モーションキャプチャデータの類似検索に関する一手法

Similarity Retrieval for Motion Capture Data

学生会員 竹林佑介[†], 正会員 西尾孝治^{††}, 正会員 小堀研一^{††}
Yusuke Takebayashi[†], Koji Nishio^{††} and Ken-ichi Kobori^{††}

Abstract Motion capture technology is widely used in animation and virtual reality. There are some problems with motion capture systems. We need to have special techniques to use the system. In addition, they are expensive. Therefore, the reuse of motion capture data has become widespread. To reuse motion capture data, target motion capture data must be retrieved from a huge motion capture database with a keyword search. We describe a similarity retrieval method that uses the characteristic features of motion extracted from motion capture data. The motion of human parts is extracted as individual features of motion. We focused our study on the motion of the limbs and the head. Similar motions are retrieved in steps using features at different levels of detail. Experimental results show that the method retrieves target motion capture data efficiently.

キーワード: モーションキャプチャ, 類似検索, 特徴抽出

1. ま え が き

近年、映画やゲームなどの映像制作分野やバーチャルリアリティ分野などのCGキャラクターアニメーションにモーションキャプチャ技術が広く利用されている¹⁾。モーションキャプチャとは、人間の動きをセンサで計測し、計算機上にデジタルデータとして取込む技術である²⁾。モーションキャプチャを用いて実際の人間の動きを取込むことで、手作業では作成が困難な複雑な動きを効率よく作成できる。また最近では、人間の動きを直接利用できることから、ロボットの制御技術や人間工学を考えた製品設計など産業分野などでもモーションキャプチャが利用されるようになり、産業分野での応用が急速に発展してきている。しかし、モーションキャプチャは、高価な専用機器を必要とするため利用環境が限られている。また、システムの利用には、専門の技術が必要で機器の使用コストも高額である。

そこで最近では、一度取得したモーションキャプチャデータを再利用する試みが行われている。また、短い動作のモーションキャプチャデータが販売・配布^{3) 4)}されること

も多くなっている。しかし、既存のモーションキャプチャデータにユーザが必要とする動作が含まれているとは限らないため、使用用途が限られるという問題がある。そこで、既存のモーションキャプチャデータを使用用途に合ったデータに変換する技術が提案されている。例えば、身体的な特徴が異なるキャラクタに既存のモーションキャプチャデータを適合させるモーションリターゲットティング⁵⁾やモーションを表す波形を対話的に操作することで動作を編集するモーションワーピング⁶⁾などがある。これらの手法を用いることで、既存のモーションキャプチャデータから目的の動作を生成することが可能になる。しかし、既存のモーションキャプチャデータは膨大な数に及ぶ場合も多く、これらの手法を用いるために必要なデータを探すことは煩雑な作業となってしまう。最近では、モーションキャプチャデータの概要を可視化する手法⁷⁾も提案されているため、動作の内容を容易に理解することはできるようになったが、膨大な数のデータから必要なデータを探し出すには、すべてのデータを確認しなければならないなどの煩雑な作業が未だ必要である。

そこで、必要とするモーションキャプチャデータを検索する手法が必要になる。従来法として、自然言語を検索キーとして動作を検索する手法⁸⁾があるが、検索の精度が自然言語の冗長性に左右されるという問題がある。また、キーとなる姿勢を入力することで検索を行う方法⁹⁾もある。この手法は、検索したい動作中のキーとなる姿勢を連続的に指定することで目的の動作を検索する。しかしこの手法は、正確に検索しようとする多くの姿勢を指定しなけれ

2008年2月1日受付, 2008年3月31日再受付, 2008年5月3日採録

[†] 大阪工業大学 大学院 情報科学研究科

(〒573-0196 大阪府枚方市北山1-79-1, TEL 072-866-5301)

^{††} 大阪工業大学 情報科学部 情報メディア学科

(〒573-0196 大阪府枚方市北山1-79-1, TEL 072-866-5301)

[†] Graduate School of Information Science and Technology, Osaka Institute of Technology

(1-79-1, Kitayama, Hirakata City, Osaka, 573-0196, Japan)

^{††} Department of Media Science, Faculty of Information Science and Technology, Osaka Institute of Technology

(1-79-1, Kitayama, Hirakata City, Osaka, 573-0196, Japan)

ばならない。また、検索キーを段階的に変化させながら類似動作を検索する方法¹⁰⁾もある。この手法は、検索キーとなる動作から類似動作を検索し、検索された類似動作を次の検索キーとすることで、最初の検索キーに類似した動作を検索する。しかしこの手法は、検索結果をモーションブレンディング²⁾することを目的としているため、検索の精度に問題がある。また、姿勢の変化を表す特徴を利用して検索を行う方法¹¹⁾もある。この手法は、“手を挙げる”といったような特徴を利用して検索を行うが、抽出する特徴が2値の情報であるため、細かな動作の違いを区別できないといった問題がある。また、モーションキャプチャデータの次元を削減することで動作の特徴を抽出し、類似動作の検索を行う方法¹²⁾もあるが、同種類の動作の中からさらに細かく類似動作を検索することを目的としており、さまざまな種類の動作の中から目的の動作を検索する用途には適していない。

本稿では、モーションキャプチャデータから動作の特徴を抽出し、抽出した特徴を用いて類似動作の検索を行う手法を提案する。提案手法では、人の部位の動きを動作の特徴として抽出する。また、詳細度の異なる特徴を利用して段階的に類似動作を絞り込む方法についても提案する。最後に目視での検索結果と、提案手法での検索結果を比較する実験、および比較的大規模なデータベースに対して類似動作の検索を行い、提案手法の有効性を検証する。

2. 提案手法

2.1 提案手法の概要

提案手法では、検索キーをモーションキャプチャデータとして、類似動作の検索を行う。検索キーに自然言語ではなくモーションキャプチャデータを直接用いることで、自然言語の冗長性や表記のゆれなど自然言語特有の問題に依存しない検索が行うことができる。また、モーションキャプチャ装置で取得した動作や既存のモーションキャプチャデータを変形・合成した動作を検索キーとして用いることができるため、自然言語では表現の難しい複雑な動作を検索キーとして類似動作を検索することもできる。

ところで、人間が目視で類似動作を検索することを考えると、特定の部位に注目していることがわかる。例えば、“投げる”という動作は手の動きに、“蹴る”という動作は足の動きに着目して類似動作を検索していると考えられる。このように人間は、動作中における手や足といった部位の動きに着目して類似動作を検索していると考えられる。そこで提案手法では、人間の動作において重要な特徴を保持していると考えられる部位の動きを特徴として抽出し、類似動作を検索する。また、注目する動作の特徴の詳細度を段階的に上げて、詳細度の異なる特徴を利用することで、類似動作を絞り込む。

提案手法で類似動作を検索する手順を図1に示す。同図では、説明のため右腕の動きのみを示している。以下に提

図1 提案手法の流れ
A flow of proposal method.

案手法の処理手順について説明する。

- (1) 検索キーとなるモーションキャプチャデータから部位の動きを動作の特徴として抽出する。このとき、動作の特徴を詳細度ごとに抽出する。
- (2) (1) の処理をデータベース内のモーションキャプチャデータに対してもあらかじめ行っておく。
- (3) (1), (2) で抽出したそれぞれの特徴を利用して、詳細度ごとに2動作間の類似度を算出する。
- (4) (3) で算出した詳細度ごとの2動作間の類似度を利用して、段階的に類似動作を絞り込む。

2.2 部位の特徴抽出

2.2.1 概要

提案手法では、全身からみた局所的な部位の動きではなく、局所的な部位の動きのみに着目することにより、全身の姿勢に依存しない動きの特徴を抽出する。例えば、“直立して手を挙げる”と“寝た状態で手を挙げる”といった2種類の動作を考える。このような場合でも提案手法では、同様の“手を挙げている”という動きの特徴を抽出することができる。

人間の動作において、四肢と頭の動きは動作の重要な特徴を表している。人間が目視で類似動作を検索するときのように、これらの部位の動きに着目すれば、類似動作が検索できると考えられる。しかし、人間が頭を意識的に動かす場合、首から上の頭の動きのみに着目すると類似動作が検索できない可能性がある。ここで、人間が頭を動かす方法を考える。人間の頭は主に首関節の動きに連動して動いている。しかし、頭の動きを大きく見せる場合は、首関節

図2 部位の特徴抽出
Extraction of feature in parts.

だけでなく、腰関節も動かすことがある。このように腰関節も連動させて動かす頭の動きに対して、首から上の頭の動きに着目しても正確な動作の特徴が抽出できないと考えられる。人間が頭を動かす場合は、首関節と腰関節が重要な役割を果たしている。これらの関節を含んだ部位を利用するためには、胴体と頭、つまり腰から頭頂までを一つの部位とする必要がある。そこで提案手法では、四肢と、腰から頭頂までの部位の5カ所の部位を利用し、動作の特徴を抽出することで類似動作を検索する。

右腕の部位に着目した場合の特徴を抽出する手順を図2を用いて説明する。

- (1) 図2 (a) に示すように、モーションキャプチャデータから右手に対応する部分を抽出する。
- (2) 図2 (b) に示すように、右手の可動範囲を考慮した空間を作成し、右手の先端の位置を1フレーム毎に算出する。本稿では、各部位の空間を可動空間と定義する。
- (3) 図2 (c) に示すように、可動空間を量子化する。このとき、複数の量子化数で空間を量子化することで、詳細度の異なる検索を実現する。
- (4) (3) で量子化した空間ごとに特徴量を算出する。

この手順を右腕以外の他の部位に対しても行い、モーションキャプチャデータから部位の特徴を抽出する。なお、提案手法で用いる部位は、腰から頭頂までの部位、肩から手先までの左右の腕と脚の付け根から足先までの左右の脚の5カ所とする。

2.2.2 可動空間の作成

提案手法では、部位の動きを特徴として抽出するために、部位ごとに可動空間を作成する。そして、可動空間上に示

された部位の先端の座標を利用して類似動作を検索する。

まず、部位ごとに可動空間を作成する。部位の先端の動きすべてを可動空間上で表現するためには、部位を構成する関節間の距離の総和を半径に持つ球形状を可動空間とするのが望ましい。例えば、右腕の場合は、右肩から右手先までの長さを半径とする球形状になる。しかし、人間の関節には可動範囲が存在するので、球形状を用いると必要のない空間が生じる。そこで、球形状から可動範囲外を省いた部分球形状を可動空間として用いる。球形状を地球にみたてて、可動範囲外にあたる緯度・経度の領域を球形状から省く。提案手法では、300種類のモーションキャプチャデータの全フレームから、部位の先端の座標における緯度・経度の値を計算して各部位の可動空間を作成する。

次に、作成した可動空間上に部位の先端の座標をプロットする。提案手法では、全身の姿勢に依存しない特徴を抽出するために、部位のみの動きに着目する。そのため、部位の先端の座標は、その部位の付け根の関節から見た位置座標にする必要がある。そこで、部位の先端の座標は、部位の付け根の関節における局所座標系で表現された位置座標とする。具体的には、両腕の先端は肩の局所座標系で表現された手先の位置座標とし、両脚の先端は脚の付け根の局所座標系で表現された足先の位置座標とする。また、胴から頭までの部位は、腰の局所座標系で表された頭頂の位置座標とする。

ここで、提案手法で用いる局所座標系について説明する。モーションキャプチャデータは、関節ごとに固有の局所座標系を保持している。通常、この局所座標系は、直立姿勢において、世界座標系をもとに設定される。提案手法では、直立姿勢における進行方向を世界座標系のZ軸に、直立姿勢における垂直方向を世界座標系のY軸に、直立姿勢における左半身方向を世界座標系のX軸に合わせ、各関節の局所座標系を構築している。

各部位の可動空間上にこれらの位置座標を1フレーム毎に取得する。そして、この座標を用いて類似動作を検索する。

2.2.3 可動空間の量子化

提案手法では、2.2.2節で作成した可動空間を量子化して小領域単位で動作の特徴を抽出し、類似動作の検索を行う。人間の動作は、同じ動作でも局所的に動きが異なる可能性があると考えられる。量子化した小領域を用いることで、動作中の局所的な変化に依存しない特徴を抽出することができる。また、領域が大きい場合は動作の大局的特徴を、領域が小さい場合は、動作の局所的特徴を表していると考えられる。そこで、提案手法では大きさの異なる量子化した領域を複数作成し、段階的に検索を行う。

提案手法では、量子化する指標に緯度と経度を用いる。緯度と経度を2分割することで量子化を行う。そのため、1段階量子化すると領域の数が4倍に増える。なお本稿では、量子化する領域数を 4^n にしたときの n を量子化レベルと呼ぶ。図3に領域の数と量子化レベルの関係を表した図を示

図3 量子化レベルと領域数の関係
Relationship between the number of area and quantization level.

す。図3 (a) は緯度・経度それぞれ2分割しているため4個の領域に、図3 (b) は緯度・経度それぞれ4分割しているため16個の領域に分割される。

2.2.4 特徴量の算出

提案手法では、可動空間を量子化した領域に対して特徴量を算出する。2.2.2節で述べたように、可動空間上にプロットされた点は、動作中の全フレームにおける部位の先端の位置座標を表している。以下、このプロットされた点を特徴点とする。特徴点は部位の先端の位置を表現しているために、特徴点の広がりを見ることで部位の動きの大きさを把握することができる。人間が目視で検索する場合、部位の動きの大きさの違いに着目していると考えられるため、提案手法では特徴点の広がりによって類似動作を検索する。そこで、特徴点の広がりを指標として用いるために、標準偏差を用いた特徴量を算出する。具体的には、量子化した各領域に対して、領域に含まれる特徴点の位置座標を用いてx軸に対する標準偏差 SD^x 、y軸に対する標準偏差 SD^y 、z軸に対する標準偏差 SD^z を式(1)で計算する。その計算結果を各領域の特徴量として保存する。

$$SD^i = \sqrt{\frac{1}{f} \sum_{k=1}^f (t_k^i - g^i)^2} \quad (i \in \{x, y, z\}) \quad (1)$$

ここで、 t_k^i は領域内の k 番目の特徴点の位置座標の各成分、 g^i は領域内に存在する特徴点の位置座標の平均値の各成分、 f は領域内の特徴点の数である。また各座標軸は、部位の付け根の局所座標系における各基底ベクトルとする。

この特徴量をすべての量子化した領域に対して計算する。また、5カ所の部位すべてに同様の処理を行う。

2.3 類似度判定

提案手法では、動きの大きさを用いた類似度と動きの速さを用いた類似度の2種類の類似度を用いて2動作間の類似度を算出する。動きの大きさを用いた類似度は、量子化した領域ごとに求めた標準偏差を用いて計算される類似度である。また、動きの速さを用いた類似度は、各部位の動きの速さに着目した類似度である。

以降で、検索キーとするモーションキャプチャデータをAとし、データベース内にあるモーションキャプチャデータをBとして2種類の類似度から2動作間の類似度を算出す

る方法について説明する。なお、段階的に類似動作を検索するため、複数の量子化レベルで量子化した結果について同様の処理を行うが、ここではある量子化レベルに限定して説明する。

2.3.1 動きの大きさを用いた類似度

動きの大きさを用いた類似度は、式(1)で求めた標準偏差を用いて計算する。動作A、Bの j 番目の部位において、可動空間を量子化した m 番目の領域を a_{jm} 、 b_{jm} とし、領域 a_{jm} 、 b_{jm} に対して求める式(1)の標準偏差を $SD^i a_{jm}$ 、 $SD^i b_{jm}$ ($i \in \{x, y, z\}$)とする。このとき、動作A、Bの j 番目の部位に対する動きの大きさを用いた類似度 $SSim_j$ を式(2)で求める。

$$SSim_j = \frac{1}{3M} \sum_{m=1}^M \sum_{i \in \{x, y, z\}} \frac{\min(SD^i a_{jm}, SD^i b_{jm})}{\max(SD^i a_{jm}, SD^i b_{jm})} \quad (2)$$

ここで、 M は量子化された領域の数である。式(2)は量子化された領域内で特徴点の広がりを比較し、他の領域の結果と統合し最終的な類似度を算出する。

2.3.2 動きの速さを用いた類似度

人間が類似動作を検索する場合、その動作における部位の重要性を考えている。例えば、全身が動く動作に対しては全身が動く動作を重点的に検索し、また上半身だけが動く動作は上半身だけが動く動作を重点的に検索していると考えられる。このことから、人間は部位の動きの激しさに着目していると考えられる。そこで提案手法では、部位の動きの速さに着目し、激しく動いている部位が2動作間で類似しているかを調べる。

具体的には、1フレーム間の部位の先端の移動量が最も大きい値、つまり先端の最大の移動速度を指標として類似度を計算する。まず、各部位の重要度を表す P_j を式(3)で求める。

$$P_j = \frac{d_j}{\sum_{l=1}^{J_n} d_l} \quad (3)$$

ここで、 d_l は l 番目の部位の1フレーム間での最大の移動量、 J_n は特徴抽出に用いる部位の数である。また、この移動量は各部位の付け根の局所座標系で計算する。

そして、動作A、Bの j 番目の部位の重要度をそれぞれ $P_j a$ 、 $P_j b$ とすると部位 j の動きの速さを用いた類似度 $ASim_j$ を式(4)で求める。

$$ASim_j = \frac{\min(P_j a, P_j b)}{\max(P_j a, P_j b)} \quad (4)$$

2.3.3 2動作間の類似度

j 番目の部位に着目したとき、動きの大きさを用いた類似度を $SSim_j$ 、動きの速さを用いた類似度を $ASim_j$ とすると2動作間の類似度 Sim を式(5)で求める。

$$Sim = \frac{1}{J_n} \sum_{j=1}^{J_n} (SSim_j) (ASim_j) \quad (5)$$

2動作間の類似度 Sim は0.0から1.0までの値をとり、1.0に近いほど2種類の動作が類似している。

2.4 類似動作の絞り込み

提案手法では、明らかに検索キーに異なる動作を検索対象から除外することで、詳細度に応じた検索を行う。そこで、可動空間を異なる量子化レベルで量子化し、量子化レベルを1段階上げることによっていくつかの動作を検索対象から除外することで類似動作の絞り込みを行う。量子化レベルが小さい場合は、動作の大局的特徴を抽出できていると考えられ、量子化レベルが大きい場合は、動作の局所的特徴を抽出できていると考えられる。そのため、量子化レベルを1段階上げることによって動作の絞り込みを行うことは、動作の特徴を徐々に詳細なレベルで比較することになる。つまり、明らかに異なる動作を早い段階で除外し、量子化レベルが大きくなるにつれて局所的に異なる動作を比較することになる。このような方法をとることで、人間が目視で行う検索に近い結果が得られると考えられる。

データベース内の動作に対して、2.3.3節の式(5)に示す検索キーとの類似度 Sim が算出されたとする。算出された類似度をデータベース内で正規化する。データベース内の n 番目の動作の正規化した類似度 $NSim_n$ は、2動作間の類似度を Sim_n とすると、式(6)で求められる。

$$NSim_n = \frac{Sim_n - \min_{\alpha \in Database} (Sim_{\alpha})}{\max_{\alpha \in Database} (Sim_{\alpha}) - \min_{\alpha \in Database} (Sim_{\alpha})} \quad (6)$$

ここで、 $\max_{\alpha \in Database} (Sim_{\alpha})$ はデータベース内の類似度の最大値とし、 $\min_{\alpha \in Database} (Sim_{\alpha})$ はデータベース内の類似度の最小値とする。

そして、 $NSim_n$ が式(7)の条件を満たすとき、

$$NSim_n < \varepsilon \quad (7)$$

(ただし、 ε は動作の絞り込みに用いる閾値である。)

データベース内の n 番目の動作は除外の対象となる。このようにして動作を絞り込むことで、人間が目視で検索するときのように、段階的に類似動作を検索できると考えられる。

3. 実験と考察

3.1 実験

提案手法を用いて類似動作を検索した結果と被験者が目視で検索した結果を比較し、提案手法の有効性を検証した。また、大規模データベースから提案手法を用いて類似動作を検索する実験も行った。

まず、目視での検索結果との比較実験について述べる。実験に用いる検索キーの動作とデータベースを2種類ずつ用意し、表1に示す組合せで実験1, 2を行った。表中の被験者数は、目視で類似動作を検索してもらった被験者の数を示す。

目視での検索方法を述べる。被験者は26名の学生とし、被験者には、事前に検索キーに類似している順に動作を順位付けしてもらうように指示した。そして、検索キーとデ

表1 実験に用いた検索キーとデータベース
Retrieval key and database in experiments.

実験名	検索キー	データベース	被験者数
実験1	歩く	6種類	26人
実験2	手を振る	6種類	26人

表2 実験1の検索結果(検索キー：歩く)
Retrieval result in experiment 1 (Retrieval key: Walk).

量子化レベル データ ベースの動作	提案手法				目視で の検索
	1	2	3	4	
とぼと歩く	0.476 (1.000)	0.309 (1.000)	0.247 (1.000)	0.134 (1.000)	1.000
走る	0.363 (0.645)	0.262 (0.684)	0.226 (0.000)		0.651
酔っぱらって歩く	0.210 (0.167)	0.162 (0.001)			0.596
杖をついて歩く	0.290 (0.418)	0.162 (0.000)			0.571
ボールを蹴る	0.173 (0.052)				0.183
ジャンプする	0.157 (0.000)				0.000

表3 実験2の検索結果(検索キー：手を振る)
Retrieval result in experiment (Retrieval key: Wave a hand).

量子化レベル データ ベースの動作	提案手法				目視で の検索
	1	2	3	4	
手を前後に振る	0.492 (1.000)	0.263 (1.000)	0.092 (1.000)	0.075 (1.000)	1.000
ボールを投げる	0.098 (0.112)	0.097 (0.209)	0.035 (0.000)		0.756
カードを配る	0.176 (0.287)	0.053 (0.000)			0.609
ものを拾う	0.048 (0.000)				0.317
ジャンプする	0.122 (0.166)	0.073 (0.096)			0.195
行進する	0.055 (0.000)				0.000

図4 大規模データベースの検索結果 (閾値: 0.3)
Retrieval result in large database (Threshold: 0.3).

図5 大規模データベースの検索結果 (閾値: 0.4)
Retrieval result in large database (Threshold: 0.4).

データベースの動作を同時に提示した。その際、複数視点かつ複数回にわたって動作を提示した。また、明確に各動作の区別が付くように、異なる色で着色したCGキャラクタを提示した。提示したキャラクタは、図4で示すCGキャラクタと同じである。そして、類似していると思われる動作から順位付けをしてもらった。そして、それぞれ順位付けしてもらった順位の合計値を昇順に並べた結果を目視での検索結果として、提案手法の検索結果と比較した。

以下、実験1, 2の結果を表2, 表3に示す。この実験では、類似動作の絞り込みに用いる式 (7) の閾値 ε を0.1とした。なお、表中の提案手法における数値は式 (5) の類似度 Sim の値を表しており、括弧内の数値は式 (6) を用いて、最も類似していると考えた2動作間の類似度が1.0、最も類似していないと考えた2動作間の類似度が0.0になるように正規化した値である。また、各表は量子化レベルごとに示している。また、各表中の網掛け部分はそのレベルでの検索の除外対象を表しており、空欄は現在の量子化レベルよりも小さい量子化レベルで動作が除外されたため、類似度を算出していないことを表している。また、目視での検索における数値は、被験者による目視での検索で得られた順位の

合計値を用いて、最も類似していると考えた動作の順位の合計値が1.0、最も類似していないと考えた動作の順位の合計値が0.0になるように正規化した値である。

次に、提案手法を用いて大規模データベースから類似動作を検索した。実験に用いたデータベースは、2.2.2節で用いた300種類のモーションキャプチャデータを用いた。300種類のモーションキャプチャデータは、それぞれ十数秒程度のモーションキャプチャデータである。また、検索キーは実験2と同じ“手を振る”という動作を用いた。実験では、実験1, 2と同様に、量子化レベルを上げるとともに類似していない動作を検索対象から除外し、最終的に量子化レベルが4になるまで類似動作の検索を行った。量子化レベルが4のときに検索された動作を図4, 図5に示す。図4は絞り込みの閾値を0.3, 図5は絞り込みの閾値を0.4にしたときの結果である。なお、表中の丸枠で囲まれた動作は検索キーを表している。

3.2 考察

まず、目視での検索結果との比較実験の考察について述べる。実験1では左右対称な全身動作に対して類似動作の検索を行った。表2より、実験1における目視の検索結果と提案手法の検索結果がほぼ一致していることがわかる。目視の検索結果の値から“とぼとほ歩く”が最も類似していると考えられ、次に“走る”、“酔っぱらって歩く”、“杖をついて歩く”が類似していると考えられる。そして“ボールを蹴る”、“ジャンプする”が明らかに類似していない動作と考えられる。量子化レベルを上げるにつれて、目視での検索結果の下位動作から絞り込みができていく。この理由として、5カ所の部位の特徴を用いて類似動作の検索を行っているからだと考えられる。“とぼとほ歩く”はすべての部位の動きについて、“走る”、“酔っぱらって歩く”、“杖をついて歩く”は両足の動きが検索キーと類似している。人間も同様に、各部位の類似性をもとに類似動作を検索していると考えられるため、目視での検索結果と同様の結果が得られた。

次に、実験2では1カ所の部位の動きが大きい動作に対して類似動作の検索を行った。表3より目視の検索結果の上位動作に対しては良好な結果が得られた。しかし、目視での下位動作である“ジャンプする”に関しては量子化レベルが1のときの結果が目視での検索結果と一致していない。この理由として、図6の丸枠で囲んだ部分に示すように、検索キーの“手を振る”と“ジャンプする”のそれぞれの動作中の姿勢が、右手の部位を除く他の部位、特に両脚で類似している箇所が存在している。そのため大局的な特徴が少し類似したと考えられる。提案手法では、部位の動きにしか着目していないため、“ジャンプする”特有の“宙に浮く”という特徴が抽出できず、このような結果になったとも考えられる。しかし、“ジャンプする”も量子化レベルが2では除外されることから1カ所の部位の動きが大きい動作に対しても良好な結果が得られたと考えられる。

(a) 手を振る

(b) ジャンプする

図6 類似姿勢
Similar pose.

最後に、大規模データベースからの検索結果について考察を述べる。図4、図5に示すように、検索キーである“手を振る”という動作に類似した動作が検索されていることがわかる。図4では、“手を振る”という動作に類似しているとされた動作が、10種類検索された。どの動作も“手を振る”と同様の“右手を挙げて振る”という行為を行っており、提案手法による検索結果が有効であることを示している。また、図4よりも絞り込みの閾値を上げた図5では、図4よりも少ない2種類の動作が検索された。これは、絞り込みの閾値を上げたことで、より検索キーに類似した動作が検索されたことを示している。ここで、図4、図5には両手を挙げて振る動作が検索されている。これは“両手を振る”という動作であるが、右手の動きは“手を振る”という動作に非常に類似している。提案手法は、部位の重要性を利用して類似動作の検索をしているため、“手を振る”という動作にとって重要な右手の動きを重視した検索結果が得られる。そのため、“手を振る”と“両手を振る”が類似動作と検索された。人間がこのような動作を目視で検索する場合でも、一部の部位に着目して検索すると考えられるので、この点でも提案手法の検索結果は有効であるといえる。

これらの実験結果から、提案手法はさまざまな検索キーとデータベースの組合せに対して有効な検索ができると考えられる。

4. む す び

本稿では、モーションキャプチャデータから動作の特徴を抽出し、抽出した特徴を用いて類似動作を検索する手法を提案した。提案手法では、人間の動作における重要な特徴と考えられる四肢と胴体を含む頭の部位の動きを動作の特徴として抽出し、類似動作の検索を行った。局所的な部位の動きを特徴として抽出することで、全身の姿勢に依存しない特徴を抽出した。また、特徴空間を量子化することにより詳細度の異なる特徴を抽出した。抽出した詳細度の異なる特徴を用いることで、段階的に類似動作の検索を行った。その結果、検索キーと明らかに異なる動作を検索対象から除外して、検索キーに類似している動作を検索することができた。そして、段階的に検索した結果が、人間が目視で行う検索に類似していることが確認した。また、大規模データベースに対しても実験を行い、検索キーと類似した動作が検索できることが確認した。これらのことから、

提案手法を用いることで、類似したモーションキャプチャデータが検索できると考えられる。

今後の課題として、動作の特徴を抽出するとき、“宙に浮く”といったような地面との関係を含む特徴を抽出し、目視での検索結果にさらに近づけるようにすることがあげられる。また、目視で検索する場合、時間軸に応じた検索を行うことも考えられるため、動作の特徴に時間軸に関する情報を付加することも考えている。さらに、動作の絞り込みに使った閾値を対象とするデータベースに応じた最適な閾値を決定することがあげられる。

〔文 献〕

- 1) A. Menache: "Understanding Motion Capture for Computer Animation and Video Games", Morgan Kaufmann Publishers, pp.14-36 (2000)
- 2) 栗原恒弥, 安生健一: “3DCGアニメーション 基礎から最先端まで”, 技術評論社, p.143, pp.149-150 (2003)
- 3) 豊橋技術科学大学: “ToMoLoW: Toyohashi Motion Library on Web”, <http://tomolow.valics.tut.ac.jp/>
- 4) Carnegie Mellon University: "CMU Graphics Lab Motion Capture Database", <http://mocap.cs.cmu.edu/>
- 5) M. Gleicher: "Retargeting Motion to New Characters", Proceeding of ACM SIGGRAPH 1998, pp.33-42 (1998)
- 6) A. Witkin, Z. Popović: "Motion Warping", Proceeding of ACM SIGGRAPH 1995, pp.105-108 (1995)
- 7) J. Assa, Y. Caspi, D. Cohen-Or: "Action Synopsis: Pose Selection and Illustration", Proceeding of ACM SIGGRAPH 2005, pp.667-676 (2005)
- 8) 湯川崇, 小原直子, 玉本秀夫: “動作名により検索可能な身体動作データベースの構築”, 第68回情処学全大, 4, pp.7-8 (2006)
- 9) Y. Sakamoto, S. Kuriyama, T. Kaneko: "Motion Map: Image-based Retrieval and Segmentation of Motion Data", Eurographics/ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation, pp.259-266 (2004)
- 10) L. Kovar, M. Gleicher: "Automated Extraction and Parameterization of Motions in Large Data Sets", Proceeding of ACM SIGGRAPH 2004, pp.559-568 (2004)
- 11) M. Müller, T. Röder, M. Clausen: "Efficient Content-Based Retrieval of Motion Capture Data", Proceeding of ACM SIGGRAPH 2005, pp.677-685 (2005)
- 12) 佐藤浩司, 青木公太, 長橋宏: “動作特徴を考慮したモーションキャプチャデータベース構築に関する研究”, 情処学研報, 2007-CVIM-158, pp.185-192 (2007)

たけはやし ゆきひろ
竹村 佑介 2007年、大阪工業大学大学院博士前期課程修了。現在、同大学院博士後期課程にて、モーションキャプチャを主としたCGに関する研究に従事。学生会員。

にしお こうじ
西尾 孝治 2000年、大阪工業大学大学院博士後期課程修了。2000年、豊橋技術科学大学助手。現在、大阪工業大学情報科学部情報メディア学科准教授。3次元画像処理に関する研究に従事。博士(工学)。正会員。

こばやし けんいち
小堀 研一 1975年、山梨大学大学院修士課程修了。1975年、シャープ(株)入社。以後、一貫してCAD、CAM、CGに関する研究開発に従事。1991年、大阪工業大学に奉職。現在、同大学情報科学部情報メディア学科教授。CAD、CG、バーチャルリアリティの研究に従事。工学博士。正会員。