

ビデオタブレット

- ヒューマンフレンドリーな教育用手書き文字・図形入力新方式の開発 -

山崎 敏範 香川大学工学部教授

あらまし：鉛筆や毛筆などを使う書き方学習や手書き動作を伴う教育訓練システムにおいて、通常の紙や筆記用具が使用でき、自然な筆触りや書き味が味わえる入力インターフェイス手法を提案する。ビデオカメラによる新しい手書き動作入力方式を提案するとともに、時系列入力文字画像からのオンライン・ストローク（筆点座標系列）抽出と実験結果について述べる。本方式は、ビデオカメラから入力される書字動作の時系列画像から、画像差分や領域ラベリングなどの画像処理により、紙面に接する筆点の座標計測や、文字パターンのストロークとその特徴点としての始点・終点抽出を時系列的に行う。ここでは、差分画像処理と相関法の2通りの方法を検討する。差分画像処理方式は、画像内における手や筆の柄、およびそれらの影による画像パターンを除去するために、書字終了時点で手や筆を紙面上から離して得られる最終文字パターンを活用する。相関法による方式は、ペン先パターンと入力画像系列との相関演算に基づき筆記点列を推定する。本方式は教育用として、ゆっくりとした手書き動作入力が対象であるが、画像処理部の高速化により、一般的な文字・図形入力方式としても期待できる。

キーワード ビデオタブレット、オンライン文字入力、書字動作入力、ヒューマンインターフェイス、差分画像処理、相関法

1 まえがき

コンピュータをベースとする情報通信広域ネットワーク時代を迎えようとしている今日、多様なメディアと入出力インタフェース機能を有効利用する新しい教育システムの開発が期待されている[1]。その入出力インタフェースとして、特にペンと筆記面からなるタブレットは、手書き動作を計測するものであり、図形や手書き文字パターンも入力できるので、教育システムへの応用も考案されてきた[2]。最近では、ペン入力面と液晶表示面を一体化したタブレットやペンコンピュータも製品化され、文字入力機能を越えた展開も試みられている[3]。表示一体型タブレットは、手書き動作を通じた直接指示性に優れており、この特質を生かした思考・創造支援システムや[4]、文字の書き方訓練システム[5]-[8]、校正記号などのジェスチャによるコマンドを用いた原稿校正システムの試み[9]など、興味深い適用例も報告されている。

しかしながら特別なペンと筆記面を用いる従来のタブレットでは、書き始めにペンが引っ込み、しかも実際の筆跡が筆記面に残らないか、あるいは表示一体型であっても、視差によりペン先と表示位置がずれ、細かい箇所をペンで指示しにくいなどの一面を抱えている[1]。これは、紙と筆の感触や筆圧感の伴う通常の自然な筆記状況とは異なるため、書字教育などの教育システムへ適用する観点からは問題となる。

一方、ビデオカメラと画像処理の利用による手書き動作の入力や計測、ビデオタブレットが実現できれば、この問題は解消する。ビデオタブレットについては、筆者等が開発した差分画像処理方式[10]-[15]とペン先パターンと入力画像系列とのマッチング処理から筆記点を推定する相関法[16]-[17]の2通りの方式が提唱されている。

差分画像処理方式では、最初の入力画像と書字終了時点の入力画像では、手や筆が紙面上から離れているものと想定し、得られる最終文字パターンを活用するオンライン入力方式である。この方式では、最終文字パターンの部分パターンとして時系列画像内の入力文字パターンが生起するとみなし、画像内における手や筆の柄、およびそれらの影による画像パターンを除去するために、時系列上の画像間の差分処理と最終文字パターンとの共通部分抽出処理を併用する後戻り手法を用いている。このため文献[16],[17]の方式とは異なり、入力画像内のペン先パターンそのものを追跡する必要が無い。従って全体として比較的シンプルな方式になるうえに、画像内のペン先パターンの教示指定や登録が不要となり、筆記具として、筆先形状が変わり得る毛筆や絵筆でも良いという利点がある。しかしながら他方では、後戻り処理のための時系列画像の記憶容量が必要となり、さらに処理時間による遅れから、完全リアルタイム性は失うという不利な点も生じる。

一方、相関法による方式として画像内のペン先抽出と移動追跡を行う方式が報告されている。先駆的な文献[16]の方式では、入力画像に特殊な形状マスクを作用させてペン先抽出やペンのアップ・ダウン情報と筆点座標を得る。ペンのアップ・ダウン情報は、ペン先とその影との接触や非接触により検出しているが、追跡性の難点もあり、満足できる結果は得られてない。また文献[17]では、最初の入力画像において、指定によるペン先パターンの切り出しの後、そのパターンと画

像間の相関演算（整合フィルタリング）を基に追跡を行う。その際、ペン先の動きに対してランダム・ウォーク・モデルを仮定し、カルマン・フィルターを用いてペン先位置を推定する再帰予測方式を採用している。ペンのアップ・ダウン検出は、ペン先の軌跡をセグメント分割したうえで、そのセグメントと紙上のインク筆跡との対応関係から割り出す。

本論文では、ビデオタブレットの教育的な実用性検討のために、上記の差分画像処理方式と相関法による方式を比較検討した結果を述べる。

2 CCDカメラによる書字動作計測システム

本方式では、CCDカメラで紙面の前方26cm、高さ65cmの斜め上から書字動作を撮影してフレームメモリへ送る。これを256階調の白黒画像に変換し n 枚の書字動作入力パターン画像パターン系列 $F[f_i]$ を得る。入力画像パターン系列 F から筆点座標時系列 P の抽出処理を行う。実験用の本装置では、画像1フレームを0.25秒間隔で入力する。実験において書き手は、筆記具として黒字色のフェルトペンを用い、毎秒0.8cmから1.3cmのゆっくりとした筆記速度で、普通紙上に、縦9cm、横12cmのサイズのます目に、2～4画の簡単な字を書く。斜め上方からの入力では、手や筆記具などの、筆跡以外の不要な映像までも入力するので、紙面の裏からの撮影による文字筆跡だけの入力も試みる。

書字動作入力パターン系列 F の例を図1に示す。このパターン系列には、筆跡に加えて手、筆記具、微小ノイズなどが含まれる。図1に示すように、入力パターン系列の2値化により黒い部分や影、微小ノイズが残る。一方、紙面の裏から入力した書字動作系列画像の例も図1中に示す。表面からの入力例に比べて、入力画像はかなり改善できる。しかしながら通常の照明環境では、裏側でも手や筆記具の影の影響が無くならず、いずれにせよ手や筆記具がやはり問題となる。この問題解決のために、本論文では、以下に述べる2通りの方法で筆点座標系列の抽出を試みる。

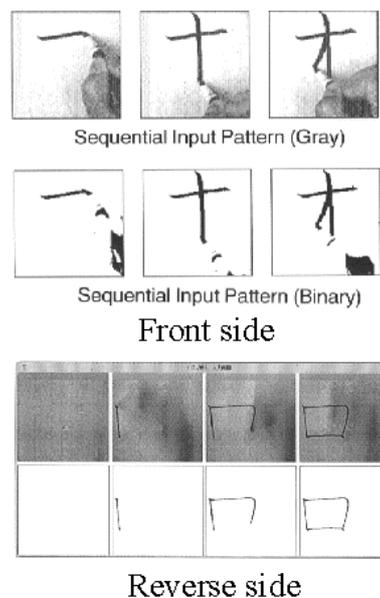


図1 書字動作入力パターン例

3 差分画像処理方式によるビデオタブレット

筆者等の提唱した差分画像処理方式によるビデオタブレットは、時系列画像内の入力文字パターン（筆跡）が最終文字パターンの部分パターンとして生起するとみなし、その時間的、空間的連続性に着目して、書かれた軌跡の抽出を行う。本方式の概略を図2に示す。普通の状態で筆記している状況を一定時間毎にCCDビデオカメラを用いて入力し、 n 枚の書字動作入力パターン系列 $F[f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_n]$ を得る。時刻 t_i の書字動作入力パターン要素 f_i 中には時間経過にともなう時刻 t_i までの筆跡と筆記具、手などの映像を含む。連続した書字動作入力パターン要素 f_i と f_{i+1} ($i=1, \dots, n-1$)に対し、2値化を行い、最終文字パターンとの共通部分を抽出して、その差分 $(f_{i+1} \text{ } f_n) - (f_i \text{ } f_n)$ をとり、書字動作入力差分パターン系列 $G[g_1, g_2, \dots, g_i, \dots, g_{n-1}]$ を得る。この書字動作入力差分パターン要素 g_i 中には、時刻 t_i から t_{i+1} の間に新たに筆記された筆点入力パターン要素 h_i に加えて、筆記具、手や影などの余分なパターンも含まれる。書字動作入力差分パターン系列

G から筆跡だけを抽出した筆点入力パターン系列 $H[h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_{n-1}]$ を求め、各要素 h_i の重心を求めて、筆点座標系列 $P[p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_{n-1}]$ を得る。筆点座標系列 P は、筆記順序性をもつ時系列ストロークである。

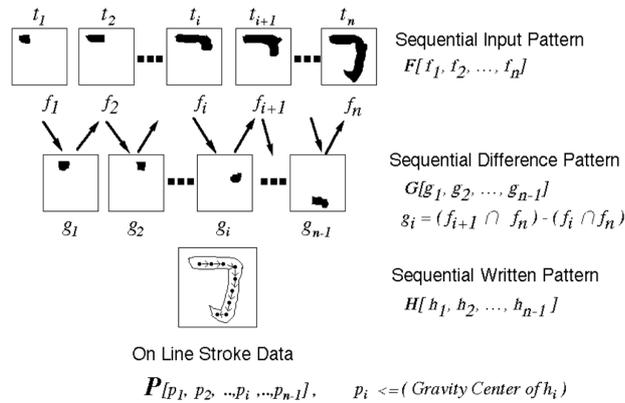


図2 ビデオタブレット基本原理（差分画像処理方式）

3.1 差分画像処理方式によるオンラインストロークの抽出

2値化した入力パターン系列の差分から求めた差分パターン系列を図3に示す。差分処理から新たな筆跡（筆点入力パターン）だけが残れば理想的であるが、図3のように、それ以外の領域が現れる。このような手や筆記具などの筆跡でない領域も含んだ差分パターンから筆点入力パターンを抽出するために、筆点入力パターンは筆跡の一部分であることに着目して、最終文字パターンとの重ね合わせを利用する。書字動作入力パターン系列と最終文字パターンの共通部分をまず抽出（図4の上段）し、差分処理を行う（図4の下段）。この結果得られる図4の書字動作入力差分パターン系列 G は、図3の差分処理結果より大幅に改善されてはいるが、求める新たな筆跡のみならず、最終文字パターンと手や筆記具の影との共通部分も一時的にせよノイズとして現れ得る。

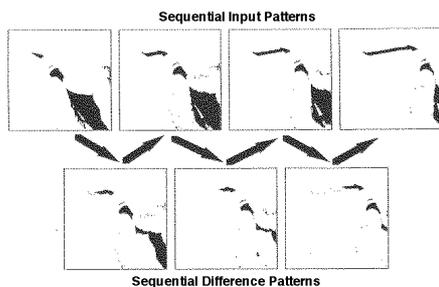


図3 書字動作入力差分パターン抽出例

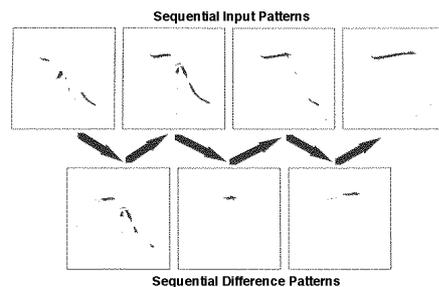


図4 書字動作入力差分パターン抽出例
 （最終文字パターンの重ね合わせ）

上記の問題に対処し、ある時点での筆点入力パターンだけを抽出するために、筆跡の連続性と、その時点までに検出した筆点入力パターンの和集合としての蓄積筆跡パターンを活用する。まず、書字動作入力差分パターンから、この蓄積筆跡パターンとの差分をとり、再度出現した領域は取り除くようにする。このため既に書かれている筆跡との交点や接触点領域が差分パターンから除去されるが、これには筆跡の連続性を併用して対処できる。すなわち、ある時点の筆点入力パターンは、直前の筆跡に接続し連結しているか、若しくは直前に抽出した筆点パターンに最も近い領域として抽出する。こうして書字動作入力差分パターン系列 G から筆点入力パターン系列 H を抽出したのちに、筆記過程情報を含む筆点座標系列 P を求める。

市販のタブレットでは、ペンのアップ・ダウン・スイッチや筆記面とペンの接触状況から、ストロークの始点や終点の特徴点を容易に検出できる。本方式では、特別なペンや筆記面を使わないので、書字動作入力パターン系列の処理によりストローク特徴点の抽出を行う。

ここでは、始点に引き続き入力されるパターンを検出して、ストローク始点を検出する。始点筆跡は固定されているが、手や筆記具などは時間経過にしたがって移動する。そこで、複数枚の入力パターンのうちで共通部分を抽出して、始点と

推定する。

ストローク終点は、次のストローク始点が空間的に大きく離れているか、あるいは次の近接する筆点入力パターンの出現までに筆点が時間的に停留しているものとする。ここでは、連続する筆点入力パターンの出現が、設定するしきい値時間を越える場合をストローク終点と判定する。

3.3 差分画像処理方式によるオンラインストローク抽出実験

本方式によるオンラインストローク抽出実験の結果を図5、6に示す。図5は、各ストロークが正しく抽出できた例で、図6は、ストローク抽出に失敗した例を示す。図6の「木」の字では、中央部の縦ストローク上部で時間的停留点があり、それがストローク終点とみなされ、縦ストロークが2つに分離されている。また図6の「大」でも同様に、上部で停留点が生じて終点とみなされている。

各しきい値の決定は筆速、書字動作の入力間隔、ビデオカメラの撮影範囲などの条件に依存する。ストロークの分離は、28例の実験中22例で成功した。今回の実験では、各ストローク終点の検出に時間的なしきい値しか利用していない。同じ書字動作内であっても、各ストロークの始点、中間点、終点や曲がり点などで筆速は変化する。このため1つの時間的しきい値では、すべての場合に対応できなかったのが失敗の原因である。しかし始点検出は成功しているため、ストロークの定義を書字教育における書き方本来の意味から離れて再定義し、抽出された終点始点が近接する場合は、同一ストローク内の筆点とすることも考えられるが、その場合にもしきい値設定の問題は残る。

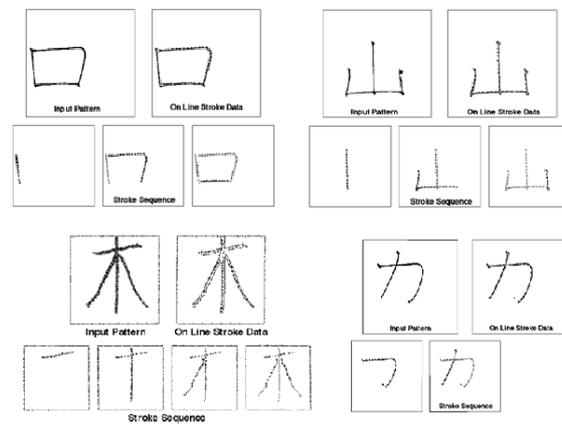


図5 オンラインストローク抽出例（差分画像処理方式）

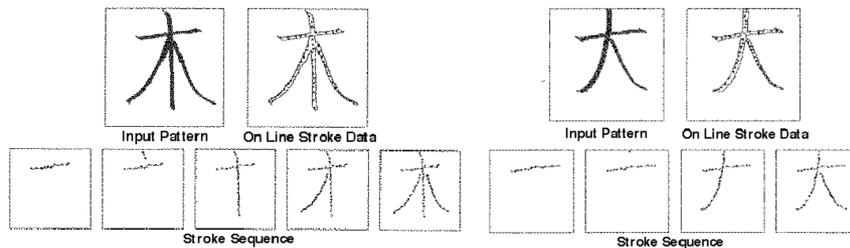


図6 オンラインストローク抽出失敗例（差分画像処理方式）

4 相関法によるビデオタブレット

4.1 相関法によるオンラインストロークの抽出

ここでは、筆記具のペン先パターンと入力画像間の相関演算に基づく筆記点の追跡、抽出する方式を述べる。相関法によるビデオタブレットの概要を図7に示す。

まず、筆先を含む筆点部分から、ペン先パターンを切り出す。入力画像系列とペン先パターンの相関演算から筆点座標を推定する。図8のように、初期入力画像から、マスク内に筆先が入るように、ペン先パターンを選び出す。入力画像系列とペン先パターンの相関演算から筆記点系列を推定する。抽出結果はペン先パターンの精度に依存する。ペン先パターンのよい例と悪い例を図8中に示す。左のペン先パターンは筆先の部分（黒色）が多すぎるため、以前の筆跡と混同しや

すい。一方、筆の柄の部分（白色）が多いと紙面と誤り勝ちになる。ペン先パターンの選定では、黒色の筆先と柄がバランスよく含むことが肝要になる。

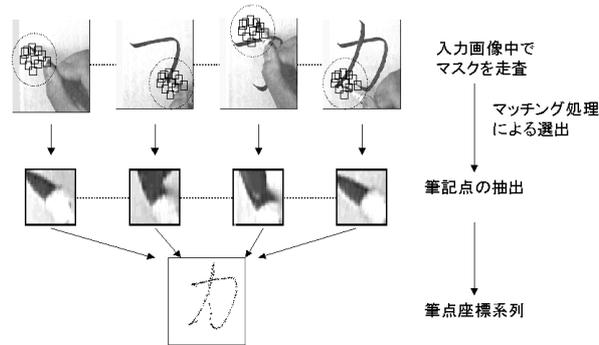


図7 ビデオタブレット基本原理

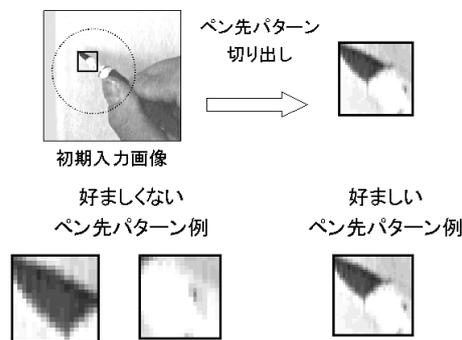


図8 ペン先パターンの切り出し

画像全領域にわたる走査は、長時間を要し現実的でない。ここでは、探索する筆点は直前に抽出した筆点座標の近傍に存在することが多いので、限定した範囲だけを走査する。相関演算によるマッチング処理は、各画像間のユークリッド距離を類似度とする。入力画像中の限定した範囲内で、ペン先パターンとのマッチング処理から求まる類似度の最大値をもつ領域を筆点と推定する。走査始点は、直前に抽出した筆点座標の周辺で、範囲は予め決めておき、これを通常の走査範囲とする。この作業を、筆記作業が終了するまで繰り返して行えば筆点座標は抽出できる。

ストロークの始点や終点などのストローク特徴点では筆点の動きも筆記途中とは異なり特徴点抽出にも工夫を要する。例えば、ストロークの終点から新しいストロークの始点に移動する空ストロークでは筆点の動きも大きくなり、直前の筆点座標の近傍だけを走査するだけでは始点をうまく抽出できない。ここでは、予め類似度のしきい値を決めておき、走査範囲内で筆点が推定できないときは、筆が範囲の外にあるとして走査範囲を拡大する。拡大した範囲内で同様にマッチング処理を行い、ペン先パターンと最も類似した領域を選び出していく。この処理を繰り返すことでストローク間の筆の動きに対応する。

4.2 相関法によるオンラインストロークの抽出結果

これまで述べた相関法を用いて筆点座標を抽出した結果の一例を図9に示す。ペン先パターンと類似度のしきい値が適当であったので、ほぼ正確に筆点座標を抽出することができた。ただ、図9の筆記座標列は実際に筆記されていない空ストロークも含んでいる。

ストローク終点や次のストローク始点を抽出するために、ここでは空ストローク時の筆点間の移動距離に注目する。筆点座標系列間の移動距離を図10に示す。ここで横軸は、入力画像系列の時間経過を示す。図10から明らかなように、空ストローク時には筆点座標間の距離は大きな値を示す。そこで、距離のしきい値を用意し、筆点座標点間の距離がしきい値を超えたときをストロークの終点とし、しきい値以内となる最初の点をストロークの始点として抽出する。

ストローク特徴点の抽出例を図11に示す。画数の少ない「カ」、「口」の場合は、筆記座標系列間の移動距離を目安にすることで特徴点をうまく抽出できた。一方、「木」のような画数の多い入力文字の場合は、筆記座標系列間の移動距離もバラツキ、空ストロークを区別するしきい値の選定が難しい。

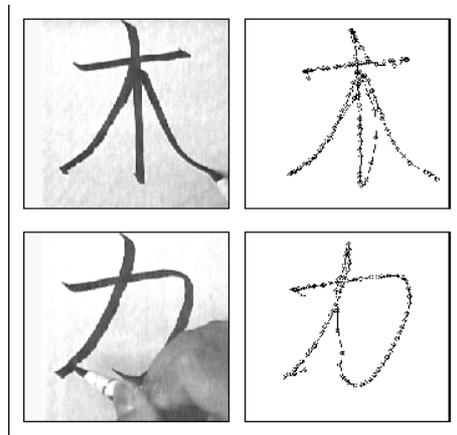


図9 筆点座標系列抽出例（相関法）

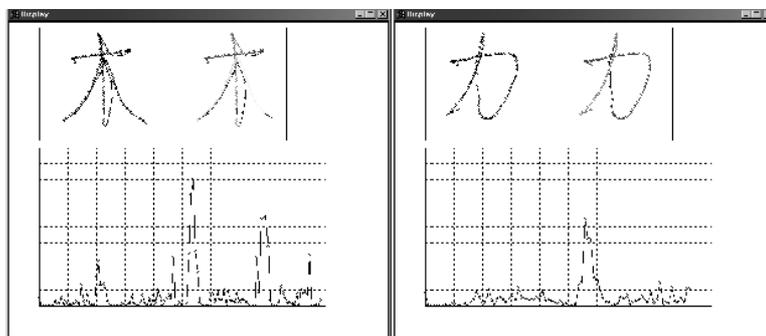


図10 筆点座標系列間の移動距離

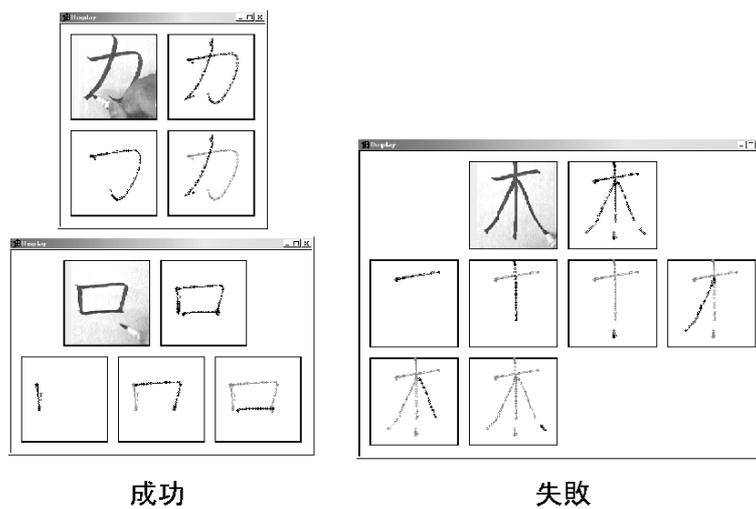


図11 オンラインストローク抽出例（相関法）

5 まとめ

手書き動作を利用する教育訓練システムのために、普通の用紙や筆記具を使えるビデオタブレットの基本原則を提唱し、オンラインストロークの抽出実験を行った。ビデオカメラから入力する手書き動作の時系列画像から、差分画像や領域ラベリングなどの画像処理手法により、紙面に接する筆点の座標系列や、文字パターンのストローク、始点、終点などを時系列的に抽出する。

今回は、差分画像処理方式と相関法による方式の2通りの方法を試みた。入力画像系列の差分を利用する差分画像処理方

式では、画像内の手や筆の柄や影などの余分な像を除去するために、筆記終了時の文字パターンを利用する。相関法による方式は、ペン先パターンと入力画像系列との相関演算に基づき筆記点列を推定する。

それぞれの方式によるオンラインストロークの抽出実験からは、画数が少ない入力文字の場合は、良い精度でオンラインストロークを抽出できた。一方、画数の多い入力文字の場合は、始点や終点のストローク特徴点の抽出が難しかった。

筆記文字の大きさや筆記速度に柔軟に対応できる最適なきい値の選択、決定方法、さらには筆跡追跡における画像処理部の洗練化や高速化などは今後に残された課題である。

文 献

- [1] (財) コンピュータ教育開発センター, " ヒューマンインタフェース技術の教育利用の研究, " C E C 研究開発事業成果報告書, 第 6 章, pp.205-241, June 1994.
- [2] 山崎敏範、井口征士、桜井良文, " オンライン文字認識手法を用いた書写学習システム, " 信学論 (D), vol. J65-D, no.10, pp.1211-1218, Oct. 1982.
- [3] 中島直樹、宮原末治、若原徹、小高和己, " マルチメディア端末用手書き入力インタフェースの設計とその応用, " 信学論 (D-II), vol.J79-D-II, no.4, pp.592-599, April 1996.
- [4] 曾谷俊夫、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, vol.34, no.1, pp.158-166, Jan. 1993.
- [5] 山崎敏範、井口征士、桜井良文, " 文字の微細構造に着目した書写学習システム, " 信学論 (D), vol. J67-D, no.4, pp.442-449, April 1984.
- [6] 山崎敏範、山本雅弘、井口征士, " 筆記速度分析を導入した書写学習 C A I システム ", 信学論 (D), vol. J70-D, no.11, pp.2071-2076, Nov. 1987.
- [7] T.Yamasaki, T.Hattori and S.Inokuchi, " An adaptive real time training system for beautiful handwriting of Japanese letters, " Proc. IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, pp.88-93, Nov. 1990.
- [8] T.Yamasaki, M.Yamamoto and S.Inokuchi, " Knowledge based training system for handwriting of Japanese characters, " IEICE Trans. vol. E73, no.3, pp.341-348, March 1990.
- [9] 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 (D-II), vol.J77D-II, no.8, pp.1630-1639, Aug. 1994.
- [10] 真部勝義、服部哲郎、山崎敏範, " ビデオカメラを利用する二次元座標入力装置ービデオタブレットー, " 平成6年度電気・情報関連学会中国支部連合大会, pp.51-52, (1994-10).
- [11] 真部勝義、山崎敏範, " ビデオカメラを利用する文字・図形入力方式, " 信学技報、ET94-133, pp.23-30, (1995-03).
- [12] 山崎敏範、真部勝義、服部哲郎, " ヒューマンフレンドリーな文字・図形入力新方式, " 教育システム情報学会、第20回全国大会、D-4-5, pp.471-474, Aug. 1995.
- [13] 山崎敏範、石原敬、服部哲郎, " ビデオカメラを利用する文字図形入力方式, " 教育システム情報学会、第21回全国大会、1-1, pp.67-70, Aug. 1996.
- [14] T.Yamasaki and T.Hattori, " A new data tablet system for handwriting characters and drawing based on the image processing, " Proc. IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, pp.428-431, Oct. 1996.
- [15] 山崎敏範、服部哲郎, " ビデオカメラからの画像系列後戻り差分処理による手書き文字・図形のオンライン入力方式 - ビデオタブレット -, " 信学論(D-II), vol.J80-D-II, no.4, pp.900-905, (1997-04).
- [16] 佐藤宏介、井口征士, " ビデオタブレット - C C D カメラを用いた座標入力装置 -, " 信学論 (D), vol. J67-D no.6, pp.726-727, June 1984.
- [17] M.E.Munic and P.Perona, " Visual input for pen-based computers, " Proc. 13th Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR ' 96), Vienna, Austria, pp.33-37, Aug. 1996.

< 発 表 資 料 >

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
テレビ会議システムを利用する中学校理科落雷実験	教育システム情報学会論文誌	1999年1月
Online Handwriting Data Acquisition Using Video Camera	Int. Conf. Document Analysis and Recognition	1999年9月
An Extraction and Evaluation Method of Character's Feeling Information for the Study of Writing	Int. Conf. Computers in Education	1999年11月
An Aesthetic Impression Extraction of the Paintings for the Fine Arts Subject	Int. Conf. Computer in Education	1999年11月
Thunderbolt Experiment Learning for Science Subject in Lower Second School using a Video Conference System	Int. Conf. Computer in Education	1999年11月
バーチャルリアリティ環境下での教科教育を考慮した発見的学習支援機構	電子情報通信学会論文誌（採録決定）	2000年