

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20300049

研究課題名（和文） 情報埋め込みによる「紙とペン」の機能拡張—手書きコンテンツのサイバーメディア化—

研究課題名（英文） The data-embedding pen for using handwritings as cybermedium

研究代表者

内田 誠一（UCHIDA SEIICHI）

九州大学・システム情報科学研究院・教授

研究者番号：70315125

研究成果の概要（和文）：

本研究では、「紙の上の手書き」に新たな価値を付与するべく、「情報埋め込みペン」を開発した。このペンでは、ペン先のインクジェットにより、筆記時にリアルタイムに筆記者情報や筆記日時などの任意情報を埋め込むことができる。埋め込んだ情報は画像処理により復元できる。すなわち、紙の上の手書きに、計算機可読な様々な情報を埋め込むことができる。実験により、5cmの筆記に32ビット程度の情報を誤りなく埋め込めることを確認した。

研究成果の概要（英文）：

In this research, a data-embedding pen is introduced to enhance the value of handwriting in cyber-world. The data-embedding pen has a unique function to inject an ink dot sequence along handwriting. The pattern of the ink dot sequence represents some information, such as writer's ID, writing date, and other meta-information related to the handwriting.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2009年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2010年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
総計	13,400,000	4,020,000	17,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：ユーザインターフェース、画像、文章、音声等認識、ディレクトリ・情報検索、画像処理、パターン照合、情報埋め込み、ペンデバイス

1. 研究開始当初の背景

「紙とペン」は、我々人類にとって最も歴史ある情報の生成・記録メディアである。ペーパーレス化が叫ばれ、様々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く、講義メモも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。物体（紙に限らない）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。このように紙とペンは、人類が数千年来愛し続けてきた、手軽で完成されたメディアなのである。

ところが「紙とペン」は現代を席卷するサイバーメディアとは水と油のような関係に留まっている。物理世界にある紙上の手書き

コンテンツと、仮想世界（サイバー空間）にあるネットコンテンツとは、その生成、管理、検索、利用のすべてにおいて全く異なっている。タブレットPCは手書きとサイバー空間を結びつける手段のように見えるが、実質計算機であり、紙とペンの手軽さには及ばない。アノトペンは特殊な紙を用いて筆跡情報をリアルタイム取得する興味深い技術であるが、要するに紙タブレットであり、生成された手書きコンテンツには通常の手書き以上の意味はなく、「サイバー空間」と「物理的実体としての手書きコンテンツ」を結ぶ技術にはなっていない。

2. 研究の目的

本研究では、情報埋め込み技術によって「紙とペン」による手書きコンテンツをサイバーメディア化することを目的とした。具体的には「情報埋め込みペン」と呼ぶ新しいペンデバイスを利用することで、紙への筆記と同時に、微小インクドットの塗布により様々な情報を手書きコンテンツに埋め込む。手書きコンテンツをカメラもしくはスキャナで撮影し、その画像から推定される筆順に沿ってインクドットを読み取れば、埋め込んだ情報が復元される。このようにこの手書きコンテンツは機械可読情報を提供するサイバーメディアとして、様々な機能することになる。

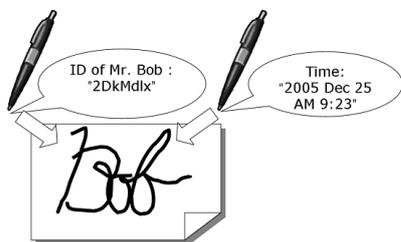


図 1 利用例 1：署名への筆記者・筆記時刻埋め込み

手書きパターンに様々なデータが埋め込めるようになると、手書きパターンを電子的に管理したり、マンマシンインタフェースとして様々な場面に活用できるようになる。図 1 は、情報埋め込みペンにより手書きパターンを電子的に管理する例である。例えば、本ペンが埋め込みデータとして、常に個人 ID を出力するようにしておけば、あるサインの筆記者を筆記パターンではなく ID により確実に同定できる。

図 2 は、手書きパターンとサイバー空間のリンクに関する使用例である。メモ帳の「会議」という手書き文字列に、その会議の詳細を述べた電子メールの ID を埋め込んでおけば、ユーザはその手書き文字列をインタフェ

ースとして、サイバー空間内に存在する電子メールにアクセスすることが可能となる。

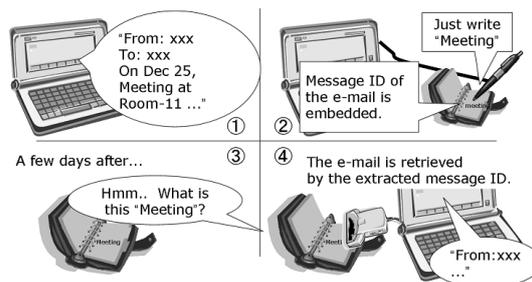


図 2 利用例 2：手書きとサイバー空間とのリンク

3. 研究の方法

初年度は、情報埋め込みペンのプロトタイプ実装のための技術調査、およびペンの動き推定を目的としたペン先へのカメラ搭載技術について進めた。次年度は、プロトタイプ実装ならびにそれを用いた情報埋め込み・復元実験を行った。最終年度は、埋め込み・復元精度を向上させるための諸技術について実装・評価した。

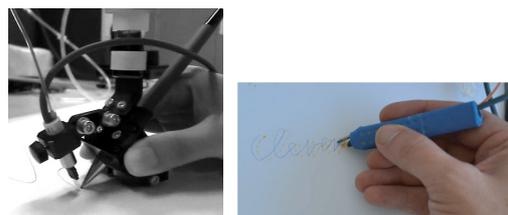


図 3 情報埋め込みペンのプロトタイプ

4. 研究成果

実装した情報埋め込みペンのプロトタイプを図 3 に示す。同図には 2 つのバージョンを示しているが、本質的には同じ構造を持っている。情報埋め込みペンはその先端部から役割の異なる 2 種類のインクを塗布する。一つは通常のボールペンから塗布される黒インクである。他の一つは情報埋め込みのために用いられるインク（以下、情報インク）である。情報インクは、ペン先に装着されたインクジェットノズルから間欠的に噴射される。情報インクとしては、現状では黄色インクを用いているが、何色でも構わない。不可視インクでもよい。

このハード構成で塗布される情報インクは黒インクに沿った微小インクドット列となる。図 4 は、実際の出力例である。インクジェットの塗布周波数がある程度まで上げることで、ドット状ではなく、直線状のパタ

ーンとすることもできる．同図上パターン
の左端冒頭の情報インクは，20 回分を高速塗布
することで生成されたものである．同図には
他にも，5 回塗布による短めの線分および 1
回塗布からなるドットも示されている．この
ように，塗布パターンはかなり自由に設計で
きる．

埋め込みたい情報は，二進数表現された上
で，この三種類の線分を組み合わせて表現さ
れる．謂わばモルス信号のようなもので，
1 回塗布と 5 回塗布がそれぞれ 0 ビット，1 ビ
ットを，そして 20 回塗布が一連の情報の区
切りを表す．

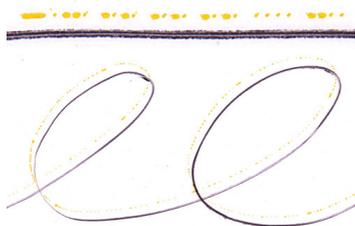


図 4 情報埋め込みペンによっ
て生成された手書きパターン

実際には，埋め込みたい情報を直接二進数
表現するのではなく，一旦，誤り訂正符号
(Reed-Solomon) に変換した上で埋め込みを
行う．後述の復元法を使ったとしても，様々
な理由により誤りが混入する．誤りの原因と
しては，情報インクの読み落とし，黒インク
との重なり，および“d”の上部のような 2 度
書きが挙げられる．このため，あらかじめ誤
り訂正符号によりある意味冗長表現してお
き，この誤りを検出・訂正できるようにして
おく．

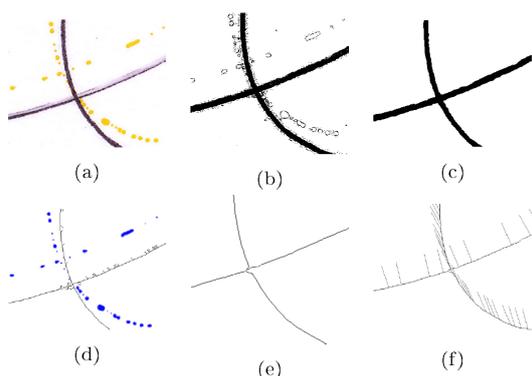


図 5 画像処理による埋め込み情報インク列
の抽出

埋め込んだ情報の復元は，原理的には簡単
で，手書きを撮影した画像を準備し，そこ
から情報インクを検出し，埋め込まれた順
に読み取った上で，誤り訂正復号すればよ
い．し

かし，図 4 下の交差部や上部のように，情
報インクが黒インク上に重なってしまい，情
報インクの読み取りが困難になる場合があ
る．また交差部のように，情報インクの順
序が曖昧になる部分もある．こうした困難
性に配慮しながら，以下に示す復元法（画
像処理，筆順復元，復号処理）を実装した．

画像処理は，図 5 に示すように幾つかの
ステップからなる．同図(a)を例にすれば，
色に関するしきい値処理により黒インク部
分を抽出した後（同図(b)），モルフォロジ
処理によりノイズ部を除去する（同図(c)）．
同様の処理を情報インクについても行う．
情報インクは黒インク上に塗布される場合
もあるので，それらについては別のしきい
値を用いて例外処理を行う．黒インクにつ
いては，さらに細線化を行う．同図(d)は
その結果である．その後黒インクについ
ては，余計な微小線分を除去する（同図
(e)）．

こうして黒インクを中心線としてのスト
ロークと，情報インクが検出された後，後
述の筆順復元に向けて，ストロークと情報
インクを対応付けておく．基本的な方法と
しては，情報インクに最も近い位置をスト
ローク上に見つけ，そこを対応点とする．
しかし，この方法では，交差点付近等で
対応付けが不安定になる．このため，各
情報インクについて求めた対応付けをベ
クトルとして見て，その最も平均的な方
向を見つける．そして，各情報インクか
らその平均方向での最近傍点を見つけ直
し，これを最終的な対応点とする．図 5
(f) はその結果である．

以上の処理により，ストロークと情報
インクの対応付けができたので，あとは
ストロークの筆記順序が復元できれば，
情報インクの順序が復元でき，従って，
埋め込んだ情報が復元できる．筆順復
元には，グラフ理論に基づく方法を用い
ている．この手法では，手書きパターン
-黒インクによるパターンを細線化して，
グラフ表現する．基本的には，このグ
ラフ上の一筆書き経路-オイラー路を見
つければよい．なお同手法が，一画で書
かれた手書きパターン（要するに一筆書
き）を対象としていることもあり，現状
では実験を含め一画パターンを対象と
している．

筆順復元により再び系列化された情報
インクドットに基づき，最終的な復号処
理を行う．第一は，ドットサイズに基づ
き，それが 1, 5, 20 回塗のいずれであ
るかを決断する．そして 20 回塗布お
よび塗布間の広い間隔部を用いて，そ
れぞれ符号語単位への分割に用いる．
単位内に規定数以上のドットが見つかる
と，平均ドット間距離を用いて，過剰
検出さ

れているドットを選出し除外する。規定数以下のドットであれば、その部分を捨てる。情報は繰り返し埋め込まれているので、捨てられた部分については同じ個所のドットを再利用する。こうして情報系列を得たのち、最終的に Reed-Solomon 復号する。

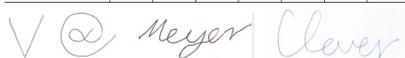
表 1 情報復元精度

情報復元成功サンプル数 (直線状手書き, 50 サンプル中)

#bits	4	32	36	40	44	48	52	60
line (5 cm)	50	50	47	36	28	10	0	0
line (10 cm)	50	50	50	50	50	50	50	46

情報復元成功サンプル数 (様々な手書き, 12 サンプル中)

#bits	32	36	40	44	48	52	56
hook	12	10	9	7	6	2	0
“@”	12	12	11	10	8	1	0
“Meyer”	12	9	8	4	0	0	0
“Clever”	12	12	12	12	10	5	0



以上により実装した情報埋め込みペンを用いて、実際に情報埋め込み・復元実験を行った。情報インクは黄色であり、紙は一般的なコピー用紙である。筆記速度は、過度に高速・低速にはならないようにした。情報復元のための画像の取得には、市販のスキャナを用いた。

表 1 上は、長さ 5cm および 10cm の直線状の手書き各 50 サンプルについて、埋め込んだ情報を完全に復元できたサンプル数をまとめたものである。ここで、埋め込んだ情報の長さを 4 ビットから 60 ビットまで変化させている。情報インク間隔は一定であるため、埋め込んだ情報長が長ければ長いほど、埋め込みの繰り返し回数は少なくなり、従って復元時の誤り訂正能力は低下する。直線であるため、筆順復元の誤りはない。同表より、5cm の短い手書きであっても 32 ビットの情報を誤りなく埋め込み、復元できることがわかる。

表 1 下は、直線でないパターン 4 種類、各 12 サンプル についての埋め込み復元結果である。各パターンの例を同表下に示す。最初の二つは 3×3cm、残りは 4×3cm 程度の大きさの手書きである。同表から、32 ビット程度は問題なく埋め込めることがわかる。hook 以外は交差を含むため、筆順復元の精度も影響する。従って、この結果は、正しい筆順復元結果が得られていることの証左にもなっている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- Marcus Liwicki, Seiichi Uchida, Masakazu Iwamura, Shinichiro Omachi and Koichi Kise, Embedding Meta-Information in Handwriting — Reed-Solomon for Reliable Error Correction, Proc. 12th Int. Conf. Frontiers in Handwriting Recognition, pp. 51-56, 2010, 査読有
- Kazumasa Iwata, Koichi Kise, Masakazu Iwamura, Seiichi Uchida and Shinichiro Omachi, Tracking and Retrieval of Pen Tip Positions for an Intelligent Camera Pen, Proc. 12th Int. Conf. Frontiers in Handwriting Recognition pp. 277-283, 2010, 査読有
- Marcus Liwicki, Seiichi Uchida, Masakazu Iwamura, Shinichiro Omachi and Koichi Kise, Data-Embedding Pen-Augmenting Ink Strokes with Meta-Information, Proc. Ninth Int. Workshop on Document Analysis Systems, pp. 43-51, 2010, 査読有
- 内田誠一, Marcus Liwicki, 岩村雅一, 大町真一郎, 黄瀬浩一, デジタルペン, 映像情報メディア学会誌, vol. 64, no. 3, pp. 293-298, 2010, 査読無 (招待)
- 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, 電子情報通信学会論文誌(D), vol. J93-D, pp. 64-67, 2010, 査読有
- Koichi Kise, Kazumasa Iwata, Tomohiro Nakai, Masakazu Iwamura, Seiichi Uchida and Shinichiro Omachi, Document-Level Positioning of a Pen Tip by Retrieval of Image Fragments, Proc. Third Int. Workshop on Camera-Based Document Analysis and Recognition, pp. 61-68, 2009, 査読有
- Seiichi Uchida, Katsuhiro Itou, Masakazu Iwamura, Shinichiro Omachi and Koichi Kise, On a Possibility of Pen-Tip Camera for the Reconstruction of Handwritings, Proc. Third Int. Workshop on Camera-Based Document Analysis and Recognition, pp. 119-126, 2009, 査読有
- 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, vol. 10, no. 4, pp. 559-567, 2008, 査読有

[学会発表] (計 7 件)

1. Akira Yoshida, Marcus Liwicki, Seiichi Uchida, Masakazu Iwamura, Shinichiro Omachi, and Koichi Kise, Handwriting on Paper as a Cybermedium, KES2011 Invited Session: Document Analysis and Knowledge Science, 2011 年 9 月 (発表予定), Kaiserslautern, Germany
2. 内田誠一, Marcus Liwicki, 岩村雅一, 大町真一郎, 黄瀬浩一, 情報埋め込みペンによる手書き価値の向上, 電子情報通信学会技術研究報告(マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会), 2011 年 5 月 30 日 (発表予定), 国立情報学研究所 (招待講演)
3. Akira Yoshida, Marcus Liwicki, Seiichi Uchida, Masakazu Iwamura, Shinichiro Omachi, and Koichi Kise, Augmented Handwritings by Data-Embedding Pen, the second CJK Joint Workshop on Pattern Recognition, 2010 年 11 月 5 日, 福岡市
4. Akira Yoshida, Marcus Liwicki, Seiichi Uchida, Masakazu Iwamura, Shinichiro Omachi, Koichi Kise, Performance Evaluation of Data-Embedding Pen, The 6th Joint Workshop on Machine Perception and Robotics, 2010 年 10 月 9 日, 九州大学
5. 吉田 晃, Marcus Liwicki, 内田誠一, 岩村雅一, 大町真一郎, 黄瀬浩一, 情報埋め込みペンの試作, 電気関係学会九州支部連合大会, 2010 年 9 月 26 日, 九州産業大学
6. 田島修司, 内田誠一, 岩村雅一, 大町真一郎, 黄瀬浩一, ペン先カメラ画像と紙面上特徴点を用いた手書きパターンの復元, 電子情報通信学会技術研究報告(パターン認識・メディア理解研究会), 2010 年 2 月 18 日, 東京農工大学
7. 伊東克啓, 内田誠一, 岩村雅一, 大町真一郎, 黄瀬浩一, ペン先カメラ画像からの手書きパターンの抽出, 電子情報通信学会技術研究報告(パターン認識・メディア理解研究会), 2009 年 2 月 19 日, 東京大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://human.ait.kyushu-u.ac.jp/~uchida>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内田 誠一 (UCHIDA SEIICHI)

九州大学・システム情報科学研究院・教授
研究者番号: 70315125

(2) 研究分担者

黄瀬 浩一 (KISE KOICHI)

大阪府立大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 80224939

大町 真一郎 (OMACHI SHINICHIRO)

東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 30250856

岩村 雅一 (IWAMURA MASAKAZU)

大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 80361129