

フィルム映像の劣化領域に残存する原映像の輝度情報を用いた スクラッチの検出と除去

Detection and Removal of Line Scratches Using Intensity Information Remains in Degraded Region of Film Sequences

風間 泰宏[†]
Yasuhiro KAZAMA

阿部 正英[†]
Masahide ABE

川又 政征[†]
Masayuki KAWAMATA

1. まえがき

本稿では、古いフィルム映像に発生している劣化のひとつであるスクラッチを検出および除去する手法を提案する。スクラッチは上映時における映写機とフィルムの接触による傷であり、映像上においては周囲よりも輝度値が高いまたは低い垂直方向の線として観察される [1]。

スクラッチを除去する上で、あらかじめスクラッチを検出して処理対象の領域を限定することは、映像情報の劣化を防ぐために重要である。提案法では、映像の各フレームを垂直方向に連結することによって、複数フレームにまたがるスクラッチの検出を容易にしている。また、スクラッチ領域には原映像の輝度情報が残存していることに注目し、この情報を用いることにより自然なスクラッチ除去結果が得られることを示す。

2. スクラッチの検出

フィルム上では各フレームが垂直方向に連続して記録されているため、スクラッチは複数のフレームにまたがって発生することが多い。このようなスクラッチの検出を容易にするため、フレーム単位でスキャンされた映像データを垂直方向に連結する。フレームを連結した画像 I^c は以下の式で作成される。

$$I^c(n_1, n_2) = I_{\lfloor \frac{n_2}{N_2+1} \rfloor + 1} \left(n_1, n_2 - (N_2 + l) \left\lfloor \frac{n_2}{N_2 + l} \right\rfloor \right) \quad (1)$$

ここで、 $I_n(n_1, n_2)$ は n 番フレームの空間座標 (n_1, n_2) における輝度値を表し、 N_2 はフレームの垂直方向のピクセル数を表している。また、 l はフレーム同士を連結するときの間隔であり、フィルム上におけるフレームの記録間隔に基づいて決定される。

はじめに、垂直方向の線以外の成分を除去するために、 I^c を垂直方向に空間フィルタリングする。ここで、フィルタとして奇数のタップ数 $N_{\text{avg-d}}$ を持つ平均値フィルタを用いることにより、画像 $I^{\text{avg-d}}$ を得る。

$$I^{\text{avg-d}}(n_1, n_2) = \frac{1}{N_{\text{avg-d}}} \sum_{i=-(N_{\text{avg-d}}-1)/2}^{(N_{\text{avg-d}}-1)/2} I^c(n_1, n_2 + i) \quad (2)$$

さらに、 $I^{\text{avg-d}}$ を垂直方向にダウンサンプリングすることによって画像 I^{ds} を得る。

$$I^{\text{ds}}(n_1, n'_2) = I^{\text{avg-d}}(n_1, N_{\text{avg-d}} n'_2) \quad (3)$$

次に、モルフォロジー演算を用いて水平方向のインパルス性の凹凸を抽出し、画像 $I^{\text{conv,conc}}$ を得る。

$$I^{\text{conv,conc}}(n_1, n'_2) = |I^{\text{ds}}(n_1, n'_2) - [\{I^{\text{ds}} \bullet B_1\} \circ B_1](n_1, n'_2)| \quad (4)$$

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

ここで $A \bullet B$ と $A \circ B$ はそれぞれ A の構造要素 B による closing と opening を表しており、 B_1 は水平方向のライン形の構造要素である。

次に、 $I^{\text{conv,conc}}$ を適切なしきい値 t を用いて2値化することにより、スクラッチ領域候補画像 I^{cand} を得る。

得られたスクラッチ領域候補 I^{cand} の中で、垂直方向に一定以上の長さを持つものをスクラッチと見なす。 I^{cand} の中からスクラッチを選び出す処理は次式で表される。

$$I^{\text{scr}}(n_1, n'_2) = [\{I^{\text{cand}} \oplus B_2\} \circ B_3](n_1, n'_2) \quad (5)$$

ここで、 $A \oplus B$ は A の構造要素 B による dilation を表し、 B_2 と B_3 はそれぞれ水平と垂直方向のライン形の構造要素を示している。

スクラッチ周囲に発生するリンギングは、上で得られたスクラッチ領域よりも外に広がっている可能性がある。そこで、選出されたスクラッチ領域を水平方向に拡張し、スクラッチマスク I^{mask} を作成する。

$$I^{\text{mask}}(n_1, n'_2) = I^{\text{scr}}(n_1, n'_2) \oplus B_4 \quad (6)$$

ここで、構造要素 B_4 は水平方向のライン形のものを用いる。

スクラッチマスク画像 I^{mask} には映像の全てのフレームに対するスクラッチ検出結果が含まれている。ここから任意のフレームのスクラッチマスクを取り出すには、対応する部分を切り出したのち元の画像サイズにまで引き伸ばす必要がある。

3. スクラッチの除去

劣化映像におけるスクラッチ領域の輝度値は、原画像の輝度値が高くまたは低く変化したものとなっている。この性質に基づいて、スクラッチによって劣化したフレームをモデル化する。ここで、 $E_n(n_1, n_2)$ と $I_n(n_1, n_2)$ は、それぞれ n 番フレームの空間座標 (n_1, n_2) における原画像と劣化画像の輝度値を表すものとする。フレーム内に発生しているスクラッチの本数を P 本とすると、劣化したフレームは次式のように加法モデルを用いてモデル化される [2]。

$$I_n(n_1, n_2) = E_n(n_1, n_2) + \sum_{p=0}^{P-1} L_n^{(p)}(n_1 - n_{1,p}, n_2) \quad (7)$$

$n_{1,p}$ は p 本目のスクラッチの発生位置であり、 $L_n^{(p)}$ はスクラッチの断面の輝度値を表している。このモデルに基づいてスクラッチを除去する。

はじめに、垂直方向の線以外の成分を除去するために、 I_n を垂直方向に空間フィルタリングする。ここで、フィ

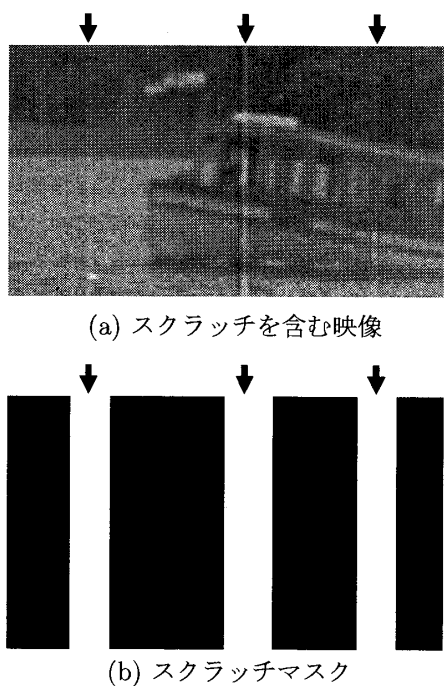


図1: スクラッチ検出結果

ルタとして奇数のタップ数 $N_{\text{avg},r}$ を持つ平均値フィルタを用いることにより, 画像 $I_n^{\text{avg},r}$ を得る.

$$I_n^{\text{avg},r}(n_1, n_2) = \frac{1}{N_{\text{avg},r}} \sum_{i=(N_{\text{avg},r}-1)/2}^{(N_{\text{avg},r}-1)/2} I_n(n_1, n_2 + i) \quad (8)$$

$I_n^{\text{avg},r}$ から垂直方向の線成分を抽出した画像 I_n^{line} は次式により得られる.

$$I_n^{\text{line}} = I_n^{\text{avg},r}(n_1, n_2) - I_n^{\text{med}}(n_1, n_2) \quad (9)$$

I_n^{med} は $I_n^{\text{avg},r}$ を水平方向の m 点メディアンフィルタにより処理したものであるとする. このとき, I_n^{line} は式7において原画像に加算される輝度値 $L_n^{(p)}$ の推定値を与える.

さらに, 劣化フレーム全体から垂直方向の線分を除去した画像 I_n^{flat} は次式で表される.

$$I_n^{\text{flat}}(n_1, n_2) = I_n(n_1, n_2) - I_n^{\text{line}}(n_1, n_2) \quad (10)$$

ここで, スクラッチ検出領域のみを処理するために, スクラッチマスク I_n^{mask} を適用する. スクラッチを除去した画像 I_n^{rm} は次式により得られる.

$$I_n^{\text{rm}}(n_1, n_2) = I_n^{\text{mask}}(n_1, n_2)I_n^{\text{flat}}(n_1, n_2) + \{1 - I_n^{\text{mask}}(n_1, n_2)\}I_n(n_1, n_2) \quad (11)$$

4. 実験結果

4.1 スクラッチの検出

提案法によるスクラッチ検出結果を示す. 図1(a)に対して作成されたスクラッチマスクは図1(b)のようになった. 図1(a)において矢印の位置に発生していたスクラッチが正しく検出されていることがわかる.

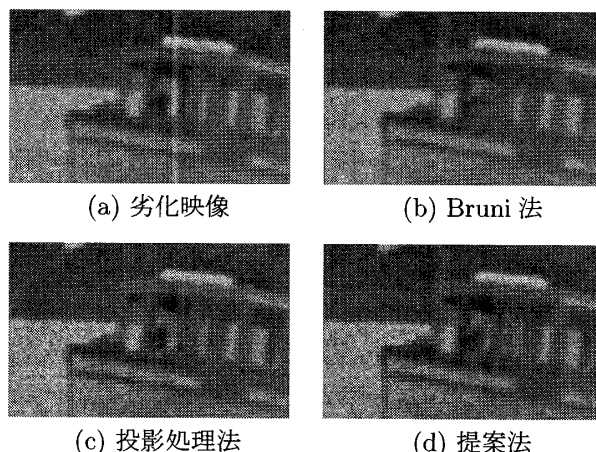


図2: スクラッチ除去結果

表1: 原映像との PSNR[dB]

スクラッチ付加画像	32.4709
Bruni 法	37.2153
投影処理法	41.2107
提案法	42.7254

4.2 スクラッチの除去

提案法によるスクラッチ除去結果を示す. ここで, 除去結果を従来法である Bruni 法 [3] および投影処理法 [4] の結果と比較する.

図1(a)に示される実際の劣化映像に対する, それぞれの手法による処理結果を図1(b)~(d)に示す.

また, 人工的にスクラッチを付加した劣化画像を作成し, これに対してスクラッチ除去手法を適用する. ここで, 原画像として標準画像 'Lighthouse' にフィルムグレイを模して平均0, 分散0.001の白色ガウス雑音を加えたものを使用した. 付加するスクラッチは垂直方向の緩やかな輝度変化を有するものである. 劣化画像およびスクラッチ除去画像と原画像とのスクラッチ付加領域における PSNR を表1に示す.

参考文献

- [1] P. Read and M.-P. Meyer, "Restoration of Motion Picture Film," BUTTERWORTH HEINEMANN, 2000.
- [2] A. Kokaram, "Motion Picture Restoration," Springer, 1998.
- [3] V. Bruni, D. Vitulano and A. Kokaram, "Fast removal of line scratches in old movies," Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, vol. 4, pp. 827-830, 2004.
- [4] 風間泰宏, 阿部正英, 川又政征, "フィルム映像における投影処理を用いたスクラッチの検出と除去," 第22回回路とシステム軽井沢ワークショップ論文集, pp. 420-425, 2009.