

I-084 パラメータ空間上でのスプライン補間を用いた人物の高精度追跡 Precise Human Tracking by Spline Interpolation in the Parameter Space

田口 真吾[†]
Shingo Taguchi

大町 真一郎[†]
Shinichiro Omachi

阿曾 弘具[†]
Hirotomo Aso

1. はじめに

ロボットとヒトとの高度な知的コミュニケーションを達成するためには、ロボットがヒトを認知することが必要である。人物を検出し追跡することはそのための要素技術として位置づけられ、高速・高精度な手法が求められている。

対象追跡に関して、様々な手法が提案されている。その一つに Isard らによって提案された Condensation がある [1]。Condensation は対象の振る舞いを確率論の枠組みに組み込むことで追跡を実現している。画面中の点をサンプリングして対象の見え方で各点について評価し、多峰の確率密度関数の形で対象の仮説を複数保持するという方法を取っている。杉本らはこの手法を応用し、人物頭部の普遍性に注目することで人物頭部の追跡を実現している [2]。画面中の対象の位置情報と大きさ情報に基づくパラメータ空間を作成し、空間中の点をサンプリングすることで複数人物追跡を実現している。

人物追跡では高速性も要求されるため、[2]では確率的にサンプリングした点のみを評価対象としている。そのため、最も人物頭部らしい点がサンプリングされとは限らない。最も人物頭部らしい点がサンプリングされなかった場合、追跡の際に誤差が生じ、後段の推定処理や以降の追跡処理に誤差を含んだ情報が伝播されるため、高精度な追跡を行うことは難しい。さらに、画像中での対象の見え方に主眼を置いているため、オクルージョンが数フレームにわたった場合に画面奥に存在する対象が一時的に消失しているにもかかわらず、完全に画面上から消失したと判断され、オクルージョンが解除されたときに誤った追跡を行ってしまうという問題点がある。

本論文では上記の問題を解決するために、確率的なサンプリングを行うことなく、パラメータ空間内でスプライン補間を用いて候補点を高精度に求めることで、処理時間を抑えながら人物頭部を高精度に追跡する手法を提案する。さらに、テンプレートマッチングの評価値をもとにオクルージョンの有無を判定することで、数フレームにわたるオクルージョンにも対応している。提案手法の有効性を人物追跡実験により定量的に評価する。

2. 提案手法

2.1 人物頭部の捉え方

人物頭部に関する情報をパラメータ空間内の点で表すため、人物頭部を楕円と捉え、画像上における中心座標 (x, y) 、長軸の長さ a で定義する。このとき楕円の扁平率、傾きは一定とする。画像上で描かれる楕円がより人物頭部にフィットしているとき、楕円はより人物頭部らしいと判断する。これにより、画像上から人物頭部を検出する操作は、楕円の中心座標と長軸の長さによって張

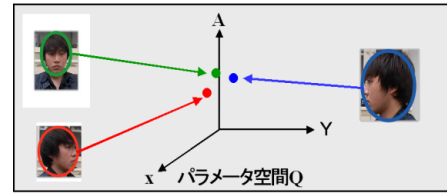


図 1: パラメータ空間 Q と画像の対応

られる三次元空間 (パラメータ空間 Q と呼ぶ (図 1 参照)) 上の一点をある評価基準によって決定することとなる。

2.2 パラメータ空間中の点の推定

あるフレーム画像で追跡対象を表す Q 内の一点に対して、次フレーム画像において追跡対象が Q 内のどの点へ遷移するかを推定する。本論文では画像の時間的連続性を利用し、

$$p(n+1) = p(n) + (p(n) - p(n-1)) \quad (1)$$

として次フレームの頭部位置を推定する。ここで、 $p(n)$ は n 番目のフレーム画像における人物頭部に対応する楕円を表す Q 内の点である。 $n+1$ フレームの実際の人物頭部を求めるため、推定された点の周辺点 (部分領域 Q' と呼ぶ) 選定し、評価対象とする (図 2 参照)。これにより追跡対象が立ち止まる、あるいは方向変換しても安定して追跡できることが期待される。

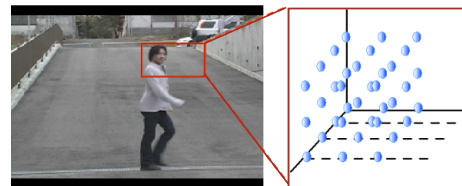


図 2: 推定された Q' と画像の関係
図中の点は評価対象となる Q' 内の点を表す

2.3 部分領域における人物頭部の検出

Q' 内の特定の点の人物頭部らしさを、楕円内部の色情報と背景差分情報を用いて評価する [2],[3]。評価値の中で一定値より小さいものは人物頭部を表す点ではないと判断し、候補からはずす。

残った候補点に対し、現フレームの画像において対応する楕円周上の法線方向の平均明度勾配値を算出する [3]。人物頭部はほぼ楕円形でありこの評価値が大きいほど人物らしいと判断できる。さらに、複数対象追跡時にはオクルージョンが発生する可能性があるため、これに対応するためにフレーム間でテンプレートマッチングを行う。すなわち、前フレームの楕円内部画像を基準画像

[†] 東北大学大学院 工学研究科

として現フレーム画像中の候補点が表す楕円内部画像に対し、類似度を求める。平均明度勾配値と類似度の二つの評価値を統合して、 Q' 内の点から人物頭部を表す点を一つに決定する。

2.4 スプライン補間を用いた追跡法

Q' は 3 次元空間であるため 2.3 で示した評価を Q' 内全ての点について行っていたのでは時間がかかる。そこで Q' 内の特定点についてのみ色情報と背景差分情報に基づく評価を行い、 Q 内の隣り合う点の評価値は連続的に変化するという仮定に基づき、残りの点の評価値はスプライン補間を用いて計算する。これにより Q' 内の各点を評価するよりも高速で、精度を必要以上に失うことなく Q' 内の全ての点に評価値を割り当てることが期待される。

2.5 オクルージョンへの対応

対象同士のオクルージョンが生じると、画面奥に存在する人物が一時的に消失する。これに対応するために、対象が再出現したと判断されるまでは式 (1) の推定のみを繰り返す。対象の消失は、 Q' 内の全ての点のテンプレートマッチング評価値が閾値以下になったことで判断し、再出現は対象が消失する直前フレームの人物頭部を表す楕円内部画像と、現フレームの人物頭部を表す楕円内部画像間でテンプレートマッチングを行い、閾値以上に達したかどうかで判断する。

3. 評価実験

3.1 実験環境

提案手法の性能を確認するための評価実験を行った。比較対象を杉本らの手法 (従来手法) とし、精度および処理時間を比較する。使用したデータと初期条件は

1. 撮影環境：屋外、日中、天候曇り
2. 画像サイズ：320×240、フレームレート：30fps
3. 追跡対象の初期条件は視覚的に人物頭部と判断される Q 内の点を与えた
4. 追跡対象：1人

である。また、2.5 で示したオクルージョンに対応する機構の有効性を確認するために、上記 1. ~ 3. の条件に加え

5. 追跡対象数：2人
6. 約 5 フレーム間、画面奥の人物頭部が遮蔽される

なるデータに対し実験を行った。

3.2 実験結果

表 1 に定量的な精度、フレーム処理時間の結果を示す。視覚的に人物頭部と判断される楕円を真の楕円としてあらかじめ与えておき、フレーム毎の真の楕円を表す Q 内の点とシステムが求めた楕円を表す Q 内の点とのユークリッド距離を誤差とし、全てのフレームにおいて平均したものが平均誤差である。参考のため、提案手法で Q' 内のスプライン補間を行わず、全ての点について評価値を計算した場合の結果も合わせて示してある。

表 1 より、提案手法は従来手法と比較して処理時間が若干かかるものの、追跡精度は大幅に向上していることが分かる。また、補間を用いない手法と比較すると、精度をほとんど低下させることなく処理時間が大幅に小さくなっている。

表 1: 手法の比較

手法	平均誤差	一フレームの処理時間 (s)
従来手法	15.17	0.27
提案手法 (補間有り)	3.67	0.44
提案手法 (補間無し)	3.54	0.85

図 3 が従来手法、図 4 が提案手法による人物一人のデータに対する定性的な結果である。提案手法の方が全てのフレームについて精度よく追跡を行っていた。従来手法では誤差の大きなフレームが存在していることが確認でき (図 3(b))、全てのフレームを通し、楕円が人物頭部周辺を移動する不安定な追跡をしていた。これは、最も人物頭部らしいと判断されるパラメータ空間内の点をサンプリングしていないフレームが現れ、そこで生じた誤差が式 (1) で表される推定処理に影響したためと考えられる。

図 5 に示す人物二人のデータに対して従来手法を適用した結果、画面奥の人物を追跡していた楕円がオクルージョン発生時に画面手前の人物を追跡し始め (図 5(h))、遂には画面奥の人物を見失うという結果が得られた (図 5(i))。画面奥の人物が一時的に消失しても画面上には画面手前の人物が存在するため、パラメータ空間内の候補点の評価値がその人物の位置で高くなってしまふためと考えられる。また、前述の誤差によって画面奥の人物を追跡していた楕円が最も頭部らしいと判断される Q 内の点を見逃していたことも誤追跡に影響をもたらしていると考えられる。しかし、このデータに提案手法を適用した場合は、図 6 に示すようにオクルージョンが発生した時 (図 6(c)) には推定処理のみを行い、オクルージョンがなくなった時 (図 6(i)) に再び検出・追跡を始めていることが確認でき、追跡に成功している。オクルージョンの有無を判定している、画面奥の人物に対するテンプレートマッチング評価値の推移を図 7 に示す。消失時には明らかな評価値の減少、再出現時には評価値の向上が見られ、オクルージョンの有無の判別に寄与していることが分かる。

4. まとめ

本論文では、パラメータ空間上でスプライン補間を用いることにより、処理速度を大きく損なうことなく高精度な人物追跡を実現する手法を提案した。比較実験を通し、従来法に比べ高精度な追跡が行えることを確認した。さらに自然な数フレームのオクルージョンに対応するための手法を提案し、実際にオクルージョンが生じる画像に適用し有効性を確認した。

提案手法は従来手法と比較すると処理速度の面で劣るが、提案手法に確率的な枠組みを適用し、処理速度を改善することが今後の課題である。

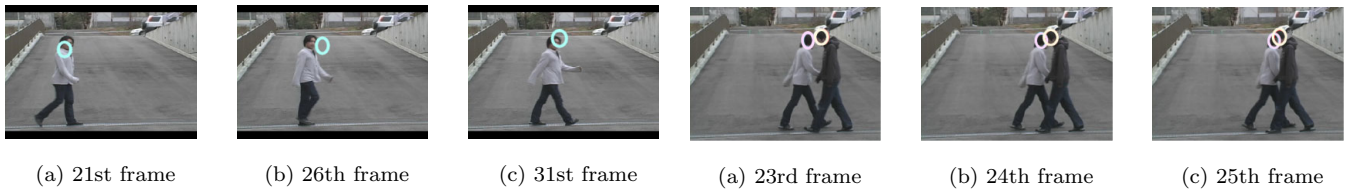


図 3: 従来手法による追跡結果

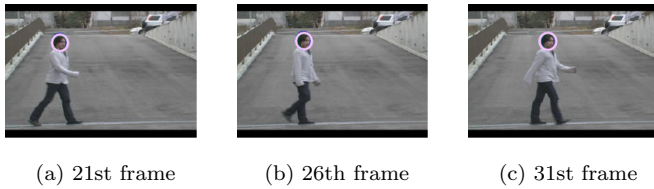


図 4: 提案手法 (補間有り) による追跡結果

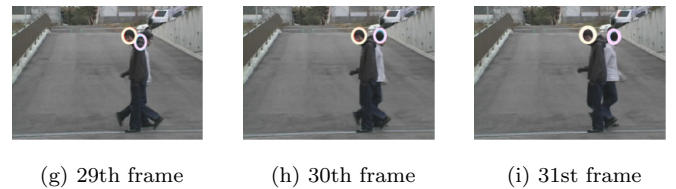
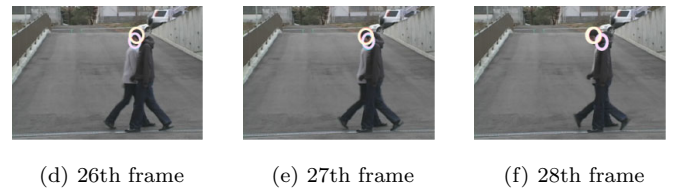


図 6: 提案手法 (補間有り) による追跡結果

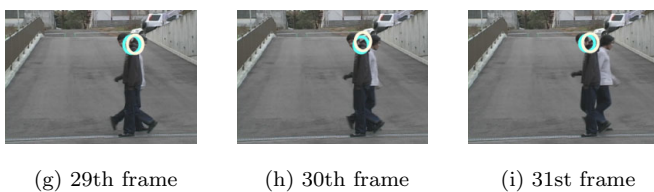
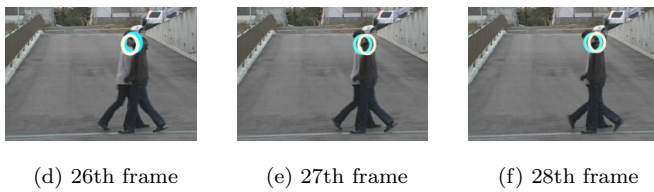
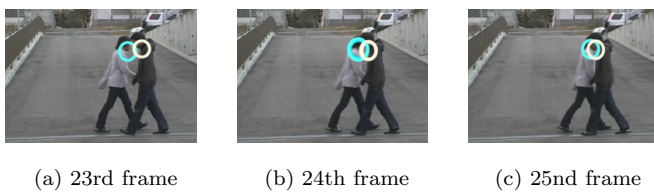


図 5: 従来手法による追跡結果

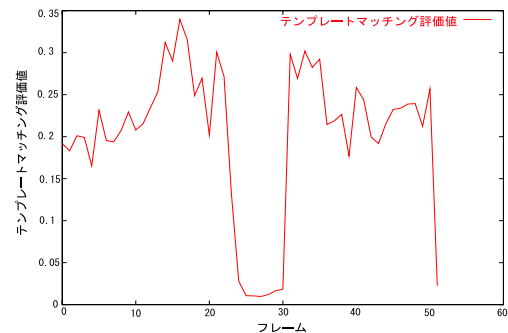


図 7: テンプレートマッチング評価値の推移

参考文献

- [1] M.Isard and A.Blake: “Condensation – conditional density propagation for visual tracking,” Int.J. Computer Vision , Vol.29 , No.1 , pp.5–28 (1998)
- [2] 杉本, 谷内, 松山: “確信度付き仮説群の相互作用に基づく複数対象追跡,” 情報処理学会論文誌 コンピュータビジョンとイメージメディア , Vol.43 , No.SIG04, pp.69–84 (2002)
- [3] S.Birchfield: “Elliptical head tracking using intensity gradients and color histograms,” Proc.CVPR ’98 , pp.232–237 (1998)