

超音波筋活動センサと EMG とを用いた関節トルク・角度の推定

北海道大学大学院情報科学研究科 筒井洋一郎 田中孝之 金子俊一
カリフォルニア大学アーバイン校 工学部 マリア・Q. フェン

要旨

従来の研究では超音波筋活動センサ (UMS) と筋電センサ (EMG) を併用することで関節トルクの推定精度の向上が得られた。今回我々は UMS と EMG を用いた筋活動の測定を行ない、ニューラルネットワークを使用した関節トルクおよび関節角度の推定を行なった。得られた関節トルク推定値とトルク測定値との間、および関節角度推定値と測定値との間には高い相関が得られ、両センサの併用によって関節トルクと角度の推定が可能であることが示された。

1. 緒論

近年、人間機械系システムが着目されており、この分野では人間の動作意図を高い精度をもって測定あるいは推定するセンシングシステムが必要とされている。医療やスポーツ科学分野においても運動計測、特に筋活動を計測する技術へのニーズがある。このための非侵襲計測センサとしては筋電図 (EMG) が広く利用されている [1]。また、筋音図 (MMG) についての研究も行なわれている [2]。これらに対し、我々は筋活動測定のための従来にない新しい非侵襲センサを開発した。このセンサは超音波を測定に利用することから超音波筋活動センサ (Ultrasonic Muscle Activity Sensor, 以下 UMS と略す) と呼ばれる。本報告では UMS および EMG を使った関節トルク推定および関節角度推定について述べ、実験的に有効性を示す。

2. UMS の概要

UMS では 2 つの超音波振動子が被験筋を挟むように皮膚表面に配置される (Fig.1)。片方の振動子は超音波の送信に供される。もうひとつの振動子は送信用の振動子に正対するような位置にあり、超音波の受信を行う。送信用振動子から発振された超音波は皮膚を介して筋肉を含む生体内を伝播し、受信子によって検出される。受信された超音波は被験筋の筋発揮力や関係する関節角度によって、その形を様々に変化させる。受信波形から抽出できる特徴量としては、例えば整流積分値がある。これを iEMG に倣って iUMS と呼ぶことにする。

3. 実験の方法

大腿直筋と大腿二頭筋の筋活動を、UMS と EMG とを用いて計測した。これらの筋は膝関節の収縮と伸展に関係する。同時にトルクセンサを用いて膝関節に生じているトルクを測定した (Fig.2)。膝関節はトルクセンサのアーム部によって拘束されているため、筋の活動は等尺

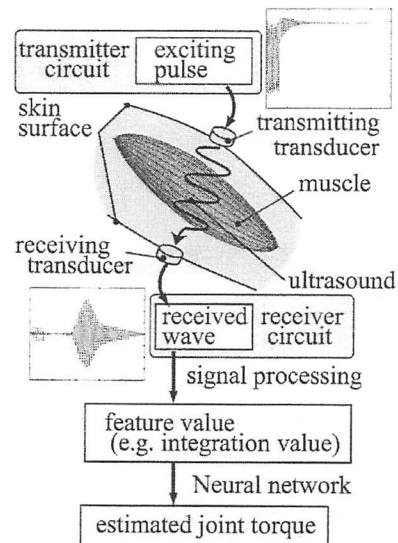


Fig. 1: Overview of the sensing using the ultrasound sensor

性のもとなる。測定時の関節角度は 90deg, 75deg そして 60deg であった。被験者は実験装置のシート部に座り、関節角度が固定された状態でトルクを連続的に変化させるように指示された。各センサの取り付け位置を Fig.3 に示す。

測定された UMS と EMG のデータからニューラルネットワークを用いて、関節トルク及び同角度を推定した。ニューラルネットワークへの UMS に関する入力は、UMS で得られたデータの 1000 点目まで整流積分したもの、同様に 1100 点目まで整流積分したもの、1200 点目、1300 点目という風に 3000 点目までの整流積分値を用いた。つまり UMS に関しては 20 個の入力がある。EMG に関する入力は 2 個であり、これは大腿四頭筋側と大腿二頭筋側それぞれの EMG に整流平均化を施したものである。中

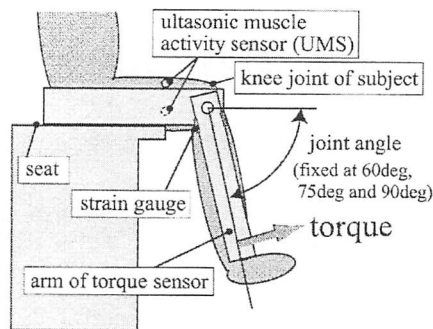


Fig. 2: Experiment

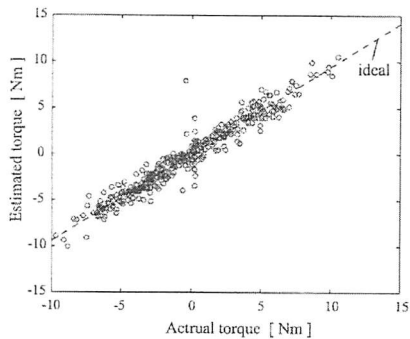


Fig. 4: Estimated torque and Actual torque

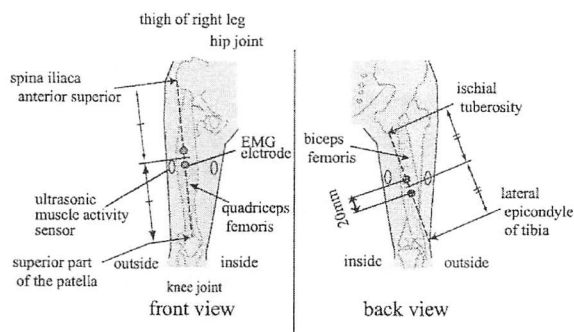


Fig. 3: Position of sensors

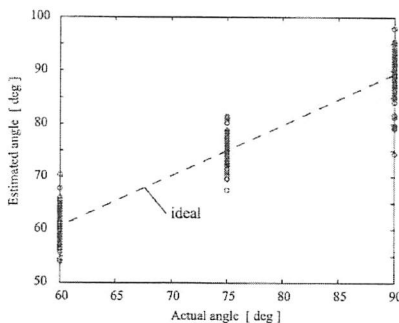


Fig. 5: Estimated angle and Actual angle

間層は1層、100個のsigmoid伝達関数である。出力は関節トルクと関節角度の2個である。ネットワークの学習に利用された関節トルクの目標値はトルクセンサによって測定された関節トルクの値であり、同じく学習に利用された関節角度はその時の関節固定角度であった。学習時の入力には実験で測定されたデータの奇数番目を、シミュレーション時の入力には実験データの偶数番目を使用した。

4. 実験結果

実験で得られたトルク測定値と、ニューラルネットワークによって算出されたトルク推定値との関係を表すプロットを Fig.4 に示した。また同様に、関節角度の測定値と推定値との関係を Fig.5 に示した。トルク測定値と推定値との相関係数は 0.968 であり、関節角度に於けるそれは 0.940 と、双方とも高い相関を示したことから良好な推定結果が得られたと考えられる。

5. まとめと今後の展望

本研究では UMS と EMG を用いた筋活動の測定を行ない、ニューラルネットワークを使用した関節トルクお

よび関節角度の推定を行なった。得られた関節トルク推定値とトルク測定値および関節角度推定値と測定値の間には高い相関が得られ、両センサの併用によって関節トルクと角度の推定が可能であることが示された。従来の研究では超音波筋活動センサ (UMS) と筋電センサ (EMG) を併用することで関節トルクの推定精度の向上が得られていたが、今回の結果により、関節角度の推定という UMS の新しい利用方法が見出された。

現在、我々は UMS のトルク推定精度を向上させる信号処理方法について開発を進めており、これを用いることで関節角度の推定精度の向上も得られるものと考えられる。今後は、動的な関節角度変化に対するの測定についても取り組んでいきたいと考えている。

参考文献

- [1] O. Fukuda, T. Tsuji, M. Kaneko, A. Otsuka :A Human-Assisting Manipulator Teleoperated by EMG signals and Arm Motions, *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, 19-2, 210/222 (2003)
- [2] 小倉, 関, 市江 :等尺性筋収縮における EMG と MMG の比較, 第 5 回日本電気生理運動学会 (JSEK) 大会抄録集, 29/35 (2002)