

Messung der Signalverzerrungen bei der Wiedergabe komplexer Audiosignale

Lukas Creutzburg¹, Wolfgang Klippel², Marian Liebig²

¹TU Dresden, Lehrstuhl für Akustik und Haptik, 01062 Dresden, E-Mail: lukas@creutzburg.me

²Klippel GmbH, 01309 Dresden, E-Mail: info@klippel.de

Einleitung

Dieser Beitrag beschreibt die Messung der Signalverzerrungen unter Nutzung komplexer Audiosignale, wie beispielsweise Musik, als Messsignal. Grundlage dafür ist die Abschlussarbeit von Lukas Creutzburg [1].

Diese Messmethode ist eine praxisnahe Möglichkeit zur Prüfung von Lautsprechern. Eine Initialmessung ist nicht erforderlich. So kann auch ein beliebiger Mitschnitt einer Veranstaltung als Messsignal verwendet werden. In der Analyse wird der Übertragungspfad linear, zeitvariant modelliert. Dabei muss bei der Modellierung mit in Betracht gezogen werden, dass nur diejenigen Frequenzlinien mit in das Modell aufgenommen werden, welche sowohl ausreichend angeregt werden und ausreichend kohärent zum Eingangssignal sind.

Außerdem werden Änderungen der Übertragungsfunktion durch viskoelastische Effekte oder Erhitzung der Schwingspule in einer getrennten zeitvarianten Modellierung mit berücksichtigt. Es verbleibt nach der Subtraktion des Modells von der Aufzeichnung das Residuum, welches nur noch nichtlineare Verzerrungen, externe Störsignale und Rauschen enthält.

Zielsetzung

Zur Vermessung von akustischen Systemen werden in der Regel spezielle Messstimuli, wie etwa Sweeps, Einzel- oder Multitonsignale, verwendet. Diese decken zwar den gesamten relevanten Frequenzbereich ab, es kann jedoch dennoch bei der Wiedergabe komplexer Audiosignale zu Komplikationen kommen, die mit den Messstimuli unter Umständen so nicht messbar wären.

Die in einem akustischen System auftretenden Verzerrungen lassen sich in mehrere Klassen unterteilen. Es handelt sich dabei um lineare, zeitvariante und nichtlineare Verzerrungen. Hinzu kommen unvorhersagbare Dynamiken (Abbildung 1).

Ziel ist es, ein Modul zu entwickeln, welches das akustische System linear, zeitvariant modelliert. Darüber hinaus soll eine zusätzliche zeitvariante Modellierung von thermischen Effekten erfolgen.

Wird nun vom gemessenen Signal das lineare und das zeitvariante Modell des Systems abgezogen, verbleiben nichtlineare Verzerrungen und die unvorhersagbaren Dynamiken. Dieser Rest wird nachfolgend als Residuum bezeichnet (Abbildung 2).

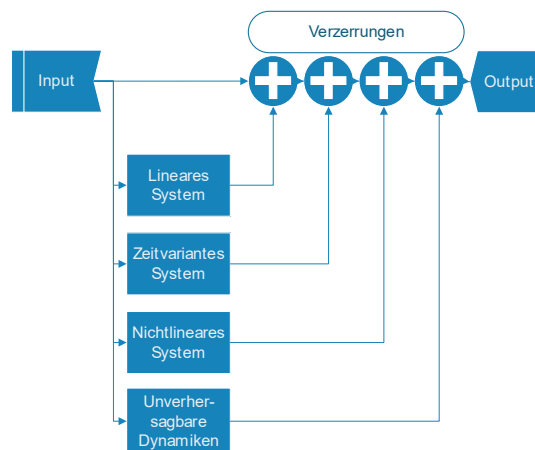


Abbildung 1: Verzerrungen durch die verschiedenen Teilsysteme des akustischen Systems [2]

Die Schwierigkeit liegt dabei in der Zeitvarianz des linearen Modells. Das lineare Modell des Systems ändert sich stetig. Es stehen also nur wenige Daten zu Mittelung zu Verfügung. Dennoch soll das System möglichst gut modelliert werden.

Eine Initialmessung steht für die Modellierung nicht zur Verfügung.

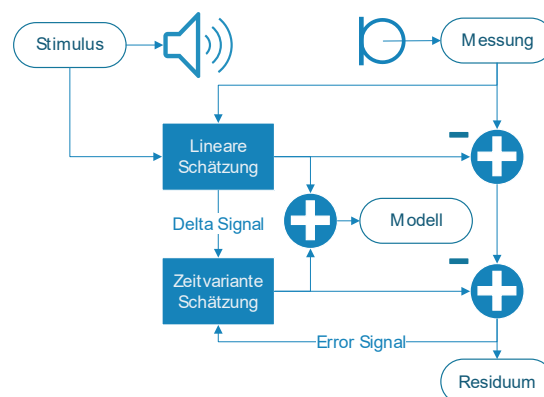


Abbildung 2: Grundkonzept der Modellierung [1]

Lineare Modellierung

Die Grundlage für eine hochwertige Berechnung des Residuums legt eine robuste, rauscharme, ausreichend zeitvariante Berechnung des linearen Übertragungsverhaltens des Systems.

Auch wenn eine lineare Modellierung eines Systems einfach erscheint, ergeben sich aus den Anforderungen verschiedene

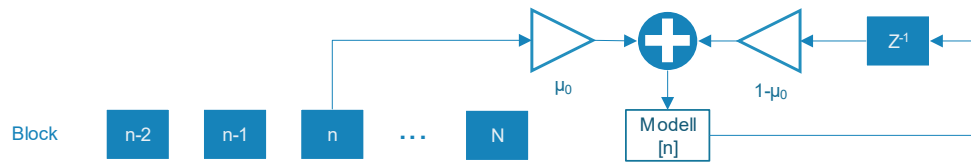


Abbildung 3: Prinzip der linearen zeitvarianten Modellierung [1]

Probleme, die durch den Algorithmus bewältigt werden müssen:

- Frequenzbereiche werden unter Umständen zeitweise nicht oder nur wenig angeregt.
- Frequenzbereiche des gemessenen Signals können inkohärent mit dem Stimulus sein.
- Das System kann sich während der Messung zeitvariant verändern.
- Die Erhitzung kann unter Umständen so schnell erfolgen, dass eine blockweise Modellierung unter Umständen nicht schnell genug adaptieren kann.

Die lineare Modellierung erfolgt blockweise mit einer Blockgröße von einer Sekunde (50% Vorschub) und nimmt die mittlere Übertragungsfunktion über alle Blöcke als Grundlage für die weitere Modellierung.

Dabei wird das Modell iterativ, blockweise verbessert und so ein laufender Mittelwert realisiert (Abbildung 3). Das ermöglicht dem System ein begrenzt zeitvariantes Verhalten. Dennoch ist der Rauschanteil durch die Mittelung gering.

In jedem Block werden zur Modellierung nur diejenigen Frequenzlinien verwendet, die ausreichend kohärent sind und in dem entsprechenden Block ausreichend angeregt worden sind. Ist eine Frequenzlinie in einem Block nicht nutzbar, bleibt das Modell unverändert. Ist in keinem Block eine Information über die Frequenzlinie enthalten, wird automatisch als bester verfügbarer Wert für diese Linie der Mittelwert über alle Blöcke verwendet.

Zeitvariante Modellierung

Die Modellierung der Erhitzung muss sehr schnell erfolgen. Dazu wird der LMS-Algorithmus (Abbildung 4) verwendet. Als Delta-Signal dient der gefilterte, normierte Stimulus.

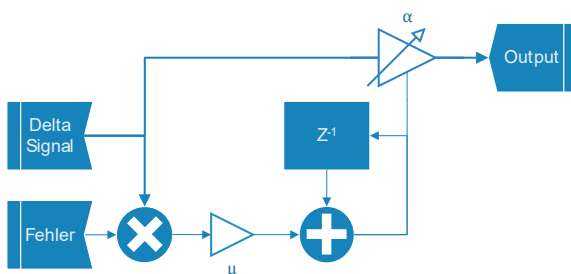


Abbildung 4: LMS-Algorithmus (μ ist eine Konstante zur Skalierung) [1]

Über die Stimulussignalenergie kann der Bereich, in dem potentiell eine Erhitzung stattgefunden hat, eingegrenzt werden.

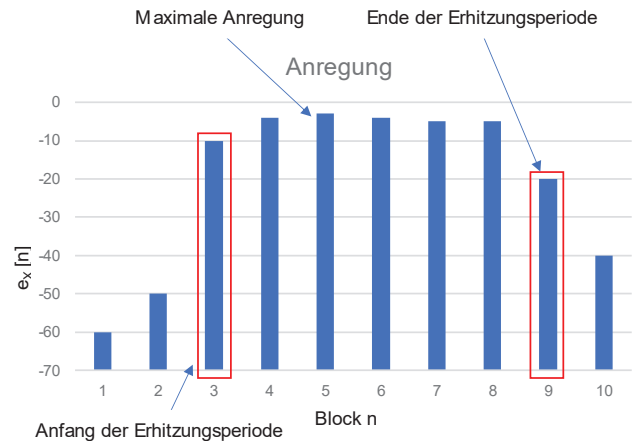


Abbildung 5: Erkennung der Erhitzungsperiode (X-Achse: Blöcke; Y-Achse: Mittelwert der spektralen Leistungsdichte über alle Frequenzlinien des Blockes) [1]

Die Differenzübertragungsfunktion zwischen Ende und Anfang der Erhitzungsperiode enthält die Erhitzungscharakteristik (Abbildung 5). Angewandt auf das Stimulussignal muss das resultierende Delta-Signal nur noch mit einem Faktor skaliert werden. Dies übernimmt der LMS-Algorithmus.

Fazit

Das Ergebnis ist ein Residuum-Signal, welches nur noch sehr wenige lineare Anteile enthält. Die lineare Modellierung erfolgt auch bei vergleichsweise schmalbandigen Signalen sauber und ist recht robust gegenüber Störsignalen und zeitvarianten Änderungen des Systems.

Die Erkennung der potenziellen Erhitzungsperiode erfolgt zuverlässig. Die zeitvariante Modellierung erkennt die Erhitzung und filtert verbliebene lineare Anteile aus dem Residuum.

Literatur

- [1] Creutzburg, L.: Abschlussarbeit, Messung der Signalverzerrungen bei der Wiedergabe komplexer Audiosignale (2018)
- [2] Klippel, W.: Seminar, Sound Quality of Audio Systems (2017)
- [3] Klippel, W.: Paper, Loudspeaker Measurement with audio signals (2017)
- [4] Klippel, W.: Lehrveranstaltung, Aktive Steuerung von Schall und Schwingungen (2016)
- [5] Bendat, Julius S.; Piersol, Allan G.: Buch, Random Data (1986)
- [6] Liebig, M.: Asynchrone Messung von Lautsprechersystemen (2010)