

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11364

研究課題名（和文）手話自主学习における正誤判断根拠表現・説明のための構造化・認識・ゲーム化の研究

研究課題名（英文）Research on Sign Language Description, Recognition and Gamification of Self-Learning Support System with Explainable Decision of Gesture Correctness

研究代表者

森本 正志（MORIMOTO, Masashi）

愛知工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：60632198

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は簡単・効率的に手話を自主学习するための技術開発に取り組んだ。指文字を学習対象として、手本の指文字CGと学習者が模倣した手指の形状・動作計測で得られる3D CGを比較することで直観的な做い学習を促すと同時に、その正誤判定および間違い箇所の指摘と理由説明を行う自主学习支援システムを開発した。本システム実現のため、正誤判定・理由説明のための指文字構造化・認識・インデクシング手法を開発し、複数の計測センサを用いた性能評価実験によりその有効性を確認した。また、反復学習を促すゲーム性を学習支援機能としてシステムに導入し、被験者評価実験によりその有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では指文字を手指の状態として記述する手法（構造化）およびカテゴリ判定ルールを用いた正誤判定手法（認識）を開発した。これにより、深層学習等では明示化しにくい正誤判定の理由説明を容易に可能とし、また自主学习支援システムに組み込むことで学習効率向上への寄与を検証した。また、本研究は手話認識技術を導入した機器によるコミュニケーション支援ではなく、健聴者に対する手話学習機会提供のためのシステムを提供することで、聴覚障害者と健聴者間のより直接的で豊かなコミュニケーション支援の実現を可能とした。

研究成果の概要（英文）：This research has engaged on the technology for easy and effective self-learning of sign language. Finger alphabets have been used as learning tasks. Proposed self-learning support system displays a model finger alphabet CG and created 3D CG of a user's hand-and-fingers measured by sensors simultaneously, and the user can imitate the shape of the alphabet intuitively. The system also decides the correctness of the imitated finger alphabet, explains reasons and points out parts on CG if wrong. Description rules of finger alphabets' shape and motion, recognition methods of them and an indexing method of continuous alphabets for the system have been proposed and performance experiments with various sensors showed the effectiveness and future tasks of the proposed methods. Gamification learning support functions for promoting iterative learning have also been introduced into the system, and questionnaire survey revealed the effectiveness and challenges of the proposed functions.

研究分野：知覚情報処理（パターン認識）

キーワード：障害者福祉 手話 指文字 ジェスチャ認識 学習支援 ゲームフィクション

1. 研究開始当初の背景

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。日本における聴覚障害者は、厚生労働省による平成18年調査では約36万人にのぼる。このような人々の多くが、コミュニケーション手段として「手話」を用いる。

平成25年12月の「障害者の権利に関する条約」国会批准を受け、健聴者と聴覚障害者との手話コミュニケーションを推進する取組みが進められており、また平成27年の国連サミットで採択された持続可能な開発目標(SDGs)では、障害者を含むすべての人に対する福祉促進や教育確保、不平等削減を提唱している。手話コミュニケーションの普及促進は、健聴者・聴覚障害者間の意思疎通および生活の質(QoL)向上のために重要であると言える。

2. 研究の目的

手話は手を中心とする身体動作などによって言葉を表現する視覚言語である。聴覚障害者は手指や腕などの形状や動きを視覚で捉え、対応する言葉や文章に置き換える。したがってコンピュータによるいわゆる手話自動翻訳は、カメラ等で取得された身体形状・動作(パターン)から、どの言葉(シンボル)に相当するかを判別するパターン認識技術で構築されることが多い。機械学習等を用いた近年の研究により、その認識正答率は向上している。

ここで本研究は、手話自動翻訳技術を導入した機器を介在するコミュニケーションではなく、健聴者に対する手話学習機会提供のための学術研究を志向する。外国語を自ら学んで外国人と話す機会を増やすように、手話を自ら学んで聴覚障害者と話す機会を増やすことによる、より直接的で豊かなコミュニケーションの実現をその狙いとする。

この手話学習においては、熟練者による正しい身体形状・動作を見てその立体的な形や動きを模倣する、いわゆる倣い学習が必要となる。手話教室などにおける対面学習では、学習者が模倣した身体形状・動作の正しさや修正すべき箇所を熟練者に教わることが可能である。一方書籍や映像などの学習教材などを用いた自主学習では、模倣した身体形状・動作の正しさや修正すべき箇所を自ら確認することが難しい。この効率の悪さが学習意欲の低下につながる場合も多いと考えられる。

したがって簡単・効率的な手話自主学習の仕組みを実現するためには、身体形状・動作の正しさを判定するだけでなく、間違っている場合にはその理由や直すべき箇所を適切に指示できなければならない。本研究はこの問題意識に基づき、正誤判定だけでなくその理由説明が可能な手話認識手法の開発をその目的とする。これは機械学習分野における「判断根拠の説明」と呼ばれる重要な研究課題である。また同時に、実際に健聴者が楽しく手話を学習できるシステム作成を目指す。理由説明の性能は、実際の自主学習時における主観的評価が必要であると考えられるためである。

3. 研究の方法

本研究では観測対象を手に絞り、「指文字」を対象言語とする。指文字とは手指の形と動きを文字に対応させた言語の一要素であり、日本の指文字(大曾根式指文字)の場合は五十音に対応した指文字が存在している(図1)。

多くの五十音は、掌の方向・手全体の向き・指の折り曲げなどにより特定の形状を作ることによって表現される。本研究ではこれらの指文字を「静的指文字」と呼称する(動きを伴わないことによる)。一方、手指全体や一部の指で特定の動きを行うことにより表現される五十音もあり、これらを「動的指文字」と呼称する(図1における「の」「も」など)。

なお濁音・半濁音・促音・拗音は、指文字形状に追加動作を行うことで表現される。指文字は一般的な手話単語にない語彙である固有名詞や新語など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。通常は複数の指文字を連続して実施することで、一つの言葉を表現する。

このような指文字を観測対象として指文字認識手法開発および指文字自主学習支援システム作成を行うために、以下の研究項目および方法を実施する。

(1) ハンドジェスチャ構造化・認識:

指文字の多くは、対象とする五十音から連想される概念やイメージを表現する、部分的な手指形状とその動作により成り立っている。例えば「み」は「三(みっつ)」から連想して指を三本伸ばし、「の」はカタカナの「ノ」を空中でなぞっている。このように、指文字ごとに着目すべき部分や示さなければならない形状・動作(部分パターン群)を規定することができる。そこで、



図1 指文字五十音(引用文献①)

指文字形状・動作から部分パターン群を取り出し（構造化）該当する部分パターン群全ての正誤判定を行う（認識）。全て正しければ指文字として正しいと判定され、誤った部分パターン群があればその箇所がそのまま判定根拠となり、理由説明が可能となる。本研究では、どのように構造化を行うか、どのようにその構造情報を抽出するか、またどのように認識を行うかに関する手法開発を行う。

また、実際の指文字は連続して実行されるため、連続した手指動作を指文字区間とその遷移区間に分類することで、一文字単位に分解する必要がある（インデクシング）。本研究では機械学習等を用いたインデクシング手法の開発を行う。

(2) ハンドジェスチャ・ゲーミフィケーション：

做い学習過程では、(a) 正しい手指形状・動作をわかりやすく提示すること、(b) 提示に基づき模倣された形状・動作を判定すること、(c) 間違っている場合には理由や修正箇所を適切に説明すること、(d) その説明に応じて再学習を促進することが必要となる(図2)。 (b)および(c)は上述の研究(1)で取り組むが、効率的な指文字自主学习支援のためには(a)および(d)に関する研究も必要である。本研究では正誤判定に基づくゲーム性を持つ学習プロセス（ゲーミフィケーション）により、做い学習において重要な反復学習の動機づけを行うことのできるシステム開発を行う。正誤判定はゲームスコアおよび学習プロセスを制御するデータとして用いることで再学習を促進し、理由説明は文章説明だけではなく形状・動作の注目箇所表示といった可視化を行う。

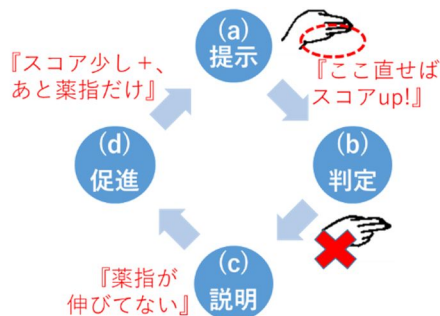


図2 做い学習過程とゲーミフィケーション

4. 研究成果

(1) ハンドジェスチャ構造化・認識

静的指文字の構造化に関し、それまでに実施してきた従来研究（引用文献）に基づき「掌の向き」「指の折り曲がり」「指同士の接触」「指全体の向き」の4項目を取り出すべき部分パターン群と定義した。次に、それぞれの項目がどのような状態を取るかを定めた（例えば「掌の向き」は指文字を見る側から正面向き・裏向き・横向きおよび下向き）。手指の形状・動作計測には、手指専用のモーションセンサである Leap Motion Controller™ (LMC) を用い、その3次元情報から上記項目の状態を決定するためのロジックを開発した（例えば「掌の向き」は LMC で得られる掌の法線ベクトルで判定）。静的指文字の認識に関しては、例外処理を含めた手指状態からのカテゴリ分類ルール群を開発した。明示的なルール群を用いることで、条件を満たさず誤りと判定された場合にはどの手指項目・状態が問題であったかの理由説明が可能となる。

以上の手法を用いて従来研究から評価対象を広げ、静的指文字 41 種類に対する評価実験を実施し、結果として平均認識率 79.3% が得られた。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一方で、指文字の種類や被験者の習熟度によるばらつきも見られた。

動的指文字に対しては、の手法を拡張した上で掌や指先の移動ベクトルを複数フレーム間で取得する。そして、動的指文字模倣開始時の手指形状認識（静的指文字認識に相当する）およびそれらの移動量・方向をカテゴリ分類することにより認識を行った（例えば掌全体が一定以上横方向に移動すれば濁音とみなす）。

動的指文字 35 種類（濁音等も含む）に対する評価実験を実施し、結果として平均認識率 75.1% が得られた。しかし指文字の種類によるばらつきが大きく、50%を下回る指文字も発生した。また LMC では、手指が大きく移動することによる計測範囲からの逸脱が発生しやすいことがわかった。および の評価結果を受けて、手指計測センサの見直し、手指状態決定ロジックの性能改善、カテゴリ分類ルールの改善が必要であることが判明した。

上記の課題を受けて、異なる計測センサの利用検討・手法開発および性能評価を実施した。指文字自主学习システムの在り方としても、専用センサより一般的なカメラなどの計測センサを用いる方が望ましい。

まずは色（RGB）および深度（奥行）情報を取得できるセンサ RealSense を用い、の静的指文字認識手法を改良した。例えば RealSense では掌の向きを判定するための法線ベクトルを得ることができないため、手指の骨格位置推定およびその関節位置に基づく法線ベクトル推定といったロジック代替を行った。手法開発後 と同等の評価実験を行い、結果として平均認識率 86.0% が得られた。更に、この中で認識率の低い（平均認識率 32.3%）13 種類の静的指文字に対し、深度情報を用いた改良認識処理を導入し、平均認識率 88.8% を得ることができた。また、同センサを用いて の動的指文字認識手法を改良した。こちらは平均認識率 61.0% となり、を下回る結果となった。これは、手指の動作により手指骨格位置推定が不安定になるためであると考えられる。

次に一般的な RGB カメラを用い、身体骨格情報推定可能な深層学習ライブラリ OpenPose に基

づく静的指文字認識手法の基本検討および評価を行った。手指状態決定ロジックを OpenPose から得られる手指骨格情報に合わせて改良し、カテゴリ分類ルールは を踏襲した。手法開発後と同等の評価実験を行い、結果として平均認識率 78.7% が得られた。数値は とほぼ同等ではあるが指文字ごとのばらつきが大きく、特に OpenPose で推定できない手指骨格が存在した場合の処理を検討する必要があることが判明した。

同じく上記の課題を受けて、手指状態決定ロジックおよびカテゴリ分類ルールの改善および評価を実施した。LMC からの手指骨格位置情報に基づく状態決定ロジックの改良点として、掌の向きや指の折れ曲がり判定条件などに対するチューニングを実施した。またカテゴリ分類ルールにおいても、誤認識しやすい指文字間でのチューニングを実施した。静的指文字に対する評価実験の結果、 より約 13% 向上した平均認識率 92.3% が得られた。所用認識時間も大きく減少したことにより、指文字自主学习支援システムにおける実用的な性能を達成したと言える。また、異なるセンサを用いた場合の認識処理にも適用可能であると考えられる。

連続した指文字を一つ一つの指文字（区間）に分解する指文字インデクシング手法として、従来研究(引用文献)では指文字かそうでないか(指文字間の遷移中)の2分類を行っていた。しかし で記したように、静的指文字と動的指文字では認識手法に大きな違いがあることから、インデクシングの時点でどちらであるか判明した方が効率的である。そこで、連続指文字を「静的指文字」「動的指文字」「遷移区間」の3つに分類する3クラスインデクシング手法を開発した。ある計測フレームに対する前後 25 フレーム計 50 フレームを用いて4種類の動き特徴量を算出し、機械学習技術であるサポートベクタマシン (SVM) を用いて分類を行った。評価実験の結果、静的指文字および遷移区間に対する平均正解率では有効性を示すことができた一方で、動的指文字では低い結果となった。

そこで、深層学習モデルの一つである Long Short-Term Memory (LSTM) を用いた指文字インデクシング手法改良を行い、データ量を増やした連続指文字データセットを作成した上で、入力特徴量の拡張およびハイパーパラメータ調整を実施した。評価実験により平均正解率 73.0% が得られ、その有効性を示すことができた。今後は入力特徴量の有効性評価・取捨選択などによる性能向上が必要であると考えられる。

(2) ハンドジェスチャ・ゲーミフィケーション

開発した指文字自主学习支援システムの動作例を図3に、システム構成を図4に示す。図3で手をかざしている計測センサは LMC であり、また図4も計測センサとして LMC を用いた場合である。開発プラットフォームは Unity を用い、(1)における指文字認識手法は C# スクリプトで指文字認識機能として実装されている。計測された手指3次元位置情報は手指 CG 生成機能に提供され、3D CG として手本 CG と共に図2における「(a) 提示」を行う。同時に指文字認識機能に提供され、「(b) 判定」を行う。

従来研究(引用文献)では学習支援機能として手本 CG に基づき模倣を行う「勉強モード」、模倣された指文字の正誤をテストする「テストモード」を実装していたが、簡単なゲームを通して学習利用を「(d) 促進」する「ゲームモード」を開発した。

具体的には、指文字が正しく模倣されていれば物語を進めることができるシナリオ型ゲームおよび難易度に応じたアイテムを収集できるアイテム収集型ゲームの二種類を実装し、それぞれ被験者評価実験を行った。学習性(自主学习への有用性)・反復性(繰り返し学習への動機づけ)に面白さ・操作性・デザイン性を加えた5項目を5段階評価した結果、アイテム収集型ゲームにおいて学習性および反復性の有効性が判明した。指文字自主学习におけるゲーミフィケーションの有効性や適したゲーム種類を確認した一方で、操作性やデザイン性の重要性および改善ポイントも判明した。

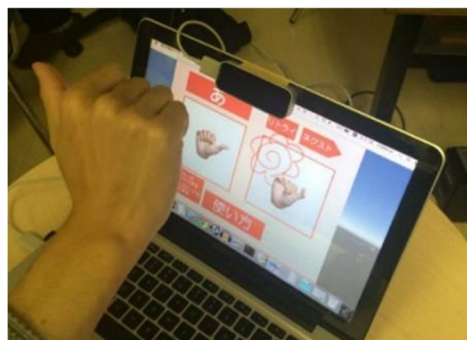


図3 システム動作例

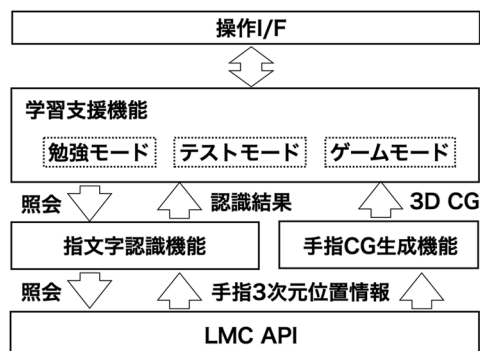


図4 システム構成

次に、学習者が模倣した指文字における間違い箇所を文章および 3D CG 上でのマーカとして「(c) 説明」する間違い箇所指摘機能を開発した。図5(学習モード画面)では、指文字「あ」に対する手本 CG が左に、模倣中の手指 CG が右に表示されている。この例では親指・人差指・中指の形状が間違っているため、その指摘文章が右下に説明されると同時に、手本 CG の該当指上に赤色マーカが提示される。

この間違い箇所指摘機能が自主学習の効率化にもたらず効果に関し、被験者評価実験を行った。その結果、本機能により平均 3.5 秒の正解到達時間短縮が見られ、その有効性を示すことができた。

その他に、センサ計測範囲からの逸脱可能性を警告する可視化機能や全体のデザイン・インタフェースを改善し、指文字自主学習システムとしてのユーザビリティ評価を行った。概ね良い結果が得られたことで、自主学習支援システムとしての有効性を示すことができた。今後は被験者人数を増やした上での学習効果評価並びに改良が必要である。



図 5 間違い箇所指摘例

< 引用文献 >

手話コミュニケーション研究会、新・手話辞典、中央法規出版、2005、p.20

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、2016、DCC-14、No.5

加藤雅也、森本正志、動き特徴量を用いた動作を含む連続指文字からのインデクシング手法に関する検討、電子情報通信学会福祉情報工学 (WIT) 研究会技術研究会報告、2017、Vol.117、No.337

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 森本正志, 川除慎吾, 加藤雅弥, 田端竜成, 加藤秀康, 永井敦, 竹内健人	4. 巻 8
2. 論文標題 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	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌デジタルコンテンツ (DCON)	6. 最初と最後の頁 28-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 横山和明, 森本正志
2. 発表標題 手指形状・動作特徴を用いたLSTMによる連続指文字3クラスインデクシング手法の精度向上
3. 学会等名 情報処理学会第83回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 牧野益尚, 森本正志
2. 発表標題 指文字学習支援アプリケーションにおける指文字認識精度向上手法の検討
3. 学会等名 令和2年度電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小西柚輝, 森本正志
2. 発表標題 OpenPoseを用いたカテゴリ分類に基づく指文字認識手法の検討
3. 学会等名 令和2年度電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松下麻由、加藤雅弥、川除慎吾、新海翔太、森本正志
2. 発表標題 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
3. 学会等名 DICCOMO2019併設デジタルコンテンツ制作発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山和明、森本正志
2. 発表標題 連続指文字データにおけるインデクシング手法の検討
3. 学会等名 第19回ビジュアル情報処理研究合宿 (VIP2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森本正志、川除慎吾、加藤雅弥、田端壱成、加藤秀康
2. 発表標題 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
3. 学会等名 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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤雅也、森本正志
2. 発表標題 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
3. 学会等名 情報処理学会第81回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川除慎吾、森本正志
2. 発表標題 LeapMotionを用いた動きを伴う指文字認識の研究
3. 学会等名 平成30年度電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新海翔太、森本正志
2. 発表標題 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
3. 学会等名 平成30年度電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤雅弥、森本正志
2. 発表標題 指文字学習支援アプリケーションにおけるコレクションゲームの開発と反復性効果の検証
3. 学会等名 平成30年度電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------