

動作計測に基づく体性感覚推定法の研究

大武美保子

情報理工学系研究科知能機械情報学専攻

1 はじめに

体性感覚は、身体の表層組織や深部組織にある受容器が刺激されて生じる感覚を指す[1]。人間は、視覚や聴覚などの感覚だけでなく、筋や腱、関節などの運動器官に起こる深部感覚、触覚や温度感覚、痛覚などの皮膚感覚を他者とのコミュニケーションにおいて活用している。人間は他者の動作を観察し、その内部の神経や筋肉等の活動状態などを連想して、相手の心や体の状態の理解に役立っていると考えられている。外部からの観測により、人間内部の状態が計算できれば、人間の感覚を左右する情報を読むヒューマンインタフェースをもつ機械が実現できるであろう。

本研究の目的は、人間を外から観測してその内部状態、特に体性感覚を推定するための技術を開発することである。

2 運動と筋・神経活動の同時計測

人間の行動を経時的かつマルチモーダルに計測することを目的として、これまでに、モーションキャプチャシステム、床反力測定用フォースプレート、視線方向検出用アイマークレコーダを導入してきた。本年度は、より人間の内部の情報を得るために、高精度の筋電位計を導入し、センサの種類によらない汎用アナログ入力サーバを実装した。これにより、運動と筋肉および神経活動の同時計測を実現した。

複数の機器から得られる情報を実時間に統合すると同時に将来のシステム構成の変更にも柔軟に対応するために、CORBAによる分散オブジェクト技術を用いる。測定機器毎にサーバプログラムを用意し、クライアントプログラムから全てのデータを同時実時間に取得する。サーバはクライアントが指定する任意の計測周期と送信周期でデータを収集し送信することができる。筋電位の場合、計測周期は1[ms]である。汎用アナログ入力ボード(CONTEC社製AD12-16U(PCIE))に対し実装したので、筋電位計以外のセンサを容易に追加することが可能である。

3 詳細人体筋骨格モデルと計測による深部体性感覚の計算

詳細人体筋骨格モデルは適当な細かさでグループ分けされた骨と、骨間に張られた筋・腱・靭帯のネットワークから成り、366の筋、91の腱、34の靭帯、56の軟骨、53の骨群から構成される[2]。このモデルと、運動と筋・神経活動の計測結果を用い、深部体性感覚を計算することができる。

モーションキャプチャシステム[3]から得られるのは、全身に貼り付けた光学式マーカの三次元位置軌道である。逆運動学計算によりマーカの軌道を実現する人体モデルの関節角・筋長の時系列データを求め、逆動力学計算によりその運動を実現する関節トルクを求める。この関節トルクを実現する筋・腱・靭帯張力は、筋の冗長性から一意に決めることができないという問題がある。これまでは、全身で発生する筋力が最小になるように最適化計算で発生張力を求めてきた[4]。筋電位計により筋活動度が分かるようになったので、生理学の実験データに基づく数学モデル(Stroeveのモデル[5])を用い、より確からしい張力を推定できるようになった。

4 袈裟斬り動作の主観評価と客観評価

体性感覚は新しい運動を習得する際に必要であることに着目し、以下の実験を行った[6]。即ち、習熟を必要とする全身協調動作として袈裟斬りを取り上げ、剣先を真直ぐ振り下ろせたかどうかを被験者が体性感覚に基づいて主観評価し、逆運動学計算に基づく客観評価と比較した。袈裟斬りは、足を一步踏み込みながら剣を振りかぶり、袈裟の襟首から胸元に沿って剣を斜め下に振り下ろす動作である(図1)。稽古においては、繰り返して試行しながらよい軌道を描いた時の筋肉の使い方を覚え、よりよい軌道を探る。評価項目としては、(a)始点及び(b)終点の位置、(c)始点と終点をつなぐ軌道の直進性、(d)全身特に腕部の適度な弛緩、(e)全身の動的安定性などがある。各試行が終わった時点で、上記(a)-(e)の5項目について自

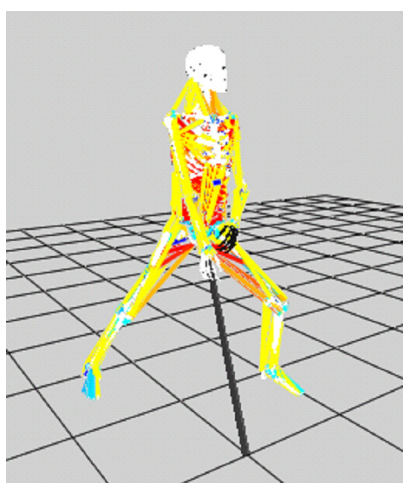


図1 袈裟斬り動作

己最高と思われる結果を1, 自己最低と思われる結果を5とする5段階評価を行った. 全部で26回の袈裟斬り運動を計測した.

結果の解析は(c)軌道の直進性に着目して行った. 具体的には, 図2のように剣先速度を剣の刃面に平行な有効成分と刃面に垂直な無効成分(ぶれ成分)に分解し, それぞれの最大値を比較した. 刃先から背側に向かって x 軸, 刃面に垂直で背側から見て右向きに y 軸, 剣の付け根から剣先に向かって z 軸を取ると, 有効成分は x 成分, 無効成分は y 成分となる. 有効成分が大きく無効成分が小さいほど剣先の向きが軌道に沿っており, 直進性が高かったと評価される.

軌道の直進性の主観評価が1,3,5の場合の y 成分最大値はそれぞれ10.1,8.51,0.844[m/s]であり, 主観評価が高いほどぶれ成分の最大値が小さい. すなわち, 剣先軌道の直線性に関する主観評価と剣先速度の無効成分の最大値という客観評価とは大小関係において一致した. 一方, 剣先速度の x 成分のピークは, それぞれ-14.5, -11.8, -14.4[m/s]とほとんど違いが見られなかった. このことから, 剣先速度の有効成分と無効成分を分離して感知できていると考えられる.

5 軟組織の変形計算

体性感覚を計算するためには, 深部感覚だけでなく皮膚感覚をシミュレーションする必要がある. そこで, 皮膚などの軟組織の変形計算を目的として, 薄膜構造の柔軟物体をバネで結合された剛体リンク系として表現し, 高速に計算する手法を提案した[7]. 柔軟物体を膜厚方向に沿って仮想的に分割することでリンク集合体とし, リンク間をバネと球面関節の両方で結合する. バネ長さの

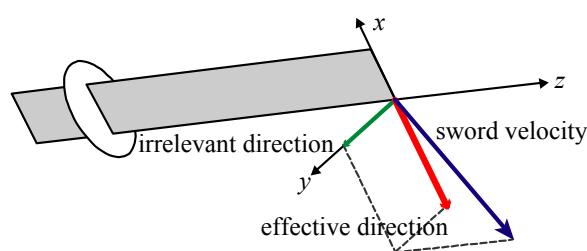


図2 剣先速度の有効成分と無効成分

関節値に対するヤコビアンを求め, ヤコビアンを用いてバネ張力を関節トルクに変換した上で, 剛体リンク系の動力学計算を行う.

6 おわりに

今年度は, 1)全身運動と筋肉・神経活動の同時計測・計算システムを構築し, 運動学習・獲得の過程を定量的に観察する基盤を作った; 2)体性感覚に基づく運動の主観評価は外部からの観測に基づく客観評価と一致する場合が存在することを実験的に調べた; 3)軟組織の変形計算法を提案した. 全身の体性感覚情報を統合する数理モデルを構築することがこれからの課題である.

参考文献

- [1] 岩村吉晃.タッチ.医学書院,2002.
- [2] Y. Nakamura et.al. "Dynamic Computation of Musculo-Skeletal Human Model Based on Efficient Algorithm for Closed Kinematic Chains", Proceedings of the 2nd International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, 2003.
- [3] 鈴木一郎,栗原一貴,中村仁彦. "詳細な人体モデルのための表現豊かなモーションキャプチャシステム", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH)'03 講演論文集, 2003.
- [4] 藤田悠介他. "筋骨格人体モデルにおける筋張力計算の数理計画問題",ROBOMECH'03 講演論文集, 2003.
- [5] S. Stroeve, Biological Cybernetics. Vol.81, pp.475-494, 1999.
- [6] 大武美保子,山根克,中村仁彦."袈裟斬り動作の体性感覚に基づく主観評価と運動計測に基づく客観評価", 第21回日本ロボット学会学術講演会, 2003.
- [7] 大武美保子,中村仁彦."電場応答性高分子ゲルロボットの力学シミュレーション",第4回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会,2003.