

特徴追跡と文書画像検索を用いたカメラペンシステム

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

[†] 大阪府立大学大学院 工学研究科 〒 599-8531 大阪府堺市中央区学園町 1-1

^{††} 九州大学大学院 システム情報科学研究院 〒 819-0395 福岡市西区元岡 744

^{†††} 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: tiwata@m.cs.osakafu-u.ac.jp, ††{kise,masa}@cs.osakafu-u.ac.jp, †††uchida@ait.kyushu-u.ac.jp,
†††machi@ecei.tohoku.ac.jp

あらまし 本研究では、ペンにカメラを搭載し画像処理をすることで、筆跡をデジタルデータとして取得する手法を提案する。筆記には、単純な白紙へのメモ書きや、文書への下線などの文書に情報を加えるものがある。そこで、白紙において筆跡の復元可能で、かつ文書領域では筆記対象の文書名や文書中の位置を特定できる必要がある。この要求を実現するため、本研究では、既に提案されている白紙に対応する手法と文書画像検索が可能な手法を統合する。統合の際の大きな問題は、両手法で処理に必要な撮影範囲が大幅に異なる点（前者は狭く、後者は広い）である。この問題に対処するため、提案手法では画像モザイクングを導入する。筆跡の復元は、前者の手法により紙の凹凸や印刷文字から得られる SURF 特徴点の追跡により実現する。同時に、SURF 特徴点を用いたモザイクングにより画像を貼り合わせる。十分な大きさの領域が得られると、後者の手法により文書画像を検索し筆跡を文書に対応付ける。本稿では、復元された筆記を実験により評価するとともに、今後の課題についても考察する。

キーワード 文書画像処理, LLAH, SURF, 手書きパターン, カメラペンシステム

Camera Pen System Using Feature Tracking and Document Image Retrieval

Kazumasa IWATA[†], Koichi KISE[†], Msakazu IWAMURA[†], Seiichi UCHIDA^{††}, and Shinichiro OMACHI^{†††}

[†] Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University

^{††} Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

^{†††} Graduate School of Engineering, Tohoku University

E-mail: tiwata@m.cs.osakafu-u.ac.jp, ††{kise,masa}@cs.osakafu-u.ac.jp, †††uchida@ait.kyushu-u.ac.jp,
†††machi@ecei.tohoku.ac.jp

Abstract This report presents a camera-pen for acquiring handwriting as digital ink. With a pen we write memos on blank paper as well as annotations on existing documents. Therefore, it is necessary for the camera-pen to acquire handwriting for both cases. In particular, for the case of annotations, not only acquiring handwriting but also locating them onto the document are essential. We fulfill these requirements by combining two existing methods: one is for recovering handwriting on blank paper, and the other is for locating handwriting based on document image retrieval. The problem to be solved for the combination is the difference of required area to be captured by the camera (the former requires fine images with smaller areas, while the latter needs larger areas). In the proposed method, this problem is solved by using mosaicing of captured images. Handwriting is recovered from the fine image based on SURF features extracted from the paper surface and characters printed on it. In addition, mosaicing with SURF features allows us to obtain a larger image. Once a sufficiently large image is obtained, document image retrieval is employed to locate the recovered handwriting. From the experimental results, we discuss the effectiveness of the proposed method as well as future work to be explored.

Key words document image processing, LLAH, SURF, handwriting, camerapen system

1. まえがき

私たちは、日常的に紙面へのメモ書きをする。メモ書きには、長期的に保存すべきものや他人に見せたいものも存在する。紙はメモ書きをする際には便利であるが、量が増えると保存管理が大変であり、複製も容易ではない。そのため、紙面へのメモ書きをデジタル化する試みが多くなされている。これは、デジタル化により、保存、検索、データの複製が容易になるためである。

デジタル化には、いくつか満たすべき条件がある。一つは、白紙へ筆記した場合でもデジタル化が可能であること、もう一つは、既存の文書に筆記した場合、デジタル化した筆跡と文書が関連付けられることである。これらの条件を満たすシステムとして、アノトシステム [1] がある。これは、紙面に予め印刷された細かいドットパターンをペンのカメラで読み取ることで、どの紙のどの位置に記述しているかを判断し、筆跡を保存するものである。文書を紙に印刷する際に、紙と文書を関連付けておけば、筆跡を文書上に正しく配置することも可能となる。ただし、特殊なドットパターンが印刷されていない紙を用いることはできないため、利便性を損ねているという問題点もある。

この問題を解決するには、特殊なドットパターンを用いることなく、上記と同様の機能、すなわち、白紙上の筆跡の復元と文書への筆跡配置を行えなければならない。そのためにはドットの代わりになるものを、紙面上に求める必要がある。Uchida らは、紙表面の凹凸（紙指紋）を特徴として、筆跡を得る手法を提案している [2]。また、Iwata らは文書画像検索技術を利用した筆跡の復元と文書上への配置を行う手法を提案している [3]。ただし、前者の手法は文書上へ配置を行うことはできず、後者の手法は白紙上の筆跡を復元できないという問題点がある。

そこで本研究では、両者の処理を統合することによって、上記の問題を解決する手法を提案する。統合の最も大きな障害は、動作に必要な撮影範囲の違いにある。Uchida らの手法が狭い範囲を捉えた高精細画像を要求するのに対して、Iwata らの手法には多くの文字を捉えた広い範囲の画像が必要である。この問題に対して、本研究では、画像のモザイクング技術によって対処する。即ち、狭い範囲を撮影して筆跡を復元しつつ、画像をモザイクングすることにより、より大きな画像を構成していく。そして、十分な大きさの画像が得られたら、文書画像検索を用いて筆跡の文書内での位置を求める。本稿では、プロトタイプシステムを用いた実験に基づいて手法の有効性を評価するとともに、今後の課題をまとめる。

2. 関連研究

本研究に関連する研究として、アノトシステム [1] が挙げられる。アノトシステムとは、ドットパターンが印刷された専用紙 “ANOTO paper” と小型カメラ・Bluetooth 対応通信機能を内蔵した “ANOTO pen” からなるシステムである。専用紙のドットパターンをペンのカメラで認識することで、筆跡情報を入手する。ドットパターンは約 0.3mm の間隔で格子状に配置されており、直交する格子からわずかにずれるようになっ



図 1 紙指紋

ている。ずれは上下左右の 4 方向となっており、このずれのパターンをペンに内蔵されたカメラによって読み取る。カメラが一回に読み取る範囲は 6×6 の 36 ドットであり、36 個のずれの組み合わせによって、異なる位置情報を得られる。この特徴は 2^{72} 通りの組み合わせとなり、ユーラシア大陸と同程度の広さの領域からある一点を認識できる。また、ドットパターンの組み合わせにより紙に様々な機能を与えることも可能となる。例えば、蓄積されたデータを PC などに送信する領域を作成することで、データ送信を容易に行うことなどが考えられる。しかし、アノトシステムには、専用紙が必要になることによる利便性の低下が挙げられる。ドットパターンは普通紙に印刷して利用できるが、約 0.3mm ごとに配置されており、高精度な専用のプリンタが必要となる。また、ノートとして購入するにしても高価であり、入手方法にも限りがある。このような理由により、アノトシステムを日常的に利用するのは費用と手間がかかる。そこで、本研究では、特殊な紙を必要としないカメラペンシステムを構築し、問題点を解決する。

3. 既存手法の概要

ここでは、本研究で用いる既存の 2 つのカメラペンシステムの詳細について説明する。

3.1 Uchida ら [2] の手法

Uchida らの手法では、白紙や余白部分に対応するため、紙指紋を利用する。紙指紋とは、図 1 に見られるような紙の繊維の凹凸のことである。紙は木の繊維によって作られるため、接写することで表面上に幾何学的模様を撮影できる。この模様から特徴点を抽出し、各フレーム間でのペン先の移動量を求めれば、筆記の動きを把握できる。これにより、専用紙を必要としない筆跡の復元が可能である。

ここで、抽出される特徴点には、回転やスケール変化への不変性が必要となる。これは、筆記中には、ペンの回転や紙面に対する角度の変化が起きるためである。そのため、特徴点抽出および特徴記述として SURF [4] を用いる。SURF 特徴量は、回転やスケール変化に不変であり、また照明変化にも頑健な性質を持つ。図 2 は、白紙から SURF 特徴点を抽出した結果を示す。

ペン先の座標の移動量は、SURF 特徴点の点対応関係から、射影変換行列を求めることで計算できる。図 3 は、点対応関

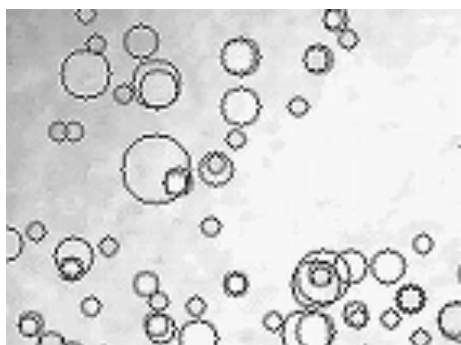


図2 白紙からの SURF 特徴点抽出結果 (拡大図)

係を視覚化したものである。類似した SURF 特徴点を線で結んでおり、多くの点是对応が正しく取れていると分かる。しかし、誤った点対応を取る場合も存在する。このような誤った点対応を含めて射影変換行列を求めると、誤った射影変換行列が求まる可能性がある。そのため、ロバスト推定法として、RANSAC [5] を利用する。RANSAC はランダムに選択した点対応から射影変換行列を求め、その射影変換行列により他の点対応をどの程度説明できるかを評価する手法である。この評価を繰り返すことで、ロバストに射影変換行列が求められる。

3.2 文書画像検索技術を用いる手法 [3]

筆記の復元を文書上に行うカメラ付きペンシステムとして、LLAH(Locally Likely Arrangement Hashing) [6] を用いた手法がある。この手法は以下の手順で筆記情報を得る。

(1) ペンに取り付けられたカメラで紙面上の文書を撮影する。

(2) 得られた画像から連結成分の重心 (LLAH 特徴点) を抽出し、LLAH を用いた文書画像検索を行う。その結果、対応する文書画像と、その画像に対する射影変換行列が得られる。

(3) 射影変換行列より、ペン先が文書画像のどの座標に位置するするかを推定する。

(4) 推定されたペン先の座標が妥当かを評価し、妥当であれば座標を記録する。

上記のプロセスを繰り返し、推定されたペン先の位置を結ぶことで筆跡情報が得られる。このシステムは、紙面に印刷された文書から特徴点を得るため、筆記の対象として専用紙を必要としない。また、筆記した文書と、筆記位置を特定できる

3.3 既存手法の問題点

2つの既存手法の問題点として、日常的な筆記すべてに対応できないことが挙げられる。日常的な筆記には、白紙に対するメモ書きから、文書への下線部など様々なものがある。そのため、白紙に対する筆記に対応しつつ、文書に筆記したときは、その文書名、文書上での筆記位置が求まるシステムが必要である。既存手法の Uchida らの手法は、紙指紋から抽出される特徴点を用いて筆記を復元する。紙指紋を利用することで、一般的な紙における筆記の復元を可能とするが、紙面に印刷された文書と筆記の関係性を見ることを考慮していない。一方で、文書画像検索技術を用いた手法では、筆記と文書の関係性を見ることを可能とする。ただし、文書画像検索手法として用いる

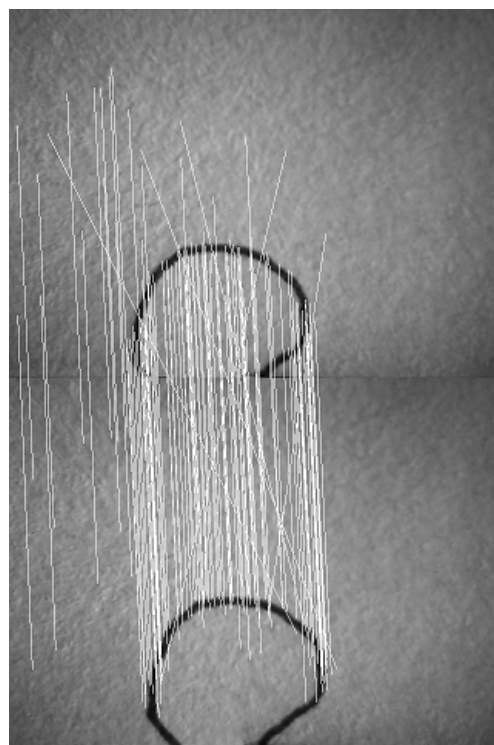


図3 SURF 特徴点の点対応

LLAH は、印刷文字から検索に必要な LLAH 特徴点を抽出するため、文書が印刷されている領域を撮影しなければ、筆記の復元が不可能である。

4. 提案手法

本稿で提案するシステムは、紙面に特殊な加工を行わずに白紙上でも筆跡を取得でき、筆記先が文書であるときには、文書上での筆記位置を求めることを可能とするものである。提案手法を実装するには、Uchida らの手法と文書画像検索を用いた手法の間にある問題を解決する必要がある。

2つの手法の間にある大きな問題点として、カメラの設置位置の問題が挙げられる。カメラの設置位置が問題になるのは、白紙の紙面から情報を多く得るときと、文書の情報を多く得るときに、異なる視野が求められるためである。例えば、紙指紋は紙の繊維であり、非常に細かな特徴であるため、撮影には高い解像度の画像が必要となる。したがって、カメラをペン先に近づけて設置することで、安定して紙指紋が撮影でき、高い精度での筆跡復元が可能となる。一方で、文書画像検索を行うときは、多くの文書領域が撮影できれば、文書の違いを区別しやすくなる。そのため、カメラをペン先から遠ざけて設置することで、検索精度が向上する。このように、筆跡の復元と文書画像検索の精度を高くするためには、相反するカメラの設置位置が求められる。このとき、2つのカメラをペンに取り付けることも考えられるが、実用性を考えると、カメラは1つであるべきだと言える。

また、Uchida らの手法の問題として、射影変換行列を連続して求めていく中での誤差の蓄積がある。隣接フレーム間みの情報を用いて射影変換を繰り返すと、後のフレームになるほ

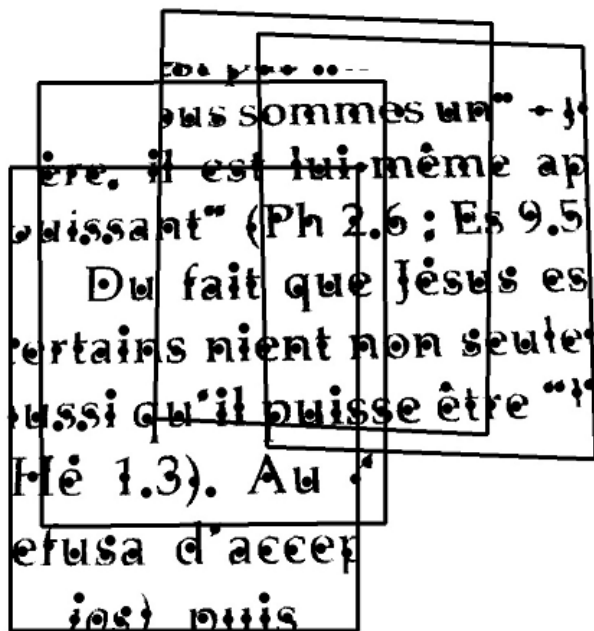


図 4 モザイク画像から抽出される LLAH 特徴点



図 5 カメラペン

ど誤差が蓄積され、正確なペン先の位置を推定できなくなる。そのため、実際の筆記と比較して文字の形状が崩れてしまう。

4.1 カメラ設置位置問題への対処法

カメラの設置位置問題に対しては、画像モザイク技術 [7] を用いることで対処する。画像モザイク技術とは、撮影されたフレームを組み合わせていき、広い範囲を撮影したに等しい画像を作り出す技術である。本手法では、SURF 特徴点の対応から、フレームごとの射影変換行列が求まる。そこで、各フレーム画像を射影変換し、モザイク画像を得ることで、広い視野の撮影画像が得られる。図 4 に、モザイク画像から抽出された LLAH 特徴点の様子を示す。これにより、LLAH 特徴点の数を増やすことができ、文書画像検索の精度を高められる。

実際に本研究で使用したカメラペンを図 5 に示す。超小型 CCD カメラ (株式会社アサヒ電子研究所 NCM03-K) をペン半ばに取り付ける。また、カメラ上部には紫外線ライトを取り付ける。紫外線ライトを取り付ける理由は、白色光環境下では紙指紋から特徴点が得にくいためである。自然光や蛍光灯のような白色光は、紙面で強く反射するため、カメラで撮影する紙面は明るくなり、紙指紋が光によって隠されてしまう。そのため、紙指紋から特徴点を抽出しやすくするためには、強く反射しない光を紙面に当てる必要がある。そこで、カメラペンには、

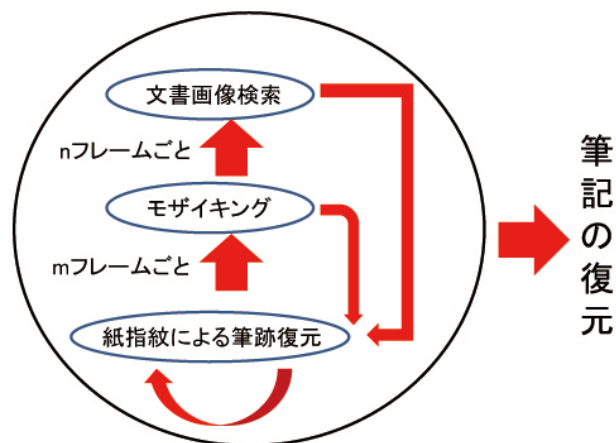


図 6 処理の流れ

紫外線ライトを取り付けることで、紙面から離れた位置にカメラを設置しても紙指紋から特徴点が得られるようにする。

4.2 特徴点の再出現

誤差の蓄積による筆跡のズレの問題に対しては、SURF 特徴点の再出現を調べることで対処する。これは、文字は交差したり元の位置に戻ることが多くあるため、同じ領域を撮影するときに、過去に抽出した SURF 特徴点との対応を取ることができれば、蓄積誤差の少ない射影変換が可能となるからである。例えば '8' のように途中で交差し元の線に繋げる文字は、カメラが同じ領域を撮影する。そのため、一度出現した SURF 特徴点を保存しておき、同じ領域を再度通過する際に、保存されたすべての SURF 特徴点と対応を取ることによって誤差の補正をすることができる。

ここで、過去の SURF 特徴点をすべて保存していくと、時間がたつにつれて膨大な数となる。SURF 特徴点が増えるほど、点对応の計算にかかる時間が増える。そのため、ハッシュを用いて対応点の検索を高速化する [8]。ハッシュ値は、64 次元ある SURF 特徴量の 16 次元を用いて計算する。SURF 特徴量が $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_{64})$ であるとき、

$$u_j = \begin{cases} 1 & \text{if } x_j - \mu_j \geq 0, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (1)$$

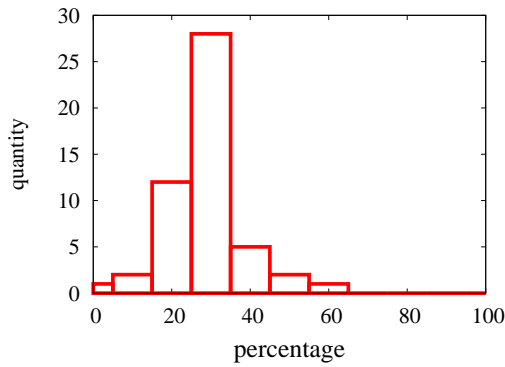
を用いて 2 値化を行い、ビットベクトル $\mathbf{u} = (u_1, \dots, u_{16})$ を作成する。ここで、 μ_j は、事前実験用に撮影した画像から得た特徴量各次元の中央値である。そして、

$$H_{\text{index}} = \left(\sum_{i=1}^{16} u_i 2^{i-1} \right) \bmod H_{\text{size}} \quad (2)$$

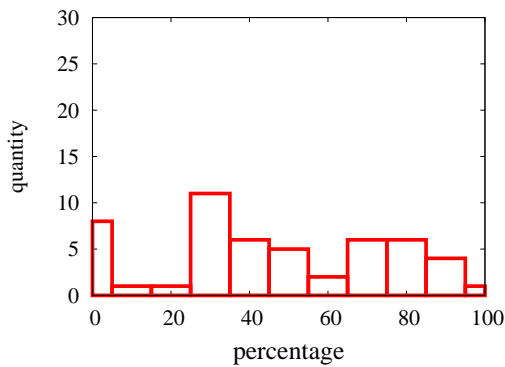
によってハッシュ値を求める。ここで、mod は剰余演算、 H_{size} は、ハッシュ表のサイズである。

4.3 処理の流れ

最後に、具体的な処理の流れを述べる。処理の流れを図 6 に示す。まず、撮影した紙面の紙指紋や印刷文字から SURF 特徴点を抽出する。次に、ハッシュ表から取り出された特徴量との



(a) 筆跡のみの評価



(b) 文書画像検索後の評価

図7 実験結果

比較を行い、点对応を求める。この点对応関係より、基準とするフレーム画像との射影変換行列が求められる。そして、この行列を用いて、平面上でのペン先位置を求める。同時に、対応点が見つからなかった特徴点も、座標を射影変換し、ハッシュ表に登録する。この処理を繰り返すことで、一連のペン先の座標を得ることができる。また、 $m(> 1)$ フレーム間隔ごとに画像のモザイクングをする。そして、 $n(> m)$ フレーム間隔ごとに、モザイク画像から LLAH 特徴点を抽出し、一定量の特徴点が見られれば文書画像検索をする。特徴点が見られなときは、引き続き画像モザイクングを続ける。そして、検索を行った時には、結果が正しいと判断されれば、求めてきたペン先の座標を射影変換し繋げることで、筆跡を文書画像上に復元する。また、文書画像検索を行ったときには、モザイクング画像を初期化する。これは、射影変換の誤差が蓄積されることを防ぐためである。

5. 実験

文書に対して筆記を行い、結果を評価した。対象用紙には、コピー用紙(再生紙)を用いた。ペンに取り付けたカメラのフレームレートは 30fps である。モザイクングは 10 フレームごとに行い、文書画像検索は 30 フレームごとに行った。この値は、予備実験から得た知識を元に設定した。また、1 文字あた

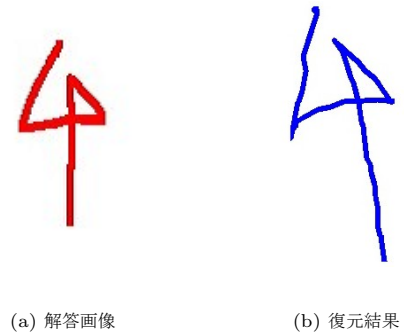


図8 復元結果の歪みや回転

りの筆記速度は 5~10 秒であり、比較的ゆっくりとした筆記を行った。これはモーションブラーを避けるためである。文字や図形は、連続した一つの線で筆記した。連続した一つの線であるのは、現状ではペンのアップダウンは考慮していないためである。また、文字や図形の大きさや形は統一せず任意とした。実験中の筆記には、白紙領域と文書領域に渡って撮影したものも含む。

実験結果の評価は、ペンタブレットにより得られる筆跡情報との比較によって行った。評価値として、ペンタブレットにより作成された解答と、提案手法よりできる筆跡の一致割合を求めた。ただし、ペンタブレットから得る筆跡情報は、実際の筆記と比較するとズレがある。これは、印刷時における、紙面の傾き、余白の設定などにより、所持する画像ファイルと紙面での座標が一致しないためである。そのため、目視で同程度の復元と判断できるズレを許容して評価を行った。本稿では、許容するズレの範囲を約 3mm とした。

文書領域に 50 個の筆記を行った結果を図 7 に示す。図 7 では、実験結果の精度を 10 段階に分けて表している。なお、1 フレームあたりの平均処理時間は 128ms であった。

図 7(a) は SURF 特徴点の点对応から、復元した筆跡を評価した結果である。ここで、多くの結果の評価値が 30% 前後にある理由として、得られる筆跡は、ペンの傾きやカメラの回転を補正できないことが挙げられる。図 8 に、筆跡の復元結果が回転した一例を示す。提案手法では、基準となるフレーム画像を定め、そのフレーム画像の平面に対して筆跡を復元する。この基準となるフレームが紙面の縦横との傾きがあるときは、図 8(b) のように結果が傾いて表現される。そのため、図 7(a) の評価値は、射影変換の誤差による筆跡の乱れだけでなく、カメラの位置関係による歪みや回転により評価値が下がった。

図 7(b) は、文書画像検索を行い、文書上に筆跡を復元したときの、解答画像との一致した割合を示す。図 7(b) では、図 7(a) と比較して、評価値が上昇した。これは、文書画像検索に成功したとき、紙面と正対した平面への射影変換ができるためである。紙面上に射影変換されることで、図 8 のような、筆跡の回転や歪みが補正でき、解答画像に近づいた。文書中の余白に筆記を行った復元結果を図 9 に示す。図 9 のように、周囲の文書領域が撮影できれば、余白領域の筆記も文書上での位置を求め

de la mort, étaient toute de la mort, étaient toute
sclavage” (Hé 2.14-15; esclavage” (Hé 2.14-15;
ait à l’impuissance la ait à l’impuissance la



(a) 解答画像 (b) 復元結果

図 9 白紙領域と文書領域に渡る筆記

ature et le Créateur, entre
é.
ls de Dieu” doit être exa-
ent, car si la Dèité engendra
ils est forcément plus jeune
ut donc pas être éternel. Un
ut pas être un Christ éternel.
as diminuée lorsqu’on dit
ant les âges” ou bien quand
ération éternelle”, ce qui
us éternel constant sans

(a) 解答画像 (b) 復元結果

図 10 評価値の高い結果

après l’ascension (1^{er} après l’ascension (1^{er}
côte (28 mai), Jésus f côte (28 mai), Jésus f
ist. En ce jour, il devi ist. En ce jour, il devi
in sacrificeur selon in sacrificeur selon
s’assit sur le trône s s’assit sur le trône s
ronné Roi des rois e ronné Roi des rois e
n ce jour, la voix résor n ce jour, la voix résor

(a) 解答画像 (b) 復元結果

図 11 評価値の低い結果

ることができた。また、評価値が高い結果の例として、図 10 を示す。図 10 のように、文書領域に広く筆記をしたときは、文書画像検索の精度が高くなった。これは、ペン先が大きく動くことで、モザイクングにより多くの特徴点が抽出できたからである。一方で、評価値が低くなった例を、図 11 に示す。図 11 のように、小さな領域に筆記したときは、文書画像検索の精度が低下し、位置のズレが発生した。これは、同じ領域を捉えたフレーム画像が多く、モザイクングを行っても特徴点の数が増えないためである。この問題を解決するためには、LLAH の改良が必要である。具体的には、特徴量に改良を加えることで、特徴点数が少ない状況でも精度の高い検索を可能とする必要がある。

図 7 において、評価値が 0% になる結果は、筆跡の追跡や、LLAH による文書画像検索に失敗したものである。本実験で、追跡や検索に失敗した最も大きな理由として、実験環境による撮影画像の変化が大きいことが挙げられる。撮影画像に最も影響を与えるものとして、自然光や蛍光灯の強い光がある。実験においては、4.1 で述べたとおり、対策として紫外線カメラを取り付けたカメラペンを用いた。しかし、図 5 のカメラペンは、外からの光を遮る作りになっていない。そのため、実験において、撮影する画像ごとに外から入ってくる光の度合いが違い、それによって結果が左右される。この問題は、本実験から得た結果を元に、カメラペンを外乱に影響されない形に作ることで解決できると考えられる。

6. まとめ

本稿では、ペンに取り付けたカメラの撮影映像から筆跡を復元する手法を提案した。この手法は、紙面に特殊な加工を行わず白紙上でも筆跡を取得でき、筆記先が文書であるときには文書上での絶対位置を求めることのできるものである。カメラペンを実装し、実験を行ったところ、基本的な筆記において、白紙領域と文書領域の両方に渡る筆記の、文書上への位置特定を含めた復元が可能であることを示した。

今後の課題として、動作環境に影響されないカメラペンの構築がある。また、LLAH の改良を行い、より狭い視野でも精度の高い文書画像検索を可能にする必要もある。

文 献

- [1] <http://www.anoto.co.jp/>
- [2] Seiichi Uchida, Katsuhiro Itou, Masakazu Iwamura, Shinichiro Omachi, Koichi Kise, “On a Possibility of Pen-Tip Camera for the Reconstruction of Handwritings,” Proceedings of The Third International Workshop on Camera-Based Document Analysis and Recognition, pp.119-126, (CBDAR2009).
- [3] Kazumasa Iwata, Koichi Kise, Tomohiro Nakai, Masakazu Iwamura, Seiichi Uchida, Shinichiro Omachi, “Capturing Digital Ink as Retrieving Fragments of Document Images,” Proceedings of the 10th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR2009), pp.1236-1240, (2009-7).
- [4] Herbert Bay, Andreas Ess, Tinne Tuytelaars, Luc Van Gool, “SURF: Speeded Up Robust Features,” Computer Vision and Image Understanding (CVIU), Vol. 110, No. 3, pp. 346-359, 2008.
- [5] M. A. Fischler and R. C. Bolles, “Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography,” Comm. of the ACM, Vol 24, pp 381-395, 1981.
- [6] 中居 友弘, 黄瀬 浩一, 岩村 雅一, “Web カメラを用いたリアルタイム文書画像検索”, 電子情報通信学会論文誌 D, J90-D, 8, pp.2262-2265, Aug. 2007.
- [7] 佐藤 智和, 池谷 彰彦, 池田 聖, 神原 誠之, 中島 昇, 横矢 直和, “カメラ外部パラメータ推定による平面を対象とした超解像ビデオモザイクング”, 第 9 回パターン計測シンポジウム講演論文集, pp. 13-20, Nov. 2004.
- [8] 野口 和人, 黄瀬 浩一, 岩村 雅一, “近似最近傍探索の多段階化による物体の高速認識”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2007) 論文集, OS-B2-02, pp.111-118, July, 2007.