

平均手書きノート

又吉 康綱* 久保田 夏美* 斉藤 絢基* 大島 遼* 中村 聡史* 鈴木 正明*

概要. タブレットや電子黒板などのようにペン入力によって手書き可能なシステムは増えているが、コンピュータならではの良さが十分に発揮されていない。そこで本研究では、ひとは平均化された自身の手書き文字や、他者と融合した手書き文字を高く評価するという特徴を活かし、ユーザの手書き文字を自身の過去の手書き文字や他者の手書き文字とリアルタイムに調合および平均化することによって、電子ノートや電子黒板といったペン入力可能なデバイスにおける手書きをより良いものとする手法を提案する。また、提案手法をウェブシステムとして実装し、その有用性について検討を行う。

1 はじめに

手書きはキーボードでの入力に比べ疲れるうえ、編集が難しく、コピーアンドペーストができないなど手間が多い。その一方で、柔軟性に富んでいることから複雑な図形や数式を思い通りに書くことができるといった利点がある。また、モハメドズルキフリーらの研究[1]では、日本語における手書き入力とキーボード入力の比較実験によって、キーボードを使ったタイピングに比べ、手書きの記入の方が早く入力できるだけでなく、提示された文章をより多く記憶して入力できることが明らかになっている。さらに、コンピュータ上のフォントの画一的な印象とは異なり、手書き文字は書き手による微妙な形状の違いから個々に異なった味を持つ字になる。しかし、誰もがきれいな文字を入力することができるコンピュータに比べ、手書きできれいな文字を書くことは容易ではなく、ゼブラ株式会社が行った調査[2]によると、自身の手書き文字を恥ずかしく思う人の割合が 64% 存在していることから、手書きで文字を書くことに苦手意識を感じている人は少なくない。

ここで中村ら[3]は、ひらがなを対象とした手書き文字に関する調査によって、ひとは書写技能によらず平均化された自身の手書き文字を他者のものより高く評価することや、自身の一回一回の手書き文字よりも、複数回を平均化した手書き文字を高く評価することを明らかにしている。また斉藤ら[4]は、自身の手書き文字よりも自身と他者の平均手書き文字に対して、高い好感度を示すことを明らかにしている。つまり、手書きがきれいではないひとであっても、自身の過去の手書き文字と平均化することで、より自身にとって評価の高い手書き文字になると考えられる。また、自身の字が好きでないひとであっても、好みの字を書く人の手書き文字を自身の

手書き文字に融合することで、個性や自分らしさを保ちながら自身にとって好感度の高い手書き文字を書くことが可能になると期待される。

また Zitnick[5]は、ノートなどに対する手書き入力をリアルタイムに平均化して美化する手法を提案している。この手法では、手書きストロークの曲率をリアルタイムに計算し、これまでに書いたストロークとの一致度を求め、一致度の高いものを集めて平均化することで、ユーザ個人の手書き文字や図形をきれいにしている。しかし、Zitnick の手法はストローク単位で処理を行うため、英語の筆記体のように比較的長めの曲線からなる文字列では効果的に働くが、漢字のように画数が多く、位置関係のバランスを取ることが重要になる複雑な文字には適用できない。また、この手法は同一人物のストロークは曲率が類似するという前提の上に成り立っているため、曲率が異なる他者の文字との融合には適していない。

そこで我々は、中村ら[3]の平均化手法をベースとして、電子ノートや電子黒板などに入力されたユーザの手書き文字を、ユーザ自身の過去の手書き文字や、他者の手書き文字と調合および平均化することによって、より良い手書き文字を提示することを可能とする手法を提案する。本手法により、文字を書くことに自信のない人でも手書きでノートやメモを積極的にとるようになると期待される。また本稿では、提案手法をプロトタイプシステムとして実装し、それを用いた短期的な利用テストを実施することでシステムの有用性について検討する。

2 関連研究

手書き入力をフォントや整形された図形に変換するシステムとしては Nebo[6]などがある。これはユーザが入力した手書き文字や数式をリアルタイムに認識し、フォントによるテキストに置き換えることでノートをきれいにとることを可能にしている。ま

た AutoDraw[7]は、ユーザが入力した手書きイラストから何が描かれているかを推定し、きれいに整形された図形を複数提案して、オリジナルのイラストと入れ替えることができるスケッチ支援システムである。Speech pen[8]は、音声認識と手書き文字認識を組み合わせることで、講義やプレゼンテーションにおける手書き文字入力効率化を支援している。しかし、これらのシステムはフォントのテキストやあらかじめ用意された図形に置き換わってしまうため、手書きにおける個性が失われてしまうといった問題がある。

図形描画をきれいにする研究として、Niino ら[9]は、既存のペイントシステムにあるような基本的な機能に加え、ユーザが納得いかずに複数回書き直したストロークを自動で平均化をし、絵を描くのが苦手な人でもきれいな図形を描くことを可能としたプロトタイプシステムを実装した。さらに、DrawFromDrawngs[10]は、大規模スケッチデータベースをもとにユーザが描いている絵を推定し、データベース上の絵とユーザが描いた絵の一部を融合することで、きれいな絵の描画を可能としている。一方、dePENd[11]は、ボールペンの強磁性を用いて、機内部に設置された磁石をコンピュータで制御し、ボールペンを誘導することで、新たな手書き体験を創出するシステムを提案している。

以上のように、手書きを支援する研究は多くなされており、ニーズは高いといえる。本稿で提案する手法は、過去のユーザの手書き文字や他者の手書き文字と融合および調合することにより、自身の手書き文字の個性を残しつつ、手書きをきれいにする手法の実現を目的とするものである。

3 提案手法

3.1 概要

本稿で提案する平均手書きノートは、ユーザが入力した手書き文字を数式として表現するとともに、ユーザがこれまでに入力してきた手書き文字や、他者がこれまでに入力してきた手書き文字と任意の割合で融合（加重平均処理）することによって、手書きをより良いものにするものである。また、それぞれの融合割合を調合可能とするものである。さらに、自身と他者の手書きについて割合を調合することにより、好きな手書きを作り出すことを可能とするものである。

図1は手法のイメージ図である。ユーザが書いた手書き文字を認識して手書き文字データベースに数式として格納するとともに、融合対象とする手書き文字の数式をデータベースから取得し、それらを融合した文字を数式として生成したうえで、アニメー

ションさせ提示する。

なお、ユーザがどのような手書き文字を入力しようとしているのかは、ユーザがその文字を入力し終わるまでは判断がつかない。そこで、手書き文字の入力中に融合及び提示するのではなく、手書き文字を入力した後に認識し、アニメーションによって手書き文字をきれいにしていく。また、手書き文字は複数画を続けて書くこともあるため、書いた文字と画数により文字を識別する。

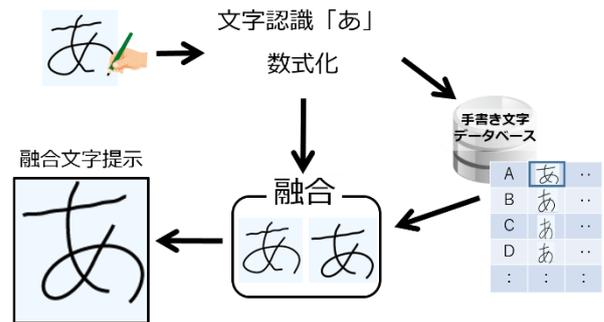


図1 提案手法の概要

3.2 融合手書き文字の生成

手書き文字の数式化については、ユーザの手書きのストローク端を結ぶ扇状のストロークを追加することで閉曲線とする。また、 x と y それぞれについて、フーリエ級数展開により媒介変数 t を用いて

$$\begin{cases} x = f(t) \\ y = g(t) \end{cases} \quad -\pi \leq t \leq \pi \quad (1)$$

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nt + b_n \sin nt) \quad (2)$$

と表すことができる[3] ($g(t)$ についても同様)。

この手法により数式化された手書き文字の i 画目を t の媒介変数で

$$(x_i, y_i) = (f_i(t), g_i(t)) \quad (3)$$

とすると、画数が N の文字は

$$(x, y) = \{(f_1(t), g_1(t)), \dots, (f_N(t), g_N(t))\} \quad (4)$$

と表される。また、あるユーザが M 回書いた i 画目の平均手書きストロークは

$$\begin{cases} f_{avg,i}(t) = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M f_{k,i}(t) \\ g_{avg,i}(t) = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M g_{k,i}(t) \end{cases} \quad 0 \leq t \leq \pi \quad (5)$$

と表される。 t の値が 0 から π までとなっているのは、フーリエ級数によって数式化する前に閉曲線となるよう折り返しているためである。この計算においてコサインとサインの係数を単純に足し合わせるだけで計算できるため、平均手書きストロークの生

自他との平均化により手書きをきれいにするシステムの提案

成は容易であるという特徴を持つ。なお、数式化された手書き文字はそれぞれ書く場所が異なるため、平均化を行うためには書く場所を揃える必要がある。そこで、対象とする手書き文字の中心座標を求め、数式から文字の中心座標を減算することにより文字の中心を(0,0)に揃える。

ここで、あるユーザがある文字について書いた*i*画目のストロークを $(f_{now,i}(t), g_{now,i}(t))$ とし、ユーザuの同じ文字について平均化したもの $(f_{avg_u,i}(t), g_{avg_u,i}(t))$ 、ユーザのリアルタイムな手書きへの重みづけを α_0 、各ユーザuの手書きに対する重みづけ(調合割合)を α_u ($0 \leq \alpha_u \leq 1$)、手書きを提供可能なユーザ数を*L*とすると、その平均ストロークは

$$\begin{cases} x = \alpha_0 f_{now,i}(t) + \sum_{u=1}^L \alpha_u f_{avg_u,i}(t) \\ y = \alpha_0 g_{now,i}(t) + \sum_{u=1}^L \alpha_u g_{avg_u,i}(t) \\ \sum_{u=0}^L \alpha_u = 1 \\ 0 \leq t \leq \pi \end{cases} \quad (6)$$

という形で、導出可能である。なお、ここで求めた融合ストロークの数式をそのまま使用すると、ユーザの書いた文字と異なった大きさや位置で描画されてしまう。そのため、求めた数式を入力された点列データの大きさや座標に合わせて補正を行う。具体的には、ユーザの書いた場所に融合された文字を提示するため、ユーザが書いた文字の縦横の大きさをもとに、数式の係数を修正する。

ここで、 α_0 の値を1に近づけると現在ユーザが書いているストロークがより重視される形となり、この値を0に近づけると現在ユーザが書いているストロークがほとんど反映されなくなる。また、ユーザIDが1のユーザ($u=1$)について、 $\alpha_0 = 0.5$ 、 $\alpha_1 = 0.5$ とすると、ユーザの現在の手書きストロークに、ユーザのこれまでの平均手書きストロークを半分ずつ混ぜたような平均手書きストロークが生成されることになる。これにより、文字のぶれが平均化によって軽減され、個性を残したきれいな平均文字を提示することができる。一方、 $\alpha_0 = 0.5$ 、 $\alpha_2 = 0.5$ とすると、IDが2である他者の個性と、自身の個性が融合された手書き文字にすることができる。

3.3 融合手書き文字の提示

ユーザが書いた手書き文字と自他のこれまでの手書き文字との融合において、手書き文字を融合した文字へと入れ替えるだけでは違和感が生じる。そこで、文字認識後に手書き文字から融合後の手書き文字へとスムーズにアニメーションするよう、下記の

ように表示する数式を切り替えていく。

ここで、ユーザが最後に書いた手書き文字の*i*画目の数式を $(f_{now,i}(t), g_{now,i}(t))$ 、ユーザが書いた手書き文字に対応する融合後の手書き文字の*i*画目の数式を $(f_{after,i}(t), g_{after,i}(t))$ としたとき、下記の式の β の値を0から1に変化させることによってアニメーション表現する。

$$\begin{cases} x = (1 - \beta)f_{now,i}(t) + \beta f_{after,i}(t) \\ y = (1 - \beta)g_{now,i}(t) + \beta g_{after,i}(t) \\ 0 \leq t \leq \pi \end{cases} \quad (7)$$

この β の値の変化方法により、アニメーションのスタイルを変更することが可能となる。

4 プロトタイプシステム

4.1 実装

プロトタイプシステムを Web アプリケーションとして実装した(<http://mojirage.com> から利用可能)。実装には JavaScript, PHP, MySQL を用いた。また、手書き文字の描画には SVG (Scalable Vector Graphics) を用い、文字認識については MyScript[12]の文字認識 API を利用した。

なお、MyScript の文字認識 API はどこからどこまでが1文字かという情報を返さないため、1文字を構成するストローク集合を認識する必要がある。本実装では、文字画数データベースをあらかじめ準備し、文字認識結果から算出された総画数と入力された文字列の総画数が等しい場合は、文字の画数ごとに分割を行うようにした。画数が異なった場合は、Ramer[13] の手法を用いて特徴点を求め、交差や近接度から1文字の分割を行った。

クライアントサイドは JavaScript で実装しており、ユーザが入力する点列の取得や、フーリエ級数展開、文字認識 API や融合化を行うサーバへの非同期的な送受信を行う。サーバサイドは PHP および MySQL で構築し、入力された点列データや、フーリエ級数展開によって得られた数式、文字認識結果やユーザ情報などを元に提案手法を用いて融合化の処理を行う。システム上、融合する際の平均を導く処理を高速化するため、これまでの平均の数式もデータベースにキャッシュしておき、その数式と直接融合を行えるようにした。また、ユーザの書いた点列データやページはデータベースに保存した。

手書き文字のアニメーションについては、SVG を用い、前後の数式と対応するように変形させる。なお、ユーザが入力した手書き文字から融合文字へのアニメーションは1秒間とした。図2はアニメーション例を示している。

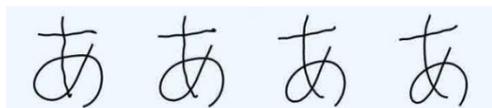


図2 アニメーション例(左端がオリジナル, 右端がアニメーション後)

なお、計算上すべてのユーザの手書き文字を調査し、融合することは可能であるが、ユーザインタフェースが煩雑になってしまうため、現在はユーザの過去の手書き文字のみとの融合、または、ある特定のユーザの手書き文字との融合のみ可能としている。

4.2 システムの利用方法

まず、ユーザは Google アカウントなどを利用してシステムにログインする。すると、これまでに書いたページが一覧表示される。ここでは、ページの新規作成や編集、削除などの編集も可能となっている。

編集モードでは手書き入力可能となっており、ユーザがストロークを入力している際には、ユーザ自身のストロークが、書き終わるとアニメーションにより融合した文字の提示を行う。また、ページの保存ボタン、Undo ボタン、文字の太さ指定ドロップダウンなどを利用することにより、ノート編集を自在に行うことができる。

プロトタイプシステムでは、任意の調合率で様々なユーザの手書き文字を融合できるわけではなく、自身の過去の手書き文字または、ある特定の他者の手書き文字を融合対象として指定することができる。ここで他者との融合を行う場合、「他者の書体を探す」ボタンを選択すると、各ユーザの平均文字が表示される。ユーザはその中から他者の書体を選択し、ページ編集画面(図3)へ進むことで、指定したユーザとの融合文字を書くことができる。なお、他者との融合を行う場合には、加重平均の割合を指定できるようにスライダーを設けた。

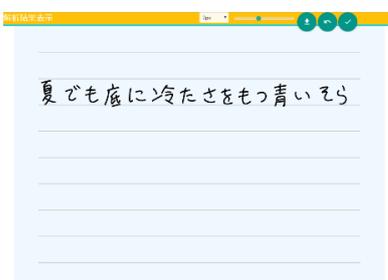


図3 ページ編集画面

5 利用テストと考察

ユーザの書いた文字が、自身や他者の過去に書いた文字と融合し提示された際に、その手書き文字からどのような印象を受けるのかを検証し考察するた

めに簡易的な利用テストを行なった。

利用テストでは、21~23歳の学生5人(男性4人女性1人)にシステムを用いて指定の文章を書いてもらい、フィードバックをもらった。利用テストでは、自身と融合した場合と、他者と融合した場合(誰を指定するかは自由とした)の2通りについて3回ずつ試してもらった。なお、入力端末には iPad Pro (12.9inch) および Apple Pencil を使用した。また、文章はフォントの書体見本でよく用いられる宮沢賢治作の「ポラーノの広場」の1節を用いた。

図4は、ある協力者が3回目に書いた自身の文字が過去に書いた自身の文字と融合される前後の字形を比較したものである。全体的に線の細かなブレが少なくなると同時に、ストローク間の隙間が整うことによってきれいな字に変化していることが確認できる。また、協力者からは「平均化された漢字が特にバランスがよく、好きだった」、「やたら大きく書いた文字でも、平均化することで丁度いい大きさになった」など、肯定的な意見が多かった。一方、「字のバランスなどの違いを感じなかった」との意見も得られた。これは、「筆跡の恒常性」[14]に起因するものとも考えられるが、それでも多少なりとも変化があるため、ユーザが気づかない程度にブレを抑えることができていると考えられる。

図5は、ある協力者の他者との融合前後の字形を比較したものである。他者との融合により、自身との融合よりも字形が大きく変化している。例えば、「す」を比べてみるとバランスが大きく変化していることがわかる。協力者からは、「融合後の字が好きであると感じた」や「いつも上手く書けなかった文字も納得いく文字になった」などの肯定的な意見が得られたが、「融合相手が気に入らなかった」や「色んな人の書体がほしい」といった意見も得られた。

利用テストでの観察から、斉藤ら[4]の自身の手書き文字と、きれいな字を書く他者の手書き文字とを融合すると、ユーザにとって好感度が高い文字が生成される現象が確認できた。なお、元からきれいな字を書くユーザが、自身よりもきれいではないと判断するユーザと融合すると、あまり良い結果にはならなかった。また、融合するユーザ間の書き順が異なると、融合文字が大幅に崩れてしまった。これは、それぞれの画数同士に対して融合の処理を行っているためであり、システム側で書き順判定を行い、画数の入れ替えを行うことで解決可能と考えられる。

また、著者はプロトタイプシステムを用いて講義ノートをとっており、記録を行ううえで問題がなかった。処理速度にはまだ問題があるが、きれいに提示されるメリットがあるため、今後も長期的に使用実験を行う予定である。

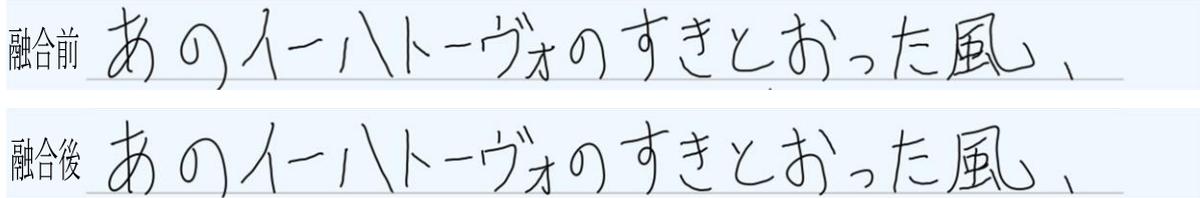


図4 ある実験協力者の自身との融合前後の字形

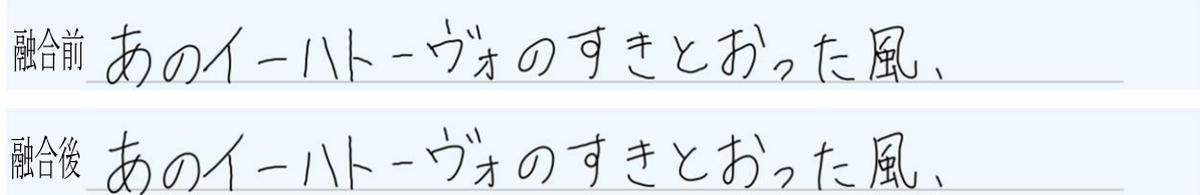


図5 ある実験協力者の他者との融合前後の字形

6 オープンキャンパスなどでの展示

プロトタイプシステムを、明治大学中野キャンパスのオープンキャンパス（2017年8月22～23日）で展示し、男性56人、女性59人の計115人に体験してもらった。オープンキャンパスではまず、自由な文字列を数回書くことによって、自身との平均化について平均文字がきれいになる体験してもらった。また、他者との融合についても同様に使用してもらい、他者と融合することで字形が大きく変化することを体験してもらった。その後、すべての体験者にシステムについての評価や体験についてのアンケートに-2から2の5段階で回答してもらった。

- ① 今後もシステムを使いたいか？
- ② 手書き文字をきれいに書くことができたか？
- ③ 文字のアニメーションがよかったか？
- ④ 融合されることで楽しく文字を書けたか？
- ⑤ 他者の文字と融合した文字は自分の文字よりも好きか？

アンケート調査の結果を図6に示す。

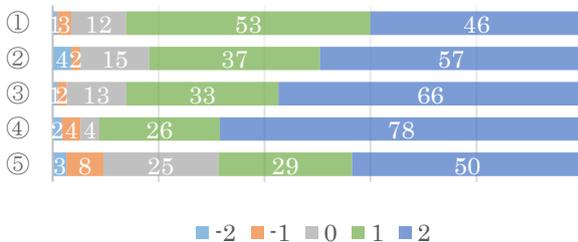


図6 アンケート結果

アンケートでは多くの来場者がプロトタイプシステムを今後も使いたいと回答していた。この理由として、手書き文字をきれいに書けたことに加え、アニメーションによって徐々に融合文字へ変形をさせ

たことが考えられる。また、自身と字形が大きく異なる他者と融合することで、自身の手書き文字が普段とは違った文字へと補正され、楽しく文字を書くことができていたようだった。

来場者の中には、複数回文字を書いたときに異なる書き順で書いてしまうこと、異なる画数で行書体のように画数を繋げてしまうことが多く見られた。このような場合には、画数が一致せず、融合元の文字との画数の対応付けが違ってしまいうため、融合文字が崩れてしまった。この現象を解決するためには、画数の入れ替え処理や、ストロークを分割や結合する処理を行うことで解決できると考えられる。

また、イノベーションジャパン 2017 大学見本市（2017年8月31日～9月1日）においても展示を行い、300人程度の来場者にシステムを体験してもらった。様々な肯定的な意見を得たが、利用場面として「お礼状を書く際に使いたい」「走り書きを自分の丁寧な手書きに変換してほしい」などが多かった。

7 まとめと今後の課題

本稿では、ユーザが書いた手書き文字を自他の文字と融合して提示する手法を提案し、プロトタイプシステムを実装した。また、利用テストやオープンキャンパスなどで得られた意見から、システムの有用性について検討を行った。

提案手法やシステム全体について肯定的な意見が多く寄せられた一方で、以下のような問題点も明らかになった。

- 同じ文字を書いても文字認識の結果が異なることで違う文字と判定され、融合されないことがある。
- 書き順や画数が安定しないユーザでは平均後の文字が崩れてしまう。

- 書き順が異なるユーザ間で融合を行うと融合後の文字が崩れてしまう。
- 自身よりも文字がきれいではない他者と融合してしまうと、好感度が上がり文字のバランスが崩れてしまう。

今後は、これらの問題点を中心に改善を進め、ユーザが自他との平均化によりきれいにノートやメモをとることができるのかについて使用実験を行う。また、スマートフォンなどの画面が小さなモバイル端末や、電子黒板などの大きなディスプレイ上でも快適に動作するように改良していく。さらに、さまざまなユーザの手書き文字を蓄積していくことによって、ノートの手書きの新たな体験を創出するとともに、ユーザが手軽に使える自身のフォントを生成する仕組みを実現する予定である。

謝辞

本研究の一部は、JST ACCEL (グラント番号 JPMJAC1602)、明治大学重点研究 A の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] ムハマドズルキフリー, 田野俊一, 岩田満, 橋山智訓. 日本語のメモ書き作業における手書き入力の有効性. 電子情報通信学会論文誌, J91-D(3), 771-783, 2008.
- [2] ゼブラ株式会社, 「キレイ文字調査」実施, <http://www.zebra.co.jp/press/news/2015/0403.html>. (2017/9/3 確認).
- [3] 中村聡史, 鈴木正明, 小松孝徳. ひらがなの平均手書き文字は綺麗. 情報処理学会論文誌, 57, 12, pp. 2599-2609, 2016.
- [4] 齊藤絢基, 新納真次郎, 中村聡史, 鈴木正明, 小松孝徳. 手書き文字に対する書き手識別と好感度に関する調査. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2016-HCI-169, 6, pp. 1-8, 2016.
- [5] L. Zitnick. Handwriting Beautification Using Token Means. ACM Transactions on Graphics (TOG) - SIGGRAPH 2013 Conference, Volume 32, Issue 4, No. 53, 2013.
- [6] MyScript Inc.. Nebo, メモをとるのに最も便利な手段. <http://www.myscript.com/nebo/>. (2017/9/3 確認).
- [7] Google Inc.. AutoDraw. <https://www.autodraw.com/>. (2017/9/3 確認).
- [8] K. Kurihara, M. Goto, J. Ogata, and T. Igarashi. Speech pen: predictive handwriting based on ambient multimodal recognition. Proc. Of CHI 2006, pp. 851-860, 2006.
- [9] S. Niino, N. Hagiwara, N. Nakamura, M. Suzuki, and T. Komatsu. Analysis of Average Hand-drawing and Its Application. Proc of INTETAIN 2017.
- [10] Y. Matsui, T. Shiratori, and K. Aizawa. DrawFromDrawings: 2D Drawing Assistance via Stroke Interpolation with a Sketch Database. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Volume 23, Issue 7, pp.1852-1861, 2016.
- [11] J. Yamaoka, Y. Kakei. dePEND: augmented handwriting system using ferromagnetism of a ballpoint pen. UIST, pp. 203-210, 2013.
- [12] MyScript Inc.. MyScript Cloud | Documentation. <http://doc.myscript.com/MyScriptCloud/3.2.0/myscript-cloud.html>. (2017/9/3 確認).
- [13] U. Ramer. An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves. Computer Graphics and Image Processing, Vol. 1, No. 3, pp. 244-256, 1972.
- [14] 川上直秋, 菊池正, 吉田富二雄. 字のクセを好きになるか?: 筆跡に基づく単純接触効果の般化. 社会心理学研究 第29巻第3号, pp.187-193, 2014.

未来ビジョン

本システムを膨大な人が利用すると、手書きに関する巨大なデータベースが構築されるとともに、手書き利活用の幅が広がると期待している。例えば、自身の手書きを売る人が出てきたり、膨大な人の手書きを調合する手書き文字の調香師のような職が創出されたりすると考えている。

また字が綺麗でなくても異性のユーザの字と融合された場合に、字がやわらかく・かたくなり、他者とノートと一緒にとっている感覚が得られることがあった。そのため、将来的にはアイドルが自身の手書き文字データを販売するようになり、ユーザは自身が応援しているアイドルの手書き文字データを購入し、ノートを自身とアイドルとの融合文字でとることによって、よりよい手書き体験を創出できるのではと期待している。

さらに、ひとは自身の手書き文字が融合された文字を好意的にとらえる傾向があることから、アイドルに送るファンレターにアイドルの手書き文字を融合させることによって、そのファンレターがアイドルの目に留まりやすくなる工夫などができるのではと期待している。

なお、こうした手書きが世の中に広がると、手書きは認証に利用できなくなるであろう。そうした未来においては、手書きは純粋に表現の一つとして使われていくと考えている。

