

Schallquellenortung mit synchroner Erfassung weiterer Daten : Parallele Online Analysen vielfältiger Signaltypen

Florian Kluiber, Per Schönacher

Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH, 82152 Planegg, Deutschland,
Email: FKluiber@MuellerBBM-vas.de, PSchoenacher@MuellerBBM-vas.de

Einleitung

Schallquellenortung ist ein Verfahren zur Ermittlung und Visualisierung dominanter Abstrahlpunkte an komplexen Geräuschquellen. Dazu wird ein Objekt mit einem Mikrofonarray vermessen, welches aus mehreren räumlich verteilten Mikrofonen und einer Kamera aufgebaut ist.

Durch Beamforming Algorithmen im Zeit- und Frequenzbereich wird die lokale Verteilung von Abstrahlpunkten einer Quelle ermittelt, welche in einer Schallkarte mit Hilfe von farbig codierten Pegelwerten visualisiert wird. Zur eindeutigen Identifizierung der Abstrahlpunkte wird der Schallkarte das Bild oder Video einer Kamera überlagert.

In diesem Beitrag wird ein Messsystem vorgestellt, welches neben der Erfassung und Visualisierung der Daten für die Schallquellenortung weitere Luft- und Körperschallsignale aufzeichnet und in Echtzeit analysiert.

Dazu wurden Messungen mit einem Mikrofonarray und weiteren Messkanälen an einem Fahrzeug durchgeführt.

Theorie

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse der Schallquellenortung wurden sowohl mit Beamforming Algorithmen im Zeit- wie auch im Frequenzbereich berechnet.

Das Prinzip des Beamformings beruht auf Laufzeitunterschieden zwischen den Mikrofonen des Arrays für jeden Messpunkt der Geräuschquelle.

Bei Algorithmen, die im Zeitbereich arbeiten, werden die Laufzeitunterschiede der Mikrofonensignale für jeden einzelnen Quellpunkt kompensiert und aufsummiert. Das Ergebnis wird auf die Anzahl der Mikrofone normiert. Zusätzlich bietet der Algorithmus die Möglichkeit eines Resamplings der Zeitsignale. Das Resampling wird dabei vor dem eigentlichen Beamforming Algorithmus durchgeführt. Eine höhere Abtastrate der Zeitsignale erlaubt eine exaktere Korrektur der Laufzeitunterschiede mit Samplegenauigkeit, was eine gleichmäßigere Darstellung der Schallortungssequenz erlaubt.

Beim Beamforming im Frequenzbereich wird zunächst eine FFT-Analyse der Zeitsignale, die das Mikrofonarray liefert, durchgeführt. Die Laufzeitunterschiede der Signale führen im Frequenzbereich zu einer Phasenverschiebung der Frequenzlinien. Die Phasenverschiebung der Frequenzlinien wird durch den Algorithmus kompensiert. Im Anschluss werden die phasenkorrigierten Spektren aufsummiert und auf die Mikrofonanzahl normiert.

Im Zeit- wie auch im Frequenzbereich lässt sich eine Bandpassfilterung der Signale durchführen. Dazu kann ein entsprechender Frequenzbereich selektiert werden. Wurde zusätzlich zur Messung ein Drehzahlsignal aufgezeichnet, kann auch eine Bandpassfilterung im Ordnungsbereich durchgeführt werden. Dies eignet sich zum Beispiel besonders bei Hochlaufmessungen eines Motors, um mit der Drehzahl variable Frequenzbereiche herauszufiltern. Durch eine geeignete Bandpassfilterung lassen sich leicht einzelne Geräuschquellen identifizieren.

Schallortungsmessung

Die Messungen am Fahrzeug wurden mit einem Spiralarray durchgeführt, welches eine Anordnung aus 36 Mikrofonen darstellt. Die einzelnen Mikrofone sind auf 5 Spiralbahnen angeordnet. Dadurch ist eine unregelmäßige Anordnung der Mikrofone gewährleistet.



Abbildung 1: Mikrofonarray aus 36 1/4' ICP Mikrofonen, angeordnet auf 5 Spiralbahnen.

Durch die gewählte Geometrie des Mikrofonarrays wird eine gute Ortsauflösung und hohe Unterdrückung der Nebenebenen in einem großen Frequenzbereich erreicht.

Das Mikrofonarray mit einem Durchmesser von 90cm ist für eine Schallquellenortung in einem Frequenzbereich von 500 Hz – 10 kHz ausgelegt. Der Dynamikbereich des Mikrofonarrays umfasst 10 dB.

Das Mikrofonarray wurde im Abstand von einem Meter von schräg oben in den Motorraum des Fahrzeugs gerichtet, um die abstrahlenden Quellen des Motors und weiterer Aggregate aufzuzeichnen.

Zusätzlich wurden weitere Mikrofone und Beschleunigungsaufnehmer im Innenraum des Fahrzeugs und im Motorraum zur Erfassung weiterer Luft- und Körperschallsignale angebracht. Zur Messung der Motordrehzahl und zur Bestimmung eines Arbeitsspiels des Motors wurden Drehzahlsensoren im Bereich der Kurbel- und Nockenwelle eingesetzt.

Das System bietet weiterhin die Möglichkeit Parameterkanäle, wie sie ein CAN-Bus liefert, aufzuzeichnen, um den aktuellen Zustand des Prüflings zu erfassen und zu überwachen.

Nachfolgend werden beispielhaft Ergebnisse einer Schallquellenortung für eine Leerlauf-Messung am Fahrzeug gezeigt. Parallel zu einer Onlinevisualisierung der Schallquellenortung wurden weitere Analysen wie FFT-Analyse, digitales Ordertracking und Grad-Kurbelwinkel-Analyse in Echtzeit berechnet. Diese Analysen stehen im Anschluss an die Messung zur Auswertung zur Verfügung.

Die Auswertung der Messung zeigt eine impulshaltige Struktur im Spektrum der Signale des Mikrofonarray für einen Frequenzbereich zwischen 8,7 kHz und 10 kHz.

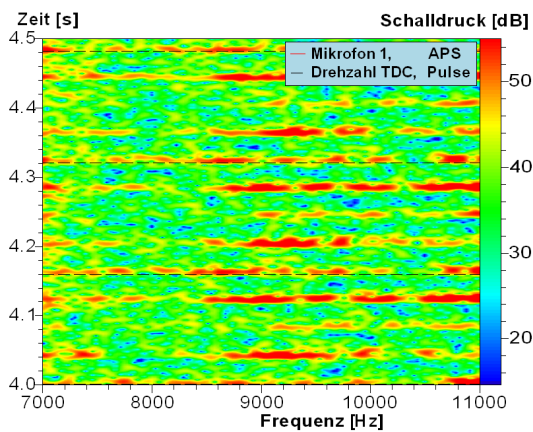


Abbildung 2: APS-Spektrum Kanal 1 Mikrofonarray

Abbildung 3 und 4 zeigen Ergebnisse einer Schallquellenortung im Frequenzbereich zwischen 8,7 kHz und 10 kHz. Zur Berechnung der Schallkarte wurde der Beamforming Algorithmus im Zeitbereich mit einer zeitlichen Auflösung von 1 ms ausgewählt. Die 4 Einzelbilder sind zeitliche Ausschnitte der Schallortungssequenz im Abstand von 40 ms. Der Pegelbereich für die Visualisierung beträgt 4 dB.

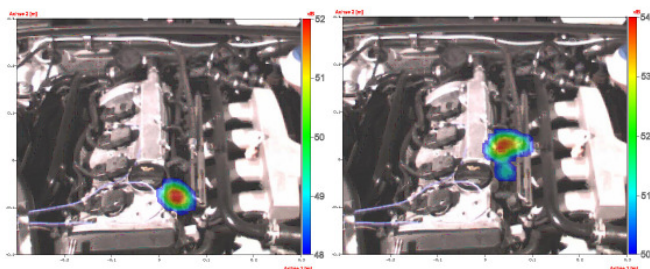


Abbildung 3: Abstrahlung von Zylinder 1 (links) und Zylinder 3 (rechts)

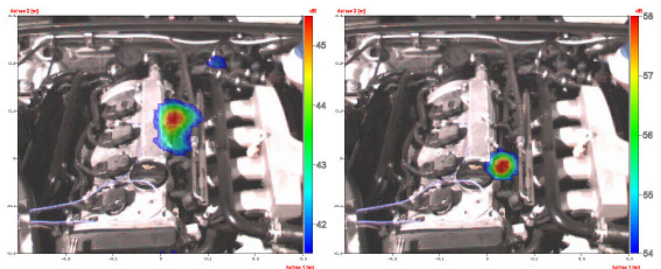


Abbildung 4: Abstrahlung von Zylinder 4 (links) und Zylinder 2 (rechts)

Die Schallquellenortung in Abbildung 3 und 4 zeigt eine räumliche Zuordnung verschiedener Impulse, zu den einzelnen Zylindern. Dies entspricht der typischen Zündfolge 1-2-4-3 eines Vierzylindermotors.

Ein Vergleich der Schallquellenortung mit einer Grad-Kurbelwinkel-Analyse der Signale des Mikrofonarrays bestätigt diese Ergebnisse. Bei einer Grad-Kurbelwinkel-Analyse wird das Messsignal über der Winkelposition der Kurbelwelle eines Motors dargestellt.

Abbildung 5 zeigt deutlich 4 Impulse die einer Winkelposition der Kurbelwelle zu zuordnen sind. Die unterschiedlichen Schalldruckwerte der 4 Impulse sind auch in den Ergebnissen der Schallquellenortung zu erkennen.

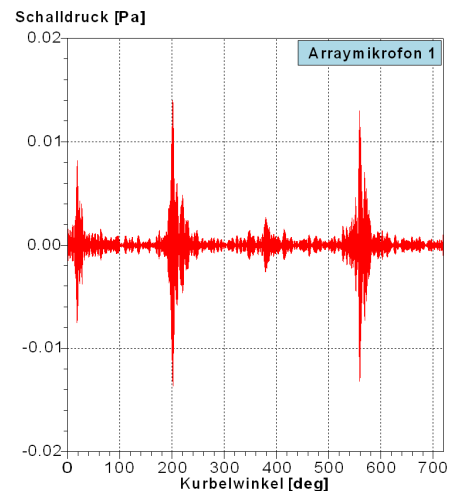


Abbildung 5: Grad-Kurbelwinkel-Analyse

Zusammenfassung

Die parallele Erfassung und Echtzeitanalyse von Schallquellenortung mit weiteren Luft- und Körperschallkanälen erlaubt eine detaillierte Auswertung und Vergleich von Messergebnissen. Zum Beispiel lassen sich auffällige Außengeräusche, die mit einem Mikrofon erfasst wurden, mit Hilfe der Schallquellenortung identifizieren und einer Geräuschquelle zuordnen. Dadurch ist eine schnelle und effektive Arbeitsweise gewährleistet.