

高速度ビデオカメラによる人体の運動解析システム計画

清水 鉄也、幸村 琢、望月 義幸、姫野 龍太郎

理化学研究所 情報環境室
埼玉県和光市広沢 2-1
e-mail: shimizu@atlas.riken.go.jp

理化学研究所 イメージ情報技術開発室
埼玉県和光市広沢 2-1
e-mail: kamura@atlas.riken.go.jp

松下電機産業 マルチメディア開発センター
大阪府門真市大字門真 1006
e-mail: mochik@il.mei.co.jp

理化学研究所 情報環境室
埼玉県和光市広沢 2-1
e-mail: himeno@posttran.riken.go.jp

要旨

情報環境室では高速度ビデオカメラを導入する。これを使って人の走行および投球モーションやスイングの動作を取り込み、最適化計算やモデル計算シミュレーションとリアルタイムに比較しながら解析するシステムを作る計画である。できあがったシステムは、スポーツ等において技術向上の指導に役立つ。

1. 高速度ビデオカメラとモーションキャプチャ

今回導入の決定した高速度ビデオカメラは Vision Research 社製の Phantom V4.1である [1](図1)。もともと自動車の衝突実験用に開発されたもので、軽量コンパクトで高感度であるので野外での撮影に適する。このカメラは、画素数 512x512 ピクセルで、毎秒 1000 フレームの高速度で運動を捉えることができるので、被写体各点の加速度、角速度を直接算出することを可能にする。また、ボールが指先を離れる瞬間や、人の走行中に足底が着地する瞬間を測定することにより、体組織の弾性定数を推定することもできるであろう。



図1 高速度ビデオカメラ Phantom V4.1



図2 人体動作の例（ゴルフのスイング）

ここでは一例として図2のようなゴルフのスイングを取り上げてみた。ただし、これはまだ普通のビデオ映像であり、およそ1秒程度で終わってしまう動作なので、スナップショットが30枚以下しか得られていない。このような画像データから特徴点の抽出および速度、加速度の算出には Kanade-Lucas-Tomasi Feature Tracker [2][3]を使う。また、高速度ビデオカメラ付属の Phantomソフトウェアでも可能である。3次元モーションデータへの変換は DLT (Direct Linear Transformation) 法に基づく。このスイング映像を3次元モーションデータに変換した例が図3である。この例では、瞬間瞬間は誤差もなく取り込めるのであるが、速度の推定値の誤差は最速点で最大20%以上にものぼってしまう。加速度や力の推定値の誤差はさらに大きく、力学的な議論は難しい。高速度ビデオカメラにより、この問題が解決される。



図3 モーションキャプチャの例

2. 最適化計算

このようにして取り込まれたモーションデータは望月ら [4][5]による投球モーションの最適化計算や、幸村ら [6][7]による筋骨格モデル計算などを応用した最適化計算の初期モーションデータとして使用され、さらにより効率的な動作が生成される。このとき、最適化のための目的関数の重み付けは被験者の理想とする目標を反映するように選択する。得られた最適モーションデータとオリジナルのデータとの比較を行い、被験者が上級者以上であれば違いは動作の限られた部分であると予想されるので、どの部分を中心にどう改良を行えばよいか被験者に指導することが可能になる。これら、一連の作業をリアルタイムで行うシステムに作り上げ、即座に被験者にフィードバックすることにより、指導の効果を最大限引き出すことを目標としている。リアルタイムであれば、指導を受けながら動作の修正と解析システムによる評価を交互に繰り返すことで、より確実に最適解の情報を被験者に伝えることができるはずである。

3. 動作のモデル化

最適化計算で得られるトルクや力のデータは複雑なものである。これを一般の人、とくに初心者には指導することは非常に難しいと思われる。初心者にとっては入力すべき力の関数の時間依存が単純であればあるほどよい。図4はスイングの動作を非常に単純化して力学的にシミュレーションした結果である。図4-1は効率的で理想に近いスイングで、図4-3はこれとほぼ同じ結果（最高スイング速度）を得るのに、エネルギー的にも筋力的にも効率の悪いスイングの例である。違いは2点あって、スイングの初期から切り返しにかけてクラブの動かし方が悪いのと、切り返し後からスイングの最下点にかけて手先に3倍も力が入りすぎていることである。図4-3のようなスイングをする人に指導を行い、図4-1のスイングに持って行きたいのであるが、2つの問題点を同時にかつ、ちょうどよく（力みを1/3に、クラブを最頂点でもう90度寝かせるように）修正するのは難しい。図4-2はスイングの切り返しまでのクラブの動かし方が悪いだけの例である。しかし例えば、まず手先の力みだけ取ってからというような指導をしてしまうと図4-2のように、まともにボールに当たらなくなり、被験者は不安を抱いてしまう。それ以上、指導を聞き入れなくなるかもしれない。理想的な指導は、そこそこボールに当たるような経路に沿って2つの問題点を交互に何段階かに分けて修正して行くことであると考えられる。このように単純なモデルからでも、ある動作からより最適な動作へ上達するためには回避したり乗越えたりするべき障壁が存在することがわかる。

4. モーション地図

単純な動作の組み合わせで運動を（近似的に）表現することでパラメータ数を制限してしまえば、どのタイミングでどこに力を入れるとどのような運動が得られるかを調べあげることが可能で、いわば「モーション地図」を描くことが可能であ

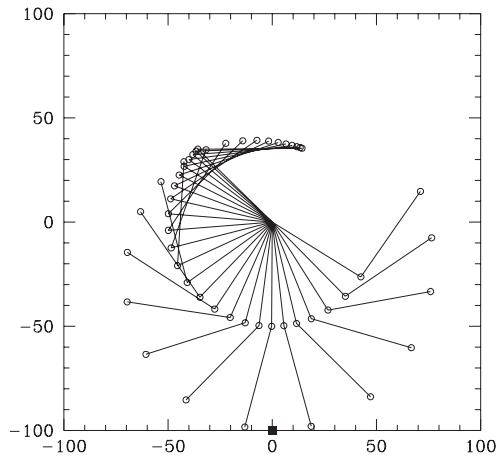


図 5-1

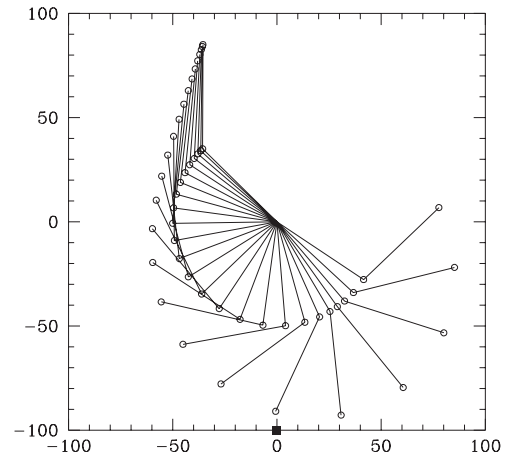


図 5-2

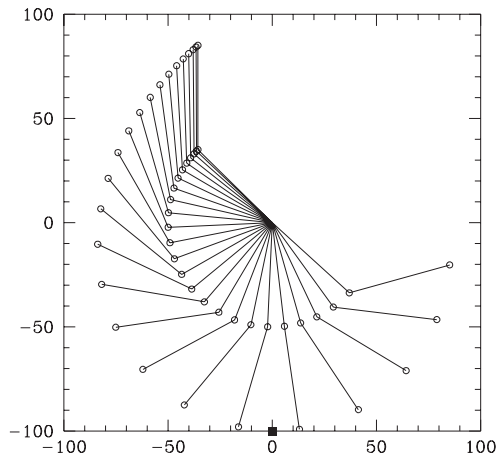


図 5-3

図 5 スイング動作の力学的シミュレーション

る。残念ながらこの「地図」は多次元空間上に横たわっているので、一度に全てを見渡せるわけではないが、それでも2次元、3次元の主要パラメータ空間を見渡しながら、残りのパラメータでブラウジングすることができる。目的関数を設定して最適解で得られる情報は、地図に例えると「日本で最も高い地点は富士山山頂である。」とか「日本の最北端は宗谷岬である。」というようなものであって、「東京から大阪に行きたい」というような使用目的には全く役に立たない。それよりも、地図そのものを与え、使用者がそこから情報を読み取って使用目的に合わせて活用するようにできているほうがいい。この「モーション地図」があれば、現在の自分の技量がどこにあり、自分の競技スタイルに合わせた最適解（極小値）を見出し、そこに安全に辿り着くにはどの経路を通るのがよいかははっきりするものと期待される。高速度ビデオカメラを通して取り込まれたモーションデータは一度粗視化されて地図の上にプロットされ、現地点が極小点である

か、現極小点の近傍にさらなる最適解が存在しないか調べることができる。また、一般に最適動作に至る道筋は1つとは限らず、個人に適した練習方法を選択することも可能にする。自由度を落とすわけであるからこのような指導方法が適する動作と適さない動作があるものと予想され、まずこれを明らかにしたい。少なくとも初心者向けの運動技能の指導に効果を発揮するはずである。また逆に、このような研究を通してプロ選手や上級者の技能がどの程度複雑（または単純）なものであるかを解明し、議論できるようになればおもしろいと考えている。

5. 結語

このようなシミュレーション手法を組み合わせ、初心者から上級者やプロ選手まで、運動技術上達の一助となるモーション解析システムを構築することが目標である。

参照

[1] <http://www.visible-solutions.com/>

[2] Bruce D. Lucas and Takeo Kanade, "An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision", International Joint Conference on Artificial Intelligence, pages 674-679, 1981.

[3] Carlo Tomasi and Takeo Kanade, "Detection and Tracking of Point Features", Carnegie Mellon University Technical Report CMU-CS-91-132, April 1991.

[4] Yoshiyuki Mochizuki, Haruo Amano, Kazushi Tezuka, Tsuyoshi Matsumoto, Shinichi Yamashita, and Koichi Onura, "Computer Simulation for Upper Limb during High Speed Baseball Pitching", Theoretical and Applied Mechanics, Vol.46, pp.271-277, 1997.

[5] Yoshiyuki Mochizuki, Seiji Inokuchi, and Koichi Onura, "Generating Artificial Proficient Skill Motion for Upper Limb in Baseball Pitch from Several Objective Functions", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, Vol.30, No.3, pp373-382, 2000.

[6] Taku Kohmura, Yoshihisa Shinagawa, and Toshiyasu L. Kunii, "Muscle-based Feed-forward Controller of the Human Body", Computer Graphics Forum, 16(3), C165-C176, 1997.

[7] Taku Kohmura, Yoshihisa Shinagawa, and Toshiyasu L. Kunii, "Creating and Retargetting Motion by the Musculoskeletal Human Body Model", The Visual Computer, No.5, 254-270, 2000.