

EEGによる聴覚刺激の神経デコーディング

北崎充晃（未来ビークルリサーチセンター，視聴覚コア）

1. 誘発電位の研究手法

ある特定の刺激や事象によって引き起こされる脳波は誘発電位と呼ばれ，刺激に対して一定の反応パターンを示す．誘発電位の研究では，頂点同定法と呼ばれる手法が主流である．これは刺激に反応して出現した脳波の頂点成分の潜時や振幅からその認知的意味を考察するものである．頂点同定法では，ある潜時で明確な振幅を示す脳波に反映された脳内処理過程を記述するのに適している．しかし，刺激に対する応答が緩徐に進行するような処理過程の場合，その情報はある時刻における頂点成分ではなく，ある時間帯における脳波の変動として表現されると考えられる．頂点同定法は，このような処理過程を十分に記述できない．

一方，誘発電位を工学的に利用する研究に Brain Computer Interface (BCI) がある．BCI は脳活動によって出現する電気信号を取り出し，その信号を統計的識別手法などにより解析して，身体動作なしでコンピュータや機械の操作を実現しようとする技術である．実用に耐える高い識別精度を実現するため，脳波を用いた BCI ではサポートベクターマシンなど計算論的に高度なパターン認識技術や，独立成分分析，wavelet 解析によるノイズ除去，特徴抽出手法が使われている．

本研究では，聴覚刺激に対する脳波（聴覚誘発電位）についての統計的識別を行うことで，脳波に含まれる情報を定量的に評価し，従来の頂点同定法と相補的に利用できる分析手法の実現を目指す．識別手法として，パラメータ設定などの困難が少なく，専門的知識を持たない人でも容易に使用できるナイーブベイズ法を用いた．

2. 識別手法

2.1. 前処理としての主成分分析の導入

ナイーブベイズ法は入力データ x の各要素に対する独立性が仮定されている．しかし，脳波のような時系列データは時間的に近接した要素間に強い相関がある．そのため，本研究では統計識別の前処理として主成分分析を適用する．

主成分分析は測定された N 次元サンプル

データの分散構造に基づき低次の部分空間に射影変換を行うものである．主成分分析は直交変換であるため，変換後のデータは無相関になる．

脳波データの前処理として主成分分析を行い，寄与率の高い主成分のデータだけを識別に用いることで，ナイーブベイズ法の独立性の仮定にデータを近づけることができる．また，次元圧縮により冗長な情報が削減され，識別性能の向上が期待される．

3. 実験

聴覚誘発電位からナイーブベイズ法を用いて識別器を作成し，その識別性能を調べる実験を行った．

3.1. 脳波計測

被験者は 25 名の成人（男性 12 名，女性 13 名，平均年齢 22.04 歳）で，全員が右利きかつ正常聴覚であった．刺激は 500Hz の純音に対して 8, 16, 32, 64, 128, 256ms の無音が挿入された 6 種類の聴覚刺激（以降，GAP 刺激）を用いた．被験者は防音室内でヘッドホンを着用し，刺激は 2.8s から 3.2s の間隔でランダム順に呈示された．また，被験者は同時にサイレント映画を鑑賞し，音には注意を向けないよう教示された．

脳波は国際 10-20 法に基づき Fz, Cz, Pz, T3 (T7), T4 (T8)，および左右の乳様突起 (M1, M2) の 7 電極から計測した．

基準電極は鼻尖で，電極間抵抗は全て 5k Ω 以下であった．サンプリング周波数 1kHz で測定し，0.16-30Hz の帯域通過フィルタを適用した．

計測後，オフラインで刺激提示前 100ms から提示後 500ms までの 600ms の脳波データを取り出し加算平均した．そして，刺激提示前 100ms の平均電位を全体から差し引いて，それぞれの GAP 刺激に対する聴覚誘発電位とした．

3.2. 識別器の作成

脳波計測によって得られた 1050 サンプル（被験者 25 名 \times 7 電極 \times GAP6 条件）の脳波データを用いて，ナイーブベイズ法による識別器の作成を行った．識別器の作成とテストに用いる脳波データは主成分分析により得られる主成分得点データとした．

識別性能の評価には Leave One Out 法による識別率を用いた。Leave One Out 法ではサンプルデータの一つをテストデータとして除外し、残りを学習データとして識別器を作成する。その後、テストデータを識別器に入力し、正しいクラスに分類されるかを調べる。この手続きを全てのサンプルデータに対して適用することで一般的な識別率の傾向を調べることができる。なお、本手法で前処理に用いる主成分分析も機械学習の一種であると考えられるため、その適用についても Leave One Out 法で行った。

4. 結果

4.1. 主成分分析による識別率の変化

主成分分析により得られた主成分得点データは、寄与率の大きな上位のデータほど多くの情報が含まれる。識別に用いる次元数によって識別率がどのように変化するかを調べるため、次元数ごとの識別率を総当りで求めた。10次元のデータを用いた場合に平均識別率が最大になり、無変換の脳波データ（500次元）を用いた場合の識別率よりも高いことが分かった。また、次元数が多くなると逆に識別率が低くなっていく傾向が見られた。これは、識別に必要な情報の大半が上位10成分ほどに要約され、下位の成分には冗長な情報が残されていることを示唆する。

識別率が最大となる次元数は、分析対象のデータ区間や電極部位ごとに異なっていたが、おおむね10次元程度で最大であった。以後の分析では、同様の手続きによって識別率が最大となる主成分数を求め、その結果を示す。

4.2. 刺激条件による違い

主成分分析とナイーブベイズ法を用いた本手法の識別性能は良好であり、特に128ms, 256ms条件においては80%以上の高い識別率が得られた。また、比較的識別率の低い8ms条件や16ms条件においても40%前後の識別率であり、チャンスレベルに比べて有意に高かった。

識別に失敗したデータの分布を調べると、多くはGAP刺激の無音時間の長さが近い別のクラスに分類されており、8ms, 16ms,

32ms条件で特に顕著であった。これらの条件は刺激どうしの物理的特徴の差が比較的小さいため、識別が困難であったと考えられる。

5. 結論

脳波を用いた統計的識別の識別性能を調べることで、脳波の持つ特徴の分析が可能であることが示された。この手法を頂点同定法と併用することで、ある潜時のピーク成分が出現することを定量的に評価することができる。また、従来手法では検出できない特徴についても、本手法によって検出できる可能性がある。

参考文献

- [1] B. Blankertz, K. R. Muller, D. J. Krusienski, G. Schalk, J. R. Wolpaw, A. Schlogl, G. Pfurtscheller, J.R. Millan, M. Schroder and N. Birbaumer, The BCI Competition III: Validating Alternative Approaches to Actual BCI Problems, IEEE transaction on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, vol.14, no.2, pp.153-159, 2006
- [2] J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller and T. M. Vaughan, Brain-computer interfaces for communication and control, Clinical Neurophysiology, vol.113, pp.767-791, 2002

発表文献

- [1] Inoue, Y., Ogawa, A., Arai, K., Matsumoto, H., Toyomaki, A., Takeichi, H., Omori, T., Koyama, S., Morotomi, T., and Kitazaki, M. (2008) Feature Analysis of Event-related Brain Potentials by Statistical Classification: Application of Naive Bayes Method and Principal Component Analysis to Predicting Auditory Stimuli, 14th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Melbourne, Australia, June 2008. NeuroImage, 41, Supplement 1, S53.
- [2] 井上康之, 小川昭利, 荒井宏太, 松本秀彦, 松寄直幸, 小山幸子, 豊巻敦人, 大森隆司, 諸富隆, 竹市博臣, 北崎充晃(印刷中), 聴覚事象関連電位への神経デコーディングの適用: 統計的識別手法の比較と脳波分析方法としての評価, 基礎心理学研究, 28(1)