

# 物体の状況を考慮した適応制御を備えた相関フィルターに基づく移動物体追跡

メタデータ	言語: English 出版者: 公開日: 2022-03-29 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 唐, 兆前 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10291/22274">http://hdl.handle.net/10291/22274</a>

## 「博士学位請求論文」審査報告書

審査委員 (主査) 総合数理学部 専任教授

氏名 荒川 薫

(副査) 総合数理学部 専任教授

氏名 鹿喰 善明

(副査) 総合数理学部 専任准教授

氏名 森 勢 将 雅

1 論文提出者 唐 兆前

2 論文題名 Visual Tracking based on Correlation Filter with Adaptive Control  
Considering the Situation of Objects

(日本文題) 物体の状況を考慮した適応制御を備えた相関フィルタに基づく移動物体  
追跡

### 3 論文の構成

動画像における動き物体自動追跡のために、物体の状況に応じて適応的な制御を行う相関フィルタ型追跡方式を提案する。提案方式は、物体の状況変化時においても正しく物体を追跡できる正確性と実時間での物体検出を実現するための高速処理の両方を実現することを目指す。本学位請求論文では、三つの追跡方式を提案する。一つ目は、高速に精度の高い物体追跡を行うことで知られている kernelized correlation filter (KCF)なる手法に対して状況変化を考慮して改良を行った方法(CFCA)、二つ目は、さらに正確に物体追跡を実現できるよう高速フーリエ変換の境界の影響を排除し、物体状況の変化を考慮した方法(CFAS)、三つ目は大きなスケール変化と細やかなスケール変化の両方に対応した方法(BASTR)である。従来法に対する優位性を示すとともに、この三つの提案方式の関連性についても論じた。本論文の構成は以下に示すように、序論(第1章)、本論(第2章～第6章)及び結論(第7章)の構成になっている。

第1章 序章

第2章 関連研究

2.1 Kernelized Correlation Filter

2.2 Background Aware Correlation Filter

- 2.3 Spatial-Temporal Regularized Correlation Filter
- 第3章 信頼度マップと適応モデルを用いた相関フィルターに基づく移動物体追跡
  - 3.1 適応的スケールプール
  - 3.2 信頼度マップの活用
  - 3.3 適応的モデルの更新
  - 3.4 追跡特性
- 第4章 適応的時空間正則化相関フィルターによる移動物体追跡
  - 4.1 適応的時空間正則化
  - 4.2 状態推定
  - 4.3 追跡特性
- 第5章 ロバストかつ効率的な時間正則化相関フィルターによる移動物体追跡
  - 5.1 ロバストかつ効率的な時間正則化相関フィルターのモデル
  - 5.2 適応的なスケール推定
  - 5.3 追跡特性
- 第6章 種々の評価実験
  - 6.1 位置情報の影響
  - 6.2 スケール推定の重要性
  - 6.3 追跡方式のフレームワークの重要性
- 第7章 結論

## 4 論文の概要

動画像における移動物体の自動追跡は、防犯カメラやエンタテインメントなど、社会の様々な分野で要求される技術であり、これまでも多くの研究がなされてきた。主に、サポートベクターマシン(SVM)、相関フィルター(CF)、深層学習(DL)などが移動物体追跡に用いられるが、このうち、SVMやDLに基づく方式は、計算量が多いため、実時間で動画像の移動物体を追跡するのは難しい。特にDLは追跡性能が高いが、計算量が多く通常のCPUで実時間処理を行うことが難しい。そのため、相関フィルターに基づく方法が、優れた追跡性能と実時間性の双方の観点から注目されている。しかし、それでも、物体の変形、照明変化、遮蔽、大きさ(スケール)の変化など、移動物体や環境の様々な状況の変化により、追跡性能が大きく低下してしまう。

本論文では、このような課題を解決するため、相関フィルターに基づく三つの移動物体追跡方式(CFトラッカー)を提案する。方法1(CFCA)は、高速演算可能なCFトラッカーとして有名なKernelized Correlation Filter(KCF)に適応制御を導入したもので、物体の大きさの変化や回転などの一般的な状況変化に対応することができる。さらに、このCFトラッカーは、KCFに基づくため高い実行速度を実現する。方法2(CFASE)は、KCFにおいて問題となった高速フーリエ変換(FFT)の窓の境界の影響で生じる特性劣化を軽減するため、境界付近で相関フィルターのフィルター係数が0に近づくように正則化を行うSpatial-Temporal Regularized Correlation Filter(STRCF)に新たに時間正則化を導入し、また物体の検出状態に応じてスケール変換を適応的に制御するものである。境界影響を抑制したことにより、CFCAより良好な追跡性能を実現する。特に移動物体追跡の性能評価のための国際的標準データセットであるOTB-2013及び2015に対して、実時間処

理可能な計算速度で非常に優れた追跡性能を実現し、従来法に対する優位性を示した。方法3 (BASTR)は、CFASE に対して、フィルター係数の空間正規化を行うための重み関数に対して、時間正規化を導入し、且つ、物体の大きさと縦横比によって、スケール推定の方式を適応的に変えるものである。BASTR は、OTB-2013, 2015 以外のデータセット対しても総合的に良好な追跡性能を実現するという点で、従来法に対して優れており、また、CFASE と異なり詳細なパラメータ調整が不要であるという特徴を有する。なお、三つの提案方式の特性評価では、パラメータは OTB-2013 に対して最適になるよう設定し、他のデータセットに対してもこの値を用いて有効性を示した。最後にこれら三つの方法の特性について、種々の評価実験を行い、これらの関連性と位置づけを明らかにした。

第1章では、移動物体検出の概要について説明し、先行研究を紹介している。

第2章では、相関フィルターに基づく移動物体追跡アルゴリズムの従来方法として代表的な KCF、BACF 及び STRCF の原理を説明した。

第3章では、KCF の性能を向上させた新規の方式として、信頼度マップと適応モデルを用いた CF トラッカー (CFCA) を提案した。この手法は、信頼度マップの複数の候補の位置と輝度ヒストグラムの類似性を組み合わせて、物体の位置の検出精度を向上させる。また、フィルター応答のフレーム間の変化量と輝度ヒストグラムの類似度の値に応じて、画像特徴量と相関フィルターのモデルの学習率を適応的に制御し、物体の状況の急激な変化に対応できるものである。データセット OTB-2013, 2015 を用いた計算実験により、提案方式の有効性を示した。

第4章では、FFT 窓の境界影響を軽減した CF トラッカー-STRCF に対して、時間正規化を導入し、さらに前二フレームから時間予測を用いてフィルターモデルをより正確に推定する CFASE を提案した。この方式ではさらに、スケール推定の精度を向上させるために、平均ピーク相関エネルギー (APCE) を導入して、物体の状態に応じて、スケール推定を適応的に制御する。OTB-2013, 2015、TC-128 に対して、計算実験を行い、従来 CF トラッカーより特性が優れていることを明らかにした。

第5章では、適応的な空間正規化と時間正規化を導入した CF トラッカーとして BASTR を提案した。この方式では、対象物体の大きさと縦横比によって、スケール推定の方式を適応的に変える。小さい物体或いは縦横比が 2.5 以上の物体は、より推定精度の高い Scale Pool を使い、それ以外では、急激な変化に適した DSST によるスケール推定を行う。これにより、OTB、TC-128 だけではなく、無人機の物体追跡のデータセットである UAV についても良好な追跡特性を実現することができた。

第6章では、本論文で提案された三つの方式の特性比較と関連性について検討を行った。提案された三つの方式は、基になる CF トラッカーの方式以外に、物体の位置推定とスケール推定の改良方式が異なる。三つの提案方式に対して、これらの改良方法の組み合わせを変え、OTB-2013, 2015 に対しては、CFASE が最も特性が高く、動きの激しい UAV に対しては BASTR が最も特性が高いことを明らかにした。なお、CFCA は追跡特性はこれらに対して劣るが、処理速度が速いという点で、他の二方式に対して優位性を持つ。

最終章である第7章では、本論文のまとめと今後の課題と展望について述べられている。

## 5 論文の特質

動画像における移動物体の自動追跡は、近年の情報化社会において重要な研究テーマであり、世界の多くの研究者が研究を重ねてきた。特に、2010年以降、実時間で正確な物体追跡を行う相関フィルターに基づく方式が盛んに提案されてきたが、実際に撮影される物体は、移動の過程で変形や状況変化を生じ、追跡の正確性には限界があった。

本学位請求論文は、このような実環境における物体の状況変化に対処するため、物体の状況を推定して、それに基づき適応的に制御を行うことにより、正確性を高める方式を提案するものである。本論文では三つの方式を提案しているが、最初の CFCA は、2014年に提案された KCF に基づくもので、簡易ではあるが、高速処理を実現する。二つ目の CFASE は、2018年に提案された STRCF に基づくもので、移動物体追跡の国際的標準データセットである OTB-2013, 2015, TC-128 において、従来法に対する優位性が示されている。三つ目の BASTR は 2017年に提案された BACF に基づくものであり、OTB-2013, 2015 に対しては CFASE にやや劣るが、物体の動きの激しい UAV データセットでは、CFASE を始めとする従来方式より追跡特性が良好で、データセットによらず総合的に優れた特性を実現するものである。また、これらの三つの方式は、互いに、基となる追跡方式が異なるが、改良方法を入れ替えた場合の特性比較も行い、これら三つの方式の関連性や位置づけを明らかにした。移動物体追跡の研究では世界で多くの方式が提案されているが、それらをカバーする十分な文献調査を行い、国際的標準データセットを用いて、丁寧に特性比較を行い、有効性を示している。

## 6 論文の評価

移動物体追跡において問題となっていた対象物の状況変化への対応に取り組み、国際的標準データセットに対して、従来方式より優位性の有る新しい追跡方式を提案したことは高く評価できる。本学位請求論文で提案された方式は、処理速度及び正確性の両方の観点において、既存方法より優れたものであると言える。また、相関フィルターに基づく移動物体追跡の研究に関して十分な文献調査を行い、計算実験により、主要な従来方式と特性の比較を行い、信頼性が高い。パラメータの設定についても十分な検討がなされている。

本論文では三つの方式を提案し、各々基となる追跡方式と改良方法が異なるが、計算実験により、国際的標準データセットに対する有効性を各々示し、三方式の方向性や有効な用途及び位置づけを明らかにしたことは、貴重な成果であり、本論文が高く評価できるものであると言える。

## 7 論文の判定

本学位請求論文は、先端数理科学研究科において必要な研究指導を受けたうえ提出されたものであり、本学学位規程の手続きに従い、審査委員全員による所定の審査及び最終試験に合格したので、博士（工学）の学位を授与するに値するものと判定する。

以上