
VR FREIFELD

Project Work

Saarland University of Applied Sciences
Faculty of Engineering

Submitted by : Dominik Limbach

Matriculation Number : 3662306

Course of Study : Biomedical Engineering

First Supervisor : Prof. Dr. Dr. Daniel J. Strauss

Second Supervisor : Dr. Lars Haab

Homburg, December 6, 2017

Copyright © 2017 Dominik Limbach, some rights reserved.

Permission is hereby granted, free of charge, to anyone obtaining a copy of this material, to freely copy and/or redistribute unchanged copies of this material according to the conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives License 4.0 International. Any form of commercial use of this material - excerpt use in particular - requires the prior written consent of the author.



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Declaration

I hereby declare that I have authored this work independently, that I have not used other than the declared sources and resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources. This work has neither been submitted to any audit institution nor been published in its current form.

Saarbrücken, December 6, 2017

Dominik Limbach

Contents

Declaration	3
1 Introduction	5
2 Problem Analysis and Goals	6
3 Materials and Methods	7
3.1 Versuchsaufbau	7
3.2 Versuchsablauf	10
3.2.1 Vorbereitung Proband/in	10
3.2.2 Ablauf	10
3.3 Code	11
3.3.1 Matlab	11
3.3.2 Unity	14
4 Discussion	20
5 Conclusions and Future Work	21
List of Figures	22
Bibliography	23

1 Introduction

Der Präzedenzeffekt beschreibt die räumliche Zuordnung einer Schallquelle anhand der ersten Wellenfront die das Ohr erreicht. Dabei werden alle Folgeereignisse, die in einem gewissen Zeitbereich nach der ersten eintreffen ebenfalls der selben Richtung zugeordnet. Der Effekt tritt dann auf wenn zwei gleiche Schallereignisse mit einer Verzögerungszeit von 2-30 ms am Ohr ankommen und ist zudem abhängig vom Pegel der Folgeereignisse.¹² Solche Folgeereignisse sind zum großen Teil Reflexionen, die von den Wänden des Raumes zurückgeworfen werden. Reflexionen, die das Ohr nach einer zu langen Verzögerungszeit erreichen werden als Echo oder separates Schallereignis wahrgenommen. Aus diesem Grund werden akustische Messungen nicht selten im Freifeld durchgeführt. Um diese Bedingungen zu realisieren bedarf es einer umfangreichen Schallisolation des Messraums. Dieser Umstand sorgt für zusätzliche Kosten und zu einer Beschränkung des Versuchsaufbaus. Die virtuelle Realität bietet eine kostengünstige Möglichkeit verschiedenste Messbedingungen zu simulieren und damit wissenschaftliche Experimente durchzuführen. Wie sich nun eine Freifeld-Umgebung zur Durchführung von akustischen Messungen in der virtuellen Realität realisieren lässt ist Thema dieser Projektarbeit.

¹siehe [1],S.140ff

²siehe [2],S.103ff

2 Problem Analysis and Goals

Bei akustischen Experimenten unter Freifeldbedingungen erfolgt die Präsentation der akustischen Signale in der Regel über Lautsprecher. Das Signal wird von der Versuchsperson entsprechend der Position des Lautsprechers im Raum wahrgenommen. Im virtuellen Setup werden die akustischen Signale von einer virtuellen Quelle erzeugt, deren Position im virtuellen Raum der des realen Lautsprechers entspricht. Die Wiedergabe erfolgt jedoch über einen Kopfhörer. Generell scheint ein Ton, der von einem Lautsprecher erzeugt wird, seinen Ursprung im Kopf zu haben. Nichts desto Trotz lässt sich durch Erzeugung eines virtuellen akustischen Raumes eine räumliche Lokalisation ermöglichen¹.

¹siehe [3]

3 Materials and Methods

3.1 Versuchsaufbau

Die Grundlage des Versuchsaufbaus ist der virtuelle Raum in dem sich die Versuchsperson während der Durchführung aufhalten wird. Der Raum wurde mit Unity 5.6 von der Firma Unity Technologies erstellt. Der Raum ist ein Würfel mit drei Metern Kantenlänge und einer Wandstärke von einem Zentimeter. Sämtliche Raumbooberflächen besitzen den Standard Cube Mesh und einen Neutralen grauen Farbton. Die Umgebung wird mittels vier identischer Lichtquellen beleuchtet. Diese sind vom Typ Spotlight und sind mit einem Winkel von plus neunzig Grad zu der Decke auf den Boden gerichtet. Um eine ausgeglichene Beleuchtung, ohne Überstrahlung, an den Kanten des Raumes zu gewährleisten befinden sich die Lichtquellen in einem Abstand von zwei Metern oberhalb der Raumdecke und ihre Intensität wurde auf achtzig Prozent eingestellt. Für den Benutzer werden die Lichtquellen durch vier Deckenlampen dargestellt.

Die Gestaltung wurde bewusst schlicht gehalten, da die Realitätsnähe nicht im Fokus des Experimentes lag.

Darüber hinaus enthält der virtuelle Raum das Setup für den Freifeldversuch. Es besteht aus vier virtuellen Lautsprechern, einem virtuellen Mikrofon, einem visuellen Hinweis und einer zentralen Markierung für den Probanden auf dem Boden.

Die Audioquellen, wurden in Form spezieller Game Objects innerhalb der Unity Umgebung implementiert. Diese heißen Audio Source und sind in der Lage einen beliebigen Audio Clip wiederzugeben¹. Um die Position jeder Audio Source im Raum erkennen zu können wurden sie jeweils mit dem 3D-Modell eines Lautsprechers verknüpft. Jeder dieser virtuellen Lautsprecher wurde auf einem kleinen Podest positioniert. Die vier Audioquellen befinden sich auf einer Kreisbahn um die Probanden Markierung mit einem Radius von zwei Metern.

Die Positionen der vier Quellen sind wie folgt:

- Links Lateral: -90°
- Links Frontal: -30°
- Rechts Frontal: $+30^\circ$

¹siehe [4]

- Rechts Lateral: $+90^\circ$

Der Abstand der virtuellen Lautsprecher zum Boden beträgt 1,20 Meter.

Die Audioquellen sind mithilfe des audio spatializer plugin, welches direkt in Unity implementiert ist, in der Lage die Wiedergabe des Audio Clip so zu beeinflussen, dass dieser seiner Position im virtuellen Raum entsprechend wahrgenommen werden kann. Die Aktivierung dieser Funktion erfolgt über den Unity Audio Manager².

Dieser muss wie folgt konfiguriert werden:

- Default Speaker Mode: Stereo
- System Sample Rate: 48000 Hz
- Spatializer Plugin: MS HRTF Spatializer

Die restlichen Einstellmöglichkeiten verbleiben auf den Standardwerten.

Darüber hinaus muss jede der erstellten Audioquellen entsprechend konfiguriert werden.

- Spatialize: On
- Volume: 1
- Stereo Pan: 0
- Spatial Blend: 1
- Spread: 0

Unity bietet dem Nutzer an dieser Stelle mit der Volume Rolloff Einstellung die Möglichkeit jede der oben genannten Parameter innerhalb des Einflussbereichs der Audioquelle, abhängig von der Entfernung des Hörers zur Quelle, zu beeinflussen.

Im Rahmen dieses Aufbaus wurde ein Custom Rolloff gewählt, welcher zu einer Dämpfung des Signals innerhalb eines Radius von acht Metern um die Quelle führt. Dies kann dem Probanden während des Versuch zusätzliche Informationen über seine Entfernung zu der jeweiligen Quelle geben. Die restlichen, der oben genannten Parameter, bleiben innerhalb des gesamten Einflussbereichs der Quelle unverändert.

Der von den Audioquellen abgespielte Audio Clip wird von einem virtuellen Mikrophon aufgezeichnet. Dieses Mikrophon ist in Form des Audio Listeners in der Unity Engine implementiert und ist nicht konfigurierbar. Er wurde als eine Komponente des Kopfkamera, der sogenannten camera(ears), angelegt. Somit wird jede Ausgabe der Audioquellen aus der Sicht des Trägers der VR-Brille wahrgenommen.

Der visuelle Hinweis wurde in Form eines grünen Pfeils implementiert. Dieser befindet

²siehe [5]

sich an der Wand des virtuellen Raumes, welche sich hinter den Audioquellen befindet. Seine Position entspricht 0° auf der Kreisbahn und sein Abstand zum Boden beträgt 1,20 Meter.

Abschließend wurde das HTC Vive kalibriert, der Untersuchungsraum vermessen und ein Stuhl auf der Markierung platziert.

3.2 Versuchsablauf

3.2.1 Vorbereitung Proband/in

Nachdem der/die Proband/in über den Ablauf informiert wurde wird er/sie angewiesen sich zur Markierung zu begeben und Platz zu nehmen. Anschließend wird ihm/ihr die VR-Brille und Kopfhörer aufgesetzt und entsprechen fixiert.

3.2.2 Ablauf

Zu Beginn des Experiments werden die Untersuchungsparameter durch den Versuchsleiter eingegeben. Über ein Matlab Programm, welches auch die Eingabe verwaltet, wird das Wiedergabeprotokoll erstellt, die Untersuchungsdaten gespeichert und an Unity übergeben. Das Wiedergabeprotokoll wird entsprechend der eingegebenen Parameter automatisch erstellt. Für jedes wiederzugebende Signal wird eine zufällige Quelle zur Wiedergabe bestimmt.

Sobald das Protokoll erstellt und an Unity gesendet worden ist kann das Experiment gestartet werden.

Während des Experiments wird der Versuchsperson eine Folge von akustischen Signalen präsentiert. Der/Die Proband/in wird angewiesen nach jeder Signalwiedergabe die Richtung aus der das Signal wahrgenommen wurde anzugeben. Nachdem das Programm gestartet wurde wird der ausgewählte Audio Clip in einem fünf Sekunden Intervall von jeweils einer der vier Audioquellen wiedergegeben. Zu jeder Wiedergabe wird der Versuchsperson ein visueller Hinweis in Form einer Richtungsangabe durch einen grünen Pfeil in ihrem Sichtfeld dargeboten. Das Programm ist beendet, wenn die gewünschte Signalanzahl erreicht wurde.

3.3 Code

3.3.1 Matlab

```
1 % filename: freifeld.m
2 % Saarland University of Applied Sciences
3 % author: Dominik Limbach
4 % date: 01.11.2017
5 %
6 % description: program that reads the connection information
   from the target
7 %               pc, establishes a tcp/ip connection, requests
8 %               input (user data,exam parameter), creates a
   exam protokoll
9 %               and then saves the data before sending it to
   the
10 %               destination
11
12 clc;
13 clear;
14
15 % acquire connection information
16 txt = textread('configFF.txt','%s','delimiter','\n');
17 ipAdress = txt{1,1};
18 portNumber = str2num(['uint32(',txt{2,1},')']);
19
20 % create tcp object, set Port,assign Networkrole Client
21 tcpIpClient = tcpip(ipAdress,portNumber,'NetworkRole','Client')
   ;
22
23
24 % input messages
25 lastname_prompt = 'Enter a last name. \n';
26 name_prompt = 'Enter a name. \n';
27 birthdate_prompt = 'Enter a birth date. (DD.MM:YYYY) \n';
28 examdate_prompt = 'Enter a date. (DD.MM:YYYY) \n';
29 arrow_prompt = 'Do you want the signal position and the sign
   position to match? (yes = true , no = false)\n';
30 signal_prompt = 'How many repetitions would you like to run?
   Please enter integer value.\n';
31 Error_prompt = 'Wrong input.Please enter a value of the correct
   type.\n';
32
```

```

33 % number of available Speakerpositions
34 speakerPositions = 4;
35
36 % input: user information
37 last_name = input(lastname_prompt, 's');
38 name = input(name_prompt, 's');
39 date_birth = input(birthdate_prompt, 's');
40 date_exam = input(examdate_prompt, 's');
41
42 % break variable for the input check
43 ok = false;
44
45 while ok == false
46 % linked is the variable which defines the paradigm
47 % linked = true => audio position and sign position match
48 % linked = false => audio position and sign position dont match
49 linked = input(arrow_prompt);
50 if isa(linked, 'logical') == true
51     ok = true;
52 else
53     disp(Error_prompt)
54     disp(' ')
55     ok = false;
56 end
57 end
58
59 % break variable for the input check
60 ok = false;
61
62 while ok == false
63 % number of Signals per Set
64 numberSignals = input(signal_prompt);
65 if isa(numberSignals, 'numeric') && (numberSignals >= 1) == true
66     ok = true;
67 else
68     disp(Error_prompt)
69     disp(' ')
70     ok = false;
71 end
72 end
73
74 % initialize position arrays
75 arrowPosition = zeros(1, numberSignals);
76 audioPosition = zeros(1, numberSignals);

```

```

77 counter = 1;
78
79 while counter <= numberSignals
80
81 if linked == true
82     audioPosition(1,counter) = randi([0,(speakerPositions-1)
83         ],1,1);
84     arrowPosition(1,counter) = audioPosition(1,counter);
85     counter = counter+1;
86 else
87     audioPosition(1,counter) = randi([0,(speakerPositions-1)
88         ],1,1);
89     arrowPosition(1,counter) = randi([0,(speakerPositions-1)
90         ],1,1);
91     counter = counter+1;
92 end
93 end
94
95 %save user_file
96 filename = 'auditoryExam.mat';
97 save(filename, 'last_name', 'name', 'date_birth', 'date_exam', '
98     numberSignals', ...
99     'linked', 'audioPosition', 'signPosition');
100
101 % prepare data to send
102 data = [numberSignals ,audioPosition ,arrowPosition];
103 % open tcp object, send to target and close tcp object
104 fopen(tcpIpClient);
105 fwrite(tcpIpClient,data)
106 fclose(tcpIpClient);
107 % end of program

```

3.3.2 Unity

```
1 // filename: UnityServer.cs
2 // Saarland University of Applied Sciences
3 // author: Dominik Limbach
4 // date: 01.11.2017
5
6 // description:    the program will read data from the
   stream and store
7 //                crucial information into variables
8
9
10 using System.Collections;
11 using System.Collections.Generic;
12 using System.IO;
13 using System.Net.Sockets;
14 using System.Net.NetworkInformation;
15 using UnityEngine;
16 using System.Net;
17 using System;
18
19 public class UnityServer : MonoBehaviour
20 {
21     // Use this for initialization
22     TcpListener listener;
23     String msg;
24     // determines data size
25     byte[] data = new Byte[256];
26     // intialize exam parameter variables
27     public int numberSignals;
28     public Int32[] audioPositions;
29     public Int32[] arrowPositions;
30
31     private void Awake()
32     {
33         numberSignals = 5;
34         audioPositions = new Int32[numberSignals];
35         arrowPositions = new Int32[numberSignals];
36     }
37
38     void Start()
39     {
40         listener = new TcpListener(8633);
41         listener.Start();
```

```

42         print("Server is listening.");
43
44     }
45
46     // Update is called once per frame
47     void Update()
48     {
49         if (!listener.Pending())
50         {
51         }
52         else
53         {
54             print("Data received.");
55             TcpClient client = listener.AcceptTcpClient();
56             NetworkStream stream = client.GetStream();
57             StreamReader reader = new StreamReader(stream);
58             msg = reader.ReadToEnd();
59
60             // Store the received Data in data array
61             data = System.Text.Encoding.ASCII.GetBytes(msg);
62
63             // extract the number of signals per set
64             numberSignals = Convert.ToInt32(data[0]);
65
66             audioPositions = new Int32[numberSignals];
67             arrowPositions = new Int32[numberSignals];
68
69             // extract data from stream
70             for (int i = 0; i < numberSignals; i++)
71             {
72                 // extract the audio positions
73                 audioPositions[i] = Convert.ToInt32(data[i
74                     + 1]);
75                 // extract the arrow positions
76                 arrowPositions[i] = Convert.ToInt32(data[i
77                     + 1 + numberSignals]);
78             }
79         }
80     }

```

```

1  // filename: ArrayControl.cs
2  // Saarland University of Applied Sciences
3  // author: Dominik Limbach
4  // date: 01.11.2017
5
6  // description:    the program controls the activation of
   both arrow and audio sources
7  //                it will gather the protokoll
   information from the UnityServer script
8  //                and execute the protokoll
9
10
11
12 using System;
13 using System.Collections;
14 using System.Collections.Generic;
15 using UnityEngine;
16
17 public class ArrayControl : MonoBehaviour
18 {
19     // Use this for initialization
20     public AudioSource[] audioSource; // The array to
   contain the audiosources
21     public Vector3 arrowRotation; // Vector3 to control the
   arrow rotation
22     public float rotX; // Float variable which determines
   the angle of rotation on the Y-axis
23     public float[] angles; // Array that holds possible
   angles for the arrow rotation
24     public AudioClip sound; // Variable to hold the
   SoundClip
25     public Int32[] arrayAudio; // Array to import the Audio
   Position order in to
26     public Int32[] arrayArrow; // Array to impoert the
   Arrow Position Order in to
27     public int arraySize; // Defines size of arrayAudio and
   arrayArrow according to the imported numberSignals
28     private bool beeingHandled; // Bool for the subroutine
29     public int numberSpeakers; // Number of speakers
   available
30     public GameObject scriptObject; UnityServer
   getAudioPositions, getArrowPositions,
   getNumberSignals; // Variables for imported Variables
31

```



```

32     void Awake()
33     {
34         getAudioPositions =
            scriptObject.GetComponent<UnityServer>();
35         getArrowPositions =
            scriptObject.GetComponent<UnityServer>();
36         getNumberSignals =
            scriptObject.GetComponent<UnityServer>();
37     }
38
39     void Start()
40     {
41         // Load the five audiosources into the audioSource
            array
42         audioSource =
            GetComponentsInChildren<AudioSource>();
43         // Initialize the angles array for arrow positioning
44         angles = new float[5];
45         angles[0] = 90.0f;
46         angles[1] = 45.0f;
47         angles[2] = 0.0f;
48         angles[3] = -45.0f;
49         angles[4] = -90.0f;
50
51         rotX = angles[2];
52         beeingHandled = false;
53
54     }
55     // Update is called once per frame
56     void Update()
57     {
58         arraySize = getNumberSignals.numberSignals;
59         arrayArrow = new Int32[arraySize];
60         arrayAudio = new Int32[arraySize];
61
62         for (int i = 0; i < arraySize; i++)
63         {
64             arrayAudio[i] =
                getAudioPositions.audioPositions[i];
65             arrayArrow[i] =
                getArrowPositions.arrowPositions[i];
66         }
67
68         if (Input.GetKey(KeyCode.Space) && beeingHandled ==

```

```

        false)
69     {
70         StartCoroutine(HandleIt());
71     }
72 }
73
74 private IEnumerator HandleIt()
75 {
76     beeingHandled = true;
77
78     for (int i = 0; i < arraySize; i++)
79     {
80         if (arrayAudio[i] == 0)
81         {
82             if(arrayArrow[i] == arrayAudio[i])
83             {
84                 rotX = angles[0];
85                 print("Audio from L90 , Arrow to L90");
86             }
87             else
88             {
89                 int x = arrayArrow[i];
90                 rotX = angles[x];
91                 print("Audio from L90");
92             }
93             audioSource[0].PlayOneShot(sound);
94         }
95         if (arrayAudio[i] == 1)
96         {
97             if (arrayArrow[i] == arrayAudio[i])
98             {
99                 rotX = angles[1];
100                 print("Audio from L30 , Arrow to L30");
101             }
102             else
103             {
104                 int x = arrayArrow[i];
105                 rotX = angles[x];
106                 print("Audio from L30");
107             }
108             audioSource[1].PlayOneShot(sound);
109         }
110         if (arrayAudio[i] == 2)
111         {

```

```

112         if (arrayArrow[i] == arrayAudio[i])
113         {
114             rotX = angles[3];
115             print("Audio from R30 , Arrow to R30");
116         }
117         else
118         {
119             int x = arrayArrow[i];
120             rotX = angles[x];
121             print("Audio from R30");
122         }
123         audioSource[2].PlayOneShot(sound);
124     }
125     if (arrayAudio[i] == 3)
126     {
127         if (arrayArrow[i] == arrayAudio[i])
128         {
129             rotX = angles[4];
130             print("Audio from R90 , Arrow to R90");
131         }
132         else
133         {
134             int x = arrayArrow[i];
135             rotX = angles[x];
136             print("Audio from R90");
137         }
138         audioSource[3].PlayOneShot(sound);
139     }
140
141     yield return new WaitForSeconds(5.0f);
142 }
143
144 beeingHandled = false;
145 print("Routine finished!");
146 }
147
148
149 }

```

4 Discussion

Da das System nicht an Versuchspersonen getestet wurde lässt sich die Fähigkeit des Systems ,die akustischen Eigenschaften eines Freifeldes zu simulieren, nur subjektiv bewerten. Zwar ist die Leistung ausreichend um eine räumliche Lokalisation der Quellen im virtuellen Raum zu ermöglichen, jedoch ist keine Aussage über deren Präzision möglich. Ein direkter Qualitätsvergleich zwischen VR-Setup und einem Freifeld lässt in diesem Versuchsaufbau nicht durchführen und ist folglich nicht untersucht worden.

Ein entsprechender Vergleich wurde jedoch schon von Griffin D. Romigh, Douglas S. Brungart und Brian D. Simpson durchgeführt ¹. Hier wurde ein Versuchsaufbau verwendet der es ermöglicht die Versuchsperson unter beiden Bedingungen zu testen und somit einen objektiven Vergleich zu ziehen.

Während der Entwicklung wurde das Experiment zusätzlich mit unterschiedlichen Audio-Ausgabegeräten durchgeführt. Dies führte zu Verbesserungen in der räumlichen Wahrnehmung. Die folgenden Varianten sind nach ihrer Qualität in steigender Reihenfolge angeordnet.

1. **HyperX Cloud II:** Kopfhörer, Over-Ear Headset, geschlossen
2. **Audio-Technica ATH-AD900X:** High-Fidelity Kopfhörer, offen
3. **FX Audio DAC-X6:** DAC/AMP , in Kombination mit den oben genannten Kopfhörern

Möglichkeit Nummer drei bietet zwar die beste Qualität aufgrund des höheren Signal-Rausch-Abstandes ($\geq 105dB$), bedarf jedoch zusätzlicher Adapter um das HTC-Vive mit einem DAC zu verbinden. Die beschränkte Länge von gängigen Adaptern(3.5mm Klinke auf USB) hat sich in Kombination mit der hier verwendeten Hardware als problematisch erwiesen. Daher ist ein tragbarer DAC/AMP zu empfehlen.

¹siehe [6]

5 Conclusions and Future Work

Abschließend lässt sich sagen, dass mit einem VR-Setup zwar zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen sind. In der Realität ist es jedoch sehr schwer die Qualität eines konventionellen Aufbaus zu erreichen. Bei der Entscheidung für ein VR-Setup spielen vor allem niedrige Kosten, Ortsungebundenheit und Vielseitigkeit eine tragende Rolle. Bestehen hohe Qualitätsansprüche bezüglich der räumlichen Lokalisation ist nach wie vor Freifeld Setup mit entsprechender Hardware zu bevorzugen.

List of Figures

Bibliography

- [1] A. Friesecke. *Die Audio-Enzyklopädie: Ein Nachschlagewerk für Tontechniker*. De Gruyter Reference. De Gruyter, 2014. ISBN 9783110340181. URL <https://books.google.de/books?id=iqboBQAAQBAJ>.
- [2] S. Weinzierl. *Handbuch der Audiotechnik*. VDI-Buch. Springer Berlin Heidelberg, 2009. ISBN 9783540343011. URL <https://books.google.de/books?id=Lf0mBAAAQBAJ>.
- [3] Zhan H. Zhou and Edward S. Rogers. Sound localization and virtual auditory space.
- [4] Unity user manual (2017.2), 2017. URL <https://docs.unity3d.com/Manual/class-AudioSource.html>.
- [5] Spatial sound in unity, 2017. URL https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/spatial_sound_in_unity.
- [6] Griffin D. Romigh, Douglas S. Brungart, and Brian D. Simpson. Free-field localization performance with a head-tracked virtual auditory display. *IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN SIGNAL PROCESSING*, 2015.