

## 研究論文

## モーショセンサを用いた指文字学習支援アプリケーション

森本 正志<sup>1,a)</sup> 川除 慎吾<sup>1</sup> 加藤 雅弥<sup>1</sup> 田端 壺成<sup>1</sup> 加藤 秀康<sup>1</sup> 永井 敦<sup>1</sup> 竹内 健人<sup>1</sup>

受付日 2020年1月15日, 採録日 2020年5月25日

**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。手話の一種である指文字は、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センサを用い、簡単・効率的な指文字自主学习を支援するアプリケーションの提案を行う。本アプリケーションは、利用者が模倣する指文字をモーショセンサで3次元位置情報として取得し、カテゴリ分類に基づく指文字認識を行う。3D CGとして模倣形状を提示し、利用者は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、指文字の習熟度を測るテストモードおよびゲームモードを導入し、繰り返し学習への動機づけを提供する。本稿では指文字認識手法の性能評価とアプリケーションの利用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, モーショセンサ, 3次元認識, ゲーム

## An Application of Self Learning Support on Fingerspelling Using Motion Sensor

MASASHI MORIMOTO<sup>1,a)</sup> SHINGO KAWAYOKE<sup>1</sup> MASAYA KATO<sup>1</sup> KAZUNARI TABATA<sup>1</sup> HIDEYASU KATO<sup>1</sup>  
ATSUSHI NAGAI<sup>1</sup> KENTO TAKEUCHI<sup>1</sup>

Received: January 15, 2020, Accepted: May 25, 2020

**Abstract:** The promotion of sign language is important for the communication with hearing-impaired people. Fingerspelling, one of sign language, 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 based on category classification. The shape is displayed and compared with the correct finger alphabet as 3D CGs together with the recognition result. Test and gamification functions to evaluate users' fingerspelling proficiency are also proposed for the better motivation of repetitive learning. The performance experiments of the recognition method and questionnaire survey to each function showed the effectiveness and challenges of the proposed methods.

**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4億6,600万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

3,400万人が聴力の問題を抱えている [1]。内閣府刊行の平成25年版障害者白書によれば、日本における聴覚障害者は約34万人にのぼる [2]。また、難聴者数は平成30年調査で全人口の11%強である約1,400万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1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。日本語に關す

<sup>1</sup> 愛知工業大学情報科学部  
Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology, Toyota, Aichi 470-0392, Japan  
a) morimoto@aitech.ac.jp

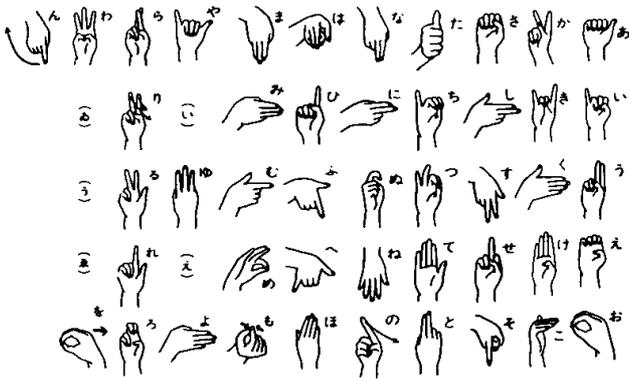


図 1 指文字五十音 (文献 [6] より図を引用)

Fig. 1 Finger alphabet.

る手話には、大きく分けて日本手話、日本語対应手話、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。一方日本語対应手話は、日本語の単語に手話単語を一語一語対応させ、日本語どお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1歩であるといえる。実際、指文字学習教材としてさまざま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いえる。

この問題に対し、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・効率的な指文字自主学习を促す学習支援アプリケーションを提案する。モーションセンサは手指の形状を3次元位置情報として取得し、本アプリケーションはカテゴリ分類に基づく指文字認識を行う。また、認識結果とあわせて手指形状を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、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、単に模倣を繰り返すだけでは利用者の学習意欲が低下する。そこで、習熟度評価を行うテストモードおよびゲーム性を持つゲームモードを導入することで、繰り返し学習の意欲を維持する動機づけを提供し、面白みを感じな

がら自主学习できるアプリケーションを目指す。

本稿の構成は以下のとおりである。2章で関連研究・技術について述べる。3章で提案アプリケーションの概要について述べる。4章でモーションセンサを用いた指文字認識機能について説明し、5章で学習支援機能の各モードについて説明する。6章で指文字認識機能および学習支援機能の評価実験について述べ、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

本研究で用いるモーションセンサ Leap Motion Controller™ (LMC) は、手指位置計測・トラッキングに特化したデバイスである [10]。VR/ARなどのエンターテインメント、ヘルスケア、工業デザイン、ロボティクスなどのインタラクティブなソフトウェアアプリケーションで用いることが想定されている。センサ詳細に関しては4.1節で述べるが、安価・小型で比較的高い精度を示すモーションセンサであることから、数多くの研究が報告されている [11], [12]。手話への適用もその1つであり、たとえばアメリカ手話 (ASL) の認識に関する研究が Chong らにより報告されている [13]。日本の指文字に関する研究は後述する。計測性能に関する研究を例にとると、Weichert らは工業用ロボットを用いてペンをかざした場合の先端位置計測精度評価を行い、静止状態で 0.2mm および動作状態で 1.2mm 以下の平均位置誤差を報告した [14]。Guna らはプラスチック製的手指モデルをかざした場合の人差し指位置計測精度評価を行い、静止状態で 0.5mm 以下の標準偏差であること、LMC との相対位置や距離により精度が大きく低下することを報告した [15]。またリフレッシュレートが計測ごとに大きく変化し、その平均値が 39.0Hz および標準偏差 12.8Hz であったことを報告した。Smeragliuolo らはヘルスケアアプリケーション適用に向け手首を中心とした手の三方向回転に対するトラッキング精度評価を行い、掌の向きを正面から側面に変える動作に対する精度が低いこと、および手指形状 (指の折り曲がり) による影響が大きいことを報告した [16]。このように利用目的や使われ方、手指の配置や形状により LMC の計測性能は大きく変化すると考えられる。しかし図 1 に示したように、指文字における手指形状および動作のバリエーションは非常に多い。そこで本研究では [13] などと同様に、LMC による計測と指文字認識手法をまとめて1つの指文字認識機能としてとらえ、その認識性能評価を行う。そして各指文字を表現するどのような手指形状において認識性能が低下するのか考察を行うこととする。

LMC を含め各種センサを用いた日本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、LMC を紐で固定し首から下げて、指文字の認識に使用する [17]。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。また船坂らは、同じく LMC 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 [18]。動きをともなう動的指文字の認識に関しては、Kinect を用いた手法の提案が行われている [19]。井上らは、手領域の重心情報から手の動き出しと動き終わりを検出し、SVM および指の向きや移動方向によるルールベースで動的指文字を認識することで、静止・動的指文字混在で平均 72.4% の認識率を報告した。

近年では OpenPose [20] を用いた一般的なウェブカメラによる静止指文字認識手法の提案が行われている。井上らは、OpenPose を用いた手領域検出および手骨格点推定後、各骨格点の位置情報を基にした特徴量を抽出し、SVM を用いて静止指文字認識を行っている [21]。この手法は 89.9% と高い認識率を示しており、OpenPose による手指推定の活用は有効であると考えられる。一方その推定処理には計算パワーを要するため、軽快なアプリケーション実現においては考慮すべき点が多い。

3.1 節で述べるが、本研究では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モーションセンサ LMC を統一的に用い、手指の詳細な配置関係から導出される特徴量とその動き情報を認識処理に利用する。また 4.2 節で述べるが、機械学習などによる認識手法はその判定根拠を明確に示すことが難しいため、学習支援機能内での利用を前提としている本研究ではカテゴリ分類による認識手法を利用している。

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。たとえば 3D アニメーションキャラクターが行う手話をユーザが見て学習する「ゲームで学べる手話辞典」がある [22]。「スマートデフ」は、4 アングルから撮影した実写動画で手話動作を確認することができる [23]。サイト上で公開されている NHK 手話 CG は、手話の動きをモーションキャプチャで取り込み CG 化しており、指文字に対する辞書機能も提供している [24]。

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 [25]。利用者はウェアラブルデバイスを装着した状態で文字が書かれたマーカを見ることで、マーカ上の指文字 CG を見ることができる。マーカの向きや利用者自身が見る方向を変えることで、その CG をさまざまな角度から閲覧可能である。5.1 節で述べるが、本研究ではカーソルキー操作により指文字 CG を上下左右回転することで、自分からの見え方も含め、任意方向からの指文字形状を確認できるようにしている。また

後述するように、指文字形状の閲覧だけではなく総合的な学習支援アプリケーションとしての開発を行っている。

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 [26]。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。モーションセンサを用いることで手指形状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、聴覚障害者だけでなく指文字に不慣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 概要

提案アプリケーション利用の様子を図 2 に示す。ここでは、5.1 節で述べる勉強モードを利用している。学習すべき指文字が五十音（この場合「あ」）とともに 3D CG でグラフィカルに提示される（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、自分からの見え方も含め、視点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）で利用者の手指を計測し、その手指形状の 3D CG を同時に提示する（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、学習すべき指文字との比較を行うことでその模倣を容易にする。模倣している指文字が提示されている五十音の指文字として正しい場合には、花丸が表示される。

この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 [27]。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

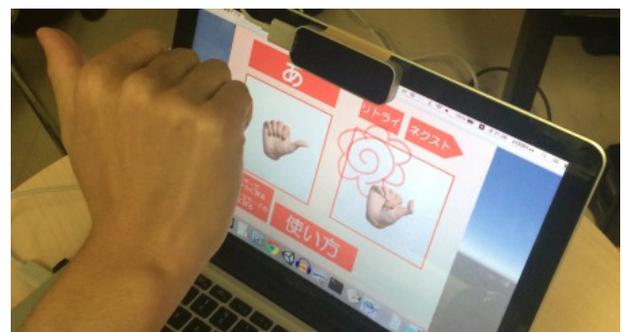


図 2 提案アプリケーション

Fig. 2 Proposed application.

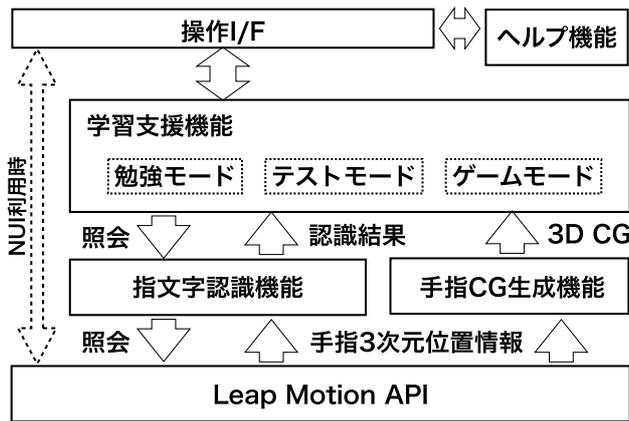


図 3 アプリケーションの機能構成  
Fig. 3 Functions of the application.

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#を用いて開発している。また、モーションセンサとしてはLMCを用いている[10]。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 機能

アプリケーションの機能構成を図3に示す。大きくは学習支援機能と指文字認識機能から構成され、LMCからの情報に基づき手指の3D CGを生成する機能や、ヘルプ機能などの基本的な機能も用意している。またアプリケーションを操作するインタフェースの一部では、LMCのジェスチャ認識機能に基づくNUIを用いている。

学習支援機能は利用者による指文字の做い学習(模倣学習)を支援するための機能であり、勉強モード・テストモード・ゲームモードがある。詳細は5章で述べるが、勉強モードは前節でも例示したように指文字を1文字ずつ做い学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という習熟度評価を行うためのモードである[28]。ゲームモードは、スコアゲームとしての練習メニューを提供することで、繰り返し学習への動機づけを提供するためのモードである[29]。

これらの学習支援機能において、模倣している指文字が提示されている五十音の指文字として正しいかどうかを、アプリケーション内の指文字認識機能が判定する。詳細は4章で述べるが、本アプリケーションではモーションセンサで計測した手指の3次元位置情報から得られる特徴量に基づき、ルールにのっとったカテゴリ判定を行うことで指文字の認識を行っている。

## 4. 指文字認識機能

本章ではモーションセンサを用いた指文字認識機能につ



図 4 Leap Motion Controller™ (文献[10]より写真を引用)  
Fig. 4 Leap Motion Controller™.

いて述べる。

### 4.1 手指位置の取得

本研究で用いているLMC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。公式サイトによれば、その計測範囲はデバイス上120×150°の視野角で約60cmまで、リフレッシュレートは120Hz程度とされている[10]。計測性能に関する研究および知見は、2章で述べたとおりである。

LMC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LMC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、LMC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。

LMCでは開発者用SDKが提供されており、LMC手指モデルに基づき手指の骨格情報を取得できる。本研究ではC# SDK v2を用いて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Hands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Fingersクラス内にあるtipPosition関数で取得できる。各情報はFrame関数を呼び出すことで更新できる。LMCのリフレッシュレートで計測された情報はフレームデータとしてバッファ内に時系列で蓄積されており、Frame関数呼び出しにより最新フレームデータおよび過去データを取得可能である。本研究では更新時の最新フレームデータを用いている。

### 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]。そのうち静止形状で文字を表す静止指文字が41種類、動きをともなう動的指文字は6種類である(「の」、「も」、「り」、「を」、「ん」および長音)。促音・拗音・濁音・半濁音29種類は、指文字形状に追加動作を行うことで表現する。本研究では、手指の形状を用いることで静止指文字を、それに加えて手指の動きを検出することで動的指文字を認識する手法

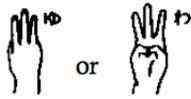


図 5 掌の向きの例 (文献 [6] より図を引用)

Fig. 5 An example of palm direction.

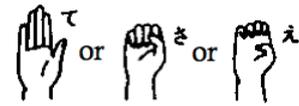


図 6 指の折り曲がりの例 (文献 [6] より図を引用)

Fig. 6 An example of finger stroke.

を提案する。

静止指文字認識は、LMC で把握した手指の 3 次元位置情報から掌の向き、指の折り曲がり、指どうしの接触および指全体の向きの 4 項目を特徴量として算出し、これらを用いたカテゴリ分類ルールにのっとり判定を行うことで実現する。この方式 (いわゆる分類木方式) を用いる理由として、1 つにはスクリプト言語での実装を容易にするとともに、軽量の認識処理によりアプリケーション全体にかかる処理負荷の軽減を狙っていることがあげられる。もう 1 つとして、本研究の目的であるならい学習支援においては、正解判定だけではなく間違っている場合にその理由や直すべき箇所を適切に指示することも重要であると考えていることによる。そこで、内部に特徴量や判定ルールを潜在的に包含する深層学習などの手法ではなく、明示的に特徴量・判定ルールの構造化を行い判定根拠の明確化を可能とするルールベース手法を採用している。

#### 4.2.1 掌の向き

指文字をカテゴリ分類する場合、最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。このうち最も多いものは正面向きで、次が裏向きである。たとえば図 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、親指先端の位置と掌の位置関係も用いて、掌の大まかな向きを補足情報として推定する。

#### 4.2.2 指の折り曲がり

各指の折り曲がりに関しては、親指以外の各指に対し伸びている・曲がっている・中間の 3 分類を定義する (親指は 2 分類)。ほとんどの場合は伸びているか曲がっているかの 2 分類で十分だが、指を曲げる程度が複数段階ある指文字が存在するためである。折れ曲がり判定手法としては、判定に使用する 2 点間の座標を、親指以外は各指先とその指の中手骨の中間の座標に、親指は親指の指先と小指の中手骨上端の座標を用いる。この距離と各指の長さとの割合を求め、しきい値処理により分類を実施する。たとえば図 6 の場合、すべての指が伸びていると判定されれば「て」、曲がっていれば「さ」、中間ならば「え」と認識することができる。

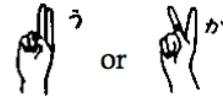


図 7 指どうしの接触の例 (文献 [6] より図を引用)

Fig. 7 An example of touch between fingers.

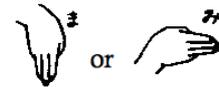


図 8 指全体の向きの例 (文献 [6] より図を引用)

Fig. 8 An example of fingers direction.

#### 4.2.3 指どうしの接触

上の 2 項目だけを用いて判定できる指文字は多いが、両特徴ともまった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、指どうしの接触および指全体の向きを用いる。指どうしの距離は、比較したい各指先の位置情報から指どうしの距離を算出し、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。たとえば図 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。

ここで例外的な指文字として「う」、「ら」が存在する。「う」は人差し指と中指がそのまま伸びているが、「ら」は人差し指が中指の手前に重なっている。この場合の例外処理として、指先座標間の水平方向距離だけを用い、しきい値処理により 2 文字を判別する。

#### 4.2.4 指全体の向き

指全体がどちらを向いているかに関して、上向き・横向きおよび下向きの 3 種類に分類する。たとえば図 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。指全体の向きは指先の位置情報および掌の中心位置から算出することができるが、LMC API 関数からも方向ベクトルが得られ、これらを用いて判定する。

#### 4.2.5 認識結果出力

4 項目の特徴量を用いたカテゴリ分類ルールの抜粋例を表 1 に示す。この表は、掌が裏向きであると判定された後のルール例である。

カテゴリ分類ルールによる判定は、LMC から得られた各フレームデータに対して行われる。この結果をそのまま学習支援機能で利用すると、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

表 1 カテゴリ分類ルール例  
Table 1 Examples of classification rules.

五十音	伸びている指	接触	向き
く	全部	あり	横
す	親/人差/中指	なし	下
ま	人差/中/薬指	なし	下
ゆ	人差/中/薬指	なし	上
と	人差し指/中指	あり	上
ふ	親指/人差し指	—	下
へ	親指/小指	—	—

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（本研究では 200 回）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。

### 4.3 動的指文字認識

次に、動きをとともう動的指文字を認識するためには、手指の形状に加えてその動きを検出する必要がある。本研究では、LMC から得られる手指 3 次元位置情報をフレームデータ系列で解析することで動きを検出し、4.2 節における認識結果と合わせて動的指文字を認識する手法を提案する。

#### 4.3.1 一方向の動き検出

濁音は、元となる指文字を（自分から見て）右方向へ移動させることで表現する。たとえば、「ば」は「は」の指文字を形作った後にそのまま右方向へ動かす。同様に、半濁音は上方向に、促音と拗音は自分の方に動かす。また、「を」は「お」の指文字を自分の方に動かす。長音は、人差し指のみを伸ばし、人差し指を上から下に下げることで表現する。

これらの指文字認識手法としては、手指形状が元の指文字の形状（たとえば「は」）になったと判定された場合に、並行して動き検出処理を開始する。本手法では掌（長音だけは人差し指）の動きベクトルを検出する。動きベクトルの大きさがしきい値以上である場合には、その方向に応じて濁音（「ば」）・半濁音（「ぱ」）などと判定し、4.2 節における方法と同じくそれぞれの文字判定回数として記録する。そして、手指形状が元の指文字形状から変化した場合には一連の動作が終了したもとして動き検出処理を終了し、動的指文字としての判定条件が満たされた場合にはただちにその結果を出力する。

#### 4.3.2 複雑な動き検出

「の」、「り」、「も」の指文字は単純な動きではなく、手指の動き方向で判定することは難しい。たとえば、「の」は人差し指だけを伸ばし、カタカナの「ノ」を書くように動かすことで表現する（図 9）。これらの指文字認識手法とし

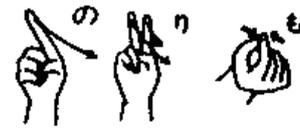


図 9 複雑な動的指文字（文献 [6] より図を引用）  
Fig. 9 Complicated moving finger alphabets.

ては、各指文字の動き始めにおける手指形状と、その指文字であるための継続条件、および動き終わりの判定条件を用意する。動き始めの手指形状であると判定された場合には、本手法により継続条件と判定条件が随時確認され、継続条件が途切れた場合には本処理を終了し、判定条件が満たされた場合にはその指文字であると判定される。たとえば「の」の場合、動き始めの手指形状は「人差し指だけが伸びて指全体の向きが上向き」、継続条件は「人差し指だけが伸びている」、判定条件は「指全体の向きが横向き」である。

#### 4.3.3 例外処理

指文字「ん」は、人差し指でカタカナの「ン」を書くように動かすことで表現する。つまり 2 つの動作で 1 つの指文字を表現しているため、例外処理としての認識手法を用意する。まず、基本的には上述した一方向の動き検出を用い、1 画目を認識する。1 画目が終了したと判定されると、その終点位置を記録する。そして 2 画目を認識した場合、1 画目の終点と 2 画目の始点が近い場合に「ん」と判定する。

## 5. 学習支援機能

本章では学習支援機能の各モードについて述べる。

### 5.1 勉強モード

勉強モードは各指文字を 1 文字ずつならい学習するためのモードである。はじめに五十音のどの行を学習するか選択する。行のなかでは、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、指文字を見る側からの表現ではその形状を確認しにくい場合がある。そこで、カーソルキー操作により CG を上下左右回転することで、自分からの見え方も含め、任意方向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位置情報に基づき手指 CG 生成機能により描画された 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、

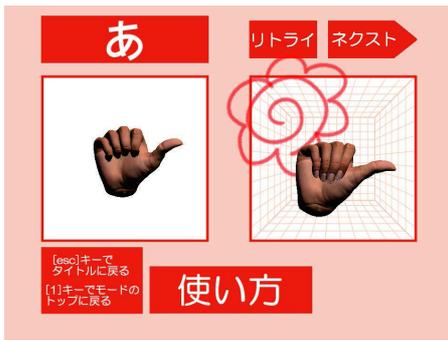


図 10 勉強モード画面例  
Fig. 10 An example of study mode.

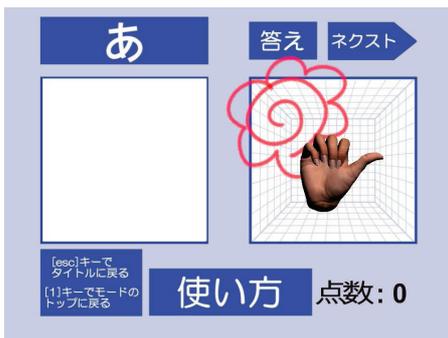


図 11 テストモード画面例  
Fig. 11 An example of test mode.

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、行内のすべ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。

## 5.2 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という習熟度評価を行う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。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る。利用者は正解だと思ふ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指文字認識機能により判定された場合、花丸が表示されるとともに右下の点数が加点され、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、この場合点数は加点されない。現在の点数は、画面右下につねに表示される。全問題の正解回数により、テスト結果画面でランクを表示する（正答率が 100% の場合 A ランク、60% 以上で B ランク、30% 以上で C ランク、それ以下で D ランク）。

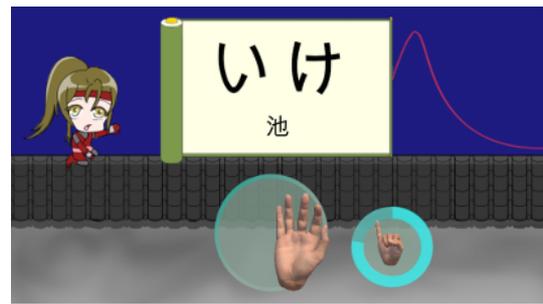


図 12 出題画面例  
Fig. 12 An example of question view.

## 5.3 ゲームモード

テストモードは自身の習熟度がランクとして評価されることから、継続的な自主学習のきっかけにはなると考えられる。しかし機能がシンプルであるために、繰り返し利用を長く促す効果には乏しい可能性がある。そこで本アプリケーションは、ゲーム性を持つゲームモードを別に用意することで、繰り返し学習の意欲を維持する動機づけを提供する。本研究では、シナリオ型およびアイテム収集型ゲームの 2 種類を提案し、異なるゲーム性による反復学習効果を検証する。

### 5.3.1 シナリオ型

シナリオ型ゲームモードは、ゲームシナリオによるストーリー性を取り入れることで学習行動のゲーム化を図るものである。開始から終了まで話を読み進めていき、途中で出題される問いに対して指文字で答え、最後にその判定結果を表示する。

ゲーム内では忍者が屋内へ侵入するシーンを想定し、声を立てないために指文字を使う、という理由づけをしている。ストーリーの途中で指文字の問題が出題される。今回の問題は、指文字 2 文字からなる単語計 3 問として構成した。各問題は、画面上部に漢字およびひらがなで表示される（図 12）。先頭の文字に対応する指文字を正しく実施すれば正解となり、文字が赤く変化し次の文字へ移行する。問題には制限時間が設けられており、画面右下のサークルのバーで表示される。一定以上の時間が過ぎると、現在回答している文字のヒントがサークルの中央に表示される。2 文字とも正解するか制限時間を過ぎるとその結果が表示され、シナリオの進行に戻る。

ストーリー最後の判定結果としては、問題の正解数と解答時に残っていた時間から得点を算出し、評価とコメントを表示する（図 13）。評価は得点に応じて 6 段階用意し、その評価に対応したコメントを表示する。

### 5.3.2 アイテム収集型

アイテム収集型ゲームモードは、ゲーム中のアイテムを収集しその完成を目指すことで学習行動のゲーム化を図るものである。

ゲーム内では指文字問題を解くことで出現する 3 体の敵



図 13 判定画面例

Fig. 13 An example of result view.

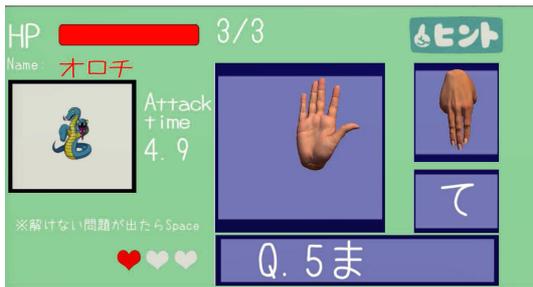


図 14 プレイ画面例

Fig. 14 An example of playing view.



図 15 図鑑画面例

Fig. 15 An example of picture book view.

モンスターにダメージを与え、クリアを目指す。クリア結果に応じてモンスターの図鑑が作成され、反復して問題を解くことでその完成を目指す。敵モンスターは強さに応じて攻撃時間が定められており、画面左側の AttackTime が 0 秒になると敵モンスターが攻撃を行い、画面左下にある自分のライフが削られる (図 14)。敵攻撃前に指文字問題を解けば、画面左上にある敵モンスターの HP を減らし攻撃時間を元に戻すことができる。利用者が実施した指文字形状は画面中央に表示される。出題された文字と異なる場合には、その形状に対応する文字をその右側に表示させることで、何と間違えたか容易に理解できる。難易度設定により、敵モンスターの強さや画面右上のヒント表示有無を変更できる。

3体のモンスター討伐 (あるいは失敗) 後に、その討伐結果・指文字正解率・連続正解数・間違えた文字が表示される。討伐したモンスターは図鑑に登録され、設定した難易度に応じて画像や解説テキストの表示が行われる (図 15)。

## 6. 評価実験

本章では提案した指文字認識機能に対する評価実験、および、学習支援機能に対するユーザ評価実験について述べる。指文字認識機能は静的指文字および動的指文字に対する認識性能に関する評価を行う。学習支援機能は、勉強モード・テストモードが自主学习の手助けになるかどうかをアンケート調査により評価し、次にゲームモードが繰り返し学習の意欲を維持する動機づけになるかどうかを評価する。

### 6.1 静的指文字認識性能評価

はじめに、静止指文字認識に関する性能評価について述べる。静止指文字 41 種類に対し、LMC を用いた本アプリケーションによる指文字学習に慣れている経験者 3 名および慣れていない未経験者 3 名の計 6 名を被験者として評価を行う。本認識機能は学習支援機能の中で用いられる。そこで、あらかじめ指定された指文字を被験者が正しく実施した際に、その指文字が素早く認識されるかで評価する。本アプリケーションの勉強モードを用い、被験者が LMC に手を広げてかざし手指データが取得された状態を初期状態として、指示された指文字の模倣を開始し正解と認識されるまでに要する認識時間を計測する。この時間が定められた制限時間内であれば、認識成功とする。各指文字に対してそれぞれ 5 回評価を行い、平均成功率を認識率として算出する。また評価実験終了後に、本実験で許容できる正解認識までの時間 (許容時間) に関して各被験者にヒアリングを行う。

評価結果を表 2 に示す。表 2 は、指文字の平均認識時間、ヒアリングにより得られた許容時間、および記載された制限時間内の指文字平均認識率を記載している (各制限時間は許容時間の最小値・平均値・最大値)。ヒアリングにより得られた許容時間の平均値は 7.3 秒であった。全被験者平均認識時間の平均は 5.9 秒であり、この数値を下回っている。個別に見ると、経験者 A~C の平均認識時間はいずれもそれぞれの許容時間を下回っていることから、正しい指文字形状を実施した場合の処理時間に問題はないと考えられる。一方、未経験者 D および E の平均認識時間はそれぞれの許容時間を超えている。これは、指文字を実施することに不慣れであり、指文字認識機能が要求する指文字形状を厳密に模倣できないことがその要因であると考えられる。未経験者の平均認識時間はいずれも高めであることから、利用者の指文字習熟度に応じた判定条件のカスタマイズなどを検討する必要があると思われる。

次に、制限時間を平均許容時間の 7.3 秒とした場合、静止指文字 41 種類の平均認識率は 79.3% となった。経験者 3 名の平均は 89.1%、未経験者 3 名の平均は 69.4% であった。この結果から、経験者による正しい指文字形状実施時

表 2 静止指文字認識性能評価結果

Table 2 Recognition results of static finger alphabets.

被験者	平均認識時間	許容時間	平均認識率 (%)		
			4 秒	7.3 秒	10 秒
経験者 A	2.9 秒	6 秒	85.9	96.6	99.0
経験者 B	5.3 秒	10 秒	64.9	78.5	83.4
経験者 C	3.4 秒	4 秒	76.6	92.2	94.6
未経験者 D	9.7 秒	8 秒	62.0	72.7	82.0
未経験者 E	6.5 秒	6 秒	45.4	64.9	82.0
未経験者 F	7.7 秒	10 秒	55.1	70.7	74.6
平均	5.9 秒	7.3 秒	65.0	79.3	85.9



図 16 認識が困難な指文字の例 (文献 [6] より図を引用)

Fig. 16 Difficult finger alphabets.

には比較的高い認識性能が得られている。一方、未経験者による認識率は低く、上記と同様に指文字に不慣れであることが1つの要因であると考えられる。

認識時間に関して指文字ごとに見ると、全被験者平均認識時間の最小値は1.6秒(「て」)、最大値は22.1秒(「ま」)であった。「て」は被験者ごとの認識時間のばらつきも小さい。手指初期状態からの遷移が最も容易であり、また計測しやすい形状(掌の向きは正面・指はすべて伸びている・指全体が上向き)により誤判定が少ないためと考えられる。誤判定回数がないと仮定すると、1回の計測・判定処理は平均8msで実施できていると推定される。一方「ま」は被験者ごとのばらつきが大きい。経験者は平均5.0秒である一方、未経験者は平均39.2秒であり、1名が著しく遅い。これは被験者ごとの得手不得手によるものであると考えられるが、実施および計測しにくい形状(掌の向きは裏面・指全体が下向き)であることもその一因であると考えられる。

認識率が低い指文字に関して個別に見ると、経験者3名で平均認識時間が7.3秒を超えた指文字は延べ9種類、そのうち1名でも認識率が50%を下回った指文字は「こ」、「そ」、「た」、「に」、「ろ」、「わ」の延べ6種類であった。これらの指文字に対する未経験者3名の認識率を調べると、「こ」、「た」、「に」、「わ」の4種類では認識率100%を示す被験者もいた。これより、これらの認識率低下は被験者ごとの得手不得手によるものであると考えられる。一方、「そ」、「ろ」の2種類ではどの被験者でも低い認識率(50%以下)を示した。これより、これらの認識率低下には計測性能・判定条件の問題も存在すると考えられる。逆に、未経験者3名で平均認識時間が7.3秒を超えた指文字は延べ24種類、そのうち1名でも認識率が50%を下回った指文字は延べ22種類、特に0%となった指文字は「そ」、「と」、「ふ」、「へ」、「ま」、「み」の延べ6種類であった。これらの指文字に対する経験者3名の認識率を調べると、「と」、「ふ」、「へ」、「ま」の4種類ではどの被験者でも80%以上の認識率であった。これより、これらの認識率低下は被験者の習熟度によるものであると考えられる。一方、「そ」、「み」の2種類では低い認識率を示す被験者もいた。これより、これらの認識率低下には計測性能・判定条件の問題も存在す

ると考えられる。

以上より想定された計測性能・判定条件の問題として、「そ」は掌が正面を向いていない・折れ曲がっている指が多い・指全体が下を向いているといった、LMCが手指の位置情報を計測しにくい条件が重なっていると考えられる。「み」は掌が裏向き・指全体が横向きである指文字「く」、「し」、「に」、「み」、「む」、「よ」6種類のなかで最も認識率が低い。似た手指形状である「に」(薬指のみ異なる)と薬指計測・判定時に混同している可能性と、薬指を伸ばして小指を曲げることが被験者によっては実施しにくい可能性があげられる。「ろ」では親指・人差し指・中指の折れ曲り判定が厳しいことが要因としてあげられる(図16)。以上の考察より、各指文字に対する被験者ごとの得手不得手や習熟度もあるが、指文字認識処理としての課題にはLMCが手指の位置を計測しにくい条件(たとえば裏向き・下向き)における計測性能の調査、およびそのような条件下での指文字に対する判定条件の調整を行う必要があると思われる。

### 6.2 動的指文字認識性能評価

次に、動的指文字認識に関する評価について述べる。動的指文字35種類に対し、被験者6名(経験者3名・未経験者3名)で評価を行う。4.3節で述べたように、動的指文字は最初に手指静止形状を模倣し、次に指定された動きを開始し最後に動きを止めて終了する。この一連の実行時間は被験者によって異なることから、前節で用いた認識時間による認識率は適切でないと考えた。そこで各動的指文字を10回試行し、そのうち該当する指文字として何回正しく判定されたかという成功回数をカウントする。この平均成功率を認識率として算出する。一方で無制限の試行および認識時間を許容しないように、各試行に対する制限時間(30秒)を設ける。この時間内に判定できない場合には認識失敗とする。

評価結果を表3に示す。全平均認識率は75.1%となった。経験者3名の平均認識率は78.0%、未経験者3名の平均認識率は72.3%で、その値に大きな違いは見られなかった。指文字ごとの認識率に関しては、どの被験者においても大きなばらつきが見られた。指文字ごとの平均認識率に対するヒストグラムを図17に示す。90%以上の平均認識率である指文字は15種類(約43%)、80%以上では22種類(約63%)となっており、半数以上の指文字で比較的高

表 3 動的指文字認識性能評価結果

Table 3 Recognition results of moving finger alphabets.

被験者	平均認識率 (%)	標準偏差 (%)
経験者 A	77.1	35.2
経験者 B	79.7	30.8
経験者 C	77.1	37.0
未経験者 D	74.3	35.6
未経験者 E	61.4	42.2
未経験者 F	81.1	31.9
平均	75.1	35.4

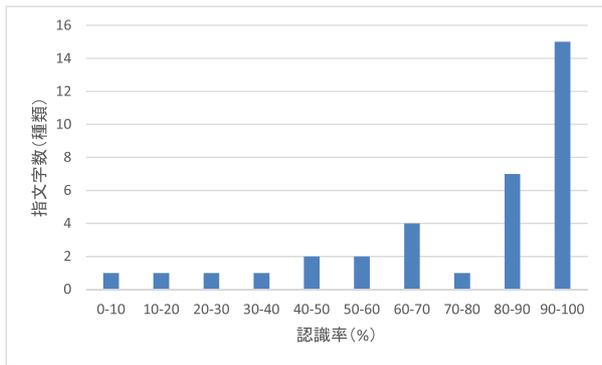


図 17 動的指文字認識率のヒストグラム

Fig. 17 Recognition rate histogram of moving finger alphabets.

い認識率を示していることが分かる。その一方で、ほぼ認識に失敗している指文字も存在する。平均認識率 50%を下回った指文字は、「ぞ」、「ぷ」、「ぺ」、「ず」、「ば」、「ば」の 6 文字である。これらはいずれも濁音・半濁音であり、他の濁音や半濁音の認識率が低くないことを考えると、6.1 節と同様に元の指文字（「そ」、「ふ」、「へ」）の認識に失敗していることが要因としてあげられる。また、手指を動かすことで LMC が認識する形状が崩れてしまう（「ず」、「ば」、「ば」）ことも観察された。複雑な動きを検出する指文字に関しては、「の」、「も」の平均認識率は比較的高く（それぞれ 86.6%, 93.3%）、「り」、「ん」は今ひとつであった（それぞれ 60.0%, 65.0%）。

全平均認識率は先行研究 [19] と同程度ではあるが、被験者によってはまったく認識されない指文字も存在することから、現提案手法ではすべての動的指文字に対して十分な認識性能を示しているとはいえない。静止指文字と同様に、認識率の低い指文字に対する判定条件の調整による精度向上、利用者の指文字習熟度に応じた判定条件のカスタマイズが必要であると思われる。

### 6.3 勉強・テストモード評価

本節では、学習支援機能の勉強モード・テストモードが自主学習の手助けになるかどうか、利用アンケート調査による評価を実施する。被験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。指

表 4 勉強・テストモード評価結果

Table 4 Evaluation survey of study & test mode.

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

文字参考書での勉強と指文字教育用 DVD でのテスト、および本アプリケーションの勉強モードとテストモードを実施する。そのうえで、自主学習手段としての参考書と勉強モードの比較、および習熟度評価手段としての DVD とテストモードの比較を、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）調査した。また、本アプリケーションを再度利用したいか否かをあわせて調査した。

評価結果を表 4 に示す。まず自主学習手段の比較に関して、PC 経験がない人はおおむね勉強モードへの評価が多かった。被験者への詳細ヒアリング例として、LMC による 3D CG 操作が面白い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、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。

次に習熟度評価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、点数・ランクの上昇に好感を感じる人が多く、その可視化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、勉強・テストモードだけでは繰り返し学習を促すには不足していると考えられる。

### 6.4 ゲームモード評価

次に、提案した 2 種類のゲームモードが繰り返し学習の意欲を維持する動機づけになるかどうかに関し、利用アンケート調査による評価を実施する。被験者 6 名（経験者 3 名・未経験者 3 名）が各ゲームモードを実行し、その後アンケート調査を行う。評価項目は、学習性（自主学習への有用性）・反復性（繰り返し学習の動機づけ）に面白さ・操

表 5 シナリオ型ゲームモード評価結果

Table 5 Evaluation survey of scenario game mode.

被験者	学習性	反復性	面白さ	操作性	デザイン性
経験者 A	3	2	2	2	4
経験者 B	1	1	4	2	2
経験者 C	2	3	4	2	4
未経験者 D	3	2	3	2	3
未経験者 E	2	1	5	2	5
未経験者 F	4	2	4	2	3
中央値	2.5	2	4	2	3.5
平均値	2.5	1.8	3.7	2.0	3.5

表 6 アイテム収集型ゲームモード評価結果

Table 6 Evaluation survey of collection game mode.

被験者	学習性	反復性	面白さ	操作性	デザイン性
経験者 A	4	4	5	3	3
経験者 B	4	2	2	4	2
経験者 C	3	4	4	2	3
未経験者 D	4	4	4	2	3
未経験者 E	5	3	5	4	3
未経験者 F	4	4	4	3	3
中央値	4	4	4	3	3
平均値	4.0	3.5	4.0	3.0	2.8

作性・デザイン性を加えた5項目とする。それぞれ1(とても悪い)から5(とても良い)までの5段階評価で回答する。

評価結果をそれぞれ表 5, 表 6 に示す。まず, 経験者と未経験者の差はあまり見られなかった。学習性・反復性に関しては, いずれもアイテム収集型の方が良い結果を示し, シナリオ型の中央値(平均値)は3を下回った。これは, 1度シナリオを読破してしまうと2回目に取り組み動機が薄れることと, 問題のバリエーションを多く用意できなかったことが要因として考えられる。一方アイテム収集型では, 図鑑というやり込み要素や難易度調整によるカスタマイズ性が評価されたと考えられる。面白さに関しては, どちらのゲームモードも比較的良好な結果を得ることができた。一方操作性はどちらのゲームモードもあまり高くない。これは LMC による指文字模倣とキーボードによる操作が混在することや, LMC における手指計測性能の問題があると考えられる。デザイン性はシナリオ型の方が高い。アイテム収集型ではモンスター数の関係上フリー素材を多く利用していることや, プレイ画面における提供情報が多く煩雑になっていることが要因として考えられる。

## 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提案を行った。

アプリケーション内の指文字認識機能として, モーションセンサで計測した手指の3次元位置情報から得られる4

種類の形状特徴量を用いた, カテゴリ分類に基づく静止指文字認識手法を提案した。また, その3次元位置情報をフレーム系列で解析することで動きを検出し, 上記の手指形状認識結果と合わせることで動的指文字を認識する手法を提案した。静的指文字評価実験より平均許容時間内の平均認識率は79.3%となり, 経験者による正しい指文字形状実施時には比較的高い認識性能が得られた。また動的指文字評価実験より平均認識率は75.1%となり, 指文字の種類による大きなばらつきが見られた。学習支援機能としては, 自主学习を支援する勉強モード, 習熟度評価を行うテストモード, 繰り返し学習への動機づけを提供するゲームモード2種類を提案し, ユーザ評価実験によりその有効性に関する考察を行った。

指文字認識機能に対する課題としては, 6.1 および 6.2 節で述べたように, 判定条件やしきい値などの調整による精度向上および個人差の吸収などが必要である。また, LMC による手指計測の限界に対する対処も必要である。まずは LMC が手指の位置を計測しにくい条件(たとえば裏向き・下向き)における計測性能の調査を検討する必要がある。その一方でアプリケーションとしての利用しやすさの点からも, 認識性能に遜色がないという前提のうえで異なるモーションセンサや通常のカメラによる指文字認識機能の検討を行う必要がある。具体的には, 異なるモーションセンサとして Intel<sup>®</sup> RealSense<sup>™</sup> を用いた際の認識率評価 [30] や, 先行研究 [21] と同様の深層学習手法とルールベース手法を組み合わせた認識手法の検討を実施している。さらに, 指文字を用いて単語を表現する際には指文字を連続して実施することから, この連続動作から各指文字を正しく切り出して認識を行う必要がある。この切り出し(インデクシング)に関する研究成果 [31] を認識機能に組み込んでいく必要もあると考えている。

学習支援機能としての課題は, まず 6.3 節で述べた指文字検索機能や 6.4 節で述べた反復性・操作性・デザイン性改善があげられる。本稿では省略しているが, 複数文字からなる固有名詞(地名・人名など)に対する学習機能も組み込んだ改良アプリケーションを作成し, 発表会での展示・意見収集を行っている [32]。その際にいただいた意見やコメントもふまえた全体の課題としては, 全体的な認識精度向上やユーザインタフェース・機能改善による利便性向上, アプリケーションによる学習効果の可視化機能, 勉強モードにおける間違い箇所指摘機能などをあげることができる。このうち間違い箇所指摘機能に関しては, 4.2 節などで言及してきたルールベース手法による判定を活用することができる。たとえば勉強モードで提示された指文字に対する判定に際し, ルールベースであれば計測時の手指形状がどの条件を満たしていないか選出することは容易である。その条件を間違い判定の根拠として, 手指のどの箇所が間違っているかを指摘することができる。図 18 は現



図 18 間違い箇所指摘の画面例

Fig. 18 An example of pointing out view.

在検討中の間違い箇所指摘機能画面例であり、この場合指文字「あ」を模倣するには親指・人差し指・中指を修正すべきことをテキストおよび左側 CG モデル上の赤マークで指摘している。

学習支援アプリケーションそのものとしては、参考書や DVD と比較して学習効率が上昇するのか、学習回数が増加するのか、といった学習システムとしての定量的評価を行う必要がある。前述した可視化機能での記録を想定している学習時間や成績を用いたユーザ評価の実施がその課題としてあげられる。また、本アプリケーションはノート PC および LMC によるシンプルなシステム構成となっている。先行研究 [26] においても同様のシステム構成を例示しており、また文献 [25] ではウェアラブルデバイスを用いていることから、簡易性や可搬性の高さは重要項目の 1 つであると考えられる。一方モーションセンサを別途必要とする点は一般利用に向けた課題の 1 つであり、たとえばタブレット端末のみによるアプリケーションの実現が望ましい。Unity を用いることにより本アプリケーションの移植性は確保しているが、前述したように通常のカメラを用いた高性能かつ軽量の指文字認識機能の実現が、そのための課題としてあげられる。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 JP18K11364 の助成による。

参考文献

[1] WHO Media centre: Deafness and hearing loss, World Health Organization (online), available from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss> (accessed 2020-01-14).

[2] 内閣府:平成 25 年度版障害者白書(全体版),内閣府(オンライン),入手先(<https://www8.cao.go.jp/shougai/whitepaper/h25hakusho/zenbun/furoku.08.html>) (参照 2020-01-14).

[3] Anovum GmbH: Japan Trak 2018 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 2020-01-14).

[4] 一般財団法人全日本ろうあ連盟:手話言語法制定推進事業,一般財団法人全日本ろうあ連盟(オンライン),入手先(<https://www.jfd.or.jp/sgh>) (参照 2020-01-14).

[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] Ultraleap Ltd.: Leap Motion, Ultraleap Ltd. (online), available from <https://www.leapmotion.com> (accessed 2020-01-14).

[11] Guzsvinecz, T., Szücs, V. and Sik-Lányi, C.: Suitability of the Kinect Sensor and Leap Motion Controller — A Literature Review, *Sensors*, Vol.19, No.1072 (2019).

[12] Bachmann, D., Weichert, F. and Rinkeauer, G.: Review of Three-Dimensional Human-Computer Interaction with Focus on the Leap Motion Controller, *Sensors*, Vol.18, No.2194 (2018).

[13] Chong, T.-W. and Lee, B.G.: American Sign Language Recognition Using Leap Motion Controller with Machine Learning Approach, *Sensors*, Vol.18, No.3554 (2018).

[14] Weichert, F., Bachmann, D., Rudak, B. and Fisseler, D.: Analysis of the Accuracy and Robustness of the Leap Motion Controller, *Sensors*, Vol.13, pp.6380-6393 (2013).

[15] Guna, J., Jakus, G., Pogacnik, M., Tomazic, S. and Sodnik, J.: An Analysis of the Precision and Reliability of the Leap Motion Sensor and Its Suitability for Static and Dynamic Tracking, *Sensors*, Vol.14, pp.3702-3720 (2014).

[16] Smeragliuolo, A., Hill, N., Disla, L. and Putrino, D.: Validation of the Leap Motion Controller using marked motion capture technology, *Journal of Biomechanics*, Vol.49, pp.1742-1750 (2016).

[17] 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).

[18] 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,情報処理学会数値モデル化と問題解決(MPS)研究会研究報告, MPS-102 (2015).

[19] 井上勝文, 白石孝弥, 松岡 遼, 吉岡理文:RGB-D カメラに基づく連続表現された日本語の指文字のスポットィング解析,電気学会論文誌 C (電子・情報・システム論文誌), Vol.138, No.10, pp.1230-1241 (2018).

[20] Cao, Z., Hidalgo, G., Simon, T., Wei, S.-E. and Sheikh, Y.: OpenPose: Realtime multi-person 2D pose estimation using Part Affinity Fields, arXiv preprint arXiv:1812.08008 (2018).

[21] 井上勝文, 丸山瑞己, 奥村 司, 松岡 遼, 吉岡理文:OpenPose を用いた日本語の指文字における静止文字認識に関する検討,第 21 回画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2018), PS1-23 (2018).

[22] SoftBank Corp.:ゲームで学べる手話辞典, SoftBank Corp. (オンライン), 入手先(<https://www.softbank.jp/mobile/service/shuwa-jiten/>) (参照 2020-01-14).

[23] KCC Corp.:手話動画辞典アプリ—SmartDeaf (スマートデフ),株式会社ケイ・シー・シー(オンライン),入手先(<https://www.smartdeaf.com>) (参照 2020-01-14).

[24] NHK:NHK 手話 CG—指文字一覧,日本放送協会(オンライン),入手先(<https://www2.nhk.or.jp/signlanguage/sp/syllabary.cgi>) (参照 2020-01-14).

[25] 藤澤義範, 伊藤祥一:拡張現実を用いた指文字学習支援機

器の開発, 電子情報通信学会福祉情報工学研究会 (WIT) 技術報告, WIT2018-7 (2018).

- [26] 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).
- [27] Unity Technologies: Unity Real-time Development Platform, Unity Technologies (online), available from (<https://unity.com/ja>) (accessed 2020-01-14).
- [28] 永井 敦, 竹内健人, 森本正志: 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, 情報処理学会デジタルコンテンツクリエーション (DCC) 研究会研究報告, DCC-14, No.5 (2016).
- [29] 森本正志, 川除慎吾, 加藤雅弥, 田端 吉成, 加藤秀康: 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の機能向上, 情報処理学会デジタルコンテンツクリエーション (DCC) 研究会研究報告, DCC-23, No.16 (2019).
- [30] 新海翔太, 森本正志: RealSense を用いた指文字認識手法および精度比較に関する研究, 平成 30 年度電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会, Po-69 (2019).
- [31] 加藤雅也, 森本正志: 手指動作特徴を用いた連続指文字に対する 3 クラスインデクシング手法に関する検討, 第 81 回全国大会講演論文集, 2R-03, No.2, pp.161-162 (2019).
- [32] 松下麻由, 加藤雅弥, 川除慎吾, 新海翔太, 森本正志: 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, DICOMO2019 併設デジタルコンテンツ制作発表会, No.4 (2019).



森本 正志 (正会員)

1986 年京都大学工学部情報工学科卒業. 1988 年同大学大学院修士課程修了. 同年日本電信電話(株)入社. 1996 年より 1 年間米国スタンフォード大学工学部コンピュータサイエンス学科客員研究員. 2006 年京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻博士後期課程単位取得満期退学. 2007 年同大学学位取得. 博士 (情報学). 2012 年より愛知工業大学情報科学部教授, 現在に至る. 画像・映像等のマルチメディア認識・検索の研究に従事. 電子情報通信学会シニア会員, 本会シニア会員.



川除 慎吾

2019 年愛知工業大学情報科学部情報科学科コンピュータシステム専攻卒業. 現在, 日本アドバンストリーダーズソフトウェア株式会社に所属. 在学中は 3 次元動き認識の研究に従事.



加藤 雅弥

2019 年愛知工業大学情報科学部情報科学科コンピュータシステム専攻卒業. 現在, (株)カーネル・ソフト・エンジニアリングに所属. 在学中はゲーミフィケーションの研究に従事.



田端 吉成

2018 年愛知工業大学情報科学部情報科学科メディア情報専攻卒業. 現在, 清須市役所に所属. 在学中は 3 次元形状認識の研究に従事.



加藤 秀康

2018 年愛知工業大学情報科学部情報科学科コンピュータシステム専攻卒業. 在学中はゲーミフィケーションの研究に従事.



永井 敦

2016 年愛知工業大学情報科学部情報科学科メディア情報専攻卒業. 現在, パーソル R&D 株式会社に所属. 在学中は CG・アプリケーションデザインの研究に従事.



竹内 健人

2016 年愛知工業大学情報科学部情報科学科コンピュータシステム専攻卒業. 現在, (株)コシナに所属. 在学中は 3 次元形状認識の研究に従事.