

継続認証のためのアンコンシャス・バイオメトリクス

Unconscious Biometrics for Continuous Authentication



中西 功 (Isao NAKANISHI, Dr. Eng.)
鳥取大学大学院工学研究科准教授
(Graduate School of Engineering, Associate
Professor, Tottori University)

電子情報通信学会 情報処理学会 IEEE 会員
研究専門分野: デジタル信号処理 音声信号処理 バイオメトリクス
認証

あらまし 近年、人間の生体情報（バイオメトリクス）を用いて利用者が本人であるかどうかを識別する本人認証技術の研究が盛んであるが、ほとんどは一度きり（ワンタイム）の認証を前提としている。しかし、一度きりの認証では、認証後の利用者が本人であるかどうかの保証はできない。そのため、利用者を継続して認証する必要があるが、それを実現するには、利用者が無意識（アンコンシャス）にデータを提示できなければならない。本研究では、生体検知機能を持つアンコンシャスなバイオメトリクスとして、人体内伝播信号と脳波を取り上げ、それらを用いた認証方法について検討を行う。現状での照合性能はどちらも十分ではなく、評価した被験者数も少ないために精度にも問題が残る。

1. はじめに

高度情報通信社会の構築において、セキュアなネットワーク環境の実現は欠かせない。中でも、利用者が本人であるかどうかを識別する本人認証技術は重要な技術の一つである。従来、そのような技術としては、パスワードや磁気カードが用いられてきたが、忘れたり、無くしたりといった問題があった。そのため、近年、人間の生体情報（バイオメトリクス）を用いて本人を認証する技術に注目が集まっている。

しかしながら、これまで提案されている指紋や虹彩、静脈、声紋、筆跡といったものは、利用者がバイオメトリクスデータを、意識的・能動的に提示する必要があるため、一度きり（ワンタイム）の認証にしか向かない。しかし、ワンタイムの認証では、認証後の利用者が本人であるかどうかの保証はできない。例えば、部屋に入る際やコンピュータにアクセスする際に認証を行った後、他人と入れ替わってもそれを検出することができない。

したがって、より高いセキュリティ性を実現するためには利用者を継続して認証する必要がある。そのような継続した認証を実現するには、利用者が能動的にデータを提示するのではなく、無意識（アンコンシャス）の状態がデータが取得されなければならない。

これまで提案されているバイオメトリクスの中でアンコンシャスなものとしては顔がある。利用者の顔画像を常にカメラで検出することで、利用者の能動的、自発的な行動を必要とせずに継続的な認証が実現できる。しかしながら、顔認証は、マスクや付加物により複製された人工顔は見分けることができない、整形により容易に生体情報が改ざんできる、といった欠点がある。他にも音声や歩行、キーストロークなども無意識な認証が可能であるが、応用が限定される。

そこで、本研究では、生体検知機能を持つアンコンシャスなバイオメトリクスとして、人体内伝播信号と脳波を取り上げ、それらを用いた認証方法について検討を行う。人体内伝播信号は人間の皮膚の表面に電磁波を発生させ、その伝わり方の違いから人物を識別しようとするものである。携帯電話やコンピュータのマウス、ドアノブに組み込むことができれば、それらを利用する際に利用者に意識させずにデータを抽出する

継続認証のためのアンコンシャス・バイオメトリクス

Unconscious Biometrics for Continuous Authentication

ことができる。また、その伝わり方が人間とそれ以外で大きく異なれば、生体検知の機能を併せ持つことになる。一方、脳波は脳から無意識に放出される信号（電位の変化）であり、無意識なバイオメトリクスである。加えて脳に活動がなければ発生しないため、生体検知の機能が実現できる。

もちろん、国内外でもアンコンシャスなバイオメトリクスの実現への挑戦的な研究が始まっている。人間の行動パターンや刺激に対する生体反応を用いる方法などがそれである。しかし、いずれも研究が始まったばかりであり、なおかつ、行動パターンの場合は利用する場所が限定される、生体反応の場合は継続認証に向かない、という制限がある。脳波を認証に用いる研究はこれまでも行われている。しかし、診療目的で取得した脳波データを流用して実験を行ったために実験結果の信頼性が低かったり、逆に、医療用の高精度な多点脳波計を用いて実験を行ったために実用性を欠いたりしたものであった。

以下では、まず第2章において、人体伝播信号による認証を紹介し、第3章で脳波による認証を紹介する。そして、第4章で将来展望を示す。

2. 人体伝播信号による認証

体の組成（脂肪や水分、筋肉など）は個人毎に異なることから、人体に信号を伝播させ、その伝播具合を調べることでそれが本人のものかどうかを照合することが可能になる。そのような人体伝播信号は体内情報であり、耐詐称性は高いと言える。また、生体に信号を直接伝播させるため、その信号を用いた生体検知が実現できれば、付加的な装置も必要なく模造物への対応も可能になる。将来的には携帯電話やマウス、ハンドルなどを握る際の継続認証への応用が想定される。その場合、使用者は無意識で生体情報を提示できるため、利便性に優れる。想定する場面例を図1に示す。

2. 1 人体伝播信号

人体伝播信号と称しているのは、人体内通信技術の一つである導波管モデルを用いて伝送した際の信号のことである。人体内通信は人体を介して通信を行う技術であり^{(1),(2)}、導波管型モデルは人体を導波管とみなし、入力側に流れる信号から漏れ電磁波を発生させて出力側へ伝送させる方法である。このモデルでは外部回路を必要としないため、電磁波ノイズや周囲環境に

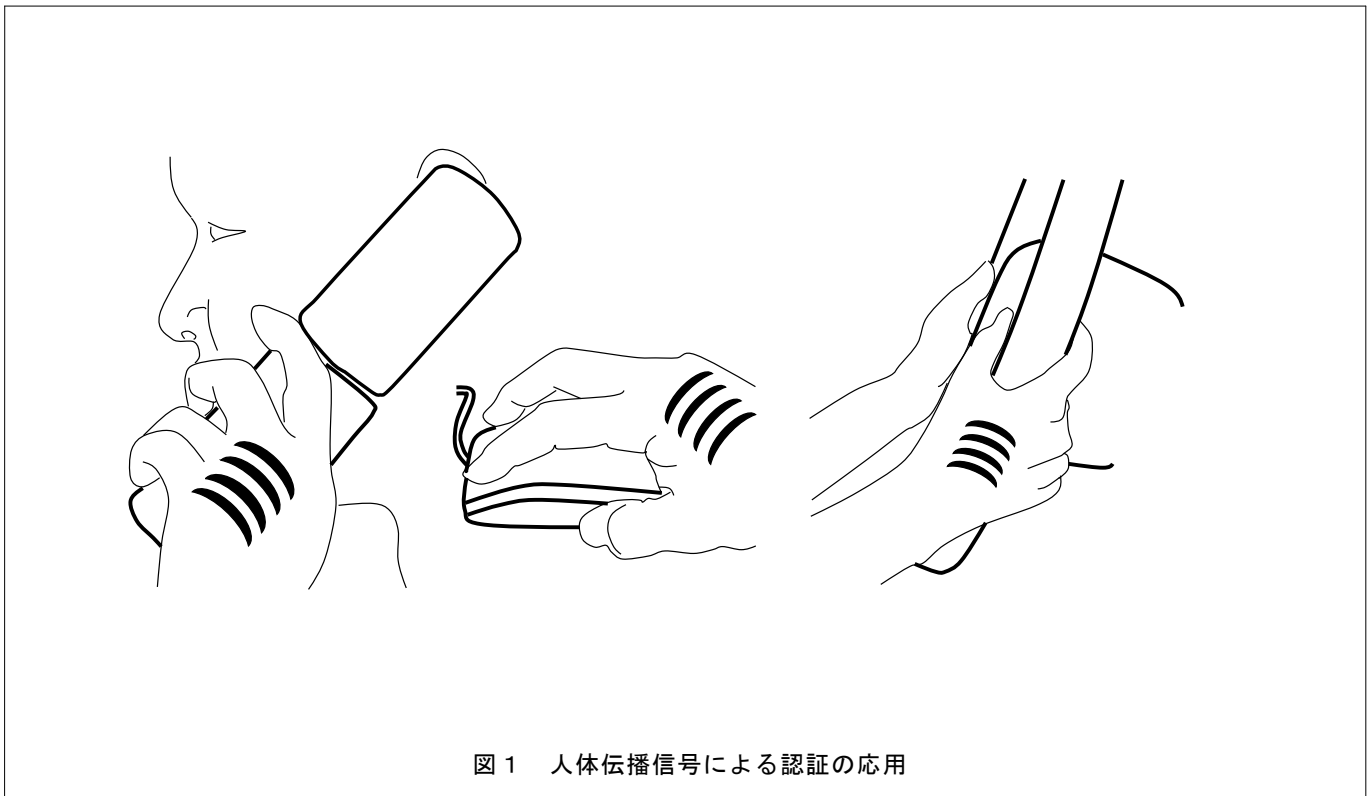


図1 人体伝播信号による認証の応用

継続認証のためのアンコンシャス・バイオメトリックス

Unconscious Biometrics for Continuous Authentication

よる影響を受けにくいという利点があり、幅広い周波数範囲の伝送が可能である²⁾。

導波管型モデルを実現するには入力側の信号発生器と出力側の検出器、そして二対の電極が必要となる。今回は汎用の装置を用いて構成する。信号発生器としては市販の交流信号発振器を用いる。一方、検出された信号は特徴抽出ならびに照合処理のためにデジタル化される必要があり、波形の観測とデジタル化が同時にできるデジタルオシロスコープを検出器として用いる。電極は市販の体表電極を用いる。なお、電極部分でのインピーダンスを小さくするために高導電性のゲル状パッドを介して皮膚に貼り付ける。これらの装置の配置図を図2に示す。

今回人体部位としては、測定のしやすさを考慮して前腕部を用いる。まず、前腕部に貼り付けた一対の電極に発振器から白色雑音を出力する。周波数上限は100MHzであり、信号電圧は2.0V_{pp}とする。この周波数はテレビやラジオ放送で用いるものと同じ帯域であり、信号電圧も人体内通信で用いられているものと同程度であることから、短時間の測定では人体への影響はないと考える。

一方、少し離れた同じ腕の部分に同様な一対の電極を貼り付け、検出器であるデジタルオシロスコープを接続する。測定時間は8μsである。検出された信号はデジタルデータに変換され、汎用コンピュータに、

において特徴抽出ならびに照合処理が行われる。なお測定の際に腕を机などに置くと検出信号の振幅が小さくなるため、腕は空中で水平位置に保って測定する。

なお、元の信号が白色雑音であり、検出信号も幅広い周波数成分を含むため、信号波形の違いにより被験者を区別することは難しい。そこで、FFT解析結果による振幅スペクトルの類似性に基づき人体伝播信号を吟味する。

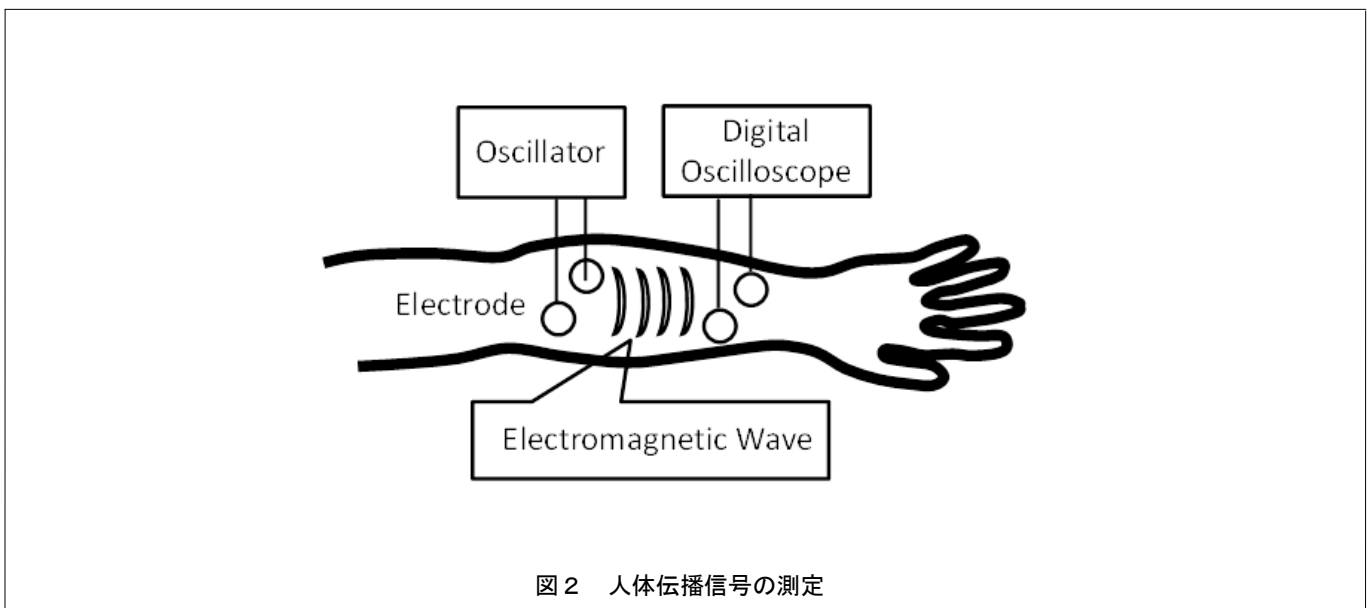
まず、ある被験者の5日間におけるスペクトル分布を図3に示す。これにより人体伝播信号の個人内変動がどのようなものであるかが分かる。

比較より、全体でのスペクトル分布を見ると共通（類似）性があると考えられる反面、例えば、80-100MHzでは測定毎に振幅スペクトルは大きく異なっており、個人内変動は大きいと予測される。

次に、5人の被験者（A,B,C,D,E）のスペクトル分布を図4に示す。これにより個人間変動（個人特徴）が見て取れる。

細かく見るとスペクトル分布は個人毎に異なっている。しかし、被験者CとEのように0-50MHzでのスペクトル分布が似ているものもあり、個人間変動はあまり大きくないと予想される。

以上の結果をまとめると人体伝播信号のスペクトル分布は個人毎に異なるため、それを用いた照合の実現が期待できる。



継続認証のためのアンコンシャス・バイオメトリクス

Unconscious Biometrics for Continuous Authentication

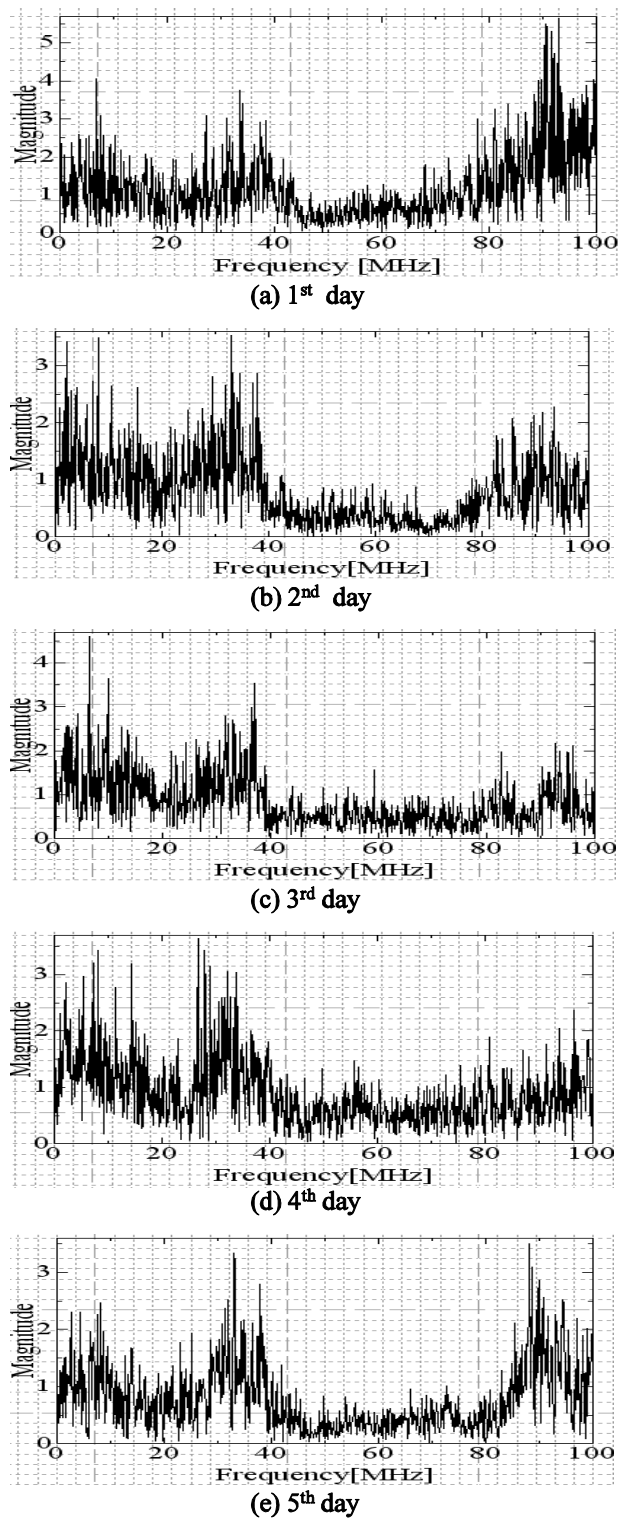
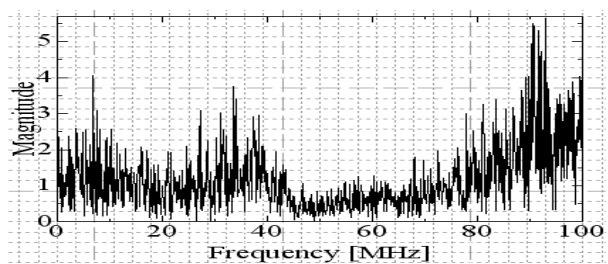
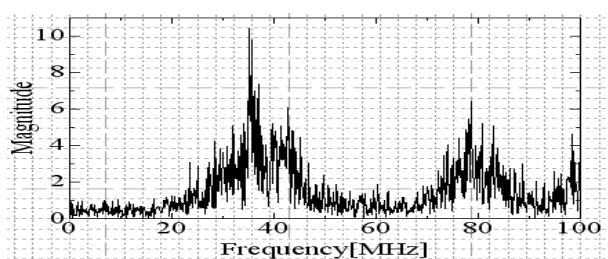


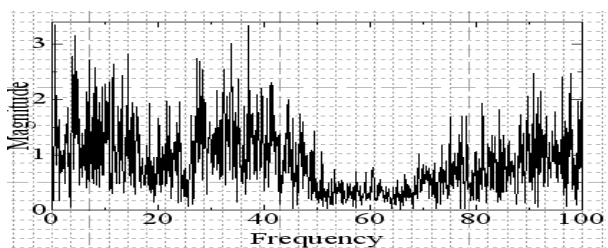
図3 人体伝播スペクトルの個人内変動の例



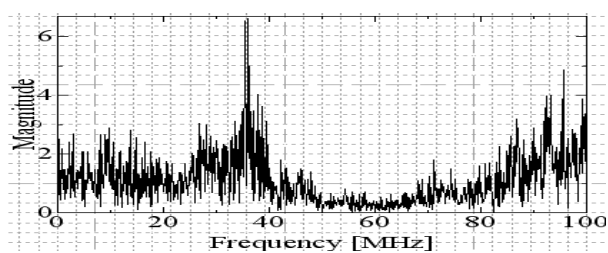
(a) Subject A



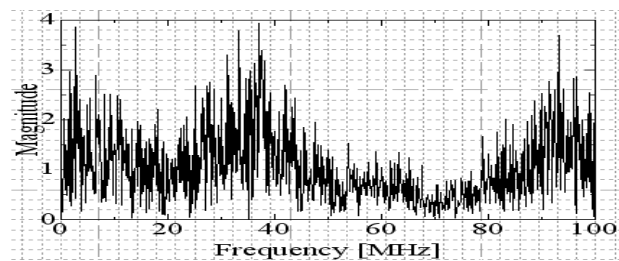
(b) Subject B



(c) Subject C



(d) Subject D



(e) Subject E

図4 人体伝播スペクトルの個人間変動の例

継続認証のためのアンコンシャス・バイオメトリクス

Unconscious Biometrics for Continuous Authentication

2. 2 照合実験

前節で示した人体伝播信号の振幅スペクトルを個人特徴とし、その類似性を評価することで照合を行う。なお、詳細については割愛する。文献(3)-(5)を参照いただきたい。被験者数を 20 として照合実験を行った結果、EER はおよそ 40%であった。ここで、EER とは、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 (False Rejection rate: FRR) と他人受入率 (False Acceptance Rate: FAR) を求め、それが等しくなる等誤り率 (Equal Error Rate: EER) のことである。

次に観測範囲である 0-100MHz を 10 個の帯域に分け、帯域毎の EER を調べてみた。結果、帯域毎に EER は大きく異なり、特に 50-60MHz において一番小さい EER=35% が得られた。したがって、照合性能は用いる帯域毎に依存することが分かった。

そこで、すべての被験者毎に照合に用いる周波数帯域を変えて EER を算出してみた結果、すべての被験者において 50-60MHz が最良の帯域であるとは限らないことが分かった。そこで、被験者毎に EER が最小となる帯域を 1 つ選び、それを用いて照合率を算出したところ全体の EER は 30% になった。

しかし、それでも照合性能は低い。そこで、パターン分類機として有名なサポートベクターマシン (SVM) により照合を行ってみた⁽⁶⁾⁻⁽⁷⁾。EER はおよそ 15% に半減できた。

3. 脳波による認証

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) を、頭皮上に付けた電極から巨視的に導出したもので、一般的に電位変化を縦軸に時間経過を横軸にとったものと定義されている。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が、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。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~13.3Hz 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。ただし、認証への応用を想定した場合、覚醒時に検出される α 波や β 波を利用することになる。

このような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機能も実現できる。さらに、身体的に欠損があっても脳だけは活動するため、アクセシビリティの面ではバイオメトリクスの中で脳波は最も優れている。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、結果として継続的な認証を可能になる。

3. 1 認証への応用

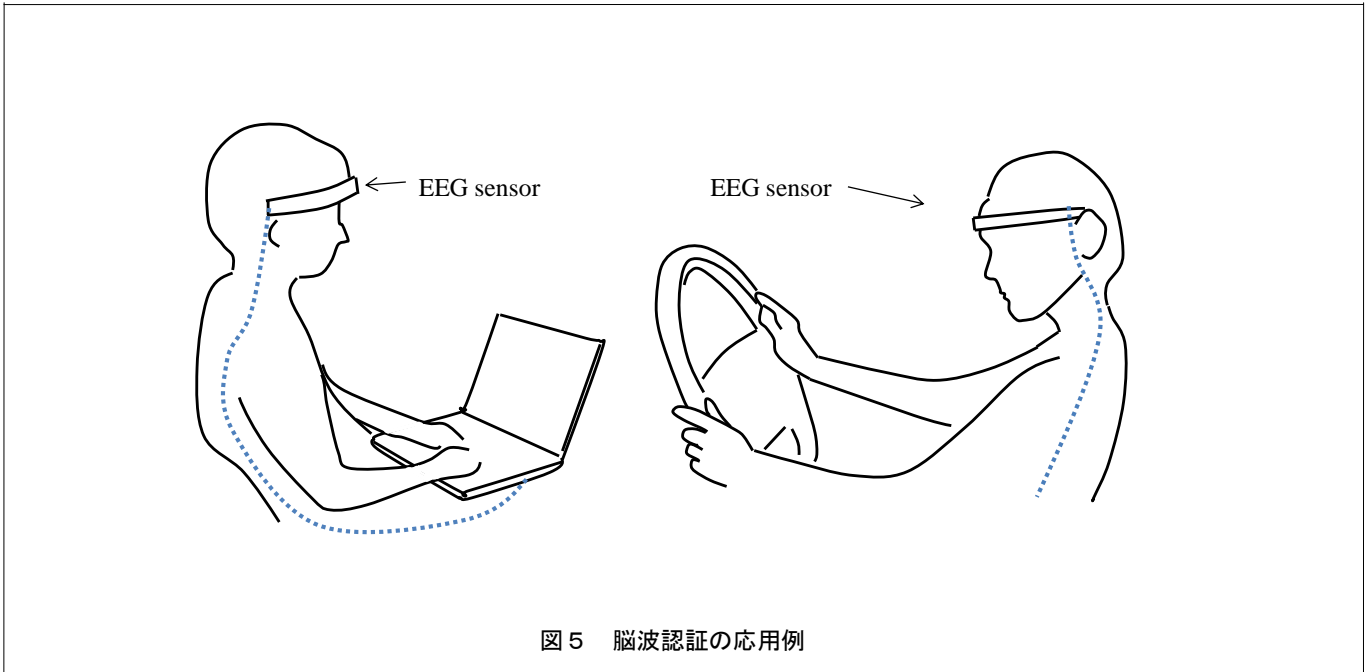
脳波を認証に用いる研究はこれまでも行われてきた⁽⁸⁾⁻⁽¹²⁾。しかし、脳波認証をどのような環境 (応用) で用いるのかを想定したものはなかった。そもそも脳波は、認証の度にセンサー (電極) の着け外しが必要なことから入室管理のような一度きりの認証には向かない。さらに何十という電極を頭に装着して認証するアプローチは現実的ではない。視覚刺激に対する反応を用いる研究もなされているが、それでは無意識な認証は実現できない。脳波認証を現実的なものに (実用化) するには、その利用形態と合わせて議論する必要がある。

筆者らは利用者の継続認証が応用として最も適していると考えている。利用者は脳波計を装着し、何らかの機器を利用 (操作) している状態で、無意識の内に認証が行われるものである。このような高いセキュリティ (安全) 性が要求される利用者としては、列車やバス、航空機などの多くの人命を預かる公共交通機関の運転手、機密情報を管理するコンピュータの操作者、資格や免状等に関わる遠隔講義の受講者、軍事兵器の操作者などが考えられる。

しかしながら、脳波認証はまだまだ解決すべき課題が多い。そこで、人間の姿勢が安定した閉眼・安静状態での検証から始め、最終的には実際に何らかの作業を行う開眼・実タスク状態へと段階を踏んで検証することを考えた。これまでの成果に関しては論文 (13)~(20) を参照いただきたい。今回は、運転者認証を例

継続認証のためのアンコンシャス・バイオメトリクス

Unconscious Biometrics for Continuous Authentication



にとり、メンタルタスクとして経路トレースを行う際に検出される脳波を用いて認証性能を評価した結果を紹介する。

3. 2 脳波のスペクトル特徴

図6に二人の被験者の安静時とメンタルタスク時における α ~ β 波帯域での脳波スペクトル例を示す。一般的に安静時は α 波が検出されやすく、精神活動時はそれが抑制されて β 波が検出されやすくなるという事柄が見て取れる。

そこで、安静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して抽出する。具体的には、 α ~ β 波帯をいくつかに分けておき、分割帯域毎に安静時でのパワースペクトルの平均値とメンタルタスク時のそれとの差を求める。詳細については割愛する。詳しくは文献(17)-(19)を参照いただきたい。

3. 3 経路トレース

継続的な認証を実現するには使用者が無意識の内に生体特徴を提示することが前提となる。よって、タスクについても認証の度に特別なことを別途行うのではなく、実際の応用と結びつけたタスクを設定する必要がある。

そこで、運転者が既知の場所へ移動する際、自分の記憶にある風景と実際のそれとを照らし合わせながら目的地までの経路を選択していることに着目し、これをメンタルタスクとする。便宜上、これを経路トレースと呼ぶことにする。なお、経路トレースは運転することを想像することではない。運転者は自身の記憶との照合を必ず行っており、経路トレースはその部分だけを抽出し、検証しやすくしたものである。

3. 4 照合実験

実際に被験者を使って運転中の脳波を測定するのは危険を伴うため、経路トレースを実験室環境で検証する。そのためには被験者に運転風景を提示する必要があるため、車のダッシュボードの上にデジタルビデオカメラを前方に向けて固定し、実際に走行する映像を撮影した。なお、記憶との照合が頻繁に行われることを意図して長い直線道路は避け、できる限り多くの交差点を曲がるように走行した。

収録した映像はコンピュータに取り込み、天候不良により視界が悪い部分やカメラの自動焦点がずれた部分などを除去し、3分間の映像に編集し、提示映像を用意した。実験環境を図7に示す。

被験者は20名を用意した。全員20~25歳の普通車

継続認証のためのアンコンシャス・バイオメトリクス

Unconscious Biometrics for Continuous Authentication

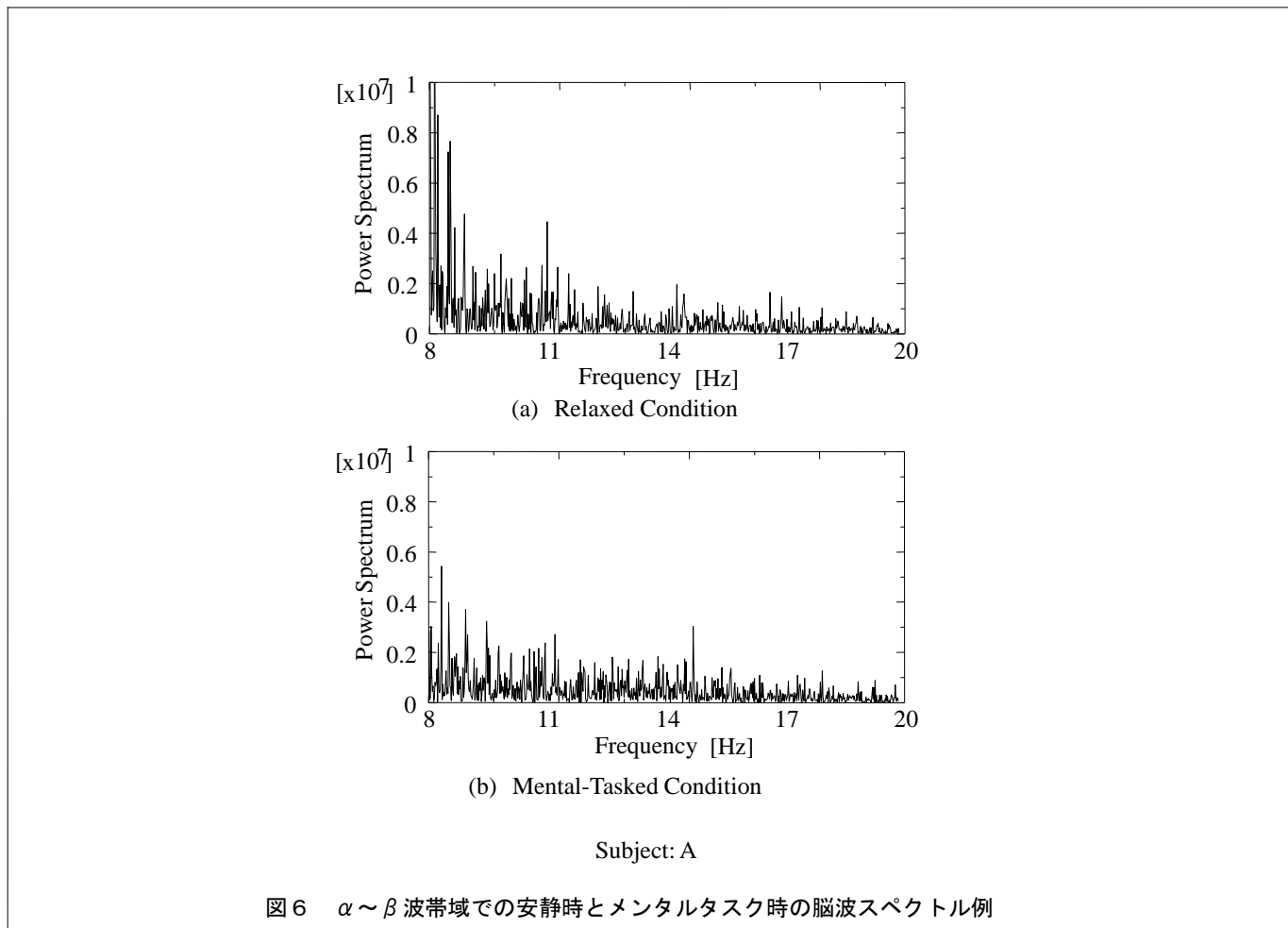


図6 $\alpha \sim \beta$ 波帯域での安静時とメンタルタスク時の脳波スペクトル例

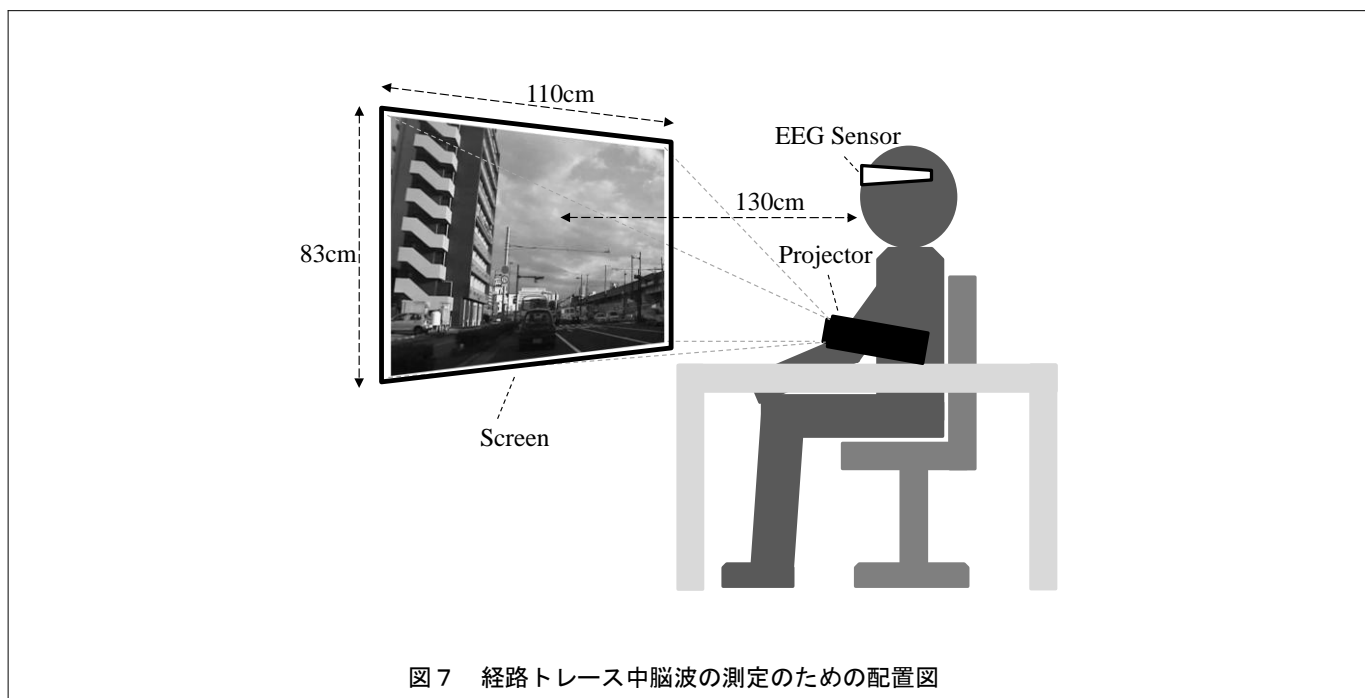


図7 経路トレース中脳波の測定のための配置図

継続認証のためのアンコンシャス・バイオメトリックス

Unconscious Biometrics for Continuous Authentication

免許を持つ男性である。脳波計は民生用の単一電極をヘッドバンド内に備えたもので、測定部位は前頭部である。サンプリング周波数は 128 Hz、測定周波数は 1~24 Hz、測定電圧は 5~80 μV_{pp} である。

まず、テンプレートの作成のために安静時の脳波を 3 分間測定した。次に被験者に先の編集した映像を 2 回見せ、目的地までの経路を記憶するように指示した。その後、脳波計を装着し、同じ映像を提示し、自身が運転して経路を選択しているつもりで見ないように指示し（実際には経路は選択できない）、3 分間の測定を行った。なお、メンタルタスクを実行したかどうかを確認するため、測定が終了した時点でいくつかの交差点画像を示し、どの方向に進んだかを回答してもらった。間違えたり、覚えていなかったりした場合はやり直した。これらの測定を 1 日 1 回行い、さらに少なくとも一週間の間隔をとって 10 回繰り返し、最終的に安静時、タスク時共に一人あたり 10 個の脳波データを得た。

測定した 3 分間のデータの内、照合実験では中間の 1 分間のデータを用いた。メンタルタスク時の本人 10 個のデータの内、5 個はテンプレート作成用に、残り 5 個は照合用に用いた。テンプレートは、5 個のデータからパワースペクトル分布を求めた後に空間平均して求めた。安静時の脳波についても同様である。

今回は、帯域分割数を 4 (8-11Hz, 11-14Hz, 14-17Hz, 17-20Hz) とし、評価を行ってみた。評価は本人拒否率と他人受入率が等しくなる等誤り率 (EER) により行った。結果、EER は 21%であった。

4. 将来展望

生体検知機能を持つアンコンシャスなバイオメトリックスとして人体内伝播信号と脳波を取り上げ、それらを用いた認証方法について紹介した。いずれも現状での照合性能は十分でない。また、評価した被験者数も少ないため、それらの精度にも問題がある。

今後は、被験者の数を増やした実験を行い、照合性能の精度を向上させる必要がある。また、照合性能を向上させるためには個人特徴の抽出法の改良が必要である。例えば、個人特徴を多く含む周波数帯域を見いだすことが重要である。より高度な識別性能を持つ手

法の導入も考えられるが、計算負荷との兼ね合いが課題である。さらに人体伝播信号や脳波を用いて継続的な認証を実現するためのシステムの構築と照合性能検証も将来行う予定である。

一方、応用に即した拡張も必要である。人体伝播信号に関しては、今回は腕での検証であったが、それでは応用が見込めない。例えば、携帯電話やマウス、ドアノブなどに触れたり、握ったりする状態を想定すれば、手のひらでの検証が急務である。現在、測定ならびに検証を行っている。また、脳波に関しては、脳波による居眠り検知や酒酔い検知が可能になれば、認証機能と合わせることができ、総合的な安全安心運転システムが構築できる。

参考文献

- (1) T. G. Zimmerman, "Personal Area Networks : Near-field intrabody communication," IBM System Journal, Vol. 35, No. 3&4, pp. 609-617, (1996).
- (2) 蜂須賀啓介、中田杏里、武田輝人、柴建次、佐々木建、保坂寛、板生清、“人体を伝送路とした情報通信デバイスの開発、”マイクロメカトロニクス (日本時計学会誌)、Vol. 46, No. 2, pp. 53-64, (Mar. 2002).
- (3) 中西功、友成永吉、“人体伝播信号を用いたバイオメトリックス認証、”電子情報通信学会第 18 回バイオメトリックスシステムセキュリティ研究発表会予稿集、pp. 29-34, (Jun. 2009).
- (4) 中西功、“人体伝播信号を用いた個人認証の試み、”第 24 回信号処理シンポジウム講演予稿集、pp.396-401, (Nov. 2009).
- (5) 中西功、“人体伝播信号を用いたバイオメトリックス認証、”電子情報通信学会和文論文誌、Vol.J92-A, No.12, pp. 980-986, (Dec. 2009).
- (6) 曾谷勇太、中西功、“人体伝播信号による個人認証への SVM の導入、”電子情報通信学会第 21 回バイオメトリックスシステムセキュリティ研究発表会予稿集、pp. 1-6, (Mar. 2010).
- (7) I. Nakanishi and Y. Sodani, "SVM-Based Biometric Authentication Using Intra-Body

継続認証のためのアンコンシャス・バイオメトリックス

Unconscious Biometrics for Continuous Authentication

- Propagation Signals,” *Proc. of 2010 7th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS2010)*, pp. 561-566, (Aug. 2010).
- (8) M. Poulos, M. Rangoussi, V. Chrissikopoulos, and A. Evangelou, “Person Identification Based on Parametric Processing of the EEG,” *Proc. of the 6th IEEE Int. Conf. on Electronics, Circuits and Systems, Vol.1*, pp.283-286, (1999).
- (9) 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).
- (10) K. V. R. Ravi and R. Palaniappan, “Recognition Individuals Using Their Brain Patterns,” *Proc. of the 3rd International Conference on Information Technology and Applications*, (2005).
- (11) 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).
- (12) 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).
- (13) I. Nakanishi, S. Baba, and C. Miyamoto, “EEG Based Biometric Authentication Using New Spectral Features,” *Proc. of 2009 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS2009)*, pp. 651-654, (Dec. 2009).
- (14) 中西功、馬場貞尚、李仕剛、“閉眼・安静時の脳波による個人認証”、電子情報通信学会和文論文誌 A、**Vol. J95-A, No. 2**、(Feb. 2012)。(採録決定)。
- (15) I. Nakanishi and C. Miyamoto, “On-Demand Biometric Authentication of Computer Users Using Brain Waves,” *F. Zavoral et al. (Eds.): NDT2010, Part I, CCIS 87*, pp. 504-514, (Jul. 2010).
- (16) 中西功、馬場貞尚、宮本千正、“メンタルタスク時の脳波を用いた個人認証の研究”、情報処理学会コンピュータセキュリティシンポジウム 2009 論文集、**Vol.1**、(Oct. 2009)。
- (17) 中西功、井上正寛、馬場貞尚、“脳波による運転者認証の試み ～ 経路トレースをメンタルタスクとした場合 ～”、信学技法、SIP2010-105、pp.215-220、(Jan. 2011)。
- (18) I. Nakanishi, S. Baba, and S. Li, “Driver Authentication Using Brain Waves While Route Tracing as a Mental Task”, *Proc. of the 6th International Conference on Security and Cryptography (SECRYPT 2011)*, pp. 90-96, (Jul. 2011).
- (19) 中西功、尾崎康太郎、馬場貞尚、李仕剛、“経路トレース時の脳波による個人認証の試み”、電子情報通信学会和文論文誌 A、**Vol.J94-A, No.10**、pp.775-777、(Oct. 2011)。
- (20) 中西功、馬場貞尚、“脳波による運転者認証の研究”、電子情報通信学会 2010 年暗号と情報セキュリティシンポジウム講演論文集、**2E4-4**、(Jan. 2011)。

この研究は、平成19年度SCAT研究助成の対象として採用され、平成20年度～22年度に実施されたものです。