

## 論文審査の結果の要旨

氏名：魯 暁 鋒

専攻分野の名称：工学

論文題名：Research on Moving Target Detection and Tracking Methods for Intelligent Traffic Surveillance (高度交通監視のための移動体検出と追跡に関する研究)

審査委員：(主査) 教授 泉 隆

(副査) 教授 中村英夫 教授 小野 隆

発展著しい ICT (Information and Communication Technology, 情報通信技術) を活用して安全で快適な交通社会に貢献すべく ITS (Intelligent Transport Systems, 高度道路交通システム) に関する研究開発が盛んに行われている。カーナビゲーションシステムや ETC (Electronic Toll Collection System, ノンストップ自動料金支払いシステム) は身近な ITS として知られている。その中で、情報収集、情報処理、そして情報提供の機能を有する、交通管制システムにおいても ICT 活用が進んでいる。情報収集システムでは多くの情報が得られるビデオカメラの導入が進んでおり、ビデオカメラは、例えば交通状況把握やトンネル内監視といった交通監視などの目的で利用されている。交通管制システムにおいて収集した情報を処理した結果のアウトプットは道路利用者への情報提供や交通制御に利用され、交通管制システムの高度化のためには、より高精度な情報収集が望まれる。

このような背景のもと、本論文では、路上に設置されたビデオカメラ映像の中から、車両や歩行者を対象とした移動体検出と追跡に関する高精度な画像処理アルゴリズムの構築について述べている。なお、移動体の検出及び追跡アルゴリズムは、交通情報収集あるいは状況把握のための基盤となるものである。すなわち、移動体検出処理により移動体を検出されると移動体の位置や大きさの情報、追跡処理によって速度などの情報を得ることができる。

ところが、道路上に設置したビデオカメラで撮影された映像では、「照明変動や影などの影響があること」、「移動体が道路上を移動することによってダイナミックにサイズや向きが変わること」、そして「複数移動体があれば重なりによる隠れ問題が生じること」などの課題がある。

申請者は、このような問題をクリアするために、照明変動や影など明度変化に強い表色系や画像特徴の選定、追跡対象画像領域の回転やサイズの変化に対応するための画像特徴、移動体の重なり問題への対処など様々な工夫をした新しいアルゴリズムを考案した。

本論文では、監視カメラから得られる映像から車両や歩行者などの移動体検出及び追跡の高精度化を目的として、背景差分を応用した移動体の検出、適応的複数特徴融合とパーティクルフィルタを応用した単一移動体の追跡、SURF (Speeded-Up Robust Features) を応用した単一移動体の追跡、そして PHD (Probability Hypothesis Density, 確率仮説密度) フィルタを応用した複数移動体の追跡の 4 つの手法を提案している。

以下、論文の章建てに沿って審査内容を報告する。論文は、第 1 章の序論から第 6 章の結論に至る全 6 章から構成されている。

第 1 章は序論であり、本研究の背景及び目的、本論文の構成について述べている。

交通監視システムにおける移動体検出と追跡の重要性を明らかにし、移動体検出及び追跡手法についての関連研究調査を踏まえて新たな手法を提案すること、並びに本論文の構成について述べている。

第 2 章では、背景差分を応用した移動体の検出について述べている。

本章では、固定カメラによる静的なシーンにおける移動体抽出 (前景分離) によく使われる背景差分処理の応用について考察している。

まず、色空間には RGB, HSV, YCbCr 色空間などがあるが、照明変動や影の影響を受けにくい YCbCr 色空間を採用することを明らかにしている。

背景差分処理は、初期背景の作成、移動体の抽出処理、背景更新処理の 3 つから構成される。

初期背景の作成では、「移動体が存在しない時間が長い部分は背景である」との考えに基づき、ある時間期間（T フレーム間）の画像を画素レベルで YCbCr 要素ごとにヒストグラム化し、最大頻度を示す値を背景の画素値として取得することとした。これによって、移動体の存在しない時間帯の画素値で構成される画像を取得することができる。

次に、初期背景作成後の移動体抽出処理では、照明変動や影の影響に強い YCbCr 色ヒストグラムに加え、画像の回転に強いテクスチャ特徴 ULBP (Uniform Local Binary Pattern) を用いるとしている。これらの画像特徴に対する類似性尺度を算出し、類似性尺度の融合ではシヨケ積分を使って総合評価値を求め、しきい値により移動体を抽出する手法としている。

最後に、背景更新処理では、車両ゴーストが発生することがある従来の固定的背景更新手法や選択的背景更新手法に対し、この欠点を補う適応的背景更新手法を提案している。これによって車両ゴーストの発生が抑制された。

申請者は、これら初期背景の作成、移動体の抽出そして背景更新のそれぞれのステップにおいて様々な工夫をした一連の処理を統合した新しい手法を提案し、実験により提案手法の有効性を示したのは評価に値する。

第 3 章では、適応的複数特徴融合とパーティクルフィルタを応用した単一移動体の追跡について述べている。

パーティクルフィルタは特徴点を粒子として、粒子群の初期化、予測、重み付け、そしてリサンプリングという処理を繰り返して最適解を得るものである。移動体追跡に应用する場合には、移動体領域（テンプレート）の中心位置を特徴点として、一連の処理を繰り返すことで移動体追跡を行えばよい。このテンプレートで追跡することによって、車両重なり等、ある程度の隠れ問題に対する回避も可能となる。移動体追跡は尤度（類似度）から算出される重みに基づいて行われるため、追跡対象の尤度算出に使う特徴の選定が重要である。この特徴として、色ヒストグラムのみでは追跡対象と同様の色特性をもつ物体あるいは領域が別に存在する場合に判別が難しい。そこで、申請者は、HSV 色ヒストグラムのほかに、EOH (Edge of Orientation Histograms) エッジ特徴と LBP (Local Binary Pattern) テクスチャ特徴を加えることとした。さらに、各特徴評価値の単純荷重和では移動体の状態変化に弱いことから、追跡対象の状態によって特徴の重みを動的に変化させることができる、適応的加重係数を用いた評価値の融合法を提案した。これら一連の処理からなる手法を提案し、実験により有効性を示したことは評価に値する。

第 4 章では、SURF を応用した単一移動体の追跡について述べている。

本章では、前章と同様に、パーティクルフィルタを用い、その尤度算出に使う特徴には HSV 色ヒストグラムと LBP テクスチャ特徴を用いた手法を検討している。この処理の中で、以下に述べる SURF 特徴を用い、パーティクルの重み補正を行うことで移動体追跡の精度向上を狙った手法を提案している。

SURF は、画像中から抽出した特徴点の周囲の輝度変化のうち、最も大きい方向を特徴とするもので、高速、かつ画像の回転やスケール変化に頑強なマッチングができる。ところが、移動体の変化に対して時系列順のフレーム内でその追跡するテンプレートを表す特徴点を更新する必要があり、従来手法ではランダムに特徴点を採用するため効率が良いとは言えなかった。そこで申請者は、対象テンプレート中の出現頻度が小さい特徴点を悪い特徴点として捨て、候補テンプレート中で連続して出現する特徴点を新たな特徴点として採用する新しい特徴点更新手法を提案している。そして、一連の処理からなる手法を提案し、実験により提案手法が有効であることを示したのは評価に値する。

第 5 章では、PHD フィルタを応用した複数移動体の追跡について述べている。

第 3 章及び第 4 章では単一移動体の追跡手法について述べているのに対し、本章では複数移動体の追跡について述べている。単一移動体の追跡ではフレーム間の対応付けが一つのみとシンプルであったが、複数移動体追跡では複数テンプレートの対応付けが必要となり、計算が複雑になるとともに計算量が増加するという問題がある。

これらの問題を解決するために、申請者は、RFS (Random Finite Set, ランダム有限セット) に基づく状態空間モデル、及び PHD フィルタの GM (Gaussian Mixture, ガウス混合) 実装による状態推定を用いている。集合の要素が確率変数、かつ要素数も確率変数である RFS は、時刻によって追跡対象の数や観

測数が変化する場合のモデル化に適している。この RFS 状態空間モデルの状態推定には、RFS の 1 次モーメントのみで状態推定を行う PHD フィルタと、その GM 実装を用いている。なお、移動体から直接 PHD を抽出することは困難なので、移動体の特徴観測状態ランダム集合を応用した PHD 近似手法を提案したのは評価に値する。なお、移動体テンプレート特徴には、HSV 色ヒストグラム及び LBP テクスチャ特徴を採用している。

申請者は、これらの処理をまとめた複数移動体追跡手法を提案し、実験により提案手法が有効であることを示した。なお、複数移動体の追跡性能評価には集団評価が可能な OSPA (Optimal Sub-Pattern Assignment) 指標を採用し、OSPA 値の比較から提案手法は従来手法に比べて有効であることを示している。

第 6 章では、本論文の成果と今後の課題についてまとめ、結論としている。

本論文では、移動体の検出及び追跡に関して、関連研究の調査を踏まえて 4 つの新しい手法を提案し、従来手法と各提案手法の実験結果から、従来手法に対して、それぞれの提案手法は照明変動や影の影響、画像の回転や拡大・縮小など環境変化に対して頑健であることを示している。本論文の研究成果は、動画画像処理の基本となるものであり、今後の交通管制システムにおける高度交通監視をはじめとするアプリケーションの高度化に貢献できるものと期待する。

このことは、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、またはその他の高度な専門的業務に従事するために必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

平成 26 年 2 月 13 日