

光線空間を用いた画素毎に独立したリフォーカシング

Pixel-wise Refocusing via Light Field

三原 基^{†1)}

浅田 繁伸[†]
田中 賢一郎^{†,‡}

石原 葵[†]
久保 尋之[†]

岩口 堯史[†]
向川 康博[†]

岡本 貴典[†]

奈良先端科学技術大学院大学[†]

大阪大学[‡]

¹⁾ mihara.hajime.lt2@is.naist.jp

1 まえがき

近年、光線空間 (LF: Light Field) の取得に基づく従来のカメラにない特殊な機能を備えた光線空間カメラ (LF カメラ) が注目を集めている。現在の LF カメラの主な用途として、撮影された画像に対して後処理として自由に焦点位置を変更するリフォーカシング [1] が挙げられるが、本機能はあくまで焦点位置の編集に関するユーザビリティの向上であり、出来上がった画像そのものは従来のカメラで撮影されたものと大きな違いはない。本研究では LF に基づく新たな画像再構成手法として、取得した LF を用いてシーン中の各領域ごとに適切なフォーカス位置を決定するアルゴリズムを提案する。本手法を用いることにより、広い開口と深い被写界深度の両立や、不要な特定の物体にかかる深度だけを焦点から外すなどといった、従来のカメラでは光学的に設計不可能な画像を生成可能な LF カメラを実現する。

2 LF の取得および画像再構成

2.1 LF カメラ

シーン中の光線は図 1 に示すように、任意の視点位置 (u, v) 、画像座標 (x, y) を通る 4 次元の関数 $I_{(u,v)}(x, y)$ として定義される [2]。LF を取得可能なカメラは LF カメラと呼ばれ、多眼ステレオ撮影やマイクロレンズアレイを用いて得られる複数視点からの画像から LF を取得することができる。本研究では、LF の取得方法に制限はないが、マイクロレンズアレイを用いて LF を取得するものとし、後述の処理を施すことによって出力画像を生成する。

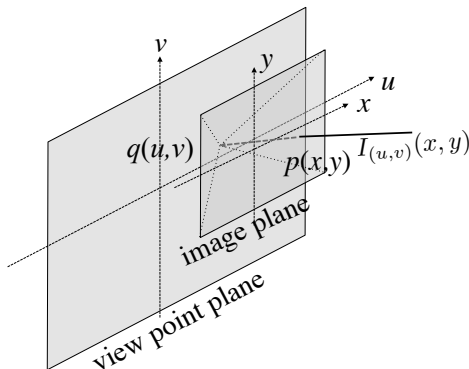


図 1 4次元 LF

2.2 視差推定

本研究で使用する LF カメラには、 x 軸、 y 軸方向に各 n 個のレンズアレイが、等間隔に配置されているものとする。ただし光軸を z 軸とし、画像面を $x-y$ 平面と置く。このとき、注目するレンズから得られる画像と、隣接のレンズから得られる画像との間には視差が生じる。本研究では、視差を推定するために画像内の小領域を各レンズから得られた画像間で視差の定義域内で移動させてウィンドウマッチングを行う。分散が最も小さくなる移動量を探索し、視差として推定する。なお、視差の推定は画像中の全画素に対して実行し、視差画像 $D(x, y)$ を取得する。

2.3 LF からの画像再構成

本研究では、1 画素ごとに複数の視差を与え、LF から画像を再構成する方法を提案する。本節では、前節で説明した視差画像を用いた全焦点画像 (全ての画素に焦点が合っている画像) の再構成手法について説明する。まず、従来の LF カメラによるリフォーカスでは、ユーザが与えた特定の視差 d を用いて、 (x, y) における画素値を $R_d(x, y)$ と設定することにより画像を再構成する。なお、LF カメラのレンズアレイは、中心から上下左右に n 個のレンズが存在し、合わせて $(2n + 1)^2$ 個のレンズによって構成されているものとする。

$$R_d(x, y) = \frac{1}{(2n + 1)^2} \sum_{i,j=-n}^n I_{(i,j)}(x - id, y - jd) \quad (1)$$

式 (1) において視差 d は定数であり、すなわち再構成された画像中の全画素において視差は一定であることを意味する。一方、本研究では d の代わりに 2.2 節で得られた視差画像を用いて、各画素で異なる視差 $D(x, y)$ を用いて画像を再構成する。このときの画素値を $R_{\text{all}}(x, y)$ とすると

$$R_{\text{all}}(x, y) = \frac{1}{(2n + 1)^2} \sum_{i,j=-n}^n I_{(i,j)}(x - iD(x, y), y - jD(x, y)) \quad (2)$$

と表され、これによって全焦点画像を得ることができる。

2.4 不要物体除去

本節では前節で説明した全焦点画像再構成法を進展させ、画像中の不要物体を除去する方法について説明する。撮影したシーン中に焦点を合わせたくないような不要物体が存在した場合、その物体の画像中の位置が既知であるとする、2.2節で得られた視差画像 $D(x, y)$ から不要物体の視差を取得することができる。ここで、画像中の各画素で推定された視差が不要物体の視差と近い値であった場合には、その画素の視差を不要物体視差の範囲外で最も分散が小さくなる時の視差に置き換えて、視差画像 $D'(x, y)$ を生成する。式 (2) の $D(x, y)$ の代わりに $D'(x, y)$ を用いて画素値を決定することにより、不要物体から焦点を外した画像を生成する。本手法は不要物体を光学現象に基づいてぼかすことによって除去する手法であり、必ずしも物理現象に基づかない従来のインペインティングとは異なるアプローチであると言える。

3 実験結果

提案手法の有効性をシミュレーションによって検証する。撮影対象シーンは図 2 に示す、3つの物体(手前から木、柵、風車)がシーン中に存在し、 $9 \times 9 = 81$ レンズを用いて LF を取得するものとする。このとき取得した LF 画像を図 3 に示す。以降では、LF の取得による、視差画像の生成、視差画像を用いた全焦点画像の再構成および不要物体の除去を行う両提案手法の結果を示す。

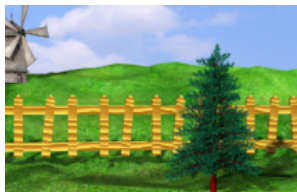


図 2 シーン画像

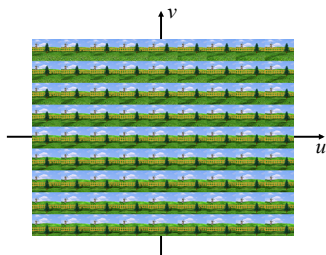


図 3 取得した LF

3.1 全焦点画像および不要物体除去画像

まずはじめに、取得した LF を用いて 1つの視差を与えた場合のリフォーカシング結果について図 4 に示す。柵に合焦するように視差を与えたが、合成開口の大きさに起因して、被写界深度が浅い画像となっている。

次に、同じ条件で LF を取得し、全焦点画像を構成した結果を示す。まず、図 5(左) に視差画像 $D(x, y)$ を示す。式 (2) および $D(x, y)$ を用いて、画素毎のリフォーカシングを行った結果、開口が大きいかにも関わらず、図 5(右) のような被写界深度の深い全焦点画像が生成される。

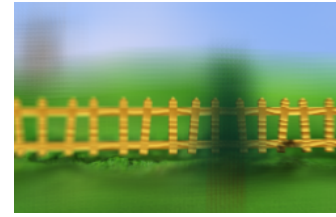


図 4 画素毎に一定の視差でのリフォーカシング

次に、図 2 内の柵を不要物体とみなし、柵における視差の値を置き換えた視差画像 $D'(x, y)$ を図 6(左) に、 $D'(x, y)$ を用いてリフォーカシング画像を生成した結果を図 6(右) に示す。図 6(右) では、前景の木と後景の風車は図 5(右) と同じように再合成されているが、不要物体とみなした柵のみが不鮮明になっていることがわかる。

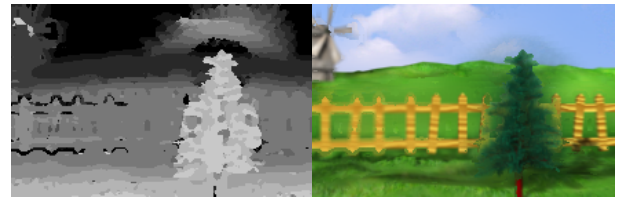


図 5 左：推定された視差画像，右：生成された全焦点画像

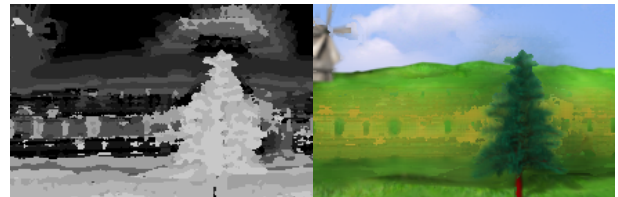


図 6 左：不要物体に対応した視差を別の視差に置き換えることにより得られた視差画像，右：生成された不要物体除去画像

3.2 考察

合成された全焦点画像に関して、主要物体(木、柵、風車)をそれぞれある程度鮮明に認識することができる。提案したアルゴリズムによって、図 4 に示した従来のリフォーカシングでは不可能な大開口および深い被写界深度を両立した画像を得ることが可能なことを確認した。不要物体の除去を行った画像に関しては、不要物体が不鮮明になったものの、詳細なディテールが失われているため、改善が必要なことを確認した。

4 まとめと今後の課題

本研究では新たな LF カメラの応用として、取得した LF を用いてシーン中の各画素ごとに適切なフォーカス位置を決定するアルゴリズムの提案を行い、全焦点画像の再構成および不要物体の除去を行った。今後は、より高品質な再構成画像の取得を目指す。

参考文献

- [1] R. Ng, et al., "Light field photography with a hand-held plenoptic camera", *Stanford Tech. Rep.*, CSTR 2005-02, 2005.
- [2] 八木康史, 斎藤英雄 (編), "コンピュータビジョン最先端ガイド 4", アドコム・メディア (株), 2011.