziție a datelor statistice (secțiunea 5.4) care a permis studiul comportamentului utilizatorilor în cadrul jocului (secțiunea 5.5.1). De asemenea, **pentru acest joc a fost implementat un model de sonificare original**, care a fost extins pentru jocul prezentat în capitolul 6.
4. **Jocul colaborativ de divertisment** prezentat în capitolul 6 și diseminat în [131]. Jocul conține elemente de divertisment care cresc imersiunea utilizatorilor în joc, cum ar fi: fir narativ, situații care pot fi asociate cu realitatea cotidiană, sunete ambisonice înregistrate de autor și alte sunete înregistrate din mediul real (cum sunt sunetele de coliziune cu un obstacol). **Modelul de sonificare original conceput pentru acest joc** permite deplasarea utilizatorului cu vehiculul virtual la diferite altitudini. **Metoda de sonificare cu con adaptiv**, descrisă în secțiunea 6.3.6, a fost dezvoltată în urma feedback-ului utilizatorilor care au participat la testarea jocului. Jocul include și funcționalități de multiplayer, oferind utilizatorilor posibilitatea de a colabora pentru atingerea obiectivelor.
5. **Metodă de înregistrare și redare a vocilor personajelor virtuale**, folosită în implementarea jocului descris în capitolul 6 și prezentată în 0.
6. **Metodă de creare și înregistrare a sunetului ambisonic repetitiv pentru a fi utilizat în medii virtuale**, descrisă în secțiunea 6.3.7.2.

7.2 Cercetări viitoare

În viitor intenționez să dezvolt jocul prezentat în capitolul 6 pentru a putea fi pe deplin funcțional în modul multiplayer. În prezent jocul funcționează în modul multiplayer dar există situații neprevăzute care nu au fost tratate, cum ar fi conexiunea de internet slabă între cei doi

jucători. De asemenea, trebuie creat un sistem care să conecteze utilizatori cât mai eficient și rapid în momentul în care vor fi mulți jucători. Astfel, ca în majoritatea aplicațiilor multiplayer, sunt conectați cu prioritate utilizatorii cu latență mică a conexiunii (ping).

De asemenea, conform feedback-ului primit din partea nevăzătorului care a participat la testele jocului descris în capitolul 6, acest joc este „util pentru a învăța copii să localizeze anumite sunete”. Acest proiect se poate îndrepta către utilizatori de vârstă mai mică, necesitând îmbunătățirea elementelor de divertisment și modificând sunetele pentru a fi „caracteristice” vârstei mici.

Pentru a extinde acest joc se pot face modificări legate de localizare, cum ar fi traducerea vocilor personajelor în mai multe limbi de circulație internațională.

În prezent, jocul este implementat pentru platformele PC și Android compatibil cross-platform (un jucător poate folosi un dispozitiv mobil cu sistem de operare Android iar celălalt PC). Este posibilă extinderea jocului pe platformele Nintendo Switch, Xbox, Playstation și iOS. Pentru a muta aplicația pe alte platforme trebuie studiate problemele de compatibilitate. De exemplu, trebuie testat dacă există gamepad-uri compatibile cu dispozitive iOS. Există și alte potențiale probleme specifice fiecărei platforme cum ar fi compatibilitatea SDK-ului folosit (Photon) cu subscripția serviciului online al Nintendo Switch.

O altă extensie intenționată a jocului descris în capitolul 6 este implementarea unui sistem de comunicare între utilizatori, cel mai probabil prin transmiterea de mesaje audio.

Este necesară, de asemenea, testarea cu scene de dimensiuni mai mari din punct de vedere al cerințelor hardware ale dispozitivului pentru platformele mobile.

Bibliografie

- [1] World Health Organization, “World report on vision,” *World health Organization*, vol. 214, no. 14, pp. 1–160, 2019.
- [2] “Euroblind.org.” <https://www.euroblind.org/about-blindness-and-partial-sight/facts-and-figures> (accessed Aug. 23, 2023).
- [3] World Health Organization, “Visual impairment and blindness, Fact sheet no 282,” 2014.
- [4] I. Khaliq and I. dela Torre, “A study on accessibility in games for the visually impaired,” in *ACM International Conference Proceeding Series*, 2019, pp. 142–148. doi: 10.1145/3342428.3342682.
- [5] S. Ivascu, A. Moldoveanu, F. Moldoveanu, and M.-I. Dascalu, “Virtual training and testing environments for visually impaired people,” *Revista Romana de Interactiune Om-Calculator*, vol. 10, no. 2, pp. 89–104, 2017.
- [6] Ministerul Muncii, “Ministerul Muncii cu ocazia Zilei Internaționale a Nevăzătorilor, 15 octombrie 2018,” 2018. <http://www.mmuncii.ro/j33/index.php/ro/comunicare/comunicate-de-presa/5269-cp-mesaj-ministru-ziua-nevazatorilor-15102018> (accessed Nov. 27, 2022).
- [7] Ó. I. Jóhannesson, O. Balan, R. Unnthorsson, A. Moldoveanu, and Á. Kristjánsson, “The Sound of Vision Project: On the Feasibility of an Audio-Haptic Representation of the Environment, for the Visually Impaired,” *Brain Sci*, vol. 6, no. 3, 2016, doi: 10.3390/brainsci6030020.
- [8] Cezar Th. Niculescu, Radu Cârmaciu, Bogdan Voiculescu, Carmen Sălăvastru, Cristian Niță, and Cătălina Ciornei, *Anatomia Fiziologia Omulu Compendiu*.
- [9] M. Jonathan H. Salvin, “Kidshealth.org.” <https://www.kidshealth.org/en/teens/visual-impairment.html> (accessed Dec. 11, 2022).
- [10] M. Dr. Ananya Mandal, “News-medical.net,” 2019. <https://www.news-medical.net/health/Types-of-visual-impairment.aspx> (accessed Dec. 11, 2022).
- [11] “[https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment.](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment)”
- [12] B. Yuan, E. Folmer, and F. C. Harris, “Game accessibility: a survey,” *Univers Access Inf Soc*, vol. 10, no. 1, pp. 81–100, 2011.
- [13] A. Li, Z. Montaña, V. J. Chen, and J. I. Gold, “Virtual reality and pain management: current trends and future directions,” *Pain Manag*, vol. 1, no. 2, pp. 147–157, 2011.

- [14] “PopCap Dynamite.” https://store.steampowered.com/app/3380/Dynamite_Deluxe/ (accessed Apr. 07, 2023).
- [15] “PopCap Studio (Bejeweled, Zuma).” <https://www.ea.com/ea-studios/popcap/games> (accessed Apr. 07, 2023).
- [16] “King Candy Crush.” <https://www.king.com/game/candycrush> (accessed Apr. 07, 2023).
- [17] “Skyrim.” <https://elderscrolls.bethesda.net/en/skyrim10> (accessed May 06, 2023).
- [18] F. Ribeiro, D. Florencio, P. A. Chou, and Z. Zhang, “Auditory augmented reality: Object sonification for the visually impaired,” in *2012 IEEE 14th international workshop on multimedia signal processing (MMSP)*, 2012, pp. 319–324.
- [19] “Mortal Kombat.” <https://www.mortalkombat.com/> (accessed Jun. 07, 2023).
- [20] “Guilty Gear.” <https://www.guiltygear.com/> (accessed Jun. 07, 2023).
- [21] A. Neidhardt and A. Rppel, “Multiplayer audio-only game: Pong on a massive multichannel loudspeaker system,” in *Proceedings of the 7th Audio Mostly Conference: A Conference on Interaction with Sound*, 2012, pp. 130–134.
- [22] B. Yuan and E. Folmer, “Blind hero: enabling guitar hero for the visually impaired,” in *Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, 2008, pp. 169–176.
- [23] F. Bařıftı and A. Eldem, “A third eye with human-computer interaction for the visually impaired,” *Computers & Electrical Engineering*, vol. 59, pp. 63–72, 2017.
- [24] L. Albraheem *et al.*, “Third eye: An eye for the blind to identify objects using human-powered technology,” in *2015 International Conference on Cloud Computing (ICCC)*, 2015, pp. 1–6.
- [25] Y. Gao *et al.*, “Wearable virtual white cane: assistive technology for navigating the visually impaired,” *J Med Device*, vol. 8, no. 2, 2014.
- [26] S. Park, L. Kim, S. Ha, H. Cho, and S. Y. Lee, “An electronic aid for a visually impaired person using an ultrasonic sensor,” in *2009 Digest of Technical Papers International Conference on Consumer Electronics*, 2009, pp. 1–2.
- [27] C.-L. Lee, C.-Y. Chen, P.-C. Sung, and S.-Y. Lu, “Assessment of a simple obstacle detection device for the visually impaired,” *Appl Ergon*, vol. 45, no. 4, pp. 817–824, 2014.
- [28] P. Sharma and S. L. Shimi, “Design and development of virtual eye for the blind,” *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 26–33, 2015.

- [29] B. Leporini, M. C. Buzzi, and M. Buzzi, “Interacting with mobile devices via VoiceOver: usability and accessibility issues,” in *Proceedings of the 24th Australian Computer-Human Interaction Conference*, 2012, pp. 339–348.
- [30] “The Sound of Vision Project.” <http://soundofvision.net> (accessed Nov. 27, 2022).
- [31] S. K. Kane, C. Jayant, J. O. Wobbrock, and R. E. Ladner, “Freedom to roam: a study of mobile device adoption and accessibility for people with visual and motor disabilities,” in *Proceedings of the 11th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, 2009, pp. 115–122.
- [32] S. Carew, “Touch-screen gadgets alienate blind,” *Reuters, January*, vol. 8, 2009.
- [33] D. Reisinger, “Universities reject Kindle over inaccessibility for the blind. CNET.” 2009.
- [34] W. Buxton, R. Hill, and P. Rowley, “Issues and techniques in touch-sensitive tablet input,” in *Proceedings of the 12th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 1985, pp. 215–224.
- [35] W. Buxton, R. Foulds, M. Rosen, L. Scadden, and F. Shein, “Human interface design and the handicapped user,” in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, 1986, pp. 291–297.
- [36] G. C. Vanderheiden, “Use of audio-haptic interface techniques to allow nonvisual access to touchscreen appliances,” in *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, 1996, p. 1266.
- [37] S. Landau and L. Wells, “Merging tactile sensory input and audio data by means of the Talking Tactile Tablet,” in *Proceedings of EuroHaptics*, 2003, pp. 414–418.
- [38] S. K. Kane, J. P. Bigham, and J. O. Wobbrock, “Slide rule: making mobile touch screens accessible to blind people using multi-touch interaction techniques,” in *Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, 2008, pp. 73–80.
- [39] T. Guerreiro, P. Lagoa, H. Nicolau, D. Goncalves, and J. A. Jorge, “From Tapping to Touching: Making Touch Screens Accessible to Blind Users (vol 15, pg 48, 2008),” *IEEE MULTIMEDIA*, vol. 16, no. 1, p. 13, 2009.
- [40] P. Baudisch, A. Zotov, E. Cutrell, and K. Hinckley, “Starburst: a target expansion algorithm for non-uniform target distributions,” in *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*, 2008, pp. 129–137.
- [41] M. N. Bonner, J. T. Brudvik, G. D. Abowd, and W. K. Edwards, “No-look notes: accessible eyes-free multi-touch text entry,” in *International Conference on Pervasive Computing*, 2010, pp. 409–426.
- [42] G. Yfantidis and G. Evreinov, “Adaptive blind interaction technique for touchscreens,” *Univers Access Inf Soc*, vol. 4, no. 4, pp. 328–337, 2006.

- [43] S. K. Kane, J. O. Wobbrock, and R. E. Ladner, “Usable gestures for blind people: understanding preference and performance,” in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2011, pp. 413–422.
- [44] J. Su, A. Rosenzweig, A. Goel, E. de Lara, and K. N. Truong, “Timbremap: enabling the visually-impaired to use maps on touch-enabled devices,” in *Proceedings of the 12th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services*, 2010, pp. 17–26.
- [45] M. Talbot and W. Cowan, “On the audio representation of distance for blind users,” in *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, 2009, pp. 1839–1848.
- [46] M. Calder, R. F. Cohen, J. Lanzoni, and Y. Xu, “PLUMB: an interface for users who are blind to display, create, and modify graphs,” in *Proceedings of the 8th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, 2006, pp. 263–264.
- [47] B. Plimmer, A. Crossan, S. A. Brewster, and R. Blagojevic, “Multimodal collaborative handwriting training for visually-impaired people,” in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2008, pp. 393–402.
- [48] S. Wall and S. Brewster, “Feeling what you hear: tactile feedback for navigation of audio graphs,” in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems*, 2006, pp. 1123–1132.
- [49] S. K. Kane, M. R. Morris, A. Z. Perkins, D. Wigdor, R. E. Ladner, and J. O. Wobbrock, “Access overlays: improving non-visual access to large touch screens for blind users,” in *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, 2011, pp. 273–282.
- [50] S. Fortune, “A sweepline algorithm for Voronoi diagrams,” in *Proceedings of the second annual symposium on Computational geometry*, 1986, pp. 313–322.
- [51] T. Grossman and R. Balakrishnan, “The Bubble Cursor: Enhancing Target Acquisition by Dynamic Resizing of the Cursor’s Activation Area,” in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, in CHI ’05. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2005, pp. 281–290. doi: 10.1145/1054972.1055012.
- [52] J. O. Wobbrock, M. R. Morris, and A. D. Wilson, “User-defined gestures for surface computing,” in *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, 2009, pp. 1083–1092.
- [53] E. Tse, M. Hancock, and S. Greenberg, “Speech-filtered bubble ray: improving target acquisition on display walls,” in *Proceedings of the 9th international conference on Multimodal interfaces*, 2007, pp. 307–314.
- [54] M. L. Ibáñez, A. Romero-Hernández, B. Manero, and M. Guijarro, “Computer Entertainment Technologies for the Visually Impaired: An Overview”.

- [55] P. da S. Leite and L. D. A. Almeida, “Extended Analysis Procedure for Inclusive Game Elements: Accessibility Features in the Last of Us Part 2,” in *International Conference on Human-Computer Interaction*, 2021, pp. 166–185.
- [56] “<https://www.nintendo.com/store/products/1-2-switch-switch/>.”
- [57] S. Fizek, J. Woletz, and J. Beksa, “Playing with sound and gesture in digital audio games,” in *Mensch und Computer 2015 - Workshop*, De Gruyter, 2015, pp. 423–430. doi: 10.1515/9783110443905-061.
- [58] “RSGames.org.” <https://rsgames.org/> (accessed Apr. 16, 2023).
- [59] J. Carvalho, T. Guerreiro, L. Duarte, and L. Carriço, “Audio-based puzzle gaming for blind people,” in *Proceedings of the Mobile Accessibility Workshop at MobileHCI (MOBACC)*, 2012.
- [60] T. Westin, “Game accessibility case study: Terraformers—a real-time 3D graphic game,” in *Proceedings of the 5th International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies, ICDVRAT*, 2004.
- [61] C. Magnusson *et al.*, “Navigating the world and learning to like it: mobility training through a pervasive game,” in *Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 2011, pp. 285–294.
- [62] J. Sánchez, M. Saenz, and J. M. Garrido, “Usability of a multimodal video game to improve navigation skills for blind children,” *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)*, vol. 3, no. 2, pp. 1–29, 2010.
- [63] B. A. Smith and S. K. Nayar, “The RAD,” in *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA: ACM, Apr. 2018, pp. 1–12. doi: 10.1145/3173574.3174090.
- [64] M. Lumbreras and J. Sánchez, “Interactive 3D sound hyperstories for blind children,” in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems the CHI is the limit - CHI '99*, New York, New York, USA: ACM Press, 1999, pp. 318–325. doi: 10.1145/302979.303101.
- [65] “Entombed - An RPG Roguelike Game for the Blind and Visually Impaired.” <http://www.blind-games.com/entombed.aspx#:~:text=Entombed%20is%20a%20large%20dungeon,the%20ultimate%20dungeon%20crawling%20group>. (accessed Mar. 17, 2023).
- [66] E. Rovithis, N. Moustakas, A. Floros, and K. Vogklis, “Audio legends: Investigating sonic interaction in an augmented reality audio game,” *Multimodal Technologies and Interaction*, vol. 3, no. 4, p. 73, 2019, doi: 10.3390/mti3040073.
- [67] A. Gluck and J. Brinkley, “Implementing ‘The Enclosing Dark’: A VR Auditory Adventure,” *Journal on Technology and Persons with Disabilities*, vol. 8, no. 2020, pp. 149–159, 2020.

- [68] L. V. Nickerson and T. Hermann, “Interactive sonification of grid-based games,” in *Proceedings of the Audio Mostly Conference-A Conference on Interaction with Sound*, 2008.
- [69] G. Kramer *et al.*, “Sonification report: Status of the field and research agenda,” 2010.
- [70] A. Floros, N.-A. Tatlas, and S. Potirakis, “Sonic perceptual crossings: A tic-tac-toe audio game,” in *Proceedings of the 6th audio mostly conference: A conference on interaction with sound*, 2011, pp. 88–94.
- [71] G. Bill, “Hrtf measurements of a kemar dummy-head microphone,” *MIT Media Lab. Perceptual Computing-Technical Report*, vol. 280, pp. 1–7, 1994.
- [72] J. Friberg and D. Gärdenfors, “Audio games: new perspectives on game audio,” in *Proceedings of the 2004 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology*, 2004, pp. 148–154.
- [73] stockholm international toy research center SITREC. Sitrec, “<http://www.sitrec.kth.se>.”
- [74] tactile interactive multimedia TiM. The tim project, “<http://inova.snv.jussieu.fr/tim/>.” <http://inova.snv.jussieu.fr/tim/> (accessed Nov. 27, 2022).
- [75] A. Menshikov., “<http://www.digit-life.com/articles2/soundtechnology/index.html>,” *Modern audio technologies in games*.
- [76] J. Wall, “Music for myst iii: Exile. the evolution of a videogame soundtrack”, Accessed: Nov. 27, 2022. [Online]. Available: <https://www.gamedeveloper.com/audio/music-from-myst-iii-exile---the-evolution-of-a-videogame-soundtrack>
- [77] M. O’Donnell., “Producing audio for halo.” <https://www.gamedeveloper.com/audio/producing-audio-for-halo> (accessed Nov. 27, 2022).
- [78] Sony. Sony computer entertainment., “<http://www.scea.com/Content/games/SCUS-97167/ogs/>.”
- [79] Konami. Konami digital entertainment, “<http://www.konami.com/ddr/>.”
- [80] Sega, “<http://www.sonicteam.com/rez/>.”
- [81] Sony. Sony computer entertainment, “<http://www.us.playstation.com/Content/games/-97258/ogs/>.”
- [82] Sony. Sony computer entertainment, “<http://www.vib-ribbon.com/>.”
- [83] GMA. Gma games., “<http://www.gmagames.com/sod.html>.”
- [84] Pin interactive, “<http://www.terraformers.nu/eng/>.”
- [85] Gavin Andresen, “Playing by Ear: Using Audio to Create Blind-Accessible Games.” <https://www.gamedeveloper.com/audio/playing-by-ear-using-audio-to-create-blind-accessible-games> (accessed Nov. 27, 2022).

- [86] W. W. Gaver, "Auditory interfaces," in *Handbook of human-computer interaction*, Elsevier, 1997, pp. 1003–1041.
- [87] W. W. Gaver, "What in the world do we hear?: An ecological approach to auditory event perception," *Ecological psychology*, vol. 5, no. 1, pp. 1–29, 1993.
- [88] S. A. Brewster, "Using nonspeech sounds to provide navigation cues," *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, vol. 5, no. 3, pp. 224–259, 1998.
- [89] M. Chion, "Audio-vision: sound on screen," in *Audio-Vision: Sound on Screen*, Columbia University Press, 2019.
- [90] D. Gärdenfors, "Designing sound-based computer games," *Digital Creativity*, vol. 14, no. 2, pp. 111–114, 2003.
- [91] S. McCloud and A. D. Manning, "Understanding comics: The invisible art," *IEEE Transactions on Professional Communications*, vol. 41, no. 1, pp. 66–69, 1998.
- [92] C. S. Peirce, *Collected papers of charles sanders peirce*, vol. 5. Harvard University Press, 1974.
- [93] F. Winberg and S.-O. Hellström, "The quest for auditory direct manipulation: the sonified Towers of Hanoi," in *Proceedings of the 3rd International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies*, 2000, pp. 75–81.
- [94] B. ISO and B. STANDARD, "Ergonomics of human-system interaction," *British Standards Institution*, 2010.
- [95] K. Bierre, J. Chetwynd, B. Ellis, D. M. Hinn, S. Ludi, and T. Westin, "Game not over: Accessibility issues in video games," in *Proc. of the 3rd International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*, 2005, pp. 22–27.
- [96] M. Romero, M. Usart, and M. Ott, "Can serious games contribute to developing and sustaining 21st century skills?," *Games Cult*, vol. 10, no. 2, pp. 148–177, 2015.
- [97] D. Parsons, K. Petrova, and H. Ryu, "Mobile gaming-a serious business!," in *2012 IEEE Seventh International Conference on Wireless, Mobile and Ubiquitous Technology in Education*, 2012, pp. 17–24.
- [98] R. Steinmetz and S. Göbel, "Challenges in serious gaming as emerging multimedia technology for education, training, sports and health," in *International Conference on Multimedia Modeling*, 2012, p. 3.
- [99] G. Regal, D. Sellitsch, S. Kriglstein, S. Kollienz, and M. Tscheligi, "Be active! participatory design of accessible movement-based games," *TEI 2020 - Proceedings of the 14th International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, pp. 179–192, 2020, doi: 10.1145/3374920.3374953.

- [100] L. Salvador-Ullauri, A. Jaramillo-Alcázar, and S. Luján-Mora, “A serious game accessible to people with visual impairments,” in *Proceedings of the 2017 9th international conference on education technology and computers*, 2017, pp. 84–88.
- [101] Statista, “Most popular genres played regularly according to video gamers in the United States in 2022.” <https://www.statista.com/statistics/246766/favorite-video-game-genres-in-the-us/> (accessed Nov. 27, 2022).
- [102] M. Ainscow, T. Booth, and A. Dyson, *Improving Schools, Developing Inclusion*. Routledge, 2006. doi: 10.4324/9780203967157.
- [103] R. Miñón, L. Moreno, P. Martínez, and J. Abascal, “An approach to the integration of accessibility requirements into a user interface development method,” *Sci Comput Program*, vol. 86, pp. 58–73, Jun. 2014, doi: 10.1016/j.scico.2013.04.005.
- [104] F. Carnovalini, A. Rodà, and P. Caneva, “A Musical Serious Game for Social Interaction through Augmented Rhythmic Improvisation,” in *Proceedings of the 5th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good*, New York, NY, USA: ACM, Sep. 2019, pp. 130–135. doi: 10.1145/3342428.3342683.
- [105] C. C. W. Er, B. T. Lau, and P. Zheng, “An Audio and Haptic Feedback-Based Virtual Environment Spatial Navigation Learning Tool,” in *2018 Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS)*, IEEE, Dec. 2018, pp. 741–746. doi: 10.1109/SCIS-ISIS.2018.00123.
- [106] J. B. Marshall, G. Tyson, J. Llanos, R. M. Sanchez, and F. B. Marshall, “Serious 3D gaming research for the vision impaired,” in *2015 17th International Conference on E-health Networking, Application & Services (HealthCom)*, IEEE, Oct. 2015, pp. 468–471. doi: 10.1109/HealthCom.2015.7454547.
- [107] G. Regal, E. Mattheiss, D. Sellitsch, and M. Tscheligi, “Mobile location-based games to support orientation & mobility training for visually impaired students,” *MobileHCI 2018 - Beyond Mobile: The Next 20 Years - 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, Conference Proceedings*, pp. 1–12, 2018, doi: 10.1145/3229434.3229472.
- [108] D. Simões and S. Cavaco, “An orientation game with 3D spatialized audio for visually impaired children,” in *Proceedings of the 11th Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, 2014, pp. 1–4.
- [109] M. Bujacz *et al.*, “Sound of Vision - Spatial Audio Output and Sonification Approaches,” in *Computers Helping People with Special Needs*, K. Miesenberger, C. Bühler, and P. Penaz, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 202–209.
- [110] S. Baldan, S. Delle Monache, and D. Rocchesso, “The sound design toolkit,” *SoftwareX*, vol. 6, pp. 255–260, 2017.

- [111] S. D. Monache, P. Polotti, and D. Rocchesso, “A toolkit for explorations in sonic interaction design,” in *Proceedings of the 5th audio mostly conference: a conference on interaction with sound*, 2010, pp. 1–7.
- [112] S. Spagnol *et al.*, “Model-based obstacle sonification for the navigation of visually impaired persons,” in *Proceedings of the 19th International Conference Digital Audio Effects (DAFx-16), Brno, Czech Republic*, 2016, pp. 5–9.
- [113] F. Avanzini and D. Rocchesso, “Controlling material properties in physical models of sounding objects,” in *ICMC*, 2001.
- [114] M. Bujacz, P. Skulimowski, and P. Strumillo, “Naviton—a prototype mobility aid for auditory presentation of three-dimensional scenes to the visually impaired,” *Journal of the Audio Engineering Society*, vol. 60, no. 9, pp. 696–708, 2012.
- [115] F. L. Wightman and D. J. Kistler, “Factors affecting the relative salience of sound localization cues,” *Binaural and spatial hearing in real and virtual environments*, vol. 1, pp. 1–23, 1997.
- [116] S. Shoval, J. Borenstein, and Y. Koren, “Auditory guidance with the navbelt—a computerized travel aid for the blind,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 28, no. 3, pp. 459–467, 1998.
- [117] Steinberg, “Steinberg VST SDK.” https://steinbergmedia.github.io/vst3_dev_portal/pages/index.html (accessed Nov. 27, 2022).
- [118] Juce, “JUCE.” <https://juce.com/> (accessed Nov. 27, 2022).
- [119] Native Instruments, “Native Instruments.” <https://www.native-instruments.com/en/catalog/> (accessed Nov. 27, 2022).
- [120] V. T. Ament, *The Foley grail: The art of performing sound for film, games, and animation*. Routledge, 2014.
- [121] A. A. GRUMPY’S, “Dance Dance Revolution,” 2007.
- [122] D. Rand, R. Kizony, and P. T. L. Weiss, “The Sony PlayStation II EyeToy: low-cost virtual reality for use in rehabilitation,” *Journal of neurologic physical therapy*, vol. 32, no. 4, pp. 155–163, 2008.
- [123] A. D. B. Moldoveanu *et al.*, “Mastering an advanced sensory substitution device for visually impaired through innovative virtual training,” in *IEEE International Conference on Consumer Electronics - Berlin, ICCE-Berlin*, 2017, pp. 120–125. doi: 10.1109/ICCE-Berlin.2017.8210608.
- [124] S. IVAȘCU *et al.*, “VIRTUAL REALITY GAME FOR TRAINING THE VISUALLY IMPAIRED IN SENSORY SUBSTITUTION,” *U.P.B. Scientific Bulletin, Series C*, vol. 84, no. 2, 2022.

- [125] L. Zattra, N. Misdariis, F. Pecquet, N. Donin, and D. Fierro, “Analysis of Sound Design Practices [ASDP]. Research methodology,” in *Machine sounds, Sound machines - Proceedings of the XXII CIM Colloquium on Music Informatics*, 2018, pp. 168–175.
- [126] S. Delle Monache, D. Rocchesso, F. Bevilacqua, G. Lemaitre, S. Baldan, and A. Cera, “Embodied sound design,” *International Journal of Human Computer Studies*, vol. 118, pp. 47–59, 2018, doi: 10.1016/j.ijhcs.2018.05.007.
- [127] Y. Nan, E. Skoe, T. Nicol, and N. Kraus, “Auditory brainstem’s sensitivity to human voices,” *International Journal of Psychophysiology*, vol. 95, no. 3, pp. 333–337, 2015, doi: 10.1016/j.ijpsycho.2014.12.013.
- [128] H. Spöndlin and A. Schrott, “Analysis of the human auditory nerve,” *Hear Res*, vol. 43, no. 1, pp. 25–38, 1989, doi: 10.1016/0378-5955(89)90056-7.
- [129] L. Riecke *et al.*, “Frequency-specific attentional modulation in human primary auditory cortex and midbrain,” *Neuroimage*, vol. 174, pp. 274–287, 2018, doi: 10.1016/j.neuroimage.2018.03.038.
- [130] Y. S. Sininger, C. Abdala, and B. Cone-Wesson, “Auditory threshold sensitivity of the human neonate as measured by the auditory brainstem response,” *Hear Res*, vol. 104, no. 1–2, pp. 27–38, 1997, doi: 10.1016/S0378-5955(96)00178-5.
- [131] S. Ivascu, F. Moldoveanu, A. Moldoveanu, A. Morar, A.-M. Tugulea, and V. Asavei, “Flying a Quadcopter—An Audio Entertainment and Training Game for the Visually Impaired,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 11, p. 6769, Jun. 2023, doi: 10.3390/app13116769.
- [132] Thatgamecompany, “Journey,” 2012. <https://thatgamecompany.com/journey/> (accessed Nov. 27, 2022).
- [133] G. Presti *et al.*, “Iterative Design of Sonification Techniques to Support People with Visual Impairments in Obstacle Avoidance,” *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)*, vol. 14, no. 4, pp. 1–27, 2021.
- [134] O. Balan, A. Moldoveanu, and F. Moldoveanu, “Navigational audio games: an effective approach toward improving spatial contextual learning for blind people,” *International Journal on Disability and Human Development*, vol. 14, no. 2, pp. 109–118, 2015.
- [135] Ableton AG, “Ableton Live.” <https://www.ableton.com/en/live/> (accessed Nov. 27, 2022).
- [136] “Audacity.” <https://www.audacityteam.org/> (accessed Nov. 27, 2022).
- [137] S. Ivascu, A. Moldoveanu, F. Moldoveanu, A. Morar, and O. Balan, “Virtual Interaction for Visually Impaired and Sighted People.,” *eLearning & Software for Education*, vol. 1, 2019.

- [138] A. Prazaru, O. Balan, A. Moldoveanu, F. Moldoveanu, A. Morar, and S. Ivascu, “Overview on visually impaired gamers and game accessibility,” in *EDULEARN20 Proceedings*, 2020, pp. 5491–5501.

Acronime

ADSR	Attack Delay Sustain Release
AM	Amplitude Modulation
AO	Access Overlay
ATCT	Average Time to Collect Target
AVSS	Audio Visual Sensory Substitution
BPF	Band-Pass Filter
CSV	Comma-Separated Values
DAW	Digital Audio Workstation
ENV	Envelope
EQ	Equalizer
FM	Frequency Modulation
HPF	High-Pass Filter
HRTF	Head Related Transfer Function
IMU	Inertial Measurement Unit
IOS	Iphone Operating System
LFO	Low Frequency Oscillator
LPF	Low-Pass Filter
MIDI	Musical Instrument Digital Interface
O&M	Orientation and Mobility
PCB	Printed Circuit Board
RES	Resonance
SC	Side Chain
SDK	Software development kit
SDT	Sound Design Toolkit
SNR	Signal to Noise Ratio
SoV	Sound of Vision
TVSS	Tactile Visual Sensory Subtitution
VIP	Visually Impaired Person
VO	Voice Over
VR	Virtual Reality
VST	Virtual Studio Technology
VTE	Virtual Training Environment

Anexe

Anexa 1 – Chestionar selectie utilizatori (inainte de joc)

Care este experiența dumneavoastră cu tehnologia în viața de zi cu zi? *

- Foarte puțin experimentat
- Puțin experimentat
- Nivel mediu
- Experimentat
- Foarte experimentat

Cât de des folosiți telefonul mobil? *

- Foarte rar
- Rar
- Uneori
- Des
- Foarte des

Cât de des folosiți calculatorul personal (Desktop/laptop) *

- Foarte rar
- Rar
- Uneori
- Des
- Foarte des

Cât de des folosiți aplicații de navigare pe telefonul mobil? (Google Maps, Waze sau altele) *

- Foarte rar
- Rar
- Uneori
- Des
- Foarte des

Care este experiența dumneavoastră cu jocurile video? *

- Foarte puțin experimentat
- Puțin experimentat
- Nivel mediu
- Experimentat
- Foarte experimentat

Cât de des vă jucați pe telefon? *

- Foarte rar
- Rar
- Uneori
- Des
- Foarte des

Cât de des vă jucați pe calculator? *

- Foarte rar
- Rar
- Uneori
- Des
- Foarte des

Ce dispozitiv considerați că folosiți mai des? *

- Telefonul
- Calculatorul

Ce gen de joc preferați să jucați pe telefon? (Opțional)

- Hyper casual
- Bazate pe poveste
- Idle games
- Battle royale
- Racing

Ce gen de joc preferați să jucați pe calculator? (Opțional)

- Strategie
- Bazate pe poveste
- RPG
- Shooter
- Racing

Anexa 2 – Chestionar Joc de orientare și mobilitate bazat pe stimuli audio

1. Utilizator *

Mark only one oval.

1

2

3

Feedback sunete

2. Sunetele vi s-au părut deranjante? *

Mark only one oval.

Foarte puțin

Puțin

Nici, nici

Deranjante

Foarte deranjante

3. Ați considerat utile sunetele din aplicație? *

Mark only one oval.

Foarte puțin utile

Puțin utile

Nici, nici

Utile

Foarte utile

4. Ce observații sau schimbări ați aduce sunetelor? (Opțional)

Feedback stimuli haptici (Vibrații)

5. Ați considerat utili stimulii haptici (vibrațiile)? *

Mark only one oval.

- Foarte puțin utili
- Puțin utili
- Nici, nici
- Utili
- Foarte utili

6. V-ați putea orienta fără ajutorul stimulilor haptici? *

Mark only one oval.

- Da
- Nu

7. Ce observații sau schimbări ați aduce stimulilor haptici? (Opțional)

Feedback orientarea rotind capul (Doar pentru aplicatia pe telefonul mobil)

8. Ați rotit capul pentru a vă orienta?

Mark only one oval.

- Da
- Nu

9. Puteți folosi aplicația fără a roti capul?

Mark only one oval.

Da

Nu

Feedback modalități de a controla vehiculul

10. Cât de des ați folosit frâna *

Mark only one oval.

Foarte rar

Rar

Nici, nici

Des

Foarte des

11. Cât de des ați modificat altitudinea? *

Mark only one oval.

Foarte rar

Rar

Nici, nici

Des

Foarte des

12. Considerați util acest mod de a controla vehiculul? *

Mark only one oval.

Foarte puțin util

Puțin util

Nici, nici

Util

Foarte util

13. Ați modifica modalitatea de control a vehiculului? Dacă da, în ce mod? *

Feedback sonificare

14. Considerați util modelul de sonificare? *

Mark only one oval.

- Foarte puțin util
- Puțin util
- Nici, nici
- Util
- Foarte util

15. Ce schimbări ați aduce modelului de sonificare? (opțional)

Feedback Dificultate

16. Care considerați că este nivelul de dificultate pentru scenele de antrenament? *

Mark only one oval.

- Foarte dificil
- Puțin dificil
- Nici, nici
- Ușoare
- Foarte ușoare

17. Care considerați că este nivelul de dificultate pentru scenele de test? *

Mark only one oval.

- Foarte dificil
- Puțin dificil
- Nici, nici
- Ușoare
- Foarte ușoare

18. Ați aduce schimbări de dificultate pentru scenele de antrenament? *

Mark only one oval.

- Da
- Nu

19. Ați aduce schimbări de dificultate pentru scenele de test? *

Mark only one oval.

- Da
- Nu

20. Ce schimbări legate de dificultate ați aduce nivelelor?

Anexa 3 – Chestionar Joc colaborativ de divertisment pentru nevăzători – Teste utilizatori legați la ochi

1. User *

Mark only one oval.

1

2

3

Feedback sunete

2. Sunetele vi s-au părut deranjante? *

Mark only one oval.

Foarte puțin

Puțin

Nici, nici

Deranjante

Foarte deranjante

3. Ați considerat utile sunetele din aplicație? *

Mark only one oval.

Foarte puțin utile

Puțin utile

Nici, nici

Utile

Foarte utile

4. Ce observații sau schimbări ați aduce sunetelor? (Opțional)

Feedback stimuli haptici (Vibrații)

5. Ați considerat utili stimulii haptici (vibrațiile)? *

Mark only one oval.

Foarte puțin utili

Puțin utili

Nici, nici

Utili

Foarte utili

6. V-ați putea orienta fără ajutorul stimulilor haptici? *

Mark only one oval.

Da

Nu

7. Ce observații sau schimbări ați aduce stimulilor haptici? (Opțional)

Feedback orientarea rotind capul (Doar pentru aplicatia pe telefonul mobil)

8. Ați rotit capul pentru a vă orienta?

Mark only one oval.

Da

Nu

9. Puteți folosi aplicația fără a roti capul?

Mark only one oval.

Da

Nu

Feedback modalități de a controla vehiculul

10. Cât de des ați folosit frâna *

Mark only one oval.

Foarte rar

Rar

Nici, nici

Des

Foarte des

11. Cât de des ați modificat altitudinea? *

Mark only one oval.

Foarte rar

Rar

Nici, nici

Des

Foarte des

12. Considerați util acest mod de a controla vehiculul? *

Mark only one oval.

Foarte puțin util

Puțin util

Nici, nici

Util

Foarte util

13. Ați modifica modalitatea de control a vehiculului? Dacă da, în ce mod? *

Feedback sonificare

14. Considerați util modelul de sonificare? *

Mark only one oval.

- Foarte puțin util
- Puțin util
- Nici, nici
- Util
- Foarte util

15. Ce schimbări ați aduce modelului de sonificare? (opțional)

Feedback Dificultate

16. Care considerați că este nivelul de dificultate pentru scenele de antrenament? *

Mark only one oval.

- Foarte dificil
- Puțin dificil
- Nici, nici
- Ușoare
- Foarte ușoare

17. Care considerați că este nivelul de dificultate pentru scenele de test? *

Mark only one oval.

- Foarte dificil
- Puțin dificil
- Nici, nici
- Ușoare
- Foarte ușoare

18. Ați aduce schimbări de dificultate pentru scenele de antrenament? *

Mark only one oval.

- Da
- Nu

19. Ați aduce schimbări de dificultate pentru scenele de test? *

Mark only one oval.

- Da
- Nu

20. Ce schimbări legate de dificultate ați aduce nivelelor?

Anexa 4 – Chestionar Joc colaborativ de divertisment pentru nevăzători – Teste nevăzător

1. User *

Mark only one oval.

- 1
- 2
- 3
- 4

Feedback sunete

2. Sunetele vi s-au părut deranjante? *

Mark only one oval.

- Foarte puțin
- Puțin
- Nici, nici
- Deranjante
- Foarte deranjante

3. Vi s-a părut deranjant sunetul de coliziune? *

Mark only one oval.

- Foarte puțin
- Puțin
- Nici, nici
- Deranjante
- Foarte deranjante

4. Ați considerat utile sunetele din aplicație? *

Mark only one oval.

- Foarte puțin utile
- Puțin utile
- Nici, nici
- Util
- Foarte util

5. Ce observații sau schimbări ați aduce sunetelor? (Opțional)

Feedback stimuli haptici (Vibrații)

6. Ați considerat utili stimuli haptici (vibrațiile)? *

Mark only one oval.

- Foarte puțin utili
- Puțin utili
- Nici, nici
- Utili
- Foarte utili

7. V-ați putea orienta fără ajutorul stimulilor haptici? *

Mark only one oval.

- Da
- Nu

8. Ce observații sau schimbări ați aduce stimulilor haptici? (Opțional)

Feedback orientarea rotind capul (Doar pentru aplicatia pe telefonul mobil)

9. Ati rotit capul pentru a vă orienta?

Mark only one oval.

Da

Nu

10. Puteți folosi aplicația fără a roti capul?

Mark only one oval.

Da

Nu

Feedback modalități de a controla vehiculul

11. Cât de des ați folosit frâna *

Mark only one oval.

Foarte rar

Rar

Nici, nici

Des

Foarte des

12. Cat de des ati modificat altitudinea? *

Mark only one oval.

Foarte rar

Rar

Nici, nici

Des

Foarte des

13. Considerați util modul de control al altitudinii și rotației (modificarea azimutului, * joystickul din partea stângă)?

Mark only one oval.

- Foarte puțin util
 Puțin util
 Nici, nici
 Util
 Foarte util

14. Considerați util modul de control al deplasării (modificarea poziției în plan orizontal, joystickul din partea dreaptă)? *

Mark only one oval.

- Foarte puțin util
 Puțin util
 Nici, nici
 Util
 Foarte util

15. Considerați util acest mod de a controla vehiculul? *

Mark only one oval.

- Foarte puțin util
 Puțin util
 Nici, nici
 Util
 Foarte util

16. Ați modifica modalitatea de control a vehiculului? Dacă da, în ce mod? *

Feedback sonificare

17. Ați folosit modul de ascultare ținând frâna apăsată? *

Mark only one oval.

- Foarte rar
- Rar
- Nici nici
- Des
- Foarte des

18. Considerați util modelul de sonificare al distanței față de obstacol? *

Mark only one oval.

- Foarte puțin util
- Puțin util
- Nici, nici
- Util
- Foarte util

19. Considerați util modelul de sonificare al altitudinii față de obiectiv? *

Mark only one oval.

- Foarte puțin util
- Puțin util
- Nici, nici
- Util
- Foarte util

20. Considerați util sunetul de localizare al obiectivului, cel care oferă direcția spre obiectiv? *

Mark only one oval.

- Foarte puțin util
- Puțin util
- Nici, nici
- Util
- Foarte util

21. Considerați util modelul de sonificare? *

Mark only one oval.

- Foarte puțin util
- Puțin util
- Nici, nici
- Util
- Foarte util

22. Considerați utilă spațializarea obiectivelor? *

Mark only one oval.

- Foarte puțin utilă
- Puțin utilă
- Nici, nici
- Utilă
- Foarte utilă

23. Ce schimbări ați aduce modelului de sonificare? (opțional)

Feedback Dificultate

24. Care considerați că este nivelul de dificultate pentru scenele de antrenament? *

Mark only one oval.

- Foarte dificil
- Puțin dificil
- Nici, nici
- Ușoare
- Foarte ușoare

25. Care considerați că este nivelul de dificultate pentru scenele de test? *

Mark only one oval.

- Foarte dificil
- Puțin dificil
- Nici, nici
- Ușoare
- Foarte ușoare

26. Ați aduce schimbări de dificultate pentru scenele de antrenament? *

Mark only one oval.

- Da
- Nu

27. Ați aduce schimbări de dificultate pentru scenele de test? *

Mark only one oval.

- Da
- Nu

28. Ce schimbări legate de dificultate ați aduce nivelelor?
