

論文

平行2眼カメラによる知覚モデルに基づいた立体空間演出のための視差変換アルゴリズム

Disparity Mapping for 3D Production Based on Perceptual Model Using Twin-lens Camera with Parallel Axis

澁久奈保[†], 徳井圭[†], 正会員 岩内謙一[†], 正会員 齋藤栄[†]

Nao Shibuhisa[†], Kei Tokui[†], Ken-ichi Iwauchi[†] and Sakae Saito[†]

Abstract Stereoscopic view with binocular disparity produces a distorted spatial layout, such as, the puppet theater and cardboard effects. In this paper, we propose a disparity mapping method for reducing the distortion of 3D images. The method is divided into two parts. First, we defined the perceptual model and the modified spatial layout based on this model. Second, the differences in adjacent disparities of the objects were interpolated. We conducted a subjective test to evaluate the proposed method when applied to 3D images taken with a smartphone equipped with a twin-lens camera. There was a significant difference ($p < 0.01$) between the original 3D images and those of the proposed method. The results of our experiments show that the proposed method makes 3D images more round and gives them a sense of depth.

キーワード：知覚モデル，視差変換，書割効果，箱庭効果，平行2眼カメラ

1. ま え が き

一般に普及しているディスプレイは，平面に画像を表示し，遠近法やテクスチャの勾配，物体間の重なりなどの単眼視情報により，我々は奥行きを感じることができる¹⁾²⁾．近年，ディスプレイ技術の発展により，2枚の画像を平面に表示し，視聴者の左眼には左眼用の画像を，右眼には右眼用の画像を各々表示させることで，立体表示が可能となった．平面に映し出された画像でも，左右の眼に視差のある画像が表示されることで，左眼と右眼の網膜像にずれが生じ，このずれの度合いが遠近の差に変換され，視聴者は奥行きを感じることができる．これは，人間が奥行きを感じる要因の一つである両眼視差を利用した技術で，現在の3Dディスプレイの原理として用いられることが多い．左右画像間のずれ量である視差値が0のとき，被写体はディスプレイ面上に表示され，視差値が大きくなるに従い，ディスプレイ面から離れて知覚される．この視差値は，2眼カメラから得られる左右画像にステレオマッチングを施すことにより得られ，これを応用することで撮影した後から距離

に応じてぼかし処理を施す技術や，複数の画像を視差に基づいて対応付けることで，高解像度化やダイナミックレンジを拡大する技術などが実現でき，視差値を利用した画像処理は新たな映像表現の一つとして多くの応用展開が期待されている³⁾⁴⁾．

コンピュータグラフィックスによる立体画像生成では，被写体の3次元モデルが構築されているため，背景と被写体の位置関係を自由に変更できる．これは，例えば，背景の知覚位置はそのままに被写体だけを飛び出させるなど，立体空間の演出を可能にする．Langらは，この立体空間演出の概念を，2眼カメラで撮影された画像に適用した⁵⁾．この研究では，撮影画像から算出された視差値により任意視点画像を生成し，被写体の視差を変更する視差変換を用いて立体空間演出を実現している．

一方，両眼視差を用いた立体視は，書割効果や箱庭効果といった空間の歪みを生じることが知られている⁶⁾．書割効果とは，被写体と背景との間隔は知覚できるが，被写体自体の立体構造は知覚されず，平面のように感じられる現象⁷⁾で，箱庭効果とは，左右の眼に提示する画像が充分に大きくても，見かけの立体画像が極端に縮小され，被写体を実物よりも小さく感じられたり，風景画像が箱庭的に見える現象⁸⁾である．山之上らは，書割効果と箱庭効果の発生要因を幾何学的に解析し，これらの空間の歪みは撮像空間と立体画像空間の関係が一致しないために発生すると報告している⁹⁾．立体空間演出を行うためには，この書割効

2011年12月22日，映像情報メディア学会冬季大会で発表
2012年4月30日受付，2012年10月11日再受付，2012年11月14日採録

[†]シャープ株式会社 研究開発本部 通信・映像技術研究所
(〒261-8520 千葉県美浜区中瀬 1-9-2, TEL 043-299-8471)

[†]Telecommunication & Image Technology Laboratories, Corporate Research and Development Group, Sharp Corporation
(1-9-2, Nakase, Mihama-ku, Chiba 261-8520, Japan)

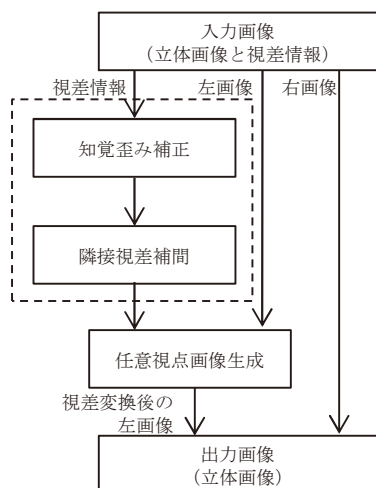


図 1 提案手法の流れ。破線で囲まれた手順が、提案する視差変換手法である

The overview of the proposed methods. The broken line represents the proposed disparity mapping method.

果や箱庭効果を調整できることが重要である。

本研究の目的は、立体空間演出を行うために、両眼立体視が生み出す空間の歪みを考慮した視差変換技術を提案することである。本技術が広く普及される一つの条件として、民生機器として入手しやすいカメラを用いる必要があるため、入力是一般に販売されている平行 2 眼カメラでの撮影を想定する。本提案手法は、平行 2 眼カメラにおける知覚モデルを定義し、その知覚モデルに基づいて撮像空間と立体画像空間の関係を一致させるように視差変換を行い、空間歪みが補正された立体画像生成を試みる。

2. 提案する視差変換手法

提案手法の流れを図 1 に示す。左画像と右画像から構成される立体画像と、左画像に対応づいた視差情報を入力画像とする。視差情報に対し、本論文で定義する知覚モデルに基づいた視差変換アルゴリズムを施し、立体空間の歪みを補正する。視差変換アルゴリズムは、知覚歪み補正と隣接視差補間の二つの処理に分かれる。任意視点画像生成では、左画像と右画像の視差が歪み補正後の視差情報と等しくなるように、左画像の画素を水平方向にシフトさせる。生成された左画像と入力された右画像とを立体画像として出力する。

本章では、2.1 にて知覚モデルの定義を行い、2.2 にて知覚モデルに基づいた視差変換アルゴリズムの説明を行う。

2.1 平行 2 眼カメラにおける知覚モデル

撮影条件と表示条件の不一致による知覚歪みを補正するため、平行 2 眼カメラにおける知覚モデルを定義する。図 2 に撮影モデルと表示モデルを示す。図 2 において視差値 d が負の値のとき、被写体はディスプレイ面より奥側に知覚される。視差値 d が正の値のとき、被写体はディスプレイ面より手前側に知覚される。表 1 に撮影モデルにおけるカメラパラメータを、表 2 に表示モデルにおけるディスプ

レイパラメータを示す。図 2 より以下の式が導かれる。

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{d_s}{2(L_s - L_v)} \quad (1)$$

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{d_e}{2L_v} \quad (2)$$

ここで、 α は表示モデルにおける輻輳角を表す。式 (1) と式 (2) から α を消去すると下式が導かれる。

$$L_v = \frac{d_e L_s}{d_e + d_s} \quad (3)$$

ディスプレイ面上の視差値 d_s を下式で定義する。

$$d_s = d - s_h p_d \quad (4)$$

視差値 d は左画像と右画像間から算出される視差値をディスプレイ上に表示したときの長さで、単位はメートルである。左画像と右画像間から算出されるピクセルで表される視差値を d_{pix} とすると、視差値 d と d_{pix} の関係はディスプレイピクセルピッチ p_d で結ぶことができ、

$$d = d_{pix} p_d \quad (5)$$

となる。撮影モデルにおいて、左画像と右画像間から算出される視差値を d' とすると、視差値 d' は被写体までの距離 L_c に反比例するため、以下の式で表すことができる。

$$d' = \frac{d_b d_f}{L_c} \quad (6)$$

視差値 d' と d_{pix} の関係はカメラピクセルピッチ p_c で結ぶことができ、

$$d' = d_{pix} p_c \quad (7)$$

となる。式 (5)–(7) をまとめると、視差値 d と撮像位置 L_c の関係は、

$$d = \frac{d_b d_f p_d}{p_c L_c} \quad (8)$$

となる。撮像位置と知覚位置の関係を導くために、式 (4) と式 (8) を式 (3) に代入すると、下式となる。

$$L_v = \frac{d_e p_c L_s L_c}{d_b d_f p_d + (d_e - s_h p_d) p_c L_c} \quad (9)$$

図 3 に、式 (9) を用いて算出した、平行 2 眼カメラで撮影した画像を商用の 3D ディスプレイで立体視した際の撮像距離と知覚距離の関係を示す。図 3 に示す撮像距離（実際の距離）と知覚距離（再現距離）の関係は、平行 2 眼カメラで撮影した画像を 3D ディスプレイで立体視した際、書割効果の一要因である空間の歪みが発生していることを表している。また、ディスプレイサイズに依らず空間の歪みが発生していること、ディスプレイサイズが小さくなると知覚歪みが大きくなることが確認できる。平行 2 眼カメラは、シャープ社製スマートフォン SH-12C（基線長 28mm、解像度 1920 × 1080）を、3D ディスプレイはシャープ社製 AQUOS LC-52LB3（52V 型、画面幅 1152mm、画面高

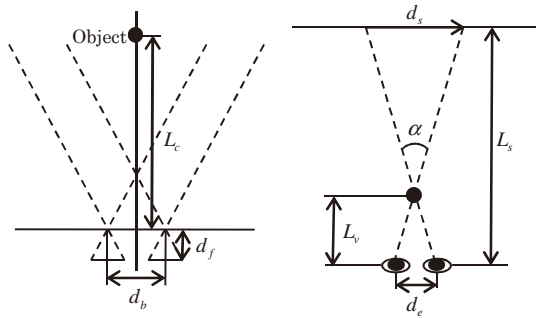


図2 平行2眼カメラの知覚モデル. 左:撮影モデル 右:表示モデル

Perceptual model using twin-lens camera with parallax axes. Left:A model of capturing system. Right:A model of viewing system.

表1 カメラパラメータ
Parameters in capturing model.

L_c	撮像距離 [m]
d_b	基線長 [m]
d_f	焦点距離 [m]
p_c	カメラピクセルピッチ [m/pixel]

表2 ディスプレイパラメータ
Parameters in viewing model.

L_v	知覚距離 [m]
L_s	視聴距離 [m]
d_e	瞳孔間距離 [m]
p_d	ディスプレイピクセルピッチ [m/pixel]
d_s	ディスプレイ上の視差値 [m]
s_h	左右画像の水平シフト量 [pixel]
α	輻輳角 [degree]

648mm)とLC-46LB3(46V型,画面幅1018mm,画面高573mm)を用い,視距離は約3H(H:画面高),瞳孔間隔距離は65mmとした.

山之上らは,平行2眼カメラで撮影した場合には,撮像距離と知覚距離の間には線形関係が保たれると報告している⁹⁾が,これは撮像空間と表示空間の無限遠を一致させるために,水平方向のずらし量 $s_h p_d$ が瞳孔間距離 d_e と等しいと仮定しているためである.本モデルでも, $s_h p_d$ と d_e が等しい場合,撮像距離と知覚距離の関係は線形になるが,立体空間演出の自由度を増やすために,水平方向のずらし量 $s_h p_d$ を任意の値に設定可能としている.本検討では,カメラから1m離れて撮影された被写体がディスプレイ面上に表示されるように左右画像の水平シフト量を設定した.

2.2 知覚モデルに基づいた視差変換アルゴリズム

撮影条件と表示条件を一致させるため,視差変換を行う.前節で定義した知覚モデルから,2眼カメラで撮影した立体画像を商用の3Dディスプレイで視聴したときに書割効果の一要因である空間の歪みが発生することを確認した.撮影条件と表示条件を一致させることで,立体画像の空間の歪みを低減させることが可能となる.視差変換アルゴリズムは二つの処理に分かれる.初めに,立体空間の歪みを補正し,その後,隣接視差の差の補間を行う.

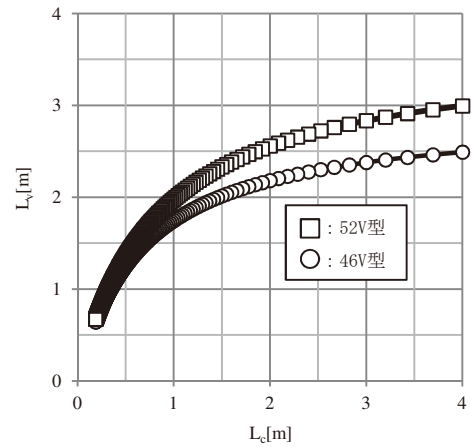


図3 撮像距離と知覚距離の関係. (撮影:SH-12C,表示:AQUOS LB-3)

Relation between distance from camera to object and distance from viewer to 3D image. (capturing:SH-12C, viewing:AQUOS LB-3).

(1) 知覚歪み補正

知覚歪み補正では,撮像距離と知覚距離が線形になるように,下式を用いて補正を行う.

$$L'_v = aL_c + b \quad (10)$$

ここで, L'_v は補正後の知覚距離を表す.撮像距離 L_c は,入力視差 d_{in} を式(8)に代入して算出する.また,補正後の視差 d_{out} は,補正後の知覚距離 L'_v を式(3)に代入して算出する.

変数 a と b は立体画像の構図によりそれぞれ定義される.本検討では,構図として風景画像と人物画像の2種類を想定する.風景画像は主要被写体のない撮影画像で,人物画像は主要被写体のある撮影画像である.主要被写体とは,撮影画像の中で最も撮像距離が近い被写体のことで,人物や動物,静物などを指す.

風景画像ではすべての視差に対して視差変換を施し,立体空間の歪みにより損なわれている遠景の立体感を復元する.風景画像の変数 a と b を下式で定義する.

$$a = \frac{L_{v_max} - L_{v_min}}{L_{c_max} - L_{c_min}} \quad (11)$$

$$b = L_{v_max} - aL_{c_max} \quad (12)$$

ここで, L_{c_max} は撮像画像中の最大撮像距離, L_{c_min} は最小撮像距離を表す.また, L_{v_max} は立体画像中の最大知覚距離, L_{v_min} は最小知覚距離を表す.

人物画像では背景に対して視差変換を施す.主要被写体は撮像画像において最も手前に映っていると仮定すると,背景は主要被写体より遠い撮像距離となる被写体のことである.すべての視差に対して視差変換を施すと,主要被写体と背景の奥行き感は強調されるが,その代わりに主要被写体の立体感が元画像よりも小さくなってしまふ.これは元画像と同じ視差範囲のまま,視差の再割り当てを行っているために生じる.主要被写体の立体感を損なわないために,

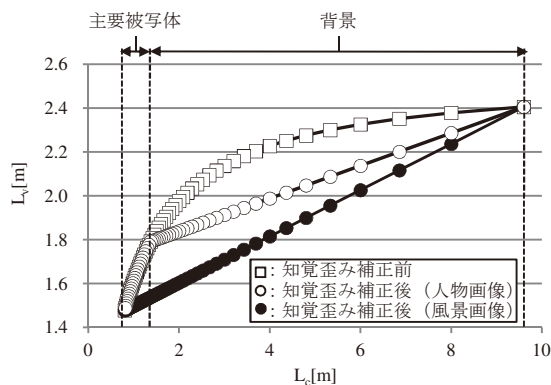


図4 知覚歪み補正後の撮像距離と知覚距離の関係

Relation between L_c and L_v after modifying spatial layout.

視差変換を施す視差を主要被写体よりも小さい視差に限定する。人物画像における a と b を下式で定義する。

$$a = \frac{L_{v_object} - L_{v_min}}{L_{c_object} - L_{c_min}} \quad (13)$$

$$b = L_{v_object} - aL_{c_object} \quad (14)$$

ここで、 L_{c_object} は主要被写体の撮像位置を、 L_{v_object} は主要被写体の知覚位置を表す。

撮像距離 L_c と知覚歪み補正後の知覚距離 L'_v の関係を図4に示す。風景画像では撮影条件と表示条件の不一致が補正され、歪んでいた関係が線形になっている。人物画像では背景における立体空間の歪みが補正されており、主要被写体の立体感を保ちながら背景の立体感が復元されていることが確認できる。

次に、変数 a と b を定めるための撮像距離 L_c と知覚距離 L_v の算出方法を述べる。風景画像の場合、視差情報の最大値 d_{max} を式 (8) に代入して L_{c_min} を求め、求めた L_{c_min} を式 (9) に代入して L_{v_min} を算出する。最小値 d_{min} から同様に式 (8) と式 (9) を用いて L_{c_max} と L_{v_max} を算出する。人物画像の場合、撮影画像から主要被写体の顔領域を検出し、顔領域が有する視差値を主要被写体の代表視差値とする。主要被写体は厚みを有するので、厚み分の視差値を代表視差値から引いた値を d_{object} とし、風景画像と同様に d_{object} から式 (8) と式 (9) を用いて L_{c_object} と L_{v_object} を算出する。複数の顔領域が検出されたときは、検出された顔領域が有する視差値のうち、最も小さな視差値（最も遠方にある顔領域の有する視差値）を代表視差値とする。カメラから最も遠い位置にある被写体から後ろの領域を背景とすることで、複数の被写体をまとめて一つの主要被写体と設定できるため、複数の被写体の立体感を保つことができる。

(2) 隣接視差補間

式 (10) を用いることにより、元画像の視差範囲内において知覚歪みが補正されるが、遠方の被写体の立体感が復元されるため、隣接視差の差が拡大する。図5は、元画像の視差と式 (10) により知覚歪みが補正された後の入力視差と

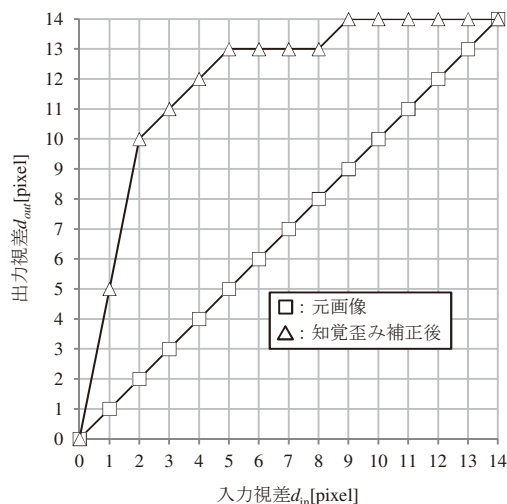


図5 隣接視差の差の拡大

The expansion of differences of the adjacent disparity.

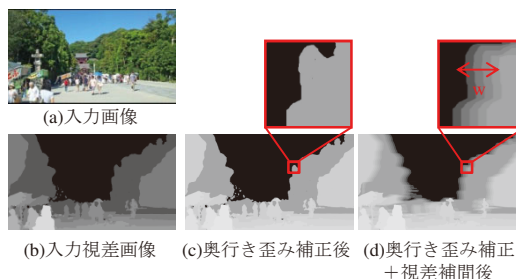


図6 隣接視差の補間

Interpolation of difference of adjacent disparities.

出力視差の関係を表している。入力視差値では1であった隣接視差の差が、出力視差値では差が5となり、視差の差が拡大している。これは、例えば、元画像では損なわれていた背景の木々の立体感が、知覚歪み補正により木々どうしの間隔が広がり、立体感は大きくなるが、書割効果が強調されることを表している。そこで、知覚歪み補正を行った後、隣接視差の差の補間を行う。具体的には、視差画像をラスタスキャンし、注目画素 x_1 の値 v_1 と一つ隣の画素 x_2 の値 v_2 が、 $v_1 < v_2$ となるとき、注目画素から $\pm w/2$ 以内の画素 x の値を v' で補間する。 v' は下式で算出する。

$$v' = (v_2 - v_1) \left(\frac{x - (x_1 - \frac{w}{2})}{w} \right) + v_1 \quad (15)$$

図6に隣接視差補間を施した視差情報を示す。知覚歪み補正により拡大していた隣接視差の差を埋めるように、視差が補間されている。

3. 主観評価実験

本手法の効果を評価するために主観評価実験を行った。評価実験は一対比較法（総当たり）で行い、風景画像は以下の3種類を、被験者に比較評価してもらった。

評価画像1 元画像

評価画像2 知覚歪み補正後の画像

評価画像3 評価画像2に隣接視差補間を施した画像

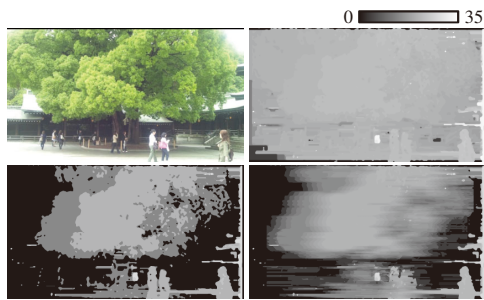


図 7 実験に使用した風景画像の一例。左上：入力画像（左画像）。右上：入力視差情報。左下：知覚歪み補正後の視差情報。右下：提案手法を施した視差情報

An example of a layout without a main object. Upper Left: Original 3D image (Left image). Upper Right: Original disparity information. Bottom left: Disparity information after modifying spatial layout. Bottom right: Disparity information after adaptive disparity mapping.

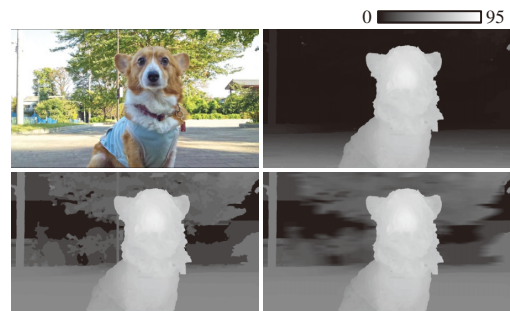


図 8 実験に使用した人物画像の一例。左上：入力画像（左画像）。右上：入力視差情報。左下：知覚歪み補正後の視差情報。右下：提案手法を施した視差情報

An example of a layout with a main object. Bottom left: Disparity information after modifying spatial layout of background. Bottom right: Disparity information after adaptive disparity mapping of background. The other captions are the same as in Figure 7.

人物画像は上記に加え、下記 2 種類を、被験者に比較評価してもらった。

評価画像 4 背景に知覚歪み補正を施した画像

評価画像 5 評価画像 4 に隣接視差補間を施した画像

提案手法を施した風景画像は評価画像 3 であり、提案手法を施した人物画像は評価画像 5 である。提示は、評価画像 A を 10 秒間観察させた後、グレー画像 (N5 相当) を 3 秒間提示し、評価画像 B を 10 秒間提示、を 2 回繰り返した。被験者は、評価画像 A と B を比較して、どちらの画像が「丸味を帯びて感じる」「奥行き感があると感じる」「好ましい立体感であると感じる」か、を比較選択した。これらの評価語は予備実験によって選定された。予備実験では、どちらの画像が「好ましい立体感であると感じる」かを被験者に比較選択させた。その結果、「書割効果のある方が好ましい」と判断する被験者がいることがわかり、実験をより効果的にするために二つの評価語を追加することにした。一つは、書割効果低減の効果を解析するための評価語「丸味を帯びて感じる」である。もう一つは、遠景の立体感復元の効果を解析するための評価語「奥行き感があると感じる」である。被験者は、20 代から 40 代の男女 22 名で、各被験者とも 1 回ずつ実験を行った。実験に用いたカメラとディスプレイは、2.1 で知覚モデルを確かめるために用いたものと同じである。ディスプレイサイズは 46V 型で、3D 表示方法は時分割方式であり、被験者はアクティブシャッターメガネを着用して立体画像を観察した。評価画像は風景画像 2 種類、人物画像 2 種類を用いた。図 7、図 8 に実験に使用した画像の一例を示す。

4. 結果と考察

本章では、4.1 にて主観評価実験の解析結果を述べ、4.2 にて立体空間演出の一つとして、立体空間の歪みを強調する方法を述べる。

4.1 視差変換による書割効果の低減

提案手法と元画像との差が有意かを確認するために t 検

定を行った¹⁰⁾¹¹⁾。その結果を表 3 に示す。表 3 は、風景画像では評価画像 1 と評価画像 3 との検定結果で、人物画像では評価画像 1 と評価画像 5 との検定結果である。人物画像の評価語「好ましい立体感である」以外において、有意水準 $p < 0.01$ で有意な差があると検定された。評価画像の各評価語における選択確率を数量的に表すために、サーストンのケース V を用いて、尺度構成を行った。尺度構成することにより、評価画像間の選択確率の差の程度を数量化（間隔尺度化）できる。尺度値は、各評価画像対において被験者の選択確率を求め、正規分布表を用いて選択確率を標準得点に換算し、この標準得点を被験者数で除した値とした。得られた尺度値を各評価語と評価画像ごとに配置した結果を図 9、図 10 に示す。図 9、図 10 に示した結果では、右へ行くほど選択確率が高く、左へ行くほど選択確率が低いことを表している。図 9、図 10 より、風景画像、人物画像ともに、全評価語において提案手法が最も高い評価を得ている。両構図ともに共通の傾向が三つある。一つ目は、知覚歪み補正、人物画像では背景知覚歪み補正、を施すことにより、被験者が元画像よりも知覚歪み補正後の画像に奥行きを感じていることである。二つ目は、隣接視差補間を施すことにより、被験者が元画像よりも視差補間後の画像の被写体が丸味を帯びているように感じていることである。三つ目は、評価語「好ましい立体感であると感じる」と「丸味を帯びて感じる」とが似た傾向を示していることから、被験者が視差の差の拡大が少ない立体画像を好ましく感じている可能性である。

風景画像では、知覚歪み補正後の画像が高評価であったが、人物画像では低評価となっている。これは、画像全体に知覚歪み補正を施すことで、大局的な立体感は大きくなる（背景と主要被写体間の視差の差が拡大する）が、局所的な立体感は小さくなる（主要被写体への視差割り当てが減少する）ためである。このことから、被験者は主要被写体の立体感が損なわれることを好ましくないと感じており、視差変換を施すことにより、元画像よりも評価が低下する

可能性が示唆される。

上記の結果は、風景画像において、提案手法は好ましい立体感をもつ立体画像が生成できることを表している。また、提案手法を適用することで、立体画像の奥行き感を強調させ、書割効果を発生させる要因の一つである空間の歪みを低減させる可能性を示している。

その一方で、人物画像では、評価語「好ましい立体感であると感じる」で有意な差がみられなかった。その理由として以下の三つが考えられる。一つ目は、主要被写体の立体感を変更しなかったことである。主要被写体の立体感のみに注目すると、提案手法と元画像の間には差がないように感じるため、被験者の評価が割れ、有意差が出なかったものと思われる。しかし、「丸味を帯びて感じる」「奥行き感があると感じる」では有意差が見られたため、主要被写体のある立体画像では、主要被写体の立体感を損なわないように、主要被写体よりも奥側に位置する被写体（背景）に対して視差変換を施すことが重要であると言える。二つ目は、任意視点画像生成後の画質の劣化である。人物画像は、風景画像と比べて視差範囲が広く、任意視点画像を生成する際のオクルージョン（遮蔽）領域も大きくなる。オクルージョン領域は周辺画素から補間しているため、両眼立体視をしたときにその部分が融合しにくくなり、評価が低下したのではないかと、ということである。このことは、画質の劣化が、立体画像の主観評価に直結する可能性を示唆している。画質劣化の少ない任意視点画像を、例えば、複数視点で撮影した映像を用いてオクルージョンを埋める方法などにより生成すれば、提案手法はより効果的になると考えられる。三つ目は、書割効果を好ましいと感じる被験者の存在である。予備実験において、このような被験者が存在することを確認していたので、書割効果と遠景の立体感復元の効果を解析するための評価語を二つ追加した。追加した評価語では有意な差が見られたため、書割効果は低減しているが好ましくない、と被験者が判断したことも有意差が見られなかった要因の一つであると考えられる。今回の実験結果では、被験者の中に書割効果を好む者がいたとしても、提案手法が書割効果を低減させる可能性があることを示すことができたため、追加した二つの評価語は意図した通りに働いていると言える。

本実験では、人物画像として主要被写体のバストショットを用いたが、実シーンでは全身を撮影したり、複数人の集合写真を撮影したりするために、遠方から主要被写体を撮影することが想定される。図4に示した撮像距離と再現距離の関係から、被写体が遠方になるほど再現距離の圧縮率が高まることがわかる。このことは、遠方に存在する主要被写体に立体感復元を施す必要があることを示している。主要被写体に立体感復元を施すか否かの判定は、図4に示すグラフから撮像距離 L_{v_object} に対応するグラフの傾きを算出し、傾きが任意の閾値以下であれば施す、閾値以上であれば施さない、とすることで実現できる。このように、

表 3 提案手法と元画像との有意差

A significant difference between original 3D image and proposed method (**: $p < 0.01$).

	風景画像	人物画像
丸味を帯びている	**	**
奥行き感がある	**	**
好ましい立体感である	**	n.s.

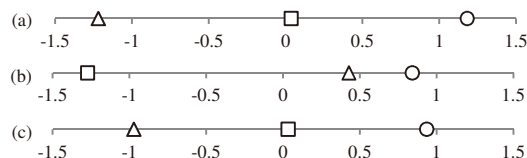


図 9 風景画像の解析結果。(a) は丸味を帯びている、(b) は奥行き感がある、(c) は好ましい立体感である、の結果である。□：元画像の評価結果 △：知覚歪み補正後の立体画像の評価結果 ○：提案手法を施した立体画像の評価結果

Thurstone's paired comparison score of a layout without the main object. (a): Roundness. (b): A sense of depth. (c): Favorable impression. The open square represents original 3D image. The open triangle represents the modifying spatial layout. The open circle represents the adaptive disparity mapping.

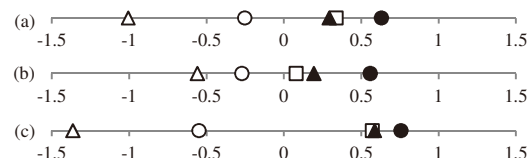


図 10 人物画像の解析結果。▲：背景に知覚歪み補正を施した立体画像の評価結果 ●：提案手法を施した立体画像の評価結果、その他のキャプションは図9と同じである

Thurstone's paired comparison score of a layout with the main object. The filled triangle represents the modifying spatial layout of background. The filled circle represents the adaptive disparity mapping of background. The other captions are the same as in Figure 9.

実シーンを想定した多様なコンテンツを用いた評価実験による閾値選定は、今後の課題とする。

4.2 視差変換による箱庭効果の付加

立体空間演出という観点からは、空間の歪みを補正するだけでなく、ある被写体を強調するために意図的に歪ませる方法も検討する必要がある。

例えば、平行2眼カメラで撮影された立体画像では発生しない箱庭効果を、演出のために強調する場合を想定する。本論文で定義する知覚モデルに基づいて、主要被写体と背景の知覚位置を調整することで、この効果を意図的に付与することができる。図11に無歪みと、2種類の空間の歪み（書割効果と箱庭効果）を、撮像距離と知覚距離の関係で表した図を示す。図11に示した関係を満たすように視差変換を施すと、元画像の関係と比べて、主要被写体と背景の知覚距離が実物より遠ざかり、主要被写体の実物よりも小さく知覚される。

スマートフォンやタブレットなどの小型立体ディスプレイでは、被写体の実物よりも小さく表示される。箱庭効果を意図的に付与することで、主要被写体をおもちゃのよう

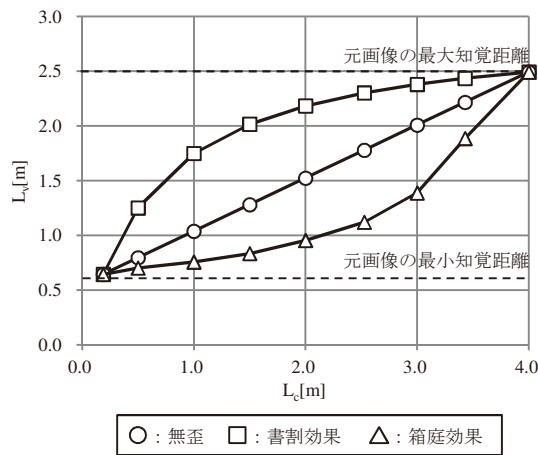


図 11 無歪と 2 種類の空間の歪み（書割効果，箱庭効果）を表す撮像距離と知覚距離の関係

Relation between distance from camera to object and distance from viewer to 3D image represents the puppet theater effect.

に小さく知覚させることができ，小型ディスプレイならではの効果的な立体空間演出が期待できる。

以上に述べたように，提案する視差変換アルゴリズムは，撮影した後から立体画像の立体空間を調整できるため，表示するディスプレイのサイズに応じて，大型ディスプレイでは背景の奥行き感を際立たせたり，小型ディスプレイでは主要被写体をおもちゃのように見せるなどの演出を可能にする。

5. む す び

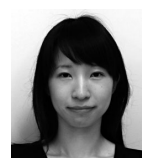
本論文では，立体空間演出を行うことを目的とし，知覚モデルに基づいた視差変換方法を提案した。定義した知覚モデルを用いて撮像距離と再現距離の関係を算出し，平行2眼カメラで撮影した立体画像を3Dディスプレイで視聴すると，空間の歪みが発生することを確認した。風景画像では全視差に対して，人物画像では主要被写体よりも奥側に位置する被写体（背景）の視差に対して，空間の歪みを補正し，補正した結果生じる隣接視差の拡大を補間した。提案手法の有効性を評価するために主観評価実験を行った結果，本提案手法を施した立体画像は，元の立体画像と比較して，書割効果を発生させる要因の一つである空間の歪みが低減し，背景の奥行き感が強調されることがわかった。さらに，提案アルゴリズムを施した立体画像は，視聴者が好ましいと感じる立体感を有していることも確認できた。今後は，より自然な立体画像を生成するために，隣接視差の拡大を補間する方法の検討を進めるとともに，動画への適用を検討していく。また，実用化に向けて考え得る多様なコンテンツに対し評価実験を行い，提案手法の改善を行っていく。

我々の視差算出技術や視差情報を用いた画像処理技術を，立体画像だけではなく2D画像にも適用し，新たな映像文化の創出に繋げていく。

最後に，本研究に関して有益なご意見をいただいた宇都宮大学 春日正男特任教授，ならびに主観評価実験にご協力いただいた春日研究室の学生一同に感謝致します。

〔文 献〕

- 1) 畑田豊彦，斎田真也：“奥行き知覚の要因とメカニズム”，テレビ誌，**43**，8，pp.755-762 (1989)
- 2) 辻雄太，鈴木広隆：“両眼立体視における立体感の支配要因に関する研究”，日本建築学会環境系論文集，605，pp.111-117 (2006)
- 3) Shunichi Sato, Seiichi Tanaka, Makoto Kitagawa, Mitsuyoshi Seo, Yasutaka Wakabayashi, Tomoya Shimura, Takumi Imai, Keisuke Omori, Sakae Saito, Tadaaki Hosaka and Takayuki Hamamoto：“Development and Analysis of Quad-HD Multi-Camera System”，International Display Workshops (IDW 2011), Proceedings of IDW 2011, pp.1327-1330 (2011)
- 4) 大森圭祐，徳井圭，岩内謙一，齋藤栄：“2眼カメラによるダイナミックレンジ拡大と視差を利用したトーンマッピングに関する研究”，2011年映情学冬季大会，6-3 (2011)
- 5) Manuel Lang, Alexander Hornung, Oliver Wang, Steven Poulakos, Aljoscha Smolic and Markus Gross：“Nonlinear Disparity Mapping for Stereoscopic 3D”，ACM Trans. Graph., **29**, 3 (2010)
- 6) Lydia M. J. Meesters, Wijnand A. IJsselstein and Pieter J. H. Seuntjens：“A Survey of Perceptual Evaluations and Requirements of Three-Dimensional TV”，IEEE Trans. on Circuits & Syst. for video technology, **14**, 3, pp. 381-391 (2004)
- 7) 繁樹博昭，新館俊輔，佐藤隆夫：“書き割り効果のメカニズム”，映情学技法，**22**, 28, pp.153-160 (1998)
- 8) 安達恒夫，宮原誠，大和淳二：“2眼立体視における“箱庭”，“書き割り”現象の解析”，テレビ学技報，**8**, 40, pp.33-40 (1985)
- 9) 山之上裕一，奥井誠人，岡野文男，湯山一郎：“2眼式立体画像における箱庭・書き割り効果の幾何学的考察”，映情学誌，**56**, 4, pp.575-582 (2002)
- 10) 内田治，平野綾子：“官能評価の統計解析”，日科技連出版社 (2012)
- 11) 佐藤信：“統計的官能検査法”，日科技連出版社 (1985)



澁久 志保 2006年，名古屋大学工学部情報工学科卒業。2008年，同大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻修士課程修了。同年シャープ（株）入社。主として画像処理に関する研究開発に従事。



徳井 圭 2001年，東京工業大学工学部電子物理工学科卒業。同年シャープ（株）入社。主として画像処理に関する研究開発に従事。



岩内 謙一 1992年，東京理科大学基礎工学部材料工学科卒業。1994年，同大学大学院基礎工学研究科材料工学専攻修士課程修了。同年シャープ（株）入社。2011年，宇都宮大学大学院工学研究科博士課程満期退学。主として画像処理に関する研究開発に従事。博士（工学）。正会員。



齋藤 栄 1980年，茨城大学工学部精密工学科卒業。同年シャープ（株）入社。主として記録メディアや映像系の研究開発に従事。正会員。