

Automatische Klassifizierung der Motorisierung von vorbeifahrenden Kraftfahrzeugen

Harald Rainer¹, Franz Graf¹, David Ludwig¹, Peter Ummerhofer², Judith Köstinger²

¹ JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Email: harald.rainer@joanneum.at

² Kapsch TrafficCom AG

Einleitung

Seit 1. Jänner 2004 wird in Österreich auf dem gesamten höherrangigen Straßennetz die so genannte LKW-Maut eingehoben. Das Mautgesetz sieht dabei vor, dass alle Fahrzeuge mit einem höchsten zulässigen Gesamtgewicht ab 3,5 Tonnen der Mautentrichtung unterliegen. Dabei wurde festgelegt, dass in einer ersten Stufe lediglich die Anzahl der Achsen in die Berechnung des Mauttarifes eingeht. Die Mauttarifverordnung sieht aber schon jetzt laut Bundesstraßen-Mautgesetz 2002, BGBL. | Nr. 109/2002, § 9 Abs. 5 eine Differenzierung der Mauttarife nach Schadstoffklassen vor.

In Kooperation mit der Kapsch TrafficCom AG wurden daher die Grundlagen für ein System zur automatischen Klassifikation der Motorisierung von vorbeifahrenden Kraftfahrzeugen erarbeitet. Durch die Kenntnis der Motorisierung kann in Verbindung mit einer entsprechenden Datenbank auf die vom Kraftfahrzeug emittierten Schadstoffe geschlossen werden.

Aufbau der Geräuschdatenbank

Bei der Festlegung des Messplans für den Aufbau der Geräuschdatenbank wurde darauf geachtet, dass möglichst alle Betriebszustände und Fahrgeohnheiten, die im normalen Fahrbetrieb auftreten können, beinhaltet sind. Für die spätere Verarbeitung der aufgezeichneten Signale wurden zu den jeweiligen Betriebszuständen wie Stand-, Beschleunigungs- und Schubetrieb sowie die Vorbeifahrt mit konstanter Geschwindigkeit jeweils die Gangwahl, die tatsächliche Geschwindigkeit am Messort sowie die Motordrehzahl mitprotokolliert. Da ein solcher Messablauf auf einer Autobahn aus sicherheitstechnischen Gründen jedoch nicht durchführbar ist, wurden die Messungen in der ersten Phase des Projektes auf einem, nur von den Bussen der Grazer Verkehrsbetriebe befahrenen, Streckenabschnitt im Stadtgebiet von Graz durchgeführt. Dabei wurden die Vorbeifahrtsgeräusche von insgesamt 11 verschiedenen LKWs, 14 PKWs und 1 Motorrad aufgezeichnet, wobei von jedem Fahrzeug ein Datensatz von 30 bis 40 Vorbeifahrten mit unterschiedlichen Betriebszuständen generiert wurde. In einer zweiten Phase wurden die Messungen von Vorbeifahrtsgeräuschen unterschiedlichster Kraftfahrzeuge unter realen Bedingungen auf einem Autobahnabschnitt der A9 in der Nähe von Graz durchgeführt.

In Summe wurden für die Geräuschdatenbank 384 Vorbeifahrten an der Busspur und 1500 an der Autobahn A9 aufgezeichnet.

Für die Aufzeichnung der Daten wurden Kondensatormikrofone mit unterschiedlichen Richtwirkungen und geeignetem Windschutz verwendet und die Analogsignale mit einer Abtastfrequenz von 44,1 kHz und einer Auflösung von 16 bit digitalisiert. Zusätzlich zu den Audiodaten wurde synchron ein Videobild zur visuellen Kontrolle der vorbeifahrenden Kraftfahrzeuge aufgezeichnet.

Klassifikationssystem

Den ersten Schritt in der Verarbeitung der abgetasteten Signale stellt die Segmentierung dar, um die Audiosignale entsprechend ihres semantischen Inhalts in zusammenhängende Abschnitte zu unterteilen. Der Segmentierung folgen die Stufen der Vor- und Endklassifikation. Diese Klassifikationsstufen treffen ihre Entscheidungen entsprechend den von der Merkmalsextraktion erhaltenen Daten und den zuvor trainierten statistischen Klassifikatoren. In Abbildung 1 ist der schematische Aufbau dieses Klassifikationssystems dargestellt.

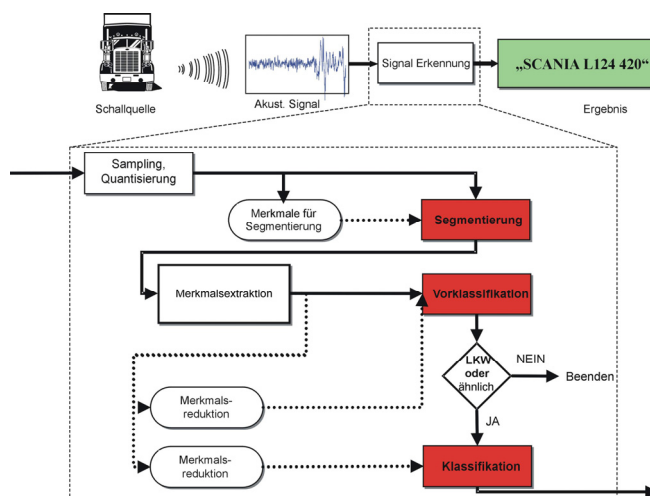


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Aufbaus und Zusammenspiels der einzelnen Komponenten des Klassifikationssystems [2].

Segmentierung

Zur Bestimmung der Segmentgrenzen einer Vorbeifahrt aus einem kontinuierlichen Verkehrsstrom wird zunächst das Datenmaterial mittels STFT in eine Zeit-Frequenz Darstellung gebracht. Aus der Berechnung der spektralen Amplituden können im Anschluss die Parameter bestimmt werden, die eine signifikante Änderung unmittelbar bei der Vorbeifahrt eines Fahrzeuges erfahren. Mit Hilfe eines Peak Detection Algorithmus und geeigneten Kriterien für die Festlegung der Segmentgrenzen werden die Bereiche einer

Vorbeifahrt detektiert und an die Klassifikationsstufe weitergeleitet.

Merkmalsreduktion

Für die Klassifikation von Vorbeifahrtsgeräuschen ist es notwendig, so genannte „Merkmale“ oder auch motorspezifische Parameter aus den Geräuschen zu extrahieren, die es ermöglichen, eine Zuordnung der Motorisierung durchzuführen. Während des Projektverlaufs wurden insgesamt etwa 70 verschiedene Merkmale aus den Bereichen der Signaltheorie, der Statistik und der Stochastik untersucht und implementiert. Eine sinnvolle Anzahl an Merkmalen mit zufrieden stellender Performance wird meist zwischen 20 und 30 Merkmalen erreicht. Da die Merkmale gerade in ihrer Kombination starke Klassifikationsergebnisse liefern, ist die Reduktion der Anzahl der Merkmale eine keineswegs triviale Aufgabe. Für die Lösung dieser Optimierungsaufgabe wurde ein Genetischer Algorithmus verwendet, mit dessen Hilfe jene 20 Merkmale bestimmt wurden, welche die gestellte Klassifikationsaufgabe am Besten lösen konnten.

Klassifikation

Die Klassifikation der Motorgeräusche erfolgt prinzipiell in zwei Schritten. Der erste Schritt, die so genannte „Vorklassifikation“ dient dazu, die auftretenden LKW-Vorbeifahrtsgeräusche von den übrigen Vorbeifahrtsgeräuschen (PKW, Motorrad) zu separieren. In einem zweiten Schritt erfolgt die eigentliche Klassifikation („Endklassifikation“) und die Zuordnung zu einem bestimmten Motortyp.

Eine wichtige Vorbedingung für jede Klassifikation besteht darin, dass gewisse Vorabinformationen über die jeweilige Klasse vorhanden sein müssen. Für die Trainingsphase wird daher ausschließlich ein bereits manuell klassifizierter Datensatz benutzt. Nach dieser „Trainingsphase“ sollte das System in der „Testphase“ in der Lage sein, unbekanntes Material an Hand des Merkmalsvektors zu klassifizieren. In Abbildung 2 sind die erläuterten Phasen zur Klassifikation eines Motorgeräusches dargestellt.

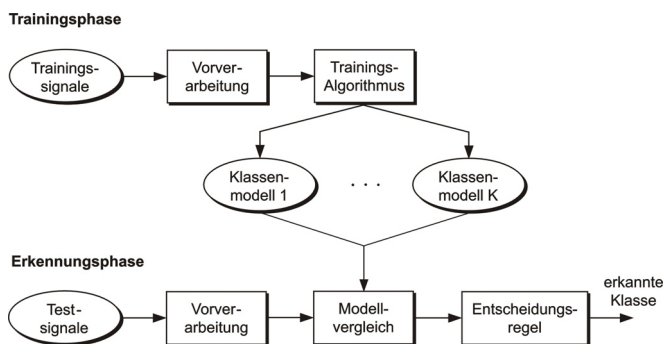


Abbildung 2: Schematische Darstellung der verschiedenen Phasen zur Klassifikation eines Motorgeräusches [1].

Ergebnisse

Die Erkennungsrate der Vorklassifikation wurde mit den Daten, die auf der Autobahn A9 aufgezeichnet wurden, ermittelt. Die verwendeten 414 Durchfahrten wurden im

Verhältnis 2:1 aufgeteilt, um einerseits die Vorklassifikation zu trainieren und andererseits zu testen. Die Daten wurden im Anschluss permutiert und die erhaltenen Klassifikationsergebnisse gemittelt.

Die Erkennungsrate der Endklassifikation wurde mit den aufgezeichneten Vorbeifahrten von der Busspur ermittelt, da hier eine ausreichende Anzahl von Vorbeifahrtsgeräuschen von ein und dem selben LKW vorhanden waren.

Tabelle 1: Klassifikationsleistung der Vorklassifikation

| | |
|------------------------------|-------|
| Anzahl der Vorbeifahrten | 414 |
| Verhältnis Training:Test | 2:1 |
| Anzahl extrahierter Merkmale | 20 |
| Klassifikationsleistung | 97,5% |

Tabelle 2: Klassifikationsleistung der Endklassifikation

| | |
|--------------------------|--|
| Anzahl der Vorbeifahrten | 100 |
| Verhältnis Training:Test | 3:1 |
| Klassen | Scania L124 Mercedes 1850 Volvo FH 12 Volvo FH 16 |
| Klassifikationsleistung | 83,5% |

Zusammenfassung

Die Arbeiten an der vorliegenden Grundlagenstudie haben gezeigt, dass eine automatische Klassifizierung der Motorisierung von vorbeifahrenden Kraftfahrzeugen aus technischer Sicht möglich ist. In einem mehrstufigen, hierarchisch aufgebauten Klassifikationssystem können sukzessive motorspezifische Parameter aus dem Vorbeifahrtsgeräusch extrahiert und zur Identifizierung herangezogen werden.

Dieses Forschungsprojekt wurde vom österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) im Rahmen des Impulsprogramms I2-Intelligente Infrastruktur gefördert.

Literatur

- [1] Graf, F.: Entwurf und Implementierung eines Systems zur automatischen Identifikation von akustischen Signalen, Dissertation 2002, Technische Universität Graz, Institut für Nachrichtentechnik und Wellenausbreitung
- [2] Graf, F.; Rainer, H.; Ludwig, D.; Witternig, N.; Koudelka, O.; Ambrosch, K.-E.; Smely, D.: Automatische Klassifizierung der Motorisierung von vorbeifahrenden Kraftfahrzeugen-Grundlagenstudie - ATIMO-1, interner Projektbericht, November 2004
- [3] Oppenheim, A. V./ Schafer, R. W.: Zeitdiskrete Signalverarbeitung, Oldenbourg, München, 1999
- [4] Zölzer, U.: DAFX - Digital Audio Effects, John Wiley & Sons, New York, 2002