

Methoden zur Erweiterung der Einsatzbedingungen von Beamforming-Verfahren

Marcus Kern, Holger Opfer

¹ Volkswagen AG, Konzernforschung, Brieffach 1777, 38346 Wolfsburg, Deutschland
Email: holger.opfer@volkswagen.de

Einleitung

Die schnelle Identifikation von akustischen (Stör-)Quellen gewinnt im Entwicklungsprozess der Automobilindustrie immer mehr an Bedeutung. Durch die ständig wachsende Prozessorleistung des PC-Standards hat in den letzten Jahren die Lokalisation von Schallquellen mittels Mikrofonarrayverfahren Verbreitung gefunden. Hierbei bieten Beamforming-Verfahren die Möglichkeit, anhand von Messungen im akustischen Fernfeld einen Hinweis auf die Richtung, aus der der Schall kommt, zu gewinnen und damit auf die mögliche Quelle. Die Schwächen solcher Ortungsmethoden sind hinlänglich bekannt und reichen von einer i. A. zu geringen, frequenzabhängigen Ortsauflösung, einer unzureichenden Dynamik, einer Abhängigkeit von der Richtcharakteristik der betrachteten Quelle, einer großen Störempfindlichkeit bis zu Problemen mit Geisterquellen, die durch räumliches Aliasing entstehen. Alle diese Aspekte gestalten den Einsatz dieser Verfahren in der Praxis und die Interpretation der Ergebnisse problematisch und verlangen i. A. ideale Messbedingungen. In dieser Studie werden Mess- und Analysemethoden untersucht, um Beamforming-Verfahren, wie die Akustische Kamera, auch im alltäglichen Entwicklungsprozess unter akustisch ungünstigen Bedingungen einsetzen zu können.

Aufgabenstellung

In dieser Studie sollen mathematische Methoden zur Reduktion dieser bekannten Mängel untersucht werden. Dabei sollen diese insbesondere hinsichtlich einer praktischen Handhabung im Entwicklungsprozess bewertet werden.

Ein hinlänglich bekanntes Problem stellt die meist nicht ausreichende Signaldynamik gepaart mit unzureichender räumlicher Auflösung dar, die von der Mikrofonanzahl und -verteilung des Arrays abhängen. Diese Einschränkung führt dazu, dass in vielen Messsituationen nur die Hauptschallquellen, die allerdings meist bereits bekannt sind, untersucht werden können. Um auch weniger laute, aber vielleicht sehr lästige Schallquellen untersuchen zu können, behilft man sich in der Praxis dadurch, dass diese Hauptschallquellen für das Experiment eliminiert werden, indem Dämmstoffe und Schirmung angebracht werden. Diese Art, Störquellen sukzessive zu eliminieren, bringt oft wie im Beispiel von Windkanaluntersuchungen auch technische Probleme mit sich und kann ein sehr zeitaufwendiger Prozess sein. Somit soll in dieser Studie untersucht werden, inwieweit es möglich ist, solche dominanten Störquellen rechnerisch aus den Daten zu entfernen. Erste Ergebnisse werden vorgestellt.

Das verwendete Messsystem

Als Messsystem wurde die Akustische Kamera der Firma GFal eingesetzt. Es besteht hauptsächlich aus einem Multikanaldatenrekorder, einem Laptop und einem Ring-Array mit einer CCD-Kamera im Zentrum. Die Software *NoiseImage* überlagert dann die mittels Beamforming-Verfahren berechneten und farbig dargestellten Schalldruckpegelkarten mit dem Bild der CCD-Kamera. Zwecks besserer Darstellung lässt sich das Objektbild auch optisch Hochpass-filtern, so dass nur noch die Objektkanten zu sehen sind (s. Abbildung 3). Die Signaldynamik des verwendeten Ring-Arrays mit 32 Mikrofonen liegt bei ca. 6dB.

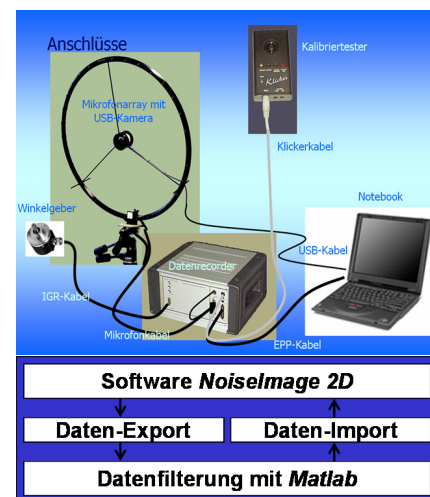


Abbildung 1: Die Akustische Kamera der Fa. GFal dient als Basis für diese Untersuchungen.

Durch einen exklusiv für uns bereit gestellten Export-Import-Modus in der Software *NoiseImage* ist es uns möglich, mit dem System aufgenommene Daten zu exportieren, mittels eigener Algorithmen zu modifizieren und wiederum zwecks Auswertung in die Software *NoiseImage* zu importieren. Somit kann eine problemangepasste Datenfilterung durchgeführt werden.

Die angewandte Methode zur Datenfilterung

Um die bereits erwähnte dominante Störquelle aus den Mikrofonarraydaten zu eliminieren, wird hier der Ansatz verfolgt, die zu der Störquelle korrelierten Signalanteile mittels eines entsprechend adaptierten Filters herauszurechnen. Dieser Ansatz bietet im Vergleich zu herkömmlichen Filterungen, z.B. mittels Bandpässen, den Vorteil, dass schwächere akustische Quellen im gleichen Frequenzbereich nach der Filterung untersucht werden können. Abbildung 2 zeigt eine Prinzipskizze der Anwendung des adaptiven Filters. Im ersten Schritt wird das Referenzsignal x gewonnen. Dies kann entweder synchron

während der Messung aufgenommen werden, oder nach einer ersten Auswertung durch die Software *NoiseImage* gewonnen werden, indem man sich das Zeitsignal einer bestimmten Quelle im „akustischen Bild“ ausgeben lässt. Dieses repräsentiert den Schalldruck, welcher durch das Mikrofonarray aus dieser Richtung aufgenommen wurde und dient im Weiteren als Referenzsignal x für diese (Stör-)Quelle.

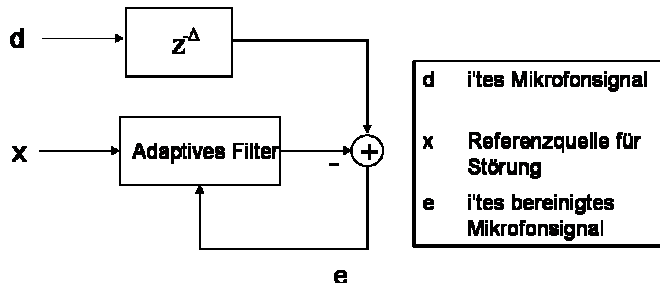


Abbildung 2: Prinzipskizze einer Systemidentifikation mittels adaptiven Filters zwecks rechnerischer Eliminierung der Korrelation zur Störquelle aus den Mikrofonarraydaten.

In einem zweiten Schritt wird dann ein adaptives Filter so adaptiert, dass alle zu diesem Referenzsignal korrelierten Signalanteile aus den Mikrofondaten entfernt werden. Somit können im dritten Schritt nun diese gefilterten Mikrofondaten erneut durch *NoiseImage* ausgewertet werden, wodurch es möglich ist, vorher überstrahlte Schallquellen zu identifizieren und zu untersuchen. Die Adaption des Filters wurde mittels eines *Recursive-Least-Squares*-Verfahren durchgeführt, welches in [1] als *Stabilized Fast Transversal Filter* vorgestellt wurde.

Messungen und Ergebnisse

Als Beispielmessung diente hier eine auf dem Rollenprüfstand im VW Akustikzentrum in Wolfsburg durchgeführte Messung an einem VW Touareg (siehe Abbildung 3). Bei der ungefilterten Messung (Mitte) wird sichtbar, dass die Bildbereiche der Abrollgeräusche des Vorder- und Hinterrades ineinander übergehen und somit keine klare Trennung möglich ist. Dieses ist eine Situation, die bei vielen Messungen so oder ähnlich auftritt und hier nur als Beispiel für die Anwendung des vorgestellten Verfahrens dienen soll. Wenn man nun die beiden Abrollgeräusche als unkorrelierte Quellen annimmt, was sie de facto durch die gleichen Rollenbeläge und die gleiche Drehzahl natürlich nicht sind, dann kann man sich, wie oben bereits beschrieben, ein Referenzsignal in der Nähe des Hinterrades durch *NoiseImage* ausgeben lassen. Wenn man nun die zu diesem Signal korrelierten Anteile aus jedem einzelnen Mikrofonarray entfernt und die Auswertung erneut durchführt, erhält man das darunter dargestellte Bild. Dieses zeigt also den Anteil des Rollgeräusches des Vorderrades, welcher trotz gleicher Rollenbeläge weitgehend unkorreliert zum Abrollgeräusch des Hinterrades ist.

Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem vorgestellten Verfahren wurde gezeigt, dass es möglich ist, einzelne akustische Quellen aus dem Datensatz

rechnerisch zu entfernen. Diese Vorgehensweise ermöglicht es uns, den Einsatz des Messsystems *Akustische Kamera* auf eine Reihe von Messsituationen auszudehnen, welche sonst durch akustisch dominante Quellen „blockiert“ wären.

Basierend auf dem Messsystem *Akustische Kamera* und unserem Zugang zu den Messdaten, werden weitere Untersuchungen mit dem Ziel durchgeführt, das alltägliche Einsatzgebiet dieser Messsysteme auszuweiten.

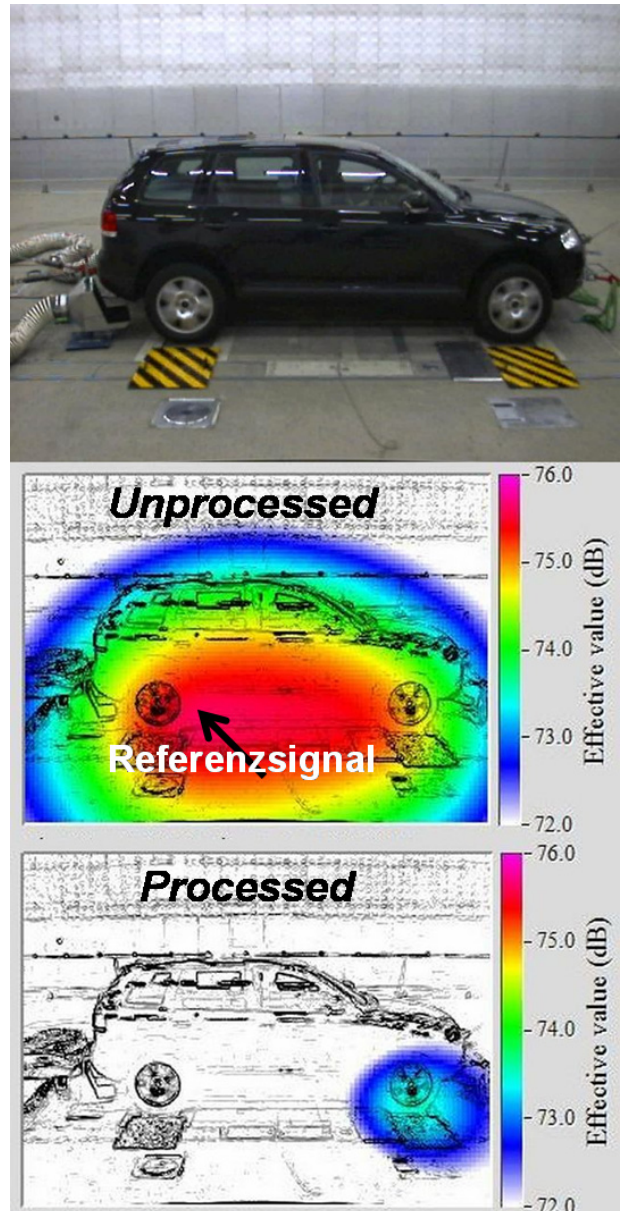


Abbildung 3: VW Touareg auf dem Rollenprüfstand im VW Akustik Zentrum Wolfsburg (oben). Das durch die Akustische Kamera berechnete Bild zeigt das Abrollgeräusch beider Räder (Mitte). Das untere durch Daten-Preprocessing aufbereitete Bild zeigt ausschließlich den unkorrelierten Anteil des Abrollgeräusches des Vorderrades (unten).

Literatur

[1] Slock, D.T.M., and T.Kailath (1991). "Numerically Stable fast transversal filters for recursive least squares adaptive filtering." *IEEE Trans. Signal Process.* Vol. 3, pp.92-114.