

睡眠ステージ自動判定における 患者の年齢を踏まえた深層学習処理の切替機構の開発

川畑竜平* 堀江和正† 北川博之‡

* 筑波大学情報学群情報科学類 † 筑波大学計算科学研究センター
‡ 筑波大学国際統合睡眠医科学研究機構

1 序論

睡眠不足や睡眠障害といった睡眠に関する問題を解決するには、睡眠の状態を把握することが重要である。一般的に、睡眠の状態は脳波などの生体信号から睡眠ステージ（REM 睡眠など）を特定することで行われるが、この検査には多くの時間と労力を必要とする。検査の省力化を目指し、様々な自動睡眠ステージ判定手法が提案されている。中には、技師とほぼ同等の精度を有する物も存在するが、一部の被験者、特に高齢者の判定精度が安定しなかった [1]。

本問題に関するシンプルな解決方法は、高齢者に特化した判定モデルを開発し、通常モデルと組み合わせることである。実際にこの方法で高齢者の判定結果を安定化させることが予備実験で確認できているが、この方法にも使い分けの手間や必要な学習サンプルが多いといった問題がある。

以上を踏まえ、本研究では1つのモデルで「疑似的に」複数の特化モデルを再現することを考えた。本研究では浅層ニューラルネットの手法である選択的不感化手法を一部変更し、特定のスカラー値に合わせて変化するマスクを作成した。これを用い、患者の年齢に合わせて採用する特徴量を部分的に切り替えることで、1つのモデルで複数の特化モデルを再現することを試みた。

2 睡眠ステージスコアリング

一般的に、医師・技師は以下の手順でステージを判定している。

1. 生体信号の測定・前処理: 患者の脳波、眼電位、筋電位を同時に計測する。ノイズ除去の後、30秒間隔で分割する。
2. 睡眠ステージの割り当て: 医師・技師は各睡眠ステージの判断根拠となる「特徴波」を見つけ出し、

Development of a Deep Learning Processing Switch Mechanism Considering Patient Age in Automatic Sleep Stage Scoring
Ryuhei KAWABATA*, Kazumasa HORIE †, Hiroyuki KITAGAWA ‡

*College of Information and Systems, University of Tsukuba

†Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

‡International Institute for Integrative Sleep Medicine

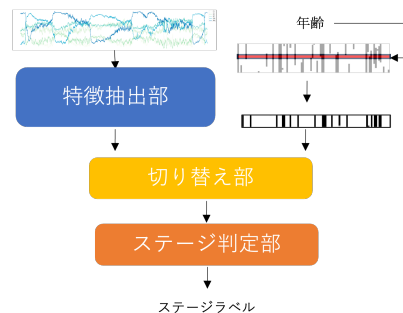


図 1: 提案モデル概要

米国睡眠学会のルールに従って睡眠ステージを割り当てる。

特徴波は年齢によって出現しやすい・しづらいものが存在している。また、明瞭さや高周波成分の有無など波形自体にも影響があり、これが高齢者のステージ判定が安定しない要因となっている。従って、検出する特徴波や形状を被験者の年齢に合わせて切り替えることができれば、1つのモデルでも対応できると思われる。

3 選択的不感化

選択的不感化は浅層ニューラルネット向けの特徴抽出手法の一つであり、パターンコーディングと不感化操作の2つからなる。パターンコーディングはある特定のスカラー値を1、-1からなる2値パターンに変換する手法で、スカラー値を量子化した後、各値に対応するパターンを隣接するパターンが似通う様で作成する。選択的不感化は、2つのコードパターンがあるとき、一方の値に合わせてもう一方をマスク (element を0にする) 操作である。本研究では患者の年齢に対してパターンコーディングを行い、抽出した特徴量に対して不感化する。

4 提案手法

モデルの詳細は紙面上の都合で割愛する。今回使用するモデルは、特徴波の検出を行う特徴抽出部、年齢

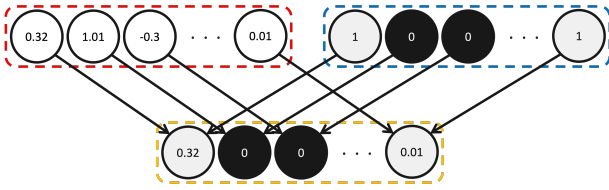


図 2: 不感化部の概要。抽出特徴とマスクを掛け合わせ、特定の特微量を 0 とする。

	年齢なし	年齢あり	提案手法	ランダム
fold0	0.8288	0.8461	0.8523	0.8279
fold1	0.8291	0.8441	0.8435	0.8274
fold2	0.8359	0.8326	0.8371	0.8131
fold3	0.8484	0.8421	0.8568	0.8409
fold4	0.8520	0.8524	0.8561	0.8391
平均	0.8388	0.8435	0.8492	0.8297

表 1: 年齢の入力を変えたモデル間での評価結果

に合わせて採用する特微量を選択する不感化部、不感化後の特微量からステージを判定するステージ判定部の3つで構成される。

手法の肝となるのはコードパターンの作成方法である。年齢が異なっても特徴波の大きな要素（ピーク周波数など）はさほど変化がないことから、本研究では全年齢が共通して利用できる特微量を多めに設定した。具体的には、各コードパターンは、その素子の8割が1、2割が0とし、隣り合うパターンは1,0の要素が1つつ異なるようにしている。

先述のように、このようにして作成したパターンをマスクとし、96種類ある特微量の値を強制的に0とすることで、考慮する特微量を切り替えている。

5 評価実験

5.1 実験設定

不感化を行わないモデル（年齢無し）、年齢をスカラー値として入力するモデル（年齢あり）、ランダム値に合わせて不感化を行うモデル（ランダム）、年齢に合わせて不感化するモデル（提案手法）の判定精度を比較する。なお、各モデルの構造は同じとした。

実験には6歳から88歳までの被験者735人分の脳波（6チャンネル、サンプリング周波数125Hz）が含まれているCFSデータセットを使用した[2][3]。各モデルの学習には、200Hzでリサンプリング・30秒ごとにz正規化を行ったCFSデータセット70名分を用い、5交差検証を行った。

年齢ありモデルでは、年齢を $\min(80, age)/80$ で正規化して入力を行い、ランダムモデルでは、その要素の8割が1、2割が0となる96次元のランダムなベクトルを年齢の入力としている。

評価指標には判定技師との一致率を Accuracy として用いた。

5.2 提案手法の有効性の評価

上記の条件で評価を行った結果を表1に示す。実験結果から、年齢を入力するモデルはそれぞれ年齢を入力しないモデルよりも平均的な Accuracy が高いことが明らかになった。これは、年齢を入力することでモデルの性能が向上することを示している。

さらに、「年齢あり」モデルと比較し提案手法の方が平均的な Accuracy が高く、提案手法はランダムな入力を用いるモデルよりも高い精度を示している。これは、コードパターンを用いて処理を切り替えることで、各年齢層の特徴をより効果的に捉えることができていることを示している。

6 結論

本研究では、年齢差を考慮した深層学習処理の切り替え機構を開発した。また評価実験から、年齢の入力はモデルの精度の向上に寄与し提案手法は年齢をスカラーで入力する手法より精度が改善することを確認した。

本論文では睡眠時脳波の個人差として年齢差に注目し実験を行ったが、今後は睡眠時無呼吸症候群の重症度を利用したモデルの訓練・評価を行う予定である。

7 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP23K16988、JP22K19802、AMED JP21zf0127005 による。

参考文献

- [1] Horie, K., Ota, L., Miyamoto, R., Abe, T., Suzuki, Y., Kawana, F., Kokubo, T., Yanagisawa, M., Kitagawa, H., “Automated sleep stage scoring employing a reasoning mechanism and evaluation of its explainability” Sci Rep 12, 12799 (2022).
- [2] Zhang GQ, Cui L, Mueller R, Tao S, Kim M, Rueschman M, Mariani S, Mobley D, Redline S. “The National Sleep Research Resource: towards a sleep data commons” J Am Med Inform Assoc. 2018 Oct 1;25(10):1351-1358. doi: 10.1093/jamia/ocy064. PMID: 29860441; PMCID: PMC6188513.
- [3] Redline S, Tishler PV, Tosteson TD, Williamson J, Kump K, Browner I, Ferrette V, Krejci P. “The familial aggregation of obstructive sleep apnea” Am J Respir Crit Care Med. 1995 Mar;151(3 Pt 1):682-7. doi: 10.1164/ajrccm/151.3.Pt.1.682. PMID: 7881656.