



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Seminar Ausarbeitung

David Hemmer

Mobiles Augmented Reality Audio System

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	2
1.1	Einführung	2
1.2	Ziel der Arbeit	2
2	Vorarbeiten	4
2.1	Bachelorarbeit	4
2.2	Projekt 1	5
2.3	Projekt 2	7
3	Masterarbeit	8
3.1	Entfernungshören	8
3.2	Räumlichkeitseindruck	9
3.3	Zusammenfassung	10
4	Ausblick	11
4.1	Risiken	11
4.2	Ausblick	11
	Abbildungsverzeichnis	12
	Abkürzungsverzeichnis	12
	Literaturverzeichnis	13

1 Einführung

1.1 Einführung

Die virtuelle und erweiterte Realität spielt schon heute in der Industrie und im Heimbereich eine große Rolle in unserem Alltag. Viele dieser Anwendungsbereiche erfordern die Mobilität des Benutzers. Dazu werden immer neue Interaktionsmöglichkeiten mit dem System entwickelt und somit verschimmt die reale Welt noch schneller mit der virtuellen Welt. Heutzutage beschränkt sich die virtuelle und erweiterte Realität noch sehr auf das visuelle Sinnesorgan.

Ein weiteres wichtiges Sinnesorgan des Menschen ist das Gehör. Das menschliche Gehör ist bei jeder Wahrnehmung ganz automatisch beteiligt. Es erlaubt uns viele Informationen über unsere Umgebung unterbewusst wahrzunehmen. Dazu zählen Informationen des Raumes, in dem wir uns befinden, anhand der Raumakustik. Ebenso können wir die Position und Entfernung von Schallquellen bestimmen. Ein entsprechendes Augmented Reality Audio (ARA)¹ System muss die Realität so genau wie möglich nachbilden. Das bedeutet, dass ein solches System die virtuellen Schallquellen in Echtzeit berechnen und in die Realität einbinden muss. Im Bezug auf virtuelle und erweiterte Realitätssysteme darf ein solches System die Mobilität des Benutzers nicht beeinträchtigen.

1.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel meiner Arbeit ist die Entwicklung eines mobilen AR-Audio-Systems über Kopfhörer. Das System soll mittels eines System on Chip (SoC) realisiert werden. Der Vorteil ist die starke Parallelisierbarkeit des Problems. Mittels eines SoCs können eine Vielzahl der benötigten Filter parallel arbeiten.

Das Einsatzgebiet eines solchen Systems ist groß und kann noch nicht komplett überblickt werden. Es könnte zum Beispiel als ein Auditory Display genutzt werden. Damit würde es eine neues Mensch-Maschine Interface geben. Dieses könnte das Vermitteln von Information erleichtern. Einfache Auditory Displays werden heute schon fast überall eingesetzt. Durch das Hinzufügen der Position kann eine neue Ebene der Informationsweitergabe erreicht werden.

¹Abkürzungen sind im Abkürzungsverzeichnis im Anhang erläutert

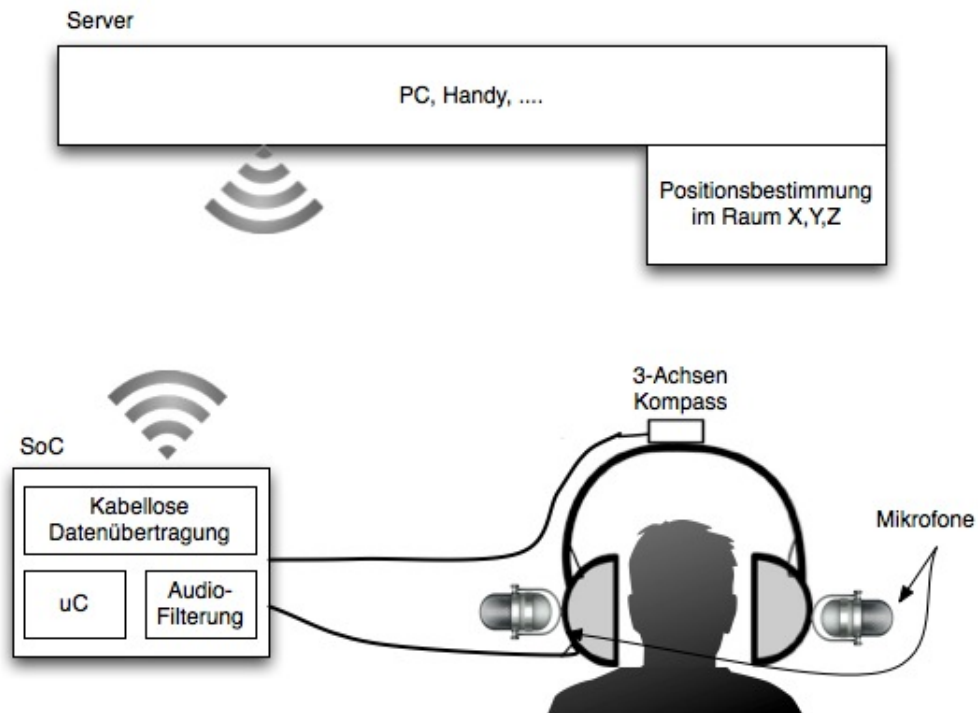


Abbildung 1: Die in AW1 vorgestellte Systemarchitektur

In Abbildung 1 ist die in AW1 vorgestellte Systemarchitektur dargestellt. Die erarbeitenden Ziele aus AW1 [Hem12a] und AW2 [Hem12b] sind:

- Mobilität des Systems
- Mehrere virtuelle Schallquellen
- Entfernungssimulation von Schallquellen
- Raumklang nachbilden
- AR-Ansatz

Im weiteren Verlauf dieser Ausarbeitung wird auf die entsprechenden Ziele eingegangen. Ebenso wird darauf eingegangen, wie diese Ziele erreicht werden sollen und wie das weitere Vorgehen aussieht.

2 Vorarbeiten

In diesem Kapitel werden die Vorarbeiten für meine Masterarbeit vorgestellt. Da es sich bei meiner Arbeit um eine Weiterentwicklung meiner Bachelorarbeit handelt, wird diese kurz vorgestellt. Des Weiteren werden die Engpässe des Systems aufgezeigt, um die Ziele aus AW1 und AW2 zu realisieren.

Das Ziel in Projekt 1 war eine Erweiterung des Bachelor-Systems um eine kabellose Schnittstelle, um die Mobilität des Systems zu gewährleisten. Ebenso wurde eine Informations- und Steuerungssoftware entwickelt.

In Projekt 2 ist das Ziel, dass System so zu erweitern, sodass mehrere virtuelle Audioquellen parallel simuliert werden können.

2.1 Bachelorarbeit

Der Titel meiner Bachelorarbeit war: Eine SoC-Plattform zur kontinuierlichen Interpolation von HRTF-Filtern für positionsveränderliche virtuelle Schallquellen. [Hem11]

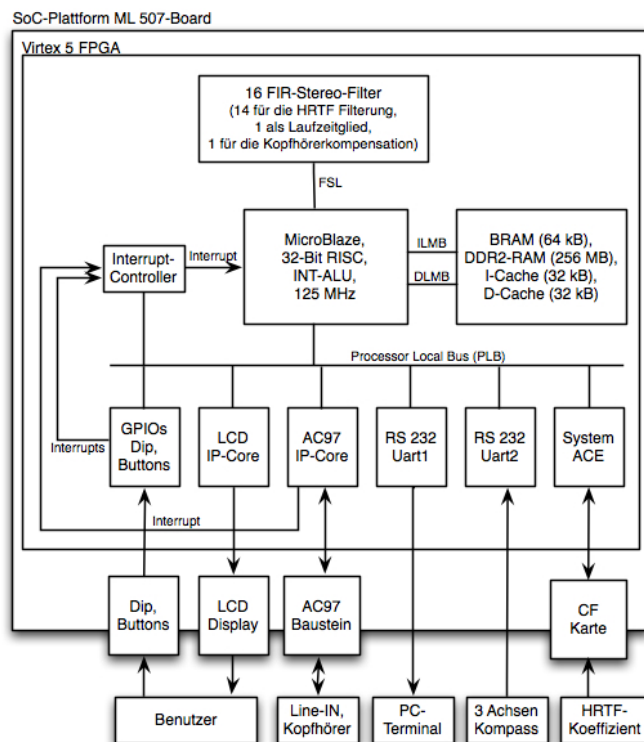


Abbildung 2: SoC-Architektur im Virtex5 FPGA mit MicroBlaze und allen Komponenten

Diese Arbeit befasste sich mit der Entwicklung eines Embedded Systems zur kontinuierlichen Interpolation zwischen HRTF-Filtern in Echtzeit. Durch die Feststellung der Kopfposition eines Zuhörers, relativ zur Position der virtuellen Schallquelle mittels eines 3-Achsen-Kompassensors, wird die Interpolation zwischen den HRTF-Stützstellenfiltern gesteuert. Zur Optimierung der HRTF-Filterung wird die interaurale Laufzeitdifferenz und die interaurale Pegeldifferenz getrennt und separat voneinander verarbeitet. Abbildung 2 zeigt die entwickelte SoC-Plattform.

2.2 Projekt 1

Die Zielsetzungen für Projekt 1 [Hem12c] waren:

- Erweiterung des SoC um eine kabellose Datenübertragungsschnittstelle
- Entwicklung einer Informations- und Steuerungs-Software (Server)

In Abbildung 2 ist die entwickelte SoC-Plattform aus meiner Bachelorarbeit dargestellt. Für die Weiterentwicklung des Systems zu einem mobilen Augmented Audio System muss die SoC-Plattform an mehreren Stellen angepasst werden.

Ein Ziel ist es, die Mobilität des Systems zu gewährleisten. Das entwickelte SoC hat eine Vielzahl von Schnittstellen. So wurden Ausgaben des Systems über eine serielle Schnittstelle an den PC geschickt. Die zu filternden Audiosignale wurden über den Line-IN Eingang des AC97-Bausteins aufgenommen. Eine Kommunikationsschnittstelle vom PC zum SoC war nicht vorhanden.

Als Erstes wurde nach Möglichkeiten einer kabellosen Schnittstelle gesucht. Bei der Auswahl der Schnittstelle musste besonders auf die Anschlussmöglichkeiten an das Entwicklungsboard ML-507 geachtet werden. Es wurde sich für eine Ethernet Schnittstelle entschieden. Diese soll durch ein Ethernet-W-LAN Adapter zu einer mobilen Schnittstelle erweitert werden.

Um die Audioinformation zum System zu bekommen, wurde ein Audiostreaming-Protokoll entwickelt und implementiert. Dieses unterstützt eine Echtzeitverarbeitung der empfangenen Audiostreams. Messungen haben gezeigt, dass bis zu 80 Audiostreams parallel empfangen und zwischengespeichert werden können.

Zum beidseitigen Informationsaustausch wurde sich für das Open Sound Control Protokoll entschieden. Open Sound Control (OSC) ist ein Protokoll zur Kommunikation zwischen Computern, Sound-Synthesizern und anderen Multimediageräten. Das Protokoll ist für den Einsatz in modernen Netzwerken optimiert, sodass einige der Vorteile des Protokolls hohe Kompatibilität, Genauigkeit und Flexibilität sind [OSC]. Durch die Implementierung von

OSC ist ein Datenaustausch in beiden Richtungen möglich.

Zur besseren Interaktion mit dem System wurde als zweiter Schwerpunkt im Projekt 1 eine Informations- und Steuerungs-Software entwickelt. Diese ist in zwei Systeme unterteilt: Zum einen eine grafische Darstellung der Systeminformationen und zum anderen in die Steuerung der virtuellen Schallquelle.

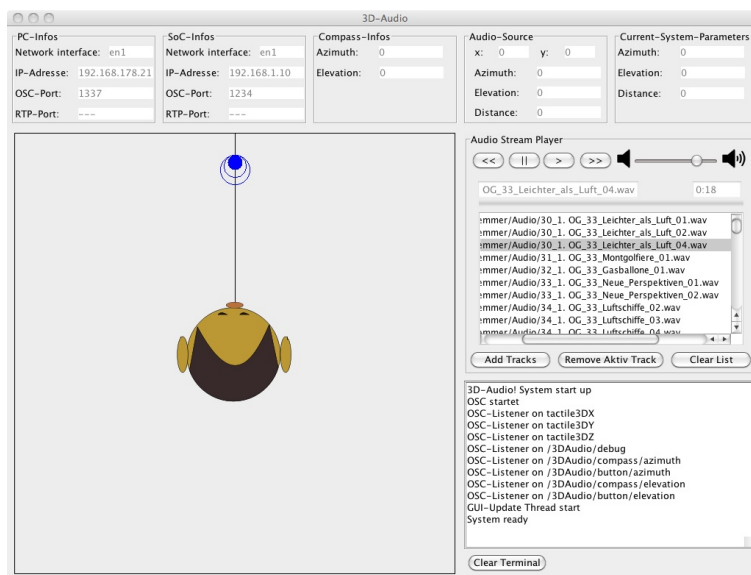


Abbildung 3: GUI der Informations- und Steuerungs-Software

Abbildung 4: MRMR-APP zur Steuerung des Systems

Die in Abbildung 3 dargestellte GUI ist die grafische Darstellung der Systeminformation. In ihr werden alle relevanten Daten des Systems angezeigt. Somit ist eine schnelle Analyse möglich. In Abbildung 4 ist die System-Steuerungs-Software über die "MRMR - OPEN Mobile Touch Protocol"-App fürs iPhone dargestellt [mrm]. Über diese APP lässt sich die Position der virtuellen Schallquelle sowie die Steuerung des Audiostreams steuern.

2.3 Projekt 2

Die zurzeit laufende Projekt 2 Phase hat folgende Ziele:

- Erweiterung des Systems, um mehrere Audioquellen zu verarbeiten
- Entwicklung eines reinen Hardwarebeschleunigers zur Audioverarbeitung
- Personentest zur Ortung mehrerer Audioquellen

Um das Ziel der Verarbeitung mehrere Audioquellen zu erfüllen, gibt es einige Engpässe in dem System aus meiner Bachelorarbeit. In der aktuellen Version arbeitet die Audiofilterung mittels einem Hardware/Software Codesign. Dabei werden alle 16 zur Verfügung stehenden FSL-Schnittstellen benötigt. Um mehrere Audioquellen zu filtern, muss ein reiner Hardwarebeschleuniger entwickelt werden. Dieser soll mittel Matlab/Simulink entwickelt werden. Durch den Einsatz von Matlab/Simulink ist es möglich, auf einer höheren Abstraktions-

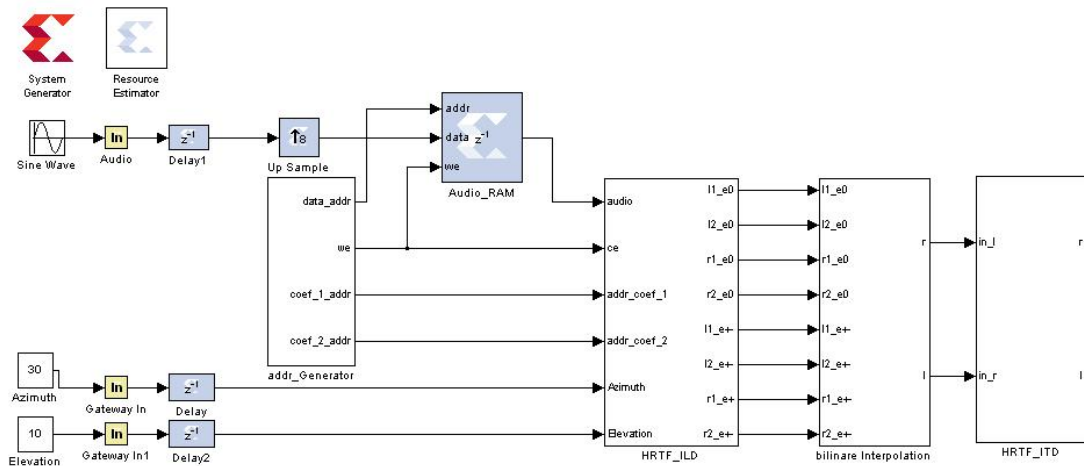


Abbildung 5: Aktuell entwickelter Matlab/Simulink HRTF Filter

ebene zu arbeiten. Das bietet eine deutlich schnellere und einfachere Entwicklungsphase. Es sind kaum noch Kenntnisse über VHDL nötig. Zurzeit ist die Entwicklung einer reinen Hardware-Audioverarbeitung in Bearbeitung. In Abbildung 5 ist der aktuelle Entwicklungsstand des Hardwarebeschleunigers dargestellt. Dieser soll die HW/SW-Audiofilterung ersetzen. Somit wird der Softcore-Microblaze entlastet und übernimmt nur noch Steuerungsaufgaben. Ebenso können nach der Entwicklung mehrere Audioquellen parallel gefiltert werden, indem mehrere der entwickelten Hardwarebeschleuniger in das SoC eingebunden werden.

Nach der Entwicklungsphase soll eine Personentestreihe durchgeführt werden. In dieser soll evaluiert werden, inwieweit es den Testpersonen durch das System ermöglicht wird, die Position von mehreren verschiedenen Schallquellen zu lokalisieren.

3 Masterarbeit

Durch die Vorarbeiten in Projekt 1 und Projekt 2 wurden eine Vielzahl von Zielen aus AW1 und AW2 erfüllt. Für die Mastarbeit bleiben noch folgende Ziele:

- Entfernungssimulation von Schallquellen
- Raumklang
- AR-Ansatz

Als Schwerpunkt meiner Masterarbeit will ich mich mit der Entfernungssimulation von Schallquellen und das Nachbilden von Raumklang beschäftigen. Im Abschnitt 3.1 werden die Grundlagen des Entfernungshörens vorgestellt. Kapitel 3.2 gibt einen kurzen Einblick in das Themengebiet des Raumklangs.

3.1 Entfernungshören

Als Entfernungshören bezeichnet man die abschätzende Bestimmung der Entfernung einer Schallquelle zum Hörenden. Im Vergleich zum Entfernungssehen kann das menschliche Gehör nur sehr grob die Entfernung zu einer Schallquelle bestimmen. Beim Entfernungshören zieht der Mensch deshalb den Vergleich zu erlebten Reizmustern.

Dazu unterscheiden wir Menschen beim Entfernungshören mehrere Entfernungsbereiche, die sich wie folgt unterscheiden: [BB08]

geringe Schallquellenentfernungen, kleiner 25 cm

- Nähert sich die Schallquelle einem Ohr, so steigt unter anderem die interaurale Pegeldifferenz wegen der Schirmwirkung des Kopfes
- Weiterhin erhöht sich der Signalpegel mit der Annäherung der Schallquelle

mittlere Schallquellenentfernungen, zwischen 25 cm und 15 m

- Der Signalpegel ändert sich mit der Entfernung
- Das Intensitätsverhältnis vom Direktschall zu reflektiertem Schall wird ausgewertet (Nachhallsignale)

große Schallquellenentfernungen, größer 15 m

- Auf dem Ausbreitungswege ergibt sich eine frequenzabhängige Zusatzdämpfung, die mit steigender Frequenz ansteigt

- Der menschliche akustische Horizont liegt bei 15 m. Aufgrund von Erfahrungswerten und visuellen Eindrücken schließen wir auf größere Entfernungen

In der Literatur zeigt sich, dass das Entfernungshören nicht einfach zu beschreiben ist. Es gibt viele Faktoren, die eine wichtige Rolle spielen. Die hier angegebenen Merkmale wie Lautheit, Interaurale Pegeldifferenzen, Spektrale Verteilung und die Auswertung von Direktschall zu reflektiertem Schall sind nur einige, welche das menschliche Gehirn auswertet.

3.2 Räumlichkeitseindruck

Um einen Räumlichkeitseindruck des Raumes zu erhalten, nutzt das menschliche Gehirn ebenfalls eine Vielzahl von Informationen. Das wohl wichtigste Merkmal, welches aus den Informationen des Raumes entnommen wird, ist die Anfangszeitlücke (englisch: Initial Time Delay Gap (ITDG)). Es handelt sich dabei um die Zeitdifferenz zwischen dem Eintreffen des Direktschalls und der ersten schallstarken Reflexion. Die Abbildung 6 zeigt vier Szenarien, wie sich die Anfangszeitlücke in verschiedenen Räumen und Entfernungen verhält.

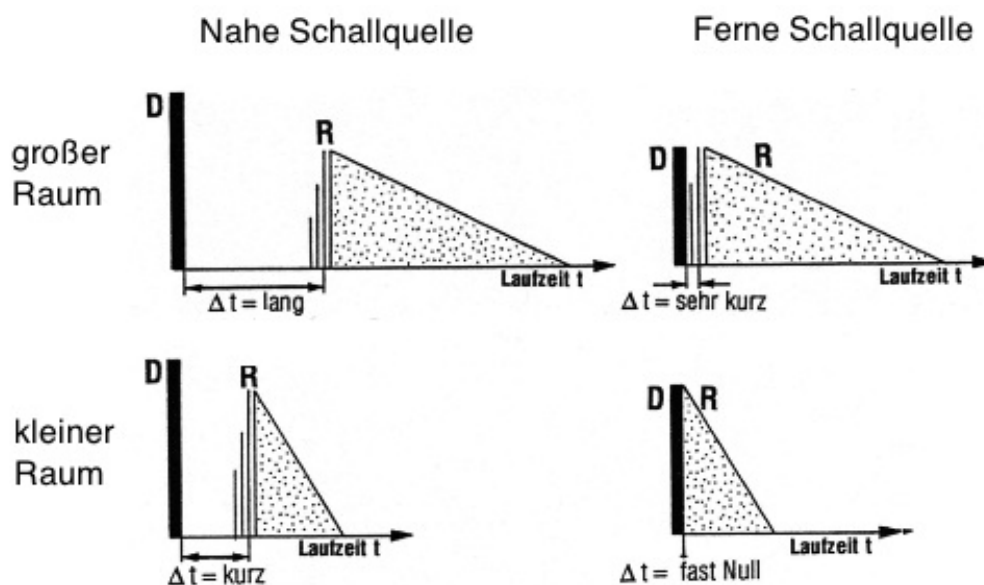


Abbildung 6: Anfangszeitlücke (Vergleich zwischen Direktsignal und Raumschallpegel) [Sennt]

In der ersten Spalte ist das Verhalten der ITDG in einem großen Raum mit unterschiedlichen Entfernungen zur Schallquelle gezeigt. Es ist zu erkennen, dass in einem großen

Raum bei einer nahen Schallquelle die Zeitdifferenz zwischen Direktschall und Reflexion lang ist. Ebenso ist zu erkennen, dass der Direktschall einen größeren Pegel aufweist als der reflektierte Schall. Bei einer fernen Schallquelle im großen Raum ist die Zeitdifferenz sehr kurz und es existiert so gut wie keine Pegeldifferenz.

Die zweite Spalte zeigt das Verhalten in einem kleinen Raum. Die Pegeldifferenz zeigt das identische Verhalten wie in einem großen Raum. Die Zeitdifferenz verkleinert sich oder ist erst gar nicht vorhanden.

3.3 Zusammenfassung

Es zeigt sich, dass das Entfernungshören und der Räumlichkeitseindruck eines Raumes von einer Vielzahl von Faktoren abhängig sind. Es lässt sich keine klare Grenze zwischen den Faktoren ziehen. Die wohl wichtigsten Faktoren sind:

- Direktschall zu reflektiertem Schall
- Anfangszeitlücke (ITDG)
- Bewegungsinformationen
- Lautheit
- Interaurale Pegeldifferenzen
- Spektrale Verteilung (frequenzabhängige Dämpfung)

In meiner Masterarbeit möchte ich mich mit dem Entfernungshören und einem einfachen Räumlichkeitseindruck beschäftigen. Wie schon gezeigt hängen beide Themengebiete dicht zusammen. Das Ziel, was ich in meiner Masterarbeit verfolgen möchte, ist es die beiden komplexen Themengebiete möglichst einfache nachzubilden. Dabei erhoffe ich mir, dass durch die Umsetzung der wichtigsten Faktoren, sich eine gute Simulation der Entfernung einer Schallquelle und einem einfachen Räumlichkeitseindruck erzeugen lässt. Durch Personentestreihen sollen die Ergebnisse verifiziert werden.

4 Ausblick

4.1 Risiken

Dieses Kapitel beschreibt zwei potenzielle Gefahrenquellen, welche die angestrebte Vorgehensweise beeinflussen könnte.

Zum einen gibt es Risiken menschlicher Natur. Eine Gefahr ist es, dass jeder Mensch anders hört. Die HRTFs sind bei jedem Menschen anders, da sie von vielen Faktoren abhängig sind. Es könnte sich bei Personentestreihen zeigen, dass es für eine Vielzahl von Personen nicht möglich ist, eine genaue Ortung der Schallquelle durchzuführen. Ebenso ist noch nicht abzusehen, wie sich dieses Problem bei der Ortung von mehreren Schallquellen verhält. Ein weiteres Problem ist es, dass das Entfernungshören und das Räumliche Hören sehr komplex sind, da sie von einer Vielzahl von Faktoren abhängig sind. Vielleicht reicht es nicht aus nur an einigen Parametern zu drehen, um ein gutes Ergebnis zu erzielen.

Die andere Gefahrensituation ist technischer Natur. Es ist noch nicht abzusehen, mit wie vielen Filtern gearbeitet werden muss. Wenn die Anzahl der Filter groß wird, kommt es zu Ressourcen- oder Timingproblemen. Beide hängen direkt voneinander ab. Wenn es zu einem Ressourcenproblem durch die Anzahl der Filter kommt, folgt daraus, dass sich ebenso ein Timingproblem ergibt. Andersrum ist auch das Timing sehr wichtig, da es sich um eine Echtzeitfilterung handelt. Sollte die Filterung mehr Zeit benötigen, könnte das Problem nur durch mehr Ressourcen behoben werden.

4.2 Ausblick

In dieser Arbeit wurden die Vorarbeiten und die nächsten Vorgehensschritte vorgestellt, um die Ziele für die Masterarbeit zu erreichen. Es könnten auch schon erste Ziele, die in AW1 und AW2 angestrebt wurden, erfolgreich erledigt werden. Dabei handelt es sich um die Mobilität des Systems. Diese wurde unter anderem in der Projekt 1 Phase erfüllt. Die zurzeit laufende Projekt 2 Phase beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Hardwarebeschleunigers, der es ermöglichen soll, mehrere virtuelle Schallquellen mittels des SoCs zu simulieren.

Als Schwerpunkt für meine Masterarbeit habe ich mich für die Simulation der Entfernung von Schallquellen und den damit umhergehenden Räumlichkeitseindruck entschieden. Wie in Kapitel 3 dargestellt, handelt es sich dabei um kein einfaches Problem. Das Ziel soll sein, eine Entfernungssimulation und einen Räumlichkeitseindruck zu erzeugen. Dieses sollte mit möglichst einfachen Methoden geschehen. Zum Testen der angewendeten Methoden sollen Personentestreihen durchgeführt werden.

Abbildungsverzeichnis

1	Die in AW1 vorgestellte Systemarchitektur	3
2	SoC-Architektur im Virtex5 FPGA mit MicroBlaze und allen Komponenten	4
3	GUI der Informations- und Steuerungs-Software	6
4	MRMR-APP zur Steuerung des Systems	6
5	Aktuell entwickelter Matlab/Simulink HRTF Filter	7
6	Anfangszeitlücke (Vergleich zwischen Direktsignal und Raumschallpegel) [Sennt]	9

Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality
ARA	Augmented Reality Audio
FSL	Fast Simplex Link
HAW	Hochschule für Angewandte Wissenschaften
HRTF	Head Related Transfer Function (kopfbezogene Transferfunktion)
HW	Hardware
ILD	Interaural-Level-Difference (Pegeldifferenz)
IP-Core	Intellectual Property Core
ITD	Interaural-Time-Difference (Laufzeitdifferenz)
ITDG	Initial Time Delay Gap
LwIP	LightWeight IP
MARA	Mobile Augmented Reality Audio
OSC	Open Sound Control
PLB	Processor Local Bus
SoC	System on Chip
SW	Software
VHDL	Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language
VR	Virtual Reality
WLAN	Wireless Local Area Network

Literatur

- [AT08] AHNERT, Wolfgang ; TENNHARDT, Hans-Peter: *Handbuch der Audiotechnik: Raumakustik*. Springer Berlin Heidelberg, 2008 (ISBN 978-3-540-34301-1 (online))
- [BB08] BLAUERT, Jens ; BRAASCH, Jonas: *Handbuch der Audiotechnik: Räumliches Hören*. Springer Berlin Heidelberg, 2008 (ISBN 978-3-540-34301-1 (online))
- [Hem11] HEMMER, David: *Eine SoC-Plattform zur kontinuierlichen Interpolation von HRTF-Filtern für positionsveränderliche virtuelle Schallquellen*. Bachelorarbeit (HAW-Hamburg), 2011
- [Hem12a] HEMMER, David: *Anwendung 1: Mobile Augmented Reality Audio System*. <http://users.informatik.haw-hamburg.de/ubicomp/projekte/master11-12-aw1/hemmer/bericht.pdf>, 2012
- [Hem12b] HEMMER, David: *Anwendung 2: Mobile Augmented Reality Audio System*. <http://users.informatik.haw-hamburg.de/ubicomp/projekte/master2012-aw2/hemmer/bericht.pdf>, 2012
- [Hem12c] HEMMER, David: *Projekt1: Mobiles Augmented Reality Audio System*. 2012
- [mrm] *MRMR - OPEN Mobile Touch Protocol*. <http://mrmr.noisepages.com/>
- [OSC] *Open Sound Control*. <http://opensoundcontrol.org/>, Abruf: 20.02.2013
- [Sennt] SENGPIEL, Eberhard: *Anfangszeitliche ITDG und Pre-Delay*. <http://www.sengpielaudio.com/AnfangszeitlueckeUndPredelay.pdf>, Jahr unbekannt
- [Wei08] WEINZIERL, Stefan: *Handbuch der Audiotechnik*. Springer Berlin Heidelberg, 2008 (ISBN 978-3-540-34301-1 (online))