

Automatische Erkennung von transienten Störgeräuschen

Bernd Philippen, Roland Sottek

HEAD acoustics GmbH, Ebertstraße 30a, 52134 Herzogenrath, E-Mail: bernd.philippen@head-acoustics.de

Einleitung

Die Ursache von transienten Störgeräuschen im Fahrzeug wie Klappern, Knacken oder Klopfen zu ermitteln ist eine anspruchsvolle Aufgabe bei der Bearbeitung von Kundenbeanstandungen oder in der Qualitätsüberwachung. Ein Akustikexperte, der mit seiner Erfahrung die Geräuschursache schnell eingrenzen kann, steht nicht immer zur Verfügung. Daher entsteht der Wunsch, einen Werkstattmitarbeiter mit einem System auszustatten, das hilft, aus einer Geräuschaufnahme die Fehlerursache automatisch zu erkennen. Die Zuordnung zur wahrscheinlichsten Ursache erfolgt anhand verschiedener aus der Aufnahme extrahierter Merkmale mit einem zuvor trainierten Klassifizierungsalgorithmus. Ein Kernaspekt ist die Wahl geeigneter Merkmale, mit denen einerseits eine eindeutige Unterscheidung der Geräusche möglich ist, andererseits dieselbe Ursache unter leicht veränderten Randbedingungen immer noch korrekt erkannt wird. Transiente Störgeräusche erfordern dabei eine andere und aufwändigere Vorgehensweise als tonale Geräusche, deren Ursache sich meistens durch die Kenntnis der Frequenz oder bei drehzahlabhängigen Vorgängen über die Ordnung identifizieren lässt.

Automatische Erkennung

Analysen wie FFT über Zeit oder Drehzahl sind für die Verarbeitung transienter Störgeräusche nur bedingt geeignet. Der erste Schritt des Erkennungsalgorithmus, der hier vorgestellt wird, ist die „Relative Approach“-Analyse, mit der für den Menschen besonders störende Geräuschkomponenten identifiziert werden können [1-3].

Relative Approach

Bei der Berechnung der „Relative Approach“-Analyse wird angenommen, dass bei der Verarbeitung akustischer Ereignisse durch das menschliche Gehör kontinuierlich ein Vergleich des momentanen Musters im Zeit-Frequenz-Bereich mit einem Referenzschall erfolgt. Grundlage des Verfahrens ist deshalb die auf dem Gehörmodell nach Sottek basierende Spektraldarstellung über der Zeit [3,4]. Über eine Glättung und eine Regression werden aus den zurückliegenden Werten die aktuellen Werte geschätzt. Der Schätzfehler wird als Maß für Veränderungen im Signal verwendet. Dadurch wird berücksichtigt, dass abrupte Änderungen im Zeit- oder Frequenzbereich deutlicher wahrgenommen werden als kontinuierliche. Es gibt zwei Varianten der Analyse. Die erste, bei der nach einer Regression über der Zeit eine Glättung der Spektralwerte durchgeführt wird, eignet sich vornehmlich für tonale Komponenten. Die zweite Variante ist für transiente Geräusche besser geeignet. Zuerst wird entlang der Frequenz geglättet und anschließend erfolgt die zeitliche Regression. Beide Varianten lassen sich auch durch eine gewichtete Summe kombinieren, um Frequenz- und Zeitmuster gleichzeitig zu analysieren.

In Abbildung 1 sind beispielhaft vier Analysen von transienten Störgeräuschen dargestellt.

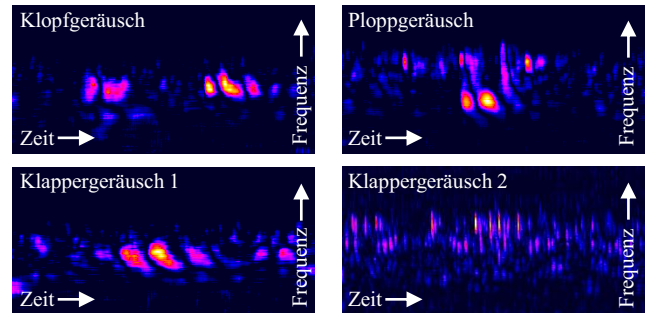


Abbildung 1: „Relative Approach“-Analysen von vier transienten Störgeräuschen.

Ereignisdetektion und Merkmalsextraktion

Aus der „Relative Approach“-Analyse werden die Ausschnitte des Zeitsignals detektiert, die besonders auffällig sind und damit markante Informationen über das Störgeräusch enthalten. Diese Ausschnitte werden im Folgenden als Ereignis bezeichnet. Zuerst wird das „Relative Approach“-Diagramm bereinigt, indem kleine Werte unterhalb einer vorgegebenen Schwelle zu Null gesetzt werden, damit Hintergrundrauschen nicht einem Ereignis zugeordnet wird. Für jeden Zeitpunkt werden die Werte über der Frequenz gemittelt (RMS). Der Verlauf der resultierenden Kurve zeigt an, zu welcher Zeit relevante Muster und Strukturen im Signal vorhanden sind. Über eine Schwellwertentscheidung können die Ereignisse und ihre Dauer ermittelt werden.

Im nächsten Schritt werden für alle Ereignisse Merkmale extrahiert. Neben der Rate, der Dauer und den Abständen der Ereignisse werden weitere Parameter aus den Werten des „Relative Approach“-Diagramms berechnet. Dazu werden für jedes Ereignis nun die Werte über der Zeit gemittelt. Daraus ergibt sich eine Kurve, welche die Auffälligkeit über der Frequenz angibt. Daraus lassen sich als weitere Kriterien beispielsweise der Frequenzschwerpunkt, die Bandbreite und die spektrale Flachheit des Musters berechnen. Für jedes Merkmal werden die zugehörigen Werte von allen Ereignissen gemittelt, um einen einzelnen Zahlenwert pro Merkmal zu erhalten. Das Ergebnis ist ein Merkmalsvektor, der als ein *Fingerabdruck* des zugehörigen Störgeräusches interpretiert werden kann.

Klassifizierung

Die Klassifizierung erfordert eine Trainingsphase mit denjenigen Störgeräuschen, die das System später erkennen soll und deren Ursache bekannt ist. Für alle Störgeräusche aus dem Trainingsset werden zuerst die Merkmalsvektoren bestimmt. Eine Varianznormierung und Mittelwertbefreiung gleicht die unterschiedlichen Wertebereiche der Merkmale aus, damit danach alle einen vergleichbaren Einfluss haben.

Diese Anpassung erfolgt für jedes Merkmal getrennt über alle Werte der Trainingsmenge. Jedem Störgeräusch wird nun eine Klasse zugeordnet. Falls nur eine einzelne Aufnahme pro Klasse existiert, dann ist der Klassenmerkmalsvektor gleich dem Merkmalsvektor. Wenn mehrere Aufnahmen von Störgeräuschen einer Klasse vorhanden sind, ergibt sich der Klassenmerkmalsvektor als Mittelwert der zugehörigen Merkmalsvektoren.

Für die Klassifizierung wird nun der Merkmalsvektor des zu untersuchenden Geräusches berechnet und mit den Klassenmerkmalsvektoren verglichen, indem als Distanzmaß der euklidische Abstand verwendet wird. Dieses Geräusch wird der Klasse mit der geringsten Abweichung zugeordnet. Handelt es sich um ein Störgeräusch mit einer unbekanntem Ursache, die nicht in der Trainingsphase betrachtet wurde, so ist dies nicht einfach zu erkennen. Hier gibt es die Möglichkeit, dieses Geräusch als unbekannt zu klassifizieren, wenn die minimale Distanz zu allen Klassen über einem Schwellwert liegt. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, das Geräusch trotzdem einer bestehenden Klasse zugeordnet wird. In einem solchen Fall müssten die Merkmale angepasst werden, um eine bessere Trennung zu ermöglichen. Die Schwelle kann auch nicht beliebig heruntersetzt werden, ohne die Klassifizierung der bekannten Störgeräuschmuster zu gefährden.

Beispiel

Für das Beispiel werden zehn Störgeräusche betrachtet, die sich zum Teil sehr ähnlich anhören. Es soll untersucht werden, ob es erstens möglich ist, mit dem oben erläuterten Verfahren diese Geräusche zu unterscheiden und zweitens ob leicht modifizierte Varianten immer noch erkannt werden. Für diese Voruntersuchung müssen folgende Randbedingungen erfüllt sein. Die Aufnahme ist so geschnitten, dass sie immer genau ein bekanntes Störgeräusch enthält. Für die Klassifizierung wird das gesamte „Relative Approach“-Diagramm herangezogen, ohne eine Trennung des zu identifizierenden Störgeräusches von den anderen Nebengeräuschen vorzunehmen.

Der linke Kanal der binauralen Aufnahmen wird für die Trainingsphase verwendet. Als Testdaten werden der rechte Kanal und manipulierte Aufnahmen eingesetzt, die durch Tiefpassfilterung, zeitliche Streckung und Addition mit gefärbtem Rauschen erzeugt wurden. Die Merkmalsvektoren der Trainingsmenge können zuverlässig unterschieden werden, obwohl die Signale durchaus sehr ähnlich sind. Die Erkennungsrate für alle Daten beträgt 86%.

Konzept für ein Assistenzsystem

Die durchgeführten Arbeiten sind eine gute Grundlage für ein Expertensystem, das transiente Störgeräusche automatisch erkennen kann, um die wahrscheinlichste Ursache aus bereits bekannten Daten zu ermitteln oder zumindest die Ähnlichkeit zu bereits aufgetretenen Störgeräuschen zu liefern. Ein Expertensystem ist für bekannte Geräusche gut geeignet, aber bei unbekanntem Geräuschphänomenen sind Fehlurteile möglich. Eine hundertprozentige Erkennung wird es in der Praxis nicht geben. Es ist jedenfalls sehr hilfreich, die Anzahl der möglichen Ursachen stark einzuschränken

und einem Anwender bei der Fehlersuche zu unterstützen (wie es in [3] für tonale Störgeräusche gezeigt wird). Ein derartiges Assistenzsystem für transiente Störgeräusche mit einer geführten Analysemethodik erfordert im Vergleich zum Expertensystem eine interaktive Vorgehensweise mit einer teilautomatisierten Auswertung. Dafür müssen neue Analyseverfahren für transiente Geräusche entwickelt werden, um daraus Charakteristika zu extrahieren, mit denen sich diese Geräusche beschreiben und vergleichen lassen. Diese Merkmale könnten die gleiche Bedeutung wie Frequenz und Ordnung bei tonalen Störgeräuschen haben. Mit den Merkmalen lässt sich ein Vergleich mit bereits erfolgreich bearbeiteten Geräuschen und ihren Ursachen durchführen. Auf diese Weise könnten mögliche Störquellen angegeben oder weitere Messungen empfohlen werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Voruntersuchung hat ergeben, dass die „Relative Approach“-Analyse sehr gut zur Ereignisdetektion und zur Merkmalsextraktion geeignet ist. Es wird eine hohe Erkennungsrate der modifizierten Geräusche erreicht. Eine an die Geräusche angepasste Auswahl der Merkmale ist wichtig. Denn bei einer völlig unterschiedlichen Art von Geräuschen, könnten sich andere Merkmale als geeigneter erweisen. Für eine valide Aussage ist die Datenbasis des gezeigten Beispiels jedoch zu gering. Hier ist die Gefahr des Überlernens sehr groß. Das heißt, dass die trainierten Daten sehr gut wiedererkannt werden, aber neue, leicht unterschiedliche Ausprägungen desselben Störgeräusches unter Umständen fehlerhaft zugeordnet werden. Unabdingbar für eine robuste Erkennung sind weitere Untersuchungen mit einer sehr großen Trainingsmenge, die möglichst viele verschiedene Varianten der Störgeräusche enthält.

Mit einem Experten- oder auch Assistenzsystem lässt sich das Expertenwissen einer größeren Gruppe zugänglich machen. Es dient als Hilfestellung und Effizienzsteigerung, um die Prognosesicherheit zu erhöhen. Die Merkmale bieten darüber hinaus die Möglichkeit, Störgeräusche besser zu dokumentieren und in einer Datenbank abzulegen. Bevor das vorgestellte Ziel eines Assistenzsystems erreicht werden kann, liegt die Hauptaufgabe darin, geeignete Analysemethoden zu entwickeln und daraus eine möglichst allgemeingültige Merkmalbeschreibung für transiente Störgeräusche abzuleiten.

Literatur

- [1] Genuit, K.: Objective evaluation of acoustic quality based on a relative approach, *Internoise'96*, Liverpool, 1996.
- [2] Bray, W. R.: Using the "Relative Approach" for Direct Measurement of Patterns in Noise Situations, *Sound and Vibration*, September 2004.
- [3] Sottek, R., Mauer, G.: Product sound quality at your fingertips: an expert system for interactive noise pattern recognition, *Internoise'06*, Honolulu, Hawaii, 2006.
- [4] Sottek, R.: Modelle zur Signalverarbeitung im menschlichen Gehör, *Dissertation*, RWTH Aachen, 1993.