4Q-02

ランダムフォレストによる眼球指標からの覚醒度合いの推定

高島 聡[†]　阿部 高志[‡§]　堀江和正[¶]

†筑波大学情報学群情報科学類　‡筑波大学国際統合睡眠医科学研究機構

§宇宙航空研究開発機構　¶筑波大学計算科学研究センター

1. 序論

覚醒度とは,どの程度はっきりと目が覚めているかという生理的な喚起状態のことを言う.覚醒度の低下は，交通事故や工場でのオペレーションミスなど重大なミスにつながりうる．覚醒度を監視・管理し，運転者や作業者へ注意喚起を行うことができれば，これらのミスの削減につながると考えられる.

行動に現れる覚醒度合いを客観的に評価するゴールドスタンダードな方法として,精神ヴィジランス課題(PVT:Psychomotor Vigilance Test)がある.これは,ディスプレイなどに表示される視覚刺激に対する反応速度を計測するもので,この反応速度により表１のように覚醒度が分類される[1,2].しかしながら PVT は,覚醒度測定のためにディスプレイを見続けなければならず,何らかの作業中（運転や機械作業中など）に計測を行うことができない． そのため,PVT を行うことなく,PVT の成績を推定する手法が必要となる.

この課題を解決するために,2020 年に Abe ら[1]は瞼の開き具合,サッケードといった眼球指標から PVT の成績を推定する手法を開発した.本手法では,眼球指標と PVT 成績のカテゴリ(表 1)出現確率を,ベイズを元に推定,最尤となるカテゴリラベルを出力する.我々が行った再実験においても,３値分類で 73.1%の精度を示した.

しかしながら,Abe らの手法では,Intermediate クラスの判定精度においてまだ十分な精度出ていないこと（sensitivity:70.3%），３つのカテゴリに大別しており,覚醒度合いの詳細さが低いことなどから,早期の覚醒度低下の検出が困難であるという問題があった．ミス防止のための注意喚起という応用を目指すのであれば，なるべく早期に覚醒度の低下を検出できることが望ましい.

そこで本研究では，特に早期の覚醒度低下をターゲットとした新しい覚醒度判定手法の開発を目的とし，機械学習を用いて眼球指標から PVT 値そのものを推定する回帰モデルを開発した.

表 1　PVT 成績における覚醒度の基準

覚醒度の基準	反応速度(1/s)
Fast	3.34 ~ 5.0
Intermediate	2.0 ~ 3.34
Slow	~ 2.0

2. 提案手法

本研究では,計算量が少なくかつ非線形関係のモデル化が可能なランダムフォレスト[3]（以下，RF）をモデルとして採用し，眼球指標（表２）から，PVT 値を推定するモデルを開発した.

早期の覚醒度低下（Intermediate）について,眼球指標が Fast とあまり差がない一方で,重度の覚醒度低下(slow)とは大きな差がある傾向が見られ,眼球指標の変化が非線形であることから,RF を用いることで上手に学習することを期待した.なお,本研究ではリアルタイムの推定ではなく,一定時間の眼球指標に対して１つの PVT 値を割り当てる手法を開発した.

本提案手法では,まず作業中の被験者の眼球指標(表 2)をアイトラッキングカメラ,眼電位から計測する.なお,一部の眼球指標については,カメラ画像から人手で計算している.本項目の自動化は今後の研究課題とさせてほしい.計測された眼球指標は,一定時間内での平均値などに集約した.集約した値を 0 から 1 の間に,式(1)により正規化し,RF への入力とした.RF は,パラメータは木の深さ:7,バギングのための決定木数:20 とした.

$$x_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

Alertness estimation from multiple eye metrics using random forest

Satoshi Takashima[†], Takashi Abe[‡§], Kazumara Horie[¶]

† College of Information Science, University of Tsukuba

‡ International Institute for Intergrative Sleep Medicine, University of Tsukuba

§ Japan Aerospace Exploration Agency

¶ Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

Copyright ©2021 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

表 2　眼球指標

眼球指標(9つ)
PERCLOS(開度20%未満の時間の割合)
PERCLOS(開度30%未満の時間の割合)
瞬き回数
瞬目時間の割合
瞼の開き具合平均
瞼の開き具合標準偏差
マイクロサッケード比
サッケード持続時間
サッケード持続時間(マイクロサッケードなし)

3.　評価実験

36 時間の断眠実験中に計測された眼球指標と,PVT 検査結果を用いて評価実験を行った.被験者は健康な成人男性 16 名であり,15 名分のデータで学習,残り 1 人のデータでテストを行う 15 分割交差検証を実施した.また,判定区間は 5 分をデフォルトとし,1,2,4,10,　20 分に変化させた場合の精度変化についても検証した.正解の PVT 値は,PVT 値の判定区間内の中央値とした.これと推定した PVT 値との Root Mean Squared Error(RMSE)と相関係数を用いて精度検証を行っている.

3.1.　実験結果

提案手法による実験結果を表 3 に示す.サンプル全体に対する RMSE は 0.411, 計測した PVT の最大値が 5 であることや,カテゴリの反応速度レンジは 1.3 から 2 であったことを踏まえると,比較的良好な推定結果と言えよう.また,相関係数も 0.8 と高い数字を示している.まだ改善の余地は十分に残されているものの,現時点でも従来手法よりも精度・詳細さの面で優れていると思われる.

次に Intermediate クラスに該当される軽度の覚醒度低下サンプルおける結果を見ると,相関係数に関して,全体に比べると精度が下がっている(0.66).しかしながら,RMSE に関しては,こちらも高い精度(0.362)を示している.

時間区切りに対する精度の変化を見てみると,サンプル全体としては時間長によらずに比較的一定の精度を示したのに対して,Intermediate のサンプルについては時間長と精度の関連が強そうであった.　また,時間区切りが短くなればなるほど,精度が低下していることが確認できた.PVT 検査自体も,覚醒度以外の要因が多分に含まれていることが考えられる.軽度の覚醒度低下の時点では PVT と覚醒度の関連が弱い可能性も考慮すべきかもしれない.

表 3　RF による反応速度推定結果

	全体		Intermediate	
エポック(min)	相関係数	RMSE	相関係数	RMSE
1	0.74	0.539	0.48	0.48
2	0.77	0.475	0.58	0.421
4	0.78	0.446	0.62	0.411
5	0.8	0.411	0.66	0.362
10	0.78	0.399	0.71	0.352
20	0.78	0.373	0.73	0.318

4.　まとめ

本稿では,RF による眼球指標を用いた PVT 成績を推定する手法を提案した.評価実験の結果,実際の PVT テストの結果を精度よく(RMSE:0.411,相関係数:0.8)推定することが確認できた.早期の覚醒度低下についても長い時間長(20 分)では高い精度を示した(RMSE:0318,相関係数:0.73).

しかし,時間長が短くなるにつれ,RMSE,相関係数ともに評価が低下してしまった.これは短い時間単位でデータを集約することによって,欠損値・外れ値の影響が大きくなってしまったためであると考えられるが,特に Intermediate の結果については他の要因も含まれている可能性を考慮する必要がある.

実用化のためには短い時間単位において早期の覚醒度低下が高い精度で検出できる必要がある.今後は,短い時間単位においても高い精度で反応速度を推定できるモデルを開発することを検討していきたい.

参考文献

[1]Abe, T., Mishima, K., Kitamura, S., et al.: Tracking intermediate performance of vigilant attention using multiple eye metrics, Sleep. Vol 43, No. 3, pp.1-17(2020)
[2] Banser, M., Mcguire, S., Goel, N., et al.: A new likelihood ratio metric for the Psychomotor Vigilance Test and its sensitivity to sleep loss, J Sleep Res. Vol 24, No. 6, pp.702–713 (2015).
[3]Breiman, L.: Random Forests, Machine Learning, Vol. 45, No. 1, pp.5–32 (2001).

Copyright ©2021 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.