

2017 年度 卒 業 論 文

リアルタイム 3DCG 内の包丁操作における
包丁位置の検知に関する研究

指導教員：渡辺 大地 准教授

メディア学部 ゲームサイエンス プロジェクト

学籍番号 M0114213

澁澤 直樹

2018 年 3 月

2017年度 卒業論文概要

論文題目

リアルタイム 3DCG 内の包丁操作における
包丁位置の検知に関する研究

メディア学部

学籍番号：M0114213

氏名

澁澤 直樹

指導
教員

渡辺 大地 准教授

キーワード

包丁操作、LeapMotion、CG、センシング、ジェスチャー操作

近年、コンピュータ上で調理体験ができるシミュレーションもしくはシミュレーションゲームといった料理を学ぶコンテンツが増加している。これらの仮想空間上の調理体験は「料理を楽しみながら覚える」という目的のために有用であるといえる。しかし、包丁操作の調理体験ができるシミュレーションもしくはシミュレーションゲームは数が少ないのが現状である。「VR Sushi Bar」という VR 寿司シミュレーションゲームでは、仮想空間上に表示された巻き物を包丁モデルを操作して切るといった包丁操作の体験ができるが、本来の包丁の握り方でなくても、包丁操作を行ってしまうという正しい包丁表現がなされていない問題がある。この問題点を通して、本来の包丁の握り方で握ることで、コンピュータ上で握り方に合った包丁の位置や方向を指定する必要があると考えた。

本研究は包丁操作において正確な包丁の位置を検知し、正しい包丁の握り方をすることによって、リアルタイム 3DCG 内で包丁操作を可能にすることを目的とする。包丁や手の動きをセンシングすることで正確な位置情報を取得し、デジタル上で反映した。

本研究では握った包丁の正確な位置を算出し、正しい包丁の握り方をすることによって、リアルタイム 3DCG 内で包丁操作を可能にするシステムを提案した。その結果、本研究の提案手法を用いたことで指差し型と呼ばれる握り方において包丁の位置を表示することが出来た。また、包丁操作をすることでデジタル上でオブジェクトの切断が可能なシステムが構築できた。最後に、構築したシステムの検証と考察を行い、本研究の提案手法を用いて実際に包丁を握るときと同じ位置にリアルタイム 3DCG 内で包丁を表示させることに成功した。しかし、素早く手を振る・手を重ねる等の行為をすると、指の検知が乱れる・検出精度が低下することを確認した。これらの問題点を解決することが今後の課題となった。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究目的と背景	1
1.2	論文構成	3
第2章	包丁の持ち方・握り方について	4
2.1	概要	4
2.2	分析・解説	4
第3章	提案手法	9
3.1	手法の概要	9
3.2	LeapMotion の解説	9
3.2.1	LeapMotion により検出した情報	11
3.2.2	ジェスチャー	13
3.3	包丁の位置推測方法	14
3.4	切断対象オブジェクト	15
第4章	検証と考察	17
4.1	検証	17
4.2	考察	19
第5章	まとめ	20
	謝辞	22
	参考文献	23

目 次

2.1	押さえ型	7
2.2	握り型	7
2.3	指差し型	7
2.4	逆包丁型	7
2.5	皮むき型	8
2.6	ペンシル型	8
3.1	LeapMotion	10
3.2	LeapMotion 手の認識	11
3.3	掌の中心位置、法線ベクトル、指が指す方向のベクトル	12
3.4	LeapMotion の座標軸	12
3.5	LeapMotionSDK が提供している 4 つのジェスチャー	13
3.6	包丁操作が可能になる手の形	14
3.7	使用した包丁モデル	14
3.8	包丁モデルが表示する位置の条件	15
3.9	カット面	15
3.10	切断対象オブジェクト	16
3.11	切断対象オブジェクト:切断の流れ 1	16
3.12	切断対象オブジェクト:切断の流れ 2	16
3.13	切断対象オブジェクト:切断の流れ 3	16
4.1	起動画面	18
4.2	包丁位置の検知前	18
4.3	包丁位置の検知後	18
4.4	包丁操作前	18
4.5	包丁操作後	18

4.6	素早く手を振った場合の検知ミスの様子	19
4.7	添え手をした場合の検知ミスの様子	19
5.1	手の検知が乱れる例	21

第 1 章

はじめに

1.1 研究目的と背景

現在までの調理において食材を切断もしくは加工するために使用される刃物は包丁である。包丁操作を身につけるにはより多くの料理経験を積むことにより習得できる。また、調理技術の習得を目指すために、調理の授業実践を行った神谷ら [1] の研究や森ら [2] の研究が存在する。現在、調理済み食品といった加工食品の発展に伴い、加工食品の消費量は特に若年層ほど増加傾向にある [3]。その影響を受けて、家庭で食材から調理を行う機会が減少し、調理に対する意識や調理技術の低下に繋がるものだと考えられる。

近年、コンピュータ上で調理体験ができるシミュレーションもしくはシミュレーションゲームといった料理を学ぶコンテンツが増加している。これらの仮想空間上の調理体験は「料理を楽しみながら覚える」という目的のために有用であるといえる。しかし、包丁操作の調理体験ができるシミュレーションもしくはシミュレーションゲームは数が少ないのが現状である。包丁操作の調理体験ができるシミュレーションゲームの一例として「VR Sushi Bar」 [4] という VR 寿司シミュレーションゲームを挙げる。「VR Sushi Bar」では、仮想空間上に表示された巻き物を包丁モデルを操作して切るといった包丁操作の体験ができるが、本来の包丁の握り方でなくても、包

丁操作を行ってしまうという正しい包丁表現がなされていない問題がある。この問題点を通して、本来の包丁の握り方で握ることで、コンピュータ上で握り方に合った包丁の位置や方向を指定する必要があると考えた。

先行研究では、加藤ら [5] が焼き炒め調理を対象としたインタラクティブな調理体験シミュレータを提案している。この研究で調理操作が及ぼす影響が分かり、経験を積んだり・訓練をすることができる両手で操作可能な調理シミュレータを構築している。しかし、加藤らの研究は調理における熱加工に対する研究であり、包丁操作に関しては考慮していない。また、包丁操作について、由良ら [6] は 6 軸モーションセンサーを用いて包丁技術の可視化を行っている。包丁の柄と同程度の大きさのセンサーモジュールを作成し、利用することで包丁操作の特徴を捉え、可視化できる可能性が示された。この研究で特徴的なのは、センサーモジュールを包丁の刃側と柄側の動作を同時に記録することができるように装着し、包丁操作時の加速度・角速度のパワースペクトルを記録し、包丁操作の可視化を試みた点である。しかし、この研究は包丁操作時の情報の記録のみで包丁の握り方に関しては考慮していない。LeapMotion[7] と呼ばれる入力機器に関連する研究では、LeapMotion コントローラーの精度と正確さの分析についての論文を Weichart ら [8] が発表している。この論文で LeapMotion により検知される指や道具など座標の変化の精度は 0.2 ミリメートルであることが確認されている。また、LeapMotion を利用した、細野ら [9] や大西 [10] のジェスチャ操作による文字入力方法や岩谷ら [11] のエア楽器演奏システムの提案、安部ら [12] のタイピング手法の比較と視覚的フィードバックを含む空中タイピングの開発といった研究が存在する。これらの研究では LeapMotion を用いて検知される両手の指の本数や、動作の違いを利用したシステムの実装を行っている。これらの LeapMotion に関連する研究を通じて、手の情報をより正確に検知するためには LeapMotion が有用であると言える。また、手の情報を検知するための入力機器としてデータグローブ [13] と呼ばれるモーションキャプチャシステムがある。しかし、データグローブ単体では山根 [14] の手法を通じて指の曲がり具合や指同士の動き、手首の

角度といった手の姿勢の情報を検知できることが確認できるが、手の上下左右・前後の動きは検知することが出来ない。本研究ではコンピュータ上で包丁操作を行えるようにするため手の上下左右・前後の動きも正確に捉えることが出来る LeapMotion を採用した。

そこで本研究は包丁操作において握った包丁の正確な位置を検知し、正しい包丁の握り方をすることによって、リアルタイム 3DCG 内で包丁操作を可能にすることを目的とする。また、本研究では LeapMotion と Unity[15] を用いて、握った包丁の正確な位置を算出し、正しい包丁の握り方をすることによって、リアルタイム 3DCG 内で包丁操作を可能にするシステムを構築した。正しい握り方をすることでリアリティを出すことが出来る上、握り方の理解を深めることが出来ると考えた。その結果、指差し型と呼ばれる握り方において、実際に包丁を握るときと同じ位置にリアルタイム 3DCG 内で包丁を表示させることに成功した。しかし、素早く手を振る・手を重ねる等の行為をすると、指の検知が乱れる・検出精度が低下することを確認した。

1.2 論文構成

本論文は全 5 章で構成されている。2 章で包丁の基本的な使い方について述べる。3 章で本研究の提案手法を述べ、4 章では検証と評価結果・考察を行い、5 章でまとめと今後の展望を述べる。

第 2 章

包丁の持ち方・握り方について

本章では包丁の持ち方・握り方について述べる。2.1 節で包丁の持ち方・握り方の概要を述べ、2.2 節では包丁の持ち方・握り方の分析・解説を行う。

2.1 概要

調理器具「包丁」は料理を作るときに最も欠かせない道具である。包丁の切り方や持ち方によって食材の味に差が出ると言われており、同じ包丁でも食材により握り方を変え、様々な調理に使っていきなしていく。また、包丁を使うときは正しい姿勢で立つことも大切である [16]。正しく構えることによって、包丁をスムーズに動かすことが可能になる。

2.2 分析・解説

包丁には用途に合った握り方 [17] が存在する。持ち方を使い分けることにより、思いのままに包丁を扱うことができ、性能を引き出すことができる。また、正しい包丁の持ち方は包丁に正確に効率良く力を伝えられるだけでなく、長時間の作業でも疲れにくい利点がある。数ある包丁の持ち方・握り方の特徴や解説を以下に記す。

- 押さえ型

一般的な持ち方で、人差し指と親指で刃を挟んで安定させ、力が入っても包丁が不安定にならないようする。力が入りやすいため、筋や強い繊維のある食材を切るのに最適である。

次に、包丁の刃を左横向きにして、右手の人差し指の付け根に包丁の刃と柄の継ぎ目が来るようにして持ち、人差し指に包丁の腹を乗せ、親指で反対側を押さえるように握る。

切る時は刃を大きく動かすように心掛けて、食材に包丁を入れ、切ることが大切である。図 2.1 は押さえ型の画像である。

- 握り型

普通に包丁を握った一般的な握り方である。キャベツの千切りなどといったリズムカルに細かく包丁を動かすような場合に適している。この持ち方は洋包丁、出刃包丁、菜切包丁を使う時にする事が多い。

次に、握り型の握り方の手順を解説する。包丁の刃を下向きにして、柄を握り、親指と人差し指で包丁の刃が刺さっている部分付近の柄をしっかりと挟む。また、包丁が動かないよう固定する。

切る時は手全体でしっかり握り、細かい上下運動で包丁が動かないよう操作する。図 2.2 は握り型の画像である。

- 指差し型

包丁のみねという刃の反対側の、包丁の背中にあたる部分に、人差し指を乗せ、残りの指で柄を握る握り方である。柔らかいものや、滑りやすいものを切るときに使い、手前に引くように動かすことが多い。人差し指を支えに使用するので、微妙な力加減ができ、正確で繊細な切り方に適している。

次に、指差し型の握り方の手順を解説する。最初に包丁のみねが人差し指上に平行になる

ように置き、残りの指で柄を握る。このとき指と指の間が開かないように注意する必要がある。

切る時は人差し指で刃のブレを抑えて包丁を操作する。図 2.3 は指差し型の画像である。

- 逆包丁型

包丁の切っ先を上や外側に向けて切る、本来と逆に向けて使用する握り方である。魚介類の下処理や、野菜をそぐ切り方の場合に使用することがある。

次に、逆包丁型の握り方の手順を解説する。最初に包丁を横向きにし、人差し指に包丁の腹がのるように置く。残りの指を柄に巻き付け、親指と中指でしっかり握り、人差し指で包丁の腹を押さえる。

切る時は押さえ型と同様にする。図 2.4 は逆包丁型の画像である。

- 皮むき型

ペティナイフなどの小さい包丁でりんごなどの皮むきをするのに用いる握り方である。握り方は押さえ型と同じだが、ペティナイフの身幅が小さいため、包丁さばきに慣れている職人向けである。皮をむく場合は包丁ではなく、食材を動かし親指でむいた皮を送っていく。刃先付近を握るので細心の注意が必要である。

次に、皮むき型の握り方の手順を解説する。右手の人差し指と中指の上に包丁を左向きにして置き、親指で包丁の腹を押さえて固定する。包丁の刃に触って指を切らないように注意しながら薬指と小指で包丁の柄の部分を持つ。

切る時は包丁の腹を押さえている親指、人差し指、中指で刃先を操作する。図 2.5 は皮むき型の画像である。

- ペンシル型

ペティナイフなどを使い、細かい作業をする場合に使う握り方である。鉛筆を持つイメージで包丁を細かく動かすので、芸術的な細工などを施す場合に有効である。

次に、ペンシル型の握り方の手順を解説する。鉛筆を持つようにペティナイフの柄を持ち、親指と中指の腹でしっかり固定する。人差し指は包丁のみねを支え、薬指と小指は折り曲げ、中指に添えるようにする。

手首の動きと人差し指の微妙なコントロールで、細かな作業を行う。図 2.5 はペンシル型の画像である。



図 2.1 押さえ型



図 2.2 握り型



図 2.3 指差し型



図 2.4 逆包丁型



図 2.5 皮むき型



図 2.6 ペンシル型

第 3 章

提案手法

本章では本研究の提案手法について述べる。握り方は指差し型を対象とした。これは LeapMotion の性質上、LeapMotion の認知範囲内で手を握った状態で振ると手の情報の取得が乱れやすくなるためである。

3.1 手法の概要

本研究では LeapMotion と Unity を用いて、仮想空間上における手や指の情報を検知した後、得た情報を利用し包丁位置を推測するプログラムを作成した。Unity とは複数のプラットフォームに対応するゲームエンジンであり、主にモバイルやブラウザゲーム開発に使用する。また、LeapMotion と連動してアプリケーションやシステムの開発に用いることもできる。

3.2 LeapMotion の解説

Leap Motion とは、2012 年 5 月に Leap Motion 社から販売された手のジェスチャーによってコンピュータの操作ができる入力機器である。マウスや画面タッチを用いずに操作ができる体感型のシステムで、ジェスチャーによって直観的に操作することが可能である。また、コンピュー

タの手前に置かれるように設計された小型 USB 周辺装置であり、2 基の赤外線カメラと赤外線照射 LED から構成されている。手の指の動きをコンピューターの中で再現したり、宙で書いたサインがコンピューターの中にも書かれるといったことが可能である。また、モーションキャプチャできるのは、両手と指 10 本となる。解析専用のソフトウェアによって行なわれ、手や指の動きは 3 次元的に捉えることが出来るので、上下左右、前後、ひねりといった動作も捉えることが可能である。また、認識可能な範囲としてデバイスの 2.5cm 上方、約 60 × 60 × 60cm の逆ピラミッド型の 3D 空間の中で、手と指の動きを感知する。

Leap Motion を用いて取得できる情報は手や指、ツールが挙げられる。それぞれの情報には位置や方向、速さといったパラメータを持っており、これらの情報を組み合わせることによりシステムやアプリケーション等を開発することができる。

本研究では LeapMotion を使い、使用者の手や指の位置情報を三次元的に捉えることでシミュレート内の手のモデルと連動して直感的な動きが可能になった。また、LeapMotion を使ったアプリケーションを開発するために C 言語を始め、多くのコンピュータ言語の環境をサポートする LeapMotionSDK[18] も本研究で使用した。図 3.1 は LeapMotion デバイスの外観の画像で、図 3.2 は LeapMotion の手の認識の様子である。



図 3.1 LeapMotion

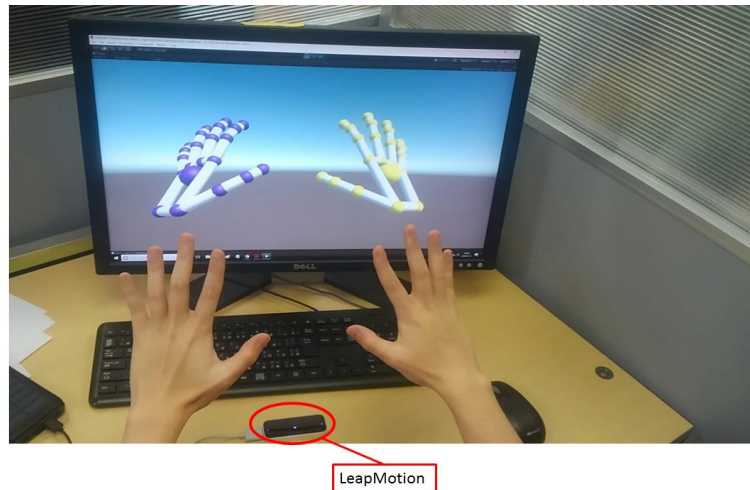


図 3.2 LeapMotion 手の認識

3.2.1 LeapMotion により検出した情報

LeapMotion は、1 秒間で 200 フレームの処理が行われている。本研究で使用した情報を以下に記す。

- 検知した手の情報
中心位置、法線ベクトル、「にぎる」度合い
- 検知した指の情報
指先・関節の位置、指が指す方向のベクトル

掌の中心部を表す中心位置と、手のひらに対して垂直なベクトルを表す法線ベクトル、指が指す方向のベクトルを図 3.3 に示す。「にぎる」度合いとは、Unity 上のオブジェクトをつかむ動作をする際に生じる具合のことを指す。尚、各軸は LeapMotion の中心で直交し、LED の面から見て右向きが X 軸、上向きが Y 軸、手前向きが Z 軸となる。LeapMotion の座標軸は図 3.4 に示す。

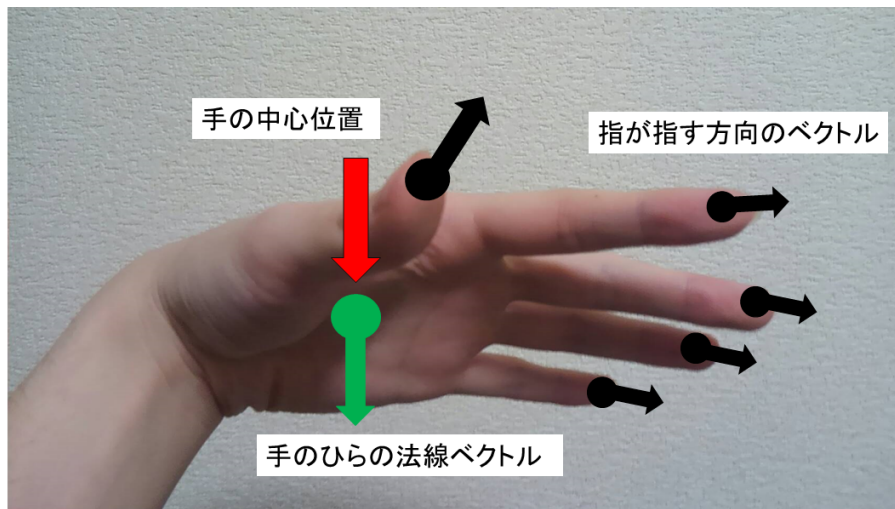


図 3.3 掌の中心位置、法線ベクトル、指が指す方向のベクトル

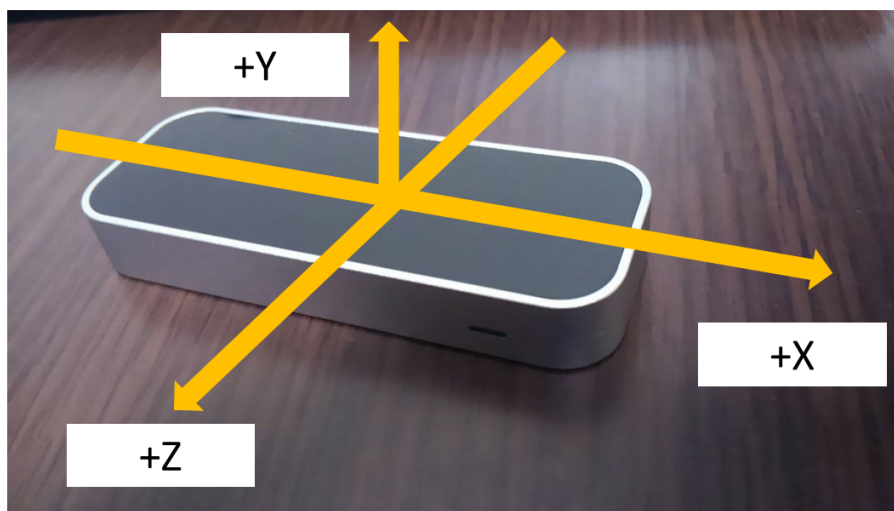


図 3.4 LeapMotion の座標軸

本研究では上記の取得した情報を用いて、包丁の位置推測のプログラムを作成した。

3.2.2 ジェスチャー

LeapMotionSDKには元から「サークル」、「キー・タップ」、「スクリーンタップ」、「スワイプ」の4つのジェスチャー関数があり、それらを用いることでジェスチャー操作を入力することができる[19]。本研究では「スワイプ」を用いて包丁操作が行われているかを判断する。LeapMotionSDKが提供している4つのジェスチャーを図3.5に示す。

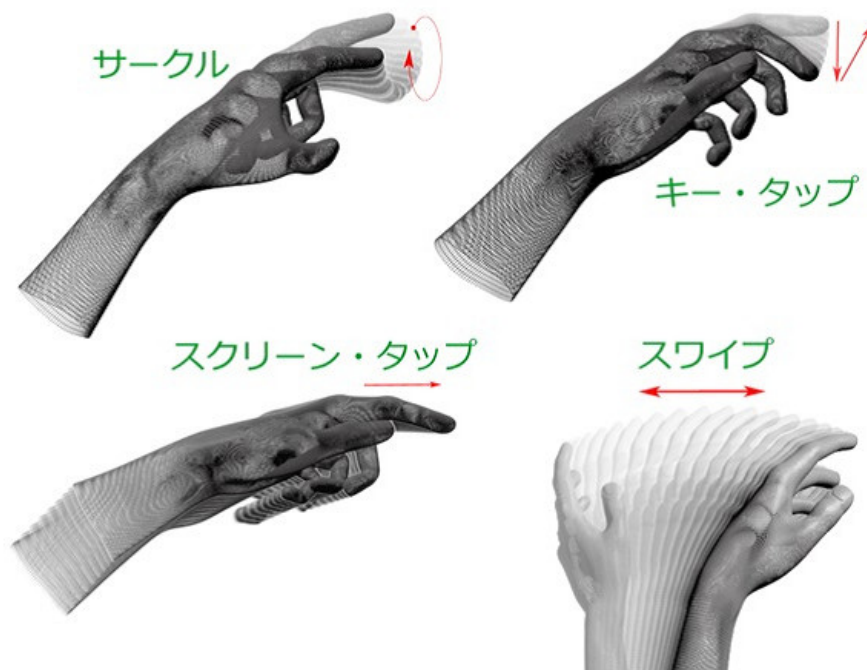


図 3.5 LeapMotionSDK が提供している 4 つのジェスチャー

[文献 [9] の図 4 より転載]

「スワイプ」のジェスチャーはどの指をどの方向に動かしても検出でき、指先の直線的な動きの認識が可能である。指の移動方向が変わったり、動きがゆっくりになると「スワイプ」のジェスチャー検出が終了する。

3.3 包丁の位置推測方法

本研究では指差し方を握り方の対象にしており、提案する手法において包丁操作を可能にする準備が必要であるため、包丁操作が可能になる手の形は人差し指のみを伸ばして、他の指は閉じる形とする。この手の形をとらなければ、包丁が表示されず、包丁操作を行うことが出来ない。

また、包丁操作が可能になる手の形をとることで、包丁モデルが表示される位置の条件を以下に記す。

- 手のひらの法線ベクトルと包丁の刃が同じ方向を向く
- 人差し指の指先と包丁の先端が同じ方向を向く
- 親指と中指第2関節の間に包丁モデルの刃の根元部分がくる

包丁操作が可能になる手の形を図 3.6、使用した包丁のモデル [20] を図 3.7、包丁モデルが表示する位置の条件を図 3.8 に示す。

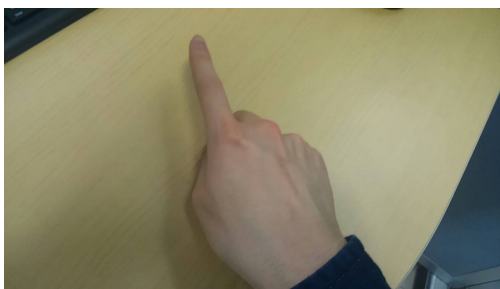


図 3.6 包丁操作が可能になる手の形



図 3.7 使用した包丁モデル

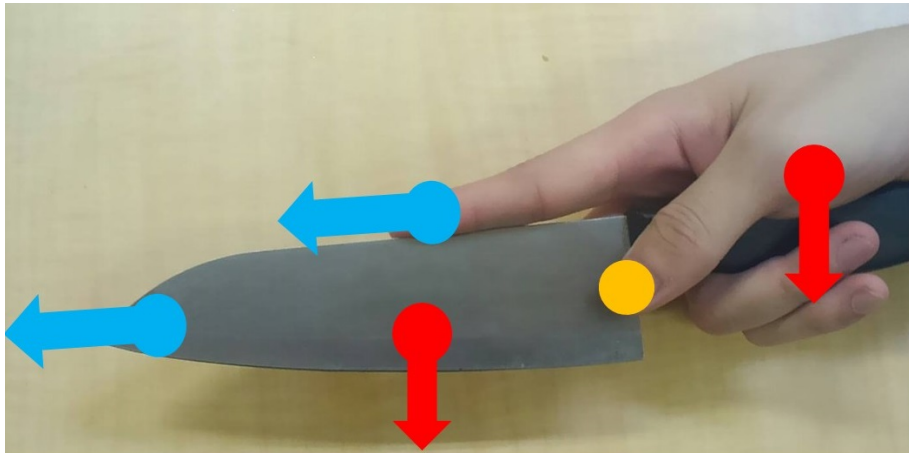


図 3.8 包丁モデルが表示する位置の条件

3.4 切断対象オブジェクト

包丁操作を行うことでデジタル上でも切断対象のオブジェクトが切れるように、Dustin が Web 上で無料公開している “Unity simple Mesh cutting Code” [21] を用いた。

本実装では、等間隔に引かれた 3 本の平行な緑色のラインがカット面を示していて、その平面に合わせてオブジェクトを切断する。また、このカット面を包丁モデルの刃の部分に適応させた。これにより、包丁の刃の部分が切断対象オブジェクトに触れると切断処理を行う。オブジェクトを切断するカット面を図 3.9 に、切断対象オブジェクトを図 3.10 に示す。また、切断面をオブジェクトに対して斜めに入れた場合の切断対象オブジェクトの切断の流れを図 3.11、図 3.12、図 3.13 に示す。

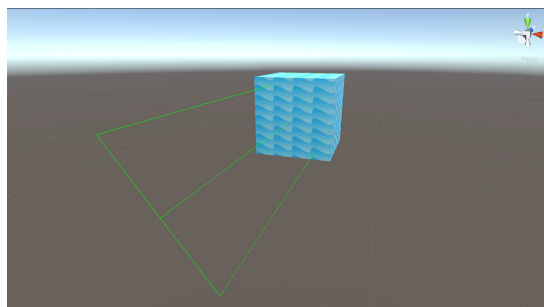


図 3.9 カット面

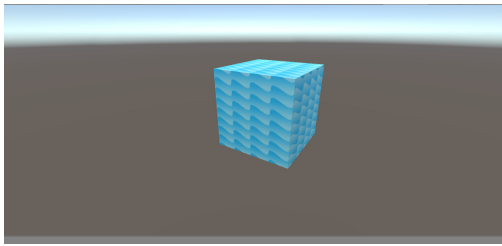


図 3.10 切断対象オブジェクト

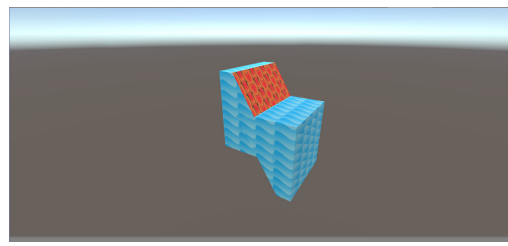


図 3.11 切断対象オブジェクト:切断の流れ 1

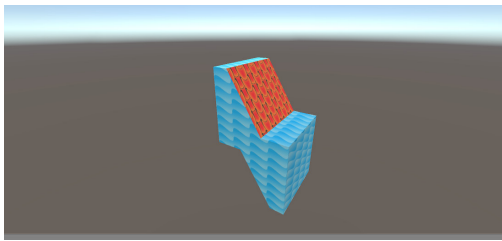


図 3.12 切断対象オブジェクト:切断の流れ 2

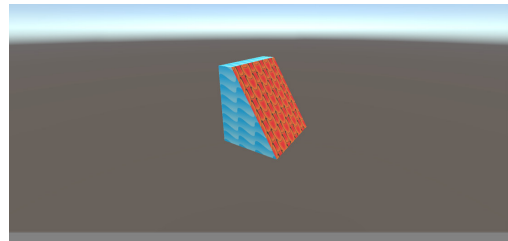


図 3.13 切断対象オブジェクト:切断の流れ 3

第 4 章

検証と考察

この章では 3 章で述べたことを元に包丁操作において正確な包丁の位置を検知し、正しい包丁の握り方をすることによって、リアルタイム 3DCG 内で包丁操作を可能にすることを目的としたシステムの検証と考察を行なった。

4.1 検証

包丁の位置を推測する初期状態を Leap Motion に対して両方の手をかざした状態とし、包丁を握る手は右手とする。この時点において仮想空間上では、包丁はまだ握っていない。その後、右手の人差し指だけを伸ばした状態にすると、包丁を握った状態に移行する。3.3 節で解説した条件で包丁を表示させることで、実際に包丁を握るときと同じ位置に包丁を表示させることに成功した。また、他の指の形をしても、包丁モデルが表示されないことを確認した。包丁を表示させた後、包丁操作を行うと包丁の刃の部分が切断対象オブジェクトに触れた際、刃の角度に合わせて切断処理が行われたことも確認した。実装を行った環境は表 4.1 で、図 4.1 は本システムの起動画面、図 4.2、図 4.3 は包丁位置の検知の様子である。また、図 4.4、図 4.5 は包丁操作を行う様子である。

表 4.1 実行環境

OS	Windows8.1 64bit
CPU	Intel(R)Core(TM) i5-4200U CPU @ 1.60GHz 2.30GHz
GPU	Intel(R) HD Graphics 4000
メインメモリ	8GB

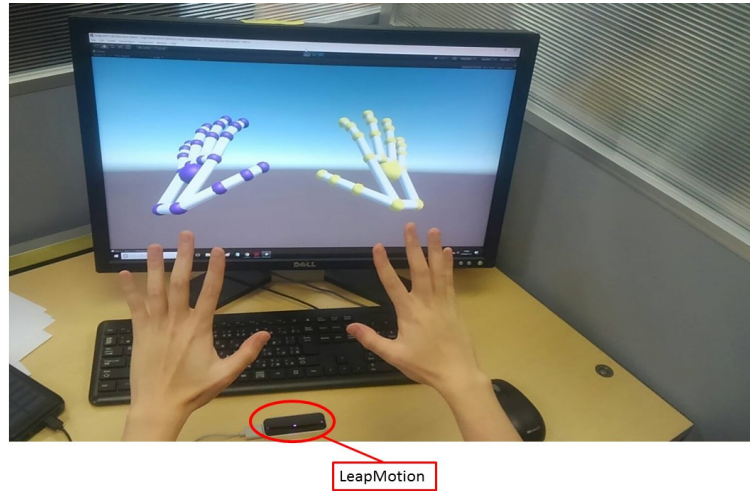


図 4.1 起動画面

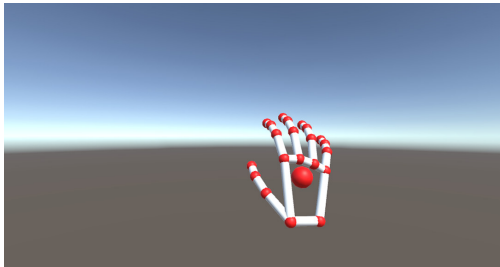


図 4.2 包丁位置の検知前

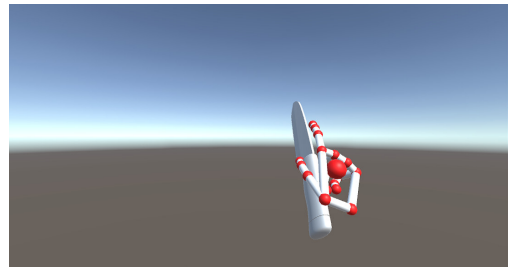


図 4.3 包丁位置の検知後

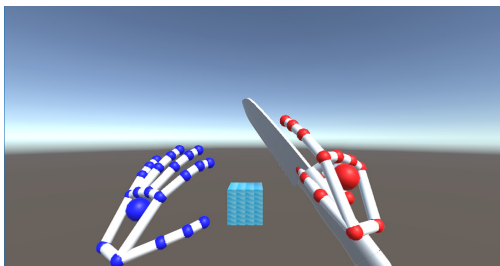


図 4.4 包丁操作前

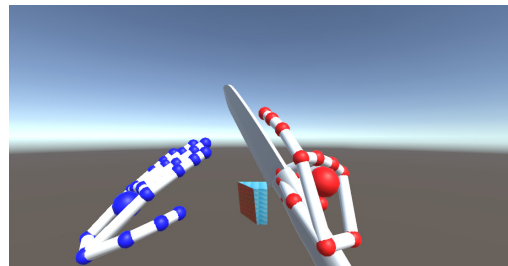


図 4.5 包丁操作後

しかし、熟練者が行うみじん切りの速さで素早く手を振ると包丁モデルが表示される手の形ができていても指の検知が乱れて、包丁モデルが正常に表示されない場合を確認できた。また、実際に添え手を使うような包丁操作の配置で検証をした結果、左手と右手が近すぎると検知する情報が重なるため、検出精度が低下することを確認した。図 4.6 は素早く手を振った場合の検知ミスの様子、図 4.7 は添え手をした場合の検知ミスの様子である。

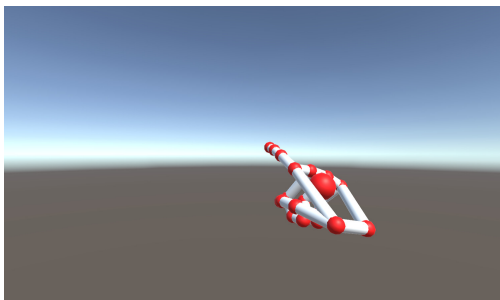


図 4.6 素早く手を振った場合の検知ミスの様子

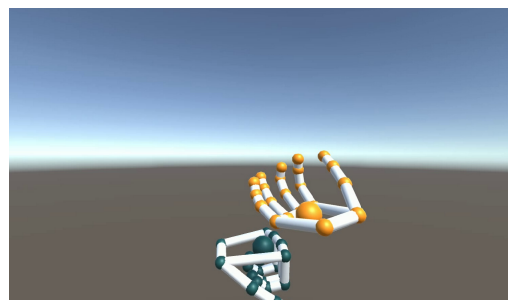


図 4.7 添え手をした場合の検知ミスの様子

4.2 考察

4.1 節の結果から、本研究の手法を用いたことで指差し型のみではあるが包丁の位置を表示することが出来た。また、包丁操作をすることでデジタル上でオブジェクトの切断が可能なシステムが構築できた。しかし、本研究で構築したシステムでは限られた握り方でしか包丁位置の検知ができないため、包丁位置の検知が可能な握り方のレパートリーを増やすことが今後の課題である。また、手を振る速度を速くして包丁操作を行う場合や右手と左手が近すぎる状態の場合だと LeapMotion が正確に手の情報が検知できずに乱れてしまった。

第 5 章

まとめ

本研究では LeapMotion と Unity を用いて、握った包丁の正確な位置を算出し、正しい包丁の握り方をすることによって、リアルタイム 3DCG 内で包丁操作を可能にすることを目的としたシステムの構築を行った。これにより、指差し型の握り方という特定の条件下だけが検証を行うことができた。また、実際に包丁を握るときと同じ位置に包丁を表示させることに成功した。しかし、LeapMotion は手や指の情報を高精度に取得してくれるが、本研究を行った現時点では機能を十全に活かすことができなかった。

本研究には問題点が幾つかある。まず、指や手といった検知している物体が重なった場合や手を振る速度を速くした場合に検知が乱れてしまう点である。これにより、拳を握った状態もしくは手に何かを持った状態で「包丁を使って切る動作と同じ動き」を行うと、指があらぬ方向に曲がる、手がひっくり返るといった状態になることを確認した。しかし、この問題点は LeapMotion の認識範囲が影響しているため、改善が難しい。また、本研究で提案した手法では検証状況が指差し型の握り方のみであるため、他の握り方・切り方でも検証できるように改善する必要がある。手の検知が乱れている様子を図 5.1 に示す。

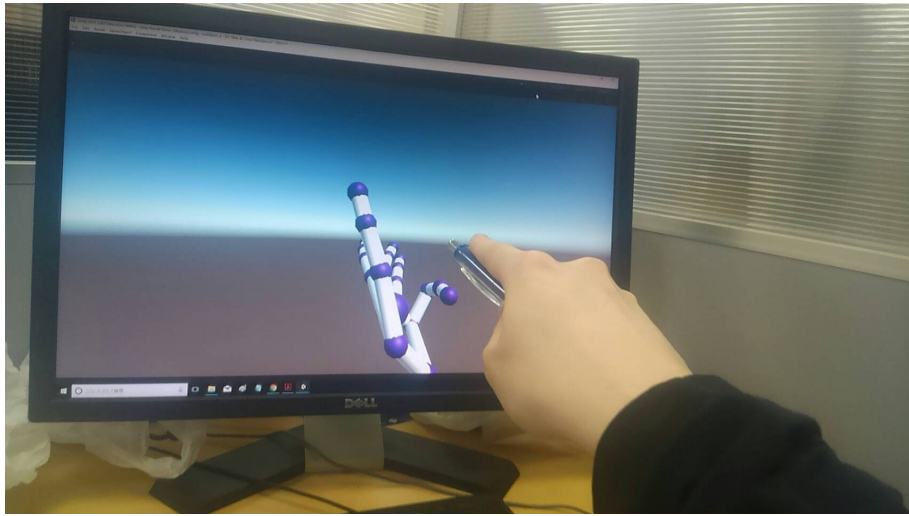


図 5.1 手の検知が乱れる例

謝辞

本研究を行うにあたり、多くのご指導をしていただきました先生方に深く感謝します。また、ゲームサイエンス研究室の皆様にも深く感謝します。

参考文献

- [1] 神谷麗奈, 磯部由香, 平島円, 中村由紀子. 小学生の調理技能の習得と家庭での調理実践を重視した授業の効果. 日本食育学会誌, Vol. 9, pp. 321–331, 2015.
- [2] 森美奈子, 森尚子. 小学生の調理技能の習得と家庭での調理実践を重視した授業の効果. 教育実践研究紀要, Vol. 5, pp. 18–22, 2009.
- [3] 村田ひろ子, 政木みき, 萩原潤治. 調査から見える日本人の食卓. https://www.nhk.or.jp/bunken/research/yoron/pdf/20161001_7.pdf. 参照:2018.1.17.
- [4] VR SUSHI BAR. http://store.steampowered.com/app/636590/VR_SUSHI_BAR/. 参照:2018.2.4.
- [5] 加藤史洋, 三武裕玄, 長谷川晶一. 体験型料理シミュレータ. 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol. 15, pp. ROMBUNNO.2D2–2, 2010.
- [6] 由良亮, 浜野純, 萩原 勇人楠瀬 千春. 6軸モーションセンサーを用いた包丁技術の可視化装置の検討. 中京学院大学中京短期大学部研究紀要, Vol. 47, pp. 1–10, 2016.
- [7] Leap Motion - official site. Leap Motion. <https://www.leapmotion.com/>. 参照:2017.12.22.
- [8] F. Weichart, D. Bachmann, B. Rudak, and D Fisseler. Analysis of the accuracy and

- robustness of the leap motion controller. *Sensors*, Vol. 13, pp. 6380–6393, 2013.
- [9] 細野敬太, 笹倉万里子, 田邊浩亨, 川上武志. Leap motion を用いたジェスチャ操作による文字入力方法の提案. 人工知能学会全国大会論文集, Vol. 28, pp. 1–4, 2014.
- [10] 大西未来. ジェスチャー操作とグラフィティ操作による簡易的な文字入力方法の提案. 学部卒業論文, 東京工科大学メディア学部ゲームサイエンスプロジェクト, 2016.
- [11] 岩谷亮明, 澤田秀之. Vr エンタテインメントに向けたエア楽器演奏システム. 情報処理学会, pp. 587–392, 2014.
- [12] 安部弘樹. Leapmotion を用いた文字入力インタフェースにおける文字選択手法. 学部卒業論文, 九州工業大学 工学部 総合システム工学科, 2016.
- [13] データグローブ. https://ja.wikipedia.org/wiki/Leap_Motion. 参照:2018.2.4.
- [14] 山根卓也. 手モデルの姿勢操作のためのデータグローブのセンサデータと手の指節位置・向き関係の分析. 修士論文, 京都大学大学院情報学研究科 修士課程知能情報学専攻, 2012.
- [15] Unity Technologies. Unity. <https://unity3d.com/jp>. 参照:2017.12.22.
- [16] 富士カトラリー株式会社. 包丁の構え方. <https://www.fuji-cut.co.jp/usage/%EF%BD%93%E3%81%9F%E3%82%93%E3%81%9B/>. 参照:2018.1.12.
- [17] 富士カトラリー株式会社. 包丁の握り方. <https://www.fuji-cut.co.jp/usage/grasp/>. 参照:2018.1.12.
- [18] Leap Motion - official site. Leap Motion SDK. <https://developer.leapmotion.com/>. 参照:2018.1.16.
- [19] BuildInsider. <https://www.buildinsider.net/small/leapmotionfirstimp/01>. 参照:2018.1.18.
- [20] comic studio3D モデル配布所. 台所や厨房用素材いろいろ. http://hamstern.air-nifty.com/comic_studio3d/2013/06/post-5d8a.html. 参照:2017.12.17.

[21] Dustin W. Unity simple Mesh cutting Code. <https://github.com/BLINDED-AM-ME/UnityAssets>. 参照:2017.9.10.