

修士論文
M I R A C L Eシステムにおける
テンプレートマッチングと
テクスチャ合成に関する研究

2007 年2 月2 日
指導教員 安田 浩教授

東京大学大学院情報理工学系研究科
電子情報学専攻 56439
向井 新太

内容梗概

実世界中の情報を測定してコンピュータで扱う技術の1つとして、布のモーションキャプチャの研究が盛んに行われている。布のモーションキャプチャでは、布に対して特別なマーカを貼り付け、そのマーカの挙動をカメラやセンサーで測定することにより布の形状を推定する。布の挙動を記録し再現することが目的となるこの技術は、服やカーテンなど布を用いた製品の製作・設計・展示などのあらゆる過程をデジタル化し、流通および生産の効率を向上させるものとして期待されている。

布のモーションキャプチャにおける1つの技術的な課題としては、しわや歪み、さらには縫合といった、布中での相互の作用を如何にして少ないマーカで効率的に取得するか、という問題がある。現在の計算機の能力向上をもってしても、仮想的に布中の繊維1本1本の挙動を測定し、それを合成して一つの布を作り上げることは非常に困難であり、実際は張力や光沢など、布の数分の1程度の要素しか実装できていないというのが現状である。そこで、カメラやセンサーに映し出された布を対象としたモーションキャプチャ技術が注目されている。布に貼り付けられたマーカを認識することでその形状を推定することができるため、仮想的な物理演算を行うよりも遥かに小さい計算量で布のモーションキャプチャが実現できる。

本研究では、この布のモーションキャプチャ技術を用いて、カメラ中の画像から実際に人が着ている服を認識して、仮想的に衣服を試着するシステムを想定している。このシステムにおいては、人が服を着用していることによる張力の影響や布同士の縫合、重ね合わせなどのマーカの認識を妨げる要因がいくつも存在している。これらの問題を解決するためには、モーションキャプチャ自体の高精度化はもちろん、人間工学的な知識に基づき、マーカの配置を行うのが有用であると考えられる。

そこで本研究では、布のモーションキャプチャを利用して、上半身の服の認識を行うテンプレートマッチングを提案する。提案手法では、服の上に存在するマーカは身体運動による消失を考慮して配置する。さらに、服の認識精度向上のため、袖や裄を分割して認識する。また、現実感を向上させるため物質の質感の再現方法を提案し、これを認識後の画像に対して応用する。

評価実験においては、同じ動画像に対して、従来の布のモーションキャプチャのみを用いた場合と、提案手法を用いた場合とで認識結果を比較し、提案手法の有効性を検証する。また、質感の再現方法に関して他の二種類の方式と評価実験を行い、結果を比較し、再現方法の妥当性を検証する。これにより、提案手法では、高い精度で服の認識およびその質感の再現が行われていることを示す。

目次

第1章 序論	2
1.1 本研究の背景と目的.....	2
1.2 本論文の構成.....	2
第2章 関連研究	
2.1 はじめに.....	5
2.2 布のモーションキャプチャに関する研究.....	5
2.2.1 CGによるシミュレーション.....	6
2.2.2 布のモーションキャプチャ.....	9
2.3 MIRACLE システム.....	12
2.4 質感の再現に関する研究.....	13
2.5 まとめ.....	14
第3章 テンプレートマッチングに関する提案	
3.1 はじめに.....	16
3.2 提案するテンプレートマッチングの概念と目的.....	16
3.3 テンプレートマッチング.....	17
3.4 袖口の認識.....	19
3.5 トラッキング.....	19
3.6 提案手法の評価方法.....	20
3.7 関連研究との比較.....	21
3.8 まとめ.....	22
第4章 質感の再現に関する提案	
4.1 はじめに.....	24
4.2 質感の再現方法の概念と目的.....	24
4.3 質感の再現方法の手順.....	24
4.4 提案手法の評価方法.....	26
4.5 関連研究との比較.....	27
4.6 まとめ.....	27
第5章 MIRACLE システムへの実装	
5.1 はじめに.....	29
5.2 提案手法に関する実装.....	29
5.2.1 システムの構成.....	29

目次

5.2.2 テンプレートマッチングに関する実装.....	30
5.2.3 質感の再現に関する実装.....	31
5.3 提案手法を用いたアプリケーション.....	32
5.3.1 柄画像作成機能.....	32
5.3.2 背景合成機能.....	34
5.4 まとめ.....	35
第6章 提案手法を用いたモーションキャプチャシステムの評価	
6.1 はじめに.....	37
6.2 実験条件.....	37
6.3 モーションキャプチャに要する計算量の評価.....	37
6.4 モーションキャプチャの精度の評価.....	39
6.5 質感の主観評価.....	39
6.6 まとめ.....	41
第7章 結論	
7.1 本研究の成果.....	42
7.2 今後の展望.....	42
謝辞	44
参考文献	45
発表文献	50

目次

2.1	仮想試着システムの概念図.....	6
2.2	布のCGシミュレーション.....	7
2.3	布の連続CGシミュレーション.....	7
2.4	布同士の相互作用のシミュレーション.....	8
2.5	着せ替えインタフェース.....	9
2.6	ヴァーチャルファッションショー.....	10
2.7	機械式モーションキャプチャによる仮想試着システム.....	10
2.8	イメージベースのモーションキャプチャによる仮想試着システム.....	11
2.9	イメージベースの布のモーションキャプチャ.....	11
2.10	二値化マーカの配置.....	12
2.11	MIRACLE システム.....	12
2.12	MIRACLE システムの動作例.....	13
3.1	仮想試着システムのアプリケーション例.....	16
3.2	人体計測箇所.....	17
3.3	採寸箇所.....	18
3.4	マーカの配置.....	18
3.5	提案するマーカ抽出方式.....	19
3.6	袖のマーカ配置.....	20
3.7	トラッキングのアルゴリズム.....	21
4.1	布テクスチャの作成.....	25
4.2	テクスチャ作成結果例.....	26
5.1	MIRACLE システムのアルゴリズム.....	29
5.2	MIRACLE システムの構成.....	30
5.3	Tシャツへのマーキング.....	30
5.4	提案手法の実装結果.....	31
5.5	質感の再現処理結果.....	31
5.6	提案手法の処理の流れ.....	32
5.7	柄画像作成処理の流れ.....	33
5.8	柄画像作成例.....	33
5.9	背景抽出処理の実行結果.....	34
6.1	評価に使用する画像.....	37
6.2	処理時間測定結果.....	38
6.3	主観評価に用いた静止画.....	40

表目次

4.1	三方式の比較.....	26
6.1	ステップ数の比較.....	38
6.2	モーションキャプチャの精度.....	39
6.3	主観評価に用いた静止画.....	40

第1章

序論

1.1 本研究の背景と目的

近年、実世界中のさまざまな物がデジタル化され、情報として手に入るようになった。また、いわゆるネットショッピングも盛んになり、店に足を運び、商品を直に目で見て、手にとって買う行為というのは、過去のものになりつつある。その代わりに、人々はディスプレイ上に写った画像・映像の善し悪しや、掲示板等でのいわゆる口コミのテキストベースの情報から商品の判断をしている。

ただ、画像や映像だけで伝えることのできる情報というのはそれほど多くはない。実際にその商品を使用してから気づくことの方が多し。特に、服や靴・眼鏡など自分の体に着ける商品の場合、自分の体のサイズというものは容易に変更することはできない。そのため、人々は、自分の体に合わないそれらを買ってしまわないように、試着を行う。

しかし、デジタルデータとして商品を見ることはできても、試着することはできない。そのため、ディスプレイ中の商品が、自分に似合っているか、自分のサイズと合っているかというのは、買うまで確かめることはできない。特に、衣服は常に買いたいものの上にランクインしているにも関わらず[1]、現在、利用可能な試着システムは存在していても、着用できる衣服が限定的であり、出力結果もCGベースの静止画像であるため、光沢や質感などがわかりにくく、現実感に乏しい。

そこで、注目されているのが、カメラからの動画像を利用した仮想試着システムである。これは、カメラに映った画像中から服の領域を抽出し、その色・模様を変更し、着せ替えした後の画像を提示するシステムである。このシステムでは、服のサイズとデザインを指定すれば、その完成後の画像を見ることができどんな場所でも、あたかも店の試着室にいるかのように、さまざまな服を試着することができる。さらに、システム中で服の色・模様を変更できることから、服を着替える必要がないため、一度に何十着も試すことができる。

そこで、本研究では、このシステムを実現させるため、カメラの画像中から衣服のモーションキャプチャを行う方法について提案する。まず、上半身に着せる衣服の中からTシャツを取り上げる。試着を実現するためには、このTシャツの柄を自由に変更する必要がある。そこで、Tシャツのモーションキャプチャを行う。モーションキャプチャを適切に行うために必要なマーカの配置及び領域の分割方法について、身体計測法及び人間工学の観点から提案する。次に、提案した配置に基づきモーションキャプチャシステムを作成し、これについて評価を行う。また、仮想試着システムに必要な質感の合成についても提案を行う。

1.2 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。

第2章では、関連研究を紹介する。布のモーションキャプチャ及びシミュレーションを行う技術を紹介し、キャプチャを行う際の、「お手本」となる、布の「モデル」について着目して議論する。次に、モーションキャプチャシステムの中で、単一カメラから布の動きを測定する仮想試着システムについて取り上げて説明する。また、布の質感を再現する研究を取り上げて紹介する。最後に、既存の布のモーションキャプチャについて、機能の点からまとめる。

第3章では、布のモーションキャプチャを用いた上半身の衣服に対するテンプレートマッチングを提

案する。これは、人の着ている衣服の形状を考慮してマーカを配置し、配置に応じたテンプレートをを用いて行うマッチングである。ここでは、提案するテンプレートマッチングの応用例を示し、衣服とマーカのマッチングを行う際のテンプレートについて提案する。また、提案するテンプレートマッチングに適した評価方法について検討するとともに、関連研究に対する提案手法の位置づけを述べる。

第4章では、質感の再現方法を提案する。ここでは、提案するテンプレートマッチングの後処理として、布の上に発生するしわや陰影などの布の「質感」となる要素を抽出し、出力画像に対し質感を合成して再現する方法について提案を行う。

また、提案した再現手法について適した評価方法について検討し、最後に関連研究との比較を行う。

第5章では、提案するテンプレートマッチングと質感再現手法の実装の詳細について述べる。また、これにより利用できる仮想試着システムのアプリケーションについて、具体的に紹介する。

第6章では、提案手法の評価実験を行う。まず、従来のマッチング方法と提案手法のテンプレートマッチングとの間で精度の比較を行う。次に、ソースコードにおける計算量と実測計算時間を算出する。最後に、質感再現手法の妥当性を評価する。

第7章では、本研究の成果をまとめるとともに、今後の展望について述べる。

第2章

関連研究

2.1 はじめに

モーションキャプチャとは、コンピュータグラフィックス(CG)における手法の1つで、センサーを用いて人間などの動きを測定しその情報を計算機に取り込む技術である。モーションキャプチャには数多くの手法が存在し[2]、主に人間の動作を対象としている。これは、コンピュータグラフィックスにおいて、より現実感のある映像を提示するための前処理として、多く用いられる。近年では、ゲームの分野においてキャラクタに、実際に近い動きをさせるためモーションキャプチャが用いられることが多い[3]。

モーションキャプチャの方式には、大きく分けて三種類が存在する。1つは、機械式モーションキャプチャ[4]である。これは、測定する機械を直接対象に取り付け、その変位を測定するものである。この方式は、動きの自由度が機械によって制限されやすいが、高い精度で対象の動作を取得できるという利点がある。2つ目は、磁気式モーションキャプチャ[5]である。これは、磁気をついたマーカを対象に取り付け、その変位を磁界の変化から測定する。この方式は、運動の死角が少ないことが利点であるが、複数個用いた場合の相互の影響を排除できず、多数のマーカを同時に用いることが難しい。3つ目は、光学式モーションキャプチャ[6]である。動きの自由度が非常に高く、複数個のマーカを同時に使用できる。モーションキャプチャの対象となる人間の動作であるが、特に全身の動きを対象としたもの[7]と、体の一部分の変化を測定するもの[8]とに分類される。特に、顔[9]や手[10]などは、その形状に合わせて細分化して測定を行う場合が多い。これは、マーカを増やせば増やすほど誤認率が高くなってしまうため、マーカを必要な部位にだけ配置してモーションキャプチャの精度を保つためである。

また、人間の動きそのものをインタフェースとして利用し、コンピュータに指示を与えるために用いられることもある[11]。

特に人間の動きを対象とすることが多いモーションキャプチャではあるが、他の物体を対象とする場合もある。特に、布を代表とする柔軟物の場合、動き方が不規則的であり、動きをさいげんすることが人体と比較して非常に困難である。また、マーカ間の距離が不定であるため、マーカの動き情報の推定が容易ではない。これらは、布の場合に顕著である。

本章では、モーションキャプチャの技術に関して、特に布の認識について着目し、議論を行う。布のモーションキャプチャを行う際に、マーカとマッチングを行う際の、テンプレートとしての「モデル」に注目し、「モデル」の種類に応じて既存の研究を分類していく。

本章では、布のモーションキャプチャに関して、特にその方式に着目して議論を行う。2.2節では、布のモーションキャプチャに関する研究を紹介する。2.3節では、モーションキャプチャシステムの中からMIRACLEシステムを取り上げて紹介する。2.4節で、質感を再現する手法について述べ、2.5節でまとめを行う。

2.2 布のモーションキャプチャに関する研究

本節では、布のモーションキャプチャの方式と、結果提示のためのCGによるシミュレーションの概要を説明する。布のモーションキャプチャを行う場合、前述の3方式に加えて、カメラからの画像のみを使用するイメージベースの認識も行われている。また、布のモーションキャプチャ結果を提示する場合には、

前節でも見られたように、CGを用いて表現することが多い。このため、モーションキャプチャやその他布の反射特性を利用しつつ、布をCGで合成する研究も盛んである。本節では、モーションキャプチャシステム内の、テンプレートとしての「モデル」という観点から、それぞれのシステムを分類し紹介していく。「モデル」とは、物理法則に基づいた仮想的な布のことであり、観測結果との間でもっとも最適な状態が選別されている。布のモーションキャプチャを用いたアプリケーションとして、仮想試着システムをあげることができる。

仮想試着システムとは、現在自分が着ている服を着替えるということを経ずに、他の服を着ているところを見てみたい、という人間の欲求を実現する技術である。仮想試着システムに関しては、以下に概念図をあげる(図2.1)。



図 2.1 仮想試着システム概念図

すなわち、鏡(ディスプレイ)の前に立つユーザに対して、その人が仮想的な衣服を身に着けている映像を提供するのが、仮想試着システムである。このシステムを実現するために必要な技術としては、まず、衣服を自然に合成する、静的な3DCGシミュレーションである。また、ユーザの動きを取り込み、それに合わせて衣服にマッピングを行うことも必要である。このように、仮想試着システムは、モーションキャプチャおよび動的な3DCGシミュレーションであるといえる。本章では、この仮想試着システムを実現するための研究を2種類に分類して紹介していく。最初に、衣服を合成することに主眼を置いたCGベースの研究を紹介し、次に、ユーザの体型や動きなどの情報を取得してそれに合わせて衣服を合成するモーションキャプチャを用いた研究を紹介していく。

次節において、主に3Dによる衣服シミュレーションを中心に紹介する。

2.2.1 CGによるシミュレーション

CGによるシミュレーションは、多くの場合、張力や反射特性といった実際のデータの計測結果を元に行われている。一口に布といっても、組成・材料は多岐に渡るためその全種類の挙動を仮想的にシミュレーションを行うのは難しい。しかし、布の運動特性と反射特性を測定した上で、張力・光量などのパラメータを自由に変更する研究は盛んに行われている[12]。

衣服のモデル化に関しては、CGによって衣服そのものの合成を実現することをめざすものが多く、特に繊維工業の分野やCGアニメーションなどの映像産業において応用が期待されている。Baraffらは、三角形パッチの網目として布をモデル化した[13]。

しかし、このように布をモデル化しただけでは、試着を実現することは困難である。なぜならば、衣服においては布同士が相互に作用し合い、しわが発生したりゆがんだりしているためである。また、人体を作成して試着の様子を見せる場合には、さらに服と人体との間の摩擦や衝突も考慮しなければならない。一般に、物体間の衝突・摩擦に加えて物体内での相互作用が生じる場合、そのシミュレーションを行うことは計算量が膨大になってしまい、現実的ではない。そこで、実際と比較して影響の少ない作用を無視して計算の簡略化を行うことや、衝突判定に関しては上手く計算の「枝切り」を行って判定にかかる時間を短縮するといった工夫が行われている。このような布と他物体との衝突判定および布同士の衝突を計算するための研究も多数行われている。布同士の重なり、または、布と物体との間の摩擦に関するシミュレーションを紹介する。Bridsonらは、図2.2のように、布と物体間の摩擦で布が物体に引っ張られることによる変形に加えて、布同士の摩擦も考慮したCGモデルを作成した[14]。

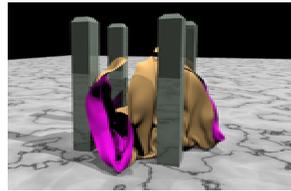


図 2.2 布のCGシミュレーション

また、最近では、先ほど紹介した静的なモデルに対し、布へ重力と相互干渉以外の何らかの外力を加えた場合の動的な変形のシミュレーションも行われている。田川らは、動的な変形過程において、まずは真空中を想定して、布がどのように変化するかシミュレーションをおこなった[15]。また、Choiらは布の湾曲に着目して、湾曲を非常に少ない計算量でシミュレーションを行うモデルを提案した[16]。図2.3に示すように、布の時間的な変化をほぼリアルタイムにシミュレーションできていることがわかる。



図 2.3 布の連続CGシミュレーション

以上のように、CGによる布シミュレーションの場合、モデルを精緻にして現実に近づけようとするほど、実現が困難になっていくという課題がある。しかし、高速化や高度化をめざした研究は数多く行われており、今後の発展が期待される。布シミュレーションの中には、純粋に計算機上で処理を行うだけでなく、実際の布の特性を測定して取り込むという研究も盛んである。

以降は、布のシミュレーションに関して、モーションキャプチャによる布の動作測定を行っている研究を紹介する。Bhatらは、布の種類によって異なる弾性や伸性などのパラメータをカメラの入力画像から

推定し、得られたパラメータを布合成に生かしている[17]. **Scholz**らは布同士のマッチングに関して着目し、モーションキャプチャを行った[18]. この手法では、画像中の明るさ情報から得られる、画像中の各点の速度ベクトルを用いてマッチングを行っている. また、**PitChard**らは、複数の入力画像から、三角測量の原理を用いて対応点を求める、ステレオマッチング方式で測定を行った [19].

次に、人体の動きと、それに付随した布の動きのシミュレーションに関する研究について紹介する. これらのシミュレーションは、モーションキャプチャでは追跡するのが難しい、布の細かい局所的な変化を合成する. 布と他物体における高速なシミュレーションにおいて課題となるのは、物体と布の間の衝突判定である. この衝突判定に関しては、CG 映像の製作等においては、実時間で判定する必要はないが、仮想試着を行う場合には、ユーザからの動きの情報に合わせて実時間で判定を行わなければならない. そのため、実時間またはそれに近い高速な衝突判定を実現する必要がある. **Dochev**らは、歩いている人間の運動によって、着ている服にできるしわや歪みのシミュレーションをおこなった[20]. 衣服に対して、体が前後どちら側にあるのかを判定して、衣服と体が重なった場合でも正しく見えるようにしている. しかし、このモデルでは、布同士の重なりや衝突に関しては考慮されていないため、それらには対応できない. **Govindaraju**らは、可変形なモデルを用いて衝突判定を行うアルゴリズムを提案した[21]. 何万もの三角形で構成されたモデルの間の変形・衝突を扱うことが可能であり、主に布に対しての衝突判定を行うが、肝臓や動脈のカテーテル手術の接触シミュレーションにも利用できる. 先ほど紹介した **Baraff**らは、3DCG キャラクタに布の衣服を着せた際の衝突判定アルゴリズムを提案した[22]. このアルゴリズムにおいては、従来利用していた衝突の履歴を使用するのをやめ、逐一判定を行い、布の人体がもつれることを防いでいる. 図 2.4 に示すように、衣服に対して外力が加えられている状況でも良好な判定結果を示している. また、**花里**らは、双 3 次 **Bezier** パッチを用いて衣服形状を生成した[23]. **堤**は光計測によって人体の形状を測定し、解析を行って人体を被服設計のために 3D モデルで再現した[24]. また、**Ying**らは、布の物理モデルを利用して、カーテンを CG で合成している[25]. **Volino**らは、速度情報や加速度情報を利用した衝突判定法を用いて衣服と人体の衝突シミュレーションを行った[26].

しかし、本章で紹介した衝突判定は、いずれも高速であるとはいいがたく、判定速度と判定精度との間のバランスを取ることが、今後の CG によるシミュレーションにおいて重要となるであろう.



図 2.4 布同士の相互作用のシミュレーション

最後に、上であげた CG シミュレーションを用いた仮想試着システムを紹介する. **HAOREBA**は、衣服や小物などの画像をパノラマ撮影したものを予め取り込んでおき、角度と位置を合わせて合成することで 3DCG による着せ替えを実現している[27]. ユーザの顔写真を 3D のマネキンに合成することもでき、3D モデルによる試着を可能にしている. しかし、モデルの 3次元計測をおこなっていないためユーザ

の動きをキャプチャしているわけではない。Thalmannらは、オンライン衣料販売に合わせた、仮想試着とそのインタフェースを開発した[28]。このインタフェース上では、ユーザが自分の好みの服を3DCGのキャラクタに着せることができる。

五十嵐らは、3次元キャラクタに服を着せるインタフェースを提案している[29]。図2.5に示すインタフェースを用いて、3次元キャラクタの表面に沿って2次元の衣服を貼り付けていく。



図 2.5 着せ替えインタフェース

以上のように、CGシミュレーションによる仮想試着システムについて説明した。CGベースのシミュレーションでは、試着というよりは、コーディネートに近く、実際のユーザの体型や動きといったものを反映できない場合が多い。しかし、モーションキャプチャを行う際の「モデル」としては有効であり、実際にマーカで得られたデータから三次元モデルを推定する際、または推定結果を掲示する際にはこれらの技術は必要である。そこで、次には、ユーザの情報を計測によって取得し、試着に利用するモーションキャプチャを用いた仮想試着システムについて紹介する。

2.2.2 布のモーションキャプチャ

布のモーションキャプチャを用いたアプリケーションとして、仮想試着システムがある。本節では、特に仮想試着システムに利用されているモーションキャプチャ技術について説明する。

モーションキャプチャを用いた仮想試着としては、先ほど紹介したCGベースの布を用いたりして、ユーザの体型・動き等に衣服をうまく貼り合わせて実現する方法がある。モーションキャプチャを用いた仮想試着は、人体の動きを認識するもの、画像中で衣服の認識を行うもの、衣服にパターンを貼り付けて抽出を行うものに大別される。最初に、人体の動きを認識する仮想試着システムについて紹介し、次に画像認識による仮想試着システムについて紹介する。仮想試着技術の発展は、これらの技術の発達に負う部分が大きい。また、試着方式によって、その計測する情報はさまざまであり、個人の体型測定から、歩行や回転など、体の動きの測定まで幅広い。

Spanlangらは、デパートにおいて、ユーザの体型を光学的に測定し、その体型に合わせた3Dモデルにジーンズを着せて、ユーザの試着を補助する実験をおこなった[30]。体型測定の開始から、試着の様子を見ることができるようまで、約10分かかるが、ユーザは、自分の足腰のサイズに合わせたジーンズを選ぶことができるため、好評だったという。

杉浦らは、光学式モーションキャプチャを用いて、実際のモデルの動きを測定し、それに合わせて3DCGのモデルがファッションショーを行う、ヴァーチャルファッションショーを提案・企画した[31]. 図2.6に、その一場面を示す.



図 2.6 ヴァーチャルファッションショー

このシステムにおいては、モデルに自由に服を着せることができ、デザインコンテストとしての人件費や制作費を抑えられるために経費を大幅に減らすことができる。また、自由にカメラ位置を選択して閲覧することができる。

尾下らは、実時間でモーションキャプチャデータに基づく3DCG画像を作成する仮想試着システムを実現した[32]. 図2.7に示すように、磁気式のモーションキャプチャを用いてユーザのデータの取り込みを行う。粒子モデルによる動力学シミュレーションと幾何的な曲面制御手法の組み合わせによって、衣服の自然なアニメーションを秒間13フレームで生成する。このシステムは、仮想試着システムだけではなく、映像やゲーム等の製作にも利用されると考えられる。



図 2.7 機械式モーションキャプチャによる仮想試着システム

次に、画像認識による仮想試着技術を紹介する。画像認識においては、画像中から衣服を抽出して服の描画を行うのが一般的である。これらの方式には、モーションキャプチャ方式と違い、ユーザの負担が軽く、また、実写画像に対して合成を行うため現実感が高いという特徴がある。

益子らは、実写ベースで画像合成を行う方式を提案した[33]. 図2.8に、その実行例を示す。回転や歩行など、試着時に人間の行える動作は限られているものの、服を検出してその上に描画を行うことができているといえる。

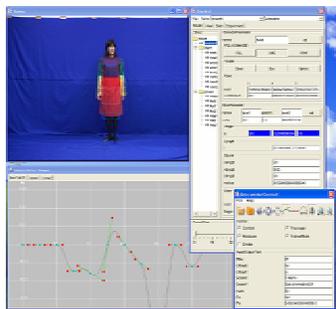


図 2.8 イメージベースのモーションキャプチャによる仮想試着システム

星野らは、人体モデルの推定と、フレーム間の補完を用いた仮想試着システムを提案している[34]。動画像中から人物領域を抽出し、マッピングを行うことに成功しているが、対話型ではなく、高速化が課題となっている。また、化粧のシミュレーションも行っている。

岡田らは、モーションキャプチャと辞書データの活用により実時間での仮想試着システムを実現している[35]。人間の姿勢を辞書としてシステム内に持ち、入力画像から抽出された姿勢と辞書とのマッチングを行う。しかし、入力画像を簡略化して姿勢データを抽出しているが詳細な腕や服の位置を抽出できていないわけではないため、入力画像に対して服を上書きするなどの複合現実感をもたらす処理には向いていない。

これらのシステムにおいて共通しているのは、ユーザが特別な装置や道具を必要としない点である。しかし、その場合に正確かつ安定した検出を実時間で行うのは困難である。そこで、予め特定のパターンを試着用布に貼り付けておき、試着用布を一枚切るだけで、あらゆる柄の布を着ているように見せる、パターン認識による研究を紹介する。

Guskov らは、布に特定のパターンを貼り付けて、それをカメラから検出することによって、仮想試着につながる技術を提案した[36]。図 2.9 に示すように、T シャツの表面に特定のパターンを配置して抽出している。この方式では、布が隠れることを想定していないため、補完をおこなっていない。

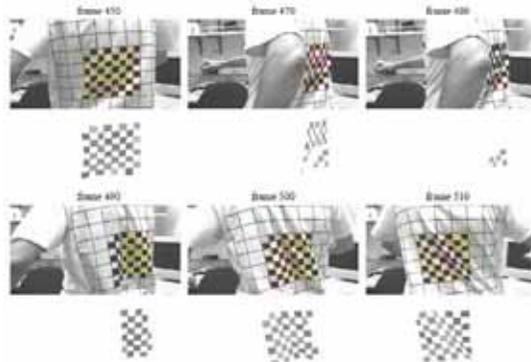


図 2.9 イメージベースの布のモーションキャプチャ

Bradley らは、特殊な白黒模様のパターンを配置し、それを白と黒の二値化画像から検出することによって、布に対する描画を行った[37]。このシステムにおいては、布に当たる光の影響を描画に反映させて

いる。図 2.10 に、検出する布と描画例を示す。

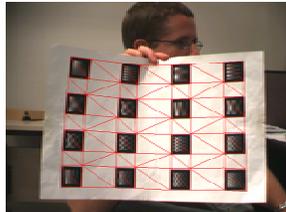


図 2.10 二値化マーカの配置

Scholz らは、色情報をマーカとして用い、イメージベースのモーションキャプチャを行っている。キャプチャを行った結果をもとに立体モデルを構成し、マッピングを行っている[38].

最後に、モーションキャプチャを用いた仮想試着システムとして、MIRACLE システムを紹介する[39]. MIRACLE システムは、色領域抽出によって、布の領域とその上のマーカの検出を行う。布に関するシミュレーションを回避し、布の上の色領域を検出することのみで、実時間で処理可能な仮想試着を実現している(図 2.11).



図 2.11 MIRACLE システム(文献[39]より)

ここで、布のモーションキャプチャシステムについてまとめる。

CGによるシミュレーションの多くは、布に関する物理モデルを有しており、CG中でも衝突や摩擦などの物理現象を表現することを目的としている。そのため、布の特性(反射特性・弾力特性など)の情報が必要であり、これらの測定装置として、布のモーションキャプチャは必要とされている。また、目標とする試着のアプリケーションという点では同じだが、布のモーションキャプチャシステムと人体のモーションキャプチャシステムとでは、モデルが異なっている。布の場合は、元々不定形であるため、実際の布のモーションを捕捉するのにモデルを想定することはあまりない。一方、人体の場合は、そもそも標準的な動き・大きさが既知であるために、ユーザである人の動きのモデルが存在している。モデルとマッチングを行うために、人体のモーションキャプチャは布の場合と比較して、動きを誤認することが少ない。

布のモーションキャプチャのほとんどが、服のモーションキャプチャを行っている。しかし、人が着ている服というのは、ある程度動きや方向が固定されている。そこで、次章からは、人体の動きを利用した衣服モデルの設計を行い、服に適したテンプレートマッチングを提案していく。

2.3 MIRACLEシステム

本節では、先ほど紹介した MIRACLE システムについて詳説し、イメージベースによる服の認識の可能性について議論する。

このシステム名の“MIRACLE”とは“virtual MIRror and Advanced Clothing Environment”の略である。

MIRACLE システムにおける仮想的な試着は、リアルタイムな服のシミュレーションとして、実際に形状が同じ服を試着することにより、処理を軽減し、服の形状変化を認識することで実現している。さらに、カメラ 1 台で撮影された服を 2 次元のモデルとして扱うため、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、リアルタイム性も実現できる。

MIRACLE システムにおいては、T シャツを着た際に胴体部分にあたる領域について仮想的に試着を行うことを実現している。しかし、T シャツの全体に柄があるものも考えられ、その T シャツに対しても仮想的に試着を行うことを可能にすることは重要である。

最後に、MIRACLE システムの布領域検出システムに関して述べる。MIRACLE システムは、カメラで撮影した入力画像中の色領域(図 2.12 (a))から、特定の色で構成された色領域を布として抽出する。そして、予め指定してある色配置(図 2.12 (b))との間のマッチングを行う。この際、検出できなかった点は、他の検出できた点の座標を用いて補完する(2.12 (c))。最後に、検出した色配置に基づいて色領域上に柄画像の描画を行う(2.12 (d))。

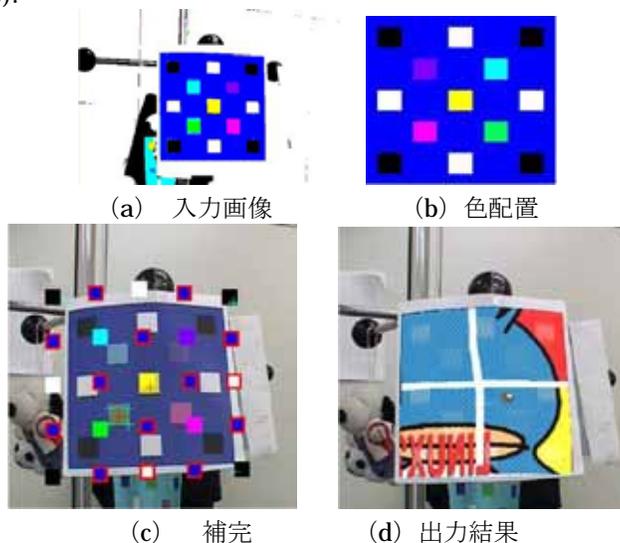


図 2.12 MIRACLE システムの動作例

MIRACLE システムは、色情報を利用しており、マーカをその大きさや位置だけでなく色で区別することができるため、マーカの数をもとることができる。また、処理も早い。布の上のマーカをキャプチャしているため、布の小さな変化、局所的な変化をすぐに反映できる。

2.4 質感の再現に関する研究

本節では、質感の再現および変換(Retexturing)を行う技術について説明する。この技術は、主にデジタル写真の加工において使用されており、たとえば石像の写真を、形状をそのままにしながら、見かけだけ木像に変えてしまう、といったことに使用される。Boykovらは、物体の形状を、二次元画像から陰影ベクトルを抽出して推定し、推定結果に合わせて別の質感を張り合わせることに成功した[40]。Fangらは、写真中の服や像などのオブジェクトの輪郭を抽出し、さらにその中での色調の変化に依存することなく、陰影と質感のみを変化させることに成功した[41]。Rotherらは、ガウス混合によって物体の形状を推定し、形状に合わせて陰影や光沢などの質感の再現を行った[42]。Liらは、領域の選択にLazy Snapping法を用いた。Zelinkaらは、静止画中の服の領域を近傍領域との変化を取って抽出し、別の模様に変換した[43]。動画に対して、Whiteらは、Tシャツに特殊な色のマーカをつけて形状を認識して、陰影や光沢などの質感を抽出した[44]。これは、仮想試着システムの一つでもある。また、佐藤らは全周カメラの情報解析して、実空間の環境に応じた陰影・反射特性を持つ仮想物体を投影することに成功した[45]。

これらの技術は、モーションキャプチャのように、認識される物体についての何らかのモデルを持っているわけではなく、陰影ベクトルや近傍の画素値を検索することにより、布の質感を保持したままで静止画ベースでの仮想試着を実現している。ただし、これらの処理の計算量が大きいため、動画に対して適用する場合、より簡易なアルゴリズムで質感を再現する必要がある。また、質感の再現が仮想試着システムにおいて必要かどうか議論の必要がある。

2.5 まとめ

本章では、布のモーションキャプチャについて述べ、測定結果の認識に用いられる「モデル」に応じて分類して説明した。また、布のモーションキャプチャを用いた仮想試着システムについていくつか延べ、仮想試着システムに必要とされる要件についてまとめた。

2.2節で述べたように、布のモーションキャプチャにおいては、マッチングを行う際のテンプレートとなる「モデル」が重要である。また、2.3節で述べたように、仮想試着システムに求められる実時間性と簡易性を考慮した場合、MIRACLEのようにイメージベースでマーカを認識する方式が望ましい。また、布の認識及び人間の姿勢・形状の認識をそれぞれ独立で行っているが、それを結合させた「モデル」はあまり見られない。服を認識する場合、表面の布を認識するだけでなく着ている人間の姿勢・形状も考慮に入れたテンプレートを作成することが必要である。次章では、この要因を考慮したテンプレートマッチングを提案する。

2.4節で述べたように、質感の再現処理は大変計算量が大きいため、実時間性が必要な仮想試着システムに用いるには、処理をより簡単化する必要がある。また、質感の再現に関しては、動画に適用する場合にアルゴリズムの検討や妥当性の検証が必要となるであろう。

第3章

テンプレートマッチング に関する提案

3.1 はじめに

本論文では、布のモーションキャプチャを利用して、上半身の衣服に対するテンプレートマッチングを提案する。これは、人の着ている衣服の形状を考慮してマーカを配置し、配置に応じたテンプレートを用いて行うマッチングである。本章では、提案するテンプレートマッチングの目的を述べ、衣服とマーカのマッチングを行う際のテンプレートについて提案する。また、提案するテンプレートマッチングに適した評価方法について検討し、最後に関連研究に対する提案手法の位置づけを述べる。

3.2 提案するテンプレートマッチングの概念と目的

布のモーションキャプチャを行う際には、2.2.2 節で述べたように、衣服に対して何らかのマーカを貼り付け、そのマーカの位置から布の形状を推測する。つまり、計測される布の形状はマーカの認識だけでなくキャプチャシステム内の形状推測アルゴリズムにも依存している。形状推測は、キャプチャシステムで事前に決められたテンプレートと計測されたマーカ群との間で行われている。マーカの消失が人体や剛体などに対してより遥かに大きい確率で発生する布のモーションキャプチャでは、このテンプレートマッチングが、その精度に大きく影響を与えていると考えられる。

しかし、人の着ている衣服に対するモーションキャプチャシステムを想定した場合、一枚の布に対してテンプレートとしてマッチングを行うよりも、服の大きさやその挙動の限界を考慮したテンプレートを作成してマッチングを行うほうがより効果的であるといえる。人の着ている服の場合、背丈や袖丈といった基本の大きさが固定されており人間の運動法則からその動きの範囲を推測できる、あるいは、袖や襟など実際に分かれている部分ごとにマッチングを行うことができると考えられる。

このテンプレートマッチングを活用した仮想試着システムのアプリケーションを図 3.1 に示す。図 3.1(a)では、ユーザは PC をネットワークに接続して服の画像を取得している。さらに、PC に接続したカメラとモーションキャプチャシステムを用いて、取得したばかりの服の画像とユーザの服をマッチングして、新しい服を居ながらにして試着することができる。図 3.1(b)では、衣服のデザインを行っている。デザイナーは、設計したばかりの衣服を、モーションキャプチャシステムを用いてすぐに可視化し、あらゆる方向からの見え方・見せ方を検討することができる。

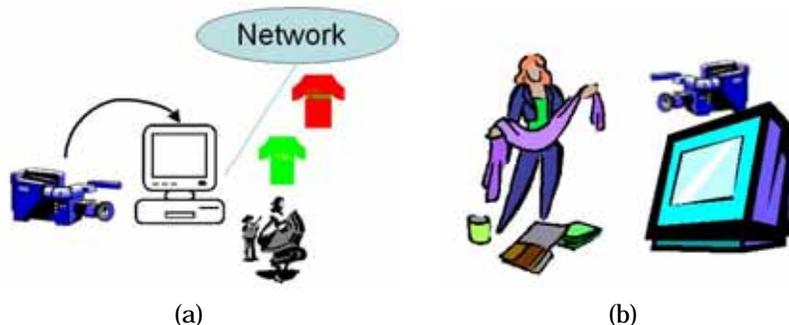


図 3.1 仮想試着システムのアプリケーションの例

この目的のもと、本章では、既存の布のモーションキャプチャシステムと親和性の高い、仮想試着を実現する衣服の特性を利用したテンプレートマッチングを提案する。提案手法では、テンプレートとしてふさわしいマーカの配置を、人間工学及び被服学の観点から決定する。また、それに伴い、従来の布のモーションキャプチャにはなかったトラッキングや円筒形の認識といった機能を付加する。これにより、人の着ている衣服に対するテンプレートマッチングが実現できる。

3.3 テンプレートマッチング

2.2節で述べたように、衣服のモーションキャプチャを行う際に、それを着ている人間の動きの変化に着目したテンプレートを用いているものはあまり見られない。これは、布の部分的で細かな形状の変化を統合することで、服全体を認識しているからである。

しかし、これだけでは全体的な服の形状の変化を補足することは難しい。人体(特に腕など)による遮蔽や、布同士の接触などの、モーションキャプチャを妨げる要因は多い。そこで、本節では、布のモーションキャプチャシステムを利用して、より効率的なテンプレートマッチングを行う手法を提案する。

提案するテンプレート及びマーカの配置は、以下の三項目である。

- ① マーカの配置:身体計測法(マーチン法など、図 3.2(文献)[47]より))によって多少の違いがあるものの、人体は、計測においては特定の箇所の長さを必要とする。

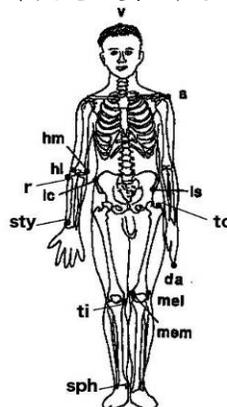


図 3.2 人体計測箇所(文献)[47]より

また、服の採寸においては、人体計測よりも項目は少なくなるものの、上半身の採寸においては「袖丈」「背丈」「桁丈」「肩巾」「胸囲」「胴囲」「腰囲」の七つの箇所の長さを必要とする(図 3.2(文献)[48]より)。そこで、この七箇所とその周囲の位置情報を取得できるようにマーカを配置する。

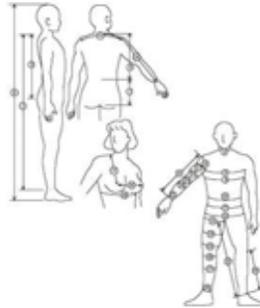


図 3.3 採寸箇所(文献[48]より)

また、人体の形状測定には、図 3.4(文献[24]より)のような配置が使用されていることを考慮し、動き・しわの発生が少ない裄の部分には間隔を広めにしてマーカを配置する。また、動きの大きな袖口部分については後述する。

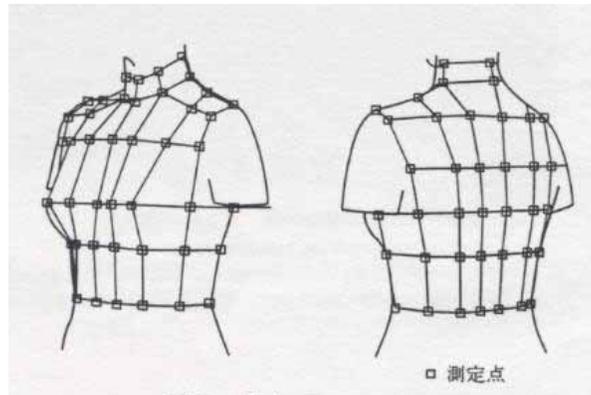


図 3.4 マーカの配置(文献[24]より)

- ② 領域の分割: 袖口と裄を分割して認識する。これは、重なった状態に見える布が、単一の布なのか別々の布なのかを判定することが困難である、という上半身固有の問題を解決するためである。また、動きの激しい袖口部分を、他とは違うアルゴリズムを使用して認識するためでもある。
- ③ トラッキング: マーカのトラッキングを行い、マーカの探索精度・速度を向上させる。トラッキングの手法については後述する。

仮想試着システム内では、服のモーションキャプチャを行う際に、このテンプレートと撮影されたマーカとの間で整合を行うものとする。

これらのテンプレートに対してマッチングを行う場合、マーカの数従来手法の 5×5 格子の四倍近くなる。また、袖口も裄の上のマーカが、身体運動により傾くことや回転することも考えられる。そこで、抽出方法を以下のように変更した。

既に検出したマーカの座標から、残りのマーカの存在する近傍を予測して探索を行う(図 3.5)。この方式を使用すれば、布の回転に応じてマーカの位置関係が変化したり、一部のマーカが消失してマーカの数が増えたり減ったりした場合でもマッチングを行うことが可能になる。

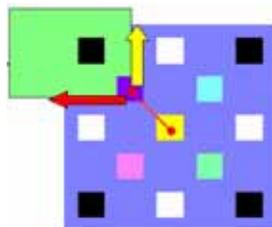


図 3.5 提案するマーカ抽出方式

3.4 袖口の認識

本節では、袖口を想定した円筒形状の布の向いている面を検出するアルゴリズムに関して提案を行う。袖口は、文字通りノースリーブの服以外ほとんどの服についている。袖口は、肩や腕の防寒・保護機能を有しているためである。しかし、この部分のマーカによる認識は非常に難しい。その理由は、肩の関節を利用した回転運動や肘・手によってマーカがカメラからの死角に入る、肩口部分は布の縫合やしわなどによってマーカが消失しやすい、といったことがあげられる。そのため、従来の仮想試着システムにおいては、肩から肘にかけての部分の認識は非常に限定的なものであり、認識精度はユーザの姿勢に依存していた。

そこで、袖の部分は、以下にマーカの配置を提案する(図 3.6)。

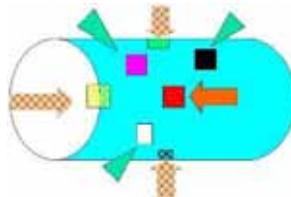


図 3.6 袖のマーカ配置

袖に見立てた円筒形の布の 4 面それぞれに、固有なマーカを配置し、そのマーカを検出することで、布がカメラに対して向けている面を推定してマッチングを行う。マーカが一つしか見えなかった場合、面の上下左右がわからないので、固有なマーカの周囲に、面の方向を推定するためのマーカを配置しておく。

従来の認識方法の多くは、袖口と裄の部分とを連続して認識していたため、セルフオクルージョンや肩口でのしわといった外乱要因に対して脆弱であった。それに対し、提案手法では、これらの課題を領域分割によって服の中で外乱要因の少ない部分にマーカを配置する。

また、袖口は服の領域の中でもエッジ部分であるため、外部とマーカとの境界が不明瞭になりやすい。このため、袖口のマーカは裄とくらべてより細かく配置する必要がある。

3.5 トラッキング

トラッキングとは、マーカやオブジェクトなどを前後のフレームで抽出に成功した場所の近傍で再び抽出を行う手法である。この方式の利点としては、トラッキングに成功した場合、全画面抽出を行わなくても済むため、結果的に高速になること、抽出対象が連続的に動き、しかも消失することがない場合は、非常に高い抽出精度を保つこと、の二点が挙げられる。

ここで、提案手法におけるトラッキングについて述べる。まず、マーカを認識する際には、前フレームにおける位置情報を利用して記憶する。次に、前フレームの位置から一定範囲内にあり、かつ同じ色・最近傍にあるマーカを同一の点とみなす(図 3.7(a))。一定数のマーカを探索できた場合にトラッキング成功とみなし、そうでない場合は探索をやり直す(図 3.7(b))。

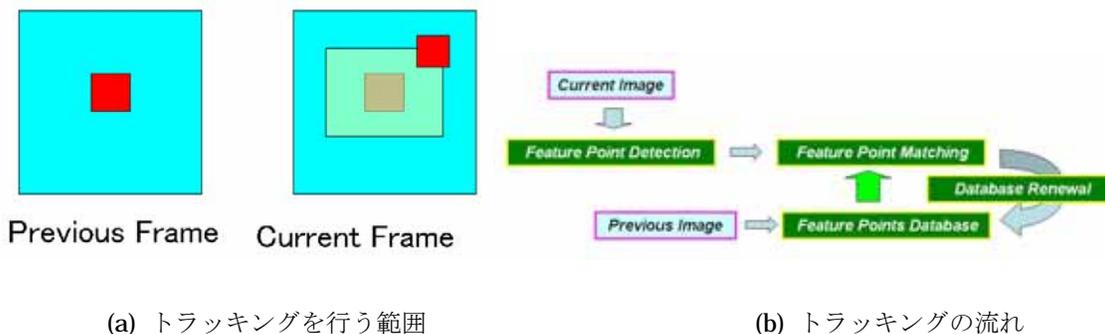


図 3.7 トラッキングのアルゴリズム

3.6 提案手法の評価方法

本章では、提案したテンプレートマッチングの評価方法について提案する。大きく分けて、仮想試着システムとしての処理速度に関するものと、モーションキャプチャの精度の評価である。仮想試着システムとしての処理速度とは、モーションキャプチャの速度だけではなく、テクスチャのマッピングなどの、キャプチャの後処理も含めた処理速度を指す

実時間で動く仮想試着システムでは、一定時間に一定回数以上の処理を行わないといけない。例えば、ビデオ映像では 1 秒間に 30 フレームの処理を行うこととされている。現実的にはこの処理回数を無限に増やすことはできない。しかし、その原因がカメラからの入力やディスプレイへの投影など、ハードウェアに依存した遅延によるものであるか、モーションキャプチャなど処理を行うソフトウェア部分の計算量による遅延によるものであるのかは、第 2 章で見たように、あまり議論されてこなかった。

この理由としては、仮想試着システムの実装過程においてカメラの画像の取り込み遅延やディスプレイへの表示、また、ハードウェアの能力的な限界などから、ハードウェアの計算量や遅延を定量的に算出し比較対照することが困難であったためと考えられる。しかし、仮想試着システムの性能を定量的に評価するためには、ソフトウェアの計算量を測定する必要がある。

そこで、ソースコード及びメモリから、純粋なソフトウェアの計算量を測定する方法を2つ提案する。

1つは、ソースコードのステップ数を測定する。時間効率の見積もりとして、ソースコード内での計算ステップ数を調べる。

2つめは、処理の実行時間から、カメラやディスプレイなどのハードウェアに依存しない処理部分の計算時間を測定する。すなわち、カメラから画像を取り込む代わりに、プログラム中のバッファに画像の情報を格納し、純粋に画像に対して処理を行う時間のみを測定する。また、イメージベースの入力を行う仮想試着システムにおいて、処理時間にもっとも大きな影響を与えらるゝのは、モーショキャプチャとテキストチャマッピングである。そのため、モーショキャプチャ及びテキストチャマッピングの処理時間に関係する、入力画像の解像度を変更して、仮想試着システムの処理の実行時間を測定する。

次に、仮想試着システムの、モーショキャプチャの精度に関して述べる。モーショキャプチャの精度とは、マッチングの精度及びマーカの抽出精度である。そこで、従来のMIRACLEシステムのモー

ショキャプチャの精度と、提案手法のモーショキャプチャの精度を比較する。ただし、仮想試着システムであるため、布で同じ動きを違うマーカで実現するのは困難である。そこで、従来のMIRACLEシステムのマッチング方式を、提案手法のテンプレートに適合して比較を行うこととした。同じテンプレートに対しての精度の比較を行うため、トラッキングや領域分割などの有無によって認識精度の評価を行う。

認識精度の具体的な評価は、1フレーム毎に行う。そのフレーム中で抽出可能なマーカの数を N_{all} とし、仮想試着システムがマッチングに成功したマーカの数を N_{get} 、仮想試着システムがマッチングを(成功・失敗に関わらず)行ったマーカの数を N_{match} とする。このフレームにおける、マーカの適合率 p は、式(3.1)のように表すことができる。

$$p = \frac{N_{get}}{N_{all}} \quad (3.1)$$

また、既知のマーカの位置からの位置推定により、抽出もしくはマッチングに失敗したマーカの位置の補完に成功した数を、 N_{int} とする。このフレームにおける、マッチングの精度 a は、式(3.2)のように表される。

$$a = \frac{N_{get} + N_{int}}{N_{all}} \quad (3.2)$$

3.7 関連研究との比較

本節では、提案したテンプレートマッチングと、2.2節で述べた関連研究との比較を行う。

関連研究においては、衣服のモーショキャプチャを行う際に、それを着ている人間の動きの変化に着目したテンプレートを用いているものはあまり見られない。これは、布の部分的で細かな形状の変化を統合することで、服全体を認識していた。提案手法では、布のモーショキャプチャシステムを利用して、人体の形状や動きの限界・特性を考慮に入れたテンプレートマッチングの方法を提案した。これは、服を

ただ布としてだけ考えるのではなく,人が服を既に来ている状態での布の局所的な変化と服の位置変動の両方を効率的に捉えることが可能である.

3.8 まとめ

本章では,服を着ている人間を想定し,人間の動きを考慮に入れた布のテンプレートマッチングを提案した.提案手法では,服の形状をテンプレートとして保持している,また,マーカの抽出方法を改善し,傾きや回転に対する耐性を付与した.

服のモーションキャプチャを行うためのテンプレートとして,マーカの配置方法と領域の分割方法,および評価方法について提案を行った.

第4章

質感の再現に関する提案

4.1 はじめに

本論文では、布のモーションキャプチャを利用して、上半身の衣服に対するテンプレートマッチングを提案する。これは、人の着ている衣服の形状を考慮してマーカを配置し、配置に応じたテンプレートを用いて行うマッチングである。本章では、提案するテンプレートマッチングの後処理として、布の上に発生するしわや陰影などの布の「質感」となる要素を抽出し、出力画像に対し質感を合成して再現する方法について提案を行う。

また、提案した再現手法について適した評価方法について検討し、最後に関連研究との比較を行う。

4.2 質感の再現の概念と目的

布をはじめとする物質の質感の変換・変更を行う際は、2.4節で述べたように、物質の形状を認識した後で質感や陰影を認識して抽出することが必要である。これは計算量が大きく、仮想試着で要求される動画像に対する実時間処理には向かない。また、布以外の物質と比較した場合、布に適した質感の再現方法も必要である。

カメラからの入力画像を用いる仮想試着システムを想定した場合、質感の再現を行うことで、入力画像中の布のしわや凹凸を保存したまま柄や模様を変更することができる。しかし、モーションキャプチャを用いて、しわや凹凸などの細かな変化を捉えることは原理的には可能であるが、現実的には計算量が大きく、精度と速度を両立させるのは非常に困難である。また、布に限らず、しわや凹凸は証明などの外乱の影響を受けやすいため、ロバスト性も求められる。

以上から、仮想試着システムにおいて、布の上にマッピングされるテクスチャにはしわや陰影などはなく、単に色や模様・記号の集合である。仮想試着システムにおいては、マッピングするテクスチャに対して、後処理でしわや凹凸を付加することが望ましい。なぜならば、しわや凹凸は本来、布の変化に応じてできたものだからである。

そこで、入力画像からしわや凹凸を抽出してマッピングするテクスチャを合成することが必要になる。従来の処理は静止画に対して適用することが多く、動画に対して用いることのできるものは少ない。そこで、計算量も考慮に入れた手法を時節で提案する。

4.3 質感の再現の手順

布をカメラで撮影した際には、布が張っている状態で静止している等の特殊な状況でない限り、しわなどが生じ複雑な表面の形状をしている。そのため布を表現する際には、金属などの表面の滑らかな物体と違い、複雑な表面を再現するためのより細かなテクスチャで表現することが必要である。したがって、カメラから取得した布の画像を質感として抽出する。質感には、陰影・しわなどが含まれているおり、これらはその布の反射特性と考えることが可能である。そして、布が張っている状態とそうでない状態の違いは、周波数空間で解析すると、低周波成分のみの画像と低周波成分だけでなく高周波成分を含む画像に

対応するため、周波数成分が異なる。したがって、周波数成分に注目することで、布の質感を表現することが可能となる[55]。そのため、入力画像の周波数成分 F_{in} は、その布の繊維が持つ周波数成分 F_{org} 、凹凸の周波数成分 F_{bump} とノイズ成分 F_{noise} の和であり、ここではフーリエ変換での周波数変換を行うことにし、フーリエ変換の線形性により、式(4.1)のように表現可能である。

$$F_{in}(x, y) = F_{org}(x, y) + F_{bump}(x, y) + F_{noise}(x, y) \quad (4.1)$$

これにより、マッピングするテクスチャは、入力画像の周波数成分を反映した画像として作成することが可能である。したがって、マッピングするテクスチャの周波数成分 F_{out} は、テクスチャの周波数成分 F_{map} を用いて式(4.2)のように表される。

$$F_{out}(x, y) = F_{map}(x, y) + F_{bump}(x, y) \quad (4.2)$$

したがって、カメラで撮影した画像のみから、その布の反射特性を基にしたマッピングする布のテクスチャを作成することが可能となる (図 4.1)。

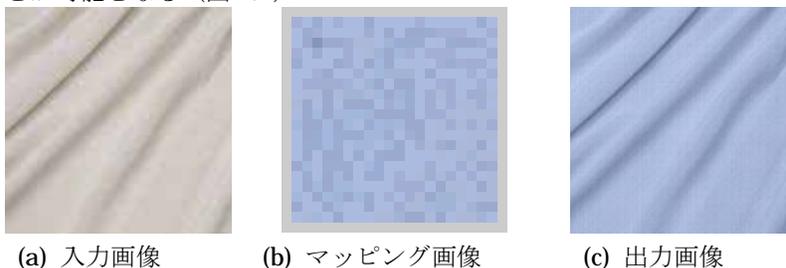


図 4.1 布テクスチャの作成

布のテクスチャを組み合わせることで衣服を表現している。そこで、仮想的に服を着衣させる処理である仮想試着処理において、2 で提案したアルゴリズムを適用し、服のテクスチャ画像を作成することで、環境条件に依存しない仮想試着システムを実現する。

仮想環境上の人物モデルに仮想的な服を着衣させた画像を作成する仮想試着技術の応用として、カメラでユーザの画像を取得し、そのユーザの着ている服とは異なる服を着衣させる画像処理をリアルタイムで行うシステムとして、MIRACLE システムを構築している。MIRACLE システムは、あらかじめ作成した人体モデルではなく、ユーザ自身をモデルとしたリアルタイムの仮想試着システムである。MIRACLE システムでは、服の柄を用いてユーザの着ている服の形状の認識を行っている。そのため、形状認識を行う領域には服表面のテクスチャの形状を効率的に認識するためにマーカを配置した柄の服を用いている。これにより、従来の他のシステムでは人体モデルから推定していた服の形状を計算して表面形状を表現していたが、実際にその表面形状を直接画像として取得することが可能となるため、高速かつ正確な仮想試着処理が可能である。したがって、カメラの入力画像からマッピングする服のテクスチャを環境条件に依存せずに作成することにより、ユーザの様々な姿勢に対応した仮想試着が可能になる。

MIRACLE システムでマッピングを行う服テクスチャの形状は、形状認識に用いているマーカで構成される。しかし、ユーザの姿勢やしわが寄ることによりマーカの消失が起こる。マーカの位置情報により

テクスチャの形状を決定しマッピングするため、そのままではマーカが消失した領域にはテクスチャのマッピングを行えない。そのような状況では仮想的に着衣させる服の一部が欠落した画像になり、仮想試着としてふさわしくない画像となる。服の試着であることから服が破れることはないとする、ユーザが着ている形状認識のための服の柄であるマーカは実際に消失するわけではなく、オクルージョンにより消失しているだけである。そこで、消失したマーカを周囲のマーカの位置情報からその位置を推定し、マーカの補間を行っている。したがって、消失したマーカの補間により、形状認識用のすべてのパッチ形状が決定可能になり、その各パッチのテクスチャから、マッピングするテクスチャを作成することが可能になる。従来はテクスチャのマッピング関数を基に、各画素の対応から輝度情報の差分を基にテクスチャを作成していたが、実際のシステムでは環境条件により基準となる輝度情報が変化するために事前に計測が必要であった。そこで、環境条件に依存しないアルゴリズムを用いることでその布の細かな凹凸情報を取得でき、その領域にマッピングするテクスチャを作成することが可能となる。

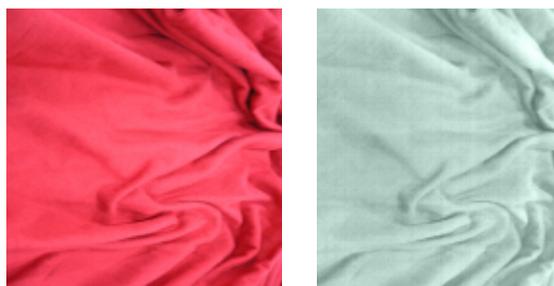
4.4 提案手法の評価方法

提案手法の有効性を確認するため、布テクスチャの再現性の評価を行う。布テクスチャの再現性を評価するために、入力画像をカメラで撮影したテクスチャとし、出力画像を入力画像と同じテクスチャに凹凸情報を付加したテクスチャとすることで、その二つの画像の PSNR で評価を行う。また、比較方式として、テクスチャの頂点の輝度からテクスチャの輝度を補間する方式（頂点輝度方式）と、従来の基準輝度からの差分を用いる方式（輝度差分方式）を比較方式とする。ここでは 10 種類のテクスチャについて各テクスチャの PSNR とテクスチャ作成の処理速度についての評価実験を行った。結果を表 4.1 に示す。

表 4.1 三方式の比較

方式	PSNR[dB]	処理速度[ms]
提案方式	65.57	33.1
頂点輝度方式	43.26	23.8
輝度差分方式	55.19	12.6

これにより、リアルタイムかつ高精細なテクスチャが作成可能であることを示す。また、実際に提案方式で作成したテクスチャの結果画像の一例を図 4.2 に示す。



(a) 入力画像

(b) 出力画像

図 4.2 テクスチャ作成結果例

次に、仮想試着システムにおける提案手法の評価について検討する。

布の質感というものは、布の光沢であったり、しわであったり、色みである。しかし、これらの反射特性・物理特性・色彩を画像中から定量的に評価することは非常に困難である。なぜなら、被写体の布の持つ特性に加えて、周囲の照明条件や物理作用といった外乱要因が加わっているため、画像中から布の質感というものを分離できないためである。

しかし、仮想試着システムで要求される布の質感は、ユーザが知覚できるかどうか、ということが重要である。そこで、布の質感再現手法について、本当に本物の布に近く見えるかどうか、という点を被験者に対して主観評価実験で判断してもらう。主観評価実験で評価すべき項目は、以下の2つである。すなわち、静止画による再現と動画による再現である。静止画の場合は、被験者は写真を見てじっくり布を確かめることができる。一方、動画の場合には、実際の服と同じく、しわの入る様子や陰影が移動する様子まで提示できると考えられる。

被験者には、提案手法を用いた場合、用いなかった場合、入力画像そのままの場合、の三種類の画像を静止画と動画像としてそれぞれ掲示する。

4.5 関連研究との比較

本節では、本章で提案したテンプレートマッチングと、2.2節で述べた関連研究との比較を行う。

2.3節で述べたように、質感の再現を行う研究は、布に関しても多数行われているが、その質感再現処理は、一般に、物体の陰影のオプティカルフローによる推定とそれに応じた質感のマッピング、及び物体の領域認識などで高精度を追求していくと、実時間処理に向かなくなる。しかし、本章で提案した手法は、主に周波数変換と輝度値変換によって質感のみを抜き出すものであり、計算量は低い。そのため、実時間処理が必要な仮想試着システムとの親和性が高い。

また、他の手法で行われている物体の領域認識と凹凸形状の推定を、仮想試着システムにおけるモーションキャプチャとテクスチャマッピングで代替している。すなわち、仮想試着システムと相互補完しているという点においても、提案手法は有効であると言える。

4.6 まとめ

本章では、カメラで撮影したビデオ映像中の布のテクスチャ画像からそのテクスチャの質感を抽出し、マッピングする布テクスチャに反映することで、環境条件に依存しない布の質感再現アルゴリズムを提案した。

第5章

MIRACLEシステムへの実装

5.1 はじめに

本章では、第3章及び第4章で述べた提案手法を、MIRACLEシステムに適用した場合の実装例について説明する。最初に、提案するテンプレートマッチングの実装の詳細について述べる。次に、質感の再現の実装結果について述べる。最後に、提案手法を用いたアプリケーションについて述べる。

5.2 提案手法に関する実装

本節では、2.3節にて紹介したMIRACLEシステムに対する提案手法の実装について述べる。

まず、MIRACLEシステムの構成と、実装における留意点について述べる。次に、提案するテンプレートマッチングをMIRACLEシステムに実装した結果を述べる。最後に、質感の再現手法をMIRACLEシステムに実装した結果について述べる。

5.2.1 システムの構成

MIRACLEシステムのアルゴリズムを、図5.1に示す。図5.1(a)に示すように、マーカをカメラで検出し、PC内でのマッチング結果を出力する[56]。

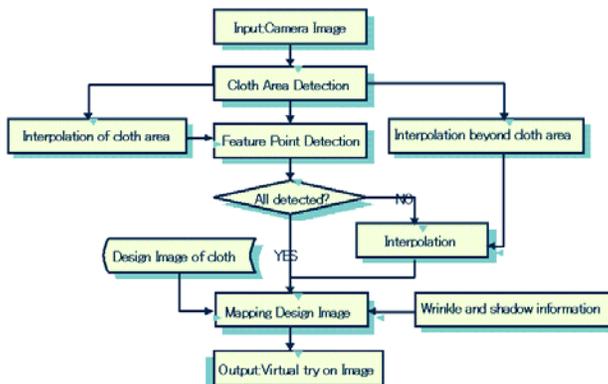


図 5.1 MIRACLE システムのアルゴリズム

実際のMIRACLEシステムは、図5.2のように、カメラ・PC・ディスプレイから構成されている。単一のカメラからシステムに画像を入力し、PC内でモーションキャプチャを行い、処理結果をディスプレイに出力している。



図 5.2 MIRACLE システムの構成

5.2.2 テンプレートマッチングに関する実装

MIRACLE システムでは，色情報を用いてマーカと布領域をカメラから入力された画像から抽出している．そこで，3.3 節で提案したテンプレートに応じて，図 5.3 のように T シャツに対してマーカの付加と領域分割を行った．



図 5.3 T シャツへのマーキング

マーカに対するテンプレートマッチングは，領域認識とマーカの認識の二段階に分けて行われている．領域認識の段階では，三色の色領域を認識して，領域分割された袖や裄を認識する．次に，それぞれの領域内のマーカを探索してマッチングを行う．従来は単一色の領域へのマッチングを想定していたため，領域認識とマーカの認識を，領域の色毎で連続して行っても問題がなかった．しかし，提案手法で異なる色の領域のマッチングを終えてからマーカの認識を行うために，処理を二段階に分けて行っている．

また，従来のマーカの抽出方式では，マーカの領域が布領域の端に来た場合，布の外部として認識されてしまっていた．これは，特に袖口の部分や服の輪郭部分で発生した．そこで，テンプレート内の色情報と位置情報に基づいてマーカとそれ以外の領域を区別した[57,58]．この T シャツを MIRACLE システムにて認識した結果を図 5.4 に示す．

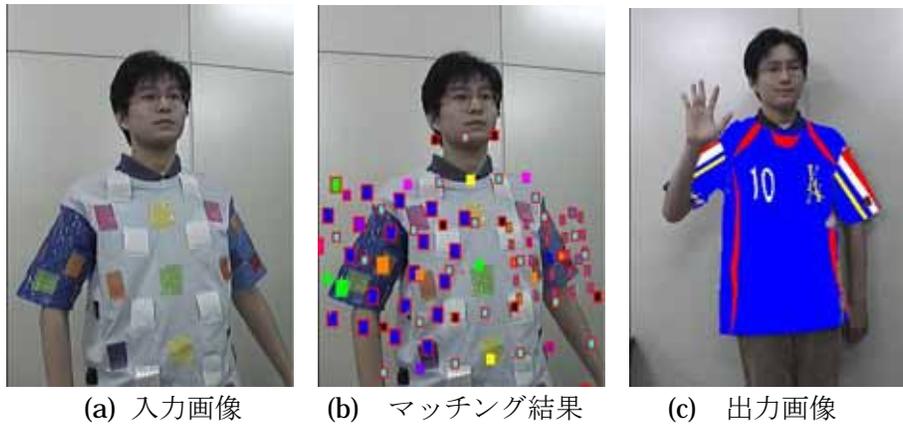


図 5.4 提案手法の実装結果

5.2.3 質感の再現に関する実装

モーションキャプチャの後処理として、第 4 章で提案した質感の再現処理を実装した。実装後の結果を図 5.5 に示す。布領域に対してのみ処理を実行できていることがわかる。



図 5.5 質感の再現処理結果

質感の再現・テンプレートマッチングを含めた処理の流れを図 5.6 に示す。従来のマッチングを提案するマッチングに変更した。また、質感の再現処理を行わない場合のことも考慮して、質感の再現処理をモーションキャプチャの後処理として実現した。GUI から、従来のマッピングを選択することも可能である。

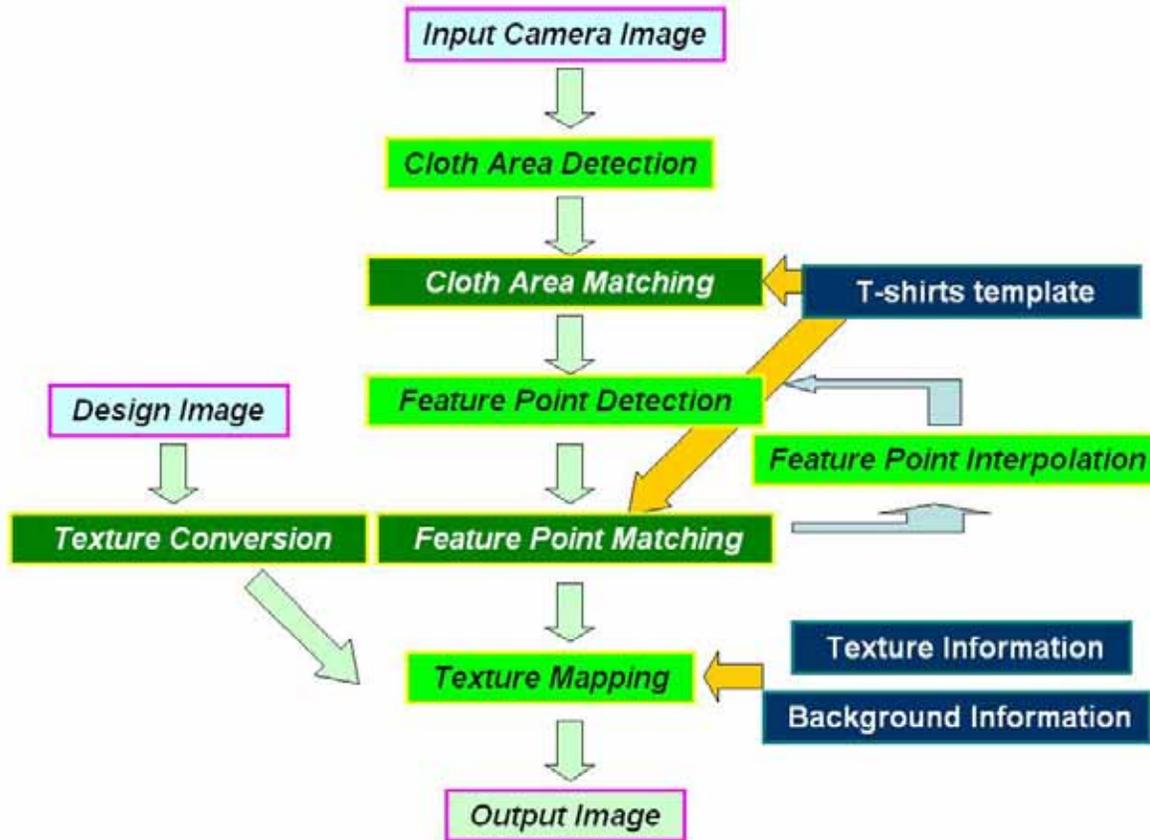


図 5.6 提案手法の処理の流れ

5.3 提案手法を用いたアプリケーション

提案したモーションキャプチャを利用したアプリケーションとして、柄画像の作成機能と背景の合成機能を実装した。提案手法は、仮想試着システム向けの衣服のモーションキャプチャであるため、衣服をマーカとしてユーザに対し試着後のイメージを提供することができる。

本節では、仮想試着システムに固有な性質を生かしたアプリケーションを二つ提案して実装する。

一つは、仮想試着システムの双方向性を生かした柄画像作成機能である。

もう一つは、仮想試着システムの画像処理機能を利用した背景合成機能である。

ここでは、それぞれの機能を提案し実装した結果を示す。

5.3.1 柄画像作成機能

仮想試着システムにおいては、マッピングするテクスチャを自由に変更することで、あたかも違う服を着ているかのようにユーザに画像を掲示することができる。また、PCにキーボードやマウスその他のインタフェースを接続することで、掲示する画像に対してユーザが何らかの指示を行うことができる。

すなわち，仮想試着システム内で使用するマッピングのためのテクスチャに対して，双方向性を持たせることが可能である．双方向性を生かした機能の例として，ユーザの嗜好を入力してもらい，それに応じた画像を作成することが上げられる．

そこで，柄画像を自由に作成できるインタフェースが必要となる．このようなインタフェースは，ペイントソフトやペン入力などでも可能であるが，これらをユーザが仮想試着システムを利用しながら使うことは難しい．なぜなら，ディスプレイに掲示されたユーザ自身の像が，ディスプレイに対して絵を描いている姿となってしまうからである．そこで，キーボードやマウスといった簡単なインタフェースから遠隔操作して絵を生成することが望ましい．

このシステムの処理の流れを図 5.7 に示す．

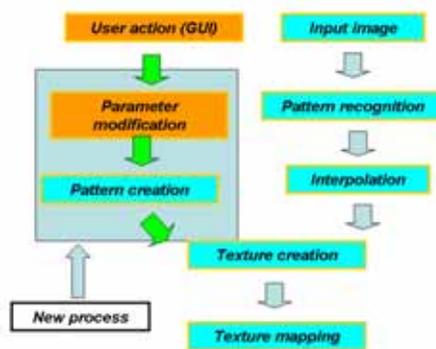


図 5.7 柄画像作成処理の流れ

絵を生成する際に，規則性を利用して模様を生成する手法がある[49,50,51,52]．ある一定のパターンに画像を，規則的回転や反転を行いながら投影して絵を生成する（図 5.8(a)）．

そこで，投影する規則をキーボード入力で変更可能にして，この模様の生成手法を MIRACLE システムに対して実装した．図 5.8(a)に示すパターンから，図 5.8(b)に示す絵を作成することが可能である．さらに，このアルゴリズムを図 5.に示すように，マッピングするテクスチャとして MIRACLE システムで利用した．さらに，色や模様の種類まで変更することが可能である．

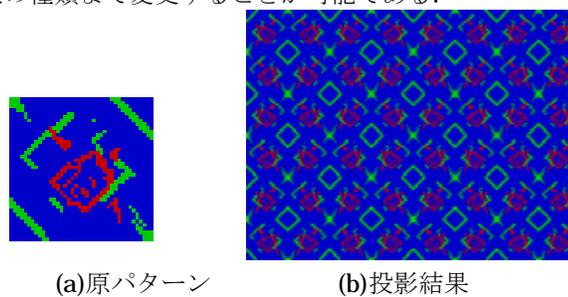


図 5.8 柄画像作成例

これにより，ユーザの入力に応じて，マッピングするテクスチャの色や模様を変更することのできる双

方向性のある仮想試着システムを作成することができた。

5.3.2 背景合成機能

仮想試着システム内で画像処理を行うことによって、ユーザに提示する画像にさまざまな付加価値をつけることが可能である[53,54]。そこで、仮想試着システムに求められる付加価値として、背景合成機能を提案し実装する。

服を選択する際に、目的に応じた服を選択することは非常に重要であり、目的の場面を想像し、その場面にふさわしいと判断した服を決定する。仮想試着は仮想空間での処理のため、背景の自由な変更が可能である。そのため、ユーザの目的に応じて服の着衣姿およびその場면을提示することが可能である。したがって、背景の選択機能は、仮想試着システムの支援機能として有効である。

MIRACLE システムでは、カメラ一台で撮影した画像から、ユーザの服を認識し、その形状から仮想的に着衣処理を行って、映像として表示するため、背景の選択機能実現のためには、撮影した画像からユーザ領域と仮想試着処理領域以外の背景領域を抽出する必要がある。

一般的には、カメラで撮影した画像から背景領域を抽出するために、クロマキーを始めとしたキーイングを行う。これは背景を事前に準備したり、ライトなど光源を固定したりする際には非常に有効だが、カメラ画像を元に他の準備を必要としない仮想試着システムにおいては、システムの汎用性を考えた場合、システムの使用環境に依存しないことが望まれる。そこで、MIRACLE システムにおける背景領域の抽出処理は、リアルタイムかつ動的な閾値による領域判定アルゴリズムでの処理を行う。

システムの起動時及び任意の時間に背景のみの画像（背景画像）を取得し、それ以降の画像に対して背景画像との差分の計算を行うことで背景領域を抽出する。差分の計算では、画像中に含まれると考えられる色に分類することにより、環境条件が変化した場合においても色の判定を実現している。実際にMIRACLE システムに実装した結果、図5.9のようになった。これにより、本アルゴリズムの有効性が確認された。



図 5.9 背景抽出処理の実装結果

5.4 まとめ

本章では、提案するテンプレートマッチングと質感の再現方法の実装例について述べた。まず、テンプレートマッチングの実装の詳細について説明した。次に、質感の再現が実現可能であることを示した。また、提案手法を用いて仮想試着を行うアプリケーションを示した。また、仮想試着に必要な付加機能として柄画像作成機能と背景合成機能を作成し、実装結果を示した。

次章では、提案方式の処理速度及びモーションキャプチャの精度について、定量的な評価を行う。さらに、質感の再現手法について心理実験を行い、妥当性を評価する。

第6章

提案手法を用いたモーションキャプチャシステムに関する評価

6.1 はじめに

本章では、イメージベースの布のモーションキャプチャシステムである MIRACLE システムを利用して、提案手法の評価を行う。まず、3.3 節で述べた従来のマッチング方法と提案手法のテンプレートマッチングとの間で精度の比較を行う。次に、ソースコードにおける計算量と実測計算時間を算出する。最後に、4.4 節で述べた質感再現手法の妥当性を評価する。

6.2 実験条件

本章では、図 6.1 に示すカメラ入力データのデータを利用して実験を行う。

カメラ入力画像は、MIRACLE システム[]で撮影された動画像をコマごとに静止画に分割したものを使用する。入力画像の解像度は 640×480 画素である。

また、6.3 節で使用される高解像度・低解像度の解像度は、それぞれこの入力画像の 4 倍・1/4 倍である。この際、MIRACLE システムの純粋なソフトウェアの計算量のみを抽出するためカメラからの直接入力ではなく、分割された静止画を対象に測定を行った。



図 6.1 評価に使用する画像

また、諸実験に使用した計算機の性能は、プロセッサ：Pentium4 3.4GHz, メモリ；1.49GB RAM, グラフィックスカード ATI Fire GL V3100 (オンボードメモリ 128MB)である。

6.3 モーションキャプチャに要する計算量の評価

仮想試着システムが、ユーザに対して試着した像を掲示するためには、行う必要がある。そのため、布のモーションキャプチャやテクスチャのマッピングといった各レイヤでの処理を実時間内で行うことが重要である。そこで、本節では第 3 章で提案したテンプレートマッチング及び第 4 章で提案した質感の

再現手法を総合した計算量の評価を行う。

まず、3.6節で示した、ソースコードに基づいた計算量の測定を行った。結果を表6.1に示す。

表 6.1 ステップ数の比較

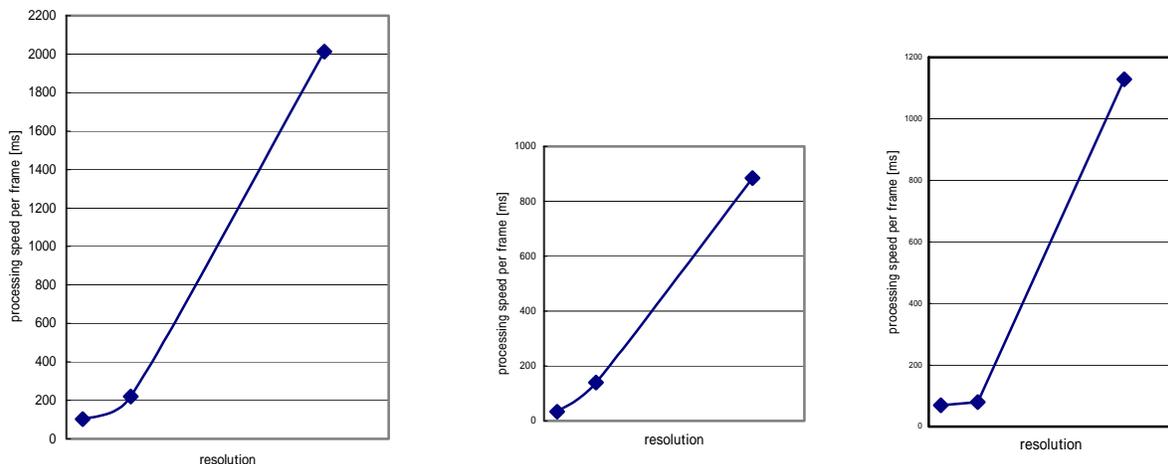
手法	ステップ数
提案手法	17285
従来手法	8750

マッチング処理は、従来と比較して、ステップ数が多くなった。これは、領域認識や、円筒形の認識などの新しい機能が追加されたためである。

また、マッピング処理は、従来手法ではなかった質感の再現処理が加わった。そのため、ステップ数が増大した。質感の再現処理の際には、周波数変換の高速化など、更なる向上が必要である。

次に、実際のマッピングとマッチングに必要な時間を測定した。ビデオ入力による遅延を除くため、画像の入出力部分のみの時間を測定した。

測定した結果は、図6.2のようになった。縦軸は、処理時間を表す。横軸は、入力画像の解像度であり、グラフの点は、それぞれ左端から、解像度 320×240 , 640×480 , 1280×960 の場合の測定値である。図6.2(a)は、マッチングとマッピング両方に要した平均時間、図6.2(b)は、マッチングに要した平均時間、図6.2(c)は、マッピングに要した平均時間を表す。



(a) 全体の処理時間

(b) マッチングに要した時間

(c) マッピングに要した時間

図 6.2 計算量測定結果

モーションキャプチャに要する計算量は、入力画像の解像度に依存することがわかる。また、モーションキャプチャ後のテクスチャマッピングの計算時間が、その前処理よりも大きくなっている。これは、マッチングされるテクスチャも、入力画像と同じ解像度にして測定を行ったためである。

解像度が 320×240 の場合は、提案手法を用いても、ほぼ実時間に近い(約 10fps)で動作が可能である。

実際には、ハードウェアで発生する取り込み遅延などがあるものの、十分実時間で動作可能である。

マッピングや入力に使用する画像の解像度を 320×240 など、現在よりも小さくしていくことで、十分実時間での処理が可能となる。また、計算機的能力を上昇させれば、現在の 640×480 の解像度で高速に処理を行うことができる。

仮想試着システムにおいては、実時間の処理が重要であるが、今回の結果から、モーションキャプチャよりもテクスチャマッピングの方に計算時間をかけていることがわかった。このため、仮想試着システムにおいて高速処理を行うためには、入力画像の解像度を下げるよりも、マッピングするテクスチャの解像度を下げる方が有効である。

また、解像度を多少下げてもモーションキャプチャの精度は変化しない。これを利用して、1フレーム内で、解像度を下げた画像に対して処理を行い、出力する際に解像度の高い元の画像に対してマッピングを行うこともできる。これは、ユーザに高い解像度の画像を掲示することができるため、一考の余地がある。類似の例としては、他の多くのイメージベースの仮想試着システムで見られるように、モーションキャプチャを行う際に、入力画像を二値化するなどで扱うデータの量を減少させている。

以上から、提案した仮想試着システムは、実時間で動作可能であることが示せた。

6.4 モーションキャプチャの精度の評価

本実験では、モーションキャプチャの精度の評価。従来の手法と、提案手法との間で精度を比較した。比較結果を表 6.2 に示す。

表 6.2 モーションキャプチャの精度

方式	精度(%)	適合率(%)
提案方式	87.40	66.32
従来方式	44.16	34.54

従来方式の特徴点の抽出・マッチング方法は、提案したテンプレートに対して適合しづらかった。その理由としては、使用した画像中で人が片側に傾いている場合が多かったこと、元々、 5×5 格子の中でマッチングすることを目的としていたため、マーカの数が増えて 2 つの特徴点の位置を判定できなかったこと、などがあげられる。

以上から、提案手法のテンプレートマッチングが有効であることを示せた。

6.5 質感の主観評価

第四章で述べた質感の再現手法では、周波数変換と輝度値変換によって、入力画像の布の質感をマッピングするテクスチャに合成する。本節では、4.4 節にあげた評価手法にもとづき、質感の再現度合いの主観評価実験を行った。

主観評価実験では、以下の基準で被験者が絶対評価を行った。

- 5 : 大変, 布の質感が出ている. 本物のように見える
- 4 : どちらかという和本物の布のように見える.
- 3 : どちらでもない,
- 2 : どちらかという和本物の布のように見えない. あまり質感を感じない
- 1 : 全く本物の布のように見えない. 質感を感じない.

布の質感とは, 色・しわ・光沢・反射などであり, 実際の布を頭の中でイメージしてもらうようにアンケート中で説明した.

また, 主観評価実験のうち, 静止画で用いたものを図 6.3 に示す.



(a) 入力画像

(b)従来方式

(c)hsv 系を用いた方式

(d)提案方式

図 6.3 主観評価に用いた静止画

主観評価の結果を表 6.3 に示す. 被験者は 7 人であった.

表 6.3 主観評価実験の結果

方式	評価値(動画)	評価値(静止画)
従来方式	2.43	1.29
hsv 方式	3.57	4.14
提案方式	4.00	3.71

主観評価実験からは,提案方式が質感の再現に有効であることがわかる. 動画の場合, 従来方式よりも提案方式の方が高くなった. しかし, 静止画の場合では hsv 系を用いた方式の方が,より布らしさが出ている, とされている. 今回の実験では, マッピングするテクスチャの色再現性を考慮に入れておらず, ただ, 見かけが布らしいか, という判定であった. そのため, 色再現性が十分でなかった hsv 系を用いた方式が最も指示を集めた. これは, 入力画像の色の再現影響が強かったためで, hsv 系を用いた画像を, 本物の布と同じような色をしている, と思い込んだ被験者もいた, 静止画の場合は, マッピングするテクスチャの色の再現を行うよりも, 布らしい色を出す方が, 質感の再現にも好影響を与えるということがわかった.

一方, 動画の場合では, 1つのフレームをじっくり見る機会がないため, 布地の色よりも, 陰影などの変化に注目が集まって, 提案方式の質感が生かされたと考えられる.

6.6 まとめ

本章では、提案手法の計算量と精度の評価・測定、及び質感の主観評価を行った。

計算量の評価実験からは、マッピングするテクスチャの大きさが計算量に占める割合が大きいことが判明した。これは、マッピングを行う密度を仮想試着で利用される領域の大きさに応じて変化させることで、実行時間の短縮につながると考えられる。また、入力画像の解像度を下げること、処理速度の向上を容易に図ることができる。低解像度化に伴う、マッピングの精度の変化を調査することが今後の課題となるであろう。また、マッピングを行う場合にのみ、入力画像の大きさを圧縮してから仮想試着処理を行うことも、高速化の手段として考えられる。

精度の評価実験からは、提案手法の有効性が示された。従来のマッチング方式の場合、 5×5 の格子状のマーカに対しての誤認はほとんどなかったが、マーカの数が増加したため、誤認を行っていた。

主観評価実験からは、提案方式の動画における有効性が示された。色再現性に優れた提案方式よりも、ほとんど入力画像の布の色と同じだった **hsv** 方式が静止画では上回った。このことは、本物の布らしい色を出すことが質感の再現に重要であることを示している。

第7章

結論

7.1 本研究の成果

本研究の主な成果について述べる。本研究では、Tシャツを取り上げて、そのモーションキャプチャを行うためのテンプレートマッチングを提案した。テンプレートマッチングにおいては、身体計測法・身体運動に基づいたマーカの配置と領域分割を行った。これにより、実時間での服のモーションキャプチャに成功した。

第3章では、被服学や人間工学の知識に基づき、上半身の服に対するテンプレートマッチングの方法を提案した。この方式の特長は、動きが大きく形状が変化しやすい腕の部分を、他の部分と分割して認識することで、より高い精度のモーションキャプチャを可能にしている点である。トラッキングとマッチングを併用することで、上半身に固有の問題である、腕や袖などによって裯（胴）の部分が遮蔽にも耐性をつけることができた。

第4章では、周波数変換による布の質感を再現する方法を提案した。これにより、衣服の質感を保存したまま、画像の色や柄を変更することが可能であることを示した。

第5章では、MIRACLE システムに対し、提案するテンプレートマッチングと質感の再現方法を仮想試着システムとして実装した。また、仮想試着システムのアプリケーションと、提案する衣服のテンプレートマッチングの親和性が高いことを示した。

第6章では、提案したテンプレートマッチングと質感の再現方法の評価を行った。提案するテンプレートマッチングはほぼ実時間内で動作可能であることを示した。また、入力画像やマッピングするテクスチャの解像度に着目し、目的に応じた実装の指針を示した。また、周波数変換を用いた質感の合成手法が布の質感の反映について有効であることを示した。

7.2 今後の展望

本研究の今後の展望について述べる。

高速化と精度

本研究では、以前は困難であった服のモーションキャプチャを行った。しかし、対象とするカメラの解像度が高くなると、実時間で処理するのが困難となってくる。そこで、第6章で示されたシステムの評価から、実装やソースコードを見直し、処理速度を向上させることが求められている。

モーションキャプチャ技術は、精度と速度がトレードオフの関係に近く、両者を両立させることは、重要な課題である。

高精細化とテクスチャ

現在、提案手法では、衣服のテクスチャは色情報だけのものと、色情報にカメラ入力の質感を加えたものの二種類しか存在しない。しかし、CGの分野などでは、テクスチャが人に与える印象というのは非常

に重要であり、仮想試着システムの揭示画像といえども無視できない。

そこで、システム内でマッピングを行う際に、衣服のテクスチャ情報に、布の繊維や服の縫い目などの情報を付加して、ユーザに揭示される画像にも反映することが考えられる。

この場合、テクスチャ情報の更新や合成方法の改善はもちろんのこと、新しい課題として、ディスプレイからユーザにきちんと揭示できるか、という課題が生ずる。この課題に対しては、解像度をあげることや、処理系の中で高精細化を行うことなどに取り組む必要があるだろう。

全身の衣服への適用

本研究で提案されたモーションキャプチャ及びテクスチャ合成方法は、仮想試着に応用できる。特に、テンプレートマッチングを応用することによって、下半身の服(ズボンやスカートなど)のモーションキャプチャが可能になる。これによって、全身の衣服のコーディネートや着せ替え・なりきりなど、アプリケーションの対象が拡大する。

全身への適用を行う際の課題は、速度・精度のバランスをいかにして保つか、ということになる。取り扱う布領域が膨大になる。これに対して、CELL などの高性能チップを導入するといったハードウェアの強化で対処する方法が一つである。また、チップ上に載せるなど、処理系をハードウェアの中に入れてしまうという方法もある。

しかし、これらを画像処理的に解決する場合は、マーカや布領域という情報を、現在の可視化された状態から、別の状態に変換して保存するという方法がある。たとえば、周波数領域や輝度領域でマーカを探索することができれば、現在のマーカに対するテンプレートマッチングをそのまま使用しつつも、従来の方式よりも早くマーカを抽出することができ、処理の高速化につながる。また、可視化されていないマーカの場合は、人からの視認性が低いため、マーカであることを目立たせずにおくことができる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、素晴らしい研究室の環境を提供していただき、また、研究においては、適切なご指導、ご助言をしていただきました安田浩教授、青木輝勝講師に、厚く御礼申し上げます。安田教授には、ご多忙の中にもかかわらず、様々な面からの的確なご助言とご支援をくださいました。特に、大局的な見地からのご助言は、よい意味での刺激を私に与えて下さいました。青木輝勝講師には、的確で有益なご助言をいただきました。特に、綿密かつ丁寧なご指導には何度もお世話になりました。深く感謝致します。

また、二年間の研究生活において、安田・青木研究室の皆様には大変お世話になりました。特に、MIRACLE システムの開発者である田口哲典氏(現：富士通)には、研究テーマの設定や論文調査などで何回も相談にのっていただき、その度に数々の非常に有益なご助言をくださり、大変お世話になりました。この場を借りて心から感謝の言葉を申し上げます。特任研究員の妹尾孝憲氏には、有益なご助言を頂くだけでなく、研究に対する姿勢について多くの見本を見せて頂きました。協力研究員の申吉浩氏、江村恒一氏、伊藤学氏、宋光顯氏には、様々な議論・ご助言だけではなく、多くの励ましもいただきました。皆様には心より感謝致します。二年間を共に学び過ごさせていただいた安田・青木研究室の学生・研究員の皆様には、あらゆる場面でお世話になりました。皆様の今後のさらなるご活躍をお祈り申し上げます。また、研究環境の整備に努めてくださった、天野友香氏、金杉典子氏、辻晶子氏、安川洋子氏にお礼申し上げます。

最後に、研究のみならず私生活の面でも筆者を支えてくださった友人、そして家族への感謝の言葉をもって本論文の結びとさせていただきます。

2007 年 2 月 2 日向井新太

参考文献

- [1] <http://www.comscore.com/press/release.asp?press=1068>
- [2] James F. O'Brien, Robby E. Bodenheimer, Jr, Gabriel J. Brostow, and Jessica K. Hodgins, "Automatic Joint Parameter Estimation from Magnetic Motion Capture Data", In Proc. of Graphics Interface 2000, pp 53-60, 2000.
- [3] <http://www.innovatec.co.jp/ptipg/index.html>
- [4] http://www.mocap.jp/gypsy_info/index.html
- [5] S. Yabukami, H. Mawatari, Y. Murayama, T. Ozawa, K. Ishiyama and K.I. Arai, "High-frequency carrier type thin-film sensor using low noise crystal oscillator", IEEE Transactions on Magnetics, 2004.
- [6] K. Kurihara, S.Hoshino, K. Yamane, Y. Nakamura, "Optical motion capture system with pan-tilt camera tracking and real time data processing," in. Proceedings. ICRA '02. IEEE International Conference, 2002.
- [7] Marius-Calin Silaghi, Ralf Plänkers, Ronan Boulic, Pascal Fua, Daniel Thalmann, "Local and Global Skeleton Fitting Techniques for Optical Motion Capture," IFIP CapTech'98, Geneva Nov. 26-28th 1998.
- [8] <http://www.sgi.co.jp/products/visualization/motion/>
- [9] <http://www.digital-toolbox.com/motion/hardware/hardware.htm>
- [10] K. Nagata, F. Saito and T. Suehiro, "Development of the Master Hand for Grasping Information Capturing," Proc. of 2001 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. , 2001.
- [11] S.Yabukami, H.Kikuchi, M.Yamaguchi, K.I.Arai, K.Takahashi, A.Itagaki, N.Wako : Motion Capture System Using Marker, The 2000 International Magnetics Confence, 2000.
- [12] 田口哲典, 青木輝勝, 安田浩 : "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, Mar.2004.
- [13] David Baraff, Andrew Witkin, "Large Steps in Cloth Simulation, " Proceedings of SIGGRAPH, pp.43-54, 1998.

- [14] Robert Bridson, Ronald Fedkiw, John Anderson, "Robust treatment of collisions, contact and friction for cloth animation," SIGGRAPH 2002, pp. 594-603.
- [15] 田川和義, 林宏卓, 木島竜吾, 小鹿丈夫: "真空内での布の挙動の比較による布シミュレーションの精度検証", 日本バーチャルリアリティ学会第7回大会論文集, pp.361-364, 2002
- [16] Kwang Jin Choi and Hyeong Seok Ko, "Stable but Responsive Cloth," ACM Transactions on Graphics, 21(3):604-611, SIGGRAPH 2002
- [17] Kiran S. Bhat, Christopher D. Twigg, Jessica K. Hodgins, Pradeep K. Khosla, Zoran Popović and Steven M. Seitz, "Estimating cloth simulation parameters from video," ACM SIGGRAPH /Eurographics Symposium on Computer Animation (SCA 2003), pp.37-51.
- [18] Volker Scholz, and Marcus A. Magnor, "Cloth Motion from Optical Flow," In Proc. Vision, Modeling and Visualization 2004 (Stanford, USA, November 2004), pp. 117 -124.
- [19] D. Pritchard and W. Heidrich, "Cloth Motion. Capture," Computer Graphics Forum (Proceedings of Eurographics), 22(3):263-271, Sep.2003.
- [20] Vladimir Dochev, Tzvetomir Vassilev, and Bernhard Spanlang, "Image-space Based Collision Detection in Cloth Simulation on Walking Humans," International Conference on Computer Systems and Technologies . CompSysTech'2004.
- [21] Naga K. Govindaraju, David Knott, Nitin Jain, Ilknur Kabul, Rasmus Tamstorf, Russell Gayle, Ming C. Lin, and Dinesh Manocha, "Interactive Collision Detection Between Deformable Models using Chromatic Decomposition," SIGGRAPH 2005, pp 991-999.
- [22] David Baraff, Andrew Witkin, and Michael Kass, "Untangling Cloth," ACM SIGGRAPH 2003, Annual Conference Proceedings.
- [23] 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.97, No.79, pp.61-66, 1997.
- [24] 堤江美子: "人体の3次元形状解析と被服設計" 計測と制御, Vol.2, No.36, pp.84-88, 1997.
- [25] Chiyi Cheng, Jiaoying Shi, Heung-Yeung Shum, and Ying-Qing Xu, "Physically Based Real-time

- [26] Volino P., Magneat-Thalmann N, “Implementing fast cloth simulation with collision response.” IEEE Computer Society, pp. 257–268, 2000.
- [27] 坂口嘉之：“DressingSim による仮想試着と仮想設計”， 繊維機械学会誌， Vol.54, No.12, 2001.
- [28] Frederic Cordier, Hyewon Seo, and Nadia Magnenat-Thalmann, “Made-to-Measure Technologies for an Online Clothing Store,” IEEE Computer Graphics and Applications, pp.38-48, 2003.
- [29] Takeo Igarashi and John F. Hughes, “Clothing Manipulation,” 15th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, ACM UIST’02, Paris, France, October 27-30, pp.91-100. , 2002
- [30] Bernhard Spanlang, Tzvetomir Vassilev, and Bernard F. Buxton, “Virtual try-on in a Department store,” Proceedings of the Conference on "3D Body Scanning & Virtual Try-on Systems", Athens, 24-25 Nov., 2003.
- [31] 五十嵐史貴, 杉浦雅之：“モーションキャプチャシステムによる 3DCG ファッションショーに関する一考察,” 金沢大学経済学部卒業論文, 2001.
- [32] Masaki Oshita and Akifumi Makinouchi, “Dynamic Motion Control Middleware for Computer Games,” SIGGRAPH 2002 Sketches and Applications, Conference Abstracts and Applications, p. 139., July 2002.
- [33] 益子宗, 中野敦：“対話的な仮想ファッションシステムの実現”， 平成 14 年度.未踏ソフトウェア創造事業開発成果, May 2003.
- [34] 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.
- [35] 岡田隆三, シュテンガービヨ, 池司, 近藤伸宏：“マーカレスモーションキャプチャによる仮想ファッションショー”，電子情報通信学会技術研究報告, PRMU2004-215, pp. 19-24, 2005.
- [36] Igor Guskov: Efficient Tracking “of Regular Patterns on Non-Rigid Geometry,” ICPR (2) pp.1057-1060, 2002.
- [37] Bradley, D., Roth, G. “Augmenting Non-Rigid Objects with Realistic Lighting,” NRC 47398. October 2004.

- [38] V. Scholz, T. Stich, M. Keckeisen, M. Wacker, and M. Magnor. "Garment motion capture using color-coded patterns," In Proc. Eurographics, vol.24, 2005.
- [39] 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 AVM 研究会, Mar.2003.
- [40] Yuri Boykov and Marie-Pierre,. "Interactive graph cuts for optimal boundary and region segmentation of objects in n-d images," In Proceedings of the Eighth IEEE International Conference on Computer Vision, volume 1, pp.105-112, July 2001.
- [41] Hui Fang and John C. Hart, "Textureshop: texture synthesis as a photograph editing tool." ACM Transactions on Graphics, vol.23, no.3, pp.354-359, 2004.
- [42] Carsten Rother, Vladimir Kolmogorov, and Andrew Blake, "Grabcut: interactive foreground extraction using iterated graph cuts." ACM Transactions on Graphics, vol.23, no.3, pp.309-314, 2004.
- [43] Yin Li, Jian Sun, and Chi-Keung Tang and Heung-Yeung Shum, "Lazy snapping." ACM Transactions on Graphics, vol.23, no.3, pp.303-308, 2004.
- [44] Steve Zelinka, Hui Fang, Michael Gerland, and John.C.Hart, "Interactive Material Replacement in Photographs." In Proceedings of Graphics Interface 2005, Canadian Human-Computer Communications Society, pp 227-232, 2005.
- [45] Ryan White, David Forsyth .2005.Retexturing Single Views Using Texture and Shading. Technical Report No. EECS-2005-4, EECS Department, University of California, Berkeley.
- [46] I. Sato, Y. Sato, and K. Ikeuchi, "Acquiring a radiance distribution to superimpose virtual objects onto a real scene," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 5, No. 1, pp. 1-12, January-March 1999.
- [47] Martin, R. Knussmann : Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen. Band I. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, 1988.
- [48] <http://www.blala.com/saisun.pdf>
- [49] Andrew S. Glassner, "Hierarchical Textures," IEEE Computer Graphics and Applications, vol.20, no.4, pp.104-109, 2000.

-
- [50] D.Schattschneider : The plane symmetry groups : Their recognition and notation, American Mathematical Monthly 85(6), 439-50, 1978
- [51] 難波誠 : 群と幾何学, 現代数学社, 1997
- [52] 顔紅梅 : ”数学的対称性を用いた紋様作成ソフトウェアの開発,”京都府立大学卒業論文.

発表文献

- [53] 向井新太, 田口哲典, 青木 輝勝, 安田浩 : “MIRACLE における背景合成の提案”, 電子情報通信学会ソサエティ大会, 2006. 9.
- [54] 向井新太, 田口哲典, 青木輝勝, 安田浩 : “インタラクティブな服の試作”, 電子情報通信学会 ポスターセッション, 2006.3.
- [55] 向井新太, 田口哲典, 青木輝勝, 安田浩 : “ビデオ映像からのリアルタイム布テクスチャ作成の提案”, Fit2006, 2006.8.
- [56] 田口哲典, 向井新太, 青木輝勝, 安田浩 : “MIRACLE におけるシームレスマッピングの提案”, Fit2006, 2006.8.
- [57] Arata Mukai, Akinori Taguchi, Terumasa Aoki, Hiroshi Yasuda, “A New Cloth Fitting Method for Sleeves”, IWAIT2006, pp.454-459, Naha, Japan, 2006.1.
- [58] Akinori Taguchi, Arata Mukai, Terumasa Aoki, Hiroshi Yasuda, “A Study on Feature Point Interpolation for surface shape Recognition”, IWAIT2006, pp.454-459, Naha, Japan, 2006.1.