

古いフィルム映像における映像中の動きに対して ロバストなフリッカパラメータ推定

Robust Flicker Parameter Estimation for Motion in Old Film Sequences

○浜口洋司, 阿部正英, 川又政征

○Youji Hamaguchi, Masahide Abe, Masayuki Kawamata

東北大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Tohoku University

キーワード : フリッカ(Flicker), 古いフィルム映像(Old Film Sequences), フリッカパラメータ(Flicker Parameter), 動き(Motion)

連絡先 : 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉05 東北大学大学院 工学研究科 電子工学専攻 川又研究室
浜口洋司, Tel.: (022)217-7095, Fax.: (022)263-9169, E-mail: youzi@mk.ecei.tohoku.ac.jp

1. はじめに

古いフィルム映像は当時の文化や情勢, 街並みを知る上で重要な資料となる. しかし, 古いフィルム映像は, さまざまな経年劣化を受け鑑賞に耐える画像品質にはほど遠いものが多い. このような古いフィルム映像のデジタルアーカイブ化や再利用の促進のために, 古いフィルム映像に対するデジタル修復技術の研究開発が活発に行われている¹⁾.

古いフィルム映像の経年劣化の一つとして, 明るさの不自然な時間的変動であるフリッカがある. フリッカが生じている映像は, 鑑賞する上で不快に感じるため, 長時間の鑑賞には不向きである. そこで, 古いフィルム映像をより見やすくするためにはフリッカの補正が必要である. そのため, これまでに古いフィルム映像に対するフリッカ補正

の手法が提案されている¹⁾.

本研究は古いフィルム映像に含まれる経年劣化現象であるフリッカの補正を目的としている. フリッカ補正では, 劣化画像に対して参照画像の対応する部分の画素値に基づきフリッカパラメータを推定し, この推定により画像をフリッカ補正する. 映像中の動きがない領域では, 映像中の同一位置の画素値を参照すればよい. しかし, 映像中の動きがある領域では, この動きを考慮した処理が必要となる. そこで, 本稿では, 従来の映像中の動きにおけるフリッカパラメータの推定法を検討し, 映像中の動きにロバストなフリッカパラメータの推定法を提案する. その上で, 従来法と提案法によりフリッカパラメータを推定し, フリッカの補正結果の映像について, フリッカ補正の性能を検討する.

2. フリッカモデルとフリッカ補正法

本節ではフリッカのモデルと、このモデルに基づいたフリッカ補正法について概説する。

2.1 フリッカモデル

本稿では、以下の式をフリッカモデルとして用いる¹⁾。

$$Z(i, j, t) = \alpha(i, j, t) \cdot Y(i, j, t) + \beta(i, j, t) \quad (1)$$

ここで、 $Z(i, j, t)$ はフリッカで劣化した画像の輝度値、 $Y(i, j, t)$ は劣化していない画像の輝度値を示す。 $\alpha(i, j, t)$ と $\beta(i, j, t)$ はフリッカゲイン係数とフリッカオフセット係数である。 i と j は画素の位置を示し、 t はフレーム番号を示す。

2.2 フリッカ補正法

フリッカパラメータ $\alpha(i, j, t)$ と $\beta(i, j, t)$ は、あるフレーム t について位置座標 i と j に対して、大局的にゆるやかな変化と、微小なゆらぎの変化が存在する。そこで、フリッカパラメータ $\alpha(i, j, t)$ と $\beta(i, j, t)$ は局所領域で見ると一定であると仮定する¹⁾。この仮定より、フリッカパラメータを以下の式とする。

$$\begin{cases} \alpha(i, j, t) = \alpha_{m,n}(t) \\ \beta(i, j, t) = \beta_{m,n}(t) \end{cases} \quad \forall i, j \in \Omega_{m,n} \quad (2)$$

ここで、 $\Omega_{m,n}$ は局所領域を示し、 m と n は局所領域 $\Omega_{m,n}$ の画像中の位置を示す。これより、式(1)は以下の式に再定義できる。

$$Z(i, j, t) = \alpha_{m,n}(t) \cdot Y(i, j, t) + \beta_{m,n}(t) \quad (3) \quad \forall i, j \in \Omega_{m,n}$$

式(3)より、フリッカを補正するためには、フリッカパラメータ $\alpha_{m,n}(t)$ と $\beta_{m,n}(t)$ を推定しなければならない。各局所領域内の輝度値の分散と平均を用いることで、以下の式によりフリッカパラメータ

の推定が可能である。

$$\alpha_{m,n}(t) = \sqrt{\frac{\text{var}[Z(i, j, t)]}{\text{var}[Y(i, j, t)]}} \quad (4)$$

$$\beta_{m,n}(t) = E[Z(i, j, t)] - E[Y(i, j, t)] \quad (5)$$

ここで、 $\text{var}[\cdot]$ は局所領域 $\Omega_{m,n}$ 内の分散値であり、 $E[\cdot]$ は局所領域 $\Omega_{m,n}$ 内の平均値である。

しかし、式(4)と式(5)には、未知の値である劣化前の画像の輝度値 $Y(i, j, t)$ が含まれているので、 $\alpha_{m,n}(t)$ と $\beta_{m,n}(t)$ を推定することができない。そこで、文献¹⁾では $Y(i, j, t)$ の代わりにフリッカ補正後の1フレーム前の画像の輝度値 $\hat{Y}(i, j, t-1)$ を用いている。

以上より、フリッカパラメータ $\hat{\alpha}_{m,n}(t)$ と $\hat{\beta}_{m,n}(t)$ を推定する式は以下となる。

$$\hat{\alpha}_{m,n}(t) = \sqrt{\frac{\text{var}[Z(i, j, t)]}{\text{var}[\hat{Y}(i, j, t-1)]}} \quad (6)$$

$$\hat{\beta}_{m,n}(t) = E[Z(i, j, t)] - E[\hat{Y}(i, j, t-1)] \quad (7)$$

これより、フリッカ補正後の画像の輝度値は以下の式で求められる。

$$\hat{Y}(i, j, t) = \frac{Z(i, j, t) - \hat{\beta}_{m,n}(t)}{\hat{\alpha}_{m,n}(t)} \quad (8) \quad \forall i, j \in \Omega_{m,n}$$

しかし、フリッカパラメータ $\alpha_{m,n}(t)$ と $\beta_{m,n}(t)$ が局所領域内で一定であるので、式(8)によるフリッカ補正後の画像にブロックノイズが生じることがある。このため、フリッカ補正後の画像にブロックノイズが生じないように、フリッカパラメータ α と β を補間しなければならない。ここで、以下の式により、フリッカパラメータ $\alpha_{m,n}(t)$ と $\beta_{m,n}(t)$ を補間する。

$$\begin{cases} \hat{\alpha}(i, j, t) = I[\alpha_{m,n}(t)] \\ \hat{\beta}(i, j, t) = I[\beta_{m,n}(t)] \end{cases} \quad \forall i, j \in \Omega_{m,n} \quad (9)$$

ただし、 $\hat{\alpha}(i, j, t)$, $\hat{\beta}(i, j, t)$ は補間後のフリッカパラメータとする。ここで、 $I[\cdot]$ は補間した値を求める関数である。本稿では、補間法として共1次補間法を用いた⁵⁾。以上より、ブロックノイズの発生をおさえたフリッカ補正後の画像の輝度値は式(8)と式(9)より以下の式になる。

$$\hat{Y}(i, j, t) = \frac{Z(i, j, t) - \hat{\beta}(i, j, t)}{\hat{\alpha}(i, j, t)} \quad (10)$$

3. 映像中の動きを考慮した従来のフリッカパラメータ推定法

前節のフリッカ補正法では映像中に動きがないと仮定しているので、映像中の動きに対してはフリッカ補正できない。そこで、本節ではフリッカで劣化した映像中の動き推定法と映像中の動きにおける従来のフリッカパラメータの推定法を説明する。

3.1 フリッカで劣化した映像中の動き推定

前節より、式(6)と式(7)を用いて、フリッカパラメータ $\hat{\alpha}_{m,n}(t)$ と $\hat{\beta}_{m,n}(t)$ を推定するためには、以下の式が近似的に成り立たなければならない。

$$\begin{cases} E[Y(i, j, t)] = E[\hat{Y}(i, j, t-1)] \\ \text{var}[Y(i, j, t)] = \text{var}[\hat{Y}(i, j, t-1)] \end{cases} \quad (11)$$

しかし、移動物体がある局所領域では式(11)が近似的に成り立たない。このため、移動物体がある局所領域では式(6)と式(7)を用いて推定できない。そこで、移動物体がある局所領域においては移動物体を考慮したフリッカパラメータ推定法が必要となる。このため映像中の移動物体がある局所領域の位置を検出しなければならない。そこで、文献¹⁾ではフリッカで劣化した映像中の動き推定法に以下のアルゴリズムを用いている。

Step 1: Fig. 1のように画像を上下左右の隣接し

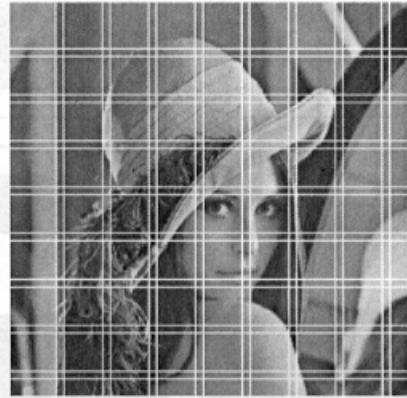


Fig. 1 各局所領域が重なり合うように分割した画像

た局所領域が重なりあうように分割する。この重なりあった領域を境界領域とする。

Step 2: 式(6)と式(7)を用いて各局所領域のフリッカパラメータを推定し、式(8)を用いて各局所領域を補正する。

Step 3: 境界領域において、共通のピクセルで輝度値の差分絶対値をとり、閾値 T_d 以上のピクセルを数える。

Step 4: 境界領域において、ピクセル数が D_{max} 以上ならば境界領域を含む領域に移動物体があるとする。

3.2 映像中の動きにおける従来のフリッカパラメータ推定法

3.2.1 dilation法

dilation法とは、移動物体があると推定されたブロックのフリッカパラメータを4近傍内のブロックでフリッカパラメータが確定したブロックから補間する手法である¹⁾。ここで、Fig. 2にdilation法による補間の例を示す。Fig. 2(a)は初期状態である。黒い領域は移動物体がない領域、または移動物体があるがフリッカパラメータが補間された領

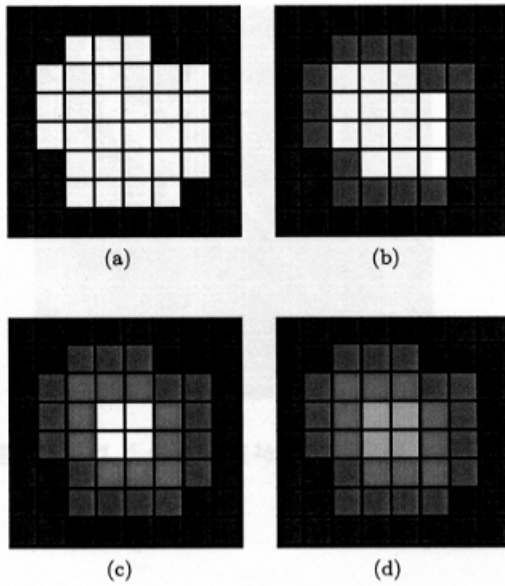


Fig. 2 dilation法による補間の例. (黒い領域はフリッカパラメータが確定している領域を, 白い領域はフリッカパラメータが確定していない領域を示す.) (a)初期状態, (b)反復回数 $k = 1$, (c)反復回数 $k = 2$, (d)反復回数 $k = 3$ のときの補間結果.

域を示す. 白い領域は移動物体があり, フリッカパラメータが補間されていない領域を示す. Fig. 2(b)は反復回数 $k = 1$, Fig. 2(c)は反復回数 $k = 2$, Fig. 2(d)は反復回数 $k = 3$ のときの補間結果である. 反復回数が増していくごとに移動物体がある領域のフリッカパラメータが補間されていくことがわかる.

ここで, dilation法の問題点を示すために, dilation法によりフリッカを補正する. Fig. 3(a)にフリッカで劣化した画像を示す. Fig. 3(b)にdilation法により補正した画像を示す. Fig. 3(b)より, 移動物体が白くぼやけていることがわかる. これは, dilation法が, 周囲のフリッカパラメータを用いて移動物体がある領域のフリッカパラメータを補間するために, 移動物体が複数の局所領域にわたる場合, フリッカパラメータの推定が不正確になってしまうためである⁴⁾.

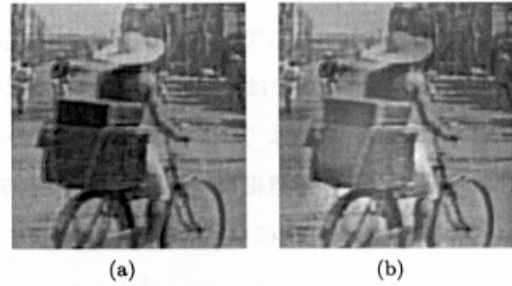


Fig. 3 dilation法による補正後の影響. (a)原画像, (b)dilation法による補正後の画像

3.2.2 動き量推定を用いたフリッカパラメータ推定法

動き量推定を用いたフリッカパラメータ推定法とは, 移動物体があると推定された局所領域に対し動き量を推定し, 推定された動きを補償して, 移動物体中のフリッカパラメータを推定する手法である²⁾. この手法では, 動き量を推定するためにBlock Matching(以降BM)法を用いる. しかし, 一般的なBM法ではフリッカの影響で正確には動き量を推定できない. そこで, この手法ではBM法でのフリッカの影響をおさえるために, 一度dilation法によりフリッカを補正した画像を用いてBM法により動き量を推定する. これにより, 推定した動き量を用い, 以下の式により移動物体がある局所領域のフリッカパラメータを推定する.

$$\hat{\alpha}_{m,n}(t) = \sqrt{\frac{\text{var}[Z(i, j, t)]}{\text{var}[\hat{Y}(i+q, j+r, t-1)]}} \quad (12)$$

$$\hat{\beta}_{m,n}(t) = E[Z(i, j, t)] - E[\hat{Y}(i+q, j+r, t-1)] \quad (13)$$

ここで, q と r は推定した動き量を示す.

しかし, この手法はdilation後の補正画像を用いて動き量を推定しているため, 動き量推定の性能がdilation後の補正画像に依存してしまう. 前項で述べたように, dilation法には移動物体が複数領域にわたる場合にフリッカパラメータの推定が不正確になるという問題点がある. これにより, dilation後の補正画像を用いても動き量の推定が不正確と

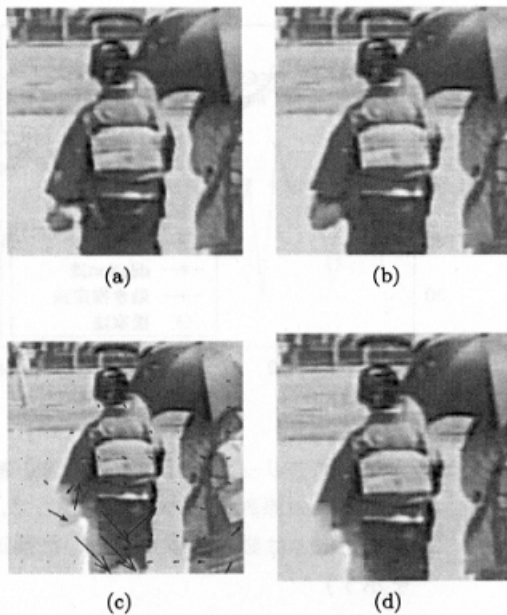


Fig. 4 移動物体が形状を変えながら動く場合の例. (a)参照画像, (b)劣化画像, (c)動き量を推定した画像(青い矢印が動き量を示す). (d)動き量推定を用いたフリッカパラメータ推定法後の補正画像.

なり, 移動物体中のフリッカパラメータの推定が不正確となる.

さらに, 移動物体が形状を変えながら動く場合, 形状の変化により, 物体の同一部位でも画像の輝度値が変化するため, ブロックマッチングにより, 移動量が推定できない. 従って, これに基づくフリッカパラメータの推定ができない.

Fig. 4に移動物体が形状を変えながら動く場合の例を示す. Fig. 4(a)に1フレーム前の参照画像を示す. Fig. 4(b)にフリッカで劣化した画像を示す. Fig. 4(c)に動き量を推定した画像を示す. 青い矢印が動き量を示す. Fig. 4(d)に動き量推定を用いたフリッカパラメータ推定法で補正した画像を示す. Fig. 4(c)のように, 移動物体が形状を変えながら動く場合, 動き推定が不正確となる. Fig. 4(d)より, 動き推定の不正確さが補正後の画像に影響が生じていることがわかる.

4. 映像中の動きに対するフリッカパラメータ推定法の提案

従来法では映像中に動きがある場合, フリッカ補正に問題点が生じる. そこで, 本節では従来法の問題点を検討し, 映像中の動きに対してロバストなフリッカパラメータ推定法を提案する.

4.1 従来法の問題点の検討

従来法の問題点より, 以下の点がわかった. dilation法や移動物体がある領域のフリッカパラメータを補間するその他の手法¹⁾より, 移動物体がある局所領域のフリッカパラメータをその周辺領域のフリッカパラメータより補間することが困難であることがわかった.

移動物体が形状を変えながら動く場合, 参照できる局所領域が存在しない. これにより, 移動物体中の局所領域におけるフリッカパラメータを推定することが困難であることもわかった. 実映像においては, 移動物体が形状を変えながら動く場合が多数存在し, この場合のフリッカ補正は非常に重要である.

以上の2点より, 移動物体がある領域のフリッカパラメータは局所領域毎に補間または推定することが困難である.

実映像の移動物体は局所領域を対象とすると, 式(11)の条件を満たすことができない. しかし, Fig. 4(a)とFig. 4(b)よりもわかるように, 実映像では移動物体全体を見ると, 2フレーム間では画像の特徴量の変化が少ないということがわかった. この映像の特徴を活かし, 新たなフリッカパラメータ推定法を提案する.

4.2 提案法

提案法では, 移動物体を含む領域の画像の特徴量は大域的に見ると2フレーム間では変化が少な

いという特徴を活かす。移動物体の局所領域では以下の式となる。

$$\begin{cases} E[Y(i, j, t)] \neq E[\hat{Y}(i, j, t-1)] \\ \text{var}[Y(i, j, t)] \neq \text{var}[\hat{Y}(i, j, t-1)] \end{cases} \quad (14)$$

しかし、移動物体全体が入るような大域的な領域 Ψ_k においては、以下の式が近似的に成り立つ。

$$\begin{cases} E[Y(i, j, t)] \simeq E[\hat{Y}(i, j, t-1)] \\ \text{var}[Y(i, j, t)] \simeq \text{var}[\hat{Y}(i, j, t-1)] \end{cases} \quad (15)$$

そこで、本稿では移動物体は大域的に見るとフリッカパラメータは一定であると仮定し、式(15)の条件を用いて、フリッカパラメータを推定する手法を提案する。本稿では、大域的な領域 Ψ_k として、4近傍内で連結した移動物体がある局所領域を用いる。移動物体がある領域 Ψ_k のフリッカパラメータを推定する式は以下となる。

$$\hat{\alpha}_k(t) = \sqrt{\frac{\text{var}[Z(i, j, t)]}{\text{var}[\hat{Y}(i, j, t-1)]}} \quad (16)$$

$$\hat{\beta}_k(t) = E[Z(i, j, t)] - E[\hat{Y}(i, j, t-1)] \quad (17)$$

これより、大域的な領域 Ψ_k に含まれる局所領域 $\Omega_{m,n}$ のフリッカパラメータは以下の式より推定する。

$$\hat{\alpha}_{m,n}(t) = \hat{\alpha}_k(t) \quad (18)$$

$$\hat{\beta}_{m,n}(t) = \hat{\beta}_k(t) \quad (19)$$

5. 提案法のフリッカ補正結果

前節で提案した提案法と従来法を用いてフリッカを補正し、フリッカ補正後の画像を比較することでフリッカ補正の性能を評価する。

5.1 人工的にフリッカを付加した映像を用いた実験

人工的にフリッカを付加した映像を用いて、従来の補正法と提案法の性能を比較する。文献¹⁾では、フリッカパラメータ $\alpha(i, j, t)$ と $\beta(i, j, t)$ に2次元

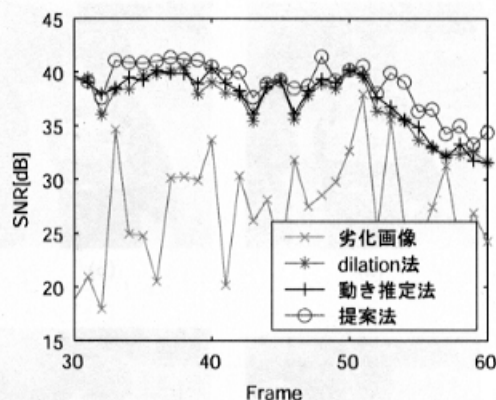


Fig. 5 人工的にフリッカを付加した画像を補正した画像の原画像とのSN比(ここで、動き推定法とは動き量推定を用いた補正法を示す)

多項式を用いて人工的にフリッカを発生させている。そこで、本稿でも文献¹⁾の手法を用いて画像に人工的にフリッカを付加する。実験映像として、salesmanの映像を使用した。評価指標として、SN比を用いた。本稿では、以下の式を用いてSN比を求める。

$$\text{SN} = 10 \log_{10} \frac{\sum_{i,j} Y(i, j, t)^2}{\sum_{i,j} (Y(i, j, t) - \hat{Y}(i, j, t))^2} \quad (20)$$

ここで、 $Y(i, j, t)$ は原画像の画素値を示す。 $\hat{Y}(i, j, t)$ は劣化画像またはフリッカ補正画像の画素値を示す。

Fig. 5は、人工的にフリッカを付加した画像に対して、dilation法と動き量推定を用いた補正法(グラフの凡例では動き推定法として示している)、提案法をそれぞれ用いてフリッカを補正した画像のSN比である。Fig. 5より、提案法はSN比が高く、高精度にフリッカを補正していることがわかる。