Vol.2019-CG-176 No.16
Vol.2019-DCC-23 No.16
Vol.2019-CVIM-219 No.16
2019/11/8

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

森本 正志[1,a)]　川除 慎吾[1]　加藤 雅弥[1]　田端 壱成[1]　加藤 秀康[1]

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・効率的な指文字学習を支援するアプリケーションの開発を行なっている．本稿ではその機能向上に関する提案を行う．利用者が模倣する指文字は，モーションセンサで 3 次元情報を取得されカテゴリ分類に基づく指文字認識が行われる．この認識対象を，動きを伴わない静止指文字 41 種類および動きを伴う動的指文字 35 種類に拡張した．また，指文字の理解度テストをゲームとして実施することで繰り返し学習への動機づけを提供するゲームモード 2 種類を作成した．提案指文字認識手法の性能評価と各ゲームモードへの利用アンケート調査を実施し，そ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 Advanced Learning Support Application of Fingerspelling using Motion Sensor

Masashi Morimoto[1,a)]　Shingo Kawayoke[1]　Masaya Kato[1]　Kazunari Tabata[1]　Hideyasu Kato[1]

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 improvements of previously developed application with a 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. 41 static finger alphabets with no motion and 35 moving ones are recognized by improved recognition methods. The shape is displayed and compared with the correct finger alphabet as 3D CGs together with the recognition result. Gamificational two functions to test 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 6600 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 3400 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 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

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

© 2019 Information Processing Society of Japan

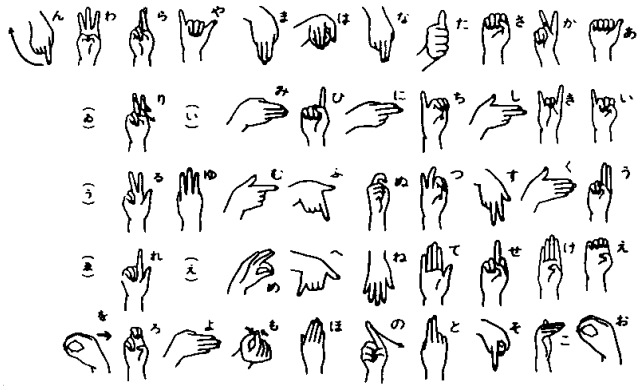

図 1 指文字五十音（[6] より図を引用）
Fig. 1 Finger Alphabet

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（大曽根式指文字）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．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・効率的な指文字学習を促す学習支援アプリケーションを提案する．これまでに，モーションセンサで把握した手指の 3 次元位置情報から動きを伴わない静止指文字の認識を行う機能と，その形状を 3D CG として提示し，正解指文字の 3D CG と比較することで倣い学習を行う学習支援機能（勉強・テストモード）の開発を行ってきた [10]. 本稿では，その開発および評価で判明した課題点を踏まえ，指文字学習支援アプリケーションの機能向上に関する検討と提案を行う．具体的には，指文字認識対象の拡張および繰り返し学習への動機づけを提供するゲームモードの追加を行い，その評価を実施する.

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 章でこれまでに開発してきた提案アプリケーションの機能について述べ，その課題点を挙げる．第 4 章でモーションセンサを用いた指文字認識手法の拡張について説明し，第 5 章で指文字学習支援のために追加したゲームモードについて説明する．第 6 章で認識手法およびゲームモード評価について述べ，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．[10] 内で引用したモーションセンサ Leap motion や距離画像センサ Kinect を用いた研究に加え，近年では OpenPose[11] 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なっている [12]．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．動きを伴う動的指文字の認識に関しては，例えば Kinect を用いた手法の提案が行われている [13]．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，指の向きや移動方向によりルールベースで動的指文字を認識することで，平均 60.6%の認識率を示している．本研究では 3.1 節で述べるが，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 Leap motion 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，機械学習等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，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，例えば 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 [14].「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 [15]．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 [16]．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 [17]．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

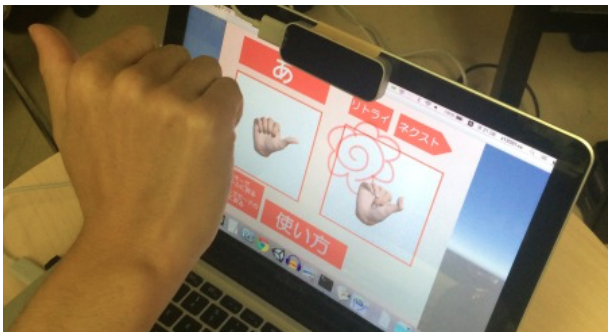

図 2 提案アプリケーション
Fig. 2 Proposed Application

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

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]．本アプリケーション上の処理プログラムは，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 Leap motion を用いている [19]．

本アプリケーション利用の様子を**図 2** に示す．ここでは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）で利用者の手指を取得し，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．

この勉強モードは指文字を 1 文字ずつ倣い学習するためのモードであり，もう一つのテストモードと併せた 2 つの学習支援機能として [10] で提案を行った．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，PC 画面左側の 3D CG が表示されない．出題方法の指定後に解答すべき五十音だけが表示され，正しい指文字形状ができた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総合評価が表示される．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ものである．

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は，アプリケーション内の指文字認識機能により判定される．詳しくは 4.2 節で述べるが，[10] ではモーションセンサで把握した手指の 3 次元位置情報から得られる 4 項目の特徴量に基づき，ルールに則ったカテゴリ判定を行うことで，動きを伴わない静止指文字の認識処理を実施した．これは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ったものである．

3.2 初期アプリケーションにおける課題

[10] で実施した評価により，以下の課題が明らかとなった．まず学習支援機能に関しては，書籍や DVD に比べ高評価は得られたものの，繰り返し利用に至るまでの明らかな効果は認められなかった．考えられる要因として，一つには検索機能・ヘルプ機能などの基本的な機能が不足していることが挙げられる．これに対しては後続開発で適宜対処する予定である．もう一つには，学習支援による向上効果を継時的に提示するフィードバック性や，テストモード以上に繰り返し利用を促すことができるゲーム性の不足が挙げられる．

一方指文字認識機能に関しては，限定した静止指文字 17 種類の評価に留まっていたことから，モーションセンサから取得できる特徴量の追加やカテゴリ判定手法の改良などによる対象静止指文字の拡張および精度向上が必要であると考えられる．また，促音や撥音などの動きを伴う動的指文字への対処も課題である．

以上を踏まえ，本稿では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シナリオ型およびアイテム収集型ゲームのゲームモード 2 種，および，静止指文字 41 種類および動的指文字 35 種類に拡張した指文字認識機能の提案を行い，それらの評価を実施する．

4. 指文字認識機能の拡張

4.1 手指位置の取得

本研究で用いている 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 3**）．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 は図 2 のように PC 画面上部に設置され，利用者は PC 画面に対面して指文字をかざし，同時に表示内容を見ることができる．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．

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，動きを伴う

図 3 Leap motion （[19] より写真を引用）
Fig. 3 Leap motion

動的指文字は 6 種類である．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．

[10] では，Leap motion 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，指同士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則り判定を行う静止指文字認識機能を提案した．この方式（いわゆる分類木方式）を用いる理由として，一つにはスクリプト言語での実装を容易にするとともに，軽量な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挙げられる．もう一つとして，本研究の目的である倣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等の手法ではなく，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 項目の特徴量算出に関し，概要は次のとおりである．

掌の向き

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．Leap motion API 関数で得られる法線ベクトルから判定可能である．また，親指先端の位置と掌の位置関係も用い，掌の大まかな向きを補足情報として判定に用いる．

指の折り曲がり

各指は，基本的に伸びているか曲がっているかの 2 種類に分類する．掌の中心と各指先の位置情報から 2 点間の距離を算出し，しきい値を用いて判定する．

指同士の接触

隣り合う指同士が接触しているかいないかを判定に用いる場合もある．比較したい各指先の位置情報から指同士の距離を算出し，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．

指全体の向き

指全体が上向き，横向きおよび下向きの 3 種類に分類する．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が，Leap motion 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．

次に，これらの項目を用いたカテゴリ分類ルールの抜粋例を**表 1** に示す [10]．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．

Leap motion から得られた 1 フレームデータに対するカテゴリ分類判定結果は，指文字別に判定回数として格納される．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．

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	—	—

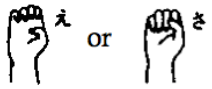

図 4 指の折り曲がりの例（[6] より図を引用）
Fig. 4 An Example of Finger Stroke

4.3 静止指文字認識の機能向上

[10] では，前節で述べた指全体の向き以外の 3 項目を用い，限定した静止指文字 17 種類に対する認識精度評価を報告した．本節では，指全体の向きを加えるとともに，静止指文字 41 種類への認識機能拡張のための精度向上手法に関して述べる．

4.3.1 指の折れ曲り細分化

これまでは指が伸びているか曲がっているかの 2 分類としていたが，指を曲げる程度が複数ある指文字が存在する（**図 4**）．そこで本稿では，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 分類を行うこととする．なお親指については，従来どおりの 2 分類とする．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，親指以外はその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ととする．この距離と各指の長さとの割合を求め，経験的に得られたしきい値処理により分類を実施する．

4.3.2 例外処理

4 項目の特徴だけでは分類できない指文字として，「う」「ら」が存在する（**図 5**）．「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．掌の向き・指の折れ曲り・指全体の向きは同じであり，指同士の接触でも分類できない．そこで本稿ではこの場合の例外処理として，指先座標間の水平方向距離を用い，経験的に得られたしきい値処理により分類を実施する．

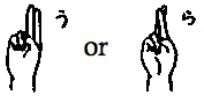

図 5 例外となる指文字（[6] より図を引用）
Fig. 5 Exceptional Finger Alphabets

4.4 動的指文字認識機能

4.2 節で述べたように，動きを伴う動的指文字として「の」「も」「り」「を」「ん」および長音の 6 種類が存在する．また，促音・拗音・濁音・半濁音 29 種類は，対応する指文字形状に追加動作を行うことで表現する．これらの動的指文字を認識するためには，手指の形状だけを用いる手法では不可能である．そこで本節では，手指の動きを検出することによる動的指文字 35 種類の認識手法を提案する．紙面の関係上，動きの検出手法に応じた各指文字認識手法の概要を述べる．

4.4.1 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．例えば，「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（例えば「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．手指形状が変化した場合には，動き検出処理も終了する．

4.4.2 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．例えば，「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 6**）．これらの指文字認識手法としては，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．例えば「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．

4.4.3 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，一画目を認識する．一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．そして二画目を認識した場合，一画目の終点と二画目の始点が近い場合に「ん」であると判定する．

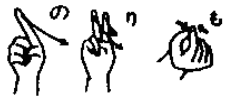

図 6 複雑な動的指文字（[6] より図を引用）
Fig. 6 Complicated Moving Finger Alphabets

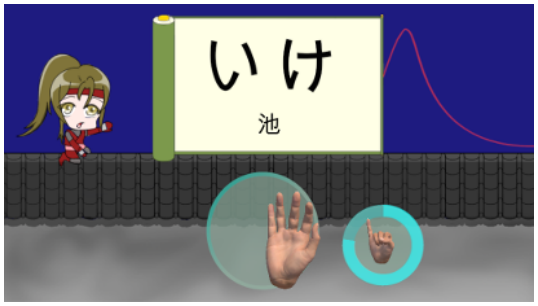

図 7 出題画面例
Fig. 7 An Example of Question View

5. 指文字学習機能の追加

3.2 節で述べたように，本章では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シナリオ型およびアイテム収集型ゲームのゲームモード 2 種を提案する．

5.1 シナリオ型ゲームモード

本ゲームモードは，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り，繰り返し学習への動機づけを提供しようとするものである．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 7**）．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

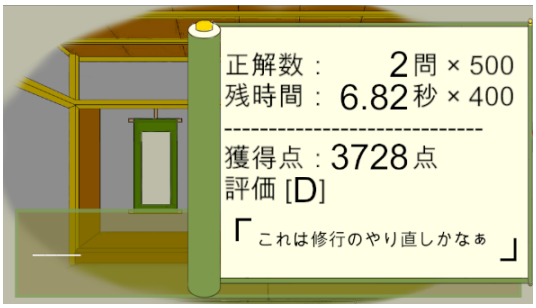

図 8 判定画面例
Fig. 8 An Example of Result View

図 9 プレイ画面例
Fig. 9 An Example of Playing View

を表示する（**図 8**）．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．

5.2 アイテム収集型ゲームモード

本ゲームモードは，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り，繰り返し学習への動機づけを提供しようとするものである．

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 9**）．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 10**）．

図 10 図鑑画面例
Fig. 10 An Example of Picture Book View

6. 評価実験

本章では提案した指文字認識手法に対する評価実験，および，学習支援機能に対するアンケート評価について述べる．

6.1 静的指文字認識性能評価

[10] では静止指文字 17 種類に対する平均正答率が 77.6% であった．本節では静止指文字 41 種類に対し，被験者 2 名（アプリ経験者 A と未経験者 B）で評価を行う．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 Leap motion に手をかざしデータが取得されてから，指示された指文字の認識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．

結果を**表 2** に示す．許容できる認識時間のヒアリングを行なったところ，6〜8 秒という意見が得られた．経験者 A の平均認識時間はこれ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ことがわかる．個別に見た場合，「そ」の平均認識時間が 8.2 秒となった．その要因としては，掌が正面を向いていない・折れ曲がっている指が多い・手が下を向いているなど，Leap motion が手指の座標を取得しづらい条件が重なっているためだと考えられる．

次に，制限時間を 7 秒とした場合，静止指文字 41 種類の平均認識率はそれぞれ 96.1%および 71.2%となった．この結果からも，正しい指文字形状を実施した場合には高い認識性能が得られていると考えられる．一方，未経験者 B の平均認識率は低く，50%以下の指文字は 10 種類となった．これは，指文字を実施することに不慣れであることが一つの要因である．しかし，認識率 0%となった 5 種類の指文字「そ」「ふ」「へ」「ま」「ろ」のうち 4 種類は，上記同様 Leap motion が手指の座標を取得しづらいということもその要因として挙げられる（**図 11**）．また，「ろ」では親指の

表 2 静止指文字認識性能評価結果
Table 2 Recognition Results of Static Finger Alphabets

		制限時間下の平均認識率 (%)			
被験者	平均認識時間	3 秒	5 秒	7 秒	10 秒
経験者 A	2.9 秒	66.8	93.2	96.1	99.0
未経験者 B	9.7 秒	56.1	68.3	71.2	82.0

図 11 認識が困難な指文字一覧（[6] より図を引用）
Fig. 11 Difficult Finger Alphabets

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

折れ曲り判定が厳しいことが要因として挙げられることから，しきい値も含めた折れ曲り判定条件を調整する必要がある．

6.2 動的指文字認識性能評価

本節では動的指文字 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．各指文字に対してそれぞれ 10 回評価を行う．今回は動作を伴うため認識時間の計測を行わず，該当する指文字として認識された場合に成功としてカウントする．平均成功率を認識率として算出する．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．また指文字ごとの認識率に関しては，被験者それぞれのばらつきが見られた．指文字ごとに見ると，23 種類の指文字（65%）において平均認識率 70%を超えていることから，提案手法には一定の有効性があると考えられる．平均認識率 50%を下回った指文字は，「ぞ」「ぷ」「ぺ」「ず」「ば」「ぱ」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挙げられる．また，手指を動かすことで Leap motion が認識する形状が崩れてしまう（「ず」「ば」「ぱ」）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」の認識率は高く，「り」「ん」は今ひとつであった．その他にも被験者によっては全く認識されない指文字も存在することから，静止指文字と同様に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が必要であると考えられる．

6.3 ゲームモード評価

本節では提案したゲームモード 2 種に対し，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，面白さ・学習性・反復性・操作性・デザイン性の 5 つの項目であり，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 4**，**表 5** に示す．

表 4 シナリオ型ゲームモード評価結果
Table 4 Evaluation Survey of Scenario Game Mode

被験者	面白さ	学習性	反復性	操作性	デザイン性
経験者 A	2	3	2	2	4
経験者 B	4	1	1	2	2
経験者 C	4	2	3	2	4
未経験者 D	3	3	2	2	3
未経験者 E	5	2	1	2	5
未経験者 F	4	4	2	2	3
平均	3.67	2.50	1.83	2.00	3.50

表 5 アイテム収集型ゲームモード評価結果
Table 5 Evaluation Survey of Collection Game Mode

被験者	面白さ	学習性	反復性	操作性	デザイン性
経験者 A	5	4	4	3	3
経験者 B	2	4	2	4	2
経験者 C	4	3	4	2	3
未経験者 D	4	4	4	2	3
未経験者 E	5	5	3	4	3
未経験者 F	4	4	4	3	3
平均	4.00	4.00	3.50	3.00	2.83

まず面白さに関しては，どちらのゲームモードも比較的良い結果を得ることができた．また多くの項目で，アイテム収集型の方が良い結果を示した．反復性に関しては，シナリオ型の平均値が低いことがわかる．これは，一度シナリオを読破してしまうと 2 回目に取り組む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．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．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

Leap motion による操作とキーボードによる操作が混じっていることや，Leap motion における手指計測性能の問題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た指文字学習支援アプリケーションの機能向上に関する検討と提案を行った．

指文字認識機能としては，モーションセンサで取得した手指の 3 次元情報から算出する形状特徴量を増やすことで静止指文字 41 種類へ認識対象の拡張を行ない，評価実験によりその精度向上を確認した．また，動きを伴う動的指文字 35 種類に対し，手指の動きを検出する認識手法を提案し，評価実験によりその有効性を確認した．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，Leap motion による手指計測性能・範囲の限界や，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上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．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 [20] 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は，繰り返し学習への動機づけを提供するシナリオ型およびアイテム収集型ゲームのゲームモード 2 種を提案し，アンケート調査実施によりその有効性に関する考察を行った．本稿では紙面の関係上省略しているが，3.2 節で述べたヘルプ機能や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アプリケーションを作成し，発表会での展示を行なっている [21]．その際に頂いた意見やコメントも踏まえた学習支援機能としての課題は，3.2 節で述べた指文字検索機能やユーザインタフェースの改善，学習支援による向上効果の提示手法，6.3 節で述べた反復性・操作性・デザイン性改善によるアプリケーション利用価値向上，全体的な認識精度向上，学習支援アプリケーションとしてのユーザ評価などを挙げることができる．

謝辞 本成果に関連する機能開発および実験に協力いただいた，青野雅也氏，伊藤広一郎氏，永田旭宏氏および新海翔太氏に感謝する．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⟩ (参照 2019-10-01).
[2] 内閣府：平成 25 年度版 障害者白書（全体版），内閣府 (online) (参照 2019-10-01).
[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 (online)，入手先 ⟨http://www.hochouki.com⟩ (参照 2019-10-01).
[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 (online)，入手先 ⟨https://www.jfd.or.jp/sgh⟩ (参照 2019-10-01).
[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] 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).
[11] 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).
[12] 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).
[13] 井上勝文，白石孝弥，吉岡理文：Kinect を用いた日本語の指文字スポッティング解析，第 20 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2017)，PS3-54 (2017).
[14] SoftBank Corp.: ゲームで学べる手話辞典，SoftBank Corp. (online)，入手先 ⟨https://www.smartdeaf.com⟩ (参照 2019-10-01).
[15] 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 (online)，入手先 ⟨https://www.softbank.jp/mobile/service/shuwa-jiten/⟩ (参照 2019-10-01).
[16] NHK: NHK 手話 CG - 指文字一覧，日本放送協会 (online)，入手先 ⟨https://www2.nhk.or.jp/signlanguage/sp/syllabary.cgi⟩ (参照 2019-10-01).
[17] 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).
[18] Unity Technologies: Unity Real-time Development Platform, Unity Technologies (online), available from ⟨https://unity.com/ja⟩ (参照 2019-10-01).
[19] Ultraleap Ltd.: Leap Motion, Ultraleap Ltd. (online), available from ⟨https://www.leapmotion.com⟩ (参照 2019-10-01).
[20] 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).
[21] 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).

© 2019 Information Processing Society of Japan