

Eine Software zur zeitoptimierten Fehlerdetektion von vielkanaligen Lautsprechersystemen

Christian Dietz, Stefan Weinzierl

TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation

Einleitung

Große Lautsprechersysteme, wie sie etwa für die Schallfeldsynthese zum Einsatz kommen, können über mehrere Hundert Lautsprecherkanäle verfügen [1]. Die Überprüfung des Funktionszustandes jedes einzelnen Kanals per Gehör ist für ein System dieser Größenordnung ein langwieriger und fehleranfälliger Prozess.

Daher wurde ein Messsystem zur automatisierten Überprüfung solcher Lautsprecheranlagen entwickelt, das es erlaubt, Ausfälle von Lautsprechern (LS) einzelner Kanäle zu identifizieren. Hierbei wurde ein zeitoptimiertes Messverfahren implementiert und das Messsystem so konzipiert, dass es sich problemlos in verschiedene LS-Systeme integrieren lässt.

Messverfahren

Die Grundlage des Systems bildet ein FFT-basiertes akustisches Messverfahren. Abbildung 1 zeigt die Integration des Messsystems in ein System zur Wellenfeldsynthese (WFS). Zur Zeitoptimierung der Messung wurde ein

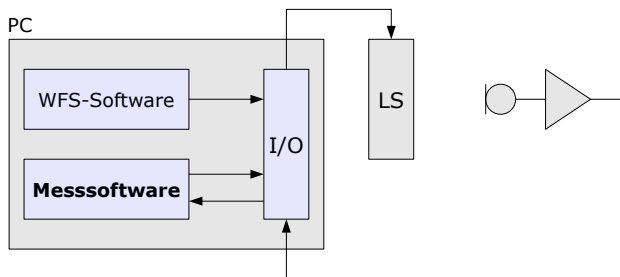


Abbildung 1: Integration der Komponenten des Messsystems in ein WFS-System. Die Messsoftware sendet einen Stimulus zu den einzelnen Kanälen des LS-Arrays. Über ein Mikrofon an einer definierten Messposition wird die Systemreaktion an die Messsoftware übermittelt

Messverfahren mit zeitlich überlappenden Sweeps implementiert (Abbildung 2), das für Systeme mit multiplen Schallquellen eine erhebliche Reduktion der Messdauer erlaubt (*Multiple Exponential Sweep Method*, [2]). Die Effizienz des Verfahrens, das auch mit arbiträr gefärbten Sweeps genutzt werden kann, ist dabei sowohl von der Nachhallzeit im Raum als auch von der Nichtlinearität der vermessenen Übertragungsstrecke abhängig [3]. Darüberhinaus spielen die akustischen Laufzeiten zwischen dem Mikrofon und den LS eine Rolle, da letztere in den meisten Fällen nicht äquidistant zum Mikrofon positioniert sind. Um die Messung geeignet zu parametrisieren, werden die genannten Daten in einer sukzessiven akustischen Referenzmessung der LS-Kanäle ermit-

telt und gespeichert, wodurch sie bei jedem Aufruf der Messsoftware geladen werden können.

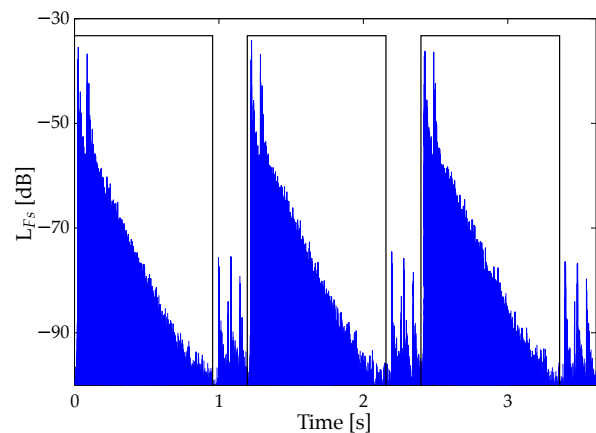
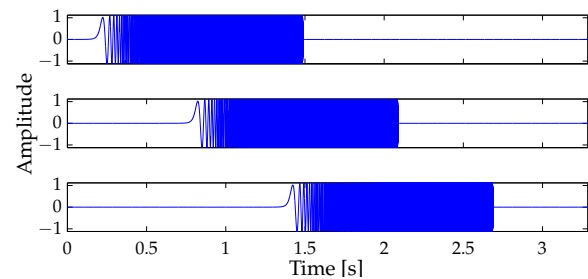


Abbildung 2: Drei überlappende exponentielle Sweeps zur Messung von drei LS-Kanälen und das entsprechende Entfaltungsprodukt sowie die Fenster zur Gewinnung der linearen Impulsantworten

Fehlerdetektion

Die Identifikation des Betriebsstatus eines LS-Kanals wird im Frequenzbereich vollzogen. Nachdem die Übertragungsfunktionen aller Kanäle akquiriert wurden, werden diese ins Verhältnis zu den Übertragungsfunktionen der entsprechenden Kanäle im intakten Zustand gesetzt, wobei die Phase vernachlässigt wird. Dadurch werden, sofern die Positionen von Mikrofon und LS gegenüber der Referenzmessung nicht verändert wurden, die Eigenschaften des Mikrofons, des Raums, ebenso wie der spezifische Frequenzgang des LS eliminiert. Es verbleibt die Differenz zum einwandfreien Betriebszustand. Aus dem resultierenden Fehler-Frequenzgang wird ein Fehler-Vektor berechnet, der die Pegeldifferenzen für bestimmte Frequenzbänder enthält (Abbildung 3). Dieser Vektor wird einem Set

von Referenz-Fehler-Vektoren gegenübergestellt, die allen fehlerhaften Betriebszuständen des verwendeten LS-Modells entsprechen. Die Referenz-Fehler-Vektoren müssen dabei nur einmal pro LS-Modell erfasst werden, wobei neben dem intakten LS-Kanal auch alle potentiellen Defekte herbeigeführt und vermessen werden. Der vom Detektionsalgorithmus ausgegebene Kanalstatus entspricht dann dem Referenz-Fehler-Vektor mit der geringsten Distanz zum gemessenen Fehler-Vektor.

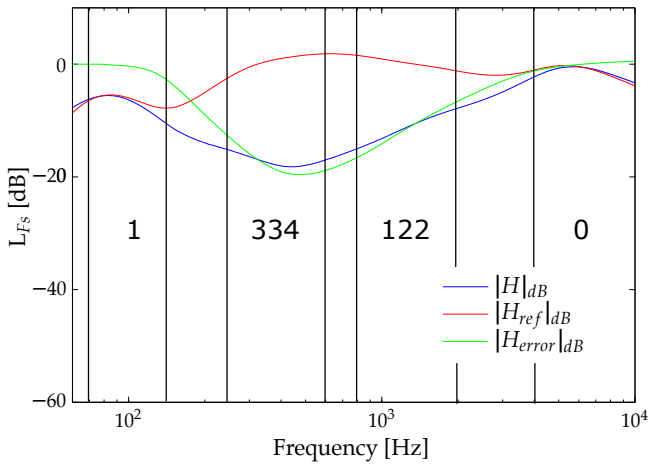


Abbildung 3: Referenz- $|H_{Ref}|_{dB}$, Fehler- $|H_{error}|_{dB}$ und gemessener Betragsfrequenzgang $|H|_{dB}$ eines LS-Kanals nebst resultierendem Fehler-Vektor

Integration und Evaluation

Das Messsystem wurde in die WFS-Anlage der TU-Berlin integriert. Über ein an der Rückwand des Hörsaals installiertes Ruummikrofon erfolgte eine automatisierte akustische Referenzmessung zur Bestimmung der Übertragungsfunktionen der einzelnen Kanäle im intakten Zustand sowie der Parameter für das zeitoptimierte Messverfahren. Die zur Erzeugung der Referenz-Fehler-Vektoren benötigten Messungen wurden in einem WFS-Labor durchgeführt, das aus denselben LS-Modulen [4] aufgebaut ist. Jeder Kanal besteht hierbei aus einem Tieftöner parallel zu drei in Serie geschalteten Breitbandlautsprechern. Dadurch ergeben sich neun mögliche Kombinationen von LS-Ausfällen.

Zur Überprüfung der Reliabilität der Detektion wurde das LS-System fünfmal vermessen, wobei auf jeweils 10% der Kanäle zufällige LS-Ausfälle durch entsprechende Filterung des Anregesignals simuliert wurden. Hierfür wurden FIR-Filter aus den Fehler-Betragsfrequenzgängen erzeugt. Es wurden alle Defekte exakt identifiziert. Die ungleichmäßige Verteilung der Defektarten (Abbildung 4) ist dadurch zu erklären, dass zum Zeitpunkt der Messungen bereits einige Kanäle reale Defekte aufwiesen.

Um die Optimierung der Messzeiten zu evaluieren, wurde das WFS-System dreimal mit und ohne das Overlapping-Verfahren überprüft, wobei aufgrund des Arbeitsspeichers nur jeweils 32 Kanäle mit überlappenden Sweeps gemessen werden konnten. Die Messdauer konnte da-

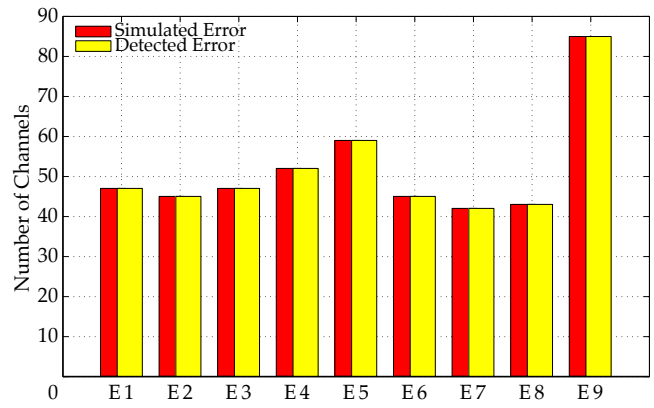


Abbildung 4: Detektion von simulierten fehlerhaften Betriebszuständen

durch auf etwa die Hälfte verringert werden (Tabelle 1). Während die Zeit für das Abspielen des Stimulus und

Tabelle 1: Messzeiten für Messungen mit und ohne OV

	Abspielen, Aufnahmen	DSP etc.	Gesamte Messzeit
OV	8 Min.	14 Min.	22 Min.
Sequentiell	28 Min.	14 Min.	42 Min.

das Aufnehmen der Systemreaktion des LS-Kanals um das 3,5-fache verringert werden kann, sind die Zeiten für die Signalverarbeitung in beiden Fällen identisch. Auch wenn die Messdauer durch die Erhöhung des Arbeitsspeichers des Computers weiter reduziert werden kann, ist die maximale Anzahl von Kanälen in diesem Fall auch durch die MADI-Verbindung auf 64 beschränkt.

Mit dem entwickelten Messsystem ist jedoch bereits jetzt eine sichere und zeitoptimierte Detektion von LS-Ausfällen möglich, wodurch Wartungsarbeiten zielgerichteter durchgeführt und der Betriebszustand eines großen Lautsprechersystems in relativ kurzer Zeit umfassend dokumentiert werden kann.

Literatur

- [1] Moldrzyk, C.; Goertz, A.; Makarski, M.; Feistel, S.; Weinzierl, S.; Ahnert, W.: Wellenfeldsynthese für einen großen Hörsaal. Fortschritte der Akustik, DAGA Tagungsband (2007)
- [2] Majdak, P.; Balazs, P.; Laback, B.: Multiple Exponential Sweep Method for Fast Measurement of Head-Related Transfer Functions. Journal of the Acoustical Engineering Society. Bd. 55, S. 623–637 (2007)
- [3] Weinzierl, S.; Giese, A.; Lindau, A.: Generalized multiple sweep measurement. Proc. of the 126th AES Convention. Munich, preprint no. 7767 (2009)
- [4] Makarski, M.; Goertz, A.; Weinzierl, S.; Moldrzyk, C.: Zur Entwicklung von Lautsprechern für die Wellenfeldsynthese. 25. Tonmeistertagung – VDT international convention (2008)