複数の異なる焦点画像を用いて視差と焦点ぼけを操作する画像生成

Generation of Images with Different Focus and Disparity by Using Multiple Differently Focused Images

学生会員 児玉和也[†], 学生会員 久保田彰[†], 正会員 相澤清晴[†], 正会員 羽鳥光俊[†]

Kazuya Kodama[†], Akira Kubota[†], Kiyoharu Aizawa[†] and Mitsutoshi Hatori[†]

Abstract In this paper, we propose a novel method for generating arbitrarily focused disparity images that uses multiple differently focused images. Given the assumption that the depth of the scene changes stepwise, we derive a formula for the reconstruction between the desired arbitrarily focused disparity image and multiple acquired images; we can reconstruct the arbitrarily focused disparity image by using the formula iteratively. We show that we can reconstruct arbitrarily focused disparity images of natural scenes. Our method requires only the point spread functions of the acquired images for reconstruction, it does not require any spatial segmentation.

キーワード：焦点, 画像合成, ぼけ, 任意焦点画像, 視差

1. ま え が き

近年, デジタルカメラ, デジタルビデオ等の急速な普及により, デスクトップ上での様々な映像編集・映像合成処理が, 比較的容易に行えるようになってきた. これに対し筆者らは, 様々な条件の画像を統合することで, 解像度⁴⁾⁵⁾, 焦点, 視差などについて多様な幅を持った画像を合成する手法を検討している.

とくにこれまでは, 焦点合わせの異なる複数の画像の処理により, 単一の光学系では実現困難な画面全体に鮮鋭な全焦点画像を再構成する手法¹⁾²⁾や, これを拡張した任意に各奥行きのはけの程度を抑制・強調した画像(任意焦点画像)を生成する手法³⁾について検討してきた. 本論文ではさらに, 任意焦点画像に各奥行きごとに近似的に視差を与えた画像を生成する手法について提案する. 従来の任意焦点画像の再構成手法と同様に, 撮像画像と視差を含む所望の任意焦点画像の間に成立する恒等式を導出し, この式を反復的に解くことで様々な焦点合わせ, 焦点深度に対応する画像が視差を含んだ形で生成できる.

これまで提案されてきた全焦点画像の再構成手法では, 鮮鋭領域判定に基づいて領域分割を行うことで撮像画像から選択的に全焦点画像の統合を行っていた. しかしながら,

既存の鮮鋭領域判定では十分な領域分割結果が得られていない¹⁾⁸⁾. これに対し, 筆者らの検討してきた反復元手法では, 画像中に存在するはけ関数の程度さえ知ることができれば領域分割を必要としないという特徴を有するため, 選択的統合手法のような問題を生じることなく, 全焦点画像のみならず任意焦点画像の生成へと比較的容易に拡張を行うことが可能である³⁾. 本論文ではこれを応用し, 任意焦点画像に奥行き異なる対象ごとに視差(移動量)を与え, 仮定されるような対象シーンに対しては, 煩雑な領域分割を介することなく, 視差を付与しながらかつ同時に焦点合わせ等も調整した画像生成を行う手法を検討する.

なお, カメラ特性をあらかじめ分析し撮像時のパラメータと組合せれば画像中に存在するはけの程度は決めることができるので, 撮像画像中の非合焦領域の推定(領域分割)およびそのはけの程度の推定といった前処理を必要とせず, ただちに所望の画像の再構成そのものを行うことができる³⁾.

この一連の処理により, 単一視点の画像からステレオ画像を生成したり, また, 対象とする物体周辺のみ処理を限定することによってシーン内の物体ごとに位置を操作することが可能となる. 先に提案した焦点調整と合わせることで, より多様な画像が生成できる.

まず2章では, 従来の任意焦点画像再構成手法を視差を含む形へと拡張する. これに合わせ, 本提案手法の特性について, いくつか検討しておく. 続いて, 提案手法に基づき, 3章で合成画像を用いたシミュレーション, 4章で実際に実

1998年2月27日受付, 1998年7月1日再受付, 1998年7月9日採録
[†] 東京大学 工学部

(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1, TEL 03-3812-2111(ext.6761))

[†] Faculty of Engineering, The University of Tokyo
(7-3-1 Hongo Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan)

画像を用いて多様な画像を生成する実験を行う。それぞれの結果について、本手法の特性を具体的に確認しながら考察をくわえる。

2. 視差を含む任意焦点画像の生成

2.1 視差を与えた任意焦点画像と各焦点画像との関係式

まず、任意焦点画像生成手法と同様に、撮像画像および生成したい画像のモデル化を行う。本論文においても、対象シーンの奥行きが段差状に変化していると仮定する。以下、近景A、遠景B 2つの異なる奥行きを持った領域がシーン中に存在するとして議論を進める。

対象シーンが奥行き $d(\vec{x}) = d_1$ or d_2 (それぞれA, Bに対応) を持つとして、その全焦点画像を $I(\vec{x})$ とする。なお、 $\vec{x}$ は画面内での座標 (x, y) を示す。このとき、 $f(\vec{x})$, $g(\vec{x})$ を各々領域A, Bの鮮鋭なテクスチャ、すなわち

$$\begin{aligned} f(\vec{x}) &\triangleq \begin{cases} I(\vec{x}) & (d(\vec{x}) = d_1) \\ 0 & (d(\vec{x}) = d_2) \end{cases} \\ g(\vec{x}) &\triangleq \begin{cases} 0 & (d(\vec{x}) = d_1) \\ I(\vec{x}) & (d(\vec{x}) = d_2) \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

と定義し、A, B一方に焦点の合っている原撮像画像 I_1, I_2 と生成したい任意焦点画像 I_{ab} を図1のようにそれぞれの画像の重ね合わせにより表す。すなわち

$$\begin{cases} I_1(\vec{x}) = f(\vec{x}) + h_2 g(\vec{x}) \\ I_2(\vec{x}) = h_1 f(\vec{x}) + g(\vec{x}) \end{cases} \quad (2)$$

$$I_{ab}(\vec{x}) = h_a f(\vec{x}) + h_b g(\vec{x}) \quad (3)$$

ここで h_1, h_2, h_a, h_b は画像全体に一樣な点拡がり関数を用いる変換である。点拡がり関数は $R = \sqrt{2}\sigma$ のみにより表されるガウス関数で近似できるものとする²⁾³⁾⁹⁾。 h_1, h_2 は撮像時に決まるパラメータであるが、 h_a, h_b はユーザが指定するパラメータである。さらに視差を含む場合の任意焦点画像 I_{ab} は以下のように表せる。すなわち

$$I_{ab}(\vec{x}) = h_a f(\vec{x} - \vec{t}_1) + h_b g(\vec{x} - \vec{t}_2) \quad (4)$$

ここで t_1, t_2 は図2のようにそれぞれ、どれだけ領域A, Bを平行移動させるか、すなわち視差を付与するかという量であり、これもユーザが指定することのできるパラメータである。

各ぼけがガウス関数による畳込みで表されるとすれば、畳込みの可換性により、(2),(4)式から

$$\begin{aligned} &h_b h_1 I_1(\vec{x} - \vec{t}_2) - h_a I_1(\vec{x} - \vec{t}_1) \\ &+ h_a h_2 I_2(\vec{x} - \vec{t}_1) - h_b I_2(\vec{x} - \vec{t}_2) \\ &= (h_1 h_2 - 1) I_{ab}(\vec{x}) \end{aligned} \quad (5)$$

を導くことができる。(5)式は前述の仮定の下で、目的とする視差を含む任意焦点画像と原撮像画像とぼけ関数の間になりたつ恒等式となる。この式を

$$\begin{cases} G_{ab} = (\text{左辺}) \\ H = h_1 h_2 - 1 \end{cases} \quad (6)$$

としてまとめれば

$$G_{ab}(\vec{x}) = H I_{ab}(\vec{x}) \quad (7)$$

と書くことができる。

h_1, h_2 は統計処理²⁾を用いて求めたり、撮影条件から求められる³⁾。したがって、与えられた G_{ab} および H から I_{ab} を求めるという一般的な位置不変のぼけ復元問題と同様の式に帰着する条件が得られる。(7)式は、これまでの任意焦点画像生成手法で用いられた式とまったく同型であり、2.2節に示す反復手法により I_{ab} を求めることができる。以上の定式化から明かなように、本提案手法においても領域分割は必要とされない。

図1 重ね合わせによる画像取得モデル
Linear imaging model.

図2 各奥行きにおける視差
Disparities corresponding to depths.

(4)式における h_a, h_b は任意に設定でき、任意焦点画像とは、撮像時と全く異なる任意のぼけの度合をそれぞれの奥行きに独立に与えたものである。全焦点画像は h_a, h_b をともに恒等変換とした場合に相当する。3章、4章の実験で示すように、これに視差の変化を合わせれば、視点を移動しながら焦点合わせも変化させるような画像列の合成が可能となる。

なお、以上までの導出における、(2)～(4)式のような重ね合わせによるモデル化は Nguyen らも Depth from Focus の解析に用いている⁶⁾。ただし、近景が遠景を隠す

遮蔽領域では厳密には正しくないことが指摘されている⁷⁾。また、(4)式の視差の付与も、生成したい画像における、近景が遠景を遮蔽する領域および新たに現れる遠景領域については考慮されていない。しかしながら本論文では、図1、図2のような重ね合わせモデルに従えば画面のほぼ全体にわたって位置不変の恒等式を導くことができ、後に示す実験からわかるように、視差も含めた任意焦点画像の生成という目的においては、煩雑な領域分割に基づくことなく、おおそ所望の効果が得られることから本モデルを採用している。

以上のような近似による影響、あるいはその適用条件については、本手法の特性と合わせ、2.3節で検討する。3章、4章の実験結果にも同様の考察を行う。

2.2 反復による任意焦点画像の再構成

連立方程式である(7)式を解くことにより視差を含む任意焦点画像が求められる。既提案の任意焦点画像生成手法と同様、本論文においても、次の反復式により撮像画像 I_1, I_2 から所望の画像 I_{ab} を再構成する²⁾³⁾。すなわち、 $\hat{I}_n$ を n 回目反復による I_{ab} の再構成として

$$\begin{aligned}\hat{I}_{n+1} &= -(G_{ab} - H\hat{I}_n) + \hat{I}_n \\ &= (H + 1)\hat{I}_n - G_{ab}\end{aligned}\quad (8)$$

初期画像としては、視差による平行移動を考慮した

$$\hat{I}_0 = (I_1(\vec{x} - \vec{t}_1) + I_2(\vec{x} - \vec{t}_2))/2 \quad (9)$$

を用いることとする。

2.3 反復的復元手法の特性

実験に入る前に、反復復元手法の特性を検討しておく。

まず第1に、一般のぼけ復元問題において(7)式の H は、そのままぼけ変換 h であるが、本提案手法においては、 $h-1$ の型となっている。この -1 の部分は、ぼけにより劣化した画像しか与えられない一般のぼけ復元問題と異なり、近景、遠景ともに、 I_1, I_2 のどちらかで焦点の合った画像が得られていることに相当する。

図3 H に対応する畳込みフィルタ
A convolution filter corresponding to H .

画素は離散的に存在するので、具体的にはこの変換は、図3のように、点拡がり関数の中心が窪んだフィルタを画像全体にほどこす変換となる。図3は1次元の場合であるが、実際にはこれを縦軸まわりに回転したような2次元のフィルタである。この -1 があるために、所望の I_{ab} の情報は、一般のぼけ復元問題と比較して、ぼけ変換 h が非常に大きいぼけを与える場合でも G_{ab} に保存されており、輝度値の量子化に埋もれてしまうことなく、精度の良い復元が可能となっている。また、反復回数も3回程度で充分良好な画像を復元することができる²⁾³⁾。

なお、 $I_{ab} = (\text{定数})$ が(7)式の零元となっていることからわかるように、画像中のある領域についていえば、 G_{ab} では、その領域周辺の全体的な明るさの情報は失われており、輝度変化成分、すなわちテクスチャと呼ぶべきものが強く保存されていると考えられる。これは、図3のフィルタが、2次微分と関連付けられるラプラシアンに似通った形をしていることから理解される。この特性は、鮮鋭さの調整という目的に対して非常に有効なものである。

第2に、重ね合わせのモデルからずれる部分として、撮像画像に含まれる雑音成分が復元画像に与える影響について検討する。本手法ではすべて線形の処理を行っているので、雑音成分のみを考えればよい。(8)式をさらに

$$\begin{aligned}\hat{I}_n &= (h_1 h_2)^n \hat{I}_0 - (1 + h_1 h_2 + (h_1 h_2)^2 \\ &\quad + \dots + (h_1 h_2)^{n-1}) G_{ab}\end{aligned}\quad (10)$$

と展開すれば、視覚的には雑音成分の影響は、何度もぼけ変換をほどこされた $(h_1 h_2)^n \hat{I}_0$ よりもそれ以下の項に強く現れると考えられる。すなわち、 $(1 + h_1 h_2 + \dots) G_{ab}$ の部分であり、 G_{ab} に含まれる雑音成分がそのままの位置で復元画像に影響するといえる。しかし実際には、撮像画像に含まれる雑音成分は、 $h_1, h_2, h_a, h_b, \vec{t}_1, \vec{t}_2$ によって(5)式の左辺、すなわち G_{ab} に複雑に影響する。例えば I_2 における雑音成分が視覚的に大きく影響するのは(5)式の左辺第4項において、 h_b であまり大きいぼけを与えない場合であり、復元画像にその影響する位置はもとの雑音成分の位置に対して $\vec{t}_2$ により決定される。第3項ではあらかじめ、 h_2 によりぼけ変換がほどこされているので、 h_a によらず、視覚的にはそれほど影響がない。

以上にくわえ、最も基本的な例として、視差を与えず、 h_a, h_b がともに恒等変換である簡単な場合についての雑音成分の影響を検討する。図4は画像中の雑音成分の中心を通るある水平1ラインの輝度値信号のグラフである。仮りに、図4(a)のような雑音成分が I_2 に含まれていた場合、 G_{ab} には図4(c)に示す形で影響が加わる。これを反復復元すると図4(b)が得られる。これが復元画像に影響する雑音である。ここで h_1, h_2 に対応する R はともに2.0としており、反復復元の回数は3回である。このように単純な全焦点画像を復元する場合には、ほぼ同様の形の雑音成分が復元画像に残ることとなる。上述の通り、 $h_a, h_b, \vec{t}_1, \vec{t}_2$

等の変化に従い、より複雑な影響が生じる。

図 4 撮像画像の雑音成分の影響
Effects of noise components in acquired images.

続いて第3に、重ね合わせモデルからずれる部分の特別な場合として、近景が遠景を遮蔽する境界領域の影響について検討する。ここでも簡単のために、図5、図6に示すような単純な輝度値(図7)を持つ近景、遠景について全焦点画像を再構成する場合を考える。図5においては輝度値0の部分以外が近景オブジェクトであり、図6の遠景を遮蔽しているものとする。遮蔽を考慮した撮像モデルを用いた場合の近景、遠景に合焦した画像、すなわち、撮像画像 I_1, I_2 のある水平1ラインにおける輝度値を図8、図9に示す。近景がぼける I_2 、図9においては重ね合わせモデル通りの画像が得られている。逆に、遠景がぼける I_1 、図8では、重ね合わせモデルが物体境界で正しくない。すなわち、図8では、遠景のぼけが近景ににじみこまず、また、近景に遮蔽されている境界周辺の遠景自身のぼけが遠景側にもれこんでいる。ここでは、 $R_1 = R_2 = 4.0$ としている。

近景合焦画像におけるこのモデルからのずれを雑音成分として考えれば、境界周辺において、遠景側は輝度値が正の方向にずれており、近景側では負の方向にずれているといえる。またそのずれ領域の大きさは h_2 の与えるぼけの大きさに対応づけられる。すなわち、 h_2 の与えるぼけの範囲だけ雑音成分が生じることとなる。第2点で考察したように、これが復元画像にほぼ同じ形で影響し図10のような画像が再構成されることとなる。全体的な輝度値変化としては、図11のグラフが得られるのだが、仮りに、近景にテクスチャがあった場合、これは正確に再現され、 h_a によるぼけ変換を経た形で図11のグラフに上乗せされる。近景と遠景を分離して考えれば、近景についてはモデル通りの撮像画像が得られているからである。ただし、境界周辺の遠景のテクスチャはモデルからはずれる形でしか撮像されないため、正確には再現されず、また全体的な輝度値変化と同様、境界周辺の近景領域の劣化にもつながる。

第4として、本論文で中心となる視差付与による影響について検討する。問題を簡単化するため第3点として考察した遮蔽の問題はないものとする。すなわち I_1, I_2 が重ね合わせモデル通りに撮像されている場合を考える。このとき、近景にのみ視差を+5画素ほど与えた全焦点画像を再構成すると、図12の画像が得られる。そのある水平1ラインにおける輝度値は図14(a)のような形となる。実際に復元したい画像と比較して、(4)式のモデル化からすれば当

図 5 近景オブジェクト
Near object.

図 6 遠景オブジェクト
Far object.

図 7 近景、遠景のある
水平1ラインにおける輝度値
Intensities of
near and far objects.

図 8 近景合焦画像のある
水平1ラインにおける輝度値
Intensity of
an near-focused image.

図 9 遠景合焦画像のある
水平1ラインにおける輝度値
Intensity of
an far-focused image.

図 10 復元された全焦点画像
A reconstructed image.

図 11 復元画像の輝度値
Intensity of a reconstructed image.

図 12 視差画像の生成
An all-focused
disparity image.

図 13 遠景のぼけた視差画像の生成
An disparity image far regions
of which are blurred.

図 14 視差を含む場合の
生成画像の輝度値
Intensities of reconstructed
disparity images.

然の結果ではあるが、視差を与えることで生じた近景と遠景の重なり部分は輝度値が過度に強調され、新たに現れた遠景部分は情報を持たないため低い輝度値となっている。しかし、 h_b が視差と同程度の範囲にぼけを与える変換となる場合、すなわち例えば遠景に $R_b = 4.0$ でぼけを与えて再構成した場合、図 13 のように、遠景領域のエッジ成分に起因する劣化が抑圧されることにより、図 12 に比較して視覚的には自然な画像が得られる。近景領域中に残存してしまっていた $x = 63 \sim 64$ における遠景領域のエッジ成分が抑圧され、撮像画像中に情報のない $x = 32 \sim 36$ の領域も $x = \sim 31$ の遠景領域からののにじみこみで劣化がそれほど目立たなくなっていることが、図 14(b) で見てとれる。

テクスチャについては、近景と遠景の重なり部分では両方の成分が合成されることとなる。ただしここでも、 h_b が遠景のテクスチャを充分ぼかす場合には、この劣化は視覚的には軽減される。また、もともとの撮像画像で不可視の部分については、もちろん復元画像でテクスチャは生じない。

以上、視差の付与においては、輝度値の強調される重なり領域、撮像画像中に情報を持たない新たに現れる遠景領域が大きく劣化することとなるが、これらの領域については、視差に対して、遠景領域に同程度のぼけを与える場合には、視覚的な劣化が軽減され、比較的良好な再構成画像が得られる。

次章からの実験においては、その結果に対して特に以上の特性に基づいて考察をくわえる。遮蔽や視差付与に関わる第 3 点と第 4 点の特性はシミュレーションでは確認されるが、実画像では、撮像系における LPF、輪郭補償回路の影響などにより、撮像画像そのものが上述のようなモデルとも異なるため、必ずしもこれらの特性に従わない復元画像が得られることとなる。この点については、実験に用いた画像に即して考察を行うこととする。第 1 点や第 2 点で示したような本手法の最も本質的なテクスチャ再現性に関してはどちらの実験でも確認することができる。

3. 視差を含む任意焦点画像生成のシミュレーション

シミュレーションとして、図 15 の (a) に示すような焦点合わせの異なる撮像画像 I_1 (遠景のぼけ $R_2 = 2$ pixels), I_2 (近景のぼけ $R_1 = 3$ pixels) を用いた。画像サイズは 240×240 である。これらから初期画像 ($\hat{I}_0$) を (9) 式に従い求め、図 15(b)(c)(d) のような任意焦点画像が生成できる。すべて、 I_1, I_2 のみから再構成されており、反復回数は各々 3 回である。(b) は遠近ともに合焦した画像 ($R_a = R_b = 0$ pixels) に水平方向の視差を与えたものである。上から、それぞれ原画に対し近景、遠景の移動量が水平方向に、(近景 0 pixels, 遠景 0 pixels) の画像、(近景 4 pixels, 遠景 2 pixels) の画像、(近景 8 pixels, 遠景 4 pixels) の画像である。これは視点位置を左へ水平に移動した場合の効果を生成することになる。さらに (c) では、 I_1 の遠景のぼけを強

図 15 視差を含む任意焦点画像の生成
Generation of images with different focus and disparity.

調した画像 ($R_a = 0, R_b = 4$ pixels) に同様の視差を与えたものである。(d) は上から同様の視差を与えながら、遠景に合焦した画像 ($R_a = 4, R_b = 0$ pixels) から近景に合焦した画像 ($R_a = 0, R_b = 4$ pixels) へと変化していく画像である。すなわち中段の画像は遠近の中間に焦点が合ったような画像となっている。

画面全体にわたってほぼ良好な画像が得られていることがわかる。ただし、2.3 節の第 4 点として検討したように、(b) で特に顕著であるが、視差の付与による近景と遠景の重なり領域は過度に強調された輝度値となっており、新たに現われた遠景領域は撮像画像に情報を持たないため低い輝度値となっている。これと比較して、遠景のぼけを強調した (c) では、より視覚的に良好な画像が生成されていることも、前述の検討の通りである。テキストチャについても、人物の左耳周辺で特に明らかなように、(b) では遠景のテキストチャが強く混ざり込んでいるのに比較して、(c) ではこの劣化の影響はかなり軽減されている。2.3 節の第 3 点で検討した遮蔽による復元画像の劣化も、(a) の近景に合焦した画像と (b) の視差を与えていない画像の人物の右肩の部分などの領域におけるエッジ強度の違いに確認される。

4. 実画像による実験

図 16(a) に示すような実画像を用いて任意焦点画像生成の実験を行った。あらかじめカメラ特性を測定しておくことにより³⁾、撮像画像間のサイズ補正処理を行った画像である。画像サイズは 140×100 である。 h_1, h_2 に対応する R_1, R_2 も同様にカメラ特性から $R_1 = 3.7, R_2 = 3.3$ と決定され、図 16(b)(c)(d) のような様々な視差を含む任意焦点画像が生成できる。

図 16 にて、(b) は遠近ともに合焦した画像に ($R_a = 0, R_b = 0$ pixels) 水平方向の視差を与えたものである。上から、それぞれ、(近景 -10 pixels, 遠景 -5 pixels), (近景 0 pixels, 遠景 0 pixels), (近景 10 pixels, 遠景 5 pixels) 水平に移動させた画像である。いわば視点を左に動かしていくような画像列になっており、遠景のポスターの指を表す線と、近景の文字の相対的な位置関係が変化していくのがみてとれる。(c) は近景のみ合焦するようパラメータを選び ($R_a = 0, R_b = 5$ pixels) 同様の視差を与えたものである。(d) は上から同様の視差を与えながら、近景に合焦した画像 ($R_a = 0, R_b = 5$ pixels) から遠景に合焦した画像 ($R_a = 5, R_b = 0$ pixels) へと変化していく画像である。すなわち中段の画像は遠近の中間に焦点が合ったような画像となっている。この場合は視点を右から左に動かしながらかつ近景から遠景へと焦点合わせを移していくような画像列になっている。

(a) の近景に焦点を合わせた撮像画像では、遠景領域の画面左部分および近景対象物の左エッジにおいて編目状の雑音を確認される。これが 2.3 節の第 2 点で検討したように、 t_1 に従った位置を中心として (b) 等の生成画像に劣化

図 16 実画像における視差を含む任意焦点画像の生成
Experiments of image generation with different focus and disparity.

を与えている。また、この雑音は h_b ではなく、 h_a の影響を受けるため、(c) の画像に比して、(d) の最下段の画像の方がより画面左部分などの劣化が抑制されている。これも同検討で指摘した通りの結果である。

本実験ではシミュレーションに比較して、視差付与によ

る画質劣化がそれほど顕著ではない。これについて考察する。図 17 は撮像画像 (a) のちょうど中央の水平 1 ラインにおける輝度値変化の一部を表す。グラフの中央右側の激しく輝度値の変化する領域が遠景と近景の境界部分である。このグラフからわかるように、2.3 節で検討した撮像画像とは異なる波形となっている。遠景に焦点を合わせた画像は、近景に焦点を合わせた場合の画像をそのままぼかしたような波形である。これはすなわち、この境界領域は近景に属するものとして処理、復元されるということにほかならない。実際に、視差を付与することによっても、この境界エッジは近景の移動とともに、図 18 のように復元される。これが生成画像の自然さの原因となっている。ただし、(b) の上段、下段の画像など、この水平 1 ラインの少し下にある近景に隣接して遠景がテクスチャを持つ領域では、やや劣化が顕著になっていることが確認できる。

図 17 ある水平 1 ラインにおける撮像画像の輝度値変化
Intensities of acquired images.

図 18 視差を含む生成画像の輝度値変化
Intensities of reconstructed disparity images.

以上のように、本手法によれば、領域分割を用いることなく、近景と遠景のぼけを独立に強調あるいは抑制しつつ、近似的に各奥行きごとに視差を与えたような画像の生成が可能である。

5. む す び

本論文では、筆者らがこれまでに提案してきた任意焦点画像の生成手法を拡張し、近景と遠景のぼけを独立に強調あるいは抑制しつつ同時に各奥行きごとに視差 (移動量) を与えた画像を近似的に合成する手法を検討した。本手法は、領域分割を用いることなく、すなわち奥行きの分布の推定を行うことなく、所望の画像を再構成できるという特徴がある。大きな視差を与えるほどに、近景と遠景の境界領域における劣化が増大するという欠点はあるものの、移動量が少なければ、むしろ劣化が 0 となるわけではないが、画面全体にわたって視覚的にはほぼ良好な画像が再構成できる。とくに遠景にぼけを与える場合は、かなり自然な画像を生成することが可能である。単一視点の画像からの様々なステレオ画像の生成への応用も考えられる。

また、本論文では対象シーンの奥行きが段差状に変化するものと仮定し重ね合わせモデルを採用しているが、各奥行きがそれぞれが多少の幅を持っても充分良好な画像

を生成することが可能である²⁾。このような場合、視差の付与についていえば、各層内で生じる視差が充分視覚的に無視できるという条件が必要である。

今後は、画像中に同じ奥行きに対象が 2 つある場合でも、簡単な領域指定を行うことにより、それぞれの対象で独立にぼけや視差を調整する手法を検討する予定である。

〔文 献〕

- 1) 内藤 将彦, 兄玉 和也, 相澤 清晴, 羽鳥 光俊: “複数の異なる焦点画像からの焦点外れ画像の生成を利用した全焦点画像の強調的取得”, 信学論誌, **J79-D-II**, 6, pp.1046-1053 (June 1996)
- 2) 兄玉 和也, 相澤 清晴, 羽鳥 光俊: “複数画像からの全焦点画像の再構成”, 信学論誌, **J80-D-II**, 9, pp.2298-2307 (July 1997)
- 3) 兄玉 和也, 大西 隆之, 相澤 清晴, 羽鳥 光俊: “反復法に基づく複数画像からの任意焦点画像の生成”, 映情学誌, **51**, 12, pp.2072-2081 (Dec. 1997)
- 4) 加藤 友規, 兄玉 和也, 相澤 清晴, 羽鳥 光俊: “3 次元情報を用いる高精細画像の再構成”, '98 信学総大, No.7, p.115, D-11-115 (1998)
- 5) 田上 直樹, 兄玉 和也, 相澤 清晴, 羽鳥 光俊: “高解像度静止画を用いた動画の高精細化”, '98 信学総大, No.7, p.123, D-11-123 (1998)
- 6) T.C.Nguyen and T.S.Huang: “Image Blurring Effects Due to Depth Discontinuities: Blurring that Creates Emergent Image Details”, ECCV92, pp.347-362 (1992)
- 7) 浅田 尚紀, 藤原 久永, 松山 隆司: “逆投影ぼけモデルを用いた遮へいエッジの光学的性質の解析”, 信学論誌, **J78-D-II**, 2, pp.248-262 (Feb. 1995)
- 8) P.J.Burt and R.J.Kolczynski: “Enhanced Image Capture Through Fusion”, ICCV, pp.173-182 (1993)
- 9) M.Subbarao, N.B.Agarwal, and G.Surya: “Application of Spatial-Domain Convolution/Deconvolution Transform for Determining Distance from Image Defocus”, Tech.Report 92.01.18, Computer Vision Laboratory, Stony Brook

こだま かずや
兄玉 和也 1994 年, 東京大学工学部電気工学科卒業。現在, 同大学大学院電子情報工学専攻博士課程在学中。画像情報処理, 画像取得手法などの研究に従事。

くばた あきら
久保田 彰 1997 年, 大分大学工学部電気電子工学科卒業。現在, 東京大学大学院電子情報工学専攻修士課程在学中。画像情報処理と取得の研究に従事。

あいざわ きよはる
相澤 清晴 1983 年, 東京大学工学部電子工学科卒業。1988 年, 同大学大学院博士課程修了。現在, 同大学工学部電子情報工学科助教授。画像情報処理, 符号化, 画像取得手法, コンピューショナルセンサなどの研究に従事。工学博士。正会員。

はとり みつとし
羽鳥 光俊 1963 年, 東京大学工学部電気工学科卒業, 1968 年, 同大学大学院博士課程修了。同年, 同大学工学部電気工学科専任講師を経て, 現在, 同大学工学部電子情報工学科教授。通信方式, 放送方式, 適応信号処理, 画像通信, 移動通信, 光通信, ケーブルテレビなどの研究に従事。工学博士。正会員。