

K_091

遺伝的アルゴリズムとデジタル信号処理を用いた脳波解析処理の開発 Development of an EEG Analysis System Based on GA and DSP

石澤 一紀†
Ikki Ishizawa

千葉 慎二‡
Shinji Chiba

1. まえがき

筋肉や脳神経の障害から、意思を表示することが困難な患者がいる。その中でも、ALS（筋萎縮性側索硬化症）は、症状が進むと全身が完全に動かせなくなり、意思の表示がまったくできなくなる。しかし、意識は正常であるため精神的にも大変な苦痛を伴い、そのため自ら死を選ぶというケースも多い[1]。

現在、意思を表示することが困難な患者とコミュニケーションをとるための装置の研究開発が進められている。その中でも脳の神経活動からユーザの意思を抽出し、コンピュータの操作に反映させる装置として脳-コンピュータインタフェース Brain-Computer Interface（以下 BCI）というものがある[2]。この装置によって、体を動かさずに意思を表示することが可能になる。BCIには、脳の神経活動を測定する方法として、脳波（EEG：Electro Encephalo Graph）、脳磁図（MEG：Magnet Encephalo Graph）、光トポグラフィなどを利用したものがある。本研究では、頭皮上から電極を用いて計測する非侵襲型の脳波を用いた BCI に着目した。

現在研究されている脳波利用による BCI は、意識的に発生させることができる β 波とよばれる脳波を用いたものが多い。しかし、 β 波は意識的に発生させることが難しく、練習が必要となる[3]。我々は、ユーザが利用しやすい BCI を開発するために、発生させやすい脳波の発見と、効率的に脳波の状態を抽出できる脳波解析処理の考案を目指している。本研究では、脳波スペクトルの加算平均による特徴抽出を遺伝的アルゴリズムによって最適化する方法を提案し、その最適化の効果を検証した。

2. 研究概要

2.1 脳波について

今回利用した脳波は、脳神経細胞集団の活動による電位変動を頭皮上に貼った電極から計測したものである。

脳波には特別な刺激を与えていない状態のときに観測される自発性脳波と、何らかの刺激が与えられた場合に観測される誘発性脳波とがある。また、脳波は精神状態や、内的要因、外的要因によって電位や周波数スペクトルが変化する。電位変動は μV 単位という微小なものであり、瞬き、歯噛みなどの筋電や、心臓の動きなどがノイズとして影響する。

脳波の周波数スペクトルを解析することで、 β 波のような自発性脳波を発生させることを「YES」、発生させないことを「NO」と判別することによって、体を動かさなくてもその意思を抽出することが可能になる。本研究で扱う BCI では、このような自発性脳波による意思をスイッチと

して利用して、コンピュータを操作することを目指している。

2.2 BCI システム

本研究で開発している BCI システムを図1に示す。本システムでは、額部分の電極から前頭葉の脳波を測定する IBVA（IBVA Technologies, Inc[4], 1ch, サンプル周波数 120Hz）を使用して脳波の測定を行う。その後、測定した脳波データを、PC上のプログラムで解析処理する。PCの画面には、被験者の意図を脳波の変化として生じさせるための視覚的ナビゲーションを表示する。しかし本研究の段階では BCI システムとしては開発途中であるため、本システムは主に脳波解析ツールとして用いている。

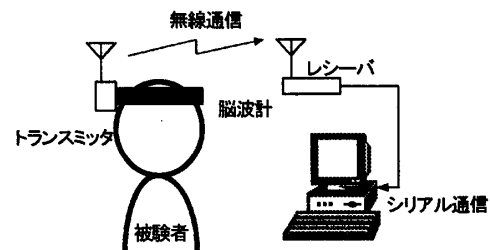


図1 BCI システム概要

3. 脳波判別に関する提案手法

3.1 特徴抽出と判別手法

図2に、本研究で提案する脳波の特徴抽出と判別の手法を示す。まず特徴抽出の手法として、ある一定の意思下で測定した複数の脳波スペクトルを加算平均し、これを特定の意思下の特徴を表現した基準スペクトルとする。

その後、任意の脳波のスペクトルと基準スペクトルについて、各周波数スペクトル値の残差自乗和を計算する。残差自乗和が小さければ基準スペクトルと特徴が近似しているとしてスコア（合致度）を高くし、残差自乗和が大きければスコアを低くする。スコアが閾値を超えれば特定の意思下にある脳波であると判別する。

基準スペクトルを作成するために、加算平均する j 個目の脳波における周波数 i スペクトルを $spec_{ji}$ 、加算平均する脳波スペクトル数を Pn 、FFT データ点数を N とし、基準スペクトルの周波数 i のスペクトル $Bspec_i$ を以下のように定義する

$$Bspec_i = \frac{1}{Pn} \sum_{j=0}^{Pn} spec_{ji} \quad (i = 0, 1, \dots, N) \quad (1)$$

また、判別する脳波の各周波数のスペクトルを $Tspec_i$ としスコア S を以下のように定義する。

$$S = \frac{1}{\sum_{i=0}^N (Bspec_i - Tspec_i)^2} \quad (2)$$

† 仙台電波工業高等専門学校, 情報システム工学専攻

‡ 仙台電波工業高等専門学校, 情報工学科

この方法では、BCI 使用前に複数回脳波を測定する必要があるが、各ユーザーに適応した基準スペクトルを計算することで、脳波の個人差による誤差の問題を解決できる。

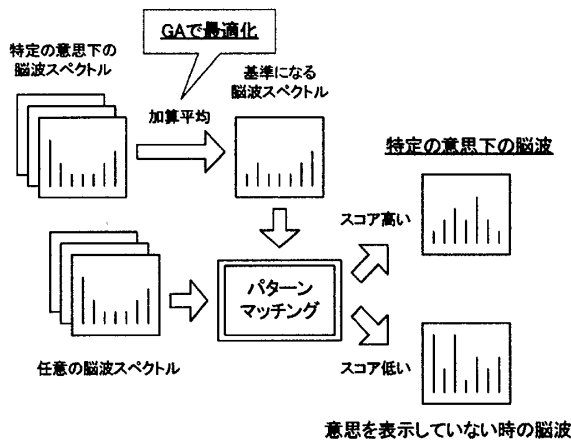


図2 特徴抽出と判別方法

3.2 遺伝的アルゴリズムによる最適化

筋電などによる脳波中に生じるノイズのように、特徴的スペクトルが顕著に現れるものは検出が容易である。しかし、無体動で特定の意思を表示している状態では、特徴的なスペクトルが小さく、平常状態のスペクトルと酷似してしまう。そのため、スコア S を計算しても特定の意思下と平常状態の合致度がほとんど変わらず、誤った判別をする場合が多い。

よって、平常状態と特定の意思下にある状態で、スペクトルの特徴の違いが大きい部分を、特定の意思下の特徴が顕著に現れている部分であるとするのが有効であると考えた。

そこで、各周波数スペクトルに対して特定の荷重による重み付けを試みた。平常状態と特定の意思下で互いに独自の特徴が現れている周波数は重みを重くしてスコア S の計算を行った。特徴が似ている周波数は重みを軽くし、スコアの計算時にはあまり考慮しないようにする。各周波数の重みを W_i としてスコアを以下のように定義する。

$$S = \frac{1}{\sum_{i=0}^N W_i (Bspec_i - Tspec_i)^2} \quad (3)$$

重みは、基準スペクトルの作成に用いた脳波スペクトルと基準スペクトルについて、各周波数スペクトルと平常状態との差が大きく、基準スペクトルとの合致度が大きいスペクトルは重みを重く、平常状態との差が小さく基準スペクトルとの合致度が小さい周波数は重みを軽くするという規則で決定する。

判別に有効な周波数スペクトルを選択する場合、遺伝的アルゴリズムを用いて選択を最適化する方法が有効であるという報告がある[6]。そこで、本研究では遺伝的アルゴリズムを利用して重みを最適化することを試みた。

遺伝子は各周波数の重みで $0 \sim 1$ の実数とし、FFT データ点数/2個で一つの遺伝子とする。

遺伝的アルゴリズムのパラメータの詳細は表1のとおりである。

表1 遺伝的アルゴリズムの各パラメータ

個体数	100
世代数	1000
交叉率 (2点交叉)	1
突然変異率	0.01
ギャップ	0.9

4. 実験結果

提案手法の有効性を検証するための基礎実験として、歯を噛むことによる筋電ノイズの特徴判別を試みた。重み付けを行った場合と行わなかった場合での特徴抽出と判別結果を比較し、重み付けの有用性を検証した。2種類の基準スペクトル (Pt1, Pt2) を用いて、ノイズ発生状態を含む任意の脳波スペクトル 120 パターンについての判別を行った結果を表2に示す。表2からわかるように、重み付けを行ったほうが正答率が向上している。また判別不可とは、スコアが閾値に近い値 ($\pm 2.5\%$) になった場合であり、誤答よりも正答に近いことを示している。よって判別不可能の割合が増えたことも、重み付けにより判別が改善された結果であるといえる。

表2 歯噛みノイズ判別実験結果

	重み付けなし			重み付けあり		
	正答	判別不可	誤答	正答	判別不可	誤答
Pt1	12%	5%	83%	52%	13%	35%
Pt2	25%	8%	67%	55%	20%	25%

5. 今後の展望

本研究で、スペクトルの加算平均による特徴抽出と遺伝的アルゴリズムによる最適化が有効であることがわかった。今後は、無体動での意思の検出、意思表示時刻の検出や閾値の設定によって、さらに判別率を向上させることを試みる。

6. 参考文献

- [1] ALS協会「JASLA」 <http://www.jade.dti.ne.jp/~jalsa/>
- [2] Jonathan R. Wolpaw, Dennis J. McFarland, "Control of a two-dimensional movement signal by a noninvasive brain-computer interface in humans", PNAS, vol.101, no.51, pp.17849-17854, 2004
- [3] 中林, 五十嵐, "重度心身障害者のコミュニケーション促進のための生体スイッチの有効性について 脳波及び筋電スイッチの適用を通して", 人間科学研究, vol.11, no.1, pp.63-74, 2003
- [4] IBVA Technologies, Inc: <http://www.ibva.com/>
- [5] 伊庭斉志, "遺伝的アルゴリズムの基礎-GAの謎を解く-", オーム社, 1994
- [6] 伊藤, 満倉靖恵, 福見稔, 赤松 "GAとNNを用いた有効脳波スペクトラム領域の抽出", 電子情報通信学会技術研究報告. NC, ニューロコンピューティング, vol.102, pp.61-65, 2002