

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報 学)	氏名	森岡 博史
論文題目	Analysis Methods toward Brain-Machine Interfaces in Real Environments		
(論文内容の要旨)			
<p>This thesis presents novel analysis methods for brain-machine interface (BMI) working in real environments. BMI has attracted much attention in biomedical engineering fields for its usefulness in assisting handicapped people and enhancing people's lifestyles. Although the brain analysis has been the source of countless research contributions, it needs a lot more efforts for realizing practical applications of them to BMI working in real environments. This thesis consists of six chapters.</p> <p>Chapter 1 begins with the background and motivations of BMIs, and specifies three research problems of BMI with a particular interest in real-world applications; i.e., 1) low spatial resolution, 2) variability across subjects, and 3) low information-transfer rate (ITR).</p> <p>Chapter 2 surveys the background of BMIs: measurement modalities for recording the brain signals, and brain functions used in BMIs, with putting emphasis on portable brain measurement modalities like electroencephalography (EEG) and near-infrared spectroscopy (NIRS).</p> <p>Chapter 3 presents a solution to problem 1: a novel methodology in which the subjects' mental states are decoded from cortical currents estimated from EEG, with the help of information from NIRS. This method is effective for studying human brain activity at the cortical level with a higher spatial resolution than that of EEG sensors, with less contamination caused by EEG volume conduction effects. It is then effective and workable in non-laboratory, naturalistic conditions. The method was applied to a dataset of EEG and NIRS recordings during a newly-proposed selective visual-spatial attention task from multiple subjects. Then the effectiveness of the method for analyzing multi-subjects' EEG-NIRS data was confirmed.</p> <p>Chapter 4 presents a solution to problem 2: a novel methodology to robustly analyze multi-subject brain activity with inherent variability across subjects. This method is based on the unsupervised signal processing technique of dictionary learning, which was extended to compensate for variations between subjects and sessions, and is effective for analyzing large-scale brain databases consisting of inherent variability across subjects. The method was applied to a dataset of EEG recordings from multiple subjects, then its effectiveness for analyzing multi-subjects' EEG data under inherent variability across subjects was confirmed.</p> <p>Chapter 5 describes a method of robot navigation for realizing a semi-autonomous BMI-controlled wheelchair that is usable even by subjects who have relatively low ITR (i.e., problem 3). The combination of BMI with robotics can provide a promising framework by complementing the limited decoding accuracy and ITR with external autonomous devices. The novel method is based on the extraction of robust 3D feature points from sequential vision images and odometry, and its effectiveness and robustness were confirmed through experiments conducted in real and even crowded environments. The novelty would contribute to the practical application of BMI to wheelchairs that is workable in real environments where people are moving around.</p>			

Chapter 6 concludes the thesis with a discussion about the contributions of the thesis and future directions.

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(論文審査の結果の要旨)

近年、ブレイン・マシン・インターフェース (BMI) と呼ばれる、ヒトの意図などを脳計測データから解読しそれにより外部装置を制御する手法が、脳科学に基づく新しいインターフェースとして注目を浴びている。実環境におけるBMIでは、脳波計 (EEG)、近赤外線脳計測装置 (NIRS) などの可搬型・携帯型の脳計測装置を用いる必要があるが、計測信号の空間分解能の低さや変動の大きさ、実環境固有のアーチファクトの影響、それらに起因する意図などの判別性能の低さにおいて問題があり、安定な性能を示す実環境BMIの実現にはまだ至っていない。本論文は、安定な実環境BMIの実現に向けた情報学的手法を提案したものであり、以下のような成果を得ている。

- (1) EEGの空間分解能の低さに対処するため、EEGとNIRSの組み合わせにより高空間分解能で脳活動電流源の推定を行い、タスクに関連したEEG電流源を選択的に利用することで意図判別を行う手法を提案している。複数被験者にわたるEEG-NIRSデータを用いた解析結果から、提案手法により神経科学的に妥当な脳活動が推定されていること、さらにその活動を利用することによって意図判別性能が向上することを確認している。この技術は実環境BMIの性能向上、アーチファクト除去において重要となる。
- (2) 被験者および時間に依存した脳計測データの変動に対処するため、それらの変動を補償した脳活動空間基底の抽出法を提案し、さらにそれに基づいた被験者転移型の意図判別手法を提案している。多数の被験者データを用いた解析結果から、変動が含まれるEEGデータから提案手法により神経科学的に妥当な空間基底とその重み係数の時系列が得られていること、さらにその重み係数時系列を用いることで、被験者転移型、すなわち新たな被験者自身の解読タスク時のデータを用いない際において、従来手法よりも高い解読性能が実現されていることを確認している。こうした技術は実環境神経科学における多被験者解析と、被験者負荷の小さい実環境BMI実現のために重要となる。
- (3) 識別性能が比較的低い使用者でも利用可能なBMIシステムの候補の一つである目的地指向型BMI車イスへの応用を念頭に置き、画像データに基づく混雑な環境でも安定な移動ロボットのナビゲーション法を提案している。実環境実験での結果から、提案手法により通行人などが多い混雑した環境でも安定な目的地指向型ナビゲーションが可能であることを確認している。これは人との共存が必要となる、実環境BMIによる車イスを含んだ動支援機器制御の実現に重要な技術となる。

以上の成果は、実環境BMIの実現のみならず、実環境神経科学のための基本ツールとなりうる点で学術的に重要なものであり、それを提案した本論文は博士 (情報学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年2月19日に実施した論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。

注) 論文審査の結果の要旨の結句には、学位論文の審査についての認定を明記すること。更に、試問の結果の要旨 (例えば「平成 年 月 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。」) を付け加えること。

Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降