

ステレオ計測を利用した書籍画像の歪み・陰影補正

Restoration of Distorted Document Images Using Stereo Measurement

鈴木優輔†, 田中友†, 山下淳†, 金子透†

Yusuke SUZUKI† Yuu TANAKA† Atsushi YAMASHITA† and Toru KANEKO†

†: 静岡大学工学部, {f0630042,r5545008,tayamas,tmtkane}@ipc.shizuoka.ac.jp

概要: 本研究では, ステレオカメラで取得した書籍画像に対し歪み・陰影補正を行い, 高精細な画像を得る手法を提案する. 対象が分厚い書籍の場合, 紙面の湾曲により画像中に歪みや陰影が生じる. そこで, ステレオ計測により書籍形状を計測し, 湾曲部の歪み補正を行う. また, カメラと紙面との位置関係から, 左右画像のどちらがより高精細か場所毎に判断して合成を行う. 更に, 紙面での光の反射を考慮して画像の陰影補正を行う. 実験結果より本手法の有効性が確認された.

1. はじめに

近年, 書籍等の既存文書のデジタル化が盛んに行われており, 画像取り込みの際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は平面接触計測型の装置であり, 対象が厚い書籍の場合, 綴じ目付近で陰影や歪みが生じる. これらを軽減するために書籍をスキャナ面に押し付けても, 問題が完全には解決しない場合が多い. また書籍保護の観点から, 押し付ける等の書籍に負荷がかかる行為はあまり好ましくない[1]. 上記の問題を解決するためには, 対象が立体の場合でも平面の場合と同質な画像を得られるようなシステムの開発が望まれる.

陰影や歪み等の問題に対し, スキャナで取得した画像の陰影情報からShape from Shadingにより書籍の形状を復元し, 陰影や歪みを補正する手法が提案されている[2][3]. これらはスキャナだけを用いる簡便な手法ではあるが, 照明条件や紙面の反射特性等, 多数の基準データを準備しておく必要がある. また, カラー画像への対応や鏡面反射の考慮といった問題も残されている.

一方, 最近ではスキャナではなくカメラを用いた文字認識・文書画像解析も重要視されている[4].

[2]と同様にShape from Shadingを用いる手法として, [5]がある. この手法では, 見開いた書籍の上方に設置したカメラにより画像を取得する. 非接触型の画像取得方式であるため撮影時の書籍の傷みが軽減され, 更にカメラによる撮影のため綴じ目付近での明るさの低下等の問題が生じにくい. しかし, やはり[2]と同様, 反射特性等の基準データが必要となる.

上記手法に対し, 書籍形状を小型のレーザレンジファインダで直接計測する手法が提案されている[6]. この手法では陰影情報を用いる場合に必要となる多くの基準データを必要としないが, レーザとカメラの2種類の装置が必要であり, 例えばステレオカメラのように2台ともに計測および画像取得の両方に使える装置と比較すると効率が良くない. 更に, 撮影画像と計測した形状の対応を求める必要もある.

陰影情報やレーザを用いることなく, 1台のカメラにより取得した画像のみから書籍の歪みを補正する手法も提案されている[7]. この手法では撮影システムのパラメータと撮影画像とを関連付けて3次元形状を算出し, 書籍の3次元形状モデルを作成して歪み補正を行う. しかし, 陰影の考慮や補正画像中の欠損部の補間等, 解決すべき問題も残っている.

上記の1台のカメラを用いる手法に対し, ステレオカメラを用いる手法が提案されている[8]. この手法ではステレオ計測により書籍形状を計測し, 歪み補正を行う. また, ステレオ画像の組み合わせにより高精細な合成画像を作成することもできる. しかし, 合成時に2枚の画像間での明るさ・色合いの違いを考慮していないため, 本来は一致するはずの合成境界部分の明るさ・色合いが一致しない問題がある. また, 陰影の考慮等, [7]と同様の問題点も残っている.

静止画ではなく動画像を用い, 湾曲紙面のビデオモザイクを行う手法も提案されている[9]. この手法では携帯カメラで撮影した動画像からStructure from Motionにより書籍形状を復元し, 歪みを補正した高解像ビデオモザイク画像を作成している. 特殊な装置を必要としない簡便な手法であるが, 陰影補

正は単純なモデルで行っているため、精度の向上が望まれる。

上記のように多くの書籍画像処理手法が存在するが、本研究ではステレオ計測を用いた文書デジタル化手法を提案する。

ステレオ計測により書籍形状を取得し、画像の歪み補正を行う。また、カメラと紙面との位置関係を考慮し、2枚の画像から高精細に見える方の画像を場所毎に判断し、高精細な部分同士を合成する。更に、紙面に鏡面反射が生じるか否かの判定を行い、鏡面反射が生じる場合には照明方向を変化させた複数画像を合成し、鏡面反射を除いた合成画像を作成する。その後、光の反射特性を考慮した画像の陰影補正を行い、ステレオ画像間で画像の明るさ・色合いが異なる問題を解決する。

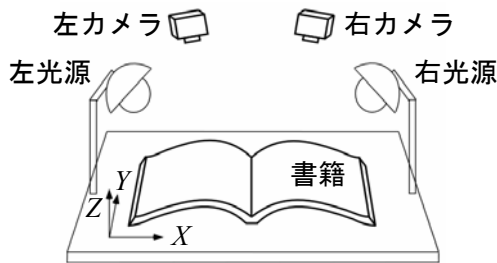


図1 装置の概略

2. 処理概要

本研究で使用する装置の概略を図1に示す。見開いた書籍の上方にステレオカメラを、書籍の左右に光源を配置する。座標系は図1に示すように、書籍の配置面を X - Y 平面、書籍の高さ方向を Z 軸とする。

条件として、カメラと照明光の位置関係は既知とする。また、相互反射光については考慮しないものとし、紙面の反射特性については、紙面上の全領域において一定であるとする。

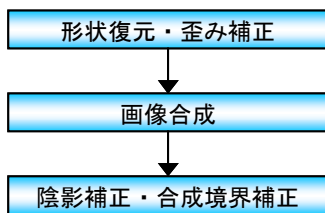


図2 処理の流れ

本研究の処理の流れを図2に示す。ステレオ計測を用いて書籍形状を計測・復元し、歪み補正を行う。次に、カメラと紙面の位置関係を考慮し、ステレオ画

像の組み合わせにより高精細な合成画像を作成する。その際鏡面反射の検出も行い、鏡面反射が存在する場合には、合成により鏡面反射除去画像を作成する。最後に陰影補正と合成境界の補正を行い、ステレオ画像間の明るさの不一致による違和感をなくす。

3. 形状復元・歪み補正

3.1. 形状計測

本研究ではステレオ計測を用いて書籍形状を計測する。その際、輻輳ステレオで撮影を行うことにより左右のカメラでの見え方に差をつける。これにより、片方の画像では大きく歪んでいる部分でも、もう片方の画像では歪みが小さくなるため、書籍全体について良好なテクスチャを得ることができるようになる。

3.2. 形状復元

3.2.1 変局部の検出

本研究では書籍形状を NURBS 曲面で近似して復元する。しかし、綴じ目等の変曲部は曲面で表現できないため、変曲部は曲面表現を行う前に検出する。変曲部の検出は、ステレオ計測結果から紙面の傾きの変化を調べて行う。変曲部では紙面の傾きの変化が他と比べて大きくなるため、この部分を変曲部として検出する。

変局部検出後、変曲部の点群を X - Y 平面上に投影したものに対して Hough 変換による直線検出を行い、綴じ目を検出する。

3.2.2 NURBS 曲面による近似

NURBS 曲面を生成するためには、B スプライン基底関数の次数、制御点とその重み、ノットベクトルを決定する必要がある。本研究では3次のBスプライン基底関数を用いる。また、制御点はステレオ計測結果の3次元座標値をもとに決定する。制御点の重みは、変曲部付近では10、それ以外では1とする。ノットベクトルは、最初と最後の制御点が曲面の両端と一致するように決定する。

3.3 歪み補正

NURBS 曲面により復元した形状を基に、書籍画像の歪み補正を行う。本研究では、図3に示すように書籍の綴じ目方向に垂直な断面を考え、曲面を平面に引き伸ばすことで書籍画像の歪み補正を行う。

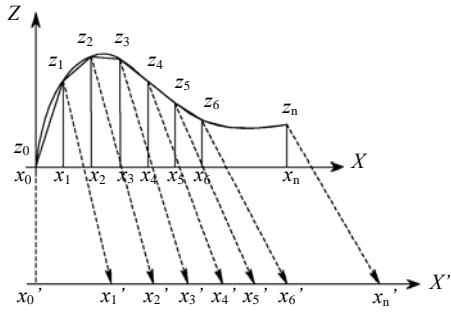


図3 引き伸ばしによる歪み補正

4. 画像合成

4.1. 高精細合成画像の作成

本研究では輻輳ステレオで撮影するため、左右カメラで写り方が異なる。そこで、復元した書籍形状から紙面法線方向を算出し、カメラ視線と紙面法線との角度差が小さい部分同士を組み合わせることにより高精細な合成画像を作成する(図4)。



図4 ステレオ画像の組み合わせ

4.2. 鏡面反射の補完

光沢のある紙面の場合、紙面上で鏡面反射が生じる場合があるため、鏡面反射の検出を行う。鏡面反射を検出した場合は、照明方向を変化させた画像を組み合わせることにより鏡面反射領域を補完する。

紙面上の点 $P(x,y,z)$ から鏡面反射方向へ向かうベクトルと、点 P から視線方向へ向かうベクトルとがなす角度を ψ とする。このときPhongの反射モデルにより、点 P における鏡面反射光のうち反射方向から角度 ψ をなす方向への鏡面反射光強度 $I_h(x,y,z)$ は、(1)式で表すことができる。

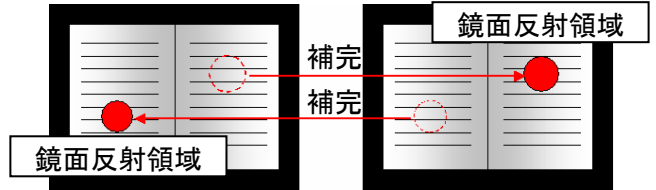
$$I_h(x, y, z) = I_{in}(x, y, z) \cdot k_s \cdot \cos^n \psi \quad (1)$$

上式で、 $I_{in}(x,y,z)$ は点 P への入射光の強度、 k_s は紙面の鏡面反射率、 n はハイライト特性を表す係数である。 k_s および n は反射面の材質により決定される。

(1)式では ψ が大きくなるにつれて I_h が減少する。そ

こである閾値角度 ψ_0 を定め、 $\psi < \psi_0$ となる領域を I_h が十分に大きい鏡面反射領域と定める。書籍中の各場所で角度 ψ を算出し、 $\psi < \psi_0$ の条件式に当てはめることで鏡面反射領域を検出する。

鏡面反射領域検出後に、照明方向を変化させた複数画像を用いて鏡面反射領域を補完する(図5)。



(a) 左画像(左のみ点灯) (b) 左画像(右のみ点灯)

図5 鏡面反射領域の補完

5. 陰影補正・合成境界補正

5.1. 陰影補正

陰影補正の際は最初に環境光の影響を考慮する。本研究では光源-紙面間の光の反射をモデル化して陰影補正を行うが、このモデルでは環境光の影響が考慮されていないため、環境光が存在する条件下で撮影を行う場合は正確な陰影補正を行うことができない。そのため、環境光による反射成分と光源光による反射成分とを、陰影補正前に画像から分離する。

環境光の分離には画像の差分を利用する。環境光のみが存在する条件下で取得した画像と、環境光と光源光が存在する条件下で取得した画像との差分を取ることで、環境光による反射成分を分離し、光源光による反射成分のみを取り出す。

環境光の分離後、光の反射をモデル化して陰影補正を行う。書籍は場所毎に光の当たり具合が異なり、陰影が生じる。線光源で照射される場合(図6)、拡散反射のみを考えると、書籍面上の点 $P(x,y,z)$ における反射光強度 $I(x,y,z)$ は、(2)式で表される。

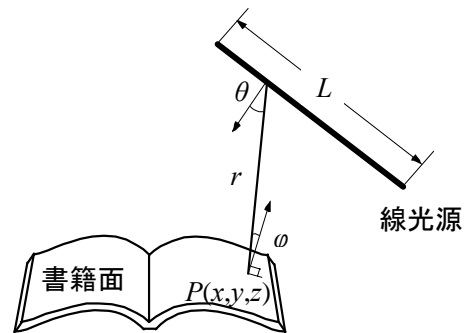


図6 反射光のモデル

$$I(x, y, z) = k_d I_q \int_0^L \frac{\cos \theta}{r^2} \cos \phi \, dl \quad (2)$$

(2)式において k_d は紙面の拡散反射率、 I_q は線光源の光度、 L は線光源の長さ、 dl は線光源を分割した微小長さ、 θ は線光源に垂直な方向と光線方向とのなす角、 r は光源と点 P との距離、 ϕ は紙面法線と光線方向とのなす角である。1枚の画像中では対象物の材質は同じであり、また光源は同じものを用いているため、(2)式において k_d 、 I_q は一定であり、積分部が書籍の位置や形状により異なる。この積分部の値の変動により反射光強度が変化し、陰影が生じる。

書籍面上には光が当たらない影領域がある。陰影補正時には影領域についても考慮する必要がある。この際、上記の線光源を点光源の集まりと近似して取り扱い、各点光源に関して以下の処理を行う。

書籍面上の影は、書籍自身が遮蔽物となり光線が遮られるために生じる。影の判定法については、光線方向の書籍断面を考え(図7)、任意点 P に向かう光線が書籍により遮られるとき、点 P は影領域であるとする。

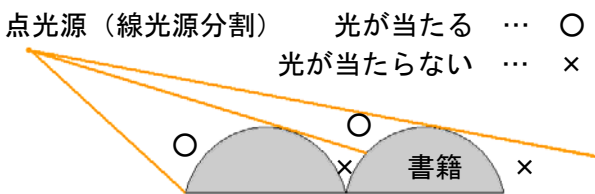


図7 影の判定

影領域を計算から除外しつつ、(2)式により書籍面の反射光強度を求めて陰影補正を行う。まず、書籍画像の各画素 (i, j) 毎に反射光強度 $I(x, y, z)$ を計算する。 (i, j) と (x, y, z) の関係はステレオ計測時に求めるため既知である。次に、反射光強度 $I(i, j)$ の最大値 I_{max} を求め、各画素 (i, j) 毎に反射光強度の比 $I(i, j) / I_{max}$ を計算して陰影の度合いを求める。その後、陰影を補正するために各画素の画素値 $C_k(i, j)$ ($k=1$:赤, $k=2$:緑, $k=3$:青)をそれぞれ $I_{max} / I(i, j)$ 倍にする。これにより、反射光強度が小さい陰影部分の画像を明るく補正することができる。

5. 2. 合成境界の補正

光の強度に対する左右カメラの感度個差等が原因で、陰影補正だけでは合成境界の違和感を補正しきれない場合もある。そのため、画像合成時に合成境界の明るさ・色合い補正を行う必要がある。

境界補正には左右で同じものが写っている領域

(重なり領域と呼ぶ)の色情報を用いる。補正は各画素の赤、緑、青成分毎に行う。まず、左右の重なり領域内において各色成分の画素値の平均を求め、左右の平均の差から左右画像の明るさの違いを推定し、その差分だけ左右画像全体の画素値を補正する。

合成境界を目立たなくするために、もう1段階処理を加える。重なり領域において、出力する合成画像の画素値 $C_k(i, j)$ を、(3)式のように左右の画素値のブレンド値とする。

$$C_k(i, j) = s \times C_{l,k}(i, j) + (1-s) \times C_{r,k}(i, j) \quad (3)$$

s は左右画像のブレンド割合であり、本研究では(4)式で与えることとする。

$$s(x) = \frac{1}{4} \frac{x^3}{w^3} - \frac{3}{4} \frac{x}{w} + \frac{1}{2} \quad (4)$$

(4)式において、 w [pixel]は合成境界から重なり領域の端までの幅であり、重なり領域は合成境界の左右に幅 w ずつ存在している。 x [pixel]は注目画素から合成境界までの距離を表し、境界上で $x=0$ 、右画像側の重なり領域では $0 < x \leq w$ 、左画像側の重なり領域では $-w \leq x < 0$ の間の値をとる。重なり領域内では、(4)式に基づいて左右の合成割合が3次関数的に滑らかに変化しており、右画像に近い領域では右画像を多く、左画像に近い領域では左画像を多く用いることにより、合成境界が目立たないような補正を行うことができる。

6. 実験

市販のデジタルカメラを用い、書籍のステレオ画像を取得した(図8, 1936×1296pixels)。取得した画像は、左から照明を当てた状態と右から照明を当てた状態の、2種類のステレオ画像対である。



(a) 左画像 (左照明)



(b) 右画像 (左照明)



(c) 左画像 (右照明)



(d) 右画像 (右照明)

図8 書籍ステレオ画像

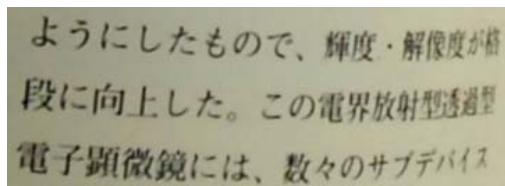
ステレオ計測結果を図 9 に示す。図中の黒い点群が計測された点である。多少の誤差はあるものの、書籍の形状をほぼ正確に計測することができている。

ステレオ計測後、紙面上の傾き変化を調べて変局部(綴じ目)の検出を行った。その後、検出した綴じ目の画像中での傾きを補正し、歪み補正結果画像中では綴じ目が画像に対して垂直に表示されるように、画像に変換処理を施す。

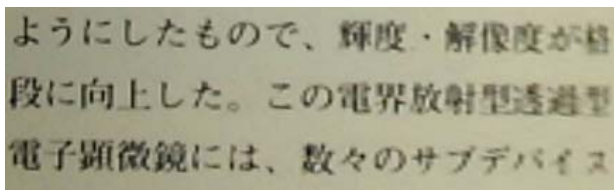


図 9 ステレオ計測結果

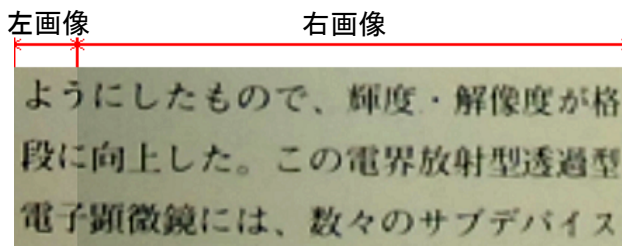
図 9 の計測結果に基づき書籍画像の歪み補正を行った。補正結果を図 10 に示す。紙面を平面に引き伸ばすことで、曲面上の歪んだ文字列を直線状に補正することができている(図 10(b))。また、綴じ目部のように、片方の画像を引き伸ばしただけでは歪みが十分に改善されない部分については、左右画像を組み合わせることで対応している(図 10(c))。



(a) 歪み補正前



(b) 歪み補正後

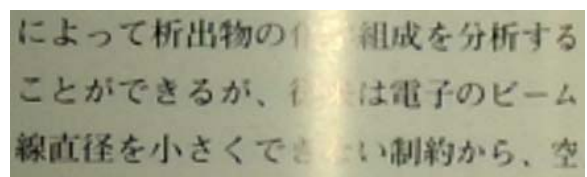


(c) 左右画像の組み合わせ

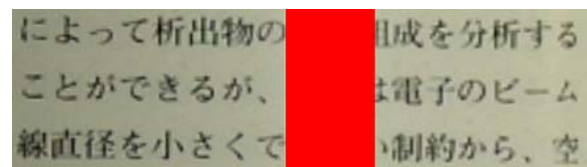
図 10 歪み補正結果

次に、鏡面反射領域の補完処理を行った。鏡面反射検出結果および鏡面反射領域補完結果の一部を図 11 に示す。図 11(a)が原画像、図 11(b)が鏡面反射検出結果、図 11(c)が補完結果である。

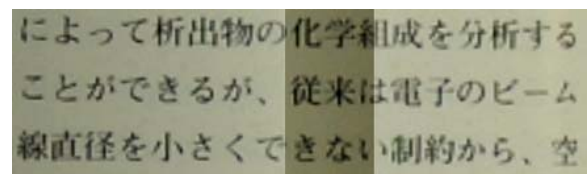
図 11(a)の画像では鏡面反射により画像が白くなってしまう。そこで、照明方向変化画像を合成することにより補完を行う。実験では、図 11(b)で検出した領域で補完を行うことにより、図 11(c)のような補完結果を得ることができた。白くなっていて読めなかった部分を補完し、より読みやすい画像を得ることができている。



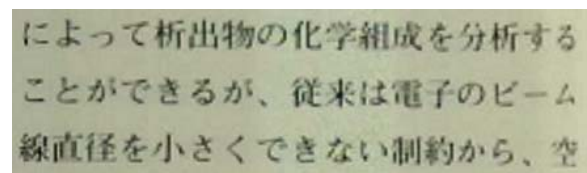
(a) 原画像



(b) 鏡面反射検出結果



(c) 補完結果



(d) 陰影・合成境界補正結果

図 11 鏡面反射補完結果

画像合成によって補完を行うだけでは、合成境界の明るさ・色合いの不一致により、合成境界に不自然さが残ってしまう。そこで本研究では、画像の陰影補正や合成境界補正処理を行い、合成境界における明るさ・色合いの不一致を改善する(図 11(d))。

まず陰影補正により画像中の陰影を取り除き、均

一な明るさの歪み補正画像を得る. これにより, 陰影の違いによる合成境界の違和感を補正する. その後, 合成境界補正を行い, 合成境界が目立たなくなるように境界付近の明るさ・色合いを微修正する.

全処理を統合した最終結果を図 12 に示す. 原画像と比較すると, 各種処理により歪みや陰影等が補正され画質が改善されたといえる. 実験結果より, 本手法の有効性が確認できた.



(a) 原画像



(b) 統合処理結果
図 12 統合処理結果

7. おわりに

本研究では, ステレオ計測結果に基づき書籍画像の歪み補正を行い, 更に画像合成により低解像度領域や鏡面反射領域を補間する手法を提案した. また, 光の反射特性を考慮して書籍表面の陰影補正を行う手法を提案した.

今後の展望として, 図書館が所蔵する分厚い書籍のデジタルアーカイブ化等に本手法を応用することが可能である.

解決すべき課題として, 綴じ目付近における相互反射問題の解決, 形状が湾曲形状以外の場合への対応, および処理の高速化等が挙げられる.

謝辞

本研究の一部は, 文部科学省科学研究費補助金若手研究(B)17700182 の援助を受けた.

文 献

- [1] 檜村雅章: “歴史的に貴重な本のデジタルアーカイブ”, O plus E, Vol.27, No.10, pp.1134-1141, 2005.
- [2] 和田俊和, 浮田浩行, 松山隆司: “イメージスキャナを用いた書籍表面の 3 次元形状復元(II)―相互反射を考慮した近接光源下の Shape from Shading―”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J78-D-II, No.2, pp.311-320, 1995.
- [3] Chew Lim Tan., Li Zhang, Zheng Zhang, and Tao Xia: “Restoring Warped Document Images through 3D Shape Modeling”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.28, No.2, pp.195-208, 2006.
- [4] 黄瀬浩一, 大町真一郎, 内田誠一, 岩村雅一: “カメラを用いた文字認識・文書画像解析の現状と課題”, 電子情報通信学会技術報告 (PRMU2004-246), Vol.104, No.742, pp.85-90, 2005.
- [5] Seong Ik Cho, Hideo Saito and Ozawa Shinji: “Shape Recovery of Book Surface Using Two Shade Images Under Perspective Condition”, 電気学会論文誌 C, Vol.117-C, No.10, pp.1384-1390, 1997.
- [6] 天野敏之, 安部勉, 西川修, 伊與田哲男, 佐藤幸男: “アイスキャナによる湾曲ドキュメント撮影”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J86-D-II, No.3, pp.409-417, 2003.
- [7] Michael S. Brown and W. Brent Seales: “Image Restoration of Arbitrarily Warped Documents”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.26, No.10, pp.1295-1306, 2004.
- [8] Atsushi Yamashita, Atsushi Kawarago, Toru Kaneko, and Kenjiro T. Miura: “Shape Reconstruction and Image Restoration for Non-Flat Surfaces of Documents with a Stereo Vision System”, Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, Vol.1, pp.482-485, 2004.
- [9] T. Sato, A. Iketani, S. Ikeda, M. Kanbara, N. Nakajima, N. Yokoya: “Mobile Video Mosaicing System for Flat and Curved Documents”, Proceedings of the 1st International Workshop on Mobile Vision., pp.78-92, 2006.

鈴木優輔: 静岡大学大学院工学研究科修士課程に在籍. ステレオビジョンを用いた書籍画像補正技術の研究に従事.

田中友: 静岡大学工学研究科博士課程に在籍. ステレオビジョンを用いた書籍画像補正技術の研究に従事.

山下淳: 静岡大学工学部機械工学科助手. コンピュータビジョン, ロボットの知能化に関する研究に従事.

金子透: 静岡大学工学部機械工学科教授. 画像処理, コンピュータビジョンの研究に従事.

<http://sensor.eng.shizuoka.ac.jp/>