

タブレット PC を用いた運筆情報と画像処理による ペン習字上達支援方法の検討

長井 孔明^{*1}, 越智 洋司^{*2}

^{*1} 近畿大学大学院総合理工学研究科, ^{*2} 近畿大学理工学部

Study on penmanship learning support method using stroke information and image processing with a tablet PC.

Koumei NAGAI^{*1}, Youji OCHI^{*2}

^{*1} Graduate School of Kindai University, ^{*2} Kindai University

Recently, improvements of pen input devices have led to increase the opportunity of writing operation on digital devices. Beautiful character gives a good impression to others. In our research, we focus on the beautifulness of not only a character but also sentences. Our system compare a student's data with expert's data using stroke information and image processing.

キーワード: 運筆動作, ペン習字, 画像処理, 運筆情報

1. はじめに

近年, コンピュータにペン入力出来るタブレットや液晶タブレットが普及し, ペン入力を使って人間の運筆動作に注目する研究が増えてきた. 大柳らの研究[1]では, 運筆状況を取得するソフトウェアとして, 書癩患者を対象とした CSWin[2], パーキンソン病患者を対象とした Neuroskill[3], ADHD 患者の評価を目的とした EDT[4]などあることが報告されている.

このような医療系の研究もあれば, 運筆動作としてデッサンやペン習字の研究もある. デッサンの研究では, 独習性や時間的コストの問題を解決するタブレット型 PC で動作する対話的なデッサン学習支援システムの開発[5]等が行われている. ペン習字の研究では, 学習場所にとらわれない遠隔実時間添削指導の研究[6]やスマートフォンを用いた運筆リズムを学ばせるアプリの開発[7]などがある.

本研究では運筆動作の中でもペン習字の分野に注目し, 手書き文字の綺麗さ向上支援を図る. 手書き文字には字の形や大きさや筆圧等から書き手の性格や適性が判断可能だと考えられており, 字を綺麗に書けることは相手に好印象を与えることに繋がるとされている

[8-10]. デジタル文字が普及する中でも, 履歴書など手書き文書が必要とされる場面は多々存在する上, 近年では企業等でも同意の際はタブレット上に手書きでサインといった場面が増えている. そういった背景から手書き文字の綺麗さは必要であると考えため, 本研究ではペン入力に対応した PC での横書き及び縦書きの手書き文章の入力を手書き文字の綺麗さ向上を目的とする.

手書き文字の綺麗さとして平均文字に関する研究がある[11-12]. 書き手は頭の中に浮かべる理想の字と実際に書いた字にはブレがあり, 何度も書いた字の平均文字が綺麗であるとしている. 本研究では, 履歴書等に綺麗な字を書くという観点から, 平均文字を扱わず実際に書いた字を扱う. そのため, 熟達者の字を参考に学習させる.

また, 身体的体験の有用性が主張されており[13], 実際にシステム等を使って学習者に体験させながら教えることが早い上達になるとされている. そのような中で実際にシステムを用いて学習者に描画プロセスを意識させることの重要性を説く研究[14]や, 熟達者との違いを明確ささせ自覚を促す研究[15]等がある.

先行研究で古積らは, 漢字を正しくきれいに書くこ

とを学ぶための学習システムにおいて、文字毎のサイズと位置を正規化し、運筆速度と筆圧の変化を見て、終筆状態の「止め」、「払い」判定を行っている[16]. 吉野らの研究では、「止め」、「払い」の判定に末尾周辺の平均筆圧が大で「止め」、小で「払い」としている[17].

本研究では、漢字、ひらがなを対象とし、終筆状態の判定に関して、画毎の平均運筆速度と標準偏差を用いて、「止め」、「払い」の判定と止め払いの程度の判定を行う。また、文字毎の綺麗さと文字列での綺麗さを熟達者の運筆データと画像処理技術を用いることにより、複合的に評価する。

2. ペン習字の支援アプローチ

2.1 ペン習字とは

ペン習字とは、ボールペンや鉛筆を用いて字を美しく正しく書くことを指す。一般的に硬筆書道と呼ばれ、単純な動作であるがため習熟には比較的容易と思われがちだが、熟練に達することは容易ではない。ペン習字は毛筆書道に比べ、文字の太さや力強さの違いは微小であるが、それらは視覚的印象に大きな影響を与えるとして、オノマトペを用いた硬筆書道の筆記指導の評価に関する研究[18]もある。

2.2 支援アプローチ

字を綺麗に書くには「文字毎の綺麗さ」と「文字列での綺麗さ」を複合的に評価する必要がある。例えば、文字そのものは綺麗に書けているが、文字毎の間隔がバラバラである場合(図 1)と文字そのものが汚い場合(図 2)、両者とも綺麗であるとは言い難い。このような例から、文字だけ綺麗であっても、文章としてだけ綺麗(文字間隔など)であってもいけない。両者が綺麗である必要がある。そこで本研究では、文字毎の評価も含めた文字列での評価を行うものとする。想定する支援アプローチの手順は以下の 4 過程である。

- (1)学習者に指定した文字列を運筆させる
- (2)学習者の運筆した情報を取得・分析する
- (3)学習者の運筆を評価する
- (4)分析・評価した結果を学習者に知らせる

この 4 過程を繰り返し行わせることで、学習者のペン習字向上を促すことを想定する(図 3)。

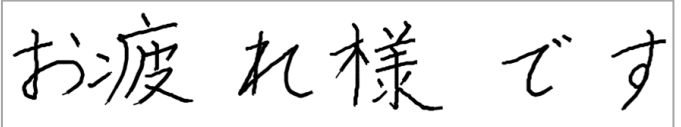


図 1 文字毎の間隔の悪い例



図 2 文字自体が汚い例



図 3 想定支援アプローチ

2.2.1 文字毎の評価

本研究では文字毎の評価指標を 3 つ定義し、終筆状態の評価を含めた「運筆速度」、運筆者の筆圧情報を用いた「的確な位置での筆圧強弱」、横線を書く際は斜め 6 度を書くことが綺麗とされている斜め 6 度法[19]と筆順の評価も含めた「的確な位置での運筆」とする。文字の種類は無数にあり、文字によって「筆圧の付け方」や「止め・払い」などは異なるため、一つ一つの文字に対して評価基準を設けるのは現実的ではない。そこで、予め学習する文字を決め、熟達者に運筆してもらい、その運筆を基準に学習者の運筆を比較することで評価する。

2.2.2 文字列の評価

文字列が綺麗とされる項目は大きく分けて 3 つあり、「文字の大きさにおいて漢字は大きく、ひらがなは小さく書くこと」、「文字の中心位置が一定であること」、「文字毎の配置間隔が一定であること」である[20]。これらの項目を評価指標とした場合、文字列ごとに評価基準を設ける必要は無く、どんな文字列であっても同様の評価ができる。

3. 文字・文字列評価手法

3.1 文字サイズ取得と文字の特徴点抽出

前述(2.2.1 及び 2.2.2)の評価を行うために画像処理を用いて文字サイズの取得と文字の特徴点抽出を行う。

(1)文字サイズの取得

文字列評価では文字の大きさ・間隔・中心位置を評価するため、文字の上下左右の最大値(座標)つまり文字サイズを取得できれば評価可能と考える。後述の試作システムは、文字は点の集合で表現しているため単純に文字中の全点から上下左右の最大値を算出するだけでも取得可能と考えられるが、筆圧によって点の太さが変更される処理を行っているため、正しい上下左右の最大値とはならない。筆圧に応じた点の太さも計算に考慮しようとする、プログラム上やや複雑になり管理も難しくなる。そこで、視覚的に見たままの上下左右の最大値を取れないかと考え、画像処理を用いて取得する。具体的なプロセスについては後述の 3.2.2 で示す。

(2)文字の特徴点抽出

特徴点抽出(図 4)を行い特徴点の位置を用いて運筆位置を決定する。特徴点を利用する理由として、試作システムにより取得した文字である点の座標を用いると、数が多すぎてしまい比較回数が増大してしまうのと、学習者の運筆速度によりその個数も大きく変わってしまうため、特徴点を利用して学習者と熟達者の座標の個数を違いすぎないようにしたからである。また、視覚的にも特徴といえる箇所(始点、終点、角)を特徴点として取得する。

特徴点抽出方法に関して、文字毎に特徴点抽出を行うと、どの画の特徴点なのかが分かりづらくなる上、画の重なりが起きる部分も特徴点として認識してしまうためノイズが多くなる。そのため、文字毎ではなく、画毎に特徴点を抽出する必要があるため、1画毎の画像を読み込み、Fast アルゴリズム[21]を用いてコーナー検出を行った。閾値を調整することにより視覚的にも特徴と言える部分(始点、終点、角)に近い個数の特徴点を抽出できる。

3.2 文字毎の管理

前述(2.2.1)の評価をするためには文字毎に管理をする必要がある。図 5 のように文字毎に描画画面を分け、レイヤー管理を行うことで対応した。文字毎に描画画面を分けて管理することで、一文字一文字を個別に扱えるようになり、後述の 3.3 の文字毎のリサイズ、位置移動が行えるため、熟達者の運筆データとより正確

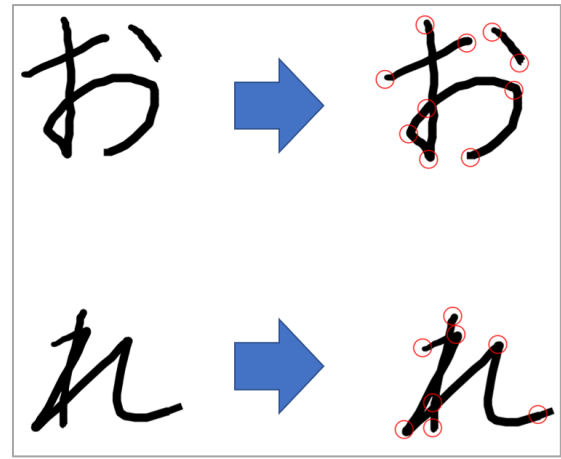


図 4 特徴点抽出結果

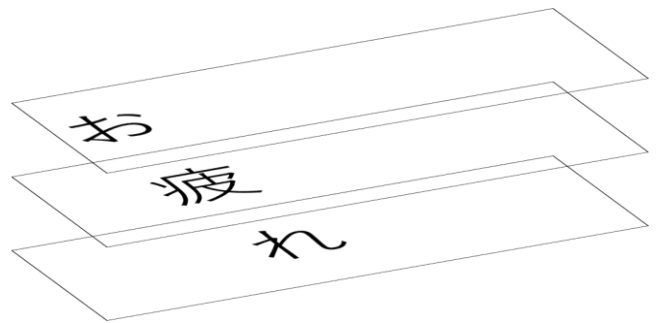


図 5 文字毎のレイヤー分けのイメージ

に比較出来るようになった。しかし、レイヤー管理を行うためには学習者が一文字毎に描画画面を変更しなければならないため、自然な運筆を行えないという問題も生じた。対応策として、画数による対象文字の把握を行うようにした。熟達者の運筆データより、学習者の運筆画数が熟達者の文字終了画数になり、かつ、その画の終了(ペンを離れた)直後に描画画面を自動遷移する仕組みにした。これにより、自然な運筆というものを達成した。

3.3 文字のリサイズ・再配置

文字毎の評価の際、熟達者の文字と比較するため学習者の文字をリサイズし再配置を行う。文字のリサイズは文字毎に行い、熟達者の文字と学習者の文字の X 座標 Y 座標それぞれの比を取り、比が小さい方をその文字の比とする。その比を文字となっている点一つ一つに掛け合わせ拡大縮小(リサイズ)を実現している。ただし掛け合わせる際、文字の中心を拡大縮小の中心点とし、点の座標と中心点までの差に対して掛け合わせ、「掛け合わせた結果」と「点の座標と中心点までの差」の差を点座標に足すという処理を行っている。

例えば、熟達者との文字比 S が 1.2、文字の中心座標 $C(120,120)$ 、文字のある点 $P(40,80)$ の場合、 P と C の差 $d(-80,-40)$ 、 d と S を掛け合わせた $dS(-96,-48)$ 、 dS と d の差 $d2(-16,-8)$ となるため、最終的な拡大縮小結果である P と $d2$ の加算結果 $P2$ は $(24,72)$ となる。このような計算過程を文字の全点に行うことで文字の拡大縮小つまり文字のリサイズを実現している。そして、学習者の文字の中心座標と熟達者の文字の中心座標を合わせることで再配置としている。

4. 試作システム

文字毎・文字列での評価指標を用い、学習者の運筆を分析・評価するために試作システムを開発した。実装環境として、Microsoft Surface Pro(OS:Windows 10 Pro)と Surface Pen Model:1776 を用いて、Visual Studio の WPF ライブラリで開発した。

4.1 目的

本システムでは、ペン入力から学習者の運筆情報を取得し保存する機能、画像処理を用いて、学習者が書いた文字の特徴点抽出、文字列の分析・評価を行う機能、熟達者（教師データ）との比較可能な学習環境を実装する。

4.2 システム概要

実装機能として大きく分けて 4 つあり、描画機能、文字のサイズ取得・リサイズ・再配置機能、採点機能、リアルタイム診断機能である。これらの機能の詳細を以下に述べる。

4.2.1 描画機能

描画機能では、描画・消去機能がある。まず描画に関して、ペン入力における運筆時の描画位置・筆圧に対応して図 6 のように画面上に字形が描画される機能である。実際に紙に書いたときと同じ様に再現するという意味合いもあるが、文字の太さや大きさによって読み手への印象が変化することが報告されている [22-25] ため、筆圧に応じた文字の太さ変更機能を取り入れた。WPF ライブラリ標準搭載の Stylus イベントを使用して、学習者の運筆情報である描画位置や筆圧等を取得し描画する。また、取得した運筆情報は CSV ファイルとして保存しており、再度読み込んで復元するこ



図 6 描画面面



(a) 背景表示

(b) 上側表示

図 7 熟達者運筆表示

ともできるため、熟達者の運筆情報を読み込んで熟達者の字を図 7(a)のように背景に表示(再描画)したり、図 7(b)のように描画領域の上側に表示したりすることができる。また、熟達者の字は学習者が任意で表示・非表示を選択できる仕様になっているため、学習者の学習速度に合わせて、表示状態を変更できる。

次に文字消去に関しては、一画戻るまたは全部削除の機能を搭載している。座標等を設定した Line クラスを Canvas の子に追加しているため、この Canvas の子を一括または指定範囲の消去により全文字消去文字単体消去、一画消去を実現している。これにより、消しゴムで消して書き直すといった動作が再現できる。

この描画機能は、縦書き・横書きの両方に対応している(図 8)。ただし、運筆した字の画面反映はポインタの座標を取得して Line クラスに設定し、描画面面(Canvas クラスの描画用 Canvas)の子にするという処理を行っているため、縦書き用に描画面面を縦(90度回転)にして運筆を行うと期待した位置に字が反映されないという問題が起きた。この問題を解決するため、画面の回転度を考慮し運筆座標に修正を加え、画面に反映するようにした。これにより、縦書きでも実際に字を書いた時と同じ効果が得られ、学習者は学習する文字列に合った向きで学習することが出来る。

4.2.2 文字のサイズ取得・リサイズ・再配置機能

文字列評価の際に用いる文字サイズの取得方法に関して、画像処理を用いた具体的な流れとして以下の4過程がある。

- (a)文字画像を読み込む
- (b)ラベリングを行う
- (c)ラベリング領域の上下左右の最大値を取得する
- (d)(c)の結果を文字サイズとして格納する

ここで(b)のラベリングに関して、図9の「お」の3画面目のように、離れている点があると別のラベルとして複数のラベルが現れるが、(c)を行う際、複数のラベルも考慮した全体を通しての最大値取得を行っている。

文字のリサイズ・再配置については前述の3.3の通りである。

4.2.3 採点機能

採点機能では文字毎の評価指標を元にした採点、文字列の評価指標を元にした採点をする機能を実装した。

採点項目は4つに分かれ、以下に詳細を示す。ただし、(1)が文字毎に関する採点であり前述の評価指標(2.2.1参照)3つを評価し、(2)~(4)が文字列に関する採点であり前述の評価指標(2.2.2参照)3つについて評価し、(1)~(4)の合計で学習者の運筆の評価とする。

(1) 文字毎の採点

前述の評価指標(2.2.1参照)3つについて採点する。以下に具体的な採点項目内容を示すが、一面毎の採点であるため、全ての面の採点が終了した後、項目毎にそれぞれの面の得点を合計し、画数で割る処理を行っている。また、文字サイズや運筆位置に関して、評価前にリサイズ・再配置しているものとする。

(a)運筆速度

運筆速度と終筆状態を熟達者と比較し、採点を行う。終筆状態は「止め」と「払い」の二択とし、終筆直前の運筆速度が平均運筆速度より上なら「払い」、下なら「止め」と判断し熟達者と比較する。さらに、標準偏差を利用して、止め・払いがどの程度しっかりと行っているかを3段階評価する。例えば「止め」を評価する時、平均運筆速度40、標準偏差5の場合、レベル1:40-35、レベル2:35-30、レベル3:30未満となりレベルが高いほどしっかりと止まれていると評価する。ここで、平均運筆速度と標準偏差は画毎に算出する。標準偏差を利用して評価することにより、目に見えない部



(a)横書き

(b)縦書き

図8 運筆方向

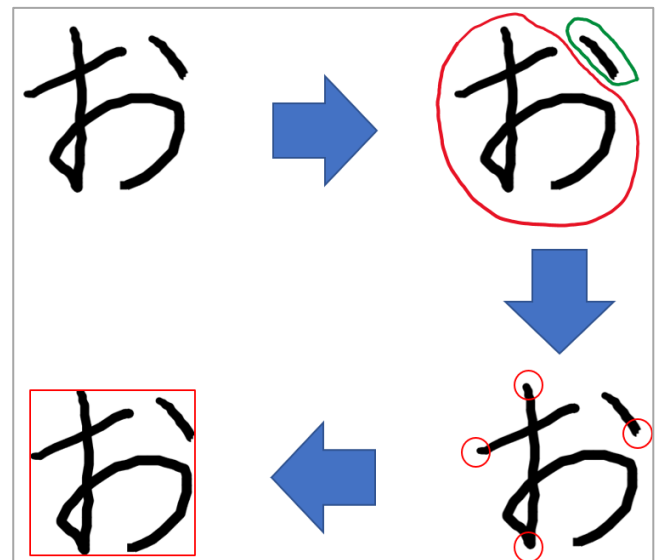


図9 文字サイズ取得の流れ

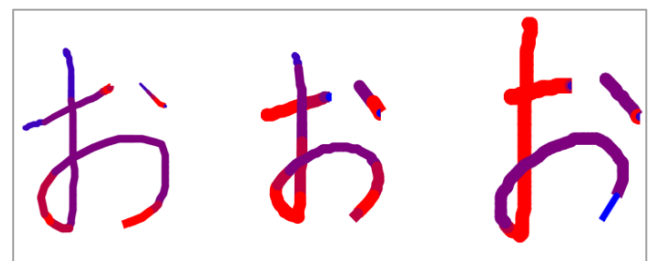


図10 筆圧強弱の例(赤⇄青:筆圧強⇄筆圧弱)

分の評価も細かく行うことができる。

(b)的確な位置での筆圧強弱

筆圧の強弱(Max:1000, Min:0)は、運筆中の筆圧最高値と筆圧の標準偏差を用いて決定する。筆圧の強弱を筆圧最高値から標準偏差の倍数で4段階区別をしている。例えば、運筆中の筆圧最高値が900、標準偏差が100である場合、レベル4:900-800、レベル3:800-700、レベル2:700-600、レベル1:600-500という区別になる。本手法での評価により、学習者によって筆圧強弱が分からないといった事が起きなくなり、学習者毎の筆圧強弱を得る事ができる(図10)。

(c)的確な位置での運筆

特徴点を用いて学習者と熟達者の描画位置を比較し、かつ、熟達者の斜め6度の横線が確認出来る部分で学習者も斜め6度の横線になっているか比較し評価する。

筆順判定に関して、書き始めの向きと始点から終点の向きの2点を算出して熟達者と比較し評価を行う。例えば特徴点が3つ得られた場合、1つ目と2つ目の向きと1つ目(始点)と3つ目の(終点)向きを算出し熟達者と比較する

(2)文字の大きさ

漢字の大きさとひらがなの大きさは、予め熟達者の字を登録する際に漢字とひらがなの識別をしているため、学習者が字を書いたとき自動的に分類される(文字毎の区別は3.2)。その上で、漢字毎の文字サイズ平均、ひらがな毎の文字サイズ平均を算出し、平均値を比較することで評価する。ただし一般的に、漢字よりひらがなを小さく書くことが綺麗とされているため、本研究では、漢字サイズ平均の0.7~0.9倍の範囲にひらがなサイズ平均が存在すれば綺麗と定義している。また、漢字毎、ひらがな毎に平均だけでなく標準偏差も算出しており、標準偏差が予め設定した閾値より大きかった場合、大きく平均値を狂わせている文字があるということになるため、その文字を特定し学習者に伝える。

(3)文字の中心

文字の最上値と最下値を用いて算出する。運筆した全文字において中心位置を算出し、その位置のバラつき(標準偏差)具合で評価する。標準偏差に対しては予め閾値を設定しており、3段階のレベルで評価をする。

(4)文字の間隔

左に位置する文字の最右値と右に位置する文字の最左値を用いて算出する。全文字間に対して行うため、「文字の数 - 1」分だけ間隔値が得られる。この間隔値を用いて、バラつき具合で評価する。ただし、文字の中心位置の評価同様、標準偏差に対して予め閾値を設定しており、3段階のレベルで評価をする。

4.2.4 リアルタイム診断機能

学習者が運筆中一画毎に、熟達者の運筆時間より長過ぎる(短過ぎる)場合にリアルタイムでコメントを表示する(図11)。また、「参考再生」を押すことで、学習者のリアルタイムの運筆画数に応じて、背景に熟達者の運筆を一画毎に赤色で再生する(図12)。



図11 リアルタイムコメント表示

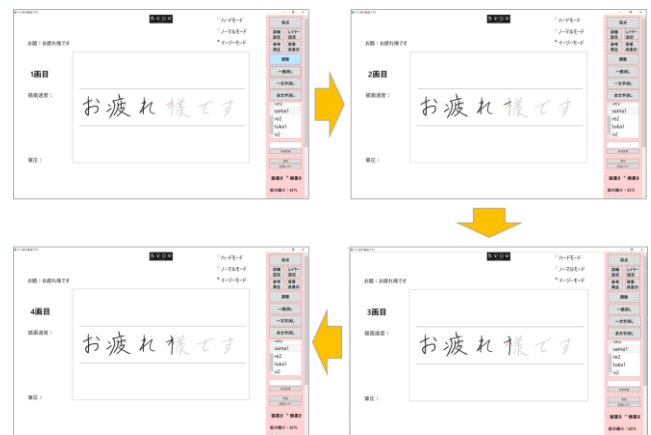


図12 リアルタイムに熟達者の運筆を表示

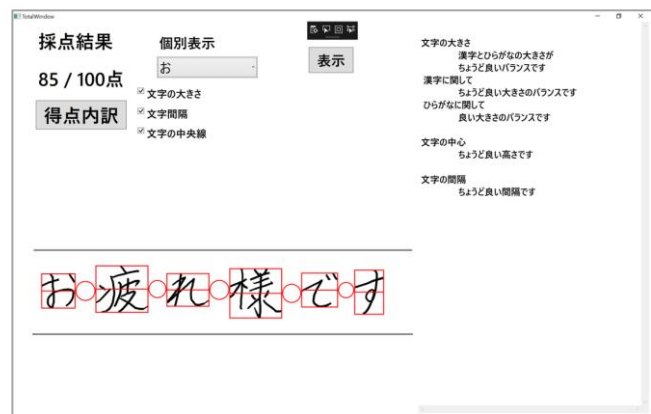


図13 全体文字列結果画面

4.3 評価結果表示手法

評価結果画面は全体文字列結果画面(図13)、個別文字結果画面(図14)の2つがあり、学習者はそれらの画面に表示される指摘箇所の学習を行う。全体文字列結果画面では、学習者が運筆した文字列(教材として指定された文字列)に対し、文字毎の筆圧の変化、文字毎の大きさ、文字毎の配置間隔、文字毎の中心の

揃い具合と学習者の任意で文字毎の個別結果を提示する。個別文字結果画面は2画面あり、1つ目の画面では個々の文字について図14のように学習者の運筆と熟達者の運筆の筆圧や運筆位置の違いをコメント付きで提示する。2つ目の画面は学習者の運筆と熟達者の運筆を比較再生出来る画面となっている(図15)。また採点結果では、筆圧の変化に応じて学習者の書いた文字を色分け(赤と青)表示する。赤であるほど筆圧が強く、青であるほど筆圧が弱い事を表す。

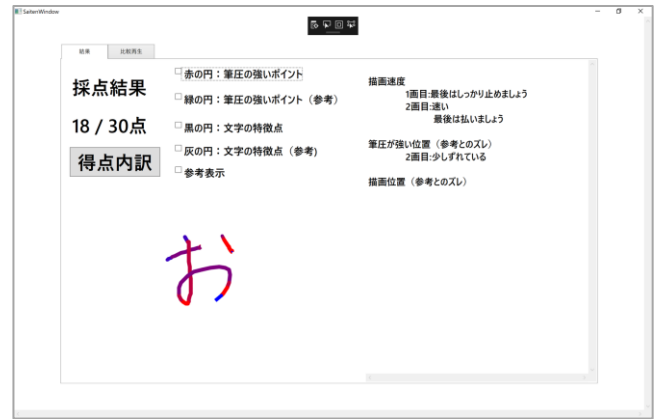


図14 個別文字結果画面(採点結果表示)

5. 評価実験の検討

本試作システムが学習者のペン習字上達に關与できたかどうかを評価する必要がある。想定する評価実験の流れとしては、まず被験者を複数人用意し、試作システムの支援有り G1 と支援無し G2 のグループに分ける。G1 は以下の4過程を繰り返し実施する。

- (1-1) 試作システム上に対象文字列を運筆する
- (1-2) 採点を実施する
- (1-3) 結果画面の文字列・文字毎の指摘箇所を学習する
- (1-4) もう一度対象文字列を運筆する

G2 は以下の4過程を G1 と同じ回数だけ繰り返し実施する。リアルタイム診断機能は無効とする。

- (2-1) 試作システム上に対象文字列を運筆する
- (2-2) 採点を実施する
- (2-3) 得点のみを閲覧する
- (2-4) もう一度対象文字列を運筆する

最後に全被験者にもう一度対象文字列を紙に書いてもらう。第三者に対象文字列の運筆を事前事後で比較してもらいどちらが綺麗かを判断し試作システムの評価とする。また、G1、G2 それぞれの採点結果の得点状況を t 検定を用いて試作システムの有意性を示す。第三者が G1 の事後運筆の方が綺麗と判断した上で、t 検定により試作システムの有意性が示せば採点結果の指摘箇所の妥当性も示すことができると考える。

6. おわりに

本研究ではペン習字の分野に注目した。デジタル文字が普及する中でも履歴書等で書き手の印象といった観点から綺麗な手書き文字が必要とされる。手書き文字の綺麗さには文字毎での綺麗さ、文字列での綺麗さ



図15 個別文字結果画面(比較再生表示)

の両方が必要であると考え、それぞれの評価指標を定義した。これらの評価指標を元に評価出来る環境として試作システムを開発した。実装機能として描画機能、文字のサイズ取得・リサイズ・再配置機能、採点機能、リアルタイム診断機能の4つを用意し、実際に紙に書く時と同じような感覚で学習者は字を書き、採点を行う。学習者は採点結果を閲覧し、指摘箇所を学び、もう一度書き直す中でリアルタイム診断機能を活用することでペン習字の上達を促す仕組みのシステムである。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP17K01098 の助成を受けた。

参考文献

- (1) 大柳俊夫, 中島そのみ, 中村裕二, 仙石泰仁: “運筆課題を用いた上肢機能評価のためのソフトウェアの研究開発”, 札幌医科大学保健医療学部紀要, 第12号, pp. 1-8(2010)
- (2) Pullman SL. : “Spiral analysis : a new technique for measuring tremor with a digitizing tablet.” ,

- Mov.Disord, 13 Suppl 3, pp. 85-89,(1998)
- (3) Vuillermot S., Pescatore A., Holper L.et.al. : “An extended drawing test for the assessment of arm and hand function with a performance invariant for healthy subjects.”, J.Neuroscience Methods 177, pp. 452-460(2009)
- (4) Rosenblum S.,Parush S.,Epstain L.,et.al. : “Process versus product evaluation of poor handwriting among children with developmental dysgraphia and ADHD.”, In H. L. Teulings & A. W. A. Van Gemmert. Proceedings of the 11th Conference of the International Graphonomics Society. , pp.169-173(2003)
- (5) 澤田明宏, 亀田昌志 : “タブレット型 PC を用いた初心者向け対話型デッサン学習支援システムの開発”, 情報処理学会第 74 回全国大会, 2ZH-8, pp. 4_895-4_896(2012)
- (6) 鈴木琢也, 吉川大輝, 鈴木雅人, 山下静雨, 市村 洋 : “ペン字・書道の遠隔実時間添削指導に関する研究”, 情報処理学会第 65 回全国大会, 1T-4, pp. 355-356(2003)
- (7) 浦正広, 遠藤守, 山田雅之, 宮崎慎也, 安田孝美 : “スマートフォンに向けた運筆リズムの可視化とペン習字アプリへの応用”, 情報処理学会報告研究報告, Vol.2013 DCC 4 No.9, pp. 1-6(2013)
- (8) 柴田博仁, 大村賢悟 : “手紙文の内容評価と差出人のパーソナリティ評価に及ぼす表示メディアと文書スタイルの効果”, 日本印刷学会誌, Vol54-1, pp.49-57(2017)
- (9) 新垣紀子, 都築幸恵 : “人は手書き文字をどのような次元で認知しているのか?”, 成城大学社会イノベーション研究, 4 巻 2 号, pp. 27-43(2009)
- (10) 槇田仁, 兼高聖雄 : “筆跡から判断される文字の特徴の評価と書き手パーソナリティーの関係について”, 慶應義塾大学大学院社会学研究科紀要 : 社会学心理学教育学, No.27, pp. 33-43(1987)
- (11) 中村聡史, 鈴木正明, 小林孝徳 : “平均文字は美しい”, エンタテイメントコンピューティングシンポジウム, Vol.2014, pp. 32-39(2014)
- (12) 中村聡史, 鈴木正明, 小林孝徳 : “ひらがなの平均手書き文字は綺麗”, 情報処理学会論文誌, Vol.57 No.12, pp. 2599-2609(2016)
- (13) 岩根 典之, 吉田 誠, 岸田 一 : “デジタル教材における身体知の表現と理解の支援”, JSiSE 全国大会, A5-4, pp. 373-374(2017)
- (14) 永井 孝, 香山 瑞恵 : “描画プロセスを意識させる美術入門者向けドローイング学習支援機能の設計”, JSiSE 全国大会, A3-2, pp. 189-190(2017)
- (15) 藤塚 哲也, 小林 幸雄 : “拡張現実を用いた毛筆学習支援システムに関する研究”, 一般社団法人電子情報通信学会, pp. 163(2014)
- (16) 古積 拓見, 稲谷 壮一郎, 蔡 文杰, 中川 正樹 : “漢字を正しくきれいに書くことを学ぶための学習システム”, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-CE-124 No.14, pp.1-7(2014)
- (17) 吉野 岳男, 田中 久治, 岡崎 泰久, 渡辺 健次 : “筆圧を含むオンライン手書き情報を用いた平仮名学習支援システムの改良”, 電気関係学会九州支部連合大会, pp.330(2010)
- (18) 野町 希望, 中村 剛士, 加納 政芳, 山田 晃嗣 西野 順二 : “このへんファジィを用いた筆記者間のオノマトペ類似度評価”, 第31回ファジィシステムシンポジウム, WA3-4, pp. 41-44(2015)
- (19) 富澤敏彦 : “「六度法」でうまくなる!モテ文字練習帳” 東京書籍, 東京(2006)
- (20) 青山 浩之 : “10 日で「美文字」が書ける本” 株式会社講談社, 東京(2013)
- (21) Rosten E., Drummond T.: Machine Learning for High-Speed Corner Detection. Computer Vision – ECCV 2006, Lecture Notes in Computer Science, vol.3951, pp.430-443(2006)
- (22) 李志炯, 崔底瑞, 小山慎一, 日比野治雄 : “文字の太さによる印象の変化”, デザイン学研究, 63 巻 5 号, pp. 5_101-5_108(2017)
- (23) 宮崎紀郎, 湊幸衛, 黒岩眞吾, 市川熹 : “読みやすい文字の大きさの検討 : 新聞を主とした文字のレイアウトの基礎的研究(2)”, デザイン学研究, 58, pp. 39-44(1987)
- (24) 西田昌史, 堀内靖雄, 黒岩眞吾, 市川熹 : “書き起こしへの付与を目指した音声とテキストを対象とした発話印象の分析”, 情報処理学会論文誌, 50-2, pp. 460-468(2009)
- (25) 阿久津洋巳, 近藤雄希 : “文字の読みやすさ 2 : 読みやすさと読みの速さの比較”, 14-1, pp. 26-33(2010)