

Messtechnische Untersuchungen an einem 2D-ANC-System im Echtzeitbetrieb

Arndt Niepenberg, Detlef Krahé

Bergische Universität Wuppertal, Deutschland, Email: krahe@wuppertal.de

Einleitung

Das Active Noise Control (ANC) - Verfahren zur Dämpfung eines Schallfelds innerhalb eines kreisförmigen Bereiches wurde bereits in früheren Beiträgen auf der DAGA vorgestellt. Untersuchungen, auf die sich diese Beiträge bezogen, bestanden zunächst aus Berechnungen und Simulationen, die später auch realitätsnahe Rahmenbedingungen einbezogen. Auf der DAGA '05 konnten erstmals Ergebnisse von akustischen Messungen an einem Messaufbau präsentiert werden [1]. Da ein digitales Verarbeitungssystem mit der für einen Echtzeitbetrieb erforderlichen Rechenleistung noch nicht zur Verfügung stand, wurde das ANC - System in einem Offline - Modus betrieben. Ein Multiprozessor-System aus vier vernetzten Digital Signal Prozessoren (DSP) stellt nun die erforderliche Rechenleistung zur Verfügung, um den Betrieb des Messaufbaus in Echtzeit und damit unter realistischen Rahmenbedingungen zu ermöglichen. Ergebnisse aus den Messungen im Echtzeitbetrieb werden im Folgenden präsentiert. Zuvor werden jedoch Messaufbau und Multiprozessor-System kurz vorgestellt, um einen Überblick über das ANC - System zu geben.

Messaufbau

Wie in Abbildung 1 gezeigt, besteht der Messaufbau aus zwölf Lautsprechern, die in einem Kreis mit einem Durchmesser von 1,35 m in gleichmäßigen Abständen angeordnet sind.

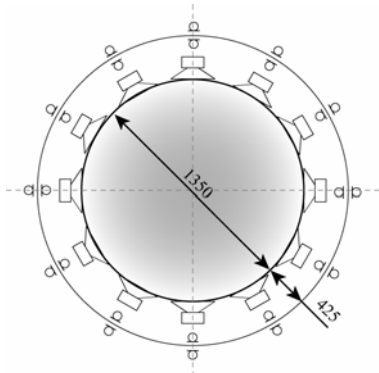


Abbildung 1: Messaufbau bestehend aus einem Mikrofonkreis außen und einem Lautsprecherkreis innen. (Darstellung nicht proportional)

Diese Lautsprecher erzeugen das sekundäre Schallfeld, so dass eine Superposition von Primär- und Sekundärschall zu einer Dämpfung des Schalls innerhalb des Kreises führt. Durch zwölf Mikrofonpaare, die sich auf einem äußeren Kreis mit einem Durchmesser von 2,20 m befinden, können Informationen über Schalldruck und Schalldruckgradient des einfallenden Primärschalls gewonnen werden. Aus den einzelnen Mikrofonsignalen gehen die geeigneten

Lautsprechersignale durch entsprechende Filterung hervor [2][3]. Um die Struktur des Messaufbaus mit Filtern vollständig erfassen zu können, ist zwischen jedem Mikrofon und jedem Lautsprecher ein Filter mit einer speziellen Übertragungsfunktion einzusetzen. Daher sind für den verwendeten Messaufbau mit zwölf Lautsprechern und 24 Mikrofonen 288 Übertragungsfunktionen durch die Verarbeitungshardware zu realisieren.

Multiprozessoren-System

Der Kern der Verarbeitungshardware besteht aus vier DSP des Typs TMS320C6713 (Texas Instruments). Diese befinden sich zusammen mit weiteren Komponenten wie Stromversorgung, Halbleiterspeicher und USB - Schnittstelle auf Platinen, die als DSP Starter Kits (DSK) zur Entwicklung von DSP - Systemen dienen. Auf den DSK montierte Buchsen ermöglichen die Verbindung zwischen DSP und externen Systemkomponenten. Auf diese Weise ist ein Analog / Digital - Wandler mit sechs Kanälen und ein Digital / Analog - Wandler mit vier Kanälen an jedes DSK angeschlossen, so dass sechs Mikrofonsignale an jedem der vier DSP anliegen und die berechneten Signale eines DSP an jeweils drei Lautsprechern ausgegeben werden können. Um zu diesem Zweck alle Mikrofonsignale untereinander auszutauschen, sind die DSP unter Verwendung einer seriellen Schnittstelle ringförmig vernetzt. Abbildung 2 zeigt ein Foto des Multiprozessoren-Systems.

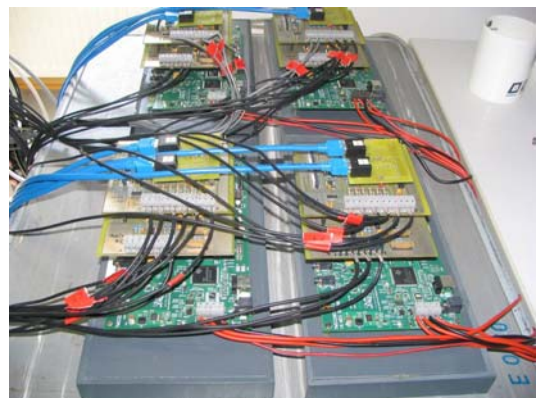


Abbildung 2: Multiprozessoren-System. Deutlich zu erkennen sind die auf die DSK aufgesetzten externen Platinen.

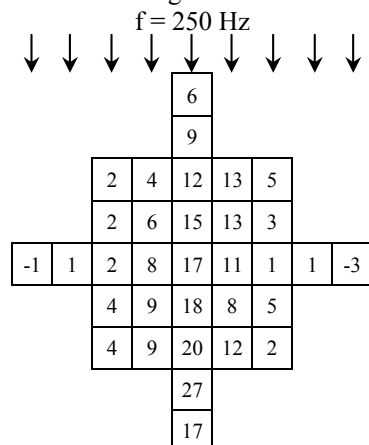
Die Zeit, die für die Berechnung des Sekundärfelds beansprucht wird, muss für den Echtzeitbetrieb möglichst kurz gehalten werden und darf keinesfalls die akustische Laufzeit zwischen Mikrofonen und Lautsprechern von ca. 1,2 ms überschreiten. Die Verarbeitung der Mikrofonsignale findet daher mit FIR - Filtern im Zeitbereich statt, so dass keine weitere Verzögerung der Signale durch Blockbildung, wie sie für die Transformation in den Spektralbereich mittels FFT notwendig wäre, entstehen kann.

Das System läuft bei einer mittleren Filterordnung von 76 mit einer Abtastrate von 15 kHz. Mit den insgesamt 288 Filtern sind folglich 328 Millionen Multiplikationen und Akkumulationen pro Sekunde (MMACs) erforderlich.

Messungen im Echtzeitbetrieb

Durch Messungen wurden die Dämpfungspegel an diskreten Messpunkten auf der Kreisebene für monofrequenten Primärschall mit Frequenzen von 250 Hz und 300 Hz ermittelt. Um bei den Messungen unerwünschte Reflexionen am Boden des Halbfreifeldraums zu vermeiden, wurde der Messaufbau auf den Boden gelegt. Der Schalldruckpegel des Primärschalls wurde im Kreismittelpunkt stellvertretend für alle Messpunkte gemessen. Anschließend wurde das Multiprozessoren-System eingeschaltet und die Schalldruckpegel des aus der Überlagerung von Primär- und Sekundärfeld resultierenden Schallfelds an den verschiedenen Messpunkten um den Kreismittelpunkt herum erfasst. Die in Abbildung 3 dargestellten Dämpfungspegel an den entsprechenden Messpunkten ergaben sich durch Subtraktion der im Echtzeitbetrieb gemessenen Schalldruckpegel vom Pegel des Primärfeldes.

Einfallsrichtung des Primärschalls



Einfallsrichtung des Primärschalls

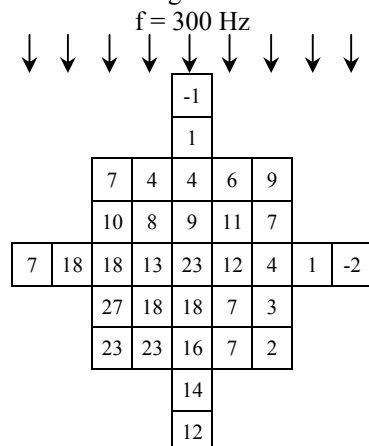


Abbildung 3: Dämpfungspegel in dB an den verschiedenen Messpunkten in der Kreismitte. (Raster: 10 x 10 cm)

Den Messergebnissen ist zu entnehmen, dass auf der Hauptachse in Einfallsrichtung des Primärschalls eine gute Dämpfung von teilweise über 20 dB erreicht werden kann. Zu den Seiten hin nehmen die Dämpfungswerte allerdings stark ab und es sind Unsymmetrien links und rechts von der Hauptachse zu erkennen. Bei einer Frequenz des Primärschalls von 300 Hz ist festzustellen, dass sich das Dämpfungsfeld nach hinten und nach links verschiebt. Bei weiteren Messungen mit höheren Frequenzen wurde diese Tendenz bestätigt: Das Dämpfungsfeld wird mit zunehmender Frequenz weiter nach hinten geschoben und liegt schon bei 350 Hz ganzheitlich hinter dem Messbereich.

Fazit

Die Ursache findet sich in den Stoßantworten der FIR - Filter. Diese wurden zunächst unter idealen Bedingungen hergeleitet. Da das gesamte Verarbeitungssystem eine zusätzliche Verzögerung der Signale verursacht, muss nun die Laufzeit der FIR - Filter für den Echtzeitbetrieb verkürzt werden. Unter Beibehaltung der Kausalität sind die Stoßantworten also vorne abzuschneiden, wodurch sich der Schwerpunkt der Stoßantworten verschiebt und sich eine frequenzabhängige Gruppenlaufzeit der FIR - Filter einstellt. Dies resultiert in einer frequenzabhängigen Verschiebung des gesamten Dämpfungsfeldes.

Um die Stoßantworten möglichst wenig verkürzen zu müssen, ist die Verzögerung des Systems zu verringern. An den Laufzeiten der Mikrofone und Lautsprecher ist durch aufwendigen Austausch der Schallwandler allerdings nur noch wenig zu optimieren. Die Verzögerung des Multiprozessoren-Systems beträgt ohnehin nur 160 μs bei der gewählten Abtastrate von 15 kHz. Durch Erhöhen der Abtastrate könnte die Laufzeit noch ein wenig verkleinert werden. Zur Zeit treten aber bei höheren Abtastraten Konflikte durch Speicherzugriffe auf, so dass diese Möglichkeit zunächst auch ausscheidet. Die Lösung liegt in der Vergrößerung des Abstandes zwischen den Mikrofonen und den Lautsprechern. Zusätzlich soll in Zukunft eine adaptiv arbeitende Routine zur Selbstjustierung des Systems auf dem Multiprozessoren-System implementiert werden, um durch exakten und fortlaufenden Abgleich die Dämpfungswirkung nahe dem theoretisch erreichbaren Maximum zu halten.

Literatur

- [1] D. Krahe, Messtechnische Untersuchung an einem 2D-ANC-System, DAGA '05, München
- [2] M. Trimpop, D. Krahe, Contemplations about the numeric transposition of the generalised Kirchhoff integral with the intention of active noise reduction, DAGA '99, Berlin
- [3] D. Krahe, M. Trimpop: Considerations on the Realtime Realisation of a 2D-Feedforward-ANC-System, Part 1+2, DAGA '04, Strasbourg