自由視点テレビのためのマルチカメラの画像変換

Transformation of Multi-camera Images for Free Viewpoint Television

学生会員 山本 健 詞[†], 正会員 圓 道 知 博[†], 正会員 藤 井 俊 彰[†], 正会員 谷 本 正 幸[†]Kenji Yamamoto[†], Tomohiro Endo[†], Toshiaki Fujii[†] and Masayuki Tanimoto[†]

Abstract This paper introduces a preprocessing method for Free Viewpoint Television (FTV). In every multi-camera system, it is difficult to precisely align cameras in the desired place. For FTV, this misalignment reduces the efficiency of image compression and the quality of interpolated images. We propose a preprocessing method that transforms the captured multi-camera images by using projective transformation matrices to compensate for this misalignment. This transformation is able to improve them because the multi-camera images become more correlative. Furthermore, we introduce a method for automatically finding the projective transformation matrices using the epipolar geometry. Experimental results show that PSNR gains of up to 3.0 dB in comparison with compressions without any processing, when MPEG-2 is used under conditions ranging from 1.6 to 3.0 Mbps. The quality of the interpolated images is also apparently improved.

キーワード：自由視点テレビ，マルチカメラ，射影変換，エビポラ幾何，画像圧縮，画像補間

1. ま え が き

実画像を利用して新たな画像を合成する Image Based Rendering(IBR)の研究が盛んに研究されており^{1)~4)}，最近では，それらの一つである複数のカメラを用いた自由視点テレビ(図1)⁵⁾が注目されている．これは，ユーザーの見た視点にあわせて3次元空間を自由に表示できるもので，次世代のテレビ放送はもとより，セキュリティや環境モニタ等の様々な分野への応用が期待されている⁶⁾．自由視点テレビを実現するために，画像の圧縮技術^{7)~11)}や，カメラの無い位置での画像を仮想的に作り出す補間技術¹²⁾¹³⁾が今までに研究されてきた．

単一カメラの動画の圧縮技術においては，画像の空間方向および時間方向の冗長性を取り除くことで圧縮効果を向上している¹⁴⁾¹⁵⁾．マルチカメラの場合，これらに加えてカメラ間の画像の冗長性も取り除くことで，高い圧縮率を得ようとしている．そのため，カメラ間の画像に高い相関性を持たせるほど，高い圧縮効果が期待できる．一方，補間技術においては，カメラが規則正しく配置されていることを前提に，幾何学的な特性などから仮想的な画像を作成している．そのため，カメラが規則正しく配置されているほど，高品質の補間画像が期待できる．以上のことから，圧

図1 自由視点テレビ
Free Viewpoint Television.

縮技術と補間技術の両方とも，カメラが規則正しく配置されているほど効果が期待できると言える．

実際の配置を考えてみると，極めて正確に配置しようとしても，その通りに光学中心や画像面の位置，姿勢などを配置するのは困難である．そのため，各カメラの撮影画像を並べると，並進，回転などといったばらつきが目立つ．本論文では，設計通りにカメラを配置しきれないことに起因する，これらのばらつきを画像処理で補正することで，画像間の相関性を高め，自由視点テレビの技術課題である圧縮技術および補間技術の性能を向上することを目的とする．

ここで補正するばらつきは，補正による画素の移動量が，画像サイズの5%程度未満になる大きさを考えている．こ

2005年2月23日受付，2005年10月20日最終受付，2005年12月6日採録

[†]名古屋大学 大学院 工学研究科

(〒454-8603 名古屋市千種区不老町，TEL 052-789-3163)

[†]Graduate School of Engineering, Nagoya University

(Fro-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603, Japan)

図 2 マルチカメラ画像変換
Transformation of multi-camera images.

れは、ばらつきが大きくなるにつれて、補間画像の画角が小さくなってしまいうため、極端なばらつきは自由視点テレビにとって望ましくないからである。5%程度以上のばらつきはカメラの実際の配置で対処し、それ以下のばらつきを画像処理で補正することを考える。

マルチカメラの画像変換は、11 個のカメラパラメータを求めてから行う方法が考えられる¹⁶⁾¹⁷⁾。しかしながら、キャリブレーションパターンを撮影していない場合や、一部のカメラだけは撮影できていない場合のように、カメラパラメータを正確に求めることが困難なときもある。従来、このような場合は、試行錯誤を繰り返しながら手動で射影変換行列を求める以外に手段はなかった。そこで、キャリブレーションパターンを用いずに、射影変換行列を自動で求め、この行列で射影変換する手法を検討する。射影変換行列の算出に際しては、設計上望んでいた画像に近い画像が得られるように工夫した。キャリブレーションパターンを用いて正確なカメラパラメータが求まる場合には、カメラパラメータによる手法が、そうでない場合には、本論文で検討する手法が有効と言える。

本論文の構成は以下の通りである。まず 2 章で撮影画像を射影変換するマルチカメラ画像変換を提案する。3 章では、自由視点テレビで多用されている直線状のカメラ配置において、エピソード幾何を考慮することで射影変換行列を自動で算出できる手法を示す。4 章で実験とその結果を示し、最後に 5 章で結論を述べる。

2. 提案するマルチカメラ画像変換の概要

静止画または動画を圧縮する場合、通常は撮影した画像をそのまま圧縮する。これをマルチカメラに適用すると、各カメラで撮影した画像をそのまま圧縮することになるが、カメラ間の配置誤差が原因で必ずしも効果的とは言えない。つまり、動画像圧縮の国際標準である MPEG の予測方式には画面の並進があるのみで、回転や拡大、キーストーン歪みといった参照がなく、これらが撮影した画像にあるとうまく予測できない。また、双方向予測は動きベクトルを

線形補間して予測するため、画面が全体的に並進されているとうまく双方向予測できない。よって、カメラが規則正しく配置されていないと上述のような問題が発生してしまう、圧縮効率が低下してしまうと言える。

一方で補間においても、カメラ間の配置誤差があると、補間画像の品質が劣化してしまうと言える。補間では、補間画像を作成するために、エピソード線上で対応点を探索するのだが、設計上のエピソード線上に対応点が存在しなくなってしまうからである。

以上の点を踏まえて、本論文では各カメラで撮影した画像をカメラの画像面を移動して補正するマルチカメラ画像変換を提案する(図 2)。具体的には、撮影した静止画または動画をカメラ毎に異なる行列で射影変換して、その後、圧縮や補間を行うことを考える。射影変換を用いるため、光学中心の位置を除く配置誤差から生ずる並進、回転、拡大、キーストーン歪みという画像への影響を、少ない計算で取り除くことができるという特長が、この手法にはある。なお、射影変換行列は時不変とするが、カメラとカメラの間の位置関係を変化させた場合には変化させることとする。

一般的に射影変換の式は式 (1)～式 (3) で表現できる。

$$\begin{pmatrix} v'_i \\ v'_j \\ s \end{pmatrix} = \mathbf{H} \begin{pmatrix} u_i \\ u_j \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$v_i = \frac{v'_i}{s}, v_j = \frac{v'_j}{s} \quad (3)$$

ここで $\mathbf{H}$ は射影変換行列で、点 $\mathbf{u} = (u_i, u_j)^t$ を点 $\mathbf{v} = (v_i, v_j)^t$ に変換する。 h_{11} から h_{32} が変換の特性を表す。この $\mathbf{H}$ を用いて、本論文で用いる画像の射影変換 $\mathbf{f}$ を式 (4)～式 (7) と定義する。

$$\mathbf{I} = \mathbf{f}(\mathbf{C}) \quad (4)$$

$$\mathbf{I}(i'', j'') = \mathbf{C}(i, j) \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} i' \\ j' \\ s \end{pmatrix} = \mathbf{H} \begin{pmatrix} i \\ j \\ 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$i'' = \frac{i'}{s}, j'' = \frac{j'}{s} \quad (7)$$

ここで $\mathbf{C}$ は変換前画像、 $\mathbf{I}$ は変換後画像、 i, j はそれぞれ画素の x 座標と y 座標を示す。

射影変換行列 $\mathbf{H}$ は、基準にするカメラや変換を評価する方法により何種類も考えられる。ここでは画像を効果的に圧縮でき、かつ補間画像を高品質にすることが目的のため、そのようにできる射影変換行列を用いることとする。

図 3 エピポーラ幾何
Epipolar geometry.

3. エピポーラ幾何を考慮した射影変換行列の算出

自由視点テレビでは、通常、複数のカメラを直線状またはアーク状、円形状に等間隔に配置する⁵⁾⁸⁾。これらの配置において、良好な射影変換行列を自動で算出できる手法を確立すれば有用と言える。本章では、エピポーラ幾何を考慮しながら良好な射影変換行列を探索する手法を示す。この手法では、直線状で等間隔、同方向に向かしたカメラ配置、または近似的にそのようにみなせる場合において、MPEGにとって好ましい射影変換行列を自動で算出できる。以下、3.4節にて計算手順を述べる。3.1節～3.3節では3.4節のための準備を示す。

3.1 エピポーラ幾何

本論文では、2台のカメラ間で成り立つエピポーラ幾何^{18)～20)}を用いる。

カメラ $n-1$ とカメラ n があり、光学中心をそれぞれ O_{n-1} と O_n 、3次元空間の点 P に対応する画像面上の点をそれぞれ p_{n-1} と p_n とする。このとき図3に示すように O_{n-1} と O_n 、 P 、 p_{n-1} 、 p_n は幾何的な制約からすべて同一平面上に存在することになる。また、 O_{n-1} と O_n 、 p_{n-1} が既知で P と p_n が未知の場合、 p_n は画像面上の一本の線上に必ず存在することになる。このような興味深い幾何をエピポーラ幾何と呼ぶ。また、 p_n と p_{n-1} を対応点、同一平面をエピポーラ平面、 p_n が存在する線のことをエピポーラ線と言う。

3.2 射影変換行列と変換後画像の評価法

N 台のカメラで撮影した動画のうちの、各カメラの同時刻の画像を式 (8) にて変換する。

$$I_n = f_n(C_n) \quad (8)$$

ここで、 $n = 1, 2, \dots, N$ はカメラ番号、 f_n は射影変換行列 H_n での画像の射影変換、 C_n は撮影画像、 I_n は変換後画像を表している。

どのような値の H_n に対しても I_n は計算できる。そこで、 H_n と I_n の評価として、 I_n の品質を定量的に評価することとした。評価の方法として条件1と条件2のみを考慮、条件1からのずれ量と条件2からのずれ量との線形和

図 4 変換後画像の評価
Evaluation of transformed image.

が小さい H_n 、 I_n ほど、優れた H_n 、 I_n であるとした。

条件1 対応点がエピポーラ線上にある

設計通りにカメラが配置されているならば、対応点は設計上のエピポーラ線上にある。この線上に無いのは配置誤差が原因なので、線上になるような変換をすればよい。変換後の画像 I_n において対応点が設計上のエピポーラ線に近いほど条件1が成立しているとする。

条件2 対応点の平均距離はどの隣接カメラ間でも等しい

本論文で対象としている直線状で等間隔、同方向に向かしたカメラ配置で、かつ単一平面上にすべての撮影対象がある場合は、カメラ1とカメラ2の対応点間の平均距離は、カメラ2とカメラ3のそれと幾何的な理由から理論的に等しくなる。さらに、背景の奥行きがほぼ一定で、撮影対象がすべてのカメラで映っている場合などでも等しくなる。また、この関係はすべての隣接カメラ間で成り立つ。そこで、変換後の画像 I_n において、対応点の平均距離がどの隣接カメラ間でも等しいことを条件2とした。

条件2は、先述の場合であれば有効な評価法になる。また、単一平面付近に対象物が平均的に存在している場合などでも近似的に成立するため、同様に有効になる。これらの場合から外れた画像領域が多いほど有効でなくなると言えるが、 H_n の算出には全画像領域での積算値を使うため、条件から外れた領域の影響は積算で打ち消される効果があることから、極端に有効でなくなることはない。さらには、この影響は H_n の算出に対してであり、条件から外れた画像領域を直接に画質劣化させるようなわけではない。

以上に記した評価法を定式化すると式 (9)～式 (15) になる。

$$J_n = J_{vn} + \lambda J_{hn} \quad (9)$$

$$J_{vn} = \sum_{k=1}^s |D(L_{n,k}, x_{n,k})|^2 \quad (10)$$

図5 射影変換行列と変換後画像の算出手順
Calculation of the matrix and transformed image.

$$J_{hn} = \left| \frac{\sum_{k=1}^s h_{n,k}}{s} - \hat{h} \right|^2 \quad (11)$$

$$\mathbf{x}_{n,k} = (i_{n,k}, j_{n,k}) \quad (12)$$

$$h_{n,k} = (\mathbf{x}_{n,k} - \mathbf{x}_{n-1,k}) \cdot \mathbf{e}_{n,k} \quad (13)$$

$$\mathbf{x}_{n,k} \in S_n \quad (14)$$

$$\hat{h} = \frac{\sum_{n=2}^N \sum_{k=1}^s h_{n,k}}{(N-1)s} \quad (15)$$

ここで、式(10)と式(11)はそれぞれ条件1、条件2を、式(9)はそれらを統合した評価関数を示している。以下、各項の意味を述べる。 J_n は評価関数、 J_{vn} は条件1の評価関数、 J_{hn} は条件2の評価関数、 $\lambda (\geq 0)$ は評価関数間の重みづけ定数、 $\mathbf{x}_{n-1,k}$ はカメラ $n-1$ の画像面上の点、 $\mathbf{x}_{n,k}$ はカメラ n の画像面上の点で $\mathbf{x}_{n-1,k}$ の対応点、 $\mathbf{L}_{n,k}$ は $\mathbf{x}_{n,k}$ に対する設計上のエピポーラ線、 $D(\mathbf{L}_{n,k}, \mathbf{x}_{n,k})$ は $\mathbf{L}_{n,k}$ と $\mathbf{x}_{n,k}$ との距離、 i, j はそれぞれ画素のx座標とy座標、 $\hat{h}$ は $h_{n,k}$ の期待値である。 S_n はカメラ n の画像面上にある対応点の集合で、 C_1 と C_2 の間で求めた S_2 や、 C_2 と C_3 の間で求めた S_3 など、すべての S_n は3次元上では異なる点の集合である。 s は S_n の要素数で画像サイズが $H \times W$ ピクセルとすると $s = HW/256$ 、演算子 $(\cdot)$ は内積、 $\mathbf{e}_{n,k}$ はエピポーラ線と平行な単位ベクトルである(図4)。 $\mathbf{x}_{n,k}$ に対するエピポーラ線は、 $\mathbf{x}_{n-1,k}$ の位置とカメラ配置の設計値から求める。評価関数 J_n が小さいほど優れていると判断する。

3.3 射影変換行列 H_n の精度

本論文では、MPEGなどで利用されているブロックマッチングを用いて、16x16のブロック毎に対応点の一つを求める。多くのアプリケーションでは、誤った対応点がある後の計算に大きく影響してしまうため、慎重に対応点を決定しているが、ここではブロックマッチングという簡単な手法で対応点を検出することにした。誤った対応点は J_{vn} と

図6 計算全体の流れ
Calculation diagram.

J_{hn} に影響するが、これらの値は全対応点での計算の積算値のため、 H_n には大きくは影響しないと判断したからである*。

H_n が必要とする精度は、撮影する対象構造によると定性的に言える。例えば、精度が悪い射影変換でテクスチャのほぼないような画像を変換した場合、MPEGの予測方式では補償しきれないとしても、予測画像が符号化する画像に似ているために、少ないビット量で圧縮してしまうことが考えられる。一方、テクスチャが複雑な画像を変換した場合、似た画像にならないために、多くのビット量になることが考えられる。補間においても同様で、精度が悪い射影変換でテクスチャのほぼないような画像を変換した場合には、誤った補間画像になるが、その輝度や色情報は本来のものと似ているため、似た補間画像になると考えられる。一方、テクスチャが複雑な画像を変換した場合、その輝度や色情報は似ていないため、低品質の補間画像になることが考えられる。このように画像のテクスチャが複雑なほど精度の高い H_n が必要になると言える。

3.4 計算手順

計算手順は二つのプロセスに分けることができる。前半は $h_{n,k}$ の期待値 $\hat{h}$ を確定するプロセスで、後半は射影変換行列 H_n と変換後画像 I_n を確定するプロセスである(図5)。

プロセス1 期待値の確定

図2にあるように左から順にカメラ番号を付けたとする。左側のカメラから順次、 H_n と I_n を決定する。

まず始めにカメラ1では、左側のカメラがないために例外として扱い、 H_1 を単位行列とし、 I_1 を撮影画像 C_1 と同じとする。次にカメラ2では、カメラ1の変換後画像 I_1 とカメラ2の撮影画像 C_2 から射影変換行列 H_2 を求める。その後に C_2 と H_2 とで変換後画像 I_2 を求める。カメラ3以降では、カメラ2と同

*例えば本論文で用いた320x240ピクセルの画像の場合、300組の対応点を用いて射影変換行列を求めることになる。仮に10組の誤対応があったとしても、全体の3%程度であるため、積算値を用いる本手法では影響が小さいと考えられる。

図 7 実験で用いた aquarium シーケンス
Aquarium sequence.

様に最後のカメラまで求める (図 6)。ここでは左側のカメラから順次求めたが、右側からでも、中央から両側に向けて求めてもかまわない。本論文の実験では左側のカメラから順次求めた。

射影変換行列 H_n は最急降下法で算出する。初期行列を単位行列、評価関数を J_n として、 3×3 の成分のうち 3 行 3 列目以外の値を徐々に変えながら極値解を探索させる。ただし、この時点では $\hat{h}$ が確定していないため、条件 2 の影響をなくす目的で $\lambda = 0$ とする。1 回に H_n を変化させる量は J_n の大きさに比例した量とする。 H_n を変化させる毎に I_{n-1} と $f_n(C_n)$ から S_n と J_n を求める。

繰り返し計算を行い、 J_n が極値解になったところで計算を打ち切る。そのときの対応点間の距離 $h_{n,k}$ の平均を期待値 $\hat{h}$ とする。

本プロセスは、3.2 節の条件 1 を成立させるように H_n と I_n を計算することになる。そのため、計算結果で得られる I_n は、対応点がエピソード線上に並んだ画像になる。

プロセス 2 射影変換行列の確定

プロセス 1 と同様に計算する。ただし $\hat{h}$ が確定しているため λ を正数 ($\lambda > 0$) とする。また、最急降下法での H_n の初期行列は、単位行列でも、計算時間を短くするためにプロセス 1 の計算結果を用いてもよい。本論文の実験ではプロセス 1 の計算結果を用いた。

J_n が極値解になったところでの H_n を最終的な射影変換行列とする。

本プロセスは、3.2 節の条件 1 と条件 2 の両方を成立させるように H_n と I_n を計算することになる。そのため、計算結果で得られる I_n は、対応点がエピソード線上に並び、かつ対応点の平均距離がどの隣接カメラ間でも等しい画像になる。

4. 実験

画像の圧縮技術と補間技術において、撮影画像をそのまま使った場合と、提案手法のプロセス 1 終了時の画像 (プロセス 1 画像) を使った場合、提案手法で変換した画像 (変

図 8 圧縮実験の方法

PSNR calculation between images.

(a) without preprocessing, (b) with preprocessing

換後画像) を使った場合、目視で試行錯誤しながら得た最高の変換画像 (目視変換画像) を使った場合を比較した。両実験とも aquarium シーケンス (図 7)²¹⁾ で行った。aquarium シーケンスの概要は以下の通りである。

- ・ 15 台の同じカメラ (株式会社東芝製 IK-SM43H, JK-L04S) で撮影、焦点距離は 4mm、受光面の大きさは 3.65x2.74mm
- ・ 画像サイズは 320x240 ピクセル、10fps で 80 秒
- ・ 水槽とカメラの間隔はおよそ 350mm、3° 間隔でカメラを配置

aquarium シーケンスでは、カメラはアーク状に配置されている。直線状で等間隔、同方向に向かせたカメラ配置ではないが、近似的にはそのようにみなせると判断して本手法を適用した。

実験には汎用 PC (Pentium4 3.4GHz, WindowsXP SP2) を用いた。圧縮実験と補間実験に先立ち、撮影画像の輝度信号を浮動小数点演算で射影変換したところ、ニアレストネイバー補間での射影変換は 3.3ms/frame、線形補間での射影変換は 8.8ms/frame であった。実験では、線形補間で射影変換を行った。

4.1 圧縮実験の結果と考察

マルチカメラの画像を圧縮する方法が多く研究されている。本手法はそれら圧縮の前工程として、カメラ間の画像の相関性を高めた画像を作ること狙いとしている。そこで、この相関性の変化のみを検証するために、各カメラの画像のうち同時刻の画像を並べて圧縮を行った。エンコーダとして MPEG-2 TM5²²⁾ を用いて、輝度信号の PSNR (peak signal to noise ratio) にて効果を測定した (図 8)。

$\lambda = 46$ で行った各画像と圧縮率の関係を図 9 に示す。変換後画像での PSNR は、撮影画像をそのまま使った場合に比べ、3.0dB 程度の向上していることがわかる。そのため、目視変換画像に比較して 1.0dB 程度劣るものの、目的であ

図 9 圧縮実験の結果
PSNR of reconstructed images.

図 10 λ と PSNR の関係
Relation between λ and PSNR.

る圧縮の効率化がある程度達成できたと考えられる。

次に 2.0Mbps で行った λ と PSNR の関係を図 10 に示す。 λ により PSNR が最高で 0.9dB 程度の幅で変化するのが分かる。これは、 J_n の解空間には極値（ローカルミナマ）が多数存在しており、解探索がそのいずれかに終着するからだと考えられる。このように λ により結果が若干変化はするが、図 9 でプロセス 1 画像と変換後画像との結果がほぼ同じことから、プロセス 2 は、圧縮に対して平均的には影響が無いと考えられる。

4.2 補間実験の結果と考察

圧縮実験と同様に、各カメラの画像のうち同時刻の画像を用いて補間を行った。補間には、視差マップの連続性を確保しながら、補間画像を作成するドローゼらの手法¹²⁾を用いた。補間画像の評価には、圧縮とは違い原画像がないため主観評価を用いた。補間画像の例を図 11 に、主観評価の結果を表 1 に示す。

図 11 において、(a) は撮影画像で補間した画像、(b) はプロセス 1 画像で補間した画像、(c) は変換後画像で補間し

表 1 補間画像の主観評価結果
Subjective evaluation of interpolated images

	average of evaluation results
(a) captured images	1.6
(b) images transformed by process 1	2.5
(c) images transformed by proposed method	2.9
(d) images transformed by handmade matrices	3.0

た画像、(d) は目視変換画像で補間した画像を示している。顕著に差が出た画面中央の海草付近の結果を拡大して (e) , (f) , (g) および (h) に示した。画面中央の海草、レンガの上端、レンガの右上端付近にいる熱帯魚など多くの部分で、変換後画像や目視変換画像を用いた補間が優れているといえる。ドローゼらの手法では、同一ラインの中から対応点を探して補間画像を作成するため、同一ラインに対応点に類似した点が無いと補間画像の品質が大きく劣化してしまう。レンガの上端がそれにあたり、変換がない場合には大きく劣化している。

また、(b) プロセス 1 画像で補間した画像と (c) 変換後画像で補間した画像を比較すると、画面中央や右側の海草が明らかに異なる。そのため、補間技術ではプロセス 2 を経ることで品質が向上すると言える。プロセス 1 がエッジボーラ線上に並べること、プロセス 2 がそれに加えて対応点の平均距離を隣接カメラ間で等しくすることから、変換後画像の方が良くなると理論的に推測されることが、実際に実験で確認できた。プロセス 2 は圧縮では大きな影響がなかったが、補間には大きな効果があるため、採用すべきプロセスであると言える。

表 1 は、被験者 23 人を対象に行った主観評価結果である。被験者は、画像の研究に携わっていない者ばかりである。被験者には、並び順を入れ替えた図 11(a)~(d) を見せて、最も自然と感じる画像から順に 4, 3, 2, 1 点と付けさせた。表 1 はこの平均点を記したものである。推測された通り、(d) 目視変換画像が最も評価が高く、以下、(c) 変換後画像、(b) プロセス 1 画像、(a) 撮影画像の順であった。

補間の研究では、撮影治具として高精度のステージを用いて、単一のカメラで撮影した画像を対象にしている。一方、自由視点テレビなどの一般的なマルチカメラでは、高精度の撮影治具を用いずに、複数のカメラで撮影した画像を対象にする。後者のような場合においては、補間の前に提案手法を適用したほうが優れていると言える。

5. む す び

マルチカメラの撮影画像を並べると、並進、回転などといったばらつきが目立つ。そこで、これらのばらつきを画像処理で補正することで、自由視点テレビの技術課題である圧縮技術と補間技術の性能を向上させる手法を提案した。また、直線状で等間隔、同方向に向かせたカメラ配置において、良好な射影変換行列を算出できる手法を示した。提

図 11 補間実験の結果
Interpolated images.

案手法には、射影変換のため少ない計算で画像変換できる、射影変換行列を自動で算出できるという特長がある。実験結果により、本手法が圧縮技術および補間技術の両面で効果あることが確認された。

本手法では、光学中心の位置誤差は補償できないため、この位置誤差が大きいと、圧縮効率と補間画像の品質の両方に影響があると言える。また、対応点の平均距離はどの隣接カメラ間でも等しいという条件を用いているが、この条件が成立しないほど、補間画像の品質に影響があると言える。また、光学中心の位置誤差は補償できないため、この位置誤差が大きくと同様に悪くなると言える。今後は、これらの関係について定量化したいと考えている。また、直線状と見なせないカメラ配置でも射影変換行列を算出できる手法も検討する予定である。

【文 献】

- 藤井俊彰, 原島博: “構造抽出に基づく三次元画像符号化”, 画像符号化シンポジウム, pp.23-24 (Oct. 1994)
- 藤井俊彰, 金子正秀, 原島博: “光線群による3次元空間情報の表現とその応用”, テレビ誌, **50**, 9, pp. 1312-1318 (Sep. 1996)
- Marc Levoy, Pat Hanrahan: “Light Field Rendering”, Proc. ACM SIGGRAPH96, pp. 31-42 (Aug. 1996)
- Steven J. Gortler, Radek Grzeszczuk, Richard Szeliski, Michael F. Cohen: “The lumigraph”, Proc. ACM SIGGRAPH96, pp. 43-54 (Aug. 1996)
- Purim Na Bangchang, Toshiaki Fujii, Masayuki Tanimoto: “Experimental System of Free Viewpoint Television”, Proc. SPIE-IST & Electron. Imaging, **5006**, 66, pp. 554-563 (Jan. 2003)
- Mehrdad Panahpour Tehrani, Toshiaki Fujii, Masayuki Tanimoto: “Optimization of Multiuser Camera Sensor Network for Arbitrary View Generation”, IWAIT 2004, pp. 311-315 (Jan. 2004)
- Marcus Magnor, Bernd Girod: “Data Compression for Light-Field Rendering”, IEEE Trans. Circuits & Syst. for Video Technology, **10**, 3, pp. 338-343 (Apr. 2000)
- 山中康司, 藤井俊彰, 谷本正幸: “自由視点テレビのための円形カメラ配置における光線空間情報圧縮”, 2004 年映情学年次大, 3-1 (Aug. 2004)
- Shinya Oka, Toshiaki Fujii, Masayuki Tanimoto: “Dynamic Ray-Space Coding Using Inter-view Prediction”, IWAIT 2005, pp.19-24 (Jan. 2005)
- 秋山修, 齊藤英雄: “視点間の射影幾何的關係を利用した多視点動画のデータ圧縮”, 映情学誌, **59**, 1, pp. 136-145 (Jan. 2005)
- Prashant Ramanathan, Bernd Girod: “Random Access for Compressed Light Fields Using Multiple Representations”, Proc. International Workshop on Multimedia Signal Processing (Sep. 2004)
- Michael Droese, Toshiaki Fujii, Masayuki Tanimoto: “Ray-Space Interpolation based on Filtering in Disparity Domain”, Proc. 3D Image Conference 2004 (June 2004)
- 高橋桂太, 苗村健: “Light Field Rendering における合焦判定法の空間解析”, 信学技報, **104**, 493, pp. 57-62 (Dec. 2004)
- ITU-T Recommendation H.264: “Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services”, (May 2003)
- Thomas Wiegand, Gary J. Sullivan, Gisle Bjontegaard, Ajay Luthra: “Overview of the H.264 / AVC Video Coding Standard”, IEEE Trans. Circuits & Syst. for Video Technology, **13**, 7, pp. 560-576 (July 2003)
- Zhengyou Zhang: “A Flexible New Technique for Camera Calibration”, IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell., **22**, 11, pp. 1330-1334 (Nov. 2000)
- Yuuya Kojima, Toshiaki Fujii, Masayuki Tanimoto: “New Multiple Camera Calibration Method for a Large Number of Cameras”, Proc. SPIE-IST & Electron. Imaging, **5665**, 21, pp. 156-163 (Jan. 2005)
- Richard Hartley, Andrew Zisserman: “Multiple View Geometry in computer vision”, Cambridge University Press, Cambridge (2000)
- 佐藤淳: “コンピュータビジョン—視覚の幾何学—”, コロナ社 (1999)
- Charles Loop, Zhengyou Zhang: “Computing rectifying homographies for stereo vision”, Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, **1**, pp. 125-131 (July 1999)
- <http://www.tanimoto.nuee.nagoya-u.ac.jp/>
- http://isotc.iso.ch/livelink/livelink/fetch/2000/2489/Ittf_Home/PubliclyAvailableStandards.htm

やまもと けんじ
山本 健詞 1995 年，名古屋大学大学院工学研究
科電子機械工学専攻博士前期課程修了。現在，同研究科
電子情報システム専攻博士後期課程に在学中。マルチカ
メラ画像を用いた自由視点テレビに関する研究に従事。
学生会員。

えん どう とも ひろ
圓道 知博 1996 年，東京工業大学工学部卒業。
1998 年，同大学院修士課程修了。2001 年，同博士課
程修了。1998 年，通信・放送機構 高度三次元動画像遠
隔表示プロジェクト研究員。2002 年，科学技術振興事業
団研究員。現在，名古屋大学工学研究科助手。3 次元画
像の取得・表示系の研究に従事。工学博士。正会員。

ふ じ い とし あき
藤井 俊彰 1990 年，東京大学工学部電子工学科
卒業。1995 年，同大学院博士課程修了。同年より名古
屋大学大学院工学研究科助手。現在，同大学院工学研
究科助教授。3 次元空間情報の信号処理，3 次元画像符
号化の研究に従事。工学博士。正会員。

たに もと まさ ゆき
谷本 正幸 1970 年，東京大学工学部電気工学科
卒業。1976 年，同大学院博士課程修了。同年より名
古屋大学工学部助手。現在，同大学院工学研究科教授。
この間，半導体デバイス，通信方式，情報圧縮，画像処
理などの研究に従事。工学博士。正会員。