

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月27日現在

機関番号：33934

研究種目：基礎研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500183

研究課題名（和文）演技スポーツにおける画像処理による動作解析～自動採点を目指して～
 研究課題名（英文） A motion analysis by image processing performance-sport ~Toward the automatic scoring system~

研究代表者

小沢 慎治（OZAWA SHINJI）

愛知工科大学・工学部・教授

研究者番号：70051761

研究成果の概要（和文）：

本研究は選手が演技をして審判が採点するスポーツの動画画像処理による自動採点システムを目指したものである。選手姿勢の記述に骨格モデルを用いたことが特徴であり、選手抽出手法と、演技動画画像およびルールブックに示されたテンプレートから骨格モデルを抽出する手法とを確立し、それらに基づいて、採点項目である「技」の種類判別と減点項目を判定するシステムを構築した。システムを実装し、おおむね目的を達成したことを実証した。

研究成果の概要（英文）：

This study is aimed at automatic scoring system by image processing for the acting player to score. To describe the pose of players, a skeleton model is used for future value. It is established that a method to extract the skeleton model from the template shown in the rule book and from moving image. Based on those items, scoring system was constructed to determine the type of skill and deduction items of player's action. Demonstrated that implementing the system, and achieve the purpose generally.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：動画画像処理、人物動作解析、演技スポーツ、自動採点

1. 研究開始当初の背景

人間のジェスチャや姿勢・動作を計測・認識する研究は多く行われており、それらを行行者、スポーツ、ダンス、作業などの映像に適用する試みも行われていた。これはフォーム解析を可能として技能向上や指導に有用であるが、システムは計測を行うだけであり、審判などによって主観的に行われた評価を客観的に行う研究はほとんど行われてい

かった。

2. 研究の目的

本研究はスポーツの中で演技スポーツ、すなわち選手が演技をして審判が採点することによって順位を決定するようなスポーツにおいて、動画画像処理による選手の動作解析に基づいて、自動的に採点するシステムを構築することを目指している。

そのために、体操競技の一つである鉄棒競技の演技を対象として取り上げる。

演技スポーツは、あらかじめ規則で定められたいくつかの「技」を時系列として選択・組み合わせて「演技」とするものであり、演技中でどんな「技」が行われたか、正しく行われたか、美しく行われたかを採点の対象とするものである。採点においては「技」の難度に応じて加点される「A得点」と不完全さの程度によって減点される「B得点」とがある。

したがって、本研究では「A得点」に関わる「技」の判定と「B得点」に関わる動作の正確さの判定の2つについて、手法を確立することが目的となる。

3. 研究の方法

本研究における手法の処理の流れと特徴は以下のとおりである。

- ・選手領域の抽出

背景差分を用いているので、新たな背景画像生成法を提案している。

- ・骨格モデルの抽出

演技動画画像から骨格モデルを抽出する手法および、ルールブックに示されている「技」の規定図からテンプレートの骨格モデルを抽出する手法を確立している。

- ・「技」の種類判別方法

演技動画画像および規定図から抽出された骨格モデルのマッチングによって「技」の判定を行う手法を確立している。

- ・「技」の正確さの判定方法

「技」の種類判別が正しく行われたと仮定して、演技から得られた骨格モデルと正解の骨格モデルの間で、関節角の差を評価値とする判定方法を確立している。

(1) 対象画像からの選手領域の抽出

① 対象画像

中京大学体操競技部の協力を得て図1のような演技画像を撮影した。



図1 演技画像

② 背景画像の生成

背景画像 $b_t(x, y)$ は動画 $f_t(x, y)$ にアルファブレンド

$$b_t(x, y) = \alpha \cdot f_t(x, y) + (1 - \alpha) \cdot b_{t-1}(x, y)$$

を行って作成する。

このとき、③で述べる方法で得た選手2値画像から、図2に示す、鉄棒を中心として方向 θ の選手画素数ヒストグラム $a(\theta)$ を求め、そのピーク θ_m の周辺の角度

$$\theta_m - \theta_d \leq \theta \leq \theta_m + \theta_d$$

(図2の黄色い扇型の範囲)の画素にはアルファブレンドを行わない新たな手法を構築した。得られた背景画像を図3に示した

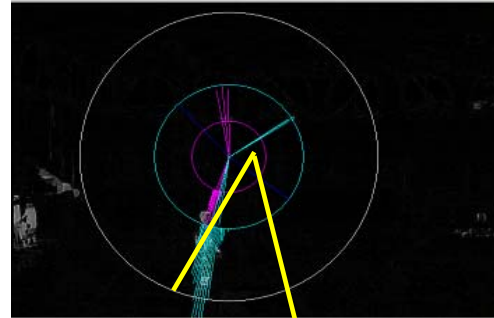


図2 選手画素数ヒストグラム $a(\theta)$ とアルファブレンドの範囲



図3 背景画像

③ 背景差分による選手領域の抽出

②で求めた背景画像を用いて、背景差分画像

$$g_t(x, y) = f_t(x, y) - b_t(x, y)$$

を2値化した画像 $p_t(x, y)$ を求めた。②の手法により適切な背景画像が得られたため、図4に示す2値画像も精度良く得られた。

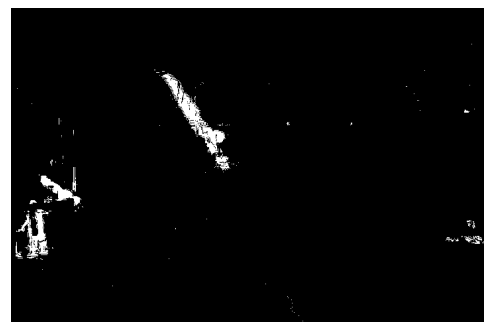


図4 選手2値画像

ここまでの処理で選手領域をフレームごとに得ることができた。

(2) 演技 (シーン) の技 (セグメント) への分割

①演技画像の「技」への分割

体操競技においては10程度の「技」を連続して行う。そして全体を「演技」と呼び、およそ30秒(900フレーム)である。

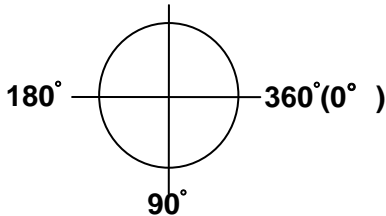


図5 選手の方角の角度

多くの「技」は体軸が鉄棒の周りを1回転するので $\theta_m(t) = 90^\circ$ のフレームが「技」の境界となることを見出した。なお角度は鉄棒を中心として図5に示すように定義した。

次に、(1)-(2)で求めた選手画素数ヒストグラムがピークとなる角度のフレームによる推移 $\theta_m(t)$ を図6に示す。図に示す縦線が「技」の境界の候補である。車輪系の手足が十分伸びているときの精度は高いが前周りのように鉄棒の近傍で行われる技では誤差が含まれる。これは後処理で修正するものとする。

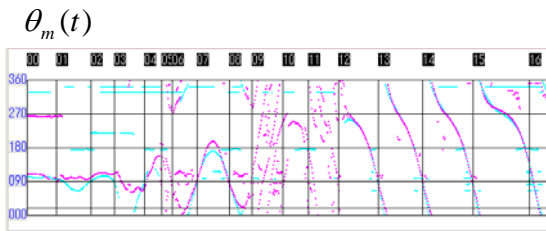


図6 選手画素数ヒストグラムのピーク $\theta_m(t)$ と「技」境界候補フレーム

②「技」規定図と演技動画の関係

ルールブックに記述されている技には、その技を決定する重要な姿勢が時系列に図7のように定義されており(図のkp:1-4)、技ごとに、難度、減点項目などが記されている。

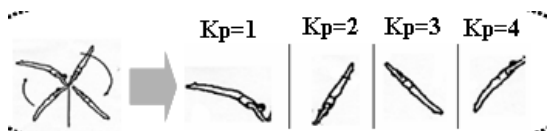


図7 「技」規定図

これらの演技、技、キーポーズの関係は図8に示されている。

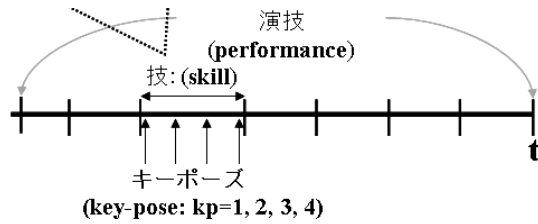


図8 演技、技、キーポーズの関係

(3) 演技画像からの骨格モデルの抽出

①骨格モデル

人体の関節点中心を、手p0, 肘p1, 肩p2, 頭p3, 腰p4, 膝p5, 足p6と名付け、それらを結ぶ直線を骨格とする。本研究で定義した骨格モデルを図9に示す。

骨格の抽出は初期関節点を定め、そこから

接続された関節点を順次決定するアルゴリズムとした。

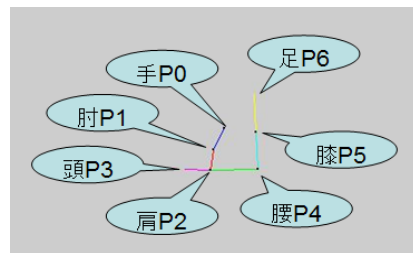


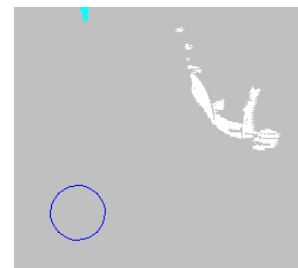
図9 骨格モデル

②体勢の判定

骨格の検出はまず選手がどのような状態にあるかを判定した後に進行。まず、選手画素数ヒストグラム $a(\theta)$ を外側の部分と内側の部分に分割し、その割合によって選手の体勢を3通りに分類する。

(α) $a_outside(\theta) > a_inside(\theta)$ の場合

図10 鉄棒から離れている例 (α)



(β) $a_inside(\theta) > a_outside(\theta)$ の場合

選手が鉄棒の近くに居る例 (β)

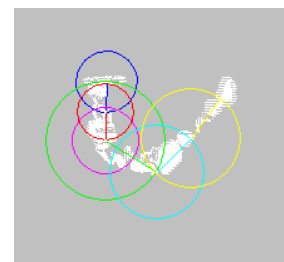


図11 体が曲がっている例 (β)

(γ) $a_inside(\theta) \cong a_outside(\theta)$
の場合

選手は鉄棒を掴んで体が伸びて演技している

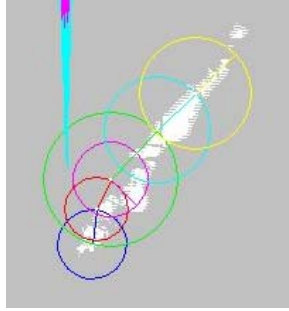


図 12 体が真っ直ぐの例 (γ)

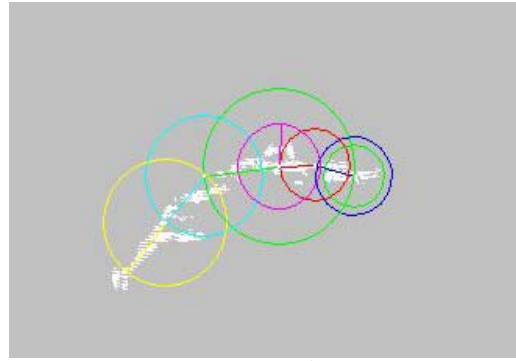


図 14 骨格モデル抽出の例

③初期関節点の設定

骨格モデル抽出のための初期関節点は、体勢のタイプが

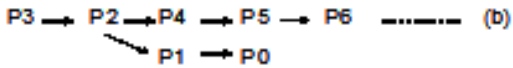
(γ)の場合は、手先(p_0)を初期関節点とする。手先の位置は鉄棒と一致する。

(α)と(β)の場合は初期関節点を頭頂(p_3)とする。頭頂の位置は以下のように定める。

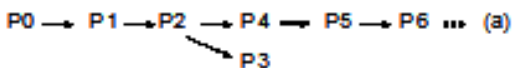
まず選手画素をラベリングして、ラベルの外接長方形を求め、頂点の近傍を探索して頭部を検出する。頭部は形状が楕円であることとあらかじめ計測しておいたサイズの情報により容易に検出することができる。

④骨格の抽出

骨格の抽出手順は以下の通りである。体勢によって図 13 に示す順序で決定する。また関節間の長さや関節の可動角度をあらかじめ求めておくこととする。



(a) 基準点が頭頂の場合 (β, γ)



(b) 基準点が手先の場合 (α)

図 13 関節点の決定順序

関節角度を求めることで骨格モデルが決定される。まず初期関節点 P_i を中心として骨格の長さ $r_i = |P_{i+1} - P_i|$ を半径とする円の内側において、各関節の可動角度の中で選手画素数ヒストグラム $a(\theta)_{P_i}$ を求め、そのピーク $\theta_m(P_i)$ を骨格 $(P_{i+1} - P_i)$ の角度 θ_i とする。 P_i から θ_i 方向に引いた直線と半径 r_i の円の交点を P_{i+1} とする。以下同様に各骨格の角度および関節点を求める。

図 14 に各関節点を求めていく様子が示されている。図の例では各関節の長さは、手-25-肘-23-首-(27-頭)-48-腰-38-膝-40-足(単位は画素)となっている。

(4) 規定図からの骨格モデルの抽出

ルールブックで定義されている 141 個の技の画像をスキャナーにより獲得する。各技でのキーポーズの姿勢から関節位置 (P_i) を求め、図 15 に示す関係を用いて関節角度 (θ_i) を推定し、それらをデータベースの特徴量とする。このとき、規定図の寸法が演技が動画画像と一致していないので、骨格長さは演技画像のデータを用いて補正を加えている。

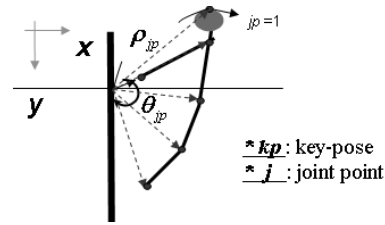


図 15 キーポーズと骨格

(5) 「技」の種類判別

これまでの処理で、演技画像からはフレーム毎に、規定図からはキーポーズごとに、骨格モデルが得られている。これらのマッチングを行うことで技の種類判別を行う。

しかし、演技画像からはフレームごとに得られているのに対して、キーポーズからは数個しか得られておらず、時刻も正確ではない。また演技(上・中・初級)によってモデルの時刻の変動がある。この様子を図 16 に示している。

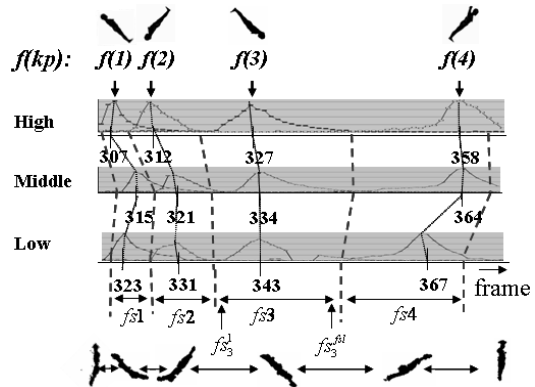


図 16 「技」区間において得られる、キーポーズと演技画像の時間関係

① 骨格モデル間の距離の算出

(3)で求めた骨格モデルと、あらかじめ、(4)の方法で求めた規定演技図の141種類の技の骨格モデル(技毎に離散的に与えられている)を比較して骨格が似ているかを判断する。

フレーム毎に求めた骨格モデルの各関節角度の値を P_i とし、規定演技図から求めた骨格モデルの各関節角度の値を P_i^K とする。これらの記号から次式を用いて骨格モデル間の差を求める。

$$f^K = \sum_{i=0}^6 (P_i - P_i^K)^2$$

図17に「正車輪」について f^K の算出結果を示す。図において横軸は「技」区間内のフレーム番号、縦軸は f^K である。グラフは $K=1$ が青色、 $K=2$ が桃色、 $K=3$ が黄色、 $K=4$ が淡青色、で描かれている。

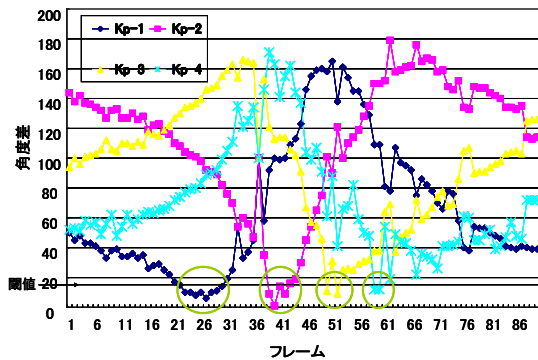


図17 マッチング結果

② 閾値処理

f^K 値に閾値を与え、算出結果を分類する。閾値以下の値となった部分を見出し、どのキーポーズがどのフレームで検出されたのかを記録しておく。図17の例では41フレームで $K=2$ と骨格モデルと一致したことを示している。他にも閾値以下になった部分には緑色の円が記してある。

③ 技の判定

規定演技図には1つの技に対していくつかのキーポーズが描かれており、それらのキーポーズから求めた骨格モデルが演技動画から求めた骨格モデルと昇順に一致していたら、その技が行われたと判定する。

図17の例では26フレームで $K=1$ と、41フレームで $K=2$ と、51フレームで $K=3$ と、60フレームで $K=4$ と昇順に一致したので、この演技画像と技「正車輪」が一致していると判定することができる。

(6) 技の正確さの判定

本研究では選手の姿勢を解析するため、同じ演技を行っている、上級、中級、初級選手の姿勢の比較を行った。

上級選手の姿勢を正しい姿勢と見做し、上級

選手と中級選手、上級選手と初級選手の姿勢の差をそれぞれ次の式で算出し、評価を行った。

$$D_{\rho(jp, kp)}^{(P_n, P_n')} = \sum_f \sqrt{(\rho_{(jp, kp)}^{P_n}(f) - \rho_{(jp, kp)}^{P_n'}(f))^2}$$

図18は「車輪」での各選手のマッチング区間 ($fs_1 \sim fs_4$) ごとで、関節 ($jp=1 \sim 5$) ごとに関節角度の差を算出し平均してグラフにしたものである。

図では、特に fs_1 、 fs_2 の区間で初級選手 (P_3) の膝 ($jp=4$) と足 ($jp=5$) の関節角度を上級 (P_1) の関節角度と比べた結果、姿勢の差が大きいことがわかる。これらの差を規定されている欠点項目の表により、初級選手の膝や足の姿勢が中と小の減点と判定できる。すなわち、選手の姿勢を点数に変換することができる。

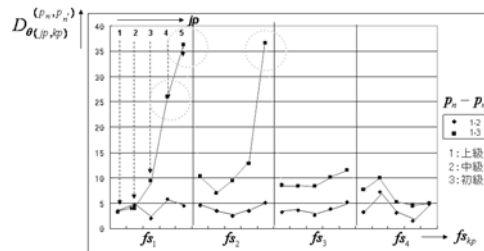


図18 関節位置と角度のフレームごとの変化
横軸はフレーム、縦軸は関節角度の差

(7) 自動採点の試み

① 入力画像

演技画像は、モノクロでフレームレートは30frame/sec、総フレーム数、約1000、技の平均フレーム数は約30である。表1に示す演技を行っている

表1 対象演技画像の内容

開始フレーム	27	96	181	210	309	388	413	541	614	849
終了フレーム	110	180	209	308	376	413	555	613	849	936
技	蹴上がり	前回り	後ろ回り	振り上げ	正車輪	ツイスト	逆手車輪	移行	正車輪	伸身宙返り

② 実験結果

前項までに述べたプログラムで技の検出を行った結果を表2に示す。技の開始フレームが小さい順に並べられている

後方車輪については446から480、649から685、731から761および803から837の4つの区間でこの技が行われたことが判定結果である。同様に820から866の区間で蹴上がりが行われたと判定している。

実験は技ごとに行われてすべての演技区間について結果が得られている。誤りも含んでいるが、これらを統合して区間ごとにどの技が行われたかを判定する処理を付加することで認識精度が高まると考えられる。

開始フレーム	321	440	446	649	649	729	731	803	820	939	942
終了フレーム	332	482	480	685	688	765	761	837	866	980	977
技名	振り上げ	正車輪	後方車輪	後方車輪	正車輪	正車輪	後方車輪	後方車輪	け上がり	正車輪	後方車輪

表2 検出結果

最後に、「車輪」での上級選手の姿勢を正しい姿勢として中級、初級選手の姿勢を評価し、減点処理(Bスコア)を行った結果を表3に表す。

表3 減点処理の結果

	fs1	fs2	fs3	fs4	合計
初級	(-0.5) (-0.3)	(-0.5) (-0.1)	(-0.1) ×2	(-0.1) ×2	(-1.8)

4. 研究成果

本研究は選手が演技をして審判が採点するスポーツの動画処理による自動採点システムを目指したものである。選手姿勢の記述に骨格モデルを用いたことが特徴であり、骨格モデルを抽出する手法と、それらに基づく「技」の種類の判別と減点項目を判定するシステムを構築した。

具体的には

- ・選手領域の抽出のための。体操競技における複雑背景に対する新たな背景画像生成法を見出した。

- ・骨格モデルの抽出

演技動画から骨格モデルを抽出する手法および、ルールブックに示されている「技」の規定図からテンプレートの骨格モデルを抽出する手法を確立した。

- ・「技」の種類の判別方法

「技」の判定を行う手法を確立した。

- ・「技」の正確さの判定方法

演技から得られた骨格モデルと正解の骨格モデルの間で、関節角の差を評価値とする新たな判定方法を確立した。

またシステムを実装し、実験結果と審判の採点結果の比較も行い、結果を検証した。

その結果、本研究が目指している自動採点システムの実現可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

①辛 貞殷, 小沢慎治, “動画処理によるスポーツ運動解析の研究－鉄棒競技の自動採点システムに向けて－”, 精密工学会論文誌, 2009. NO. 5, pp. 669-673.

〔学会発表〕(計3件)

①中田和哉, 小沢慎治, “動画処理による鉄棒競技解析の研究, 精密工学会, DIA2012(動的画像処理実利用化ワークショップ)I-19, 2010年3月, 山梨県びゅあ総合センター.

②森川慎也, 小沢慎治, 画像処理による鉄棒競技映像の解析, 電気学会産業応用部門大会シンポジウム, 2010年10月, 熊本大学.

③源 佑太, 小沢慎治, “テニスのプレイ動画からの選手及びボール抽出に関する研究”, 精密工学会, DIA2012(動的画像処理実利用化ワークショップ I-19, 2012年3月函館みらい大学.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.aut.ac.jp/~ozawaHP/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小沢 慎治 (OZAWA SHINJI)
愛知工科大学・工学部・教授
研究者番号：70051761

(2) 研究分担者

小塚 一宏 (KOZUKA KAZUHIRO)
愛知工科大学・工学部・教授
研究者番号：20351182

(3) 連携研究者

斎藤 英雄 (SAITO HIDEO)
慶應義塾大学・理工学部・教授
研究者番号：90245605