

機関番号：32714

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008年度～2010年度

課題番号：20500167

研究課題名（和文）

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

デジタル修復処理に関する研究

研究課題名（英文）

Past degradation of motion picture digital restoration process integration
for digital archiving

研究代表者

武尾 英哉 (TAKEO HIDEYA)

神奈川工科大学・工学部・教授

研究者番号：90434414

研究成果の概要（和文）：

古い映画フィルムをデジタル保存するとともに、損傷をデジタル画像処理技術により修復し、経年劣化以前の本来の品質の画像を復元することが必要とされている。本研究では、経年劣化の主な原因であるフリッカー、ブロッチ、スクラッチ、フレーム微動に対応したノイズ抑制処理を開発し、それらを統合し、ロバスト性が高く、かつ高速で実用性の高い処理を達成できた。また、実動画を用いたコンピュータシミュレーションにより、高画質かつ実時間で演算可能な高速な処理であることを確認した。

研究成果の概要（英文）：

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 study describes the development of robust and fast processing that is nearly ready for practical application. This was accomplished by integrating noise suppression technology, for the suppression of flicker, blotches, scratches, and frame jitter, the main causes of age-related deterioration. Through computer simulations using actual movies, we demonstrated high-speed processing capable of real-time computation that delivers high image quality.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：画像工学（画像処理）

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：画像処理，経年劣化，ノイズ抑制処理，統合処理

1. 研究開始当初の背景

映画は100年以上前から存在しているが、映画フィルムの化学的不安定性経年劣化が生じることは避けられなく、多くの貴重な映像資料が失われつつある。また、1950年以前に

採用されていた硝酸エステルフィルムが使用されていたフィルムは経年劣化が避けられず、その多くは重度の損傷を被っている。そこで、映画フィルムをデジタル保存するとともに、損傷をデジタル画像処理技術により修復し、経年劣化以前の本来の品質の画像を復

元することが必要とされている。

デジタル損傷修復を普及するには、デジタル画像処理をできる限り自動化、高速化することで、デジタル損傷修復に要するコストを可能な限り削減する必要がある。世界で始めてデジタル損傷修復されて公開された映画は、ディズニー映画の「白雪姫(1937年作品)」であり、コストは700万US\$だった。現在開発されている専用デジタル画像処理システムを用いた場合、そのコストはフィルム損傷の程度によっても異なるが、1分間を修復するのに600~6000DM(ドイツマルク)(約3万~30万円)かかると言われている。2時間の映画で約360万~3600万円かかるとなると、現時点の損傷修復コストは決して安いとは言えない。現状は、商業的に成功した映画のみがデジタル損傷修復の恩恵を受けていて、芸術的価値は高くても商業的には成功しなかった映画や、ドキュメンタリー映像や資料映像は、高コストなままだと、デジタル損傷修復されず放置され、やがては消え去る運命にあるだろう。商業的に利用価値が見込めないと考えられている映像とかもデジタル損傷修復の恩恵が受けられるようにするには、デジタル損傷修復コストを大幅に下げるときの技術開発が必要不可欠である。ところで、フィルム損傷には大きく以下の4つ損傷が存在する。

(1) フリッカー

元のシーン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。その原因には、フィルムの経年劣化、化学的処理や複製の不完全性、シャッター時間の変動などの多くのものがある。

(2) ブロッチ

フィルム表面の埃の付着や、経年劣化による感光乳剤の剥離などのさまざまな要因によって生じる斑点状の損傷である。その輝度は暗い場合もあるし明るい場合もある。

(3) スクラッチ

スクラッチ損傷はフィルムとビデオとは現れ方が異なる。フィルムスクラッチはフィルム走行時にフィルム表面についた引掻き傷であり、周囲よりも暗いまたは明るい垂直に近い線分として見え、数フレーム期間にわたってほぼ同じ位置に見える。

(4) フレーム微動

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ものである。

2. 研究の目的

連携研究者の神奈川大学の齋藤及び小松ら

は、画質劣化の要因の一つであるブロッッチノイズの検出と修復を行う方式を提案している。この方式は、損傷のある画像に対しても適用可能な動き解析法を用いているとともに、着目画像と動き補償画像の画像間の最小差分法に基づく検出と修復を行うことにより、ロバスト性の高い高精度なノイズ抑制を達成している。しかし、大量な処理時間を必要とするため、実用化のためにはデジタル損傷修復コストを大幅に下げるときの技術開発が必要不可欠である。

そこで研究では、本処理の高速化改良を検討するとともに、前記4つの代表的なノイズの全てに対応した個々のノイズ軽減(抑制)をリアルタイム演算可能な処理を研究し、最終的にはそれらの処理を統合したトータルなノイズ抑制システムを開発する。

3. 研究の方法

4つのノイズの修復方法および処理の統合について述べる。

(1) フリッカー修復処理

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。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。そこで本研究では、図1に示すように、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用いた。2階差分を用いる理由は、バイアス成分(濃淡の平均値信号)を除去するためである。

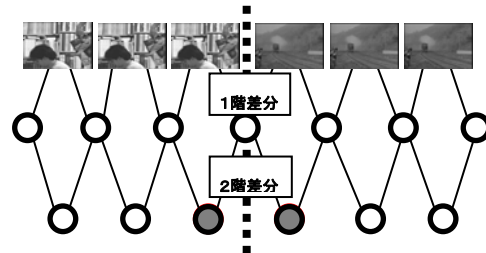


図1 シーン検出処理

以下、各シーン毎に修復処理を行う。

修復の立場から、フリッカーは式(1)でモデル化できる。

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

$z(p)$ と $y(p)$ は、損傷画像と非損傷画像である。 $\alpha(p)$ と $\beta(p)$ は、ゲイン係数と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2にフリッカー修復モデルを示す。式(1)を用いることで図2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、元の動画像を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。

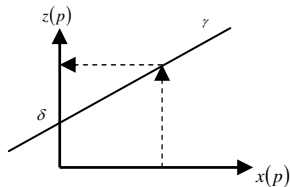


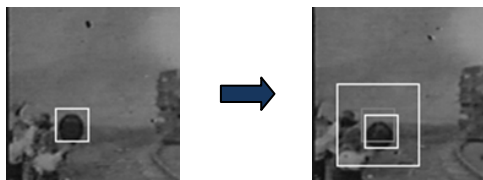
図2 フリッカー修復モデル

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

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) ブロッチ修復処理

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(図3)により予め動き成分を除去する。



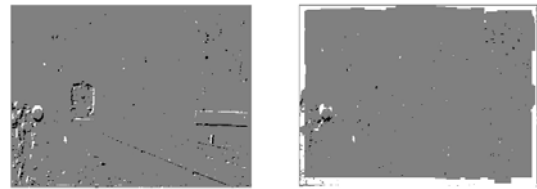
(a) フレーム T-1 画像

(b) フレーム T 画像

図3 動き補償処理

動き補償済みの画像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。

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



(a) 動き補償なし

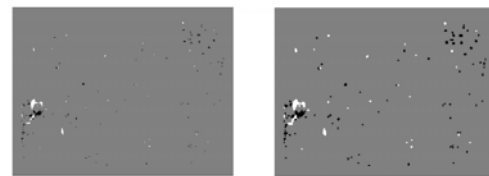
(b) 動き補償あり

図4 しきい値処理を行った差分画像 (左: 動き補償なし, 右: 動き補償あり)

次に、修復すべきノイズを検出する為に、閾値処理を施す。この処理により、図4(b)のようにノイズを検出することができる。図4(a)は、動き補償処理を行わなかった場合であり、動き補償処理の効果は明白である。

次に、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5)。モフォロジー処理は、実際の差分画像の信号はブロッチの中心部分のみを検出しているのにすぎないため、より正確なブロッチ形状を抽出するために施している。

最後に、平均値を用いた修復手法を行う。平均値修復処理は、図6に示す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。



モフォロジー処理なし

モフォロジー処理後

図5 モフォロジー処理による差分画像

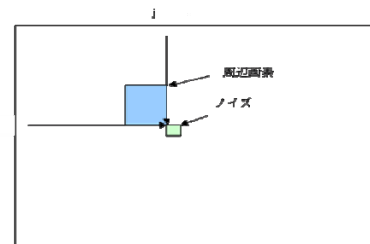


図6 平均値によるブロッチ修復

(3) スクラッチ修復処理

画像を複数の短冊領域に分割し、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7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。

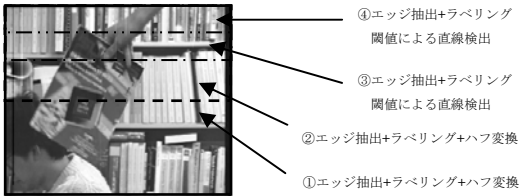


図7 検出領域の設定

(4) フレーム微動抑制処理

フレームの揺れの修復方法は、移動ベクトルを検出し、その方向に画像をシフトすることで修復する。

移動ベクトルは、図8に示すように、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 を設け、それぞれの領域で最も類似性が高い場所を求める。すなわち、4 つの領域それぞれで移動量を計算し、4 つの移動ベクトルが求まる。

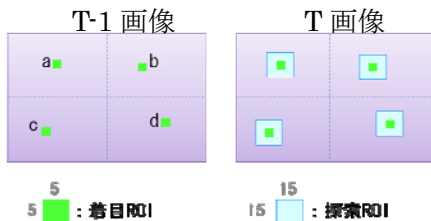


図8 4つの移動ベクトルの検出

次に、その中から最も信頼の高いと考えられる移動ベクトル一つを次のルールに基づき算出する。

- [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。

最後に、求められたひとつの移動ベクトルに基づき、画像をシフトすることで修復画像を得る。

(5) 各処理の統合

各処理の順序として、以下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、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ことが好ましい。ブロッチ及びスクラッチの修復処理の順序は実験的検証により決定した。この結果、図9に示す流れが最適であることがわかった。

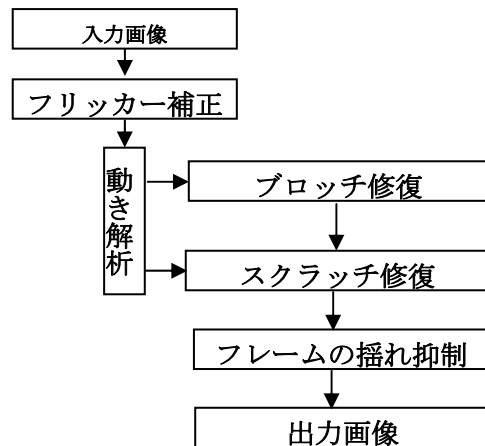


図9 処理の統合

4. 研究成果

図10にブロッチ修復処理の効果、図11にスクラッチ修復処理の効果を示す (フリッカー補正とフレーム微動抑制の効果は動画でないといわかりにくいので省略する)。いずれも、ノイズが抑制されていることがわかる。

また、4つのノイズを修復した画像を図12に示す。いずれのノイズも抑制されている。



図10 ブロッチ修復の効果
(左：劣化映像，右：修復映像)

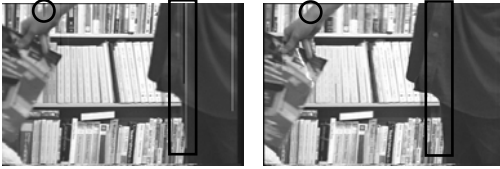


図11 スクラッチ修復の効果
(左：劣化映像，右：修復映像)



図12 統合処理の結果
(左：劣化映像，右：修復映像)

従来の修復処理（神奈川大学の齋藤及び小松ら）は、ブロッチだけでも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。

表1 修復処理の演算時間

フリッカー	ブロッチ	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			

最後に本研究の成果をまとめる。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、順序性を検討した。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。

今後は、実用化に向けたシステムソフト開

発を進め、実運用による評価も行っていく予定である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計1件）

- ① 稲光達也, 武尾英哉, " 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", 神奈川工科大学研究報告B 理工学編, 査読有, 第35号, pp. 1-9, 2011

〔学会発表〕（計6件）

- ① 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, 愛媛大学
- ② 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, 芝浦工業大学
- ③ 齋藤優樹, 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, 芝浦工業大学
- ④ 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, 機械振興会館
- ⑤ 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, 九州大学
- ⑥ 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, 機械振興会館

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ele.kanagawa-it.ac.jp/~takeo/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武尾 英哉 (TAKEO HIDEYA)
神奈川工科大学・工学部・教授
研究者番号：90434414

(2) 連携研究者

齋藤 隆弘 (SAITOH TAKAHIRO)
神奈川大学・工学部・教授
研究者番号：10150749
小松 隆 (KOMATSU TAKASHI)
神奈川大学・工学部・助手
研究者番号：80241115