

ステレオ視による光の反射特性を考慮した書籍画像の合成

鈴木 優輔 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

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。対象が見開いた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。

Composition of Document Images Using a Stereo Camera Pair by Analyzing Lighting and Reflecting Conditions

Yusuke SUZUKI Atsushi YAMASHITA Toru KANEKO

Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University
3-5-1 Johoku, Hamamatsu-shi, Shizuoka 432-8561, Japan

Abstract In this paper, we propose a new method for correcting distorted document images using a stereo camera pair to obtain clear images. If an object is a thick book, geometric and photometric distortion may occur in image capturing because of its curved surfaces. The proposed method measures the shape of the documents by stereo measurement to correct geometrical distortion in the image. From the measurement result, the method estimates which image to use 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.

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。また、相互反射の考慮に関するアルゴリズムの計算コストが大きいという問題もある。これに対し、[2]と同様にスキャナを用いる手法で、陰影からの形状復元を短時間で行う手法が提案されている[3]。この手法では短時間で書籍画像の歪みや陰影を補正することができるが、本の綴じ目をスキャナ内部の光源に平行に配置しなくてはならないと

いう制限がある。また、紙面で鏡面反射が生じない、ページ中には白色の余白領域が必ず存在する等、対象をごく一般的な書籍に限定する条件が含まれており、カラーのカタログ等、上の条件に当てはまらない書籍を対象とすることができない。

上に挙げたようなスキャナを用いる手法だけでなく、最近では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]。

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[5]。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。スキャナとは異な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[6]。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[7][8]。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、[7]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、[8]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[9]。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、[7]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、書籍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枚の画像の内、どちらの画像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。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することにより、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。

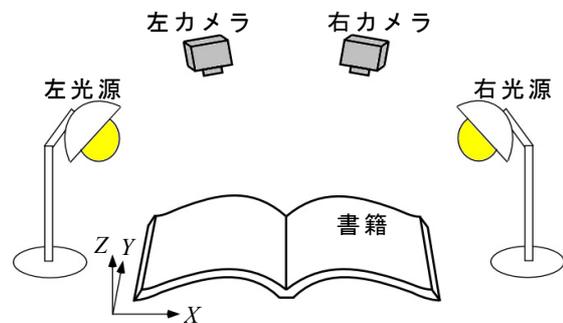


図1 装置の概略

見開いた状態の書籍上方にステレオカメラを配置し、書籍を撮影する。光源は左右に配置されている。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。更に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、書籍形状を考慮した書籍画像の歪み補正を行う。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。

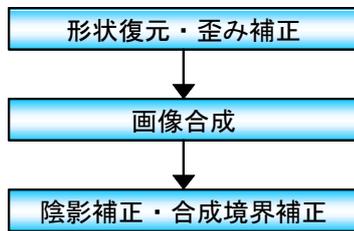


図2 処理の流れ

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. 変曲部の検出

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、書籍表面の各場所毎に傾きの変化 θ を算出し、 θ の絶対値が大きい部分を変曲部とする。

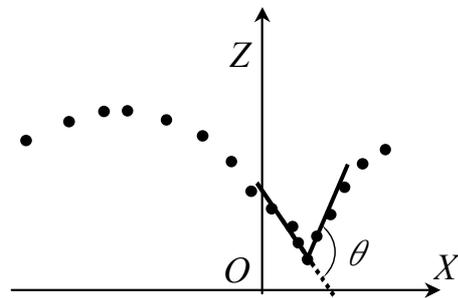


図3 変曲部の検出

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。

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

ここで $x'' < x < x'$ である。

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、制御点是对応点の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。

$$L_i = \sqrt{(z_{i+1} - z_i)^2 + (x_{i+1} - x_i)^2} \quad (2)$$

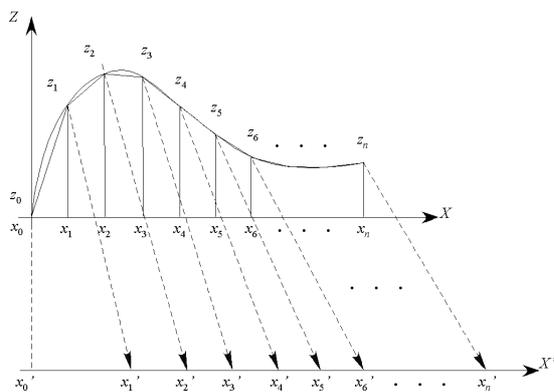


図4 引き伸ばしによる歪み補正

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。

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

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、カメラと紙面との位置関係によって、左右カメラのどちらの画像を用いると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)。

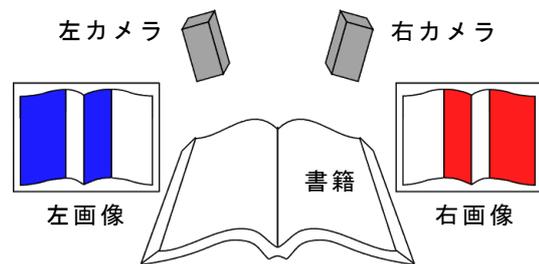


図5 ステレオ画像の組み合わせ

4.2. 鏡面反射の補間

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} 、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 ψ とする。

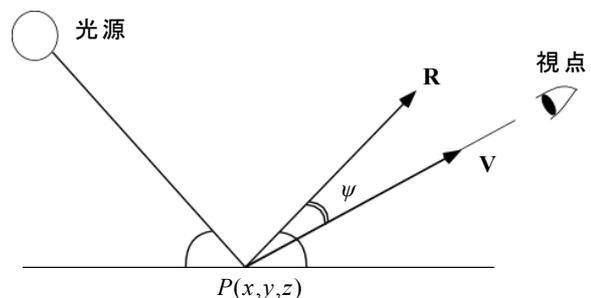


図6 鏡面反射の概念図

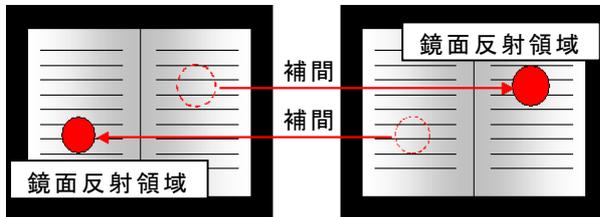
Phong の反射モデルにより、点 $P(x,y,z)$ における鏡面反射光のうち \mathbf{R} 方向から角度 ψ をなす方向への鏡面反射光強度 $I_h(x,y,z)$ は、(4)式で表すことができる。

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

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) 左光源のみ点灯 (b) 右光源のみ点灯
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。

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

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。

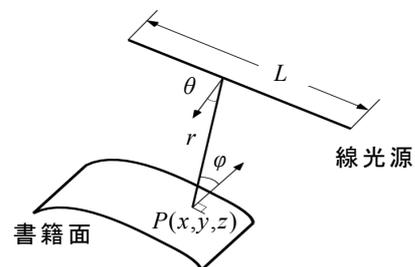


図 8 反射光のモデル

また、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。

ここでは説明を簡潔にするために光源を点光源とする。線・面光源を用いる場合は、各光源を点光源の集合とし、点光源の場合の手法を光源上の全ての位置で繰り返し計算することによって対応する。

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。

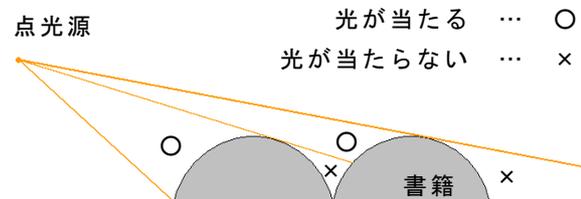


図 9 光線方向の書籍断面による影の判定

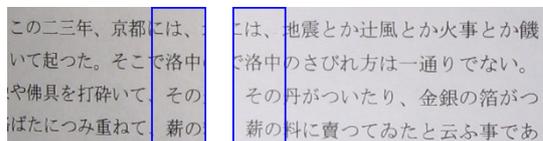
影領域を考慮しつつ、(5)式を用いて書籍面における反射光強度を求め、陰影補正を行う。まず、書籍画像の各画素 (i, j) 毎に反射光強度

$I(x,y,z)$ を計算する. (i, j) と (x, y, z) の対応関係は, ステレオ計測の際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, 書籍中で反射光強度が小さい場所, すなわち陰影部分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.

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.



(a) 左画像 (b) 右画像

図 10 左右画像の重なり領域

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.

合成境界における明るさ・色合い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.

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

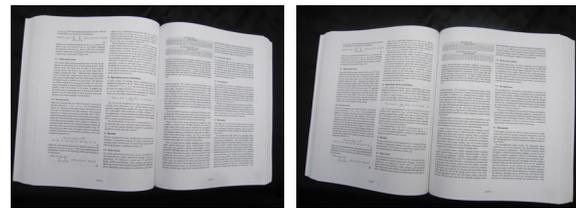
s は左右画像のブレンド割合であり, 本研究では(7)式で与えることとする.

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

(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 $x=0$, 右側の重なり領域では $0 < x \leq w$, 左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, (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て書籍のステレオ画像を取得した. 取得した左右画像を図 11 に示す. 画素数は左右とも 2048×1536 pixels である.



(a) 左画像 (b) 右画像

図 11 書籍のステレオ画像

対象書籍のステレオ計測結果を図 12 に示す. 図 12 は, ステレオ計測により 3 次元座標が求められた点を描画した点群データである. 余白部等, ステレオ計測により 3 次元座標を求められない部分の形状データが抜け落ちてしまっているが, 全体的には書籍の紙面形状を正確に計測することができている.



図 12 ステレオ計測結果

次に、計測した書籍形状に基づいて書籍画像の歪み補正を行った。補正結果を図 13 に示す。曲面形状の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を直線状に補正することができる。

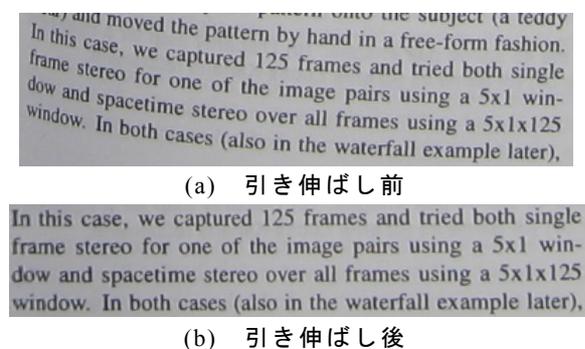


図 13 歪み補正結果

歪み補正後、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した。綴じ目付近の文字は歪みが著しく、引き伸ばすだけで歪みを完全に補正することは難しいが（図 14(a)）、ステレオ画像の組み合わせにより歪みが大きい場所を補間し合うことで、高精細な画像を得ることができる（図 14(b)）。

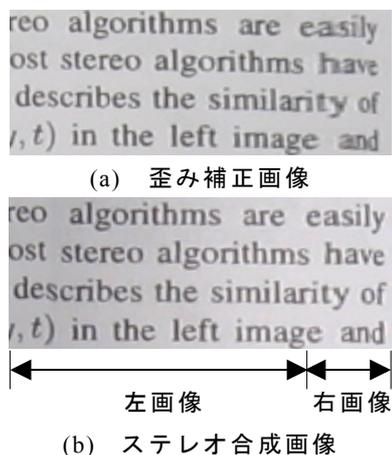


図 14 ステレオ画像の組み合わせ

歪み補正のみの画像（図 14(a)）とステレオ組み合わせ画像（図 14(b)）に対して OCR による文字認識を行った。結果を表 1 に示す。表 1 において、総文字数は画像中の文字数を人間が数えた数であり、認識文字数は OCR により正確に読み取ることできた文字の数である。認識率

は、認識文字数を総文字数で除することにより求めたものである。ステレオ画像の組み合わせにより認識率の高い画像が得られることが表 1 から読み取れる。

表 1 画像組み合わせによる認識率の向上

	総文字数	認識文字数	認識率[%]
図 14(a)	88	67	76.1
図 14(b)	88	80	90.9

また、照明方向を変化させた複数画像（図 15）を用いて鏡面反射領域の補間を行った。鏡面反射領域検出結果および鏡面反射領域補間結果を図 16 に示す。図 16(a)中央付近の帯状領域が検出した鏡面反射領域であり、この領域をもう一方の画像を用いて補間することにより図 16(b)の補間画像が得られる。この段階では明るさ・色合い補正が行われていないため合成境界に違和感があるが、以降に示す陰影補正・合成境界補正を行うことにより、違和感のない合成画像を得ることができる。

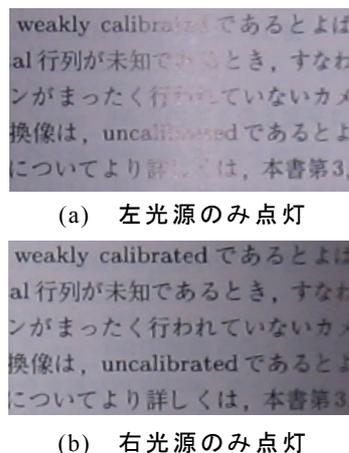


図 15 照明方向を変化させた複数画像

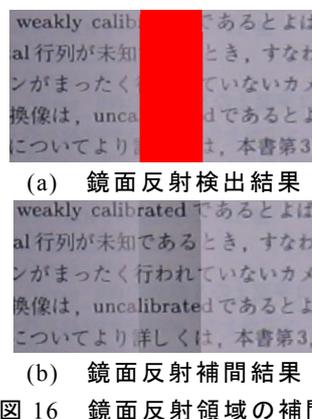
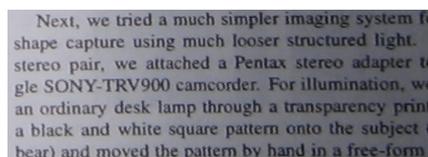
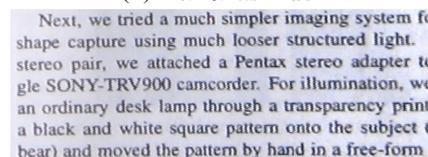


図 16 鏡面反射領域の補間

次に、左右の光源のうち左側のみを点灯させた状態で撮影した陰影画像に対し、陰影補正を行った。結果を図 17 に示す。(a)は補正前の陰影がある状態の画像、(b)は陰影補正画像である。陰影補正により画像全体を均一な明るさに補正することができている。



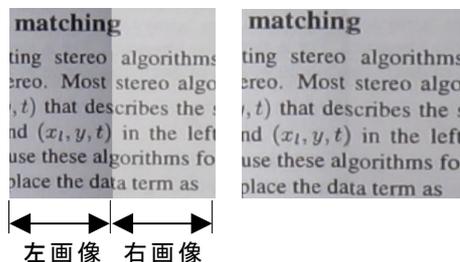
(a) 陰影補正前



(b) 陰影補正後

図 17 陰影補正結果

また、境界補正の実験結果を図 18 に示す。単純に繋ぎ合わせただけでは合成境界における明るさの不一致が目立つが、補正を行うことにより違和感のない合成画像を得ることができる。



(a) 境界補正前 (b) 境界補正後

図 18 合成時の明るさ・色合い補正結果

以上の実験結果から、書籍画像に対し、歪み補正、低解像度領域および鏡面反射領域の補間、陰影補正、合成境界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。これらの処理を統合することにより、ステレオカメラで撮影した書籍画像を基に、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となる。

7. むすび

本研究では、ステレオ計測により書籍形状を計測・復元して書籍画像の歪み補正を行い、更

にステレオ画像の組み合わせ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する手法を提案した。

今後の課題として、現在は無視している環境光・相互反射光を考慮すること等が挙げられる。

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] 櫻村雅章: “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] Zheng Zhang, Chew Lim Tan, Liying Fan: “Estimation of 3D Shape of Warped Document Surface for Image Restoration”, Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, Vol.1, pp.486-489, 2004.
- [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] 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.
- [9] 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.