

平成30年6月14日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00276

研究課題名(和文) 単一試行脳波を利用したサイレントスピーチ認識システム - 連続音声認識への拡張 -

研究課題名(英文) Single-trial-EEG-based SSBCIJ system: generalization to continuous silent speech recognition

研究代表者

山崎 敏正 (Yamazaki, Toshimasa)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授

研究者番号：50392163

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：以前の科研費(基盤研究(C)サイレントスピーチBCI、平成23年度～25年度)では、頭皮脳波を利用したsilent speech Brain-Computer Interface in Japanese(SSBCIJ)において、個々のサイレント母音とサイレントなひらがな2文字のdecodingにとどまっていた。本研究では、健常者において、日本語で、サイレントの3文字以上から成る単語および文節のdecodingを可能にするアルゴリズムの開発と、患者(脊髄性筋萎縮症型)への適用を目指した、real-time SSBCIJシステムの設計を検討した。

研究成果の概要(英文)：Our previous study in scalp-recorded-EEG-based silent speech Brain-Computer Interface in Japanese(SSBCIJ) had been limited to decoding of silent vowels and two-hiragana characters. This research addressed itself to development algorithm that enables us to decode silent words and phrases of more than three moras, and to design of real-time SSBCIJ system for a patient with spinal muscular atrophy.

研究分野：生体情報工学

キーワード：サイレントスピーチ 脳波 BCI 連続音声認識 単語 文節 実時間性

## 1. 研究開始当初の背景

以前の科研費(基盤研究(C)サイレントスピーチBCI、平成23年度~25年度)では、頭皮脳波を利用した silent speech Brain-Computer Interface in Japanese (SSBCIJ) において、個々のサイレント母音とサイレントなひらがな 2 文字の decoding にとどまっていた。

## 2. 研究の目的

本研究では、健常者において、日本語で、サイレントの3文字以上から成る単語および文節の decoding を可能にするアルゴリズムの開発と、患者(脊髄性筋萎縮症I型)への適用を目指した、real-time SSBCIJ システムの設計を検討した。

## 3. 研究の方法

### (1) 健常者の脳波計測実験

以下の4実験および脳波データ解析を試みた。

#### ① Deep learning による silent speech (SS) decoding のための特徴抽出

四季を連想させる画像を被験者に見せ、連想された四季を発話させた。この時の 19-ch (国際 10-20 法) 脳波に Deep learning を適用した。Deep learning の事前学習には Gaussian Bernoulli Restricted Boltzmann Machine、学習には Contrastive Divergence 法を用いた。

#### ② Recurrent Neural Network によるサイレントひらがなの decoding

ひらがな 1 文字の発話および silent speech 時の脳波に Recurrent Neural Network (RNN) を適用した。RNN として、Elman network を採用した。

#### ③ Echo State Network によるサイレントひらがなに対応する音声信号予測

ディスプレイに表示されたひらがな 1 文字を SS した時の脳波に、RNN の一種である Echo state network を適用した。

#### ④ 運動準備電位に着目した EEG template matching によるサイレント母音の decoding

サイレント母音に対する脳波から運動準備電位成分を 100 ms 幅で抽出し、その母音に対する EEG template とした。

### (2) 患者の脳波計測実験

日本語の拍(mora)とは、その言語を使う人が一番小さい単位と意識している音を目指す。大体、仮名一文字に相当するが、撥音、促音、長音を一つの拍として含み、約 100 個弱の拍が存在する。例えば、にっぽん(日本)は、2 音節であるが、4 拍である。本研究ではこの拍の考え方に着目した。

## 4. 研究成果

### <健常者>

- ① Deep learning では2つのモデルを構築した。モデル1では、各チャンネルのデータ毎に 603-500-500-500 のノードを持つ多層ニューラルネットを組み、それぞれ活性化関数には恒等写像を用いた。更に、チャンネル毎の多層ニューラルネットの最終層を分類すべき単語数の4つのノードに結合し、出力層の活性化関数は SoftMax 関数を用いた。モデル2では、各チャンネルのデータ毎に対応する多層ニューラルネットを 603-500-400-300-4 のノードを持つように設定した。出力層の活性化関数を除いて恒等写像であり、出力層の活性化関数は SoftMax 関数を用いた。single trial (単一試行) と加算平均にモデルを適用した結果、加算平均に対するモデル2の識別率が最良であった。更に、モデル2において、識別率に影響を与える電極位置は O2, F7, T8, P8, Cz であった。
- ② 本研究で RNN に注目した理由は、認知心理学で知られている self monitoring (silent speech 時に、自身の「心の声」を知覚できる心理現象: Indefrey and Levelt, 2004) を説明し得る、言語の生理学的モデル (Hickok, 2012) の存在である。波形特徴量、周波数特徴量 (100 ms 刻み)、周波数特徴量 (10 ms 刻み) をそれぞれ加味した RNN において、silent speech、「あ」、「だ」、「ば」の脳波データの識別率は、周波数特徴量 (10 ms 刻み) を加味した RNN で最良であった。そして、特定の周波数帯に絞ると認識率は更に向上した。
- ③ Echo state network は、近年、脳活動データの解析に利用されており、ネットワークモデルとしての学習モデルを自動的に生成するのが特長である。本研究では、脳波データを利用した音声信号予測を target とした。Silent speech、「あ」、「か」、「さ」、「な」の脳波データに対して、正解率は約 28~69% であった。
- ④ 本研究は、後述する患者適用で検討している EEG templates の考え方に対する予備的検討と位置付けられる。EEG templates の作成には相関係数を利用した。その性能を評価するために、5-fold cross-validation を採用した。その結果、電極位置は FC5 が正解率最大で、サイレント母音の中で、「あ」が最も正解率が高かった。

### <患者>

- ① 拍に対応する EEG templates の作成: 同じ拍を一つ含む単語あるいは文節を silent speech した時の脳波データに対して、ある window 幅のデータをそれぞれ切り出し、それらの相関係数が最大となるデータをその拍に対応する EEG

template とする。考え方は図 1 の通り。

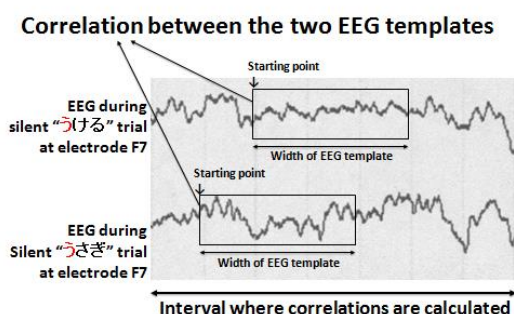


図 1 EEG templates の作り方

② EEG template matching によるサイレント単語および文節の decoding :

① で使わなかったサイレント単語あるいは文節に対する脳波データにすべての EEG templates を適用し、相関係数が大きい方から templates を並べ、decoding 結果とする。

現在、患者さんが単語あるいは文節を silent speech した時の脳波データの計測と解析を実施している。一部解析結果は出ているが、倫理的な観点で現時点では開示できない。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① T. Yamazaki, A. Akiyama, E. Soejima and T. Yamamoto, Potential association between modular structures of brain functional connectivity networks and individual variability in foreign language ability, 認知科学 (Cognitive Studies), vol. 24, no. 1, pp. 118-128 (2017) 査読有
- ② R. Urata, T. Toh, A. Nakawatase, T. Yamazaki, Y. Kuroiwa, Y. Baba, K. Fujino and T. Kurokawa, Scalp-recorded-EEG-based BFCN for diagnosing AD and FTD patients and observing their progress: Preliminary results, Journal of Computer Science and Systems Biology, vol. 9, pp. 38-44 (2016) 査読有
- ③ 黒岩義之、尾本周、藤野菜花、山崎敏正、視覚誘発電位 (VEP) - 病態の階層的解析、Clinical Neuroscience, vol. 34, no. 7, pp. 791-796 (2016) 招待 査読有
- ④ H. Yamaguchi, T. Yamazaki, K. Yamamoto, S. Ueno, A. Yamaguchi, T. Ito, S. Hirose, K. Kamiyo, H. Takayanagi, T. Yamanoi and S. Fukuzumi, Decoding silent speech in Japanese from single trial EEGs, Journal of Computer Science and

Systems Biology, vol. 8, no. 5, pp. 285-291 (2015) 査読有

- ⑤ M. Sakamoto, H. Yamaguchi, T. Yamazaki, K. Kamiyo and T. Yamanoi, Performance of a Bayesian-network-model-based BCI using single-trial EEGs, IEICE TRANS. INF. & SYST., vol. E98-D, no. 11, pp. 1976-1981, 2015 年 11 月 査読有

[学会発表] (計 25 件)

- ① 山崎敏正、脳波を利用した SSBCIJ システムの研究動向について、第 4 回サイレント音声認識ワークショップ、2017 年招待講演
- ② T. Yamanoi, Y. Tanaka, H. Toyoshima, S. Ohnishi and T. Yamazaki, Efficiency of independent component analysis for equivalent current dipole localization, IWACIII2017+NSFC-CAS-JSPS symposium 2017
- ③ K. Sugimoto, T. Yamanoi, H. Toyoshima, M. Otsuki, S. Ohnishi and T. Yamazaki, Spatiotemporal human brain activities on recalling 4-legged mammal and fruit names, Joint 17<sup>th</sup> World Congress of International Fuzzy Systems Association and 9<sup>th</sup> International Conference on Soft Computing and Intelligence Systems (IFSA-SCIS 2017)
- ④ S. Nishijima and T. Yamazaki, Brain functional connectivity network-based approach for recognition of Alzheimer's disease in EEG, 18<sup>th</sup> International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS 2017)
- ⑤ A. Watanabe and T. Yamazaki, A method to construct and quantify the brain functional connectivity networks based on synchronization likelihood of electroencephalograms during different facial expressions, 18<sup>th</sup> International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS 2017) <Best paper Award>
- ⑥ A. Watanabe, A. Akiyama, T. Yamazaki, E. Soejima and T. Yamamoto, Relationship between the modular structures of BFCNs and individual variability in foreign language learning ability, CAN-CAN 2017
- ⑦ H. Nishida, N. Toshima, T. Yamazaki and T. Yamanoi, Discrimination of finger flexion speed using EEG power spectral entropy, CAN-CAN 2017
- ⑧ A. Kitajima, Y. Hosokawa, S. Fujii, M. Iida, T. Yamazaki, H. Sasaki, K. Aoyagi and T. Yamanoi, Prognostic feature extracton in colorectal cancer by combining the gene expression data and the clinical data, ECCB 2016
- ⑨ Y. Hosokawa, A. Kitajima, S. Fujii, M. Iida, T. Yamazaki, H. Sasaki, K. Aoyagi

and T. Yamanoi, Identification of distinct subtypes in colorectal cancer with the survival and the primary sites, ECCB 2016  
⑩ N. Toshima and T. Yamazaki, Denoising of scalp-recorded EEGs using higher-order statistics for BCI, SAES 2016 (4<sup>th</sup> International Symposiums on Applied Engineering and Science)

[図書] (計 1 件)

T. Yamazaki, Silent Speech Brain-Computer Interface in Japanese, LAMBERT Academic Publishing, 2016

[その他]

新聞発表

読売新聞 (筑豊 13S 2015 年 10 月 29 日)

西日本新聞 (2016 年 1 月 4 日 1 面) ⇒ この際、国内外のメディアから問い合わせ殺到 (NHK, FBC 福岡放送、小学館、Quartz, Daily Mail online newspaper, Radio Sputnik World Service など)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山崎 敏正 (YAMAZAKI, Toshimasa)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授

研究者番号 : 50392163

### (2) 研究分担者

齊藤 剛史 (SAITOH, Takeshi)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号 : 10379654