

氏名（本籍）	松元 郁佑（大阪府）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第27号
学位授与日付	平成21年3月25日
専攻	システム工学専攻
学位論文題目	パーティクルフィルタによる頑健な対象追跡法に関する研究
学位論文審査委員	（主査）教授 和田 俊和 （副査）教授 呉 海元 講師 坂本 竜基

論文内容の要旨

1 はじめに

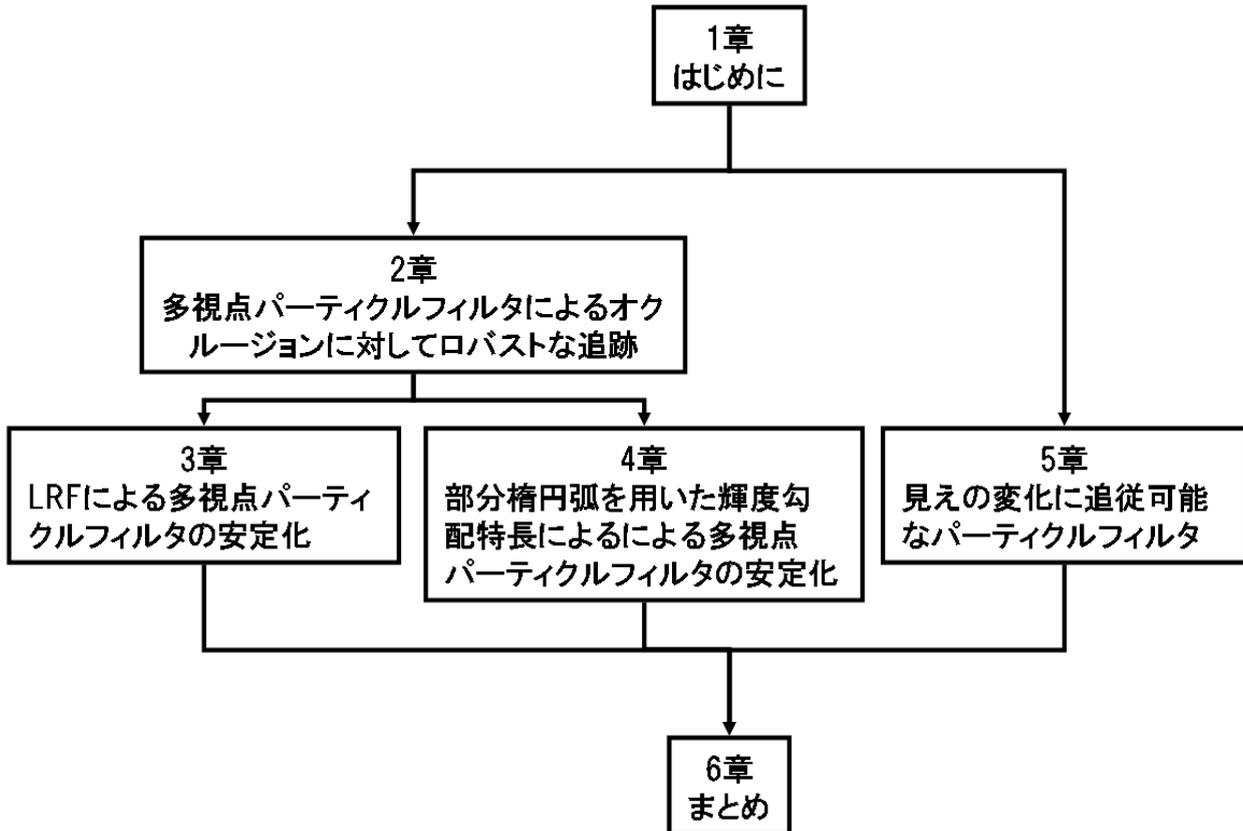
本研究では、近年ロバストな追跡が可能な手法として知られているパーティクルフィルタの安定性について考察し、問題点を解決するための手法を提案する。本研究は大きく2つの部分に分けることができ、1) 多視点パーティクルフィルタ（複数カメラを用いたパーティクルフィルタによる3次元人物追跡を意味する）に基づいたロバストな追跡法と、2) 単眼パーティクルフィルタにおける対象の明るさ変化にロバストな追跡法である。

1) において問題として扱うのは、a) オクルージョンに対する追跡のロバスト性、b) 実環境下でのロバストな追跡が可能にするための Laser Range Finder(LRF) を用いた安定化、c) 輝度勾配特徴による安定な尤度の推定の3つである。a) では、これまでの手法でオクルージョンに対して複雑な処理を行っていたのに対し、提案手法では簡単な積和の計算だけで実現する。これは、実時間性を考慮した方法であり、従来手法では大人数の追跡が行えなかったが、提案手法によってこれを解決した。b) では、ビジョンの追跡手法に比べて安定な LRF による追跡システムを多視点パーティクルフィルタの安定化に用いる手法である。LRF はセンサの特徴から、反応している位置には何らかの物体があることを示し、カメラではこのような特徴が無い。このためビジョンシステムに比べて追跡が安定であると言える。c) では、人物の検出追跡に近年よく用いられロバストな追跡が可能な Histogram of Oriented Gradient(HOG) という特徴がある。これは画像の輝度勾配のヒストグラムを特徴ベクトルとしたものであり、この輝度勾配に注目して新しい特徴を提案する。

2) においては、夜間の追跡において、画面が暗い中で点滅する物体を追跡する場合の問題を扱う。例えば、蛍などの明るさが変化し、その明るさに基づいて追跡を行うしかないが、これに一般のパーティクルフィルタを適用してしまうと追跡が不安定になる。これは、パーティクルフィルタが明るさに関するパラメータも位置に関するパラメータと同様にして多義性を持たせた確率分布によって推定し、それを用いて位置のパラメータを推定するため、多義の明るさ基準による尤度推定を行うことになり、追跡に一貫性が無いという問題がある。これを解決するために、明るさに関しては多義性を排除し、位置に関しては多義性を残して一意に決めた明るさに従って追跡を行う手法を提案する。

図 1 では、本論文の構成を示す。1 章ではこれまでの追跡手法とパーティクルフィルタについて述べ、問題点を説明する。2-4 章では多視点パーティクルフィルタにおける問題点の解決法を提案し、2 章では、多視点パーティクルフィルタをオクル

ージョンに対してロバストな追跡が行えるようにした手法の提案、3 章では LRF を用いて実環境下でも安定な追跡が行える手法の提案、4 章では新しい輝度勾配特徴提案し、これを用いた追跡の安定化についての手法を説明する。5 章では単



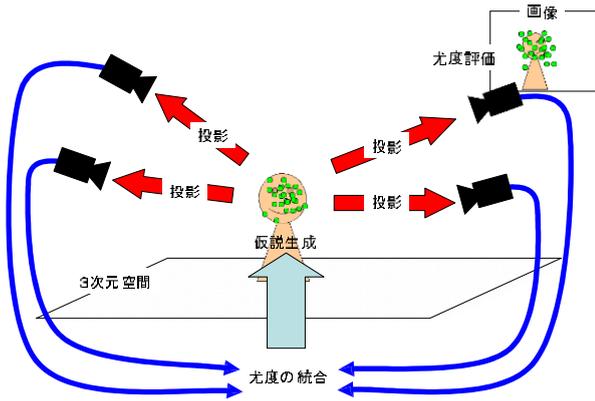


図 2: 多視点パーティクルフィルタの概要

眼カメラでのパーティクルフィルタの問題で、明るさの変化を伴う対象をロバストに追跡できる手法を提案する。最後に 6 章で本論文をまとめる。

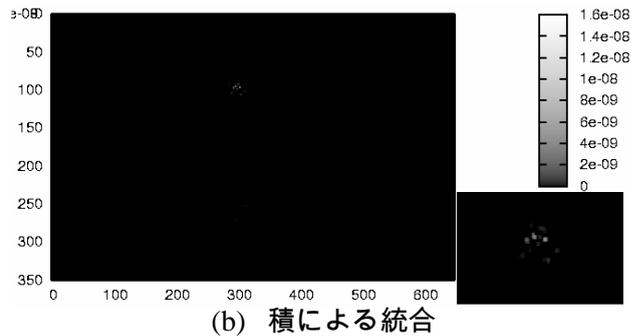
2 多視点パーティクルフィルタによるオクルージョンロバストな追跡

多視点パーティクルフィルタは、3次元空間中のパーティクルと図 2 のように設置された複数のカメラによる尤度推定、そしてその統合を行うことで 3次元の人物頭部に関する確率分布を推定し、これにより追跡を実現する方法である。

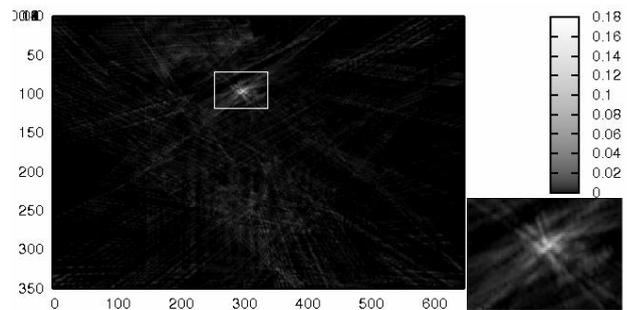
これまでオクルージョンに対しては、環境情報を構築することで対象が環境内にある物体によって隠されているかどうかを判定する手法や、オクルージョン確率マップを画像上で計算することで尤度計算へ導入した手法が提案されてきた。しかしながら、環境情報だけでは人物同士のオクルージョンに対応できない問題や、いずれの処理も複雑になりがちであり、大人数の追跡ができないという問題がある。

そこで、本研究は隠れの情報を積極的に活用せず、単純な統合方法を考察するだけでオクルージョンに対してロバストな追跡が行える手法を提案する。この手法では、多視点それぞれのカメラから得られる仮説の重みを統合する際、全てのカメラのうち 2 つのカメラから得られる重みの積と、その積の結果を足し合わせることで実現する。

積を用いて統合したときの尤度マップを図 3(a) に、提案手法で尤度を計算したときの結果を図



(b) 積による統合



(b) 提案手法による方法

図 3: 各統合方法による重みマップ:いずれもオクルージョンが発生

3(b) に示す。これらと比較すると、提案手法ではオクルージョンが発生しても高い値を推定できているのに対し、積を用いた場合には尤度が低くなってしまい、追跡が不安定になることが予想される。また、本手法によって、人物 6 人の追跡を実現し、理論的には 15 人程度の同時追跡が可能であることが分かった。

3 LRF による多視点パーティクルフィルタの安定化

多視点パーティクルフィルタを実環境下へ適用した際、図 4 のような追跡結果になってしまい、不安定になってしまうという問題がある。これは背景と人物頭部のコントラストが悪くなったり、実験環境とはことなる条件によって起きるものである。

安定な追跡が行える手法として、LRF による追跡がこれまで提案されて来ている。この方法では、複数人の追跡を安定に行え、大規模なシステムでの実現が可能である。これは、センサの特徴から



図 4: 多視点パーティクルフィルタを実環境下に 応用した例

言えることであり、反応の有無で物体の有無を判定でき、また、1 フレームあたりで得られるデータの数も少ないことから言える。カメラは反応があることで光が入射したことは判定できるが、それ以外の情報を得るためには複雑な処理を要する。また探索空間も非常に広いとも言える。ただし、多視点パーティクルフィルタでは 3 次元の情報を得ることができるが、LRF ではある平面上の探索しか行えないため、異なる人物の頭部を追跡することができない。

そこで、本研究では多視点パーティクルフィルタの枠組みに LRF を用いた追跡結果を導入することで多視点パーティクルフィルタの安定化を目指す。提案手法では LRF の追跡結果を、1) 多視点パーティクルフィルタの尤度評価へ導入する方法と、2) 追跡の失敗を補正するための情報として導入する方法の 2 つを考える。また、両方を組み合わせる方法についても提案する。

ここでは、両方の方法を組み合わせた方法によって得られた追跡結果を図 5 に示す。この図で分かるように、図 4 のような失敗が見られない。

4 輝度勾配による多視点パーティクルフィルタの安定化

近年、安定な追跡手法に用いられる画像特徴として、Histogram of Oriented Gradient (HOG) が用いられている。これは画像の輝度勾配をヒスト



600 frame



700 frame

図 5: LRF を用いた安定化

グラムにして、それを特徴ベクトルとして扱うもので、非常に安定な追跡を実現できるという利点がある。本章では画像の輝度勾配に注目して新しい画像特徴を提案する。

提案する画像特徴は、図 6 のように、楕円弧と輝度勾配との一致度を特徴ベクトルの成分として用いる特徴である。楕円と輝度勾配との一致度は人物かどうかを判定するのに我々が多視点パーティクルフィルタで用いた特徴であり、これの集合を特徴ベクトルとして考えることで、人物かどうかの識別が行えるのではないかと考えた。

この画像特徴と Real AdaBoost による人物検出の実験を行った結果、図 7 のような結果が得られたが、他の画像ではうまくいかないケースもあった。またこの特徴を用いた尤度マップも計算したが、人物位置を特定できる情報が得られていないことが分かった。

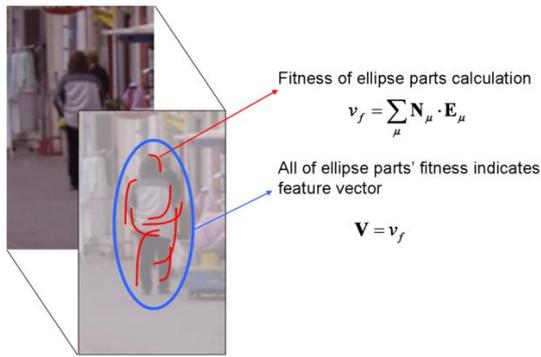


図 6: 新しい画像特徴



図 7: 新しい特徴と Real AdaBoost を用いた特徴による人物検出

5 見えの変化にロバストなパーティクルフィルタ

通常のパーティクルフィルタでは、見えの変化を伴う対象を扱う場合、その見えのパラメータを位置のパラメータとの直積空間内で確率分布を推定することになる。しかし、点滅する蛍のような見えによってしか尤度を推定できない場合は、見えのパラメータに多義性があるため、色んな基準による尤度を推定することになり、追跡が不安定になるという問題が発生する。

そこで、我々の方法では見えに関するパラメータにのみ多義性を排除し、それを尤度推定に用いることで追跡を安定化させる方法を提案する。これは図 8 で示すようなパラメータ空間を想定することになり、明るさに関するパラメータは位置に関するパラメータとは別々に推定される。ただし、それぞれのパラメータは尤度推定によって一貫性を持たせることができる。こうすることで、尤度推定のための基準が 1 つに絞り込まれ、一貫性のある追跡が行える。

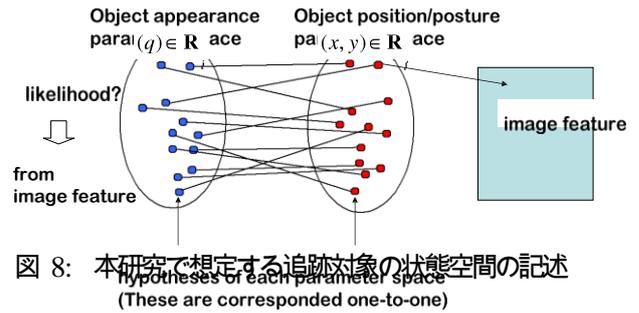


図 8: 本研究で想定する追跡対象の状態空間の記述 (These are corresponded one-to-one)

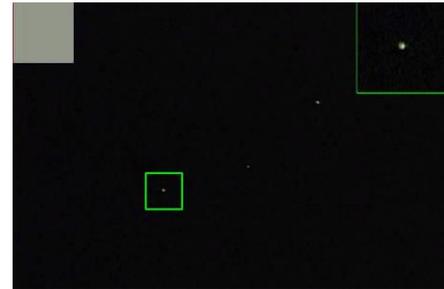


図 9: 蛍の追跡実験結果

今回実験として野生の蛍を撮影し、そのシーケンスを用いて実験を行った。その結果が図 9 である。左上の矩形領域には推定した蛍の明るさを示し、中央付近の矩形の中心が追跡結果を表す。このように、一義的な明るさの推定を行うことで安定な蛍の追跡を実現できた。

6 まとめ

本研究では、様々な環境化におけるパーティクルフィルタによる追跡のロバスト化に関する研究を行った。多視点パーティクルフィルタでは実環境下に応用するための考察を行い、オクルージョンに対するロバスト性、LRF による追跡の安定化、新しい特徴の提案を行った。単眼パーティクルフィルタでは、暗闇で点滅する蛍の安定な追跡を行うことができた。

今後の課題として、新しい画像特徴の考察がさらに必要だと考える。他のカメラを用いた追跡結果はまだ十分な性能があるとは言えない。また、蛍の追跡では、複数対象への拡張やその他の対象への拡張が考えられる。

論文審査の結果の要旨

本論文は、様々な条件下でパーティクルフィルタを用いた画像中の対象追跡を安定化する方法について述べられたものである。まず、多視点画像から撮影した画像をもとにして、複数の人物頭部の3次元位置を追跡する際に、遮蔽物等によって一部の画像に対象が写らない場合に追跡が不安定になる問題を取り上げ、各視点の画像から計算される尤度を統合する際に単純な積ではなく、新たな統合計算を導入することによって追跡を安定する方法が提案されている。次に、煩雑な環境下でレンジファインダを用いた計測と多視点画像による追跡をパーティクルフィルタの枠組みで統合し、よりロバストな対象追跡を実現する方法を提案している。これを、頭部だけではなく、人体形状全体を利用した追跡に拡張するための尤度計算法について検討を行い、最後に、自動車のウィンカーやホテルのように見えが時間的に変化する対象の追跡法を提案している。予備審査段階で指摘された論文の加筆修正なども適切になされており、最終的に若干の字句を修正すれば博士論文として十分に評価できる。

最終試験の結果の要旨

平成21年2月10日の公聴会では、1時間の発表と数十分の質疑を行った。質問に対しては、概ね的確な解答が得られ、終了時には、発表並びに質疑応答に対して参加者全員の拍手が得られた。

発表後に行なった口頭試問では、確率等に関する出題に対し、概ね良好な回答が得られた。上記の結果を総合的に判断し、最終試験に合格したものと判定する。