ステレオカメラで取得した書籍画像の歪み・陰影補正

鈴木 優輔 † 田中 友 † 山下 淳 † 金子 透 †

↑静岡大学工学部 〒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 枚の画像のどちらを用いればより高精細に見えるかを場所毎に判断して、高精細に見える部分同士の合成を行う。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

Correction of Distorted Document Images Using a Stereo Camera Pair

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

† Faculty of Engineering, Shizuoka University 3-5-1 Jyohoku, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 432-8561 Japan E-mail: † {f0630042, r5545008,tayamas,tmtkane}@ipc.shizuoka.ac.jp

Abstract In this paper, we propose a new method for correcting distorted document images using a stereo camera pair to obtain refined images. If an object is a thick book, geometric and intensity distortion may occur in the document image because of its curved surfaces. The proposed method measures the shape of the document surfaces by stereo measurement to correct geometrical distortion in the image. From the measurement result, the method estimates finer image to make a high-resolution image from the stereo image pair. Moreover, the method corrects intensity distortion by analyzing lighting and reflecting conditions. The validity of the proposed method was shown through experiments.

Keyword Document Image, Stereo Camera, Distortion Correction, Image Composition

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].

Shape from Shading により書籍形状を復元して歪み等を補正する手法において、カメラを用いた手法も提案されている[4].この手法では書籍を見開いた状態で配置し、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、歪み補正には陰影情報を用いるため、照明条件や反射特性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][7]. これらの手法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、[6]の手法は陰影の考慮や補正画像中の欠損部の補間等,解決すべき問題が残っており、[7]の手法はモデル化する円柱の母線が画像面に平行でなくてはならないという拘束条件を持つ.

これら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・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、本研究ではステレオ計測の、1 台のカメラのみを用いる手法に比べて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。ステレオ計測により書籍形状を取得し、画像係を考慮し、2 枚の画像のどちらを用いればよりの高精細に見えるかを場所毎に判断して、高精細に見えるのも成を行う。更に、紙面に競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、鏡面反射を陰心にあって変化させた複数画像を合成し、鏡面反射を陰心に直像の陰影補正を行い、ステレオ画像間で画像の時を発慮の陰影補正を行い、ステレオ画像間で画像の時間を解決する・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.



見開いた状態の書籍上方にステレオカメラを配置し、左右に光源を配置する.また、座標系は図 1 に示すように、書籍を配置する面を X-Y 平面とし、書籍の

高さ方向を Z軸とする.

本システムを用いると、撮影者は1ページ撮影する 毎にページをめくるだけでよく、撮影の度に書籍を配 置し直す手間が軽減される.

本研究においては、カメラおよび照明光の位置関係は既知であるとする.光は照明光のみを考え、実験装置・環境を工夫することにより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.紙面の反射率等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.まず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.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

ステレオ計測により書籍形状を計測する. その後, 計測結果を基に書籍形状を復元し,復元した形状に基 づいて歪み補正を行う.

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。

ステレオ計測の際には左右画像の対応点を検出する必要がある.本研究では書籍を対象としており、書籍画像には陰影が生じることが多いため、明るさの変化に強いとされる正規化相互相関によるテンプレートマッチングを用いて対応点検出を行う.

3.2. 形状復元

ステレオ計測により求めた3次元形状に基づいて書籍形状を復元する.本研究では表現度の高い NURBS 曲面により書籍形状を近似し、書籍表面形状の正確な

復元を行う.しかし、綴じ目や折れ目といった変曲部では滑らかな曲面にはならないため、あらかじめ変曲部を検出しておく必要がある.変曲部は対象表面の傾きの変化を調べることで検出する.

3.2.1. 変局部の検出

変曲部では、図 3 に示すように傾きの変化 θ の絶対値が大きくなる. そこで、書籍表面の傾きの変化 θ を算出し、 θ の絶対値が大きい部分を変曲部とする.

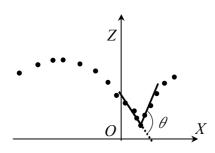


図3 変曲部の検出

画像上の位置(u,v)での 3 次元座標値が(x,y,z)であったとする.この時、書籍表面の傾きの変化 θ は、(u,v)の近傍の 2 点(u',v)、(u'',v)の 3 次元座標値(x',y',z')、(x'',y',z'')から(1)式を用いて算出できる.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{z' - z}{x' - x} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{z - z''}{x - x''} \right)$$
 (1)

 $zzv_x''< x< x'v_b$.

変曲部の検出後、書籍の綴じ目を検出する。 θ が正となる変曲部は綴じ目である可能性がある。そこで、 θ が正となる変曲部の点群を 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。Hough 変換を用いることで、綴じ目以外の点が検出結果に与える影響を抑えることができる。

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,制御点は対応点の 3 次元座標値をもとに決定する.まず,X-Y 平面上に格子状の領域を作成する.各格子領域において,格子内に存在する書籍表面の Z 座標値の平均値を算出し,これを,その格子における Z 座標値とする.各格子の X, Y 座標値は,格子の中心の座標値を用いる.そして,各格子で算出された X, Y, Z 座標値を制御点とする.制御点の重みは,変曲部を格子内に含む制御点では 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. その為, ノットベクトルの両端に多重ノットを用いる. NURBS 曲面は B スプライン基底関数で表現することができる.

3.3. 歪み補正

NURBS 曲面により復元した書籍形状を基に、書籍画像の歪みを補正する. 本研究では NURBS 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.

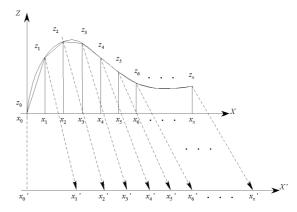


図 4 引き伸ばしによる歪み補正

図 4 に示すように、書籍の綴じ目方向に垂直な断面を考える。曲面上の点の座標値を (x_i, z_i) 、 (x_{i+1}, z_{i+1}) とすれば、i、i+1 間の曲面上の長さ L_i は、(2)式で求まる。

$$L_{i} = \sqrt{(z_{i+1} - z_{i})^{2} + (x_{i+1} - x_{i})^{2}}$$
 (2)

また、引き伸ばす前の位置が x_i である点の引き伸ばし後の位置 x_i 'は、(3)式により求めることができる.

$$x_{i}' = \sum_{j=0}^{i-1} \sqrt{(z_{j+1} - z_{j})^{2} + (x_{j+1} - x_{j})^{2}}$$
 (3)

位置 x_i 'に引き伸ばす前の取得画像の画素値を当てはめることで、引き伸ばした画像を得る. この処理を綴じ目方向全ての断面について行うことで、歪みが補正された補正画像を生成することができる.

4. 画像合成

カメラと紙面の位置関係を考慮し、ステレオ画像を 組み合わせた高精細な合成画像を作成する.また、鏡 面反射の検出を行い、鏡面反射が存在する場合には、 照明方向を変化させた複数画像の合成により補間する.

4.1. 高精細合成画像の作成

本研究では輻輳ステレオにより撮影を行うため、カメラと紙面の位置関係によって、左右カメラのどちらがより高精細なテクスチャを得られるかが変化する. そこで、復元した書籍形状から紙面法線方向を算出して、カメラの視線と紙面の法線との角度差を計算し、角度差が小さい方のカメラ画像を選択して組み合わせ ることにより、高精細な合成画像を作成する(図5).

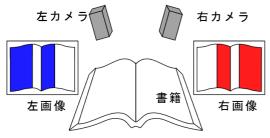


図 5 ステレオ画像の組み合わせ

4.2. 鏡面反射の補間

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。そこで,以下の手法により鏡面反射領域の検出を行い,鏡面反射が存在する場合には,照明方向を変化させた画像の合成により鏡面反射を除去する.

鏡面反射の概念図を図6に示す、鏡面反射の反射方向ベクトルを \mathbf{R} とする、視線方向ベクトルを \mathbf{V} とする、また、 \mathbf{R} と \mathbf{V} のなす角度を \mathbf{w} とする。

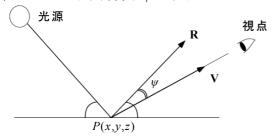


図 6 鏡面反射の概念図

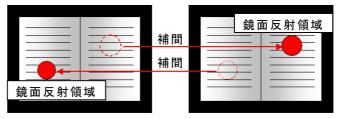
Phong の反射モデルにより、点 P(x,y,z)における鏡面 反射光のうち \mathbf{R} 方向から角度 ψ をなす方向への鏡面反射光強度 $I_h(x,y,z)$ は、(4)式で表すことができる.

$$I_h(x, y, z) = I_{in}(x, y, z) \cdot k_s \cdot \cos^n \psi \tag{4}$$

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。

Phong の反射モデルでは、角度 ψ が大きくなるにつれて鏡面反射光強度が減少する。そこである閾値角度 ψ_0 を定め、 $\psi<\psi_0$ となる領域を、鏡面反射光強度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,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間する.例えば図7のように,左光源のみを点灯させた状態の左画像と右光源のみを点灯させた状態の左画像を利用して,鏡面反射領域を補間した左画像を得ることができる.



(a) 左画像(左のみ点灯) (b) 左画像(右のみ点灯) 図 7 鏡面反射領域の補間

5. 陰影補正 · 合成境界補正

光の反射特性に基づき,書籍画像の陰影補正を行う. 更に,画像合成時に合成境界の明るさ・色合い補正を 行い,境界における色合いの不一致を補正する.

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 8)、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、(5)式で表される.

$$I(x, y, z) = k_d I_q \int_0^L \frac{\cos \theta}{r^2} \cos \phi \ dl$$
 (5)

上式において 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, (5)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.

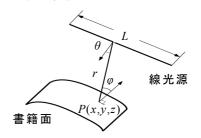


図 8 反射光のモデル

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 9)、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.

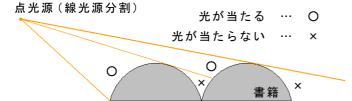


図 9 光線方向の書籍断面による影の判定

影領域を考慮しつつ、(5)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

陰影補正のみによって合成境界の違和感をなくすことができれば良いが、例えば光の強度に対する左右カメラの感度の個差等が原因で、反射特性を考慮した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.

(a) 左画像 (b) 石画像 図 10 左右画像の重なり領域

境界補正には、左右画像で同じものが写っている領域(以降、重なり領域と呼ぶ)の色情報を用いる.図10の例では、矩形枠内が重なり領域である.この重なり領域の明るさ・色合いを一致させる必要がある.

補正は重なり領域の各画素の赤、緑、青成分毎に考える。まず、左右画像の重なり領域内において、赤、緑、青各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。

合成境界の補正を更に細かく行うために、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、(6)式のように左右の画素値のブレンド値とする.

$$C_k(i,j) = s \times C_{l,k}(i,j) + (1-s) \times C_{r,k}(i,j)$$
 (6)

s は左右画像のブレンド割合であり、本研究では(7) 式で与えることとする.

$$s(x) = \frac{1}{4}w^3x^3 - \frac{3}{4}wx + \frac{1}{2}$$
 (7)

(7)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 $0 < x \le w$ 、左画像側の重なり領域では $-w \le x < 0$ の間の値をとる. 重なり領域内では、(7)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11, 2048×1536pixels).





(a) 左画像

(b) 右画像

図 11 書籍ステレオ画像

ステレオ計測結果および歪み補正結果を図 12, 13 に示す. 紙面形状を正確に計測し, 更に紙面を平面に引き伸ばすことにより, 曲面上の歪んだ文字列が直線状に補正されている.



図 12 ステレオ計測結果





(a) 補正前

(b) 補正後

図 13 歪み補正結果

また,画像合成により低解像度領域および鏡面反射 領域の補間を行った.例として,鏡面反射検出結果お よび鏡面反射領域補間結果の一部を図 14 に示す.

図 14(a)が原画像,図 14(b)が鏡面反射領域検出結果である.検出した鏡面反射領域を照明方向変化画像と合成して補間することで,図 14(c)の補間結果が得られる.図 14(c)では陰影補正や合成境界補正が行われてい

ないため、画像合成時の明るさ・色合いの不一致が問題となるが、陰影補正や合成境界補正を施すことにより明るさ・色合いの不一致が解消され、違和感のない合成画像を得ることができる(図 14(d)).



(a) 原画像



(b) 鏡面反射検出結果



(c) 補間結果



(d) 陰影·境界補正結果

図 14 鏡面反射補間および陰影・境界補正結果

最終結果を図 15 に示す. (a)の原画像に対し各処理を施した結果, (b)の画像が得られる. 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.



(a) 補正前



(b) 補正後

図 15 合成・陰影補正結果

以上の実験結果から、書籍画像に対し歪み補正、画像合成、陰影補正といった各種の処理が有効に働くことが確認できた.ステレオ画像と照明方向変化画像を基に、歪み・陰影を補正し更に鏡面反射を除去した 1枚の高精細な書籍画像を得ることが可能である.

7. むすび

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。図書館が所蔵する分厚い書籍のディジタル アーカイブ化等に本手法を応用することが可能である。

今後の課題としては、環境光の考慮、綴じ目付近に おける相互反射問題の解決、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] 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.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] 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] Huaigu Cao, Xiaoqing Ding and Changsong Liu: "A Cylindrical Surface Model to Rectify the Bound Document Image", Proceedings of 9th IEEE International Conference on Computer Vision, pp.228-233, 2003.
- [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.