

令和 6 年 6 月 9 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H00235

研究課題名（和文）大規模脳波データとキャリブレーションレスモデルの構築による意思伝達BMIの実現

研究課題名（英文）Implementation of Intentional BMI through Large-Scale EEG Data and Calibration-Free Model Construction

研究代表者

田中 聡久（Tanaka, Toshihisa）

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：70360584

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、脳波（ECoG）から無発話の文章を推定することを目的とし、16名の被験者から発話時と無発話時のECoGデータを取得した。発話時のECoGデータで学習したTransformerモデルを用いて、無発話時のECoGデータから文章を推定したところ、無発話時のECoGデータで学習したモデルと同等の性能が得られた。脳の活動部位の分析から、発話時と無発話時で共通の信号パターンが存在する可能性が示唆された。本結果は、発話時のデータを用いることで無発話時の文章推定が可能であることを示唆しており、訓練データ収集の容易化によるBMI実現の加速が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、発話時と無発話時の脳活動に共通する信号パターンが存在する可能性を示唆したことにある。これは、発話メカニズムの解明に向けた重要な知見である。

社会的意義としては、発話時のデータを用いて無発話時の文章推定が可能となることで、訓練データ収集が容易になり、BMI実現が加速されることが挙げられる。これにより、例えば、発話障害を持つ人々のコミュニケーション支援など、BMIの実応用が近づくこと期待される。

また、本手法はBMIに限らず、脳活動から思考を解読する研究全般に広く応用可能であり、脳科学の発展に寄与すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to estimate unspoken sentences from electrocorticography (ECoG) data and collected ECoG data during overt and covert speech from 16 participants. Using a Transformer model trained on overt speech ECoG data, we estimated sentences from covert speech ECoG data and obtained comparable performance to a model trained on covert speech ECoG data. Analysis of brain activity regions suggested the possibility of common signal patterns between overt and covert speech. These results indicate that using overt speech data enables the estimation of sentences during covert speech, which is expected to accelerate the realization of BMI by facilitating the collection of training data.

研究分野：信号処理

キーワード：神経科学 信号処理 生体医工学 機械学習

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ブレイン・マシン・インターフェース (BMI) は、脳活動を解読することで、思考のみでコンピュータやロボットを制御することを目指す革新的な技術である。近年、BMI 研究は急速に進展しており、2019 年には ElonMusk が率いる Neuralink 社が、1,000 チャンネル以上の脳波記録が可能なデバイスを発表するなど、注目を集めている。

特に、発話に関連する脳活動を解読し、音声や文章を直接脳から生成する「スピーチ BMI」の実現が期待されている。実際に、ECoG (頭蓋内脳波) を用いて、発話された単語や文章を解読する研究が報告されている。しかし、これらの研究では、訓練データとして被験者が実際に発話したデータを用いる必要があり、データ収集に多大な労力を要するという問題があった。

一方、近年の人工知能技術の発展により、脳活動データからの特徴抽出や識別が高精度に行えるようになってきた。2019 年には、BCI (ブレイン・コンピュータ・インターフェース) コンペティションにおいて、SSVEP (定常性視覚誘発電位) を用いた BCI システムが、691.55 byte/min という高い情報伝達率を達成するなど、深層学習を用いた BMI 技術が大きな進歩を遂げている。

本研究では、このような背景のもと、深層学習技術を用いて、発話時の脳活動データから無発話時の脳活動を推定することで、スピーチ BMI の訓練データ収集を効率化する新たな方法論を提案する。これにより、スピーチ BMI の実用化を加速し、コミュニケーション支援や機器制御など、様々な応用分野での貢献を目指す。

2. 研究の目的

本研究の目的は、深層学習技術を用いて、発話時の脳活動データから無発話時の脳活動を推定することで、スピーチ BMI の訓練データ収集を効率化する新たな方法論を確立することである。具体的には、以下の 3 つのサブゴールを設定する。

脳波データベースの構築

- 複数の被験者から、発話時と無発話時の脳波データを収集し、大規模な脳波データベースを構築する。
- 収集したデータに対して前処理や特徴抽出を行い、深層学習モデルの入力に適した形式に変換する。

深層学習モデル「BrainNet」の開発

- 発話時の脳波データを入力として、無発話時の脳波データを生成する深層学習モデル「BrainNet」を開発する。
- モデルの学習には、Variational AutoEncoder (VAE) を用いることで、個人差を吸収し、汎化性能の高いモデルを実現する。
- 大規模データベースを活用し、様々な被験者のデータを用いてモデルを学習することで、頑健性の高いモデルを実現する。

スピーチ BMI への応用

- 開発した BrainNet を用いて、無発話時の脳波データからテキストを推定するスピーチ BMI システムを構築する。
- 推定精度を評価し、提案手法の有効性を検証する。
- 将来的には、訓練データの収集を最小限に抑えつつ、高精度なスピーチ BMI の実現を目指す。

以上の目的を達成することで、本研究は、スピーチ BMI の訓練データ収集の効率化と、BMI 技術の実用化の加速に貢献することが期待される。さらに、本研究で得られる知見は、脳科学の基礎研究にも寄与し、脳機能の解明にも貢献することが期待される。

3. 研究の方法

本研究では、以下の方法で研究を遂行する。

(1) 脳波データベースの構築 [WP1]

- 複数の被験者を対象に、発話時と無発話時の脳波データを収集する。
- 非侵襲型（脳波）と侵襲型（ECoG）の両方のデータを収集し、データの多様性を確保する。
- 収集したデータに対して前処理や特徴抽出を行い、機械学習に適した形式に変換する。

(2) 深層学習モデル「BrainNet」の開発 [WP3, WP4]

- 発話時の脳波データを入力として、無発話時の脳波データを生成する深層学習モデル「BrainNet」を開発する。
- 大規模データベースを活用し、様々な被験者のデータを用いてモデルを学習することで、頑健性の高いモデルを実現する。
- HPC（高性能計算）環境を活用し、大規模データに対する効率的な学習を実現する。

(3) スピーチ BMI への応用 [WP2, WP5]

- 開発した BrainNet を用いて、無発話時の脳波データからテキストを推定するスピーチ BMI システムを構築する。
- 推定精度を評価し、提案手法の有効性を検証する。
- 侵襲型（ECoG）データを用いた高精度なシステムを開発し、臨床応用への可能性を探る。
- 国際共同研究を通じて、様々な言語への対応可能性を検討する。

(4) 脳機能の解明 [WP3, WP5]

- BrainNet の内部表現を分析することで、発話に関連する脳活動パターンを解明する。
- 発話時と無発話時の脳活動の共通点と相違点を明らかにし、発話メカニズムの理解を深める。

本研究では、上記の方法により、スピーチ BMI の実現と脳機能の解明を目指す。各ワークパッケージ（WP）を連携させながら、効率的かつ効果的に研究を進める計画である。

4. 研究成果

本研究では、以下の成果を得た。

1. 脳波データベースの構築 [対応する WP1]

- 16 名のてんかん患者から、発話時と無発話時の頭蓋内脳波（ECoG）データを取得した。
- 各被験者から 80 セグメントずつ、計 1280 セグメントのデータを収集した。
- 収集したデータに対して前処理を行い、機械学習に適した特徴量を抽出した。

2. 深層学習モデル「BrainNet」の開発 [対応する WP3, WP4]

- 発話時の ECoG データを入力として、無発話時の ECoG データから文章を生成する深層学習モデル「BrainNet」を開発した。
- モデルの学習には、Transformer 型の seq2seq モデルを用いることで、長期依存性を考慮したモデルを実現した。
- 16 名の被験者データを用いて個人ごとにモデルを学習することで、個人差を吸収し、汎化性能の高いモデルを得た。

3. スピーチ BMI への応用 [対応する WP2, WP5]

- 開発した BrainNet を用いて、発話時の ECoG データから学習したモデルで、無発話時の ECoG データからテキストを推定し、平均 46.3% のトークンエラー率を達成した。
- これは、無発話時のデータから学習したモデルとほぼ同等の精度であり、発話時データの有効性を示す結果となった。

4. 脳機能の解明 [一部対応する WP3, WP5]

- モデルの推定に寄与する脳領域を同定するため、勾配に基づく saliency map を用いて解析を行った。
- その結果、発話時データで学習したモデルでは運動感覚野の寄与が大きいのに対し、無発話時データで学習したモデルでは、より広範な領域が推定に寄与していることが示唆された。
- ただし、脳波と行動データの関連性の詳細な分析は十分ではなく、今後のさらなる解析が必要である。

以上の結果から、本研究では、てんかん患者 16 名から得られた発話時・無発話時の ECoG データを用いて、Transformer ベースの深層学習モデルを構築し、発話時データから無発話時の文章推定が可能であることを示した。一方で、計画していた一部の検証は実施できておらず、より大規模なデータを用いた検証や、脳機能の解明に向けたさらなる解析が必要である。しかし、本研究

の知見は、スピーチ BMI の実現に向けた重要な一歩となるものであり、BMI の実用化に向けた技術的基盤を提供するものと期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Komeiji Shuji, Shigemi Kai, Mitsuhashi Takumi, Iimura Yasushi, Suzuki Hiroharu, Sugano Hidenori, Shinoda Koichi, Tanaka Toshihisa	4. 巻 1
2. 論文標題 Transformer-Based Estimation of Spoken Sentences Using Electrococtigraphy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE ICASSP 2022	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICASSP43922.2022.9747443	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Komeiji Shuji, Mitsuhashi Takumi, Iimura Yasushi, Suzuki Hiroharu, Sugano Hidenori, Shinoda Koichi, Tanaka Toshihisa	4. 巻 14
2. 論文標題 Feasibility of decoding covert speech in ECoG with a Transformer trained on overt speech	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 11491
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-024-62230-9	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 -

1. 著者名 Ahuja Mitali, Komeiji Shuji, Mitsuhashi Takumi, Iimura Yasushi, Suzuki Hiroharu, Sugano Hidenori, Shinoda Koichi, Tanaka Toshihisa	4. 巻 1
2. 論文標題 Multimodal recognition of speech and electrocortigram	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. 2023 Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC), Taipei, Taiwan, Oct. 31 - Nov. 3, 2023	6. 最初と最後の頁 546-550
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/APSIPAASC58517.2023.10317527	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1件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 林 恒太郎・古明地秀治・三橋 匠・飯村康司・鈴木皓晴・菅野秀宣・篠田浩一・田中聡久
2. 発表標題 頭蓋内脳波からのエンコーダ・デコーダモデルによる想像音声推定
3. 学会等名 電子情報通信学会 信号処理研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	篠田 浩一 (Shinoda Koichi) (10343097)	東京工業大学・情報理工学院・教授 (12608)	
研究分担者	田中 雄一 (Tanaka Yuichi) (10547029)	大阪大学・大学院工学研究科・教授 (14401)	
研究分担者	菅野 秀宣 (Sugano Hidenori) (90265992)	順天堂大学・医学部・先任准教授 (32620)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------