

Ausweichmanöver nach links oder rechts – Ist der Fahrer selbst ein möglicher Sensor?

Sebastian Welke

Schlüsselwörter: Unterstützungs- und Assistenzsysteme, Elektroenzephalogramms (EEG), Brain-Computer-Interface (BCI), Independent Component Analysis (ICA), Intentionserkennung

Zusammenfassung

Die Auswahl von adäquaten Warn- und Unterstützungsstrategien im Fahrzeug ist für deren Akzeptanz und Wirksamkeit substanziell. Im Kontext eines Kollisionsvermeidungssystems ist eine Erkennung der Handlungsabsicht des Fahrers entscheidend für die Art der Unterstützung.

In diesem Beitrag präsentieren wir Ergebnisse aus Realfahrexperimenten in denen die Hirnaktivität des Fahrers in Ausweichmanövern aufgezeichnet wurde. Muster in den Daten des Elektroenzephalogramms (EEG) zeigten hier die Möglichkeit, auch unter diesen Bedingungen im „single-trial“, den Fahrer selbst als zusätzlichen Sensor zu nutzen. In diesem Zusammenhang zeigte sich die Analyse statistisch unabhängiger Komponenten (ICA) der EEG-Daten, aufgenommen unter Einfluss hoch dynamischer Umweltbedingungen (Fahrzeug), als möglicher Filter zur Abgrenzung von neuronalen und artefaktbedingten Generatoren dieser Muster.

Abstract

To design warning and support strategies in vehicles, research interest is growing to develop new approaches that allow for detecting the driver's intention. The extraction of features from electroencephalograph (EEG) data allows for establishing a new communication channel by the use of only brain signals.

In this paper we present a pilot study on a test track containing elements of driver safety trainings. While driving obstacle avoidance maneuvers the brain activity and data from the car controller area network (CAN) was recorded. This way, we present two ways in which features extracted from EEG can be used: (1) by exploiting independent components for identifying sources of consolidated neural activity, and (2) to establish the fundamentals of an approach for an EEG-based rapid-response system that can predict the upcoming obstacle avoidance maneuver of the driver.

Einführung

Zur Auslegung von adäquaten Warn- und Unterstützungsstrategien des Fahrers ist, neben der Modalität und dem Zeitpunkt der Warnung oder Unterstützung, vor allem die Frage nach der Notwendigkeit dieses unterstützenden Eingriffes zu beantworten. Dies wird besonders am Beispiel eines Kollisionsvermeidungssystems deutlich. Vorrausgesetzt dem Fahrzeug stünden alle fahrdynamischen und Umweltinformationen zur Bestimmung der Gefahrensituation zur Verfügung, könnte eine optimale Kollisionsvermeidungs- oder -folgenlinderungsstrategie entwickelt werden. Eine autonome Ausführung eines entsprechenden Manövers durch das Fahrzeug selbst ist denkbar. Die zentrale Frage hierbei ist die der Umgebungsrepräsentation und Situationsbewertung durch ein solches System. Die Entscheidung, zu bremsen oder ein Ausweichmanöver einzuleiten, hängt von sehr vielen Faktoren ab, deren Bedeutung sich situationspezifisch ändern kann. Ein autonomer Eingriff in die Fahrzeugführung durch ein Assistenzsystem kann folglich nur dann erfolgen, wenn eine Fehlinterpretation der Umgebungsinformationen nicht mehr möglich ist. Die Ausführung eines autonomen Notmanövers kann also nur als ultima ratio und u.U. nur zur Kollisionsschwächung in Betracht gezogen werden. Durch die Unsicherheit

der Situationsbewertung in den frühen Phasen einer Gefahrensituation müssen redundante Pfade dieser Bewertung bzw. der adäquaten Manöverauswahl geschaffen werden. Hier bietet sich der Fahrer als möglicher zusätzlicher Sensor selbst an. Durch die Regelungen des Wiener Straßenverkehrsübereinkommens ist die Entscheidung des Fahrers für das Manöver des Fahrzeuges bestimmend.

Eine „gedankenschnelle“ Erkennung der Handlungsabsicht bzw. Intention des Fahrers kann hier entscheidend dazu beitragen, nicht nur eine Abweichung der geplanten Handlung des Fahrers von einer optimalen Kollisionsvermeidungsstrategie zu erkennen, vielmehr kann auch die zusätzliche Situationsbewertung und resultierende Entscheidung des Fahrers mit berücksichtigt werden. Bereits heute ist es möglich durch Brain-Computer-Interfaces (BCIs) Informationen über kognitive Prozesse aus EEG-Daten im Bereich von Mensch-Maschine-Systemen zu nutzen. (Dornhege et al., 2007, Zander et al., 2008). Die Anwendbarkeit dieser Technologie gilt es im Fahrzeug unter Realbedingungen zu überprüfen.

In den folgenden Abschnitten erfolgt eine Einführung in die Grundlagen der neuronalen Informationsverarbeitung im Gehirn, die zur Entstehung des EEG-Signals an den Elektroden führen. Die Interpretation dieser Signale im neuropsychologischen Kontext ermöglicht dann den Zugang zu bewussten und unbewussten Vorgängen im Gehirn des Fahrers.

Neurophysiologische Grundlagen und Methodik

Das EEG ist die elektrische Registrierung neuronaler Aktivität des menschlichen Kortex. Es wird angenommen, dass verschiedene kognitive Prozesse auch unverwechselbare Aktivitätsmuster im Gehirn haben. Diese Art Fingerabdruck bewusster und unbewusster Prozesse gilt es durch Muster in den Eigenschaften der EEG-Daten durch ein BCI zu erkennen, um sie im Kontext der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion nutzen zu können.

Die Generierung, der im EEG erfassten Potentialverläufe auf dem Skalp erfolgt durch gleichzeitig und gleichsinnig ablaufende postsynaptische Potentiale. Diese Potentialschwankungen treten auf, da Nervenzellen (Neurone) ihre Informationen in Form von elektrischen Signalen verarbeiten. Potentiale welche in räumlicher Nähe zum Skalp entstehen, stellen dabei den Hauptgenerator der EEG-Schwingungen dar. Durch das EEG können folglich nicht alle neuronalen Prozesse erfasst werden. Vielmehr handelt es sich um die Erfassung postsynaptischer Potentiale, welche die kortikalen Pyramidenzellen entsprechend skalp-negativ oder -positiv polarisieren.

Kognitive Prozesse in den kortikalen Strukturen (z.B. Motorkortex) führen zu einer Abweichung der, vom thalamokortikalen Grundrauschen induzierten, elektrischen Potentialunterschiede in den Neuronen selbst (Birbaumer & Schmidt, 2006). Diese hirnaktivitätsbezogenen Abweichung, welche auch in der Einzelaktivität an der Varianz der Stärke des Grundrauschens zu erkennen ist, kann als Korrelat zu kognitiven Prozessen aus den EEG-Daten extrahiert werden, um es durch ein BCI im Fahrzeug als zusätzlichen Informationkanal nutzen zu können. Es wurde gezeigt, dass Prozesse der motorischen Vorbereitung von linken und rechten Fingerbewegungen, als auch die des rechten Fußes aus den EEG-Daten im Single-Trial erkannt werden kann (Müller-Gerking et al., 1999).

Der Theorie des Maschinellen Lernens folgend, muss eine solche Klassifikation jedoch auf die entsprechenden Muster in den EEG-Daten in einer Lernphase trainiert werden (Duda et al., 2001). Diese Phase ist besonders kritisch, da hier Aspekte der Überanpassungen (overfitting) auf die aufgenommenen Daten zum Tragen kommen können. Die EEG-Daten dieser Phase enthalten, gerade im Fahrzeug, nicht nur Muster zugrunde liegender kognitiver Prozesse, sondern auch rausch- und artefaktbedingte Muster. Um eine Anpassung des Klassifikationsystems auf diese künstlichen Muster zu vermeiden, müssen diese aus den aufgenommenen EEG-Daten entfernt werden, bevor das BCI darauf trainiert werden kann. Vorausgesetzt diese Quellen sind

statistisch unabhängig von neuronalen Prozessen, können diese durch eine lineare Transformation, welche die statistische Abhängigkeit zwischen den Komponenten minimiert, identifiziert werden (Comon, 1994, Bell & Sejnowski, 1995, Jung et al., 2000).

Experiment

Die gezeigten Ergebnisse beziehen sich auf ein Realfahrtexperiment welches am Fahrsicherheitszentrum des ADAC Berlin-Brandenburg durchgeführt wurde. Die beiden Testfahrer wurden gebeten einem Wasserhindernis ohne weitere Vorgaben auszuweichen. Die Richtung des Ausweichmanövers wurde durch die Fahrer selbst bestimmt. Nach dem Ausweichmanöver sollte wieder auf die ursprüngliche Spur gewechselt werden.

Ein weiblicher (28 Jahre, VP001) und eine männlicher (28, VP002) Fahrer nahmen an diesem Pilotexperiment teil. In beiden Fällen wurde die elektrische Hirnaktivität synchron zum Lenkverhalten des Fahrers erfasst. Der Beginn des intendierten Ausweichmanövers wurde für jede Durchfahrt aus dem Anstieg der Lenkradwinkelgeschwindigkeit [deg/s] abgeleitet.

Ergebnisse

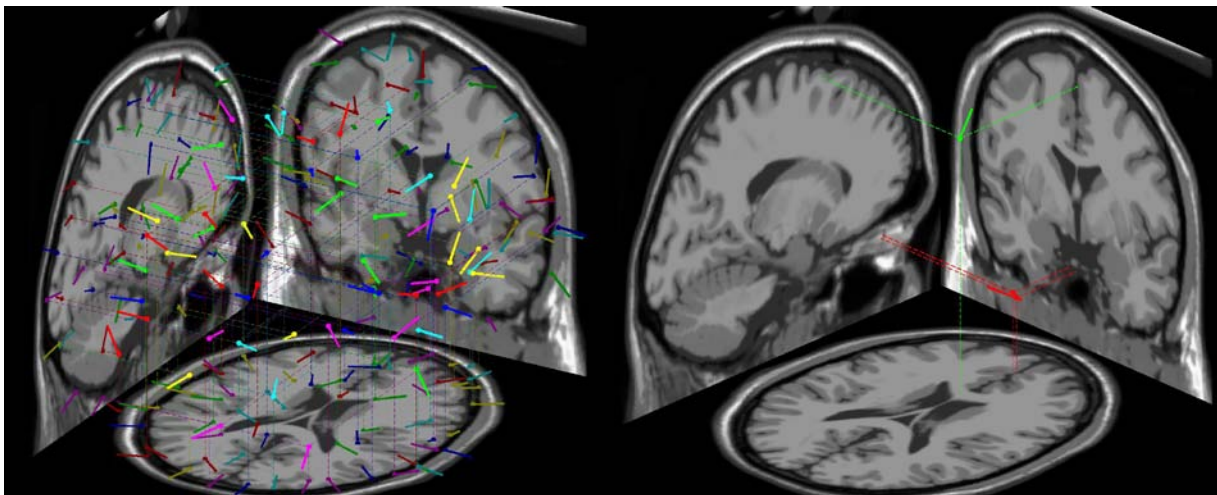


Abb. 6: Dipolrekonstruktionen aller statistisch unabhängiger Komponenten (ICA Infomax) des EEG (links) und die beispielhafte Identifikation (rechts) von Augenartefaktquellen (rot) und einem Generator des motorrischen Kortex (grün) – VP 002.

Die Analyse der unabhängigen Komponenten des EEG zeigte, dass diese in der Lage ist auch in hochdynamischen Umweltbedingungen eine Identifikation von Augenbewegungen in den EEG-Daten zu ermöglichen (vgl. Abb. 6). Identifizierte Quellen, die Augenbewegungen enthielten wurden aus den Daten entfernt um sicherstellen zu können, dass die Klassifikation nicht durch Sakkaden beeinflusst wird. Anschließend wurde die datengetriebene Merkmalsextraktion Common Spatial Pattern (CSP) zur Klassifikation der EEG-Daten für linke und rechte Ausweichmanöver angewendet (vgl. Müller-Gerking, et al., 1999). Es zeigte sich, dass die EEG-Daten des Fahrers bereits ca. 1,5 Sekunden vor der Handlungsausführung (Anstieg der Lenkradwinkelgeschwindigkeit) Informationen über die Richtung der Lenkbewegung enthalten, welche rein aus diesen Daten gewonnen werden können.

Abb. 7 zeigt eine konservative Schätzung des Klassifikationsergebnisses basierend auf dem Zeitpunkt von spektralen Varianzen des EEG (1 - 45Hz), in der sich die ausgeführten linken und rechten Ausweichmanöver unterscheiden. Das genaue Spektrum der Varianz kann zur Validerung des Merkmals genutzt werden. So werden Varianzen im Bereich von 14-30 Hz des EEG bis zu 2s vor der Bewegungsausführung mit diesen in Verbindung gebracht

(Pfurtscheller, 1999). Durch die Kreuzvalidierung der Klassifikationsergebnisse innerhalb der Versuchspersonen und die ähnliche Lokalisierung der klassifizierbaren spektralen Unterschiede zwischen den Versuchspersonen, kann vermutet werden, dass es sich um eine Erkennung der Repräsentation eines oder mehrerer kognitiver Prozesse handelt, welche einen Einfluss auf die Richtungsentscheidung des Lenkmanövers haben. Um diese Vermutung bestätigen zu können, werden derzeit weitere Versuche durchgeführt, welche eine kortikale Repräsentation der Wahrnehmung des Hindernisses induzieren um die gewonnenen Erkenntnisse handlungstheoretisch besser interpretieren zu können.

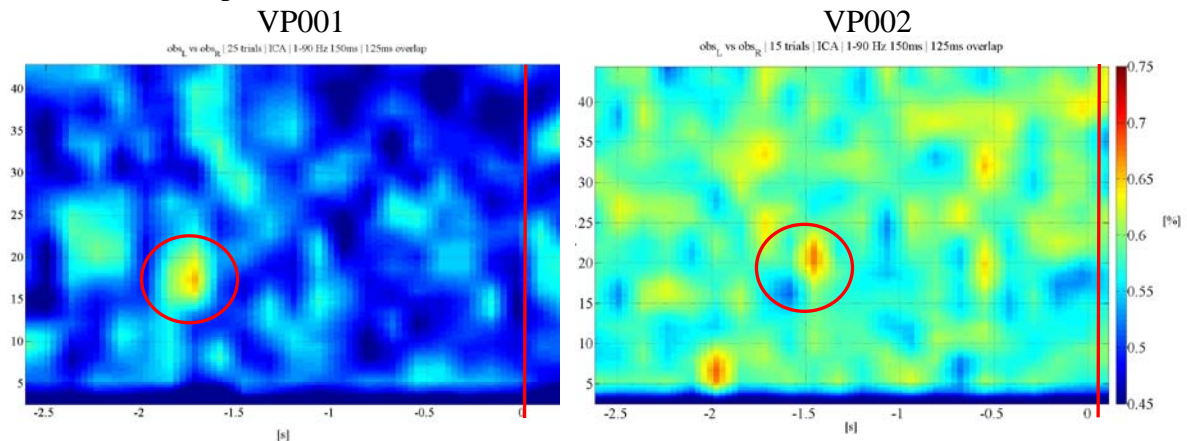


Abb. 7: Die Abbildung zeigt die konservative Schätzung der Klassifizierbarkeit von rechten und linken Ausweichmanövern auf augenartefakt-bereinigten EEG-Daten des Fahrers vor dem Einlenkzeitpunkt nach links oder rechts (Zeitpunkt 0).

Literatur

- Bell A.J. & Sejnowski T.J. 1995. An information maximisation approach to blind separation and blind deconvolution, *Neural Computation*, 7, 6, 1129-1159.
- Birbaumer, N. & Schmidt, R. F. (2006). Biologische Psychologie, 6. vollst. überarb. u. ergänzte Aufl., 2006, XVI, ISBN: 978-3-540-25460-7.
- Comon, P. (1994) Independent Component Analysis, a new concept ?, *Signal Processing*, Elsevier, 36(3):287--314, April 1994, Special issue on Higher-Order Statistics.
- Duda R., Hart P., Stork D. (2001). Pattern Classification. Second Edition, Wiley, 2001.
- Dornhege G., Millán J. del R., Hinterberger T., McFarland D., Müller K.-R., eds. (2007). Toward Brain-Computer Interfacing, MIT Press, Cambridge, MA, 2007.
- Jung, T-P., Humphries, C., Lee, T-W., McKeown, M. J., Iragui, V., Makeig, S. and Sejnowski, T. J., (2000) Removing electroencephalographic artifacts by blind source separation, *Psychophysiology* 37:163-178, 2000.
- Müller-Gerking, J., Pfurtscheller, G., Flyvbjerg, H. (1999). Designing optimal spatial filtering of single trial EEG classification in a movement task. *Clinical Neurophysiology*, 110:787–798, 1999.
- Pfurtscheller, G. (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles *Clinical Neurophysiology*, Volume 110, Issue 11, Pages 1842-1857.
- Zander, T. O., Kothe, C., Welke, S., Roetting, M. (2008). Enhancing human-machine systems with secondary input from passive brain-computer interfaces. In Proc. of the 4th Int. BCI Workshop & Training Course, Graz University of Technology Publishing House, 2008, Graz, Austria.