

研究速報

前進視点における自由視点画像生成

安藤 建吾<sup>†</sup> 福嶋 慶繁<sup>††</sup> (正員)  
 圓道 知博<sup>†</sup> (正員)  
 メヒルダド パナヒブル テヘラニ<sup>†</sup> (正員)  
 藤井 俊彰<sup>†††</sup> (正員) 谷本 正幸<sup>†</sup> (正員:フェロー)  
 Close-up View Synthesis for Free-Viewpoint Image Generation  
 Kengo ANDO<sup>†</sup>, *Nonmember*,  
 Norishige FUKUSHIMA<sup>††</sup>, Tomohiro YENDO<sup>†</sup>,  
 Mehrdad PANAHPOUR TEHRANI<sup>†</sup>,  
 Toshiaki FUJII<sup>†††</sup>, *Members*,  
 and Masayuki TANIMOTO<sup>†</sup>, *Fellow*

<sup>†</sup>名古屋大学大学院工学研究科, 名古屋市  
 Graduate School of Engineering, Nagoya University, Furouchi, Chikusa-ku, Nagoya-shi, 464-8603 Japan  
<sup>††</sup>名古屋工業大学大学院工学研究科, 名古屋市  
 Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya-shi, 466-8555 Japan  
<sup>†††</sup>東京工業大学大学院理工学研究科, 東京都  
 Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology 2-12-1 S3-61 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8550 Japan

あらまし 本論文では, 自由視点画像生成において, 特にカメラアレーより前進した視点位置の画像生成を目的としている. 前進視点の奥行推定精度向上と, 生成画像の解像度が落ちる問題に対して, ズームカメラを用いた解像度の向上を目指す.

キーワード 自由視点画像生成, 高解像度, 前進視点, Image Based Rendering

1. まえがき

実写画像をもとに任意の視点から見た画像を生成する自由視点画生成法の代表例として, Image Based Rendering をもとにした光線空間法 [1] が挙げられる. 光線の取得には多数のカメラを規則的に並べたカメラアレーが使われる. 文献 [2] では, 取得した光線を, シーンの奥行に応じて補間することで自由視点画像を得ている. この手法をもとに前進した位置の画像を生成する際, 生成視点に対して取得光線の密度が低いため, 奥行推定の精度の低下及び生成画像の解像度が落ちることが問題であった. 本論文は, あらかじめカメラ位置に対してデプスマップを生成し, それらを用いた前進視点の奥行推定手法を提案する. 更に, 生成画像の解像度が落ちる問題に対して, ズームカメラを入力としたシステムを提案し, 解像度の向上を図る.

2. 前進視点の奥行推定

本論文では, 視点依存型の奥行推定 [2], [3] を行う. これは, 画像合成を行う仮想視点上の奥行を, 直接求

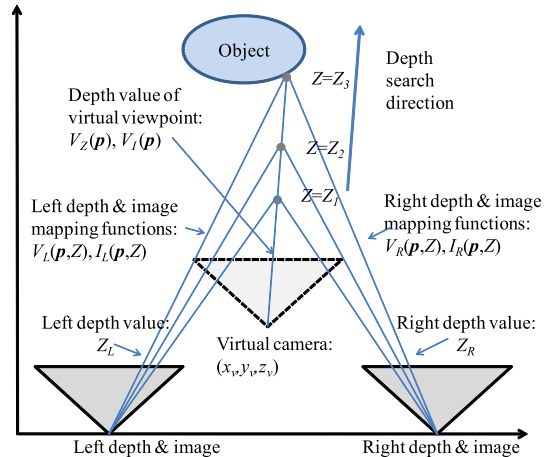


図1 提案する奥行推定手法の概略図  
 Fig.1 Proposed method of depth estimation.

める手法である.

従来の奥行推定では, 左右の参照カメラ中の画素値の相関を用いて対応をとっている. 仮想視点  $(x_v, y_v, z_v)$  の注目画素の位置  $\mathbf{p} = (u, v)$  上の奥行値を  $Z$  と仮定し, その奥行に対応する左のカメラの画素値を返す関数を  $I_L(\mathbf{p}, Z)$ , 右のカメラの画素値を返す関数を  $I_R(\mathbf{p}, Z)$  とする. また, 左右のカメラの位置, 方向, 内部変数のパラメータは既知とする. 従来の奥行推定では, 左右の画素値の何らかの差をとる関数  $\text{diff}$  を小さくする奥行値を選んできた. つまり, 画像の相関から求めた仮想カメラ上の奥行値  $V_Z(\mathbf{p})$  は以下で表される.

$$V_Z(\mathbf{p}) = \underset{Z}{\operatorname{argmin}} \text{diff}(I_L(\mathbf{p}, Z), I_R(\mathbf{p}, Z)) \quad (1)$$

文献 [3] では分散を小さくする関数を選び, また文献 [2] では Sum of Absolute Difference を関数として選んでいた. このコスト関数には, 文献 [2] で行われたように, ステレオマッチングで使われる様々な最適化手法が使用できる. そこで本論文では, グラフカット [4] を用いて最適化した.

提案する視点依存型の奥行推定手法は, 左右のデプスマップを入力とし, 仮想カメラ映像の奥行を推定する. 提案手法に必要な, 事前に計算されているデプスマップは, グラフカットにより最適化済みである. 図1の  $X-Z$  平面をもとに説明する. まず仮想視点  $(x_v, y_v, z_v)$  を入力し, その視点における全画素について次の処理を行う.

- 仮想カメラの注目画素の奥行  $V_Z(\mathbf{p})$  を仮定し

(例えば  $Z = Z_1$ ), 仮定した奥行で求まる三次元点  $(x, y, z)$  を左右のデプスマップに投影し, 投影された位置の奥行値  $Z_L$  及び  $Z_R$  を抽出する. 投影関数はそれぞれ,  $Z_L = V_L(\mathbf{p}, Z)$ ,  $Z_R = V_R(\mathbf{p}, Z)$  とする.

- $Z_L, Z_R$  及び仮定した奥行の 3 値の相関値を計算する.

- $V_Z(\mathbf{p})$  の奥行値を変化させ, (例えば  $Z_2$  や  $Z_3$ ) それらに対して相関値計算し, 最も小さい値をとる奥行を,  $V_Z(\mathbf{p})$  の奥行  $Z_V$  とする.

なお, 相関値  $C$  として, 分散 (式 (2), (3)) を用いた.  $\bar{Z}$  は,  $Z_L, Z_R, Z$  の平均値 ( $\bar{Z} = \frac{1}{3}(Z + Z_L + Z_R)$ ) である.

$$C(\mathbf{p}, Z) = \frac{1}{3} \{ (Z_L - \bar{Z})^2 + (Z_R - \bar{Z})^2 + (Z - \bar{Z})^2 \} \quad (2)$$

$$V_Z(\mathbf{p}) = Z_V = \underset{Z}{\operatorname{argmin}} C(\mathbf{p}, Z) \quad (3)$$

これにより, 理想的には, 注目画素の奥行が  $Z = Z_V$  ならば,  $Z = Z_L = Z_R$  となり, 相関値は 0 となるが, 誤った奥行を仮定すると,  $Z_L \approx Z_R$  であっても  $Z \neq Z_L$  であるため, 相関値が大きくなり, この奥行値は採用されない. そのため, 奥行の推定値が一意に求まりやすいと考えられる.

最後に, 求まった奥行  $Z_V$  を用いて, 対応する左右の画素の重み付きのブレンドで仮想視点上の画素  $I_{nor}(\mathbf{p})$  を決定する. 左右の画素の重み  $w_L(\mathbf{p}, Z_V)$ ,  $w_R(\mathbf{p}, Z_V)$  は, 文献 [2], [3] と同様に仮想視点から参照される左右のカメラまでの距離に応じた値で設定した.

$$I_{nor}(\mathbf{p}) = w_L(\mathbf{p}, Z_V) I_L(\mathbf{p}, Z_V) + w_R(\mathbf{p}, Z_V) I_R(\mathbf{p}, Z_V) \quad (4)$$

### 3. ズームカメラを用いた自由視点画像生成

次に図 2 のように, 左カメラと右のカメラの中間にズームカメラを設置し, それらを直線的に配置したカメラアレーを使用した, 前進視点の画像合成の流れを以下に示す.

- 左右のカメラの奥行画像をもとに仮想視点の奥行  $Z$  を算出する.

- 仮想視点の奥行をもとにズームカメラの画素を参照する.

- ズームカメラの画素を対応する仮想視点の画素に投影し, 画素が参照できない部分は左右のカメラの画素をブレンドして投影する.

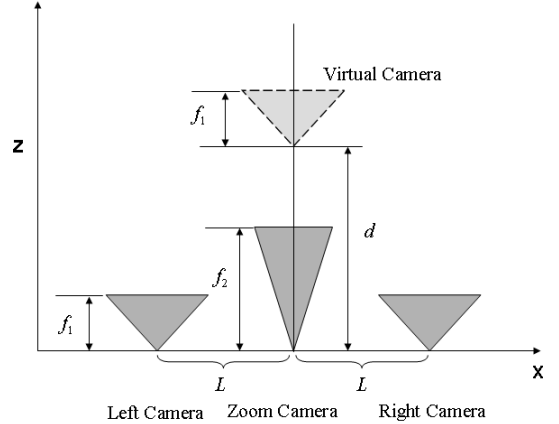


図 2 シミュレーションに用いるカメラ配置  
Fig. 2 Camera setting for simulation.

以上のようにズームカメラの画像を優先して参照することにより, 解像度の高い前進画像が合成できる. つまり, ズームカメラの画素の参照を  $I_Z(\mathbf{p}, Z)$  とすれば, 提案手法の画素  $I_{pro}(\mathbf{p})$  は以下の式で表される.

$$I_{pro}(\mathbf{p}) = \begin{cases} I_Z(\mathbf{p}, Z) & \text{参照画素が範囲内} \\ I_{nor}(\mathbf{p}) & \text{else} \end{cases} \quad (5)$$

## 4. 実 験

### 4.1 実験方法

実験として以下の二つの項目について行った.

(1) 従来の画素の輝度値を用いたマッチングによる前進視点の奥行推定 (a) と提案手法による奥行推定 (b) との比較

(2) ズームカメラを設置し, ズームカメラを使用した前進カメラの画像合成

実験 (1-a) では左右カメラのみの画像を入力とする. 実験 (1-b) では左右カメラの画像及び奥行画像を入力とする. 実験 (2) では実験 (1-b) の入力にズームカメラの画像を加える.

シミュレーションに用いたカメラ配置を図 2 に, パラメータを表 1 に示す. 焦点距離の単位は pixel で表され, これは, 画像の縦幅, 横幅 (単位は pixel) との相対的な長さを表している. また, その物理的な長さは, CCD の実寸と解像度の関係から求まる. 焦点距離の長さは, ピンホールカメラモデルを仮定し, カメラキャリブレーション [5] を行うことで求めた. また, 図 3 に焦点距離とズームの関係を示す. この例では, 異なる焦点距離をもつ, 横幅 320 画素の 2 台のカメラ

表 1 シミュレーション条件  
Table 1 Simulation parameters.

焦点距離 (LR カメラ) $f_1$	100 [pixel]
焦点距離 (ズームカメラ) $f_2$	140 [pixel]
カメラ距離 $L$	50 [mm]
前進距離 $d$	30 [mm]
画像解像度	320 × 240 [pixel]

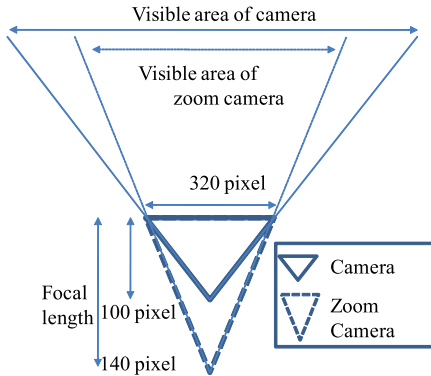


図 3 焦点距離と可視範囲

Fig. 3 Relationship between focal length and visible area.

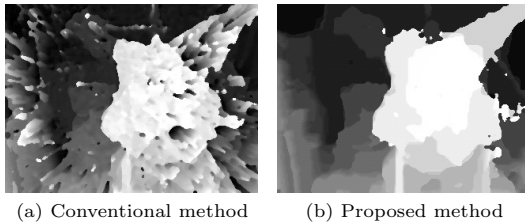


図 4 前進視点のデプスマップ  
Fig. 4 Estimated depth maps.

について、各々の可視範囲がどのように異なるかを示している。焦点距離が長ければ見えるエリアが狭まっていることが分かる。カメラのズームとは、画角を小さくすることで、画素当りの空間をサンプルする面積を小さくし、より細かく見ることである。つまり焦点距離が長いカメラはズームカメラとなる。

#### 4.2 実験結果

図 4(a) に、実験 (1-a) での前進カメラの奥行推定結果を示し、これをもとにした前進画像の合成結果を図 5(a) に示す。従来手法では、人形の帽子の部分等で推定の誤りが頻繁に発生している。そのため、前進画像を生成した際画像が乱れた。一方提案手法を示した実験 (1-b) では、前述の不安定性が発生せず、従来手法に比べきれいな前進画像を生成できた (図 5(b))。図 6(b) に、実験 (2) のズームカメラを使用した生成

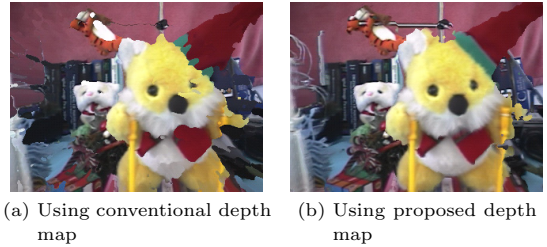


図 5 前進視点の生成画像  
Fig. 5 View synthesis result.

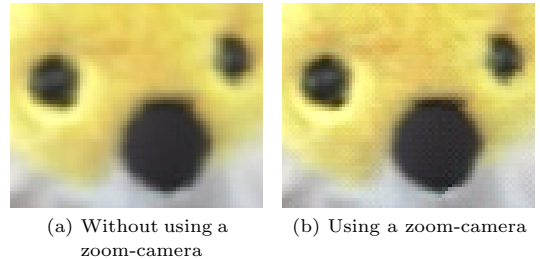


図 6 前進視点の生成画像 (一部拡大図)  
Fig. 6 Magnified local results.

画像の一部拡大図を示す。ズームカメラを使用していない図 6(a) と比較すると、人形の顔等シーンの手前でズームカメラに写っている領域について解像度の向上が見られた。

#### 5. むすび

本論文では、被写体に前進した仮想視点の奥行推定方法及び、ズームカメラを用いて、前進画像の解像度を向上させる手法を提案した。シミュレーションの結果、奥行推定法に関して、提案手法は推定の誤りを削減でき、またズームカメラを用いることで、前進画像の解像度が向上することを確認した。今後は他のカメラ配置への対応について検討を行う。

謝辞 本研究の一部は、総務省 戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) 及びに、科学研究費補助金若手研究 (B) (課題番号 22700174) によって行われた。

#### 文 献

- [1] 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, vol.50, no.9, pp.1312–1318, Sept. 1996.
- [2] 福嶋慶繁, 圓道知博, 藤井俊彰, 谷本正幸, “Multi-Pass Dynamic Programming による光線空間補間,” 信学論 (D), vol.J90-D, no.7, pp.1721–1725, July 2007.
- [3] 高橋桂太, 苗村 健, “視点依存奥行マップの実時間推定に基づく多眼画像からの自由視点画像合成,” 映像学誌, vol.60, no.10, pp.1611–1622, Oct. 2006.
- [4] Y. Boykov, O. Veksler, and R. Zabih, “Fast approx-

imate energy minimization via graph cuts,” IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol.23, no.11, pp.1222–1239, Nov. 2001.

[5] Z. Zhang, “A flexible new technique for camera

calibration,” IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol.22, no.11, pp.1330–1334, Nov. 2000.

(平成 23 年 2 月 28 日受付, 7 月 6 日再受付)

---