

Levitas - eine Klanginstallation basierend auf einem Ultraschall Lautsprecher Array

Bachelorarbeit aus Musikinformatik 1 SE

Valerian Drack

Betreuung: DI Winfried Ritsch

Graz, 30. September 2021



institut für elektronische musik und akustik



Zusammenfassung

Im Rahmen dieser künstlerisch-wissenschaftlichen Bachelor Arbeit wird eine Klanginstallation basierend auf einem Ultraschall Lautsprecher Array erforscht. Die Lautsprecher Anordnung erzeugt ein stehendes Wellenfeld von $40kHz$ in dem sich stationäre Schalldruck und -schnelle Maxima und Minima ausprägen. Durch Amplituden Modulation des Anregungssignals lassen sich Signale enkodieren, die wiederum einerseits durch die Nichtlinearität der Luft an sich sowie durch die Einbringung von Objekten als zusätzliche Nichtlinearitäten in den hörbaren Frequenzbereich demoduliert werden. Im folgenden wird ein Überblick über diese Effekte, die verwendeten Komponenten zur Realisierung und die Implementierung der Ansteuerung beschrieben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Theoretischer Hintergrund	5
2.1	Beamforming	5
2.2	Amplituden Modulation	5
3	Hardware	5
3.1	Beaglebone Green	6
3.2	Prozessor	6
3.2.1	Architektur	6
3.2.2	PRU - Programmable Realtime Units	7
3.2.3	Device Tree Overlay	7
3.3	Stepper Motor L297N	7
3.4	Ultraschall Lautsprecher	7
4	Software	8
4.1	Signal Generierung	8
4.2	Daten Austausch	9
5	Klanginstallation	9
6	Konklusion und Ausblick	9

1 Einleitung

Grundlage der Klanginstallation ist das Design eines Akustischen Levitators von *UpnaLab*¹. Eine 3D gedruckte Halterung bietet die Halterung für die zwei gegenüberliegenden, hemisphärisch angeordneten Ultraschall Lautsprecher Arrays. Die Anordnung der Lautsprecher erzeugt ein ein stehendes Wellenfeld.



Abbildung 1: Levitator

¹<https://upnalab.com/>

2 Theoretischer Hintergrund

Zum Verständnis über die zugrundeliegenden akustischen Konzepte und auftretenden Phänomene wird ein kurzer Überblick gegeben. Zuerst wird das Konzept der Schallausbreitung im idealen, linearem Fall vorgestellt und die auftretenden Abweichungen in einem nichtlinearem. Weiters wird das angewandte Modulations Verfahren beschrieben und die auftretenden Effekte.

2.1 Beamforming

Beamforming ist eine Signalverarbeitungs-Methode die durch Ausnutzung der einzelnen Wandler Richtcharakteristiken und der Anordnung in mehrkanaligen Lautsprecher- und Mikrofon Systemen eingesetzt wird, um die Richtcharakteristik des Gesamtsystems zu beeinflussen.

Im trivialsten Fall kann durch Laufzeitunterschiede ein *Delay and Sum*-Beamformer realisiert werden [Hay85].

2.2 Amplituden Modulation

Amplituden Modulation ist eine Modulations Technik um Information zu enkodieren, indem ein Informationssignal die Amplitude eines Trägersignals moduliert wird.

Analog

$$x(\omega t) = \sin(\omega_c t) * \sin(\omega_s t). \quad (1)$$

- Nichtlinearität - Demodulation

Die Demodulation erfolgt über eine Nichtlinearität, die das Informations Signal zurück in den ursprünglichen Frequenz Bereich transformiert.

Digital

In der digitalen Signalverarbeitung kann die Amplituden Modulation über eine PWM (i.e. *Pulse Width Modulation*) implementiert werden.

3 Hardware

In diesem Abschnitt wird ein Überblick über die verwendeten Hardware Komponenten gegeben. Diese bestehen aus:

1. Beaglebone Green

2. Stepper Motor L297N
3. Ultraschall Lautsprecher

Die einzelnen Komponenten werden im folgenden näher beschrieben.

3.1 Beaglebone Green

Der *Beaglebone Green* ist ein Einplatinencomputer. Er besteht aus einem *TI AM335x 1GHz ARM Cortex-A8* Prozessor.



Abbildung 2: Beaglebone Green

3.2 Prozessor

- 512MB DDR3 RAM
- 4GB 8-bit eMMC flash Speicher
- 3D graphics accelerator
- NEON floating point accelerator
- 2x PRU 32-bit Mikrocontroller

3.2.1 Architektur

Der Prozessor basiert auf einer ARM-Architektur.

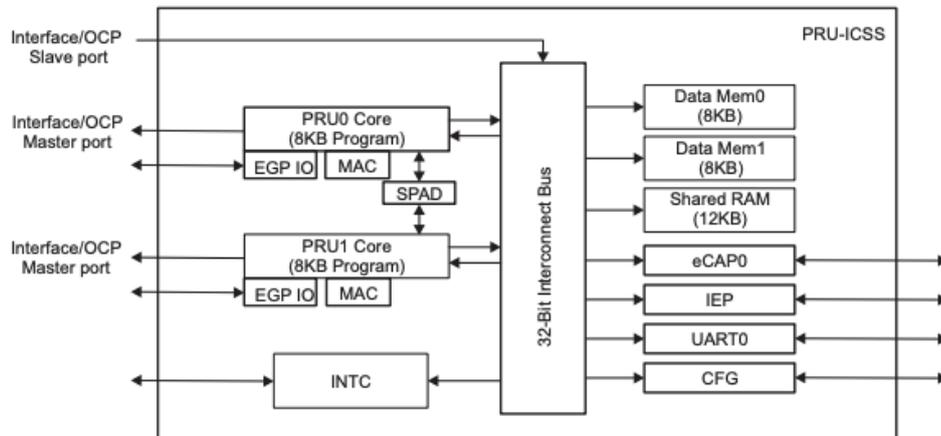


Abbildung 3: PRU Block Diagramm

3.2.2 PRU - Programmable Realtime Units

3.2.3 Device Tree Overlay

3.3 Stepper Motor L297N

Der L297N ist eine integrierte Schaltung die zwei H-Brücken Schaltungen implementiert. Dieser wird meist dazu eingesetzt Gleichstrom Motoren anzu treiben - kann aber auch dazu verwendet werden Gleichspannung in Wechselspannung zu wandeln.

Eine H-Brücke besteht aus vier Transistoren und vier Dioden. Die Transistoren dienen dabei als Schalter, die Dioden leiten den Strom so, dass dem Motor ein positiver oder negativer Strom zugeführt wird.

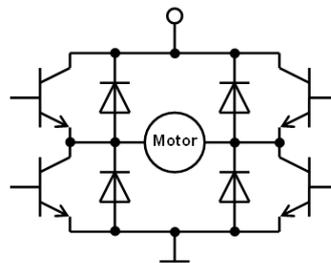


Abbildung 4: H-Brücken Schaltung

3.4 Ultraschall Lautsprecher

Die verwendeten Ultraschall Lautsprecher sind *Manorshi 10mm 40khz piezo ultrasonic transmitter*. Diese sind abgestimmt auf eine Centerfrequenz von 40kHz mit einer Band-

breite von $1.2kHz$. Die Richtwirkung beträgt $80 \pm 15(-6dB)$ und der SPL ist $\geq 115dB$.



Abbildung 5: Manorshi 10mm 40khz piezo ultrasonic transmitter

4 Software

Die Grundlage der Ansteuerungs-Software ist das Betriebssystem, welches auf dem Prozessor des Beaglebone läuft. Verwendet wurde *Debian Buster* - eine Version der weitverbreiteten Linux Distribution. Die Software zur Ansteuerung der Lautsprecher lässt sich im wesentlichen in zwei Bereiche unterteilen:

- ARM Programm
- PRU0 Programm

Im folgenden wird der Ablauf der Programme erklärt.

ARM

Auf der Seite des Prozessors wurde die Signal-Generierung implementiert. Dazu wurde ein in Programm c++ geschrieben, welches die PWM Modulation implementiert. Die liest für einen Signal Vektor und schreibt die PWM Parameter in den DRAM des *PRU0s*.

PRU

PRU0 wurde verwendet um die beiden *PWM* Signale zu generieren. Zuerst wurde die Variablen *OFFSTART*, *ON* und *OFFEND* für beide Kanäle initialisiert. Zwei Funktionen *UPDATE* und *UPDATEINVERSE* generieren die definierten Output Signale.

4.1 Signal Generierung

Die Signal Generierung

4.2 Daten Austausch

Der Daten Austausch zwischen dem ARM Prozessor und des PRU0 ist über den DRAM des PRU0 implementiert. Dafür wurde das SYSCFG STANDBY INIT bit des PRU0s auf Null gesetzt.

5 Klanginstallation

Skizze und Beschreibung der Klanginstallation

Moduliert mit Sprache, weil eingeschränkter Frequenzbereich von 400-2kHz. Sprache weil der Mensch die

6 Konklusion und Ausblick

In dieser Arbeit wurde die Umsetzung einer Klanginstallation basierend auf zwei Ultraschall Lautsprecher Arrays vorgestellt. Ausgangspunkt war das *Acoustic Levitator*² Projekt von *UpnaLab*³. Leistungs-stärkere Wandler , somit ist das resultierende, demodulierte Signal auch nicht

Literatur

[Hay85] S. Hayken, *Array Signal Processing*. Prentice-Hall, 1985.

²<https://www.instructables.com/Acoustic-Levigator/>

³<https://upnalab.com/>