

スマートフォンカメラによる距離推定手法の改善と評価

北野 和彦¹ 小林 亜樹¹

概要：単眼カメラによる撮影画像からの距離推定法として知られる DFF 法では、撮影フォーカス位置毎の像倍率変化が推定精度低下につながる。そこで筆者らは、撮影画像のみから像倍率変化率を推定する手法を開発し、推定精度を改善している。本稿では、DFF 法のもう一つの弱点であるエッジ部のボケの悪影響を回避するため、エッジ検出点が誤推定を及ぼす範囲を推定対象から除外する手法を提案する。実際に撮影した画像列から距離画像を推定し、その結果を精度の観点で性能評価を行い、提案手法の有効性を確かめる。

キーワード：スマートフォン, Hough 変換, フォーカス位置, 像倍率変化, 距離画像

KITANO KAZUHIKO¹ KOBAYASHI AKI¹

1. はじめに

スマートフォンのカメラは、一部の機種に搭載されているステレオカメラや、赤外線等の距離センサを除いた場合、一般的に流通しているカメラと同様に単眼カメラであり、得られる画像情報は、二次元に限られる。これに対して、距離（奥行き）情報を追加した三次元情報として得ることができれば、様々な応用が考えられる。そのため、筆者らはスマートフォン上のカメラを用いた距離推定法の開発をしている。単眼カメラから対象物体までの距離を推定する手法として Depth from Focus/Shape from Focus(DFF/SFF) 法 [5][7][8][9] がよく知られている。これは、複数の異なるフォーカス位置で撮影された多焦点画像列 (focal stack) から合焦判定を行い、完全合焦したフォーカス位置（フォーカス位置は一般的に離散数値であるため、完全合焦にもっとも近い整数値である）をもとに距離（以下 DFF 法によって推定した距離情報を距離値とする）の推定を行う手法であり、レンズパラメータが必要なく、距離値の推定が可能である。DFF 法によって得られる距離値は相対距離値であり、絶対距離値への変換には事前にレンズパラメータが必要である [1]。多焦点画像列を撮影する際にフォーカス位置を変化させることで、対象物体における像の大きさに変化が生じ、これを像倍率変化と呼ぶ。この像倍率変化が距離値の推定精度の低下を及ぼすため DFF 法では、像倍率変化が生じないテレセントリック光学レンズ [3] を用い

た研究が多く見られる。また、多焦点画像列では、合焦したフォーカス位置以外の画像では、焦点ずれによるボケが存在し、エッジ画像のエッジ付近において、このボケが誤推定エッジ点となり、推定精度の低下が生じる。

これに対して、DFD/SFD (Depth from Focus/Shape from Focus) 法では、レンズパラメータでばけに関するパラメータである PSF(Point Spread Function)、すなわち、フォーカス位置変位に伴うレンズのボケ方をモデル化したものを用いて、2 枚程度の異なるフォーカス位置で撮影された画像から距離値を推定する手法である。

しかしながら、スマートフォンのカメラは一般的なカメラのレンズと同様にフォーカス位置変位に伴う、像倍率変化が生じる。また、像倍率変化率や PSF といったカメラパラメータが機種毎に異なるため、像倍率変化を考慮した DFF 法を用いる。テレセントリック光学系以外で像倍率変化を補償する方法が試みられてきた。この手法は大きく 2 種類に分類され、一つは画像を適当なブロック単位に分割すると、像倍率変化はブロック毎の並進に近似できることを利用して、ブロック毎にフレーム間での移動量を求める手法である。フーリエ変換後の周波数領域の位相変化によって検出する手法 [7] や、フレーム間のオプティカルフローを求めることで推定する手法 [8] が代表的である。もう一方の手法は、局所特徴量によってフレーム間で特徴点移動を検出することで、画像全体の対応画素を見出そうとするもので、SURF を用いた例 [9] がある。これらは、画面内の部分毎のフレーム間移動を検出でき表現力に富むも

¹ 工学院大学
Kogakuin University, Japan

の、カメラ被写体の静止を想定した場合には不要な柔軟性であり、単一の像倍率変化率でフレーム間でのずれのほとんどを記述できる状況では、結果的に不要な計算量を費やすこととなっている。また、いずれもフレーム間の画素対応のためだけの計算を行う点も無駄であるといえる。

そこで本稿では、エッジオペレータを用いることで画素単位での合焦判定を基本に、そこで得られた情報を活用する形で像倍率変化率を直接的に推定する手法を提案する。また、ボケが距離推定の障害になる点は、本来的にはレンズの PSF などから推定すべきであるがスマートフォンカメラでの特性は入手できないため、簡易的な誤推定エッジ点を計算対象から除外するフィルタリングアルゴリズムで距離推定が行えることを示す。

2. 提案手法

2.1 概要

DFE 法の原理は、多焦点画像列中で画像鮮鋭度の高い領域を合焦と判定し、その空間位置にその距離値を割り当てるものである。既存の多くは、画像をブロックに分割し、ブロック毎に空間周波数分布の推移を見て合焦判定を行う例が多い。これは、距離をブロック単位で推定することになるため、ノイズ耐性が増す一方で空間解像度が減少する。そこで、距離推定後に空間方向でのノイズ除去を想定して、本研究では画素単位での距離推定を行うこととし、高周波検出器にはエッジオペレータを充てる。多焦点画像の各フレーム毎にエッジオペレータを適用したものを補正前エッジ画像列 (before compensation edge focal stack) と呼び、この情報を変形して、像倍率変化率の推定にも活用する。得られた推定像倍率変化率を用いて補正エッジ画像列 (compensated edge focal stack) を得ると、これは、テレセントリック光学系によって得られた情報とほぼ同等といえる。

DFE 法でもう一つの障害である、強いエッジ部のボケがボケていても高い空間周波数成分として検出され、距離を誤推定する問題には、光学特性が不明なスマートフォンカメラプラットフォームであることを考慮して、保守的な見積もりで距離推定計算から除外する領域を設定することでこの影響を回避する。この手法では、極端な物体配置や柄によっては、一部の距離推定値が誤ったり値が得られない可能性はある。しかし、光学特性に沿った除外処理であっても同様の問題は残るため、本稿では扱わないが、距離推定後過程で想定するノイズ除去、補完処理によって回復できるものと見込んでいる。図 1 に提案手法の流れを示す。

2.2 像倍率変化率の推定

はじめに、図 2 に手法の流れを示す。像倍率変化が生じている多焦点画像列によるエッジ画像列では、フォーカス位置変位もよるエッジ位置の変化がある。そのエッジ位置

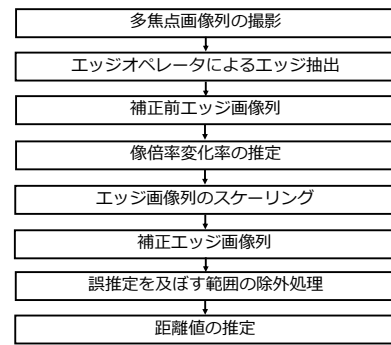


図 1: 提案手法の流れ

変位が直線上な分布であると仮定して、エッジ位置の変化を測定する。直線検出アルゴリズムを用いて直線として検出し、その直線の傾きを用いて像倍率変化率の推定を行う。

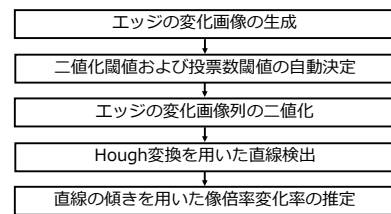


図 2: 像倍率変化率推定手法の流れ

2.2.1 入力画像列の生成

本稿におけるフォーカス位置は、Android OS 搭載端末のフォーカス制御を行うパラメータであり、フォーカス位置は $D = [0.0 \leq d \leq 10.0]$ である。このとき、0.0 は、無限遠に相当し、10.0 は最短撮影距離に相当する。ここで、撮影に用いるフォーカス位置列 $d_m (m = 0, 1, 2, \dots, N)$ はステップ幅 w として (1) 式で定義し、

$$d_m = \{mw \mid d_m \in D\} \quad (1)$$

フォーカス位置列 d_m を用いて N 枚の多焦点画像列 $I_s(x, y)$ を取得する。この画像列は、点 (x, y) に加えて、 d_m に対応したインデックス s を用いて三次元で表現される。

多焦点画像の画素値 $I_s(x, y)$ を用いて、エッジ抽出オペレータ $\mathcal{E}$ としたとき、(2) 式で補正前エッジ画像列 $E_s(x, y)$ を生成する。この補正前エッジ画像列が像倍率変化率を推定するための入力画像列である。

$$E_s(x, y) = \mathcal{E}(I_s(x, y)) \quad (2)$$

2.2.2 エッジ変化画像の生成

入力画像における xy 平面上の画像の中心から周辺へ向かう長さ l の線分 l とする。この線分をフォーカス位置 (d) 方向とで張られた平面でエッジ位置の変化を測定する。このとき、 l の線分長は、入力画像の短辺方向の長さの半分であり、この平面上で展開されたエッジ強度分布をエッジの変化画像とする。このエッジの変化画像は、線分 l 上のエッジ強度分布を縦方向に、フォーカス位置 d の変化に

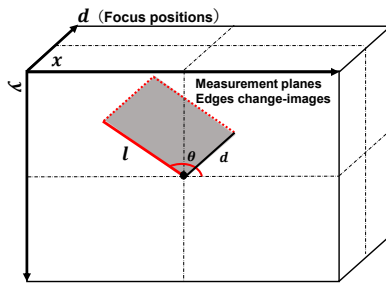


図 3: 画像列の 3 次元表現とエッジ変化画像平面

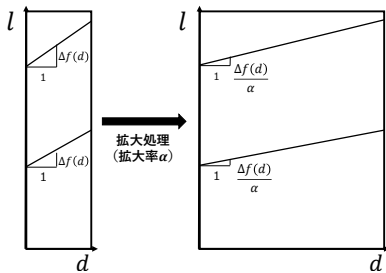


図 4: エッジの変化画像

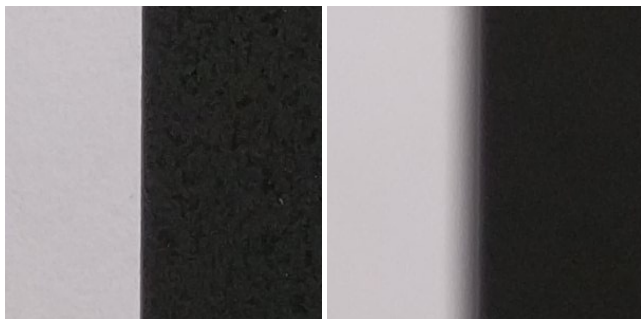
従って横方向に並べた画像であり、その後の処理精度を考慮してアスペクト比がほぼ 1:1 となるような拡大率 α を用いてスケーリングを行う (図 4 参照)。本手法では、複数の線分からなる平面から測定したエッジの変化画像列を用いる。このエッジの変化画像列のインデックス p を用いて $H_p(d, l)$ と表記する。

2.2.3 像倍率変化率の推定

すべての t_{p_i} における各閾値の組で $\Delta f_{\varphi}(d)$ の中央値を算出し、それらの算術平均を取ることで像倍率変化率 R を推定する。

2.3 距離値推定手法

フォーカス位置変位に伴うボケはエッジ付近で誤推定を引き起こすエッジ点となる。図 5a は合焦画像、図 5b は焦点ずれによるボケた画像である。図 5a ではエッジ形状も



(a) 合焦画像 (b) 焦点ずれ画像

図 5: エッジ付近の画像

シャープであり、エッジ強度も高い。図 5b では、エッジ形状が広がり、エッジ強度も低くなる。また、エッジ形状

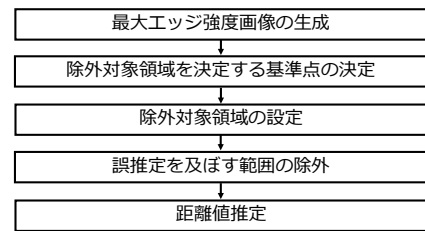


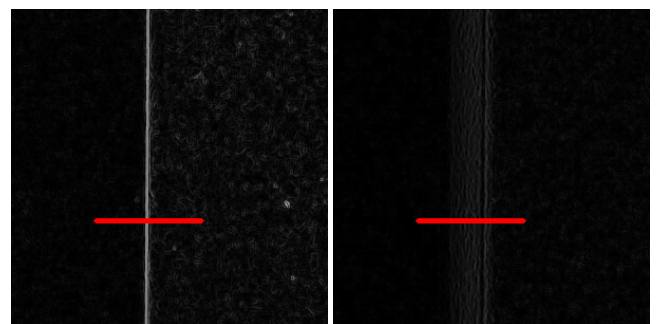
図 6: 提案手法の流れ

の広がり、ぼけの強さに比例して大きくなり、エッジ強度は低くなる。したがって、フォーカス位置の異なる画像の同一点で比較した際に、シャープなエッジの周辺に存在する平坦部（周辺画素でエッジ強度の急激な変化のない領域）のエッジ強度より、ボケたことにより、エッジ形状が広がった領域のエッジ強度の方が高い。これが推定精度低下の要因となる。そのため、この影響を及ぼすエッジ検出点を処理対象から除外処理を施した距離値推定手法を提案する。手法の手順を図 6 に示す。DFP 法における誤推定範囲は、エッジ部付近に多く存在する。そのため、エッジ部の座標を基準点とした除外対象領域を設定し、その領域の範囲の除外を行う。除外対象領域は、除外処理前の距離値とその距離値と対応したエッジ強度で構成された最大エッジ強度値から設定を行う。この領域内で除外処理を施した上で、再度距離値の推定を行う。

2.3.1 除外対象を決定する基準点の決定

図 5 からなるエッジ画像図 7 を用いて、フォーカス位置変位に伴うエッジ形状の変化を説明する。図 7 上の赤い線分上を注目線分とし、各フォーカス位置で同様の線分上でエッジ強度を測定し、フォーカス位置毎に縦に並べたエッジ形状分布平面で考える

合焦した画像では、ある点が平坦部の領域であっても、焦点ずれによるボケた画像ではエッジ形状が広がることから、同一点において平坦部ではなく、広がったエッジ形状領域の点となる可能性がある。この領域のエッジ強度は、平坦部のエッジ強度より高いため、誤推定の要因となる。



(a) 合焦エッジ画像 (b) 焦点ずれエッジ画像

図 7: エッジ付近のエッジ画像

$$E_{max}(x, y) = \max(E_s(x, y)) \quad (3)$$

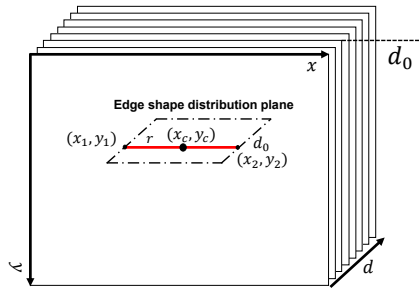


図 8: 基準点と注目線分

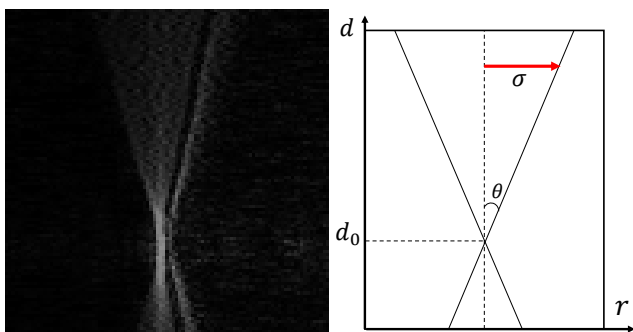
誤推定対象領域から除外するために、もっと高いエッジ強度点から、ボケによる影響を受ける領域を除外し、次に二番目に高いエッジ点で除外処理と順々に行う方法が考えられるが、計算量の観点から、ある閾値以上のエッジ点が合焦判定の際に、誤推定を及ぼさない点であるとして、エッジ強度の高い画素を基準点として除外対象領域を設定する。基準点の決定を行うために、(3) 式から、最大エッジ強度画像 E_{max} を生成する。この最大エッジ強度画像に適当な閾値を設定し、閾値以上の画素値をそれぞれ基準点 (x_c, y_c) とする (図 8 参照)。

2.3.2 除外対象領域の設定

図 9a のように合焦したフォーカス位置では、シャープなエッジ形状であり、焦点ずれがあればエッジ形状が広がる。そのため、合焦するフォーカス位置 d_0 を中心としたフォーカス位置 d と角度 θ を用いて、(4) 式から除外対象領域 (図 9b 参照) を設定する。ここで、 $\tau = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 + (d - d_0)^2}$ である。

$$r \leq \tau \tan \theta \quad (4)$$

このとき、合焦するフォーカス位置 d_0 は、推定対象の除



(a) エッジ形状分布平面

(b) 除外対象領域

図 9: 除外対象領域の設定

外処理を行う前の距離値に相当するため、点 (x, y) における推定距離値 $\hat{D}(x, y)$ は (5) 式から推定する。

$$\hat{D}(x, y) = \min_d \{ \arg \max E(x, y, d) \} \quad (5)$$

表 1: 処理サーバ

OS	ubuntu 18.04.1 LTS
CPU	Intel Core i3-6100 3.70GHz
Memory	24GB

2.3.3 除外処理と距離値推定

除外対象領域内の点を推定対象からすべて除いた場合、対象物体がカメラからそれぞれ違う位置に置かれていた場合、どちらかの位置に置かれている物体に合焦したフォーカス位置を中心として決定されてしまうため、本来誤推定エッジ点ではない、領域まで除外されてしまう可能性がある。そこで、除外閾値 t_e を (6) 式で表し、(7) 式から除外処理を行う。

$$t_e = (\tau - d) / \tau \quad (6)$$

$$\sigma = \begin{cases} 1 & (t_e < \sigma) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad (7)$$

誤推定エッジ点の除外処理を施したエッジ画像列に対して、再度 (5) 式から距離値の推定を行う。

3. 評価実験

3.1 実験目的

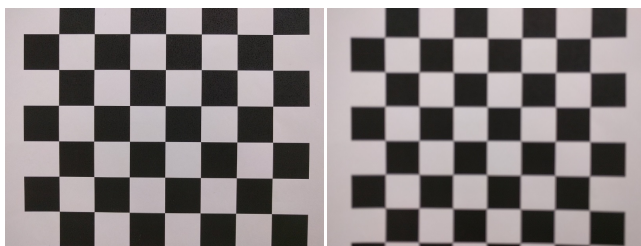
提案手法の有効性を確認するために実機 (スマートフォン) を用いて取得した多焦点画像列から、像倍率変化率を推定するとともに、誤推定を及ぼすエッジ点を除外する処理施した距離推定手法より、相対距離値を推定する。像倍率変化率の推定および相対距離値の推定が可能か否か、像倍率変化の処理時間、像倍率変化補償および誤推定エッジ点の除外処理によって推定距離値の精度低下を軽減されているかで評価を行うことを目的とする。

3.2 実験条件

本実験では、Android OS を搭載したスマートフォンでは、多焦点画像列の取得のみを行い、像倍率変化率等の推定処理は試作プログラムにてサーバ (表 1 参照) 上で行う。撮影に使用したスマートフォンは Nexus 5X である。画像処理に用いたプログラミング言語は python3.6.5 であり、Hough 変換等の処理は OpenCV で提供されているライブラリを用いた。

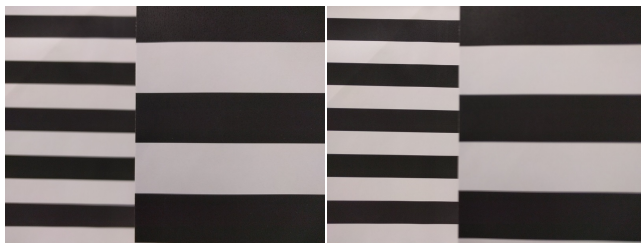
多焦点画像列は、同一シーンで異なるフォーカス位置で撮影された画像であるため、端末を固定した状態でフォーカス位置を順々に変化させながら画像を自動で取得できる機能を有する。ここで、フォーカス位置列 d_m は、ステップ幅 w を 0.1 とし、計 101 ステップでフォーカス位置を変化させ、画像の撮影を行った。フォーカス位置 $d = 0.0$ から 0.2 まで 3 ステップで API から設定したフォーカス位置

とは異なる結果となったため、この3ステップを除いた計98枚の画像を用いた。撮影された画像は、 4032×3024 画素であり、二つのシーンの多焦点画像列を用いる。一つ目のシーン、撮影対象がカメラから画像全体で同一位置にある画像(図10参照)であり、カメラから対象物までの距離が約140[mm]である。図10aは合焦画像であり、図10bは焦点ずれによるぼけた画像である。二つ目のシーンは、二つの対象物体がそれぞれカメラから異なる位置に置かれた画像(図11参照)であり、前面に置かれた物体は、カメラから距離が150[mm]であり、後面に置かれた物体は約300[mm]である。図11aは前面の物体、図11bは後面の物体に対して合焦した画像である。これら二つの多焦点画像に対してSobelオペレータを用いて補正前エッジ画像列を生成し、像倍率変化率推定を行う。



(a) 合焦画像 (b) 焦点ずれ画像

図 10: 撮影画像 (シーン 1)



(a) 前面に合焦している画像 (b) 後面に合焦している画像

図 11: 撮影画像 (シーン 2)

3.3 エッジの測定平面の設定とエッジの変化画像

シーン1のエッジ画像(図12)を例として、エッジの測定する平面の設定を行う。このエッジ画像上で、画像中心から、四隅に向かう対角線上の線分①から④までの4本とフォーカス位置(d)方向とで張られた平面でエッジ位置を測定し、エッジの変化画像を生成する。例としてシーン1に線分①におけるエッジの変化画像を図13を示す。像倍率変化のない多焦点画像では、ぼけによるエッジの形状の変化のみ存在し、エッジ点列はほぼ傾きが0の直線上に分布する。しかしながら、像倍率変化が存在する多焦点画像では、像倍率変化が大きくなればなるほど傾きは急な直線上に分布する。図13では、傾きのある直線上にエッ

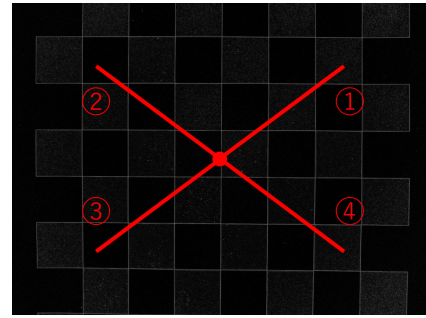


図 12: エッジの測定平面

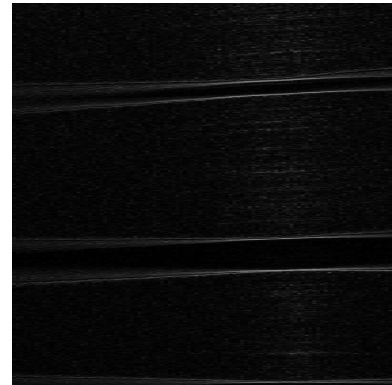


図 13: エッジの変化画像 (シーン 1 の線分①)

ジ点列が分布しているため、像倍率変化によるエッジ位置の変化を捉えられている。また、図12の線分①は、5か所の高エッジ強度領域を横切る線分であり、エッジの変化画像上においても、5か所のエッジ位置の推移が確認できる。

3.4 像倍率変化率の推定

各シーンにおける、エッジの変化画像列に対して、Hough変換から直線検出を行った。検出された直線の傾きを用いて、像倍率変化率の推定を行った。エッジの変化画像において、画像の下部(下部が中心に近い)から上部に向かうにつれ、傾きが大きくなる。そのため、直線の傾きが小さい下部(25%)領域で検出された直線は推定対象から除外した。

3.5 誤推定エッジ点の例外処理

推定された像倍率変化率を用いて多焦点画像列からなるエッジ画像列に対して縮小処理を行い、補正後エッジ画像列を生成した。補正後エッジ画像列に対して(3)式を用いて最大エッジ強度画像を生成する。最大エッジ強度画像に対して、閾値処理を行った。このとき、用いた閾値は135である。閾値処理によって、閾値以上の各画素をそれぞれ基準点として、試作プログラムでは、 x 軸方向、 y 軸方向をそれぞれ独立に処理を行った。このとき、注目線分長は、61とした。注目線分 r を用いて、 $t_h(r, d)$ を算出し、(7)式を用いて除外対象領域を設定した。今後、補間処理等を考慮して、フォーカス位置変位に伴うエッジ形状が広

がった領域より大きな範囲を除外対象領域とするために、 $\theta = 1[\text{red}]$ とした。除外対象領域内で誤推定エッジ点が存在する領域の除外処理を施した上で距離値推定を行った。

4. 結果と考察

4.1 推定像倍率変化率および処理時間

像倍率変化率推定手法により推定された像倍率変化率は、シーン1で 6.41×10^{-4} であり、シーン2で 6.10×10^{-4} であった。本手法では、像倍率変化率はフォーカス位置変位に対して不変であり、像倍率変化が、線形的に変化している仮定のもとであるが、実際の撮影画像では、レンズの歪み等の影響によって必ずしも線形的に変化しているとは限らない。そのため、一意の正解値を設定することは困難であり、筆者らが、目視で測定し、 $[4.41 \times 10^{-4}, 6.70 \times 10^{-4}]$ を正解値とした。シーン1およびシーン2で推定された像倍率変化率は、正解値の範囲内であるため、像倍率変化率推定手法は有効であると言える。続いて像倍率変化率の計算時間について考察する。像倍率変化率の手法において、Hough変換が計算時間に占める割合が最も高いためHough変換の計算時間のみの議論を行う。本手法における試作プログラムでは、シーン1の像倍率変化率を求めるために、Hough変換は、2980回実行され、計13.8[s]要し、Hough変換1回の処理時間は、平均値で約4.6[ms]であった。本手法でHough変換を行う回数は、投票数閾値列 t_{v_i} の決定処理に依存し、試作プログラムでは、線形探索を用いたため、二分探索等の探索アルゴリズムを用いることで、Hough変換の実行回数を大幅に減らすことが可能であると考えている。

4.2 相対距離値

シーン1およびシーン2の多焦点画像列において距離値推定手法によって推定した相対距離値で構成された距離画像を図14に示す。これらの画像は、無限遠側が黒であり、最短撮影距離側が白である。本実験では、距離値が98段階であるため、画像で表示する際に見やすくするために255段階となるように諧調補正を行っている。図14a, 14eは、像倍率変化の補償や誤推定エッジ点の除外処理を行っていないエッジ画像列に対して距離値を推定した距離画像である。図14b, 14fは、像倍率変化のみを補償し、図14c, 14gは除外処理のみを行った画像である。図14d, 14hは、像倍率変化の補償や誤推定エッジ点の除外処理を行っている。

シーン1における各距離値のヒストグラムを図15に示す。

これは、横軸が距離値、縦軸が画素数であり、画像全体でカメラから対象物までの距離が同一で多焦点画像列を用いているシーン1では、推定される相対距離値も画像全体で近い距離値が多くなることが理想である。このヒストグラムでは、単峰型分布であることから、推定される相対距

離値は、画像全体で近い距離値となるような分布をしていることが確認できる。しかしながら、DFF法の弱点の1つである像倍率変化の影響による、無限遠付近および最短撮影距離付近で画素数の増加がある。これは、図14aにおいてエッジ付近に実際の遠近とは異なる相対距離値が推定されている。そこで、像倍率変化のみ補償した補正後エッジ画像列では、最短撮影距離付近の距離値の減少を確認したが、無限遠付近では、減少が見られない。次に、誤推定エッジ点を推定対象から除外した場合、図14cから、像倍率変化の影響が少ない画像中心付近では、エッジ部において無限遠および最短撮影距離と推定されている距離値が減少している。しかしながら、像倍率変化の影響が大きくなる画像周辺では、像倍率変化によるエッジ位置の変化が大きいため、距離値の誤推定数減少には至っていない。したがって、補正後エッジ画像列に対して、除外処理を行うことで、エッジ部における誤推定距離値の大幅な減少が確認できる。

像倍率変化補償で、最短撮影距離付近の距離値が減少し、無限遠付近では、あまり変化が見られないことについて考察する。フォーカス位置変位に伴うエッジ形状の変化は、合焦するフォーカス位置が無限遠方向に近ければ、最短撮影距離に向かうにつれて焦点ずれによるボケが大きくなる。そのため、エッジの形状も広くなる。シーン1では、対象物体がカメラから約14[cm]の距離にあり、本実験に用いた端末では、最短撮影距離方向に近いフォーカス位置で合焦するため、無限遠に向かうにつれて焦点ずれによるボケが大きくなる。そのため、エッジの形状も最短撮影距離より広がっている。この状態で、相対距離値を推定した場合、最短撮影距離に達した際のボケによるエッジ形状より、無限遠付近では広くなり、誤推定が生じたと考えられる。

シーン2では、カメラからそれぞれ異なる位置に二つの物体があった場合であり、距離値ヒストグラム(図16)から双峰型分布であることがわかり、それぞれ異なる相対距離値が推定されていることが確認できる。シーン2においても、シーン1と同様に像倍率変化補償および例外処理を行うことで、大幅な誤推定距離値数が減少していることが確認できる。

次に、推定された推定距離値の精度について評価する。スマートフォンのカメラは、被写界深度が深く、合焦するフォーカス位置の範囲を一意で定めることは難しいため、筆者を含む3人から目視でそれぞれのシーンにおける多焦点画像で合焦判定を行った。シーン1では、画面全体が同一距離であることから、[7.0, 7.7]とし、シーン2では、前面の対象物体では[6.6, 7.2]、後面の対象物体では[3.1, 3.7]とした。シーン1における、像倍率変化補償および例外処理を行った相対距離値では0.72が最も推定され、設定した正解値の範囲内であった。シーン2でも同様に像倍率変化補償および例外処理を行った上での相対距離値は前面の対

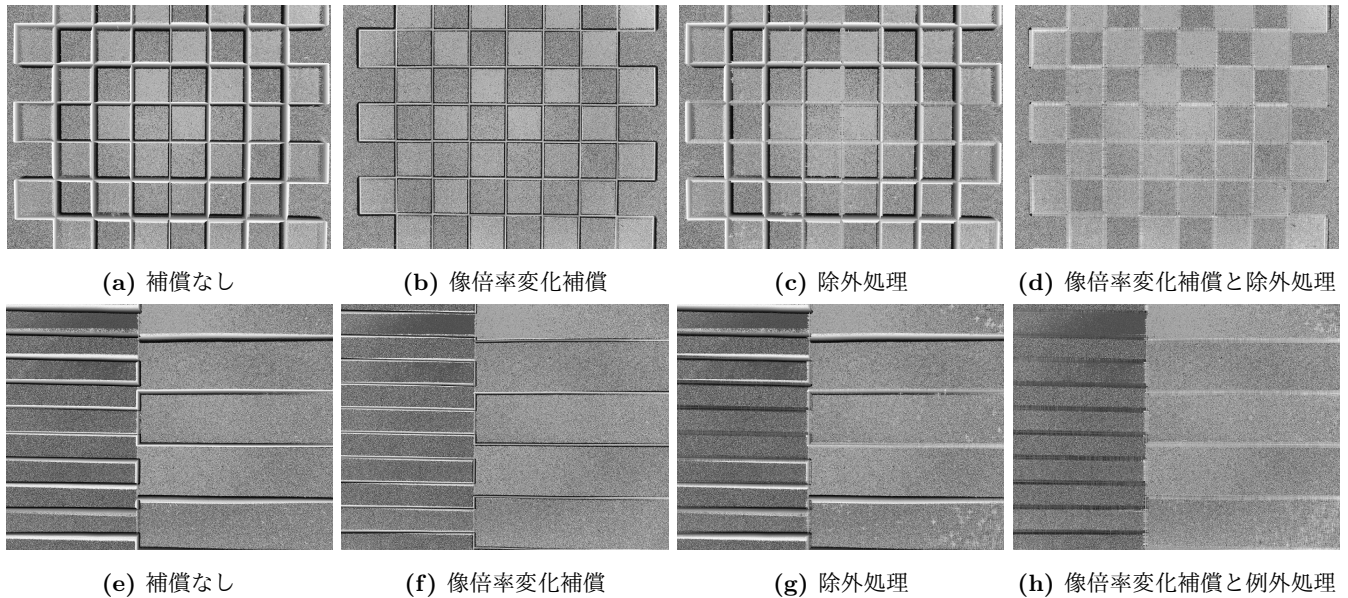


図 14: 距離画像

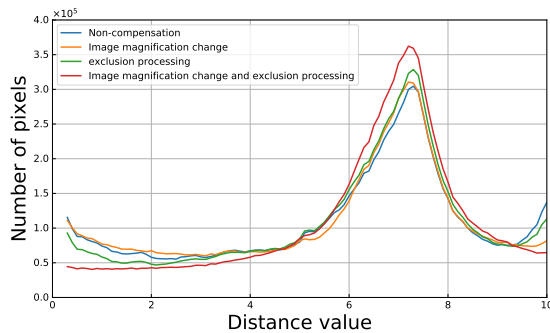


図 15: シーン 1 における距離値ヒストグラム

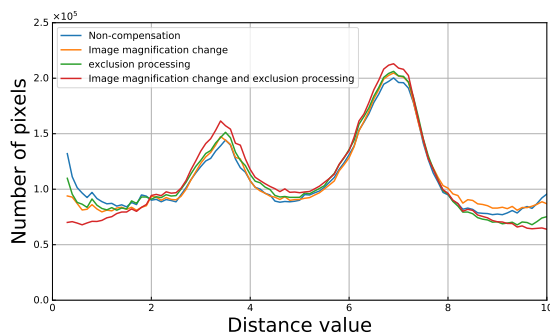


図 16: シーン 2 における距離値ヒストグラム

象物体で 0.69, 後面の物体で 0.35 が最も推定され, 設定した正解値の範囲であった. したがって, スマートフォンのカメラでも, 相対距離値の推定が正しく行えていることが確認できた.

しかしながら, 誤推定エッジ点の除外処理をした場合, カメラからの距離が異なる二つの物体の境界領域では, q の線分長に応じて, 本来なら後面にあるはずの領域部分が前面の相対距離値として算出されてしまう問題がある (図 14h における物体の境界部分参照). また, 除外領域を設定

するために用いた (4) 式における θ は, 焦点ずれによるエッジ形状の広がった領域より除外領域が大きくなるように設定したため, 誤推定エッジ点以外の領域も含まれる. この二点について補間処理が今後の課題である.

5. おわりに

本稿では, Android OS 搭載のスマートフォン上の実装を考慮した像倍率変化率推定手法の提案およびボケによる誤推定エッジ点の除外処理による距離推定を行った. 試作プログラムでは, Hough 変換パラメータの決定に線形探索としたため, 二分探索等で実装することで, 大幅に回数を減らせる見込みがあるため, 実装可能であると考えられる. また, 像倍率変化の補償と誤推定エッジ点の除外処理を組み合わせることで, 誤推定された相対距離値が主にエッジ部において減少していることが確認できた.

しかしながら, 除外処理をすることで, カメラから異なる位置に置かれた物体の境界付近で本来なら後面にあるはずの領域においてより最短撮影距離側にある前面の物体の相対距離値として推定されてしまう問題が生じているため, 境界付近の補間処理を除外領域を設定するために焦点ずれによるエッジ形状の広がった領域より除外領域が大きくなるように設定したため, 誤推定エッジ点以外の領域も含まれる. これから二点の補間処理が今後の課題である.

参考文献

- [1] Hough, P. V. C., "Method and means for recognizing complex patterns," U. S. Patent No. 3069654, 1962.
- [2] Ballard, Dana H, "Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes," Pattern recognition, Vol. 13, No. 2, pp.111-122, 1981.
- [3] Watanabe, Masahiro and Nayar, Shree K, "Telecentric optics for computational vision," European Conference on Computer Vision, pp. 439-451, 1996.
- [4] 浅野哲夫, 河村泰之, "ディジタル直線検出問題の計算量に関するアルゴリズム論的考察", 電子情報通信学会論文

- 誌 D, vol. 831, no. 1, pp. 80–89, 2000.
- [5] T. Darrell and K. Wohn, “Pyramid based depth from focus,” *Computer Vision and Pattern Recognition*, 1988, *Proceedings CVPR ’88, Computer Society Conference*, pp. 504–509, 1988.
 - [6] Raj, AN Joseph and Staunton, RC, “Estimation of image magnification using phase correlation,” *International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications*, vol. 3, pp.490–494, 2007.
 - [7] S. Pertuz, D. Puig, and M. A. Garcia, “Improving Shape-from-Focus by Compensating for Image Magnification Shift,” *2010 20th International Conference on Pattern Recognition*, pp. 802–805, 2010.
 - [8] S. Suwajanakorn, C. Hernandez and S. M. Seitz, “Depth from focus with your mobile phone,” *2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Boston, MA, pp. 3497-3506, 2015.
 - [9] R. Senthilnathan, P. Subhasree, R. Sivaramakrishnan, and P. Karthikeyan, “Estimation of sparse depth based on an inspiration from SFF,” *2016 International Conference on Recent Trends in Information Technology (ICRTIT)*, pp. 1–6, 2016.