

論文の内容の要旨

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

高齢化社会の進行による交通事故の増加が懸念されており、事故防止に向けたサポート技術の研究が進められている。危険な運転行為は、運転者の心理状態が大きく影響していることから、安全性向上のため、車載システムがアナウンスなどで介入して運転者を健康な心理状態へ導くことが望まれる。しかし、現存する多くの研究や実装システムは、運転前のリラクゼーション技術や危険な状態への警告に重点を置いており、運転者の心理状態推定の重要性が見過ごされている。

運転に悪影響を及ぼす心理状態のうち、“疲れ”(疲労)は認知能力と知覚能力の低下を引き起こし、しばしば事故の原因となる。しかし、既存の研究は運転者の疲労推定に単一の方法を用いることが多く、包括的かつ体系的に推定する技術が不足している。

そこで本研究では、自動車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。本論文はその成果をまとめたものである。

本論文は序論から結論までの6章で構成される。

第1章では、研究の背景と目的を述べている。運転支援技術における運転時の心理状態推定の必要性を示すとともに、本研究の位置づけと課題設定を明らかにしている。

第2章では、運転時の心理状態について述べている。まず、運転時における心理状態の分類と定義を示し、次に疲労について述べている。また、心理状態の推定法として、質問紙法を用いる手法や、単一のセンサーを用いる手法の課題と限界について述べ、多様な情報を組み合わせたアプローチの必要性を示している。

第3章では、心理状態推定のために本研究で開発したセンサーネットワークシステムの設計と仕様について述べている。DSからは、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を収集する。生体信号センサーは、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 (EEG, ECG)、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 Positive and Negative Affect Schedule (PANAS) 方式による運転前後のアンケート調査との統合についても述べている。

第4章では、運転操作データと生体信号データの分析に使用した手法をまとめている。脳波解析に使用したフーリエ変換、K-means クラスタリング、PANAS などについて述べるとともに、表情認識に使用した顔画像の前処理と表情分類アルゴリズムを述べている。また、体の動きと目の動きの測定法を説明している。

第5章では、開発したセンサーネットワークシステムを用いた実験について述べている。まず、実験方法と条件をまとめている。実験に使用した DS のコースの特徴や明るさ、運転時間、歩行者の有無などを示すとともに、実験参加者の属性情報を示している。

次に、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、脳波のみでは、推定能力に限界があることを示している。

次に、前節で述べた脳波による推定の限界に対処するため、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。

次に、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、同時帯は集中度を示す γ 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。

第6章は、総括であり、本研究の成果をまとめるとともに、今後の展望を記している。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。これらの結果は、運転者の疲労度推定における本ネットワークの有用性を示唆している。

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予定である。