

奥行き変化のあるシーンに対する高精細画像の反復再構成

横山 あみ[†] 久保田 彰[‡] 羽鳥 好律[‡]

† 東京工業大学 大学院総合理工学研究科

〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259-G2-31

E-mail: † yokoyama.a.aa@m.titech.ac.jp, ‡ {kubota/hatori}@ip.titech.ac.jp

あらまし 近年、通信環境の発展でブロードバンド常時接続の環境が家庭にも浸透し、ビデオチャットが急速に普及している。本稿では、PC モニタの周りに複数の安価なカメラを設置する環境を想定して、円周配置したカメラの低解像度画像から、中心視点画像を高精細に合成する任意視点画像再構成の新たな手法を論じる。従来の任意視点画像の再構成は奥行きマップや対応点探索を要し複雑であった。そこで本稿では、奥行き推定を必要としない任意視点画像の再構成手法について論じる。複数の低解像度画像を位置合わせして高精細画像を得る手法を奥行き方向に拡張することで、奥行き変化のあるシーンにおける任意視点の画像を高精細に実現する。CG シーンを用いた実験を行い、本手法の有効性を示す。
キーワード 任意視点画像、高精細化、画像再構成

—Reconstructing a super-resolution image for depth-varying scenes—

Ami Yokoyama[†] Akira Kubota[‡] Yoshinori Hatori[‡]

† Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering
Tokyo Institute of Technology

4259-G2-31 Ngatsuta, Midori-ku, Yokohama 226-8502

E-mail: † yokoyama.a.aa@m.titech.ac.jp, ‡ {kubota/hatori}@ip.titech.ac.jp

Abstract This paper proposes a novel method for reconstructing a super-resolution image for depth varying scene without requiring complex analysis such as depth estimation and feature matching. The proposed method is based on the iterative back projection technique that is extended to the 3D volume domain (i.e., spatial + depth), unlike the conventional super-resolution methods that handle only 2D translation among captured images. In the simulation, using 5 or 11 test images (160x120) for computer generated scene, we generated the center image of two-times higher resolution (320x240). The results showed that quality of the generated images was improved compared with the up-sampled versions of the center image generated under the assumption that a single depth is considered.

Keywords Free-viewpoint image, Improving resolution, image registration

1. はじめに

近年、通信環境の発展で、ブロードバンド常時接続の環境が家庭にも浸透してきた。これによりビデオチャットが急速に普及し、それに特化した低価格なカメラも販売されている。しかしながら、PC モニタ中心へのカメラ設置は不可能なため視線が一致せず不自然であるという問題がある。さらに、ビデオチャット用のカメラは低解像度であり、画質が悪いという問題もある。そこで本稿では、これらの課題を解決し、より自然なコミュニケーションを実現するため、円周配置したカメラの低解像度画像から、中心視点画像を高精細に合成する手法を論じる。

複数の低解像度画像から高解像度画像を生成する手法に Irani らの反復法がある[1]。この手法では、高解像度から低解像度への劣化過程を経て得られた画像と実際の取得画像とを比較し、その誤差を反復処理により最小化する。この手法は高速に収束する手法であるが、写真や文書など奥行き変化のないものを対象としているため、あまり現実的でない。

本稿では、Irani らの枠組みを奥行き方向に拡張し、奥行きを陽に推定することなく高精細画像を生成する手法を提案する。

2. 提案手法

Figure 1 に提案手法の処理の流れを示す。 $\{g_d\}$ は比較の元となる低解像度の画像列で、カメラで観測された画像から合成される。 $\{f_n\}$ は仮定した高解像度の画像列、 $\{\hat{g}_d\}$ は 2.2 節で述べるシーン設定と劣化モデルに基づきシミュレートされた低解像度の画像列である。それぞれ仮定した奥行きの数だけ存在する。

2.1 仮定した奥行きに基づく中心視点画像の生成

仮定した奥行きに基づいて中心視点からの画像を Figure 2 のように合成する。このとき、カメラで実際に取得した画像 $c_j(x)$ は各奥行きに分散して保持される。本手法ではこの画像列 $\{g_d\}$ を比較の元データとする。ここで d は仮定する奥行きの位置で、 $d=1,2,\dots,N$ とする。

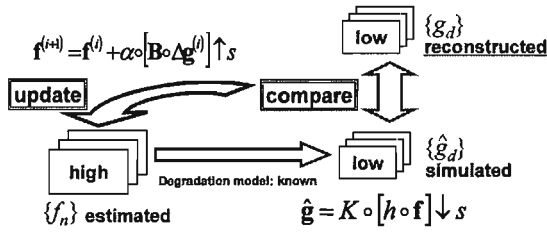


Figure1. 提案手法のアウトライン

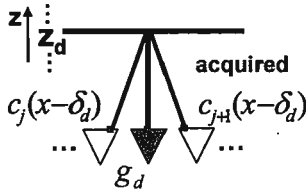


Figure2. 各奥行きで合成される画像

2.2 画像の劣化モデル

次に、全ての奥行きのテクスチャを足し合わせてシーンを表現する[2]。簡単のため、Figure3のように二つの奥行き z_1 , z_2 を仮定する。そのテクスチャを f_1 , f_2 すると、このシーンは(1)式で表される。

$$f = f_1 + f_2 \quad \dots (1)$$

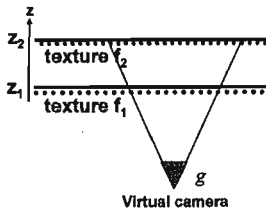


Figure3. シーン設定

奥行きを z_1 と仮定したときの中心視点画像を (2) 式のように表現する。

$$g'_1 = f_1 + k_{12} * f_2 \quad \dots (2)$$

ここで、 k_{12} は奥行きが合わないことによる対応点ずれの劣化を表す。ただし、 f_1 と g'_1 の解像度は同じである。同様に、奥行きを z_2 と仮定したときの中心視点画像は (3) 式のように表現できる。

$$g'_2 = k_{21} * f_1 + f_2 \quad \dots (3)$$

これに基づいて、高解像度から低解像度への劣化を(4)式で表す。

$$\hat{g} = K \circ [h \circ f] \downarrow s \quad \dots (4)$$

ここに、

$$\hat{g} = [\hat{g}_1 \quad \hat{g}_2 \quad \dots \quad \hat{g}_d \quad \dots \quad \hat{g}_N]^T$$

$$f = [f_1 \quad f_2 \quad \dots \quad f_n \quad \dots \quad f_N]^T$$

$\downarrow s$: down sampling operator

h : Gaussian filter

$$K = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1N} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{N1} & k_{N2} & \dots & k_{NN} \end{bmatrix}$$

である。

2.3 反復操作による画像の高精細化

(5) 式で表される反復操作により誤差を最小化することで奥行きを考慮した高解像度画像を再構成する。ここで

i は反復回数である
 $f^{(i+1)} = f^{(i)} + \alpha [B \circ \Delta g^{(i)}] \uparrow s \quad \dots (5)$
 ここに、

$$B = \bar{K}^T = K$$

$$\Delta g = [\Delta g_1 \quad \Delta g_2 \quad \dots \quad \Delta g_d \quad \dots \quad \Delta g_N]^T$$

$$\Delta g_d = g_d - \hat{g}_d$$

である。

3. シミュレーション

3.1 対象とする CG シーン

Povray で作成した CG シーンを用い、提案手法の有効性を評価する実験を行った。Figure4のように、奥行き 6 を中心に 45° 回転した平面を、原点中心に半径 0.35 の円周上に配置した複数のカメラから画角 40 度で観測した画像を入力とし、円中心視点の画像を再構成した。入力画像の解像度を 160×120 、出力画像の解像度を 320×240 、仮定の奥行きの数を 5、反復回数は 100 回とした。

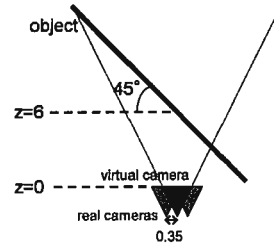


Figure4. 対象シーン

3.2 実験

カメラ台数が再構成される画像に対してどう影響するかを検証した。

3.2.1 実験条件

標準画像 lenna を連続貼り付けた平面を対象とし、カメラ台数は 5 台と 11 台の場合について実験を行った。カメラ台数 5 台の場合の入力画像は Figure5 のようになる。ここで、奥行きは $4.5 < \alpha < 7$ と設定した。

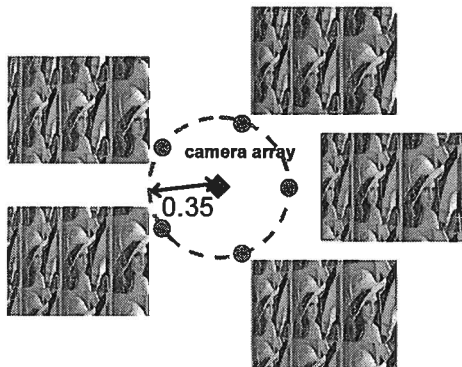


Figure5. 実験 (1) 入力画像

3.2.2 実験結果および考察

係数 $\alpha=0.05$ で反復操作を行った。本実験で再構成された比較元となる $\{g_d\}$ を Figure8 に示す。先鋭な箇所が手前から奥に移動していくのが確認できる。これを 320×240 にした上で足し合わせて平均した画像が Figure9 (b) に示すもので、更新操作を行う前の初期画像 $f^{(0)}$ として使用した。100 回の反復操作の後、カメラ台数 5 台のとき Figure9 (c), カメラ台数 11 台のとき Figure9 (d) の画像が得られた。ここで Figure9(a) は Povray で得た正解画像である。結果画像を見ると、カメラ台数 5 台の場合にはアーティファクトが目立つが初期画像に比べると定性的な解像度は向上している。そしてカメラ台数 11 台の場合にはアーティファクトが低減していることが認められる。更新操作を繰り返すことによって定性的な解像度が全体的に向上すること、カメラ台数を増やすことでアーティファクトが低減できることが確認できた。また PSNR を評価したところ、カメラ 5 台とき 19.46[dB], 11 台のとき 20.40[dB] と、カメラ台数 11 台の方が 0.94[dB] 向上し、客観評価のうえでもカメラ台数を増やすことの利点が見られた。さらに、奥行きを固定した場合、ここでは Figure8(c) の g_3 の画素数を 320×240 にした画像、の PSNR を評価したところ、19.93[dB] で、提案手法では 0.47dB 向上しており、奥行きを複数枚設定することによる従来法に対する優位性が確認できた。

次に、反復に伴う分散と PSNR の変化を Figure6, 7 に示した。反復を繰り返すにつれて、分散が大きくなっていることが確認できる。また、PSNR も 11 台の場合は良くなっている。5 台の場合には反復操作の 30 回目辺りから PSNR が低下しているが、これは元々失われている成分を復元しようとしている為に起きていると考えられる。奥行き設定範囲あるいは奥行き枚数の検討により改善が見込める。

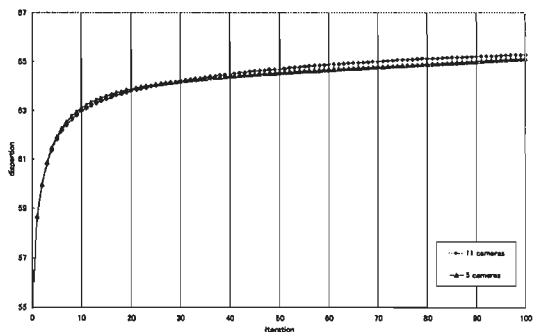


Figure6. 反復に伴う分散の変化

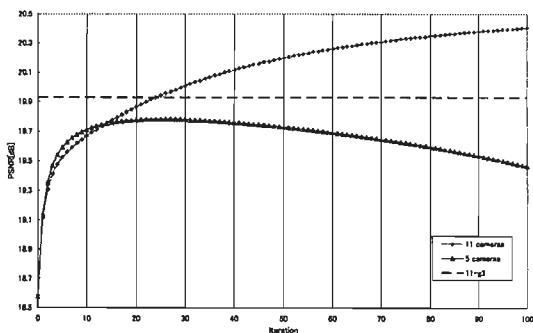


Figure7. 反復に伴う PSNR の変化

4. まとめ

本稿では、奥行き変化のあるシーンに対して、複数の低解像度画像から任意視点画像を高精細に再構成する方法について提案した。誤差を最小化する枠組みを奥行き方向に拡張することによって、陽には奥行きを推定することなく高精細化を試みた。シミュレーションの結果、円周に配置したカメラ画像から、比較的良好に中心視点画像を再構成することができた。また奥行きを固定した場合に対する優位性も確認できた。今後は、より複雑なシーンでの実験を行い、各種パラメータを検討して、自然画像での実現を目指す。

参考文献

- [1] Michal Irani et al., "Improving Resolution by Image Registration," CVGIP: GRAPHICAL MODELS AND IMAGE PROCESSING, Vol.53, No.3, May, pp.231-239(1991).
- [2] Akira Kubota, Keita Takahashi, Kiyoharu Aizawa, and Tsuhan Chen, "All-Focused Light Field Rendering," Eurographics Symposium on Rendering (EGSR2004), pp. 235-242, (2004).

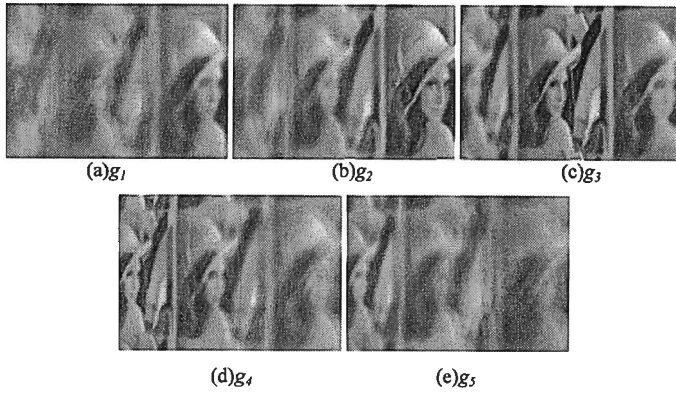


Figure8. 各奥行き画像 $\{g_d\}$

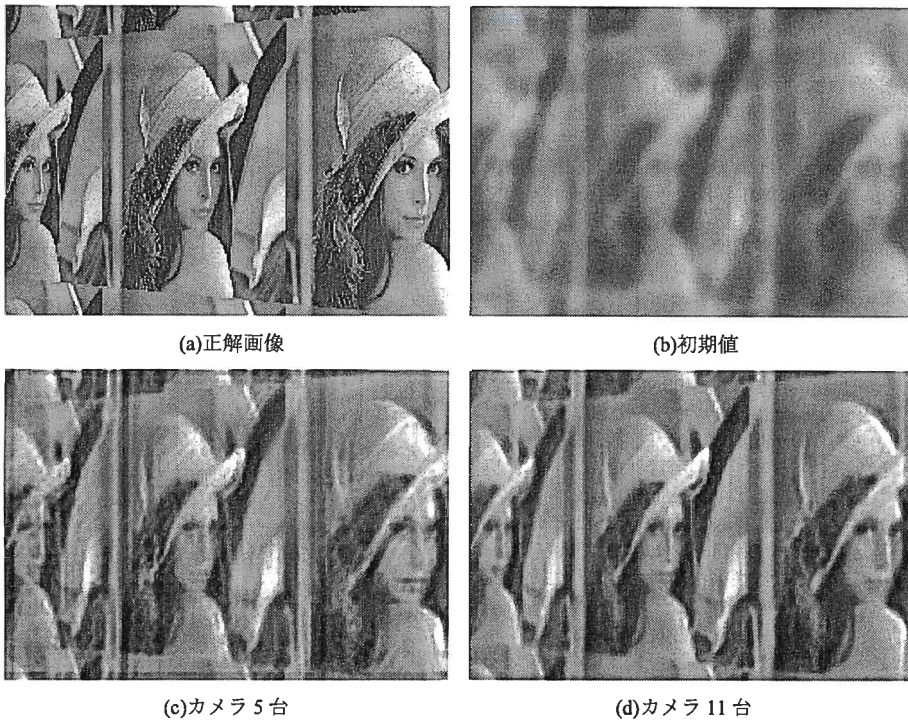


Figure9. 実験結果