

基礎論文

隠消現実感体験時の両眼視野不整合に関する考察

森 尚平^{*1} 池田 聖^{*2} 松木 ひとみ^{*2*3} 松永 知典^{*2}
柴田 史久^{*2} 木村 朝子^{*2} 田村 秀行^{*2}

Considerations on Binocular Mismatching in Observation-Based Diminished Reality

Shohei Mori^{*1}, Sei Ikeda^{*2}, Hitomi Matsuki^{*2*3}, Kazunori Matsunaga^{*2},
Fumihisa Shibata^{*2}, Asako Kimura^{*2}, and Hideyuki Tamura^{*2}

Abstract – Main research topics related to diminished reality (DR) are to mitigate the geometric and photometric gaps between the real of undesirable objects and synthesized background images to diminish the objects feasibly. However, most of DR literatures describe a monocular video see-through (VST) type system while very a few showed a binocular stereoscopic DR system. That is, it can be said that the problem concerning binocular stereopsis in DR is virtually unconfirmed. This paper shows the first evidence of two types of binocular mismatching effects which can appear in observation-based DR using VST head-mounted display. Our experiments demonstrated the following issues: (i) Parallax jitters in image-based rendering-based hidden view recovery due to insufficient number of observation viewpoints and (ii) Unnatural depth perception at boundaries between real and synthesized regions due to their photometric gaps.

Keywords: Diminished reality, head-mounted display, image-based rendering

1 はじめに

隠消現実感 (Diminished Reality; DR) は、現実世界に存在する不要な物体を視覚的に隠蔽・消去・透過させる技術である。これは、現実世界に仮想物体を重畳し現実感を拡張する拡張現実感 (Augmented Reality; AR) や複合現実感 (Mixed Reality; MR) とは逆の概念である [1, 2]。物体を除去する DR 技術の内、画像中の対象領域周辺から隠された背景 (隠背景) を推定する Inpainting-Based DR (IB-DR) や別視点で観測した隠背景を現視点で再構成する Observation-Based DR (OB-DR) は AR/MR における挑戦的課題として位置づけられている。DR に関する研究課題の多くは、再構成した領域そのものや、再構成した領域とその周辺領域との間に生じる不整合を軽減することであり、単一のビデオ映像内で生じるアーティファクトが取り扱われる [3-7]。

AR/MR と同様、没入感の高い DR 体験を実現するには、当然ステレオカメラ及びディスプレイを備えた Head-Mounted Display (HMD) を用いる実地体験の形式を取ることが好ましい。にも拘らず、既存研究では、両眼立体視用の DR 画像生成手法の提案

[8,9] や、単眼カメラを用いたビデオシースルー (Video See-Through; VST) 型 DR システムの提案が多く [2], VST-HMD を用いる両眼立体視可能なシステムの実現例があまり見られない [10]。即ち、DR の両眼立体視に関する問題は事実上未確認であると言える。

実シーン中にそれまで無かった仮想物体を新たに配置する AR/MR では、実シーンの奥行きと仮想物体の奥行きは異なることが大前提であるため、仮想物体の奥行きがどのように表現されるかは比較的重要度が低い。一方で、DR においてはそれとは逆で、実シーン中に存在する物体が取り除かれるため、実シーンと再構成される領域との間には奥行きの差がないことが前提となることが多く、再構成領域の不整合により生じる (もしくは知覚される) 僅かな奥行きの差が問題となることが考えられる。しかしながら、再構成した対象領域とその周辺との間に不整合が発生するという DR 固有の問題が、両眼立体視によってどのように知覚されるかは先の背景より明らかにされていない。

本論文では、DR 処理結果を両眼立体視可能な VST-HMD に表示した際に、再構成した対象領域の幾何学的ないしは光学的不整合により生じる立体感に関する問題を両眼視野不整合と称し、本問題に関して整理 [11-13] した上で以下の2つを実験により確認する。

- 幾何学的不整合に起因する両眼視野不整合について、3D CG を用いたシミュレーションにより Image-Based Rendering (IBR) におけるアー

^{*1}慶應義塾大学

^{*2}立命館大学

^{*3}現在、日本アイ・ビー・エム株式会社

^{*1}Keio University

^{*2}Ritsumeikan University

^{*3}IBM Japan Ltd.

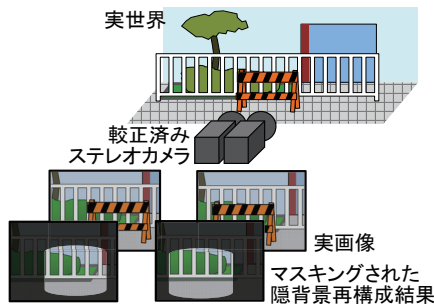


図1 実画像，再構成画像，マスク画像の関係図

Fig.1 Relationships between a stereo camera, video streams from the camera, and masked hidden view recovery

ティファクトが異常な視差の変化（ジッタ）を引き起こすことを定量的に示す（第3章）。

- 光学的不整合に起因する両眼視野不整合について，照明条件の不整合や解像度不足などが対象領域の立体感に影響を与えることを被験者実験により示す（第4章）。

尚，特に断りのない限り，DRはOB-DRを，HMDはVST-HMDを指すものとする。

2 DRにおける両眼立体視と両眼視野不整合

2.1 対象とする幾何学的・光学的不整合

本論文では，両眼立体視用DRの現実的な実装方法として，文献[2]の2.1節にある，単眼用「隠消現実感の構成要素と実現手順」に則った処理を，隠背景の観測とモデル化，除去対象領域の決定，除去対象領域への隠背景面群の投影と合成，の順に左目・右目用画像それぞれに実行しHMDに表示する方法を想定する（図1）。即ち，既存の単眼用DR処理において発生する様々なアーティファクトが両眼視野不整合の要因となり得る。本節では，これらの内，以下に挙げる代表的な幾何学的・光学的不整合について具体的に取り上げる。そして，これらを起因とした両眼視野不整合について次節で述べるものとする。

- IBRを用いた隠背景再構成における視点依存のジッタ（幾何学的不整合）
- 隠背景観測及びDR体験者視点における光学系や照明条件の違いに起因する不整合（光学的不整合）

尚，ステレオカメラ・ディスプレイの同期及びその較正は然るべきハードウェアの利用と事前準備によって解決されているものとする。

IBRを用いた隠背景再構成における視点依存のジッタ：観測者視点位置から隠された光景を実空間に合わせて再構成するために，IBRがしばしば用いられる[5,7,14]。こうした手法を利用する際，撮影可能な

時間や範囲，保存枚数等に関する制約から，撮影画像枚数が隠背景再構成に用いるには不十分である場合が考えられる。このような場合，隠背景再構成時に選択される画像の撮影地点が体験者視点位置によって大きく異なり，提示画像が歪む幾何学的不整合が発生する。隠背景観測及びDR体験者視点における光学系や照明条件の違いに起因する不整合：体験者視点とは別の視点から隠背景を観測するために複数台のカメラを用いる手法[15]では，用いるカメラの光学系や撮像素子の違いによって，得られる画像間で色調やノイズなどに差異が生じる。よって，このような画像を用いる場合，除去対象領域内外で光学的不整合が発生する。同様に，屋外を対象として隠背景を事前観測するDR手法では，DR体験時とは照明条件が異なる可能性が高い。よって，再構成された領域とその周辺とで光学的不整合が発生する。通常，こうした光学的不整合は，適当な色調補正処理によって軽減される[7,14]。

2.2 想定される両眼視野不整合

図1における，両眼，除去対象，除去対象領域，隠背景の関係を図2に示す。この時，隠背景再構成結果と実空間の間に何らかの不整合が発生しているとすると，まず，除去対象領域内において不自然な立体感が知覚される可能性がある。加えて，除去対象領域内外の境界の特定領域において，左目用画像では実空間，右目用画像ではそれとは見た目の異なる隠背景再構成結果，もしくはその逆の光景が観測されることになる。

この場合，例えば，除去対象領域内外の境界における両眼視野闘争の発生が予想される。また，除去対象領域内外及びその境界において現実世界では起こり得ない絵画的な手掛かりが意図せず生じる可能性があり，より複雑な現象として知覚されると考えられる。

2.1節で述べた，幾何学的不整合が発生する場合には，左目・右目用画像で選択される画像の撮影地点が大きく異なる場合があるため，除去対象領域内においても，体験者の視点位置に応じて本来得られる視差量よりも大きく，または小さくなり，対象領域内で知覚される立体感に違和感が生じると考えられる。

3 実験：幾何学的整合性

3.1 実験内容

本実験では，前章で述べたようにIBRの一種であるLight Field Rendering[16](LFR)を用いた隠背景再構成におけるジッタの発生を，CGモデル¹を用いたシミュレーションにより再現することで，幾何学的不整合に起因する両眼視野不整合の発生を確認する。このCGモデルには，レンダリングに必要なとなる，24,711

¹ICL Living room dataset: http://www.doc.ic.ac.uk/~ahanda/VaFRIC/living_room.html

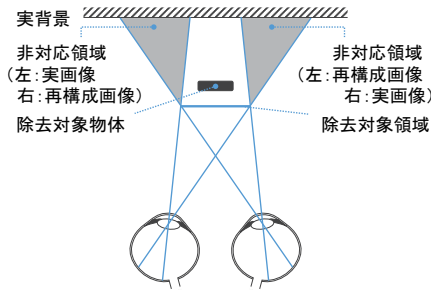


図2 実背景画像と隠背景再構成画像間の非対応領域の発生
Fig.2 Non-corresponding region between real view and recovered hidden view

頂点や光源情報等が含まれているが、本実験では、頂点情報のみを用いた。後に述べる、視差量計算のためのステレオマッチングでの誤対応を軽減するため、全頂点の内、50点おきに読み込んだ495点を用いた。

3.2 実験手法

本実験で調べるシーン点のジッタの大きさは、平行化された仮想空間中のHMDの左目・右目用画像上の対応点の水平位置をそれぞれ u_L, u_R としたとき、視差 $d = u_L - u_R$ のフレーム間変化量 Δd を基に定義される。この視差の変化量 Δd は頭部位置に依存する量である。例えば、頭部が対象点に近づけば視差が増加するため Δd は正の値を、遠ざかれば負の値をとる。純粹にIBRによる幾何学的不整合のみによるジッタ量を算出するため、次の2種類のレンダリングパス（幾何変換）での視差の変化量の差をジッタと定義した。

基準 シーンモデルの頂点を単純に体験時画像上に投影し、投影位置を算出する。

IBR シーンモデルの頂点をLight Field取得用の画像上に投影し、隠背景観測画像群を生成する。この画像群と体験時のカメラ位置・姿勢を入力としてLFR法により体験時視点画像を再構成し、体験時カメラの画像上に投影される頂点位置を算出する。

仮想空間中のHMDのカメラの内部パラメータおよびカメラ間の相対位置・姿勢は、次章の被験者実験で用いるHMD（Canon HH-A1, 両カメラVGA, 両ディスプレイSXGA, 水平画角41度）のパラメータと同じものを用いた。ただし、HMDの両カメラの基線長には適当なスケールを与えCG空間の座標系に合うように調整した。体験者視点のステレオ画像には、視野内の奥行方向にシーン点が偏りなく得られるように適当な注視対象を設定した上で、平行移動させてレンダリングした90フレームを用いた。尚、本HMDの両カメラは、1.4m先の一点を注視するように設計されているため上記の画像の平行化を要した。

本実験で用いるLFRは、平面の格子状に多視点カ

メラを配置して得られる画像を利用する。LFR用画像は、4行200列、4行20列の格子状に配置し、それぞれ計800視点、80視点分の2種のデータを、CG空間の同一の範囲で、密度が異なるように取得した。尚、撮影間隔は、シーンの概ねの奥行きに対して、4行200列、4行20列、それぞれで数度刻み、コンマ数度刻みになるように設定した。これは、LFRに関する先行研究で、数度刻みの撮影間隔のものが多かったことから、また、市販のカメラトラッキングシステムでは1mm以下の精度で計測できるものが存在し、これがコンマ数度刻みの撮影間隔に相当するためである。尚、体験時のステレオ画像はこのカメラアレイ構成面から離れた位置で取得し、LFR用カメラアレイ内の視点と全く同じ画像が得られないようにした。

LFRを適用した体験者視点のステレオ画像でのジッタを計算するため、以下の処理を行った。まず、シーン点に固有のRGB値を与え、カメラアレイを構成する多視点画像に投影することで、各々のカメラの2次元位置に対応する画素をシーン点の色で塗りつぶした。次に、仮想HMDの両カメラの位置・姿勢に合わせてLFRを行うことで、多視点画像を1組のステレオ画像としてアルファ合成した。こうして得られたステレオ画像を平行化した後、左目用画像において閾値以上の画素値を持つ点を画像中のシーン点とみなし、右目用画像、次フレームの左目用画像、次フレームの右目用画像にて対応する色が検出された場合、その検出位置から視差及びジッタを計算した。尚、フレーム間のシーン点の追跡、ステレオマッチングにおける類似度計算には正規化相互相関を用いた。

3.3 実験結果・考察

図3に各フレームにおけるジッタの絶対値の総和の推移を示す。図に示されるように、LFR用カメラアレイの視点数を4行200列、4行20列と疎にした場合、LFRのジッタは 1.3 ± 0.2 画素、 21.4 ± 4.2 画素（平均±標準偏差）であった。尚、2.2節で述べた「基準」に対して同様のジッタ計測を行った場合、 0.4 ± 0.1 画素であったことから、この計測方法による誤差は極めて少ないことが分かる。基線長63mm、画素単位換算の焦点距離600画素のHMDにおいて、奥行き1.5mにある点を表すとして、これらを奥行きに換算すると、それぞれ72.3mmと688.5mmである。この結果から、カメラアレイの視点数が疎であるほど、体験者視点の移動に伴うジッタが多く発生することが分かる。

LFRによって生成された画像には、シーン中の単一の点を写した多視点画像を体験者視点にてアルファ合成した結果であるため、単一のシーン点が二重になって出現するフレームがあった。こうしたアーティファ

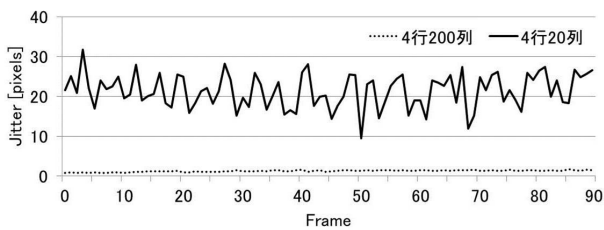


図3 ジッタの時間変化
Fig.3 Temporal variation of the jitters

クトは両画像に発生するため、不自然な視差を持ったシーン点が存在することとなった。また、そうした点の発生位置は視点位置に応じて、フレーム間で変化し、視点数が少ない程この傾向が顕著であった。

このような不自然な視差の変化は、単純に単一の画像上の幾何学的不整合として知覚されるだけでなく、奥行き方向のジッタとして知覚される可能性がある。特にDRでは、再構成される除去対象領域と実画像をそのまま提示する周辺領域とを比較しながら体験するため、本実験で確認した両眼視差のジッタが際立って知覚される可能性がある。こうした問題への対処法としては、LFR用の各画像を体験者視点にホモグラフィ変換する際のパラメータを、視差の変化が生じにくくなるように調節するといった方法が考えられるが、検討の余地がある。

4 実験：光学的整合性

本実験の目的は、主観評価実験により第2章で述べた光学的不整合に起因する両眼視野不整合の発生を確認することである。具体的には、第2章で述べた通り利用者への提示画像中の除去対象領域内に光学的不整合が発生する場合、その領域の実背景と異なる奥行きに不自然な立体物が残存するかのような感覚が生じる事を確認するとともに、対象領域の境界付近がこの現象の主要原因であることも確認する。

4.1 提示画像の取得・生成

提示する画像は、運動視差による奥行き手がかりを排除するためDR手法の検証用スタジオを用いて取得した動画画像群 [17] の中から適当なフレームを選択して用いた。本スタジオでは、図4(a)に示すように単眼カメラ (Flea3 GigE) を取り付けられたロボットアーム (Denso Wave 社製 VS-087) を制御して同一のカメラパスで異なる条件の画像を取得できるよう設計されている。単眼カメラは、使用するHMDの構成に合わせて解像度を 640×480 画素に設定し、水平画角 40.5 度、焦点距離 6.5mm のレンズを使用した。

撮影対象としては、図4(b)に示すように照明 (太陽光としてARRI社製HMI575、環境光としてARRI

社製650Plus) がコントロールできる屋内に配置された $1/12$ スケールの屋外ミニチュアセットを使用した。除去対象は工事用のカラーコーンおよびヘルメットとした。撮影の最中はホワイトバランスは変更せず、除去対象から落ちる影は除去対象領域内に収めた。

提示する画像は、DR処理を経由していることを前提としているため、図5に示す除去対象物体が配置される前に観測される隠背景観測画像 (a) に図6に示す5種類の光学的不整合 (明度差、解像度差、コントラスト差、ノイズレベル、照明変化) を与えた。これらの不整合は、既存のDR手法において問題となり得る主要なものを選択した。尚、文献 [7,14] での色調補正処理によって明度差とコントラスト差に関しては解決が図られているが、その差が大きい場合、対処しきれない場合が考えられる。

(c) または (d) のマスク画像を用いてDR処理前の画像 (b) に合成して生成した。マスク画像については円柱状の三次元的な除去対象領域を除去対象を包含するように設定し、カメラの画像面へ投影して2値のマスク画像 (c) を作成した。これに加えて除去対象領域の境界部分が主要原因であることを確認するため、境界付近をブレンディングする処理 (Region Blending Across the Border; RBAB) を行った。このため画像 (c) にガウスフィルタ ($\sigma = 10$ 画素) を掛けて中間値を持つマスク画像 (d) を作成した。生成された画像を図5に示す。

4.2 実験手法

実験には実験の趣旨に同意した22~26歳の健常者で矯正視力0.7以上の大学生・大学院生35名 (うち男性31名、女性4名) が参加した。上記参加者は、予めHMDを用いて中央と周辺で異なる視差をもつランダムドット (ランダムドットステレオグラム) を提示し、奥行き関係を正しく回答できることを確認した。

参加者にはまずDR処理前の除去対象を含む画像 (図5(b)) をHMDで提示し、視界内の除去対象領域の位置を覚えるように教示した。その後、光学的不整合なし (control条件、光学的不整合の問題が解決された結果に相当、図5(a))、光学的不整合あり (RBABなし)、光学的不整合あり (RBABあり) の3条件のうち2条件を比較し、除去対象領域の奥行きが大きい方を回答させた。各参加者一人あたり3条件の組み合わせ全てを5つの光学的不整合要因に対して行い計 $3 \times 5 \times 35 = 525$ 回の比較を行なった。結果はThurstonの対比較法により分析し、Tukey-Kramer法により多重検定した。

上記に加えて、図6の光学的不整合を付加した各画像は、絵画的特徴が原因で立体感が異なる可能性もあ

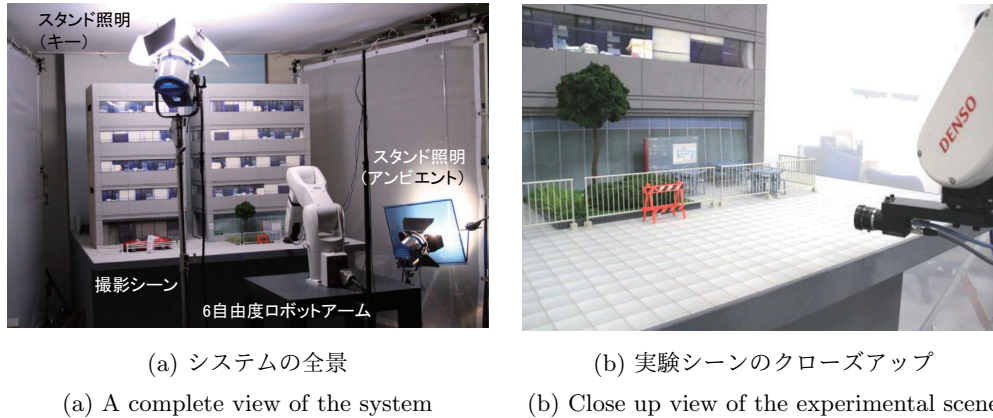


図 4 画像取得システム
Fig. 4 Image acquisition system

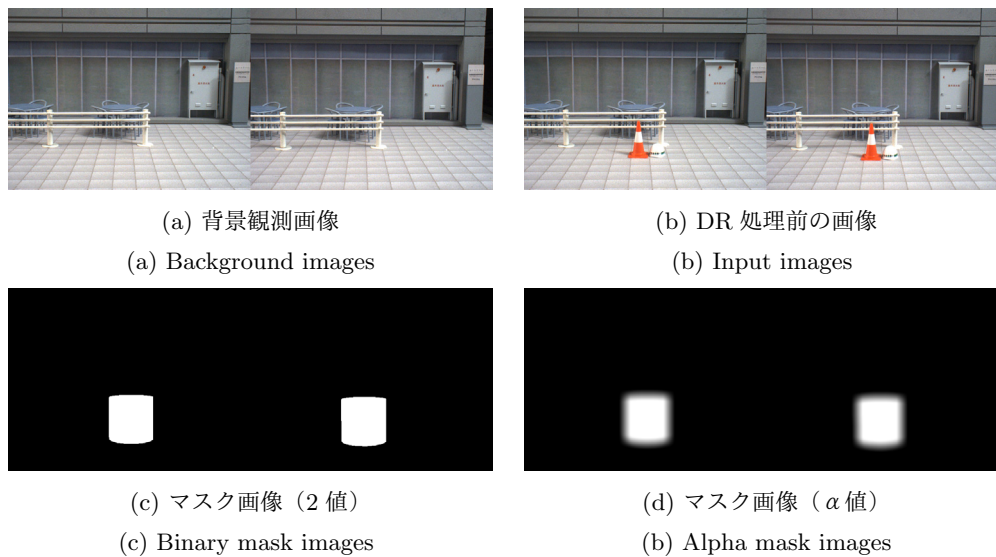


図 5 DR 処理に用いる画像
Fig. 5 Images used for DR processing

るので、通常の立体視できないディスプレイに左目用の画像を表示し、除去対象領域の立体感を 5 段階評価するアンケートも実施した。

4.3 実験結果・考察

各光学的不整合要因における比較結果を図 7 に示す。図中の横軸は奥行きに対応する心理尺度であり、右方向は奥行きが小さい（手前）ことを表し、左方向は奥行きが大きい（奥）ことを表す。図から分かるように明度差 (a)、解像度差 (b)、ノイズレベル (d) では、光学的不整合のない control 条件に対して、光学的不整合のある条件 (RBAB なし) の方が除去対象領域の奥行きに対応する心理尺度が有意（それぞれ $p < 0.10$, $p < 0.10$, $p < 0.05$ ）に大きかった。また、有意性の確認には至らなかったが、光学的不整合のある条件 (RBAB あり) についても、この 3 条件で光学的不整合のない control 条件と光学的不整合のある条件 (RBAB なし) の間にある傾向がみられた。一方で、コントラスト差 (c)、照明変化 (e) については、3

条件に大きな差はなく上記とは順番が異なる結果が得られた。また、図 8 に、絵画的特徴に関するアンケート結果を示す。

予想通り光学的不整合があることにより無い場合に比べてより手前に感じ、加えて、RBAB 有りより無しの場合においてより手前に感じられた、という (a), (b), (d) の結果は、少なくともある条件下で光学的不整合が生じると除去対象領域が立体的に知覚されたが、マスク画像のエッジが RBAB 処理により目立たなくなることで、この不自然な立体感が軽減されたと理解できる。除去対象領域の決定に 3D バウンディングボックスを使用しているが、両眼立体視による実験がなされていない Cosco ら [5] や Zokai ら [6] の手法などでも、同様の現象が発生すると考えられる。

今回設定した各種条件において明度差や解像度差などの光学的不整合の大きさは何らかの観点で統一されたものではなかったため絵画的手がかりがそれぞれ異なる可能性がある。絵画的手がかりが主要原因で上記

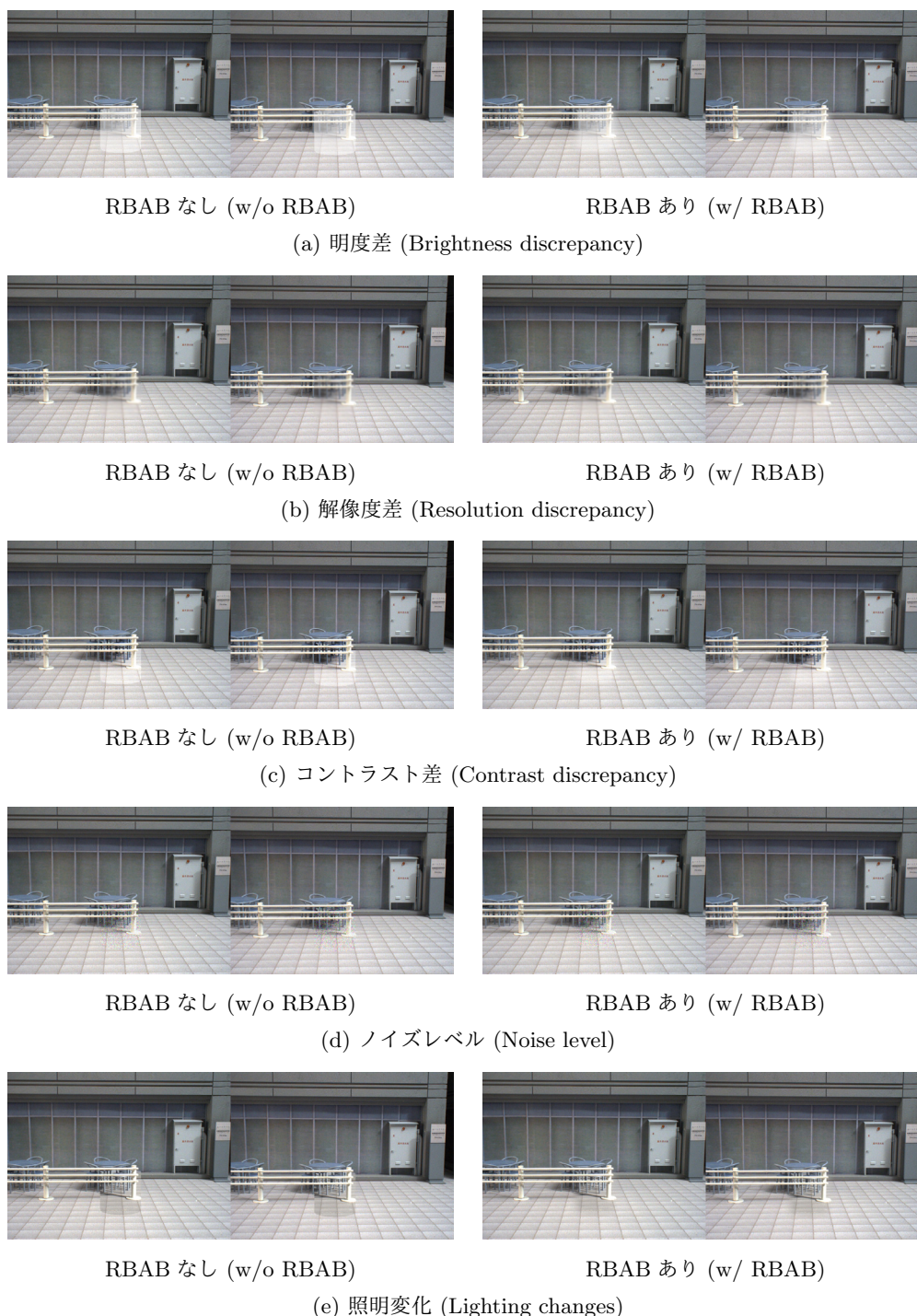


図 6 主観評価実験に用いた視覚刺激

Fig. 6 The visual stimulus used in subjective evaluation

の結果が導かれた可能性も考えられた。しかし、図 8 に示すアンケート結果を見る限り、control 条件と光学的不整合のある条件 (RBAB なし) の間に大きな差があったノイズレベル (d) の条件では、除去対象領域が手前に浮き出て見えるという回答は比較的少なかった。つまり、画像単体では確認できず両眼立体視をすることにより初めて生じる不整合であると解釈できる。

逆に予想とは異なり、コントラスト差 (c)、照明変化 (e) の条件では統計的有意差はもとより上記のよう

な傾向すら見られなかった。上述のとおり特筆するような絵画的な手がかかりとの関連も見られなかった。原因の特定に至らなかったが、少なくとも画像単体で確認できるレベルの光学的不整合が生じていれば無条件で本章で述べる両眼視野不整合が生じる訳ではないといえる。

5 むすび

本論文では、VST 型 HMD を用いた隠背景観測ペー

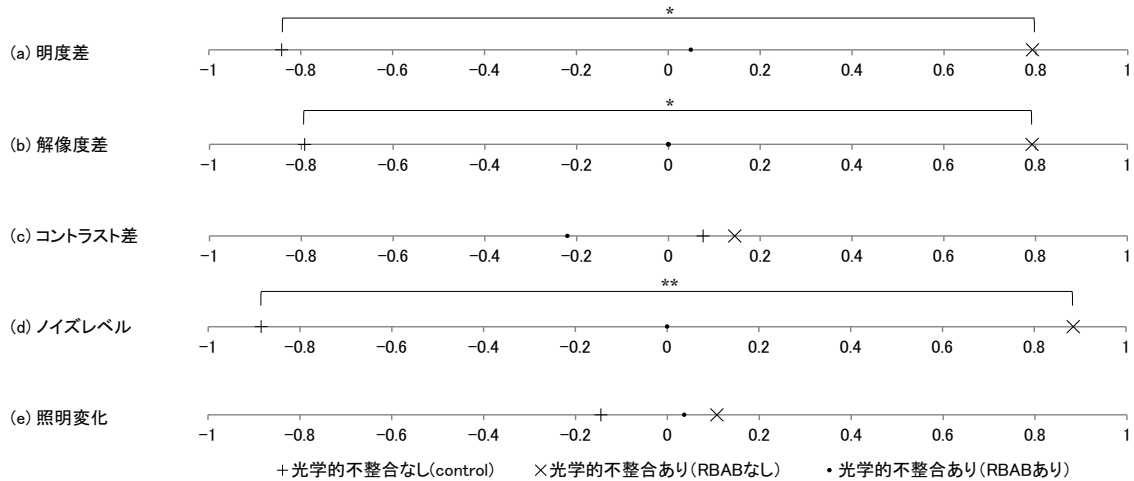


図7 主観評価実験の結果
Fig.7 Results of subjective evaluation

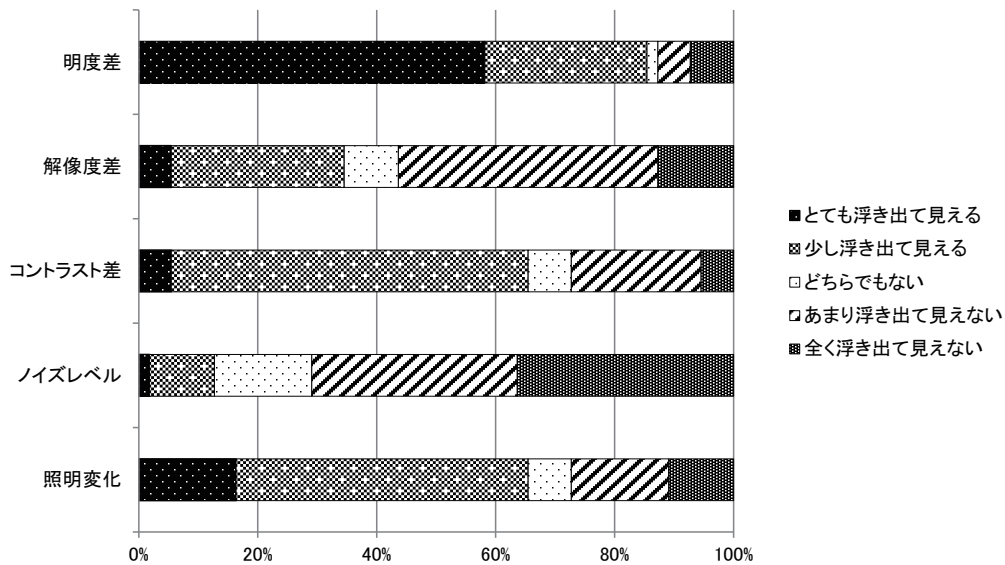


図8 絵画的特徴に関するアンケート結果
Fig.8 Questionnaire results about pictorial cues

スのDRにおいて、単眼の画像上で生じる幾何学的および光学的不整合が原因となり、両眼立体視に特有の不整合すなわち両眼視野不整合が生じることを示した。幾何学的不整合に起因する両眼視野不整合としては、LFRにおける隠背景観測画像の観測視点不足により、両眼視差の時間的変化が不自然に振動するジッターが生じることが確認された。光学的不整合に起因する両眼視野不整合としては、除去対象領域が浮き出て見える現象が確認された。また、その主な原因が領域のエッジにあるという仮説と矛盾しない傾向が見られた。ただし、光学的不整合に起因する両眼視野不整合の発生条件は特定できなかった。今後は、より幅広い条件下で上記の両眼視野不整合を解消もしくは軽減する手法について検討する必要がある。

謝辞 本研究の一部は、科研費・基盤研究(S)「複合現実型情報空間の表現力基盤強化と体系化」(課題番号24220004)、学振・特別研究員奨励費(課題番号259193、課題番号16J05114)、科研費・基盤研究(B)(課題番号15H02737)による。

参考文献

- [1] S. Mann: Mediated reality, Technical Report TR 260, M.I.T. Media Lab Perceptual Computing Section, Cambridge, Ma, 1994.
- [2] 森尚平, 一刈良介, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: 隠消現実感の技術的枠組と諸問題~現実世界に実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透視する技術について~, VR学会論文誌, Vol. 16, No. 2, pp. 239-250, 2011.
- [3] 森尚平, 小向啓文, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: 隠消現実感における隠背景平面拘束と周辺参照領域の効果の利用, 同上, Vol. 19, No. 2, pp. 131-140, 2014.
- [4] N. Kawai, M. Yamasaki, T. Sato, and N. Yokoya:

- Diminished reality for AR marker hiding based on image inpainting with reflection of luminance changes, *ITE Trans. Media Tech. & Appl.*, Vol. 1, No. 4, pp. 343-353, 2013.
- [5] F. I. Cosco, C. Garre, F. Bruno, M. Muzzupappa, and M. A. Otaduy: Augmented touch without visual obstruction, *Proc. ISMAR*, pp. 99-102, 2009.
- [6] S. Zokai, J. Esteve, Y. Genc, and N. Navab: Multi-view paraperspective projection model for diminished reality, *ibid.*, pp. 217-226, 2003.
- [7] Z. Li, Y. Wang, J. Guo, F., L. Cheong, and S. Z. Zhou: Diminished reality using appearance and 3D geometry of internet photo collections, *ibid.*, pp. 11-19, 2013.
- [8] L. Wang, H. Jin, R. Yang, and M. Gong: Stereoscopic inpainting: Joint color and depth completion from stereo images, *Proc. ICPR*, pp. 1-8, 2008.
- [9] A. Abe and I. Shimizu: Stereoscopic image inpainting by minimizing an energy function, *J. ITE*, Vol. 68, No. 6, pp. J238-J246, 2014.
- [10] 北嶋友樹, 池田聖, 佐藤宏介: 輻輳に基づく AR x-ray vision, *VR 学会論文誌*, Vol. 21, No. 1, pp. 81-84, 2016.
- [11] 松木ひとみ, 森尚平, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: 隠消現実感における両眼視野不整合についての分析と対策, 第 20 回 VR 学会大会論文集, pp. 230-233, 2015.
- [12] 松木ひとみ, 森尚平, 池田聖, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: 隠消現実感における両眼視野不整合についての分析と対策 (2), *VR 学会 MR 研究会*, MR2016-6, 2016.
- [13] H. Matsuki, S. Mori, S. Ikeda, F. Shibata, A. Kimura, and H. Tamura: Considerations on binocular mismatching in observation-based diminished reality, *Proc. 3DUI*, pp. 259-260, 2016.
- [14] S. Mori, F. Shibata, A. Kimura, and H. Tamura: Efficient use of textured 3D model for pre-observation-based diminished reality, *Proc. Int. Workshop on Diminished Reality*, pp. 32-39, 2015.
- [15] S. Meerits and H. Saito: Real-time diminished reality for dynamic scenes, *ibid.*, pp. 53-59, 2015.
- [16] M. Levoy and P. Hanrahan: Light field rendering, *Proc. SIGGRAPH*, pp. 31-42, 1996.
- [17] S. Mori, Y. Eguchi, S. Ikeda, F. Shibata, A. Kimura, and H. Tamura: Design and construction of data acquisition facilities for diminished reality research, *ITE Trans. Media Tech. & Appl.*, Vol. 4, No. 3, pp. 259-268, 2016.

(2016 年 12 月 6 日受付)

[著者紹介]

森 尚平 (正会員)



2011 年立命館大学情報理工学部メディア情報学科卒。2016 年同大学院情報理工学研究科博士後期課程修了。複合現実感及び隠消現実感の研究に従事。同年 4 月より、慶應義塾大学理工学部訪問研究員(学振・特別研究員 PD)。本学会, 情報処理学会, IEEE, ACM 各会員。博士(工学)。

池田 聖 (正会員)



2001 年広島大学理学部物理学科卒。2006 年奈良先端大情報科学研究科博士後期課程修了。翌 2007 年同研究科助教, 2011 年大阪大学大学院基礎工学研究科助教等を経て, 2015 年より立命館大学情報理工学部講師。複合現実感に関する研究に従事。本学会, 情報処理学会, IEEE, ACM 他各会員。博士(工学)。

松木 ひとみ



2015 年 3 月立命館大学情報理工学部メディア情報学科卒業。2017 年 3 月同大学院情報理工学研究科博士前期課程修了。現在, 日本アイ・ビー・エム株式会社所属。在学中, 隠消現実感における両眼視野不整合の研究に従事。

松永 知典



2017 年 3 月立命館大学情報理工学部メディア情報学科卒業。現在, 同大学院情報理工学研究科博士前期課程在学中。隠消現実感における両眼視野不整合の研究に従事。情報処理学会学生会員。

木村 朝子 (正会員)



現在, 立命館大学情報理工学部教授。博士(工学)。詳細は本特集号の他論文参照。

柴田 史久 (正会員)



現在, 立命館大学情報理工学部教授。博士(工学)。詳細は本特集号の他論文参照。

田村 秀行 (正会員)



1970 年京都大学工学部電気工学科卒。工業技術院電子技術総合研究所, キヤノン(株)等を経て, 2003 年 4 月より立命館大学理工学部教授。同情報理工学部教授を経て, 現在, 同総合科学技術研究機構教授。工学博士。1997 年より 2001 年まで, MR システム研究所にて「複合現実感研究プロジェクト」を率いた。本学会フェロー, 元理事, 現在, 評議員, 複合現実感研究委員会顧問。編著書「Mixed Reality」(Ohmsha & Springer)「コンピュータ画像処理」(オーム社)など。電子情報通信学会フェロー, IEEE, ACM, 情報処理学会等会員。本学会, 情報処理学会, ヒューマンインタフェース学会の論文賞, 人工知能学会功労賞等を受賞。