

J-022

眼球・頭部運動を用いた作業者の状態推定に及ぼすサンプリングレートの影響

Effect of Sampling Rate on State Estimation of Workers Using Eye and Head Movements

小林賢司[†], 山中 仁寛^{††}

Kenji Kobayashi and Kimihiro Yamanaka

1.はじめに

様々な作業をマルチタスクに遂行する作業者の状態を推定できれば、作業者の余裕がなくなった際に、休憩や交代を促すことができ、ヒューマンエラーに起因する事故を未然に防止することができる。先行研究[1]では、作業者の有効視野サイズを推定することで状態を評価可能であることを明らかにしている。有効視野を用いた状態推定に関する研究では、ドライバの眼球運動関連指標を機械学習に適用させることで、運転余裕度を約85%の精度で推定することに成功している[2]。しかしながら、この研究では、実験に用いている視線計測装置のサンプリング周波数が250Hzと高く、コストの問題で実用化が困難であるという課題がある。

本研究では、先行研究[2]と同様の実験環境下で、ドライビングシミュレータ(以下、DS)運転中の眼球・頭部運動を計測し、得られる眼球運動関連指標を、機械学習へ適用することでドライバの運転余裕度を推定する。実験では、サンプリング周波数が500Hzの視線計測装置を使用し、得られた眼球運動データを125Hz, 250Hzでリサンプリングする。3種類のサンプリング周波数で抽出した眼球運動関連指標を、それぞれ機械学習に適用することで、ドライバの運転余裕度推定精度とサンプリング周波数の関係を明らかにすることを目的とする。

2.実験概要

被験者は、主課題としてDS(HONDA, DA-01)により市街地コースの走行を行う。走行中の眼球運動を接触型視線計測装置(SR Research, EYE-LINK II)で、頭部運動をジャイロセンサ(Micro Stone, MP-G3-00B)により、それぞれ250Hzのサンプリング周波数で計測した。また、メンタルワークロード(以下、MWL)を変化させることを目的に、被験者には副次課題として3段階の数的課題を課した。3段階の数的課題は、先行研究[3]を参考に、すべての間に難易度に差があることがわかっている「0-back」、「2-back」、「3-back」のN-Back課題とした。本実験では、この3種類の数的課題が実験条件となる。さらに、各実験終了後には、MWLの主観的評価アンケートであるNASA-TLX[4]に回答してもらった。

[†] 甲南大学 大学院, Graduate school of Konan University

^{††} 甲南大学, Konan University

被験者は、運転免許を有する健康で、視力が裸眼もしくは矯正で0.7以上の大学生男女9名(20-23歳)を対象とし、数的課題の実施順序は被験者ごとにランダムとした。なお、被験者には事前に十分な説明を行い、同意を得た。

3.実験結果

図1に、主観的評価であるNASA-TLXから得られるAWWL得点の結果と数的課題の関係を示す。図は縦軸がAWWL得点、横軸が数的課題であり、全被験者の平均と標準偏差で示している。AWWL得点は、値が大きいくほど被験者の精神的負担感が高い、すなわちMWLが高いことを示す。図より、先行研究[3]と同様、数的課題の難易度が上昇するに伴い、統計的にもAWWL得点も高くなっていることから、本実験では、被験者のMWLを適切にコントロールできていることがわかる。

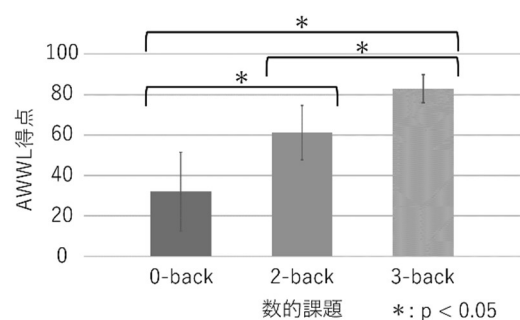


図1 アンケート結果と数的課題の関係

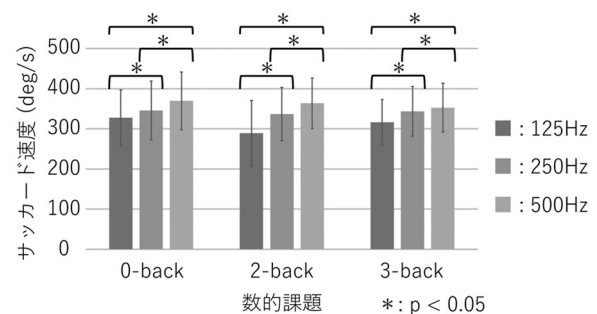


図2 サンプリング周波数と眼球運動関連指標の関係

図2には、サンプリング周波数と眼球運動関連指標の1つであるサッカード速度の関係を一例として示す。図中の値は、全被験者の平均と標準偏差であり、この値を特性値とした二

元配置分散分析(要因は、サンプリング周波数と数的課題)を実施した。その結果、サンプリング周波数が影響因子であることが明らかとなった($p < 0.05$)。図と分散分析の結果より、いずれの数的課題においても、サンプリング周波数(125Hz, 250Hz, 500Hz)によって、抽出される関連指標の値も異なることがわかる。このことから、機械学習に適応し余裕度を推定する際の精度についても、サンプリング周波数によって異なる可能性が考えられ、推定精度を確保するための最低限のサンプリング周波数を明らかにする必要がある。

なお、本研究では、サッカー関連指標抽出に際して、眼球回転角速度が30°/s以上、眼球回転角が3.5°以上、かつ1つ前のサッカーととの間隔が170ms以上を有している眼球運動をサッカーと定義した。

4.機械学習への適用結果と考察

実験により得られた眼球運動関連指標を機械学習に適用し、運転余裕度推定を行う。本研究では、先行研究[2]を参考に機械学習手法としてサポートベクターマシン(以下、SVM)を採用し、各サンプリング周波数(125Hz, 250Hz, 500Hz)で抽出した眼球運動関連指標を説明変数として運転余裕度の推定精度を比較した。SVMでの解析条件として、カーネルはRBFカーネルを採用し、ハイパーパラメータはグリッドサーチによりCと γ のチューニングを行った。

目的変数として、主観評価の結果からMWLに差があることが明らかとなった数的課題条件の0-back, 2-back, 3-backの多値分類を行った。一方、説明変数については、実験結果から抽出した全ての眼球運動関連指標を用いて、主成分分析による選定を行った。固有値が1.0以上の変数候補を選択したところ、表1に示す4つが説明変数として採用された。

なお、本研究の解析では、各データセットの75%を学習用データ、残る25%を評価用データとし、ランダムに採用した学習・評価を4回繰り返し、その平均値を分類精度とした。

表1 説明変数の内容

説明変数	内容
サッカー速度	サッカー運動時の最大速度の平均
サッカー時間	サッカー運動に要する時間の平均
サッカー距離	サッカー運動による回転距離の平均
瞬目回数	1分間に瞬目した回数

表2に、各サンプリング周波数で抽出した説明変数を用いた場合の結果(適合率、再現率、正確率)を示す。表より、サンプリング周波数が250Hz, 500Hzでは、正確度が85%以上と高い推定精度で分類可能であることがわかる。この結果は、先行研究[2]の結果と同様でありサンプリング周波数が250Hz以上であれば、余裕度の推定精度は確保できると考えられる。

一方、サンプリング周波数が125Hzの場合、正確度は約60%と低い結果となった。このことから、サンプリング周波数が125Hzの眼球運動計測環境では、余裕度の推定精度を十分確保することは難しいと考えられる。

しかしながら、本研究での説明変数として採用した眼球運動関連指標は全て生値を用いている。眼球運動は個人差が非常に大きいことから、被験者ごとに標準化するなど個人差を排除したデータを用いることで低いサンプリング周波数での眼球運動計測環境においても余裕度の推定精度を向上できる可能性が考えられる。また、頭部運動関連指標も機械学習の説明変数に加えるべきと考えている。これらについては、今後の課題である。

表2 各サンプリング周波数の機械学習適用結果

	125 Hz	250 Hz	500 Hz
適合率	0.656	0.900	0.911
再現率	0.618	0.887	0.858
正確度	0.593	0.857	0.857

5.まとめ

本研究では、眼球運動関連指標を用いたドライバの運転余裕度推定精度と眼球運動計測におけるサンプリング周波数の関係を明らかにすることを目的に実験を実施した。その結果、眼球運動計測におけるサンプリング周波数が250Hzまでは運転余裕度推定精度が85%以上と高い推定精度を確保できた。一方で、125Hzでは推定精度が約60%と低い結果となった。

謝辞

本研究の一部は、私立大学等経常費補助金「大学間連携等による共同研究」の支援を受けたことを付記し深謝する。

参考文献

- [1] 三浦利章, 運転時の視覚的注意と安全性, 映像情報メディア学会誌, Vol.61, No.12, pp.1689-1692 (2007).
- [2] 森島圭祐, 浦宏, 茅原崇徳, 山中仁寛, 大本浩司, 自動車運転におけるドライバーのメンタルワークロード推定, JCOSSAR 2015論文集, pp.444-449 (2015).
- [3] 小林賢司, 山中仁寛, 二重課題法によるワークロード評価のための副次課題難易度の定量化, 人間工学, Vol.55, Supplement, p. 2D3-2 (2019).
- [4] 芳賀賢, 水上直樹, 日本語版NASA-TLXによるメンタルワークロード推定—各種室内実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度, 人間工学, Vol.32, No.2, pp. 71-79 (1996).