

## [招待講演] 情報埋め込みペンによる手書き価値の向上

内田 誠一<sup>†</sup> Marcus Liwicki<sup>††</sup> 岩村 雅一<sup>†††</sup> 大町真一郎<sup>††††</sup> 黄瀬 浩一<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> 九州大学大学院システム情報科学研究所 〒819-0395 福岡市西区元岡 744

<sup>††</sup> ドイツ人工知能研究所 (DFKI), カイザーズラウテルン, ドイツ

<sup>†††</sup> 大阪府立大学大学院工学研究科 〒599-8531 大阪府堺市学園町 1-1

<sup>††††</sup> 東北大学大学院工学研究科 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

E-mail: <sup>†</sup>uchida@ait.kyushu-u.ac.jp

あらまし 手書きは、人間のコミュニケーション手段として古来から広く利用されている。そして現代、タブレットやアノトペンといった技術進歩により、計算機への入力手段としても手書きは普遍的なものとなった。しかし、日常的な「紙の上の手書き」は、依然「紙の上の手書き」のままであり、それ以上の価値を持つに至っていない。これに対し、筆者らによるユニバーサルパターンプロジェクトでは、「情報埋め込みペン」を開発した。これは、情報埋め込み技術により、手書きに新たな価値を付与しようという試みである。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ている。

キーワード 手書き, 情報埋め込みペン, インタフェース, 筆順復元

## [Invited Talk] The Data-Embedding Pen

Seiichi UCHIDA<sup>†</sup>, Marcus LIWICKI<sup>††</sup>, Masakazu IWAMURA<sup>†††</sup>, Shinichiro OMACHI<sup>††††</sup>, and  
Koichi KISE<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University  
Motooka 744, Nishi-ku, Fukuoka-shi, 819-0395 Japan

<sup>††</sup> Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, Germany

<sup>†††</sup> Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University, Sakai-shi, Osaka, 599-8531 Japan

<sup>††††</sup> Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai-shi, 980-8579 Japan

E-mail: <sup>†</sup>uchida@ait.kyushu-u.ac.jp

**Abstract** Handwriting is one of the oldest media for human beings. Even after the invention of the printing technology, handwriting has been a popular way to communicate with each other until today. In contrast, handwriting has been less related to modern cyber-world. In this talk, a data-embedding pen is introduced, which has been developed in the authors project, called *universal-pattern project*, 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.

**Key words** handwriting, data-embedding pen, interface, stroke recovery

### 1. ま え が き

ペンによる手書きは、古来から現在に至るまで、様々なインタフェースやメディアの出現にも関わらず、人間の知的活動の一つとして老若男女を問わず日常的に用いられて来た。これだ

けコンピュータや携帯デバイスが普及し、文字入力がキーボードを介して入力される機会が多くなっても、依然として手書きは用いられている。何時如何なる時でも、紙とペンさえあれば、そこに情報を極めて自由に（絵や図形を含めながら）記録できるという手軽さは、魅力的である。タッチパッドがすっかり身

近になった昨今、むしろデバイス側が手書きを積極的に受け入れるようになってきている感すらある[1]。

とはいえ「紙の上の手書き」は依然「紙の上の手書き」のままであり、それ以上の価値を持つに至っていない。実際「紙の上の手書き」は、コンピュータが司るサイバー空間においてほとんど無価値である。紙の上の手書きを認識する技術（手書きOCR）は橋渡しになるのかも知れないが、数多くの研究がありながら、残念ながら十分実用的なレベルにあるとは言い難い。さらに、もし手書きOCRが実現したとしても、それはそこに筆記された文字列がそのまま電子化される以上の機能はない。「紙の上の手書き」の本質的な価値向上という観点からは、少し視野が狭いようにも思える。

人間による手書きが、コンピュータにとって単なる文字列以上のものになりえないだろうか？例えば、手帳に手書きされたスケジュールをコンピュータが見ると、そのスケジュールを送ってきた電子メールのメッセージIDをそこに見出すことはできないだろうか？メモ書きされた付箋紙、誰がいつ書いたのかが、正確に管理できないだろうか？手書きの中に暗号化された個人情報があったとしたら、サイン認証をより強化できないだろうか？このように、手書きが、「紙とペン」で生成・蓄積されるという手軽かつ強力な特質を保ったまま、電子的に管理されたり、人間と機械もしくは人間とサイバー空間を結ぶユニバーサルインターフェースとして活用されれば、意義深いであろう。

上述の目標のために、著者らの研究グループでは「情報埋め込みペン」と呼ぶ新しいデバイスを提案し、プロトタイプを実装、評価してきた[2]~[5]。これは特殊な手書きを生成可能なペンである。具体的には、ユーザーが通常通り筆記を行う際、その手書きの中にリアルタイムに計算機可読な情報を埋め込む機能を有するペンである。従って、書き終わった物理的な紙の上の手書きに、計算機可読な何かしらの情報（例えばメッセージID）が与えられていることになる。

情報埋め込みペンによる手書きは、物理的な紙の上から計算機に何らかの情報を提供するという点で、バーコードや透かし技術と少し似ている。これら技術は、AnotoPen<sup>(注1)</sup>やGrid Onput<sup>(注2)</sup>のようなペン型の読み取りインタフェースと組み合わせられて利用され、既にポピュラーなものとなっている。一方で、これら技術と情報埋め込みペンには大きな違いがある。すなわち、前者は計算機によって予め作っておく必要があるのに対し、後者では人間が自ら任意の時点で任意の場所にパターンを生成できる。

現在のプロトタイプにおいては、情報埋め込みの方式として、ペン先付近に装着された超小型インクジェットからの微小インクドット塗布による方法を採用している。準備段階では様々なアイデアがあったが、市販のデバイスの組み合わせで実現可能なハードウェアということで、この形態が採用された。詳細は後述するが、この塗布のパターンをモルス信号のように制

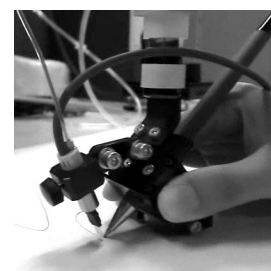


図1 情報埋め込みペンのプロトタイプ。上から Version 1 と 2



図2 情報埋め込みペンによって生成された手書きパターン

御することで、多様な情報の埋め込みを実現している。

埋め込んだ情報は、それを含む手書き全体をスキャナやカメラで画像化し、その後各種処理を施すことで復元される。簡単に言えば、その画像処理により、インクドット列を埋め込んだ順に読み取れば、情報を復元できる。この処理の最も難しい部分は、既に書き終わった手書きに対し、それがどのような順序で書かれたものかを推定する点にある。これは筆順復元と呼ばれる逆問題であり、本来容易な問題ではない。ただし、稀な筆順を除外すれば、一般的にはグラフ理論に基づく方法[6]でかなり復元できる。さらに埋め込んだ情報も併用することで、その精度をさらに向上することもできる。

以下本論文では、2., 3., 4. において、それぞれ提案する情報埋め込みペンのハードウェア構成、埋め込む情報の符号化、および画像処理による復号法について述べる。5. では、現状での埋め込み・復元の精度について述べる。また、6. では想定される応用について述べる。最後に7. では、情報埋め込みペンに関連して著者らが取り組んできた「ユニバーサルパターンプロジェクト」について紹介する。

## 2. 情報埋め込みペンのハードウェア構成

情報埋め込みペンを図1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

(注1): <http://www.anoto.co.jp/>

(注2): <http://www.gridmark.co.jp/gridonput.html>

ジェットノズル<sup>注3)</sup>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 2(a) および (b) は、実際の出力例である。インクジェットの塗布周波数をある程度まで上げる<sup>(注4)</sup>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 (a) 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。

埋め込んだ情報を抽出するためには、埋め込まれた順序通りに情報インクを読み取る必要がある。しかし、図 2 (b) 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。4. で述べる処理の多くは、こうした困難性の解消のためのものである。

### 3. 情報の埋め込み

#### 3.1 符号化の基本フォーマット

図 2 でも既に示したように、埋め込む情報は、情報インク列すなわち 20, 5, 1 回連続塗布による 3 種類のドットの系列として表される。以下ではそれぞれのドットを 20 パルスライン, 5 パルスライン, 1 パルスラインと呼ぶ。大まかに言えば、埋め込む情報は 0/1 値表現され、ビット 0 を 1 パルスライン, ビット 1 を 5 パルスラインとして紙面に塗布される。ビット間には小さな間隔をあける。20 パルスラインは一定長のビット列の区切りとして塗布される。

より詳細に言うと、情報インクによる符号化は、ビット、ブロック、およびフレームという単位から成る。ビットは最小単位であり、上述の通り単一の 1 パルスラインもしくは 5 パルスラインである。そして、幾つかのビット (図 2 (a) では 4 つ) が 1 つのブロックを成す。ブロック間には、ビット間よりも少し広い間隔を取る。さらに、幾つかのブロック (図 2 (a) では 6 つ) がフレームを成す。フレーム間には 20 パルスラインが挿入され、これがフレーム境界を表現する。以上より、図 2 (a) は、1 フレーム分の情報インクであり、0110-1010-1010-1010-0000-1100 の 6 ブロック合計 24 ビットを表していることがわかる。

#### 3.2 誤り訂正符号の導入

情報インクの抽出は様々な困難性に直面する。黒インクとの重なりや交差部の曖昧性は、既に論じた通りである。さらに筆記体の “d” のアセンダ部のように、二重に筆記される部分は、往復二回分の情報インクが重畳塗布されてしまう。筆記速度の影響で、ビット間隔が変わることもある。さらには画像処理時のノイズ等の影響もある。以上により、ドットが過剰に抽出さ

れたり、消失したり、さらには複数のドットが結合してしまったりする。

このため、埋め込みたい情報を直接ビット列表現するのではなく、誤り訂正符号を用いて冗長表現した上で、埋め込む必要がある。ただし、単純に誤り訂正符号化するだけでは不十分である。これは、ビット 0 が 1 に、ビット 1 が 0 になるという同期性を保った通常の通信路における誤りよりは、それらビットが過剰抽出・消失されるような誤りのほうが頻繁に起こるためである。例えば 8 ビット埋め込んだはずが、7 ビットしか得られず、それもどの位置で 1 ビット消失したかも不明ということがありうる。さらには、二重筆記部のようにバースト誤りが発生することもある。このように、誤り訂正の対象としては、かなり過酷なものとなる。

このため現在は、データ ID 付きの「16 進 Reed-Solomon 符号化」と「繰り返し符号化」を組み合わせている。すなわち、データを 16 進 Reed-Solomon 符号により誤り訂正符号化 (すなわち 4 ビットを単位 = ブロックとした誤り訂正符号化) し、それを何度も繰り返ししながら、情報インクとして手書きに埋め込んでいく。このとき、各ブロック (4 ビット) についてその前にそのブロックの ID (順番) を示した別のブロックを挿入する。すなわち、データとその順番をペアとして埋め込む。この ID により、Reed-Solomon 符号を順番に並べなおすことができる。そして、データ部に余剰・消失ビットによってデータブロックに誤りが発生しても、本来の誤り訂正の効果により復元できる。さらに、データは、繰り返し埋め込まれているために、余剰・消失ビットを含むデータブロックがあれば、それと同じ ID を持つ他のデータブロックと置き換えればよい。

### 4. 埋め込んだ情報の復元

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。以下ではまず、情報インク検出のための画像処理について述べ、次に埋め込まれた順序の推定について述べる。この順序推定ためには、黒インク (ストローク) の筆記運動が復元でき (筆順復元)、かつ、情報インクが黒インクのどこで塗布されたものであるかを推定できる必要がある。

#### 4.1 画像処理

画像処理は、図 3 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

(注3): 現在のプロトタイプでは、マイクロジェット社 ([www.microjet.co.jp](http://www.microjet.co.jp)) による 1 ノズルインクジェットヘッド IJHB-30 を改造したものをを用いている。現状では、このインクジェットノズルを駆動するためのパルス発生デバイスとインクが自然滴下しないための負圧発生デバイスが必要となっている。

(注4): 現在のプロトタイプでは、最高 2kHz まで上げられる。

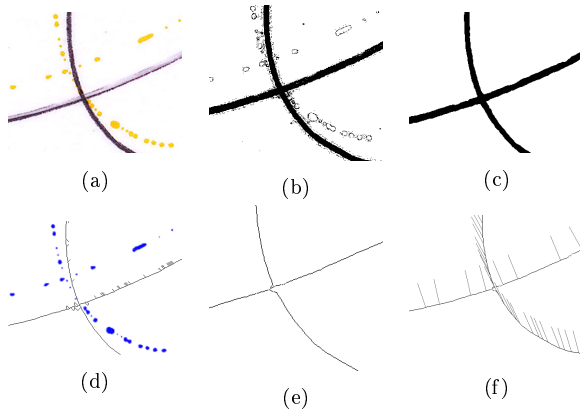


図3 画像処理による埋め込み情報インク列の抽出 [4], [5]. 例は図 2(b)の交差点

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 3(f) はその結果である。

#### 4.2 筆順復元

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加藤らの手法 [6] 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。

加藤らの手法 [6] の基本ルールは、グラフの端点から出発し、十字状の交差箇所では直進する、というシンプルなものである。ストロークに二度書き部がなければ、このルールでも筆順復元が可能である。しかし実際には “d” のアセンダ部のように二度書きは存在する。そこで、同手法では、筆順復元の前に、二度書きと判定される部分についてはグラフのエッジを二重化しておき、その上で先のルールを適用する。二度書きの判定は、当該エッジの両端点のノードの次数の偶奇性を見ればよい。

#### 4.3 復号処理

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、1, 5, 20 パルスラインのいずれであるかを決定する。そして 20 パルスラインおよびドット間の広い間隔部を用いて、それぞれフレーム単位およびブロック単位への分割に用いる。こうして得られた各ブロックに規定数以上のドットが見つければ、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、そのブロックを捨てる。

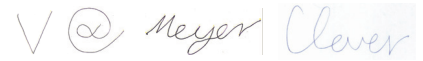
こうして得られたドット列は、正しいドット数ではあるが、依然として 0/1 の間違い (すなわち 1, 5 パルスラインの読み

表 1 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

表 2 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



間違い) を内包する可能性がある。このため、既に 3.2 で述べたように、Reed-Solomon 符号の原理により、誤り訂正復号を行う。また同節で既に述べたように、各ブロックには ID を付与しているため、上述の処理により捨てられたブロックについても、どのブロックを捨てたかがわかる場合がある。この場合は、同じ ID を持つブロックを再利用して、復号する。

### 5. 埋め込み・復元実験 [5]

情報埋め込みペン (プロトタイプ Version 1) 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、その他、ブロック長、フレーム長、パルスライン長などの諸元は、既に本文中で述べた通りである。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、市販のスカナを用いた<sup>(注5)</sup>。

表 1 は、長さ 5 cm 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、埋め込んだ情報長を 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。すなわち、5cm の手書きで  $2^{32} \sim 4 \times 10^9$  の異なる ID 付けが可能である。ちなみに、IP アドレス (IPv4) は 32 ビット、MAC アドレスは 48 ビット、C 言語の time\_t 型 (1970 年 1 月 1 日 0 時からの経過秒数) は 32 ビット、日本の人口は約  $1.3 \times 10^8$ 、世界人口は約  $6.9 \times 10^9$  である。

表 2 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  $3 \times 3$  cm、残りは  $4 \times 3$  cm 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

(注5): デジタルカメラで画像取得しても、同程度の復元精度が得られることが、別の実験で確認されている。

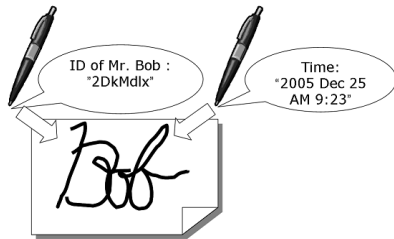


図 4 利用例 1: 署名への筆記者・筆記時刻埋め込み

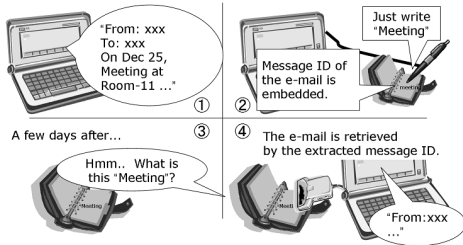


図 5 利用例 2: 手書きとサイバー空間とのリンク

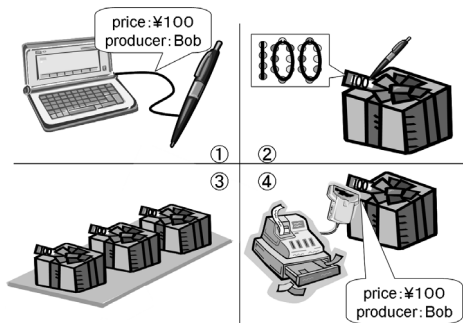


図 6 利用例 3: 手書き ID タグ



図 7 クラス情報を埋め込んだ文字フォント [7], [8]

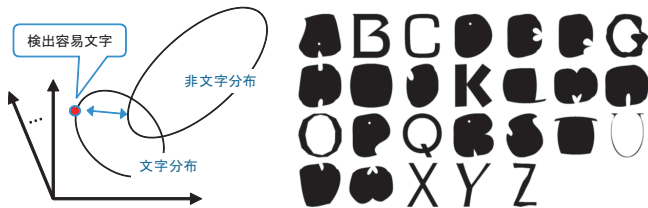


図 8 検出容易な文字フォント [12]

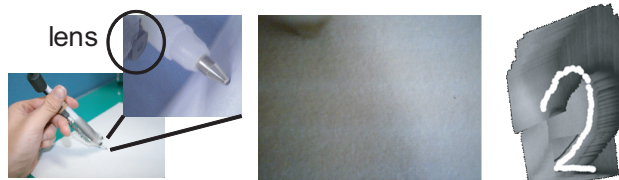


図 9 紙紋を使ったカメラ付きペン [13]. 左: 構造. 中央: 撮影された紙紋. 右: ビデオモザイクの結果

ていることの証左にもなっている。

## 6. 情報埋め込みペンの利用先

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、マンマシンインターフェー

スとして様々な場面に活用できるようになる。図 4 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 5 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ーフェースとして、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 6 は、物品の梱包表面や付随する紙タグに手書きする例である。このように、「手書きはどこにでもできる」という特性を活かすことで、紙だけに限定されることなく、様々な物理的の実体に対しても情報を埋め込むことができる。これもタブレットやアノトペンといったペンデバイスとは異なった機能である。

## 7. 関連する試み — ユニバーサルパターンの実現に向けて

本稿の著者のうち Liwicki 博士を除く 4 人は、2004 年 7 月から、「ユニバーサルパターンプロジェクト」なる大学間共同研究を実施している。このプロジェクトは、既に成熟したように誤解されてしまっている文字認識や文書画像処理研究に危機感を持つことに端を発した。このため、同研究分野の一般的な問題設定や方法論とは敢えて異なる視点から、同分野の範囲拡大を狙ってきた。本稿で取り上げた情報埋め込みペンについても、同プロジェクトの一環として案出され、プロトタイプ作成に至ったものである。

同プロジェクトでは、情報埋め込みペン以外にも、人間と機械の融和を目指した文字フォントならびにその基本技術としての不変量埋め込みと文字認識・文書画像処理への応用について、様々な検討を重ねて来た。以下ではそれらのうち、特に当研究会と関連があるものについて概観する。

### 7.1 クラス情報を埋め込んだ文字フォントデザイン

ユニバーサルパターンプロジェクトの主眼の一つは、人間可読かつ計算機可読のパターンの生成である。例えば一般的な文字は人間可読であるが、計算機可読ではない。一方で、QRコードのような 2 次元コードは計算機可読ではあるが人間可読ではない。人間にも計算機にも可読なパターンができれば、人間と計算機間のインタラクションの高信頼なメディアとして利用できる。

そこで、印刷するフォントにあらかじめその文字がなんであるかという情報を埋め込む試みを行った [7], [8]。図 7 はその 2 例である。左側のものは背景の濃淡値を平行線状に変化させており、その平行線の幅により計算される複比により、クラス情報を埋め込んでいる。平行線のパターンをクラスごとに変えることで、計算される複比も変わる。すなわちクラスと複比の値の対応表を持っておけば、計算機側としては複比を求めただけでクラスがわかる。右側は影つきフォントである。こちらも、文字線部の面積と影部の面積の比 (面積比) をクラスごとに覚えておけばよい。

ここで複比や面積比という変形不変量を埋め込んでいる点は重要である。これは例えばカメラ等で文字を撮影することで射影変換ひずみが生じたとしても、複比ならば問題なく正しいクラス情報を抽出できるためである。面積比は射影不変ではないがアフィン不変ではある。この幾何変形耐性が、古典的な計算機可読フォントである MICR フォントや、Xerox 社の DataGlyph, および岡本-宮崎による文字への情報埋め込みに関する先駆例 [9] に対する優位性である。

なお、どのクラスにどの不変量の値を埋め込むかについても一考の余地がある [10], [11]。すなわち、元々埋め込み情報を使わなくてもまず誤認識することがないようなペアについては、同じ値の不変量を埋め込んでよい。逆に誤認識が頻繁に生じるようなクラス対には異なる値である必要がある。このように、不変量を埋め込む場合は、元々のクラス間の混合行列を求めた上での議論が必要になる。

## 7.2 検出容易な文字パターン生成

明示的な情報埋め込みではないが、文字フォントに特殊な機能を持たせる他の試みとして、検出容易な文字パターン生成 [12] がある。これは、環境中においてその周囲と異なった性質を文字に持たせることで、その文字を目立たせ、計算機が見つけやすくする試みである。

検出容易な文字の定義としては、図 8 左側にあるように、何らかの特徴空間において、文字分布の中にありながら、非文字分布からは一番通いものとした。特徴空間として色を考えれば、おそらくショッキングピンクの色を持った文字が一番ふさわしうのだが、我々の興味は検出容易な文字の「形状」であったので、文字形状を表す特徴空間（具体的には文字認識でよく使われる方向特徴）において同実験を行った。

図 8 右側が、約 500 種類のフォントの中で、各クラスにおいて最も検出容易なものとして選出されたものである。上述の定義において、人間にとっての可読性が考慮されていないため、奇妙なフォントが選ばれているが、よく見ると共通した傾向があることがわかる。すなわち、円弧を多く含んでいるという傾向である。これは、環境中の非文字の部分に（他の形状に比べて）円弧が少ないことに起因すると考えられる。現状では文字の選出であり、生成ではないが、生成するとすれば、円弧に多い文字としたほうが計算機にとって検出容易であると言える。

## 7.3 紙面の情報を使ったカメラ付きペン

紙面の微細構造（紙紋）や紙面に印刷された文字を、あらかじめ紙面に埋め込まれたパターンのように考えて利用する研究も行っている [13], [14]。具体的には、ペン先に超小型ビデオカメラを装着したもの（カメラ付きペン）を準備する。そして、ビデオから入ってくる紙紋や文字の動きを手掛かりに、ペンがどう動いたか、すなわちどのような手書きが紙面になされたかを推定する。原理としては光学式マウスと同じであるが、マウスのように光学的に閉じた環境では無いため、様々な外乱に対する頑健性が必要となる。

図 9 は紙紋のみを用いた場合の実施例である [13]。同図右にあるように、ペンの動き（移動だけでなく傾きや回転も含む）がわかれば、それから手書きを復元することもできる。

## 8. ま と め

著者らによるユニバーサルパターンプロジェクトでは、紙とペンで生成される通常の手書きに、リアルタイムに多様な情報を埋め込むペンを提案している。プロトタイプを作成し、現状では 5cm 程度の手書きに 32 ビット程度の情報を誤りなく埋め込み・復元できることを確認している。同プロジェクトに係る他の試みについても幾つか紹介した。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究 (B) 「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-」、挑戦的萌芽研究「ImPen:画像の検索・位置決めと再構成による新しいペン型インタフェース」）、およびマイクロソフト知的財産研究助成基金（「筆記による知的財産—手書きコンテンツ—に対する著作権保護に関する研究」）によった。また Liwicki 博士の招へいは、日本学術振興会の外国人特別研究員（欧米短期）制度に依った。情報埋め込みペンのプロトタイプ作成にあたっては、株式会社マイクロジェット、株式会社リコー、日立中央研究所にご協力・ご尽力頂いた。ここに深謝する。

## 文 献

- [1] 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.
- [2] S. Uchida, K. Tanaka, M. Iwamura, S. Omachi, and K. Kise, “A Data-Embedding Pen,” Proc. IWFHR, 2006.
- [3] 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.
- [4] M. Liwicki, S. Uchida, M. Iwamura, S. Omachi and K. Kise, “Data-Embedding Pen — Augmenting Ink Strokes with Meta-Information,” Proc. DAS, 2010.
- [5] —, “Embedding Meta-Information in Handwriting — Reed-Solomon for Reliable Error Correction,” Proc. ICFHR, 2010.
- [6] Y. Kato and M. Yasuhara, “Recovery of Drawing Order from Single-Stroke Handwriting Images,” IEEE Trans. PAMI, vol. 22, no. 9, pp. 938-949, 2000.
- [7] 内田誠一, 岩村雅一, 大町真一郎, 黄瀬浩一, “カメラによる文字認識のためのカテゴリ-情報の埋込に関する検討,” 信学論, vol. J89-D, no. 2, pp. 344-352, 2006.
- [8] 大町真一郎, 岩村雅一, 内田誠一, 黄瀬浩一, “実環境文字認識のための面積比による付加情報埋込,” 信学論, vol. J90-D, no. 12, pp. 3246-3256, 2007.
- [9] 岡本晃宏, 宮崎明雄, “モルフォロジカル信号処理を利用した電子透かし方式,” 信学論, vol. J84-A, no. 8, pp. 1037-1044, 2001.
- [10] 岩村雅一, 内田誠一, 大町真一郎, 黄瀬浩一, “付加情報を用いるパターン認識,” 信学論, vol. J90-D, no. 2, pp. 460-470, 2007.
- [11] 岩村雅一, 古谷嘉男, 黄瀬浩一, 大町真一郎, 内田誠一, “付加情報の一般的な割り当て,” 信学論, vol. J93-D, no. 5, pp. 579-587, 2010.
- [12] S. Uchida, R. Hattori, M. Iwamura, S. Omachi and K. Kise, “Conspicuous Character Patterns,” Proc. ICDAR, 2009.
- [13] 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,” 信学論, vol. J93-D, no. 1, pp. 64-67, 2010.
- [14] K. Iwata, K. Kise, M. Iwamura, S. Uchida and S. Omachi, “Tracking and Retrieval of Pen Tip Positions for an Intelligent Camera Pen,” Proc. ICFHR, 2010.