

## I-087 参照画像の探索と更新に基づく注視対象のリアルタイム追跡手法

林 豊洋 榎田 修一 江島 俊朗

九州工業大学 情報工学部

E-mail: hiro@mickey.ai.kyutech.ac.jp

## 1 はじめに

近年コンピュータビジョンの分野において、「人を見る」技術に関する研究が盛んである。現在我々も、「人を見る」ことを目標とした、属性情報知覚システムであるLPS(Looking at People System)に関する研究を進めている。加えて、自律型ロボットに関する研究も盛んである。自律型ロボットには、音声や画像による人の同定を行う技術が積極的に導入されている。これらの技術は、ロボットを知的な存在と感じさせ、人との親和性を高めるものである。

以上の経緯より、「人を見る」技術と自律型ロボットを組み合わせたことにより、興味深いアプリケーションが実現する。すなわち、ロボットの視覚として人を注視するシステムを用いることにより、人とロボットがインタラクションを開始するための基本システムが実現する。

我々は自律型ロボットの視覚として適用可能な注視対象手法である simple search method(SSM) を提案し、その有効性を示す。

## 2 注視対象の追跡

## 2.1 対象追跡に対する必要条件

ロボットへの適用といった実環境における注視対象追跡を行うためには、最低限以下2つの問題を考慮する必要がある。

- カメラの運動
- 注視対象の運動

ロボットへカメラを搭載した場合、カメラおよびロボットの運動により、入力画像は激しく変動する。画像の変動に依存せず、安定した追跡を可能にする必要がある。

追跡を続ける場合、注視対象の見え方が追跡を開始した時点から変化する場合が考えられる。注視対象を人の頭部とした場合、注視を開始した時点では正面を向いていた頭部が、向きを変えたようなシーンが挙げられる。対象の見え方は変化しているが、追跡を継続して行う必要がある。

追跡手法を自律型ロボット等へ実装するするためには、以下3つの視点からの考察が重要である。

- ロバスト性
- リアルタイム性
- fail safe(安全性)

カメラをパンチルト制御しなければ、注視対象がカメラの撮影できない位置に移動し、追跡が不可能となるシーンが想定される。ロバスト性を確保するため、注視対象の入力画像中における位置を検出し、撮影範囲を越えそうな状況を認識できる必要がある。

本研究は、自律型ロボットの視覚として適用可能な追跡手法を目指している。ロボットにおける対象追跡はリアルタイムに行える必要がある。

注視対象の追跡時に、入力画像中に有力な候補が存在しない場合、対象を見失っていることを認識できる必要がある。このような fail safe の枠組を採り入れることにより、入力画像中に有力な候補が現れるまで探索を中断し、適切に再開することが可能となる。

本研究では、上記の2つの問題を考慮し、3つの視点から注視対象の追跡手法を検討する。

## 2.2 注視対象追跡の方針

本研究では、入力画像中から注視対象に類似した物体を探索する処理を繰り返すことにより注視対象の追跡を実現する。すなわち、注視対象を探索し、探索結果を基に注視対象に関する情報を更新し、次の時刻における探索に備える処理を繰り返すことを追跡の方針とする(図.1)。

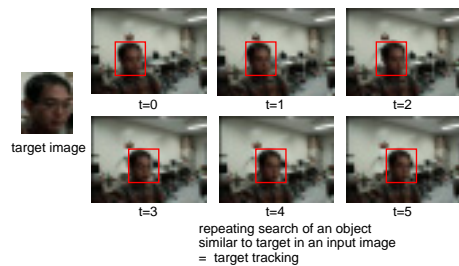


図1 policy of target tracking

入力画像中に存在する注視対象の探索手法として、本研究では特徴量のパターンマッチング手法を利用する。パターンマッチング手法は、カメラの運動にかかわらず、物体の探索が可能である。パターンマッチングでは、探索対象の特徴量を適切に定めることと、効率の良いマッチング手法が重要となる。

## 3 色ヒストグラム特徴を用いた物体探索手法

入力画像中の参照画像に類似した物体を探索する手法として、村瀬らの提案したアクティブ探索法 [1] が有力な手法として挙げられる。アクティブ探索法は、物体の特徴量として色ヒストグラム特徴を利用し、高速な物体探索を行う。

アクティブ探索法は、入力画像をいくつかの大きさの window で切り出し (多重分解能表現)、入力画像の局所領域を取り出し、参照画像と局所領域との色ヒストグラム特徴による照合 (ヒストグラムインタセクション) を行う手法である。通常、局所領域と参照画像との照合は膨大な回数となるが、アクティブ探索法では色ヒストグラムの代数的な性質を利用し、照合回数の大幅な低減 (上限値) を実現している。

## 4 simple search method (SSM)

## 4.1 注視対象の追跡への適用に対するアクティブ探索法の問題点

アクティブ探索法を用いて本研究で想定する注視対象追跡を行う場合、いくつかの問題点が生じる。

ひとつは、リアルタイム性である。自律型ロボット等の視覚としての利用を考慮した注視対象の追跡を行うためには、リアルタイム性を考慮した手法が必要である。アクティブ探索法は、参照画像と入力画像中の局所領域に関する照合をマルチスケールに対応させるため、入力画像中に占める局所領域の割合を変更し探索を行う。これは画像走査の繰り返し処理であり、上限値を用いた照合の削減は行えるものの、計算量は大きい。

ふたつめは、参照画像の枠組である。見え方の変化に対応するためには、参照画像の更新が必要である。アクティブ探索法は照合結果がマルチスケールで提示される。参照画像と照合結果のスケールが異なった理由が、

注視対象が拡大縮小を生じたため、照合結果にノイズを含んだためをリアルタイムに判断することは難しい。このような照合結果を利用した参照画像の更新は困難となる。すなわち、アクティブ探索法には参照画像を更新する枠組が含まれていない。

#### 4.2 simple search method の概要

本研究では、アクティブ探索法の問題点を考慮し、リアルタイムに物体を探索し追跡することが可能な simple search method(SSM) を提案する。

SSM は、色ヒストグラム特徴を用いた物体照合をベースとしており、リアルタイム性と参照画像の更新に重点を置き、以下の特徴を持つ。

1. 局所領域の window はシングルスケールとし、高速照合が可能
2. シングルスケールで照合を行った局所領域の尤度分布より、注視対象の矩形領域を推定し、大きさの変化に対応
3. 時刻  $t+1$  の入力画像における参照画像を時刻  $t$  の入力画像より探索し、参照画像の動的更新が可能
4. 追跡の失敗を認識し、追跡処理の中断および再開が可能

SSM は、時刻  $t-1$  以前の参照画像を利用し、時刻  $t$  における入力画像に存在する、新たな参照画像として更新すべき注視対象を発見することにより、リアルタイムに追跡を行う。次節より、SSM の各処理について述べる。

##### 4.2.1 初期参照画像

SSM の初期動作として、追跡を行う注視対象を獲得する。獲得した注視対象は、初期動作時 ( $t=0$ ) における参照画像として利用する。参照画像の幅  $W_{ref}$  と高さ  $H_{ref}$  は、照合時における局所領域のサイズとなる。



図 2 initial reference image

##### 4.2.2 色ヒストグラム特徴

色ヒストグラム特徴は、参照画像に対して良く反応する色空間が望ましく、本来ならばベクトル量子化等の処理が適切である。

SSM では、参照画像の動的な更新を行うため、色ヒストグラム特徴を高速に作成することが可能な手法を利用する。具体的には、明るさの変動に対して安定であり、追跡に最も利用する肌色領域の表現に優れた [2]rg 色空間を特徴の色空間として利用する。

##### 4.2.3 局所領域の決定処理

SSM では、入力画像より局所領域を切り出し、参照パターンとの照合を行う。時刻  $t$  における入力画像  $I$  より、局所領域  $I'$  を切り出す領域を決定する。at time  $t$ . 局所領域の大きさ  $I'$  の幅  $W_{I'}$  と高さ  $H_{I'}$  は、参照画像の幅  $W_{ref}$  と高さ  $H_{ref}$  と同じサイズとし、局所領域を構成する (図.3).

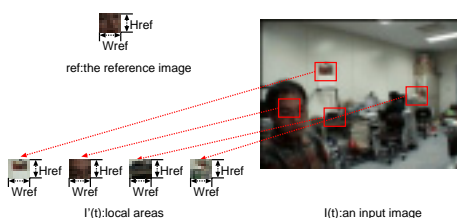


図 3 size of local area

SSM では、局所領域が多重分解能表現ではなく、参照画像と同じ大きさのみのシングルスケールによる表現が特徴である。局所領域のサイズの拡大縮小を行わないため、局所領域の候補数は少数となり、高速照合に寄与している。

局所領域切り出しの判定 全ての局所領域候補に対して照合演算を行った場合、計算量は膨大となるため、照合演算を適切に間引く処理が必要となる。SSM では、アクティブ探索法で利用される類似度の上限値を計算することにより、上限値が目標類似値を下回る局所領域での照合を省略する。

局所領域の走査 局所領域  $I'$  は、入力画像  $I$  を走査することにより獲得する。時刻  $t=0$  では、入力画像  $I$  の左上から右下へのラスタ走査により局所領域の走査を行う (図.4(a)).

時刻  $t > 0$  では、時刻  $t-1$  での注視対象中心領域  $C_X(t-1), C_Y(t-1)$  を利用し、螺旋状に局所領域の走査を行う (図.4(b)).

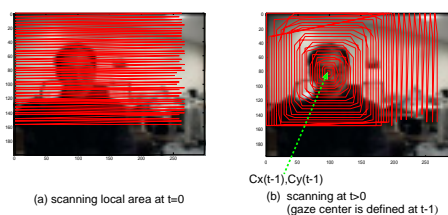


図 4 scanning local area

時刻  $t-1$  での注視対象中心領域を走査の開始点とすることにより、時刻  $t$  において探索中心の移動が少ないと仮定すれば、照合の初期段階に類似値の高い物体が探索される。初期段階から目標類似値に高い値が設定されるため、前節の上限値の効果により、照合回数がラスタ走査に比べて低減可能となる。

##### 4.2.4 類似度算出

類似度計算は、参照画像と局所領域とのヒストグラムインタセクションを基本とする。

時刻  $t-1$  にて獲得した参照画像のみを利用した照合を行った場合、瞬時的に最大の尤度を示した局所領域を信頼することとなる。ノイズ等の要因で、本来望ましくない局所領域が最大の尤度を示す可能性があり、単一の参照画像のみを利用した類似度計算は不十分である。

解決手法として、参照画像に関する時系列情報を利用する。具体的には、時刻  $t-1$  と時刻  $t-N$  における参照画像とのヒストグラムインタセクションを混合した類似度を計算する。時刻  $t$  における類似度  $S_{M_{I'}(t)M'(t)}$  は、以下の式で  $\hat{S}$  として定義する。

$$\hat{S}_{M_{I'}(t)M'(t)} = a \times S_{M_{I'}(t)M(t-1)} + (1-a) \times S_{M_{I'}(t)M(t-N)}, ([0 \leq a \leq 1], N \geq 1),$$

$a$  は混合率となり、 $a$  を大きくすることにより、瞬時的な探索結果に対する重みを持つ傾向となる。 $N$  は、 $N$  フレーム過去の色ヒストグラム特徴の混合を示す。なお、最終的な探索結果は、すべての局所領域における類似度の分布を利用し推定する。したがって、計算したすべての局所領域における類似度  $S_{M_{I'}(t)M'(t)}$  と、局所領域の中心座標  $(C_{X_{M_{I'}(t)}}, C_{Y_{M_{I'}(t)}})$  を探索結果リスト  $L_S(t)$  に保存する。

##### 4.2.5 注視対象中心領域の導出

注視対象中心領域とは、幅と高さが局所領域と同じ大きさで示される矩形を指し、 $R_s(t)$  と定義する。

$R_s(t)$  の中心座標は、 $L_S(t)$  中における類似度の高い領域に関する情報より導出する。探索結果リスト  $L_S(t)$  中の、類似度が閾値  $th$  以上の要素を抽出し、抽出後の

リストを  $L'_S(t)$  とする. リスト  $L'_S(t)$  中の要素である  $CX_{M_{I'}(t)}$  と  $CY_{M_{I'}(t)}$  の平均値を求め,  $R_s(t)$  の重心  $(CX_{R_s}(t), CY_{R_s}(t))$  を導出する ( 図.5).

#### 4.2.6 注視対象領域の推定

注視対象中心領域は, 領域の幅と高さが参照画像と同様のサイズである. ここで対象領域のサイズ変化に対応させるため,  $R_s(t)$  と探索結果リスト  $L_S(t)$  を利用し, 対象領域の推定を行う.

注視対象中心領域からのマハラノビス距離  $D$  が閾値  $D_{th}$  以下に存在する局所領域を利用し, 注視対象領域を推定する. すなわち, 対象領域の推定は, 高い類似度を示した分布を考慮し, それらの局所領域を統合する処理によって行なう ( 図.6).

fail safe への対応 参照画像と類似した物体が入力画像  $I(t)$  に存在しない状況の認識することにより, 見失いの判断が可能となる.

類似物体が存在する状況の認識は, 閾値処理を行った探索結果リスト  $L'_S(t)$  を利用する.  $L'_S(t)$  の要素数が0であった場合, 参照画像と類似した物体が存在しないと判断する.

類似物体が存在しない場合は, 後述する参照画像の更新を行わない. 追跡処理を停止し, 類似物体が再び現れるまで探索処理のみを行う.

#### 4.2.7 参照画像の動的更新

時刻  $t+1$  において注視対象の探索が可能となる参照画像  $ref(t+1)$  を  $I(t)$  より抽出し, 更新する.

SSM では,  $t+1$  における参照画像として最も適切であるものは, 時刻  $t$  における注視対象中心領域であるとして, 更新を行う. 注視対象中心領域を参照画像とすることにより, 時刻  $t+1$  における参照画像の色ヒストグラム特徴は時刻  $t$  における特徴と相関が高く ( 図.7), かつ時間的な変化を含んだ更新が可能となる.

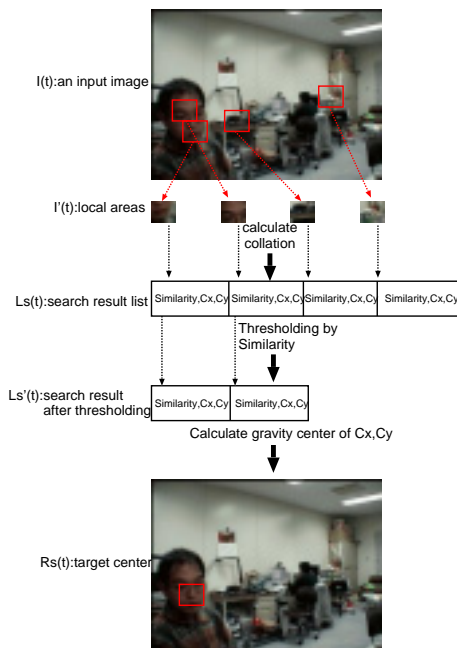


図 5 derivation of target center

なお, 注視対象を見失っている状態においては, 更新は行わず保持している過去のヒストグラム特徴を利用し, 物体照合を行う.

#### 4.3 SSM の適用例

SSM の適用結果を図.8 に示す.

### 5 まとめ

本研究では, 自律型ロボットにおいて「人を見る」ための視覚システムを目指し, ロボットの注視した対象の

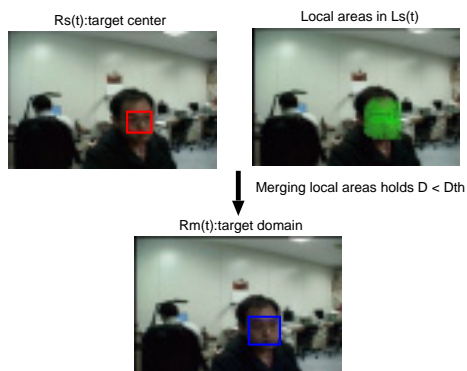


図 6 estimation of target domain

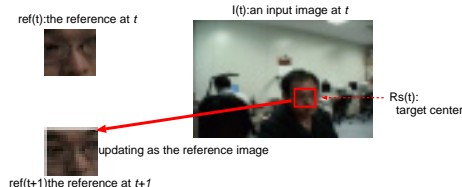


図 7 active update of reference image

追跡を可能とするシステムについて検討した. ロボットの視覚として利用可能なシステムには, 入力画像の背景が変動する場合において注視対象を見失わず, 入力画像中に現れる注視対象の見え方の変化に対応可能な追跡処理をリアルタイムに行える枠組が必要となる. 入力画像中から注視対象に類似した物体を探索し, 探索された物体を参照画像として更新し追跡を継続するアプローチを提案し, simple search method(SSM) と名付けた.

SSM は, 参照画像の探索と更新に基づく注視対象追跡手法である. SSM は, 色ヒストグラム特徴が時系列的に連続した状態において, 参照画像の更新を行いながらの注視対象追跡を行うことが確認された. この状態における探索精度は,  $Precision = 1.0$  において  $Recall = 0.9$  程度を示すことが可能である. 注視対象の探索速度に関しても, アクティブ探索法の 8.8 倍と高速な探索を可能とし, リアルタイム追跡が可能なる手法であることを示した.

今後は, 我々が研究開発中である KITARO への SSM の搭載を試みる.

### 参考文献

- [1] Murase, H., Vinod, V.V., "Fast visual search using focused color matching-active search", Trans. Inst. Electron. Inf. Commun. Eng. D-II (Japan), 2035-42, vol.J81D-II, no.9, Sept. 1998
- [2] Jean-Christophe Terrillon, Arnaud Pilpre, "Properties of Human Skin Color Observed for a Large Set of Chrominance Spaces and for Different Camera Systems", 8th Symposium on Sensing Via Image Information, SSII2002-H23, 2002

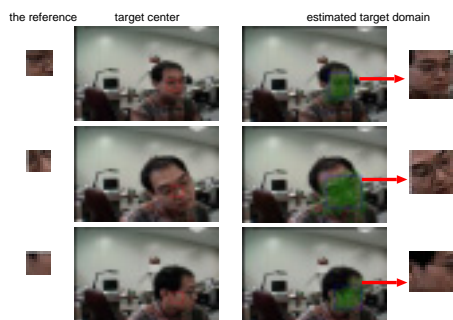


図 8 application of SSM