

I-007

少林寺拳法の動作評価の一手法

隅谷 克己† 村木 祐太† 西尾 孝治† 小堀 研一†

大阪工業大学‡

1. はじめに

近年、モーションキャプチャシステムによって取得した人体動作データを用いて、ゲームや映画などの 3DCG の動作表現や、ゴルフなどのスポーツの動作解析などが行われている。ところで、日本発祥の武道の 1 つに少林寺拳法^[1]があり、初心者が最初に習う法形に天地拳第一系がある。また、少林寺拳法の法形はいくつかの動作の組み合わせから出来ている。この天地拳第一系の基本動作を図 1.1 に示す。少林寺拳法は他のスポーツに比べ競技人口が少ないため、指導者の数が限られているという問題がある。



(a) 順突動作 (b) 逆突動作 (c) 鉤突動作 (d) 上受動作



(e) 同時受動作 (f) 払受動作 (g) 蹴上動作

図 1.1 基本動作例

そこで本研究では、モーションキャプチャシステムによって取得した少林寺拳法の動作データを基本動作に分割し、基本動作ごとに評価を行う手法を提案する。

2. 提案手法

2.1. 概要

少林寺拳法の法形はいくつかの動作の組み合わせから出来ているため、各動作によって評価する姿勢が異なる。そのため、最初に、少林寺拳法の天地拳第一系の学習者データを基本動作に分割する。そして、基本動作ごとにマスターデータと比較し、評価を行う。提案手法の処理概要を図 2.1 に示す。



図 2.1 提案手法の処理概要

2.2. 動作分割

最初に、被験者データを基本動作に分割するために、姿勢に変化がない区間を検出する。検出には動作データの各部位の付け根の回転角度を特徴量として用いる。姿勢に変化がない場合、動作中に比べ特徴量が小さくなるため、全ての部位の特徴量が連続して閾値以下であるフレームを動作分割候補点として検出する。動作分割候補点は基本動作が途中で分割されるフレームでも検出される。そのため、基本動作内の動作分割候補点を除去しなければならない。そこで、基本動作の各部位の加速度の特徴を用いて各基本動作範囲を検出する。基本動作ごとの加速度の特徴を表 1 に示す。

表 1 基本動作ごとの加速度の特徴

| | |
|-----------|---|
| (a) 順突動作 | 左手の加速度が正の値になった後、負の値になる。 |
| (b) 逆突動作 | 右手の加速度が正の値になった後、負の値になる。 |
| (c) 鉤突動作 | 右手の加速度が正の値になった後、左手の加速度が正の値になり、その後、負の値になる。 |
| (d) 上受動作 | 左足の加速度が負の値になった後、右手の加速度が正の値になり、その後、負の値になる。 |
| (e) 同時受動作 | 左手の加速度が正の値になった後、右手の加速度が負の値になる。 |
| (f) 払受動作 | 左手の加速度が負の値になった後、右手の加速度が正の値になる。 |
| (g) 蹴上動作 | 右足の加速度が正の値になった後、負の値になる。 |

検出を行った基本動作範囲内のフレームに存在する動作分割候補点を除去する。しかし、各基本動作範囲外のフレームには複数の動作分割候補点が存在するため、動作分割点の検出を行わなければならない。そこで、動作分割点の検出には Meinard らの手法^[2]を用いる。まず、

A Method of Motion evaluation for *Shorinji kempo*

†Katsumi Sumiya, †Yuta Muraki, †Koji Nishio, †Ken-ichi Kobori

‡Osaka Institute of Technology

各部位の座標を各部位の付け根を原点とする局所座標系に変換する。そして、動作開始または前動作分割点から動作分割候補点までの学習者データに対して、各部位ごとに 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。また、同様にマスターデータに対しても標準偏差を計算する。このとき、 t_k^i は k 番目の座標の各成分、 g^i は座標の平均値の各成分、 f はフレーム数である。

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

$(i \in \{x, y, z\})$

次に、同式で求めた各標準偏差から類似度 $SSim_j$ を式(2)で計算する。このとき、マスターデータの基本動作を A 、被験者の基本動作候補を B 、 j 番目の部位を a_j 、 b_j とし、 a_j 、 b_j に対する各標準偏差の値を $SD^i a_j$ 、 $SD^i b_j$ 、 $(i \in \{x, y, z\})$ とする。

$$SSim_j = \frac{1}{3} \sum_{i \in \{x, y, z\}} \frac{\min(SD^i a_j, SD^i b_j)}{\max(SD^i a_j, SD^i b_j)} \quad (2)$$

その後、各部位の類似度の平均値 Sim を式(3)で計算する。 n は部位の個数である。

$$Sim = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (SSim_j) \quad (3)$$

この類似度の平均値 Sim は0から1までの値をとり、1に近いほど動作が類似している。そのため、分割したフレーム間の類似度が最も1に近い動作分割候補点を動作分割点として検出する。

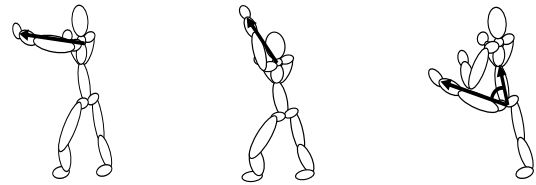
2.3. 動作評価

動作評価では、基本動作ごとに学習者データとマスターデータの構え姿勢や突き、受け、蹴り動作姿勢、各部位の移動順序、移動軌跡の比較を行う。

2.3.1. 角度による動作評価

角度による動作評価では、基本動作ごとに構え姿勢や突き、受け、蹴り動作姿勢の評価を行う。まず、両腕、両脚、背中各関節間の3次元座標を用いて方向ベクトルを算出する。基本動作後の構え姿勢では、2.2節で検出した動作分割点に対してコサイン類似度を用いて被験者データとマスターデータを比較し、評価を行う。基本動作中の突き、受け、蹴り動作姿勢では、順突、逆突、鍵突は突き動作とし、上受、同時受、払受は受け動作とし、蹴上は蹴り動作とする。突き動作と受け動作は図

2.2(a), (b)に示すように、首から手首へのベクトルを生成し、そのベクトルの大きさが最大であるフレームを検出する。また、蹴り動作は同図(c)に示すように、胴と足のなす角が最小であるフレームを検出する。そして、これらの検出したフレームに対してコサイン類似度を用いて被験者データとマスターデータを比較し、評価を行う。



(a) 突き動作 (b) 受け動作 (c) 蹴り動作

図2.2 動作部分比較に用いるフレーム

角度の評価値 Ag は構え姿勢と動作姿勢のそれぞれに対して、式(4)を用いて算出する。このとき、 J は比較に用いる関節数であり、 θ_i^r を被験者データとマスターデータの方向ベクトルのなす角とし、 δ_i を各関節の角度の閾値とする。

$$Ag = \frac{1}{J} \sum_{i=1}^J (1 - \theta_i^n) \quad (4)$$

$$\theta_i^n = \begin{cases} 1 & (\theta_i^r > \delta_i) \\ \frac{\theta_i^r}{\delta} & (\theta_i^r \leq \delta_i) \end{cases}$$

角度による総合評価値 D_1 の算出方法を式(5)に示す。このとき、 Ag_i^s を各基本動作の構え姿勢の評価値とし、 Ag_i^a を各基本動作の動作姿勢の評価値とし、 i を基本動作数7とする。

$$D_1 = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 \frac{Ag_i^s + Ag_i^a}{2} \quad (5)$$

2.3.2. 軌跡による動作評価

軌跡による動作評価では、基本動作ごとに突き、受け、蹴りの軌跡の評価を行う。被験者データとマスターデータの軌跡の時系列データは長さが異なるため動的時間伸縮法^[3]を用いる。まず、式(6)を用いて被験者データとマスターデータの各フレーム間のユークリッド距離を求める。マスターデータの座標値を p_i とし、被験者データの座標値を q_i とし、 $(i \in \{x, y, z\})$ とする。

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_{i \in \{x, y, z\}} (q_i - p_i)^2} \quad (6)$$

各フレーム間のユークリッド距離を用いて被験者データとマスターデータの対応づけを行う。対応づけた部分のユークリッド距離の平均値を被験者データとマスターデータの軌跡の誤差として算出する。軌跡の評価値 P を式(7)から算出する。このとき、 k を重みとし、 L を各基本動作で比較する部位の個数とし、 e_i を誤差とする。

$$P = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \frac{1}{ke_i} \quad (7)$$

$$ke_i = \begin{cases} ke_i & (ke_i > 1) \\ 1 & (ke_i \leq 1) \end{cases}$$

軌跡による総合評価値 D_2 の算出方法を式(8)に示す。このとき、 i を基本動作数 7 とする。

$$D_2 = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 P_i \quad (8)$$

2.3.3. 加速度による動作評価

加速度による動作評価では、基本動作ごとに被験者データとマスターデータの加速度の比較、評価を行う。各部位の移動順序や動きの速さを評価するために、両手両足の加速度を少林寺拳法の読本^[1]を元に検出を行う。順突動作の加速度検出の例を図 2.3 に示す。順突動作は左手で突きを行う動作であるため、左手の加速度が最大となるフレームを基準として検出する。同図の縦線を基準フレームとする。少林寺拳法の読本^[1]に順突動作は左足を前進させた後に左手で突きを行い、それと同時に右手を後退させ、右足を前進させると記述されているので、その手順通りに基準フレーム以前のフレームで左足の加速度が最大、最小となるフレームの加速度を検出する。基準フレーム以後のフレームで右手の加速度が最小値を示すフレームの加速度と右足の加速度が最大値を示すフレームの加速度を検出する。同図の丸を検出した加速度とする。他の基本動作に対しても同様に加速度を検出する。

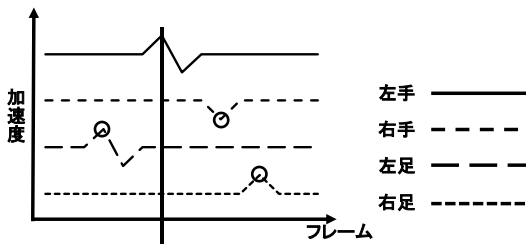


図 2.3 順突動作の加速度検出の例

検出した加速度を用いて評価値 Acc を式(9)から算出する。このとき、 M を各基本動作で比較に用いる部位の個数とし、 α_i^s を被験者データの加速度とし、 α_i^m をマスターデータの加速度とする。

$$Acc = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{\alpha_i^s}{\alpha_i^m} \quad (9)$$

$$\alpha_i^s = \begin{cases} \alpha_i^m & (\alpha_i^s > \alpha_i^m) \\ \alpha_i^s & (\alpha_i^s \leq \alpha_i^m) \end{cases}$$

加速度による総合評価値 D_3 の算出方法を式(10)に示す。このとき、 i を基本動作数 7 とする。

$$D_3 = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 Acc_i \quad (10)$$

2.3.4. 角加速度による動作評価

角加速度による動作評価では、基本動作ごとに被験者データとマスターデータの角加速度の比較、評価を行う。図 2.4 に順突動作の角加速度検出の例を示す。同図の縦線は図 2.3 で検出した基準フレームとする。蹴り動作以外の突き動作や受け動作を行う際は腰と肩と手が連動することが理想的とされているため、基準フレーム以前のフレームで肩の角加速度が最大値を示すフレームの角加速度を検出し、それ以前のフレームで腰の角加速度が最大値を示すフレームの角加速度を検出する。同図の丸を検出した角加速度とする。蹴り動作以外の基本動作も同様に角加速度を検出する。

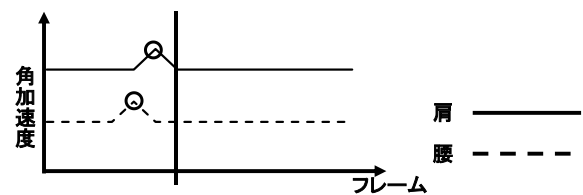


図 2.4 順突動作の角加速度検出の例

検出した角加速度から評価値 $Aacc$ を式(11)で算出する。このとき、 N を各基本動作で比較に用いる部位の個数とし、 β_i^s を被験者データの角加速度とし、 β_i^m をマスターデータの角加速度とする。

$$Aacc = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\beta_i^s}{\beta_i^m} \quad (11)$$

$$\beta_i^s = \begin{cases} \beta_i^m & (\beta_i^s > \beta_i^m) \\ \beta_i^s & (\beta_i^s \leq \beta_i^m) \end{cases}$$

角加速度による総合評価値 D_4 の算出方法を式(12)に示す。このとき、 i を蹴上動作以外の基本動作数6とする。

$$D_4 = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 Aacc_i \quad (12)$$

2.4. 総合評価値算出

総合評価値は評価値 $D_1 \sim D_4$ を用いて式(13)で算出する。このとき、 A, B, Γ, Δ は重みとする。また、評価値 $D_1 \sim D_4$ は正規化された値である。

$$D_{total} = AD_1 + BD_2 + \Gamma D_3 + \Delta D_4 \quad (13)$$

$$(A + B + \Gamma + \Delta = 1)$$

3. 実験と考察

3.1. 実験

提案手法による動作分割と動作評価の検証実験を行った。動作分割の実験は、10名の少林寺拳法初心者の50種類の人体動作データに対して行った。動作分割候補点検出の閾値は0.01とする。その結果から、全てのデータに対して各基本動作に分割できることを確認した。

次に動作評価の実験では、少林寺拳法初心者、6級、3級、初段に対して段階的に評価を行うことができるかを確認した。マスターデータは少林寺拳法初段とする。実験では $A=0.25, B=0.25, \Gamma=0.25, \Delta=0.25$ とし、 $k=0.02$ とした。図3.1に評価結果を示す。

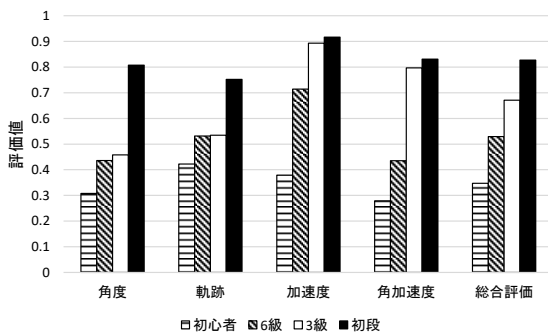


図3.1 評価結果

3.2. 考察

総合評価の結果から、段階的に評価が行えていることが確認できる。また、各評価結果より、初心者と6級、3級を段階的に評価することが出来る要因は加速度と角加速度による評価値が支配的であることが確認できる。また、3級と初段を段階的に評価することが出来る要因は角度と軌跡による評価値が支配的であることが確認できる。さらに、初心者と6級、3級では加速度による基本動作の各部位の移動順序や動きの速さの評価や突きや受け動作を行う際の腰と肩の角加速度による評価に差があり、3級と初段では角度による構え姿勢や動作姿勢の評価や各部位の軌跡による評価に差があることがわかる。しかし、各評価値に注目すると熟練度に応じて段階的に評価出来ていない場合が存在する。そのため、各評価値の重みの調整を行う必要があると考えられる。

4. おわりに

本研究では、少林寺拳法の動作評価の手法を提案した。動作分割では、動作データの各部位の付け根の角加速度、各部位の末端の加速度、標準偏差を用いて動作分割を行った。そして、動作評価では、基本動作ごとに角度による動作評価と軌跡による動作評価、加速度による動作評価、角加速度による動作評価を行った。実験の結果から、動作分割と動作評価は正しく行えることが確認できた。今後の課題として、各評価値の重みの調整が挙げられる。

<参考文献>

- [1] 一般社団法人 SHORINJI KEMPO UNITY, “少林寺拳法®読本”, 財団法人 少林寺拳法連盟, 2014.
- [2] Meinard Muller, Tido Roder, Michael Clausen, “Efficient Content-Based Retrieval of Motion Capture Data”, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2005, pp.677-685, 2005.
- [3] Sakoe, H. and Chiba, S. “Dynamic Programming Algorithm Optimization for Spoken Word Recognition”, IEEE Transaction on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. ASSP-26, No.1, pp.43-49, 1978.