

HMDを用いた形状可変物体表面への テクスチャ重畳表示システム

江森 基倫^{*1} 齋藤 英雄^{*1}

Texture Overlay onto Deformable Surface Using HMD

Mototsugu Emori^{*1} and Hideo Saito^{*1}

Abstract – Digital archiving of cultural heritages has recently been broadening in the way of using them. However such digital contents are only shown in display, and cannot be touched. In this paper, we propose a system that displays textures of the digital contents on real objects via video-see-through HMD, so that we can touch the digital archives in the real world. The textures are deformed by an appropriate geometric transformation, and overlaid onto the deformable surface of the object in real time. For demonstrating the effectiveness of the proposed system, we develop a system that displays digitally scanned images of rare books on paper surface on blank books.

Keywords : Augmented Reality, Texture Overlay, Deformable Surface, Geometric Transformation, HMD

1 はじめに

最近、稀覯書や仏像、彫刻などの文化遺産をデジタル化し、文化の保存や、新たな利用法の開発に役立てようというプロジェクトがある [1, 2, 3]。例えば、これらのコンテンツのデータベースをネットワークと結びつけることで、オンラインで文化遺産の閲覧ができる。これらのコンテンツの閲覧には一般に、CRT や LCD ディスプレイが用いられるが、これらのディスプレイは2次元画像を表示することができるだけであり、元の文化遺産のリアリティは失われてしまう。文化遺産は容易に目にすることができず、また、決して触れることができないため、もし文化遺産に見て触れることのできるシステムを構築できれば、これらのコンテンツの利用範囲を広げ、研究価値を高めることができる。本論文では特に、稀覯書のデジタルコンテンツを、現実の本のページ面に HMD を用いて重畳表示することによって、実際に手で触りながら観察することができるシステムを構築する。

仮想世界と現実世界を重ね合わせて提示する技術は拡張現実感 (AR) と呼ばれ、様々なインタフェースを提供する [4, 5, 6]。拡張現実感に置ける情報提示デバイスとして、通常のディスプレイの他に、ヘッドマウンティッドディスプレイ (HMD) や [7, 8]、プロジェクタ [9, 10, 11] などがある。HMD は拡張表示のため、最もよく用いられるデバイスである。拡張表

現のためのインタフェースの1つとして本を用いる研究には、Billinghamurst らが提案した MagicBook [12] や、Robinson らが提案した、LivePaper System [13] がある。MagicBook は、本に書かれたパターンに対応する仮想物体をその上に重畳表示するものであり、LivePaper System は、プロジェクタを用いて、テクスチャを紙の表面に投影するものである。しかし、これらの研究は、本や紙を平面であると仮定しており、紙が変形する場合は想定されていない。そこで本論文では、HMD を用いて、任意の変形可能な形状を持つ物体の表面にテクスチャをリアルタイムに重畳表示する手法を提案する。我々は、テクスチャとして稀覯書のデジタルコンテンツを、任意形状物体として本を用いることにより、仮想的に本を読むことができるシステムを構築する。

2 システム構成

図1に本システムの構成を示す。HMDを装着した観察者が、2次元マトリックスコードとマーカが印刷された本を見ている。2次元マトリックスコードは、その印刷されたページのページ番号と本のIDを表し、マーカはテクスチャを変形する行列を求めるために使われる。HMDには左目用と右目用の2つのCCDカメラが配置されており、そのディスプレイにはステレオ画像が表示されるため、観察者は現実世界をリアルに観察することができる。この左目と右目の2つのカメラによってキャプチャされた画像は、それぞれ1台のPCによって処理される。テクスチャのデータベー

^{*1}慶應義塾大学 理工学部 情報工学科

^{*1}Department of Information and Computer Science, Keio University

スはこのPC内に保持されている。ページに対応したテクスチャが、HMDのカメラによって撮影された画像上に重畳表示されて観察者に提示されるため、観察者はあたかも本物の本を読んでいるかのように感じることができる。

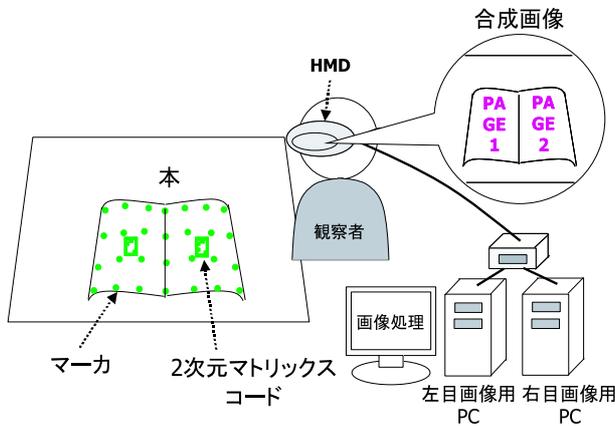


図1 システムの構成
Fig. 1 System configuration.

3 テクスチャ重畳表示の手法

テクスチャをHMDにキャプチャされた画像上に重畳表示する手法を示す。

1. 2次元マトリックスコードとマーカをHMD画像上で探索する。
2. 2次元マトリックスコードから、そのコードの印刷されたページのページ番号と本のID番号を知り、そのページに対応するテクスチャ画像を選択する。
3. マーカの、印刷されたページ上での配置を決定し、そのページと、対応するテクスチャ画像の間の変形行列を計算する。
4. 変形行列を用いてテクスチャを変形し、HMD画像上に重畳表示する。

本論文で、我々は本の表面は任意の変形可能な曲面であると仮定し、我々の提案する2つの曲面近似の手法に従って、2つのテクスチャ変形の手法を示す。1つは、曲面を非線形曲面であると仮定し、非線形幾何学的変換を使って、テクスチャを変形する手法である。もう1つは、曲面を複数の平面の集合であると仮定し、Homographyを複数回使って、テクスチャを変形する手法である。

手法の詳細を以下に示す。

3.1 2次元マトリックスコードの認識

適切なテクスチャを適切なページ上に重畳表示するためには、ページに対応するテクスチャを選択する必要がある。そこで、本論文では、本の各ページ上に、ページ数と本のID番号を表すコードをあらかじめ印刷しておく。

多くの情報を保持することのできるコードとして、2次元コードがよく用いられている。2次元コードには従来の1次元バーコードを積み上げた形の「スタック型2次元コード」と、2次元の格子型の配列となっている「マトリックス型2次元コード」の2つの種類があり、これまでに多くの規格が提案されている。

暦本は、この2次元バーコードをARに適用した2次元マトリックスコードを提案し、リアルタイムにオブジェクトの特定が可能なシステムを開発した[14]。我々は、この暦本らが提案した2次元マトリックスコードと同様の考え方の2次元マトリックスコードを実装し、これを用いて、本の各ページ上にあらかじめ印刷しておいたページ数と本のID番号を表すコードをシステムに自動認識させる手法を利用する。本論文で実装した2次元マトリックスコードではデータビットが14ビットのため、例えば1024ページ、16冊までを表現することができる。

3.1.1 コード仕様

図2に提案する2次元マトリックスコードを示す。また、コードの仕様を以下に示す。コードは後に2値化するため、2色からなればどのような色でも良いが、ここではコードは白黒(白が0、黒が1とする)の2色からなるものとして説明する。

- (1) コード枠に囲まれた、2色(白・黒)の 4×5 行列(20ビット、その割り当て方は(2)~(4))
- (2) コード枠当てはめのため、4ビット割り当てる。このビットは全て、白色にする。
- (3) コードの方向を特定するため、四隅の4ビットを割り当てる(内、2ビットはコード枠当てはめのビット)。この4ビットのうち、3ビットは白色、残り1ビットは黒色とする。
- (4) 残りの14ビットをデータビットとする。
- (5) 行列の四隅の近くにそれぞれマーカを配置する。

3.1.2 認識アルゴリズム

図3に、2次元マトリックスコードの認識の流れを示す。また、認識アルゴリズムを以下に示す。

1. HMD画像を2値化する。
2. 2値化画像をラベリングする。

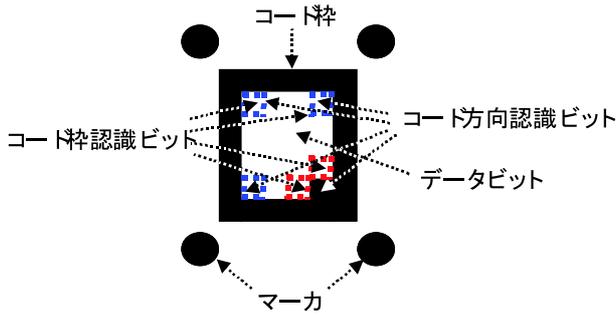


図2 2次元マトリックスコードのコード仕様
Fig.2 Code specification of 2D matrix code.

3. ラベリングされて得られた各連結領域の面積(ピクセル数)が、あらかじめ2次元マトリックスコードとマーカのそれぞれの面積を考慮して設定しておいた範囲に含まれているかどうかを判定し、2次元マトリックスコードとマーカの候補を選ぶ。
4. 2次元マトリックスコード領域の内部には、必ず値が0のピクセルが一定以上含まれることから、2次元マトリックスコード領域の候補として選択された領域内部に含まれる値0のピクセルの数をカウントし、その数が閾値以上ならば、その領域が2次元マトリックスコードであると認識する。そして、その領域から最も近くに存在する4つのマーカ候補をマーカとして認識する。
5. 4つのマーカに囲まれた領域が平面であると近似し、4つのマーカ位置から計算される Homography によって、4つのマーカに囲まれた領域を正方形領域に射影する。
6. 正方形領域の全ての境界ピクセルから、領域の内側に向かって値が1となるピクセルを探索すると、最初に見つかった値が1のピクセルが、コード枠の外枠上に存在すると考えられる。そこで、このように検出されたピクセル群に対して外接長方形を当てはめ、コード枠の外枠として認識する。
7. 上記と同様に、コード枠の外枠上から内側に向かって値0のピクセルを検出する。コード仕様に記述したように、コード枠の内枠に沿って値が0となる4つのビットが存在していることから、コード枠の外枠上から内側に向かって検出された値0のピクセル群に対して外接長方形を当てはめることによって、コード枠の内枠が認識される。
8. コードの内枠の4隅に1つだけ値が1となるよ

うに存在しているコード方向認識ビットから、コードの方向を知る。

9. コードの内枠と方向から、コードの行列の位置を特定し、データビットを抽出する。

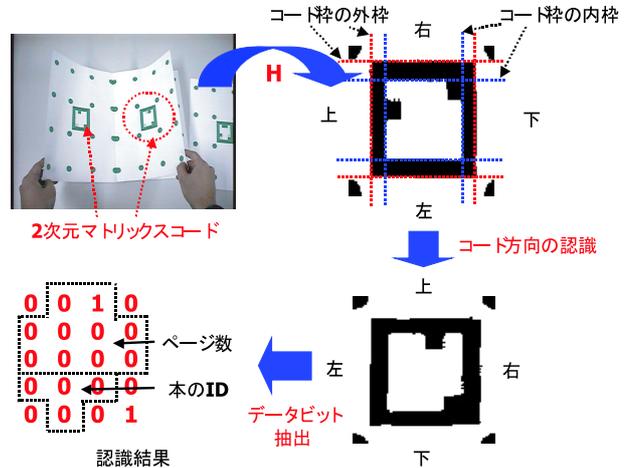


図3 コード認識の流れ
Fig.3 Flow of code recognition.

3.2 マーカの配置の決定

HMD 画像上に投影された任意の変形可能な物体表面上にテクスチャを重畳表示するためには、テクスチャを画像の幾何学的変換を用いて変形しなければならない。幾何学的変換を行う行列はHMD画像とテクスチャ画像との間の対応点の組を幾つか与えることによって求まる。そこで、あらかじめ決めておいたテクスチャ画像上の点に対応する本の表面上の位置にマーカを印刷し、HMD画像上でそのマーカの位置及び配置を知る必要がある。マーカの位置は3.1.2で求められているため、ここではマーカ配置の決定の流れを示す。

1. 2次元マトリックスコードとマーカとの位置関係から、図4のようにマーカを探索する範囲を決める。
2. それぞれの探索範囲内でマーカを探索し、その探索範囲に対応した配置番号をマーカに振る。
3. もし、1つの探索範囲内に2つ以上のマーカがあれば、本の見開きの中央線に最も近いマーカを選択する。

3.3 幾何学的変換

テクスチャを任意の曲面上に重畳表示するために、本論文では、テクスチャを画像の幾何学変換を用いて変形する。幾何学的変換は2次元画像を様々な形状の

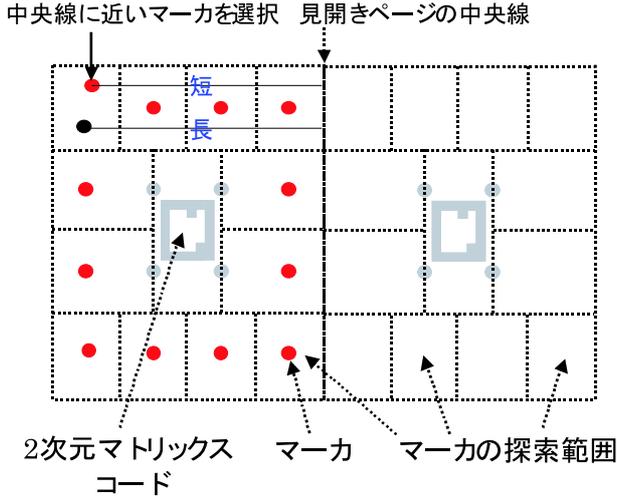


図4 マーカの探索範囲

Fig.4 Areas where each marker is searched for.

画像に変形する変換であり、一般的な幾何学的変換は、以下の式で与えられる。

$$\begin{aligned} x_2 &= \sum_i^N \sum_j^M a_{ij} x_1^i y_1^j \\ y_2 &= \sum_i^N \sum_j^M b_{ij} x_1^i y_1^j \end{aligned} \quad (1)$$

また、この式は行列を用いて、以下の式で表される。

$$\lambda \tilde{M}_2 = P \tilde{M}_1 \quad (2)$$

本論文では、テクスチャの変形に以下の式を用いる。

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix} \simeq \begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix} \simeq \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} & P_{15} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} & P_{25} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} & P_{35} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1^2 \\ y_1^2 \\ x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix} \simeq \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} & P_{15} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} & P_{25} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} & P_{35} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1^3 \\ y_1^3 \\ x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

式(3)で与えられる 3×3 の行列は Homography と呼ばれ、対応点の組を 4 つ以上与えることにより一意

に定めることができる。また、式(4)で与えられる 3×5 の行列を 2 次幾何学的変換行列と呼び、式(5)で与えられる 3×5 の行列を 3 次幾何学的変換行列と呼ぶことにする。これらは、対応点の組を 7 つ以上与えることによって、最小二乗法を用いたパラメータフィッティングによって一意に定めることができる。

3.4 テクスチャ変形の手法

テクスチャを HMD 画像上の任意形状物体表面に重畳表示するためには、テクスチャを物体表面の形状に合わせて変形しなければならない。物体の 3 次元的な変形は、物体の投影された画像上では 2 次元的な変形で置き換えられるため、物体表面はいくつかの曲面からなると仮定し、画像の幾何学的変換を用いてテクスチャを変形する。本論文では、曲面近似の手法を 2 つ提案し、それによって幾何学的変換を適用してテクスチャを変形する。1 つは、曲面は非線形曲面であると仮定し、非線形幾何学的変換を使用する手法であり、もう 1 つは、曲面は平面の集合であると仮定し、Homography を使用する手法である。非線形幾何学的変換の位置あわせ誤差を計算し、それが手動で設定した閾値よりも小さいときは非線形幾何学的変換を使った手法を、大きいときは Homography を使った手法を用いる。ここで、位置あわせ誤差とは、テクスチャ画像と HMD 画像間の対応点における、非線形幾何学的変換を使ったテクスチャ変形の際に生じる誤差の二乗和とする。また、閾値は実験結果から、より良いと思われるものを経験的に選択した。

3.4.1 非線形幾何学的変換を用いた変形

任意曲面を非線形曲面であると近似し、非線形幾何学的変換を用いてテクスチャを変形する。非線形幾何学的変換として、式(4)で与えられる 2 次幾何学的変換と、式(5)で与えられる 3 次幾何学的変換の 2 つを用いる。2 つの変換の位置あわせ誤差を計算し、誤差が小さいほうの非線形幾何学的変換を選択する。非線形幾何学的変換を使った手法は、対応点における誤差が大きくなりやすいが、テクスチャ画像全体を一括して変形するため、テクスチャが滑らかに変形され、見た目の違和感が小さい。

3.4.2 Homography を用いた変形

任意曲面を平面の集合であると仮定し、各平面を Homography によって変形する。本論文では、テクスチャ画像を 3×3 の長方形領域に分割し、同様に本の表面も 3×3 の長方形領域に分割する。そして、各平面を Homography によって変形することにより、テクスチャ画像全体を変形することができる。Homography を使った変形は変形する画像領域の四隅では誤差が生じないため、曲面のゆがみに対して位置あわせ誤差をほぼ一定におさえることができる。しかし、全体とし

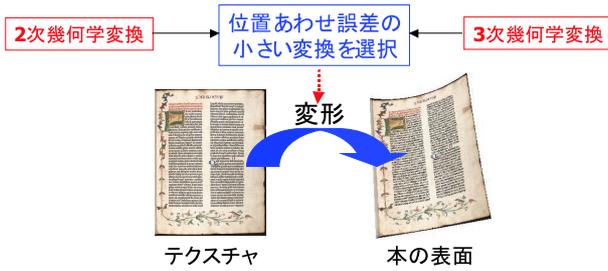


図 5 非線形幾何学的変換を用いたテクスチャの変形

Fig. 5 Texture deformation by nonlinear geometric transformation.

てテクスチャが不連続となるため、見た目の違和感は大きくなる。

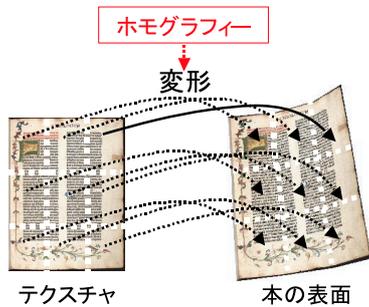


図 6 Homography を用いたテクスチャの変形
Fig. 6 Texture deformation by homography.

4 実装と評価

本手法を用いて、テクスチャを任意形状の変形可能な物体表面上に重畳表示するシステムを構築する。HMD として、キヤノン社製のステレオビデオシースルー HMD を使用した [15]。画像サイズは 640×480 である (図 7(a))。テクスチャとして、慶應義塾大学が所蔵する稀叢書、“ゲーテンベルク聖書”、及びコンラート・ゲスナー著、“動物誌”の 2 冊のデジタル画像を用いた [16]。画像サイズは、全て 350×500 である (図 8)。テクスチャを重畳表示する物体として、2 次元マトリックスコードとマーカを各ページに印刷した A4 サイズのノートを使用した (図 7(a))。ここでは、テクスチャ合成の結果を示した後、提案する 2 つのテクスチャ合成の手法を検討する。

4.1 結果

テクスチャを重畳表示した結果を図 9 から図 12 に示す。図 9 の結果から、本の表面が平面の場合は適切にテクスチャが重畳表示されていることがわかる。図 10 は観察者が本を動かした場合である。本を動かしても、テクスチャが適切に重畳表示されている。これは、2 次元マトリックスコードから、本の方向が認識され

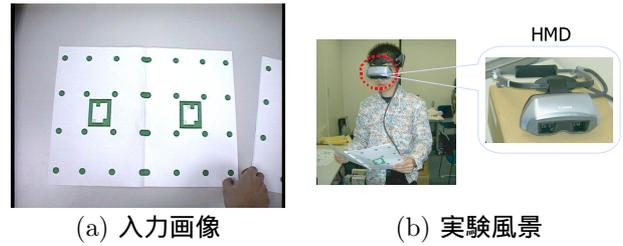


図 7 入力画像及び実験風景
Fig. 7 An input image and the experimental scene.

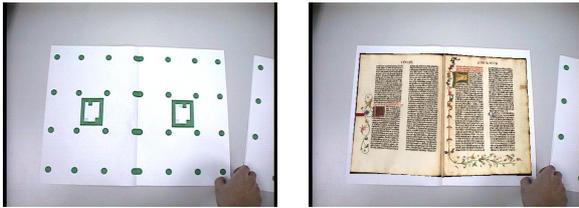


図 8 テクスチャ画像
Fig. 8 Texture images.

ているためである。図 11 は、観察者がページをめくった場合である。ページをめくっても、次のページに対応するテクスチャが適切に選択され、重畳表示されている。これは、2 次元マトリックスコードから、本のページ数の情報が正しく認識されているためである。また、図 12 は、複数の本を同時に見ている場合である。2 次元マトリックスコードから本の ID 番号の情報が正しく認識されているため、それぞれの本に対応するテクスチャが適切に選択され、重畳表示されている。さらに、図 13 (a) の結果は、本の表面が観察者により変形させられている場合である。テクスチャも物体の変形に合わせて変形させられ、重畳表示されている。この結果から、本手法のテクスチャ変形の手法により、自然な変形が実現されていることがわかる。本システムのフレームレートは、CPU Pentium4 2.8GHz を用いて、約 5frame/sec である。また、本と HMD との距離は、本の形状により多少前後するが、最大約 1.5m まで重畳表示が可能であり、本を読むという行為を想定した場合、ほぼ十分な範囲であるといえる。

4.2 検討

本論文では、テクスチャを重畳表示する手法として、非線形幾何学的変換を用いる手法と、Homography を用いる手法を示した。両者は、非線形幾何学的変換の与える誤差と固定閾値との比較により使い分ける。さらに、非線形幾何学的変換を用いる手法では、2 次幾何学的変換と 3 次幾何学的変換のうち、その与える誤差がより少ないものを選択している。ここでは、これらの手法による結果画像の違いを比較する。



(a) 原画像 (b) 合成画像

図9 テクスチャ合成結果 (1)
Fig.9 Result of texture overlay (1).



(a) 合成画像 1 (b) 合成画像 2

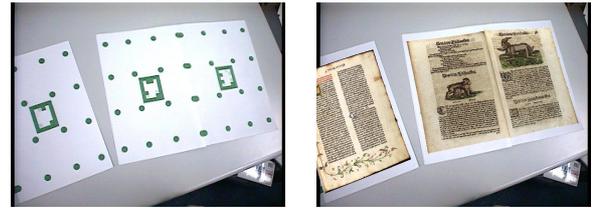
図10 テクスチャ合成結果 (2) - 本を動かした場合
Fig.10 Result of texture overlay (2). A case that a book is moved.

最初に、非線形幾何学的変換を使った手法に注目し、2次幾何学的変換と3次幾何学的変換の違いを見る。図13は2次幾何学的変換を用いた場合が3次幾何学的変換を用いた場合より小さい誤差を与える例である。図13(a)が2次幾何学的変換を用いた結果、図13(b)が3次幾何学的変換を用いた結果である。この図から、見た目の上でも2次幾何学的変換を用いた場合のほうが、より自然にテクスチャが合成されていることがわかる。逆に、図14は3次幾何学的変換を用いた場合が2次幾何学的変換を用いた場合より小さい誤差を与える例である。図14(a)が2次幾何学的変換を用いた結果、図14(b)が3次幾何学的変換を用いた結果であり、同様に、誤差の少ないほうがより自然に観察される。



(a) 合成画像 1 (b) 合成画像 2

図11 テクスチャ合成結果 (3) - ページをめくった場合
Fig.11 Result of texture overlay (3). A case that a page is turned.



(a) 原画像 (b) 合成画像

図12 テクスチャ合成結果 (4) - 複数の本を見た場合
Fig.12 Result of texture overlay (4). A case that multiple books are observed.

次に、非線形幾何学的変換を使った手法と、Homographyを使った手法を比較する。図15は、非線形幾何学的変換の位置あわせ誤差が閾値以下の場合である。図15(a)が非線形幾何学的変換を用いた結果であり、図15(b)がHomographyを用いた結果である。この結果では、非線形幾何学的変換を用いた手法のほうが、テクスチャがより滑らかに変形されており、より自然に合成されている様子がわかる。逆に、図16は、非線形幾何学的変換の位置あわせ誤差が閾値以上の場合である。非線形幾何学変換を用いた変形結果は滑らかであるが、見た目の違和感は、Homographyを用いた結果より、大きいことがわかる。以上の結果から、非線形幾何学的変換の与える位置あわせ誤差が閾値以下の場合には、非線形幾何学的変換を、閾値以上の場合には、Homographyを用いて変形することにより、自然なテクスチャの重畳表示が実現できることがわかる。

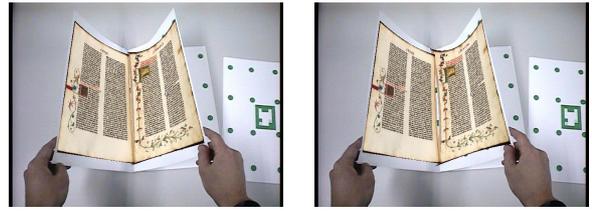
表1にそれぞれの手法の実験時における使用率を示した。非線形幾何学的変換を用いた手法は全フレームの約82%で使用され、Homographyを用いた手法は全フレームの約18%で使用される。非線形幾何学的変換の手法のうち、その約35%は2次幾何学的変換によるものであり、残り約65%は3次幾何学的変換によるものである。なお本実験では、4次以上の幾何学的変換も試みたが、実際の本表面形状の変形によるテクスチャの変換としては適切ではないことが実験的に確かめられたので、4次以上の幾何学的変換は利用しなかった。

最後に、実用的観点から見た本システムの課題について述べる。本システムでは、本の拡張表現を目的としているため、実際に文字が読めなければならない。本システムで用いたテクスチャ画像はあまり解像度が不高いため、本の表面に接近して拡大表示させようとしても文字がぼやけて見えてしまった。そこで、本が読めるシステムを構築するためには、本の表面に近づいて見た時に、1文字がはっきりと認識できる程度の解像度を持ったテクスチャ画像を利用すれば良いと

考えられる。しかしながら、高解像度のテクスチャ画像を利用したとしても、本システムで用いた HMD の解像度は 640×480 という低い解像度である。従って、この解像度でも文字が読めるようにするためには、十分に本に接近してテクスチャを拡大表示しなければならないと考えられる。実際には、本を読むときには、あまり本の表面に顔を近づけたりといったことはしないため、現実にはあまり本に接近しなくても十分に文字が読める程度の解像度がある HMD を利用する必要があると考えられる。

また、実際に本システムを利用した場合、手などの隠蔽や、ページめくりの際には全てのマーカが HMD のカメラに撮影されない場合がある。非線形幾何学変換を利用してテクスチャを変形して重畳する場合は、ページ上に存在する 16 点のうち、最低 7 点検出されれば、位置合わせの誤差は大きくなるものの、テクスチャ画像を重畳することが可能となる。一方、Homography を利用する場合は、 3×3 に分割された 9 領域のうち一部の領域に対する Homography が得られないことになってしまう。この場合は、非検出マーカの存在する領域の形状が平行四辺形であると仮定することによって、テクスチャ画像を変形するための Homography を推定し、テクスチャ画像を重畳することができる。このように、本システムでは、マーカの一部が検出されない場合でも、テクスチャの重畳が完全に不可能になるわけではない。マーカの一部が検出されなくてもテクスチャ画像が適切に重畳表示された例と、適切に表示されなかった例をそれぞれ図 17 と図 18 に示す。一方、同様の隠蔽によって、2次元マトリックスコードの一部が見えない場合がある。このような場合は、コードが表しているページの認識が行えないため、適切なテクスチャを選択することが出来ない。このような場合は、誤ったページを重畳表示してしまう可能性がある。上記のようなマーカや 2次元マトリックスコードの隠蔽に起因する問題については、今後の課題の 1つである。

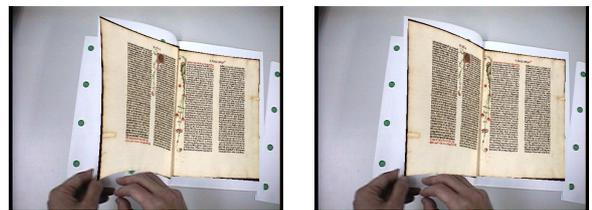
4.1 節に述べたように、本システムのフレームレートは、CPU Pentium4 2.8GHz を用いて、約 5frame/sec であった。実用的な拡張現実感システムするためには、さらに計算速度を向上する必要がある。計算時間の大半は、2次元マトリックスコードやマーカの検出といった画像処理に費やされているため、この処理をより高速に行うことがシステム全体のフレームレートを向上させるだろう。このような処理の高速化も今後の課題である。



(a) 2次幾何学的変換 (b) 3次幾何学的変換

図 13 2次幾何学的変換と3次幾何学的変換の比較(1)

Fig. 13 Comparison between quadratic geometric transformation and cubic geometric transformation (1).



(a) 2次幾何学的変換 (b) 3次幾何学的変換

図 14 2次幾何学的変換と3次幾何学的変換の比較(2)

Fig. 14 Comparison between quadratic geometric transformation and cubic geometric transformation (2).

5 結論

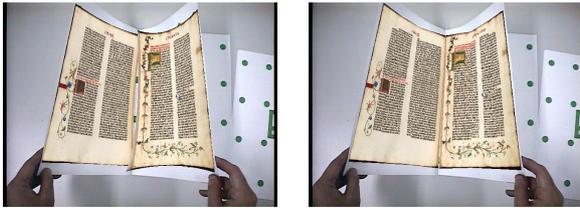
本論文では、ビデオシースルー HMD を用いて、任意形状の変形可能な物体の表面にテクスチャをリアルタイムに重畳表示する手法を提案した。テクスチャを変形する手法として、2つの手法を提案した。1つは、物体表面は非線形曲面であると近似し、テクスチャを非線形幾何学的変換によって変形する手法であり、もう1つは、物体表面は複数の平面の集合であると仮定し、各平面を Homography によって変形する手法である。各フレームにおいて位置合わせ誤差のより少ない



(a) 非線形幾何学的変換 (b) Homography

図 15 非線形幾何学的変換を使った手法と Homography を使った手法の比較(1)

Fig. 15 Comparison between nonlinear geometric transformation and homography (1).



(a) 非線形幾何学的変換 (b) Homography

図 16 非線形幾何学的変換を使った手法と Homography を使った手法の比較 (2)

Fig.16 Comparison between nonlinear geometric transformation and homography (2).

表 1 テクスチャ変形手法の使用率

Table 1 Usage rate of methods for texture overlay.

	非線形幾何学的変換		Homography
	2次幾何学的変換	3次幾何学的変換	
使用率 (%)	29	53	18
	82		

手法が選択され、変形されたテクスチャが HMD 画像上に重畳表示されることで、任意形状物体表面へのテクスチャ重畳表示が実現される。

さらに本論文では、テクスチャとして稀観書のデジタル画像を、任意形状物体として本を選択することにより、容易に見たり触れたりすることのできない稀観書に、あたかも触れて読んでいるかのように観察者に感じさせることのできるシステムを構築した。

参考文献

[1] D. Miyazaki, T. Ooishi, T. Nishikawa, R. Sagawa, K. Nishino, T. Tomomatsu, Y. Takase, and K. Ikeuchi: The Great Buddha Project: Modeling Cultural Heritage through Observation, VSMM2000 (6th international conference on virtual systems and multimedia), pp138-145(2000)

[2] M. Levoy et.al.: The Digital Michelangelo Project: 3D Scanning of Large Statues, Proc. SIGGRAPH 2000 (2000)

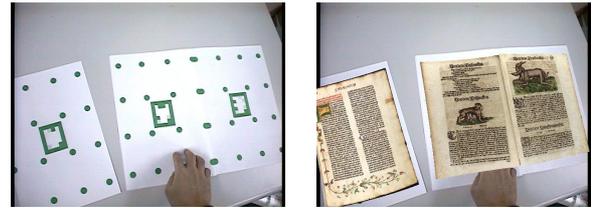
[3] 雪嶋宏一, 高宮利行, 奥出直人: 特集 よみがえるグーテンベルク, 学燈 93 巻 10 号, 丸善, pp4-21(1996)

[4] R.T.Azuma: A survey of augmented reality, Presence, vol. 6, no. 4, pp355-385(1997)

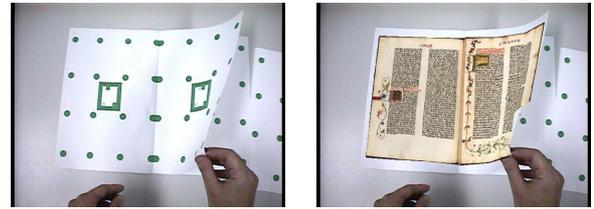
[5] M. Billinghurst, I. Poupyrev, H. Kato, and R. May: Mixed Realities in Shared Space: An Augmented Reality Interface for Collaborative Computing, Proceedings of ICME 2000, pp1641-1644(2000)

[6] H. Tamura, H. Yamamoto, and A. Katayama: Mixed reality: Future dreams seen at the border between real and virtual worlds, Computer Graphics and Applications, vol.21, no.6, pp64-70(2001)

[7] 神原 誠之, 大隈 隆史, 竹村 治雄, 横矢 直和: ビデオシースルー型拡張現実感のための実時間ステレオ画像合成, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J82-D-II, No.10,



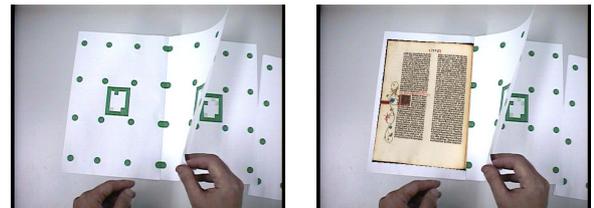
(a) 原画像 (b) 合成画像



(a) 原画像 (b) 合成画像

図 17 マーカの一部が検出されなくてもテクスチャ画像が重畳表示された例

Fig.17 Texture image can be overlaid even when all markers are not detected.



(a) 原画像 (b) 合成画像

図 18 マーカの一部が検出されなかったためにテクスチャ画像が重畳表示されなかった例

Fig.18 Texture image cannot be overlaid because all markers are not detected.

pp1775-1783(1999)

[8] 内山晋二, 山本裕之, 田村秀行: 複合現実感のためのハイブリッド位置合わせ手法 6自由度センサとビジョン手法の併用, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.8, no.1, pp119-126(2003)

[9] S. Hiura, K. Tojo, S. Inokuchi: 3D tele-direction interface using video projector, SIGGRAPH 2003 Sketches & Applications (2003)

[10] Y. Mukaigawa, M. Nishiyama, and T. Shakunaga: Realization of virtual photometric environment by photometric pattern projection, IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA2003), TP3-IV (2003)

[11] Shinichiro Hirooka, Hideo Saito: Displaying Digital Documents on Real Paper Surface with Arbitrary Shape, The Second International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR03), pp278-279(2003)

[12] Mark Billinghurst, Hirokazu Kato, and Ivan Poupyrev: The MagicBook: a transitional AR interface, Computers & Graphics 25, pp745-753(2001)

[13] John A. Robinson, and Charles Robertoson: The LivePaper system: augmenting paper on an enhanced tabletop, Computer & Graphics 25, pp731-

743(2001)

- [14] Jun Rekimoto: Matrix: A Realtime Object Identification and Registration Method for Augmented Reality, APCHI'98 (1998)
- [15] Akinari Takagi, Shoichi Yamazaki, Yoshihiro Saito, and Naosato Taniguchi, Development of a Stereo Video See-through HMD for AR Systems, ISAR2000 (2000)
- [16] HUMI プロジェクト, <http://www.humi.keio.ac.jp/>

(2004年2月13日受付)

[著者紹介]

江森 基倫



2002年東京工業大学工学部電気電子工学科卒業、2004年慶應義塾大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻修士課程修了。現在、株式会社リコーに勤務。慶大大学院在学中、コンピュータビジョン、拡張現実感に関する研究に従事。

斎藤 英雄 (正会員)



1992年慶大院理工学研究科電気工学専攻博士課程修了。博士(工学)。同年慶大助手、その後専任講師を経て、2001年より慶大理工情報工学科助教授。この間、1997年～1999年まで、学術振興会海外特別研究員として米国カーネギーメロン大学ロボティクス研究所に滞在し、主に Virtualized Reality の研究に従事。2000年～2003年、科学技術振興事業団さきがけ研究 21「情報と知」領域研究員兼務。現在、主としてコンピュータビジョンやその VR 技術への応用に関する研究等に従事。電子情報通信学会、情報処理学会、電気学会、映像情報メディア学会、計測自動制御学会、画像電子学会、IEEE 会員。