

脳波 (EEG) からの認知状態の推定：計算負荷課題

北崎充晃 (第7工学系, 未来ビークルリサーチセンター, 視聴覚コア)

1. はじめに

近年, 新しいヒューマンインタフェースの可能性として, ブレイン・コンピュータ・インタフェース (BCI, Brain Computer Interface) あるいはブレイン・マシン・インタフェース (Brain Machine Interface) が注目されている[1-6]. これらは, さまざまな脳活動を代表する信号を用いてコンピュータや外部機器を操作するインタフェースである. つまり, 脳で処理したあと, 通常インタフェースでは, ユーザーの末梢効果器 (手, 足など) を介してコンピュータや外部機器に命令を送るのに対して, BCI では, 脳から命令を直接外部機器に送る点が最大の特徴である. したがって, 四肢あるいは四肢への運動命令機構に障害をもつ人を対象とした臨床的研究[1]が盛んである. このような場合, 脳などの体内に電極を埋め込む侵襲的なアプローチがとられる. 一方, より将来性のある, 自然なBCIとして非侵襲的なアプローチも脚光を浴びており, 健常なユーザーを対象とし, 頭蓋外から EEG (脳波, 脳電図), EOG (眼電図), EMG (筋電図) 等を計測してコンピュータ・外部機器を制御する研究も行われている. 例えば, バーチャルリアリティ環境内を思考のみで移動する研究が報告されている[6].

BCI 研究における重要な問題の一つは, 脳信号をどうやってコンピュータへの命令信号へと変換するかということである. 多くの場合, 機械学習を用いて適切な変換・判別アルゴリズムを生成する. しかし, バイオフィードバックに見られるように, ヒトには, 自分の生体情報と関連する情報が知覚できるとき, その生体情報の元となる生理活動を変化させる能力がある[7]. したがって, 実装されたBCIをユーザーが利用し続けられれば, ある程度の脳の学習・変化によってその装置の効率はよくなる.

しかし, より一般的なBCIのためには, ヒトの脳の学習に依存しない脳信号の変換の方法を研究することも大切である. Kamitani and Tong [8,9]は, 基礎科学的観点から, mind-reading と称して脳の活動から人間の知覚・認知を読み取る (推定する) 研究を進めている. 彼らは, 健常な被験者の fMRI 信号を用いて, 知覚されている線分の方位を非常に高い精度で推定し, 二つの異なる方位の

線分が重なっているときに注意を向けている方の線分の方位を推定することに成功している.

我々の目的は, 非侵襲な脳活動信号を用いて, 人間の認知状態をリアルタイムに推定する方法を検討することである. 特に, 人の認知負荷の程度あるいは精神集中の度合いを脳波から推定することを目指す.

2. 実験：計算負荷課題による脳波計測

大学院生 3 名 (筆頭著者 1 名を含む) が被験者として実験に参加した. 筆頭著者以外は実験の目的を知らされていなかった. 裸眼あるいは矯正視力によって正常な視力の状態で実験を遂行した.

暗室にて, 幅 40.5 x 高さ 30.2 cm の 22inch CRT モニタ (視角 40.5 x 30.2 deg, 三菱 DiamondtronM2 RDF223G) に視覚刺激を提示した. 刺激は, コンピュータ (DELL Precision Workstation 370 Pentium 4-2.8GHz, NVIDIA QuadroFX1400 グラフィックス) で生成制御した (1024 x 768 ピクセル, 垂直同期周波数 60 Hz). 被験者は, 脳波キャップ (国際 10-20 法) を装着し, あご台に頭部を固定して観察距離 57 cm から刺激を両眼で観察した. 全実験を通して, 観察者の脳 19 部位の EEG を 200 Hz のサンプリングレートで測定し, コンピュータに取り込んだ (Polymate AP1124, AP-U021).

暗黒背景上に注視点 (視角 1 deg 四方の正方形, 赤あるいは緑) のみを 2s 提示した後, 20s 間 1s ずつランダムな 2 桁の数字 (11 から 99, 5 deg 四方の正方形領域に白色で提示) が画面中央に提示された. つまり, 1 セッションが 20s で 20 試行が含まれていた. その後, 暗転 1s の後, 次のセッションが続いた.

セッションは, 計算負荷条件からなるものと統制条件からなるものとして設定した. 注視点の色は計算負荷条件であり, 被験者は声を出さずに 2 桁の数字を加算するように求められた (計算課題). 一方, 注視点の色が緑色の時は統制条件であり, 被験者は計算せずただ数字を見るように求められた (統制課題). つまり, 計算負荷条件と統制条件では, 被験者にとって入力刺激 (数字) は同一であり, 視覚の水準では差がなく, それに計算という認知的処理を行うか否かのみが異なる. 計算

負荷条件セッションと統制条件セッションはカウンターバランスした順序で提示し、各被験者は各条件を繰り返し16回遂行した。

3. 分析: サポートベクターマシンによる認知状態の識別

1セッションのデータ20sのうち、最初と最後の1sを取り除き中央の18sを3分割(各6s)してデータ分析を行った。このデータをFFT(高速フーリエ変換)によって周波数解析し、10帯域(δ 波低0.5-2 Hz, δ 波高2-4 Hz, θ 波低4-6 Hz, θ 波高6-8 Hz, α 波低8-10.5 Hz, α 波高10.5-13 Hz, β 波低13-21.5 Hz, β 波高21.5-30 Hz, γ 波低30-40 Hz, γ 波高40-50Hz)のパワー比を算出した。したがって、1人の被験者につき、2条件(計算負荷、統制)それぞれに、脳19部位 \times 周波数10帯域の計190要因について、16セッション \times 3分割の計48データが得られた(総データ数は、18,240)。

各被験者について、ランダムに選択した半数のデータの190要因(脳19部位 \times 周波数10帯域のパワー比)を学習データとして用いてサポートベクターマシン(Support Vector Machine)による識別器を構築した。同様のパターン識別は、判別分析やニューラルネットなどでも可能だが、ここでは、Kamitani and Tong [8]にならい、比較的般化能力が高いとされるSVMを適用した。

こうして学習したSVMを用いて、学習データ(元データ)、同一被験者の非学習データ、他の2人の被験者のデータ(非学習)を識別し、その成績を算出した。ランダムに学習データと非学習データを分割する方法が全6通りあるので、全てについて分析を行い、正答率が有意に50%チャンスレベルを上回っているかを統計的に検討するために符号検定を行った。

各被験者内で学習したSVMを用いて非学習データを識別する場合には、63-70%程度の正答率が得られた。全て5%危険率で有意であった。したがって、個人内では最初に学習したSVMによって新規のデータからその時の認知状態をある程度推定可能なことが示唆された。しかし、他の被験者のデータを推定しようとするとう識別成績が低下した。

4. 考察

EEGを周波数解析した結果を用いて学習させたSVMによって、同一被験者の計算負

荷状態の識別がある程度可能なことが示された。したがって、最初にキャリブレーションのように認知負荷の高い状態と低い状態を一定時間のみ記録して識別器を構築し、以降の被験者の認知状態を推定し続けることが可能であることが示唆された。一方、ある個人のデータで学習したSVMを他の被験者に適用することは個人差があり困難であった。また、今回のように多数の脳部位について測定することはあまり現実的ではないことから、測定部位数の減少と識別成績の関係の検討、最適な測定部位の特定を今後行う。

文 献

- [1] Birbaumer, N., Ghanayim, N., Hinterberger, T., Iversen, I., Kotchoubey, B., Kubler, A., Perelmouter, J., Taub, E., and Flor, H. A spelling device for the paralysed. *Nature*, 398, 297-298. (1999).
- [2] Mason, S. G., Bohringer, R., Borisoff, J. E., and Birch, G. E. Real-time control of a video game with a direct brain-computer interface, *Journal of Clinical Neurophysiology*, 21(6), 404-408. (2004).
- [3] Mason, S. G., Jackson, M. M., and Birch G. E. A general framework for characterizing studies of brain interface technology, *Annals of Biomedical Engineering*, 33(11), 1653-1670. (2005)
- [4] Wolpaw, J. R., Birbaumer, N., McFarland, D. J., Pfurtscheller, G., and Vaughan, T. M. Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology*, 113(6), 767-791. (2002)
- [5] Birbaumer, N. Brain-computer-interface research: Coming of age. *Clinical Neurophysiology*. [E-publishing ahead of print]. (2006)
- [6] Pfurtscheller, G., Leeb, R., Keinrath, C., Friedman, D., Neuper, C., Guger, C., and Slater, M. Walking from thought. *Brain Research*, [E-publishing ahead of print]. (2006)
- [7] Miller, N. E. Biofeedback and visceral learning, *Annual Review of Psychology*, 29, 373-404. (1978)
- [8] Kamitani, Y. and Tong, F. Decoding the visual and subjective contents of the human brain. *Nature Neuroscience*, 8(5), 679-685. (2005)
- [9] Kamitani, Y. and Tong, F. Decoding seen and attended motion directions from activity in the human visual cortex. *Current Biology*, 16(11), 1096-1102. (2006)