

手首の3次元的な動きの分析による調理行動の推定手法の検討

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、回復状況を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、向上心が増加すると考えられる。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のではないかと考えられる。

そこで本研究では取得したデータの分析・加工を行い使用者の技能評価を行う。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、使用者の調理技術向上を目的とする。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データ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次元の動きから調理動作の特徴量を抽出する。

2 関連研究

本章では関連研究についてウェアラブルデバイスを用いた技能評価や技能向上・調理行動推定に分けて説明する。それぞれの節で本研究との関わりを述べる。

2.1 ウェアラブルデバイスを用いた技能評価

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] や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] や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の技能評価による技能向上を目的としてウェアラブルデバイスを使用する。

2.2 調理行動推定の研究

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] や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] や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。これにより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 ウェアラブルデバイスの3次元的な動きの推定

図1に本研究の全体像を示す。各節では全体像内の「データの収集」「データの分析」「データの可視化」について述べる。

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。1章で述べたようにウェアラブルデバイスの中にはセンサグローブやセンサリングなども存在している。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り料理という環境から防水性のあるスマートウォッチを採用した。また、カメラを使わない理由としては、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ためである。

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、推定できる動作がかなり限定的である。そこで加速度・角速度を組み合わせて、3次元的な動きを算出し調理技能の分析に使用する。

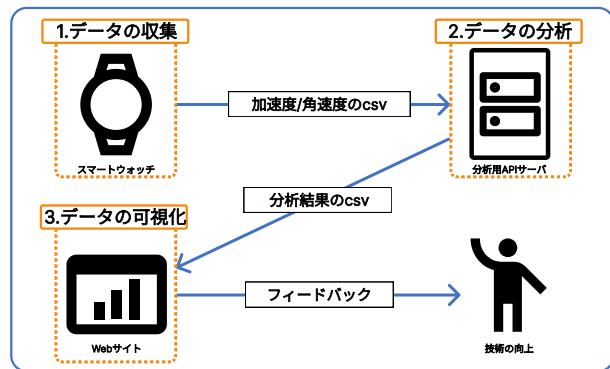


図 1: 本研究の概要図

3.1 データの収集

スマートウォッチでセンシングを行うアプリを自作し取得した加速度・角速度を使用して推定を行う。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一致する。そこで収集するデータとしては、包丁を持つ側の手首の動きをセンシングしたものを収集する。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ーへ蓄積する仕組みとなっている。

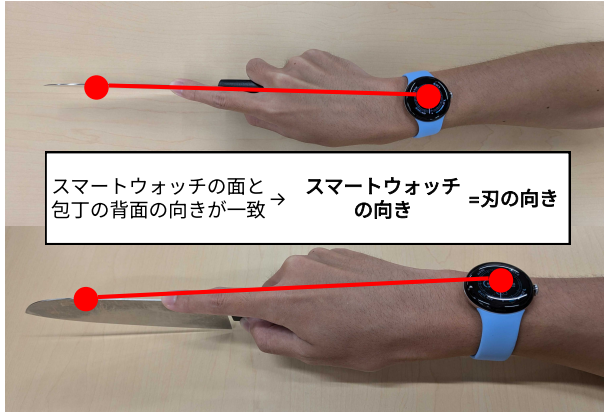


図 2: スマートウォッチと刃の向きの相関

3.2 データの分析

本節ではオブジェクトストレージサーバーから呼び出したデータを用いた端末の回転量と移動の推定について述べる。

今回は角速度と加速度に 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。そのため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、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している。しかしこのままでは相対座標に基づいた移動なので、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。そこで次の式を用いて変換を行う。

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

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しており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。角度について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。

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

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

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

Roll・Pitch・Yaw 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。

3.3 データの可視化

分析されたデータを比較し、結果を表示する。過去の自分や他者との比較から調理技能の向上を目指す。

比較について、切る工程を例に述べる。特徴量として切った回数・切るペース・包丁を入れた角度などがある。切った回数が他

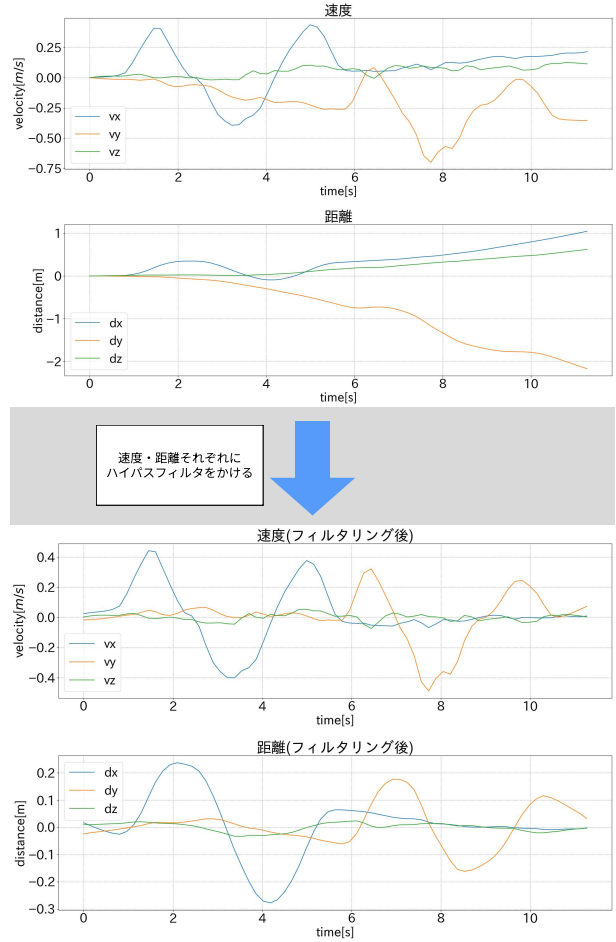


図 3: 積分による誤差と誤差の軽減

の人より多い場合は切った物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い、逆に遅い場合は手際が悪いと考えられる。包丁を入れた角度からは、切った対象の断面の面積に関係している可能性があり、切る際の重要な要素の一つであると考えられる。このように複数のデータから調理技能の比較を行う。利用者は比較結果から数値化された自身の調理技能や改善点がわかり、今後の調理技能の向上を促進する。結果の表示方法については特徴量別に順位をつけるものや個別での比較などが考えられる。今後他の方法がないかを検討する必要がある。

4 刺身の平造り動作の分析

調理動作の分析について刺身を切り分ける工程を例にして、どのような特徴が見られるかを調べた。

4.1 調査内容

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 ほどの魚の切り身を刺身に切り分ける調理を行う。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分厚さなどの複数の評価基準が得られる。また、データ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。

4.2 調理動作の分析

結果として得られた包丁の動作の一例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

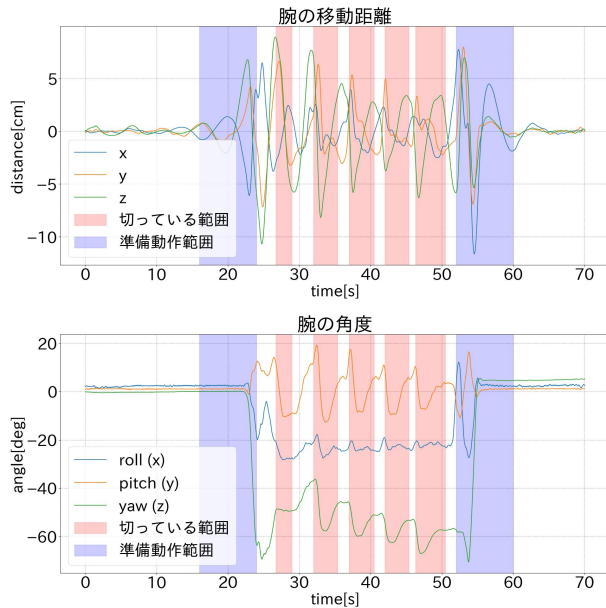


図 4: 切るの動作のグラフ

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わかりづらい。そこで求めた回転と移動を3次元空間での可視化を行う図5のようなシステムを作成した。この可視化システムによって、現

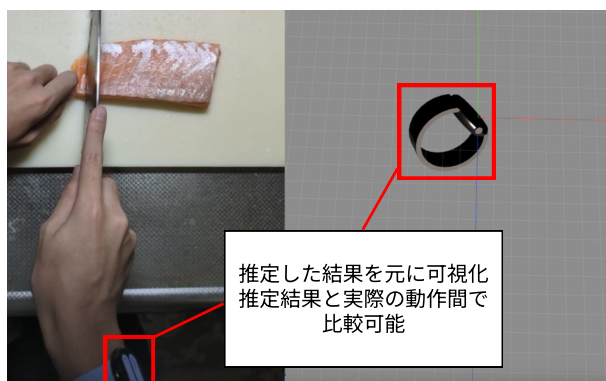


図 5: 3次元空間での可視化システム

実の動きとの比較が容易になり特徴量の抽出を行いやすくなった。

調理工程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っている。特に変化が見られたY座標軸の移動距離と推定した切ったタイミングを表したグラフが次の図6である。

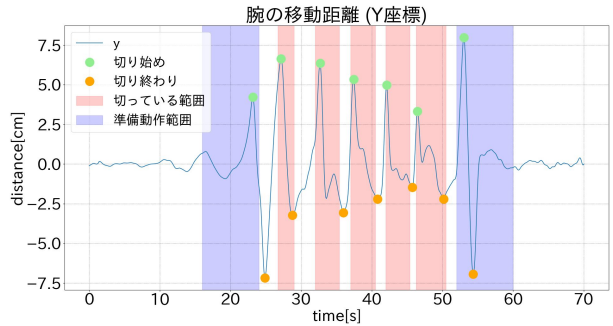


図 6: 推定結果のグラフ

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な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1回1回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。今回のデータの特徴量を包丁を持つ動作と置く動作を除きを表にしたものを次の表1に示す。表1の結果から得られた

Table 1: 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

特徴量は次のような評価の基準になると考えられる。まず切った回数から刺身の厚さ、平均ペースから手際の良さ、切っている際の包丁の角度から断面の大きさなどを算出できると考えられる。また、今回は参照していないが距離に変換する前の線形加速度を参照し一回の切り込み時の包丁のブレ等も算出可能と考えられる。

5 おわりに

本章では本論のまとめと今後の課題について述べる。

5.1 まとめ

本研究では調理動作のデータを分析し使用者の技能評価を行い、過去の自分との比較や熟練者との比較により調理技能向上を目的としている。アプローチとしてウェアラブルデバイスを用いて調理作業のデータから腕の動きを算出し特徴量の抽出に利用している。研究の全体像として「データの収集」「データの分析」「デー

タの可視化」の項目に分けられる。スマートウォッチを使用し取得した加速度・角速度をもとに腕の動きを算出している。算出した腕の移動・角度を使用して調理動作における特徴量を抽出している。抽出した特徴量の可視化を行い調理技能の向上を促す。基礎検討として切る工程における特徴量の抽出を行った。その結果得られた特徴量をもとに技能の評価や比較が可能と考えられる。

5.2 今後の課題

今後の課題として抽出を行った特徴量をもとにした他者との比較がある。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。

特徴量の抽出については切る動作のみ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・混ぜる工程などがあるのでそれぞれについて調査する。

切る動作においても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残っているため、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については結果のフィードバックに使用できる可能性がある。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に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, ロペズ ギョーム: 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 2164 論文集, 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, 2021 年度 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