

手首の3次元的な動きの分析に基づく刺身を切る動作の特徴量抽出手法の検討

西 幸希^{†1} 梶 克彦^{†1} 水野 公博^{†2} 内藤 克浩^{†1} 中條 直也^{†1} 水野 忠則^{†1}

^{†1} 愛知工業大学情報科学部

^{†2} 三菱電機エンジニアリング株式会社

1 はじめに

近年ではスマートウォッチと呼ばれる腕時計型のデバイスやセンサグローブと呼ばれる手袋型のデバイスなど動作を取得できるウェアラブルデバイスが普及し始めている。それに伴い装着者の腕の動きを容易に取得可能となった。取得したデータはさまざまな用途で使用されている。例として、スポーツではアスリートの動きを詳細に計測してプロの動作と比較を行いパフォーマンスの向上や怪我の予防に役立てられている。また、医療分野では、患者のリハビリテーションや日常生活動作を監視するためにウェアラブルデバイスが使用されている。歩行解析や関節の可動域の測定を行い、回復状況の定量的に評価が可能となっている。従来の主観的な評価に比べて、より客観的で精密な技能評価が可能になっており、リハビリプランの最適化や治療の効果測定に役立てられている。

スポーツや医療のように専門的な動作の技能評価は進んできているが、日常生活に関係してくる動作を評価しているものはまだ少ない。日常動作の中で技能が必要となってくる動作の一つに調理があげられる。調理技能の評価においても、これらのデバイスを用いて調理動作を詳細に記録・分析を行い、上達の過程や改善点を客観的に捉えられる。例えば今と過去の自分を比較した場合、調理技術が向上しているのがわかりやすくなり、向上心が高まると考えられる。また熟練者と調理動作を比較した場合も改善点が見つかり調理技能の向上に近づけると考えられる。

そこで本研究では包丁を持った手の3次元的な動きをセンシングしたデータを用いて算出し、特徴量の抽出を目的とする。ウェアラブルセンサを用いて取得した加速度・角速度から使用者の腕の動きを3次元的に推定する。推定した3次元の動きを分析し切った回数や切るペースなどを抽出する。抽出した特徴量は過去の自分との比較や熟練者との比較により動作の改善を促進し、使用者の調理技能向上に使用できる。

2 関連研究

ウェアラブルデバイスを用いた技能評価や技能向上に関する研究がある。スマートフォン内蔵のセンサを使用して生活行動を推定する研究 [1] ウェアラブルセンサを用いたヤスリがけ動作の技能評価による熟達者の動作の再現に関する研究 [2], ウェアラブルセンサを用いた運転技能評価に関する研究 [3] などがある。これらの研究ではウェアラブルデバイスを用いて集めたデータをもとに技能評価を行い使用者の技術向上を目指している。本研究では調理動作を対象とする技能評価のための特徴量を抽出する。

調理行動の推定に専用の機材を用いる研究がある。包丁に直接加速度センサを取り付け包丁技術を判定する研究 [4], マルチモーダルセンシングによる料理中のマイクロ行動の認識を目指す研究 [5], 加速度センサを腕に取り付けて調理動作の判定を行う研究 [6] がある。これらの研究は主に調理機材やキッチン、人間にセンサ類を取り付けるなど、自作の装置を用いて調理動作を推定している。また、ウェアラブルデバイスを用いた調理の切る動作の分析の研究がある [7]。しかし、この研究では分析の際に加速度しか使

用していない。本研究ではウェアラブルデバイスに内蔵されている加速度・角速度センサを用いて調理動作の推定を行う。ウェアラブルデバイスを用いるとセンサ等を準備する必要がなくなり専門的な機材がなくてもデータの収集が可能である。

3 手首の3次元的な動きの推定に基づく刺身を切る動作の特徴量抽出

本研究による提案手法は図1に示すとおり、スマートウォッチでセンシングを行なったデータから算出した3次元的な動きをもとに特徴量の抽出を行う。先行研究 [7] では加速度のみを用いて推定するものもあるが、まな板との衝突時の加速度をもとに特徴量を抽出するため加速度変化の少ない静かな動作に弱い。静かな動作のためにうまく取得できない例として刺身を切る動作があげられる。そこで本研究では加速度・角速度センサから取得したデータをそのまま使用せず3次元的な動きを推定する。3次元的な動きを使用すると奥から手前に腕を動かす動作をもとに特徴量を抽出できるようになる。

本研究では先ほど例にあげた刺身を切る動作の評価を対象とする。切る動作から抽出をする特徴量は切った回数・切るペース・刃の角度である。切った回数が身の分厚さ、切るペースが手際の良さ、刃の角度が切り方の評価基準となる。他にも特徴量として扱えるデータは存在するが、検証のためこの3項目について検討を行う。

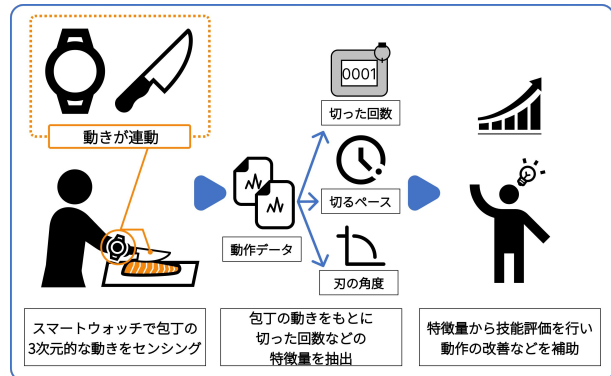


図 1: 本研究の概要図

3.1 データの収集

本研究ではウェアラブルデバイスとしてスマートウォッチを使用した。ウェアラブルデバイスの中にはセンサグローブやスマートリングなども存在している。調理を対象とした動作の取得には指先の動作まで取得可能なセンサグローブが理想である。しかし一般的に普及しておらず、専門家ではない一般の人を対象とする本研究には向かない。一般に普及し、また料理という環境から防水性に優れたスマートウォッチを採用した。センシングにはカメラを用いる手法も存在するが、本研究では使用しない。理由として、調理動作中の手の動きは立体的な動きであるため、複数視点から

撮影を行う必要がある。そのためカメラを複数用意したり、位置を固定が必要になったりデータ収集が複雑になり一般人に使わせるには難しいからである。

基本的な包丁の握り方では図 2 のようにウォッチの向きと包丁の刃の向きが連動する。スマートウォッチと包丁の動きは連動し

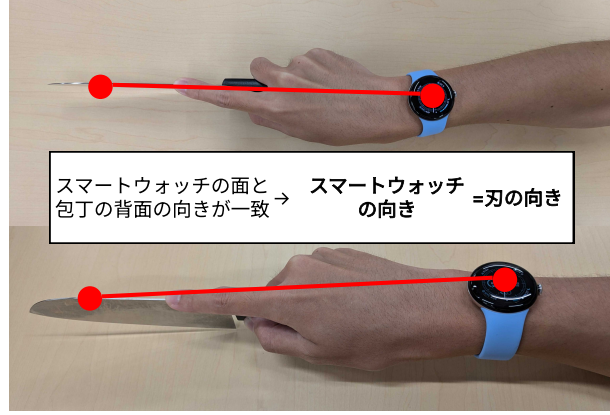


図 2: スマートウォッチと刃の向きの変動

ているため、包丁を持つ側の手首の動きをセンシングしデータを収集する。収集したデータは今後使用しやすいようにネットワークを介してオブジェクトストレージサーバへ蓄積する。

3.2 3次元の動きの推定

本研究では取得した角速度と加速度に Madgwick フィルタを用いてセンサフュージョンを行い、回転量をクォータニオンとして導出している。他の候補としてカルマンフィルタがあるがモデルの構造が不明な場合に高精度を実現するのが難しい。Madgwick フィルタは事前に求めておくべきパラメータが少なく処理が高速な特徴がある。将来的にリアルタイムでの推定を見据え高精度なフィルタ処理と計算速度の観点から Madgwick フィルタを採用した。

クォータニオンとは回転の量を表すものである。クォータニオンはオイラー角や回転行列と相互に変換可能であり、上下がわからなくなるジンバルロックという現象が発生しない特徴がある。求めた回転量を使用して重力加速度を導出し、加速度から重力加速度を取り除き線形加速度を導出する。しかしこのままでは相対座標に基づいた移動のため、端末の姿勢を変化させながら動かすと異なる座標軸での移動と検出される。そこで式 (1) を用いて相対座標から絶対座標への変換を行う。

$$\mathbf{a}_{\text{abs}} = \mathbf{q} \cdot \mathbf{a}_{\text{rel}} \cdot \mathbf{q}^{-1} \quad (1)$$

絶対座標へ変換すると端末の姿勢が変化した際にも同じ方向に対する移動として検出可能となる。求めた絶対座標での線形加速度を二重積分して移動距離を導出している。しかし、このままでは積分により図 3 のように誤差が蓄積するため正しい移動距離が推定できていない。そこでハイパスフィルタを用いて積分誤差の軽減をしている。角度は次の式をもとにクォータニオンから変換を行なっている。

$$\text{Roll} = \tan^{-1} \left(\frac{2(wx + yz)}{1 - 2(x^2 + y^2)} \right) \quad (2)$$

$$\text{Pitch} = \sin^{-1} (2(wy - zx)) \quad (3)$$

$$\text{Yaw} = \tan^{-1} \left(\frac{2(wz + xy)}{1 - 2(y^2 + z^2)} \right) \quad (4)$$

式 (2)・式 (3)・式 (4) がそれぞれ X 軸・Y 軸・Z 軸の角度を表している。図 2 のように端末と包丁の動作は連動しているため、本推定手法により包丁の移動・角度を求められる。

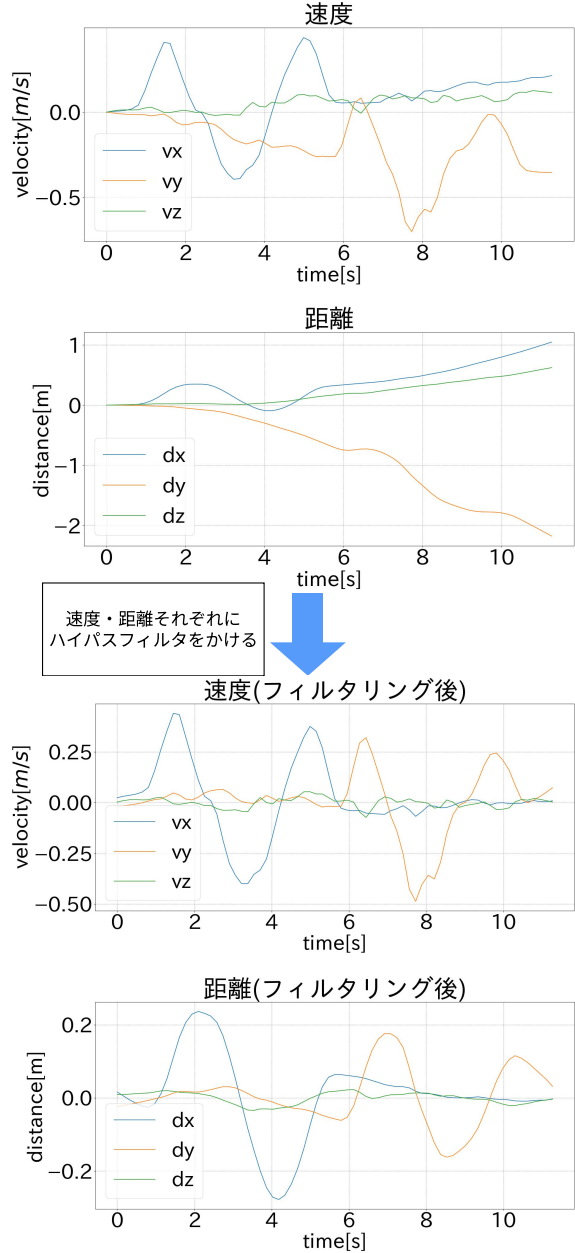


図 3: 積分による誤差と誤差の軽減

3.3 特徴量の抽出

推定した 3 次元の動きをもとに特徴量の抽出を行う。刺身を切る動作は奥から手前に包丁を引く。この動きは Y 軸方向の移動として検出される。そこで極値処理を行い一番奥に包丁を構えた動作から包丁を引き切る動作までを一回の切り込みと定める。また、その際にかかった時間の平均値を切るペースとする。一番奥に構えたところから包丁を引き切ったところまでの区間内での角度の平

均を求める。区間内での平均の角度から一回の切り込みにおける刃の角度を求める。

切った回数が他の人より多い場合は切った食材の幅が小さい可能性があり、逆に少ない場合は幅が大きい可能性がある。切るペースが他より早い場合は手際が良く、逆に遅い場合は手際が悪いと評価できる。包丁を入れた角度は、切る手法の推定に利用できる。刺身を切る動作の中には刃の角度をつけずに厚めに切る平造りや、斜めに刃を入れて断面を広く切るそぎ切りなどがある。これらの切り方は主に刃を入れる角度の違いによるものであるため、刃の角度から切り方を推定できる。このように抽出した特徴量から調理技能の評価を行う。

4 評価実験

本実験では3章で述べた特徴量抽出手法を刺身を切り分ける動作に対して行い、抽出した特徴量が調理技能の評価に利用できるかの確認を目的とする。実験内容として刺身を切り分ける動作のセンシングを行う。取得したデータをもとに3次元的な動きを推定し、特徴量の抽出を行う。抽出した特徴量から調理技能の評価を行う。本章では各節において実験の流れについて述べる。

4.1 実験設定

加速度と角速度を収集する自作アプリを起動したスマートウォッチ（PixelWatch2）を包丁を握る側の腕に装着しセンシングを行う。被験者は10cmほどの魚の柵を刺身に切り分ける調理切る手法を変えて2回行う。柵は体に正対するように置く。刺身を切る動作は刃を入れる角度による断面の変化や包丁を引く回数から切り分けた身の厚さなどの複数の評価基準が得られる。

また、実際に切った区間のラベリングのために動画を撮影しながらデータ収集を行った。後ほど切った区間のラベリングと推定した切っている区間が一致するかの確認に使用する。

4.2 実験結果

結果として得られた包丁の動作の一例として1回目のデータを表したグラフを次の図4に示す。このデータは3章で述べた推定手法を用いて求めた端末の回転量から変換した角度と移動を表している。誤差の軽減のためにハイパスフィルタを使用した。赤くラベリングされている部分が刺身を切り分けている動作である。また、青くラベリングされている部分は包丁を持つ動作と置く動作である。

3次元的な動きを扱うにあたりグラフで可視化しても分かりづらいため、手首の動きを画面上に再現するシステムを作成した。作成した回転と移動を3次元空間での可視化を行うシステムが図5である。この可視化システムによって、現実の動きとの比較が容易になり抽出しやすくなる。

切り分けている動作と準備動作のラベルは撮影した動画から手入力している。動画との同期は3次元空間での可視化システムで見比べて行う。特に変化が見られたY座標軸の移動距離と切ったタイミングの推定を表したグラフが図6である。

まずは切った回数の推定を行う。動画によるラベリングとデータにより、切る際には一度奥(+)方向へ移動してから手前(-)方向へ移動しているとわかる。そのため今回は極値検出を用いて切った回数の推定を行う。切る際にメジャーを用いて手首の移動距離を調べ、一番動かしなかった切り込みを基準に閾値を2cmと定めた。閾値以上となった極大値から次の極大値までの区間内で一番値が小さな極小値までで1回切ったと推定する。その結果を

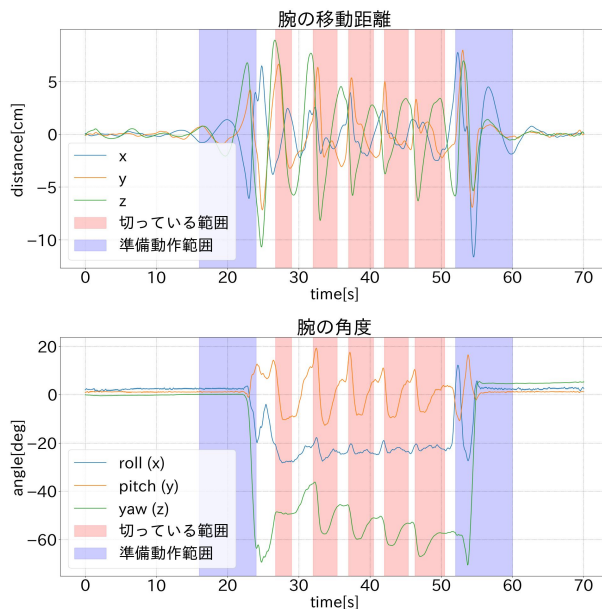


図 4: 刺身を切る際の3次元的な動作のグラフ

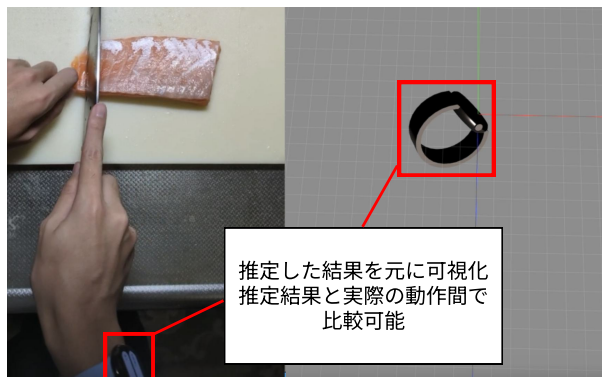


図 5: 3次元空間での可視化システム

図6で「切り始め」と「切り終わり」として表している。結果から切ったと推定した部分とラベリングを行った区間が一致した。以上より、切る動作を推定できた。しかし包丁を持つ動作と置く動作も切っている部分と判定されてしまう場合があるため、あらかじめ包丁を持ってからセンシングを始めるなど改善する必要がある。次に平均ペースを求める。切るペースは一回毎の間の秒数を利用する。また、その際の Roll(x) 軸での平均角度も特徴量として使用する。

包丁を持つ動作と置く動作を除いたデータの特徴量を表1、同様の手順で推定したデータを表2に示す。表1は切った回数と推定結果が一致したが、表2では1回多く推定された。

表1、表2の結果から得られた特徴量は次のような評価の基準になる。まず切った回数から刺身の厚さが算出できる。表1のデータの場合5回切っているため6枚の刺身ができています。切った柵が10cm ため10cmを6等分した結果一枚約1.6cmとわかる。表2の場合10cmを8等分し約1.3cmとなる。次に切るペースから手際の良さが算出できる。表1の場合は平均ペースが3.12秒、表2の場合2.35秒と2回目の方が手際が良いとわかる。最後に切る際の角度から切り方が推定できる。表1の場合は柵に対

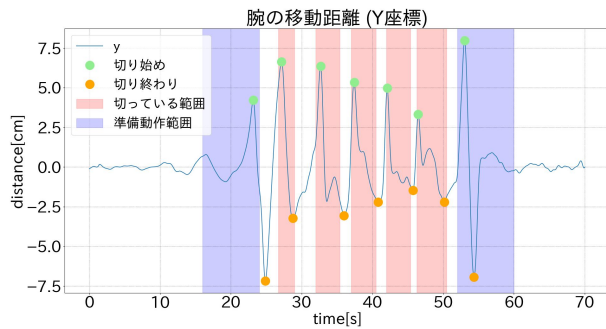


図 6: 推定結果のグラフ

表 1: 平造りの特徴量

切った回数	かかった時間 (s)	角度の平均 (deg)
1	1.61	-27.42
2	3.30	-24.51
3	3.38	-23.70
4	3.62	-22.95
5	3.70	-21.84
全体の平均	3.12	-24.08

して垂直な状態から右に 24 度ほど角度をつけて切っている。そのため厚めに切る手法である平造りであると推定できる。表 2 の場合だと柵に対して垂直な状態から右に 44 度ほど角度をつけて切っている。そのため断面を広めに切る手法であるそぎ切りであると推定できる。

実験より本研究で抽出した特徴量は刺身を切る動作において調理技能の評価に利用できると考える。

5 おわりに

本稿では、包丁を持った手の 3 次元的な動きをセンシングしたデータを用いて算出した特徴量の抽出を目的としている。抽出した特徴量は過去の自分との比較や熟練者との比較により動作の改善を促進し、使用者の調理技能向上に使用する。アプローチとしてウェアラブルセンサを用いて取得した加速度・角速度から使用者の腕の動きを 3 次元的に推定する。推定した腕の移動・角度などの 3 次元的な動きを使用して刺身を切る動作における特徴量を抽出している。抽出した特徴量は切った回数・切るペース・刃を入れた角度の 3 項目である。抽出した特徴量をもとに刺身の厚さや手際の良さ、どの手法で切ったかなどの評価を行う。本手法の評価実験を行い刺身を切る動作における特徴量を抽出した。結果として動画から求めた切る区間と提案手法で求めた切った区間が一致した。実験より本研究で抽出した特徴量は刺身を切る動作において調理技能の評価に利用できると考える。

今後の課題として特徴量をもとにした他者との比較や他の調理行動への応用、誤判定への対応の 3 つがあげられる。

1 つ目については、今回の調査では特徴量を抽出したのみで他者との比較から調理技能の向上につながるかは検証できていない。検証のためには他者との比較から調理に対する意識の変化など調理技能の向上と関係する変化が見られるか実験を行う必要がある。

2 つ目の他の調理行動への応用については特徴量の抽出は切る動作しか行っていないため他の調理動作でも特徴量を算出できるかについて調査する必要がある。炒める工程・混ぜる工程などが

表 2: そぎ切りの特徴量

切った回数	かかった時間 (s)	角度の平均 (deg)
1	1.77	-38.77
2	1.77	-42.96
3	3.54	-41.48
4	3.26	-40.95
5	3.54	-48.33
6	0.64	-46.57
7	1.96	-50.49
全体の平均	2.35	-44.22

あるためそれぞれについて調査する。

最後に、包丁を持つ際などの動きが切っていると誤判定される問題がある。そのため、センシング開始前に包丁をあらかじめ持っておくなどの対策を行う必要がある。その際安全性にも考慮する必要があるため切り始める前と後に包丁を持った状態でも行える安全なジェスチャーを考える必要がある。

また今後の展望として特徴量を抽出する際に使用した 3 次元空間での可視化システムは結果のフィードバックへの応用を検討する。抽出した特徴量のみでなく調理動作そのものを可視化して他者との比較を行う。これにより特徴量を可視化するだけの場合と意識の変化の違いが見られるか検討できる。

参考文献

- [1] 大内 一成, 土井 美和子: 携帯電話搭載センサによるリアルタイム生活行動認識システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 7, pp. 1675-1686 (2012).
- [2] 榎堀 優, 間瀬 健二: ウェアラブルセンサを用いた熟練指導員のヤスリがけ技能主観評価値の再現, 人工知能学会論文誌, Vol. 28, No. 4, pp. 391-399 (2013).
- [3] 多田 昌裕: 実世界に広がる装着型センサを用いた行動センシングとその応用: 6. 装着型センサを用いた運転者行動センシング, 情報処理, Vol. 54, No. 6, pp. 588-591 (2013).
- [4] 小林 花菜乃, 加藤 岳大, 横窪 安奈, ロベズ ギヨーム: 加速度センサを用いた包丁技術向上支援システムの提案, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム論文集 (DICOMO2020), Vol. 2020, pp. 1000-1003 (2020).
- [5] 石山 時宗, 松井 智一, 藤本 まなと, 諏訪 博彦, 安本 慶一: マルチモーダルセンシングに基づく料理中のマイクロ行動認識の提案, 情報処理学会関西支部支部大会講演論文集, Vol. 2021, (2021).
- [6] 大神 健司, 飛田 博章: 手首装着型の加速度センサを用いた実時間調理行動認識手法の実現, 人工知能学会全国大会論文集, Vol. 37, (2023).
- [7] Ayato Kumazawa, Fuma Kato, Katsuhiko Kaji, Nobuhide Takashima, Katsuhiro Naito, Naoya Chujo, and Tadanori Mizuno: Analysis and Sharing of Cooking Actions Using Wearable Sensors, *International Workshop on Informatics*, Vol. 17, (2023).