

ステレオカメラで取得した歪曲形状書籍画像の歪み・陰影補正

鈴木 優輔[†] 田中 友[†] 山下 淳[†] 金子 透[†]

[†] 静岡大学工学部機械工学科 〒432-8561 静岡県浜松市城北 3-5-1

E-mail: [†] { f0630042, r5545008, tayamas, tmtkane }@ipc.shizuoka.ac.jp

あらまし 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、高精細な書籍画像を得る手法を提案する。対象が厚みのある書籍の場合、紙面の曲面形状が原因で、書籍画像に歪みや陰影が生じることがある。そこで、ステレオ計測により書籍形状を計測・復元し、湾曲部の歪み補正を行う。また、計測結果からカメラと紙面との位置関係を考慮し、2枚の画像のうち高精細に見える画像を場所毎に判断して、高精細に見える部分同士での合成を行う。本研究では更に、書籍表面での光の反射を考慮した書籍画像の陰影補正を行う。実験結果より、提案手法の有効性が確認された。

キーワード 書籍画像, ステレオカメラ, 歪み補正, 陰影補正, 画像合成

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、画像取り込み装置に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を行うことは好ましくない[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3次元形状を復元し、陰影や歪み等を補正する手法が提案されている[2]。これはスキャナだけを用いる簡便な手法ではあるが、照明条件や書籍表面の反射特性等、多数の基準データを準備しておく必要がある。

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[3]。

[2]と同様にShape from Shadingを用いる手法として、[4]の手法がある。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。

上記の方法に対し、書籍形状を小型のレーザレンジファインダを用いて直接的に計測する手法が提案されている[5]。この手法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という利点を有するが、レーザとカメラという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、撮影した画像と計測した形状の対応関係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[6]。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[7]。この手法ではステレオ計測により書籍形状を計測・復元し、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という問題がある。また、陰影の考慮等、[6]と同様の問題点も残っている。

上記の様に多くの書籍画像処理手法が存在するが、本研究では、2台のカメラにより多くの画像情報を得ることができるというメリットに着目し、ステレオ計測を用いることとする(図1)。

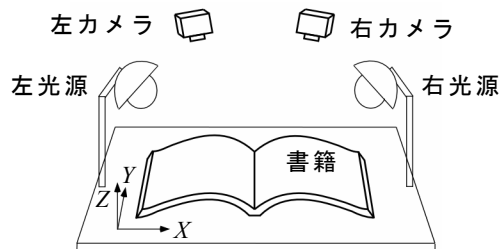


図1 装置の概略

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。

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、書籍配置面をX-Y平面とし、書籍高さ方向を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。光は照明光のみを考え、撮影環境を工夫して環境光がない条件下で撮影を行う。また、相互反射光については考慮しないものとする。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。

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、鏡面反射領域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。

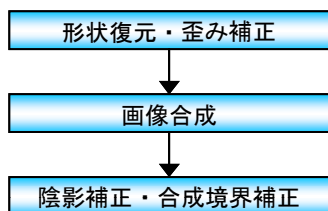


図2 処理の流れ

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、あらかじめ変曲部を検出しておく必要がある。

変曲部は、ステレオ計測結果から紙面の傾きの変化を調べて検出する。変曲部では傾きの変化が他と比べて大きくなるため、そこ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書籍形状を基に、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。

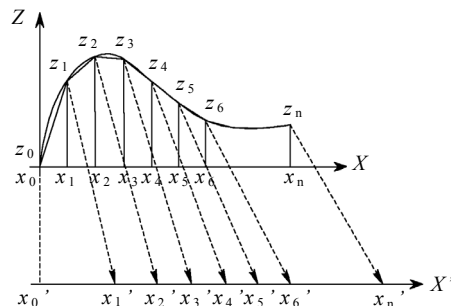


図3 引き伸ばしによる歪み補正

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を計算して、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)。

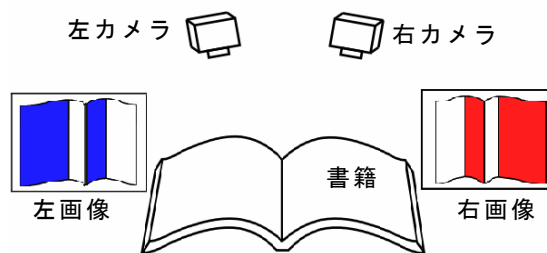


図4 ステレオ画像の組み合わせ

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、鏡面反射の検出処理を行う。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で鏡面反射領域を補完する。

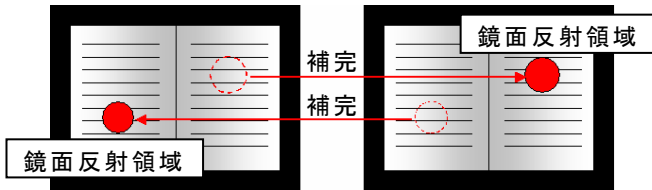
紙面上の点 $P(x,y,z)$ から鏡面反射方向へ向かうベクトルを \mathbf{R} 、視線方向へ向かうベクトルを \mathbf{V} とする。また、 \mathbf{R} と \mathbf{V} のなす角度を ψ とする。このとき、Phongの反射モデルにより、点 P における鏡面反射光のうち \mathbf{R} 方向から角度 ψ をなす方向への鏡面反射光強度 $I_h(x,y,z)$ は、(1)式で表すことができる。

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

上式において、 $I_{in}(x,y,z)$ 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 \mathbf{R} 、 \mathbf{V} を計算し、角度 ψ を算出して $\psi < \psi_0$ 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は、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

書籍は場所により光の当たり具合が異なるため、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。

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

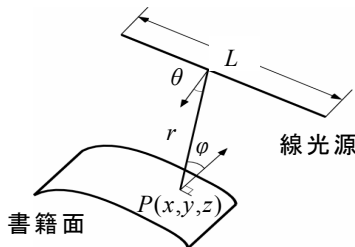


図6 反射光のモデル

(2)式において k_d は紙面の拡散反射率、 I_q は線光源の

単位長さ当たりの光度、 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および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。

(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。次に、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。

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

(4)式において、 $w[\text{pixel}]$ は合成境界から重なり領域の端までの幅である。また、 $x[\text{pixel}]$ は注目画素から合成境界までの距離である。

6. 実験

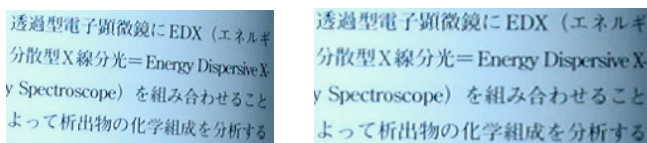
市販のデジタルカメラを用い、書籍のステレオ画像を取得した(図7, 1936×1296pixels)。ステレオ計測結果および歪み補正結果を図8, 9に示す。紙面形状を正確に計測し、更に曲面上の歪んだ文字列を直線状に補正することができている。



(a) 左画像 (b) 右画像
図7 書籍ステレオ画像

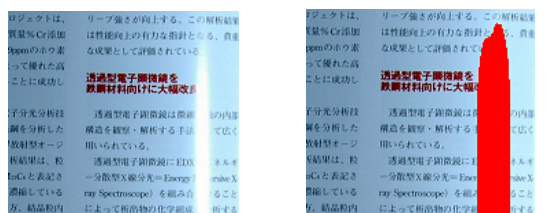


図8 ステレオ計測結果



(a) 補正前 (b) 補正後
図9 歪み補正結果

また、画像合成により高精細画像の作成および鏡面反射領域の補完を行った。例として、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10に示す。(a)が原画像、(b)が鏡面反射検出結果、(c)が補完結果である。補完結果(c)に対し、更に陰影補正や合成境界補正を施すことにより、合成境界における明るさ・色合いの不一致が解消され、(d)のような違和感の無い合成画像を得ることができる。



(a) 原画像 (b) 鏡面反射検出結果
(c) 補完結果 (d) 陰影・境界補正結果
図10 鏡面反射補完および陰影・境界補正結果

最終結果を図11に示す。原画像である図7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。



図11 合成・陰影補正結果

7. おわりに

本研究では、ステレオ計測結果から書籍画像の歪みを補正し、更に画像合成により高精細画像や鏡面反射領域補完画像を作成する手法を提案した。また、光の反射を考慮して紙面の陰影補正を行う手法を提案した。今後の課題としては、環境光の考慮、縦じ目付近における相互反射問題の解決等が挙げられる。

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] 樫村雅章: “歴史的に貴重な本のデジタルアーカイブ”, O plus E, Vol.27, No.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)ー相互反射を考慮した近接光源下のShape from Shadingー”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J78-D-II, No.2, pp.311-320, 1995.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.