

光線空間を用いた不要物体除去リフォーカス画像の生成

三原 基^{1,a)} 岩口 堯史¹ 田中 賢一郎^{2,1} 久保 尋之¹ 長原 一³ 向川 康博¹

概要：本研究では、光線空間情報を用いて不要物体が除去されたリフォーカス画像の生成を実現する。提案手法では、ある視点の画像上でユーザが不要物体領域を指定し、その情報をもとに光線空間情報から不要物体に対応する光線を探索して、除外する。さらに、光線空間情報に含まれる多数の光線の和を用いてリフォーカス画像を生成する。このため、一部の光線の除去に誤りがあったとしても、結果として生成される画像に及ぼす影響は小さいため、頑健なリフォーカス画像の生成が可能となる。実験では、合成シーンおよび実シーンに対して提案手法の検討を行い、その有効性を確認した。

1. はじめに

例えば観光地や動物園、スポーツグラウンドなどでは、柵、檻、バックネットなど、被写体を遮蔽するような不要物体が広がって存在することが多い。そのようなシーンの写真を撮影する場合、撮影時にその写り込みを避けることができず、写真品質の低下や写真の利用価値の低下などが免れない。本研究では写り込んだ不要物体を除去するために、シーンを2次元の画像として記録するのではなく、視点位置を含んだ4次元光線空間(LF: Light Field)情報を光線空間カメラ(LFカメラ)を用いて記録し、不要物体の除去を行う。

LFカメラを用いたイメージングに、合焦位置を様々な深度に変更することができるリフォーカスがある。我々はリフォーカスの拡張として、LFカメラで取得された情報から、不要物体として指定した深度には合焦させずぼかすことによって、柵などの不要物体の除去を行ってきた[2]。しかし、ぼけの大きさは開口の大きさに依存するため、手で持ち運ぶことが可能なサイズのLFカメラへの応用が難しいこと、不要物体を大きくぼかしても、その跡が残ってしまい、鮮明な不要物体除去画像が得られないこと、不要物体を単一深度でしか指定できないことなど、様々な問題があった。

本研究では、ユーザにある視点からの画像を提示し、ユーザが不要物体の情報を一度だけおおまかに指定することで、任意の不要物体除去を可能とする手法を提案する。

提案手法の概略としては、LF中の画像1枚から不要物

体をブラシストロークで指定し、不要物体に対応するマスクを生成する。生成されたマスクを、不要物体に生じる視差に基づきLF中に伝播させることによって、LF中から不要物体に対応する光線を除去する。不要物体が除去されたLFを用いることで、リフォーカス画像を生成する。本稿では、実験として合成シーンおよび実際のシーンのLFを用いて不要物体の除去を行い、提案手法の有用性を示す。

2. 光線空間

LFは、シーン中の光源や物体から発せられる光線の分布を表し、各光線はそれぞれ方向と強度を持つ。光線の定義には様々な方法があるが、本稿では、視点位置 (x, y) および画像座標 (u, v) を通過する光線を、4次元関数 $I_{(x,y)}(u, v)$ として定義する。

図1に示すような通常のカメラでは、被写体となる物体中の1点から広がる光線はレンズによって撮像素子上の1点に集光する。これは、1点から発せられた光線を方向情報について積分演算していることに相当する。その結果、光線の方向情報が失われた2次元の縮退情報として画像に記録される。一方で、マイクロレンズアレイ、カメラアレイ、移動ステージ等によって複数の視点からシーンを撮影することにより、光線の方向情報を記録することが可能となる。例えば図2に示すようなマイクロレンズアレイを用いたLFカメラでは、1点から広がってレンズに入射した光線が、撮像素子の前面に設置されたマイクロレンズアレイによって分割される。その結果、各光線が到来した方向に応じて、異なる画素にその強度が記録される。以上のような過程によって、4次元LF情報を取得することが可能となる[1]。

LF情報を用いることで、様々な合焦面の画像を撮影後

¹ 奈良先端科学技術大学院大学

² 大阪大学

³ 九州大学

a) mihara.hajime.lt2@is.naist.jp

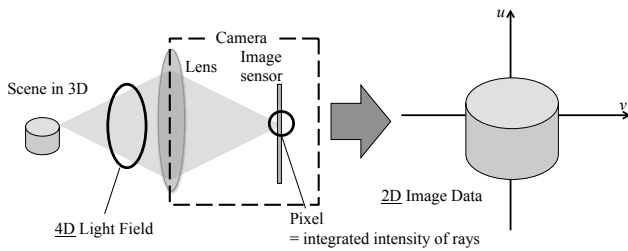


図 1 従来のカメラ

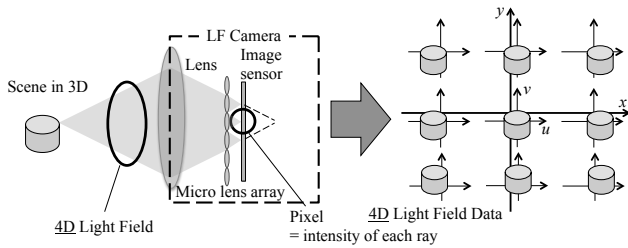


図 2 LF カメラ

に生成 (リフォーカス) することが可能となる。ここでは、リフォーカスの手法について説明する。ユーザがフォーカスを合わせたい物体について、隣接した視点同士で $d[\text{px}]$ の視差をもつ場合のリフォーカス画像 R_d は

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

で表される。なお、視点平面の中心から上下左右 n ずつの視点があるものとし、合計 $(2n+1)^2$ の視点があるものとする。式 (1) に示されるように、リフォーカス画像は視差 d のみをパラメータとするため、対応点探索等を行うことなく、簡単な演算によってリフォーカス画像を生成することが可能である。しかし、被写体にフォーカスを合わせ、不要物体にはフォーカスを合わせずばかすだけでは、不要物体を完全に除去することはできず、その跡が生成画像に残ってしまう。本研究では、LF から不要物体の情報を LF 中から除去することによって不要物体のぼけが除去されたリフォーカスを行う。

3. 提案手法

本手法は、以下に示す手順で構成される。まず、不要物体を指定し、マスク処理を行うことで、LF 中から不要物体に対応する光線の除去を行う。そこで、得られた LF を用いてリフォーカスを行うことで、不要物体が除去されたリフォーカス画像を生成することができる。以下にその詳細を示す。

3.1 不要物体のマスク処理

まず中央視点 $(x, y) = (0, 0)$ から撮影した画像上でブラシストロークなどを行うことで、不要物体の大まかな指定を行う。これを初期値として、GrabCut[3] などのグラフ

カットに基づく手法により、不要物体の領域を表すマスク $M_{(0,0)}(u, v)$ を生成する。

$$M_{(0,0)}(u, v) = \begin{cases} 0 & \text{(不要物体に対応する領域)} \\ 1 & \text{(otherwise)} \end{cases} \quad (2)$$

しかし、不要物体に対応する光線の全てに対し、同様の方法でマスクを生成することは、ユーザにとって手間である。そこで、中央視点の画像にのみ生成されたマスクを LF 情報全体に伝播させ、LF 中全ての不要物体に対応する光線のマスクを生成することを考える。ここでは、マスクを LF 全体に伝播させる方法について説明する。

視点を変化させたときに不要物体に生じる視差がわかると、マスクの移動量がわかり、LF 中の不要物体全体にマスクを掛けることが可能となる。そこで、LF 情報を用いて視点を変えたときにシーン中の物体に生じる視差を推定する。視差推定には様々な方法があるが、本研究では視差の推定にコントラストを用いる。中央視点からみたときの注目画素 (u, v) のもつ視差を $\tilde{d}_{(u,v)}$ としたとき、式 (1) を用いてリフォーカス画像を生成する。このとき、リフォーカス画像を生成する視差 d は $d \in \mathbf{D} = \{0, d_{max}\}[\text{px}]$ とする。生成したリフォーカス画像中の (u, v) を中心とした小領域において最もコントラストが高くなるリフォーカス画像を生成した視差を、推定視差 $\tilde{d}_{(u,v)} \in \mathbf{D}$ とする。 (u, v) における視差 $\tilde{d}_{(u,v)}$ は以下の評価式で推定する。

$$\tilde{d}_{(u,v)} = \operatorname{argmax}_{d \in \mathbf{D}} C(d_{(u,v)}, u, v) \quad (3)$$

ここで、関数 $C(d, u, v)$ は

$$C(d, u, v) = \sum_{i,j=-\frac{l-1}{2}}^{\frac{l-1}{2}} \{R_d(u, v) - R_d(u+i, v+j)\}^2 \quad (4)$$

であり、 (u, v) を中心とする $l \times l[\text{px}]$ の小領域のコントラストを表す。この推定を全ての画素 (u, v) について行うことで、視差画像を得ることができる。

このとき、視点と推定した視差に応じてマスクを移動させることで、全ての視点 (x, y) におけるマスク $M_{(x,y)}(u, v)$ を生成できる。

3.2 不要物体が除去されたリフォーカス画像の生成

最後に、不要な光線を除去した LF を用いて、リフォーカスを行う。式 (1) で示した方法と同様にリフォーカスを行うが、マスクを施した領域は画像生成に用いないため、式 (1) に代わってマスクを考慮した次式によってリフォーカスを行う。

$$R_a(d, u, v) = \frac{1}{N} \sum_{i,j=-n}^n M_{(x,y)}(u-id, v-jd) \circ I_{(x,y)}(u-id, v-jd) \quad (5)$$

ここで \circ はアダマール積（行列の要素ごとの積）、 N は非ゼロの $M_{(x,y)}$ の個数を表す．式(5)は、マスクが施された光線がリフォーカス画像の生成に用いられないことを示す．以上の処理を行うことで、図3に示すように、不要物体が除去されたリフォーカスが可能となる．

ただし、不要物体が除去されたLFを用いてリフォーカスを行った際に、特定の画素 (u, v) に到来する光線が除去されてしまう場合がある．その場合、式(5)でゼロ除算が発生し、画素の値を算出することができない．このような領域の画素値は、LF情報から直接求めることはできないため、従来の画像修復法[4]によって、周辺の光線情報から補完する必要がある．

4. 実験および結果

今回は合成シーンと実シーンの光線空間を用いた不要物体除去の2通りの実験を行った．以下にその結果を示す．

4.1 合成シーンを用いた実験

まず提案手法の有用性を合成シーンを用いた実験によって示す．撮影対象として、図4(a)に示すような前方物体、柵、後方物体、背景が存在するシーンを作成し、このシーンを $9 \times 9 = 81$ 視点から多眼撮影を行うことによってLF情報を取得する．本実験では、図4(b)に示す、視点の中央から撮影した画像に対し、既存ツール(Mac OSX内蔵Preview.app)[5]を用いてセグメンテーションを行い、マスクを生成した．生成されたマスクを図4(c)に示す．この段階では中央画像にしかマスクが適用されていないため、図4(d)に示す視差を用いて、マスクの各画素をLF中に

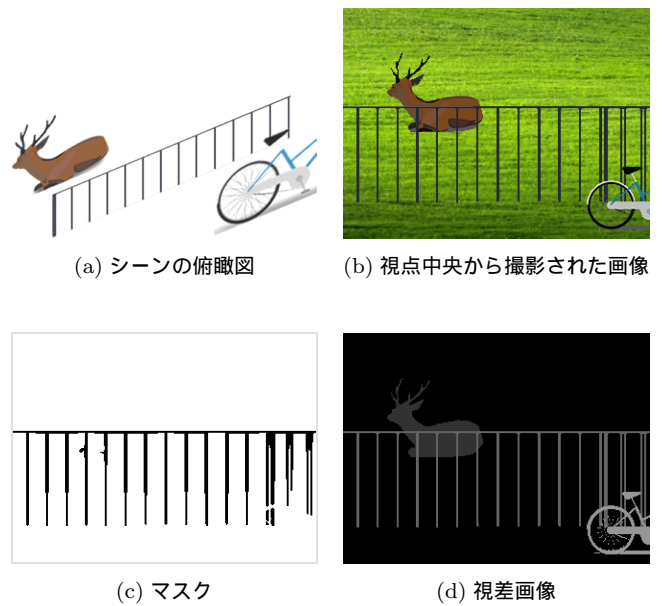


図4 合成シーン

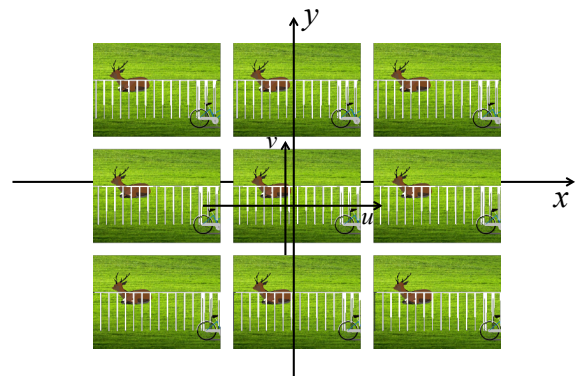


図5 図4(c)に示す、生成されたマスクを全体に伝播した結果．白で示した領域がマスクであり、LF中全体に伝播されている．

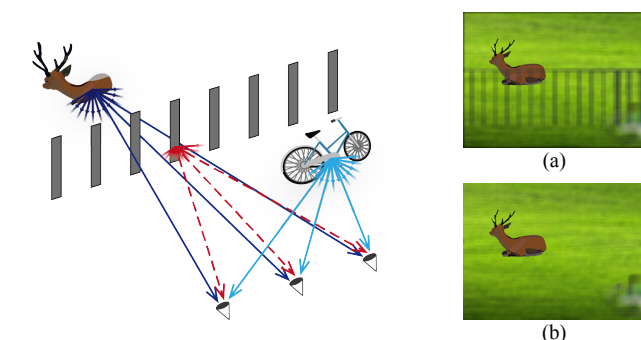


図3 提案手法の流れ．

- (a) は LF 中全ての光線を用いて式(1)に示す通常のリフォーカスを行った結果．
- (b) は提案手法を用いた結果．点線で示した不要物体からの光線を除去し、リフォーカスを行うことで、不要物体が除去されたリフォーカス画像を得ることができる．

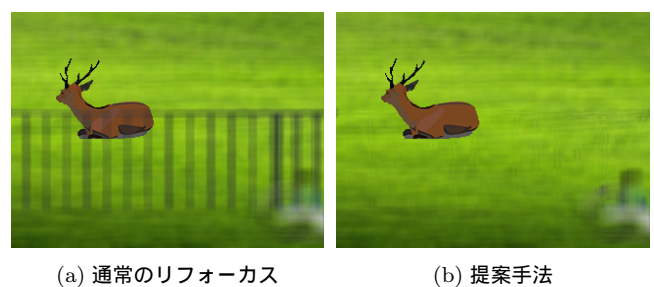
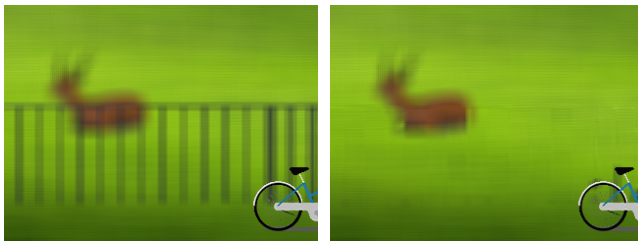


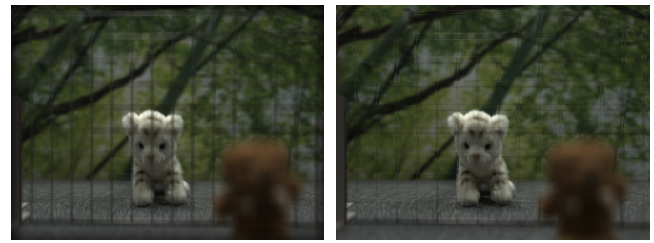
図6 後方物体に合焦

伝播させる．マスクを伝播させたLFを図5に示す．このLFを用いてリフォーカス画像を生成する．まず、後方物体にリフォーカスした結果を図6に、前方物体にリフォーカスした結果を図7に示す．図6,7において、それぞれ(a)では、不要物体がぼけているが、(b)では不要物体は除去されている．結果より、提案手法を用いることで不要物体を除去したリフォーカス画像の生成が可能ながわかる．



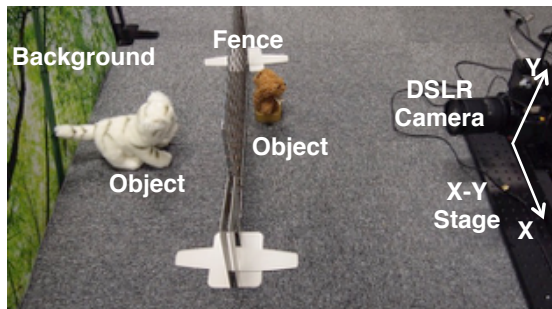
(a) 通常のリフォーカス (b) 提案手法

図 7 前方物体に合焦

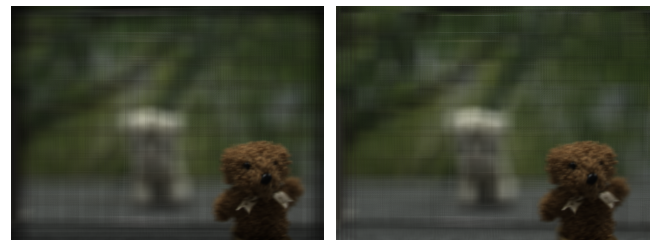


(a) 通常のリフォーカス (b) 提案手法

図 9 後方物体に合焦

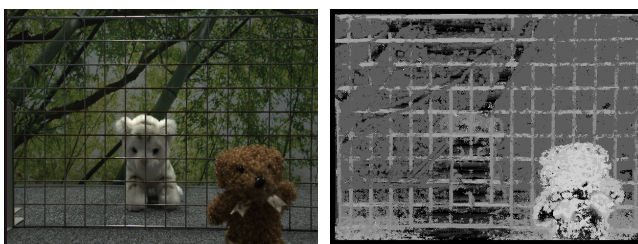


(a) シーン俯瞰図



(a) 通常のリフォーカス (b) 提案手法

図 10 前方物体に合焦



(b) 視点中央から撮影した画像 (c) 推定された視差

図 8 シーン

4.2 実シーンを用いた実験

次に実シーンに対して、提案手法を適用した結果について説明する。実験では、図 8(a) に示すような背景、後方物体、柵、前方物体があるシーンの LF を取得する。LF は、一眼レフカメラを平面状に移動させ、 $9 \times 9 = 81$ 視点から撮影を行うことで取得した。実験では、柵を不要物体として指定し、その除去を行うものとする。中央視点から撮影した画像、推定視差をそれぞれ図 8(b), (c) に示す。

合成データを用いた実験と同様に [5] を用いて、中央画像に対応するマスクを生成し、図 8(c) に示す推定視差を用いてマスクを伝播させる。この LF を用いて生成した、不要物体が除去されたリフォーカス画像を図 9, 10 に示す。図 9, 10 はそれぞれ後方物体、前方物体にリフォーカスした画像である。提案手法を適用した結果、どちらも柵が除去された画像を得ることができている。しかし、提案手法の適用結果にも多少のアーティファクトが見受けられる。これは実際の不要物体に生じる視差と、推定された視差に基づくマスクの移動量に若干の誤差があったため、一部の光線に正しくマスクがされていないことによると考えられる。

5. おわりに

本稿では、不要物体に対応するマスクを生成し、LF 中に伝播させることによって、LF 中から不要物体の除去を行う手法を提案した。実験では、合成データの LF および実シーンから取得した LF 情報から不要物体を除去し、リフォーカス画像の生成を行った。その結果、LF 中から不要物体が除去されたリフォーカス画像を生成し、提案手法の有用性を示した。しかし、マスクを伝播させる際の移動量に誤差が生じることにより、不要物体が存在した画素に、多少のアーティファクトが生じることが確認された。今後は、籠のような奥行き方向に長さを持つ不要物体の除去や、不要物体が除去された精細な全焦点画像の生成を目指す。

参考文献

- [1] R. Ng, M. Levoy, M. Bredif, G. Duval, M. Horowitz, P. Hanrahan, "Light Field Photography with a Hand-held Plenoptic Camera", *Stanford Tech. Rep. CTSR 2005-02*, 2005.
- [2] 三原基, 浅田繁伸, 石原葵, 岩口亮史, 岡本貴典, 田中賢一郎, 久保尋之, 向川康博, "光線空間を用いた画素毎に独立したリフォーカシング", 電気関係学会関西連合大会, Nov. 2014.
- [3] C. Rother, V. Kolmogorov, A. Blake, "Grabcut: Interactive foreground extraction using iterated graph cuts." *ACM Transactions on Graphics (TOG)*. Vol. 23. No. 3. ACM, 2004.
- [4] M. Bertalmio, G. Sapiro, V. Caselles, C. Ballester, "Image inpainting", In *Proc. of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 417-424. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 2000.
- [5] "Preview.app" in Mac OSX, <http://www.apple.com/>