

筋負担度のリアルタイム可視化システムの構築

岸下 優介^{1,a)} 辻 敏夫¹ 栗田 雄一^{1,2}

概要: 人は運動を行う際、筋を収縮させることによって関節トルクを発揮し、運動を実現させている。筋収縮の度合いである筋活動度を推定できれば、人が主観的に感じる負担感を予測できるようになることが期待される。そこで本研究では、オフラインで計算した代表点の筋力推定結果を線形補間することで構築したデータベースを利用することで、リアルタイムで筋負担を可視化することができるシステムを構築する。また本稿のレイアウトサジェスションを指向したアプリケーション例について報告する。

Development of a Real-time Muscle Effort Visualization System

KISHISHITA YUSUKE^{1,a)} TSUJI TOSHIO¹ KURITA YUICHI^{1,2}

Abstract: Motions of our body are generated by muscle contractions. Effort to move our body can be estimated by knowing the muscle activity to generate the motion. This paper proposes a realtime visualization system of muscle activity by using a database of muscle activity that was built in advance. The muscle activity data in the database are obtained by a linear interpolation of muscle activity calculated by a 3D musculoskeletal model. An application to a layout suggestion system of books is also discussed.

1. はじめに

人は運動を行う際、筋を収縮させることによって関節トルクを発揮し、運動を実現させている。人は筋を活動させることで主観的な負担感を感じるが、筋活動の度合いを外観から推し量ることは困難である。筋活動度を可視化する手法として、例えば松河らは、光学式モーションキャプチャーと筋電信号計測を用いたシステムを開発している [1]。しかし人にセンサを取り付けることはユーザへの負担になる。そこでセンサ取り付けなしで筋力推定を行う方法も提案されている [2]。また、一般に、身体の運動自由度に比べて筋の数が圧倒的に多いため、筋力推定はエネルギーや筋力を最小にする条件での最適化計算により求められることが多い。しかし最適化計算には多大な計算コストがかかるため、リアルタイム推定が難しい。そこで Murai らは、筋電位測定と筋力の最適化計算を組み合わせることで筋力リアルタイム推定を実現している [3]。この手法で

はリアルタイムに人の運動と筋の活動をリンクさせて見ることができる。しかしそれには高性能なハードウェアと複雑なプログラム技術が必要とされる。低コストな筋力のリアルタイムな可視化が可能になれば、さまざまな場面で、筋負担を考慮した設計支援に応用されていくことが期待できる。

そこで本研究では、あらかじめ代表的な姿勢における筋力推定をオフラインで行った上で、その間を補間し、筋力推定結果をデータベース化しておくことで、リアルタイムに筋力推定結果を得られるシステムを開発する。さらに本稿では、アプリケーションの一例として、データベースの値を用いて手先の筋負担度をリアルタイムに可視化し、物体のレイアウト最適配置をサジェストするインタラクティブシステムを提案する。

2. 筋負担度リアルタイム可視化システム

2.1 システム概要

筋負担度可視化システムの構成を図 1 に示す。本システムでは、ある姿勢を維持するための筋負担度を計算し、その平均を代表値として、それに応じた色を手先位置に出力

¹ 広島大学
Hiroshima University

² JST さきがけ
JST PRESTO

a) kisisita@bssys.hiroshima-u.ac.jp

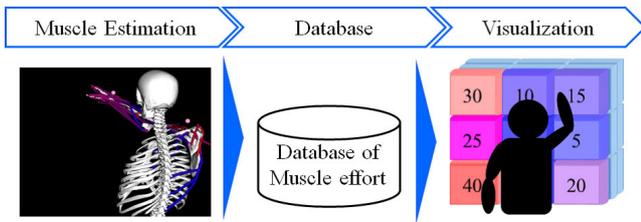


図 1 システム構成

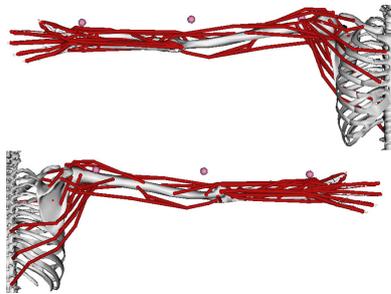


図 2 筋骨格モデル (上: 正面, 下: 背面)

する。まず、あらかじめ指定した位置・姿勢に対する筋力推定を動力学シミュレーションにより行い、データベース化する。次に、推定を行っていない位置・姿勢については、筋力は位置・姿勢の変化に応じて線形に変化するという仮定を置き、推定を行った位置・姿勢からの距離に応じて線形補間をかけることで、実際には推定を行っていない部位における筋負担を予測して算出する。なお本稿では、手先位置に対して上肢姿勢が一意に決まる場合を取り上げ、冗長自由度は考慮しない。

2.2 シミュレーション条件

本稿では、対象を右腕として幅約 600[mm] × 奥行き 600[mm] × 高さ 600[mm] の範囲について、縦方向 3 点、奥行き方向 3 点、横方向 3 点の計 27 点の代表姿勢を設定した。姿勢は高さ位置はほぼ目線位置、肩位置、胸位置であり、奥行き位置は完全伸展、肘関節を手前に 200[mm] 曲げた姿勢、肘関節を手前に 400[mm] 曲げた姿勢であり、幅位置は右肩前方位置ならびに左右 200[mm] の姿勢である。姿勢はモーションキャプチャー (OptiTrack 社製 Optitrack V120:TRIO) で取得した。また、筋力推定計算は、OpenSim を用いて行った [4]。筋活動度推定のための 3 次元筋骨格モデルとして、図 2 に示す 50 の筋から構成されるモデルを利用した。筋パラメータの詳細は [5] を参照されたい。

2.3 推定結果

図 3 に代表的な 3 姿勢を維持するのに使用する筋力推定結果を示す。姿勢によって、使用する筋力パターンが異なることが確認できる。筋力推定では 50 の各筋について筋負担度を計算できるが、本稿ではこれを代表する値として、各筋の筋負担度の平均値を用いる。図 4 の棒グラフは、筋

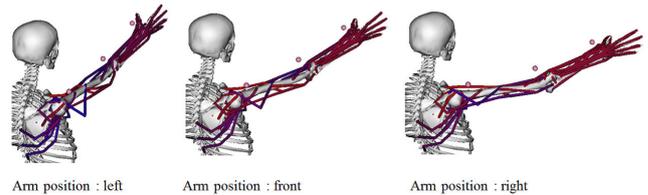
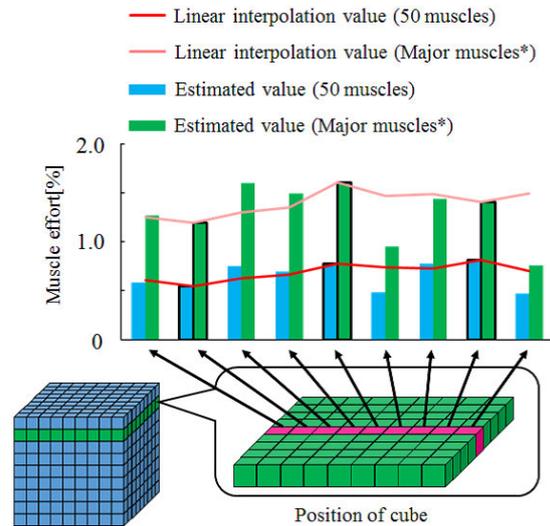


図 3 筋力推定結果とそれに対応する位置



*Major muscles are Pectoralis major, Deltoid muscle, Latissimus dorsi muscle, Biceps brachii muscle, and Triceps brachii muscle.

図 4 筋負担度推定結果の一例 (高さ: 胸位置, 奥行き位置: 腕を完全伸展, 幅位置: 右肩前方位置ならびに左右 200[mm])

負担度の推定結果を示す。水色は全筋の平均であり、緑色は比較的高い利用率の 5 つの筋 (大胸筋, 三角筋, 広背筋, 上腕二頭筋, 上腕三頭筋) の結果を表す。位置によって筋活動度が異なることが確認できる。図中の折れ線グラフは、枠で囲った棒グラフの結果だけをベースに補間することで求めたグラフである。筋力推定により得られた結果と、補間により得られた結果を比較すると、全筋で 0.11[%], 利用率の高い 5 つの筋で 0.25[%] の誤差で推定できることがわかった。これらを基に、本研究では筋負担度推定を行っていない座標においては、測定した座標の値から補間を行うことで、データベース取得コストと計算コストを低減する。

2.4 筋負担度のリアルタイム可視化

拡張現実の技術を用いてコンピュータのディスプレイ上に筋負担度の可視化を行う。仮想空間を構築するための絶対位置マーカーと腕の動きを取得するための相対位置マーカーの 2 つのマーカーを用い、カメラ (Logicool 製 HD Pro Webcam C920) で撮影することにより 2 つのマーカーの距離を求めることによって腕の位置を検出する。そして、その位置に応じた筋負担度を仮想空間上に色を変化

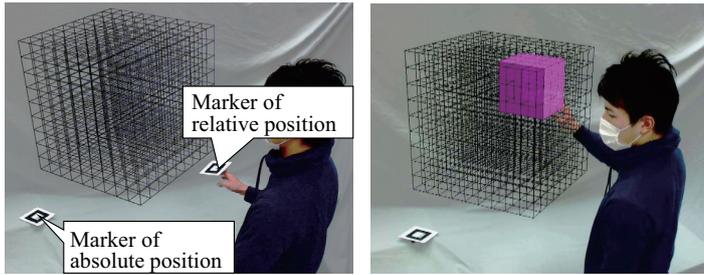


図 5 システム動作時の風景

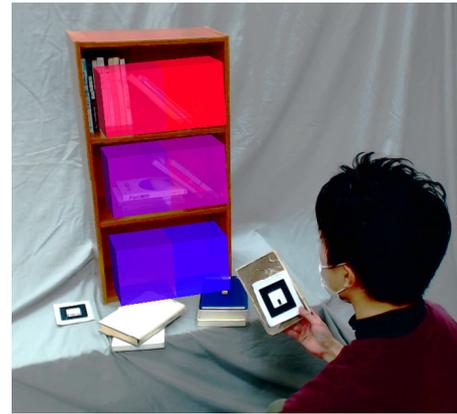


図 7 アプリケーションイメージ

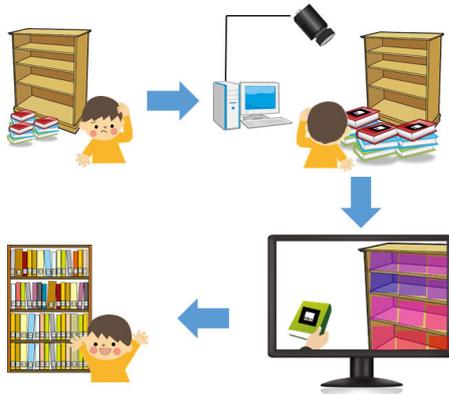


図 6 アプリケーションのシステム概要

させることで表示させる。図5に可視化を行っている様子を示す。筋負担度の表現色は、筋負担度が高い位置ほど赤く、低い位置ほど青く表示されるように設定した。

3. アプリケーション

本システムにより、ユーザーが動作を行うのにどれくらい負担を感じるのリアタイムに可視化することができるため、インタラクティブなレイアウト設計や、安全性の高い姿勢教示、効果的なりハビリテーション指示などに役立つことが期待される。例えば、図6は、棚に物を並べる際、物をマーカーによって重量ごとで識別することで、その物の重量に対する最適な置く場所を提示するインタラクティブレイアウトサジェスチョンシステムのイメージである。また図7は実際の棚に筋負担度を重畳した結果である。ユーザが手に取った本の情報を自動認識すると、本の重量などの情報をシステムがデータベースから読み込む。これにより、その本をある棚の高さならびに位置へ持って行くのにどれくらい筋負担がかかるのかを計算し、可視化する。さらに本の使用頻度などの情報を追加すれば、複数の本の最適配置にも応用可能である。

4. まとめと今後の展望

本稿では、オフラインで計算した代表点の筋力推定結果を線形補間することで構築したデータベースを利用する

ことで、リアルタイムで筋負担を可視化することができるシステムを構築した。また、棚のレイアウト設計のアプリケーションを提案した。今後の展望として、筋負担度推定の精度の向上、レイアウト設計や姿勢教示を目的としたインタラクティブシステムの開発・改良を行っていく。

参考文献

- [1] 松河剛司, 横山清子, 梅谷智弘, 永田雅典 モーションキャプチャと 3DCG を用いた動作解析システム, 人間工学, Vol.45, 12-18, 2009.
- [2] Delp, S. L., Anderson, F. C., Arnold, A. S., Loan, P., Habib, A., John, C. T., Guendelman, E., and Thelen, D. G., "Opensim: Open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol.54-11, pp.1940-1950, 2007.
- [3] Akihiko Murai, Kosuke Kurosaki, Katsu Yamane, Yoshihiko Nakamura, Musculoskeletal-see-through mirror: Computational Modeling and Algorithm for Whole-Body Muscle Activity Visualization in Real Time, Progress in Biophysics and Molecular Biology, Vol.103, 310-317, 2010.
- [4] Delp, S. L.: "OpenSim 3.0", <https://simtk.org/home/opensim>, October 18, 2012.
- [5] 佐藤純平, 竹村和紘, 山田直樹, 岸篤秀, 西川一男, 農沢隆秀, 辻敏夫, 栗田雄一, 筋力指定に基づくステアリング操作時の力知覚モデル, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.79, 4917-4925, 2013.