

# フレーム間マッチングを導入した Mosaicing-by-Recognition 法の検討

宮崎 洋光<sup>†</sup> 内田 誠一<sup>††</sup> 迫江 博昭<sup>††</sup>

<sup>†</sup>九州大学大学院システム情報科学府

<sup>††</sup>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

E-mail: {hiromitsu, uchida, sakoe}@human.is.kyushu-u.ac.jp

**あらまし** 著者らは、動画像中のテキスト認識を目的として、手ぶれ変動の補償、複数フレームの接合、ならびに認識を一括して実行する手法を検討してきた。本手法では、標準文字パターンを介して、変動した入力フレーム列を最適に補償しながら、認識およびフレーム接合を行う。本報告はその続報であり、主に認識およびモザイクの性能向上を目的としたフレーム間マッチングの導入に関する検討を述べる。

**キーワード** テキスト認識, 文字認識, ビデオモザイク, 歪み

## Mosaicing-by-Recognition with Interframe Matching

Hiromitsu MIYAZAKI<sup>†</sup>, Seiichi UCHIDA<sup>††</sup>, and Hiroaki SAKOE<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

<sup>††</sup> Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

Hakozaki 6-10-1, Higashi-ku, Fukuoka-shi, 812-8581 Japan

E-mail: {hiromitsu, uchida, sakoe}@human.is.kyushu-u.ac.jp

**Abstract** The authors have investigated a Mosaicing-by-Recognition technique, where video mosaicing and text recognition are simultaneously and collaboratively optimized in a one step manner. Specifically, multiple frames in which a long line of text appears are captured by a moving camera, and are optimally matched and concatenated with a guidance of the text recognition framework. In this report, we improve the Mosaicing-by-Recognition technique by introducing interframe matching.

**Key words** text recognition, character recognition, video mosaicing, distortion

### 1. ま え が き

カメラによる画像中のテキスト認識、理解において、動画像の利用が検討されている [1], [2]. 動画像を用いることの利点として、たとえば、静止画像では画角の制約により一枚の静止画像では撮影できない長いテキストであっても撮影できることが挙げられる。また、隣接フレーム間でオーバーラップした領域を活用することにより、解像度および2値化精度の向上が期待できる [3], [4].

動画像を用いたテキスト認識においては、カメラの移動により変動が生じたフレームを何らかの方法で統合(いわゆるモザイク処理)する必要がある。従来、このフレーム間統合処理とテキスト認識処理は独立して扱われていた。具体的には、連続したフレームを統合しモザイク画像を生成(たとえば [5])した後に、文字・単語認識を行うことを想定している。このように2つの処理をの直列的に行うと、フレーム統合処理の段

階で精度の高い結果を得ることができなかつた場合(通常このフレーム統合処理は難しい)、後の認識の段階に大きな影響を与え、誤認識を生じる原因となる。また、他の手法として、各フレーム内でテキスト認識を行った後、認識結果を統合する手法 [6] もあるが、これも2段階的手法となっている。

この2段階的手法に対して、先に著者らはフレーム統合処理とテキスト認識処理の2つの処理を一括して1段階的に行う手法—Mosaicing-by-Recognition—を提案した [7], [8]. この手法では、フレーム画像内に生じる手ぶれ変動を補償しながら、フレーム画像と標準文字パターンとを連続的にマッチングし、テキスト認識結果およびフレーム統合結果を同時に最適化する。前述の2段階法のように、隣接フレーム間で直接フレーム統合するのではなく、標準文字パターンを介してフレーム統合することになる。

本報告はその続報であり、生成されるモザイク画像の質の向上およびテキスト認識の精度向上を目的とする。その目的のた

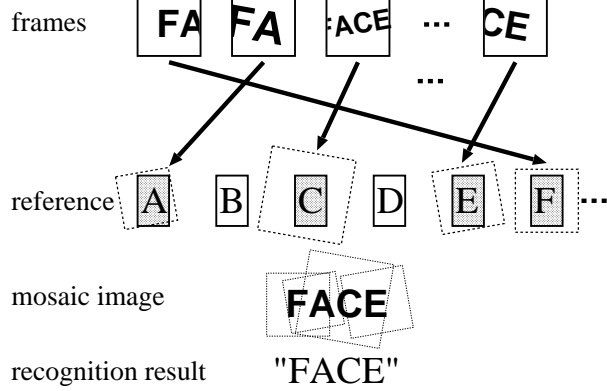


図 1 フレーム画像と標準文字パターンのマッチングによる認識およびモザイクング

めに、これまで使用してきたフレーム画像-標準文字パターン間のマッチングに加えて、フレーム間マッチングを導入することを検討する。

以下本報告では、まず既に文献 [7], [8] により著者らが提案した Mosaicing-by-Recognition 法 (以下、従来法) について簡単な概要を示す。次に、フレーム間マッチングを導入した場合の Mosaicing-by-Recognition 法について述べる。

## 2. 従来法の Mosaicing-by-Recognition [7], [8]

従来法では、手持ちカメラを左から右へと移動させ、テキストを撮影したビデオフレーム列を対象とする。またフレーム画像系列に現れる手ぶれ変動については、フレーム間の変動としてカメラ移動速度の変動を、フレーム画像内の変動として文字の回転、拡大縮小、上下移動を想定している。

前章で述べたように従来法では、フレーム画像系列に現れるテキストの認識とそのフレーム画像のモザイクングを同時に一括して行う。図 1 に示すように、その基本的なアイデアは、フレーム画像と標準文字パターンのマッチングである。具体的には、フレーム画像内に生じた手ぶれ変動を補償しながら各標準文字パターンとのマッチングを行い、得られた最適マッチングの結果より文字認識およびフレーム画像のモザイクングを行う。以上のように最適マッチングにより認識およびモザイクングを同時に一括して行うため、2つの処理を直列的に行う 2 段階的手法とは異なる。以下では従来法でのフレーム画像と標準文字パターンのマッチング手法について説明する。

### 2.1 カメラ移動速度の変動のみを考慮した場合

本節ではまず、カメラ移動速度の変動のみを考慮した場合の Mosaicing-by-Recognition 問題について説明する。この場合、フレーム画像を 1 画素ずつずらして並べた画像を考えると、この画像内は見かけ上、文字が水平方向に非線形伸縮されたものになる。したがって Mosaicing-by-Recognition 問題は、このフレーム画像 (全  $T$  フレーム) と全  $C$  カテゴリ分の標準文字パターン (横幅  $J_C$  画素) 間の 1 次元的最適なマッチング問題に帰着する。すなわち、各文字の水平方向の非線形伸縮を補正しながら、同時に文字間境界を決定するという、Segmentation-by-Recognition [9], [10] と同様の問題となる。よ

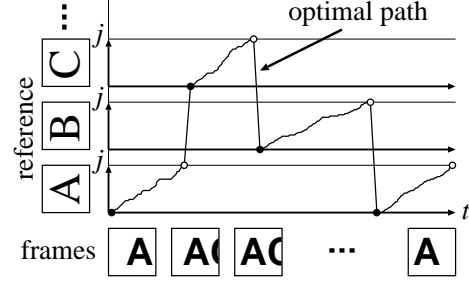


図 2 カメラ移動速度の変動みの場合の Mosaicing-by-recognition

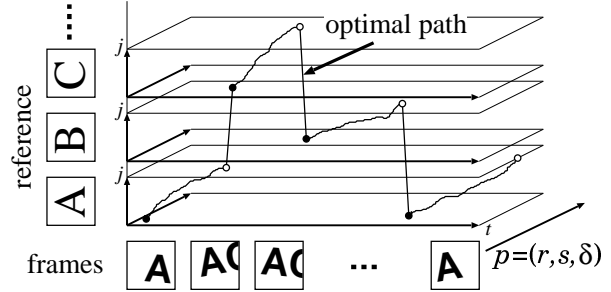


図 3 全ての変動を含む場合の Mosaicing-by-recognition

く知られているように、この形式の問題は、図 2 に示すようにフレーム画像を横軸に、各文字標準文字パターンを縦軸にとった平面中の最適経路問題として表現される。

### 2.2 全ての変動を考慮した場合

本節では、カメラ移動速度の変動に加え、その他の手ぶれ変動 (回転  $r$ , 拡大縮小  $s$ , 上下移動  $\delta$ ) を考慮した場合について説明する。カメラ移動速度の変動のみの場合からの変更点は、フレームに生じた変動に合わせてフレームの形状制御を行うことである。フレームに生じた変動に合わせて最適にフレームの形状を制御することで、回転、拡大縮小、上下移動に関して不変なマッチングを行うことが可能となる。実際には最適な  $r, s, \delta$  は未知であるので、 $r, s, \delta$  の各々についてフレームの形状制御を試みながらマッチングを行う必要がある。したがってこの場合の Mosaicing-by-Recognition 問題は、図 2 に制御パラメータ  $p = (r, s, \delta)$  分の 3 次元が加わった探索空間内 (図 3) での最適マッチング問題となる。

### 2.3 アルゴリズム

本節では、以上の Mosaicing-by-Recognition 問題を解く DP アルゴリズムについて説明する。図 3 の探索空間内において、初期フレーム  $t = 1$  から最終フレーム  $t = T$  までを制御パラメータ  $p$  により変形させながら、順次各標準文字パターン  $c$  の第  $j$  列を中心とした矩形領域にマッチングする。このマッチング距離が従来法で用いているフレーム画像と標準文字パターン間の距離であり、 $d_t(p, c, j)$  で表す。この  $d_t(p, c, j)$  の計算と同時に以下の DP 漸化式により  $g_t(p, c, j)$  を計算する。 $g_t(p, c, j)$  は第  $t$  フレーム目が  $p$  により制御され文字  $c$  の第  $j$  列目に対応されるまでの初期フレームからの最小累積距離である。

$$g_t(p, c, j) = d_t(p, c, j) + \min_{\substack{p' \in \text{pre}(p) \\ j' \in \{j, j-1, j-2\}}} g_{t-1}(p', c, j') \quad (1)$$

ここで、 $\text{pre}(p)$  は  $p$  に先行可能な  $p'$  の集合であり、隣接する2つのフレームの変動が互いに類似し連続的であるという仮定の下、あらかじめ決定される。式 (1) 中の  $j'$  に関する最小値選択により、カメラ移動速度の変動、すなわち隣接フレーム間の水平方向のずれが推定できる。具体的には隣接フレーム間は水平方向に  $j - j'$  画素ずれていると推定される。また、 $p'$  に対する選択は、隣接フレーム間の整合性を満たすように行われる。

認識文字列を得るには、上述した DP アルゴリズムの終了後、最短経路 (最小累積距離を得るために選択した経路) をバックトラックする必要がある。

一方、モザイクキングの結果も認識処理の場合と同様に、得られた最適経路のバックトラックにより求まる。具体的にモザイクキングは、バックトラックにより決定した各フレームにおける  $r, s, \delta$  によりフレーム画像を変形させた後、隣接フレーム間を  $j - j'$  画素ずらしながら重ね合わせることで行う。

計算量は、入力フレーム数を  $T$ 、標準文字パターン数 (カテゴリ数)  $C$ 、標準文字パターンの横幅  $J$ 、制御パラメータの最大変動量を  $(R, S, \Delta)$  で表すと  $O(TCJRS\Delta)$  となる。

### 3. フレーム間マッチングを導入した Mosaicing-by-Recognition

#### 3.1 フレーム間マッチング

本報告においては 2. の従来法に新たにフレーム間マッチングを導入する。このフレーム間マッチングとは、隣接する2つのフレーム画像間の重ね合わせである。フレーム間マッチング距離を従来のフレーム画像-標準文字パターン間距離と併せて最小化するように変動を補償することで、以下の2つの効果が見込める。

- (1) モザイクキングパラメータの推定精度の向上
- (2) 複雑な背景への耐性向上

まず、効果 (1) について述べる。従来法において、モザイクキングパラメータはフレーム画像内の文字形状と標準文字パターンの文字形状のマッチングにより決定される。したがって、不正解となる標準文字パターンとのマッチングが採用された場合、推定されるモザイクキングパラメータは真のパラメータと大幅に異なる。以上の理由により生じた誤認識およびモザイクキングパラメータの誤推定の例を図 4 に示す。同図では、フレーム画像内の文字がマッチングの際に不正解となる標準文字パターンにマッチングされていた。そのため誤認識が生じモザイク画像の生成にも失敗している。この例のように不正解標準文字パターンへの合わせ過ぎが生じると、モザイクキングパラメータの大幅な誤推定が生じる場合がある。これに対し、フレーム間マッチングの導入により、図 4 のような合わせ過ぎによる誤認識および誤推定に関しては低減できると考えられる。具体的には、正しいフレーム間マッチングが行われればモザイクキングパラメータの誤推定が抑制されると同時に、不正解標準文字パターンとの合わせ過ぎも抑制されると考えられる。

次に効果 (2) について述べる。背景が複雑な場合、フレーム画像内の文字と標準文字パターンの整合性は悪くなる。したがって、フレーム画像-標準文字パターン間マッチングでの認

"Verification" "Watercolors"  
 "\_erif\_c\_tion" "Wate\_co\_\_s"

図 4 従来法による誤認識およびモザイクキングパラメータ誤推定の例。左は "Verification", 右は "Watercolors".

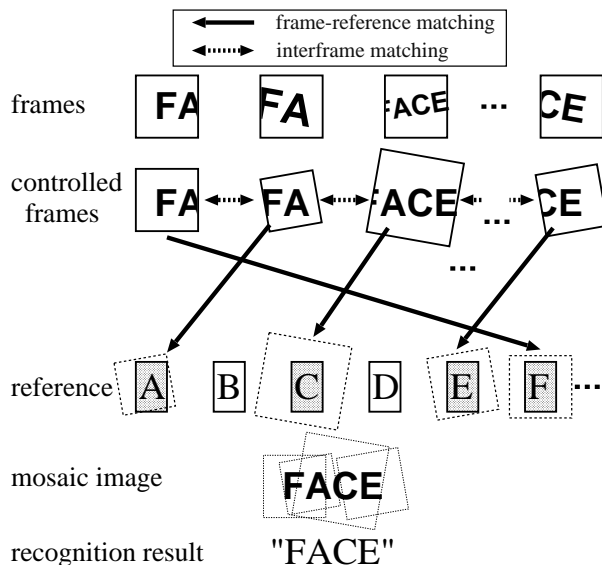


図 5 フレーム間マッチングを導入した Mosaicing-by-Recognition

識およびモザイクキングパラメータの推定は困難になり、図 4 のような例がさらに増加することが予想される。この問題は、フレーム間マッチングを導入することで抑制できると考えられる。これは前述の効果 (1) が背景がある場合でも期待できることによる。注目すべき点は、背景の存在が却ってよい影響を与える可能性である。すなわち、背景の持つ情報がフレーム間マッチングの精度向上に貢献し、効果 (1) をより高めるものと期待される。

#### 3.2 アルゴリズム

本節では、フレーム間マッチングを導入した Mosaicing-by-Recognition 法のアルゴリズムを説明する。基本的なアルゴリズムは 2. で述べた従来法と同様である。主な違いは、マッチングの際にフレーム画像と標準文字パターン間の距離に加え、隣接するフレーム間のマッチングの距離を導入した点である。具体的には、従来法の DP 漸化式 (1) を以下の式に変更する。

$$g_t(p, c, j) = \alpha d_t(p, c, j) + \min_{\substack{p' \in \text{pre}(p) \\ j' \in \{j-1, j-2\}}} \{ g_{t-1}(p', c, j') + (1 - \alpha) f_t(p, p', j') \} \quad (2)$$

ここで  $f_t(p, p', j')$  は、 $p'$  で変形補償した時刻  $t-1$  のフレーム画像と  $p$  で変形補償した現時刻  $t$  のフレーム画像とを水平方向に  $j - j'$  画素ずらして重ね合わせたフレーム間マッチング距離である。また  $\alpha$  は  $d_t$  と  $f_t$  の重みパラメータである。以上のように  $f_t$  を加えることで、この場合の Mosaicing-by-Recognition 問題はフレーム画像-標準文字パターン間距離とフレーム間距離の総和を最小化することを目的とした最適マッチング問題となり、前節で述べた効果が期待できる。

文字種	英数字 (全 62 種)
フォント	Times-Roman
文字の高さ	40 画素
文字数/テキスト	~ 50
テキスト数	20

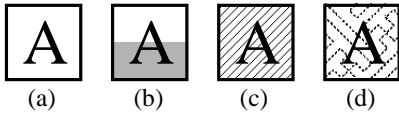


図 6 使用した背景. (a) 無地, (b) 2 色, (c) 斜線, (d) 縫い目.

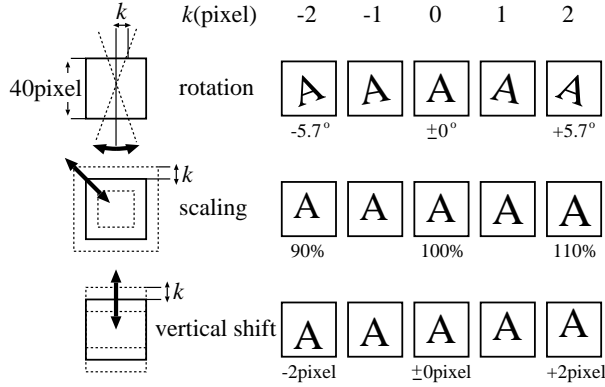


図 7 回転, 拡大縮小, 上下移動の様子

## 4. 比較実験

### 4.1 実験概要

本章では, 従来法とフレーム間マッチングを導入した本手法との比較実験を行った結果について述べる. 実験に使用したテキストデータを表 1 に示す. また, テキストデータの背景は図 6 に示す 4 種類を用いた. テキストは各々の背景とともに A4 用紙に印刷し, 水平方向にのみカメラを移動可能な装置を用いて撮影した. なお, 撮影の際, 専用の雲台を用いることでカメラ移動速度を  $0 \sim 3.0$  pixel/frame でランダムかつ連続的に変動させた. この撮影した動画像データに対し人工的に回転, 拡大縮小, 上下移動の手ぶれ変動を加えた動画像を実験データとする.

各フレームに加えた回転, 拡大縮小, 上下移動の各変動は図 7 に示すように,  $k \in \{-2, -1, 0, 1, 2\}$  により制御される. データ生成の際, 回転, 拡大縮小, 上下移動は  $|k| \leq K$  の範囲でランダムかつ連続的に変動させた. ここで  $K = 0$  の場合は回転, 拡大縮小, 上下移動が生じず, カメラ移動速度の変動のみが現れる動画像データとなる.

以下 4.2 節では, 背景が無地の場合について, 認識率およびモザイクングパラメータ推定精度に関する比較検討を行う. 4.3 節では, 背景が複雑な場合について同様の比較検討を行う. なお, マッチングの際の特徴量は画素の濃淡特徴およびエッジ特徴を用いた. また, 重みパラメータ  $\alpha$  については実験により最適化した. 加えて各実験における補償可能な手ぶれ変動の範

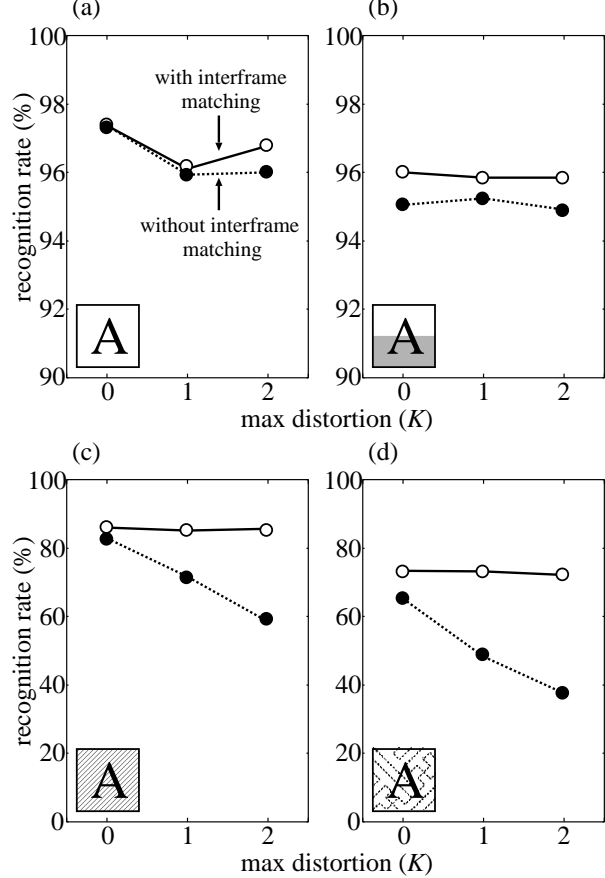


図 8 各背景における手ぶれ変動  $K = 0, 1, 2$  の場合の認識実験結果

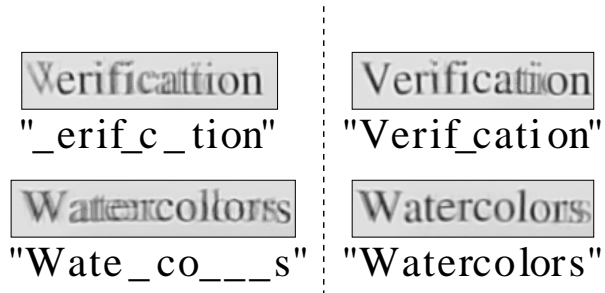


図 9 背景が無地の場合の改善例. 左側: 従来法, 右側: 本手法.

囲は, カメラ移動速度の変動の場合,  $0 \sim 3.0$  pixel/frame である. また, 他の変動に関する補償可能な範囲は  $|k| \leq K$  である. 4.4 節では, フレーム画像-標準文字パターン間距離とフレーム間距離についての考察を行う.

### 4.2 背景が無地の場合

本節では, 背景が無地の場合における従来法と本手法の比較実験および結果に対する考察を, 前節で述べた実験データを用いて行う. 背景が無地で最大変動が  $K = 0, 1, 2$  の場合について認識実験の結果を図 8(a) に示す. 同図に示すように全ての  $K$  について認識率の向上が見られた. これは 3.1 で述べたように, フレーム間マッチングにより, モザイクングパラメータの誤推定が抑制される同時に, 不正解標準文字パターンとのマッチングも抑制された結果, 認識率の向上が見られたと考えられる.

本手法により改善した例を図 9 に示す. 従来法では誤認識さ

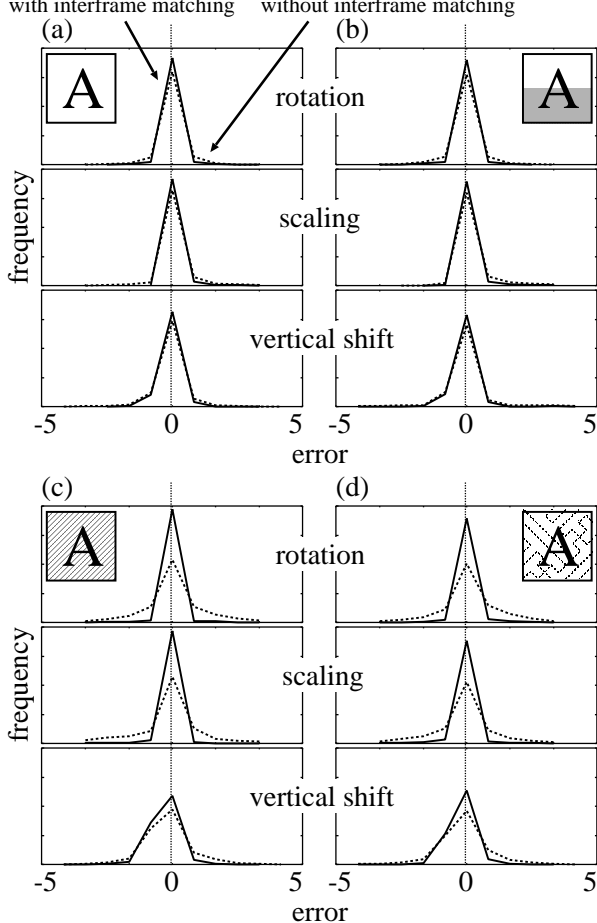


図 10 モザイクパラメータ推定誤差のヒストグラム ( $K = 2$ )

れていた文字が、本手法では正しく認識されている。またモザイク画像に関しても、従来法に比べ本手法の方が良好なものが得られている。認識およびモザイク精度が向上した理由は前述と同様に、フレーム間マッチングにより、モザイクパラメータの誤推定および不正解標準文字パターンへの合わせ過ぎが抑制されたためだと考えられる。

図 10(a) に  $K = 2$  の場合の従来法と本手法のモザイクパラメータ推定誤差のヒストグラムを示す。なお、同図のグラフにおいて横軸は真値との誤差を表す。ただし誤差は画素を単位とする変数  $k$  を用いて、(推定値の  $k$ ) - (真値の  $k$ ) で計算した。この結果からも、全ての変形において本手法の方がより精度の良いパラメータ推定が行われていることがわかる。また、モザイクパラメータ推定の精度向上により図 9 や図 11(a) のようなモザイク画像の改善が多数確認できた。

#### 4.3 背景が複雑な場合

本節では、背景が複雑な場合について前節と同様の比較検討を行う。図 8(b)~(d) に各背景における従来法と本手法との認識率の比較結果を示す。結果より、背景が複雑な場合においても認識率の向上が見られた。特に背景 (c), (d) の場合では、従来法では手ぶれ変動が大きくなるにしたがい認識率が大幅に低下していることに対し、本手法ではその低下がほとんど見られない。従来法では、フレーム画像-標準文字パターン間マッチングにおいて、複雑な背景の影響で文字間の整合が悪くなり、正

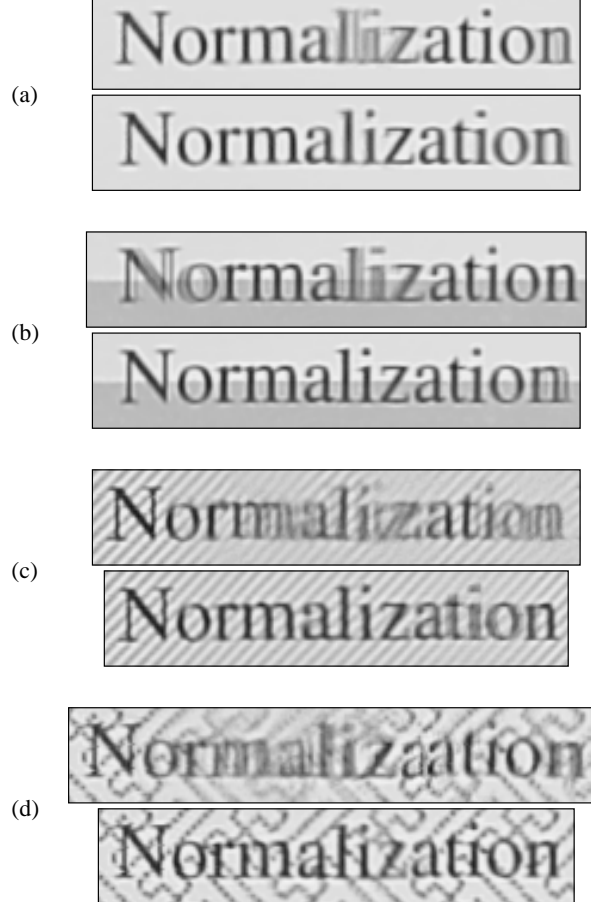


図 11 各背景 (図 6 の背景 (a) ~ (d)) におけるモザイク画像. それぞれ上側が従来法, 下側が本手法.

しいモザイクパラメータの推定および正解標準文字パターンとのマッチングが行えなかったために、認識率が低下していると考えられる。これに対し本手法では、3.1 で述べたように背景が複雑な場合、フレーム間マッチングで対応をとるための情報が多いため、正しいモザイクパラメータの推定が、背景がない場合に比べてより促進される。同時に、正確な変動補償ならびに正解標準文字パターンへのマッチングも促進され、結果として認識率が向上したと考えられる。

図 10(b)~(d) に  $K = 2$  の場合の従来法と本手法のモザイクパラメータ推定誤差のヒストグラムを示す。背景が無地の場合と同様に、(b)~(d) の背景においても従来法より精度の良いモザイクパラメータ推定が行われていることが確認できる。またモザイクパラメータ推定の精度向上により図 11(b)~(d) のモザイク画像のような改善が多数確認できた。特に斜線および縫い目の背景に関してはほぼ全てのデータについて改善されていた。

#### 4.4 マッチング距離の考察

モザイク画像のみが必要な場合、原理的にはフレーム間マッチング  $f_t$  を用いればよく、フレーム画像-標準文字パターン間マッチング  $d_t$  は用いなくてもよい。しかし、良好なモザイク画像を得るためには、両方のマッチングを用いた方がよいことを以下で述べる。

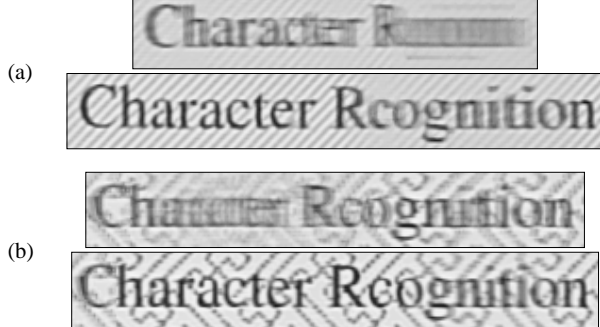


図 12 使用したマッチング距離に対するモザイク画像の比較. 背景は (a) 斜線, (b) 縫い目. それぞれ上側がフレーム間マッチング  $f_t$  のみを用いた手法, 下側が本手法.

まず, 図 12 に本手法とフレーム間マッチング  $f_t$  のみを用いた手法のモザイク画像の例を示す. 使用した背景は斜線および縫い目である. 同図より, 本手法では良好なモザイク画像が得られている. しかし,  $f_t$  を用いた手法では文字がつぶれたようにモザイクされてしまい, モザイク画像の生成に失敗している.

このようにモザイク画像の生成に失敗した理由として,  $f_t$  だけでは, 面積的に大部分を占める背景部のずれが重視され, 文字部のずれは軽視されることが考えられる. たとえば, 同図 (a) の場合で, カメラ移動速度の変動, すなわち水平方向のずれにおいて大幅な誤推定が生じている. これはフレームに実際に現れる水平位置ずれが  $0 \sim 3.0$  pixel の連続値であるのに対し, 変動補償が  $0, 1, 2, 3$  pixel の離散値で行われることが原因として考えられる. 具体的には, 特に斜線のような繰り返しの背景の場合, 生じる水平位置ずれによっては真値に近い変動値の推定より, 真値から遠くても隣の斜線に合わせてしまうような変動値が推定される場合がある. 当然ながらこの場合, 文字部での水平位置は大幅にずれしてしまう. しかし上述のように, こうした文字部のずれは軽視されてしまうため, 図 12 のような文字部がつぶれたモザイク画像が生成されたと考えられる.

それに対し本手法では, 文字部の整合性を,  $d_t$  により評価する. したがって, フレーム画像内において背景部と文字部が同等に扱われるため, より適切なモザイクパラメータが推定されると考えられる.

## 5. まとめ

本論文では, 従来の Mosaicing-by-Recognition に関して, モザイクパラメータ推定の精度向上および複雑な背景を含む場合への拡張を目的とし, フレーム間マッチングを導入した Mosaicing-by-Recognition を提案した.

比較実験により, 従来法よりさらに精度の高い認識およびモザイクングを実現でき, 本手法の有効性を確認できた. 特に複雑な背景がある場合において有効性が見られた.

今後の検討特として特に以下の点が挙げられる.

(1) マッチング距離の検討: 現在, フレーム単位のマッチング距離における特徴量として, 単純に画素の濃淡特徴およ

びエッジ特徴を用いている. しかし複雑な背景への耐性という観点においては十分な特徴量ではない. 今後は距離画像特徴など背景に依存しない特徴量を検討する.

(2) 計算量の低減: 本手法において, フレームに生じる様々な変動を考慮した場合, 計算量は膨大なものとなる. 今後, 距離画像特徴の適用などによりさらに計算量が增大することが考えられる. そこで DP アルゴリズムにおける高速化手法の一つであるビームサーチの適用を検討する.

## 謝 辞

本研究の一部は (財) 大川情報通信基金研究助成金ならびに科研費 (若手 (B), No. 17700198) によった.

## 文 献

- [1] D. Doermann, J. Liang and H. Li, "Progress in Camera-Based Document Image Analysis," Proc. ICDAR, pp. 606–616, 2003.
- [2] 黄瀬 浩一, 大町 真一郎, 内田 誠一, 岩村 雅一, "カメラを用いた文字認識文書画像解析の現状と課題," 信学技報, PRMU2004-246, March 2005.
- [3] 池谷 彰彦, 中島 昇, 佐藤 智和, 池田 聖, 神原 誠之, 横矢 直和, 山田 敬嗣, "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," 画像の認識・理解シンポジウム MIRU2004, vol. 1 of 2, pp. I-505–I-510, Jul. 2004.
- [4] H. Li and D. Doermann, "Text Enhancement in Digital Video Using Multiple Frame Intergration," Proc. ACM Multimedia, pp. 19–22, 1999.
- [5] A. Zappala, A. Gee, M. Taylor, "Document mosaicing," Image and Vision Computing, vol. 17, no. 8, pp. 585–595, 1999.
- [6] 仙田 修司, 西山 京助, 旭 敏之, "携帯カメラによる日本語文字認識の手法と実現," 信学技報, PRMU2004-124, Dec. 2004.
- [7] 宮崎 洋光, 内田 誠一, 迫江 博昭, "文字形状に基づく認識駆動型ビデオモザイクング手法," 画像の認識・理解シンポジウム MIRU2005, OS7B-35, pp. 281–288, Jul. 2005.
- [8] H. Miyazaki, S. Uchida, H. Sakoe, "Mosaicing-by-Recognition: a technique for video-based text recognition," ICDAR 2005, vol. 2 of 2, pp. 904–908, Sep. 2005.
- [9] R. Plamondon and S. N. Srihari, "On-Line and Off-Line Handwriting Recognition: A Comprehensive Survey," IEEE Trans. Pat. Anal. Mach. Intell., vol. 22, no. 1, pp. 63–84, Jan. 2000.
- [10] 迫江 博昭, 藤井 宏美, 吉田 和久, 亘理 誠夫, "フレーム同期化, ビームサーチ, ベクトル量子化の統合による DP マッチングの高速化," 電子情報通信学会論文誌, vol. J81-D-II, no. 6, pp.1251–1258, June 1988.