

一般化相関関数とSPSAアルゴリズムを用いた高速高精度画像照合

High Speed and High Quality Image Registration by Generalized Correlation Function and SPSA Algorithm

朴龍勲†
Longxun PIAO

市毛弘一†
Koichi ICHIGE

石井六哉†
Rokuya ISHII

1. まえがき

指紋や虹彩による人物の認証、印鑑照合など、画像照合技術は幅広く利用されている。画像照合では、一般に登録画像と入力画像の何らかの相関値を計算し、相関が高ければ同一の画像であると判断する。代表的な相関関数としては、相互相関(Cross-Correlation; CC)や位相限定相関(Phase Only Correlation; POC)などがある[1]。

著者らは以前に、複数の異なる相関関数と最適化処理を組み合わせた、高精度な画像照合アルゴリズムを提案した[2]。この手法は、相関関数をSAC(Squared Amplitude Correlation; 振幅2乗相関)、CC、POCの順で変化させ、最適化手法であるSPSA(Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation)アルゴリズム[3],[4]を順次適用することで、最適解を効率的に得るアルゴリズムである。しかしながら、一度収束した後で相関関数を切り替えるために、必ずしも最適解に収束しない場合がある。

本論文では、これらの相関関数を一般化して、最適化アルゴリズムSPSAアルゴリズムを適用する効率的な画像照合アルゴリズムを提案する。一般化された相関関数とは、相関関数をSACからPOCまで連続変化することである。

2. 相関関数とSPSAアルゴリズム

2.1 相関関数

登録画像を r 、入力画像を s 、それぞれの2次元離散フーリエ変換(DFT)を R, S とする。画像照合に用いる相関関数として、SAC, CC, POCを以下で定義する[1]。

$$SAC := \text{IDFT}[RS^* \cdot |RS^*|] \quad (1)$$

$$CC := \text{IDFT}[RS^*] \quad (2)$$

$$POC := \text{IDFT}[RS^* / |RS^*|] \quad (3)$$

ただし、 S^* は S の複素共役を、IDFTは2次元逆離散フーリエ変換を表す。

2.2 SPSAアルゴリズム

目的関数を L 、パラメータベクトルを ρ とする。画像照合では相関関数が目的関数 L に相当する。SPSAアルゴリズム[3],[4]では、パラメータベクトルを ρ 逐次更新により最適化する。初期ベクトルは零ベクトル、イタレーション回数を k として、パラメータベクトル ρ の更新式は

$$\rho_{k+1} = \rho_k + a_k g_k \quad (4)$$

で与えられる。ここで、 a_k はステップサイズであり、またベクトル $g_k = [g_k^1, g_k^2, \dots, g_k^m]^T$ の各要素は以下の式により与えられる。

$$g_k^i = \frac{L(\rho_k + c_k \Delta_k^i) - L(\rho_k - c_k \Delta_k^i)}{2c_k \Delta_k^i} \quad (5)$$

ただし、 Δ_k^i は+1または-1のいずれかの値をとる。また、 a_k と c_k は次の式で得られる。

$$a_k = a / (K + A)^\beta \quad (6)$$

$$c_k = c / (K + 1)^\gamma \quad (7)$$

ただし、 $0 < \gamma < \beta < 1$ であり、 a_k と c_k は徐々に零に近づく。また、式中の a, c, A, β, γ は正の数である[4]。

3. 提案手法

文献[2]での画像照合手法は、まず、式(1)で表されるSACを評価関数としてパラメータベクトルをSPSAアルゴリズムで最適化し、これが収束したらCCを評価関数として再度最適化、最後にPOCを評価関数として仕上げの最適化を行うという3段階の手法となっていた。この評価関数の切り替え、特にCCからPOCへの切り替えが、最適解に収束しない場合があることの原因であると考えられる。

式(1)-(3)で表される相関関数は、 RS^* にその絶対値 $|RS^*|$ の1乗、0乗、-1乗をそれぞれ乗算したうえでIDFTを行った値となっている。文献[2]の手法で最適解に収束しない場合があったのは、CCからPOCの式に相関関数を変化させた場合、すなわち、 $|RS^*|$ の0乗から-1乗に変化させた場合に、目標関数とその値、およびパラメータベクトルの変化が大きすぎるためであったものと考えられる。

そこで本論文では、 $|RS^*|$ のべき乗の項を1から-1まで連続的に変化させることで、SAC, CC, POCを含んだ形の一般化相関関数を定義し、SPSAアルゴリズムと組み合わせて画像照合に適用する手法を提案する。この一般化相関関数は次のように書ける。

$$C_\alpha := \text{IDFT}[RS^* \cdot |RS^*|^\alpha] \quad (8)$$

ただし、 α は1から-1まで連続的に変化するパラメータであり、 $\alpha=1$ の場合は式(1)のSAC、 $\alpha=0$ の場合は式(2)のCC、 $\alpha=-1$ の場合は式(3)のPOCにそれぞれ対応する。関数SACやCCのピーク位置は目指す最適値からはずれたものとなるが、パラメータの変化に対して滑らかに変動するため最適化手法を適用しやすい。これに対し、POCのピーク位置は目指す最適値に近いものの、鋭いピークを持ちかつピーク周辺での相関値は振動が激しいことから、最適化手法の適用にあたっては初期値の選択に細心の注意が必要となる[2]。特に、相関関数を特徴付けるパラメータである α をどのように1から-1まで変化させるかが重要となる。

† 横浜国立大学大学院工学府/工学研究院

この α をどのように変化させるか、様々な初等関数を用いて試行した。最終的に、以下の式により α を変動させた場合に、より最適解に収束しやすくなることを確認した。

$$\alpha_k = 1 - \left(\frac{k}{100}\right)^{0.1} \quad (9)$$

ここで、 k はイタレーション回数であり、 α_k は k 回目の試行における α の値を表す。この α の値の変化を図1に示す。図1のように、特にイタレーション回数が大きい場合は緩やかに、1から-1まで連続的に変化させる。

実際の画像照合では、式(5)の目的関数 L を一般化相関関数(8)として最適化を行う。最適化パラメータベクトルは画像照合のパラメータであり、縦横シフト、拡大縮小、回転などである。パラメータの変化式(9)を使って、最適な照合パラメータを求めることができる。

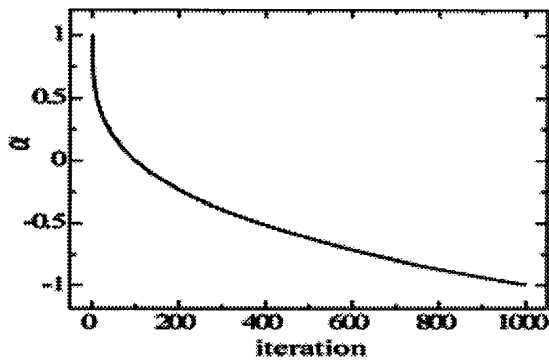


図1 α の変化

4. シミュレーション

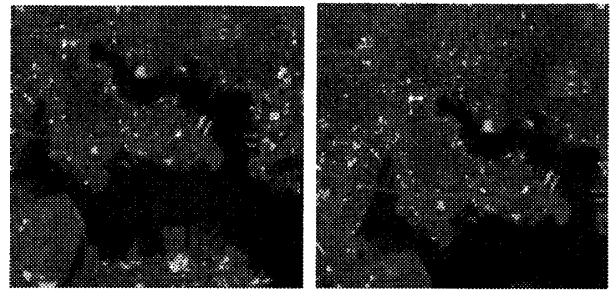
提案する一般化相関関数と SPSA アルゴリズムの組み合わせによる画像照合をシミュレーションにより評価する。画像照合のパラメータは縦横シフトのみとし、POCを用いた場合[1]、相関関数 SAC, CC, POCと SPSA アルゴリズムを組み合わせた場合[2]と照合精度や計算時間を比較する。収束条件としては、照合パラメータが同じ値を50回続けたら、収束と判断する。計算精度については、従来法と提案手法が収束した値 (x, y) から真値 (x_0, y_0) までの誤差で表す。

$$s = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} \quad (10)$$

照合に用いた画像を図2に示す。図2(b)の入力画像は図2(a)の登録画像を右方向に5pixel、下方向に20pixelシフトした画像である。また、シミュレーションで使ったコンピュータの仕様はCPU Pentium 1.7GHz、メモリは384Mbyteであり、Matlab6.5を使っている。

画像照合の結果を表1に、照合の際の縦横シフト量の推定値の推移を図3に示す。表1より、文献[2]の手法では真値には収束せずに極値に収束しているに対して、POCや提案手法の場合は局所解に収束することなく、真値に近い値に収束しているが、提案手法はPOCより真値に近い値に収束していることがわかる。また、計算速度についても、文献[2]の手法よりは高速である。

また、今回は縦横シフトのみの場合について検討したが、拡大縮小や回転などの画像操作のパラメータ数が増加した場合には、提案手法では計算時間と計算精度で従来法よりさらに効果を増すと考えられる。



(a) 登録画像 (b) 入力画像
図2 登録画像と入力画像

表1 画像照合結果

	右シフト	下シフト	誤差	計算時間(比)
入力画像	5	20	—	—
POC[1]	5.05	19.98	0.054	1.00
文献[3]	4.23	20.44	0.89	8.29
提案手法	4.98	20.01	0.023	1.34

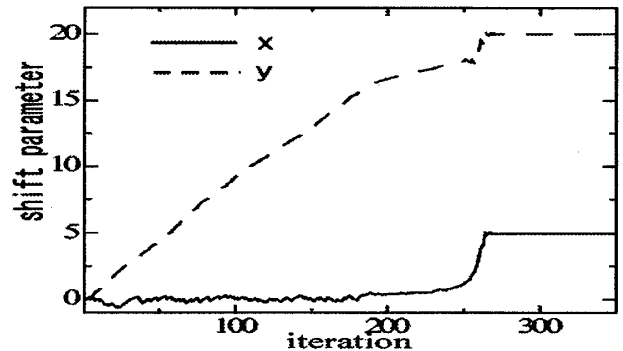


図3 シフトパラメータの変化

5. まとめ

本稿では、一般化された相関情報に SPSA を組み合わせた画像照合手法を提案した。相関関数を連続変化することで、局所解に収束することなく、高精度な画像照合が可能となっている。また、計算速度も従来方より早いことを検証した。画像操作のパラメータを増やした場合で検証を行うことが今後の課題である。

参考文献

- [1] K. Takita, T. Aoki, Y. Sasaki, T. Higuchi, and K. Kobayashi, "High-accuracy subpixel image registration based on phase-only correlation," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E86-A, no. 8, pp. 1925-1934, Aug. 2003.
- [2] 朴龍勲, 市毛弘一, 石井六哉, "相関情報と SPSA アルゴリズムを用いた高精度画像照合," 信学総大, D-11-95, 2006年3月.
- [3] J. C. Spall, "An Overview of the Simultaneous Perturbation Method for Efficient Optimization" *Johns Hopkins APL Tech. Digest*, vol. 19, no. 4, pp. 482-492, 1998.
- [4] J. C. Spall, "Multivariate Stochastic Approximation using a Simultaneous Perturbation Gradient Approximation," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 37, pp. 332-341, 1992.