

映像のフレーム間に生じる回転の推定手法の改善

Improvement of rotation estimation for frame displacement in image sequences

○中山章太, 阿部正英, 川又政征

○Shota Nakayama, Masahide Abe, Masayuki Kawamata

東北大学

Tohoku University

キーワード : 位相限定相関 (phase-only correlation), Fourier-Mellin 変換 (Fourier-Mellin transform),
回転角度推定 (rotation estimation), 平行移動量推定 (displacement estimation),
Log-Polar 変換 (Log-Polar transform)

連絡先 : 〒 980-8587 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05
東北大学大学院 工学部研究科 電子工学専攻 川又・阿部 (正) 研究室
中山章太, Tel.: (022)795-7095, Fax.: (022)263-9169
E-mail: nakayama@mk.ecei.tohoku.ac.jp

1. はじめに

映像の中には撮影当時の風景や文化などを記録しているものがあり、歴史的に価値の高いものが存在する。これらの映像は学術的に重要であり保存していく必要がある。しかし、古い映像や撮影状況の悪い映像では、映像に劣化が生じてしまい、視聴することが困難になる場合がある。例えばフィルム映像の場合、不適切な環境での保存や、映写するときに生じる傷によってフィルム自体が劣化してしまい、映像中に様々な劣化が生じてしまう。位置ずれやフリッカ、ブロッチ、スクラッチが映像中に生じてしまう劣化として挙げられる [1]。このように映像中には様々な劣化が生じているため、データ化された映像をデジタル的に修復することが求められている [2,3]。

本論文では映像に生じている劣化の一つであ

る回転を含む位置ずれについて考察する。映像に位置ずれが発生すると、映像が見づらくなるだけでなく、他の劣化の修復にも大きく影響が出るため、位置ずれを高精度に修復することが必要となる。位置ずれに関しては、平行移動量の推定法として文献 [4] が提案されている。また、回転角度の推定法としては文献 [5] が提案されている。さらに、文献 [5] の推定精度を改善する手法として文献 [6] の手法が提案されている。

本論文では文献 [6] の手法をもとに、さらに回転角度の推定精度の改善を行った。文献 [6] の手法における推定精度では、 0° 付近の小さい角度の推定精度が悪いため、精度を向上させる必要がある。したがって、本論文では、 0° 付近やそれ以外の角度の推定精度を向上させた手法を提案する。また、実験を通してこの手法の有効

性を示した.

2. 位置ずれに関する基礎的考察

本章では, まず, 位置ずれの基本的な性質と発生原因について述べる. 次に位置ずれを数式的に表したモデルについて説明する.

2.1 位置ずれの基本的な性質と発生原因

映像に生じる位置ずれとは, 映像が上下左右にランダムに揺れて見えたり, 回転して見える現象である. 例を Fig. 1 に示す. Fig. 1(a) では観光仙台の第 12682 フレーム目の一部分を切り取ったものである. また, Fig. 1(b) では第 12683 フレームの同じ部分を切り取ったものである. それらの絶対値差分を Fig. 1(c) で表している. Fig. 1(c) から, 絶対値差分が大きくなっていることが分かる (白い部分が輝度値の差が大きい部分). したがって, 連続したフレームの同じ部分を切り取っても位置ずれが発生していることが分かる. 位置ずれの発生原因としては手振れなど, 撮影時のカメラの微小なブレや回転が挙げられる. また, フィルム映像の場合は, フィルムの送り穴の精度不足によるものや, カメラ内部のフィルム送り機構の不安定性が挙げられる. また, 最近ではデジタルカメラの性能が向上したことによって, フィルムスキャナではなく, デジタルカメラの撮影によるデジタル化の手法も用いられている. しかし, この手法はフィルムスキャナーで取り込んだ場合に比べ, 上下左右のずれのほかに回転や拡大も含まれていることがある.

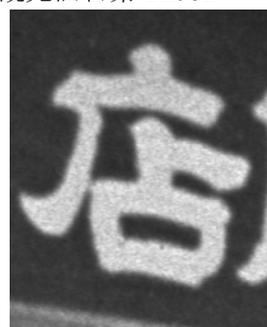
2.2 位置ずれモデル

画像の位置ずれは以下の式で表すことができる [5].

$$f_2(n_1, n_2) = f_1(n_1 \cos \theta + n_2 \sin \theta - \tau_1, -n_1 \sin \theta + n_2 \cos \theta - \tau_2) \quad (1)$$



(a) 観光仙台第 12682 フレーム



(b) 観光仙台第 12683 フレーム



(c) (a) と (b) の絶対値差分

Fig. 1 位置ずれ

ここで $f_2(n_1, n_2)$ と $f_1(n_1, n_2)$ はそれぞれ位置ずれ後と位置ずれ前の座標 (n_1, n_2) における輝度値を表している. θ は回転角度を表している. (τ_1, τ_2) は垂直方向と水平方向の平行移動量を表している. θ と (τ_1, τ_2) を推定することができれば位置ずれ後の画像 f_2 に対して $-\theta$ 回転を加え, $(-\tau_1, -\tau_2)$ 平行移動させれば元の画像 f_1 を求めることができる.

3. 位置ずれ補正

本章では, まず, 位置ずれ補正の流れについて述べる. 次に平行移動量の推定方法について

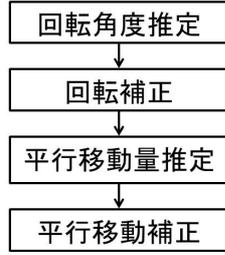


Fig. 2 位置ずれ補正の手順

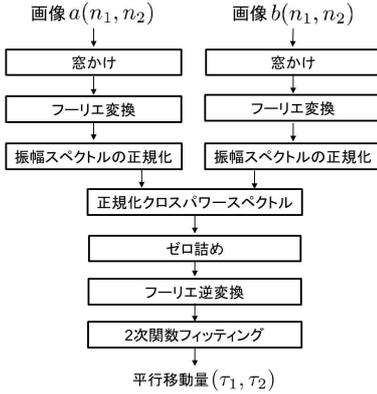


Fig. 3 文献 [4]における平行移動量推定の流れ

述べる。最後に回転角度の推定方法を述べる。

3.1 位置ずれ補正の手順

位置ずれの補正手順を Fig. 2 に示す。まず、回転角度を推定し、推定した値をもとに回転を補正する。次に、平行移動量を推定し、推定した値をもとに平行移動を補正する。平行移動を高精度に補正するために、先に回転を補正する必要がある。

3.2 位相限定相関関数を用いた平行移動量推定法

映像のフレーム間の平行移動量を推定する方法として、文献 [4] の方法が提案されている。文献 [4] の方法の流れを Fig. 3 に示す。まず、画像に対して窓かけを行う。これは、離散フーリエ変換を用いて位相限定相関関数を計算すると、離散フーリエ変換により画像の両端に本来存在しないはずのエッジが発生し、精度に影響が出てしまうからである。この現象のことをエッジ

エフェクトという。このエッジエフェクトを防止するため、離散フーリエ変換を行う前に窓関数をかける。本論文では2次元ガウス窓を使用する。窓かけした画像に対して、離散フーリエ変換し、正規化クロスパワースペクトルを求めることで位相限定相関関数を計算することができる。

位相限定相関関数とは2つの信号の位相情報に着目して、その相関をとったものである。画像サイズがそれぞれ $N_1 \times N_2$ で、 $n_1 = 0, 1, \dots, N_1 - 1$, $n_2 = 0, 1, \dots, N_2 - 1$ の2次元信号である画像 $a(n_1, n_2)$ と画像 $b(n_1, n_2)$ の位相限定相関関数は、2つの信号の正規化クロスパワースペクトルのフーリエ逆変換として以下の式のように表せる。

$$\begin{aligned}
 g_{ab}(n_1, n_2) &= \text{IDFT} \left[\frac{A^*(k_1, k_2)B(k_1, k_2)}{|A(k_1, k_2)||B(k_1, k_2)|} \right] \\
 &= \text{IDFT} \left[e^{-j(\alpha(k_1, k_2) - \beta(k_1, k_2))} \right] \quad (2)
 \end{aligned}$$

$A(k_1, k_2)$ と $B(k_1, k_2)$ はそれぞれ $a(n_1, n_2)$ と $b(n_1, n_2)$ を離散フーリエ変換したスペクトルである。また、 $|A(k_1, k_2)|$ と $|B(k_1, k_2)|$, $\alpha(k_1, k_2)$ と $\beta(k_1, k_2)$ はそれぞれ $a(n_1, n_2)$ と $b(n_1, n_2)$ の振幅スペクトルと位相スペクトルである。位相限定相関関数は、振幅スペクトルの正規化画像間の相互相関であるために、画像の高周波成分が強調され、明るさの変化に影響を受けにくい特徴がある。

画像 $b(n_1, n_2)$ が、画像 $a(n_1, n_2)$ を (τ_1, τ_2) だけ平行移動させた画像 $a(n_1 - \tau_1, n_2 - \tau_2)$ の場合、位相限定相関関数 $g_{ab}(n_1, n_2)$ は以下のように変形することができる。

$$\begin{aligned}
 g_{ab}(n_1, n_2) &= \text{IDFT} \left[\frac{A^*(k_1, k_2)B(k_1, k_2)}{|A(k_1, k_2)||B(k_1, k_2)|} \right] \\
 &= \text{IDFT} \left[e^{-j\frac{2\pi}{N_1}k_1\tau_1} e^{-j\frac{2\pi}{N_2}k_2\tau_2} \right] \\
 &\simeq \text{sinc}(n_1 - \tau_1)\text{sinc}(n_2 - \tau_2) \quad (3)
 \end{aligned}$$

ピーク付近を sinc 関数で近似できることから、 $g_{ab}(n_1, n_2)$ は (τ_1, τ_2) で最大値をとることがわかる。したがって、 $b(n_1, n_2)$ を (τ_1, τ_2) 平行移動さ

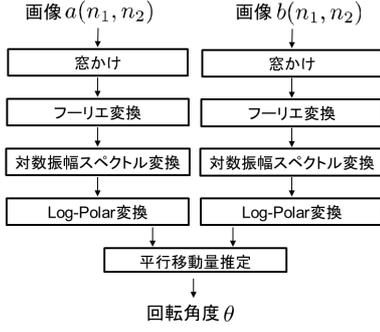


Fig. 4 文献 [6] における回転角度推定の流れ

せた画像が画像 $a(n_1, n_2)$ になることがピーク的位置から推定することができる。また、ピーク付近を 2 次関数で近似することで、小数ピクセル精度 (サブピクセル精度) で平行移動量を推定することができるようになる。さらに、推定精度を向上させるために正規化クロスパワースペクトルにゼロ詰めを行い、sinc 関数のピーク付近の点数を増やす。

以上の平行移動量推定法を用いることで、映像の最初のフレームから最後のフレームまで連続する前後 2 フレーム間の平行移動量を推定することができる。

3.3 Fourier-Mellin 変換を用いた回転角度推定

映像のフレーム間の回転角度を推定する方法として、文献 [5] の方法が提案されている。この手法では Fourier-Mellin 変換 (FMT) を用いて回転角度の推定を行っている。本節では、文献 [5] を改良した、文献 [6] の手法について述べる。Fig. 4 に回転角度推定方法の流れを示す。

まず、画像に対して窓かけを行う。本論文では振幅スペクトルが円形な、2次元ガウス窓を用いる。次に、窓かけを行った画像に対して FMT を行う。Fig. 5 に例を示す。FMT とは、画像 $r(n_1, n_2)$ の振幅スペクトル $|R(k_1, k_2)|$ を対数変換した対数振幅スペクトル $\log(1+|R(k_1, k_2)|)$ の Log-Polar 画像を求める変換である。Log-Polar 変換を行う際に、画像の内接円を使用するため、内接円の半径 l の最大値 l_{\max} を、以下のように

設定する。

$$l_{\max} = \begin{cases} N_1 - C_{N_1}, & N_1 \leq N_2 \\ N_2 - C_{N_2}, & N_1 > N_2 \end{cases} \quad (4)$$

元の画像のサイズが $N_1 \times N_2$ の場合、画像の中心 (C_{N_1}, C_{N_2}) をそれぞれ、

$$C_{N_1} = \begin{cases} \frac{N_1}{2} + 1, & N_1 \text{ が偶数のとき} \\ \frac{N_1+1}{2}, & N_1 \text{ が奇数のとき} \end{cases}$$

$$C_{N_2} = \begin{cases} \frac{N_2}{2} + 1, & N_2 \text{ が偶数のとき} \\ \frac{N_2+1}{2}, & N_2 \text{ が奇数のとき} \end{cases} \quad (5)$$

と定義する。また、離散フーリエ変換の周期性から、画像の中心を対象に半分のみを Log-Polar 変換すればよい。したがって、 $R_{\log}(k_1, k_2) = \log(1+|R(k_1, k_2)|)$ とすると、 $R_{\log}(k_1, k_2)$ の Log-Polar 変換は以下ようになる。

$$r_{lp}(\rho, \theta) = R_{\log}(l \cos \phi, l \sin \phi), \quad (6)$$

$$0 \leq \phi \leq \pi,$$

$$0 \leq l \leq l_{\max}$$

Log-Polar 変換を行う際は、整数でない座標の輝度値を補間する必要がある。本論文では Bicubic 補間法を用いた。また、Log-Polar 変換後のサイズは $N_1 \times N_2$ である。以上の手順で FMT を行うことで、画像の平行移動量に影響されずに、回転角度と拡大倍率を平行移動量に変換することができる。

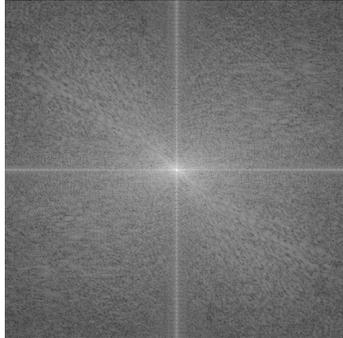
次に、文献 [4] の平行移動量推定方法を用いて平行移動量を求め、回転角度を推定する。ここで注意したいのが、対数振幅スペクトルの対象性から、Log-Polar 画像は n_2 方向に対して周期性を持つ。したがって、 n_1 方向のみに窓かけを行えばよいため、Fig. 6 のようなかまぼこ型ガウス窓を用いる。以下に式で表す。

$$w_{\text{gauss}}(n_1, n_2) = \exp\left(-\frac{(n_1 - N_1/2)^2}{2(\sigma_1^2)}\right) \quad (7)$$

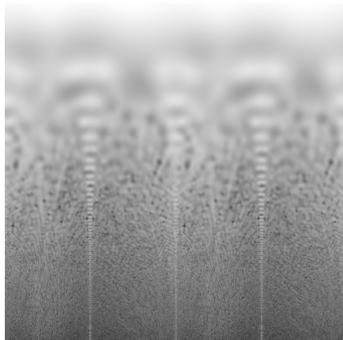
$\sigma_1 = \frac{N_1}{2\alpha}$ とし、 $\alpha = 2.5$ とする。式 (7) の窓を使用して、Fig. 3 の平行移動量推定法を用いるこ



(a) 元の画像



(b) (a) の対数振幅スペクトル



(c) (b) の Log-Polar 画像

Fig. 5 Fourier-Mellin 変換

とで、映像の最初のフレームから最後のフレームまで連続する前後 2 フレーム間の回転角度を推定することができる。

4. 回転角度推定法の改善

本章では文献 [6] における回転角度推定方法を改良し、推定精度の向上を行った。文献 [6] の手法を用いた時の回転角度の推定精度を以下の手順で調査した。使用する画像は 512×512 画素の Lena である。

- 1) 画像に対して -5° から 5° まで 0.01° ずつ

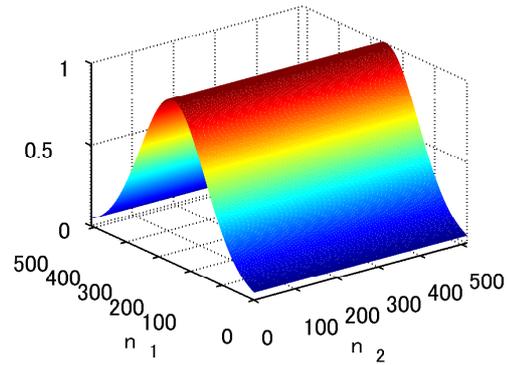


Fig. 6 かまぼこ型ガウス窓

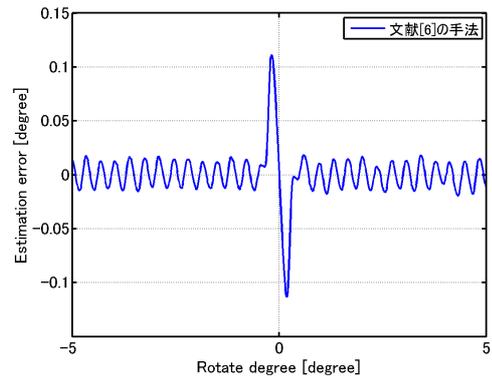


Fig. 7 文献 [6] の手法における推定誤差

回転を加える

- 2) 加えた回転角度を ϕ 、推定された角度を $\hat{\phi}$ として、推定誤差 $\hat{\phi} - \phi$ を求める。

結果を Fig. 7 に示す。実験結果から、 0° 付近の小さい角度推定では、推定誤差が大きくなっていることがわかる。回転角度推定において、 0° 付近の小さな角度推定が重要である。映像に少しでも位置ずれが生じていると、視聴する際に視覚的に位置ずれが見えてしまったり、また、見えない場合でも、後の修復に影響が出てしまう。したがって、より高精度な位置ずれ推定法が必要になる。

本論文では、最適な窓かけを行うことと、画像の拡大を行うことで精度の向上を目指す。Fig. 8 に提案法の流れを示す。赤枠で囲んだ部分が本論文で改良を行った部分である。

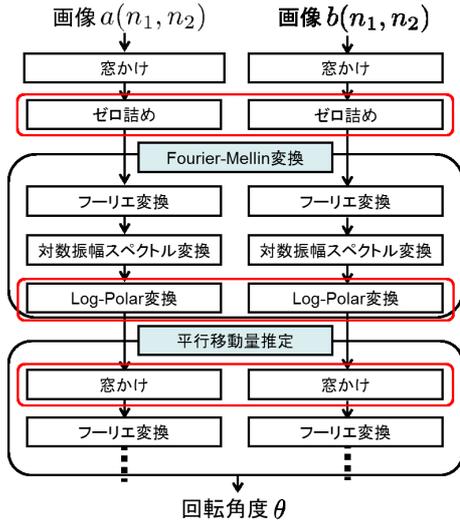


Fig. 8 提案法の流れ

4.1 窓かけによる精度改善

まず、一つ目の方法は、適切な窓関数を用いて窓かけを行うことによって推定精度を向上させる方法である。本節の窓かけは、画像にFMTを行った後の、平行移動量を求める際に行う窓かけについてである。対数振幅スペクトルのLog-Polar 画像は縦軸方向で対数スケールとなっているため、高周波領域を含む多くの周波数成分が画像の下部に集中している。文献 [6] の手法で使用されている、かまぼこ型ガウス窓を使用すると、窓かけの影響で画像の端の部分の情報がなくなってしまう恐れがある。

そこで、本論文で提案する方法は、文献 [6] の手法で使用されている、かまぼこ型ガウス窓を縦軸方向に対数スケールに変換した対数かまぼこ型ガウス窓を使用することである。Log-Polar 画像同様に、かまぼこ型ガウス窓の縦軸を対数スケールに変換することで、画像と窓のスケールを合わせ、画像の下部の情報を多く残すことができる。以下に対数かまぼこ型ガウス窓の式を示す。また、Fig. 9に対数かまぼこ型ガウス窓を示す。窓のサイズを $N_1 \times N_2$ とし、それぞれ $n_1 = 0, 1, \dots, N_1 - 1$, $n_2 = 0, 1, \dots, N_2 - 1$ とする。このとき、 $n_{1\log} = \frac{\log(N_1-1)}{N_1-1} n_1$ とする。

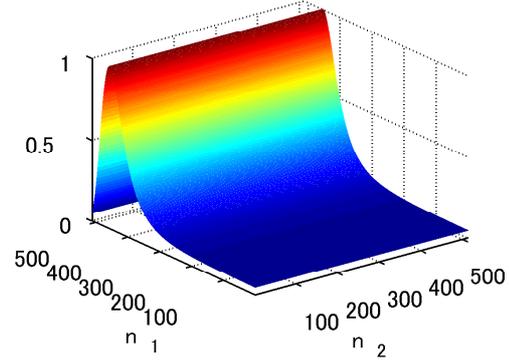


Fig. 9 対数かまぼこ型ガウス窓

対数かまぼこ型ガウス窓は以下の式で表せる。

$$w_{\text{gauss}_{\log}}(n_1, n_2) = \exp\left(-\frac{(\exp(n_{1\log}) - N_1/2)^2}{2\sigma_1^2}\right) \quad (8)$$

ここで、 $\sigma_1 = \frac{N_1}{2\alpha}$ とし、 $\alpha = 2.5$ とする。

4.2 画像の拡大による精度の改善

2つ目の方法は、画像を拡大することで回転角度の推定精度を向上させる方法である。画像を拡大することで画素数を増やし、精度を向上させるといった方法である。

本節で提案する方法は画像に対するゼロ詰めと、Log-Polar 変換を行う際のサイズ設定である。Fig. 8に示した通り、ゼロ詰めとLog-Polar 変換後のサイズ設定についてそれぞれ述べる。

4.2.1 画像の振幅スペクトルの拡大

Fig. 8に示す通り、窓かけを行った画像に対してゼロ詰めを行う。画像に対してゼロ詰めを行った後、フーリエ変換を行うことで、周波数振幅特性を拡大することができる (Fig. 10)。周波数振幅特性を拡大し、点数を増やすことによって、回転角度の推定精度が向上すると考えた。ゼロ詰めを使用した理由は、後の処理でフーリエ変換を行うので、ゼロ詰めを行うだけで、周波数特性の拡大を行うことができるからである。また、補間を用いて拡大処理を行うと高周波成分

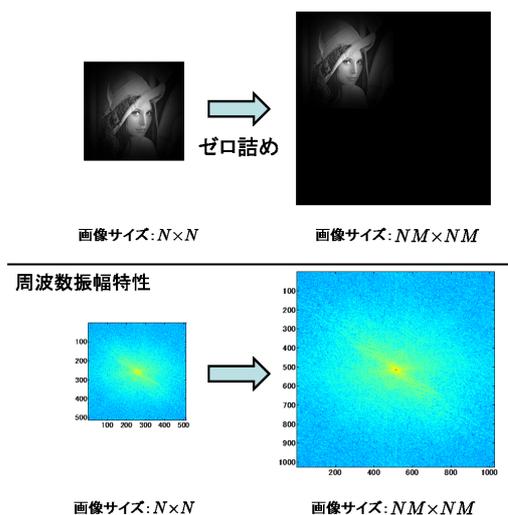


Fig. 10 画像のゼロ詰めによる周波数振幅特性の拡大

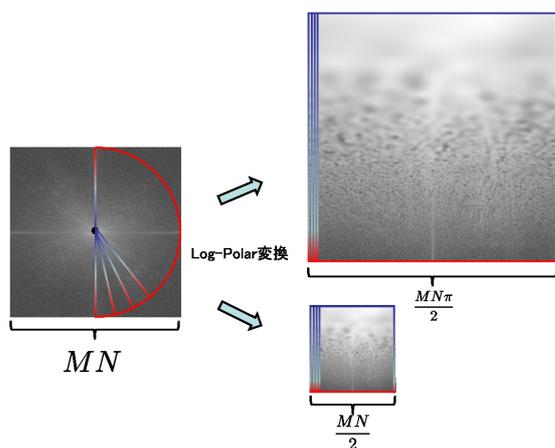


Fig. 11 Log-Polar 変換後のサイズ設定

が失われてしまい、情報量が減ってしまうことから、本実験ではゼロ詰めを使用した。サイズ $N \times N$ の窓かけを行った入力画像に対して、ゼロ詰めし、 M 倍に拡大したサイズ $MN \times MN$ の画像を求める。

4.2.2 Log-Polar 変換のサイズ設定

本項では Log-Polar 変換を行う際の出力サイズについて述べる。Fig. 11 のようにゼロ詰め後の画像サイズを $MN \times MN$ としたとき、対数振幅スペクトルを Log-Polar 変換するときの出力サイズを $\frac{MN}{2} \times \frac{MN}{2}$ と $MN \times MN$, $\frac{MN\pi}{2} \times \frac{MN\pi}{2}$ に変化させ、推定精度の変化を検証した。 $\frac{MN}{2}$

は 1 辺 MN ピクセルの正方形の内接円の半径である。 $\frac{MN\pi}{2}$ は内接円の円周の半分の長さである。 Fig. 11 から、出力サイズを 1 辺 $\frac{MN\pi}{2}$ にした場合は横軸の長さは同じ長さであるが、縦軸に対して拡大処理をする必要がある。また、1 辺 $\frac{MN}{2}$ にした場合は縦軸、横軸の長さはそれぞれ対応しているので拡大処理を行う必要はない。

5. 提案法による回転角度の推定

本章では、提案法を用いて回転角度推定の実験を行い、提案法の有効性を示した。まず、画像に対して人工的に回転を付加し、回転角度の推定を行った。次に、映像に対して人工的に回転を付加し、回転角度の推定を行った。最後に、実際に回転の生じている劣化映像を用いて回転角度の推定を行い、位置ずれを補正し、文献 [6] の手法と比較した。

5.1 画像に対する実験

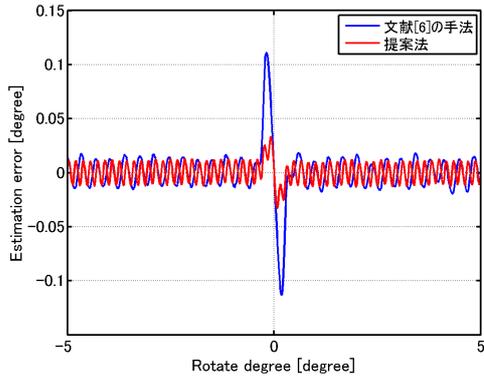
本節では、画像に対して人工的に回転を付加し、回転角度の推定実験を行った。使用する画像は Table 1 に示す。また、使用した文献 [6] の手法と提案法のパラメータを Table 2 に示す。

それぞれの画像に対して、 -5° から 5° まで 0.01° 刻みで人工的に回転を付加し、推定誤差を比較した。人工的に回転を付加する際には Bicubic 補間を使用し、補間の影響はないものとする。 Fig. 12 に結果を示す。文献 [6] の手法と比較して、提案法のほうが 0° 付近の小さい角度や、それ以外の角度において推定誤差が小さくなっていることがわかる。したがって、提案法を用いることで、回転角度推定の精度が向上していることがわかる。

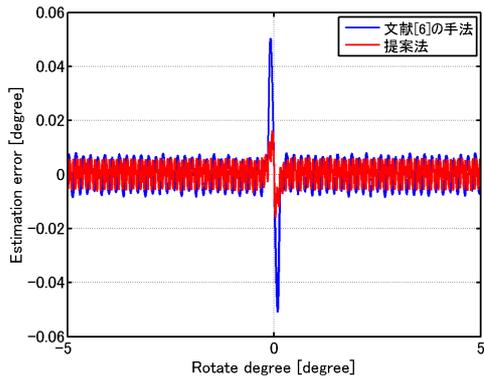
Table 1 実験で使用した画像		
	画像サイズ	階調
Lena	512×512	256
Man	1024×1024	256

Table 2 使用する手法のパラメータの比較

	文献 [6] の手法	提案法
窓かけ	かまぼこ型ガウス窓	対数かまぼこ型ガウス窓
ゼロ詰め	なし	4 倍
Log-Polar 変換後のサイズ	N	$\frac{4N}{2}$



(a) Lena



(c) Man

Fig. 12 文献 [6] の手法と提案法における回転角度の推定誤差

5.2 映像に対する実験

本節では、映像に対して人工的に回転を付加し、回転角度の推定実験を行った。使用する映像は Fig. 13 に示す 720×480 画素の Intersection である。第 301 フレームから第 500 フレームを使用して実験を行った。

映像の 1 フレームごとにランダムウォーク的に回転を加える。加える回転角度は平均 0、分散 0.05 のガウス分布をもとに発生させた乱数を用いる。そして、前フレームを基準にすべてのフ



Fig. 13 Intersection 第 301 フレーム

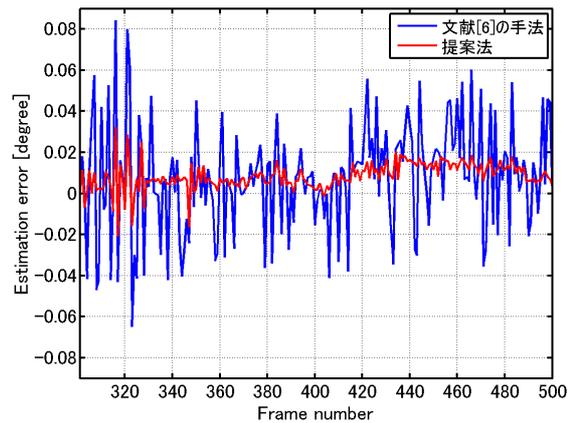


Fig. 14 文献 [6] の手法と提案法の推定誤差

レームに対してそれぞれ、文献 [6] の手法と提案法を用いて回転角度の推定を行い、推定誤差を求める。また、使用した文献 [6] の手法と提案法のパラメータは Table 2 に示したものを使用する。Fig. 14 に実験結果を示す。Fig. 14 から提案法における推定結果のほうが推定誤差が小さく、精度が向上していることがわかる。以上から、映像に対して人工的に回転を付加した場合、提案法が有効に働いていることがわかる。



Fig. 15 Rafting 第 349 フレーム

5.3 回転の生じている劣化映像に対する実験

本節では、回転の生じている劣化映像を用いて実験を行った。実験に使用する映像は Fig. 15 に示す 3551×2521 画素の Rafting である。Rafting は RGB のカラー映像であるため、G 成分のみを取り出して実験を行った。

文献 [6] の手法と提案法を用いて回転角度の推定を行い、補正する。また、平行移動量に関しては文献 [4] の手法を用いて推定し補正する。文献 [6] の手法と提案法のパラメータは Table 2 に示したものを使用する。

映像の修復後、映像中の移動物体のない部分を切り取り、前フレームとの RMSE (Root Mean Squared Error) を求め、評価した。RMSE の値が小さいほど前フレームとの変化が少なく、より高精度に位置ずれを補正できているといえる。RMSE は以下の式で求められる。

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N_1 N_2} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} (I_{\text{res}}(n_1, n_2) - I_{\text{org}}(n_1, n_2))^2}$$

ここで I_{org} は基準となる画像の輝度値であり、ここでは 1 フレーム前の画像を指す。また、 I_{res} は参照する画像の輝度値であり、ここでは現在参照しているフレームの画像を指す。

文献 [6] の手法と提案法による実験結果を Fig. 16 に示す。Fig. 16 から、文献 [6] の手法と比較して、提案法の RMSE の値が大きいことがわかる。Rafting では、映像中の移動物体の占めている割合が大きいいため、提案法を使用すると、移動

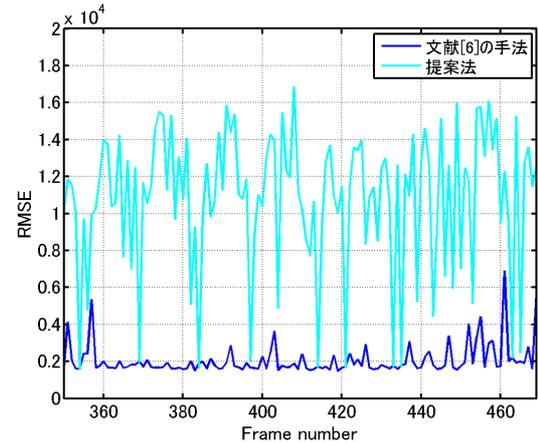


Fig. 16 文献 [6] の手法と提案法を用いたときの RMSE

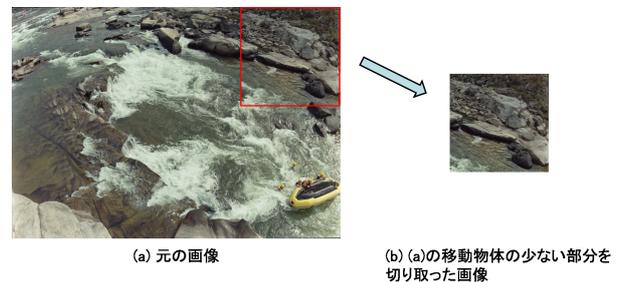


Fig. 17 移動物体の少ない範囲の切り抜き

物体の回転角度も推定してしまうことが原因であると考えられる。

そこで、Rafting の映像中で、移動物体が少ない部分を Fig. 17 のように切り取り、その部分を使用して回転角度を推定し、位置ずれ補正を行った。結果を Fig. 18 に示す。Fig. 18 から、切り取った部分を用いた回転角度の補正を行った時の RMSE は、提案法のほうが小さいことがわかる。次に、元の画像を使用して、文献 [6] の手法を用いた場合と、切り取った部分を使用して提案法を用いた場合とで比較を行った。結果を Fig. 19 に示す。Fig. 19 から、切り取った部分を使用して提案法を用いた場合の RMSE の平均と分散が一番小さいことがわかる。

以上の実験から、提案法を用いることで、回転を含む位置ずれ補正の精度を向上させることができた。提案法を使用するにあたっては、回転の推定を行うのに適切な範囲を選択を必要がある。Rafting のように、移動物体の占め

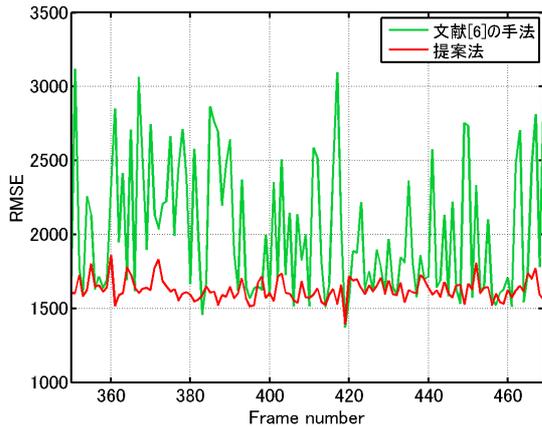


Fig. 18 切り抜いた部分を用いて回転角度の補正を行った時の RMSE

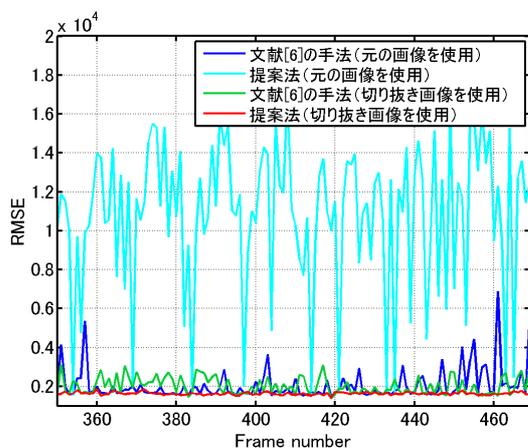


Fig. 19 元の画像を用いた場合と、切り抜いた部分を用いた場合の RMSE の比較

る割合の大きい映像では、移動物体に対しても高精度にマッチングを行ってしまうため、回転を正しく補正することが困難と考えられるからだ。したがって、映像中の移動物体の少ない部分を選択して、提案法を用いて回転の補正を行うことで、文献 [6] の手法を用いた場合よりも補正の精度を向上させることができた。

6. おわりに

本論文では、回転角度推定方法として、適切な窓関数による窓かけと画像の拡大による手法を提案した。さらに、実験によりそれらの有効性を示した。

窓かけにおいては文献 [6] のかまぼこ型ガウ

ス窓を改良し、対数かまぼこ型ガウス窓を提案した。Log-Polar 画像同様に、かまぼこ型ガウス窓の縦軸を対数スケールに変換することで、画像と窓のスケールを合わせた。また、画像の拡大をゼロ詰めと Log-Polar 変換後で設定することにより、画像の周波数振幅特性の情報を増やし精度の向上を行った。画像に対して、人工的に回転を付加させた場合の推定精度は提案法により改善した。また、映像に対して人工的に回転を付加した場合に関しても、提案法を用いることで、推定精度を改善することができた。

回転が生じている映像を用いた実験では、提案法を用いることで、回転を含む位置ずれ補正の精度を向上させることができた。ただし、提案法を使用するにあたっては、回転の推定を行うのに適切な範囲を選択をする必要がある。

参考文献

- [1] 阿部正英, 庄司弘毅, 南 相哲, 川又政征, “古いフィルム映像の劣化モデルと人工的な劣化映像の作成,” 電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会, no.AK-2-1, pp.SS-4-SS-5, 2007.
- [2] 阿部正英, 川又僚太, 庄司弘毅, 川又政征, 太田直久, 小野定康, “古い映画フィルムの高解像度デジタルスキャン,” 映像情報メディア学会技術報告, vol.30, no.32, pp.1-4, 2006.
- [3] 阿部正英, 川又僚太, 庄司弘毅, 川又政征, “高解像度の古いフィルム映像のデジタル修復処理,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol.30, no.SIS2006-68, pp.57-62, 2006.
- [4] M. Hagiwara, M. Abe, and M. Kawamata, “Estimation method of frame displacement for old films using phase-only correlation,” *Journal of Signal Processing*, vol.8, no.5, pp.421-429, 2004.
- [5] Q.-S. Chen, M. Defrise, and F. Deconinck, “Symmetric phase-only matched filtering of fourier-mellin transforms for image registration and recognition,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.16, no.12, pp.1156-1168, 1994.
- [6] 飯嶋信章, “フィルム映像における局所的な動きの影響を考慮した位置ずれ補正アルゴリズムに関する研究,” 修士論文, 東北大学大学院工学研究科, 2012.