意識集中時における脳波の振幅変化を用いたコミュニケーションの基礎的検討

Possibility of brain computer interface using EEG amplitude attenuation during mental task

○西藤 聖二¹, 中川 雅史¹, 田中 正吾¹

1. 山口大学大学院理工学研究科

○Seiji Nishifuji¹, Masashi Nakagawa¹ and Shogo Tanaka¹

1. Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University

1. はじめに

重度身障者のためのコミュニケーションツールを目的として、脳波を用いたブレイン・コンピュータ・インターフェース(BCI)の開発・研究が盛んに行われている。BCI に用いる脳波の成分としては事象関連電位が主であるが、その他にも視覚誘発電位や1Hz以下の低周波成分など、種々の脳波成分が検討されている。

しかしながら、実用的な観点からは、いずれの脳波成分も使用者の意志・要求による変化が小さく、検出が容易でないことや、変化の再現性が十分でないなど、何らかの課題が残されている。このため、使用ストレスの少ない BCI の開発に向けて、検出すべき脳波成分の検討が急がれている。¹⁾

本研究では、意識集中や精神作業による α 波 (8~13Hz) の抑制に注目している。 α 波は安静閉眼時脳波の支配的な成分で信号対雑音比が大きいため、種々の雑音の混入が不可避な使用環境においても容易に検出可能である。さらに、トレーニングを行わずとも、意識集中等によって α 波の振幅を抑制することができるため、使用者の精神的負担感も比較的小さいという特徴がある。

一方、 α 波は安静状態でも大きな揺らぎを示すため、自然変動と意志による抑制を適切に識別することが課題である。また、意志による α 波の振幅変化の大小に相当な個人差があることも、問題点として挙げられている。

そこで、本研究では、暗算や記憶イメージの想起などの精神作業を行ったときの α 波の振幅変化を、安静時 α 波の統計的性質 (平均、標準偏差) に基づいて評価することにより、 α 波の BCI への適用の可能性と課題を検討したので、報告する。

2. 方法

2.1 実験 21~24 歳の健常者 16 名 (男 15 名、女 1 名) を対象として、電磁シールドルーム内で、覚醒閉眼時の脳波を国際 10-20 電極配置法に従って、頭部全体の 15 部位から両耳朶を連結して基準電極とした単極導出法により導出した。脳波は脳波計 (日本光電製 EEG-5532、ゲイン 86dB) で増幅後、PC で 200 Hz/ch, 12 ビットの分解能で離散値化した。実験に際しては、ヘルシンキ宣言の主旨に則って事前に被験者から実験の同意を得た。

被験者には以下のような課題 (最大作業時間 30s) を与え、作業前約 10s から作業終了時までの脳波記録を採取した。

1. 暗算: 2 桁の掛け算
2. しりとり: 15 個に達するまで継続
3. 写真の想起: 事前に写真を記憶し、作業時に想起
4. 人物・物の想起 (1): 好きな人やものを想起
5. 人物・物の想起 (2): 嫌いな人やものを想起

なお、作業中には被験者は閉眼状態を継続し、できるだけ体を動かさないように指示された。

2.2 解析 本研究では Complex Demodulation 法 (CDM) を用いて、 α 波のエンベロープ (振幅) の瞬時値を推定した。得られた振幅の推定値は常時変動するため、安静時 α 波 (40s) の平均振幅 μ_r および標準偏差 σ_r を用いて、作業時に振幅がどの程度抑制されたかを、以下の手順で調べた。

[1] 適宜設定したウィンドウ (2s) における振幅抑制度の評価

$$\text{値 } J = \sum_{k=1}^n (A_k - \mu_r) / (n\sigma_r) \text{ を求める。ここで } n \text{ はウィンドウ}$$

ウ長分のデータ数、 A_k は作業時の瞬時振幅値である。

[2] 作業時間内 (10~20s) で $J \leq -\kappa_1$ となる割合 P_t を求める。

P_t は作業時における低振幅時間の割合を示す。

[3] 安静時において同様の量 P_r を求め、両者の比 $R_p = P_t / P_r$ を得る。 $R_p \geq \kappa_2$ の場合を「認知作業に伴う低振幅状態」として、安静時と区別する。

κ_1 , κ_2 は経験的に求め、 $\kappa_1 = 0.9$, $\kappa_2 = 2.0$ とした。すなわち、低振幅時間の割合が安静時の 2 倍以上になる場合を検出した。

3. 結果

Fig. 1 に暗算時の評価値 J の時間変化を示す (被験者 A)。作業開始数秒前から評価値の減少が始まっているが、作業開始までは安静時の揺らぎの範囲内に収まっている。さらに作業開始後は急激に振幅が低下して、しきい値 κ_1 を大きく下回る。その後、評価値は増減を繰り返すが、2 度目の低レベルの状態を脱した後、作業終了に伴って安静状態 ($J=0$ 付近) に戻る。作業中の 20 秒間中、低振幅時間が約半分を占め、 $R_p = 13$ となって「認知作業による低振幅状態」と判定された。

本研究では、1. 暗算~3. 写真相起の場合に被験者の約 7 割で低振幅状態を検出した。一方、4. と 5. の人物・ものの想起では、識別できたのは被験者の 4 割以下に留まった。

Fig. 1 振幅評価値 J の時間変化

4. おわりに

本研究では α 波の BCI への応用の可能性を探るために、精神作業に伴う α 波の振幅抑制状態を安静時と識別する方法を提案して、その有効性を検討した。その結果、暗算やしりとり、写真の想起ではまずまずの識別率が得られた。これらの課題は、被験者にとって比較的集中しやすいことが理由の一つとして考えられる。ただし、実用的な観点からは、写真の想起のような、より簡単な課題で識別率を上げることが必須であり、実験および解析の両面で改善すべき点はなお多い。

参考文献

- 1) J. R. Wolpaw et al., Brain-computer interfaces for communication and control. Clin. Neurophysiol., 2002; 113: 767-791.