

## パンビデオシーケンスを用いたパノラマ画像作成

秦 学 英<sup>†</sup> 多田村 克己<sup>††</sup>  
永 井 康 雄<sup>†††</sup> 中 前 栄 八 郎<sup>†</sup>

雲台上のビデオカメラをパンして得たビデオシーケンス画像から、高精度のパノラマ画像を作成する方法を提案する。提案手法は、自動絞りでパンする際に生じる露出の変化とカメラレンズ/CCDによる画像の幾何学的な歪みの補正、および市販のビデオシステムにおけるインタレース走査線の影響を除去し、光学的にも幾何学的にも高精度でシームレスなパノラマ画像を作成することができる。

### Creating a Precise Panorama from Panned Video Sequence Images

XUEYING QIN,<sup>†</sup> KATSUMI TADAMURA,<sup>††</sup> YASUO NAGAI<sup>†††</sup>  
and EIHACHIRO NAKAMAE<sup>†</sup>

Here we present an approach to offer a precise panoramic image composited from panned video sequence images, which are taken by a video camera on a tripod. It can correct the varying exposure levels due to changing camera view fields, calibrate any geometrical distortion due to camera lens and/or CCD, and eliminate the effects of the interlaced scanning which is commonly used for video systems. As the results the proposed method can make a seamless panoramic image, in terms of both optical and geometrical accuracy.

#### 1. はじめに

雲台上のビデオカメラをパンしたときに得られるビデオシーケンス (VS) から、高精度のパノラマ画像を作成する手法を提案する。提案手法は、以下の問題を解決している。

- (1) VSの各フレーム画像をシームレスに継ぐときに問題となる、カメラレンズ/CCDの歪み補正
- (2) パノラマ画像を構成する部分画像の明るさが、継ぎ目で不連続になる原因である、パンしたときの絞り変化の補正およびビネッティング (フレーム周辺が暗くなる効果) の回避
- (3) パン時におけるカメラパラメータ (水平、垂直方向の回転角) の精密な検出
- (4) インタレース走査方式に起因する各フレーム画像のジャグを除去する際に生ずる解像度の低下を防ぐノンインタレース化
- (5) パン VS 中の移動物体により生ずるモーション

#### ブラーの除去

まず、これまでに開発された景観画像生成手法について概観しよう。90年代に入って、写真およびVS画像を用いたイメージベースの技法が注目を浴びるようになった。これらは、生成する対象により単一画像 (パノラマ画像) とシーケンス画像の2つに分類できる。前者に対しては、複数の写真画像を切り取り、それらを合成する手法<sup>1)</sup>、およびVS中の少数のフレーム画像からパノラマ画像を構成するモザイク法<sup>2),3)</sup>がある。一方、後者に対しては、適正なコストで作成できるものとして写真から建物の3次元モデルを再構成するもの<sup>4)</sup>、パノラマ写真のグループから仮想環境の背景を生成するもの<sup>5)</sup>が開発されている。

前述の、実写からパノラマ画像を作成する方法の問題点は、ビデオカメラの歪み、ビネッティング<sup>6)</sup>、インタレースの影響を考慮していないことである。SzeliskiはVS画像からシームレスのパノラマ画像を作成する方法<sup>2)</sup>を提案しているが、次の問題点を指摘する必要がある。(1) 自動絞り、ビネッティングの影響およびインタレース特性を考慮していない。(2) ビデオフレームのレンズ/CCDによる歪みを無視している。したがって、これを補正するためにゴースト除去技法を採用している。高品質のパノラマ画像を作成するためのカメラパラメータの抽出、およびTVシステムのイン

<sup>†</sup> 株式会社三英技研  
Sanei Co.

<sup>††</sup> 山口大学工学部  
Faculty of Engineering, Yamaguchi University

<sup>†††</sup> 広島工業大学工学部  
Faculty of Engineering, Hiroshima Institute of Technology

タレース走査方式への対応も困難な問題である。提案手法は、(1) パン VS 画像が、視界の変化にともなう露光変化する現象を捕えてこれを補正し、(2) 適切な間隔のフレームを継ぐことにより、ビネッティング効果を回避し、(3) レンズ/CCD による歪みを補正してパノラマ画像の歪みを 1 ピクセル以内に抑えることによって、きわめて精度の良いパノラマ画像を提供する。

本章で、パノラマ画像作成の際に生じる一般的な問題点について議論する。3 章では移動物体を含まないパノラマ画像の作成法、4 章では移動物体の描画法について説明する。5 章で、例をあげて提案手法の有効性を実証する。

## 2. ビデオシーケンス画像の問題点

VS フレーム画像から高精度かつ継ぎ目のないパノラマ画像を作成するには、以下の問題を適切に処理する必要がある。(1) VS 中のすべての隣接画像について幾何学的なマッチングをとること、(2) カメラのパンにともなう各フレームの露出の変化およびビネッティングによって生じる各フレーム画像間の明度差を補正すること、(3) インタレース VS 画像の高解像度なノンインタレース化。

### 2.1 幾何学的な問題

雲台上でビデオカメラをパンした場合のパノラマ画像は、任意の 2 次元場、たとえば円筒、立方体箱、平面上に作成することができる。これらの相違は、単にビデオカメラの画像座標系とパノラマ画像座標系とのマッチングのためのマトリックスだけである。本論文では、ビデオカメラを中心軸とする円筒投影面を考える。パン VS の任意の 2 フレーム間の幾何学的関係、すなわち、カメラパラメータ（水平、垂直方向の回転角）から、パノラマ画像空間を設定することができる。したがって、すべてのフレーム画像の各ピクセルは、このパノラマ画像空間上にマッピングできる。この際、高精度のパノラマ画像を作成するためには、カメラ/CCD の歪みとインタレース走査方式の影響についても、十分考慮する必要がある。

よく知られているように、ワールド座標系の任意の 3 次元空間中の点  $\mathbf{P}_{wld} = (x_{wld}, y_{wld}, z_{wld})^T$  は、ビデオカメラの投影面上の点  $\mathbf{P}_{fcs} = (x_{fcs}, y_{fcs}, z_{fcs})^T$  に透視投影される。すなわち、 $V$  をワールド座標系からカメラ座標系への変換マトリックス、 $F$  を焦点距離が  $f$  の場合の透視投影の変換マトリックスとすると、 $\mathbf{P}_{fcs}$  は

$$\mathbf{P}_{fcs} = FVP_{wld} \quad (1)$$

で表される。ビデオカメラのレンズと CCD の歪みは、関数  $\Phi(\mathbf{P}_{fcs}, f)$  によって表され、パン画像に対しては焦点距離  $f$  は一定であるから、歪みは  $\Phi(\mathbf{P}_{fcs})$  で表すことができる。透視投影面を画像座標系へマッピングするための 2 次元スケールを  $\Psi_{cmr}$  とすると、あるフレーム画像上の点  $\mathbf{P}_{img} = (x_{img}, y_{img})$  と  $\Psi_{cmr}$  との関係は、 $\mathbf{P}_{img} = \Psi_{cmr}(\Phi(\mathbf{P}_{fcs}))$  として与えられる。いま、原点をフレーム画像の中心にとると、 $\Psi_{cmr}$  は定数になる。したがって  $\mathbf{P}_{img}$  は、

$$\mathbf{P}_{img} = \rho_{cmr}\Phi(\mathbf{P}_{fcs}) \quad (2)$$

で表される。ここで、 $\rho_{cmr}$  はスケールファクタである。したがって、 $\mathbf{P}_{img}$  に対応する 3 次元空間中の点ベクトル  $\mathbf{P}_{wld}$  は、 $V^{-1}F^{-1}\Phi^{-1}(\mathbf{P}_{img}/\rho_{cmr})$  に対応する。円筒投影中心で回転する雲台上のビデオカメラに対しては、 $N+1$  枚のフレーム中のフレーム  $i$  の変換マトリックス  $V_i$  ( $i \in [0, N]$ ) は、 $\prod_{j=i}^1 R_j \cdot V_0$  で表される。ここで  $R_j$  はフレーム  $j-1$  とフレーム  $j$  の間のカメラの回転を表すマトリックスであり、カメラ座標系の水平および鉛直軸回りの回転角  $\delta\theta_i$  と  $\delta\varphi_i$  で与えられる。 $V_0$  は、カメラの初期位置の変換マトリックスである。フレーム  $i$  中の点  $\mathbf{P}_{img_i}$  の  $k$  フレーム後のフレーム  $i+k$  へのマッピングは、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{img_{i+k}} &= \rho_{cmr}\Phi\left(F\left(\prod_{j=i+1}^{i+k} R_j\right)F^{-1}\Phi^{-1}\left(\frac{\mathbf{P}_{img_i}}{\rho_{cmr}}\right)\right) \end{aligned} \quad (3)$$

1 枚の静止画像を観察するとき、フレーム画像の視野角があまり大きくない場合は、カメラレンズの光学特性や CCD によって生じる幾何学的歪みに、観察者が気付くことはほとんどない。一方、パン VS フレーム画像を修正なしに並べてパノラマ画像を生成すると、前述の幾何学的歪みのため、フレーム間の接合部分が不連続なことにだれでも容易に気付く（図 1 参照）。歪み  $\Phi$  は使用するビデオカメラの特性に依存するから、 $\Phi$  と  $\rho$  は補正することができる<sup>7)</sup>。本論文では、正方メッシュを撮影した映像から、歪みデータを抽出した。

式 (3) の  $R_j$  は、すべての隣接フレーム間で抽出する必要がある。パノラマ画像の投影面は、それを構成する VS の両端のフレーム画像の相対的な位置関係によって決まるから、 $V_0$  は無視してよい。この  $R_j$  を用いて各 VS フレーム画像をパノラマ画像空間にマッチングすることができる。高精度のパノラマ画像を得るための VS フレーム画像の  $R_j$  の求め方については、

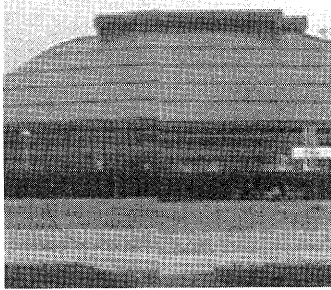


図1 レンズ/CCDカメラ歪みによるフレーム間の不連続

Fig. 1 Discontinuity caused by the camera distortions due to lens/CCD between the frames.

文献8)を参照されたい。

## 2.2 フレーム間の露出の変化の影響

ビデオカメラを自動絞りでパンすると、一般に、VSの各フレームの露出はその入射光に応じて変化する。したがって、比較的遠距離にある大型構造物（たとえば橋梁や高層ビル等）であっても、その明るさはフレームによって異なる。もし、この明るさの変化を無視してパノラマ画像を作成すると、パノラマ画像の明るさにむらが生じる。したがって、パノラマ画像の明るさは、VS中の1つのフレーム画像の明るさを基準にとることが望ましい。

2つの連続するフレーム $i$ と $i-1$ の明度比を $\alpha_i$ とすると、フレーム1に対するフレーム $i$ の明度比 $\Gamma_i$ は次式で表される。

$$\Gamma_i = \prod_{j=1}^i \alpha_j \quad (4)$$

詳細については文献8)を参照されたい。このフレーム間の明度変化を考慮したパノラマ画像の作成法については、3.3節で述べる。以下では、VSのカメラパラメータ $(\delta\theta_i, \delta\varphi_i, \alpha_i)$ は既知として取り扱う。

## 2.3 インタレース方式の問題

現在の標準テレビとビデオ信号の走査線方式はインタレースである。そのため、同一フレーム中の奇数と偶数走査線の撮影時刻がずれている。もしビデオフレーム中に移動物体があったり、カメラがパンされたりしたときのシーンでは、隣接する走査線の間で、画像の不連続が生じる。この問題の解決は3.2節で詳述する。またインタレース走査方式は、本論文で採用するカメラパラメータ抽出のためのパターンマッチング処理に際しても問題となる。この点の解決には、文献8)を適用すればよい。

## 3. パノラマ画像の作成

### 3.1 作成手順の概略

パノラマ画像は、自動絞り、レンズの歪み、投影面の歪み、インタレース方式に起因する走査線間の画像のずれ、これらの影響を考慮しながら、VSフレーム画像のカメラパラメータを抽出することによって作成できる。提案手法におけるパノラマ画像は、以下の手順によって作成される。

- (1) あらかじめ撮影されたVSからパノラマ画像空間を選択する。
- (2) 各VSフレーム画像のカメラパラメータを抽出する。
- (3) フレームごと、または適当な間隔のフレームごとに、それらの画像の中央部分に対して、カメラの回転角に応じた幅のピクセルを抽出する。
- (4) インタレース画像をノンインタレース化した後、各フレーム画像の幾何学的歪みを除去する。
- (5) 各フレーム画像の明度を調整する。
- (6) パノラマ画像空間上に、それぞれの修正されたフレーム画像をマッピングする。

ここで、パノラマ画像空間中に移動物体がある場合は、4章の処理を行う。

### 3.2 パノラマ画像空間へのマッピング

#### 3.2.1 従来法の問題点とその対策

パノラマ画像作成に利用するVSは非常に多くのフレーム画像から構成され、それらは互いに広範囲に重なりあっている。したがって、パノラマ画像の作成に利用するフレームの選択方法には、いくつかの選択枝が存在する。この場合、ビデオカメラレンズおよびCCDの歪みの補正方法を考慮に入れて検討する必要がある。従来手法<sup>2),3)</sup>は、パノラマ画像になるよう、互いに画像が継がる範囲の少数のフレームを選択し、隣接するフレーム画像の共通部分に重み付き加算による合成を施し、接続部の変化を滑らかにしている。この方法の欠点は、各フレームの露出の相違、およびフレーム画像内のビネットングによって接続部が不連続になることである。提案手法では、この問題を回避するために、数フレーム間隔(1から5フレーム間隔)でフレームの中央部分を抽出し、パノラマ画像空間上にマッピングする。抽出部分の幅は各フレーム間の移動幅に依存する。この場合、フレーム画像は平面であるのに対して、パノラマ画像は円筒面であるためカメラの移動方向にのみフレーム画像がわずかの歪みを持つが、無視できる範囲である。

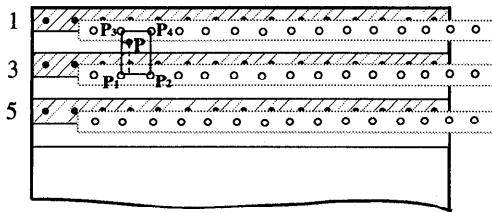


図2 ノンインタレースイメージの作成：奇数走査線は奇数フィールド走査線のコピー、偶数走査線は偶数フィールド走査線どうしの内挿

Fig.2 Deinterlace image: odd scanlines are copies of odd field scanlines; even scanlines are interpolated of even field scanlines.

### 3.2.2 ノンインタレースフレーム画像の作成

VS フレーム画像は、インタレース走査線を用いているから、パン画像にはジャグが発生する。したがって、抽出されるフレーム画像をパノラマ画像空間へマッピングする前に、ジャグのないノンインタレースフレーム画像にする必要がある。もし汎用のソフトウェア（たとえば Avid Media Suite Pro.）でよく行われているように、奇数または偶数フィールドのいずれか一方をとり、他方の走査線にマッピングすれば、一応ノンインタレース画像が作れるが、縦方向の解像度は  $1/2$  になる。

そこで、以下の手法により高品質のノンインタレースフレーム画像を作成する。フレーム  $i$  の奇数フィールドを、図2に示すように、ノンインタレース画像中の奇数ラインにマッピングする。この場合偶数ラインは空である。偶数走査線は奇数走査線より  $1/2$  フレーム周期遅れるから、1フレーム期間中にカメラが一定速度で回転し、その回転角が  $R(\delta\theta_i, \delta\varphi_i)$  とすると、2フィールド間の回転角は  $R'(\delta\theta_i/2, \delta\varphi_i/2)$  である。したがって、これらの幾何学的な関係は、式(3)によって計算できる。インタレース画像の偶数フィールドのピクセル  $P$  がノンインタレースフレーム画像の偶数行にマッピングされる時、それらは、図2に示すように、一般的には整数位置（偶数ラインピクセル上）に存在せず、たとえば、 $P_1, P_2, P_3, P_4$  の位置を占める。したがって、ノンインタレースフレーム画像の偶数ラインのピクセル  $P'$  の色を、これら隣接する4点の色の線形補間によって求める。インタレースフレーム画像とそその一部を拡大した例を図3(a)および(c)に示す。提案手法により作成したノンインタレース画像とそその拡大図、図3(b)および(d)では、ジャグが除去されており、1フィールドだけを2重描きした汎用ソフトのもの（図3(e)）に比べて、解像度が良いことが分かる。

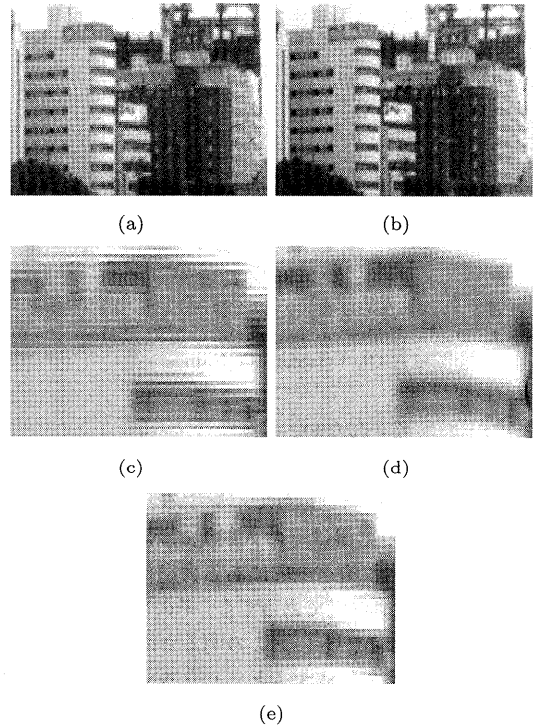


図3 インタレース画像の作成：(a) 原画像、(b) 提案手法によるノンインタレース画像、(c) (a)の拡大図、(d) (b)の拡大図、(e) 1フィールドのみを使用した場合の拡大図

Fig.3 Deinterlaced image: (a) original image; (b) deinterlaced image by proposed method; (c) magnified subimage of (a); (d) magnified subimage of (b); (e) magnified subimage by using one field.

### 3.2.3 ピクセルの内挿

一般に、ノンインタレース化されたVSフレーム画像のピクセルとパノラマ画像のピクセルは、1対1対応しない。すなわち、それらの間で対応する部分があるにも整数位置にあるとは限らないから、内挿することが必要である。パノラマ画像とノンインタレース化されたそれぞれのフレーム画像間の関係は、式(3)によって求めることができる。そこで、パノラマ画像の1つのピクセルの4頂点をまずノンインタレース化されたフレーム上にマッピングし、それぞれの頂点を含む4ピクセルの色を求め、それらを線形補間することにより、パノラマ画像のピクセルの色を求める。

### 3.3 パノラマの明度調整

自動絞りカメラによる露出変化の影響を除去するために、フレーム間の明度の変化比を用いて、パノラマ画像を補正する必要がある。この場合、基準になる明度の設定が重要である。暗い部分を基準にとると、パノラマ全体が明るくなりすぎるし、逆の場合は、暗くなりすぎる。したがって、パノラマ画像に対して基準

露出比を設定する必要がある。この値は、パノラマ画像全体の明度を決定するから、適切な値を設定する必要がある。VS フレーム画像を逐次追跡することによって、各フレーム画像の露出による明度の変化の割合が得られる。連続する2フレーム  $i$  と  $i-1$  の明度比を  $\alpha_i$  とし、フレーム 1 に対する変化の割合を  $\Gamma_i$  としよう。ユーザはフレーム 1 と  $N$  の間の任意のフレーム、たとえばパノラマ画像の中心部のフレーム  $N/2$  の値  $\Gamma_{N/2}$  を基準として設定することができる。この場合は各フレーム画像のピクセルの色に、 $\Gamma_i/\Gamma_{N/2}$  を乗算して明度調整を行う。ところで、自動絞りカメラの設定は、1 フレーム内の視界全体の明度によって設定されるから、その視界が明るいほど、露出は低くなる。VS 画像全体の明度の平衡をとるためには、基準比  $\Gamma$  を次式によって設定すればよい。

$$\Gamma = \frac{\sum_{i=1}^N d_i \Gamma_i}{\sum_{i=1}^N d_i} \quad (5)$$

ここで  $d_i$  はフレーム間の回転角。したがって、各フレームの相対比は  $\Gamma_i/\Gamma$  となる。露出がパン中に大きく変化する場合、ある部分が暗すぎたり、明るすぎたりする。これに対しては、いわゆる、 $\gamma$  補正曲線を修正することによって明るさの調整を行うことができる。上述の手法を用いることによって、パノラマ画像全体の調和がとれる。なお、固定絞りでカメラをパンした場合は、パノラマが広角になるほど適切な絞りの設定は難しくなり、多くの場合、原フレームの一部が露出過度になったり、不足したりする。このような部分の情報の回復は困難である。

#### 4. 移動物体の描画

車のような移動物体は、フレームごとに異なった位置を占め、その形状も、それ自身の投影像とカメラ歪みによって変化する。極端な場合、水平にパンされたVS において、車がパンカメラ速度と同期して同じ方向に走ると、移動物体であることを考慮せずに合成したパノラマ画像中では1本の棒のように描かれる。一方、反対方向の場合には、移動物体は実物より短くなる(図8拡大図上段参照)。ところで、各フレーム内の移動物体は、一度カメラパラメータが決まれば検出できる<sup>9)</sup>。したがって、まず、移動物体を取り除いたパノラマ画像を作成した後、露出、インタレース、カメラ歪み等について補正済みのフレームのうちから、移動物体がその中央部に位置するフレームを選んで、移動物体の部分を描画すればよい(図8拡大図下段参照)。

#### 4.1 基本的な考え方

パン VS の場合は、移動物体だけでなく、静止物体画像も各フレームごとにその位置が移動する。隣接する各フレーム内のピクセルのサンプリング領域も、1対1対応しない。たとえば、ある物体の境界がピクセルの境界と一致する場合は、その境界は明瞭に現れるが、次のフレームで1/2ピクセルだけ物体の境界が移動すると、2本の不明確な境界線が現れる。この現象は、インタレースの奇偶数ラインのずれに対しても、またレンズの歪み補正に対しても現れる。背景の部分画像として、移動物体を囲む長方形の画像を使用したとしても、1枚のフレーム画像から移動物体を抽出することはできない。そのほかに、露出の変化による色の変化が加わる。移動物体を捕捉する鍵は、異なるフレームから取り出した2枚の部分画像を比較することである。以下でこの問題を議論する。

#### 4.2 フレーム内の移動物体の抽出

パン VS 画像中に1個の移動物体、たとえば車がある場合について考察する。図4に示すように、あるフレームにおいて、移動物体を囲む長方形の部分画像  $M$  (図4(a)) と、 $M$  と同じ領域中に移動物体を含まないフレーム  $j$  におけるその部分画像  $B$  (図4(b)) を設定しよう。 $M$  と  $B$  の部分画像の座標系をそれぞれ  $(x, y)$  および  $(x', y')$  とし、点  $P(x, y)$  が  $M$  の中にあると仮定しよう(図4(c))。これに対応する点を

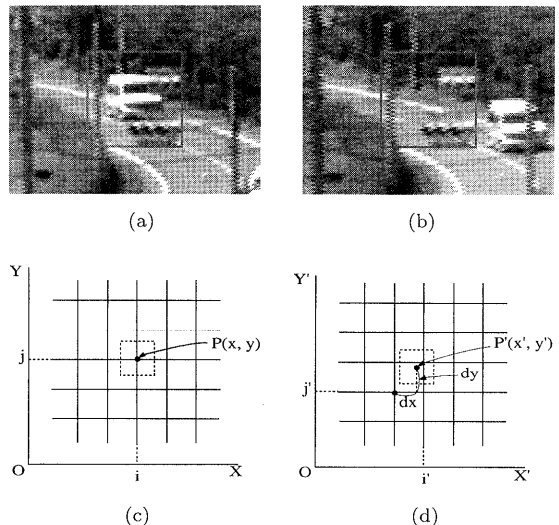


図4 移動物体の除去: (a) 移動物体を含む部分画像, (b) 移動物体のない静止背景画像, (c) フレーム内のピクセル位置, (d) 他のフレームにマッピングされたピクセルの位置

Fig. 4 Extracting moving object: (a) sub-image with moving object; (b) sub-image without moving object; (c) a pixel in one frame; (d) the pixel mapping to another frame in its corresponding position.

$B$  内に見つけるために、 $P'(x', y')$  を式 (3) から求める。点  $P'$  は、一般的には  $B$  のピクセルの中心に位置しない (図 4(d)).  $M$  内の  $(x, y)$  座標上のピクセル  $P(x, y)$  の色を  $C(x, y)$  とし、 $B$  の対応する  $P'(x', y')$  の色を  $C'(x', y')$  とすると、 $C'(x', y')$  は 3.2.3 項で述べた双線形内挿によって求められる。ここで、走査線はインタレースであり、内挿は同一フィールド内で行われることに注意されたい。しかし、ほとんどの場合、 $B$  内の色はノイズを含んでいる。もし  $C(x, y)$  と  $C'(x', y')$  が以下の条件を満足するなら、 $P(x, y)$  は移動物体内のピクセルであると考えてよい。

$$|C(x, y) - C'(x', y')| > \varepsilon \quad (6)$$

ここで、 $\varepsilon$  は VS 画像内のノイズの大きさである。 $M$  中の各ピクセルに対して、このステップを繰り返して、移動物体に含まれるピクセルを記憶することによって、移動物体の全ピクセルを求めることができる。移動物体中のピクセルを白、それ以外のピクセルを黒とすると、フレーム内に存在する移動物体の 2 値画像が抽出される。一例を示すと、図 5(a), (b) は、それぞれフレーム 1 と 2 内で移動している車の部分画像を示す。

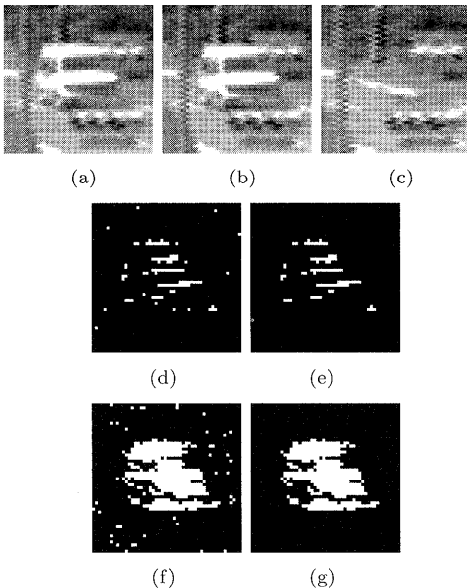


図 5 移動物体の除去：(a) フレーム 1 の移動する車、(b) フレーム 2 の車、(c) フレーム 50 の背景静止部分画像、(d) (a) と (b) の差の 2 値画像、(e) ノイズ除去後の (d)、(f) (a) と (c) の差の 2 値画像、(g) ノイズ除去後の (f)

Fig. 5 Extracting moving object: (a) a moving car in frame No.1; (b) the car in frame No.2; (c) its background sub-image in frame No.50; (d) difference between (a) and (b); (e) after eliminating the noise of (d); (f) difference between (a) and (c); (g) after eliminating the noise of (f).

図 5(c) は、フレーム 50 から得られた背景静止画像であり、図 5(f) は図 5(a) と (c) の差の 2 値画像を示す。この場合、まだノイズがいくらか残っていることに注意されたい。これは、孤立して点在するピクセルを除去することによって解決できる。図 5(g) はノイズ除去後の画像である。

#### 4.3 ビデオシーケンス中の移動物体の抽出とパノラマ画像の作成

提案手法では、以下の手順によりパン VS 画像からの移動物体画像を抽出し、これを取り除いたパノラマ画像を作成した後、移動物体を上書きすることにより、品質の良いパノラマ画像作成を実現している。

**Step 0 移動物体の境界箱の設定：**移動物体が現れる最初のフレームに対して、移動物体を含む長方形の部分画像を適切な大きさに拡大した境界箱をインタラクティブに設定する。

**Step 1 VS 内の移動物体の追跡：**隣接フレーム間におけるレンズの光学的な歪みは除去することができる (文献 7) 参照。また、4.2 節の方法を用いて、1 つ前のフレームで既知である移動物体を含む長方形の部分画像と処理対象のフレームの部分画像を比較することによって移動物体の輪郭を自動的に抽出できる。この移動物体を含む部分画像の長方形を適切な大きさに拡大した境界箱を設定する。移動物体の部分画像シーケンスは、この処理を繰り返すことによって得られる。図 5(e) はフレーム 1 図 5(a) とフレーム 2 図 5(b) から抽出された移動する車の外形を示す。以下に擬似コードを示す。

```
for each frame  $i = 1, N\{$ 
   $G_i = \text{eliminated\_noise\_image}(\text{binary\_image}(F_i - F_{i-1})) // \text{see 4.2} //$ 
   $A_i = \text{subimage}(\text{bounding\_box}(G_i));$ 
   $A'_i = \text{region\_on\_panorama}(A_i);$ 
}
```

ここで、 $F_i$  はフレーム  $i$  の画像、 $G_i$  は 2 つの画像の差によって得られる 2 値画像からノイズを除去したもの、 $A_i$  の移動物体の部分画像、 $A'_i$  はパノラマ画像空間にマッピングされる  $A_i$  の領域である。

**Step 2 背景部分画像の抽出：**ステップ 1 で各フレーム内の移動物体画像の位置  $G_i$  を検出した後、この情報を用いてすべての背景部分画像 (たとえば図 5(f)) を抽出するために、VS のフレーム画像を検索する。以下に擬似コードを示す。

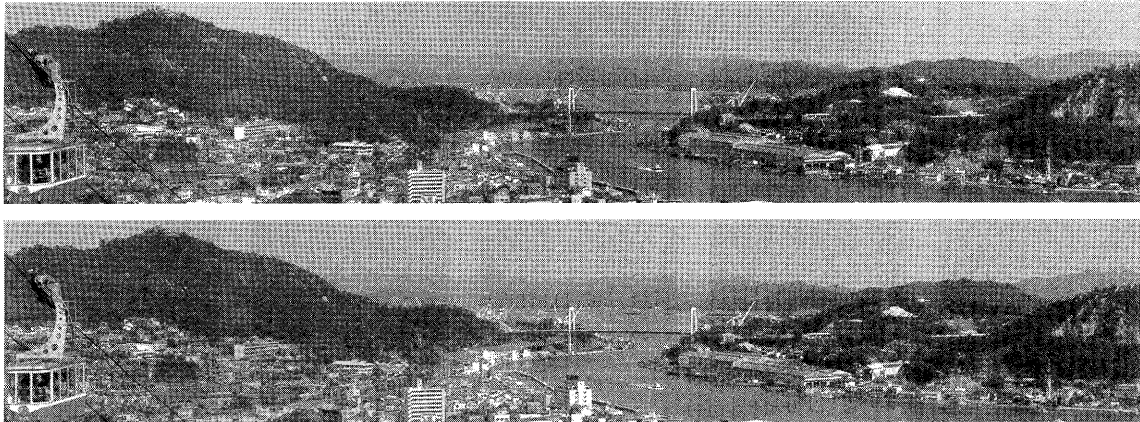


図6 自動絞りビデオカメラによる水平パン VS から作成したパノラマ画像。上段は照度変化を補正前、下段は補正後の画像

Fig. 6 Panoramic image from a horizontal panning VS with (frames) taken by a video camera with auto iris; the upper one is uncorrected on luminance change; the lower one is corrected.

```

for each frame  $i = 1, N$  {
  for each frame  $j = 1, N$  and  $j \neq i$  {
    if  $A'_i \cap A'_j = \phi$  then
       $B_i = A_i$ ; stop loop
    end if
  }
}

```

ここで  $B_i$  はフレーム  $i$  内の背景部分画像である。

**Step 3 移動物体のピクセルの抽出:** 移動物体の内部の色は多くの場合テクスチャが乏しい(車のような人工物体)から、ステップ1では、各フレーム内の移動物体の輪郭だけが抽出される(図5(d))。4.2節の手法を用いて、移動物体とその背景の部分画像を比較し、移動物体のパターンを抽出する(図5(f))。

**Step 4 隙間の除去:** 得られたパターンは、ノイズや2つの移動物体の部分画像内の擬似的な隣接ピクセルの発生のために、多くの場合、いくつかの穴を持っている。これらの孤立して点在する穴を除去する。

**Step 5 移動物体のパターン:** 抽出された移動物体の画像は、この段階ではインタレースであるため、ピクセル単位で処理されているため、多くの場合、ジャグを持っている。これらはパノラマ画像に張り付ける前に3.2節の手法により除去する。

**Step 6 移動物体は、通常、多数のフレーム内に発生する。移動物体を除去後、その中の画像の1つをパノラマ画像上に貼り付ける。この場合、画像の中心部に移動物体があるフレームを選ぶ。**

移動物体が多い場合は、問題が生じる。現段階では、提案システムはこれに対応できない。今後の課題である。

## 5. 適用例と結論

本研究の主目的は、高精度のパノラマ画像を VS 画像から作成することである。図6, 7, 8に示す適用例は、前章までに述べた提案手法の有効性を検証するためのものである。すなわち、幾何学的なマッチング、光学的なマッチング、ノンインタレースのパノラマ画像とインタレースの VS 画像のマッチング、移動物体の抽出と合成の検証である。自動絞りによって撮影された606フレームからなる VS から作成された図6は、自動絞りによって変化する露出の影響を検証するものである。図から分かるように、下段の画像は、露出変化によく対応している。

図7のパノラマ画像は、自動絞りの VS に対して、適切な位置のフレームを標準にとることの重要性を示している。固定絞りで撮影された図7(a)は、露出がシーケンスのほぼ中央に設定されているので、ほどよい画像を示している。露出補正を行っていない図7(b)は、中央部が不自然に明るくなっている。図7(c)は、暗い領域のフレーム100を標準に設定しているので、全体的に明るすぎ、飽和気味である。図7(d)は、平均的な明るさのフレーム180を標準に選んでいるので、最も良い結果を示している。図7(e)は、ほとんど空で占められているフレーム370を標準にとってるので、全体的に暗くなりすぎている。

上下2段組の図8は、水平パン VS (1152 フレーム)



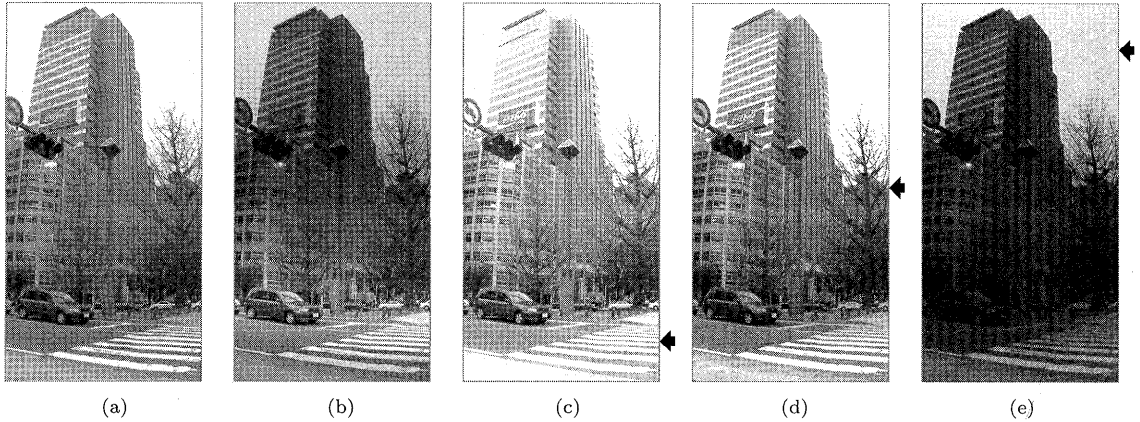


図 7 (a) は下から上に向かって 405 フレームから作成した垂直パノラマ画像, その他は 370 フレームの VS によるもの: (a) 固定絞り, (b) 自動絞り, (c) 自動絞りのフレーム No.100 (矢印) を基準にしたもの, (d) フレーム No.180 (矢印) を基準にしたもの, (e) フレーム No.370 (矢印) を基準にしたもの

Fig. 7 Panoramic images from a vertical panning VS with 405 frames for (a) and 370 frames for others from the bottom to the upper, (a) fixed iris; (b) auto iris; (c) auto iris and standard frame No.100 (arrow); (d) auto iris standard frame No.180 (arrow); (e) auto iris standard frame No.370 (arrow).

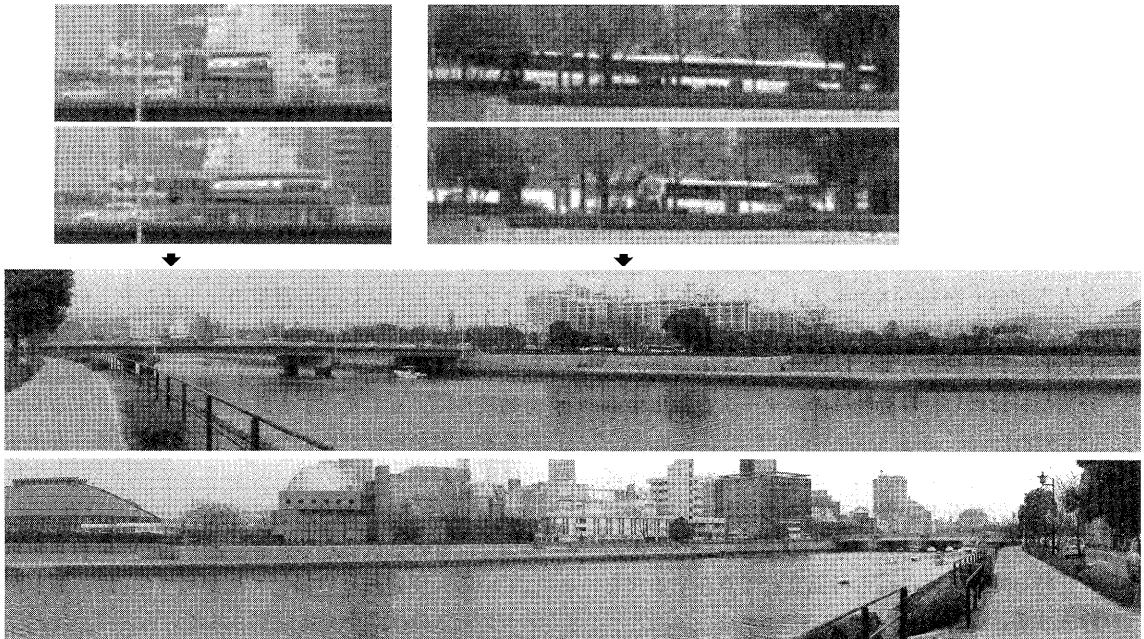


図 8 1152 フレームの水平パン VS から作成したパノラマ画像 (上下 2 段続き): 拡大図は, 矢印部分の移動する車を示す. 上段は非補正のもの, 下段は補正後のもの

Fig. 8 A panoramic image (separated into upper and lower side) from a horizontal panning VS (1152 frames); the magnified sub-images are uncorrected (upper ones) and corrected (lower ones) moving cars located at the arrows.

ム) を示す. 拡大図は, 移動物体の修正効果を示したものである. 無修正のものでは, バスの形状が引き延ばされ, トラックの形状は短縮されているのが観察される. パノラマ画像は 1 から 5 フレームおきの間隔の

ものを使用し, ゴースト除去の手法はいっさい使っていない. 水平, 垂直パンを問わず, パノラマの作成には各フレームの中央部を使用している.

図 8 においては, フレームごとのカメラパラメータ



の抽出に約8分を要し、フレーム間隔3のパノラマ画像を作成するのに3分を要した。雲台上でパンしたビデオカメラ画像に対して、幾何学的歪み、露出の補正、ビデオのインターレース効果の除去、移動物体のモーションブラーの除去を考慮した高精度のパノラマ画像の作成法を提案した。幾何学的歪みを除去すれば数枚のフレームによって、高精度のパノラマ画像の作成が可能と考えられるが、露出の補正および継ぎ目における移動物体処理を考慮し、数フレームの間隔の画像の中央部分を使用して作成する方法を採用した。使用したカムコーダはSONY Pro-Betacam SP UVW100で768×492ピクセルの解像度である。評価に利用したVSフレームの解像度は640×480ピクセル、フレームレートは30フレーム/秒、計算はIRIS INDY (R4600) 上で行った。

### 参 考 文 献

- 1) Mortensen, E.N. and Barrett, W.A.: Intelligent Scissors for Image Composition, *SIGGRAPH '95*, pp.191-198 (1995).
- 2) Szeliski, R.: Video Mosaics for Virtual Environments, *IEEE CG&A*, pp.22-30 (1996).
- 3) Irani, M., Anandan, P. and Hsu, S.: Mosaic Based Representations of Video Sequences and Their Applications, *ICCV '95*, pp.605-611 (1995).
- 4) Debevec, P.E. Taylor, G.J. and Malik, J.: Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A Hybrid Geometry- and Image-based Approach, *SIGGRAPH '96*, pp.11-20 (1996).
- 5) Chen, S.E.: QuickTime VR - An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation, *SIGGRAPH '95*, pp.29-38 (1995).
- 6) 天野 晃, 浅田尚紀, 馬場雅志:ズームレンズの光学的ひずみの解析と補正 - 可変円筒モデルを用いた口径蝕現象の解析と画像周辺部明度低下の補正, *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J80-D-II, No.6, pp.1458-1465 (1997).
- 7) Tsai, R.Y.: A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol.RA-3, No.4, pp.323-344 (1987).
- 8) Nakamae, E., Qin, X., Jiao, G., Rokita, P., Tadamura, K. and Usagawa, Y.: Computer Generated Still Images Compositing with Panned Landscape Video Sequences, *Proc. MMM '98*, pp.62-69 (1998).
- 9) Koller, D., Weber, J. and Malik, J.: Robust Multiple Car Tracking with Occlusion Reasoning, Technical Report UCB/CSD-93-780, University of California at Berkeley (Oct. 1993).

(平成11年3月23日受付)

(平成11年7月1日採録)



秦 学英

昭和63年北京大學数学科卒業。平成3年浙江大学CAD&CG研究所修士課程修了。同年中国科学院成都計算機技術研究所研究助手。平成7年(株)三英技研入社。3次元CGに関するソフトウェア開発・研究に従事。



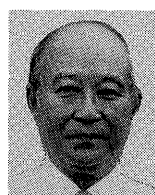
多田村克己(正会員)

昭和36年生。昭和61年広島大学大学院工学研究科博士課程前期修了。同年(株)日立製作所入社。平成3年広島県立大学経営学部経営情報学科助手。平成8年同講師。平成10年山口大学工学部感性デザイン助教授。博士(工学)。3次元CGに関する研究に従事。IEEE, ACM, 照明学会, 画像電子学会各会員。



永井 康雄

昭和16年生。昭和40年芝浦工業大学工学部電子工学科卒業。同年広島工業大学工学部電子工学科助手。現在、広島工業大学工学部電気工学科助教授。3次元CG, 動画の処理に関する研究に従事。電気学会, 電子情報通信学会, 映像情報メディア学会各会員。



中前栄八郎(正会員)

昭和4年生。昭和31年早稲田大学大学院工学研究科修士課程修了。同年広島大学工学部電気工学科助手。昭和43年同教授。平成4年広島県立大学経営学部教授。平成8年広島工業大学工学部教授。平成11年(株)三英技研。工学博士。3次元CG, 可視化に関する研究に従事。IEEE, ACM, CGS, 電気学会, 電子情報通信学会, 映像情報メディア学会, 照明学会, 日本シミュレーション学会, 画像電子学会各会員。