

論文の内容の要旨

氏名：魯 晁 鋒

博士の専攻分野の名称：博士（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）

近年、ビデオカメラ映像をもとにした画像処理に関する研究が盛んに行われている。監視映像を対象とした場合には、画像シーケンスから移動体を検出、認識、そして追跡等の処理が行われる。道路交通における交通監視にも、ビデオカメラが交通状況把握や交通センサ等として用いられ、これらから得られる情報は、交通制御及び管理、安全運転支援などに利用されている。ITS（Intelligent Transport Systems, 高度交通システム）の進展に伴い、高度な交通制御や情報提供に向けて、交通監視分野でもより高精度な処理が要求されるものと考えられる。このための画像処理として、移動体検出と追跡は最も基本的かつ重要な技術であり、高度な監視を実現するための鍵となる。

移動体検出処理により移動体が検出されると、移動体の位置、速度、および他の基本的な情報を得ることができる。これらの情報は、後続の移動体追跡処理ステップに大きく依存するので、この処理性能は特に重要である。また一般的なコンピュータビジョンにおいても、この移動体検出処理は重要な研究分野の一つとなっている。移動体検出に使われる一般的な技術には、背景差分及び時間フレーム差分、オプティカルフローなどがある。特に、背景差分は、固定カメラによる静的なシーンの前景分離（移動体抽出）によく使われる手法であり、計算コストが比較的少ない特徴がある。

本研究で検出対象とする移動体は歩行者や車である。監視カメラで撮影する映像では、ダイナミックに移動体のサイズや向きが変わることや照明や影の影響などの課題が存在する。

一方、この移動体追跡は、道路交通のみならず多くのアプリケーションでも重要な処理ステップである。移動体追跡問題は、計測情報に基づくが、特に対象とする移動体が他の物体に隠れた場合には、利用可能な計測情報をもとにした隠れ状態推定問題として定式化することができる。ここで計測情報とは、定期的に取り得られる移動体の位置や速度などの属性のことであり、これをもとに各時点での移動体の状態を推定することになる。推定値の時系列データをもって、移動体の軌跡を記述することができる。移動体追跡のために、これまでカルマンフィルタや拡張カルマンフィルタ、アンセンテッドカルマンフィルタ、平均変位法、パーティクルフィルタなどを利用した手法が検討されている。

さらに複数の移動体追跡は、単一移動体追跡の延長である。複数の移動体から得られる複数の計測情報をもとに、移動体の現在の状態を推定する処理と定義することができる。複数移動体追跡手法には、NN（Nearest Neighbor, 最近傍法）やPDA(Probabilistic Data Association), JPDA(Joint Probabilistic Data Association), MHT(Multiple Hypothesis Tracking)などの手法がある。これらの手法では、フィルタリングと連動して動作するデータ関連付けが必要である。データ関連付け問題は、複数移動体追跡手法における計算量の大部分を占める。これらの問題を統一的に解決するために、本研究では、PHD（Probability Hypothesis Density, 確率仮説密度）フィルタのGM（Gaussian Mixture, ガウス混合）実装による複数移動体追跡手法を用いる。RFS（Random Finite Set, ランダム有限セット）フレームワークに基づくPHDフィルタは、データ関連付けの必要性を回避することができる。

本論文では、監視カメラ映像から歩行者や車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 フィルタを応用した複数移動体の追跡の 4 つの手法を提案する。

本論文は、6 つの章で構成される。以下にその概要を述べる。

第 1 章 序論

本章では、本研究の背景と目的を述べ、交通監視システムにおける移動体検出と追跡手法の紹介、本論文の構成について述べている。

第2章 背景差分を応用した移動体の検出

本章では、照明や影の変化、カメラの振動等の環境条件の変化に対応可能な背景差分手法を提案している。

背景差分に利用可能な色空間には RGB, HSV, YCbCr 色空間などがあるが、本章では照明変化の影響を受けにくい特徴がある YCbCr 色空間を用いた。初期背景は、移動体が存在しない時間が長いという考えに基づき、ある T フレーム間に取得した画像を YCbCr の要素ごとにヒストグラム化し、最大頻度を背景の画素として取得した。次に移動体抽出には、YCbCr の要素に加え、照明変動に頑健でかつ回転不変性という特徴をもつテクスチャ特徴量 ULBP (Uniform Local Binary Pattern) を用い、各々の類似性尺度をショケ積分で融合することで評価値を算出、それがしきい値未満であれば移動体として抽出する。また、背景更新は、従来手法である固定的背景更新手法や選択的背景更新手法の車両のゴーストが発生する欠点を抑制する、適応的背景更新手法を提案した。そして、実験により提案手法が有効であることを示した。

第3章 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

本章では、パーティクルフィルタを用いた単一の移動体追跡のための複数の特徴融合アルゴリズムを提案している。

パーティクルフィルタを用いた追跡手法は、初期化ののち、予測、重み付け、リサンプリングという処理を繰り返すことで移動体を追跡するものである。すなわち尤度から算出される重みに基づいて移動体追跡を行うため、追跡対象の尤度算出に使う特徴の設定が重要となる。追跡対象の尤度を表す特徴として、色ヒストグラムが広く用いられているが、追跡対象と同様の色特性を持った物体あるいは領域が存在する場合は、その判別が難しくなる。そこで、色ヒストグラムに加え、エッジ特徴、テクスチャ特徴を組み合わせることとした。これらの特徴の融合には、一般に均一重みや固定重みが用いられるが、追跡対象の状態が変化に対して、それに対応する特徴の重みが変化しなければ、追跡性能の低下に繋がる。そこで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重み係数を用いた手法を提案し、実験により提案手法が有効であることを示した。

第4章 SURF を応用した単一移動体の追跡

本章では、回転や大規模なスケール変化などの複雑な条件での移動体追跡に対応可能な SURF を応用した単一移動体の追跡について提案している。

SURF では、画像中から特徴を抽出した特徴点の周りの輝度変化から、最も輝度変化の大きい向きを算出することにより、画像の回転に頑強な特徴を抽出することが可能である。また、算出した輝度勾配の正規化を行うため、輝度勾配にも頑強である。SURF は、単なる高速化手法ではなく、SIFT (Scale Invariant Feature Transform) よりも識別性能が高いと言われている。この特徴を利用する場合、移動体の変化に対し、時系列順にそのテンプレートの特徴点を更新する必要がある。ところが従来手法ではランダムに特徴点を採用しているため、必ずしも有効な特徴点ではなかった。そこで、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る手法と、候補テンプレートの中で連続して出現した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、実験により提案手法が有効であることを示した。

なお、パーティクルフィルタの尤度を表す特徴として、色とテクスチャ (LBP を用いた) を組み合わせ、また、追跡領域中心部の修正には距離カーネル関数により求めたパーティクルの重みを使用した。

第5章 PHD フィルタを応用した複数移動体の追跡

本章ではランダム有限集合理論に基づく PHD フィルタを応用した複数移動体の追跡手法を提案している。

複数の移動体追跡は、単一移動体追跡と違い、異なる状態空間モデルを使用する。まず、複数の移動体追跡手法 NN, PDA, JPDA, MHT などの従来手法のデータ連携方法を紹介し、これらの手法の特性を分析した。これらの方法では、移動体数が多くなると状態の次元が大きくなるため、計算量が増加するという問題がある。

この問題を解決するために、本研究では、RFS に基づく状態空間モデルと、確率仮説密度フィルタの GM 実装による状態推定を用いた。RFS は、要素が確率変数かつ、要素数も確率変数である集合であり、時刻毎に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。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 実装を用いる。しかし、移動体から直接、PHD を抽出することは困難である。そこで、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。この近似手法は、センサ尤度関数と予測強度の積で導出する。特徴観測状態ランダム集合は、モンテカルロ法に基づくラベル付けされた重み付きパーティクル集合から抽出する。事後強度は導出したパーティクル集合により表す。抽出されたパーティクルの色特徴や LBP 特徴を融合するために適応重みを採用する。複数の移動体の追跡性能評価には OSPA (Optimal Sub-Pattern Assignment) 指標を採用し、OSPA 値の比較から JPDA 方法に比べて提案手法は有効であることを示した。

第 6 章 結論

本章では、本論文の成果のまとめと今後の課題を示した。

本論文では、移動体の検出及び追跡に関する高精度アルゴリズムを提案し、従来手法と各提案手法の実験結果から提案手法の有効性を示した。本論文の研究成果は、高度交通監視のための移動体検出と追跡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する。