

車載における覚醒フィードバックシステムに関する研究

Research on Arousal Feedback System in Vehicle

電気電子情報通信工学専攻 荒井 隆也

Takaya ARAI

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検知し、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 目的

本研究ではドライバーの覚醒水準の維持・改善を目的としたフィードバックシステムの開発を行う。ドライバーの眠気検知には心電図を用いる。近年、車内でドライバーの心電図の R 波が非接触で取得可能なシート型センサの開発が進んでいる。今後、車内において R 波を非接触で高精度に取れることが予想されるため、眠気検知に用いる。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。眠気検知の結果、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、車内でドライバー心電図から眠気検知を行い、眠気検知結果を踏まえた状態フィードバックシステムを複合させた眠気検知・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係性

2.1 心電図

Fig. 1 に心電図の波形を示す。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、眠気が増加するとき、RR 間隔が長くなるのが生理的知見として広く知られている[1]。

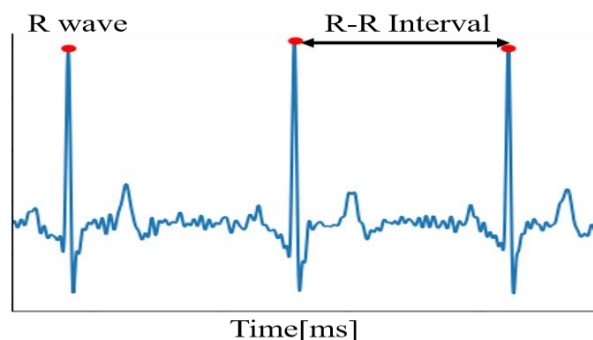


Fig. 1 心電図波形

2.2 心拍変動特徴量

心電図の R 波の間隔を RRI(R-R Interval)と呼ぶが、そこから算出可能な特徴量が心拍変動特徴量である。心拍変動特徴量は大きく分けて 2 種類あり、時間領域特徴量と周波数領域特徴量が存在する。時間領域特徴量は RRI

から直接算出可能な指標であり、代表的なものとして RRI の平均、標準偏差、隣接する RRI の 2 乗平均平方根、RRI の分散、隣接する RRI の差が 50ms 以上のペアの数の 5 種類が挙げられる。周波数領域特徴量は RRI のパワースペクトルを算出する指標であり、代表的なものとして 0.04Hz~0.15Hz のパワースペクトルである LF、0.15~0.4Hz のパワースペクトルである HF、その 2 つのバランスを表す LF/HF の 3 種類が挙げられる。本研究では以上の 8 つの心拍変動特徴量を用いて眠気の検知を行う。

3. 振動刺激と感覚受容器

3.1 振動刺激による覚醒

人には心地良いと感じる周波数、不快と感じる周波数、刺激的と感じる周波数がある。心地良いと感じる振動は 20~80Hz である。不快だと感じる振動は 10Hz 以下の 4~9Hz の周波数である。この周波数帯域は、人体の内臓の共振周波数と近く、筋緊張とストレスから心拍数が上昇する。また、刺激的だと感じる振動は 80~300Hz 程度の高い周波数であり、覚醒や緊張感をもたらす効果があることが報告されている。

また、単調的な振動より断続スイープ音を用いたほう覚醒効果が大きいという結果が出ている[2]。スイープは下降系より上昇系のスイープ音のほうが、より緊急感を高めることができる。

3.2 覚醒振動の作成

覚醒振動を作成するにあたり、振動の周波数特性と背中における振動の知覚に関する実験を行った。20 代男子学生 3 名に対し、20Hz から 200Hz まで 10Hz ごとに作成した矩形波の振動(振動駆動時間 500ms, 休止時間 500ms)を背中に与え評価を行った。評価方法として振動に対する「知覚」を 1 から 5 までで評価させた。評価に基準を設けるため、100Hz の振動の知覚を 3 として評価を行った。その結果を Fig. 2 に示す。3 名の被験者ともに 20Hz から 50Hz まで知覚は増加傾向にあり、50Hz 近くがピークとなっている。また、100Hz 以降ではどの被験者も知覚が減少傾向にある。170Hz では 2 名の被験者が 1 と評価しており、100Hz の振動と比較して感じにくいことが分かる。

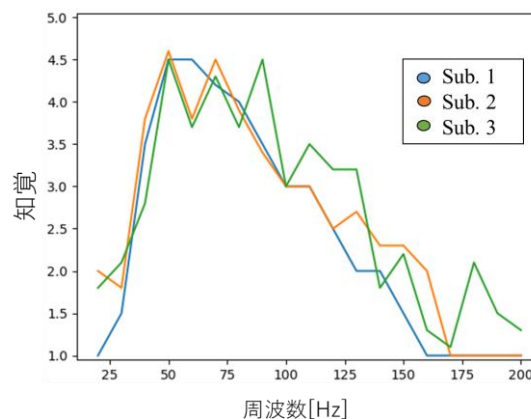


Fig. 2 振動の周波数と知覚

Fig. 1 の結果をもとに知覚しやすい単調振動(50Hz)とスイープ音(50Hz~150Hz)を用いた振動による覚醒効果の検証を行う。今回は覚醒効果を確認するために RRI を取得した。RRI が低くなれば覚醒効果があったとみなして評価を行った。はじめに安静状態を 2 分設けて振動駆動前の基準となる RRI を取得する。その後 2 分間振動を駆動し、被験者の RRI の減少を促す。また、その後 10 分間の安静を設け、RRI の変動を確認した。その結果を 3 名中 2 名において単調振動よりスイープ音をもとにした振動の方が高い覚醒効果が見られた。残りの 1 名はもう一名の被験者では覚醒効果は見られなかったが眠気を増加させることなく覚醒状態を維持させることが出来た。

4. 眠気検知手法とその評価

4.1 モデルの構築と学習準備

ドライバーの眠気を検出するにあたり、実際の車載環境ではドライバーが眠っている状況というのは異常状態

であり、頻繁に起こりうるものではない。そのため、覚醒時のデータのみを用いてモデルを構築し、そのモデルからの逸脱度を測ることでドライバーの眠気を検知する手法を検討する。眠気検知に用いる指標は 2.2 節で述べた 8 つの心拍変動特徴量を標準化したものである。

従来手法の多変量統計的プロセス管理(MSPC)では主成分分析を用いており、線形的にしか特徴を抽出することが出来ない。そこで本研究の眠気検知モデルには Variational Autoencoder を用いた。Variational Autoencoder の概要を Fig. 3 に示す。Autoencoder はエンコーダとデコーダで構成されており、エンコーダは入力データを低次元に圧縮し、デコーダはエンコーダによって低次元になった変数を入力データと同じ次元の空間へ変換することを目的としている。

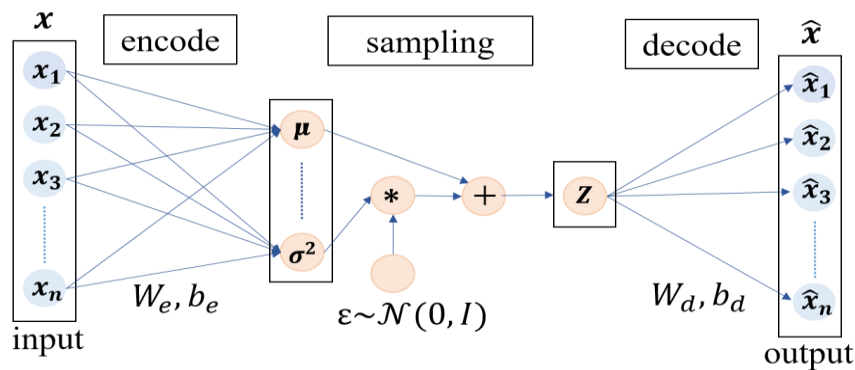


Fig. 3 Variational Autoencoder

覚醒区間の心拍変動特徴量のみを学習し、出力が限りなく入力に近くなるように学習を行い、眠気を感じている区間のデータを入力した際は再構成誤差が大きくなり、異常と検出できるようなモデルの構築を行う。

今回作成したモデルは中間層が 6 層であり、最適化関数には Adam, Dropout は 0.1, 中間層の活性化関数にはシグモイド関数, 出力層の活性化関数には線形関数を用いている。

データ収集として 20 代男子学生 2 名に対しドライビングシミュレーターを使用して、1 回 1 時間の実験を、朝 2 回, 昼 4 回, 夜 4 回の合計 10 回行った。また、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客観的に判定する手法を用いた。眠気段階は 4 段階に分かれており、段階 1 を覚醒, 段階 2,3,4 を眠気があると定義した。訓練データ, 検証データ用に 180 分の覚醒データを取得した。残りのデータをテストデータとして扱った。

4.2 結果・評価

多変量統計的プロセス管理, Variational Autoencoder の閾値を覚醒データの再構成誤差の 80%とした場合の結果を Table 1 に示す。先行研究である多変量統計的プロセス管理(MSPC)と比較して、各ラベルの検出精度が上がっていることが分かる。被験者 1 では両モデルともラベル 4 は 100%検知できているが、ラベル 1,2,3 は Variational Autoencoder の方が高い検知率である。被験者 2 ではラベル 1,2,3,4 において Variational Autoencoder の方が検知率高い。以上の結果より Variational Autoencoder の方がより眠気を検知できるモデルである。

Table 1 眠気検知結果

		覚醒区間		眠気区間	
		ラベル1	ラベル2	ラベル3	ラベル4
Sub. 1	MSPC	8300 (71.8%)	4967 (42.9%)	1427 (75.1%)	100 (100%)
	VAE	8473 (73.4%)	5885 (50.8%)	1503 (79.1%)	100 (100%)
Sub. 2	MSPC	2583 (45.1%)	5251 (79.0%)	3350 (87.2%)	5433 (83.3%)
	VAE	2803 (49.0%)	5270 (79.4%)	3424 (89.2%)	5540 (85.0%)

5 フィードバックシステム

5.1 システム概要

4.1 節で述べた Variational Autoencoder を用いて眠気検知を行い、眠気を検知すると 3.2 節で述べたスリープ音をもとにした振動を駆動させ、ドライバーの覚醒水準を維持させるシステムを作成する。

5.2 実験

システムの評価を行うため、実験を行った。はじめに安静時間を 10 分間設け、目を閉じて呼吸統制を行ってもらった。その後、3 章で示したスリープ音を基にした覚醒振動をならし、30 分間焚火の動画を見続けてもらった。その際、意図的に目を閉じて眠る行為は禁止とし、眠気に抗ってもらった。眠気の評価用に顔表情、10 段階の主観的な眠気を取得した。被験者 1 名に対して 2 回行った。

5.3 結果

Fig. 4 に覚醒水準を維持出来た実験結果を示す。上段の図が眠気検知、振動駆動時間であり、中段が顔表情による客観的眠気、下段が主観的眠気である。この結果から振動駆動により、実験開始時に軽い眠気を感じている場合は今回作成したシステムにより覚醒状態を維持できる可能性が示唆された。しかし、もう一例のデータに関しては実験開始時から強い眠気を感じており、振動を与えても常時覚醒させることが出来なかった。

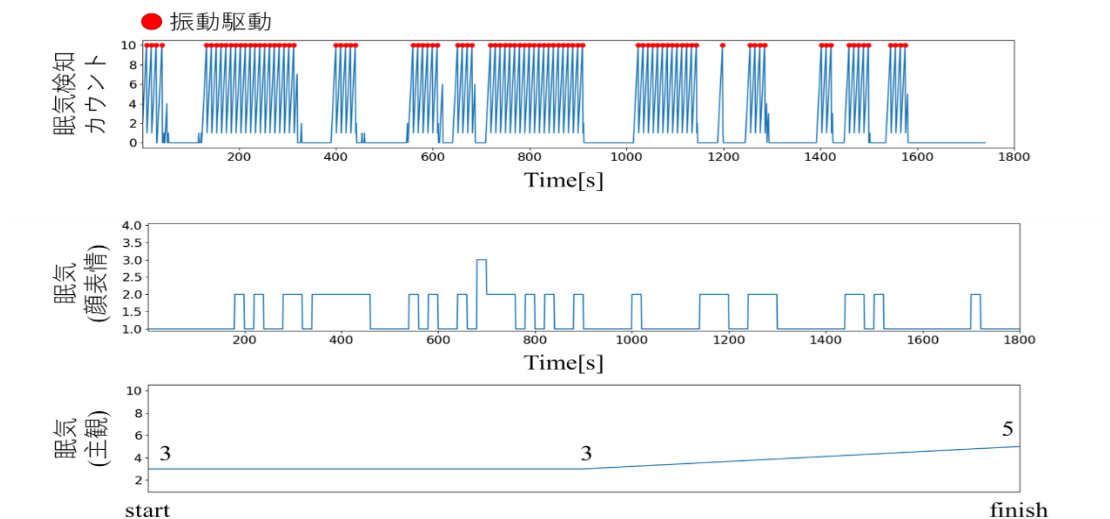


Fig. 4 フィードバックシステム結果

6 結言

今回、心拍変動特徴量を用いた新たな眠気検知手法の提案し、振動の周波数と被験者の振動の知覚に関する評価を行い、それをもとに覚醒振動の作成を作成した。また、それらを組み合わせたリアルタイムフィードバックシステムを開発し、軽度の眠気時において覚醒状態への誘導を起こすことができる可能性が示唆された。

参考文献

- [1] 柳平雅俊, 安士光男, "運転状態推定技術の開発-心拍解析による眠気状態の検出-", PIONEER R&D 14(3), pp17-27, 2004.
- [2] 水迫 幹, 都築 優孝, 安士 光男, 長津 裕己, 橋本 秀紀, "顔表情による眠気推定に基づいた振動フィードバックシステムの開発", 第 20 回システムインテグレーション部門講演会 (SI2019)