

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 : ○中村 仁彦 高野 渉 鮎沢 光
池上 洋介 橋本 淳 濱野 聖也
所属 : 神戸研究所 計算生命科学研究センター
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、皮膚・臓器を内包した人間の詳細モデリング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

スーパーコンピュータを利用するために以下の計算基盤の整備を行った。

- ・ 脊髄神経根と皮膚感覚領域の対応関係 (デルマトーム) に関する生理学的知見に基づき、皮膚・脊髄神経ネットワークを組み込んだ人間の全身詳細モデルの基盤を構築する。

- ・ 皮膚刺激とその時の筋張力の計測データから、皮膚・脊髄神経系を表すニューラルネットワークのパラメータを同定する。筋張力は光学式モーションキャプチャによって計測した人間の運動データから推定する。皮膚刺激は振動モータによる刺激装置を被験者に貼付することで与える。ニューラルネットワークは、入力が筋長・筋長変化速度・皮膚刺激、出力は筋活動度である。皮膚刺激を与えない時の運動データから筋長・変化速度と筋活動間のネットワークの重みを最適化する。このネットワーク部を固定して、

皮膚刺激あり時の運動データから皮膚刺激と筋張力間のネットワークを最適化する。

- ・ 大規模な運動データを運動パターンとして分類する。各運動パターンを統計モデルによって抽象化し、統計モデル間のクラスター構造を獲得することによって運動パターンが効率よく分類可能となる。また、運動パターンの因果律を N 重マルコフモデルによって表現することによって、人間の行動認識および行動予測を行う。

3. 結果

- ・ 足・下腿、膝、手、前腕、上腕、肩、体感を前後左右に分類した 36 個の皮膚分節を有する人間の詳細人体モデルを構築した。各皮膚分節と脊髄神経根を結び付ける神経ネットワークを人体モデルに実装した。

- ・ 獲得したニューラルネットワークによって、皮膚刺激なしのときの筋長・筋長変化速度と筋活動の入出力関係を獲得した。太股直筋と半膜様筋について、筋長・筋長変化速度からニューラルネットワークによって推定される筋活動度と筋電位から計測される筋活動度を比較する実験によって、提案するネットワーク構造が筋長と筋活動度の関係を表現できることを確認した。皮膚刺激と筋活動度のネットワークから各皮膚分節を刺激した場合に活動する筋を特定するための解析基盤を構築した。

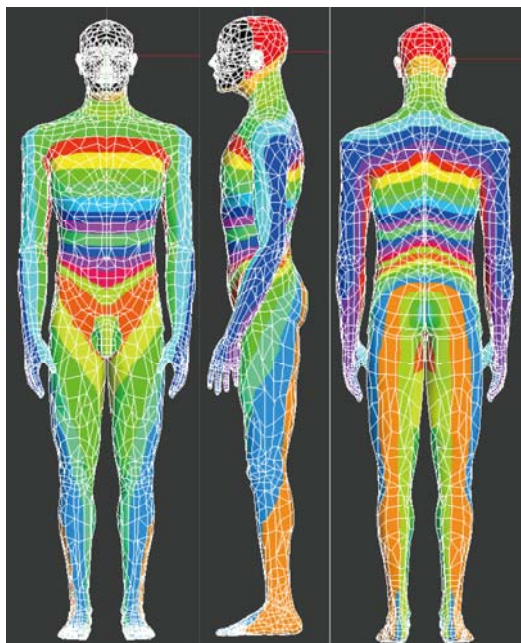


図 1. 人間の皮膚分節モデル

・約1時間の運動データを分類・認識し、その先の運動を予測する統計的計算論を構築した。4重マルコフモデルを用いることによって、次の運動が59%で予測できることを確認した。また、提案する運動のクラスター構造を用いることによって、運動認識の計算時間を従来の0.7%に削減した。認識精度も従来法と一致する割合が87%であることを実験によって確認し、従来とほぼ同等の認識精度を実現できることを示した。

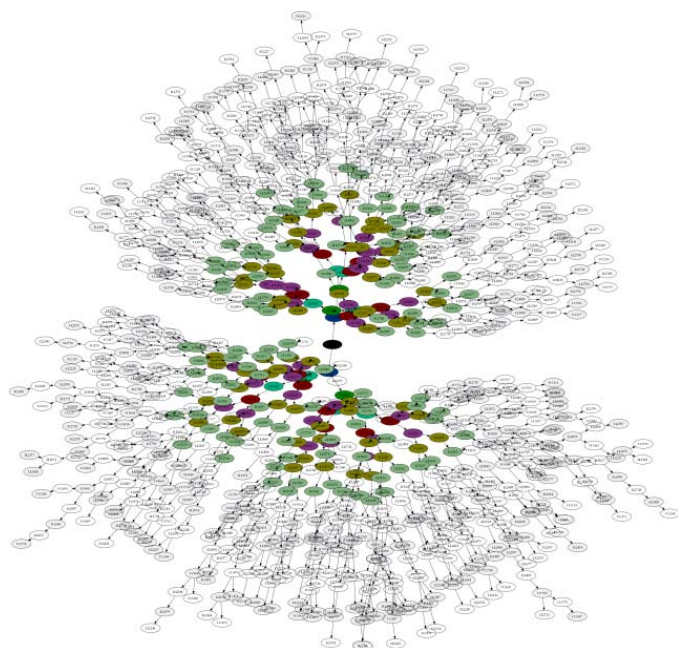


図 2. 運動パターンのクラスター構造

4. 今後の計画・展望

・詳細筋骨格モデルの開発では、柔軟性を有する要素の連続体としてモデル化した皮膚の有限要素法を用いた力学計算、筋腱靭帯の力覚情報から運動への神経ネットワーク計算モデル、臓器を含めた全身の大規模力学計算法を構築する。

・行動に基づく認知計算論の研究では、人間の行動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。この運動分類を通じて行動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行動予測技術の向上を図る。

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

・人間の皮膚・脊髄・筋ネットワークを構築し、詳細な人間の運動解析を行う計算プログラムおよび人間のモデルを開発した。この計算を RICC 上で稼働するため、プログラムの移植を行う必要がある。

・クラスタ構造を用いた運動の分類では、扱う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方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

・今年度は RICC を用いて人間の詳細な筋骨格モデルを用いた運動解析計算のため、皮膚感覚と脊髄のネットワーク構造モデルを作成することを行い、RICC 上で計算を実行する段階まで到達することができなかった。

・人間の運動を分類・予測する計算において、大規模な運動データを蓄積するための準備および運動のクラスター構造の検討を行い、提案する枠組みを RICC で検証することができなかった。

平成 22 年度 RICC 利用研究成果リスト

池上洋介, 鮎沢光, 中村仁彦: “ニューロバイオメカニックスのハイパフォーマンスコンピューテーション”, 次世代スーパーコンピューティング・シンポジウム 2010 および第 1 回戦略プログラム 5 分野合同ワークショップ, ニチイ学館 神戸ポートアイランドセンター, 2011.1.17