

P300 speller に対する入力文字予測システムの実装とその検討

A Study on Implementation of Predictive Text to P300 Speller

継岡 恭子

Kyoko Tsugioka

高橋 弘武

Hiromu Takahashi

吉川 大弘

Tomohiro Yoshikawa

古橋 武

Takeshi Furuhashi

名古屋大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Nagoya University

Brain-Computer Interfaces (BCIs) are promising technologies to restore control and communication for severely paralyzed people such as those with amyotrophic lateral sclerosis (ALS), and they can be appealed to healthy people as well. The P300 speller is one of the BCI applications, which allows users to select letters just by thoughts. However, due to the low signal-to-noise ratio of the P300, signal averaging is often performed, which improves the spelling accuracy but degrades the spelling speed. Predictive text, implemented in the most mobile phones, enables users to spell with fewer key presses; thus, it could improve the spelling speed of the P300 speller. This paper implements a predictive text to the P300 speller, and examines the usability of the interface and how the spelling speed is improved.

1. はじめに

Brain-Computer Interface (BCI) は、脳信号を解析して思考判別を行い、その情報を基に外部機器を制御するシステムである [10]。思考するだけで機械の制御や他者との意思疎通を可能にするものであり、運動機能障害を持つ患者はもちろん、アミューズメント用として健康者に対しても、その応用が期待されている。他者とのコミュニケーションや意思の伝達を目的とした文字入力型 BCI としては、帯域とよばれる脳波の特定の周波数帯域を利用したもの [11]、事象関連同期/脱調を用いて判別可能な運動想起タスクを文字入力に応用したもの [1]、事象関連電位である P300 を利用した P300 speller [2] などが報告されている。これらの中でも特に、P300 speller は最も有名であり、BCI 開発用の汎用プラットフォームである BCI2000 [6] に搭載されている。しかし、我が国における BCI 研究、特に文字入力を目的とした BCI 研究は立ち遅れており、平仮名入力インターフェイスを用いた P300 speller に関する研究 [9] として一部報告はあるものの、日本語入力システムとして完結したものはこれまで報告されていない。そこで本研究では、日本語入力を目的とした P300 speller の開発を目的とする。

P300 speller は、ユーザの意図する文字の点灯により誘発される“P300” とよばれる事象関連電位を捉えることで文字入力が可能となる。しかし P300 は SN 比が悪く、P300 speller では一般に加算平均を行うことで判別精度を向上させている。そのため、単位文字入力あたり数十秒を必要とする。これに対し筆者らはこれまで、最大事後確率を用いた信頼度に基づく自動再送要求手法 (RB-ARQ) を提案し、さらに RB-ARQ に選択的自動再送要求の考えを導入し、改良した信頼度に基づく選択的自動再送要求手法 (RB-SR-ARQ) により、P300 speller などにおいて、BCI の入力速度の低下を抑えつつ、判別正答率の改善が行えることを示してきた [8][13]。一方、携帯電話などの文字入力においては、入力速度向上のため、予測変換機能

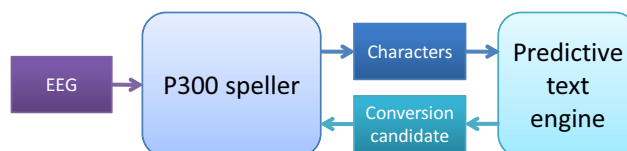


図 1: 提案システムにおける予測変換のイメージ

を備えているものが多い。そこで本稿では、この予測変換機能を P300 Speller に実装することで、文字入力及び文章作成速度の向上を図る。

2. 提案システム

2.1 概要

本稿で提案するシステムを図 1 に示す。提案システムでは、P300 speller を用いて入力された文字 (列) を予測変換エンジンに送り、予測変換エンジンは変換候補を返す。ユーザは呈示された変換候補を選択することも、新たに文字を入力することも可能である。ユーザの意図する文字列を、入力の早い段階において、変換候補として出現させることで、入力速度の向上が可能となる。

2.2 実装したシステム

P300 speller は BCI2000 に搭載されているものを、インターフェイス部は P300 speller では最もポピュラーな 6×6 行列 (図 2) を用いた。本システムでは、ローマ字入力により日本語入力を行う。予測変換エンジンとしては、POBox [5] や Prime [4] 等が有名であるが、これらは専用のサーバを必要とする。そこで本システムでは、Web API であるため専用サーバを構築する必要がない、Social IME [12] の予測変換 API を使用した。[12] では、Social IME の予測変換機能を使用することで、従来の入力方法と比較して、入力時間を平均 21 % 削減可能であることが報告されている。また、P300 speller と Social IME との仲介を行い、変換候補の表示や入力中の文字列を表示させるためのコンソールアプリケーションを作成した。このコンソールアプリケーションは、P300 speller を用いて入力されたアルファベットを順に記録し、可能であれば逐次かな変換を行う。また、Social IME の予測変換 API により取

連絡先: 継岡 恭子, 名古屋大学大学院 工学研究科 計算理工学専攻, 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町, Tel: 052-789-2793, Fax: 052-789-3166, Email: tsugioka@cmplx.cse.nagoya-u.ac.jp

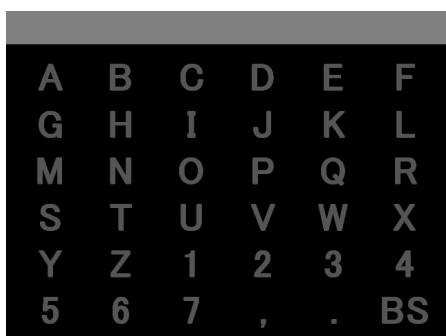


図 2: P300 Speller のインターフェイス

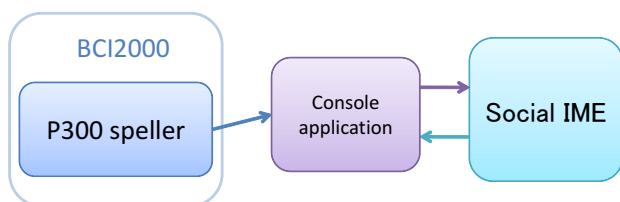


図 3: 実装したシステムの全体図

得した変換候補は、最大 5 つ表示するようにした。実装したシステムの全体図を図 3 に示す。

次に、図 2 に示す P300 speller インターフェイス上で、各文字を入力した際のコンソールアプリケーションの動作を図 4 のコンソールアプリケーションでの表示例を用いて説明する。

- 「A」～「Z」が入力された場合、それを未確定文字列（まだ変換を行っていない文字列）に追加し、未確定文字列から予測される変換候補を最大 5 つ表示する。「現在の文字列」では、確定（変換）済みの文字列の後に未確定文字列が追加されていく（図中 (1)）
- 変換候補が表示されているときに、「1」～「5」が入力された場合、番号に対応した候補に文字（列）を変換し、未確定文字列を空にする。「6」でひらがな変換、「7」でカタカナ変換を行う。「1」～「7」は、変換とともに未確定文字列の確定を行う役割を持つ（図中 (2)）
- 「,」は読点、「.」は句点を入力する。
- 「BS」はバックスペース機能で、かな変換前（ローマ字）の未確定文字列の最後尾の文字の削除を行う。ただし、変換後（「1」～「7」選択後）に「BS」を選択した場合、直前の変換（確定）を取り消す（図中 (3)）

3. 実験

ここでは、P300 speller に予測変換機能を搭載することで、入力速度がどの程度向上するかについて検討する。

国際 10-20 法 [3] に従い、図 5 中の 5 電極 (Fz, Cz, Pz, O1, O2)、および基準電極として左耳 A1、右耳 A2 に電極をそれぞれ貼付し、脳波を計測した。計測器には（株）デジテックス研究所製の Polymate AP216 を用いた。被験者は (a)、(b) (c) (d) (e) (f) の 6 人、サンプリング周波数 100Hz により計測を行った。脳波データにハイパスフィルタを適用した後、線形判別分析により文字判別を行った。脳波データの前処理及び判別方法は [13] を参照されたい。後述のように、一

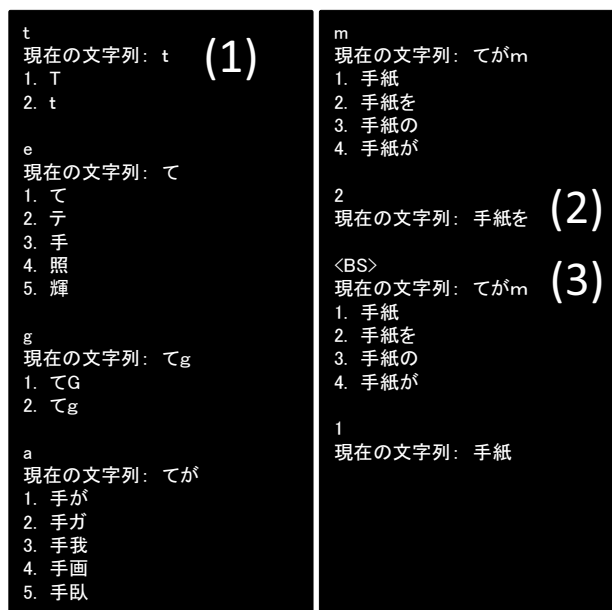


図 4: コンソールアプリケーションでの表示例

文字あたりの入力時間を最大約 20s とし、また、文字入力を終えてから、次の文字入力が始まるまでの時間は、変換候補を選ぶ場合の思考時間を考慮して 6s とした。テストデータでは、ローマ字入力による日本語入力及び漢字変換による文章入力をタスクとし、以下の 4 手法を用いて実験を行った。

- (手法 1) RB-ARQ 予測変換無し
- (手法 2) RB-ARQ 予測変換有り
- (手法 3) RB-SR-ARQ 予測変換無し
- (手法 4) RB-SR-ARQ 予測変換有り

(手法 2) 及び (手法 4) の「予測変換有り」は、変換候補が現れた時点で予測変換を行い (手法 1) 及び (手法 3) の「予測変換無し」は、変換したい分の文字を完全に入力し終えてから変換をするというものである (手法 1) 及び (手法 2) の RB-ARQ とは、最大事後確率で表される文字判別率の期待値を基準に、入力時間を動的に決定する手法である。また (手法 3) 及び (手法 4) の RB-SR-ARQ とは、RB-ARQ と同様に入力時間を動的に決定するとともに、事後確率を基準に行及び列 (図 2) を選択的に点灯させる手法である。RB-ARQ 及び RB-SR-ARQ の詳細については、[13] を参照されたい。テストデータ用の文字入力実験として、予測変換機能を使わない場合、入力数に差がないような下記の 4 文章を用いた。

- (i) 暑中お見舞い申し上げます。
- (ii) 猛暑が続いておりますが、
- (iii) 皆様のご健康を
- (iv) お祈りいたしております。

これらの文章は、Social IME の評価実験 [12] に用いられた文章を参考に作成した。1 文章を 1 セッションとし、4 文章に対し上記 4 手法をランダムに割り当て (i) ~ (iv) の順番でテストを 2 回繰り返し、合計 8 セッション行った。つまり、各手法につき 2 セッション行った。

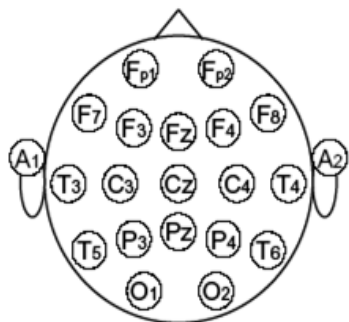


図 5: 電極配置

4. 結果と考察

表 1 に、各被験者の文章入力における、アルファベット一文字入力に対する平均判別正答率ならびに平均判別回数と、後述する、Utility[7] の平均値を手法ごとに示す。なお、平均判別正答率は式 (1)、平均判別回数は式 (2) で定義される。

$$\text{正答率} = \frac{\text{正しく文字が判別された回数}}{\text{文字判別を行った回数}} \quad (1)$$

$$\text{平均判別回数} = \frac{\text{文字判別を行った回数}}{\text{予測変換なしでの入力に必要な最小文字数}} \quad (2)$$

式 (2) において、例えば (i) の文章を入力時に、「shocx(BS)h3mousu(BS)」と実際に入力した場合、入力文字数 (判別回数) = 14 が分子に、予測なしの場合に必要な最小文字数での入力「shochuomimailmouciagemasu.1」の入力文字数 = 28 が分母にあたる。また式 (2) の値が小さいほど、少ない文字判別回数で文章を入力できたことになる。予測変換を用いることで、用いないときよりも平均判別回数の値が小さくなることが期待される。

また、Utility の計算には以下の式 (3) を用いる。

$$U = \frac{(2P - 1) \log_2(N - 1)}{d} \quad (3)$$

ただし、 N は判別クラス数 (選択可能な文字の種類を示す。本実験では $N = 36$)、 P は判別正答率、 d は一文字あたりの入力時間である。Utility は、誤判別文字を消去する機能であるバックスペースが文字候補の一つにあることを想定したときに、完璧な文字入力を行う場合の情報伝達速度を示している。ただし P が 0.5 以下の場合には、 $U = 0$ となる。詳細については [7] を参照されたい。

なお、Utility は P300 speller 自体の性能指標であり、予測変換の仕様が直接影響するものではない。しかし、呈示される予測候補を確認し、選択することで、P300 speller におけるタスク (意図する文字の点灯回数の計数) への影響が懸念されるため、本実験では Utility も併せて確認した。図 6 に各被験者、各手法における平均判別回数を、図 7 に RB-ARQ と RB-SR-ARQ のそれぞれの場合の Utility を、図 8 に予測変換を行った場合と行わなかった場合のそれぞれの Utility を示す。図 6 より、被験者全体の平均で 31%、特に被験者 (b) では最大 61% の判別回数の減少が見られた。また、有意水準 1% のもとで反復測定二元配置分散分析 (repeated-measured two-way ANOVA) を行った結果、平均文字判別回数の予測変換の有無による有意差があり、平均文字判別回数は予測変換を用いる

ことによって減少することがわかった。図 7 より、Utility に関しては (b) を除く 5 人の被験者に対しては RB-SR-ARQ を用いたほうが Utility が高くなることわかる。また図 8 において、予測変換の有無による違いははっきりとは見られなかった。

提案システムにより、入力速度の向上が可能となり、被験者の疲労を軽減する効果が期待できる。一方、今回使用した Social IME は、表示される変換候補の質に一部偏りがあり、未確定文字列に文字を多く追加入力しないと表示されない候補もあった。そのためこの Social IME に学習機能を実装することで、これらの予測変換性能の向上が図れると思われる。また今回の実験では、変換候補の最大表示数 (本システムでは最大 5) が少ないと感じられた。表示する変換候補の数を増やすには、現在 6×6 の行列で行っている文字入力のインターフェイスにおける行列数を増やすことで、変換候補の選択番号の数を増やすという方法が考えられる。しかし、候補数が増えることにより、行列の点灯時間や、候補選択のための思考に必要な試行間の休憩時間が増加するおそれがあるので、それについても検討する必要がある。

5. まとめ

P300 speller は、思考のみで文字入力を可能とする BCI アプリケーションである。本稿では、携帯電話などでよく用いられる予測変換機能を P300 speller に実装し、文字入力速度の向上を図った。実験により、予測変換機能を実装することで、文章入力の速度が向上することが確認できた。入力する文章量が多くなることで、この効果はさらに期待できると思われる。今後の課題としては、学習機能の追加と、入力インターフェイスの改良が挙げられる。

6. 謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費 (基盤研究 (C))、No. 22500200) の補助を得て遂行された。

参考文献

- [1] B. Blankertz, M. Krauledat, G. Dornhege, J. Williamson, R. Murray-Smith, and K.R. Müller. A note on brain actuated spelling with the berlin brain-computer interface. In *Proceedings of the 4th international conference on Universal access in human-computer interaction: ambient interaction*, UAHCI'07, pp. 759–768, Berlin, Heidelberg, 2007. Springer-Verlag.
- [2] L.A. Farwell and E. Donchin. Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, Vol. 70, No. 6, pp. 510–523, 1988.
- [3] H.H. Jasper. The ten-twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, No. 10, pp. 371–375, 1958.
- [4] H. Komatsu, S. Takabayashi, and T. Masui. Corpus-based predictive text input. In *Proceedings of the Third International Conference on Active Media Technology*, pp. 75–80. IEEE Press, 2005.

表 1: 判別正答率, 平均判別回数, Utility の比較

prediction	判別正答率 [%]				平均判別回数 [回]				Utility [bps]			
	RB-ARQ		RB-SR-ARQ		RB-ARQ		RB-SR-ARQ		RB-ARQ		RB-SR-ARQ	
	no	yes	no	yes	no	yes	no	yes	no	yes	no	yes
(a)	82.50	86.11	76.18	84.09	1.59	1.04	1.74	1.63	0.21	0.25	0.22	0.28
(b)	96.88	100	80.60	91.12	1.24	0.49	1.89	0.78	1.09	1.21	0.93	1.12
(c)	68.71	62.82	68.44	65.06	3.26	2.66	3.65	2.41	0.21	0.15	0.34	0.26
(d)	100	96.43	89.04	92.86	1.11	0.53	1.08	0.95	0.67	0.66	0.57	0.96
(e)	81.42	72.99	83.02	77.80	1.80	1.35	1.68	1.08	0.58	0.69	0.81	0.70
(f)	76.49	78.25	74.84	66.09	2.20	1.26	2.49	2.16	0.45	0.51	0.65	0.41

[5] T. Masui. Pobox: An efficient text input method for handheld and ubiquitous computers. In *Proceedings of the International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, HUC '99, pp. 289–300. Springer-Verlag, 1999.

[6] G. Schalk, D. McFarland, T. Hinterberger, N. Birbaumer, and J. Wolpaw. Bci2000: A general-purpose brain-computer interface (bci) system. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 51, No. 6, pp. 1034–1043, 2004.

[7] B. Dal Seno, M. Matteucci, and L.T. Mainardi. The utility metric: A novel method to assess the overall performance of discrete brain-computer interfaces. *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on*, Vol. 18, No. 1, pp. 20–28, 2010.

[8] H. Takahashi, T. Yoshikawa, and T. Furuhashi. A study on application of reliability based automatic repeat request to brain computer interfaces. In *Advances in Neuro-Information Processing*, pp. 1013–1020. Springer-Verlag, 2009.

[9] K. Takano, T. Komatsu, N. Hata, Y. Nakajima, and K. Kansaku. Visual stimuli for the p300 brain-computer interface: A comparison of white/gray and green/blue flicker matrices. *Clinical Neurophysiology*, Vol. 120, No. 8, pp. 1562–1566, 2009.

[10] J.R. Wolpaw, N. Birbaumer, D.J. McFarland, G. Pfurtscheller, and T.M. Vaughan. Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology*, Vol. 113, No. 6, pp. 767–791, 2002.

[11] キヤノン株式会社. 脳波による文字入力方法, および装置. 特開 2004-236682, 2004.

[12] 奥野陽, 萩原将文. インターネットを用いた日本語入力システム (日本語処理・文法). 情報処理学会研究報告, 自然言語処理研究会報告, No. 36, pp. 1–6, 2009.

[13] 金田佑介, 高橋弘武, 吉川大弘, 古橋武. 信頼度に基づく選択的自動再送要求手法の p300 speller への適用とオンライン実験による性能評価. 信学技報, Vol. 110, No. 461, pp. 35–40, 2011.

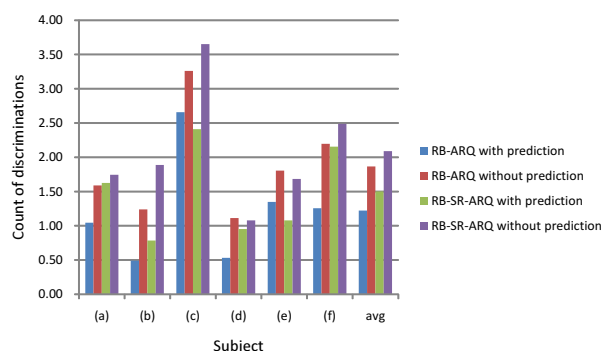


図 6: 一文字に対する文字判別の平均回数

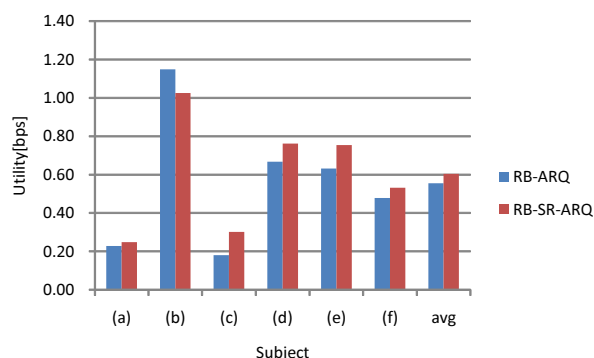


図 7: Utility (RB-ARQ と RB-SR-ARQ での比較)

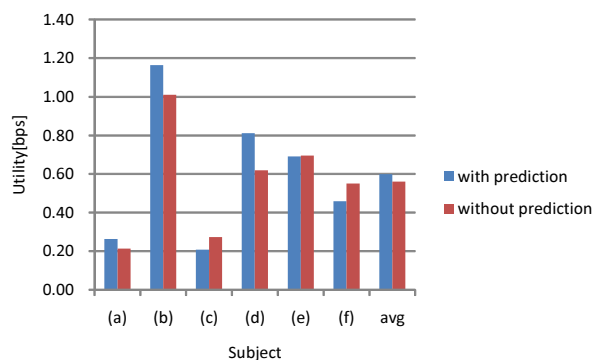


図 8: Utility (予測変換での比較)