

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

佐藤 智和^{1,2} 池谷 彰彦² 池田 聖¹ 神原 誠之^{1,2} 中島 昇² 横矢 直和^{1,2}

1: 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2: NEC インターネットシステム研究所

Super-resolved Video Mosaicing for Plane Objects by Extrinsic Camera Parameter Estimation

Tomokazu Sato^{1,2} Akihiko Iketani² Sei Ikeda¹ Masayuki Kanbara^{1,2} Noboru Nakajima² Naokazu Yokoya^{1,2}

1: Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

2: Internet System Laboratories, NEC Corporation

Abstract: Document and photograph digitization from a paper has been very important for digital archiving and personal data transmission through the internet. This paper proposes a novel video mosaicing system that realizes easy and portable digitization of documents using portable video camera connected to laptop pc. Our mosaicing system is constructed of two different stages: (1) a real-time stage for acquiring images and estimating extrinsic camera parameters with a preview of a generating mosaic image, (2) an off-line stage for the image refinement with camera parameter optimization and super-resolution techniques. In the real-time stage, the preview of generating mosaic image and instruction for speed of camera motion are displayed, and they help users to acquire a good result of mosaic image. In the off-line stage, by using extrinsic camera parameters, the proposed system can generate a super-resolved mosaic image without perspective distortion. Experiments have successfully demonstrated the feasibility of the proposed method.

1 はじめに

大容量記憶装置の低価格化やインターネットの普及により、紙面に描かれた文章や写真を個人が手軽にデジタル化し、画像データとして保存・伝送することが可能となりつつある。現在、このような目的のためには、フラットベッドスキャナのように、画像センサを紙面の上で機械的に等速に動かす装置を用いることが一般的であるが、機材が大きいために持ち運びには適していない。そこで、持ち運び可能なカメラ付き携帯電話などのカメラ付き機器を用いて、手軽に高精細な画像を取り込む技術が求められている。しかしながら、200万画素のカメラ付き機器で得られる画像の解像度は、A4ページを一度に撮影することを想定すれば150dpi程度であり、フラットベッドスキャナの数千dpiに対して著しく解像度が低い。このような問題に対して、紙面を複数枚の画像またはビデオ映像として拡大撮影し、各画像の位置合わせをすることで、一枚の高解像画像を生成するモザイク技術に関する研究が行われている。なかでもビデオによるモザイク画像生成(ビデオモザイク)は、フレームごとの画像の変異が小さいために画像間の変換パラメータをロバストに推定できることや、多くの画像を一度に用いることでモザイク画像の品質を改善できることなどの理由から近年盛んに研究されている。

ビデオモザイクの分野においては、従来から様々な手法が提案されている。Szeliskiらは、ホモグラフィと呼ばれる8自由度の射影変換行列を用いて平面に対するビデオモザイクを行う手法を提案している[1]。この手法では、連続する二枚の入力画像の組に対して、輝度値

の差の二乗和が最小となるように、ホモグラフィパラメータを算出している。このホモグラフィベースのビデオモザイク手法は、後に計算量の削減、推定精度の向上など、様々な改良が加えられている[2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]。特徴点を用いる手法[2, 4, 5]では、画像に含まれる特徴点のみを用いてホモグラフィを計算するため、計算量の劇的な削減に成功している。また、画像系列全体での最適化を行う手法[9, 10]によって、画像間の変換パラメータの誤差の累積を最小限に抑え、モザイク画像の生成品質を高めることができる。

しかし、これらホモグラフィベースの手法には、いくつかの問題が残されている。一般に、これらの手法は、あるリファレンス画像(たいていは初期フレーム)に対してモザイク画像平面を張り、このモザイク画像平面上で入力画像の張り合わせを行っている。ここで、リファレンス画像平面が紙面と平行でない場合、生成されるモザイク画像も傾いたものとなる。ホモグラフィベースの手法においては、変換パラメータ推定のための誤差関数がこの傾きと無相関であるため、本質的にこの問題を解決することは難しい。このような投影歪みを解消するためには、カメラの位置・姿勢とモザイク画像平面の幾何学的な関係を正しく推定することが必要である。他方、ユーザに対する情報提示の問題がある。一般に、専門知識を持たないユーザがビデオモザイクを行う場合には、カメラを早く動かさすぎるために画像間の重複領域が小さくなり、生成されるモザイク画像の品質が低下したり、撮りこぼしによって生成されるモザイク画像に欠損部分が生じるといった問題が度々発生する。このような場合には、ユーザに対して何らかのアシストを行うこ

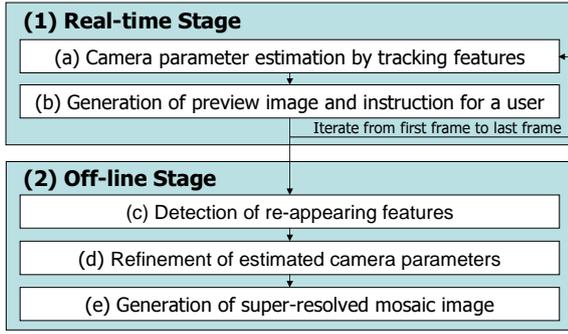


図 1: 超解像ビデオモザイクの処理の流れ

とが望ましいが、従来手法では、モザイク処理がオフライン処理であるため、入力画像の撮影中にユーザへのフィードバックを行うことが困難であった。

そこで本稿では、リアルタイムカメラパラメータ推定手法を用いた超解像ビデオモザイク手法を提案する。本モザイク手法では、6 自由度のカメラ位置・姿勢パラメータを用いることで、モザイク画像から投影歪みを排除することができる。また、リアルタイム処理を行うことで、ユーザにモザイク画像生成のプレビュー提示と、カメラの移動速度の指示をインタラクティブに行う。本研究で提案するモザイクシステムは、(1) カメラパラメータのリアルタイム推定とユーザへの情報提示、(2) オフライン処理によるモザイク画像の高品位化、の 2 つのステージから構成されている。(1) では、特徴点追跡を行うことでカメラの位置・姿勢とモザイク平面の相対的な関係をリアルタイムに逐次推定する。また、同時に生成中のモザイク画像のプレビュー表示を行い、最適なカメラ移動速度の指示を提示することで、ユーザに対する補助を行う。(2) では、(1) で推定されたカメラパラメータを動画全体で最適化し、超解像処理を行うことで生成されるモザイク画像の品質を向上させる。

以下、2 章には、カメラ外部パラメータ推定による超解像ビデオモザイクについて詳述する。3 章では、実際に作成したモザイクシステムを用いて文章および写真を対象とした実験を行う。また、定量的評価実験により、生成されたモザイク画像の歪みについて検証する。最後に 4 章で、今後のまとめと課題について述べる。

2 カメラ外部パラメータ推定による超解像ビデオモザイク

本章では、提案手法である超解像ビデオモザイク手法について詳述する。図 1 に本モザイク手法の処理の流れを示す。リアルタイムステージ (1) においては、ユーザはビデオカメラを用いて紙面をなぞるように撮影する。撮影中、ビデオカメラの外部パラメータは、特徴点追跡による手法によってリアルタイムに推定され (a)、その情報を用いてモザイク画像のプレビューとユーザへのカメラ移動速度の指示が提示される (b)。オフラインステージ (2) においては、先に推定されたカメラ外部パラメータを用いて超解像モザイク画像を生成する。

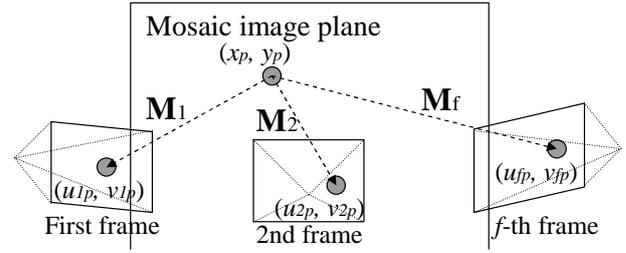


図 2: モザイク画像平面とカメラの関係

まず、動画中に再出現した特徴点を自動で探索し、対応付ける (c)。次に再出現した特徴点を利用しながら動画全体でカメラ外部パラメータを最適化する。最後に Iterative Back Projection アルゴリズムによって、超解像モザイク画像を生成する。

以下ではまず、本稿で用いるカメラ外部パラメータと誤差関数について定義し、続いてステージ (1), (2) の各処理について詳述する。

2.1 カメラ外部パラメータと誤差関数の定義

本研究では、図 2 に示すように、モザイク画像平面と第 f フレームにおけるカメラの関係を表す変換行列 M_f を、カメラの位置パラメータ (t_{1f}, t_{2f}, t_{3f}) および姿勢パラメータ (r_{1f}, r_{2f}, r_{3f}) を用いて以下のように定義する。

$$(au_{fp}, av_{fp}, a)^T = M_f(x_p, y_p, 1)^T \quad (1)$$

$$M_f = \begin{pmatrix} c_1 c_3 + s_1 s_2 s_3 & s_1 c_2 & t_{1f} \\ -s_1 c_3 + c_1 s_2 s_3 & c_1 c_2 & t_{2f} \\ c_2 s_3 & -s_2 & t_{3f} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$s_i = \sin(r_{if}), c_i = \cos(r_{if}) \quad (i = 1, 2, 3) \quad (3)$$

ただし、 a は媒介変数である。また、 (x_p, y_p) は特徴点 p のモザイク画像平面上での座標を、 $(\hat{u}_{fp}, \hat{v}_{fp})$ は第 f フレームにおける理想カメラ画像への (x_p, y_p) の投影座標を表す。理想カメラ座標における特徴点 p の投影座標 $(\hat{u}_{fp}, \hat{v}_{fp})$ は、既知のカメラ内部パラメータ (焦点距離、アスペクト、投影中心、レンズ歪み) を用いて実画像平面上の座標 (u_{fp}, v_{fp}) に変換される。本手法においては、平面を対象としているため、モザイク平面を $z=0$ と定義すれば、式 (2) によって定義されるカメラの変換パラメータ M_f は、一般的な 4×4 のカメラ外部パラメータ行列と本質的に同等である。

次に、変換行列 M_f の推定に用いる誤差関数を定義する。一般に、撮影時の量子化や、特徴点抽出の誤差の影響によって、特徴点の第 f フレームへの投影座標 (u_{fp}, v_{fp}) と、実際の画像上の検出座標である (u'_{fp}, v'_{fp}) とは一致しない。そこで本稿では、第 f フレームの特徴点 p に関する誤差 E_{fp} を以下のように定義する。

$$E_{fp} = \{(u_{fp} - u'_{fp})^2 + (v_{fp} - v'_{fp})^2\} \quad (4)$$

本手法では、誤差 E_{fp} の和を最小化することで、カメラ外部パラメータ M_f とモザイク画像平面上での特徴点位置 (x_p, y_p) の推定を行う。

2.2 カメラパラメータ推定によるリアルタイムモザイク

図1に示したように、リアルタイムステージはフレーム毎に繰り返される2つの処理から成る。以下ではこれら2つの処理について詳述する。

(a) 特徴点追跡によるカメラ外部パラメータ推定

本ステップでは、特徴点を追跡することでカメラ外部パラメータ M_f と特徴点のモザイク画像平面上での位置 (x_p, y_p) を逐次推定する。なお、本カメラパラメータ推定手法は、従来我々が提案した特徴点追跡によるカメラ外部パラメータ推定手法 [11] の拡張である。

まず、初期フレームにおける処理について述べる。本研究では、初期フレームにおける画像平面とモザイク画像平面が正対していると仮定し、 M_f を単位行列で初期化する。初期フレームの画像上で検出された特徴点のモザイク画像平面上での位置 (x_p, y_p) に関しても、この仮定に基づいて計算する。なお、この時点で画像平面とモザイク画像平面が厳密に正対していなくても、後段の補正処理 (c) によってカメラ外部パラメータ M_f が修正されることになる。

次に、後続のフレーム ($f > 1$) での処理について述べる。本手法では、各フレームに対して以下のステップを順に行うことで、カメラの外部パラメータ M_f を逐次算出する。

特徴点の追跡: Harris のインタレストオペレータ [12] を用いてテンプレートマッチングを行うことで、前フレームの特徴点について、現フレームにおける対応点を探索する。ここでは、RANSAC アルゴリズム [13] を用いることで、特徴点の誤対応を排除する。

カメラ外部パラメータの推定: 前のステップで決定された特徴点の画像上での追跡座標 (u'_{fp}, v'_{fp}) と、対応するモザイク画像平面上での位置 (x_p, y_p) を用い、PnP 問題を解くことによってカメラの外部パラメータ M_f を算出する。なお、モザイク画像平面上での位置 (x_p, y_p) は、前のフレームまでに推定されている値を用いる。ここでは、先に定義した誤差関数の和 $\sum_p E_{fp}$ を Levenberg-Marquardt 法によって最小化することでカメラの外部パラメータ M_f を得る。

モザイク画像平面上での特徴点位置の推定: モザイク画像平面上での特徴点 p の位置 (x_p, y_p) は、特徴点ごとに $\sum_{i=1}^f E_{ip}$ を最小化することで算出する。

特徴点の追加と削除: 正確なカメラパラメータを得るためには、誤追跡の発生しにくい特徴点を選択する必要がある。本手法では、複数の評価尺度を用いることで、カメラパラメータ推定に用いる信頼度の高い特徴点の組をフレーム毎に自動更新する [11]。

(b) モザイク画像のプレビューとカメラ移動速度の表示

ここでは、画像取得時にユーザに提示する情報について述べる。本研究では、図3に示すような複数の情報をユーザに提示する。右のウィンドウ (図中3) には、画像取得時の大半においてユーザが注視すべき情報であるモ

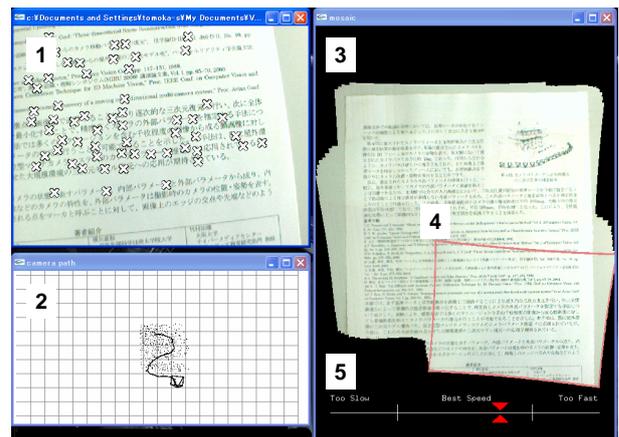


図3: リアルタイムモザイク処理におけるユーザへの提示情報 (1: 撮影中の入力画像と検出された特徴点, 2: 推定されたカメラパスと現在のカメラ位置・姿勢およびモザイク画像平面上での特徴点の位置, 3: モザイク画像のプレビュー表示, 4: 撮影中の入力画像のモザイク画像平面上での位置, 5: 現在のカメラの移動速度)

ザイク画像のプレビューとカメラの移動速度の表示がまとめて提示される。また左側のウィンドウには補助的な情報として、入力画像 (図中1) およびカメラパスの推定結果 (図中2) が表示される。以下では、モザイク画像のプレビューの生成およびカメラ移動の最適速度の提示について述べる。

モザイク画像のプレビュー表示は、ユーザが次に撮影すべき箇所を判断するために提示され、これによって対象の撮りこぼしによるモザイク画像の欠損を防止することができる。まず、各フレームにおいて取得された入力画像は、プレビュー用に縮小され、テクスチャメモリに転送・保存される。次に、逐次推定されているカメラパラメータと式 (1) を用いて、テクスチャメモリに保存されている初期フレームから現フレームまでの入力画像をテクスチャマッピングにより、モザイク画像平面上にレンダリングする。

カメラ移動の最適速度の表示は、モザイク画像生成に必要な特徴点追跡精度の確保や、効率の良い撮影を実現するために提示される。一般に、カメラの動きが速すぎる場合には、画像上での特徴点の動きも速くなるため、精度の高い特徴点追跡が困難となり、生成されるモザイク画像の品質が低下する。また逆に、カメラの動きが遅すぎる場合には、モザイク画像の品質が向上しないにもかかわらず、画像の撮影枚数の限界によって対象全体を撮影することができない。本手法では、撮影中のカメラの移動速度と最適速度を逐次リアルタイム提示することで、効率的かつ高品位なカメラパラメータ推定を実現できるカメラの移動速度をユーザに指示する。なお、最適なカメラ移動速度の決定方法に関しては3章で述べる。

2.3 オフライン処理によるモザイク画像の高品位化

オフラインステージは、モザイク画像高品位化のための3つの処理で構成される。まず、動画像中で再出現し

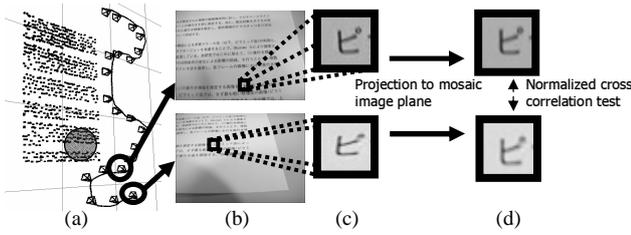


図 4: 再出現特徴点の検出 ((a): カメラの移動経路およびモザイク画像平面上の特徴点, (b) 入力画像中の時間的に離れた 2 フレーム, (c) 各フレームにおける同一特徴点のパターン, (d) モザイク平面上に投影された各パターン)

た特徴点を自動検出し (c), 次に, これらを用いて動画画像全体でカメラ外部パラメータを最適化する (d). 最後に, 推定されたカメラパラメータを用いて超解像手法を適用することで超解像モザイク画像を生成する (e). 以下では, 各処理について詳述する.

(c) 再出現特徴点の検出

撮影中はカメラが動いているため, 通常, 特徴点はフレームインし, しばらく追跡された後, フレームアウトして行く. このような特徴点のうち, 一度フレームアウトした後に再度フレームインする特徴点も存在する. そこで, 本研究では, このような再出現特徴点を検出し, 同一の特徴点として対応付けることで, 後段のカメラパラメータの累積的な誤差の最小化に利用する.

再出現特徴点の検出は, 時間的に離れたフレーム間で, 類似のパターンが存在するかを検証することにより行う. その際, 図 4 に示すように, 紙面上の同じ特徴点であってもカメラ運動の影響による投影歪みにより, パターンが変化してしまうことが問題となる. そこで本手法では, 各フレームにおけるパターンをモザイク画像平面上に投影することで, 投影歪みの影響を排除する. 次に, モザイク画像平面上での空間的距離が一定の閾値以下となる特徴点の組を抽出し, 両者の類似度を正規化相互相関の尺度によって算出する. これにより, 類似度の高い特徴点の組を再出現特徴点とする.

(d) カメラパラメータの全体最適化

本ステップでは, バンドル調整 [14] を用いることで, 逐次処理において発生する累積的な推定誤差を動画画像全体で最小化する. ここでは, 誤差関数 E として動画画像全体に対する式 (4) の総和を用い, これを最小化することで, 最適なカメラの外部パラメータ M_f と特徴点のモザイク画像平面上での位置 (x_p, y_p) を決定する.

$$E = \sum_f \sum_p E_{fp}. \quad (5)$$

ここでは, ステップ (c) で検出された, 時間的に不連続な特徴点の追跡結果も利用することで, カメラパラメータの推定精度向上を図る.

(e) 超解像モザイク画像の生成

最後に, 最適化されたカメラパラメータを用い, 超解像



図 5: 試作したビデオモザイクシステムの外観

処理を適用することで超解像モザイク画像を生成する. 超解像とは, サブピクセルレベルでの重なりをもつ複数の低解像度画像を統合することで, 重なり領域の解像度を向上させる手法である. ここでは, Irani らによって提案された Iterative Back Projection アルゴリズム [15] を利用する. まず, 式 (1) およびカメラ外部パラメータ M_f を用いて, 全ての入力画像をモザイク画像平面上に投影し, ブレンディング処理によってモザイク画像の初期画像 $S^{(0)}$ を生成する. 次に, 初期モザイク画像 $S^{(0)}$ に対して, 画像の撮像過程をシミュレートし, 幾何変換とぼかし処理によって入力画像 $\{I_f\}$ に対応する低解像度画像 $\{I_f^{(0)}\}$ を生成する. ここで, $S^{(0)}$ が正しい高解像度画像であれば, 全てのフレームにおいて $\{I_f^{(0)}\}$ と $\{I_f\}$ は一致することになる. 逆に, $S^{(0)}$ の推定誤差が大きくなれば, 同様に $\{I_f^{(0)}\}$ と $\{I_f\}$ の差分も大きくなる. そこで, 入力画像と撮像過程のシミュレートにより生成された低解像度画像との誤差画像 $\{I_f - I_f^{(0)}\}$ を計算し, モザイク画像中の対応する箇所に逆投影 (Back Projection) し, 加算することで, 更新された高解像度画像を得る. この低解像度画像の生成と誤差画像の逆投影を, 高解像度画像が収束するまで繰り返すことで, 超解像モザイク画像を生成する.

3 実験

提案手法に基づく超解像ビデオモザイクシステムを試作した. 図 5 に示すように, 本システムは B5 サイズのノート PC と IEEE1394 接続の CCD カメラから構成されている. システムの詳細を表 1 に示す. 試作システムにおいて, ユーザは Enter キーを押すことで画像の取得を開始する. 画像の取得中, ユーザはノート PC の画面に表示されるプレビューを見ながら, 撮りこぼないように対象をくまなく撮影する. 対象の撮影は, あらかじめ設定した枚数の画像が獲得された時点で自動的に終了し, オフラインステージが実行される. 試作システムでは, 生成される超解像モザイク画像の解像度は, 入力画像の 1 画素が平均的に超解像モザイク画像上で

2×2画素に対応するように自動で決定される。また、カメラの内部パラメータは、あらかじめ Tsai の手法 [16] によって校正済みとし、これらのパラメータは実験中固定とした。

以下では、まず 2.2 節で述べたカメラの最適な移動速度を、計算機シミュレーションを用いて決定する。次に、試作システムを用いて、実際に文章と写真が印刷された二種類の紙面を撮影し、超解像モザイク画像の生成実験を行う。なお、いずれの紙面も A4 サイズであり、定量評価のために 40mm 間隔の格子にプラス印(+)を印刷してある。最後に、これらのグリッド上のプラス印を用いて、生成された超解像モザイク画像の歪みを評価する。

表 1: 試作システムの構成

ノート PC: IBM Thinkpad X31	
CPU	Pentium-M 1.6GHz
メモリ	1GB
グラフィックチップ	Mobility radeon
IEEE1394 カメラ: Aplux C104T	
解像度	640×480 画素
視野角	31.7° × 24.1°
最大フレームレート	15 フレーム/秒

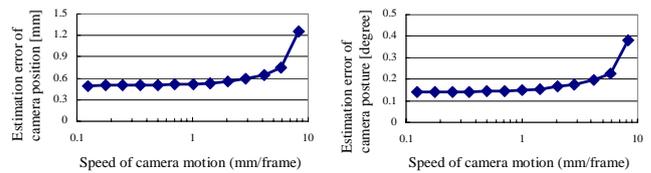
3.1 カメラの最適な移動速度の決定

本節では、シミュレーション実験によりカメラパラメータの推定精度を算出することで、2.2 節で述べたカメラの最適な移動速度を算出する。本シミュレーションでは、表 1 に示したものと同一パラメータを持つ仮想カメラを一定速度で動かし、仮想空間内のモザイク画像平面を撮影した。次に、2 節で述べた手法を用いてカメラパラメータを推定し、真値と比較することで評価を行った。シミュレーションに用いた実験条件を表 2 に示す。これらの実験条件は、本システムを用いたモザイクングにおける一般的な状況を想定し、設定した。また、本シミュレーションでは、モザイク画像平面上のランダムな位置に多数の特徴点を配置し、これを仮想カメラの画像上に投影することで、特徴点の入力画像上の座標とした。ただし、特徴点検出の誤差として、特徴点の投影座標にガウスノイズを加え、更に画素単位での量子化を行っている。

このような条件の下、複数パターンでのカメラの移動速度においてシミュレーションを行い、カメラパラメータの推定精度を評価した。図 6 に得られたカメラ外部パラメータの推定精度を示す。同図から、移動速度が速まるにつれ、推定精度が悪化していることがわかる。特に、カメラの移動速度が 4 mm/フレームを超えると、推定精度が著しく悪化している。他方、移動速度が 2 mm/

表 2: シミュレーションに用いた条件

カメラとモザイク画像平面の距離	200mm
各フレームで検出される特徴点の平均数	90
投影誤差の平均値	0.8 pixel



(a) カメラ位置の誤差

(b) カメラ姿勢の誤差

図 6: カメラ位置・姿勢の推定精度の評価 (シミュレーション)

フレーム以下では推定誤差はほぼ一定であり、移動速度の低下に伴う大きな精度向上は見られない。そこで、本研究では、最適なカメラの移動速度を 2 mm/フレームとし、ユーザに提示した。ただし、この最適な移動速度はカメラと紙面の距離に応じて線形に変化するため、本システムでは、紙面とカメラ間の距離の変化に基づいて最適速度をフレームごとに算出している。

3.2 文章を対象としたモザイクング

本節では、A4 サイズの紙面に印刷された文章を対象とした実験結果について示す。ここでは、試作システムによって生成されるプレビュー表示を確認しながら、紙面を 120 フレームの動画 (640 × 480 画素) として撮影した。本実験では、手法の有効性を確認するために、入力画像の全てのフレームにおいて、カメラを紙面に対して傾けて撮影した。試作システムによって得られた入力画像と特徴点の検出位置を、図 7 に示す。図中の×印は検出された特徴点の画像上の位置である。本実験では、各画像上で平均 94 点の特徴点が検出・追跡され、カメラパラメータ推定に利用された。また、動画全体で 90 点の特徴点が再出現特徴点として検出され、全体最適化に利用された。全体最適化後の特徴点の投影誤差は、平均 0.72 画素であった。全体最適化によって得られたカメラの位置・姿勢と、特徴点のモザイク画像平面上での位置を、図 8 に示す。図中の曲線はカメラパスを、錐台は 10 フレームごとのカメラの姿勢を表している。同図から、カメラパスは滑らかに推定されており、不連続も発生していないことが確認できる。

推定されたカメラ外部パラメータを用い、3 回の逆投影処理によって生成された超解像モザイク画像を、図 9 に示す。生成された超解像モザイク画像の解像度は、2533 × 2920 画素である。いずれの入力画像も、紙面に対して正対して撮影されなかったにもかかわらず、生成されたモザイク画像に投影歪みは見られない。また、入力画像と超解像モザイク画像の拡大比較を図 10 に示す。同図の比較により、解像度が向上することで、文字のストロークがより鮮明となり、読み取りやすくなっていることが確認できる。

なお、試作システムにおいては、リアルタイムステージを平均 9 フレーム/秒で処理することができた。また、オフラインステージにおいては、再出現特徴点の検出に 1 秒、カメラパラメータの最適化に 27 秒、超解像処理に 240 秒の計算時間を要した。

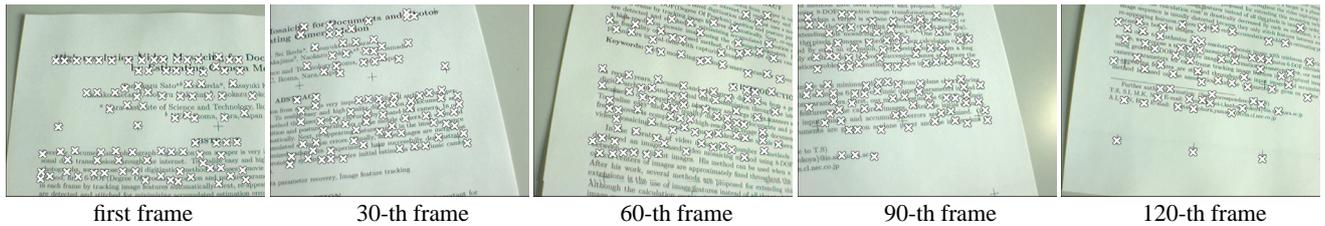
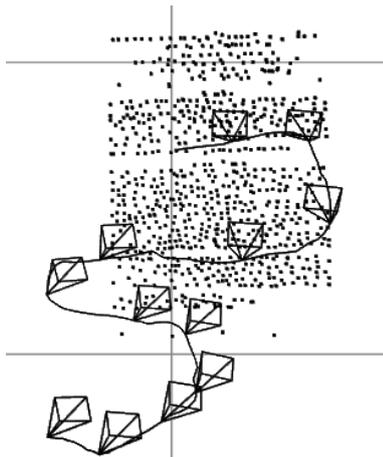
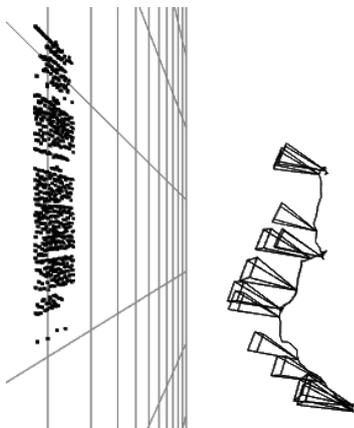


図 7: 入力画像と特徴点の画像上での検出位置 (文章)



(a) 上方から



(b) 側方から

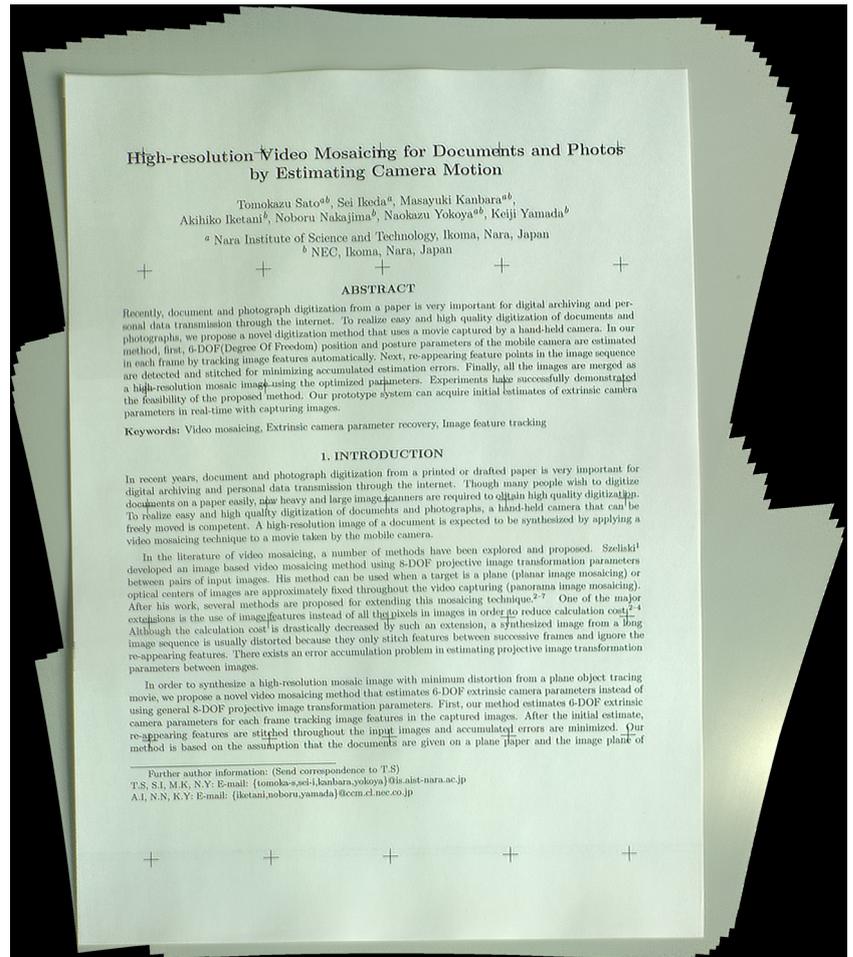
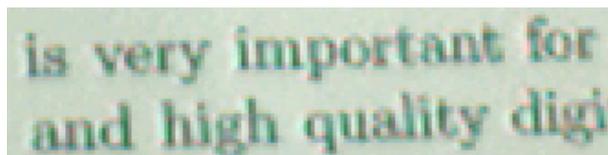
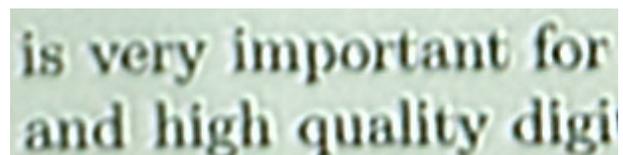


図 9: 生成された超解像モザイク画像 (文章)

図 8: カメラ外部パラメータと特徴点位置の推定結果 (文章)



(a) 入力画像



(b) 超解像画像

図 10: 入力画像と超解像画像の拡大比較 (文章)

3.3 写真を対象としたモザイクング

本節では、写真を対象とした実験結果について示す。まず、前節の実験と同様に、試作システムを用いて、プレビュー表示を見ながら120枚の動画像(640×480画素)を撮影した。これにより得られた入力画像と特徴点の画像上での位置を図11に示す。ここでは、初期フレームにおいておおむねカメラと紙面が正対するように撮影を行っている。本実験では、各フレームにおいて97点の特徴点が自動追跡され、動画像全体で142点の特徴点が再出現特徴点として検出された。全体最適化後の投影誤差は、0.79画素である。図12に、全体最適化後のカメラ位置・姿勢と特徴点のモザイク画像平面上での位置を示す。

3回の逆投影処理によって生成された超解像モザイク画像を、図13に示す。生成された超解像モザイク画像の解像度は、2019×2758である。また、入力画像と超解像モザイク画像の拡大比較を図14に示す。同図から、超解像後では、眼鏡のフレームが復元されており、また顔の表情が明瞭になっているために、解像度が向上していることを確認できる。

本実験においても、リアルタイムステージの処理速度は平均9フレーム/秒であった。また、再出現特徴点の検出に1秒、カメラパラメータの最適化に10秒、超解像処理に220秒の計算時間を要した。前節の実験に対して、カメラパラメータの最適化時間が短い、これは初期フレームの撮影時にカメラと紙面を正対させたことにより、カメラパラメータの初期値の推定精度が良くなり、最適化処理の収束が速くなったためと考えられる。

3.4 投影歪みの定量的評価

本節では、生成されたモザイク画像の投影歪みについて、定量的評価実験を行う。ここでは、先の実験で用いた文章および写真にあらかじめ印刷しておいた、40mm間隔のグリッド上のプラス印(+)の座標を、モザイク画像上で手作業で計測し、隣接するグリッド間の距離を算出することで、歪みの評価を行った。表3に、これらグリッド間の距離の平均値、最大値、最小値、標準偏差を、また括弧内に、平均値からのパーセンテージを示す。この表において、標準偏差は生成された画像の平均的な歪みを表しているが、両実験共にこれらの値は十分小さく、画像のデジタル保存やインターネット伝送といった用途には問題のないレベルであるといえる。

表3: モザイク画像における隣接グリッド間の距離

[単位: 画素 (平均からのパーセンテージ)]

対象	平均	最大	最小	標準偏差
文章	359.8(100.0)	364.0(100.9)	354.0(98.4)	2.43(0.68)
写真	328.6(100.0)	333.0(101.3)	325.0(98.9)	2.06(0.62)

4 まとめ

本稿では、リアルタイムカメラパラメータ推定に基づく超解像ビデオモザイクング手法を提案した。また、リアルタイム処理の実現によって、ユーザへのインタラク

ティブな情報提示が可能となった。実験では、モザイク画像平面とカメラの画像平面が平行でない場合でも、投影歪みのないモザイク画像が生成できることを示した。また、生成されるモザイク画像の歪みについて定量的評価を行った。今後は、計算量を削減することにより、携帯電話やPDAでも実行可能なシステムの実現を目指す。また、湾曲した紙面のような非平面対象に対してもモザイクングを行う手法を開発する予定である。

参考文献

- [1] R. Szeliski: "Image Mosaicing for Tele-Reality Applications," Proc. IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, pp. 230-236, 1994.
- [2] N. Chiba, H. Kano, M. Higashihara, M. Yasuda and M. Osumi: "Feature-based Image Mosaicing," Proc. IAPR Workshop on Machine Vision Applications, pp. 5-10, 1998.
- [3] D. Capel and A. Zisserman: "Automated Mosaicing with Super-resolution Zoom," Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 885-891, 1998.
- [4] S. Takeuchi, D. Shibuichi, N. Terashima and H. Tominaga: "Adaptive Resolution Image Acquisition Using Image Mosaicing Technique from Video Sequence," Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, vol. I, pp. 220-223, 2000.
- [5] C.T. Hsu, T.H. Cheng, R.A. Beuker and J.K. Hong: "Feature-based Video Mosaicing," Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, vol. II, pp. 887-890, 2000.
- [6] M. Lhuillier, L. Quan, H. Shum and H.T. Tsui: "Relief Mosaicing by Joint View Triangulation," Proc. IEEE Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, vol. I, pp. 785-790, 2001.
- [7] W. Du and H. Li: "Construction of Image Mosaics with Video Texture," Proc. Asian Conf. on Computer Vision, vol. II, pp. 871-876, 2002.
- [8] U. Bhosle, S. Chaudhuri and S.D. Roy: "A Fast Method for Image Mosaicing Using Geometric Hashing," IETE Journal of Research, Special Issue on Visual Media Processing, vol. 48, no. 3-4, pp. 317-324, 2002.
- [9] P.F. McLauchlan and A. Jaenicke: "Image Mosaicing Using Bundle Adjustment," Image and Vision Computing, vol. 20, pp. 751-759, 2002.
- [10] D.W. Kim and K.S. Hong: "Fast Global Registration for Image Mosaicing," Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, vol. II, pp. 295-298, 2003.
- [11] T. Sato, M. Kanbara, N. Yokoya and H. Takemura: "Dense 3-D Reconstruction of an Outdoor Scene by Hundreds-baseline Stereo Using a Hand-held Video Camera," Int. Jour. of Computer Vision, vol. 47, no. 1-3, pp. 119-129, 2002.
- [12] C. Harris and M. Stephens: "A Combined Corner and Edge Detector," Proc. Alvey Vision Conf., pp. 147-151, 1988.
- [13] M.A. Fischler and R.C. Bolles: "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography," Communications of the ACM, vol. 24, no. 6, pp. 381-395, 1981.
- [14] B. Triggs, P. McLauchlan, R. Hartley and A. Fitzgibbon: "Bundle Adjustment: A Modern Synthesis," Vision Algorithms: Theory and Practice, pp. 298-375, 2000.
- [15] M. Irani and S. Peleg: "Improving Resolution by Image Registration," Graphical Models and Image Processing, vol. 53, pp. 231-239, 1991.
- [16] R.Y. Tsai: "An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision," Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 364-374, 1986.

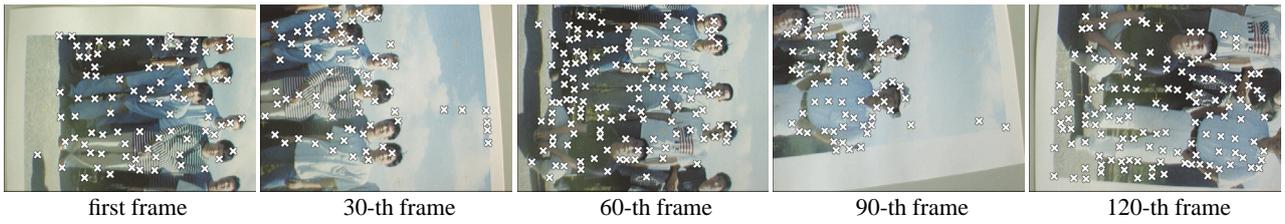


図 11: 入力画像と特徴点の画像上での検出位置 (写真)

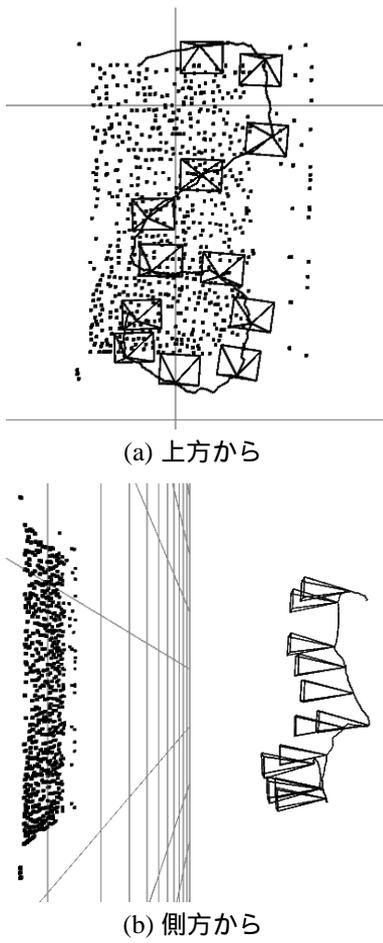


図 12: カメラ外部パラメータと特徴点位置の推定結果 (写真)



図 13: 生成された超解像モザイク画像 (写真)



(a) 入力画像



(b) 超解像画像

図 14: 入力画像と超解像画像の拡大比較 (写真)