

人体の構造に基づいた単一画像からの姿勢推定手法

御厨 隆志[†] 吉次 信也[†] 尾下 真樹[‡]

[†]九州工業大学大学院 情報工学研究科 情報科学専攻

[‡]九州工業大学 情報工学部 システム創成情報工学科

〒820-8502 福岡県飯塚市川津 680-4

E-mail: mikuriya@cg.ces.kyutech.ac.jp, yoshitsugu@cg.ces.kyutech.ac.jp, oshita@ces.kyutech.ac.jp

あらまし 本論文では、1枚の画像から、画像中の人物の姿勢を推定する手法を提案する。1台のカメラから取得した入力画像を解析して、画像中の人間の関節点を推定し、これらの関節点の位置と、予め与えられた人体の各部位の長さを条件として用いる事で、3次元空間における人体の姿勢を求める。カメラから入力される連続画像に対して本手法を適用することで、マーカレスモーションキャプチャが実現できる。本手法では、まず、画像中の人体部分の各領域間の測地線距離、肌色領域、領域の幅などの、基本的な画像解析により得られる情報をもとに、両手・両足・頭部・胴体の各部位の関節点を推定する。しかし、個々の部位を独立に検出しようとしても、例えば腕と胴体が重なっているような状況では、腕を検出することは容易ではない。そこで、人間の構造的な特徴に注目し、両手足や頭が胴体とつながっていることや、胴体と各部位との位置関係などを既知の知識として利用することで、画像中の両手足・頭・胴体のすべての部位の検出が困難な状況であっても、検出できた部位の位置から、未検出の部位が存在すると思われる位置を推定し探索することで姿勢を推定する。本手法では、従来一般的に用いられているトラッキング手法とは異なり、履歴情報に頼らず1枚の画像のみから姿勢を推定するため、初期姿勢が不明な状況や、利用者の動きが速い状況でも対応できる。本手法は、一般的なパソコンで、一枚の画像からの姿勢推定を200ミリ秒程度で行うことができ、リアルタイムでのモーションキャプチャが可能である。

キーワード 姿勢推定, マーカレスモーションキャプチャ, 単眼視, 領域分割

Posture estimation from a single image using the structure of the human body

Takashi MIKURIYA, Shinya YOSHITSUGU, and Masaki OSHITA

Department of Systems Innovation and Informatics, Kyushu Institute of Technology

680-4 Kawazu, Iizuka-Shi, Fukuoka, 820-8502, Japan

E-mail: mikuriya@cg.ces.kyutech.ac.jp, yoshitsugu@cg.ces.kyutech.ac.jp, oshita@ces.kyutech.ac.jp

Abstract In this paper, we propose a method for estimation of the human posture from an input image. This method first tries to detect each body part (arms, legs, head, torso) using the information that is acquired from an input image such as geodesic distance between regions, flesh color regions, widths of regions. Undetected body parts are then estimated based on the detected ones using the structure of the human body such as the connections and spatial relationships between human body parts. Using this approach, our method find the joint positions from an input image and uses them and the length body parts to estimate the posture of the person in the three-dimensional space. By repeating this method to the series of input images from an monocular camera, a markerless motion capture system is realized. Currently our method take 200 milliseconds to analyze one image and the motion capture system works in real-time

Keyword posture estimation, markerless motion capture, monocular camera, segmentation

1. はじめに

近年、映画作品やコンピュータゲームなどの製作のために、実際人間の動きをコンピュータに取り込むモーションキャプチャ技術が用いられている。現在使用されているモーションキャプチャには、動きを計測するために使用するセンサの違いによって、磁気式、機械式、光学式などがあるが、いずれの方式でも、一般

に何らかのセンサを利用者の身につける必要がある。そのため、身に付けたセンサによって動きが拘束される、着脱に多くの時間が掛かってしまう、高価である、センサの設置のために専用のスタジオを必要とする、といった問題がある。そのため、現在は一般の人々が簡単にモーションキャプチャを使うことは難しい。近年、上記の問題点を解決するために、センサやマーカ

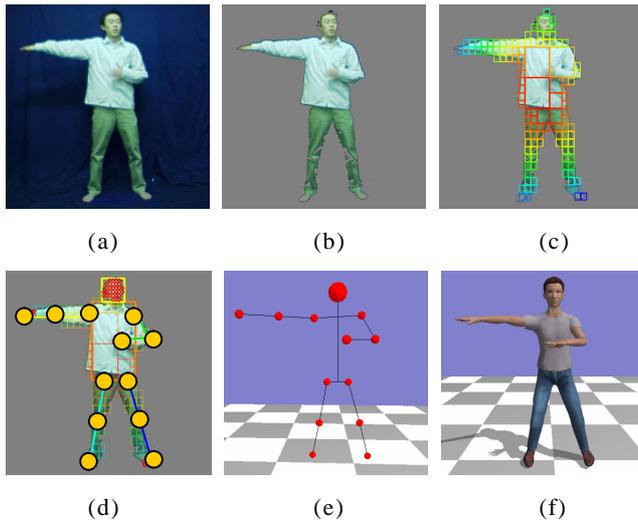


図 1 画像解析による姿勢推定

を身体に取り付けず、利用者の動きをカメラで撮影し、撮影した画像を解析することで動きを推定する、マーカレスモーションキャプチャシステムが研究されている。本技術が実現されれば、一般の人でも容易にモーションキャプチャを行い、作品制作に利用することができる。また、従来の動作計測用途だけでなく、防犯・セキュリティシステム、バーチャルリアリティシステム、医療分野などで幅広い応用が可能であると考えられる。しかし、現在は、実用的に利用可能なマーカレスモーションキャプチャ技術は、まだ無い状況である。

本論文では、1枚の画像から、画像中の人物の姿勢を推定する手法を提案する。カメラから入力される連続画像に対して本手法を適用することで、マーカレスモーションキャプチャが実現できる。1台のカメラから取得した入力画像(図1(a)~(d))を解析し、画像中の人間の関節点を推定する。これらの関節点の位置と、予め与えられた人体の各部位の長さを条件として用いる事で、3次元空間における人体の姿勢を推定する(図1(e)~(f))。入力された連続画像について、姿勢の推定を連続して行う事により、動作データを得ることができる。従来の手法の多くは、過去の姿勢を参照して動きの追跡を行うというトラッキングの手法を用いているが、この方法には、キャリブレーションが必要、急激な動きに対応できないという欠点がある。それに対し本手法では、履歴情報に頼らず1枚の画像から姿勢を推定するため、このような問題を解決できる。本手法は一般的なパソコンで、一枚の画像解析を200ミリ秒程度で行うことができ、リアルタイムでのモーションキャプチャが可能である。

本研究では、人体の構造に着目し、画像中の両手足・頭・胴体のすべての部位の検出が困難な状況であっても、検出できた部位の位置から、未検出の部位が

存在すると思われる位置を推定し探索することで姿勢を推定する。まず、画像中の人体部分の各領域間の測地線距離、肌色領域、領域の幅などの、画像解析により得られる情報をもとに、各部位の関節点を推定する。しかし、たとえば図1のように左腕と胴体が重なっているような状況では、左腕を検出することは容易ではない。そこで、人間の構造的な特徴に注目し、両手足と頭が胴体とつながっていることや、左右の手足は胴体に対して対称の位置にあることなどを拘束条件として与えることにより、独立には検出困難な部位の検出や、誤検出した部位の推定位置の修正を行う。例えば図1では、検出できた右腕や両足との位置関係や、画像中の肌色領域などの情報から、左腕の各関節点の位置を推定できる。

本論文の構成は以下の通りである。2章では、関連研究と本手法の比較を行う。3章では、本手法のシステム概要について説明する。4章では各処理について具体的に説明する。5章では、姿勢推定の実験結果について述べ、実験結果にもとづく考察、及び今後の課題について説明する。

2. 関連研究

本章では、従来のマーカレスモーションキャプチャの手法を紹介し、本手法との比較を行う。従来の手法は、トラッキング、テンプレートマッチング、姿勢解析による方法の大きく3通りに分けられ、本手法は、姿勢解析による方法に分類される。

トラッキングベースの手法は、1章で述べた通り、1フレーム前の姿勢をもとに、画像から得られる情報に基づいて、前姿勢からの微小な姿勢変化を求める手法である。人物を円柱や楕円体などの立体モデルで表現し、立体モデルを画像に投影したときの形状と入力画像がなるべく近くなるように、前フレームの姿勢を微小変化させることで、姿勢変化も求める。伊達ら[1]や飯尾ら[2]は、肌色情報から手や顔などの部位領域を検出し、領域を追跡する事によって姿勢を推定する手法を提案している。一般に、トラッキング手法は、初期姿勢が与えられており、部位の隠蔽がなく、人物の動きが緩やかであれば、うまく動作する。しかし、初期姿勢を与える必要がある、急激な動きに対応できない、一度動きを見失うとリカバリが困難である、といった欠点がある。本研究では、履歴情報に頼らないため、処理時間は必要となるが、過去の姿勢の影響を受けることなく姿勢を推定できる。

予め人物が様々な姿勢を取っているときの画像をテンプレートとして用意しておき、入力画像とテンプレート画像の特徴を比較することで、入力画像の人物の姿勢を推定する手法も広く用いられている。岡田[3]

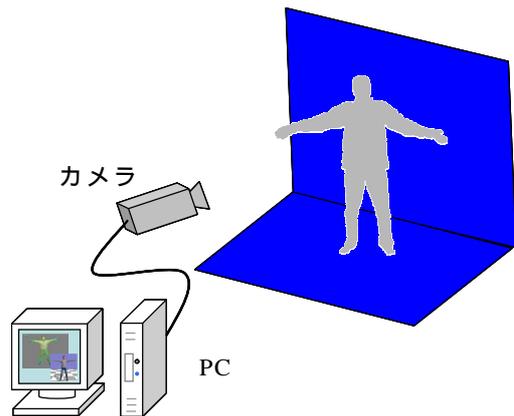


図 2 システム構成

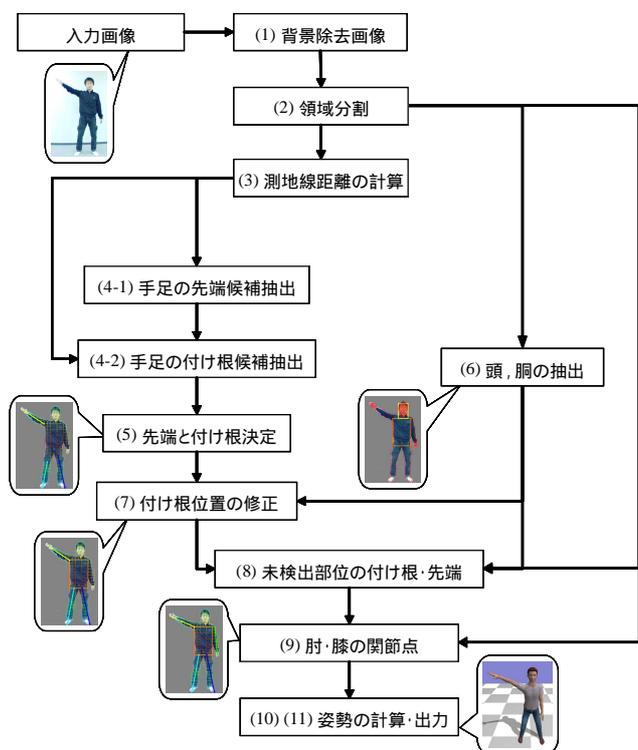


図 3 処理の流れ

らは、予め人体の構造モデルやモーションキャプチャから取得した様々な姿勢を用いて生成したデータベースを利用するシステムを提案している。これは、入力画像に対してエッジ情報やシルエット情報から特徴抽出を行い、データベースの中からその特徴量と最も一致する姿勢を選出する手法である。これらの手法は、予め決められた限られた姿勢や動きを認識することには向いているが、汎用的なモーションキャプチャとして、様々な姿勢を正確に認識しようとする、多数のテンプレートを用意する必要があり、準備の手間や検索速度、検索精度などを考えると現実的ではない。

本研究と同様に、入力画像中の肌色領域やシルエットなどの特徴を解析することで、画像中の人物の姿勢

を推定する手法も研究されている。Y.Chen[4]や Sven Thuring[5]らは、背景除去により得られた人物画像のシルエットに基づき、シルエットにマッチするような姿勢を計算する手法を提案している。しかし、シルエットのみしか使用していないため、部位同士が接触したり、ある部位が別の部位で隠されているような状況に対応できない。Mori[6]らは、入力画像に領域分割を適用し、予め用意した各部位のテクスチャ画像とのマッチングを行うことで、各領域の部位を推定している。

本研究では、肌色情報、領域間の測地線距離情報、輪郭情報の特徴量を用いて各部位を推定する。特に、新たに測地線距離を使うことで、シルエットを用いる方法よりも精度良く、末端位置や手足の軸を求めることができる。また、人体の構造に注目することで、個々の部位がうまく求まらない場合でも、各部位の推定結果を相互に補完することで、より安定した推定結果を得ることができる。

3. システム概要

本システムは図 2 に示すように、高解像度カメラとパーソナルコンピュータから構成される。1 台のカメラから取得した入力画像を解析し、12 個の関節点を検出する。その後、各体節の長さの情報をもとに、画像中の関節点位置から 3 次元空間における関節点座標を計算し、身体の姿勢を求める。

姿勢推定は以下の手順で行う(図 3)。

- 1) 背景除去を行う。
- 2) 前景画像に対して領域分割を施す。
- 3) 領域間の測地線距離を計算する。
- 4) 以下の手順で両手足の候補を検出する。候補は部位の先端と付け根位置の画像上の座標で表現される。
 - 4-1) 測地線距離の情報から手足の末端候補を推定する。
 - 4-2) 手先・足先の候補から測地線距離の小さくなる方へ探索する。幅が急激に大きくなる点を、探索を開始した手先・足先に対応する肩・股の候補として推定。
- 5) 検出された各候補を評価し、両手足に最も適する候補を各 1 つずつ決定する。ただし、適した候補が存在しない場合は未検出状態としておく。
- 6) 以下の手順で頭部・胴体を推定する。頭部は肌色領域の集合として、胴体は 4 頂点から成る長方形として表現される。
 - 6-1) 肌色領域から、最も面積の広い肌色領域を頭部として推定。
 - 6-2) 人体領域の各列の画素数から胴体の幅を推定。
 - 6-3) 頭部と身長から胴体の長さを推定。
- 7) 検出済みの各部位の付け根と胴体が接触するよう

- に位置を修正する．
- 8) 未検出部位は、既知の部位同士の位置関係から推定する．
 - 8-1) 推定済みの肩・股、胴体の位置から、未検出部位の肩・股位置を推定．
 - 8-2) 肌色領域と、肩・股の位置から、最も近い肌色領域の重心を手先・足先として検出．
 - 9) 輪郭を基に肘・膝の関節を推定する．肘・膝は、画像上の座標で表される．
 - 10) 体節の長さを拘束条件として、画像上の関節点座標から 3 次元空間での関節点座標を計算する．
 - 11) 関節点座標から人体の姿勢を計算する．

4. 姿勢推定手法

4.1 背景除去

本手法では、まず、カメラからの入力画像に背景除去を適用することで、人物画像のみを検出する．現在は、予め用意した背景画像と入力画像の画素値を比較する、単純な方法を用いている．そのため、背景は被験者の服装の色と異なる環境で実験を行う（図 1）．将来的には、より高度な背景除去手法[7]を実装することで、一般的な環境でも利用可能になると考えられる．

4.2 領域分割

本システムでは、処理の高速化のため、前景画像（人物画像）中を細かい領域に分割し、領域ごとに測地線距離などを計算する．このとき、全体を同じ大きさの領域に分けるのではなく、輪郭部分は小さな領域に、中央部分は大きな領域に分割する．

最初に、人体の外枠を四角形で囲んだ初期領域を生成する．初期領域から 4 分割を繰り返し行うことによって、新たな領域を生成する．分割判定基準は、前景・背景画素の混合比率を利用する．背景に対する前景の混合比率が 90% 以上の場合、さらに領域を分割する．分割時には隣接関係を記憶する．最終的に前景画素が 60% 以上のものを前景領域として検出する（図 4）．

4.3 測地線距離

測地線距離とは 3D 空間で物体上の 2 点を与えられたときに、物体の表面上を通る 2 点間の最短距離を表す．本研究では、2 次元における 2 つの領域間の、前景画像中を通る最短距離を測地線距離と呼んでいる．ある領域からその他全ての領域への測地線距離を求め、各領域についてその合計値を比較すると、前景画像中の突出した部分であるほど、その値は大きくなる．この性質を利用し、手先・足先の検出を行う．

測地線距離の計算については、グラフ最短経路問題に利用されるダイクストラ法[8]を用いた．全ての領域

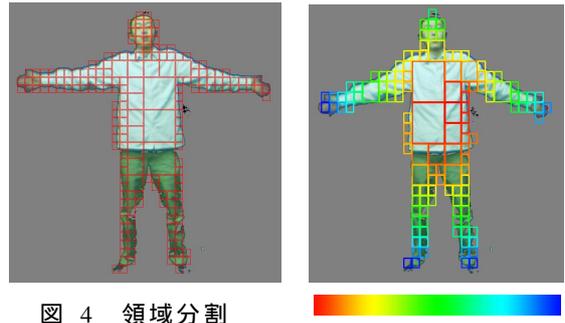


図 4 領域分割

0 正規化値 1

図 5 測地線距離

間に対して測地線距離を求めた後、各領域ごとに他の全ての領域への測地線距離の合計値を計算し正規化する（図 5）．その結果、手先・足先のような突出した部分ほど大きな値を示す測地線距離情報が得られる．

4.4 部位推定

人体を手・足・頭・胴体の 6 つの部位で形成されるものとする．それぞれの部位を推定し、相互的に評価・補完する事により姿勢を推定する．手・足については、測地線距離の情報から先端候補の検出および領域の幅の計算を行う．まず測地線距離の特徴を使い、手・足の先端である可能性のある領域を検出する．検出した先端領域から測地線距離の小さい領域へ、胴体の中心方向に向かう軸を計算する．さらに、この軸に対し垂直な「部位の幅」を計算する．幅の計算は、一領域単位で行う．部位の幅が急増する箇所を探し、付け根位置として検出する．検出した先端位置および付け根位置を手・足候補として用いる．

各候補に対して、式 1 で表される評価値を計算する． x_g, y_g は人体の重心、 x_t, y_t は先端領域の中心点、 x_e, y_e は付け根領域の中心点を示す． P は添え字に示す部位である可能性の評価値である．式 1 により、各候補が右手・左手・右足・左足のどの部位である可能性が最も高いかを評価する．各部位ごとに、最も高い評価値を持つ候補を各部位として決定する．

$$\begin{aligned}
 P_{right_arm} &= (x_g - x_e) + (y_g - y_e) + (x_g - x_t) \\
 P_{left_arm} &= (-x_g + x_e) + (y_g - y_e) + (-x_g + x_t) \\
 P_{right_leg} &= (x_g - x_e) + (-y_g + y_e) + (x_g - x_t) \\
 P_{left_leg} &= (-x_g + x_e) + (-y_g + y_e) + (-x_g + x_t)
 \end{aligned} \quad (1)$$

胴体は一つの矩形領域として検出する．胴体の水平方向の範囲は、画像の x 軸方向の人体領域画素密度から推定する．これは、腕と胴体の境界に近い場所で画素密度に急激な変化が生じるという仮定に基づく．胴体の垂直方向の範囲は、頭部の位置と身長の関係から推定する．

頭部と胴体の推定は相互関係を考慮して行う。頭部の検出には肌色領域情報を用いる。領域分割した画像に対し、肌色を表す画素を持つ領域の集合をラベリングする。胴体の幅の範囲内に存在する最も広い肌色領域の集合を頭部とする。

4.5 部位の相互補完

ここまで推定した部位の位置関係を基に、より正確な各部位の位置を求める。また、自己遮蔽を含むような姿勢では、上記の手法で全ての部位に対して推定を行う事は難しい。その対処法として、検出済みの部位から位置関係を考慮し、未検出部位を推定する。

まず、検出済みの手・足に対し、胴体との位置関係から付け根位置を修正する。具体的には、付け根位置が胴体領域内に含まれない場合、先端から付け根位置方向に伸ばした直線と胴体領域との交点に付け根位置を移動する。自己遮蔽により、検出されていない部位が存在する場合、推定済みの部位から検出する。手の先端位置の推定に関しては、片手が無い場合、両手が無い場合共に、頭部の推定時に作成した、肌色領域の情報を用いる。具体的には、推定した肩の位置に対して、肩に最も近い肌色領域で頭部と認識されていないものの重心を部位の先端位置とする。

4.6 関節点推定

これまでに求めた手・足の先端位置および付け根位置以外に、肘・膝の関節点を求める。肘の関節点は、領域の輪郭形状から推定する。領域分割の結果に対し、付け根位置から先端位置に向かう輪郭の傾き変化を求める。この傾きが急激に変化する点を肘として検出する。傾きの計算式は以下の通りである(式2)。

$$V_i = \sum_{k=1}^3 |d_{i+k} - d_{i-k}| \quad (2)$$

V_i は着目している領域の周囲でどれだけ傾きが変わっているかを表す。 d は輪郭上にある領域の付け根から先端に向かう輪郭方向である。 V_i が閾値以上の値を示す領域を肘の候補として検出する。候補が複数検出された場合は、最初に検出した候補を肘の関節点位置とする。候補が存在しない場合は、付け根位置と先端位置の中間点を肘として検出する。現在は未実装であるが、膝についても同様の手法を適用予定である。

4.7 姿勢の計算

人間の姿勢は、各関節点の回転角度によって表現される。姿勢計算のため、画像から推定した2次元の関節点座標から3次元空間での関節点座標を計算する。その後、3次元空間での関節点座標からキャラクタの

各関節の回転角度を計算する。

2次元の関節点から3次元の関節点を算出する方法には、体節の長さや関節点の曲がり方を拘束条件として用いる手法[9][10]と、複数の視点から対応点を探し出し三角測量の原理を用いる手法がある。本研究では前者の手法を用いた。

5. 実験・考察

提案手法を評価するために、複数の動作(手を振る、手を回す、足踏み動作の繰り返し)において、関節点の認識精度の実験を行った。認識基準は、手動で与えた関節点と解析的に求めた関節点との距離が20ピクセル以内であれば正しく認識できていると判断し、各動作100フレーム中の認識率を評価した。なお、両膝に関しては、3.6で述べた手法を適用していないため、膝を除く10点の関節において実験を行った。

実験環境は、1台の高解像度カメラ(Sony DFW-X700、解像度 XGA)と画像処理ボード(GeForce7300GS 256MB)内臓のPC(CPU Pentium4 3.00GHz, RAM 1GB)である。被験者は背景色と異なる服を着用し、カメラに対して正面に向いて立っているとす。現在は人体の向きを検出していないため、正面でなければ姿勢を推定する事は出来ない。この条件で行った実験結果を表1に、実験の成功例と失敗例が顕著に表れている姿勢を表示したものを図6に示す。

表1の動作1(修正なし)は、付け根関節の補完(図3の処理(7))なしの場合の認識率を示しており、補完により付け根関節の認識率が向上していることが確認できる。しかし、現状では、付け根関節は安定して認識できていない。これは、補完に利用している胴体領域の検出が安定していないことに起因している。現状では単純な方法で胴体を検出しているが、blobモデルを用いた部位認識[11]を用いることでより正確に胴体を検出できると考えられる。動作1に関しては、図6(a)のように肘の検出がうまくいかない。肘が滑らかに曲がっているため検出されず、脇を肘として検出した。解決には、誤認識を防ぐ例外処理を追加し、輪郭特徴の計算式と肘の判定基準を全面的に見直す必要がある。動作2に関しては、限定的ではあるが、自己遮蔽を含む姿勢を推定することが出来た。しかし、図6(b)のように腕と頭が重なった場合には、肌色領域のラベリングが正しく行えず、手先や肘の認識率が低い。このような、部位の混合による問題は一つの原因に起因しない。具体的には、図6(b)のように腕と頭が重なる場合や、腕が胴体の後ろに隠れる場合、両手が重なる場合のように、様々な部位間で起こる。従って、全体的な処理の見直しが必要である。動作1,2において、動きのない下半身の関節点に関しては、測地線距離の特徴

表 1 各関節点の認識率[%] 動作 1.右手を振る 動作 2.右手を回す 動作 3.足踏み
動作 1(修正なし)は付け根関節修正なしの場合の認識率

	右肩	右肘	右手	左肩	左肘	左手	右股	右足先	左股	左足先
動作 1	61	54	76	84	99	100	100	100	100	100
動作 1(修正なし)	51	37	76	51	88	100	0	100	0	100
動作 2	65	50	51	78	67	70	99	100	99	100
動作 3	49	41	39	50	38	54	3	62	5	57

表 2 処理速度[ms]

アルゴリズム	時間
背景除去	40
領域分割	11
領域分割(肌色領域)	24
測地線距離	62
関節点推定	17

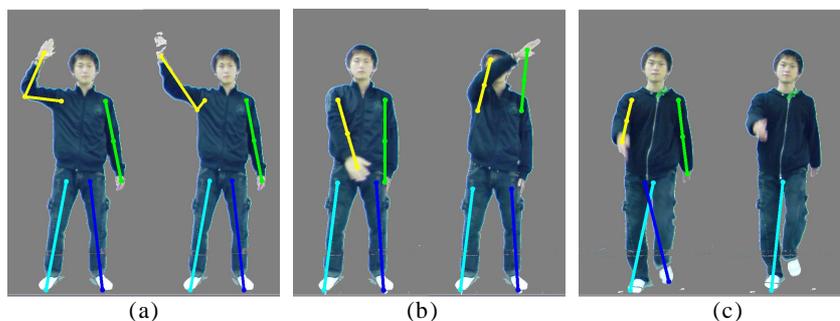


図 6 各動作の実験結果 a.動作 1 b.動作 2 c.動作 3

や部位の相互補完により安定した認識結果が得られた。しかし、図 6.(c)のように両足を閉じている動作 3 の場合、片足が検出できない、足の軸を正確にたどることができないなどの問題が生じ、結果的には、姿勢全体の精度の悪化を引き起こしてしまう。解決には、片足が未検出の場合の補完処理を追加する。

表 2は各処理の所用時間を示している。背景除去と測地線距離の計算に多くの時間がかかっている。背景除去に関しては、GPU の利用による高速化が可能であると考えられる。また、より大まかな領域単位で測地線距離を計算する事で、さらに高速な処理が可能になると考えられる。

6. まとめ

本論文では、単眼カメラから取得した画像の解析による、人体姿勢推定手法を提案した。測地線距離の特徴や部位の相互補完を用いることで、人体の末端関節や付け根関節を安定して推定することが出来た。また、限定的ではあるが、自己遮蔽によって推定が困難な場合でも解析的に姿勢を推定することが出来た。しかし、肘検出や胴体検出の安定性、部位が混合する複雑な姿勢の推定に問題がある。今後は、blob を用いた解析[11]を参考に胴体の検出方法の改善、片足が未検出の場合の補完処理、ならびに現在是对応していない足の膝関節推定により安定性や認識精度の向上を図る。

文 献

- [1] 伊達直人, 吉松寿人, 有田大作, 谷口倫一郎, “多視点動画解析による身体の実時間姿勢推定”, 画像の認識・理解シンポジウム論文集 I, pp.678-683, 2004.
- [2] 飯尾淳, 谷田部智之, 比屋根一雄, 米元聡, 谷口

倫一郎, 長島一雄, 土原丈友, “動画からの実時間身体姿勢認識を用いた 3次元 UI 技術の研究開発”, IPA 平成 13 年度 成果報告集 CD-ROM, 東京 水道橋, November 2002.

- [3] 岡田隆三, シュテンガーピヨン, 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.
- [4] Y. Chen, J. Lee, R. Parent, and R. Machiraju, “Markerless Monocular Motion Capture Using Image Features and Physical Constraints”, In *Computer Graphics International*, pp.36-43, 2005.
- [5] Sven Thüring, Jörn Herwig, Alfred Schmitt, “Silhouette-based motion capture for interactive VR-Systems including a rear projection screen”, *Computer Animation and Virtual Worlds*, Volume 16, Issue 3-4, pp 245-257, July 2005.
- [6] G. Mori, X. Ren, A. Efros, and J. Malik, “Recovering Human Body Configurations: Combining Segmentation and Recognition”, *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, 2004.
- [7] 島田敬士, 有田大作, 谷口倫一郎, “混合ガウス分布による動的背景モデルの分布数増減法”, 画像の認識・理解シンポジウム 2006, pp.746-751, 2006.
- [8] Masaki Hilaga, Yoshihisa Shinagawa, Taku Kohmura, and Tosiyasu L. Kunii, “Topology Matching for Fully Automatic Similarity Estimation of 3D Shapes”, *Proceedings of SIGGRAPH 2001*, pp.203-212, August 2001.
- [9] Camillo J. Taylor, “Reconstruction of Articulated Objects from Point Correspondences in a Single Uncalibrated Image”, *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 80, pp.349-363, December 2000.
- [10] Carlos Barron and Ioannis A. Kakadiaris, “On the Improvement of Anthropometry and Pose Estimation from a Single Uncalibrated Image”, *IEEE Workshop on Human Motion 2000*, pp.53-60, 2000
- [11] 高嶋章雄, 蓬原宏史, 大橋健, 乃万司, 江島俊朗, “実時間人物追跡システム Ptracker”, 電子情報通信学会研究会 PRMU99-33, pp.25-32, 1999