

令和 5 年 5 月 2 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04266

研究課題名(和文)空間知能化と機械学習に基づく人の眠気推定に関する研究

研究課題名(英文) Estimation of Human Sleepiness based on Intelligent Spaces and Machine Learning

研究代表者

橋本 秀紀 (HASHIMOTO, Hideki)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：30183908

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：交通事故を引き起こす運転者の眠気に関して、シートに埋め込んだ電極、運転者の顔を撮るカメラおよびWifi(電波)を用いて非拘束・非接触で心拍などの生体情報を取得する技術を開発し、機械学習・深層学習といった手法を用いて運転時の眠気を正確に推定するシステムを実現した。運転空間自体を賢くする空間知能化の技術であり、交通事故防止に寄与するのみではなく、家屋における日常の睡眠の質の推定にも応用できるものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、運転時にドライバーに負担をかけない非拘束・非接触の電極、カメラ、Wifi(電波)のセンサ技術を開発した。これらの技術はドライバーの眠気だけではなく家屋での睡眠の質の推定にも適用できるものである。さらに、機械学習・深層学習を用いることにより眠気だけでなく血圧、血中酸素濃度の推定も可能であることを示した。日常生活でわざわざ計測するという手間をかけずに健康に関するデータを簡単に取得できるので応用範囲はとても広いと思われる。

研究成果の概要(英文)：Regarding driver drowsiness that causes traffic accidents, we have developed a technology that uses electrodes embedded in the seat, a camera that captures the driver's face, and Wi-Fi (radio waves) to acquire biological information such as heartbeats without restraint and contact. We have developed a system that accurately estimates drowsiness during driving using techniques such as machine learning and deep learning. It is a spatial intelligence technology that makes the driving space itself smarter, and it not only contributes to the prevention of traffic accidents, but can also be applied to estimate the quality of sleep in daily life at home.

研究分野：空間知能化

キーワード：空間知能化 機械学習 眠気推定 生体情報 状態推定 Wifi

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

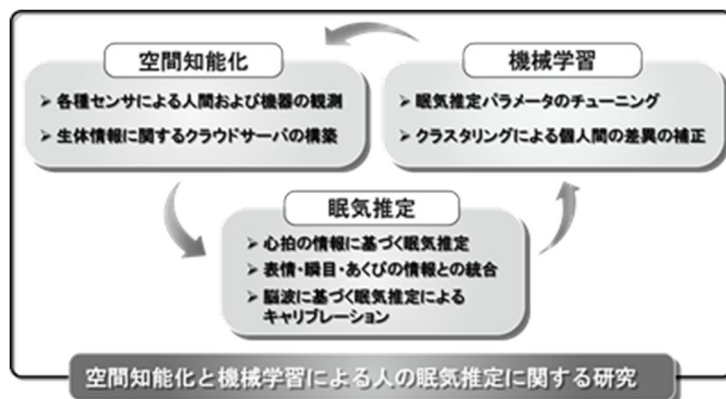
近年、自動車運転支援技術の発展や、飲酒運転などの危険運転に対する法整備の強化により、自動車に起因する交通事故割合は減少傾向にある。しかし、その一方で運転者に起因する交通事故の割合が増加している。中でも、居眠り運転を含む漫然運転による交通事故が多く、死亡事故の約 4 割を占めている。漫然運転を抑止するために、運転者の眠気を非拘束・無意識下で推定し、運転者の眠気が運転に支障をきたす前に警告を出すことが必要であると考え。また、自動車運送事業用自動車事故統計年報によると、乗務員に起因する重大事故では心疾患の患者が一番多く、健康状態に起因する事故の割合は増加傾向にある。運転手の身体状況を常にセンシングし、異常をいち早く察知することで、病気に起因する事故を未然に防ぐことができると考える。

2. 研究の目的

上記の背景のもとに、簡便かつ非拘束・無意識下で身体状況を車内環境や在宅でセンシングし、人間の眠気を中心とした状態推定を行うシステムを提案し、漫然運転による事故を抑止する。本研究ではセンサを車内や室内などの様々な空間に配置し、そこから得られた生理情報を蓄積し、ビックデータとして常に学習することで、人間の眠気や病気予兆、ストレスを精度よく推定する手法を研究開発する。

3. 研究の方法

本研究で研究開発するシステムの概略図は以下となる。このシステムの各機能を研究しシステムとして統合することによって眠気推定に関する研究を進める。



(1)空間知能化による眠気推定のための状態量の取得

空間知能化を実現するために、観測のための要素である容量結合型電極による心電図計測センサ、RGB カメラを用いた瞬目、あくび計測センサの開発を行う。容量結合型電極は、既に研究がなされているものの、被験者の体動によるノイズや、着用している服の枚数や材質によって計測ができないなどの様々な原因により、実用化できていない現状にある。また、カメラによる計測も体動の除去が必要といった問題が存在する。これらの課題を機械学習、信号処理、状態(体動)推定、他センサとのセンサフュージョ、などを適用して解決する。同時に、新たなセンサとして Wifi を用いることも検討する。

(2)センサから得られた生体情報を用いた眠気推定(機械学習の適用)

本研究では被験者に対して拘束感を与えず、簡便に測定が可能な心電図、顔表情を中心に眠気推定を実現することを目標とする。心拍数は一定ではなく常に揺らいでおり、心拍数が低いときほど眠気を感じ、心拍数が高いときほど覚醒しているという知見がある。心電図の R 波と R 波の間隔である RR 間隔(RRI)から心拍数(HR)の算出が可能であるため、本研究ではドライバーの心電図を計測し、RR 間隔の変動を解析することで眠気推定を行う。これに際して、(1)の空間知能化のセンサから得られたデータを用いて SVM といった機械学習の適用から始めて、深層学習に基づく手法などを開発する。

(3)システム化と実環境下での検証実験

(1)(2)で進める研究をもとに、実環境下でデータの収集及び状態推定を行う。機械学習を行うためには、膨大なデータが必要であり、データを集めることでより精度の良い状態推定が可能となる。実際のシステムでは小型化したセンサを作成し、単独で状態推定が行えるようにシステムを設計する。また状態推定だけではなく、車内では眠気が予測できた段階で、ユーザーに心理状態及び健康状態の提示を行う。

本システムを車内、自宅、職場などの様々な環境に導入し、センシングしたデータを逐一クラウドサーバーにアップロードする。これらのデータを学習し続けることで、精度が向上し続けるシステムを実現する。そのために、データフォーマットを統一し、スケーラビリティなシステムを開発する。システムの構成図を以下に示す。



4. 研究成果

(1)空間知能化による眠気推定のための状態量の取得

容量結合型電極を用いたシステムでは、非拘束ではあるが体動の影響を最小限にするためのフィルターの再設計を中心として、電極の最適な形状および配置位置を求め、それらをモデルとしてシミュレーションを行い更なる最適化を行い実験で検証するシステムの構築を行った。それにより、衣服3枚の条件でロバストに計測できるシステムを実現した。また、体動除去を行うためにマイクロドップラセンサを用いたセンサフュージョンシステムを提案しその効果を確かめた。

赤外カメラ（RGBカメラ）を用いたシステムでは、暗い状況でも顔表情を得ることができることを示した。また、顔が動くといった体動の影響を除去するために、顔の向きを推定するアルゴリズムを開発し体動の低減を実現した。このシステムは家屋での就寝時でも使えることを示した。さらに、顔のオイラー角を正確に導出し体動除去性能を向上させた。

広く用いられているWifi信号のチャンネル状態の伝搬特性を用いて心拍数を計測するシステムの基礎的検討を行い、人の位置情報および心拍を推定し、血中酸素濃度(SPO2)の推定を行った。

(2)センサから得られた生体情報を用いた眠気推定（機械学習の適用）

容量結合型電極では、3枚程度の通常の服装で体動除去を考慮した回路構成でロバストに心拍変動（RRI）を取得できた。このRRIのプロファイルと眠気段階（主観評価）を結び付け眠気推定を行うシステムを開発した。RGBカメラでは、得られた顔表情（あくび、瞬きなど）と他のセンサから得られたRRIと組み合わせ、眠気推定を行った。データベースとしてDeepSleep Netなどを用いて評価をおこなった。

機械学習としては、主成分分析、非線形特徴抽出であるカーネル主成分分析、Autoencoder、不均衡データを考慮した学習を行い、その知見に基づき深層学習の検討を行った。これらの眠気推定の評価にはDeepSleep Netなどのデータベースの活用と主観評価の取り込みを行い、より精緻な評価ができた。

(3)システム化と実環境下での検証実験

上記(1)(2)に関して、100平米の実験室に車内環境、家屋での就寝環境を用意し、脳波を含めた生体情報を計測できるシステムを導入した。これらから得られたデータは機械学習の真値（レファレンス）となり、空間知能化から得られたデータのキャリブレーションにとして用いた。

空間知能化での統合を前提に、データのフォーマット化に関して検討を行うとともに実データの取得に際し問題となるインターフェースの整備、データの表示法に関して検討を行った。また、被験者は常時数名を確保し検証実験を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 石山直樹, 長津裕己, 橋本秀紀 |
| 2. 発表標題 容量結合型電極を用いた振動環境下における心電計測システムの提案 |
| 3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会, 空間知能化とアプリケーション |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 都築優孝, 安土光男, 長津裕己, 橋本秀紀 |
| 2. 発表標題 RRIに基づくフィードバック制御による覚醒状態制御に関する研究 |
| 3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会, 空間知能化とアプリケーション |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Noki Ishida, Yuki Nagatsu, and Hideki Hashimoto |
| 2. 発表標題 Unsupervised Anomaly Detection Based on Data Augmentation and Mixing |
| 3. 学会等名 IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 荒井隆也, 安土光男, 長津裕己, 橋本秀紀 |
| 2. 発表標題 皮膚電位水準を用いた音と振動で制御する入眠導入装置の開発 |
| 3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 空間知能化とアプリケーション |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 武部弘明, 安土光男, 長津 裕己, 橋本 秀紀 |
| 2. 発表標題 癒し状態検出のための表情ランドマークの検証 |
| 3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 坪田和也, 石山直樹, 長津裕己, 橋本秀紀 |
| 2. 発表標題 チャンネル状態情報を用いた生体情報取得システムに関する研究 |
| 3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 空間知能化とアプリケーション |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 藤田燎人, 石山直樹, 長津裕己, 橋本秀紀 |
| 2. 発表標題 複数の容量結合型電極を用いた睡眠中における非侵襲型心電計測システムの提案 |
| 3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 空間知能化とアプリケーション |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 寺井奎祐, 荒井隆也, 長津裕己, 橋本秀紀 |
| 2. 発表標題 赤外線カメラを用いた夜間睡眠時における非接触心拍測定 |
| 3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 空間知能化とアプリケーション |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

中央大学理工学部電気 橋本研究室
https://hlab.r.chuo-u.ac.jp/

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|--|----|
| 研究分担者 | 田村 裕 (TAMURA Hiroshi) (60227288) | 中央大学・理工学部・教授 (32641) | |
| 研究分担者 | 長津 裕己 (NAGATSU Yuki) (60804987) | 岐阜工業高等専門学校・その他部局等・准教授 (53701) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|