



Technical
Survey

技術解説

デジタルペン

内田 誠^{†1}, Marcus Liwicki^{†1, †2}, 岩村 雅一^{†3},
大町 真一郎^{†4}, 黄瀬 浩一^{†3}

デジタルペンについて概観する。デジタルペンは、スムーズな文字・図形入力機能、および迅速なポインティング機能を持った、優れたインタフェースである。種類としては、筆記対象が限定されたもの、筆記対象が任意のものに大別される。本稿では、タブレットやアノトペンなどすでに製品化されている技術について述べ、今後の課題を考察する。

キーワード：デジタルペン、ペンコンピューティング、手書き、タブレット、ペン先カメラ、紙指紋

1. ま え が き

ペンによる筆記は、われわれ人類にとって最も歴史ある情報の生成・記録手段である。ペーパーレス化が叫ばれ、さまざまな技術革新がありながら、未だに紙の手帳を愛用する人も多い。講義メモを紙のノートに取る人も多い。クレジットカードの磐石なセキュリティシステムが、紙とペンによる署名に依拠していることも象徴的である。付箋紙に書けばどこにでも貼り付けられて便利である。紙でなくても物体表面に直接手書きすれば、その物理的実体へのタグ付けが可能である。このようにペンによる筆記は、人類が数千年来愛し続けてきた、手軽で完成された情報生成・記録手段と言える。

したがって、ペンによる筆記を計算機への入力インタフェースに活用しようという試みが多数見られるのは、極めて自然である。本稿では、ペン型インタフェースを「デジタルペン」と総称し、それに関する技術動向を概観する。なお、ペンと言っても実際にはインク液を塗布しないものも多い。スタイラスとも呼ばれるこれらについても、本稿ではインク液を塗布するものと同様にデジタルペンと呼ぶ。

デジタルペンにはインタフェースとして次の二つの機能がある。第一に、スムーズな文字・図形入力機能である。特に図形入力については、キーボードでは不可能な、デジタルペンならではの重要な機能である。第二に、ポインティング機能である。例えば画面上の1点（もしくは複数の

点)の指示に、ペン先でそこにタッチする方式が採られている。さらにペンアップ・ダウンを使うことで、ドラッグ&ドロップ操作も可能である。マウスよりも高速に離れた位置への指示が可能であり、また、詳細な位置指定も容易である。

デジタルペンはさまざまに進展し、さらに安価化も手伝って、現状ではすっかり身の回りに溢れた存在となっている。タブレットPC、PDAに加え、携帯電話、電子辞書、ゲーム機などの家庭用機器にも搭載されている。3次元空間内において位置指示やジェスチャ認識を行うインタフェースも一種のデジタルペンと言えよう。この意味で、任天堂のWiiコントローラや、ジェスチャでチャンネルを指示するテレビリモコンも含まれる。さらに、タッチパネル¹⁾²⁾など、ペンでなく指を使うインタフェースまで含めると、もはや不可欠なインタフェースと言っても過言ではない。

こうした動きは、これまでのペンと紙の関係も変えようとしている。例えば、紙上の手書きパターンを、その筆記時に電子的に取得・保存することが可能になっている。教育現場におけるノート共有や、医療現場におけるカルテ筆記内容の自動電子化などはその例である。これらは、筆記後の紙をスキャンして電子化する形態とは異なった価値をも創造している。

デジタルペンの普及が進んだ背景には、デバイスの進歩(安価化、小型化、高精度化、安定化)に加え、入力後のデータ処理、特に文字認識技術の着実な進歩がある。例えば、携帯電話への文字入力や、電子辞書での漢和辞典検索には、正確な文字認識が不可欠である。認識技術と並行して、インタフェースデザインも進歩している。従来、枠の中に1文字1文字書き入れていく形式が採られてきたが、枠のない自由な筆記についても研究が進められている。

デジタルペン用の文字認識技術は、オンライン文字認識と呼ばれる。これは、ペン先の運動、すなわち、一種のジェスチャを認識する技術である。したがって、紙の上に

†1九州大学 大学院システム情報科学研究所

†2ドイツ人工知能研究所

†3大阪府立大学 大学院工学研究科

†4東北大学 大学院工学研究科

"Digital Pen" by Seiichi Uchida (Kyushu University, Fukuoka), Marcus Liwicki (Kyushu University, Fukuoka/DFKI, Germany), Masakazu Iwamura, Koichi Kise (Osaka Prefecture University, Osaka) and Shinichiro Omachi (Tohoku University, Miyagi)

印刷された絵(画像)としての文字を認識するOCRとはまったく異なった技術を要する。例えば、OCRでは問題にならない筆順変動が、オンライン文字認識では重大な問題となる。本稿ではこれ以上詳細には扱わないが、こうした問題に対する地道な研究開発により、実用に供するレベルの文字入力インタフェースが実現されている。

以下、本稿は3章より構成される。第2章では、デジタルペンの現状、すなわち、すでに実用に供せられている諸技術について概観する。第3章では、今後の課題に関連し、萌芽段階にある技術について触れる。第4章ではまとめを述べる。デジタルペンに関連する他の解説記事として、ペン入力全般に関する特集号³⁾、ならびに、タブレットPC上のさまざまなアプリケーション例に関する特集号⁴⁾を挙げておく。

2. デジタルペンの現状

既存のデジタルペンは、その筆記対象に注目すると、大きく三種類に分けられる。第一は、筆記対象が限定されたデジタルペンである。タブレットやタッチパネルがこれに当たる。第二は、筆記対象を限定しないデジタルペンである。紙やホワイトボードなど、通常のペンと同じものを対象とする。第三は、特殊に加工された紙を対象としたものである。以下それぞれに分けて概観する。

2.1 筆記対象が限定されたデジタルペン

デジタルペンの最も代表的なものは、タブレット(ペンタブレット、デジタイザ)である。一般的には、インク液を塗布しないスタイラスペンを用いて、特殊なセンサを内蔵したパッド上に筆記する*1。歴史は古く、1950年代にその嚆矢が見られる。昨今では周知のとおり、安価なゲーム機にすら搭載されている。

タブレットは、インタフェース的な観点から、二種類に分けられる。すなわち、計算機やディスプレイにUSBなどで接続して用いる外部機器タイプのもので、液晶ディスプレイと一体化した、いわゆる液晶タブレットがある。図1は前者の例である。後者では、ペン先の移動に応じて画面上に軌跡を表示することで、インク液の塗布を模したビジュアルフィードバックが可能である。液晶タブレットの場合、ディスプレイ内容を透過させる必要があるため、センサ層を透明にするか画面背後に取り付ける必要がある。

タブレットの原理としては、電磁誘導方式が主流である。この方式では、ペン先とタブレット面の両方にコイルを配置し(タブレット面側には複数のコイル)、それらの共振により位置を同定する。具体的には、①タブレット面側のコイルに電流を流すことで磁場を発生、②その磁場により発生したペン内コイルの誘導電流をペン内のコンデンサに蓄



図1 タブレットの例(Wacom社Intuos 4)(提供: Wacom社)

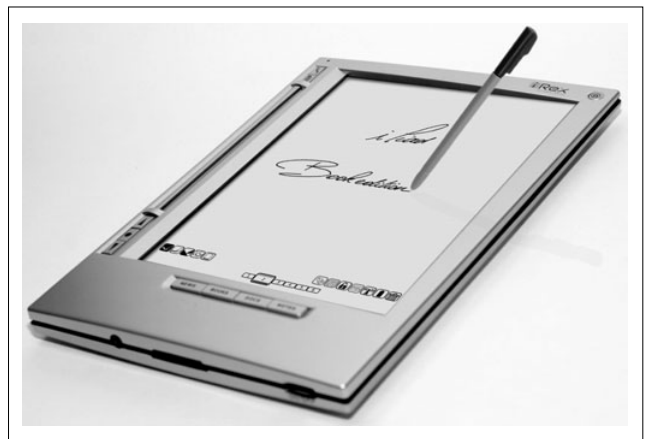


図2 デジタルペンと電子ペーパーの組合せの例(提供: ©IREX Technologies)

積、③タブレット面側の電流を停止、④コンデンサ内の電流によりペン先コイルから磁場を発生、⑤その磁場によりタブレット面の複数のコイルのうちペン先に近いコイルに誘導電流が発生、という処理を短時間に繰り返す。この仕組みにより、ペン側に電源を搭載しなくて済む。

タブレットでは、ペン先座標とペンアップ・ダウンだけでなく、筆圧、ペン傾きをセンシングできるものが増えている。これらはデジタルペンを使った描画において、詳細な表現をするために活用されている。また、筆圧やペン傾きの推移には個人差があるため、署名認証技術(Signature Verification)に利用されることもある。また、傾きや筆圧により液晶タブレット上の選択範囲を制御するインタフェースも開発されている⁵⁾。

デジタルペンと電子ペーパーの組合せも検討されている。紙とペンを共に電子化して進化させる試みである。一例として、図2に示すIREX Technologies社によるiLiad*2がある。一言で言えば、電子ペーパーにWacom社のタブレット技術を組合せたデバイスである。

*1 スタイラスのペン先部分だけをボールペンとすれば、タブレット上に置いた紙面へのインク塗布も可能である。実際そうした製品も売られている。

*2 <http://www.irextechnologies.com/products/iliad>

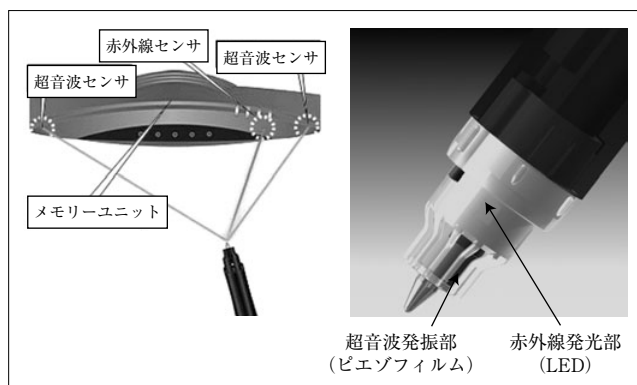


図3 ペンてる airpenの動作原理イメージ(提供:ペンてる)

2.2 筆記対象を限定しないデジタルペン

普通の紙上の筆記をリアルタイムに捉え、デジタル化する技術も多数提案されている。インク液による紙上の筆記と同時に、それと同一内容のデジタルデータが得られるために、それらの両面を活かした利用が考えられる。この点で、実際のインク筆記を伴わないタブレットとは対照的である。デジタルデータを万が一紛失しても、紙自体は残るという安心感もある。

ペンてるのairpen^{*3}は、図3に示すように、超音波受信センサーが2基搭載されたユニットを紙面に置いておき、ペン先から発信された超音波をそれらセンサーで受信し、それらの到達時間差により三角測量の原理でペン先位置を同定する。なお、時間差測定のための基準のために別途赤外線も利用されている。専用のペンを必要とするが、紙については何の制約もない点を特長とする。類似の製品は世界中で数多く発表されており、IOGEAR社のDigital Scribe^{*4}もその一例である。

普通のホワイトボード上の筆記を電子化する製品も提案されている。KEEPAD社のeBeam^{*5}は、通常のホワイトボード上の片隅にセンサユニットを設置することで、専用のデジタルペンの位置を測定する。やはり類似の製品は多く、Mimio^{*6}もその一つである。

実用化はされていないが、ペン単体で筆記をセンシングする技術として、加速度センサーの利用が提案されている⁶⁾。ペンに3軸加速度センサーを2基内蔵させ、それらの出力値を用いて、ペンの動きすなわち筆記を復元する方法である。原理的には紙に依存しない復元が可能である。同文献によれば、紙面の凹凸の影響を軽減するための低域通過フィルタや重力加速度のキャンセルといった工夫を適切に行うことで、多少の伸縮はあるものの、比較的高い精度で復元できると報告されている。

ペンにカメラを搭載する方法も検討されている。文献⁷⁾では、ペン先座標を時々刻々と獲得する方法ではなく、紙



図4 アノトペン(提供:アノト社)

面に印刷された文字情報を獲得・同定するためにカメラを利用している。カメラからペン先座標を得る方法については、アノトペン技術と紙指紋を用いた技術の項において後述する。

2.3 特殊な用紙を使用するデジタルペン

アノト社によるアノトペン^{*7}は、現代を代表するデジタルペンの一つである。図4に示すように、タブレットのようなセンシング面も、センサユニットも用いることなく、紙(ただし後述のようにアノトペン用に準備されたもの)の上にペンで筆記するだけで内容を電子的に取得できる。すなわち、ペン単体で利用できる。取得した内容はペン内のメモリーに蓄積され、クレイドルを介して適宜PCなどに転送できる。また、Bluetoothを介したリアルタイム転送も可能である。

画期的なのは、紙面におけるペン先の絶対位置を正確に得られる点である。重要なのは、この機能がA4サイズ1枚程度の紙の中に閉じたものではなく、何百万枚もの紙の中での絶対位置が得られる点である(総面積6,000万km²分の紙の1点を区別できる)。したがって、「今、どの紙のどこに書いているか」ということが判る。この機能により、紙という物理的実体のためのポインタとして、ペンを利用できることになる。

アノトペンのこうした機能は、「紙にあらかじめ印刷さ

*3 <http://www.airpen.jp/>

*4 <http://www.iogear.com/product/GPEN100C/>

*5 <http://www.keepad.com/jp/ebeam.php/>

*6 <http://www.mimioxi.net/>

*7 <http://www.anoto.co.jp/>

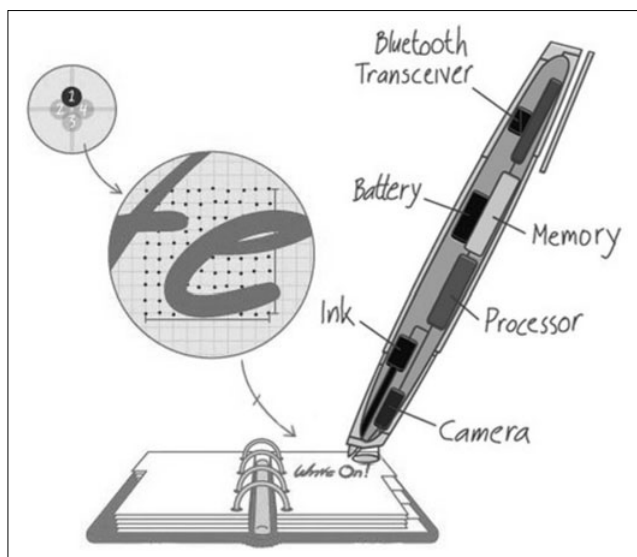


図5 アノトペンの原理 (提供: アノト社)

れた微細ドットパターン」を「ペン先に内蔵された赤外線カメラで読取る」ことにより実現される。その原理を図5に示す。ドットパターンについては特許資料が詳しい*8。簡単に言えば、各ドットを0.3mm間隔の格子点からわずかにずれた位置に印刷し、ずらし方の局所的組合せにより位置情報を符号化している。ペンが動けば見えるパターンが変わるので、新たなペン先位置を取得できる。パターンの組合せ数は指数関数的に多いので、上述のような大量の紙での絶対位置同定が可能になっている。なお、普通紙に民生用のプリンタでドットを印刷すれば、各自でアノトペン用の用紙を準備できる。

アノトペンの応用先は、ドットを印刷した紙によるノートやメモ帳をはじめとして、実にさまざまである。具体的には、e-learning (対話型教示システム、試験採点、添削)、医療 (電子カルテ、トリアージ)、アンケート収集が挙げられる。これらにおいては、単なる「紙タブレット」としてではなく、紙自体を識別する機能が最大限に活用されている。

ドット紙には文書や画像を印刷してもよく*9、この利点を活かした応用も考えられている。電子文書を同用紙に印刷しておけば、そこへのメモ書込み (アノテーション) の電子保存が可能である。また、地図を印刷しておけば、ペン先が指し示した場所に関する情報をPC上にブラウズすることも可能である。

アノトペンの機能に音声収録・再生機能が搭載されたものとして、図6に示すLivescribe社のPulse*10を紹介しておく。このペンには、150MHz動作のCPU (ARM9)、4GBメモリー、そして小型ディスプレイが搭載されている。少し

*8 特表2003-500778, 2003-503905, 2003-511762, 2003-511763

*9 インクドットを検出不能にしないために、文書や画像用インクにはカーボンをなるべく含まないという制約がある。http://www.anoto.com/filearchive/1/14576/Digital_Printing_Requirements.pdf

*10 http://www.livescribe.com/



図6 Livescribe社のデジタルペンPulse (提供: ©Livescribe)

前のコンピュータ1台がペンの中に凝縮されていることになる。

3. 今後の課題

3.1 筆記取得に必要な制約の緩和

以上に述べたように、紙上の筆記を電子的に取得するためには何らかの工夫が必要であった。すなわち、ペンとは別にセンサユニットを配置しておくか、アノトのように紙表面に特定のパターンを印刷しておく必要があった。

文献8)では、こうした工夫が不要なデジタルペンが検討されている。この手法では、紙表面の微細構造 (紙指紋) に注目している。具体的な手順を図7に示す。まずペン先に取り付けられた小型カメラより紙指紋をビデオとして取得する。次に各フレーム画像において紙指紋の特徴点を多数検出する。最後に隣接フレーム間において類似する特徴点の組を探し、それらを手がかりにフレームを貼り合わせていく。貼り合わせの結果から、ペンの動き、すなわち筆記が得られる。これは光学式マウスと原理的には同じである。ただし、ペンの傾きや外光に影響されるため、解決すべき課題も多い。

また、紙指紋ではなく、紙面に印刷された文書画像を手がかりとする方法も提案されている⁹⁾。この方法では、あらかじめ文書をサーバに登録しておく。そして、ペンに取り付けられたカメラから得られる部分文書画像を、登録済みの文書画像と照合することで、ペン先の位置を得る。単純化して言えば、アノトのドットの代わりに、文字パターンを使った手法と言える。極めて高速かつ高精度な位置同定を実現するためにアフィン不変特徴量やハッシュを利用した照合を行っている。

3.2 次世代タッチパネルとデジタルペン

デジタルペンに関連して、指で操作可能なタッチパネ

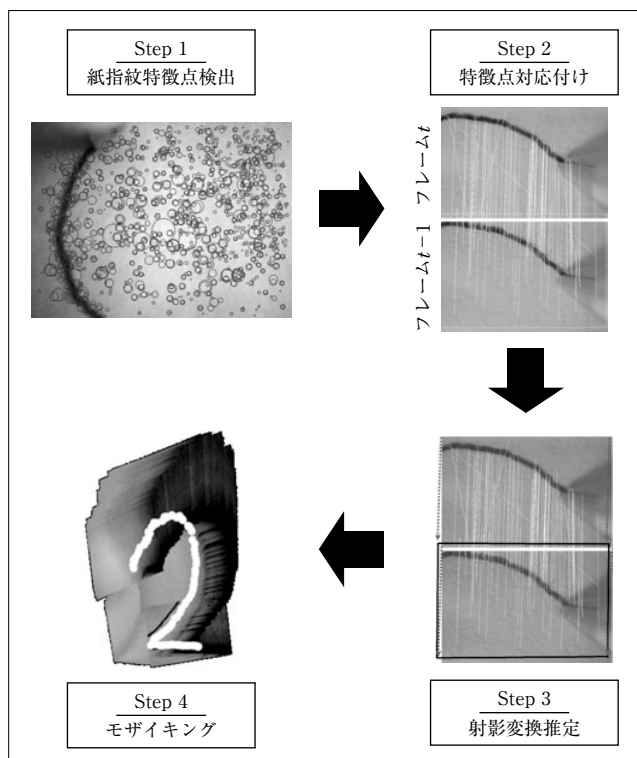


図7 紙指紋を用いたデジタルペンの原理

ル¹⁾²⁾も多様に進化している。特に昨今では、複数の指での指示(マルチタッチ)が可能なタッチパネルが増えている。Apple社の携帯電話iPhoneのようなパーソナルユース向けだけでなく、複数人での共同作業を意図したテーブル状の大規模なものも提案されている。その例として、Microsoft社のMicrosoft Surface^{*11}やSmartTech社のSmartTable^{*12}がある。

このマルチタッチの考えをさらに進めたものが、ドイツ人工知能研究所 (DFKI) によるTouch&Write^{*13}である。図8に示すように、指による指示だけでなく、アノト技術の導入によりパネル面に対するペン入力を可能にしており、手書き文字入力を含めたさまざまな共同知的活動をサポートする総合的なシステムを提供している。

3.3 電子ペーパーとデジタルペン

前述の通り、電子ペーパーとデジタルペンの融合はすでに開始されている。紙とペンを共に電子化できれば、真にペーパーレス化に貢献する可能性もあり、今後さらに展開すべき課題と言える。特に昨今の電子ペーパーは曲げや折りも可能になってきており、デジタルペン側もそれに応じた進展が必要であろう。

3.4 データ埋め込みペン

データ埋め込みペン¹⁰⁾は現在開発中のデジタルペンである。図9に示すように、これはペン先に超小型インクジ



図8 Touch&Write

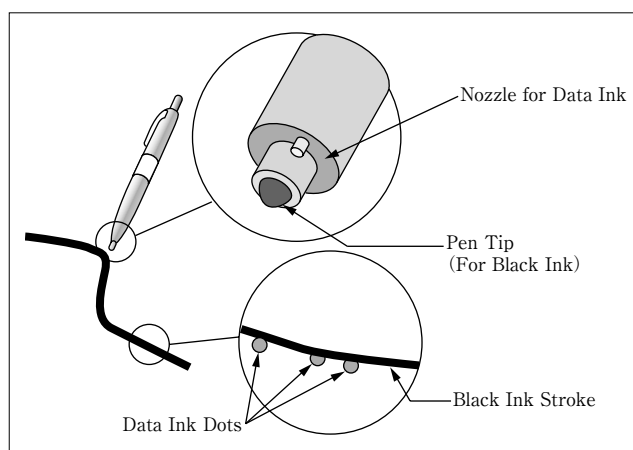


図9 データ埋め込みペン

ェットノズルを装着したもので、筆記と同時に同ノズルから間欠的にインクドットを塗布する。この間欠パターンがモールス信号状に情報を表現している。例えば、筆記と同時に筆記者IDや筆記時刻を埋め込むといった応用が考えられる。なお、プリンタそのものをペン型にしたものは見当たらない。PrintDreams社^{*14}のPrintBrushは小型ではあるが、ペン型ではない。

3.5 入力された筆記データの処理

デジタルペンにより入力された筆記データの処理についても、その進展が期待される。まずは文字認識の高精度化が重要である。各デジタルペン独特の歪みへの対応が必要な場合もあると思われる。筆記中の図形と文字の分離も、未解決問題である。そこには、(不特定)図形認識という極めて困難な課題も内包されている。

さらに、デバイスの進化に従い、枠の中に記入された単文字ではなく、行構造すらしないようなフリーレイアウト文書に対する処理は、ますます重要性を増すであろう。実際、そうした検討はすでに始まっている¹¹⁾¹²⁾。

*11 <http://www.microsoft.com/surface/>

*12 <http://www.smarttech.com/>

*13 <http://www.touchandwrite.de/>

*14 <http://www.printdreams.com/>

デジタルペンが日常化すれば、当然コンテンツ管理技術が重要になってくる。昨今、画像データの管理・蓄積・分類・検索については、画像認識の分野で非常にホットな話題となっている。Webのマルチメディア化がその背景にある。一方で、筆記データについては、画像データでの方法論が単純に適用できないこともあってか、まだ余り多くないようである。今後の発展が期待される。

4. む す び

デジタルペンに関する技術に関して概観した。ペンの形状およびその「書く」という基本機能自体は、紀元前の大昔から変わっていない。昨今の技術革新にもかかわらず、デジタルペンが多様に開発され、利用されているという事実は、考えてみれば不思議なことである。人間にとってペンは極めて自然なインタフェースなのであろう。

人間がペンを使い続ける限り、今後もさまざまなデジタルペンが開発され続けるのは間違いない。ペンにテキスト表示装置や振動子を組込むことで、ペンを触覚提示インタフェースとして使った試みもある¹³⁾。ペンではないが、空中に指で手書きしたパターンを取得(そして認識)する試みも数多く行われている。前述のLivescribe社のPulseに至っては、小型コンピュータそのものであり、今後の展開の幅広さを予見させる。

本稿に述べた技術のうちには、映像情報処理技術の進展に期待するものも多い。逆に映像情報処理に利用可能なものもある。本学会誌読者の方々のご興味を惹くことができれば、著者らの望外の喜びである。(2009年12月7日受付)

〔文 献〕

- 1) 河村正行, よくわかるタッチパネル, 電波新聞社 (2004)
- 2) 岡野祐一, 宮原景泰: "タッチパネルの最新技術動向", 映像学誌, 63, 8, pp.1101-1106 (2009)
- 3) 和氣早苗ほか: "ペン入力特集", ヒューマンインタフェース学会誌, 8, 3, pp.154-178 (2006)
- 4) J.Preyl and A. Weaver Eds.: "Tablet PC Technology-The Next Generation", Computer, 40, 9, pp.32-68 (2007)
- 5) J.Yin and X. Ren: "ZWPS: A Hybrid Selection Technique for Small Target Acquisition in Pen-Based Interfaces", Proc. INTERACT, pp.503-506 (2007)
- 6) 宮川透, 米澤義道, 伊東一典, 橋本昌巳: "3次元加速度・角速度計測による筆記文字再現", 信学誌D-I, J83-D-I, 10, pp.1137-1140 (2000)
- 7) T. Arai, D. Aust, S.E. Hudson: "PaperLink: A Technique for Hyperlinking from Real Paper to Electronic Content", Proc. ACM Conf. Human Factors in Computing Systems (CHI'97), pp.327-334 (1997)

- 8) 内田誠一, 伊東克啓, 岩村雅一, 大町真一郎, 黄瀬浩一: "ペン先画像からの手書き復元", 信学誌, J93-D, 1 (2010) (掲載予定)
- 9) K. Kise, K. Iwata, T. Nakai, M. Iwamura, S. Uchida and S. Omachi: "Document-Level Positioning of a Pen Tip by Retrieval of Image Fragments", Proc. Third Int. Workshop Camera-Based Doc. Anal. Recog., pp.61-68 (2009)
- 10) 田中一弘, 内田誠一, 岩村雅一, 大町真一郎, 黄瀬浩一: "データ埋め込みペンに関する基礎的検討", ヒューマンインタフェース学会論文誌, 10, 4, pp.559-567 (2008)
- 11) 稲村祐一, 福島貴弘, 中川正樹: "筆記方向に依存しないオンライン枠なし文字認識システム", 信学技報, PRMU2000-37 (2000)
- 12) X.-D. Zhou, D.-H. Wang, C.-L. Liu: "A Robust Approach to Text Line Grouping in Online Handwritten Japanese Documents", Pattern Recognition, 42, 9, pp.2077-2088 (2009)
- 13) K.-U.Kyung and J.-Y.Lee: "Ubi-Pen: A Haptic Interface with Texture and Vibrotactile Display", IEEE Computer Graphics and Applications, 29, 1, pp.56-64 (2009)



うちだ ましいち
内田 誠一 1990年, 九州大学工学部電子工学科卒業。1992年, 同大学大学院修士(情報)修了。セコム(株)勤務を経て, 現在, 同大学システム情報科学研究院教授。画像・時系列・文字パターンの解析・認識に関する研究に従事。2006年, MIRU長尾賞, 2007年, IAPR/ICDAR the Best Paper Award等受賞。博士(工学)。



Marcus Liwicki 2004年, ベルリン自由大学修士了。2007年, スイスUniversity of Bern博士課程修了。同年より, ドイツ人工知能研究所(DFKI)上級研究員。知識マネジメント, デジタルペン, 文字認識の研究に従事。2009年~2010年, 九州大学特別研究員(JSPS)。Dr. Phil. Nat.



いむら まさかず
岩村 雅一 1998年, 東北大学工学部通信工学科卒業。2003年, 同大学大学院博士課程修了。同年, 同大学大学院工学研究科助手。2004年, 大阪府立大学大学院工学研究科助手。現在, 助教。パターン認識, 文書画像解析, 物体認識, 情報検索などの研究に従事。2007年, IAPR/ICDAR the Best Paper Award等受賞。博士(工学)。



おおまち しんいちろう
大町真一郎 1988年, 東北大学工学部情報工学科卒業。1993年, 同大学大学院博士課程修了。同大学情報処理教育センター助手等を経て, 2009年より, 同大学工学研究科教授。パターン認識, コンピュータビジョン, 並列処理, 文字認識システムの開発などの研究に従事。2007年, MIRU長尾賞, 同年, IAPR/ICDAR the Best Paper Awardを受賞。博士(工学)。



くさね こういち
黄瀬 浩一 1986年, 大阪大学工学部通信工学科卒業。1988年, 同大学大学院前期課程修了。同年, 同大学大学院博士後期課程入学。同大学電気助手等を経て, 2005年より, 同大学大学院工学研究科教授。文書画像解析, 情報検索などの研究に従事。2007年, IAPR/ICDAR the Best Paper Award等受賞。博士(工学)。