

課題名 (タイトル) :

人体の力学と運動機能の計算法の研究

利用者氏名 : ○泰地 真弘人, 中村 仁彦, 高野 渉, Sreenivasa Manish, 鮎澤 光, 池上 洋介,
橋本 淳, 濱野 聖也, 平澤 謙章

理研での所属研究室名 :

計算生命科学センター 生命モデリングコア階層統合シミュレーション研究協力グループ

報告内容

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

ロボティクスの運動学・動力学を基盤とした人間の全身の骨格・筋・神経のモデリングが実現され、人間の外部運動計測から筋張力の推定や反射ネットワークの同定が可能になりつつある。また、上記のモデルを通じて人間の多様な運動データが蓄積され、身体性に基づく認知情報処理の枠組みが構築されてきた。本課題では、各体組織の体積効果を考慮した詳細な全身神経筋骨格のための計算論の確立、および運動情報・体性感覚情報と人間の認知を繋ぐ情報処理を構築することを目的とする。人間の身体と認知情報処理のメカニズムを解明する新たな手法となる。

2. 具体的な利用内容、計算法

・筋肉の体積効果を考慮した全身の筋張力の並列計算手法を開発した。本手法では、ロボティクスにおける剛体リンク系の力学計算法と、筋形状モデルに対する非線形有限要素解析を同時に解く。具体的な計算法は、有限要素解析から求まる各筋の有限要素の非線形等式拘束条件の下で、運動計測から求まる剛体リンク系の関節トルクを最小化するような各筋の筋活動度を求める非線形最適化問題となる。逐次二次計画法を応用することで、一回あたりの収束計算の最中では、筋の有限要素計算を剛体リンク系の力学計算と独立に分離することができるため、一つ一つの筋の有限

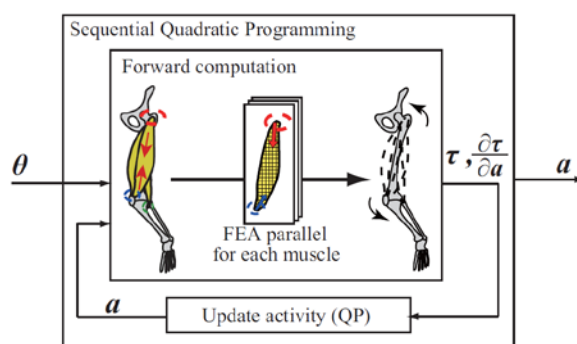


図1. 体積効果を考慮した筋活動度推定法

要素計算を並列に計算することができる。

・人間の行動情報データベースの構築の基盤技術として、知覚情報と運動情報の分類計算法を開発した。今年度は、知覚として視覚情報を用いた。視覚情報は画像を小領域のセルに分割し、各セルの色濃度分布を特徴量として抽出する。その知覚特徴量の教師ありクラスタリングを正規分布モデルとして学習することによって、知覚の分類・低次元化を行うことができる。さらに、知覚および運動の時系列データを隠れマルコフモデルを用いて学習することによって、知覚と運動の因果律を記憶した人間の行動データベースを構築した。視覚情報をセルに分割することによる知覚の分類計算の並列化、および知覚と運動を分離することによる行動の分類計算の並列化を実現することができる。

3. 結果

・Zygotec社製の三次元人体形状モデルを基盤に、下肢の骨格モデルおよび膝関節回りの五つの主要な筋の有限要素モデルを作成した。簡易モデル

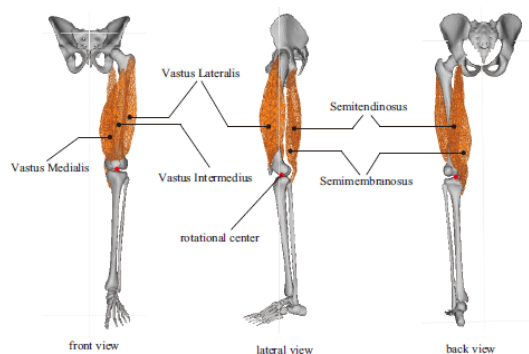


図 2. 下肢の骨格および有限要素筋モデル

では筋数が 5 つのため、マルチコア CPU 一つを利用して 5 スレッドの並列計算を行った。作成したモデルを用い、筋活動推定の際の二次計画問題の評価関数の導出一回を並列計算と逐次計算の二種類で実行し実行時間を比較した。逐次計算、並列計算での実行時間はそれぞれ 1.275×10^4 秒、 5.058×10^3 秒であり、並列計算により逐次計算の約 2.4 倍の実行速度が得られた。また得られた 5 つの筋活動度は、解析対象とする運動中の膝関節の関節トルクを再現できた。

- ・約 79,000 フレームの知覚と運動データを蓄積した行動データベースを構築した。知覚の分類において、1 フレームを 135 のセルに分割し、各セルの計算を 1 プロセスに割り振った並列計算を行った。Intel (R) Core2DuoCPU 2.4GHz のコンピュータでの 1 フレーム当たりの計算時間は、3.81 秒であるのに対して、RICC を用いた計算時間は 0.0593 秒であった。RICC を用いた並列計算によって 64.2 倍の知覚分類の計算実行速度が達成できた。また、この知覚分類精度は 86 %であることを確認した。知覚および運動時系列を 1000 個のパターンに分類する隠れマルコフモデルを獲得し、人間の行動データベースとして記憶した。

4. 今後の計画・展望

- ・三次元人体形状モデルを基盤に、全身の骨格モデルおよび全身の筋の有限要素モデルを作成する。人の全身運動の運動計測データに対して、開発した筋活動度推定手法を用いた解析を行う。
- ・筋有限要素モデルの筋活動度を入力として、全身骨格モデルの動作生成を行う順動力学計算法を開発する。

- ・行動に基づく認知計算論の研究では、人間の知覚と運動の計測データから詳細筋骨格モデルを通じて推定されるマルチモーダルな体性感覚情報を統計的解析手法によって分類する計算法を確立する。この行動分類を通じて知覚から行動の因果律を表現する統計モデルを詳細化することによって人間の認知計算モデルを構築する。

- ・大規模脊髄神経ネットワークの構築を行い、全身骨格筋の有限要素モデルと脊髄神経モデルの接続を行い、脊髄神経系のための統計モデルの開発を行う。これに対して、大規模行動データベースおよび人の行動認知モデルを用いて、神経系の統計モデルの学習と詳細化を行う。マルチスケールな人間の認知・神経・筋骨格モデルを開発する。

5. RICC の継続利用を希望の場合は、これまで利用した状況（どの程度研究が進んだか、研究においてどこまで計算出来て、何が出来ていないか）や、継続して利用する際に行う具体的な内容

- ・下肢の小規模な骨格・有限要素筋モデルにおいては、体積効果を考慮した筋活動度推定計算の有効性は確認できた。大規模な全身筋骨格モデルを構築、および同手法を用いて大規模な並列計算を行うマルチプロセス用のプログラムを開発する。
- ・クラスタ構造を用いた行動の分類では、扱う知覚・運動データの量を膨大にした時にも実用可能な計算時間で解析が行えるようにするための並列化処理を行う必要がある。また、運動データとして筋活動度や体性感覚情報などのマルチモーダルな情報を処理するための計算法を実装する必要がある。

6. 利用研究成果が無かった場合の理由