

発想支援インタフェースとしてのペン入力

中川正樹, 加藤直樹, 秋山勝彦, レー・バン・トゥー
東京農工大学工学部

概要

ほとんどの人にとって, その操作に思考を妨げられないことがない入力手段としてペン入力を位置づけ, その利点を生かしたインタフェースの様式と要素技術の一つであるオンライン認識の新しい成果について述べる. インタフェースの様式として, ペン入力の良さである思考との親和性とその表現可能性, および, ボタン認識技術の問題を併せて考慮し, 提案している怠け認識方式について述べる. また, オンライン認識手法としては, 高速で, かつ, ストロークの続けに寛容な浅いバックトラック法の考え方を紹介する. この新しい伸縮マッチング手法により, 学習処理を施していない現段階でも, 書体制限無しで自由に筆記された JIS 第一水準の文字セットを実時間で平均 90% 以上正認識している.

1. はじめに

近年, ペンによる新しいインタフェースの可能性が開けつつある[1~4]. 対象を直接指示入力できること, 書(描)けること, したがって朱入れやメモ記入が容易なこと, ペンジェスチャの認識によって対象とコマンドの指定を単一動作で行えること, キーボードが不要なために携帯用のものから黒板大のものまで基本的に同一のインタフェース様式で作成できること, 特に携帯用のコンピュータに向いていること, などの理由によって, 新しい利用者層を開拓できるという期待がある.

しかし, 我々はこれらに加え, そしてこれら以上に, 手書きの思考との親和性に注目している. 手書きなら余計な操作に煩わされることがない. 手書きの, 認知心理学で言うところの“自動化”[5]された性質から, 注意を分散させずに考えることに集中できる.

さらに, ペンならば, それを持ち替えることなく, 文字, 数式, 図など, ほとんどすべてのものを表現することができる. このため, 思考を中断されることがない. 例えば, 数式は2次元の構造を有し, 大きさ, 位置関係, 字体などに様々な意味が付随している. これらをキーボード入力するには, 余計な動作を必要とする. これは, 手数を増やすばかりか, 自然な発想の流れを阻害する.

これらのことから, 我々は創造的な段階では, 紙とペンを用いて作業を行うことが多い. この状況は, 計算機が普及している今日においてもあまり変わっていない.

人間はその長い歴史において, 常にものを書くことを基本に情報を創造してきた. 意外なことに, キーボードとマウスが普及した今日のオフィスや研究

所などでも, それらは情報の加工や選択に用いられるのが主で, 情報の生産はペンで紙の上に文字や図を書きながら行なっていることが多い.

我々の手書きインタフェースの究極の目標は, 人間に自然で制限のない手書きによる計算機との対話と, 計算機の利便性との融合であり, そのことで人間の創造活動を増幅することである. 人間は書きながら発想を練り, 必要なところは, 拡大, 強調, 認識, 処理, 計算, グラフ化, あるいは, 清書などを計算機に支援させる. そして, 人間が, 手間をかけずに, かつ, 注意を分散させずに創造活動に専念できる環境を提供する. これを実現するためには, 手書きボタンの分離, 処理, 認識, それを支援する知識処理との協調, 計算機と人間双方の弱点を補い長所を引き出すヒューマンインタフェースの設計が課題となる. 完全なボタン認識が不可能に近い以上, 認識, 表示, 訂正, 再入力のサイクルのインタフェースを考え直す必要がある.

我々は, 思考の継続性, 発展性には, 手書きボタンにはたつき続ける(手書きの筆跡を読み返したり, それに書き加えたりする)方がよいとの観点から, 認識表示は必要になるまで遅らせる怠け認識方式を主張している. 怠け認識方式では, 認識のために文脈を利用することも容易になる. 我々は, 1990年, 91年に基本概念と設計を示し[6, 7], 1991年秋に原稿作成環境に応用したプロトタイプを発表した[8]. 1993年には, 認知心理学的考察を加え, 怠け認識(lazy recognition)と命名した[9~12]. 一方, 1991年に発売された PenPoint[2]では, 発表や議論を記録する際, 認識にかけて誤認識・不認識を訂正していたのでは間に合わないとのことから遅延認識(delayed recognition)機能が提供されている.

我々は“lazy”と“delayed”の言葉を区別したい。lazy では、認識表示は必要になるまでしないが、認識処理のできる部分はどんどん進めて差し支えない。一見怠けた人が影では何かを一生懸命していることだってよくあるのと同じである。さらに、lazy には、必要がなければ忘れてしまうことが含まれる。一方、delayed では、忘れ去られることまで意味しない。

2. 手書き HI 研究の立場

我々の研究は発想支援のためのインタフェースに重点がある。現時点では、組み合わせるアプリケーションは従来からある文書作成と教育である。アプリケーションの設計思想も、人間が思考の過程で行わなければならない計算、作表、作図、グラフ化などを機械化して、それらのために割かれる思考の中断を排除することである。一言で言えば、「発想過程を邪魔しない」ということである。

「発想過程を邪魔しない」から「発想過程を活性化する」ツール／アプリケーションが本シンポジウムの主題ならば、本稿は時代遅れということになるが、新しい成果を吸収して手書きと相性の良いものを将来、組み合わせることは非常に興味深い。

今日、マルチメディア通信の急速な立上りから、手書きボタン交信の実用化が始まろうとしている。声だけ（表音）の通信から表意の通信への拡張により、明らかにいくつかの利点が付加されるだろう。また、人間間の通信を組織化、体系化して、CSCW に利用することも研究されている[3]。これらの環境では、厄介な問題である手書きボタンの機械認識の必要はない。

手書きの“認識”で華々しく打ち上げられたペンコンピューティングを、原点に戻ってこれらの用途に利用するとき、怠け認識は極めて相性が良い。大半の手書きは認識されずに交信だけに使われるだろう。しかし、全く認識しないのでは計算機の利便性の利用は限られよう。我々はあくまでも、必要に応じて機械認識し、human-computer の対話によって、どれだけ人間、人間間の創造的生産性が高められるかにこだわりたい。

HCI の分野では、マルチモーダルの研究が盛んである。計算機を使っている人間の表情や発話が計算機に通じたら、HCI の幅はさらに広がるのは確かである。しかし、その実現は手書きボタンの認識に比べて格段に難しくなる。

難しいというだけではなく、その必要性を発想支援の目的と照らして考える必要がある。人間は古来、平面の上に図や文字を書き、それと対話しながら思

考を育み、それを文書として残してきた。このことから、人間の手書きの活動を支援することで、人間の主要な情報生産活動は支援できる。一方、声や表情は伝達手段として機能してきた。つまり、それらは個人内での思考へのフィードバックがほとんどないボタンなのである。したがって、「発想過程を邪魔しない」段階では、研究対象としない。

3. 発想支援手書き HI への視点

発想支援手書きインタフェースを設計するために、次の3つの視点から考察した。

3.1 手書きと計算機

一文書作成の現実から学ぶこと一

ここでは、発想が伴う仕事として文書作成を取りあげ、その過程における計算機の利用のされ方を検討する。研究室内の調査では、文書作成初期の構想を練る段階から最終出力にいたるまでをすべて計算機環境（ワードプロセッサを含む）で行う人はむしろ少ない[13]。多くは、文書内容や構造を考えたり、推敲や再構成などの段階で紙（原稿用紙や仮出力など）とペンを用いて作業をしている。紙とペンを用いる理由を次のように述べている。

- (1) どこでも作業できる
- (2) 場所さえあれば広い範囲を一度に見渡せる
- (3) CRT や液晶面より紙面出力の方が見やすい
- (4) 何でも自由に書ける
- (5) 落ち着いて思考に集中できる

これらについて、手書きユーザインタフェースに採り入れる可能性を考えてみる。

まず、(1)~(3)は紙の物理的特性によるものである。表示デバイスがこれらの点で紙のレベルに達するのは容易ではないが、大型化、高精度化、軽量化、無視差化の方向で確実に進歩しているので、格差は小さくなりつつある。逆に、表示一体型タブレットでは、紙面情報を動的に変更できることを利用して、紙を越える機能を提供できる可能性がある。

残る(4)、(5)は、紙を表示一体型タブレットに換えても実現できる可能性がある。

一方、いくら紙とペンに上記の利点があるとしても、計算機環境を利用しない人間は研究室にはいない。我々は入力の手間という代償を支払ってでも、計算機処理の利便性を享受したいわけである。この事実、計算機の利点、紙とペンの利点はどちらも文書作成に不可欠であることを示している。そして紙とペンの利点は、創造的フェーズで大きい。

そこで、手書きインタフェースの目標を、手書きの自由さと創造への効果、それと計算機の利便性の

融合とする。

3.2 注意と自動化

— 認知心理学から学ぶこと —

認知心理学によれば、単に人間が外界からの刺激（音声、文字など）を（視覚、聴覚などに関わらず）“知覚する”だけでも“注意”が必要である[5]。

注意していない事柄に関しては、結果的にほとんど無視され、急速に短期記憶から消失する。創造的作業である著述について、心理学的にその詳細が明らかになっているわけではない。しかし、知覚よりさらに高度な精神作業であることから、なおさら、注意をその内容に向ける必要があると推測される。一般に、注意の総量は限られていると考えられている。また、2つの作業に注意を分散すれば、作業の質、効率は低下するだけでなく、心理的負担も増大する。

以上のことから、文書内容、構成、表現を考えるなどを伴う創造入力においては、その思考対象に注意を払いつづけられる環境が必要である。

一方、まったく注意を必要としない作業も存在する。車の運転や熟練したタイピングがその例である。操作や作業に高度に熟練し、“自動化”されているため、その操作、作業にはまったく注意を払う必要がなく、それと同時に別のことに注意が振り向けられることになる。ラジオを聞いたり、世間話ができるというわけである。このことから、創造入力において文書内容に注意を集中するためには、計算機への入力作業が自動化されていけばよいことになる。

しかし、作業が自動化されるためには、大量の時間をかけた過度の練習が必要である。文字入力だけでなくキーボード入力の自動化で注意を注がずに行えるかもしれないが、作図やレイアウトのためのソフトウェアの使用まで自動化することは極めて難しい。

3.3 バタンを大切に

— ペン入力の現状から学ぶこと —

我国では日本語入力の必要性から、オンライン手書き入力に関し、1970年頃から、試作を伴った研究開発がなされてきた[14, 15]。また現在、ペンコンピュータのブームもあって、いくつかのペン入力製品が市場に出ている。ところが、試作品、製品を含めてこれらには次の問題点があることが明らかになった[7]。

(1) 自由に書いておき、後で認識させることができない

(2) 一旦認識すると元の筆跡は見られない

試用してみたほとんどのシステムでは、筆跡をそのまま保存するだけならできる。しかし、その筆跡を認識系にかけることができない。目の前にデータ

があるのに、再度認識モードにして、書き直さなければならぬ。

また、文字を認識するモードでは、認識結果が表示されてしまうと元の筆跡は見られない。誤認識・リジェクトの場合、理由もわからずに再記入しなければならぬ。

これらの問題は、システム設計時に筆跡バタンの扱いについて、ユーザインタフェースの視点が欠けていたからではないかと考えられる。筆跡ボタンは多様なものを表現し得る。認識して欲しいもの、しなくてもいいもの、されては困るものがある。ただやみくもに認識を試みて、誤認識されるのは迷惑である。認識できないからといって、筆跡ボタンが捨てられるのは納得いかない。また、認識して欲しいものでも、元の筆跡を残しておきたいものもある。筆跡ボタンは、文字を図形のコード以上に豊富な情報を表現しているからである。筆跡は計算機処理の可能性に関係なくユーザには有用である。

4. 発想支援手書き HI の基本理念

認知心理学の“注意”と“自動化”についての考察から、紙とペンでは我々が落ち着いて思考に集中できるのは、書くことが自動化されているからということになる。確かに、手書きは幼年期から長年にわたって過度に練習されている。したがって、手書きインタフェースでは、その目標を、手書きの自由さと創造性の追求とする。裏を返せば、自動化された手書きの特性を生かすということである。

一方、ペン入力インタフェースの試用から、手書きバタンの扱いを検討する必要性を認識した。次に、さらに議論を深めて具体的な基本理念を導く。

4.1 手書きバタンの階層表現

手書きボタンは、それが機能（コード）を表現する場合と、図形を表現する場合と、単に手書きボタン（筆跡ボタン）を表現する場合がある。手書きの利点は、ペン1本で様々なものを表現できることである。逆の視点から見れば、人間は、文脈さえ与えられればこの判別ができるからこそ、ペン1本でこれらすべてを混在して表現できると言える。言い替えば、手書きボタンには多義性がある。たとえば、文字はコードであり、フローチャートの処理、論理回路のゲートや結線も機能を示す。一方、システムの構成や概念を示した図、おおまかな処理のダイアグラム、実物を抽象化した図などは機能として解釈される必要はなく、単に図形として整形されればよい。また、ある機能を表した図のなかでメモ書きされた図は機能とは言えない。なぜなら解釈すべきド

メインが違うからである。さらに、その図に記されたサインは筆跡ボタンであり、文字に認識してしまうと意味がなくなる。一般に、文書とはこれらの混在した2次元のマルチメディア情報であり、その表現形式を定めなければならない。

計算機では、書かれたものが機能シンボルなのか、整形の対象になる図形なのか、何もすべきでない筆跡ボタンなのかの判断ができないので、筆跡ボタン、図形表現、そして機能シンボル、の階層表現を内部表現とする。そして、処理が選ばれたとき、それがどのレベルの表現に対するものかを定める（例、消しゴムが選ばれたら原ボタン、漢字への変換が指定されれば文字コード）。

認識は、これらの階層を下から上に上げることであり、メニュー選択などによる描画は上から下を指定することである（たとえば、NAND ゲートを選択すれば、その図形表示が行われる）。

ここで、上位の表現に還元したからといって、下位の表現がいらなくなるわけではない。下位の表現はそのまま保持する。そこへ修正が加えられたら還元し直すこともできる。

4.2 創造入力のための怠け認識方式

現在発表されているオンライン手書き文字認識を用いた入力系では PenPoint を除けばすべて、個々の文字ボタンを入力した直後に認識を行い、認識結果を表示する方式（まめな認識：busy recognition）となっている。

まめな認識方式による手書き入力と仮名漢字変換の対比は興味深い。文字の筆記と認識の確認、訂正が仮名入力と変換、確認、訂正に対応している。両者に共通することは、入力をまめに“解釈”していることである。

しかし、ここで認知心理学の教えに従えば、作業が自動化されていない限り、注意の分散が起り、思考の低下、中断を招くことになる。

仮名漢字変換でも、これを嫌って一括変換を好むユーザもいる。しかし、仮名漢字変換の場合、仮名のまま残しておく、読み返すのが非常につらくなる。一方、手書きはどうだろうか。むしろ、正認識しても表示（フォントなど）が切り替わってちらちらするよりは元の筆跡ボタンのほうが汚くても思考の継続性はよい。この点は仮名漢字変換とは異なる。

怠け認識方式では、認識表示は必要になるまで行わない。認識を遅らせる、あるいは、バックグラウンドで認識させ、その認識結果が必要とされないなら捨て去る。本当に認識を遅らせる場合には、個々のボタンの認識のために、より十分な文脈が利用で

きるという利点も得られる。いずれにしても、重要な点はユーザには創作中は認識を意識させないことである。そして、ユーザが認識結果を必要とし、“ひと区切り”と感じた時点、つまり、思考が途切れたとき、はじめて認識結果の確認や訂正を行う。

怠け認識方式は、ユーザ、システム作成側、さらに、処理上の利点がある。これらを要約する。

- (1) ユーザが文書入力時には文書内容に集中できる
- (2) 認識結果の確認・訂正時には、その作業にだけ集中していればよい
- (3) 誤認識訂正時にユーザを訂正作業に集中させられるため、ボタン認識エンジンを学習させるための正確な教示をユーザから違和感なく引き出せる
- (4) 怠け認識により、ボタン認識の最終的判断に必要な情報が得られるまで遅らせることができる。個々の文字・記号の認識では、文脈処理などを適用しやすい。また、文字と図形の分離を、入力された全ボタンの傾向を用いて行うことができる

文字認識系の認識率が低い場合、入力後の訂正作業が膨大になる恐れがある。しかし、同じ認識系を使用している場合、まめな認識方式であっても、訂正作業が膨大になることに変わりはない。訂正の作業量は、認識系の問題である。むしろ、怠け認識方式により、入力時に訂正作業が混入しないことで、思考環境を守ることができる。

5. 発想支援手書き HI に向けての研究

以上の理念の下に進めてきた手書きインタフェースの研究項目を列挙する。

5.1 手書き原稿作成環境のプロトタイプ

図や数式はボタンとしては入力できるがその認識は行わない、つまり、文字だけの認識を組み込んだテキストの手書き創作支援系を試作した[8, 10]。

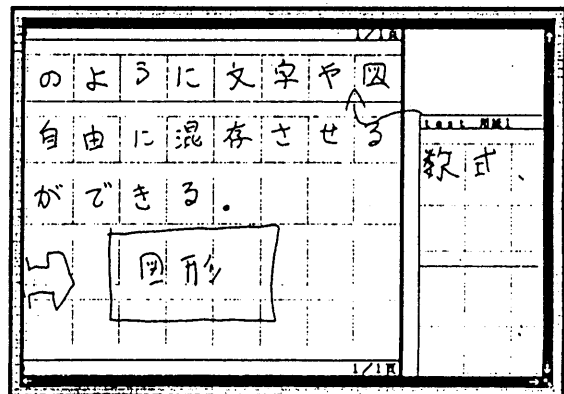


図1. 手書き原稿作成環境の“紙面”

このプロトタイプでは、目的がテキスト作成であるため、普段から原稿作成に用いる原稿用紙を記入用紙とした。図1にその手書き“紙面”を示す。

基本的にジェスチャは筆跡ボタンに残すが、紙面の状態に関するジェスチャは即座に実行する。それらのジェスチャには、原稿用紙のページめくり、追加・挿入用の新たな原稿用紙設定がある。図1では、挿入のジェスチャが筆記された後、直ちに新たな原稿用紙が表示されている。この原稿用紙をスクロールすれば、もっと長い文章の挿入が可能になる。

この試作で、ジェスチャに対しても怠け認識の必要性が確認できた。削除や移動や挿入のジェスチャを即時実行してしまうと思考が収束しないで、発振してしまう。また、ジェスチャの誤認識で思考が中断される。これらは筆記しておいて、考えがまとまってから実行したいものだけ実行するほうが生産性が高いようであった。また、この方が CSCW にも向く。誰かが朱を入れたら、それがすぐに実行されるのではなく、本人の確認後に選択的に実行されるべきである。

現在、ペンインタフェースの基本的な問題を再検討しながら、実用評価に耐える第二版を実現中である[16, 17].

5.2 文字と図形の自動分離の研究

自由に書かせた手書き情報に対し計算機処理の恩恵を受けるためには、文字と図形などを分離する必要がある。文字と図形の自動分離は、オフライン環境では、種々の方式が研究されてきているが、オンラインでは全くその必要さえ認識されていなかった。オンラインの環境では、ユーザの指示が対話的に得られるという計算機側の論理から、図形と文字はモードを切り替えて入力してもらえばよいという考えからであろう。オンラインとオフラインではボタンの性質が異なる以上、文字認識と同様、異なる方式研究を喚起する可能性がある[18]。さらにオフラインの手法も利用できる。

5.3 ペンと文房具メタファによる作図

表示一体型タブレット上での手書きの描画として、我々は紙上の描画の自然な拡張を考えている。自由な下絵描きができ、必要に応じて、液晶表示面に表示された仮想の文房具（文房具メタファ）を現実に近い感覚で操作して整形していける環境を試作した[19~21]。文房具メタファには、消しゴム、定規、コンパス、および、基本図形のテンプレートがあり、文房具メタファを合わせたいところへ近づければ、そこに吸い着く自動位置合わせ機能も実現している[22].

5.4 ペンによる自由な形状の囲みに対する対象ボタンの高速な包含判定

手書きならではの対象指定方法として、対象をペンの筆跡で囲むということを考え、不安定で自由な囲み形状でも、対象の包含判定を高速に行う方法を考案した[23].

5.5 手書き数式認識

手書き数式認識には、文字・記号の認識と構造の認識の問題がある。文字・記号の大きさや位置関係に構造上の情報が表現されている対象に対しては、手書き入力の特長は大きい。手書きで2次元的な配置で数式構造を表現する利点は、我々が手書きにも、その表現形式にも慣れ親しんでいて意識を要せず、その分、数式の内容に意識を集中できることである。また、視認性が高いことも利点である。我々は、数式認識を手書き対話が最適な1つのマイクロワールドとして研究している[24, 25].

6. オンライン手書き文字認識

6.1 新しい伸縮マッチングの考え方

従来、伸縮マッチングのためには、DP-matching が用いられてきた。その探索空間の模式図を図2に示す。DP-matching では左下の隅から出発し、右上隅を目指して、右、右上、上のいずれかの方向に進む。2つの特徴系列間の距離は、これらのパスに付随したコストの最小値で与えられる。計算時間を短縮するためには、パスの傾き制限がしばしば用いられる。しかし、それでも、2つの特徴系列の長さを n , m として $O(nm)$ の計算時間を要する。

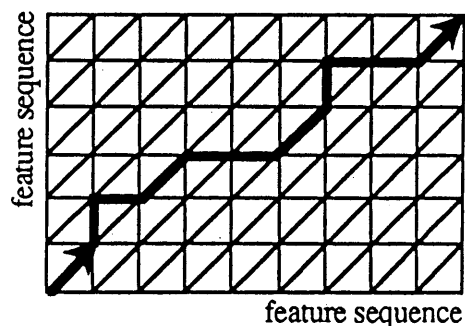


図2. DP-matching による探索空間

この問題に対して、石垣らは幅優先探索を適用した[26, 27]. 探索空間のある点において、右、右上、上へのパスを比較し、最小コストのパスを選択する。どれをとってもコストが大き過ぎる場合は、一つ前の対応に戻って、次候補から探索を進める。この方法は一般には、 k を定数として $O(k^{n+m})$ の計算時

間を要する。石垣らは文字ボタン表現辞書に字体変形に安定な情報を記述し、それと照合することによって効率的な枝刈りを行い、走り書き文字の実時間認識が可能であることを示した。ただし、ある種のボタンにはバックトラックが重くなり、実時間認識が難しくなる例も見られた。

彼らの方式では、重いバックトラックが起こるとき、そこには正しい対応がないのに消耗的に探索を続けるという現象が見られた。バックトラックは、正しい対応さえキャンセルしてしまうことがある。我々は何種類かの特徴間距離関数を調べた結果、ある種の距離関数によれば、距離値の小さい対応はキャンセルする必要はなく、したがって、バックトラックを起こさずに済み、さらに、図3に示すように多少正しい対応からずれても再び正しいものに復帰することが分かった。これらの考察から、バックトラックの使用を限られた状況と深さに限定して、極めて決定論的な伸縮マッチングの考案に至った[28, 29]。

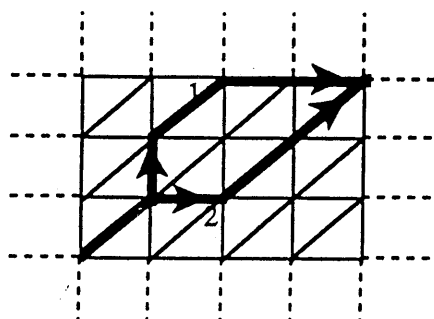


図3. 正しい対応への復帰

この新しい伸縮マッチング手法により、学習処理を施していない現段階でも、「楷書で」などの書体制限を課さず自由に筆記された JIS第一水準の文字セットを実時間で平均 90% 以上正認識している。さらに、この手法は平仮名に強く、現実的使用に好ましい適性を有している。字体表現は部首に分解されており、最大で600 程度の登録によって、完全にカスタマイズすることも可能である。

6.2 オンライン手書き文字ボタンデータベース

オンライン手書き文字認識の研究と並行して、標本文字ボタンデータベースの作成も進めてきた。これを共通の基準にすることによって、文字認識方式の客観的評価が可能になり、この分野の研究の進展に寄与するものと期待できる。ペン入力の実用化を考え、認識方式の研究に資することができるためには、現実的な字体変形が加わった文字ボタンを一人あたりで相当量収集する必要がある。我々の標本文

字ボタン収集システムは、windows 3.1 上で稼動し、任意の文字列ファイルを指定すると、その文字列を表示して文字ボタンを収集するように作成した。朝日新聞の CD ROM から、1500文字が出現する文章列を 10,000 文字弱で構成した。JIS 第一水準の残りの 1700 文字は、最後にまとめて筆記してもらう。JIS 第一水準が全部出現する文字列だと 100,000文字になり、標本文字ボタン採集は非現実的となる。文字列として文章形式で与えたのは、その方が字体変形が加わりやすいからである。現実的な字体変形を採集するには、さらに、筆記してもらう文字ボタンを表示しない方が理想的だが、これでは、筆者が見本なしでは書けない漢字が多数あること、表記が安定しないこと、の問題のために、文字ボタンの採集と管理が非常に困難になる。

この例文で 11 月末現在、25 名分収集した。一人あたりの筆記時間は 10 時間程度である。5 人分提供して頂けるところには、すべての収集データは共有の形で提供される。現在、10 機関の協力が表明されており、新たな参加も歓迎している。先の認識率はこのボタンに対するものである。

7. おわりに

発想支援手書き環境の設計指針として、手書きボタンの怠け認識と新しいオンライン文字認識手法の考え方を述べた。ここ 2 年間は、この文字認識手法の開発にかなりの労力を投じてきた。今後は、このエンジンを利用して、再び、手書きのインタフェース様式と、アプリケーションの研究開発にも力点を置き、バランスのある手書きインタフェースの研究を進めていきたい。パワーのあるエンジンと、いいシャーシと、そして、利用者が使う目的、意味、価値を提供することが我々に与えられた命題であると考えている。

参考文献

- [1] C. Wolf, J. Rhyne and H. Ellozy: "The Paper-Like Interface," Designing and Using Human-Computer Interfaces and Knowledge Based Systems, G. Salvendy and M.L. Smith ed. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989.
- [2] R. Carr and D. Shafer: The Power of PenPoint, Addison-Wesley, Reading Massachusetts, 1991.2.
- [3] M. Weiser: "The Computer for the 21st Century," Scientific American, 1991.9.

- [4] 福永泰: “ペン入力技術—紙の操作性を目指して—,” 情報処理, 33, 7, 820-827, 1992.7.
- [5] J. R. Anderson: Cognitive Psychology and Its Implications, 2nd ed., W.H.Freeman, New York, 1985.
- [6] 曾谷俊男他: “手書きユーザインタフェース,” 情処学会第31回プログラミングシンポジウム報告集, 1-10, 1990.1.
- [7] 曾谷俊男, 中川正樹, 高橋延匡: “オンライン手書き文字認識系の使い勝手に関する考察,” 情処学第32回プログラミングシンポジウム報告集, 69-76, 1991.1.
- [8] T. Souya, H. Fukushima, N. Takahashi and M. Nakagawa: “Handwriting Interface for a Large Character Set,” Proc. 5th Handwriting Conf., Arizona, 166-168, 1991.10.
- [9] 中川正樹: “発想支援手書き環境の硬い技術と柔らかい技術,” 情処学第34回プログラミングシンポジウム報告集, 21-32, 1993.1.
- [10] 曾谷俊男他: “遅延認識方式を用いた手書きユーザインタフェースの基本設計,” 情処学論, 34, 1, 158-166, 1993.1.
- [11] M. Nakagawa, et al.: “Lazy Recognition as a Principle of Pen Interfaces,” INTERCHI'93 Adjunct Proc. 89-90, 1993.4.
- [12] M. Nakagawa, et al.: “Principles of Pen Interface Design for Creative Work,” Proc. ICDAR'93, 718-721, 1993.10.
- [13] 下村秀樹他: “日本語文書作成支援環境の実現に向けて,” 情処学第32回プログラミングシンポジウムシンポジウム報告集, 97-107, 1991.1.
- [14] M. Nakagawa: “Non-keyboard Input of Japanese Text --- On-line Recognition of Handwritten Characters as the Most Hopeful Approach---,” Japanese Information Processing, IPSJ, 13, 1, 15-34, 1990.4.
- [15] C.C. Tappert, C.Y. Suen and T. Wakahara: “The State of the Art in On-line Handwriting Recognition,” IEEE Trans. PAMI, 12, 8, 787-808, 1990.8.
- [16] 加藤直樹, 中川正樹: “手書きによる創作支援環境の試作,” 情処学 HI 研資, 48-3, 1993.5.
- [17] 加藤直樹, 福田奈津子, 中川正樹: “手書き対話インタフェースの可能性,” 計測制御学 HI 部会第10回 HI シンポジウム論文集, 471-478, 1994.10.
- [18] K. Machii, H. Fukushima and M. Nakagawa: “On-line Text/Drawings Segmentation of Handwritten Patterns,” Proc. ICDAR'93, 710-713, 1993.10.
- [19] M. Nakagawa, et al.: “Pen-based Interfaces for Drawing Figures with 'Stationary Metaphors’,” Proc. HCI International '93, Vol.2, 1046-1051, 1993.8.
- [20] 風間信也, 中川正樹: “文房具メタファを用いた手書き作図システム” 情処学論, 35, 7, 1457-1468, 1994.7.
- [21] 福田奈津子, 中川正樹: “テンプレートメタファによる手書き作図インタフェースの試作,” 情処学 HI 研資, 48-5, 1993.5.
- [22] 福田奈津子, 加藤直樹, 中川正樹: “文房具メタファを用いた作図インタフェースにおける自動位置合わせについて,” 計測制御学 HI 部会第10回 HI シンポジウム論文集, 479-486, 1994.10.
- [23] 中川正樹, 佐藤俊: “表示一体型タブレット上でのペンの囲みに対する対象の包含を判定する高速アルゴリズムの実現と評価,” 信学論, J-77-D-II, 1630-1639, 1994.8.
- [24] 村瀬敦史, 佐藤 俊, 中川正樹: “オンライン手書き数式認識システム「METAH」の試作,” 情処学 HI 研資, 48-4, 1993.5.
- [25] 佐藤 俊, 秋山勝彦, 中川正樹: “オンライン手書き数式認識システム「METAH」における修正と編集のインタフェース,” 情処学 HI 研資, 94, 34, 7-15, 1994.5.
- [26] 石垣一司, 森下哲次: “誤読の少ない続け文字認識 (特徴点逐次対応法),” 情処学第33回全大, 5P-2, 1633-1634, 1986.10.
- [27] K. Ishigaki, and T. Morishita: “A top-down online handwritten character recognition method via the denotation of variation, Proc. 1988 Int'l Conf. on Computer Processing on Chinese and Oriental Languages, Toronto, 141-145, 1988.8.
- [28] 秋山勝彦, 中川正樹: “ストロークのつながりに寛容なオンライン手書き文字認識,” 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU'94) I, 67-74, 1994.7.
- [29] M. Nakagawa and K. Akiyama: “A Linear-time Elastic Matching for Stroke Number Free Recognition of On-line Handwritten Characters,” to appear in Proc. 4th IWFHR, 1984.12.

付録 (認識結果)

君	の	心	へ	続	く	長	い	一
君, 肩, 幸	の, い, い	心, い, い	へ, 一, ?	続, 絵, 終	く, ん, う	長, 幸, 自	い, い, じ	一, へ, ?
本	道	は	い	つ	も	僕	を	勇
だ, な, た	道, 道, 肩	は, け, け	い, い, び	つ, つ, て	も, き, ?	僕, 終, ?	を, さ, も	勇, 夏, 春
気	づ	け	た	と	て	も	と	て
気, 長, 肩	づ, か, べ	け, は, じ	た, 大, だ	と, こ, に	て, こ, と	も, に, せ	と, こ, て	て, こ, と
も	険	し	く	細	い	道	だ	っ
も, せ, じ	険, 強, 強	し, ?, ?	く, し, ん	細, 絵, 語	い, い, び	道, 道, ?	だ, ぜ, 印	っ, つ, て
た	け	ど	今	君	を	迎	え	に
た, だ, 大	け, は, せ	ど, こ, て	今, 分, に	君, 肩, 春	を, さ, 土	迎, 近, 男	え, え, 六	に, い, い
行	こ	う	自	分	の	大	き	な
行, ?, ?	こ, ら, と	う, う, ら	自, 白, 近	分, 今, に	の, い, い	大, よ, よ	き, ま, も	な, た, は
夢	を	追	う	こ	と	が	今	ま
夢, 夏, 男	を, さ, も	追, 迎, ?	う, う, ら	こ, ら, 土	と, え, え	が, ぎ, お	今, 分, に	ま, き, も
で	の	僕	の	仕	事	だ	っ	た
で, ど, こ	の, い, い	僕, 祭, 終	の, い, い	仕, 生, 冬	事, 幸, 夏	だ, ず, ち	っ, つ, て	た, 大, な
け	ど	君	を	幸	せ	に	す	る
け, は, せ	ど, こ, て	君, ?, ?	を, さ, 土	幸, 勇, ?	せ, や, や	に, い, い	す, よ, よ	る, あ, な
そ	れ	こ	そ	が	こ	れ	か	ら
そ, を, た	れ, わ, か	こ, ら, と	そ, た, を	が, お, お	こ, と, ら	れ, か, わ	か, が, や	ら, う, う
の	僕	の	生	き	る	印		
の, い, い	僕, 祭, ?	の, い, い	生, 白, ば	き, ま, 生	る, あ, な	印, 奴, 仕		

100 %
 正認識数 一位だけ: 96, 二位まで: 96, 三位まで: 96 / 97 文字中