

# メンタルタスク時の脳波を用いた個人認証の研究

中西 功†      宮本 千正†      馬場 貞尚†

†鳥取大学大学院工学研究科  
680-8552 鳥取市湖山町南 4-101

nakanishi@ele.tottori-u.ac.jp

**あらまし** 利用者認証の場合には継続的な認証が有効であり、無意識なバイオメトリクスが必要となる。本論文では、そのようなバイオメトリクスとして脳波に着目し、より実用に近い環境での認証を実現するため、メンタルタスクを導入した場合について検討を行う。特にコンピュータの操作中での継続認証を想定し、文書思考をメンタルタスクとして導入する。結果として、メンタルタスクを行った場合においても脳波を用いた照合が可能であることが確認される。特に照合性能が向上には $\beta$ 波特徴を用いることが有効である。

## Person Authentication Using Brain Waves on Mental Tasks

Isao Nakanishi†      Chisei Miyamoto†      Sadanao Baba†

†Tottori University  
4-101 Koyama-minami, Tottori-shi, Tottori 680-8552, Japan

nakanishi@ele.tottori-u.ac.jp

**Abstract** In the case of user authentication, continuous verification is effective and then it requires an unconscious biometrics. We have studied to use brain waves as such a biometrics. In this paper, we examine the verification performance of the brain wave during a mental task in order to apply it to practical applications. Especially, assuming the continuous verification of computer users, we introduce a mental task in which the users are thinking the contents of documents. Resultingly, it is confirmed that the verification using the brain wave is applicable even when the users are doing the mental task. In addition, it is effective to use a  $\beta$  wave for improving the verification performance.

### 1 はじめに

バイオメトリクスを用いた個人認証において、指紋や虹彩は実用化が行われているが、一方で人工物により詐称できたという報告があり [1, 2], 耐詐称性が問題となっている。指紋や虹彩は生体情報が体外に露出, または残留するのが原因である。生体情報が秘匿されている, すなわち体内情報であるものとしては静脈があるが, それでさえも人工物による登録, 認証が行えたと

いう報告もある [3]. これは, 登録・認証対象が生体の一部であるかどうかを判別していないためであり, 生体検知機能が注目されている。

一方, 応用面から考えると従来のバイオメトリクス認証は, 入室管理やパスポート管理のように入室や入国の際の一度きりの認証しか想定していない。しかしながら, 利用者管理を考えると, 利用者本人が認証を行い, 利用者制限を取り除いた後に他人が本人に成り代わり利用したとしてもそれを防ぐのではなく, 一度きりの

認証ではセキュリティ性は非常に低い。

そのような詐称を防ぐには一度きりでなく連続（継続）して認証を行う必要があるが、そのためには生体情報を無意識に提示できるバイオメトリクスが必要となる。利用者が意識して生体情報を提示し続ける必要がある指紋や虹彩では継続認証は実現できない。無意識な提示を可能にする（生体情報が受動的に検出できる）バイオメトリクスとしては顔や歩行、耳があるが、顔や耳は人工物による詐称への耐性が問題であり、歩行は応用が限定される。

そこで、我々のグループでは脳波に着目してきた [4]。脳波は体内情報であるために秘匿性に優れ、耐詐称性が高い。もちろん、生きた人間でないと脳波は発生しないために生体検知性も備えている。また、脳波は意識せずとも自発的に発生するため、無意識性の面でも優れており、連続的な認証を可能になる。逆に、現状では脳波は頭部に電極を装着（接触）して測定する必要があるため、入室管理やパスポート管理のような一度きりの認証には適さない。よって、脳波を用いた個人認証のシナリオとしては、利用者が脳波センサーを装着し、使用（操作）中に継続して照合することが最も自然であると考えられる。特に、車の操縦者認証の場合は脳波を用いた居眠り検出や酒気帯び検出と融合することも期待できる。

しかしながら、従来の脳波を用いた個人認証の研究 [5]-[10] は実際の応用を想定したものではなかった。頭部に多数の電極を装着して数分間の測定が必要であったり、高い照合率を実現するために多大な演算量を要する特徴抽出や複雑な照合アルゴリズムを用いたりしていた。そこで、我々のグループでは計算量の軽減について取り組み、結果、単一チャネルによる短時間測定での脳波を用い、計算負荷を削減しつつも従来研究と同等な照合性能が得られることを確認した [4]。

しかしながら、その結果は閉眼時でのリラックス状態でのものであり、その知見をそのまま実用化に生かすことはできなかった。リラックス状態ではなく、視聴覚刺激に対する反応やメンタルタスクを導入した研究もある [8]-[10] が、継

続認証のための無意識なバイオメトリクスを想定するのであれば、刺激による反応を用いることは適さない。また、メンタルタスクについては多くが暗算や立体ブロックの回転などを用いているが、実際の応用と結びついたタスクでないと認証の度に関係のないメンタルタスクが強要されるために無意識な認証は実現できない。

そこで、本論文では、コンピュータの操作中での継続認証を想定し、応用に結びついたタスクとして文書作成を取り上げた場合での脳波認証について検討を行ったので報告する。

## 2 メンタルタスクによる脳波認証

### 2.1 脳波

脳波は、大脳皮質のたくさんの神経細胞（ニューロン）にあるシナプス結合での電位（シナプス後電位）が頭皮上の電極に積算されて検出されるもので、通常はその空間的および時間的分散性のために同期することはなく一定の形状の波形にはならない。しかし、大脳皮質の活性度が低下した時、例えば睡眠時や安静閉眼での覚醒時にはある程度の同期性が生じ、それが特徴的な脳波として観測される。

そのような脳波は次のように分類される。δ波は0.5Hz～3Hzでぐっすり眠っているときに検出されやすく、θ波は4Hz～7Hzでとろとろと眠くなっているときに検出されやすい。α波は8Hz～13Hzで安静、リラックス、閉眼時に検出されやすく、β波は14Hz～30Hzで精神活動をしているときに検出されやすい。ここで、個人認証への応用を想定した場合、覚醒時に検出されやすいα波とβ波を利用することが前提となる。

### 2.2 メンタルタスク

我々のこれまでの研究では閉眼時でのリラックス状態でのα波を用いて照合を行ってきた [4]。しかしながら、リラックス状態での認証では実際の応用に結びつきにくい。

そこで、本論文では、集中して精神労働（メンタルタスク）を行っている状態での認証を想

定する。これまでもメンタルタスク時における脳波を用いた個人認証の研究は行われている [8]-[10]。しかしながら、これらの研究においては、いずれも脳科学の見地から考案されたメンタルタスク、例えば、暗算や立体ブロックの回転などを用いている。しかし、継続認証を想定した場合、継続して行う作業内容とメンタルタスクのそれとが異なる場合、認証の度にタスクを実行することをユーザーに義務づけ、それを意識させることになる。したがって、継続認証のための無意識なバイオメトリクスとするには、実際の応用と結びついたメンタルタスクでないといけない。

そこで、今回は、コンピュータ利用者の継続認証を想定し、メンタルタスクとして文書思考を設定する。コンピュータを操作する中で目的の文書を作成するために内容を思考することは十分に想定できる状況である。

## 2.3 特徴抽出

これまで著者らのグループでは、単一チャンネルによる短時間測定での計算負荷の少ない特徴抽出ならびに照合法に関する検討を行い、 $\alpha$ 帯域でのスペクトル分布の偏在性が個人特徴として利用できることを確認した [4]。しかしながら、メンタルタスクのように精神活動を行った場合は $\alpha$ 波抑制が生じ、 $\beta$ 波が検出されやすくとされる。そこで、本論文では、従来からの $\alpha$ 波における特徴に加え、 $\beta$ 波における特徴を導入する。具体的には、 $\alpha$ 波の特徴抽出としては従来からのスペクトル分布の偏在性を用い、 $\beta$ 波においてはメンタルタスク時のスペクトルとリラックス時のそれとの差を個人特徴とする。

### 2.3.1 スペクトルの平滑化

脳波スペクトルはその変動が大きいいため、前処理としてすべてのスペクトルを平滑化する。具体的には、ある周波数のスペクトル値を前後5つ周波数でのスペクトルの平均値とするものである。ここで、互いに独立な周波数でのスペクトルを平均することは物理的な根拠を持たない。瞬時的な変動を強制的に抑えるための処理

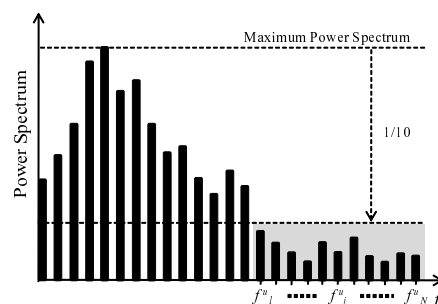


図 1: スペクトル分布の凹部分を表す特徴量

である。なお、一回の測定データを複数個に分割し、それぞれにおいて求めたスペクトルを空間平均する方法も試したが、結果としては周波数領域で平均した場合の方が良かった。これは、分割によりデータ数が減少し、周波数解像度が低下したためだと考える。

### 2.3.2 $\alpha$ 波の特徴抽出

$\alpha$ 波ではスペクトルの偏在性に基づく2つの特徴を用いる [4]。まず、 $\alpha$ 帯域でのスペクトルが正規分布であると仮定し、分散 $\sigma^2$ を求める。これはスペクトル分布の広がりを表す特徴になる。もう一つは、スペクトル分布の凹部分に相当する特徴量である。具体的な説明を図1を用いて行う。まず、スペクトルの最大値を求め、その十分の一となる値を閾値に設定する。次に閾値以下となるスペクトル成分の周波数 $f_j^u$ をすべて求め、それらの2乗和を求める。

$$F_u = \sum_{j=1}^L (f_j^u)^2 \quad (1)$$

ここで、 $L$ は閾値以下となるスペクトル成分の数である。なお、算出される量は凹部分と一意的な関係ではないため、凹部分を厳密に表す特徴ではない。

### 2.3.3 $\beta$ 波の特徴抽出

$\alpha$ 波ではスペクトルの正規分布を仮定したが、 $\beta$ 波のスペクトルはそれとは異なり帯域全体にスペクトルが分布する。そこで、本論文では、安静、リラックス時のスペクトルとメンタルタ

スク時のそれとの差異を個人特徴とすることを提案する。

具体的には、リラックス時での $\beta$ 波スペクトルを $L$ 個用意し、それらの平均 $\overline{l\beta s_k}$  ( $k = 1, 2, \dots, N$ ) をあらかじめ求めておく。ここで、 $k$ は周波数を表す添え字、 $N$ は $\beta$ 帯域の周波数の数である。そして、照合データ（メンタルタスク時）の $\beta$ 波スペクトル $m\beta s_k$ との差をユークリッド距離として算出し、個人特徴とする。

$$S_\beta = \sqrt{\sum_{k=1}^N (m\beta s_k - \overline{l\beta s_k})^2} \quad (2)$$

なお、リラックス時との差分をとるという考えは、あらかじめ行った試行の結果により見いだされたものである。

## 2.4 照合

### 2.4.1 テンプレートの登録

照合に先立ち、テンプレートを作成し、登録を行う必要がある。まず初めに前節で述べたように安静、リラックス状態での脳波を $L$ 回測定し、それぞれの $\beta$ 波帯域スペクトルを求める。そして、 $L$ 個の $\beta$ 波帯域スペクトルの周波数毎の平均 $\overline{l\beta s_k}$  ( $k = 1, 2, \dots, N$ ) を算出する。

次にメンタルタスク時において脳波を $L$ 回測定し、同様にして $\alpha$ 波ならびに $\beta$ 波帯域での平均スペクトルを算出する。それらを $\overline{m\alpha s_k}$  ( $k = 1, 2, \dots, M$ )、 $\overline{m\beta s_k}$  ( $k = 1, 2, \dots, N$ ) とする。ここで、 $M$ は $\alpha$ 波帯域の周波数の数である。

そして、 $\alpha$ 波の平均スペクトルからは前節で述べた分散値と凹部分に対応する特徴を抽出し、テンプレートとして登録する。ここでは $\delta^{2t}$ 、 $F_u^t$ とする。 $\beta$ 波特徴のテンプレートはリラックス時とメンタルタスク時の差分であり、以下のようになる。

$$S_\beta^t = \sqrt{\sum_{k=1}^N (m\beta s_k - \overline{l\beta s_k})^2} \quad (3)$$

### 2.4.2 照合処理

照合においては、メンタルタスク時に取得された脳波データよりFFTによりスペクトルが求

められ、スペクトルの平滑化を行った後、 $\alpha$ 波、 $\beta$ 波のスペクトル成分だけが抽出され、照合用データとなる。なお、 $\alpha$ 波スペクトルの特徴抽出は、その絶対量に基づくため、スペクトルの個人内変動を受けやすい。そこで、 $\alpha$ 波スペクトルに関しては、テンプレートと照合用データの平均電力スペクトルを求め、それらが同じになるように正規化を行う。そうして得られたそれぞれのスペクトルをあらためて $m\alpha s_k$ 、 $m\beta s_k$ とする。

そして、 $\alpha$ 波特徴としてスペクトルの分散と凹部分、 $\beta$ 波特徴としてリラックス時とのスペクトル変化が抽出される。それらを $\delta^2$ 、 $F_u$ 、 $S_\beta$ とすると、それぞれのテンプレートとの差異が以下のように結合され、最終判定値 $TD$ を得る。

$$TD = x \cdot |\delta^2 - \delta^{2t}| + y \cdot |F_u - F_u^t| + z \cdot |S_\beta - S_\beta^t| \quad (4)$$

ここで、 $x, y, z$ はそれぞれの特徴を融合する係数であり、 $x + y + z = 1$ となるように選ぶ。

最終判定は $TD$ が定めた閾値より小さい場合には照合データは本人のものであると判定し、そうでない場合は本人のものでないとする。

## 3 照合実験

### 3.1 脳波の測定

脳波の測定には脳力開発研究所が開発・販売するBrain Builder Unitを用いた[4]。この装置は民生用であり、一つの電極を備えたヘッドバンド型の器具を額に装着して使用する。測定部位は、国際脳波学会が推奨する10/20法で定義される前頭極のFp1に対応する

被験者の数は10名とした。まず、テンプレートを作成するため、被験者は暗い静かな部屋において目を閉じて椅子に座り、リラックス状態での脳波を $L = 5$ 回測定した。これは $\beta$ 波特徴の抽出に用いる。なお、測定装置の仕様から $\beta$ 波の上限は24Hzとした。

次に同様な環境においてメンタルタスクを一人あたり二種類、それぞれ10回実行した。今回、メンタルタスクとしては文書思考と暗算を用いた。文書思考はコンピュータ利用者の継続

認証を想定したものである。五つの課題（両親への近況報告，自己紹介，地元紹介，大学生生活の思い出，研究紹介）を事前に提示し，それに対応した文章を考えることを測定が終了するまで連続して行ってもらった。一方，暗算は広く一般的に用いられているタスクであり，今回導入する文書思考タスクと比較するために行った。7×10から開始し，7×11, 7×12, … という筆算を想像することを測定が終了するまで繰り返してもらった。なお，開眼状態での測定ではまばたきをした時の眼の上の筋肉が動くことにより脳波に大きな乱れ（雑音）が生じるため，今回は閉眼状態において測定した。

それぞれのメンタルタスクにおいて，本人の10個のデータの内， $L = 5$ 個をテンプレート作成用に使用し，残りの5個を照合に用いた。詐称者用データとしては本人以外のすべてのデータ（90個）を用いた。

### 3.2 照合結果

照合性能の評価は，最終判定の際に用いる閾値を変化させた場合の本人拒否率と他人受入率を求め，それが等しくなる等誤り率（Equal Error Rate: EER）により行った。特徴の結合係数  $(x, y, z)$  を変化させた場合の文章思考時ならびに暗算時のEERを表1, 2にそれぞれ示す。

表 1: 文書思考時の EER

結合比 $(x : y : z)$	EER (%)
0.2:0.3:0.5	16
0.3:0.2:0.5	18
0.3:0.4:0.3	16
0.4:0.3:0.3	15
0.3:0.5:0.2	15
0.5:0.3:0.2	14

これらの結果より文書思考時のEERはおおよそ15%，暗算時のそれはおおよそ11%であると言える。ちなみに $\beta$ 波特徴を用いず， $\alpha$ 波特徴だけで照合した場合，いずれのEERも15%程度

表 2: 暗算時の EER

結合比 $(x : y : z)$	EER (%)
0.2:0.3:0.5	10
0.3:0.2:0.5	12
0.3:0.4:0.3	10
0.4:0.3:0.3	11
0.3:0.5:0.2	11
0.5:0.3:0.2	12

であった。したがって， $\beta$ 波特徴導入の効果は暗算時には認められるが，文書思考時では明らかでないという結果となった。この原因として，タスクの内容，すなわち精神労働の負荷度合いの違いが考えられる。暗算はタスクの内容が明確に規定され，加えてそれが比較的容易ではないものであったのに対し，文書思考の方は，内容に関する大まかな指示はあるものの，具体的な内容は個人に委ねられていたため，負荷がそれ程高くはなかったのではないかと推察される。言い換えれば， $\beta$ 波特徴を有効にするには暗算と同等，あるいはそれ以上の負荷を脳に与える必要があると言える。

一方，何らかの精神活動を行い，大脳皮質の活性度が高くなるとすべての脳波の振幅は減少することから，メンタルタスクの導入による照合性能の劣化が危惧されたが，それについては今回の結果では認められなかった。これによりメンタルタスク時においても脳波認証が実現できることが確認でき，脳波を用いた継続認証の実現に一步近づいたと考える。残る課題は開眼状態での評価である。

## 4 まとめ

利用者認証では，一度きりの認証ではなく，利用中の継続的な認証が有効であり，そのためには無意識なバイオメトリクスが必要となる。本論文では，そのようなバイオメトリクスとして脳波に着目し，より実用に近い環境での認証を実現するため，メンタルタスクを導入した場合について検討を行った。特にコンピュータの

操作中での継続認証を想定し、文書思考をメンタルタスクとして評価を行った。結果として、メンタルタスクを行った場合においても脳波を用いた照合が可能であることが確認された。特に $\beta$ 波特徴を用いることで、照合性能が向上することが確認された。一方で精神活動の度合いが $\beta$ 波特徴の出現に影響することも認められた。

今後はより実用に近づけるため、開眼状態での照合性能を評価する予定である。また、文書思考以外の実用に即したメンタルタスクを用いて評価することも課題である。

## 謝辞

本研究の一部はSCAT研究費助成を受けて実施したものであり、ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] T. Matsumoto, H. Matsumoto, K. Yamada and S. Hoshino, "Impact of Artificial "Gummy" Fingers on Fingerprint Systems," Proc. of SPIE, vol. 4677, pp. 275–289, Jan. 2002.
- [2] 松本勉, 楠田徹, 四方順司, "虹彩認証システムのセキュリティ評価用テスト物体セットについて (その2)," 電子情報通信学会ユビキタスネットワーク社会におけるバイオメトリクスセキュリティ研究会第9回研究発表会予稿集, pp. 60–67, Mar. 2007.
- [3] 松本勉, "生体認証システムのセキュリティ設計とセキュリティ測定," 電子情報通信学会ユビキタスネットワーク社会におけるバイオメトリクスセキュリティ研究会第7回研究発表会予稿集, pp. 57–64, Jun. 2006.
- [4] 馬場貞尚, 宮本千正, 中西功, 李仕剛, "脳波を用いた個人認証に関する研究—新たな特徴量による認証精度の検討—," 電子情報通信学会バイオメトリクスシステムセキュリティ研究会第16回研究発表会予稿集, pp. 45–50, Mar. 2009.
- [5] M. Poulos, M. Rangoussi, V. Chissikopoulos, and A. Evangelou, "Parametric Person Identification from the EEG Using Computational Geometry," Proc. of the 6th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, pp. 1005–1008, 1999.
- [6] R. B. Paranjape, J. Mahovsky, L. Benedict, and Z. Koles, "The Electroencephalogram as a Biometric," Proc. of 2001 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, vol. 2, pp. 1363–1366, 2001.
- [7] G. Mohammadi, P. Shoushtari, B. M. Ardekani, and M. B. Shamsollahi, "Person Identification by Using AR Model for EEG Signals," Proc. of World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 11, no. 2, pp. 281–285, Feb. 2006.
- [8] S. Marcel and J. R. Millan, "Pearson Authentication Using Brainwaves (EEG) and Maximum A Posteriori Model Adaption," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 29, no. 4, pp. 743–748, Apr. 2007.
- [9] R. Palaniappan and D. P. Mandic, "Biometrics from Brain Electrical Activity: A Machine Learning Approach," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 29, no. 4, pp. 738–742, Apr. 2007.
- [10] R. Palaniappan, "Multiple Mental Thought Parametric Classification: A New Approach for Individual Identification," International Journal of Signal Processing, vol. 2, no. 1, pp. 222–225, Sep. 2005.