

選択的正規化相関に基づく高速探索アルゴリズム

北海道大学大学院工学研究科 ○伊藤 誠也 金子俊一

要旨

選択的正規化相関は明度変化や遮蔽などに対して、増分符号相関を用いたマスク処理によってロバストな画像照合が可能であるものの、相関係数の計算コストが大きいためこれを高速化する手法を提案する。増分符号相関を用いて正照合位置を識別し、探索個所を効率的に間引くなどして高速化を行う。また、相関値演算式に SSDA を導入し、しきい値設定によって無駄な計算を省く。これらの手法を適用し、従来手法と比較して約 50 倍程度の高速化を実現することを確認した。

1. はじめに

テンプレート (以下, TP) 照合を用いた画像探索法は多くの生産ラインなどで幅広く利用されており, 近年では探索範囲の拡大や探索画像の高分解能化などの要求から処理の高速化が求められている。正規化相関は明度変化に頑強であり, 最も利用されている手法の一つであるが, 遮蔽 (製品の欠け), 不良照明などに対して安定な結果を得られないことも多い。このような欠点を補うために選択的正規化相関 [1] が提案されたが, 明度相関の大きな計算コストを低減する必要がある。そこで本研究では, 選択的正規化相関の高速アルゴリズムについて検討する。このために, 増分符号による予備識別, 及び単調関数化に基づく SSDA 型効率化, の二つの工夫を導入し, 実画像実験を通して, 提案手法の有効性を検討する。

2. 選択的正規化相関

選択的正規化相関 (SCC: Selective Correlation Coefficient) は正規化相関 (CC: Correlation Coefficient) を基本としており, 増分符号によって生成するマスク画像を用いることにより, 遮蔽や局所的な陰影・ハイライトなどの不良画素の相関値への悪影響を低減し, 類似部分のみの明度分布を選択的に評価することを可能とする手法である。簡単に SCC の定義を示す。TP 画像と対象画像をそれぞれ任意の明度列に並べ替え, $F = \{f_n\}_{n=0}^{N-1}$, $G = \{g_n\}_{n=0}^{N-1}$ とする。SCC を CC の演算式を拡張し, 次式のように定義する。

$$r_{sc} = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} c_n (f_n - \bar{f})(g_n - \bar{g})}{\sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} c_n (f_n - \bar{f})^2} \sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} c_n (g_n - \bar{g})^2}} \quad (1)$$

マスク係数 c_n は増分符号の一致を判定する係数であり, $c_n = 0$ のとき画素がマスクされることを表す。これによって定義される $M = \{c_n\}_{n=0}^{N-1}$ は基本マスク画像と呼ばれる。増分符号は近傍明度の増減傾向を表す符号であり, $f_{n+1} \geq f_n$ の場合は 1, それ以外は 0 とする。符号の画像間における相関値 (一致数) は増分符号相関 (ISC: Increment Sign Correlation) と呼ばれ, 統計的解析によって 2 項分布, あるいは正規分布統計量であることが知られている [2]。次式にマスク係数を示す。

$$c_n = \begin{cases} b_n \cdot b_{n'} + (1 - b_n)(1 - b_{n'}) & (n = \text{even}) \\ c_{n-1} & (n = \text{odd}) \end{cases}$$

3. 増分符号相関による予備識別

予備識別の概要

相関係数を求める過程で画像間の ISC から正照合位置であるかを識別し, 効率的に高速化を行う。対象画像内を全走査せずに ISC の相関値の推移の特性を考慮し探索個所を削減する。基本的な ISC においては隣接画素対の明度比較し符号

化するが, この場合増分符号の参照方向 (f_n に対する f_{n+1} の方向) と走査方向が一致するとき, 相関値は数画素の移動で大きな変化を示す。逆の場合は比較的变化は小さいことが知られているため, 対象画像を一定間隔で間引く場合相関値のピークの変化傾向の急激な個所を見逃さぬよう間引きをする。図 1 にその操作方法を示す。

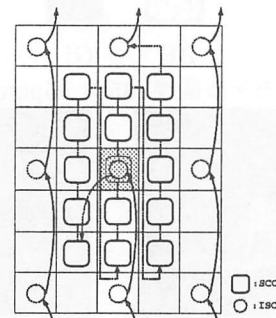


図 1: 走査方法

例として参照方向を水平方向とし, 走査を垂直方向とした。間引き率は水平方向では 1/2, 垂直方向には 1/3 とし, ISC による相関値が設定したしきい値を超えた個所に対しては, 周辺の 3×5 領域内の各画素において SCC による相関演算を行いながら対象画像全体を走査する。

上限値予測によるしきい値設定

ISC は合理的なしきい値設定が可能であり, 符号列の一致率 (非反転率: q) によって相関値を予測できる [2]。さらに, 上限値予測により処理を中断することができ, 効率よく探索することもできる。ある探索個所において, それまでの増分符号の最大一致数を R_{isc} とし, 明度列の総数 (画像サイズ) N のうち途中の t 画素までの一致数を $r_{isc}(t)$ とすれば, その時点で予測される最大値は残りの $N - t$ ビットが全て一致する時と考えられ, $r_{isc}(t) + N - t$ となるが, 残り全てが完全に一致するとは考えにくいので, それまでの最大の割合で一致すると予測し, $r_{isc}(t) + R_{isc}(N - t)/N$ をしきい値に設定する。

4. 単調関数化に基づく SSDA 型効率化

単調関数化

残差逐次検定法 (SSDA: Sequential Similarity Detection Algorithms) はよく使われる効率的アルゴリズムであり, CC を単調関数化し SSDA を用いた効率化を行う例も見られる [3]。予備識別を通過したものに対して, 本研究においても利用する。簡単のため, m をマスク画素数とし, さらに

$$A = \sum_{n=0}^{N-1} c_n f_n^2 + \sum_{n=0}^{N-1} c_n g_n^2$$

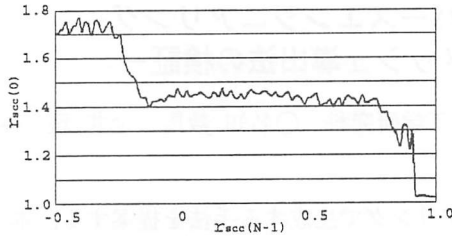


図 2: 相関値に伴う初期値の推移

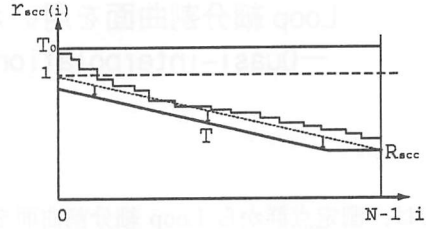


図 3: しきい値設定

$$B = -2 \sum_{n=0}^{N-1} c_n \bar{f} g_n - 2 \sum_{n=0}^{N-1} c_n f_n \bar{g} + 2(N-m) \bar{f} \bar{g}$$

$$C = \sum_{n=0}^{N-1} c_n (f_n - \bar{f})^2, D = \sum_{n=0}^{N-1} c_n (g_n - \bar{g})^2$$

とすると、(1) 式は次式ようになる。

$$r_{scc}(i) = \frac{A + B - \sum_{n=0}^i c_n (f_n - g_n)^2}{2\sqrt{C}\sqrt{D}} \quad (2)$$

ここで、 $i = \{0, 1, \dots, N-1\}$ である。A から D は画像が入力されれば計算でき、逐次演算項は類似度が低ければ増加するため、 $r_{scc}(i)$ は単調減少関数となる。画素対を $i = t$ まで比較した相関値は $r_{scc}(t)$ となり、これをしきい値判定し、類似度が低いと予測される個所において、以後の無駄計算を省くことができる。

初期値に関する考察

$i = 0$ の初期値 $r_{scc}(0)$ を次式で定義する。

$$r_{scc}(0) = \frac{A + B}{2\sqrt{C}\sqrt{D}} \quad (3)$$

この初期値が相関値の違いによってある傾向のある変動を示し、類似度が低い個所においては 1 よりも高い値をとることが実験的に分かり、新たなしきい値設定のために有効であると考えられる。ある実画像において対象画像内全体を走査した際の相関値 $r_{scc}(N-1)$ と初期値 $r_{scc}(0)$ の関係を図 2 に示す。相関値が高くなるに従い初期値は約 1.8 から約 1.0 へとほぼ単調に推移していることがわかり、初期値の算出段階でしきい値を設定すればより効率的に逐次演算部の打ち切りが可能となる

しきい値設定

初期値 $r_{scc}(0)$ を考慮した初期しきい値を T_0 と傾斜しきい値を T として併用する。傾斜しきい値 T に関しては、ある探索箇所までの最大相関値 R_{scc} と $r_{scc}(0) = 1$ を結んだ線分と定義するが、図 3 の破線が示すように最終的な相関値が R_{scc} を越えて最大値になるにも関わらず、相関値の推移によってはしきい値判定で誤って中断されることも考えられる。よって T は $r_{scc}(0) = 1$ と R_{scc} を結んだ線分より任意に下回る線分と定義しこの点を改善する。また、 R_{scc} も考慮して T は図 3 に示す線分とする。

5. 実験

本手法を ESCC (Efficient SCC) と呼び、不良照明を含む画像において従来手法との比較実験を行った。比較対象として SCC, CC, ISC による結果を考察する。対象画像と照合結果を図 4 に示す。対象画像は正照合位置付近にハイライト部分

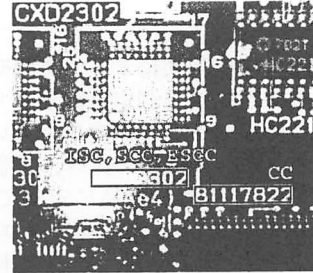


図 4: 実験結果 (不良照明)

があり、その領域が大きいかにも関わらず SCC, ISC, ESCC は正しい照合をしており、先に述べたロバスト性を確認することができる。一方、CC では誤照合を起こしている。予備識別のしきい値は、 $R_t = 0.6$ とし、初期しきい値を $T_0 = 1.2$ として照合した。照合に要した時間を表 1 に示す。SCC, CC と比べて約 50 倍、比較的計算コストの低いとされる ISC と比べても約 25 倍の高速化を実現することができた。以上の実験から提案する手法が不良照明などにロバストな高速化手法であることが確認できた。

表 1: 処理時間

method	SCC	CC	ISC	ESCC
time(s)	9.48	9.37	5.26	0.22
rate	1	0.99	0.55	0.02

6. まとめ

選択的正規化相関に増分符号相関による予備識別、また SSDA 化による効率化を導入し、遮蔽や不良照明に対してロバスト性をもつ高速画像探索法を提案した。その結果、従来手法と比較してしきい値設定により約 50 倍の処理時間で画像探索できることを確認し、その有効性を示した。

参考文献

- [1] 佐藤雄隆, 金子俊一, 五十嵐悟, "選択的正規化相関によるロバスト画像照合", 電気学会論文誌, vol.121-C, No.4, pp.800-807, 2001.
- [2] 村瀬一郎, 金子俊一, 五十嵐悟, "増分符号相関によるロバスト画像照合", 信学論 (D-II), Vol.J83-D-II, No.5, pp.1323-1331, 2000.
- [3] 池田光二, "正規化相関演算の単調関数化による高速テンプレートマッチング", 信学論 (D-II), Vol.J83-D-II, No.9, pp.1861-1869, 2000.