

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K18023

研究課題名(和文) 圧縮センシングと独立成分分析を活用した、脳波計測ヘッドギア用回路の低消費電力化

研究課題名(英文) Low power EEG headgear circuit utilizing compressed sensing and independent component analysis

研究代表者

兼本 大輔(Daisuke, KANEMOTO)

大阪大学・工学研究科・講師

研究者番号：90603332

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、アーチファクトが混入した脳波に対しても圧縮センシングが利用できる新しい脳波計測フレームワークを提案している。提案するフレームワークでは、データプロセッシングユニットにて、アーチファクトを除去するために独立成分分析を利用するという特徴を有する。よって、本フレームワークでは消費電力が大きくなる独立成分分析ブロックをセンシングユニットに配置する必要がない。今回の科学研究費補助事業で取り組んだ課題では、疑似瞬目アーチファクトが混入した脳波信号に対して、提案するフレームワークの有効性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、圧縮センシングと独立成分分析を用いた新しい脳波計測フレームワークに関する研究を実施した。圧縮センシングを計測システムに応用する際に生じる課題に対して、センシングユニットにおける回路ブロックの追加を避けつつ解決出来る方法を学会で提案する等、学術的に意義のある成果を発信した。本研究成果は、圧縮センシングを実社会で利用する上での一つの解決策を示すことが出来たという点で社会的意義があるといえる。

研究成果の概要(英文)：A novel compressed sensing (CS) framework for electroencephalogram (EEG) signals with artifacts was proposed in this research. A feature of this framework is the application of an independent component analysis (ICA) to remove the interference of artifacts after compression in a data processing unit. Therefore, we can remove the power-hungry ICA processing block from the sensing unit. The proposed framework is evaluated using raw EEG signals with a pseudo-model of an eye-blinking artifact.

研究分野：回路とシステム

キーワード：脳波 圧縮センシング 独立成分分析

1. 研究開始当初の背景

脳波計測は非侵襲で脳の状態を観測することが出来るため、多くの分野で注目を集めている。そこで、取得した脳波信号を無線でPC等に転送し、連続的に脳の状態を観測できる無線脳波計測デバイスの研究が進められている。無線脳波計測デバイスは、利用者の負担を軽減するためにヘッドギアの軽量化が重要である。ヘッドギアの軽量化を実現するには、搭載バッテリーの小型化が有効な手段の一つである。そこで、搭載バッテリーの小型化には、搭載する回路の低消費電力化が鍵となる。

以上の背景より、研究代表者は圧縮センシングを脳波計測へ応用する研究を進めている。圧縮センシングを活用すると、回路で取り扱う情報量を削減することが出来るため、低消費電力化に有効である。ただし、脳波計測時には瞬きなどで発生する瞬目アーチファクトなどの外乱が混入すると、圧縮信号の復元精度が悪化する(例えば[1])。そこで、消費電力(回路規模)を抑えつつ、復元精度を向上させる技術が求められている。

2. 研究の目的

無線脳波計測システムでは、脳波を取得し、無線で送信する無線脳波計測ヘッドギア(センシングユニット)と、受信した無線脳波信号を解析するPC等(データプロセッシングユニット)から構成される。本研究では、「センシングユニットにおける信号処理の複雑性を抑えつつ、瞬目アーチファクト等の外乱混入に強いフレームワーク」の解明を目指す。

3. 研究の方法

独立成分分析をセンシングユニット側で実施し、必要な情報だけを圧縮したのち無線で送信する既存フレームワーク例は存在するが(例えば[2])、この既存フレームワークでは専用の回路をセンシングユニット側へ搭載する必要がある。そこで本研究では、データプロセッシングユニット側で独立成分分析を実施し、不要な成分を除去した後、残りの独立成分のみを活用して復元するフレームワーク(図1)を提案した。

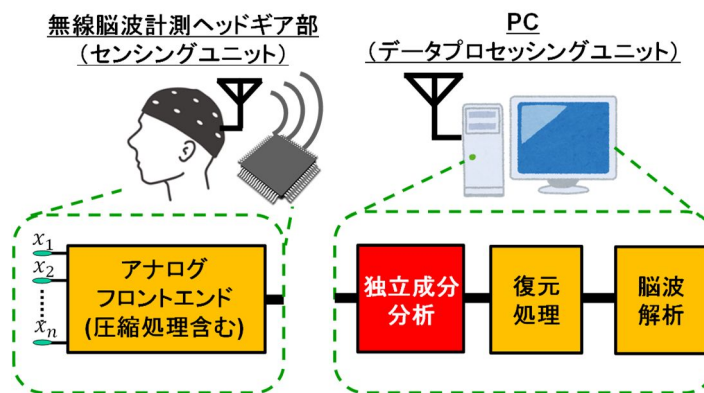


図1: 提案するフレームワーク

本提案するフレームワークでは、センシングユニットにおける複雑な信号処理回路を必要とせず、情報圧縮が行える利点がある。次に信号処理の流れを説明する。センシングユニットで生成した圧縮信号は無線機を通し、PC側へ転送される。その後、独立成分分析を実施し、アーチファクト成分を含む独立成分に対して、除去処理を実施した後、再構成をおこなう。この時点でアーチファクト成分を除去することが出来るため、除去前に比べ、復元精度の改善が可能になる。

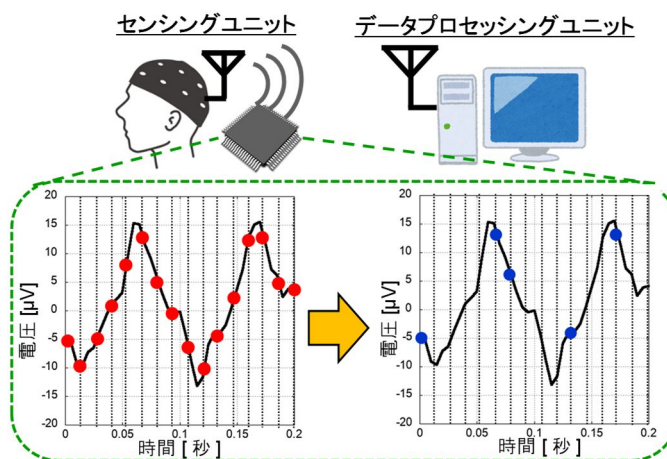


図2: ランダムアンダーサンプリング

上記のフレームワークを実現するには、センシングユニットに搭載するアナログフロントエンドの実装方法に関しても様々な検討が必要である。例えば、提案するフレームワークではA/D変換時に圧縮処理を同時に実施するランダムアンダーサンプリング方式を採用している(図2)。ランダムアンダーサンプリングでは、通常の等間隔でサンプリングする方式(図2左)と異なり、不等間隔にデータをサンプルする特徴がある。研究を進めることで、ランダムアンダーサンプリング方式は提案するフレームワークに有効である事を示すことが出来る[3]。

4. 研究結果

研究成果の一部として、提案フレームワークでの処理結果を示す。成人男性の脳波(16チャンネル)に対して、疑似アーチファクトを含んだ脳波信号を用意し、フレームワークの評価に用いた。図3は圧縮後の信号で、独立成分分析で得られた独立成分を図4に示す。本例では、16番目にアーチファクト成分を集めることに成功している。提案したフレームワークでは、独立成分に分離した後、対象となる独立成分に対してアーチファクトの影響を抑える処理を実施する。

図5は該当する独立成分をすべて除去し、再構成・復元を行った結果の波形例である[3]。本結果は独立成分分析としてPCA-ICAを利用し、復元アルゴリズムとしてOMPを利用した。圧縮比は4倍である。圧縮復元のみの場合には、アーチファクトの影響を受け、復元波形が原信号と大きく異なることが分かる。一方、提案フレームワークを用いた場合の結果は比較的原信号に近い信号として復元できていることが、この例で確認できる。

研究代表者は独立成分分析後にアーチファクトを除去する方法として、「対象となる独立成分をすべて除去する方法」と「対象とする範囲を絞って除去する方法」の二種類を提案している。例えば、「対象となるすべての独立成分を除去する」方法を選択した場合、原信号と復元信号との差を示すNMSE値(FP1)は、アーチファクトを除去しない方法に比べて約6割程度低減できることが分かった(BioCAS 2018)[3]。

また、提案するシステムで動作可能な回路構成・ハードウェア実装方法に関して検討を行った。例えば、アナログフロントエンドに用いるA/D変換器の分解能とNMSEの関係等、システム全体での動作を前提に回路構成を検討した。今後は得られた成果をまとめ、引き続き学会等で発表を行う予定である。

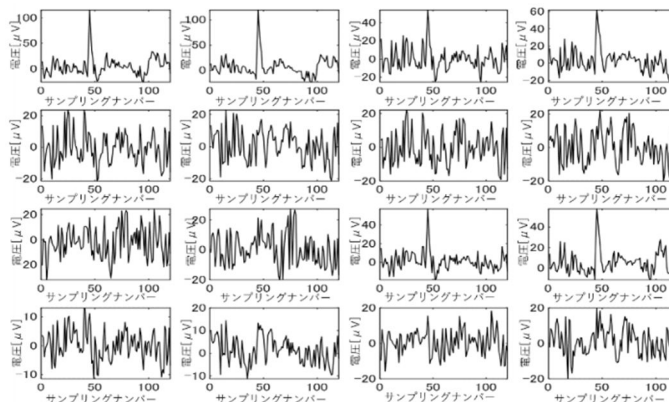


図3: 16チャンネル圧縮信号

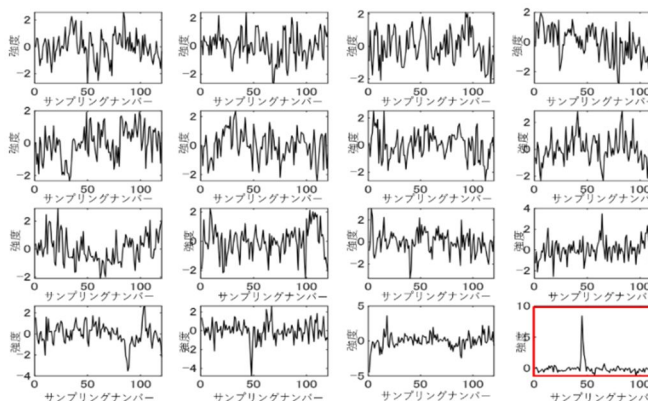


図4: 独立成分分析後の結果

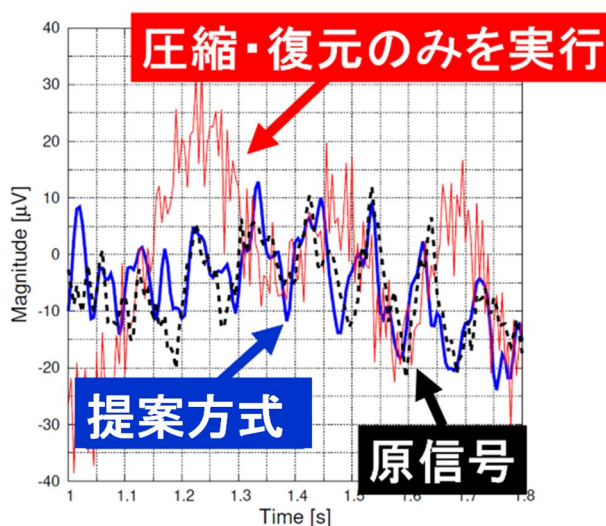


図5: 圧縮復元結果の一例

<引用文献>

- [1] X.Zou, L.Feng, and H.Sun, "Robust Compressive Sensing of Multichannel EEG Signals in the Presence of Impulsive Noise," *Information Sciences*, vol.429, pp. 120-129, Mar. 2018.
- [2] B. Zhou, X.Wu, Z.Lv, L.Zhang, and C.Zhang, "Independent Component Analysis Combined with Compressed Sensing for EEG Compression in BCI," *in Proc. International Conference on Information, Communications and Signal Processing*, pp.1-4, Dec. 2015.
- [3] D. Kanemoto, S.Katsumata, M.Aihara and M.Ohki, "Framework of Applying Independent Component Analysis After Compressed Sensing for Electroencephalogram Signals," *in Proc. of 2018 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference*, pp. 145-148, Oct. 2018.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 D. Kanemoto, S. Katsumata, M. Aihara and M. Ohki	4. 巻 (in press)
2. 論文標題 Compressed Sensing Framework Applying Independent Component Analysis after Undersampling for Reconstructing Electroencephalogram Signals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 望月智弥, 兼本大輔, 勝俣 駿, 大木 真
2. 発表標題 独立成分分析を活用した圧縮センシングフレームワークのためのA/D変換に必要な分解能の検討
3. 学会等名 LSIとシステムのワークショップ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 勝俣駿, 兼本大輔, 永井孝太郎, 大木 真
2. 発表標題 圧縮センシングと独立成分分析を用いた低消費電力脳波計測システム
3. 学会等名 LSIとシステムのワークショップ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shun Katsumata, Daisuke Kanemoto, and Makoto Ohki
2. 発表標題 Applying Outlier Detection and Independent Component Analysis for Compressed Sensing EEG Measurement Framework
3. 学会等名 2019 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 兼本大輔
2. 発表標題 圧縮センシングを活用した無線脳波計測デバイス
3. 学会等名 ACT japanフォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 勝俣駿, 兼本大輔, 大木真
2. 発表標題 独立成分分析と外れ値検知を用いた圧縮センシングによる脳波の復元
3. 学会等名 電気学会 電子回路研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Chen Brendon, 兼本大輔, 毎田 修, 廣瀬哲也
2. 発表標題 Study of Digital Circuit Design of Independent Component Analysis for Compressed Sensing Electroencephalogram Signal Processing
3. 学会等名 電気学会 電子回路研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 D.Kanemoto, S.Katsumata, O.Maida, and T.Hirose
2. 発表標題 Study of Compressed Sensing EEG Measurement Framework with Eye-blink Artifact Removal Technique
3. 学会等名 The 6th CiNet Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 勝俣駿, 兼本大輔, 大木真
2. 発表標題 圧縮センシングを用いた脳波復元フレームワークにおけるICA処理位置の違いによる瞬目アーチファクト除去への効果
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daisuke Kanemoto, Shun Katsumata, Masao Aihara, and Makoto Ohki
2. 発表標題 Framework of Applying Independent Component Analysis After Compressed Sensing for Electroencephalogram Signals
3. 学会等名 2018 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 勝俣駿, 兼本大輔, 大木真
2. 発表標題 復元前に独立成分分析を活用する新しい脳波の圧縮センシングフレームワーク
3. 学会等名 2018年 電気学会 電子回路研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 望月智弥, 兼本大輔, 遠藤央瑠人, 勝俣駿, 大木 真
2. 発表標題 圧縮センシングと独立成分分析を活用した脳波計測デバイスに用いるA/D変換器の検討
3. 学会等名 2018年 電気学会 電子回路研究会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 信号計測システム、計測信号処理装置及びプログラム	発明者 兼本大輔，勝保駿	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-13805	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

個人HP http://ssc.eei.eng.osaka-u.ac.jp/~dkanemoto/

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----