単眼カメラを用いて撮影した
折れや湾曲を有する文書画像の歪み補正とモザイキング

三井 嘉弘　山下 淳　金子 透

静岡大学工学部 〒432-8561 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

E-mail: {f0610133, tayamas, tmtkane}@ipc.shizuoka.ac.jp

あらまし 現在，世の中には様々な文書が存在している．それら文書に対して手軽な持ち運びや，貴重な古書や資料に対しては保存などの要求がある．これらの要求に応じるために文書の電子化が行われている．文書を電子化する手法としてカメラを用いた電子化が提案されている．しかし，折れや湾曲を有する文書画像に対応した形状歪み補正と，高解像度文書画像の生成の両方を行う手法は少ない．そこで本論文では，折れや湾曲を有する文書画像の歪み補正と高解像度文書画像を生成する手法を提案する．我々の提案する手法では，Applicable Surface へのフィッティングによる形状歪み補正とイメージモザイキングによる高解像度文書画像の生成を行う．実験により，本手法が折れや湾曲を有する文書画像の歪み補正と高解像度文書画像の生成に有効であることを示した．

キーワード 文書電子化，単眼カメラ，Applicable Surface，イメージモザイキング

Geometric Correction and Image Mosaicing
for Folded and Curved Document Images Taken with a Single Camera

Yoshihiro MITSUI　Atsushi YAMASHITA　and　Toru KANEKO

Faculty of Engineering, Shizuoka University　3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 432-8561, Japan

E-mail: {f0610133, tayamas, tmkane}@ipc.shizuoka.ac.jp

Abstract Currently there are a large amount of documents in the world. People have demands for carrying them portably and preserving valuable documents. To satisfy these demands, digitalization of documents has been developed. Camera-based methods for digitalization of documents have been investigated. However, methods both for correcting geometric distortion of folded and curved document images and for creating high-resolution images are few. We propose a method for doing both of them. Our method corrects geometric distortion by using applicable surface and creates high-resolution images by image mosaicing. Experimental results showed the effectiveness of the proposed method.

Keyword Digitalization of Documents, Single Camera, Applicable Surface, Image Mosaicing

1. 序論

本研究では，単眼カメラを用いて撮影した折れや湾曲を有する文書画像の歪み補正とモザイキングの手法を提案する．

現在，世の中には様々な文書が存在している．それら文書に関して，書籍や雑誌などに対しては手軽な持ち運び，貴重な古書や資料などに対しては保存の要求がある．これらの要求に応じるため，文書の電子化が行われている．

文書の電子化に際してはフラットベッドスキャナが広く用いられている．しかし，フラットベッドスキャナを用いた電子化には，スキャン面への押し付けによる文書の傷み，装置が大きいことによる持ち運びの困難，スキャナに設置可能な文書のみの対応の問題がある．

これらの問題を解決するためにカメラを用いた電子化が提案されている．カメラを用いた電子化には，非接触のため文書の傷みはなし，装置が小型なことから手軽な持ち運びが可能，様々な文書に対応可能などの利点がある．これらの利点から，カメラによる手法を用いることによってフラットベッドスキャナでの問題を解決することができる．

しかし，カメラによる手法では取得した画像から文字や図の読み取りを困難にする 2 つの問題がある．1 つ目は，文書全体がカメラのフレームに入るように撮影したとき，取得した文書画像は低解像になる問題である．2 つ目は，見開いた書籍など変形した形状の文書を撮影したとき，取得した文書画像には文書の形状による文字列の傾きや文字の歪み，つまり文書画像の形状歪みが存在する問題である．

これらの問題の解決方法として，1 つ目の文書画像の低解像に対しては，文書を数回に分けて撮影して取得した画像を合成（モザイキング）することで高解像度の文書画像を取得することができる．2 つ目の文書画像の形状歪みに対しては，文書の形状を復元することで文書画像の形状歪みを補正することができる．

以上の解決方法に対して文献[1]と文献[2]を挙げる．

文献[1]ではモザイキングにより高解像度画像を取得することができる．しかし，見開きのページのような 1 軸まわりにのみ湾曲した文書を想定した形状歪み補正手法のため，折れなどを有する変形した文書への対応は困難である．

一方，文献[2]では折れや湾曲を有する変形した文書の形状歪みを補正することができる．しかし，モザイキングを行っていないため文献[1]に比べ生成した文書画像は低解像である．

そこで本研究では前述した 2 つの従来研究を踏まえ，単眼カメラを用いて撮影した折れや湾曲を有する変形した文書の画像に対して形状歪みの補正を行い，さらにモザイキングにより高解像度の文書画像を生成する手法の構築を目的とする．

2. 処理手順

本研究での処理は 4 段階に分けて行われる（図 1）．

まず対象とする文書に対して単眼カメラを少しずつずらすように移動させながら撮影を行い，文書画像を複数枚取得する（2.1 節）．

次に取得した画像群から，画像間で重なる部分をもつ 2 枚の画像を選択し，その 2 枚の画像により文書の形状を計測する（2.2 節）．

そして得られた形状計測結果からメッシュモデルを作成して文書形状の復元を行い，復元結果を用いて文書の形状歪みを補正した画像を生成する（2.3 節）．

2.2 節と 2.3 節の処理を取得画像群に対して繰り返し行い複数枚の形状歪み補正画像を生成する．最後にすべての形状歪み補正画像を合成（モザイキング）することで高解像度画像を生成する（2.4 節）．

最後に，文字や図をより読み取りやすくするために，生成画像の色合いを補正する（2.5 節）．

図 1　処理手順

2.1. 画像取得

撮影は単眼カメラを対象文書全体にわたって，撮影フレーム間で重なり部分を作るように少しずつずらしながら行い（図 2），文書の一部分が撮影された画像を複数枚取得する．

また，文書を撮影する前にカメラキャリブレーションを行い，焦点距離などのカメラの内部パラメータを求めておく．

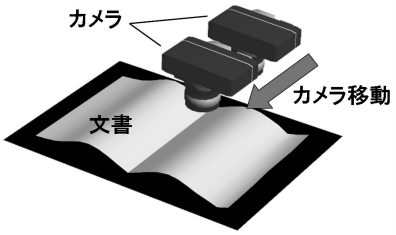


図 2　撮影方法

2.2. 文書形状の計測

文書形状の計測では，まず画像間で重なる部分をもつ 2 枚の取得画像(例えば取得画像の 1 枚目と 2 枚目)から SIFT（Scale Invariant Feature Transform）アルゴリズム[3]によって特徴を抽出，画像間の特徴の対応付けを行う．なお，SIFT とは画像の回転やスケール変化にロバストな特徴点抽出，対応付けを行う手法である．

そして得られた対応点の情報から文書の形状を計測する．形状計測ではモーションステレオの原理を用いて，対応点の 3 次元座標を算出する．

2.3. 形状歪みの補正

2.2 節で得られた計測結果は文書の形状をおおまかに表しているものの，点群の中にはノイズが含まれている．また，点群はまばらな点の集まりであるため，点と点の間がどのような形状になっているかも求められていない．そこで，形状歪みの補正を行う前に，文献[2]を参考にして Applicable Surface のメッシュモデルを形状計測結果にフィッティングすることで文書形状を復元する（図 3）．なお，Applicable Surface とは伸び縮みなしに平面へ展開することができる曲面（可展面）である．

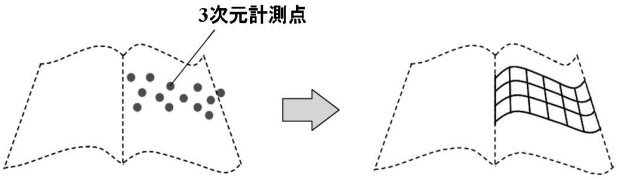


図 3　文書形状の復元

そしてフィッティングしたメッシュモデルを平面に展開することで形状歪みの補正を行う（図 4）．

形状歪み補正画像は，取得画像の平面展開をする前のメッシュモデルの位置に対応する部分を，平面展開した後の位置へと変形することにより生成する．

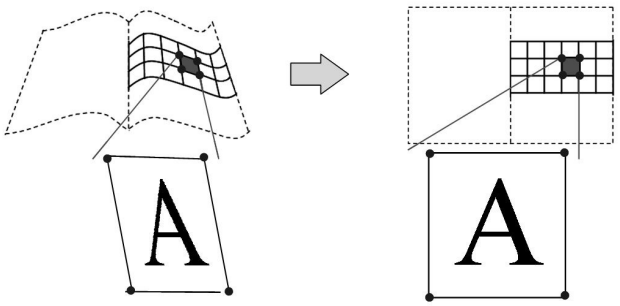


図 4　平面への展開

2.4. モザイキング

2.2 節，2.3 節での処理を取得画像群に対して繰り返し行い（例えば取得画像の 1 枚目と 2 枚目，2 枚目と 3 枚目，・・・の組合せで順々に），生成した形状歪み補正画像群を合成（モザイキング）することで 1 枚の文書全体の高解像度画像を生成する（図 5）．

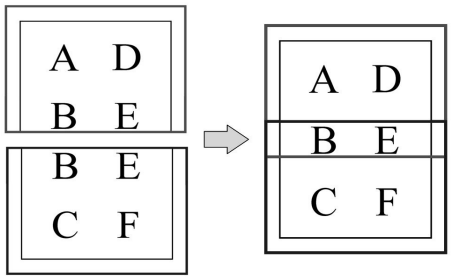


図 5　モザイキング

モザイキングの手順として，まず形状歪み補正画像群から，画像間で重なる部分をもつ 2 枚の画像を選択する．そして，その 2 枚の画像間で SIFT アルゴリズムにより特徴を抽出，対応付けを行う．次に取得した対応点情報から一方の画像をもう一方の画像に合うように変形させ，2 枚の画像を合成する．なお，合成においてモザイキング画像での 2 枚の画像の重なり部分では，重なりが自然に見えるよう，2 枚の画像の画素を混ぜ合わせるブレンディングを行う．

以上の手順をすべての形状歪み補正画像に対して繰り返し行い，1 枚の文書全体の高解像度画像を生成する．

しかし，ブレンディングにより生成した高解像度画像の画像間の重なり部分では，文字や図のずれが生じる．そこで， Iterative Back Projection アルゴリズム[4]によりそのずれを改善する．なお，Iterative Back Projection とはモザイキング画像からの歪み補正画像の推定と，元の歪み補正画像と推定した歪み補正画像の差分画像のモザイキング画像への逆投影（Back Projection）を繰り返し行うものである．

2.5. 色合いの補正

2.4 節での処理によって生成した文書画像に対し，色合いの補正を行うことにより，画像から文字や図をより読み取りやすくする．

色合いの補正では，まず画像の明暗を強調するコントラストの補正を行う（図 6 中(a)の処理）．

次に画像中の文字や図のエッジを強調する鮮鋭化を行う（図 6 中(b)の処理）．

図 6　色合いの補正

3. 実験

文書の撮影にはディジタルスチルカメラ（Canon PowerShot S70）を使用し，画像サイズは 1600×1200pixels とした．また，実験の対象は湾曲と折れを有する文書とした．

次に実際の処理結果を示す．実験の対象文書を図 7 に示す．本実験では，撮影フレーム間で重なり部分ができるように 9 枚の文書画像を取得し，取得した画像のうち 1 枚目と 2 枚目，9 枚目を図 8 に示す．

そして形状計測と歪み補正の処理を取得画像の 1 枚目と 2 枚目，2 枚目と 3 枚目，・・・，8 枚目と 9 枚目の組合せで繰り返し行う．ここでは取得画像の 1 枚目と 2 枚目からの形状復元結果を図 9 に，生成した形状歪み補正画像を図 10 に示す．

次に生成した 8 枚の形状歪み補正画像のモザイキングとずれの改善処理を行う．モザイキング結果を図 11 に示す．なお，図中の囲みはモザイキングに使用した歪み補正画像 1 枚目，2 枚目，3 枚目の位置を示している．さらに，ずれ改善処理から色合いの補正までの処理について，処理を施す前と後で同じ部分を拡大した比較結果を図 12 に示す．

最後にすべての処理を施した結果を図 13 に示す．

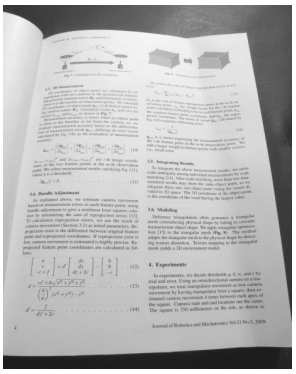
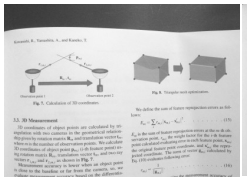
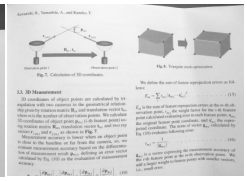


図 7　実験対象文書


(a) 1 枚目


(b) 2 枚目

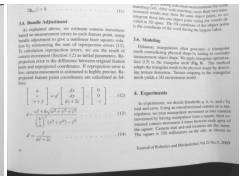

(c) 9 枚目

図 8 取得画像

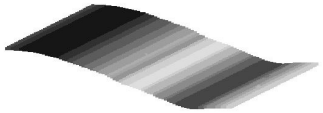


図 9 形状復元結果

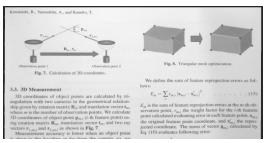


図 10 形状歪み補正画像

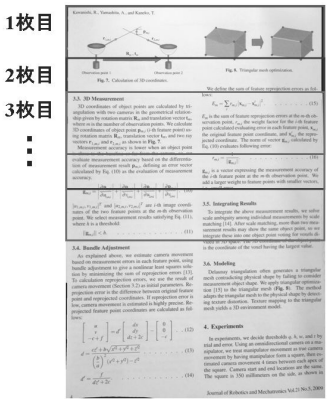
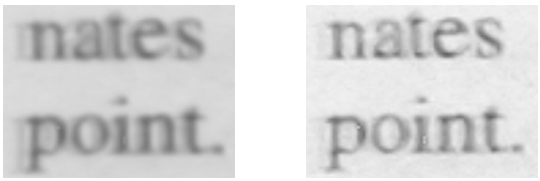


図 11 モザイキング結果



(a) 処理前（一部拡大）(b) 処理後（一部拡大）

図 12 ずれ改善から色合い補正までの処理前後の比較

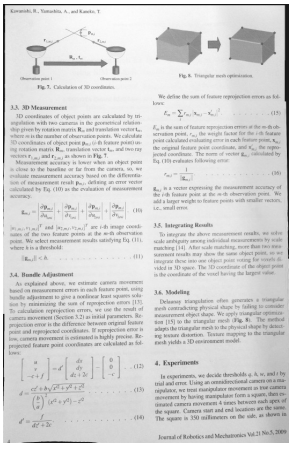


図 13 統合処理結果

次に定量的評価について記す．図 13 に示されるすべての処理を施した文書画像と，図 14 に示される実験と同じ画像サイズ 1600×1200pixels の条件で対象文書全体をフレーム内に収めて撮影した画像の文字認識率を表 1 にまとめた．なお，文字認識には A.I.Soft 社の OCR ソフト「読ん de!!ココ ver.13」を使用した．

表 1 より処理を施すことによって文書画像の文字認識率が向上していることがわかる．この結果から湾曲と折れを有する文書画像の形状歪み補正とモザイキング，色合いの補正ができていることを確かめられた．

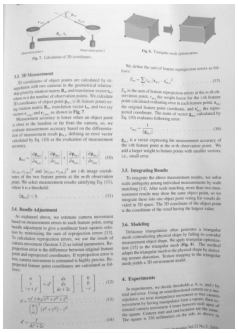


図 14 文書撮影画像

表 1 文字認識結果

	文字認識率[%]
統合処理画像	98.1
文書撮影画像	87.6

4. 結論

本研究では，単眼カメラを用いて撮影した湾曲と折れを有する文書画像に対する Applicable Surface を用いた形状歪み補正とモザイキングの手法を提案した．実験結果から行った定量的評価により，湾曲と折れを有する文書画像の形状歪み補正とモザイキングができていることを確認でき，本手法の有効性が示された．

今後の課題として，さらに文字や図を読み取りやすくするために，ぼけ改善処理と色合いの補正の効果向上，陰影の補正を行うことが挙げられる．

5. 謝辞

本研究の一部は，日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(C)21500164 の補助を受けた．

文 献

[1] 佐藤智和，池谷彰彦，池田聖，神原誠之，中島昇，横矢直和：“動画像からの三次元復元による湾曲した紙面のビデオモザイキング”，画像の認識・理解シンポジウム（MIRU2006）講演論文集，pp.98-105(July 2006)

[2] 鈴木優輔，山下淳，金子透：“ステレオビジョンシステムによる歪曲形状書籍画像の歪み補正”，ビジョン技術の実利用ワークショップ（ViEW2007）講演論文集，pp.353-358(December 2007)

[3] D. G. Lowe：“Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints”, International Journal of Computer Vision, 60, 2, pp.91-110(January 2004)

[4] M. Irani and S. Peleg：“Improving Resolution by Image Registration”, CVGIP : Graphical Models and Image Processing, 53, 3, pp.231-239(May 1991)