

修士学位論文要約（平成29年3月）

位相限定相関法を用いた画像の平行移動量の 高速・高精度推定に関する研究

岩田 駿人

指導教員：川又 政征

Study on Fast and High-Accuracy Image Displacement Estimation Using Phase-Only Correlation

Hayato IWATA

Supervisor: Masayuki KAWAMATA

Phase-Only Correlation (POC) is a popular method for image registration because it has high robustness against noise and can estimate image displacement with sub-pixel accuracy. In this paper, we propose two improved POC based methods for faster processing and higher robustness. The first one is fast image displacement estimation using POC and chirp transform algorithm. We show that the proposed method reduces computational cost. The second one is high-accuracy image displacement estimation using POC and phase difference spectrum fitting. We show that the proposed method improves estimation accuracy when noise is added to the images.

1. はじめに

画像レジストレーション^[1]は2つの画像の位置合わせを行う技術であり、画像処理・映像処理の様々な分野において基礎となる重要な技術である。画像レジストレーションの技術として、近年位相限定相関法(POC)^[2]が注目を集めている。POCとは、画像をフーリエ変換した際に得られる位相情報のみに着目してマッチングを行う手法であり、他の手法と比較して高いロバスト性を持つことが知られている。またPOCによる画像レジストレーションは、ピクセル間隔を超える分解能でのレジストレーションが可能である。この特徴を生かして、POCは劣化した映像の修復やステレオカメラを用いた三次元計測などに応用される。

本論文ではPOCによる画像の平行移動量推定について、高速化と高精度化の観点から2つの改良法を提案する。1つ目はチャープ変換アルゴリズムを用いた平行移動量推定の高速化である。POCとQCFMを用いた平行移動量推定にチャープ変換を導入し、演算量を削減できることを明らかにする。2つ目は位相差スペクトルフィッティングを用いた平行移動量推定の高精度化である。周波数領域でのフィッティングを行うことで推定精度が向上することを明らかにする。

2. POCによる画像の平行移動量推定

2つの画像のフーリエ変換をそれぞれ $A(k_1, k_2)$, $B(k_1, k_2)$ とすると、POC 関数は以下の式で表される。

$$r(n_1, n_2) = \text{IDFT} \left[\frac{B(k_1, k_2) A^*(k_1, k_2)}{|B(k_1, k_2) A(k_1, k_2)|} \right] \quad (1)$$

ここで、IDFT は離散逆フーリエ変換を表している。

式(1)によって得られる POC 関数は離散系列であるため、ピークを検出するだけではピクセル単位の平行移動量しか検出することができない。そこで POC のピークに対して関数フィッティングを行うことで、サブピクセル精度で平行移動量を推定する手法が知られている。具体的には、論理ピークフィッティングによる手法^[3]、ピーク評価式(PEF)を用いる手法^[4]、2次関数フィッティング(QCFM)を用いる手法^[5]がある。

3. チャープ変換を用いた QCFM の高速化

QCFM を用いる画像の平行移動量推定は、高い精度が得られることから劣化した映像の修復などに応用される。しかし、POC 関数を拡大する必要があるため、演算量が課題であった。

そこで、チャープ変換アルゴリズム^[6]を導入し、拡大された POC 関数の導出に必要な演算量を削減することを考える。チャープ変換とは時間-周波数変換の一種で、限られた帯域のスペクトルを効率的に求めることができるアルゴリズムである。一般的な画像の平行移動量推定では、位置ずれ量の範囲がある程度限られることから、平行移動量を求める範囲を絞ることで演算量を削減する。

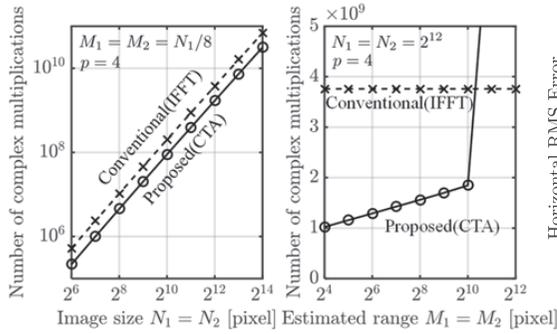


図 1: 演算量の比較

図 1 に CTA を用いる提案法と IFFT を用いる従来法の演算量を比較したグラフを示す。ここでは画像は正方形とし、拡大率 $p=4$ としている。図より推定幅が画像サイズの $1/4$ を下回る場合について、提案法を用いた演算量の削減が可能であることが分かる。

4. 位相差スペクトルフィッティングを用いた推定の高精度化

従来の POC を用いたサブピクセル精度平衡移動量推定では、空間領域の POC 関数に対してフィッティングを行う。しかし、POC 関数の統計的な挙動に基づけば、雑音のある環境において従来法は必ずしも正確な推定を行うことができないと考えられる。

そこで、POC 関数ではなく正規化クロスパワースペクトルに対してフィッティングを行うことで平行移動量を推定することを考える。2つの画像のフーリエ変換をそれぞれ $A(k_1, k_2)$, $B(k_1, k_2)$ とすると、正規化クロスパワースペクトル $R(k_1, k_2)$ は以下の式で定義される。

$$R(k_1, k_2) = \frac{B(k_1, k_2)A^*(k_1, k_2)}{|B(k_1, k_2)A(k_1, k_2)|} \quad (2)$$

画像の平行移動量を (δ_1, δ_2) とすると、理想的な正規化クロスパワースペクトルの系列 $R(k_1, k_2)$ は以下の式のように線形の位相差スペクトルとなる。

$$R(k_1, k_2) = \exp \left\{ -j2\pi \left(\frac{\delta_1}{N_1} k_1 + \frac{\delta_2}{N_2} k_2 \right) \right\} \quad (3)$$

ここで、 N_1, N_2 は画像サイズである。

提案法する位相差スペクトルフィッティング(PDSF)では、まず POC 関数のピークを求めることでピクセル単位の平行移動量を推定し、その値を初期値として、正規化クロスパワースペクトルと式(3)で表される線形位相差スペクトルの誤差を用いて勾配法を実行し、誤差が最も小さくなるような推定値に収束させる。

図 4 に、雑音のある環境における従来手法との推定精度の比較を示す。実験用の画像は $512 \times$

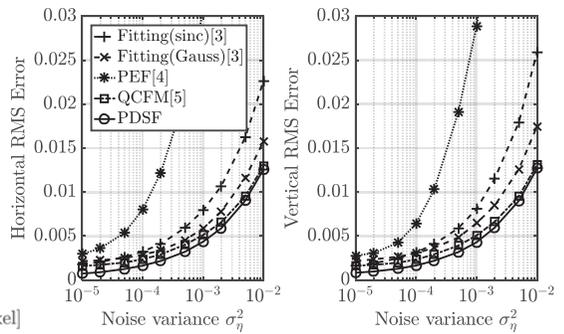


図 2: 平行移動量推定精度の比較

$512[\text{pixel}]$ の画像 Peppers を用い、縦横それぞれの方向に $-32 \sim +32[\text{pixel}]$ の範囲でランダムに平行移動を発生させ 10,000 回の試行を行った。図より、今回比較した中では提案する PDSF が最も精度よく推定できていることが分かる。これは、従来の手法では雑音によって相関ピークの形状が変動した場合に正しく推定することができないのに対して、提案する PDSF は周波数領域の誤差を用いて推定しているため、精度が向上するものと考えられる。

5. まとめ

本論文では位相限定相関法を用いた画像の平行移動量推定について、高速化・高精度化の2つの観点から改良法を提案した。1つ目は CTA を用いた POC-QCFM の高速化である。平行移動量を推定する範囲を限定することによって、従来手法よりも演算量を削減できることを明らかにした。2つ目は PDSF を用いる推定の高精度化である。周波数領域の誤差を用いた勾配法によって推定値を収束させることによって、従来の空間領域におけるフィッティングよりも雑音のある環境下における推定精度を向上できることを明らかにした。

参考文献

[1] B. Zitova and J. Flusser, *Image and Vision Computing*, Vol. 21, No. 11, Mar. 2003.
 [2] C. D. Kuglin, *Proc. Int. Conf. on Cybernetics and Society*, Jun. 1975.
 [3] K. Takita et al., *IEICE Trans. Fundamental*, Vol. 86, No. 8, Aug. 2003.
 [4] S. Nagashima et al., *Proc. ISPACS 2006*, Dec. 2006.
 [5] M. Hagiwara et al., *Journal of Signal Processing*, Vol. 8, No.5, Sept. 2004.
 [6] L. R. Rabiner et al., *Bell System Technical Journal*, Vol. 48, Issue 5, Jun. 1969.