

筋電位を用いた物体の重さの推定

小原田 和也^{1,a)} 志築 文太郎² 高橋 伸²

概要: 我々は筋電位を用いた、手のひらに物体を載せるだけでその物体の重さを計測する手法を提案する。これは秤を使わずに物体のおおよその重さを測る事を可能にする手法である。この手法では物体の重さによって生じる腕の筋電位の大きさを測定し、その大きさに応じて物体の重さを推定する。現在の手法では、数種類の錘を用意し、それら錘を手のひらに載せ筋電位のデータを取得し、これらのデータを機械学習によって学習を行っている。実行時には、この分類器により手のひらに物体を載せた時に生じる筋電位から物体の重さをいくつかの段階に分類したり、回帰により重さを推測する。この手法ではユーザは商用の筋電位センサ等を付けるだけでよく、大掛かりな装置を身につけるといった負担も少ない。またユーザは物体を単純に手のひらに載せるだけでよく特別な操作などは必要が無い。これは料理中などの食材の重さを測る場合などに有用であると考えられる。我々はこの手法を用いたプロトタイプアプリケーションを作成し、本手法がどの程度有用であるか評価実験を行った。

1. はじめに

物体の重さを測るには通常、秤などといった機器を用いる。こういった機器は気軽に利用することができる一方、外出中や旅行中に預け荷物の重さを知りたい場合など、気軽に測れるようにはなっていない。また料理中などのシーンでは秤を用いずとも手に持つだけで食材の重さを測ることができたり、あるいは郵便物の荷物が規定の範囲を超えていないか確認できたりすれば便利である。

そこで我々は腕の筋電位を用いて、手のひらに載せた物体の重さを測定する手法を提案する。提案手法では、腕に筋電位センサを装着し、手のひらに物体を載せた際に生じる筋電位の振幅から物体の重さを推定する。そのため、重さを測定するには腕に筋電位センサを装着し、手のひらに重さを測定したい物体を載せるだけよい。筋電位センサは商用の筋電位センサを用いればよく、大掛かりな装置を身につけるといった負担も少ない。

今回、我々はこの手法を用いたプロトタイプを作成し、複数の被験者を対象に精度実験およびその有用性を評価する実験を行った。本稿においてはこれらについて報告する。

2. 関連研究

物体の量を測るという意味ではさまざまな手法が提案されている。たとえば smoon[5] は、計量カップにアクチュエータを取り付けたもので、cc、グラム、カップ、さじなどの様々な単位系での食材の計量を行うことができ、ユーザにとって煩わしい計量という行為を簡単に行うことができるようにしたものである。また同様に Arctanbler[7] は計量カップにスマートフォンを取り付けたシステムで、液体や粉末の量を計量カップを水平にしなくとも測ることが可能なものである。また iPhone にはディスプレイを押した圧力を検出することができる 3D Touch 機能が搭載されたが、それを利用した重さの測定を行う手法も登場している。これはディスプレイにスプーンを置き、スプーンの凹面に測りたい物体を載せることによって生じる圧力の差から物体の重さを計測している。これらの手法とは異なり我々の手法では、筋電位を用いており、また手に持つといった自然な行動で物体の重さを測ることができる。

また、筋電位を HCI の分野に用いているものでは、BioSleeve[1] や Zhang ら [4] による研究のように、指や手のジェスチャ認識を行うものがほとんどであり、物体の重さの推定には用いていない。

3. 提案手法および実装

我々は腕に取り付けた筋電位センサから手に持った物体の重さを推測する手法を提案する。筋電位は筋肉にかかる

¹ 筑波大学情報学群情報科学類
College of Information Science, School of Informatics, University of Tsukuba
² 筑波大学システム情報系
Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba
^{a)} oharada@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

負荷にほぼ比例する関係にある。これを利用することで手にかかる負荷を測定することができ、重さを推定できると考えられる。本節では筋電位センサ、重さの推定のための筋電位センサから取得する値の前処理、および機械学習について述べる。

3.1 筋電位センサ

商用の筋電位センサとして Thalmic Lab 社製の Myo^{*1} を用いた。このセンサは 8 チャンネルの筋電位センサと 3 軸の加速度センサ、3 軸のジャイロセンサを内蔵し、Bluetooth を通じてスマートフォンや PC にこれらのセンサ値を送信することができる。図 1 のように利き腕の肘より少し手首側へ、ロゴマークが上に来るようにして装着した。



図 1 Myo と装着場所および装着する向き

3.2 前処理

Myo の 8 チャンネルの筋電位センサでは腕の筋電位として -128 ~ 127 までのデジタル値が得られる。このデータだけでは腕にかかる負荷を得られにくいため、筋電位の特徴量を算出する。今回は物体を手のひらに載せた際の筋電位の振幅を利用するため、平均振幅を利用する。平均振幅の特徴量としては、自乗平均平方根 (Root Mean Square, RMS) や整流平滑化 (Average Rectified Value, ARV)[6] があるが、今回は RMS を使用した。

RMS は一定時間範囲の筋電位信号を二乗して、範囲内の平均を求めたあと、平方根をとった量であり、以下の式で表される。

$$RMS(t) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{\tau=t-T}^t e(\tau)^2 d\tau}$$

ここで、 $e(t)$ は筋電位センサから得られる筋電位値である。今回は $T = 256$ 、サンプリング周期を 1kHz として RMS を求めた。

^{*1} <https://www.myo.com/>

3.3 学習方法

図 2 に示すように、Myo の 8 チャンネルの筋電位センサから得られた RMS は、個々のセンサが別々の値を示す。RMS 値から手に持っている物体の重さを推定するため、これらを分類および回帰のための特徴量として、機械学習を行う。

ある時間 t で得られた $RMS(t)_i (i = 1, 2, \dots, 8)$ のそれぞれをベクトルの要素とし、8 次元のベクトルとした。そしてこのベクトルと対応する重さのラベルから SVM により学習を行った。学習には libSVM^{*2} を用いた。それぞれ μ -SVM を用いており、カーネルはどちらも線形カーネルを用いて、学習器を作成した。

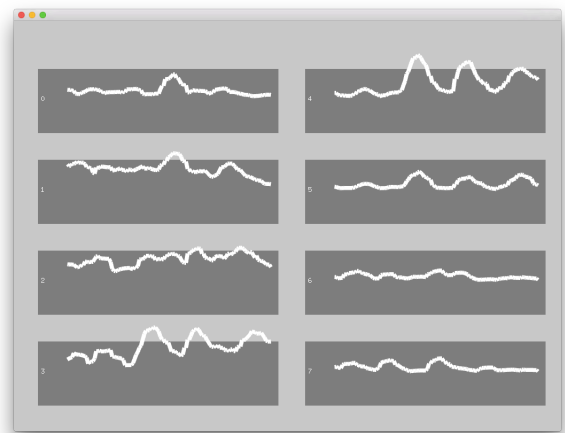


図 2 8 チャンネルの RMS 値の時系列変化

4. 実験

我々は、本手法における回帰による物体の重さ推定の精度の評価、および本手法を用いたプロトタイプにおける重さを測るインタラクションの有用性を評価するため、2 つの実験を行った。

実験は研究室内の 4 人の被験者 (21 歳 ~ 22 歳の大学生および大学院生、男性 3 名、女性 1 名) を対象として行った。全ての被験者が右利きであり、平均身長は 172.25cm (SD=2.06)、平均体重は 63.5kg (SD=1.73)、どの被験者も日常的な運動習慣は週 3 時間以下であった。また全員が Myo を使用した経験は無かった。

4.1 学習

実験の前に分類および回帰を行う学習器を作成するために学習データを集めた。被験者にはいくつかの重さの錘 (ダンベル) を持ってもらうが、手に何も持っていない状態 (0g) の状態でデータを 1000 点、次に 500g の錘を持った状態でデータを 1000 点というように錘の重さを 500g ず

^{*2} <https://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>

つ増やししながら、最大 5kg になるまで行い、総計 1 万 1 千点のデータを集めた。この時被験者には椅子に座った状態で、上腕を降ろし、前腕を水平にした状態の姿勢を保ってもらった。また錘を持つ時の手は手のひらを上に向け、指は筋電位の変動を少なくするためなるべく脱力した状態にしてもらった。手に物体を持ってすぐは筋電位の変動が大きいため、物体を載せて静止するまでの間のデータは無視した。

それぞれの被験者から集めたデータから個別に学習を行い、個々の学習器を作成した。

4.2 実験 1: 精度評価

提案手法がどの程度の精度をもつか計測するために実験を行った。本稿では回帰において手のひらに載せた物体の重さをどの程度の精度で計測できるかを調査した。以下に実験設計、結果および考察を述べる。

4.2.1 実験設計

実験は、重さの異なる数種類の物体を用意し、被験者にはそれら物体の重さを知らせず、学習の時と同じ姿勢で持ってもらった。手に持ってから静止するまでの間は重さの推定値が変動するため、学習時と同じく手のひらに物体を載せて静止するまでの出力値は無視する。また持っている間も値が細かく変動する場合があるため、静止した後の 3 秒間出力された重さの平均値を計算し、それを最終的な重さとした。図 3 に実験の時の様子を示す。



図 3 実験の様子

今回は軽いものから順番に、腕時計 (Casio G-SHOCK SHOCK RESIST 4765)、スマートフォン (iPhone5S ME335J/A)、タブレット端末 2 種 (iPad MD328J/A, ASUS Pad TF300T および Mobile Docking)、書籍 (MORGAN KAUFMANN PUBLISHERS, Philip J. Schneider David H. Eberly, Geometric Tools for Computer Graphics) の 5 つの物体を用意し、それらの精度を検証した。

4.2.2 精度評価結果

表 1 にそれぞれの被験者から得た物体の重さの推定値とそれらの平均を示す。また括弧内は標準偏差を表す。

4.2.3 考察

個人間の差が大きいことが読み取れる。例えば、被験者 A は比較的軽い物体での推定は 50~100g 程度の誤差で推定できているが、重い物体では 500g 以上の誤差がでている。しかし被験者 D では軽い物体では推定が上手いかわず、「腕時計」では約 500g の値を出しているが、重い物体では 200g 程度の誤差で推定ができています。

また、重さの大小関係が逆転した被験者も複数いた。これらは軽すぎる物体では、物体を支えるというよりは腕を水平に保つのに筋肉を使うという難しさから値が変動してしまったと考えられる。

また被験者 B などは推定値が全体的に低く推定される傾向にあった。この理由として、被験者 B は週の運動習慣が週 3 時間程度と他の被験者より長く、また学習時は運動の直後であったためそれらの影響などがあったのではないかと考えられる。

全体的に 500g 以上の誤差がでる場合があり、推定方法の再検討を行う必要がある。

4.3 実験 2: 使用評価

我々は提案手法を用いた簡易的なプロトタイプを作成した。回帰によって連続値を推定し、その重さを表示する、簡易的な GUI インタフェースを作成した。また回帰の他には分類によって 500g 刻みで重さを表示したプロトタイプも作成した。これは手に載せた重さによって水色のバーが右へ伸びるようなインタフェースとなっている。どちらも PC 上で動作し、C++/openFrameworks で作成されている。図 4 と図 5 に作成したプロトタイプを示す。

これらのプロトタイプを被験者に使用してもらい、どの程度の有用性があるかを調査した。以下に実験設計、結果および考察を述べる。

4.3.1 実験設計

実験 1 と同様の被験者に対して、ユーザビリティについての主観的満足度を測定するために、System Usability Scale(SUS)[2], [3] に回答してもらった。しかしながら、SUS は英語で記述されている。そのため、実験において用いた SUS は古井ら [8] によって使用された日本語版を使用した。

被験者には、簡単な説明の後に両方のプロトタイプを実際に利用してもらった。利用中は様々な物体を手で載せてもらい、物体の重さが推定できる事を示した。その後、SUS に回答してもらった。

4.3.2 使用評価結果

表 3 と表 4 に分類および回帰で推定した際の SUS による使用評価結果を示す。表に示されている各被験者のスコ

表 1 物体の重さの真値とその推定値 (単位は g)

物体の種類	被験者				真値	平均
	A	B	C	D		
腕時計	44.5265	124.546	235.442	519.534	90	231.012 (207.667)
スマートフォン	91.9462	162.973	197.99	307.656	114	190.141 (89.911)
タブレット端末	792.509	197.774	930.223	769.215	655	672.43 (324.316)
キーボード付きタブレット端末	1035.85	430.278	906.632	1053	1160	856.44 (291.523)
書籍	1390.71	1135.99	1601.12	1759.26	1976	1471.77 (270.001)



図 4 分類で推定を行うプロトタイプ

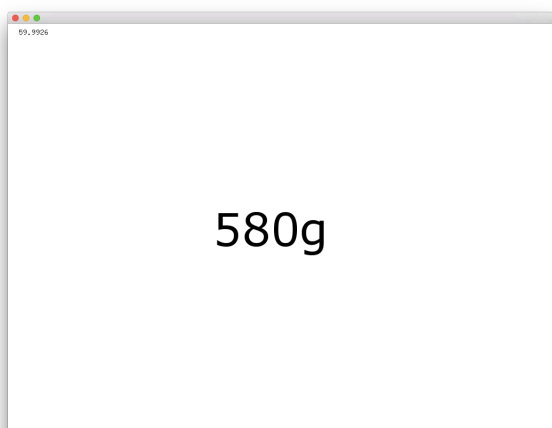


図 5 分類で推定を行うプロトタイプ

アは SUS の集計結果であり、これらが高い程有用性があることになる。表 2 に今回用いた設問の一覧を示す。

4.3.3 考察

回帰および分類で行った時の SUS の評価値の平均は 80 (SD=10.206) と 81.875 (SD=9.869) となり、それぞれのプロトタイプで 80 を超える高いスコアが得られた。それぞれの項目毎に見ていくと特に「たいていのユーザは、このシステムの仕様方法について、素早く学べるだろう」ということや「このシステムを使うのに自信があると感じた」といった点で高得点を得た。気軽に利用できるという提案手法の長所の裏付けとなったと考えられる。逆に低い

表 2 SUS による設問

(1) わたしはこのシステムを頻繁に使いたいと思う。
(2) このシステムは無駄に複雑であると思った。
(3) このシステムは簡単に使えると思った。
(4) このシステムを使えるようになるには、わたしは技術者の支援を必要とするだろうと思う。
(5) このシステムでは様々な機能がよくまとまっていると思った。
(6) このシステムにはあまりにも多くの矛盾があると思った。
(7) ほとんどの人々はこのシステムの使い方をすぐに覚えるだろうと思う。
(8) このシステムはとても扱いにくいと思った。
(9) このシステムを使用できる自信があると感じた。
(10) わたしはこのシステムを使い始める前に、多くのことを学ぶ必要があった。

表 3 分類での SUS 評価値

被験者	設問										合計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	1	4	4	4	1	4	4	4	4	4	85
B	1	4	3	3	2	4	4	4	4	4	82.5
C	3	4	4	4	2	3	4	4	4	3	87.5
D	1	4	3	3	1	2	3	3	3	3	65

表 4 回帰での SUS 評価値

被験者	設問										合計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	1	4	4	4	1	4	4	4	4	4	85
B	2	4	3	3	2	4	4	4	4	4	85
C	3	4	4	4	2	4	4	4	4	3	90
D	2	3	4	3	1	3	3	3	2	3	67.5

点であったものとして「このシステムをしばしば使いたいと思う」や「このシステムにあるさまざまな機能がよくまとまっていると感じた」といったものがあつた。重さを気軽に測定ができるというシーンの少なさが顕著に出た結果となった。

また分類よりも回帰で表示した方が若干スコアが高くなった。これは細かい値が見れたほうが料理中や郵便物の重さを測る際には有用であるからだと考えられる。

5. 終わりに

本稿において筋電位を用いた重さの推定手法を提案した。この手法においては機械学習を用いて重さの推定を行

うが、重さを学習データから回帰によって提示する手法で精度評価を行った。また、回帰と分類によって重さを推定するプロトタイプを作成し、どの程度簡単に使用できるかなどを調査した。

今後は精度の向上のために、筋電位以外のセンサとの組み合わせる (例えば、Myo の加速度センサやジャイロセンサ) ことが考えられる。具体的には、センサにより腕の動きや姿勢による影響を少なくすることを検討する。例えば、ジャイロセンサの値も機械学習に使うことにより、腕が水平から上あるいは下にずれてしまった場合でも手にかかる負荷、すなわち筋電位の振幅から重さを推定をするような事を検討する。

また筋電位を用いる際、筋疲労といった問題がある。このことにより計測する電位が変動し、正確に測れない。これらは持ち続けた時間も考慮にいれ、機械学習を行うことにより解決する可能性がある。また有用性がまだ少ないため、どのようなアプリケーションに利用したいかなどといった調査も行うことで有用性のさらなる検証が必要と考えられる。

今回は回帰のみで精度検証を行ったが大小関係が逆転するなど、実用レベルでの精度は出ていない。しかしながら重さがある範囲に分割し、分類する (例えば 0g~300g, 300g~600g など) ことにより、ユーザに対しある程度正確な大小関係を提示することは可能であると考えられる。今後は分類で行った場合どの程度の分類性能があるかの精度評価も行う。

参考文献

- [1] Assad, C., Wolf, M., Theodoridis, T., Glette, K. and Stoica, A.: BioSleeve: A Natural EMG-based Interface for HRI, *Proceedings of the 8th ACM/IEEE International Conference on Human-robot Interaction, HRI '13*, Piscataway, NJ, USA, IEEE Press, pp. 69-70 (online), available from (<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2447556.2447571>) (2013).
- [2] Brooke, J.: SUS: A Quick and Dirty Usability Scale, *Usability Evaluation in Industry* (1996).
- [3] Brooke, J.: SUS: A Retrospective, *J. Usability Studies*, Vol. 8, No. 2, pp. 29-40 (online), available from (<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2817912.2817913>) (2013).
- [4] Zhang, X., Chen, X., Wang, W.-h., Yang, J.-h., Lantz, V. and Wang, K.-q.: Hand Gesture Recognition and Virtual Game Control Based on 3D Accelerometer and EMG Sensors, *Proceedings of the 14th International Conference on Intelligent User Interfaces, IUI '09*, New York, NY, USA, ACM, pp. 401-406 (online), DOI: 10.1145/1502650.1502708 (2009).
- [5] 渡邊恵太, 松田聖大, 佐藤彩夏, 稲見昌彦, 五十嵐健夫: smoon: 計らなくて済むスプーン, インタラクシオン 2011 論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol. 2011, No. 3, 情報処理学会, pp. 271-272 (2011).
- [6] 木塚朝博, 木竜 徹, 増田 正, 佐渡山亜兵: 表面筋電図 (バイオメカニズム・ライブラリー), 東京電機大学出版局

(2006).

- [7] 尾高陽太, 渡邊恵太: Arctanbler: 空中でも水平を得られる計量カップ, インタラクシオン 2014 論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, 情報処理学会, pp. 612-613 (2014).
- [8] 古井陽之助, 前田環貴, 松本誠義: 講義画面の自動連続キャプチャを行う講義・学習支援システムとその評価実験, 火の国情報シンポジウム 2014, 情報処理学会, 8 pages (2014).