

Monaurale und binaurale Analyse digitaler Impulsantworten

Denis Extra¹, Joerg Bitzer¹

¹ Institut für Hörtechnik und Audiologie (IHA), FH Oldenburg, Ofenerstr.16, 26121 Oldenburg (www.hoertechnik-audiologie.de)

Einleitung

Digitaler Hall bildet einen der wichtigsten Effekte in der heutigen Musikproduktion und ist dabei in allen Preisklassen und Qualitätsstandards verfügbar. Um die qualitativen Eigenschaften digitaler Hallalgorithmen analysieren zu können, wurden am IHA eine Reihe unterschiedlicher Analysewerkzeuge erstellt. Diese werden wiederum in monaural und binaural unterteilt und nutzen bekannte Verfahren der Raumakustik, Psychoakustik, als auch der digitalen Signalverarbeitung, sowie eine Reihe eigens zu diesem Zweck erstellter Verfahren. Zur Verifikation der Analysetools auf ihre Tauglichkeit als Qualitätsmaße wurde ein Hörtest durchgeführt, bei dem verschiedene kommerziell erhältliche Geräte aller Preisklassen in einem 2AFC Test verglichen wurden. Im folgenden soll eine kurze Übersicht über eine Auswahl der verwendeten Methoden gegeben werden. Weitere Informationen, sowie eine detaillierte Darstellung aller Analysewerkzeuge finden sich in [1, 2].

Monaurale Analysewerkzeuge

- Energy Decay Relief

Zur Beurteilung des frequenzabhängigen Abklingverhaltens einer Impulsantwort wird das sog. *Energie Decay Relief* verwendet [5], welches definiert ist als

$$EDR_h(t, f) = \int_t^{\infty} p_h(\tau, f) d\tau, \quad (1)$$

wobei $p_h(\cdot, f)$ die energetische Zeit-Frequenz-Verteilung von $h(t)$ ist. Die Impulsantwort wird dabei in 21 Terzfrequenzbänder (IEC-1260-Norm) aufgeteilt. Unter 500 Herz erfolgt eine Einteilung nach der *Bark-Skala*. Anschließend wird die *EDC* für jedes Band berechnet und anhand einer 3D-Grafik dargestellt.

- Kurzzeit-Histogramm

In [3] ist beschrieben, dass guter diffuser Nachhall durch eine gauß'sche Werteverteilung charakterisiert ist. Um digitale Impulsantworten hinsichtlich dieses Merkmals zu untersuchen wird ein Tool verwendet, welches eine fortlaufende Histogrammanalyse darstellt. Zunächst erfolgt die Normalisierung der Impulsantwort anhand der eigenen *Energy-Decay-Curve*.

$$h_{norm}(n) = \frac{h(n)}{\sqrt{EDC(n)}} \quad (2)$$

Im zweiten Schritt wird anhand einer überlappenden Blockverarbeitung für jeden Block das Histogramm (50 Wertebereiche) bestimmt. Die Ergebnisse werden als Funktion der Zeit anhand eines Falschfarbendiagramms dargestellt.

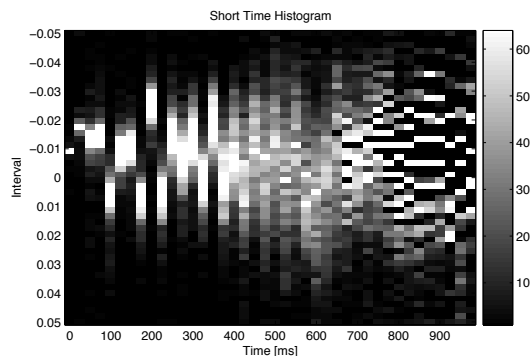


Abbildung 1: Ergebnis des Kurzzeit-Histogramms für eine beispielhafte Impulsantwort

- Messung der Reflexionsdichte

Die Analyse hinsichtlich einer ausreichend großen Reflexionsdichte (10000/s) geschieht anhand eines in [4] beschriebenen Verfahrens. Hierbei werden wiederum blockweise alle Reflexionen erfasst, die bis 20 dB unterhalb der jeweiligen Maximalamplitude liegen. Als Funktion der Zeit dargestellt, gibt dieses Verfahren einen guten Einblick in den zeitlichen Aufbau der Reflexionsdichte.

Binaurale Analysewerkzeuge

- IACC (*Interauraler Kreuzkorrelationskoeffizient*) [6]
- Time Angle Phase Scope

Das akustische Klangbild, sowie die subjektive Wahrnehmung eines Raumes werden stark von den frühen, seitlich einfallenden Reflexionen geprägt. Ein guter Stereohallalgorithmus sollte daher ebenfalls versuchen, die ersten Reflexionen nicht mittig, sondern gezielt entlang der Stereoachse zu verteilen, um somit seitlich einfallende Reflexionen zu simulieren. Aus diesem Grunde wurde ein weiteres Programm geschrieben [7], welches eine Abwandlung eines normalen *Phase Scope* bildet, wie es in der Studioteknik Anwendung findet. Bei diesem werden die Amplitudenwerte des rechten gegen den linken Kanals anhand eines x-y-Koordinatensystems aufgetragen. In unserem Fall wird das Koordinatensystem in einen Kreis sich nicht überlappenden Segmente ($M = 32$ oder 64) unterteilt, wobei jedes Segment eine Winkelbreite von $2\pi/N$ hat. Zur besseren Interpretation erfolgt eine Drehung des Koordinatensystems um $\pi/4$. Anhand einer überlappenden Blockverarbeitung ($N = 10-60\text{ms}$, 50% overlap) wird zu jedem Stereoimpuls der Winkel, sowie der Mittelwert der Radien in dB für jedes Winkelsegment und jeden Block berechnet. Das Ergebnis ist in folgender Abbildung dargestellt.

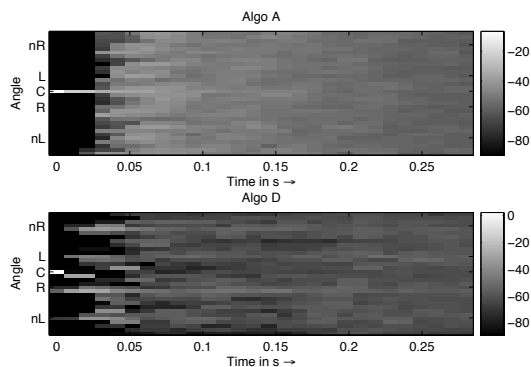


Abbildung 2: Ergebnis des *Time Phase Scope* für zwei unterschiedliche Impulsantworten

- Room Level (Early) RLE

Ein Maß zur Beschreibung der wahrgenommenen Räumlichkeit ist das sog. *RLE* [8], was eine Weiterentwicklung des *Room Level* nach Trautmann [9] darstellt. Dieses basiert auf einer abschnittswisen Analyse der ersten 80 ms einer binauralen Impulsantwort, wobei jedes Segment lediglich 2 ms lang ist. Pro Segment erfolgt die Bestimmung der Schalleinfallrichtung, wonach im Anschluss der Gesamtanteil seitlich einfallender Reflexionen berechnet wird.

Hörtest

Zum Test standen 6 Algorithmen unterschiedlicher Preisklasse. Algo A: Frei erhältliches Plug-In, Algo B: Älteres Plug-In (100 Euro), Algo C: Professionelles Plug-In (200 Euro), Algo D: Professionelles Plug-In (300 Euro), Algo E: Professionelles Plug-In (500 Euro), Algo F: Professionelles Outboard-Gerät (2000 Euro). Hörtest bildete ein 2-AFC-Verfahren, mit 3 unterschiedlichen Klangbeispielen. Insgesamt wurden pro Person 45 Paarvergleiche durchgeführt. In folgender Tabelle sind die Ergebnisse der Testpersonen dargestellt, die eine Konsistenz von über 0.8 aufzeigten. Weiterhin ist die Gesamtkonsistenz aller Versuchspersonen und die Ergebnisse der drei Klangbeispiele anhand vom Rang und relativer Skala dargestellt.

	All	Drum	Classic	Voice
nFile	18	7	4	7
Cons.	0.54	0.61	0.36	0.63
AlgoA	5 (0.78)	5 (0.60)	2 (0.49)	6 (1.00)
AlgoB	6 (1.00)	6 (1.00)	5 (0.61)	6 (1.00)
AlgoC	3 (0.54)	2 (0.22)	4 (0.58)	3 (0.55)
AlgoD	2 (0.26)	4 (0.36)	6 (1.00)	2 (0.33)
AlgoE	4 (0.58)	3 (0.23)	3 (0.54)	4 (0.55)
AlgoF	1 (0.00)	1 (0.00)	1 (0.00)	1 (0.00)

Tabelle 1: Ergebnisse des Hörtests.

Ergebnisse

In Verbindung mit dem durchgeführten Hörtest können momentan lediglich Tendenzen, jedoch noch keine allgemein gültigen Aussagen gemacht werden. Die größte Korrelation zwischen Hörtest und Mess-Tools ergab sich

beim *RLE*. Große Werte indizieren dabei ein hohes Maß an seitlich einfallenden Reflexionen. Weiterhin zeigen die im Hörtest bevorzugten Algorithmen Unterschiede anhand der Stereoverteilung früher Reflexionen auf. Hierbei wird versucht, einen stärkeren Einfall seitlicher Reflexionen zu generieren, welche die wahrgenommene Räumlichkeit beeinflussen. Ein weiteres Merkmal, welches sich in den Untersuchungen mit dem *Time Angle Phase Scope* zeigt, ist ein längeres Vorhandensein früher Reflexionen, welche sich langsam abklingend in die jeweilig entgegengesetzte Richtung im Stereopanorama ausbreiten. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass *RLE* und das *Time Angle Phase Scope* als Indikatoren für die Qualität eines Hallalgorithmus genutzt werden können. Da lediglich ein Hörtest mit Stereoimpulsantworten durchgeführt wurde, kann noch keine Aussage darüber getroffen werden, ob die monauralen oder binauralen Eigenschaften der Impulsantwort von größerer Bedeutung sind. Ein vergleichender Test zwischen monauralen und binauralen Impulsantworten wird aus diesem Grunde Bestandteil nachfolgender Untersuchungen sein.

Algo A	Algo B	Algo C	Algo D	Algo E	Algo F
-8.69	-4.36	-2.14	3.65	-2.61	1.45

Tabelle 2: Ergebnisse für das *RLE*.

Literatur

- [1] D. Extra, U. Simmer, S. Fischer and J. Bitzer. Artificial Reverberation: Comparing algorithms by using monaural analysis tools. In 121. Conv. of the AES, San Francisco, USA, 2006.
- [2] J. Bitzer and D. Extra. Artificial reverberation: Comparing algorithms by using binaural analysis tools. In 121. Conv. of the AES, San Francisco, USA, 2006.
- [3] J.A. Moorer. About this reverberation business. *Computer Music Journal*, 3(2):13–28, 1979.
- [4] D. Griesinger. Practical processors and programs for digital reverberation. Audio Engineering Society (7th International Conference), S. 187–196, März 1989.
- [5] J.M. Jot. An analyses/synthesis approach to real time artificial reverberation. In Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech and Signal Proc., 2:221–224, 1992.
- [6] H. Kuttruff. *Room Acoustics*. E and FN Spon, 1999.
- [7] J. Bitzer. Spatial Distribution Meter: A new method to display spatial impression over time. In 122. Conv. of the AES, Vienna, 2007.
- [8] M. Blau. Correlation of apparent source width with objective measures in synthetic sound fields. *Acta Acoustica united with Acoustica*, 90:720–730, 2004.
- [9] U. Trautmann. *Meßtechnische Erfassung der Räumlichkeit in Sälen für musikalische Darbietungen*. Dissertation. Technische Universität Dresden, 1986.