

誤認識した字形と使用した文字列を学習する個人適応型オンライン手書き文字認識

岩山尚美, 秋山勝彦, 石垣一司

富士通研究所

ipayama.naomi@jp.fujitsu.com

誤認識した字形を学習してよく使う文字の誤認識を減らす字形適応機能と、使用した文字列を学習してよく使う文字列の誤認識を減らす文脈適応機能を組み合わせた個人適応型手書き文字認識システムを開発した。このシステムは、2つの適応機能を組み合わせることによる過剰な文脈適応を抑制するしくみを導入し、それぞれ単独の適応機能の場合よりも認識率を向上させることができる。被験者 14 名での実験において、適応のないシステムの認識性能に満足する者が 6 名に対し、個人適応型システムの認識性能に満足する者は 11 名であるという結果を得た。

Online handwriting character recognition combining adaptive classification with adaptive context processing

Naomi Iwayama, Katsuhiko Akiyama, Kazushi Ishigaki

Fujitsu Laboratories Ltd.

ipayama.naomi@jp.fujitsu.com

We developed an adaptive online handwriting character recognition system which combines adaptive classifier with adaptive context processing. The adaptive classifier automatically collects misrecognized patterns inputted by a user so that the system increases recognition accuracy for repeatedly input characters. The adaptive context processing automatically collects the strings inputted by a user so that the system reduces misrecognition of repeatedly input strings. The adaptive recognition system has a mechanism which prevents adaptive context processing from causing over adaptation even if the adaptive context processing is combined with the adaptive classifier. In our experiments, while 11 subjects of all 14 subjects answered that they were satisfied with the recognition accuracy of the adaptive system, 6 subjects answered that they were satisfied with that of the non-adaptive system.

1. はじめに

近年、PDAに代表されるモバイル情報機器が急速に普及している。それに伴い、モバイル情報機器への様々な文字入力手法が提案されている^[1]。オンライン手書き文字認識もモバイル情報機器への文字入力手法のひとつである。オンライン手書

き文字認識による文字入力は、文字入力操作のために特別な学習を必要としない自然なインタフェースであるという利点があるにもかかわらず、十分に普及しているとは言えない。

我々は、オンライン手書き文字認識による文字入力が普及していない原因のひとつは、手書き文

字認識の認識性能にユーザが満足できないからだと考えている。したがって、我々は、ユーザが満足できる認識性能を持つ手書き文字認識システムの開発を目標としている。

これまで、認識性能に対するユーザの満足度を測る指標としては、認識率（入力した文字数に対する正しく認識した文字数の割合）が用いられてきた。認識率が 100%ならばユーザは満足すると言える。しかし、実際には、正しい筆順で書くことや楷書で丁寧に書くといった制約をユーザに課することなく、認識率を 100%にすることはできない。なぜならば、辞書との照合により文字を認識する方法において、ユーザが持つ様々な書き癖をすべてあらかじめ辞書に登録しておくことは不可能だからである。

認識率が 100%でなければ、言い換えると、誤認識がひとつでもあれば、ユーザは認識性能に満足できなくなるだろうか？我々は、そうは考えていない。つまり、誤認識には、許容できる誤認識と許容できない誤認識があると考えている。そして、認識率が 100%にはならなくても、許容できない誤認識を減らすことで、ユーザが満足できる認識性能を達成できると考えた（図 1）。

	認識結果	ユーザの満足度
現状	×	不満
目標		ほぼ満足
理想		満足

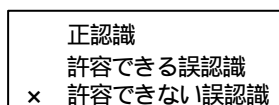


図 1： 認識結果とユーザの満足度

我々は、許容できない誤認識とは、ユーザがよく使う文字や文字列に対する誤認識であると考えた。なぜならば、モバイル情報機器は一人のユーザが継続して使い続けるものであり、一人のユーザは同じ文字や文字列を繰り返して入力することが多いことを観察したからである。

我々は、ユーザがよく使う文字の誤認識を減らして認識率を向上させる字形適応機能を開発した^[2]。字形適応機能は字形認識部においてユーザ適

応を行うものであり、字形認識部は入力された個別の文字形状から複数の候補文字を出力するものである。字形適応機能は、誤認識したユーザ字形を字形辞書に自動登録して文字の誤認識を減らす。また、利用頻度が少ない字形は自動削除する。したがって、字形適応機能は、自動削除により単調に増加する字形辞書を一定サイズに抑制することができる。利用頻度が多い文字は字形辞書から削除されないので、モバイル情報機器の少ないメモリ資源を浪費することなく、ユーザがよく使用する文字の誤認識を減らすことができる。

また、我々は、ユーザがよく使う文字列の誤認識を減らして認識率を向上させる文脈適応機能も開発している^[3]。文脈適応機能は文脈処理部においてユーザ適応を行うものであり、文脈処理部は字形認識部から出力された候補文字の中から前後の文字との連なり情報を考慮して最適な文字列を出力するものである。文脈適応機能は、ユーザが使用した文字列を自動的に文脈辞書に自動登録して、文字列の誤認識を減らす。また、利用頻度が少ない文字列を自動削除する。したがって、文脈適応機能も、字形適応機能と同じく文脈辞書を一定サイズに抑制することができる。利用頻度が多い文字列は文脈辞書から削除されないため、ユーザがよく使用する文字列の誤認識を少なくできる。

本論文では、字形適応機能と文脈適応機能を組み合わせた総合適応機能をもつ手書き文字認識システム（以下、総合適応システムと略す）を提案する。総合適応システムでは、字形適応機能により字形認識部の性能が向上することに対応して、従来の文脈適応機能に改良を加えた上で、2つの適応機能を組み合わせた。これにより、2つの適応機能を組み合わせることによる認識率の低下を抑制することができ、それぞれ単独の場合よりも認識率を向上させることができる。

実験により、総合適応システムが、それぞれ単独の適応機能をもつ手書き文字認識システムより認識率が高いことを確認した。また、被験者のアンケートにより、多くのユーザが総合適応システムの認識性能に満足したという結果を得た。

以下では、第2節で従来の手書き文字認識システムとその課題について述べる。第3節で総合適応システムについて説明し、第4節で総合適応システムの有効性を検証するための実験とその結果について述べる。最後に、本研究の結論を述べる。

2. 従来の手書き文字認識システムの課題

2.1. 手書き文字認識システムと課題

図2に手書き文字認識システムの概要を示す。

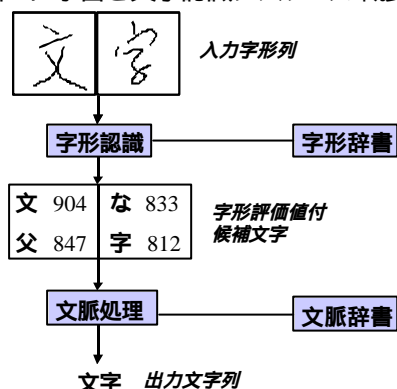


図2：手書き文字認識システム

手書き文字認識システムに字形列が入力されると、字形認識部は、入力された各字形と字形辞書に格納されている各文字の標準字形との照合を行い、その一致度により字形評価値を算出する。そして、字形認識部は、各字形に対して、字形評価値の大きい順に上位n個の字形評価値付きの候補文字を出力する。

字形認識部の出力は文脈処理部に送られる。文脈処理部は、文字列評価値の結果からシステムが出力する文字列を決定する。文脈処理部では、字形認識部が出力した候補文字の組み合わせからなる文字列に対して、字形評価値および文脈辞書から算出される文脈評価値をもとに文字列評価値を算出する。我々のシステムでは、文脈辞書には2文字間の遷移確率を格納しており、候補文字間のつながりやすさをもとに文脈評価値を算出する。

以上に述べた手書き文字認識システムにおける課題を字形認識部と文脈処理部に分けて説明する。

字形認識部では、ユーザが入力を意図した文字のいくつかは、いつも上位の候補文字として出力されないという課題がある。我々のシステムでは、

字形辞書に各文字に対して収集した字形を平均化したものを標準字形として格納している。しかし、図3に示すように、人によって文字の形状は様々であり、入力字形に対して、誤り文字の標準字形の方が正解文字の標準字形よりも距離が小さく（類似度が高く）なっているために、正解文字の字形評価値が低くなり、正解文字が上位の候補文字として出力されないことが起こる。そして、一人のユーザが同じ文字の入力を意図した字形は類似していることが多いのである文字に対しては、いつも正解文字が上位の候補文字として出力されないことになる。

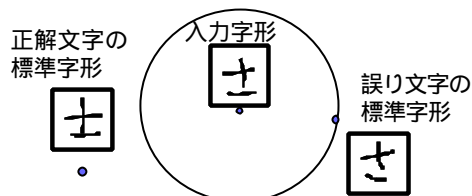


図3：字形認識部における課題

一方、文脈処理部では、字形認識部が出力した候補文字の組み合わせからなる文字列に正解文字列があるにもかかわらず、文脈処理部が正解文字列を出力しない場合があるという課題がある。我々のシステムでは、文脈辞書に日本語文コーパスを学習データとして得られた2文字間の遷移確率を格納している。したがって、学習データには現れない文字列に対しては文脈評価値が低くなり、その文字列を文脈処理結果としてシステムが出力することができない場合がある。

2.2. 字形適応機能

字形認識部の課題（ユーザが入力を意図した文字のいくつかは、いつも上位の候補文字として出力されない）のうち、特に、ユーザがよく使う文字に対して字形認識部の課題を解決するために、字形適応機能の開発を行った。

字形適応機能は、誤認識した文字に対するユーザ字形を適応字形辞書に登録することにより、同じ文字が入力された場合の誤認識を減らすことができる。我々が開発した字形適応機能は、次のような特徴をもつ。

- 個人字形の適切な変形登録により、他の文字への悪影響を抑制
- 設定された登録数を超える場合には、利用頻度が少ない字形の自動削除により、適応字形辞書を一定サイズに抑制
- 認識に悪影響を与える登録字形の自動削除により、誤登録した場合にも修復可能

このような特徴を備えることにより、一定サイズの字形辞書ながら、字形辞書にはよく使う文字に対するユーザ字形が登録されていることになり、よく使う文字の誤認識を減らすことができる。また、ユーザ字形を登録することによる悪影響を抑制する工夫により、字形適応のない場合に比べて認識率を向上させることができる。

ユーザ字形登録の効果は非常に大きい反面、ユーザ字形を登録しても適応効果が現れない場合もある。なぜならば、個人内においても字形変動の大きい文字が存在するからである。

2.3. 文脈適応機能

文脈処理部の課題（字形認識部が出力した候補文字の組み合わせからなる文字列に正解文字列があるにもかかわらず、文脈処理部が正解文字列を出力しない場合がある）のうち、特に、ユーザがよく使う文字列に対して文脈処理部の課題を解決するために、文脈適応機能の開発を行った。図4に従来の文脈適応機能のしくみを示す。

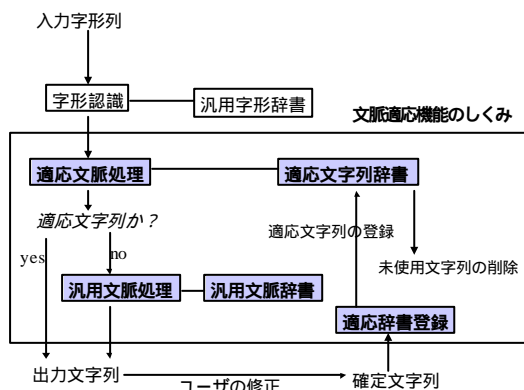


図4：従来の文脈適応のしくみ

文脈適応機能では、入力された文字列を適応文字列辞書に登録し、適応文字列辞書に存在する候

補文字列に対しては、字形評価値に適応ボーナスを加算する。適応ボーナスは、頻度に応じて値が大きくなり、最近使用のものの方が大きい値となるものとした。

したがって、適応文字列辞書に登録されている文字列が入力された場合は、その候補文字列の字形評価値に適応ボーナスが加算され、文字列の評価値による順位が入れ代わり、適応文字列辞書に登録されている文字列が文脈処理結果として出力される。このようにして、文脈適応機能では、適応辞書に登録されている文字列の誤認識を減らすことができる。

文脈適応辞書サイズを一定に保つために、使用頻度の低い文字列は自動削除される。しかし、ユーザがよく使う文字列は文脈適応辞書に登録されているので、文脈適応機能では、ユーザがよく使う文字列の誤認識は減らすことができる。

また、適応ボーナスは、字形認識部の出力結果をもとに、平均して1文字あたりどの程度のボーナスを与えればよいかにより値の範囲を定め、候補文字列の長さに比例するものとした。したがって、適応ボーナスを加算することによる過剰適応が、つまり、適応を行うことによる認識率の低下を抑制している。

文脈適応辞書に文字列が登録されていても、文脈適応機能により誤認識をなくすることができない場合がある。それは、字形認識部が正しい候補文字を出力しない場合である。なぜならば、文脈処理部は、字形認識部が出力した候補文字の組み合わせからなる文字列から最適な文字列を選択する処理を行うためである。

3. 総合適応システム

3.1. 総合適応システムのしくみ

総合適応システムは、字形適応機能と文脈適応機能を組み合わせたシステムである。図5に総合適応システムの概要を示す。

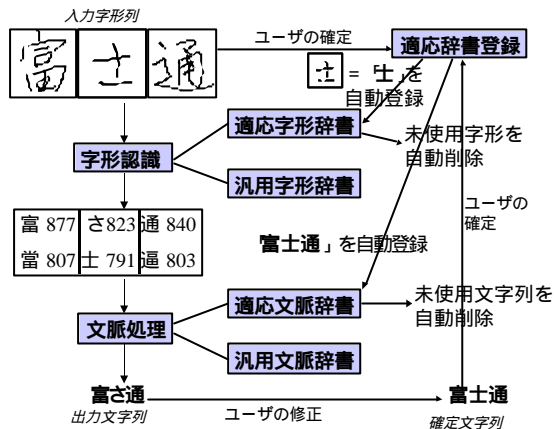


図 5：総合適応システム

ユーザーが入力した字形列に対して、総合適応システムは字形認識および文脈処理を行い、結果として文字列を出力する。総合適応システムが出力した結果が誤っていれば、ユーザーは認識結果の修正を行う。すなわち、他の候補文字を選択したり、書き直したりすることによって正しい文字列を入力する。正しい文字列が入力できれば、ユーザーは、修正を行わずに次の入力を行うか、アプリケーションに認識結果を転送するなどの操作を行う。このことから、総合適応システムはユーザーが確定した文字列を自動的に取得することができる。

取得された確定文字列は入力された字形列とともに適応辞書登録部に送られる。適応辞書登録部では、ユーザーが修正操作を行った文字の字形と確定文字の対応を適応字形辞書に登録する。また、確定した文字列を適応文脈辞書に登録する。

このようにして、総合適応システムでは、ユーザーが認識結果を確定した際に、誤認識したユーザー字形とユーザーが使用した文字列の両方を自動登録する。したがって、繰り返し入力された文字が個人内字形変動の大きい字形の場合にも、文脈適応機能により誤認識を減らすことができる。また、字形適応機能により、字形認識部が正しい候補文字を出力するようになることで、繰り返し入力された文字列は文脈適応機能により誤認識を減らすことができる。つまり、それぞれ単独の適応機能場合よりも、よく使う文字や文字列の誤認識をより多く減らすことができる。

3.2. 総合適応システムの課題

2つの適応機能を組み合わせる際の課題は、字形適応により字形認識部の性能が向上した場合に、過剰な文脈適応により認識率の低下を招かないことである。

2つの適応機能を組み合わせた場合に、過剰な文脈適応が起こることを具体例で説明する。適応字形辞書に「土」とそのユーザー字形が登録されており、適応文字列辞書に「富士通」という文字列が登録されているとする。ユーザーが、「富士画」という文字列を入力するつもりで筆記した字形列と、それに対する字形認識部の出力が図5に示すものであったとする。

字形適応機能では、誤認識した文字とその字形の対応を適応字形辞書に登録する。一人のユーザーが同じ文字の入力を意図した2つの字形は、類似している場合が多い。したがって、図6に示すように、適応字形辞書に登録されている文字「土」の入力を意図した字形に対して、字形適応機能をもつ字形認識部は、正解文字「土」を1位候補に出力し、かつ、「土」の字形評価値は非常に高い。

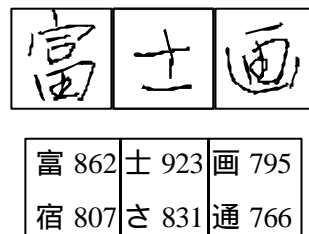


図 6：「富士画」の入力字形と字形認識部出力例

このような場合に、適応文字列辞書に登録されている「富士通」に第3.3節で述べたような適応ボーナスを加算すると、過剰な文脈適応が起こり、文脈処理結果として誤った結果の「富士通」を出力してしまうことになる。つまり、適応ボーナスの値を文字列に関係なく、固定的な字形認識部の出力結果をもとに平均的に求める方法では、字形適応機能により字形認識部の出力が変わっていくことには対応できないという問題がある。

3.3. 文脈適応機能の改良

第 4.2 節で述べたような総合適応システムの課題を解決するために、字形適応機能と組み合わせても文脈適応機能が過剰な適応を起こさないように文脈適応機能の改良を行った。図 7 に改良した文脈適応機能のしくみを示す。

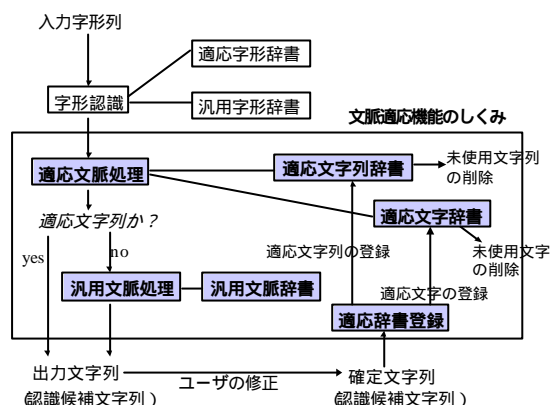


図 7: 改良した文脈適応機能のしくみ

改良した文脈適応機能では、適応文脈辞書として、適応文字列辞書と適応文字辞書の 2 つを用いる。適応文字辞書には、ユーザが使用した文字ごとに、適応ボーナスを加算する条件とその文字に対して与えるべき適応ボーナスを登録する。改良した文脈適応機能では、適応文字列辞書に存在する候補文字列に対して加算する適応ボーナスを、候補文字列を構成する各文字に対する適応ボーナスの和に変更した。また、適応ボーナスを加算する条件を満たさない場合には、適応ボーナスを加算しないこととした。

適応ボーナスを加算する条件として、その文字が入力された際に字形認識部が出力した 1 位候補の字形評価値を用いた。また、字形認識部が出力した 1 位候補の字形評価値が適応ボーナス条件を超える場合に、適応ボーナスを加算する条件を満たさないとみなした。よって、字形適応効果の結果、正解文字が高い字形評価値をもつ 1 位候補となる場合には、適応ボーナスは加算されない。

このようにして、改良した文脈適応機能では、適応ボーナスが過度に加算されることを防ぎ、字形適応機能と組み合わせた文脈適応機能が過剰な適応を起こすことを抑制することができる。

4. 実験結果

本節では、上述した総合適応システムの有効性を評価するための実験とその結果について述べる。

4.1. シミュレーション実験

シミュレーション実験により、2 つの適応を組み合わせることによる認識率の低下を招かないことを検証した。

シミュレーション実験は、手書き文字パターンデータベース Hands_kuchibue_d^[4]の 120 個のデータの文章部を対象として行った。適応なしの場合、字形適応のみの場合、文脈適応のみの場合、総合適応の場合におけるそれぞれの平均認識率を表 1 に示す。

また、表 1 には、適応の理想効果も合わせて示している。実験に用いたデータは新聞記事データであり、文字列としての繰り返しが少ない文章である。そこで、適応の理想効果は、適応ありの状態での認識処理を行った場合（適応効果）と、その後と同じデータをもう一度適応ありの状態での認識処理を行った場合の平均認識率として測定した。

	適応なし	字形適応	文脈適応	総合適応
適応効果	93.28%	94.77%	93.75%	95.07%
理想効果	93.28%	95.31%	97.94%	99.03%

表 1: シミュレーション実験結果

字形適応、文脈適応それぞれ単独の場合よりも総合適応の場合の方が高い認識率となり、組み合わせることによる認識率の低下が起こらないことが検証できた。

4.2. 被験者実験計画

被験者実験は、次の 3 項目の検証を目的とした。

- 1: 総合適応システムの方が適応なしシステムより認識性能が高い。
- 2: 総合適応システムの方が適応なしシステムより認識性能が高いことをユーザが体感できる。
- 3: 総合適応システムの認識性能にユーザは満足する。

上記 3 項目を検証するために、次のような実験を行った。入力データが書かれた用紙の内容を手書き文字入力インタフェース部より入力を行う。

本実験では、ある個人の3ヶ月分のスケジュールデータを入力データとした。スケジュールデータの文字数は598文字である。

実験に参加した被験者は14人であり、性別、年齢、ペン入力経験の人数構成は以下である。

性別	男性 7人	女性 7人	
年齢	20代 3人	30代 11人	40代 1人
経験	あり 13人	なし 1人	

被験者を無作為に7名ずつの2つのグループAとBに分ける。Aグループの被験者は、適応なしシステムを使ってデータを入力後、総合適応システムを使ってデータを入力する。Bグループの被験者は、総合適応システムを使ってデータを入力後、適応なしシステムを使ってデータを入力する。2つのグループに分けて、グループにより総合適応システムと適応なしシステムを使った入力順序を変えた理由は、練習効果や疲労効果を相殺するためである。被験者には、2つの異なるシステムによる入力実験であることを説明するが、システムの違いや順序については知らせない。2回の入力実験後、次の4つの質問に答える。

Q1: 1回目の入力実験での認識性能に対するあなたの評価はどれですか？

1. 十分に満足できる
2. ほぼ満足できる
3. 普通
4. 不満である
5. 非常に不満である

Q2: 2回目の入力実験での認識性能に対するあなたの評価はどれですか？

1. 十分に満足できる
2. ほぼ満足できる
3. 普通
4. 不満である
5. 非常に不満である

Q3: 2回の入力実験において認識性能の違いを感じましたか？

1. どちらも同じようなものだった
2. 1回目の方が認識性能が高かった
3. 2回目の方が認識性能が高かった

Q4: 2回の入力実験において認識に関する違いを感じた点があればお書きください。

4.3. 認識性能による被験者実験結果

表2に適応なしシステムと総合適応システムの14人の平均認識率を示す。認識率は、入力文字全体、前半、後半の3つについて測定を行った。

	適応なし	総合適応
全体	89.2%	91.5% (+2.3)
前半	88.6%	90.2% (+1.6)
後半	89.8%	92.7% (+2.9)

表2: 14人の認識率の平均値

適応の効果は、使い始めの段階ではあまり現れず、使い続けるほど顕著に現れるものである。前半では適応の効果は大きくないが、後半では前半に比べてはっきりとした適応の効果が確認できた。

対応がある場合の分散分析の結果により、5%の危険率で、全体 ($F(1,13)=21.77, p<0.05$)、前半 ($F(1,13)=5.72, p<0.05$)、後半 ($F(1,13)=18.04, p<0.05$)のすべてにおいて、総合適応システムの効果が確認できた。

4.4. アンケートによる被験者実験結果

はじめに、アンケートのQ1およびQ2の回答をまとめた結果を図8に示す。

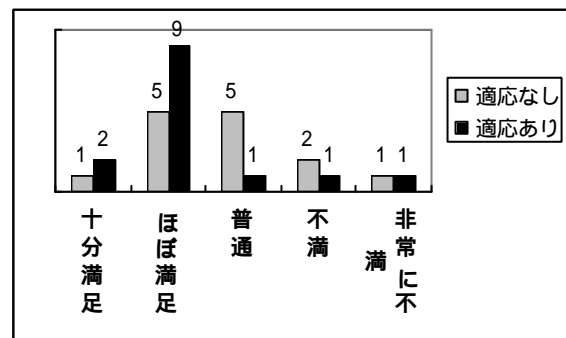


図8: 認識性能に対するユーザ評価

適応なしシステムより総合適応システムの方が、認識性能に満足するユーザが多くなるという結果が得られた。

認識率とユーザ評価(Q1およびQ2の回答)の関係を表3に示す。

	適応なし 認識率(%)	総合適応 認識率(%)
十分に満足	93.3	94.3 ~ 95.7
ほぼ満足	86.5 ~ 95.9	87.3 ~ 96.7
普通	83.7	77.0
不満	87.5 ~ 91.4	90.9
非常に不満	71.65	81.86

表 3: 認識率とユーザ評価の関係

ユーザが満足できる認識率の絶対値は、ユーザにより大きな差があることがわかった。

次に、アンケートのQ3の回答をまとめた結果を表4に示す。

適応なしの方が性能が高い	2人
総合適応の方が性能が高い	8人
同じ	4人

表 4: 総合適応による性能向上の体感

総合適応による認識率の向上程度（総合適応の認識率 - 適応なしの認識率）とユーザの性能向上体感（Q3の回答）の関係を表5に示す。

	認識率向上
総合適応による性能向上あり	1.8 ~ 5.3
性能は同等	-0.6 ~ 1.5
総合適応による性能下降あり	2.5 ~ 3.4

表 5: 認識率の向上と性能向上体感

ユーザが性能向上を体感する認識率の向上程度は、ユーザにより大きな差があることがわかった。

Q4の回答として、「適応なしシステムでは同じ文字に対して同じ誤り結果を何度も繰り返すが、総合適応システムでは同じ誤りをしなくなった」や「総合適応システムでは、後半になるほど誤認識の数が減った」が挙げられた。

表2の結果とQ4の回答から、絶対的な認識率が高いことが、ユーザがシステムの性能に満足する要因となるだけでなく、同じ誤りを繰り返さなくなることで、つまり、よく使うものに対する誤認識を減らすこともユーザがシステムの性能に満足する要因になると推察できる。

また、表3の結果とQ4の回答から、絶対的な認識率の向上がユーザにシステムの性能向上を体感させるだけでなく、よく使うものに対する誤認識を減らすこともユーザにシステムの性能向上を体感させることになると推察できる。

5. まとめ

本論文では、字形適応機能と文脈適応機能を組み合わせた総合適応機能をもつオンライン手書き文字認識システムを提案した。総合適応システムは、普通に使い続けるだけでユーザがよく使う文字や文字列の誤認識が少なくなり、認識率が向上する。14名の被験者実験により、総合適応システムは認識性能に対するユーザの満足度を向上させることを検証した。

手書き文字認識システムが、他の文字入力入力インタフェースよりもユーザに支持されるためには、モバイル情報機器への文字入力インタフェースとしての手書き文字認識システムにユーザが満足できることが必要である。ユーザが満足できる手書き文字認識システムを開発するためには、認識性能だけでなく、手書きユーザインタフェースの研究も重要であり⁵⁾、今後は、手書きユーザインタフェースの研究にも力を入れる予定である。

謝辞

実験に協力していただいたすべての方に心から感謝いたします。

参考文献

- [1] 増井俊之: ペンによるテキスト入力, UNIX MAGAZINE(1999年1月号), pp.165-169, 1999.
- [2] 秋山, 石垣: オンライン手書き文字認識のためのテンプレートキャッシングによる筆者適応手法, 信学技法, PRMU 2000-210, pp.69-76, 2001.
- [3] Naomi Iwayama Kazushi Ishigaki: Adaptive Context Processing in on-line Handwriting Character Recognition: Proc. 7th IWFHR, pp.469-474, 2000.
- [4] 中川, 東山, 山中, レーバントウ, 秋山: 文章形式字体制限なしオンライン手書き文字パターンの収集と利用, 信学技報, PRMU95-110, pp.43-48, 1995.
- [5] 曾谷俊男, 福島英洋, 高橋延匡, 中川正樹: 遅延認識を用いた手書きユーザインタフェースの基本設計, 情報処理学会論文誌, Vol. 34, No.1, pp.158-166, 1993.