

Hybrid-Brain-Computer Interface – Ein neues assistierendes Hilfsmittel?

Hybrid Brain-Computer Interface – A New Assistive Device?

Gernot Müller-Putz



Gernot Müller-Putz ist Associate Professor am Institut für Semantische Datenanalyse. Seine Forschungsschwerpunkte liegen bei Brain-Computer-Kommunikationssystemen, Neuroprothesen bei Querschnittgelähmten, dem menschlichen somatosensorischen System und in der assistierenden Technologie.

Gernot Müller-Putz is associate professor at the Institute for Knowledge Discovery. His research interests include brain-computer communication systems, neuroprosthetics in spinal cord injured, the human somatosensory system and assistive technology.

Am Institut für Semantische Datenanalyse werden zurzeit fünf EU-Projekte zum Thema Brain-Computer Interface bearbeitet, ein EU-Projekt wird von der TU Graz koordiniert. Einer der Schwerpunkte ist es, das Brain-Computer Interface (BCI) aus dem Labor in den klinischen Alltag zu bringen. Eine Möglichkeit dafür wird im Folgenden beschrieben.

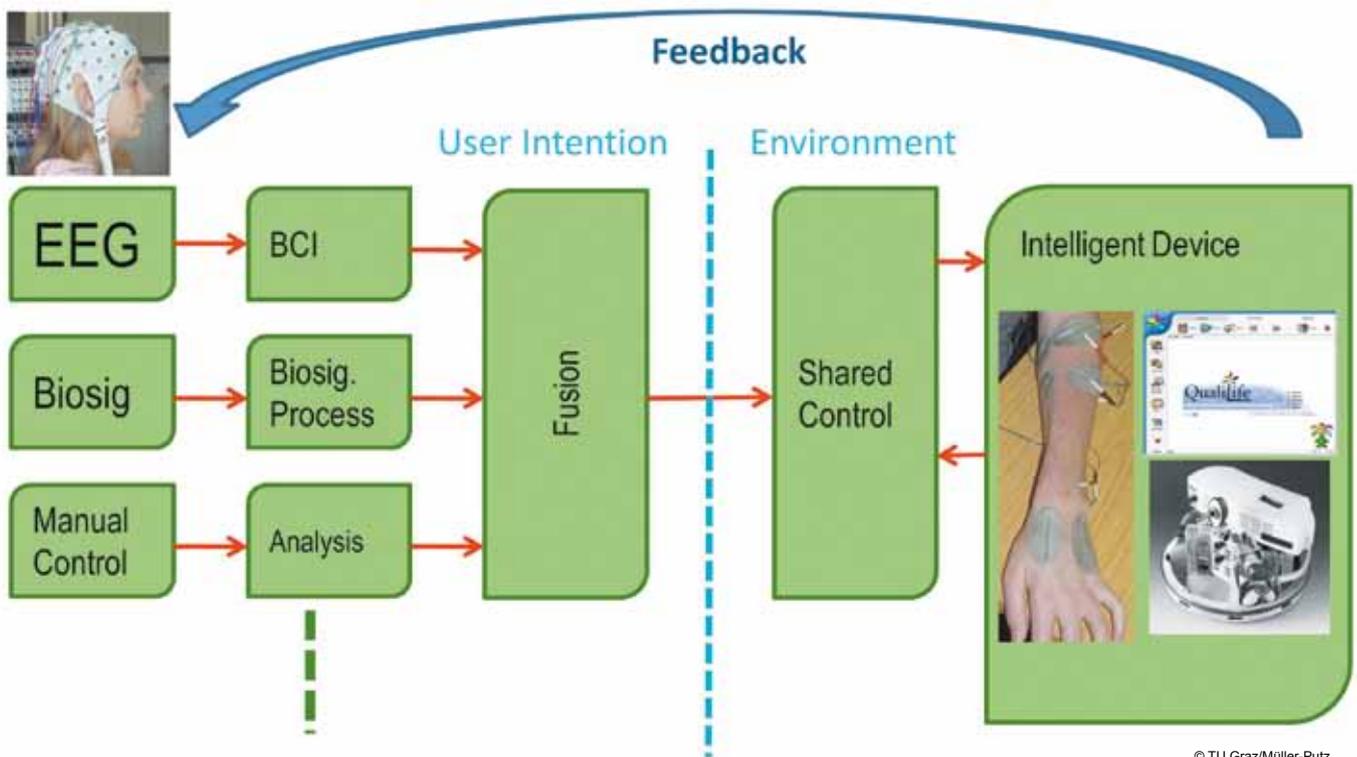
Personen mit schwersten Beeinträchtigungen steht eine große Auswahl von assistierenden Hilfsmitteln zur Verfügung. Die Liste der Hilfsmittel reicht von einfachen Schaltern oder Tastern, die mit einer Fernsteuerung verbunden sind, über komplexe Sensoren (z. B. Mundmaus), die an einen Computer angeschlossen sind, bis hin zu Eye-Tracking-Systemen. Diese Systeme arbeiten sehr gut, nachdem sie individuell an die jeweilige Person angepasst wurden. Es gibt aber Situationen, in denen diese nicht einwandfrei funktionieren, z. B. wenn eine Ermüdung der noch vorhandenen Muskulatur auftritt, die normalerweise zur Steuerung verwendet wird. In einem solchen Fall stellt das Brain-Computer Interface (BCI) eine gute Option dar, die Steuerung, ohne die Notwendigkeit von Bewegungen, zu übernehmen.

Ein BCI ist ein System, das es einem Benutzer/ einer Benutzerin ermöglicht, nur durch Denken, ohne jegliche Muskelbewegung, eine Anwendung zu steuern. Dabei wird die Gehirnaktivität gemessen, daraus wird Information gewonnen und in Steuersignale umgesetzt. Für beeinträchtigte Personen stellt das BCI eine Möglichkeit zur Kommunikation dar. BCIs können auch von Querschnittgelähmten mit hoher Läsionshöhe zur Steuerung von Neuroprothesen zur Griffwiederherstellung verwendet werden. Nach ungefähr 20 Jahren Forschung und Entwicklung ist das Brain-Computer Interface (BCI) eine Technologie, die das Labor verlässt und in die klinische Anwendung kommt. Das BCI könnte als Kommunikationssystem fun-

Currently, five EU projects involving Brain-Computer Interfaces are in progress at the Institute of Knowledge Discovery, one of which is coordinated by Graz University of Technology. One major challenge is bringing Brain-Computer Interfaces (BCI) out of the lab into real-world settings. One possible solution is described below.

Persons with movement disabilities can use a wide range of assistive devices (ADs). The set of ADs ranges from simple switches connected to a remote controller to complex sensors (e.g. mouth mouse) attached to a computer and to eye-tracking systems. All of these systems work very well after being adjusted individually for each person. However, there are still situations where the systems do not work properly, e.g., when residual muscles become fatigued or users have such severe disabilities that no movement is possible. In such situations, a Brain-Computer Interface (BCI) might be the only available option, since they use brain signals (usually the electroencephalogram, EEG) for control without requiring any movement whatsoever.

BCIs are systems that establish a direct connection between the human brain and a computer, thus providing an additional communication channel. As noted, some people use a BCI because their disabilities make it impossible to use any interface requiring movement. BCIs can also be used to control neuroprostheses in patients suffering from a high spinal cord injury, for example by using Functional Electrical Stimulation for grasp restoration. After 20 years of research and development, Brain-Computer Interface technology is ready to leave the lab and to be used in practical applications in real-world settings such as homes or hospitals. A BCI could replace an existing AD. However, it would be even better to couple the BCI with the existing AD and develop a new system called a hybrid



© TU Graz/Müller-Putz

gieren und das bestehende assistierende Hilfsmittel zeitweilig ersetzen – oder noch besser, das BCI könnte mit den vorhandenen assistierenden Systemen zu einem neuen System gekoppelt werden. Ein solches System, hybrides Brain-Computer Interface (hBCI) genannt, wird derzeit am Institut für Semantische Datenanalyse, TU Graz, im Rahmen des EU-Projekts TOBI (Tools for Brain-Computer Interaction, www.tobiproject.org) erstellt. Bei diesem hBCI ist das BCI immer verfügbar, sobald der Benutzer/die Benutzerin diese Erweiterung des bestehenden Assistsystems wünscht. Es kann aber auch sein, dass das BCI nicht zur Steuerung verwendet wird. Das hBCI entscheidet also einerseits, welche Eingabesignale am zuverlässigsten sind und kann somit die besten auswählen, um die Informationstransferrate und Benutzerfreundlichkeit zu verbessern, andererseits kann es Signale kombinieren, um diese Verbesserungen zu erreichen.

An unserem Institut wurden und werden verschiedene Studien zu diesem Thema durchgeführt, jedoch haben diese gemeinsam, dass entweder ein BCI mit einem BCI (mit verschiedenen Hirnsignalen) oder ein BCI mit einem anderen Biosignal gekoppelt wurde (EU-Projekt BRAINABLE). Das hier vorgestellte hBCI hängt aber nicht alleine von einem BCI ab. Es erlaubt dem BCI, als Eingabekanal zu arbeiten, sobald das BCI die allgemeine Performance für den Benutzer/die Benutzerin erhöht. Das hBCI kann aber auch eine Fusion von verschiedenen Eingangssignalen vornehmen, um ein einziges Steuersignal zu bekommen, oder es wählt zwischen den vorhandenen Eingangssignalen aus.

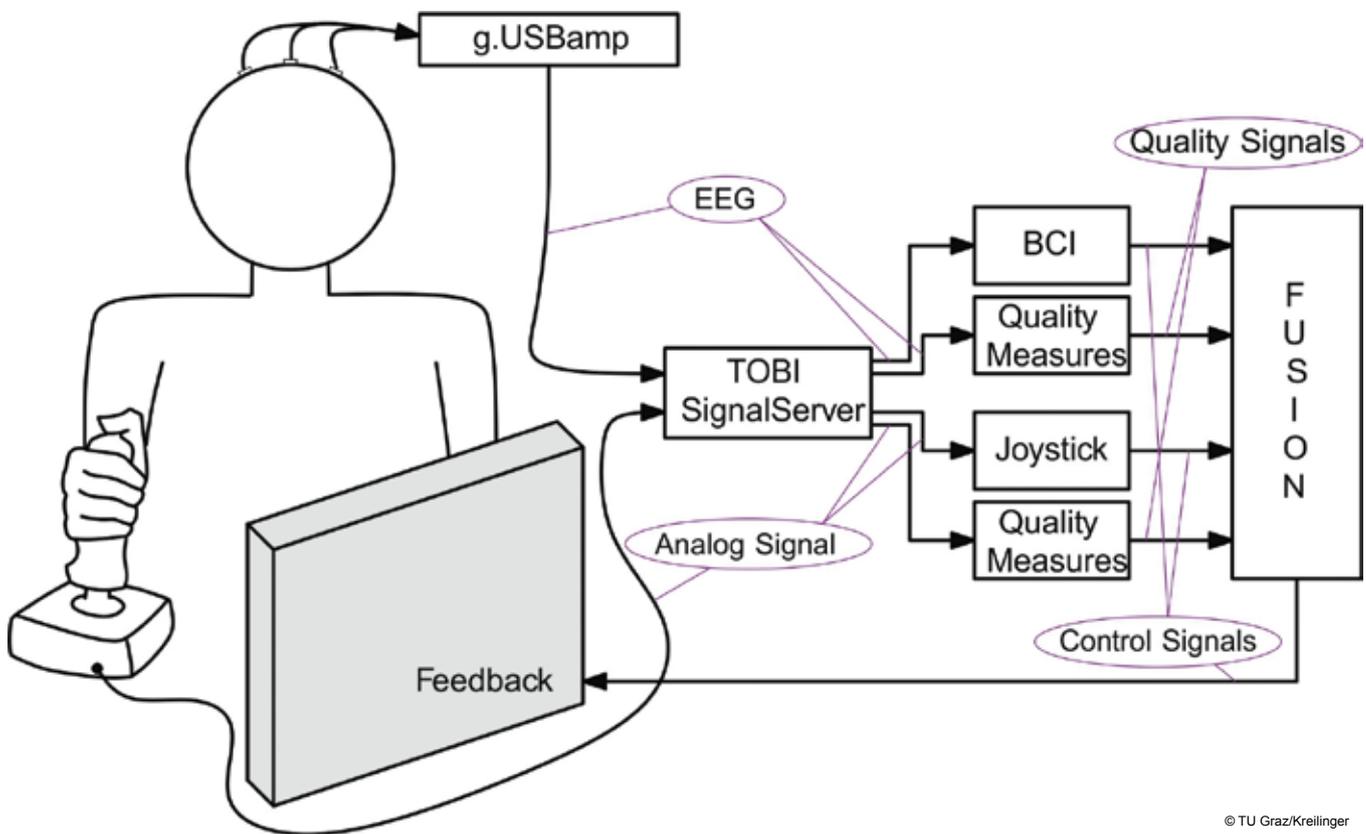
BCI (hBCI). Currently, several hBCI systems are under development at the Institute for Knowledge Discovery within the EU project TOBI (Tools for Brain-Computer Interaction, www.tobiproject.org). Ideally, a hybrid BCI should let the user extend the types of inputs available to an assistive technology, or choose not to use the BCI at all. The hBCI might decide which input channel(s) offers the most reliable signal(s) and switch between input channels to improve information transfer rate, usability, or other factors, or could instead fuse various input channels.

Various studies about hBCIs have been conducted in the past and are being presently conducted, but they all have one thing in common – they combine a BCI with another BCI (using different brain signals) or a BCI with another biosignal (EU Project BRAINABLE). The described hBCI does not depend on the BCI as an input. Instead, it simply allows the BCI to function as an input channel when the BCI could increase the overall performance for that user. The hBCI can perform fusion to switch between multiple inputs, but (depending on the configuration) can also weight signals and combine/fuse them to achieve one control signal from a combination of multiple inputs.

The principle of such an hBCI can be seen in Figure 1. In addition to the EEG-based BCI, other input and control signals are shown. These include other biosignals as well as signals from manual controls such as from ADs (e.g., mouth mouse, push buttons, ...). The "fusion" generates a new control signal out of all inputs. Besides a quality check (e.g.,

Abb. 1: Prinzip des Hybrid-BCI.

Fig. 1: Principle of a hybrid BCI.



© TU Graz/Kreilinger

Abb. 2: hBCI kombiniert Joystick und BCI.

Fig. 2: hBCI realized with a joystick and BCI.

Das Prinzip eines solchen hBCI kann man in Abb. 1 sehen. Neben dem EEG-basierten BCI gibt es noch weitere Eingangspfade. Dies können weitere Biosignale und auch andere Steuersignale (z. B. von assistierenden Hilfsmitteln) sein. In der „Fusion“ wird aus allen gleichzeitig vorhandenen Eingangssignalen ein Steuersignal generiert. Dabei werden neben Qualitätskontrollen (z. B. Artefakte) die Signale bewertet und entweder zu einem Steuersignal zusammengefasst oder nur ein sehr sicheres ausgewählt. In der sogenannten „Shared Control“ werden noch Sensorsignale von der jeweiligen Anwendung (Neuroprothese, Software, Assist Robot) zur Bewertung des vom Benutzer/von der Benutzerin kommenden Steuersignals mit einbezogen und so das endgültige Steuersignal erzeugt. Das hauptsächliche Ziel ist, das hBCI so weit zu bringen, dass eine maximale Anzahl von Szenarien in einer einfachen Art und Weise realisiert werden kann. Um dies zu erreichen, muss das hBCI fähig sein, über einen langen Zeitraum korrekt zu arbeiten, d. h. also, es muss Änderungen erkennen und sich dahingehend anpassen. Um dies zu ermöglichen, müssen viele einzelne Systeme im hBCI miteinander arbeiten können. Beispiele für solche Module sind die EEG- und Biosignalverarbeitung, Postprocessing (z. B. Fehlerpotenziale), Erkennung des mentalen Zustands (z. B. Müdigkeit), Artefakterkennung, Adaption von Klassifikatoren, Qualitätskontrolle der Eingangssignale und u. v. a. Als Beispiel wurde das hBCI als Kombination von

artifact detection), those signals will be weighted and fused to a control signal, or the most reliable one will be chosen. In the so-called “shared control”, sensor signals from the application (neuroprosthesis, software, assistive robot) will also be included and used to generate an accurate final control signal.

One major goal is to bring the BCI technology to a level where it can be used in a maximum number of scenarios in a simple way. To achieve this, the hBCI must be able to operate reliably for long periods, recognizing and adapting to changes as it does so. Achieving this goal requires that many different subsystems in the hBCI are able to work together. Examples include standard BCI processing, post processing (error potentials), mental state recognition (fatigue), artifact detection, adaptation of classifiers, and surveillance of signal quality (including EEG signals and those from additional input devices).

One hBCI fused a commercial joystick and BCI to control a car-game, based on quality measures that constantly monitor and evaluate input signals (see Fig. 2). This observation results in a quality rating. A low quality for the currently active control mode triggers the system to switch to the other mode if its quality rating is better, and therefore promises better performance. To test the system in healthy test users, the joystick signal was deteriorated artificially to simulate weakness, tremors and spasms (impairments likely to appear in patients).



© TU Graz/ISD

Joystick- und BCI-Kontrolle zur Steuerung eines Autospieles verwendet. Hier werden die Eingangssignale mit Qualitätsmaßen überwacht und evaluiert (Abb. 2). Bei schlechter Qualität des aktuell verwendeten Signals kann zum anderen Kontrollmodus gewechselt werden, insofern dieser eine bessere Qualität vorweisen kann. Um das Modell an gesunden Probanden/Probandinnen zu testen, wurde das Joysticksignal künstlich verschlechtert. Hierzu wurden Muskelschwäche, Tremor und Spasmen simuliert. Beeinträchtigungen, die bei der Anwendung mit Patienten/Patientinnen zu erwarten sind. Durch die Umschaltmöglichkeit waren die Probanden/Probandinnen auch nach völliger Funktionslosigkeit des Joysticks noch in der Lage, das Auto zu kontrollieren. Aufgrund einer Regeneration inaktiver Signale war es auch bei qualitativ schlechtem BCI möglich, wieder in den Joystickmodus zurückzuwechseln.

Eine Folgerung daraus ist in Abb. 3 dargestellt. Ein Proband benutzt zur Steuerung der assistiven Software eine Mundmaus, wobei der Klick mit einem einfachen Hirnsignal realisiert wird. Wird Mundsteuerung zu ungenau, dann schaltet das hBCI in den sogenannten Radar-Maus-Modus, bei dem nur der (BCI)-Klick notwendig ist. Somit kann der gesamte PC gesteuert werden.

Die Entwicklung des hBCI stellt einen weiteren Meilenstein in der BCI-Forschung dar und sie wird dem BCI ermöglichen, als reelles assistierendes Hilfsmittel Einzug in den Patientenalltag zu finden.

Since participants could switch to BCI control, they could control the car even after joystick control was no longer functional. Since joystick control might improve during inactive periods, it was also possible to revert back to joystick control if the BCI no longer provided superior control.

The resulting system is shown in Fig. 3. A person is using a mouth mouse for controlling the assist software, whereas the click function is provided with a BCI. When mouse signals become unreliable, the hBCI switches the mode of the software to radar mouse control, where the mouse can be controlled by clicks only and so the PC can be controlled easily.

Hence, hBCI development is critical in BCI research. hBCIs provide a mechanism to make ADs much more practical, which can allow BCI technology to be used in patients' daily lives.

Abb. 3: hBCI-Benutzer mit Mundmaus und BCI zur Softwarebedienung.

Fig. 3: hBCI user using a mouth mouse and a BCI for software control.