

脳波個人識別に向けた脳波形の特異性と再現性の評価

A Study on Uniqueness and Reproducibility of EEG Activities for Personal Identification

唐山 英明
Hideaki Touyama

1. まえがき

脳活動により手足を動かすことなく機械を操作する技術は、すでにその実現可能性が明らかとなっており、現在、脳-コンピュータインタフェース (BCI: Brain-Computer Interface) という新しい研究分野として認知されている [1]。この次世代のインタフェース技術により、仮想空間とのインタラクションや福祉分野でのアプリケーションが実現されつつある。BCI 研究の分野は、脳神経科学、認知科学、情報・機械工学、倫理学などを巻き込む総合研究領域に発展している。

近年、この新しいインタフェース研究がさらに新しい研究パラダイムを生み出している。脳活動に基づく生体認証である。特に、脳波を用いた研究が行われており、その実現可能性が示唆されている [2-3]。このような脳活動を利用した生体認証では、従来の生体認証 (例えば、指紋、虹彩、静脈認証など) とは決定的に異なる利点がある。従来の生体情報は一般に生涯不変であるため、一旦悪意のある者により複製された場合、この安全性を回復することは極めて困難となる。一方で、脳活動による生体認証では、ユーザの意思で自由自在に「パス思考」(Pass-Thought) [4] の変更が可能となり、安全性の高い認証基盤の構築ができると期待される。

本論文では、脳活動の中でも P300 電位を利用した脳波個人識別の可能性について述べる。従来の研究とは異なり、頭の中で特定の写真を選ぶという一般に誰もが慣れ親しんだ被験者課題によって、少数電極でも個人識別が可能かどうかについて調査する。特に、脳波形が再現よく得られるか、また、脳波形の特異性についても考察する。そして、脳波から被験者の識別が可能であるか、について報告したい。このような被験者課題による生体認証は、パス思考を変更することが容易であり、今後の応用面でたいへん期待ができるものである。

2. 実験手法

本実験では、被験者に写真を検索する課題を与えた。写真を検索する課題は、一般に誰もが経験しているものであり、容易に遂行できると考えられる。実験は 10 日間にわたり、延べ 10 名の被験者で行われた。

実験 1 においては、写真データセット 1 を採用し、独立被験者 7 名 (s1-s7) に対して脳波を計測したもの、また実験 2 においては、実験 1 に参加した順においてはじめの 3 名 (s1-s3) に対して全く別の写真データセット 2 を採用して計測を行った。実験 2 は、実験 1 とは異なる日に行われ、写真データセットも異なることから、特に脳波形の再現性、

またパス思考の変更可能性の評価が可能となる。脳波形の特異性については、実験 1,2 の結果より総合的に議論することとした。

写真データセット 1,2 においては、それぞれ 9 枚の写真が用意された。これらは、実験事前に筆者により収集されたものであった。写真コンテンツとしては、人物や動物、また自然風景や人工物など多彩なジャンルのものを採用した。被験者は、その中から自分の好きな写真を実験直前に選んでおいた。9 枚の写真は、ランダムに 0.5 秒間隔で次々に提示され、これを繰り返した。実験直前に選ばれた写真 (目標刺激) が出現した際に、被験者はその写真が出現した回数を累計して数えた (これをオッドボール課題と呼ぶ)。一方で、それ以外の写真 (非目標刺激) の場合には、これらを無視するものであった。実験直前に選ばれた写真の枚数は 1 から 3 枚であり、被験者によって異なっていた。

脳波計測は、市販の生体信号増幅器 (日本光電製: MEG-6116) を使用した。電極位置は、頭頂から後頭部に向けた国際 10-10 法の Cz, CPz, Pz の 3 電極とし、0.5 から 30Hz のバンドパスフィルタを通して、アナログデジタル変換を行い、コンピュータにデータを蓄積した。

3. 解析手法

3.1 加算平均処理

まず、脳波形の特異性について検証する一つの手段として、実験 1 で得られた被験者 s1-s7 の加算脳波形について調べた。写真を提示した時刻を加算開始点、また、その 0.5 秒後の時刻を加算終了点とした。ここで、目標刺激データと非目標刺激データに分類してプロットした結果を図 1 に示す。すべてのプロットにおいて加算回数は 100 回以上であった。

次に、脳波形の再現性を確認するため、実験 2 で得られる被験者 s1-s3 の加算脳波形について調べた。加算方法は先と同様である。この結果を図 2 に示す。

3.2 個人識別アルゴリズム

実験 1,2 において得られた脳波データから、個人識別の可能性について検証した。

まず、各々の被験者の脳波データから目標刺激データを抽出し、N 回の加算平均をとったものを 3 つの電極ごとに準備した。ここで、N は 20 に固定した。時系列脳波値から 192 次元ベクトルを考え、これを特徴ベクトルとした。つまり、電極数 3、サンプリング周波数 128、分析時間 0.5 秒から定まる特徴であった。次に、主成分分析法により、24 次元まで次元削減し、線形判別分析法により識別を行った。識別の性能は、いわゆる一個抜き法により評価した。この手法では、唯一つの特徴ベクトルがテストに用いられ、残りは学習用となる。加算回数 20 回に対する識別性能を表 1 に示す。

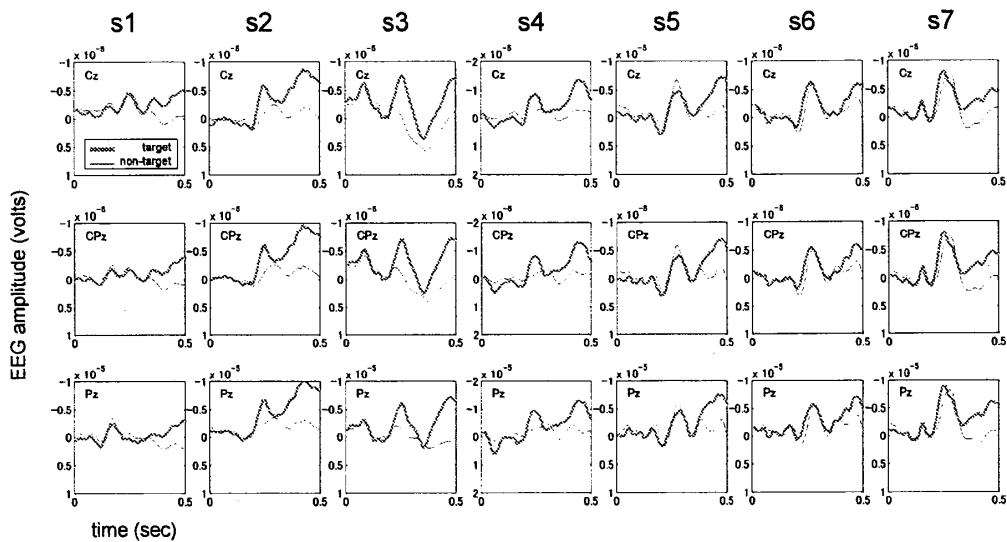


図1 実験1に対する被験者7名の脳波形. 上から下に向かって電極 Cz, CPz, Pz, また左から右に向かって被験者 s1 から s7 を表す. 脳波形は, 目標刺激時と非目標刺激時に対してプロットした. (なお, 縦軸上向きが正の電位を表す.)

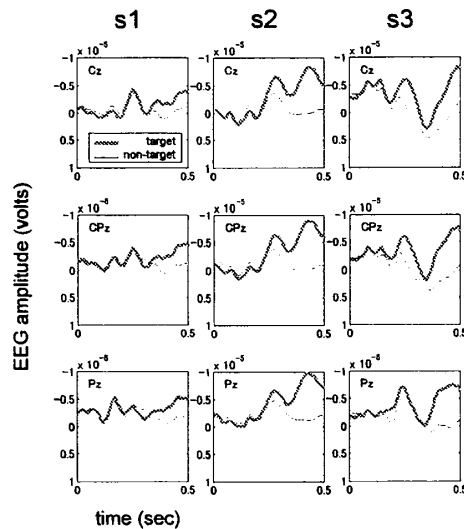


図2 実験2に対する被験者3名の脳波形. 左から右に向かって被験者 s1 から s3 を表す. (なお, 縦軸上向きが正の電位を表す.)

		識別された割合(%)						
		s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
テストデータ	s1	96.67	3.33					
	s2		100.0					
	s3			100.0				
	s4				80.0			20.0
	s5		6.67			53.33	40.0	
	s6					30.0	70.0	
	s7		6.67			6.67		86.67

表1 実験1,2を併せたデータによる被験者7名の脳波個人識別性能結果.

4. 結果と考察

図1から、目標刺激に対して約300ミリ秒以降において、P300電位成分が検出されていることが分かった。また、やはり約300ミリ秒以降において、非目標刺激の波形は目標刺激の波形と区別できることが分かった。脳波形の特異性についてであるが、被験者7名の脳波形は、電極 Cz, CPz, Pz にわたり特異的であることが判明した。しかしながら、2名の被験者対 (s5 と s6) において、本実験課題時の脳波形が似通っていることが判明した。

また、図2より、実験2の場合の脳波形 (s1-s3) は実験1のそれと酷似していることが分かった。これにより、実際の生体認証の利用シーンにおいても脳波形の再現性は確保できると考えられる。ここで重要であるのは、実験2の写真データセットが実験1のそれと全く別であった点である。これは、ユーザの意思によって自由自在にパスワードを変更できることを示唆している (パス思考の実現)。ここで、同一データセット内において、目標刺激を自由に変えるという問題設定についてもたいへん興味深く、今後検証していく考えである。

表1より、先に述べた個人識別アルゴリズムによる識別性能結果は、加算回数が20回の場合に平均83.8%であった。被験者 s1 から s3 の3名について、実験1,2のデータを併せてもなお極めて高い精度での識別が可能であったことは特筆に値する。また、ここで識別性能の低下の原因は、主として2名の被験者対 s5 と s6 における相互の誤認識であることが分かった。これは図1の脳波形の結果と矛盾しない。さらに、経験的に加算回数が20回以下となると識別性能の低減の傾向が見られた。

以上により、写真を検索するという被験者課題時の3電極脳波での個人識別において高い識別性能を示すことが分かった。しかしながら、多人数グループ内での利用、さらには個人認証までを実現したい場合、性能改善の対策を施す必要がある。最も有力であるのは、様々な種類の脳活動を追加利用するものである。例えば、視覚的な刺激によって誘発される視覚誘発電位[5]を利用する、またあるいは、閉眼安静時の脳活動を利用する、などである。これらの新しい脳活動により、独立な特徴を得ることができ、本実験の2名の被験者対 s5 や s6 の識別もできる可能性がある。この仮説の検証については、今後の研究において引き続き取り組むこととしたい。

5. まとめ

本論文では、脳波を利用した個人識別の可能性について述べた。頭の中で特定の写真を選ぶという被験者課題時に、3電極の脳波形の再現性、また特異性について調査した。さらに、主成分分析法を適用した7名の被験者の識別可能性についても検証した。その結果、平均約84%の精度で個人識別が可能であることが分かった。考察においては現状の問題点を明らかにし、少人数グループ内での応用可能性について示唆を行った。このような被験者課題による生体認証は、パス思考を変更することが容易であり、今後の応用面でたいへん期待ができるものと考えている。

文献

1. J.R.Wolpaw, N.Birbaumer, D.J.McFarland, G.Pfurtscheller, T.M.Vaughan: Brain computer interfaces for communication and control, *Clinical Neurophysiology* 113(6), 2002, 767-791.
2. M.Poulos, M.Rangoussi: Parametric person identification from the EEG using computational geometry, *Proc. of the Sixth Int'l Conf. on Electronics, Circuits, and Systems* 2, 1999, 1005-1012.
3. S.Marcel, Jdel R.Millan: Person authentication using brainwaves (EEG) and maximum a posteriori model adaptation, *IEEE Transaction on pattern analysis and machine intelligence* 29(4), 2007, 743-752.
4. J.Thorpe, P.C. van Oorschot, A.Somayaji: Pass-thoughts: Authenticating With Our Minds, *Proc. of ACSA 2005 New Security Paradigms Workshop*.
5. 黒岩義之, G.G.Celesia: 視覚誘発電位—その正常波形と臨床応用, 西村書店 (1989)