

生体信号を用いたドライバーの状態推定 及び覚醒手法による状態 フィードバックシステムの開発

Development of State Feedback System by Driver's State Estimation Using Biological Signals and Awakening Method

電気電子情報通信工学専攻 都築 優孝

Department of Electrical, Electronic and Communication Engineering Yutaka TSUZUKI

1. 緒言

1.1 背景

近年、衝突被害軽減ブレーキや、車線逸脱警報装置などの機能を搭載した先進安全自動車（ASV）の開発が進んでいる。そのため、自動車の性能は急速に向上しており、交通事故は年々減少傾向にある。しかし、脇見運転や漫然運転、居眠り運転といった、ドライバーのヒューマンエラーに起因する交通事故は減少傾向にあるもの、全体を占める割合は増加傾向にある。このような交通事故を減らすためには、ドライバーの状態を無意識下でセンシングし、ドライバーの状態に応じたフィードバックを行う必要があると考える。運転中のドライバーに眠気が生じることが関連研究からも報告されており、眠気は環境の単調さ、病気や疲労、睡眠不足、薬の副作用など様々な要因によって生じる。この問題の対策として、ドライバーの生体信号から眠気を推定し、ドライバーの覚醒水準が運転に支障をきたす前に適切なフィードバックを行い、ドライバーの覚醒水準の維持・改善を図る必要があると考える。

1.2 研究目的

本研究では、人間の状態を判断するために、眠気が現れやすい顔表情を用いてドライバーの眠気推定を行う。そのために、車内環境を想定したセンサシステムの開発を行う。覚醒手法としては、アロマ等を用いて嗅覚を刺激する方法や、音や光を用いてドライバーの視覚や聴覚を刺激する方法などが挙げられるが、車内空間での実現性や即応性に欠けることや、更なる事故を誘発する可能性が懸念される。そこで、振動刺激に着目した。状態推定の結果、ドライバーの覚醒水準の低下がみられた場合、予めシートに搭載してあるボイスコイル型振動子を用いてドライバーに振動を与え、振動刺激によって眠気の覚醒及び覚醒水準の制御を行う。以上のように、自動車内でドライバーの生体信号を簡便に取得するためのセンサシステム、センサシステムから得られた生体信号を用いた状態推定、状態推定の結果を踏まえた状態フィードバックシステムの3つのシステムを複合させた状態推定・状態フィードバックシステムの開発を行う。

2. 生体信号と眠気の関連性

2.1 心電図

心臓は1分間に70回、1日に約10万回、収縮・拡張を繰り返して全身に血液を送り出している。このポンプの働きは、1回ずつ電気的な興奮が心臓に起こり、それが引き金となることで心臓の筋肉（心筋）が収縮し、興奮がさめると拡張することを一生繰り返している。この電位変化を体表面に貼り付けた電極によって波形として

捉えた生体信号が心電図であり、不整脈や心疾患の診断に活用される。心電図から算出される RR 間隔は一定の間隔ではなく、常に揺らいでおり、眠気が発生した場合、RR 間隔が増加することが生理学的知見として広く知られている。福島らは眠気推定関数を提案し、RR 間隔を用いて眠気の強さや睡眠中かどうかを推定できることを示した。

2.1.1 瞬き及びあくび

顔表情、特に目や口の動きは眠気を捉えるうえで重要な指標であることが関連研究より明らかになっている。眠気が発生したとき、上瞼が下がり、瞬目における振幅が低下することや、閉眼時間が増加することが知られている。北島らは自動車運転中の眠気の変動を顔表情を用いて評価し、眠気の主観評価である MWS と比較した際に、提案手法の妥当性を示している。また、あくびは覚醒努力を示す有用な生理指標の 1 つである。関連研究において、ストレスと関連のあるホルモンがある程度発生した際に、ストレスを軽減するためにあくびが発生すると述べられている。特に、覚醒努力の際は、眠気に拮抗して覚醒状態を維持しようとするため、強いストレスが生じるため、あくびは覚醒努力を評価するための指標の 1 つとして用いられる。

3. 赤外線カメラによる顔表情取得センサ

今回私が用いたのは Google 社が公開したモデルである FaceMesh である [1]。これは、画像またはビデオストリームからおおよその 3D 顔面ジオメトリを推測し、深度センサーを必要とせずに 1 つのカメラ入力のみを必要とするものである。このジオメトリは、唇の輪郭や顔のシルエットなどの詳細を含む、顔内の目、鼻、唇などの特徴を特定する。このモデルでは瞬きの動きに合わせて目の輪郭が変化することではなく、固定されている。そのため、Iris という学習済みモデルを使用した。これは、目のみの画像を入力することで詳細な瞬きの動きを検出することができる。

処理としては、目の横幅を取得する。そのあと目じりと上下瞼の中心座標より目の中心座標を算出。その座標から目じり間の距離の二倍の範囲内の区画を切り出す。また、顔の検出精度がよいため、目の向きが通常とは大きく異なる可能性がある。そのため、両方の目じりの点での角度を算出する。通常両目じりの角度は 0 であるため、角度が 0 になるように回転する。

パラメータの算出には EAR という方法を採用し、これを用いて瞬き値に変換する。

$$EAR = \frac{|P_2 - P_6| + |P_3 - P_5|}{2|P_1 - P_4|} \quad (1)$$

4. 深層学習を用いた眠気推定手法の評価

4.1 モデルの構築と学習準備

今回学習に用いるのは目の動きに関するデータである。目の動きに関するデータのみを用いた理由としては、特徴量が増えすぎるとモデルの学習に悪影響を与えると考えたためである。また、一般的に状態推定などの分野でディープラーニングを用いる際、多人数の生理データが使用される。しかし、これには問題がある。それは、生理指標は個人差が非常に大きいからである。特に、覚醒状態の低下と共にこれらの発生条件も個人ごとに変化がある。そのため、似た特性を持つ被験者のデータのみを採用したり、異なる特性を持つ被験者のデータがノイズとなり、良好な学習の妨げになることが知られている。

そのため、今回は被験者一人分のデータのみを採用することで学習を行った。データ収集としてドライビングシミュレーターを使用して、一回一時間の実験を、朝 2 回、昼 4 回、夜 4 回の合計 10 回おこなった。

今回使用するの、眠気の実値は被験者の顔表情動画を第三者が観察して眠気段階を評価する顔表情評価により得る。顔表情による客観的眠気評価の妥当性については関連研究においても十分述べられており、VASなどの主観的眠気評価に比べて有用な評価指標である [2]。

今回は、畳み込み層を用いる CNN を使用した。畳み込み層は通常画像処理の分野で用いられるが、時系列データの解析にも用いられる。時系列データの解析では、畳み込み層のフィルターサイズを大きくすると波形のピークなどの特徴量の検出ができ、小さくすることで、低周波領域の抽出が可能となる。また、複数の連続する畳み込み層を実装することで、特徴マップの形成精度が向上することが知られている。

しかし、これだけだと過学習を引き起こしてしまう可能性があるため、本研究では、ドロップアウトやバッチノーマライゼーション、L2 正則化を実装した。更に、活性化関数というものも実装した。これは、Relu を選択した。

データについても問題点があり、正解ラベルの数に偏りがあった。これはデータ不均衡問題と呼ばれ、数の多いラベルにモデルの精度が依存してしまう。そのため、SMOTE と呼ばれるデータのオーバーサンプリング手法を導入し、トレーニングデータにおいてラベルごとの偏りをなくした。

また、重要な要素としてデータに標準化を行った。ニューラルネットワークでは基本的に確率的勾配降下法を用いる。これは損失関数を最小化する方向に重みを更新していく手法である。しかし、正規化や標準化を行わない場合には最小化する方向から大きく外れた方向に重みが更新されてしまい、学習に時間がかかることがある。また、スケールの異なるパラメータを使用する場合にスケールの大きなパラメータが影響を与えてしまう。このようなことを防ぐため、標準化を行う。

4.2 結果と評価

今回データセットの 8 割を学習用データとしてに用い、残りの 2 割を検証用データ、テストデータに用いた。また、最適化アルゴリズムには Adam を使用した。

覚醒段階の分類精度は検証データ値より引用した。その結果、87.5%であった。他にもいくつかのモデルを実装したが、提案手法よりも精度が出たものはなかった。

この結果になった要因としては、個人差の偏りがなくなったこと、眠気の発生という不規則なものを均等な状態で正しく評価できたこと、CNN モデルにより、時系列としてではなく、実際のラベル付のように入力データのみ依存した判別をできたことが考えられる。

5. ドライバーの生体情報を用いた振動による覚醒システムの実験

5.1 RRI と PI 制御に基づく振動刺激を用いた覚醒手法

フィードバックする種王として振動を使用した。振動には覚醒振動として単音スイープ音 (周波数:20~200Hz, 吹鳴・休止間隔:500ms) と、60Hz の矩形波を採用する。また、矩形波は、PI 制御を使用し、入力される RRI の値に応じて、振動子の振幅を決定した。この時、事前にパラメータの調整を行い、その結果 100 や 0 を超える値はそれぞれ 100 と 0 にした。

5.2 提案システムの概要

提案するシステムは、本論文で提案したセンサシステムと状態推定モデル、フィードバック手法を用いて行う。まず、センサシステムについてだ。容量結合型心電計測計とカメラセンサはそれぞれ別々の PC によって取得される。容量結合型心電計測計より取得された心電図データは PC 上で RRI データへと変換される。その後、解析用 PC へと UDP 通信を用いて送信される。次にカメラセンサである。こちらも取得後専用 PC 上で解析処理

を行い、状態推定間隔と同じ1分ごとにUDP通信で送信される。目の動きのデータを受け取ったら、データ欠損値の処理とリサンプリングを行い、学習に使用したデータセットと共に標準化処理をかける。その後、判別するデータのみを使用し状態推定を実行する。その値とRRIデータをもとにフィードバックシステムを起動する。PI制御により決められたボリュームへと変換され、振動デバイスへと送信する。

5.3 実験と評価

実験は健常な23歳の男性2名を対象にそれぞれ1回ずつ行った。運転はドライビングシミュレーターを使用した。実験時間は、居眠り運転による事故の発生が多いとされている昼13時ごろから実験を開始し、実験前にはカフェインの摂取を控えてもらうよう予め被験者に依頼した。実験では30分間ドライビングシミュレーター上のコースを速度80~100kmに収まるよう走行した。また、実験中に強い眠気が生じた場合にも運転を続行し、目を覚ますような動作は控えてもらうよう予め被験者に依頼した。

実験結果を図1、図2にそれぞれ示す。それぞれオレンジ色が真値、青色が状態推定値を示す。実験結果から、被験者の眠気を高い精度で推定できていることがわかる。以上の結果から、被験者の生体信号を用いた状態推定によって被験者の覚醒水準の低下を推定し、振動刺激によって覚醒水準の改善ができる可能性を示唆した。

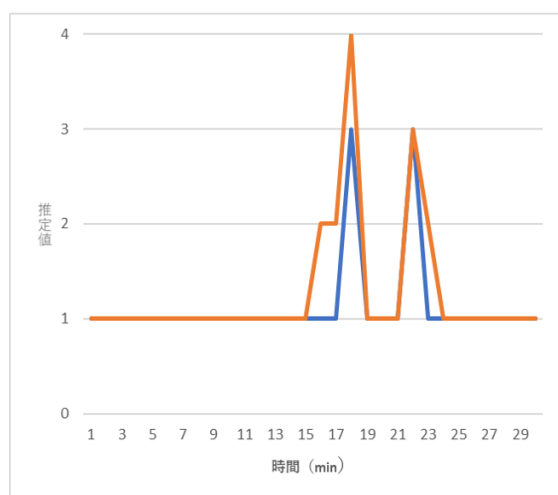


Fig. 1: 実験結果：被験者 1

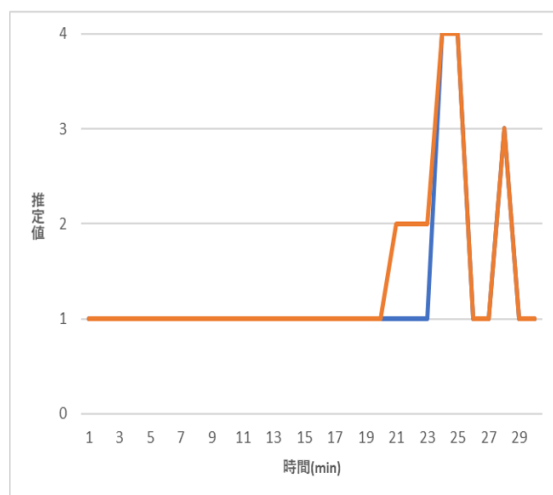


Fig. 2: 実験結果：被験者 2

6. 結言

本研究では車内環境を想定した、生体信号を取得するためのセンサシステム、生体信号を用いた状態推定アルゴリズム、振動刺激による状態フィードバックシステムの開発を行った。車内環境を想定して開発したセンサシステムは、生理計測装置と比較しても精度良く生体信号を取得できることを確認した。また、評価実験より、開発した状態推定アルゴリズムによって高い精度で覚醒状態の推定ができ、状態推定結果に基づいた状態フィードバックによって、覚醒水準の改善ができる可能性を示唆した。

参考文献

- [1] Yury Kartynnik, Artsiom Ablavatski, Ivan Grishchenko, Matthias Grundmann, Google Research: “Real-time Facial Surface Geometry from Monocular Video on Mobile GPUs” 1600 Amphitheatre Pkwy, Mountain View, CA 94043, USA
- [2] 大須賀 美恵子, 鎌倉 快之, 井上 裕美子, 野口 祥宏, ノプスワンチャイ ルーングロシュ: “ドライバの覚醒状態推定”, 自動車技術 62(12), pp46-52, 2018