

研究速報

ペン先画像からの手書き復元

内田 誠^{†a)}(正員) 伊東 克啓[†](学生員)
 岩村 雅一^{††}(正員) 大町真一郎^{†††}(正員)
 黄瀬 浩一^{††}(正員)

Reconstruction of Handwritings via Pen-Tip Camera Images

Seiichi UCHIDA^{†a)}, Member,

Katsuhiro ITO[†], Student Member, Masakazu IWAMURA^{††},

Shinichiro OMACHI^{†††}, and Koichi KISE^{††}, Members

[†]九州大学大学院システム情報科学研究院, 福岡市

Faculty of Information Science and Electrical Engineering,
 Kyushu University, Fukuoka-shi, 819-0395 Japan

^{††}大阪府立大学大学院工学研究科, 堺市

Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University,
 Sakai-shi, 599-8531 Japan

^{†††}東北大学大学院工学研究科, 仙台市

Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai-shi,
 980-8579 Japan

a) E-mail: u-pat@cs.osakafu-u.ac.jp

あらまし 本論文では, ペン先カメラの映像から, 手書きパターンを復元できることを実証する. 具体的には, 紙面の微細構造—紙指紋—の動きに着目したビデオモザイク法により, ペン先の軌跡すなわち手書きパターンを推定できることを示す.

キーワード ビデオモザイク法, 手書きパターン, SURF, RANSAC, 紙指紋

1. まえがき

「紙とペンによる手書き」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. 日々の手書きを電子化し, データベースに蓄積できれば, その価値を更に高めることができよう.

本研究では, 図1のようにペン先にカメラを搭載したペン型デバイスを用いて, 手書きを随時取得することを目的とする. 図2はペン先カメラからのフレーム画像列である. このように手書きは各フレームに断片的に撮影される. よって本目的のためには, これらフレーム画像を重ね合わせて全体像を復元する処理, いわゆるビデオモザイク法[1]が必要となる.

一般にビデオモザイク法は以下の手順による. まず各フレーム画像それぞれにおいて特徴点を検出し, 次に隣接フレーム間でそれらの対応関係を求める. そしてその対応関係から, 隣接フレームを重ね合わせるための幾何変換(すなわちカメラの動き)を推定する. この推定処理をすべての隣接フレーム間で行えば, その結果を用いて全フレーム画像を貼り合わせることができ, したがって手書きパターンの全体像を復元できる.

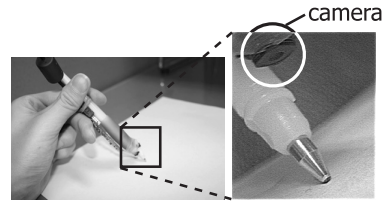


図1 ペン先カメラ
 Fig. 1 Pen-tip camera.

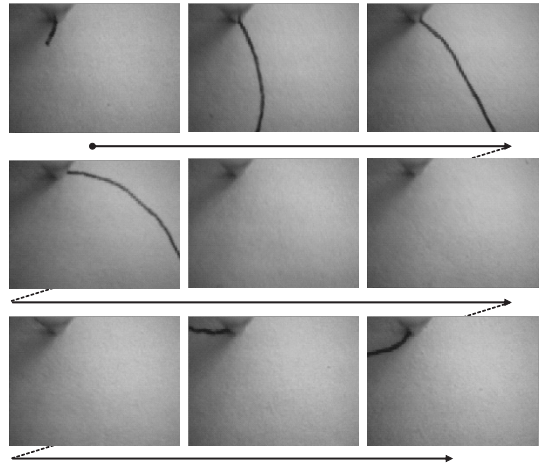


図2 ペン先カメラからの画像
 Fig. 2 Video frame images from pen-tip camera.

ビデオモザイク法においては, 有用な特徴点をいかに検出するかが鍵になる. 本論文では, 文字線(インク)に加え, 紙表面の微細構造, いわゆる紙指紋[2]に着目する(注1). 紙指紋には, フレーム画像の全面に常に映っているという, 文字線にはない性質がある. このため紙指紋中のコーナ点やエッジ点などを多数検出して特徴点として利用できれば, 画像全体の幾何変換を正確に推定できると考えられる.

2. 関連技術

タブレットや AirPen [5] など, 手書きを高精度に電子化するデバイスは既に多数開発されている. ただしいずれもペン以外にセンシングデバイスを設置する点が難点であり, それを利用シーンを制限している.

一方, PaperLink [6] やアノトペン [7] など, ペン型デバイス単体で利用できる技術も提案されている. 前者は印刷内容を手掛りにペン位置を粗く取得することが目的であり, 手書きの取得を目指したものではない.

(注1): 紙指紋は, 紙の同一性検証 [2]~[4] に利用されてきたゆえにその呼称がある. 本論文の目的は同一性検証にはないが, 呼称のみ流用する. なお手書き復元に紙指紋を利用した点は, 本研究の新規性の一つである.

また後者は紙側に独特な微細模様が印刷されている必要がある．文献 [8] の手法も同様である．本手法は，紙を選ばず，かつ細かな手書きを復元しようとしたものであり，これらとは明確に異なる．

光学マウスは，紙指紋を利用してその移動を測定しており，本手法に類する．紙面と撮像素子が密着しているので，外乱光がなく，更に常に両者が正対した理想的な状況で紙指紋を利用できる．これに対し本手法では，カメラの傾きや照明変化が発生し，より困難な状況で利用することになる．

池谷ら [9] は，紙面に印刷された文字などを手掛りとしたビデオモザイクによる文書紙面全体の復元手法を提案している．本論文は，いわばそのマイクロ版の試みである．すなわち，手書き復元という新たな目的のもと，より微細な手掛りである紙指紋を用いたビデオモザイク法についてその実現可能性を示す．

3. 手書き復元の手順

3.1 特徴点検出

本研究では，文字線と紙指紋の両方を手掛りとして，カメラの動き（すなわちペンの動き）を推定する．文字線だけでなくあえて微細な紙指紋にも注目することで，図 2 のように，文字線がペン先により隠べいされた場合でも動き推定が可能である．また，例えば水平線を書き続けた場合，文字線だけに注目すると画面内でペンが止まって見えるが（いわゆる開口問題），紙指紋を併用することでそれを回避できる．

具体的には，まず文字線及び紙指紋の両方すなわち各フレーム画像全体から多数の特徴点を検出する．特徴点としては，ペン軸の回転・傾きや影の影響の少ないもの，すなわち回転・スケール不変かつ明るさ変化に頑強なものが望ましい．以下では様々な手法のうち，SURF [10] を用いる．SURF とは，画像照合・認識において広く用いられている SIFT の高速版である．また SIFT 同様，SURF でも，特徴点を検出した後，その周りの形状を回転・スケール不変量として記述できる．以下ではこれを SURF 特徴と呼び，次のビデオモザイクで用いる．

3.2 ビデオモザイク

極めて類似した SURF 特徴をもつ点対を隣接フレーム間で複数求めることで，隣接フレームを重ね合わせるための幾何変換を推定する．紙面が平面であれば，この幾何変換は射影変換で記述される．したがって，射影変換をすべての隣接フレーム間で求めれば，全フレームを次々に重ね合わせることができ，手書きの全

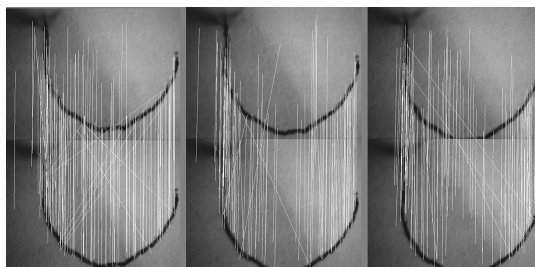


図 3 紙面上に検出された SURF 特徴点位置と隣接フレーム間でのマッチング結果

Fig. 3 Point correspondence between consecutive frames.

体像を復元できる．

図 3 は，隣接フレーム間に実際に求めた特徴点对関係である．類似した SURF 特徴をもつ点を線で分けて表示している．これから，特徴点は紙指紋部分にも多数検出され，またそれらの大部分は正しい対応付けとなっていることが分かる．これらから射影変換を推定すればよい．

射影変換の推定には，いわゆるロバスト推定法を利用する．これは，図 3 から分かるように，誤った点対が存在するためである．本論文では RANSAC [11] を利用する．RANSAC は少数の点対で射影変換を求め，その射影変換によりどの程度他の点対を説明できるかを評価する方法である．射影変換を求める点対の組をランダムに変えながらこの評価を行うことで，ロバストに射影変換を求めることが可能である．

この射影変換の推定に際し，本手法特有の二つの工夫を施す．第 1 は，ペン先部分に現れる特徴点の除去である．これは，画像内でのペン先位置が動きにかかわらず一定であり，したがって射影変換の推定に悪影響を及ぼすためである．第 2 は，ペン先付近の特徴点除去である．ペン先付近の文字線は，フレーム間で新たに筆記された部分であり，したがって対応する点がなく，やはり推定に悪影響を及ぼすためである．

4. 実験結果

図 1 に示した小型 CCD カメラ付きペンにより，コピー用紙上に筆記中の手書き数字パターン “0” ~ “9” を連続撮影した．いずれも一筆書きである．多画文字の扱いは今後の課題とする．カメラはノンインタレース，非圧縮，フレームレートは 30 fps であり，紙面からカメラまでの距離はおよそ 1.5 cm であった．パターンの大きさは 2.0 cm × 1.5 cm であった．本実験では，各パターンおよそ 4.0 秒（120 フレーム）程度をかけ



図4 紙面上に筆記された数字パターン（上段）と本手法による復元結果（下段）

Fig. 4 Reconstructed handwriting patterns.

て筆記した。これは動きぼけを避けるためであり、今後ハイスピードカメラの小型化が進めばより速い筆記も許容できよう。

文献 [9] でも触れられているように、隣接フレーム間で射影変換を求め、それを用いて次々にフレーム画像を重ねていく方式では、初期フレームの傾きが復元画像全体の射影変換として現れてしまう。これを避けるためには、文献 [9] のようなバンドル調整の導入や、事前知識（例えば運筆時のペン傾きモデル）の活用が考えられ、今後の検討課題とする。また応用によっては、多少の射影変換が問題にならない場合もあろう。例えば手書き文字の認識を行うならば、射影不変な認識手法もいくつか考えられる。本論文の実験では、初期フレームの影響を極力取り除いた上で復元画像の精度を吟味すべく、初期フレームにおいてなるべくカメラの光軸が紙面に垂直となるようにした。

図4が本手法による復元結果である。ここでは各フレームでのペン先位置に白点をプロットしている。この白丸の系列を復元された手書きパターンと見ればよい。

微視的にはジャギーになっている部分もあるものの、隣接フレームを逐次的に位置合せしていく単純な処理ながら、全体的にはプロポーションが正しく保たれていることが分かる。例えば“0”の始末端は、実際に筆

記したパターンと同様、同じ位置にあり、紙指紋を用いることの有効性を例証している。

加えて次の2点には注目すべきである。第1に、直線部が極端に短くなることもなく、開口問題を回避できている点である。第2に、ペン先によるオクルージョンに対する頑強性である。実際、同図の“0”は図2に示したフレーム画像から復元されたものである。図2にあるように、いくつかのフレームにおいてはオクルージョンにより全く文字線が見えない。それにもかかわらず、紙指紋だけで全体的な形状が正しく復元できていることが分かる。

詳細は別の機会に述べるが、コピー紙の代わりに段ボール紙を用いても問題なく復元できた。一方、光沢紙は、紙指紋に乏しいことと光の反射の悪影響により復元は不可能であった。光沢紙については、理想的な撮像系をもつ光学マウスでも移動推定が不可能になるため、やむを得ないものとする。

5. むすび

本論文では、ペン先カメラ映像から手書き復元を目的として、紙指紋に着目したビデオモザイク法について論じた。本手法により手書きパターンの概略を復元できることを実証した。本研究はまだその端緒にあり、今後の課題も多い。例えば、復元ひずみの定量的評価、紙指紋を強調するための画質変換、再出現特徴点 [9] の利用による精度向上及び多角文字への対応、初期フレームの傾きの影響の排除、動きぼけの除去、撮像系の制約を用いた射影変換の推定精度向上が挙げられる。また、用紙全体の紙指紋を登録しておけば、紙上での絶対位置同定も可能と考えている。

謝辞 過去のカメラ付きペン及びアナトペンについて、日立中央研究所の池田尚司氏に御教授頂いた。ここに深謝する。本研究の一部は科学研究費補助金（基盤 (B), No.20300049）によった。

文 献

- [1] M. Irani and P. Anandan, “Video indexing based on mosaic representations,” *Proc. IEEE*, vol.86, no.5, pp.905–921, 1998.
- [2] <http://www.fujixerox.co.jp/company/technical/xaya/>
- [3] E. Metois, P. Yarin, N. Salzman, and J.R. Smith, “FiberFingerprint identification,” *Proc. 3rd Workshop on Automatic Identification*, pp.147–154, 2002.
- [4] W. Clarkson, T. Weyrich, A. Finkelstein, N. Heninger, J.A. Halderman, and E.W. Felten, “Fingerprinting blank paper using commodity scanners,” *Proc. IEEE Symposium on Security and Privacy*,

- 2009.
- [5] <http://www.airpen.jp/>
- [6] T. Arai, D. Aust, and 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.
- [7] <http://www.anoto.com/>
- [8] D.A. Jared, et al., "Methods and apparatus for robust decoding of glyph address carpets," US Patent, no.6208771, 2001.
- [9] 池谷彰彦, 佐藤智和, 池田 聖, 神原誠之, 中島 昇, 横矢直和, "カメラパラメータ推定による紙面を対象とした超解像ビデオモザイクング," 信学論 (D-II), vol.J88-D-II, no.8, pp.1490-1498, Aug. 2005.
- [10] H. Bay, T. Tuytelaars, and L.V. Gool, "SURF: speeded up robust features," Proc. ECCV2006 (LNCS volume 3951), part 1, pp.404-417, 2006.
- [11] M.A. Fischler and R.C. Bolles, "Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," Commun. ACM, vol.24, no .6, pp.381-395, 1981.
- [12] X.Y. Qi, L. Zhang, and C.L. Tan, "Motion deblurring for optical character recognition," Proc. ICDAR2005, pp.389-393, 2005.
- (平成 21 年 7 月 3 日受付, 8 月 25 日再受付)
-