

手書きパターンへの情報埋め込みと情報抽出

田中 一弘[†] 内田 誠一^{††} 岩村 雅一^{†††} 大町真一郎^{††††} 黄瀬 浩一^{†††}

[†] 九州大学工学部電気情報工学科

^{††} 九州大学大学院システム情報科学研究所 〒 812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1

^{†††} 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

^{††††} 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: uchida@is.kyushu-u.ac.jp

あらまし 本研究では、情報埋め込み技術を用いることで、紙とペンで生成される手書きパターンの価値を高めることを目標とする。本報告ではそのために想定しているハードウェア、ならびに情報埋め込み・抽出手段、応用先について述べる。さらに、情報抽出の際の中心的問題になる筆順復元について検討する。この筆順復元については、情報が埋め込みされているという本手書きパターン特有の状況を活用することで、高精度化が可能であることを示す。

キーワード 情報埋め込み、手書きパターン、筆順復元、不可視インク

On-line data embedding into handwriting patterns

Kazuhiro TANAKA[†], Seiichi UCHIDA^{††}, Masakazu IWAMURA^{†††}, Shinichiro OMACHI^{††††}, and
Koichi KISE^{†††}

[†] Department of Electrical Engineering and Computer Science, Kyushu University

^{††} Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University
Hakozaki 6-10-1, Higashi-ku, Fukuoka-shi, 812-8581 Japan

^{†††} Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University Sakai-shi, Osaka, 599-8531 Japan

^{††††} Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai-shi, 980-8579 Japan

E-mail: uchida@is.kyushu-u.ac.jp

Abstract In order to use handwritings as a universal man-machine interface, we assume a pen device — data-embedding pen — which can embed digital data into a handwriting by invisible ink in a real-time manner. This paper discusses the system design, application, and required technologies around the data-embedding pen. Especially, a novel stroke recovery algorithm is proposed for retrieving the embedded data along writing order. In the algorithm, embedded data is used to help the recovery. A simulation experiment showed that the algorithm can attain high accuracy on the stroke recovery and the data retrieval.

Key words data embedding, handwritings, stroke recovery, invisible ink

1. ま え が き

本研究では、情報埋め込み技術を用いることで、紙とペンで生成される手書きパターンの価値を、飛躍的に高めることを目標とする。具体的には、手書きパターンという非電子的メディアの電子的管理（具体的には検索やID付け）や、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の活用を目指す。

情報埋め込みは独特のペン — データ埋め込みペン — を介して筆記時にリアルタイムに行なわれる。具体的には、運筆に

従ってペン先から黒インクを出すだけでなく、ペン先付近のノズルからデータを表現するインクを間欠的に噴射する。この噴射のパターンを制御することで、多様なデータの埋め込みを実現する。データを表現するインクとして、黒インクとは区別可能なもの、例えば不可視インクを用いる。これは、埋め込みデータの分離抽出を容易にするためである。

紙とペンによる手書きパターンの電子的利用に関しては、あまり類例がない。電子タブレット上での手書きパターンを計算機に入力することは広く行なわれているが、手書き時に計算機が必要であり自由度が著しく低い。アノトペンは、紙上での運

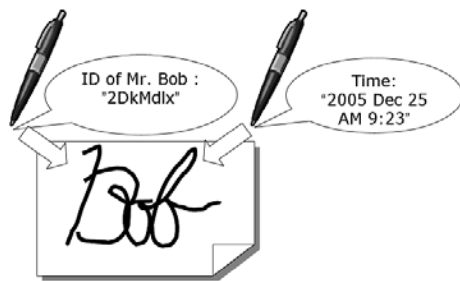


図 1 利用例 1：署名への筆記者・筆記時刻埋め込み

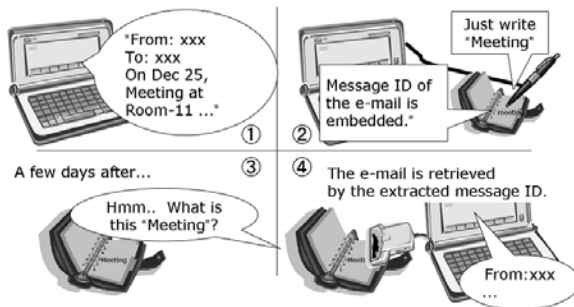


図 2 利用例 2：手書きとサイバー空間とのリンク

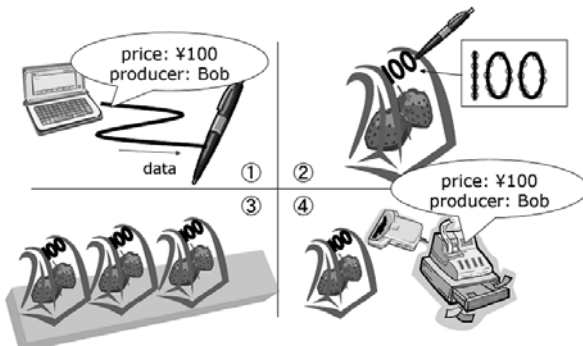


図 3 利用例 3：手書きバーコード

筆情報を小型カメラ内蔵のペンで捕捉する最近の技術であるが、使用する紙も特殊なものに限定される。サインを対象とした個人同定技術も広い意味では手書きパターンの電子的管理であるが、サインの形状だけを頼りに筆記者を同定するには限界がある。本研究は、紙とペンという手書きの自由度をそのままに、これら従来法の持つ欠点を回避しようものと考えている。

以下、2. では、データ埋め込みペンについて、その構造、利用例、ならびに情報埋め込み、情報抽出などの技術的課題を概観する。3. では、技術的課題の一つである情報抽出に関して詳細を述べる。具体的には、情報抽出のための筆順復元問題について、基本アルゴリズムを論じた後に、データ埋め込みペン特有の能力を利用して、その筆順復元精度を向上する方法を提案する。4. では、3. の筆順復元方法のシミュレーション実験結果を示し、5. ではまとめと今後の課題について述べる。

2. データ埋め込みペン

2.1 用途

1. でも述べたが、手書きパターンに様々なデータが埋め込められるようになると、手書きパターンを電子的に管理したり、マン

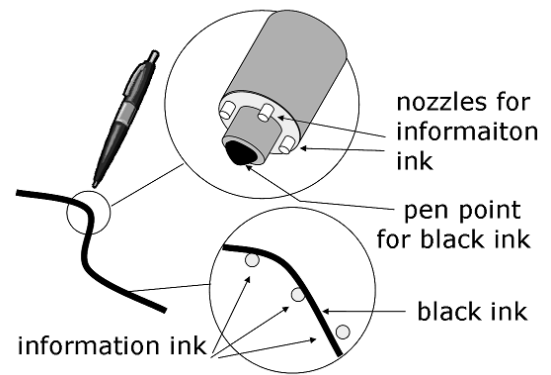


図 4 想定するデータ埋め込みペン

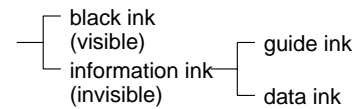


図 5 インク種別

マシンインタフェースとして活用できるようになる。データ埋め込みペンのこうした使用例を図 1-3 に示す。

図 1 は、データ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 3 は、データ埋め込みペンによる手書きバーコードの実現である。価格や生産者などを手書きパターンに埋め込んでおくことで、通常のバーコードと同様の使用が可能になる。最大の特徴は人間可読性である。すなわち、従来のバーコードが人間には可読ではなかったのに対し、手書きバーコードは、手書きパターンとして文字を用いることで、人間にも可読になる。なお、この手書きバーコードにより、市場を流通する物品とサイバー空間の手書きによるリンクが可能になる。例えば、ある物品の梱包表面に、ID や生産者、生産日時といった情報を埋め込んだ手書きパターンを書き込んでおく。その結果、その物品には手書きパターンを介してそれらの情報が付与されたことになり、従って電子的に管理され得ることになる。これは「手書きによる ID タグ」と言える。

2.2 ペンの構造

本研究では、図 4 に示すデータ埋め込みペンの開発を目指している。このペンはその先端部から少なくとも 2 種類のインクを出す(図 5)。ひとつは通常の筆記具と同様の黒インクであり、他のひとつはデータを埋め込むためのインク(情報インク)である。黒インクはボールペンと同様、紙に接することで塗布される。情報インクはインクジェットプリンタと同様、紙と接す

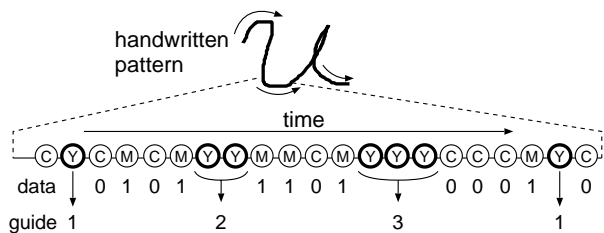


図 6 情報インクの噴射パターンの例．C/M/Y は不可視インクの発光時の色を表す．

ることなくノズルから噴射されるものとする．さらにこの情報インクの噴射は間欠的なものとする．2.4 にて詳述されるように，その噴射パターンを以ってデータを表現する．筆記後，ハンドヘルドスキャナやカメラにより情報インクの噴射パターンを読み取ることで，埋め込んだ情報を復元する．

2.3 不可視インク

情報インクは必ずしも人間に見える必要はない．むしろ見えないほうが，手書きパターン之美観を損ねず都合がよい．そこで本報告では，情報インクとして不可視インク [1] を想定する．不可視インクは，可視光下では無色透明であり，その名の通り目に見えないが，ブラックライト等により紫外線を照射することで可視光域で蛍光発光する．その発光時の色には，可視インクと同様，CMY の 3 原色がある．さらにそれらの混色も可能である．既に一般に供用されており，例えば，郵便物表面に区分管理のためのバーコードを印刷する際に利用されている．

2.4 情報埋め込み

2.4.1 データインクとガイドインク

前述のようにデータ埋め込みは情報インクの噴射パターンを制御することで実現される．図 5 に示すように情報インクは，データインクとガイドインクに区別される．データインクは埋め込むデータを表現する．一方，ガイドインクはデータの読み取り順序，すなわち手書きパターンの筆記方向を表現する．データインクとガイドインクは両者とも不可視インクであり，発光色によって区別できるようにしておく．なお，他にも噴射半径の大小や噴射形状による区別も考えられる．

2.4.2 基本的な埋め込みフォーマット

図 6 は，情報インクの噴射パターンの単純な例である．データインクには C(シアン) と M(マゼンダ)，ガイドインクには Y(イエロー) の不可視インクを利用して区別している．1 つのデータインクで，1 ビットデータを表現する．同図では $C \rightarrow 0$ ， $M \rightarrow 1$ としている．ガイドインクは， N ビットのデータインク列 (本報告では $N = 4$) の区切りとして噴射される．1~3 個の組からなり，それが 1 個 2 個 3 個 1 個 2 個... のように繰り返す．上述のようにガイドインクの役割はストロークの筆記方向の表現である．すなわち，ガイドインクが 1 個 2 個 3 個となる方向は正しく，逆に 3 個 2 個 1 個となる方向は間違っていると判断できる．

2.5 情報抽出

2.5.1 情報インク抽出

情報インクとして不可視インクを用いた場合，情報抽出には

紫外線 (ブラックライト) 照射下で撮像・スキャンされた画像から，シアン，マゼンダ，イエローのインクドットを抽出する必要がある．情報インクは黒インクによるストローク付近に存在することは利用できるであろう．紫外線照射により，用紙内の漂白剤成分が青く蛍光することもあり，それを考慮したしきい値設定が必要となる．

2.5.2 筆順復元

こうして情報インク位置がわかった後，それらを筆記順序に従って並べなおす必要がある．情報インクは黒インクの筆記に従って噴射されたものであるから，その並べなおしの問題は，黒インクによる手書きパターンの筆記順序を復元する問題と等価である．この点については次章以降で具体的な方法を示す．

2.5.3 信頼できないデータの削除および補完

もし完全な筆順復元が可能だったとしても，すべての情報インクが抽出できるわけではない．すなわち，2 度書き部分や交点においては，2 つのストロークに付随する情報インクが混在してしまい，正しい抽出は困難である．よって，筆順復元時に 2 度書き部を同定し，その部分の情報インクについては削除する必要がある．さらに削除した部分を補完する必要がある．この補完のためには，(i) 埋め込みデータをあらかじめ誤り訂正符号により符号化した後にデータインクとして表現する，もしくは (ii) 同じ情報を繰り返してストローク内に埋め込む，といった対処が必要となる．

3. 情報インクを援用した筆順復元

筆記順序情報が失われた画像としての手書きパターンから，筆記順序を復元する技術は筆順復元 (ストロークリカバリ) と呼ばれ，手書き文字認識の分野において検討されている．筆順復元の問題は，結果 (画像) を見て入力 (筆順) を推定するという逆問題であり，一般には困難である．そこで従来の筆順復元法の多くは，ヒューリスティクスを利用するなどの様々な工夫により問題を解き易くしている．3.1 では，こうした筆順復元法の一つとして加藤らの手法 [2], [3] (以下，基本アルゴリズムと呼ぶ) を紹介する．しかし，そうした工夫があっても，依然として復元精度には本質的に限界がある．例えば，単純なパターン「」でも，始端・終端が区別できない限り，筆記方向を完全に同定することはできない．その他の限界については 3.2 にて述べる．

このように筆順復元問題は黒インクだけでは解けないが，本研究では情報埋め込みペン特有の情報インクを積極的に活用することで解決を図る．具体的には，前述のガイドインクを利用することで，従来確定できなかった筆記方向を確定する．その具体的な方法については，3.3 で述べる．

なお，基本とする筆順復元法として文献 [2], [3] 以外のアルゴリズムも利用できる．実際，文献 [6] では，動的計画法 (DP) に基づく最適経路探索型の筆順復元法に対して，情報インクの援用が検討されている．

3.1 基本アルゴリズム [2], [3]

基本アルゴリズムは図 7 に示すように幾つかの処理を段階的に実行するように構成されている．以下ではそれら各処理につ

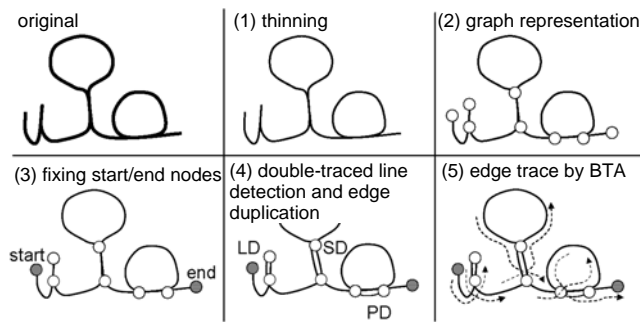


図7 基本アルゴリズムの流れ

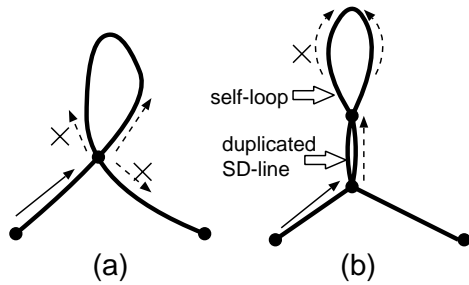


図8 Basic Trace Algorithm の戦略

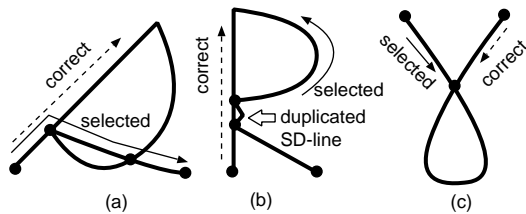


図9 基本アルゴリズムの限界

いて述べる。

3.1.1 手書きパターンのグラフ表現

基本アルゴリズムでは、1画で書かれた手書きパターン(黒インクによるパターン)をまず細線化し、その後グラフ表現する。グラフ表現においては、ストロークの交点もしくは端点がグラフのノードになり、2つの交/端点間のストロークがエッジになる。1つのエッジには、2度書き部分に対応している可能性もある。ノードの次数としては、1, 3, 4が想定される。次数1のノードは端点であり、4は交点である。次数3のノードも交点であるが、2ストロークがX状に交差した際に生じる単純な交点(この次数は4)ではなく、多くの場合、2度書き部分の開始点もしくは終了点に対応する。

なお、グラフ化の際、細線化の影響により、交点付近において近接したノードが多数発生する場合がある。これを排除するため、基本アルゴリズムでは近傍ノードのクラスタ化が推奨されている。このクラスタ化とは、具体的には、ある半径内に存在する複数ノードを一つにまとめる処理を指す。

3.1.2 始端・終端の決定

次数1のノードのうち2つを、それぞれ始端(書き始め)、終端(書き終わり)として選択する。この選択すべきノードは自明ではない。例えば“d”の頂点のように、始・終端でなくとも次数1のノードは存在しうる。また始・終端両者の区別も不

可能である。文献[2],[3]では、 $M P_2$ 通り(M は次数1のノード数)のすべての場合について、総当り的に以下の処理による筆順復元を試み、それらの中で最も妥当な結果を(曲率変化の少なかったものを)選択することを推奨している。

3.1.3 2度書き部分の検出

完全な筆順復元のためには、2度書き部分に対応するエッジを検出する必要がある。2度書き部分はLDライン、SDライン、PDラインの3種類に大別される(図7参照)。(i) LDラインは始点と終点以外の次数1のノードと次数3のノードにはさまれた辺、(ii) SDラインは自己ループのある次数3のノードと他の次数3のノードにはさまれた辺、(iii) PDライン: ある次数3のノードと他の次数3のノードにはさまれる辺が2本あるときの短いほうの辺、として定義されている。これらいずれの2度書き部分も奇数次数のノードを手がかりとして検出できる。

こうして検出されたエッジは、筆順復元の際に2回通るべきエッジである。したがって、次のBTAアルゴリズムを適用する前に、あらかじめ二重化しておく。

3.1.4 Basic Trace Algorithm (BTA) による筆順復元

BTAとは、グラフ上のすべてのエッジを通る道、すなわち筆順復元結果を与えるアルゴリズムである。こうした道は必ず存在する。なぜなら、2度書き部エッジの2重化により、始・終端以外のノードはすべて偶数次数になっているためである。こうしたグラフは半オイラーグラフと呼ばれ、グラフのすべてのエッジを1度だけ通る道を持つことが知られている。

BTAでは、始端から終端に到達するまで、偶数次数ノードでのエッジ選択を繰り返すことで、上述の道を見つける。そのエッジ選択の戦略は、図8(a)のように、今来たエッジを除くエッジ(次数4なら3つのエッジ)のうち、真ん中のエッジを採用するというものである。すなわち交差では直進するという戦略である。また、SDラインの自己ループに対応するエッジについては本質的に方向不定であるため、常に図8(b)の方向を採用する。他にPDラインについても固有の戦略があるが[3]、ここでは略する。

3.2 基本アルゴリズムの限界

基本アルゴリズムは、多くの場合において妥当な結果を与える。しかしながら、次のような問題点もある。

(1) 交差直進戦略の限界(図9(a)): 偶数次数のノードでは中央のエッジを選択するという戦略(図8(a))が、正しくない場合がある。

(2) 部分的な筆記方向の不定性(図9(b)): SDラインの自己ループの筆記方向決定戦略(図8(b))が正しくない場合がある。

(3) 全体的な筆記方向の不定性(図9(c)): 始・終端を逆に間違っても筆順復元は可能であるが、全く逆の筆記方向が求まる。

PD-ラインについても、特殊な状況では、誤った結果を出力する可能性がある。

最近、加藤らの方法に対する幾つかの改良が提案されている[4],[5]。例えば、文献[5]では3度以上の重ね書きを許すための改良がなされている。また文献[4],[5]では次数6以上の



図 10 筆順復元の結果例

ノードに対する対処法が提案されている．しかし，繰り返し述べているように，こうした対処法を用いても，パターン「 \square 」の例が端的に示すように，筆順復元問題の本質的な曖昧性を解消することはできない．

3.3 情報インクの援用による高精度化

本報告では，情報インクを援用することで，前節の問題点を緩和する方法を提案する．まず問題(1)に対しては，偶数次数のノードに来たとき，現在のエッジにおける情報インクのパターン系列を観察し，それと連結可能なパターン系列を持つエッジを後続候補の中から選ばばよい．問題(2)に対しては，自己ループ部分の筆記方向をその部分のガイドインクから判定すればよい．問題(3)も同様に各エッジにおける筆記方向をガイドインクから判別すればよい．このように，データ埋め込みペン特有の能力を利用して，筆順復元精度を向上できる．

4. シミュレーション実験

本章では，筆順復元のシミュレーション実験の結果について述べる．特に，3.3で述べたような情報インクによる高精度化の可能性に着目しながら，筆順復元能力ならびに情報抽出成功率を評価する．

4.1 実験試料

本実験では，実際の紙の上の手書きパターンおよび情報インクではなく，タブレットを介して得られたオンラインパターンを元のデータとする．このオンラインパターンを画像化したものを，筆順復元アルゴリズムのテストデータとして利用した．元々オンラインパターンなので，筆順復元の正解データは既知とできる．

実験資料として，6名の筆者による英語アルファベットの大・小文字全52文字種のデータ，計312パターンを利用した．上述のように筆記にはタブレットを用いた．大きさは文字種によって様々であるが，平均的には 250×250 画素程度であった．

シミュレーション実験ということで，すべての情報インク位置を既知とした．具体的には，オンラインパターンの筆点に

沿って n 画素間隔で1ドットのデータインクもしくはガイドインクが埋め込まれていると想定した．データインク，ガイドインクの埋め込みフォーマットは2.4.2の通りである．このときのデータ埋め込み量は，ストロークを構成する画素の数を N とすると， $(12N)/(18n)$ bitである．例えば， $N = 750$ ， $n = 10$ の場合，50bitの埋め込みが可能である．

4.2 実験結果

4.2.1 筆順復元結果

前出の312パターンすべてに細線化を行ない，さらにグラフ表現した．本実験では画像化の際にストローク幅を1としたが，それでもストローク交差等の存在により，細線化の必要があった．9パターンについては，細線化ならびにクラスタ化の悪影響により，基本アルゴリズムでは想定されていない次数5のノードが発生したため，以下の実験ではこれらを除外した．したがって，以下では303個の手書きパターンを用いている．

始・終端は既知として，筆順復元を行い，その結果を目視することで筆順復元成功率を求めた．情報インクを利用しない場合，すなわち基本アルゴリズムでは，303個のうち293(96.7%)の文字パターンの筆順復元に成功していた．一方，情報インクを援用した場合，成功率の向上が見られた．具体的には，筆順復元が成功したパターン数は，インク間隔 $n = 3, 5, 7, 9$ についてそれぞれ296(97.7%)，296(97.7%)，299(98.7%)，298(98.3%)となった．このことから，情報インクを援用することの効果がわかる．

図10は，筆順復元結果例である．全7パターンのうち，左の4つは基本アルゴリズムでも成功したパターン，右の3つは本手法でのみ成功したパターンである．後者のうち最初のものは図9(b)に示した自己ループの筆記方向決定戦略の失敗を，残る2つは図9(a)に示した交差直進戦略の失敗を，それぞれ情報インクの利用で成功に転じた例である．

なお今回は，基本アルゴリズムでも正解が得られやすい問題設定となっている．これは，(i)書き始め書き終わりを既知としており，全体的な筆記方向の不定性がない，(ii)ストローク

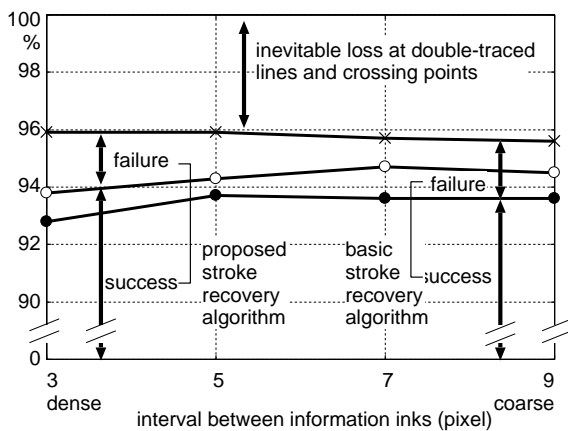


図 11 情報抽出成功抽出率

は基本的に太さ 1 であり、そのため 2 度書き部が少ない、また (iii) 1 画パターンのみを対象としている、という理由による。これらを考慮すると、実際の問題においては、情報インクを援用する本手法の有用性はさらに増加するものと期待される。

4.2.2 情報抽出成功率

埋め込まれた情報は、復元された筆順に従って情報インクを読み取ることで抽出される。今回のシミュレーション実験において、情報抽出の失敗要因は、次の 2 種類に分類される。

- 2 重書き部および交差部：筆記 2 回分の情報インクが混在するため、データを読み誤る。
- 筆順復元の失敗：誤って逆の筆記方向が復元されると、その部分のデータを読み誤る。

第 1 の要因は不可避である。一方、第 2 の要因は筆順復元の精度を向上させることで、小さくできる。なお実際問題においては以上に加え、画像中のドット検出ミスも失敗要因になる。

図 11 に、情報インクが n 画素間隔で噴射されたときの、情報抽出率を示す。ここで情報抽出成功率とは、全情報インクドットのうちで、上の 2 種類の失敗部分に含まれなかったものの割合である。この図から、94~95% 程度の情報インクが正しく抽出できることがわかる。また、情報インクを援用した本手法のほうが、基本アルゴリズムよりも情報抽出精度は高いと言える。なお、全データのうちおよそ 4% は 2 度書き部や交差部にあり復元できないこともわかる。すなわち 4% のデータが欠損することとなる。その補完は今後の課題の一つである。

5. まとめと今後の課題

本報告では、手書きパターンにリアルタイムに情報を埋め込むことが可能なペン — データ埋め込みペン — について、想定しているハードウェア、情報埋め込み・抽出手段、応用先について述べた。さらに情報抽出の際の中心的問題になる筆順復元について、情報が埋め込みされているという本手書きパターン特有の状況を利用することで、従来の黒インク単独の場合より、精度の高い筆順復元が可能であることを示した。

本研究には、データ埋め込みペンの開発を最終目標として、まだ多くの課題が残されている。

- カメラで撮影した手書きパターンを用いた各種検討： プ

リントを使って筆記パターンを作成し、それをカメラで撮影した画像を対象として情報インク抽出等の各種検討を行なう。具体的には、不可視インクをカートリッジに装填したインクジェットプリンタでパターンを作成し、それをを用いて、情報インクのドットの大きさ（噴射半径）や間隔の検討や、ドット抽出の際のしきい値設定に関する検討を行なう。また、ストロークの太さの影響についても検討する必要がある。

- 多画パターンへの拡張： 今回の筆順復元アルゴリズムは、1 画パターンのみを扱う手法であった。今後は複数画からなるパターンを対象とした、画分解ならびに各画の筆順復元を行なうアルゴリズムを構築する。

- 埋め込みフォーマット： 本報告では 2 度書き等によるデータ欠損の影響について考慮していない。実際には、データ欠損を補完するような仕組みがあり、したがって誤り訂正符号などの導入が必要と考えられる。

- 埋め込みの高密度化： 図 6 の噴射パターンは、一定時間間隔で CMY のいずれか 1 つのインクを 1 点噴射する単純な例であるが、より高度な噴射パターンも可能である。例えば、CMY の組み合わせ (CM/CY/MY/CMY) を一度に噴射させ、それらに異なった意味を持たせることも可能である。噴射ノズルを CMY それぞれに複数持たせることで、組み合わせをさらに複雑化することも考えられる。一方で、ハードウェアの制約や検出の困難さから、CMY3 のうち 2 色だけが利用可能な場合もあろう。その場合も噴射パターンを工夫することで対応できるものと考えられる。

謝辞： 不可視インクの利用については、大日本塗料株式会社スペシャルティ事業部の須川哲夫様、シンロイヒ株式会社技術部の新倉誠司様、良質設計株式会社の渡邊健二様、株式会社ダイコーの大野裕史様にご協力賜りました。ここに深く感謝致します。また本研究の一部は、H17 年度公益信託マイクロソフト知的財産研究助成基金研究助成によった。

文 献

- [1] 須川哲夫, 中津克隆, 城田常雄, “インビジブルインクの開発,” 大日本塗料株式会社 DNT コーティング技報, no. 4, pp.42-44, 2004.
- [2] 加藤美治, 保原 信, “手書き文字の筆順復元,” 情報処理学会第 56 回全国大会, 1P-4, 1998.
- [3] Y. Kato and M. Yasuhara, “Recovery of drawing order from single-stroke handwriting images,” IEEE Trans. Pat. Anal. Mach. Intell., vol. 22, no. 9, pp.938-949, 2000.
- [4] Y. Qiao, M. Nishihara, and M. Yasuhara, “A novel approach to recover writing order from single stroke offline handwritten images,” Proc. ICDAR, vol. 1 of 2, pp. 227-231, 2005.
- [5] L. Rousseau, É. Anquetil, and J. Camillerapp, “Recovery of a drawing order from off-line isolated letters dedicated to on-line recognition,” Proc. ICDAR, vol. 2 of 2, pp. 1121-1125, 2005.
- [6] 田中一弘, 内田誠一, 岩村雅一, 大町真一郎, 黄瀬浩一, “ペン型デバイスによる手書きパターンへの情報埋め込みと情報抽出 — 情報抽出のためのストロークリカバリに関する一検討 —,” 電気関係学会九州支部連合大会講演論文集, 13-2P-11, 2005.