

Fahrerassistenzsysteme: Müdigkeitserkennung im Simulationsumfeld *

Paul Pasler
Reutlingen University
Paul.Pasler@Student.Reutlingen-
University.DE

Abstract

Mit Fortschreiten der Technik verbreiten sich Fahrerassistenzsystemen immer weiter - auch die Müdigkeitserkennung ist ein solches System. In einem kurzen Überblick, werden verschiedene Funktionsweisen und Ansätze von Systemen zur Müdigkeitserkennung vorgestellt. Die Erkennung mit Body-Sensorik wird auf seine Umsetzbarkeit im Simulationsumfeld der Reutlingen University evaluiert. Weiterhin wird die Möglichkeit einer einfachen Portieren der Anwendung vom Simulator in ein echtes Fahrzeug geprüft. Das vorgestellte System, soll somit ein gefordertes Maß an Genauigkeit, Tragekomfort und Mobilität vereinen.

Schlüsselwörter

Advanced Driver Assistance System (ADAS), Fahrerassistenzsystem, Müdigkeitserkennung

CR-Kategorien

A.0 [ACM]: Experimentation

1 Einleitung

Fristeten Fahrerassistenzsysteme vor wenigen Jahren ein Nischendasein in Oberklas-

*

sewagen, werden sie immer günstiger und beliebter. So halten sie auch in Mittel- und Kleinwagen Einzug und helfen bei der Vermeidung schwerer Unfälle.

Um ein neues System auszuprobieren, setzen Automobilhersteller, wie auch Wissenschaftler, auf Tests in einem Simulator (unter Laborbedingungen), bevor es in echte Fahrzeuge integriert werden.

In der vorgestellten Arbeit wird die Müdigkeitserkennung als Vertreter eines Fahrerassistenzsystems näher beleuchtet und verschieden Umsetzungsvorschläge gegenübergestellt (Kapitel 2). In Kapitel 3 wird ein solches System mit Körpersensoren (EEG, EKG) vorgestellt und in Kapitel 4 die Umsetzbarkeit im Simulationsumfeld der Reutlingen University evaluiert. Das Ergebnis und weitere Schritte werden in Kapitel 5 und 6 beschrieben.

1.1 Fahrerassistenzsysteme

- Studie zu Unfällen - [1]

Fahrerassistenzsysteme erhöhen dem Fahrer zum einen den Komfort und / oder die Sicherheit beim Fahren. So führen Einparkassistent, Geschwindigkeitsregelanlage oder Navigation zu einer deutlich entspannteren Fahrt. Spurhalte-, Spurwechsel- oder Notbremsassistent wiederum unterstützen bei potentiell gefährlichen Manövern. Auch die Müdigkeitserkennung fällt in die zweite Kategorie (mehr dazu in Kapitel 2).

Betreuer Hochschule: Prof. Dr. Martinez
Hochschule Reutlingen
Natividad.Martinez@Reutlingen-
University.de

Wissenschaftliche Vertiefungskonferenz 2015
Wissenschaftliche Vertiefungskonferenz
18. November 2015, Hochschule Reutlingen
©2015 Paul Pasler

Kompaß [2] unterteilt Fahrerassistenzsysteme, gemessen an der Reaktionszeit, in Planung, Führung und Stabilisierung. Hierbei fällt beispielsweise Navigation in die Planungsebene, da die Berechnung der Route mit unter mehrere Minuten brauchen kann. Auf Führungsebene werden dem Fahrer Empfehlungen und Warnungen innerhalb weniger Sekunden mitgeteilt, auf die er dann reagieren kann. Greift das System selbständig in den Fahrprozess ein, muss dies meist innerhalb von Millisekunden geschehen und dient oftmals zur Stabilisierungen, wie beispielsweise bei einem Fahrdynamik-Regelsystem.

Ein Fahrerassistenzsystem kann auf verschiedenste Arten mit dem Fahrer kommunizieren. Es handelt sich um eine klassische HCI-Schnittstelle. Am gebräuchlichsten, auch für sonstige Warnungen, sind schon seit längerem Optische und Akustische Signale. Aber auch Vibrationen in Lenkrad und Sitz zeigen gute Ergebnisse, wenn zwischen Signal und Nachricht ein Zusammenhang besteht (Bspw. Vibriert das Lenkrad bei verlassen der Spur). [3] beschreibt hierzu die verschiedenen Anwendungsgebiete und Unterschiede.

Jeder Automobilhersteller entwickelt mittlerweile seine eigenen Fahrerassistenzsysteme. Datenerhebung (Sensoren), Berechnung und Kommunikation werden vom Fahrzeug selbst durchgeführt. Durch die Abschottung des Fahrzeugs sind Fahrzeugdaten nicht öffentlich zugänglich und können nur schwer von Außenstehenden genutzt werden. Für wissenschaftliche Arbeiten bleibt entweder eine Kooperation mit Automobilherstellern oder das Ausweichen auf andere Devices, wie ein Smartphone und die Nutzung von Daten aus dem Internet (beispielsweise Kartendienste). Chen [4] und You [5] verfolgten diesen Ansatz. Smartphone bieten durch ihren hohen Verbreitungsgrad eine günstige Alternative zu eingebauten Systemen, können jedoch nicht auf Daten des Fahrzeugs zugreifen und

müssen einfache Daten, wie beispielsweise Geschwindigkeit, selbst berechnen.

1.2 Körpersensoren

Körpersensoren messen verschiedenste Werte eines lebenden Körpers, wie den Puls, Temperatur oder Hirnwellen. Meistens werden sie direkt am oder im Körper eingesetzt.

Bei der Elektroenzephalografie (EEG) werden Elektroden auf der Kopfhaut angebracht und damit die Aktivität des Gehirns gemessen. Sie wird in der Medizin für die Diagnose von Epilepsie oder bei Komapatienten eingesetzt. Zudem findet sie in Schlaflabors Anwendung, um verschiedene Schlafphasen zu erfassen. Der Zusammenhang von Schlaf und Hirnaktivität kann auch bei der Müdigkeitserkennung in Fahrzeugen genutzt werden, um beispielsweise ein drohenden Sekundenschlaf zu erkennen [6].

Das Elektrokardiogramm (EKG) misst die Herzspannungskurve und stellt die Aktivität des Herzmuskels dar. So lassen sich vielfältige Aussagen über den Zustand des Herzens machen. Weiterhin können Herzrhythmus und -frequenz Hinweise auf eine einfallende Müdigkeit des Fahrers geben.

Eine weitere Möglichkeit Körperfunktionen aufzuzeichnen ist die Elektrookulografie (EOG). Hierbei kann die Bewegung der Augen bzw. das Ruhepotential der Netzhaut gemessen werden. Dazu werden Elektroden entweder rechts und links oder oben und unter dem Auge angebracht.

1.3 Simulationsumgebung

Die Simulationsumgebung der Reutlingen University ermöglicht es, Testfahrten unter möglichst realistischen Bedingungen zu durchzuführen (Siehe Abb. 1.3). Sie ist ausgestattet mit einem Autositz, einem Lenkrad und Pedalen, sowie einer Gangschaltung. Weiterhin bringen drei 48" Monitore und ein

Dolby-Surround-System einen audiovisuellen Eindruck einer Fahrsituation.

Auf technischer Ebene wird das System von drei Computer mit Leben gefüllt. Auf dem Simulations-Computer läuft die vom DFKI Saarbrücken entwickelte Software OpenDS¹. Hier können mehrere Karten und Konfigurationen eingestellt und getestet werden. Alle Simulationsdaten, werden via TCP/IP an den Daten-Computer gesendet, dieser stellt die Daten über ein CAN-Interface zur Verfügung und loggt diese zusätzlich. Das CAN-Interface simuliert die Kommunikation mit dem Steuergerät eines realen Fahrzeugs. Der Anwendungs-Computer kann die CAN Daten über eine Schnittstelle empfangen und seine eigentlich Arbeit verrichten. Für Ein- und Ausgaben der Anwendung, befindet sich ein Touchscreen neben dem Lenkrad.

Die vorhandenen Sensoren sind folgende:

- EEG Epoc Emotiv²
- EKG Zephyr Bioharness³
- Aufbau des Simulators
- Technische Kommunikation im Fahrzeug / Simulator [7]

2 Systeme zur Müdigkeitserkennung

Müdigkeit senkt die Konzentrationsfähigkeit des Fahrers und kann zu einer erhöhten Reaktionszeit und Fehleinschätzungen führen, wie es unter anderem der Deutscher Verkehrssicherheitsrat in einem Beschluss von 2009 [8] feststellt. Ursachen können wenig Schlaf, lange Fahrzeiten, Medikamente oder Alkohol sein. Die Müdigkeitserkennung versucht an Hand verschiedener Daten und Sensoren, frühzeitig zu erkennen, ob der Fahrer gerade Anzeichen einer bevorstehenden Müdigkeit zeigt und empfiehlt eine

Pause. Dabei soll nicht nur während Micro- oder Sekundenschlaf, sondern schon früher gewarnt werden.

2.1 Überblick und Klassifizierung

Die Erkennung von Müdigkeit kann auf ganz verschiedene Arten gelöst werden. Ein Ansatz versucht über Körpersignale herauszufinden, ob eine Müdigkeit bevorsteht. Wohingegen mit der Analyse des Fahrverhaltens das Selbe mit Sensoren an und im Auto realisiert wird. Bei der Erkennung über Körpersignale, können wiederum Körpersensoren oder Computer-Vision-Techniken zur Überwachung des Fahrers genutzt werden. Zu unterscheiden ist weiterhin die physische und psychische Müdigkeit, welche sich jedoch beide negativ auf die Fähigkeiten des Fahrers auswirken. Alle Verfahren, die auf Sensoren am Körper, die extra angezogen werden (bspw. ein Pulsmesser am Ohr, EEG) werden als invasive Verfahren bezeichnet. Weiterhin Allen System gemein ist die Nutzung von Klassifizierungs- bzw. Machine-Learning-Algorithmen. Die gesammelten Daten geben nur Hinweise und sind kein Garant für eine Erkennung von Müdigkeit. Müdigkeitserkennungssysteme wandeln hier auf einem schmalen Grad, da es zum einen um die Verhinderung schwerer Unfälle geht, zum anderen aber ein falsch auslösendes System die Akzeptanz vermindert und im schlimmsten Fall zu einer Deaktivierung führt. Um falsche Erkennungen weiter zu minimieren, werden oftmals mehrere Ansätze kombiniert.

In der Praxis setzen Automobilhersteller wie Daimler [9] und Volkswagen, sowie Automobilzulieferer wie Bosch [10] auf die Analyse des Fahrverhaltens. Insbesondere Spurhalten und ruckartiges Gegenlenken scheinen ein signifikantes Indiz für beginnende Übermüdung zu sein. Weiterhin sind externe Geräte und einige Apps für Smartphones erhältlich.

¹<http://www.dfki.de/web/aktuelles/aktuelles/cebit2013/opensds>

²<https://emotiv.com/epoc.php>

³<http://www.zephyranywhere.com/products/bioharness-3>

2.2 *Stand der Technik*

Wie bereits erwähnt, existieren verschiedene Vorgehen, für die Müdigkeitserkennung im Fahrzeug. Im folgenden werden verschiedene Forschungsergebnisse vorgestellt und bewertet, eine weitere Übersicht findet sich auch in [11].

Es existieren einige Ansätze die mit Hilfe von Kameras den Fahrer und die Straße beobachten. Zhang et al. [12] stellen hierzu eine Applikation mit der Verbindung eines Farb- und Tiefenbildes vor. Mit Hilfe einer Microsoft Kinect werden sowohl die Kopfpose, als auch die Augenstatus bestimmt. Um das System robuster zu gestalten, wird aus dem Farbbild, zusätzlich zum Vorhandenen, das Tiefenbild berechnet. Mit der Car-Safe App entwickelten You et al. [5] ein visuelles System zur Überwachung des Fahrers und der Straße. Hierfür genügt ein aktuelles Smartphone. Die App deckt hierbei neben der Müdigkeitserkennung auch andere Gefahrensituation (beispielsweise zu dicht Auffahren) ab. Es werden eine Analyse des Fahrers (Kopfpose und Augenstatus), sowie der Fahrweise kombiniert und der Fahrer gewarnt. Kamerabasierte Systeme sind angenehm für den Fahrer, da er keine weitere Hardware (Sensoren) installieren muss. Jedoch ist eine Kamera optischen Grenzen unterworfen, was den Einsatz bei Nacht oder schlechtem Wetter erschwert. Für eine Müdigkeitserkennung mit Smartphone, aber ohne Kameraeinsatz, könnte beispielsweise die App V-Sense [4] genutzt werden, da sie lediglich eingebaute Sensoren nutzt.

Bundele und Banerjee [13] zeigten, dass Müdigkeit über die elektrodermale Hautreaktion und Pulsoxymetrie erkannt werden kann. Die elektrodermale Hautreaktion (galvanische Hautreaktion, GSR) misst hierbei die Hautleitfähigkeit und hängt mit der Schweißproduktion zusammen. Bei der Pulsoxymetrie kann, durch ein optische Verfahren, die Sauerstoffsättigung des Blutes gemessen werden. In diesem Fall bedeutet eine geringere Sättigung ein erhöhtes Müdigkeitsgefühl. Diese Werte

werden durch Körpersensoren ermittelt und werden mit einem Multi Layer Perceptron (MLP) klassifiziert. Interessant ist zudem der Einsatz von sogenannten Smart-Clothes (E-textiles), welche die Sensoren in der Kleidung eingearbeitet haben und somit zu ein Non-Inversiven Ansatz führen.

Park et al. [14] beschränken sich in ihrer Arbeit auf die Analyse der Pulswelle durch Photoplethysmography (PPG), mit einem eingebauten Sensor am Lenkrad. Dies stellt schon ein größeren Eingriff in die Umgebung des Fahrzeugs dar, als es im Abschnitt zuvor der Fall war. Die Daten der PPG werden mit einer Support Vector Maschine (SVM) eingeordnet. Es zeigte sich, dass die Ausschlagshöhe des Puls ein gutes Mittel für die Erkennung von Müdigkeit darstellt. Um die Ergebnisse zu verbessern, wurde die entwickelte Software mit einem zuvor entwickelten visuellen System zur Kopfbewegung gekoppelt.

Zhang et al. [15] befassten sich ebenfalls mit der Überwachung von Herzfunktionen, jedoch mit Hilfe eines EKGs. Sie fanden heraus, dass die Wavelet Packet Energie in bestimmten Frequenzbereichen auf eine Veränderung des QRS hinweist, welcher wiederum als Indiz für einfallende Müdigkeit genutzt werden kann. Dies erhöht nach ihren Angaben die Geschwindigkeit und die Genauigkeit der Erkennung. In Verbindung mit der Wavelet Entropie kann eine trainierte SVM nahezu 100% erreichen. Rogado et al. [16] nutzen ebenfalls Daten aus dem EKG, um daraus die Herzfrequenzvariabilität (HFR, english HRV) zu berechnen und drohendes Einschlafen zu erkennen. Ähnliches Verhalten untersuchten Vicente et al. [17] **TODO.**

EEG
Subasi [18]
Wilson [19]
Khalifa [20]
Vuckvic [21]
Huang [22]
Johnson et. al [23] nutzen EEG.

Lin et al. [24] Ronzhina et al. [25] evaluierten den Flicker-Fusion Test

2.3 Vergleich

Systeme die das Fahrverhalten analysieren und daraus Rückschlüsse auf den Wachheitsgrad des Fahrers ziehen, sind in der Praxis weit verbreitet. Die Sensoren sind im Fahrzeug fest verbaut und das System kann auf das jeweilige Fahrzeug abgestimmt werden. Hier liegt schon das erste Problem, da die Systeme nicht in einem Fahrzeug einer anderen Marke einsetzbar sind. Weiterhin finden sich im Internet viele Fragen zum Grund der Pausenempfehlung. Videobasierte Systeme erfüllen ebenfalls ihren Zweck, sind aber leicht durch äußere Einflüsse, wie beispielsweise Licht, beeinflussbar. Auch wenn Systeme mit Infrarot Kameras diese Problem vermindern, kommt es auch hier zu Problemen mit (Sonnen-)Brillenträgern, da die Augen nicht richtig erkannt werden können. Die meisten Body-Sensoren liefern sehr gute Ergebnisse, sind aber wegen ihrer invasiven Eigenschaften (Die Sensoren liegen direkt am Körper an) weniger für den Serienbetrieb geeignet. Um dieses Problem zu lösen, stellte der französische Automobilzulieferer seinen intelligenten Autositz "Active-Wellness" vor. Der Sitz ist mit passiven Sensoren ausgestattet und misst ständig den Herzrhythmus, die Atmung und weitere biometrische Daten, um bei einfallender Müdigkeit gegenzusteuern⁴. Aufgrund der hohen Genauigkeit von EEG, EKG und Co. sind diese Systeme zumindest für die Validierung anderer Systeme in der Testphase nützlich. Gelingt es zudem den invasiven Charakter gering zu halten oder gar ganz zu vermeiden, sind Systeme mit Body-Sensoren das Mittel der Wahl.

- Gegenüberstellung der verschiedenen Ansätze
- Wo gibt es Schwächen? Welche Nische wurde noch nicht beleuchtet

⁴<http://www.faurecia.de/node/1780>

3 Portables System zur Müdigkeitserkennung mit Body-Sensoren (PoSDD-Bos)

Tests mit übermüdeten Fahrern im Straßenverkehr lassen sich aus naheliegenden Gründen nicht durchführen. Die Fremd- und Selbstgefährdung ist deutlich zu hoch, auch wenn sich so die realistischsten Ergebnisse erzielen lassen. Auch die Durchführung in einem echten Fahrzeug und einem abgegrenzten Testgelände, würden zumindest ein Risiko für den Fahrer bedeuten. Darum bleibt meist nur eine Simulation, um das System zu Müdigkeitserkennung zu testen. Die Simulation kann jedoch nur ein Modell der Wirklichkeit sein und liefert nur eingeschränkte Ergebnisse. So konnten Blana et al. [26] zeigen, dass sich das Fahrverhalten bei höheren Geschwindigkeiten im echten Straßenverkehr und im Simulationsumfeld unterscheidet. Engstrom et al. [27] konnten ebenfalls Unterschiede feststellen, zeigten jedoch auch, dass Tests im Simulator dennoch valide Ergebnisse liefern können.

Dennoch sind Feldversuche ab einem gewissen Entwicklungsstand unumgänglich und sei es nur, um zu Prüfen, ob es in einer realen Testfahrt zu Fehlalarmen kommt. Darum muss die Anwendung sowohl im Simulator, als auch in einem realen Fahrzeug funktionieren und ohne großen Aufwand portiert werden können. Wenn die gelingt, kann die Anwendung sowohl in unserem Simulator, eine realen Fahrzeug oder einem anderen Simulator genutzt werden und dort etablierte Systeme zur Müdigkeitserkennung validieren.

Aufgrund der beschriebenen Vorteile von Body-Sensoren, soll das zu entwickelnde System mit ebendiesen arbeiten. EEG und EKG stehen in der Simulationsumgebung der Reutlingen University zur Verfügung. Das System soll in der Lage sein, einfallende Müdigkeit zu erkennen und in angemessener Weise zu reagieren. Die Daten der

Überwachung sollen mit eindeutigen Zeitstempel geloggt werden, um sie mit anderen Daten, wie Videoaufzeichnung oder die anderer Systeme zu einem späteren Zeitpunkt vergleichen zu können. Das System soll portabel sein, sodass es ohne großen Aufwand in einem echten Fahrzeug oder einen anderen Simulator eingesetzt werden kann.

- Warum noch eine Arbeit über Müdigkeitserkennung?
- Warum EKG / EEG?

4 Evaluationsplan / Versuchsaufbau

Das zu entwickelnde System wird in mehreren Schritten implementiert. In der ersten Phase werden die Body-Sensoren in die Simulationsumgebung der Reutlingen University integriert und erste Tests am Simulator durchgeführt. In der zweiten Phase soll das getestete System in einem Feldversuch in ein echtes Fahrzeug integriert werden.

Zuallererst benötigt man ein Szenario, um Daten mit einfallender Müdigkeit zu erhalten. Es gilt beim Versuchsaufbau eine möglichst große Chance auf Sekundenschlaf bei den Probanden zu provozieren. Horne und Reyner legten nahe, dass die meisten Unfälle im Zusammenhang mit Schlaf in Großbritannien zwischen 02:00 - 06:00 und 14:00 - 16:00 passierten [28]. Weiterhin lässt sich beobachten, dass Personen die 24 Stunden gar nicht oder nicht ausreichend (< 6h) geschlafen haben, deutlich anfälliger für Sekundenschlaf sind [29]. Ein weiterer Faktor ist das TestszENARIO selbst. Es sollte möglichst gut erkennbar machen, ob der Proband gerade Fahrfehler macht und diese mit seinem Wachheitsgrad zusammenhängen. Weiterhin kann auch eine „langweilige Teststrecke“ eine schnellere Ermüdung begünstigen. Langes geradeaus fahren und wenig Abwechslung sind zwar langweilig, aber nicht sehr anstrengend, darum sollte es eine Aufgabe sein, die den Probanden über die ganze

Zeit fordert. Auch die Länge der Fahrt spielt eine Rolle, je länger die Fahraufgabe dauert, desto größer die Chance auf das Eintreten einer einfallenden Müdigkeit.

Für Phase eins muss zuerst die Hardware (EKG, EEG) an den Daten-Computer angeschlossen werden.

- Szenario entwerfen
- Hardware einrichten und verdrahten
- Daten vom Sensor bis zur Anwendung
- Daten aufbereiten und signifikante Features herausarbeiten
- Trainingsdaten erstellen
- Passenden Machine Learning Algorithmus finden und trainieren
- Anwendung Testen
- Unterschiede / Einschränkungen echtes Fahrzeug / Simulator
- Versuchsaufbau

5 Ergebnis

- Ergebnis / Evtl. Prototyp
- Portierung der Anwendung von Simulator zu echtem Auto

6 Fazit und Ausblick

- Weitere Schritte

Literatur

- [1] Michael Feld, Christian A. Müller, and Tim Schwartz. 2nd multimodal interfaces for automotive applications (miaa 2010). In *Proceedings of the 15th International Conference on Intelligent User Interfaces, IUI '10*, pages 441–442, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [2] Klaus Kompaß. Fahrerassistenzsysteme der zukunfft – auf dem weg zum autonomen pkw? In Volker Schindler, editor, *Forschung für das Auto von Morgen*, pages 261–285. Springer Berlin Heidelberg, 2008.

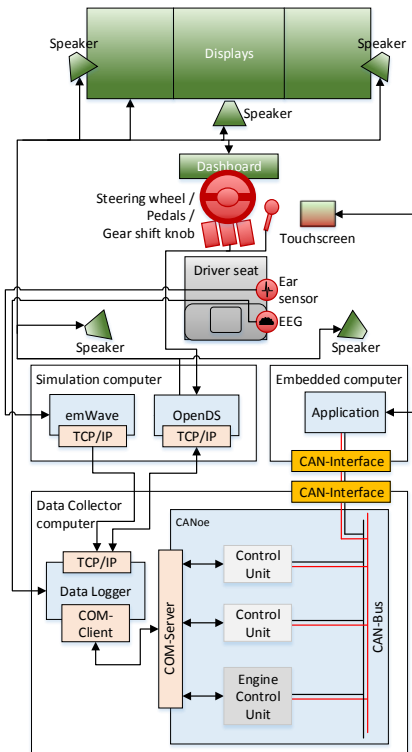


Abbildung 1: Der Aufbau des Simulators der Reutlingen University

- [3] Eduardo Bertoldi and Lucia Filgueiras. Multimodal advanced driver assistance systems: An overview. In *Proceedings of the 2Nd International Workshop on Multimodal Interfaces for Automotive Applications*, MIAA '10, pages 2–5, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [4] Dongyao Chen, Kyong-Tak Cho, Sihui Han, Zhizhuo Jin, and Kang G. Shin. Invisible sensing of vehicle steering with smartphones. In *Proceedings*

of the 13th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, MobiSys '15, pages 1–13, New York, NY, USA, 2015. ACM.

- [5] Chuang-Wen You, Nicholas D. Lane, Fanglin Chen, Rui Wang, Zhenyu Chen, Thomas J. Bao, Martha Montes-de Oca, Yuting Cheng, Mu Lin, Lorenzo Torresani, and Andrew T. Campbell. Carsafe app: Alerting drowsy and distracted drivers using dual cameras on smartphones. In *Proceedings of the 11th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, MobiSys '13, pages 13–26, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [6] et al. Santamaria J. The eeg of drowsiness in normal adults. *j clin neurophysiol.*, 1987.
- [7] Dipl.-Ing. Eugen Mayer. Serielle bus-systeme im automobil, 2008. Online verfügbar unter <http://vector.com/portal/medien/cmc/press/PressReport-SerielleBussysteme-DE.pdf>; Besucht am 21.07.2015.
- [8] Deutscher Verkehrssicherheitsrat e.V. Müdigkeit im straßenverkehr, 2009. Available at http://www.dvr.de/dvr/vorstandsbeschluesse/vm-ft_muedigkeit.htm, accessed: 2015-08-13.
- [9] Daimler AG. Attention assist, 2008. Available at <http://media.daimler.com/dcmedia/0-921-658892-49-1147698-1-0-0-0-1-html>, accessed: 2015-08-13.
- [10] Robert Bosch GmbH. Bosch driver drowsiness detection, 2012. Available at <http://www.bosch-presse.de/presseforum/details.htm?txtID=5037>, accessed: 2015-08-13.
- [11] Arun Sahayadhas, Kenneth Sundaraj, and Murugappan Murugappan. Detec-

ting driver drowsiness based on sensors: A review. *Sensors*, 12(12):16937, 2012.

- [12] Liyan Zhang, Fan Liu, and Jinhui Tang. Real-time system for driver fatigue detection by rgb-d camera. *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.*, 6(2):22:1–22:17, March 2015.
- [13] Mahesh M. Bundeale and Rahul Banerjee. Detection of fatigue of vehicular driver using skin conductance and oximetry pulse: A neural network approach. In *Proceedings of the 11th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services, iiWAS '09*, pages 739–744, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [14] Hanbit Park, Seungwon Oh, and Minsoo Hahn. Drowsy driving detection based on human pulse wave by photoplethysmography signal processing. In *Proceedings of the 3rd International Universal Communication Symposium, IUCS '09*, pages 89–92, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [15] Aihua Zhang and Fenghua Liu. Drowsiness detection based on wavelet analysis of ecg and pulse signals. In *Biomedical Engineering and Informatics (BMEI), 2012 5th International Conference on*, pages 491–495, Oct 2012.
- [16] E. Rogado, J.L. Garcia, R. Barea, L.M. Bergasa, and E. Lopez. Driver fatigue detection system. In *Robotics and Biomimetics, 2008. ROBIO 2008. IEEE International Conference on*, pages 1105–1110, Feb 2009.
- [17] J. Vicente, P. Laguna, A. Bartra, and R. Bailon. Detection of driver's drowsiness by means of hrv analysis. In *Computing in Cardiology, 2011*, pages 89–92, Sept 2011.
- [18] Abdulhamit Subasi. Automatic recognition of alertness level from eeg by using neural network and wavelet coefficients. *Expert Syst. Appl.*, 28(4):701–711, May 2005.
- [19] B.J. Wilson and T.D. Bracewell. Alertness monitor using neural networks for eeg analysis. In *Neural Networks for Signal Processing X, 2000. Proceedings of the 2000 IEEE Signal Processing Society Workshop*, volume 2, pages 814–820 vol.2, 2000.
- [20] K.B. Khalifa, M.H. Bedoui, R. Raytchev, and M. Dogui. A portable device for alertness detection. In *Microtechnologies in Medicine and Biology, 1st Annual International Conference On. 2000*, pages 584–586, 2000.
- [21] Aleksandra Vuckovic, Vlada Radivojevic, Andrew C.N. Chen, and Dejan Popovic. Automatic recognition of alertness and drowsiness from {EEG} by an artificial neural network. *Medical Engineering & Physics*, 24(5):349 – 360, 2002.
- [22] Ruey S.Huang, C.J. Kuo, Ling-Ling Tsai, and O.T.-C. Chen. Eeg pattern recognition-arousal states detection and classification. In *Neural Networks, 1996., IEEE International Conference on*, volume 2, pages 641–646 vol.2, Jun 1996.
- [23] Robin R. Johnson, Djordje P. Popovic, Richard E. Olmstead, Maja Stikic, Daniel J. Levendowski, and Chris Berka. Drowsiness/alertness algorithm development and validation using synchronized EEG and cognitive performance to individualize a generalized model. *Biological psychology*, 87(2):241–250, May 2011.
- [24] Chin teng Lin, Ruei cheng Wu, Sheng fu Liang, Wen hung Chao, Yu jie Chen, and Tzyy ping Jung. Eeg-based drowsiness estimation for safety driving using independent component analysis. *IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers*, pages 2726–2738, 2005.

- [25] M. Ronzhina, K. Bubnik, M. Gajdos, J. Kolarova, P. Honzik, and I. Provaznik. Use of eeg for validation of flicker-fusion test. In *Proceedings of the 4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies, ISABEL '11*, pages 35:1–35:5, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [26] Evi Blana and John Golias. Differences between vehicle lateral displacement on the road and in a fixed-base simulator. *Human Factors*, 44(2):303–313, 2002.
- [27] J. Engstrom, E. Johansson, and J. Ostlund. Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(2):97–120, March 2005.
- [28] J. Horne and L. Reyner. Vehicle accidents related to sleep: a review. pages 289–294, May 1999.
- [29] R. Peters, E. Wagner, E. Alicandri, and J. Fox. Effects of partial and total sleep deprivation on driving performance. pages 2–6, May 1999.