

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19700090

研究課題名（和文）人体動作データの運動学的スキル解析と可視化

研究課題名（英文） Kinematic Analysis and Visualization of Human Motion Skills

研究代表者

向井 智彦（MUKAI TOMOHIKO）

豊橋技術科学大学 工学部 助教

研究者番号：10432296

研究成果の概要（和文）：本研究では、テニスの技能向上において重要なポイントを計測動作データの運動学的分析を通じて自動抽出し、3DCG 技術を用いて効果的に可視化するための基盤技術を開発した。具体的には、1) テニス動作データベースの構築、2) 熟練者と初学者の運動の差異の帰納論理による解析法、3) テンソル近似法による運動の主成分抽出法、4) 運動特徴量の編集のための直観的なインターフェイス、5) 運動タイミングの差異の平面図上への可視化技術、の 5 つの要素技術を開発した。

研究成果の概要（英文）： We develop fundamental technologies for automatically extracting and visualizing essential features to improve the tennis skills by kinematic analysis of captured motion data. This research includes five major contributions: 1) construction of tennis motion capture database, 2) automatic analysis of motion difference between novices and experts using inductive logic, 3) principal motion analysis using tensor approximation, 4) development of intuitive interface for editing skill features, and 5) visualization of temporal coordination among body parts on two-dimensional maps.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,500,000	0	1,500,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	360,000	3,060,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：人体運動データ編集、スキルサイエンス、帰納論理、可視化

1. 研究開始当初の背景

スポーツ運動の技術習得を支援する教材として、熟練者の運動を記録した書籍やビデオ映像が広く用いられている。しかし、テキストやイメージ画像、ビデオ映像のような従

来の静的コンテンツでは提示できる情報量に限界がある。一方、3次元CG技術を利用したインタラクティブシステムでは、ユーザの操作に応じて動的にアニメーションを生成できるため、大量の情報を効果的に提示でき

る。例えば、モーションキャプチャ法によって計測された熟練者の運動を 3 次元 CG アニメーション化することで、計測動作を任意の視点や再生速度で観察できるようになる。ただし、運動技能に関する予備知識を持たずに計測動作を観察するだけでは、運動技能向上のために重要な要素を明確に把握できない。したがって、注釈やナレーションによる解説に加え、動作データに含まれる有用な運動技能を誇張するなどの映像効果を併用し、詳細な情報を直観的に提示する技法が求められている。また、個々のユーザに不足している運動技能を分析して映像化できれば、さらに教育効果の高いシステムを実現できる。

2. 研究の目的

本研究では、動作データの運動学的特徴に基づく運動スキル解析法と、解析された運動スキルの直観的な可視化法を提案する。特に、熟練動作に含まれる重要な運動学的特徴を自動的に解析し、動作データの編集を通じて効果的に可視化するアルゴリズムを開発する。提案システムでは、運動特徴量の論理式表現と帰納推論法にもとづく特徴解析技術を用いることで、運動スキル向上のために重要な要素を自然言語に近い形式で解析し、知識のないユーザにも直観的な理解を促すことを狙いとする。

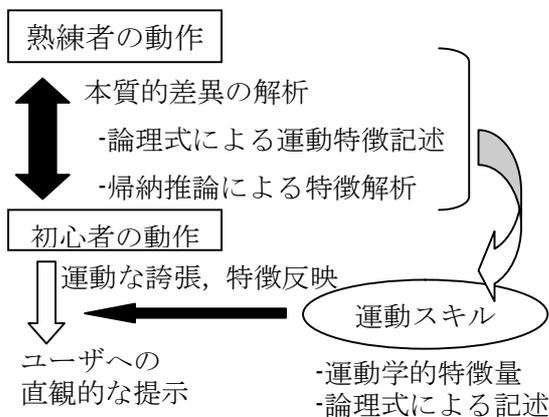


図1 提案システムの概要

3. 研究の方法

(1) 経験による差が生じやすいスポーツであるテニスを主な対象とし、基本的なショット動作やサーブ動作について、プロのレッスンコーチなど技術的レベルの高い熟練者を男女10名ずつ、経験の浅い初心者も男女10名ずつ、計40名分の動作データを計測する。

(2) 初心者の動作との比較を通じて、熟練者の動作に含まれる運動スキルを解析するアルゴリズムを開発する。本研究では、計測動

作データの波形を直接解析するのではなく、初心者と熟練者の運動学的特徴量を比較するアプローチをとる。ただし、両者の特徴量を単純に比較するだけでは、動作の本質的な差異を分析することはできない。そこで本研究では、多数の動作データの中から熟練者の動作データのみを選別するための分類ルールを解析し、最も基本的な運動スキルとして抽出する技法を開発する。まず、関節曲げ角や身体各部位の相対的な位置関係、運動軌道などの空間的な特徴量と、身体の連動関係や運動タイミングなどの時間的な特徴量を分析する。そして、これらの運動特徴量を自然言語に近い論理式として抽出するための技術を開発する。

次に、知識工学分野で成果を挙げている帰納推論法を応用し、初心者と熟練者動作の論理式集合の差異を決定づけるような特徴量を解析する技術を開発する。機械学習の一種である帰納推論法を用いることで、あらかじめ熟練者と初心者とにカテゴリ分類された動作データ集合を解析し、両者を区別するうえで本質的な運動学的特徴量を自動的に推定できる。

(3) 動作データの幾何学的な変形や運動のタイミング操作を通じて、熟練者の運動スキルを誇張表現するシステムや、初心者の動作に不足している運動スキルを自動的に埋め込むシステム、または解析された論理式に基づく解説文の自動生成システムを開発する。提案法によって運動アニメーションを編集することで、運動スキル向上のために重要な要素を直観的に理解できるようになる。

4. 研究成果

(1) レッスンプロと大学生を対象に、40名分のテニス動作データを計測した。被験者はスポーツクラブのテニスレッスンコーチ20名(男女各10名)とレッスン受講女性4名、豊橋技術科学大学公式テニス部男子部員13名、本研究室の男子学生3名で構成した。計測では、各被験者が可能な限り普段のフォームで素振りするよう指示したため、バックハンドの両手打ち/片手打ちや、ショットの球種(フラット、スピン、スライス等)、スイングの高低差などは統一していない。計測したテニスショット動作の一覧を次の表にまとめる。なお、これらの全てのデータは、最終年度にホームページにて公開した。

表 1 計測ショット動作一覧

フォアハンド ストローク	球種その 1×3 スイング (低→中→高)
	球種その 2×3 スイング (低→中→高)
バックハンド ストローク	球種 1×3 スイング (低→中→高)
	球種 2×3 スイング (低→中→高)
ボレー	フォアハンド×3 スイング (低→中→前進中に高)
	バックハンド×3 スイング (低→中→前進中に高)
スマッシュ	開始位置で 1 スイング
	少し前進して 1 スイング
	後退しながら 1 スイング
サーブ	ファーストサーブ
	セカンドサーブ

(2) 運動の外観特徴に基づく動作データ分類アルゴリズムを開発した。提案手法では、まず運動の空間的、時間的な外観特徴を表す二値もしくは多値の特徴量を計算し、動作データを述語論理式の集合に変換する。次に、あらかじめカテゴリ分類された動作データを帰納論理プログラミングによって解析し、カテゴリごとに最適な分類規則を計算する。提案手法により、比較的少数の学習データを用いて高精度な動作データの分類が実現できた。また、獲得した分類規則は下図に示すように少数の述語論理式によって構成されるため、ユーザによる直観的な理解や編集が可能となった。

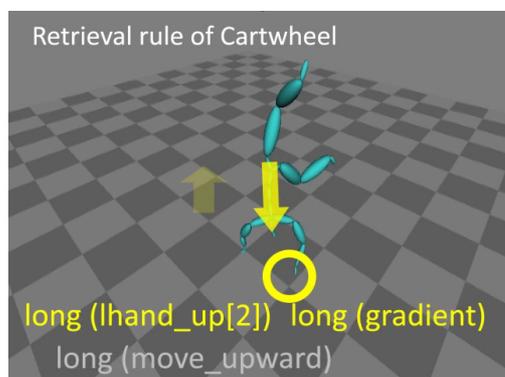


図 2 帰納論理による運動差異の分析

さらにこの技術の発展として、大規模動作データベースからの動作データ検索システムを構築した。このシステムでは、複数の運動データの差異をテキスト形式で分析することで、動作データの特徴を簡潔に捉えつつ可読性の高い検索クエリを自動生成する。検索クエリを単純化することによって、大規模データベースに対しても高速な照合が可能となった。ただし、下図に示すように、今後は検索精度の向上が必要である。

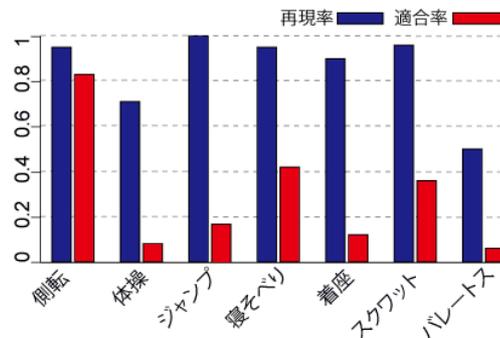


図 3 検索精度実験例

これらの研究成果は、1 件の国内雑誌レター論文、2 件の国際会議論文、2 件の国内会議において報告した。

(3) 複数の類似動作に共通する主成分を高階特異値分解法によって抽出するアルゴリズムを開発した。この方法により、ストローク動作やサーブ動作など、各動作や各個人に共通する動作の特徴を抽出できるようになった。さらにこの技術の応用として、多重解像度制御を導入した動作補間法を開発し、従来法と比較して高速に CG アニメーションを生成できることを確認した。下図の例では、歩行中の仮想人間とカメラの距離が離れるに従って、映像品質に影響が無い範囲で計算精度を落としている。その結果、多数の仮想人間をアニメーションさせる際の計算コストを大幅に削減できた。この研究成果は、Pacific Graphics 2007 にて報告した。

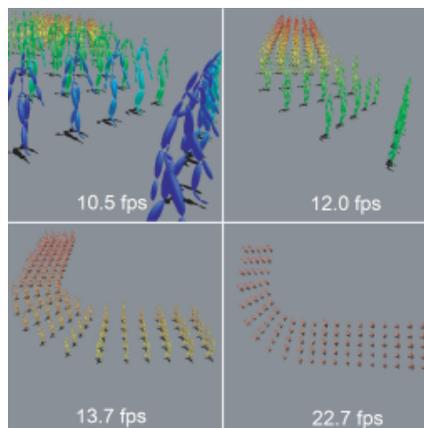


図 4 多重解像度制御による高速動作生成

(4) 簡易な操作体系と効率的なプレビュー機構を統合した、動作データの編集システムを開発した。提案システムでは、動作データのキーフレーム姿勢を選択して2次元タイムライン上に表示する。ユーザはアイコン表示された姿勢をドラッグ移動することで、全身もしくは身体各部位の運動速度やタイミングを編集できる。また、手足先の運動軌道や関節回転量などの運動特徴をメニュー表示し、それらを別の動作セグメントにコピーすることで運動スタイルを編集できる。いずれの編集結果も姿勢アイコンの変化として即座に提示されるため、直感的にプレビューできる。さらに提案法では、動作データ内で複数回繰り返される類似動作を検出し、単一の編集操作を反復的に適用する。この機構により、長尺の動作データを少ない操作で効率的に編集できるようになった。提案システムの外観を下図に示す。の成果はコンピュータアニメーションに関する著名な国際会議である、Symposium on Computer Animation 2009に採録された。

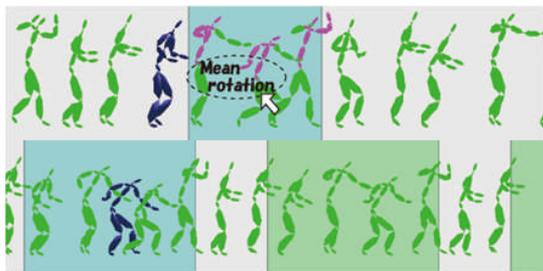


図5 姿勢タイムラインシステムの外観

(5) 複数の関節運動の連動タイミングに着目した、事例データに基づく運動タイミング編集アルゴリズムを開発した。提案手法では、まず運動タイミングの非類似度がマップ上の距離に対応するように、サンプル動作を2次元マップ上に写像する。次に、あらかじめ個性や運動技術習熟度によってカテゴリ分けされた複数の動作データが与えられたとき、カテゴリ分類において重要な差異を示す身体部位をユーザに提示する。そして、マップ上の位置を任意に指定することで、サンプルデータの運動タイミングを別の動作データにマッピングする。下図に、ボクシング未経験者と格闘技熟練者のパンチ動作を2次元マップ上に可視化した結果を示す。この例では、両者の本質的な差異が胴体の回転角速度と右手先の移動速度との連動タイミングにあることを推定しており、マップ上の対話的な操作によって右腕の運動タイミングを編集できる。このように、既存の動作データベースの解析を通じて、新しく計測された類似動作データの編集のポイントとなる関節ペアを推定でき、さらに複数のサンプル動作の運動タイミングを反映させるような動作デ

ータ編集が可能となった。この成果は、Visual Computing/グラフィクスとCAD合同シンポジウム2007にて報告した。

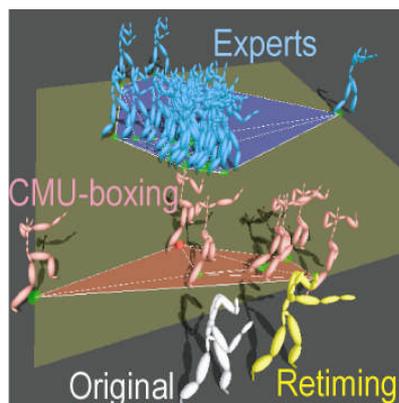


図6 運動タイミングの差異の可視化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- ① 向井智彦, 栗山繁, テンソル近似を用いた動作補間の多重解像度制御, 電子情報通信学会誌, 査読有, Vol.J91-D, No.21, 2009, pp.2973-2982.
- ② 脇坂健一, 向井智彦, 栗山繁, 時空間特徴と帰納推論を用いた動作データの検索, 情報技術レターズ(FIT2007講演論文集), 査読有, 2007, CD-ROM (LI-006).

〔学会発表〕(計 8 件)

- ① Tomohiko Mukai, Shigeru Kuriyama, Pose-Timeline for Propagating Motion Edits, Symposium on Computer Animation, 査読有, 2009/8/1, pp.104-113.
- ② Tomohiko Mukai, Ken-ichi Wakisaka, Shigeru Kuriyama, Generating Concise Rules for Retrieving Human Motions from Large Datasets, Computer Animation and Social Agents, 査読有, 2009/6/19, pp.45-48.
- ③ 向井智彦, 栗山繁, 2次元姿勢タイムラインを用いた動作データ編集, 情報処理学会グラフィクスとCAD研究報告, 査読無, Vol.2008, No.109, 2008/11/7, pp.25-30.
- ④ Tomohiko Mukai, Shigeru Kuriyama, Multilinear Motion Synthesis with Level of Detail Controls, Pacific Graphics, 査読有, 2007/10/29, pp.9-17.
- ⑤ Tomohiko Mukai, Ken-ichi Wakisaka, Shigeru Kuriyama, Rule-based Retrieval of Human Motion Data Using Inductive Logic Programming, Symposium on Computer Animation, 査読有, 2007/8/3, Posters and Demos, pp.22-23.

- ⑥ 脇坂健一, 向井智彦, 栗山繁, 帰納推論を用いた動作データのセマンティクス解析, Visual Computing/グラフィクスとCAD 合同シンポジウム, 査読有, 2007/6/24, pp. 151-156.
- ⑦ 向井智彦, 栗山繁, 時間的特徴解析に基づく運動タイミングの編集, Visual Computing/グラフィクスとCAD 合同シンポジウム, 査読有, 2007/6/23, pp. 33-38.
- ⑧ 脇坂健一, 向井智彦, 栗山繁, 運動特徴解析と帰納推論を用いた人体動作データの分類, 査読無, 第21回人工知能学会全国大会, 2007/6/20, CD-ROM (1H3-5).

[その他]

ホームページ等

<http://www.val.ics.tut.ac.jp/mukai/>

<http://www.val.ics.tut.ac.jp/project/tennis/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

向井 智彦 (MUKAI TOMOHIKO)
豊橋技術科学大学・工学部・助教
研究者番号: 10432296