

## MIRACLE システムにおける平面モデルでのマッピングに関する一検討

田口 哲典<sup>†</sup> 青木 輝勝<sup>†</sup> 安田 浩<sup>†</sup>

† 東京大学先端科学技術センター

〒153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1

E-mail: † {taguchi, aoki, yasuda}@mpeg.rcast.u-tokyo.ac.jp

**あらまし** 筆者らは、これまでに“MIRACLE”システムというリアルタイムで自由に動くことが可能な仮想試着システムを提案した。このシステムは実際に一着だけ服を試着しその服の柄などを変更するシステムであり、実際に試着した服の画像があるため、正確な仮想試着した姿を推測することが可能なシステムである。

これまでにオクルージョンやしわ(セルフオクルージョン)などに対応した、平面モデルを用いた画像認識での形状認識を行ってきたが、形状データを可視化するためのマッピングが必要となる。

そこで本稿では、リアルタイムでの処理を実現するためのこの平面モデルでのパッチのマッピングアルゴリズムとして、奥行き感を表現するための射影変換を基にしたパッチマッピングアルゴリズムを提案する。

**キーワード** 仮想試着、“MIRACLE”システム、平面モデル、射影変換

## A Study on the Two-Dimensional Texture Mapping Algorithm for the MIRACLE System

Akinori TAGUCHI<sup>†</sup> Terumasa AOKI<sup>†</sup> and Hiroshi YASUDA<sup>†</sup>

† Research Center for Advanced Science & Technology, The University of Tokyo

4-6-1 Komaba, Meguro-Ku, Tokyo, 153-8904 JAPAN

E-mail: † {taguchi, aoki, yasuda}@mpeg.rcast.u-tokyo.ac.jp

**Abstract** We have already proposed a real-time virtual clothing system called MIRACLE, in which user can try various clothes on while acting freely. This system enables to change patterns of clothes when users are putting only one cloth on.

We proposed an algorithm of surface image recognition that is able to deal with occlusion and self-occlusion using two-dimensional image pattern matching.

In this paper, we propose a two-dimensional texture mapping algorithm based on the projective transform for expressing depth feel in order to visualize surface model.

**Keyword** Virtual Clothing, “MIRACLE” System, two-dimensional model, projective transformation

## 1. はじめに

筆者らは、服を購入する際における試着という行為の負担の軽減と着物柄の選択肢の拡大を可能にするために、実際に試着を行うことなく、あたかも試着をしているような様子を鏡のように映し出すシステムとして、これまでに筆者らは“MIRACLE”システム(virtual MIRror and Advanced Clothing Environment)システムを考案してきた[1]。

“MIRACLE”システムでは実際に一着だけ服を着ることにすることで(図1)、従来の研究の多くが目標としている正確な人体計測や布のシミュレーションは、実際に画像のデータとして取得することが可能であるため、その従来の研究で重きを置いていた部分の計算の必要性が生じなくなる。したがって、従来のように高価かつ特殊な機器を利用するモーションキャプチャを行わないため、ユーザに対して負担を軽減することが可能である。



図1 MIRACLEの概念図

また、従来の研究では3次元モデルであり一般的にこれらの方法を用いると膨大な演算時間を必要とし、スーパーコンピュータ級の計算機を用意してもなおリアルタイム処理が困難であったが、実際に着物が動く様子が撮影可能であるため、カメラ1台で撮影された2次元のモデル化を行う。そのために、3次元モデルに比べて計算量を減らすことが可能であり、リアルタイム性を重視したシステムとなっている。

“MIRACLE”システムで仮想的な試着を実現するためには、鏡のような感覚の実現のため

リアルタイムな服のシミュレーションが行わなくてはならない。しかし、服をはじめとする布で縫製されたものをはじめ、一般の柔軟物はその周囲であるエッジの情報だけではその表面がどのように変化をしているかを決定することはできないため、その表面の形状を決定することが不可能である。そのため、これまでコンピュータグラフィックスで柔軟物を弾性体として扱い、バネモデルをはじめ様々なモデルを仮定することで、どのような表面の形状をしているかを決定していた([3]~[10])。これら既存モデルを用いた場合は、柔軟物である布を弾性体として扱う上、複雑な計算処理を行う必要があるため、筆者らが考案したリアルタイムで服を仮想的に試着が可能なシステムには、あまり向いているモデルであるとはいえない。そこで、筆者らはこのようなモデルを仮定せずに、実際に試着を行う服の柄を利用し、実際に画像から表面のみの形状データを取得することで、その表面の形状データを決定することを考えてきた[2]。したがって、表面形状を画像認識より測定したデータを可視化するためのモデルが必要となるため、平面モデルを用いて形状認識を行っている。

そこで本稿では、リアルタイムでの処理を実現するためのこの平面モデルでのパッチのマッピングアルゴリズムとして、奥行き感を表現するための射影変換を基にしたパッチマッピングアルゴリズムを提案する。

## 2. パッチマッピングモデル

ある平面空間での四辺形を想定した場合、その写像として、もともとの四辺形と相似な四辺形と掃除でない四辺形が考えられる。この変換は、四辺形の形状の性質に関係しており、この四辺形が一般的な平行四辺形に変形するような変換と、それ以外の任意の凸四辺形に変形する変換とに分けることができる。前者がアフィン変換、後者が一般的な射影変換と分類される。射影変換は中心投影変換に相当し、アフィン変換はこれに対して平行投影変換になる。そのため、アフィン変換で扱いが可能であるのは平行四辺形を別の平行四辺形に射影する場合のみである。この四辺形の性質は、二組の対辺がそれぞれ平行線であることである。一方、射影変換では、対辺が必ずしも平行ではない一般的な四

辺形に変換される。ただし、射影変換においても、四辺形の二組の対辺がそれぞれ平行である場合を含むため、一般的な射影変換はアフィン変換をも含めて扱うことが可能である。そこで、柔軟物のように変換後の形状で二組の対辺が平行である保証がないため、アフィン変換ではなく射影変換を用いることとなる。

射影変換では、4つの特徴点の座標からその領域の変換が一意に決定される。そのため任意の四角形に対してマッピングすることは可能であるがそれぞれの変換係数を求めることは非常に複雑な計算が必要である。そこで、パッチを四角形の形状に固定することとする。そのため、マッピングを行う画像のパラメータを減らすことが可能となり、射影変換の変換係数を求める際の計算を最小限に減らすことが可能となる。

そこで、四角形  $ABCD$  が四角形  $A'B'C'D'$  に移る変換を考え、それぞれの変換の前後での座標の対応を以下のようにする (図 2)。

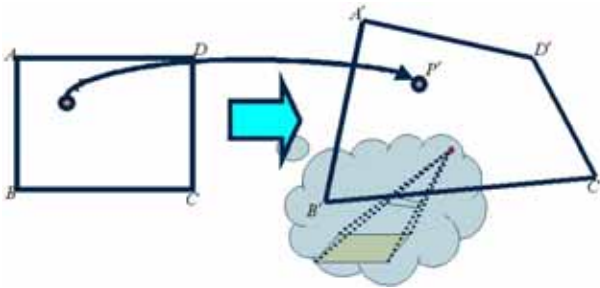


図 2 射影変換を用いたマッピング

$$A(0,0) \mapsto A'(0,0)$$

$$B(1,0) \mapsto B'(x_0, y_0)$$

$$C(1,1) \mapsto C'(x_1, y_1)$$

$$D(0,1) \mapsto D'(x_2, y_2)$$

$$P(x, y) \mapsto P'(u, v)$$

一般の射影変換では、

$$u = \frac{ax + by + c}{gx + hy + 1}$$

$$v = \frac{dx + ey + f}{gx + hy + 1}$$

と表現するが、このとき、射影変換の式は

$$u = \frac{(\alpha + 1)x_0x + (\beta + 1)x_2y}{\alpha x + \beta y + 1}$$

$$v = \frac{(\alpha + 1)y_0x + (\beta + 1)y_2y}{\alpha x + \beta y + 1}$$

ただし、

$$\alpha = \frac{(x_1 - x_0 - x_2)(y_2 - y_1) - (y_1 - y_0 - y_2)(x_2 - x_1)}{(x_0 - x_1)(y_2 - y_1) - (y_0 - y_1)(x_2 - x_1)}$$

$$\beta = \frac{(x_1 - x_0 - x_2)(y_0 - y_1) - (y_1 - y_0 - y_2)(x_0 - x_1)}{(x_2 - x_1)(y_0 - y_1) - (y_2 - y_1)(x_0 - x_1)}$$

と表すことができ、曲線的な変化を起こしているエッジについてもその特徴点の間隔を狭くすることでマッピングが可能である。

また、二組の対辺が平行である場合、 $u, v$  それぞれの分母が 1 であればよいことになるため、以下のように表現が可能である。

$$u = x_0x + x_2y$$

$$v = y_0x + y_2y$$

これにより、三角形のアフィン変換である

if ( $x > y$ ) :

$$u = x_0x + (x_1 - x_0)y$$

$$v = y_0x + (y_1 - y_0)y$$

else :

$$u = x_2x + (x_1 - x_2)y$$

$$v = y_2x + (y_1 - y_2)y$$

に対しても計算量を減少させることが可能である。

したがって、パッチの形状を制御することとなる (形状計測) 柄の特徴点のうち、対角の位置を結ぶ線分の位置関係から、そのパッチのマッピング方式を選択することが可能となる。実際に撮影した画像では射影変換をそのまま用いる際には、二組の対辺が平行でない場合であるため、パッチを構成する特徴点の周辺の領域ではセルフオクルージョンが起きており、布であればその領域でしわとなっている画像が得られ

ていることになり、その物理的な変化に合わせて、柔軟物の表面形状を認識することが可能である。また、これにより、階層的な認識を行う際のしわの領域だけは細かな領域に分割して認識し、そうでない領域については大まかな認識をすることが可能とすることに対しても適したマッピングであるといえる。

### 3. 評価実験

そこで、以下のような環境で仮想試着システムの実験を行った(図 3)。モーションキャプチャ機器など特殊な機器を用いることなく、カメラからの入力のみで形状認識を行う。そのため、のようなカメラ、PC、ディスプレイのみで構成可能な簡易なシステム構成となる。

入力装置：SONY DCR - VX2000

処理 PC：(CPU：Intel Xeon 3.06[GHz]、メモリ：2.0[GB]RAM)

また、入出力画像の解像度は、キャプチャボードの性能から、640[pixel]×480[pixel]とした。

形状認識を行う柔軟物として、T シャツに 30[cm]×30[cm]のアイロン用紙を貼り付けたものを扱うこととする。



図 3 MIRACLE システムの構成の様子

実際には、モデリング結果について評価するためにそれぞれ特殊な測定装置や評価尺度のモデルが必要である。そこで、本論文ではセンシングしたデータのモデリングを行い可視化することで、センシング前の画像とセンシング後の画像を比較することで、どの程度正確に仮想試着が行われているかを検証することとする。また、MIRACLE システムはリアルタイムでの仮想試着を目指すシステムであるため、センシング後の画像を生成するまでの画像処理にかかる時間を処理速度として計測することでリアルタイムでの処理が可能であるのかを検証する。

ここでは、ユーザが自由に動くことが可能な

環境を提供するためのシステムであることから、以下の項目について評価を行う。

- [1]ユーザがカメラに対して前後方向に移動する
- [2]ユーザがカメラを正面として回転する
- [3]ユーザが手で柄を隠す
- [4]ユーザが自由に動く

これらの動作に対して、SN 比と処理速度の計測を行う。ただし、ユーザの動く範囲をカメラから約 2[m]までとした。これは、仮想試着ということで、カメラからあまり遠くに離れてしまうと仮想試着の結果がはっきりと認識できないためである。

#### 3.1. 予備実験

シミュレーション環境より、センシングを保証するカメラから最も離れた距離でのセンシングする領域の大きさ  $L = 640$  の場合での実際に必要な特徴点の大きさ  $l$  を求める。画像として出力する画像の解像度が最大で 640[pixel]であることから、ここでは 640[pixel]が 30[cm]と対応するようになる。そこで、特徴点の数を  $n$ 、大きさを  $l$ 、特徴点とその間隔との距離の比率を  $\alpha (\alpha \geq 1.0)$  とすると、表 1 のようになる。し

たがって、特徴点の数  $n$  は整数でなければ、(形状計測)柄を作成できないため、 $n = 5$  のときのみがその条件を満たすこととなる。そのため、25 点の特徴点を持つ(形状計測)柄を用いることが必要となる。

また、最も離れた環境(ここでは 2[m]の位置で)で回転した際に特徴点が消失せず、ノイズと区別が可能であるための大きさ(ここでは 10[pixel])を調べるために、図 5 のようなデータの測定を行った。その結果から、元の画像では約 40[pixel]以上の大きさが必要であることとなり、その条件を満たす条件としては、特徴点とその間隔との距離の比率  $\alpha l$  が  $\alpha = 1$  のときのみであることになる。これにより、特徴点の大きさが、64[pixel]で特徴点間の間隔も 64[pixel]であるような柄を用いることが必要である(図 4)。

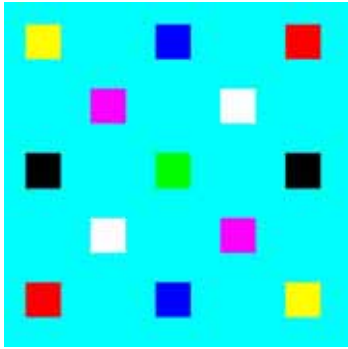


図 4 形状計測柄

表 1 特徴点の数と大きさの関係

		n				
		3	5	9	17	33
	1	106.67	64.00	35.56	18.82	9.70
	2	71.11	42.67	23.70	12.55	6.46
	3	53.33	32.00	17.78	9.41	4.85
	4	42.67	25.60	14.22	7.53	3.88
	5	35.56	21.33	11.85	6.27	3.23
	6	30.48	18.29	10.16	5.38	2.77
	7	26.67	16.00	8.89	4.71	2.42
	8	23.70	14.22	7.90	4.18	2.15
	9	21.33	12.80	7.11	3.76	1.94
	10	19.39	11.64	6.46	3.42	1.76

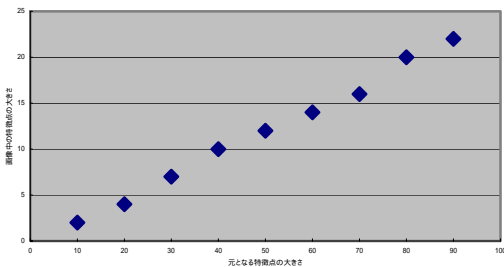


図 5 元画像と入力画像との特徴点の大きさの関係

したがって、これらのデータより、特徴点の大きさ、特徴点間の距離はともに 64[pixel]で、特徴点の数は 5×5 の 25 点で構成されるような柄がもっとも望ましいことになる。

### 3.2. 評価実験

ここではシミュレーション用の環境で評価す

る各項目についてそれぞれの動作を各 1 分ずつ、20 回の測定を行った。以下にその結果について示す。

ここでは、従来方式として、コンピュータグラフィックで用いる四角形のアフィン変換と本論文での提案方式の基となった射影変換を取り上げ、これらの方式との比較を行うことで評価を行った(図 6~図 8)。



図 6 自由な行動に対する評価実験画像例

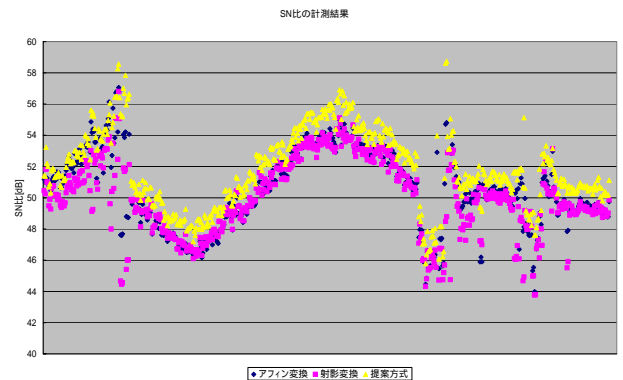


図 7 自由な行動に対する精度評価結果

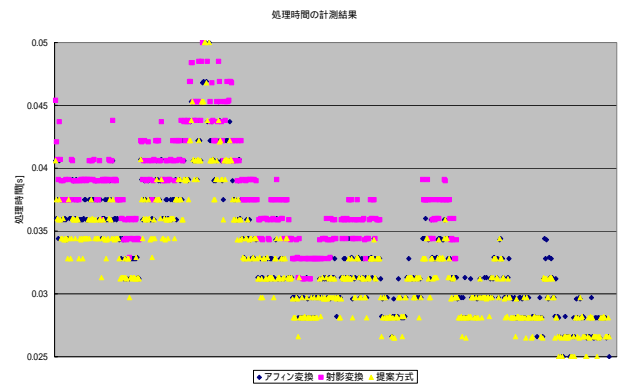


図 8 自由な行動に対する速度評価結果

以上の実験結果をまとめる。各行動において 20 回の平均を求めると、各行動での SN 比は表 2、処理時間は表 3 のようになった。

表 2 SN 比 ([dB]) の測定結果

	前後	回転	手	自由
アフィン変換	52.53	50.66	49.52	51.36
射影変換	50.95	50.63	49.31	50.66
提案方式	53.59	52.08	50.82	53.28

表 3 処理時間 ([ms]) の測定結果

	前後	回転	手	自由
アフィン変換	35.9	34.3	29.8	35.3
射影変換	38.2	123.7	601.9	340.7
提案方式	34.2	33.6	29.0	33.6

### 3.3. 評価実験の考察

これらの評価実験結果から、認識精度と処理速度について考える。認識精度については、前後方向の移動に対して、距離が近くなると認識精度が向上し、遠くなると認識精度が低下する結果となっており、距離が遠くなるほど特徴点の重心位置情報の揺らぎが起きるためであると考えられる。回転についてはここで用いた認識 T シャツの反射率が高かったため、ハレーションを起こし検出した特徴点が少なかったことが考えられる。また、手で隠す動作の場合は、手で隠れた特徴点の数に依存して精度が変わり、約半数の点が消えた際にも十分実用可能と考えられる精度が得られていた。

また、処理速度については、リアルタイムレンダリングで用いられるようなアフィン変換でのマッピングよりも計算量が少ない射影変換を基にした変換を導入することで、リアルタイムの処理が実現されている。さらに、全ての特徴点を検出した際と、補間を行った際の差がほとんど見られず、消失点の補間アルゴリズムでの計算量を減らしたためであると考えられる。また、

したがって、提案手法は十分実用的に耐えうる精度でリアルタイムの処理が実現できている

といえる。そのため、本論文で提案した柔軟物の形状認識アルゴリズムは、リアルタイム処理が可能で出力結果である可視化の精度も実用に耐えうる精度であることから、有効であることが示された。

## 4. まとめ

3 次元のモデルを用いず、かつ奥行き感を表現するために射影変換を基にした、平面パッチのマッピングの手法により、実用に耐えうる精度・速度でのマッピングを実現することを確認し、表面形状のリアルタイムでの表現が可能となった。

今後の課題は、対辺の平行性の評価を自動的に行えるようにすることでさらなる効率化を行うことである。

## 文 献

- [1] 田口, 青木, 安田, “T シャツのリアルタイム仮想試着システム,” 情報処理 AVM 研究会, Mar.2003.
- [2] 田口, 青木, 安田, “リアルタイム仮想試着実現のためのユーザ動作保証に関する一検討,” 情報処理 AVM 研究会, Jun.2003.
- [3] M.Higashi, T.Kushimoto and M.hosaka, “On Formulation and Display for Visualizing Features and Evaluating Quality of Free-form Surfaces”, EUROGRAPHICS, '90, North-Holland(1990), pp299-309
- [4] K. Tagawa, T. Kakimi, T. Ojika and R. Kijima, “A Method for Dynamic Cloth Simulation and its Application in the Virtual Fashion system,” Proceeding of VSMM'98.
- [5] D. Baraff, A. Witkin, “Large Steps in Cloth Simulation,” Computer Graphics, SIGGRAPH 95 Conf. Proc., pp.43-54, 1998.
- [6] X. Dai, T. Furukawa, M. Takatera and Y. Shimizu, “Dynamic dress modeling based on geometric constraints,” Proc. of International Conference on Virtual Systems and MultiMedia, pp.190-202, 1999.
- [7] M. Meissner, B. Eberhardt, “The Art of knitted Fabrics, Realistic & Physically Based Modeling Of Knitted Patterns,” EUROGRAPHICS '98, Vol.17, No.3, 1998
- [8] 花里, 筒口, 古川, 曾根原, 清水, “双 3 次 Bezier パッチの適応的分割を用いた衣服形状生成,” グラフィックスと CAD, pp.61-66, 1997
- [9] 星野, 斉藤, “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,” 情処論, Vol.42, No.5, pp.1182-1193, 2001
- [10] 田川, 木島, 小鹿, “VFS: Virtual Fashion System,” バーチャルリアリティ学会第 5 回大会論文集, 2000