

# モーションキャプチャデータからの基本動作分割点の自動検出

湯川 崇<sup>†</sup> 小原 直子<sup>††</sup> 玉本 英夫<sup>††</sup>

筆者らはモーションキャプチャシステムを用いた動作記録手法の確立と記録した動作データ (Mocap データ) の再利用を目指し、舞踊符による動作記述法を提唱している。現在、舞踊符の作成は動作に関する知識を有する者が、目視により動作分割点を決定して行うため、時間と労力を要する作業である。本稿では目視による分割と同等の性能になることを目標として、動作分割点を自動検出する手法を提案する。本手法は、Mocap データを調査することにより得た、速さおよび回転の変化による特徴を利用して動作を分割する。実験により、本手法が目視に代わる有効な動作分割手法となり得ることを確認した。

## Automatic Detection of Motion Primitive Boundaries from Human Motion Capture Data

TAKASHI YUKAWA,<sup>†</sup> NAOKO OBARA<sup>††</sup> and HIDEO TAMAMOTO<sup>††</sup>

We have proposed a human motion description method using Buyo-fu in order to establish a recording method of human motions and re-use human motion data that are obtained by using a motion capture system. At present, we have a problem that only a professional person can make Buyo-fu and it takes much time and effort. To solve this problem, we propose the method to automatically detect the partitioning point of human motion data. In our method, a series of the human motion data is partitioned into motion primitives based on the characteristics about velocity and rotation that we investigated.

### 1. はじめに

近年、現実感のある人間の動きを生成するためにモーションキャプチャシステムが広く用いられている<sup>1)</sup>。これは磁気・光等を利用して、人間の動きを身体各部に取り付けたセンサ・マーカの位置と角度の3次元情報として記録する装置である。

筆者らは、モーションキャプチャシステムを用いた身体動作の記録手法の確立および記録した身体動作データ (Mocap データ) の再利用を目指し、舞踊符による動作記述法を提唱している<sup>2)</sup>。舞踊符とは Mocap データを手を上げる、うなずく等のひとまとりの動作 (基本動作) に分割して符号を割り当てた動作データである。舞踊符の作成は、現在、もとの動作についての知識を有する者が Mocap データをビューア等により再生しながら目視により行っているため、時間と労力を要する作業である。この問題を解決するためには

Mocap データを基本動作へ自動的に分割できることが望ましい。

自動的に人間の動作データを基本動作に分割する試みには、速度の変化をもとに分割点を求める方法<sup>3)</sup>、加速度の変化をもとに分割点を求める方法<sup>4)</sup> 等がある。これらの研究では、動作データの分割が目視による分割と一致するかどうかについては考慮していない。筆者らは、Mocap データを舞踊符として利用するためには、基本動作の分割が目視による分割と一致することが必要であると考え、そのため、現在目視で行っている基本動作の分割と一致するような動作分割点の自動検出を目標とする。

本稿では、はじめに動作データを分析し、目視により分割する基本動作が Mocap データ中でどのような特徴を持つかを明らかにする。次にその結果に基づき、Mocap データを基本動作に分割する手続きを提案する。

### 2. 動作データの取得と特徴

#### 2.1 動作データの取得

本研究では、磁気式のモーションキャプチャシステムである Ascension Technology 社の MotionStar Wire-

<sup>†</sup> 秋田経済法科大学短期大学部  
Akita Keizaihouka University Junior College

<sup>††</sup> 秋田大学工学資源学部  
Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University

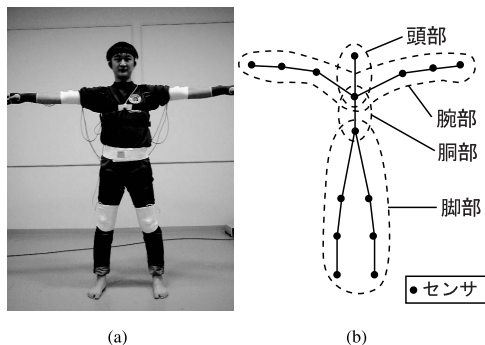


図 1 動作データの取得 . (a) センサを装着した演技者 , (b) センサの取り付け位置と部位の定義

Fig.1 Motion data capturing . (a) The actor wearing sensors , (b) The positions of a sensor and definition of parts .

less を用いて身体動作データを取得した . 図 1 (a) はセンサを取り付けた演技者の様子である . 図 1 (b) に示す 15 カ所の位置にセンサを取り付け , 1 秒間に 30 フレームのサンプリングレートで動作データを記録する .

頭部 , 腕部および胴部のデータは体の向きや高さに依存しないように , 腰の位置を原点として座標変換を行う . 脚部のデータは体が向いている方向に依存しないように , つねに正面を向いた状態に座標変換を行う . 変換した Mocap データから各部位の速さを求める .

Mocap データではセンサの回転角度を  $x, y, z$  軸の周りのオイラー角 ( $R_x, R_y, R_z$ ) として表している . 回転の変化を代表する 1 つの特徴量を得るために ,  $R_x, R_y, R_z$  で表される回転を quaternion<sup>5)</sup>  $Q_x, Q_y, Q_z, Q_w$  に変換する .  $Q_x, Q_y, Q_z$  は回転軸の方向を表し ,  $Q_w$  は回転軸の周りの回転角度を表す . 本研究ではこの  $Q_w$  を部位の角度の変化を調べるために採用する .

2.2 動作データの特徴

図 2 に動作データとして実験で使用した空手の形 , 三戦の右手の速さの変化および目視により分割した動作の分割点 ( 縦線との交点 ) を示す . これより人間の動作は , 着目する部位の速さの ,

- ( ケース 1 ) 減速から定速への変化点
- ( ケース 2 ) 定速から加速への変化点
- ( ケース 3 ) 減速から加速への変化点

の 3 つの場合で分割できることが分かる . 図 2 中の矢印はそれぞれの分割点がどの場合に該当するかを示している . また , 図 3 に同じ右手の回転の変化および

目視により分割した動作の分割点 ( 縦線との交点 ) を示す . これより上記の速さの変化による特徴以外に ( ケース 4 ) 回転の変化が巨視的に極値をとる点

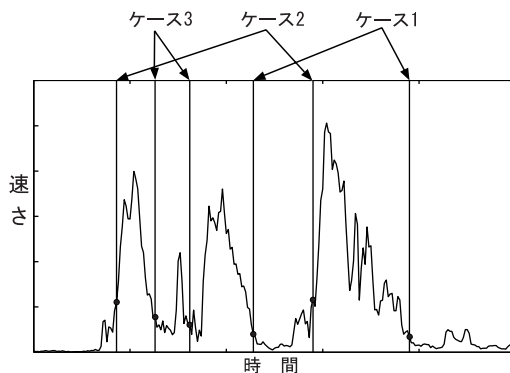


図 2 速さの変化と目視による区切り

Fig.2 Comparison with velocity change and the partitioned point by manual operation .

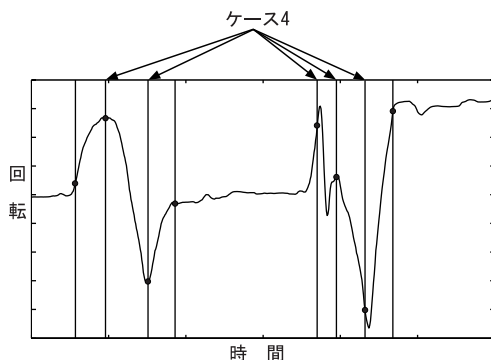


図 3 回転の変化と目視による区切り

Fig.3 Comparison with rotation change and the partitioned point by manual operation .

も分割点として利用できることが分かる . 以上から , Mocap データを基本動作に分割するためにはケース 1 ~ 4 の 4 種類の分割点を検出する必要がある .

3. 基本動作分割点の自動検出

次に 2.2 節で得た特徴により Mocap データから基本動作分割点を検出するための手法を示す .

3.1 ウェーブレット変換による階段状関数への近似

モーションキャプチャシステムによる動作の記録時には , 雑音や動作の揺れがデータに混入する . さらに位置の変化をもとに速さを計算するときには , Mocap データが含んでいる雑音の影響が強調される . 雑音と身体動作の動きを区別するために , Mocap データから雑音を除去する必要がある .

Mocap データを基本動作に分割するためには , 動きのある部分 ( 減速・加速 ) と静止している部分 ( 定速 ) を区別する必要がある . そのためには速さデータを区分的に定数である階段関数 ( 階段状関数 ) で近似することが有効であると考えられる .

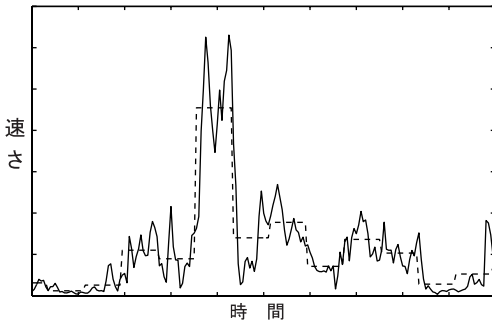


図 4 Haar Wavelet による速さデータの階段状関数への近似  
Fig. 4 The approximation of velocity to step function by using Haar Wavelet transform.

もとのデータから雑音を除去し、階段状関数で近似するために、スケーリング関数に Haar 関数を用いたウェーブレット変換を用いることができる<sup>6)</sup>。図 4 に速さの変化およびウェーブレット変換により階段状関数で近似した速さの変化の例を示す。

### 3.2 動作データの速さの変化による分割

2.2 節で得た速さの変化による特徴を用いて Mocap データを分割するために、手続き 1 を実行して分割点の時刻を求める。この手続きでは、はじめに速さの変化による特徴のケース 1, 2 に該当する点の時刻を求める。次に求めた点の時刻をもとに、ケース 1 に該当する点の時刻とケース 2 に該当する点の時刻が近接している箇所を検出し、2 つの点の時刻の平均値を算出することによりケース 3 に該当する点の時刻を求める。

[ 手続き 1 ] (速さの変化による基本動作への分割)

```

 $v_n$ : 階段状関数により近似した時刻  $n$  における部位の速さ
 $thr_v$ : 速さの変化を検出するためのしきい値
 $thr_d$ : ケース 3 を検出するためのしきい値
while (すべての時刻  $n$  について繰り返す)
  if ( $|v_{n+1} - v_n| > thr_v$ )
     $a_n = v_{n+1} - v_n$ 
  endif
endwhile
while (上で  $a_n$  に値を割り当てた  $n$  について繰り返す)
   $a_n$  の先頭から順に要素を 2 つずつ読み込み  $a_i, a_j$  とする
  if ( $a_i < 0$  かつ  $a_j > 0$ ) # ケース 1,2 の検出
     $i$  と  $j$  を候補リストへ加える
  endif
endwhile
while (候補リストに要素がある間繰り返す)
  候補リストの先頭から時刻を 2 つ読み込み、それぞれを
   $n_1, n_2$  とする
  if ( $(n_2 - n_1) < thr_d$ ) # ケース 3 の検出

```

```

  候補リスト中の  $n_1, n_2$  を  $[(n_1 + n_2)/2]$  と置き換える
endif
endwhile

```

以上の手続きにより得られた時刻を速さの特徴による分割点の時刻の候補とする。

### 3.3 動作データの回転の変化による分割

2.2 節で得た回転の変化による特徴を用いて Mocap データを分割するために、手続き 2 を実行して分割点の時刻を求める。この手続きでは、はじめに回転データ中で極値をとるすべての点の時刻を求め、次に極大値と極小値の差が微小な点の時刻を除去することより巨視的に極値をとる点の時刻を求めている。

[ 手続き 2 ] (回転の変化による基本動作への分割)

```

 $r_n$ : 2.1 節で述べた時刻  $n$  における部位の回転量  $Q_w$ 
 $thr_r$ : 回転の変化を検出するためのしきい値
# すべての極値をとる点の時刻を検出する
while (すべての時刻  $n$  について繰り返す)
   $d_n = r_{n+1} - r_n$ 
  if ( $d_{n-1} < 0$  かつ  $d_n > 0$ ) # 極小値
    または  $d_{n-1} > 0$  かつ  $d_n < 0$ ) # 極大値
     $n$  を候補リストへ加える
  endif
endwhile
# 極大値と極小値の差が  $thr_r$  未満の極点を除外する
while (候補リストに要素がある間繰り返す)
  候補リストの先頭から順に要素を 3 つ読み込み、それぞれ
   $t_1, t_2, t_3$  とする
  if ( $(r_{t_2} - r_{t_1}) > thr_r$  かつ  $(r_{t_2} - r_{t_3}) < thr_r$ 
    または  $(r_{t_1} - r_{t_2}) > thr_r$  かつ  $(r_{t_3} - r_{t_2}) < thr_r$ )
     $t_3$  を候補から取り除く
  elseif ( $(r_{t_2} - r_{t_1}) > thr_r$  かつ  $(r_{t_3} - r_{t_2}) < thr_r$ 
    または  $(r_{t_1} - r_{t_2}) > thr_r$  かつ  $(r_{t_2} - r_{t_3}) < thr_r$ )
     $t_2$  を候補から取り除く
  endif
endwhile

```

以上の手続きの結果、候補リストに残った時刻を回転の特徴による分割点の時刻の候補とする。

### 3.4 分割点の決定

Mocap データに対して手続き 1 および手続き 2 を実行することより分割点の時刻の候補を求めることができる。2 つの連続する分割点の時刻の候補が近接している場合、それらは同じ分割点の時刻を検出していると考え、平均値をとり 1 つにまとめる。この作業を行い動作分割点の時刻を決定するために手続き 3 を実行する。

[ 手続き 3 ] (手続き 1, 2 により検出した分割点候補

表 1 実験結果  
Table 1 Experimental result.

動作名	三戦	転掌	花笠音頭	ソーラン節
$N_c$	43	48	49	55
$N_{d_5}$	79	81	164	131
$N_{d_{10}}$	69	66	106	87
$N_{d_{15}}$	65	61	93	81
$E_5$	1.9	2.0	1.8	2.0
$E_{10}$	3.0	3.1	2.7	2.6
$E_{15}$	4.4	3.6	3.3	3.9
$C_5$	76.7	85.4	93.9	81.8
$C_{10}$	93.0	93.8	100.0	85.5
$C_{15}$	97.7	97.9	100.0	92.7

$N_c$ : 目視による分割点数

$N_{d_n}$ :  $thr_d = n$  のときに検出した分割点数

$E_n$ :  $thr_d = n$  のときの目視による分割点と検出した分割点のフレーム時間の差の平均

$C_n$ :  $thr_d = n$  のときの検出率

の併合)

$b_p$ : 手続き 1 および手続き 2 の実行結果の和集合

$thr_d$ : 同一分割点を検出するためのしきい値

while (すべての  $b_p$  の要素について繰り返す)

$b_p$  の先頭から時刻を 2 つ読み込みそれぞれ  $b_1, b_2$  とする

if ( $(b_2 - b_1) < thr_d$ )

$b_p$  中の  $b_1, b_2$  を  $[(b_1 + b_2)/2]$  と置き換える

endif

endwhile

手続き 3 を実行後、速さおよび回転の変化の特徴により分割した基本動作の分割点の時刻が得られる。

#### 4. 実験および考察

提案する手法の有効性を確認するために Mocap データの基本動作への分割実験を行った。身体動作として剛柔流空手道の代表的な形である「三戦」と「転掌」、および民俗芸能の舞踊である「花笠音頭」と「そうらん節」を選び、それぞれの右手の動きについて提案手法を適用した。実験の条件を  $thr_v =$  速さの最大値と最小値の差の 2%、 $thr_r =$  回転の最大値と最小値の差の 5% として  $thr_d$  が 5, 10, 15 フレーム時間の場合について分割点を求めた。

表 1 に実験結果を示す。 $C_n$  は目視による分割数 ( $N_c$ ) が提案手法により検出した分割数 ( $N_{d_n}$ ) の  $n$  フレーム時間以内に存在する割合である。 $E_n$  は目視による分割点の時刻と提案手法が検出した分割点の時刻との差の平均であり、提案手法による分割の精度を示す指標となる。

舞踊動作の  $N_{d_n}$  の割合が空手道のものと比較して多いのは、舞踊の動作速度が速く、目視による基本動作への分割時に分割点の見落としが生じた結果、舞踊

動作の  $N_c$  が少なく見積もられたためと考えられる。また、 $N_{d_n}$  が  $N_c$  より多い要因に、分割点の見落としのほか、実際には分割点でない箇所を提案手法が誤って分割点として検出することがある。これを削減するために、本研究で使用した速さおよび回転の変化以外の特徴の利用が考えられるが、今後の課題としたい。

検出率  $C_n$  と  $N_{d_n}$  に含まれる過剰に検出した分割点の個数は  $n = thr_d$  の値によりトレードオフ関係にある。今回は  $thr_d = 5, 10, 15$  の 3 通りの場合についてのみ実験を行ったので、 $thr_d$  の値は更に検討の必要があるが、適切に決めることによって高い検出率が得られることが分かった。

#### 5. おわりに

モーションキャプチャシステムにより記録した動作データを基本動作に分割するための手法を提案した。実験により、提案手法が身体動作を基本動作へ自動分割するための有効な手法となりうることを示した。

今後の課題として、1) 日常動作や体操等他の動作への本手法の適用、2) 過剰に検出される分割点の削減、等を考えている。

謝辞 本研究を進めるにあたりモーションキャプチャデータの収録に協力していただいた(株)わらび座デジタルアートファクトリのスタッフに感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 中島正之: デジタル映像処理の基礎と応用 [IV] コンピュータアニメーション入門, 信学誌, Vol.81, No.3, pp.282-288 (1998).
- 2) 湯川 崇, 海賀孝明, 長瀬一男, 玉本英夫: 舞踊符による身体動作記述システム, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.10, pp.2873-2880 (2000).
- 3) 大崎竜太, 嶋田光臣, 上原邦昭: 速度に基づく切り出しとクラスタリングによる基本動作の抽出, 人工知能誌, Vol.15, No.5, pp.878-886 (2000).
- 4) 中澤篤志, 中岡慎一郎, 池内克史: 動きのデジタル保存 舞踊動作のプリミティブ化とヒューマノイドにより再演, 人文科学とコンピュータシンポジウム論文集, pp.25-32 (2001).
- 5) Kuipers, J.B.: *Quaternions and Rotation Sequences: A Primer With Applications to Orbits, Aerospace and Virtual Reality*, Princeton University Press (1998).
- 6) Stollnitz, E.J., Derose, T.D. and Salesin, D.H.: *Wavelets for Computer Graphics theory and applications*, pp.9-20, Morgan Kaufmann Publishers (1996).

(平成 15 年 12 月 1 日受付)

(平成 16 年 2 月 2 日採録)