

LI-008

参照画像の部分領域間残差を利用した高速テンプレート照合法 Similarity Detection Algorithm using Sub-regions' Differences

川西 隆仁*
Takahito Kawanishi

黒住 隆行*
Takayuki Kurozumi

柏野 邦夫*
Kunio Kashino

高木 茂*
Shigeru Takagi

1. まえがき

興味ある物体が入力画像中のどこにあるか、を検出する技術にテンプレート照合法がある。人物や物体などのコンテンツの探索(図1)、動画像中からの移動物体の追跡、などに広く用いられている。しかしテンプレート照合法では、既知の画像パターン(参照画像, テンプレート)と入力画像から切り出した多数の部分画像とを照合して物体の場所を求めるため、膨大な照合時間が必要になる。その高速化手法に2段階テンプレート照合法[1]やSSDA法(Sequential Similarity Detection Algorithm)[2]がある。しかし、これらの手法でも全ての探索位置で部分画像との照合を行なう必要があるため計算時間が大きい。一方、これまで我々が開発してきたアクティブ探索法[3, 4]はある探索位置での照合結果を利用してその近傍の探索位置の類似値の上限値を計算し、上限値が閾値を下回る場合に照合を省略するため、極めて高速に探索できる。しかし、特徴にヒストグラムを利用するため、形状情報や色の距離情報が失われ、細かい形の違いや位置精度が重要となる場合には適用することが難しく、また類似ヒストグラムを持つ異なる部分画像を誤検出することも起こりうる。そこで、本稿では、アクティブ探索でも用いられている類似値上限値(距離下限値)による枝刈りの概念を一般的なテンプレート照合法にも適用し、全探索と同一の精度を保証しながら、一般的なテンプレート照合法を大幅に高速化する手法を提案する。

2. 部分領域間残差を利用した高速探索法

2.1 テンプレート照合法

本稿では、簡単のため、参照画像を長方形として表現し、テンプレート照合法をベクトル表現によって定式化する。 G 個の要素からなる参照画像をその画素値を要素とするベクトル \mathbf{R} で表現する。同様に入力画像 \mathbf{S} 中の探索位置 (u, v) の部分画像を $\mathbf{S}(u, v)$ と表記する。探索範囲を探索位置の集合 W としたとき、テンプレート照合法による探索は、残差尺度 $d(\mathbf{R}, \mathbf{S}(u, v))$ を最小化する探索位置 (u, v) を見つける処理である。残差尺度 $d(\mathbf{R}, \mathbf{S}(u, v))$ には、2乗残差 $(\mathbf{R} - \mathbf{S}(u, v))^2$ 、絶対値残差



参照画像 入力画像

図1: 物体探索の例

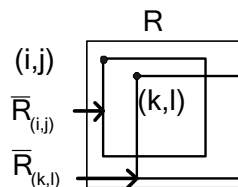


図2: 参照画像の部分領域

$|\mathbf{R} - \mathbf{S}(u, v)|$ などが利用でき、また類似尺度として正規化相互相関を用いることもできる[5]。SSDA法では、これら残差の値が画素数の増加に従って単調に増加することを利用して、全ての画素を比較し終える前に不一致であることを検出し残差計算を打ち切る。

2.2 提案手法の原理

本手法は、ある探索位置での、参照画像の部分領域の照合結果を用いて、照合した探索位置の周辺領域での照合を省略することで実現される。参照画像の部分領域のことを「部分領域」、入力画像上の部分画像を「部分画像」と記す。以下に具体的な原理を示す。

参照画像 \mathbf{R} の内部に含まれる多数の部分領域の集合を $\bar{\mathbf{R}}_{(0,0)}, \dots, \bar{\mathbf{R}}_{(m-1, n-1)}$ とする(図2)。このとき、 $\bar{\mathbf{R}}_{(i,j)}$ は、 \mathbf{R} より各辺の長さが、 m, n だけ小さい長方形領域である。この m, n をマージンと呼ぶ。残差が単調増加であることから、 $d(\bar{\mathbf{R}}, \bar{\mathbf{S}}) \leq d(\mathbf{R}, \mathbf{S})$ が成り立つ。ある探索位置 (u, v) において部分領域 $\bar{\mathbf{R}}_{(i,j)}$ と、部分画像の一部 $\bar{\mathbf{S}}_{(i,j)}(u, v)$ とを照合したとき(図3)、三角不等式の原理から、 (u, v) の近傍の探索位置 $(u+i-k, v+j-l)$ の残差の下限値は、部分領域間の残差 $d(\bar{\mathbf{R}}_{(i,j)}, \bar{\mathbf{R}}_{(k,l)})$ を用いて、下記の式で求められる。

$$\begin{aligned} & d(\mathbf{R}, \mathbf{S}(u+i-k, v+j-l)) \\ & \geq d(\bar{\mathbf{R}}_{(k,l)}, \bar{\mathbf{S}}_{(k,l)}(u+i-k, v+j-l)) \\ & = d(\bar{\mathbf{R}}_{(k,l)}, \bar{\mathbf{S}}_{(i,j)}(u, v)) \\ & \geq d(\bar{\mathbf{R}}_{(i,j)}, \bar{\mathbf{S}}_{(i,j)}(u, v)) - d(\bar{\mathbf{R}}_{(i,j)}, \bar{\mathbf{R}}_{(k,l)}) \quad (1) \end{aligned}$$

以上の性質より、あらかじめ $\bar{\mathbf{R}}_{(0,0)}, \dots, \bar{\mathbf{R}}_{(m-1, n-1)}$ 間の残差を計算しておけば、ある探索位置での部分領域の照合結果を用いて、照合した部分画像の一部を内部に含む多数の探索位置の残差の下限値が求められる。この下限値が閾値を上回る場合、照合を省略できるため大幅に照合回数が削減できる。

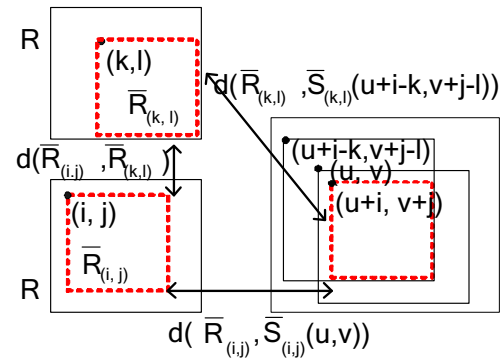


図3: 探索位置と部分領域の関係

*日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所

2.3 アルゴリズムの実装例

前述の考察に基づき、部分領域間の残差を用いたテンプレート照合法の実装例を示す。以下に示すアルゴリズムは、はじめに適当な値を閾値として与え、探索中に見つけた最小値 d_{\min} を閾値として更新する方法である。残差尺度には絶対値残差を用いる。 $bound(u, v)$ は (u, v) における残差の下限値、 $R^g, S^g(u, v)$ は $\mathbf{R}, \mathbf{S}(u, v)$ の g 番目の画素値である。

アルゴリズム :

1. 探索領域 W に含まれるすべての探索位置 (u, v) に対して下限値を初期化。下限値 $bound(u, v) := 0$
2. 参照画像 \mathbf{R} のマージン (m, n) の部分領域 $\bar{\mathbf{R}}_{(i,j)}$ を選ぶ。
3. 部分領域の集合 U のすべての $\bar{\mathbf{R}}_{(k,l)} (\in U)$ に対して、 $d(\bar{\mathbf{R}}_{(i,j)}, \bar{\mathbf{R}}_{(k,l)})$ を計算。部分領域間の残差の最大値 d_{\max} を求める。
4. ある探索位置 $(u, v) \in W$ を、 W から取り出す。 $bound(u, v) > d_{\min}$ なら、照合を省略。 $bound(u, v) \leq d_{\min}$ なら、以下を繰り返す。 $W = \phi$ (空集合) なら 5. へ。
 - (a) 累積残差 d を $d := 0$ で初期化。
 - (b) \mathbf{S} の一部 $\bar{\mathbf{S}}_{(i,j)}(u, v)$ に含まれる画素数 \bar{G} としたとき、 $g = 0, \dots, \bar{G}$ について、以下を繰り返す。
 - i. $d := d + |\bar{R}_{(i,j)}^g - \bar{S}_{(i,j)}^g(u, v)|$ を計算。
 - ii. $d \geq d_{\min} + d_{\max}$ なら計算を打ち切る。(d) へ。
 - (c) 全ての画素を評価した結果、 $d_{\min} < d < d_{\min} + d_{\max}$ なら、(d) へ。 $d \leq d_{\min}$ のとき、(e) へ。
 - (d) $u + i - m < x \leq u + i, v + j - n < y \leq v + j$ を満たす (x, y) に対して下限値を更新。 $bound(x, y) := \max(bound(x, y), d - d(\bar{\mathbf{R}}_{(i,j)}, \bar{\mathbf{R}}_{(u+i-x, v+j-y)}))$ 。 4. へ。
 - (e) $\mathbf{R}, \mathbf{S}(u, v)$ のうち、 $\bar{\mathbf{R}}, \bar{\mathbf{S}}(u, v)$ に含まれない残りの画素に対して、SSDA法を実行。 $d > d_{\min}$ となったとき、計算を打ち切る。 4. へ。最後の画素まで計算して、 $d \leq d_{\min}$ のとき、見つけた最小値を更新 $d_{\min} := d$ 。その位置 (u, v) を記録。 4. へ。
5. 見つけた最小値 d_{\min} と、その位置 (u, v) を得て終了。

3. 実験

提案手法では部分領域をどの程度の大きさで選ぶかによって、探索時間が異なる。 (m, n) が大きいほど、照合を省略できる範囲が増える一方、部分領域間の類似性が小さく残差が大きくなるため、下限値が小さくなり照合を省略できる可能性が小さくなる。まず、マージンの違いによる探索時間の違いを調べるため、マージンを $(m = n = 0, 1, 2, \dots, 9)$ と変化させて下記の条件で探索実験を行なった。 $(m = n = 0)$ は、SSDA法である。図1に示すRGB各8ビット、CIFサイズ (352×288) の画像を実験に使用した。その内部に含まれる5種類の物体を切り出した画像を参照画像とした。参照画像の大きさ

は 50×50 である。入力画像には、図1の画像にガウスノイズを加えて生成したS/N比20dBの人工画像10枚を用いた。初期閾値には ∞ を用いた。実験にはCPU: Intel Pentium4 (3.06GHz), OS: Red Hat Linux 8.0の計算機を用い、コンパイラにGNU g++, 最適化オプションに-O3を用いて生成した実行ファイルを使用した。実験結果を図4に示す。ほとんどの物体で、マージン3~5あたりで探索時間が最小になり、マージン5を越えたあとの変化は小さかった。

さらに提案手法のマージンを、各物体毎に先の実験での最速の値に設定し、初期閾値を100000~450000と変えて探索時間を調べた。平均探索時間を図5に示す。SSDA法も提案手法も初期閾値が小さいほど探索時間が短くなるが、提案手法の方が短い時間で探索でき、初期閾値100000の場合にはSSDA法の約1/6の時間で探索できた。以上の実験では正解率100%であり、位置誤りもなかった。参考までに、RGBの上位4ビットで表現される4096色の色空間に対して色ヒストグラムを作成したアクティブ探索法を用いて同じ条件下で探索した結果をあげると、平均探索時間は約.15~.2秒、正解率は90%、正解の場合の平均誤差は約5画素であった。

4. まとめ

本稿では、参照画像の部分領域間の残差をあらかじめ計算し、その残差を用いて、一般的なテンプレート照合法を高速化する手法を提案した。大きさ、向きが既知の物体を探索する実験を行なった結果、SSDA法に比べ、最大6倍の探索速度を実現した。今後本手法を拡張し大きさや向きの変化に対応した様々な特徴に適用可能な高速探索手法を開発する予定である。

参考文献

- [1] G.J. Vanderbrug et. al., "Two stage template matching", IEEE Trans. on Computers, Vol. C-26, No. 4, pp.384-393, 1977.
- [2] D.I. Barnea et. al., "A class of algorithms for fast digital image registration", IEEE Trans. on Computers, Vol.C-21, No. 2, pp.179-186, 1972.
- [3] 村瀬他, "局所色情報を用いた高速物体探索-アクティブ探索法-", 信学論 (D-II), Vol.J81-D-II, No. 9, pp. 2035-2042, 1998.
- [4] 川西他, "色ヒストグラムとパン・チルト・ズームカメラを用いた高速物体探索法-動的アクティブ探索法-", 信学論 (D-II), Vol.J84-D-II, No. 8, pp. 1722-1730, 2001.
- [5] 足立他, "正規化相互相関テンプレートマッチングのKL展開を用いたSSDA化", 信学技報 PRMU96-173, pp. 23-30, 1997.

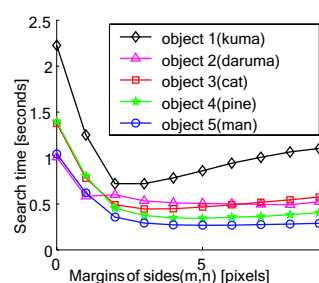


図4: マージンと探索時間の関係

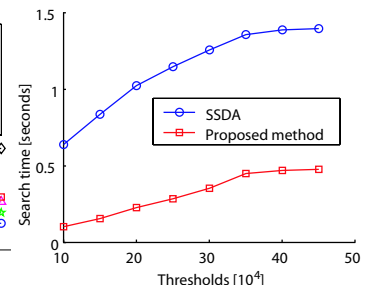


図5: 閾値と探索時間の関係