

ステレオカメラを用いた書籍画像の高速な形状歪み・陰影の補正

静岡大学 秋本 廉太郎, 山下 淳, 金子 透

Fast Correction of Geometric and Shading Distortion of Document Images Using a Stereo Camera System

Rentaro Akimoto, Atsushi Yamashita, Toru Kaneko, Shizuoka University

In this paper, we propose a new method for correcting distorted document images fast using a stereo camera pair. In capturing a thick book image, geometric and photometric distortion may occur because of its curved surfaces. The proposed method estimates the shape of the document surfaces to correct geometrical distortion in the image. From the estimation result, the method composes finer image from the stereo image pair. Moreover, the method corrects photometric distortion by analyzing lighting and reflecting conditions. The validity of the proposed method was shown through experiments.

1 緒言

近年、書籍等の既存文書のデジタル化が盛んに行われている。オフィス環境等に存在する膨大な量の資料をデジタル化することにより、省スペース化や資料検索効率の向上が期待できる。

デジタル化に際してはスキャナが広く用いられているが、書籍の綴じ目付近がスキャナ面に密着しないことによって、紙面内容の歪みや陰影が発生し、OCR（光学文字認識）の精度を低下させる原因となる。陰影を利用して補正する手法 [1] などがあるが、書籍の色や内容に依存するという欠点がある。一方、カメラを用いたデジタル化の研究も行われているが、形状歪みや陰影はスキャナの場合よりも広域にわたって発生する。これらの問題を解決するためにレーザレンジファインダ等を利用する研究もあるが、大規模かつ特殊な装置を要するという別の問題が生じる。また、ステレオカメラを用いて紙面形状や陰影情報の取得を行った鈴木的手法 [2] は、対象を書籍に限らないという利点があるものの、計算時間が長くなる傾向にある。

本研究ではステレオカメラシステムを用いて、湾曲に起因する形状歪みと陰影の補正を行う。また、様々な処理を工夫して組み合わせることで、高速な補正処理の手法を提案する。

2 手法

本研究で用いる装置の概略を図 1 に示す。書籍画像の補正は 5 段階に分けて行う。まずステレオ画像を取得し (2.1 節)、それぞれに対して 3 次元形状の推定 (2.2 節) をする。そして推測した形状と照明条件をもとに紙面の陰影を再現し、撮影された紙面の陰影を補正する (2.3 節)。さらに形状歪みの補正 (2.4 節) を施し、最後に、カメラと紙面の位置関係によって生じる不明瞭な部分を、互いに補完し合うように左右の画像を合成する (2.5 節)。前提条件として、対象は見開きの書籍であり、綴じ目方向に形状はほとんど変化しないものとする。また、カメラの光軸は綴じ目の中心と交わっているものとみなす。

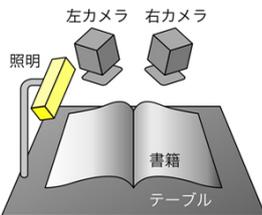


図 1: 装置の概略

2.1 画像取得

画像は固定された 2 枚のカメラによってステレオ撮影する。書籍を撮影する前にカメラキャリブレーションを行うことによって 2 台のカメラの位置・姿勢などの外部パラメータと焦点距離などの内部パラメータを求め、以後の撮影ですべてのパラメータは変えないものとする。

2.2 書籍の 3 次元形状の推定

3 次元形状の推定には、Kashimura の手法 [3] を参考にして、輪郭情報を用いる。図 2 は画像における書籍の輪郭上の点 A の、テーブルからの高さ h を推定する様子を示している。図においてカメラとテーブルとの距離 PC は事前のキャリブレーション作業によって既知となっている。A を通り綴じ目に平行な直線を AB とする。また、カメラの光軸と BP のなす角 θ は $\tan^{-1}(BC/PC)$ で算出できる。E は歪みの補正後にページ上端が位置すべき直線と AB との交点である。

画像上の距離と図 2 に示すような幾何関係を利用すれば、注目している高さ h は求められる。この計算を上下端の輪郭上で、ある間隔ごとに行うことで、書籍の上下端の形状が求まる。このとき、プロットする点の数は上下で等しくしておく。

最後に、上下端の対応する点同士を結ぶ線分を n 等分することで、紙面内部の 3 次元形状を直線的に補間し、図 3 のようなメッシュモデルを作成する。

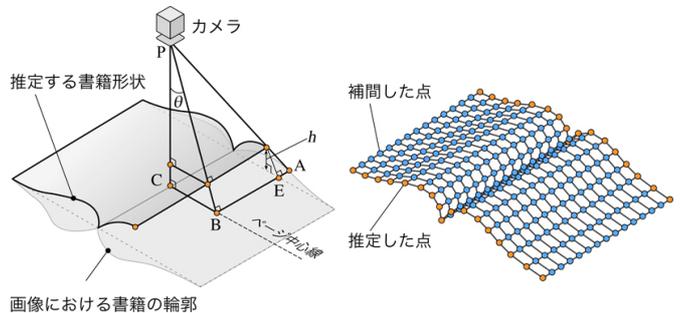


図 2: 形状推定の様子

図 3: メッシュモデル

2.3 陰影の補正

歪曲した紙面に照明を当てると、紙面には陰影が生じる。本研究では 2.2 節で推定した形状と照明の位置情報を用いて紙面上の反射光強度の計算を行う。照明は、複数の点光源から成る面光源として近似した。全てのメッシュについて環境光や照明を考慮した反射光強度を求めることで、最も明るい部分と最も暗い部分を基準とした強度比分布を得て、それを基に陰影補正を行う。

2.4 形状歪みの補正

一般に紙面は湾曲して撮影されているので、それを平面へ引き伸ばすことによって湾曲前の紙面形状へと戻す。端の頂点から徐々に、メッシュの頂点間の距離を保ちながら平面に押し付けることで、引き伸ばし後の頂点座標を求める。全頂点について変形前後の座標が得られたら、変形前後で対応するメッシュ内の画像で射影変換を行い、紙面全体の歪み補正画像を生成する。

2.5 左右画像の合成

本研究では輻輳ステレオを用いて撮影するため、左右のカメラで紙面の写り方が異なり、紙面上の同じ部分でも一方では不鮮明

に、他方では鮮明に写ることがある．そこで左右画像の合成処理を行い、全域にわたって鮮明な画像を生成する．2.2 節で作成したメッシュモデルについて左右のカメラ視線と紙面法線との角度差を計算する．その角度差が小さい方が、より正面から撮影されているので鮮明なテクスチャが得られている．従って左右の角度差の大小が入れ替わる部分を合成領域の境界とする．左右画像の合成すべき領域内でテンプレートマッチングを行って大まかな位置合わせを行った後、微小な移動とせん断変形を組み合わせるサブピクセルのマッチングを行う．

3 実験

実験は図 4 に示す環境で行った．テーブルに開いた書籍を置き、上方から 2 台のデジタル一眼レフカメラによって紙面を撮影した．光源には面光源（スタンドライト）を用いた．カメラ間の距離は約 20 cm，テーブルとカメラとの距離は約 40 cm である．



図 4: 実験環境

画像サイズは左右それぞれ 4256 × 2832 ピクセルである．テンプレートマッチングを行うときのテンプレートサイズは 100 × 100 ピクセルとし、正規相互相関係数の閾値は 0.90 とした．また、処理に用いたコンピュータの CPU は Core 2 Duo 3.0GHz、メモリは 4GB である．

次に実際の処理結果を示す．形状歪みの補正結果を図 5 に、3 次元形状の推定結果を図 6 に、陰影分布の推定結果（推定した反射光強度をグレースケールで表現したもの）を図 7 に、左右画像の合成結果を図 8 に、最終的な補正結果を図 9 に示す．

形状補正の精度は、20 mm 間隔の格子模様を印刷した書籍に補正処理を施し、その寸法を測ることで評価した．本手法で補正した後の格子間隔の平均値は 19.7 mm，標準偏差は 0.72 mm，文献 [2] での平均値は 19.7 mm，標準偏差は 1.08 mm であった．また、A.I.Soft 社の OCR ソフト「読ん de!! ココ ver.13」を用いて文字認識率の評価も行った．補正前には 59.7% だった認識率が、本手法では 98.7%，文献 [2] では 98.9% となった．最後に、各処理に要した時間を表 1 に示す．

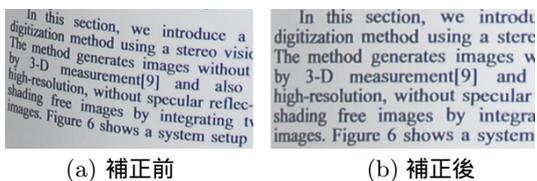


図 5: 形状歪みの補正結果

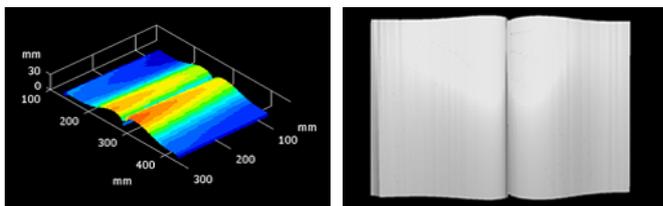


図 6: 形状の推定結果

図 7: 陰影分布の推定結果

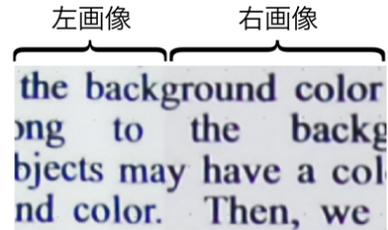


図 8: 左右画像の合成結果



図 9: 統合処理結果

表 1: 文字認識率の評価

	手法 [sec]	文献 [2] [sec]
形状歪みの補正	2	25
陰影の補正	2	150
左右画像の合成	2	5
計	6	180

形状補正の精度や文字認識率は文献 [2] と同程度を保ちながら、すべての処理を 10 秒以下という短い時間で実行できた．ただし縦じ目付近の陰影補正が正確にできておらず、明度が不自然になっている．これは、陰影を推定する際に縦じ目の相互反射を考慮していないためであると思われる．

4 結言

書籍画像の形状歪みと陰影を高速に補正する手法を提案した．今後の課題として、ステレオ計測によって正確な 3 次元形状を取得することや、相互反射等を考慮してより正確な陰影分布を推定することが挙げられる．

参考文献

- [1] 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 (I) - 近接光源下での Shape from Shading -”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J77-D-II, No.6, pp. 1059-1067, 1994.
- [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文書画像の歪み補正”, 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, 2007.
- [3] Masaaki Kashimura, Toshifumi Nakajima, Norikazu Onda, Hideo Saito, Shinji Ozawa: “Practical introduction of image processing technology to digital archiving of rare books”, Proceedings of International Conference on Signal Processing Application Technology, pp. 1025-1029, 1998.