

振りの練習支援システムへの加速度センサの導入効果

Effect of Using Acceleration Sensor on Support System for Practicing Motion Using Only Markers

片平 翔*

林 貴宏**

尾内 理紀夫** **

Sho KATAHIRA

Takahiro HAYASHI

Rikio ONAI

katahira@seman. cs. uec. ac. jp

haya@seman. cs. uec. ac. jp

onai@cs. uec. ac. jp

*電気通信大学大学院 電気通信学研究科 情報工学専攻

Department of Computer Science, Graduate School of Electro-Communications,

The University of Electro-Communications

**電気通信大学 電気通信学部 情報工学科

Department of Computer Science, The University of Electro-Communications

概要

踊り、スポーツなどの特定の型に沿った動作(振り)の練習を支援するためにマーカと加速度センサを用いた振りの採点システムを開発した。本研究では従来のマーカのみの振りの採点システムに加速度センサを加えることで、動作の採点をよりの確にすることを目的としたものである。評価実験によりマーカのみの採点システムと提案システムを比較し加速度センサの導入効果を確認した。

1. はじめに

踊りやスポーツにおけるフォームなど特定の型に沿った動作(振り)を取得するために、計算機を用いて振りの練習を支援するシステムが提案されている[1][2][3][4][5]。

その中には、予め熟練者の振りを記録し、初心者との振りと比較(採点)することで、熟練者との振りの違いを初心者に提示するものがある[3][4][5]。

映像を計算機に入力し、振りの比較(採点)を行う場合、被験者にマーカを装着させ、マーカの軌跡を取得する方式が従来多く用いられてきた[5]。しかし、初心者と熟練者の振りが異なるにもかかわらず、マーカの軌跡が同一である場合があり、マーカのみを使用する従来手法はその振りの違いを認識す

ることはできないという問題がある。例えばマーカを手首に付けた場合、腕を上げて下ろす動作と腕の位置を固定しジャンプする動作はマーカ軌跡がほぼ同一となるため従来手法は二つの動作を区別できない。そこで本システムではマーカに加え加速度センサを用いることで上記の問題の解決を試みた。

以下本論文では2章で提案システム、3章で実験と評価について述べる。

2. 提案システム

2.1. システム概要

システムは振りの熟練者による手本となる振り(以下モデル動作)とユーザである初心者との振り(以下ユーザ動作)を比較し、採点することで練習を支援す

る。本システムは入力部、採点部で構成される。

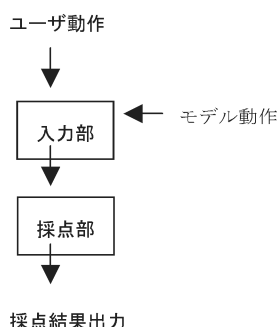


図1: システム概要

2.2.機器構成

本システムは、デジタルビデオカメラ(DVカメラ)1台、ワイヤレス加速度センサ1台(日立金属ワイヤレス3軸加速度センサー評価キット¹)、マーカ1～3枚、ディスプレイ1台、計算機1台で構成される。(図2)



図2: 機器構成

カメラ映像の解像度は360×240 pixel, カメラからユーザまでの距離は約5 mである。

加速度センサから入力される値は厳密な加速度ではなく、加速度に比例した値である。本研究では加速度センサより入力される値をそのまま加速度を表す量として用いる。

¹ http://www.hitachi-metals.co.jp/prod/prod01/p01_14_a.html

2.3.入力部

入力部では動作の定量化を行う。本システムでは動作の定量化に

- ・ マーカの装着位置の時系列 U
- ・ 3軸の加速度から作られる加速度ベクトルの大きさの時系列 A

を用いる。具体的には時刻 i でのマーカ位置 $p_i=(x_i, y_i)$, 加速度ベクトル $v_i=(ax_i, ay_i, az_i)$ を用いて、マーカ位置の時系列 U および加速度ベクトルの大きさの時系列 A を次式で定義する。

$$U \equiv [p_0, p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_{N-1}]$$

$$A \equiv [a_0, a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_{N-1}]$$

$$a_i = |v_i|$$

$$|v_i| = \sqrt{ax_i^2 + ay_i^2 + az_i^2}$$

ここで、 N は動作開始から終了までのDVカメラによるフレーム数である。加速度センサから1秒間200個のデータが入力され、これはDVカメラから1秒間に入力されるフレーム数29.97より多い。マーカの取得時刻 i に同期した加速度ベクトル v_i を取得するために、以下の処理を行う。

- (I) センサから入力される加速度 ax , ay , az をそれぞれ軸ごとに過去8点まで時系列 K_{ax} , K_{ay} , K_{az} に記録する。
- (II) マーカの取得時刻 i における K_{ax} , K_{ay} , K_{az} の中央値 ax_{med} , ay_{med} , az_{med} を取得する。
- (III) $v_i=(ax_{med}, ay_{med}, az_{med})$ として加速度ベクトル v_i を構成する。

U および A の定義に従い、取得したモデル動作、ユーザ動作を以下のように示す、

- ・ モデル動作におけるマーカ位置の時系列 $U0$
- ・ モデル動作における加速度ベクトルの大きさの時系列 $A0$
- ・ ユーザ動作におけるマーカ位置の時系列 $U1$
- ・ ユーザ動作における加速度ベクトルの大きさの時系列 $A1$

マーカを複数使用する場合には以下のように定義する。

Uhm : マーカ m の位置の時系列

$0 \leq m < M$ (M : 使用するマーカ数)

$h = \begin{cases} 0 : \text{モデル動作} \\ 1 : \text{ユーザ動作} \end{cases}$

2.4.採点手法

2.4.1採点の方針

本システムでは以下のような点を考慮し採点を行う。

- ・手足など体の部位の動き始め、動き終わり、移動方向に変化が起こるタイミングの一致度合い
- ・手足などの体の部位が描く軌跡(動作の型)の一致度合い
- ・手足などの体の部位への力の入れ方の一致度合い

以上の3点に着目し、モデル動作とユーザ動作の類似度を採点する。タイミングの採点にはマーカと加速度、動作の型の採点にはマーカ、力の入れ方の採点には加速度の情報を用いて採点する。動作の型と力の入れ方についてはモデル動作とユー

ザ動作の間にタイミングのズレが生じている場合、つまりユーザ動作がモデル動作に対し遅延または先行している場合には、本システムは遅延・先行を修正した後に比較をする。これは、タイミングだけズレているが、動作の型や力の入れ方は適切であるという場合があり、ユーザにその情報を提示することは練習の役に立つと考えたためである。

2.4.2タイミングの採点

[DPマッチング]

タイミングの採点にはDPマッチングを用いる。DPマッチングはパターンマッチング法の1手法であり、2つのデータの系列を比較し系列全体の類似度を求めることができる。また類似度を求める過程で2つのデータの系列全体の類似度をできるだけ大きくするように系列内のデータを伸縮して対応付ける特徴がある。

本システムでは

- ・モデル動作のマーカ位置、加速度の時系列($U0, A0$)
- ・ユーザ動作のマーカ位置、加速度の時系列($U1, A1$)

にDPマッチングを適用する。これにより前述の特徴から($U1, A1$)の各時刻でのマーカ位置および加速度を時間的に遅延または先行させて($U0, A0$)における各時刻と対応づけが行われる。この対応づけを調べることでモデル動作に対するユーザ動作のタイミングのズレを測定できる。さらにモデル動作に対するユーザ動作の遅延または先行の補正を行うことが可能である。

[DPマッチングの適用]

($U0, A0$)と($U1, A1$)にDPマッチングを適用することで、タイミングの採点を行う。($U0, A0$)と($U1, A1$)にDPマッチング適応するためには($U0, A0$)の時刻 i と($U1, A1$)の時刻 j 間のコスト $c(i, j)$ を定義する必要がある。コスト $c(i, j)$ を本システムでは次の式(1)で定義する。(式1)

$$c(i, j) = c_m(i, j) + c_a(i, j) \quad (1)$$

$c_m(i, j)$: $p0_i$ と $p1_j$ 間のコスト

$c_a(i, j)$: $a0_i$ と $a1_j$ 間のコスト

$p0_i$: $U0$ の時刻 i の要素

$p1_j$: $U1$ の時刻 j の要素

$a0_i$: $A0$ の時刻 i の要素

$a1_j$: $A1$ の時刻 j の要素

$c_m(i, j)$ は既存のマーカのみを使用して採点を行うシステム[5]で採用されている手法を用いて定義を行った。この手法はまず時刻 $i+1$ におけるモデル動作のマーカ位置 $p0_{i+1}$ と $p0_i$ を比較しマーカの移動方向を求める。同様にユーザ動作の移動方向を求め、モデル動作とユーザ動作の移動方向の違いから $c_m(i, j)$ を決定する手法である。

$c_a(i, j)$ は $a0_i$ と $a1_j$ の差の絶対値 $d_a(i, j)$ を求め、式(2)を用い閾値 $thca$ と比較することで決定する。

$$c_a(i, j) = \begin{cases} w_{a0} & \text{if}(0 < d_a \leq thca_0) \\ \vdots & \\ w_{ak} & \text{if}(thca_{k-1} < d_a \leq thca_k) \\ \vdots & \\ w_{ar-1} & \text{if}(thca_{r-2} < d_a \leq thca_{r-1}) \\ w_{ar} & \text{(otherwise)} \end{cases} \quad (2)$$

$$d_a(i, j) = |a0_i - a1_j|$$

r はコストを何段階で設定するかという段階数、 w_{al} は

d_a と $thca$ から決定されるコストである。

本システムでは $r, thca, w_{al}$ には経験的に以下の値を使用している。

$$r = 4$$

$$w_{a0} = 0, w_{a1} = 1, w_{a2} = 2, w_{a3} = 4$$

$$thca_0 = 50, thca_1 = 100, thca_2 = 150, thca_3 = 200$$

以上より決定される $c(i, j)$ を用いてDPマッチングの計算を行う。DPマッチングの計算は以下の2次元のマッチング行列 $g(i, j)$ を用いる。

$$g(i, j) = \min \begin{cases} g(i-1, j) + c(i, j) \\ g(i-1, j-1) + 2c(i, j) \\ g(i, j-1) + c(i, j) \end{cases}$$

$$\text{初期条件 } g(0, 0) = 0$$

$$g(i, 0) = g(0, j) = \infty$$

$$(1 \leq i \leq N-2, 1 \leq j \leq N-2)$$

上式より $g(N-2, N-2)$ を求める。 $g(N-2, N-2)$ は($U0, A0$)と($U1, A1$)の類似度である。 $g(N-2, N-2)$ の値が最小となるようにモデル動作の各時刻とユーザ動作の各時刻を対応付けることで、モデル動作に対するユーザ動作の遅延または先行が最も小さくなるように修正されたといえる。

[DPマッチングによるタイミングの採点]

DPマッチングによって得られたモデル動作の時刻 i とユーザ動作の時刻 j の対応はユーザ動作が遅延・先行のない理想的な動作であるならば1対1の対応であり直線(理想的なユーザ動作)となる(図3)。遅延・先行が存在する場合には理想線から外れ、以下のようなになる。

・遅延時のユーザ動作: 直線より下で i, j の対応をとる(図3)

・先行時のユーザ動作: 直線より上で i, j の対応をとる(図3)

このような遅延・先行が起こる場合には i と j は1対 n , n 対1($n: n>1$ となる整数)といった対応をとることになる(図3). 例として図3で理想的なユーザ動作, 遅延時のユーザ動作, 先行時のユーザ動作の場合で i と j の対応数(各ユーザ動作の線と格子点の交差箇所の数)を比較すると次のようになる.

- ・ 理想的なユーザ動作: 対応数5
- ・ 遅延時のユーザ動作: 対応数8
- ・ 先行時のユーザ動作: 対応数7

以上より遅延・先行時のユーザ動作の対応数は理想的なユーザ動作の対応数に比べて多くなる. DPマッチング前のモデル動作とユーザ動作の時系列の要素数 $N-I$ とDPマッチングにより修正した時系列の要素数 N_{dp} を比較することでタイミングのズレのスコア s_i を採点する. s_i の計算式(3)は次のとおりである.

$$s_i = 2 - \frac{N_{dp}}{N - 1} \quad (3)$$

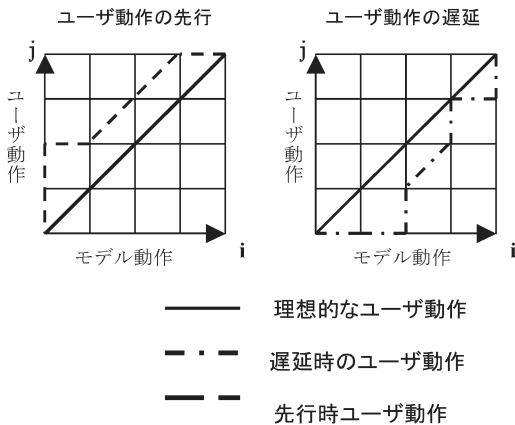


図3: DPマッチングの対応グラフ

2. 4. 3動作の型の採点

モデル動作に対するユーザ動作の遅延・先行を修正後の各時刻 t とする. 時刻 t において対応するマーカー $p0_i, p1_i$ の位置のズレ $d_{s_m}(t)$ を測定し, 閾値 $thsm$ と比較することで部分スコア s_{mt} を与える. 式(4)を用い全ての時刻の s_{mt} の和をとることで, 動作の型の類似度 s_m を採点する.

$$s_m = \frac{\sum_{t=0}^{N_{dp}-1} s_{mt}}{N_{dp} b_m} \quad (4)$$

$$s_{mt} = \begin{cases} b_m & \text{if } (0 < d_{s_m}(t) \leq thsm_0) \\ b_m - 1 & \text{if } (thsm_0 < d_{s_m}(t) \leq thsm_1) \\ \vdots & \vdots \\ b_m - k & \text{if } (thsm_{k-1} < d_{s_m}(t) \leq thsm_k) \\ \vdots & \vdots \\ 1 & \text{if } (thsm_{b_m-2} < d_{s_m}(t) \leq thsm_{b_m-1}) \\ 0 & \text{(otherwise)} \end{cases}$$

$$d_{s_m}(t) = |p0_t - p1_t|$$

b_m は s_{mt} に与えるスコアの最大値である. 本システムでは $b_m, thsm$ に経験的にそれぞれ以下の値を与えている.

$$b_m = 3$$

$$thsm_0 = 8, thsm_1 = 15, thsm_2 = 20$$

2. 4. 4力の入れ方の採点

モデル動作に対するユーザ動作の遅延・先行を修正後の各時刻 t とする. 時刻 t において対応する加速度 $a0_i, a1_i$ の差の絶対値 $d_{sa}(t)$ を測定し, 閾値 $thsa$ と比較することで部分スコア s_{at} を与える. 式(5)を用い全ての時刻の s_{at} の和をとることで, 動作の型の類似度 s_a を採点する.

$$s_a = \frac{\sum_{t=0}^{N_{dp}-1} s_{at}}{N_{dp} b_a} \quad (5)$$

$$s_{at} = \begin{cases} b_a & \text{if } (0 < d_{s_a}(t) \leq thsa_0) \\ b_a - 1 & \text{if } (thsa_0 < d_{s_a}(t) \leq thsa_1) \\ \vdots & \\ b_a - k & \text{if } (thsa_{k-1} < d_{s_a}(t) \leq thsa_k) \\ \vdots & \\ 1 & \text{if } (thsa_{b_a-2} < d_{s_a}(t) \leq thsa_{b_a-1}) \\ 0 & \text{(otherwise)} \end{cases}$$

$$d_{s_a}(t) = |a0_t - a1_t|$$

b_a は s_{at} に与えるスコアの最大値である。本システムでは b_a , $thsa$ に経験的にそれぞれ以下の値を与えている。

$$b_a = 3$$

$$thsa_0 = 20, thsa_1 = 50, thsa_2 = 80$$

ただし、モデル動作とユーザ動作ともに力を入れていないと考えられる時刻は採点対象から除外する。本システムでは加速度の値が100から130の間では重力加速度のみとして除外している。これは、加速度は加速度センサ装着部位の動き始めや動き終わり、移動方向の変化時など動きの速度が変わる瞬間にのみ大きな値をとる特徴があるからである。力を入れている箇所の採点を主としたいため本システムでは力を入れていない箇所は採点から除外した。

3. 実験と評価

3.1 実験方法

本章では評価実験について述べる。実験手順は以下の通りである。

まず、2種類のモデル動作を用意する。1つのモデル動作に対して、ユーザ動作はモデル動作を真似

たもの(ユーザ動作1)とマーカ軌跡はほぼ同一になりながら異なる動作(ユーザ動作2)の2種類を用意する。実験で使用した動作を以下に示す。

・ 実験動作1

マーカ装着位置: 右手, 左手, 頭

加速度センサ装着位置: 右手に握りこむ

モデル動作: 交互に片手づつ右手・左手・右手・左手とカメラ正面に突き出す動作(図4)

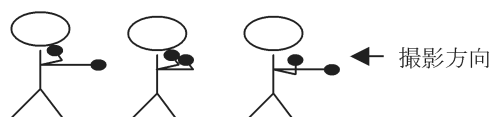


図4: 実験動作1 モデル動作

ユーザ動作1: モデル動作を真似た動き

ユーザ動作2: 両手を同時に4回カメラ正面に突き出す動作(図5)

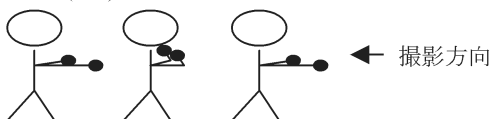


図5: 実験動作1 ユーザ動作2

・ 実験動作2

マーカ装着位置: 右手, 左手, 頭

加速度センサ装着位置: 右手に握りこむ

モデル動作: 両手を耳の高さまで上げた状態でジャンプする動作(図6)

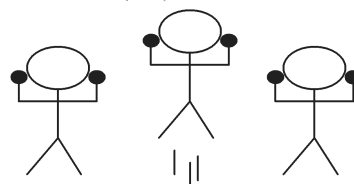


図6: 実験動作2 モデル動作

ユーザ動作1: モデル動作を真似た動き

ユーザ動作2: 肩の位置から両手を胸の位置まで下げた後、頭の位置まで上げ、肩の位置まで下げる動作(図7)

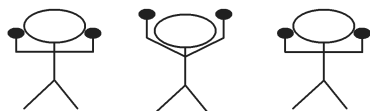


図7: 実験動作2 ユーザ動作2

モデル動作と二種類のユーザ動作を、マーカと加速度を用いる手法(提案手法)とマーカのみを用いる手法(従来手法)で採点を行い、採点結果を比較する。

マーカのみを用いる従来手法ではDPマッチングのコスト $c(i, j)$ はマーカからのコスト $c_m(i, j)$ のみで定義する。これにより遅延・先行を修正し、タイミングの採点を行う。また力の入れ方の採点は行えないため動作の型の採点のみを行う。

モデル動作とユーザ動作は、別の被験者が行った。モデル動作の登録を行った被験者とユーザ動作を行った被験者の体格は同程度である。また、ユーザ動作の登録を行った被験者は、ユーザ動作1とユーザ動作2の練習を数回行った後、動作の採点を行った。

3.2 実験結果と考察

3.2.1 実験結果

実験結果を表1に示す。表1の各項目について解説する。モデル動作は実験動作1, 2のどちらのモデル動作を行ったのか、ユーザ動作はユーザ動作1, 2のどちらを行ったかを示す。採点手法はモデル動作とユーザ動作の類似度の採点に提案手法、従来手法のどちらを用いたのかを示し、動作の型(s_m)、

力の入れ方(s_a)、タイミング(s_t)はそれぞれの採点によって得られたスコアを示す。

3.2.2 考察

ユーザ動作2はモデル動作と異なるため、ユーザ動作2のスコアがユーザ動作1のスコアより低ければ、システムはモデル動作とユーザ動作2を区別できたといえる。そこで実験動作1, 2におけるユーザ動作1とユーザ動作2のスコアの差に着目し、提案手法、従来手法を比較する。

[実験動作1]

実験動作1におけるユーザ動作1とユーザ動作2の各採点によるスコアの差は手法ごと以下になっている。

提案手法

- ・ 動作の型の採点におけるユーザ動作1とユーザ動作2のスコアの差: 1
- ・ 力の入れ方の採点におけるユーザ動作1とユーザ動作2のスコアの差: 18
- ・ タイミングの採点におけるユーザ動作1とユーザ動作2のスコアの差: 25

従来手法

- ・ 動作の型の採点におけるユーザ動作1とユーザ動作2のスコアの差: 1
- ・ タイミングの採点におけるユーザ動作1とユーザ動作2のスコアの差: 7

ユーザ動作1とユーザ動作2のスコアの差が大きく見られたのは

- ・ 提案手法の力の入れ方における採点
- ・ 提案手法のタイミングにおける採点

2項目である。従来手法ではユーザ動作1とユーザ動作2のスコアの差が大きくみられる項目がない。以上より従来手法と比較し提案手法はユーザ動作2がモデル動作と異なった動作であるということを明確に判別することが可能である。

実験動作1ではモデル動作、ユーザ動作1、ユーザ動作2は全て、カメラ正面に向けて手を突き出すという動作であるため映像上でのマーカの移動量は小さい。しかし、それぞれの加速度のグラフ(図8)から次のことが読み取れる。図8に対応して①～⑥のラベルを付加する。

- ・ モデル動作、ユーザ動作1: 大きな加速度の変化が①, ②の2箇所
- ・ ユーザ動作2: 大きな加速度の変化が③, ④, ⑤, ⑥の4箇所

提案手法ではDPマッチングのコスト計算に加速度が含まれるため、モデル動作とユーザ動作2のDPマッチングによる伸縮は、モデル動作とユーザ動作1のDPマッチングの伸縮より大きくなる。また力の入れ方の採点においてもユーザ動作1と比較したとき、ユーザ動作2にはモデル動作より加速度が大きい箇所が多く残ることになる。以上より加速度を用いる2つの採点においてユーザ動作1とユーザ動作2のスコアの差が大きく現れたと考えられる。

[実験動作2]

実験動作2におけるユーザ動作1とユーザ動作2の各採点によるスコアの差は手法ごと以下のようになっている。

提案手法

- ・ 動作の型の採点におけるユーザ動作1とユーザ動作2のスコアの差: 3
- ・ 力の入れ方の採点におけるユーザ動作1とユーザ動作2のスコアの差: 22
- ・ タイミングの採点におけるユーザ動作1とユーザ動作2のスコアの差: 20

従来手法

- ・ 動作の型の採点におけるユーザ動作1とユーザ動作2のスコアの差: 4
- ・ タイミングの採点におけるユーザ動作1とユーザ動作2のスコアの差: 13

ユーザ動作1とユーザ動作2のスコアの差が大きく見られたのは

- ・ 提案手法の力の入れ方における採点
- ・ 提案手法のタイミングにおける採点
- ・ 従来手法のタイミングにおける採点

の3項目である。従来手法のタイミングの採点においてもユーザ動作1とユーザ動作2の間のスコアの差を確認することはできるが、提案手法のタイミングの採点と力の入れ方の採点におけるスコアの差はより大きく、明確な判別が可能である。

モデル動作	ユーザ動作	採点手法	動作の型(s_m)	力の入れ方(s_a)	タイミング(s_t)
実験動作1	ユーザ動作1	提案手法	85	71	77
		従来手法	85	--	98
	ユーザ動作2	提案手法	84	53	52
		従来手法	84	--	91
実験動作2	ユーザ動作1	提案手法	68	73	88
		従来手法	68	--	88
	ユーザ動作2	提案手法	65	51	68
		従来手法	64	--	75

表1: 実験結果

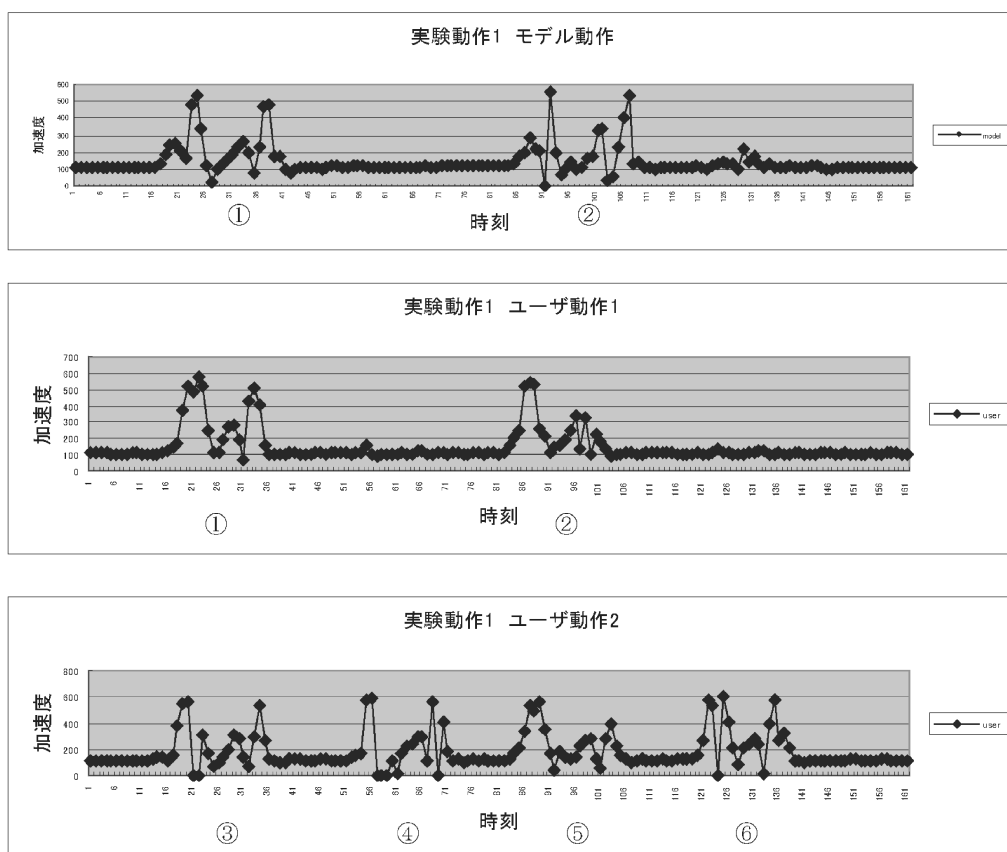


図8: モデル動作, ユーザ動作1, 2における加速度の変化(実験動作1)

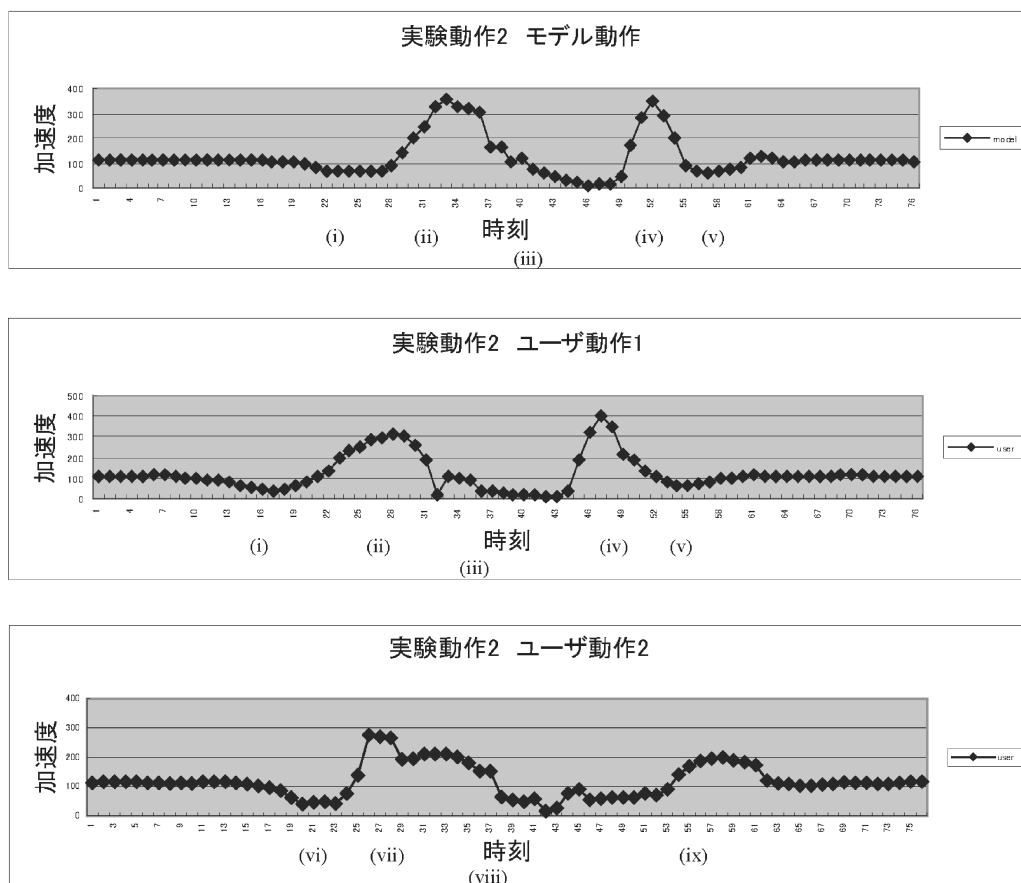


図9: モデル動作, ユーザ動作1, 2における加速度の変化(実験動作2)

実験動作2ではモデル動作とユーザ動作1は両手, 頭のマーク全てが移動するのに対し, ユーザ動作2は頭のマークがほぼ移動しない. このことより, マークのみを用いる従来手法においてもスコアの差が現れたと考えられる. モデル動作, ユーザ動作1, ユーザ動作2の加速度のグラフ(図9)を比較すると, モデル動作とユーザ動作1の実際にジャンプする動作と, ユーザ動作2のマークを上げ下げする動作では加速度には異なる箇所が数箇所現れる.

それぞれの加速度のグラフ(図9)からは次のことが読み取れる. 図9と対応させ(i)～(ix)のようにラベルを付加する.

モデル動作, ユーザ動作1

- (i)ジャンプ前に膝を曲げたときの加速度(重力加速度方向への動きは加速度の値が小さくなる)
- (ii)地面を蹴ったときの加速度
- (iii)自由落下による加速度

(iv)着地の際の加速度

(v)着地の衝撃で膝を曲げたときの加速度

ユーザ動作2

(vi)手を胸の位置まで下げたときの加速度

(vii)手を頭の上に上げたときの加速度

(viii)手を肩の位置まで下げたときの加速度

(ix)手を肩の位置で止めるときの加速度

モデル動作、ユーザ動作1とユーザ動作2の関係にあると考えられる加速度を比較していくと、膝を曲げたときの加速度(i)と、手を下げたときの加速度(vi)は比較的類似しているが、(ii)と(vi)、(iii)と(vii)、(iv)と(viii)の加速度は発生の仕方、加速度の大きさに違いがあり、モデル動作とユーザ動作1の(v)の加速度に対応する加速度はユーザ動作2では発生していない。以上より実験動作1同様に加速度を用いる2つの採点において、ユーザ動作1とユーザ動作2の間に大きなスコアの差が現れたと考えられる。

4. おわりに

本論文ではスポーツなどの振りの練習を支援するために、マーカと加速度センサを用いて振りの採点を行うシステムを提案、実装し、従来のマーカのみを使用する手法に比べ、ユーザが誤った動作を行った場合に適切な採点結果を提示できることを実験により示した。

今後の予定として、従来手法に対する提案手法の有効性をさらに追求するために、マーカ数やカメラ数を増やした従来手法と提案手法を比較する実験を行うこと。また、練習に役立つ加速度を利用したアドバイスの提示や、システムで使用する加速度センサを複数にすることを現在検討中である。

謝辞

本研究は独立行政法人日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究C、課題番号17500059)の支援により行われた。

参考文献

- [1] 中村明生、庭山知之、村上智一、田端聡、久野義徳: 舞踊動作の解析と応用システムの開発, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, vol36, pp85-92 (2003).
- [2] 吉本優子、香川順子、杉本圭優、前迫考憲、黒田卓、森川治: 超鏡(HyperMirror)対話における教示行為に関する事例分析--「おりがみ」と「福笑い」を通して--, 日本教育工学会誌, Vol. 25-Suppl, pp. 17-22 (2001).
- [3] swingmate, <http://www.swingmate.co.kr/JPN/>
- [4] Ungyeon Yang and Gerard Jounghyun Kim. "Just Follow Me", an Immersive VR-based Motion Training System, MIT Press, vol. 11, No3, pp. 304-323 (2002)
- [5] 高橋雅人, 林貴宏, 尾内理紀夫: "振り"の練習を支援するインタラクティブシステム, インタラクシオン2004論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol. 2004, No. 5, pp. 97-104, (2004).

