

## 論文審査の結果の要旨

博士後期課程 先端融合科学専攻

先端工学システムデザインプログラム

氏名           羅金山          

本論文は「A Study on Drivers' Mental Condition ～ Estimating Driver Fatigue Using Sensor Network ～ (運転者の心理状態に関する研究 ～センサーネットワークを用いた運転者の疲労度推定～)」と題し、自動車運転者の心理状態推定のための包括的なセンサーネットワークの開発を行い、その成果をまとめたものである。

運転に悪影響を与える心理状態の一つである「疲れ」(疲労)は、しばしば事故の引き金となっている。しかし、既存の研究は運転者の疲労推定に単一の方法を使用しており、包括的かつ体系的な推定技術が不足している。

本研究では、運転者から幅広い生体信号データを収集するための包括的なセンサーネットワークを開発するとともに、各種センサーから得られた情報の分析方法を確立し、運転者の疲労の兆候を正確に推定することで、道路安全性の向上に貢献することを目的とする。

特に本論文では、ドライビングシミュレータ (DS) から得られる車速、アクセルペダルの角度、ブレーキペダルの圧力、ステアリング角度、走行距離などの運転操作データと、多様な生体信号センサー情報とを統合し、運転者の疲労度を推定する新しいアプローチを提案する。また、運転条件を変更して運転操作データと生理学的データとを各種記録することで、詳細な分析を実現した。

本研究で開発したシステムにおける生体信号収集ネットワークは、頭部の動きを検知する加速度計、心拍数モニター、脳波センサー、ビデオカメラ、および、アイトラッカーで構成される。また、心理状態の評価には主観評価との相関も考慮する必要があるため、本システムから得られるデータとセルフレポート式アンケート調査の一手法である **Positive and Negative Affect Schedule (PANAS)** にもとづく運転前後のアンケート結果との統合についても検討を行った。

実験では、まず、DS 運転時の運転操作データ、心拍数モニター、および、脳波センサーからのデータと **PANAS** アンケートによる主観的な心理状態評価とを対比する実験を行い、その相関性を明らかにしている。心拍数と心理状態、および脳波と心理状態との関係の詳細な分析を行い、**PANAS** が疲労度推定の尺度として有用であることを示している。また、脳波単体では、推定能力に限界があることを示している。

次に、推定能力向上を目指してビデオカメラを追加し、運転者の顔画像も用いた疲労推定実験について述べている。ここでは、表情認識に加えて、まぶたや体の動きも組み込んで推定を行っている。このアプローチにより、疲労推定の精度が向上することを示している。

さらに、アイトラッカーも追加した疲労推定実験について述べている。実験を通じて、顔画像における疲労の表情の時間帯とアイトラッカーデータにおける目を閉じる回数が多い時間帯が一致すること、および、同時時間帯は集中度を示す $\gamma$ 波の強度が低下する傾向があることを明らかにした。また、Persistent Homology を用いて、多次元データの概形を把握可能な特徴量を取り出し、脳波の類似性の評価を行った。

本研究の成果は次の3点に要約できる。(1)運転者の生体信号、運転操作データ、および心理状態の間には相関関係があり、運転者の心理状態評価には、これらを組み合わせることが有用である。(2)PANAS は運転時の心理状態の主観的評価ツールとして有用性がある。(3)顔の表情と目の動きの分析により、疲労の直接的かつ正確な検出が可能である。

以上の成果から、運転者の疲労度推定における本ネットワークの有用性が示唆され、今後、コントローラーエリアネットワーク(CAN)データと統合した心理状態推定や、スマートウォッチなどのよりユーザーフレンドリーなウェアラブルセンサーの活用を検討することで、より正確かつ使いやすいシステムの実現が期待される。

本論文については2024年1月31日に、陽東キャンパス9号館9-205室において、審査委員全員の出席のもとに公聴会が開催され、研究内容についての発表および質疑が行われた。その後、学位審査委員会が開催され、本論文の内容が詳細に検討された。その結果、本論文の運転者情報収集センサーネットワークおよび運転者の心理状態分析法は、工学的な価値が高く、研究内容のレベル、独創性、実用性において優れたものと判断した。

以上により、本論文は博士(工学)の学位論文に値するものと認める。