

古いフィルム映像の映像修復システムにおける
フリッカ検出とブロッチ検出のための参照画像の推定法

Reference Image Estimation for Flicker and Blotch Detection
in a Restoration System of Old Film Sequences

庄子 弘毅[†]

Koki SHOJI

阿部 正英[†]

Masahide ABE

川又 政征[†]

Masayuki KAWAMATA

1. まえがき

本稿では高解像度でデジタルスキャンした古いフィルム映像の映像修復システムにおけるフリッカ検出とブロッチ除去のための参照画像の推定法を提案する。これまでの修復システムでは古いフィルム映像に発生したフリッカとブロッチを独立に検出し除去するため、検出における参照画像の設定手順が冗長であった。そこで、本稿ではフリッカとブロッチが時間軸方向にそれぞれガウス性とインパルス性であることに着目しフリッカ検出とブロッチ検出において共通の参照画像を与える。本稿では提案法によって修復システムの冗長性を削減する。

2. フリッカ検出法とブロッチ検出法

本節では、古いフィルム映像に発生したフリッカとブロッチの検出法を概説する。

まず、フリッカは、元のショットには存在しない輝度の不規則な時間的変動として定義される。ここで、フリッカは次式によってモデル化される [1]。

$$I_n(\mathbf{x}) = \phi_n(\mathbf{x})E_n(\mathbf{x}) + \psi_n(\mathbf{x}) \quad (1)$$

ここで、 $I_n(\mathbf{x})$ と $E_n(\mathbf{x})$ はフレーム番号 n における位置ベクトル \mathbf{x} の劣化画像と原画像の輝度値を表す。また、 $\phi_n(\mathbf{x})$ と $\psi_n(\mathbf{x})$ はそれぞれフリッカゲインパラメータとフリッカオフセットパラメータと呼ばれ、コサイン関数の基底関数によって近似される。M 推定を用いたフリッカ除去法では、M 推定を用いてフリッカパラメータを推定し、式 (1) の逆関数によってフリッカ除去する。この手法は、移動物体やブロッチに対してロバストにフリッカパラメータ推定が可能である [1]。本稿では、M 推定を用いたフリッカパラメータ推定において、未知数である $E_n(\mathbf{x})$ のかわりにあらかじめ設定した参照画像 $R_n(\mathbf{x})$ を用いる。

次に、ブロッチはフィルム保管時や上映時に生じるフィルム表面の剥離などにより生じる輝度情報の欠落である。

そのため、ブロッチはその発生原因から空間領域と時間領域において突発的にあらわれる。さらに、1つのブロッチ内ではブロッチの輝度値がほぼ一定であり、ブロッチ領域の中心の輝度値は輝度値の最大値または最小値に近い値をとる。そこで、ブロッチによる劣化は次式によってモデル化される [2]。

$$I_n(\mathbf{x}) = (1 - d_n(\mathbf{x}))E_n(\mathbf{x}) + d_n(\mathbf{x})c_n(\mathbf{x}) \quad (2)$$

ここで、 $c_n(\mathbf{x})$ は位置ベクトル \mathbf{x} におけるブロッチの輝度値を示し、 $d_n(\mathbf{x})$ はブロッチの発生位置を示すバイナリマスクである。ブロッチ検出はブロッチの特徴から、現在フレームの輝度値と参照画像 $R_n(\mathbf{x})$ の輝度値との絶対値差分をしきい値処理することによって実行される [2]。これは、ブロッチが時間的に不規則に出現するために、時間軸上で輝度値の変化が不連続となる特徴を利用している。

3. フリッカとブロッチを考慮した参照画像の推定法

これまでの修復システムでは古いフィルム映像に発生したフリッカとブロッチを独立に検出し除去するため、検出における参照画像の設定手順が冗長であった。そこで、本稿ではフリッカとブロッチが時間軸方向にそれぞれガウス性とインパルス性であることに着目しフリッカ検出とブロッチ検出において共通の参照画像の推定法を提案する。

提案法では、フリッカとブロッチの時間軸方向の性質より、時間軸方向にそれぞれガウス性とインパルス性を仮定する。この仮定より、フリッカとブロッチによる劣化は、対象ショットにおける劣化映像の各画素の時間軸方向において、ガウス性雑音とインパルス性雑音の混合雑音とみなすことができる。そこで本稿では、ガウス性雑音とインパルス性雑音の混合雑音の除去に有効な Double Window Modified Trimmed Mean(DW-MTM) フィルタ [3] を時間軸方向に適用することによって対象ショットの背景画像を推定し、この背景画像をフリッカ検出と

[†] 東北大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Tohoku University

ブロッच検出のための参照画像と設定する。これにより、フリッカとブロッचを低減した参照画像が得られる。

提案法によって算出される参照画像 $R_n(\mathbf{x})$ を次式によって定義する。

$$R_n(\mathbf{x}) = \hat{E}_B(\mathbf{x}) \quad (3)$$

$$\hat{E}_B(\mathbf{x}) = \begin{cases} \frac{\sum_{k=1}^{N(\mathbf{x})} b_{(k)}(\mathbf{x}) \tilde{I}_{(k)}(\mathbf{x})}{\sum_{k=1}^{N(\mathbf{x})} b_{(k)}(\mathbf{x})} & I_l \leq I_{\text{med}}(\mathbf{x}) \leq I_u \\ \text{mean}_k[\tilde{I}_{(k)}(\mathbf{x})] & (\text{条件1}) \text{ or } (\text{条件2}) \\ I_{\text{med}}(\mathbf{x}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$\tilde{I}_n(\mathbf{x}) = I_n(\mathbf{x} - \mathbf{d}_n) \quad (5)$$

$$I_{\text{med}}(\mathbf{x}) = \text{median}_k[\tilde{I}_{(k)}(\mathbf{x})] \quad (6)$$

$$\begin{cases} \text{条件1: } I_{\text{med}}(\mathbf{x}) < I_l \text{ and } \exists k, I_l(\mathbf{x}) \leq \tilde{I}_{(k)}(\mathbf{x}) \leq I_u \\ \text{条件2: } I_{\text{med}}(\mathbf{x}) > I_u \text{ and } \exists k, I_l(\mathbf{x}) \leq \tilde{I}_{(k)}(\mathbf{x}) \leq I_u \end{cases}$$

ここで、 $\tilde{I}(\mathbf{x})$ は前フレームとのずれを補正した映像の輝度値をあらわす。また、 \mathbf{d}_n は前フレームとのずれ量をあらわす。本稿では、このずれに対して、フレームごとの位置ずれとパンやチルトによるフレーム全体の平行移動を想定した。 $\tilde{I}_{(k)}(\mathbf{x})$ は、 $\tilde{I}_n(\mathbf{x})$ の各画素について、時間軸上の同位置の画素の輝度値を昇順にソートした信号をあらわす。 $N(\mathbf{x})$ は位置ベクトル \mathbf{x} における時間軸方向の画素数をあらわす。また、 $I_{\text{med}}(\mathbf{x})$ は位置ベクトル \mathbf{x} における時間軸方向の信号のメジアン値をあらわす。 $\text{median}_k[\cdot]$ と $\text{mean}_k[\cdot]$ はそれぞれ、変数 k に関してメジアン値と平均値を求める演算子をあらわす。また、 I_l と I_u はそれぞれ、映像の輝度値の下限と上限の輝度値をあらわす。 q は、DW-MTM フィルタのパラメータをあらわす。ここで、 I_l と I_u はブロッचに関する事前情報である。提案法において、 $I_l \leq I_{\text{med}}(\mathbf{x}) \leq I_u$ の場合は DW-MTM フィルタを適用し、それ以外の場合は例外処理として平均値またはメジアン値を参照画像の輝度値とする。図1に提案法における各パラメータの説明図を示す。図1は、位置ベクトル \mathbf{x} におけるインデックス k に対する $\tilde{I}_{(k)}(\mathbf{x})$ の変化を図示したものである。図1における青色の網掛けの領域が DW-MTM フィルタを適用する領域であり、赤色の網掛けの領域が例外処理を実行する領域である。

提案法における背景画像推定に必要な時間軸方向の画素数 $N(\mathbf{x})$ は、各画素の時間軸上の信号に含まれるブロッचの割合とフリッカパラメータの統計量によって決定される。ここで、 $I_l \leq I_{\text{med}}(\mathbf{x}) \leq I_u$ であり、 q が適切に

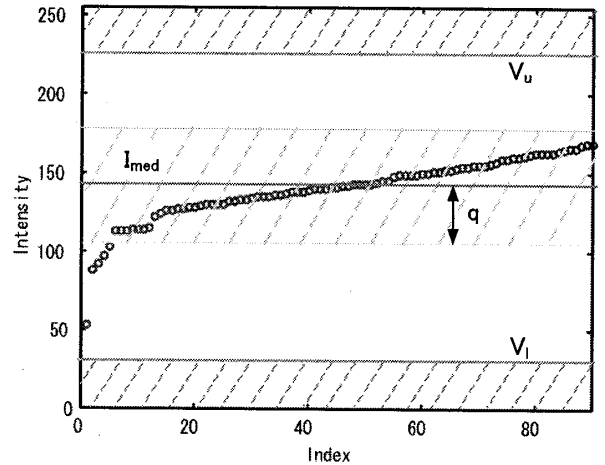


図1: 提案法における各パラメータの説明

設定されているとする。また、時間軸上において $\phi(\mathbf{x}, t)$ が正規分布 $\mathcal{N}(1, \sigma_\phi^2)$ に従い、さらに、 $\psi(\mathbf{x}, t)$ も同様に正規分布 $\mathcal{N}(0, \sigma_\psi^2)$ に従うと仮定する。以上の仮定より、式(1)と式(4)から、推定された背景画像 $\hat{E}_B(\mathbf{x})$ は次式となる。

$$\hat{E}_B(\mathbf{x}) = \text{mean}_k[\phi_{(k)}(\mathbf{x})] E_B(\mathbf{x}) + \text{mean}_k[\psi_{(k)}(\mathbf{x})] \quad (7)$$

ここで、 $E_B(\mathbf{x})$ は映像の背景画像をあらわす。

式(7)の平均処理されるそれぞれ $N(\mathbf{x})$ 個のフリッカパラメータはそれぞれ互いに独立で同じ正規分布 $\mathcal{N}(1, \sigma_\phi^2)$ と $\mathcal{N}(0, \sigma_\psi^2)$ に従う確率変数である。そのため、このフリッカパラメータの時間平均はそれぞれ正規分布 $\mathcal{N}(1, \frac{\sigma_\phi^2}{N(\mathbf{x})})$ と $\mathcal{N}(0, \frac{\sigma_\psi^2}{N(\mathbf{x})})$ に従う。よって、フリッカパラメータの分散がそれぞれ既知であるとする、 $N(\mathbf{x})$ はフリッカパラメータの時間平均の標準偏差をそれぞれ量子化誤差以下とする必要がある。

参考文献

- [1] 阿部正英, 川又僚太, 川又政征, “フリッカとブロッचの影響を考慮して作成した参照画像を用いた M 推定による高速なフリッカパラメータ推定,” 第20回回路とシステム軽井沢ワークショップ, pp. 155–160, 2007.
- [2] A. C. Kokaram, R. D. Morris, W. J. Fitzgerald and P. J. W. Rayner, “Detection of missing data in image sequences,” IEEE Trans. Image Processing, vol. 4, no. 11, pp. 1496–1508, 1995.
- [3] 雛元孝夫, 棟安実治, 田口亮, “非線形デジタル信号処理,” 朝倉書店, 1999.