

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560438

研究課題名(和文)記録フィルム映像の修復のための信号処理アルゴリズムと映像修復システムの開発

研究課題名(英文)Development of signal processing algorithms and video restoration systems for video restoration of documentary films

研究代表者

阿部 正英(Abe, Masahide)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90312602

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文):本研究では、記録フィルム映像の修復のための信号処理アルゴリズムと映像修復システムを開発している。フィルム映像の修復アルゴリズムとして、高精度な位置ずれ補正法、フリッカ除去法、ブロッチ除去法、スクラッチ除去法について提案してきた。特に、位置ずれ補正法において平行移動だけではなく回転も含めた位置ずれを高精度に推定し、補正する手法を提案した。この手法により、サイズが1024×1024の画像において、回転角度の推定誤差を従来法の0.3倍にすることができた。

研究成果の概要(英文):We developed signal processing algorithms and video restoration systems for video restoration of documentary films. The proposed restoration algorithm consists of a frame stabilizing method, a flicker removal method, a blotch removal method and a line scratch removal method. The proposed frame stabilizing method estimates parallel displacement and rotation with high accuracy, and removes them. In images of 1,024×1,024 pixels, the estimation error of a rotation angle of the proposed method is 0.3 times than that of the conventional method.

研究分野：デジタル信号処理

キーワード：信号処理 映像処理 映像修復 画像処理

## 1. 研究開始当初の背景

19世紀末のエディソンによる映画の発明以来、多くのフィルム映像が残されている。これらの文化的資産であるフィルム映像をデジタルアーカイブとして保存するために、映像の修復が現在急務となっている。フィルムの劣化を防止するという目的においては、単にデジタルアーカイブとして保存するだけで充分であると思われるが、映像資料として試写や利用を考えた場合には劣化を修復することが不可欠となる。従来のフィルム映像の計算機による修復は、娯乐的・芸術的なもので商業的にペイする映画に対して、多くの人作業と十分な時間、高い計算機コストをかけて行われてきた。このため、たとえば、チャップリンの喜劇映画、「東京物語」(小津安二郎監督)、「ローマの休日」(ウィリアム・ワイラー監督)などのみがデジタル修復の恩恵を受けているのが現状である。一方、過去の記録映画やニュースフィルム映像などは、歴史的・資料的な価値がきわめて高いが、商業的にペイしないため、修復・保存のために十分な時間とコストをかけられないのが現状である。フィルム映像の修復について、国内では、東京大学(デジタル・オズ・プロジェクト)において、劣化が比較的小さく商業的・芸術的なフィルム映像に対して研究が行われているが、処理の実時間性は考慮されていない。海外では、いくつかのプロジェクトにより修復システムが提案されている。ヨーロッパでは、過去の芸術遺産を後世へと修復・保存していくという観点から、デジタル修復技術の研究開発に多くの人材と資金が投入されており、DIAMANT、AURORA といった国家間プロジェクトが進行している。どちらのプロジェクトもシステムの開発には至っているものの、映像修復の精度、また修復速度といった観点では十分な結果を得られていない。これらに対して、本研究代表者は、これまで、フレーム毎の位置ずれ補正法、フリッカ除去法、プロッチ除去法、スクラッチ除去法を提案してきた。これら各手法は、1930年代の35mm白黒フィルムの記録映画を4Kサイズでスキャンした映像を対象として構築し、それぞれの劣化に対して有効な方法であることを確認している。構築したシステムを用いて実際に修復処理すると、現状では約10分のフィルム映像の修復処理に1台のサーバで約3週間の処理時間がかかっている。

## 2. 研究の目的

本研究では、フィルム映像のデジタル修復のためのデジタル信号処理手法を開発し、これらによるデジタル映像修復システムを実現する。対象とするフィルムとしては、これまで主に取り扱ってきた1930年代の35mmフィルムにとどまらず8mm~70mmのフィルムで、年代も初期の白黒フィルムから近年のカラーフィルムまでを扱う。このた

めに、35mmフィルム専用のフィルムスキャナではなく高解像度のデジタルカメラを用いてフィルム映像をデジタル化し、形状や年代などの違いによるフィルムのさまざまな劣化やデジタル化の際の位置ずれなどを考慮したデジタル修復システムを実現する。

## 3. 研究の方法

記録映像は8mmフィルム(家庭用)から16mmフィルム(教育機関でよく用いられていたもの)、70mmフィルム(ドーム上映など特殊なスクリーンへの高解像度での上映)など幅広いフィルムとして残っており、これらへの対応が急務である。これまでは、専用のスキャナを使用して、フィルムをデジタル映像にしていたが、スキャンできるフィルムが伸び・縮み・よれなどの劣化のない35mmフィルムに制限されているなどの制約があった。そこで、フィルムの劣化やサイズに影響されにくい手法として高解像度のデジタルカメラを使用してフィルムを直接撮影し、デジタル化する方法について検討を進めている。この際、専用のフィルムスキャナと違い、フィルムの位置あわせが十分にできないことから、デジタル化した映像の平行移動と回転の除去が必要となる。この点について修復システムに含めて構築する。その上で、古いフィルム映像には少ないズームやカラーフィルムへの対応など幅広いフィルムへの対応について検討を進める。また、修復処理にかかる時間を短縮するために、複数の計算サーバへフィルムシーケンスを割り当てる方法の検討や信号処理アルゴリズムの効率化などを進める。

## 4. 研究成果

本研究では、位置ずれ補正法において利用している位相限定相関について、方向統計学に基づく統計的解析を行い、その特性を導出し、より精度の高い位置ずれ量推定をより計算量を少なく実現する方法について検討した。さらに、位相限定相関における雑音の影響について検討し、古いフィルム映像におけるフリッカ・プロッチ・スクラッチなどの劣化が位置ずれ推定に与える影響についての基礎的検討を進めた。これらの検討をもとに、位置ずれ補正法において平行移動だけではなく回転も含めた位置ずれを高精度に推定し、補正する手法を提案した。提案法では、回転角度推定のための座標変換において、座標変換関数の特性を考慮した窓関数を提案した。さらに、座標変換後の画像サイズをオリジナルの画像サイズを考慮して調整した。この手法により、サイズが $1024 \times 1024$ の画像において、回転角度の推定誤差を従来法の0.3倍にすることができた。また、プロッチやスクラッチの除去について、ミッシングデータの修復手法について提案した。ここでは、ブロック単位で欠損した映像に対して、イメージ

インペインティングによる修復手法ならびに動きベクトルを考慮した補間・修復手法について実現を進めた。さらに、画像データをストラクチャ成分とテクスチャ成分に分離し、ミッシングデータ領域の周囲の画素の性質を利用して適切に初期化することで、物体の連続性を考慮した欠損領域の修復手法を提案した。

#### 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. Shunsuke Yamaki, Masahide Abe, Masayuki Kawamata, Statistical Analysis of Phase-Only Correlation Functions Based on Directional Statistics, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E97-A, pp. 2601-2610, 2014. 査読有  
DOI: 10.1587/transfun.E97.A.2601

[学会発表](計31件)

1. 周 凡, 阿部 正英, 川又 政征, ミッシングデータ領域により連続性が失われた物体を含む画像のストラクチャ成分の修復手法, 計測自動制御学会東北支部第293回研究集会, 2015年2月19日, 東北大学(宮城県仙台市)
2. 中山 章太, 阿部 正英, 川又 政征, 映像のフレーム間に生じる回転の推定手法の改善, 計測自動制御学会東北支部第293回研究集会, 2015年2月19日, 東北大学(宮城県仙台市)
3. 中山 章太, 阿部 正英, 川又 政征, フィルム映像に生じるフレーム間の回転を含む位置ずれ補正, 計測自動制御学会東北支部50周年記念学術講演会, 2014年12月11日, 東北大学(宮城県仙台市)
4. 福井 一弘, 阿部 正英, 川又 政征, 2次位相CAZAC系列を用いた位相限定相関関数の解析, 計測自動制御学会東北支部50周年記念学術講演会, 2014年12月11日, 東北大学(宮城県仙台市)
5. 阿部 正英, 中山 章太, 川又 政征, 風景画像のタイムラプス映像における画像の安定化, 計測自動制御学会東北支部50周年記念学術講演会, 2014年12月11日, 東北大学(宮城県仙台市)
6. 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, von-Mises分布に従う位相スペクトル差をもつ実信号間の位相限定相関関数, 平

成26年度電気関係学会東北支部連合大会, 2014年8月21日, 山形大学(山形県米沢市)

7. 福井 一弘, 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 2つの信号の位相差が2次位相CAZAC系列の場合の位相限定相関関数, 平成26年度電気関係学会東北支部連合大会, 2014年8月21日, 山形大学(山形県米沢市)
8. 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 巻き込み分布に従う位相スペクトル差を持つ実信号間の位相限定相関関数の統計的解析, 電子情報通信学会総合大会, 2014年3月20日, 新潟大学(新潟県新潟市)
9. 松本 圭右, 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 平均方向フィルタリングによる信号間のシフト量推定の精度の向上, 電子情報通信学会総合大会, 2014年3月20日, 新潟大学(新潟県新潟市)
10. 坂本 脩平, 阿部 正英, 川又 政征, 圧縮映像においてブロック単位で欠損した輝度値と動きベクトルの修復, 計測自動制御学会東北支部研究集会, 2014年3月17日, 東北工業大学(宮城県仙台市)
11. 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 巻き込み分布に従う位相スペクトル差を持つ信号間の位相限定相関関数の統計的解析, 電子情報通信学会信号処理シンポジウム, 2013年11月21日, 海峡メッセ下関(山口県下関市)
12. 伊藤 理人, 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 2次位相スペクトル差を持つ信号間の位相限定相関関数の性質, 電子情報通信学会信号処理シンポジウム, 2013年11月20日, 海峡メッセ下関(山口県下関市)
13. 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 方向統計学に基づく位相限定相関関数の評価指標, 電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会, 2013年9月19日, 福岡工業大学(福岡県福岡市)
14. 伊藤 理人, 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 2次位相スペクトルの差を持つ信号間の位相限定相関関数について, 電気関係学会東北支部連合大会, 2013年8月23日, 会津大学(福島県会津若松市)
15. 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, SNRとPCEを用いた位相限定相関関数の性能評価, 電気関係学会東北支部連合大会, 2013年8月23日, 会津大学(福島県会津若松市)
16. 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 方向統計学に基づく位相限定相関関数の統計的性質, 計測自動制御学会東北支部研究集会, 2013年6月21日, 八戸工業大学(青森県八戸市)
17. 松本 圭右, 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 位相限定相関を用いた平行移動量推定における加法性雑音の影響の

- 評価, 電子情報通信学会総合大会, 2013年3月21日, 岐阜大学(岐阜県岐阜市)
18. 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 方向統計学に基づく実信号の位相限定相関関数の統計的解析, 電子情報通信学会総合大会, 2013年3月20日, 岐阜大学(岐阜県岐阜市)
  19. 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 方向統計学を用いた位相限定相関関数の統計的解析, 電子情報通信学会研究集会, 2013年3月15日, 慶應義塾大学 鶴岡タウンキャンパス(山形県鶴岡市)
  20. 伊藤 理人, 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 2次位相スペクトル差を持つ信号間の位相限定相関関数, 情報処理学会全国大会, 2013年3月6日, 東北大学(宮城県仙台市)
  21. 坂本 脩平, 阿部 正英, 川又 政征, ミッシングデータが存在する圧縮映像の時空間処理による修復手法の検討, 情報処理学会全国大会, 2013年3月6日, 東北大学(宮城県仙台市)
  22. 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 方向統計学を用いた複素信号の位相限定相関関数の統計的解析, 情報処理学会全国大会, 2013年3月6日, 東北大学(宮城県仙台市)
  23. 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 方向統計学に基づく位相限定相関関数の統計的解析, 信号処理シンポジウム, 2012年11月28日, ANA インターコンチネンタル石垣リゾート(沖縄県石垣市)
  24. 伊藤 理人, 小山 祐光, 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 2次位相差をもつ信号の位相限定相関関数の解析, 信号処理シンポジウム, 2012年11月28日, ANA インターコンチネンタル石垣リゾート(沖縄県石垣市)
  25. Rihito Ito, Shunsuke Yamaki, Masahide Abe, Masayuki Kawamata, Effects of Stochastic Phase Spectrum Differences on Phase-Only Correlation Functions - Part II: Statistically Proportional Phase Spectrum Differences to Frequency Indices, IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content, 2012年9月23日, Beijing (China)
  26. Shunsuke Yamaki, Jun Odagiri, Masahide Abe, Masayuki Kawamata, Effects of Stochastic Phase Spectrum Differences on Phase-Only Correlation Functions - Part I: Statistically Constant Phase Spectrum Differences for Frequency Indices, IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content, 2012年9月23日, Beijing (China)
  27. 坂本 脩平, 阿部 正英, 川又 政征, 画像内の正方形ミッシングデータの除去手法の性能評価, 電気関係学会東北支部連合大会, 2012年8月31日, 秋田県立大学(秋田県由利本荘市)
  28. 松本 圭右, 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 位相限定相関関数による幾何変換パラメータのサブピクセル精度推定, 電気関係学会東北支部連合大会, 2012年8月31日, 秋田県立大学(秋田県由利本荘市)
  29. 伊藤 理人, 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 実数信号の位相スペクトルの差の確率的変動に対する位相限定相関関数の解析, 電気関係学会東北支部連合大会, 2012年8月30日, 秋田県立大学(秋田県由利本荘市)
  30. 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 実信号の位相スペクトルの差の確率的変動にともなう位相限定相関関数のふるまい, 回路とシステムワークショップ, 2012年7月30日, 淡路夢舞台国際会議場(兵庫県淡路市)
  31. 伊藤 理人, 八巻 俊輔, 阿部 正英, 川又 政征, 位相スペクトルの差の確率的変動の位相限定相関関数に対する影響の解析, 回路とシステムワークショップ, 2012年7月30日, 淡路夢舞台国際会議場(兵庫県淡路市)
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
 阿部 正英 (ABE, Masahide)  
 東北大学・大学院工学研究科・准教授  
 研究者番号: 90312602