

[研究論文]

デジタル映像アーカイブのための 経年劣化シネマ映像のデジタル修復処理の統合

稲光達也¹・武尾英哉²

1 博士前期課程電気電子工学専攻

2 電気電子情報工学科

The digital restoration process integration of past degradation of motion pictures aiming for digital archiving

Tatsuya INAMITSU¹, Hideya TAKEO²

Abstract

Movies have existed for over 100 years. But because of the unavailability of age deterioration caused by the chemical instability of motion picture film, great quantities of valuable footage are being lost. Nitrate film used up to 1950 cannot escape age deterioration. Much of them have been damaged seriously. For these reasons, the digital preservation of motion picture film needs to include digital image processing technology for damage repair to restore images to their original pre-deterioration quality. This paper describes the development of robust and fast processing that is nearly ready for practical application. This was accomplished by integrating noise suppression technology, developed heretofore by us, for the suppression of flicker, blotches, scratches, and frame jitter, the main causes of age-related deterioration. Ordinarily, even if each noise repression process individually exhibits high performance, integrating them tends to result in an inability to maintain original image quality due to the effects of other noise. Our approach, comprising the investigation of the processing order and development of robust individual processes that resist other noise effects, enabled us to create integrated processing with high performance. Through computer simulations using actual movies, we demonstrated high-speed processing capable of real-time computation that delivers high image quality.

Keywords: digital archiving, past degradation, noise suppression, image restoration, integrated processing

1. はじめに

1885年、フランスのリュミエール兄弟がスクリーンに映像を映し出す「シネマトグラフ」、つまり映画が発明された。しかし、現在まで100年以上もの時間が経過しているため、経年劣化によるフィルムの損傷が懸念されている。今日、経年劣化の影響を受け難いトリアセートフィルムが採用されているため、経年劣化は比較的小さいとされている。しかしながら1950年以前は硝酸エステルフィルムが使用されていた為、経年劣化により重度の損傷を被っているのが現状である^[1]。

硝酸エステルベースのフィルムは、フィルムアーカイブに22億枚保存されているというが、その多くが早急に全面的修復の必要な状態である。1930年以前に撮影された

映画フィルムの約90%が、1950年以降に撮影された映画フィルムの約50%が既に失われているという報告もあるが、現存する映画フィルムも視聴が困難な品質のものがほとんどである。過去50年間にわたり、フィルムは光化学的複製法により修復されてきたが、この手法では、感光面に付いた損傷等はそのまま複製されてしまう欠点がある。そこで、デジタル技術により、経年劣化以前の本来の品質の画像を復元する事が重要となっている。

映画フィルムを除いても、オリジナルフィルムは既に失われ、テレシネ変換されたビデオ映像等が残っている場合でも、デジタル損傷修復が必要である。これらの理由や、文化財の保存・継承の観点から見ても、デジタル損傷修復の普及は早急に広める必要がある^{[2]~[7]}。

デジタル損傷修復を普及させる為には、処理の自動

化・高速化により可能な限りの低コスト化が必要である。しかし、世界初のデジタル損傷修復の施されたディズニ映画「白雪姫（1937年作品）」は、700万US\$ものコストを要した。現存の専用デジタル画像処理システムを用いても、フィルムの損傷度合いにより異なるが、1分間の修復に日本円で約3~30万円かかると言われており、2時間の映画となると単純計算上、そのコストはおよそ3百万~3千万円にものぼり、高コストであることがわかる。そのため、興行収入等の見込める作品であればデジタル処理の恩恵を受けるが、成功しなかった映画や資料映像等はデジタル処理を行われず、二の次でやがては消え去ることになる。デジタル損傷修復の大幅なコスト削減の技術開発は、この消えていく映画・資料映像をなくすためにも一刻も早く可能にする必要がある^{[8]~[9]}。

フィルム損傷には大きく以下の4つの代表的な損傷が存在する。

(1) フリッカーノイズ

元画像には存在しない、明るさの不自然な時間的変動として定義される。フィルムの経年劣化や化学的処理や複製の不完全性、シャッター時間の変動等が原因である。

(2) ブロッチノイズ

ブロッチは、フィルム表面への埃の付着や、経年劣化による感光乳剤の剥離等が原因で生じる斑点状の損傷である。その輝度は明暗両方存在する。

(3) スクラッチノイズ

スクラッチは、表面に付いた引っかき傷の様で、数フレームにわたり同じ位置に明暗がまちまちの垂直に近い線分として現れる。

(4) フレームの不規則な揺れ

撮影時やフィルム転写時におけるフィルム送り機構の動作の不安定性によって生じる映像のぶれである。

以上が劣化映像の代表的なノイズである。

このようなノイズに対してこれまでに多くの修復方法が提案をされてきた。例として、神奈川大学齋藤らが提案している手法について述べる^[2]。

フリッカー修復処理では、ヒストグラム等化法やフリッカーモデル補正を用いた修復方法が主流となっている。しかし、これには正確なシーン検出を行う必要があり、また破損画像に対して対応ができないという課題がある。

ブロッチ修復処理では、損傷のある画像に対し、動き補償画像と着目画像との差分法から検出と修復を行うことでノイズ除去を行っている。しかし、この方法では処理時間が膨大にかかる課題があり、処理時間の短縮化が必要である。

スクラッチ修復処理では、モフォロジー処理からトップハット変換を用いてノイズを検出し、そこからさらにオープニング処理とクローズング処理を行っている。しかし、この方法ではモフォロジー処理により、画像全体がぼけてしまう問題点がある。

フレームの揺れの修復処理では、位相限定相関を使用している。位相限定相関は2つの特徴があり、自己相関関数

をデルタ関数で示すことで画像の位置の情報を検出できる点、もう一つは、相関を計算する画像にずれがあった場合にそのずれの量だけ位相限定相関が移動するという点である。これらの2つの特徴から画像のずれを求めることができる。この処理は、精度の高い位置ずれ補正ができるが、膨大な計算時間がかかるという問題点がある。

以上が従来行われてきた修復方法の例であるが、この方法はまだ画質的な課題が残っていることと膨大な処理時間がかかるという問題点がある。本論では、フリッカーモデルを用いたヒストグラム解析法により精度の高い補正を実現した。スクラッチ修復では、複数の短冊領域でエッジ抽出を行うことでノイズ検出し、モフォロジーをかける領域を限定することで画像全体のボケを軽減した。また、ブロッチ及びフレームの揺れの修復では、従来では処理時間が膨大にかかってしまう問題点を改善した。

本論の技術的なポイントについて述べる。独立なフレーム間・フレーム内の画像情報の相関性を積極的に利用することで高画質化と処理の簡易性(高速性)を両立させたこと。また、徹底的なノイズと画像信号との性質の違いの追求による効率的な画質改善、各種ノイズと各修復処理との関連性・影響性の分析による処理の干渉の防止によって統合化を図った点である。

本論では、まず4つのノイズの修復方法と改良について述べ、さらに、この4つのノイズ修復方法を複数のノイズにも対応できるように統合した点について説明し、最後に計算機シミュレーションにより処理の効果を示す。

2. 手法

従来の研究^{[3]~[13]}では、4つのノイズの修復方法について研究を進めてきたが、その修復に用いる画像と修復方法は各々のノイズが単独に存在するとの前提で修復してきた。しかし、実際の劣化映像の多くは複数のノイズが同時に付加されている。今回は、その複数のノイズ映像に対応できる4つのノイズ修復統合方法について検討を行った。まず、4つのノイズ各々の修復方法について述べる。

2.1 フリッカー修復処理^{[10]~[12]}

フリッカー修復処理のときにはシーン全体の濃淡の平均値をとるため正確なシーン検出を行う必要がある。本論では、差分画像の各画素の2階差分により求められた差分値から求める方法を行った。シーンが変わる際には、全く違う映像に切り替わることからその切り替わる前の画像と切り替わった後の画像を差分比較すると、大きな差分値が発生する。しかし、一回の差分値では、バイアス成分(平均値成分)の影響が大きく、うまくシーン検出ができないことがある。そこで、差分画像からさらに差分(2階差分)を取ることでバイアス成分を軽減させることができる。図1のように本手法では2階の差分値を利用することによりシーン検出を行った。

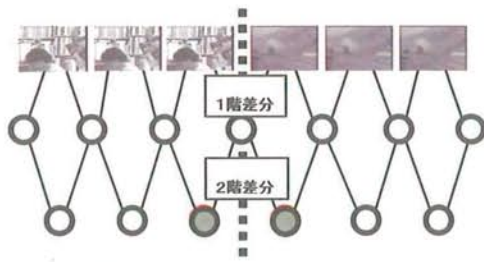


Fig. 1 Flow of scene detection

次に、フリッカー修復処理について述べる。

フリッカーの修復方法の手順を、図2のフローチャートに示す。

修復の立場から、フリッカーは式(1)でモデル化できる。

$$z(p) = \alpha(p) \cdot y(p) + \beta(p) \quad (1)$$

ここで、 $z(p)$ と $y(p)$ は、損傷画像と非損傷画像である。 $\alpha(p)$ と $\beta(p)$ は、フリッカーゲイン係数とフリッカーオフセット係数であり p の関数として定義され、 $\alpha(p)$ と $\beta(p)$ は時間の変化とともに不規則に変動している。

今回のフリッカー修復方法としてヒストグラム解析法を用い、画像の補正処理を行う。式(2)で示すフリッカーモデル補正を構築することで修復を行うことができる。

$$x(p) = \gamma(p) \cdot z(p) + \delta(p) \quad (2)$$

ここで、 $z(p)$ は補正対象画像、 $x(p)$ は補正画像、 $\gamma(p)$ はコントラスト補正係数、 $\delta(p)$ は濃淡補正係数を表す。

ここで、図3にフリッカー修復モデルを示す。式(1)を用いることで図3のようなLUT変換図を示すことができ、この修復モデルに用いられる直線の式の係数 $\gamma(p)$ 及び $\delta(p)$ を求めることで不自然に変化した濃淡値とコントラスト修復が可能になる。この処理を1フレームごとにかけていくことにより、元の動画を1枚ずつ修復していく。

ここで、係数 $\gamma(p)$ と $\delta(p)$ は、以下の式から求めることができる。

$$\delta(p) = M - m(p) \quad (3)$$

ここで、 M はシーン全体の濃淡の平均値、 $m(p)$ は元画像における濃淡の平均値である。

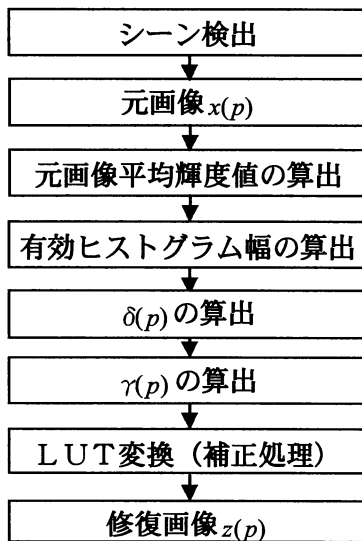


Fig. 2 Flow of flicker restoration

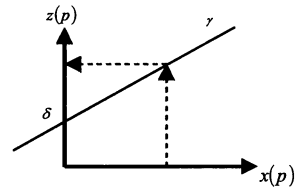


Fig. 3 Model of flicker restoration

$$\gamma(p) = \frac{G}{\max(p) - \min(p)} \quad (4)$$

G はシーン全体の有効ヒストグラム幅、 $\max(p) - \min(p)$ は、元画像の有効ヒストグラム幅である。有効ヒストグラム幅とは、画像の濃淡ヒストグラムの最小値と最大値の幅のことである。

2.2 ブロッチ修復処理 [13]~[17]

図4は、ブロッチ修復処理の流れを示したものである。

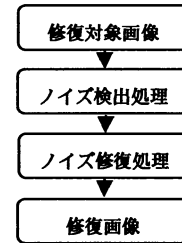


Fig. 4 Flow of blotch restoration

突発的に出現するブロッチは、フレーム変化による差分処理で検出し、閾値処理を施すことで検出する。しかしこの方法では、本来の動画の変化に対してもノイズと判断されてしまう。よって、動き補償処理が必要とされる。図5は修復する画像の一部を拡大したものである。図5(a)の白い正方形がROI(関心領域)であり、図5(b)の探索領域(大きい正方形)においてROIとのテンプレートマッチングを行う。灰色の正方形がマッチングがとれた探索結果のROIである。

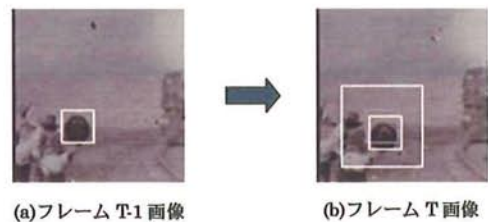


Fig. 5 Example of motion compensation

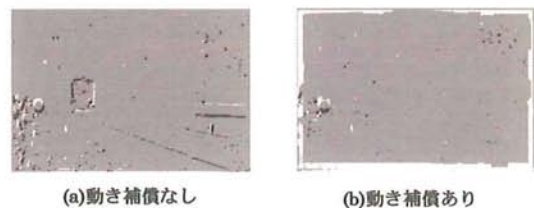


Fig. 6 Difference image which performed threshold processing

以下、各処理をステップ毎に説明する。

①まず、フレーム T-1 に対して ROI を設定する。フレーム T-1 の全画素に対して ROI の中心画素となるように ROI をずらしながら以下の処理を繰り返す。次に、フレーム T の探索領域の中から最もマッチングする領域を探索する。探索する際、サンプリングレートの荒い動画であればフレーム全体を走査する必要があるが、今回使用した動画は PAL 形式 (秒間 24 フレーム) であるので動きが少ないため、フレーム全体を走査する必要はない。その為、探索範囲を小さくして ROI の周辺のみを探索することにより修復にかかる時間を短縮した。

②動き補償と次のフレームを使用し差分処理を行う。式 (5) により、動き補償処理したフレーム T の画像とフレーム T-1 の画像を差分処理する。

$$\begin{aligned} (\text{差分画像}) = & (\text{動き補償済みフレーム T 画像}) \\ & - (\text{フレーム T-1 画像}) + 127 \end{aligned} \quad (5)$$

③修復すべきノイズを検出する為に閾値処理を施す。差分値が 127 ± 30 (閾値) の範囲を超える画素をノイズとして検出する。この処理により、図 6 (b) のようにノイズを検出することができる。図 6 (a) は、動き補償処理を行わなかった場合 (単なるフレーム間差分により閾値処理) であり、動き補償処理の効果は明確である。

④ブロッチノイズの修復方法について説明する。まず、前述の閾値処理によりノイズを検出したが、実際のブロッチと比べてひとまわり小さいことがわかる。そこでモフォロジー処理を行うことにより、ノイズと見られる部分を拡張してノイズ修復の対象部分を広げることで実際のサイズと合うようにする。図 7 は、モフォロジー処理をする前の差分画像とモフォロジー処理をした後の差分画像である。実際のブロッチノイズとほぼ一致していることが分かった。

⑤平均値を用いた修復手法について説明する。平均値修復処理は、図 8 のようにノイズ部分を検出したら周辺の修復済みの画素を用いて修復していく。ノイズに対して左上の四画 (S×S) の近隣領域の画素値の平均値をノイズ部分と置き換えていく。この方法により、ブロッチで破損した部分を埋めていくことが可能である。

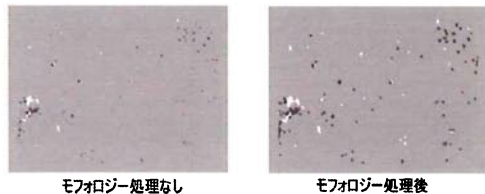


Fig. 7 Difference image by morphological processing

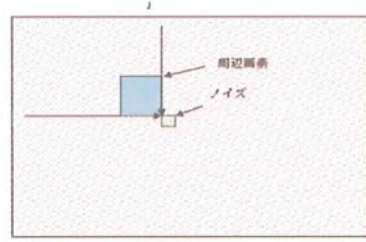


Fig. 8 Blotch restoration image by mean value

2.3 スクラッチ修復処理^{[12], [18]}

従来のような閾値処理による検出と修復を行うと、画像が非常にぼけてしまうという問題点がある。そこで、画像を複数の短冊領域に分割し、よりスクラッチを正確に検出できるエッジ抽出やラベリングを用いる方法とハフ変換と用いる方法を組み合わせる手法を用いて検出する。各検出領域内の処理設定を図 10 に示す。①枠の領域ではエッジ抽出とラベリングを用いたノイズ除去を行った後、ハフ変換でスクラッチを検出し修復する。そして、修復された画像に対して、②枠の領域内でスクラッチを検出し修復を行う。

また、③枠では領域が狭くハフ変換による検出が難しいので、エッジ抽出とラベリングでノイズ除去し、従来のように閾値によってスクラッチを検出する。④枠も③枠と同様である。ただし、この枠は特に短いスクラッチを検出するためのしきい値を設定している。

また、従来の修復方法ではスクラッチ部分を左右 4 画素の平均値で補間していた。しかし、スクラッチが太く 2 画素以上あった場合、この方法ではスクラッチ部分も平均値に含まれてしまい正確な補間ができない。そこで、本手法ではあらかじめモフォロジー画像を作成しておき、そこからスクラッチ部分に直接補間するという方法をとっている。その理由として、モフォロジー画像は画像全体で見ると、ぼけているがスクラッチ自体はよく除去できるため、スクラッチが太くても補間には適していると考えられるからである。

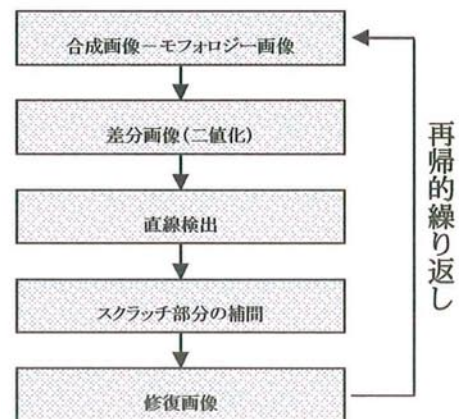


Fig. 9 Flow of scratch restoration

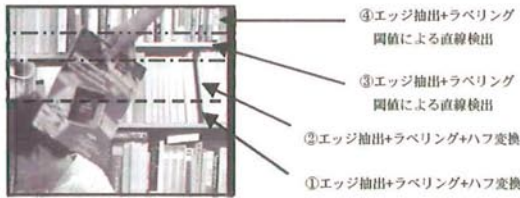


Fig. 10 Setting of detection area

2.4 フレームの揺れ修復処理^{[14], [19]}

図 11 にはフレームの揺れの修復方法を示す。

まず、移動ベクトル検出処理を行う。この処理は、修復対象画像であるフレーム T 画像が参照用画像のフレーム T-1 画像からどの程度移動しているかを調べる。移動ベクトル検出処理を図 12 に示す。

まず、フレーム T-1 画像に着目 ROI と呼ばれる 5 pixel×5pixel の正方形領域を設け、その後、フレーム T 画像にフレーム T-1 画像に対応する 4 か所に、探索 ROI と呼ばれる 15pixel×15pixel の注目領域を設ける。一方、a~d を固定するのではなく、図 12 のように 4 分割して考え、それぞれの領域すべてに対して探索 ROI を配置し、着目 ROI を走査させる。探索 ROI の走査の流れを図 13 に示す。それぞれの画像がどの程度移動しているか算出する為に、双方の画像を比較する。図 13 は着目 ROI の動きを表したもので、探索 ROI 内部を左上から順に捜査していく。4 か所に設置されたフレーム T-1 画像の着目 ROI が、対応する各探索 ROI のどの場所において一致するかを走査し、一番マッチングしたポイントの移動ベクトルを検出する。それぞれの x 方向ベクトル、y 方向ベクトルが 4 種類検出される。しかし、上記の処理において各ベクトル移動量に差異が存在する場合、正確にフレームの揺れを修復することができない。そこで、次に述べる取捨選択ベクトル法を用いて的確なベクトル移動量を算出する。取捨選択ベクトル法は、移動ベクトル検出処理で得られた複数の移動ベクトルから、一つの適切な移動ベクトルに絞り込む処理である。取捨選択ベクトル法を使用すれば、全体の映像の動きに対する人などの違う移動ベクトル因子が発生した場合など、4 か所に設けられている探索 ROI の一部に影響を及ぼしても、残りの探索 ROI は正しく画面全体の動きを検出できる為、影響をなくすことが可能である。取捨選択ベクトル法のルールを以下に示す。

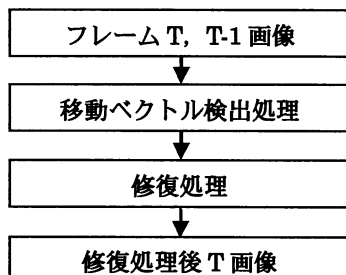


Fig. 11 Flow of Shake of frame

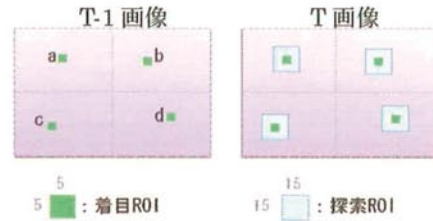


Fig. 12 Detection processing of movement vector

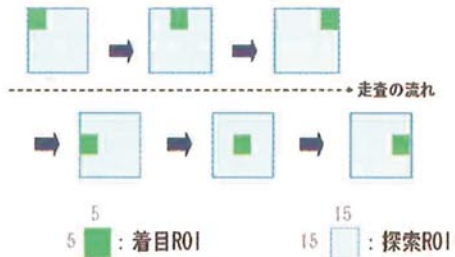


Fig. 13 Flow of search ROI scanning

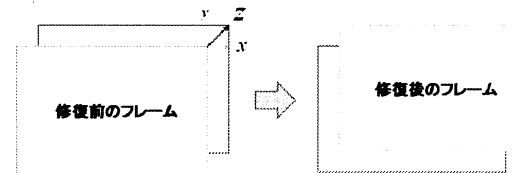


Fig. 14 Restoration processing of shake frame

- [条件 1] 3 つ以上の移動ベクトルが一致する場合はその移動ベクトルに確定する。
- [条件 2] 2 つの同じ移動ベクトルの場合 (1 ペアが 2 つ)、移動量が最も小さいものを選択する。
- [条件 3] 1 つの同じ移動ベクトルの場合 (1 ペアが 1 つ)、その移動ベクトルに確定する。
- [条件 4] 全て異なる場合は、[条件 2] と同じく移動量が最も小さい移動ベクトルを選択する。

これらの条件を適用することにより適正な移動ベクトルが選択される。

最後に、得られた x 方向と y 方向の移動量から以下の式に基づく移動量 Z により画像をシフトすることで修復する。

$$Z = \sqrt{x^2 + y^2} \tag{6}$$

2.5 各修復処理の統合^[20]

前節では 4 つのノイズ修復方法について述べた。この処理は 1 フレームに対して一種類のノイズに対応した修復処理である。そこで、複数のノイズ損傷を受けた画像に対応できるように統合する必要がある。

まず、処理順序の考察として次のことが考えられる。フリッカー修復は、他のノイズの影響が少ない。これは、修復において、シーン全体より参考値 (2.1 節の M と G) を算出するため、局所的なノイズによる濃淡値の変化に影響をほとんど受けないからである。しかし、フリッカーノイズ

は画像全体に生じるノイズである。そのため、周辺画素や前後フレームにより修復を行う他のノイズ修復処理に対しては、大きな影響を及ぼす。よって、最初に行う必要がある。

ブロッチとスクラッチの修復の処理に関しては、不連続にノイズが発生するため、処理の順番が結果に影響することは少ない。しかし、動き補償処理を行うためフリッカー処理の後に行う必要がある。

フレームの揺れの修復処理は、前のフレーム画像から移動ベクトルを求める方法を使用している。前のフレームに他のノイズがあると正確に移動ベクトルを検出できないことが考えられる。そのため、他ノイズに対して影響を受けやすいため、処理を最後に持ってくるのが望ましい。

以上のことから、図 15 に示すように処理の順序を検討する。先述より、最初にフリッカー修復処理を行い、さらに他のノイズに影響しやすいフレームの揺れの修復処理を最後に行う。しかし、ブロッチ及びスクラッチの修復処理の順序は、考察上その順序は決められない。そこで、この処理の順序については実験的検証により決定する。

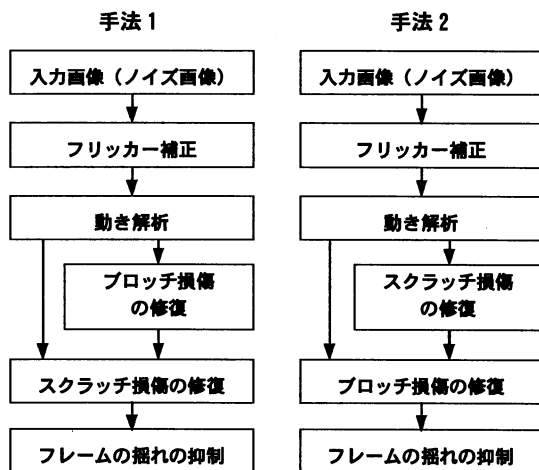


Fig. 15 Proposal of the restoration order

3. 実験と結果

本論では、修復に使用した画像には人工的にノイズ付加した画像を使用した。これは、修復後にノイズがない画像と比較してみるためである。

3.1 フリッカー修復とシーン検出の結果

今回、シーン検出で使用した画像は3つのシーンで構成されており、図 16 は1階差分の差分値結果である。余計なバイアス成分があるため、シーン検出することは難しい。一方、図 17 の2階差分の差分値結果ではバイアス成分が除去されているため、差分値の大小が明確になりシーン検出しやすくなる。ここでは、閾値を30と設定することで3つのシーンA、B、Cに分けることができた。

フリッカー修復の結果を図 18 に示す。図 18 から、輝度が適切に修復されていることがわかる。

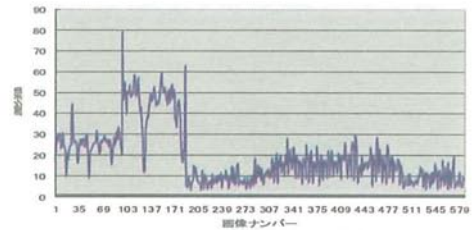


Fig. 16 Result of scene detection (Difference once)

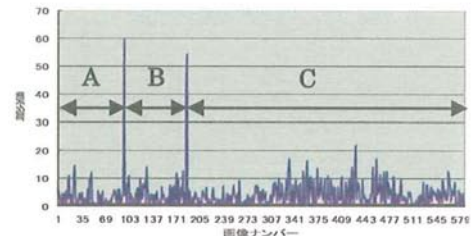


Fig. 17 Result of scene detection (Difference twice)



Fig. 18 Result of flicker restoration
(Left: Deterioration image, Right: Restoration image)

3.2 ブロッチ修復の結果



Fig. 19 Result of Blotch restoration
(Left: Deterioration image, Right: Restoration image)

図 19 をみると、ブロッチが軽減されていることが分かる。特に丸で囲っている部分のブロッチが軽減されていることから大きいブロッチに対しても対応できていることが分かる。

3.3 スクラッチ修復の結果

スクラッチ修復の結果を図 20 に示す。



Fig. 20 Result of Scratch restoration
(Left: Deterioration image, Right: Restoration image)

はっきりとしたスクラッチだけでなく、今まで取り切れなかった小さなスクラッチについても除去できていることがわかる。

3.4 フレームの揺れの修復の結果

フレームの揺れの修復結果を図 21 に示す。



Fig. 21 Result of Shake frame restoration (Left: Deterioration image, Right: Restoration image)

静止画像では修復の効果を示しづらいが、動画像では明らかにフレームの揺れがほとんどなくなったことを確認した。

3.5 統合処理の結果

4つのノイズを修復した画像を図 22 と図 23 示す。



Fig. 22 Result of Integrated processing (Technique 1) (Left: Deterioration image, Right: Restoration image)



Fig. 23 Result of Integrated processing (Technique 2) (Left: Deterioration image, Right: Restoration image)

動画像として、両者を比較するとフリッカー、ブロッチ、スクラッチのノイズは、手法 1、手法 2 とともにその効果は大きく変わらなかった。しかし、フレームの揺れに関しては、手法 1 の方がノイズ軽減の効果が優れていた。

また、各ノイズの修復を単独で行う場合と比較して、統合化した時の精度については、基本的には同様に全てのノイズを軽減出来ていた。しかしながら、フレームの揺れの修復処理のみに、若干の精度劣化がみられた。

4. 考察

4.1 フリッカー修復とシーン検出処理の考察

2 階差分によるシーン検出法により十分なシーン検出ができていたことが分った。しかし、図 24 のようなフェードアウト、フェードインする映像では差分が小さくシーン検出が困難であることが考えられる。今後はこのような差分が十分に生じない映像に対しても検討を行っていく必要がある。

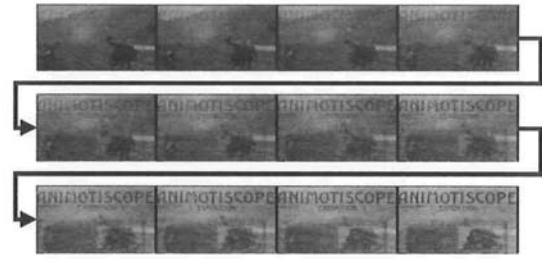


Fig. 24 Fade-In and fade-out image

フリッカー修復の結果から、フリッカーによるノイズが大幅に軽減された。また、演算時間は高速であった(4.6 節で詳細を示す)。フリッカーの修復がうまくできた要因としては、シーン検出により細かくシーンを分割したことで精度の向上が図れたことであり、修復処理に、LUT 変換による簡単な演算方法を用いたことで高速化も達成できた。しかし、今回の修復方法では画像一様に同じ濃淡値変化があったときには対応できるが、フリッカーノイズの中には画像の 1 領域にしかノイズが発生していないものもあるので、今後は、部分領域のノイズにも対応できるように改良する必要がある。

4.2 ブロッチ処理の考察

3.2 節で示した修復結果から、ブロッチノイズを大幅に軽減した。また、修復時間に関しては、神奈川大学で行っている方法では 1 フレームに 3 分かかるとのに対して、本手法では約 6 秒と大幅に高速化した。ブロッチ処理の高速化の要因としては、探索方法の工夫、間引き、使用するフレーム数の減少化、さらに従来法⁷⁾に比べて簡易的な手法への置き換え、などによる。

4.3 スクラッチ処理の考察

図 25 に示すように従来手法²⁾に比べ、本論の手法により、ぼけてしまう問題点や短いスクラッチに対して対応できるようになった。スクラッチの修復がうまくできた要因としては、画像を短冊領域に細かく分けて、短いスクラッチ、長いスクラッチ、途中から始まるスクラッチに対応できるようにしたことである。



Fig. 25 Improvement of scratch restoration

4.4 フレームの揺れ修復処理の考察

フレームの揺れに関しては、取捨選択ベクトル法により、揺れを大幅に抑制する事に成功した。さらに、位置ずれの捜査は探索 ROI 内のみで行うため、処理時間は 1 フレーム当たり 0.2 秒未満と高速である。フレームの揺れが軽減できた要因は、複数の移動ベクトルから取捨選択ベクトル法により最も信頼性の高い移動ベクトルを求めたことから、安定した修復が可能になったことである。

4.5 統合処理に関して

統合処理として、図 26 に示す処理の流れがよいという結果が実験より得られた。しかし、修復精度については 3.5 で述べたように、単独で行った場合と比べて、フレームの揺れのノイズ軽減の精度がやや下がってしまった。これは、上流側の処理で完全には除去しきれなかったノイズが蓄積し、それらのノイズの影響を受けたからと考えられる。今後は、統合により精度が下がることに対してロバスト性の高い処理の改良を進める必要がある。

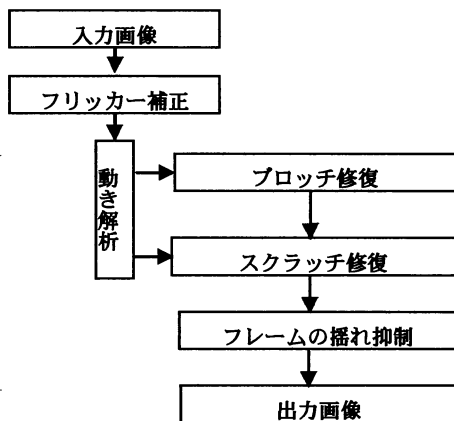


Fig. 26 Flow of integrated processing

4.6 処理時間について

従来の修復処理⁷⁾は、プロッチだけでも1フレームに対して約180秒を要する。実際の映画では、1秒間に24フレームのフィルムが使用されているので、映画1本当たり(約120分間と想定する)の映像に対して修復処理を行った場合、8640時間、すなわち約1年かかる計算となる。一方、本手法の修復処理時間を表1に示す。単体で行った4つの修復処理時間の合計は平均8.8秒程度であった。一方、統合処理後に要した時間も平均8.8秒と変わらなかった。これは、映画1本当たりの映像に対して、修復処理時間は合計約423時間(約18日)となり従来法に比べて約20分の1になった。さらに、この処理を10台の計算機を並列使用して計算させると、約2日で済むことになる。しかし、まだ十分とは言えない(一晩で処理可能なように12時間以内を目指している)。本処理の演算時間の90%以上は動き補償処理で費やされている。よって、今後のさらなる高速化のためには、動き補償処理の高速化の検討が必要である。

Table 1 Time of restoration processing

フリッカー	プロッチ	スクラッチ	フレームの揺れ
0.1秒未満	6.5秒未満	1.5秒	0.2秒未満
統合処理時			
8.8秒			

5. まとめ

本論では、代表的な4つのノイズの修復処理として、従来法の改良及び新たな手法を提案し、修復精度の向上と大幅な時間短縮を達成した。また、実用化に向けた4つの修復処理の統合について、順序を検討した。その結果、統合処理により4つのノイズを同時に軽減でき、1フレームに存在する複数のノイズにも対応できるようになった。

現在は主に人工的にノイズを付加した画像を使用している。そこで今後は、実際の経年劣化画像に対して評価を確認し、更なる修復精度の向上を図っていく。また、統合処理を確立できたことから実用化に向けたシステムの構築を進めていく予定である。

参考文献

- [1] 齋藤隆弘, "デジタル画像処理によるフィルム映像復元(1)", 映像情報メディア学会, Vol. 55, No. 12, 2001.
- [2] 齋藤隆弘, "デジタル画像処理によるフィルム映像復元(2)", 映像情報メディア学会, Vol. 56, No. 1, 2002.
- [3] A. C. Kokaram, et. al., "Detection of missing data in image sequences", IEEE Trans. on Image Process. vol. 4, no. 11, pp. 1496-1508, Nov. 1995.
- [4] A. C. Kokaram, et. al., "Interpolation of missing data image sequences", IEEE Trans. on Image Process. vol. 4, no. 11, pp. 1509-1519, Nov. 1995.
- [5] M. J. Nademau et. al., "Blotch and scratch detection in image sequences", Time-Varying Image Processing and Moving Object Recognition, 4-V, Cappellini, ed., pp. 27-35, Elsevier Since B.V., 1997.
- [6] P. M. B. van Roosmalen, et. al., "Flicker reduction on old film sequences", Time-Varying Image Processing and Moving Object Recognition, 4-V, Cappellini, ed., pp. 9-18, Elsevier Since B.V., 1997.
- [7] 小松隆, 岩間徹, 齋藤隆弘, "古い映像フィルムの損傷の検出と修復", 信学論, J81-DII, no. 8, pp. 1912-1919, 1998.
- [8] L. Rohrbough, "Massive Effort Restored Snow White to Theater Quality", Newsbyte, July. 1993.
- [9] <http://diamant.joanneum.ac.at>
- [10] 稲光達也, 武尾英哉, "ヒストグラム形状の類似性に基づく経年劣化映像のデジタル修復処理の検討", 映像情報メディア学会冬季大会, 8-3, 2009.
- [11] 外山歩, 稲光達也, 武尾英哉, "フリッカーによる経年劣化映像のデジタル修復処理の検討", 映像情報メディア学会冬季大会, 9-10, 2008.
- [12] 宮崎雄大, 舛田一博, 武尾英哉, "フリッカーとスクラッチノイズ起因による経年劣化映像の実用的デジタル処理の検討", 映像情報メディア学会冬季大会, 4-5, 2007.

- [13] 兼本勇志, 武尾英哉, ” 経年劣化シネマ映像のデジタル修復に関する一検討”, 映像メディア情報学会技術報告, Vol. 31, No14, pp. 19, 2007.
- [14] 舛田一博, 宮崎雄大, 武尾英哉, ” フレームの揺れとブロッチノイズ起因による経年劣化映像の実用的デジタル処理の検討”, 映像情報メディア学会冬季大会, 4-6, 2007.
- [15] 武尾英哉, 小松隆, 齋藤隆弘, ” 経年劣化シネマ映像のデジタル修復に関する一検討”, 電子情報通信学会大会講演論文集, Vol2007 情報・システム 2, pp. 63, 2007.
- [16] 武尾英哉, 小松隆, 齋藤隆弘, ” 実用化に向けた経年劣化シネマ映像のデジタル修復に関する検討”, 画像電子学会誌, Vol. 36 NO. 4, pp. 465-470, 2007.
- [17] 武尾英哉, 小松隆, 齋藤隆弘, ” デジタル映像アーカイブのための経年劣化シネマ映像の修復の検討”, 電子情報通信学会大会講演論文集, Vol. 2008 情報・システム 2, pp. 72, 2008.
- [18] 齊藤優樹, 武尾英哉, ” デジタルシネマのスクラッチノイズ修復処理の改善”, 映像情報メディア学会冬季大会, 8-3, 2009.
- [19] 岩瀬雄太, 稲光達也, 武尾英哉, ” フレームの揺れによる経年劣化映像のデジタル修復処理の検討”, 映像情報メディア学会冬季大会, 9-9, 2008.
- [20] 稲光達也, 武尾英哉, ” 経年劣化シネマ映像のデジタル修復処理統合の検討”, 映像情報メディア学会年次大会, 7-7, 2010.

本研究の一部は文部科学省科学研究費 (課題番号 20500167) の援助による。