

Embedded Brain Reading

Sichere und intuitive Mensch-Maschine-Interaktion

Elsa Andrea Kirchner, Universität Bremen und DFKI RIC und Rolf Drechsler, Universität Bremen und DFKI CPS

Autoren

Dr. rer. nat. Elsa Andrea Kirchner arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe Robotik an der Universität Bremen und leitet am DFKI RIC in Bremen das Team Nachhaltige Interaktion und Lernen. Ihr Fachgebiet ist die Mensch-Maschine-Interaktion und insbesondere die Analyse kognitiver Zustände beim Menschen mittels Biosignalen und technische Signale zur Verbesserung der Interaktion.

Prof. Dr. phil. nat. Rolf Drechsler leitet die Arbeitsgruppe Rechnerarchitektur an der Universität Bremen und ist Leiter des Forschungsbereichs Cyber-Physical Systems am DFKI. Seine Forschungsgebiete reichen von Systemebenenbeschreibungen in SystemC über Test- und Verifikationsanwendungen bis hin zur Schaltungssynthese.

Kontakt

ekir@informatik.uni-bremen.de

www.informatik.uni-bremen.de/robotik

Neuartige Assistenzsysteme und intuitive Interaktion mit robotischen Systemen bieten den Anforderungen von Industrie 4.0 Lösungen. Nur durch intuitive Interaktion zwischen Mensch und Maschine kann hoch flexible modulare Produktion erreicht werden, ohne den Menschen zu überfordern. Hierfür sind Ansätze verlangt, die das Erkennen von Absichten, also Intentionen, eines Menschen eingebettet in die Steuerung eines technischen Systems ermöglichen. Am Beispiel von „Embedded Brain Reading“ soll gezeigt werden, wie mobile und in das technische System eingebettete Erkennung menschlicher Handlungsintentionen sicher genutzt werden kann, um die Interaktion zwischen Mensch und Maschine zu verbessern. Im Ausblick soll der Beitrag skizzieren, wie die aufgezeigten Lösungen vom Ansatz her auch für die intuitive und sichere Unterstützung des Menschen in der Produktion eingesetzt werden können, um die Ziele der Industrie 4.0 zu erreichen.

Die zur Erreichung der Ziele von Industrie 4.0 gestellten Anforderungen, wie z.B. der Anforderung sich dem Markt individuell und schnell anzupassen, verlangen nicht nur modulare Produktionsabläufe sondern auch ein Höchstmaß an Anpassungsfähigkeit des Menschen. In Zukunft muss die individuelle Leistungsfähigkeit und Arbeitsweise sehr viel gezielter betrachtet und berücksichtigt werden, um den Menschen nicht zu überfordern oder in seiner Tätigkeit gar zu behindern. Hierfür müssen Mensch und technisches System, wie z.B. ein Industrieroboter, viel enger und intuitiver zusammenarbeiten. Dies ist jedoch nur möglich, wenn sich das System besser auf den jeweiligen Menschen und dessen Bedürfnisse einstellen kann.

Ähnliche Anforderungen wie für die effiziente Zusammenarbeit von Mensch und Industrieroboter, werden auch an Assistenzsysteme in anderen Bereichen gestellt. Verlangte der Umgang mit vielen Assistenzsystemen früher oft eine Anpassung des menschlichen Verhaltens an die Bedürfnisse der Systeme, so sind diese heutzutage sehr viel individueller

auf die Anforderungen des Menschen angepasst. Zukunftsfähige Assistenzsysteme dürfen zum Erreichen einer hohen Akzeptanz das natürliche und individuelle Verhalten des Menschen nicht negativ beeinflussen. Ein wichtiger Schlüssel, um dies zu erreichen, ist es, dass Assistenzsysteme nicht mehr nur auf der Basis von expliziten, also direkten und oft künstlichen, Anweisungen Aufgaben des Menschen übernehmen, sondern den Menschen in seinem individuellen und natürlichen Verhalten fördern und mit ihm kooperieren. Dies kann erreicht werden, wenn technische Systeme aus dem Kontext der Interaktion und dem Zustand des Menschen heraus beabsichtigte Reaktionen und Bewegungen vorhersagen können, um diese proaktiv zu unterstützen. Embedded Brain Reading ist ein Ansatz, der es ermöglicht, aus der Gehirnaktivität des Menschen, weiteren physiologischen Daten sowie dem Kontext der Interaktion Handlungsintentionen zu erkennen, um eine solche proaktive Unterstützung zu leisten (Bild 1) [1].

Bild 1: Visualisierung des Ansatzes und der funktionellen und konzeptionellen Komponenten von Embedded Brain Reading. Embedded Brain Reading ermöglicht die passive Erkennung von Handlungsintentionen (I) des Menschen auf Basis der Analyse von Gehirnaktivitäten und anderen physiologischen Daten sowie Verhaltensdaten, um den Menschen individuell und dem Kontext (K) entsprechend und möglichst (F) fehlerfrei zu unterstützen (U). Bildquelle: aus [2].

Im Folgenden soll Embedded Brain Reading näher vorgestellt werden, um aufzuzeigen, dass dieser Ansatz die Mensch-Maschine-Interaktion sowohl messbar und fühlbar verbessert als auch fehlertolerant ist. Neben einer hohen Fehlertoleranz ist die Überprüfbarkeit auf Korrektheit ein wichtiger Faktor für die Nutzung im Alltag und Betriebsgeschehen. Es wird dargestellt, dass durch Embedded Brain Reading und dessen Modellierung eine Überprüfung auf Korrektheit trotz der Nutzung unsicherer Daten möglich ist. Der Einbezug des Menschen und seiner Daten in Prozesse der Verifikation sind hoch relevant für zukünftige Ansätze der Realisierung und Verbesserung von Mensch-Maschine-Interaktion oder -Kooperation.

Nutzung physiologischer Daten

Physiologische Daten, wie die Atemfrequenz, der Puls, die Muskelaktivität oder auch die Gehirnaktivität, sind nicht von außen zu beobachten, bieten aber einen sehr guten Einblick in den physiologischen, psychologischen und kognitiven Zustand des Menschen. Nicht ohne Grund werden solche Daten, wie beispielsweise die Pulsfrequenz, schon jetzt von Wearable Devices genutzt, um Aussagen über den Träger zu treffen. Ein Vorteil solcher Daten liegt auch darin, dass sie sehr ähnliche Ausprägungen zwischen verschiedenen Menschen haben. Im Gegensatz zu Verhaltensdaten, wie z. B. Gesten, sind physiologische Daten außerdem nicht bewusst veränderbar, also manipulierbar, oder von gesellschaftlichen Gegebenheiten abhängig. Somit erlauben sie es oft, zuverlässigere Aussagen über eine Person zu treffen als z. B. Verhaltensanalysen. Insbesondere beim Tragen technischer Systeme am Körper, wie z. B. Orthesen und Exoskelette in der Rehabilitationsrobotik, kann das Aufzeichnen und Analysieren von physiologischen Daten gut realisiert werden [3, 4]. Die Gehirnaktivität kann implizit genutzt werden. Beim Physiological Computing wird z. B. die Gehirnaktivität des Menschen analysiert, um kritische Situationen, wie beispielsweise eine Überlastung einer Person bei der Nutzung einer Maschine, zu vermeiden [5]. Der Ansatz kann z. B. bei der Unterstützung von Piloten Einsatz finden.

Erkennung von Handlungsintentionen

Um Handlungsintentionen zu ermitteln, ist eine gezielte Interpretation der Gehirnaktivität hinsichtlich verhaltensrelevanter Zustände notwendig. Das passive Erkennen von Gehirnaktivitätsmustern, die mit bestimmten Zuständen des Menschen korrelieren, wie z. B. einem Zustand der kognitiven Überforderung, kann nur dann hinsichtlich einer Handlungsintention interpretiert werden, wenn auch das Verhalten des Menschen und der Handlungskontext mitbetrachtet werden. Die Interpretation der Gehirnaktivität, das Brain Reading, muss also in den Kontext (K in Bild 1) der Handlung bzw. Interaktion eingebettet werden, woraus sich der Begriff Embedded Brain Reading ableitet.

Fehlertolerante Unterstützung

Da es nicht möglich ist, Handlungsintentionen fehlerfrei zu erkennen, beinhaltet der Ansatz von Embedded Brain Reading insbesondere eine fehlertolerante Nutzung der über den Menschen ermittelten Information für eine zuverlässige Unterstützung der Mensch-Maschine-Interaktion. Hierfür müssen die Ergebnisse der Intentionserkennung so verwendet werden, dass eine mögliche Fehlinterpretation der Intention zu keinem fehlerhaften Verhalten des Systems führt (Bild 1 F: Konzept für fehlerfreie Funktion als wichtiger Baustein von Embedded Brain Reading). Dies ist insbesondere deswegen wichtig, da Gehirnaktivität (wie auch andere physiologische Daten oder Verhaltensdaten) nie 100 % korrekt interpretiert werden kann. Das Ausschließen von Fehlverhalten ist jedoch wichtig für die Akzeptanz insbesondere dann, wenn Embedded Brain Reading genutzt wird, um ein technisches System zu steuern, das die Funktion von Teilen des menschlichen Körpers im Sinne einer Assistenz unterstützt, im Sinne eines Funktionsersatzes ersetzt oder sogar die Funktion erweitert.

In dem Beispiel in Bild 2 ist illustriert, wie Fehlverhalten vermieden werden kann. In der Anwendung werden Bewegungsintentionen erkannt und das System auf die Ausführung einer Bewegung bzw. dessen Beginn vorbereitet. Die Vorbereitung besteht jedoch nicht darin, dass der Modus des Exoskeletts direkt vom Ruhemodus in den Modus der freien Beweglichkeit wechselt (Bild 2). Vielmehr werden die Sensoren, welche normalerweise den Bewegungsbeginn detektieren und die Schaltung zwischen den Modi vermitteln, adaptiert. Sie werden für den Beginn der erwarteten Bewegung sensibilisiert. Es konnte gezeigt werden, dass durch die Unterstützung mittels Embedded Brain Reading die Kraft, die der Mensch für die Interaktion mit dem Exoskelett aufbringen muss, sehr stark reduziert wird, ohne die Stabilität der durch das Exoskelett vermittelten Haltefunktion in der Ruhephase zu gefährden [6].

Bild 2: Embedded Brain Reading erkennt die Handlungsintention und unterstützt den Wechsel zwischen den Modi des Exoskeletts von der Unterstützung in Ruhe (LOCK) zur Unterstützung freier Bewegung (FREE). Der Wechsel der Modi erfolgt nur nach Bestätigung der vorhergesagten Handlungsintention durch das Exoskelett. Bildquelle: aus [2].

Wird Embedded Brain Reading z. B. genutzt, um eine intendierte Handlung aktiv mittels einer Orthese auszuführen (Bild 3), wenn die Orthese z. B. die Funktion des Arms

übernimmt, muss um so mehr sichergestellt werden, dass die Intention sich zu bewegen jeweils korrekt erkannt wurde. Um den besonders hohen Ansprüchen an eine fehlerfreie Funktion zu genügen, können multimodale Daten, also verschiedene Daten über den Menschen, insbesondere verschiedene physiologische Daten, wie z. B. EEG-Daten und Daten zur Muskelaktivität (Elektromyographische-Daten, kurz EMG Daten), kombiniert genutzt werden. Die Kombination verschiedener Daten kann nicht nur die Fehlerraten drastisch reduzieren oder sogar auf null setzen, sondern das System auch an den generellen Zustand und Bedarf des Menschen anpassen [7].

Bild 3: Nutzung von Embedded Brain Reading in der Rehabilitationsrobotik: Aktive Unterstützung von motorischer Armfunktion in Alltagssituationen zur Erhöhung der Partizipation. Es werden multimodale Daten genutzt, um (1) die Ermittlung des Handlungskontexts zu ermöglichen, (2) die Fehleranfälligkeit zu minimieren und (3) eine bessere Anpassung an den individuellen Bedarf des Patienten in der Therapie zu ermöglichen. Bildquelle: verändert aus [2,3].

Fehlererkennung durch formale Modellierung

Neben der konzeptionellen Vermeidung eines Fehlverhaltens zeigte sich, dass je nach Art der Unterstützung und der Komplexität des Ansatzes bestimmte Implementierungsfehler oft nicht erkannt werden können. Die Erkennung von Implementierungsfehlern ist besonders wichtig, da sich Fehler in der Implementierung nur in einer geringeren Leistung in der Unterstützung des Menschen durch Embedded Brain Reading zeigen. Eine Reduktion der Unterstützung ist schlecht erkennbar bzw. nicht direkt messbar. Dies liegt daran, dass zum einen die tatsächlich erreichbare Unterstützungsleistung nicht von vornherein bestimmbar ist und zum anderen komplettes Fehlverhalten schon im Ansatz nahezu ausgeschlossen wird. Fehler können also gar nicht oder nur schlecht erkannt werden. Ein formales Modell für Embedded Brain Reading wurde entwickelt, das verschiedene Implementierungen, wie die in Bild 2 dargestellte, abdeckt [1]. Mittels des Modells konnte nicht nur allgemein gezeigt werden, dass durch den Einsatz von Embedded Brain Reading Fehlfunktionen des technischen Systems im Falle der Fehlinterpretation des Kontexts oder der Gehirnaktivität vermieden werden können. Es wurde außerdem gezeigt, dass das formale Modell genutzt werden kann, um Implementierungsfehler zu erkennen. Die erfolgreiche Entwicklung des formalen Modells indiziert, dass Mensch-Maschine-Interaktion trotz ihrer Komplexität und den unsicheren Daten modellierbar ist, indem der Fokus auf die Hauptkomponenten und deren Bedingungen und Beziehungen untereinander gelegt wurde. Das entwickelte Modell ist ein erster Schritt in Richtung Verifikation auf Systemebene [8], welche nicht nur komplexe technische Systeme, sondern auch den Menschen als System mit einschließt.

Ausblick

In Zukunft wird es Systeme geben, die die Aufzeichnung und Analyse von Gehirnaktivität durch kleine, versteckte, wie z.B. in Brillen integrierte, Systeme erlauben, so wie es jetzt schon für Embedded Brain Reading möglich ist, komplexe Gehirnaktivitätsdaten auf miniaturisierten Rechensystemen zu analysieren, die in ein technisches System integriert sind [9]. Embedded Brain Reading stellt eine Schlüsseltechnologie dar, die es in Zukunft erlaubt, technische Systeme zu entwickeln, die mit einer hohen Zuverlässigkeit erkennen

können, was für Intentionen ein Nutzer hat, ohne dass explizite Anweisungen nötig sind. Es ermöglicht implizite und intuitive Kommunikation und hat das Potenzial, die Akzeptanz technischer Systeme grundlegend zu erhöhen. Eine solche Akzeptanzsteigerung ist Grundvoraussetzung dafür, dass technische Systeme für eine direkte Kooperation mit Menschen, wie beispielsweise in der Produktion, und für die individuelle Unterstützung von Menschen, wie in der Rehabilitation, zum Einsatz kommen können.

Der Ansatz von Embedded Brain Reading ist des Weiteren ein Modell für intuitive Mensch-Maschine-Schnittstellen, die auch ohne Daten von der Gehirnaktivität des Menschen auskommen müssen. Nicht immer und selbst mit miniaturisierten Aufzeichnungs- und Analysesystemen ist die Nutzung des menschlichen Elektroenzephalogramms sinnvoll. Insbesondere bei der Unterstützung von Mensch-Roboter-Interaktion im industriellen Kontext reichen oftmals Verhaltensdaten, um eine intuitive Interaktion zu ermöglichen. Aber auch bei Anwendungen im Bereich von Industrie 4.0 ist es wichtig, dass das Erkennen der Intention des Menschen sicher erfolgt. So kann z.B. die passive Analyse des Verhaltens durch multisensorische Auswertung verbessert werden. Ein Beispiel ist die Erkennung der Näherung eines Menschen an einen Roboter. Hier können z.B. Daten von Laserscannern, Tiefenbildkameras oder Bewegungskameras sowie Sensoren, die in der Kleidung des Menschen verarbeitet sind zusammen viel sicherer hinsichtlich der Frage, ob sich ein Mensch dem Arbeitsraum des Roboters nähert, ausgewertet werden, als dies unter der Nutzung nur eines Datentyps möglich wäre. Auch beim Erkennen explizit vermittelter Anweisungen kann eine Kombination von verschiedenen Sensormodalitäten, wie Laser und körpernahe Sensorik, oder die Kombination verschiedener Modalitäten, wie Sprache und Gestik, helfen die Interaktion zwischen Mensch und industriellem Roboter sicherer zu gestalten. Außerdem ermöglicht die Kombination multimodaler Daten die im Hinblick auf den Kontext der Interaktion ausgewertet wird (siehe Bild 1) nicht nur ein sicheres Erkennen der Intentionen des Menschen, sondern erlaubt es dem Menschen zusätzlich eine bevorzugte Art der Interaktion, wie z.B. Sprache oder Gestik, zu wählen. Für neue Anwendungen der Industrie 4.0 wird es in Zukunft wichtig sein, multimodale in die Anwendung, in die Systeme und in den Kontext der Interaktion eingebettete Schnittstellen zu entwickeln und einzusetzen, die in der Lage sind Intentionen des Menschen intuitiv auf explizitem und auf implizitem Weg zu erkennen und intuitive hoch flexible Interaktion zu erlauben. Erst mit solchen Schnittstellen ist eine wahre Kooperation zwischen Mensch und Maschine realisierbar.

Literatur

- [1] Kirchner, E. A.; Drechsler, R.: A Formal Model for Embedded Brain Reading. *Industrial Robot*. In: *An International Journal* 40 (2013), S. 530-540.
- [2] Elsa Andrea Kirchner: Intrinsische Intentionserkennung in Technischen Systemen. In: Steffen Hölldobler (Hrsg.). *GI-Edition: Lecture Notes in Informatics, Ausgezeichnete Informatikdissertationen 2014*. S. 121-130, Bonner Köllen Verlag, 2015.
- [3] Kirchner, E. A.; Albiez, J.; Seeland, A.; Jordan, M.; Kirchner, F.: Towards Assistive Robotics for Home Rehabilitation. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Biomedical Electronics and Devices (BIODEVICES-13)*, S. 168 – 177, 11.-14.2.2013, Barcelona.

- [4] Vaca Benitez, L. M.; Tabie, M.; Will, N.; Schmidt, S.; Jordan, M.; Kirchner, E. A.: Exoskeleton Technology in Rehabilitation: Towards an EMG-Based Orthosis System for Upper Limb Neuromotor Rehabilitation. In: Journal of Robotics 2013, 13 Seiten, doi:10.1155/2013/610589.
- [5] Allanson, J.; Fairclough, S.: A research agenda for physiological computing. In: Interacting with Computers 16 (2004), S. 857-878.
- [6] Folgheraiter, M.; Jordan, M.; Straube, S.; Seeland, A.; Kim, S.-K.; Kirchner, E. A.: Measuring the Improvement of the Interaction Comfort of a Wearable Exoskeleton. In: International Journal of Social Robotics 4 (2012) 3, S. 285-302.
- [7] Kirchner, E. A.; Seeland, A.; Tabie, M.: Multimodal Movement Prediction - Towards an Individual Assistance of Patients. In: PLoS ONE, Public Library of Science 9 (2014) 1, S. e85060.
- [8] Drechsler, R.; Große, D.: System level validation using formal techniques. In: IEE Proceedings Computer & Digital Techniques, Special Issue on Embedded Microelectronic Systems: Status and Trends 152 (2005) 3, S. 393-406.
- [9] Wöhrle, H.; Teiwes, J.; Tabie, M.; Seeland, A.; Kirchner, E. A.; Kirchner, F.: Prediction of Movements by Online Analysis of Electroencephalogram with Dataflow Accelerators. In: International Congress on Neurotechnology, Electronics and Informatics (NEUROTECHNIX), S. 31 – 37, 25.-26.10.2014, Rome.

Schlüsselwörter:

Embedded Brain Reading, Mensch-Maschine-Interaktion, Assistenzsysteme, Verifikation auf Systemebene

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „IMMI - Intelligente Mensch-Maschine-Schnittstelle“, das von dem BMWi (FKZ 50 RA 1011, FKZ 50 RA 1012) gefördert wurde, dem Reinhart Koselleck Projekt, gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) (FKZ DR 287/23-1), und dem BMBF Projekt „SPECifIC“ (FKZ 01IW13001).

Embedded Brain Reading – Safe and Intuitive Man-Machine Interaction

To infer human intentions by approaches, which are embedded into technical systems, is the foundation of a future key technology that enables the development of novel assistive devices. These devices provide solutions to current and future challenges that are caused by the demographic change and requirements of “Industry 4.0”. Embedded Brain Reading enables a mobile recognition of human intention embedded into a technical system to support users fault tolerantly. The model of the approach suggests that man-machine interaction is verifiable for correctness and completeness for its safe usage.

Keywords:

embedded brain reading, man-machine interaction, assistive devices, verification on system level

Redaktionelle Anmerkungen:

- Bitte überprüfen Sie die Beschriftung in Bild 3: „Erkennung von Zielobjekten durch semantisch Überwachung“.
 - überarbeitet
- Bitte ergänzen Sie in [2] und [8] die Seitenangabe.
 - vervollständigt
- Bitte korrigieren Sie in [3] und [6] die Seitenangabe.
 - Anmerkung: zu 6 (ist jetzt 7): das ist ein digitaler Seitenbezeichner und so richtig
 - Zu 3 (jetzt 4): vervollständigt