

確率奥行マップを用いたデジタル・リフォーカスの検討 A Digital Refocusing Method Using Probability Depth Maps

池藤 広司[†]
Koji Ikefuji

久保田 彰[†]
Akira Kubota

1. まえがき

多視点画像を用いて自由に焦点合わせを変化させた画像(自由焦点画像)を生成する手法に合成開口法がある。多視点画像の視点間隔が十分に小さい場合は、この合成開口法により、単なる線形処理によって滑らかな焦点ぼけを容易に生成できる [1]。しかしながら、視点間隔が大きい場合には、焦点ぼけ領域にゴースト劣化が生じる問題がある。ゴースト劣化を抑制するためには、奥行シーンを推定し、視点間の画像を内挿する必要がある。

本稿では、多視点画像を用いて確率奥行マップ [2] を推定し、これに基づいて自由焦点画像を生成する手法を提案する。確率奥行マップから空間可変型のぼけカーネルを作成し、それを一枚の画像に施すことによって自由焦点画像を高品質に生成できることを示す。

2. 提案手法

2.1 問題設定

XYZ世界座標系のXY平面にN台のカメラがZ軸に平行に配置されているとする。ただし、カメラの外部および内部パラメータはすべて既知である。i番目のカメラにおける取得画像を $I_i(m, n)$ ($i = 1, \dots, N$)と表す。ただし、原点の取得画像は $I_0(m, n)$ と表す。ここに、 (m, n) は画素の座標である。本稿では、取得画像群 $\{I_i\}$ から原点における自由焦点画像 I を生成することを目的とする。

2.2 確率奥行マップの生成

奥行方向(Z軸方向)にL層のレイヤ $Z = d_j$ ($j = 1, \dots, L$)を仮定する。原点の画像において、画素 (m, n) における奥行 d_j の確からしさを $p(m, n; d_j)$ と表し、確率奥行マップと呼ぶ。画像 $p(m, n; d_j)$ の生成方法を以下に述べる。

まず、奥行 d_j に基づいて、原点の画像の画素 (m, n) に対する取得画像 I_i の対応点を求める。次に、対応点を中心とした 9×9 ブロック内での輝度値の分散値を求める。最後に、得られたカメラ台数分の分散値を用いて再

度分散値を計算することで、奥行 d_j における代表の分散値 $\sigma_j^2(m, n)$ を決定する。同様な処理をすべてのレイヤで行い、 $p(m, n; d_j)$ を次式のように生成する。

$$p(m, n; d_j) = \sigma_j^2(m, n) / \sum_{j=1}^L \sigma_j^2(m, n) \quad (1)$$

2.3 ぼけカーネルの生成

焦点を合わせる奥行を d_p ($p \in \{1, \dots, L\}$)、所望の開口半径を R とする。このとき、奥行 d_j に対する錯乱円の半径 r_j は次式で与えられる。

$$r_j = \left| \frac{1}{d_j} - \frac{1}{d_p} \right| R \quad (2)$$

標準偏差が $\sqrt{2}r_j$ の2次元ガウス関数を画素間隔でサンプリングした後、サンプル値の和を正規化して、ぼけカーネル $h(k, l; r_j)$ を作る。ただし、 $j = p$ のときは、 $h(k, l; r_j)$ はデルタ関数とする。

原点の取得画像 I_0 に施すべきぼけカーネルを $h(k, l; r_j)$ の確率奥行マップによる重み付け加算

$$h_s(k, l; m, n) = \sum_{j=1}^L p(m, n; d_j) h(k, l; r_j) \quad (3)$$

として生成する。その結果、生成されるぼけカーネルは、空間可変型となる。

2.4 自由焦点画像の生成

自由焦点画像 I は、原点の取得画像 I_0 にぼけカーネル $h_s(k, l; m, n)$ を施して生成する。

$$I(m, n) = \sum_{k, l} I_0(k, l) h_s(k, l; m, n) \quad (4)$$

3. シミュレーション

3.1 シミュレーション条件

中心が原点の 5×5 の2次元格子点からの画像を3DCGソフト(Pov-ray)を用いて作成した。画像サイズは 640×480 、画角は50度、視点間隔は5とした。シーンは奥行の異なる3枚の平板から構成され、手前から画像“Lena”、“Pepper”および“Checker”がマッピングして

[†]中央大学大学院 理工学研究科, Graduate School of Science and Engineering, Chuo Univ.

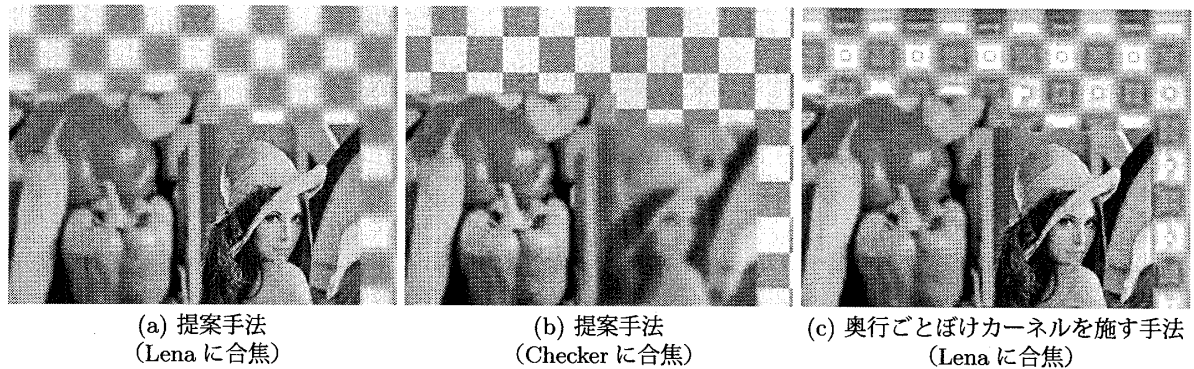


図 1: シミュレーション結果

ある。それらの奥行は順に 150.0, 167.6, 190.0 である。奥行の数を $L = 5$ とし, $d_j = (L-1)((L-j)/150 - (j-1)/190)^{-1}$ として各奥行を設定した。また, 所望の開口半径 R を 5 とした。

3.2 結果と考察

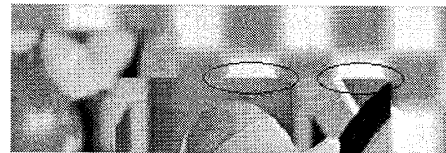
提案手法による生成画像を図 1 (a) と (b) に示す。ここでは, 焦点を合わせる奥行を前景の d_1 と背景の d_5 とした。合焦領域は鮮鋭であり, 非合焦領域には滑らかな焦点ぼけの効果が見られる。

ぼけカーネルを一つに統合する効果を検証するために, 各奥行にぼけカーネル $h(k, l; r_j)$ を施す手法を試みた。原点の画像 I に対して, 各確率奥行マップを乗算して, 各奥行の画像を作成する。作成した画像に $h(k, l; r_j)$ を畳み込み, すべての結果を加算した。手前に焦点を合わせたときの生成画像を図 1 (c) に示す。合焦領域は概ね良好であるが, 非合焦領域には, 斑点状の歪みが生じている。この原因は, 各奥行の画像にぼけカーネルを先に施すと, 統合時にぼけによるにじみ込みが強く発生するためである。提案手法では, ぼけカーネルを先に統合し, 一枚の画像に施すことによってこの影響を抑えている。

また, 奥行を一意に決定し, 奥行マップに基づいてぼけカーネルを生成し, 原点の画像にぼけを与えた場合の画像 (一部拡大) との比較を図 2 に示す。奥行マップを用いた方法では奥行を一意に決定するために, 物体の境界付近において不正確な奥行が推定されている。その結果, 背景の Checker にぼけが生じていない領域がある (図 2 (b) の楕円で示した領域)。提案手法では, 奥行を確率で算出しているため, このような劣化が抑えられていると考えられる。



(a) 提案手法 (確率奥行マップを使用)



(b) 比較手法 (奥行マップを使用)

図 2: 確率奥行マップの効果 (画像を一部拡大)

4. むすび

本稿では, 多視点画像から推定した確率奥行マップを用いて空間可変なぼけカーネルを生成し, 一枚の取得画像をフィルタリングすることによって自由焦点画像を生成する手法を提案した。今後は, 実写画像での有用性を検討し, 動画からの自由焦点画像の生成を行う予定である。

参考文献

- [1] A. Isaksen, L. McMillan, S. J. Gortler, "Dynamically reparameterized light fields," SIGGRAPH2000, pp. 297-306, 2000
- [2] 國田, 上野, 田中, "多層信頼度マップを用いた 3 次元映像の実時間生成システム," 映情学誌, Vol. 60, No. 7, pp. 1102-1110, 2006