

仮想着装システムのための可変形状物体表面へのテクスチャ重畳

江原 純[†] 齋藤 英雄[†]

[†] 慶應義塾大学理工学部情報工学科

本稿では、Augmented Reality(AR) 技術を用いた仮想着装システムのために、ユーザが T シャツを着ている状態で、その表面に任意のテクスチャ画像をマッピングして表示する手法を提案する。本手法では、あらかじめ重畳表示するテクスチャ画像を複数のパッチに分割しておき、この平面パッチの頂点に対応する位置にマーカを付けた T シャツを身につけたユーザをカメラで撮影する。そして、撮影された動画像において、マーカを追跡し、テクスチャ画像の平面パッチの頂点と対応付け、マーカの位置に合わせてテクスチャ画像を重畳表示する。本稿では、本手法に基づいて試作した仮想着装システムによる実験結果を示し、マーカの隠れ等の問題点について検討する。

Texture Overlay onto Deformable Surface for Virtual Clothes Fitting

Jun Ehara[†], Hideo Saito[†]

[†] Department of Information and Computer Science, Keio University

In this article, we describe a method for overlay arbitrary texture image onto surface of T-shirt worn by a user. In this method, the texture image is previously divided into a number of patches. On the T-shirt, markers are printed at the positions corresponding to the vertices of the patches. The markers on the surface of the T-shirt are tracked in the motion image taken by a camera. The texture image is warped according to the tracked positions of the markers, which is overlaid onto the captured image. This article presents experimental results with the pilot system of virtual clothes fitting implemented based on the proposed method.

1 はじめに

近年、Augmented Reality(AR) が様々な分野のアプリケーションに利用されている。AR とは、現実世界に実際にはない仮想的な情報を付加する技術であり、主に利用されているのは、現実世界を写した画像に視覚的な情報を重ね合わせるものである。このような AR を用いたシステムには、TV 広告 [1]、ナビゲーションシステム [2]、都市デザイン [3]、エンターテイメント [4] などがある。

また、AR には、現実世界の物体表面上に仮想的な画像を重ね合わせるテクスチャマッピングを用いたシステムがある。利用者が HMD を装着し、本の表面上

の 2 次元マトリクスコードとマーカを認識することによって、別の本のテクスチャをマッピングするシステム [5] や、プロジェクタで物体表面にテクスチャを投影するシステム [6] などがその例である。

また、曲面へのテクスチャマッピングの応用例として仮想着装システムがある。仮想着装システムは、仮想的に服の着せ替えを行うシステムであり、実際に手元に衣服がなくても、衣服のデータがあれば、自分が衣服を試着した姿を見ることができるといったメリットがある。しかし、衣服の表面は、しわ・歪みの影響により複雑な形状をしているため、服の表面形状を認識して、それに合わせてテクスチャを変形・重畳することは平面や本などの表面に比べて難しいと言える。

次に、仮想着装システムの従来法について述べる。まず、3次元計測を行う方法 [7][8][9] が挙げられる。

これは、実際の人物を撮影した画像を用いるのではなく、事前に3次元計測機器を用いて人物の3次元形状を取得しておき、衣服を3次元空間で変形させて重畳する方法である。

しかし、3次元計測機器は一般的に高価であり、測定したデータ量が大きく扱いにくいという問題がある。また、3次元計測は現実世界の静止した物体を対象としており、時間につれて物体形状が変化する場合、その時間ごとの3次元形状を取得して逐一衣服を変形させることは現実的ではない。さらに、3次元動作情報を設定してアニメーションを作成し、人体モデルの骨格運動による大局的な変形と、衣服モデルと人体モデルの交差判定による局所的な変形により、テクスチャ全体を変形する方法 [10] があるが、実際に人物を撮影した映像にテクスチャを重畳しておらず、利用者本人が服を試着した臨場感ある映像を見ることはできない。

また、仮想着装の方法に、画像中の人物の動作推定を行う方法がある。

動作推定とは、あるモデルを変形させて人物の映像と一致させ、そのときのモデルの形状から人物の動作を判断するものである。

動作推定を用いた方法として、人体の3次元モデルと動画像の時空間勾配を利用する方法 [11] や、2枚のシルエット画像から得られる輪郭一致制約と、原型モデルと変形結果モデルの間に仮定する局所相似制約に基づいて原型モデルを変形する方法 [12]、バネモデルによって布地の動的シミュレーションを行う方法 [13] が挙げられる。

これらの方法は、複雑な処理により計算時間がかかり、動作に合わせてリアルタイムにテクスチャの変形・重畳ができないため対話性が低い。また、画像中における衣服の変形を考慮していないモデルを利用する手法は、衣服のしわ・歪みをテクスチャに反映することができず、仮想着装の現実味が薄れるという問題もある。

そこで、衣服上のパターンを認識することによって、リアルタイムにテクスチャを重畳する仮想着装の手法 [14] が考えられる。この手法は、予めマーカを中央に配置したTシャツを用意し、マーカの見え方によってテクスチャを変形・重畳するものである。3次元的な情報に基づいた計算ではなく、マーカによって構成さ

れた平面パッチに対して2次元的な情報に基づいたテクスチャの変形を行うことで、リアルタイム性を実現している。しかし、この従来法は、マーカがTシャツの中央の四角形に囲まれた部分のみに配置されており、マーカの部分のみにテクスチャを重畳している。このため、衣服全体にパターンのあるテクスチャについては仮想着装が実現できない。また、この従来法は、しわ・歪みによって隠れたマーカの位置を見えているマーカによって推測して補間している。しかし、衣服は複雑な形状をしており、人物の動作によっても2次元的な見え方が大きく変化するため、見えていないマーカを正確に補完することは難しいと考えられる。

そこで本研究では、始めにTシャツ上の全てのマーカをテクスチャのマーカと対応付けてから、それ以降のマーカ位置を動画像中で追跡することによって、人物の動作によるマーカの位置関係の変化に対してもTシャツ全体に自然なテクスチャをリアルタイムに変形・重畳する手法を提案する。また、一旦見えなくなったマーカがあっても、追跡が行われている他のマーカを利用することにより、再び現れたマーカに対しても適切に対応付けを行うことを目指す。

2 提案手法

2.1 システムの概要

ここでは、本研究のシステムの概要を説明する。以下の図1にシステムの概略図を示す。

本システムでは、特定のマーカを配置したTシャツを利用者が着用して、利用者がブルーバックの前で動く。そして、それをビデオカメラで撮影し、動きに合わせたテクスチャを生成・重畳した映像をリアルタイムにディスプレイに表示する。出力画像の解像度は320×240画素である。

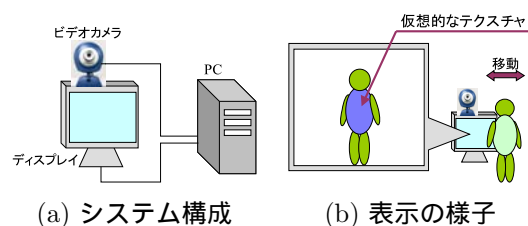


図 1: システムの概要

次に、本システムで利用者が着用する T シャツを図 2 の (a) に示す。T シャツには、十字型マーカと小マーカの 2 種類の緑色マーカが左右対称に配置されている。十字型マーカは T シャツ中央に配置されており、小マーカは T シャツ全体に配置されている。マーカの数、十字型マーカが 1 個、小マーカが 28 個であり、表面が複雑な形状になっている肩の部分は、表面が比較的複雑ではない胴体の部分より小マーカの密度が高くなっている。また、衣服テクスチャの例を図 2 の (b) に示す。解像度は入力画像より大きい 1600×1200 画素とした。



図 2: 使用する T シャツとテクスチャ

2.2 手法の概要

図 3 に本手法の流れを示す。

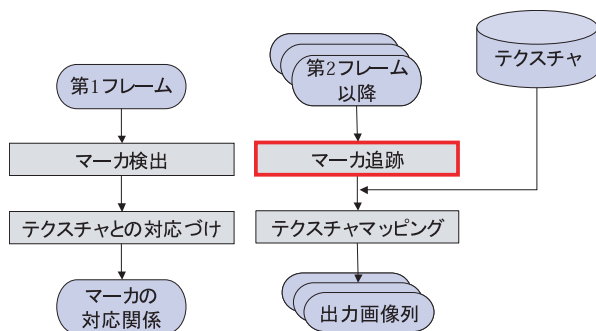


図 3: 手法の流れ

本手法は、

- 第 1 フレームの処理
- 第 2 フレーム以降の処理

の 2 段階に大きく分けることができる。主に、第 1 フレームでは、T シャツを写した入力画像中のマーカとテクスチャのマーカの対応付けを行う。第 2 フレームでは、前フレームにおけるマーカの情報を利用して、

マーカの追跡を行う。このマーカの追跡の処理が本手法の最大の特徴となっており、人物の動作によるマーカの位置関係が変化しても、T シャツ全体に自然なテクスチャを変形・重畳することを目的としている。以後、順を追って解説していく。

2.3 第 1 フレームの処理

第 1 フレームでは、入力画像中のマーカとテクスチャのマーカの対応付けを行う。第 1 フレームの処理には主に、

- マーカの検出
- テクスチャとの対応付け

がある。順を追って説明していく。

2.3.1 マーカの検出

本手法では、T シャツのマーカの位置に合わせて平面パッチにテクスチャを重畳するため、入力画像においてマーカを確実に検出する必要がある。服の表面はしわや歪みにより複雑な形状をしているため、同一のマーカでも入力画像中では異なったトーンに写ることが多い。このトーンの違った色のマーカを全て検出するために、本手法では RGB 空間における色ベクトルの類似度によってマーカとそうでない部分の色の判定を行っている。全ての色は図 4 の (a) のような RGB 空間の色ベクトルで表現することができる。R,G,B はそれぞれ色の三原色である赤、緑、青を表している。本手法では、検出したいマーカの平均色を基準ベクトルとし、RGB 空間においてベクトルの長さや方向が類似している色ベクトルをマーカの色と判断する。こうして図 4 の (b) の入力画像についてマーカの色を検出してラベリングを行い、ノイズを除去した結果が (c) である。



図 4: マーカの検出

2.3.2 テクスチャとの対応付け

第1フレームでは、入力画像において検出されたマーカをテクスチャで指定したマーカとそれぞれ対応付けることが必要である。

まず、テクスチャは衣服を平面状に広げた画像を用いているため、テクスチャのマーカの見え方とTシャツを着用したときのマーカの見え方は異なる。そこで、図5のように、予めTシャツを着用した画像を撮影し、マーカの座標の情報を含んだモデルを作成し、指定しておいたテクスチャのマーカとの対応付けを事前にとっておく。

次に、入力画像のマーカとモデルのマーカを対応付ける。まず、検出された十字型マーカによって、Tシャツを4つの領域に分け、領域ごとに入力画像とモデル画像間のHomographyを算出する。次に、Homographyを用いて、それぞれのモデルの領域内のマーカ座標を入力画像に投影し、投影点の近傍で検出されたマーカを探索する。

以上の2つの対応付けにより、第1フレームでの入力画像のマーカとテクスチャのマーカの対応関係が得られる。

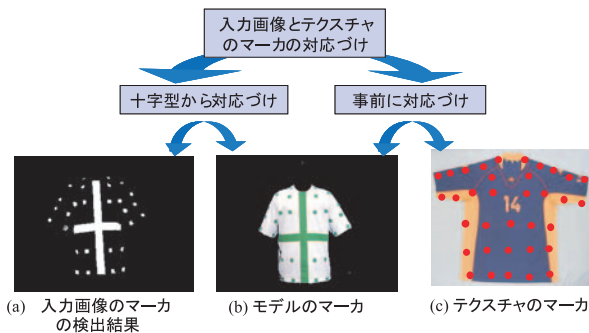


図5: テクスチャとの対応付け

2.4 第2フレーム以降の処理

第2フレームでは、前フレームでのマーカの情報を利用してマーカの追跡を行い、テクスチャマッピングを行う。以下に、

- マーカの追跡
- マーカ追跡時の重複
- マーカの再対応付け
- テクスチャマッピング

について順に説明する。

2.4.1 マーカの追跡

現フレームの入力画像で検出されたそれぞれのマーカについて、前フレームのどのマーカに対応するかを調べる。ここで、前フレームと現フレームのマーカが対応付けられればマーカが追跡された、と定義する。具体的なマーカ追跡の処理としては、現フレームで検出されたマーカの近傍において、前フレームで追跡されたマーカを探索し、最も距離が短い前フレームのマーカと対応付けを行う。ただし、近傍でマーカが見つからない場合は、この検出マーカは対応付けされない。

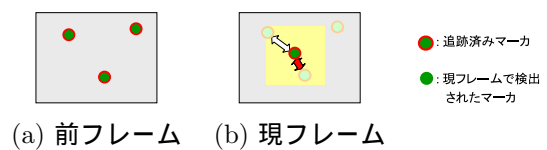


図6: マーカの追跡

2.4.2 マーカ追跡時の重複

マーカ追跡の際に、検出された複数のマーカに、前フレームの同じマーカが対応付けられる場合がある。しかし、現フレームのマーカと前フレームのマーカの対応関係は1対1なので、マーカの重複は避けなければならない。そこで、図7のように、前フレームのマーカの座標からの距離が最も短いマーカを採用し、それ以外のマーカは再び近傍で別の前フレームのマーカとの対応付けを行う。ただし、近傍に別のマーカが見つからない場合は、この検出されたマーカは対応付けされない。

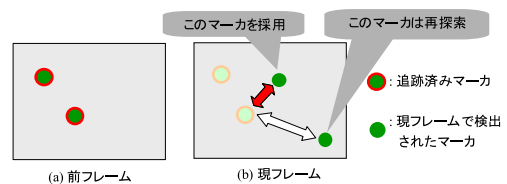


図7: マーカ追跡時の重複

2.4.3 マーカの再対応付け

入力画像でオクルージョンによってマーカが見えなくなり、後のフレームで再びマーカが現れる場合、2.4.1、2.4.2の処理を行った後でも対応付けされないマーカが残る。入力画像中で全てのマーカが見えているとは限らないが、見えているマーカは必ずテクスチャのマーカのどれかと対応すると考えられるので、対応付けさ

れていないマークが残っている場合、マークの再対応付けを行う。まず始めに、図8のように、対応付けされていないマークの近傍で最も近い対応付けされたマークを探索する。探索によって見つかったマークを近傍マークと呼ぶこととする。次に、モデル画像において、対応付けられていないマークの中から近傍マークの近傍で最も近いものを探索する。こうして、モデルにおいて見つかったマークを現フレームで対応付けられていなかったマークと対応付けることにより、マークの再対応付けが行われる。

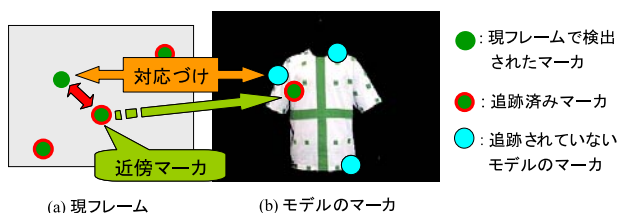


図 8: マークの再対応付け

2.4.4 テクスチャマッピング

本手法では、Tシャツの表面を図9の(a)のようにマークを頂点とした小さな平面パッチの集合と近似する。平面パッチはTシャツの部分によって四角形と三角形の2種類がある。それぞれの平面パッチに対して、図9の(b)のテクスチャの対応する平面パッチを変形し、重畳することによって、Tシャツ全体のパターンを仮想的に置き換える。

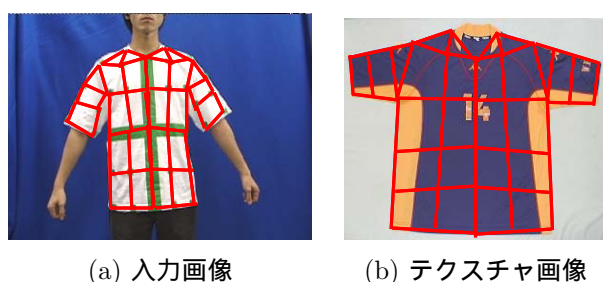


図 9: Tシャツとテクスチャの平面パッチ

以下、平面パッチへのテクスチャマッピングについて説明する。テクスチャの変形は理論で述べた幾何学変換を用いているが、平面パッチが四角形と三角形のときでそれぞれ Homography とアフィン変換を行う。四角形の平面パッチに対するテクスチャマッピングを以下の図10に示す。平面パッチの4頂点のマークが追跡されていれば、入力画像の平面パッチのマークと

テクスチャのマークの座標の対応が4組得られるので、テクスチャ平面から平面パッチへの Homography を算出することができ、テクスチャを変形することができる。同様に、平面パッチが三角形の場合は、マークの対応が3組得られるので、テクスチャ平面から平面パッチへのアフィン変換を行うことができる。

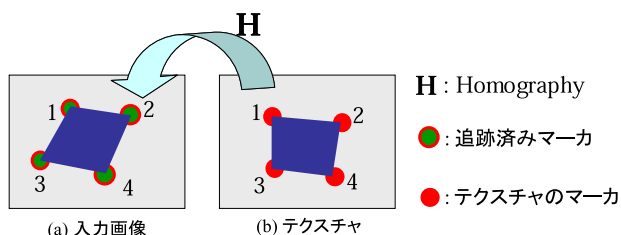


図 10: テクスチャマッピング

3 実験と検討

3.1 実験の概要

本研究では、本手法の有効性を示すために以下の4つの実験を行った。

- テクスチャ重畳範囲の補正
- 回転、服の歪みに対するテクスチャ重畳
- マークの位置関係の変化
- マークの再対応付け

なお、実際の仮想試着システムでは、図2の(b)のような実際の衣服テクスチャを用いるが、本実験では、テクスチャの変形を確認しやすいよう、図11のテクスチャを重畳した。また、本実験で用いたPCのスペックは以下の通りである。

- CPU : Intel Pentium4 Processor 2.8 GHz
- メモリ : 1024 MB
- OS : Windows XP



図 11: 実験に用いるテクスチャ画像

3.2 テクスチャ重畳範囲の補正

本研究では、図9の(a)の平面パッチに対してテクスチャの平面パッチを重畳する手法を用いているが、これではTシャツ領域の全ての画素にテクスチャが重畳されず、実際に衣服を試着した姿とは大きく異なった結果になってしまう。より現実に近い結果を得るには、Tシャツ全体に適切なテクスチャを重畳する必要がある。そこで、平面パッチ以外のTシャツ領域を適切なテクスチャで補間する実験を行った。実験には、

1. 平面パッチのみにテクスチャを重畳する方法
2. 検出されたマーカから最も近いTシャツ領域の輪郭線の位置に平面パッチの頂点を移動する方法
3. 上記の2の後に、Tシャツ領域の中でテクスチャが重畳されていない部分を近傍のテクスチャ色で補間する方法

の3つの方法を用いた。

実験に用いた入力画像と1,2,3の方法を適用した結果画像を以下の図12に示す。



図12: テクスチャ重畳範囲の補正

<テクスチャ重畳範囲の補正に関する検討>

図12の(b)を見ると、Tシャツの周辺部に白地が多く残っており、利用者がTシャツを試着しているという感覚を感じにくい。しかし、(c),(d)と見ていくと、Tシャツの白地が残ることなくTシャツ全体にテクスチャが重畳されていることがわかる。衣服の周辺部は中央部に比べてマーカが認識しにくい。そのため、周辺部にマーカが存在していても画像中でマーカを認識するのは難しい。そこで、テクスチャを重畳した際の違和感を軽減するために、本手法では3の方法を採用することにする。ただし、テクスチャの周囲10画素のみを補完することで、平面パッチから遠く離れた場所にテクスチャが重畳されることを避けている。

3.3 回転、服の歪みに対するテクスチャ重畳

利用者の基本動作として、回転、服の歪みを含んだ入力動画像列に対して本手法を適用した。回転は、人物がその場で向く方向を変えるもので、服の歪みは、衣服の形状を3次的に変化させるものである。

回転及び服の歪みを含んだ入力動画像列とその結果画像列を図13~16に示す。



図13: 回転動作を含んだ入力動画像列



図14: 回転動作に対する結果画像列



図15: 服の歪みを含んだ入力動画像列



図16: 服の歪みを含む動作に対する結果画像列

<回転，服の歪みに対するテクスチャ重畳に関する検討>

図 14 を見ると，マーカが検出された部分の平面パッチに対して適切なテクスチャが重畳されていることがわかる．マーカが検出できない場合は平面パッチにテクスチャを重畳できないが，人物の向く角度が変わり再びマーカが検出されると，再対応付けによって正しくマーカが追跡されており，再対応付けの有用性が確認できる．図 16 では，衣服のしわや歪みによる 3 次元的な物体表面の変化に対しても，マーカを追跡し 2 次元的なテクスチャマッピングを行うことで，仮想着装を実現していることがわかる．

本研究では，リアルタイムな仮想着装システムを目指しているが，最小フレームレート 15.6 fps，平均フレームレート 16.2 fps となっている．

3.4 マーカの位置関係の変化

利用者の姿勢が大きく変化し，入力画像中のマーカの位置関係とテクスチャのマーカの位置関係とに大きな違いがある場合について，本手法を適用してマーカ追跡の有用性を検証した．この実験では，利用者が腕を横に広げた動作を行い，袖の部分のマーカの位置関係が変化する入力画像列について実験を行った．

腕を横に広げた入力画像列を図 17，それに対する結果画像列を図 18 に示す．

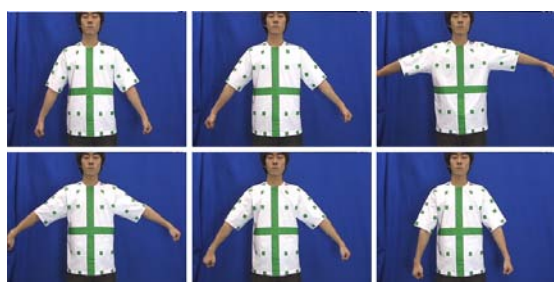


図 17: 腕を横に広げた入力画像列



図 18: 腕を横に広げた入力画像列に対する結果画像列

<マーカの位置関係の変化に関する検討>

衣服は胴体と袖の部分が異なった動き方をするため，マーカの対応付けが難しいと言えるが，図 18 を見ると，動いている袖にも適切にテクスチャマッピングが行われていることがわかる．

このように，第 1 フレームで正確なマーカの対応関係を取得してからマーカを追跡する本手法は，胴体と袖の異なった動きに大きな影響を受けないという点で仮想着装に有効であると考えられる．また，袖の動きに伴ってマーカがオクルージョンやしわにより見えなくなる部分はテクスチャが重畳されないが，T シャツ全体のマーカの位置関係が第 1 フレームと異なってもマーカの再対応付けが行われている．

3.5 マーカの再対応付け

3.3 では，基本的な動作を含む入力画像列に対して本手法を適用した．ここでは，しわ・歪み・オクルージョンなどによって複数のマーカが見えなくなった場合に対して，マーカの再対応付けについての実験を行う．

実験では，3.3 での回転動作よりさらに回転角度の大きい動作を入力として本手法を適用した．

体の回転角度が大きい入力画像列を図 19 に，それに対する結果画像列を図 20 に示す．



図 19: 体の回転角度が大きい入力画像列



図 20: 体の回転角度が大きい入力画像列に対する結果画像列

< マーカの再対応付けに関する検討 >

図 20 を見ると、大きく横方向を向いた場合にオクルージョンにより見えなくなるマーカの数が多く、再び正面に体の向きが戻ったときにマーカの再対応付けが正しく行われずにテクスチャが不自然になっていることがわかる。特に、手前側よりも奥側のマーカに誤対応が現れている。これは、服のしわや歪みよりも、体のオクルージョンが大きく影響していると考えられる。このように、一度に追跡が失敗したマーカの数が多い場合、マーカの再対応付けが誤る可能性が高くなる。

これを解決するためには、複数種類の色のマーカを用いることや、マーカの誤対応をした場合にマーカに対応付けを更新する方法が考えられる。具体的には、テクスチャを重畳する画素の重複を調べたり、マーカの位置関係に制約を設けて、マーカの誤対応を認識するといった処理を行う。また、T シャツ上の明度情報を利用して、しわや歪みによる影を反映することも、より違和感のないテクスチャを重畳するために必要であると考えられる。

4 おわりに

本稿では、マーカを付加した T シャツ全体へのテクスチャマッピングを行う手法を提案し、リアルタイムな仮想装着システムを構築した。本手法では、動画像中で T シャツ上のマーカを追跡し、マーカにより構成される平面パッチにそれぞれ対応するテクスチャを重畳することによって、複雑な形状をした服の表面に仮想的にテクスチャを重畳することができた。また、オクルージョンによりマーカが画像中から消えた後に再びマーカが現れた場合には、他の追跡されているマーカを利用してマーカの再対応付けを行い、マーカ追跡の精度を向上した。

今後は、マーカの誤追跡時にマーカの対応付けを更新し、より自然なテクスチャ重畳結果の実現を目指していきたい。

参考文献

- [1] <http://www.orad.tv/virtualAdv.htm>
- [2] 胡振程, 内村圭一: “拡張現実感技術による次世代ナビゲーションシステム VICNAS の構築”, 第 2 回 ITS シンポジウム論文集, pp.119-124 (2003).
- [3] 清川清, Mark Billingham, Daniel Belcher, Arnab Gupta: “拡張現実感インタフェースを用いた対面協調作業のコミュニケーション過程”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.2, pp.159-168 (2002).
- [4] Y.Okuno, H.Kakuta, T.Takayama and K.Asai: “Jellyfish Party: Blowing Soap Bubbles in Mixed Reality Space”, Proc. ISMAR 2003, pp.358 (2003).
- [5] Mototsugu Emoro, Hideo Saito: “Texture Overlay onto Deformable Surface Using Geometric Transformation”, ICAT2003, Dec.3-5 (2003).
- [6] 楠本拓矢, 佐藤宏介, 井口征士: “テクスチャプロジェクト方式 MR による質感デザインシステム”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp.A-16-50 (2002).
- [7] Michael Keckeisen, Stanislav L. Stoev, Matthias Feurer, Wolfgang Straser: “Interactive Cloth Simulation in Virtual Environments”, IEEE Virtual Reality 2003, pp.71-78, Dec.3-5 (2003).
- [8] Vassilev T.: “Dressing Virtual People”, SCI'2000 conference, July 23-26 (2000).
- [9] 持丸正明, 河内まき子: “デジタル人体形状に基づく着装品のオンデマンド製造”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 8-4, pp.407-412 (2003).
- [10] 花里高宏, 筒口拳, 古川貴雄, 曾根原登, 清水義雄: “双 3 次 Bezier パッチの適応的分割を用いた衣服形状生成”, 情報処理学会研究報告, グラフィクスと CAD, Vol.1997, No.079 (1997).
- [11] 星野准一, 斉藤啓史: “ビデオ映像と CG の合成によるヴァーチャルファッションの実現”, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.5, pp.1182-1193 (2001).
- [12] 今尾公二, 亀田能成, 美濃導彦, 池田克夫: “シルエット画像に基づいて個人体形を反映する 3 次元形状モデルの変形法-仮想試着室の実現に向けて”, 信学論 (D-II), vol.J82-D-II, No.10 pp.1684-1692 (1999).
- [13] Yoshikazu Tagawa, Tomokazu Kakimi, Ryugo Kijima and Takeo Ojika: “A Method for Dynamic Cloth Simulation and its Application in the Virtual Fashion System”, Procs. of Int. Conf. on VSMM '98, pp.110-115 (1998).
- [14] 田口哲典, 青木輝勝, 安田浩: “T シャツのリアルタイム仮想試着システム”, 情報処理学会研究報告, オーディオビジュアル複合情報処理, Vol.2003 No.024 (2003).