

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24501136

研究課題名(和文)画像検索技術を用いた習字教育支援システムの開発

研究課題名(英文)Development of the support system for Japanese calligraphy instruction by using image processing technologies

研究代表者

獅々堀 正幹 (Shishibori, Masami)

徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号：50274262

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では専門的な指導者がいなくても独学で習字学習が効率的に行える教育支援システムの開発を目的とする。現在までにタッチパネルを利用した文字習得ソフトは開発されており、これらのシステムでは文字を書く際のストロークに着目したものが多い。一方、本研究では学習者が実環境(筆と墨を使って実際に半紙に書く環境)にて作成した習字作品に対して、「止め・払い・うったて」等の重要箇所及び文字バランスに対して、適切な評価・アドバイスを行える支援システムを開発した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have been developed the support system for Japanese calligraphy instruction by using image processing technologies. Some systems using the touch panel display have been proposed. On the other hand, our systems can deal with calligraphy works which the user makes actually using a brush and ink. This system can evaluate and give appropriate advices for calligraphy works about local and global important points. Local points mean the stop ("Tome"), hook ("Hane") and fade ("Harai") shapes of terminal points of the character. Global points mean the outline of the character.

研究分野：情報検索

キーワード：教育支援システム 画像処理 知識処理

1. 研究開始当初の背景

現在、小中学校等の教育機関において、習字教育は必修科目として扱われており、どの学年の児童も習字に触れる機会がある。しかしながら、習字を専門的に教えらるる教師が不足しており、すべての児童が満足な習字教育を受けることができていない。そのため、小学校の低学年から習字嫌いになる児童も年々増加しており、特に夏休みの習字課題に苦勞している児童が多くいるのが現状である。そこで、より教育効果を上げるためには、専門的な指導者が近くにいなくても、習字学習が効率的に行える教育支援システムが必要だと考えた。

現在までに既存システムとして、タッチパネルを利用した文字習得ソフトが開発されているが、それらはあくまで習字のシミュレーションソフトであり、実際の習字環境とはかけ離れているため教育効果は期待できない。本研究では実環境（筆と墨を使って実際に半紙に書く環境）で作成した作品に対して評価・アドバイスをできる教育支援システムを開発する。特に本システムでは、低学年の児童が誤り易い「止め・払い・うったて」等の重要箇所及び文字バランスを中心に習字教育を行う点が特徴である。

本システムでは図1に示すように重要箇所を表す評価知識をお手本用文字画像に付与する。そして、デジタル化された習字作品と評価知識付きお手本用文字画像の形状を比較し、重要箇所が適切に書けていない場合、添削画像とアドバイスを学習者に送信する。学習者は実環境にて作成した作品を携帯端末等で撮影し、システムに転送するだけで、あたかも専門家に指導を受けたかのような添削結果をサーバから受け取ることができる。本システムのお手本用文字画像の検索処理、及び習字作品とお手本用文字画像との形状比較処理に本研究グループが開発した画像検索技術を応用する。

2. 研究の目的

(1) 習字作品に対して「止め・払い・うったて」等の局所的な重要箇所を比較評価する技術を考案する。特に低学年の児童では、お手本用の作品が手元にはない場合には「止め・払い・うったて」を誤って書いてしまうケースが多々生じる。そこで「止め・払い・うったて」を行うべき箇所を重要箇所と定義し、重要箇所が正しく書けているか否かを評価できるシステムを開発する。

また、図1の習字作品評価システムには、学習者が作成した習字作品画像に対するお手本用文字画像を文字画像データベースから検索する機能を有する。ただし、習字作品画像には文字の「かすみ」や「ゆがみ」を生じる可能性が高い。そこで、「かすみ」や「ゆがみ」を生じた場合にも頑健に重要箇所を比較できる技術を開発する。

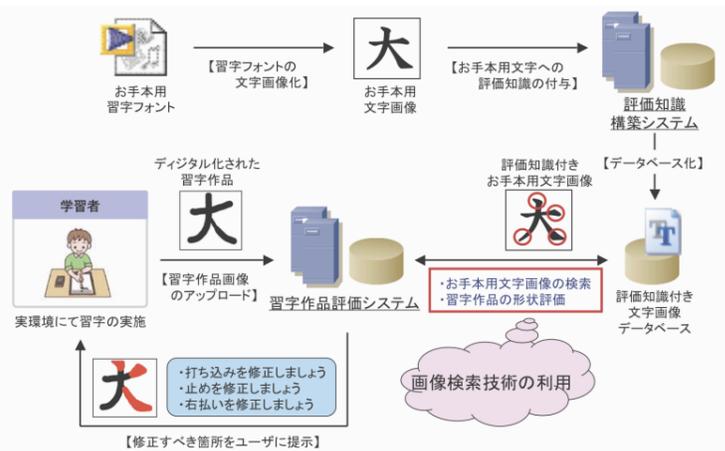


図1 システム全体構成図

(2) 局所的な重要箇所の他に、大局的な重要箇所として文字バランスを比較評価する技術を考案する。文字バランスを整えるにあたって、本研究では文字の概形に着目する。概形とは文字の大まかな形を把握し、四角形や三角形等に置き換えて文字をイメージしやすくするものである。概形は小学校低学年の習字の教科書に必ず使用されており、字形を整えるのにあたって非常に重要な役割を担っている。そこで文字バランスとして、特に文字の概形を考慮した文字画像比較技術を考案する。

図1の習字作品評価システムにおいて、学習者が作成した習字作品画像とお手本用文字画像との概形を比較し、お手本用文字の概形から逸脱した箇所を自動訂正することで、文字バランスを比較評価するシステムを開発する。尚、お手本用文字画像には重要箇所の形状特徴量を評価知識として持たす必要がある。

(3) 専門的な評価知識を効率的に付与できる知識構築技術を考案する。「止め・払い・うったて」等の重要箇所に対する評価知識を大量の文字画像に効率的に付与可能な知識構築技術を開発する。具体的には重要箇所の形状特徴量を小規模な文字画像データから学習し、その知識を用いて大量の文字画像データにも効率的に自動付与できる技術を開発する。

3. 研究の方法

(1) 局所的な重要箇所の評価手法

「止め・払い・うったて」等の局所的な重要箇所を評価する手法について説明する。本手法では重要箇所の形状特徴量の類似性を比較し、お手本用文字画像と手書き文字画像の重要箇所における形状特徴量の類似性が低い場合には、「止め・払い・うったて」が適切に書けていないと判定する。形状特徴量としては、近年画像処理技術で注目されている SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) を用いる。SIFT は画像内の特徴点を検出し、特徴点周辺の輝度変化を 128 次元の特徴ベクトルで表現する。SIFT 特徴量は回転、スケール変化、照明変化に非常に頑健であることが知られている。

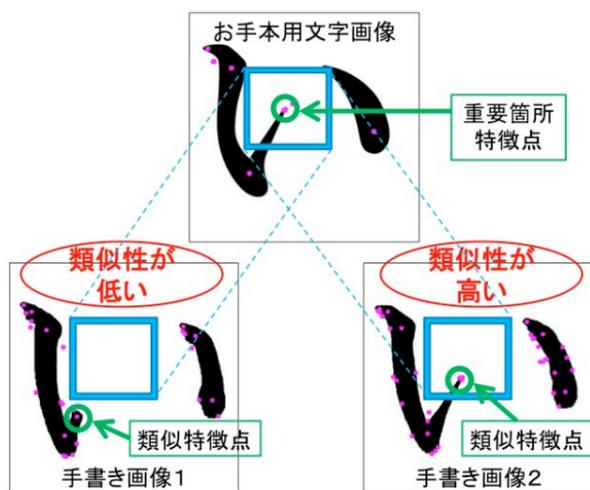


図2 局所的重要箇所の評価手法

図2に局所的重要箇所の評価手法の概要を示す。まず、お手本用文字画像に対して SIFT 特徴量 (図内の赤点) を検出する。特に「止め・払い・うったて」等の重要箇所から検出された特徴点を予め人手で選定し、対応する SIFT 特徴量を評価知識として文字画像データベースに登録しておく。次に、手書き文字画像に対しても同様に SIFT 特徴量を検出する。その後、お手本用文字画像から検出した重要箇所 SIFT 特徴量と手書き文字画像から検出した SIFT 特徴量のユークリッド距離を下記の条件に従って計算することで、重要箇所の類似性を判定する。

- ・ 条件Ⅰ：スケールサイズが類似性していること
- ・ 条件Ⅱ：オリエンテーションが一致していること
- ・ 条件Ⅲ：重要箇所から一定の範囲以内に特徴点が存在すること

特に条件Ⅲについては、図2内の青色矩形領域で囲まれた部分が探索範囲に該当し、手書き文字画像1については、探索範囲内に特徴点が存在しないため、類似性が低いと判定されている。このように、局所的重要箇所の形状特徴量、方向、位置等を考慮し、特徴量間の類似性が高ければ、「止め・払い・うったて」が正しく書けていると評価し、類似性が低ければ学習者に修正を促すことになる。

(2) 大局的重要箇所の評価手法

大局的重要箇所として、文字の概形を抽出した後、お手本と手書き文字の概形を評価し、自動修正する手法について説明する。

① 文字の概形について

文字の大まかな形を概形という。概形に焦点を当てることは字形を整える上で非常に重要であり、文字の字形が整わず難いときにその文字のお手本の概形と自身の文字の概形を比べることにより、字形のずれを把握することができる。この方法を概形法 (外形法) という。概形の基本的な形として、図3に示すような四角形、三角形、丸が中心に使われる。また、それらの形の派生とし横長、縦長、台形、ひし形等も概形として使われる。

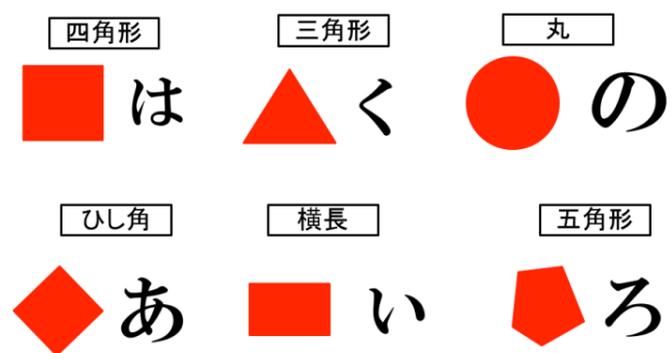


図3 文字の概形

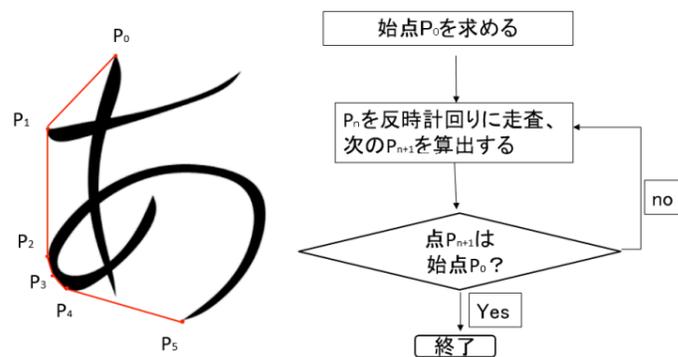


図4 文字概形の抽出手順

② 概形抽出手順

文字画像から概形を抽出する手順を図4に従って説明する。本手法では、文字画像の概形として、文字の端点 P_n を求める。まず、始点となる端点 P_0 を求めるため、文字画像の最上部から順にラスタ走査を行い、最初に黒画素と出会った位置を始点 P_0 とする。次に、次点 P_{n+1} を求めるために始点 P_0 から半時計周りに画像を走査し、黒画素に出会った箇所を P_1 とする。この操作を繰り返しながら端点を求めていき、次点 P_{n+1} が始点 P_0 に到達すると終了する。端点を取り終わると概形特徴を求めるために P_n と P_{n+1} を線で結び、文字画像の概形特徴とする。図4において、赤線で結ばれた領域が概形特徴となる。

③ 概形の評価手法

文字概形を評価するために、お手本用文字画像の概形特徴と手書き文字画像の概形特徴を比較し、概形特徴のずれを利用して文字画像の修正箇所を求める。修正箇所を求めるため、図5に示すように双方の概形特徴を重ね合わせる。但し、文字の大きさや重ね合わせる位置がずれないように、双方の概形特徴の面積を同じにし、互いの重心の位置を合わせて概形特徴を重ねる。双方の概形特徴を重ね合わせると、双方の概形特徴が一致しない部分が存在する。この不一致部分が手書き文字画像の概形として不適切な部分なので修正箇所とする。尚、図5において、左側の青色概形がお手本用文字画像、右側赤色概形が手書き文字画像の概形を表し、重ね合わせた結果、右上部分が修正箇所と判定されている。

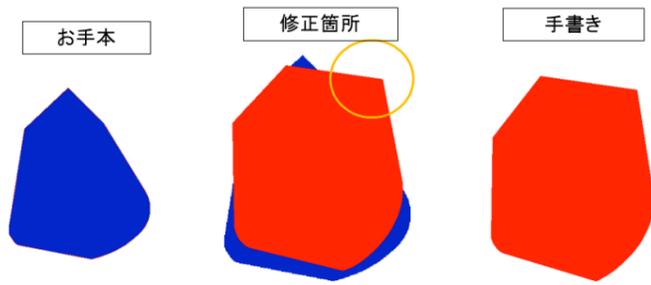


図5 文字概形評価の例

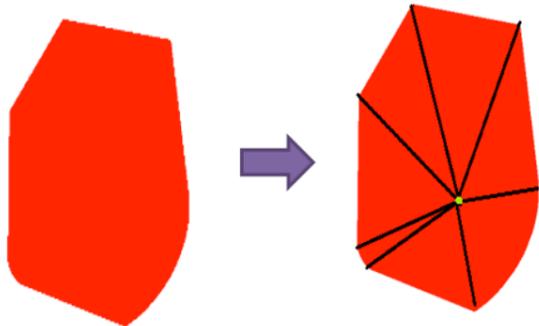


図6 文字概形分割の例

④ 概形の修正手法

概形特徴を比較することで修正箇所が特定できれば、修正箇所の概形をお手本用文字の概形に適合するように修正を施す。本研究では、アフィン変換を用いて修正箇所の概形を変更する。アフィン変換の特性として、変換前と変換後の領域の比率が変わらず、領域内で変換前の線分の状態が保たれて文字の形が崩れないといった特徴があり、文字概形を修正するのに適していると考えた。但し、アフィン変換では画像上の3点を用いて画像変換を行うため、多角形領域を一度に変換することができない。そのため図6に示すように、画像三角形分割（多角形を端点ごとに三角形に分割）を行い、アフィン変換を適用するための準備をする。三角形分割を行う際の中心位置は重心を用いる。このようにアフィン変換を用いて修正箇所になっている端点の位置を修正することにより、手書き文字概形特徴をお手本に近づける。

4. 研究成果

(1) 局所的重要な箇所評価手法に対する評価

① 実験データ

お手本用文字画像として、局所的重要な箇所「止め・払い・跳ね・うったて」が用いられる、ひらがな8種類（い、け、す、ち、は、ほ、み、ろ）の文字フォントを対象にした。手書き文字画像としては、それぞれのひらがなに対して16枚の習字作品を画像化したデータを用いた。習字作品のうち、半数は「止め・払い・跳ね、うったて」が適切に書かれているもの、残りは適切でないものを準備した。評価方法としては、再現率及び適合率を用いて提案手法の精度を評価した。

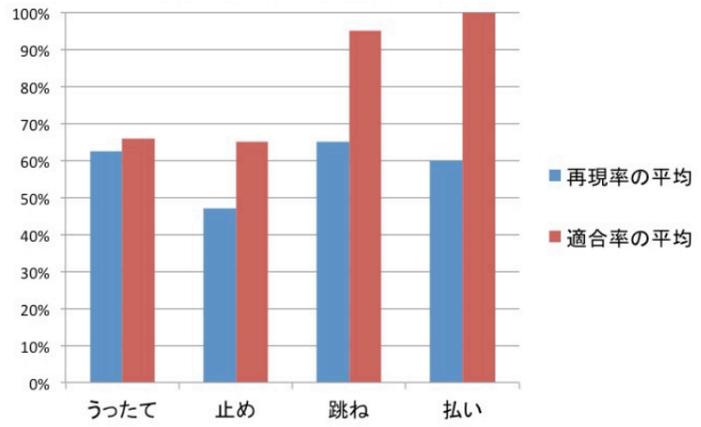


図7 局所的重要な箇所評価手法に対する実験結果

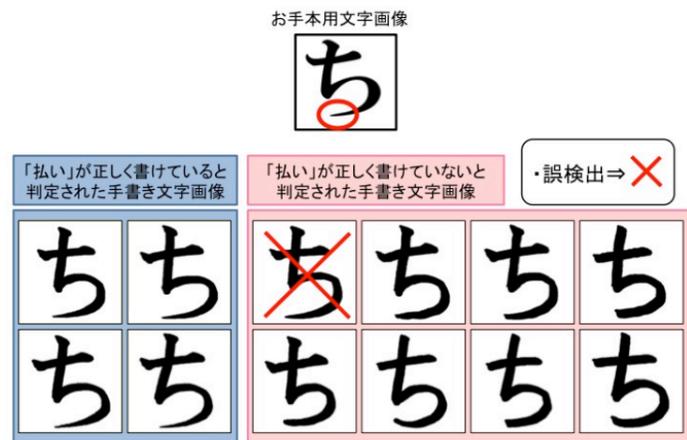


図8 「払い」箇所を評価した例

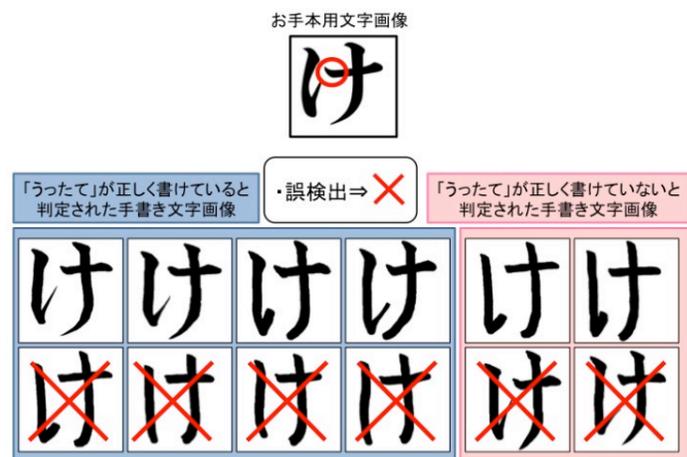


図9 「うったて」箇所を評価した例

② 実験結果

局所的重要な箇所評価手法に対する実験結果を図7に示す。「払い・跳ね」については適合率が100%に近く、高い精度が得られた。一方、「うったて・止め」については適合率・再現率ともに60%程度であり、誤検出が多く見られた。図8に「払い」箇所を評価した例、図9に「うったて」箇所を評価した例を示す。「払い」については殆ど誤検出を生じていないが、「うったて」については正しく書けていると判定されたグループに false positive（間違っただけと判定された）誤検出が多く見られた。このように「うったて・止め」で誤検出が多いのは、正しく「うったて・止め」が書けている作品と、正しくないものの形状特徴量の差が小さいためであり、今後、重要な箇所毎に形状評価尺度や類似性判定処理を個別に用意する必要がある。

(2) 大局的重要箇所評価手法に対する評価

① 実験データ

お手本用文字画像として、概形がひし形であるひらがな13種類(あ, か, き, さ, す, そ, な, ふ, め, も, や, ら, れ)の文字フォントを対象にした。尚, 予備調査として, ひらがな46種類の概形を調査した結果, 概形としてひし形の文字が最も多かったので, 今回, ひし形ひらがな文字のみを対象にした。手書き文字画像としては, これらのひし形文字に対して各5枚, 合計65枚の習字作品を画像化したデータを用いた。特に, 手書き文字画像については, 何かしらの原因で字形の形状が悪くなった作品を用いた。

評価方法としては, お手本用文字画像と手書き文字画像(修正前後)との概形特徴の類似度を比較した。つまり, 手書き文字画像と修正後の手書き文字画像がお手本用文字画像の概形特徴とどれだけ似ているかを評価した。概形特徴の類似度を測る尺度としては, 正規化相互関数(NCC: Normalized Cross-Correlation)を用いた。正規化相互関数とはテンプレートマッチングなどで用いられる画像の類似度を評価する手段である。テンプレートと画像がどれだけ似ているかの類似度を評価する尺度であり, 値が1.0に近いほど類似していることを意味する。テンプレート画像の輝度値を $T(i, j)$, 画像の輝度値の値を $I(i, j)$ とし, 画像の横幅 M , 高さを N とすると, 以下の式で求める。

$$R_{NCC} = \frac{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} I(i, j) T(i, j)}{\sqrt{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} I(i, j)^2 \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} T(i, j)^2}}$$

② 実験結果

図10に実験結果を示す。図内において, 縦軸は概形特徴の類似度(青が修正前, 赤が修正後の類似度), 横軸は対象とした文字画像を表す。実験結果より, 概形特徴の類似度は修正前より修正後のほうが良くなった。

しかし, 本手法では概形の修正だけに着目しているため, 概形特徴の類似度は高くなるが, 概形内部の字体が歪んだ結果を生じた。図11に正しく修正された例, 図12に字体が歪んでしまった例を示す。この原因として, アフィン変換を用いて概形特徴を修正する際に, 三角形分割を行った点が考えられる。図11のように一部分だけを修正した場合には内部の歪みは微小ですむのだが, 図12のような複数の部分を修正する場合には三角形同士で変換率が異なるため, 字体が歪んでしまったと考えられる。今後, 概形修正の際には, アフィン変換を適用する三角形に優先度を付けたり, 複数の三角形を変換する際には, 変換率を調整することで字体が歪むのを抑える工夫が必要であると考えられる。

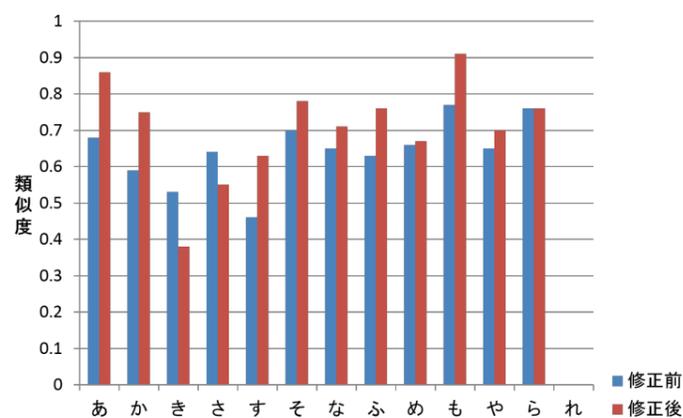


図10 大局的重要箇所評価手法に対する実験結果

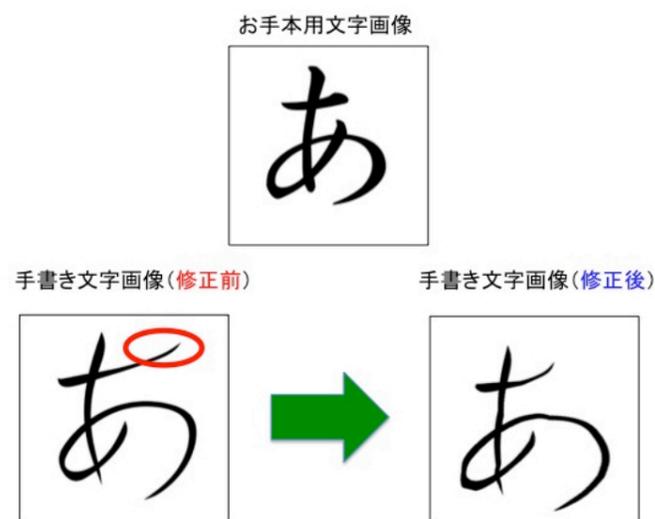


図11 正しく修正された例

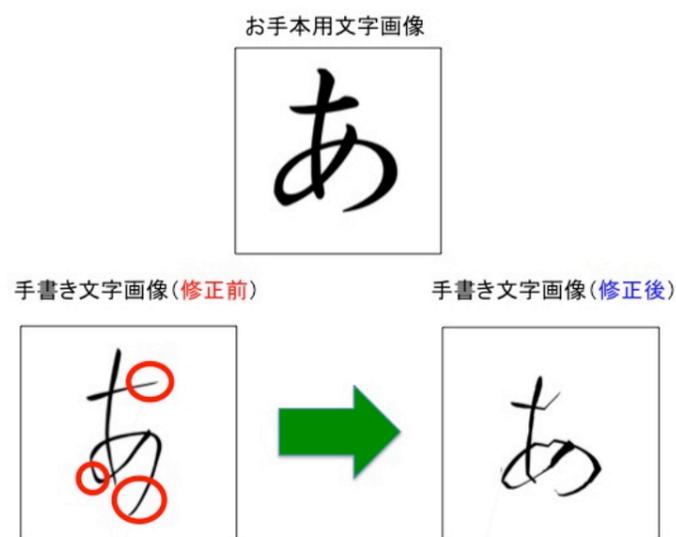


図12 字体が歪んだ例

また, 図10の実験結果において, 「き」「さ」「ら」等のひらがな文字については類似度が低下した。これらの文字は, 複数のパーツから文字が構成されており, 各パーツの配置位置により文字バランスが決定される。提案手法では, 各パーツの位置を補正することは考慮されていないため, 複数パーツから構成される文字に対して, 正しい文字バランスに修正することは困難である。今後, このようなひらがな文字や構成が複雑な漢字に対応するためには, 文字を一旦パーツに分解し, 各パーツをお手本に類似するように修正した後, 修正後のパーツの正しい配置位置を計算するような修正方法が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① W. Dong, H. Mitsuahara, M. Shishibori, Nearest Neighbor Search with the Revised TLAESA, The Transactions of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 査読有, Vol. E98-D, No. 1, 2015, pp. 65-77, DOI:10.1587/transinf.2014MUP0002
- ② Lee, M. Shishibori, C. Y. Han, An Improved Video Search Method for VP-Tree by using a Trigonometric Inequality, Journal of Information Processing Systems, 査読有, Vol. 9, No. 2, 2013, pp. 315-332, DOI:10.3745/JIPS.2013.9.2.315

[学会発表] (計11件)

- ① H. Mitsuahara, M. Shishibori, DIGITAL SIGNAGE FOR LEARNING MATERIAL DELIVERY FOCUSING ON STUDENT FRIENDSHIP, Proc. of the 9th International Technology, Education and Development Conference (INTED2015), 2015. 3. 2, Madrid, Spain
- ② K. Manabe, H. Mitsuahara, M. Shishibori, INTERACTIVE DIGITAL SIGNAGE USING KINECT AND ITS EXPERIMENTAL USE, Proc. of the 9th International Technology, Education and Development Conference (INTED2015), 2015. 3. 2, Madrid, Spain
- ③ J. Kawai, H. Mitsuahara, M. Shishibori, GAME-BASED EVACUATION DRILL SYSTEM USING AR, HMD, AND 3DCG, Proc. of the 9th International Technology, Education and Development Conference (INTED2015), 2015. 3. 2, Madrid, Spain
- ④ S. Iwama, H. Mitsuahara, M. Shishibori, USING AR AND HMD FOR DISASTER PREVENTION EDUCATION, Proc. of the 9th International Technology, Education and Development Conference (INTED2015), 2015. 3. 2, Madrid, Spain
- ⑤ H. Mitsuahara, M. Shishibori, Digital Signage System for Learning Material Presentation Based on Learning Continuum, Proc. of International Conference on Smart Learning Environments (ICSLE 2014), 2014. 7. 24, Hong Kong
- ⑥ 中西康公, 大野将樹, 獅々堀正幹, 局所特徴量に基づくネジ種の自動識別手法に関する研究, 情報処理学会第76回全国大会, 2014. 3. 11, 東京電機大学(東京都足立区)
- ⑦ 東秀賢, 大野将樹, 獅々堀正幹, カメラ映像を用いた手洗い検査システムの開発, 情報処理学会第76回全国大会, 2014. 3. 11,

東京電機大学(東京都足立区)

- ⑧ 大関陽裕, 大野将樹, 獅々堀正幹, 小型自律飛行ロボットを用いた案内システムの開発, 情報処理学会第76回全国大会, 2014. 3. 11, 東京電機大学(東京都足立区)
- ⑨ 星賀郁仁, 樋口達哉, 中島佑真, 獅々堀正幹, 局所的な形状特徴量とEMDを用いた類似画像検索手法, 情報処理学会・コンピュータビジョンとイメージメディア研究報告, 2013. 3. 15, 大阪大学(大阪府吹田市)
- ⑩ 樋口達哉, 星賀郁仁, 獅々堀正幹, 領域分割型 Bag of Keypoints を用いた類似画像検索に関する手法, 平成24年度電気関係学会四国支部連合大会, 2012. 9. 29, 四国電力研修所(香川県高松市)
- ⑪ S. Lee, M. Shishibori, C. Y. Han, Compression of Search Range of VP-Tree for Multimedia Data Retrieval Applications, Proc. of 2012 data compression conference, 2012. 4. 10, Utah, USA

6. 研究組織

(1) 研究代表者

獅々堀 正幹 (SHISHIBORI MASAMI)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号：50274262

(2) 研究分担者

北 研二 (KITA KENJI)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号：10243734

安藤 一秋 (ANDO KAZUAKI)

香川大学・工学部・准教授

研究者番号：60325321