

手首形状変化による指の曲げ具合の推定 Estimation of finger bending by wrist shape change

電気電子情報通信工学専攻

小宮山 大地

Department of Electrical, Electronic and Communication Engineering Daichi KOMIYAMA

1. 緒言

1.1 研究背景

近年様々な場面でVRやARなどの利用が一般的になっている。IoTに関しても市場の拡大は続くと思われている。しかしながら、これらの今後普及していくであろう機器を操作するためのコントローラーは未だに手持ちタイプのコントローラーがほとんどである。そこで私は、ハンズフリーのコントローラーとして手首の形状変化に着目したウェアラブルコントローラーを提案する。

1.2 研究目的

現在手で持つタイプ以外の体の運動計測・推定の認識方法としてカメラ型筋電位型、などがある。これら手法の問題点は腕時計のように日常的に装着する習慣がないので煩わしい、決まった空間でしかできない。といった問題点がある。したがって本研究ではこのような問題点を解決するために手首にウェアラブルデバイス装着した接触型の計測手法を使用し手指の曲げ具合を推定することを目的としている。

本研究の手首を利用した手法と、現在存在する手持ちタイプ以外のコントローラーとして代表的なグローブ型、カメラ型、筋電位型などの性能を精度、mobility、コストの3つの面で比較した表をTable. 1.1に示す。本研究で提案する手首形状の変化を見る方式の特徴は、精度は良くないものの手首の部分に装着するためmobilityは良く、コストの面は低価格という特徴がある。腕の皮膚変化を利用した、先行研究も存在するが[1]、この研究では手の姿勢を推定しているもので、指の曲げ具合を推定している研究は現状ない状況である。そこで本研究は手姿勢の推定ではなく、曲げ具合の推定を目的としている。

Table.1.1 ジェスチャー認識方法の特徴

手法	精度	mobility	コスト
グローブ	○	×	×
筋電位	△	×	△
カメラ	○	×	○
手首形状	×	○	○

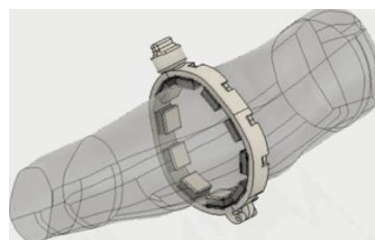


Fig1.1 先行研究

2. 原理

手指を屈曲させる筋肉には、深指屈筋、浅指屈筋、長母指屈筋がある。手指を伸展させる筋肉には、総指伸筋、示指伸筋などが存在する。指が屈曲した時のことを考えると指を曲げた場合、深指屈筋と浅指屈筋、長母指屈筋が収縮する。これによりこれら筋肉の筋腹あたりでは、断面積が増加し手首側では、各筋肉の断面積が減少する。よって、各筋肉の腱が筋腹側に移動するため、掌側の手首の皮膚は腱が出現する。反対に指を伸展させる場合、先に説明した総指伸筋、示指伸筋、小指伸筋、長母指伸筋、短母指伸筋、長母指外筋が収縮する。しかしこれら伸筋の手首周辺では、元々の断面積が小さいため手の後面における母指以外の伸展に伴う皮膚変化は少ない。結果的にすべての指を伸展させた場合とすべての指を屈曲させた場合を比較すると、手首付近では、筋肉の断面積が減少しそれに伴って手首全体での断面積も減少する。この変化

を計測することによって指の曲げ具合を推定する. 具体的なモデルはLandsmeer モデルを用いる. また本研究は、指の動かす筋肉を円錐と見立てている. Fig2 にモデルを示す.

joint をMP 関節、 θ は関節角度でありRはモーメントアームの長さであり一定値rは補間円の半径、 Δh は筋長の変位を表す. このモデルを使い、円錐の高さと底面の半径の比を 1:a とすると収縮時の筋肉の半径の変化は

$$\begin{aligned}\Delta r &= a\Delta h \\ &= ar_1\theta\end{aligned}$$

となる. 本研究はこの式の変形がどの指の屈曲でも起こると仮定している. この皮膚変化を赤外線近接センサレイを用いて計測する. Fig2.3 に作製したセンサを示す.

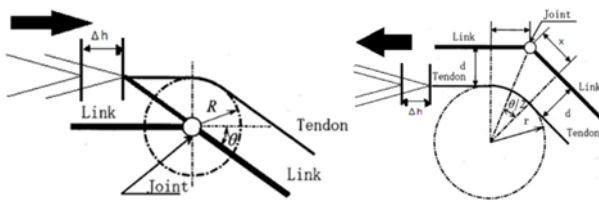


Fig2.1 Landsmeer モデル

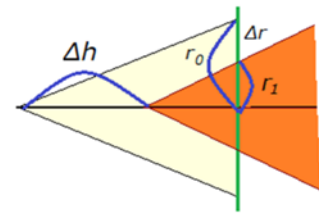


Fig2.2 手首における筋長と筋肉の変化

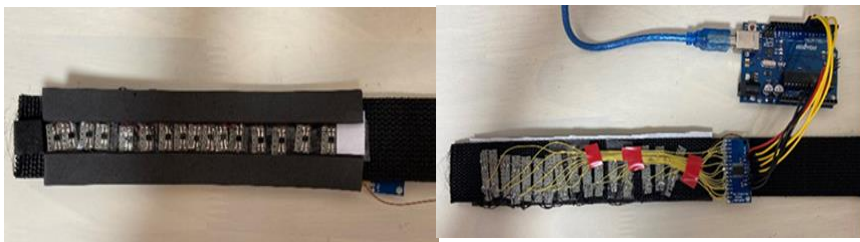


Fig2.3 作製したセンサ

3. 予備実験

3.1 指の屈曲推定のための手首の凹凸変化の測定

作製したデバイスを手首に装着してもらい手首表面でどの位置がどのように変化しているのか調べるため屈曲によるセンサの変化を調べた. 20回伸展と屈曲を行った時の変化量の平均を調べた.

この結果から、母指では、総指伸筋あたりと長母指屈筋あたりが最も変化する値が大きくなるということが分かった. 示指に関しては、S8～S11 までの指屈筋深部、浅指屈筋あたりが最も変化する値が大きくなることも確認できた. この結果から近郊にセンサを配置した「センサ位置1」と最も変化が激しい位置に限定した「センサ位置2」を配置しのちの実験で比較した.

3.2 屈曲に伴うセンサの変化量の関係

Fig3.1のようにグローブを身に着けて実験を行った. このグローブの基準点はPIP 関節に設定してある. 実験姿勢は椅子に座った状態で肘を90度に曲げた状態で行った. 期位置は指をすべて伸展させた状態で、Fig3.1の6箇所での基準点、15度刻みで指を90度曲げた. この過程を一回とし実験協力者2名にこれを10回行った. この動作におけるセンサ値の差分と相関関係を調べた. 結果として、2人の実験協力者の結果においてセンサ値が大きく変化する位置と相関係数が高い位置が一致していることが分かる. このことから、指の屈曲が手首の屈曲に影響を与えていることが分かる. また、この変化は指の屈曲動作量に対して直線的に近似できることを示している. また、相関が低く、線形に変化しないセンサがあることも分かった. この結果から、線形性を利用した推定方法「推定法1」と線形性がない場合でも推定を行うことができる「推定法2」を提案した.

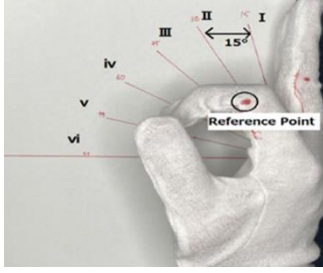


Fig3.1 グローブ, 基準点と点 I ~VI



Fig3.2 実験姿勢

4. 提案システム

本研究での提案システムの流れは全部で4段階ある。①センサデバイスによる計測、②センサデータのキャリブレーション、③データの加工、④推定である。①では作成したセンサデバイスを使用し指の屈曲による変化を計測する。②では指の動作の認識にあたり、本システムは指の動作に伴う各センサ値のサンプル波形を取る必要がある。③では、サンプル波形と推定用のセンサ値を比較することで指の移動量を推定することができる。④では得られた結果を元にサンプル波形と測定波形を比較し推定を行う。

推定法1はセンサデバイスにおける特定のセンサの値が、指の動作に伴い線形に変化することが確認された。この線形性を利用し、センサ値の変化の値から指の移動量を推定する。推定用のセンサの値を E_i サンプル波形の最大値を $Max(W_i)$, 最小値を $Min(W_i)$ とすると、式は、

$$H = \frac{\sum_{i=sensors} E_i - Min(W_i)}{\sum_{i=sensors} Max(W_i) - Min(W_i)}$$

となる。しかし、このアルゴリズムでは、指の屈曲による皮膚変化の線形性を利用しているため、複数の点で交わる場合推定をすることができない。そこで、その問題を解決するため推定法2を作製した。このアルゴリズムの手順を述べる。まず最初に、本システムはサンプル波形 W_i と推定用センサ値 E_i の交点を見つけ、そのサンプル点に対して重みをつける。この時の交点は、この時、交点が一つだけではなく複数の交点が見つかった場合重み点数をその句点で割った値を重みとしてつけるようにする。そして、このアルゴリズムは交点が重みの頂点になるように両端のサンプル点に重みをつける。各センサのそれぞれのサンプル点に関して重みが加算されていくと、計算された中で最も重みのある場所が大きいサンプル点が指の移動量と推定されるものとして決定される。以下にその式を示す。

$$(W_{i,t} = intersection_i) w_t = w_t + \frac{weight}{Num(intersection)_i}$$

$$\left(\frac{weight}{Num(intersection)_i} - x > 0 \right) w_{t \pm x} = w_{t \pm x} + \frac{weight}{Num(intersection)_i} - x$$

この $intersection_i$ はそれぞれのセンサにおける交点を表す。また、 $Num(intersection)_i$ はそれぞれのセンサにおける交点数を表している。次に、それぞれの交点の両端にサンプル点について重みを加算していく。この式においての x は交点からどの程度隣のサンプル点であるかを表している。最後に、この推定方法は w_t と1つ前のフレームの移動量を用いることで、推定を行う。

$$H_f = \frac{F(Max(w_t))}{Num(point)} \times 0.1 + H_{f-1} \times 0.9$$

この $F(Max(w_t))$ は最大の重みをもつサンプル点の箇所を示している。 $Num(point)$ はサンプル点の数を表している。

5. 評価実験

5.1 実験内容

作製したデバイスおよびアルゴリズムを用いて評価実験を行った。実験機器は作製した、ウェアラブル端末と、グローブを使用した。実験協力者は、健康的な大学生2名にたいして実験を行った。実験手順としては、センサデバイスにより指の屈曲による手首の凹凸変化を計測してキャリブレーションを行い、各指のサンプル波形を生成する。次に得られたデータがサンプル波形の帯域内に収まるように調整を行った後に推定を行う。以下の3つのパターンで比較を行った。

パターン1 : 「センサ位置1」で「推定法1」の時

パターン2 : 「センサ位置1」で「推定法2」の時

パターン3 : 「センサ位置2」で「推定法2」の時

このパターンでFig3.1のI～VIの点においてどの程度精度がでるのか評価を行った。

5.2 結果と考察

母指の結果をFig6.1に示指の結果をFig6.2に示す。結果として、母指のパターン1の場合は両者ともに高い精度で曲げ具合を推定することができた。パターン2で精度が下がり、パターン3で精度が上がっていることから、「推定法2」のアルゴリズムは、指の屈曲と関係ないところの皮膚の凹凸変化を計測してしまい、それが余分な重みになってしまい精度が低くなるのだと考えられる。このことはFig6.2の示指の場合でも同じことがいえる。点IIIや点IVなどで精度が下がってしまっている要因として考えられるのは、点IIIや点IVの箇所はセンサの値の変化量が多く、少し曲げ具合を変えるだけでセンサの値が大きく変わってしまうために認識精度が低下したものだと考えられる。示指の場合もパターン3がもっとも精度がよいという結果となった。示指の屈曲、伸展に使われる筋肉は主に深指屈筋、浅指屈筋、総指伸筋であり手首の中央あたりに集中しているが、この筋肉は長母指屈筋や短母指伸筋などと違い手首の深くに位置するため、個人差が大きい部位でもある。それゆえにパターン2では実験協力者Bの方で低い精度が出てしまったのだと考えられる。

	I	II	III	IV	V	VI
A	82.3%	80.3%	77.2%	80.2%	83.4%	84.3%
B	85.2%	81.6%	79.7%	83.2%	82.1%	81.2%

(a)パターン1の場合

	I	II	III	IV	V	VI
A	78.2%	79.4%	77.5%	76.5%	77.5%	78.5%
B	74.5%	76.5%	78.7%	79.6%	72.3%	76.6%

(b)パターン2の場合

	I	II	III	IV	V	VI
A	84.2%	82.2%	81.8%	82.1%	78.6%	80.1%
B	83.7%	85.6%	87.1%	82.1%	81.2%	82.4%

(c)パターン3の場合

Fig6.1 母指の場合

	I	II	III	IV	V	VI
A	85.5%	86.2%	80.1%	81.2%	78.1%	80.5%
B	78.1%	75.1%	71.1%	72.3%	75.3%	73.1%

(a)パターン1の場合

	I	II	III	IV	V	VI
A	85.2%	84.1%	83.5%	82.2%	81.4%	80.2%
B	71.1%	72.1%	74.2%	73.5%	72.1%	71.1%

(b)パターン2の場合

	I	II	III	IV	V	VI
A	86.2%	85.4%	84.8%	85.2%	86.6%	85.4%
B	82.7%	85.2%	87.4%	86.5%	85.2%	84.8%

(c)パターン3の場合

Fig6.2 示指の場合

参考文献

[1] Yufei Zhang, Bin Liu, Zhiqiang Liu Recognizing Hand Gestures With Pressure-Sensor-Based Motion Sensing Published in: IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems Volume: 13, Page(s): 1425 -1436