

無人航空機によるリアルタイム映像監視システムの品質設計手法を開発

無人航空機（UAV）のフライトシミュレーターを活用し、仮想的な環境で録画した映像データを用いて、UAV 映像監視システムの正確な品質評価を実現する手法 SPADE を開発しました。実システムを利用できない開発初期段階において異なる品質指標のトレードオフを解析して設計を支援します。

計算機を搭載した無人航空機（Uncrewed Aerial Vehicle, UAV）映像監視システムは、人が直接侵入することが難しい場所などの状況をリアルタイムにモニタリングすることができます。しかしながら、計算機、UAV、ネットワーク、監視ソフトウェアを適切に統合し、高品質で信頼性の高い映像監視システムを設計するのは容易ではありません。特に、現場にシステムを導入する前の初期設計段階では、システムの動作に影響を与えるさまざまな不確定要因を考慮した品質評価が困難でした。本研究では、実際の UAV 映像監視システムの運用現場に極めて近い状況を作り出し、この仮想的な環境で UAV を飛行させて取得した映像を用いることで、実環境での評価ができなくても、詳細な品質評価を可能にする手法 SPADE を開発しました。

SPADE は UAV のフライトシミュレーターを活用して仮想的な映像を収集します。録画した映像を UAV に搭載する実計算機で処理し、その処理精度や性能、消費電力を測定します。これらの情報をシステムの状態遷移モデルに入力し、品質評価とトレードオフの解析を行います。これにより、例えば、UAV でリアルタイムに物体を検出する際に、入力映像の解像度の違いがどのようにシステムの品質に影響を与えるかを評価できます。

本手法はさまざまな UAV 映像監視システムの設計に活用可能です。今後は、複数の UAV が連携するような複雑で大規模なシステムの設計を効率化する手法の開発に取り組みます。

研究代表者

筑波大学システム情報系

町田 文雄 准教授

張 清洋（情報理工学位プログラム 博士後期課程 2 年）

研究の背景

人が直接侵入することが難しい場所などで、無人航空機（Uncrewed Aerial Vehicle, UAV）を活用してリアルタイムに現場の状況をモニタリングするシステムは、さまざまな分野で応用が期待されています。このような UAV 映像監視システムを構築するためには、UAV に搭載する計算機やソフトウェア、通信方法や映像解析の設定などの設計が必要です。特に、実際に UAV を現場で飛ばして評価することができない開発の初期段階で、高品質な UAV 映像監視システムを設計することは大きな課題でした。実環境での評価が困難である場合、システムの構成や動作をモデル化して解析するモデルベースの品質評価手法が用いられます。しかし、この手法では、計算機やソフトウェアのカタログ値に基づいた理論的な評価となり、実際に動作するシステムの性能値と乖離が生じてしまいます。UAV 映像監視システムでは、UAV の移動によって映像がリアルタイムに変化するため、実際に UAV で映像解析処理を動作させた場合の性能値を正確に捉えることが困難でした。

研究内容と成果

本研究では、UAV のフライトシミュレーターを用いて、より正確に UAV 映像監視システムの早期品質評価を実現する手法 SPADE（Simulator-assisted Performability Design）を開発しました。SPADE の特徴は、UAV フライトシミュレーターと実計算機による性能プロファイリング、そして状態遷移モデル^{注1}による品質推定を組み合わせた点です（図1）。システムの品質は UAV の利用シナリオによって大きく異なるため、UAV フライトシミュレーターを活用して、仮想環境で UAV で取得される映像を記録します。しかし、UAV フライトシミュレーターでは UAV 上で動作する映像解析システムの詳細な動作までシミュレーションすることはできません。そこで、UAV に搭載することを想定した実計算機上で映像解析を実行し、実行時の処理性能や消費電力を測定します。この性能情報を用いて、システムの不確実性も考慮した状態遷移モデルを用いてシステムの性能と信頼性を推定します。この手法により、実際に UAV を飛ばした実験を行わなくても、より正確な品質のトレードオフの解析を実現します。

例えば、自然環境に生息する野生動物のモニタリングの場合、個体検出の精度、映像処理の処理速度、稼働率、消費電力などを正確に見積もり、設計に反映させる必要があります。これらの品質指標の関係は、さまざまな設計パラメータによって変化します。ここで SPADE を活用すると、入力画像の解像度を変えた場合に、検出処理を別の計算機に分散させるシステム構成を採用した方が検出精度も処理性能も向上する、といった分析が可能になります（図2）。

今後の展開

本手法はさまざまな UAV 映像監視システムの設計に活用可能です。UAV に搭載される計算機やソフトウェアの高度化に伴い、UAV が自律的により複雑なタスクを処理できるようになると考えられます。今後さらに、複数の UAV が連携するような複雑で大規模なシステムの設計を効率化する手法の開発に取り組む予定です。

参考図

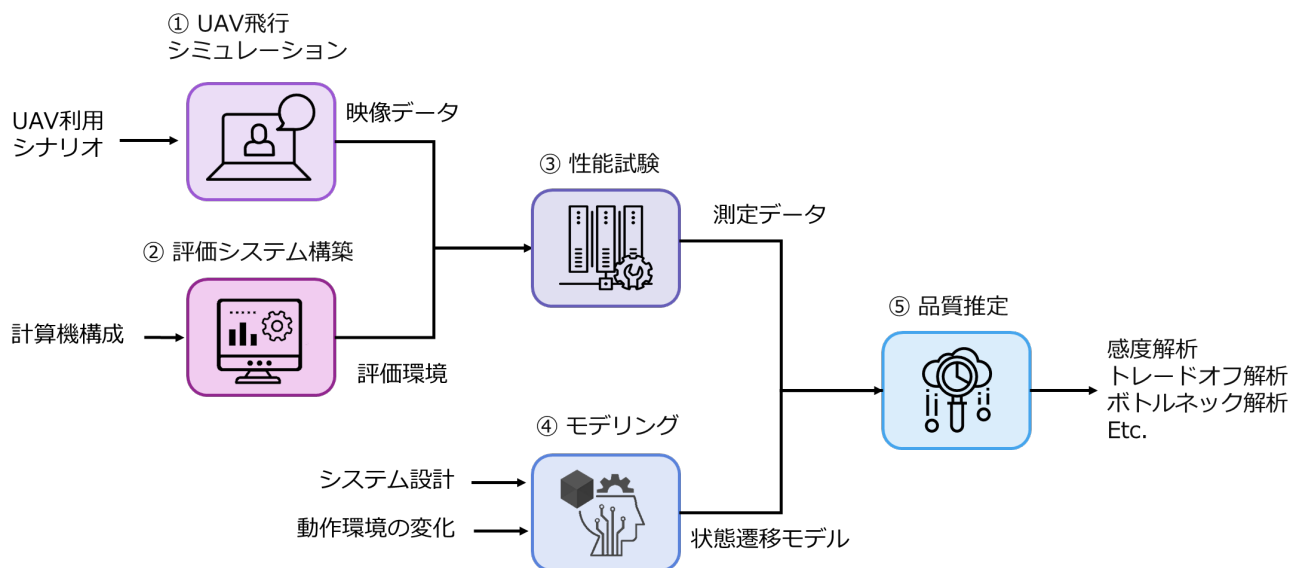


図1 本研究で提案した SPADE によるシステム品質評価の手順

SPADE では、UAV 映像監視システムの利用シナリオに基づき、UAV シミュレーターで仮想環境を構築して映像データを収集する。同時に UAV に搭載する計算機を用いた評価環境を準備する。録画した映像データを評価環境で解析し、処理性能を測定する。さらに、システムの設計と動作環境の変化を考慮して構築した状態遷移モデルを用い、測定データをパラメータとして与えてシステムの品質を解析する。

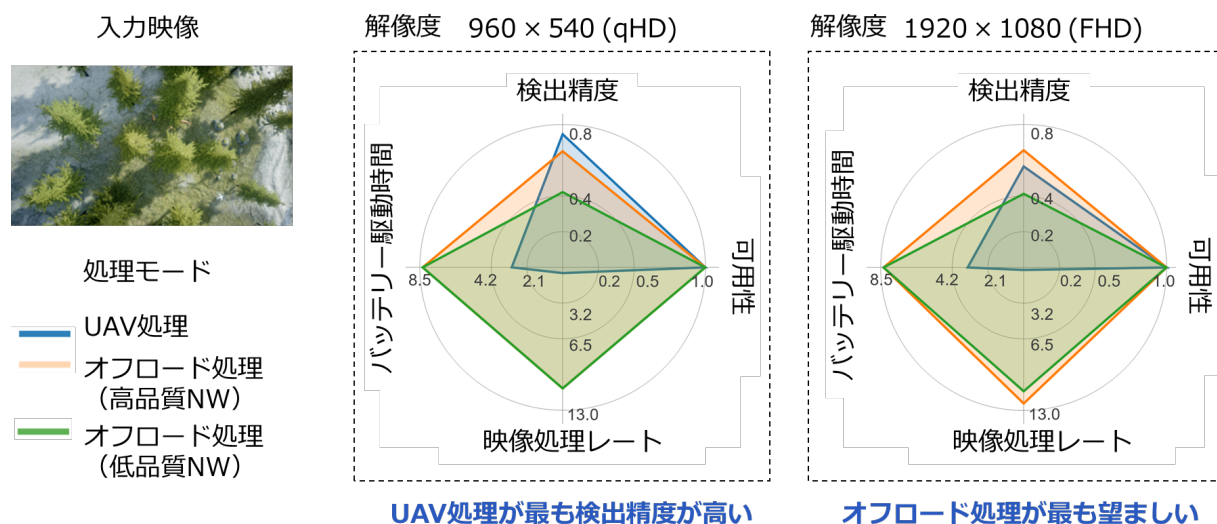


図2 SPADE による品質トレードオフ解析結果の例

森林地帯に生息する野生動物のモニタリングを想定したシナリオで、UAV でリアルタイムに検出処理を実行する場合と、地上の計算機にデータ処理を移行して実行する場合を比較評価する。入力映像の解像度が qHD の場合、最も高い検出精度を達成するのは UAV 処理である。一方、入力画像の解像度を FHD に変えると、地上でデータ処理した場合の方が全ての品質指標において有利になる。ただし、UAV が高品質なネットワークを利用できるかどうかで、システムの品質が変わる点に注意が必要である。

用語解説

注 1) 状態遷移モデル

システムにおける計算処理やネットワークの状態の変化を表現するための数理モデル。

研究資金

本研究は電気普及通信財団の研究助成を受けて実施されました。

掲載論文

- 【題 名】 SPADE: Simulator-assisted Performability Design for UAV-based Monitoring Systems
(SPADE: シミュレーター支援による UAV モニタリングシステムの性能可用性設計)
- 【著者名】 Qingyang Zhang, Fumio Machida, and Ermeson Andrade
- 【掲載誌】 Future Generation Computer Systems
- 【掲載日】 2025 年 6 月 20 日
- 【DOI】 10.1016/j.future.2025.107967

問い合わせ先

【研究に関すること】

町田 文雄（まちだ ふみお）

筑波大学システム情報系 准教授

URL: <https://www.sd.cs.tsukuba.ac.jp/>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp