

令和元年6月12日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00445

研究課題名(和文) アンティークステレオ写真をデジタルアーカイブし活用するための基盤技術

研究課題名(英文) Basic tools for archiving and utilizing antique stereographs

研究代表者

清水 郁子 (SHIMIZU, Ikuko)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70312915

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：今から100年ほど前に、世界中で多くの写真家によって撮影されていたアンティークステレオ写真は、資料としての価値が高いものが多い。同時代に撮影されたアンティークの写真はデジタルアーカイブされている例が多いが、ステレオ写真がデジタルアーカイブされている例は少ない。本研究では、アンティークステレオ写真をデジタルアーカイブして、活用するための基盤技術について研究する。具体的には、ステレオ写真のデジタルデータのアーカイブシステムを開発し、ステレオ写真のデジタルデータの新しい提示手法、そしてこれらに共通に重要となるステレオ写真の奥行きを推定する手法、画像の領域分割手法についても提案する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アンティークステレオ写真のアーカイブシステムにおいては、経年劣化して紙面が歪んだアンティークステレオ写真を傷つけたり劣化させることなくアーカイブするために、カメラで撮影し、計算機内で補正するシステムを実現した。

アンティークステレオ写真の定時システムでは、VRグラスを用いてよりユーザーが立体感を感じることで提示方法を提案した。

また、アンティークステレオ写真を認識し活用するための基盤技術として、ステレオ写真のマッチングにより奥行きを推定する手法や意味のある領域に分割するための手法についても高精度な手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：Antique stereo photographs taken by many photographers around the world about 100 years ago are often have historical value. Antique photographs taken at the same time are often digitally archived, but stereo photographs are rarely digitally archived.

In this research, we propose basic technologies for digital archiving and utilization of antique stereo photographs. Specifically, we developed an archive system for digital data of stereo photographs, a new presentation method for digital data of stereo photographs, and methods for matching and segmentation, which are important for recognizing stereo photographs.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：ステレオ写真 アーカイブ ステレオマッチング 領域分割

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

今から 100 年ほど前に、世界中で多くの写真家によってステレオ写真が撮影されていた。当時撮影されたステレオ写真は、図 1 のように、左右の眼に対応する写真が 2 枚並べて約 9cm × 17cm の厚紙に貼られており、このようなステレオ写真を鑑賞するには、図 2 のようなステレオビューワを用いる。



図 1 アンティークステレオ写真



図 2 アンティークステレオのビューワ

このようなアンティークステレオ写真は、第 1 次世界大戦の従軍写真家による写真や、幕末や開国当時の日本の風景や風俗を撮影した写真など、資料としての価値が高いものが数多く存在している。同時代に撮影されたアンティークの写真はデジタルアーカイブされている例が多いが、ステレオ写真がデジタルアーカイブされている例は少ない。

ステレオ写真は、通常の写真と異なり、被写体までの奥行き情報を含んでおり、より豊富な情報を持っているといえる。通常の写真はデジタルアーカイブすれば WEB などでも閲覧するもの容易であるが、ステレオ写真は左右の眼に対応する画像を 2 枚並べて提示するだけでは、多くの鑑賞者は立体視して立体感を感じることは難しい。また、ステレオ写真の実物をステレオビューワで鑑賞すれば奥行きは感じられるが、デジタル化し、近年開発された立体視が可能なデバイスを用い、視点を移動させて鑑賞することができれば、より臨場感を感じることができると考えられる。

本研究では、アンティークステレオ写真をデジタルアーカイブして、活用するための基盤技術について研究する。具体的には、ステレオ写真のデジタルデータのアーカイブシステムを開発し、ステレオ写真のデジタルデータの新しい提示手法、そしてこれらに共通に重要となるステレオ写真の奥行き推定手法、画像の領域分割手法についても検討を行う。

2. 研究の目的

本研究では、観賞用に印刷されているアンティークステレオ写真をデジタルアーカイブして、活用するための基盤技術について研究することが目的である。

観賞用に印刷されているアンティークステレオ写真をアーカイブする際に問題となるのは、多くの現存している観賞用アンティークステレオ写真は、図 3 のように、経年劣化により紙面が歪んでいることである。アンティーク写真を損傷することなくアーカイブすることが原則であるため、歪んだ紙面をスキャナで挟んだり、また紙面にスキャナの強い光を当てたりすることなくアーカイブを行う必要がある。そこで、本研究では、印刷されたアンティークステレオ写真をカメラで撮影し、計算機内で紙面の歪みを補正することでアーカイブを行う手法を提案する。このとき、パラメータ設定などのユーザー操作は専門知識を有さないユーザーでも簡単にできるよう、できるだけ少ない操作であることが望ましい。

また、アンティークステレオ画像の提示においては、汎用性のあり継続的に用いることのできるデバイスで、立体感を感じられる提示方法を検討する必要がある。3D ディスプレイは、数年前に流行したが瞬く間に流通しなくなり、入手できなくなってしまったが、そのようなデバイスに特化して開発をおこなうのは望ましくない。本研究では、近年一般的になってきたスマートフォンを用いて立体視が行える VR デバイスを活用した閲覧システムを開発し、このシステムにおいて有効な定時方法について検討を行う。



図 3 観賞用に印刷されたアンティークステレオ写真の歪んだ紙面

アンティークステレオ写真を活用するために様々な認識を行う処理において、2 枚の画像から

対象の奥行きを推定するステレオマッチングや、画像の領域を意味のある領域に分ける領域分割が重要な役割を果たす。従来、ステレオマッチングにおいては、模様（テクスチャ）が同じ部分を手掛かりにして対応づけることを行うため、テクスチャの乏しい領域において精度が下がるという問題があった。また、従来の領域分割においては、輝度の変化している部分が領域の境界となるため、テクスチャの豊富な部分で過剰に分割されてしまう問題があった。本研究では、テクスチャの乏しい領域に対しても頑健にステレオマッチングが行える手法、細かいテクスチャがあっても頑健に領域分割が行える手法についても研究を行う。

3. 研究の方法

(1) アンティークステレオ写真のアーカイブシステム

本研究で開発したアンティークステレオ写真のアーカイブシステムでは、ユーザーはアンティークステレオ写真をカメラで撮影し、システムに入力すれば、画像中での紙面の端の点をクリックするだけで精度よく補正を行うことが可能である。本研究の初期段階で開発したシステムでは、ユーザーによる回転の補正や歪み補正モデルの選択など複数のユーザー入力が必要であり、専門知識を有さないユーザーが精度よく補正を行うのは非常に難しかった。これに対し、改良したアーカイブシステムでは、ユーザーは撮影されたアンティークステレオ写真の端の8点をクリックするだけで高精度な補正が行える。

本システムでは、ユーザーにクリック入力された8点の間を補間して小領域に分割し、各小領域を長方形に射影変換することで歪んだ画像を補正する。このとき、小領域は歪んでいない紙面上で長方形に対応する領域である必要があり、本システムではそのような小領域に分割するために、入力された8点の間をラグランジュ補間し、曲線上の長さが等しくなるように点を配置することで小領域を求めて高精度な補正を実現する。

(2) アンティークステレオ写真の提示システム

本システムでは、手頃で安価な Google Cardboard とスマートフォンを用いたアンティークステレオ画像の VR 表示を行う。スマートフォン内に内蔵されているジャイロセンサーを用いて、画像を傾きにに合わせて移動することで簡易的な VR 表示を実装する。このとき、VR ゴーグルのレンズは凸レンズであるため、通常の画像をそのまま表示すると画像は歪んで見えてしまう。そこで、最初からレンズに合わせて歪んだ画像を生成し表示することで、レンズによる歪みを相殺する。また、スマートフォンに付属している磁気センサを用い、スマートフォンの傾きに依って画像を変化させることで、ユーザーに立体感を感じさせることを目指す。

(3) アンティークステレオの活用のための認識アルゴリズムの開発

テクスチャの乏しい部分でも頑健なステレオマッチング

疎なマッチング アンティークステレオ写真は、完全に左右の高さが揃っていないものがほとんどであり、人間が立体視を行うには問題にはならないが、奥行きを認識を行うためには完全に左右の画像の対応する点の高さを揃える必要がある。これを実現するための疎なマッチング手法について述べる。

本提案手法ではスケールとオリエンテーションを持つ特徴点に対し、特徴点周りの十分に特徴的な輝度値のパターンをパッチとして切り出すために算出されたスケールに対してバイアスを設定する。さらに見え方の正規化を行ったパッチに対してあらかじめ設定した輝度値比較用の点群に対してすべての組み合わせを考慮して輝度値の大小比較を行い、バイナリ記述を行う。

密なマッチング 疎なマッチング手法を適用することにより完全に左右の高さが揃った2枚の画像に対し、対応づけを行うことで奥行きを求めるための密なマッチング手法について述べる。

提案手法はガイドドフィルタを用いたローカルマッチングのアプローチの一つである。したがってアルゴリズムの各段階は従来のローカルマッチングが行ってきた処理の方針と同様である。従来手法と同様の手順で行った場合には、算出したコストマップが入力画像に対して仮定される最大視差に依存するために空間計算量が大きくなる。したがって本提案手法では処理の順序を組み替え、マッチングコストの計算、集約、最小化を各視差に対して行うことで空間計算量を小さくする。

テクスチャのある部分の過分割を抑制する領域分割

画像を認識するために、画像全体をそれぞれひとまとまりの意味のある領域に分割する領域分割は非常に重要な基本アルゴリズムの人流である。領域分割のアプローチには、小領域の統合による手法が多く提案されているが、その一つである Hierarchical Feature Selection (HFS) では、小領域の統合を階層的に行うことにより、高精度かつ非常に高速な領域分割を実行すること

が可能である。しかし、HFSにより得られる結果では、柄や模様を含む領域が過分割される問題がある。

そこで、本手法ではHFSにおいて、統合対象の領域の特徴量抽出の際に、各近傍領域へ重みを付与した後に、近傍領域の特徴を考慮することで柄や模様の適切な分割を試みる。本研究では近傍の各領域へ適切な重みを付与することで解決する。さらに、近傍領域の特徴の考慮により広域的な特徴量の使用が有効となる可能性が存在するため、本研究では、特徴量の抽出の際に近傍の領域を考慮し、有効な特徴量の検討を行うことで従来手法 HFS の分割精度の向上を図る。

4. 研究成果

(1) アンティークステレオ写真のアーカイブシステムに関する成果

提案システムによる入力画像補正の結果

図4に補正したアンティークステレオ写真の例を示す。通常の利用で想定されるようなほぼ画像が回転せず撮影されている場合だけでなく、画像が大きく回転した場合や紙面の歪みの方向が異なる場合でも適切に画像が補正されていることを確認した。



図4 提案手法による画像が大きく回転している場合の補正の結果例

提案システムによる入力画像補正の定量評価

チェスボード画像を用いた評価 この実験では、提案手法の歪み補正の精度を定量的に検証するため、チェスボードを印刷し、実際のアンティークステレオ写真のように印刷した紙を歪めたものをカメラで撮影した画像を用いた。そして、この画像を提案するアーカイブシステムに入力し、歪み補正を行なった画像と元のチェスボード画像とを比較することで評価を行なった。なお、OpenCV のチェスボードの頂点を検出する関数を用い、補正後の頂点と歪みを与え前の頂点の位置のユークリッド距離を求めることで定量評価を行った。

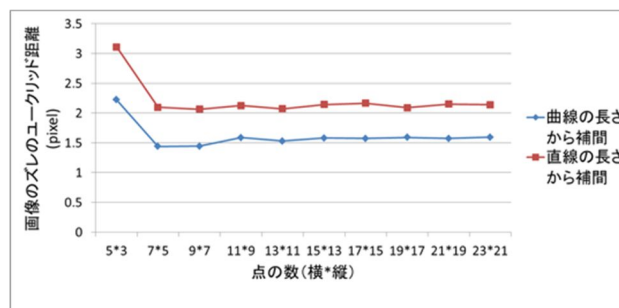


図5 チェスボードの頂点による精度評価

結果を図5に示す。これにより、直線上で等間隔に補間点を配置するよりも、曲線上に等間隔に補間点を配置した方がズレが小さく、精度よく補間が行えることがわかった。また、小領域への分割は、7X5に分割すると概ね十分精度が高いことが確認できた。

自然画像を用いた特徴点マッチングによる評価 この実験では、自然画像を用いた場合の提案手法の歪み補正の精度を定量的に検証するため、適当な自然風景のステレオ画像を印刷し、図印刷した写真の紙面を湾曲させ歪ませて撮影した。そして、提案手法を用いて補正した画像を生成した。実験に用いた画像はステレオ画像10枚である。

元の画像と補正後の画像を比較するために、元の画像と補正後の画像間でSIFT(Scale Invariant Feature Transform)を用いたマッチングを行い、対応づけられた特徴点間の距離を評価した。SIFTによるマッチングには誤対応も含まれるため、RANSACやマッチングした点の縦方向のズレなどを考慮することで誤対応を除いて得られた任意の100点の対応点对のピクセル間のユークリッド距離から画像のズレの平均を計算した。なお、この結果においてユークリッド距離が小

さいことは画像の一致率が高いということを表す。
このズレの平均値から、画像を精度よく補正するにはどの程度の小領域に分割するのが適切なのかについて検証した。また、補間に用いる点の座標は本システムでは曲線上に等間隔に配置しているが、直線上に配置した場合との比較も行なった。

図6に結果を示す。チェスボードを用いた場合と同様に、自然画像の場合にも、直線上で等間隔に補間点を配置するよりも、曲線上に等間隔に補間点を配置した方がズレが小さく、精度よく補間が行えることがわかった。また、小領域への分割は、7×5に分割すると概ね十分精度が高いことが確認できた。

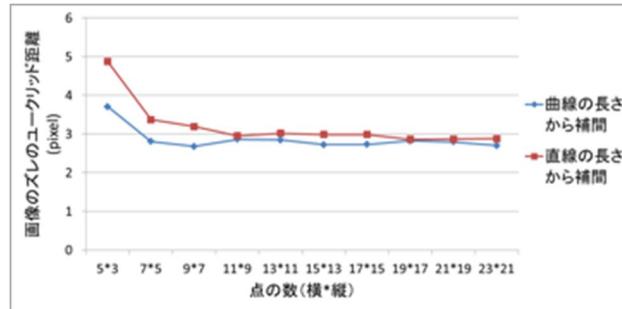


図6 特徴点マッチングによる精度評価

(2) アンティークステレオ写真の提示システムに関する成果

提案するアンティークステレオ写真の提示システムでは、スマートフォンの向きに応じて提示される画像の部分を変化させることで立体視をしやすいとしている。このことの有効性を検証するために、提案手法により提示した場合と、アーカイブシステムで補正したアンティークステレオ写真をそのまま提示した場合について、立体視のしやすさをユーザーに評価してもらう実験を行なった。この実験でも、どちらの画像がより立体視をしやすいかを5段階評価してもらった。画像全体と画像中央に関しては、有意な差はなかったが、画像端に関しては、有意に提案システムのほうが立体視しやすいことが確認できた。

(3) アンティークステレオの活用のための認識アルゴリズムの開発に関する成果

テクスチャの乏しい部分でも頑健なステレオマッチング

疎なマッチングに関する成果 精度評価を定量的に行うために、Middlebury ステレオデータセットの画像に既知の変換を加え、またノイズを付加して用いて実験を行なった。実験に用いたデータは6種類である。

比較のため、従来用いられてきた疎なマッチング手法である AKAZE, ORB, BRISK でも同じ画像に対してマッチングを行い、提案手法と比較した。なお、AKAZE のメモリサイズは 64 ビット、ORB は 256 ビット、BRISK は 512 ビットであり、提案手法でもメモリサイズが 64 ビット、256 ビット、512 ビットになるよう比較に用いる特徴点の数を変更して実装した。

提案手法の 256bit および 512bit においてそれぞれ同ビット数で特徴記述をおこなっている ORB および BRISK に対して高い精度でマッチングが行われていることを確認した。特に 256bit で記述している提案手法は、512bit の記述を行っている BRISK と同等またはそれ以上のマッチング精度が出ていることから提案手法は少ないビット数でも効率的に特徴点周りの輝度値のパターンを記述できていることを確認した。

密なマッチングに関する成果 密なマッチングにおいても、定量的な評価を行うため、Middlebury ステレオデータセットのうち training 用の 15 組の画像を用いた。

従来手法のうち、ローカルマッチングの手法である IGF, ISM, LAMC-DSM, REAF に加え、セミグローバルマッチングの代表的な手法である SGM と比較した。提案手法は平均的に最も高い精度を達成していることを確認した。

テクスチャのある部分でも過分割を抑制する領域分割

定量的な評価を行うために、領域分割の真値が与えられているデータセットである BSDS500 を用いて実験を行なった。全ての画像で一律のスケールを用いる Optimal Dataset Scale (ODS) で実験を行った。特徴量の追加を行わずに近傍の領域の考慮を適用した場合は、HFS と同程度の性能を維持していることを確認した。また、一部の画像では、ベンチマーク全体で最適化したパラ

メータでの実験結果では望ましい結果が得られていないものの、その画像に適したパラメータで実行した結果では、高精度な領域分割を実現していることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

[1]Masamichi Kitagawa, Ikuko Shimizu, "Memory saving feature descriptor using scale and rotation invariant patches around the feature points", IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E102-D, No.5, pp.1106-1110, 2019. 10.1587/transinf.2018EDL8176.

〔学会発表〕(計 9 件)

[1]Tomofumi Dokuni and Ikuko Shimizu, "A Support System for Archiving Antique Stereographs Using a Camera", IWAIT2019, Singapore, 2019.1

[2]Eisaku Ono and Ikuko Shimizu, "Image Segmentation with Searching Tree of Superpixel Boundaries, IWAIT2019, Singapore, 2019.1

[3]堂國友史, 清水郁子, "アンティークステレオ画像のアーカイブのための歪み補正方法の評価", サマーセミナー2018, 2018.8

[4]北川正理, 清水郁子, "省メモリな特徴点記述子に関する検討", サマーセミナー2018, 2018.8

[5]堂國友史, 清水郁子, "アンティークステレオ画像のアーカイブのための画像の歪み補正", 情報処理学会全国大会, 2018.3

[6]北川正理, 長岡翔一, 清水郁子, "アンティークステレオ写真のアーカイブと修復支援に関する検討", 3次元画像コンファレンス 2017, 2017.7

[7]Masamichi Kitagawa, Ikuko Shimizu, Radim Sara, "High Accuracy Local Stereo Matching using DoG Scale Map", IAPR International Conference on Machine Vision and Applications, 2017.5

[8]小野栄作, 清水郁子, "近傍領域の特徴を考慮した小領域の多段階統合による画像の領域分割", 映像情報メディア学会メディア工学研究会, 2017.2 優秀発表賞

[9]Masamichi Kitagawa, Ayako Abe, Ikuko Shimizu, Radim Sara, "Stereo Matching for Natural Images with Different Contrasts", International Conference on Advanced Imaging (ICAI), 2015.6 (Best Paper Award)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号(8桁):

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 北川 正理, 堂國 友史, 小野 栄作

ローマ字氏名: Masamichi Kitagawa, Tomofumi Dokuni, Eisaku Ono

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。