

3次元フィルタによる多視点画像に基づいた焦点効果のレンダリング Image-Based Refocusing through 3D Filtering

久保田 彰[†]
Akira Kubota

児玉 和也[‡]
Kazuya Kodama

羽鳥 好律[†]
Yoshinori Hatori

1. はじめに

シーン中の光線を密に取得できれば、シーンの3次元構造を推定することなく、任意視点からの見えや焦点ぼけなどの視覚効果を容易にかつ高品質に生成できる [1]。本稿では、疎な光線から、焦点ぼけを付与する手法を提案する。ここでは、光線の取得には、2次元格子上に配置された多眼カメラを用いる。カメラ間隔が大きくなると、従来の合成開口法 [2] では、生成画像の焦点ぼけ領域にエイリアシング (ゴースト劣化) が生じる。提案手法では、3次元フィルタリングを用いて、奥行を推定することなく、このゴースト劣化を抑制した焦点ぼけを再構成する。本稿では、円形配置画像に対して、すでに筆者らが提案した方法を適用した [3]。

2. 提案手法

2.1 問題の設定

多眼カメラは、 XY 平面上の2次元格子点 X_n のピンホールカメラからなる。焦点距離は1とし、各撮像画像を $i_n(x)$ とする。ここに、 x は画像座標である。

問題は、画像群 $\{i_n(x)\}$ から、視点が原点で、任意の合焦距離 Z と開口半径 (絞り) R の画像 $f(x; Z, R)$ を生成することである。

2.2 加算平均に基づいた焦点画像の生成

提案手法では、まず、合成開口法によって焦点画像を生成する。合焦距離 Z に基づいて、半径 R_a の円内の取得画像における対応点を算出し、それらの輝度値を平均する。すなわち、生成画像を $g(x; Z, R_a)$ とすると

$$g(x; Z, R_a) = \frac{1}{N_a} \sum_{|X_n| \leq R_a} i_n(x - X_n/Z) \quad (1)$$

として生成される。ここに、 N_a は円内の取得画像の数である。従来手法では、多眼カメラの配置密度が低いと、生成画像にゴースト状の焦点ぼけが付与される。さらに、半径 R_a を変化させても、 N_a が不連続に変化するため、絞りを連続的に変えることができない。

2.3 3次元フィルタによるゴースト劣化の抑制

XY 平面上的任意の位置 X において画像 $i_X(x)$ が利用可能である場合、所望の画像は次式によって生成できる。

$$f(x; Z, R) = \int w_X(R) \cdot i_X(x - X/Z) dX \quad (2)$$

ここに、ガウス型のぼけ関数: $w_X(R) = 1/(\pi R^2) \cdot e^{-|X|^2/R^2}$ を用いた。

提案手法では、つぎに、生成画像 $g(x; Z, R_a)$ から、所望の任意焦点画像 $f(x; Z, R)$ を再構成する。画像間の変換ではなく、合焦距離 Z を変化させたときの各画像列を3次元信号として扱い、3次元信号間の変換を行う。ここでは、 $z = 1/Z$ とし、 z が一定間隔となるように合焦距離を変化させる。

x と z の変数を用いて、二つの画像列を3次元信号 $g(x, z; R_a)$ と $f(x, z; R)$ として構成すると、次のようにモデル化できる。

$$g(x, z; R_a) = h_a(x, z; R_a) * s(x, z) \quad (3)$$

$$f(x, z; R) = h(x, z; R) * s(x, z) \quad (4)$$

演算記号 $*$ は3次元の畳込み積分である。 $s(x, z)$ は、原点から観測できる、対象シーンのテクスチャの3次元分布であり、

$$s(x, z) := i_O(x) \delta(d_O(x) - 1/z) \quad (5)$$

と定義される。 $i_O(x)$ と $d_O(x)$ はそれぞれ原点 O における撮像画像と距離画像である。距離画像は未知であるため、 $s(x, z)$ も未知である。 $h_a(x, z; R_a)$ と $h(x, z; R)$ は、3次元劣化関数であり、それぞれ、多眼カメラの配置と所望の焦点ぼけ形状 (ガウス型) から決定される:

$$h_a(x, z; R_a) = \frac{1}{N_a} \sum_{|X_n| \leq R_a} \delta(x - z X_n) \quad (6)$$

$$h(x, z; R) = \int w_X(R) \delta(x - z X) dX \quad (7)$$

ここに、 $\delta(\cdot)$ は Dirac のデルタ関数である。

式 (3) と式 (4) を3次元フーリエ変換した後、未知であるテクスチャ分布 S を消去し、次式のウィナーフィルタの形式で、所望の3次元信号を再構成する。

$$\hat{F}(\xi, \zeta; R) = \frac{H(\xi, \zeta) H_a^*(\xi, \zeta)}{|H_a(\xi, \zeta)|^2 + \Gamma} \cdot G(\xi, \zeta; R_a) \quad (8)$$

大文字の信号は、対応する小文字の信号の3次元フーリエ変換を表し、 (ξ, ζ) は (x, z) に対する3次元周波数を表す。 H^* は H の共役、 Γ は定数である。このウィナーフィルタは、シーンに関する情報を持たないため、提案手法はシーン解析を必要としない。

[†] 東京工業大学 大学院総合理工学研究科, Interdisciplinary Graduate School of Science and Technology

[‡] 国立情報学研究所 実証研究センター, National Institute of Informatics, Research

3. 実写画像を用いた実験結果

筑波大学多視点画像データベースの *santa* の画像を用いて本手法により任意焦点画像の生成を行った。画像は、 9×9 の 2 次元格子点 (カメラ間隔は 20 [mm]) から撮像されたものである。シーンは、サンタのぬいぐるみが 590–800 [mm] の奥行に配置されている。これを実験の対象シーンの範囲とし、画像の解像度を 320×240 にダウンサンプリングした後、サンタの領域を切り出して使用した。パラメータ z の範囲は、奥行の逆数の範囲 $1/800 - 1/590$ の 2 倍とし、 z の値はそれを 64 に等分した値とした。 R_a は 4×20 [mm]、 Γ は 0.1 にそれぞれ固定した。なお、 g を生成する際、対象領域外の画素値が必要となる場合、その画素値は最近傍の画素値と用いることとした。

再構成画像の例を図 1 と図 2 に示す。図 1 は合焦距 Z 、図 2 は焦点深度 (すなわち、 R) を変化させたときの効果を従来手法と提案手法で比較して示している。従来手法では、焦点ぼけ領域にエイリアジング (ゴースト) の劣化が生じているのに対して、提案手法では、エイリアジングがほとんど見られず、自然な焦点ぼけの効果が付与されている。図 2 において絞りを小さくしたとき (図の左の画像)、従来手法では、その円内領域にあるカメラが一つになるため、ぼけをレンダリングすることが原理的に不可能である。したがって、撮像画像そのものが生成画像となる。これに対して、提案手法では、連続的に絞りの効果を付与できるため、図に示したように、わずかな焦点ぼけの効果をレンダリングできている。

提案手法では、十分に光線が取得できていなくても、シーンを解析することなく、ゴースト劣化を抑えた焦点ぼけの視覚効果を付与できる。

4. おわりに

疎な光線情報からでも、奥行推定をすることなく、焦点ぼけ効果を良好に付与できる手法について論じた。実写画像を用いた結果を示し、その有効性を示した。今後は、本手法の有効範囲を数学的に検証し、適切な正規化法を適用する予定である。

参考文献

- [1] R. Ng, M. Levoy, M. Bredif, G. Duval, M. Horowitz, P. Hanrahan, "Light Field Photography with Hand-held Plenoptic Camera," Stanford Tech Report CTSR 2005-02, 2005
- [2] Isaksen, A., McMillan L., Gortler, S. J., "Dynamically reparameterized light fields," *SIGGRAPH2000*, pp. 297–306, 2000.
- [3] 久保田彰, 児玉和也, 羽鳥好律, "円周多眼画像からのウィナーフィルタによる任意焦点画像の再構成," 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2006) 予稿集, pp. 1006-1011, 2006.



(a) 合成開口法



(b) 提案手法

図 1: 絞りを $R = 1.5 \times 20 \text{mm}$ に固定し、合焦距を手前と後ろに設定したときの生成画像。



(a) 合成開口法



(b) 提案手法

図 2: 合焦距を 590mm と固定し、絞りの大きさをカメラ間隔の 0.5 および 2.0 倍にしたときの生成画像 (それぞれ左と右の画像)。