

モーションセンサを用いた指文字学習支援アプリケーションに関する検討

永井 敦¹ 竹内 健人¹ 森本 正志^{1,a)}

概要：手話の普及促進は、聴覚障害者との豊かなコミュニケーションのために重要である。指文字は手話単語にない語彙を表現できるとともに、学習に取り組みやすい。しかし、その立体的な形の正しさを自身で確認することが難しく、学習効率が悪い。本研究ではモーションセンサを用い、簡単・効率的に指文字学習を支援できるアプリケーションの検討および提案を行う。利用者が模倣する指文字は、センサで3次元情報を取得し指文字認識を行う。3D CGとして模倣形状を提示し正解指文字と比較することで、認識結果とあわせてその正しさを確認できる。また、習熟度を測るテストモードを導入し、ゲーム性を持たせることで繰り返し学習への動機づけを提供する。本稿ではカテゴリ分類に基づく指文字認識手法の性能評価とアプリケーションへのアンケート調査を実施し、提案内容の有効性および課題を明らかにした。

キーワード：手話, 指文字, 学習支援, モーションセンサ, 3次元認識, ゲーム

A Study on Learning Support Application of Fingerspelling using Motion Sensor

ATSUSHI NAGAI¹ KENTO TAKEUCHI¹ MASASHI MORIMOTO^{1,a)}

Abstract: The promotion of sign language is important for the communication with hearing-impaired people. Fingerspelling can express vocabularies outside sign language words, is easy to learn, but is difficult to grasp the 3D shape correctness. This paper proposes an application with the motion sensor for easy and effective learning of fingerspelling. The 3D shape of users' hand and fingers is measured by the sensor and recognized as a finger alphabet. The shape is displayed and compared with the correct finger alphabet as 3D CGs together with the recognition result. Users can also test their fingerspelling proficiency with gamification functions and can have the motivation for repetitive learning. The performance experiment of the recognition method based on category classification and questionnaire survey to the application show the effectiveness and reveal challenges of the proposed method and application.

Keywords: sign language, fingerspelling, learning support, motion sensor, 3D recognition, gamification

1. はじめに

世界保健機関 (WHO) の発表によると、世界総人口の5%以上に当たる3億6000万人が聴覚障害者である。65歳以上の3人に1人は耳が聞こえない、あるいは聞こえにくいという問題が存在しており、15歳以下の児童でも3200

万人が聴力の問題を抱えている [1]。厚生労働省による平成18年調査では、日本における聴覚障害者は約36万人にのぼる [2]。また、難聴者数は平成27年調査で全人口の11%強である約1400万人にのぼるとみられる [3]。このような多くの人々に対する意思疎通および豊かなコミュニケーションを支援する手段の一つとして、手話の普及促進が重要である [4]。

手話とは手や指、腕で言葉を表現し、視覚を使用したコミュニケーションを行うための言語である。日本語に関す

¹ 愛知工業大学 情報科学部
Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology
^{a)} morimoto@aitech.ac.jp

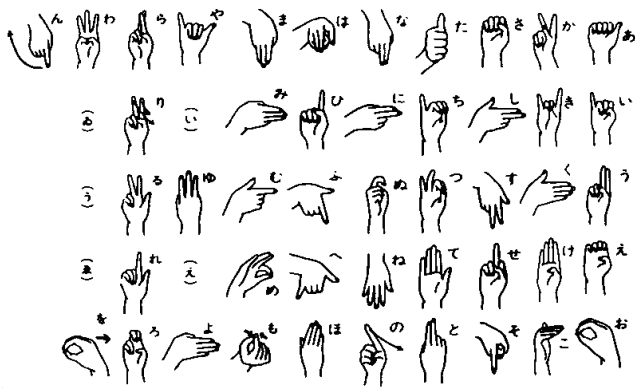


図 1 指文字五十音 ([6] より図を引用)

Fig. 1 finger alphabet

る手話には、大きく分けて日本手話、日本語対応手話、中間手話の 3 種類が存在する [5]. 聴覚障害者が多く用いている手話は日本手話であり、日本語と異なる独自の文法構造をもっている。一方日本語対応手話は、日本語の単語に手話単語を一語一語対応させ、日本語通りに手話単語をつけて話すものである。これに対して指文字とは、手の形を文字に対応させた言語の一要素である。日本の指文字（大曾根式指文字）には、五十音に対応した手の形が存在している（図 1）[6]. 指文字は手話単語にない語彙を表現することができるため、日本手話などと補完的に用いることができる。聴覚障害教育においても活用されており、日本語と対応させて学習しやすい手法の 1 つであると考えられる [7].

指文字を学習することは、手話習得のための有効な第一歩であると言える。実際、指文字学習教材として様々な書籍や映像集などが出版されている [8], [9]. しかし、指文字を頭で理解したとしても、実際にその動作を行って指文字の形を再現できるようになることは難しい。特に、指文字を見る側からの立体的な形の正しさを学習者自身が確認することは難しく、学習効率が悪いために学習意欲を低下させる一因であると言える。

そこで本研究は、モーションセンサを用いて利用者が模倣する指文字の形状を把握し、指文字を見る側の視点で正しい指文字かどうかを認識・評価することで、簡単・効率的な指文字学習を促す学習支援アプリケーションを提案する。センサで把握した手指の 3 次元位置情報から指文字認識を行うと同時に、その形状を 3D CG として提示し、正解指文字の 3D CG と比較できるようにすることで、立体的な形の正しさを利用者が容易に確認・模倣できるようにする。また、繰り返し学習の意欲を維持する動機づけとして習熟度評価を行うスコアゲームを用意して、面白みを感じながら学習できるアプリケーションを目指す。

本稿の構成は以下の通りである。第 2 章で関連研究・技術について述べる。第 3 章で提案アプリケーションの利用イメージおよびシステム構成と処理の流れについて述べる。第 4 章でモーションセンサを用いた指文字認識手法につい

て説明し、第 5 章で指文字学習支援のためのインタフェースについて説明する。第 6 章で提案認識手法およびアプリケーション・インタフェース評価について述べ、第 7 章でまとめおよび今後の課題について述べる。

2. 関連研究・技術

各種センサを用いた指文字認識の研究としては、従来からさまざまな手法や使い方が提案されている。河原らは、モーションセンサ Leap motion を紐で固定し首から下げて、指文字の認識に使用する [10]. 掌の向きを基準に指文字を 6 種類のグループに分類し、その後各指の関節角度を特徴量として K 近傍法により指文字の認識を行っている。この研究では指文字の形を見る側ではなく本人側から計測しているため、指文字を見る側からの手指形状が重要となるグループにおける認識率の低下が発生している。また船坂らは、同じく Leap motion を用いて手指形状から 19 種類の条件分岐を作成し、遺伝的アルゴリズムにより最適解探索を行っている [11]. 白石らは、距離画像センサである Kinect を用いて指文字認識を実施している [12]. 奥から手前へ動かすなど、動きを持つ指文字の認識に Kinect から得られる深度情報を活用している。この研究では、手指に対する Kinect の検出精度および動作判定が認識率に影響している。その後改良手法として、自己組織化マップ (SOM) を用いた認識および静止指文字との統合処理を提案している [13]. 本研究では、[10], [11] と同じく手指の 3 次元位置情報を精密に計測できるモーションセンサ Leap motion を用い、手指の詳細な配置関係から導出される特徴量を認識処理に利用する。また、後述する開発プラットフォーム上のスクリプトで軽快に動作させるため、カテゴリ分類による認識手法を利用している。

一方、指文字学習のアプリケーションとしては、スマートフォン上の学習アプリなどがリリースされている。その多くは、指文字と五十音の対応表や指画像の表示機能および指文字による単語の Q&A 機能などを提供している。藤澤らは、眼鏡型のウェアラブルデバイスとマーカ型 AR を用いた学習支援機器の検討を行い、環境を選ばない学習支援のあり方を提案している [14]. また近藤らは、距離センサを用いた対話的指文字練習システムの開発と評価を行っている [15], [16]. 利用者が実施すべき指文字を指示し、模倣した指文字の正誤判定を 3 段階でフィードバックするとともに、正解へ導くためのガイドメッセージと画像を提示している。本研究は上記研究と同じく、センサを用いた対話的指文字練習システムに位置づけられる [17]. モーションセンサを用いることで手指位置情報の取得を容易にしつつ、自身の手指形状と正解指文字を 3D CG で比較できる直観的なフィードバックを用意する。また、ゲーム性を導入することで、繰り返し学習の意欲を維持する動機づけを行う。これにより、聴覚障害者だけではなく指文字に不慣

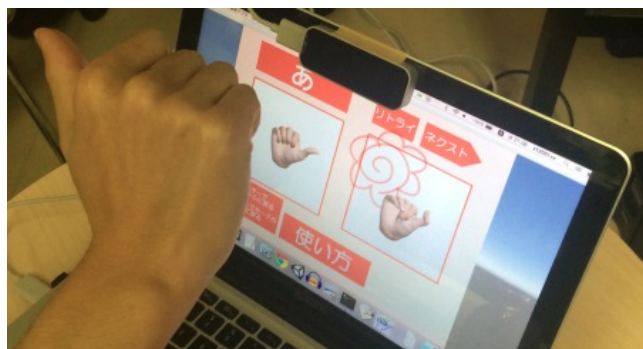


図 2 提案アプリケーション
Fig. 2 proposed application

れな健聴者にとっても簡単・効率的に学習する機会を提供することをその狙いとしている。

3. 指文字学習支援アプリケーション

3.1 利用イメージおよびシステム構成

本アプリケーション利用の様子を図 2 に示す。本アプリケーションは、学習すべき指文字を 3D CG でグラフィカルに提示する (PC 画面左側)。書籍などでは分かりにくい手指の立体的な形状を、CG を自由に動かすことで確認することができる。また、モーションセンサ (PC 画面上部) で利用者の手指を取得し、その手指形状の 3D CG を判定結果と同時に提示する (PC 画面右側)。これにより指文字を見る側からの立体的な形を確認するとともに、正解指文字との比較を行うことでその模倣を容易にする。

本アプリケーションはゲーム開発用プラットフォームである Unity を用いている [18]。Unity は各種 OS およびデバイスを対象としているためアプリケーションをさまざまな利用者環境に提供しやすいこと、および Asset Store によりさまざまな 3D モデルや拡張機能を利用できることから、本プラットフォームを採用した。本アプリケーション上の処理プログラムは、その移植容易性を考慮して Unity 対応スクリプト言語である C# を用いて開発する。特に認識プログラムは、円滑な 3D CG 表示などを妨げない軽快な処理が必要となる。また、モーションセンサとしては Leap motion を用いている [19]。センサ詳細は 4.1 節で述べるが、低価格かつ小型であること、高速・精密な計測が可能であることおよび Unity で容易に利用可能であることから本センサを採用した。

3.2 処理の流れ

アプリケーション全体の処理の流れを図 3 に示す。本アプリケーションでは利用者の学習意向に合わせて、勉強モードとテストモードの 2 つを設ける。勉強モードは図 2 に示した画面で、各指文字を 1 文字ずつ自習するためのモードである。一方テストモードは、どのくらい指文字を覚えることができたかを測るためのモードであり、スコア

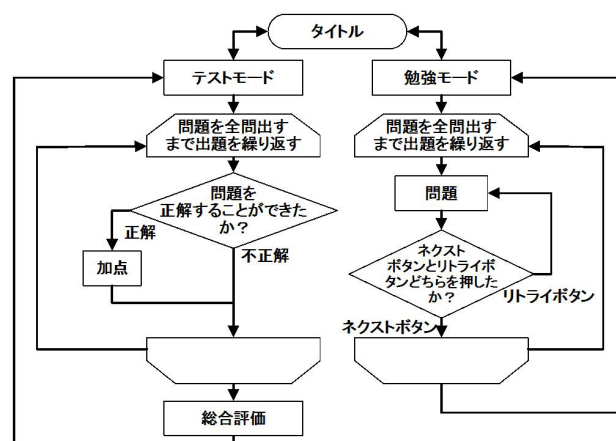


図 3 アプリケーション全体の処理の流れ
Fig. 3 application process flow



図 4 Leap motion ([19] より写真を引用)
Fig. 4 Leap motion

ゲームとして実装することで繰り返し実施を促し、学習意欲維持の動機づけを狙う。

以下、図 3 に沿って利用シーンの例を述べる。まず、利用者は勉強モードとテストモードのどちらかを選択する。勉強モードを選択した場合、次に問題出題方法を決定する。詳細は 5 章で述べるが、五十音のどの行を学習するか選択できる。次に、図 2 に示したように画面左側に学習すべき指文字の 3D CG が表示される。利用者は表示された CG を参考に、指文字の形状を模倣してモーションセンサに手をかざす。正解指文字と同じであると判定がされた場合、花丸が表示される。一方テストモードを選択した場合、解答すべき五十音は表示されるが、画面左側の 3D CG が表示されない。利用者は正解だと思う指文字をモーションセンサに手をかざす。正解である場合、スコアが加点される。全ての問題が終了すると、スコアおよびランクで総合評価が表示される。

4. モーションセンサを用いた指文字認識

4.1 手指位置の取得

本研究では、モーションセンサとして Leap motion を用いる。Leap motion は、2 基の赤外線カメラと赤外線照射 LED が搭載されているデバイスである (図 4)。赤外線 LED に照らされた手指を赤外線カメラで撮影し、その画像を解析することで手指の 3 次元位置を割り出している。Leap motion では開発者用 API が提供されており、本研究はこれを用いる。

Leap motion の一般的な使用方法としては、キーボード

のように卓上に置き、画面を見ながら Leap motion に手をかざすことが想定されている。しかし、指文字の動作は対面の相手に対して行うことを想定しているため、卓上からの計測は指文字を見る側の視点として適していない。そこで本研究では、Leap motion を図 2 のように PC 画面上部に設置する。利用者は画面を見ながら、対面にあるモーションセンサに指文字をかざすことができる。この設置はノート PC などにおける内蔵カメラと同じ位置であり、将来的には Leap motion と同等のモーションセンサ機能が PC デバイスなどに内蔵されることを想定している（例えば Intel RealSense™ など）。

本アプリケーションは、Leap motion にかざされた手指から掌の位置・向きおよび各指先の位置情報を取得し利用する。掌の位置・法線情報の取得は、Leap motion API の Hand クラス内にある PalmPosition および PalmNormal 関数で取得できる。各指先の位置情報は、同 Finger クラス内にある TipPosition 関数で取得できる。

4.2 カテゴリ分類による認識

指文字は長音を含めると 47 種類存在する [6]。促音や拗音および濁音や半濁音は、指文字形状に追加動作を行うことで表現する。本稿ではこのうち静止形状で文字を表す 41 種類を認識対象とする。動かない指文字を理解できることは、NPO 手話技能検定協会による手話技能検定 7 級に相当する [5]。

Leap motion から取得される情報に対し、例えば 41 種類の識別器を用意して認識を行う方法も考えられるが、一般的に多くの識別処理は処理速度の低下を招くと考えられる。本稿では、掌の向き、指の折り曲がり、指同士の距離および指全体の向きの 4 項目に基づき、指文字のカテゴリ分類を行う。Leap motion からの取得情報を基に各項目ごとのルールに則りカテゴリ判定を行うことで、認識処理を実施する。これによりスクリプト言語での実装を容易にするとともに、アプリケーション全体にかかる認識処理の負荷軽減を狙う。

4.2.1 掌の向き

指文字をカテゴリ分類する場合、もっとも大きく分けることができる特徴は掌の向きである。具体的には、指文字を見る側から掌が正面向き、裏向き、横向きおよび下向きの 4 種類に分類することができる。このうち最も多いものは正面向きで、次が裏向きである。例えば図 5 の場合、指の形状は同じでも掌の向きを判定することで、正面向きなら「わ」、裏向きなら「ゆ」と認識することができる。掌の向きは、4.1 節で述べたようにその法線ベクトルから判定可能である。しかし曲がっている指が多い場合には、法線ベクトルの取得結果が不安定になることがある。そこで、後述する親指先端の位置と掌の位置関係も用いて、掌の大きな向きを補足情報として推定する。

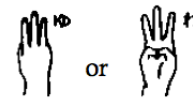


図 5 掌の向きの例 ([6] より図を引用)

Fig. 5 palm direction

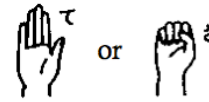


図 6 指の折り曲がりの例 ([6] より図を引用)

Fig. 6 finger stroke

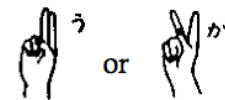


図 7 指同士の接触の例 ([6] より図を引用)

Fig. 7 touch between fingers

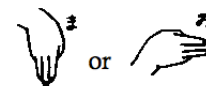


図 8 指全体の向きの例 ([6] より図を引用)

Fig. 8 fingers direction

4.2.2 指の折り曲がり

各指の動作は、基本的に伸びているか曲がっているかの 2 種類に分けることができる。そこで、指が曲がっている時に指先が集まる掌の中心と、各指先の位置情報から 2 点間の距離を算出する。あらかじめ設定したしきい値を用いて、各距離から指の動作状態を判定する。例えば図 6 の場合、全ての指が伸びていると判定されれば「て」、曲がっていれば「き」と認識することができる。

4.2.3 指同士の接触および全体の向き

上の 2 項目だけを用いて判定できる指文字は多いが、両特徴とも全く同じ指文字もある。そのような指文字を判定するための特徴として、指同士の接触および指全体の向きを用いる。指同士の距離は比較したい各指先の位置情報から算出できる。あらかじめ設定したしきい値を用いて、接触している/いないの 2 種類に分類する。例えば図 7 の場合、人差し指と中指が接触していれば「う」、接触していなければ「か」と認識することができる。また、指全体の向きに関しては、指先の位置情報および掌の中心位置から向きを算出することができる。例えば図 8 の場合、指全体が下を向いていれば「ま」、横を向いていれば「み」と認識することができる。

以上の項目を用いたカテゴリ判定による分類例を表 1 に示す。この表は、掌が裏向きであると判定された後の分類である。指の折り曲がり（伸びている指）だけで判定できる指文字がある一方で、指同士の接触や指全体の向きまで

表 1 カテゴリ判定による分類例

Table 1 classification example

五十音	伸びている指	接触	向き
く	全部	あり	横
ね	全部	なし	下
ほ	全部	あり	上
よ	親指以外	—	—
し	親/人差/中指	なし	横
す	親/人差/中指	なし	下
ま	人差/中/薬指	なし	下
み	人差/中/薬指	なし	横
ゆ	人差/中/薬指	なし	上
と	人差し指/中指	あり	上
な	人差し指/中指	なし	下
に	人差し指/中指	なし	横
ふ	親指/人差し指	—	下
む	親指/人差し指	—	横
へ	親指/小指	—	—

用いる必要のある指文字も存在することがわかる。

4.3 認識結果出力

Leap motion は 150fps でデータ取得することができる (バランスモードの場合)。しかし、このフレームレートで判定を行うと処理負荷が大きい。本アプリケーションでは、上記フレームレートの 1/4 である 37.5fps で判定処理を行っている。

次に、上記の判定処理結果をそのまま利用すると、利用者が意図しない指文字を少しでも行った場合や異なる指文字への遷移時などに、望ましくない結果が反映されてしまう。そこで、上記の判定結果を指文字別に判定回数として格納する。そして、判定回数がしきい値を超えた場合に認識結果として出力し、その後回数をリセットする。これにより、ある程度の時間手指形状を維持した指文字だけが、その認識結果を出力されることになる。

5. 指文字学習支援のためのインタフェース

5.1 画面デザイン

本アプリケーションは、子どもから高齢者まで幅広い年齢範囲の利用者を想定する。そこで表示画面としては、わかりやすさを重視する。派手な色や形を使わずシンプルなデザインとし、大き目のボタンやフォントを用いる。図 3 の流れに対応する表示画面例とその遷移関係を図 9 に示す。

まず配色は、タイトルおよびヘルプ画面でオレンジ色、勉強モードで赤色、テストモードで青色を用い、利用者がどのモードを実施しているのかわかりやすくした。ボタン形状は丸と四角の 2 種類とし、ボタンおよびボタン間のスペースを大きくすることで、タッチインタフェースを持つデバイスなどで利用する際にも操作しやすくなることを目指した。また、丸みをおびて太いフォントを利用すること

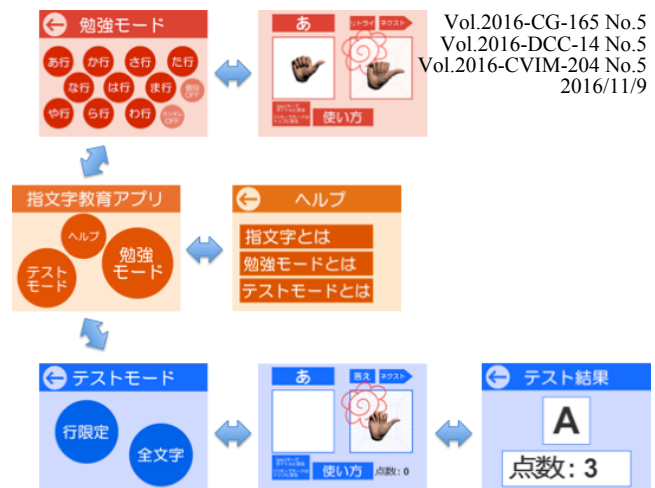


図 9 表示画面例と遷移関係

Fig. 9 display image examples and their transitions

で、親しみやすい外観とした。利用者が全ての機能を最初から熟知することは難しい。そこで、タイトルにおけるヘルプボタンおよび各モードにおける使い方ボタンを用意し、機能に関するインストラクションを可能とした。

5.2 勉強モード

3.2 節で述べたように、本アプリケーションには勉強モードとテストモードの 2 つがある。勉強モードは各指文字を 1 文字ずつ自習するためのモードであり、はじめに五十音のどの行を学習するか選択する (図 9 上段)。行の中では、問題を出す順番をランダムに変更することができる。勉強モードにおける学習画面例を図 10 に示す。

画面左側は学習すべき指文字およびその 3D CG を表示する。キー入力により 3D CG の表示・非表示を切り替えることができ、モーションセンサを用いなくても五十音と指文字形状の対応を自習することができる。指文字は、一視点からの表現ではその形状を確認しづらい場合がある。そこで、キー操作により CG を上下左右回転することで、任意視点からの指文字形状を確認できるようにしている。

画面右側は、モーションセンサにかざされた手指から取得した情報を基に描画された 3D CG を表示する。左の指文字と同じであると判定された場合、花丸が表示される。判定の有無にかかわらず、次の指文字に進むか (ネクスト) 再度実施するか (リトライ) を選択できる。また、行内の全ての文字を正解しないと終わらないように設定することもできる。

5.3 テストモード

テストモードは、どのくらい指文字を覚えることができたかを測るためのモードである。勉強モードと同様に行を指定して出題するか、全五十音の中から出題するか選択できる (図 9 下段)。テストモードにおける学習画面例を図 11 に示す。

勉強モードと異なる点は、解答すべき五十音は表示されるが、画面左側の 3D CG が最初は表示されないことであ

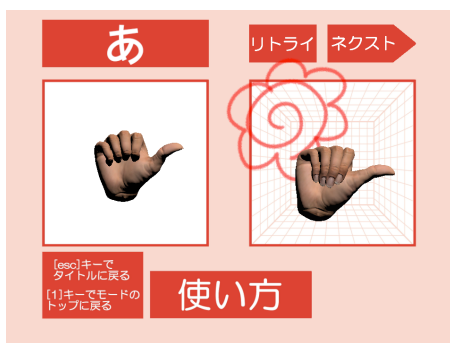


図 10 勉強モード画面例

Fig. 10 study mode

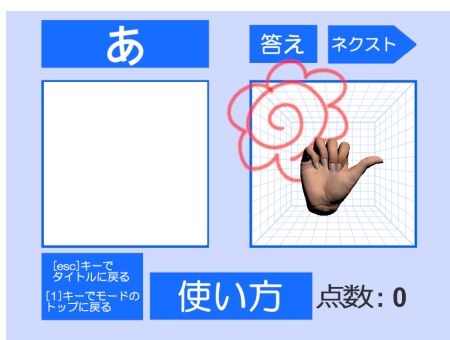


図 11 テストモード画面例

Fig. 11 test mode

る。利用者は正解だと思う指文字をモーションセンサにかざす。正解指文字と同じであると判定がされた場合、花丸が表示されるとともにスコアが加点され、次の問題に進むことができる。しかし、正解と判定されない限りは次の問題に進むことができない。ここで「答え」ボタンを押すことにより、正解指文字の 3D CG が左側に表示される。これにより勉強モードと同様に形状を確認することができると同時に、次の問題へ遷移することができるが、この場合スコアは加点されない。現在のスコアは、画面右下に常に表示される。全問題の正解回数により、テスト結果画面でランクづけを表示する。正答率が 100% の場合 A ランク、約 60% 以上で B ランク、それ以下で C ランクとしている。

6. 評価実験

本章では提案認識手法に対する評価実験およびアプリケーション・インタフェースのアンケート評価について述べる。実験環境は、3.1 節で述べたシステム構成である。具体的には、Apple MacBook Pro (OS X 10.10.5, CPU 2.4GHz Intel Core i5, メモリ 8GB) および Unity Pro 5.1.0 を用いた。

6.1 認識性能評価

本稿では、カテゴリ分類による指文字認識手法の基本性能を評価するため、17 種類の指文字を対象に認識評価実験を行った。評価対象の指文字は、掌の向きが正面向きで

表 2 評価実験用カテゴリ分類

Table 2 category classification for experiment

五十音	掌の向き	伸びている指	接触
あ	正面	親指	—
い	正面	小指	—
う	正面	人差し指/中指	あり
か	正面	人差し指/中指	なし
き	正面	人差し指/小指	—
け	正面	親指以外	—
さ	正面	なし	あり
し	裏	親/人差/中指	なし
せ	正面	中指	—
と	裏	人差し指/中指	あり
ひ	正面	人差し指	—
む	裏	親指/人差し指	—
や	正面	親/小指	—
ゆ	裏	人差/中/薬指	なし
る	正面	親/人差し/中指	—
れ	正面	親指/人差し指	—
わ	正面	人差/中/薬指	—

ある 13 種類、裏向きで親指の位置を計測しやすい 2 種類、計測しにくい 2 種類を選出した。また、指同士の接触判定が必要な指文字 2 種類「う」「か」を入れている。具体的には、「あ」「い」「う」「か」「き」「け」「さ」「し」「せ」「と」「ひ」「む」「や」「ゆ」「る」「れ」「わ」の 17 種類である。これら評価対象指文字のカテゴリ分類を表 2 に示す。なお今回の分類では指全体の向きを必要としない。

評価実験は、3 人の被験者に対して実施した。はじめに、被験者がモーションセンサの計測範囲をイメージしやすいように、画面に表示される 3D CG を見ながら手を動かす動作を数分行う。次に、各指文字を指定された順番にモーションセンサに対してかざす。正解指文字の形状は、あらかじめ教示されている。指文字から異なる指文字への遷移時は、一度掌を広げた状態をとることとする。指文字をモーションセンサにかざした場合、指文字であると 1.5 秒以上継続して判定された場合を認識実施と判断し、その認識結果を評価に用いる。判定されなかった場合は、認識結果なしと判断する。全ての指文字実施を 1 セットとし、実験は計 5 セット行った。被験者 3 人の平均正答率を表 3 に示す。

全 17 種類の指文字に対する平均正答率は 77.6% であった。そのうち、掌が正面向きである 13 種類の指文字に対する平均正答率は 88.1% であった。

掌が裏向きである指文字 4 種類は、概して正面向きの 13 種類より正答率が低い。この原因としては、掌が裏向きであることにより中心位置および法線方向の取得精度が低下し、また指が掌に隠れてしまうために指先位置の取得も困難になることが想定される。また、親指の位置を計測しやすい 2 種類「し」「む」の方が、計測しにくい 2 種類「と」

表 3 認識性能評価結果
Table 3 recognition result

指文字	平均正答率 (%)	指文字	平均正答率 (%)
あ	87	い	67
う	100	か	100
き	99	け	80
さ	80	し	7
せ	53	と	80
ひ	80	む	7
や	100	ゆ	80
る	100	れ	100
わ	99		

「ゆ」より正答率が大幅に低い。上記の2種類はいずれも手指全体を裏横向きにしている。この指文字形状がデータ取得および推定精度に影響を及ぼしている可能性がある。前者の原因とともに、詳細な調査・評価が必要であると考えられる。

次に、掌が正面向きである指文字13種類の中では「い」および「せ」の正答率が低い。「せ」は中指だけを立てる指文字であり、その形状をうまく模倣できない被験者がいたことによる。「い」は「あ」「せ」「ひ」と同じく、どの指一本を伸ばしているかで判定する。「い」は小指であり、その大きさから他の指に比べて折り曲がり判定が不安定であったと考えられる。これらの原因に対しては、しきい値の最適化など判定手法の改良や、判定ルール適用順序の最適化を検討する必要がある。

その他には、被験者がモーションセンサの計測範囲を把握できず、範囲外で指文字を行ってしまうことがあった。アプリケーションとしては、計測範囲を外れた際の警告を行うようにする必要があると考えられる。

6.2 アプリケーション・インターフェース評価

次に、指文字学習支援アプリケーションおよびそのインタフェース評価を行った。本稿では、学習支援アプリケーションとしての効果およびインターフェースの操作性を中心にアンケート評価を実施した。アンケート対象者は指文字の知識がない人とし、PC操作経験の有無に応じてそれぞれ7人を選出した。

アンケート実施の手順としては、はじめに指文字参考書での勉強と指文字教育用DVDでのテストを体験してもらう。次に、本アプリケーションによる勉強モードとテストモードを体験してもらう。テストモードでは、定められた特定の文字に対するテストを行う。その上で、自習手段としての参考書と本アプリケーション勉強モードの比較と、テスト手段としてのDVDと本アプリケーションテストモードの比較を行う質問を課した。それぞれ、どちらで継続して学習したいか（もしくはどちらでもできないか）を質問した。また、本アプリケーションを再度利用したい

表 4 アンケート結果 (1)
Table 4 questionnaire results (1)

どちらで継続して自習したいか			
PC 経験	参考書	どちらとも思わない	勉強モード
なし	1	0	6
あり	1	4	2
どちらで継続してテスト学習したいか			
PC 経験	DVD	どちらとも思わない	テストモード
なし	0	2	5
あり	0	0	7
本アプリケーションを再度利用したいか			
PC 経験	したくない	どちらとも思わない	したい
なし	0	4	3
あり	1	2	4

か否かをあわせて質問した。インタフェース評価としては、インストラクタがいなくてもアプリケーションを利用できるか否か、およびアプリケーション操作上の良いところ・悪いところを選択項目および自由回答で、それぞれ質問した。

アプリケーションに関するアンケート結果を表4に示す。まず自習手段の比較に関して、PC経験がない人は概ね勉強モードへの評価が多かった。アンケート実施者への詳細ヒアリング例として、Leap motionによる3D CG操作が面白いため楽しみながら継続して勉強ができると感じた、との回答を得たことから、アプリケーションとしての面白さが評価されたと考えられる。一方PC経験がある人は、自習手段としてどちらも選択しない人が多数いた。詳細ヒアリング例として、自分が知りたい指文字を検索して確認する機能がないため、との回答を得た。アプリケーション改善の一機能として、検索機能が必要であると考えられる。次にテスト手段の比較に関しては、PC経験の有無によらずテストモードへの評価が多かった。詳細ヒアリングからは、正解に応じてスコア・ランクが目に見えて向上する点を気にいった人が多く、そのゲーム性が評価されたと考えられる。アプリケーションの再利用に関しては、PC経験の有無によらず半数程度は好意的であったが、同様に半数程度からはどちらとも思わないとの回答を得た。このことから、繰り返し利用を促すための学習支援効果の提示方法やゲーム性改善などに関して、さらなる検討が必要であると考えられる。

次に、インタフェースに関するアンケート結果を表5に示す。インストラクタの必要性に関しては、PC経験がない人の半数にとってはまだ説明が必要であるとの結果を得た。詳細ヒアリングからは、画面遷移などでの大きな問題はなかったが、ヘルプ画面による支援機能に問題を挙げる回答があった。これは、理解できない機能詳細はタイトルへ戻ってヘルプボタンから確認する必要があったため、ヘルプ利用そのものが煩わしくなるためだと考えられる。

表 5 アンケート結果 (2)
Table 5 questionnaire results (2)

インストラクタなしで利用できるか		
PC 経験	できない	できる
なし	4	3
あり	2	5

アプリケーション操作上の良し悪しに関しては、Leap motion による操作そのものが良いとの回答が多数あった。その一方で、正解であるはずの指文字がなかなか正しく判定されず、結果として問題遷移に時間がかかる点が悪いとの回答もあった。これより、6.1 節で述べた計測範囲を外れた場合の警告機能開発や、指文字認識性能向上を図る必要があると考えられる。

7. おわりに

本稿では、モーションセンサを用いて指文字学習を支援するアプリケーションの検討および提案を行った。センサで取得した手指の 3 次元情報からその形状を把握し、指文字における形状特徴を用いたカテゴリ分類に基づき指文字認識を行った。それと同時に、アプリケーション内で手指形状を 3D CG として提示し、正解指文字の 3D CG と比較できるようにすることで、認識結果と合わせて立体的な形の正しさを容易に確認・模倣できる勉強モードを用意した。さらに、どのくらい指文字を覚えることができたかを測るテストモードを用意し、スコアゲームとして実装することで繰り返し実施を促し、学習意欲維持の動機づけを狙った。指文字認識手法に関する性能評価実験およびアプリケーション・インタフェースに対するアンケート調査を実施し、その結果に対する考察を行った。

認識手法に対する今後の課題としては、6.1 節で述べたように、判定手法の改良や判定ルール適用順序の最適化、掌が裏向きである場合のデータ取得精度調査などがある。また、動きのある指文字や細かな指形状の違い（例えば「い」と「ち」）などに対応するための追加分類ルール、もしくは学習に基づく認識手段の導入（Random Forest 等）、モーションセンサから取得できる特徴量の追加などを検討する必要がある。

一方アプリケーションおよびインターフェースに対する今後の課題としては、6.2 節で述べたように、指文字検索機能、ヘルプ機能、計測範囲を外れた場合の警告機能などの開発や、学習支援効果の提示方法、ゲーム性改善などに関する検討などを挙げることができる。また、複数文字からなる単語（例えば地名・人名など）に対する学習機能もあわせて検討する必要がある。

参考文献

[1] WHO Media centre: Deafness and hearing loss,

- World Health Organization (online), available from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs300/en/> (accessed 2016-10-01).
- [2] 厚生労働省社会・援護局：平成 18 年身体障害児・者実態調査結果，厚生労働省（オンライン），入手先 <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/shintai/06/>（参照 2016-10-01）。
- [3] Anovum GmbH: Japan Trak 2015 調査報告書，一般社団法人日本補聴器工業会（オンライン），入手先 <http://www.hochouki.com>（参照 2016-10-01）。
- [4] 一般財団法人全日本ろうあ連盟：「手話言語法（仮称）制定推進事業」報告書，一般財団法人全日本ろうあ連盟（オンライン），入手先 <http://www.jfd.or.jp/info/misc/sgh/20120728-sgh-report2012.pdf>（参照 2016-10-01）。
- [5] NPO 手話技能検定協会：手話技能検定公式テキスト 5・6・7 級，日本能率協会マネジメントセンター（2010）。
- [6] 手話コミュニケーション研究会：新・手話辞典，p. 20，中央法規出版（2005）。
- [7] 庄司美千代：特別支援学校（聴覚障害）小学部の国語科指導におけるコミュニケーション手段と教材活用に関する現状，国立特別支援教育総合研究所研究紀要，Vol. 42，pp. 41-49（2015）。
- [8] こどもくらぶ：やってみよう！はじめての手話 2 指文字をおぼえよう，岩崎書店（2001）。
- [9] NPO 手話技能検定協会：指文字読み取り練習 DVD Part1，DVD（2007）。
- [10] 河原圭佑，鈴木健嗣：装着型機器を用いた指文字の音声翻訳による対話コミュニケーション支援，第 77 回全国大会講演論文集，2N-03，No. 1，pp. 619-620（2015）。
- [11] 船坂真生子，石川由羽，高田雅美，城 和貴：Leap Motion Controller を用いた指文字認識，情報処理学会 数理モデル化と問題解決（MPS）研究会研究報告，MPS-102（2015）。
- [12] 白石孝弥，井上勝文，吉岡理文，柳本豪一：距離画像センサに基づく動きを含む日本語の指文字認識，第 18 回画像の認識・理解シンポジウム（MIRU2015），DS1-12（2015）。
- [13] 白石孝弥，井上勝文，吉岡理文：距離画像センサに基づく SOM を用いた日本語の指文字認識とスポッティング手法，第 19 回画像の認識・理解シンポジウム（MIRU2016），PS1-26（2016）。
- [14] 藤澤義範，伊藤祥一：拡張現実を用いた指文字の学習支援，平成 27 年度工学教育研究講演会講演論文集，1A06，No. 63，pp. 12-13（2015）。
- [15] 近藤真暉：動きを伴う指文字を含めた距離画像を用いた対話的指文字練習システムの開発と評価，修士論文，筑波技術大学大学院技術科学研究科（2015）。
- [16] 近藤真暉，加藤伸子，福井和広，岡崎彰夫：動きを伴う指文字を含めた距離画像を用いた対話的指文字練習システムの開発と評価，電子情報通信学会福祉情報工学研究会（WIT）技術報告，WIT2014-89（2015）。
- [17] 永井 敦，竹内健人，森本正志：Leap Motion を用いた指文字学習支援アプリケーションに関する研究，平成 27 年度電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会，P-2-15（2016）。
- [18] Unity Technologies: Unity - Game engine, tools and multiplatform, Unity Technologies (online), available from <https://unity3d.com/jp/unity> (accessed 2016-10-01).
- [19] Leap Motion, Inc.: Mac & PC Motion Controller for Games, Design, Virtual Reality & More, Leap Motion, Inc. (online), available from <https://www.leapmotion.com> (accessed 2016-10-01).