

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420810

研究課題名(和文)パイロットモデルのオンライン同定を核とした小型機・無人航空機の安全性向上システム

研究課題名(英文) Safety System of Drone Operation based on On-line Identification of the Human Operator

研究代表者

得竹 浩 (Tokutake, Hiroshi)

金沢大学・機械工学系・准教授

研究者番号：80295716

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：ドローンや自動運転自動車などの操縦者をリアルタイムモデリングし、モデルパラメータから操縦者状態を推定する手法の検討を行った。機体の運動や周囲環境の変化に対する操縦者の振る舞いをモデル化し、そのモデルパラメータで操縦者状態を評価する。操縦シミュレータ実験を行い、操縦者モデルを同定し解析した結果、ワークロード量とモデルの残差、モデル変動などとの相関があることが明らかになった。既存手法は心拍などの生体信号を計測してその変化を評価する。一方提案手法は、刺激に対する操縦者ダイナミクスの応答を評価する手法であるため、車両振動や外部環境の変化に適切に反応できているか直接評価することができる。

研究成果の概要(英文)：The estimation algorithm of the operator condition using identified operator mode was discussed. The operator models of the drone and self-driving car were identified as a response model to the vehicle motion and the condition change around the car such as a distance to the forward car. The output of the operator model are control behavior and the movement of the viewpoint. These model structures enable to analyze the inner condition of the human operator. The flight and driving simulator were conducted and the operating experiments of a drone and self-driving car with and without subtask were performed. The relations between the identified model and the workload imposed by the subtask were analyzed. The result indicated that the residual and the model variations of the identified model have correlations with the workload.

研究分野：飛行制御

キーワード：操縦者モデル リアルタイム同定 操縦者状態

1. 研究開始当初の背景

小型機、無人航空機における事故の多発

ビジネスジェットなどの小型機の事故率は、旅客機と比べて約40倍程度と非常に高い。事故の主要な原因は不適切なパイロット操縦と気象条件である。また地上から操縦する無人航空機において、不適切な操縦による事故が多く発生することが報告されている。一方これらの機体数は今後大きく増加すると予想されている。ビジネスジェットなどの小型機では大型の旅客機と違いコスト・重量の制約から冗長系などを搭載することが困難であり、オートパイロットによる安全性の確保が難しい。また無人航空機システムも、制御された機体を遠隔地から操縦することが通常であり、パイロットのミスによる事故を防ぐシステムは今のところ提案されていない。さらに将来予想される無人航空機が普及した社会では、操縦資格について有人機ほど厳格な訓練・審査基準が設けられるとは考えにくく、様々な技量のパイロットを前提として無人機の安全を確保するシステムが重要となる。

リアルタイム同定手法

航空機を操縦するパイロットの不適切な動作による事故を防ぐためには、今まではディスプレイなどの工夫やパイロット教育など、不適切操縦を起こさない手段が主であった。一方航空機以外に目を向けると、自動車ではふらつきやドライバの運転履歴からドライバの眠気を検知して警告するシステムや、脈拍などの生体信号を計測して運転者の状態を検知するシステムが研究され一部実用化されている。これは自動車が広く普及し幅広い技量の運転者が存在するため、不適切な操縦を前提にした安全確保が必要となっているためである。それらを踏まえて申請者は自動車メーカーとの共同研究として、ドライバの操縦をオンライン同定して眠気を検出するシステムを開発した。この手法は眠気だけではなく様々な操縦者の状態を検出するものであり、学術的のみならず実用上も非常に波及効果の高い技術である。

小型機、無人航空機への適用

本研究では、先行研究で申請者が開発した「操縦者をリアルタイム同定する手法」と「操縦者モデルから操縦者特性を推定する手法」を、小型機、無人航空機、自動化され

たビークルの操縦者へ応用する。毒に高度に自動化されたドローンや自動運転自動車のオペレータの状態を推定する技術の確立を目指す。

2. 研究の目的

操縦履歴や、操縦者の計測可能な生体情報をもとに、操縦者の振る舞いをリアルタイムモデリングする手法を構築する。そして得られた操縦者モデルから、様々な操縦者の状態を推定するアルゴリズムを構築する。

3. 研究の方法

システム構成

本研究の最終的な目的は、ドローンや自動走行自動車などのビークルの操縦者の内部状態を推定するアルゴリズムの構築である。対象となる操縦者とビークルのかかわり方は、操縦者が自らマニュアル操縦する場合や、自動操縦されるビークルを監視する場合などさまざまである。そこでまず、汎用の操縦シミュレータを構築した。市販のバーチャルリアリティ環境を導入し、様々なビークルダイナミクスと周囲環境を実現できる基本的なシステムを構築した。そしてリアルタイムモデリングや、操縦者状態のリファレンスの推定のために使う生体情報の計測装置を整備した（図1）。

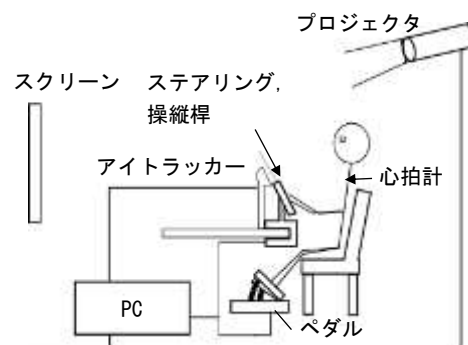


図1 操縦シミュレータ

ドローンの操縦試験

地上局からオンボードカメラの映像をもとに小型の固定翼型ドローンを操縦するシミュレータープログラムを構築した。画面には機体からの画像と、次に向かうべきウェイポイントが表示される（図2）。操縦者は外乱環境下でドローンを操縦し、ウェイポイントを通過するタスクとともに、実験

の途中からモニターに表示された計算を行う副次課題を実施する。副次課題の有無で操縦者のワークロードを明示的に調節し、不可を与えられた操縦者状態を推定することを試みる。さらに、心拍と瞳孔径を測定し、副次課題による生体状態の変化をリファレンスとして計測する。



図2 ウェイポイントと副次課題

自動運転自動車

提案手法のアプリケーションの一例として、ドローンの操縦に加えて自動運転自動車のオペレーションをする操縦者の状態推定手法の構築を試みる。そのためまず、この研究の一環として整備した研究室内製の操縦シミュレータに、4輪車のダイナミクスと運転周囲環境をプログラミングする。そしてまず自動運転自動車の周囲環境を監視するタスクを実施する。そして予告なく車両が割り込みを行い手動運転に切り替わる。そして手動運転気に切り替わったときの操作の速さを計測する。以上の実験をモニターに表示された副次課題がある場合とない場合について行う。また実験中に瞳孔径を計測し、操縦者状態のリファレンスとして用いる (図3)。



図3 前方車両注視タスクと注視点

4. 研究成果

ドローンの操縦試験

生体状態のリファレンスとして、瞳孔径と、広くワークロード指標として用いられる心拍から計算した LF/HF を計測した。さらにリアルタイム同定された操縦者モデルを用い以下の評価指標を計算した。

$$J_{res_i} = \frac{\int_{t_i}^{t_i+L_i} w(t)^2 dt}{L_i} \quad (1)$$

$$J_{std_i} = \frac{\int_{t_i}^{t_i+L_i} (\tilde{\delta}(t) - \delta_{std}(t))^2 dt}{L_i} \quad (2)$$

$$\delta_{std}(s) = H_{std}(s)\Delta\tilde{e}(s)$$

ここで $w(t)$ は同定の残差、 $\tilde{\delta}(t)$ は計測した操縦量、 δ_{std} は規範モデル H_{std} の出力、 L_i は切り分けたデータセットの時間である。

J_{res} により、操縦の非線形性や操縦者の感知する情報と相関のないノイズ要素を評価できる。また J_{std} は規範モデルと実モデルのモデル誤差を評価する指標であり、環境や時間による操縦の変化を評価できる。

典型的な操縦者の履歴を図4に示す。副次課題を開始した時刻以降は、瞳孔径、LF/HFとも大きくなりワークロードが増加したことがわかる。しかし他の被験者のLF/HFでは明確な変化が見られなかった。これは呼吸統制を行っておらず、正確な計測が行えていなかったからだと思われる。同定モデルから評価した指標については、残差、モデル誤差とも増加していることがわかる。これはタスク増加に伴い操縦に割り当てられる能力が減り、それまでのモデル通りの振る舞いを維持できなくなったことを表すものと思われる。以上の結果から、リアルタイム同定された操縦者モデルから操縦者状態を推定するアルゴリズムが構築できることが期待できる。

自動運転自動車

操縦者が操縦を行っていない自動運転時の操縦者状態を推定するために、操縦者の注視点移動モデルを利用する。いくつかのモデル構造を試した結果、前方車両の移動速度を入力、操縦者の注視点移動速度を出力とするモデルが、操縦者状態と相関が大

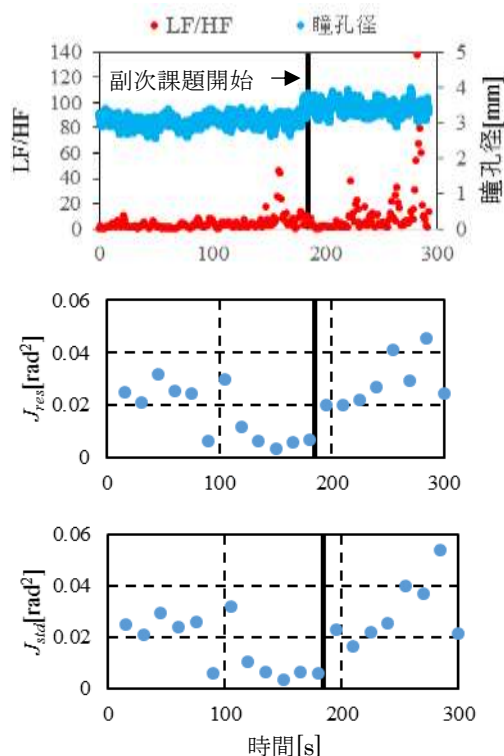


図4 ドローン操縦結果

きいことが判明した。

図5に、各被験者の瞳孔径の平均値を示す。副次課題を与えた場合、いずれの被験者も瞳孔径が大きくなっておりワークロードが増加したことがわかる。

リアルタイム同定した注視点移動モデルについて、(1), (2)式の残差とモデル誤差を求めて平均値と標準偏差を評価した(図6)。5名中4名の被験者について、副次課題が与えられることで注視点移動の残差、モデル変動が減少している。注意力が低下すると視線角度が減少することが報告されており、本研究のリアルタイムモデリングされた注視点移動モデルで、その傾向をとらえることができたことがわかる。

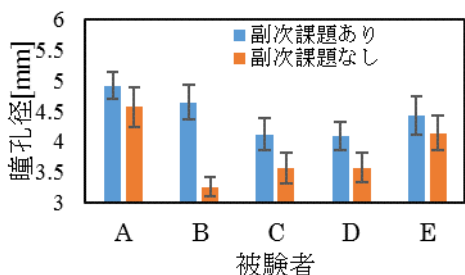


図5 瞳孔径変化

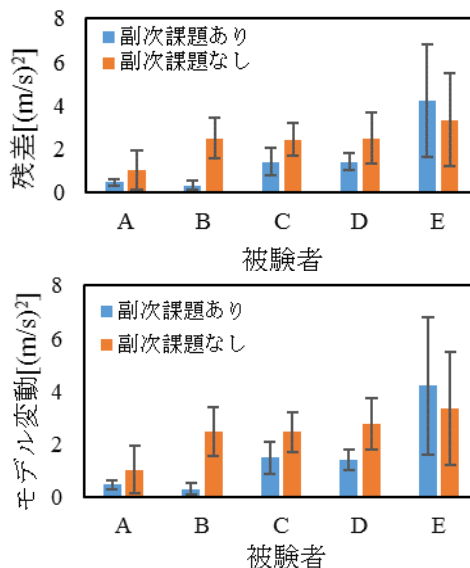


図6 注視点モデルのパラメータ変化

まとめ

ドローンや自動運転自動車などの操縦者の振る舞いをリアルタイムモデリングし、得られたモデルのパラメータから操縦者状態を推定する手法の検討を行った。モデリングフェーズでは、基本的な入力に対する反応の情報を取り出すためのデータの切り分けやプレフィルタリングを行っている。そしてそのデータをもとに機体の運動や周囲環境の変化に対する操縦者の振る舞いをモデル化し、そのモデルパラメータで操縦者状態を評価する。その結果、ワークロード量とモデルの残差、モデル変動などとの相関があることを明らかにした。既存手法は心拍などの生体信号を計測してその変化を評価する。一方本手法は、刺激に対するダイナミクスの応答を評価する手法であるため、車両振動や外部環境の変化に適切に反応できているか直接評価することができる。今後は今回得られた知見を、様々な可条件で幅広く検証することが課題である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

1. 寺西 翔一郎, 得竹 浩, "ドライバの注視点移動モデルの同定とモデルパラメータを利用したドライバ状態の推定手法の開発", 自動車技術会 2016 年

秋季大会, 札幌コンベンションセンター (北海道・札幌), 2016年10月19-21日

2. 寺西 翔一朗, 得竹 浩, "無人機オペレータのリアルタイム状態推定を利用した事故防止", 第53回飛行機シンポジウム, 松山市総合コミュニティセンター (愛媛・松山), 2015年11月11-13日

〔図書〕 (計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1件)

名称: 操縦者状態推定装置

発明者: 得竹 浩, 寺西 翔一朗

権利者: 金沢大学

種類: 特許

番号: 特願 2016-200328

出願年月日: 2016年10月11日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0件)

〔その他〕

該当なし.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

得竹 浩 (TOKUTAKE, Hiroshi)

金沢大学・機械工学系・准教授

研究者番号: 80295716